

ЛЕКЦИЯ № 3

3. Силы в механике

Типы фундаментальных взаимодействий.

№ п/п	Взаимодействие	Радиус действия, м	Интенсивность	Характерное время взаимодействия
1	Гравитационное	$0 \div \infty$	10^{-38}	—
2	Электромагнитное	$0 \div \infty$	10^{-2}	10^{-20}
3	Сильное	$\sim 10^{-15}$	1	10^{-23}
4	Слабое	$\sim 10^{-18}$	10^{-10}	10^{-13}

– единая теория поля!

– обменный характер взаимодействия (фотон, мезон, глюон, гравитон...)

Силы в механике:

– **Гравитационная сила** возникает между всеми телами, обладающими массой, всегда носит характер притяжения.

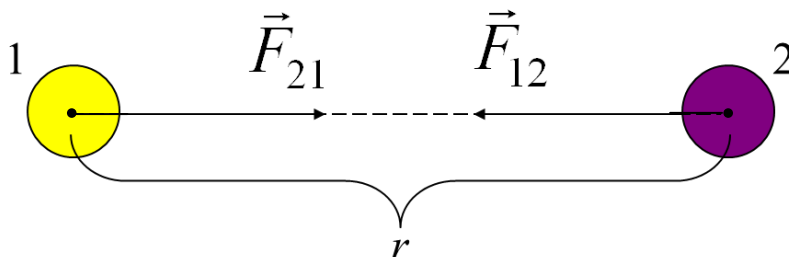
Для двух материальных точек (частиц) или однородных тел сферической формы гравитационную силу можно вычислить по закону всемирного тяготения:

$$F_{\text{грав}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3-1)$$

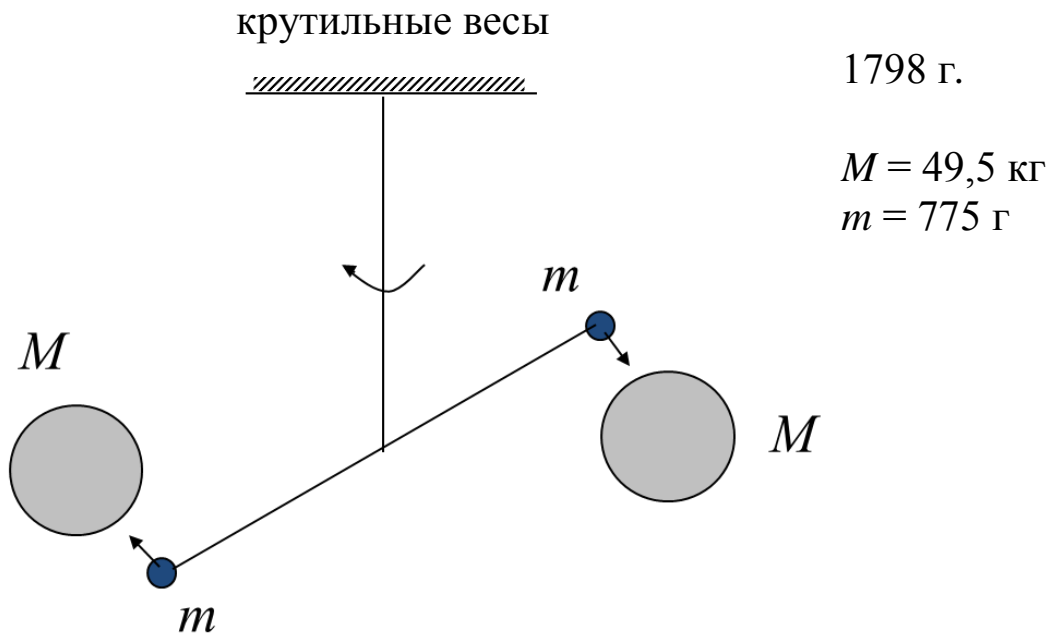
где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная;

m – гравитационная масса, кг;

r – расстояние между частицами или центрами сферических тел.



Опыт Кавендиша



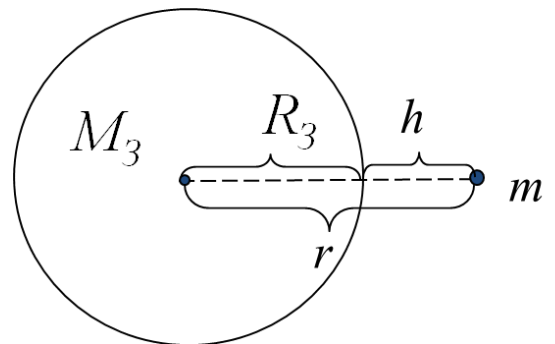
Если $m_1 = M_3$ – масса Земли, а $m_2 = m$ – масса любой частицы, находящейся на расстоянии $r = R_3 + h$ от центра Земли (R_3 – радиус Земли), то гравитационную силу, с которой Земля притягивает к себе любую частицу, называют силой тяжести и вычисляют по формуле:

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad (3-2)$$

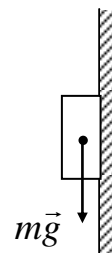
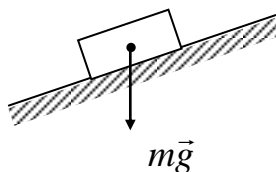
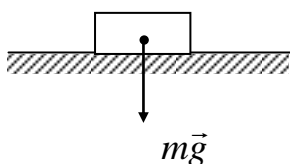
где $g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$ – ускорение свободного падения на высоте h над поверхностью Земли.

Вблизи поверхности Земли ($h \ll R_3$)

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,81 \text{ м/с}^2.$$



Сила тяжести в ИСО всегда направлена вниз, к центру Земли.



По третьему закону Ньютона

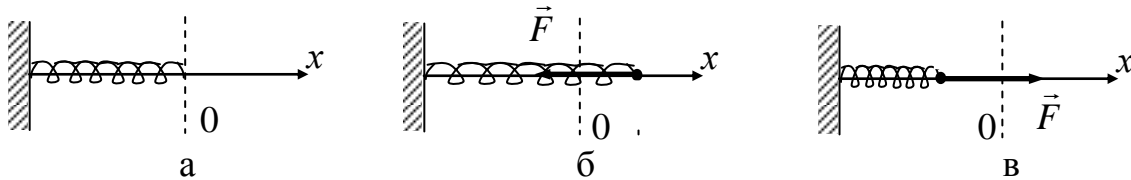
$$m\vec{g} = -M_3 G \frac{m}{(R_3 + h)^2} \frac{\vec{r}}{r}.$$

(сила тяжести, с которой Земля притягивает к себе любое тело, равна по величине и противоположна по направлению силе, с которой тело притягивает к себе Землю!).

Сила упругости возникает в упругих телах при их деформации (сжатии или растяжении), всегда направлена в сторону, противоположную деформации (рис.), и вычисляется по закону Гука:

$$F_x = -kx, \quad (3-3)$$

где k – коэффициент упругости (жесткости) тела, Н/м.



Для металлического стержня:

$$F_{\text{упр}} = E \cdot S \cdot \frac{\Delta \ell}{\ell_0}, \quad (3-4)$$

где E – модуль Юнга, $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$;

S – площадь поперечного сечения стержня, м^2 ;

ℓ_0 – первоначальная длина стержня, м;

$\Delta \ell$ – деформация стержня, м.

Если на опору или подвес действует сила, то в них возникает сила упругости, которую называют силой реакции опоры \vec{N} или силой натяжения \vec{F}_H . Сила \vec{N} всегда перпендикулярна опоре и направлена от нее (см. рис. а, б), а сила \vec{F}_H – вдоль подвеса (рис. в, г).

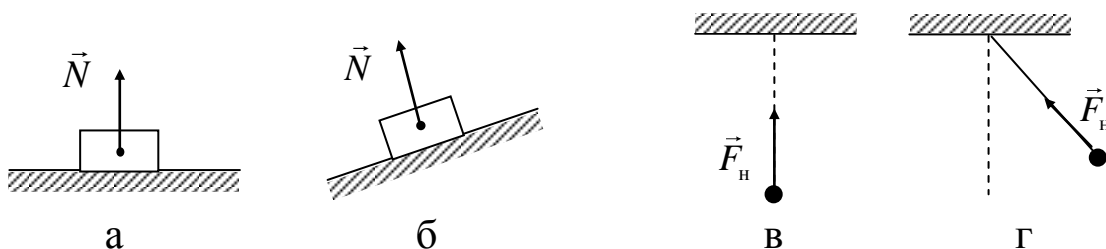
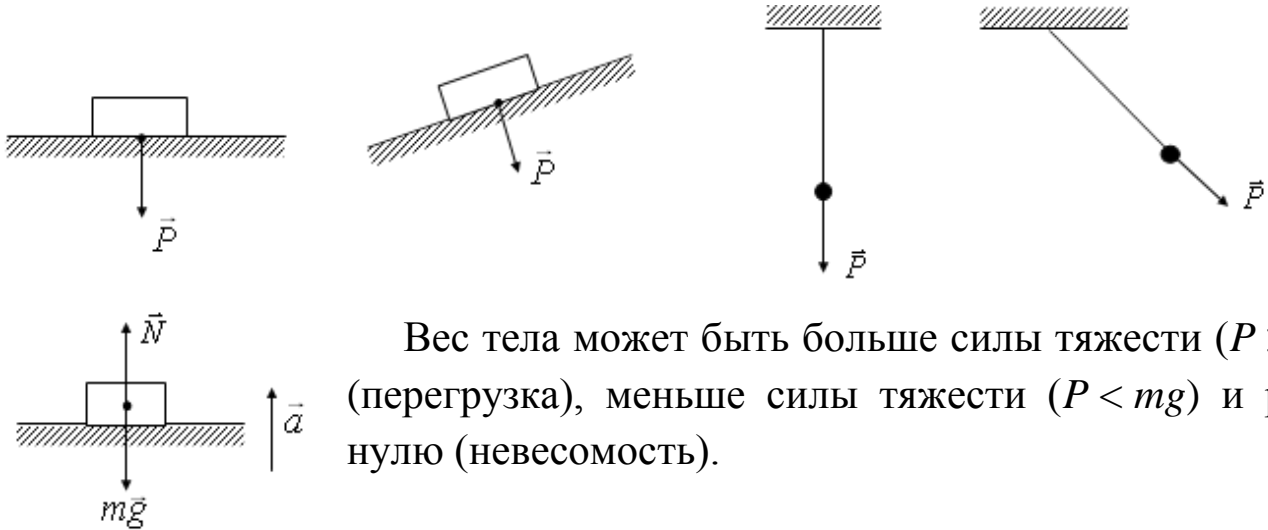


Рис.

Вес тела \vec{P} – сила, с которой тело действует на опору или растягивает подвес из-за **гравитационного притяжения**.

$$\vec{P} = -\vec{N} \quad \text{или} \quad \vec{P} = -\vec{F}_H \quad (3-5)$$

поэтому для вычисления веса тела необходимо вычислить силу N или F_H и приравнять их к весу.



Вес тела может быть больше силы тяжести ($P > mg$) (перегрузка), меньше силы тяжести ($P < mg$) и равен нулю (невесомость).

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} \quad \vec{P} = -\vec{N} = m(\vec{g} - \vec{a})$$

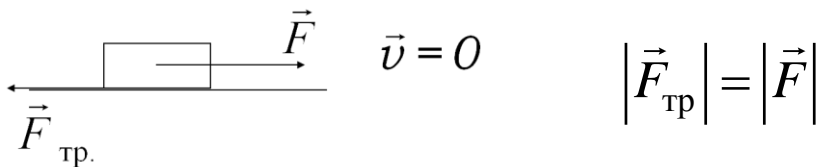
$$1) \vec{a} = -\vec{g} \quad \vec{P} = 2m\vec{g} \text{ – перегрузка}$$

$$2) \vec{a} = \vec{g} \quad \vec{P} = 0 \text{ – невесомость}$$

– Силы трения

Трение: внешнее (сухое) и внутреннее (жидкостное, вязкое).

Внешнее трение: покоя, скольжения и качения.

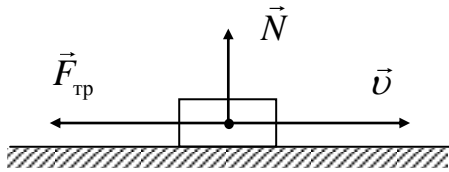


Для автомобилей, локомотивов и других тел роль силы тяги выполняет сила трения покоя.

Сила трения скольжения возникает при скольжении одного тела по поверхности другого, всегда направлена в сторону, противоположную относительному движению.

$$F_{\text{тр}} = \mu N \quad (3-6)$$

где μ – коэффициент трения скольжения.



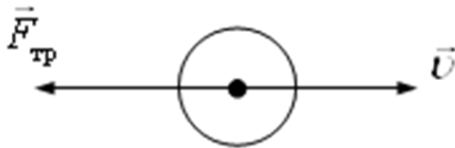
$$F_{\text{тр.качения}} \ll F_{\text{тр.скольж.}}$$

$$F_{\text{тр.качения}} = \mu' \frac{N}{R} \quad (3-6a)$$

где R – радиус катящегося колеса;

μ' – коэффициент трения качения.

Внутреннее (вязкое) трение возникает при движении тела в жидкости или газе.

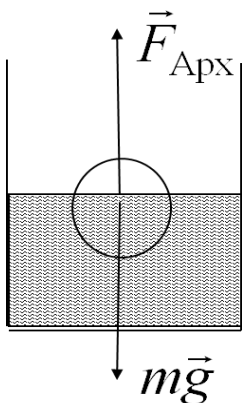


Ламинарный режим

$$\vec{F}_{\text{тр}} = -\mu \vec{v}$$

Турбулентный режим $F_{\text{тр}} \sim v^n$, $n = 2, 3, \dots$

– **Выталкивающая сила Архимеда** возникает при погружении тела в жидкость или газ, всегда направлена вверх против силы тяжести и вычисляется по **закону Архимеда**: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости или газа.



$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр.части}} \quad (3-7)$$

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости

$V_{\text{погр.части}}$ – объем погруженной части тела

Условие плавания тела: $|\vec{F}_{\text{Арх}}| = |m\vec{g}|$

Если на частицу действует несколько сил, то руководствуются **принципом независимости сил** (каждая сила действует независимо от других) и **принципом суперпозиции сил** (резльтирующая сила (равнодействующая) определяется векторной суммой отдельных сил, действующих на частицу:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n. \quad (3-8)$$

Тогда основное уравнение динамики материальной точки (частицы):

– в ИСО произведение массы частицы на ее ускорение равно векторной сумме всех сил, действующих на эту частицу:

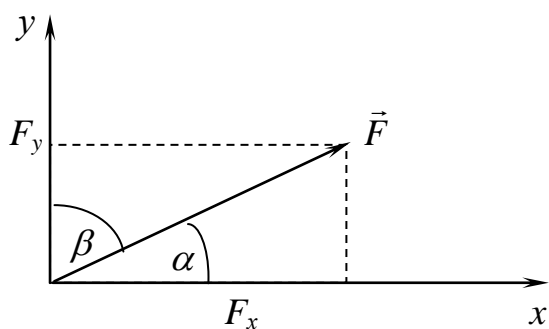
$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n. \quad (3-9)$$

Для записи этого векторного уравнения в скалярной форме выбирают удобную ИСО (ось ОХ направляют по направлению движения, вдоль скорости) и находят проекции всех векторов на координатные оси:

$$OX : ma_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx};$$

$$OY : ma_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}.$$

Проекции вектора на координатные оси вычисляются по формулам:



$$F_x = F \cos \alpha;$$

$$F_y = F \cos \beta = F \cos(90^\circ - \alpha) = F \sin \alpha,$$

где α, β – углы между направлением вектора \vec{F} и направлением соответствующей координатной оси.

Пример. К бруску массой 2 кг, лежащему на столе, привязана невесомая нерастяжимая нить, перекинутая через невесомый неподвижный блок, закрепленный на краю стола. Ко второму концу нити прикреплена гиря массой 1 кг. Найти модуль ускорения бруска, если коэффициент трения бруска о поверхность стола равен 0,02.

Дано:

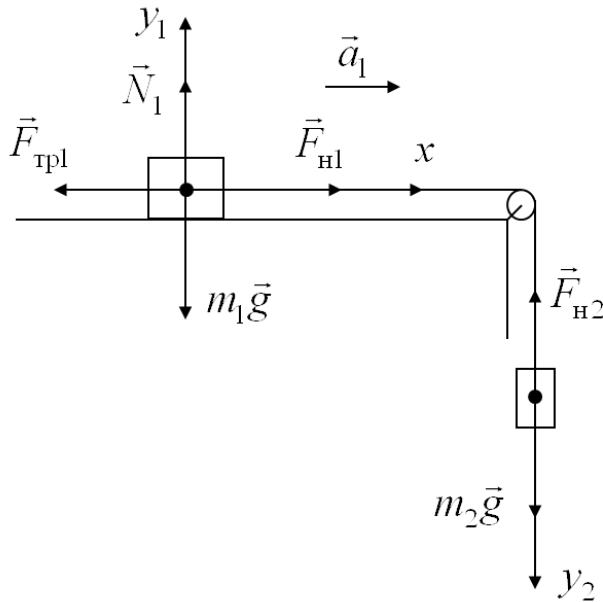
$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,02$$

Найти:

$a - ?$



$$m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_{\text{H}1} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + m_1 \vec{g},$$

$$m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_{\text{H}2} + m_2 \vec{g}$$

$$|\vec{F}_{\text{H}1}| = |\vec{F}_{\text{H}2}| = F, \quad |\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$$

$$Ox: m_1 a = F - F_{\text{тр}}$$

$$Oy_1: 0 = N - m_1 g$$

$$Oy_2: m_2 a = m_2 g - F$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu m_1 g$$

$$(m_1 + m_2) a = m_2 g - F_{\text{тр}} = m_2 g - \mu m_1 g$$

$$a = \frac{g(m_2 - \mu m_1)}{m_1 + m_2} = \frac{10(1 - 2 \cdot 0,02)}{2 + 1} = 3,2 \text{ м/с}^2.$$