



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников "Ломоносов"
наименование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

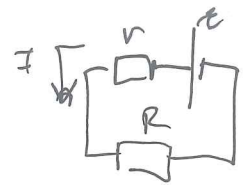
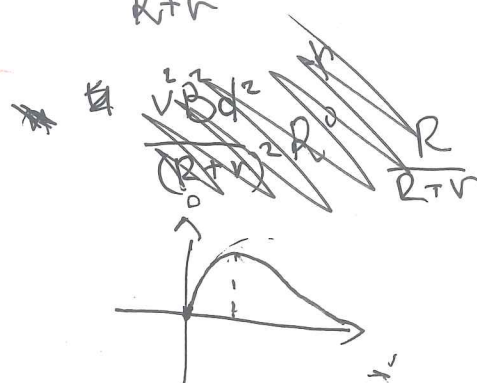
Щелубеиковой Варвары Алексеевны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«13» февраля 2026 года

Подпись участника
[подпись]

ЧЕРКОВИК

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



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

$$U = \mathcal{E}R / (R+r)$$

$$\frac{\mathcal{E}^2 R r}{(R+r)^2}$$

$$(R+r)^2 \frac{d}{dR} \left(\frac{\mathcal{E}^2 R r}{(R+r)^2} \right) = 0$$

$$r^2 - R^2 = 0 \Rightarrow r = R$$

$$\frac{\mathcal{E}^2}{4R}$$

Можно
задать

$$45 \cdot 17$$

$$\begin{array}{r} 45 \\ \cdot 17 \\ \hline 315 \\ 45 \\ \hline 765 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 125 \\ \cdot 5 \\ \hline 625 \end{array}$$

$$\frac{2,5}{4} = \frac{5}{8} = 0,625$$

$$\frac{45 \cdot 17}{4} + \frac{15}{2}$$

$$\frac{7,65}{4} + \frac{15}{2}$$

$$= \frac{7,65 + 30}{4} = \frac{37,65}{4}$$

$$\frac{36}{4} = \frac{30}{1,06}$$

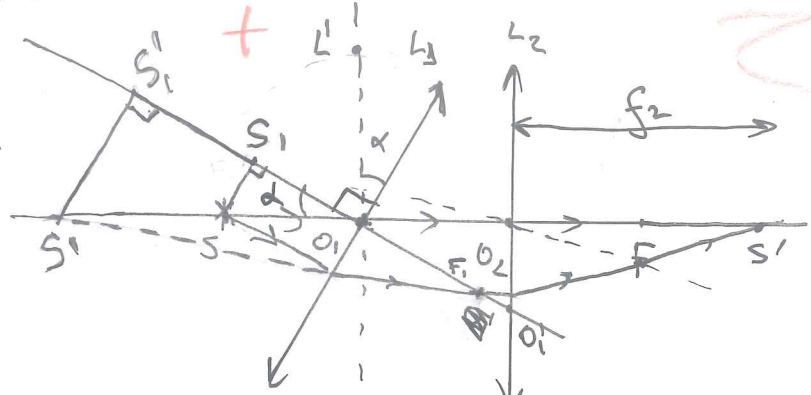
$$104 = 26$$

$$\Delta W = \frac{q^2}{2}$$

90-79-49-72
(1.10)

Чисто Вук

У.10.1
 $F = 2,5 \text{ см}$
 $\alpha = 30^\circ$



Муз $O_1 O_2$ гатје после поворота лини пойдгит
Без припоминне \Rightarrow изображение S' будет на $O_1 O_2$.

$O_1 O_1' - \text{FOO}$ перва лини L_1

$SS_1 \perp O_1 O_1'$

$S_1 O_1 = d_1$ - где перва лини

$SO_1 = F$, т.к. $\angle S_1 O_1 S' = \angle L_1 O_1 L_1 = \alpha$

$$S_1 O_1 = F \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} F$$

по формуле тонкой лини где L_1 :

$$1) \frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{2}{\sqrt{3}F} + \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{3}} \right) = \frac{1}{F} \left(\frac{\sqrt{3}-2}{\sqrt{3}} \right)$$

$$f_1 = \frac{\sqrt{3}F}{\sqrt{3}-2} = \frac{\sqrt{3}(\sqrt{3}+2)F}{3-4} = -F(3+2\sqrt{3})$$
 - мнимое изображение

Для 2й лини свет будет исходить из действительного источника на расстоянии d_2 от

S' - изображение S в L_1 , $|f_1| = S_1' O_1$, тогда

$$S_1' O_1 = S_1' O_1 \cdot \cos \alpha = \frac{F(3+2\sqrt{3})}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 2F(\sqrt{3}+2) = F(2\sqrt{3}+4)$$

$$d_2 = S_1' O_2 = F(2\sqrt{3}+4) + F = F(2\sqrt{3}+5)$$

по ф-ле тонкой лини где L_2 :

$$2) \frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F(2\sqrt{3}+5)} + \frac{1}{f_2}$$

Нарисовано
 10 | 19 | 20+5 | 15+5 | 12 | 86
 3 | 4 | 5 |
 2 | 3 | 4 | 5 | 6
 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

Чистовик

$$\frac{1}{S_2} = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{3}+5} \right) = \frac{1}{F} \left(\frac{2\sqrt{3}+5-1}{2\sqrt{3}+5} \right) = \frac{1}{F} \frac{(2\sqrt{3}+4)}{(2\sqrt{3}+5)}$$

$$f_2 = F \frac{(2\sqrt{3}+5)}{(2\sqrt{3}+4)} \quad \left\{ \right. \quad f_2 = F(2 - \cos \alpha)$$

$$x = 2F + f_2 = F \left(\frac{4\sqrt{3}+8 + 2\sqrt{3}+5}{2\sqrt{3}+4} \right) = F \left(\frac{8\sqrt{3}+13}{2\sqrt{3}+4} \right) =$$

$$= F \left(4 - \frac{3}{2\sqrt{3}+4} \right) = F \left(4 - \frac{3(4-2\sqrt{3})}{16-12} \right) = F \left(4 - \frac{12-6\sqrt{3}}{4} \right) =$$

$$= F \left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{15}{2} \left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{2} \right) \text{ см, нуль } \sqrt{3} \approx 1,7, \text{ тогда}$$

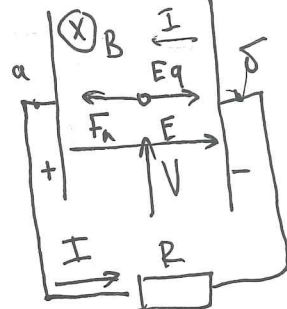
$$x \approx \left(\frac{15}{2} + \frac{76,5}{4} \right) = \frac{106,5}{2} = 26,625 \text{ см}$$

$$x = \left(\frac{15}{2} + \frac{45\sqrt{3}}{4} \right) \text{ см} \approx 26,6 \text{ см} = 23,5$$

Ответ: $x = \left(\frac{15}{2} + \frac{45\sqrt{3}}{4} \right) \text{ см} \approx 26,6 \text{ см}$

3.3.1

- $R = 0,4 \text{ Ом}$
- $v = 10 \text{ см/с}$
- $B = 1 \text{ Тл}$
- $P_M = 1 \text{ мВт}$



На движущийся элемент заряда dq действует сила Лоренца, направленная влево.

Положительные ионы движутся влево, так между а и б возникает электрическое поле E .

Это поле E такое, что на ионы.

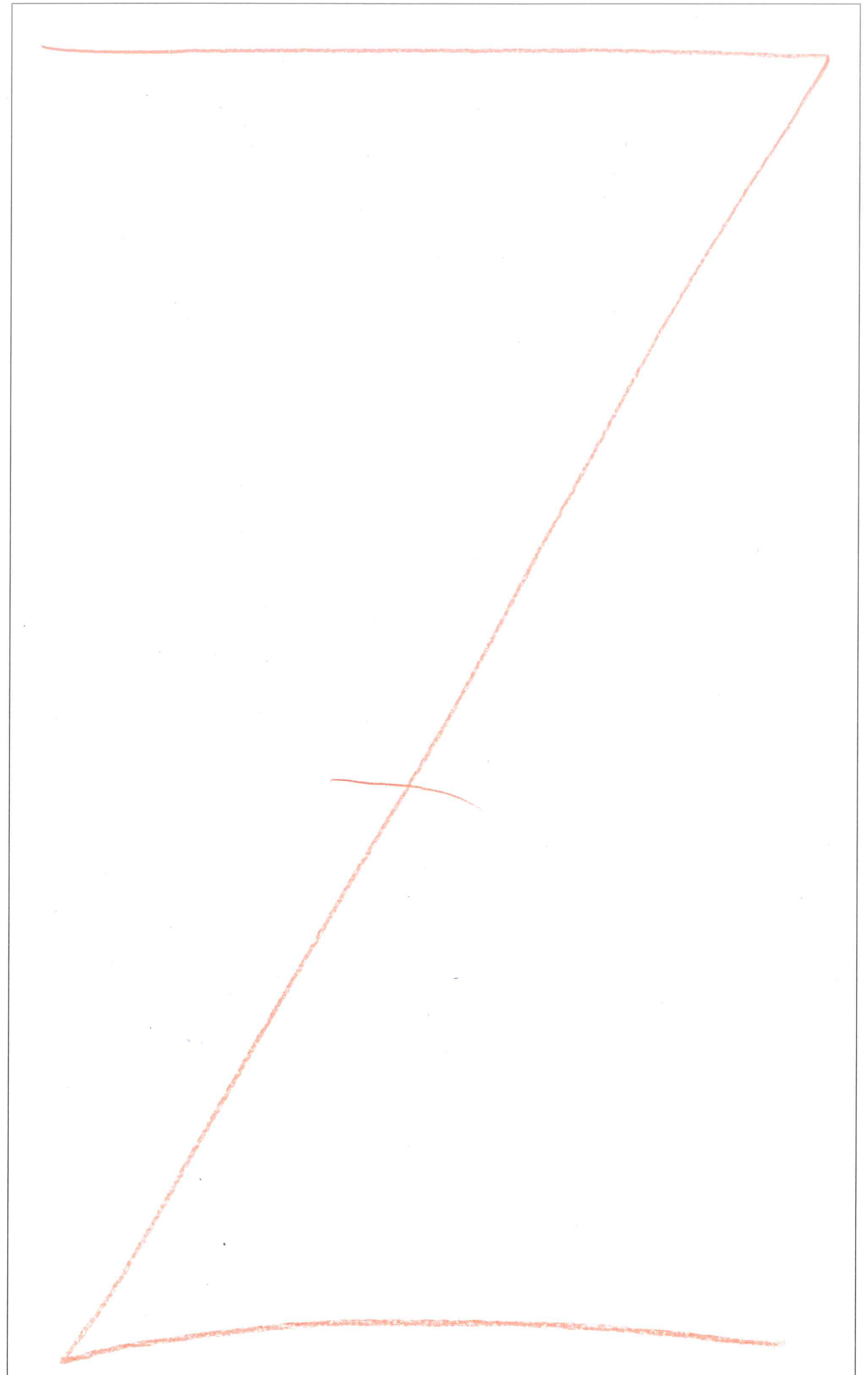
Ионы будут двигаться, пока E не станет таким, что силы, действующие на ион зарядом q не станут равны и установится равновесие

из II закона Ньютона:

$$1) F_L = Eq$$

$$qVB = Eq \Rightarrow E = VB, \text{ тогда } \mathcal{E}_i = dE = dVB$$

тогда $\mathcal{E}_a = \mathcal{E}_b = U = dVB$, разность потенциалов между контактами



но в этом случае т.к. $a = 5 \text{ м/с}^2$ брусок не пройдет собственную длину, а остановится и пойдет обратно.

1.51) продолжение

$v = \frac{v_1 + v_2}{2}$

$v = \frac{b - g \sin \alpha \tau_1^2}{2}$

$v_1 = \frac{b - g \sin \alpha \tau_2^2}{2}$

$\tau = \frac{v_1 - v}{g \sin \alpha} = \frac{\frac{b - g \sin \alpha \tau_2^2}{2} - \frac{b - g \sin \alpha \tau_1^2}{2}}{g \sin \alpha} = \frac{-\frac{b}{\tau_1} + \frac{g \sin \alpha \tau_1}{2}}{g \sin \alpha} =$

$= \frac{\tau_1 - \tau_2}{2} + \frac{b(\tau_1 - \tau_2)}{g \sin \alpha \tau_2 \tau_1} = \frac{1}{2} + \frac{0,1 \cdot 1}{5 \cdot 1 \cdot 2} = 0,5 + 0,01 =$

$= 0,51 \text{ с}$

Ответ: $\tau = 0,51 \text{ с}$

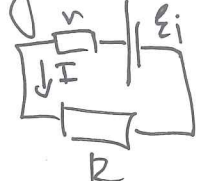
90-79-49-72 (1.10)

Чистовик ~~Через резистор течет ток I , $I = \frac{U}{R}$~~
~~тогда $P = \frac{U^2}{R} = \frac{d^2 v^2 B^2}{R}$~~

Через резистор потечет ток I , установится динамическое равновесие.
 (Сильный заряд улетит с частицы через резистор, столько и притянет ионов на нее у жидкости).

Пусть сопротивление жидкости r

Тогда схема эквивалентна вот такой:



$I = \frac{\epsilon_i}{r + R}$

$P = I^2 R = \frac{\epsilon_i^2}{(r + R)^2} R$

найдем, при каком отношении R и r мощность будет максимальной:

~~$P'(R) = \frac{\epsilon_i^2 (r^2 - R^2)}{(r + R)^4} = \frac{\epsilon_i^2}{(r + R)^4} (r^2 + 2rR + R^2 - 2rR - R^2)$~~

~~$P'(R) = \epsilon_i^2 (0 - 2(r + R))$~~

~~$P'(R_m) = 0$~~

~~r^2~~

$P'(R) = \epsilon_i^2 \frac{(r + R)^2 - R \cdot 2(r + R)}{(r + R)^4} = \frac{\epsilon_i^2}{(r + R)^4} (r^2 + 2rR + R^2 - 2rR - 2R^2)$

$= \frac{\epsilon_i^2}{(r + R)^4} (r^2 - R^2)$

$P'(R_m) = 0 \Rightarrow r^2 = R_m^2$, то есть чтобы мощность была максимальной нужно, чтобы $R = r$.

тогда $P_m = \frac{\epsilon_i^2}{4R} = \frac{v^2 B^2 d^2}{4R}$

$d^2 = \frac{4P_m R}{v^2 B^2}$

$d = \frac{1}{vB} \sqrt{4P_m R} = \frac{1}{0,1 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ Тл}} \sqrt{4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot 0,1 \text{ Ом}} = \frac{10^{-2} \text{ м}}{10} = 10^{-3} \text{ м}$

числовик

$$d = \frac{10}{1} \cdot \sqrt{16 \cdot 10^{-4}} = \frac{10 \cdot 4}{10^2} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ м}$$

Ответ: $d = 0,4 \text{ м}$

2.3.1

$$V = 30 \text{ м}^3$$

$$T = 273 \text{ К}$$

$\Delta m = ?$

$$p_{\text{нас}} = 611 \text{ Па}$$

$$\lambda_{\text{к}} = 313 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

$$v_n = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Часть воды испарится, забрав тепло у системы "вода-лед" \Rightarrow еще часть воды кристаллизуется в лед

$m_{\text{исп}}$ - масса испарившейся воды

из Менделеева-Клапейрона:

1) $p_{\text{нас}} V = \frac{m_{\text{исп}}}{\mu} RT$, вода будет испаряться, пока воденое пар в комнате не станет насыщенным

$$m_{\text{исп}} = \frac{p_{\text{нас}} V \mu}{RT}$$

Т.к. ни вода, ни лед не нагрелись (Т - постоянная температура, теплообмен с окружающей средой нет)

2) $m_{\text{исп}} \cdot v_n = \lambda_{\text{к}} \cdot \Delta m$ - закон сохранения энергии

$$\Delta m = m_{\text{исп}} \cdot \frac{v_n}{\lambda_{\text{к}}} = \frac{p_{\text{нас}} V \mu}{RT} \cdot \frac{v_n}{\lambda_{\text{к}}} = \frac{611 \cdot 30 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273} \cdot \frac{2,3 \cdot 10^6}{313 \cdot 10^5}$$

$$= \frac{2,3 \cdot 10^6}{3,1 \cdot 10^5} = \frac{611 \cdot 3 \cdot 18 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \cdot 2,3}{83 \cdot 273 \cdot 10^{-1} \cdot 10^5 \cdot 33} = \frac{611 \cdot 3 \cdot 18 \cdot 23}{83 \cdot 273 \cdot 33} \cdot \frac{10^4}{10^4}$$

$$= \frac{611 \cdot 19 \cdot 23}{83 \cdot 273 \cdot 11} = \frac{611 \cdot 6 \cdot 23}{83 \cdot 91 \cdot 11} = \frac{24318}{83083} \approx 0,29 \text{ кг}$$

Ответ: $\Delta m = 0,29 \text{ кг}$

5.2.1 - продолжение

числовик

$$\frac{m \dot{a}^2}{2} + p a + a^2 \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) U_0^2}{2 d \epsilon^3} = W_0$$

Если взять производную:

$$m \dot{a} \ddot{a} + p \dot{a} + \dot{a} a \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) U_0^2}{d \epsilon^3} = 0$$

константа, не влияющая на период колебаний

$$m \ddot{a} + a \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) U_0^2}{d \epsilon^3} = -p$$

$$\omega^2 = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1) U_0^2}{d \epsilon^3 m} = \frac{U_0^2 \epsilon_0 (\epsilon - 1)^2}{d \epsilon^3 m}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{d \epsilon^3 m}{U_0^2 \epsilon_0 (\epsilon - 1)^2}} = 2\pi \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 64 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-12} \cdot 9 \cdot 100^2}}$$

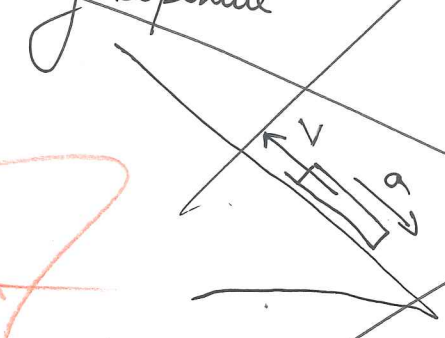
$$= 2\pi \cdot \frac{8}{9} \sqrt{10^4} = 2\pi \cdot \frac{8}{9} \cdot 10^2 = \frac{16}{9} \pi \cdot 10^2 \text{ с}$$

$$T_2 = \frac{16}{9} \cdot 3 \cdot 10^2 = \frac{16}{3} \cdot 10^2 = 5,3 \cdot 10^2 \text{ с}$$

Ответ: $T_2 \approx 5,3 \cdot 10^2 \text{ с}$

1.3.5 - продолжение

т.к. $b < g$, брусок едет вверх, против ускорение



Тогда:

$$1) b = V t_1 - \frac{g \sin \alpha t_1^2}{2}$$

$$V t_1 = b + \frac{g \sin \alpha t_1^2}{2} = 10,1 \text{ м}$$

$$V = 5,05 \text{ м/с}$$

$$2) b = V_1 t_2 - \frac{g \sin \alpha t_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$V_1 t_2 = b + \frac{g \sin \alpha t_2^2}{2} = 2,6 \text{ м}; V_1 = 2,6 \text{ м/с}$$

~~Чистовик~~

Черновик

$$V_1 = \frac{-2,4M}{\Delta t} = -2,4M/c$$

$$\tau g \sin \alpha = V_1 - V$$

$$\tau = \frac{V_1 - V}{g \sin \alpha} = \frac{-2,4 - 4,95}{10 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{-7,35}{5} = -1,47 c$$

Ответ: $\tau = 0,51 c$

Если скорость была направлена вверх в обоих случаях, то:

$$1) v = V\tau_1 - \frac{g \sin \alpha \tau_1^2}{2}$$

$$3) v = V\tau_2 - \frac{g \sin \alpha \tau_2^2}{2}$$

$$V\tau_1 = v + \frac{g \sin \alpha \tau_1^2}{2} = 10,5 M$$

$$V = 5,05 M/c$$

аналогично:

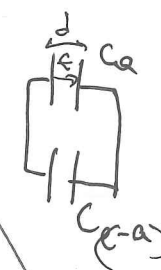
$$V_1 = \frac{2,6}{1} = 2,6 M/c$$

$$2) V_1 = V - \tau g \sin \alpha, \text{ тогда:}$$

$$\tau = \frac{V - V_1}{g \sin \alpha} = \frac{5,05 - 2,6}{5} = \frac{2,45}{5} = 0,49 c$$

$$W = 2\pi V$$

$$V = \frac{W}{2\pi}$$



$$q_a = q \frac{a}{l}$$

$$q = \frac{Q}{\epsilon l}$$

$$q_a = \frac{Q a}{\epsilon l}$$

$$q \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{q a}{l} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{k q^2}{d}$$

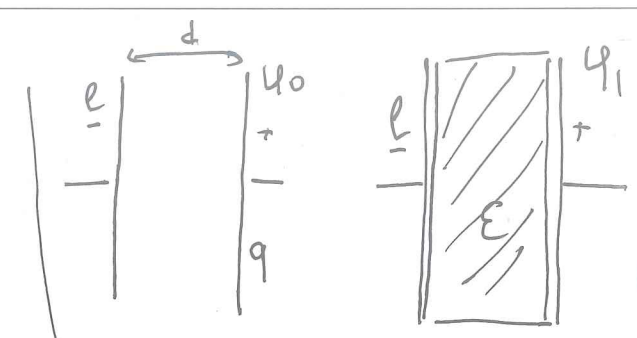
$$\frac{q a}{\epsilon l}$$

90-79-49-72
(1.10)

Чистовик

5.2.11

$l = 20 \text{ см}$
 $U_0 = 100 \text{ В}$
 $d = 1 \text{ мм}$
 $x = 0,1 \text{ мм}$
 $m = 102$
 $\epsilon = 4$
 $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
 $\tau = ?$



До вставки пластины, емкость конденсатора C_0

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon_0 l^2}{d}$$

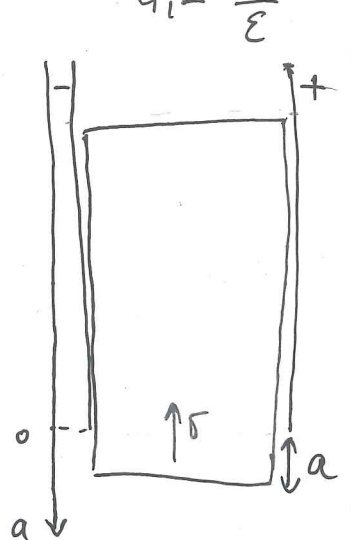
После вставки пластины, напряжение между обкладками уменьшилось до U , но заряд q на обкладках не изменился.

$$C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 l^2}{d} = \epsilon C_0 \text{ - новая емкость}$$

$$q = C_0 U_0 = C_1 U = \frac{\epsilon \epsilon_0 l^2}{d} U$$

$$C_0 U_0 = \epsilon C_0 U$$

$$U = \frac{U_0}{\epsilon}$$



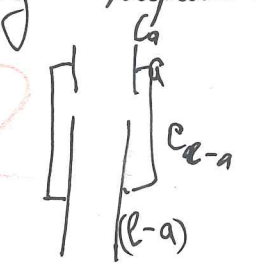
пусть a - смещение пластины вдоль Oa в произвольный момент колебаний

$v = \dot{a}$ - скорость пластины в этот момент

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{ma^2}{2} \text{ - кинетическая энергия пластины в этот момент}$$

В этот момент конденсатор можно представить, как

подключенные их конденсаторы



Суммарно на них заряд q ,

$$C_a = \frac{a l \epsilon_0 \epsilon}{d}$$

$$C_{l-a} = \frac{(l-a) l \epsilon_0 \epsilon}{d}; \quad q = q_a + q_{l-a}$$

и одинаковое напряжение U .

числовый

$$U_{C3} = U_{Ca} + U_{C-a} = \left(\frac{al\epsilon_0}{d} + \frac{l(l-a)\epsilon_0\epsilon}{d} \right) \frac{q}{C} =$$

$$= \frac{q}{C} \left(\frac{\epsilon_0\epsilon l^2}{d} + \frac{al\epsilon_0}{d} - \frac{al\epsilon_0\epsilon}{d} \right) = \left(C_1 - \frac{al\epsilon_0}{d} (\epsilon-1) \right) \frac{q}{C}$$

~~$$U = \frac{q^2}{2C_3} = \frac{q^2}{2(C_1 - \frac{al\epsilon_0}{d}(\epsilon-1))}$$~~

$$C_3 = C_1 - \frac{al\epsilon_0}{d} (\epsilon-1)$$

$$U = U_0 \frac{C_0}{C_3} = U_0 \frac{C_0}{C_1 - \frac{al\epsilon_0}{d} (\epsilon-1)}$$

~~Энергия расходуется на движение осевых и поперечных зарядов.~~

~~$$q_a = U C_a = \frac{al\epsilon_0 U}{d}$$~~

$$\Delta W_{\text{конг}} = \frac{q^2}{2C_3} - \frac{q^2}{2C_1} = \frac{q^2}{2} \left(\frac{1}{C_3} - \frac{1}{C_1} \right) = \frac{q^2}{2} \left(\frac{C_1 - C_3}{C_3 C_1} \right) =$$

$$= \frac{q^2}{2} \frac{\frac{al\epsilon_0}{d} (\epsilon-1)}{C_1^2 - C_1 \frac{al\epsilon_0}{d} (\epsilon-1)}$$

$$\frac{al\epsilon_0(\epsilon-1)}{d} = \frac{C_1 a (\epsilon-1)}{\epsilon \epsilon} \text{ , тогда:}$$

$$C_1^2 - C_1 \frac{al\epsilon_0(\epsilon-1)}{d} = C_1^2 \left(1 - \frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} \right)$$

$$\frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} \ll 1 \text{ , тогда по приближению Бернулли:}$$

$$\left(1 - \frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} \right)^{-1} = \left(1 + \frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} \right)$$

$$\Delta W_{\text{конг}} = \frac{q^2}{2C_1^2} \frac{al\epsilon_0(\epsilon-1)}{d} \left(1 + \frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} \right) =$$

$$= a^2 \frac{q^2}{2C_1^2} \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)^2}{d\epsilon} + \left(\frac{q^2}{2C_1^2} \frac{al\epsilon_0(\epsilon-1)}{d} \right) \frac{a}{\epsilon} \frac{(\epsilon-1)}{\epsilon} = \frac{\epsilon_0^2 l^4}{2\epsilon^2 \epsilon_0 l^2} \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)^2}{d\epsilon} a^2 +$$

$$+ pa = a^2 \frac{\epsilon_0(\epsilon-1)^2 U_0^2}{d\epsilon^3 \cdot 2} + pa$$

Тогда, из закона сохранения энергии:

(1.5.1)

$$\alpha = 30^\circ$$

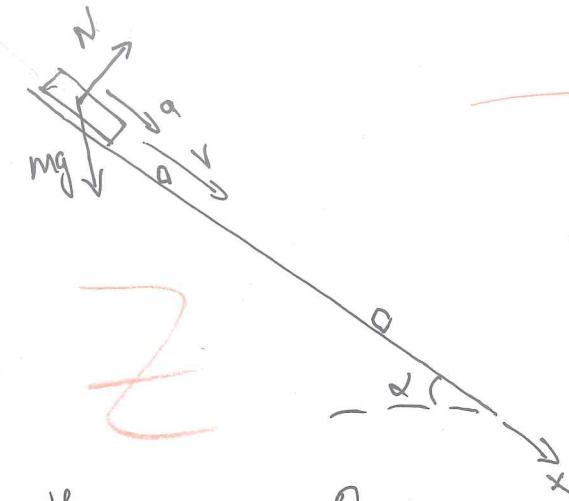
$$b = 0,1 \text{ м}$$

$$\tau_1 = 2 \text{ с}$$

$$\tau_2 = 1 \text{ с}$$

$$\tau = ?$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$



ИЗ II з. Ньютона на OX:

$$ma = mg \sin \alpha$$

$a = g \sin \alpha$ - постоянное ускорение бруска. Пусть в момент начала перекрытия τ по фотоэлементу у него скорость V . Т.к. фотоэлемент малый, можно считать, что за τ_1 он проехал свою собственную длину b .

Тогда:

$$1) \quad b = V\tau_1 + \frac{g \sin \alpha \tau_1^2}{2}$$

Через τ после начала перекрытия b его скорость будет

$$2) \quad V_1 = V + g \sin \alpha \tau$$

за τ_2 он также проедет свою собственную длину b .

$$3) \quad b = V_1 \tau_2 + \frac{g \sin \alpha \tau_2^2}{2} = V\tau_2 + \tau_2 g \sin \alpha + \frac{g \sin \alpha \tau_2^2}{2}$$

$$1) \Rightarrow b - \frac{g \sin \alpha \tau_1^2}{2} = 0,1 - \frac{10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4}{2} = 0,1 - 10 = -9,9 \text{ м}$$

$$3) \quad b - \frac{g \sin \alpha \tau_2^2}{2} = 0,1 - \frac{10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1}{2} = 0,1 - 2,5 = -2,4 \text{ м}$$

значит скорость бруса направлена вверх в начальный момент

~~$$\text{тогда } V = \frac{-9,9 \text{ м}}{2 \text{ с}} = -4,95 \text{ м/с}$$~~