

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

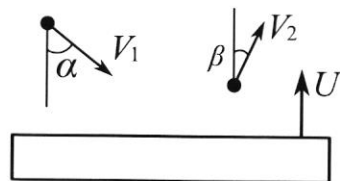
Класс 11

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 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 ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.

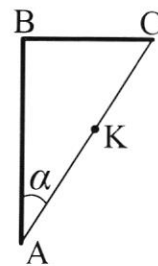


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

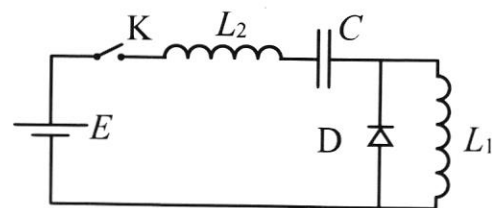
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

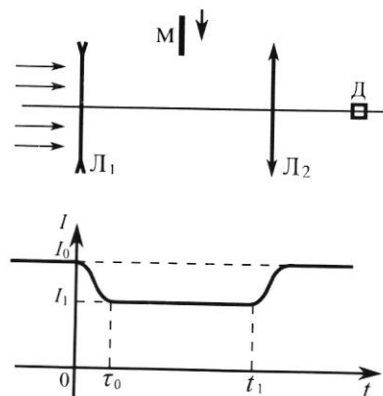
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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 , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

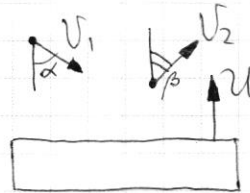
$$V_1 = 18 \frac{M}{C}$$

$$\sin \alpha = \frac{2}{3}$$

$$\sin \beta = \frac{3}{5}$$

1) $V_2 = ?$

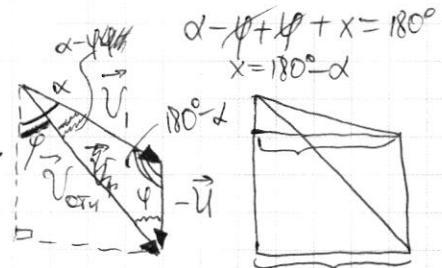
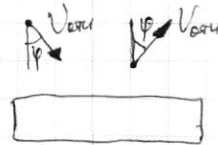
2) $U = ?$



По условию мшта массивная, это значит, что её масса много больше массы шарика, а значит, выполняется парадокс «большого тела». В СО мшты выполняется ЗСД для шарика и угол его угла падения равен углу отражения.

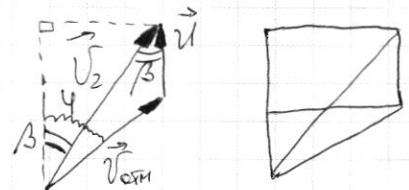
ЗСД: $\vec{V}_{адс} = \vec{V}_{отл} + \vec{U}_{пер} \Rightarrow \vec{V}_{отл} = \vec{V}_{адс} - \vec{U}_{отл}$

В СО мшты:



По Th. косинусов для $V_1^2 = V_{отл}^2 + U^2 - 2 \cdot V_{отл} \cdot U \cdot \cos \psi$

По Th. косинусов для $V_{отл}^2 = V_2^2 + U^2 - 2 \cdot V_2 \cdot U \cdot \cos \beta$



$$V_1 \sin \alpha = V_{отл} \sin \psi$$

$$V_{отл} \sin \psi = V_2 \sin \beta$$



$$V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$$

$$V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \frac{M}{C} \cdot \frac{\frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = 18 \frac{M}{C} \cdot \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 20 \frac{M}{C}$$

~~$$V_{отн} = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$~~
~~$$V_{отн} \sin \beta = V_2 \sin \alpha$$~~

$$V_1^2 = V_{отн}^2 + U^2 - 2 V_{отн} U \cos \varphi$$

$$V_{отн}^2 = V_2^2 + U^2 - 2 V_2 U \cos \beta$$

По Th. косинусов: $V_{отн}^2 = V_1^2 + U^2 - 2 V_1 U \cos(180^\circ - \alpha)$

~~$$V_{отн}^2 = V_1^2 + U^2 - 2 V_1 U \cos \alpha$$~~

~~$$V_2^2 + U^2 - 2 V_2 U \cos \beta$$~~

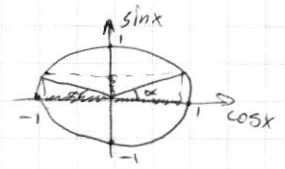
$$V_{отн}^2 = V_1^2 + U^2 + 2 V_1 U \cos \alpha$$

$$V_2^2 + U^2 - 2 V_2 U \cos \beta = V_1^2 + U^2 + 2 V_1 U \cos \alpha$$

$$V_2^2 - V_1^2 = 2 V_2 U \cos \beta + 2 V_1 U \cos \alpha$$

~~$$2 V_2 U \cos \beta + 2 V_1 U \cos \alpha$$~~

$$V_2^2 - V_1^2 = 2 U (V_2 \cos \beta + V_1 \cos \alpha)$$



~~$\cos(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$~~
 $\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$

$$\begin{array}{r} 400 \\ -324 \\ \hline 76 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 18 \\ \times 18 \\ \hline 144 \\ + 18 \\ \hline 324 \end{array}$$

$$\sin \alpha = \frac{2}{3}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$$

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

$$\sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$2(6\sqrt{5} + 16)$$

$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{(20 \frac{M}{c})^2 - (18 \frac{M}{c})^2}{2(18 \frac{M}{c} \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} + 20 \frac{M}{c} \cdot \frac{4}{5})} =$$

$$= \frac{400 \frac{M^2}{c^2} - 324 \frac{M^2}{c^2}}{2(6 \frac{M}{c} \cdot \sqrt{5} + 4 \frac{M}{c} \cdot 4)} = \frac{19 \frac{M^2}{c^2}}{2(6\sqrt{5} + 16)} = \frac{19}{3\sqrt{5} + 8} \frac{M}{c}$$

~~$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{76}{2(6)}$$~~

$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{19}{3\sqrt{5} + 8} \frac{M}{c}$$

Ответ: 1) $V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 20 \frac{M}{c}$;

$$2) U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} = \frac{19}{3\sqrt{5} + 8} \frac{M}{c}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{5}$

$$\nu = \frac{3}{5} \text{ моль}$$

$$T_1 = 320 \text{ K}$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

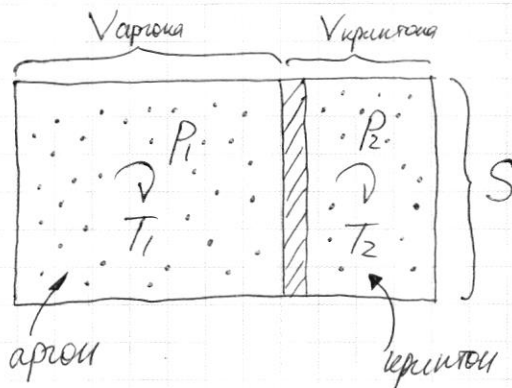
$$i = 3$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$$

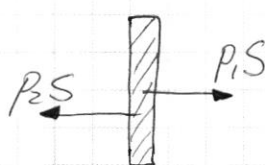
1) $\frac{V_{\text{аргон}}}{V_{\text{криптон}}} = ?$

2) $T_{\text{уст}} = ?$

3) $Q = ?$



По условию поршень движется медленно, следовательно его ускорение приблизительно 0, т.е. силы, действующие на поршень скомпенсированы.



$$\text{ЗЗН: } P_1 S = P_2 S$$

$$P_1 = P_2 = P_0 \quad \forall t$$

По ур-ию Менделеева-Клапейрона:

для аргона: $P_1 V_{\text{аргона}} = \nu R T_1 \Rightarrow P_0 V_{\text{аргона}} = \nu R T_1$ (1)

для криптона: $P_2 V_{\text{криптона}} = \nu R T_2 \Rightarrow P_0 V_{\text{криптона}} = \nu R T_2$ (2)

Разделим (1) на (2): $\frac{P_0 V_{\text{аргона}}}{P_0 V_{\text{криптона}}} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2}$

$$\frac{V_{\text{аргона}}}{V_{\text{криптона}}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320 \text{ K}}{400 \text{ K}} = \frac{4}{5}$$

νV_0 - общий объем

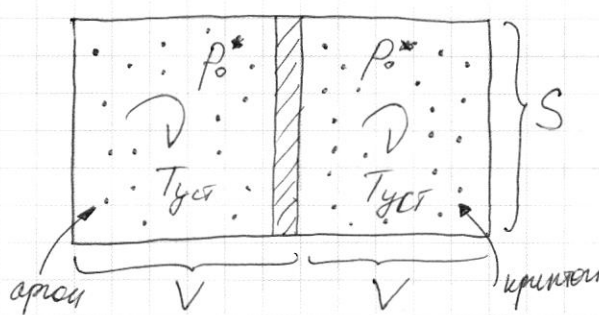
Пусть $V_{\text{аргона}} = 4V_0$

Тогда $V_{\text{криптона}} = 5V_0$

$V_{\text{аргона}} + V_{\text{криптона}} = 9V_0$

По ур-ию Менделеева-Клапейрона:

$$\begin{aligned} P_0^* V_{\text{аргона}}^* &= \nu R T_{\text{уст}} \\ P_0^* V_{\text{криптона}}^* &= \nu R T_{\text{уст}} \end{aligned} \Rightarrow V_{\text{аргона}}^* = V_{\text{криптона}}^* = V$$



$$V_{\text{аргона}} + V_{\text{крптона}} = V_{\text{аргона}} + V_{\text{крптона}}$$

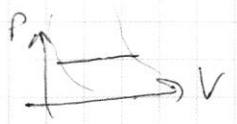
$$4V_0 + 5V_0 = V + V$$

$$9V_0 = 2V$$

$$V = \frac{9}{2} V_0$$

$$pV = \nu RT$$

По уравнению Менделеева - Клапейрона:



для аргона: вначале: $p_0 V_{\text{аргона}} = \nu RT_1$

$$\frac{4p_0 V_0}{\frac{9}{2} p_0^* V_0} = \frac{\nu RT_1}{\nu RT_{\text{гер}}}$$

$$4p_0 V_0 = \nu RT_1$$

$$p_0 V_0 = \frac{\nu RT_1}{4}$$

$$p_0 = \frac{\nu RT_1}{4V_0}$$

в конце: $p_0^* V = \nu RT_{\text{гер}}$

$$\frac{9}{2} p_0^* V_0 = \nu RT_{\text{гер}}$$

$$\frac{8p_0}{9p_0^*} = \frac{T_1}{T_{\text{гер}}}$$

для крптона: вначале: $p_0 V_{\text{крптона}} = \nu RT_2$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{5}$$

$$5p_0 V_0 = \nu RT_2$$

в конце: $p_0^* V = \nu RT_{\text{гер}}$

$$\frac{9}{2} p_0^* V_0 = \nu RT_{\text{гер}}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{\text{аргона}}}{V_{\text{крптона}}} = \frac{4}{5}$

2) $T_{\text{гер}} = 360 \text{ K}$

3) $Q = 480 \text{ Дж}$

$$\frac{p_0}{p_0^*} = \frac{9T_1}{8T_{\text{гер}}}$$

$$\frac{10p_0}{9p_0^*} = \frac{T_2}{T_{\text{гер}}}$$

$$p_0^* = p_0 \cdot \frac{8T_{\text{гер}}}{9T_1}$$

$$p_0^* = \frac{\nu RT_1}{4V_0} \cdot \frac{8T_{\text{гер}}}{9T_1}$$

$$p_0^* = \frac{8\nu RT_{\text{гер}}}{36V_0}$$

$$Q = \Delta U + A$$

Процесс изобарный $\Rightarrow p_0 = p_0^*$

$$\frac{T_2}{T_{\text{гер}}} = \frac{10p_0}{9p_0} = \frac{10}{9} \Rightarrow T_{\text{гер}} = \frac{9}{10} T_2$$

$$T_{\text{гер}} = \frac{9}{10} T_2 = \frac{9}{10} \cdot 400 \text{ K} = 360 \text{ K}$$

$$\frac{1}{8} - \frac{3}{2} = \frac{1-12}{8} = -\frac{11}{8}$$

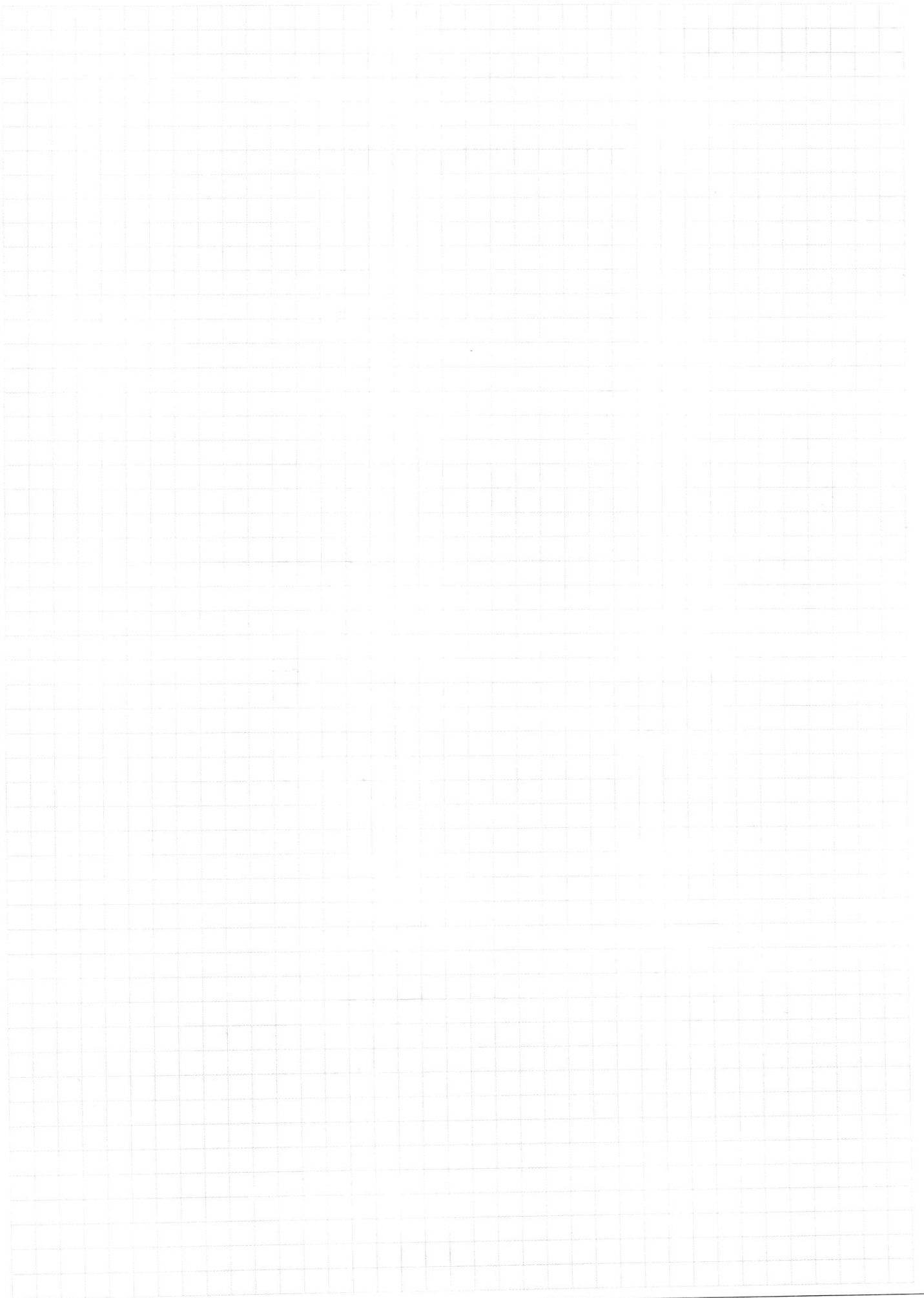
$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_{\text{гер}} - T_1) + p_0 (V - 4V_0) = \frac{3}{2} \nu R (T_{\text{гер}} - T_1) + \frac{1}{2} p_0 V_0$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{9}{10} T_2 - T_1 \right) + \frac{1}{8} \nu RT_1$$

$$Q = \frac{27}{20} \nu RT_2 - \frac{3}{2} \nu RT_1 + \frac{1}{8} \nu RT_1 = \frac{27}{20} \nu RT_2 - \frac{11}{8} \nu RT_1$$

$$Q = \nu R \left(\frac{27}{20} T_2 - \frac{11}{8} T_1 \right) = \frac{3}{5} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}} \cdot \left(\frac{27}{20} \cdot 400 \text{ K} - \frac{11}{8} \cdot 320 \text{ K} \right)$$

$$Q = 480 \text{ Дж}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 6
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

$$F_{12} = |-2F_0| = 2F_0$$

$$F_{12} = F_0$$

$$2F_0$$

$$D \ll F_0$$

$$I \sim P$$

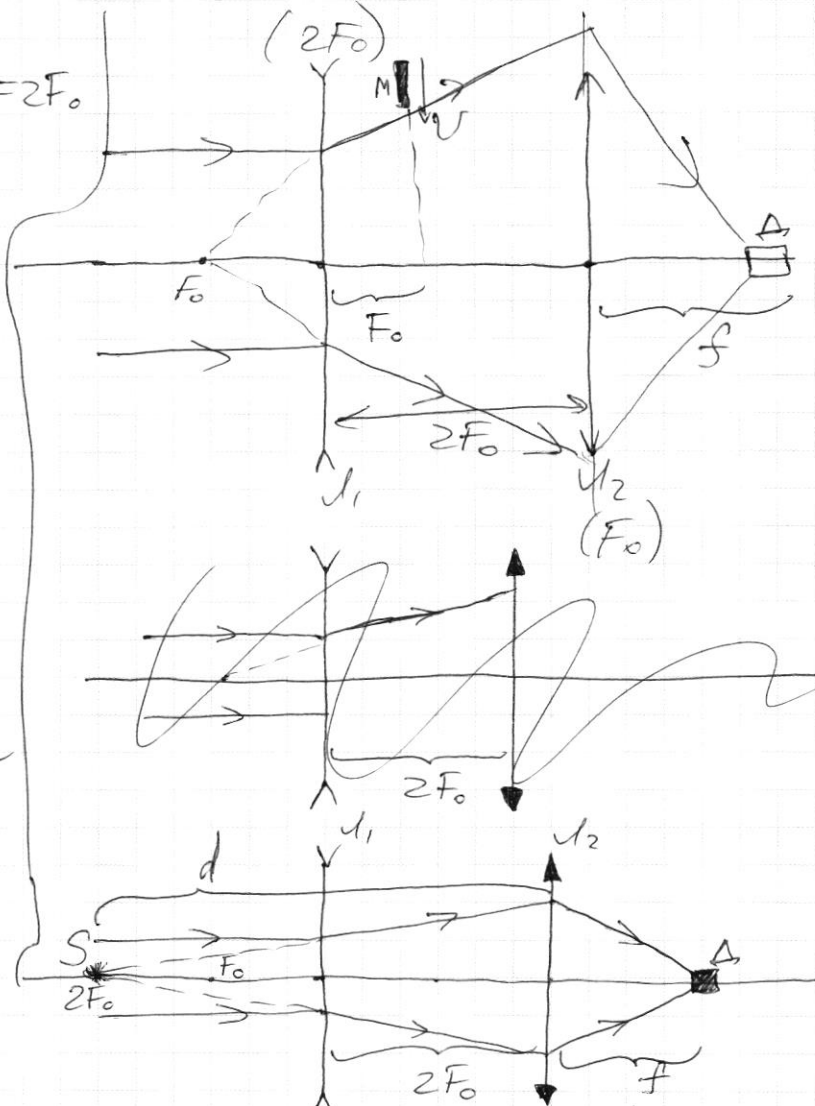
$$F_0$$

$$I_1 = \frac{7I_0}{16}$$

1) $f = ?$

2) $v = ?$

3) $t_1 = ?$



S-гребень - П где микра λ_2

$$d = 4F_0$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}, \quad d = 4F_0$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{3}{4F_0} \Rightarrow \boxed{f = \frac{4F_0}{3}} \quad \text{ответ:}$$

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{4F_0}{3 \cdot 4F_0} = \frac{1}{3} < 1$$

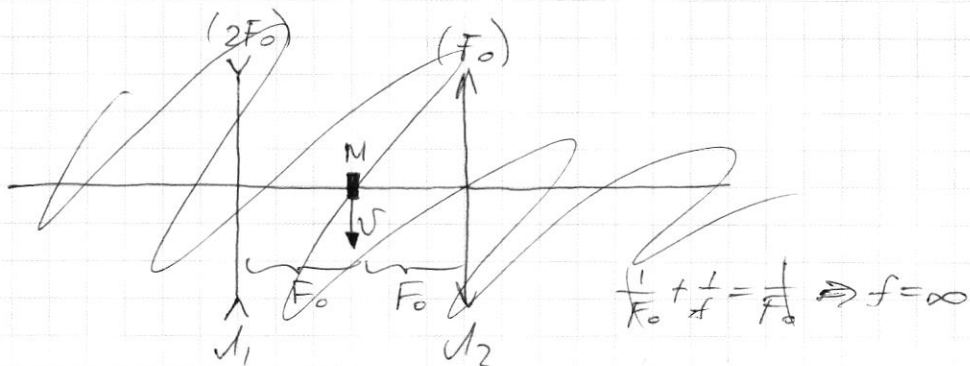
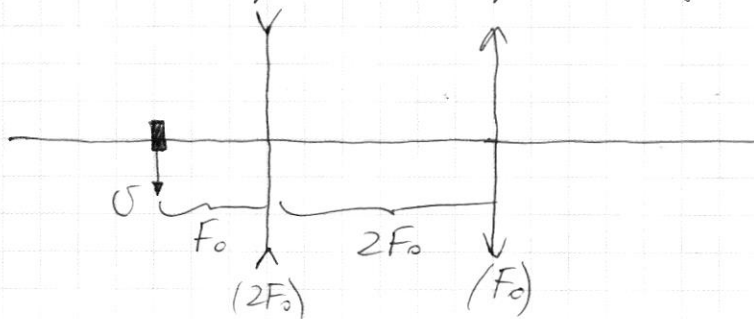


Рис. М-действ. П для мизор l_2



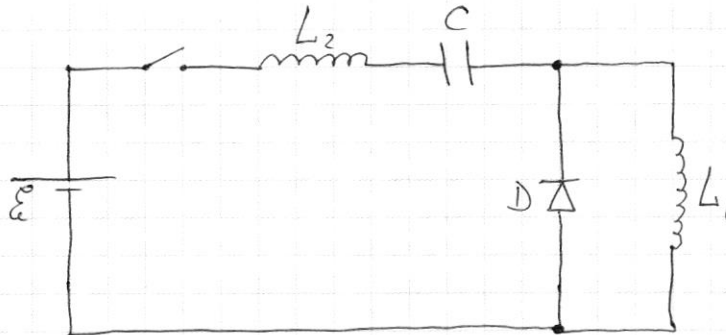
$$\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f^*} = \frac{1}{2F_0}$$

$$\frac{1}{f^*} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{2F_0} = \frac{1}{2F_0} \Rightarrow f^* = 2F_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

\mathcal{E}
 $L_1 = 5L$
 $L_2 = 4L$
 C
 Φ



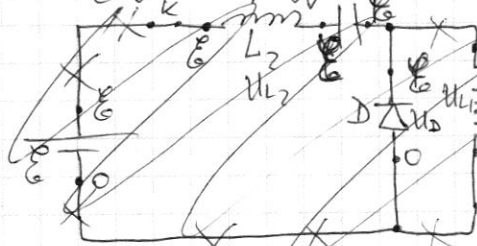
1) $T = ?$

2) $I_{01} = ?$

2) $I_{02} = ?$

Сразу после замыкания ключа ток на конденсаторе и ток в ветви с индуктивностью L_1 скачком не меняются.

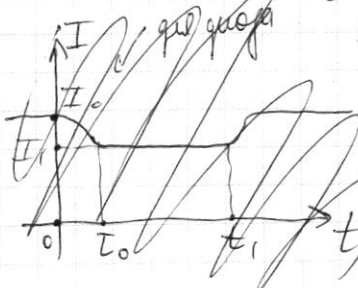
Рассм. упр. сразу после замыкания ключа:



условия
полюсов
 $U_C(0) = 0$
 $I_C(0) = 0$
 $I_{L_2}(0) = 0$
 $I_D(0) = I_0$

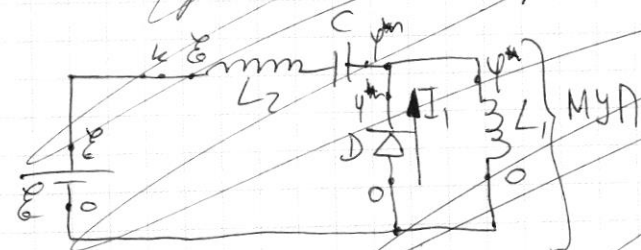
$U_L = L \dot{I}$

$I_C = C \ddot{U}_C$



Если D открыт $U_D > 0, I_D > 0$
Если D закрыт $U_D < 0, I_D < 0$

Рассм. упр. в момент времени t_0 :



$I_D(t_0) = I_1$

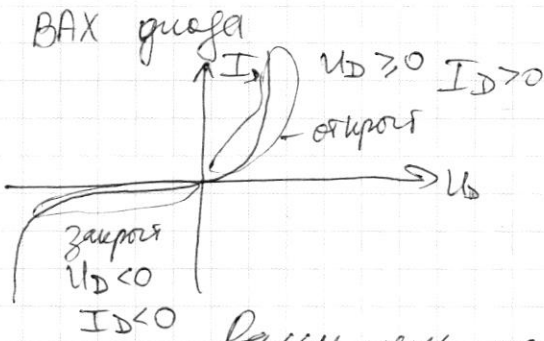
По условию после замыкания ключа

Рассм. цепь сразу после замык. ключа:

$$I_{L_1}(0) = 0 \quad I_{L_2}(0) = 0 \quad U_C(0) = 0$$

$$W(0) = 0$$

Формула Томпсона: $T = 2\pi\sqrt{LC}$

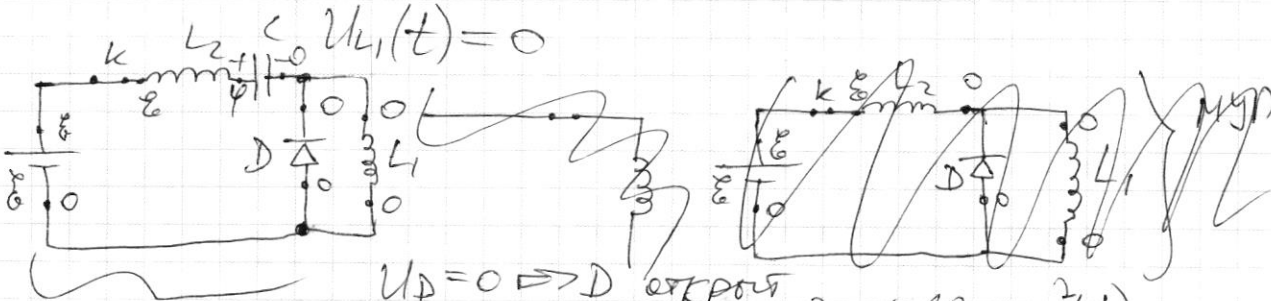


$$T = 2\pi\sqrt{L_2 C} = \sqrt{2} \cdot 2\pi\sqrt{4LC}$$

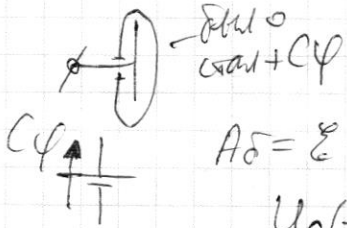
$$T = 4\pi\sqrt{LC} \quad \text{ответ:}$$

Рассм. цепь, когда ток через L_1 максимален

$$U_L = L\dot{I}, \text{ если } I = I_{\max} \Rightarrow U_L = 0$$



$$W(t) = \frac{L I_{01}^2}{2} + \frac{L I^2(t)}{2} + \frac{C U_C^2(t)}{2}$$



$$\Delta\phi = \varepsilon \cdot C\varphi = C\varphi \varepsilon$$

$$U_C(t) = \varphi$$

$$\text{ЗСЗ: } I(t) + I_D = I_{01}$$

$$\text{ЗСЭ: } C\varphi \varepsilon = \frac{L I_{01}^2}{2} + \frac{L I^2(t)}{2} + \frac{C U_C^2(t)}{2}$$