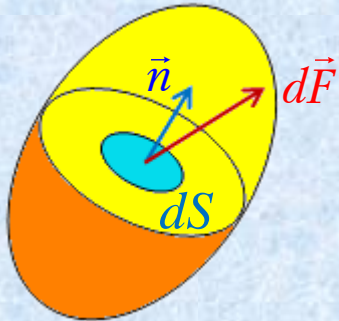


Свойства жидкостей и газов



Напряжение $\vec{\sigma} = \frac{d\vec{F}}{dS}$

Жидкости и газы не оказывают сопротивления сдвигу и способны изменять свою форму при воздействии сколь угодно малых касательных сил

Касательные напряжения в жидкостях (идеальных) и газах существовать не могут

$\vec{\sigma} = -p\vec{n}$ Давление $p = \frac{\Delta F}{\Delta S}$ $[p] = \text{Н/м}^2 = \text{Па}$

Единицы давления

Система СИ: Паскаль (Па)

Миллиметр ртутного столба
(мм рт. ст., торр)

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$$

Атмосфера (физическая)

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Атмосфера (техническая)

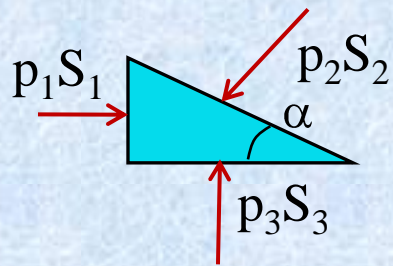
$$1 \text{ ат} = 98066 \text{ Па}$$

Бар

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$$

Закон Паскаля

При отсутствии объемных сил



$$p_1 S_1 = p_2 S_2 \sin \alpha \quad S_1 = S_2 \sin \alpha$$

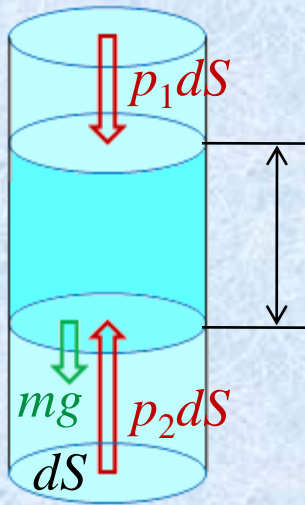
$$p_1 = p_2 = p_3$$

Закон Паскаля: давление не зависит от ориентации площадки, на которую оно действует

или

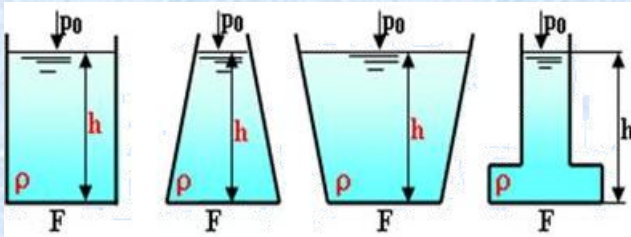
Давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях.

Давление водяного столба



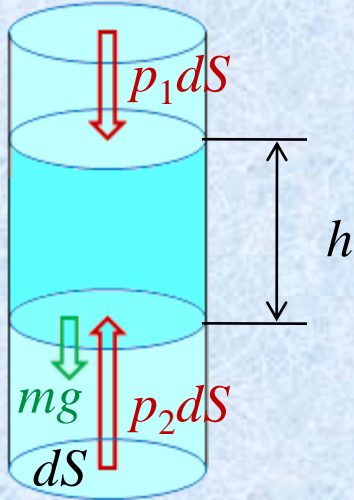
$$p_2 dS = p_1 dS + \rho g V$$

$$p_2 = p_1 + \rho g h$$



Вопрос: $F_{\text{давл}} = pS$. Если два сосуда поставить на весы, останутся ли весы в равновесии?

Закон Архимеда



$$F_A = p_2 dS - p_1 dS = \rho g V$$

На всякое тело, погружённое в жидкость (или газ), действует со стороны этой жидкости выталкивающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости, направленная вверх и проходящая через центр тяжести вытесненной жидкости



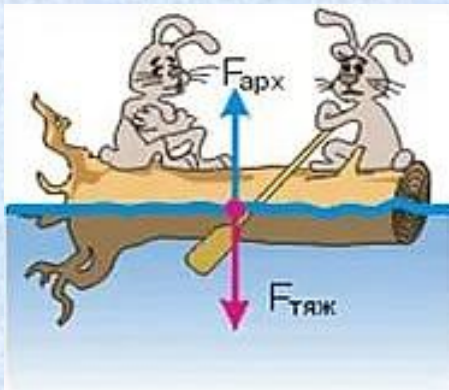
Архимед

287-212 до н.э.

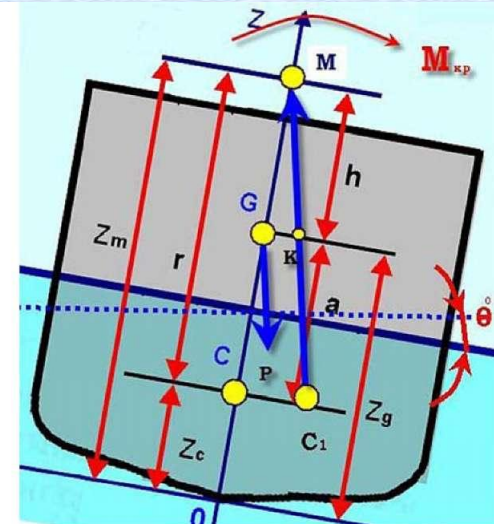
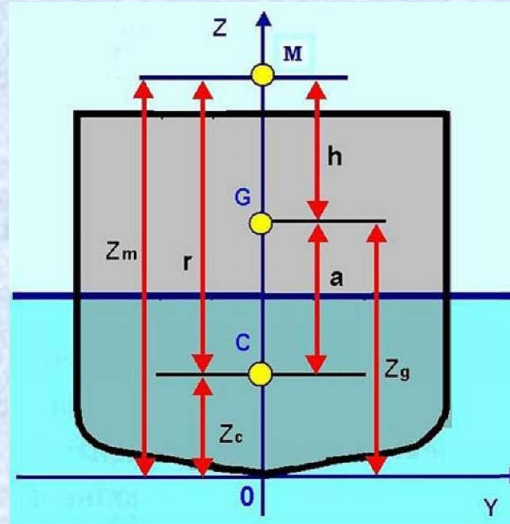
Древняя Греция
город Сиракузы



Плавание судна



Почему так плыть
нельзя?



Вопрос: Корабль из реки выходит в море. Плотность пресной воды $1,00 \text{ г/см}^3$, соленой $1,03 \text{ г/см}^3$. Во сколько раз изменится сила Архимеда?

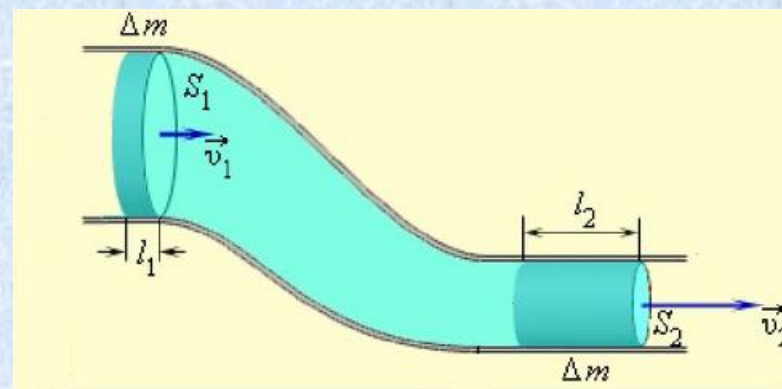
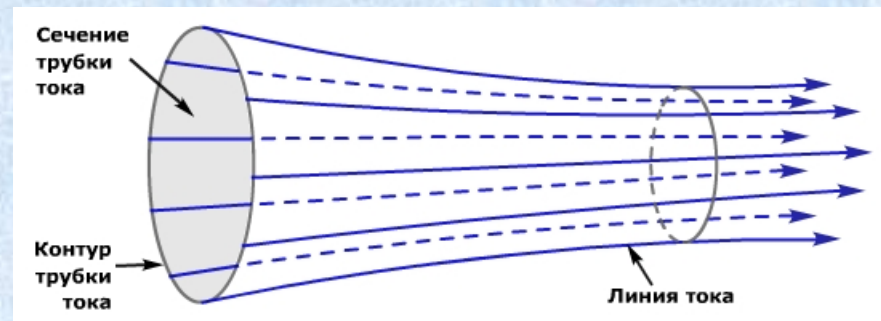
Уравнение неразрывности

Линия тока: касательная в каждой точке совпадает с направлением скорости.

Трубка тока: часть жидкости, ограниченная линиями тока.

Частицы жидкости при движении не могут пересекать стенок трубки тока

$$\Delta m = \rho S v \Delta t$$



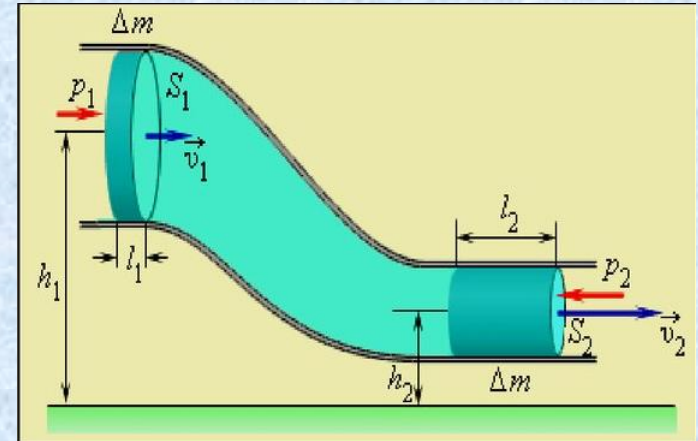
При стационарном течении несжимаемой жидкости через любые сечения трубки тока каждую секунду протекают одинаковые объемы жидкости

$$Q = Sv = \text{const}$$

Уравнение Бернулли

$$\Delta E = \left(\frac{\rho \Delta V v_2^2}{2} + \rho \Delta V g h_2 \right) - \left(\frac{\rho \Delta V v_1^2}{2} + \rho \Delta V g h_1 \right)$$

$$\Delta E = A = p_1 S_1 l_1 - p_2 S_2 l_2 = p_1 - p_2 \Delta V$$



$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}$$



И. Бернулли,
1667–1748

*Его ум видел истину,
Его сердце познало справедливость.
Он — гордость Швейцарии
И всего человечества.*

Вольтер

Следствия из уравнения Бернулли

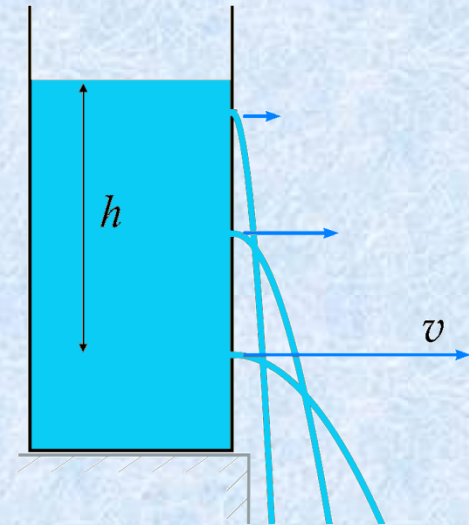
$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const}$$

Истечение жидкости через малое отверстие в стенке широкого открытого сосуда

$$\rho gh + p_{\text{атм}} = \frac{\rho v^2}{2} + p_{\text{атм}}$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Формула Торричелли



При истечении жидкость приобретает скорость, какую получило бы тело, свободно падающее с высоты h .

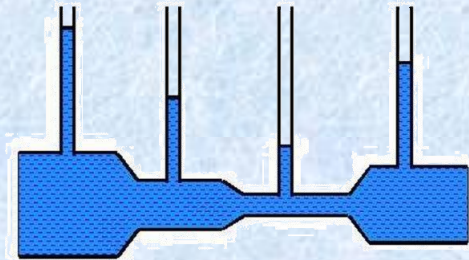
Следствия из уравнения Бернулли

Для горизонтальной линии тока

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

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2$$

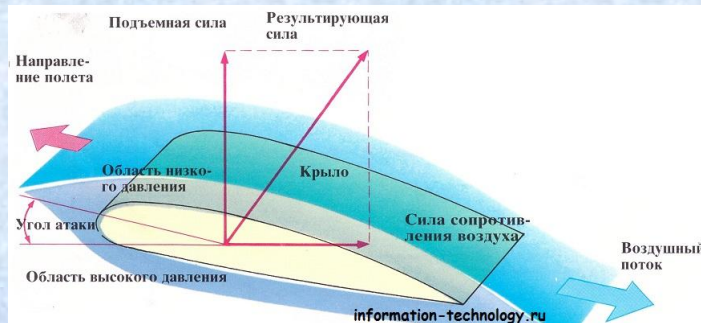
Давление больше там, где скорость меньше



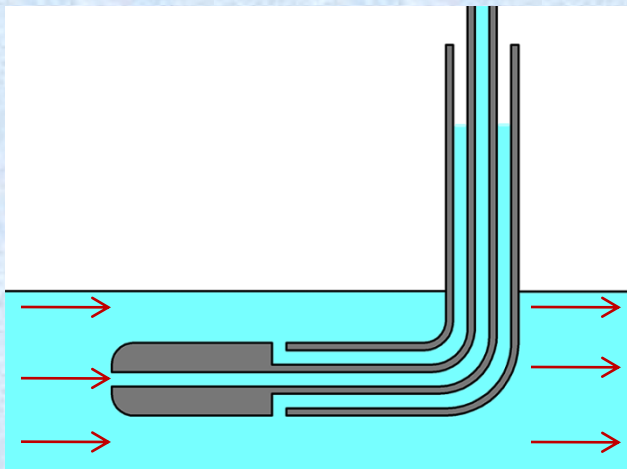
Струйный насос



Подъемная сила крыла



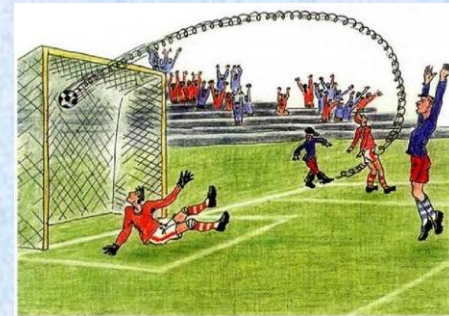
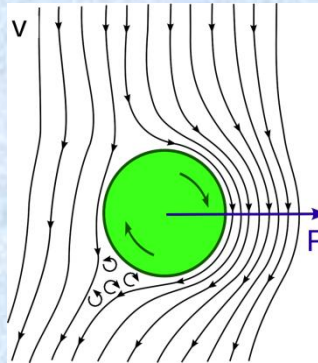
Трубка Пито



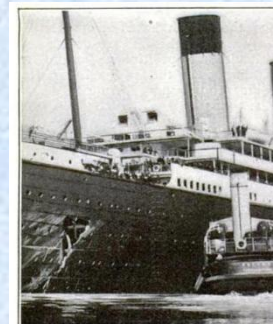
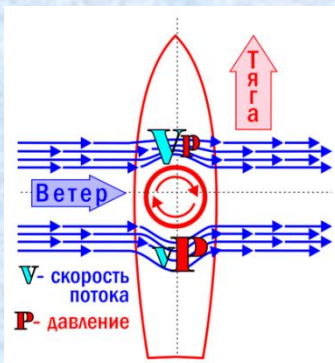
$$\rho g \Delta H = \frac{\rho v^2}{2}$$



Эффект Магнуса



Турбопарус

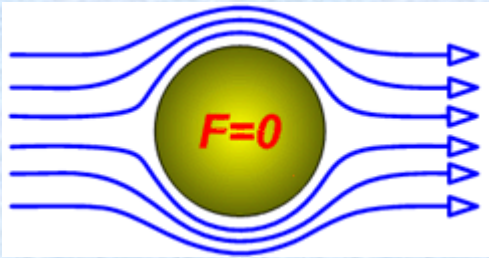


The Hole in the "Olympic," the Damage Below the Waterline being Much Greater Than That Above



The Bow of the "Hawke," the Damage being so Great That the Ram Has Been Mashed Flat

Парадокс Даламбера

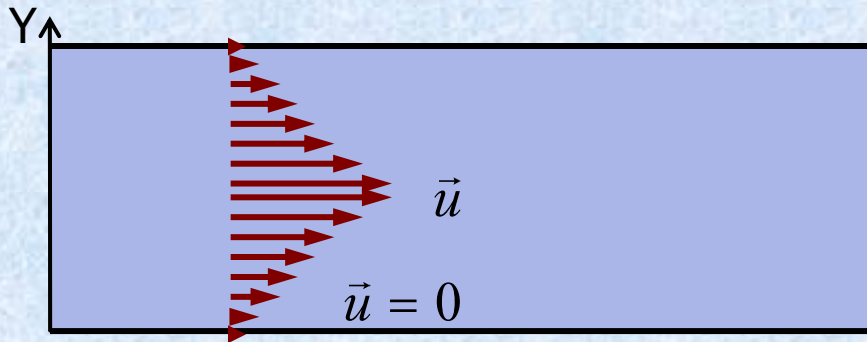


При стационарном обтекании твёрдого тела безграничным прямолинейным потоком идеальной жидкости, при условии выравнивания параметров далеко впереди и позади тела, сила сопротивления равна нулю.

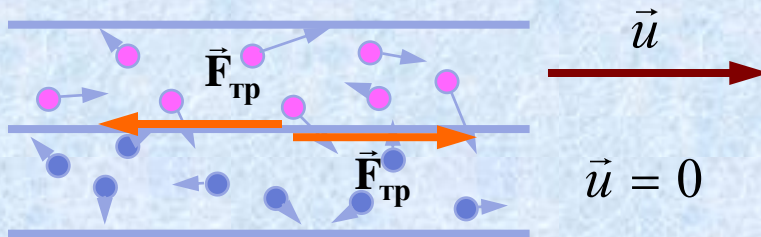
Или при поступательном прямолинейном движении тела с постоянной скоростью в безграничном объёме идеальной жидкости, который покоится на бесконечности

Вязкость (перенос импульса)

Внутреннее трение (вязкость) – возникновение силы внутреннего трения при взаимодействии между слоями газа (жидкости), движущимися с различными скоростями.



Вязкое трение – результат переноса импульса направленного движения слоев газа (жидкости) за счет хаотического движения при наличии градиента скорости направленного движения.



Закон Ньютона

$$F = \eta \frac{du}{dy} \Delta S$$

Динамическая
ВЯЗКОСТЬ

$$[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}$$

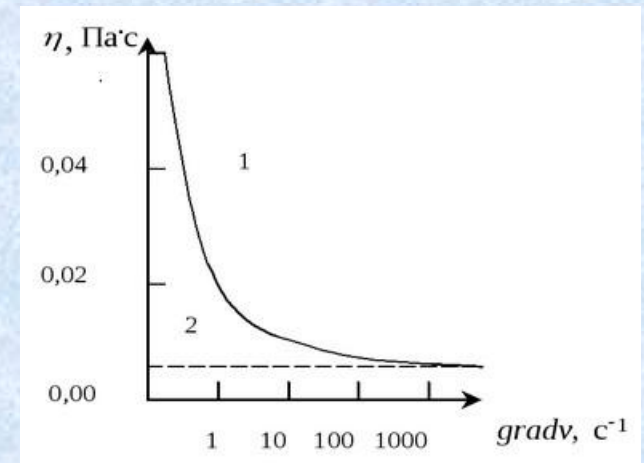
Ньютоновская жидкость

$$F = \eta \frac{du}{dy} \Delta S \qquad \tau = \frac{F}{\Delta S} = \eta \frac{du}{dy}$$

Касательное напряжение τ определяется градиентом скорости жидкости

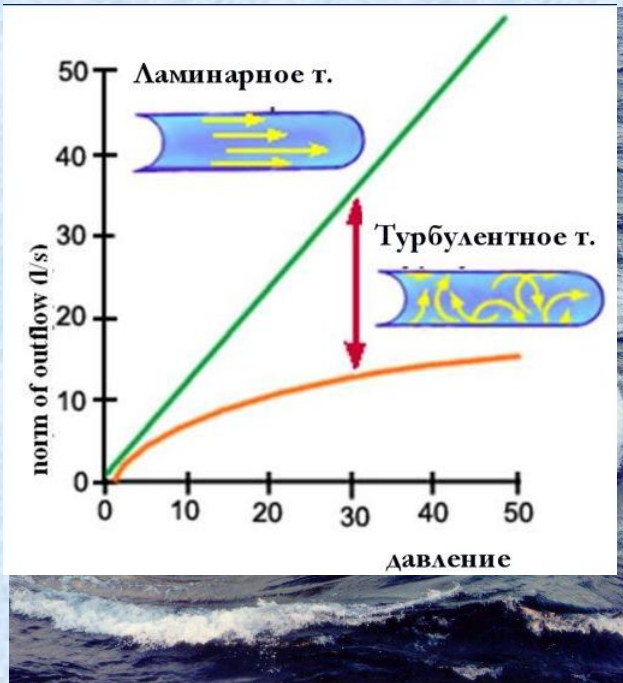
Ньютоновская жидкость: вязкость не зависит от скорости потока. Например, вода.

Неньютоновская жидкость: вязкость зависит от градиента скорости.



Вязкость крови

Ламинарное и турбулентное течение



Ламинарное течение (*lamina* – пластинка) – течение, при котором жидкость или газ перемещается слоями без перемешивания.

Турбулентное течение (*turbulentus* – бурный) – течение, при котором образуются вихри, частицы жидкости приобретают составляющие скоростей, перпендикулярные течению.

Характер течения определяется
числом Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}$$

Число Рейнольдса

- ➡ Характер течения жидкостей (ламинарное или турбулентное) зависит от свойств жидкости, скорости ее течения, размеров сосуда



О. Рейнольдс

- ➡ Число Рейнольдса характеризует **течение жидкости по трубе (сосуду)**:

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

ρ – плотность среды

η – вязкость

V – скорость течения

D – диаметр трубы

- ➡ **Безразмерное** число

- ➡ R_e критическое : $R_{eK} \approx 2300$

- ➡ Если $R_e > R_{eK}$ - **турбулентное** движение

Турбулентное течение

