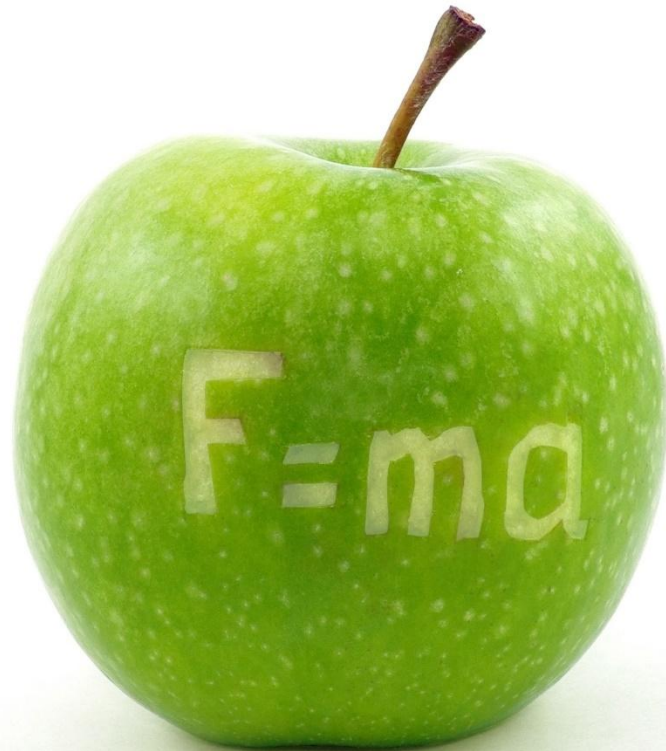


# Динамика



- **Дина́мика** (греч. δύναμις «сила, мощь») — раздел механики, в котором изучаются причины возникновения механического движения.
- Динамика поступательного движения оперирует такими понятиями, как **масса, сила, импульс, потенциальная энергия, кинетическая энергия поступательного движения**. Динамика вращательного движения дополнительно оперирует понятиями: **момент инерции, момент силы, момент импульса, кинетическая энергия вращательного движения**.
- **Основная задача динамики** заключается в выяснении того, как изменяется механическое движение тел под влиянием приложенных к ним сил.

**Сила** – это векторная величина, являющаяся мерой действия на данное тело других тел или полей.

**Единица измерения силы в СИ– Ньютон**

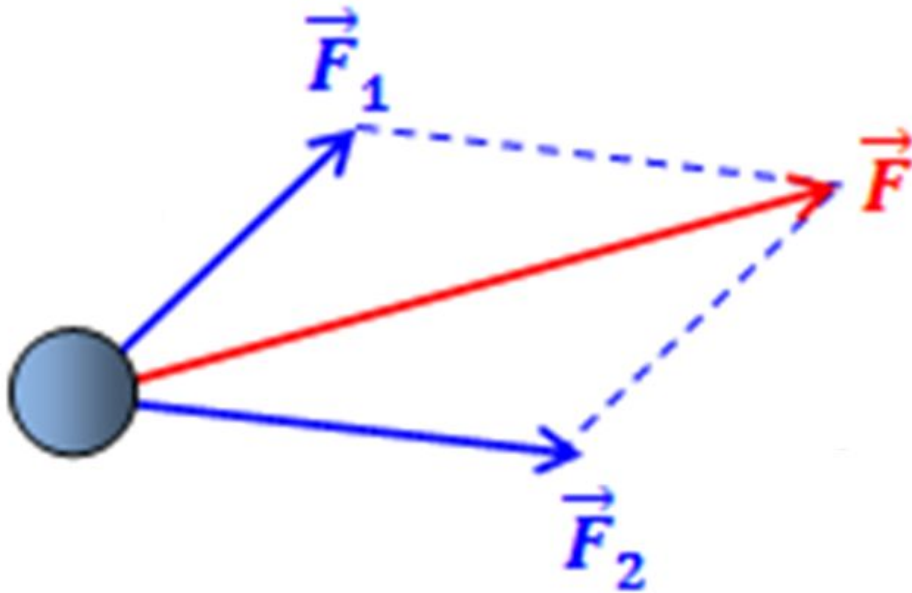
**Сила характеризуется**

- модулем;
- направлением;
- точкой приложения.



**Сложение сил** осуществляется по правилу сложения векторов (правило параллелограмма, правило треугольника).

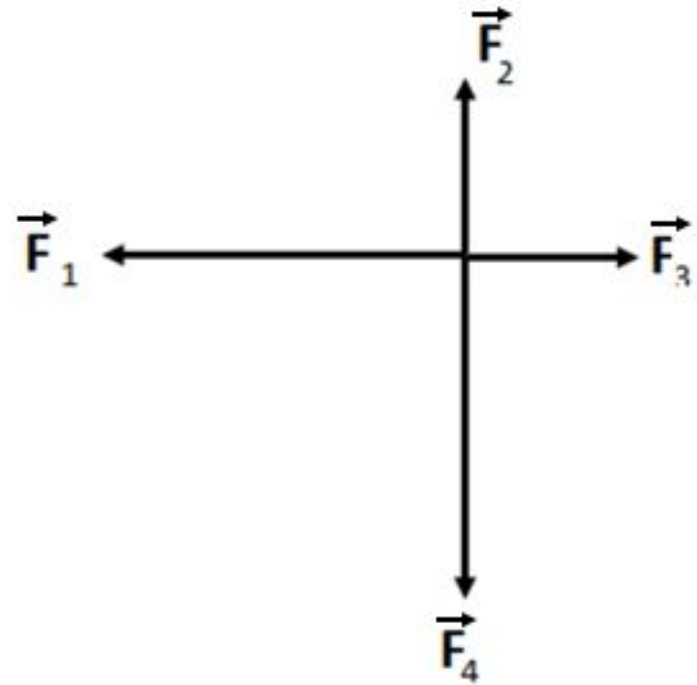
**Равнодействующая сила** – это сила, действие которой заменяет действие всех сил, приложенных к телу. Или, другими словами, равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равна векторной сумме этих сил.



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

# Задача

Определите модуль ускорения движения тела массой 2 кг, на которое действуют представленные на рисунке силы. Модули сил:  $F_1=10$  Н;  $F_2=F_3=4$  Н;  $F_4=12$  Н.

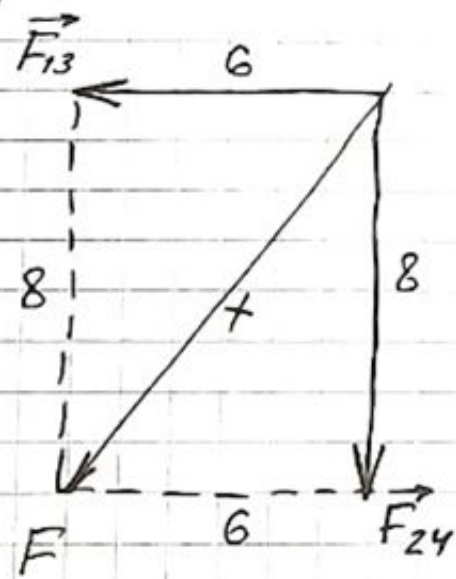


Решение:

Сначала сложим вектора  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_3$ . В результате получим вектор  $\vec{F}_{13}$ , равный 6 Ньютона и направленный горизонтально влево.

Затем сложим вектора  $\vec{F}_2$  и  $\vec{F}_4$ .  $\vec{F}_2 + \vec{F}_4 = \vec{F}_{24}$ .

$\vec{F}_{24}$  будет направлен вертикально вниз и по модулю равен  $12 - 4 = 8$  Ньютона.  $\vec{F} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{24}$



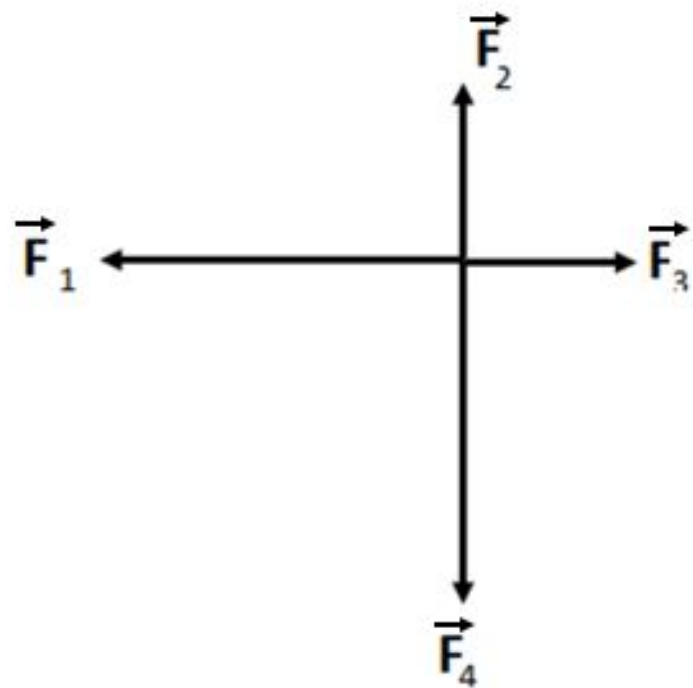
Далее воспользуемся теоремой

Пифагора:

$$x = \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{64 + 36} = \sqrt{100} = 10(\text{H})$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10}{2} = 5 \left( \frac{\text{M}}{\text{c}^2} \right)$$

Ответ:  $5 \frac{\text{M}}{\text{c}^2}$



**Первый закон Ньютона** самим Ньютоном был сформулирован следующим образом: «Всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

Системы отсчета, в которых соблюдается первый закон Ньютона называют **инерциальными**.

**Инерция** (от лат. бездеятельность)—явление сохранения состояния покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие внешних воздействий, а также препятствования изменению скорости (как по модулю, так и по направлению) при наличии внешних воздействий.

**Инертность** - свойство тела сохранять состояние равномерного прямолинейного движения или покоя, когда действующие на него силы отсутствуют или взаимно уравновешены (в механике).



# II закон Ньютона

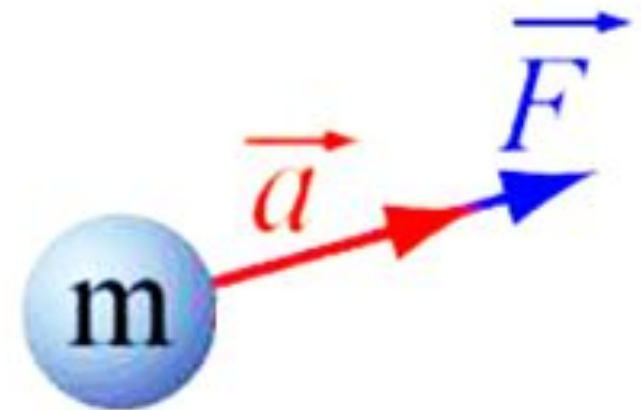
Ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей всех сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально его массе.

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

$\vec{a}$  - ускорение тела,  $\frac{м}{с^2}$ ;

$\vec{F}$  - равнодействующая всех сил, приложенных к телу, Н;

$m$  – масса тела, кг.



**Масса** — физическая величина, отвечающая способности физических тел сохранять своё поступательное движение (инертности) , а также характеризующая количество вещества.

# Задача

Автомобиль массой 3 тонны, двигаясь прямолинейно равноускорено, за 20с уменьшил скорость своего движения от 39 до 21 км/ч. Определите модуль равнодействующей силы, вызвавшей это изменение скорости.

Дано:

$$m = 3 \text{ т}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$v_1 = 39 \text{ км/ч} \quad 10,83 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 21 \text{ км/ч} \quad 5,83 \text{ м/с}$$

$F = ?$

СИ

$$3000 \text{ кг}$$

Решение

$$39 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 39 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10,83 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

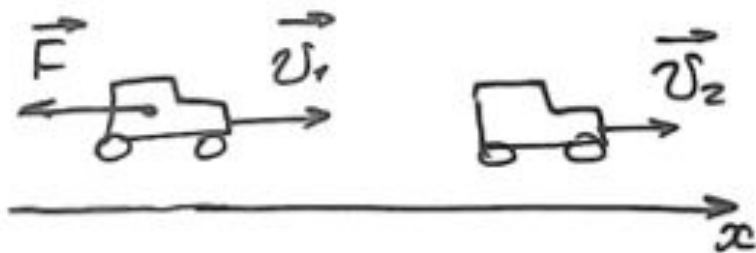
По II закону Ньютона:  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow$

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (1)$$

$$\vec{a} = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad (2)$$

$$(2) \rightarrow (1)$$

$$\vec{F} = m \frac{v_2 - v_1}{t}$$



Введем ось  $x$  чтобы избавиться от знаков векторов

(перейти к скалярной записи):

$$-F = m \frac{v_2 - v_1}{t} \quad | \cdot (-1)$$

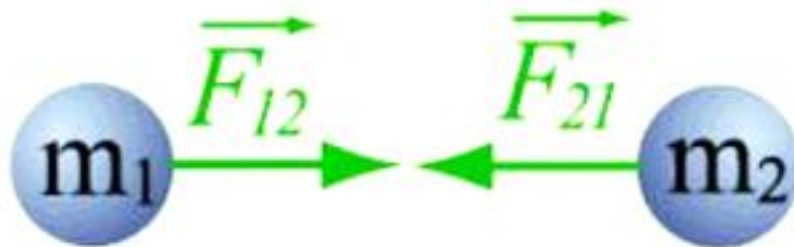
$$F = -m \frac{v_2 - v_1}{t} = -3000 \frac{5,83 - 10,83}{20} = 750 \text{ (Н)}$$

Ответ: 750 Н.

# III закон Ньютона

Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и направленными в противоположные стороны.

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



# Задача

Два бруска массами  $m_1$  и  $m_2$  связаны нитью. Под действием силы  $F=12$  Н бруски скользят по столу без трения. Определите при каком соотношении масс брусков сила натяжения нити равна 3 Н



Дано:

$m_1$

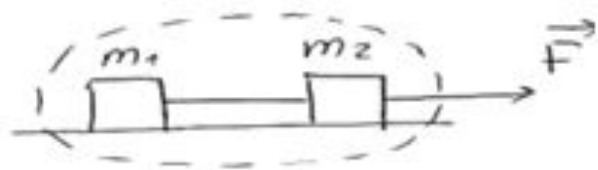
$m_2$

$F = 12 \text{ H}$

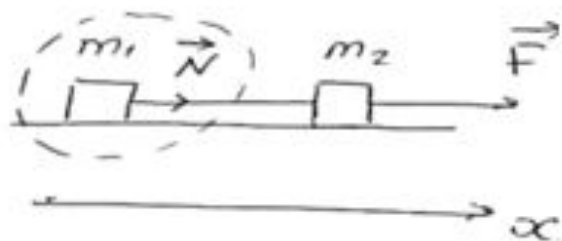
$N = 3 \text{ H}$

$\frac{m_1}{m_2} = ?$

Сл:



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m_1 + m_2}$$



$$\vec{a} = \frac{\vec{N}}{m_1}$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{F}{m_1 + m_2} \\ a &= \frac{N}{m_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{N}{m_1}$$

$$\frac{F}{N} = \frac{m_1 + m_2}{m_1} = \frac{m_1}{m_1} + \frac{m_2}{m_1} = 1 + \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{F}{N} - 1$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{\frac{F}{N} - 1} = \frac{1}{\frac{12}{3} - 1} = \frac{1}{4 - 1} = \frac{1}{3}$$

Ответ:  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{3}$

# Законы Ньютона

**I закон:** Если сумма всех сил, приложенных к телу равна нулю, то тело будет покоиться или двигаться с постоянной скоростью (*справедливо только для инерциальной системы отсчета*):

$$\text{Если } \mathbf{F} = \mathbf{0} \Rightarrow \\ \mathbf{v} = \text{const}$$

**II закон:** Если сумма всех приложенных к телу сил, не равна нулю, то тело будет двигаться с ускорением  $\vec{a}$ , прямо пропорциональным равнодействующей силе  $\vec{F}$  и обратно пропорциональным его массе  $m$ :

$$\text{Если } \mathbf{F} \neq \mathbf{0} \Rightarrow \\ \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

**III закон:** С какой силой первое тело действует на второе, с такой же по модулю, но противоположной по направлению силой второе тело будет действовать на первое:

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



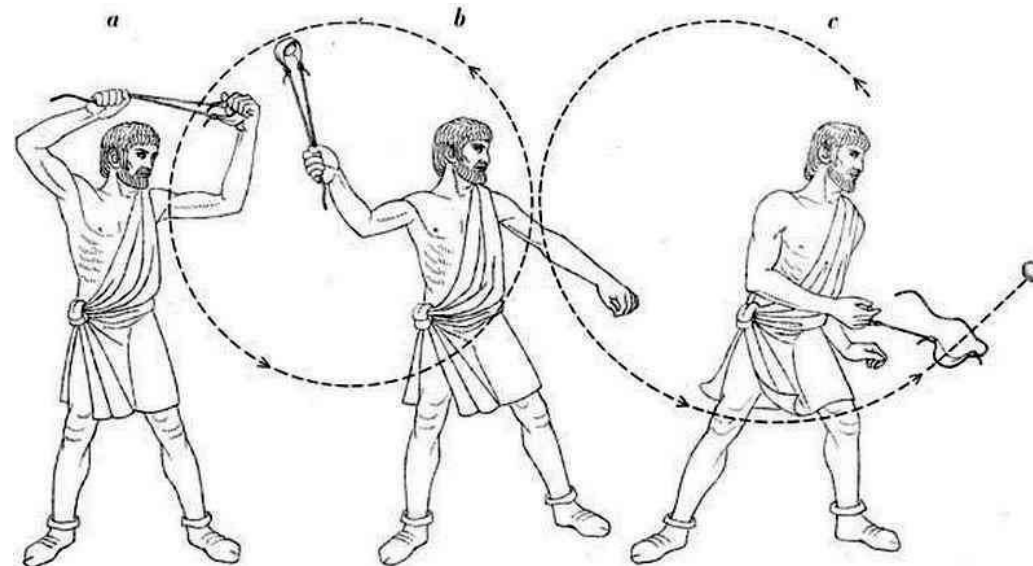
# Основные виды сил:

- Центробежная сила
- Гравитационная сила
- Сила тяжести
- Вес тела
- Сила реакции опоры
- Сила упругости
- Сила трения

# Центробежная сила

Согласно I закону Ньютона, любому физическому телу свойственно сохранять свое состояние покоя либо равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не будет произведено какое-либо воздействие извне.

Центробежная сила – это воздействие, которое оказывает движущееся тело на то, что сковывает свободу его перемещения и заставляет двигаться криволинейно.



Как было сказано ранее в разделе «Кинематика», если тело движется равномерно по окружности, то изменение направления его скорости описывается центростремительным ускорением:

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{R}$$

Причиной этого ускорения является сила, направленная перпендикулярно скорости тела в сторону центра окружности, по которой движется тело. Эту силу называют центростремительной. По II закону Ньютона эта сила должна быть равна:

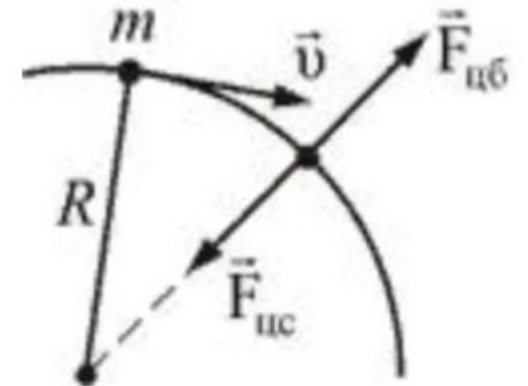
$$F_{\text{цс}} = m \cdot a_{\text{цс}} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

По III закону Ньютона сила действия равна силе противодействия. Значит если мы на тело действуем центростремительной силой, то тело будет противодействовать силой равной по модулю, но противоположной по направлению – центробежной силой:

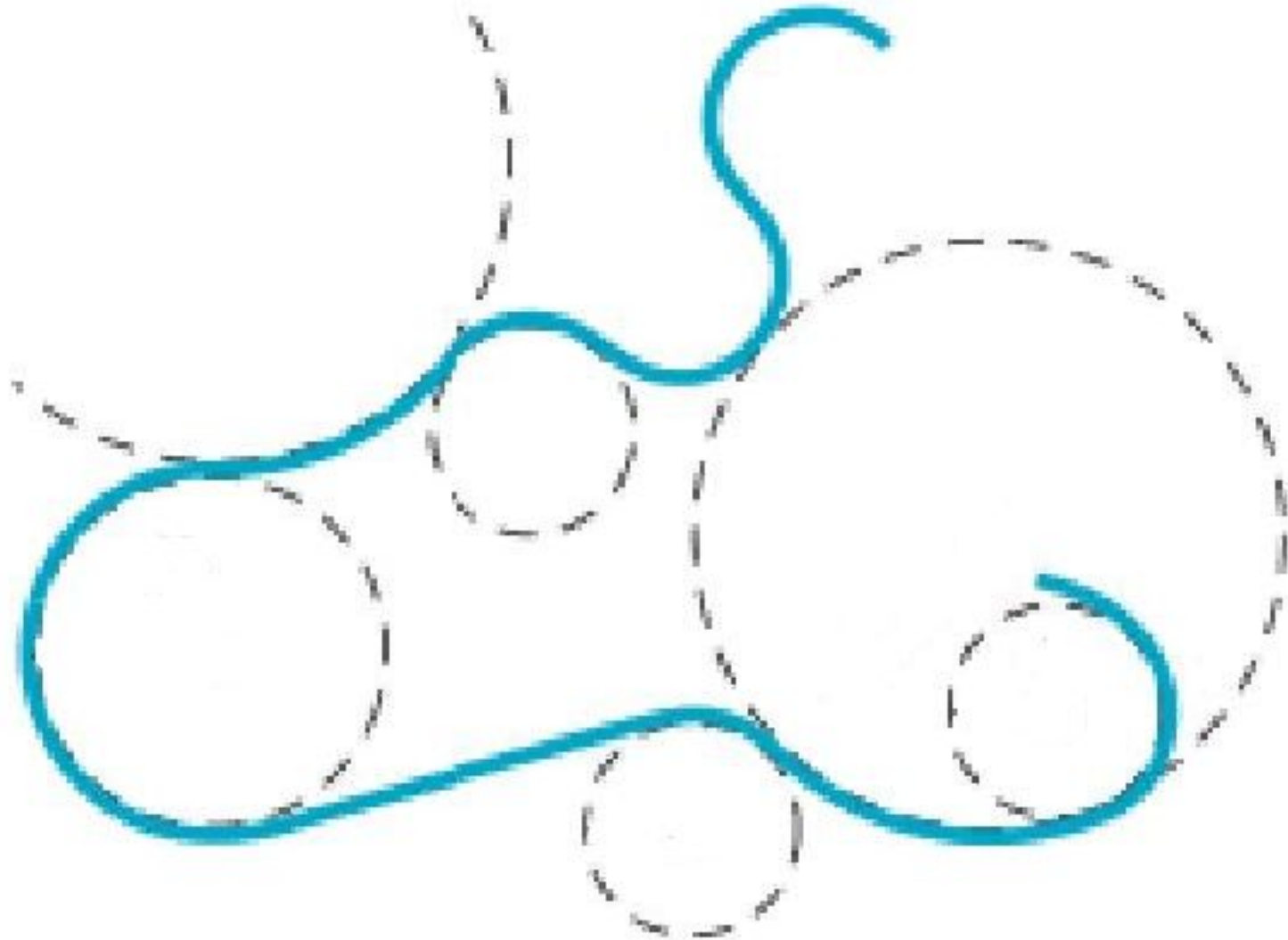
$$\vec{F}_{\text{цс}} = -\vec{F}_{\text{цб}}$$

Значит центробежная сила по модулю равна:

$$F_{\text{цб}} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

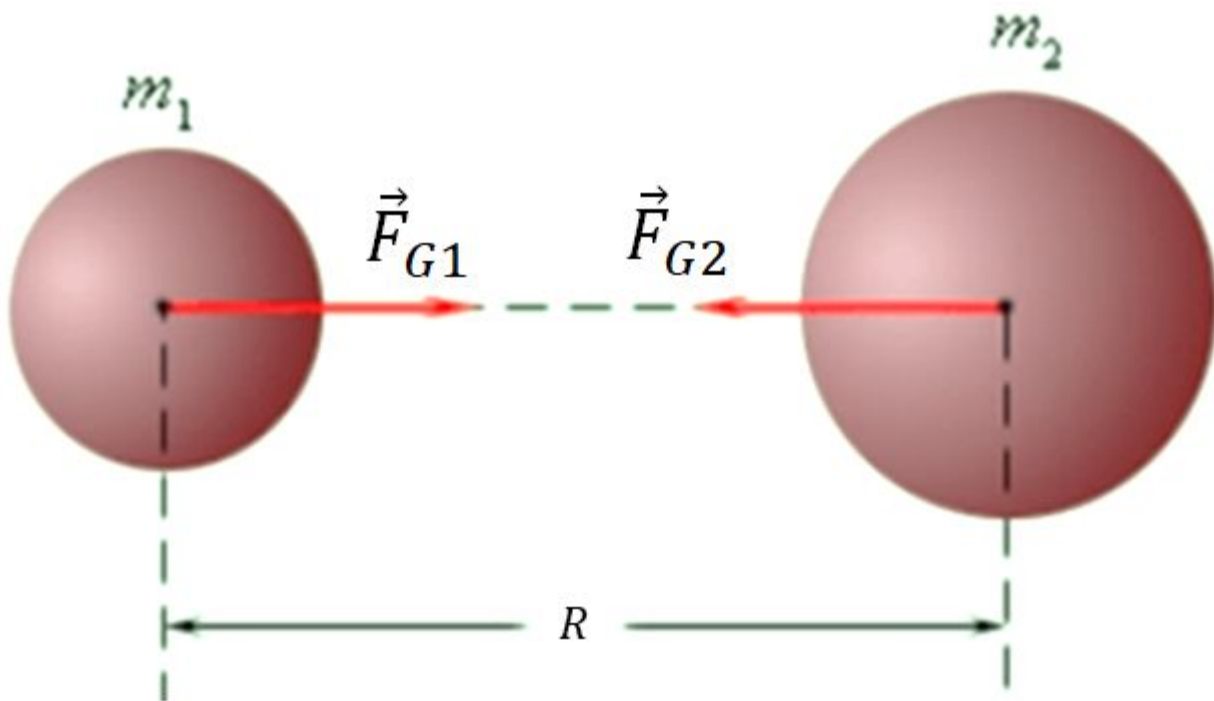


Любое криволинейное движение можно представить как совокупность движений по окружности, следовательно на такое тело будут действовать центробежные силы.



## Закон всемирного тяготения.

Любые две материальные частицы притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. (Исаак Ньютон в 1687 г.)



$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

$F_G$  – сила гравитационного взаимодействия, Н;

$m_1$  и  $m_2$  – массы тел, кг;

$R$  – расстояние между телами (центрами тел), м;

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

# Задача

Расстояние между двумя банками с водой массой по 1 кг составляет несколько метров. Из одной банки перелили в другую 0,5 кг воды и поставили банки на те же места. Определите, во сколько раз изменилась сила гравитационного взаимодействия между банками.

# Задача

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1 \text{ кг}$$

$$m_1' = 0,5 \text{ кг}$$

$$m_2' = 1,5 \text{ кг}$$

$$R = R'$$

$$\frac{F'}{F} = ?$$

СИ

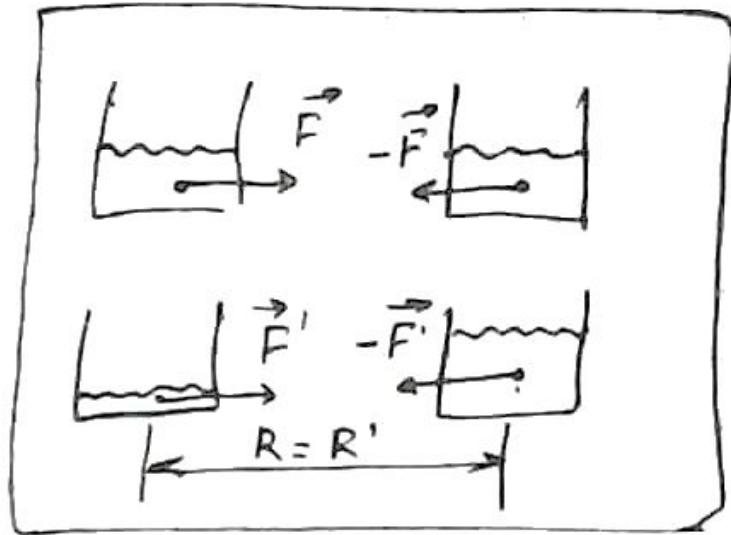
Решение:

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

$$F' = G \frac{m_1' \cdot m_2'}{(R')^2}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{G \frac{m_1' \cdot m_2'}{R'^2}}{G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}} = \frac{m_1' \cdot m_2'}{m_1 \cdot m_2} = \frac{0,5 \cdot 1,5}{1 \cdot 1} =$$

$$= 0,75$$



Ответ: сила притяжения уменьшится на 25%.

**Первая космическая скорость** — минимальная скорость, которую необходимо придать объекту, чтобы он начал совершать движение по круговой орбите вокруг планеты.

$$F_G = F_{цб}$$

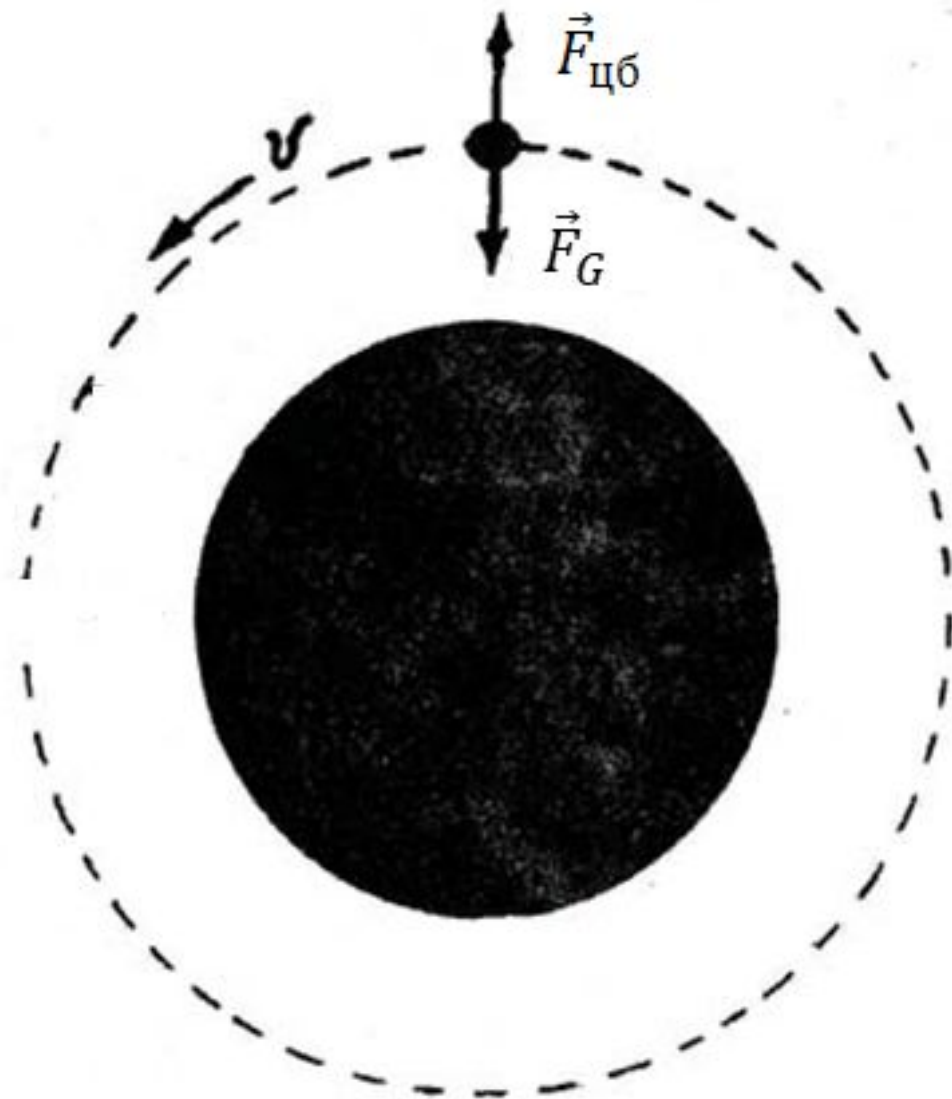
$$G \cdot \frac{M_3 \cdot m}{R^2} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M_3}{R_3}} \approx 7.91 \left( \frac{\text{км}}{\text{с}} \right)$$

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

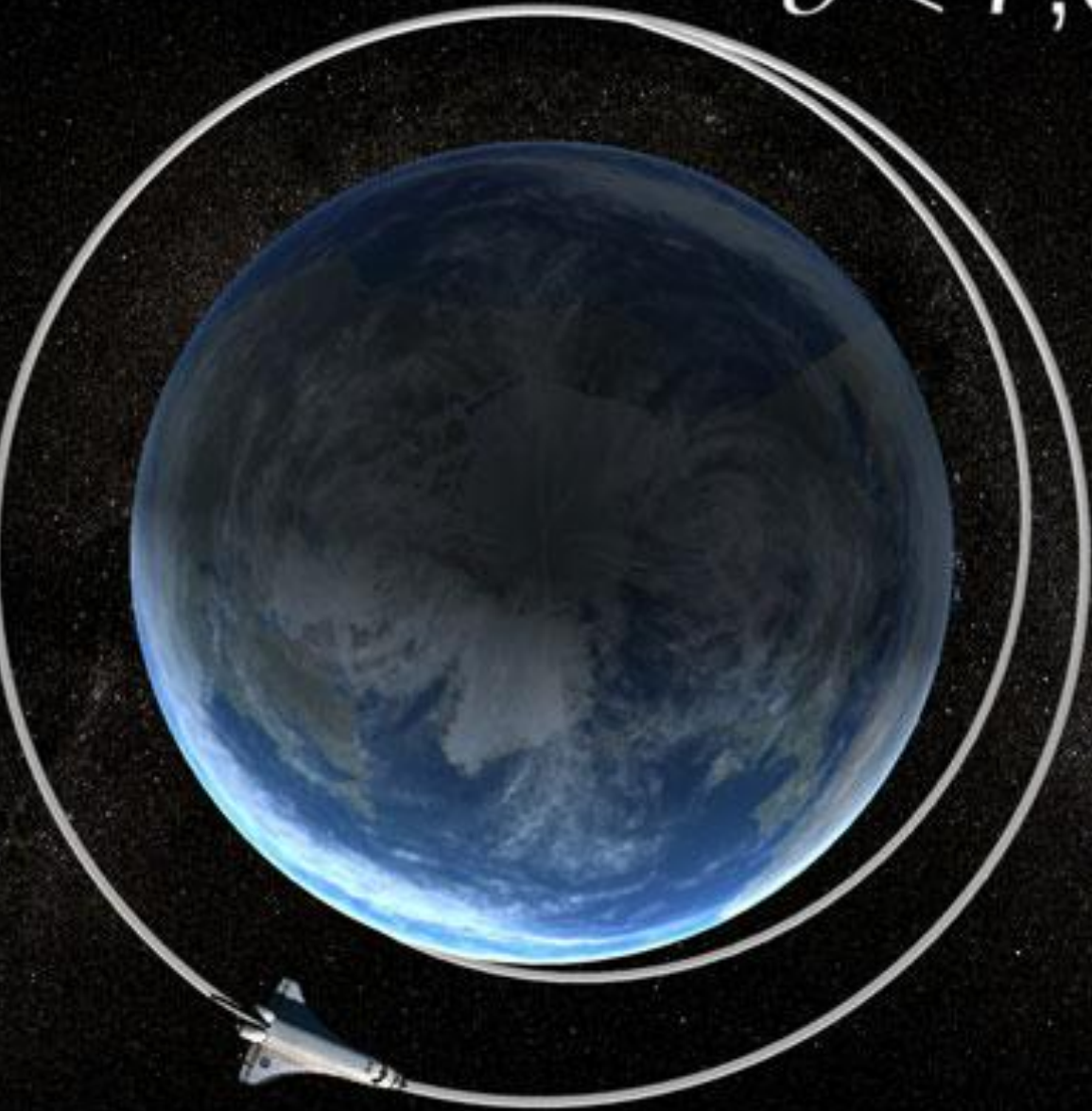
$$M_3 = 5.97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$$R_3 \approx 6.37 \cdot 10^6 \text{ м (в среднем)}$$





$$v < 7,9 \text{ Км/с}$$



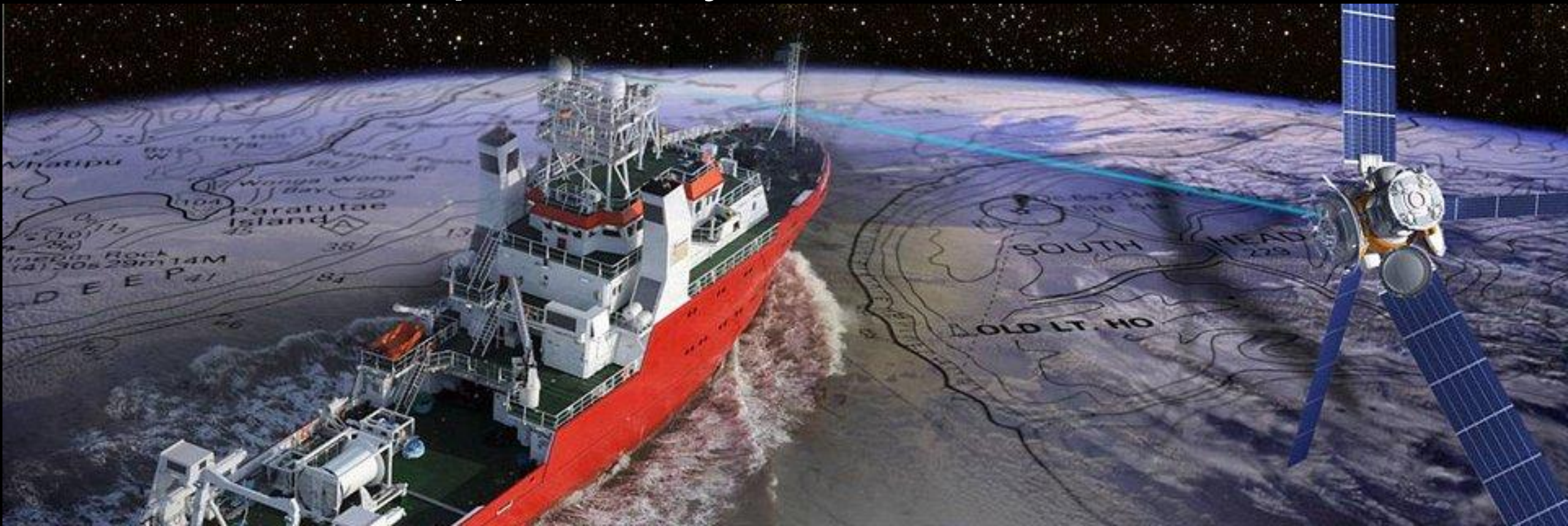
Вращаясь со скоростью  $7.91 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  у поверхности Земли объект будет делать один оборот за время равное:

$$T = \frac{l}{v} = \frac{2\pi R_3}{v} \approx 88 \text{ (МИН)}$$

# Задача

Высота орбиты спутника ГЛОНАСС 19100 км,  
период обращения 11 часов 15 минут 44  
секунды.

Найдите скорость спутника.



Дано:

$$T = 112 \text{ 15 м 44 с}$$

$$h = 19100 \text{ км}$$

$$R_3 = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$v = ?$

И:

$$40544 \text{ с}$$

$$19100 \cdot 10^3 \text{ м}$$

Решение:

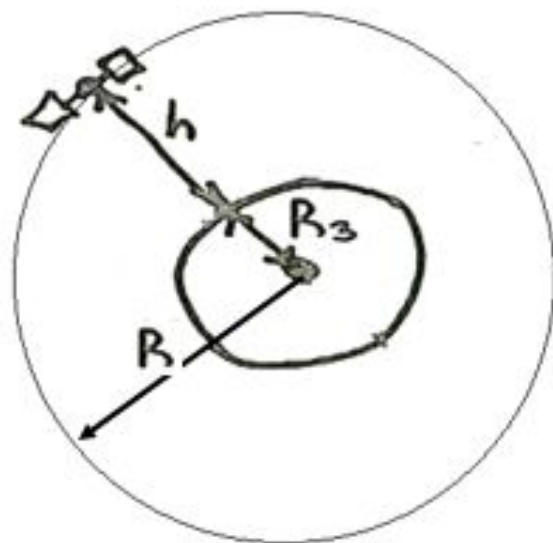
$$v = \frac{S}{t} = \frac{2\pi R}{T} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14 (R_3 + h)}{T} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14 (6,37 \cdot 10^6 + 19,1 \cdot 10^6)}{40544} =$$

$$= 3945 \text{ (м/с)}$$

Ответ: 3945 м/с или 3,9 км/с.



# Задача

Масса Луны  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг,  
радиус Луны 1737 км.  
Вычислите первую  
космическую скорость  
для Луны.



Дано:

CU

$$m_{\Lambda} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$$

$$R_{\Lambda} = 1737 \text{ км}$$

$v = ?$

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

$$1737 \cdot 10^3 \text{ м}$$

Решение.

$$F_{\text{г}} = G \frac{m_{\Lambda} \cdot m}{R_{\Lambda}^2} = m \frac{v^2}{R_{\Lambda}}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot m_{\Lambda}}{R_{\Lambda}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 7,35 \cdot 10^{22}}{1737 \cdot 10^3}} =$$

$$\approx 1680 \text{ м/с}$$

Ответ: 1680 м/с.

Скорость, которую нужно сообщить телу при запуске с поверхности Земли, чтобы оно вышло из сферы земного притяжения, называется **второй космической скоростью**.

$$V_2 = 11,2 \text{ км/с.}$$





Скорость, которую нужно сообщить телу при запуске с поверхности Земли, чтобы оно покинуло пределы Солнечной системы, называется **третьей космической скоростью.**

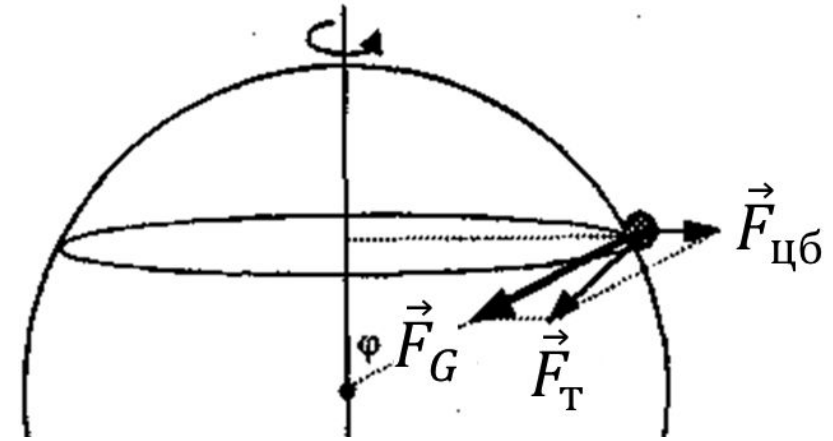
При запуске в направлении движения Земли

$$V_3 = 12 \text{ км/с.}$$

# Сила тяжести

**Сила тяжести** — сила, действующая на любое тело, находящееся на поверхности планеты или другого астрономического тела. Сила тяжести складывается из силы гравитационного притяжения и центробежной силы инерции, вызванной суточным вращением планеты (если планета вращается).

$$\vec{F}_T = \vec{F}_G + \vec{F}_{цб}$$





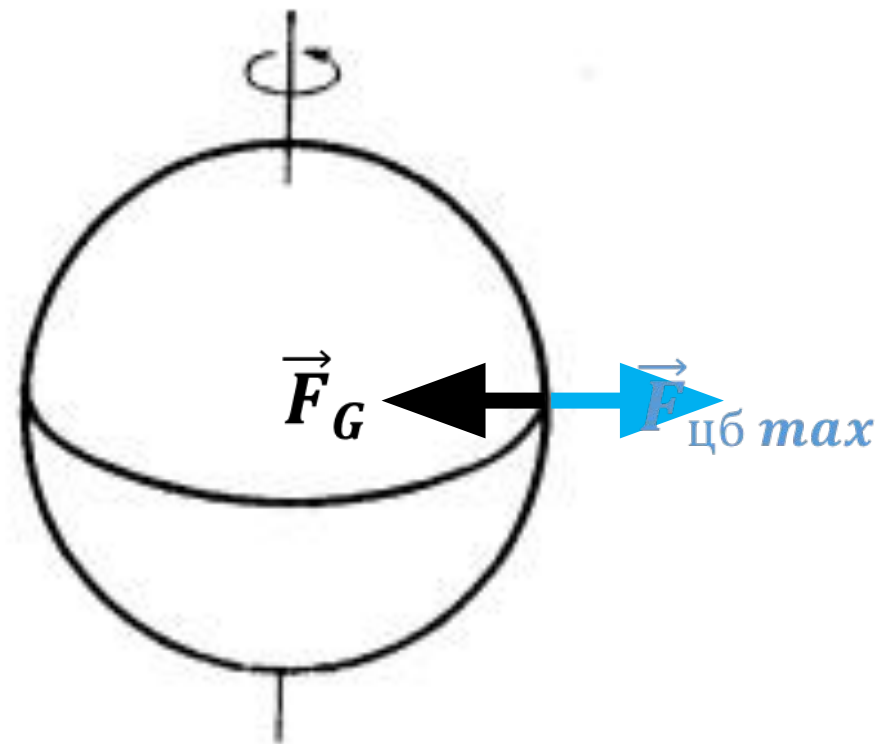
$$\mathbf{F}_{T \min} = \mathbf{F}_G - \mathbf{F}_{\text{цб max}}$$

$$F_G = G \cdot \frac{M_3 \cdot m}{R_3^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \cdot m}{(6,37 \cdot 10^6)^2} \approx \mathbf{9,813 \cdot m}$$

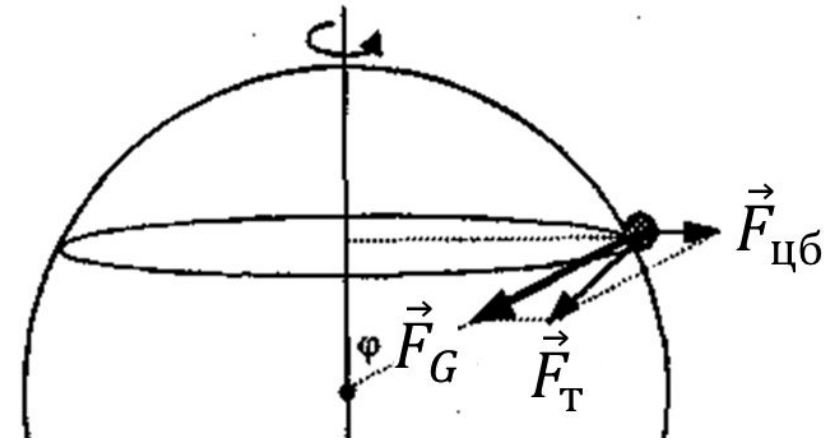
$$\begin{aligned} F_{\text{цб max}} &= m \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{R_{\text{max}}} = m \cdot \frac{(\omega R_{\text{max}})^2}{R_{\text{max}}} = m \cdot \omega^2 R_{\text{max}} = \\ &= m \cdot \omega^2 R_3 = m \cdot (7,3 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 6,37 \cdot 10^6 \approx \mathbf{0,034 \cdot m} \end{aligned}$$

*Примечание:  $\omega$  – угловая скорость суточного вращения планеты Земля*

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi \text{ радиан}}{24 \text{ часа}} = \frac{2 \cdot 3,14 \text{ радиан}}{24 \cdot 3600 \text{ секунд}} \\ &= 7,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{радиан}}{\text{с}} \end{aligned}$$



# Сила тяжести



Для планеты Земля центробежная сила инерции пренебрежимо мала.

$$\vec{F}_T = \vec{F}_G + \vec{F}_{цб} \approx \vec{F}_G = m \cdot \underbrace{G \frac{M_3}{R_3^2}}_{g \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = mg$$

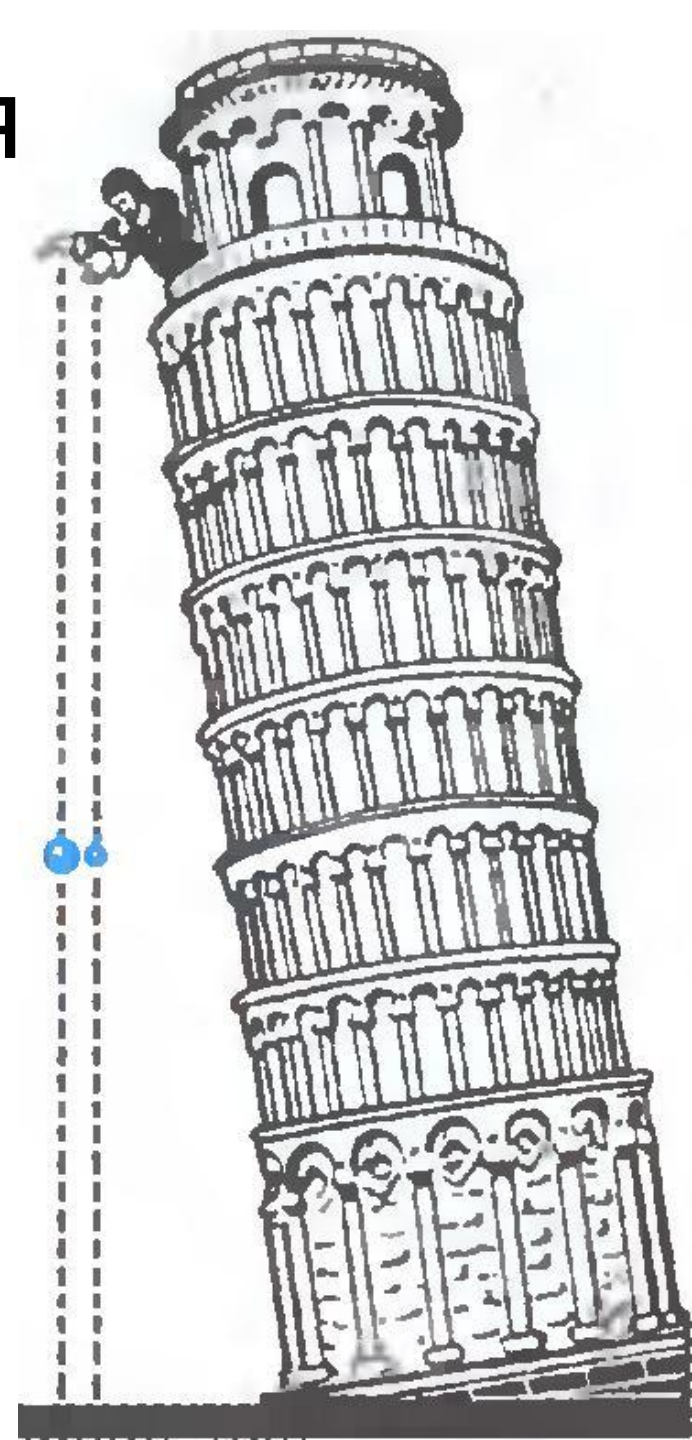
# Ускорение свободного падения

По второму закону Ньютона:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_T}{m} \Rightarrow a = \frac{F_T}{m} = \frac{G \cdot \frac{M_3 \cdot m}{R_3^2}}{m} = G \cdot \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9.8 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  - ускорение свободного падения у поверхности Земли.

В 1589 году Галилео Галилей экспериментально показал, что все тела при свободном падении движутся с одинаковым ускорением.



# Задача

Определите ускорение свободного падения на поверхности Луны. Масса Луны  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг, радиус Луны 1737 км. Что покажут земные пружинные весы, на которые встанет человек массой 80 кг?



Дано:	СЧ
$m_{\Lambda} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$	
$R_{\Lambda} = 1737 \text{ км}$	$1737 \cdot 10^3 \text{ м}$
$g_{\Lambda} = ?$	

$$F = G \frac{m_{\Lambda} \cdot m}{R_{\Lambda}^2} = g_{\Lambda}$$

$$g_{\Lambda} = G \frac{m_{\Lambda}}{R_{\Lambda}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{7,35 \cdot 10^{22}}{(1737 \cdot 10^3)^2} =$$

$$= 16,2 \cdot 10^{-1} \approx 1,6 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

$$\frac{g_{\Lambda}}{g} = \frac{1,6}{9,8} \approx 0,16$$

Показание земных  
весов  
на Луне составляет  
16% от их показаний  
на земле

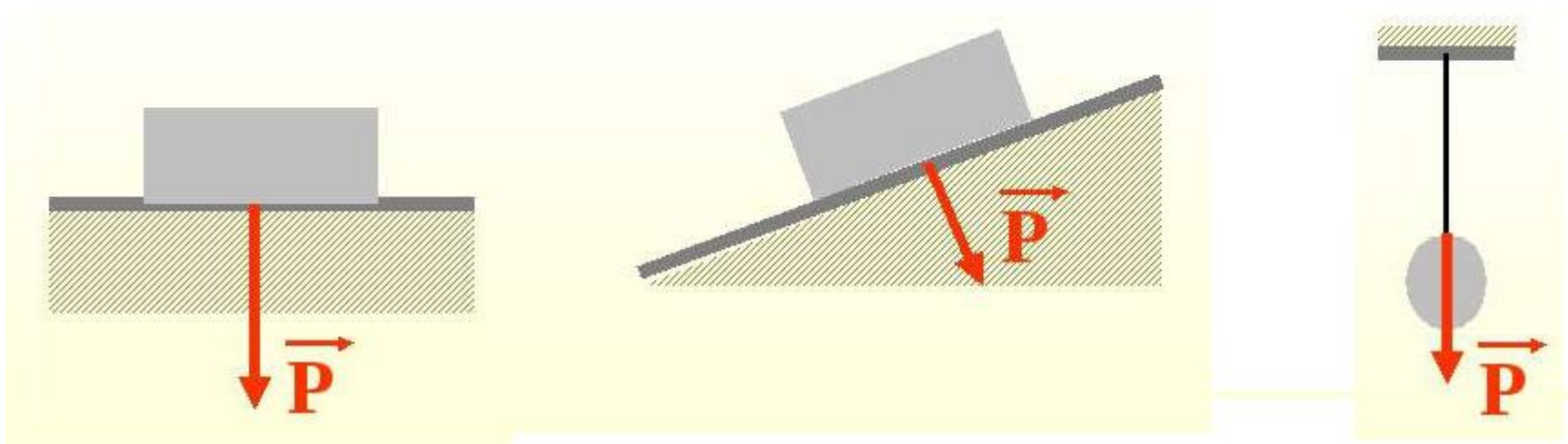
$$80 \text{ кг} \cdot 0,16 = \underline{12,8 \text{ кг}}$$

# Вес тела, $\vec{P}$

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

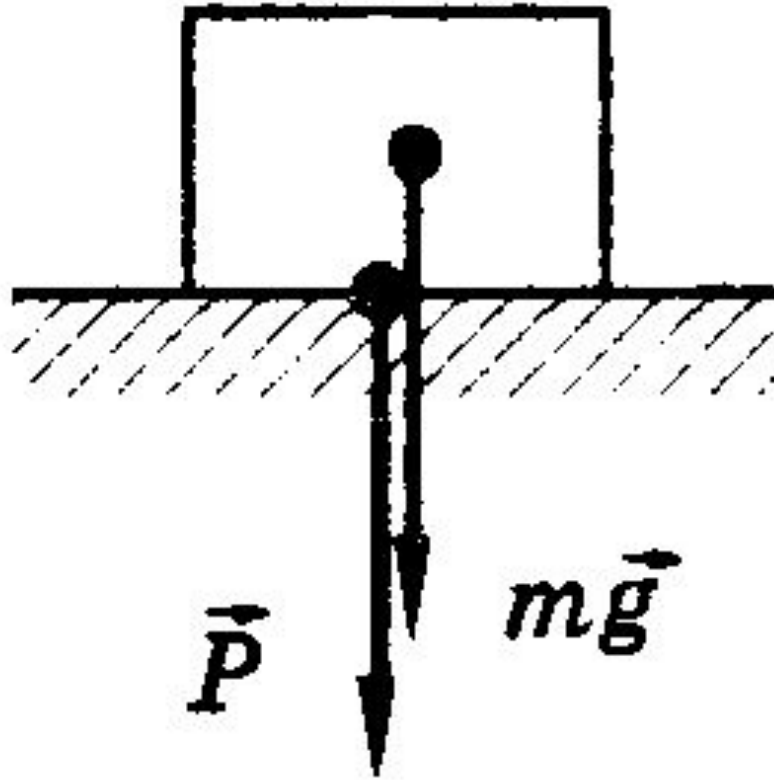
$$[P] = \text{ньютон, Н}$$

Вес всегда направлен перпендикулярно опоре или подвесу. Точка приложения вектора веса рисуется на линии соприкосновения тела и опоры или в месте крепления тела к подвесу.



Если тело и опора неподвижны относительно земли, то вес покоящегося на опоре тела равен силе тяжести:

$$\vec{P} = \vec{F}_T = m \cdot \vec{g}$$



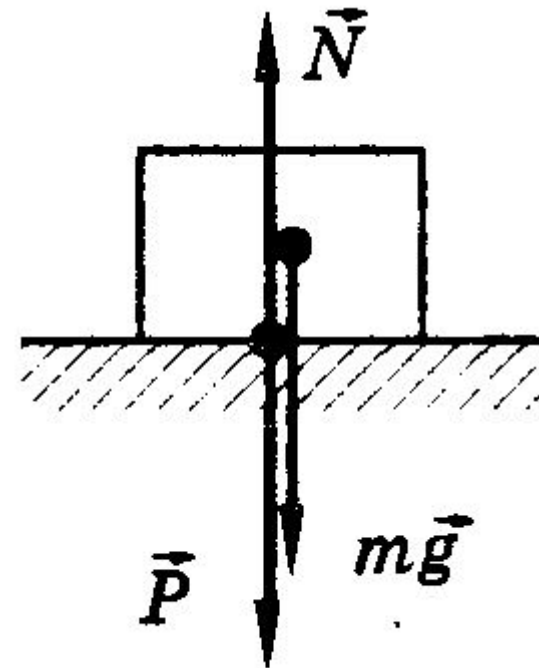
# Сила реакции опоры, $\vec{N}$

По III закону Ньютона сила действия равна силе противодействия. Силу противодействия весу называют силой реакции опоры.

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

$$[N] = \text{Ньютон}$$

Сила реакции опоры всегда направлен перпендикулярно опоре или подвесу. Точка приложения вектора силы реакции опоры рисуется на линии соприкосновения тела и опоры или в месте крепления тела к подвесу.





# Задача

Автомобиль движется со скоростью 54 км/ч по выпуклому мосту с радиусом кривизны 100 м. Определите вес автомобиля в верхней точке. Масса автомобиля 800 кг.

Дано:

LU

$$v = 54 \text{ км/ч}$$

$$15 \text{ м/с}$$

$$R = 100 \text{ м}$$

$$m = 800 \text{ кг}$$

$$P = ?$$

Решение:

$$\vec{N} + \vec{F}_{ц.с} + m\vec{g} = \vec{0} \quad (1)$$

$$\vec{P} = -\vec{N} \quad (2)$$

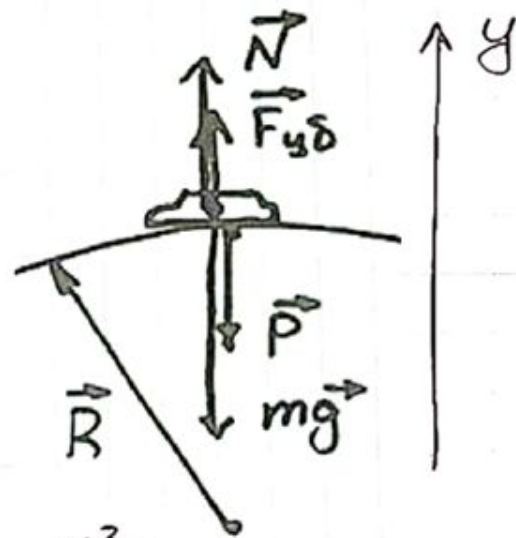
Запишем проекцию на ось  $y$ :

$$\begin{cases} N + F_{ц.с} - mg = 0 \\ -P = -N \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = mg - F_{ц.с} = mg - m \cdot a_{ц.с} = mg - m \frac{v^2}{R} \\ P = N \end{cases}$$

$$P = mg - m \frac{v^2}{R} = m \left( g - \frac{v^2}{R} \right) = 800 \left( 10 - \frac{15^2}{100} \right) = 6200 \text{ (Н)}$$

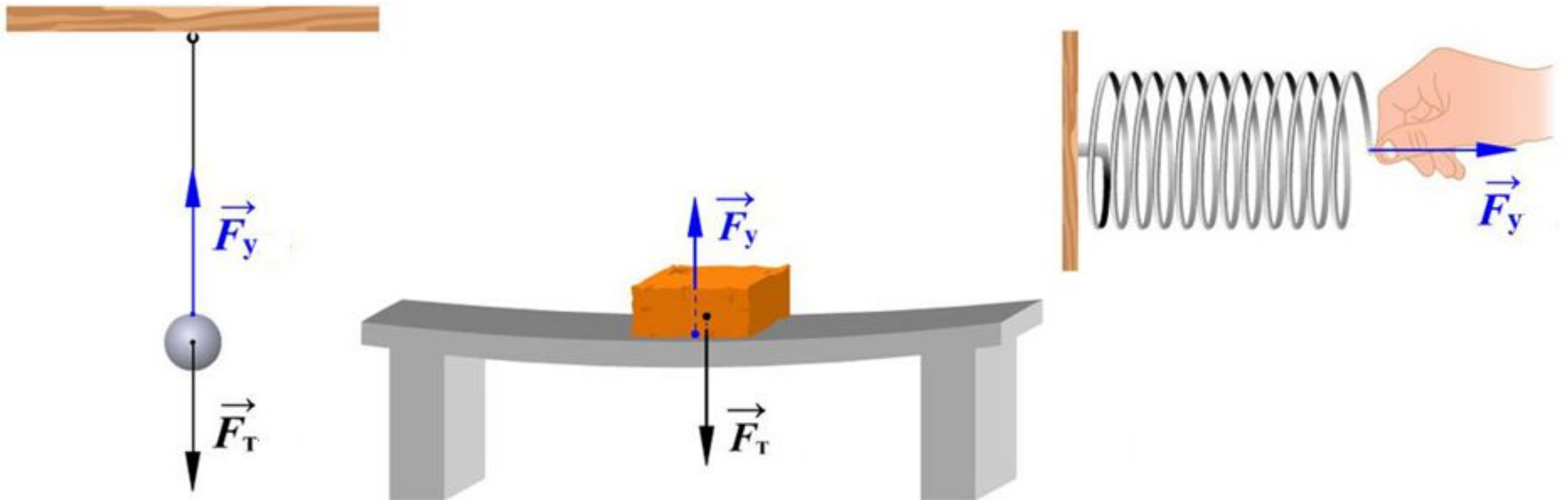
Ответ: 6200 Н.



# Сила упругости

Силы реакции опоры (и силы натяжения нитей) по своей природе являются силами упругости.

Силы упругости – это силы, возникающие при упругой деформации тел. Эти силы стремятся вернуть тело в первоначальное состояние.



# Закон Гука для силы упругости

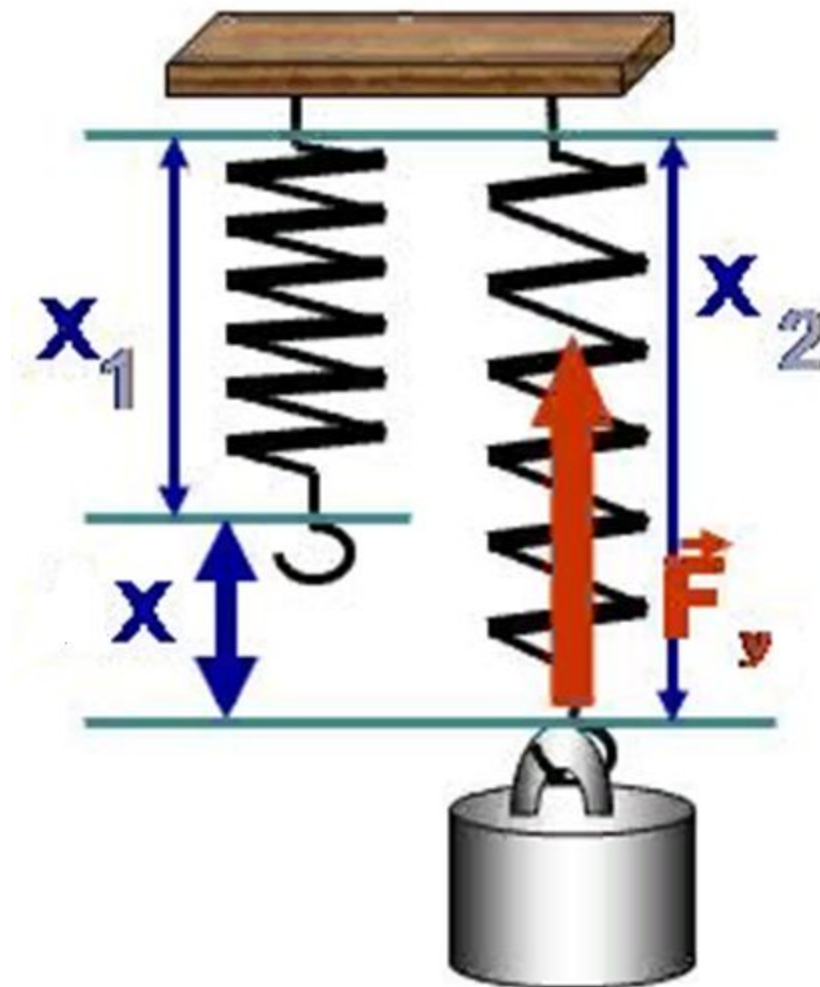
По модулю эти силы пропорциональны изменению длины тела (деформации).

$$F_y = -k \cdot x$$

$F_y$  - сила упругости, Ньютон (Н);

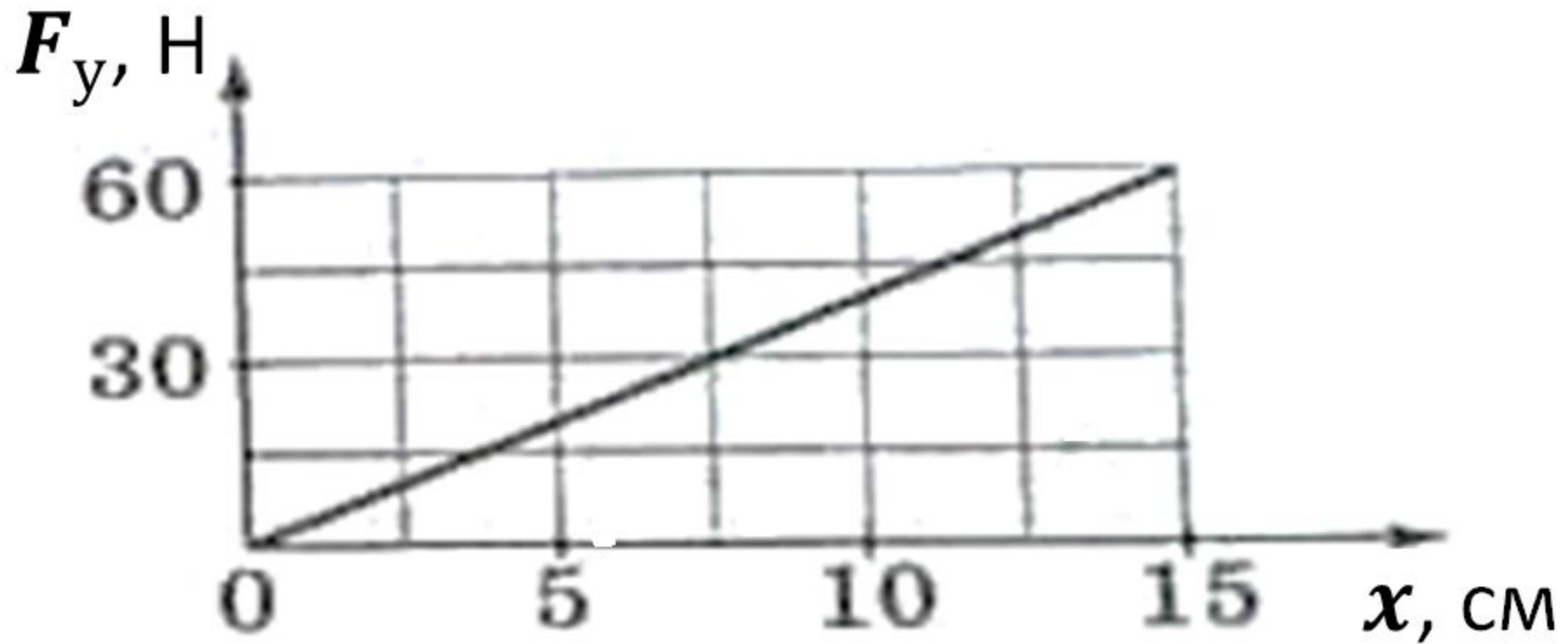
$k$  - жесткость пружины,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;

$x$  - удлинение пружины, м.



# Задача

Определите жесткость пружины по графику зависимости модуля силы упругости  $F_y$  от удлинения  $x$  пружины.



Дано:	СИ:
$F_y = 60 \text{ Н}$	
$x = 15 \text{ см}$	$0,15 \text{ м}$
<hr/>	
$K - ?$	

Решение:

$$F = kx \Rightarrow k = \frac{F}{x} = \frac{60}{0,15} = 400 \text{ (Н/м)}$$

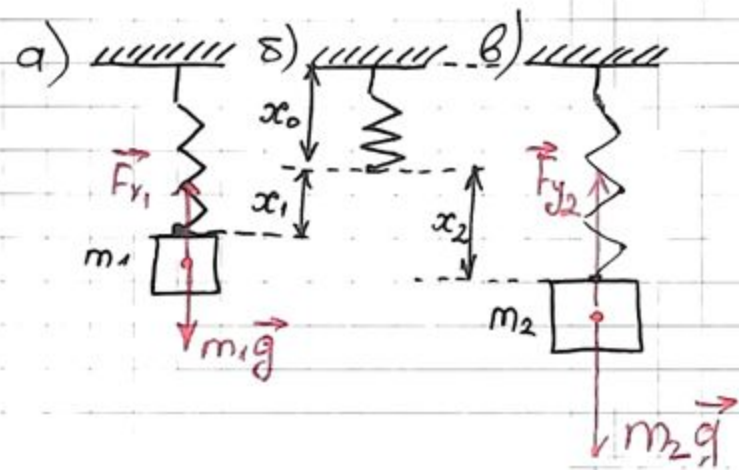
Ответ: 400 Н/м.

# Задача

Когда масса подвешенных к пружине грузов равна 150 г, длина пружины составляет 7 см. Определите длину пружины после увеличения общей массы грузов до 350 г, если жесткость пружины 50 Н/м.

Дано:	ЕЦ
$m_1 = 150 \text{ г}$	$0,150 \text{ кг}$
$x_0 + x_1 = 7 \text{ см}$	$0,07 \text{ м}$
$m_2 = 350 \text{ г}$	$0,350 \text{ кг}$
$K = 50 \text{ Н/м}$	
$x_0 + x_2 = ?$	

Решение.



Для положения а):

$$F_{y1} = m_1 g$$

$$F_{y1} = K x_1$$

$$x_1 + x_0 = 0,07 \Rightarrow x_1 = 0,07 - x_0$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow K(0,07 - x_0) = m_1 g \Rightarrow$$

$$x_0 = 0,07 - \frac{m_1 g}{K}$$

$$= 0,07 - \frac{0,15 \cdot 10}{50} = 0,04 \text{ (м)}$$

Для положения б):

$$F_{y2} = m_2 g$$

$$F_{y2} = K x_2$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} m_2 g = K x_2 \Rightarrow x_2 = \frac{m_2 g}{K} = \frac{0,35 \cdot 10}{50} = 0,07$$

$$x_0 + x_2 = 0,04 + 0,07 = 0,11 \text{ (м)}$$

Ответ: 11 см.



# Вес тела, размещенного на опоре, движущейся с ускорением.

Пусть лифт начал двигаться вверх или вниз с некоторым ускорением  $\vec{a}$ . Тогда тело вместе с лифтом будет двигаться с ускорением  $\vec{a}$ . По второму закону Ньютона:

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

По III закону Ньютона

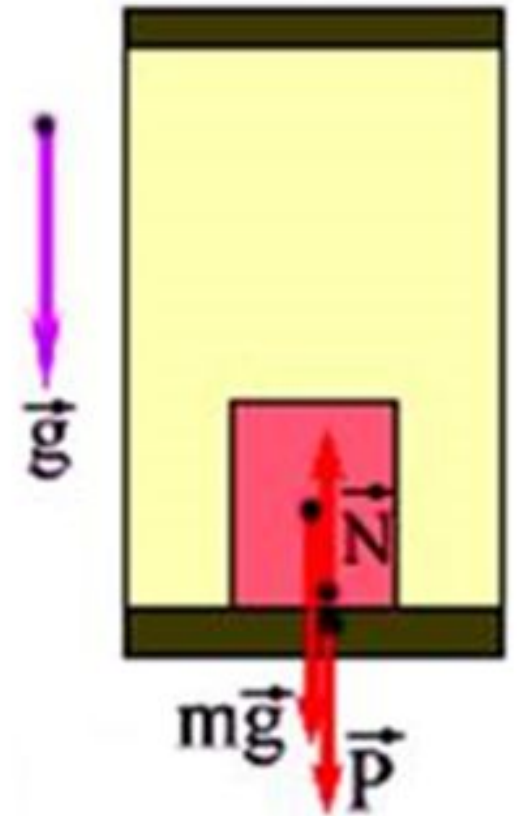
$$\vec{N} = -\vec{P},$$

тогда:

$$m\vec{a} = m\vec{g} - \vec{P}$$

Выразим вес тела:

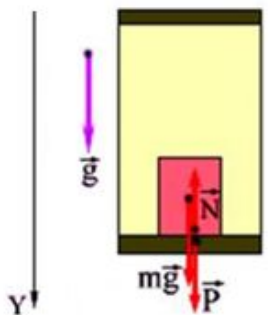
$$\vec{P} = m\vec{g} - m\vec{a} = m(\vec{g} - \vec{a})$$



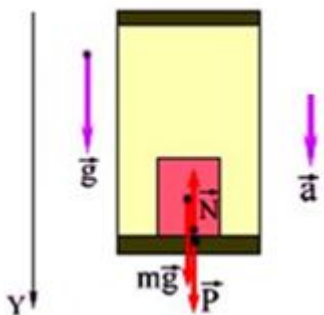
$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$$

Ведем ось  $Y$ , направленную вниз, чтобы записать данное выражение в скалярном виде.

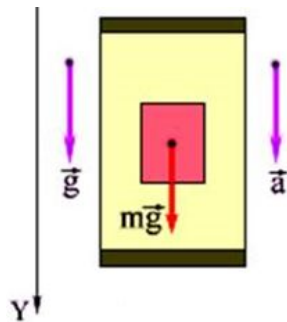
Если лифт покоится  
( $a = 0$ ):  
 $P = m(g - 0) = mg$



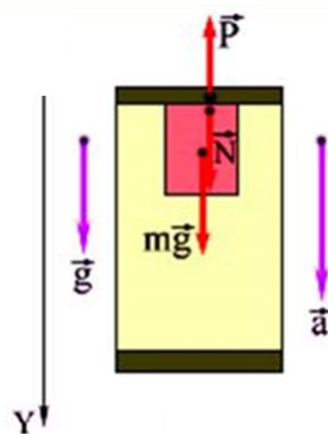
Если лифт движется вниз с ускорением  
 $a < g$   
 $P = m(g - a)$   
 $0 < P < mg$



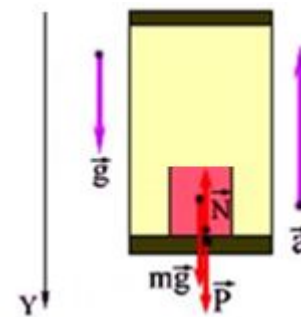
Если лифт движется вниз с ускорением  
 $a = g$   
 $P = m(g - a)$   
 $= m(g - g)$   
 $= m \cdot 0 = 0$



Если лифт движется вниз с ускорением  $a > g$   
 $P = m(g - a) < 0$



Если лифт движется вверх с ускорением  $a$   
 $P = m(g - (-a))$   
 $= m(g + a) > mg$



# Задача

Ракета поднимается вертикально вверх, модуль ускорения ее движения равен  $3g$ . Определите вес тела массой  $m$ , находящегося в ракете.

Дано:

СИ

Решение

$$a = 3g$$

$m$

$$p = ?$$

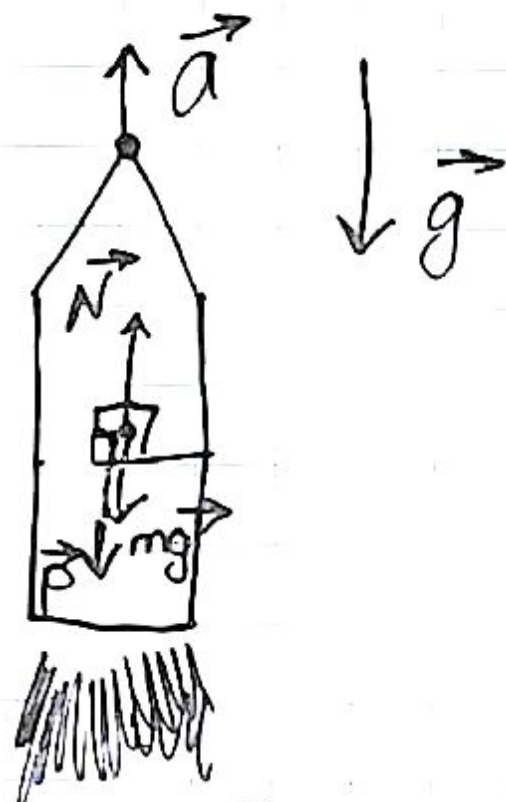
По II закону

Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g} \quad (1)$$

$$\vec{p} = -\vec{N} \quad (2)$$

$y$



Запишем проекции на ось  $y$ :

$$ma = N - mg \Rightarrow N = ma + mg = m(g + a)$$

$$-p = -N \Rightarrow p = N$$

$$p = m(g + a) = m(g + 3g) = 4mg$$

# Задача

Определите вес человека массой 50 кг, взвешивающегося в лифте, опускающемся вертикально вниз с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$

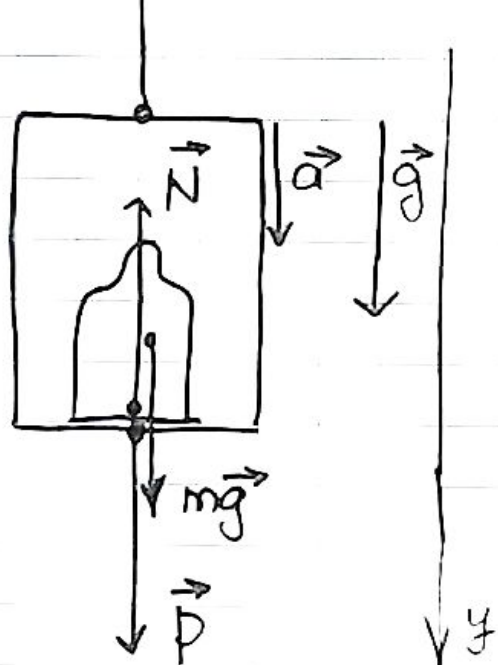
Дано:  
 $\vec{a} \parallel \vec{g}$

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$a = 3 \text{ м/с}^2$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$P = ?$



По II закону Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} \quad (1)$$

По III закону Ньютона:

$$\vec{P} = -\vec{N} \quad (2)$$

Введем ось, направленную вниз и запишем уравнения (1) и (2) в скалярном виде:

$$ma = mg - N \quad (3) \Rightarrow N = mg - ma = m(g - a)$$

$$P = -(-N) = N \quad (4) \Rightarrow P = m(g - a)$$

$$P = 50(10 - 3) = 350 \text{ (Н)}$$

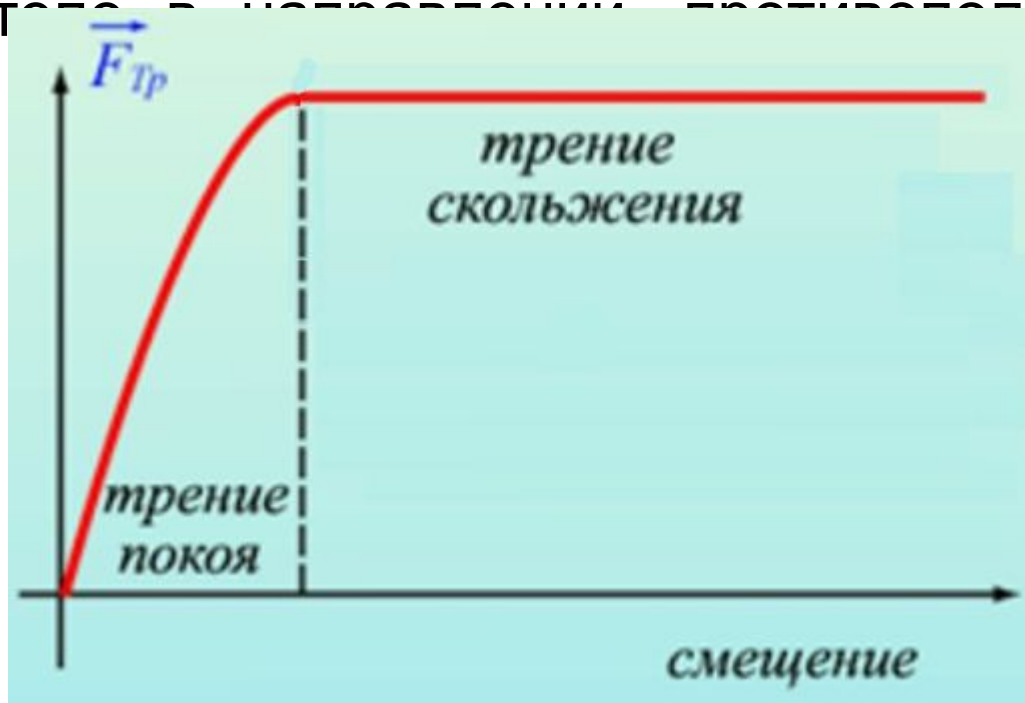
Т.к. весы отградуированы в килограммах, они покажут 35 кг.

# Сила трения

**Сила трения** — это **сила**, возникающая при соприкосновении двух тел и препятствующая их относительному движению. Причиной возникновения **трения** является шероховатость трущихся поверхностей и взаимодействие молекул этих поверхностей.

**Трение покоя** — сила, возникающая между двумя контактирующими телами и препятствующая возникновению относительного движения. Эту силу необходимо преодолеть для того, чтобы привести два контактирующих тела в движение друг относительно друга. Возникает при микросмещениях (например, при деформации) контактирующих тел. Она действует в направлении, противоположном направлению возможного относительного движения.

**Трение скольжения** — сила, возникающая при поступательном перемещении одного из контактирующих/взаимодействующих тел относительно другого и действующая на это тело в направлении, противоположном направлению скольжения.





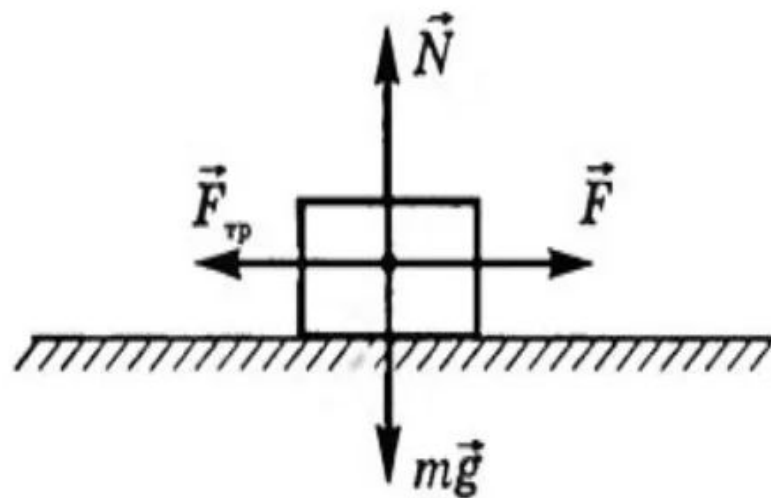
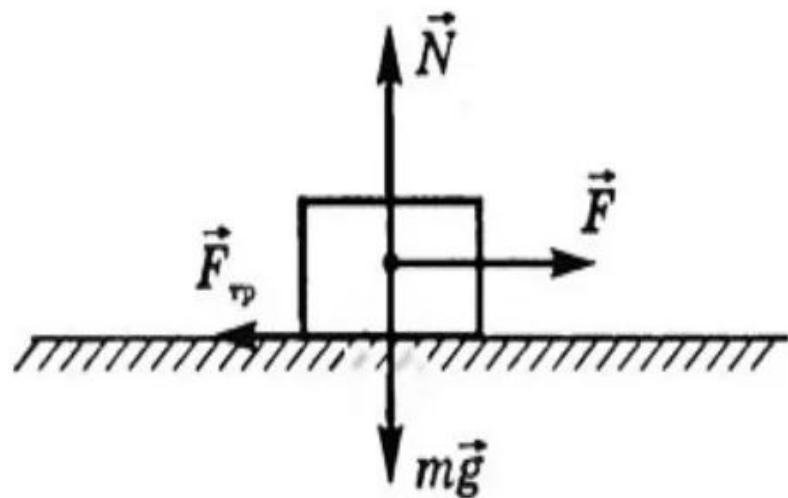
# Сила трения скольжения

- $$|\vec{F}_{\text{тр}}| = \mu \cdot |\vec{N}|$$

$\vec{F}_{\text{тр}}$  - сила трения скольжения, Ньютон (Н);

$\mu$  – коэффициент трения, безразмерная величина;

$\vec{N}$  - сила реакции опоры, Ньютон.



# Задача

Чтобы сдвинуть с места пустой ящик массой 14 кг, необходимо приложить к нему горизонтальную силу 24 Н. Определите, какая горизонтальная сила сдвинет с места этот ящик, когда в нем будут находиться вещи массой 28 кг.

Dano:

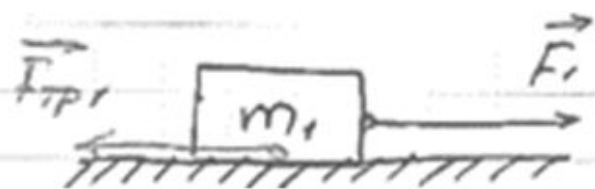
$$m_1 = 14 \text{ k2}$$

$$F_1 = 24 \text{ H}$$

$$\Delta m = 28 \text{ k2}$$

$$F_2 = ?$$

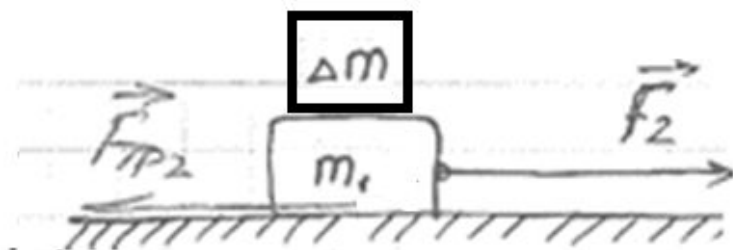
CU



$$F_1 = F_{\text{тр}1}$$

$$F_1 = \mu m_1 g$$

$$\mu = \frac{F_1}{m_1 g}$$



$$F_2 = F_{\text{тр}2}$$

$$F_2 = \mu (m_1 + \Delta m) g$$

$$F_2 = \frac{F_1}{m_1 g} (m_1 + \Delta m) g =$$

$$= F_1 \frac{m_1 + \Delta m}{m_1} =$$

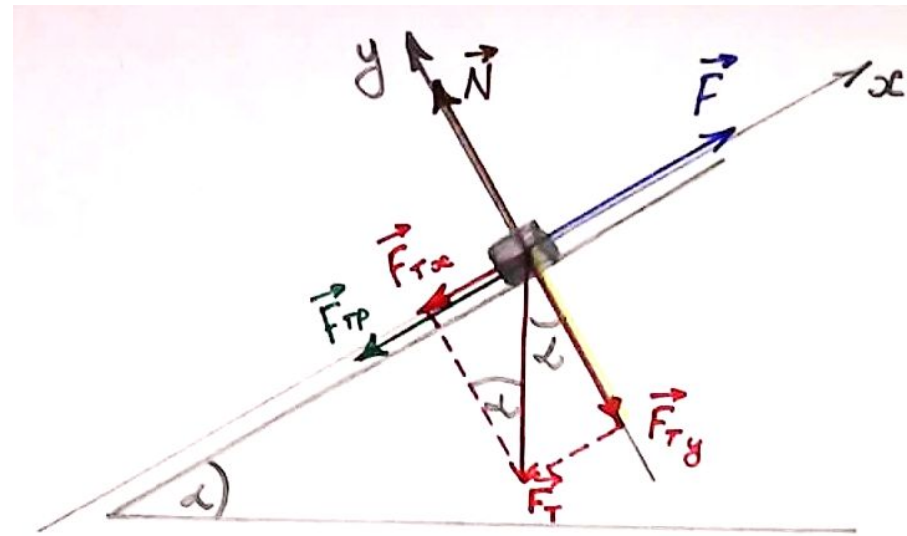
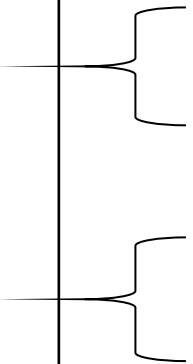
$$= 24 \cdot \frac{14 + 28}{14} = 72 \text{ (H)}$$

Ответ: 72 H.

# Задача

Груз массой 20 кг поднимают по наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$ , прикладывая силу в направлении движения. Определите модуль этой силы, если груз движется равномерно, а коэффициент трения равен  $\frac{1}{\sqrt{3}}$ .

СИ:



4) Распишем силу тяжести  $F_T = mg$  и силу трения  $F_{\text{тр}} = \mu N$  и решим систему уравнений методом подстановки (подставив  $N$  из второго уравнения в первое уравнение) :

$$-mg \sin \alpha + F - \mu N = 0 \Rightarrow F = mg \sin \alpha + \mu N$$

$$-mg \cos \alpha + N = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

5) В итоге получим:

$$\begin{aligned} F &= mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \\ &= 20 \cdot 10 \left( 0.5 + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 200 \text{ (Н)} \end{aligned}$$

Ответ: 200 Ньютон.

# Задача.

Велосипедист движется на повороте горизонтальной дороги по дуге окружности радиусом 10 м. Определите максимально возможную скорость движения велосипедиста, если коэффициент трения между шинами и дорогой 0,49.  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .



Дано:

CU

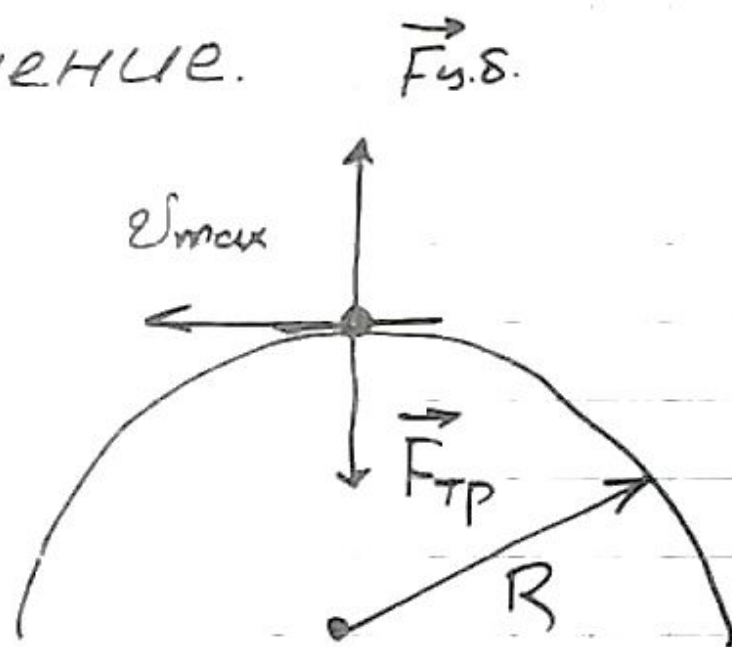
$$R = 10 \text{ м}$$

$$\mu = 0,49$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{\text{max}} - ?$$

Решение.



$$F_{y.s.} = F_{TP}$$

$$\mu \frac{v_{\text{max}}^2}{R} = \mu mg$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\mu g R} = \sqrt{0,49 \cdot 10 \cdot 10} = 7 \text{ (м/с)}$$

Ответ: 7 м/с.

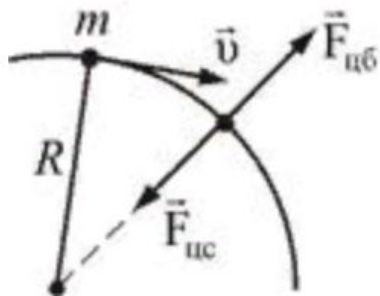


# Виды сил в механике твердых тел

Центробежная сила:

$$F_{цб} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

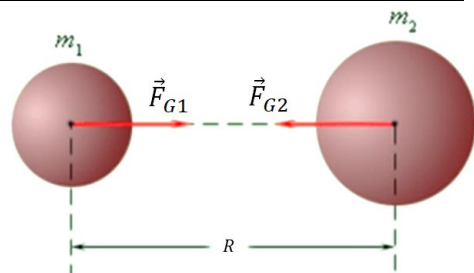
$F_{цб}$  - центробежная сила, Н;  
 $m$  - масса тела, кг;  
 $v$  - скорость тела, м/с;  
 $R$  - радиус кривизны окружности, по которой движется тела, м.



Гравитационная сила:

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

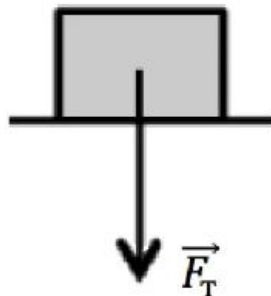
$F_G$  - сила гравитационного взаимодействия, Н;  
 $m_1$  и  $m_2$  - массы тел, кг;  
 $R$  - расстояние между телами (центрами тел), м;  
 $G$  - гравитационная постоянная =  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$



Сила тяжести в гравитационном поле Земли:

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

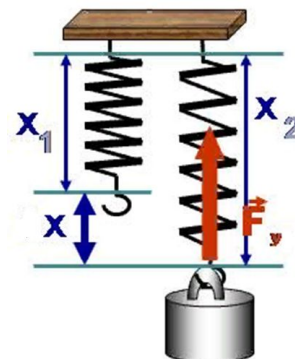
$\vec{F}_T$  - сила тяжести, Н;  
 $m$  - масса тела, кг;  
 $\vec{g}$  - ускорение свободного падения =  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



Сила упругости:

$$F_y = -k \cdot x$$

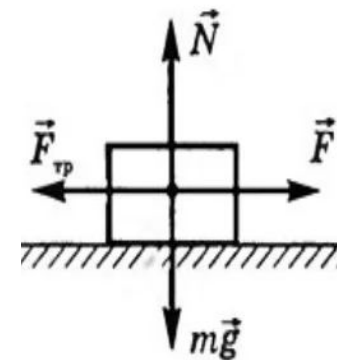
$F_y$  - сила упругости, Ньютон (Н);  
 $k$  - жесткость пружины,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;  
 $x$  - удлинение пружины, м.



Сила трения скольжения:

$$|\vec{F}_{тр}| = \mu \cdot |\vec{N}|$$

$\vec{F}_{тр}$  - сила трения скольжения, Ньютон (Н);  
 $\mu$  - коэффициент трения, безразмерная величина;  
 $\vec{N}$  - сила реакции опоры, Н.



Вес тела:

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

$\vec{P}$  - вес тела, Н;  
 $\vec{g}$  - ускорение свободного падения =  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  
 $\vec{a}$  - ускорение опоры,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

