



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

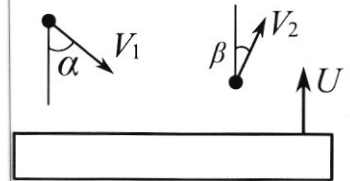
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 8$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{3}{4}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{2}$ ) с вертикалью.

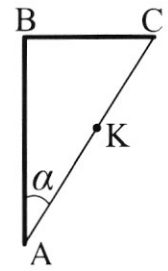


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве  $\nu = 3/7$  моль. Начальная температура азота  $T_1 = 300$  К, а кислорода  $T_2 = 500$  К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме  $C_V = 5R/2$ .  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).

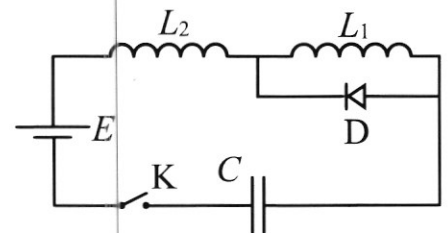
- 1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



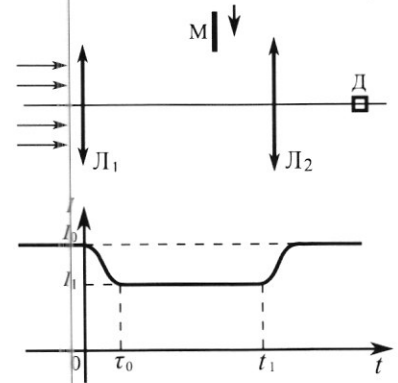
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 2\sigma, \sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/7$ . 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  $L_1 = 2L, L_2 = L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_1$ .



- 1) Найти период  $T$  этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток  $I_{M1}$ , текущий через катушку  $L_1$ .
- 3) Найти максимальный ток  $I_{M2}$ , текущий через катушку  $L_2$ .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз  $L_1$  и  $L_2$  (см. рис.) с фокусным расстоянием  $F_0$  у каждой. Расстояние между линзами  $3F_0$ . 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  $2F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 3I_0/4$ .



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

Известными считать величины  $F_0, D, \tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$v_1 = 8 \text{ м/с}$$

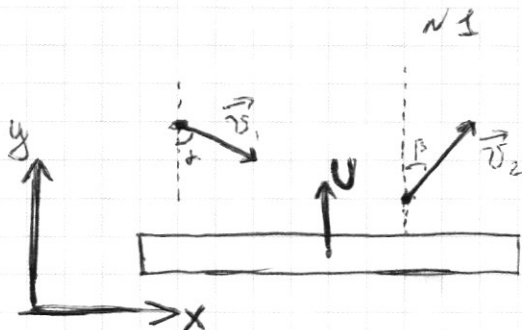
$$\sin \alpha = \frac{3}{4}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2}$$

Найти:

$$v_2 - ?$$

$$U - ?$$



$m$  - масса шарика

$$m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$$

$$\text{Откуда } v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 8 \text{ м/с} \cdot \frac{3 \cdot 2}{4 \cdot 1} = 12 \text{ м/с}$$

1) Так как шарики горизонтальные и гладкие, а сопротивление воздуха нет, то за время всего полета шарик не действовало горизонтальных сил. Значит, проекция импульса шарика на  $Ox$  (или  $N1$ ) должна быть постоянной

2) В ИСО, связанной с землей проекция импульса на  $Oy$  при абсолютно упругом ударе должна сохраниться по модулю и быть противоположной по знаку. В этой

СО начальная проекция импульса на  $Oy$  равна

$$- (m(v_1 \cos \alpha + U)) \text{ а конечная } (m(v_2 \cos \beta - U)) \text{ приравняем модули, получим}$$

$$U = \frac{m v_1 \cos \alpha - v_2 \cos \beta}{2} = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} \quad \text{E}$$

$$\text{E} \quad \frac{12 \text{ м/с} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{16}} - 8 \text{ м/с} \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{16}}}{2} = 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$$

Однако это крайний случай (по условию удар неупругий). Чем более неупругий удар (вплоть до абсолютно неупругого), тем больше скорость шара. Рассмотрим второй крайний случай

Абсолютно неупругий удар. В таком случае шарики продолжат движение с вертикальной проекцией скорости (она же равна неизменной ввиду неупругости

скорости пистолета  $U$ ). В таком случае  $U = V_2 \cos \alpha \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow 6\sqrt{3}$  м/с. Тогда  $U \in (3\sqrt{3} - \sqrt{7}; 6\sqrt{3}]$  м/с

Примечание: случай  $\cos \alpha < 0$  не рассматриваем, т.к. в таком случае шарик скорее "улетает" от пистолета, а по условию "подлетает" к нему.

Ответ: 1)  $V_2 = 12$  м/с ; 2)  $V \in (3\sqrt{3} - \sqrt{7}$  м/с ;  $6\sqrt{3}$  м/с

Дано:

$V = \frac{3}{7}$  моль

$T_1 = 300$  К

$T_2 = 500$  К

$C_v = \frac{5R}{2}$

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

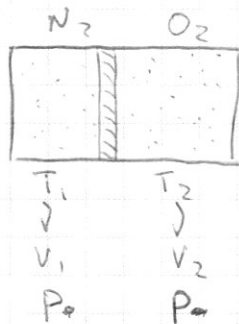
Найти:

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

$T_0 = ?$

$Q = ?$

Решение:



1) Из закона Менделеева - Клапейрона ( $pV = \nu RT$ )

$p = \frac{\nu R T_1}{V_1} = \frac{\nu R T_2}{V_2}$

( $p_1 = p_2$  т.к. поршень в равновесии)

$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$

2) В ходе процесса в каждый момент времени  $p_1 = p_2$  (т.к. поршень движется медленно).  $\Rightarrow dA_{N_2} = -dA_{O_2}$  - в работу  $N_2$  противостоит по знаку в работу  $O_2 \Rightarrow$  Работа системы = 0.

~~...~~ Тогда (тепловых потерь нет)

Внутренняя энергия системы сохраняется.

Т.к.  $C_v = \frac{5R}{2}$ , то понятно, что  $N_2$  и  $O_2$  - двухатомные газы ( $i=5$ ). Тогда запишем:

$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R T_0 + \frac{5}{2} \nu R T_0 \Leftrightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400$  К

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3)  $\int V_{1к}$  и  $V_{2к}$  - конечные объемы  $N_2$  и  $O_2$  соответственно

$$\Rightarrow p_0 V_{1к} = \sqrt{2} p_0 V_{2к} = p_0 V_{2к} \Rightarrow V_{1к} = V_{2к} = \frac{V}{2}, \text{ где}$$

↑  
конечное давление

$V$  - объем сосуда. Также  $V_1 + V_2 = V$  или из п. 1)

$$\frac{4}{5} V_2 = V \text{ т.е. } V_2 = \frac{5V}{8} \Rightarrow \frac{V_2}{V_{2к}} = \frac{5V \cdot 2}{8 \cdot V} = \frac{5}{4}$$

$p_p \in M-K$

$$\left. \begin{array}{l} \text{кат.} \\ \text{кон} \end{array} \right\} \begin{array}{l} p V_2 = \sqrt{2} R T_2 \\ p_0 V_{2к} = \sqrt{2} R T_k \end{array} \Rightarrow \frac{p}{p_0} = \frac{T_2}{T_k} \cdot \frac{V_{2к}}{V_2} = \frac{500}{400} \cdot \frac{4}{5} = 1 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$  начальное и конечное давление равны

$\Rightarrow$  процесс изобарический.

Из закона Дюлонга-Пти  $C_p = R + C_v = \frac{7R}{2}$

Тогда  $Q = C_p \cdot \nu \cdot (T_2 - T_k) = \frac{7R}{2} \cdot \frac{3}{7} \text{ моль} \cdot (500K - 400K)$

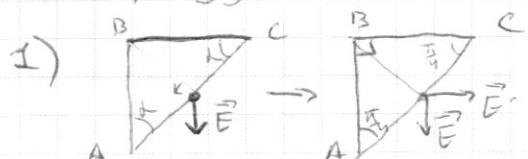
↑  
отдающее  $O_2$ -ом

$$Q = \frac{8,31 \cdot 3 \cdot 100}{2} \text{ Дж} = \frac{8,31 \cdot 3}{2} \text{ Дж} = \frac{2493}{2} \text{ Дж} = 1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ: 1)  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}$ ; 2)  $T_0 = 400K$ ; 3)  $Q_1 = 1246,5 \text{ Дж}$

и 3

Поле, создаваемое плоскостью  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$



1)  $\rho/\delta$   $\Delta$ . Симметрия относительно BK  
было  $E$  стало  $\sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2} E$  ( $|\vec{E}| = |\vec{E}'|$ )

2) со стороны BC  $E_{BC} = \frac{2\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

со стороны AB  $E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

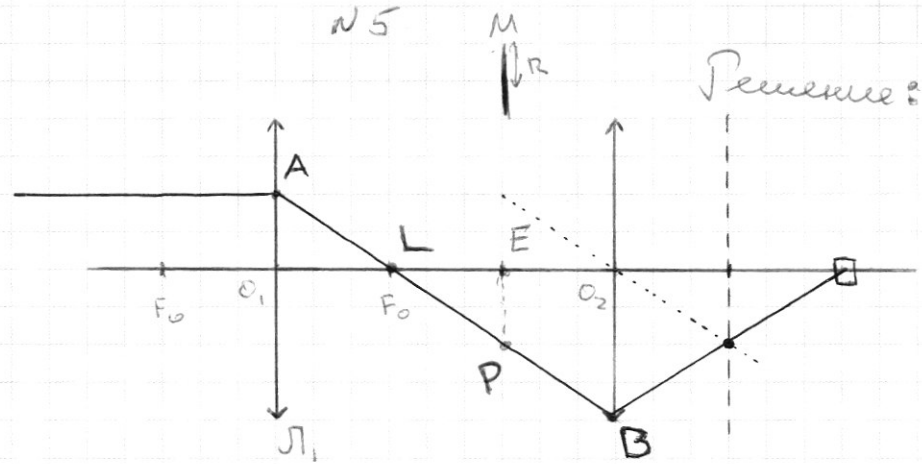
Тогда  $E = \sqrt{5} \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

Ответ: 1)  $\sqrt{2}$  раз; 2)  $\frac{\sqrt{5} \sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

№5

Дано:  
 $F_0; D; \tau_0$ , график

Найти:  
 $f; V; t_1$



Решение:

Обозначим точки преломления луча за А и В (см. рис.)

Тогда из подобия  $\triangle ALO_1$  и  $\triangle BLO_2$  ( $O_1$  и  $O_2$  - центры линз;  $L = AB \cap O_1O_2$ )  $2AO_1 = BO_2$

$$BO_2 \leq \frac{D}{2} \text{ (радиус линзы)} \Rightarrow AO_1 \leq \frac{D}{4}$$

1) Фактически детектор находится на расстоянии изображения точки L в  $\mathcal{L}_2$  (точка L - источник - посредник). Тогда, т.к.  $O_1L = F_0$  (лучи, идущие параллельно от оси собираются в фокусе), то  $O_2L = 2F_0$

$$\frac{1}{O_2L} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{2F_0} = \frac{1}{2F_0} \Rightarrow \boxed{f = 2F_0}$$

↑  
до детектора

2) Найдем радиус линзы. Когда линза полностью помещена в коток, она закрывает  $\frac{1}{4}$  его

$$\text{части } (I_{\min} = \frac{3}{4} I_{\max}) \Rightarrow S_{\text{л}} = \frac{1}{4} S_{\text{коток}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \frac{R_{\text{коток}}}{2} \text{ Из подобия } \triangle ALO_1 \text{ и } \triangle LEP$$

$$EP_{\max} = AO_{1, \max} = \frac{D}{4} \Rightarrow \boxed{R = \frac{D}{8}}$$

Тогда линза за время  $\tau_0$  (от начала вхождения в коток до окончания вхождения в коток) прошла путь  $2R$ .



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда  $V = \frac{2R}{2\tau_0} = \frac{D}{4\tau_0}$

3) За время  $t$ , лет наката входимые в лоток до момента выхода из него имеют пройден путь  $2R_{\text{лотка}}$  со скоростью  $V$

Тогда  $t_1 = \frac{2R_{\text{лотка}}}{V} = \frac{D}{2V} = \frac{D \cdot 4\tau_0}{2D} = 2\tau_0$

Ответ: 1)  $t = 2\tau_0$

2)  $V = \frac{D}{4\tau_0}$

3)  $t_1 = 2\tau_0$

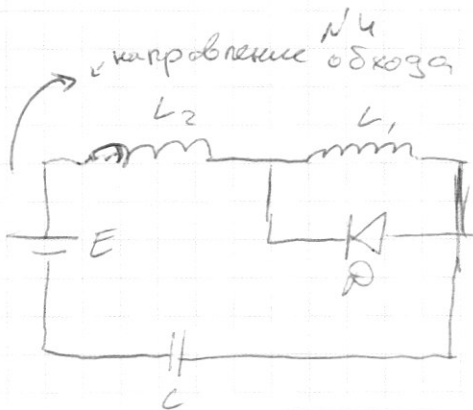
Дано:

$L_1 = 2L$

$L_2 = L$

$C, D$

Найти:



Решение:

Колебания во всей цепи (просто не совсем гармонические и амплитуде  $\neq 0$ )

$\omega = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}} = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$

$T, I_{m1}, I_{m2}$  1)  $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{3LC}$

2) Когда ток идет  $T$  по направлению обхода  $I_{L_2} = I_{L_1}$

(диод закрыт). В обратную сторону часть тока идет  $2/3$  диод  $\Rightarrow I_{m2} = 2I_{m1}$  (покажем  $\rightarrow$  диод  $\rightarrow$  дальше суммируем  $\rightarrow L_1$ )

Т.к. в первом случае  $I_{L_2} = I_{L_1}$ , то  $I_{L_2}^{\max} = I_{L_1}^{\max}$

(именно за эти пол периода  $I_{L_2}^{\max} + I_{m2}$ ;  $I_{L_1}^{\max} = I_{m1}$ )



$I_{L_1}^{\max} = I_{L_2}^{\max}$  достигается при  $U_C = 0$  (энергия  
 вся в конденсаторах). При этом max энергия конденсатора  $W_C = \frac{C \cdot 4E^2}{2} = 2CE^2$  (т.е. изначально  
 конденсатор не заряжен, а колебания на протяжении  
 около  $E$  ( $E$  - положение равновесия), то  
 колебания  $U_C$  идут с амплитудой  $E$   
 и  $U_C \in [0, 2E]$  (в среднем  $E$ ).

Когда  $W_C = 0 \Rightarrow W_L = 2CE^2$  (никуда не  
 девается)

$$\frac{L_1 (I_{L_1}^{\max})^2}{2} + \frac{L_2 (I_{L_2}^{\max})^2}{2} = 2CE^2$$

$$\frac{2L I_{m_1}^2}{2} + L I_{m_1}^2 = 2CE^2 \Rightarrow I_{m_1}^2 = \frac{4CE^2}{3L}$$

$$I_{m_1} = 2E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Ну а т.к.  $I_{m_2} = 2I_{m_1}$ , то  $I_{m_2} = 4E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

Ответ: 1)  $T = 2\pi \sqrt{3LC}$

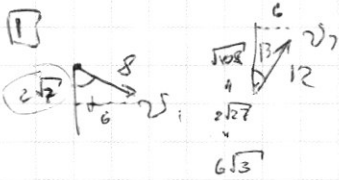
2)  $I_{m_1} = 2E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

3)  $I_{m_2} = 4E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

144-36-108

09-36-28



$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 8 \text{ м/с} \cdot \frac{3}{4} = \frac{8 \cdot 3}{4} = 6 \text{ м/с}$$

~~...~~ В UCO ... сократим

$$v_1 \cos \alpha + U$$

$$v_2 \cos \beta - U$$

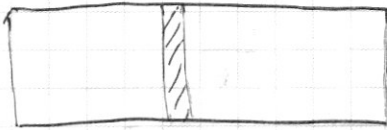
$$2U = v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha$$

$$U \in (3\sqrt{3} - 7 \text{ м/с}; 6\sqrt{3})$$

$$U = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}}{2}$$

$$U = 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$$

2



Найти:  $\frac{v_1}{v_2}$  - ?  $T_0$  - ?  $Q$  - ?

$$T = \frac{3}{7} \text{ мкс}$$

$$C_v = \frac{5R}{2}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 500 \text{ К}$$

$$\frac{v_1 R T_1}{v_1} = \frac{v_2 R T_2}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{5}$$

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

$$v = v_1 + v_2 = \frac{8}{5} v_2$$

$$v_2 = \frac{5v}{8}$$

$$v_k = \frac{4v}{8}$$

$$Q_{N_2} = C_v v_1 (T_0 - T_1)$$

$$Q_{O_2} = C_v v_2 (T_0 - T_2)$$

$$(T_0 - T_1) + T_0 - T_2 = 0$$

$$\frac{5}{2} R T_1 + \frac{5}{2} R T_2$$

$$\frac{5}{2} R T_0$$

$T_k$

$$Q_{O_2} = \frac{5R}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 100 \text{ Дж}$$

$$Q_{O_2} = \frac{5R}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 100 \text{ Дж}$$

$$P v_1 = J R T_1$$

$$P v_k = J R T_k$$

$$U T_0 = \frac{J R T_1 + J R T_2}{2} = 400 \text{ Дж}$$

2

$$P v_k = J R T_k$$

$$P v_{2k} = J R T_k$$

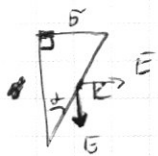
$$\Rightarrow v_{1k} = v_{2k}$$

$$\frac{P}{P_k} = \frac{T_1 v_k}{T_k v}$$

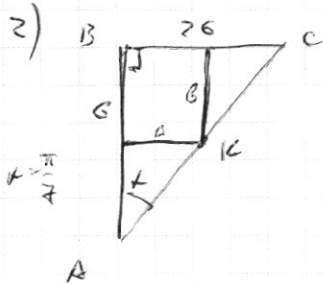
$$U = Q + A$$

$$Q = \frac{5}{2} J R (T_2 - T_0) +$$

3)



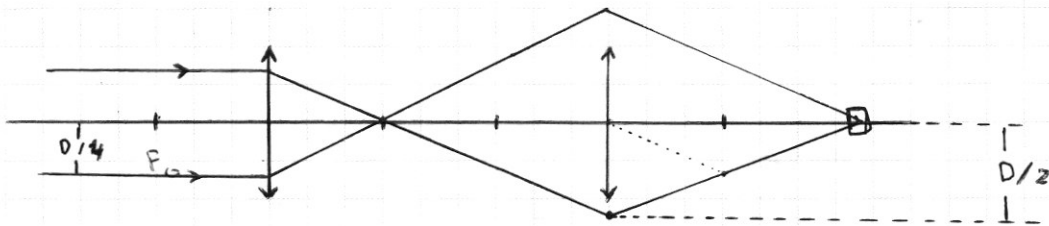
1)  $\alpha = \arctan \frac{G}{E} = \arctan \frac{1}{2}$



$$\frac{G}{2E\epsilon_0}$$



5)



$$1) \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{2F_0} \Rightarrow \boxed{f = 2F_0}$$

2) За  $t_0$  мимень проходит  $2R$ .  $S_{F_0} = \frac{\pi D^2}{16}$   
 Перекрывается  $\frac{1}{4}$  потока  $\Rightarrow S_m = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2}{16} = \frac{\pi D^2}{64} \Rightarrow \boxed{R = \frac{D}{8}}$

$$\Rightarrow V = \frac{D}{8\epsilon_0}$$

4) ~~За  $t_1$  мимень проходит  $\frac{D}{4}$~~   $\Rightarrow t_1 = \frac{D}{4V} \Rightarrow$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{D \cdot 8\epsilon_0}{4D} = 2\epsilon_0$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Large grid area for writing the answer.

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)