

Силы в механике



Для изучения
темы в курсе 10
класса



Виды сил в природе



-
- **Сила** - количественная мера действия одного тела (или поля) на другое, вызывающее ускорение.
 - *Типы сил или взаимодействий:*
 - гравитационные;
 - электромагнитные;
 - сильные и слабые.

Фундаментальные взаимодействия

- **Фундаментальные взаимодействия** – взаимодействия, которые не могут быть сведены к другим, более простым видам взаимодействия.
- **Гравитационное взаимодействие** присуще всем частицам. Оно определяет процесс образования и структуру Вселенной.
- **Электромагнитное взаимодействие** связывает между собой только заряженные частицы. Оно объединяет атомы и молекулы в веществе.
- **Сильное взаимодействие** определяет связи только между адронами. Оно обуславливает связь протонов и нейтронов в атомном ядре.
- **Слабое взаимодействие** ответственно за взаимодействие всех частиц, кроме фотона. Оно определяет реакции термоядерного синтеза на Солнце.

Законы фундаментальных сил просты и
выражаются точными формулами.

Например, формула *гравитационной силы*
взаимодействия двух *материальных точек*,
имеющих массы m_1 и m_2 :

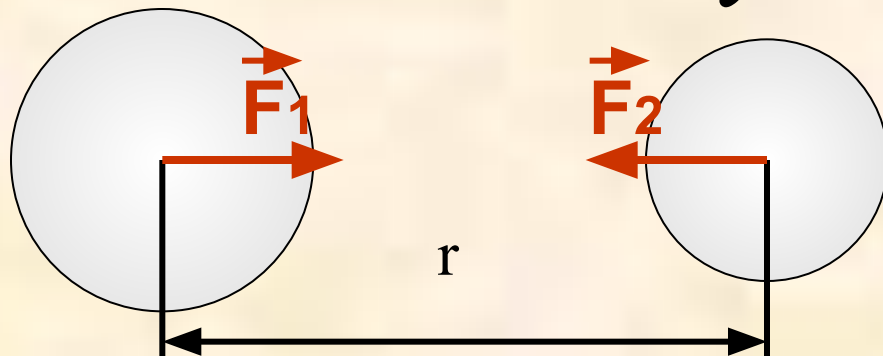
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где r – расстояние между точками,
 G – гравитационная постоянная.

Закон Всемирного тяготения

Исаак Ньютон

- Любые два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Закон всемирного тяготения

$$G = \frac{F \cdot r^2}{m_1 m_2}$$

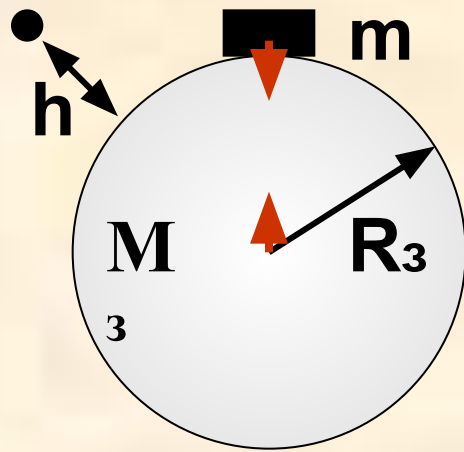
Гравитационная постоянная – величина, численно равная силе взаимодействия двух тел массами по 1 кг, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга.

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$$

1798 г. Генри Кавендиш

Сила тяжести

- **Сила тяжести** – сила, с которой все тела притягиваются к Земле.



$$g = 9,8 \frac{\mathcal{M}}{c^2}$$

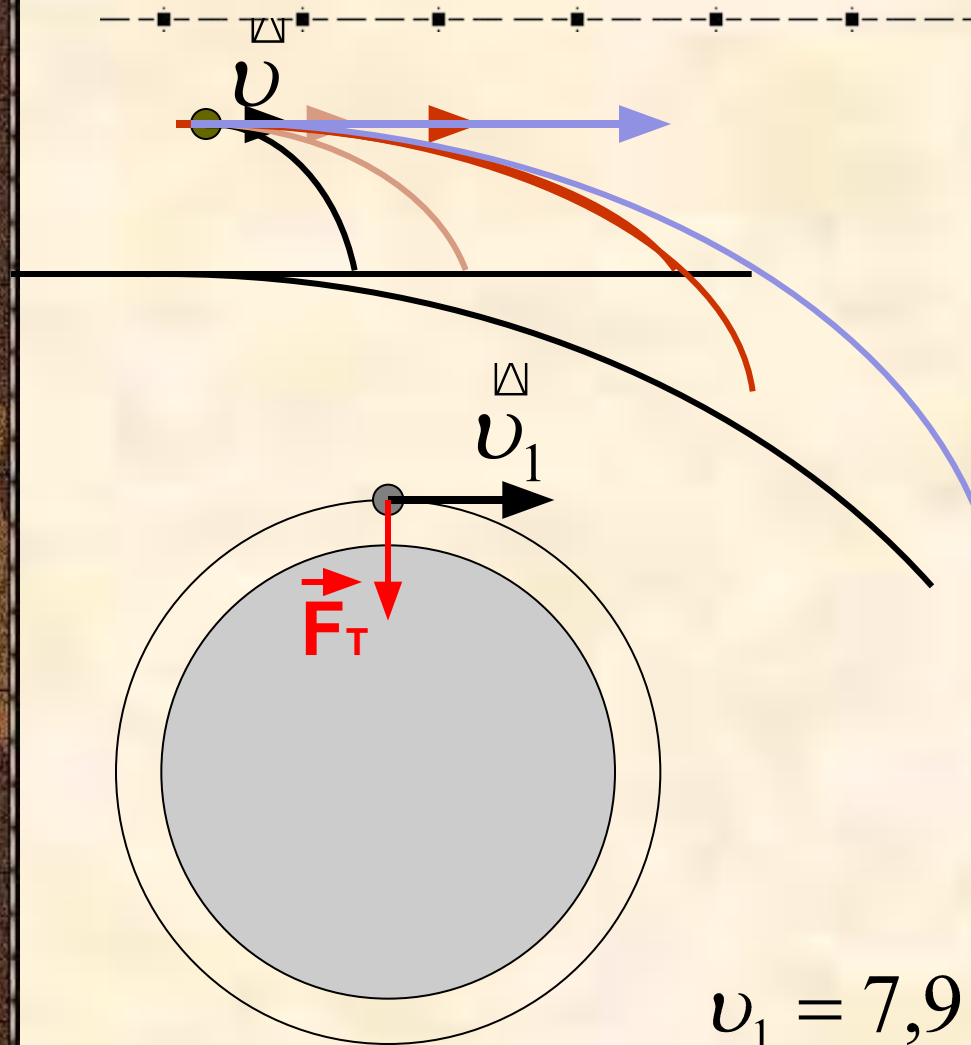
$$F_T = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$$

$$F_T = mg$$

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

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

Первая космическая скорость



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

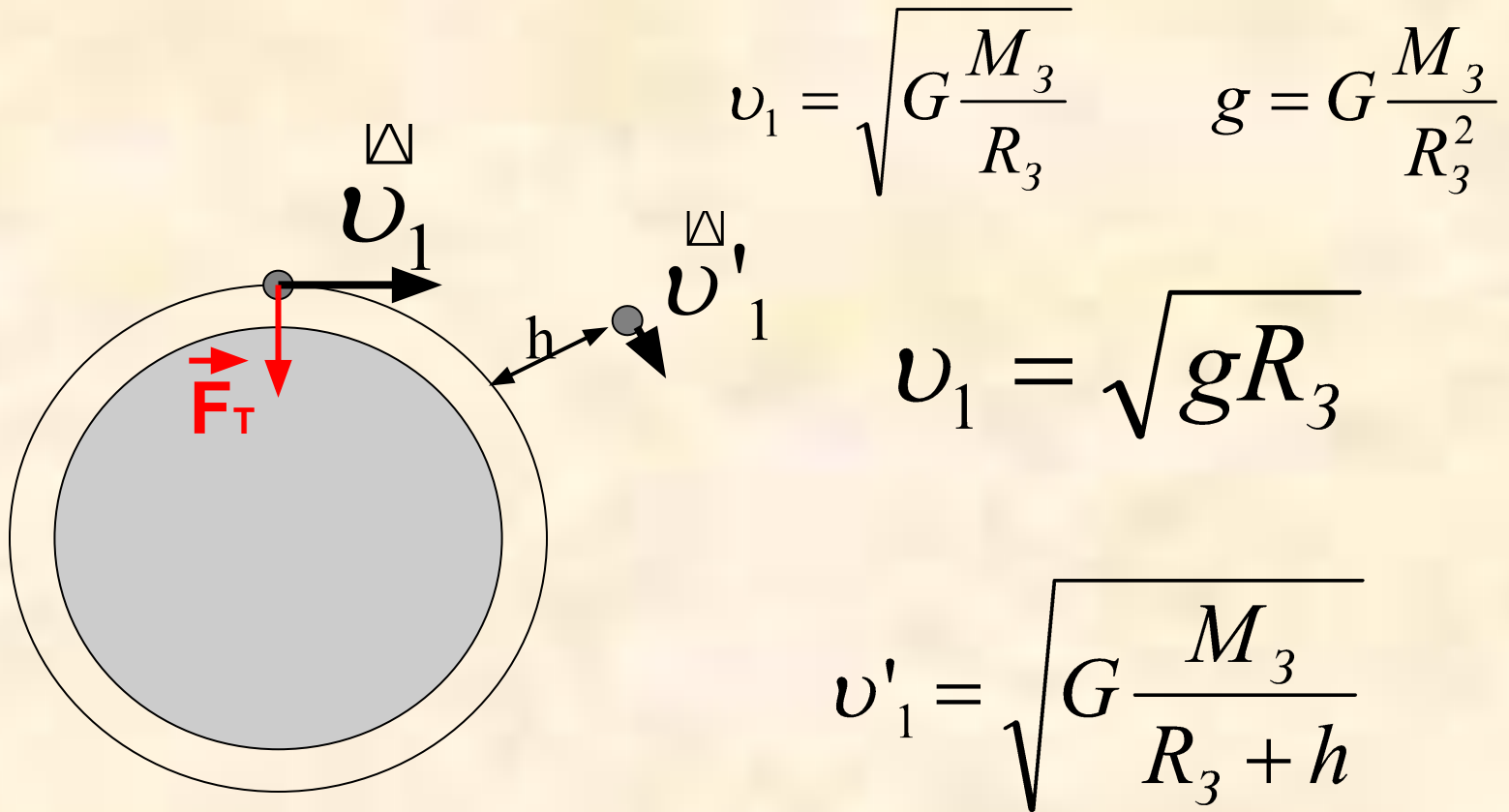
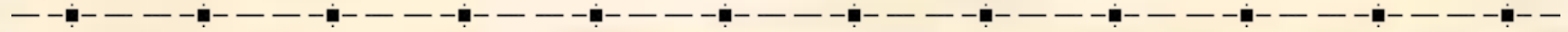
$$F_T = ma_y = m \frac{v_1^2}{R_3}$$

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

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

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

Первая космическая скорость



Космические скорости



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

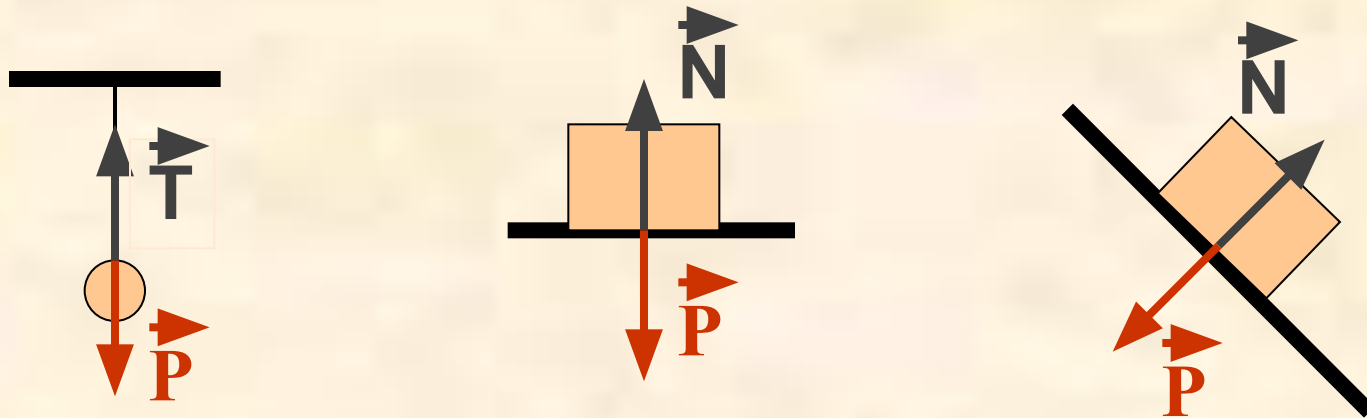
$$v_2 = \sqrt{2G \frac{M_3}{R_3}}$$

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

Вес тела

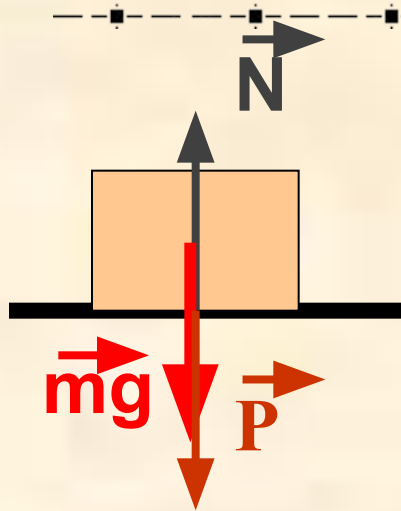
- **Вес тела** – это сила, с которой тело действует на опору или подвес.

$$[P] = H$$



- **Сила натяжения** (T) - сила упругости, действующая на тело со стороны нити или пружины.

Вес тела



$$a = 0$$

$$0 = mg + N$$

2 закон Ньютона

$$P = -N$$

3 закон Ньютона

$$P = mg$$

- **Сила нормальной реакции опоры (N)** - сила упругости, действующая на тело со стороны опоры перпендикулярно ее поверхности.

Сила тяжести и вес тела

Вес и сила тяжести равны друг другу, но приложены к разным точкам: вес к подвесу или опоре, сила тяжести — к самому телу. Это равенство справедливо, если подвес (опора) и тело покоятся относительно Земли (или движжутся равномерно и прямолинейно).

Вес тела

$$a \neq 0$$

$$a \downarrow \downarrow g$$

$$ma = mg + N \quad \text{2 закон Ньютона}$$

$$ma = mg - N; N = m(g - a)$$

$$P = -N$$

$$\text{3 закон Ньютона}$$

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

если $a = g$, то $P = 0$

- Невесомость** - состояние, при котором тело движется только под действием силы тяжести.

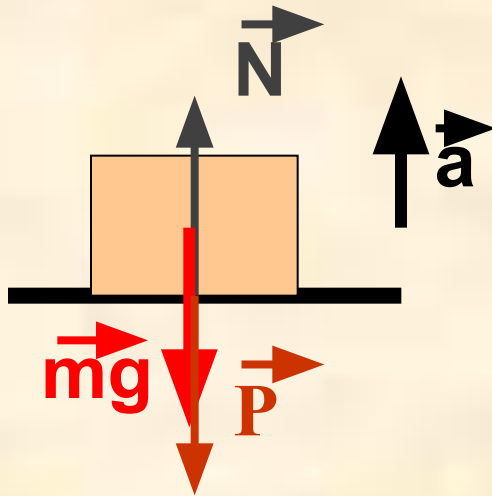
Пример: космический корабль на орбите.

Вес тела

$$\overset{\boxtimes}{a} \neq 0 \quad \overset{\boxtimes}{a} \uparrow \downarrow \overset{\boxtimes}{g}$$

$$\overset{\boxtimes}{ma} = \overset{\boxtimes}{mg} + \overset{\boxtimes}{N}$$

2 закон Ньютона



$$ma = N - mg$$

$$\overset{\boxtimes}{N} = \overset{\boxtimes}{m}(g + a)$$

$$\overset{\boxtimes}{P} = -\overset{\boxtimes}{N}$$

3 закон Ньютона

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

• **Перегрузка** – явление увеличения веса тела.

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

Упругие силы

Электромагнитные силы проявляют себя как **упругие силы и силы трения**.

Под действием внешних сил возникают **деформации** (т.е. изменение формы и размера твердого тела под действием внешних сил) тел. Если после прекращения действия внешних сил восстанавливаются прежние форма и размеры тела, то это упругая деформация.

- **Упругая деформация** — деформация, исчезающая после прекращения действия внешней силы (резина, сталь, человеческое тело, кости и сухожилия).



Упругие силы

- **Сила упругости** - сила, возникающая при деформации тела и восстанавливающая первоначальные размеры и форму тела при прекращении внешнего воздействия.
- **Предел упругости** — максимальное напряжение в материале, при котором деформация еще является упругой.
- **Предел прочности** — максимальное напряжение, возникающее в теле до его разрушения.

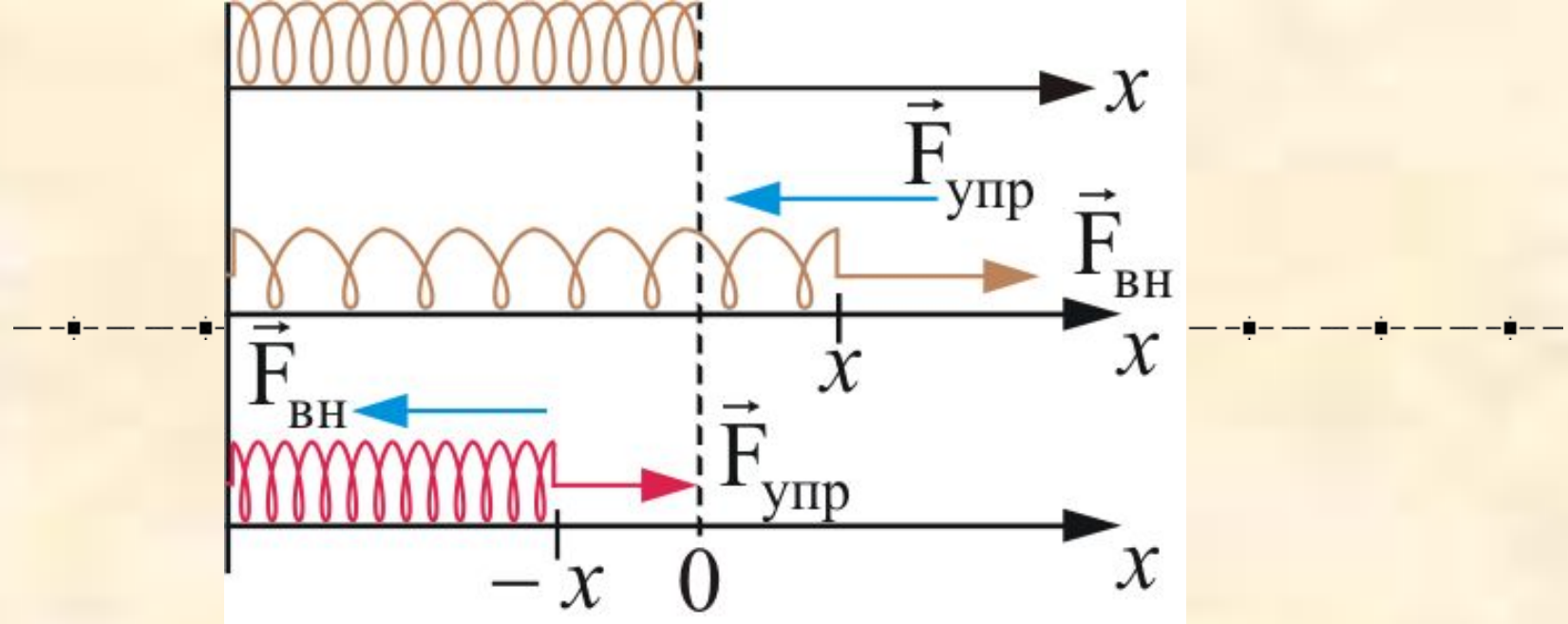
Упругие силы

При превышении предела упругости деформация становится **пластической** **или** **неупругой**, т.е. первоначальные размеры и форма тела полностью не восстанавливаются.

• **Пластическая деформация** — деформация, сохраняющаяся после прекращения действия внешней силы (свинец, алюминий, воск, пластилин, замазка, жевательная резинка).

Рассмотрим упругие деформации.

В деформированном теле возникают упругие силы, уравнивающие внешние силы. Под действием **внешней силы** — $F_{\text{вн}}$ пружина получает **удлинение** x , в результате в ней возникает **упругая сила** — $F_{\text{упр}}$, **уравнивающая** $F_{\text{вн}}$.



Удлинение пружины пропорционально внешней силе и определяется законом Гука:

$$x = \frac{1}{k} F_{\text{ВН.}},$$

k – жесткость пружины. Видно, что чем больше k , тем меньшее удлинение получит пружина под действием данной силы.

Так как $F_{\text{упр.}} = -F_{\text{вн.}}$

ТО **закон Гука** МОЖНО записать в виде:

$$x = -\frac{1}{k} F_{\text{упр.}}$$

отсюда

$$F_{\text{упр.}} = -kx.$$

- *При упругой деформации модуль силы упругости прямо пропорционален изменению длины тела.*

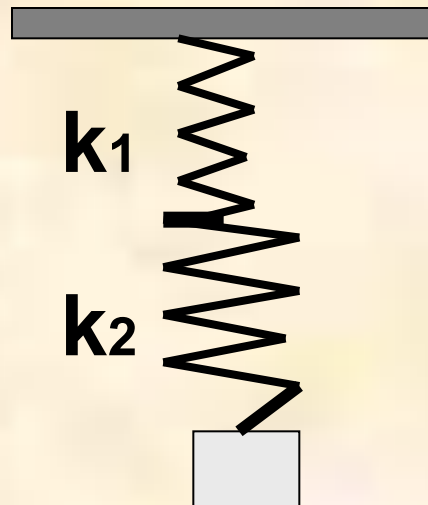


Гук Роберт (1635 – 1703)
*знаменитый английский физик,
сделавший множество
изобретений и открытий в
области механики,
термодинамики, оптики.*

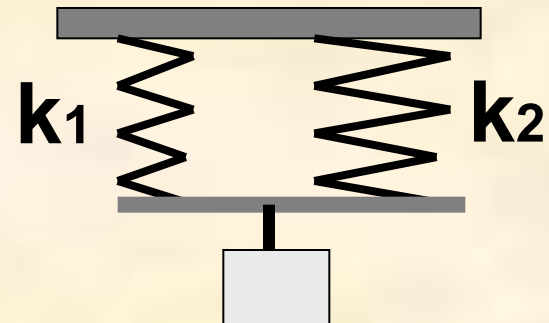
Его работы относятся к теплоте, упругости, оптике, небесной механике. Установил постоянные точки термометра – точку таяния льда, точку кипения воды. Усовершенствовал микроскоп, что позволило ему осуществить ряд микроскопических исследований, в частности наблюдать тонкие слои в световых пучках, изучать строение растений. Положил начало физической оптике.

Закон Гука

$$F_{\text{упр}} = -kx$$
$$F = -F_{\text{упр}}$$



$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$



$$k = k_1 + k_2$$

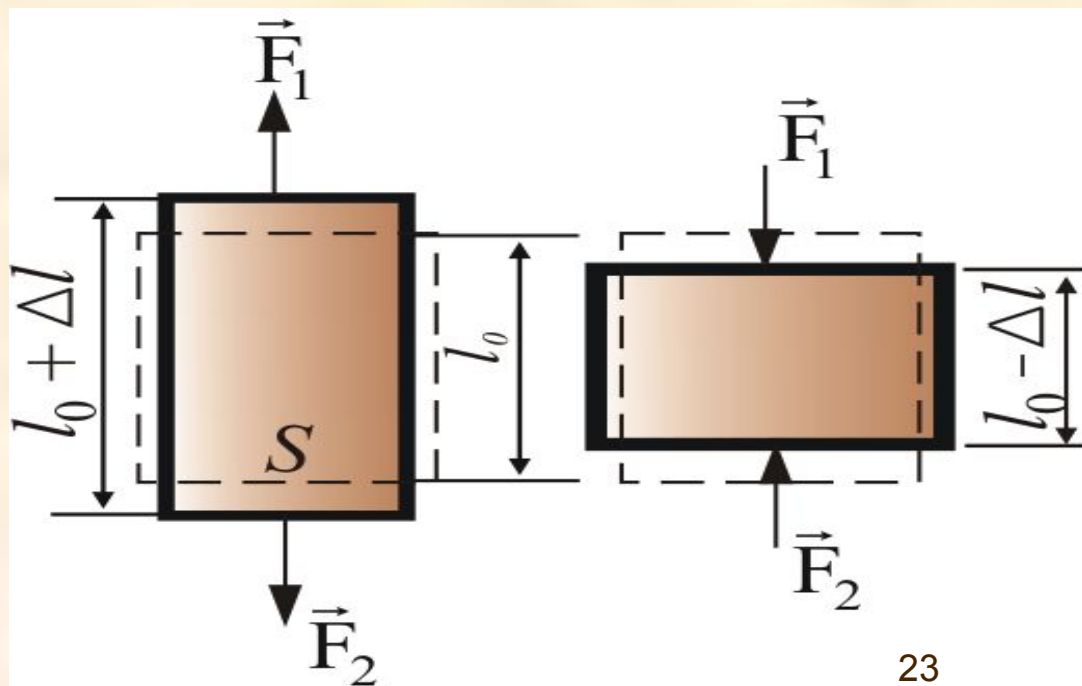
Закон Гука для стержня

$$\Delta l = \frac{Fl_0}{ES}$$
 Одностороннее (или продольное) растяжение (сжатие) стержня состоит в *увеличении (уменьшении) длины стержня под действием внешней силы $\vec{F}$*

$$F_{\text{упр}} = -kx$$

$$F = -F_{\text{упр}}$$

$$k = \frac{ES}{l_0}$$



• **Напряжением (σ)** - физическая величина, равная отношению силы упругости к площади поперечного сечения тела.

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр.}}}{S},$$

$$[\sigma] = \frac{H}{m^2} = Pa$$

$S = \frac{\pi d^2}{4}$ - площадь поперечного сечения стержня,
 d – его диаметр.

Опыт показывает, что абсолютное удлинение стержня Δl пропорционально напряжению σ :

$$\Delta l = \frac{S}{k} \sigma.$$

Закон Гука для стержня

Коэффициент пропорциональности k , как и в случае пружины, зависит от свойств материала и длины стержня.

Доказано, что

$$k = \frac{ES}{l_0}$$

где E — величина, характеризующая упругие свойства материала стержня — модуль Юнга.

E измеряется в Н/м² или в Па.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \varepsilon$$

Закон Гука для стержня

Обозначим ε — *относительное приращение длины (относительное удлинение)* — отношение абсолютного удлинения тела к его первоначальной длине, получим:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

□ Закон Гука: При упругой деформации тела механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению тела.

$$\sigma = E \varepsilon$$



Сила трения

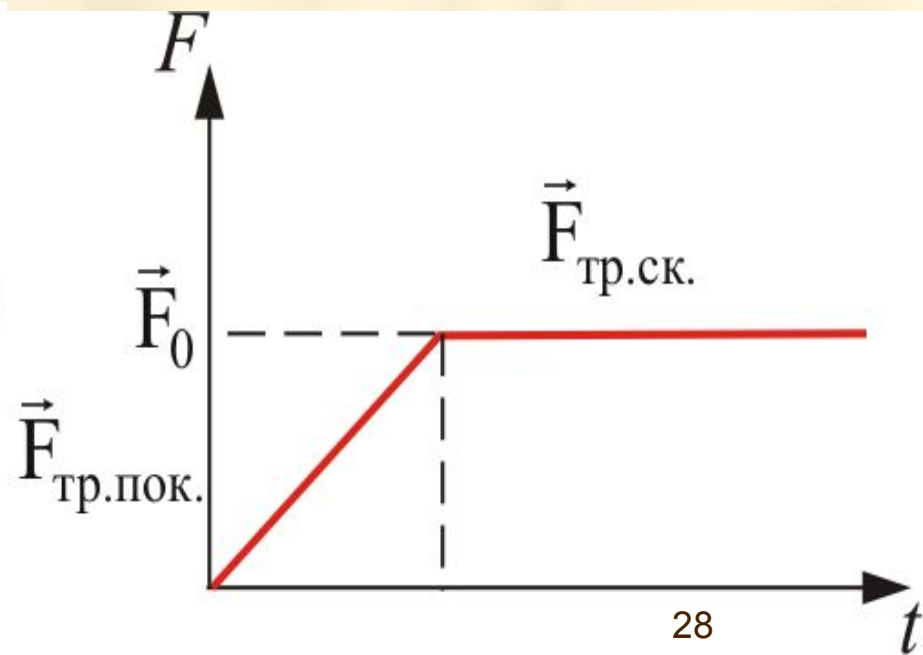
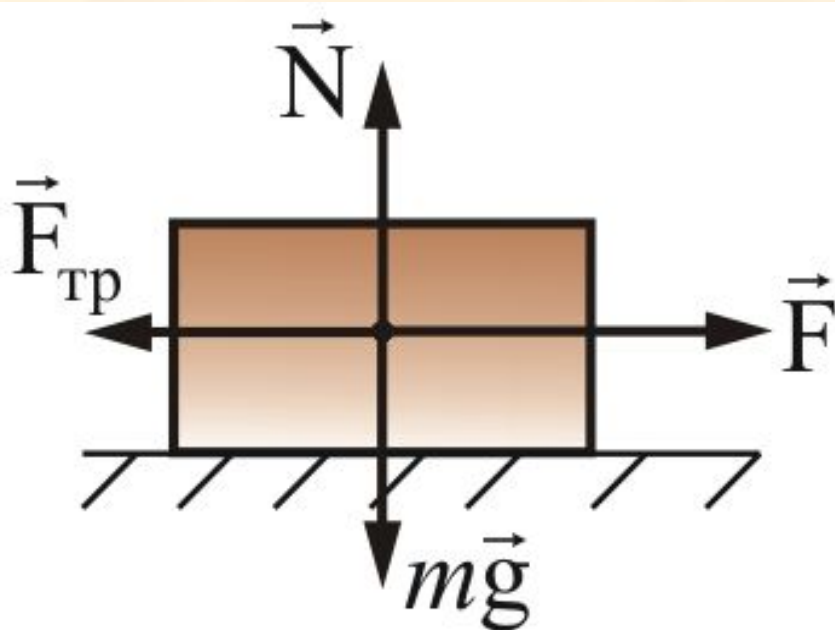
- **Сила трения** - сила, возникающая при соприкосновении поверхностей тел, препятствующая их относительному перемещению, направленная вдоль поверхности соприкосновения (сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого или при попытке сдвинуть тело с места, приложенная к движущемуся телу и направленная против движения).

Различают **сухое** и **жидкое** (или **вязкое**) *трение*.

- **Жидким** (вязким) называется трение между твёрдым телом и жидкой или газообразной средой или ее слоями.

Сухое трение, в свою очередь, подразделяется на **трение скольжения и трение качения**.

Рассмотрим законы сухого трения.



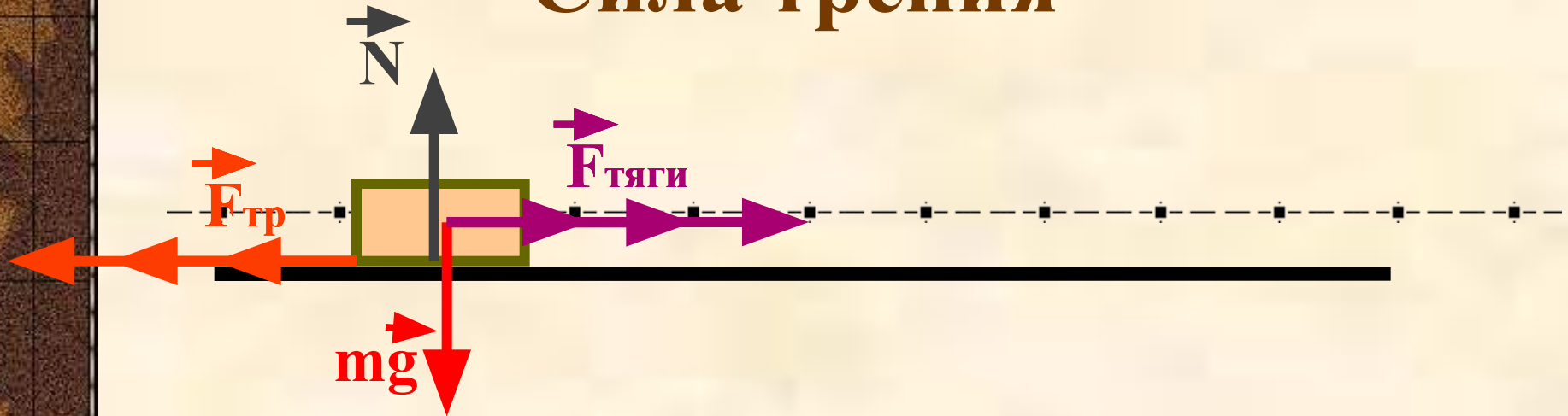
Силы трения



Подействуем на тело внешней силой, постепенно увеличивая ее модуль. Вначале брусок будет оставаться неподвижным, значит, внешняя сила $\vec{F}$ уравновешивается некоторой силой $\vec{F}_{\text{тр.}}$. В этом случае $\vec{F}_{\text{тр.}}$ - **сила трения покоя** - сила трения, препятствующая возникновению движения одного тела по поверхности другого.

Когда модуль внешней силы, а, следовательно, и модуль силы трения покоя превысит значение F_0 , тело начнет скользить по опоре, **трение покоя $F_{\text{тр.пок.}}$ сменится трением скольжения $F_{\text{тр.ск.}}$** .

Сила трения



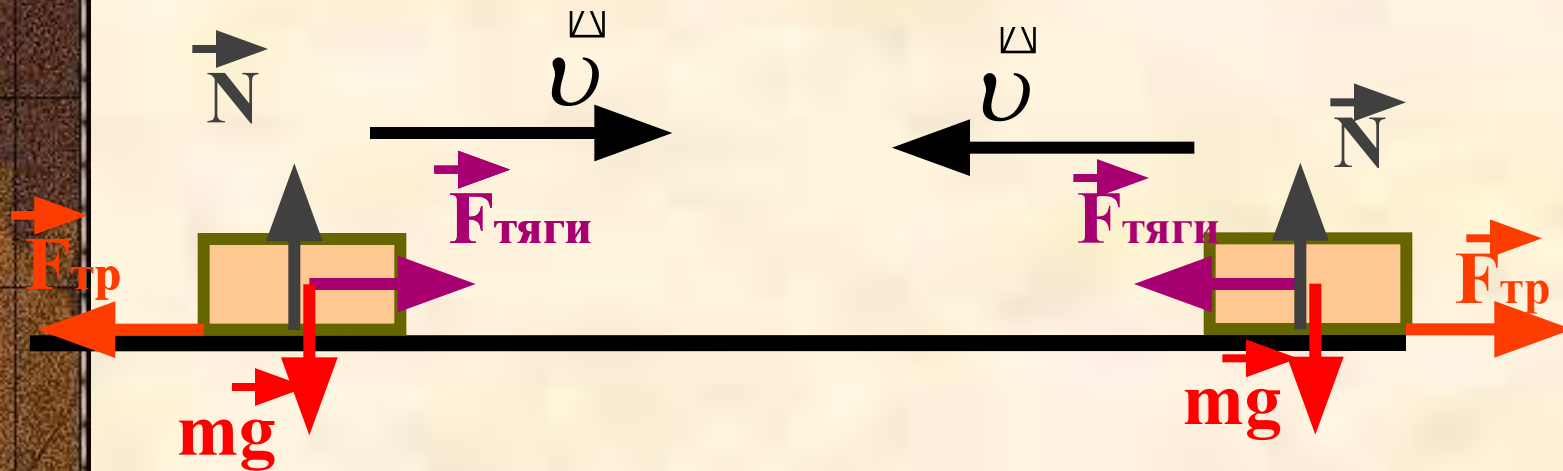
- Силу трения, действующую между двумя телами, неподвижными относительно друг друга называют **силой трения покоя**.
- Наибольшее значение силы трения, при котором скольжение еще не наступает, называется **максимальной силой трения покоя**.

$$F_{тр.п.макс} = \mu N$$

Сила трения не зависит от площади соприкосновения тел и **пропорциональна силе нормальной реакции опоры N** .

Сила трения

- **Сила трения скольжения** всегда направлена противоположно направлению относительной скорости соприкасающихся тел.



$$F_{\text{тр}} \approx F_{\text{тр.н.мах}} = \mu N$$

μ — **коэффициент трения** — зависит от природы и состояния трущихся поверхностей.

Сила трения

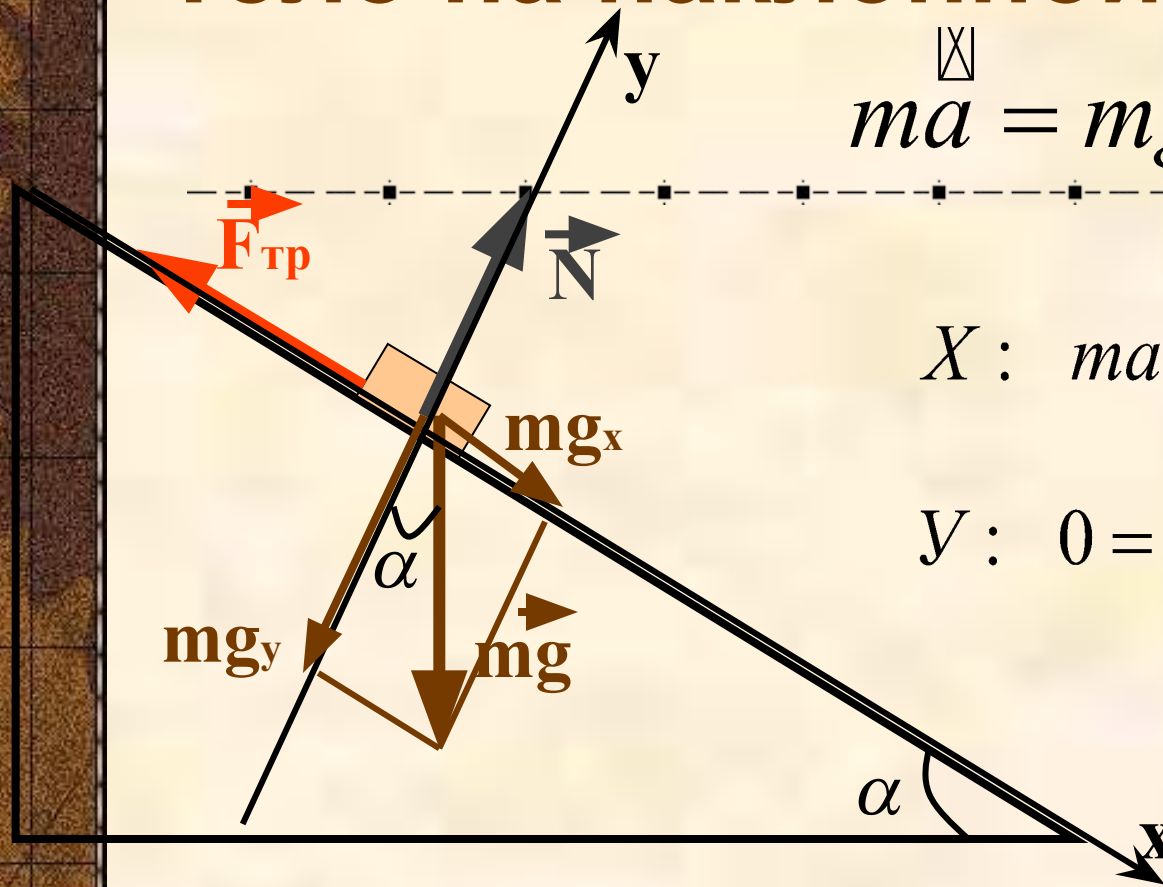


- *Трение качения* возникает между шарообразным телом и поверхностью, по которой оно катится.

Сила трения качения подчиняется тем же законам, что и скольжения, но коэффициент трения μ здесь значительно меньше.

Рассмотрим тело на наклонной плоскости.

Тело на наклонной плоскости



$$\vec{ma} = \vec{mg} + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \dots$$

$$X : ma = mg \sin \alpha - F_{mp} \pm \dots$$

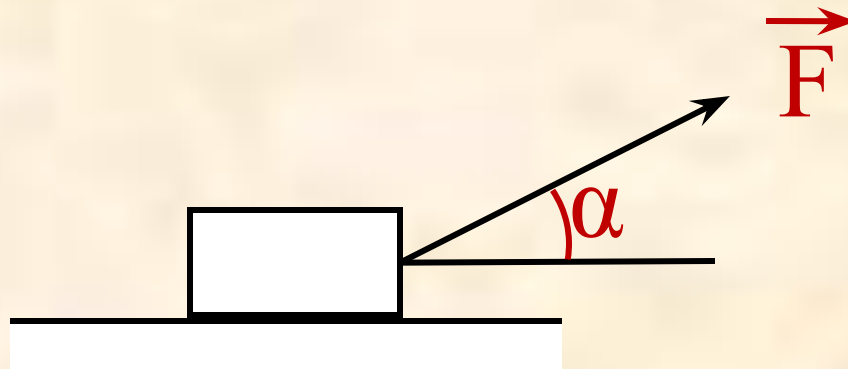
$$Y : 0 = -mg \cos \alpha + N \pm \dots$$

$$F_{mp} = \mu N$$

Задача №1. Брусок массой 2 кг может двигаться только вдоль горизонтальных направляющих.

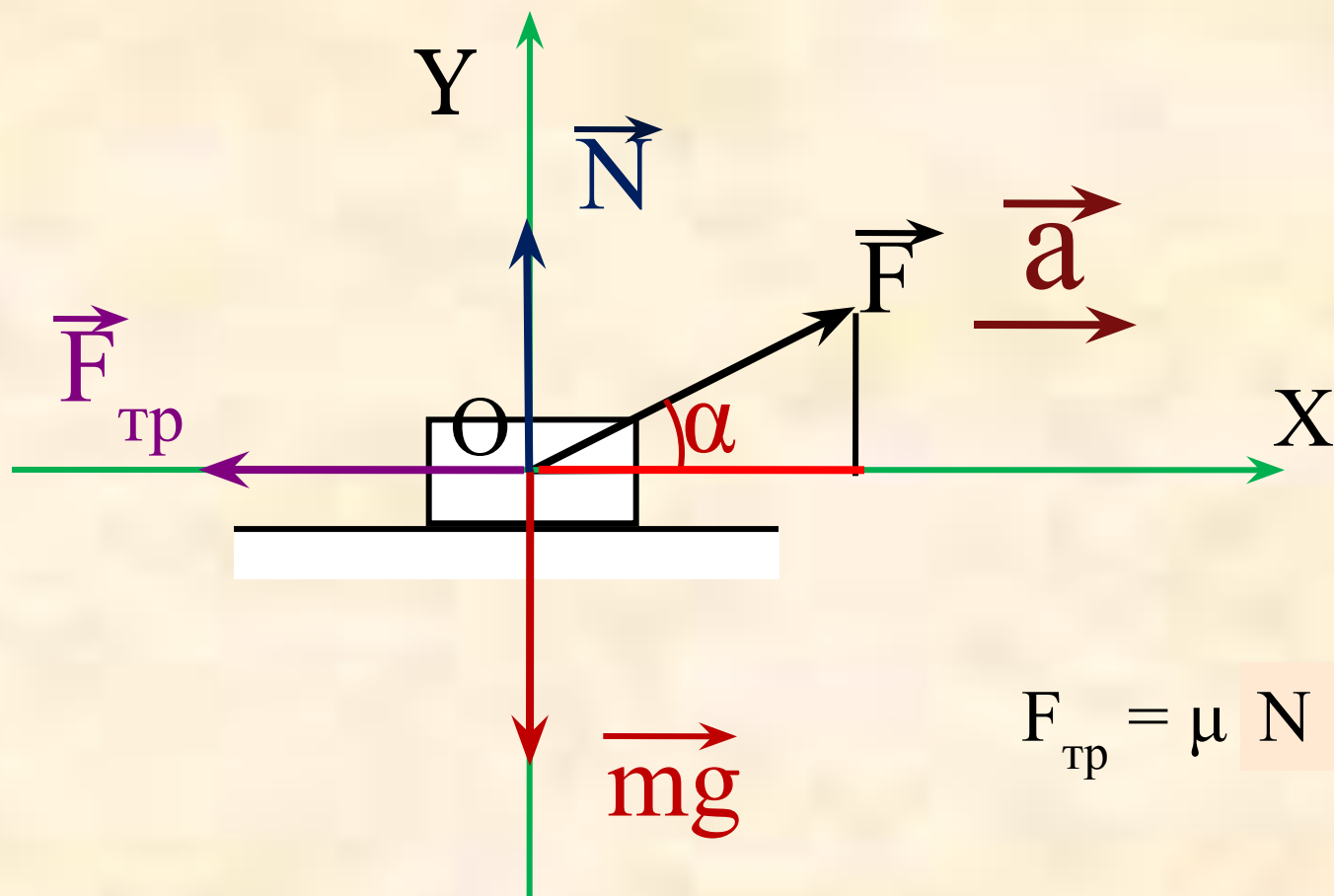
Коэффициент трения бруска о направляющие $\mu=0,1$. Если на брусок действует сила F , по модулю равная 20 Н и направленная под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (см. рис.), то ускорение бруска равно

- 1) $6,7 \text{ м/с}^2$ 2) $7,2 \text{ м/с}^2$
3) $7,7 \text{ м/с}^2$ 4) $8,2 \text{ м/с}^2$ 5) $8,7 \text{ м/с}^2$



$$\vec{m}\vec{a} = \vec{m}\vec{g} + \vec{F}_{\text{tp}} + \vec{N} + \vec{F}$$

OX: $m a_x =$ (1)

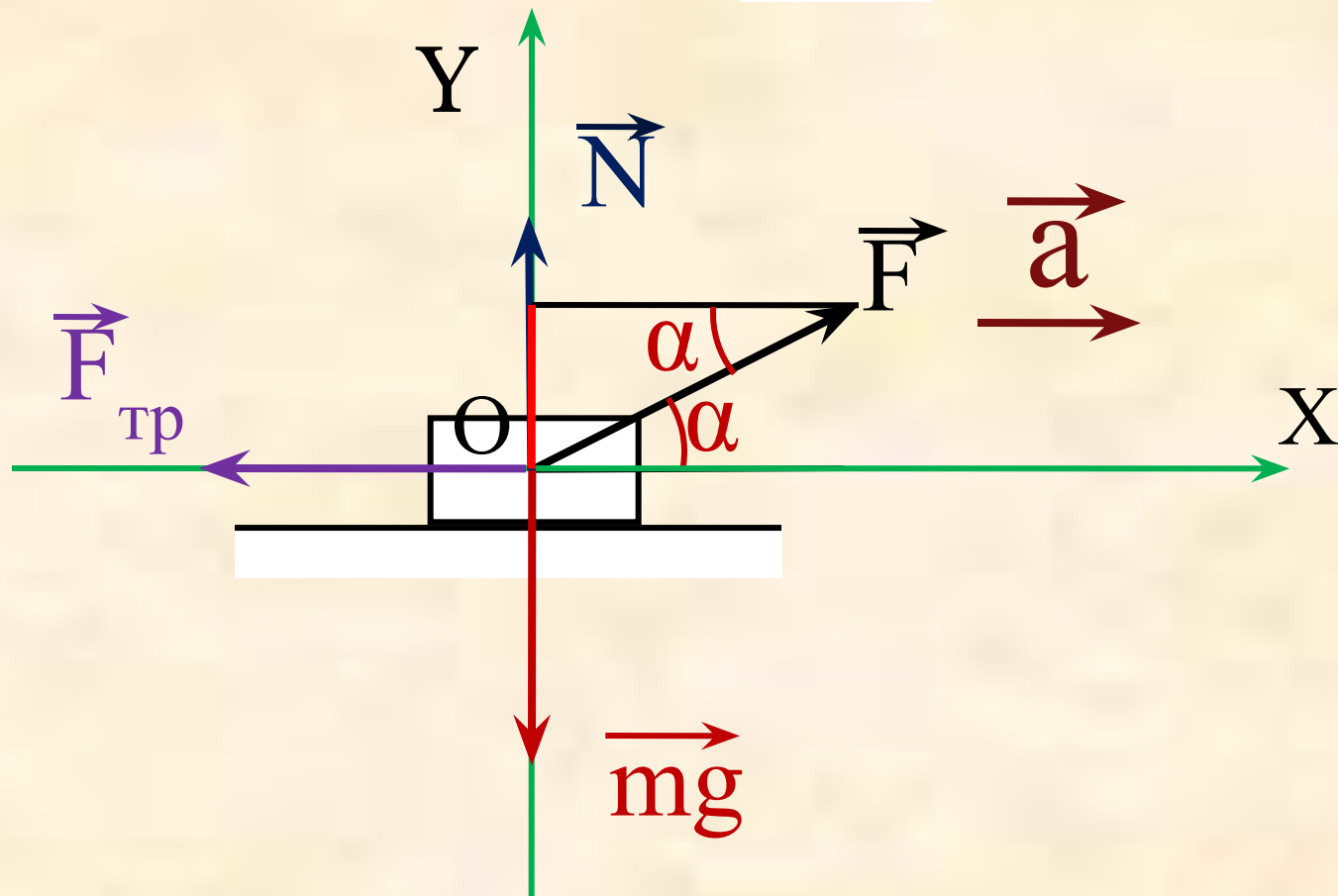


$$F_{\text{tp}} = \mu N$$

Проекции на ось OY

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

OY: 0 =



$$ma = -\mu(mg - F\sin\alpha) + F\cos\alpha$$

$$a = \frac{-\mu(mg - F\sin\alpha) + F\cos\alpha}{m}$$

$$a = \frac{-0,1(2 \cdot 10 - 20 \cdot 0,5) + 20 \cdot 0,87}{2} =$$

$$= 8,2 \frac{\text{M}}{\text{с}^2}$$

Ответ: 4

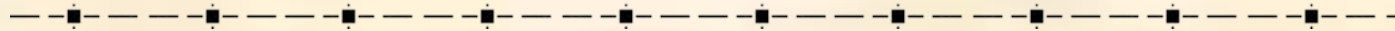
Сила сопротивления при движении твердых тел в жидкостях и газах

- При движении твердого тела в жидкости или газе на него действует сила сопротивления среды, направленная против скорости тела относительно среды и тормозящая движение.
- При **малых скоростях движения** сила сопротивления пропорциональна скорости $F_c = k_1 v$ (k_1 - коэффициент сопротивления, зависящий от формы, размеров, состояния поверхности тела и свойств среды - ее вязкости).

Сила сопротивления при движении твердых тел в жидкостях и газах

- При **больших скоростях относительного движения** сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости:
 $F_c = k_2 v^2$ (k_2 - коэффициент сопротивления, отличный от k_1).





*Спасибо
за внимание!*