

Если  $m_1 < m_2$ , то направление меняется на противоположное; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

Если  $m_1 = m_2$ , то налетающее тело останавливается:  $v_1' = 0$ .

**Изменение механической энергии.** Нагревание тела в процессе движения и повышение температуры окружающей среды свидетельствуют о том, что часть механической энергии переходит во внутреннюю. Внутренняя энергия — это энергия молекул тела или окружающей среды. Она складывается из кинетической энергии движущихся молекул и потенциальной энергии их взаимодействия:

$$E - E_0 = A(F_{\text{тр.}}) < 0$$

или

$$E_0 - E = Q, \quad E_{k_0} + E_{p_0} = E_k + E_p + Q,$$

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh + Q,$$

где  $Q$  — модуль изменения внутренней энергии, работа по преодолению сил сопротивления воздуха, модуль работы силы трения.

**Изменение механической энергии внешними силами. Неупругий удар:**

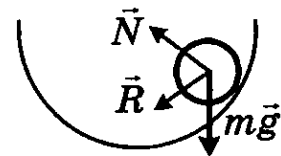
$$E - E_0 = A(F_{\text{внешн.}}) + A(F_{\text{тр.}}).$$

## 1.4. Статика

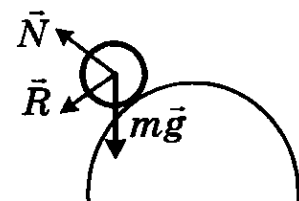
Статика изучает условия равновесия тел.

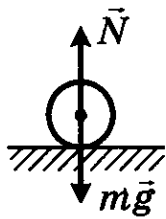
### Виды равновесия

**Устойчивое равновесие.** Если тело вывести из устойчивого равновесия, то появляется сила, возвращающая его в положение равновесия. Устойчивому равновесию соответствует минимальное значение потенциальной энергии ( $E_{p_{\min}}$ ).



**Неустойчивое равновесие.** Если тело вывести из неустойчивого равновесия, то возникает сила, удаляющая тело от положения равновесия. Неустойчивому равновесию соответствует максимальное значение потенциальной энергии ( $E_{p_{\max}}$ ).



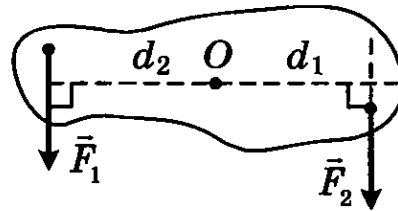


**Безразличное равновесие.** При выведении тела из состояния безразличного равновесия дополнительных сил не возникает.

### **Момент силы. Правило моментов**

Момент силы  $M(\text{Н}\cdot\text{м})$  — физическая величина, модуль которой равен произведению модуля силы на плечо силы

$$M = F \cdot d .$$



Плечо силы  $d(\text{м})$  — кратчайшее расстояние между осью вращения и линией действия силы.

**Знаки моментов.** Если сила вызывает вращение тела по часовой стрелке, то такой момент считают положительным:

$$M_1 = F_1 \cdot d_1 .$$

Если сила вызывает вращение тела против часовой стрелки, то в этом случае момент отрицательный:

$$M_2 = -F_2 \cdot d_2 .$$

**Правило моментов:** тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил относительно этой оси равна нулю:

$$\Sigma M_i = 0 .$$

Или сумма моментов сил, вызывающих вращение тела по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, вызывающих вращение тела против часовой стрелки:

$$\Sigma M_{\text{по час.стр.}} = \Sigma M_{\text{пр час.стр.}} .$$

**Условия равновесия.** Тело не участвует в поступательном движении, если

$$\Sigma \vec{F}_i = 0; \vec{v}_0 = 0 .$$

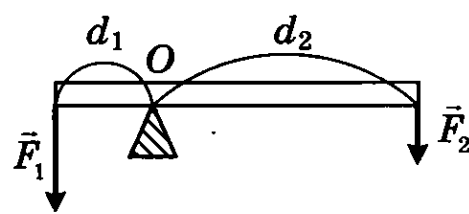
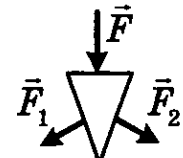
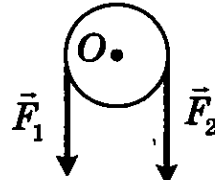
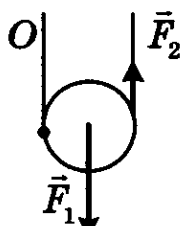
Тело не участвует во вращательном движении, если

$$\Sigma M_i = 0; \omega_0 = 0 .$$

Тело находится в равновесии при выполнении сразу двух условий:

$$\Sigma \vec{F}_i = 0; \vec{v}_0 = 0, \Sigma M_i = 0; \omega_0 = 0 .$$

**Простые механизмы** — приспособления, служащие для преобразования силы. К ним относятся ворот, наклонная плоскость, рычаг, клин и блоки.

<p>1. Рычаг Дает выигрыш в силе</p> $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$	
<p>2. Клин</p> $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$	
<p>3. Неподвижный блок изменяет направление силы</p> $d_1 = d_2; F_1 = F_2$	
<p>4. Подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза</p> $d_1 = R; d_2 = 2R$	

«Золотое правило механики». При использовании простых механизмов мы выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии, поэтому выигрыша в работе простые механизмы не дают.

**Центр тяжести тела** — точка, относительно которой момент сил тяжести всех точек тела равен нулю (в случае однородного поля силы тяжести и центр тяжести совпадает с центром масс).

## 1.5. Гидростатика

### Давление. Сила давления

Давление твердого тела  $p$  (Па):

$$p = \frac{F}{S}$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2.$$

Способы увеличения давления: увеличить силу; уменьшить площадь. Давление в твердых телах передается в том же направлении, в котором действует сила.

**Закон Паскаля:** *давление, производимое на жидкость или газ, передается жидкостью или газом во все стороны одинаково.*

Это связано с подвижностью молекул в жидком и газообразном состояниях.

**Давление столба жидкости:**

$$p = \rho_{ж}gh,$$

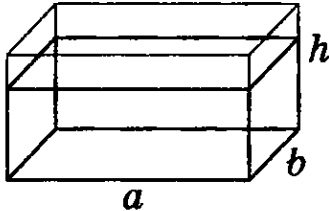
где  $h$  — высота столба жидкости (глубина).

**Сила давления:**

$$F = pS.$$

Сила давления на дно сосуда:

$$F_{\text{дно}} = \rho_{ж}ghab.$$

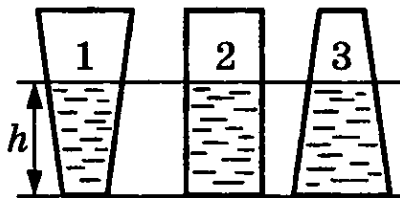


Сила давления на боковую грань аквариума:

$$F_{\text{бок.гр.}} = \frac{\rho_{ж}gh}{2}hb.$$

**Гидростатический парадокс** (следствие закона Паскаля): давление на дно сосуда определяется только высотой столба жидкости.

Поэтому в трех сосудах оно **одинаково!**



$$p_1 = p_2 = p_3,$$

а сила давления разная, так как она зависит от площади ( $F = pS$ ):

$$F_1 < F_2 < F_3$$

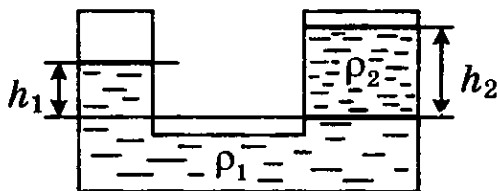
### Сообщающиеся сосуды

Сообщающиеся сосуды — сосуды, соединенные между собой или имеющие общее дно.

Уровень жидкости в сообщающихся сосудах располагается горизонтально, если:

- поверхности жидкости открыты;
- в сосуды налита однородная жидкость;
- не один из сосудов не является капилляром;
- в жидкостях нет пузырьков с воздухом.

Давление столбов жидкости на одном горизонтальном уровне одинаково:



$$p_1 = p_2,$$

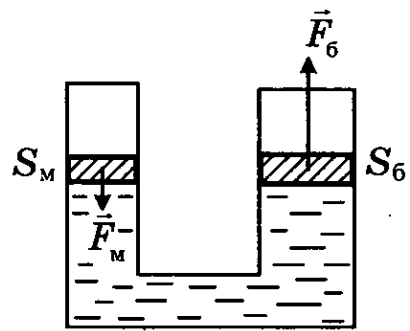
$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2,$$

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

**Гидравлический пресс** — простой механизм, дающий выигрыш в силе. Он представляет собой сообщающиеся сосуды разного сечения.

В основе его действия лежит закон Паскаля:

$$p_m = p_b, \quad \frac{F_m}{S_m} = \frac{F_b}{S_b},$$



где  $F_m$  — сила, действующая на малый поршень (совершает полную работу);  $F_b$  — сила, действующая на большой поршень (совершает полезную работу);  $S_m$  — площадь малого поршня;  $S_b$  — площадь большого поршня.

Работа поршней (без потерь энергии):

$$A_m = A_b, \quad F_m h_m = F_b h_b,$$

где  $h_m$  — вертикальное перемещение малого поршня;  $h_b$  — перемещение большого поршня.

Выигрыш в силе:

$$\frac{F_b}{F_m} = \frac{S_b}{S_m} = \frac{h_m}{h_b}.$$

Равенство объемов жидкости при движении поршней:

$$S_m h_m = S_b h_b.$$

КПД (есть потери энергии):

$$\eta = \frac{A_b}{A_m} \cdot 100\% = \frac{F_b h_b}{F_m h_m} \cdot 100\% = \frac{p_b}{p_m} \cdot 100\%.$$

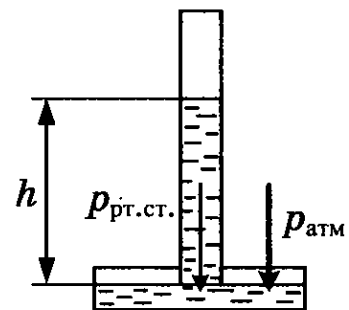
### Атмосферное давление

Атмосфера — воздушная оболочка Земли. Она существует благодаря земному притяжению и беспорядочному движению молекул газа. В состав атмосферы входят азот, кислород и другие газы. Атмосфера не имеет четкой границы, плотность воздуха уменьшается с высотой.

**Атмосферное давление** — давление «воздушного океана», которое так же уменьшается с высотой.

Формула для определения атмосферного давления (в паскалях):

$$p_{\text{атм}} = \rho_{\text{рт}} g h,$$



где  $p_{\text{атм}}$  (Па) — атмосферное давление;  $\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг/м}^3$  — плотность ртути;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения;  $h$  (м) — высота ртутного столба.

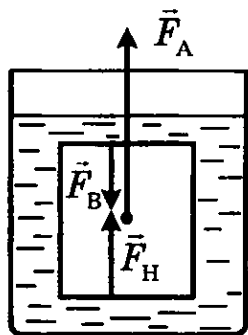
Единицы измерения давления:

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па}; \quad 1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}.$$

Нормальное атмосферное давление:  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ .

### Архимедова сила

Архимедова сила (выталкивающая сила, подъемная сила) действует на погруженное в жидкость или газ тело.



Причина возникновения выталкивающей силы: нижняя грань тела находится на большей глубине, чем верхняя, поэтому давление жидкости снизу больше, чем сверху. Из-за разницы в давлениях возникает выталкивающая сила.

Архимедова сила всегда направлена *вертикально вверх*.

Архимедова сила равна разности сил давления на нижнюю и верхнюю грани:  $F_A = F_H - F_B$ .

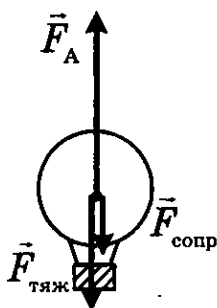
Архимедова сила равна разности веса тела в воздухе и веса тела в жидкости:  $F_A = P_{\text{возд}} - P_{\text{ж}}$ .

Модуль выталкивающей силы определяется с помощью закона Архимеда.

**Закон Архимеда:** выталкивающая сила равна весу вытесненной жидкости или газа:  $F_A = P_{\text{жид.}}$

### Частные случаи определения архимедовой силы

	<p>Полное погружение</p> $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g,$ <p>где <math>V_{\text{т}}</math> — объём тела</p>
	<p>Неполное погружение</p> $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п.ч.}} g,$ <p>где <math>V_{\text{п.ч.}}</math> — объём погруженной части тела</p>



**Воздухоплавание.** Подъемной силой служит архимедова сила:

$$F_A = \rho_{\text{возд}} V_{\text{ш}} g,$$

а мешают движению сила тяжести и сила сопротивления воздуха:

$$F_{\text{тяж}} = (M_{\text{шара}} + m_{\text{газа}} + m_{\text{корз.}} + m_{\text{гр}})g \text{ и } F_{\text{сопр.}}$$

Управление шаром:

- шар заполняют нагретым воздухом или газом, плотность которого меньше плотности окружающего воздуха;

- сбрасывая балласт, можно увеличить высоту полета;
- охлаждая газ, можно вернуться на землю.

**Условия плавания тел.** На любое тело, погружённое в жидкость или газ, действуют две противоположно направленные силы: сила тяжести и архимедова сила. Направление движения тела зависит от того, какая из этих сил больше по модулю:

тело тонет  $mg > F_A$ ;  $\rho_t > \rho_{ж}$ ,

тело всплывает  $mg < F_A$ ;  $\rho_t < \rho_{ж}$ ,

тело плавает внутри жидкости  $mg = F_A$ ;  $\rho_t = \rho_{ж}$ .

Если тело состоит из двух веществ, то

$$F_A = \rho_{ж}(V_1 + V_2)g,$$

$$F_{тяж} = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2)g.$$

### **Вес в гидростатике**

**Вес тела в воздухе:**

- Если в условии задачи не указана плотность воздуха, то вес тела в воздухе:

$$P_0 = mg = \rho_t V_t g.$$

- Если в условии задачи указана плотность воздуха, то вес тела в воздухе:

$$P = P_0 - F_A, \quad P = mg - \rho_{возд} V_t g.$$

**Вес тела в жидкости:**

$$P_{ж} = P_0 - F_A,$$

$$P_{ж} = mg - F_A,$$

$$P_{ж} = \rho_t V_t g - \rho_{ж} V_{п.ч.} g.$$

**Вес корабля:**

$$P = F_A = \rho_{ж} V_{п.ч.} g.$$

**Осадка корабля** — глубина, на которую судно погружается в воду.

**Ватерлиния** — наибольшая допустимая осадка, отмеченная на корпусе судна.

**Водоизмещение судна** — вес воды, вытесняемой судном при погружении до ватерлинии.

**Вес груза, снятого с корабля:**

$$P_{гр} = \Delta h_{ос} S \rho_{ж} g,$$

где  $\Delta h_{ос}$  — изменение осадки корабля.

