

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

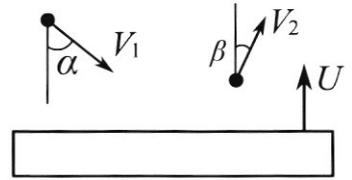
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

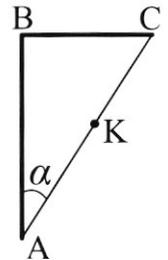


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль К).

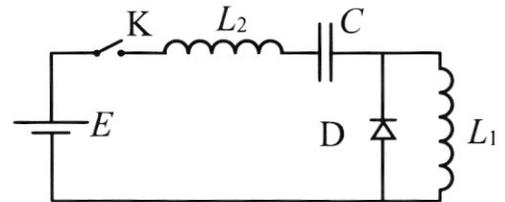
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



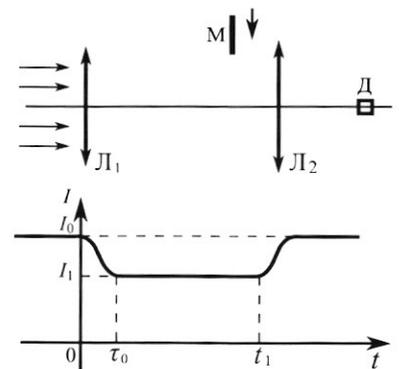
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

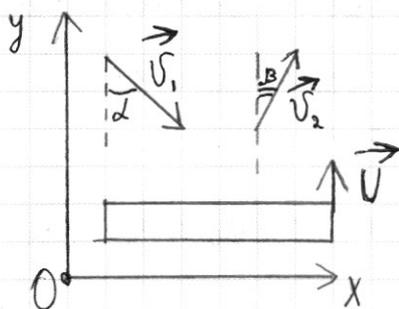


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



$$\sin \alpha = \frac{2}{3} \quad \sin \beta = \frac{1}{3} \quad V_1 = 6 \frac{m}{c}$$

1) Заметим, что на оси Ox выполняется закон сохр. импульса:

$$mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta, \text{ где } m - \text{масса шарика}$$

$$V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \frac{m}{c}$$

2) Введём доп. инерт. точку, которая будет двигаться с такой же скоростью U , что и массивная плита, и рассмотрим относительно неё движение шарика, тогда выполняется ЗСИ на оси Oy :

$$mV_1' = V_1 \cos \alpha + U$$

$$V_2' = V_2 \cos \beta - U$$

- проекции скоростей V_1 и V_2 на ось Oy ,
относительно инерт. со скоростью U

ЗСИ:

$$mV_2 - mV_1 = 0;$$

$$U = \frac{V_2 \cos \beta}{2} - \frac{V_1 \cos \alpha}{2} = (4\sqrt{2} - 2\sqrt{5}) \frac{m}{c}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

Ответ: 1) $12 \frac{m}{c}$

2) $(4\sqrt{2} - 2\sqrt{5}) \frac{m}{c}$

№ 2

Дано:

$$T_1 = 330 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

$$V = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

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

1) В начальном состоянии давления двух газов равны; запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для обоих газов:

$$pV_1 = \nu RT_1 \quad (1)$$

$$pV_2 = \nu RT_2 \quad (2)$$

, где V_1 и V_2 объемы, занимаемые газом и кмоном соответственно.

1) $\frac{V_1}{V_2} = ?$

(1) : (2), получаем: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$

2) $T = ?$

2) Запишем первый закон термодинамики

3) $Q = ?$

для газа и кмона

(3) $+Q = A + \Delta U_{\text{ке}}$; кмон отдает и совершает работу,

(4) $-Q = -A + \Delta U_{\text{ке}}$ что и газ, взятую с противоположным знаком; сложим (3) и (4) уравнения:

$$\frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + \frac{3}{2} \nu R (T - T_2), \text{ где } T - \text{уст. темп.}$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$$

3) Процесс является изобарным \Rightarrow

$$Q = c_p \nu (T - T_1) = \frac{5}{2} R \nu (T - T_1) = 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{3}{4}$

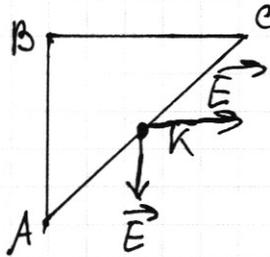
2) 385 K

3) 274,23 Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3

1)



Пусть пластина BC создает напряженность E в точке K , при зарядке пластины AB той же плотностью, она создает такую же напряженность в этой точке, тогда суммарная напряженность $E_0 = E\sqrt{2}$
 $\frac{E_0}{E} = \sqrt{2}$; то есть увелич. в $\sqrt{2}$ раз.

2) $\delta_1 = 4\delta$

$\delta_2 = \delta$

Напряженность точкой пластины определяется по формуле:

$E = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$; Для пластины BC и AB имеем:

$E_1 = \frac{4\delta}{2\epsilon_0}$; $E_2 = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$, тогда суммарная напряженность

равна: $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{\delta\sqrt{17}}{2\epsilon_0}$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раза

2) $\frac{\delta\sqrt{17}}{2\epsilon_0}$

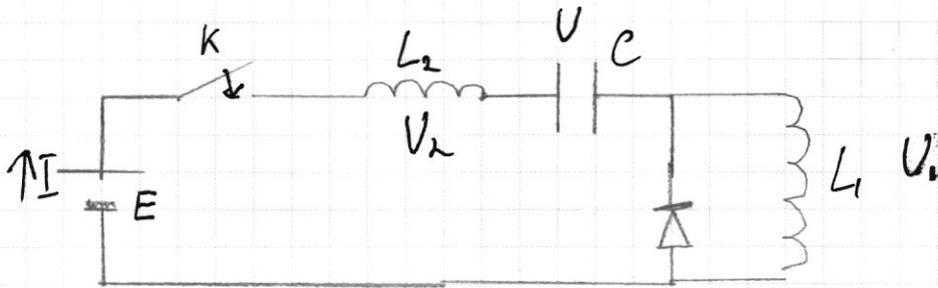
№4

Дано:

E, C

$L_1 = 3L$

$L_2 = 2L$



1) $T = ?$

2) $I_{01} = ?$

3) $I_{02} = ?$

1) При замыкании ключа ток на катушках и напряжение на конденсаторе не меняются мгновенно, при этом при зарядке конденсатора ток через диод не идет, тогда все элементы соединены последовательно и через них текут равные токи.

Пусть U, U_1 и U_2 - напряжения на конденсаторе, катушке L_1 и катушке L_2 :

Заряд на конденсаторе:

$q = C U$ тогда ток, протекающий через него равен:
 $I = C \frac{dU}{dt} = C \ddot{U}$

Напряжения на катушках:

$U_1 = L_1 \frac{dI}{dt}$ подставляем вместо силы тока I :
 $U_2 = L_2 \frac{dI}{dt}$

$U_1 = 3LC \ddot{U}$

$U_2 = 2LC \ddot{U}$

$U_1 + U_2 + U = E$

$5LC \ddot{U} + U = E$, пусть $\omega_1^2 = \frac{1}{5LC}$, тогда

уравнение примет вид:

$\ddot{U} + \omega_1^2 U = \omega_1^2 E$, общее решение которого

имеет вид:

$U(t) = a \cos \omega_1 t + b \sin \omega_1 t$, учитывая нач. условия

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

коэффициенты $a = -E$, а $b = 0$
 $U(t) = -E \cos \omega_1 t + E$, максимальное напряжение
 на конденсаторе $U_{\max} = 2E$, найдём время t_1 ,

когда конденсатор полностью заряжен:

$$-E \cos \omega_1 t_1 + E = 2E ; \quad t_1 = \frac{\pi}{\omega_1} = \pi \sqrt{5LC}$$

При разрядке конденсатора диод пойдёт пропус-
 кать ток, тогда ток через катушку L не течёт
 и зависимость $U(t)$ имеет вид:

$$U(t) = E \cos \omega_2 t + E, \quad \text{где } \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$$

тогда время разрядки конденсатора равно:

$$t_2 = \pi \sqrt{2LC}, \quad \text{а весь период: } T = t_1 + t_2 = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{5} + \sqrt{2})$$

2) Ток I_0 максимален при зарядке конденсатора

$$I = C \frac{dU}{dt} ; \quad U(t) = -E \cos \omega_1 t + E$$

$$I(t) = EC \omega_1 \sin \omega_1 t$$

$$I_{01} = EC \omega_1 = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$$

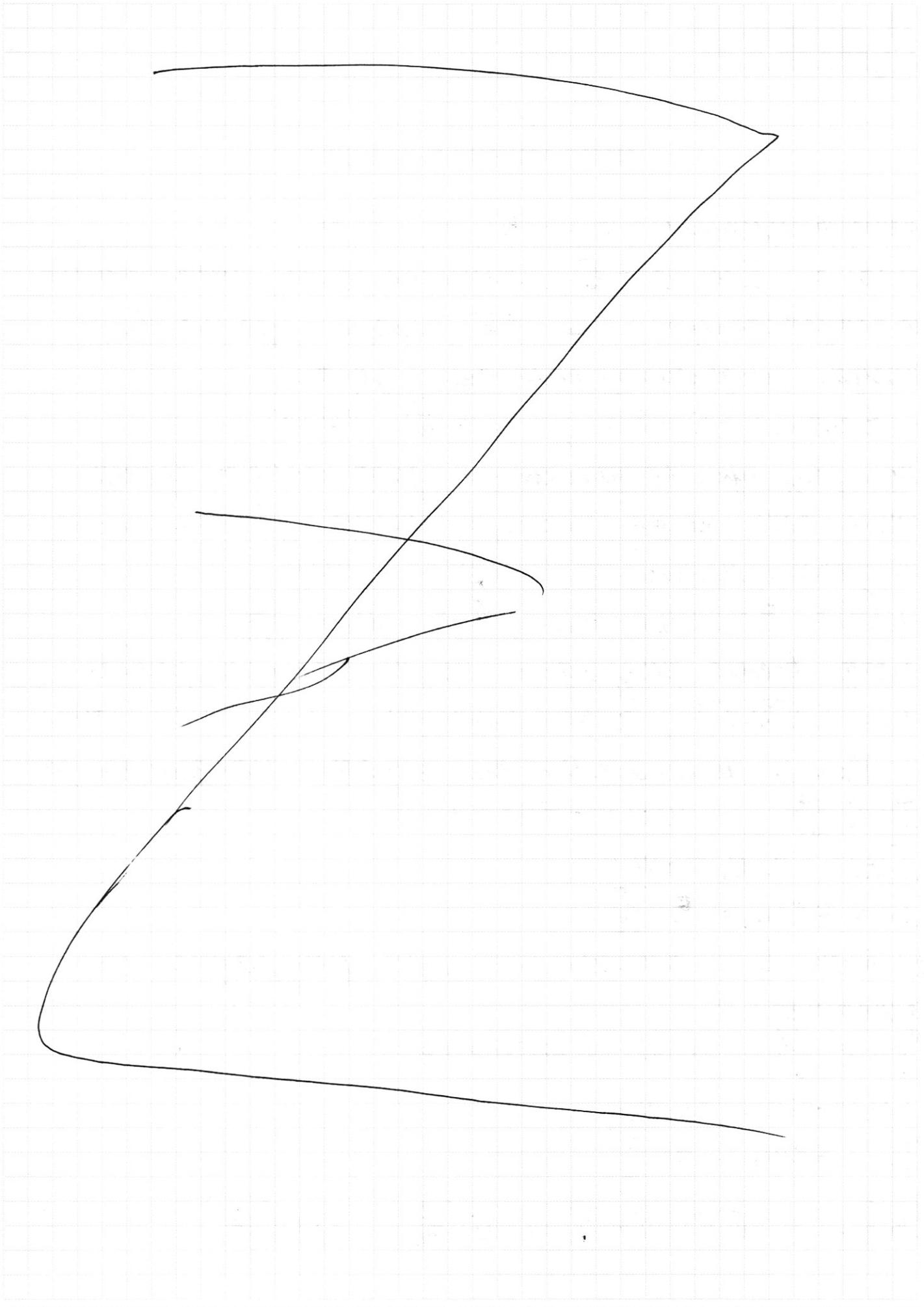
3) ток I_{02} максимален при разрядке кон-
 денсатора:

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad U(t) = E \cos \omega_2 t + E$$

$$I(t) = -EC \omega_2 \sin \omega_2 t$$

$$I_{02} = EC \omega_2 = E \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

Ответ: 1) $\pi \sqrt{LC} (\sqrt{2} + \sqrt{5})$ 2) $E \sqrt{\frac{C}{5L}}$ 3) $E \sqrt{\frac{C}{2L}}$

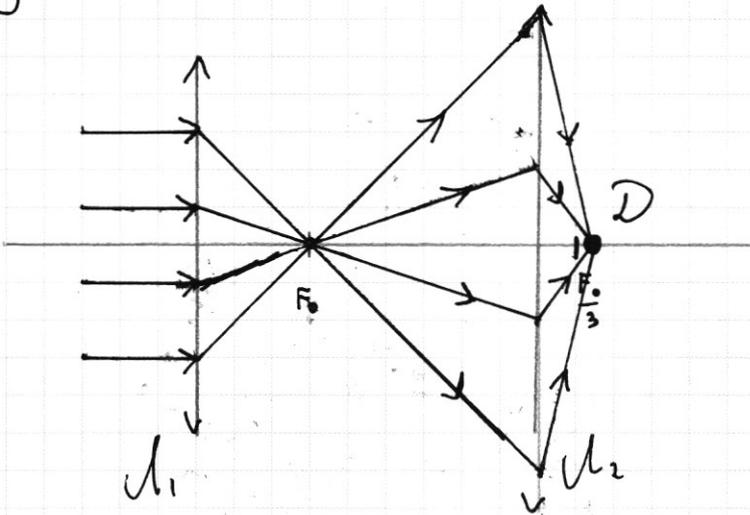


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

√5



1) Параллельные лучи фокусируются в свет. точке в фокусе линзы L_1 , находящимся на расстоянии $d = \frac{F_0}{2}$, запишем уравнение тонкой линзы для L_2 :

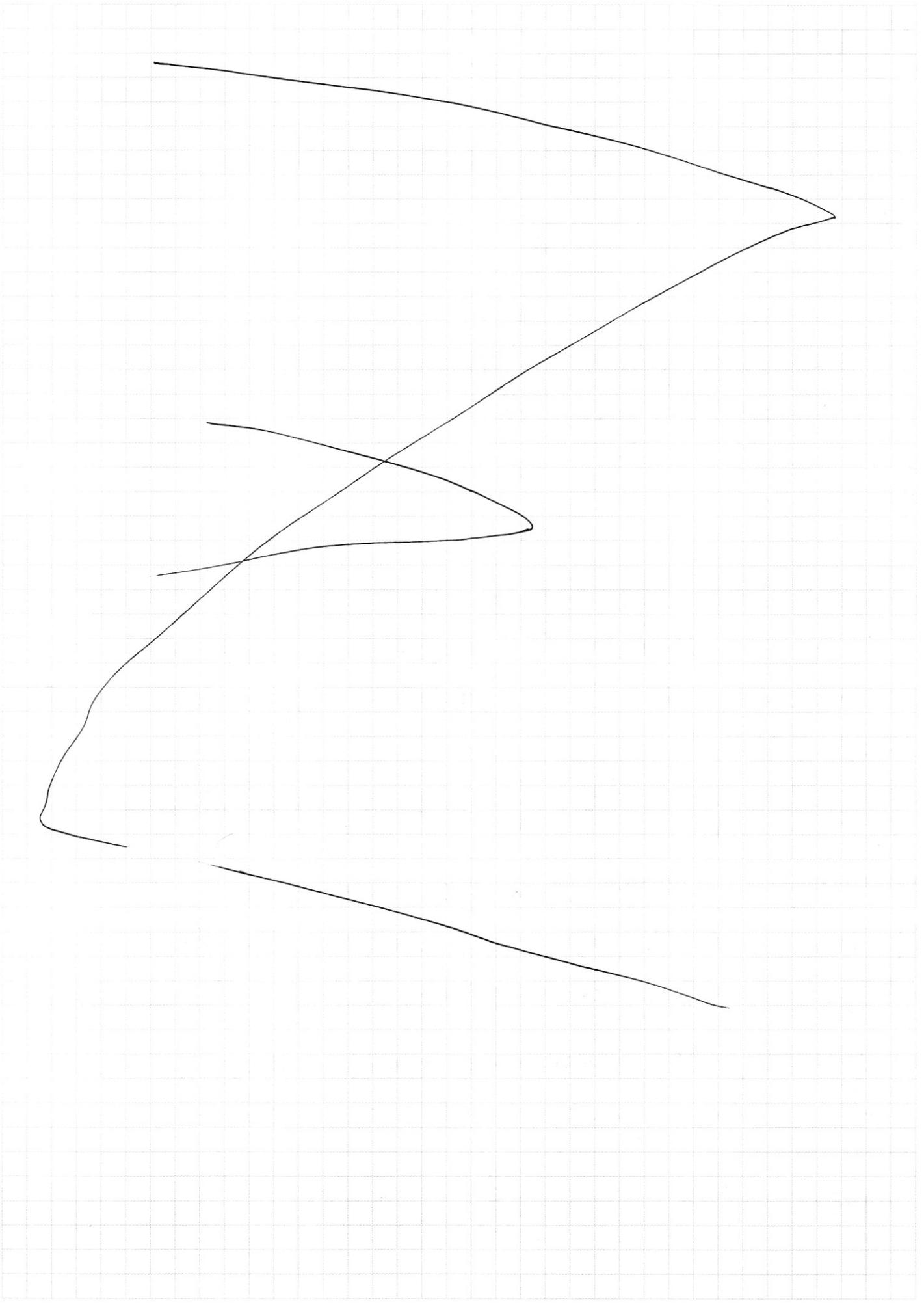
$$\frac{3}{F_0} = \frac{2}{F_0} + \frac{1}{f} \quad ; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow f = F_0 - \text{есть искомое}$$

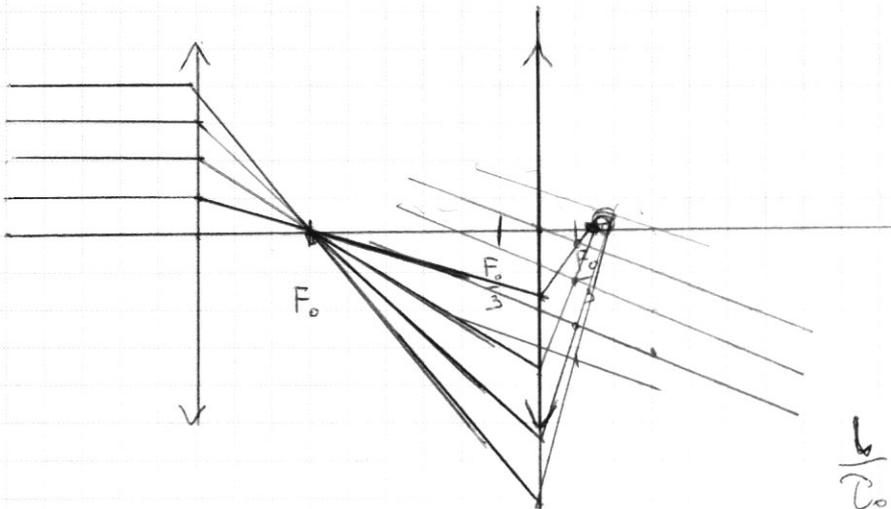
расстояние между L_2 и фотоэлементом.

2) т.к. $N \sim I$, то длина волны составляет $\lambda = \frac{p}{g}$, тогда её скорость $v = \frac{c}{n} = \frac{p}{9\tau_0}$.

3) мишень, её мишень разлет, пройдет линзу за время: $t' = \frac{3p}{v} = 8\tau_0$, тогда $t_1 = \frac{1}{2}t' + \tau_0 = 9\tau_0$.

Ответ: 1) F_0 ; 2) $\frac{p}{9\tau_0}$; 3) $9\tau_0$.





$$\frac{1}{g} D$$

$$\frac{b}{c_0}$$

$$E = \frac{D}{R \cos \alpha}$$

$$\frac{3}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{F}$$

$$\frac{b}{2F_0} - \frac{1}{2F_0} = \frac{1}{F}$$



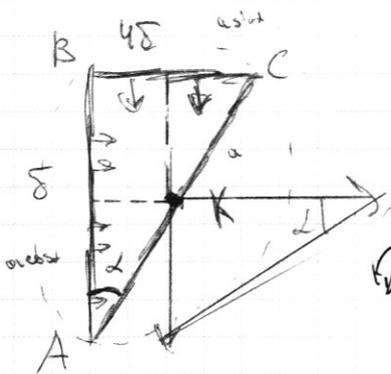
$$\left(\frac{D}{g} \right)$$

$$\frac{5}{2} F_0 = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{2}{5} F_0 \quad (\text{or } F_0)$$

$$\frac{8D}{g} \cdot \frac{9c_0}{D} = 8c_0$$

$$V = \left(\frac{D}{9c_0} \right)$$

$\cos \alpha \rightarrow \sin \alpha$



$$\chi \frac{h}{\delta} = \frac{\pi}{8}$$

$$g \alpha = \frac{\pi}{8}$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2} = \frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{2} = \frac{2 - \sqrt{2}}{4}$$

$$= \frac{2 - \sqrt{2}}{4}$$

$$E_{\text{eff}} = \frac{eU}{t}$$

$$\frac{N E_{\text{eff}}}{t} =$$

$$N P = I U$$

$$p \cdot L \cdot p = I U$$

$$\frac{N}{D} - \frac{N}{L}$$

$$N E_{\text{eff}} \sim I U$$

$$2 D P_{\text{eff}} \sim I U$$

$$\left(\frac{3}{g} D \right) \alpha \sim I_{\text{eff}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2\mathcal{E} = U_{\max}$$

$$U(t) = \mathcal{E} \cos \omega t + \mathcal{E}$$

$$I_c = C \frac{dU}{dt} = \mathcal{E} \omega = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{2LC}}$$

~~Итого~~

$$-\mathcal{E} \cos \omega t + \mathcal{E} = 2\mathcal{E}$$

$$-\mathcal{E} \cos \omega t_1 = \mathcal{E}$$

$$\cos \omega t_1 = -1$$

$$\omega t_1 = \pi = \pi \sqrt{LC}$$

$$t_1 = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi}{\sqrt{LC}} \quad \mathcal{E} \cos \omega t_2 + \mathcal{E} = 0$$

$$t_2 \quad \mathcal{E} \cos \omega t_2 + \mathcal{E} = 0 \quad \mathcal{E} \cos \omega t_2 = -\mathcal{E} = -1$$

$$I_c = \mathcal{E} \omega \sin \omega t = 0 \quad \omega t_2 = \pi \quad t_2 = \frac{\pi}{\omega} = \pi \sqrt{2LC}$$

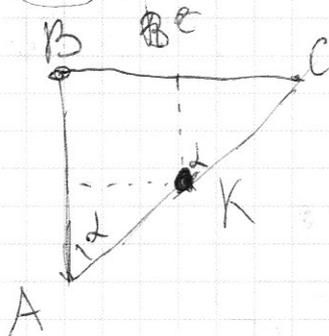
$$T = t_1 + t_2 = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{5} + \sqrt{2})$$

$$I_2 = \frac{C\mathcal{E}}{\sqrt{2LC}} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

$$I_1 = \frac{C\mathcal{E}}{\sqrt{5LC}} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{5L}}$$

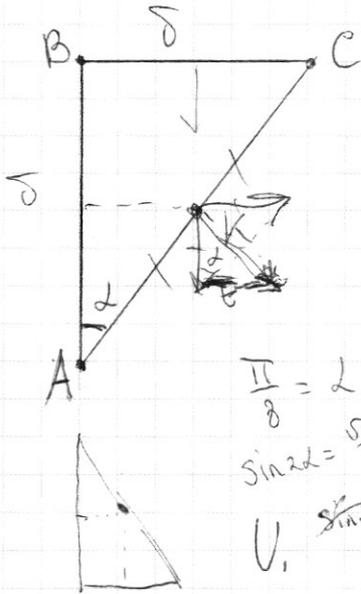
$$\epsilon = k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

3) ???



$$\frac{\sigma}{2\epsilon_0} = k \frac{q}{r^2}$$

3)



1) BC: δ
AB: δ

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$\left(\frac{\delta}{2\epsilon_0}\right) \sqrt{2} \quad 116 \sqrt{2} \quad \text{pos} \cdot \sin^2 \alpha =$$

2) $\frac{\delta}{2\epsilon_0}$ $\alpha = \frac{\pi}{8}$

$$E_1 = \frac{4\delta}{2\epsilon_0} \quad E_2 = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$$

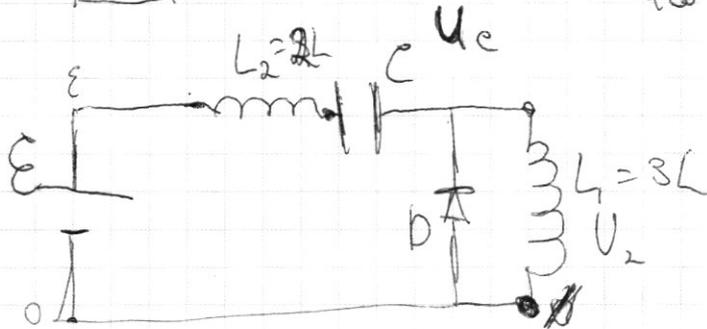
$$\frac{16\delta^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\delta^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{\delta^2 \sqrt{17}}{2\epsilon_0^2} ?$$

$$\frac{\pi}{8} = \alpha$$

$$\sin 2\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$V_1 \sin \alpha \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

4)



$$I_e = C \frac{dU}{dt} =$$

$$= \epsilon C \omega U = \frac{\epsilon \epsilon_0}{\sqrt{5} L C}$$

$$I_e C \frac{dU}{dt} = C \ddot{U}$$

$$U_1 = L_1 \frac{dI}{dt} = 2LC \ddot{U}$$

$$U_2 = 3LC \ddot{U}$$

$$5LC \ddot{U} + U = E \quad \omega^2 = \frac{1}{5LC}$$

$$\ddot{U} + \omega^2 U = \frac{E}{5LC}$$

$$U(t) = a \cos \omega t + b \sin \omega t + E$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

1) $t=0 \quad a = -E$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{5LC}}$$

2) $t=0 \quad U - a \sin \omega t + b \cos \omega t = 0$

$$b \omega \cos \omega t = 0$$

$$b = 0$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{5LC}$$

$$U(t) = -E \cos \omega t + E$$

$$U_2(t) =$$

$$U_{\max} = 2E$$

Водити шир. $a + E = 2E$

$$a = -E$$

