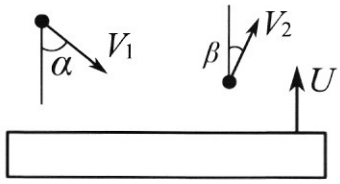
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

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 $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta = \dfrac{1}{3}\right)$ с вертикалью.



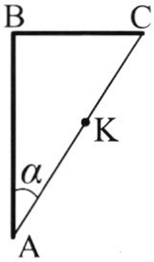
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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 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?

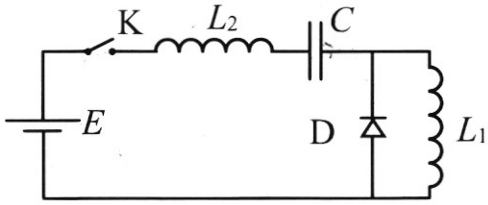
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



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?

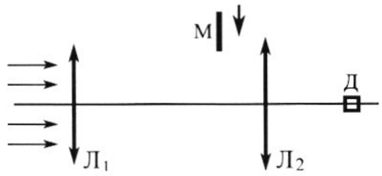
2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

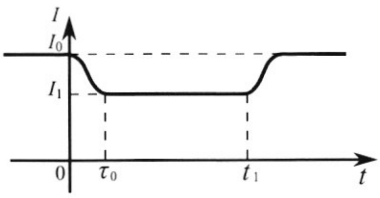
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.



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 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 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 $5F_0/4$ от Л$_1$. 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 Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

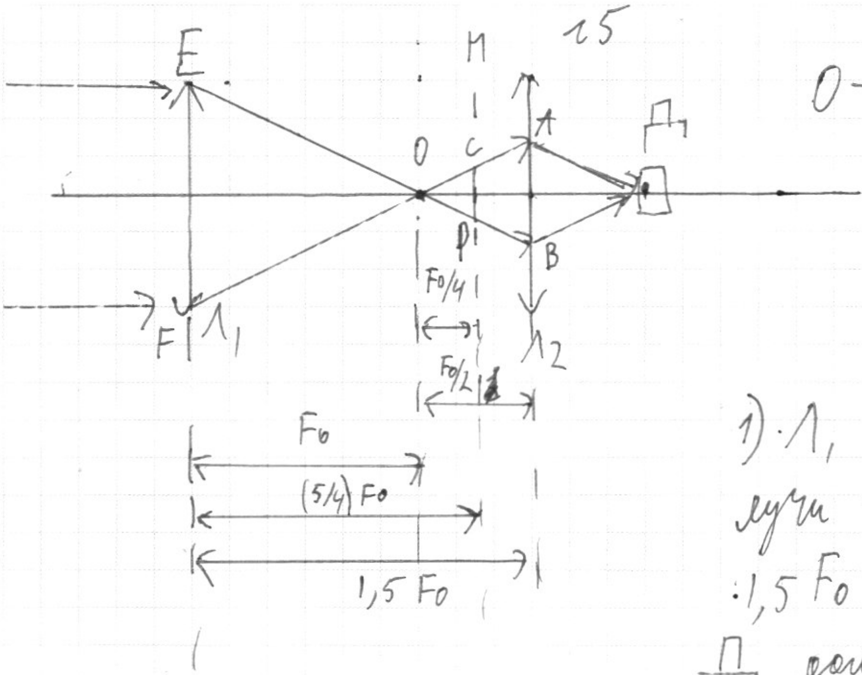
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



O - фокус $Л_1$

1) · $Л_1$ фокусирует все лучи в фокусе O на расстоянии $1{,}5\,F_0 - F_0 = \frac{F_0}{2}$ от $Л_2$

Д должен располагаться в сопряженной точке

По формуле: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$; подставляем значения $d = \frac{F_0}{2}$; $F = \frac{F_0}{3}$.

$\frac{2}{F_0} + \frac{1}{f} = \frac{3}{F_0}$; значит $f = F_0$ -

- расстояние между Д и $Л_2 = F_0$

2) · AB - диаметр пучка света попадающий на $Л_2$

EF - диаметр $Л_1$, $EF = \mathcal{D}$; $\triangle OEF$ подобен $\triangle OBA$

$\frac{AB}{EF} = \frac{F_0/2}{F_0} = \frac{1}{2}$; $AB = \frac{1}{2} EF = \frac{1}{2}\mathcal{D}$.

· CP - диаметр пучка света в месте, где мишень пересекает его. $\triangle OAB$ подобен $\triangle OCP$

$\frac{CP}{AB} = \frac{F_0/4}{F_0/2} = \frac{1}{2}$ $CP = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{4}\mathcal{D}$.

$I_1 = 8I_0/9$ т.е. мишень перекрывает $\frac{1}{9}$ пучка света, ее площадь $= \frac{1}{9}$ площади пучка, значит ее диаметр $l = \frac{1}{3}CP$ (площади относятся, как диаметры в квадрате) $l = \frac{1}{3} \cdot CP = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} D = \frac{1}{12} D$

за время τ_0 мишень полностью зашла в пучок т.е. прошла путь l равный ее диаметру

$$v = \frac{l}{\tau_0} = \frac{\frac{1}{3}CP}{\tau_0} = \frac{\frac{1}{12}D}{\tau_0} = \frac{D}{12\tau_0}$$

3) во время t_1 мишень дойдет до конца пучка и за это время пройдет путь CP

$$t_1 = \frac{CP}{v} = \frac{1}{4}D : \frac{D}{12\tau_0} = 3\tau_0$$

Ответ: 1) F_0 2) $\frac{D}{12\tau_0}$ 3) $3\tau_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

1) Т.к. поверхность гладкая и горизонтальная, то горизонтальная составляющая скорости не изменилась.

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

$v_2 = v_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 6 \cdot \frac{2}{3} : \frac{1}{3} = 12$ (м/с)

2) · В системе отсчета связанной с плитой. Вертикальная проекция скорости шарика до удара ~~равна~~ больше по модулю вертикальной проекции после удара. (т.к. при упругом ударе они ~~$v_1\cos\alpha + u = v_2\cos\beta - u$~~ равны, а при неупругом часть энергии теряется)

$v_1 \cos\alpha + u > v_2\cos\beta - u$, $\cos\beta = \sqrt{1-\frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{8}}{3}$

$u > \frac{1}{2}(v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha)$ $\cos\alpha = \sqrt{1-\frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$

$u > \frac{1}{2}\left(12 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} - 6 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3}\right)$

$u > 2\sqrt{8} - \sqrt{5}$ (м/с)

При этом $v_2\cos\beta - u > 0$, иначе шарик не оторвется от поверхности плиты.

$u < v_2\cos\beta = 12 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} = 4\sqrt{8}$ (м/с)

Ответ: 1) 12 м/с 2) $2\sqrt{8} - \sqrt{5} < u < 4\sqrt{8}$ (м/с)

1) т.к. поршень двигается без трения, то в обоих частях сосуда давление одинаково $= P_0$ (иначе на поршень действовала сила, и он пришел бы в движение) ν - одинаковое

для гелия $P_0 \cdot V_Г = \nu R \cdot 330$
для неона $P_0 \cdot V_Н = \nu R \cdot 440$ откуда $\frac{V_Г}{V_Н} = \frac{3}{4}$

2) т.к. ~~все~~ сколько тепла неон отдал, столько же тепла принял гелий; и давление газов одинакова, ~~поэтому~~ изменение объемов одинаково, поэтому работа гелия равна работе над неоном; а значит по модулю ΔU гелия $= \Delta U$ неона.

$\frac{3}{2}\nu R(T-330) = \frac{3}{2}\nu R(440-T)$ откуда

$T = \frac{440+330}{2} = 385$ K.

3) Изначально $\frac{V_Г}{V_Н} = \frac{3}{4}$ т.е. гелий занимал

$V_Г = \frac{3}{7} V_{общее} = \frac{3}{7}V$. V- общий объем.

После установления равновесия у обоих газов одинаковые температуры и давления и ν, а значит и одинаковый объем. т.е. $V_{Г2} = \frac{1}{2}V$.

$P_0 \cdot \frac{3}{7}V = \nu R \cdot 330$
$P_2 \cdot \frac{1}{2}V = \nu R \cdot 385$ разделим и получим $P_2 = P_0$.

Для изобарного процесса $Q = \Delta U + A_Г = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + p\Delta V = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\cdot\frac{6}{25}\cdot 8,31\cdot(385-330) = 8,31\cdot 33 = 274,23$ Дж

Ответ: 1) 3 : 4 2) 385 K 3) 274,2 Дж.

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

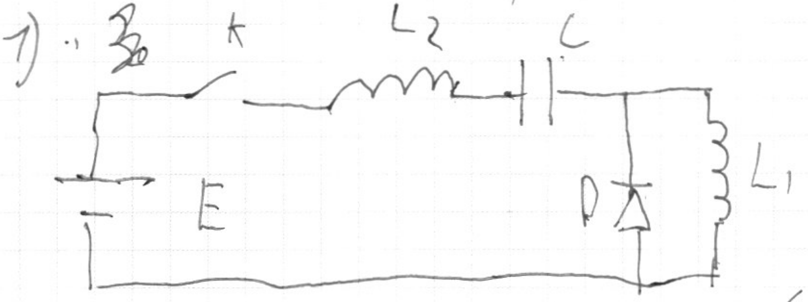
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

1) :



~~Время~~ $T = 2\pi\sqrt{LC}$

время половины колебания $T = \pi\sqrt{LC}$

Когда проходит половина колебания по часовой стрелке, то диод закрыт, ток идет через 2 катушки с ~~ин~~ $L' = L_1 + L_2 = 5L$ время $t_1 = \pi\sqrt{5LC}$

первой половины колебания

когда против часовой стрелки диод открыт, ток не пойдет через L_1 и $L'' = L_2 = 2L$

$t_2 = \pi\sqrt{2LC}$

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

2) : ~~Когда~~ Конденсатор сохраняет заряд $q_{max} = CU = C\mathcal{E}$, когда проходит половина колебания по часовой стрелке

Источник совершает работу $A = qE = CE^2$

По закону сохранения энергии $A + \cancel{W}_{конд} \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{L_1 I^2}{2} + \frac{L_2 I^2}{2}$

$$\frac{3C\mathcal{E}^2}{2} = (L_1 + L_2)\frac{I^2}{2} \qquad I = \sqrt{\frac{3C\mathcal{E}^2}{5L}} = \mathcal{E}\cdot\sqrt{\frac{3C}{5L}}$$

Ответ: 1) $T = (\sqrt{5}+\sqrt{2})\pi\sqrt{LC}$ 2) $I_{max} = \mathcal{E}\cdot\sqrt{\frac{3C}{5L}}$.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

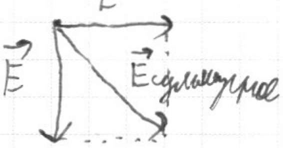
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

1) Пластина BC создает $\vec{E}$ направленную вниз

~~пластина AC расположенна~~

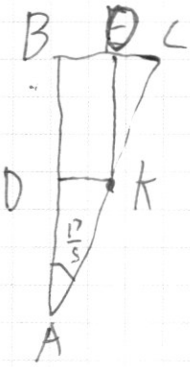
точка K расположенна симметрично относительно обоеих пластин и их σ одинаковы, поэтому пластина AB создает E такую же по модулю, и направленную вправо



векторно сложив получим $\vec{E}_{суммарное}$, которое в $\sqrt{2}$ больше E

2) пластина BC создает $E = \frac{4\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{2\sigma}{\varepsilon_0}$

пластина AB создает $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

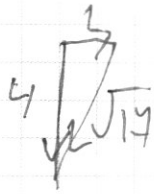


Пусть $AC = 2l$.

тогда $DK = l \sin\frac{\pi}{8}$ - расстояние от K до AB

$OK = l\left(2 - \cos\frac{\pi}{8}\right)$ - расстояние от K до BC

$\vec{E}_{общ} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \sqrt{17} \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ - ~~т.к.~~ векторные суммы



Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз. 2) $\frac{\sqrt{17}\,\sigma}{2\varepsilon_0}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\cos 2\alpha = \frac{\cos^2\alpha - 1}{2}$

$2\pi k\sigma$

$6 \cdot \frac{2}{3} = 12 \cdot \frac{1}{3}$

u

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

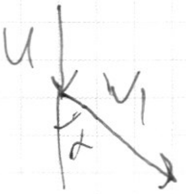
$\sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{8}}{3}$

$v_2 = 12$

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

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

q



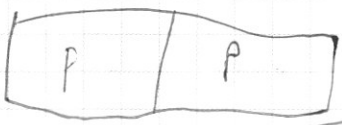
$2u = 12 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} - 6 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} =$

$E = U/d$ $E = \frac{U}{d}$ $\cos^2\alpha = \frac{1+\cos 2\alpha}{2}$

$u = 2\sqrt{8} - \sqrt{5}$

$\frac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{2}$

$E = \frac{U}{d}$



$\nu = 6/25$

$pV_1 = \nu RT$ $\sqrt{\frac{1+\frac{\sqrt{2}}{2}}{2}}$

$pV_1 = \nu RT$

$pV_2 = \nu RT$

$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

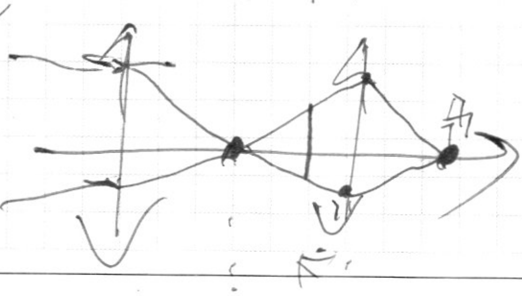
$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $\sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{4}}$ $Q = cm\Delta t$

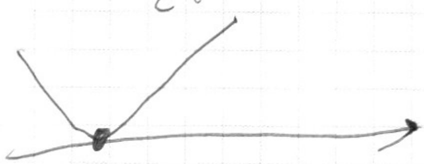
$\varepsilon - L\frac{dI}{dt}$

$6k.$

$\frac{qk}{r^2}$

$4m\beta 30 + 2 m_{H}$



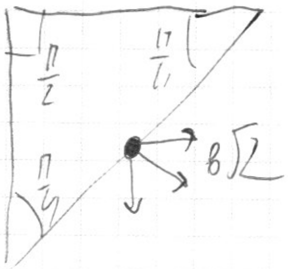


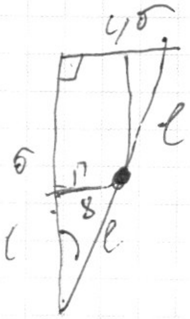
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)



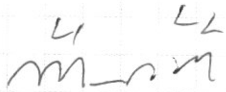


$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{q}{S\varepsilon_0}$

$l\cos\frac{\pi}{8}$ $l\sin\frac{\pi}{8}$

$2l - l\cos\frac{\pi}{8} = l(2-\cos\frac{\pi}{8})$

$E = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$

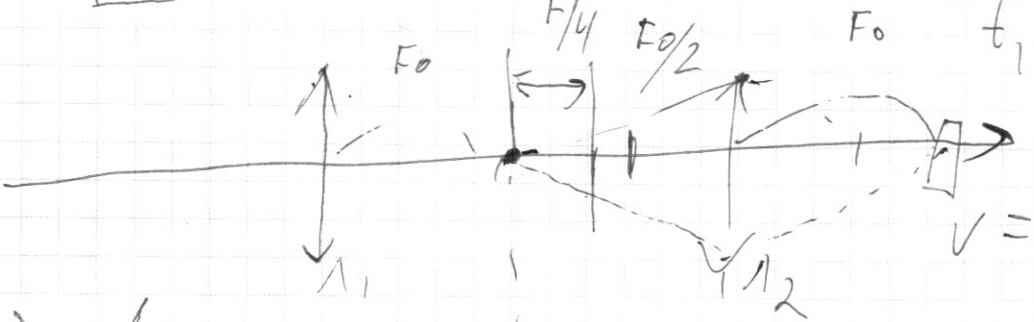


$T = 2\pi\sqrt{LC}$

$L_1 dI + L_2 dI = (L_1+L_2)dI$

$T = \pi\sqrt{L_1C} + \pi\sqrt{L_2C} = (\sqrt{3}+\sqrt{2})\pi\sqrt{LC}$

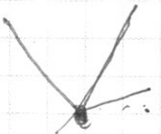
$\boxed{q = C\cdot E}$



$t_1 = \frac{D}{2V}$

$V = \frac{l}{\tau_0}$

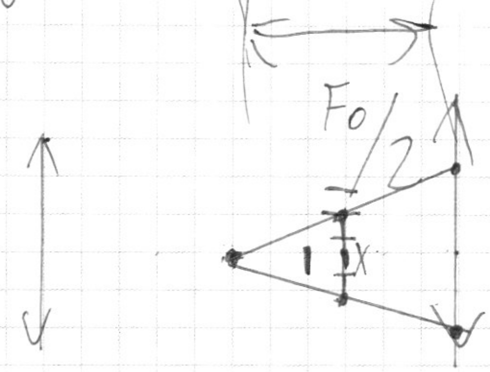
$\frac{2}{F_0} + \frac{1}{x} = \frac{3}{F_0}$



Fo=12kΛ

$x = F_0$

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



$\frac{3}{5}\cdot 55$

$\frac{D}{x} = \frac{F/2}{F/4} = 2$

за τ_0 0,6

☑ 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

$l = \frac{D}{18}$. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{385 \cdot 3}{330 \cdot 3{,}5} = \frac{385}{11 \cdot 35} = 1$

$p_1 \cdot 3V = \nu R\, 330$

$p_2 \cdot 3{,}5V = \nu R\, 385$

$V = \frac{D}{18 \tau_0}$ $t_1 = \frac{D}{2V} = 9\tau_0$ $pV_1 = \nu RT$

Qa

$\boxed{32 \quad 42}$ $7V$. $7-$

Путь к. Q.

$p_1 V_1 = \nu R\, 330$

$p_1 V_2 = \nu R\, 440$.

$Q = \frac{3}{2}\nu R(T - 330) + \Delta(pV)$

P V

385.

$\cancel{\frac{3}{2}}\nu R T_1 + \cancel{\frac{3}{2}}\nu R T_2 = \cancel{\frac{3}{2}}\nu R T \cdot 2$.

$U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T$

$p V_1 = \nu R T_1$ $\frac{3{,}5 p_2}{3 p_1} = \frac{385}{330}$ $T_1 + T_2 = 2T$.

$p V_2 = \nu R T_2$

$T = 385$.

$Q = 0$.

$A = 0$

$\Delta U = 0$.

$p_1 \cdot 3V_1 = \nu R \cdot 330$ $p_1 4V_1 = \nu R \cdot 440$

$p_2 \cdot 3{,}5V_2 = \nu R \cdot 385$. $p_2 \cdot 3{,}5V_1 = \nu R \cdot 385$

$Q = \Delta U + A_\Gamma = \frac{3}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 8{,}31 \cdot 55 + A_\Gamma\ p\Delta V = \nu R \Delta T$.

$-Q = -\Delta U_1 - A_\Gamma$

$\frac{3}{2}\nu R \Delta T$

$\frac{3}{2}\nu R \Delta T$.

$$\begin{array}{r} \times\ 8{,}31 \\ 33 \\ \hline 2493 \\ 2493\ \ \\ \hline 274{,}23 \end{array}$$

☐ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

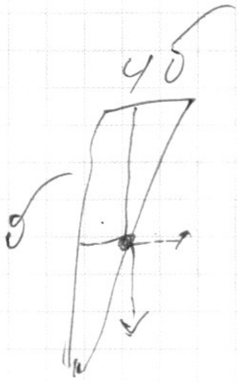
$T = (\sqrt{3} + \sqrt{2})\pi\sqrt{LC}$

$l \sin\frac{\pi}{6}$

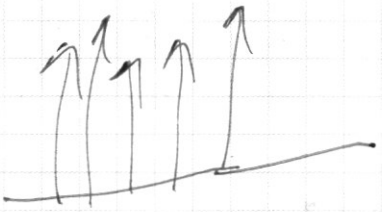
$l(2 - \cos\frac{\pi}{8})$

4σ

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



$\frac{4\sigma}{2\varepsilon} + \frac{\sigma}{2\varepsilon}$



q_{max}

$q = \frac{C \cdot E}{\cancel{2}}$

Раб. источника $= E \cdot q$

$\frac{C \cdot E^2}{2}$

$\frac{CE^2}{2} = \frac{Li^2}{2}$

$\frac{CE^2}{2}$ $\frac{Li^2}{2}$

$q = \varepsilon C$

$\frac{Li^2}{2} + A_u = \frac{CU^2}{2} + A_u$

$q = \varepsilon C$

$\frac{\varepsilon^2 C}{2}$

$q\varepsilon + \frac{q^2}{2C} = \frac{L i_1^2}{2} + \frac{L i_2^2}{2} =$

$A_u +$

$q\varepsilon + \frac{q^2}{2C}$ ε^2