

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

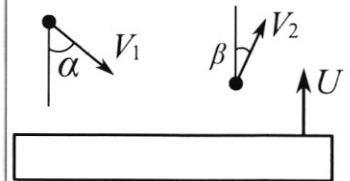
Класс 11

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

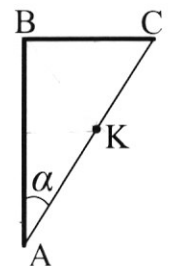


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

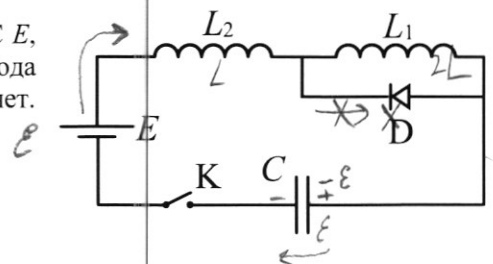
- 1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



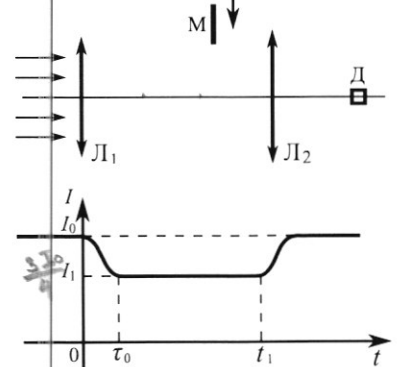
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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. *Handwritten note: $2\pi\sqrt{L_1 C} = 2\pi\sqrt{2LC}$*
- 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). $I_1 = 3I_0/4$.

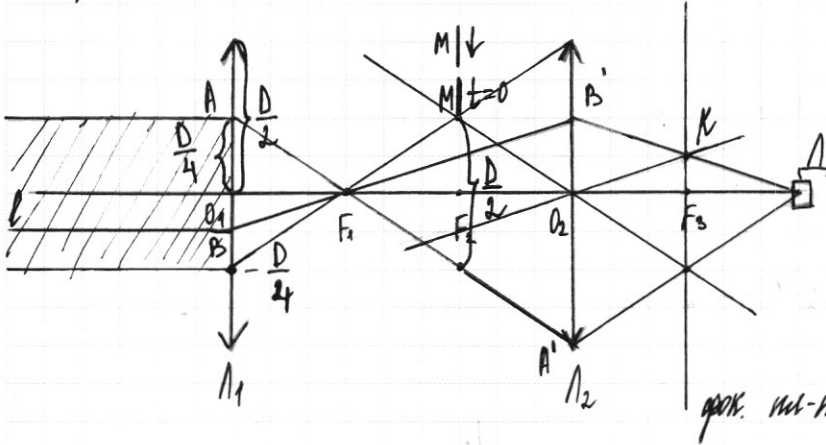


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5



$$D_1 D_2 = 3F_0$$

$$D_1 F_1 = F_1 F_2 = F_2 D_2 = D_2 F_3 = F_0$$

1) Лучи света после прохождения через L_1 фокус. т.т. собираются в F_1 .

Рассмотрим \triangle . $\triangle A \cap L_1 = B$. $B F_1 \cap L_2 = B'$

$\triangle B O_1 F_1 \sim \triangle B' O_2 F_1$ с коэф. $\frac{1}{2}$. То есть $B O_1 : B' O_2 = 1 : 2$.

Через O_2 проведем прямую $\parallel B B'$. Она пересек. фокус. т.т. (на рис.) в т.к. Проведем $B' K$. $B' K \perp O_1 O_2 = D$

т.к. в L_2 собираются лучи. Заметим, что $\triangle F_1 B' O_2 \sim \triangle D B' O_2$ (по кат. и кр. \angle). Тогда расстояние от L_2 до D - $2F_0$

2) В момент $t=0$ нижний край M на расст.

Заметим, что лучи, проходящие выше $\frac{D}{4}$ и ниже $-\frac{D}{4}$ не проходят через L_2 и не попадают в D (на рис.), это следует из $\triangle O_1 A F_1 \sim \triangle O_2 A' F_1$.

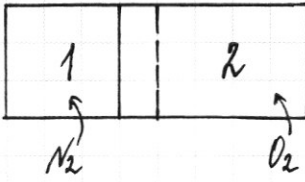
В момент $t=0$ нижний край M на расст. $\frac{D}{4}$ от оси (рис.). За τ_0 M проходит свой диаметр (т.к. далее до t_1 I не шлет). $\frac{I_0 - I_1}{I_0} = \frac{1}{4} \Rightarrow \Delta m = \frac{D}{2} : 4 = \frac{D}{8}$

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

3) За $t_1 - \tau_0$ M проходит $\frac{D}{2} - \frac{D}{8} = \frac{3D}{8}$ $t_1 = \tau_0 + \frac{3D}{8} \cdot \frac{8\tau_0}{D} = 4\tau_0$

Ответ: 1) $2F_0$; 2) $\frac{D}{8\tau_0}$; 3) $4\tau_0$

№ 2



$$v_1 = v_2 = \frac{3}{7} \text{ масс}$$

$$T_1 = 300\text{K}$$

$$T_2 = 500\text{K}$$

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

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

1) В начале: $P_1 = P_2 = P$

$$PV_1 = \nu RT_1$$

$$PV_2 = \nu RT_2$$

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

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

2) В конце: $P_{1к} = P_{2к} = P_k$

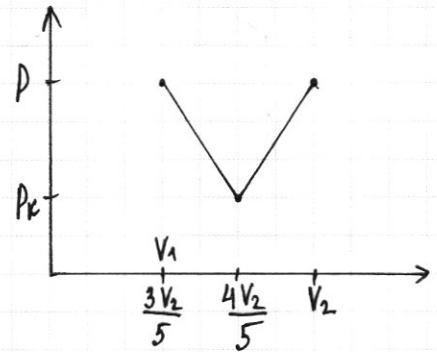
$$P_k V_{1к} = \nu RT_k$$

$$P_k V_{2к} = \nu RT_k$$

$$V_{1к} = V_{2к} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{4}{5} V_2$$

$$|A_1| = |A_2| = \frac{1}{2} \frac{V_2}{5} (P + P_k) = \frac{\nu RT_2}{5} + \frac{\nu RT_k}{4}$$

$$Q_2 = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_k)$$



по закону сохранения энергии. $Q_{отг.} = Q_{нал.}$ ~~и conservation~~

$$A_1 = -A_2$$

~~$$Q_2 = Q_1$$~~

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2} \nu R (T_k - T_1)$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \nu R (T_k - T_2)$$

$$Q_1 = Q_2$$

~~$$\frac{5}{2} \nu RT_k - \frac{5}{2} \nu RT_1 - \frac{PV_2}{10} - \frac{P_k V_2}{10} = \frac{5}{2} \nu RT_k - \frac{5}{2} \nu RT_2 + \frac{PV_2}{10} + \frac{P_k V_2}{10}$$~~

~~$$\frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{PV_2}{5} + \frac{P_k V_2}{5} = \frac{\nu RT_2}{5} + \frac{\nu RT_k}{4}$$~~

~~$$\frac{5}{2} T_2 - \frac{5}{2} T_1 = \frac{T_2}{5} + \frac{T_k}{4}$$~~

~~$$50T_2 - 50T_1 = 4T_2 + 5T_k$$~~

$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$T_k - T_1 = T_2 - T_k \rightarrow T_k = 400\text{K}$$

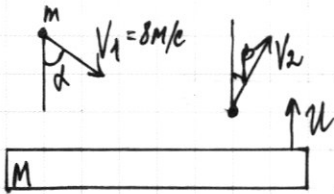
3) $|Q| = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + \left(\frac{\nu R \cdot 500}{5} + \frac{\nu R \cdot 400}{4} \right) = \left(\frac{500}{2} + 200 \right) \nu R = 450 \cdot \frac{3}{7} \cdot 8,31 =$

$$= 450 \cdot 3 \cdot 1,2 = 45 \cdot 36 = 1620 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 400K; 3) 1620 Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1



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

$$\cos d = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

$$m \ll M$$

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

$$\cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

1) По горизонтали нулево скорость не изменило:

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

2) Вертикальные составляющие скорости:

$$v_1 \cos d = 2\sqrt{7} \text{ м/с}$$

$$v_2 \cos \beta = 6\sqrt{3} \text{ м/с}$$

Есть бы пята масса, то шар отлетел бы с v_1

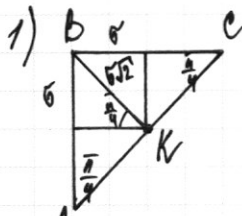
$$u = v_2 \cos \beta - v_1 \cos d = 6\sqrt{3} - 2\sqrt{7} \text{ м/с}$$

$$\text{или } v_2 \cos \beta = \frac{2M}{m+M} u = 2u$$

$$u = \frac{v_2 \cos \beta}{2} = 3\sqrt{3} \text{ м/с}$$

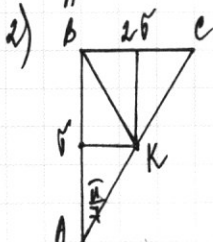
ответ: 1) 12 м/с; 2) $3\sqrt{3}$ м/с; $6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}$ м/с

N3



1) было $E = \frac{v}{\epsilon_0}$ стало $\sqrt{2} E$ (на пил.)

$$2) \frac{BC}{AB} = \tan \frac{\pi}{7} \quad E = \frac{v}{\epsilon_0} \sqrt{2 \tan \frac{\pi}{7}}$$



ответ: 1) $\sqrt{2}$; 2) $\frac{v}{\epsilon_0} \sqrt{2 \tan \frac{\pi}{7}}$

N 4

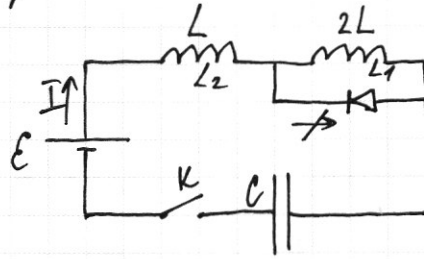
1) $T = 2\pi\sqrt{LC}$

2) I_{M1} в момент, когда $q=0$

$$E^2 C = \frac{L I_{M1}^2}{2} + \frac{2L I_{M1}^2}{2}$$

$$2E^2 C = 3L I_{M1}^2$$

$$I_{M1} = E \sqrt{\frac{2C}{3L}}$$



3) I_{M2} будет в тот момент, когда конденсатор зарядится до такой степени, что ток пойдет в обратную сторону (через диод и L_2). Конд. сразу же начнет разряжаться, и I пойдет обратно, но теперь потечет ~~назад~~ ~~в обратную сторону~~ ~~на L_2 весь ток~~ ~~(и все канд.)~~ ~~который равен~~ в этот момент на L_2 весь ток, который равен

$$E^2 C = \frac{L I_{M2}^2}{2}$$

$$2E^2 C = L I_{M2}^2$$

$$I_{M2} = E \sqrt{\frac{2C}{L}}$$

Ответ: 1) $2\pi\sqrt{LC}$; 2) $E \sqrt{\frac{2C}{3L}}$; 3) $E \sqrt{\frac{2C}{L}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 прод.

$$E = \frac{45}{6}$$

$$5(T_2 - T_K) = \frac{1}{3}(T_1 - T_K)$$

$$15T_2 - 15T_K = T_1 - T_K$$

$$14T_K = 15T_2 - T_1 = 500 \cdot 15 - 300$$

$$Q_{\text{мех}} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$A_{\text{мех}} = \frac{1}{2} \Delta V (P_K - P_1) = \frac{\nu_2 P_K}{10} - \frac{\nu_2 P_1}{10} = \frac{\nu R T_K}{10} - \frac{\nu R T_2}{10} = \frac{\nu R}{10} (T_K - T_2)$$

W =

$$\frac{5}{2} \nu R \Delta T - \frac{1}{2} \Delta V (P_K - P) = -\frac{5}{2} \nu R (T_K - T_1) + \frac{1}{2} \Delta V (P_K - P)$$

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

$$T_2 - T_K = T_K - T_1$$

$$2T_K = T_1 + T_2$$

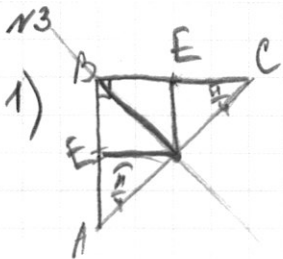
$$T_K = 400$$

$$Q = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 0,31 \cdot 100 = \frac{15}{14} \cdot 831 = 885 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 831 \quad | \quad 14 \\ -702 \\ \hline 131 \\ -126 \\ \hline 5 \end{array}$$

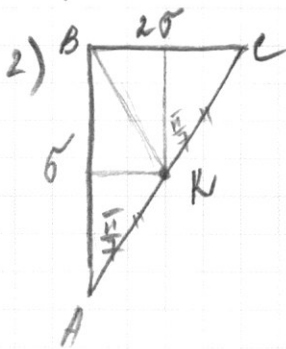
$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 59 \\ \times 15 \\ \hline 295 \\ + 59 \\ \hline 885 \end{array}$$

26



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{2\sigma}$$

Итого $\sqrt{2} E$ — результирующая



$$E_1 = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$$

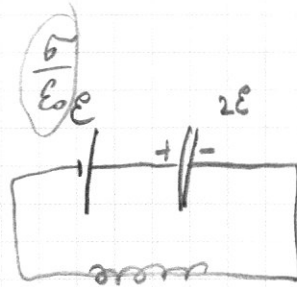
$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\frac{\rho(K, AB)}{\rho(K, AC)} = \operatorname{tg} \frac{\pi}{7}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad E_1 = \frac{2\sigma}{\epsilon_0} \operatorname{tg} \frac{\pi}{7}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{7}}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{4}}$$



№4

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

3) Как только ^{ув. обр.} конден. зарядит. до ε ток идет обратно и конден. разряж. При этом ток идет ^{через диод} через диод, ^{через L} через L и идет

$$\epsilon \cdot \epsilon C =$$

$$\frac{L I_{m2}^2}{2} = \frac{C \epsilon^2}{2}$$

$$I_{m2} = \epsilon \sqrt{\frac{C}{L}}$$

2) $I_{m1} \quad q=0$
 $\epsilon^2 C = \frac{L I_{m1}^2}{2} + \frac{2L I_{m1}^2}{2}$

$$2\epsilon^2 C = 3L I_{m1}^2$$

$$I_{m1} = \epsilon \sqrt{\frac{2C}{3L}}$$

$$-\epsilon \cdot 3\epsilon C = \frac{3\epsilon^2 C}{2} + \frac{L I^2}{2}$$

$$-6\epsilon^2 C = 3\epsilon^2 C + L I^2$$

3) $C \cdot \epsilon C$

$$\frac{L I^2}{2} =$$

$$C^2 L = \frac{L I_{m2}^2}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$n \cdot \mathcal{E} \cdot \mathcal{E} C = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} + \frac{L I_1^2}{2} + \frac{2 L I_{M1}^2}{2}$$

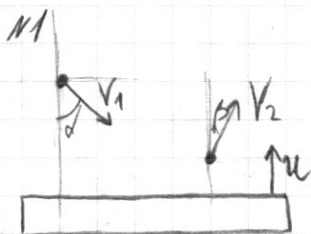
$$2 C \mathcal{E}^2 = C \mathcal{E}^2 + 2 L I_{M1}^2$$

$$2 L I_{M1}^2 = C \mathcal{E}^2$$

$$I_{M1} = \sqrt{\frac{C \mathcal{E}^2}{2L}} \quad \text{квораи.}$$

$$I_{M2} = \sqrt{\frac{C \mathcal{E}^2}{L}}$$

$$- \mathcal{E} \cdot \mathcal{E} C =$$



тригонометрия. $V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$ $\rightarrow 8 \cdot \frac{3}{4} = V_2 \cdot \frac{1}{2}$ $V_2 = 12 \text{ м/с}$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{M \mathcal{U}^2}{2} + \frac{m (V_1 \cos \alpha)^2}{2} = \frac{m (V_2 \cos \beta)^2}{2} + \frac{M \mathcal{U}^2}{2}$$

$$V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta + \mathcal{U} ?$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4} \quad \text{ЗСН: } m V_1 \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{Вертикально: } \mathcal{U} + V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta$$

$$V_1 \cos \alpha = 2\sqrt{7} \quad V_2 \cos \beta = 6\sqrt{3} \quad 36 \cdot 3 = 108$$

$$\Delta V_{\text{cos}} = 6\sqrt{3} + 2\sqrt{7}$$

$$\text{ЗСН: } m V_1 \cos \alpha + M \mathcal{U} = m V_2 \cos \beta$$

$$m V_1^2 \cos^2 \alpha + M \mathcal{U}^2 = M (\mathcal{U} - \Delta \mathcal{U})^2 + m V_2^2 \cos^2 \beta$$

$$28m + M \mathcal{U}^2 = M \mathcal{U}^2 - 2M \mathcal{U} \Delta \mathcal{U} + 2M \Delta \mathcal{U}^2 + 108m$$

$$80m = 2M \mathcal{U} \Delta \mathcal{U} \quad 80m = M \Delta \mathcal{U} (2\mathcal{U} - \Delta \mathcal{U})$$

$$\frac{m V_1^2}{2} + \frac{M \mathcal{U}^2}{2} = m (V_2 \cos \beta)^2 + M (\mathcal{U} - \Delta \mathcal{U})^2$$

$$m V_1^2 + M \mathcal{U}^2 = m V_2^2 + M \mathcal{U}^2 - 2Q$$

$$80m = 2Q \quad Q = 40m$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_2' - v_2)$$

$$\frac{1}{v_1 + v_1'} = \frac{1}{v_2' + v_2}$$

$$v_2' = v_1 + v_2$$

$$v_2' = \frac{8000}{105} = v_1 + v_2$$

$$v_1' = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2 \approx 2v_2$$

$$p_k = \frac{v_k T_k}{v_{k0}}$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2$$

$$m_1 (v_1 - v_1') (v_1 + v_1') = m_2 (v_2' - v_2) (v_2' + v_2)$$

$$\frac{500}{7200} = \frac{500}{14} \cdot \frac{14}{514}$$

$$T_k = \frac{12.8 \cdot 1000}{5.21} = 2460$$

$$U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$\frac{5}{2} \nu R T_2 - \frac{5}{2} \nu R T_k = \frac{5}{2} \nu R T_k - \frac{5}{2} \nu R T_1$$

$$15 \nu R T_2 - 25 \nu R T_k = 25 \nu R T_k - 25 \nu R T_1$$

$$105 \nu R T_k = 23 \nu R T_2 + 25 \nu R T_1$$

$$105 T_k = 46 \cdot 500 + 23 \cdot 500$$

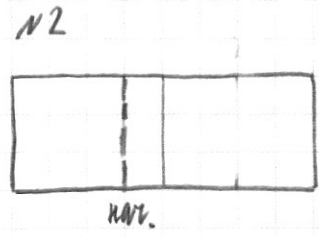
$$T_k = \frac{23000 + 23000}{105} = \frac{46000}{105}$$

$$u = \frac{v_1'}{2} = \frac{v_2 \cos \phi}{2} = \frac{6\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{3}$$

$$a = 16 \quad N_2 = 4$$

$$v_2 = v_1 = \frac{3}{7} \text{ м/с}$$

$$T_1 = 300K \quad T_2 = 500K$$



$$p \cdot \frac{4V_2}{5} = p_k \cdot T$$

$$T = 400$$

$$p \frac{V_2}{10} + \frac{p_k V_2}{10} = \frac{5}{2} \nu R T_2 - \frac{5}{2} \nu R T_k$$

$$\frac{p V_2}{10} + \frac{p_k V_2}{10} = \frac{\nu R T_2}{8} + \frac{\nu R T_k}{8}$$

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

$$p V_1 = \nu R T_1$$

$$p V_2 = \nu R T_2$$

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

Равновесие \Rightarrow давление

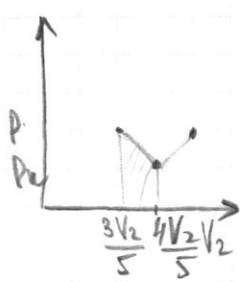
$$p_k V_{1k} = \nu R T_k \quad p_k V_{2k} = \nu R T_k$$

$$V_{1k} = V_{2k} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{8V_2}{2} = \frac{8V_2}{10} = \frac{4V_2}{5}$$

$$|A| = \frac{1}{2} V_2 \left(\frac{8V_2}{5} (p - p_k) \right) = \frac{V_2 (p - p_k)}{10} = \frac{\nu R T_2 - \nu R T_k}{10}$$

$$A = \frac{1}{2} (p - p_k) (V_1 - V_2) = \frac{1}{6} (p V_1 - p_k V_1)$$

$$\Delta Q = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_k) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_k) = \frac{5}{6} \nu R (T_1 - T_k)$$



$$\Delta Q = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_k) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_k) = \frac{5}{6} \nu R (T_1 - T_k)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

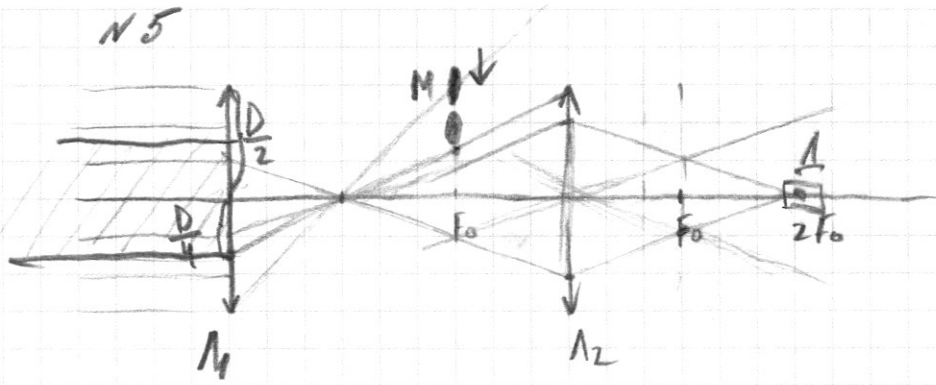
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



$$mV_1 + M\mathcal{U} = mV_2 + M\mathcal{U}$$

В момент $t = 0$ $\frac{D}{4}$ от оси системы

и закрывает $\frac{1}{4}$ круга (т.к. $\mathcal{U} = \frac{3F_0}{4}$)

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

$$3 \quad F_0 \quad \frac{D}{8}$$

$$mV_1 + M\mathcal{U} = mV_2$$

$$V = \frac{D}{8T_0}$$

$$\begin{aligned} 2\sqrt{7} + \mathcal{U} &= 6\sqrt{5} \\ \mathcal{U} &= 6\sqrt{5} - 2\sqrt{7} = \\ &= \sqrt{108} - \sqrt{28} \end{aligned}$$

за время $T_0 - t_1$

$$M \text{ проходит } \frac{D}{8} + \frac{D}{4} = \frac{3D}{8}$$

$$t_1 - T_0 = \frac{3D}{8V} = \frac{3D}{8} \cdot \frac{8T_0}{D} = 3T_0$$

$$t_1 = 4T_0$$