

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

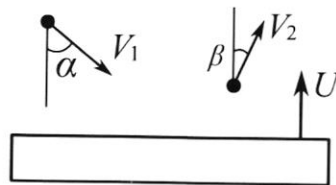
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{1}{2}$) 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.

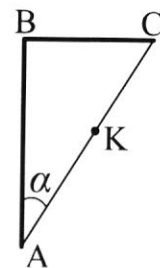


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ К, а азота $T_2 = 550$ 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 водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

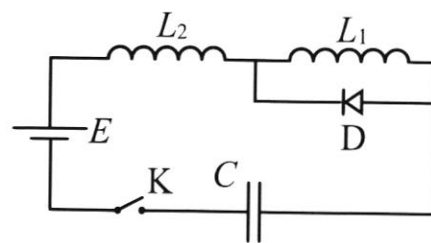
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

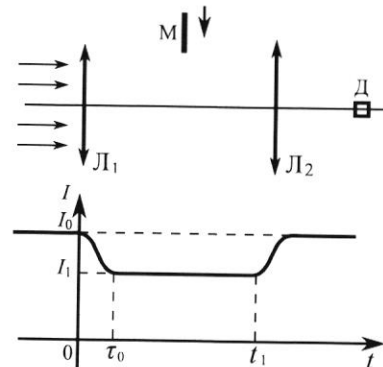
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, 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_1 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 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 фокусными расстояниями $3F_0$ 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). $I_1 = 5I_0/9$.



- 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.

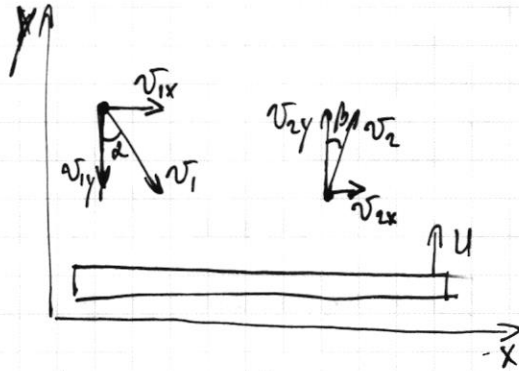
$$v_1 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

$$\sin \beta = \frac{1}{3}$$

$$v_2 = ?$$

$$u = ?$$



1) П.к. по вдоль оси x на шарик ничего не действовало, то $v_{1x} = v_{2x}$

$$v_{1x} = v_1 \sin \alpha$$

$$v_{2x} = v_2 \sin \beta$$

$$v_{1x} = v_{2x}$$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) При абсолютно упругом ударе шарик бы ~~не~~ увеличил модуль проекции скорости на ось y на $2u$ (переходим в систему отсчёта плиты, шарик подлетает к ней по оси y на u быстрее ~~её~~ со скор. $v_{1y} + u$, улетать будет тоже с $v_{1y} + u$, а перейдя в сист. отг. сторон. наблюд. улетать он станет с $v_{1y} + 2u$)

П.е. при абс. упр. ударе $v_{1y} + 2u = v_{2y} \Leftrightarrow v_1 \cos \alpha + 2u = v_2 \cos \beta$

$$\Rightarrow 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 2u = 18 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} \Leftrightarrow u = 3(\sqrt{8} - \sqrt{3})$$

При неупр. ударе часть энергии теряется, т.е. $u < 3(\sqrt{8} - \sqrt{3})$ но чтобы передать шару такую же импульс, но $u < v_{2y} = v_2 \cos \beta = 18 \frac{\sqrt{8}}{3} = 6\sqrt{8} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Ответ: 3 ~~и~~ $3(\sqrt{8} - \sqrt{3}) \frac{\text{м}}{\text{с}} < u < 6\sqrt{8} \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

№2.

$$\nu = \frac{6}{7}$$

$$T_{H0} = T_1 = 350 \text{ K}$$

$$T_{N0} = T_2 = 550 \text{ K}$$

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

1) $\frac{V_{H0}}{V_{N0}} = ?$

2) $T_{\text{уст}} = ?$

3) $Q_{N \rightarrow H} = ?$

1) ~~PV~~ $P_{H0} = P_{N0} = P_0$

$$P_0 V_{H0} = \nu R T_1$$

$$P_0 V_{N0} = \nu R T_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_{H0}}{V_{N0}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2) $Q_{\text{нотг}} = Q_{\text{нпоур}}$

$$|A_N + \Delta U_N| = |A_H + \Delta U_H|$$

т.к. объём Н увеличился настолько,

насколько уменьшился объём N, а т.к.

температуры выравнивались медленно, то

$P_H = P_N$ в каждый момент, следовательно,

$$A_N = A_H \Rightarrow |\Delta U_N| = |\Delta U_H|$$

$$\nu R \Delta T_N = \nu R \Delta T_H \Rightarrow \Delta T_N = \Delta T_H \Rightarrow T_{\text{уст}} = \frac{T_1 + T_2}{2} =$$

$$= 450 \text{ K.}$$

3) Рассмотрим систему целиком.

$$\Delta Q = 0 \Rightarrow PV^\nu = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$

$$\Rightarrow P = \text{const} \Rightarrow P_H = P_N = \text{const} \Rightarrow$$

$$|Q_{N \rightarrow H}| = \nu C_p |\Delta T| = \nu (C_V + R) |\Delta T| = \frac{6}{7} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,31 \cdot (550 - 450) =$$

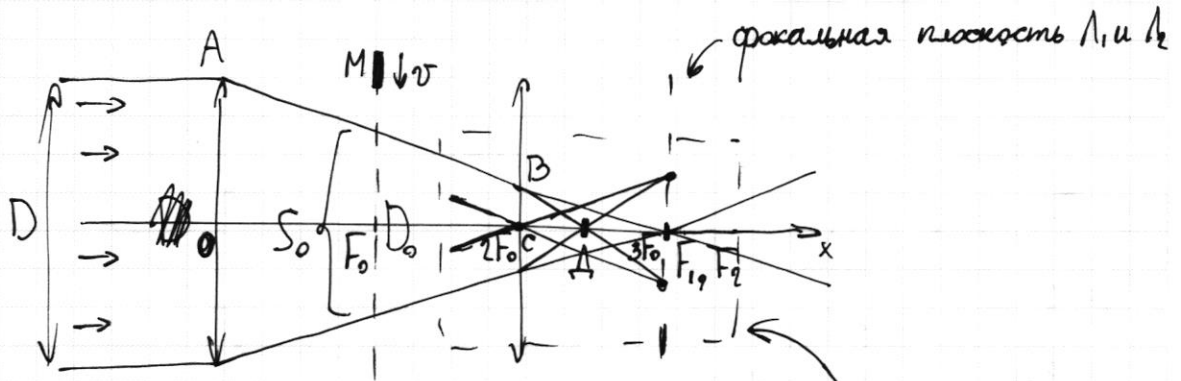
$$= 300 \cdot 8,31 = 2493 \text{ Дж.}$$

Отв: 1) $\frac{7}{11}$ 2) 450 K 3) 2493 Дж.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5.

- $F_{\lambda 1} = 3F_0$
- $F_{\lambda 2} = F_0$
- $l = 2F_0$
- $D \ll F_0$
- $I_1 = \frac{5}{9} I_0$
- 1) $l_{\lambda 2 A} - ?$
- 2) $\tau_0 - ?$
- 3) $l_1 - ?$

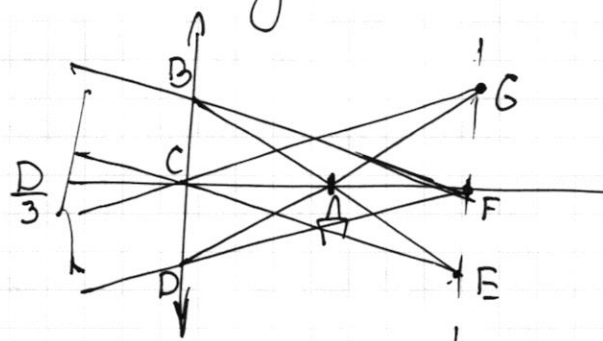


1) $F_{\lambda 1} - F_{\lambda 2} = l \Rightarrow F_1$ и F_2 совпадают
($3F_0 - F_0 = 2F_0$)

то построим $\triangle ADF_1$ и $\triangle BCF_1$

$$\frac{BC}{AO} = \frac{F_1 C}{F_1 O} = \frac{1}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow BC = \frac{1}{3} AO = \frac{1}{3} R \quad (R = \frac{1}{2} D)$$



П.к. все \parallel лучи ∞ в фок. пл-ти собир. в одну т., то
луч AB падёт в E ($CE \parallel BF$)

$\triangle CFE = \triangle FCB \Rightarrow FE = BC$
из геом. соображ. $\triangle BSA \sim \triangle EFA \Rightarrow SA = AF =$

$$= \frac{1}{2} CF = \frac{1}{2} F_0$$

$$l_{\lambda 2 A} = SA = \frac{1}{2} F_0$$

2) П.к. τ_0 - это время, за кот M полностью влетела в поток
света, то $\tau_0 = \frac{dM}{v} = \frac{4D}{3v} \Leftrightarrow v = \frac{4}{9} \frac{D}{\tau_0}$

П.к. I на фотодетекторе \sim потоку света, то

$$\frac{S_0 - S_M}{S_0} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{5}{9} \Leftrightarrow 9S_0 - 9S_M = 5S_0 \Leftrightarrow 9S_M = 4S_0 \Leftrightarrow S_M = \frac{4}{9} S_0 \Rightarrow dM = \frac{2}{3} D_0$$

через отверстие $D_0 = \frac{2}{3} D \Rightarrow dM = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} D = \frac{4}{9} D$

3) t_1 - время от начала залёта в поток света до начала вылета
 $\Rightarrow t_1 = \frac{D_0}{v} = \frac{2}{3} \frac{D}{v} = \frac{2}{3} \frac{D}{\frac{4}{9} \frac{D}{t_0}} = \frac{2}{3} \frac{D}{\frac{4}{9} \frac{D}{t_0}} = \frac{3}{2} t_0$

Ответ: 1) $\frac{E_0}{2}$ 2) $\frac{4}{9} \frac{D}{t_0}$

3) $\frac{3}{2} t_0$

№3.

1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

$\sigma_{ABO} = 0$

$\sigma_{AB1} = \sigma_{BC}$

$\frac{E_1}{E_0} = ?$

1) $\tan \alpha = 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow AN = NK = NB =$

$= BG = GK = GC$

изgeom. соображений

т.е. BA и BC равноудалены от точки K

Если σ_{AB} станет равна σ_{BC} и сами пластины равны, то $E_{AB1} = E_{BC}$, т.к. E зависит только от заряда и расстояния (его квадрата).

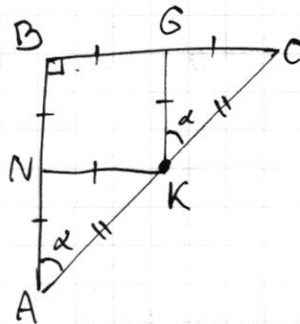
Из симметрии очевидно, что E_{AB1} и E_{BC} направлены перпендикулярно AB и BC соответственно \Rightarrow

$\Rightarrow E_{AB1} \perp E_{BC}$, т.к. $AB \perp BC$

Тогда $E_1 = \sqrt{E_{AB1}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{BC}^2} = E_{BC} \cdot \sqrt{2}$

$\Rightarrow \frac{E_1}{E_0} = \frac{E_{BC} \cdot \sqrt{2}}{E_{BC}} = \sqrt{2}$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

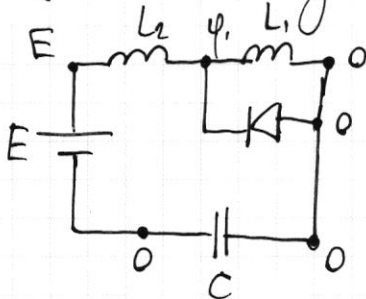
- $E = 1$
 $L_1 = 4L$
 $L_2 = 3L$
 $C = 1$

 1) $I_{L_1} = ?$
 2) $I_{M_1} = ?$
 3) $I_{M_2} = ?$

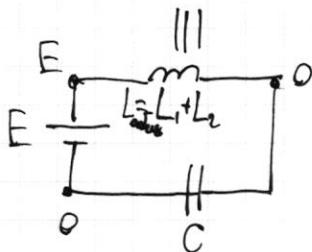
1) $L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 = 7L$

$T_{L_1} = T_{\text{цел}} = 2\pi\sqrt{L_{\text{общ}}C} = 2\pi\sqrt{7LC}$

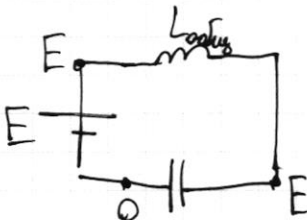
2) Ток в L_1 макс., когда $I_{L_1}' = 0 \Rightarrow$ когда $U_C = 0$
(Аналогично для L_2)



— сразу после замыкания
(напряжение на C скачком не измен.)
 $\varphi_1 > 0 \Rightarrow D$ закрыт



$L I' = E \Leftrightarrow I' = \frac{E}{L_{\text{общ}}} = \frac{E}{L_1 + L_2}$



D всё ещё закрыт
ток в L_1 макс. (когда D откроется и ток пойдет через него и изменится не будет в L_1)

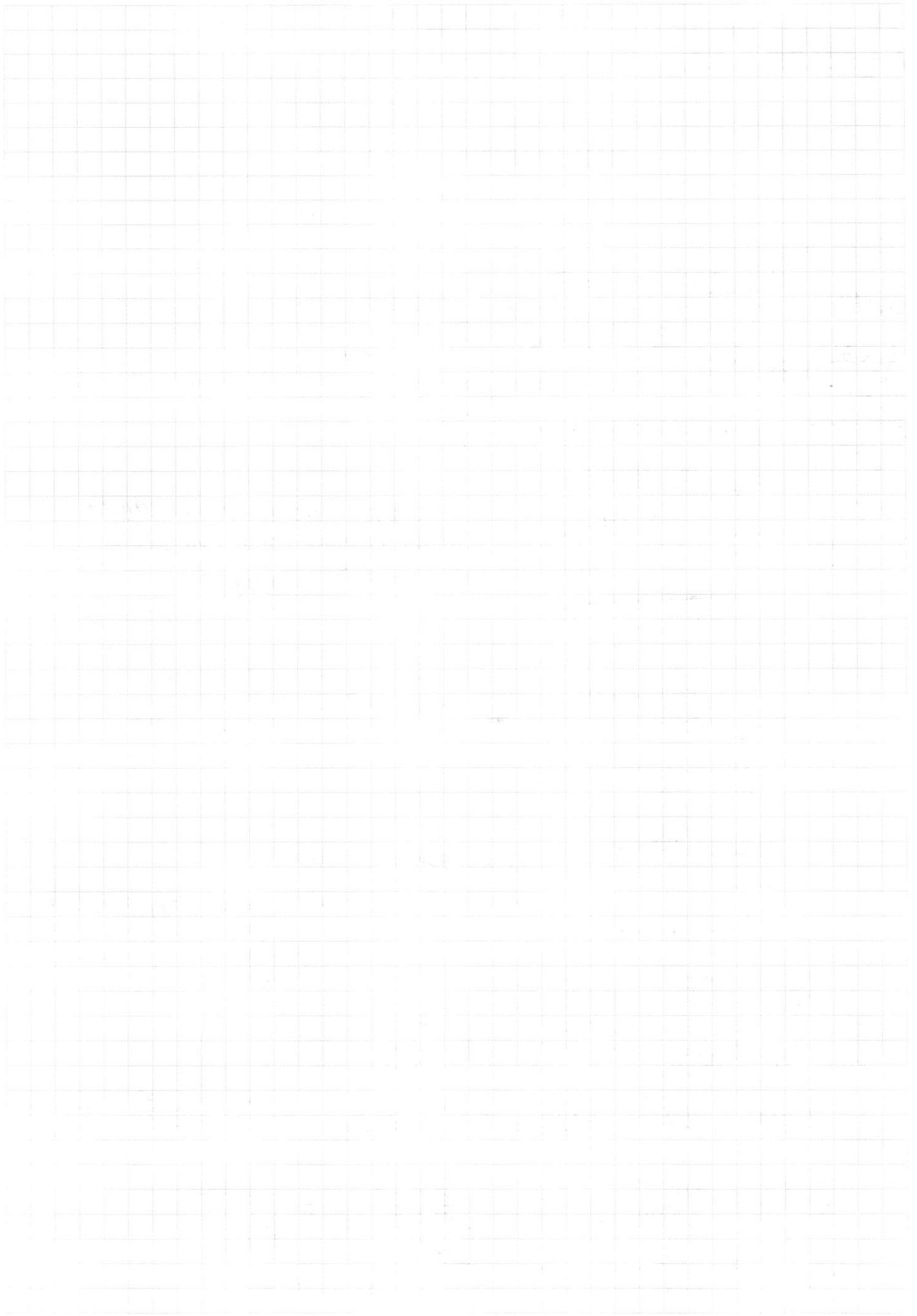
$\frac{L I_M^2}{2} = \frac{CE^2}{2}$ (из $Q = CU$)

$I_{M_1} = I_M = E \sqrt{\frac{C}{L_{\text{общ}}}} = E \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}} = E \sqrt{\frac{C}{7L}}$

3) $\frac{C U_{\text{сmax}}^2}{2} = \frac{CE^2}{2} + \frac{L_2 I_{M_2}^2}{2} = \frac{CE^2}{2} + \frac{3LE^2 C}{2 \cdot 7L} = \frac{CE^2(1 + \frac{3}{7})}{2} = \frac{5}{7} CE^2$

$\frac{L_2 I_{M_2}^2}{2} = \frac{C U_{\text{сmax}}^2}{2} \Rightarrow I_{M_2} = \sqrt{\frac{\frac{5}{7} CE^2}{3L}} = E \sqrt{\frac{5}{21} \frac{C}{L}}$

Ответ: 1) $2\pi\sqrt{7LC}$ 2) $E\sqrt{\frac{C}{7L}}$ 3) $E\sqrt{\frac{5}{21} \frac{C}{L}}$

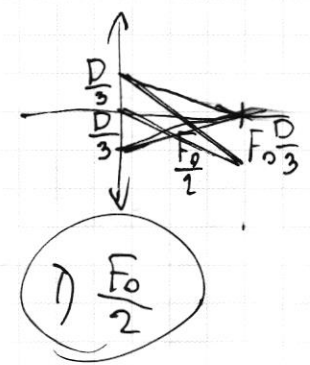
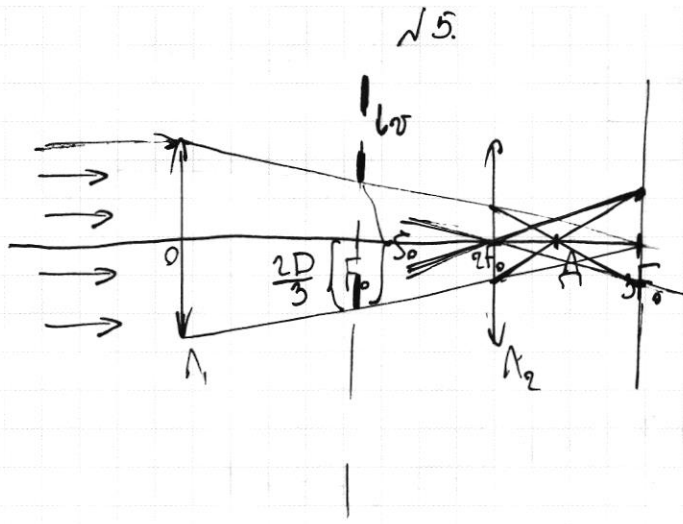


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$3F_0 = F_1$
 $F_0 = F_2$
 $l = 2F_0$
 $D \ll F_0$
 $F_0 - !$
 $D - !$
 $\tau_0 - !$
 $l_{1,2} - ?$
 $v - ?$
 $t_1 - ?$



$$T = t + 2\tau_0$$

$$t_1 = T - \tau_0$$

$$t_1 = T - \tau_0 = \frac{9D}{3v} = \frac{9D \cdot 3\tau_0}{3\sqrt{5}D} = \frac{9\sqrt{5}}{5} \tau_0$$

$$\frac{S_M}{S_0} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$S_M = \frac{5}{9} S_0 \Rightarrow d_m = \frac{\sqrt{5}}{3} D$$

$$t_0 = \frac{d_m}{v} = \frac{2\sqrt{5}D}{3v} \Rightarrow v = \frac{2\sqrt{5}D}{3t_0}$$

$$\frac{P, V_H}{T_H} \quad \frac{P, V_N}{T_N}$$

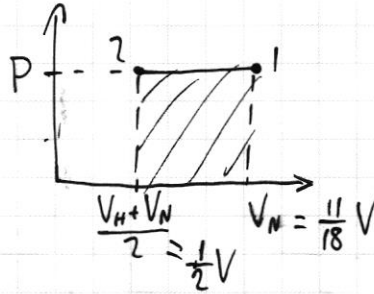
→

$$\frac{P, V_H+V_N}{T'} \quad \frac{P, V_H+V_N}{T'}$$

$$P = \frac{\nu R T_H}{V_H} = \frac{\nu R T_N}{V_N}$$

$$P = P' = \frac{\nu R T'}{V_H+V_N} = \frac{\nu R (T_H+T_N)}{2(V_H+V_N)}$$

~~$\nu R T_H$~~



$$Q = P \cdot \frac{1}{2} V + \nu C_{v0} T =$$

$$= \nu R \Delta T + \nu C_{v0} T =$$

$$= \nu C_{p0} T =$$

$$= \frac{3}{7} \cdot \frac{7}{7} R \cdot 100 =$$

$$= 300 \cdot 8,31 =$$

$$= \underline{2493 \text{ Дж}}$$

$$P \sim \frac{1}{V}$$

$$P = \text{const}$$

система:

$$Q=0 \Rightarrow PV^\gamma = \text{const} \quad | \Rightarrow P = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$

$$PV = \nu RT$$

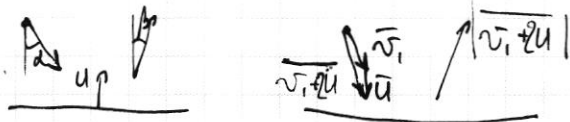
$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad P \sim T$$

$$\times 8,31$$

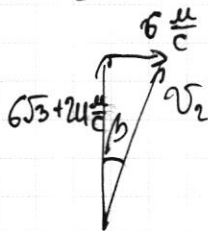
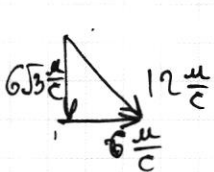
$$\frac{24,93}{24,93}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.



$$\sin \alpha = \frac{1}{2} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$$



$$v_2 = \frac{6}{\sin \beta} = 18$$

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

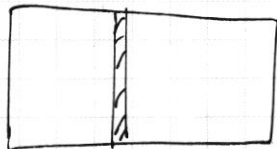
$$6\sqrt{3} + 2\mu = 6\sqrt{3}$$

$$\mu = 3(\sqrt{3} - \sqrt{3})$$

~~$u > 3(\sqrt{3} - \sqrt{3})$~~ $\frac{6}{18} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}$
 ~~$3(\sqrt{3} - \sqrt{3}) < u < 6\sqrt{3}$~~

$n_{H_2} = 2$
 $n_{N_2} = 1$
 $\nu = \frac{6}{7} \mu \text{см}^3$
 $T_H = 350 \text{ K}$
 $T_N = 550 \text{ K}$
 $C_V = \frac{5}{2} R$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
 $\frac{V_H}{V_N} = ?$
 $T_{\text{ген}} = ?$
 $Q = ?$

$$A = \nu c \Delta T$$



$P_H = P_N = P$
 $P V_H = \nu R T_H$
 $P V_N = \nu R T_N$

$$\frac{V_H}{V_N} = \frac{T_H}{T_N} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

2) $T_{HK} = T_{NK} = T_{\text{ген}} = T$ $P_{HK} = P_{NK} = P'$

$$P V_H' = \nu R T$$

$$P' V_N' = \nu R T$$

№2.

$Q_{\text{отг}} = Q_{\text{нагр}}$ $A + \Delta U_N = A + \Delta U_H$
 $Q = A + \Delta U$

$$\Delta U_H = \Delta U_N$$

$$\Delta T_H = \Delta T_N$$

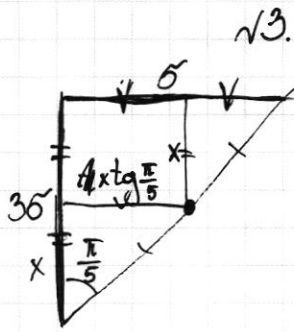
$$\Delta U = \nu c \Delta T$$

$$T_{\text{ген}} = \frac{T_H + T_N}{2} = 450 \text{ K}$$

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

$$V_H' = V_N'$$

$\alpha = \frac{\pi}{4}$
 $\sigma_{\text{нр}} - \text{не-мы gap.}$
 $\sigma_1 = 3\sigma$
 $\sigma_2 = \sigma$



1) $E = k \frac{q}{r^2}$

2) $E = k \frac{q}{r^2} =$
 $E = E_1 + E_2$
 $r_1 = x \operatorname{tg} \frac{\pi}{5}$
 $r_2 = x$

$q = 6S$

- E - !
- $L_1 = 4L$
- $L_2 = 3L$
- C - !
- $T_{L_1} - ?$
- $I_{M_1} - ?$
- $I_{M_2} - ?$

$L_1 + L_2$

$I' = \frac{E}{L}$

$\frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \text{const}$

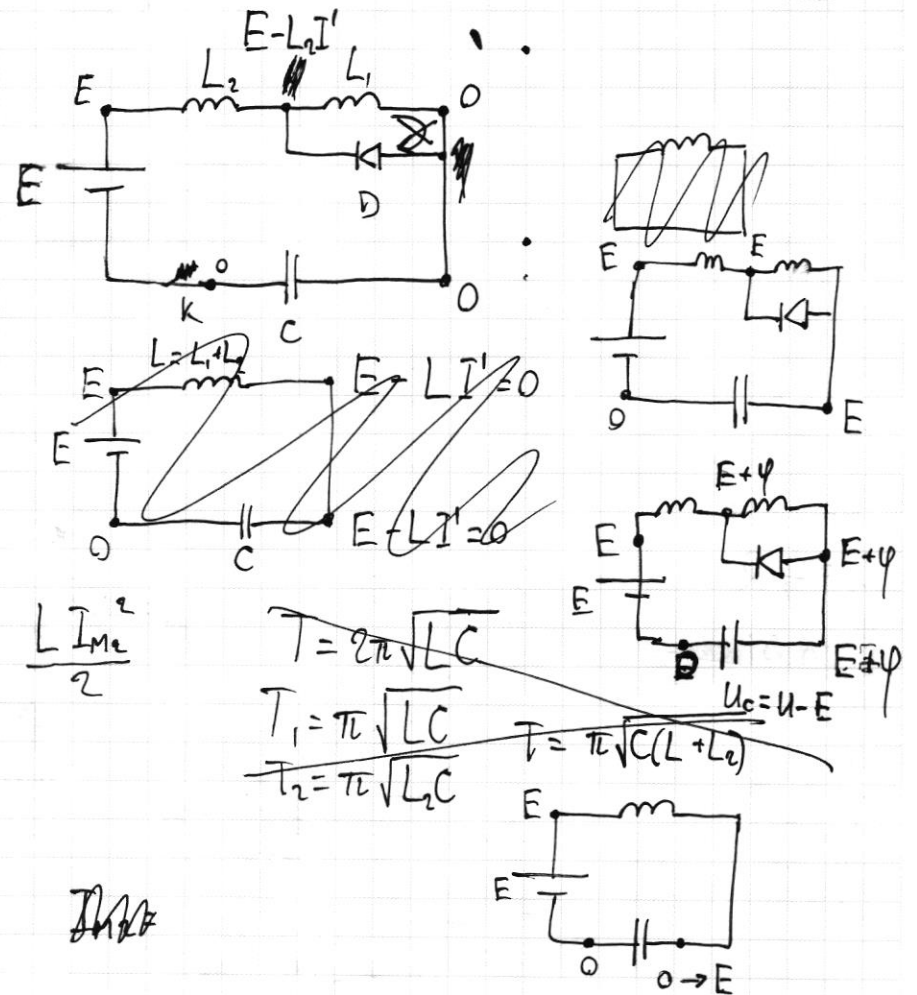
$\frac{LI_{Me}^2}{2}$

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

$T_1 = \pi\sqrt{LC}$

$T_2 = \pi\sqrt{L_2C}$

$T = \pi\sqrt{C(L+L_2)}$



~~ИИИ~~