

Лекция 2. Динамика.

К.ф.-м. наук, доцент, доцент
департамента общей и
экспериментальной физики
ДВФУ
Дьяченко О.И.



План лекции:

1. Первый закон Ньютона;
2. Принцип относительности Галилея;
3. Второй закон Ньютона;
4. Третий закон Ньютона;
5. Фундаментальные физические взаимодействия. Гравитационное взаимодействие;
6. Электромагнитное взаимодействие;
7. Сильное и слабое взаимодействия.

1. Первый закон Ньютона.

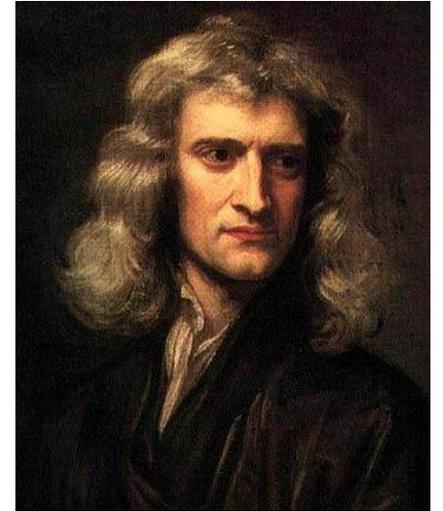
Раздел механики «Динамика» занимается изучением причин движения.

В основе ньютоновской механики лежат три закона динамики, сформулированные Ньютоном в 1686-1687 гг.

Первый закон Ньютона: всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Система (группа систем) в которой выполняется первый закон Ньютона – **инерциальная система отсчета.**

Установить, инерциальна система или нет может только опыт. Но ни один опыт не может со 100% гарантией подтвердить это. Система отсчета, связанная с Землей, строго говоря инерциальной не является из-за вращения Земли как вокруг собственной оси, так и вокруг Солнца. Можно считать инерциальной гелиоцентрическую систему отсчета (начало совмещено с центром Солнца (гелиос), а оси направлены на неподвижные звезды). Любая система отсчета, которая движется относительно инерциальной равномерно и прямолинейно тоже является инерциальной.

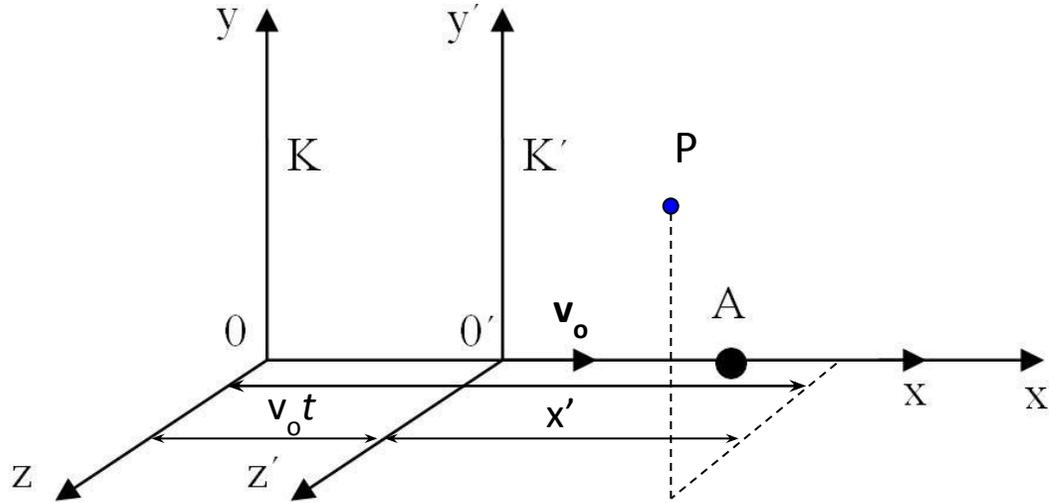


Сэр Исаак Нью́тон
([1642](#) - [1727](#))

английский физик, математи
и астроном, один из
создателей классической
физики

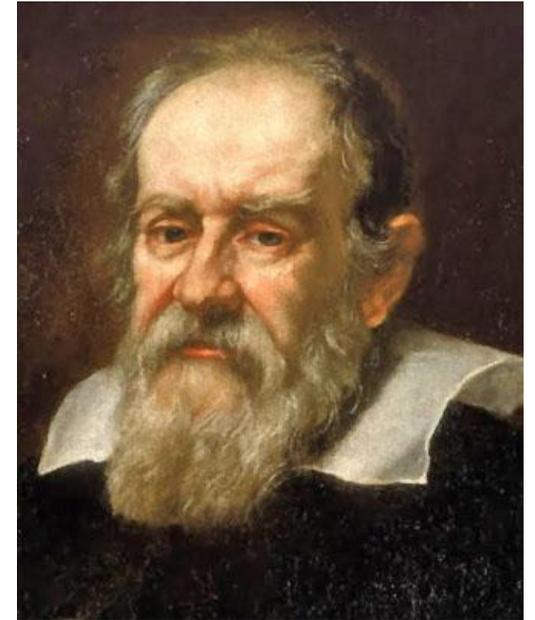
2. Принцип относительности Галилея.

Рассмотрим две системы отсчета, движущиеся относительно друг друга с постоянной скоростью v_0 . Найдем связь между координатами точки P в системе K и координатами той же точки в системе K'.



$$x = x' + v_0 t', y = y', z = z', t = t'$$

Совокупность этих четырех уравнений называется преобразованиями Галилея



Галиле́о Галиле́й (1564 — 1642) — итальянский физик, механик, астроном

2. Принцип относительности Галилея.

Продифференцировав полученные соотношения получим:

$$v_x = v'_x + v_0, v_y = v'_y, v_z = v'_z$$
$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$$

Закон сложения скоростей: скорость тела относительно неподвижной системы отсчёта есть скорость тела относительно движущейся системы отсчёта плюс скорость движущейся системы относительно неподвижной

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0$$

когда скорость системы отсчёта постоянна, то ускорения в обеих системах отсчёта одинаковы. Если же скорость системы отсчёта изменяется, то ускорения в обеих системах отсчёта различаются на ускорение системы отсчёта.

Важным свойством инерциальных систем является их **инвариантность** по отношению к преобразованию координат при переходе из одной инерциальной системы к другой. Иначе говоря, ***уравнения динамики не изменяются при переходе от одной инерциальной системы к другой.***

Для выполнения принципа относительности Галилея пространство должно обладать симметрией. Под этим понимают однородность пространства (равноправие всех точек), изотропность пространства (равноправие всех направлений) и однородность времени (равноправие всех моментов).

Положение о том, что все механические явления в различных инерциальных системах отсчета протекают одинаковым образом, вследствие чего никакими механическими опытами невозможно установить, покоится данная система отсчета или движется прямолинейно и равномерно носит название **принципа относительности Галилея**

2. Принцип относительности Галилея.



Если с мачты сбросить камень, то он упадет в одно и то же место как неподвижного корабля, так и движущегося равномерно.

Экспериментальная проверка 1642 г., Марсель, физиком Пьером Гассендом

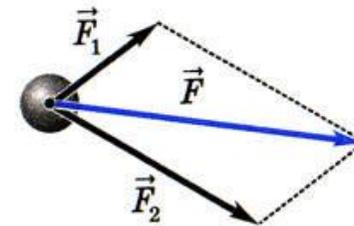
Уединитесь в просторное помещение под палубой корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными летающими насекомыми; пусть будет у вас там также сосуд с водой и плавающими в нем рыбками; подвесьте далее наверху ведро, из которого вода будет капать в другой сосуд с узким горлышком, поставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте *прилежно* как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы будут плавать во всех направлениях; все падающие капли попадут в поставленный сосуд, и вам, бросая другу какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую... Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью, и тогда (если только движение будет равномерным и без качки) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно...»

3. Второй закон Ньютона.

Сила (F) – векторная физическая величина являющаяся мерой воздействия (способности изменять положение, скорость, форму и т.д.) на данное тело со стороны других тел.

Измеряется в ньютонах [H].

Подчиняется **принципу суперпозиции**: результат воздействия на частицу нескольких внешних сил есть векторная сумма воздействия этих сил.



Масса (m) – мера **инертности** тела (, а так же определяет гравитационные свойства).

В Международной системе единиц СИ (у нас введена с 1982 года), единица измерения массы – 1 кг. Масса земли $M_3 \sim 6 \cdot 10^{27}$ кг. $M_c \sim 2 \cdot 10^{33}$ кг. **Килограмм** – это масса цилиндра платино-иридиевого эталона (на который могут прилипать или отделяться молекулы) , хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре (близ Парижа). Материал выбран с идеей минимального взаимодействия эталона с окружающей средой (инертности, отсутствие окисления, сорбции и тд)

Инертность – способность тела оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствие внешних воздействий, а также препятствовать изменению своей скорости при наличии внешних сил.

Импульс – векторная физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость : $\vec{p} = m\vec{v}$

Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета ускорение всякого тела прямо пропорционально результирующей силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе тела.

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \sum \vec{F} \quad m\vec{a} = \sum \vec{F} \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum \vec{F} \quad \rightarrow \quad m \frac{d}{dt} \frac{d\vec{r}}{dt} = m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = m\ddot{\vec{r}} = \sum \vec{F}$$

3. Второй закон Ньютона.

Поскольку ускорение определяет быстроту изменения скорости материальной точки и, если её масса не изменяется при движении, то второй закон Ньютона может быть сформулирован так:

«Быстрота изменения импульса материальной точки определяется силой, действующей на неё».

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

Формулировка второго закона Ньютона в таком виде является более точной, так как описывает движение не только материальных точек с постоянной массой, но и твёрдых тел, а также тел с переменной массой (реактивное движение). Именно в такой форме второй закон динамики был сформулирован И.Ньютоном в «Математических началах натурфилософии» в 1687 году.

Если на материальную точку действует несколько сил, то быстрота изменения её импульса определяется результирующей всех действующих на неё сил:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}$$

Если ввести величину, равную произведению силы на время её действия, называемую импульсом силы, то второй закон Ньютона может быть представлен в такой форме – изменение импульса материальной точки равно импульсу силы, действующей на неё:

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

4. Третий закон Ньютона.

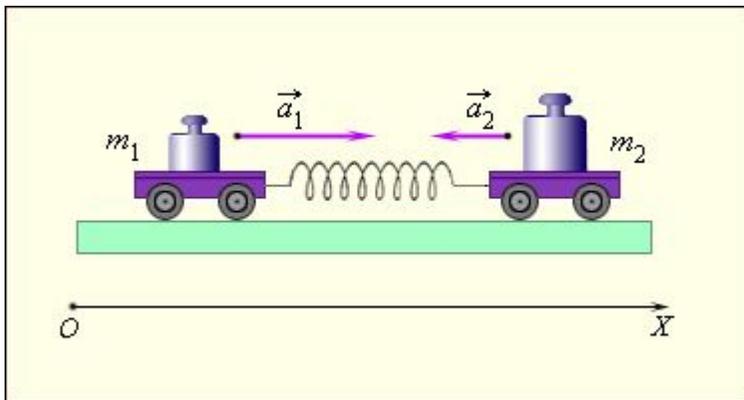
Третий закон Ньютона : «Силы, с которыми действуют друг на друга взаимодействующие тела, равны по модулю и противоположны по направлению»

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

Всякое действие тел друг на друга носит характер взаимодействия: если тело 1 действует на тело 2 с силой \vec{F}_{12} , то и тело 2 в свою очередь действует на тело 1 с силой \vec{F}_{21} .

Третий закон Ньютона называют законом действия и противодействия.

«Если кто нажимает пальцем на камень, то и палец его тоже нажимается камнем. Если лошадь тащит камень, привязанный к канату, то и обратно она с равным усилием оттягивается к камню..» И. Ньютон.



Третий закон Ньютона справедлив во всех (даже в неинерциальных) системах отсчета.

5. Фундаментальные физические взаимодействия. Гравитационное взаимодействие

В природе существуют четыре фундаментальные силы и все физические явления обусловлены всего **четырьмя видами взаимодействий**:

сильное

электромагнитное

слабое

гравитационное

1. Гравитационное взаимодействие: Работает в том числе и для космических тел. Радиус действия не ограничен. Очень слабое и составляет примерно 10^{-40} от сильного. Нет преград и не возможна экранировка.

Закона всемирного тяготения: две материальные точки притягивают друг друга с силой, пропорциональной массам этих точек и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

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

где коэффициент пропорциональности $G = 6,66 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$ ($\text{м}^3\text{кг}^{-1}\text{с}^{-2}$) называется

5. Фундаментальные физические взаимодействия. Гравитационное взаимодействие

Сила гравитации, проявляется на Земле в виде силы тяжести – силы, с которой все тела

притягиваются к Земле:

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

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

- g – уменьшается на 0.2% от полюсов к экватору так как Земля сплюснута (от полюсов до центра на 21 км меньше чем от экватора).
- На Луне в 6 раз меньше
- На высоте 350 километров (высота нахождения станции) ускорение свободного падения имеет значение 8,8 м/с², что всего лишь на 10 % меньше, чем на поверхности Земли
- Растениям достаточно 10% от величины g , чтобы знать направление роста.

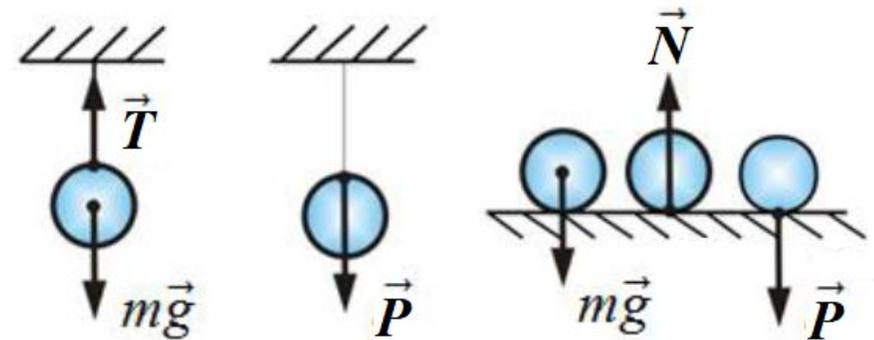
Если подвесить тело или положить его на опору, то сила тяжести уравнивается силой, которую называют реакцией опоры \vec{N} , или подвеса \vec{T} .

Вес тела \vec{P} – это сила, с которой тело действует на подвес или опору вследствие гравитационного притяжения к Земле

Если подвес (опора) и тело покоятся относительно Земли (или движутся равномерно, прямолинейно), то *вес и сила тяжести равны друг другу*: $P = mg$

Если имеет место движение с ускорением, то $P = mg \pm ma$

Вес тела может быть больше или меньше силы тяжести: если g и a направлены в одну сторону (тело движется вниз или падает), то $P < mg$, и если наоборот, то $P > mg$. Если же тело движется с ускорением $a = g$, то $P = 0$ – т. е. наступает *состояние невесомости*.



6. Электромагнитное взаимодействие

2. Электромагнитное взаимодействие: Радиус действия **неограничен**, или, как говорят, радиус действия стремится к бесконечности: $r \rightarrow \infty$. К этому взаимодействию относятся **силы трения, упругости и наших мышц**. Взаимодействия передаваемые посредством поля со скоростью c . Переносчиком является фотон.

Сила упругости

Под действием внешних сил возникают **деформации**, т. е. смещение частиц тела из равновесных положений. Если после прекращения действия внешних сил восстанавливаются прежние форма и размеры тела, то деформация называется **упругой**. Деформация имеет упругий характер в случае, если внешняя сила не превосходит определенного значения, называемого **пределом упругости**. При превышении этого предела деформация становится **пластичной**, или **неупругой**, т. е. первоначальные размеры и форма тела полностью не восстанавливаются.

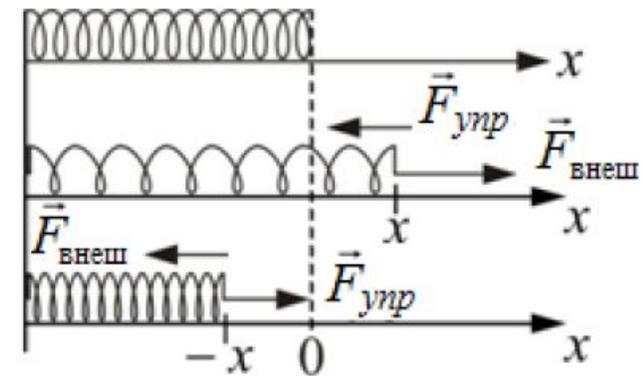
Сила упругости – это сила, возникающая при упругой деформации тела.

Закон Гука для пружины: сила упругости прямо пропорциональна смещению тела и противоположна ему по знаку:

$$F_{\text{упр}} = -kx$$

Потенциальная энергия упругой пружины равна работе, совершенной над пружиной. **Полная работа**, которая совершена пружиной, равна:

$$A = \int_0^x F dx = \int_0^x -kx dx = -\frac{kx^2}{2}$$



6. Электромагнитное взаимодействие

Обобщенный закон Гука (закон Гука для стержня): относительное приращение длины стержня прямо пропорционально напряжению и обратно пропорционально модулю Юнга.

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

Нормальное напряжение σ – величина, равная отношению силы к площади поверхности, на которую она действует. Единица измерения – [Па]

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}$$

Относительное приращение длины стержня ε (относительное продольное растяжение/сжатие) – отношение абсолютного удлинения к начальной длине образца

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

Модуль Юнга E – величина, характеризующая упругие свойства материала стержня. Единица измерения – [Па]. Физический смысл модуля Юнга: он равен такому нормальному напряжению, при котором относительное удлинение было бы равно единице.

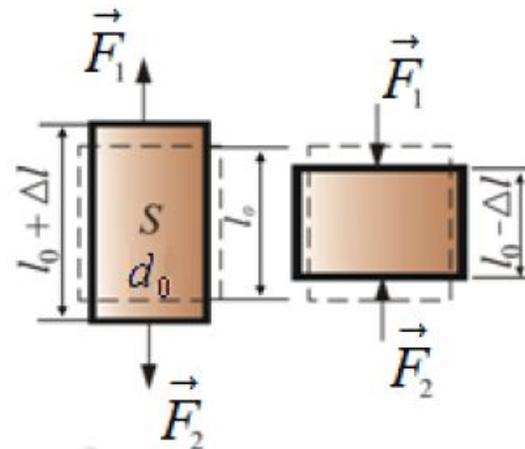
Обобщенный закон Гука: $F_{\text{упр}} = S\sigma = S\varepsilon E = S \frac{\Delta l}{l_0} E = S \frac{E}{l_0} \Delta l = k\Delta l$

Отношение относительного поперечного растяжения стержня $\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d_0}$ к относительному продольному растяжению $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ называют **коэффициентом Пуассона**: $\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$

Потенциальная энергия упруго растянутого (сжатого) стержня: $E_{\text{п}} = \int_0^{\Delta l} F dx = \frac{1}{2} S \frac{E}{l_0} (\Delta l)^2 = \frac{1}{2} E \varepsilon V$, где

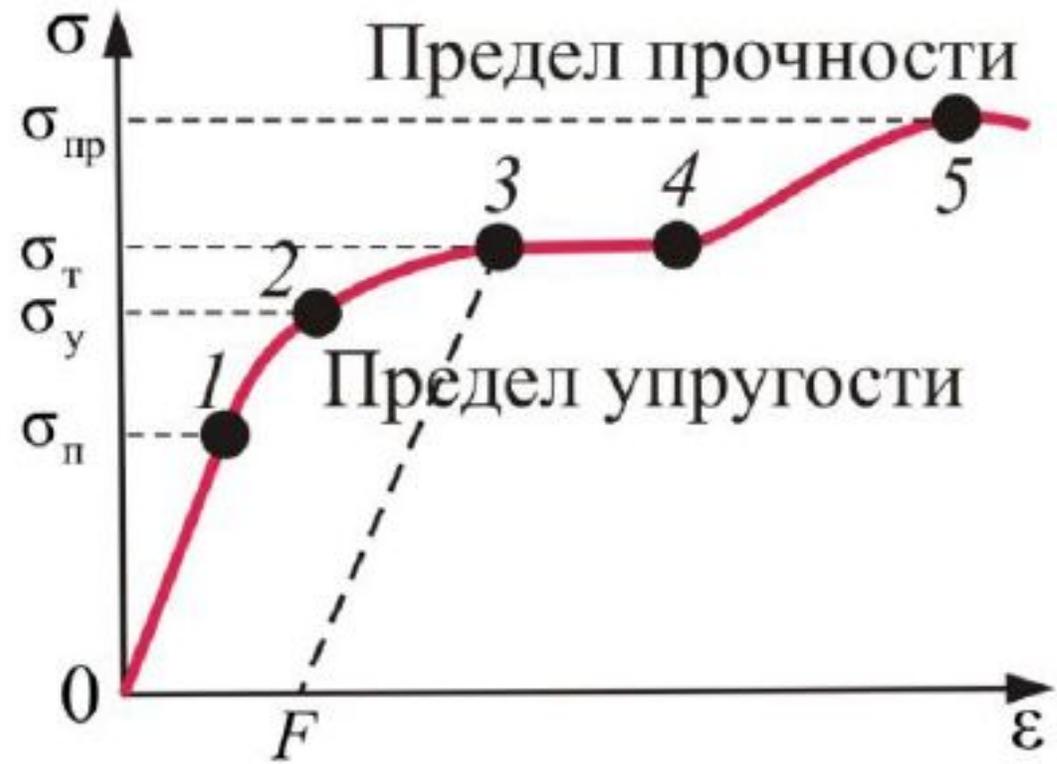
V – объем стержня. **Объемная плотность потенциальной энергии тела** при растяжении определяется

удельной работой по преодолению упругих сил $A_{\text{упр}}$, рассчитанной на единицу объема тела: $w_{\sigma} = A_{\text{упр}} = \frac{\sigma^2}{2E}$



6. Электромагнитное взаимодействие

Диаграмма деформации



6. Электромагнитное взаимодействие

Силой трения называют силу, которая возникает при движении одного тела по поверхности другого. Она всегда направлена противоположно направлению движения. Сила трения прямо пропорциональна силе нормального давления на трущиеся поверхности и зависит от свойств этих поверхностей. *Законы трения связаны с электромагнитным взаимодействием, которое существует между телами.*

Различают трение *внешнее и внутреннее.*

Внешнее трение возникает при относительном перемещении двух соприкасающихся твердых тел (трение скольжения или трение покоя).

Внутреннее трение наблюдается при относительном перемещении частей одного и того же сплошного тела (например, жидкость или газ).

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

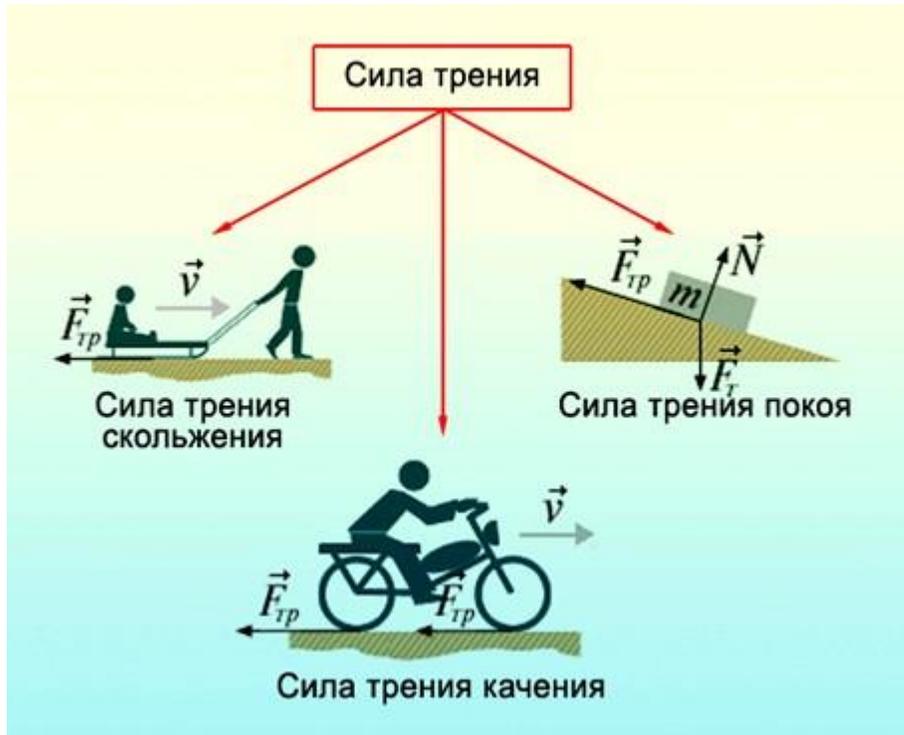
Сухое трение возникает между поверхностями твердых тел в отсутствие смазки.

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

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

6. Электромагнитное взаимодействие

Виды сухого трения



Сила трения покоя – это 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. Она действует в направлении, противоположном направлению возможного относительного движения.

$$F_{тр.п.} = \mu_0 N$$

Сила трения скольжения – это сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого и направленная против движения.

$$F_{тр.с.} = \mu N$$

Сила трения качения – это сила, возникающая между шарообразным телом и поверхностью, по которой оно катится.

$$F_{тр.к.} = \frac{\mu N}{R}$$

6. Слабое и сильное взаимодействия

Слабое взаимодействие: Такое же короткодействующее, как и сильное, но составляет от него примерно 10^{-15} и, например, отвечает за все виды β -распада ядер (спонтанный процесс превращения нейтрона в протон, электрон и антинейтрино). Если его выключить погаснет Солнце (4 протона превращаются в ${}^4\text{He}$). Гораздо сильнее гравитационного. Отвечает за распад радиоактивных элементов. Его переносчиком (в квантовой физике у каждого взаимодействия есть переносчик) являются так называемые Z и W бозоны.

Сильное взаимодействие: Это действительно самое сильное из четырех видов взаимодействия, но радиус его действия очень мал и ограничивается размерами атомного ядра: $r \sim 10^{-15}$ м. Сильное взаимодействие просто обеспечивает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов. Это взаимодействие переносится глюонами.



Дополнительный материал

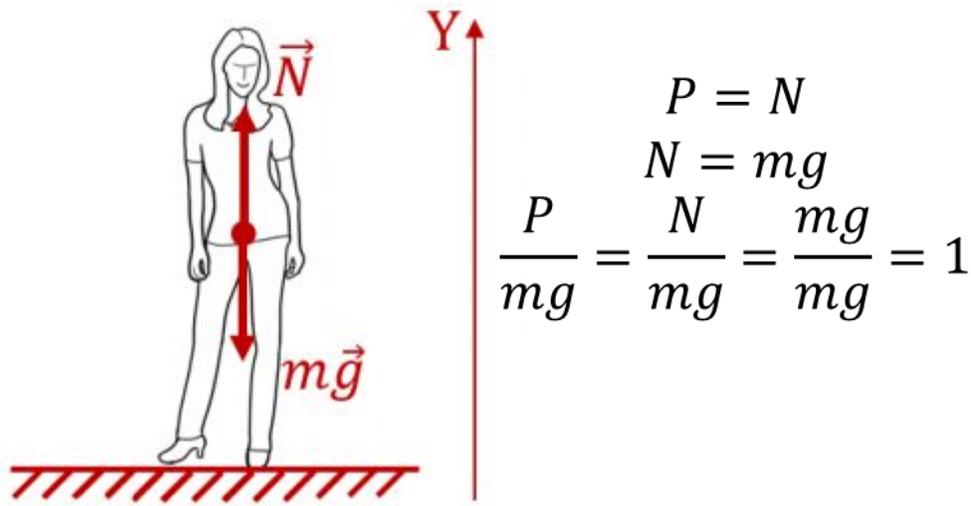
6. Перегрузки

Перегрузкой называется отношение веса тела к величине силы тяжести, действующей на это тело у поверхности земли:

$$\frac{P}{mg}$$

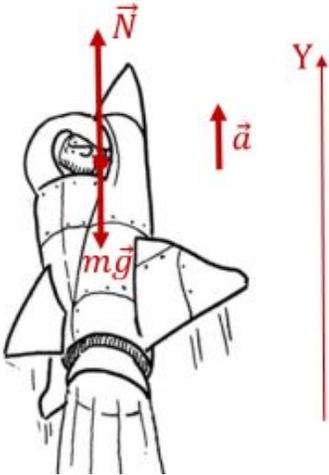
Величина безразмерная!

Пример 1. Чему равна перегрузка человека, стоящего на земле? Чему равна перегрузка человека, свободно падающего с некоторой высоты?



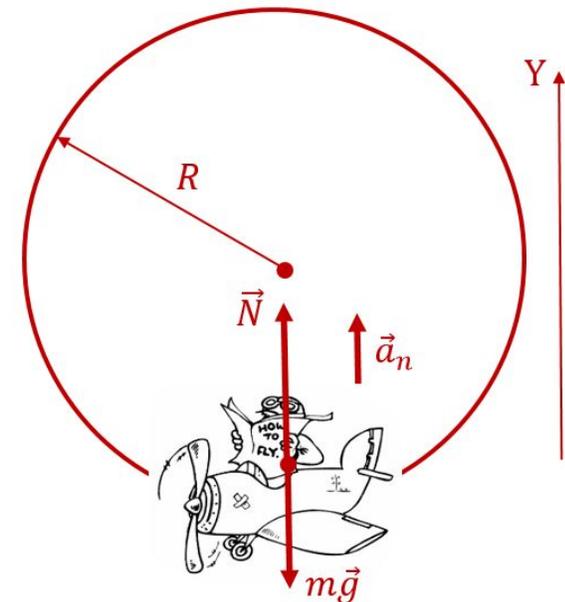
6. Перегрузки

Пример 2. Определите перегрузку космонавтов, находящихся в ракете, движущейся на небольшой высоте вверх с ускорением 40 м/с^2 .



$$\begin{aligned} P &= N \\ N - mg &= ma \\ N &= mg + ma \\ \frac{P}{mg} &= \frac{N}{mg} = \frac{mg + ma}{mg} = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{g + a}{g} = 5 \end{aligned}$$

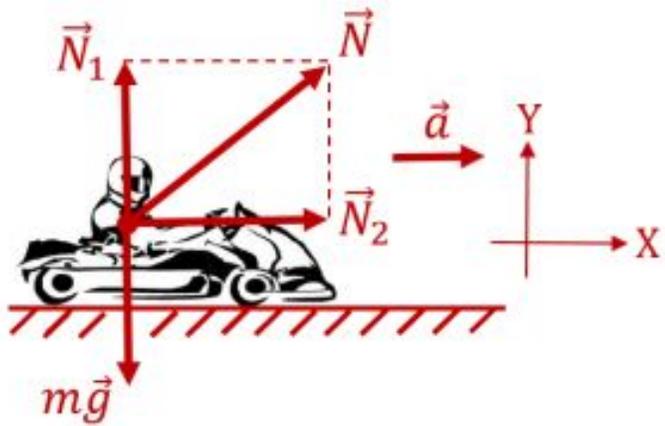
Пример 3. Рассчитайте перегрузку, которую испытывает пилот самолёта, выполняющего «мёртвую петлю» в нижней точке траектории. Скорость самолёта в этой точке составляет 360 км/ч . Радиус «мёртвой петли» составляет 200 м .



$$\begin{aligned} P &= N \\ N - mg &= ma_n = m \frac{v^2}{R} \\ N &= m \left(g + \frac{v^2}{R} \right) \\ \frac{P}{mg} &= \frac{N}{mg} = \frac{m \left(g + \frac{v^2}{R} \right)}{mg} = \frac{g + \frac{v^2}{R}}{g} = 6 \end{aligned}$$

6. Перегрузки

Пример 4. Рассчитайте перегрузку, которую испытывает водитель автомобиля, разгоняющегося с места до скорости 180 км/ч за 10 с.



$$P = N$$
$$N = \sqrt{N_1^2 + N_2^2} = \sqrt{(mg)^2 + (ma)^2}$$
$$\frac{P}{mg} = \frac{N}{mg} = \frac{\sqrt{(mg)^2 + (ma)^2}}{mg} = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{g}\right)^2} = 1.1$$