

Мультимедийные лекции по физике

Классическая и релятивистская
механика

Тема 2. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

План лекции

- 2.1. Первый закон Ньютона.
- 2.2. Второй закон Ньютона.
- 2.3. Третий закон Ньютона.
- 2.4. Виды сил природы.

Динамика как наука

Динамика изучает движение тел в связи с теми **причинами**, которые обуславливают тот или иной характер движения.

Этими причинами являются **взаимодействия** между телами.

В основе **классической динамики** лежат **три закона**, сформулированные **Ньютоном** в 1687 г.

Законы Ньютона возникли в результате обобщения большого количества опытных фактов.

2.1. Первый закон Ньютона

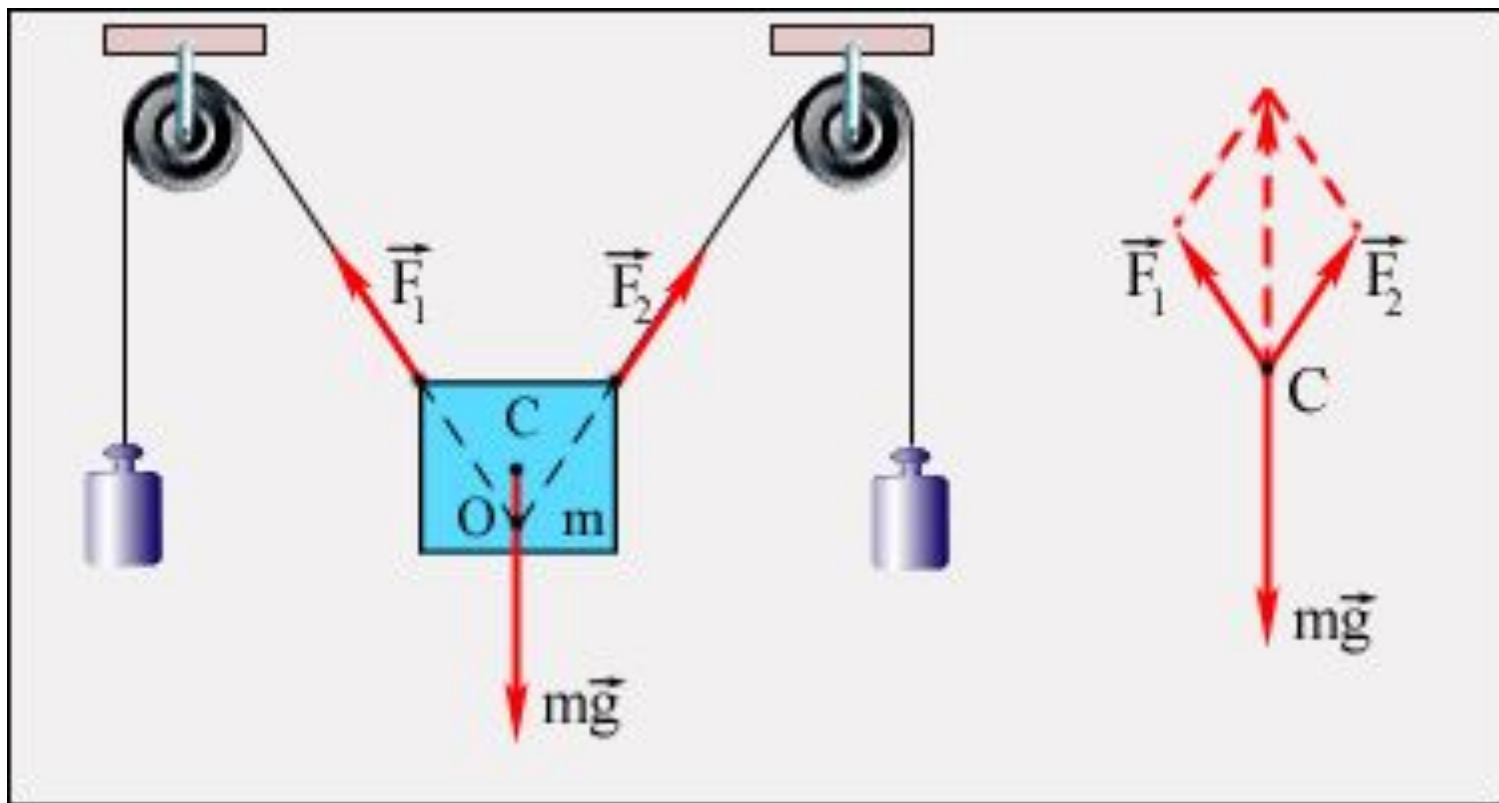
Формулировка закона:

Любое свободное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Тел, не подвергающихся в той или иной степени воздействию со стороны других тел, не существует.

В наблюдаемых случаях имеют дело с телами, воздействие на которые уравнивают друг друга.

Точка С находится в покое, пока действие сил упругости в нитях уравновешивается силой тяжести тела.



Первый закон Ньютона выполняется не во всякой системе отсчета.

Первый закон Ньютона не выполняется в системах отсчёта, движущихся с **ускорением**.

Первый закон Ньютона иногда называют **законом инерции**.

Инерциальные системы отсчёта

Инерциальной называется система отсчёта, в которой любое тело будет находиться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие на него других тел скомпенсировано.

Инерциальной называется **система отсчета**, относительно которой выполняется первый закон Ньютона.

Инерциальными будут являться все системы отсчёта, **движущиеся** относительно инерциальной (покоящейся) прямолинейно и равномерно с **постоянной скоростью**.

Принцип относительности Галилея

Инерциальными будут являться системы отсчёта, связанные с удалёнными телами (звёздами, Солнцем).

Механический принцип относительности Галилея формулируется: **находясь внутри инерциальной системы отсчёта никакими механическими опытами нельзя определить находится ли эта система отсчёта в покое или движется равномерно и прямолинейно.**

Закон инерции

Первый закон Ньютона называют **законом инерции**.

Закон инерции:

- один из самых фундаментальных законов природы.
- справедлив для всех физических объектов: и для микрочастиц и для тел космического масштаба.
- не поколебала ни одна из революций естествознания XX века – ни теория относительности, ни квантовая механика.
- связан со свойствами пространства –
однородностью и изотропностью.

Инерция

Инерция:

- **свойство тел сохранять** своё прежнее механическое состояние (или состояние **покоя** или состояние **равномерного прямолинейного движения**).
- **свойство** материальных точек **изменять** под действием сил модуль и направление **скорости** движения **постепенно**.

Классические свойства пространства и времени

Пространство однородно и изотропно.

Если бы свободная материальная точка, движущаяся по инерции, в какой-то точке пространства изменила величину своей скорости, то это означало бы, что данная точка пространства чем-то отличается от других, т.е. **пространство неоднородно**.

Если бы свободная материальная точка, движущаяся по инерции изменила бы направление своего движения, то это означало бы, что данное направление чем-то отличается от других, т. е. пространство **анизотропно**.

Однородность пространства означает, что результат опыта не зависит от места его проведения.

Изотропность пространства означает, что результат опыта не зависит от направления осей координат.

Однородность времени означает, что результат опыта не зависит от времени его проведения.

2.2. Второй закон Ньютона

Динамика как наука рассматривает новые физические величины: **сила и импульс силы, масса и импульс тела.**

Сила

- мера механического воздействия одного тела на другое.
- **величина векторная**: имеет точку приложения, направление действия и величину.
- измеряется в Н (**ньютон**ах).

Действие силы может быть **статическим** и **динамическим**.

Статическое действие проявляется в создании **деформаций**.

Динамическое действие проявляется в создании **ускорений**.

Сила

Механическое действие (сила) возникает

- при **непосредственном контакте** взаимодействующих тел (трение, реакция опоры, вес и т.д.);
- **посредством силового поля**, существующего в пространстве (сила тяжести, кулоновские силы и т. д.).

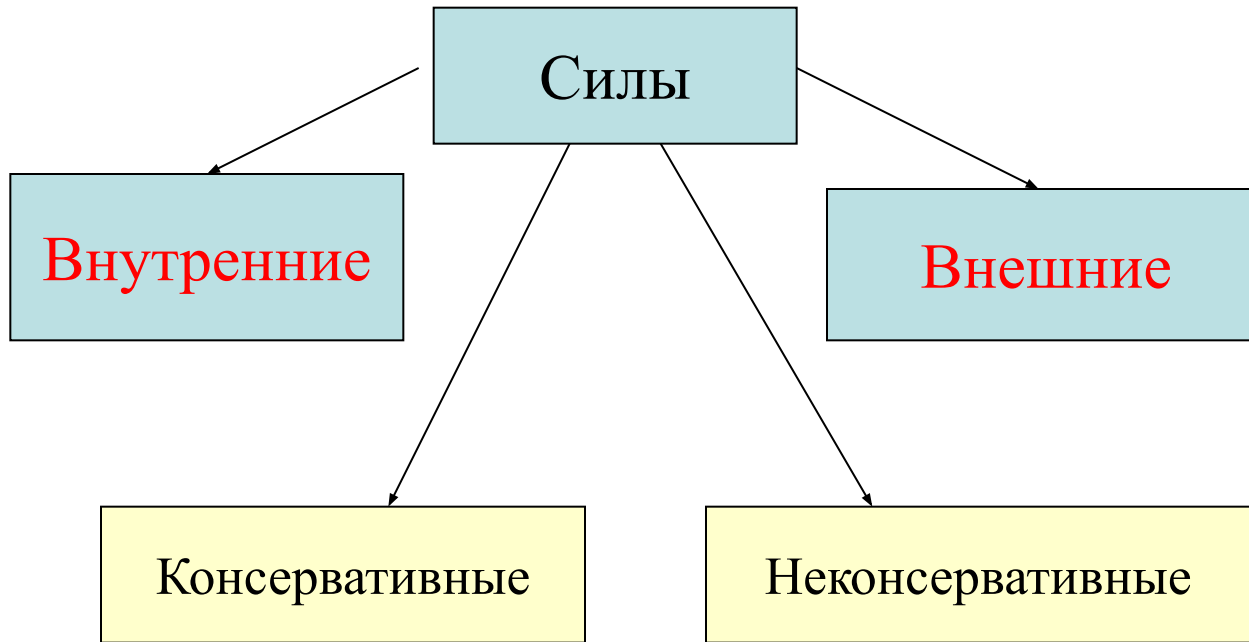
Величина силы зависит от расстояния между телами, относительной скорости движения тел и времени взаимодействия тел.

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}, \vec{V}_{\text{отн}}, t)$$

Силы

Внутренними называются **силы**, с которыми тела взаимодействуют между собой.

Внешними называются силы, действующие на тела со стороны других тел, не входящих в систему.



Равнодействующая сила

Принцип независимости действия сил: если на тело одновременно действует несколько сил, то действие каждой силы происходит независимо от других.

Равнодействующей (резльтирующей) называется сила, которая заменяет суммарное действие нескольких сил.

Равнодействующая сила равна **векторной сумме** отдельных сил.

$$\vec{F}_p = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Импульс силы

Импульс силы:

- величина, равная произведению силы на время её действия;

$$\int F dt$$

- измеряется в ньютонах в секунду (Н с);
- Величина векторная, совпадающая по направлению действия силы.

Масса тела

Масса тела:

- мера инертности тела при поступательном движении;
- в классической механике не зависит от скорости;
- величина скалярная;
- измеряется в кг.

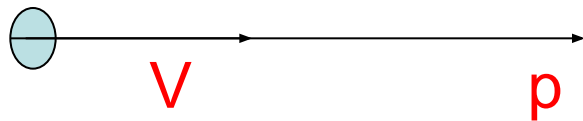
Импульс тела

Импульс тела (материальной точки):

- величина, равная произведению массы точки (тела) на скорость;

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- измеряется в (кг м)/с.
- величина векторная, совпадающая по направлению скорости.



Формулировки второго закона Ньютона

Второй закон Ньютона устанавливает зависимость между величинами динамики.

1. **Скорость изменения импульса материальной точки в любой момент времени равна равнодействующей силе, действующей на точку** (наиболее общая формулировка).

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}$$

2. **Изменение импульса материальной точки за время dt равно импульсу равнодействующей силы за этот же промежуток времени.**

$$d\vec{P} = \vec{F} dt$$

Преобразуем формулу
вида.

$$\frac{dP}{dt} = F$$

к другому



$$\frac{dP}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} = ma$$

Так как масса является величиной постоянной, то её можно вынести за знак производной.

Тогда второй закон Ньютона можно записать как:

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

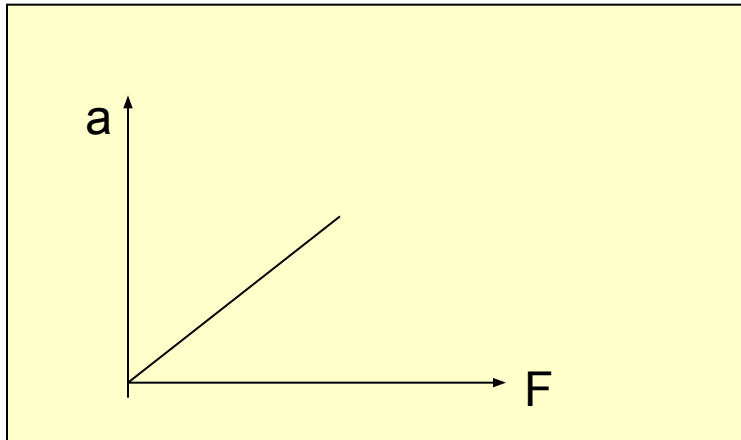
относительно инерциальной системы отсчета, **прямо пропорционально** равнодействующей силе, **обратно пропорционально** массе точки и **совпадает по направлению с направлением** равнодействующей силы.

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

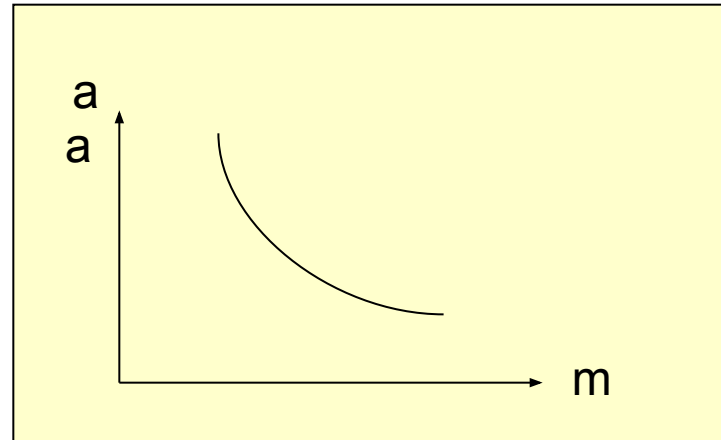
3. Ускорение, приобретаемое материальной точкой относительно инерциальной системы отсчета, **прямо пропорционально** равнодействующей силе, **обратно пропорционально** массе точки и **совпадает по направлению с направлением** равнодействующей силы.

Графическая интерпретация

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

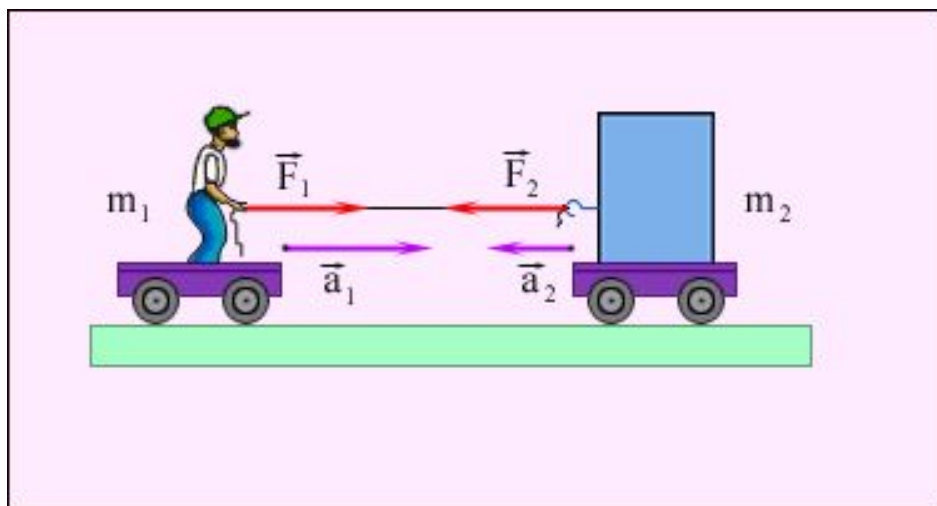
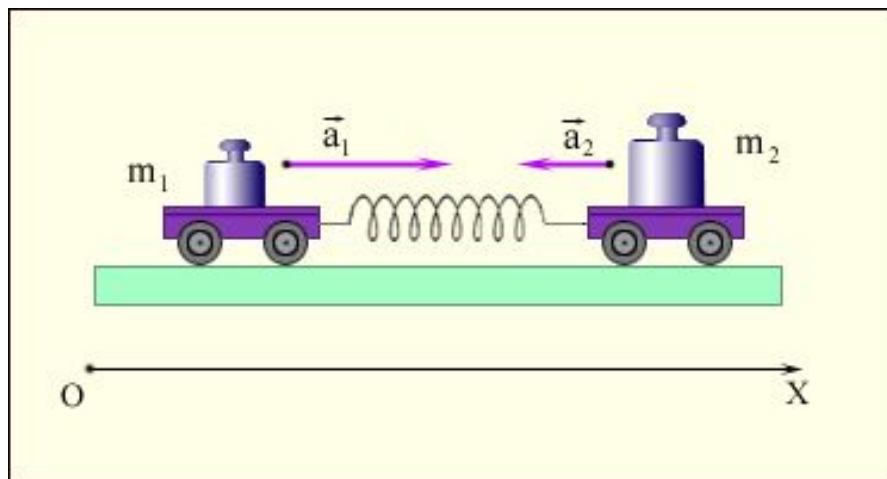


Ускорение прямо
пропорционально силе



Ускорение обратно
пропорционально
массе

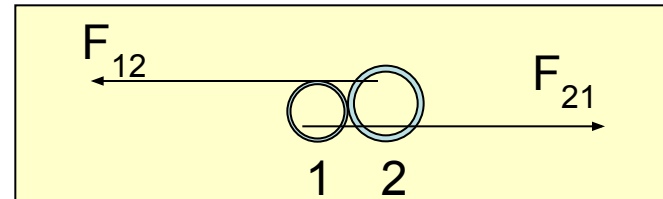
Рисунки показывают, что под действием одинаковой силы тела разной массы приобретают разные ускорения.



2.3. Третий закон Ньютона

Опыт показывает, что механическое воздействие одного объекта на другой не остается односторонним.

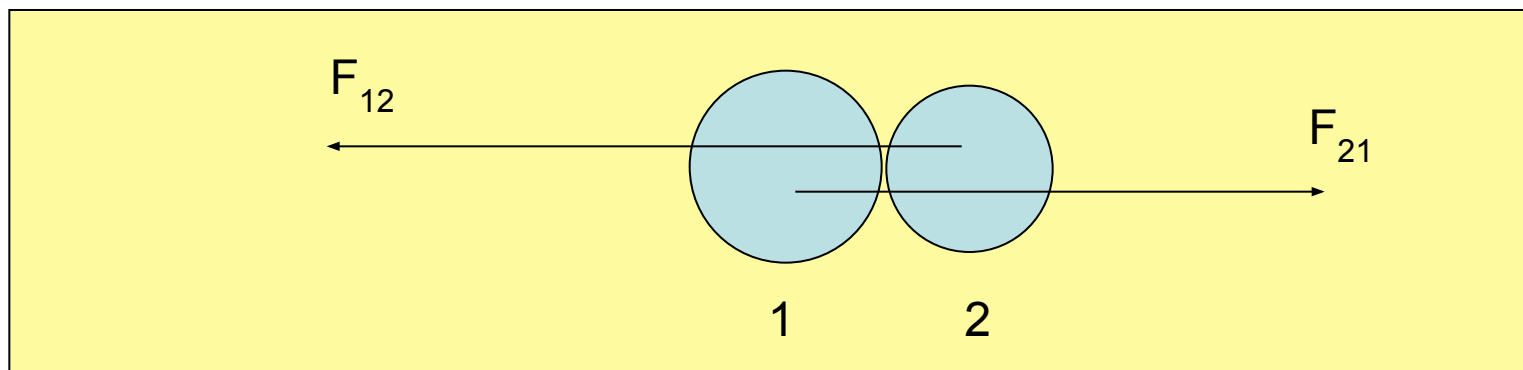
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Третий закон Ньютона: силы, с которыми взаимодействуют две материальные точки, равны по модулю, противоположны по направлению и направлены вдоль прямой, соединяющей эти точки.

Силы действия и противодействия равны по величине, противоположны по направлению.

Они не уравнивают друг друга, так как приложены к разным телам.



Третий закон Ньютона:

- справедлив для любых материальных точек, как покоящихся, так и движущихся;
- **выполняется** только в рамках **классической механики**.

Для тел, движущихся друг относительно друга со скоростями, соизмеримыми со скоростью света, он не выполняется.

2.4. Виды сил

В механике принято рассматривать следующие виды сил:

1. Гравитационная сила
2. Сила тяжести
3. Вес тела
4. Сила реакции опоры
5. Сила трения
6. Упругая сила
7. Сила тяги мотора
8. Выталкивающая сила (сила Архимеда)

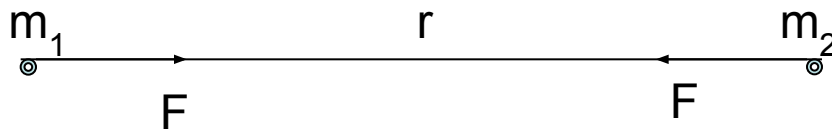
Закон всемирного тяготения

Гравитационная сила

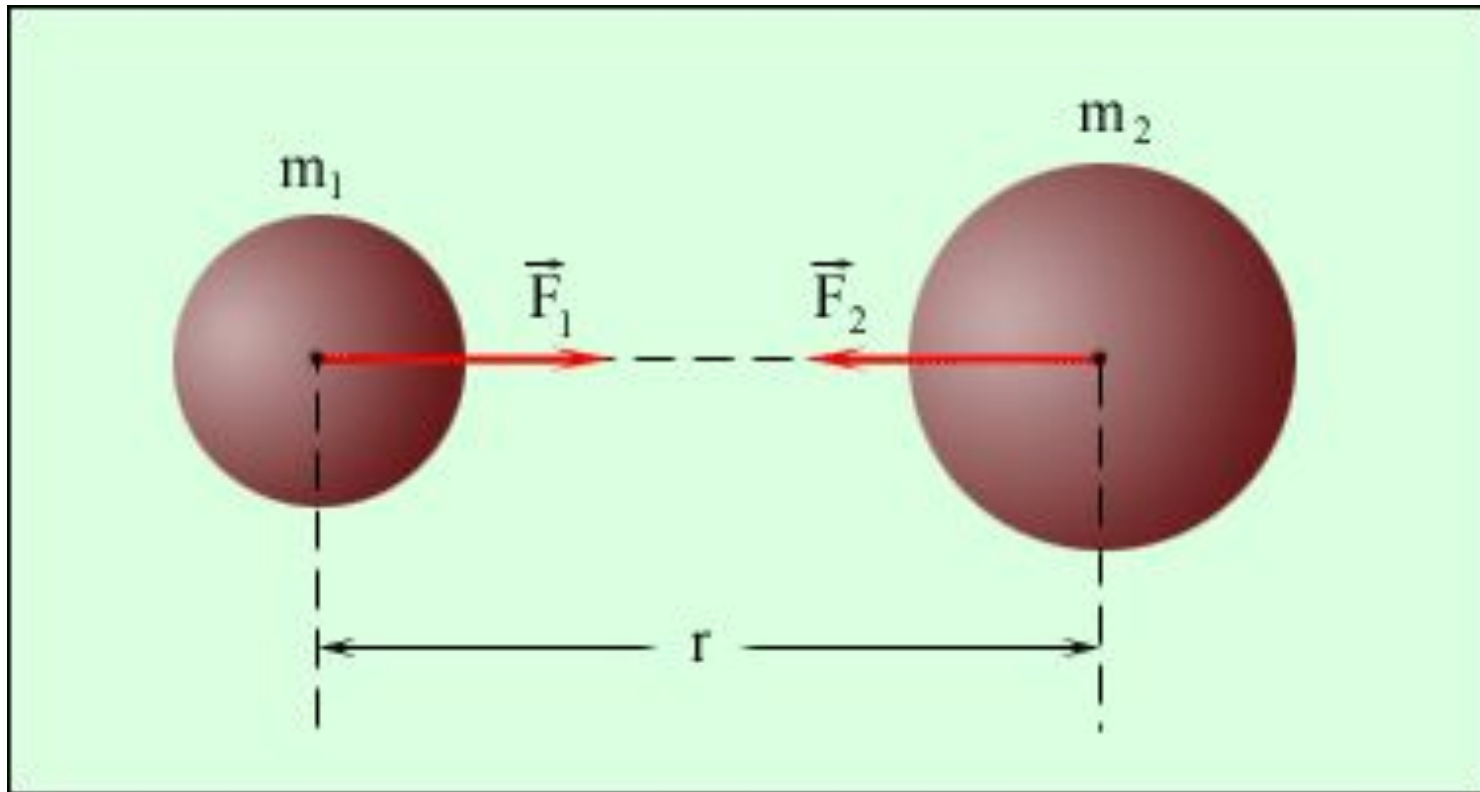
В природе существует **4 типа** взаимодействий:

- гравитационное;
- электромагнитное;
- сильное;
- слабое.

Гравитационные силы действуют между **двумя массами** и являются **силами притяжения**.



Гравитационное взаимодействие сильно проявляется только с телами очень большой массы (в космосе).

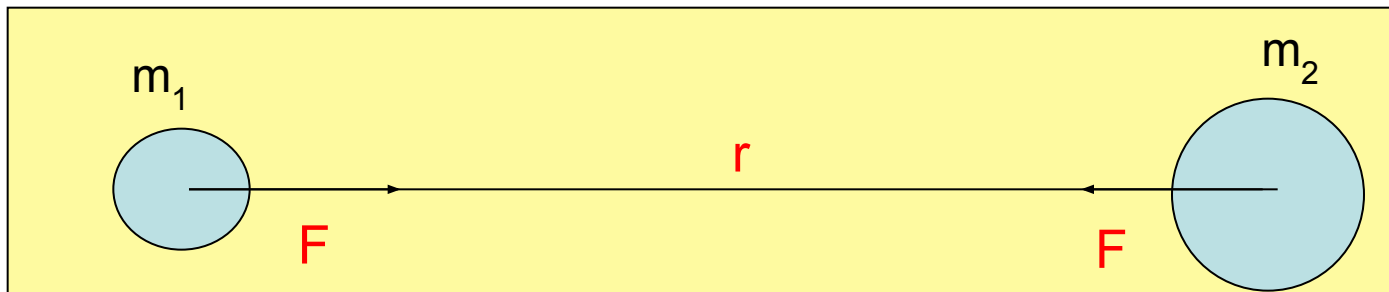


F

Закон всемирного тяготения: сила взаимодействия двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

Гравитационная сила направлена по линии, соединяющей центры тяжести тел.



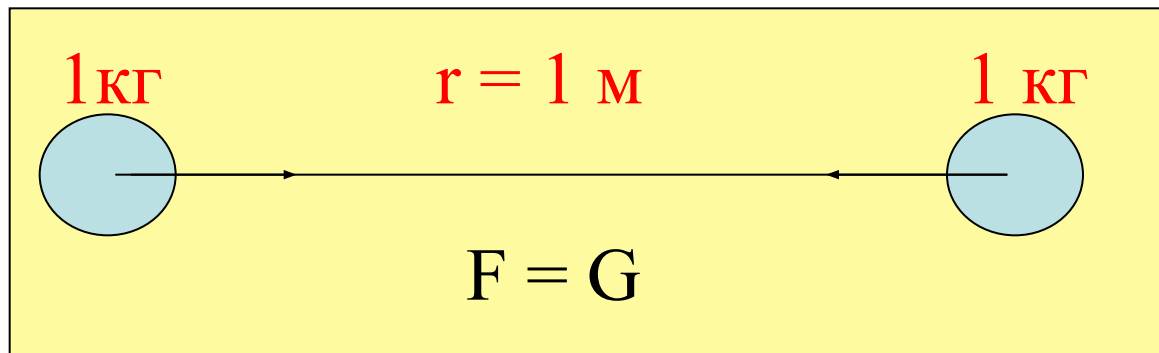
1 кг

G – гравитационная постоянная.

Она численно равна силе взаимодействия двух масс по 1 кг, расположенных в вакууме на расстоянии 1 м.

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

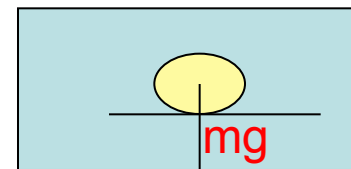
Закон всемирного тяготения справедлив как в макромире, так и в микромире.



Сила тяжести

Сила тяжести:

- сила, с которой тело притягивается Землёй (планетой).
- равна произведению массы тела на ускорение свободного падения;
- не может быть равна нулю;
- направлена вертикально вниз по отношению к линии горизонта;
- проявление гравитационной силы, которая направлена к центру земли.



$$F = mg$$

Ускорение свободного падения

Ускорение свободного падения определяется по формуле

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

R - радиус планеты,

h - высота тела над поверхностью планеты,

M - масса планеты.

На Земле ($M_z = 5,976 \cdot 10^{24}$ кг, $R_z = 6378$ км, $h = 0$)

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

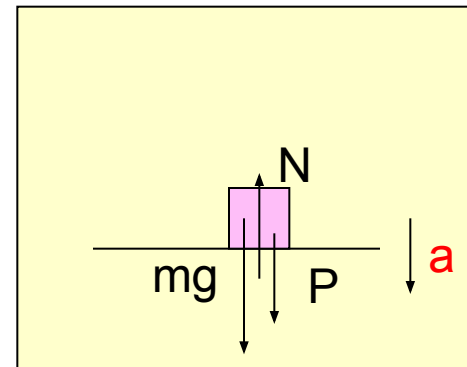
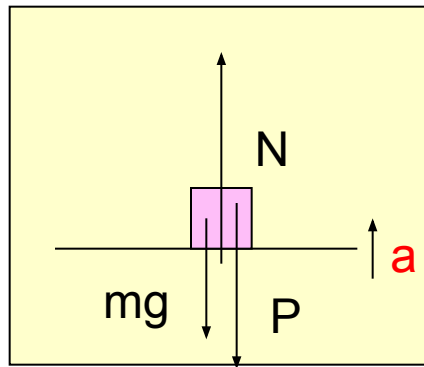
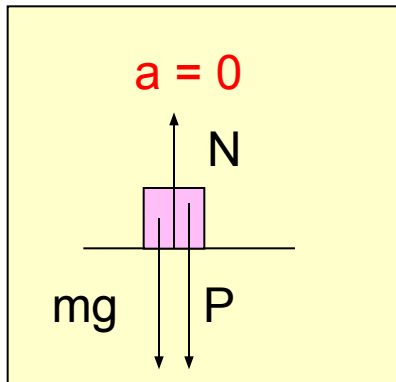
Ускорение свободного падения зависит:

- от высоты над Землей;
- широты местности (из-за вращения Земли вокруг собственной оси).

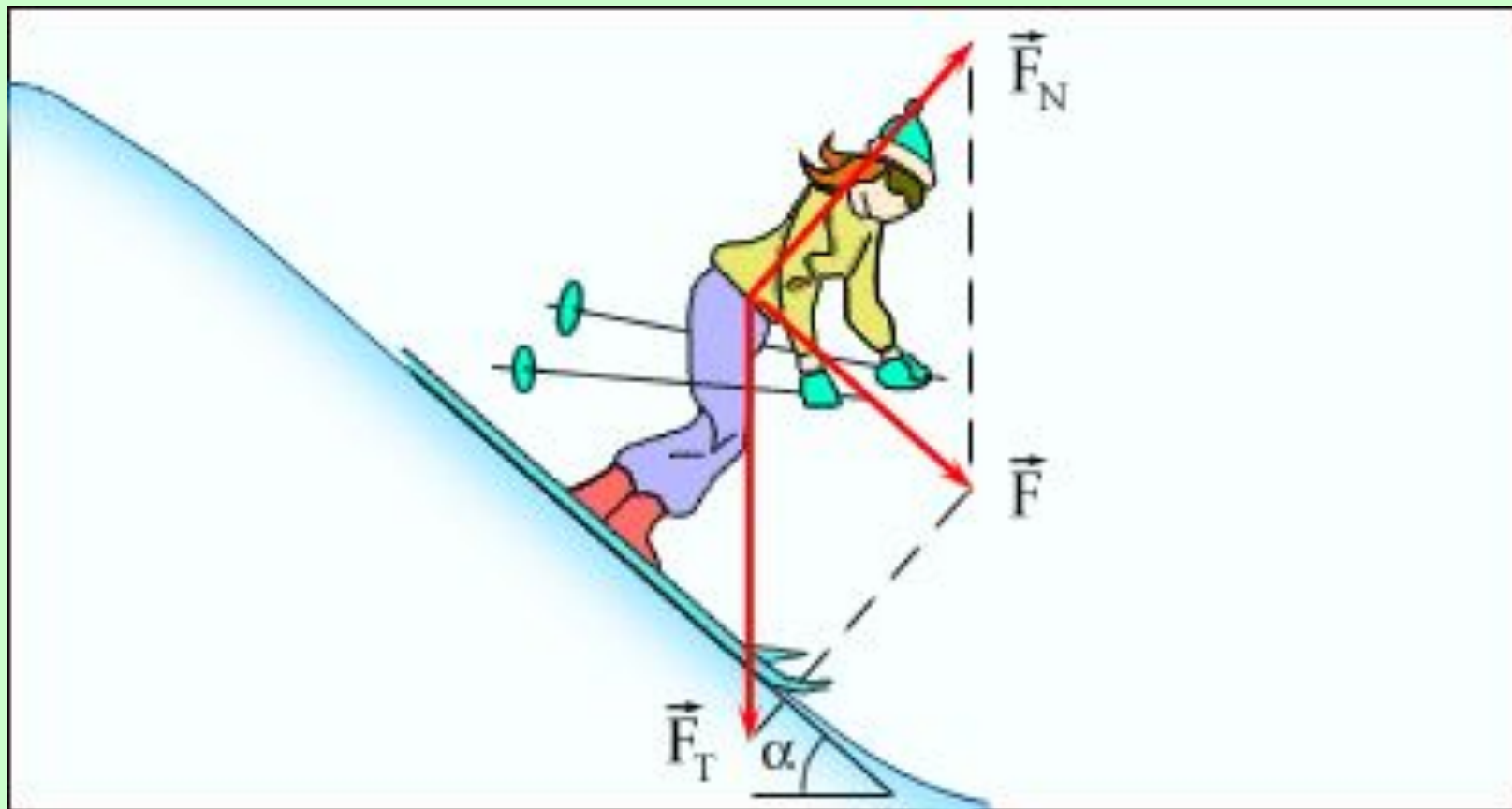
Сила реакции опоры и вес тела

Сила тяжести деформирует опору, и в ней возникает сила упругости, которая называется **силой реакции опоры N** .

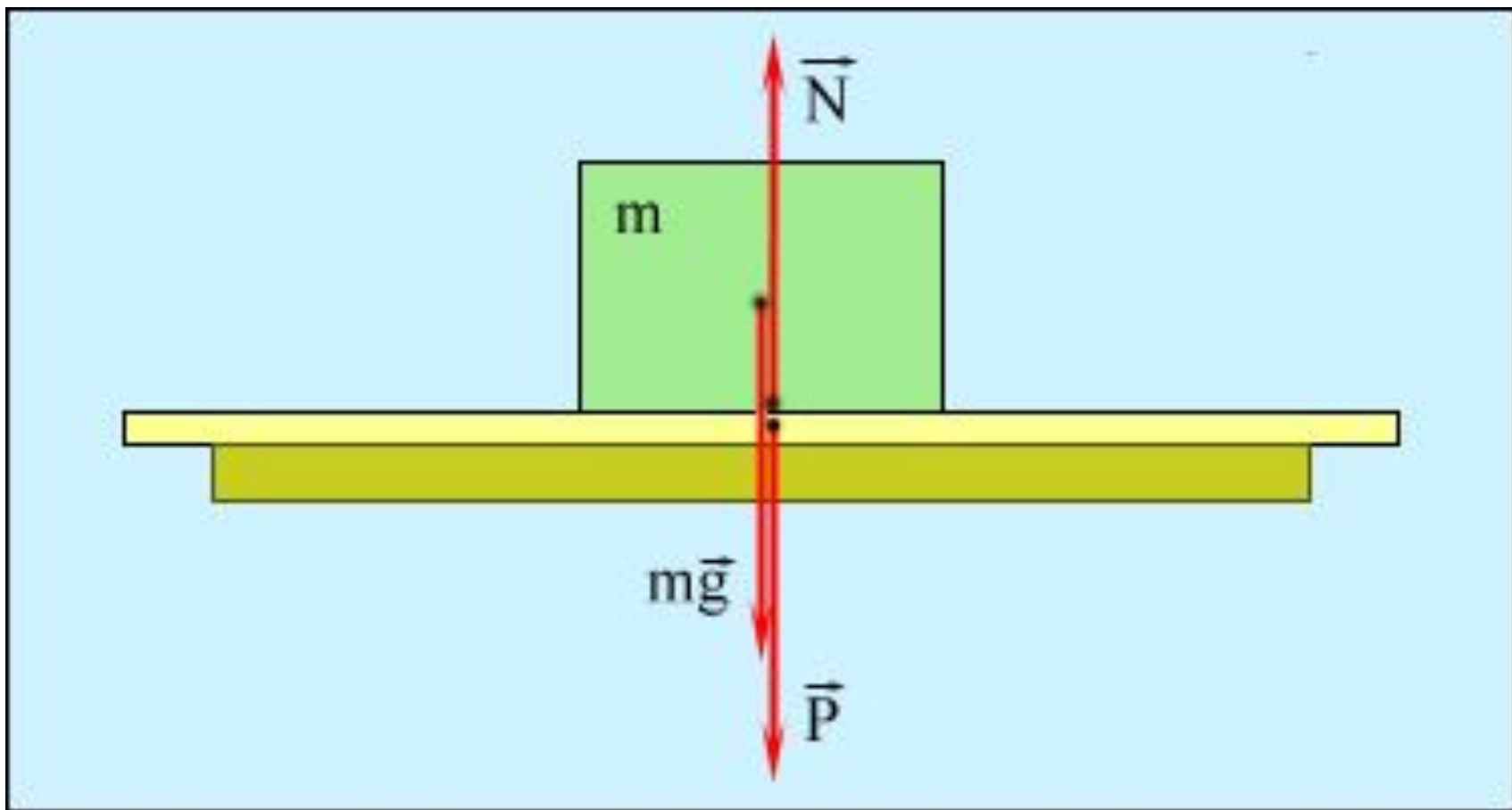
Сила реакции опоры деформирует тело, вследствие чего в теле возникает новая сила – **вес тела P** .



Сила реакции опоры всегда направлена перпендикулярно опоре.



Сила тяжести приложена к телу, сила реакции опоры – к опоре, вес тела приложен к телу.



Вес тела – сила, с которой тело действует на опору или
1. Если **ускорение опоры** равно **нулю**, то вес тела равен
натягивает отвес.
силе тяжести:

$$P = mg$$

Величина веса тела зависит от механического
состояния опоры: движется ли она с ускорением
или находится в покое.

1. Если **ускорение опоры** равно **нулю**, то вес тела
равен силе тяжести:

$$P = mg$$

2. Если опора движется **вверх с ускорением**, то вес тела **больше** силы тяжести (перегрузки):

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

В этом случае вводится коэффициент перегрузки:

$$n = P/mg.$$

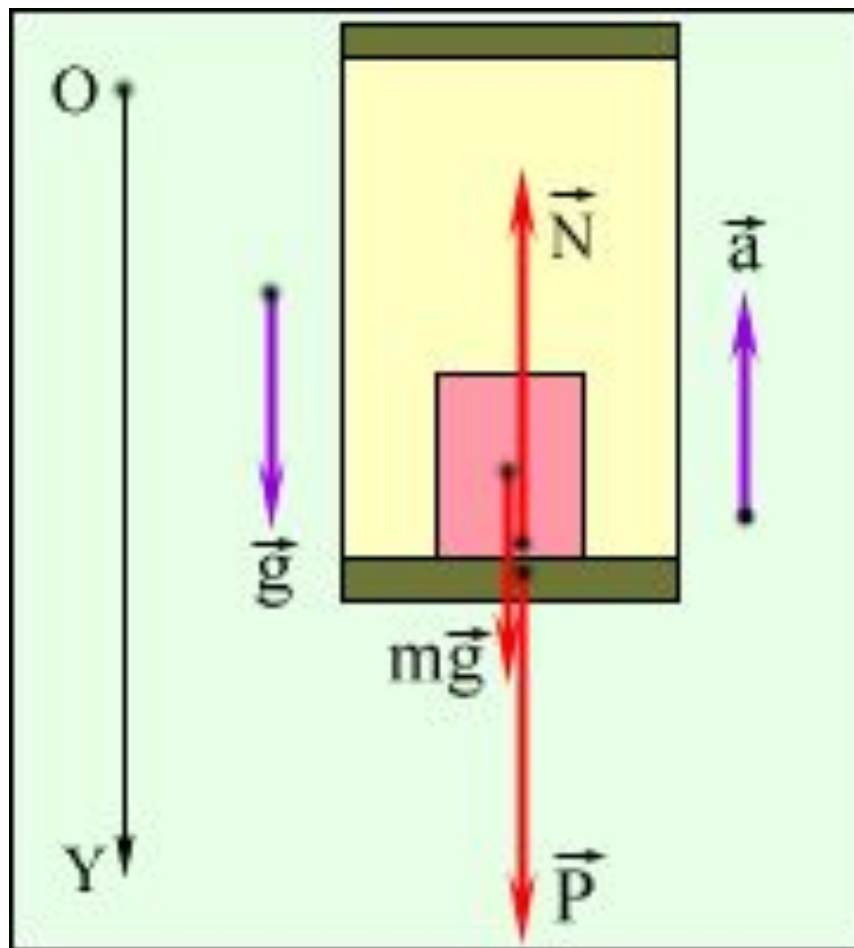
3. Если опора движется **вниз с ускорением**, то вес тела **меньше** силы тяжести:

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

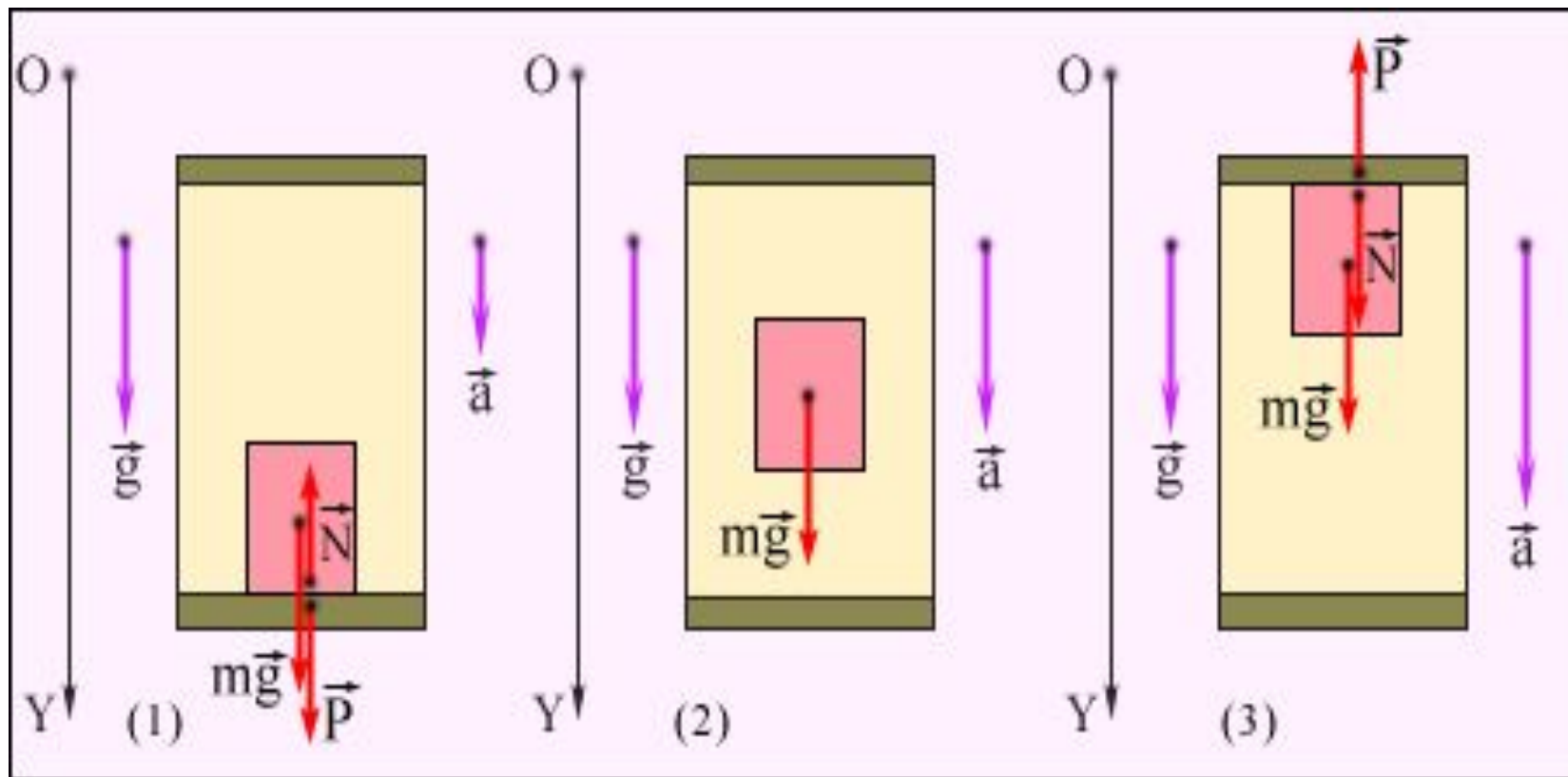
В этом случае при $a = g$ наступает **невесомость**.

Невесомость – состояние тела, при котором вес тела **равен нулю**.

При движении опоры вверх с ускорением тело испытывает перегрузки.



При движении опоры вниз с ускорением, большим ускорения свободного падения, вес тела меняет своё направление а тело вновь испытывает перегрузки.



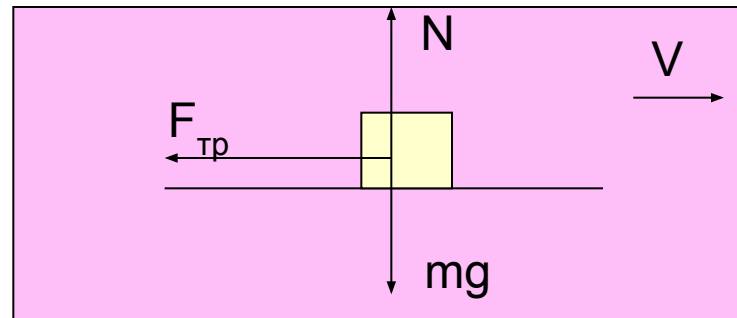
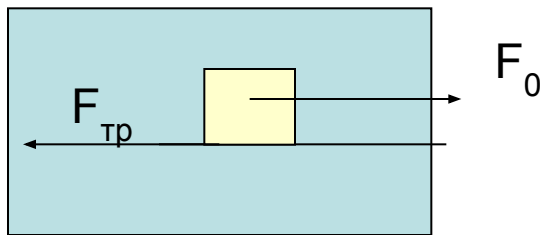
Сила трения

Сила трения бывает трёх видов: сила трения покоя, сила трения скольжения и сила трения качения.

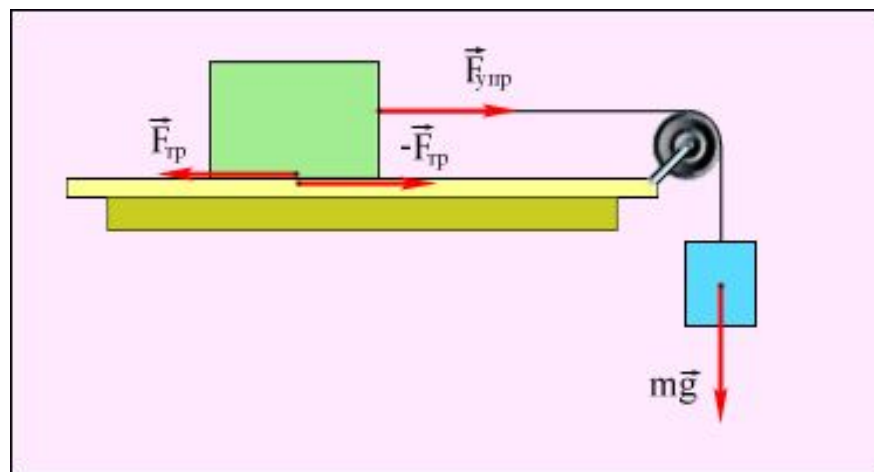
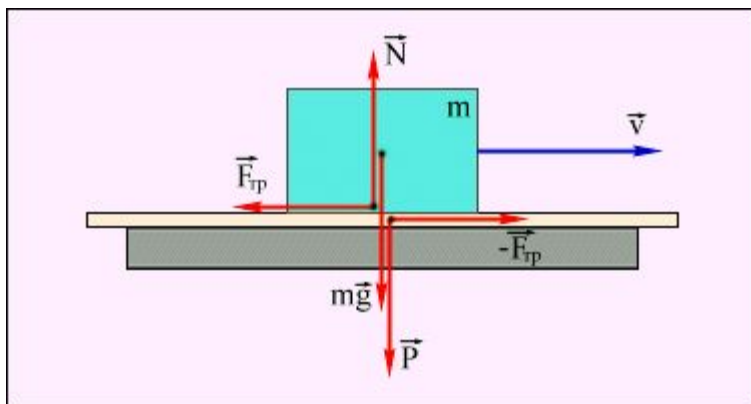
Сила трения покоя по модулю равна той силе, которая выводит тело из состояния покоя: $F_{\text{покоя}} = -F_0$.

Сила трения скольжения равна произведению коэффициента трения скольжения k на силу, прижимающую тело к опоре (силу реакции опоры):

$$F_{\text{тр}} = k N$$



Сила трения скольжения всегда направлена против скорости движения тела и возникает в обоих трущихся поверхностях.



Сила упругости

Сила упругости возникает при деформации тел.

Деформация – изменение линейных размеров тел.

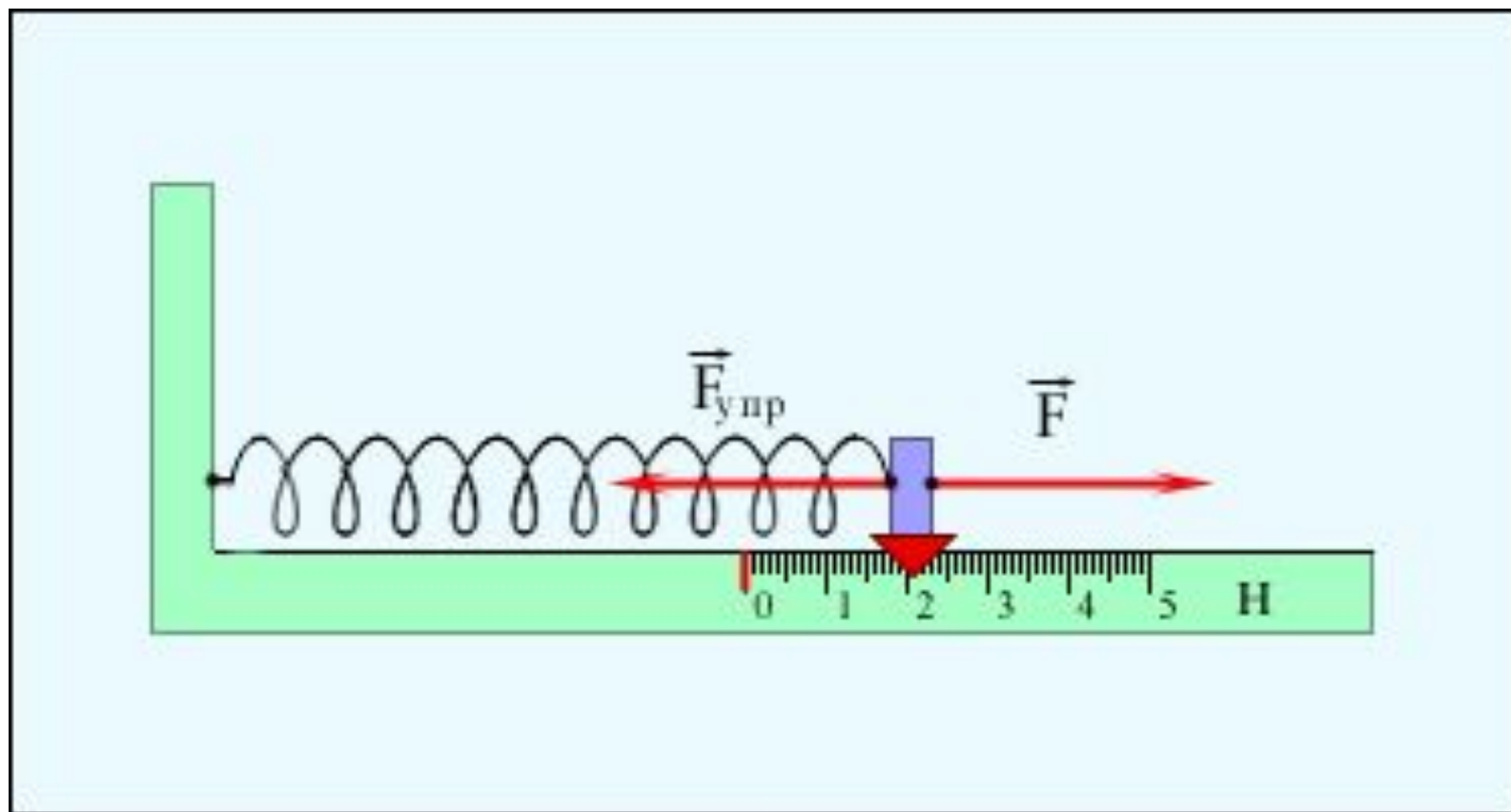
Деформации бывают упругими и пластическими.

Упругой называется деформация, при которой тело восстанавливает свои первоначальные размеры.

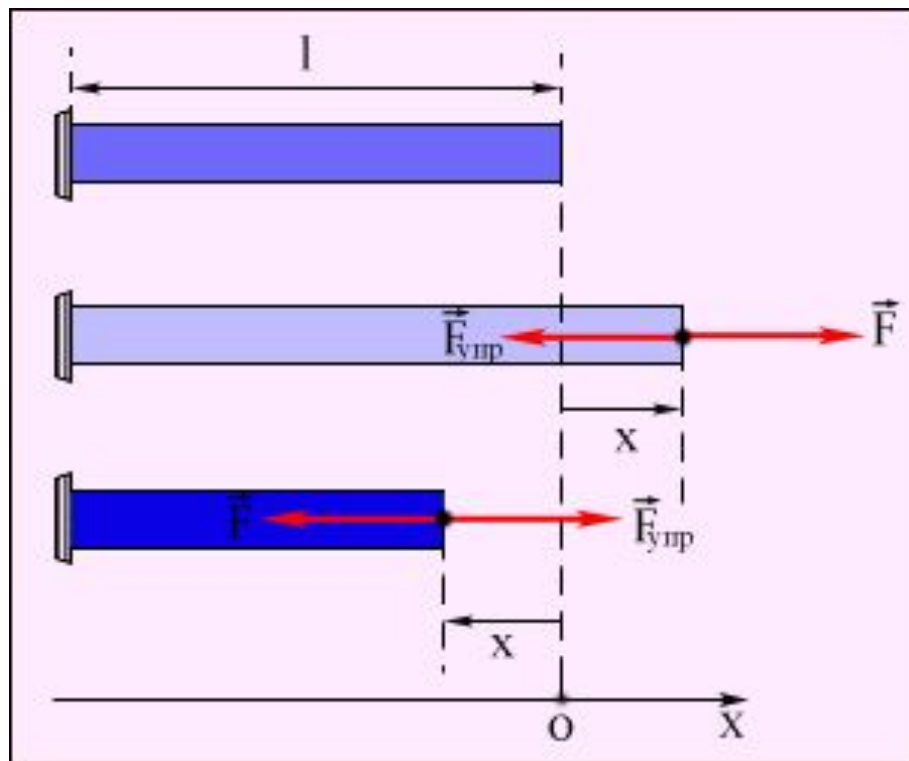
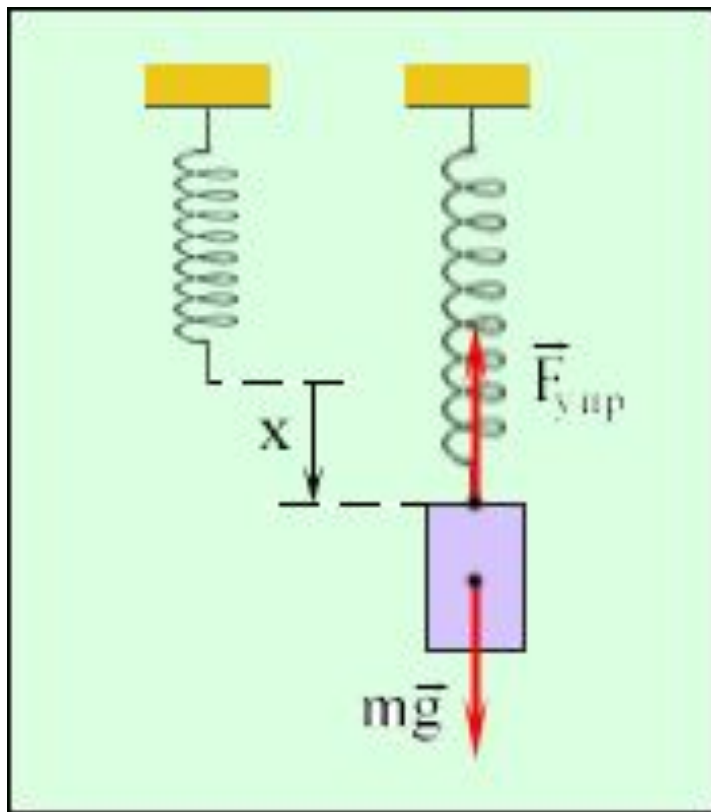
В области упругой деформации справедлив закон Гука: сила упругости прямо пропорциональна абсолютному удлинению.

$$F_{\text{упр.}} = kx$$

Силу упругости легко наблюдать в пружинах, поскольку абсолютное удлинение заметно визуально.



На рисунках показано направление упругой силы.



$$k = F_{\text{упр}} / x$$

Коэффициент жёсткости пружины k :

- равен упругой силе, возникающей при единичном удлинении.
- измеряется в Н/м.

$$k = F_{\text{упр}} / x$$

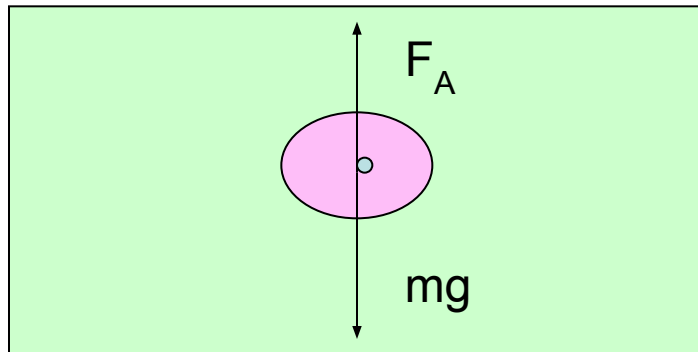
Пластической называется деформация, при которой первоначальные размеры **тела не восстанавливаются**.

Сила упругости, вес тела, сила реакции опоры – проявление электромагнитного взаимодействия.

Сила Архимеда

На тело, погружённое в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх.

Закон Архимеда: выталкивающая сила равна весу вытесненной жидкости в объёме погружённой части тела.



$$F_A = \rho g V$$

Условие плавания тел:

$$mg = F_A$$