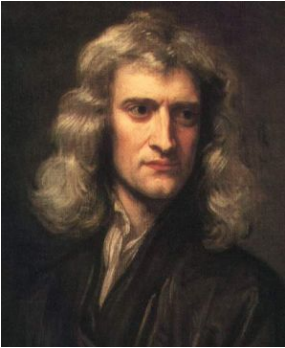


Лекция 1.2 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ. ДИНАМИКА

Е.В. Феськова,
канд. пед. наук, доцент кафедры «Инженерный бакалавриат CDIO»

ПЕРВЫЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА



Исаак Ньютон
английский физик
(1642 – 1726)

Исаак Ньютон:

Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние

Первый закон И. Ньютона (закон инерции): всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит ее изменить это состояние

Первый закон И. Ньютона (закон инерции): существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано

ПЕРВЫЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА

СУЩНОСТЬ ПЕРВОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА:

Все тела обладают свойствами инерции

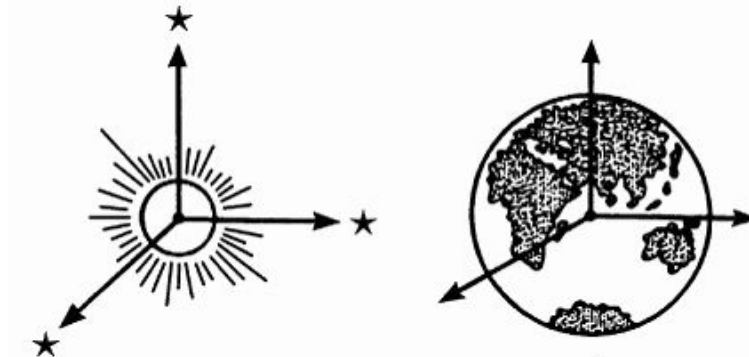
Существуют инерциальные системы отсчёта (движутся без ускорения)

Движение (покой) относительно

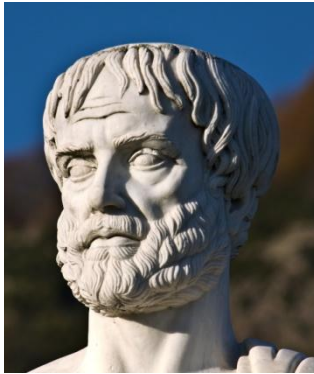
Если тело движется равномерно и прямолинейно ($a=0$), то $\sum \vec{F}_i = 0$

Инерциальной системой отсчёта является такая система отсчёта, относительно которой материальная точка, свободная от внешних воздействий, либо покоится, либо движется прямолинейно и равномерно (т. е. с постоянной скоростью)

Первый закон Ньютона утверждает существование инерциальных систем отсчёта.



ИНЕРЦИЯ



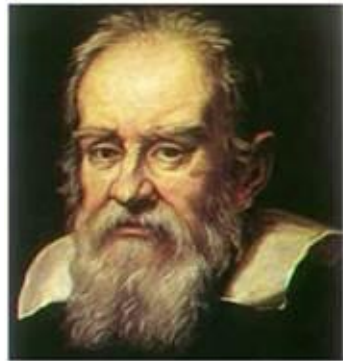
Аристотель
384 г. до н.э. -
322 г. до н.э.

Инерция дословно означает «бездействие»

Аристотель

Инерция - тело сохраняет свою скорость постоянной, или покоится, если на него не действуют другие тела.

Галилео Галилей



Галилео Галилей
(1564 – 1642)

Инерция (неподвижность, бездеятельность) – явление сохранения состояния покоя или равномерного прямолинейного движения тел в отсутствие внешних воздействий

Инерция — свойство тел оставаться в некоторых системах отсчёта в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствии или при взаимной компенсации внешних воздействий

ИНЕРЦИЯ



ИНЕРЦИЯ



Телега будет находиться в состоянии покоя, пока на нее не подействует другое тело (лошадь)



Пуля будет находиться в стволе пистолета, пока на нее не подействуют пороховые газы

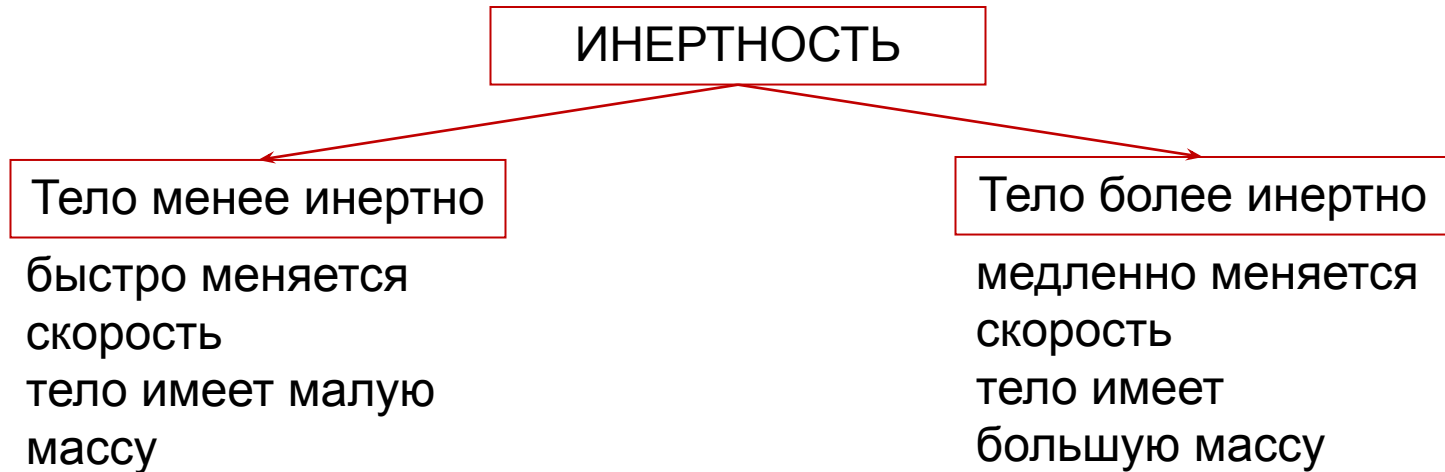


При разгоне автобуса пассажиры наклоняются назад, при торможении – вперед



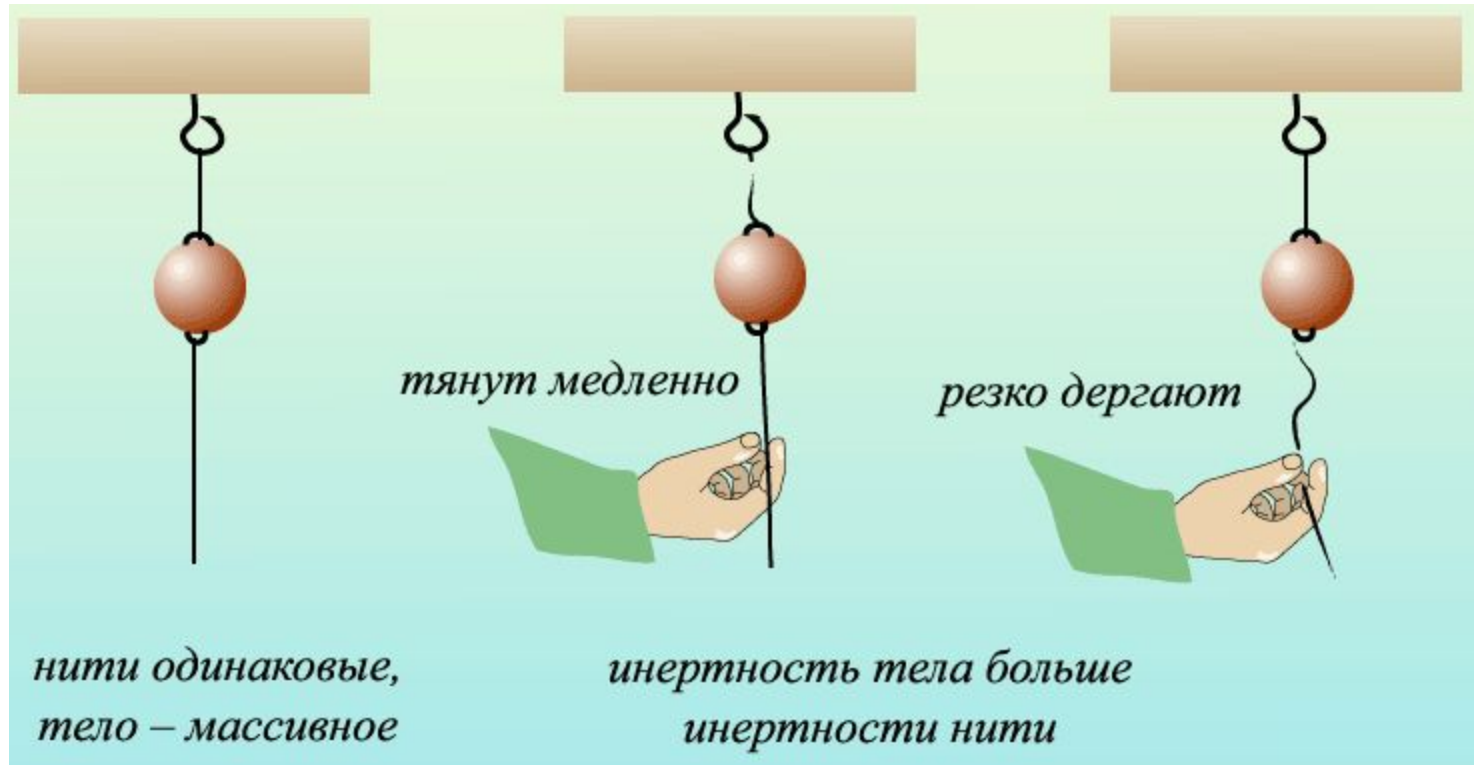
ИНЕРТНОСТЬ

Инертность — свойства тел противодействовать мгновенному изменению направления или скорости движения

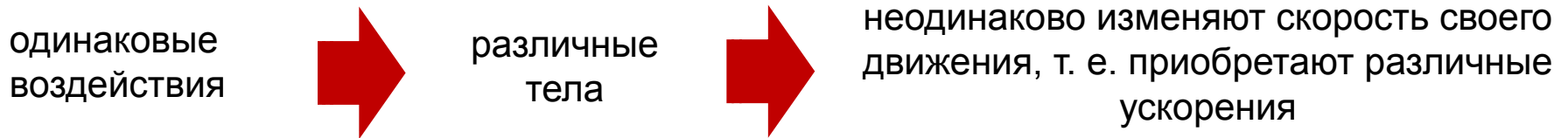


**мерой инертности в физике
является масса тела**

ИНЕРТНОСТЬ



ПОНЯТИЕ МАССЫ ТЕЛА



Масса – универсальная мера материи и мера инертности тела

Инертная масса

под действием постоянной силы
тело приобретает тем меньшее
ускорение, чем больше его масса



Гравитационная масса

показывает, с какой силой тело
взаимодействует с внешними
гравитационными
полями и какое гравитационное
поле создаёт само это тело

Масса – скалярная величина. За единицу массы в СИ принята масса эталона в 1 кг из сплава иридия и платины.

Масса тела не зависит от его географического положения на Земле.

Масса тела равна арифметической сумме масс его частей (**аддитивность**), т. е.

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

МАССА В РАМКАХ ЗАКОНОВ НЬЮТОНА

Масса в рамках второго закона Ньютона — это коэффициент пропорциональности между силой и ускорением.

- Масса — величина скалярная
- Масса — величина неотрицательная
- Масса с хорошей точностью не зависит от положения тел и от скорости их движения
- Масса составного тела равна сумме масс составляющих это тело частей

ПОНЯТИЕ СИЛЫ

Действие силы



тело изменяет скорость движения, т.е. приобретает ускорение (динамическое проявление сил)



тело деформируется, т. е. изменяет свою форму и размеры (статическое проявление сил)

Силой F называется векторная физическая величина, являющаяся **мерой механического воздействия на тело** со стороны других тел или физических полей (гравитационного, электрического, магнитного, электромагнитного) и **характеризующая величину и направление этого воздействия**

Характеристики силы:

1. направление
2. величина (или модуль),
3. точка приложения силы (от этого зависит результат действия силы)

По определению:

- Величина силы численно равна величине деформации эталонного упругого тела, компенсирующего все взаимодействия
- Направление силы — направление этой деформации (растяжения)

ВТОРОЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА

Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики поступательного движения): в инерциальной системе отсчета векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы этого тела на сообщенное ему ускорение

Второй закон Ньютона: 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

$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{рез}} = m\vec{a}$$

Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета скорость изменения импульса материальной точки равна равнодействующей всех приложенных к ней внешних сил

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}$$

$$\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}$$

! масса материальной точки неизменна во времени

ВТОРОЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА

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

Импульсом (количеством движения) материальной точки называется векторная величина численно равная произведению массы материальной точки на ее скорость и имеющая направление скорости

Сущность второго закона Ньютона:

1. Тело движется с ускорением, то есть $a \neq 0$, если $\sum \vec{F}_i \neq 0$
2. Так как масса тела всегда величина положительная, то вектор ускорения всегда сонаправлен с результирующей всех сил, действующих на тело, то есть:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \uparrow\uparrow \vec{a}$$

3. Сила является мерой быстроты изменения импульса тела

Второй закон Ньютона справедлив только для движения тел со скоростями, много меньшими скорости света.

При движении тел со скоростями, близкими к скорости света, используется релятивистское обобщение второго закона (СТО).

$$m \frac{d^2 \vec{v}}{dt^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \vec{F}$$

Следует учитывать, что нельзя рассматривать частный случай второго закона как эквивалент первого, так как первый закон постулирует существование ИСО, а второй формулируется уже в ИСО

ВТОРОЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА

Общая формулировка второго закона Ньютона:

скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на нее силе

на материальную точку
действует одновременно
несколько сил



каждая из этих сил сообщает
материальной точке ускорение

принцип независимости действия сил

Исаак Ньютон:

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует

Единица силы в СИ — **ньютон (Н)**: 1 Н — сила, которая массе 1 кг сообщает ускорение 1 м/с² в направлении действия силы: $1\text{ Н} = 1\text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$.

ТРЕТИЙ ЗАКОН И. НЬЮТОНА

Исаак Ньютон: Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны

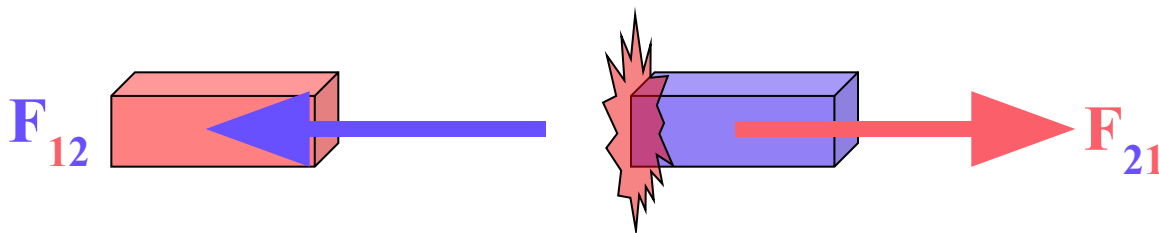
Третий закон Ньютона: Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\overline{\overline{F}}_1 = -\overline{\overline{F}}_2$$

Третий закон Ньютона говорит о том, что:

1. силы всегда возникают парами
2. силы всегда одинаковой природы, приложены к разным телам и противоположно направлены

Силы, связанные по 3 закону Ньютона, приложены к различным телам и, следовательно, никогда не могут начинаться в одной точке



**Для силы
Лоренца третий закон
Ньютона не
выполняется.**

Выполнение возможно
если переформулировать
его как закон сохранения
импульса в замкнутой
системе из частиц и
электромагнитного поля

СИЛЫ В ПРИРОДЕ

ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛ

гравитационное – описывается законом всемирного тяготения

электромагнитное – взаимодействие заряженных тел и частиц

сильное (ядерное) – обеспечивает связь частиц в атомном ядре

слабое – ответственное за многие процессы распада элементарных частиц

Фундаментальные
силы в природе

гравитационные и
электромагнитные

Нефундаментальные
силы в природе

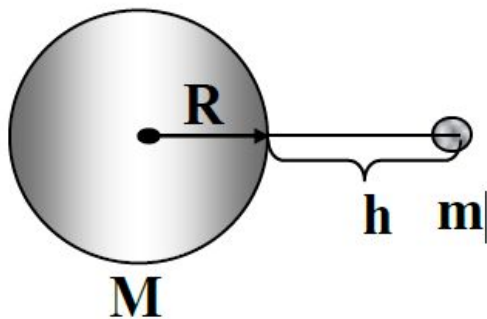
сила упругости и
сила трения

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Классическая теория тяготения Ньютона (Закон всемирного тяготения Ньютона) — закон, описывающий гравитационное взаимодействие в рамках классической механики

Для тела, взаимодействующего с планетой, в качестве расстояния берется расстояние от центра планеты до центра масс тела:

$$\left| \vec{F}_{\text{гп}} \right| = G \frac{M}{(R + h)^2}$$



ускорение свободного падения:

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

Скорость спутника:
$$v = G \frac{M}{R + h}$$

Период вращения:
$$T = \frac{2\pi(R + h)}{v}$$



СИЛА ТЯЖЕСТИ

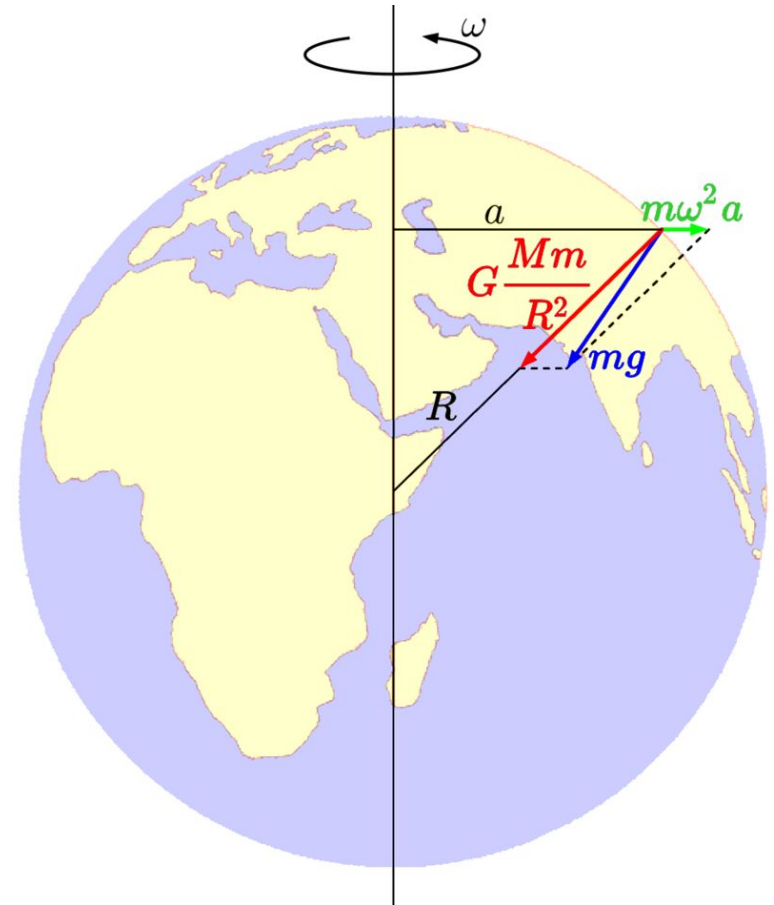
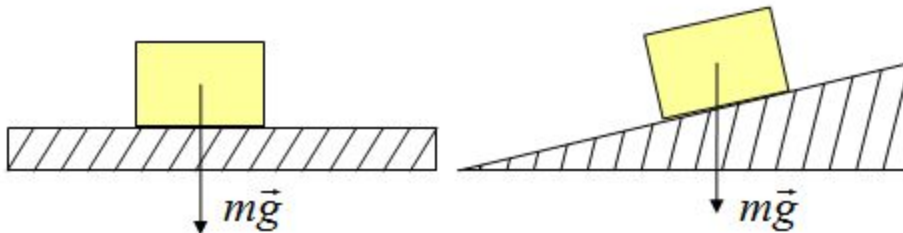
Сила тяжести — сила, действующая на любое физическое тело, находящееся вблизи поверхности Земли или другого астрономического тела

$$F_{\text{тяж}} = mg$$

Сила тяжести на поверхности планеты складывается из гравитационного притяжения планеты и центробежной силы, вызванной суточным вращением планеты

Остальные силы (притяжение Луны и Солнца) ввиду их малости не учитывают

Сила тяжести сообщает всем телам, независимо от их массы, одно и то же ускорение и является консервативной силой



СИЛА ТРЕНИЯ $F_{\text{тр}}$

Внешнее трение (сухое)

- возникает в плоскости касания двух соприкасающихся тел при их относительном перемещении

Если соприкасающиеся тела неподвижны относительно друг друга.
Тело находится на наклонной плоскости

ТРЕНИЕ ПОКОЯ
(сухое трение)

Если происходит относительное перемещение тел

ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ
ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ
ТРЕНИЕ ВЕРЧЕНИЯ

Сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения

Внутреннее трение (жидкое или вязкое) -

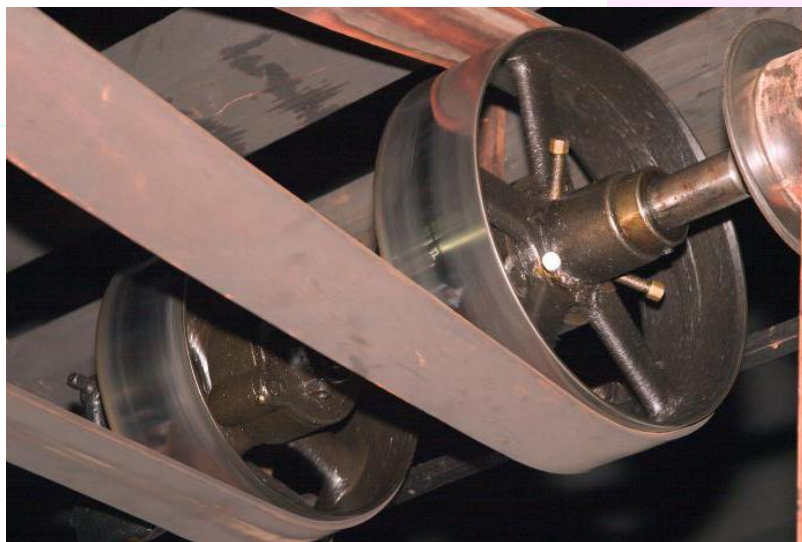
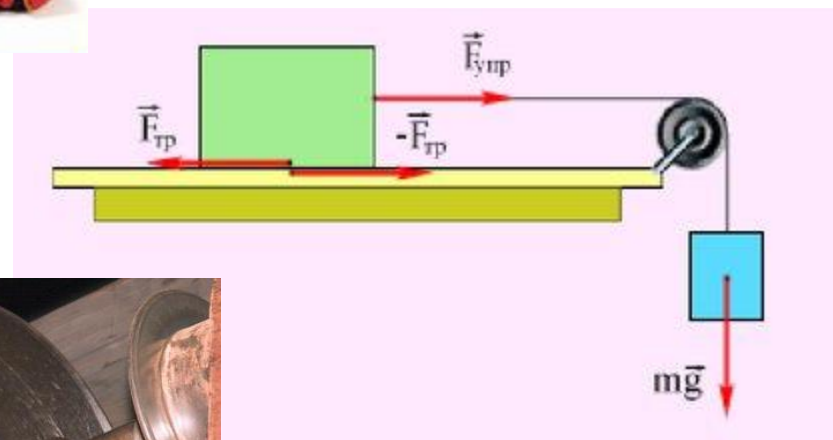
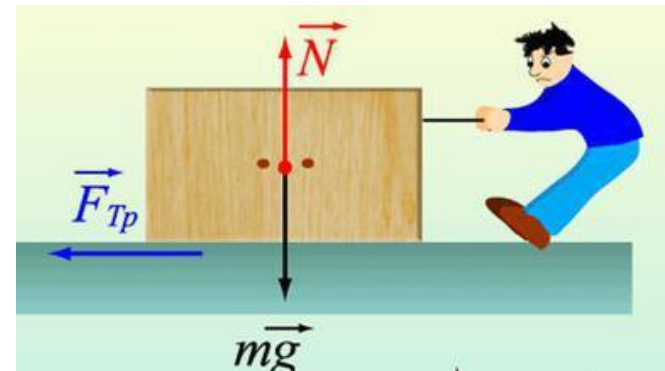
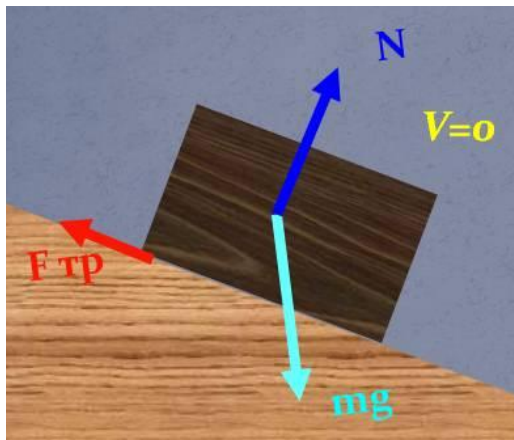
возникает между частями одного и того же тела, или между различными слоями жидкости или газа, скорости которых меняются от слоя к слою

Если тела скользят относительно друг друга и разделены прослойкой вязкой жидкости (смазки)

ТРЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ
(слой смазки достаточно толстый)

ТРЕНИЕ ГРАНИЧНОЕ
(слой смазки достаточно тонкий)

ТРЕНИЕ ПОКОЯ



ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ



Трением скольжения называется трение движения, при котором скорости тел в точке касания различны по значению и (или) направлению.

Трение скольжения сопровождается изнашиванием, т. е. отделением или остаточной деформацией материала, а также нагревом трущихся поверхностей тел (остаточной называется деформация, не исчезающая после прекращения действия внешних сил)

ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Трение качения - сопротивление движению, возникающее при перекатывании тел друг по другу т.е. сопротивление качению одного тела (катка) по поверхности другого.

Причина трения качения — деформация катка и опорной поверхности.

Катящееся тело вдавливаются в поверхность по которой перемещается, и перед ним всегда возникает небольшой бугорок, который нужно преодолеть. Чем поверхность тверже, тем трение качения меньше.

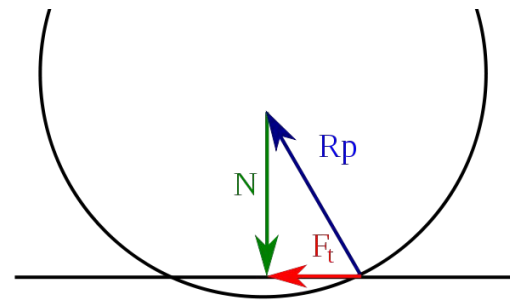
$$F_{тр} = \frac{mg}{R} \cdot k_{тр.кач.}$$

$k_{тр.кач}$ коэффициент трения, м

R радиус катка, м

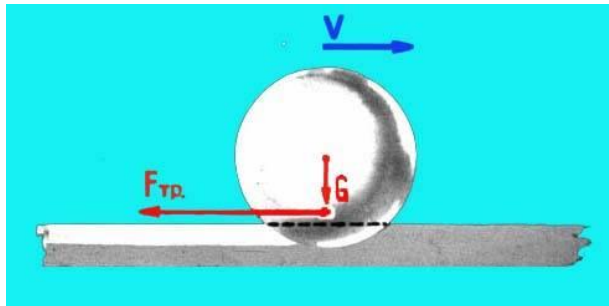
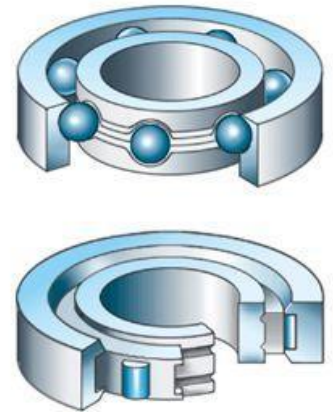
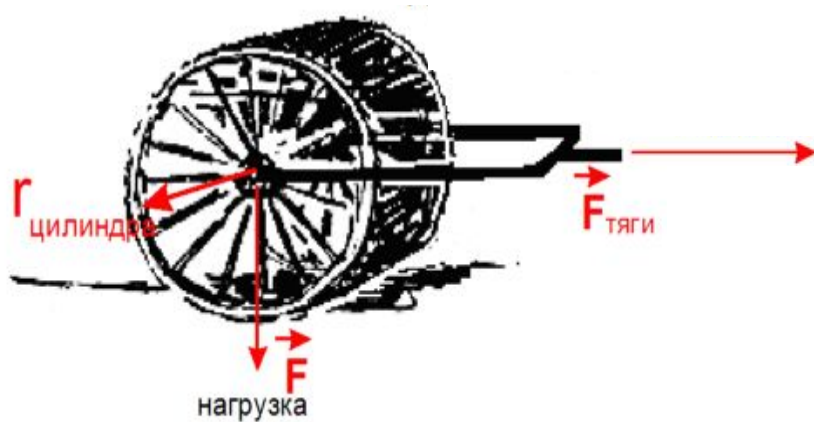
Трение качения — диссипативный процесс, сопровождается:

выделением теплоты,
электризацией тел,
разрушением тел и т.д.



R_p — реакция опоры;
 N — прижимающая сила;
 F_t — сила трения качения

ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ



Чем меньше лунка, тем лучше качение !

Сила трения качения проявляется между элементами подшипников качения, между шиной колеса автомобиля и дорожным полотном.

Сила трения качения в 20-30 раз меньше трения скольжения

$$F_{тр. покоя} > F_{тр. скольж} > F_{тр. качения}$$

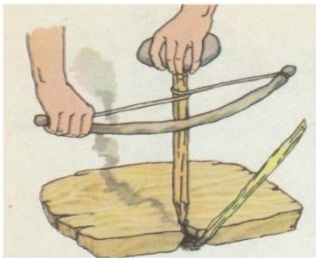
ТРЕНИЕ ВЕРЧЕНИЯ

Трение верчения возникает при относительном вращении двух тел вокруг общей нормали к поверхностям в точке их контакта

Трение верчения. Сфера на горизонтальной поверхности начнет поворачиваться, когда момент пары сил превысит некоторое значение $M_l = \lambda N$

λ – коэффициент трения верчения. Значение λ невелико (одна десятая коэффициента трения качения), зависит от твердости тел.

Чем больше твердость, тем меньше площадь контакта, меньше λ . Поэтому в опорах с трением верчения используется закаленная сталь, стекло, драгоценные и полудрагоценные камни



joyreactor.cc



joyreactor.cc

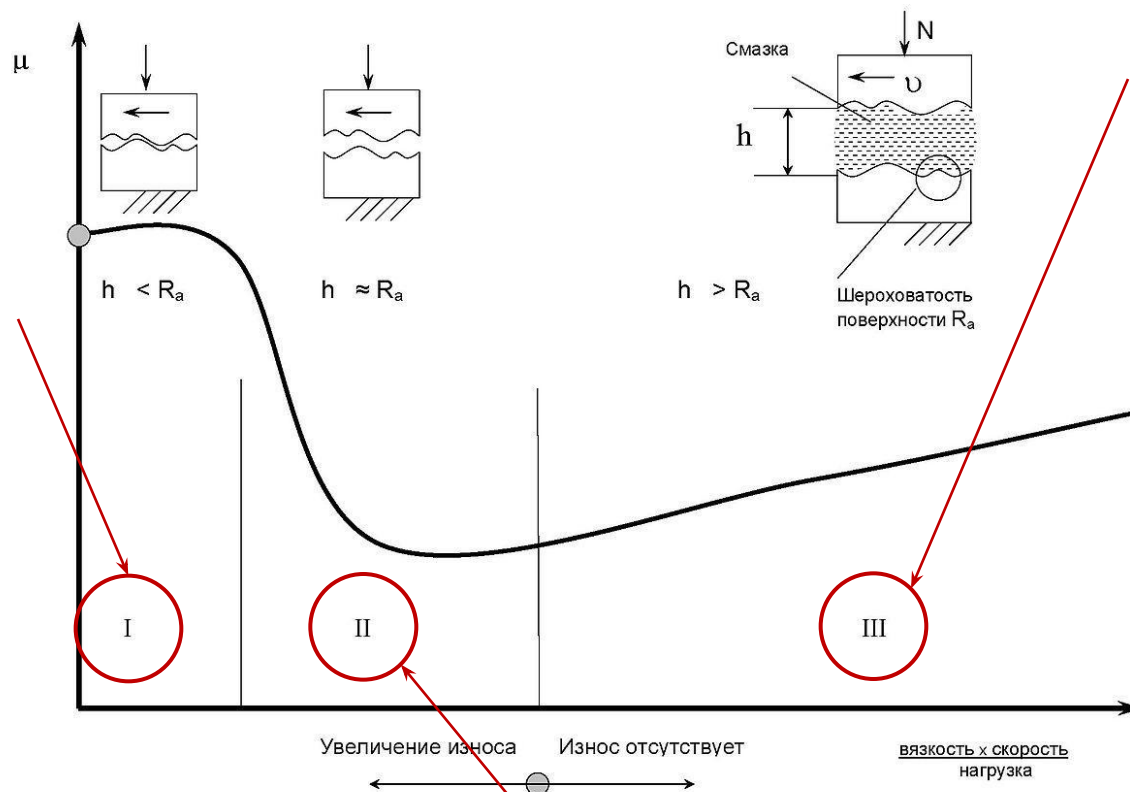
ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ

диаграммы Герси-Штрибека

Граничная смазка. Толщина слоя смазки значительно меньше величины шероховатости поверхностей.

Трение определяется свойствами смазочного материала.

Износ поверхностей определяется физико-химическими взаимодействиями



Гидродинамическая смазка. Толщина слоя смазки (h) значительно больше величины шероховатости поверхностей (R_a).

Трение определяется вязкостными свойствами смазочного материала.

Износ поверхностей отсутствует.

Смешанный режим смазки. Участки поверхностей находятся в режиме гидродинамической и граничной смазки. Расстояние между поверхностями сравнимо с величиной их шероховатости

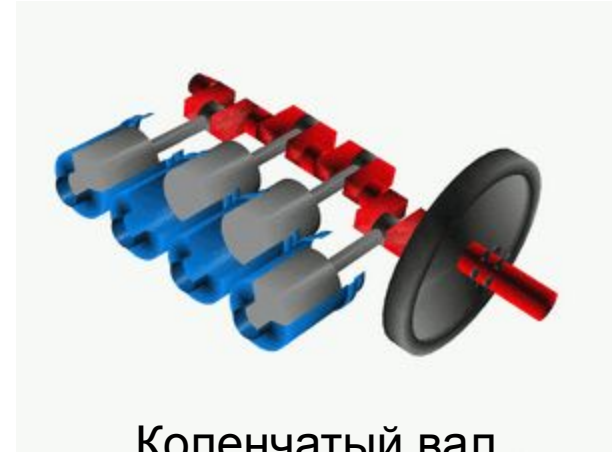
ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ



Тормозные колодки



Двигатель внутреннего сгорания



Коленчатый вал



Стоматологическая бормашина



Шины автомобиля



Турбина

Сила трения $F_{тр}$



Амонтон Гийом
французский физик
(1663 – 1705)

Закономерности внешнего трения:

- обусловлено шероховатостью соприкасающихся поверхностей
- силами межмолекулярного притяжения



Закон Амонтона – Кулона: сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления, с которой одно тело действует на другое:



Шарль Кулон
французский физик
(1736 – 1806)

$$F_{тр} = \mu N$$

Сила трения, всегда направлена против его скорости, вдоль соприкасающихся поверхностей

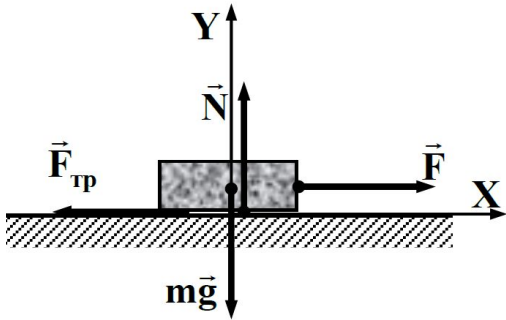
Закон трения скольжения для гладких поверхностей

$$F_{тр.скольжения} = f_{истин} (N + Sp_0)$$

f — истинный коэффициент трения скольжения; S — площадь контакта между телами; p_0 — добавочное давление, обусловленное силами межмолекулярного притяжения, которые быстро уменьшаются с увеличением расстояния между частицами

Сила трения $F_{\text{тр}}$

Величина силы трения покоя находится из условия равновесия тела, то есть из первого закона Ньютона

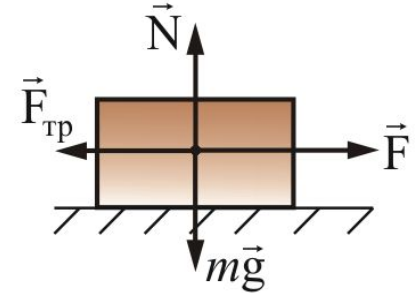


$$F - F_{\text{тр}} = 0$$

Ось OX

$$N - mg = 0$$

Ось OY



Коэффициент трения зависит от:

- материала трущихся тел и характера смазки на поверхности;
- размера поверхности, геометрического очертания, в основном от отношения площадей трения контактирующих деталей — коэффициента взаимного перекрытия;
- режима работы: температуры, скорости, нагрузки, в основном температурного поля, возникающего в тонком поверхностном слое.

Сила трения зависит:

- силы, прижимающей тело;
- вида трения;
- материалов трущихся поверхностей.

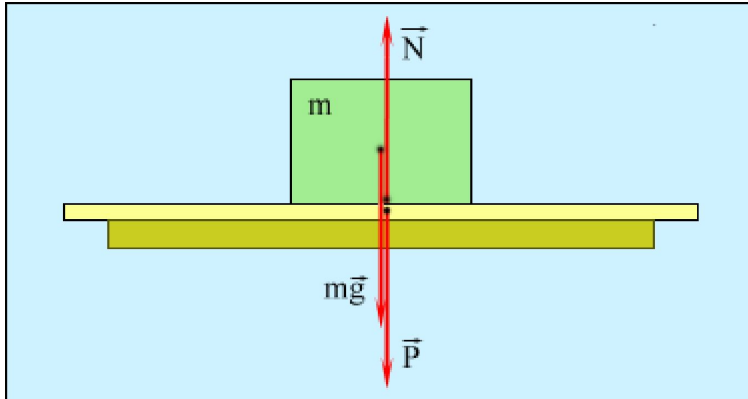
Сила трения не зависит:

- От площади трущихся поверхностей.

Вред от силы трения:

- перемещение больших грузов;
- изнашивания трущихся поверхностей;
- Невозможность создания вечного двигателя (из-за трения любое движение останавливается и требуется внешнее воздействие).

СИЛА РЕАКЦИИ ОПОРЫ N . ВЕС ТЕЛА P

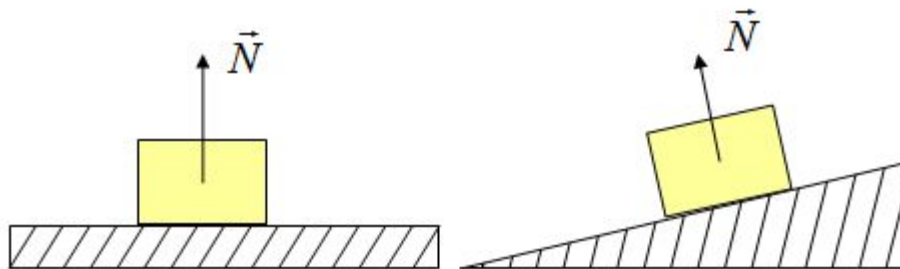


Сила нормальной реакции опоры N всегда направлена перпендикулярно поверхности соприкосновения с телом

Частным случаем силы реакции опоры является вес тела.

Вес тела P — это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или растягивает подвес.

Вес и сила тяжести равны друг другу, но приложены к разным точкам: вес к подвесу или опоре, сила тяжести – к самому телу



Сила Архимеда $F_{\text{арх}}$



Архимед
287 до н.э.–212 до н.э.

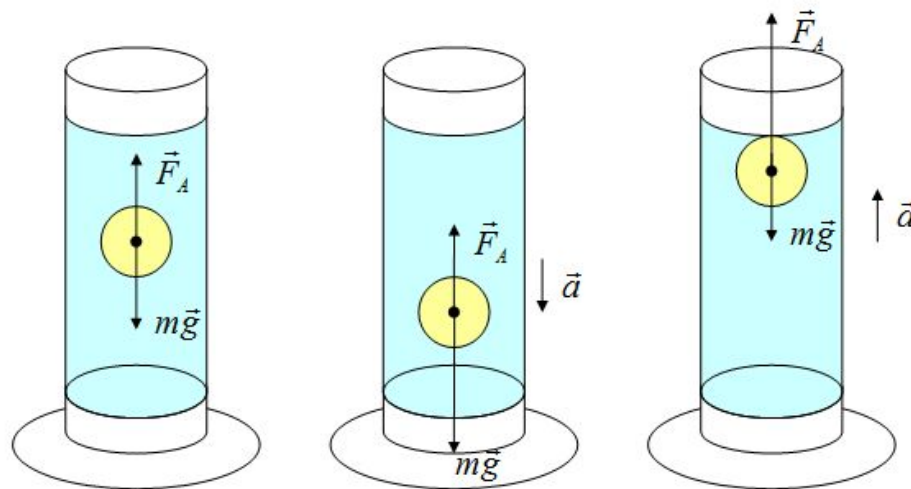
Вес тела P — это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или растягивает подвес

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{жс}} g V_T$$

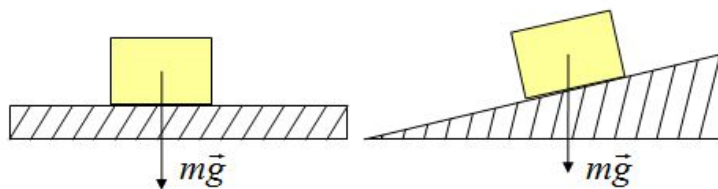
Особенность силы Архимеда: она приложена к центру тяжести объёма вытесненной телом жидкости и направлена вертикально вверх

Условия плавания тел

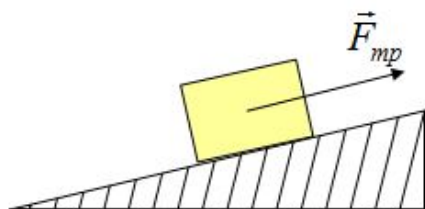
- если $\rho_{\text{тела}} \geq \rho_{\text{жидкости}}$, то тело тонет,
- если $\rho_{\text{тела}} \leq \rho_{\text{жидкости}}$, то тело всплывает,
- если $\rho_{\text{тела}} = \rho_{\text{жидкости}}$, то тело находится во взвешенном состоянии



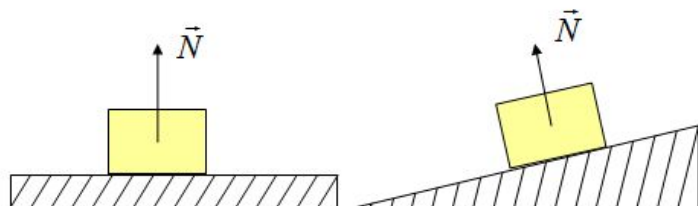
СИЛЫ. ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖЕ



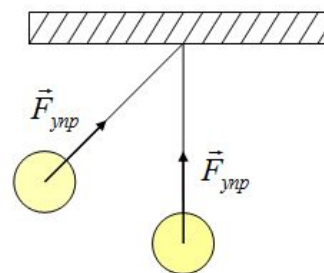
СИЛА ТЯЖЕСТИ



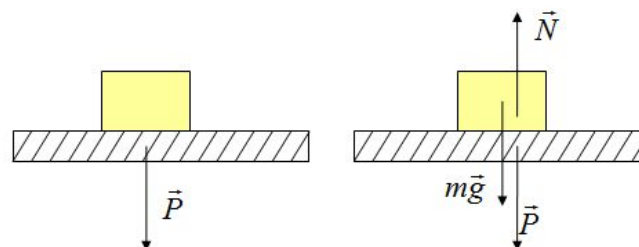
СИЛА ТРЕНИЯ



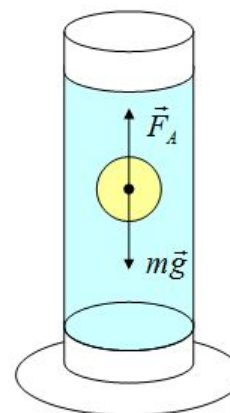
СИЛА РЕАКЦИИ ОПОРЫ



СИЛА УПРУГОСТИ

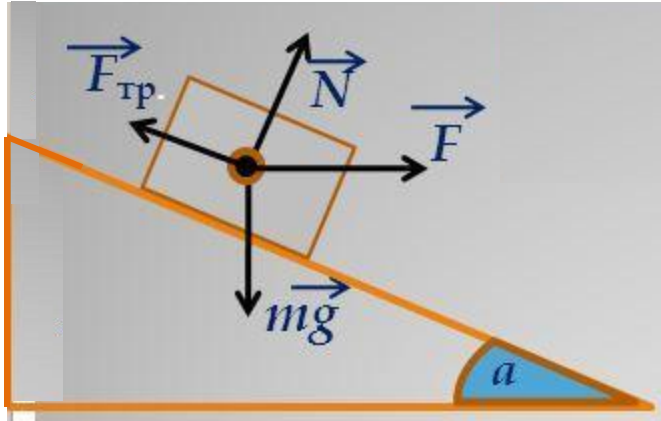


ВЕС ТЕЛА

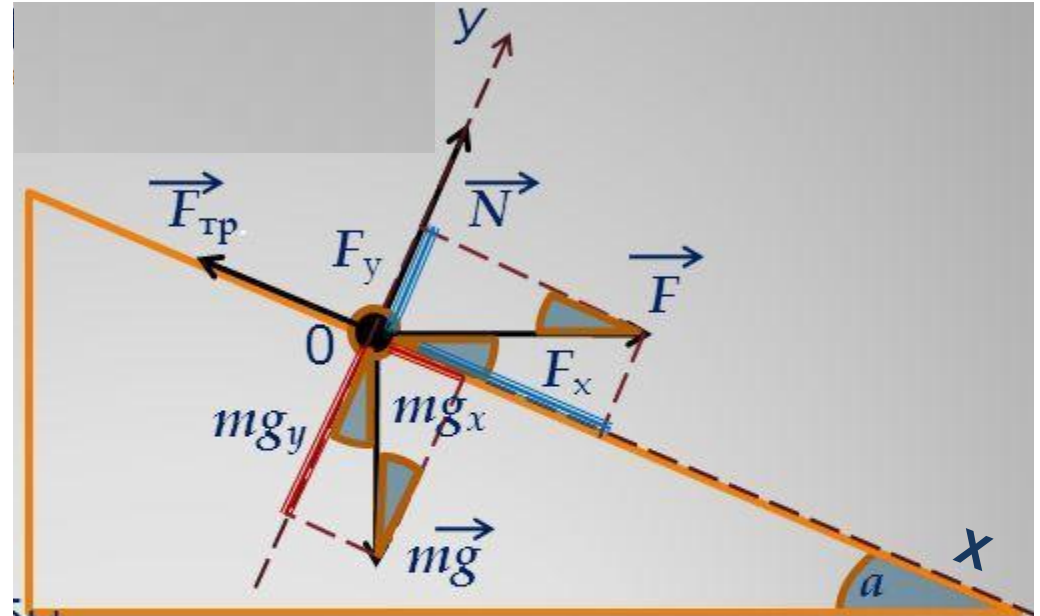


**СИЛА
АРХИМЕДА**

СИЛЫ. ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖЕ



При движении тела по наклонной плоскости, ось Ox направляют вдоль движения, а Oy – перпендикулярно наклонной плоскости



$$\text{ось } OX: ma = F \cos \alpha - F_{\text{мп}} + mg \sin \alpha$$

$$\text{ось } OY: 0 = N + F \sin \alpha - mg \cos \alpha$$

ЗАДАЧИ 1

1.1 На тело массой 20 кг приложена сила 120 Н под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения между телом и горизонтальной поверхностью равен $\mu = 0,2$. Определить величину ускорения груза.

1.2 Определить вес мальчика массой 50 кг в лифте, движущемся вертикально вверх с ускорением 2 м/с^2 . Во сколько раз вес мальчика отличается от силы тяжести?

1.3 На наклонной плоскости с углом наклона 30° находится тело массой 3 кг. Коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью равен 0,3. К телу прикладывают силу, направленную вверх вдоль наклонной плоскости. Какова должна быть величина этой силы при равномерном подъеме?

1.4 Через легкий вращающийся без трения блок перекинута нить. На одном конце нити находится тело массой $m_1 = 1 \text{ кг}$, на другом — тело массой $m_2 = 2 \text{ кг}$. Определить величину силы натяжения нити и величину ускорения тел.

УПРУГОСТЬ ТЕЛ

Упругость – свойство вещества оказывать влияющей на него силе механическое сопротивление и принимать после её спада исходную форму. Противоположность упругости называется **пластичность**.

Упругость – связь между деформацией и напряжением. Это упрощенное понимание! Не учитывается молекулярное строение тел, природа упругих сил, тепловое движение молекул и т.д.

Упругость характеризует свойство веществ сопротивляться изменению их объема и формы (твердые тела) или только объема (жидкости, газы) под воздействием механических напряжений, что обуславливается возрастанием внутренней энергии веществ.

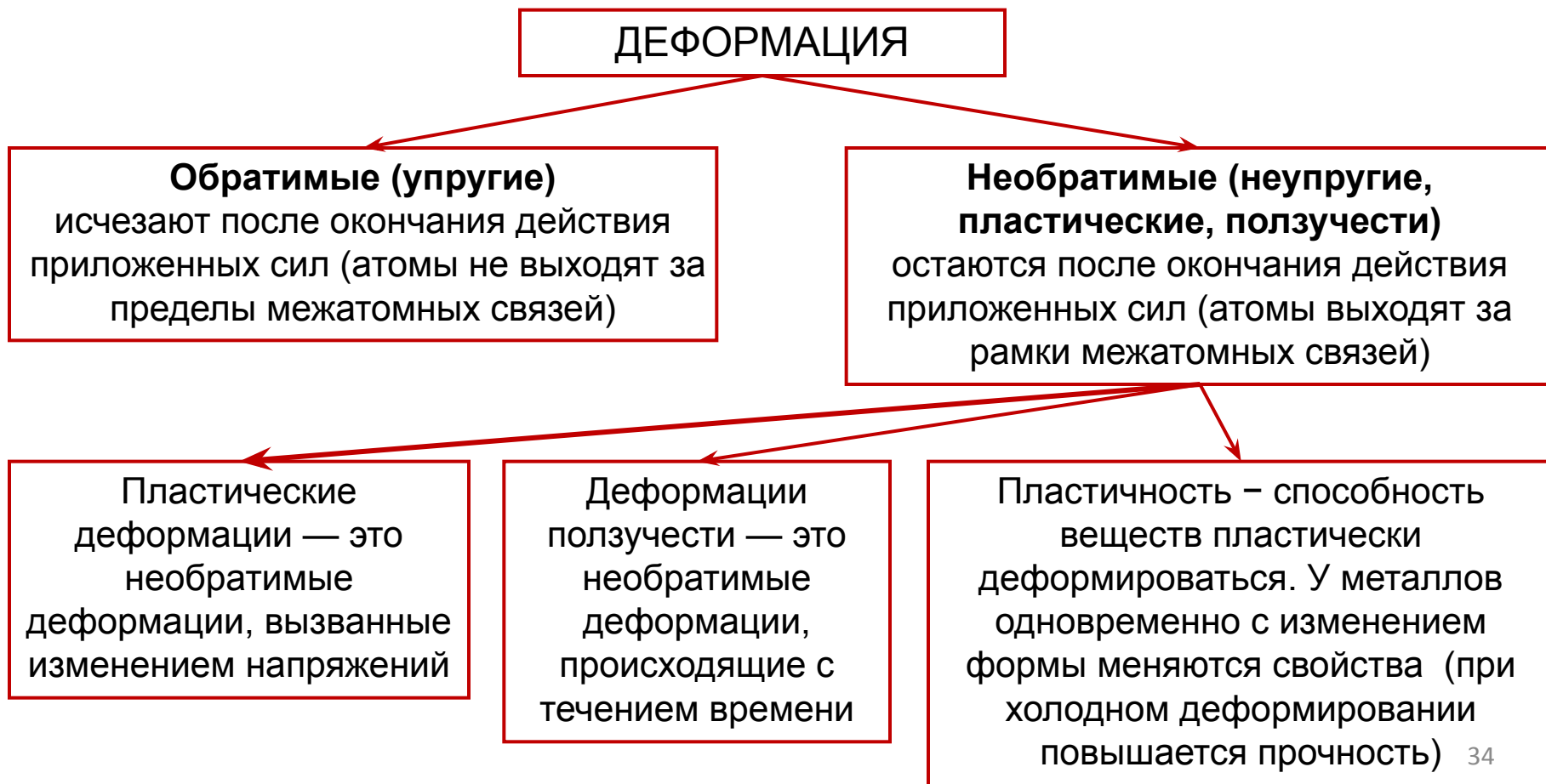
При упругих деформациях вещество восстанавливает свои первоначальные объем и форму после прекращения действия сил, вызывающих их деформацию.

В простейших случаях малых деформаций зависимость линейная – и действует закон Гука, на котором основана теория упругости.

ДЕФОРМАЦИИ

Деформация (искажение) — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением друг относительно друга.

Деформация — результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов. Деформация сопровождается изменением межатомных сил, мерой которого является упругое механическое напряжение.



ДЕФОРМАЦИИ

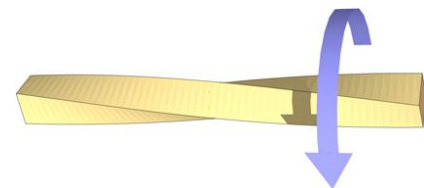
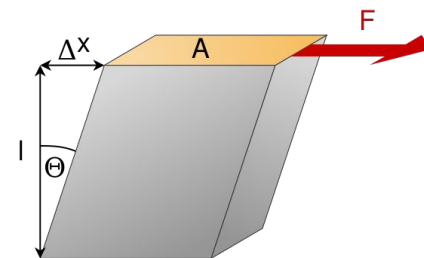
ВИДЫ ДЕФОРМАЦИИ

Растяжение-сжатие — вид продольной деформации стержня или бруса, возникающий когда нагрузка прикладывается по продольной оси тела (равнодействующая сил, воздействующих на него, нормальна поперечному сечению стержня и проходит через его центр масс)

Сдвиг — вид продольной деформации стержня или бруса, возникающий когда сила прикладывается касательно поверхности тела (при этом нижняя часть бруска закреплена неподвижно) — одна боковая грань смещается относительно другой (противоположной) грани

Изгиб — вид деформации, при котором происходит искривление осей прямых брусьев или изменение кривизны осей кривых брусьев, изменение кривизны/искривление срединной поверхности пластины или оболочки

Кручение — вид деформации, возникает когда нагрузка прикладывается к телу в виде пары сил в его поперечной плоскости



**Любую деформацию можно свести к двум наиболее простым:
растяжению (или сжатию) и сдвигу**

ДЕФОРМАЦИИ

твердые тела
(прежде всего
металлические)

при небольших деформациях ведут себя, как упругие тела
при больших внешних воздействиях в телах возникают пластические деформации

Деформация тела

1 – изменяются расстояния между частицами
2 – изменяются электромагнитные (в основном кулоновские) силы взаимодействия между заряженными частицами, входящими в состав атомов
3 – возникают силы (упругие силы), противодействующие внешним силам, которые вызвали деформацию

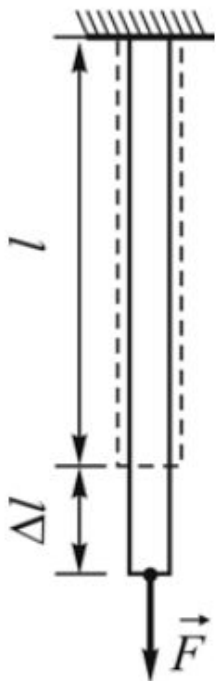
**упругие силы
компенсируют внешние
силы, деформированное
тело находится в состоянии
равновесия**

**при упругой деформации
внутренние силы
определяются величиной и
видом деформации**

**при неупругих
деформациях внутренние
силы определяются
величиной и видом
деформации, а также
скоростью изменения
деформации**

ДЕФОРМАЦИИ

Однородная деформация – происходит одинаково во всех точках деформируемого тела (не зависит от координат).



Под действием силы F стержень удлиняется на величину Δl , которая называется **абсолютной деформацией**.

Для описания деформации более значимой характеристикой является не абсолютное значение удлинения стержня Δl , а его **относительное удлинение**

Механическое состояние упруго деформированного тела характеризуется напряжением.

Напряжение – внутренняя упругая сила, действующая на единицу площади сечения, проведенного внутри тела.

Если внутренняя сила направлена перпендикулярно площади сечения, **напряжение называется нормальным** σ_n

При сжатии напряжение называется **давлением** P
Давление можно рассматривать как отрицательное напряжение

ЗАКОН ГУКА. СИЛА УПРУГОСТИ



Роберт Гук
английский
естествоиспытатель и
изобретатель
1635 – 1703

Силы упругости возникают в телах при деформации, то есть, если изменена форма тела или его объем. При прекращении деформации силы упругости исчезают.

Закон Гука: сила упругости прямо пропорциональна деформации

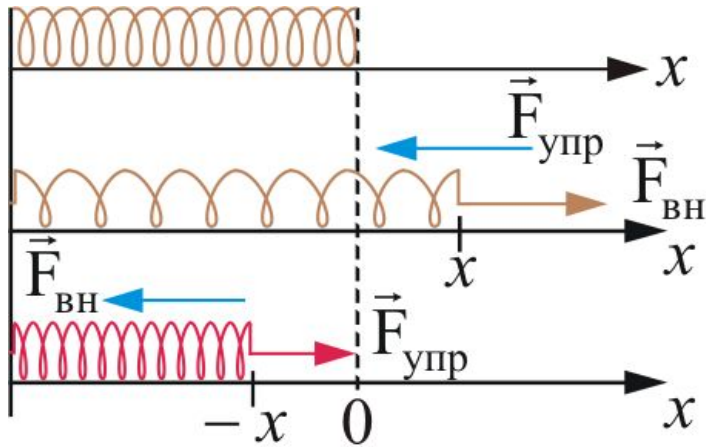
Для тонкого растяжимого стержня $F_{упр} = -k\Delta$

Знак минус в данном равенстве указывает на то, что **вектор силы упругости всегда направлен против вектора деформации пружины**

Закон Гука выполняется только в области упругих деформаций, то есть когда после снятия внешнего воздействия пружина возвращается в исходное состояние

Закон Гука не применим когда деформация достигает предельных значений для конкретного материала

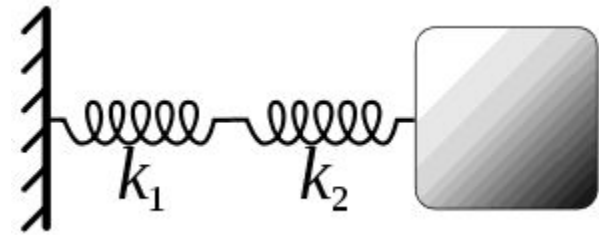
ЗАКОН ГУКА. СИЛА УПРУГОСТИ



$$\vec{F}_{упр} = -k\Delta$$

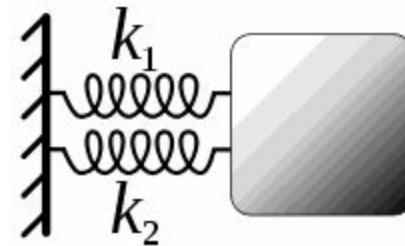
При **деформации** тела возникает сила, которая стремится восстановить прежние размеры и форму тела. Эта сила возникает вследствие **электромагнитного** взаимодействия между атомами и молекулами вещества. Ее называют силой **упругости**.

Простейшим видом деформации являются **деформации растяжения и сжатия**



$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$$

При последовательном соединении жесткость уменьшается



$$k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$$

При параллельном соединении жёсткость увеличивается

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФОРМАЦИИ

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

Относительное удлинение показывает, на какую часть увеличились/уменьшились размеры тела от первоначальных.

$$\varepsilon = \alpha \frac{F}{S}$$

где α – коэффициент упругости, который зависит от материала, из которого сделан стержень

$$E = \frac{1}{\alpha}$$

F – сила

P – давление

E – модуль Юнга

S – площадь поверхности

$$\varepsilon = \frac{P}{ES} = -\frac{P}{E} = \frac{\sigma_n}{E}$$

σ_n – нормальное напряжение

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

$$\sigma_n = E \frac{\Delta l}{l}$$

Модуль продольной упругости (модулем Юнга) – величина, которая характеризует сопротивление материала к растяжению, то есть увеличению его длины вдоль оси, или к сжатию – сокращению линейного размера

$$P = -E \frac{\Delta l}{l}$$

Модуль продольной упругости – это единица измерения отношения нормального напряжения, создаваемого в материале, к относительному удлинению в направлении его действия

размерность модуля упругости выражается в Па

Модуль Юнга – характеристика изотермических (квазистатических деформаций)

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

Под действием растягивающей силы изменяются не только продольные, но и поперечные размеры стержня (толщина).

$$\mu = -\frac{\Delta a \cdot l}{a \cdot \Delta l}$$

Коэффициент Пуассона (коэффициент поперечного сжатия) – отношение поперечного сжатия тела при одноосном растяжении к продольному удлинению
 a - толщина стержня

В твердых породах коэффициент Пуассона изменяется от 0,1– до 0,4. Чем больше значение коэффициента Пуассона, тем больше порода может деформироваться.

Однородные по минеральному составу породы характеризуются более низкими значениями коэффициента Пуассона.

без размерная величина

Коэффициент Пуассона – характеристика изотермических (квазистатических деформаций)

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}$$

Модуль объемного сжатия К (модуль объёмного или всестороннего сжатия) – характеризует способность вещества сопротивляться всестороннему сжатию.

Эта величина определяет связь между относительным изменением объёма тела и вызвавшим это изменение давлением.

Например, у воды объёмный модуль упругости составляет около 2000 МПа; это число показывает, что для уменьшения объёма воды на 1 % необходимо приложить внешнее давление величиной 20 МПа. С другой стороны, при увеличении внешнего давления на 0,1 МПа объём воды уменьшается на 1/20 000 часть.

Единицей измерения Па

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Модуль сдвига G – модуль, который определяет способность тел сопротивляться изменению формы при сохранении их объема.

Единицей измерения Па

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

Модули упругости для различных материалов имеют разные значения, которые **зависят**:

от природы веществ, формирующих состав материала;
моно- или многокомпонентный состав (чистое вещество, сплав и так далее);
от структуры (металлическая или другой вид кристаллической решетки, молекулярное строение прочее);
от плотности материала (распределения частиц в его объеме);
обработки, которой он подвергался (обжиг, травление, прессование и т. п.

модуль Юнга описывает поведение материала при одноосном растяжении,

объёмный модуль упругости описывает поведение материала при всестороннем сжатии,

модуль сдвига описывает отклик материала на сдвиговую нагрузку.

Деформация кристалла зависит не только от направления действия на него внешних сил, но и от ориентации в нем кристаллографических осей

УПРУГАЯ ЭНЕРГИЯ

Плотность упругой энергии при всестороннем сжатии

$$u = \frac{3(1 - 2\mu)}{2E} P^2 = \frac{P^2}{2K}$$

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

По модулям E , G и K минералы подразделяются на четыре группы:

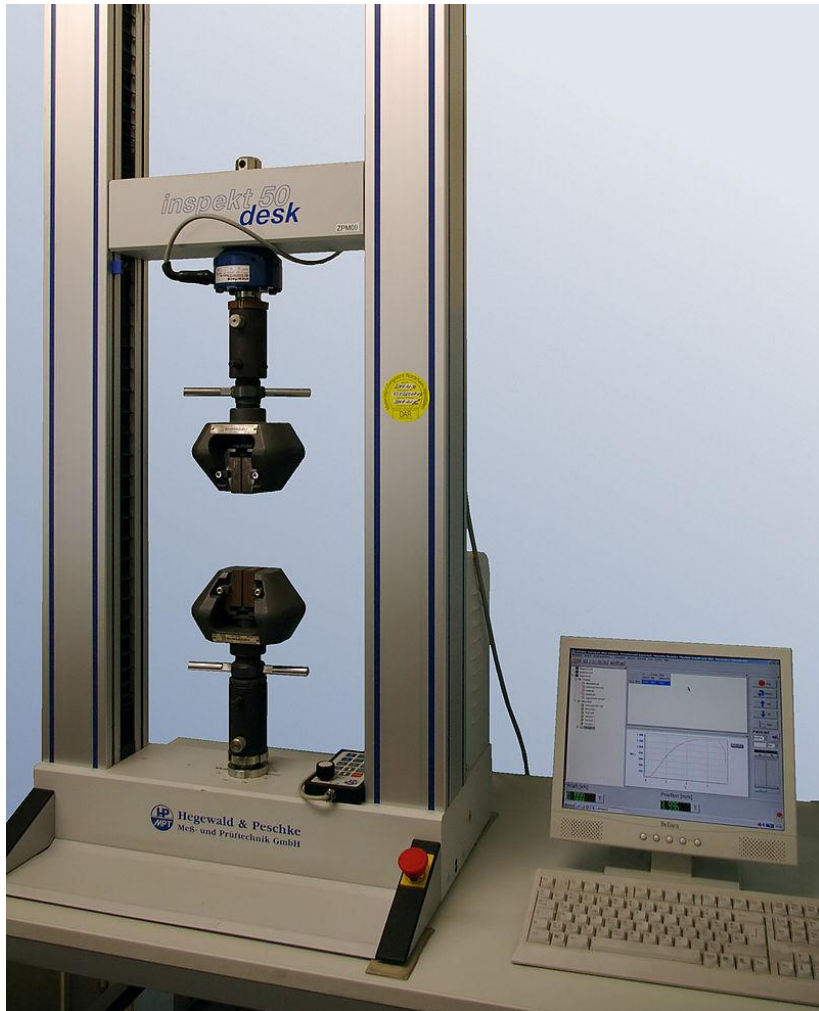
высокие значения модулей. В эту группу входят: из самородных металлов железо, из неметаллов – алмаз, из сульфидов – пирит, марказит, окислы (рутил, касситерит, периклаз, корунд, гематит, уранинит, торианит), большинство островных силикатов (форстерит, гроссуляр, гранат, циркон), редкие минералы из числа щелочных силикатов (берилл, турмалин).

повышенные значения модулей. К этой группе относятся самородные металлы, как платина, палладий, арсениды (кобальтин, омальтин), окислы (циннит, бадделеит), фосфаты (апатит), большинство цепочечных силикатов – пироксены (диопсид, авгит, диаллаг), сложные силикаты – серпентин.

средние значения модулей. Эту группу представляют: из самородных элементов - металлы (серебро, сурьма), неметаллы (графит, селен), многие сульфиды и сульфасоли (галенит, сфалерит, пирротин, халькопирит), безводные сульфаты, за исключением магнезита (кальциты, сидериты, доломиты), силикаты группы слюд и хрупких слюд (мусковит, флогопит, бётит, хлориты), минералы группы кварца (халцедон), большинство каркасных силикатов: полевые шпаты (альбит, анортит), клинаторовые полевые шпаты (ортоклаз, микроклин), фельдшпаты (нефелин, лейцит, анальцим), нитраты – натриевая селитра.

низкие значения модулей. В эту группу объединяются металлы – золото, свинец, висмут и тантал, некоторые сульфиды – арсенопирит, киноварь, аргентит, халькозин, висмутин, окислы (лед), сульфаты (гипс, эпсомит), карбонаты (магнезит), слоистые силикаты (тальк, хризоколла), хлориты (галит, сильвин, кераргирит).

ДЕФОРМАЦИИ



Разрывная машина 50kN

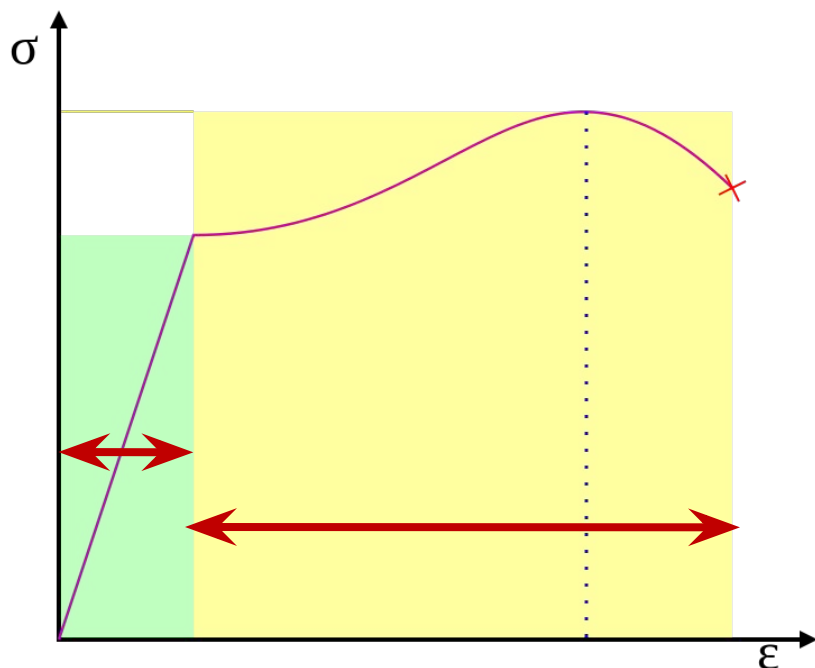


Цилиндрический образец



Цилиндрический образец после разрушения

ДЕФОРМАЦИИ



Диаграмма, показывающая зависимость между механическим напряжением (σ) и деформацией (ϵ) обобщённого материала.

Слева — упругие деформации,

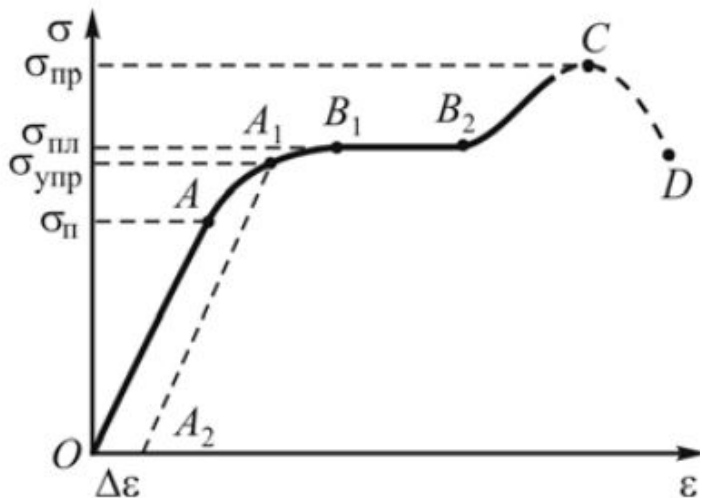
справа — пластические

Причины возникновения деформации твёрдых тел:

фазовые превращения, связанных с изменением объема,
тепловое расширение,
намагничивание (магнитострикция),
появление электрического заряда (пьезоэлектрический эффект),
результат действия внешних сил.

ДЕФОРМАЦИИ

Основная задача испытаний: построение зависимости напряжения от относительным удлинением (при растяжении).



OA - **участок пропорциональности.**

σ_{π} - **предел пропорциональности**, максимальное напряжение, при котором выполняется прямо пропорциональная зависимость.

$\sigma_{упр}$ - **предел упругости**, напряжение, при котором исчезает линейная зависимость, но деформации еще остаются упругими

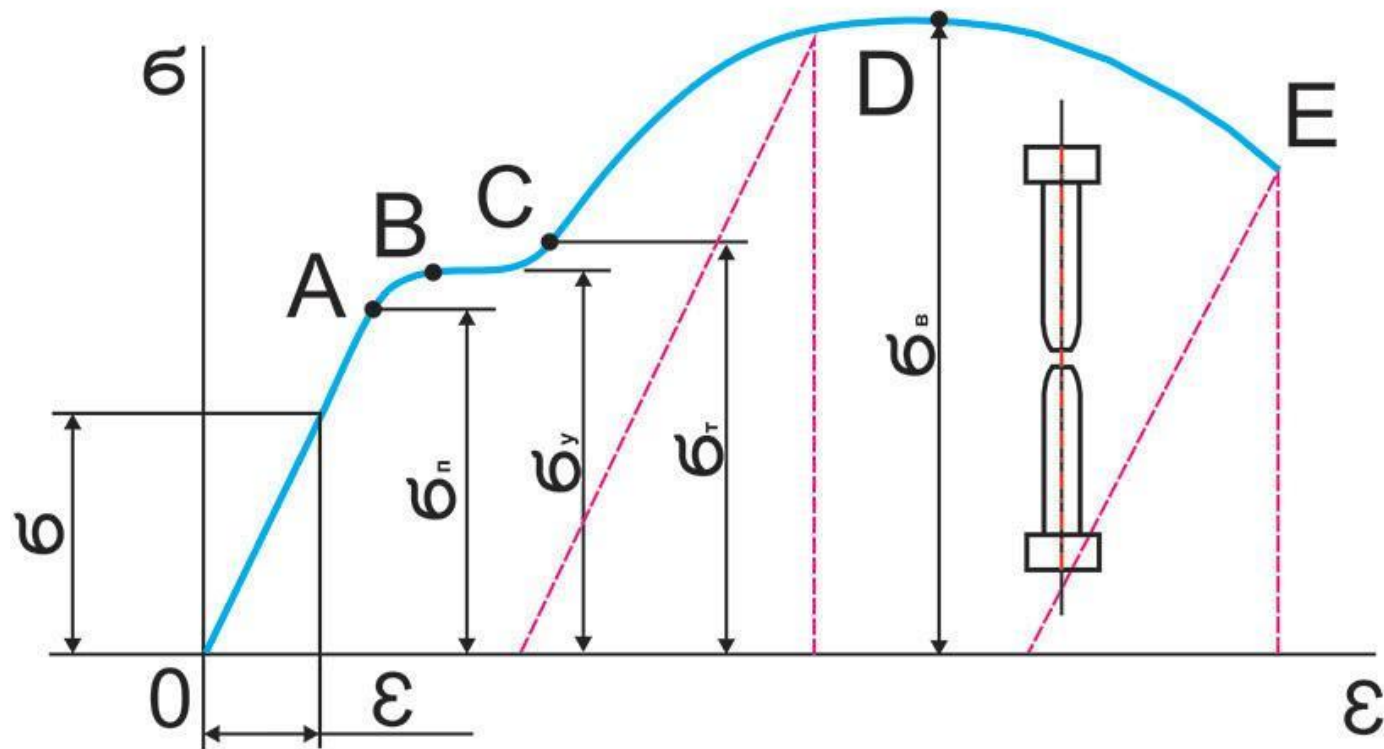
AA1 при напряжениях выше, $\sigma_{упр}$, в стержне после прекращения действия внешней силы возникают **остаточные или пластические деформации**. Тело возвращается к ненапряженному состоянию по линии A1 A2.

$\sigma_{пл}$ - **предел пластичности**, напряжение, при котором появляется заметная остаточная деформация (порядка 0,2 %)

B1B2 – **участок текучести материала или участка пластических деформаций**. Относительная деформация для некоторых материалов возрастает без увеличения нагрузки.

$\sigma_{пр}$ - **предел прочности**, внешние силы не полностью уравниваются силами упругости. В сечении тела образуется сужение, называемое шейкой, напряжение здесь возрастает, поскольку площадь сечения шейки меньше, что и приводит к разрушению тела. Соответствующий участок на графике обозначен пунктиром

ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ



σ_n - предел пропорциональности σ_y - предел упругости

σ_T - предел текучести σ_B - предел прочности (временное сопротивление)

НАКЛЕП

Наклёп (нагартовка) — упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Наклёп сопровождается выходом на поверхность образца дефектов кристаллической решётки, увеличением прочности и твёрдости и снижением пластичности, ударной вязкости.

В машиностроении наклёп используется для поверхностного упрочнения деталей. Наклёп приводит к возникновению в поверхностном слое детали остаточных напряжений, это способствует повышению упрочняющего эффекта поверхностной пластической деформации, повышению усталостной прочности, а иногда и износостойкости.

Рекристаллизация — процесс образования и роста (или только роста) одних кристаллических зёрен (кристаллитов) поликристалла за счёт других. Скорость рекристаллизации резко (экспоненциально) возрастает с повышением температуры. Рекристаллизация протекает интенсивно в пластически деформированных материалах.

ПЛАСТИЧНОСТЬ

Пластичность — способность материала без разрушения получать большие остаточные деформации



Штамповка
Вытяжка
Волочение
Изгиб

Мера пластичности

относительное
удлинение δ

Чем больше δ , тем более
пластичным считается
материал

относительное сужение ψ

Чем больше ψ , тем лучше
обрабатываемость
материала
(эксплуатационные
характеристики)