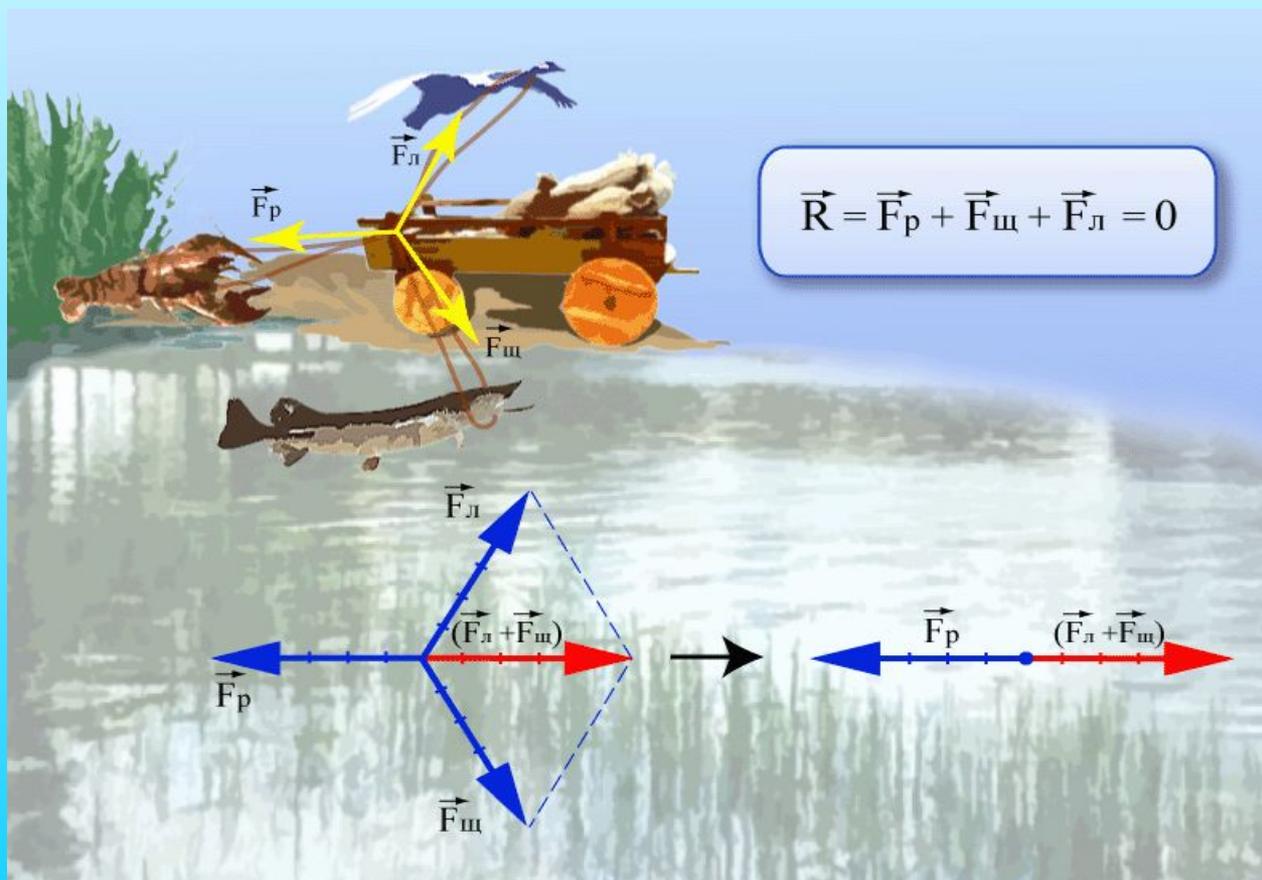


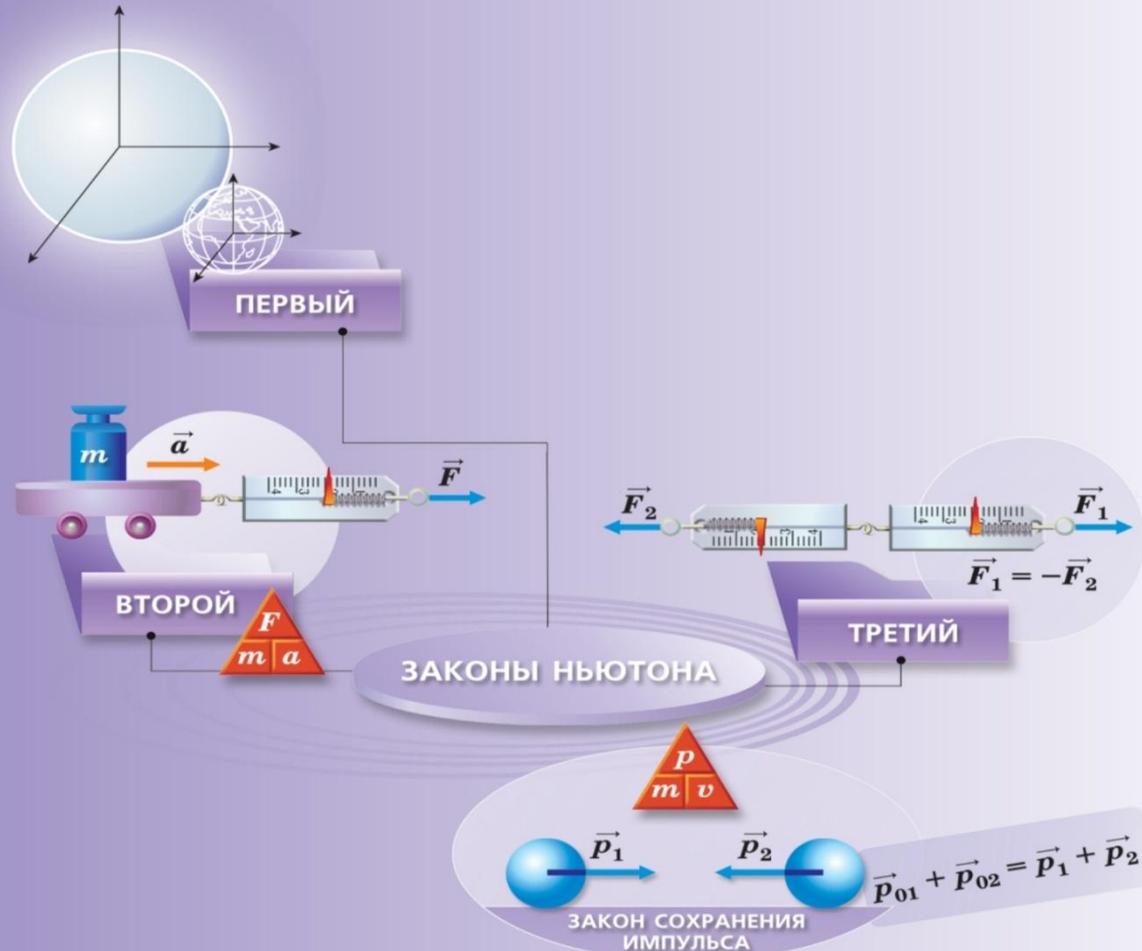
Динамика. Законы Ньютона.

Силы в механике.



Динамика (греч. (греч. δύναμις — сила) — раздел механики (греч. δύναμις — сила) —

раздел механики, в котором изучаются причины возникновения механического движения (греч. δύναμις — сила) — раздел механики, в котором изучаются причины



возникновения механического движения. Динамика

Динамика

|| это раздел механики, изучающий причины возникновения и изменения механического движения

① СИЛА. МАССА

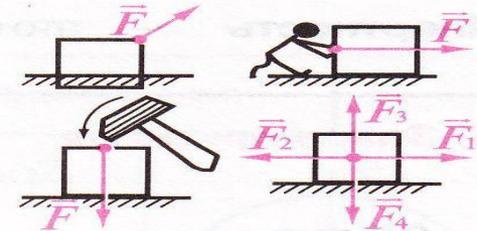
1) Сила

\vec{F}

характеризуется:

- величиной
- направлением
- точкой приложения

это векторная физическая величина, характеризующая действие одного тела на другое, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет форму и размеры



Если тело является материальной точкой, силы прикладываются к центру масс.

2) Виды сил



Изолированная система тел

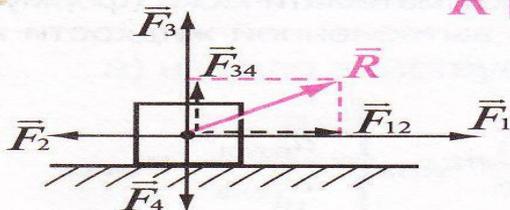
— система, в которой действуют только внутренние силы

3) Равнодействующая сил

$\vec{R} [H]$

геометрическая (векторная) сумма всех сил, действующих на тело

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$



ускорение тела сонаправлено с равнодействующей

4) Масса

m [кг]

- 1) это скалярная физическая величина, характеризующая **инертность** тела
- 2) это скалярная физическая величина, характеризующая **гравитационные свойства** тела

Инерция

— это физическое явление, заключающееся в том, что тела стремятся сохранить свою скорость (покой)

Инертность

— это свойство тел сохранять свою скорость (покой)

5) Закон природы

Опытно
установлено \Rightarrow

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

\rightarrow

При взаимодействии двух тел полученные ускорения относятся так, как обратное отношение их масс

6) Плотность

ρ [кг/м³]

(табличная величина)

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

V [м³] — объем
тела

это скалярная физическая величина, равная массе вещества в единице объема

7) Способы определения массы

а) сравниваем с эталоном на весах
(гири)

ρ — определяют по таблице

б) по формуле

$$m = \rho \cdot V$$

V — определяют математически (формулами) или по вытесненной жидкости в мензурке

в) взаимодействием
с эталоном

$$\frac{a_{\text{тела}}}{a_{\text{этал.}}} = \frac{m_{\text{этал.}}}{m_{\text{тела}}}$$

\Rightarrow

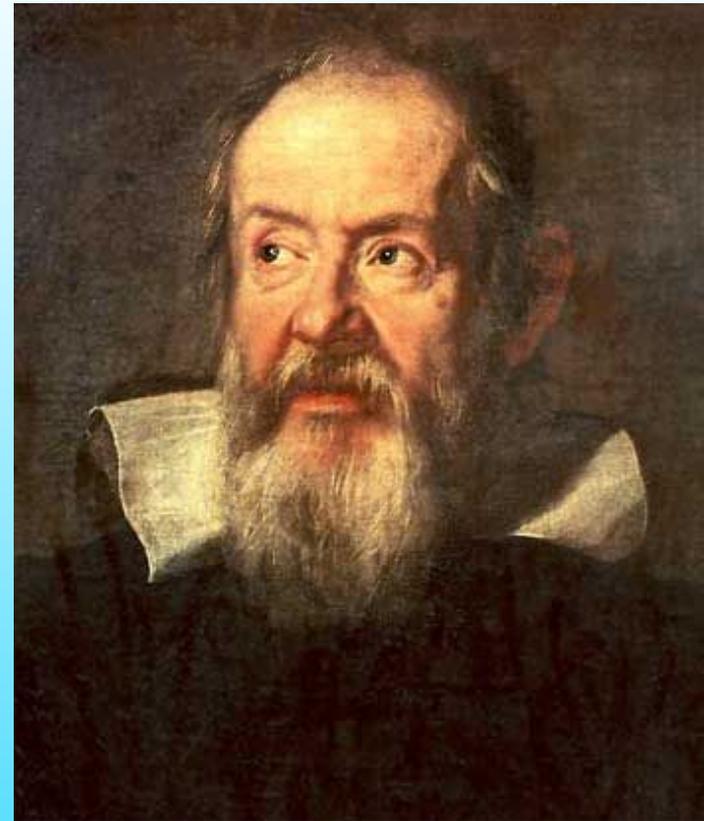
$$m_{\text{тела}} = \frac{a_{\text{этал.}}}{a_{\text{тела}}} \cdot m_{\text{этал.}}$$

На основе экспериментальных исследований движения шаров по наклонной плоскости



Скорость любого тела изменяется только в результате его **взаимодействия** с другими телами.

Инерция – явление сохранения скорости движения тела при отсутствии внешних воздействий.



Галилео Галилей (1564-1642)

- Движение любого тела есть движение относительное, поэтому его следует рассматривать по отношению к определённой системе отсчета.

Система отсчета

инерциальная

СО, относительно которой тела движутся с постоянной скоростью при компенсации внешних воздействий.
(т.е. выполняются законы Ньютона)

неинерциальная

СО, в которой не выполняется принцип инерции .

Принцип инерции, сформулированный Г.Галилеем:

Если на тело не действуют внешние силы, то оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

В 1687г принцип(закон) инерции Галилея был сформулирован И.Ньютоном в виде *первого закона динамики*.

Исаак Ньютон

(Isaac Newton)

4 января 1643

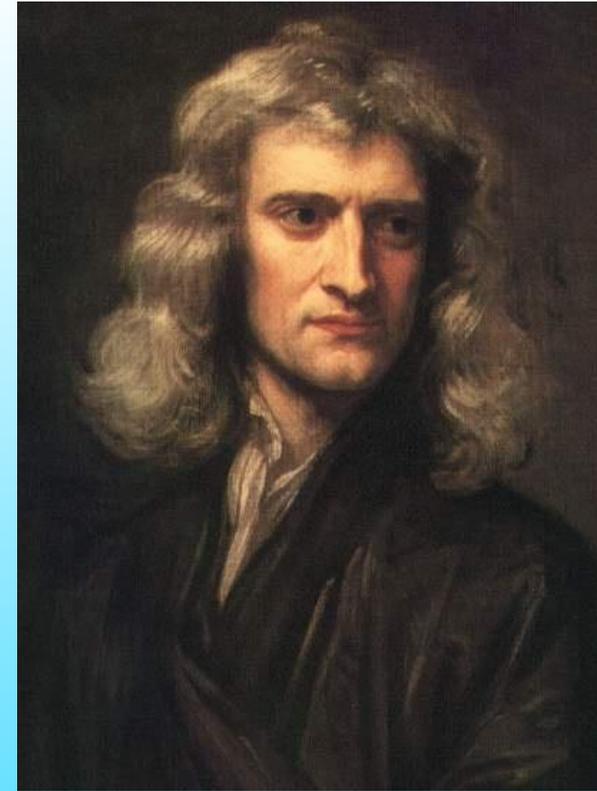
Родился *Вулсторп (Woolsthorpe)*

Англия

31 марта 1727

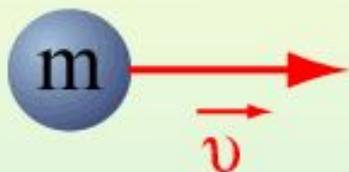
Умер *Лондон (London)*

Англия



В основе так называемой **классической** или **ньютоновской механики** лежат **три закона динамики**, сформулированных И. Ньютоном. Эти законы играют исключительную роль в механике и являются (как и все физические законы) обобщением результатов огромного человеческого опыта.

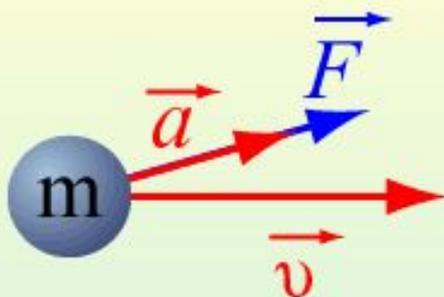
Законы Ньютона



$$\vec{v} = \text{const}, \\ \text{при } \vec{F} = 0$$

I закон

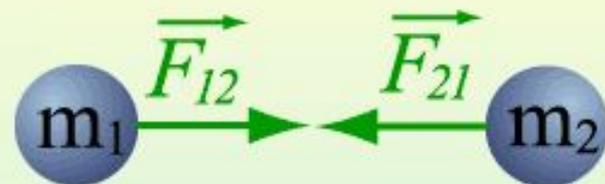
Существуют такие системы отсчета, в которых всякое тело будет сохранять состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока действие других тел не заставит его изменить это состояние.



$$\vec{F} = m\vec{a}$$

II закон

Под действием силы тело приобретает такое ускорение, что его произведение на массу тела равно действующей силе.



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

III закон

Силы, с которыми взаимодействующие тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

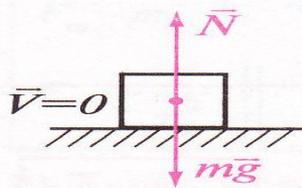
② ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Законы установлены опытным путем

1) I закон Ньютона

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы

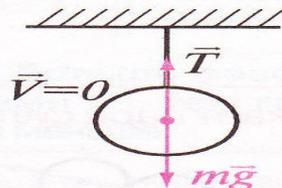
Такие системы отсчета называются **инерциальными**



$$\vec{N} + m\vec{g} = \vec{R}$$

$$\vec{R} = 0$$

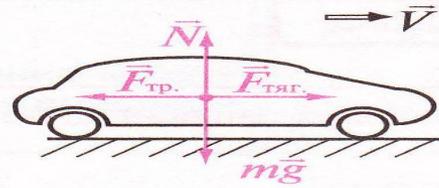
тело покоится
 $\vec{V} = 0$



$$\vec{T} + m\vec{g} = \vec{R}$$

$$\vec{R} = 0$$

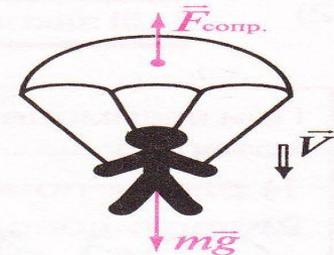
тело покоится
 $\vec{V} = 0$



$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тяг}} + \vec{F}_{\text{тр}} = \vec{R}$$

$$\vec{R} = 0$$

тело движется равномерно прямолинейно
 $\vec{V} = \text{const}$



$$\vec{F}_{\text{соп}} + m\vec{g} = \vec{R}$$

$$\vec{R} = 0$$

2) II закон Ньютона

Ускорение, полученное телом, прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально массе тела. Направление ускорения совпадает с направлением равнодействующей

$$\vec{a} = \frac{\vec{R}}{m}$$

$$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{R}$$

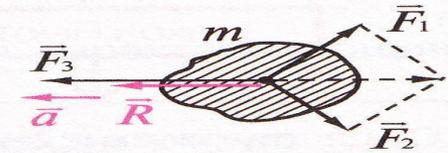
а) на тело действует **одна сила**

$$\left. \begin{array}{l} \vec{a} \sim \vec{F} \\ \vec{a} \sim \frac{1}{m} \end{array} \right\} \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{F}$$



б) на тело действует несколько сил

$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m}$	$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m}$	$\vec{a}_3 = \frac{\vec{F}_3}{m}$
$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 \quad \Rightarrow$		$\vec{a} = \frac{\vec{R}}{m}$



Ускорение, сообщаемое телу при одновременном действии нескольких сил, равно векторной сумме всех ускорений, которые сообщила бы этому телу каждая сила, действуя в отдельности

2) **III закон Ньютона**

При взаимодействии двух тел всегда возникает пара сил, которые:

- 1) равны по модулю
- 2) противоположны по направлению
- 3) лежат на одной прямой
- 4) одной природы



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Силы не компенсируют друг друга, так как приложены к разным телам



взаимодействие тел
 \vec{F}_1 и \vec{F}_2 — пара сил



\vec{a}_1 и \vec{a}_2 — ускорения, которые приобрели тела при взаимодействии

По закону природы:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow$$

$$a_1 \cdot m_1 = a_2 \cdot m_2$$

$$F_1 = F_2$$

силы равны по модулю

в проекциях на ось X $\left. \begin{matrix} F_1 < 0 \\ F_2 > 0 \end{matrix} \right\} \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Законы Ньютона применимы только в инерциальных системах отсчета

Теорема о движении центра масс

Рассмотрим теперь *подробнее* силы, действующие на частицы механической системы

Силы, действующие на каждую точку системы,
разобьем на два типа

– силы со стороны *всех остальных частиц системы*
(внутренние силы)

– *результатирующая* всех внешних сил

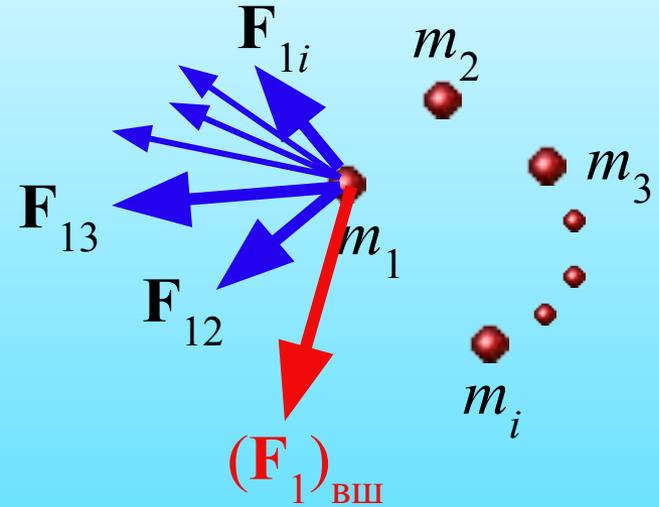
В общем виде это можно записать так

$$\vec{F}_i = \sum_{k=1}^{n-1} \vec{F}_{ik} + (\vec{F}_i)_{\text{вн}}$$

По 3 закону Ньютона $\sum_{i,k} \vec{F}_{ik} \equiv 0$

И теорема о движении центра масс принимает вид

Такой вид теоремы означает, что



$$\vec{a}_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (\vec{F}_i)_{\text{вн}}$$

Если система находится во внешнем стационарном и однородном поле, то **никакими** действиями **внутри** системы **невозможно** изменить движение центра масс системы

③ ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ

1) Гравитационные силы

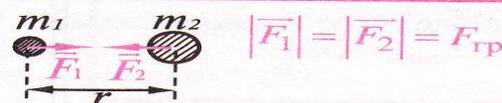
1667 г. И. Ньютон

↓
астрономические
наблюдения, опыты

Тела, обладающие **массой**,
притягиваются друг к другу силами,
которые называют **гравитационными**

$$\left. \begin{array}{l} F_{\text{гр}} \sim m_1 \\ F_{\text{гр}} \sim m_2 \end{array} \right\} F_{\text{гр}} \sim m_1 \cdot m_2$$

чем больше m тел,
тем больше гравитаци-
онная сила



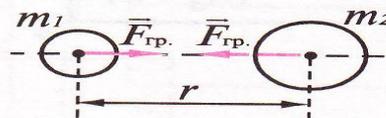
$$F_{\text{гр}} \sim \frac{1}{r^2}$$

чем больше расстояние между
телами (r), тем гравитационная
сила меньше

$$F_{\text{гр}} \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

2) Закон всемирного тяготения

Все материальные точки притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс, и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Силы лежат на одной прямой, соединяющей центры масс этих тел, и направлены навстречу друг другу



$$F_{\text{гр}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

G — гравитационная
постоянная

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{М}^2}{\text{кг}^2}$$

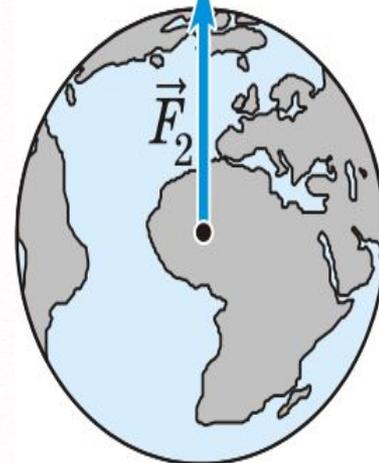
Физический смысл
гравитационная постоянная численно
равна силе, с которой притягиваются
две материальные точки массой по 1 кг
на расстоянии 1 м

Закон всемирного тяготения можно применять, если:

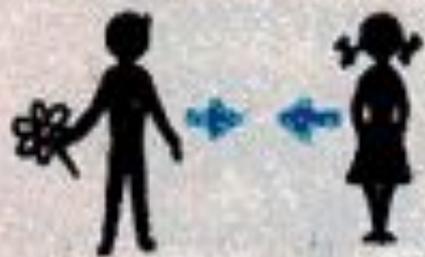
- тела являются **материальными точками**
- тела являются однородными **шарами** или обладают симметричным распределением массы относительно центра тела



\vec{F}_1



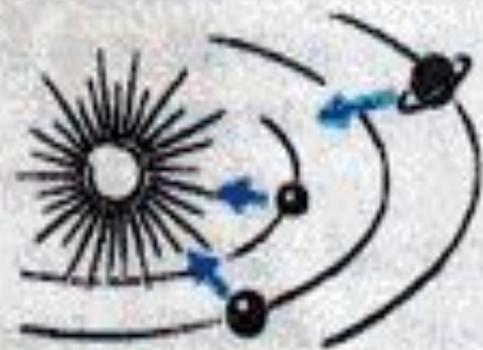
\vec{F}_2



НЕ ВЕРИТСЯ



ПОХОЖЕ



ОЧЕНЬ ПОХОЖЕ!



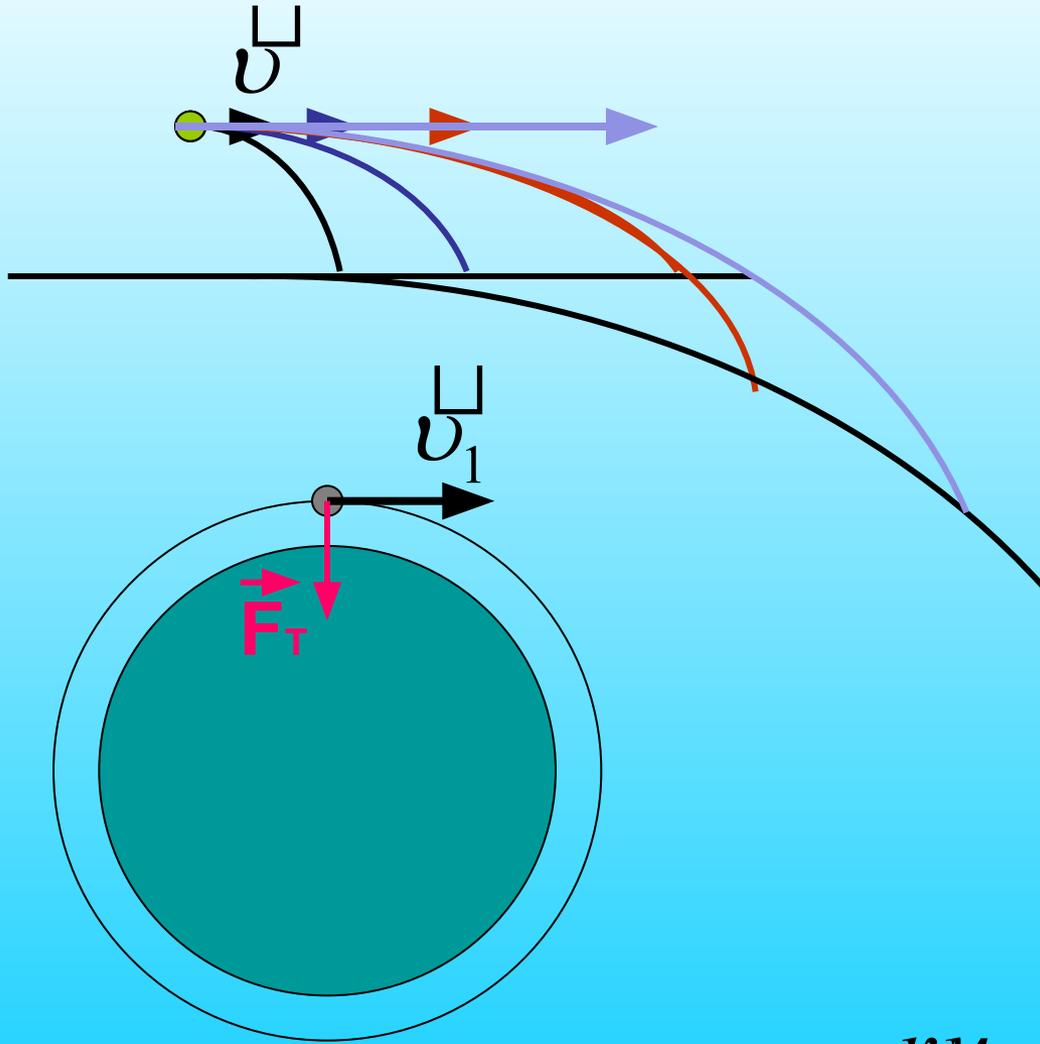
А КАК ЖЕ ИНАЧЕ!

$$\vec{F}_m = m \vec{g}$$



К центру Земли

Первая космическая скорость



$$F_T = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$F_T = m a_y = m \frac{v_1^2}{R_3}$$

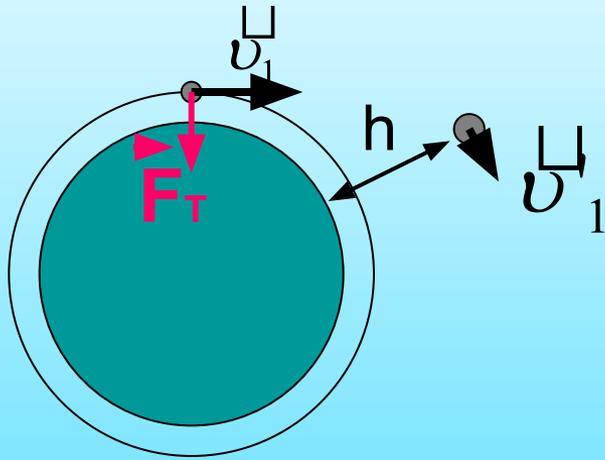
$$m \frac{v_1^2}{R_3} = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$$

$$v_1 = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$



Первая космическая скорость



$$v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$$

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

$$v_1 = \sqrt{gR_3}$$

$$v'_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}}$$



Космические скорости

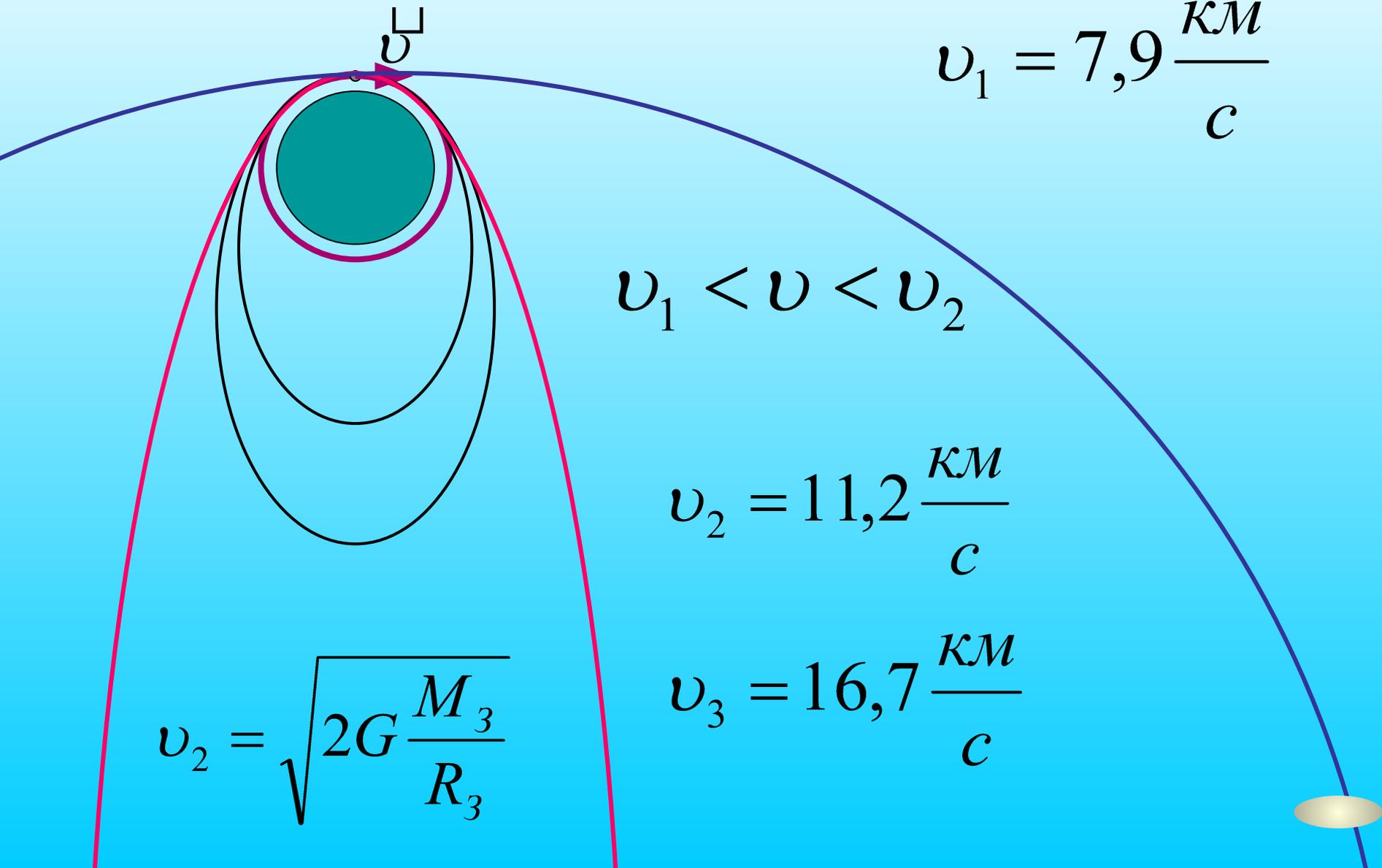
$$v_1 = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$$v_1 < v < v_2$$

$$v_2 = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$$v_3 = 16,7 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$$v_2 = \sqrt{2G \frac{M_3}{R_3}}$$



Силы в механике.

3) Сила тяжести

$$\vec{F}_{\text{ТЯЖ}} = m \vec{g}$$

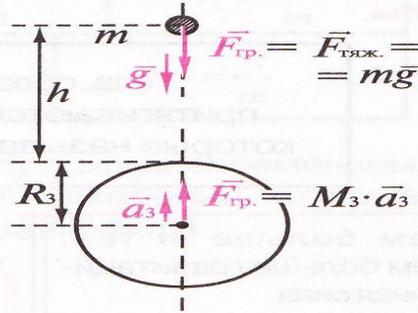
[Н]

$$F_{\text{ГР}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

⇓

$$F_{\text{ТЯЖ}} = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$$

это гравитационная сила, с которой Земля притягивает к себе тела



m — масса тела

M_3 — масса Земли

g — ускорение свободного падения

a_3 — ускорение Земли

$a_3 \ll g$

!

$$a_3 \ll g$$

так как $M_3 \gg m$

4) Ускорение свободного падения

$$F_{\text{ТЯЖ}} = G \frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2} = F_{\text{ТЯЖ}} = mg$$

⇓

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

ускорение, с которым движется любое тело в поле тяготения Земли, если на него действует только $F_{\text{ТЯЖ}}$

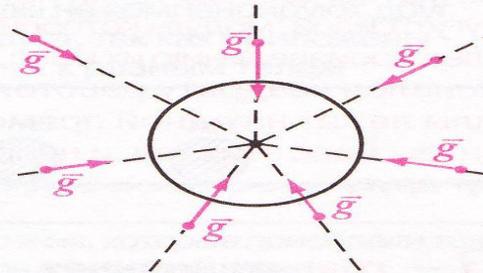
Ускорение свободного падения зависит от:

1) $R_{\text{Земли}}$ (географич. широты)

(чем $R_3 \uparrow$, тем $g \downarrow$)

R_3 (экватор) $>$ R_3 (полюс)

2) h (высоты тела над поверхностью Земли) (чем $h \uparrow$, тем $g \downarrow$)

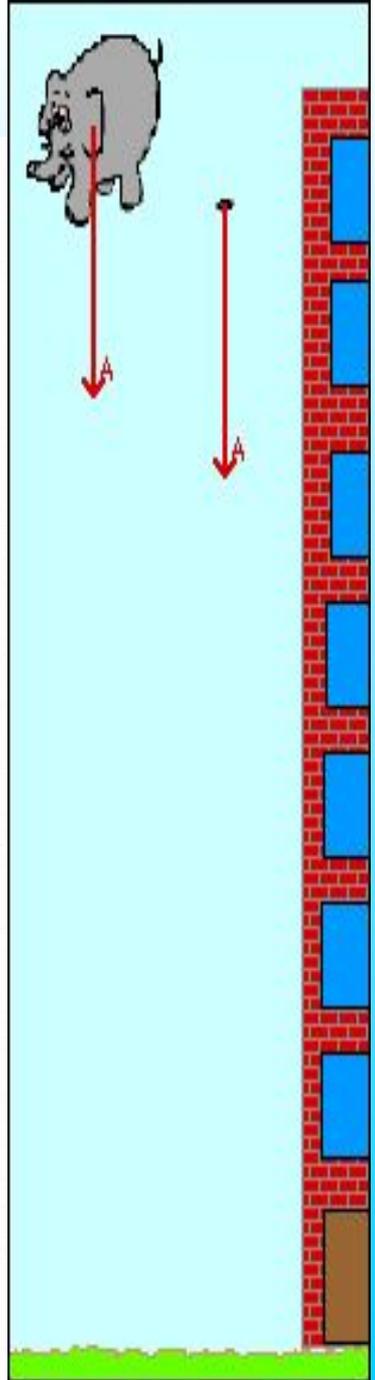


Гравитационное поле Земли ослабевает с расстоянием от центра Земли

5) Для любой планеты (космического тела)

$$F_{\text{ТЯЖ план.}} = G \frac{M_{\text{ПЛ}} \cdot m}{(R_{\text{ПЛ}} + h)^2}$$

$$g_{\text{ПЛ.}} = G \frac{M_{\text{ПЛ}}}{(R_{\text{ПЛ}} + h)^2}$$



5 СИЛА УПРУГОСТИ

1) Природа сил и причины возникновения

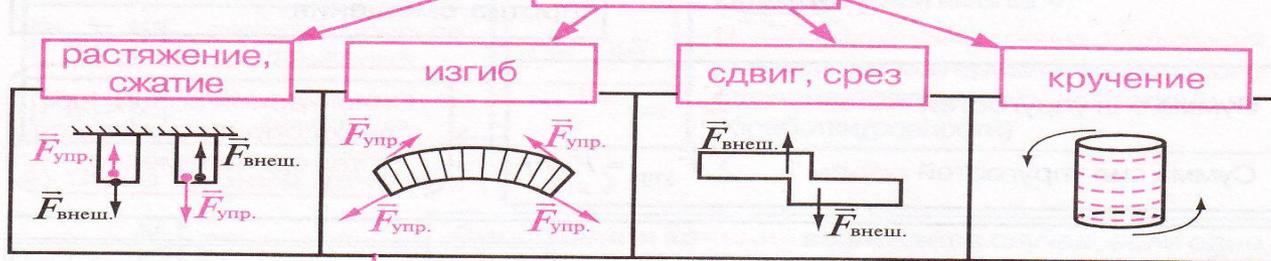
Силы упругости возникают при деформации тел

Деформация — изменение формы и объема тела при внешнем воздействии.

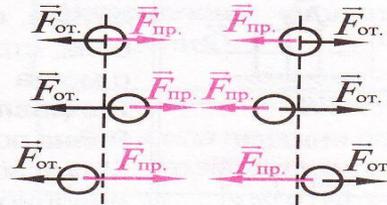
Упругая деформация — исчезает после прекращения воздействия

Пластическая деформация — не исчезает после прекращения воздействия

Деформации



Природа сил:
электромагнитные
 ($\vec{F}_{упр}$ равна сумме сил притяжения и отталкивания между молекулами)



нет деформации
 $|\vec{F}_{пр}| = |\vec{F}_{от}| \quad \vec{F}_{упр} = 0$

сжатие
 $|\vec{F}_{пр}| < |\vec{F}_{от}| \quad \vec{F}_{упр} \uparrow \vec{F}_{от}$

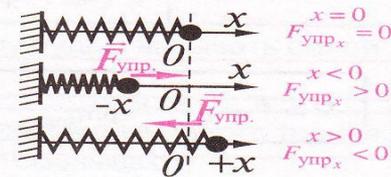
растяжение
 $|\vec{F}_{пр}| > |\vec{F}_{от}| \quad \vec{F}_{упр} \uparrow \vec{F}_{пр}$

2) Закон Гука выполняется при упругих деформациях

$$F_{упр} = -kx$$

Сила упругости прямо пропорциональна смещению тела и противоположна ему по знаку

k [Н/м] — коэффициент жесткости
 x — смещение (удлинение тела)

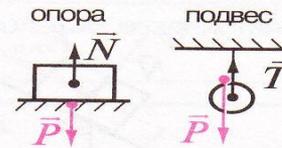


6 ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ

1) Вес тела

$$\vec{P} \text{ [Н]}$$

это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или подвес



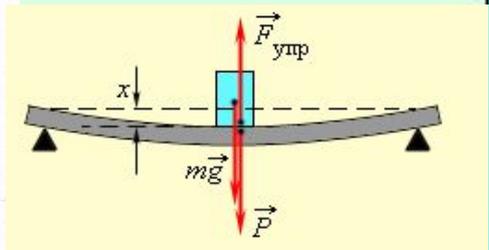
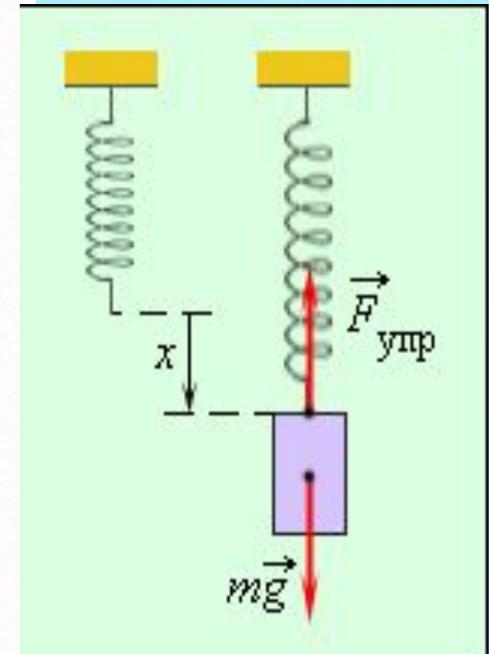
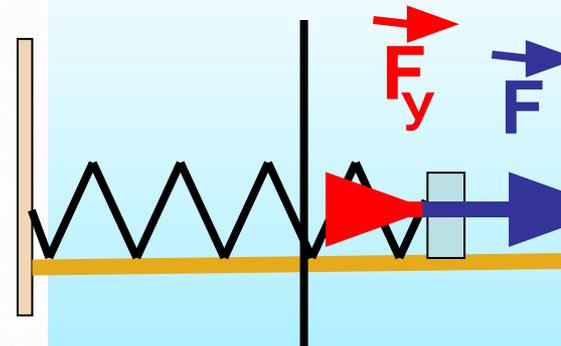
точка приложения: опора или подвес

$$-\vec{N} = \vec{P} \quad -\vec{T} = \vec{P} \quad \text{по III закону Ньютона}$$

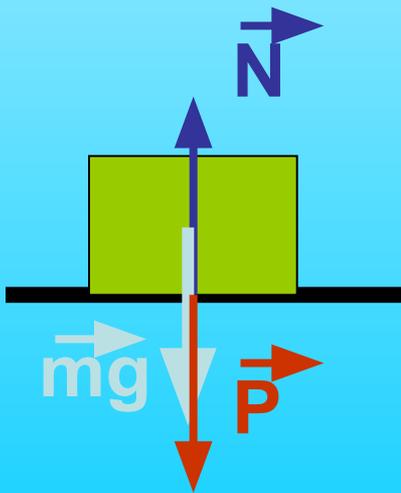
2) Невесомость

$$\vec{P} = 0$$

это когда тело не действует на опору или подвес, и вследствие этого внутри тела отсутствует деформация; при этом на тело действует только сила тяжести



Вес тела



$$a = 0$$

$$0 = mg \uparrow + N \uparrow$$

2 закон Ньютона

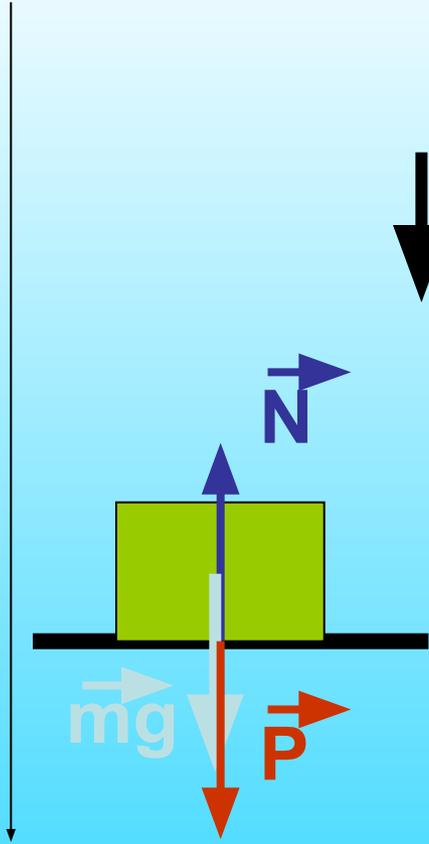
$$P \downarrow = -N \uparrow$$

3 закон Ньютона

$$P \downarrow = mg \downarrow$$



Вес тела



$$\vec{a} \neq 0 \quad \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{g} \downarrow$$
$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$$

2 закон Ньютона

$$ma = mg - N$$

$$N = m(g - a)$$

$$\vec{P} = -\vec{N}$$

3 закон Ньютона

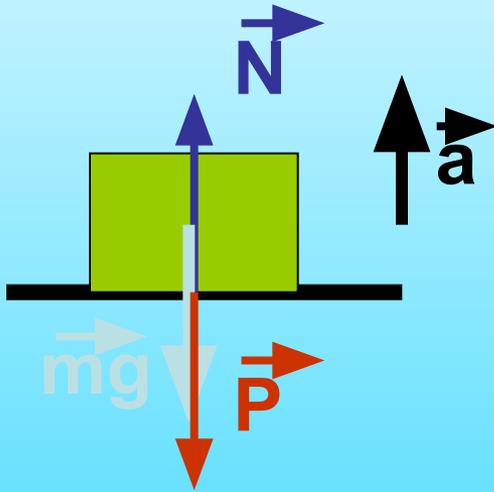
$$P = m(g - a)$$

если $a = g$,

то $P = 0$ - невесомость



Вес тела



$$\vec{a} \neq 0 \quad \vec{a} \uparrow \downarrow \vec{g}$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$$

2 закон Ньютона

$$ma = N - mg$$

$$N = m(g + a)$$

$$\vec{P} = -\vec{N}$$

3 закон Ньютона

$$P = m(g + a)$$

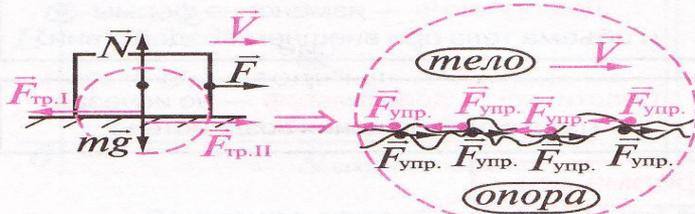
Перегрузка – явление увеличения веса тела.

$$k = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{g + a}{g} \quad \text{- коэффициент перегрузки}$$



7 СИЛА ТРЕНИЯ

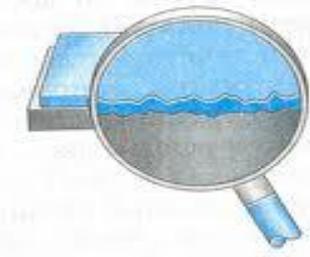
1) Природа силы и причины возникновения



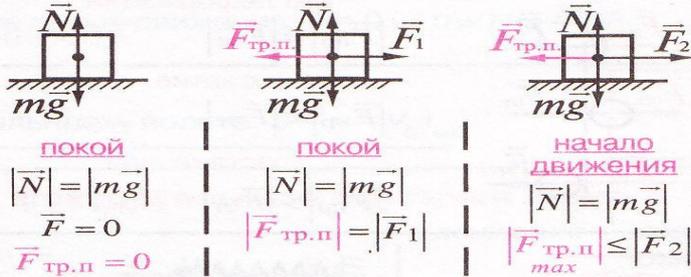
Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ [Н] возникает вдоль поверхности 2-х трущихся тел из-за деформации этих поверхностей (сжатие неровностей)
Природа — электромагнитная
Направлена вдоль поверхности против смещения

Сумма сил упругостей **тела** $\sum \vec{F}_{\text{упр}} = \vec{F}_{\text{тр I}}$
 Сумма сил упругостей **опоры** $\sum \vec{F}_{\text{упр}} = \vec{F}_{\text{тр II}}$

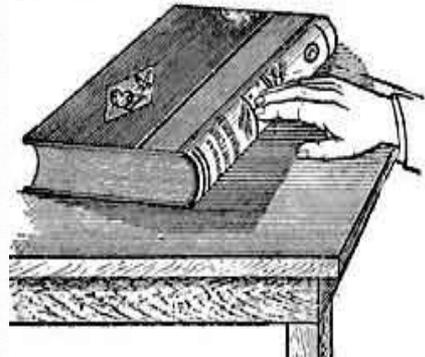
Силы трения возникают у двух соприкасающихся тел одновременно



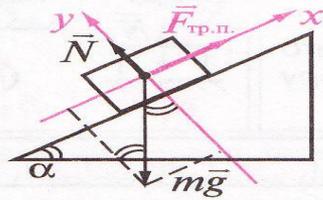
2) Сила трения покоя $\vec{F}_{\text{тр.п}}$



Сила трения покоя возникает в случае, если на тело действует сила, стремящаяся сдвинуть его с места
Направлена против этой силы
Равна по модулю этой силе
 Может возрастать только до определенного значения, после чего тело начинает двигаться



$0 \leq F_{\text{тр.п}} \leq F_{\text{тр.п max}}$ $F_{\text{тр.п max}} = \mu_0 N$ μ_0 — коэффициент трения покоя



Тело на наклонной плоскости находится в покое

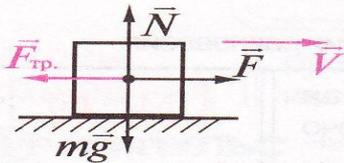
$\vec{a} = 0$

II закон Ньютона: $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр.п}} = \vec{a} \cdot m$
 x: $0 - mg \cdot \sin \alpha + F_{\text{тр.п}} = 0$

! $F_{\text{тр.п}} = mg \cdot \sin \alpha$



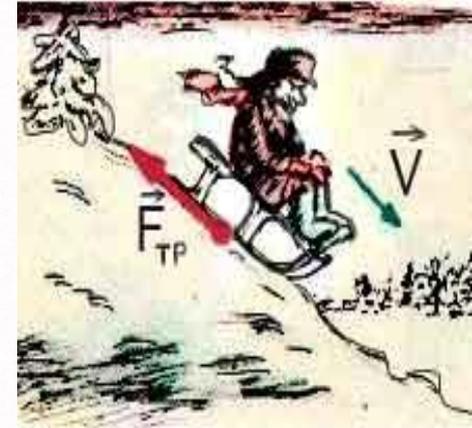
3) Сила трения скольжения



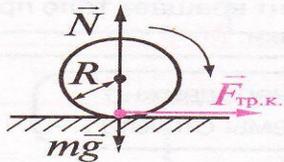
Сила трения скольжения

возникает в случае, если на тело действует сила, которая приводит тело в движение
Направлена против этой силы вдоль поверхности опоры

$ \vec{F}_{тр} = \vec{F} $	равномерное движение	$F_{тр} = \mu N$	N — сила реакции опоры (зависит от силы давления на опору) μ — коэффициент трения скольжения (зависит от материала, из которого сделана поверхность, и степени ее обработки/ровности)
$ \vec{F}_{тр} < \vec{F} $	равноускоренное движение		
$ \vec{F}_{тр} > \vec{F} $	равнозамедленное движение		



4) Сила трения качения ($\vec{F}_{тр.к}$)



Сила трения качения возникает в случае, если одно тело катится по поверхности другого.
Направлена вдоль поверхности качения, против вращения

$$F_{тр.к} \ll F_{тр} \text{ (при скольжении)}$$

$$F_{тр.к} = \mu_k \frac{N}{R}$$

N — сила реакции опоры; R — радиус
 μ_k — коэффициенты трения качения



5) Жидкостное трение (трение в газах и жидкостях) \vec{F}_c

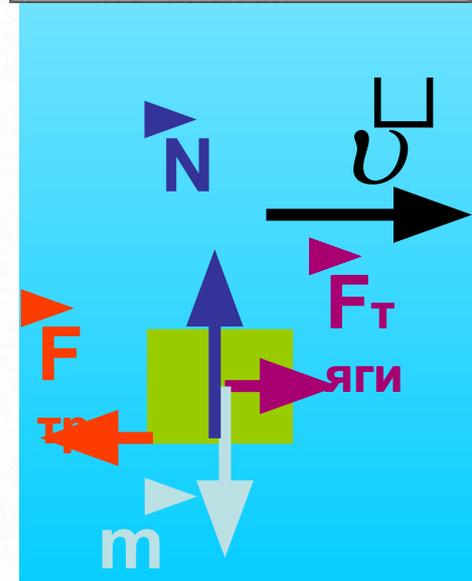
При трении тела о жидкость или газ возникающую силу будем называть силой сопротивления

Сила, возникающая при жидком трении, во много раз меньше силы сухого трения (поэтому для уменьшения трения трущиеся поверхности смазывают)

Особенность жидкостного трения: нет силы трения покоя (даже при небольших воздействиях на тело оно приходит в движение)

Величина F_c зависит от

рода жидкости (газа)	скорости движения: $F_c \sim V$ (небольшие скорости) $F_c \sim V^2$ (большие скорости)	формы тела: (обтекаемая форма) → $F_c \downarrow$
----------------------	--	--



Спасибо за внимание!

