



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

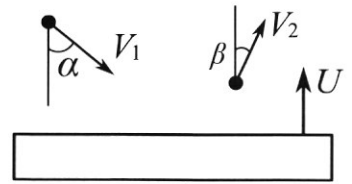
Класс 11

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

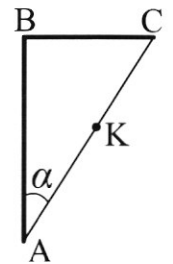


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

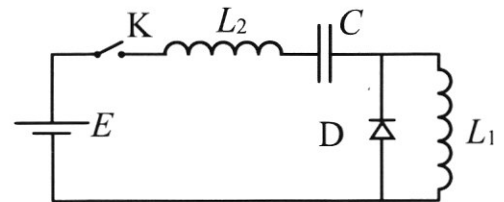
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

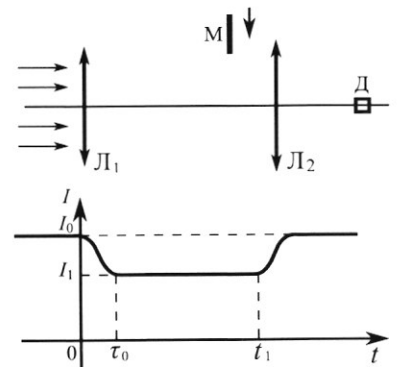
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 4\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/8$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 3L$ ,  $L_2 = 2L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода Д (см. рис.). Ключ К 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 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  $5F_0/4$  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  $t_1$ .

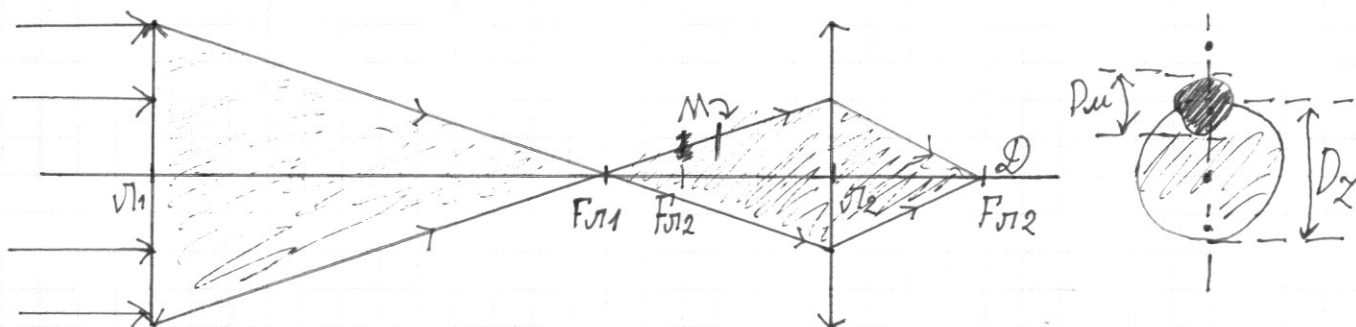
Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

Масштаб 1 клетка =  $\frac{F_0}{12}$   
по горизонтале



Лучи проходят линзу, фокусируются в точке  $F_{l1}$  и расходятся в противоположных направлениях. Затем проходят линзу  $\Gamma_2$  и фокусируются в точке  $F_{l2}$ , где и находится детектор

$$L_{\Phi} = F_{l2} = \frac{F_0}{3}$$

Трубка линзы пересекает круглое сечение светового пучка в каком-то месте. Трубка  $D_z$  - диаметр сечения,  $D_m$  - диаметр линзы. Из подобия  $\Delta$ , полученных из лучей внутренних и внешних из  $F_{l1}$ ,  $D$ ,  $D_m$ ,  $D_z$  (линза, мишень и сечение)  $\perp$  главной оптической оси.

$$\frac{D_z}{D} = \frac{\frac{5}{4}F_0 - F_0}{F_0} = \frac{1}{4} \quad D_z = \frac{1}{4}D$$

От того, какую часть сечения перекрывает мишень зависит насколько понизится ток. Трубка при понижении тока с  $I_0$  до  $I_1$  мишень перекрывает световой круг незначительно. Зависимость прямопропорция.

$$\frac{S_z - S_m}{S_z} = \frac{I_1}{I_0} \quad 1 - \frac{S_m}{S_z} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{8I_0/9}{I_0} = \frac{8}{9} \quad \frac{S_m}{S_z} = \frac{1}{9} = \frac{\pi(D_m/2)^2}{\pi(D_z/2)^2} = \left(\frac{D_m}{D_z}\right)^2$$

$$\left(\frac{D_m}{D_2}\right)^2 = \frac{1}{9} \quad D_m = \frac{1}{3} D_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} D = \frac{1}{12} D \quad \frac{D_m}{D_2} = \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{1}{3}$$

В момент падения I, т.е. за время  $5_0$  ммень прошла диаметр на сечение  $\Rightarrow$  за время  $5_0$  ммень поступательно преодолела путь  $\frac{1}{36} D$   $V = \frac{s}{t} = \frac{\frac{1}{36} D}{5_0} = \frac{D}{36 \cdot 5_0}$

В момент  $t_1$  ммень утенчал покидать сечение света.

За время  $t_1$  ммень прошла путь  $D_2 = \frac{1}{4} D$

$$t_1 = \frac{s}{v} = \frac{\frac{1}{4} D}{\frac{D}{36 \cdot 5_0}} = \frac{D}{4} \cdot \frac{36 \cdot 5_0}{D} = 9 \cdot 5_0$$

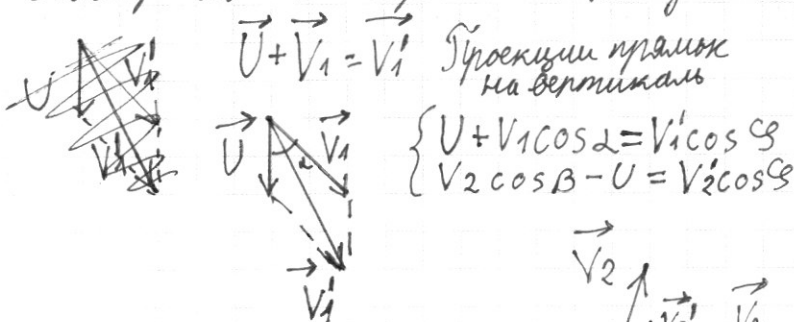
Ответ:  $L_2 = F_0/3$   $V = \frac{D}{36 \cdot 5_0}$   $t_1 = 9 \cdot 5_0$   
 №1.  $V = \frac{D}{12 \cdot 5_0}$   $t_1 = 3 \cdot 5_0$

После вертикального удара горизонтальная составляющая скорости шарика не изменилась

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta \quad V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \text{ м/с} \cdot 2/3}{1/3} = 12 \text{ м/с}$$

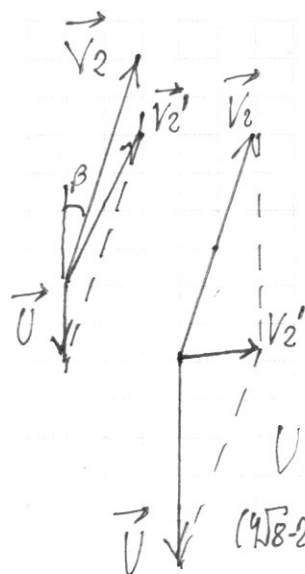
$V_1$  и  $V_2$  - скорости в ИСО, связанной с плитой.

Построим  $\Delta$  скоростей. (Складываем <sup>векторы</sup> правилом параллелограмма)



Предположим абсолютно упругий удар (предельный случай)  
 $\vec{V}_2'$  зеркально отраз  $\vec{V}_1'$

и абсолютно неупругий ( $\vec{V}_2'$  стремится к горизонтале)



$$V_1 \cos \beta = V_1' \cos \beta$$

$$U + V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta - U$$

$$U = V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha$$

$$U = 12 \sqrt{1 - \frac{1}{9}} - 6 \sqrt{1 - \frac{4}{9}}$$

$$U = \frac{12}{3} \sqrt{8} - \frac{6}{3} \sqrt{5} = 4\sqrt{8} - 2\sqrt{5}$$

$$V_2 \cos \beta - U = 0$$

$$U = V_2 \cos \beta = 4\sqrt{8}$$

Ответ:  $V_2 = 12 \text{ м/с}$

$$V \in (4\sqrt{8} - 2\sqrt{5}; 4\sqrt{8}) \text{ м/с}$$

$$(4\sqrt{8} - 2\sqrt{5}) \text{ м/с} < U < 4\sqrt{8} \text{ м/с}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Поршень в равновесии  $\Rightarrow p_{He} = p_{Ne}$

$$pV = \nu RT \quad p = \frac{\nu RT}{V} \quad \frac{\nu_{He} R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\nu_{Ne} R T_{Ne}}{V_{Ne}}$$

$$\nu_{He} = \nu_{Ne} \quad \frac{T_{He}}{V_{He}} = \frac{T_{Ne}}{V_{Ne}} \quad \frac{V_{Ne}}{V_{He}} = \frac{T_{Ne}}{T_{He}} = \frac{440K}{330K} = \frac{4}{3}$$

I закон Тл/Д

$$Q = A_{газа} + \Delta U_{не}$$

над поршнем

$$A_{поршня} = -A_{газа}$$

Тепло полученное газом тратится на увеличение его внутренней энергии и работу над поршнем (по перемещению поршня)

Внутренняя энергия неона уменьшается из-за отдачи тепла и работы поршня

$$\Delta U_{He} = Q + A_{поршня}$$

$$\Delta U_{Ne} = \Delta U_{не}$$

Внутренняя энергия неона уменьшается из-за отдачи тепла и работы поршня

$$\frac{3}{2} \nu_{He} R (T_{He} - T_{cp}) = \frac{3}{2} \nu_{Ne} R (T_{cp} - T_{Ne}) \quad \nu_{He} = \nu_{Ne}$$

$$T_{He} - T_{cp} = T_{cp} - T_{Ne} \quad T_{cp} = \frac{T_{Ne} + T_{He}}{2} = \frac{440K + 330K}{2} = \frac{770K}{2} = 385K$$

В любой момент времени поршень в равновесии и давление равное  $\Rightarrow$  процесс изобарный

$$A_{не} = p \Delta V = p (V_k - V_n) = p V_k - p V_n = \nu R T_k - \nu R T_n = \nu R (T_k - T_n)$$

$$\Delta U_{не} = \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_n) \quad Q = A_{не} + \Delta U_{не}$$

$$Q = \nu R (T_k - T_n) + \frac{3}{2} \nu R (T_k - T_n) = \frac{5}{2} (T_k - T_n) \nu R$$

$$Q = \frac{5}{2} \cdot 55K \cdot \frac{6^3}{25} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К моль}} = 33 \cdot 8,31 = 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ:  $\frac{V_{Ne}}{V_{He}} = \frac{4}{3} \quad T_{cp} = 385K \quad Q = 274,23 \text{ Дж}$

$$\begin{array}{r} \times 8,31 \\ 33 \\ \hline 2493 \\ 2493 \\ \hline 274,23 \end{array}$$

№ 3

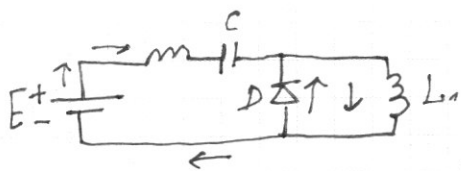
В любой точке пространства напряженность эл. поля, созданная бесконечной заряженной плоскостью одинакова и равна  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

1) Напряженность поля от 2-х пластин можно найти по принципу суперпозиции (сложения). Пл.к.  $\sigma$   
 Плоскости  $BC \perp AB$  воспользуемся теоремой Пифагора:

$$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{\sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2}}{E_{BC}} = \frac{\sqrt{(\frac{\sigma}{2\epsilon_0})^2 + (\frac{\sigma}{2\epsilon_0})^2}}{(\frac{\sigma}{2\epsilon_0})} = \sqrt{2} = 1,4$$

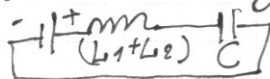
$$2) E_k = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \sqrt{(\frac{4\sigma}{2\epsilon_0})^2 + (\frac{\sigma}{2\epsilon_0})^2} = \sqrt{\frac{16\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{17\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma\sqrt{17}}{2\epsilon_0}$$

Ответ: 1)  $\sqrt{2} \approx 1,4$  2)  $E_k = \frac{\sigma\sqrt{17}}{2\epsilon_0}$



№ 4. В контуре между диодом и  $L_1$  могут возникнуть колебания, но  $T=0$  ( $\epsilon=0$ )  $\omega \rightarrow \infty$  ( $\omega = \frac{1}{L \cdot 0}$ )

Поэтому построим эквив. схему. (Плюс из ЭДС не течет в диод (напряжение))



$$E = E_{Si} + U_C \quad E = L I' + \frac{q}{C} \quad E = L \dot{q} + \frac{q}{C} \quad \dot{q}' = -\frac{q}{LC} + E$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_{\text{общ}} C}} \quad T = 2\pi\omega = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2) C} = 2\pi \sqrt{5LC}$$

$$\text{Аналогично ЗСЭ} \quad \frac{L_1 \dot{q}_1}{2} + \frac{L_2 \dot{q}_2}{2} + \frac{q}{2C} = 0 \quad (\frac{L_1 + L_2}{2}) \dot{q} + \frac{q}{2C} = 0 \quad T = 2\pi \sqrt{5LC}$$

$$\text{ЗСЭ: } A = q$$

$$L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 = 2L + 3L = 5L$$

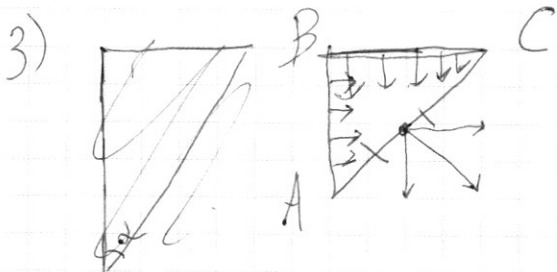
$$A = W_C \Rightarrow E q = \frac{q^2}{2C} \quad q_{\text{max}} = 2EC$$

$$I_{\text{max}01} = I_{\text{max}02}$$

$$\frac{L_{\text{общ}} I_{\text{max}}^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad L_{\text{общ}} I_{\text{max}}^2 = 2E^2 C$$

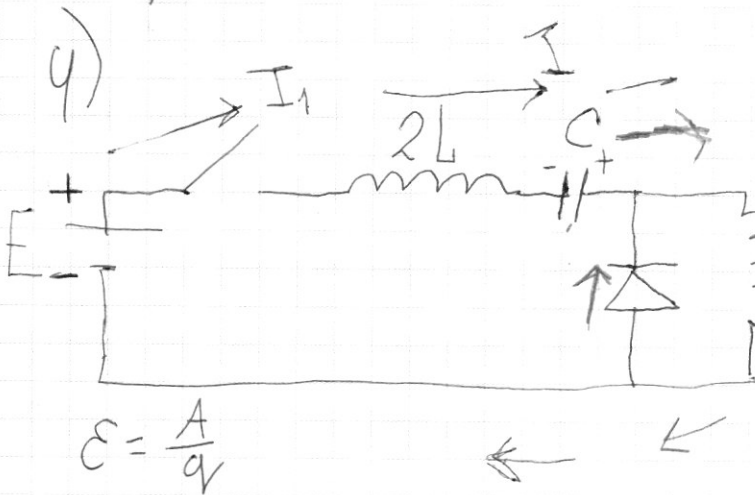
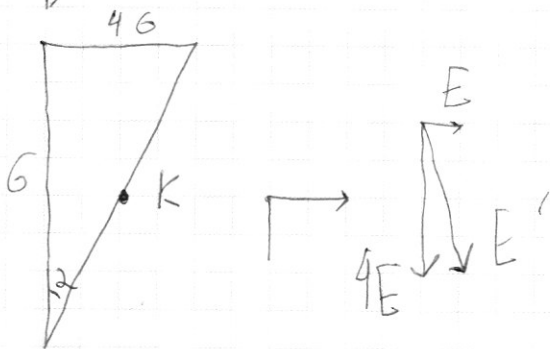
$$I_{\text{max}} = E \sqrt{\frac{2C}{5L}}$$

Ответ:  $T = 2\pi \sqrt{5LC}$   $I_{01} = I_{02} = E \sqrt{\frac{2C}{5L}}$



$$E = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

$$\sqrt{2} \approx 1,4$$



$$E_c = \frac{q^2}{2C}$$

$$E_i = \frac{L\dot{q}^2}{2}$$

$$E_c + E_i = 0$$

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{L\dot{q}^2}{2} = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$E = \frac{A}{q}$$

$$Eq = A$$

$$t=0 \quad I_2 - \text{max} \quad q_c = 0 \quad I_1 - \text{max}$$

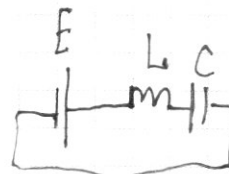
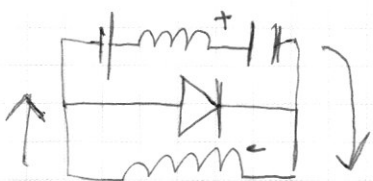
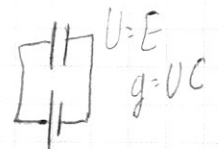
$$t=T/4 \quad I_1 = I_2 = 0 \quad C - \text{max}$$

$$A = E_c \quad Eq = \frac{q^2}{2C} \quad q_{\text{пору}} = 2EC$$

$$E_c \rightarrow E_i$$

$$A = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} + \frac{L_1 I_{01}^2}{2}$$

$$A = \frac{q^2}{2C} = 2E^2 C$$



$$L_1 I_{01} = L_2 I_{02}$$

$$2/4 I_+ = 3/4 I_-$$

$$\frac{I_+}{I_-} = \frac{3}{2} \quad I_+ = 0,6 I_-$$

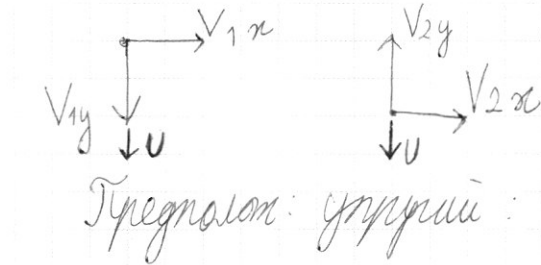
$$I_- = 2 \quad I_- = 0,4 I$$

$$E = L\ddot{q} + \frac{q}{C}$$

$$\ddot{q} = \frac{q}{LC} + E$$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Треугольник: угловой:

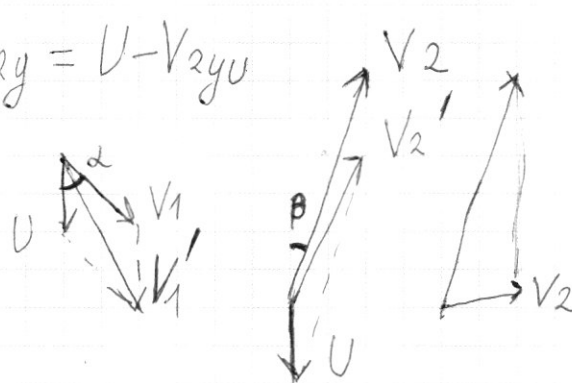
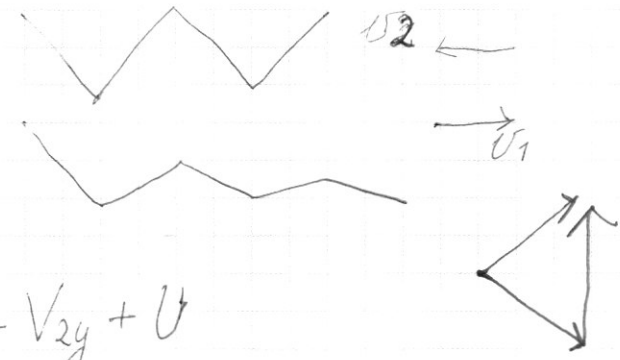
$$V_{1y}U = V_{1y} + U = V_{2y}U$$

$$V_{1y}U = V_{2y}U$$

$$V_{2y}U = -V_{2y} + U$$

$$V_{2y} = U - V_{2y}U$$

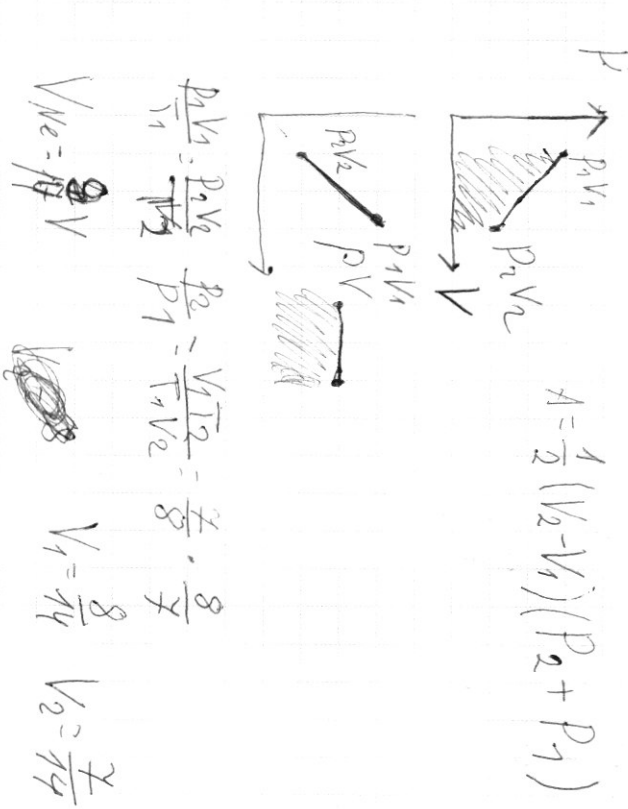
$$\begin{cases} V_{2y} > U \\ V_{1y} + U = -(V_{2y} - U) \\ V_{2y} < U \\ V_{1y} + U = U - V_{2y} \end{cases}$$



$$\Delta U_{He} = Q + A_{work}$$

$$\Delta U_{He} + A_{work} = Q$$

$$Q = A_{work} + \Delta U_{He}$$

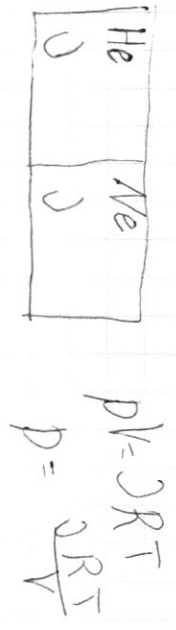


1) П/В газ He:  $\Delta U = \Delta Q + A_{work}$   
 2) П/В газ He:  $\Delta Q + A_{work} = \Delta U$

$$P_{He} = P_{He}$$

$$\frac{\Delta U_{He} R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\Delta U_{He} R T_{He}}{V_{He}}$$

$$\frac{V_{He}}{T_{He}} = \frac{T_{He}}{T_{He}} = \frac{3330K}{440K} = \frac{3}{4}$$

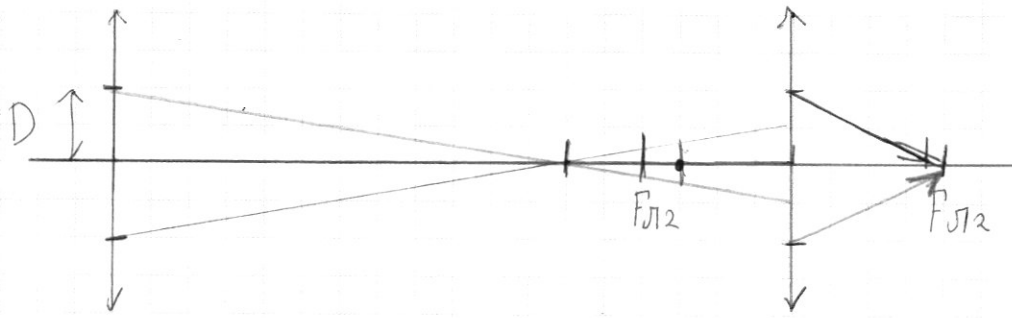


$$P_{He} = \Delta R T$$

$$P = \frac{\Delta R T}{V}$$

$T_1 = 8T$   
 $T_2 = 385$   
 $T_3 = 440$

D-гуади.



$$F_0 = 12 \text{ км}$$
$$1,5F_0 = 18 \text{ км}$$
$$F_0/3 = 4 \text{ км}$$
$$\frac{5F_0}{4} = 15 \text{ км}$$

$$12 : 6$$

$$15 : 3$$

$$12 : 3$$

$$\frac{z}{D} = \frac{\frac{5}{4}F_0 - F_0}{F_0} = \frac{1}{4} \Rightarrow z = \frac{1}{4}D$$

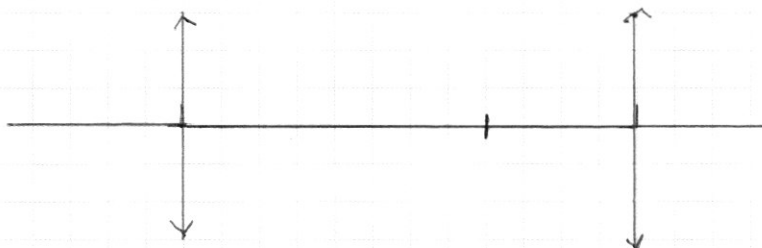
$$v = i \frac{s}{t} =$$

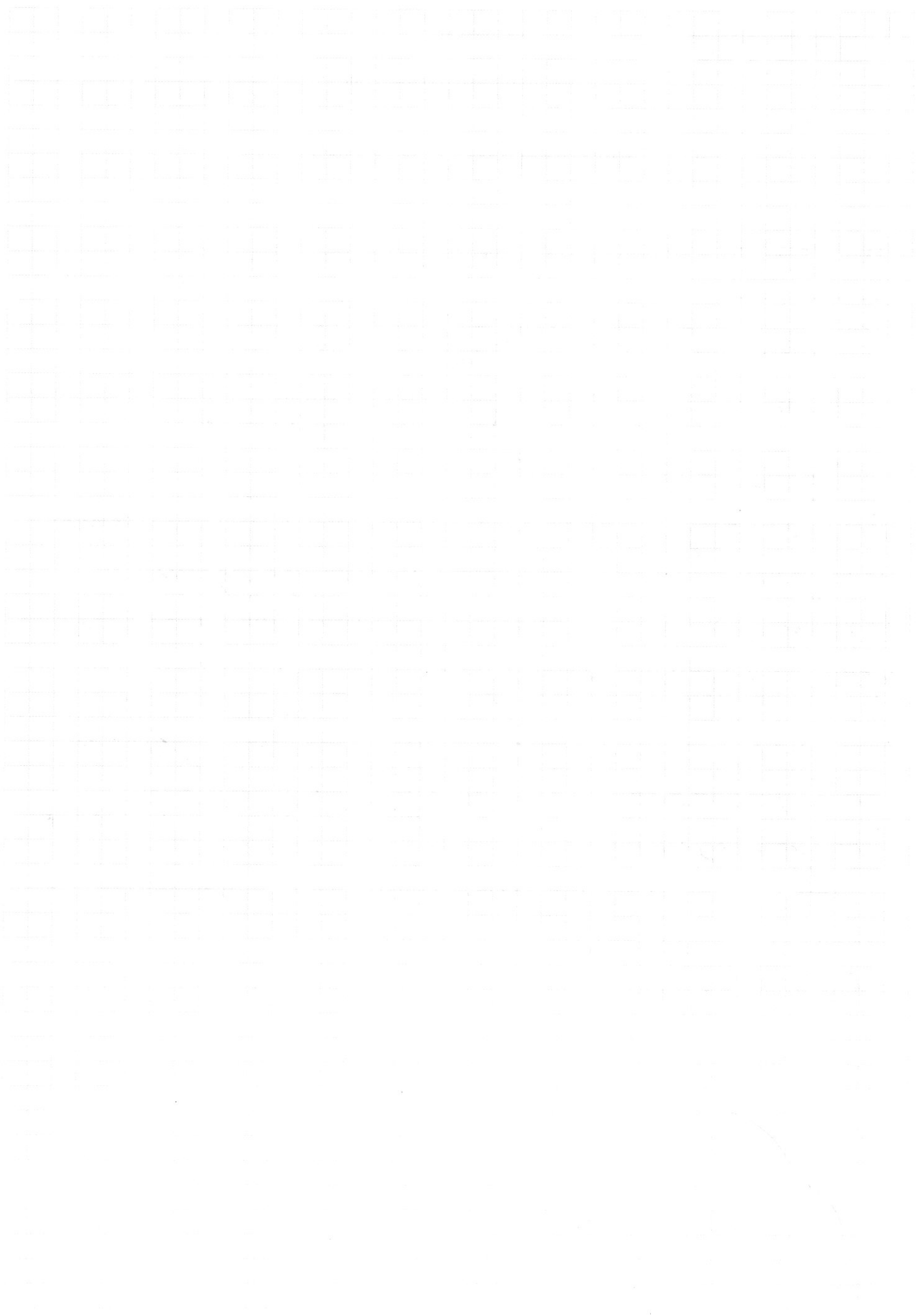
$$\frac{S_M}{S_{Л}} = \frac{I_0 - I_1}{I_1} = \frac{1}{9}$$



ШИФР (заполняется секретарём)
----------------------------------

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



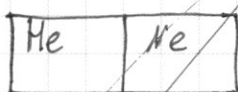


черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2



Поршень в равновесии  $\Rightarrow p_{He} = p_{He}$

$$pV = \nu R T \quad p = \frac{\nu R T}{V} \quad \frac{\nu_{He} R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\nu_{He} R T_{He}}{V_{He}}$$

$$\nu_{He} = \nu_{He} \Rightarrow \frac{T_{He}}{V_{He}} = \frac{T_{He}}{V_{He}} \quad \frac{V_{He}}{V_{He}} = \frac{T_{He}}{T_{He}} = \frac{440K}{330K} = \frac{4}{3}$$

I закон П/Д

$\Delta U_{He} = Q + A_{газа}$  Неон своего внутреннего энергии тратит на увеличение тепла и совершает работу над поршнем

$Q + A_{газа} = \Delta U_{He}$  Тепло и работа поршня над газом идет на увеличение внутренней энергии газа

$$\Delta U_{He} = \nu_{He} \frac{3}{2} R (T_{He} - T_{cp}) = \frac{3}{2} \nu_{He} R (T_{cp} - T_{He}) \quad \nu_{He} = \nu_{He}$$

$$T_{He} - T_{cp} = T_{cp} - T_{He} \quad T_{cp} = \frac{T_{He} + T_{He}}{2} = \frac{440K + 330K}{2} = \frac{770K}{2} = 385K$$

$$T_{He} - T_{cp} = T_{cp} - T_{He}$$

В любой момент времени поршень в равновесии и давление равное  $\Rightarrow$  процесс изобарный

$$A_{He} = p \Delta V = p(V)$$