Домашние занятия для повторения и закрепления знаний

СРЕДНЯЯ ШКОЛА

Книга-репетитор



О. В. ЯНЧЕВСКАЯ

ФИЗИКА в ТАБЛИЦАХ и СХЕМАХ

ВСЕ ТЕМЫ ШКОЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

7–11 классы



Готовимся к ВПР

Соответствует ФГОС

Литера

СОДЕРЖАНИЕ

Механика 3
I. Кинематика 4
II. Динамика 11
III. Статика 22
IV. Законы сохранения 23
V. Механические колебания и волны 29
Тепловые явления. Молекулярная физика 36
Термодинамика 43
Изменения агрегатного состояния вещества 48
Твердые тела 50
Электродинамика 51
I. Электростатика 52
II. Постоянный электрический ток 58
III. Магнитное поле 66
IV. Электромагнитная индукция 70
Электромагнитные колебания и волны 72
Оптика 78
I. Геометрическая оптика 78
II. Волновая оптика 83
III. Квантовая оптика 87
Атом и атомное ядро 89

Книга-репетитор

О. В. ЯНЧЕВСКАЯ

ФИЗИКА
в ТАБЛИЦАХ и СХЕМАХ
ВСЕ ТЕМЫ ШКОЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
7–11 классы

Литера
Санкт-Петербург
2023

УДК 373.5
ББК 22.3
Я66

Янчевская О. В.

Я66 Физика в таблицах и схемах: Все темы школьной программы. 7—11 классы. — СПб.: Издательский Дом «Литера», 2023. — 96 с.: ил. — (Серия «Книга-репетитор»).

ISBN 978-5-407-01093-7

ISBN 978-5-407-01093-7

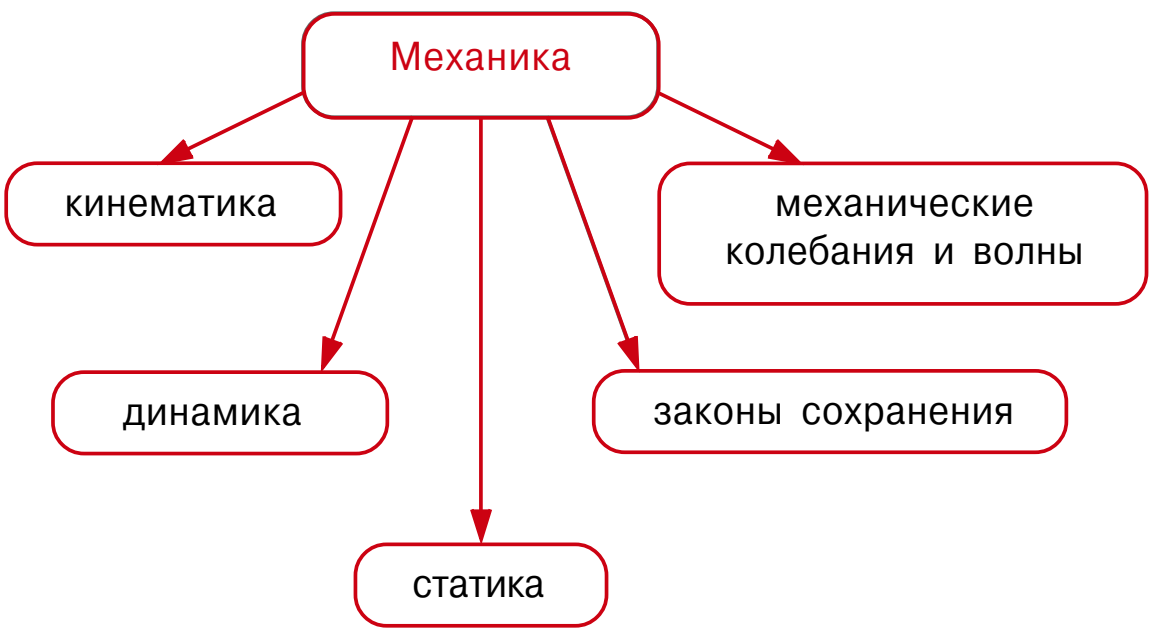
© Янчевская О. В., 2023
© Издательский Дом «Литера», 2023

Механика

Механика — раздел физики, изучающий механическое движение (его закономерности, причины возникновения и изменения движения)

Механическое движение — изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени

Основная задача механики — определение положения тела в пространстве в любой момент времени



I. Кинематика

Кинематика || раздел механики, изучающий механическое движение без выяснения причин, вызвавших это движение

① ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИНЕМАТИКИ

1) Материальная точка

↓

тело, размерами и формой которого можно пренебречь в данных условиях движения (обладает массой!)

Пример:

*Луна — **не** **матер. точка** при расчете посадки на нее космич. корабля.*

*Луна — **матер. точка** при расчете скорости ее движения вокруг Земли.*

2) Относительность движения

↓

тело движется по-разному относительно разных тел (покой — частный случай движения)

Пример:

*Человек в поезде имеет **разную** скорость относительно вагона и относительно земли.*

3) Траектория

↓

линия, вдоль которой движется тело

S [м] ← **Путь**

↓

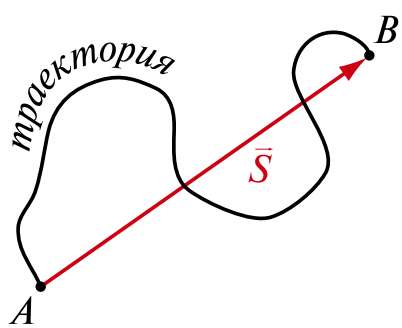
расстояние, которое прошло тело по траектории

$\vec{S}$ $(S_x, |\vec{S}|)$ ← **Перемещение**

↓

вектор, соединяющий начальную и конечную точки траектории

Пример:



4) **Виды движения** → **колебательное**

по траектории
– прямолинейное
– криволинейное

по пройденному пути за единицу времени
– равномерное
– неравномерное

по траектории точек тела
– поступательное
– вращательное

5) **Система отсчета включает в себя:**

– тело отсчета (точка отсчета) → относительно которого рассматривают движение
– систему координат
– хронометр (часы)

Система координат

а) одномерная



(шоссе)

б) двумерная



(корабль в море)

в) трехмерная



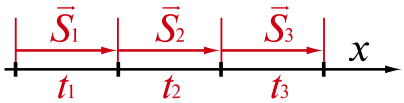
(самолет)

6)

Скорость	**Мгновенная скорость**	**Средняя скорость**
физическая величина, показывающая, какое перемещение совершило тело за единицу времени	физическая величина, равная отношению очень малого перемещения к промежутку времени, в течение которого оно было совершено	физическая величина, равная отношению всего пройденного пути ко всему времени
$\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t}$ – вектор – $\vec{V} \uparrow\uparrow \vec{S}$ – [м/с]	$\vec{V}_{\text{мгн}} = \frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t}$ – вектор – $\vec{V}_{\text{м}} \uparrow\uparrow \Delta\vec{S}$ – [м/с]	$V_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{весь}}}{t_{\text{все}}}$ – скаляр – [м/с]

② РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

1) Равномерное прямолинейное движение



это движение, при котором за любые равные промежутки времени тело совершает равные перемещения $\vec{S}$

2) Скорость $\vec{V}$

$$\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t}$$

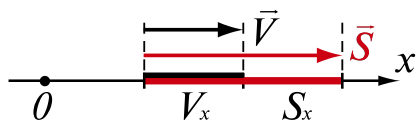
[м/с] $\vec{V} \uparrow\uparrow \vec{S}$

это векторная физическая величина, показывающая перемещение тела за единицу времени

3) Перемещение $\vec{S}$

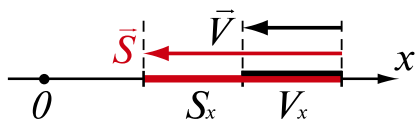
$$\vec{S} = \vec{V} \cdot t$$

в векторном виде



$$S_x = V_x \cdot t$$

в проекциях



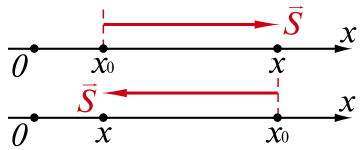
4) Координата

x [м]

x_0 — начальная координата ($x = x_0$ при $t = 0$)

$$x = x_0 + S_x$$

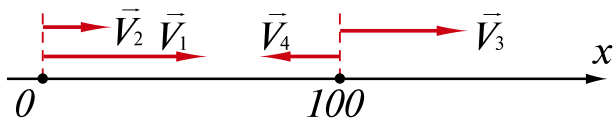
$$x = x_0 + V_x t$$

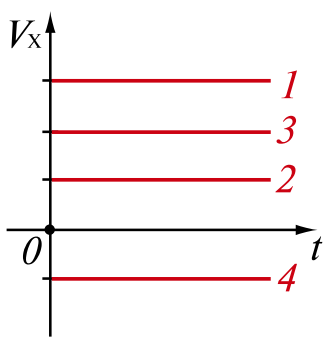


$x = x_0 + S_x$

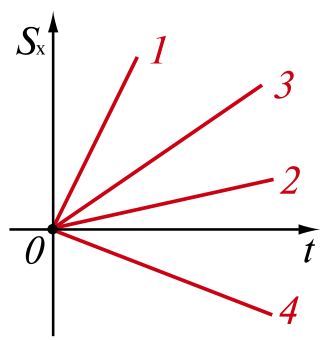
$x = x_0 - S_x$

5) Графики

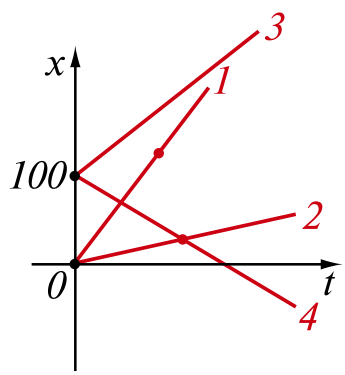




скорость



перемещение



координата

③ ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

1) **В разных системах отсчета тела двигаются по-разному!**

$\vec{V}$ (скорость)
S (путь)
$\vec{S}$ (перемещение)
траектория
} относительные величины (разные в разных с. о.)

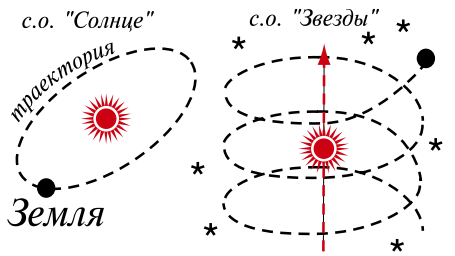
t (время)
m (масса)
} инвариантные постоянные величины

$\vec{F}$ (сила)
$\vec{a}$ (ускорение)

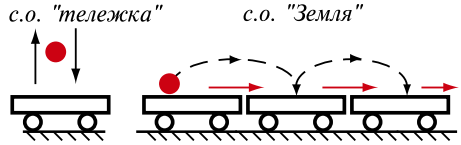
но при условии $\vec{V} << \vec{V}_{света} \left(\approx 3 \cdot 10^8 \, м/с \right)$

Пример:

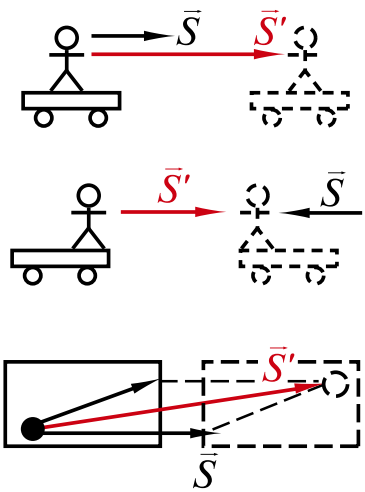
а)



б)



2)



Преобразования Галилея

t', V', S' — неподвижная с. о.
t, V, S — подвижная с. о.
U — скорость подвижной с. о.

$t' = t$
$\vec{S}' = \vec{S} + Ut$
$\vec{V}' = \vec{V} + U$

Скорость тела относительно неподвижной с. о. равна геометрической сумме скорости тела относительно подвижной с. о. и скорости самой подвижной с. о.

классический закон сложения скоростей

3) **Принцип относительности Галилея**

Все инерциальные системы равноправны. Это проявляется в том, что законы механики в них записываются одинаково.

Инерциальные с. о. → системы отсчета, которые двигаются равномерно прямолинейно относительно друг друга

④ РАВНОУСКОРЕННОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

1) Равноускоренное прямолинейное движение

$\Delta V = \text{const}$ *(за одинак. t)*

$\vec{V}_{\text{мгн}} = \text{const}$ *(направление сохраняется)*

это движение, при котором за любые равные промежутки времени скорость тела меняется одинаково

2) Ускорение $\vec{a}$

$$\vec{a} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t}$$

[м/с²] $\vec{a} \uparrow\uparrow \Delta\vec{V}$

$\vec{V}_2 - \vec{V}_1 = \Delta\vec{V}$ — *изменение скорости*

это векторная физическая величина, показывающая изменение скорости за единицу времени (скорость изменения скорости)

3) Мгновенная скорость

$\vec{V}$ — *скорость в любой момент времени*

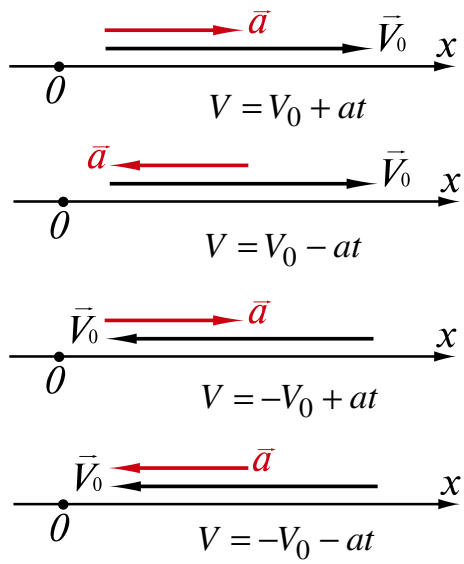
$\vec{V}_0$ — *начальная скорость (при t = 0)*

$$\vec{V}_2 = \vec{V}_1 + \vec{a} \cdot t \Rightarrow \vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a} \cdot t$$

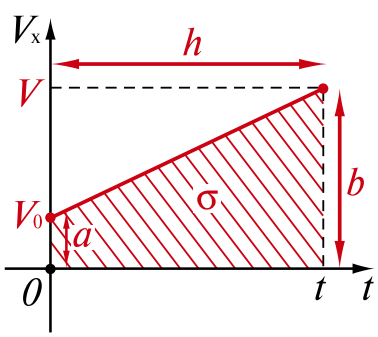
в векторном виде

$$V_x = V_{0_x} + a_x t$$

в проекциях



4) Перемещение



Путь, пройденный телом (перемещение), численно равен площади под графиком скорости *V(t)*

фигура под графиком — трапеция

$\Rightarrow$

$$\sigma_{\text{тр}} = \frac{a+b}{2} h$$

$a = V_0$
$b = V$
$h = t$

Вывод формул:

а) $S = \frac{V_0 + V}{2} \cdot t$, $V = V_0 + at$ $\Rightarrow$ $S = \frac{V_0 + V_0 + at}{2} \cdot t = V_0 t + \frac{at^2}{2}$

б) $S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$, $t = \frac{V - V_0}{a}$ $\Rightarrow$ $S = V_0\left(\frac{V - V_0}{a}\right) + \frac{a\left(\frac{V - V_0}{a}\right)^2}{2}$, $S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$

Формулы

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$$

5) Координата

x [м]

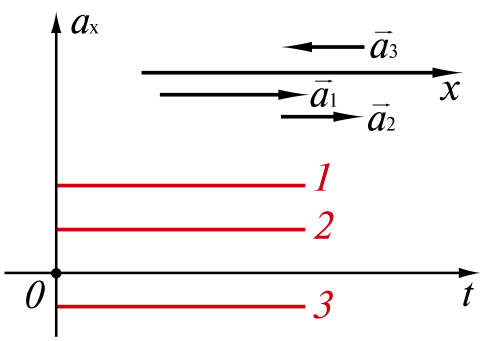
x_0 — начальная координата

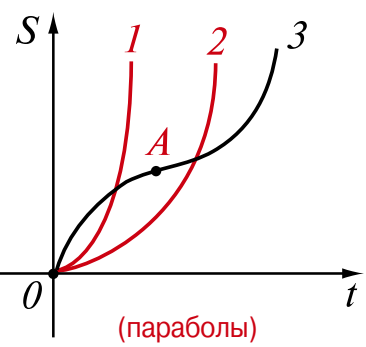
$$x = x_0 + S_x$$

$$x = x_0 + V_{0_x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$



6) Графики



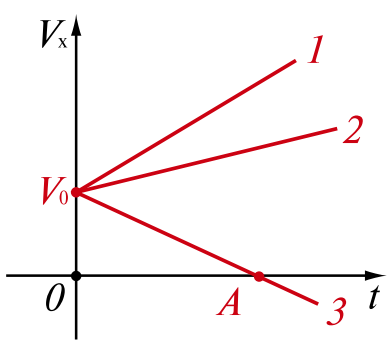


$a_1 > a_2$

$a_{3_x} < 0$

(тело тормозит)

(параболы)

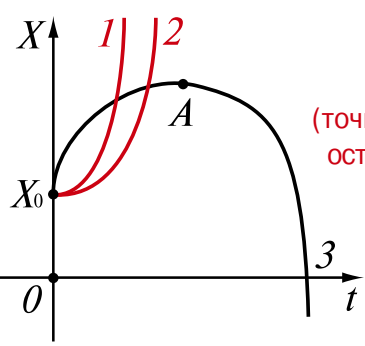


$a_1 > a_2$

$a_{3_x} < 0$

(тело 3 тормозит)

точка A → тело 3 остановилось и поехало в обратную сторону



$a_1 > a_2$

$a_{3_x} < 0$

(точка A — тело остановилось)

(параболы)

⑤ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

1) Криволинейное движение



любое криволинейное движение можно представить как движение по отрезкам прямых и дугам окружностей

2) Угловая скорость

ω [рад/с]

φ [рад] — *угловое перемещение*

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}$$



это физическая величина (скалярная), показывающая угловое перемещение за единицу времени

3) Линейная скорость

V [м/с]

направлена по касательной к окружности

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

это физическая величина, показывающая путь, пройденный телом за единицу времени

4) Период T[c] — время одного полного оборота

Частота ν $\left[\text{Гц} = \frac{1}{\text{с}}\right]$ — число оборотов (N) за единицу времени

$$T = \frac{t}{N} \qquad T = \frac{1}{\nu}$$

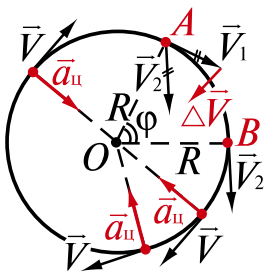
$$\nu = \frac{N}{t} \qquad \nu = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \qquad V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot \nu$$

(для равномерного движения по окружности)

5) Центростремительное ускорение

(при равномерности движения по окружности)



$\vec{a}_{\text{Ц}}$ [м/с^2] сонаправлено с $\Delta\vec{V}$; $\vec{a}_{\text{ц}} \perp \vec{V}$

(направлено в центр окружности)

точка A (при $t = 0$)

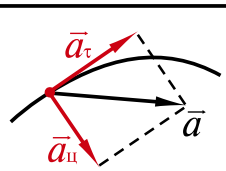
точка B (через $\Delta t \to 0$)

$$\Delta OAB \sim \Delta\vec{V}_1\vec{V}_2\Delta\vec{V} \Rightarrow \frac{\Delta V}{AB} = \frac{V_2}{Vt} = \frac{V}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V^2}{R}$$

$$a_{\text{Ц}} = \frac{V^2}{R} \qquad a_{\text{Ц}} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

6) Неравномерное движение по окружности



$a_{\text{ц}}$ — *центростремит. ускорение (характеризует изменение скорости по направл.)*

a_{τ} — *тангенциальное ускорение (характеризует изменение скорости по модулю)*

$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{ц}} + \vec{a}_{\tau} \qquad a = \sqrt{a_{\text{ц}}^2 + a_{\tau}^2}$$

II. Динамика

Динамика — это раздел механики, изучающий причины возникновения и изменения механического движения

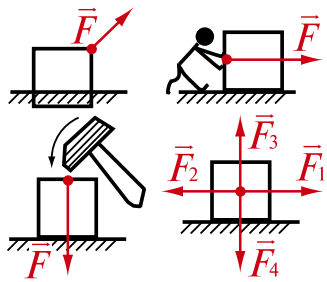
① СИЛА. МАССА

1) Сила $\vec{F}$

характеризуется:

– величиной
– направлением
– точкой приложения

это векторная физическая величина, характеризующая действие одного тела на другое, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет форму и размеры



Если тело является материальной точкой, силы прикладываются к центру масс.

2) Виды сил

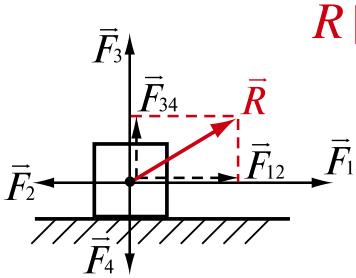
Силы (по природе)
- гравитационные (сила тяжести)
- электромагнитные (сила упругости, сила трения)
- ядерные

Силы
- действующие на расстоянии ($F_{тяж}$ $F_{магн}$)
- действующие при соприкосновении ($F_{трения}$ $F_{упруг.}$)

Силы
- внутренние (между телами в системе)
- внешние (извне на тела системы)

Изолированная система тел — система, в которой действуют только внутренние силы

3) Равнодействующая сил $\vec{R}$ [Н]



геометрическая (векторная) сумма всех сил, действующих на тело

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + ... + \vec{F}_n$$

ускорение тела сонаправлено с равнодействующей

4) Масса

m [кг]

1) это скалярная физическая величина, характеризующая **инертность** тела

2) это скалярная физическая величина, характеризующая **гравитационные свойства** тела

Инерция — это физическое явление, заключающееся в том, что тела стремятся сохранить свою скорость (покой)

Инертность — это свойство тел сохранять свою скорость (покой)

5) Закон природы

Опытно установлено $\Rightarrow$ $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$ $\rightarrow$ При взаимодействии двух тел полученные ускорения относятся так, как обратное отношение их масс

6) Плотность

ρ [кг/м^3]

(табличная величина)

$\rho = \frac{m}{V}$

V [м^3] — объем тела

это скалярная физическая величина, равная массе вещества в единице объема

7) Способы определения массы

а) сравниваем с эталоном на весах (гири)

б) по формуле $m = \rho \cdot V$

ρ — определяют по таблице

V — определяют математически (формулами) или по вытесненной жидкости в мензурке

в) взаимодействием с эталоном

$$\frac{a_{\text{тела}}}{a_{\text{этал.}}} = \frac{m_{\text{этал.}}}{m_{\text{тела}}} \Rightarrow m_{\text{тела}} = \frac{a_{\text{этал.}}}{a_{\text{тела}}} \cdot m_{\text{этал}}$$

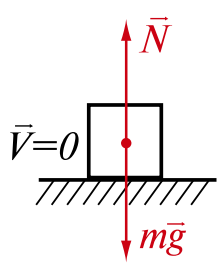
② ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Законы установлены опытным путем

1) **I закон Ньютона**

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы

Такие системы отсчета называются инерциальными

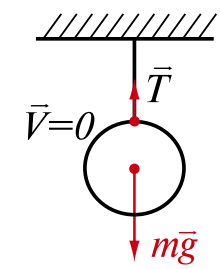


$\vec{N}+m\vec{g}=\vec{R}$

$\vec{R}=0$

тело покоится

$\vec{V}=0$

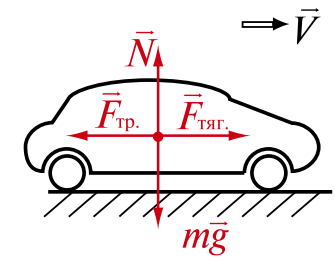


$\vec{T}+m\vec{g}=\vec{R}$

$\vec{R}=0$

тело покоится

$\vec{V}=0$

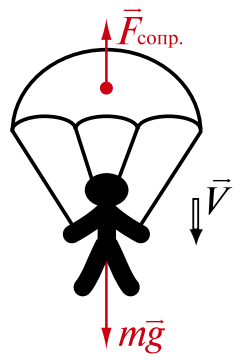


$\vec{N}+m\vec{g}+\vec{F}_{тяг}+\vec{F}_{тр}=\vec{R}$

$\vec{R}=0$

тело движется равномерно прямолинейно

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



$\vec{F}_{сопр}+m\vec{g}=\vec{R}$

$\vec{R}=0$

2) **II закон Ньютона**

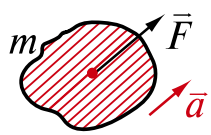
Ускорение, полученное телом, прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально массе тела. Направление ускорения совпадает с направлением равнодействующей

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

$$\vec{a}\uparrow\uparrow\vec{R}$$

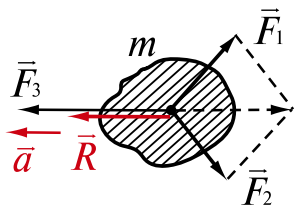
а) на тело действует **одна сила**

$$\left.\begin{array}{l}\vec{a}\sim\vec{F}\\ \vec{a}\sim\dfrac{1}{m}\end{array}\right\}\ \vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}\qquad \vec{a}\uparrow\uparrow\vec{F}$$



б) на тело действует **несколько сил**

$\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m}$	$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m}$	$\vec{a}_3 = \frac{\vec{F}_3}{m}$
$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 \Rightarrow$		$\vec{a} = \frac{\vec{R}}{m}$

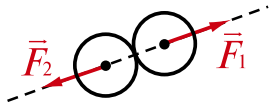


Ускорение, сообщаемое телу при одновременном действии нескольких сил, равно векторной сумме всех ускорений, которые сообщила бы этому телу каждая сила, действуя в отдельности

2) **III закон Ньютона**

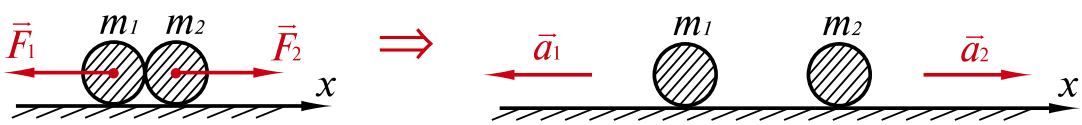
При взаимодействии двух тел всегда возникает пара сил, которые:

1) равны по модулю
2) противоположны по направлению
3) лежат на одной прямой
4) одной природы



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

Силы не компенсируют друг друга, так как приложены к разным телам



взаимодействие тел

$\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ — пара сил

$\vec{a}_1$ и $\vec{a}_2$ — *ускорения, которые приобрели тела при взаимодействии*

По закону природы: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow a_1 \cdot m_1 = a_2 \cdot m_2$

$F_1 = F_2$

силы равны по модулю

в проекциях на ось X x: $F_1 < 0$, $F_2 > 0$ $\Rightarrow \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Законы Ньютона применимы только в инерциальных системах отсчета

③ ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ

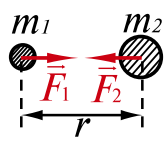
1) Гравитационные силы

1667 г. И. Ньютон → Тела, обладающие **массой**, притягиваются друг к другу силами, которые называют **гравитационными**

↓ астрономические наблюдения, опыты

$F_{гр} \sim m_1$, $F_{гр} \sim m_2$ } $F_{гр} \sim m_1 \cdot m_2$ — чем больше m тел, тем больше гравитационная сила

$F_{гр} \sim \frac{1}{r^2}$ — чем больше расстояние между телами (r), тем гравитационная сила меньше

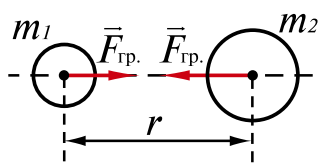


$|\vec{F_1}| = |\vec{F_2}| = F_{гр}$

$F_{гр} \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

2) Закон всемирного тяготения

Все материальные точки притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс, и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. Силы лежат на одной прямой, соединяющей центры масс этих тел, и направлены навстречу друг другу



$$F_{гр} = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

G — гравитационная постоянная

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

Физический смысл
гравитационная постоянная численно равна силе, с которой притягиваются две материальные точки массой по 1 кг на расстоянии 1 м

Закон всемирного тяготения можно применять, если:

– тела являются **материальными точками**
– тела являются однородными **шарами** или обладают симметричным распределением массы относительно центра тела

3) Сила тяжести

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$$

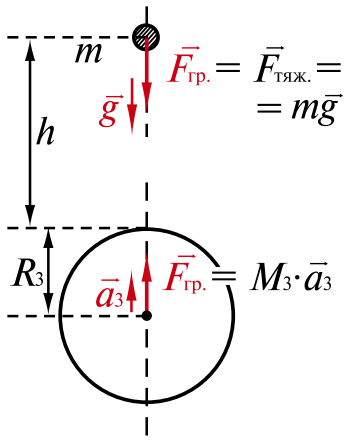
[Н]

$$F_{\text{гр}} = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$\Downarrow$$

$$F_{\text{тяж}} = G\frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$$

это гравитационная сила, с которой Земля притягивает к себе тела



m — масса тела

M_3 — масса Земли

g — ускорение свободного падения

a_3 — ускорение Земли

$a_3 << g$

! $a_3 << g$ так как $M_3 >> m$

4) Ускорение свободного падения

$$F_{\text{тяж}} = G\frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2} = F_{\text{тяж}} = mg$$

$$\Downarrow$$

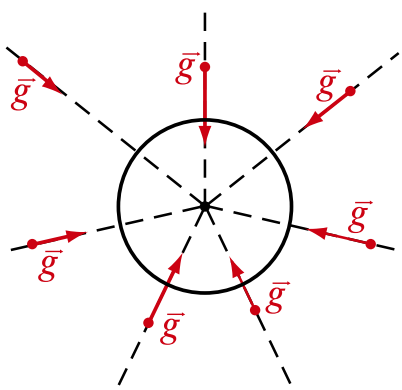
$$g = G\frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

ускорение, с которым движется любое тело в поле тяготения Земли, если на него действует только $F_{\text{тяж}}$

Ускорение свободного падения зависит от:

1) $R_{\text{Земли}}$ (географич. широты)
(чем $R_3 \uparrow$, тем $g \downarrow$)
$R_{3\ (\text{экватор})} > R_{3\ (\text{полюс})}$

2) h (высоты тела над поверхностью Земли) (чем $h \uparrow$, тем $g \downarrow$)



Гравитационное поле Земли ослабевает с расстоянием от центра Земли

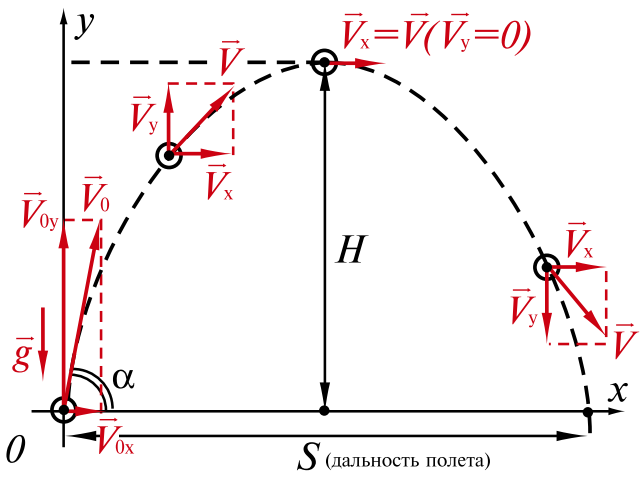
5) Для любой планеты (космического тела)

$$F_{\text{тяж план.}} = G\frac{M_{\text{пл}} \cdot m}{(R_{\text{пл}} + h)^2}$$

$$g_{\text{пл.}} = G\frac{M_{\text{пл}}}{(R_{\text{пл}} + h)^2}$$

④ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

1) Движение тела, брошенного под углом к горизонту



траектория *— парабола*

действующая сила $-\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}$

ускорение $-\vec{g}\downarrow$

скорость $\vec{V}$ *— направлена по касательной к траектории*

H — максимальная высота полета

V_0 *— начальная скорость (при броске)*

α *— угол броска*

Движение тела рассматривают раздельно по двум осям (x и y)

ось *x* (РПД)	**ось *y*** (РУПД)	
$\vec{V}_x = \text{const}$; $V_{ox} = V_0 \cdot \cos\alpha$	$V_y = V_0 \cdot \sin\alpha - gt$	$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$
$x = V_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$	$y = V_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$	

Подъем на максимальную высоту: (*H*)

$V_y = 0 \rightarrow 0 = V_0 \cdot \sin\alpha - gt_{под} \rightarrow$ $\quad t_{под} = \frac{V_0 \cdot \sin\alpha}{g}$

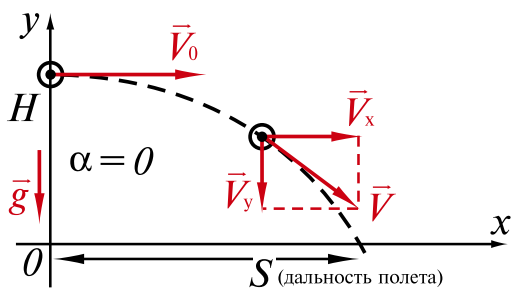
Все время движения: $t_{всё} = 2t_{под} \rightarrow$ $\quad t_{всё} = \frac{2V_0 \sin\alpha}{g}$

Дальность полета: $S = x = V_0 \cos\alpha \cdot t_{всё} = V_0 \cos\alpha \cdot \frac{2V_0 \sin\alpha}{g} = \frac{V_0^2 \cdot 2\sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g}$

$S = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$ при $\alpha = \pi/4$ дальность полета наибольшая

Максимальная высота полета: $H = y = V_0 \cdot \sin\alpha \cdot t_{под} - \frac{gt_{под}^2}{2} \rightarrow$ $\quad H = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{2g}$

2) Движение тела, брошенного горизонтально



траектория — ветка параболы

действующая сила — $\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}$

ускорение — $\vec{g}\downarrow$

скорость $\vec{V}$ — направлена по касательной

V_0 — начальная скорость (при броске)

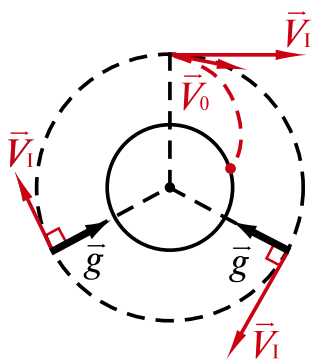
Движение тела рассматривают раздельно по двум осям (x и y)

ось *x* (РПД)	**ось *y*** (РУПД)	
$V_x = \text{const} = V_0$	$V_y = -gt$ $\quad V_{0y} = 0$	$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$
$x = V_0 \cdot t$	$y = H - \dfrac{gt^2}{2}$	

Все время движения: $y = 0 \to 0 = H - \dfrac{gt_{всё}^2}{2} \Rightarrow t_{всё} = \sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

Дальность полета: $S = x = V_0 \cdot t_{всё}$ $\quad S = V_0\sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

3) Искусственные спутники Земли



$V_{II} = 11{,}2$ км/с

движение — свободное падение (действует только сила тяжести)

тело движется по окружности: $a_ц = g = \dfrac{V^2}{R}$

$$\left.\begin{aligned} g &= \frac{V^2}{R_3} \\ g &= G\frac{M_3}{R_3^2}(h=0) \end{aligned}\right\} \Rightarrow V_I = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3}}$$

$V_I \approx 7{,}9$ км/с

I космическая скорость

Минимальная скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно могло двигаться вокруг Земли по круговой орбите (искусственный спутник)

Наименьшая скорость тела, при которой оно преодолевает притяжение Земли и становится спутником Солнца (орбита — парабола), II космическая скорость

Скорость тела, при которой тело преодолевает притяжение Солнца и покидает Солнечную систему, III космическая скорость $V_{III} = 16{,}7$ км/с

⑤ СИЛА УПРУГОСТИ

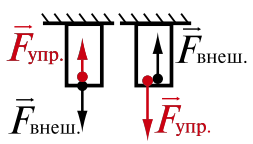
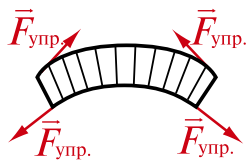
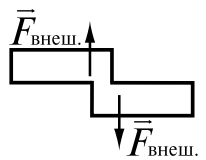
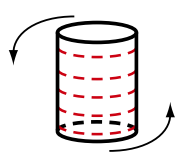
1) Природа сил и причины возникновения

Силы упругости возникают при деформации тел → Деформация — изменение формы и объема тела при внешнем воздействии.

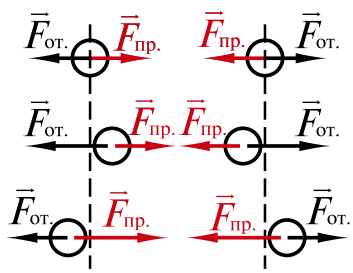
Упругая деформация — исчезает после прекращения воздействия

Пластическая деформация — не исчезает после прекращения воздействия

Деформации

растяжение, сжатие	изгиб	сдвиг, срез	кручение
			

Природа сил: электромагнитные ($\vec{F}_{упр}$ равна сумме сил притяжения и отталкивания между молекулами)



нет деформации $|\vec{F}_{пр}| = |\vec{F}_{от}|$ $\vec{F}_{упр} = 0$

сжатие $|\vec{F}_{пр}| < |\vec{F}_{от}|$ $\vec{F}_{упр} \uparrow\uparrow \vec{F}_{от}$

растяжение $|\vec{F}_{пр}| > |\vec{F}_{от}|$ $\vec{F}_{упр} \uparrow\uparrow \vec{F}_{пр}$

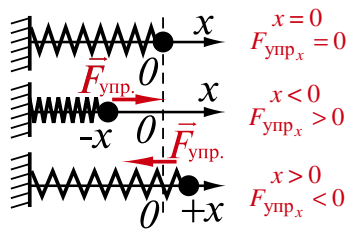
2) Закон Гука выполняется при упругих деформациях

$$F_{упр} = -kx$$

Сила упругости прямо пропорциональна смещению тела и противоположна ему по знаку

$k\,[\text{Н/м}]$ — *коэффициент жесткости*

x — *смещение (удлинение тела)*

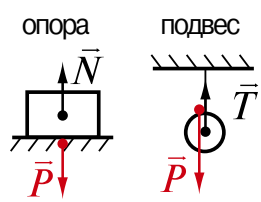


⑥ ВЕС ТЕЛА. НЕВЕСОМОСТЬ

1) Вес тела

$\vec{P}\,[\text{Н}]$

это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или подвес



точка приложения: опора или подвес

$-\vec{N} = \vec{P}$ $-\vec{T} = \vec{P}$ по III закону Ньютона

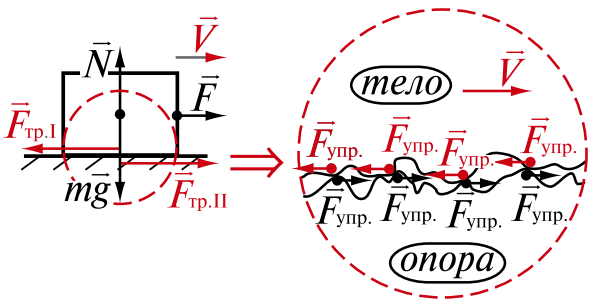
2) Невесомость

$\vec{P} = 0$

это когда тело не действует на опору или подвес, и вследствие этого внутри тела отсутствует деформация; при этом на тело действует только сила тяжести

⑦ СИЛА ТРЕНИЯ

1) Природа силы и причины возникновения



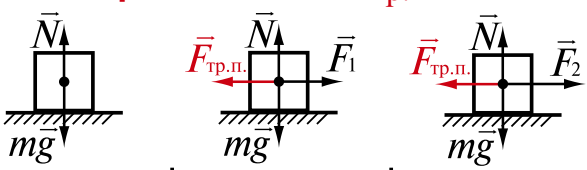
Сила трения $\vec{F}_{тр}$ [Н] возникает вдоль поверхности 2-х трущихся тел из-за деформации этих поверхностей (сжатие неровностей)
Природа — электромагнитная
Направлена вдоль поверхности против смещения

Сумма сил упругостей **тела** $\sum \vec{F}_{упр} = \vec{F}_{тр\,I}$

Сумма сил упругостей **опоры** $\sum \vec{F}_{упр} = \vec{F}_{тр\,II}$

Силы трения возникают у двух соприкасающихся тел одновременно

2) Сила трения покоя $\vec{F}_{тр.п}$



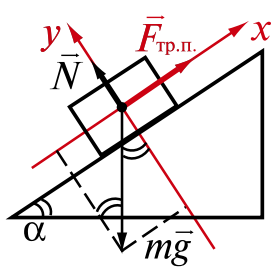
покой	покой	начало движения
$\lvert\vec{N}\rvert = \lvert m\vec{g}\rvert$	$\lvert\vec{N}\rvert = \lvert m\vec{g}\rvert$	$\lvert\vec{N}\rvert = \lvert m\vec{g}\rvert$
$\vec{F} = 0$	$\lvert\vec{F}_{тр.п}\rvert = \lvert\vec{F}_1\rvert$	$\lvert\vec{F}_{тр.п}\rvert_{max} \le \lvert\vec{F}_2\rvert$
$\vec{F}_{тр.п} = 0$		

Сила трения покоя возникает в случае, если на тело действует сила, стремящаяся сдвинуть его с места
Направлена против этой силы
Равна по модулю этой силе
Может возрастать только до определенного значения, после чего тело начинает двигаться

$0 \le F_{тр.п} \le F_{тр.п_{max}}$

$F_{тр.п_{max}} = \mu_0 N$

μ_0 — *коэффициент трения покоя*



Тело на наклонной плоскости находится в покое

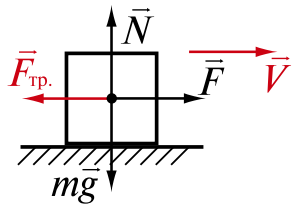
$\vec{a} = 0$

II закон Ньютона: $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{тр.п} = \vec{a} \cdot m$

$x: \; 0 - mg \cdot \sin\alpha + F_{тр.п} = 0$

! $F_{тр.п} = mg \cdot \sin\alpha$

3) Сила трения скольжения



Сила трения скольжения возникает в случае, если на тело действует сила, которая приводит тело в движение

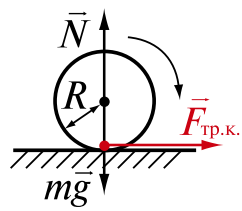
Направлена против этой силы вдоль поверхности опоры

$\lvert\vec{F}_{тр}\rvert = \lvert\vec{F}\rvert$	равномерное движение	$F_{тр} = \mu N$
$\lvert\vec{F}_{тр}\rvert < \lvert\vec{F}\rvert$	равноускоренное движение	
$\lvert\vec{F}_{тр}\rvert > \lvert\vec{F}\rvert$	равнозамедленное движение	

N — сила реакции опоры (зависит от силы давления на опору)

μ — коэффициент трения скольжения (зависит от материала, из которого сделана поверхность, и степени ее обработки/ровности)

4) Сила трения качения ($\vec{F}_{тр.к}$)



Сила трения качения возникает в случае, если одно тело катится по поверхности другого.

Направлена вдоль поверхности качения, против вращения

$F_{тр.к} << F_{тр}$ (при скольжении)

$$F_{тр.к} = \mu_к \frac{N}{R}$$

N – *сила реакции опоры;* R – *радиус*

$\mu_к$ – *коэффициенты трения качения*

5) Жидкостное трение (трение в газах и жидкостях) $\vec{F}_c$

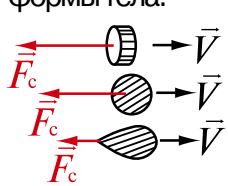
При трении тела о жидкость или газ возникающую силу будем называть силой сопротивления

Сила, возникающая при жидком трении, во много раз меньше силы сухого трения (поэтому для уменьшения трения трущиеся поверхности смазывают)

Особенность жидкостного трения: нет силы трения покоя (даже при небольших воздействиях на тело оно приходит в движение)

Величина F_c зависит от

- рода жидкости (газа)
- скорости движения:
  - $F_c \sim V$ (небольшие скорости)
  - $F_c \sim V^2$ (большие скорости)
- формы тела:



(обтекаемая форма) → $F_c \downarrow$)

III. Статика

Статика — раздел механики, изучающий равновесие тел и условия равновесия

① Момент силы

M[н·м] (скаляр)

это скалярная величина, равная произведению модуля силы на плечо этой силы.

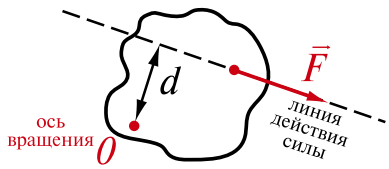
$$M = Fd$$

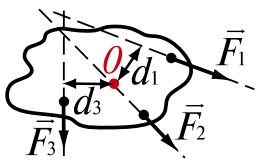
F — модуль силы
d — плечо силы

Плечо силы

d [м]

это кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (если линия действия силы проходит через ось вращения, то $d = 0$)





$M_1 = F_1 \cdot d_1 > 0$

$M_2 = F_2 \cdot d_2 = 0 \quad (d_2 = 0)$

$M_3 = F_3 \cdot d_3 < 0$

Принято условно:

а) Если момент вращает тело по часовой стрелке: $M > 0$

б) Если момент вращает тело против часовой стрелки: $M < 0$

② Равновесие тела

состояние, при котором тело неподвижно относительно выбранной системы отсчета

Условия равновесия

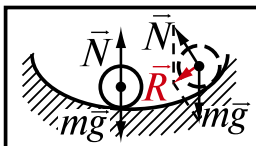
I условие: На тело не должны действовать силы или их действия должны быть скомпенсированы

$\sum \vec{F} = \vec{R} = 0$ → *нет поступательного движения*

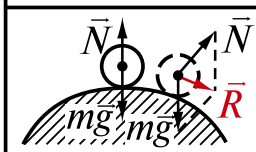
II условие: Алгебраическая сумма моментов сил, действующих на тело, должна быть равна нулю

$\sum M = 0$ → *нет вращения*

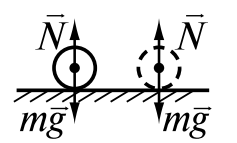
③ Виды равновесия



Устойчивое равновесие
при выводе тела из состояния равновесия возникает равнодействующая, возвращающая его в равновесие



Неустойчивое равновесие
при выводе тела из состояния равновесия возникает равнодействующая, удаляющая тело от положения равновесия



Безразличное равновесие
при выводе тела из состояния равновесия равнодействующая остается равной нулю

→ В положении устойчивого равновесия тело обладает минимальной потенциальной энергией

IV. Законы сохранения

Законы сохранения — раздел механики, изучающий физические величины: импульс и энергию, а также законы их сохранения

① ИМПУЛЬС

ИМПУЛЬС СИЛЫ

$\vec{I} = \vec{F} \cdot t$ [н·с]

$\vec{I}$ — импульс силы

$\vec{F}$ — сила

t — время

$\vec{I} \uparrow\uparrow \vec{F}$

векторная физическая величина, являющаяся **мерой действия** силы за некоторый промежуток времени

ИМПУЛЬС ТЕЛА

$\vec{P} = m \cdot \vec{V}$ [кг·м/с]

$\vec{P}$ — импульс тела

m — масса

$\vec{V}$ — скорость тела

$\vec{P} \uparrow\uparrow \vec{V}$

векторная физическая величина, являющаяся **мерой механического движения** (количество движения)

II закон Ньютона в импульсном виде

$$\left.\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{\vec{F}}{m} \\ \vec{a} &= \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t} \end{aligned}\right\} \frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t} \Rightarrow \begin{cases} \vec{F} \cdot t = m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1 \\ \vec{F} \cdot t = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = \Delta\vec{P} \end{cases}$$

$\vec{F}t$ — импульс силы

$m\vec{V}_1 = \vec{P}_1$ — импульс тела до взаимодействия

$m\vec{V}_2 = \vec{P}_2$ — импульс тела после взаимодействия

$\Delta\vec{P}$ — изменение импульса тела в результате взаимодействия

изменение импульса тела равно импульсу силы

② ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Векторная сумма (геометрическая) импульсов тел в замкнутой системе остается величиной постоянной

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{P}_i = \text{const}$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots + \vec{P}_n = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 + \ldots + \vec{P}'_n$$

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 + \ldots + m_n\vec{V}_n = m_1\vec{V}'_1 + m_2\vec{V}'_2 + \ldots + m_n\vec{V}'_n$$

$m_1, m_2 \ldots m_n$ — массы тел в системе

$V_1, V_2 \ldots V_n$ — скорости тел до взаимодействия

$\vec{V}'_1, \vec{V}'_2 \ldots \vec{V}'_n$ — скорости тел после взаимодействия

Замкнутая (изолированная) система тел — это такая система тел, в которой тела взаимодействуют только друг с другом и не взаимодействуют с другими телами, не входящими в эту систему

можно применять закон:

а) если равнодействующая внешних сил равна нулю

б) для проекции на какую-либо ось, если проекция равнодействующей на эту ось равна нулю

③ РАБОТА. ЭНЕРГИЯ

1) **Энергия** E [Дж] — скалярная физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу

2) **Работа** A [Дж] — это скалярная физическая величина, являющаяся пространственной характеристикой действия силы

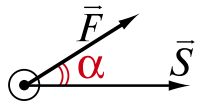
$1Дж = 1н \cdot 1м$	это значит, что, если сила в 1 н сдвигает тело на 1 м, то совершается работа 1 Дж.

Связь работы и энергии

$|A| = |\Delta E|$ → $A = E_2 - E_1 = \Delta E$ — (кинетическая энергия)

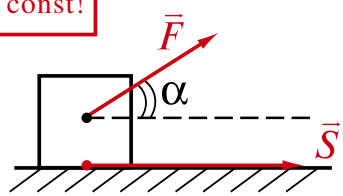
→ $A = E_1 - E_2 = -\Delta E$ — (потенциальная энергия)

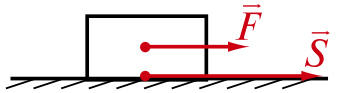
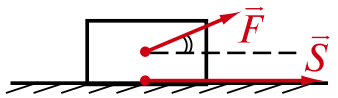
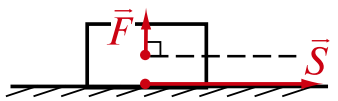
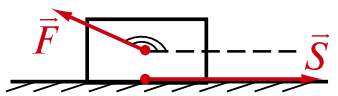
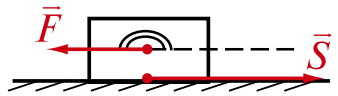
Работа всегда равна изменению энергии

$A = \vec{F} \cdot \vec{S}$ | $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$ | 

Механическая работа численно равна произведению модуля силы на модуль перемещения и на косинус угла между ними

F = const!



$\alpha = 0°$		$A > 0$ $_{max}$	$A = F \cdot S \cdot \cos 0°$, $\cos 0° = +1$ $A = F \cdot S$
$0° < a < 90°$		$A > 0$	$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$
$\alpha = 90°$		$A = 0$	$A = F \cdot S \cdot \cos 90°$, $\cos 90° = 0$ $A = 0$
$90° < \alpha < 180°$		$A < 0$	$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$ $\cos\alpha < 0$
$\alpha = 180°$		$A < 0$ $_{max}$	$A = F \cdot S \cdot \cos 180°$, $\cos 180° = -1$ $A = -F \cdot S$

④ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

1) Кинетическая энергия

$E_к$ [Дж]

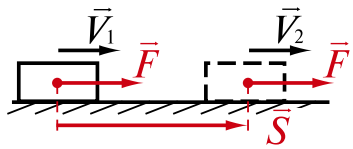
энергия, которой обладает тело вследствие своего движения (характеризует движущееся тело)

2) Теорема о кинетической энергии

Работа сил, приложенных к телу, равна изменению его кинетической энергии:

$$A = E_{к_2} - E_{к_1} = \Delta E_к$$

Под действием силы $\vec{F}$ тело совершило перемещение $\vec{S}$ и его скорость увеличилась с $\vec{V}_1$ до $\vec{V}_2$



$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

Вычислим работу, совершенную силой $\vec{F}$

1) $F = ma$ (II закон Ньютона)

2) $2aS = V_2^2 - V_1^2 \Rightarrow S = \dfrac{V_2^2 - V_1^2}{2a}$

3) $\alpha = 0°;\ \cos\alpha = 1$

$$A = m \cdot a \frac{V_2^2 - V_1^2}{2a} \cdot 1 = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = E_{к_2} - E_{к_1}$$

$$E_к = \frac{mV^2}{2}$$

$$A = \frac{mV_2^2 - mV_1^2}{2}$$

$$A = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}$$

3)

$$E_к = \frac{mV^2}{2}$$

а) В выбранной системе отсчета:

– если тело не двигается ($V = 0$), то $E_к = 0$

– если тело двигается, то $E_к > 0$

$\Big\}\ E_к \geq 0$

б) кинетическая энергия является **относительной величиной**, т. к. зависит от выбора системы отсчета

⑤ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

1) Потенциальная энергия

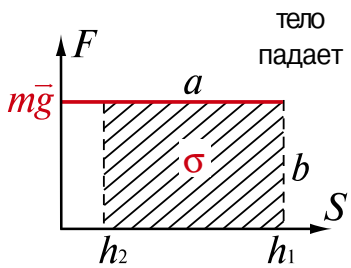
E_p [Дж]

энергия, обусловленная **взаимодействием** тел или частей одного и того же тела

Она зависит от взаимного расположения тел или величины упругой деформации тела

2) Потенциальная энергия поднятого над Землей тела. Работа силы тяжести

а) Вблизи поверхности Земли будем считать $F_{тяж} = mg = \text{const}$



Графический способ:

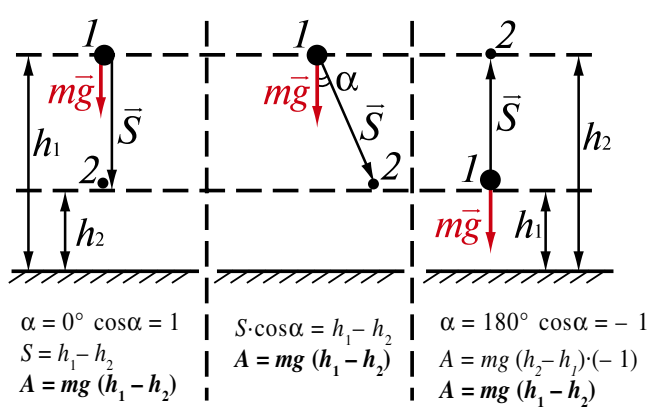
Площадь фигуры под графиком $F = F(S)$ численно равна работе, совершенной этой силой

$\sigma = a \cdot b \Rightarrow$

$A = mg(h_1 - h_2)$

$A = mgh_1 - mgh_2$

$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$; $\alpha = \overrightarrow{FS}$, $F = \text{const} = mg$



$A = mg(h_1 - h_2)$

$A = mgh_1 - mgh_2$

Работа силы тяжести не зависит от формы траектории и длины пути, а зависит только от начального и конечного положения тела (h_1 и h_2)

Поле силы тяжести **потенциально**

Работа по замкнутой траектории равна нулю

б)

$A = mgh_1 - mgh_2$

$E_p = mgh$

$A = E_{p1} - E_{p2} = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p$

Работа $F_{тяж}$ всегда равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком

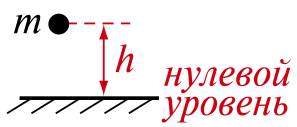
– тело падает: $A > 0$; E_p уменьшается

– тело поднимается: $A < 0$; E_p увеличивается

– тело двигается горизонтально: $A = 0$; $E_p = \text{const}$

в) Потенциальная энергия поднятого над Землей тела

$E_p = mgh$ – энергия взаимодействия тела с Землей

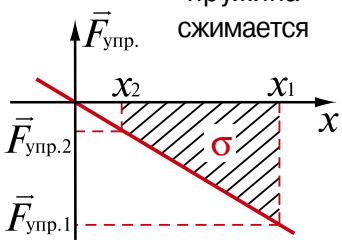


Потенциальная энергия является относительной величиной, т. к. зависит от выбора нулевого уровня (где $h = 0$)

3) Потенциальная энергия упругодеформировнного тела. Работа силы упругости

а)

По закону Гука: $F_{упр} = -kx,\ F_{упр} \neq \text{const}\ \ (F_{упр} \sim x)$



Графический способ:

Площадь фигуры под графиком $F_{упр} = F(x)$ численно равна работе силы упругости

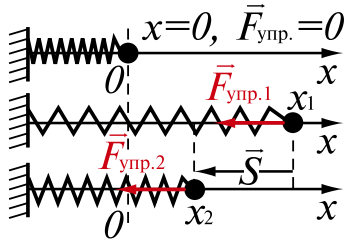
$$A_{упр} = \sigma_{трапеции} = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$A_{упр} = \frac{F_{упр1} + F_{упр2}}{2}(x_1 - x_2) =$$

$$= \frac{kx_1 + kx_2}{2}(x_1 - x_2) = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

$$A_{упр} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

т. к. $F_{упр} \neq \text{const}$, то берем среднее значение $F_{упр}$



$$A = F_{упр.\,ср} \cdot S \cdot \cos\alpha$$

$$|F_{упр.ср}| = \frac{|F_{упр1}| + |F_{упр2}|}{2}$$

$$|S| = x_1 - x_2$$

$$\cos\alpha = 1\ \ (\alpha = 0°)$$

$$A = F_{ср} \cdot S \cdot \cos\alpha$$

$$A = \frac{kx_1 + kx_2}{2}(x_1 - x_2)$$

$$A_{упр} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

б)

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

$$A = E_{p_1} - E_{p2} = -(E_{p_2} - E_{p_1}) = -\Delta E_p$$

работа силы упругости равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком

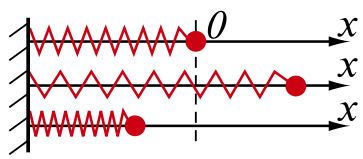
тело (пружина) не деформировано $E_p = 0$

тело (пружина) деформировано $E_p > 0$

$E_p \geq 0$

в)

Потенциальная энергия упруго-деформированного тела



$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$ — энергия взаимодействия частей тела

E_p зависит от деформации:

– чем больше деформация, тем $E_p \uparrow$

– если тело не деформировано, $E_p = 0$

⑥ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих только за счет сил тяготения и упругости, остается постоянной при любых движениях тел

$E = E_к + E_p = \text{const}$

$E_{к1} + E_{p1} = E_{к2} + E_{p2}$

$\Delta E_к + \Delta E_p = 0$

$\left.\begin{aligned} A &= E_{к2} - E_{к1} \\ A &= E_{p1} - E_{p2} \end{aligned}\right\} \; A = A$

$E_{к2} - E_{к1} = E_{p1} - E_{p2} \Rightarrow E_{p1} + E_{к1} = E_{p2} + E_{к2}$

$E = E_p + E_к$ — полная механическая энергия

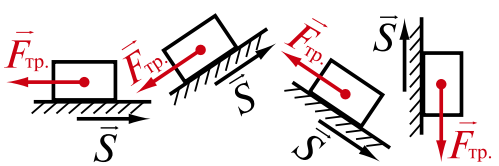
$E = \text{const}$

Если система не замкнута и тела взаимодействуют за счет сил трения, то сумма изменений кинетической и потенциальной энергий равна работе силы трения.

$\Delta E_к + \Delta E_p = A_{тр}$

$E_{к2} - E_{к1} + E_{p2} - E_{p1} = -F_{тр} \cdot S$

Работа силы трения



$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

$F = F_{тр}$

$\cos\alpha = -1 \quad (\alpha = 180°)$

$A_{тр} = -F_{тр} \cdot S$

⑦ МЕХАНИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ

Мощность N [Вт] — это скалярная физическая величина, характеризующая работу, совершенную за единицу времени (быстрота совершения работы)

$N = \frac{A}{t}$

$1\text{Вт} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{с}}$ 1 лошадиная сила = 736 Вт

$N = \frac{A}{t}$

$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

$A = \frac{\vec{F}\vec{S}}{t} = \frac{F \cdot S \cdot \cos\alpha}{t} = F \cdot V \cdot \cos\alpha$

если $\vec{F} = \text{const}$; $\vec{V} = \text{const}$

$A = F \cdot V \cdot \cos\alpha$



N — средняя $N = F \cdot V_{ср} \cdot \cos\alpha$; мгновенная $N = F \cdot V_{мгн.} \cdot \cos\alpha$ — если $\vec{F} = \text{const}$

V. Механические колебания и волны

Механические колебания и волны — раздел механики, изучающий особый вид движения — колебания, а также распространение колебаний в пространстве

① КОЛЕБАНИЯ

КОЛЕБАНИЯ — это движения или процессы, которые точно или приблизительно повторяются через определенные интервалы времени

Механические колебания — это колебания механических величин (смещения, скорости, ускорения, энергии и т. п.).

Виды колебаний

свободные	вынужденные	автоколебания
колебания, возникающие при однократном воздействии внешней силы (первоначальном сообщении энергии) и при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему	колебания, возникающие под действием внешних, периодически изменяющихся сил (при периодическом поступлении энергии извне к колебательной системе)	колебания, возникающие под действием внутренних периодических сил (при периодическом поступлении энергии от собственного источника внутри колебательной системы)

Колебательная система — это система тел, совершающих колебания

② СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

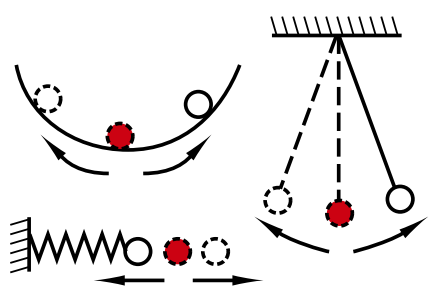
1) Условия возникновения свободных колебаний

→ колебательная система должна иметь положение устойчивого равновесия

→ при выведении системы из положения равновесия должна возникать равнодействующая сила, возвращающая систему в исходное положение

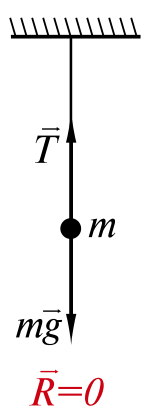
→ инертность системы

→ силы трения (сопротивления) очень малы

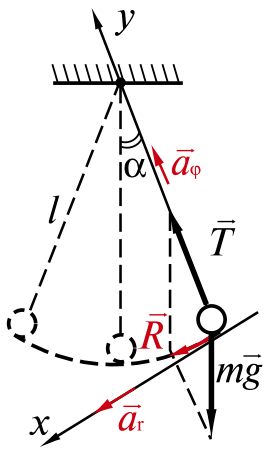


2) Математический маятник

Материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити



положение устойчивого равновесия



$$\vec{T} + m\vec{g} = m(\vec{a}_\tau + \vec{a}_ц)$$

$$x:\ mg\cdot\sin\alpha = ma_\tau$$

$$y:\ T - mg\cdot\cos\alpha = ma_ц$$

для малых углов α:

$$\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{l}$$

x — смещение от положения равновесия

l — длина нити

$$a_\tau = -\frac{g}{l}x \rightarrow a \sim x,\ \vec{a} \uparrow\downarrow x$$

$$\frac{g}{l} = \omega_0^2$$

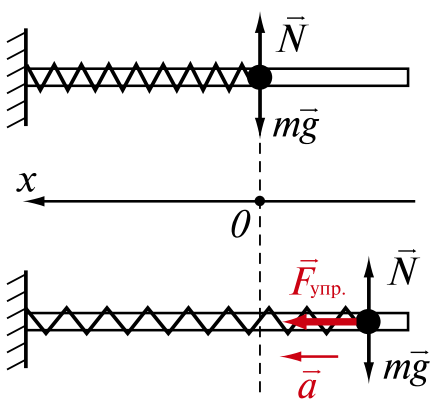
$$\left.\begin{aligned}\omega_0^2 &= \frac{g}{l}\\ \omega_0^2 &= \frac{4\pi^2}{T^2}\end{aligned}\right\}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

период математического маятника

3) Пружинный маятник

Материальная точка, закрепленная на абсолютно упругой пружине



x — смещение от положения равновесия

$$a = -\frac{k}{m}x \rightarrow a \sim x,\ \vec{a} \uparrow\downarrow x$$

$\vec{R} = 0$

положение устойчивого равновесия

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{упр} = m\vec{a}$$

$$x:\ \boldsymbol{F_{упр} = ma}$$

$$F_{упр} = -kx \text{ (закон Гука)}$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2$$

$$\left.\begin{aligned}\omega_0^2 &= \frac{k}{m}\\ \omega_0^2 &= \frac{4\pi^2}{T^2}\end{aligned}\right\}$$

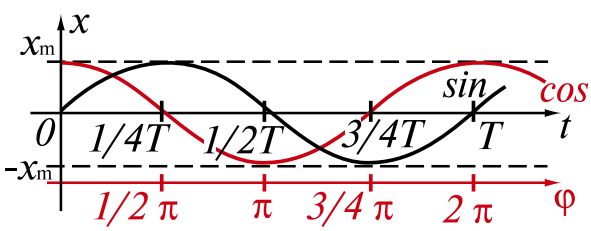
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

период пружинного маятника

③ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

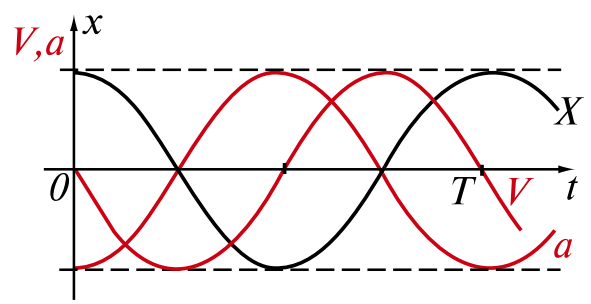
1) Гармонические колебания || колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса

2) Уравнения и графики



$$x = x_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) = x_m \cos\varphi$$

$$x = x_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) = x_m \sin\varphi$$



$$x = x_m \cdot \cos\varphi = x_m \cdot \cos\omega t \ (\varphi_0 = 0)$$

$$V = x' = x_m \cdot \omega \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \Big\} \quad V_m = x_m\omega$$

$$a = x'' = V' = x_m\omega^2 \cdot \cos(\omega t + \pi) \quad \Big\} \quad a_m = -\omega^2 x_m$$

x — смещение [м] от положения равновесия

x_m — амплитуда [м] — максимальное смещение от положения равновесия

T — период [с] — время одного полного колебания

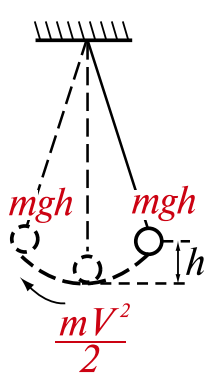
ν — частота [Гц] = [1/с] — число полных колебаний за единицу времени $\nu = \frac{1}{T}$

ω — циклическая частота [рад/с] — число полных колебаний за 2π секунд $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \nu$

φ — фаза [рад] — угловая физическая величина, показывающая положение и направление движения колебательной системы в данный момент времени $\varphi = \omega t + \varphi_0$

φ_0 — начальная фаза [рад]

3) Превращение энергии

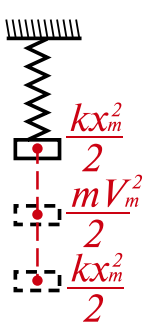


$$E_p \to E_к \to E_p \to \ldots$$

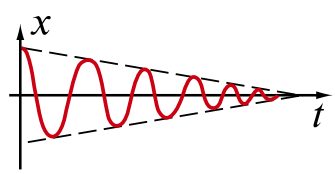
$$E_{p\max} = E_{к\max}$$

$$\frac{kx_m^2}{2} = \frac{mV_m^2}{2} = \frac{m\omega^2 \cdot x_m^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{полн} \sim x_м^2$$



Затухающие колебания



при $F_{тр} \neq 0$

$E_{полн.} \downarrow \Rightarrow x_m \downarrow$

④ ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

1)

В свободных колебаниях тела участвуют строго с одной частотой ⇒

собственная частота ν_0 [Гц] (ω_0 [рад/с])

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$ — *для математического маятника*

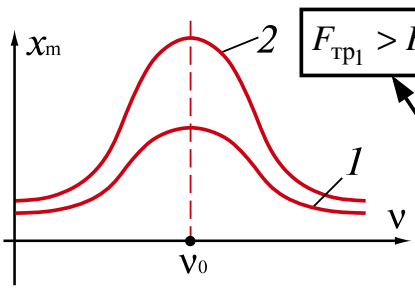
$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$ — *для пружинного маятника*

В вынужденных колебаниях частота ν [Гц] любая, которая определяется вынуждающей силой $\vec{F}_{в.с}$ (периодической).

Если $F_{в.с.}$ изменяется по закону синуса или косинуса, то вынужденные колебания будут гармоническими.

$F_{в.с.} = F_{max} \cdot \cos\omega t$ — частота вынужденных колебаний равна частоте изменения внешней силы

2) **Резонанс** — это явление, при котором резко возрастает амплитуда вынужденных колебаний (происходит наиболее полная передача энергии от одной колебательной системы к другой)



$F_{тр_1} > F_{тр_2}$

Резонанс наблюдается, когда частота собственных колебаний совпадает с вынужденной частотой

$\nu = \nu_0$

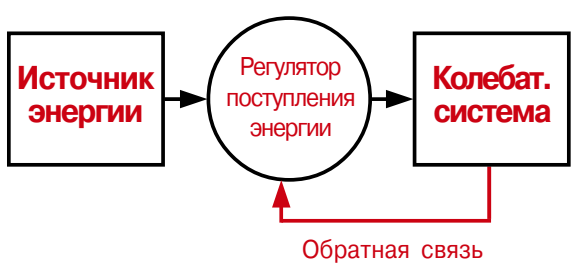
Чем меньше трение, тем больше возрастает амплитуда резонансных колебаний

⑤ АВТОКОЛЕБАНИЯ

Колебания происходят с собственной частотой (ν_0). Система сама регулирует пополнение энергии.

Чтобы колебания системы не затухали, нужно пополнять энергию в такт с ее колебаниями (строго периодическая подкачка энергии)

Основные элементы автоколебательной системы



⑥ ВОЛНЫ

распространение колебаний от точки к точке (от частицы к частице) в пространстве с течением времени

Причины возникновения механических волн →

1) упругая среда (частицы среды взаимодействуют за счет сил упругости)
2) инертность частиц

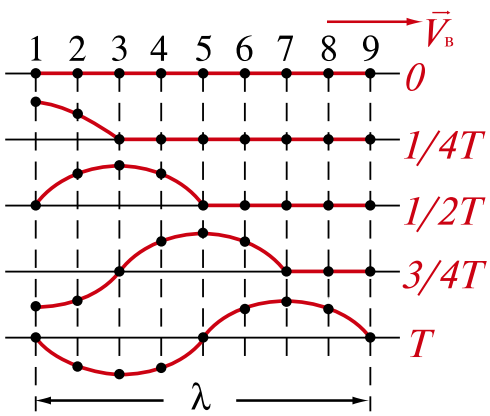
Волны и энергия →

Вместе с колебаниями волной переносится и энергия колебаний (E), хотя сами носители этой энергии, колеблющиеся частицы, с волной не переносятся

Волна является переносчиком энергии

⑦ ПОПЕРЕЧНЫЕ И ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ

Поперечные	это волны, в которых частицы среды колеблются перпендикулярно направлению волны	**Продольные**	это волны, в которых частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны
деформация сдвига в твердых телах, на поверхности жидкости		**деформация сжатия** в газах, жидкостях, твердых телах	



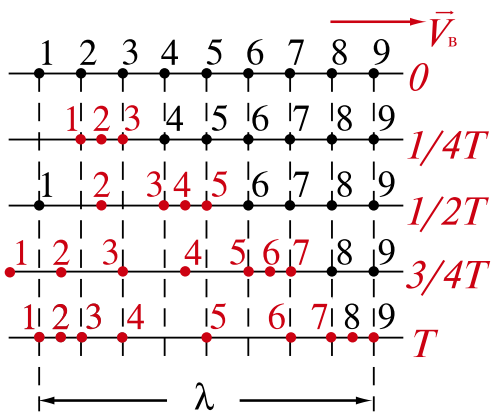
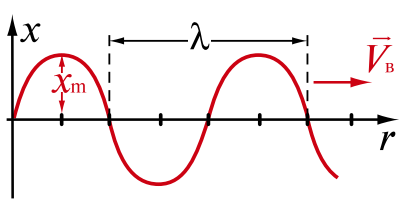


График волны:



λ — *длина волны*

$\vec{V}_в$ — *скорость волны*

x_m — *амплитуда колебаний точек*

⑧ ДЛИНА ВОЛНЫ

λ [м]

это кратчайшее расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе (это расстояние, на которое распространяется колебательное движение в упругой среде за один период)

Скорость волны

$V_в$ [м/с]

скорость перемещения точки, в которой колебание имеет определенную фазу (скорость перемещения «гребня» или «впадины»)

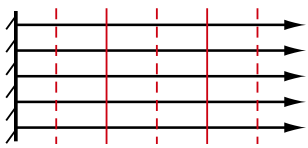
$$V_в = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$$

$V_в$ — *зависит от свойств среды*

$\nu(T)$ — *зависит от источника волны*

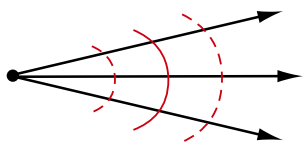
⑨ ВОЛНЫ В СРЕДЕ

Плоская волна



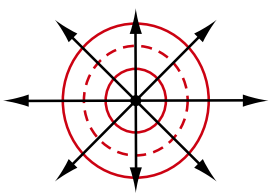
$E_1 = \text{const}$

Кольцевая волна



$E_1 \sim \frac{1}{r}$

Сферическая волна



$E_1 \sim \frac{1}{r^2}$

Волновая поверхность — геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе

Волновой фронт — геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени t

Луч (⟶) — линия, перпендикулярная волновой поверхности (эта линия показывает направление распространения волны)

При переходе волны из одной среды в другую

– частота колебаний (ν) сохраняется

– скорость (V), длина волны (λ) изменяются

⑩ ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ

Звук — продольная механическая волна определенной частоты

инфразвук ⇐ $\nu \div 16\,\text{Гц} — 20000\,\text{Гц}$ ⇒ **ультразвук**

звук

Высота звука — определяется его частотой

Громкость — определяется амплитудой

$V_{\text{звука в воздухе}} \approx 330\,\text{м/с}$

Акустический резонанс: звуковые волны могут вызвать вынужденные колебания в системах. При $\nu_{\text{звук}} = \nu_0$ возникает резонанс

⑪ СВОЙСТВА ВОЛН

Принцип Гюйгенса



Каждая возбужденная волной точка сама становится источником элементарных волн. Огибающая элементарных волн дает новое положение волнового фронта

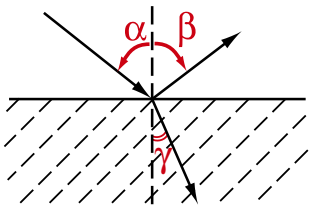
Принцип суперпозиции волн



При распространении в среде нескольких волн каждая из них распространяется так, как будто другие волны отсутствуют

I Отражение и преломление волн

На границе двух сред волна частично отражается и частично проникает в другую среду. (Степень проникновения зависит от волнового сопротивления)



ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ

1) Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр в точке падения лежат в одной плоскости
2) Угол падения равен углу отражения $\alpha = \beta$

ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

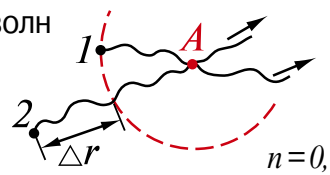
1) Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр в точке падения лежат в одной плоскости
2) Отношение синусов угла падения и угла преломления есть величина постоянная и равна отношению скоростей волны в этих средах

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \text{const}$$

II Интерференция волн

Устойчивая картина чередования максимумов и минимумов колебаний точек среды при наложении когерентных волн

Когерентные волны — это волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз



а) max: $\Delta r = \lambda \cdot n$

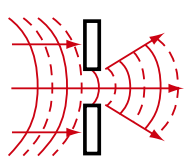
б) min: $\Delta r = \frac{\lambda}{2}(2n+1)$

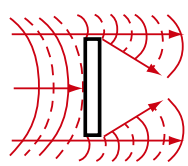
$n = 0, 1, 2, 3...$

III Дифракция волн

Отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы преграды (огибание волнами препятствий)

Условие: размеры препятствия должны быть сравнимы с длиной волны





IV Поляризация волн

Выделение колебаний поперечной волны строго одного направления (при помощи поляризатора)

Тепловые явления. Молекулярная физика

Молекулярная физика — раздел физики, изучающий внутреннее строение тел, а также тепловые процессы, происходящие внутри вещества

Молекула (с греч. — «массочка») — наименьшая устойчивая частица вещества, обладающая его химическими свойствами. Молекулы образуются из атомов

Атом (с греч. — «неделимый») — наименьшая частица химического элемента, носитель его свойств

Число Авогадро N_A [1/моль]	Число атомов в 12 граммах углерода (^{12}C) (число частиц в 1 моле вещества)	$N_A \approx 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$

Количество вещества ν [моль] N — число частиц (молекул, атомов)	1 моль — это количество вещества, в котором содержится столько же частиц, сколько атомов в 12 граммах углерода	$\nu = \frac{N}{N_A}$

Молярная масса μ [кг/моль]	Масса вещества, взятого в количестве одного моля	$\mu = \frac{m}{\nu}$

$\mu = Mr \cdot 10^{-3}$ *Mr — относительная молекулярная (атомная) масса вещества (табл. Менделеева)*	$\mu = m_0 \cdot N_A$ *m_0 — масса одной частицы (атома, молекулы)*

Масса частицы (атома, молекулы) m_0 [кг]	$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}$	$m_0 \sim 10^{-26}$ [кг]

Число частиц N	$N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{\mu} N_A$

Концентрация n [1/м^3]	$n = \frac{N}{V}$
(число частиц в единице объема)	

Размер атомов $r_0 \sim 10^{-8}$ см $\sim 10^{-10}$ м

① ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ (МКТ)

I положение

Все тела (вещества) состоят из частиц (молекул, атомов, ионов…), между которыми есть промежутки.

***Опытные обоснования*:**

– крошение вещества

– испарение жидкостей

– смешивание веществ; диффузия

– фотографии туннельного микроскопа

II положение

Частицы находятся в постоянном, беспорядочном (хаотичном) движении (тепловое движение)

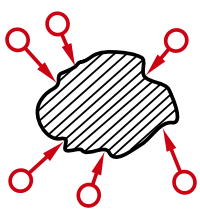
***Опытные обоснования*:**

1) испарение (вылет частиц с поверхности вещества)

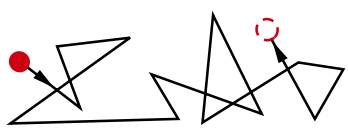
2) Диффузия — самопроизвольное проникновение частиц одного вещества в промежутки между частицами другого вещества (чем больше температура, тем быстрее проходит диффузия)

в газах	**в жидкостях**	**в твердых телах**
проходит быстро (мин.) [распространение запаха]	проходит медленно (мин. — часы) [растворение краски в воде]	проходит очень медленно (годы) [слипание отшлифованных пластин металла]

3) Броуновское движение — хаотическое движение взвешанных в жидкости или газе частиц под действием нескомпенсированных ударов молекул жидкости или газа



1905 г. **Эйнштейн** (физик) (объяснил явление)



1827 г. **Броун** (ботаник) (открыл явление)

III положение

Между частицами существует межмолекулярное взаимодействие (притяжение и отталкивание)

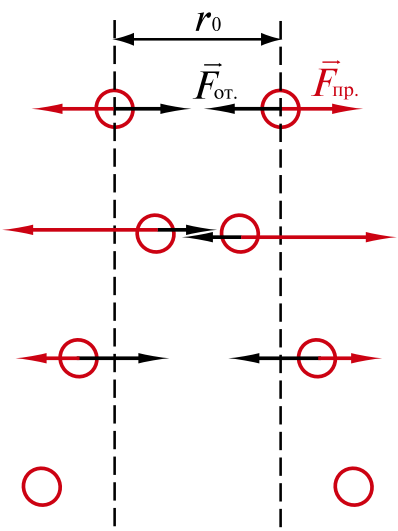
***Опытные обоснования*:**

– сохранение формы твердых тел ($F_{пр}$)

– наличие промежутков между частицами ($F_{от}$)

– упругость тел ($F_{пр}$ и $F_{от}$)

– слипание тел с отшлифованными поверхностями



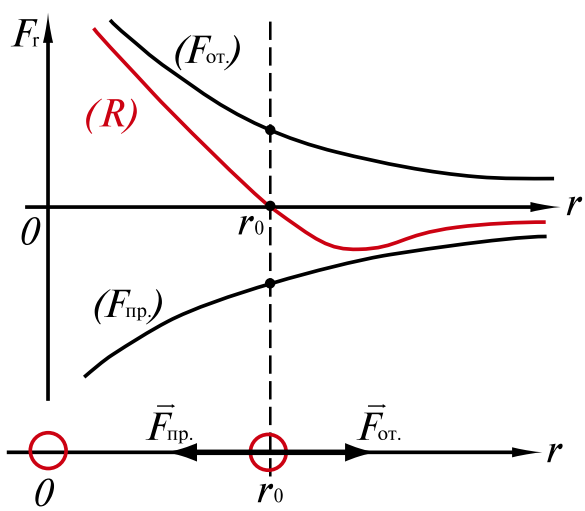
равновесное положение (r_0) } $\vec{R} = 0$ $F_{пр} = F_{от}$

сжатие ($r < r_0$) } обе силы возрастают $F_{пр} < F_{от}$

растяжение ($r > r_0$) } обе силы уменьшаются $F_{пр} > F_{от}$

разрыв ($r > 2r_0$) } обе силы исчезают $F_{пр} \to 0$ $F_{от} \to 0$

В разных веществах разные r_0 и $F_{пр}$, $F_{от}$



Зависимость молекулярных сил от расстояния между молекулами

силы являются **короткодействующими**

– при расстояниях, превышающих 2-3 диаметра молекулы сила отталкивания равна нулю; сила притяжения стремится к нулю

– при сближении молекул ($r<r_0$) обе силы резко возрастают, но $F_{от} > F_{пр}$

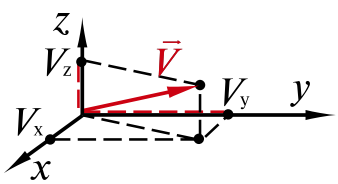
② ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МКТ

1) Идеальный газ — физическая модель реального газа, в которой не учитываются взаимодействия между молекулами ($F_{пр} = 0$; $F_{от} = 0$)

2) Основные положения МКТ идеального газа

1) молекулы — материальные точки (абсолютно упругие шарики);
2) движение молекул подчиняется законам Ньютона;
3) нет взаимодействия между молекулами ($E_p = 0$; $E_к \neq 0$);
4) молекулы двигаются хаотично;
5) даже в самом маленьком рассматриваемом объеме содержится большое количество частиц (молекул), сравнимое с числом Авогадро

3) Следствия из хаотичного движения молекул

1) все молекулы двигаются с разными скоростями, поэтому вводим понятие средняя скорость $\overline{V}(\overline{V}_x;\overline{V}_y;\overline{V}_z)$
2) все направления равноправны $\overline{V}_x = \overline{V}_y = \overline{V}_z$
3) молекулы распределяются по объему равномерно
4) 

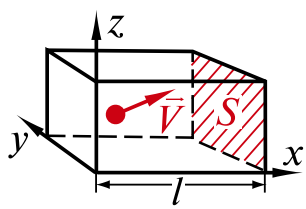
среднее значение квадрата скорости

$$\overline{V}^2 = \overline{V}_x^2 + \overline{V}_y^2 + \overline{V}_z^2$$

$$\overline{V}^2 = 3\overline{V}_x^2 = 3\overline{V}_y^2 = 3\overline{V}_z^2$$

$$\overline{V}_x^2 = \frac{1}{3}\overline{V}^2$$

4) Основное уравнение МКТ



давление газа: – сумма сил ударов молекул на единицу площади

$$P = \frac{N \cdot F_1}{S}$$ (*N – число ударивших молекул; F_1 – сила удара одной молекулы*)

$$N = \frac{1}{2} n \overline{V}_x \Delta t \cdot S \quad (N = n \cdot V = n \cdot l \cdot S)$$

$$F_1 = \frac{2 m_0 \overline{V}_x}{\Delta t}$$ (II з-н Ньютона (импульс))

$$P = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \overline{V}^2$$

(связь между макроскопическими и микроскопическими мирами)

$$P = \frac{1}{3} \rho \overline{V}^2$$

ρ – *плотность газа*

$$P = \frac{2}{3} n \overline{E}_к$$

$\overline{E}_к$ – *средняя кинетическая энергия молекулы*

③ ТЕМПЕРАТУРА. ЭНЕРГИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ

1) **Макроскопические параметры** — параметры, характеризующие состояние тела (газа) без учета молекулярного трения

– давление $\mathbf{P}$ [Па]
– объем V [м^3]
– температура T [К]

Теплообмен — передача тепла (энергии) от одного тела (менее нагретого) к другому (более нагретому)

Тепловое равновесие — это такое состояние системы тел, при котором макроскопические параметры остаются постоянными сколь угодно долго, причем температура одинакова у всех тел системы

2) **Температура** t [°C]; T [К] — физическая величина, характеризующая отклонение тела от теплового равновесия с другим телом, температура которого принята за ноль (степень нагретости)

Измерение температуры

измеряют термометрами
– жидкостные (спиртовые, ртутные): [действие основано на тепловом расширении при нагревании]
– газовые
– полупроводниковые

Шкала температур Цельсия

t °[C]

C^0 — *температура кипения воды (при нормальных условиях)*

100^0

0^0 — *температура таяния льда*

3) **Опытный факт** для газов, находящихся в тепловом равновесии:

при t = 0°C: $\frac{PV}{N} = \text{const} = \theta_1 = 3{,}76 \cdot 10^{-21}$ Дж

при t = 100°C: $\frac{PV}{N} = \text{const} = \theta_2 = 5{,}14 \cdot 10^{-21}$ Дж

так как $P = \frac{2}{3} n \overline{E}_к \Rightarrow \boxed{\frac{PV}{N} = \frac{2}{3}\overline{E}_к}$

то доказано, что температура является мерой средней кинетической энергии молекул

$$\frac{PV}{N} \sim \overline{E}_к \sim T \Rightarrow \boxed{\frac{PV}{N} = kT}$$

$$kT_2 - kT_1 = \theta_2 - \theta_1 \Rightarrow k = \frac{\theta_2 - \theta_1}{T_2 - T_1}$$

постоянная Больцмана

$$\boxed{k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}}$$

4) Абсолютная температура. Шкала Кельвина

Абсолютная температура T [K]	температура, измеренная по шкале Кельвина (отражает физический смысл температуры)
Абсолютный ноль $T = 0$ [K]	температура, при которой прекращается движение молекул (недостижим, так как материя не существует без движения)

при $t = 0°C$

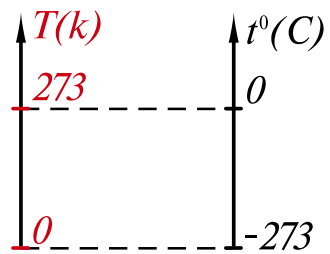
$$\theta_1 = kT_1 = 3{,}76 \cdot 10^{-21}\ \text{Дж}$$

$$T_1 = \frac{3{,}76 \cdot 10^{-21}}{1{,}38 \cdot 10^{-23}} \approx 273{,}15\ \text{К}$$

Шкала Кельвина

$1\ K = 1°C$

$T = t° + 273$



5)

$$\frac{PV}{N} = kT \Rightarrow P = \frac{N}{V}kT \Rightarrow \boxed{P = nkT} \qquad \frac{PV}{N} = \frac{2}{3}\overline{E}_к = kT \Rightarrow \boxed{\overline{E}_к = \frac{3}{2}kT}$$

④ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$\left.\begin{aligned} P &= nkT \\ n &= \frac{N}{V} \\ N &= \frac{m}{\mu} \cdot N_a \end{aligned}\right\} \Rightarrow P = \frac{m \cdot N_a}{\mu \cdot V} \cdot kT \Rightarrow \boxed{PV = \frac{m}{\mu}RT}$$

Уравнение Менделеева–Клапейрона (состояние газа)

уравнение состояния идеального газа (Менделеева–Клапейрона) связывает между собой основные параметры, характеризующие состояние газа: давление (P), объем (V) и температуру (T)

Универсальная газовая постоянная

$$\boxed{R = 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}} \qquad \boxed{R = N_a \cdot k}$$

Изменение состояния газа

P_1, V_1, T_1 — *первоначальное состояние*
P_2, V_2, T_2 — *конечное состояние*
$m = const$

$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Изопроцессы — процессы, происходящие при постоянном значении одного из макропараметров (P, V, T)

⑤ ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ (ИЗОПРОЦЕССЫ)

Изотермический процесс

$T = \text{const}$

$m = \text{const}$

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$

$PV = \text{const}$

$P = \frac{\text{const}}{V}$

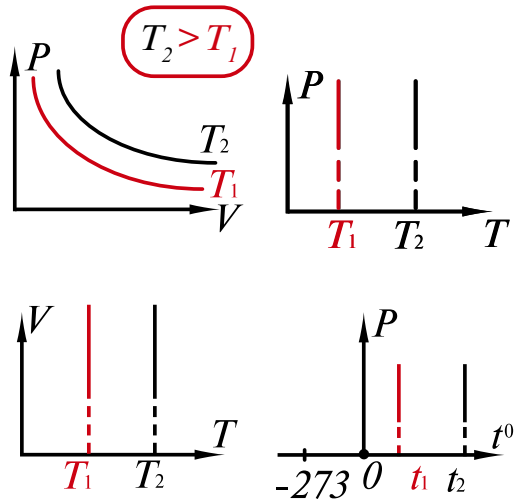
$P \sim \frac{1}{V}$

1667 г. Бойль (англ.)
Мариотт (фр.)

Закон Бойля–Мариотта

Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объем есть величина постоянная

$PV = \text{const}$



Изобарный процесс

$P = \text{const}$

$m = \text{const}$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$V = \text{const} \cdot T$

$V \sim T$

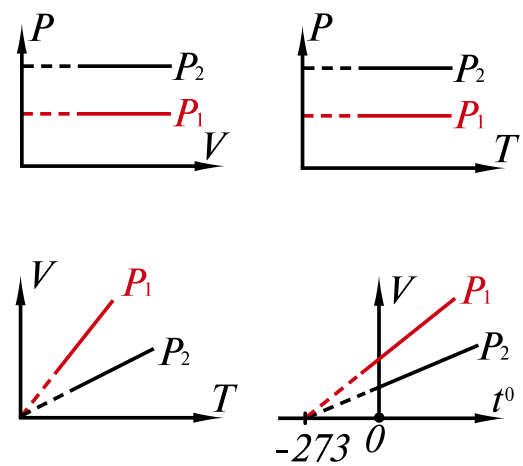
1802 г.
Гей-Люссак (фр.)

Закон Гей-Люссака

Объем данной массы газа при постоянном давлении зависит от температуры по линейному закону

$\frac{V}{T} = \text{const}$

$V = V_0 (1 + \alpha \cdot t°)$



Изохорный процесс

$V = \text{const}$

$m = \text{const}$

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$P = const \cdot T$

$P \sim T$

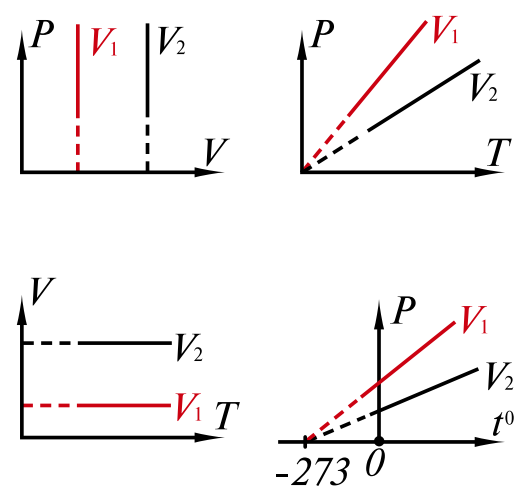
1787 г. Шарль (фр.)

Закон Шарля

Для газа данной массы при постоянном объеме отношение давления к температуре постоянно

$\frac{P}{T} = \text{const}$

$P = P_0 (1 + \alpha \cdot t°)$



Термодинамика

Термодинамика — раздел физики, изучающий общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями

① ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

1) **Внутренняя энергия** U [Дж] — сумма энергий всех частиц, из которых состоит тело (молекул, атомов, электронов и т. д.); энергий хаотичного движения и взаимодействия

2) Способы изменения внутренней энергии

1. Совершение работы (A)
2. Теплопередача (Q)

3) **Внутренняя энергия идеального газа**

Идеальный газ — это модель газа, в которой не учитывают межмолекулярные взаимодействия. Поэтому в идеальном газе потенциальная энергия молекул равна нулю

$$E_{p\,\text{мол}} = 0$$

$$U_{\text{и.г.}} = \sum E_{\text{к}_{\text{мол}}}$$

Будем считать, что все молекулы обладают одинаковой кинетической энергией $\overline{E}_{\text{к}}$ (средняя кинетическая энергия)

$$\left.\begin{array}{l} \overline{E}_{\text{к}} = \dfrac{3}{2}kT \\ N = \dfrac{m}{\mu}N_a \\ U = N \cdot \overline{E}_{\text{к}} \end{array}\right\} \quad U = N \cdot \overline{E}_{\text{к}} = \frac{m}{\mu}N_a \cdot \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\frac{m}{\mu}RT$$

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{\mu}RT$$

внутренняя энергия одноатомного идеального газа

Изменение внутренней энергии при $m = const$ происходит из-за изменения температуры

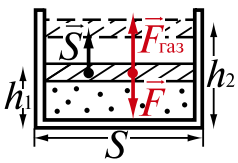
$$\Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T$$

② РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

1) При совершении работы газом (над газом) всегда изменяется его объем

$\Delta V = V_2 - V_1$

Расширение газа



$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

$P = \frac{F}{S}$

Работа газа (A')

$A' = F_{газ}\,(h_2 - h_1)\,\cos 0°$

$A' = p \cdot S\,(h_2 - h_1) \cdot 1$

$A' = p\,(V_2 - V_1) = p\Delta V$

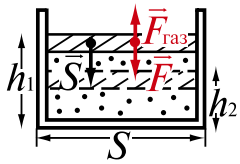
Работа над газом (A)

$A = F\,(h_2 - h_1)\,\cos 180°$

$A = p \cdot S\,(h_2 - h_1) \cdot (-1)$

$A = -p\,(V_2 - V_1) = -p\Delta V$

Сжатие газа



$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

$P = \frac{F}{S}$

Работа газа (A')

$A' = F_{газ}\,(h_1 - h_2)\,\cos 180°$

$A' = p \cdot S\,(h_1 - h_2)\,(-1)$

$A' = -p\,(V_1 - V_2) = -p\Delta V$

Работа над газом (A)

$A = F\,(h_1 - h_2)\,\cos 0°$

$A = p \cdot S\,(h_1 - h_2) \cdot 1$

$A = p\,(V_1 - V_2) = p\Delta V$

для p = const

$A = p(V_2 - V_1)$

$A = p\Delta V$

$A' = -A$

если $\Delta V = 0$

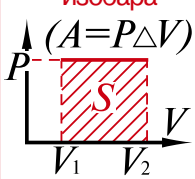
$A = A' = 0$

$A = p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T$

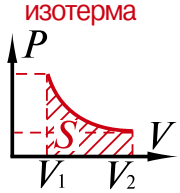
2) Геометрическое истолкование

Работа в термодинамике численно равна площади фигуры под графиком $P(V)$

изобара



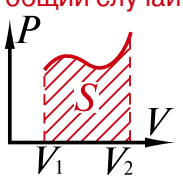
изотерма



изохора



общий случай



③ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Теплопередача — изменение внутренней энергии без совершения работы (передача энергии от более нагретых тел к менее нагретым)

Количество теплоты — мера изменения внутренней энергии при теплопередаче

Q [Дж]

Виды теплопередачи

теплопроводность — непосредственный обмен кинетической энергией между хаотически движущимися частицами взаимодействующих тел или частей одного и того же тела

конвекция — перенос энергий потоками жидкости или газа (теплые потоки идут вверх, холодные — вниз)

излучение — перенос энергии электромагнитными волнами (возможен в вакууме)

④ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Нагревание (охлаждение) $Q = Cm\,(t_2 - t_1)$	**Удельная теплоемкость** C[Дж/кг·К]	это количество теплоты, которое поглощается (или выделяется) одним килограммом вещества при изменении температуры на 1К
для одноатомного газа: $C_V = \frac{3}{2}\frac{R}{\mu}$ (при $V = \text{const}$); $C_p = \frac{5}{2}\frac{R}{\mu}$ (при $p = \text{const}$)		
Парообразование (конденсация) $Q = r \cdot m$	**Удельная теплота парообразования** r[Дж/кг]	это количество теплоты, которое поглощается (выделяется) 1 кг вещества при его превращении в пар (или конденсации), при $t = \text{const}$
Плавление (кристаллизация) $Q = \lambda \cdot m$	**Удельная теплота плавления** λ[Дж/кг]	это количество теплоты, которое поглощается (выделяется) 1 кг вещества при его плавлении (или кристаллизации), при $t = \text{const} = t_{пл}$

⑤ ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Закон сохранения энергии

Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает: количество энергии неизменно. Она только переходит из одной формы в другую

Закон сохранения и превращения энергии, распространенный на тепловые процессы, носит название I закона термодинамики

I. $\Delta U = Q + A$

Внутренняя энергия системы может изменяться за счет передачи ей количества теплоты (Q) и совершенной над системой работы (A)

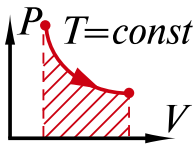
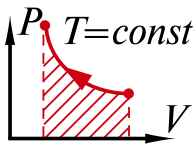
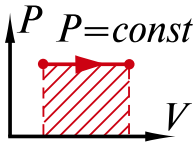
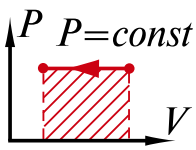
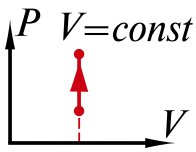
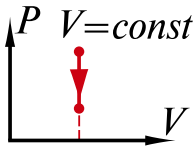
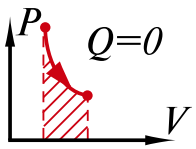
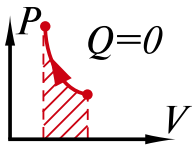
II. $Q = \Delta U + A'$

Количество теплоты, переданное системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы (ΔU) и совершение системой работы над внешними телами (A')

⑥ АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

Это процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой $Q = 0$ (быстрота процесса: теплообмен не успевает произойти)

⑦ ПРИМЕНЕНИЕ I ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ (ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ)

изотермическое расширение		$\Delta T = 0$; $\Delta U = 0$ (внутренняя энергия не изменяется) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$Q = A'$ Газ совершает работу за счет поглощения тепла из внешней среды (внутренняя энергия при этом не изменяется)
изотермическое сжатие		$\Delta T = 0$; $\Delta U = 0$ (внутренняя энергия не изменяется) $A' < 0$ $(A > 0)$ (над газом совершают работу) $Q < 0$ (тепло выделяется)	$0 = -Q + A$ Над газом совершается работа, при этом газ выделяет тепло во внешнюю среду (внутренняя энергия не изменяется)
изобарное нагревание		$\Delta T > 0$; $\Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$Q = \Delta U + A'$ Газ получает тепло из внешней среды. Полученная таким образом энергия тратится на увеличение внутренней энергии и на совершение газом работы
изобарное охлаждение		$\Delta T < 0$; $\Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $A' < 0$ $(A > 0)$ (над газом совершают работу) $Q < 0$ (выделяется)	$\Delta U = -Q + A$ Над газом совершается работа, при этом газ выделяет тепло во внешнюю среду, а его внутренняя энергия уменьшается
изохорное нагревание		$\Delta T > 0$; $\Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $\Delta V = 0$; $A' = 0$ $(A = 0)$ (работа не совершается) $Q > 0$ (тепло поглощается)	$\Delta U = Q$ Газ увеличивает свою внутреннюю энергию за счет теплоты, полученной из внешней среды
изохорное охлаждение		$\Delta T < 0$; $\Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $\Delta V = 0$; $A' = 0$ $(A = 0)$ (работа не совершается) $Q < 0$ (тепло выделяется)	$-\Delta U = -Q$ Газ выделяет теплоту во внешнюю среду; при этом его внутренняя энергия уменьшается
адиабатное расширение		$\Delta T < 0$; $\Delta U < 0$ (внутренняя энергия уменьшается) $A' > 0$ (газ совершает работу) $Q = 0$ (нет теплообмена)	$0 = -\Delta U + A'$ Газ совершает работу только за счет своей внутренней энергии (внутренняя энергия при этом уменьшается)
адиабатное сжатие		$\Delta T > 0$; $\Delta U > 0$ (внутренняя энергия увеличивается) $A' < 0$ $(A > 0)$ (над газом совершают работу) $Q = 0$ (нет теплообмена)	$\Delta U = A$ Над газом совершается работа, при этом внутренняя энергия газа увеличивается

⑧ ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Формулировка Кельвина:

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу

Круговой процесс — процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное

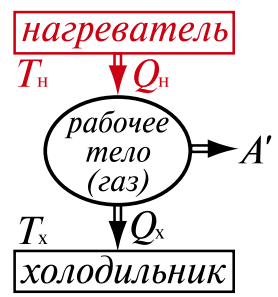
Формулировка Клаузиуса:

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому

⑨ ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ (Т. Д.)

1) **Тепловой двигатель** || устройство, превращающее внутреннюю энергию топлива в механическую работу.

2) **Принципиальная схема и принцип работы Т. Д.**

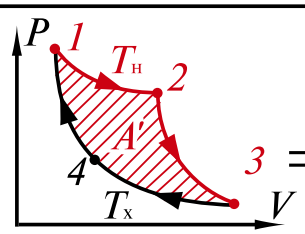


По закону сохранения энергии: $A' = Q_н - Q_х$

При сгорании топлива в нагревателе выделяется энергия, которая передается рабочему телу (газу) $Q_н$ (энергия топлива превращается во внутреннюю энергию газа (пара)). Газ расширяется и совершает механическую работу (A'). Чтобы двигатель работал циклически, газ необходимо сжать до исходного состояния. Для уменьшения работы над газом при сжатии его охлаждают, используя холодильник (передают тепло $Q_х$ холодильнику)

3) **Идеальный тепловой двигатель** || это Т. Д., у которого рабочее тело — идеальный газ.

Цикл Карно



$A' > 0$ ⇒ { 1-2 изотермическое расширение ($T_н$); 2-3 адиабатное расширение

$A' < 0$ ⇒ { 3-4 изотермическое сжатие ($T_х$); 4-1 адиабатное сжатие

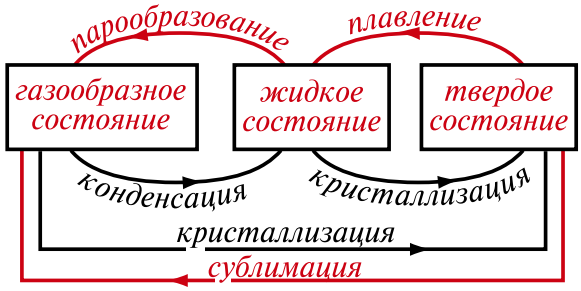
4) **Коэффициент полезного действия (КПД)**

$$\eta = \frac{A'}{Q_н} \cdot 100\% \qquad \eta = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н} \cdot 100\% \qquad \eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\%$$

— для идеального Т. Д.

Изменения агрегатного состояния вещества

① ВЗАИМНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

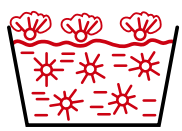


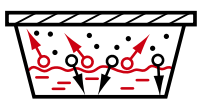
② ПАРООБРАЗОВАНИЕ

1) Парообразование — процесс, при котором вещество переходит из жидкого состояния в газообразное (проходит с поглощением энергии: энергия расходуется на разрыв межмолекулярных связей)

2)

ПАРООБРАЗОВАНИЕ

Испарение	Кипение
 парообразование, происходящее со свободной поверхности жидкости при любой температуре	 парообразование, происходящее со всего объема жидкости при определенной температуре $t^\circ_{кип.}$ (температура кипения)
Вылетают наиболее быстрые молекулы, $E_к$ которых должна быть достаточна для преодоления притяжения других молекул. Таким образом, температура жидкости при испарении понижается	При кипении температура жидкости не изменяется ($t^\circ_к$) пока вся жидкость не выкипит. $t^\circ_к$ зависит от: 1) рода жидкости 2) атмосферного давления ($P_A \downarrow \Rightarrow t^\circ_{кип} \downarrow$)

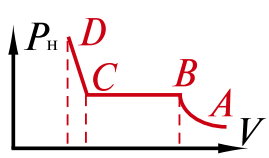
3) Насыщенный пар —  это пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью (число молекул, вылетевших из жидкости за единицу времени, равно числу возвратившихся молекул)

– концентрация насыщенного пара не зависит от его объема (при $t^\circ = \text{const}$)
– давление насыщенного пара ($P_н$) зависит только от температуры



$P = nkT$

$P_н \uparrow$ за счет $T \uparrow$ и $n \uparrow$



AB — сжатие ненасыщенного газа: $V \downarrow$ $P \uparrow$
BC — при $V \downarrow P_н = \text{const}$ *(превращение пара в насыщенный)*
CD — сжатие жидкости

③ КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА

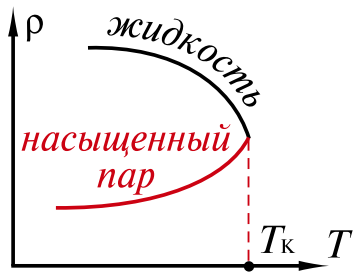
Критическая температура

$T_к$ [К]

это температура, при которой исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и насыщенным паром

при $T_к$: $\rho_{пара}$ является максимальной
$\rho_{жидк.}$ — минимальной

Газ, имеющий $T < T_к$ ненасыщенный
При $T > T_к$: ни при каких давлениях газ нельзя обратить в жидкость



ρ — *плотность*

④ ВЛАЖНОСТЬ

1) Абсолютная влажность

P_t [Па]; ρ_t [кг/м³; г/м³]

парциальное давление водяного пара (при данной температуре)
плотность водяных паров в воздухе при данной температуре

2) Относительная влажность

φ [%]

$$\varphi = \frac{P_t}{P_{нt}} \cdot 100\% \qquad \varphi = \frac{\rho_t}{\rho_{нt}} \cdot 100\%$$

отношение парциального давления водяного пара (плотности) при данной температуре к давлению насыщенного водяного пара $P_{нt}$ (плотности $\rho_{нt}$) при той же температуре, выраженное в процентах

3) Точка росы

$t_р$

температура, при которой водяной пар становится насыщенным (выпадает роса)

4) Приборы для определения влажности

1. Гигрометр Ламбрехта (эфирный) (для определения точки росы)
2. Гигрометр волосяной (действие основано на свойстве обезжиренного волоса менять свою длину в зависимости от влажности воздуха)
3. Психрометр (действие основано на сравнении показаний влажного и сухого термометров)

Твердые тела

① Твердые тела

Аморфные	Кристаллические
→ нет строгого порядка в расположении частиц → **изотропия** (одинаковость физических свойств по всем направлениям) → не имеют постоянной температуры плавления ($t_{пл}$) → текучесть	→ частицы расположены упорядоченно → **анизотропия** — неодинаковость физических свойств по разным направлениям (прочности, теплопроводности и т. д.) → строго определенная температура плавления ($t_{пл} = \text{const}$) → сохранение формы

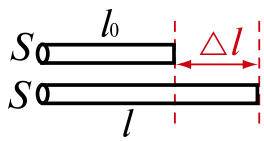
Одно и то же вещество может проявлять как аморфные, так и кристаллические свойства в различных условиях

② ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

1) растяжение (сжатие)	3) кручение
2) сдвиг (срез)	4) изгиб

③ ДЕФОРМАЦИЯ РАСТЯЖЕНИЯ

1)



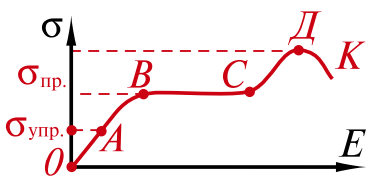
Δl — *абсолютное удлинение [м]*

$\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0}$ — *относительное удлинение*

$\sigma = \dfrac{|\vec{F}_{упр}|}{S}$ — *механическое напряжение [н/м² = Па]*

2)

диаграмма растяжений



$0A$ — область абсолютно упругих деформаций (выполняется закон Гука)

$\sigma_{упр}$ — предел упругости

BC — область текучести материала

$\sigma_{пр}$ — предел прочности

3)

Закон Гука (опытно)

для абсолютно упругих деформаций: $\sigma \sim \varepsilon \Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon$

E — модуль Юнга (характеризует сопротивляемость материала деформации) [н/м² = Па]

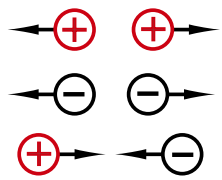
$F_{упр} = k|x| \Rightarrow k = \dfrac{E \cdot S}{l_0}$

механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению

Электродинамика

Электродинамика || раздел физики, изучающий электрические заряды, их движение и взаимодействия

Электрический заряд q [Кл] || скалярная физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитных взаимодействий

Заряды делятся на положительные и отрицательные	Одноименные заряды отталкиваются	
Носители заряда: заряженные элементарные частицы: электрон (–) и протон (+)	Разноименные заряды притягиваются	

Элементарный заряд $q_{\bar{e}} = \bar{e}$ [Кл]	модуль заряда электрона или протона	$\bar{e} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Заряд тела (q) всегда представляется числом, кратным величине элементарного заряда (число протонов: N_p; число электронов: $N_{\bar{e}}$)	$q = \bar{e}\,(N_p - N_e)$

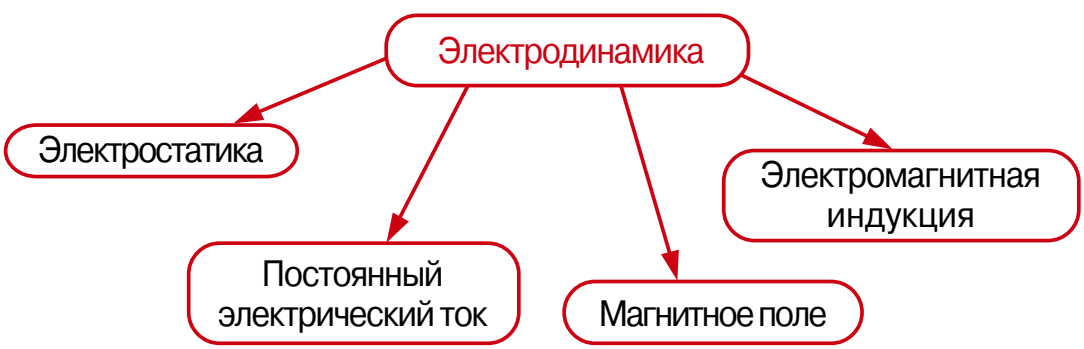
Электризация || сообщение телам заряда

1) трением
2) касанием
3) влиянием

При электризации в теле создается

– **избыток электронов** → тело приобретает отрицательный заряд
– **недостаток электронов** → тело приобретает положительный заряд

Закон сохранения заряда	Алгебраическая сумма зарядов замкнутой системы остается постоянной	$q_1 + q_2 + \ldots q_n = \text{const}$



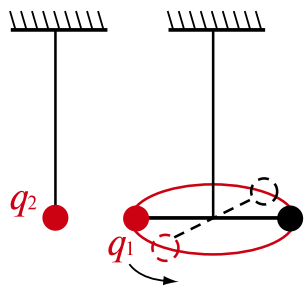
I. Электростатика

Электростатика || раздел электродинамики, изучающий неподвижные электрические заряды

① ЗАКОН КУЛОНА

1)

Крутильные весы



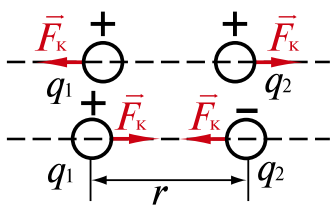
1785 г. Кулон (фр.) *на опыте:*

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\left.\begin{aligned} F &\sim q_1 \\ F &\sim q_2 \\ F &\sim \frac{1}{r^2} \end{aligned}\right\}$$

$$F_к = K\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}$$

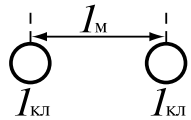
(в вакууме)



Силы взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональны произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. Направлены по прямой, соединяющей центры зарядов

Точечный заряд — заряженная материальная точка

2)

K — коэффициент пропорциональности	Численно равен силе взаимодействия двух точечных зарядов по 1 Кл на расстоянии 1 м	
ε_0 — электрическая постоянная	$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot10^9 \frac{м^2 н}{Кл^2}$	$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12} \frac{Кл^2}{н\cdot м^2}$

3)

$$F_к = K\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2\cdot\varepsilon}$$

(в среде)

ε — *диэлектрическая проницаемость среды*

$$\varepsilon = \frac{F_{к\ (вак.)}}{F_{к\ (сред.)}}$$

показывает, во сколько раз сила взаимодействия зарядов в вакууме больше силы взаимодействия этих же зарядов в среде

② ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1) **Электрическое поле**

– создается зарядами
– действует на заряды

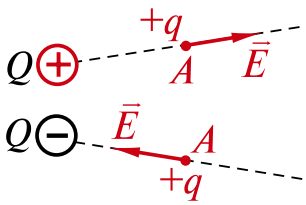
материальный передатчик взаимодействия электрических зарядов, который существует вокруг наэлектризованных тел

2)

Напряженность электрического поля

$\vec{E}$ [н/Кл]

векторная физическая величина, являющаяся **силовой характеристикой** электрического поля. Равна отношению силы, с которой поле действует на точечный положительный заряд, к этому заряду



⊕ $\vec{E}$ направлена от заряда Q

⊖ $\vec{E}$ направлена к заряду Q

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

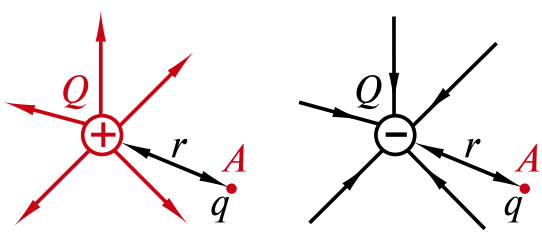
$\vec{E} \uparrow\uparrow \vec{F}$

Q – заряд, создающий поле

q – заряд, на который действует поле

3)

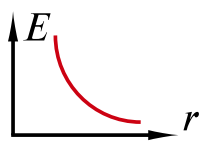
Напряженность поля точечного заряда



$$E = \frac{F}{q}$$

$$F = K\frac{|Q|\cdot|q|}{r^2\cdot\varepsilon}$$

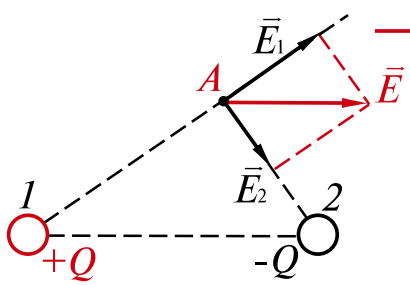
$$E = K\frac{Q}{r^2\cdot\varepsilon}$$



Поле убывает с расстоянием

4)

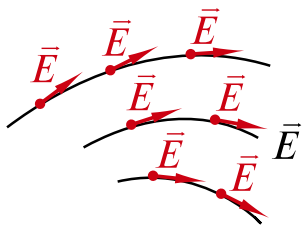
Принцип суперпозиции полей

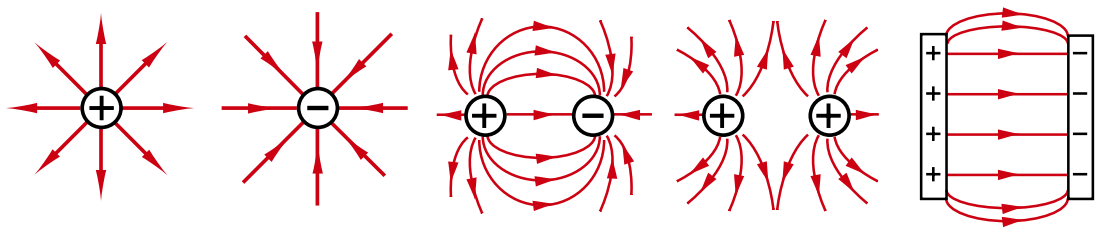


Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых $\vec{E}_1$; $\vec{E}_2$; $\vec{E}_3$ … $\vec{E}_n$, то результирующая напряженности поля в этой точке равна их геометрической сумме

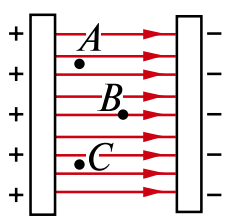
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \ldots + \vec{E}_n$$

5) Графическое изображение электрических полей

Линии напряженности (силовые линии) 	линии, касательные к которым в любой точке совпадают по направлению с векторами напряженности в этих точках	1) линии начинаются на ⊕ зарядах и заканчиваются на ⊖ 2) никогда не пересекаются 3) условно: число линий, пронизывающих единицу площади, численно равно модулю $\vec{E}$

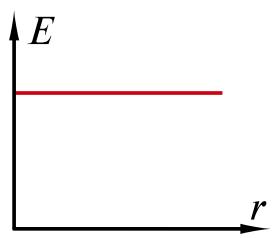


6) Однородное электростатическое поле



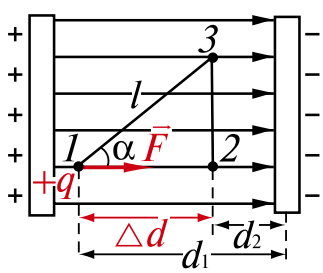
Электрическое поле, напряженность которого одинакова во всех точках пространства, называется **однородным**.

$(E_A = E_B = E_C = \text{const})$



7) Работа сил электростатического поля

$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$ $F = q \cdot E$



$A_{1-2} = q \cdot E \cdot \Delta d \ (\cos\alpha = 1)$

$A_{2-3} = 0 \ (\cos\alpha = 0)$

$A_{1-2-3} = A_{1-2} + A_{2-3} = qE\Delta d$

$A_{1-3} = q \cdot E \cdot \underbrace{l \cdot \cos\alpha} = qE\Delta d$

$A_{2-1} = -\ q \cdot E\Delta d \ (\cos\alpha = -1)$

$A_{1-2-1} = 0$

$A = q \cdot E\Delta d$

Электрическое поле **потенциально:**

а) работа кулоновских сил по перемещению заряда **не зависит от длины и формы траектории**

б) работа по замкнутому контуру равна нулю.

8) **Потенциал** φ[Дж/Кл]

$\varphi = \frac{W_p}{q}$ — зависит только от эл. поля

скалярная физическая величина, являющаяся **энергетической характеристикой** электрического поля

равен потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке поля

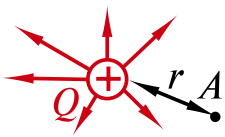
$A = qE\Delta d = qEd_1 - qEd_2 = W_{p_1} - W_{p_2}$

$A = -\Delta W_p$

$W_p = qEd$ — потенциальная энергия заряда в данной точке поля

$d = 0$ — *нулевой уровень (отрицательная пластина)*

Потенциал электростатического поля точечного заряда



$\varphi = \frac{W_p}{q}$, $W_p = qEd$ $\Rightarrow$ $\varphi = Ed$ $(d = r)$

$\varphi = K\frac{Q}{r}$

положительный заряд: $\varphi > 0$ | отрицат. заряд: $\varphi < 0$

9) **Принцип суперпозиции для потенциала** →

Потенциал результирующего поля в данной точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в этой точке отдельными зарядами

$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + ... + \varphi_n$

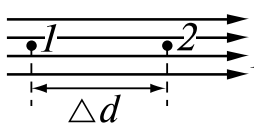
10) **Разность потенциалов** →

$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q}$ U [В]

$A = W_{p_1} - W_{p_2}$, $W_p = \varphi q$ $\Rightarrow$ $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$

Разность потенциалов определяется работой кулоновских сил по перемещению электрического заряда из точки 1 в точку 2 (не зависит от выбора нулевого уровня)

11) **Связь между напряженностью и разностью потенциалов**



$\vec{E}$ $A_{1-2} = qE\ \Delta d$, $A_{1-2} = q \cdot U$ $\Rightarrow$ $U = E \cdot \Delta d$

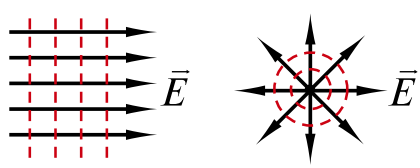
[φ; U] = [Дж/Кл = В]

[E] = [В/м = Дж/Кл·м = = н·м/Кл·м = н/Кл]

12) **Эквипотенциальные поверхности (ЭПП)**

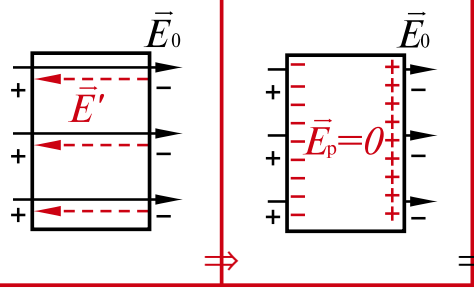
$\varphi_1 = \varphi_2$, *если* $A = 0$ $\Rightarrow$ $\Rightarrow$ $\cos\alpha = 0$ $\Rightarrow$ $\Rightarrow$ *ЭПП* $\perp$ *силовым линиям*

поверхности, потенциалы всех точек на которых одинаковы



③ ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Проводник — вещество, обладающее свободными зарядами (электронами, ионами). Проводит электрический ток



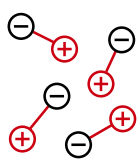
На свободные заряды внутри проводника действует сила $F = \bar{e} \cdot E_0$, в результате идет кратковременный ток до тех пор, пока не $\vec{E}_0 = -\vec{E}'$ ($\vec{E}_0$ — напряженность внешнего поля; $\vec{E}'$ — напряженность, созданная перераспределением зарядов)

В результате: напряженность поля внутри проводника равна нулю, а поверхность проводника является эквипотенциальной

Применение: электростатическая защита

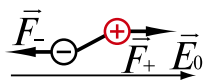
Диэлектрик — вещество, обладающее только связанными зарядами, не проводит электрический ток

Полярные диэлектрики



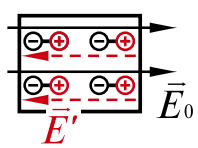
Состоят из молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают

⊖⊕ — диполь (H_2O)



В электрическом поле диполи ориентируются вдоль силовых линий

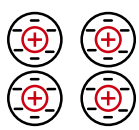
Происходит поляризация диэлектрика



Связанные заряды на поверхности диэлектрика создают внутри него поле ($\vec{E}'$), ослабляющее внешнее электрическое поле

($\vec{E}' \uparrow\downarrow \vec{E}_0$)

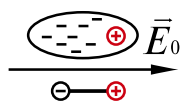
Неполярные диэлектрики



Состоят из атомов или молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают



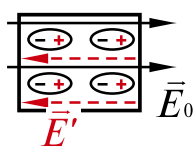
($H; He$)



В электрическом поле молекулы деформируются, в результате образуются диполи, ориентированные вдоль силовых линий

Происходит поляризация диэлектрика

($\vec{E}' \uparrow\downarrow \vec{E}_0$)



Электрическое поле внутри проводника ослабляется

Диэлектрическая проницаемость вещества → показывает во сколько раз уменьшается напряженность поля внутри диэлектрика

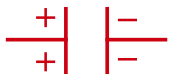
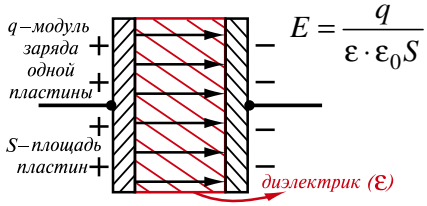
$$\varepsilon = \frac{\vec{E}_{вак}}{\vec{E}_{ср}}$$

$\vec{E}_{вак}$ — *напряженность эл. поля в вакууме*

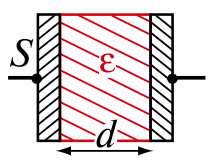
$\vec{E}_{ср}$ — *напряженность эл. поля внутри диэлектрика*

④ КОНДЕНСАТОРЫ

1)

Конденсатор 	система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. Проводники заряжают равными по модулю, но разными по знаку зарядами (общее электрическое поле)	
Плоский конденсатор	две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделенные слоем диэлектрика	 $E = \frac{q}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}$

2)

Электроемкость $C\,[\text{Кл/В} = \text{Ф}]$ **Зависит от:** – размеров, формы проводника – среды (от ε) – соседства с другими проводниками	физическая величина, характеризующая способность проводника накапливать заряд. Определяется отношением заряда на проводнике (на одной из пластин конденсатора) к его потенциалу (разности потенциалов между его обкладками)	$C = \frac{q}{\varphi}$ $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$ $C = \frac{q}{U}$
Электроемкость плоского конденсатора	 $C = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d}$ $E = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0 S}$	$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot S}{d}$

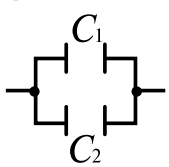
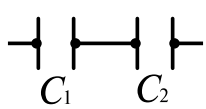
3)

Энергия заряженного конденсатора W [Дж]

$W = q \cdot \frac{E}{2} \cdot d = \frac{q \cdot U}{2}$

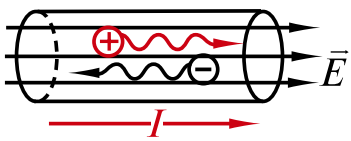
$W = \frac{q \cdot U}{2}$ $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$ $W = \frac{q^2}{2C}$

4) **Соединение конденсаторов**

параллельное 	$U_1 = U_2 = U$ $q = q_1 + q_2$	$C = C_1 + C_2$
последовательное 	$U = U_1 + U_2$ $q_1 = q_2 = q$	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

II. Постоянный электрический ток

① ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК



упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц под действием электрического поля (за направление тока принято направление движения положительного заряда)

Условия существования эл. тока

1) наличие свободных заряженных частиц
2) наличие электрического поля (разность потенциалов на концах проводника)

Действие электрического тока

1) **тепловое** (проводник, по которому идет ток, нагревается)
2) **химическое** (электрический ток может изменять химический состав проводника)
3) **магнитное** (оказывает силовое воздействие на другие проводники с током и намагниченные тела)

② СИЛА ТОКА

1)

Сила тока

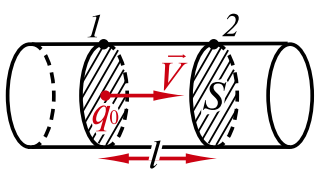
I[A]

скалярная физическая величина, численно равная заряду, который переносится за единицу времени через поперечное сечение проводника

$$I = \frac{q}{t}$$

2)

Сила тока проводника



q_0 — заряд, переносимый одной частицей
N — число частиц; $N = n \cdot V = n \cdot S \cdot l$

$I = \frac{q}{t}$ $\quad q = N \cdot q_0$

n — концентрация частиц
S — площадь сечения

V — скорость движения частиц (упорядоченного)

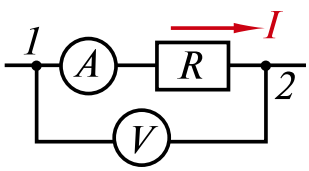
$$I = \frac{q}{t} = \frac{N \cdot q_0}{t} = \frac{n \cdot S \cdot l \cdot q_0}{t} = n S V q_0$$

$$I = q_0 \cdot n \cdot V \cdot S$$

$$V = \frac{I}{q_0 n S}$$

$V \approx 7 \cdot 10^{-5}$ м/с (медный проводник)

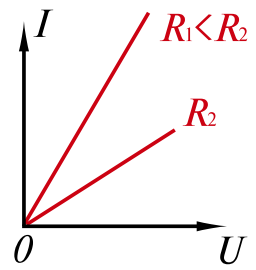
③ ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ



$U = \varphi_1 - \varphi_2$

На опыте *(Г.Ом (нем.))*: сила тока прямо пропорциональна напряжению на данном участке цепи и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка

$$I = \frac{U}{R}$$

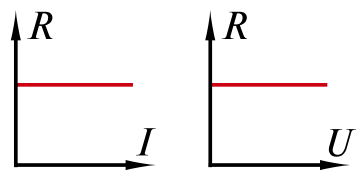


④ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Сопротивление

R [Ом]

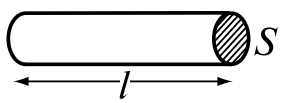
физическая величина, характеризующая способность проводника противодействовать установлению электрического тока в нем



Удельное сопротивление

ρ[Ом·м²/м] = Ом·м

численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м²



$$R = \rho\frac{l}{S}$$

Зависимость сопротивления от температуры

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t^\circ)$$
$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t^\circ)$$

при $t = 0°C$: $R = R_0$, $\rho = \rho_0$

α — *температурный коэффициент сопротивления*

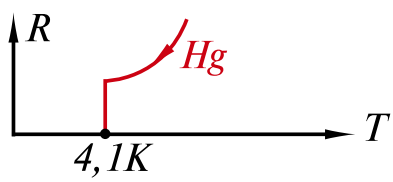
для металлов: $\alpha > 0$

для электролитов: $\alpha < 0$

чистые металлы: $\alpha = \frac{1}{273} = 273^{-1}\,\text{К}^{-1}$

С увеличением температуры увеличивается амплитуда колебаний узлов кристаллической решетки металлов, таким образом сопротивление возрастает

Сверхпроводимость



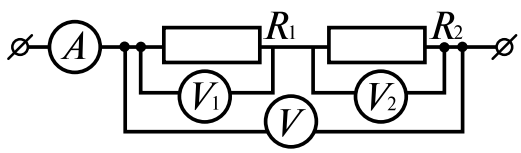
Свойство, заключающееся в том, что сопротивление скачком падает до нуля при охлаждении вещества ниже **критической температуры** (вещество становится **абсолютным проводником**)

металлы: $T_к \approx 1 \div 20$ К

керамика: $T_к \approx 100$ К

⑤ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

последовательное



1) $\boxed{I_1 = I_2 = I}$ (по закону сохранения q)

2) $\boxed{U = U_1 + U_2}$ (т. к. работа $A = A_1 + A_2 \;/:q$)

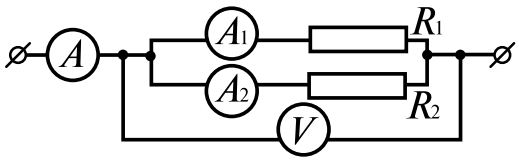
3) $\left.\begin{array}{l} U_1 = I \cdot R_1 \\ U_2 = I \cdot R_2 \\ U = I \cdot R \end{array}\right\}$ $IR = I R_1 + I R_2$

$\boxed{R = R_1 + R_2}$

4) Для N одинаковых проводников:

$\boxed{R = N \cdot R_1}$

параллельное



1) $\boxed{U_1 = U_2 = U}$ (т. к. A не зависит от формы пути)

2) $I = I_1 + I_2$ (т. к. $q = q_1 + q_2 \;\; /:t$)

3) $\left.\begin{array}{l} I_1 = U/R_1 \\ I_2 = U/R_2 \\ I = U/R \end{array}\right\}$ $\dfrac{U}{R} = \dfrac{U}{R_1} + \dfrac{U}{R_2}$

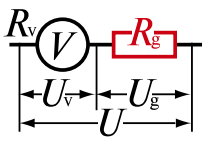
$\boxed{\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}}$

4) Для N одинаковых проводников:

$\boxed{R = \dfrac{R_1}{N}}$

добавочное сопротивление

— это сопротивление, которое включается в цепь последовательно вольтметру для расширения пределов его измерения (меняется шкала деления прибора)



$\boxed{n = \dfrac{U}{U_V}}$ $\quad U = U_V + U_g$

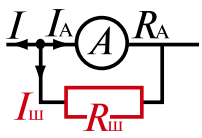
$U_g = U - U_V = nU_V - U_V$

$I_V = I_g \Rightarrow \dfrac{U_V}{R_V} = \dfrac{U_g}{R_g}$ $\quad R_g = \dfrac{R_V U_g}{U_V}$

$\boxed{R_g = R_V (n-1)}$

шунт

— это сопротивление, которое подключается параллельно к амперметру для расширения пределов его измерения (меняется шкала деления прибора)



$\boxed{n = \dfrac{I}{I_A}}$ $\quad I = I_A + I_ш \Rightarrow I_ш = I - I_A = nI_A - I_A$

$U_ш = U_A$ $\quad I_ш R_ш = I_A R_A$ $\quad R_ш = \dfrac{I_A R_A}{I_ш}$

$\boxed{R_ш = \dfrac{R_A}{n-1}}$

⑥ РАБОТА, МОЩНОСТЬ, КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

а) **Работа тока** A [Дж] $\quad \left.\begin{array}{l} A = U \cdot q \\ q = I \cdot t \end{array}\right\}$ $\boxed{A = U \cdot I \cdot t}$ $\quad I = \dfrac{U}{R}$ $\Big\}$ $\boxed{A = I^2 R t = \dfrac{U^2}{R} t}$

б) **Количество теплоты** Q [Дж] — если проводник неподвижен: $A = Q$ $\quad \boxed{Q = I^2 R t}$ — закон Джоуля–Ленца

в) **Мощность** P [Вт] $\quad \boxed{P = \dfrac{A}{t}}$ $\quad \boxed{P = U \cdot I = I^2 R = \dfrac{U^2}{R}}$

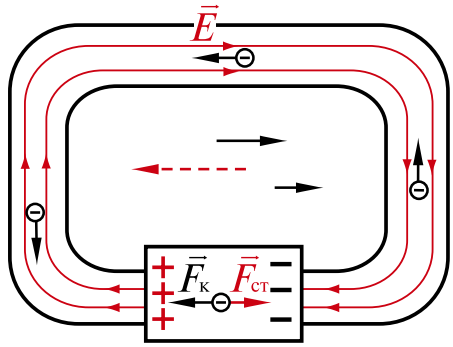
⑦ ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

1)

Сторонние силы

Чтобы ток в цепи был постоянным, необходимо разделять положительные и отрицательные заряды в источнике тока

Это невозможно сделать кулоновскими силами, то есть нужны **сторонние силы** ($\vec{F}_{ст}$) — это силы неэлектрического происхождения (некулоновские), разъединяющие положительные и отрицательные заряды



(источник тока)

↓

Устройства, создающие разность потенциалов за счет сторонних сил.

2)

Электродвижущая сила (ЭДС)

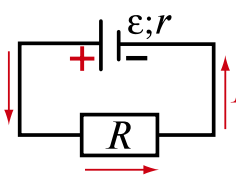
$\mathcal{E}$ [В]

(энергетическая характеристика источника тока)

физическая величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль контура

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

3)



$\mathcal{E}$ — ЭДС источника тока

r — внутреннее сопротивление источника тока

R — внешнее сопротивление (цепи)

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Закон Ома для полной цепи

Сила тока в цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи

$A_{стор} = Q_{внеш} + Q_{внутр}$ *(закон сохр. энергии)*

$A_{стор} = I^2Rt + I^2rt$

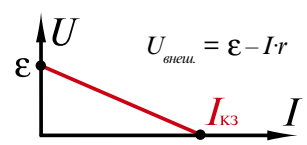
$A_{стор} = q \cdot \mathcal{E} = I \cdot t \cdot \mathcal{E}$

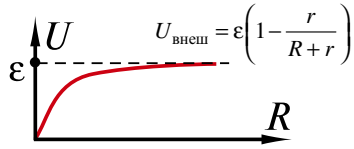
$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r$$

$$\mathcal{E} = U_{внеш} + U_{внутр}$$

ток короткого замыкания при $R = 0$

$$I_{к.з} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

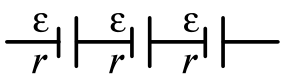




4)

Соединение источников тока

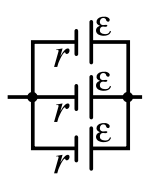
а) последовательное



$$I = \frac{N \cdot \mathcal{E}}{R + N \cdot r}$$

б) параллельное

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r/N}$$



⑧ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

I. ТОК В МЕТАЛЛАХ

Металлы || вещества с кристаллической решеткой. Валентные электроны могут свободно перемещаться в пределах тела — свободные заряды

Проводимость — **электронная** (ток — движение электронов)

Сопротивление металлов обусловлено дефектами решетки и тепловыми колебаниями ионов. Возрастает при нагревании металлов ($R \sim t°$).

Ток в металлах подчиняется закону Ома

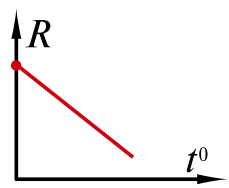
Особенности: 1. При прохождении электрического тока через металлы нет переноса вещества
2. Явление сверхпроводимости (при низких T)

II. ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Электролиты || вещества, растворы которых проводят электрический ток (растворы солей, кислот, щелочей)

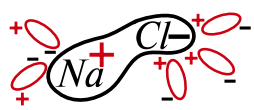
Проводимость — **ионная** (ток — движение ионов)

Сопротивление || при повышении температуры возрастает степень диссоциации, то есть возрастает концентрация ионов. Сила тока в электролите возрастает; сопротивление уменьшается

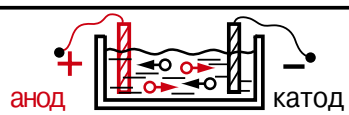


Электролитическая диссоциация || распад молекул вещества на ионы под действием растворителя

$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$



Электролиз || выделение вещества на электродах при прохождении через электролит тока



Закон электролиза (закон Фарадея)

Масса вещества (m), выделившегося на электроде за время (t) пропорциональна заряду (q), прошедшему через электролит

$m = k \cdot q$

$m = k \cdot I \cdot t$

$k = \frac{1}{F}\frac{\mu}{n}$ — *электрохимический эквивалент*

n — *валентность вещества*

$$m = m_0 N_i = \frac{\mu}{N_a} \cdot \frac{q}{q_i} = \frac{\mu \cdot I \cdot t}{N_A \cdot e \cdot n} = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n} \cdot I \cdot t$$

(F — при $N_A \cdot e$; k — при $\frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n}$)

F = 96 500 Кл/моль — число Фарадея

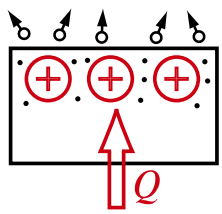
III. ТОК В ВАКУУМЕ

Вакуум || сильно разреженный газ, в котором длина свободного пробега частиц (расстояние, пройденное между столкновениями) больше размеров сосуда ($P << P_{атм}$, $P \sim 10^{-13}$ мм рт. ст.)

Проводимость — электронная (ток — движение электронов)

Сопротивление — практически отсутствует ($R \to 0$)

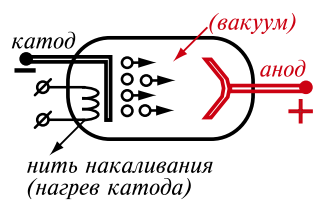
Термоэлектронная эмиссия || явление вылета свободных электронов с поверхности нагретых тел

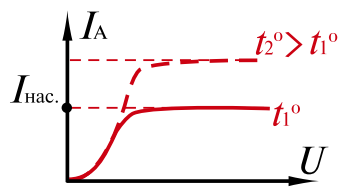


Условие вылета электрона: $E_{к(\bar{e})} \geq A_{выхода}$

$E_{к(\bar{e})} = \frac{mV^2}{2}$ (зависит от $t°$); $A_{вых}$ — зависит от свойств вещества

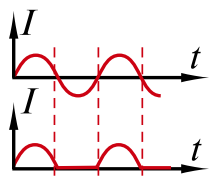
Диод





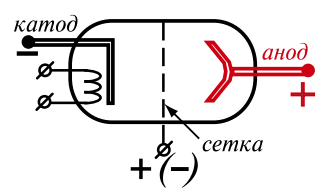
$I_{нас}$ — ток насыщения

Обладает односторонней проводимостью

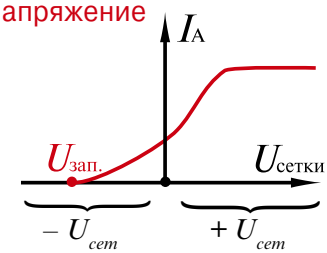


Применение: выпрямление переменного тока

Триод



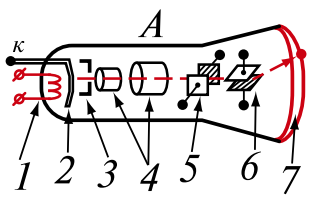
$U_{зап}$ — запирающее напряжение



Триод применяется как усилитель колебаний и как выпрямитель

Электроннолучевая трубка

(осциллограф, телевизор, ЭВМ, радар)



1. нить накала
2. катод
3. модулятор **электронного пучка**
4. система анодов
5. горизонтально отклоняющие пластины
6. вертикально отклоняющие пластины
7. люминесцентный слой

при попадании на люминесцентный слой вызывает его свечение

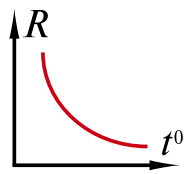
IV. ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Полупроводники — вещества с ковалентными связями, у которых электрическое сопротивление (число свободных зарядов) существенно зависит от температуры и освещения.

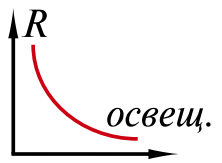
Проводимость — электронно-дырочная (ток — движение электронов и дырок)

Сопротивление

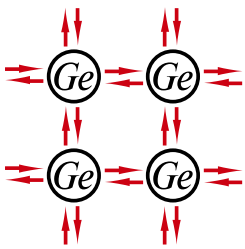
а) при повышении t° возрастает концентрация свободных зарядов → сопротивление падает [терморезисторы]



б) при освещении возрастает концентрация свободных зарядов → сопротивление падает [фоторезисторы]

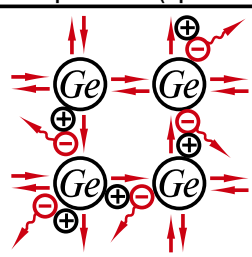


Собственная проводимость — это проводимость чистых полупроводников без примеси (кремний, германий)



$T = 0K$

Все валентные электроны осуществляют ковалентные связи (свободных зарядов нет)

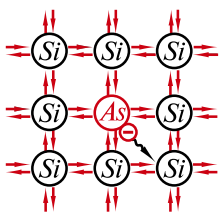


$T > 0K$ при повышении температуры часть валентных электронов рвет ковалентные связи (свободные заряды)

Место, где электрон разорвал ковалентную связь, имеет положительный заряд **(+)** и называется дырка (энергетически выгодное место для соседних электронов). **Передвижение** внутри полупроводника дырок и свободных электронов — **электрический ток**

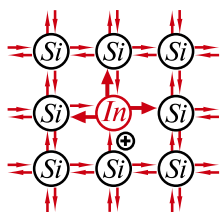
Примесная проводимость

а) донорная примесь



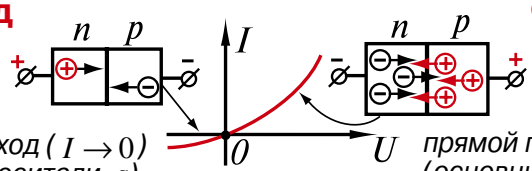
валентность примеси больше, чем у основного вещества:
кремний (Si) — 4-валентный
мышьяк (As) — 5-валентный
один электрон в связи лишний
– основные носители заряда: электроны
– неосновные носители заряда: дырки
полупроводники *n–типа*
(**электронная проводимость**)

б) акцепторная примесь



валентность примеси меньше, чем у основного вещества:
кремний (Si) — 4-валентный
индий (In) — 3-валентный
нехватка одного электрона для образования ковалентной связи — дырка
– основные носители заряда: дырки
– неосновные носители заряда: электроны
полупроводники *p–типа* (**дырочная проводимость**)

***p–n*-переход**



обратный переход ($I \to 0$) (неосновные носители q)

прямой переход ($I \uparrow$) (основные носители q)

односторонняя проводимость (диод)

***n–p–n* (*p–n–p*) переход** (транзистор) усиление электр. сигналов

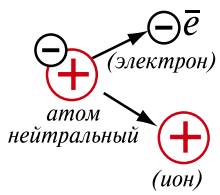
V. ТОК В ГАЗАХ

Газ это одно из состояний вещества, в котором его частицы движутся свободно, равномерно заполняя все доступное для них пространство

Проводимость — **ионно-электронная** (ток —движение ионов и электронов)

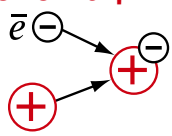
Сопротивление: Газы в нормальных условиях являются диэлектриками ($R \to \infty$). Носители электрического тока возникают только в результате ионизации

Ионизация



распад нейтрального атома на положительный ион и электрон под действием ионизатора (ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоактивное излучения; нагрев)

рекомбинация

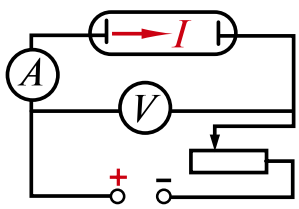


соединение электрона с ионом в нейтральный атом

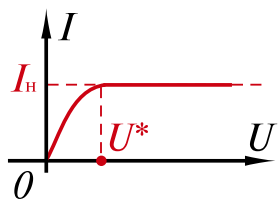
Если действие ионизатора прекращается, газ снова становится диэлектриком

Газовый разряд — прохождение электрического тока через газ

Несамостоятельный газовый разряд — это разряд, существующий только под действием внешних ионизаторов

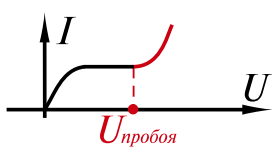


Газ в трубке ионизирован, на электроды подается напряжение (U) и в трубке возникает электрический ток (I). При увеличении U возрастает сила тока (I).

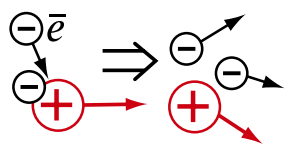


Когда все заряженные частицы, образующиеся за секунду, достигают за это время электродов (при некотором напряжении (U^*), ток достигает насыщения ($I_н$). Если действие ионизатора прекращается, то прекращается и разряд ($I = 0$).

Самостоятельный газовый разряд — разряд в газе, сохраняющийся после прекращения действия внешнего ионизатора



При некотором значении напряжения ($U_{пробоя}$) сила тока снова возрастает. Ионизатор уже не нужен для поддержания разряда. Происходит ионизация электронным ударом



$$\frac{m_e V^2}{2} \geq A_i$$

Типы самостоятельного разряда

а) тлеющий — возникает при низких давлениях (в газосветных трубках и газовых лазерах)

б) искровой — при $P = P_{атм}$ и при больших $\vec{E}$ электр. поля (молния, пробой диэлектрика)

в) дуговой — возникает между близко сдвинутыми электродами (сварка; дуговые лампы)

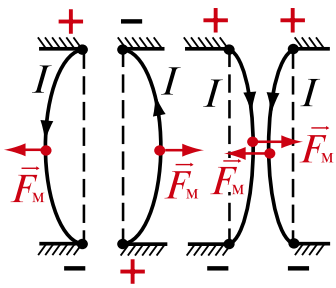
г) коронный — возникает при высоком давлении в резко неоднородном поле с большой кривизной поверхности (острие) (огни святого Эльма)

III. Магнитное поле

① 1) **Магнитное поле** || силовое поле в пространстве, окружающем электрические токи и постоянные магниты

создается движущимися зарядами; действует на движущиеся заряды

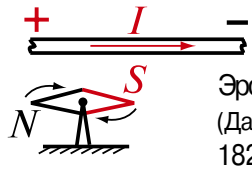
2) **Магнитные взаимодействия**



Взаимодействия между проводниками с электрическим током называют магнитными.

Силы, с которыми проводники действуют друг на друга, — магнитными силами

Опыт Эрстеда

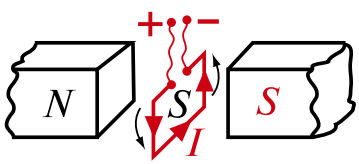


Эрстед (Дания) 1820 г.

Магнитная стрелка ориентируется около проводника

Вокруг проводника с током существует магнитное поле

3) **Вектор магнитной индукции** $\vec{B}$ [Тл] || векторная физическая величина, являющаяся **силовой характеристикой** магнитного поля



Рамка с током (контур) ориентируется в магнитном поле определенным образом. Вращающий момент: M

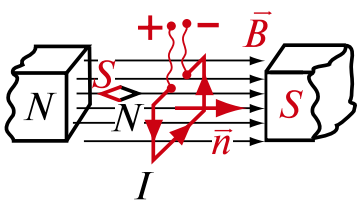
Опытно установлено: $M \sim I \cdot S$ (не зависит от формы рамки)

I — сила тока, S — площадь рамки

$$\frac{M}{I \cdot S} = \text{const} = B$$ — *характеристика магнитного поля*

$$B = \frac{M}{I \cdot S}$$ $[Тл = н{\cdot}м/А{\cdot}м^2 = н/А{\cdot}м]$

Направление вектора магнитной индукции



Направление вектора $\vec{B}$ совпадает:

а) с направлением северного (*N*) конца магнитной стрелки, ориентированной в магнитном поле

б) с направлением нормали ($\vec{n}$) к рамке с током ($\vec{B} \uparrow\uparrow \vec{n}$) в соответствии с **правилом буравчика** (правый винт)

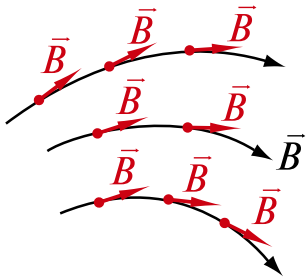
4) **Принцип суперпозиции**

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \ldots + \vec{B}_n$$

Вектор магнитной индукции в данной точке поля равен геометрической сумме всех векторов магнитной индукции магнитных полей, имеющихся в этой точке

② ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

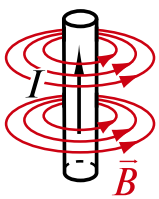
Линии магнитной индукции



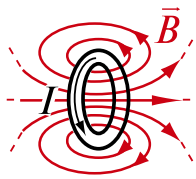
это линии, касательные к которым в любой точке направлены так же, как и вектор $\vec{B}$ в этой точке

1) линии замкнуты сами на себя (вихревое поле)
2) не пересекаются
3) условно: число линий, пронизывающих единицу площади, численно равно модулю вектора $\vec{B}$

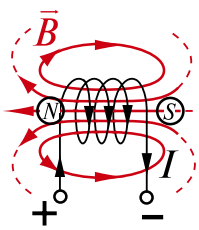
Прямой проводник с током



Виток с током



Катушка с током (электромагнит) Поле внутри катушки однородное



③ МАГНИТНЫЙ ПОТОК

Магнитный поток

Φ [Вб]

скалярная физическая величина, определяющая число линий магнитной индукции, приходящихся нормально (перпендикулярно) на данную площадь пространства



Φ_{max}



$\Phi = 0$



$0 < \Phi < \Phi_{max}$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$$

B — модуль вектора $\vec{B}$

S — площадь рамки

α — угол между вектором и нормалью к рамке

④ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯ

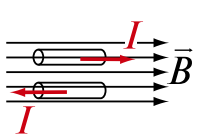
Работа по замкнутому контуру не равна нулю. Значит, магнитное поле не потенциально

⑤ МАГНИТНЫЕ СИЛЫ

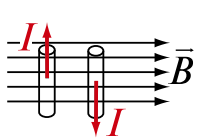
1) Сила Ампера

$\vec{F}_A$ [Н]

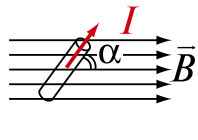
сила, действующая на проводник с электрическим током в магнитном поле



$\vec{F}_A = 0$
$(\alpha = 0°;\ 180°)$



$\vec{F}_{A(\max)}$
$(\alpha = 90°)$



$0 < \vec{F}_A < \vec{F}_{A(\max)}$

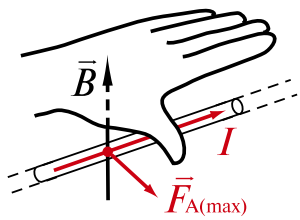
$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$ | $\alpha = \widehat{IB}$

B — модуль вектора магнитной индукции
I — сила тока в проводнике
I — длина проводника

Направление $\vec{F}_A$

Правило левой руки

$\vec{F}_A \perp \vec{B} \perp \vec{I}$

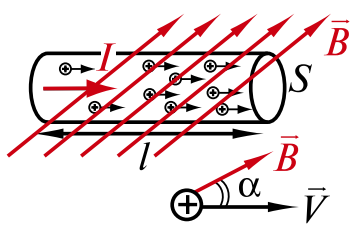


Ладонь левой руки располагается так, чтобы:
— вектор $\vec{B}$ — входит в ладонь
— направление I — по направлению четырех пальцев
тогда направление большого пальца → направление $\vec{F}_{A(\max)}$

2) Сила Лоренца

$\vec{F}_л$ [Н]

сила, действующая на движущийся электрический заряд со стороны магнитного поля



$F_л = \frac{F_A}{N}$

$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha$

$I = q_0 \cdot nV \cdot S$

$N = n \cdot V = n \cdot S \cdot l$

$F_л = B \cdot q_0 \cdot V \cdot \sin\alpha$ | $\alpha = \widehat{VB}$

B — модуль вектора магнитной индукции
q_0 — заряд частицы
V — скорость частицы

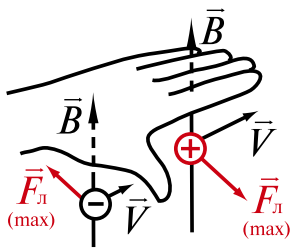
при $\alpha = 0°; 180°$ ⇒ $\vec{F}_л = 0$

при $\alpha = 90°$ ⇒ $\vec{F}_{л(\max)}$

Направление $\vec{F}_л$

Правило левой руки

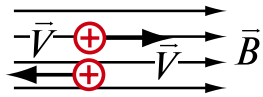
$\vec{F}_л \perp \vec{B} \perp \vec{V}$



Ладонь левой руки располагается так, чтобы:
— вектор $\vec{B}$ — входит в ладонь
— направление V — по направлению четырех пальцев
тогда направление $\vec{F}_{л(\max)}$
для ⊕ заряда: по направл. большого пальца
для ⊖ заряда: против направл. большого пальца

⑥ ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

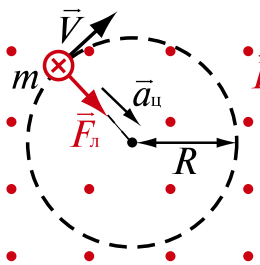
$\vec{V} \uparrow\uparrow \vec{B}$



$\vec{F}_л = 0$ ($\vec{a} = 0$)

движение заряженных частиц **равномерное прямолинейное** $\vec{V} = \text{const}$

$\vec{V} \perp \vec{B}$



(магнитное поле направлено из рисунка)

Если заряд влетает перпендикулярно магнитному полю, то

$\alpha = 90° \Rightarrow \boxed{F_л = B \cdot q_0 \cdot V}$ (max)

$\boxed{\vec{F}_л \perp \vec{V}} \Rightarrow$ заряд двигается равномерно по окружности $|\vec{V}| = \text{const}$

работа силой Лоренца не совершается!

$F_л = B \cdot q_0 \cdot V$

$F_л = m \cdot a_ц = m\dfrac{V^2}{R}$

радиус окружности

$\boxed{R = \dfrac{mV}{q_0 B} = \text{const}}$

$V = \dfrac{q_0 BR}{m}$

$V = \dfrac{2\pi R}{T}$

период

$\boxed{T = \dfrac{2\pi \cdot m}{q_0 \cdot B}}$



$0° < \alpha < 90°$



Если заряд влетает под углом в магнитное поле: $\vec{V} = \vec{V}_\perp + \vec{V}_\parallel$

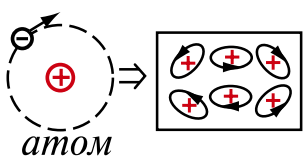
$\vec{V}_\perp$ — создает равномерное движение по окружности

$\vec{V}_\parallel$ — создает равномерное прямолинейное движение

В результате заряд двигается **по спирали**

⑦ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Гипотеза Ампера



Магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами (орбитальное движение электронов в атоме) — токами Ампера

а) Если направления токов неупорядочены, то порождаемые ими магнитные поля компенсируют друг друга, т. е. тело не намагничено

б) Во внешнем магнитном поле токи упорядочиваются, вследствие чего в веществе возникает собственное магнитное поле — намагниченность

$\vec{B}_0$ — *магнитная индукция внешнего поля*

$\vec{B}$ — *магнитная индукция в веществе*

μ — *магнитная проницаемость среды*

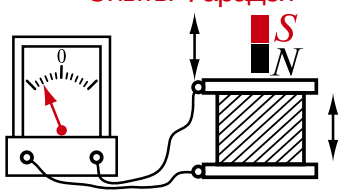
$\boxed{\vec{B} = \mu \vec{B}_0}$

$\mu < 1$	диамагнетики Слабомагнитные вещества
$\mu > 1$	парамагнетики
$\mu >> 1$	ферромагнетики Сильномагнитные вещества

IV. Электромагнитная индукция

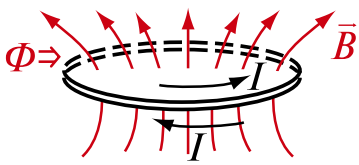
① ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Опыты Фарадея



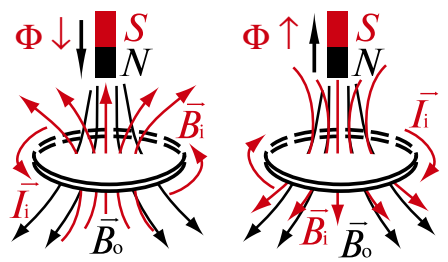
1831 г. М. Фарадей (англ.)
При движении магнита и катушки относительно друг друга в катушке возникает электрический ток, который называют **индукционным**

Электромагнитная индукция



Явление возникновения индукционного тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока (Ф), пронизывающего контур (при изменении числа линий магнитной индукции)

② ПРАВИЛО ЛЕНЦА



Индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, всегда имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток

если $\Phi\downarrow$, то $\vec{B}_0 \uparrow\uparrow \vec{B}_i$	если $\Phi\uparrow$, то $\vec{B}_0 \uparrow\downarrow \vec{B}_i$

③ ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Опытным путем установлено: $I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Сила индукционного тока прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром

Ток в проводнике возникает, если на заряд действуют сторонние силы. Работа сторонних сил характеризуется ЭДС(ε). Следовательно, при изменении магнитного потока через контур возникает ЭДС индукции (ε_i)

$$I_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$
$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} \text{ (закон Ома)}$$

(R — сопротивление контура)

$$\varepsilon_i \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad \varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

(знак минус связан с правилом Ленца)

$\Rightarrow$ ЭДС индукции в контуре численно равна скорости изменения магнитного потока через этот контур и противоположна ему по знаку

④ ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Сущность явления электромагнитной индукции в неподвижном проводнике состоит не столько в появлении индукционного тока, сколько в возникновении вихревого электрического поля, которое и приводит в движение электроны в проводнике $\Delta B \to \vec{E}_{\text{вихр.}} \to I_i$

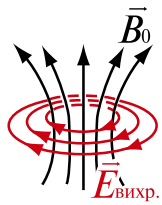
Чем больше скорость изменения вектора $\vec{B}$, тем больше напряженность вихревого электрического поля

$$E_{\text{вихр.}} \sim \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

увеличение $\vec{B}_0$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$$

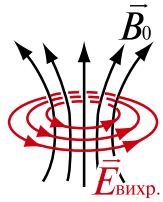
(правило левого винта)



уменьшение $\vec{B}_0$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$$

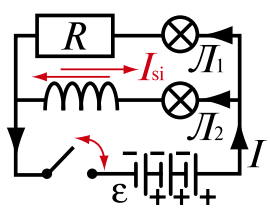
(правило правого винта)



– вихревое поле не связано с зарядами, его линии напряженности замкнуты на себя
– вихревое электрическое поле непотенциально ($A_{\text{вихр.}} \neq 0$ по замкнутому контуру)
– силовые линии не пересекаются
– $\vec{E}_{\text{вихр.}} \uparrow\uparrow I_i$ (направление линий напряженности совпадает с направлением индук. тока)

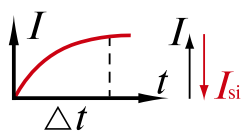
⑤ САМОИНДУКЦИЯ

Самоиндукция — (частный случай электромагнитной индукции) это явление, заключающееся в том, что изменение магнитного поля катушки с током (проводника) при прохождении через нее изменяющегося тока приводит к появлению индукционного тока (I_{si}) в этой самой катушке (проводнике)



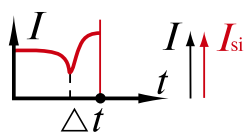
Замыкание цепи

1. Лампа 2 загорается позже
2. $I \uparrow \to B \uparrow \to \Phi \uparrow \to \varepsilon_{si}$
3. $\varepsilon_{si} \uparrow\downarrow \varepsilon \Rightarrow I_{si} \uparrow\downarrow I$ (правило Ленца)



Размыкание цепи

1. Лампа 2 ярко вспыхивает
2. $I \downarrow \to B \downarrow \to \Phi \downarrow \to \varepsilon_{si}$
3. $\varepsilon_{si} \uparrow\uparrow \varepsilon \Rightarrow I_{si} \uparrow\uparrow I$ (правило Ленца)



Модуль вектора магнитной индукции магнитного поля, создаваемого током, пропорционален силе тока, а магнитный поток пропорционален вектору $\vec{B}$ ($\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$)

$$\left.\begin{array}{l} |\vec{B}| \sim I \\ \Phi \sim |\vec{B}| \end{array}\right\} \Phi \sim B \sim I \Rightarrow \boxed{\Phi \sim I}$$

введем коэффициент пропорциональности $\Rightarrow \boxed{\Phi = L \cdot I}$

Величину L называют индуктивностью контура.

Используя закон электромагнитной индукции, запишем: $\boxed{\varepsilon_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}}$

Индуктивность $L\,[Гн]$ — это физическая величина, являющаяся мерой «инертности» электрической цепи по отношению к изменению силы тока (зависит от формы и размеров проводника и от магнитных свойств среды)

⑥ ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА

$$\boxed{W_м = \frac{LI^2}{2}}$$

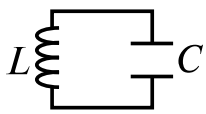
Электромагнитные колебания и волны

Электромагнитные колебания и волны | Электромагнитные колебания и волны — раздел физики, изучающий периодические изменения заряда, силы тока, напряжения, электрического и магнитного полей, а также процесс распространения электромагнитных полей в пространстве с течением времени

① СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

1)

Колебательный контур — устройство, с помощью которого можно получить электромагнитные колебания. Состоит из конденсатора емкостью C и катушки индуктивности L



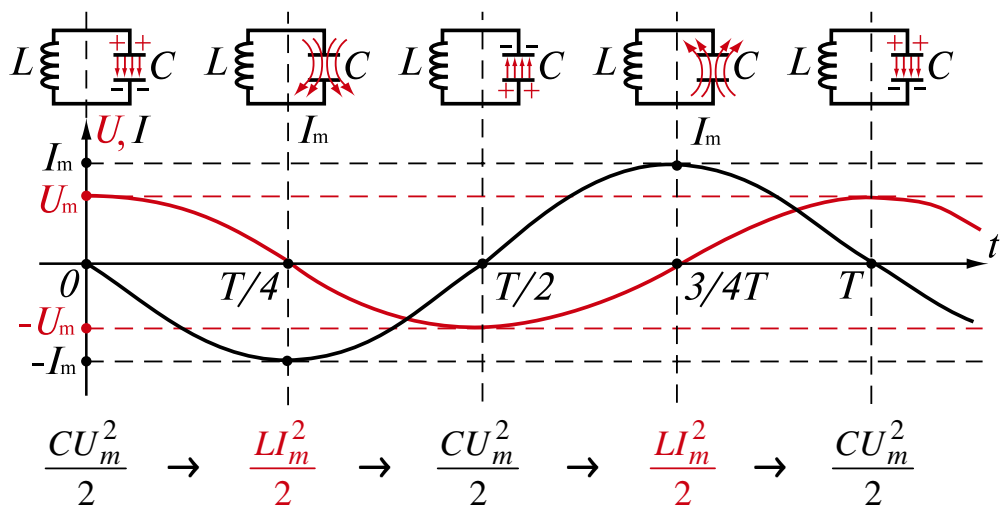
Если сопротивление контура $R \neq 0$, то колебания будут затухающими

Идеальный колебательный контур → $R = 0$

2)

Конденсатор заряжается от батареи, получая энергию $W_э = \frac{CU_{max}^2}{2}$

При присоединении к нему катушки индуктивности он разряжается, и в цепи появляется электрический ток. Вследствие явления самоиндуктивности, возрастание и убывание электрического тока при перезаряде конденсатора происходит постепенно. Возникают электромагнитные колебания (периодические изменения заряда (q), силы тока (I), напряжения (U), энергии электрического ($W_э$) и магнитного ($W_м$) полей)



3)

Уравнение колебаний идеального колебательного контура

Если колебательный контур является идеальным ($R = 0$), то выполняется закон сохранения энергии $W = \text{const}$. Исходя из того, что производная постоянного числа равна нулю, получаем следующее:

$$W = W_э + W_m = \text{const}$$
$$(W_э + W_m)' = (\text{const})' = 0$$
$$\left(\frac{q^2}{2C}\right)' + \left(\frac{LI^2}{2}\right)' = 0$$
$$\frac{1}{2C} \cdot 2q \cdot q' + \frac{L}{2} \cdot 2I \cdot I' = 0$$
$$q' = I;\ I' = q''$$

$$q'' = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot q$$
$$q'' = -\omega^2 \cdot q \Rightarrow$$

аналог в механике: $a = x'' = -\omega^2 x$

⇓ решение уравнения

$$q = q_m \cdot \cos \omega t$$

q_m — амплитуда (максимальные значения заряда)

$$I = q' = -q_m \omega \cdot \sin \omega t$$

$$I = -I_m \cdot \sin \omega t \qquad I_m = q_m \omega$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cdot \cos \omega t$$

$$U = U_m \cdot \cos \omega t \qquad U_m = \frac{q_m}{C}$$

$$\varepsilon_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \cdot I' = +Lq_m\omega^2 \cdot \cos \omega t$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{si_m} \cdot \cos \omega t \qquad \varepsilon_{si_m} = L \cdot q_m \omega^2$$

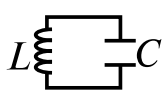
Колебания в идеальном колебательном контуре являются гармоническими

4)

Формула Томсона

$$\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$$



C — *электроемкость*
L — *индуктивность*

← **период электромагнитных колебаний в идеальном контуре**

5)

Превращение энергии

В колебательном контуре происходят периодические превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно.

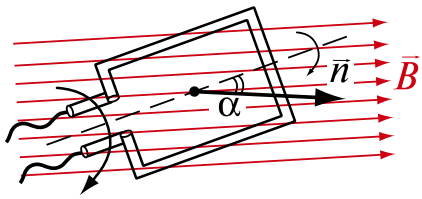
$$\left(\frac{q_m^2}{2C}\right) \rightarrow \left(\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}\right) \rightarrow \left(\frac{LI_m^2}{2}\right) \rightarrow \ldots$$

Если контур идеальный, то энергия сохраняется: $\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$

② ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

1)

Простейшая модель генератора переменного тока



Проводящий контур (рамку) площадью S вращают в постоянном магнитном поле (с вектором магнитной индукции $\vec{B}$)

Магнитный поток [$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$, где α — угол между вектором $\vec{B}$ и нормалью к рамке $\vec{n}$] при вращении рамки изменяется, т. к. изменяется угол α. Вследствие явления электромагнитной индукции в рамке возникает переменный индукционный ток

$$\left.\begin{array}{l}\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha \\ \alpha = \omega t\end{array}\right\} \Phi = B \cdot S \cdot \cos\omega t$$

(ω — угловая скорость вращения рамки)

По закону электромагнитной индукции:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi' = -BS(\cos\omega t)' = +B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin\omega t$$

$\varepsilon_i = \varepsilon_{i_m} \cdot \sin\omega t$	$\varepsilon_{i_m} = B \cdot S \cdot \omega$

ε_{i_m} — *амплитуда ЭДС индукции*

гармонические колебания

$U = U_m \cdot \cos\omega t$ — напряжение переменного тока

$I = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_c)$ — сила тока, где φ_c — сдвиг по фазе между колебаниями силы тока и напряжения

2)

Действующие значения силы тока и напряжения

Действующим значением силы переменного тока (I_g) называют силу такого постоянного тока, который на одинаковом сопротивлении цепи за время, равное одному периоду, выделяет такое же количество теплоты, что и данный переменный ток за то же время

$$I_g = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

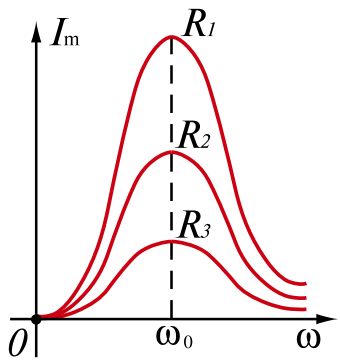
$$U_g = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Мощность переменного тока:	$P_\sim = I_g \cdot U_g$

3)

Резонанс в цепи переменного тока

Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний тока в колебательном контуре с малым активным сопротивлением, происходящее при равенстве частоты внешнего переменного напряжения и собственной частоты колебательного контура, называют резонансом в электрическом колебательном контуре



$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

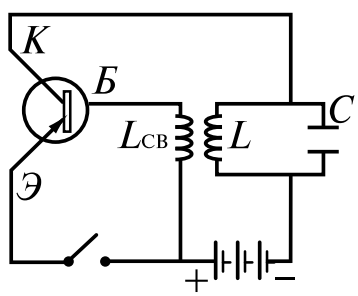
$$R_1 < R_2 < R_3$$

(Явление используется в радиосвязи для настройки на частоту передающей связи)

③ АВТОКОЛЕБАНИЯ

Чтобы свободные колебания в колебательном контуре были незатухающими, необходимо периодически пополнять запас энергии в этой системе.
Колебания, которые могут существовать в системе без воздействия внешних периодических сил, называются автоколебаниями

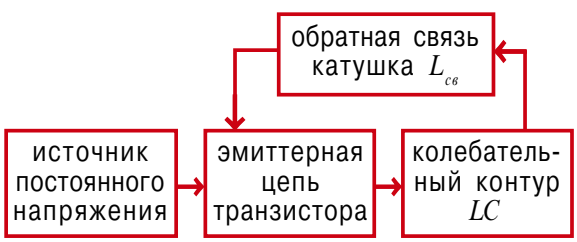
Генератор незатухающих электромагнитных колебаний



Полупроводниковый транзистор (*p–n–p*)



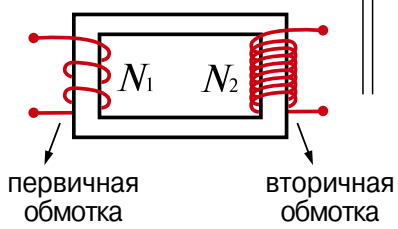
Выполняет роль ключа в схеме
$\varphi_{базы} > 0 \rightarrow$ ключ разомкнут
$\varphi_{базы} < 0 \rightarrow$ ключ закрыт



– компенсация потерь энергии происходит периодически при помощи транзистора (в строгом **согласовании** с комбинациями напряжения на контуре)
– согласование происходит при помощи катушки индуктивности $L_{св}$ (обратная связь), которая регулирует потенциал базы соответственно колебаниям контура

④ ТРАНСФОРМАТОР

1) **Трансформатор** — это устройство для преобразования переменного тока, при котором напряжение увеличивается или уменьшается в несколько раз практически без потери мощности



Устройство
две катушки (обмотки) на общем ферромагнитном сердечнике
N_1 — число витков первичной обмотки
N_2 — число витков вторичной обмотки

обозначение на схеме



2) Сердечник концентрирует магнитное поле так, что все витки первичной и вторичной обмоток пронизываются практически одинаковым переменным магнитным полем (потоком). В результате в каждом витке наводится одинаковая ЭДС индукции (e_i)

3) **Режим холостого хода** ($I_2 = 0$)

Если $R = 0$, то $U_1 = -\varepsilon_1$ ($I_1 R = U_1 + \varepsilon_1$); e_1 — ЭДС индукции в 1 витке

$U_2 = -\varepsilon_2$ ($I_2 = 0$)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{-\varepsilon_1}{-\varepsilon_2} = \frac{e_1 \cdot N_1}{e_1 \cdot N_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

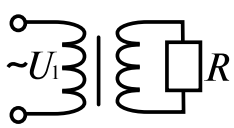
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

K — коэффициент трансформации

K > 1 — трансформатор понижающий ($U_1 > U_2$)

K < 1 — трансформатор повышающий ($U_1 < U_2$)

Режим рабочего хода ($I_2 \neq 0$)



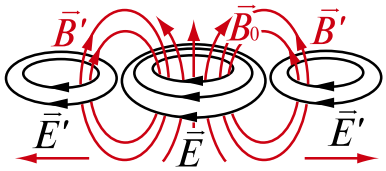
$$P_1 \approx P_2 \Rightarrow U_1 I_1 \approx U_2 I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Трансформаторы используют для повышения напряжения с целью передачи электроэнергии с меньшими потерями

⑤ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

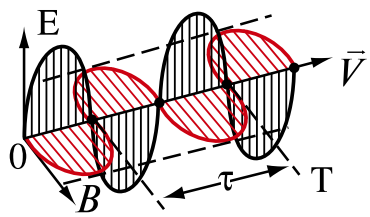
1)

Электромагнитная волна — процесс распространения в пространстве переменного электромагнитного поля



Скорость ЭМВ в вакууме:

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с



$$V = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

λ — *длина волны*

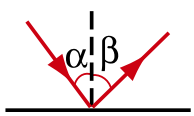
$\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{V}$

Колебания вектора напряженности электрического поля ($\vec{E}$) и вектора магнитной индукции ($\vec{B}$) в любой точке совпадают по фазе. Направления векторов $\vec{E}$ и $\vec{B}$ перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны. Электромагнитная волна является поперечной

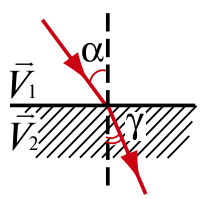
2)

Свойства электромагнитных волн (см. механич. волны)

а) Отражение

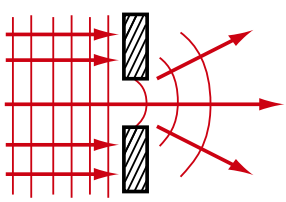


б) Преломление

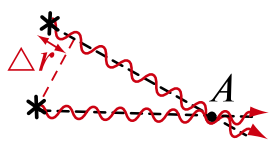


$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{V_1}{V_2}$$

в) Дифракция



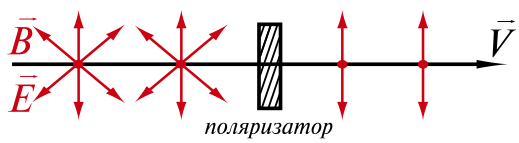
г) Интерференция



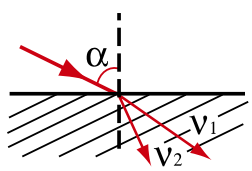
$\Delta r = \lambda n$ — max

$\Delta r = \frac{\lambda}{2}(2n+1)$ — min

д) Поляризация



е) Дисперсия — зависимость скорости волны в среде от ее частоты



ОПТИКА

Оптика — раздел физики, в котором изучают явления и закономерности, связанные с возникновением, распространением и взаимодействием с веществом световых электромагнитных волн

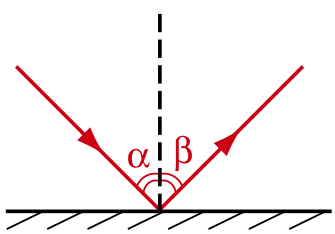
I. Геометрическая оптика

Геометрическая оптика — Геометрическая оптика — это раздел оптики, в котором изучаются законы распространения световой энергии в прозрачных средах на основе представления о световом луче

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется энергия световых электромагнитных волн

В однородной среде свет распространяется **прямолинейно**. Световые пучки при пересечении не интерферируют и распространяются после пересечения независимо друг от друга

① ЗАКОНЫ ОТРАЖЕНИЯ

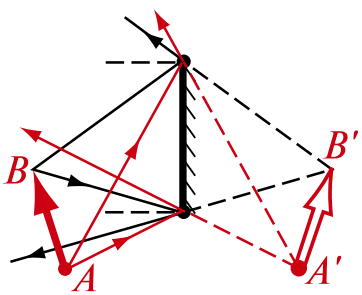


I. Угол падения равен углу отражения:

$$\alpha = \beta$$

II. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к границе двух сред, лежат в одной плоскости

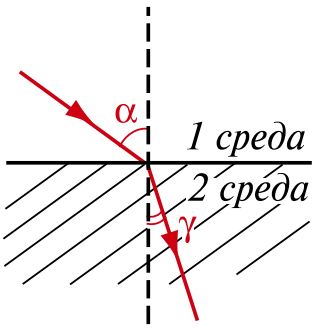
Изображение в плоском зеркале



1) Изображение является **мнимым** (после отражения от зеркала пересекаются не сами лучи, а их продолжения)
2) Изображение находится на таком же расстоянии от зеркала, как и предмет
3) Размер изображения равен размеру предмета

② ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

1)



I. Отношение синусов угла падения и угла преломления есть величина постоянная для двух сред

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \text{const} = n_{2,1}$$

II. Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к границе двух сред, лежат в одной плоскости

Относительный показатель преломления ($n_{2,1}$)

$$n_{2,1} = \frac{V_1}{V_2}$$

это физическая величина, являющаяся характеристикой двух данных сред. Показывает во сколько раз скорость света изменяется при переходе из одной среды в другую

Абсолютный показатель преломления

$$n = \frac{c}{V}$$

c — скорость света в вакууме

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

это показатель преломления данной среды относительно вакуума

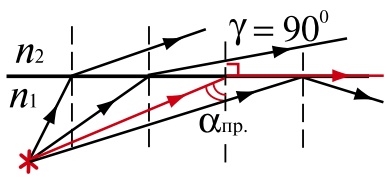
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$

2)

Полное внутреннее отражение

при $n_2 < n_1$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



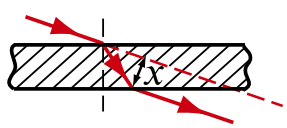
если $\gamma = 90° \Rightarrow \alpha_{пр}$ предельный угол

$$\sin\alpha_{пр} = \frac{n_2}{n_1}$$

при углах падения $\alpha > \alpha_{пр}$ происходит полное внутреннее отражение

3)

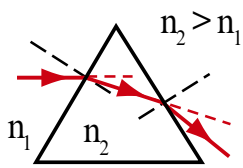
Плоскопараллельная пластина



Луч смещается параллельно себе (x — смещение)

Призма

Световой луч отклоняется к основанию призмы

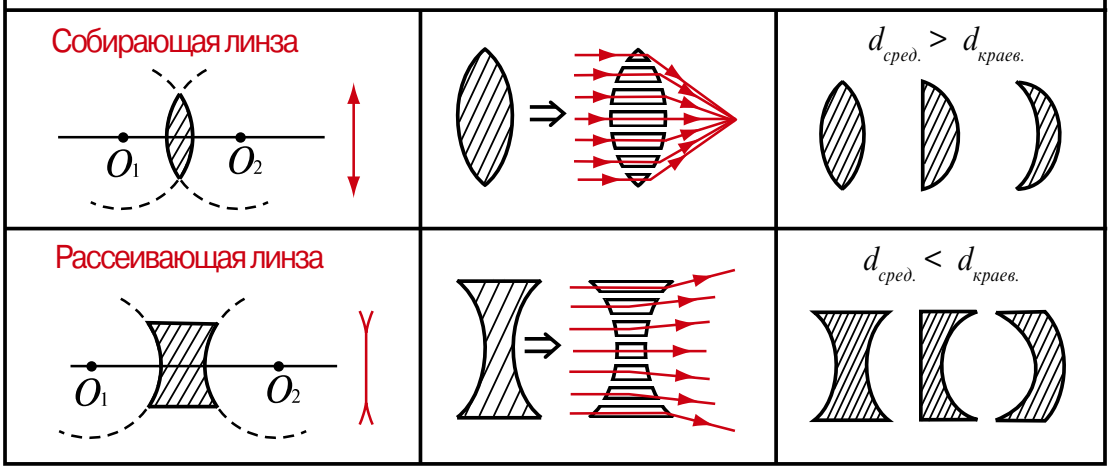


③ ЛИНЗЫ

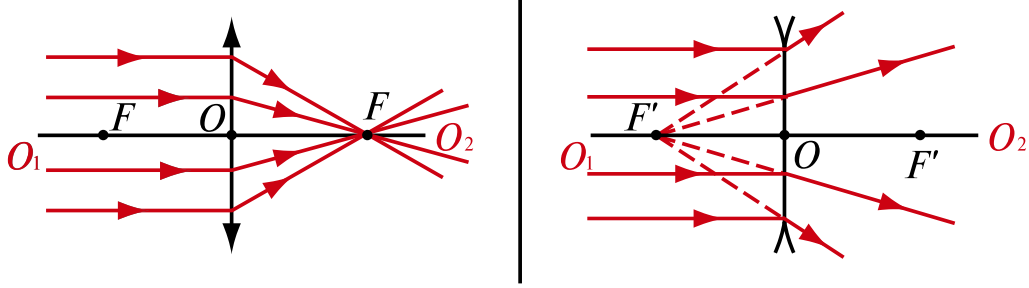
1)

Линза || прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями

Тонкая линза || линза, у которой толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхности



2)



Главная оптическая ось (O_1, O_2) — прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линзы

Побочная оптическая ось — любая прямая, проходящая через оптический центр

Оптический центр (O) — пересечение главной оптической оси с линзой

Фокус (F) — точка, в которой собираются после преломления все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси (собирающая линза)

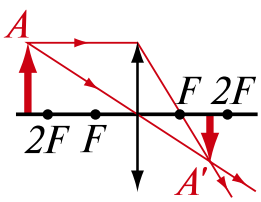
Мнимый фокус (F') — точка, в которой пересекаются продолжения всех преломленных лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси (рассеивающая линза)

3) Построение изображений в линзах

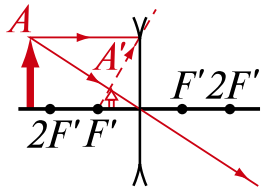
1) Луч, проходящий через оптический центр, не преломляется

2) Луч, падающий параллельно главной оптической оси, после преломления проходит через фокус (продолжение луча через мнимый фокус)

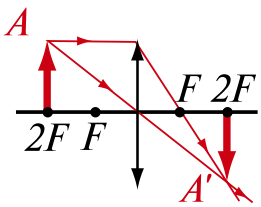
3) Луч, проходящий через фокус после преломления, идет параллельно главной оптической оси



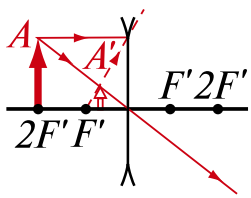
изображение
– уменьшенное
– действительное
– перевернутое

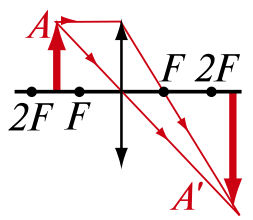


изображение
– уменьшенное
– мнимое
– прямое
(во всех случаях)

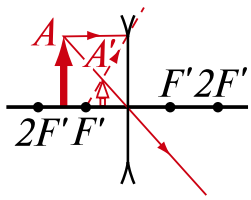


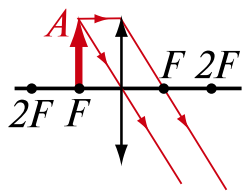
– равное
– действительное
– перевернутое



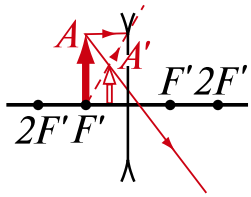


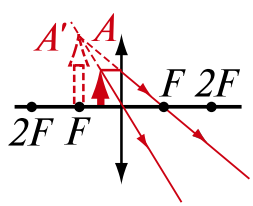
– увеличенное
– действительное
– перевернутое



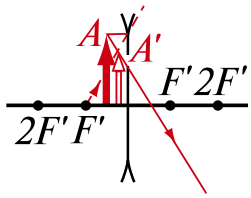


изображения
нет



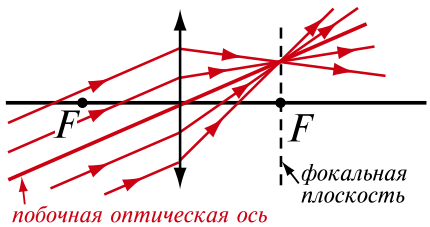


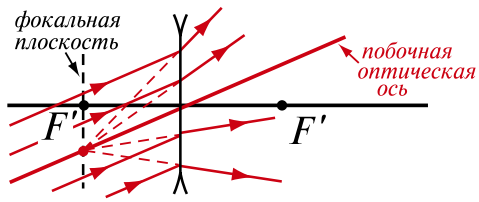
– увеличенное
– мнимое
– прямое



Чем ближе предмет к линзе, тем больше изображение

4) Ход пучка параллельных лучей, идущих вдоль побочной оптической оси



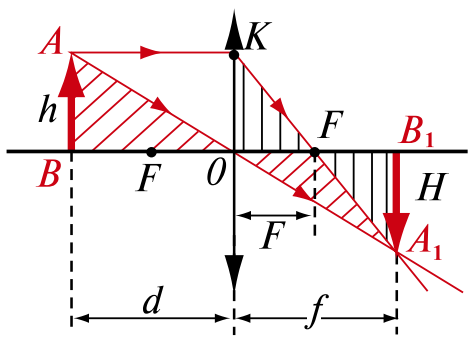


действительное изображение получается, если преломленные лучи пересекаются в одной точке (можно получить на экране)

мнимое изображение получается, если преломленные лучи не пересекаются, оно находится в точке пересечения продолжений лучей (невозможно получить на экране)

обратимость хода лучей: предмет и его изображение всегда можно поменять местами

5) Формула тонкой линзы



Из подобия треугольников:

$$\Delta ABO \sim \Delta A_1B_1O:\ \frac{AB}{A_1B_1}=\frac{OB}{OB_1}$$

$$\Delta KOF \sim \Delta FB_1A_1:\ \frac{KO}{A_1B_1}=\frac{OF}{FB_1}$$

$$*\ \frac{OB}{OB_1}=\frac{OF}{FB_1} \Rightarrow \boxed{\frac{d}{f}=\frac{F}{f-F}}$$

собирающая линза: $F > 0$

рассеивающая линза: $F < 0$

$$\boxed{\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}}$$

знак слагаемых определяется характером изображения

Оптическая сила линзы

$$\boxed{D=\frac{1}{F}\ [\text{дптр}]}$$

Увеличение

$$\boxed{\Gamma=\frac{H}{h}=\frac{f}{d}}$$

II. Волновая оптика

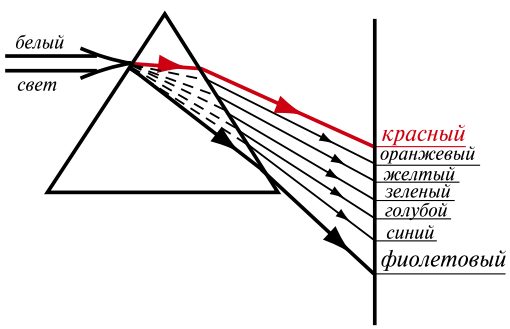
Волновая оптика || раздел оптики, изучающий световые волны как частный случай электромагнитных волн

Световые волны обладают всеми свойствами электромагнитных волн

① ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

зависимость скорости света (показателя преломления) в среде от длины волны

Опыт Ньютона



Дисперсия — причина разложения в спектр белого света

Белый свет → сложный

Спектральный свет → монохроматический (определенная длина волны λ)

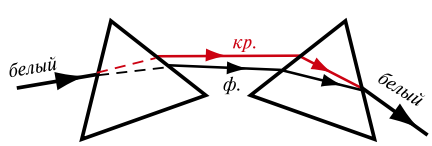
Теория дисперсии

$$\left.\begin{aligned}\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma_{кр}} &= n_{кр}\\ \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma_{ф}} &= n_{ф}\end{aligned}\right\}$$ Исходя из опыта: $\gamma_{кр} > \gamma_{ф}$ $\Rightarrow$ $n_{кр} < n_{ф}$

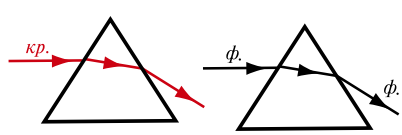
$$\left.\begin{aligned}n_{кр} &= \frac{c}{V_{кр}}\\ n_{ф} &= \frac{c}{V_{ф}}\end{aligned}\right\} \Rightarrow V_{кр} > V_{ф}$$

В вакууме дисперсии нет: $V_{кр\ (вак.)} = V_{ф\ (вак.)} = c \approx 3\cdot10^8$ м/с

Разложение и синтез белого света



Монохромный свет: простой (призмой не разлагается)



② ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

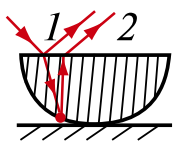
1)

Интерференция света	сложение двух и более когерентных волн, вследствие которого наблюдается устойчивая картина усиления или ослабления световых колебаний в разных точках пространства
Когерентные волны	волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз (в природе нет когерентных источников света). Когерентные световые волны получают путем разделения одного и того же пучка или при помощи лазеров

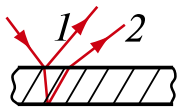
Условие интерференционного максимума	$\Delta r = \lambda n$, $n = 0, 1, 2...$
Условие интерференционного минимума	$\Delta r = \frac{\lambda}{2}(2n+1)$, $n = 0, 1, 2...$

2)

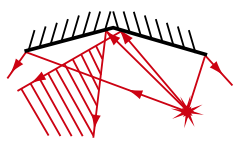
Кольца Ньютона



Интерференция в тонких пленках



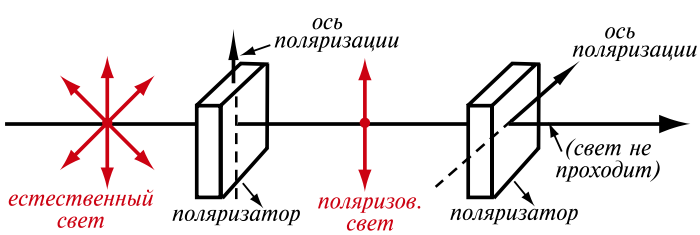
Зеркала Френеля



③ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Естественный свет является неполяризованным (содержит волны со всевозможными направлениями колебаний векторов $\vec{E}$ и $\vec{B}$, перпендикулярными направлению распространения волны). Свет — поперечная волна

Поляризаторы (турмалин, герапатит, поляроиды) обладают способностью пропускать световые волны с колебаниями векторов $\vec{E}$ и $\vec{B}$ только в одной плоскости — поляризованный свет



Лазер испускает поляризованный свет

④ ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

1) **Дифракция** || явление огибания светом препятствий, размеры которых соизмеримы с длиной световой волны

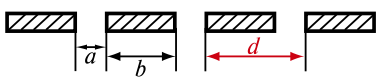
Условия наблюдения

– размеры препятствия должны быть соизмеримы с длиной световой волны ($\lambda \sim 10^{-7}$ м)

– расстояние от препятствия до точки наблюдения должно быть гораздо больше размеров препятствия

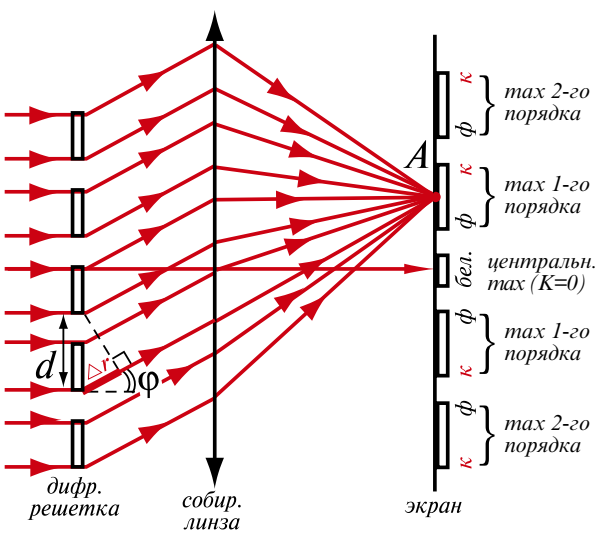
В результате дифракции накладываются световые волны, приходящие из разных точек (когерентные волны), и наблюдается **интерференция** волн

2) **Дифракционная решетка** || совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками.



$d = a + b$

d — период дифракционной решетки



Дифракционная картина от белого света ⇒

Интерференционный максимум будет наблюдаться в точке A при условии:

$\Delta r = \lambda \cdot K$, где

K = 0, 1, 2... (порядок максимума)

$\Delta r = d \cdot \sin\varphi$

$d \cdot \sin\varphi = \lambda \cdot K$

$K = 0 \Rightarrow \sin\varphi = 0 \rightarrow$ центральный максимум (белый цвет)

$K = 1 \Rightarrow$ max 1-го порядка (спектр, т. к. $\lambda_к > \lambda_ф$)

$K = 2 \Rightarrow$ max 2-го порядка (спектр) и т. д.

⑤ СПЕКТРЫ. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

1)

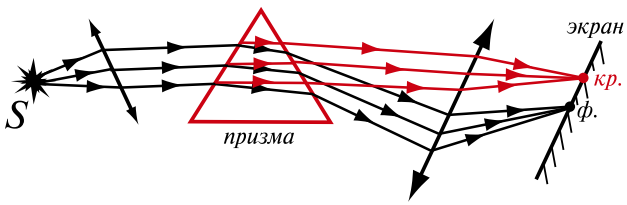
Источники света

тепловые
(лампа накаливания)

люминесцентные
– электро... (газов. разряд)
– катодо... (электр.-лучевая трубка)
– хими... (химическая реакция)
– фото... (лампы дневного света)

2)

Спектроскоп

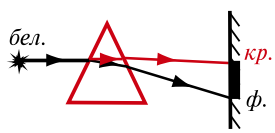


Прибор, хорошо разделяющий волны различной длины и дающий **четкий спектр** излучения (в основе — явление дисперсии)

3)

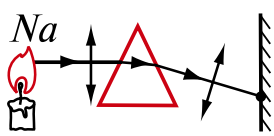
Спектры испускания

а) **Непрерывный** (получают от раскаленных твердых или жидких тел; плазма)



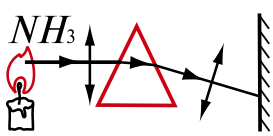
все цвета спектра

б) **Линейчатый** (от раскаленных газов в атомарном состоянии)



набор линий или линия одного цвета

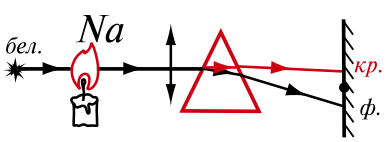
в) **Полосатый** (от раскаленных газов в молекулярном состоянии)



полосатая линия

4)

Спектр поглощения



на фоне сплошного спектра черная линия (или набор линий)

Атомы данного вещества поглощают те световые волны, которые они сами испускают

5)

Спектральный анализ

определение химического состава вещества по его спектру (большая чувствительность, малые затраты времени; фактор расстояния (спектр звезд); открытие новых элементов)

III. Квантовая оптика

Квантовая оптика || раздел оптики, изучающий корпускулярные свойства света (свойства частиц)

① ФОТОЭФФЕКТ

1)

Фотоэффект || явление вырывания электронов из вещества под действием излучения

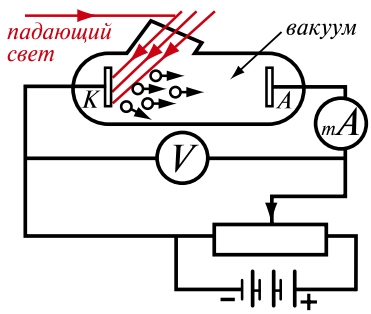
открытие явления: 1887 г. Г. Герц

исследование явления: 1888 г. А. Г. Столетов

2)

Опыты Столетова

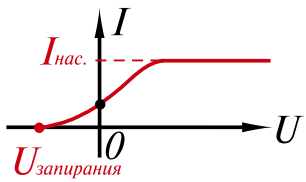
(установка: вакуумная лампа с холодным катодом)



При освещении катода из него вырываются электроны и в цепи устанавливается электрический ток

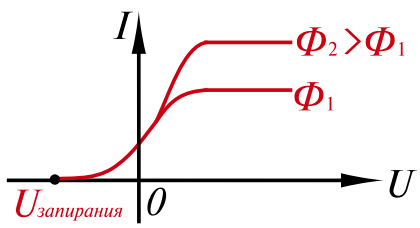
$q = \bar{e}$

а)



$$U_{зап.} \cdot \bar{e} = \frac{mV^2}{2}$$

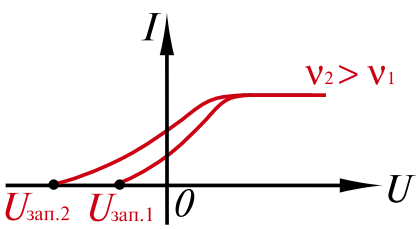
б) Изменяем интенсивность светового потока (Φ) $(\nu = const)$



I закон фотоэффекта

Сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения

в) Изменяем частоту излучения (ν) $(\Phi = const)$



II закон фотоэффекта

Максимальная $E_к$ фотоэлектронов пропорциональна частоте света и не зависит от его интенсивности

3) **Красная граница фотоэффекта**

Если частота света меньше некоторой определенной для данного вещества минимальной частоты (ν_0), то фотоэффекта не происходит

4) **Теория фотоэффекта**

1901 г. М. Планк || гипотеза Планка: свет излучается и поглощается отдельными «порциями» — квантами (фотонами)

Энергия одного кванта: $\varepsilon = h\nu$

ν — *частота света*

h — *постоянная Планка*

$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m_e V^2}{2} \Rightarrow$$

Энергия одного фотона тратится на работу по выходу электрона из вещества и придание ему кинетической энергии

– если $h\nu < A_{вых.} \Rightarrow$ фотоэффекта не будет

– $A_{вых.} = h\nu_0 \Rightarrow$ $\nu_0 = \frac{A_{вых}}{h}$ — *частота красноволновой границы*

$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ — *длина волны (красноволновой границы)*

② ДАВЛЕНИЕ СВЕТА (опыты Лебедева)

Давление света обусловлено тем, что фотоны как частицы обладают импульсом и передают его телу при отражении и при поглощении

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad h\nu = mc^2 \Rightarrow \quad m = \frac{h\nu}{c^2}$$

масса покоя фотона $m_0 = 0$

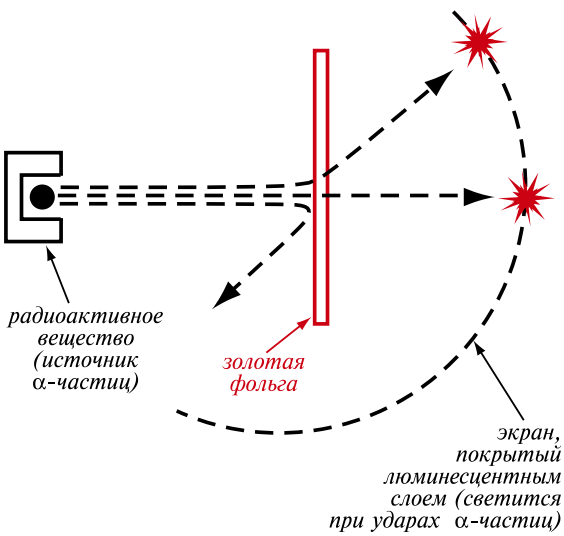
Атом и атомное ядро

Атомная и ядерная физика — раздел физики, изучающий строение атома и атомного ядра и процессы, связанные с ними

① СТРОЕНИЕ АТОМА

1)

Опыт Резерфорда (1906 г.)



Резерфорд «бомбардировал» α-частицами золотую фольгу и наблюдал за свечением экрана

α-частица → ядра He

V_α = 20 000 км/с

$m_\alpha = 8000\, m_e$

При попадании α-частицы на экран возникает свечение люминесцентного слоя

Наблюдения из опыта

– большинство α-частиц пролетает сквозь фольгу не отклоняясь

– небольшое кол-во α-частиц отклоняется на небольшие углы

– есть α-частицы, отклоняющиеся от фольги на углы более 90°

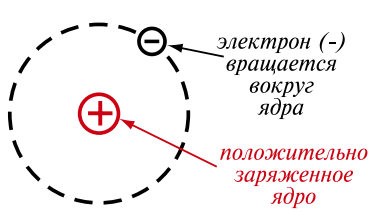
2)

Выводы из опыта

Вся масса атома сконцентрирована в очень малой области пространства → атомном ядре ($d_я$ ~ $10^{-12} \div 10^{-13}$ см), которое содержит весь положительный заряд атома. Вокруг ядра подобно планете обращается электрон

⇒

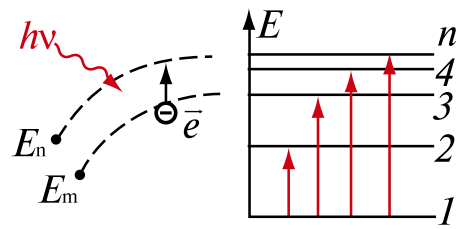
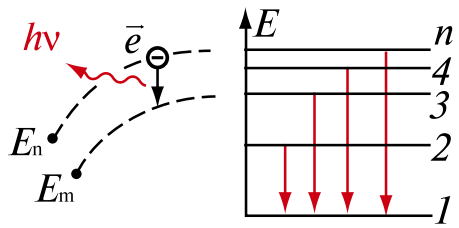
Планетарная модель атома



② ПОСТУЛАТЫ БОРА

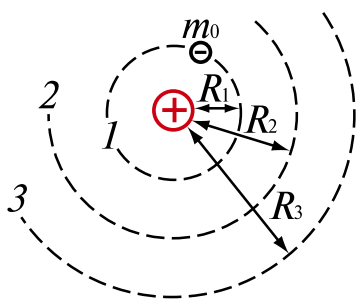
I Атом может находиться в особых квантовых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует своя определенная энергия. В этих состояниях атом не излучает (и не поглощает) энергию

II При переходе атома из одного стационарного состояния в другое он поглощает (или излучает) фотон с энергией $h\nu = E_n - E_m$ (где E_n и E_m — энергии стационарных состояний)

поглощение	излучение
	

Таким образом квантовая теория объясняет линейчатость спектров

③ МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА ПО БОРУ



$$\left.\begin{aligned} m_0 a_ц &= F_к \\ m_0 \frac{V^2}{r} &= K\frac{e^2}{r^2} \end{aligned}\right\} \text{ классич. физика} \quad \boxed{V^2 = \frac{Ke^2}{m_0 r}} \quad (1)$$

из квантовой теории: $\boxed{m_0 \cdot V \cdot r = n \cdot \hbar}$ (2)

где $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ — *правило квантования Бора*

Решая уравнения, получаем:

радиус орбит. → $\boxed{r_n = \frac{n^2 \cdot \hbar^2}{K \cdot m_0 e^2}}$, где n = 1, 2, 3...

$(r_1 = 5 \cdot 10^{-11}\,м)$

энергия стационарного состояния → $\boxed{E = -\frac{K^2 \cdot e^4 m_0}{2n^2 \cdot \hbar^2}}$

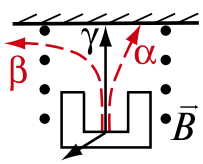
частота фотона → $\boxed{\nu = \frac{E_n - E_m}{h}}$

④ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ

1. **Счетчик Гейгера**	(действие основано на ударной ионизации газа; фиксирует только факт пролета частицы)
2. **Камера Вильсона**	(используется пересыщенный пар; фиксируется траектория полета заряженной частицы, вдоль которой возникают ионы, на которых конденсируются капельки жидкости)
3. **Пузырьковая камера**	(используется перегретая жидкость; фиксирует траекторию движения частицы, вдоль которой образуются пузырьки при закипании жидкости)
4. **Толстослойная фотоэмульсия**	(образование скрытого изображения траектории, которое появляется при проявлении фотоэмульсии)

⑤ РАДИОАКТИВНОСТЬ

– 1896 г. А. Беккерель (фр.)
– М. и П. Кюри (фр.)
– Э. Резерфорд (англ.)



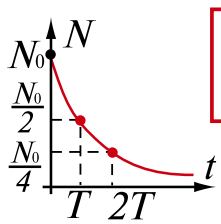
радиоактивное вещество (в магн. поле)

Радиоактивность — испускание ядрами некоторых элементов различных частиц: α-частиц; электронов; γ-квантов (α, β и γ-излучения)

Радиоактивность сопровождается переходом ядра в другое состояние и изменением его параметров

Радиоактивный распад — радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно

Закон радиоактивного распада
T-период полураспада (время, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается вдвое)



$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

⑥ СТРОЕНИЕ ЯДРА

Атомное ядро состоит из элементарных частиц —

нуклонов → протоны (p)
→ нейтроны (n)

Протон (p) заряжен положительно; $q_p = \overline{e} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
масса покоя: m_p = 1,6726·10^{-27} кг

Нейтрон (n) нейтральная частица
масса покоя: m_n = 1,6749·10^{-27} кг

Обозначение ядра ${}^{A}_{Z}X$

X — обозначение химического элемента
A — массовое число (число нуклонов)
Z — зарядовое число (число протонов) совпадает с порядковым номером химического элемента в таблице Менделеева

Примеры: ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ — ядро атома водорода (протон)

${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ — ядро атома гелия (α-частица)

${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ — ядро изотопа урана (92 протона, 143 нейтрона)

Изотопы — ядра с одинаковыми зарядами (Z), но разными массами (A)

Изотопы есть у всех элементов. Вещество представляет собой смесь изотопов в определенной пропорции. Есть стабильные и нестабильные изотопы.

→ ядро водорода ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$; его изотопы: ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ (дейтерий), ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ (тритий)

⑦

α-распад ${}^{M}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{M-4}_{Z-2}\mathrm{Y}$

β-распад ${}^{M}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{M}_{Z+1}\mathrm{Y}$

⑧ **γ-излучение** ${}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \pm \gamma$

Параметры ядра не изменяются. Ядро переходит в другое энергетическое состояние

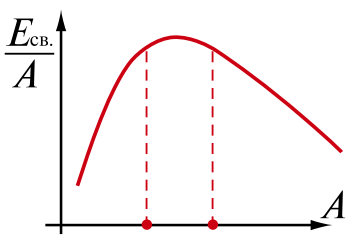
⑨ ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Ядерные силы очень велики, но являются короткодействующими (действуют на очень малых расстояниях)

Энергия, которая нужна для расщепления ядра на отдельные нуклоны (или выделяется при образовании ядра из нуклонов), называется **энергией связи**

$E = m \cdot c^2 \Rightarrow \boxed{\Delta E = \Delta m \cdot c^2}$ — **энергия связи**

$\boxed{\Delta m = Z m_p + N m_n - M_{ядра}}$ — **дефект массы ядра**



– наиболее устойчивы средние ядра

– менее устойчивы легкие и тяжелые

Издательский Дом «Литера»
приглашает к сотрудничеству авторов
Телефоны редакции: (812) 560-8684, 325-4741
E-mail: publish@litera.spb.ru
http://litera.spb.ru

По вопросам реализации обращаться:
(812) 441-3649, 441-3650
E-mail: sales@litera.spb.ru

Янчевская Ольга Владиславовна

ФИЗИКА В ТАБЛИЦАХ И СХЕМАХ
Все темы школьной программы
7—11 классы

12+

Редактор *В. Кучинский*
Обложка *В. Финогенов*
Верстка *М. Цветкова*

Подписано в печать 25.10.22. Формат 84×108 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Прагматика. Усл. печ. л. 10,08. Тираж 3000 экз. Заказ №

ООО «Издательский Дом „Литера“»
Россия, 192131, Санкт-Петербург, Ивановская ул., 24 лит. А

Отпечатано в:
ООО «Тверской полиграфический комбинат»
Россия, 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, д. 5,
телефон: +7(4822) 44-43-60, факс +7(4822) 44-98-42,
E-mail: tpk@tverpk.ru; sales@tverpk.ru