



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

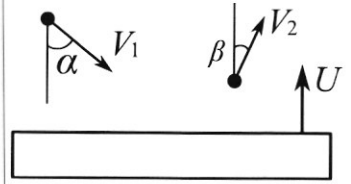
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 18$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{2}{3}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{3}{5}$ ) с вертикалью.



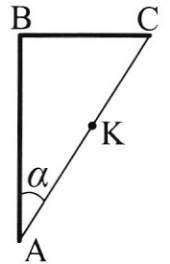
- 1) Найти скорость  $V_2$ .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.

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 аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве  $\nu = 3/5$  моль. Начальная температура аргона  $T_1 = 320$  К, а криптона  $T_2 = 400$  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 аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

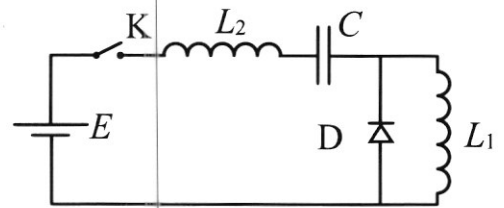
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

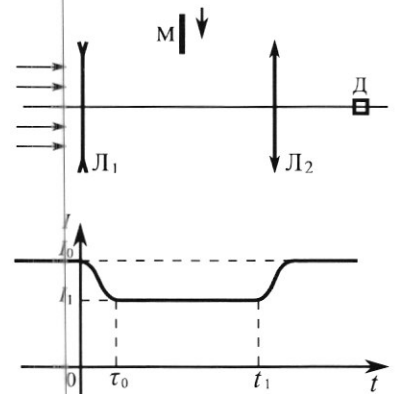
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = \sigma$ ,  $\sigma_2 = 2\sigma/7$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/9$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 5L$ ,  $L_2 = 4L$ , 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  $-2F_0$  и  $F_0$ , соответственно. Расстояние между линзами  $2F_0$ . 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  $F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 7I_0/16$



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

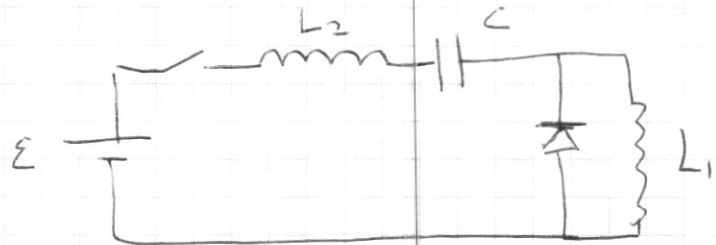
Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

$$L_1 = 5L \quad L_2 = 4L$$



$$\varepsilon = L_2 \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} + L_1 \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{q}{C} = \varepsilon - (L_2 + L_1) \frac{dI}{dt}$$

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

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

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

$$\omega_1^2 = \frac{1}{C(L_1 + L_2)}$$

$$\omega_1^2 = \frac{1}{\sqrt{C(L_1 + L_2)'}}$$



Когда ток меняет направление через диод идёт ток, и через  $L_1$  катушку, т.к. икэма появляется ёмк. напряжение которое на нем быть не может

$$\varepsilon = L_2 \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} \quad \varepsilon = L_2 \cdot \ddot{q} + \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} = \frac{\varepsilon}{L_2} - \frac{q}{L_2 C} \quad \omega_2^2 = \frac{1}{L_2 C} \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_2 C}}$$

$$\frac{T_1}{2} = \frac{\pi}{\omega_1} = \pi \sqrt{C(L_1 + L_2)} \quad \frac{T_2}{2} = \frac{\pi}{\omega_2} = \pi \sqrt{L_2 C}$$

$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi \sqrt{C(L_1 + L_2)} + \pi \sqrt{L_2 C}$  берём по порядку т.к. равно в половине ток положительной, а в другой отрицат.

Прочитайте внимательно

$$T = \sqrt{L_2 C} + \sqrt{C(L_1 + L_2)} = 2\sqrt{L C} + \sqrt{L C} = 3\sqrt{L C}$$

До момента когда  $U_c = \varepsilon$  ток на катушках растёт, далее падает до 0  
 значит через  $U_c = \varepsilon$  ток через  $L_1$  тухнет, т.к. когда ток тухнет в обр. сторону, через  $L_1$  ток не идёт

$$\varepsilon \Delta q = \frac{(L_1 + L_2) I_1^2}{2} + \frac{C \varepsilon^2}{2}$$

$$\varepsilon^2 C = (L_1 + L_2) I_1^2$$

$$I_1 = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{3L}} = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

~~$$\varepsilon \Delta q = \frac{C U_1^2}{2} - \frac{\varepsilon \varepsilon^2}{2} \quad \Delta q = U_1 C - \varepsilon C$$~~

~~$$\varepsilon U_1 C = \frac{C U_1^2}{2} \quad \varepsilon = \frac{U_1}{2} \quad U_1 = 2\varepsilon$$~~

~~$$-\varepsilon \Delta q = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{C \varepsilon^2}{2} + \frac{C U_1^2}{2} \quad C U_1 - C \varepsilon = \Delta q = \varepsilon C$$~~

~~$$-\varepsilon^2 C + \frac{\varepsilon^2 C}{2} = 2 C \varepsilon^2 = \frac{L_2 I_2^2}{2}$$~~

~~$$\varepsilon U_1 C - \varepsilon^2 C = \frac{C U_1^2}{2} - \frac{C \varepsilon^2}{2}$$~~

~~$$C \varepsilon U_1 - \frac{C U_1^2}{2} = \frac{C \varepsilon^2}{2} \quad 2 \varepsilon U_1 - U_1^2 = \varepsilon^2 \quad (U_1 - \varepsilon)^2 = 0$$~~

~~$$-\varepsilon \Delta q' = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{C \varepsilon^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2}$$~~

~~$$\Delta q' = \varepsilon U_1 - C \varepsilon$$~~

~~$$\varepsilon \Delta q = \frac{C U_1^2}{2} \quad \Delta q = C U_1$$~~

~~$$\varepsilon U_1 = \frac{C U_1^2}{2} \quad U_1 = 2\varepsilon$$~~

~~$$-\varepsilon \Delta q' = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{C \varepsilon^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} \quad \Delta q' = C U_1 - C \varepsilon = C \varepsilon$$~~

момент, когда ток через катушки прекращается идти, и далее через  $L_1$  ток идти не будет, ток потихоньку идёт в обр. сторону

Sn сайт тогда, что ток идёт в обратную сторону ~~здесь на катушке~~.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Происшедшее  $\Delta Q$

$$-\varepsilon^2 C = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{\varepsilon \varepsilon^2}{2} - 2C\varepsilon^2$$

$$\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{L_2 I_2^2}{2}$$

$$I_2 = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L_2}} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{\mu L}} = \frac{\varepsilon}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$Q - \varepsilon \Delta Q' = \frac{C U_2^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2}$$

$$I_2 > I_1 = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{C}{L}} \rightarrow I_2 \text{ max ток через } L_2$$

$$\Delta Q = C U_1 - C U_2$$

$$2\varepsilon C(U_1 - U_2) = C(U_2 - U_1)(U_2 + U_1)$$

$$2\varepsilon C = C(2\varepsilon + U_2)$$

$U_2 = 0$  - проверка, что в конце цикла  
 $I = 0, U_C = 0$

$T = 5\pi \sqrt{LC}$	$I_1 = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$	$I_2 = \frac{\varepsilon}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$
----------------------	--	--

№3

$$E_{BC} = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$$

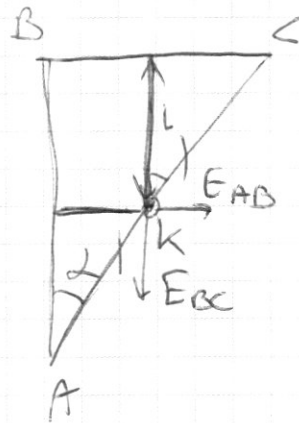
$$E_{AB} = \frac{\delta}{2\epsilon_0}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$$

т.к.  $\alpha = 45^\circ$  и равноудалены от пластин

$$E = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \frac{\delta}{\sqrt{2}\epsilon_0}$$

$$\frac{E}{E_{BC}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$



$$E_{BC} = \frac{\delta_1}{2\epsilon_0}$$

$$E_{AB} = \frac{\delta_2}{2\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \frac{1}{2\epsilon_0} \sqrt{\delta^2 + \frac{4}{49}\delta^2} = \frac{\delta}{14\epsilon_0} \sqrt{53}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

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

т.к. трения  
нет, значит  
взаимоуменьш  
на ось X  
иначе  
не получится

$$v_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} v_1 =$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} \cdot 18 = 2 \cdot 5 \cdot 2 =$$

$$= 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{4}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

При упругом ударе

$$m(v_1 \cos \alpha + 2u) = m(v_2 \cos \beta)$$

но удар неупругий  $\rightarrow$   
возможна потеря  $v_1 \cos \alpha$

$$u = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2}$$

$$\leftarrow \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} \leq u \leq \frac{v_2 \cos \beta - 0}{2}$$

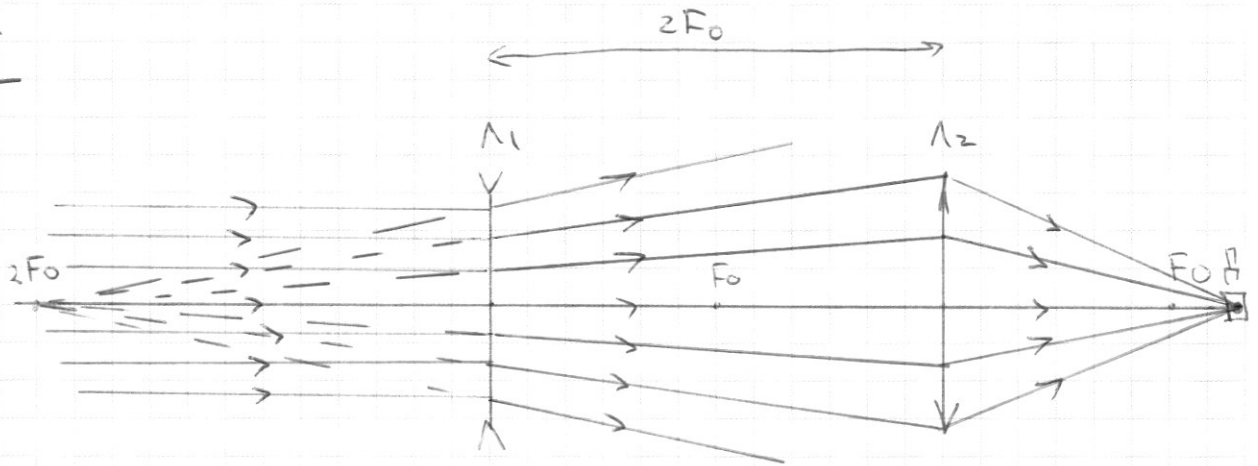
$$\rightarrow \frac{20 \cdot \frac{4}{5} - 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3}}{2} \leq u \leq \frac{20 \cdot \frac{4}{5}}{2}$$

$$\frac{16 - 6\sqrt{5}}{2} \leq u \leq \frac{16}{2}$$

$$\boxed{8 - 3\sqrt{5} \frac{\text{м}}{\text{с}} \leq u \leq 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}$$



№ 5



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

$$\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F_0}$$

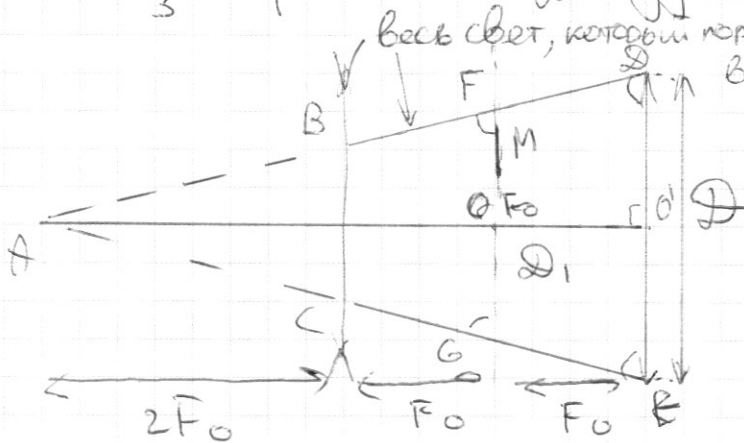
$$\frac{1}{d} = \frac{4}{4F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{3}{4F_0} \quad d = \frac{4F_0}{3}$$

Построим ход лучей и поймем, что для собир. линзы лучи идут будто из  $2F_0$  фокуса рассеивающей линзы, значит точка находится в

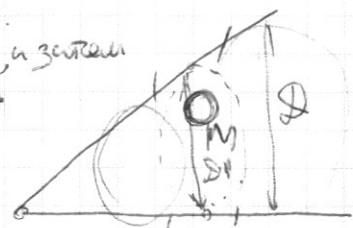
"источник света" на расстоянии  $f = 2F_0 + F_0$

и фокусируется на  $d$  расстоянии от  $L_2$  в  $D$

$d = \frac{4F_0}{3}$  расстояние между  $L_2$  и  $D$



весь свет, который проходит в собир. линзу, и затем в  $D$



Из подобия  $\triangle AFO \sim \triangle ADO'$  (по углам)

$$\frac{AO}{OF} = \frac{AO'}{OD}$$

$$\frac{3F_0}{OF} = \frac{4F_0}{OD}$$

$$\frac{OF}{OD} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{D_1 \cdot 2}{2 \cdot D} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{D_1}{D} = \frac{3}{4}$$

$$D_1 = \frac{3}{4} D$$

Когда закладка полностью находится внутри потока света она загорится площадь  $S = \pi R^2$ , а во мощности потока

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Продолжение задачи №5

Тогда  $\frac{I_1}{I_0} = \frac{S-s}{S} = \frac{7}{16}$

$$\frac{7}{16} = \frac{\pi R^2 - \pi r^2}{\pi R^2}$$

$$7R^2 = 16R^2 - 16r^2$$

$$16r^2 = 9R^2$$

$$4r = 3R$$

$$4 \frac{Q_M}{2} = 3 \frac{Q_1}{2}$$

$$4Q_M = 3 \cdot \frac{3}{4} Q$$

$$Q_M = \frac{9}{16} Q$$

$t_0$  - время влёта заслонки в поток света

значит за  $t_0$  она пролетела  $Q_M$

$$Q = \frac{Q_M}{t_0} = \frac{9Q}{16t_0}$$

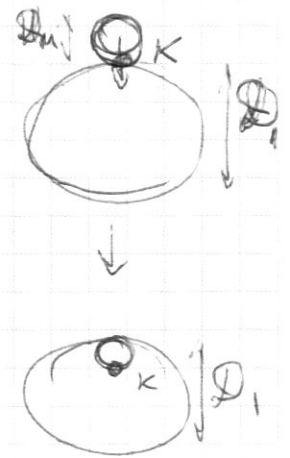
$$Q t_1 = Q_1$$

$t_1$  - время за которое

любая точка  $K$  проходит весь поток света от центра до края ( $Q_1$ )

$$Q t_1 = \frac{3}{4} Q$$

$$t_1 = \frac{3Q}{4Q} = \frac{3}{4} \cdot \frac{Q \cdot \frac{16}{9} t_0}{\frac{9}{16} Q} = \frac{4}{3} t_0$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

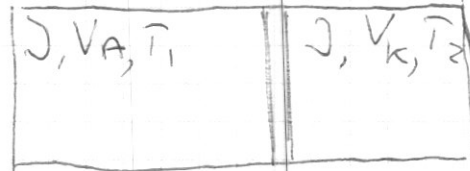
Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2

$$1) p_0 = \frac{\nu R T_1}{V_A}$$

$$p_0 = \frac{\nu R T_2}{V_K}$$



V

в обоих газях  $p_0$  т.к. равновесие, до перехода тепла

$$\frac{\nu R T_1}{V_A} = \frac{\nu R T_2}{V_K}$$

$$\frac{V_A}{V_K} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{32}{40} = \frac{8}{10} = \frac{4}{5}$$

$$2) Q = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + A \quad (1) \text{ аргон}$$

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

$$0 = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1 + T - T_2)$$

$$0 = 2T - T_1 - T_2$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{320 + 400}{2} = \frac{720}{2} = 360 \text{ K}$$

~~$$T - T_1 = 360 - 320 = 40 \text{ K} = \Delta T_1$$~~

~~$$T - T_2 = 360 - 400 = -40 \text{ K} = \Delta T_2$$~~

~~$$\Delta T_1 = -\Delta T_2$$~~

~~$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_1 = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T_2$$~~

~~$$(1) - (2) \quad 2Q = 2A + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_1 - \frac{3}{2} \nu R \Delta T_2$$~~

~~$$p_1 = \frac{\nu R T}{V_A'} = \frac{\nu R T}{V_K'} \quad V_A' = V_K' = \frac{1}{2} V$$~~

Сосуд теплоизолирован  
→ всё тепло идёт от  
одного газа к другому  
Автоматически создается  
один газ и совершает  
кту, другой и совершает

Продолжение №2

$$\text{Решение } V = V_A + V_K = \frac{4}{5} V_K + V_K = \frac{9}{5} V_K \quad V_K = \frac{5}{9} V$$

$$P_0 = \frac{\nu R T_2}{V_K} = \frac{5}{9} \cdot \frac{9 \nu R T_2}{5V}$$

$$V_A = \frac{4}{5} V_K = \frac{4}{9} V$$

$$P_1 = \frac{2 \nu R T_1}{V} = \frac{2 \cdot 360}{5} = \frac{9}{5} \cdot 400 = 720 \text{ Па}$$

$$P_0 = \frac{\nu R}{V} \cdot \frac{9}{5} \cdot 400 = 9 \cdot 80 \frac{\nu R}{V} = 720 \frac{\nu R}{V}$$

$$P_1 = \frac{\nu R}{V} \cdot 2 \cdot 360 = 720 \frac{\nu R}{V}$$

Т.о.  $P_0 = P_1 \rightarrow$  при А  $P = \text{const}$  т.к. процесс  
 является изотермическим

$$A = P_0 \cdot \Delta V = P_0 (V_A' - V_A) = P_0 \left( \frac{1}{2} V - \frac{4}{9} V \right) = P_0 V \left( \frac{9}{18} - \frac{8}{18} \right) = \frac{P_0 V}{18} = \nu R (T - T_1)$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + A = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + \frac{P_0 V}{18} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + \nu R (T - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot (360 - 320) = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 40 = 3 \cdot 20 \cdot 8,31 = 60 \cdot 8,31 = 498,6 \text{ Дж}$$

Докажем что  $P = \text{const} = P_0$  на любой точке процесса

$$+ Q' = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1) + A'$$

$$- Q' = \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_2) + A'$$

Пусть некоторая  $Q'$  передан критию  
 и  $A'$  об. работу орган  $T_1 \rightarrow T_3$   
 $T_2 \rightarrow T_4$

$$0 = T_3 + T_4 - T_1 - T_2$$

$$T_3 + T_4 = T_1 + T_2$$

$$P' = \frac{\nu R T_3}{V_1}$$

$$P' = \frac{\nu R T_4}{V_2}$$

$$P_0 = \frac{\nu R T_1}{V_A}$$

$$P_0 = \frac{\nu R T_2}{V_K}$$

$$P' (V_1 + V_2) = \nu R (T_3 + T_4)$$

$$P_0 (V_A + V_K) = \nu R (T_1 + T_2)$$

Т.о. для  
 любого процесса  
 $P = \text{const} = P_0$

$$P' = \frac{\nu R (T_3 + T_4)}{V}$$

$$P_0 = \frac{\nu R (T_1 + T_2)}{V}$$

$$(T_1 + T_2 = T_3 + T_4) \rightarrow P' = P_0$$