

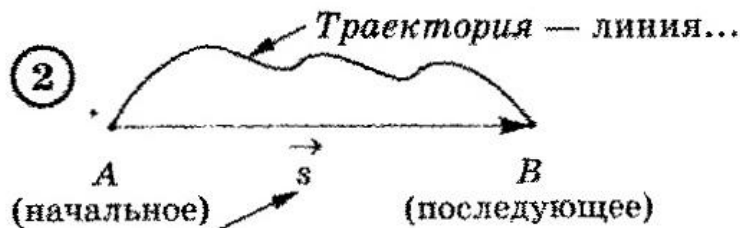


Система отсчета: а) тело отсчета — 0

б) y в) отсчет времени



Материальная точка — тело...



Перемещение — вектор...

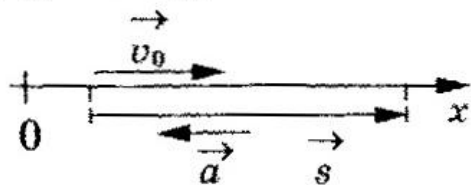
Путь — длина...

③ Кинематические величины

s ; $[s_x; s_y]$ (x, y) — координаты точки

v ; $[v_x; v_y]$

a ; $[a_x; a_y]$



④



$$\forall \Delta t_1 = \Delta t_2$$

\rightarrow

$$\Delta t_1 = s_1$$

\rightarrow

$$\Delta t_2 = s_2$$

$\rightarrow \rightarrow$

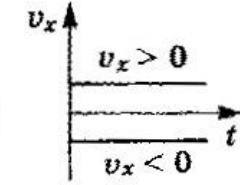
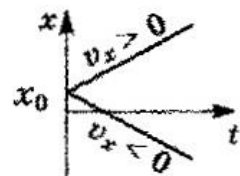
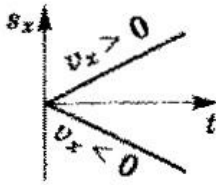
$$s_1 = s_2$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}_1}{\Delta t_1} = \frac{\vec{s}_2}{\Delta t_2} = \frac{\vec{s}}{t}$$

$$v_x = \frac{s_x}{t}$$

$$s_x = v_x t$$

$$x = x_0 + v_x t$$



$$\forall \Delta t_1 = \Delta t_2$$

\rightarrow

$$\Delta t_1 = s_1$$

\rightarrow

$$\Delta t_2 = s_2$$

$\rightarrow \rightarrow$

$$s_1 \neq s_2$$

$$\forall \Delta t_1 = \Delta t_2$$

\rightarrow

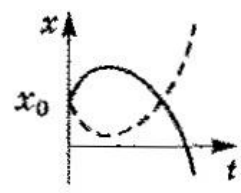
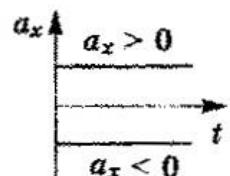
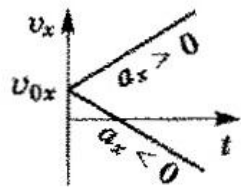
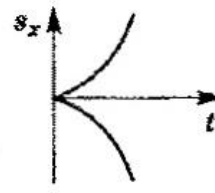
$$\Delta v_1 = \Delta v_2$$

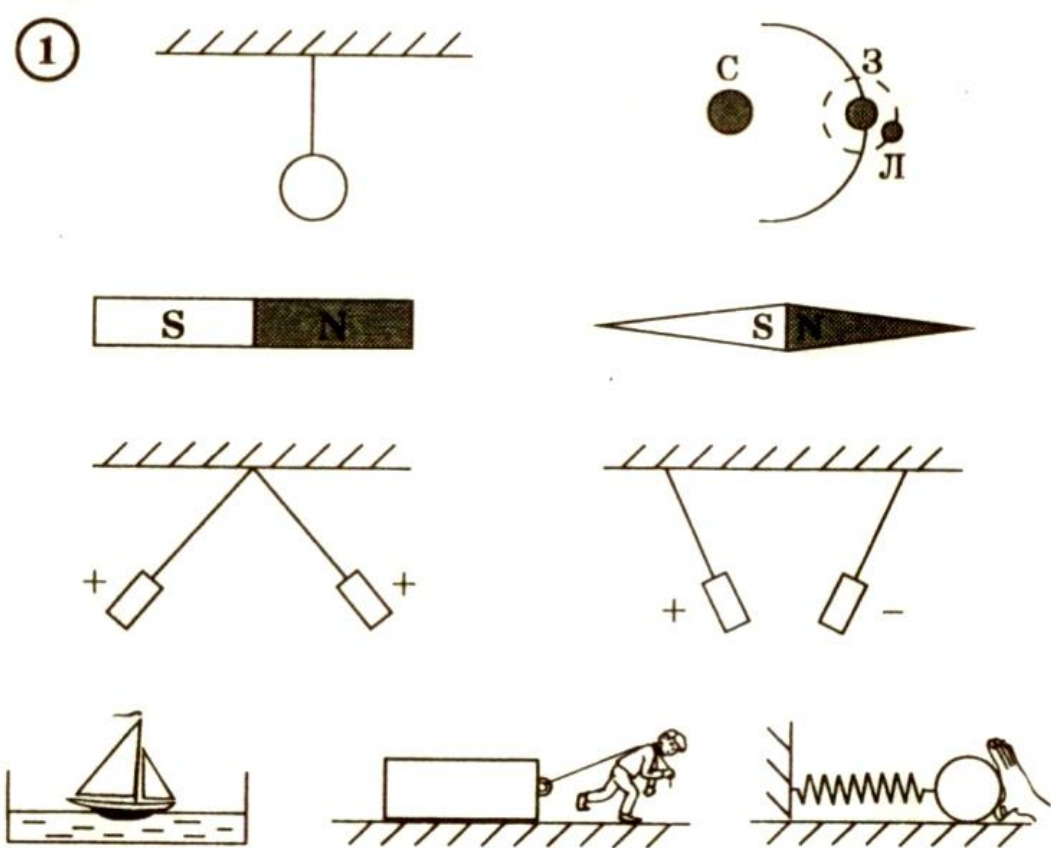
$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t}; \quad a_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t}$$

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{a} t$$

$$v_{2x} = v_{1x} + a_x t$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

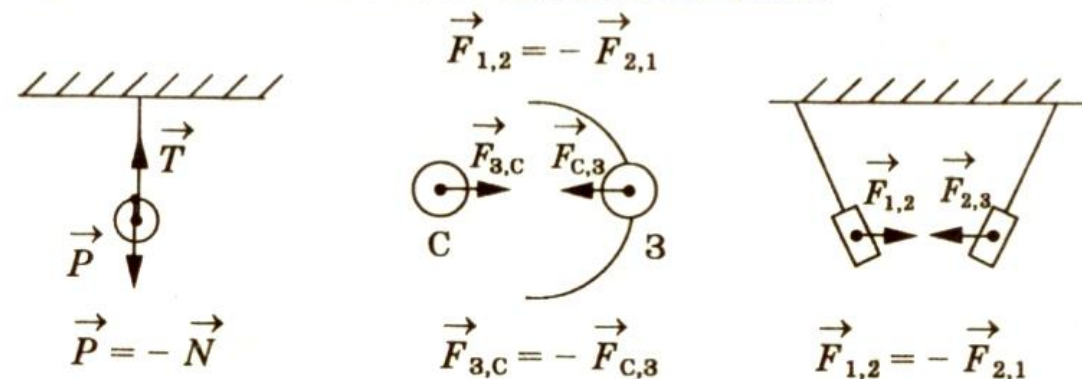




2

I закон Ньютона: Существуют...
ИСО: \approx Земля
 \forall тело, движ. относительно Земли равномерно прямолинейно

3 **Взаимодействие: III закон Ньютона...**



а) центральные
 б) противоположные
 в) равные

г) одной природы
 д) приложены к разным телам

4 **Сила — мера...**

Сила — вектор...

$\vec{F}, \vec{N}, \vec{P}, \vec{T}, \dots, \vec{F}_{\text{вrx.}}$...

$[F] = 1 \text{ Н.}$

1 Н — ...

Динамометр — ...

$\vec{F} \longrightarrow \vec{a}$

$\vec{F} \rightarrow$ деформация

5 **Основной опытный факт:**

$\frac{|\vec{a}_1|}{|\vec{a}_2|} = \frac{m_2}{m_1}$

$\vec{a}_1 \downarrow \uparrow \vec{a}_2$

$\vec{F} = m\vec{a}$;

$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$

II закон Ньютона...

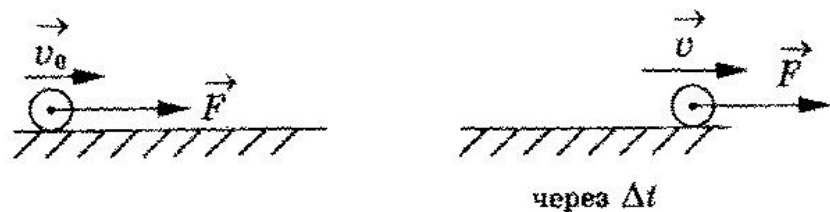
[ИСО]

① $\vec{p} = m\vec{v}$; $\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{v}$; $[p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

② $\vec{p} = \text{const}$, если $\vec{v} = \text{const}$, но в ИСО:
 $\vec{v} = \text{const}$, если $\sum_i \vec{F}_i = 0$.

Если $\vec{F} \neq 0$, то $\vec{a} \neq 0$ и $\vec{v} \neq \text{const}$.

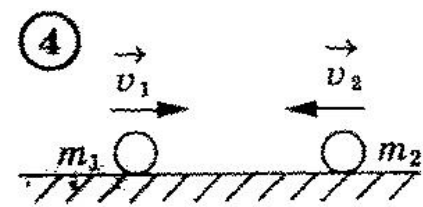
$\Rightarrow \Delta \vec{p} \neq 0$, если $\vec{F} \neq 0$; $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t}$



③ Замкнутая система тел (З.С.Т.)

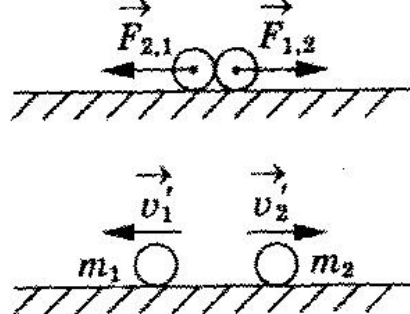
а) свободные тела

б) внешние силы скомпенсированы



импульс системы тел до взаимодействия

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$



взаимодействие

$\Delta t_1 = \Delta t_2$; $\vec{F}_{2,1} = -\vec{F}_{1,2}$

импульс системы тел после взаимодействия

$m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$

З.С.И.

Вывод: $\vec{F}_{2,1} \Delta t = -\vec{F}_{1,2} \Delta t$ — по III закону Ньютона

$\vec{F}_{2,1} \Delta t = m_1\vec{v}'_1 - m_1\vec{v}_1$

$\vec{F}_{1,2} \Delta t = m_2\vec{v}'_2 - m_2\vec{v}_2$

по II закону Ньютона

или $-\vec{F}_{1,2} \Delta t = -m_2\vec{v}'_2 + m_2\vec{v}_2$

$m_1\vec{v}'_1 - m_1\vec{v}_1 = -m_2\vec{v}'_2 + m_2\vec{v}_2$

$m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

⑤ Реактивное движение.



$m_p = m_{об} + m_r$

в момент старта: $\vec{p} = 0$

$(m_{об} + m_r) \cdot 0 = m_{об} \cdot \vec{v}_{об} + m_r \cdot \vec{v}_r$; $\vec{v}_{об} = -\frac{m_r}{m_{об}} \vec{v}_r$

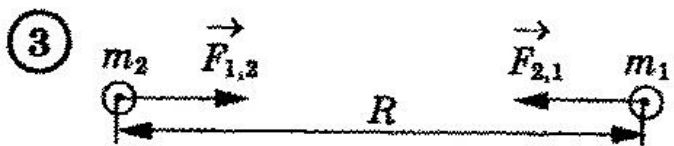
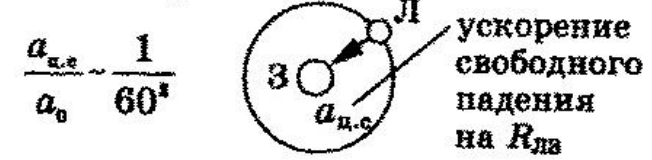


② **Опытные факты:**
 1) все тела вблизи поверхности Земли
 $\rightarrow a = 9,8 \text{ м/с}^2$

2) законы Кеплера $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$

3) движение Луны вокруг Земли:

$$a_{\text{д.с}} = \frac{2\pi^2 R_{\text{ЛЗ}}}{T^2}; R_{\text{ЛЗ}} = 60R_{\text{З}}$$



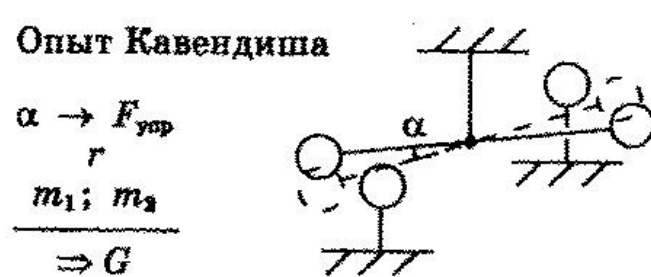
а) $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ — по III з-ну Ньютона

б) $F_{1,2} \sim m_1; F_{2,1} \sim m_2; F_{\text{грав}} \sim m_1 m_2$

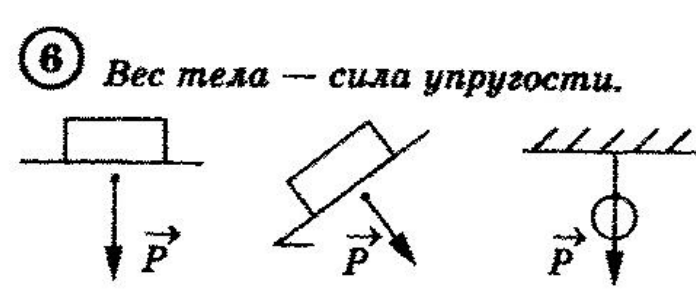
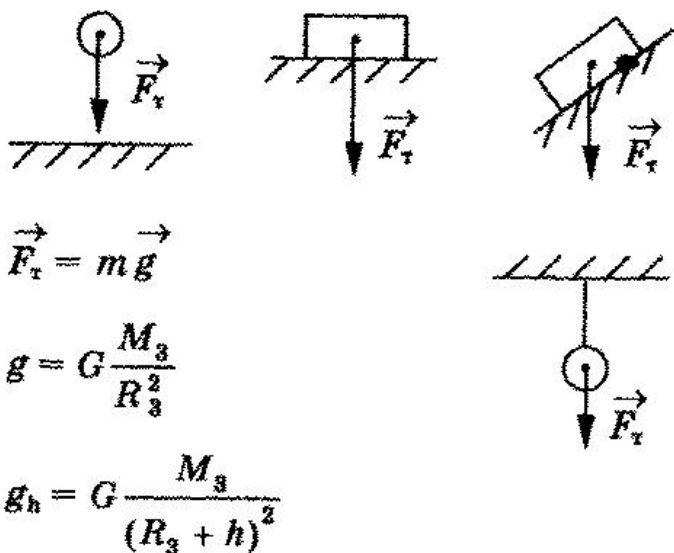
в) $F_{\text{грав}} \sim \frac{1}{R^2}; F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$

④ G — гравитационная постоянная
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$

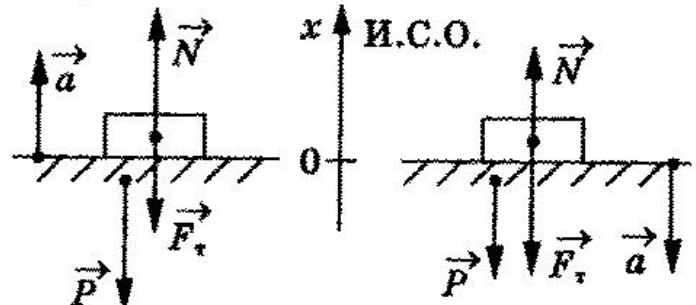
$G \doteq F$ между шарами
 $m_1 = m_2 = 1 \text{ кг}$ на $R = 1 \text{ м}$



⑤ **Сила тяжести — гравитационная сила.**

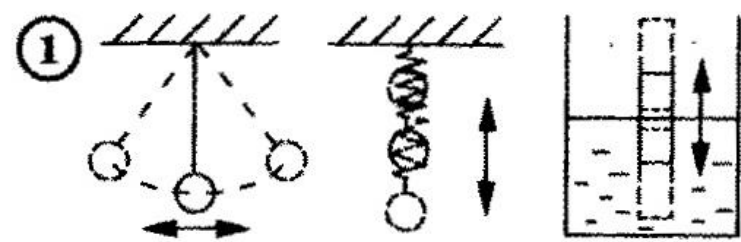


$\vec{P} = -\vec{N}$ — по III закону Ньютона
 \vec{P} — сила упругости, приложенная к опоре, перпендикулярно опоре или вдоль подвеса
 \vec{P} зависит от характера движения опоры



$\vec{N} + \vec{F}_\tau = m\vec{a}$	$\vec{N} + \vec{F}_\tau = m\vec{a}$
$N - F_\tau = ma$	$N - F_\tau = -ma$
$P = N = m(g + a)$	$P = N = m(g - a)$

⑦ **Невесомость: $P = 0$ (свободное падение)**
 $a = g$



3) Свободные колебания.

Колебательная система:

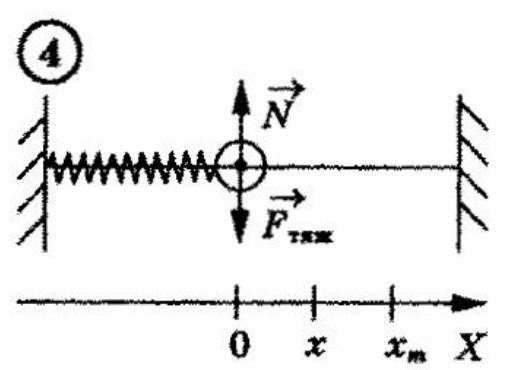
- а) наличие устойчивого положения равновесия
- б) $F_{тр} \rightarrow 0$

Характеристики:

- а) амплитуда — x_m — ... (внешнее воздействие)
- б) период — T — ... (свойства системы)
- в) частота — ν ...

$$\nu = \frac{1}{T}$$

- г) циклическая частота — ω ...
- $$\omega = 2\pi\nu$$



$$\vec{F}_y + \vec{F}_{тяж} + \vec{N} = m\vec{a}$$

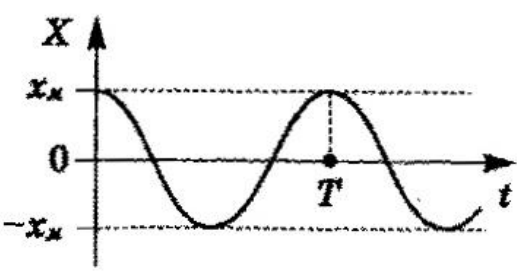
$$\text{ох: } F_{упр x} = ma_x$$

закон Гука: $F_{упр x} = -kx$

$$ma_x = -kx$$

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

$$x = x_m \cos(\omega t)$$



5) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

6) Превращение энергии.

	x	v_x	a_x	W_k	W_n
	0	0	0	0	0
	x_m	0	$-\frac{k}{m}x_m$	0	$\frac{kx_m^2}{2}$
	0	$-v_m$	0	$\frac{mv_m^2}{2}$	0
	$-x_m$	0	$\frac{k}{m}x_m$	0	$\frac{kx_m^2}{2}$
	0	v_m	0	$\frac{mv_m^2}{2}$	0
	x_m	0	$-\frac{k}{m}x_m$	0	$\frac{kx_m^2}{2}$

$$F_{тр} \rightarrow 0$$

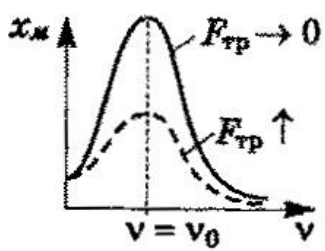
$(W_k + W_n) = \text{const} = \text{первоначальный «запас энергии»}$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}; \frac{kx^2}{2} = \frac{mv^2}{2}; v_m = \sqrt{\frac{k}{m}}x_m$$

7) Вынужденные колебания:

- любое тело
- внешнее периодическое воздействие

Резонанс — явление...



1 Частицы вещества

доказательства

косвенные

прямые

а) дробление вещества;

а) фотографии крупных молекул

б) разбавление растворов;

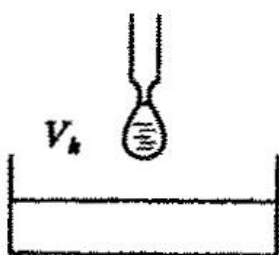
в) испарение;

г) закон кратных отношений

$$m_0 \sim 10^{-25} \text{ кг}$$

(масспектрометр)

$$d_0 \sim (10^{-10} - 10^{-9} \text{ м})$$



мономолекулярный слой

$$d_0 = \frac{V_k}{S}$$

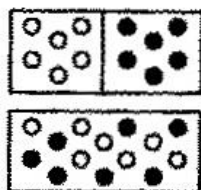
$N \uparrow \uparrow$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

2 Тепловое движение

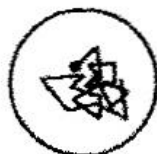
- а) непрерывное;
- б) неуничтожимое;
- в) хаотичное;
- г) $N \uparrow \uparrow$

диффузия...



в газах, жидкостях, твердых телах

броуновское движение...



$$m_0 \gg m_0$$

$$d_0 \gg d_0$$

а) скорость диффузии газ \rightarrow ж \rightarrow тв. т. при $T = \text{const}$;

б) скорость диффузии в среде \uparrow , если $T \uparrow$

интенсивность движения \uparrow :

а) если $T \uparrow$;

б) если $m_0 \downarrow$

Опыт Штерна...

v — скорость движения молекул при $T \sim 300 \text{ К}$; $v \sim 10^3 \text{ м/с}$
 $v \uparrow$, при $T \uparrow$

3 Взаимодействие частиц

- а) наличие жидкого и твердого состояния вещества;
- б) наличие сил упругости при изменении V тела;
- в) механическая прочность твердых тел

дуализм

отталкивание при $r < d_0$

притяжение при $r > d_0$

электромагнитная природа сил (строение атома)

4 Модели газа...; жидкости...; твердого тела...

газ $r \gg d_0$

жидкость $r \sim d_0$

тверд. тело $r \sim d_0$

Хаотическое движение:

прямолинейное между столкновениями

колебания + «перескоки»

колебания

беспорядок

беспорядок

упорядоченная «кристаллическая решетка»

① Идеальный газ — модель...

- а) молекулы — материальные точки;
- б) взаимодействие при столкновении;
- в) столкновения абс. упругие

Условия применимости:

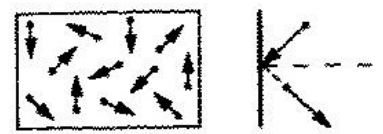
- а) $\bar{W}_k \gg \bar{W}_{пот}$; б) $T \uparrow \uparrow$;
- в) $p \downarrow, \rho \downarrow$; г) одноатомный газ

② микро	макро
m_0	m, M
$d_0 \rightarrow$	V
$m_0 v$	p
$\frac{m_0 v^2}{2}$	T
	$N, n = \frac{N}{V}$

связь?

МКТ — обоснование:
 $m = Nm_0$ $V \neq NV_0$
 $p = ?$ $T = ?$

③ Модель давления газа

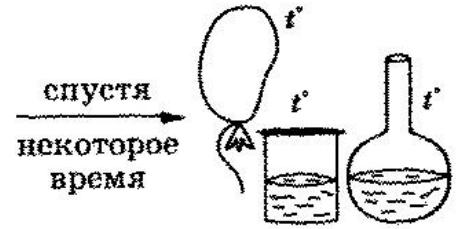


«удары молекул»

④ Основное уравнение МКТ: $p(m_0, v, n)$

- а) $p \uparrow$, если удары «чаще»: $n \uparrow, v \uparrow$
- б) $p \uparrow$, если удары «сильнее»: $m_0 v$, т.к. $\vec{f} \sim \Delta(m\vec{v})$
 $p \sim n m_0 v \cdot v; p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2; \bar{v}^2 = \dots$

⑤ Тепловое равновесие...



Самопроизвольно!



Термометр — ...

Принцип — зависимость какого-либо свойства от t° :

- а) $V(t^\circ)$ — жидкостные, газовые термометры;
- б) $R(t^\circ)$ — электрический термометр

Шкалы Цельсия:

- 0° — температура таяния льда
 - 100° — температура кипения воды
- } при норм. $p_{атм.}$

МКТ: при $t^\circ \uparrow$, скорость диффузии \uparrow

Опыт: в состоянии теплового равновесия

$$\text{весия } \frac{pV}{N} = \text{const}$$

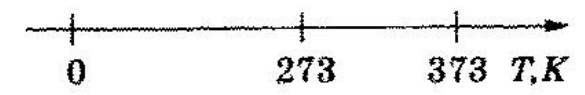
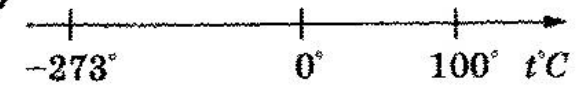
$$\frac{pV}{N} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \bar{W}_k; \quad \bar{W}_k = \frac{3}{2} kT$$

- T — абсолютная температура:
- 1) не зависит от вещества;
 - 2) мера \bar{W}_k

k — постоянная Больцмана

$$k = 1,39 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

⑥



$$T = t^\circ + 273$$

① Идеальный газ.

микро	макро
m_0	m, M
d_0	V
$\vec{v}, m_0\vec{v}$	p
W_A	T

$$m = Nm_0$$

$$V \neq NV_0$$

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \overline{v^2}; \quad \overline{W_A} = \frac{3}{2} kT$$

② $p = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{V} m_0 \overline{v^2} =$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{1}{V} \cdot 2 \cdot \left(\frac{m_0 v^2}{2} \right)$$

$$p = \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{1}{V} \cdot kT \text{ или}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ где } kN_A = R$$

③ Изопроцессы — ...

$m = \text{const}$ а) $T = \text{const}$ — изотермический;

$M = \text{const}$ б) $p = \text{const}$ — изобарный;

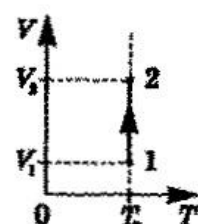
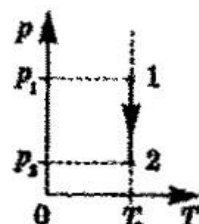
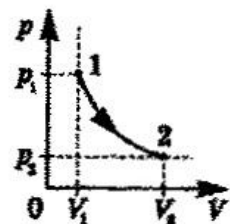
в) $V = \text{const}$ — изохорный

④ Изотермические процессы
 $T = T_0 = \text{const}$ (в термостате)

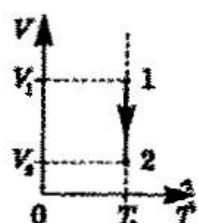
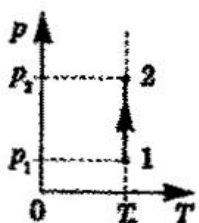
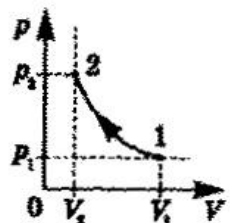
$$pV = \left(\frac{m}{M} RT \right); \quad pV = \text{const или}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2; \quad [p \uparrow, V \downarrow]$$

Расширение



Сжатие

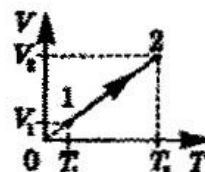
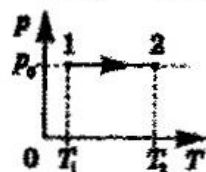
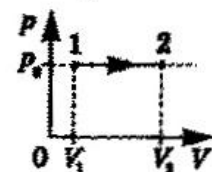


⑤ Изобарные процессы $p = p_0 = \text{const}$
(в цилиндре с подвижным поршнем)

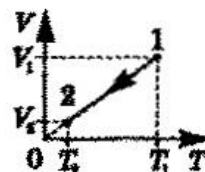
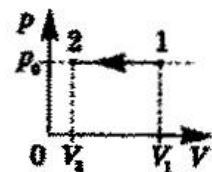
$$pV = \left(\frac{m}{M} R \right) T; \quad \frac{V}{T} = \left(\frac{m}{Mp} R \right); \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

$$\text{или } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ или } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad [V \uparrow, T \uparrow]$$

Нагревание (расширение)



Охлаждение (сжатие)

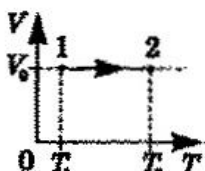
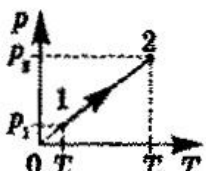
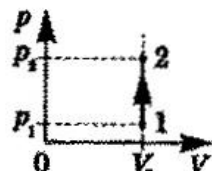


⑥ Изохорные процессы $V = V_0 = \text{const}$
(в закрытом сосуде)

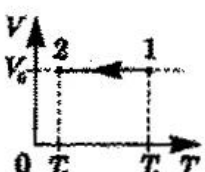
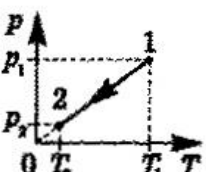
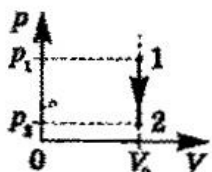
$$p \left(\frac{V}{M} \right) = \left(\frac{m}{M} R \right) T; \quad \frac{p}{T} = \left(\frac{m}{MV} R \right); \quad \frac{p}{T} = \text{const}$$

$$\text{или } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ или } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad [p \uparrow, T \uparrow]$$

Нагревание



Охлаждение

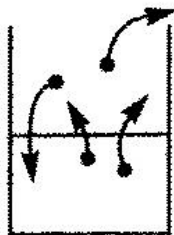




- ①
- при \forall температуре;
 - интенсивность — род жидкости;
 - интенсивность \uparrow :
 - при $T \uparrow$;
 - при $S_{\text{своб. поверх.}} \uparrow$;
 - при наличии «ветра»

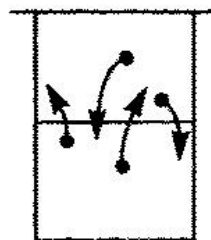
② МКТ — модель испарения — конденсации:

- $v_{\text{исп.}} \uparrow$, т. к. $\bar{W}_k \sim \bar{T}$;
- $S_{\text{своб.}} \uparrow$, $N_{\text{мол. в пов. слое}} \uparrow$, $v_{\text{исп.}} \uparrow$;
- $v_{\text{конд.}} \downarrow$ из-за «ветра»



③ **Закрытый сосуд:**

$v_{\text{исп.}} = v_{\text{конд.}}$
динамическое равновесие
жидкости и пара



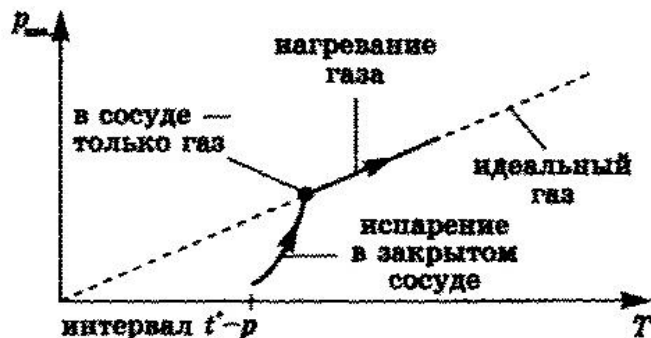
Пар — насыщенный

④ Давление насыщенного пара.

$p(T)$ — нелинейна,

т. к. $p \uparrow, T \uparrow$

$p \uparrow, m_{\text{пара}} \uparrow$



⑤ $p_{\text{пара}} \leq p_{\text{нас}}$ при $\forall T$, т. о.

$\phi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\%$ — характеризует...

при $p_{\text{п}} = 0 \rightarrow \phi = 0\%$ абсолютно сухой

$p_{\text{п}} = p_{\text{нас}} \rightarrow \phi = 100\%$ максимально «влажный»

при данной T

⑥ ϕ — относительная влажность воздуха

человек }
животные } ~ 70-80% H₂O
растения }

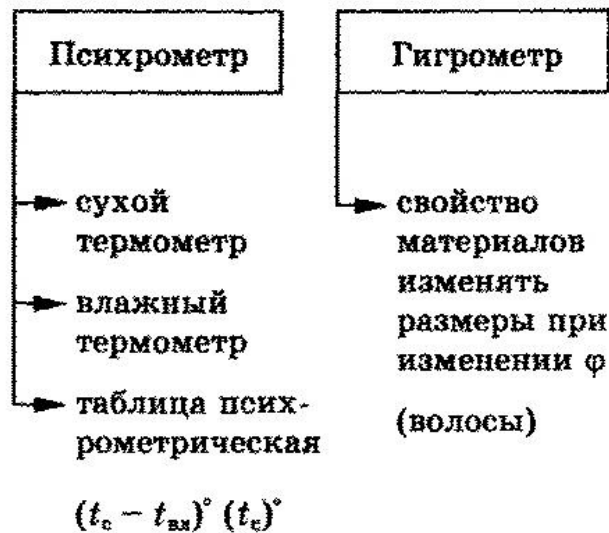
плесень } относительное
бактерии } содержание H₂O
ржавление } в воздухе

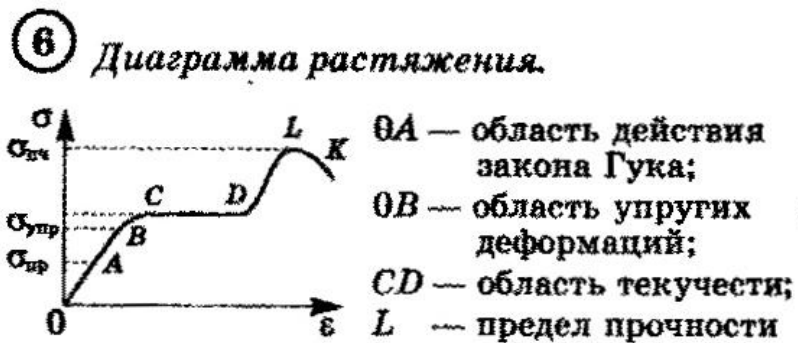
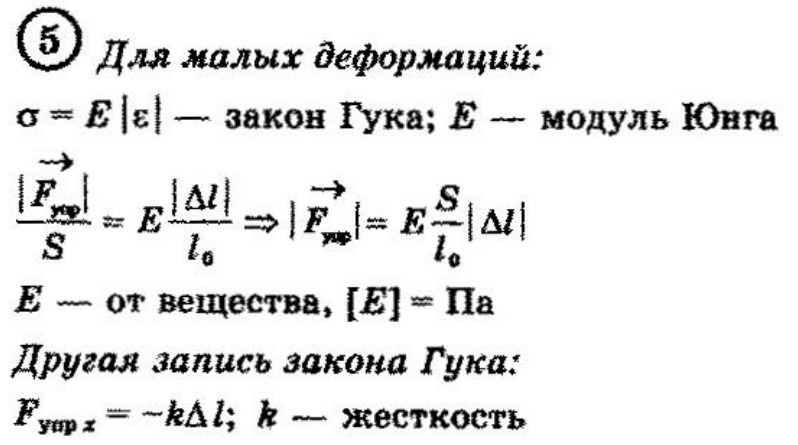
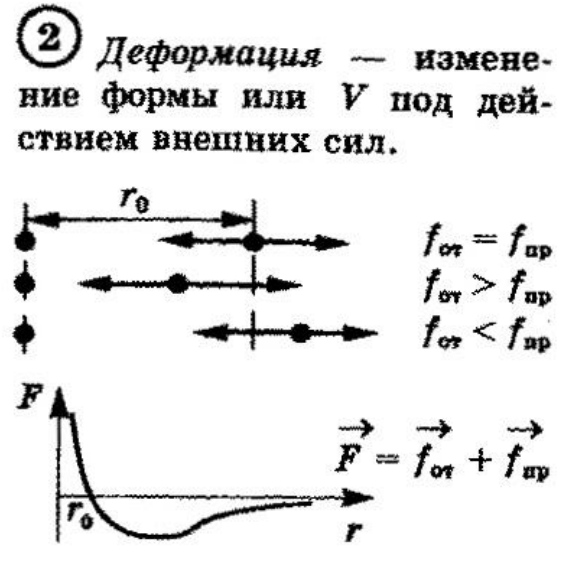
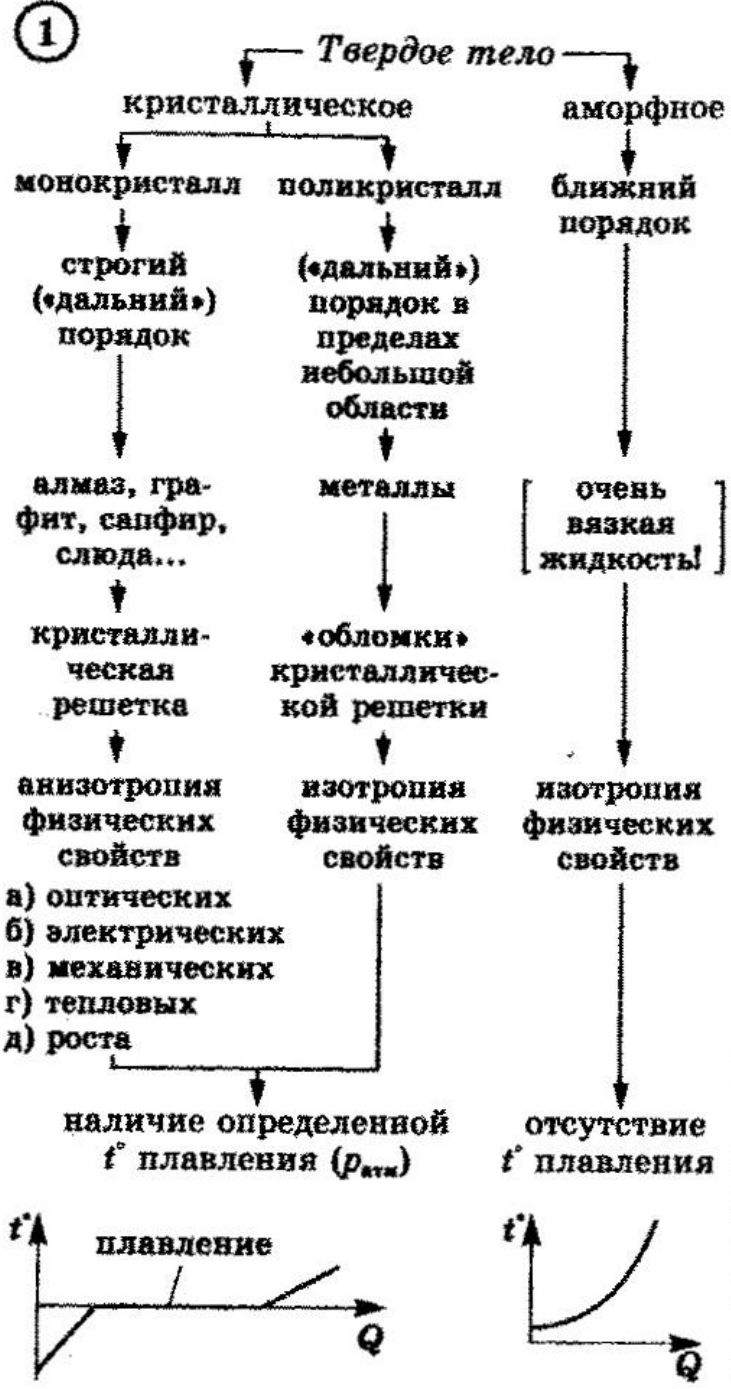
$\phi \rightarrow$ интенсивность испарения воды:

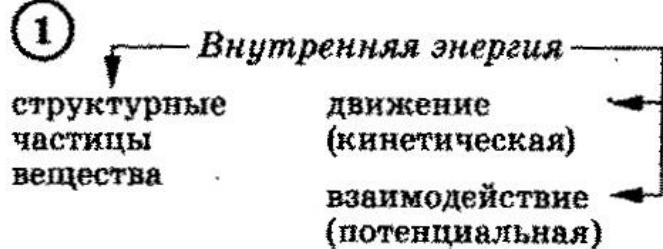
$\phi = 0\%$ — быстрое испарение

$\phi = 100\%$ — нет!

⑦







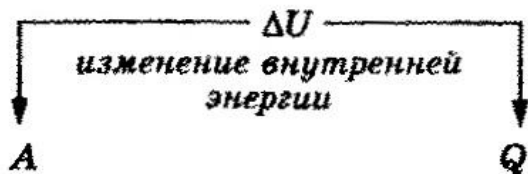
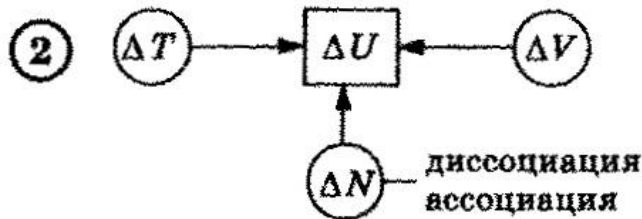
$$U = U(T, V), \text{ т. к. } U = \sum (W_k + W_{\text{взаим.}})$$

частиц тела

Идеальный газ: $W_{\text{взаим.}} = 0$

$$U = \sum W_k = N \overline{W_k} = \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$U = U(N, T)!$$



совершенные работы

телопередача:
 — теплопроводность;
 — конвекция;
 — излучение

③ **Закон сохранения энергии:**

а) Если система изолирована
 $W + U = \text{const}; \Delta(W + U) = 0$

$\Delta W = -\Delta U$ — превращение энергии

б) Если система не изолирована

$$\Delta(W + U) = A + Q$$

в) Если $\Delta W = 0$, то $\Delta U = A + Q$ — I закон термодинамики.

④ **Работа газа A' :**



$$A = F_s \cdot \cos \alpha, \alpha = (\vec{F}, \vec{s}), F = \text{const}$$

$$\Rightarrow p = \text{const}; F_0 = pS = \text{const}$$

$$A' = p \cdot S(h_2 - h_1) \cdot 1, \text{ т. к. } \cos \alpha = 1$$

$$A' = p(S h_2 - S h_1) = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$

$A' > 0$, если $\Delta V > 0$, газ расширяется

$A' < 0$, если $\Delta V < 0$, газ сжимается

$A' = 0$, если $\Delta V = 0$ (в изохорном процессе)

⑤ $A' = -A$, где A — работа внешних сил

[по III закону Ньютона $\vec{F}_0 = -\vec{F}_{\text{внешн.}}$]

$$\Delta U = -A' + Q \text{ или } Q = \Delta U + A'$$

⑥ **Изотермическое ($T = \text{const}$)**

расширение $\Delta V > 0; A' > 0$ $\Delta T = 0; \Delta U = 0$ $Q > 0$, требует притока тепла от нагревателя	$Q = A'$	сжатие $\Delta V < 0; A' < 0$ $\Delta T = 0; \Delta U = 0$ $Q < 0$, требует отдачи тепла холодильнику
--	----------	---

↓ **Изохорное ($V = \text{const}$)** ↓

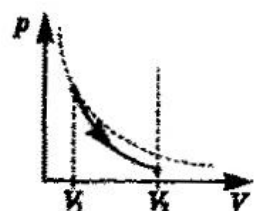
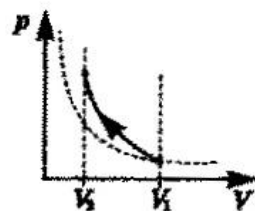
нагревание $\Delta T > 0; \Delta U > 0$ $\Delta V = 0; A' = 0$ $Q > 0$, требует притока тепла от нагревателя	$Q = \Delta U$	охлаждение $\Delta T < 0; \Delta U < 0$ $\Delta V = 0; A' = 0$ $Q < 0$, требует отдачи тепла холодильнику
--	----------------	---

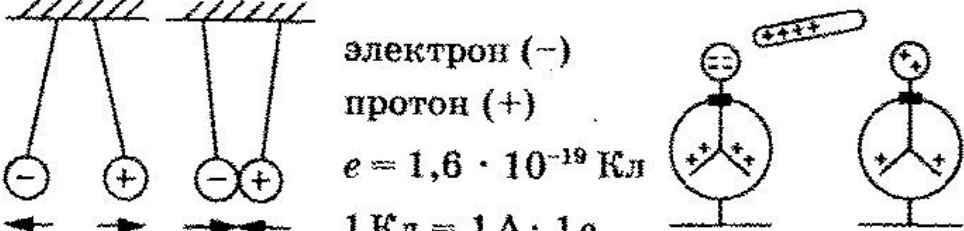
↓ **Изобарное ($p = \text{const}$)** ↓

нагревание $\Delta T > 0; \Delta U > 0$ $\Delta V > 0; A' > 0$	$Q = \Delta U + A'$	охлаждение $\Delta T < 0; \Delta U < 0$ $\Delta V < 0; A' < 0$
--	---------------------	--

↓ **Адиабатное ($Q = 0$)** ↓

сжатие $\Delta V < 0; A' < 0$ $\Delta U > 0; T \uparrow$	$0 = \Delta U + A'$ $\Delta U = -A'$	расширение $\Delta V > 0; A' > 0$ $\Delta U < 0; T \downarrow$
--	---	--



① 

электрон (-)
протон (+)
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
 $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$

② Закон сохранения электрического заряда.

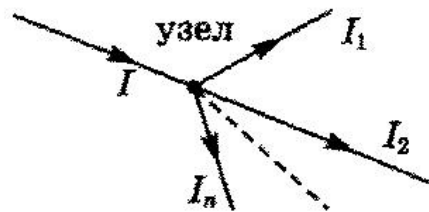
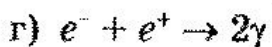
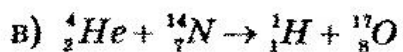
Замкнутая система q_1, q_2, \dots, q_n

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}$$

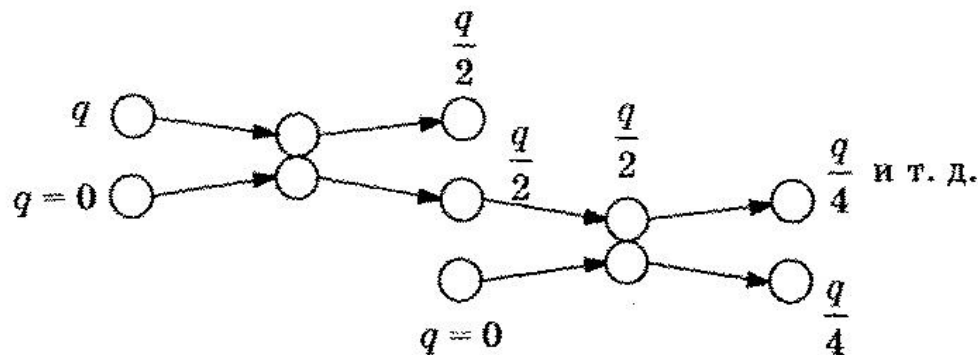
а) Электризация

б) Законы постоянного тока

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$



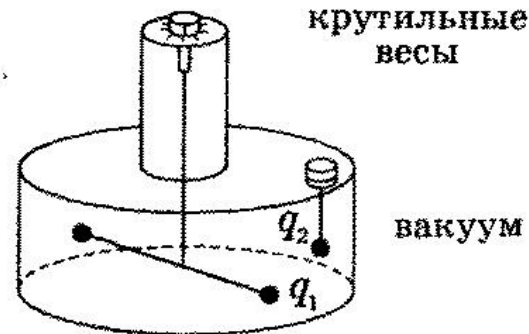
③ Деление заряда.



④ Закон Кулона.

точечный заряд

$$q \rightarrow \frac{q}{2} \quad \frac{q}{2}$$



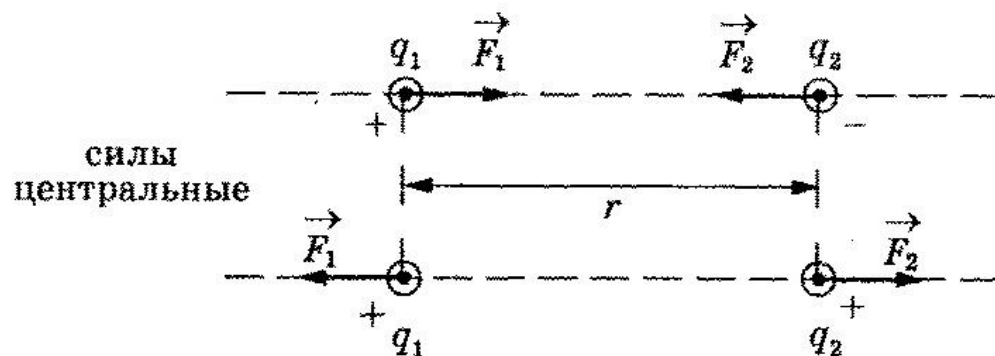
$$F \sim |q_1| |q_2|; F \sim \frac{1}{r^2}; \text{зависит от среды}$$

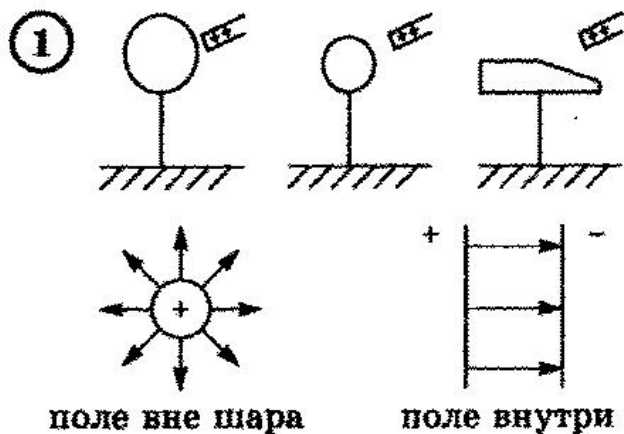
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ — вакуум}$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \text{ — среда}$$

если $q_1 = q_2 = 1 \text{ Кл}$, $r = 1 \text{ м}$, то $F = 9 \cdot 10^9 \text{ Н}$

$$\Rightarrow k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$





② Основной опытный факт:

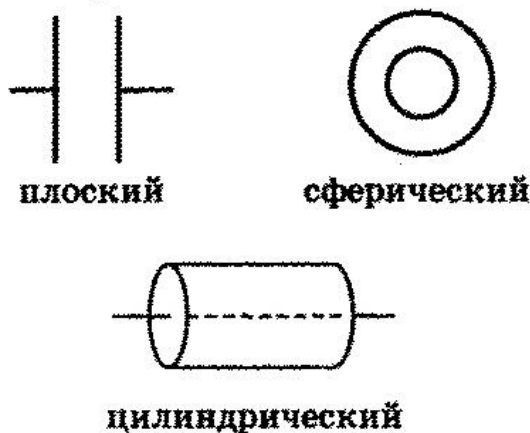
заряд	разность потенциалов
q_1	U_1
q_2	U_2
$q_1 \neq q_2$	$U_1 \neq U_2$
$\frac{q_1}{U_1} = \frac{q_2}{U_2} = \text{const}$ (для данного тела)	

③ $C = \frac{q}{U}$ — заряд обкладки
 — напряжение между обкладками
 емкость конденсатора

C не зависит от q и U !

$$[C] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}} = 1 \text{ Ф (фарад)}$$

④ Формы обкладок — вид конденсатора

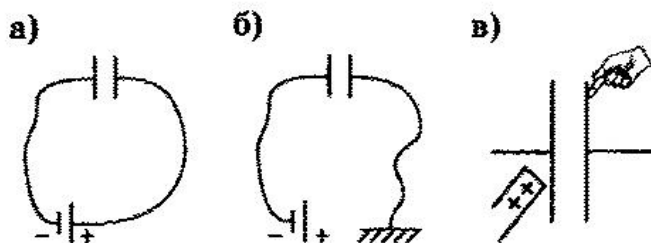


$C = C(\text{форма, размеры, } \epsilon \text{ диэлектрика})$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \text{ (плоский конденсатор),}$$

где S — площадь обкладки;
 d — расстояние между обкладками;
 ϵ — диэлектрическая проницаемость среды.

⑤ Способы зарядки конденсатора:



⑥ Конденсаторы переменной емкости:

$C \uparrow$, если при $d = \text{const}$ $S \uparrow$
 $C \uparrow$, если при $S = \text{const}$ $d \downarrow$

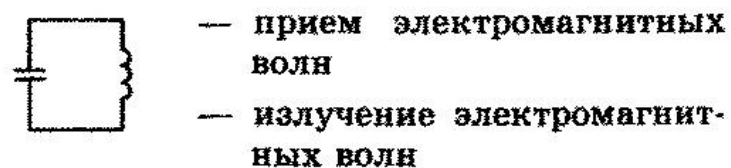
⑦ Энергия заряженного конденсатора:

$$W_{\text{эл.}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

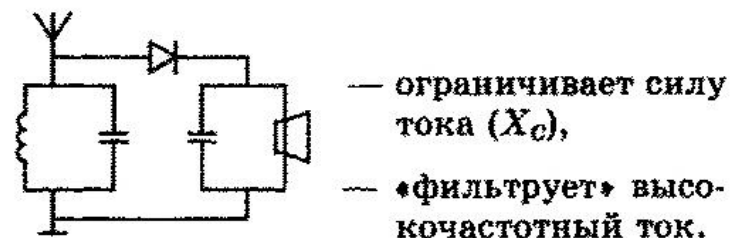
⑧ Применение:

а) конденсатор — накопитель энергии
 $W \uparrow$, при $C = \text{const}$ при $q \uparrow$ или $U \uparrow$;

б) колебательный контур $W_{\text{эл.}} \rightleftharpoons W_{\text{магн.}}$:

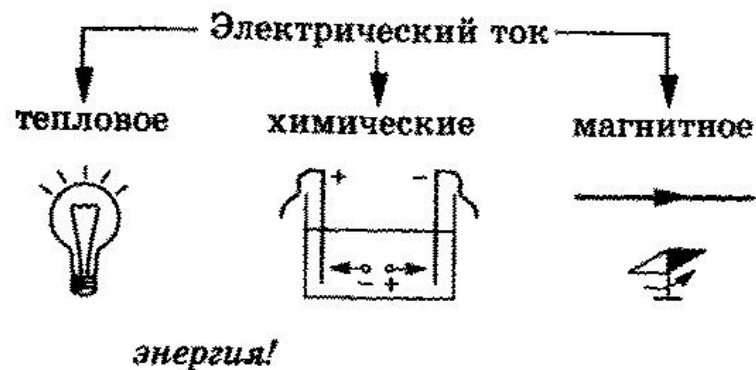


в) элемент электрической цепи переменного тока:



① Электрический ток — ...

Опытный факт:



②



а) электрон («тело»)

б) сила ($\vec{F}_s = q\vec{E}$)

в) перемещение

$$\Rightarrow A = F \cdot s \cdot \cos \alpha; \alpha = (\vec{F}, \vec{s}), \vec{F} = \text{const}$$

Пусть поле однородно:

$$\vec{F}_s = q\vec{E} = \text{const}$$

$$A = (-q) E \cdot s (-1) = qEs = qU$$

Или по определению напряжения:

$$A = qU$$

③ Мощность тока.

$$P = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU$$

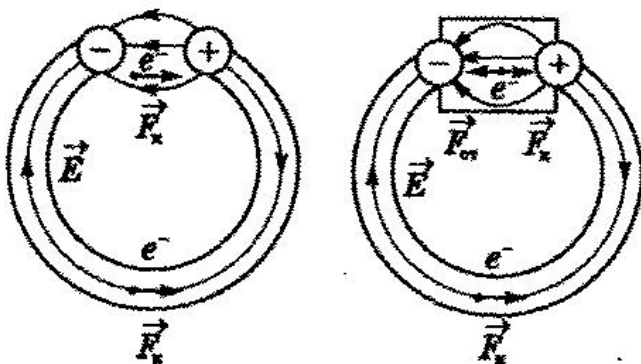
напряжение на концах участка

сила тока в участке цепи

④ Электрическая цепь — замкнутая

\Rightarrow статическое поле не может поддерживать постоянный ток, т. к. $A_{\text{ст}} = 0$

\Rightarrow «сторонние» силы



$A_{\text{ст}}$ — работа сторонних сил

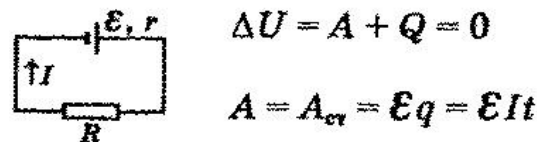
q — заряд

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}; [\mathcal{E}] = \text{В}$$

⑤ Источники тока — \mathcal{E}, r :



⑥ Установившийся режим:



$Q = -(I^2Rt + I^2rt)$ — выделяется

$$\mathcal{E}It = I^2Rt + I^2rt$$

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

закон Ома для полной цепи

⑦ $R \gg r; I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

$$R \rightarrow 0; I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r} \uparrow \uparrow$$

⑧ $U = \mathcal{E} - Ir$

Измерение \mathcal{E} : $I \rightarrow 0; U \approx \mathcal{E}$

①

Магнитное взаимодействие

опыт Эрстеда

опыт Ампера



Магнитное поле:

- 1) материально
- 2) создается токами (движущийся q)
- 3) действует на ток (движущийся q)

4) характеристики поля:

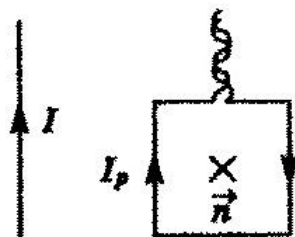
\vec{B} — ...

Φ — ...

5) магнитные свойства вещества:

μ — ...

② Индукция \vec{B} :



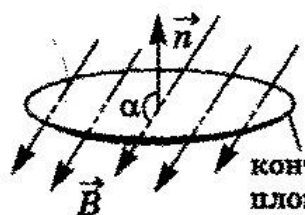
$$M_{\max} \sim I_p$$

$$M_{\max} \sim S$$

M_{\max} не зависит от формы рамки

$$\Rightarrow B = \frac{M_{\max}}{I_p S}; [B] = 1 \text{ Тл}; \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{n}$$

Магнитный поток Φ :



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{n})$$

$$[\Phi] = 1 \text{ Вб}$$

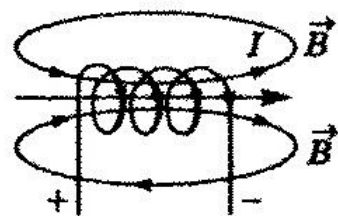
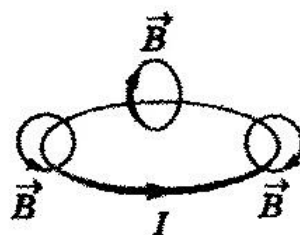
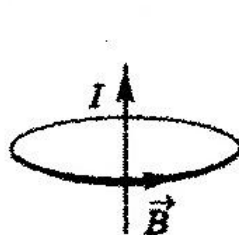
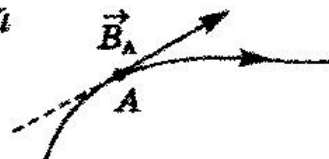
контур площадью S

Линии магнитной индукции:

— замкнуты;

— охватывают проводник с током;

— не пересекаются.

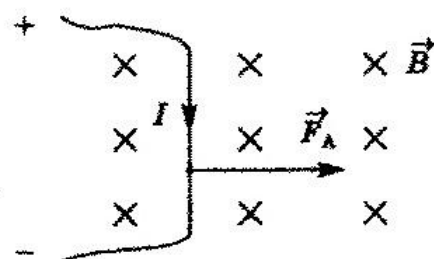


③ Сила Ампера:

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{I})$$

\vec{F} — правило левой руки

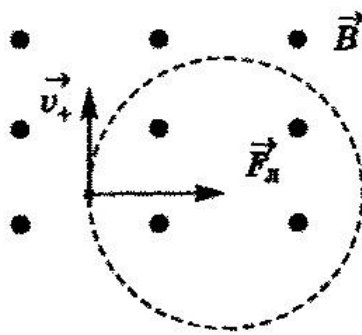


④ Сила Лоренца:

$$F_L = qvB \sin \alpha$$

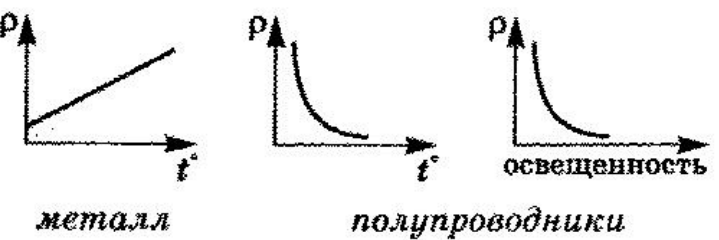
$$\alpha = (\vec{B}, \vec{v}_+)$$

$\vec{F}_L \perp \vec{v}$, $\vec{a}_{\text{цс}} \perp \vec{v}$, движение по окружности

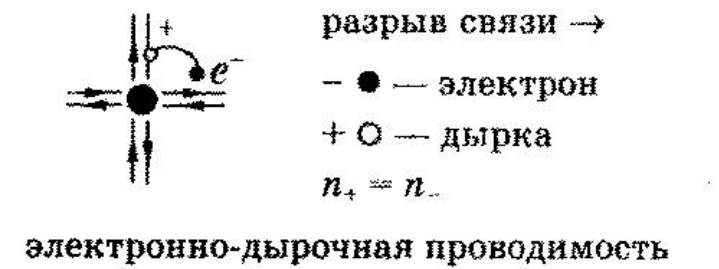
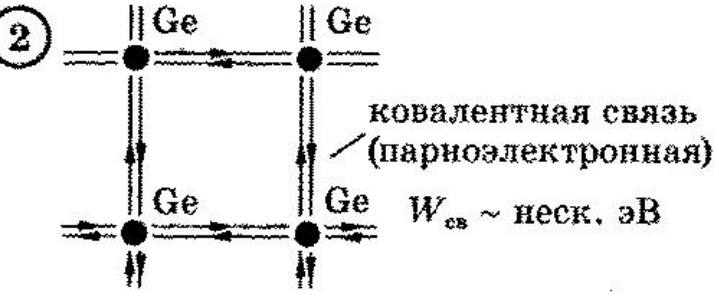


1 Полупроводники.

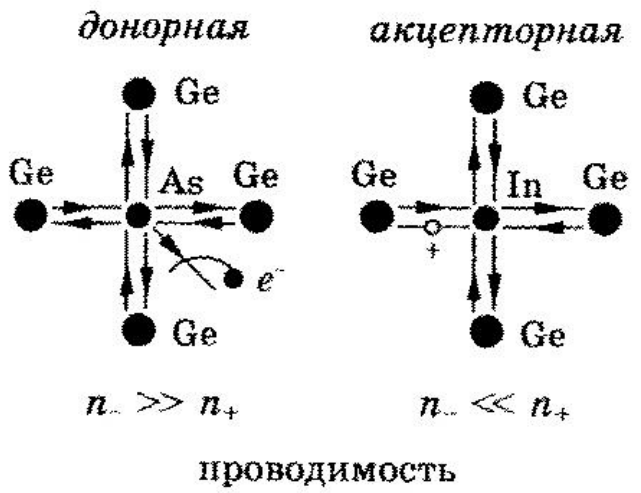
$\rho_{Me} \sim 10^{-8} \div 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
 $\rho_{днна} \sim 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$



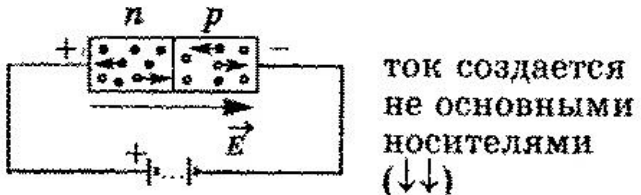
$\rho_{Me} \ll \rho_{п.п} < \rho_{днна}$
 $\rho_{п.п}$ сильно зависит от внешних воздействий



3 Примеси



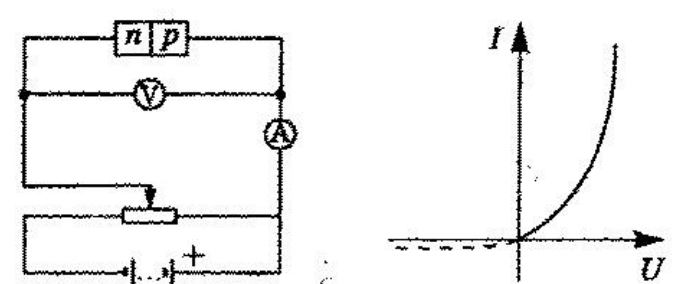
n -типа электронная p -типа дырочная



односторонняя проводимость $p-n$ -перехода



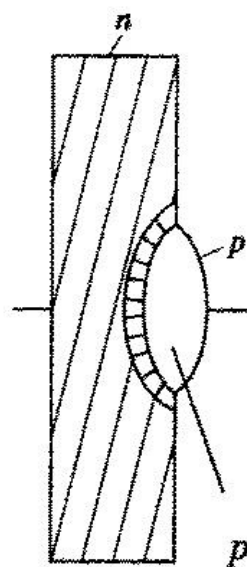
5 $n-p$ -переход \Rightarrow $p-n$ диод \rightarrow



вольт-амперная характеристика $p-n$ диода

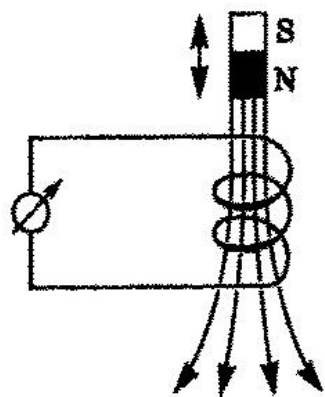
6 Достоинства:

- 1) высокий КПД;
- 2) малые размеры и масса;
- 3) длительный срок службы;
- 4) высокая механическая прочность;
- 5) надежность.

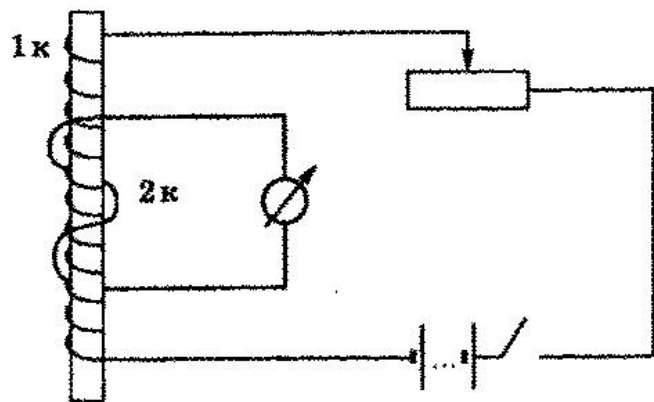


Недостатки:
 1) зависимость параметров от t° .

① Фарадей — 1831 г.



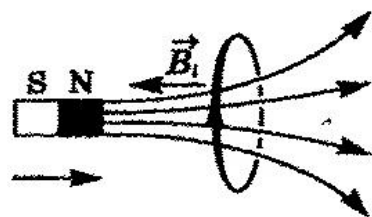
1. $M \leftrightarrow K$;
2. 1 к ↔ 2 к;
3. ;
4. ΔI в 1 к;
5. сердечник \updownarrow .



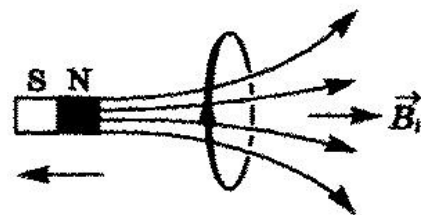
I_i возникает при изменении Φ через S контура

Электромагнитная индукция — явление...

② Правило Ленца (направление I_i).



$$\Delta\Phi > 0$$



$$\Delta\Phi < 0$$

по закону
сохранения энергии

③ Закон Фарадея.

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

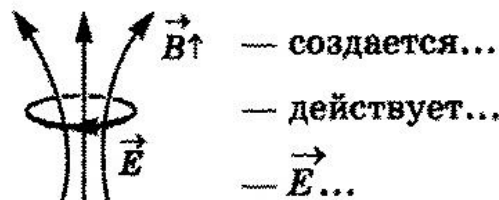
$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad \alpha = \widehat{(\vec{B}, \vec{n})};$$

$\Delta\Phi \neq 0$, если а) $B \neq \text{const}$;

б) $S \neq \text{const}$;

в) $\alpha \neq \text{const}$.

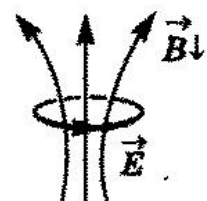
④ Вихревое электрическое поле:



— создается...

— действует...

— \vec{E} ...



— работа по замкнутому контуру не равна 0; не потенциальное

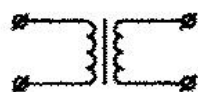
— силовые линии замкнуты

⑤ Применение Э.М.И.

1. Получение переменного тока



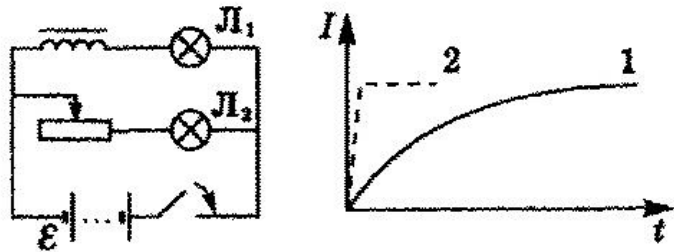
2. Трансформатор



3. Передача электрической энергии

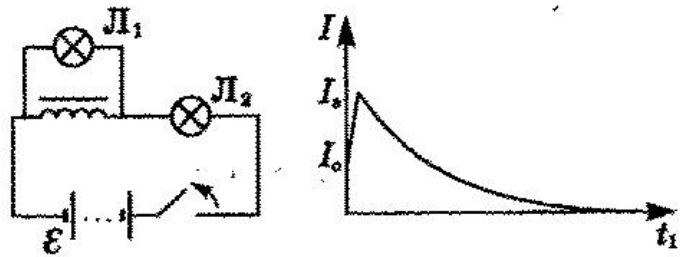
4. Индукционные печи

① Замыкание цепи.



Л₁ загорится позже Л₂,
т. к. $\Phi \uparrow \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{и}} \downarrow \uparrow \mathcal{E}$

② Размыкание цепи.



Л₁ вспыхивает, т. к. $\Phi \downarrow \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{и}} \uparrow \uparrow \mathcal{E}$

③ Индуктивность.

$$\Phi \sim B \sim I \Rightarrow \Phi = LI$$

- L — индуктивность
- L — const
- L — свойство проводника

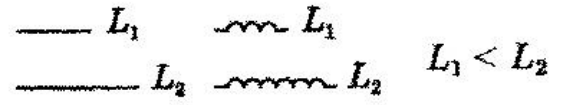
$$\mathcal{E}_{\text{и}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L = \left| \frac{\mathcal{E}_{\text{и}} \cdot \Delta t}{\Delta I} \right|$$

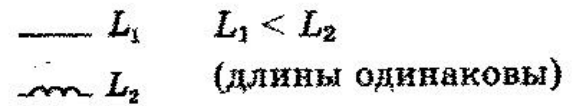
если $\Delta I = 1 \text{ A}$ за $\Delta t = 1 \text{ c}$ и $\mathcal{E}_{\text{и}} = 1 \text{ B}$,
то $L = 1 \text{ Гн}$

L зависит:

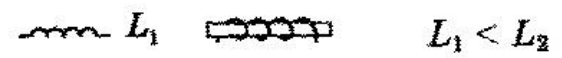
1) от размера проводника



2) от формы проводника



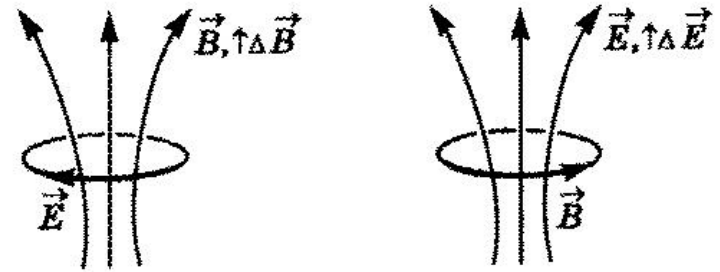
3) от магнитных свойств среды



④ Энергия магнитного поля.

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

⑤ Электромагнитное поле.



явление
Э.М.И.

гипотеза
Максвелла

1. Создается движущимся ускоренно зарядом, переменным током.

2. Действует на заряд

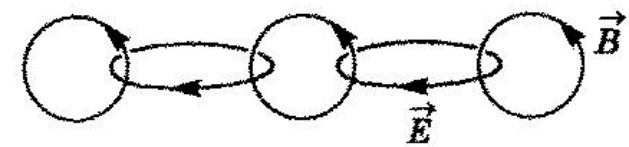
$$\vec{F}_{\text{за}} = q\vec{E}; \quad \vec{F}_{\text{лор}} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

3. Вихревое, непотенциальное поле.

4. Обладает энергией $W = W_e + W_m$;

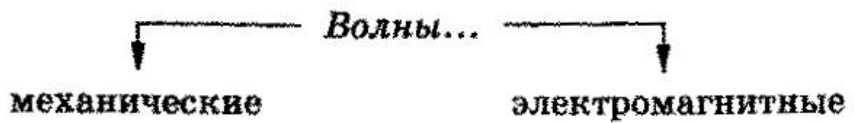
$$W_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}; \quad W_m = \frac{B^2}{2\mu_0}.$$

5. Распространяется в виде волны.



6. Скорость в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

1



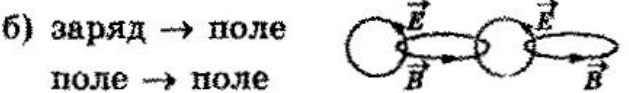
2

Дж. Максвелл

теоретическое доказательство ∃
электромагнитных волн

а) электромагнитная индукция $\frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta \vec{E}}{\Delta t}$

гипотеза $\frac{\Delta \vec{E}}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta \vec{B}}{\Delta t}$



Условие: заряд, движущийся с ускорением

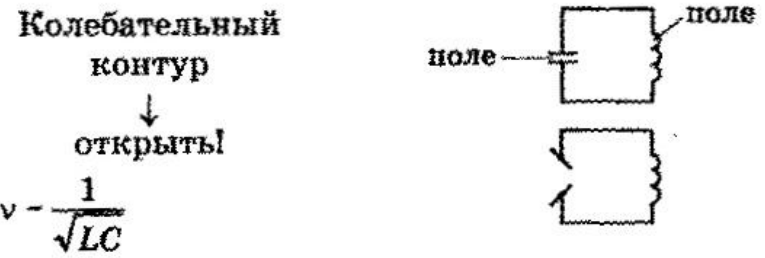
- ЭМ поле:
- форма материи;
 - распространяется в виде волн;
 - переносит энергию $W_{эм} \sim v^4$;
 - действует на заряды.



c — скорость света ≡ скорость электромагнитных волн

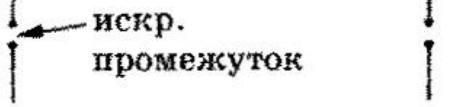
Г. Герц

опытное доказательство ∃
электромагнитных волн и их свойств



← открытый колебательный контур!

Вибратор Герца



излучатель

приемник

Резонанс!

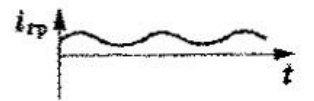
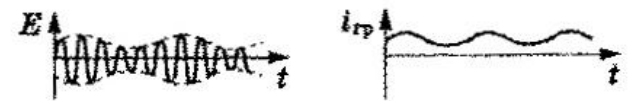
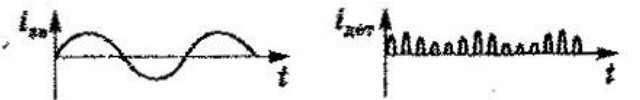
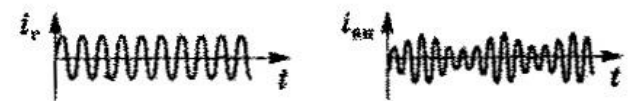
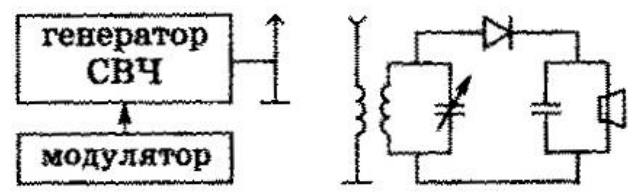
- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| а) существуют | д) огибают преграды (дифракция) |
| б) измерения λ , c | е) поперечные (поляризация) |
| в) отражаются от Me | |
| г) преломляются | |

А. С. Попов

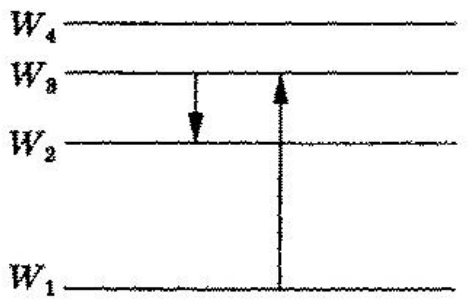
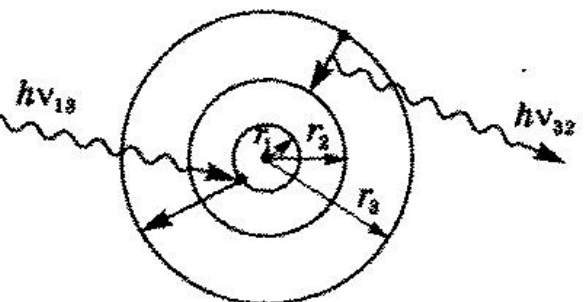
практическое использование
электромагнитных волн
для передачи информации

Принципы:

- а) использование $v \uparrow$ электромагнитных волн ($c!$)
- б) «загрузить» информацию (модуляция)
- в) извлечь информацию (демодуляция)



1 Излучение и поглощение света.

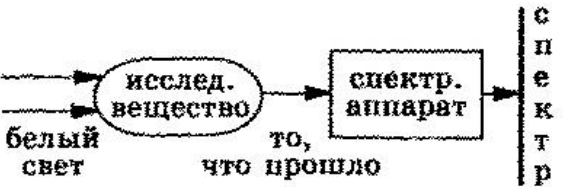
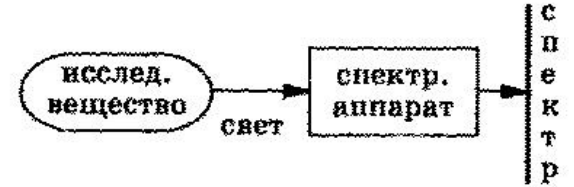
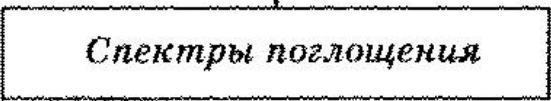
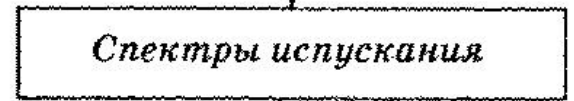


$$h\nu_{mn} = W_m - W_n$$

$$\nu_{mn} = \frac{W_m - W_n}{h}$$

2

Виды спектров



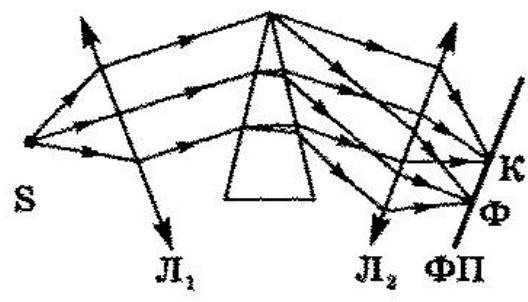
Сплошной
(непрерывный)
конденсированные среды
 t^\uparrow
газы, $p^\uparrow, \rho^\uparrow, t^\uparrow$,
(Солнце, эл. дуга,...)

Линейчатый
атомы (газ)
 $t^\uparrow, p^\downarrow, \rho^\downarrow$

Полосатый
молекулы (газ)
 $t^\uparrow, \rho^\downarrow, p^\downarrow$

Линейчатый
атомы (газ)
холодный

3 Спектрограф.



призма
(дифракционная решетка)

4 Спектральный анализ.

1. Суперчувствительный метод

$$m \sim 10^{-10} \text{ г}$$

2. Объект — свет!

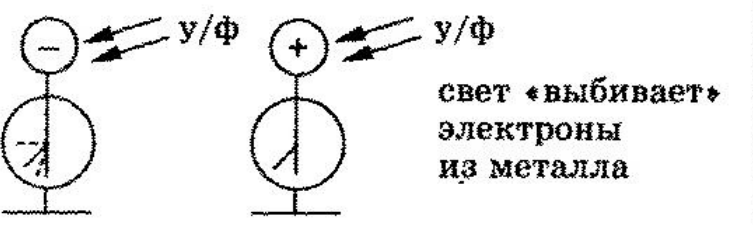
- астрофизика
- физхимия
- металлургия
- криминалистика

① Свет — волна (Гюйгенс) / поток частиц (Ньютон)

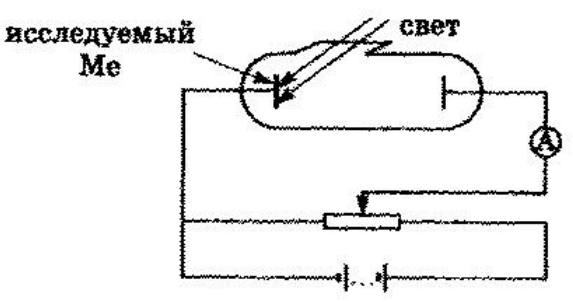
② Максвелл: свет — электромагнитная волна.

Герц: условия приема электромагнитных волн ↑ при облучении приемного вибратора ультрафиолетом.

③ А. Г. Столетов — явление фотоэффекта.

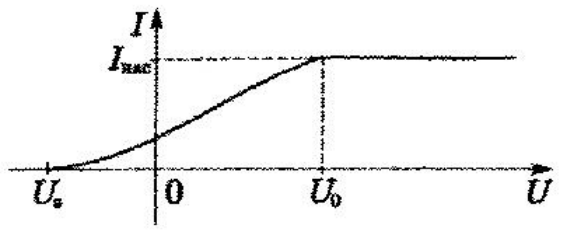


Опыты: электроны → ток → измерения
 «выбить» светом / создать поле / закономерности фотоэффекта



1. Для данного Me

а) при неизменном световом потоке (Φ_1) и составе света $I(U)$

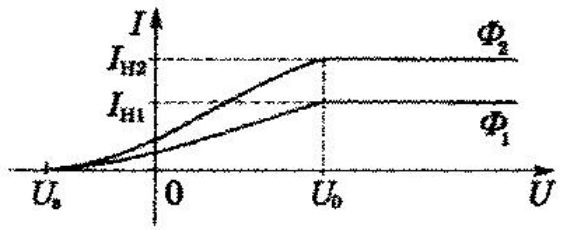


$U = 0; I \neq 0 \rightarrow$ выбитые e^- имеют $\frac{mv^2}{2} \neq 0$

$U = U_s; I = 0 \rightarrow eU_s = \frac{mv^2}{2}$

$U > U_0; I = I_{max} = const \rightarrow$ все выбитые e^- достигают анода

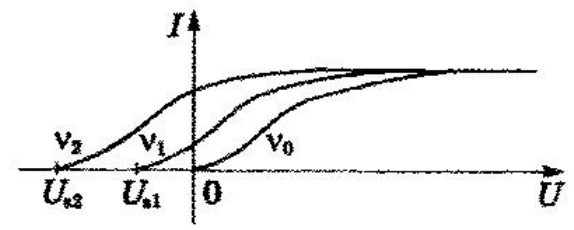
б) состав света = const; $\Phi_2 > \Phi_1$



$I_{H2} > I_{H1}; U_s = const$

I закон ФЭ: количество e^- , выбиваемых светом...

в) состав света $v_0, v_1, v_2, \Phi = const$



$v_2 > v_1 > v_0$
 v_0 — красная граница ФЭ
 при $v < v_0$ фотоэффект не происходит

2. У разных Me v_0 — разные

II закон: максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов...

III закон: фотоэффект — практически безынерционен

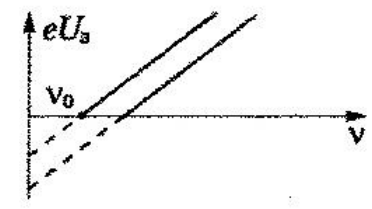
④ Классическая волновая теория не может объяснить!

⑤ Эйнштейн «Свет поглощается порциями (квантами)»

$h\nu = A_{вых} + \frac{mv^2}{2}$ [З.С.Э. для фотоэффекта]

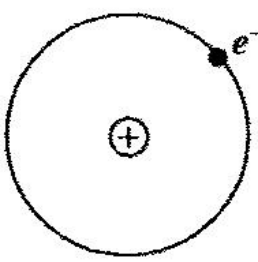
$A_{вых} = h\nu_0$

$h(\nu - \nu_0) = eU_s$



Опытное определение h !

① Атом Резерфорда — Бора:



ядро + электроны
 $Z_n > 0$
 Z_n = порядковый номер в периодической системе
 $m_n \approx m_{\text{атома}}$
 $r_n \sim 10^{-13}$ см

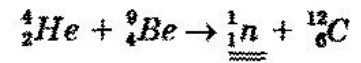
В природе у большинства элементов ядра устойчивы!

②

Состав ядра

протоны

нейтроны



$$Z_p = +e$$

$$Z_n = 0$$

$$m_p \approx 1 \text{ а.е.м.}$$

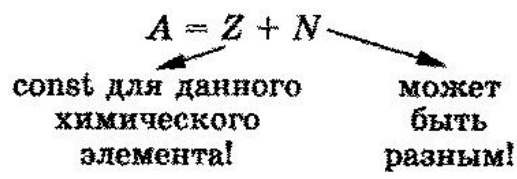
$$m_n \approx 1 \text{ а.е.м.}$$

Ядерные силы (ядерное взаимодействие):

- а) \gg кулоновских на тех же расстояниях;
- б) проявляются на $r \lesssim 10^{-13}$ см;
- в) зарядовая независимость $\rightarrow p$ и n — нуклоны $(p, p); (p, n); (n, n)$.

③ Изотопы:

A — массовое число ядра...
 Z — заряд ядра = ...
 N — число нейтронов



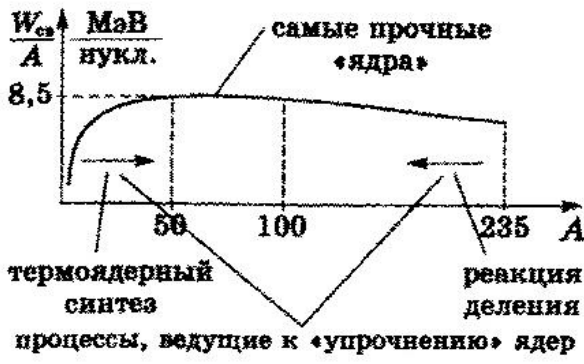
④ Энергия связи:

$$m_n \neq Zm_p + Nm_n$$

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_n > 0$$

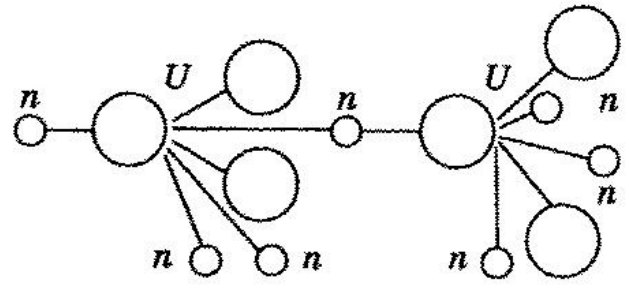
$$W_{\text{св}} = \Delta mc^2$$

при $A \uparrow, W_{\text{св}} \uparrow$, но $\frac{W_{\text{св}}}{A}$ — удельная энергия связи



⑤ Реакция деления...

Цепные ядерные реакции...



$$\sim 200 \frac{\text{МэВ}}{1 \text{ деление}}$$

самоподдерживающаяся!

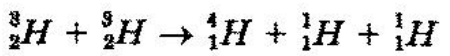
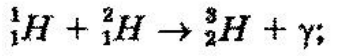
$$k = \frac{N}{N_0} \text{ — коэффициент размножения нейтронов}$$

$$k \sim 1$$

⑥ Реакции термоядерного синтеза:

Термо...

$$\sim 26 \frac{\text{МэВ}}{1 \text{ слияние}}$$



1 Радиоактивность (Беккерель, Кюри, Резерфорд).

соли урана ($^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$)



невидимое излучение

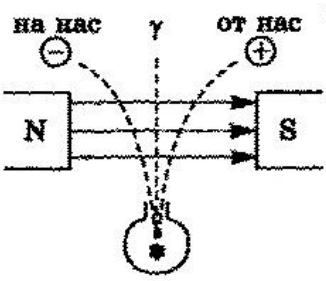
- а) постоянство во времени
- б) независимость от внешних факторов (t° , давление, химический состав вещества)
- в) ↑ проникающая способность
- г) выделение ↑↑ энергии

2 Не только уран!

Радий
 Ra
 Rn
 Радон
 R
 Кюри
 Ролоний

3

- ⊕ — α-частицы
- ⊖ — β-частицы
- γ-лучи



4 α-частицы — отклоняются в электрических и магнитных полях

$Z_\alpha = +2e$; $m_\alpha \approx m_{He}$
 спектрометрия → ядра гелия!
 задерживаются бумагой

5 β-частицы — отклоняются в электрических и магнитных полях

$Z_\beta = -e$; $m_\beta = m_e$
 задерживаются Al пластиной ~ несколько мм.

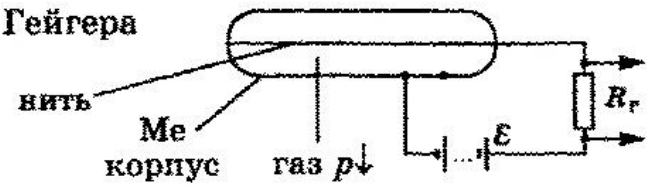
6 γ-лучи — не отклоняются в электрических и магнитных полях

↑↑ проникающая способность
 → электромагнитное излучение ↑↑ частот

7 Методы регистрации.

Событие микромира → событие в макросистеме (счетчике)
 Счетчик → реагирует на слабое воздействие
 Счетчик — неустойчивое равновесие
 воздействие
 ↓
 устойчивое равновесие

а) Гейгера



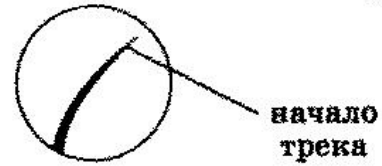
- 1) $U_{нк} \approx \mathcal{E}$
- 2) частица — ионизация — лавина — самостоятельный разряд $U_{нк} = \mathcal{E} - IR_r \rightarrow 0$, возврат в рабочее состояние

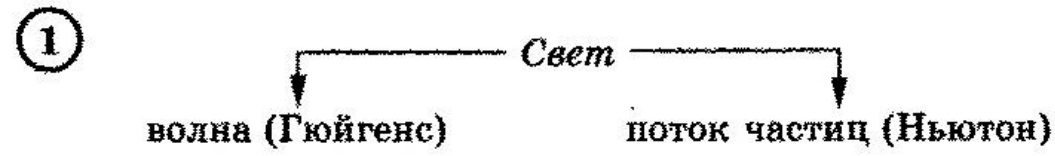
б) Камера Вильсона (перенасыщенный пар)
 Пузырьковая камера (перегретая жидкость)
 Метод толстослойных эмульсий

цепочка ионов = центры конденсации или кипения

капли жидкости или пузырьки пара

трек!
 ↓ толщина трека
 ↓ в магнитном (эл.) поле искривляется

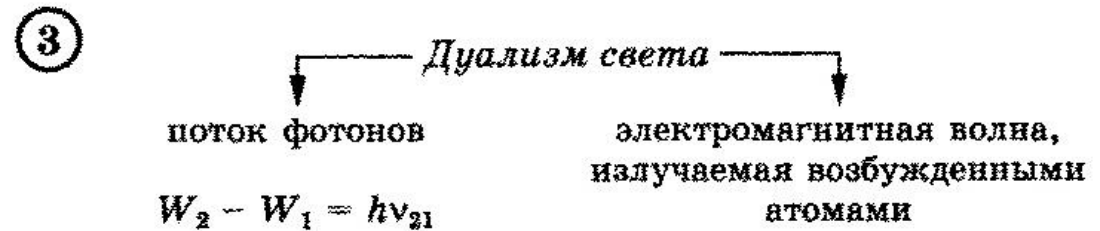




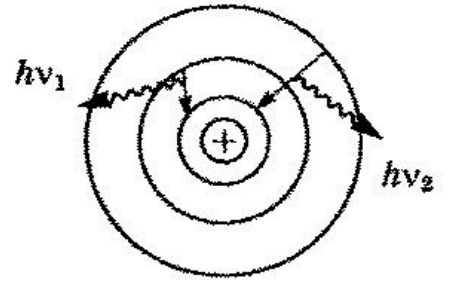
② **Максвелл:** свет — электромагнитная волна.

c — скорость света \equiv скорость распространения электромагнитных волн

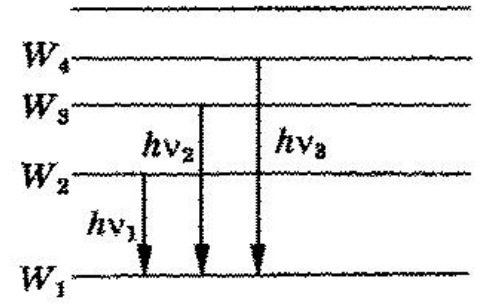
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$



$$W_2 - W_1 = h\nu_{21}$$



Электромагнитная природа света

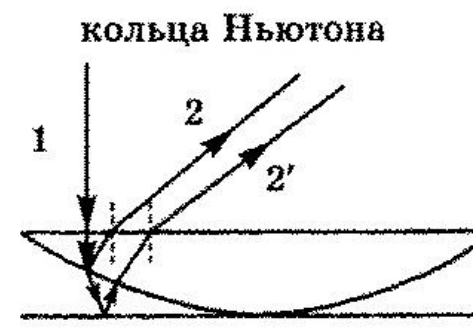


④ Волна — ν , λ , c . $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Видимый свет: $\lambda = (7,6 \cdot 10^{-7} \div 3,8 \cdot 10^{-7}) \text{ м}$.

Спектр: К О Ж З Г С Ф

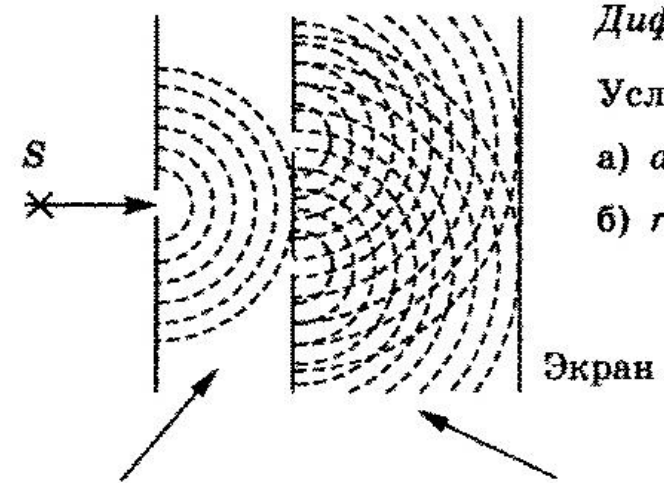
⑤ **Интерференция света (Юнг).**



2 и 2' — когерентны и имеют разность хода

$$\Delta d = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad \Delta d = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

⑥ **Дифракция света (Юнг, Френель).**



Дифракция — ...

Условия наблюдения:

а) $d \sim \lambda$

б) $r \gg d$

свет в области геометрической тени

две когерентные волны (на экране — интерференционная картина)