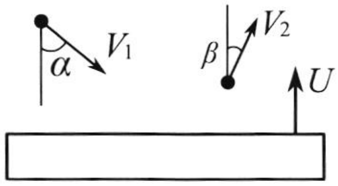
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

Класс 11 **Вариант 11-04**

Шифр
(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость V_1 = 18 м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3} \right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta \left(\sin\beta = \dfrac{3}{5} \right)$ с вертикалью.



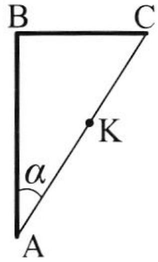
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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 аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона T_1 = 320 К, а криптона T_2 = 400 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 аргона и криптона.
2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

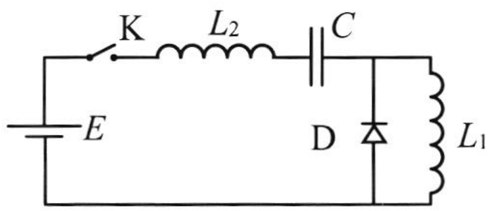
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

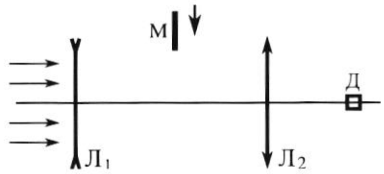
2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

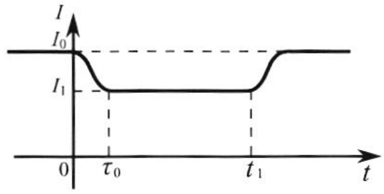
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.



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 Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0, соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D, причем D значительно меньше F_0. На линзу Л$_1$ 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 F_0 от $Л_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 7I_0/16$





.

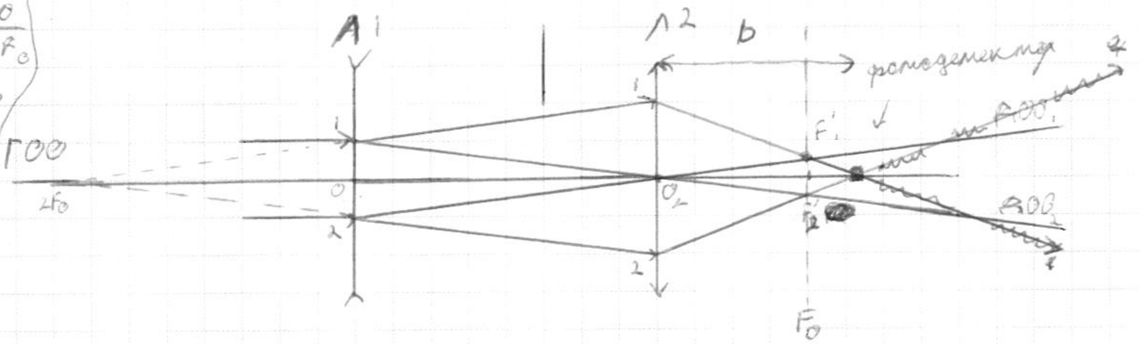
1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

№5

Дано:
$F_2 = -2F_0$
$F_1 = F_0$
D
t_0

b — ?
v — ?
t_1 — ?



Лучи, идущие параллельно ГОО преломляются так, что их продолжения проходят через точку фокуса рассеивающей линзы. После чего ~~…~~ проходят через собирающую линзу и преломляются так, что все лучи проходят через фотодетектор.

Расстояние от фокуса рассеивающ. ~~…~~ линзы до собирающей

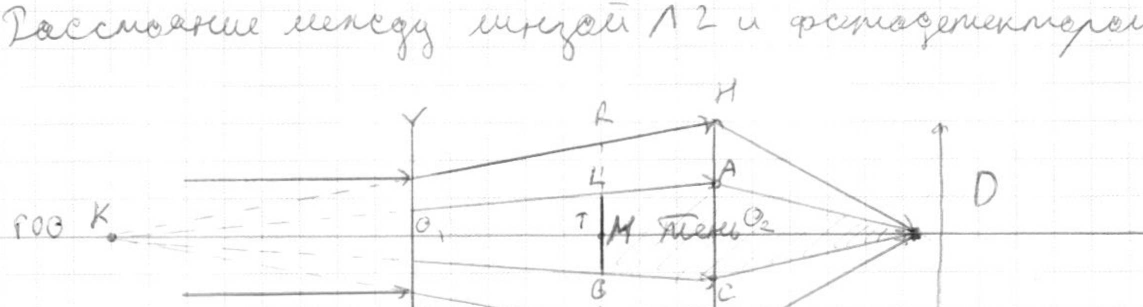
$$a = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0$$

фокус; расстояние между линзами

Продолжения всех лучей проходят через точку фокуса рассеивающей линзы, тогда по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{1}{a} = \frac{a-F}{aF} \Rightarrow b = \frac{aF}{a-F} = \frac{4F_0 \cdot F_0}{4F_0 - F_0} = \frac{4}{3}F_0$$

Расстояние между линзой Л2 и фотодетектором $b = \frac{4}{3}F_0$



Весь свет, попадающий на фотодетектор выходит из линзы. Если закрыть часть света мишенью, на фотодетектор его попадет меньше, следовательно, его ток будет меньше.

$$I = \alpha \cdot S$$

I — сила тока; α — постоянная; S — площадь освещенности.

Линза имеет форму круга.

$$I_0 = \alpha \cdot \pi \frac{D^2}{4}$$

$$I_1 = \alpha \cdot \left(\pi \frac{D^2}{4} - \pi \frac{AC^2}{4}\right) = \alpha\pi \frac{D^2 - AC^2}{4}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{D^2 - AC^2}{D^2} = \frac{7}{16} \qquad 7D^2 = 16D^2 - 16AC^2$$

$$AC^2 = \frac{9}{16} D^2 \qquad AC = \frac{3}{4} D$$

$\triangle KLG \sim \triangle KAC$ по 2м углам

$$\frac{LG}{AC} = \frac{M}{AC} = \frac{KT}{KO_2} = \frac{4F_0 - F_0}{4F_0} = \frac{3}{4} \Rightarrow M = \frac{3}{4} AC = \frac{9}{16} D$$

t_0 — время, когда $I'(t) = 0$, значит за t_0 M вошел в освещенную область

$$v = \frac{M}{t_0} = \frac{9D}{16 t_0}$$

$\triangle KRQ \sim \triangle KHB$ по 2м углам

$$\frac{RQ}{HB} = \frac{KT}{KO_2} = \frac{4F_0 - F_0}{4F_0} = \frac{3}{4} \Rightarrow RQ = \frac{3}{4} HB = \frac{3}{4} D$$

RQ — путь мишени M в освещенной области

$$t_2 = (t_1 - t_0) + t_0 = \frac{RQ}{v} + t_0 = \frac{3D \cdot 16 t_0}{4 \cdot 9D} + t_0 = \frac{7}{3} t_0$$

Ответ: $\frac{4}{3} F_0$, $\frac{9D}{16 t_0}$, $\frac{7}{3} t_0$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2

Дано:

$\nu_{1,2} = \frac{3}{5}$ моль

$T_1 = 320$ K

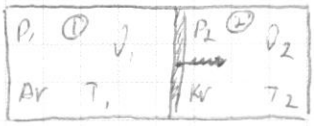
$T_2 = 400$ K

$R = 8,31 \frac{Дж}{моль\cdot K}$

$\frac{V_{1н}}{V_{1к}}$ — ?

$T_{конеч}$ — ?

$Q_{отд}$ — ?



В начальный момент поршень находился в равновесии, давления в ① и ② отсеках равны. $p_1 = p_2 = p$

$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$

$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2$

$\Rightarrow \frac{\cancel{p_1} V_1}{\cancel{p_2} V_2} = \frac{\cancel{\nu_1 R} T_1}{\cancel{\nu_2 R} T_2}$ $\quad \frac{V_{1н}}{V_{1к}} = \frac{T_1}{T_2} = 0,8$

Процесс остывания газов происходит при постоянном давлении за счет подвижного поршня ~~теплоемкость при постоянно~~ $|Q_{получ}| = |Q_{отд}| = \nu_{12} C_p \Delta T_1 = \nu_{12} C_p \Delta T_2$

Газы идеальные одноатомные, их теплоемкости одинаковые

$\Delta T_1 = \Delta T_2$

$T_к - T_1 = T_2 - T_к \qquad T_к = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320K + 400K}{2} = 360K$

$Q_{отд} = A_г + \frac{3}{2}\nu R \Delta T = p(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}\nu R \Delta T = \frac{5}{2}\nu R \Delta T =$

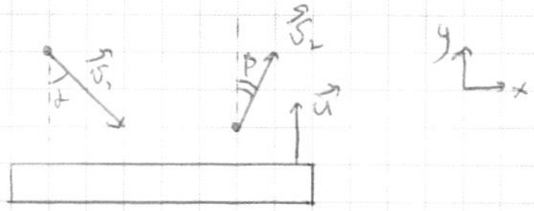
$= \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{5}$ моль $\cdot 8,31 \frac{Дж}{моль\cdot K} \cdot (360K - 320K) = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 40$ Дж $=$

$= 8,31 \cdot 60$ Дж $= 498,6$ Дж $\approx 0,5$ кДж

Ответ: 1) 0,8; 2) 360 K; 3) 0,5 кДж.

№ 1

Дано
$v_1 = 18\ \frac{м}{с}$
$\sin\alpha = \frac{2}{3}$
$\sin\beta = \frac{3}{5}$
v_2 - ?
u - ?



По ЗСИ: $\vec p_н = \vec p_к$

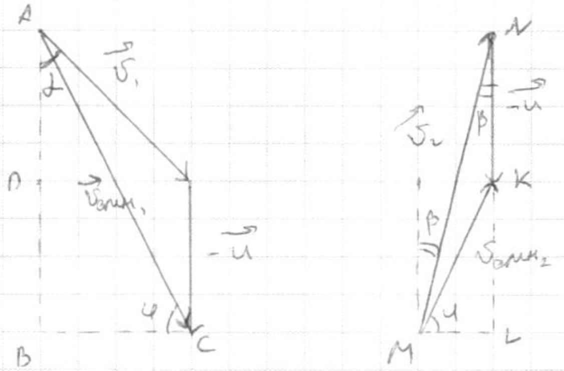
На Ox: $v_1 \cdot \sin\alpha = v_2 \cdot \sin\beta$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{18\cdot\frac{2}{3}}{\frac{3}{5}}\ \frac{м}{с} = \underline{20\ \frac{м}{с}}$$

Рассмотрим движение в системе отсчета, связанной с массивной плитой.

$\vec v_{абс} = \vec v_{отн} + \vec v_{пер}$ $\qquad \vec v_1 = \vec v_{отн_1} + \vec u$ $\qquad \vec v_{отн_1} = \vec v_1 + (-\vec u)$

$\qquad \vec v_2 = \vec v_{отн_2} + \vec u$ $\qquad \vec v_{отн_2} = \vec v_2 + (-\vec u)$



На шарик не действуют силы, значит угол его падения на поверхность равен углу отскока от нее

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{AB}{BC} = \frac{AD + DB}{BC} = \frac{|\vec v_1|\cos\alpha + |\vec u|}{|\vec v_1|\sin\alpha} = \frac{KL}{ML} = \frac{NL - KN}{ML} = \frac{|\vec v_2|\cos\beta - |\vec u|}{v_2 \sin\beta}$$

$$\frac{v_1\cos\alpha + u}{v_1 \sin\alpha} = \frac{v_2\cos\beta - u}{v_2\sin\beta} \Rightarrow v_1\cos\alpha \cdot v_2 \sin\beta + u v_2 \sin\beta =$$

$$= v_2\cos\beta\, v_1 \sin\alpha - u\cdot v_1 \sin\alpha$$

$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \frac{\sqrt5}{3}$ $\qquad \cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta} = \frac{4}{5}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$u \cdot v_1 \cdot \sin\alpha + u v_2 \sin\beta = v_2 \cos\beta\, v_1 \sin\alpha - v_1 \cos\alpha \cdot v_2 \sin\beta$$

$$u = \frac{v_2 \cos\beta\, v_1 \sin\alpha - v_1 \cos\alpha\, v_2 \sin\beta}{v_1 \sin\alpha + v_2 \sin\beta} =$$

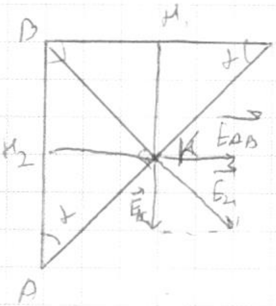
$$= \frac{20\frac{м}{с}\cdot\frac{4}{5}\cdot 18\frac{м}{с}\cdot\frac{2}{3} - 18\frac{м}{с}\cdot\frac{\sqrt5}{3}\cdot 20\frac{м}{с}\cdot\frac{3}{5}}{18\frac{м}{с}\cdot\frac{2}{3} + 20\frac{м}{с}\cdot\frac{3}{5}} = \frac{16\cdot 12 - 6\sqrt5\cdot 12}{12\cdot 2}\frac{м}{с} =$$

$$= 8 - 3\sqrt5\ \frac{м}{с} \approx \underline{1{,}7\frac{м}{с}}$$

Ответ: 1) $20\frac{м}{с}$, 2) $1,7\frac{м}{с}$.

№ 2

Случай 1) ~~...~~ Равно: $\alpha = \frac{\pi}{4}$; $6_1 = 6_2$.



$\triangle ABC$ равнобедренный

$AK = KC$, значит BK - медиана, биссектриса и высота.

Пластины бесконечные, следовательно, их площадь тоже бесконечная. Т.к. поверхностный заряд одинаковый, значит пластины создают одинаковые напряженности. По принципу суперпозиции $\vec E_{BC} \perp BC$, $\vec E_{AB} \perp AB$, $|\vec E_{BC}| = |\vec E_{AB}|$. Сначала ~~...~~ в т. K была ~~...~~ напряженность $\vec E_{BC}$, направленная (по рис) вниз, потом добавилась напряженность $\vec E_{AB}$, направленная (по рис) ~~...~~ вправо. $(\vec E_{BC}; \vec E_{AB}) = 90^\circ$, тогда $E_2 = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{2E_{BC}^2} = E_{BC}\sqrt2$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

тогда $\frac{E_1}{E_0} = \frac{\sqrt{2}\,E_{BC}}{E_{BC}} = \underline{\sqrt{2}}$

$\triangle AKB = \triangle BKC$, тогда $KH_1 = KH_2$, тогда $|\vec{E_{BC}}| = |\vec{E_{AB}}|$ т.к. расстояния от пластин до точки одинаковы.

Ответ: 1) $\sqrt{2}$

№ 4

Дано
$L_1 = 5L$
$L_2 = 4L$
C
E
T - ?
$I_{01\,max}$ - ?
$I_{02\,max}$ - ?

1) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L_2}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{4L}{C}} = 4\pi\sqrt{\frac{L}{C}}$

Ответ: 1) $4\pi\sqrt{\frac{L}{C}}$

☐ черновик ☑ чистовик Страница № 6

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$

$\cos\beta = \frac{4}{5}$

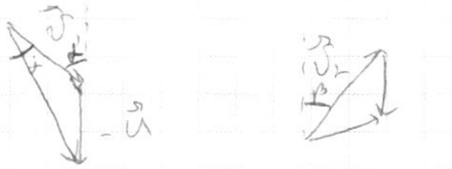
$v_{2y} = 20\cdot\frac{4}{5} = 16$

$\boxed{v_{1y} = 6\sqrt{5} \geq 12}$

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

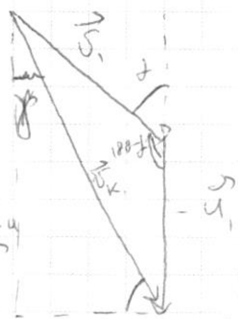
$\boxed{v_2 = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{\sin\beta}} = \frac{18\cdot\frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{12\cdot 5}{3} = 20$

$v_{абс} = v_{отн} + v_{пер}$ $\quad \vec{v}_{отн} = \vec{v}_{абс} - \vec{v}_{пер} = \vec{v}_{абс} + (-\vec{v}_{пер})$



$20\cdot\frac{4}{5}$

$tg\beta = \frac{v_1 \cdot \sin\alpha}{v_1\cos\alpha + u} = \frac{12}{6\sqrt{5}+u}$ $\quad \frac{6\sqrt{5}+u}{12}$

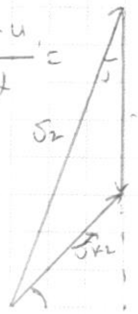


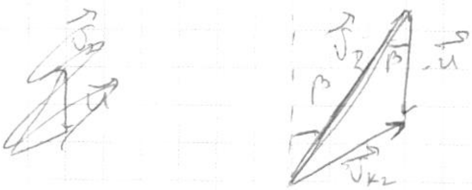
$v_1 \cdot \sin\alpha = v_K \cdot \sin\beta$

$v_{K_1} = \sqrt{v_1^2 + u_1^2 - 2\cdot v_1 \cdot u_1 \cos(180-\alpha)} =$

$= \sqrt{v_1^2 + u_1^2 + 2\cdot v_1 \cdot u_1 \cdot \cos\alpha}$

$tg\varphi = \frac{v_2 \cdot \cos\alpha - u}{v_2 \cdot \sin\alpha} = \frac{16-u}{12}$





$v_{K_2} = \sqrt{v_2^2 + u^2 - 2\cdot v_2 \cdot u \cdot \cos\beta}$

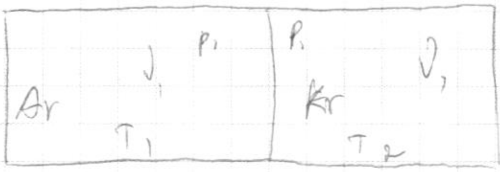
$v_1^2 + \cancel{u^2} + 2v_1 u \cos\alpha = v_2^2 + \cancel{u^2} - 2v_2 u \cos\beta$

$2v_1 u \cos\alpha + 2v_2 u \cos\beta = v_2^2 - v_1^2$

$$2u\,(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta) = (v_2 - v_1)(v_2 + v_1)$$

$$u = \frac{(v_2 - v_1)(v_2 + v_1)}{(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta)\cdot 2} = \frac{\cancel{2}\,360}{6\sqrt{5} + 16} \approx 20$$

№2



$p_1 V_a = \nu_1 R T_1 \qquad p_1 V_k = \nu_1 R T_2$

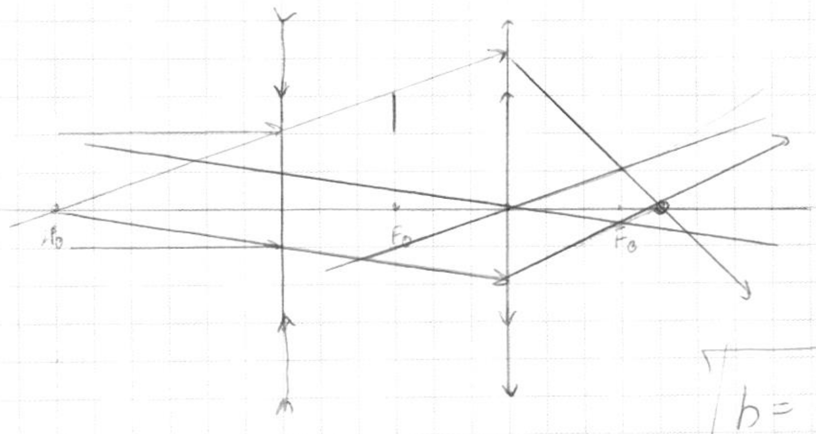
$$\frac{V_a}{V_k} = \frac{T_1}{T_2}$$

360K

$$\boxed{Q_{подвр} = A_г + \Delta U = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = \frac{\cancel{5}}{\cancel{2}}\cdot\frac{3}{\cancel{5}}\cdot 8{,}31\cdot \cancel{40}^{20}}$$

$$\begin{array}{r} 8{,}31 \\ \times\ 60 \\ \hline 498{,}60 \end{array}$$

№3



$$\boxed{b = \frac{F_0\cdot 4F_0}{F_0 + 3F_0} = \frac{4}{3}F_0}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

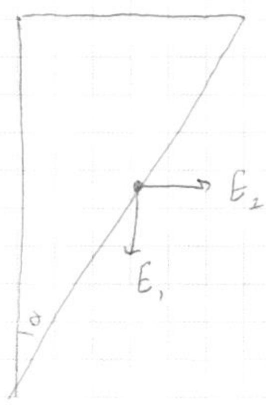
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{1}{a} = \frac{a - F}{Fa}$$

$$Q = \nu C_p \Delta T_1 = \nu c_p \Delta T_2 \qquad \cos f = \sqrt{1-\left(\frac{2}{3}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$T - 320 = 400 - T \qquad T = 360$$

$$\frac{\overset{16}{\cancel{20\cdot\frac{4}{5}}}\cdot 18\cdot\frac{2}{3} - 18\cdot\frac{\sqrt{5}}{3}\cdot 20\cdot\frac{3}{5}}{18\cdot\frac{2}{3} + 20\cdot\frac{3}{5}} =$$

$$= \frac{16\cdot 12 - 6\sqrt{5}\cdot 12}{12+12} = 8 - 3\sqrt{5}$$



$$\times\ \begin{array}{r} 8{,}31 \\ 60 \\ \hline 498{,}60 \end{array}$$

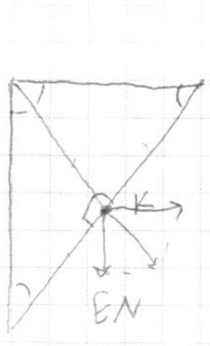
№1

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\pi\sqrt{\frac{4L}{C}} = 4\pi\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$I_1 = 0 \qquad E = U_{L_2} + U_C$$

$$E\Delta q = \frac{q^2}{2C} + \frac{4LI^2}{2} + \frac{5LI^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + \frac{9LI^2}{2}$$

№3



пластины бесконечные, следовательно, ~~[illegible]~~ напряженности, создаваемая этими пластинами будут одинаковые т.к. ~~[illegible]~~ поверхностный заряд одинаковый.
По принципу суперпозиции B от пластины AB будет направлен по рисунку вниз B

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

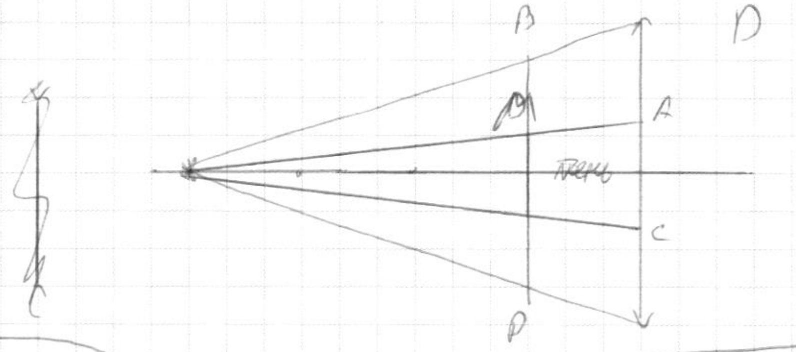
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$\frac{3}{4}D$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{D^2 - AC^2}{D^2} = \frac{7}{16}$$

$$7D^2 = 16D^2 - 16AC^2$$

$$16AC^2 = 9D^2$$

$$AC^2 = \frac{9}{16}D^2$$

$$\frac{M}{AC} = \frac{3}{4} \quad AC = \frac{3}{4}D$$

$$I = K \cdot D$$

$$I_1 = K \cdot (D - AC)$$

$$\frac{I_1}{I_1} = \frac{D}{D - AC} \quad \frac{16}{7} = \frac{D}{D - AC}$$

$$I = K \cdot \pi \frac{D^2}{4}$$

$$I_1 = K\left(\pi\frac{D^2}{4} - \pi\frac{AC^2}{4}\right) = K\pi\frac{D^2 - AC^2}{4}$$

$$7D = 16(D - AC)$$

$$7D = 16D - 16AC$$

$$16AC = 9D$$

$$AC = \frac{9D}{16}$$

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

~~$M = \frac{3}{4}AC = \frac{27}{64}D$~~

~~$v = \frac{M}{t_0} = \frac{27D}{64t_0}$~~

$$M = AC \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{4}D\frac{3}{4} = \frac{9}{16}D$$

$$v = \frac{M}{t_0} = \frac{9D}{16t_0}$$

$$t_1 = (t_1 - t_0) + t_0 = \frac{BD}{v} + t_0 =$$

$$= \frac{3D}{4 \cdot v} + t_0 = \frac{3D \cdot 16t_0}{4 \cdot 27D \cdot 9} = \frac{16}{9}t_0 + t_0 = \frac{25}{9}t_0$$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)