

Введение в физику.

1 курс, 1 семестр, бакалавриат

Лекция 2. Кинематика (продолжение). Основы динамики.

В.И. Читайкин

кандидат физико-математических наук
доцент

План лекции



Наименование раздела	Номер слайда
Введение	3
Раздел 1. Кинематика движения по окружности	4
Раздел 2. Динамика. Первый закон Ньютона	10
Раздел 3. Динамика. Второй закон Ньютона	12
Раздел 4. Динамика. Третий закон Ньютона. Сводная таблица	16
Раздел 5. Примеры сил	19
Раздел 5.1. Сила трения	20
Раздел 5.2. Сила упругости	23
Раздел 5.3. Сила гравитации	24

Введение



В начале лекции 2 будет продолжено изучение раздела «Кинематика» как одного из основ механики. Будет рассматриваться движение точки (тела) по окружности, т.е. *непрямолинейное* движение, - в отличие от *прямолинейного* движения, о котором шла речь в лекции 1.

Далее перейдём к разделу «Динамика», основанному во многом на законах Исаака Ньютона (XVII век). Будут даны формулировки:

- всех трёх законов Ньютона;
- силы, массы, как основополагающих понятий не только механики, но физики в целом;
- ряда важных смежных понятий.

В заключении лекции 2 рассмотрим три наиболее часто встречающихся примера сил: тяжести, упругости, трения.



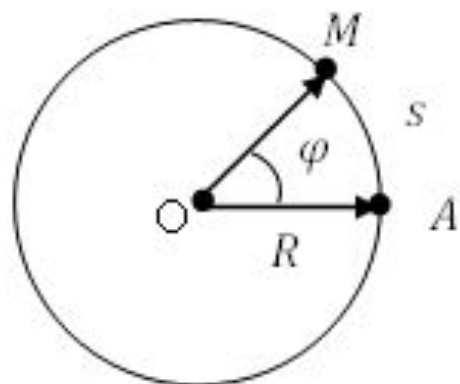
Раздел 1. Кинематика движения по окружности

1. Кинематика движения по окружности



Движение по окружности – это движение материальной точки по траектории, равноудалённой от точки O , являющейся центром окружности с радиусом R .

Движение по окружности – это вращение, т.е. повторяющееся во времени движение.



Окружность задаётся двумя параметрами: центр окружности (точка O) и её радиус R .

Положение точки на окружности задаётся одним параметром: угол φ , образованный при перемещении точки по окружности из начального положения (точка A) в точку M за некоторое время t .

S – это путь, пройденный точкой за время t , S рассчитывается как длина дуги окружности, образованной радиус-векторами OA и OM .

Равномерное движение по окружности – это движение, при котором точка проходит одинаковый путь (или: поворачивается на одинаковый угол) за один и тот же интервал времени и в одном и том же направлении.

1. Кинематика движения по окружности



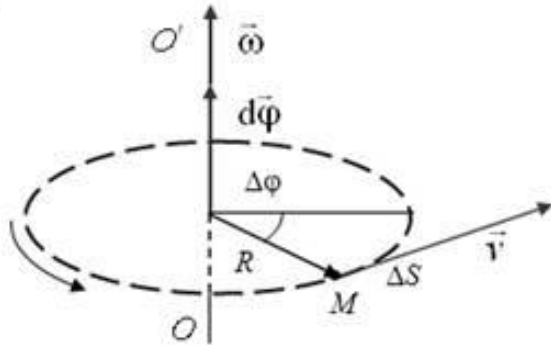
Скорость движения по окружности.

Угловая скорость движения по окружности ω – характеризует быстроту изменения угла φ :

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

$$\boxed{\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}}$$

$$[\omega] = \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$



Угловая скорость ω – это первая производная угла поворота φ по времени t .

Угловая скорость $\vec{\omega}$ и приращение угла поворота $d\vec{\varphi}$ – это векторные величины.

Эти векторы приложены не к движущейся точке М, а к центру окружности.

При равномерном движении по окружности ($\omega = \text{Const}$) можно пользоваться упрощенной формулой: $\omega = \frac{\varphi}{t}$

Связь линейной скорости $\mathbf{v}$ движения по окружности с угловой скоростью ω : $\mathbf{v} = R \cdot \omega$; R – скаляр.

Важное замечание:

Вектор линейной скорости $\mathbf{v}$ «привязан» к движущейся точке и направлен по касательной к окружности.

Вектор угловой скорости ω «привязан» к центру окружности и направлен вдоль оси OO' .

1. Кинематика движения по окружности



Полезные формулы для равномерного движения по окружности ($\omega = \text{Const}$)

Период вращения: $T = \frac{2\pi}{\omega}$ или $T = \frac{2\pi R}{v}$ – угловая скорость, v – линейная скорость

Частота вращения: $\nu = \frac{1}{T}$ ν – греческая буква, читается как «ню».

Важная формула.

Связь угловой скорости и частоты вращения:

$$\omega = 2\pi \nu$$

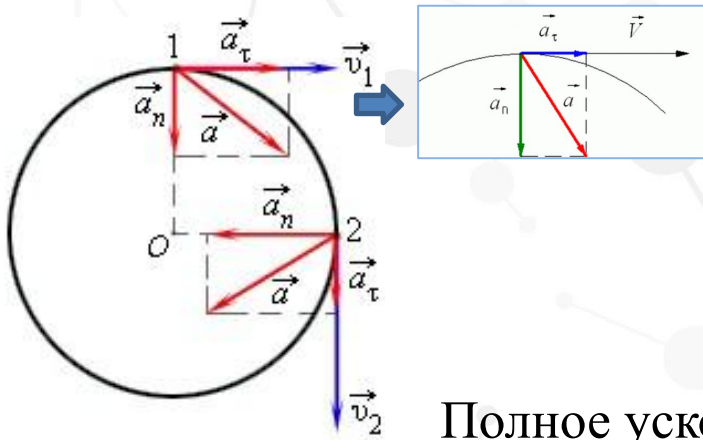
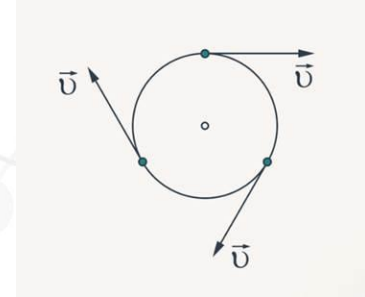
1. Кинематика движения по окружности



Ускорение при движении по окружности

При движении по окружности тело (точка) движется *всегда* с ускорением. Действительно:

- **при равномерном движении** – постоянно меняется направление вектора линейной скорости $\mathbf{v}$, т.к. она направлена всегда по касательной к окружности, при этом значения модулей линейной скорости v и угловой скорости ω не изменяются;
- **при неравномерном движении** – постоянно меняется направление вектора линейной скорости $\mathbf{v}$ и, одновременно с этим, меняются значения модулей линейной скорости v и угловой скорости ω .



Ускорение при движении по окружности состоит из двух частей:

- **нормальное** (или: центростремительное) ускорение $\mathbf{a}_n$, всегда направлено к центру окружности, *зелёный цвет на вставке*;
- тангенциальное $\mathbf{a}_\tau$, направлено по касательной к окружности, как и вектор линейной скорости $\mathbf{v}$, *синий цвет на вставке*.

Полное ускорение $\mathbf{a}$ (*красный цвет*) рассчитывается по правилу сложения векторов:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

1. Кинематика движения по окружности



Ускорение при движении по окружности (расчётные формулы)

Нормальное (или: центростремительное) ускорение a_n рассчитывается так:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

— линейная скорость, R — радиус
— угловая скорость

Тангенциальное ускорение a_τ рассчитывается так:

$$a_\tau = R\varepsilon$$

— угловое ускорение, $\varepsilon = d\omega/dt$;

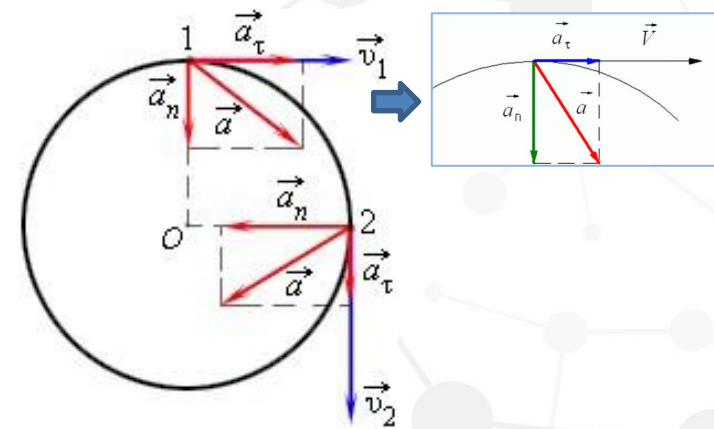
при равномерном движении по окружности ускорения ε равно 0, т.к. $\omega = \text{Const}$ и $d\omega/dt = 0$;

ускорение a_τ при равномерном вращении отсутствует.

тангенциальное

Полное ускорение a рассчитывается по теореме Пифагора:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$$





Раздел 2. Динамика. Первый закон Ньютона

2. Динамика. Первый закон Ньютона



Динамика – раздел механики, изучает взаимодействие между телами, которое осуществляется посредством сил различной природы (гравитационных, электрических ...).

Другими словами, динамика изучает силы и их действие на тела.

Первый закон Ньютона (он же: закон инерции) – **материальное тело (точка) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не выведет его из этого состояния.** Такое состояние – состояние инерции.

Другая формулировка: если на тело не действуют внешние силы, то оно будет пребывать в состоянии покоя, либо двигаться прямолинейно с постоянной скоростью.

Определение «состояния инерции» позволяет ввести понятие «Инерциальная система отсчёта»: это такая система отсчёта, в которой тело либо покоится, либо движется прямолинейно и равномерно, т.е. в такой системе отсчёта не действуют внешние силы. Такая система является замкнутой.

Следствие из Первого закона Ньютона (или: принцип относительности Галилея): законы динамики и механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.

Нет «главной» системы отсчёта, все равноправны. **Но:** есть наиболее *удобная* для каждой конкретной задачи. Определить её – гарантия правильного решения.



Раздел 3. Динамика. Второй закон Ньютона

3. Динамика. Второй закон Ньютона



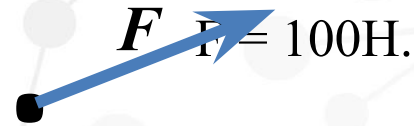
Сила

Сила – это механическое воздействие на рассматриваемое тело со стороны других тел. Силовое воздействие возможно при непосредственном контакте тел (напр., столкновение бильярдных шаров) и посредством поля (гравитационного, электрического ...), т.е. без контакта тел.

Сила задана, если известны:

- величина (модуль) силы,
- направление действия силы,
- точка приложения силы к какому-либо телу.

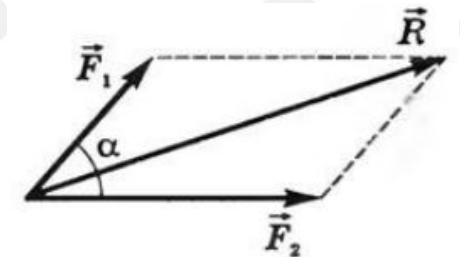
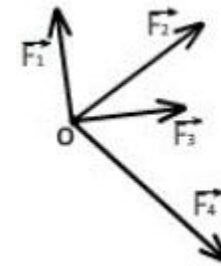
Пример заданной силы:



Если на тело (точка O) действует n сил F_i ($i = 1, 2, 3, \dots n$),

то равнодействующая сила рассчитывается как векторная сумма:

$F_{\text{равн}} = R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$, т.е. по правилу параллелограмма.



3. Динамика. Второй закон Ньютона



Масса

Масса – это физическая величина, характеризующая инертность тела, т.е. его способность «противостоять» действию силы. Чем больше масса тела, тем оно инертнее.

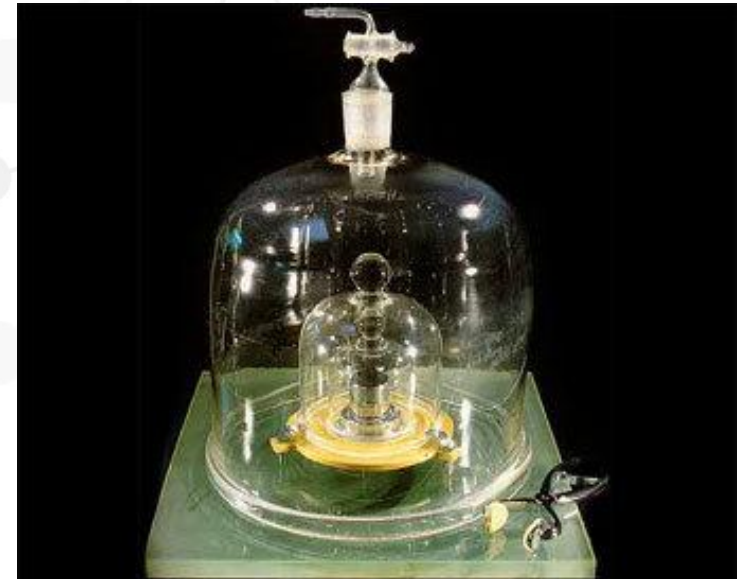
Основные свойства массы в классической механике:

- неизменность, масса не меняется при движении,
- аддитивность, т.е. масса нескольких тел равна сумме масс каждого.

Закон сохранения массы в классической механике:

масса тела или системы тел остаётся неизменной при любых процессах, происходящих в замкнутой системе, т.е. без внешнего вмешательства.

Эталон массы 1 килограмм:



Так он выглядит сейчас. Скоро это изменится: эталон массы будет основан на атомных параметрах и вряд ли мы его сможем увидеть. Как это уже произошло с эталоном секунды.

3. Динамика. Второй закон Ньютона



Второй закон Ньютона – это основной закон динамики:

В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе: $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$.

Ускорение $\mathbf{a}$ и сила $\mathbf{F}$ – векторные величины, масса m – скаляр.

Следствие: ускорение $\mathbf{a}$ направлено в ту же сторону, что и действующая на тело (точку) сила $\mathbf{F}$.

Более привычная форма второго закона Ньютона: $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$.

Если на тело с массой m действуют несколько сил одновременно ($\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3 \dots$), то второй закон Ньютона записывается так: $m \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F}_{\text{равн}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots$ – принцип независимости (суперпозиции) действия сил.

Важное следствие: В условиях равновесия:

- равнодействующая всех сил равна нулю ($\mathbf{F}_{\text{равн}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots = 0$),
- ускорение тела (точки) также равно нулю: $\mathbf{a} = 0$.

Поэтому при равновесии возможно только равномерное прямолинейное движение с постоянной скоростью ($\mathbf{v} = \text{Const}$) или покой ($\mathbf{v} = 0$).



Раздел 4. Динамика. Третий закон Ньютона

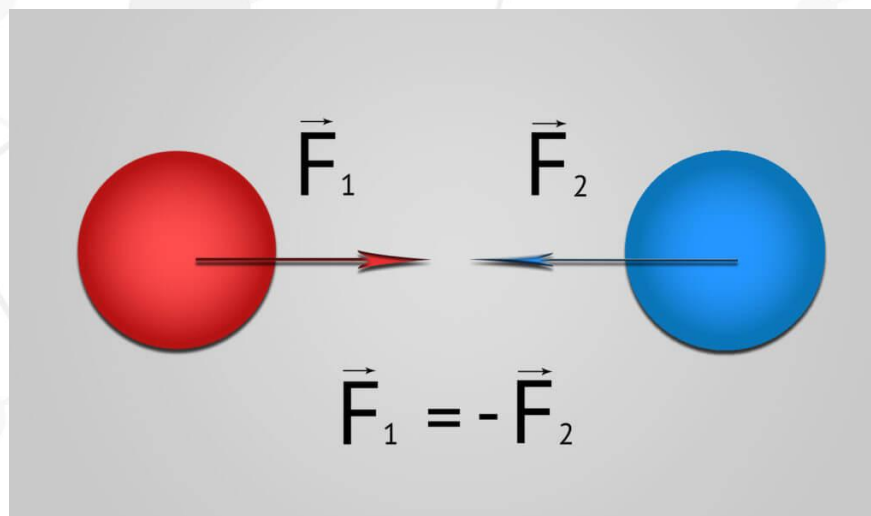
4. Динамика. Третий закон Ньютона



Третий закон Ньютона – определяет взаимодействие между телами:

Два тела (материальные точки) действуют друг на друга с силами, которые численно равны и направлены по прямой, соединяющей тела (точки), но в разные стороны.

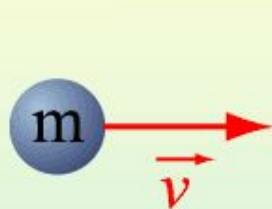
Другими словами: «каждое действие имеет противодействие».



4. Динамика. Сводная таблица.



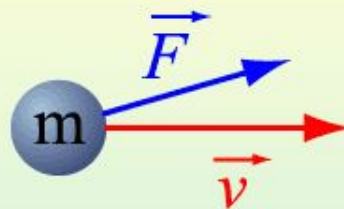
Законы Ньютона



$$\vec{v} = \text{const}$$

I закон

Существуют такие системы отсчета, в которых всякое тело будет сохранять первоначальное 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.



Раздел 5. Примеры сил.

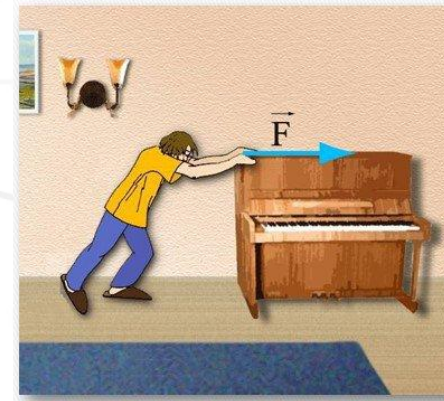
5.1. Сила трения



Сила трения – это сила, препятствующая движению или его возникновению.

Сила трения покоя – это сила, возникающая когда тела неподвижны относительно друг друга.

Сила трения покоя препятствует сдвиганию тела с места: неподвижное тело не двигается с места до тех пор, пока приложенная сила не превысит некоторое значение. Это пороговое значение называется силой трения покоя.



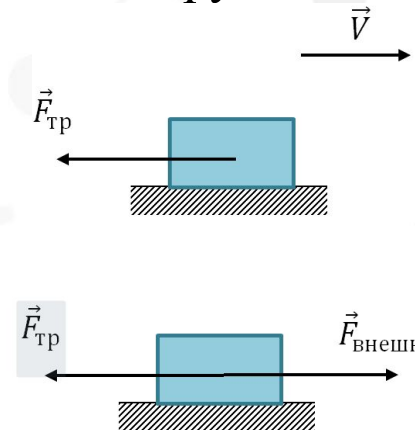
Пианино не удастся сдвинуть с места до тех пор, пока усилия человека не станут достаточными:

$F > F_{\text{тр.пок.}}$
(Правда, непонятно, зачем он двигает пианино боком?!)

Сила трения скольжения – это сила, возникающая при движении тел друг относительно друга.

В этом случае одно тело скользит по поверхности соприкосновения с другим телом, без вращения.

Главное условие, при котором одно тело может скользить относительно другого, - приложенная к телу внешняя сила должна быть больше силы трения скольжения: $F_{\text{внешн}} > F_{\text{тр}}$.



5.1. Сила трения

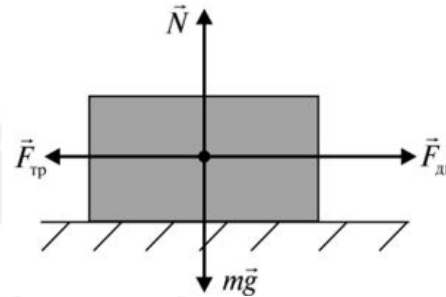


Экспериментально установлено, что сила трения скольжения (*или просто: сила трения*) $F_{тр}$ пропорциональна силе реакции опоры одного тела на другое N с коэффициентом пропорциональности μ (читается: «мю»). $F_{тр} = \mu \cdot N$.

Коэффициент μ – табличная величина, её значение определяется парой контактирующих материалов.

Сила реакции опоры N всегда *перпендикулярна* к поверхности опоры и зависит от геометрии задачи:

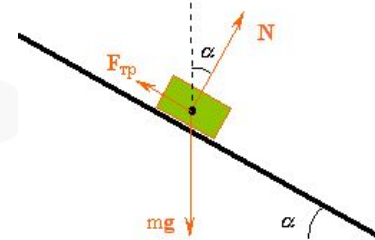
- При движении по горизонтальной поверхности:



$$N = m \cdot g.$$

Тогда $F_{тр} = \mu \cdot m \cdot g$.

- При движении по наклонной плоскости:



$$N = m \cdot g \cdot \cos \alpha.$$

Тогда $F_{тр} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$.

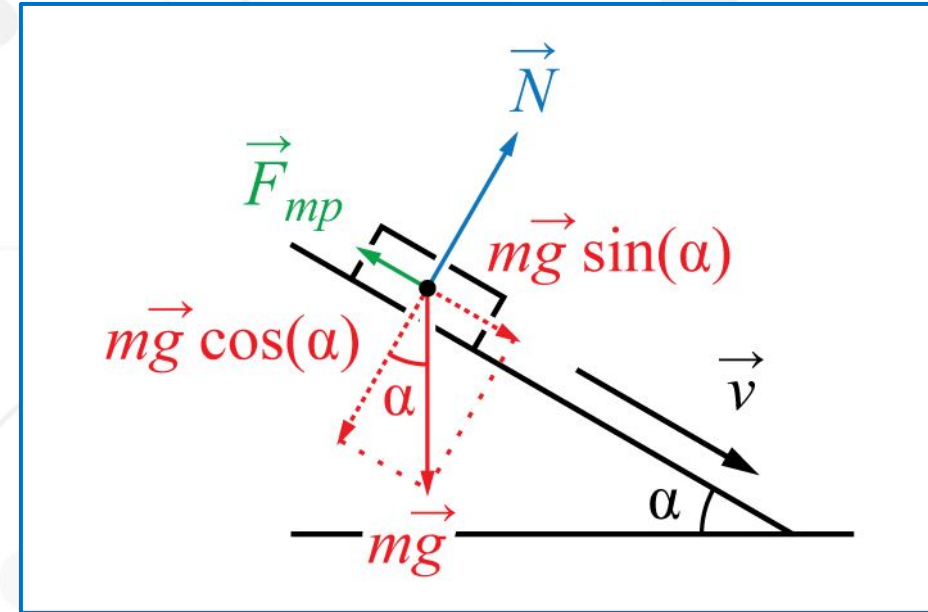
5.1. Сила трения



Полезный вывод из ситуации со скольжением по наклонной плоскости.

Все действующие силы и их разложение по осям показано на рисунке.

Из опыта ясно, что по мере увеличения угла α наступит момент, когда тело (брусок) начнёт скольжение по наклонной плоскости. Угол наклона плоскости при этом составит α_0 .



Тогда значение коэффициента трения μ составит:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha_0.$$

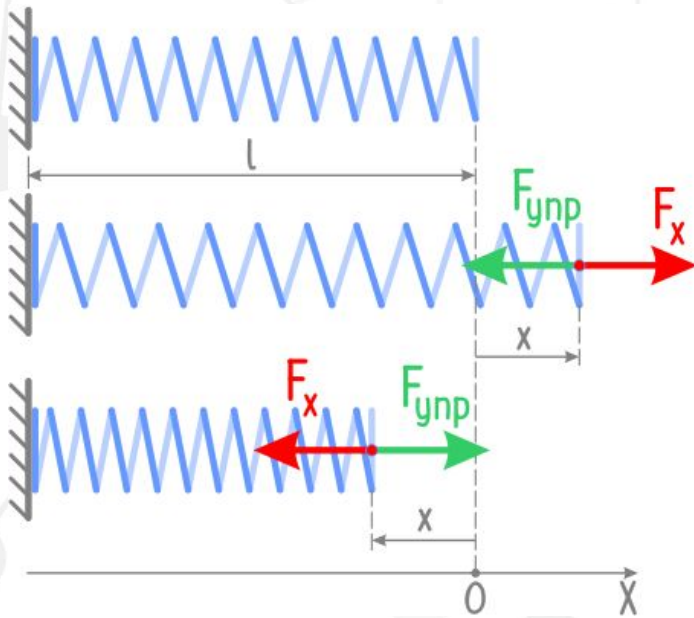
(Попробуйте самостоятельно это доказать.)

5.2. Сила упругости



Сила упругости возникает при сжатии или растяжении упругого (или абсолютно упругого) тела.

Сила упругости пропорциональна величине деформации (растяжения или сжатия) и направлена в противоположную сторону от внешней силы, вызывающей эту деформацию.



$$F_{упр} = -k \cdot x \quad \text{— закон Гука}$$

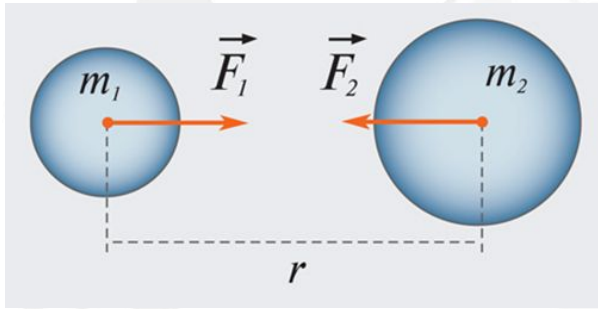
x — величина деформации, изменение длины пружины;
иногда используется обозначение деформации Δx ;

k — коэффициент упругости, для пружин: k — коэффициент жёсткости пружины;
значение k определяется свойствами материала (пружины) и является справочной величиной.

5.3. Сила гравитации



Сила гравитации (или сила тяготения) возникает в результате действия закона всемирного тяготения: любые два тела, обладающие массами m_1 и m_2 , притягиваются друг к другу с силой F_g :



$$F_1 = F_2 = F_g$$

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

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

- гравитационная постоянная (мировая константа)

Гравитационные силы – всегда силы притяжения.

Гравитационных сил отталкивания не существует.

5.3. Сила гравитации



Сила тяжести – частный случай силы гравитации. Сила тяжести возникает в результате притяжения тела с массой m к Земле, т.е. к телу массой Земли M :

$$F_T = G \frac{mM}{R^2} \quad R - \text{радиус Земли};$$

на высоте h над уровнем Земли:
$$F_T = G \frac{M \cdot m}{(R + h)^2}$$

Сила тяжести традиционно записывается так: $F_T = m \cdot g$.

Сравнивая формулы для F_T , получим основную формулу для величины g :
$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Величина g – ускорение свободного падения, мировая константа, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

5.3. Сила гравитации

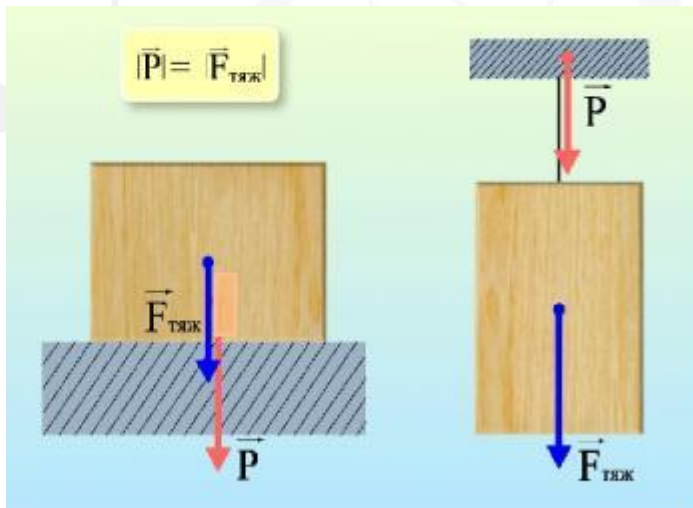


Вес тела – сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или растягивает подвес.

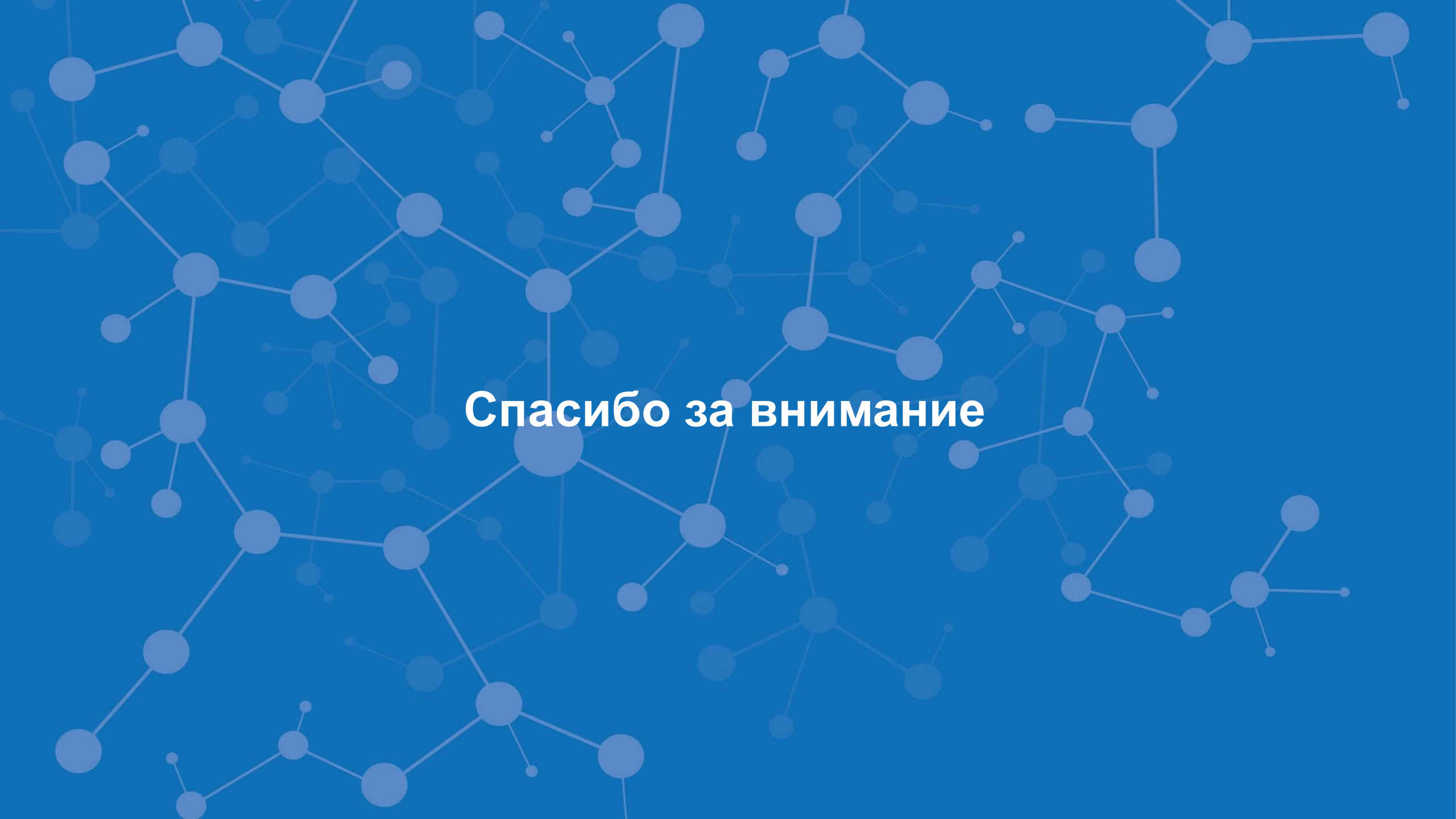
Опора должна быть строго горизонтальной, подвес должен быть строго вертикальным.

Количественно вес тела P равен силе тяжести F_T : $P = F_T = m \cdot g$.

Отличие веса тела от силы тяжести состоит в точке приложения этих сил.



Вектор силы тяжести ВСЕГДА приложен к центру масс тела.
Вектор веса тела ВСЕГДА приложен к точке соприкосновения тела с опорой или к точке закрепления подвеса.

The background is a solid blue color with a complex, abstract network pattern. This pattern consists of numerous light blue circles of varying sizes, which are interconnected by thin, light blue lines. The connections form a dense, web-like structure that fills the entire frame, with some areas appearing more clustered than others.

Спасибо за внимание