

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

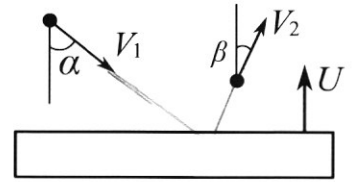
Класс 11

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

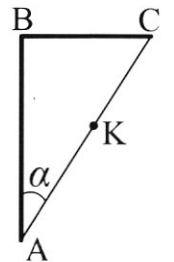


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

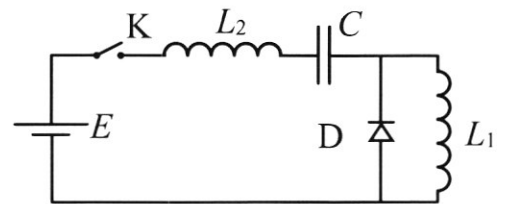
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

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



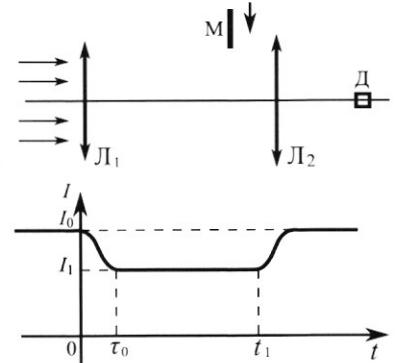
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, 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 .

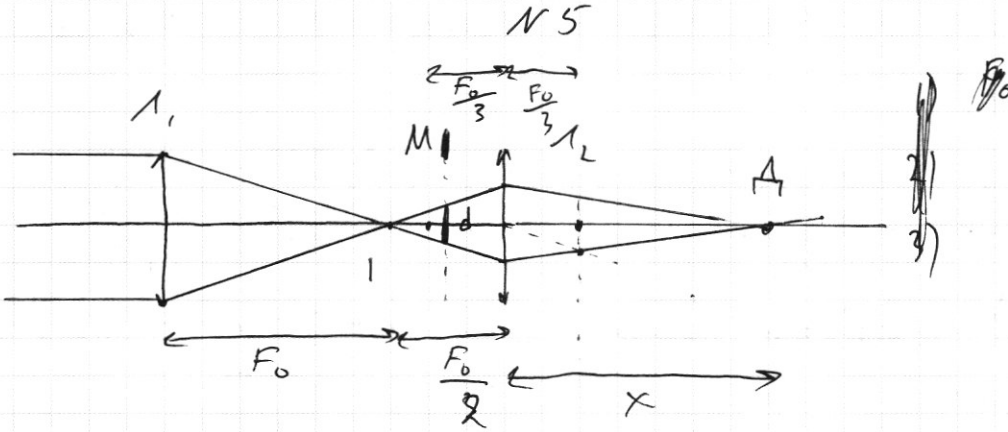
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_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 L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) ФТЛ для L_2 : Все лучи из L_1 пересекаются в A на F_0 ; заменим ФТЛ для L_2 : $\frac{2}{F_0} + \frac{1}{x} = \frac{3}{F_0}$, откуда

$$x = F_0$$

2) Мощность пропущенного объема света, падющего на детектор, откуда $I = 2 \cdot d$; d - диаметр пучка света, от 0 до τ_0 диаметр увеличивается с увеличением угла, а от τ_0 до τ_1 она просто движется так, что угол остается постоянным радиусом $d - \Delta$ радиус микром. найдет d пучка, который перекрывает диаметр d пучка, который $\frac{F_0}{4 F_0} = \frac{d}{D}$; $d = \frac{1}{4} D$;

$$I_0 = 2 \cdot d; \quad I_1 = 2(d - v \tau_0) = I_0 \frac{8}{9};$$

$$\frac{8}{9} = \frac{d - v \tau_0}{d}; \quad v = \frac{d}{9 \tau_0} = \frac{D}{36 \tau_0}$$

3) $t_1 =$ время за которое диаметр проходит $d - v \tau_0$;
 $t_2 = \frac{d - v \tau_0}{v} = \frac{d}{v} - \tau_0 = 9 \tau_0 - \tau_0 = 8 \tau_0$

№ 2

1) в начале объема $\Theta_{\text{мн}}$. как неизм., м.к. как.
 уравнение равно. $p_1 V_1 = \nu R T_1$, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$;
 $p_1 V_2 = \nu R T_2$;

2) м.к. $V_1 = V_2 = V$, то будем решать все на-р-ки
 равно (p, V, T) ;

ЗСЗ:

$$\underbrace{\frac{3}{2} \nu R T_1}_{U_1} + \underbrace{\frac{3}{2} \nu R T_2}_{U_2} + \underbrace{p_1 (V_1 + V_2)}_{M_1} = \underbrace{3 \nu R T}_{2U} + \underbrace{2 p V}_{2 p V}$$

$2M - M_1 = A$ - работа газа; $V = V_1 + V_2 = \frac{3}{4} V_2 + V_2 = \frac{7}{4} V_2$

$p_1 V_2 = \nu R T_2$; $p V = \nu R T$; $p_1 V_1 = \nu R T_1$,

$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 + \frac{1}{4} \nu R T_2 = 5 \nu R T$;
 $\nu R (T_1 + T_2) = \frac{4}{5} \nu R T$;

отсюда $T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ K}$;

3) $Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) + A$; $A = p_1 V_2 - \frac{V}{2} p_2 = p_1 V_2 - p_2 \frac{V_2}{8} \cdot 7$
 $= \frac{1}{7} (p_1 - p_2) V_2 = \frac{1}{7} (\nu R T_1 - \nu R T) = \frac{1}{7} \nu R (T_1 - T)$

$Q = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T +$

$A = \nu R T_2 - \frac{1}{2} \nu R T$

$Q = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T + \nu R T_2 - \frac{1}{2} \nu R T = \frac{5}{2} \nu R T_2 - 2 \nu R T =$

$\approx 658 \text{ Дж}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

1) первый период колебаний состоит из двух полупериодов $T = T_1 + T_2$;

1) T_1 : ток через диод ток не идет; ЕЛС конденсатор

$$T_1 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}; \quad T_1 = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{(L_1+L_2)C} = \pi\sqrt{5LC}$$

T_2 : ток как переключатель, через L_1 ток не течет.

$$T = 2\pi\sqrt{L_2C} = 2\pi\sqrt{2LC}; \quad T_2 = \pi\sqrt{2LC}$$

$$T_{одн} = T_1 + T_2 = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{5} + \sqrt{2})$$

2) при max токе $U_C = E$;

$$3C\tau: \quad CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{(L_1+L_2)}{2} I_{01}^2;$$

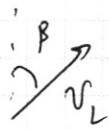
$$I_{01} = E\sqrt{\frac{C}{5L}}$$

3) аналогично, но ток через L_1 не течет

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{(L_1+L_2)}{2} I_{02}^2$$

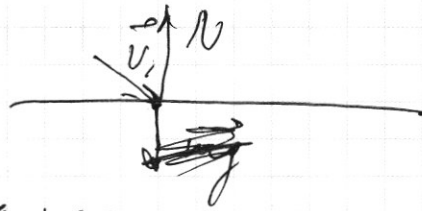
$$I_{02} = E\sqrt{\frac{C}{2L}}$$

1)



$N \neq$

μ -тип момент удара



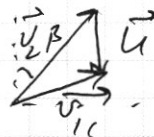
на шарик действует сила реакции опорки, она и изменяет вертикальный импульс, а вдоль горизонтали нет сил $\Rightarrow \Delta P_x = 0$;

тогда $m v_1 \sin \alpha = m v_2 \cos \beta$;

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = 2v_1 = 12 \text{ м/с};$$

2) перейдем в СО шара; т.к. она массивная её $\Delta P = 0$;

скорость \vec{v}_H шарика:



запомним, что при $u = v_2 \cos \beta$ шарик "полетит" по поверхности, а значит, если $u > v_2 \cos \beta$, шарик "полетит" вглубь кинки, а это невозможно.

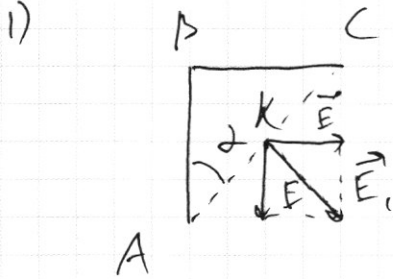
$$u \leq v_2 \cos \beta = \frac{12 \cdot \sqrt{2}}{3} = 8\sqrt{2} \text{ м/с};$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{3}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$u \leq 8\sqrt{2} \text{ м/с};$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

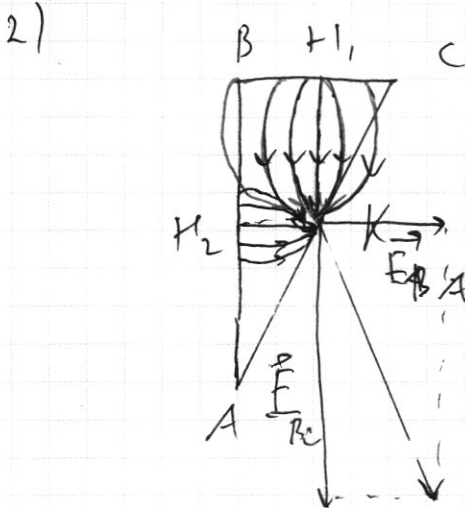


$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; \text{ токи на } 2$$

по принципу суперпозиции
полей: $E_1^2 = 2E^2$

$$E_1 = \sqrt{2}E.$$

σ увеличился на коэффициент.



и.к. точка находится на сре-
дине AC, то H_1 и H_2 - средины
на H_1H_2 и AB соответственно.

а значит крайнего эффекта нет
конкретно для точки K.

$$\text{а значит } \vec{E} = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$$

$$E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; \quad E_{BC} = \frac{4\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{16\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{17};$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{3 \cdot 2 \cdot 55 \cdot 8,31}{2 \cdot 25 \cdot 5} + \frac{4 \cdot 6 \cdot 8,31 \cdot 385}{25 \cdot 5 \cdot 2} =$$

$$= 1495,8 + 1535,688 = 3030,488 \text{ Дж}; \times \frac{83}{19}$$

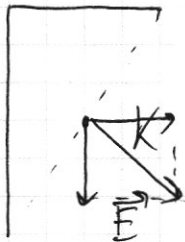
$$\begin{array}{r} \times 77 \\ 24 \\ \hline + 308 \\ 154 \\ \hline 1848 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 1848 \\ 831 \\ \hline + 1848 \\ 5544 \\ \hline + 4784 \\ 15356,88 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7479 \quad | \quad 5 \\ \hline 5 \\ \hline 24 \\ \hline 20 \\ \hline 47 \\ \hline 45 \\ \hline 29 \\ \hline 25 \\ \hline 40 \\ \hline 40 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7479 \\ \hline 385 \quad | \quad 5 \\ \hline 35 \\ \hline 35 \\ \hline 0 \end{array}$$

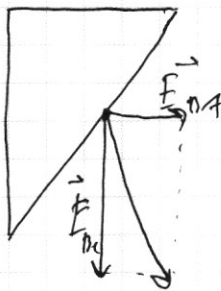
$$\begin{array}{r} + 1535,688 \\ + 1495,8 \\ \hline 3030,488 \end{array}$$



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

$$\varphi = E \cdot d;$$

$$F_i = \sqrt{2} E;$$



$$\begin{array}{r} + 264 \\ + 831 \\ \hline + 264 \\ 792 \\ \hline + 112 \\ 2193,84 \\ \hline - 10 \cdot 10 \cdot 10 \\ 2193,840 \\ \hline - 1535,688 \\ \hline 658,152 \end{array}$$



$$T = T_1 + T_2;$$

$$T_1 = \pi \sqrt{(L_1 + L_2) C}; \quad T_2 = \pi \sqrt{L_2 C}$$

$$T = \pi \sqrt{5LC} + \pi \sqrt{2LC} = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{5} + \sqrt{2})$$

$$E = (L_1 + L_2) I' + U_c; \quad U_c = E;$$

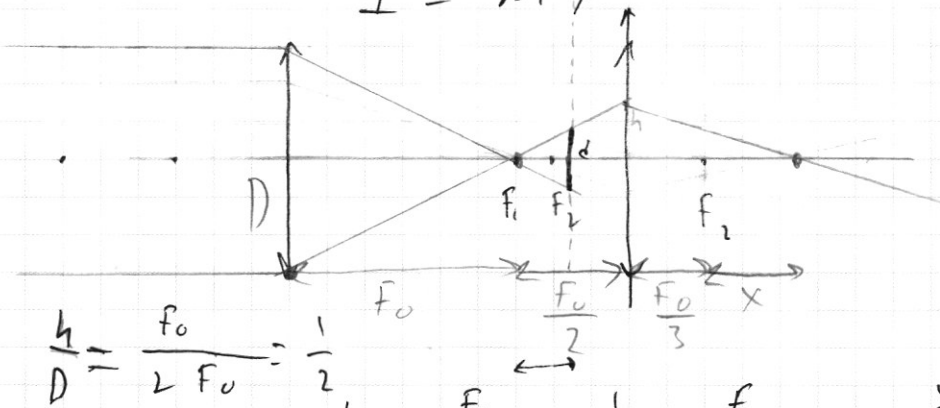
$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{(L_1 + L_2) I_0^2}{2}$$

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{L_1 + L_2}{2} I_0^2 \quad L_1 + L_2 = 5L$$

$$\frac{CE^2}{5L} = I_0^2; \quad I_0 = E \sqrt{\frac{C}{5L}}$$

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{L_2 I_0^2}{2}; \quad I_0 = E \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

$$I = KP;$$



$$\frac{h}{D} = \frac{F_0}{2F_0} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{F_0}{4 - F_0} = \frac{1}{4} \quad \frac{F_0}{4}$$

$$I = KP; \quad P = d \cdot d;$$

$$I = 2K \cdot d$$

$$I_0 = 2Kd; \quad \frac{8I_0}{9} = 2K(d - v\tau_0)$$

$$\frac{9}{8} = \frac{d}{d - v\tau_0}; \quad \frac{9d}{8} = \frac{9}{8} v\tau_0$$

$$\frac{d - 2v\tau_0}{v} = \frac{d}{v} - 2\tau_0 = \frac{d}{d - 2v\tau_0} - 2\tau_0 = 7\tau_0$$

$$9d - 9v\tau_0 = 8d \quad d = 9v\tau_0; \quad v = \frac{d}{9\tau_0}$$

$$F_0 = \frac{8 \cdot 5}{4 \cdot 2} = \frac{15}{2} = 7.5$$

$$\frac{1}{F_1} + \frac{1}{X} = \frac{1}{F_2};$$

$$\frac{1}{F_0} + \frac{1}{X} = \frac{3}{F_0}$$

$$\frac{1}{X} = \frac{3}{F_0} - \frac{1}{F_0}$$

$$X = \frac{F_0}{2};$$

$$d = \frac{1}{4} D;$$

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

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{F_0}; \quad X = F_0;$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{array}{r} 180/8 \\ 22 \\ \hline 20 \\ 40 \end{array}$$

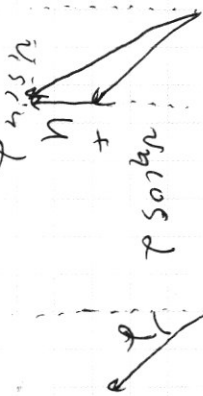
$$V_1 \cos \beta = \frac{\sqrt{2}}{3} = 2\sqrt{2}$$

$$V_2 \sin \alpha \cos \beta = \frac{\sqrt{2}}{3} = 4\sqrt{2} \frac{m V_1^2}{2} = \frac{m V_2^2}{2}$$

$$\Delta p = 2\sqrt{2} + 4\sqrt{2}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$\sqrt{\frac{6^2}{4\epsilon_0} + \frac{166^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{6}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + 16} = \sqrt{17} \frac{6}{2\epsilon_0}$$



$$u_1^2 = u^2 + 2u u_2 \cos \beta + u_2^2$$

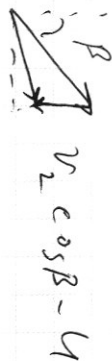
$$u^2 + u_1^2 = u_2^2$$

$$u^2 + u^2 - 2u u_2 \cos \beta + u_2^2 = u_2^2$$

$$2u^2 - 2u u_2 \cos \beta, \quad u = u_2 \cos \beta,$$

$$u \leq u_2 \cos \beta = 4\sqrt{2}$$

$$= u^2 \cos^2 \beta + u_2^2 \sin^2 \beta + 2u u_2 \cos \beta$$



$$u_1^2 = u^2 + 2u u_2 \cos \beta + u_2^2 = u^2 \cos^2 \beta + u_2^2 \sin^2 \beta + 2u u_2 \cos \beta$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\cos \gamma = \frac{v_1 \cos \alpha + v_2 \sin \beta}{v_I}$$

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

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 6 \cdot \frac{2 \cdot 3}{3} = 12$$

$$v_I^2 = (u + v_1 \cos \alpha)^2 + v_1^2 \sin^2 \alpha$$

$$v_I^2 = u^2 + 2uv_1 \cos \alpha + v_1^2 \cos^2 \alpha + v_1^2 \sin^2 \alpha$$

$$v_I^2 = u^2 + 2uv_1 \cos \alpha + v_1^2 =$$

$$v_{II}^2 = v_2^2 + u^2 + 2v_2 u \cos \beta;$$

$$v_I^2 = u^2 + v_1^2 - 2uv_1 \cos \alpha;$$

$$v_{II}^2 = u^2 + v_2^2 + 2uv_2 \cos \beta;$$

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

$$2v_1 = v_2;$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = F;$$

$$v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta = f \Delta t;$$

$$v_I \cos \gamma + v_{II} \cos \delta = v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta;$$

$$v_1 \cos \alpha + u +$$

$$\frac{4 \cdot 6 \cdot 8,31 \cdot 385}{2510} =$$

$$= 1535,888$$

$$6 \cdot 220 \cdot 8,31$$

$$\frac{220}{20} \cdot 5$$

$$= 110 \cdot 5 = 550$$

$$6 \cdot 44 \cdot 8,31$$

$$+ 44$$

$$\frac{6}{264}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

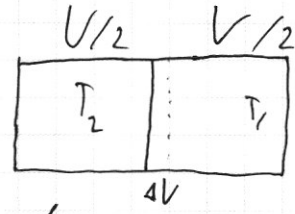
$$p_1 V_2 = \nu R T_2$$

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4}; \quad V_1 = \frac{3}{4} V_2$$

$$V = V_1 + V_2; \quad V_{1H} = V_{2K};$$

$$pV = \nu R T; \quad V =$$



$$\begin{array}{r} \times 165 \\ 3 \\ \hline 495 \end{array}$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = pV + 3 \nu R T;$$

$$V = V_2 + \frac{3}{4} V_2 = \frac{7}{4} V_2; \quad \frac{7}{8} V_2$$

$$\frac{-440}{385} + \frac{15}{55}$$

$$330 \cdot 2 = 660$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = p \left(\frac{7}{8} V_2 - \frac{6}{8} V_2 \right) + 3 \nu R T;$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = \frac{p V_2}{8} + 3 \nu R T;$$

$$p V_2 = \frac{\nu R T_2}{8}$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = \frac{\nu R T_2}{8} + 3 \nu R T$$

$$\frac{440}{8} = 55$$

$$\frac{3}{2} T_1 + \frac{3}{2} T_2 - \frac{T_2}{8} = 3 T;$$

$$345 + 660 - 55$$

$$220 \cdot 3 = 660$$

$$330 \cdot 2 = 660$$

$$290 + 660 = 950$$

$$A = p_2 \frac{7}{8} V_2 - p_1 \frac{6}{8} V_2 =$$

$$= \frac{3}{4} \nu R T - \frac{3}{4} \nu R T_2 + 3 \nu R T;$$

$$950 - 55 =$$

$$\frac{3}{2} T_1 + \frac{3}{2} T_2 + \frac{3}{4} T_2 = 4 T;$$

$$\begin{array}{r} = 440 + 660 = \\ 440 : 4 = \\ = 110 \end{array}$$

$p_1 V_1 = \nu R T_1$ - левий
 $p_2 V_2 = \nu R T_2$ - десен

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 + \nu R T_1 = \nu R T_2 + 3 \nu R T;$$

$$M_1 = \nu R (T_1 + T_2)$$

$$770 : 2 = 385$$

$$M_2 = 2 \nu R T;$$

$$770 : 2 =$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 + \nu R (T_1 + T_2) = 2 \nu R T + 3 \nu R T = 385 + 385 = 770$$

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

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 K;$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) + 2 \nu R T =$$

$$12 + 7 =$$

$$= \frac{4 \cdot 7}{7 \cdot 8} \nu R T \quad p_2 V_2 = p_2 V_1 \frac{4}{7}$$

$$\frac{6+7}{4}$$

$$p_2 V_2 = \nu R T$$