Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

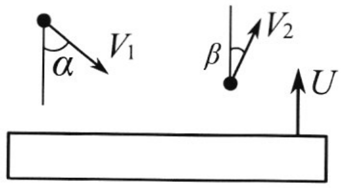
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

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 $\alpha\left(\sin\alpha=\dfrac{3}{4}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta=\dfrac{1}{2}\right)$ с вертикалью.



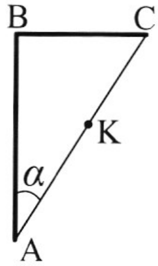
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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 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?

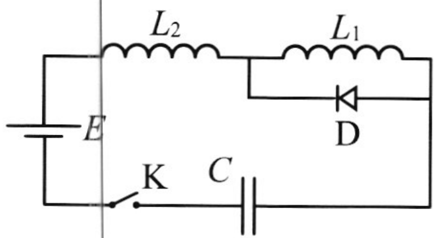
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



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?

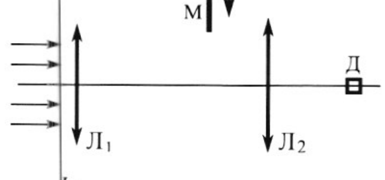
2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1=2\sigma, \sigma_2=\sigma$, соответственно. Угол $\alpha=\pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

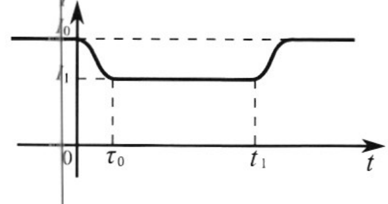
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1.



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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 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 $2F_0$ от Л$_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1=3I_0/4$.

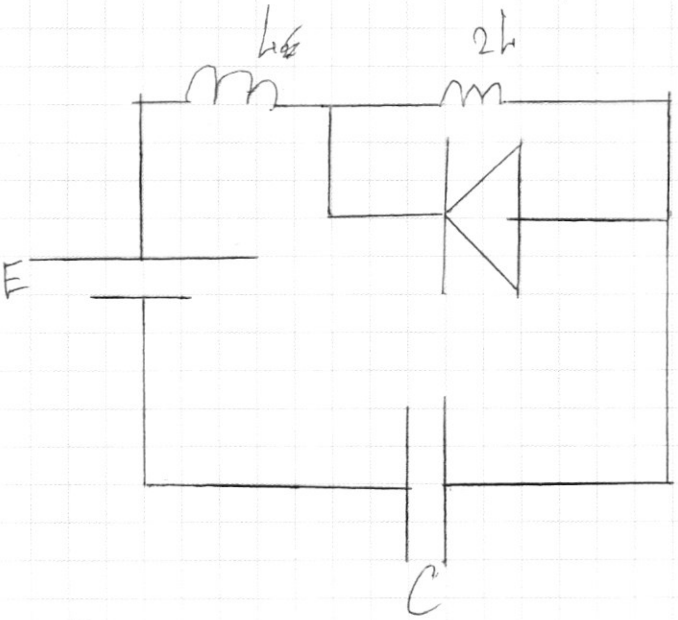




1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

№4



Рассмотрим сначала как вообще проходит процесс. Понятно, что, пока ток (по часовой) будет течь так, чтобы зарядить конденсатор (~~по часовой~~), будут гармонические колебания (по второму правилу Кирхгофа $\frac{q}{C} + \ddot{q}(L_1+L_2) = E$)

Но, когда на конденсаторе будет ~~заряд~~ напряжение, такой чтобы он начал разряжаться (это напряжение из з. сохранения энергии: $Eq = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow q = 2EC \Rightarrow (U_C = 2E)$, ток начнёт проходить через диод и тогда мы можем написать правило Кирхгофа для системы из диода и катушки (2L), ~~в пототь~~ напряжение на катушки 2L нет, т.е. ток постоянен и (т.к. изначально он был 0), то и сейчас он будет 0).

Тогда, по факту, в этой задаче ~~колеб~~ происходит два вида гармонических колебаний (с 2L и без 2L)

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

1) Из всего выше сказаного можно сделать вывод, что $T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2}$ (т.к. ток в другом направлении нас не интересует) где T_1 – период колебаний с 2L, а T_2 – без 2L

~~8~~ С 2L ур-ие выглядит так:

$$\frac{(q - EC)}{3LC} + \ddot{q} = 0 \quad \cancel{-\ddot{q} = (q - EC)}$$

$$\cancel{\text{тогда } T_1 = \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}}$$

Пусть $q_1 = q - EC \Rightarrow \ddot{q}_1 = \ddot{q}$

$$\frac{q_1}{3LC} + \ddot{q}_1 = 0$$

$$\frac{T_1}{2} = \frac{\pi}{\omega_1} = \frac{\pi}{\sqrt{3LC}}$$

Для ~~второго контура~~ без 2L:

$$\frac{q - EC}{CL_2} + \ddot{q} = 0$$ (~~система~~ контур из диод + катушка L + конден + ~~2L~~ C)

$$\cancel{q}\ \frac{q - EC}{CL} + \ddot{q} = 0$$

$$\frac{T_2}{2} = \frac{\pi}{\sqrt{LC}}$$

$$T = \frac{\pi}{\sqrt{LC}} + \frac{\pi}{\sqrt{3LC}}$$

2) ~~Из~~ По закона сохр. энергии следует (что ~~С 2L~~ в цепи с 2L):

$$\frac{3L I_{1м}^2}{2} + \cancel{C}\frac{q^2}{2C} = E \cdot q$$

$$\frac{3L I_{1м}^2}{2} = q\left(E - \frac{q}{2C}\right) \qquad \frac{3L I_{1м}^2}{2} = E \cdot C\left(E - \frac{EC}{2C}\right) = \frac{E^2 C}{2}$$

$$I_{1м} = \sqrt{\frac{E^2 C}{3L}}$$

Продолжение на стр. 4

См. начало задачи на стр. 4

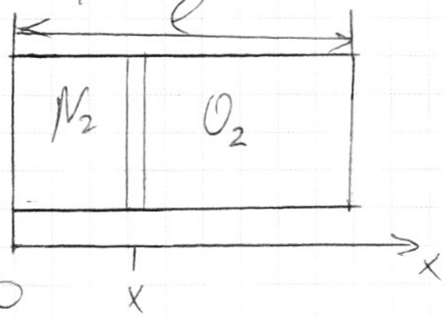
~~3~~ 2) по з. сохранения энергии (для цилиндра с газами):

$\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$

$\frac{5}{2} R \nu (T - T_1) = \frac{5}{2} R \nu (T_2 - T)$

$T = \frac{T_1 + T_2}{2} \Rightarrow T = 400$ (K)

3) т.к. перегородка движется медленно, то ~~у~~ её ускорение очень малое ~~много меньше~~, тогда можно считать, что $p_{N_2} = p_{O_2}$ в любой момент времени.



$pSx = \nu R T_{N_2}$

$pS(l - x) = \nu R T_{O_2}$

$pS(2x - l) = \nu R (T_{O_2} - T_{N_2})$

$2pS\,dx = 2\nu R\,dT$

$pS\,dx = \nu R\,dT$

$A_{N_2} = \int_{\frac{3l}{10}}^{\frac{l}{2}} pS\,dx = \int_{T_1}^{T} \nu R\,dT = \nu R (T - T_1)$

По з. сохранения энергии (для газов по отдельности):

$Q_{N_2} = A_{N_2} + \Delta U_{N_2}$

$Q_{O_2} = A_{O_2} + \Delta U_{O_2}$

$Q_{N_2} = -Q_{O_2}$ $\Rightarrow$ нам достаточно найти Q_{N_2} и это будет кол-во теплоты, к-ое O_2 отдал

$A_{N_2} = -A_{O_2}$

$Q_{N_2} = \nu R (T - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{7}{2} \nu R (T - T_1)$

$|Q_{O_2}| = Q_{N_2} = \frac{7}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 8{,}31 \cdot 100 = \frac{3 \cdot 831}{2} \approx \frac{3 \cdot 830}{2} = 3 \cdot 415 \approx 1245$ (Дж)

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$ 2) 400K 3) 1245 Дж

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (продолжение)

3) Из з. сохранения энергии следует, что на через резистор с L будет максимальный ток, когда будут гармонические колебания в цепи без $2L$

$$\frac{L I_2^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = Eq$$

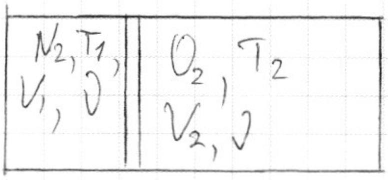
$$I_{max} = \sqrt{\frac{E^2 C}{L}}$$

Ответ: 1) $\frac{\pi}{\sqrt{LC}} + \frac{\pi}{\sqrt{3LC}}$

2) $\sqrt{\frac{E^2 C}{3L}}$

3) $\sqrt{\frac{E^2 C}{L}}$

№2



1) Из з. Клапейрона – Менделеева (для O_2 и N_2)

$$p_1 V_1 = \nu T_1 R$$

$$p_2 V_2 = \nu T_2 R$$

$p_1 = p_2$ т.к. перегородка неподвижна, тогда

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

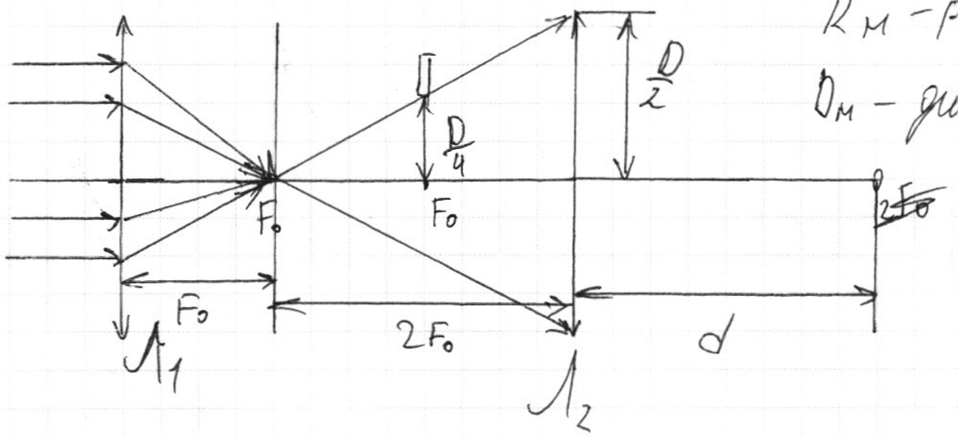
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}$$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



$R_м$ – радиус мишени

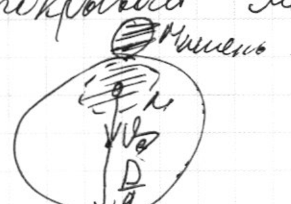
$D_м$ – диаметр мишени

1) Для второй линзы ~~ф~~ фокус первой мы можем рассматривать, как точечный источник.

Тогда т.к. свет фокусируется на фотодетекторе, то по ф-ле тонкой линзы

$\frac{1}{F_0}=\frac{1}{2F_0}+\frac{1}{d} \Rightarrow d=2F_0$

2) Чем большую площадь покрывает мишень тем меньше ток. Еще из условия следует что это прямая, т.е. во сколько раз уменьшилась площадь, в том же уменьшился ток

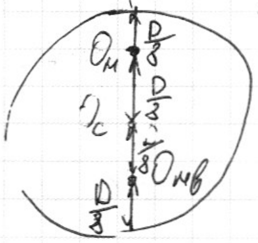


тогда т.к. J_1 постоянен, то он соответствует моменту полного вхождения мишени в "конус света" и т.к. $J_0 - J_1 = \frac{1}{4} J_0$, то

$S_м = \frac{1}{4} S_к$ (т.к.), тогда $\pi R_м^2 = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{D}{4}\right)^2 \Rightarrow R_м = \frac{D}{8} \Rightarrow D_м = \frac{D}{4}$

~~тогда~~ на то чтобы полностью мишень "зайти" в "конус света", ей понадобилось время τ_0, то $v = \frac{D_м}{\tau_0} \Rightarrow v = \frac{D}{4\tau_0}$

3) Чтобы пройти весь (т.е. нижним краем коснуться) "конус света" мишени понадобилось время $t_1 - \tau_0$ (И т.к. ей, чтобы выйти, нужно ~~вр~~ пройти расстояние $\left(\frac{D}{2} - \frac{D}{4}\right)$



$$t_1 - \tau_0 = \frac{D}{4V} = \tau_0$$

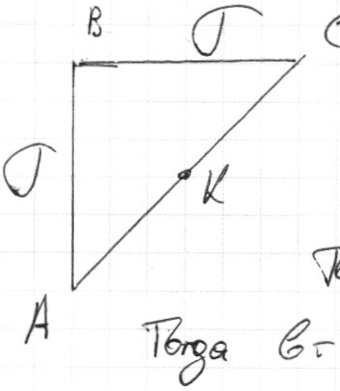
$$t_1 = 2\tau_0$$

Ответ: 1) $2F_0$

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

3) $2\tau_0$

№3



Пусть поле, к-ое создают пластины BC и AB в т. K — это $E_{Кобщ}$

1) Поле создаваемое пл-ию BC по т. Гауса равно $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\left(E_0 \cdot 2S = \frac{\sigma S}{\varepsilon_0} \right) \Rightarrow E_0 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

Тогда вторая пластина создаст тоже поле

Тогда в т. K поле будет иметь такой вид $\left\{ \begin{array}{l} K \\ \rightarrow \vec{E_0} \\ \downarrow \vec{E_0} \end{array} \right.$

Тогда $E_{Кобщ} = \sqrt{2} E_0 \Rightarrow \frac{E_{Кобщ}}{E_{BC}} = \sqrt{2}$

~~Ответ~~ ~~ϕ~~

~~№2~~

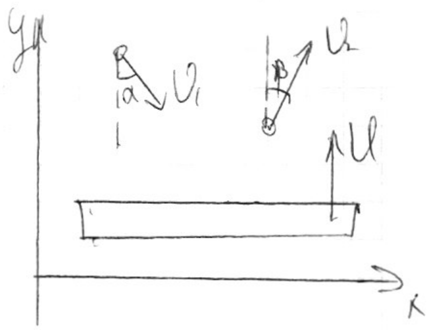
2) ~~Поле, к-ое будет BC будет в два раза больше поля~~

$$E^2_{Кобщ} = E_{BC}^2 + E_{AB}^2 = \left(\frac{\cancel{2}\sigma_1}{2\varepsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}\right)^2 = \frac{\sigma^2}{\varepsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2} = \frac{5\sigma^2}{4\varepsilon_0^2}$$

$$E_{Кобщ} = \frac{\sqrt{5}\,\sigma}{2\varepsilon_0}$$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$, ~~$\sqrt{2}$~~ 2) $\frac{\sqrt{5}\sigma}{2\varepsilon_0}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)



1) Т.к. после столкновения плита продолжила двигаться вертикально. Тогда можно записать з-сохранения ~~энергии~~ импульса (для всей системы) на ось X:

$m U_{1x} = m U_{2x}$

$U_1 \sin\alpha = U_2 \sin\beta \Rightarrow U_2 = 12 \frac{м}{с}$

2) т.к. шарик отскочил (то если мы перейдём в систему, где плита неподвижна), то ~~U_{2y}~~ $U_{2yс}$ в этой системе должна быть больше нуля тогда $U_{2y} > U \Rightarrow U < 6\sqrt{3}\ \frac{м}{с}$

Ответ: 2) $U < 6\sqrt{3}\ \frac{м}{с}$
1) $U_2 = 12\ \frac{м}{с}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

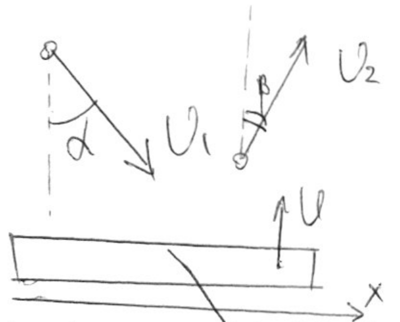
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



1) т.к. плита после удар продолжила двигаться вертикально. Тогда по з. сохранения импульса:

$m\vartheta_{1x} = m\vartheta_{2x}$

$\vartheta_{1x} = \vartheta_{2x}$

$\vartheta_1 \cdot \sin\alpha = \vartheta_2 \cdot \cancel{\cos} \sin\beta$

$\vartheta_2 = \frac{8 \cdot 3}{4} \cdot 2 = 12 \left(\frac{м}{с}\right)$

2) $\vartheta_{2y} = \cancel{12}\,6\sqrt{3}$

Тогда если $U \cancel{\geq} \vartheta_{2y}$, то шарик не отскочит (можно перейти в систему, в к-ой плита не подвижна, и в ней всё очевидно)

тогда $U \cancel{\geq} < 6\sqrt{3} \left(\frac{м}{с}\right)$

Ответ: 1) $12\ \frac{м}{с}$

2) $\cancel{U \geq}\ U < 6\sqrt{3} \left(\frac{м}{с}\right)$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № ~~5~~

(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

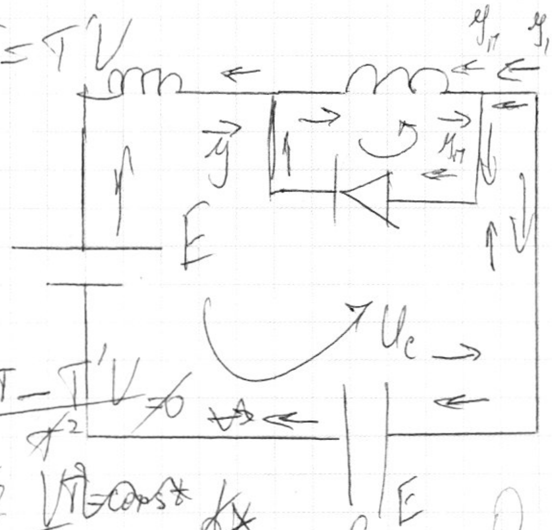
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$VT = TV$



$L_1 \frac{dy_1}{dt} = 0$

$V'_0 T - T' V \neq 0$

$\frac{VT}{T} = const$

$E \cdot q - \frac{2\dot{q} q}{2C} =$

$\frac{L_1 y_1^2}{2} = L_2 y$

$U_C + (L_1 + L_2) \frac{dq}{dt} = E$

$E \cdot \Delta q = -\frac{\Delta q^2}{2C} =$

$\frac{q}{C} + (L_1 + L_2)\ddot{q} = E$

$= \frac{L_1 y_1^2}{2} + \frac{L_2 y_2^2}{2} =$ $y_1 = y_2$

dx

$= \frac{L_1 y_1^2}{2} + \frac{L_2 (y_1 + \Delta y)^2}{2}$

$p S dx = \nu R dT$

$\frac{q}{C(L_1 + L_2)} + \ddot{q} = \frac{E}{(L_1 + L_2)}$

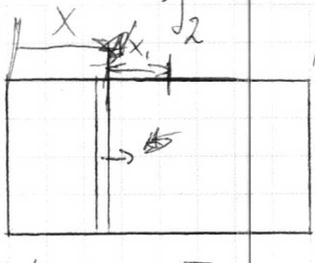
$\frac{(q - EC)}{C(L_1 + L_2)} + \ddot{q} = 0$

$p S x = \nu R T_1$

$p S (l - x) = \nu R T_2$

$p S (l - dx) = \nu R dT$

$\frac{y}{C(L_1 + L_2)} + \ddot{y} = 0$



$p = T$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 + T_0}{T_2 - T_0}$

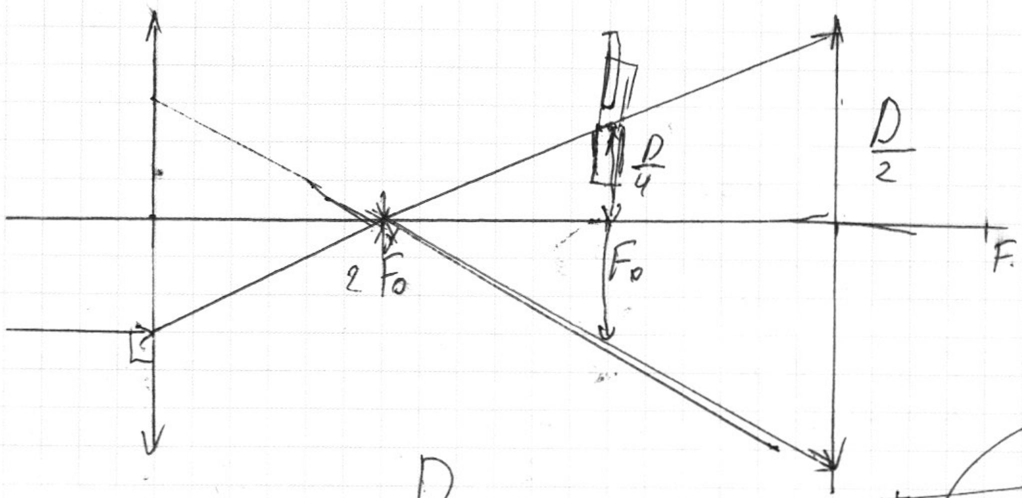
$dp = \frac{\nu R T}{} \ln x \, dx$

$A = p dV = p S dx = \frac{\nu R dT}{2}$

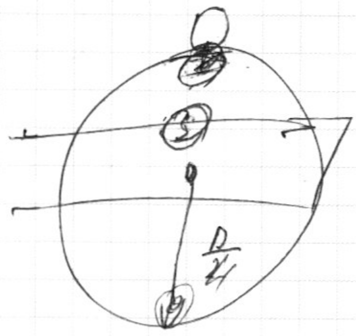
$p = \frac{\nu R T_1}{S x}$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)



$\frac{D}{4}$

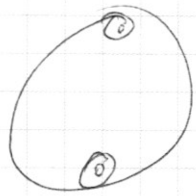


$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{x} \qquad \frac{1}{x} = \frac{1}{2F_0} \qquad x = 2F_0$

$\cancel{\frac{1}{2F_0}} \qquad \frac{1}{F_0} - \frac{1}{2F_0} = \frac{1}{2F_0}$

$\frac{1}{4}\tau_0$

$\cancel{\frac{1}{4}\tau_0}$



$\frac{1}{4} S = S_M$

$y \Leftrightarrow S$

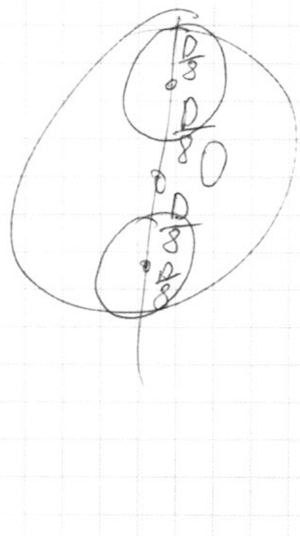
$\frac{1}{4}\pi\left(\frac{D}{4}\right)^2 = \pi R^2$

$\left(\frac{D}{8}\right)^2 = R^2$

$R = \frac{D}{8}$

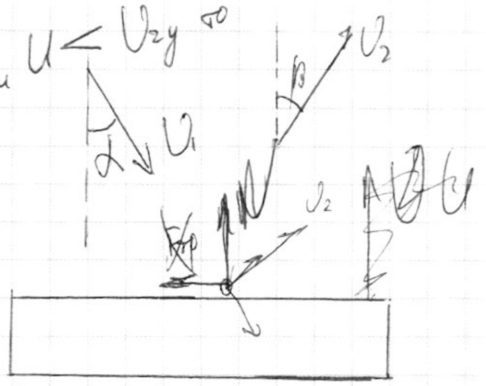
$v = \frac{D}{8\tau_0}$

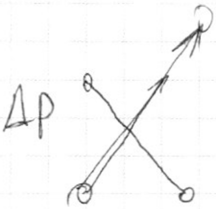
$t_1 = \tau_0 + \frac{D \cdot 8\tau_0}{\frac{2 \cdot D}{4}} = 3\tau_0$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Если $U < U_{2y}$ то





M

$MU_x = \Delta p$ ~~$mU_{1x} + mU_{2x}$~~

$\Delta p = m(U_{2x} - U_{1x})$

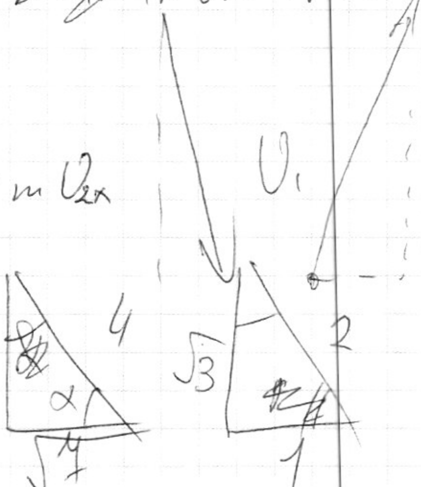
$mU_{1x} + mU_{2x} + MU_x = mU_{1x}$ $MU_x = m(U_{2x} - U_{1x})$

U_x

$-mU_{1x} + mU_{2x} = \Delta p_x + MU_x + mU_{2x}$

$U_{1x} = U_{2x}$

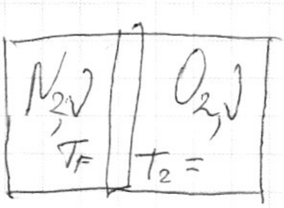
$U_1 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_2$

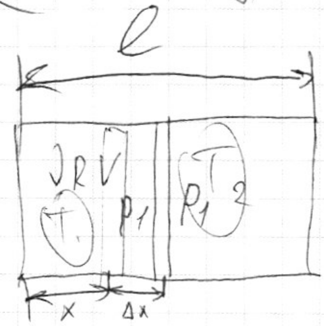


$U_{2y} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} U_2 = \frac{\sqrt{7} \cdot U_1}{2\sqrt{3}}$

$U_{1y} = \frac{3}{4}\sqrt{7}$

$m(U_{2y} - U_{1y}) = U_{2y} - U$





$U_2 + U_1 + A = U_{1H} + U_{2H}$

T 3 раза изменилась

$pV_2 = \nu T_2 R$

$pV_1 = \nu T_1 R$

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$P\frac{V}{2} = \nu RT$

$pS \cdot x = \nu RT$

$p = \frac{\nu RT}{S \cdot x}$

$\int p \cdot S \cdot dx = A$

$A = \int \frac{\nu RT}{S \cdot x} \cdot S\, dx =$

$= \int \frac{\nu RT}{x} dx$

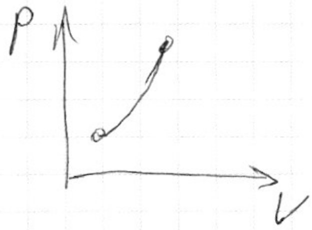
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

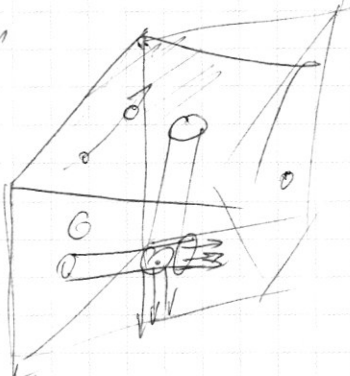
(Нумеровать только чистовики)

$\cancel{\varphi A R}$



$$q_{1м} = \sqrt{\frac{E^2 C}{3L}}$$

$$E^2 C = 3L q_м^2$$



$$\frac{5R}{2}\nu T_1 + \frac{5R}{2}\nu T_2 = \frac{5R}{2}\nu T + \frac{5R}{2}\nu T$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$\cancel{\frac{5}{2}\Delta U}$

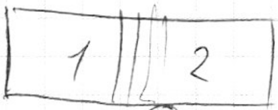
$Q = \cancel{AB}$

$Q = A + \Delta U_2$

$Q = \Delta U_1 + A$

$Q = \Delta U_2 + A$

$\Delta U_1 = \Delta U_2$



$-Q_2 = -A + \Delta U_2$

$Q_1 = A + \Delta U_1$

$\Delta U_2 = -\Delta U_1$

$\cancel{Q = A}$

$\Delta U_2 + \Delta U_1 = 0$

$T - T_2 = T - T_1$

$\cancel{T_2 - T = T_1 - T}$

$\cancel{T = \frac{-T_1 + T_2}{2}}$

$\cancel{\sigma \cdot S = A}$

$$\frac{\sigma S}{\varepsilon_0} = E_0 \cdot 2S_0$$

$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = E_0$$

$\cancel{E - \frac{q}{2C} = \frac{q}{2}}$ $\quad q_1 = 2EC \Rightarrow q_м = EC$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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