Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

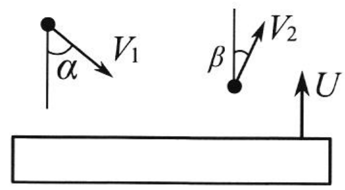
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр
(заполняется секретарём)

+/2

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \dfrac{1}{2}\right)$ 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.

2/3

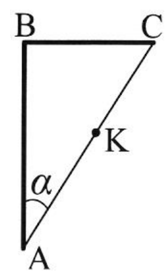
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ К, а азота $T_2 = 550$ 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 водорода и азота.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

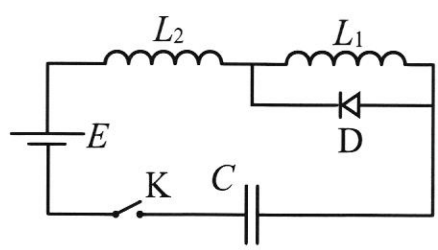
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 $\sigma_1 = 3\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. 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 $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, 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.



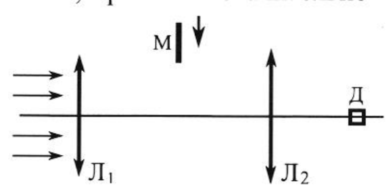
1) Найти период T этих колебаний.

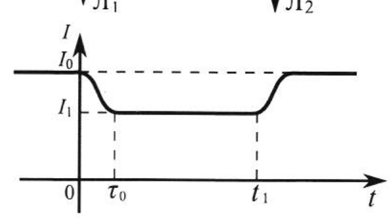
2) Найти максимальный ток I_{M1}, текущий через катушку L_1.

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 фокусными расстояниями $3F_0$ 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). $I_1 = 5I_0/9$.





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

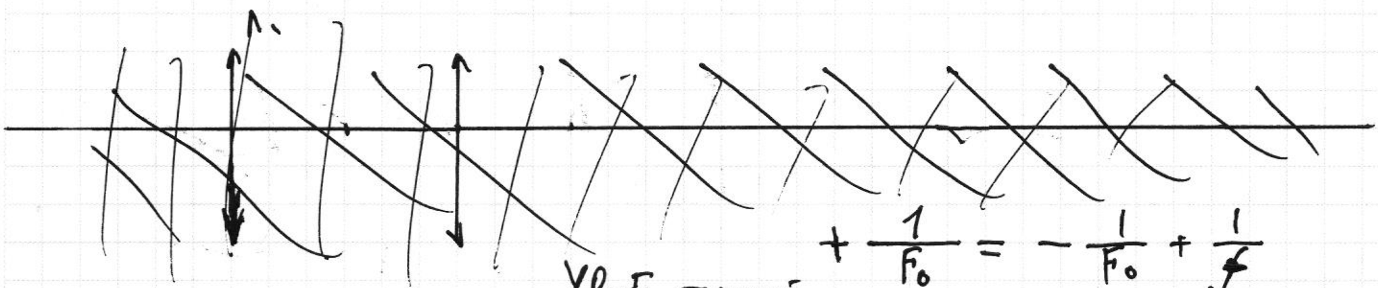
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

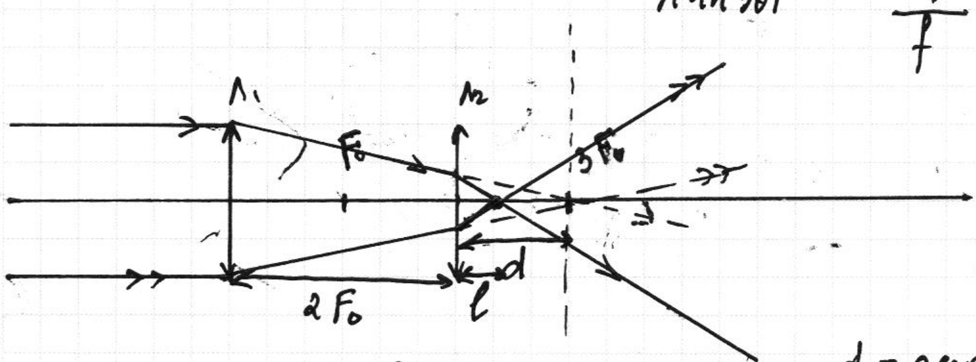
Решение 5.



$$+\frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f}$$

Ур-е тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{F_0} \Rightarrow$$



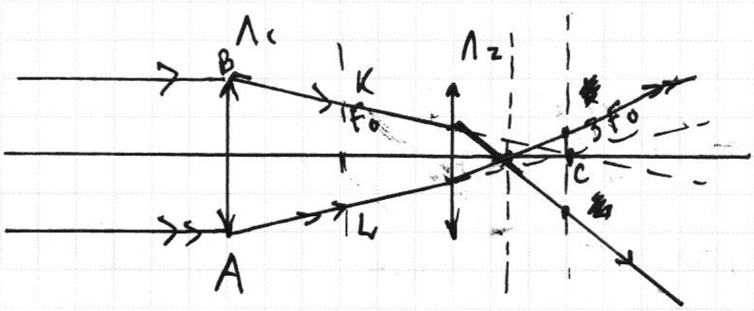
$$f = \frac{F_0}{2}$$

$$l = \frac{1}{2}F_0$$

d - диам. линз

Мишень влетела за τ и уменьшила интенсивность на $\frac{4}{9} I_0$

$\Rightarrow$ перекрыла $\frac{4}{9}\Phi$ (света) (площади)

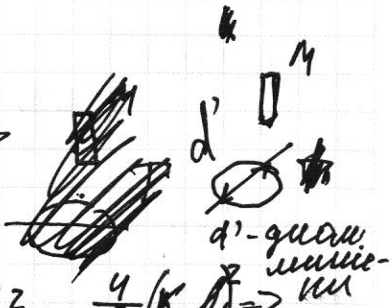


Мишень движется вдоль KL

$$\frac{KL}{AB} = \frac{2F_0}{3F_0} \quad (\Delta ABC \sim \Delta CKL)$$

$$KL = AB\cdot\frac{2}{3} = d\cdot\frac{2}{3}$$

мишень M



$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{4\pi(KL)^2}{9\cdot \cancel{4}} = \frac{4\pi(KL)^2}{9} \Rightarrow d^2 = \frac{4}{9}(KL) \Rightarrow$$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 1

(Нумеровать только чистовики)

$d = \frac{2}{3} KL$

$\upsilon_{мишени} = V$

$\upsilon = \frac{T}{\tau} = \frac{4}{9}\cdot\frac{d}{\tau} = \frac{4}{9}\cdot\frac{d}{\tau}$

3) Мишень пролетает KL за $t_0 = \frac{KL}{V} =$

$= \frac{\frac{2}{3}d}{\frac{4}{9}\frac{d}{\tau}} = \frac{2}{3}\cdot\frac{9}{4}\cdot\tau = \frac{3}{2}\tau$ $(\tau = \tau_0)$

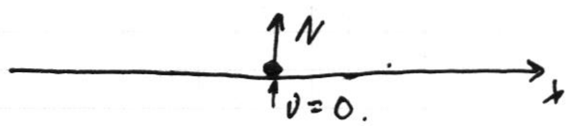
$\Rightarrow t_1 = \tau + \frac{3}{2}\tau = \frac{5}{2}\tau$

Ответ: 1) $\ell = \frac{F_0}{2}$ 2) $\upsilon = \frac{4}{9}\cdot\frac{d}{\tau_0}$ 3) $t_1 = 2,5\tau$

Решение 1.

1)

в момент удара действует только реакция опоры. $\vec{N}$, $\Rightarrow p_x = const$ ($\Rightarrow$ можем исп. ЗСИ)



$m\upsilon_1\cdot\sin(\alpha) = m\upsilon_2\sin\beta \Rightarrow$

$\upsilon_2 = \upsilon_1\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$

$\upsilon_2 = \upsilon_1\cdot\frac{1}{2}\cdot 3 = \frac{3}{2}\upsilon_1 = 12\cdot\frac{3}{2} = 18$ (м/с)

(u не влияет на проекции т.к. $u_x = 0$).

2) $A_N = \frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2}$ (плита скорость не измен.)

$A_N = N\frac{u\cdot\Delta t}{1}$, где Δt – время контакта, N – реакция опоры.)

$N = \frac{\Delta p_y}{\Delta t}$ $A_N = u\Delta p_y$ $\Delta p_y = m\upsilon_2\cos\beta + m\upsilon_1\cos\alpha$ (ЗСИ)

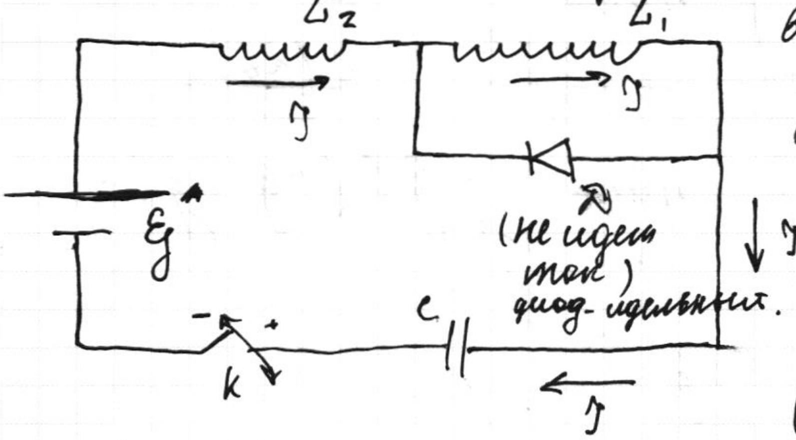
$u\Delta p_y = \frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2} \Rightarrow u = \frac{m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)}{2m(\upsilon_2\cos\beta + \upsilon_1\cos\alpha)} =$

$= \frac{1}{2}\frac{(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)}{(\upsilon_2\cos\beta + \upsilon_1\cos\alpha)}$

продолжение

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Решение 4 • Зарядка конденсатора



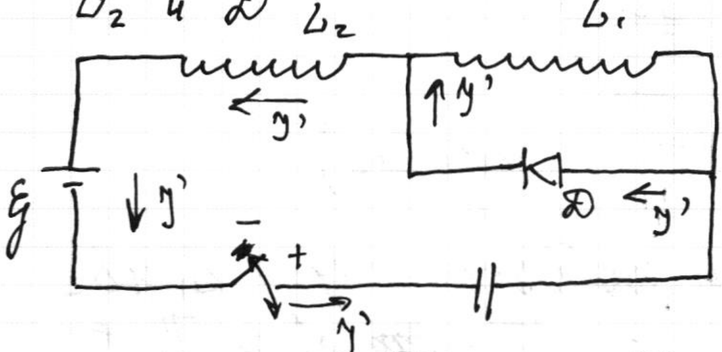
в момент полной зарядки $I_{\mathcal{E}} = I_L = I = 0$

происходит это через $t_1 = \frac{1}{4} T_1$, где

$T_1 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}$

$\left(T_1 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C} \right)$

• Разрядка конденсатора идёт через L_2 и D



До полной разрядки:

$t_2 = \frac{1}{4} T_2$

$T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C}$

зарядка в обратной полярности произойдет через тоже T_2.

$$I_{max} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{7L}}$$

• max заряд на C:

$q_{max} \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow I_L = 0$ ЗСЭ:

$$A_i = \Delta W_c \Rightarrow \mathcal{E} C (U - \mathcal{E}) = \frac{CU^2}{2} - \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$$

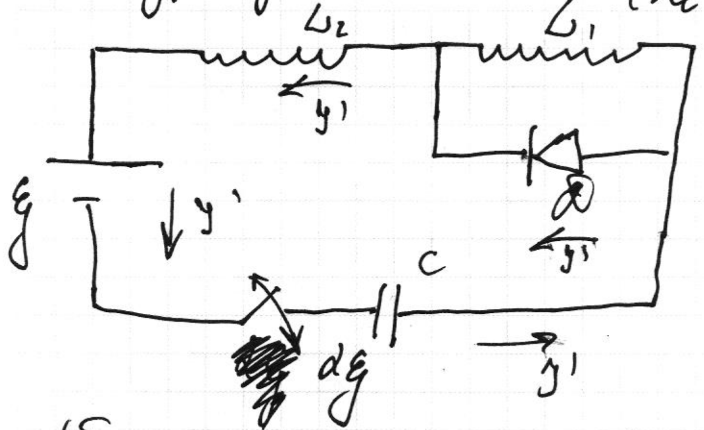
$$U\mathcal{E} - \mathcal{E}^2 = \frac{U^2}{2} - \frac{\mathcal{E}^2}{2}$$

$U^2 - 2U\mathcal{E} + \mathcal{E}^2 = 0$.

$(U - 2\mathcal{E})^2 = 0 \Rightarrow \underline{U = 2\mathcal{E}}$. $\underline{q_{max} = 2C\mathcal{E}}$

Разрядка:

(не идет через L_1)



$A_{ист} = \frac{L_2 I_{max}^2}{2} + \frac{C\mathcal{E}^2}{2} - \frac{C(2\mathcal{E})^2}{2}$

$A_{ист} = -\mathcal{E}C(-\mathcal{E} - 2\mathcal{E}) = 3C\mathcal{E}^2$

(было $2C\mathcal{E}$, стало $-C\mathcal{E}$)

$\frac{L_2 I_{max2}^2}{2} = \frac{3}{2} C\mathcal{E}^2$

$I_{max2}^2 = \frac{3C}{L_2} \cdot \mathcal{E}^2 = \frac{3C}{3L}\mathcal{E}^2$

$I_{max2} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}}$ (через L_2)

Аналогично разрядка пойдет через L_1 и L_2

$\Rightarrow t_3 = \frac{1}{4}T_1 = \frac{1}{4}T_1 \Rightarrow T = 2 \cdot \frac{1}{4}T_1 + 2 \cdot \frac{1}{4}T_2 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{2\pi}{2} \cdot \left(\sqrt{(L_1+L_2)C} + \sqrt{L_2 \cdot C}\right) = \pi\sqrt{LC}\left(\sqrt{3} + \sqrt{7}\right) = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+\sqrt{7})$

I_{max} через L_1. Если I_{L_1} - max $\Rightarrow$

$U_{L_1} = L_1 \frac{dI_{L_1}}{dt} = 0$, но это происходит при закрытом диоде. $\Rightarrow$

$U_{L_2} = 0$. (ток один)

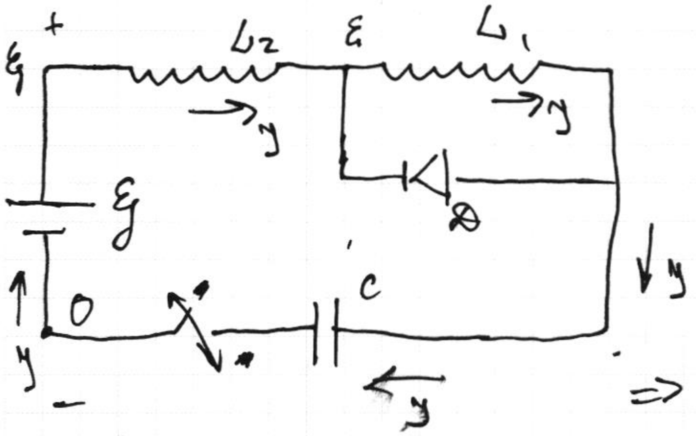
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$A_{ист} = \Delta W_C + \Delta W_L$

$A_{ист} = \mathcal{E} \cdot d(\mathcal{E} - 0)$

$\Delta W_C = \frac{d\mathcal{E}^2}{2} - 0$

$\Delta W_L = \frac{L_1 I_{max_1}^2}{2} + \frac{L_2 I_{max_1}^2}{2}$

$\Rightarrow d\mathcal{E}^2 = \frac{d\mathcal{E}^2}{2} + \frac{(L_1+L_2) I_{max_1}^2}{2}$

$I_{max_1}^2 = \frac{d\mathcal{E}^2}{2} \cdot \frac{2}{L_1+L_2} = \frac{C\mathcal{E}^2}{L_1+L_2}$

$I_{max_1} = \frac{C\mathcal{E}^2}{7L}$,

продолжение решения 1

$U = \frac{1}{2} \cdot \frac{18^2 - 12^2}{\left(18 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} + 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\right)} = \cancel{\ldots} = \frac{1 \cdot 6 \cdot 30}{2 \cdot 6(\sqrt{6}+\sqrt{3})} =$

$= \frac{15}{\sqrt{6}+\sqrt{3}}$

$U = \frac{15(\sqrt{6}-\sqrt{3})}{9} = \frac{5(\sqrt{6}-\sqrt{3})}{3} = \frac{5\sqrt{3}(\sqrt{2}-1)}{3} = \frac{5(\sqrt{2}-1)}{\sqrt{3}}$ $\left(\frac{м}{с}\right)$

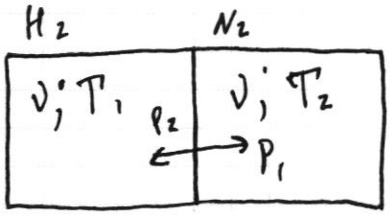
Ответ: $V_2 = \frac{3}{2} V_1 = 18 \left(\frac{м}{с}\right)$; $U = \frac{5(\sqrt{2}-1)}{\sqrt{3}} \left(\frac{м}{с}\right)$

Решение 2

1) - начальное состояние

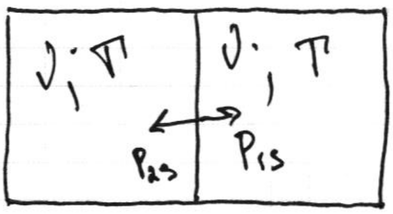
2) - конечное состояние ($T_{H_2} = T_{N_2}$)

$P_1 = P_2$

1) 

$PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{\nu RT}{V} \Rightarrow P_1 = \frac{\nu R T_1}{V_1}$ ($\nu_1 = \nu_2 = \nu$)

(Клапейрона-Менделеева) $P_2 = \frac{\nu R T_2}{V_2}$

2) 

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

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$

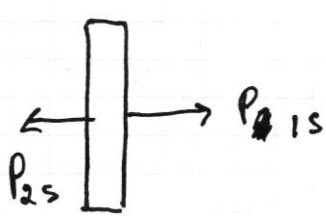
1) Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11} \approx 0,64$

Т.к. $\nu_1 = \nu_2 = \nu$ и сосуд теплоизолирован, то в результате теплообмена установятся одинаковые температуры (T)

(1) $\Delta Q = C_V \nu (T - T_1) + A_1$ - для H_2

(2) $-\Delta Q = C_V \nu (T - T_2) + A_2$ - для N_2 (ур-е тепл. баланса)

$A_1 + A_2 = 0$ (



$P_{1S} = P_{2S}$ - т.к. медленный теплообмен, и в каждый момент времени поршень в равн и давления равны. <=> $0 = T_V \nu (T - T_1) + T_V \nu (T - T_2)$

примечание: результат сложения (1) и (2)

$\Rightarrow T - T_1 + T - T_2 = 0$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450\ (K)$$

2) Ответ: $T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450\ (K)$ (установившаяся температура)

3) $P_1 = P_2 = const$ (медленно)

$C_p = C_V + R = \frac{7}{2} R$

$Q = C_p \nu (T - T_2) = \frac{7}{2} R \nu (T - T_2) = \frac{7}{2} R \cdot \frac{6}{7} \cdot (450 - 550)$

$= -3 \cdot R \cdot 100 = -3 \cdot 831 = -2493$ (Дж)

Ответ: Отдано 2493 Дж ~~…~~

Решение 3.

$\triangle ABC$ — р/б, т.к. $\alpha = 45°$. воспользуемся симметрией поле от BC: E_0 — вниз.

от AB: вправо E_0,

$E = \sqrt{2} E_0$, $\frac{E}{E_0} = \sqrt{2} = 1,41$.

3) $\alpha = \frac{\pi}{5}$. $\sigma_1 = 3\sigma$ (синяя), $\sigma_2 = \sigma$

Из пункта 2 найдем каждое из полей от пластин.

$E = \frac{\sigma}{4\pi \varepsilon_0}$ ($\perp$ сост. поля пластин, вид. под $\angle \pi$.)

$\triangle ABC$ — прямоуг.

~~не успеваю.~~

~~$\Omega \frac{\sigma}{4\pi E_0}$~~

$\Omega_{BC} = \frac{\alpha \cdot 4\pi}{\pi} = 4\alpha$

$\Omega_y = \frac{\sigma}{4\pi \cdot E_0} \alpha =$

$\frac{\sigma \alpha}{4\pi E_0}$

не успеваю.

$\Omega_{AB} = \frac{\frac{\pi}{2} - \alpha}{\pi} \cdot 4\pi = 4(\frac{\pi}{2} - \alpha) = 2\pi - 4\alpha$

~~$E = \frac{\sigma}{4\pi E_0}$~~

☐ черновик ☑ чистовик Страница № 8

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

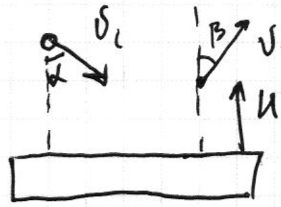
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

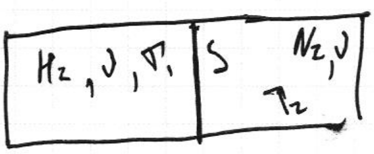


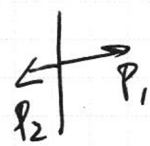
$\vec{p_1} + \vec{p_2} = \vec{p_1'} + \vec{p_2'}$

$PV = \nu RT$ $\quad \frac{m}{H}$

$P = \frac{F}{S} =$

$P_2 = P_1$





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

$P_2 = \frac{\nu R T_2}{V_2}$ $\quad P_1 = \frac{\nu R T_1}{V_1}$

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

$\frac{\nu RT}{V_x} = \frac{\nu RT}{V_y}$

$Q = A + U$

$\frac{V_y}{V_x} = 1 \Rightarrow V_x = V_y = V$

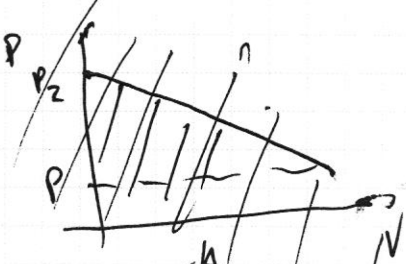
$A =$

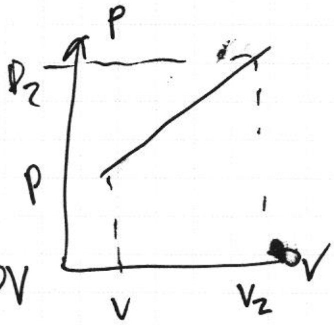
$\Delta V = V_2 - V$

$\Delta V = V$

$V\uparrow \Rightarrow A > 0.$

$V\downarrow \Rightarrow A < 0$





$\frac{(P_2 - P)(V_2 - V)}{2} = A_2$

$A = (P_2 - P)(V_2 - V$

$A_1 = \frac{(P - P_1)(V - V_1)}{2}$

$U = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{i}{2} PV$

$PV = \nu RT$

$A_1 > 0$

$A_2 < 0.$

$\Delta Q = \Delta A + \Delta U = (A_1 - A_0) + (U_1 - U_0) = -\frac{(P_2 - P)(V_2 - V)}{2} +$

$+ \frac{i}{2}(P_2V_2 - PV) = \frac{(P - P_1)(V - V_1)}{2} + \frac{i}{2}(P_1V_1 - PV)$

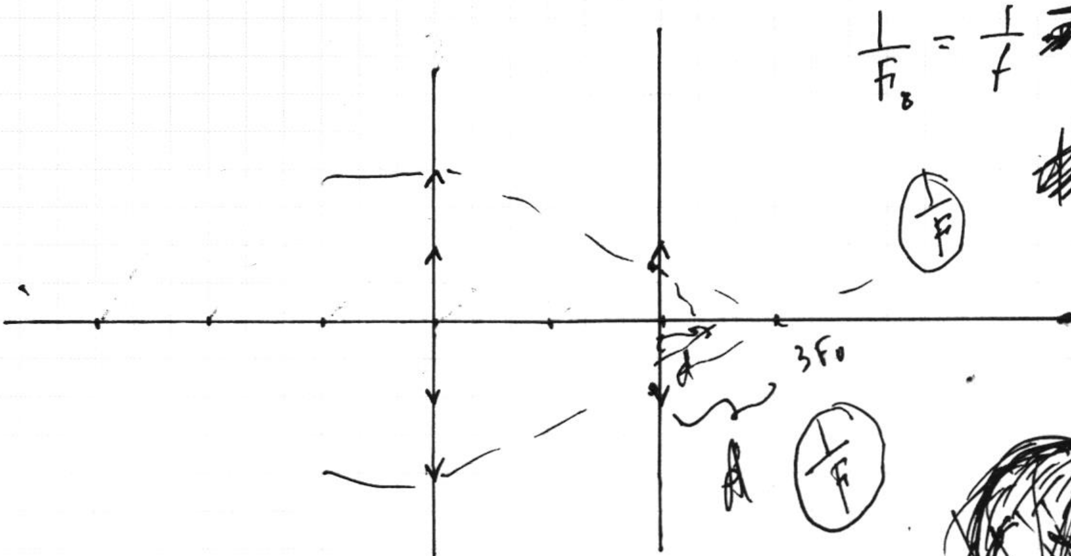
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

$$\frac{1}{F_8} = \frac{1}{f} \cancel{-} \frac{1}{d}$$



$$\frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__
(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

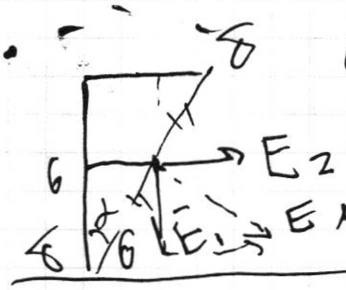
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{(P-P_2)(V_2-V)}{2}+\frac{i}{2}P_2V_2=\frac{(P-P_1)(V-V_1)}{2}+\frac{i}{2}P_1V_1$$

$$(P-P_2)(V_2-V)+iP_2V_2=(P-P_1)(V-V_1)+iP_1V_1$$

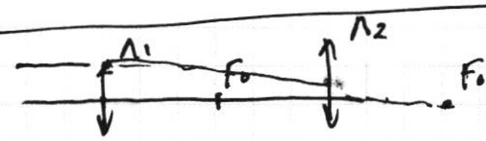
DV_2

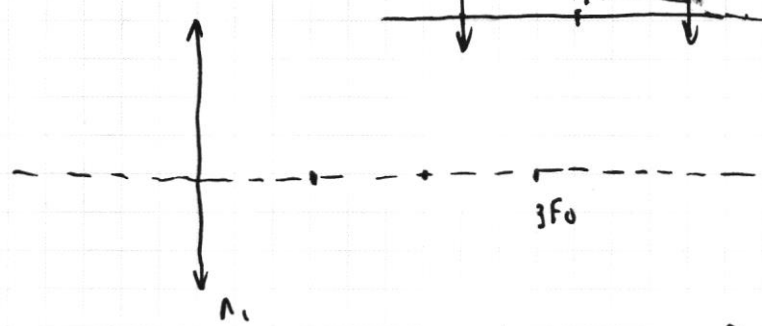
$E = 18$ $\quad E=\rho \quad E=\frac{Kq_1q_2}{r}$



ℓ

$$\begin{array}{r} 7 \,|\, 17 \\ 0,636 \\ 70 \\ -66 \\ 40 \\ 33 \\ 80 \end{array}$$





им

смот

днс

моль

$$\Delta Q=\alpha c\,\nu(T_2-T_1)=$$

$$=\alpha c\,\nu\left(T_2-\frac{T_1+T_2}{2}\right)=$$

$$=\alpha c\,\nu\left(\frac{T_2-T_1}{2}\right)$$

$\alpha - ?$

$Q_1=c\,\nu_1T_1$

$Q_2=c\,\nu_2T_2$

$Q_1'=c\,\nu_1T$

$Q_2=c\,\nu_2T$

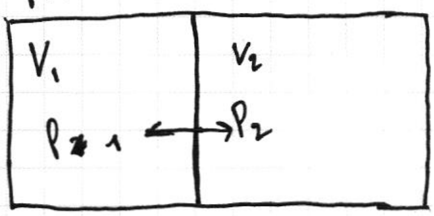
$$c\,\nu_1T_1+c\,\nu_2T_2=cT(\nu_1+\nu_2)$$

$$T = \frac{\nu T_1+\nu T_2}{\nu_1+\nu_2}=\frac{\nu(T_1+T_2)}{2\nu}=\frac{T_1+T_2}{2}$$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

H_2 N_2

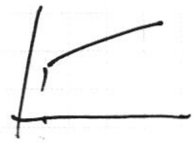


$PV_1 = \nu R T_1$

$PV_2 = \nu R T_2$

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

$\boxed{V_1 = V_2 = V}$



$A = \frac{(V - V_2)(P_2 - P)}{2} =$

$PV = \nu RT$

$\nu T = \frac{PV}{R}$

$C \frac{PV}{R}$

$\frac{\Delta V (P_2 - P)}{2} =$

$= \frac{\Delta V P_2 - \Delta V P}{2}$

$PV = \nu RT$

$PV_1 = \nu_1 R T_1$

$P_1 V_1 - P_2 V_2 = \nu R (T_1 - T_2)$

$V = \frac{\nu R T_1}{P}$ $V_1 - V_2 = \nu R \left(\frac{T_1}{P_1} - \frac{T_2}{P_2} \right)$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)