

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

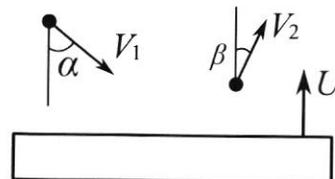
Класс 11

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.

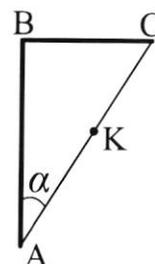


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

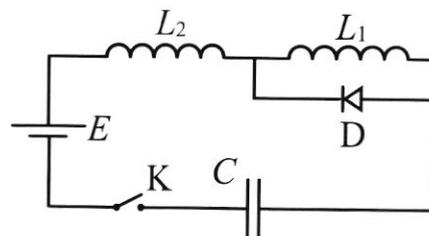
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



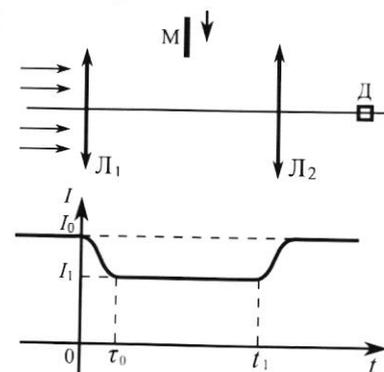
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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



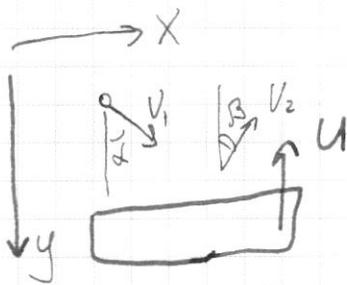
- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{M1} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{M2} , текущий через катушку L_2 .

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

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

$\sin \beta = \frac{1}{3} \Rightarrow \cos \beta = \frac{\sqrt{8}}{3}$

2) Внешние силы отсутствуют.

в И.С.О. «Плита»

по оси Oy: $V'_{1y} = V_1 \cos \alpha + U$

$V'_{2y} = V_2 \cos \beta - U$

$V'_{2y} > 0$, т.к. тело ~~отскочило~~ ^{отскочило}

т.е. $V_2 \cos \beta - U > 0$

$U < V_2 \cos \beta$

$U < 18 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3}$

$U < 6\sqrt{8}$ - Ответ 2)

① В Л.С.О. внешние силы отсутствуют
ЗСИ.
на OX: $mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta$
 $V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} V_1 =$
 $= 18 \text{ м/с}$ (ответ 1))



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N_2 V_1	N_2 V_2
$\frac{6}{7}$ моль	$\frac{6}{7}$ моль
$T_1 = 350K$	$T_2 = 550K$

n_2

① $C_v = \frac{5}{2}R, R = 8,31$

$$\left. \begin{aligned} P_0 V_1 &= \nu R T_1 \\ P_0 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11} \quad \text{(ответ 1)}$$

② $\Delta Q_1 = A_1 + \Delta U_1$ - кол-во теплоты, которое получил N_2

$\Delta Q_2 = A_2 + \Delta U_2$ - кол-во теплоты, которое отдал N_2

$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 0$ - по ЗСЭ.

$\Delta Q_2 < 0$

$A_2 < 0$

$\Delta U_2 < 0$

$A_1 = -A_2$

Т.к. работа по расширению одного = работа по сжатию другого при одинаковом давлении

$\Delta Q_1 = -\Delta Q_2$

$A_1 + \Delta U_1 = -A_2 - \Delta U_2$

$\Delta U_1 = -\Delta U_2$

$C_v \nu (T_k - T_1) = C_v \nu (T_2 - T_k)$ | T_k - конечная температура

$T_k = \frac{T_1 + T_2}{2}$ - по

$T_k = 450K$ - (ответ 2)

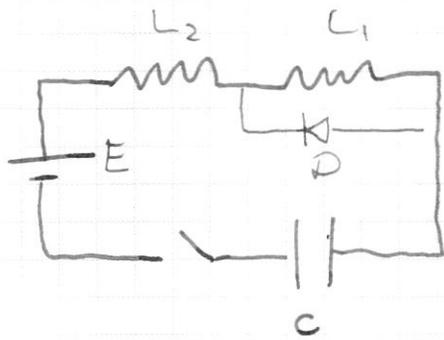
③ $\Delta A = P \Delta V$ - работа в элементарном коротком изобарном процессе

$\Delta Q = \Delta A + \Delta U = \nu R \Delta T + C_v \nu \Delta T$ - кол-во переданной теплоты за короткий процесс.

$\Delta Q = \frac{7}{2} \nu R \Delta T$, просуммируем

$\Delta Q_1 = \Sigma \Delta Q = \frac{7}{2} \nu R (T_k - T_1) = \frac{7}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot (450 - 350) = 300 \cdot 8,31 \approx 2493$ Дж.

Ответ 3) кол-во переданной теплоты: 2493 Дж
($\Delta Q_2 = -2493$ Дж)



① НЧ

1) Конд. заряжается:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}}$$

$$t_1 = \frac{2\pi}{2} \sqrt{(L_1 + L_2)C} - \text{время зарядки } C$$

2) C разряжается:

$$\mathcal{E}i_1 = 0, \text{ т.к. } U_{\text{диода}} = 0$$

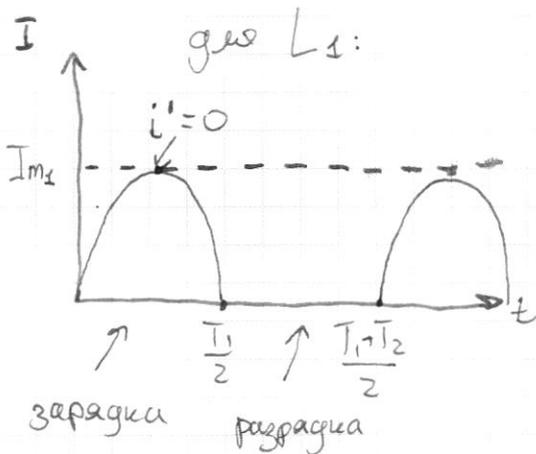
$$T_2 = 2\pi \sqrt{L_2 \cdot C}$$

$$t_2 = \frac{2\pi}{2} \sqrt{L_2 C} - \text{время разрядки } C$$

3) Период колебаний тока в $L_1 = t_1 + t_2$

$$T = \pi (\sqrt{L_2 C} + \sqrt{L_1 + L_2} C)$$

$$T = \pi (\sqrt{3LC} + \sqrt{7LC}) \quad \text{— Ответ 1)$$



② 1) т.к. когда $I_{m1} \Rightarrow i' = 0$, то
ЗСЭ: энерг. конд. энерг. катуш. $U_C = E$

$$E \Delta q = \Delta W_C + \Delta W_{L_1} + \Delta W_{L_2} - \text{с начала до момента зарядки } C$$

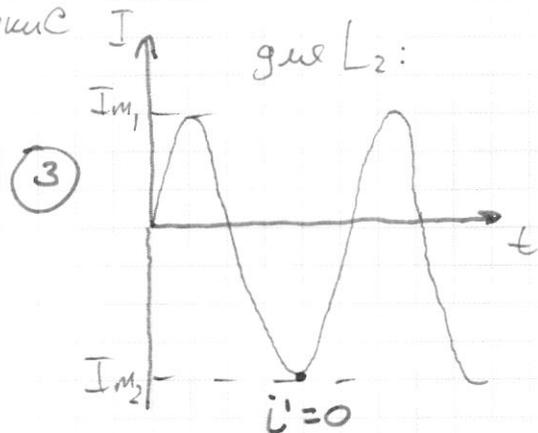
$$\Delta q = q \text{ на конд.}$$

$$q = C U_C = CE$$

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{L_2 I_{m1}^2}{2} + \frac{L_1 I_{m1}^2}{2}$$

$$I_{m1}^2 = \frac{CE^2}{7L}$$

$$I_{m1} = E \sqrt{\frac{C}{7L}} \quad \text{— (Ответ 2)}$$



③

$$\mathcal{E}i_1 = 0 = \mathcal{E}i_2$$

$$I \text{ через } L_1 = 0 \Rightarrow W_{L_1} = 0$$

$$q_{\text{конд}} = CE$$

ЗСЭ от начала до перезарядки конд.

$$E \cdot (CE) = \Delta W_C + \Delta W_{L_2} + 0$$

$$-CE^2 = -\frac{CE^2}{2} + \frac{L_2 I_{m2}^2}{2}$$

$$I_{m2} = E \sqrt{\frac{C}{3L}} \quad \text{— (Ответ 3)}$$

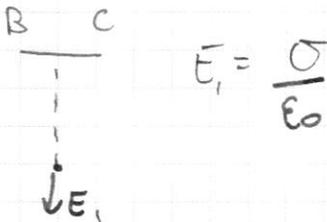
№3



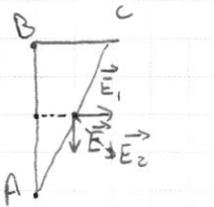
② 1) Т.к. пластинка бетонная, то как ее оси симметрии будет однородное магнитное поле, $E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

2) Т.к. (·) K - середина гипотенузы, то независимо от угла α , (·) K будет всегда находится на оси симметрии пластин AB и BC

а) когда пластинка AB незаряжена:

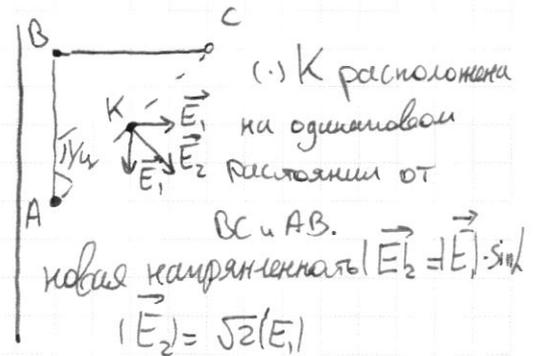


б) пластинку AB зарядили:



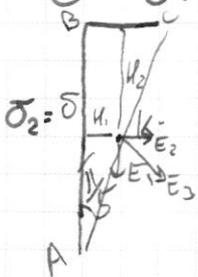
$E_2 = \sqrt{2} E_1$

Ответ 1): увеличится в $\sqrt{2}$ раз



(·) K расположена на одинаковом расстоянии от BC и AB. новая компонента $E_2 = E_1 \cdot \sin \alpha$
 $E_2 = \sqrt{2} E_1$

③ $\sigma_1 = 3\sigma$



$E_3 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{\epsilon_0^2} + \frac{\sigma_2^2}{\epsilon_0^2}} = \frac{1}{\epsilon_0} \sqrt{9\sigma + \sigma} = \frac{\sigma\sqrt{10}}{\epsilon_0}$ - ответ 2)

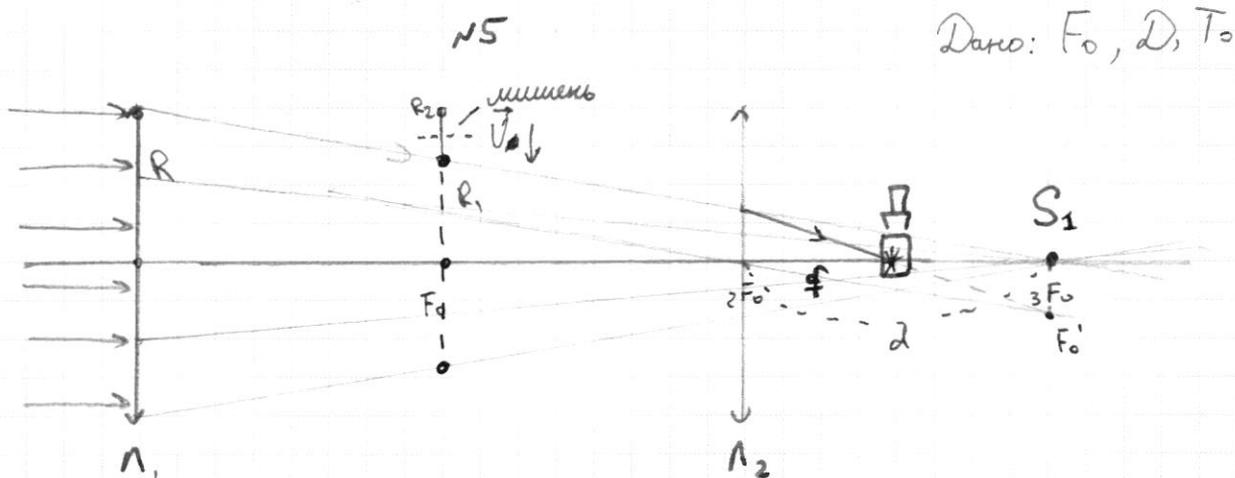
расстояние K_1 от (·) K до AB = $\frac{BC}{2}$, т.к. K_1 - ср. линия $\triangle ABC$
 расстояние K_2 от (·) K до BC = $\frac{AB}{2}$, т.к. K_2 - ср. линия $\triangle ABC$

$d = \frac{\pi}{5}$

$\frac{AB}{BC} = \text{ctg} \frac{\pi}{5}$

$\frac{K_1}{K_2} = \frac{BC}{AB} = \text{tg} \frac{\pi}{5}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- ①
- 1) Лучи параллельные ГОО проходят через фокус. (для L_1 $F = 3F_0$)
 - 2) Получили изображение S_1 , явл. ^{фокус} ~~минимум~~ ^{расст. до сетки.} ~~предметом~~ для L_2 .
 - 3) по формуле линзы для L_2 : $F = F_0, d = 3F_0 - 2F_0 = F_0, f$ - ^{расстояние} ~~го~~ ^{изобр.}

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{-F_0} + \frac{1}{f}; \quad F_0 = \frac{f \cdot F_0}{F_0 - f}; \quad F_0 = 2f; \quad f = \frac{F_0}{2}$$

- 4) Получили: после прохождения двух линз лучи сфокусированы в кр. расстоянии $\frac{F_0}{2}$ от L_2 , там и находится фотодетектор. (Ответ: $\frac{F_0}{2}$)

- ②
- 1) площадь ~~на~~ сечение светового пучка на расст. F_0 от $L_1 = S_0$
 - 2) площадь мишени: S ; $R = \frac{D}{2}$ - радиус L_1 ; $R_1 = \frac{D_1}{2}$ - радиус и диаметр окр. S_0
 $R_2 = \frac{D_2}{2}$ - радиус и диаметр мишени

- 3) $I \sim (S_0 - S)$ - ток пропорционален площади проходящего света (через мишень свет не проходит)
- $$\frac{I_0}{S_0 - 0} = \frac{I_1}{S_0 - S} = \frac{5I_0}{9(S_0 - S)}$$

$$S = \frac{4}{9} S_0 \quad (1); \quad S = \pi R_2^2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \quad (2)$$

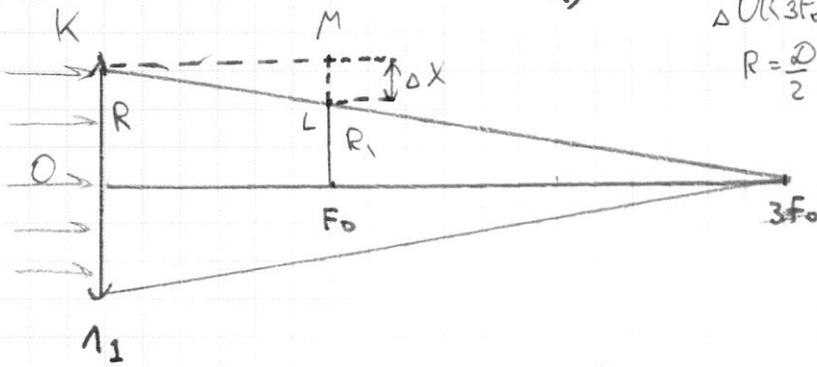
$$S_0 = \pi R_1^2 = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (3)$$



(по условию видно, что плотность световых лучей на S_0 в каждой точке одинакова)

N5 (продолжение)

4)



$$\Delta OK3F_0 \sim \Delta KML$$

$$R = \frac{D}{2}; R_1 = \frac{D_1}{2}$$

$$\frac{D}{3 \cdot 2F_0} = \frac{\Delta X}{F_0}$$

$$\Delta X = \frac{D}{6}$$

$$\Downarrow$$

$$R_1 = R - \Delta X = \frac{D}{3}; D_1 = \frac{2}{3}D(4)$$

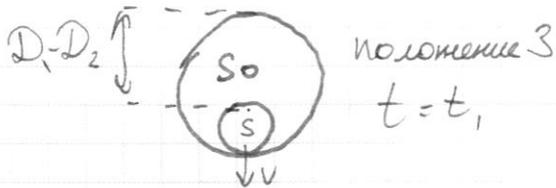
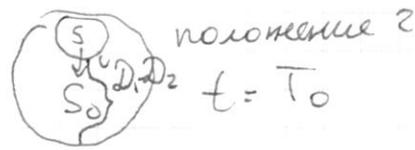
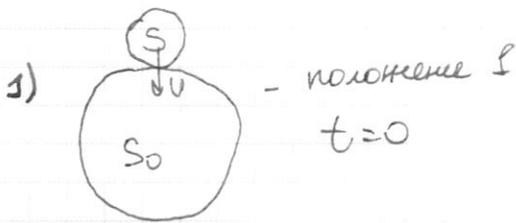
5) из (1), (2), (3), (4):

$$R_2^2 = \frac{D_2^2}{4}$$

$$D_2^2 = \frac{D^2}{81}$$

$$D_2 = \frac{D}{9}$$

3)



2) $V \cdot T_0 = D_2 = \frac{D}{9}$

$$V = \frac{D}{9T_0}$$

Ответ 2 $V = \frac{D}{9T_0}$

3) $V \cdot (t_1 - T_0) = D_1 - D_2$

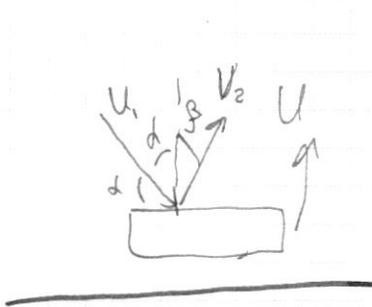
$$t_1 - (T_0 + t_1) = \frac{\frac{2}{3}D - \frac{D}{9}}{\frac{D}{9T_0}}$$

$$\Downarrow$$

$$t_1 = 6T_0$$

Ответ 3 $t_1 = 6T_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

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

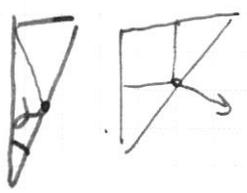
$6\sqrt{3} - U$ - скорость в КСО (u)

6АВБ

$$6\sqrt{3} - U = V_2 \cos \beta - U$$

$$6\sqrt{3} = V_2 \cos \beta$$

$$\frac{6\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{3}} = V_2 = \frac{18\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{18\sqrt{24}}{8} = \frac{9\sqrt{24}}{4} = \frac{9\sqrt{6}}{2}$$



$$-m_1 V_{1y} + M U = M U + m_1 V_{2y}$$

$$m_1 V_3 = m_1 V_{1y}$$

$$V_1 \cos \alpha + U =$$

$$V_1 \sin \alpha = V_2 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1 \cdot 3}{2}$$



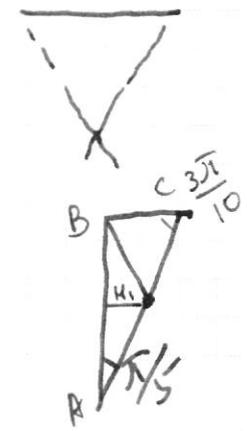
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E}_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

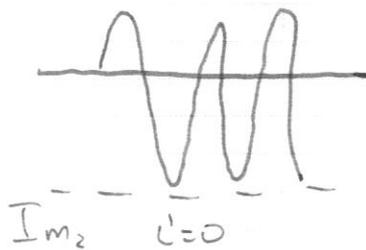
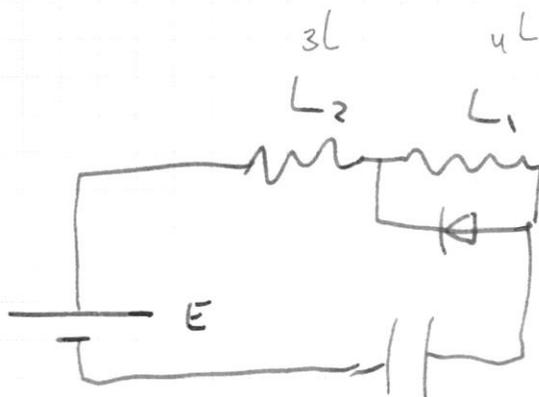
$$\vec{E}_{\text{итого}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{2} \quad \text{в } \sqrt{2} \uparrow$$



$$BC = AB \sin \frac{\pi}{5}$$

$$\pi_1 = \frac{AB \cdot BC}{\frac{BC}{2}}$$



$$E_{\text{св}} = 0$$

$$U_c = E$$



$$T = \frac{1}{2} 2\pi \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}} + \frac{1}{2} 2\pi \sqrt{\frac{L_2}{C}}$$

$$= \pi \left(\sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}} + \sqrt{\frac{L_2}{C}} \right)$$

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{L_1 I_m^2}{2}$$

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{L_2 I_m^2}{2}$$

$$I_m = E \sqrt{\frac{L_2}{C}} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

$$\Delta \dot{I} = 0$$

↓

$$U_c = E$$

3+4

$$q = CU$$

$$\frac{CE^2}{2} = E \cdot \Delta q + \frac{L_2 I_m^2}{2} + \frac{L_1 I_m^2}{2}$$

$$\frac{L_1 + L_2}{2} (I_m^2) = E^2 C - \frac{CE^2}{2}$$

$$I_m^2 = \frac{CE^2}{7L}$$

$$q = CU = CE^2$$

$$\frac{3}{2} CE^2 = \frac{L_1 I_m^2}{2}$$

$$3CE^2 = L_1 I_m^2$$

$$I_m = \sqrt{\frac{3CE^2}{L_1}} = E \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$C \cdot 2q = \frac{CE^2}{2} \quad I_m = \sqrt{\frac{CE^2}{L}}$$

$$-E q = \frac{CE^2}{2}$$

$$-E^2 C = \frac{CE^2}{2} + \frac{L I_m^2}{2}$$

N2.

H ₂ V ₁	N ₂ V ₂
6/7 моль	6/7 моль
T ₁ = 350 K	T ₂ = 550 K

$$\frac{V_1}{V_2} = ?$$

$$T_K = ?$$

$$\Delta Q = ?$$

$$C_V = \frac{5R}{2} \quad R = 8,31$$

$$P_0 V_1 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot 350$$

$$P_0 V_2 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot 550$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{350}{550} = \left(\frac{7}{11}\right)$$

$$P_1 V_K = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot T_K$$

$$P_1 V_{K1} = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot T_K$$

$$V_K = V_{K1} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{19}{22} V_1$$

$$P_0 V_1 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot 350$$

$$P_1 \cdot \frac{18}{22} V_1 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot T_K$$

$$P_0 \cdot \frac{17}{4} V_1 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot 550$$

$$P_1 \cdot \frac{18}{22} V_1 = \frac{6}{7} \cdot 8,31 \cdot T_K$$

$$\Delta Q_1 = A + \Delta U$$

$$\Delta Q_2 = A + \Delta U$$

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 \quad A_1 + \Delta U = (A_2 + \Delta U)$$

$$P_1 \cdot \Delta V + \Delta U = P_2 \cdot \Delta V + \Delta U$$

$$\Delta U_1 = -\Delta U_2$$

$$\frac{5}{2} \Delta R (T_K - T_1) = \frac{5}{2} \Delta R (T_2 - T_K)$$

$$T_K - T_1 = T_2 - T_K$$

$$T_K = \frac{T_1 + T_2}{2} = \underline{450 K}$$

$$\frac{5}{2} \Delta R T + \Delta R T =$$

$$= \frac{7}{2}$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \Delta R \cdot 100$$

$$= 250 \Delta R$$

$$P \cdot \Delta V = A$$

$$P V = \Delta R T$$

$$\Delta Q = \frac{7}{2} \Delta R T$$

$$Q = \frac{7}{2} \Delta R \cdot 100 = \frac{700}{2} = 350 \Delta R = \boxed{300 R}$$

$$\times 8,31$$

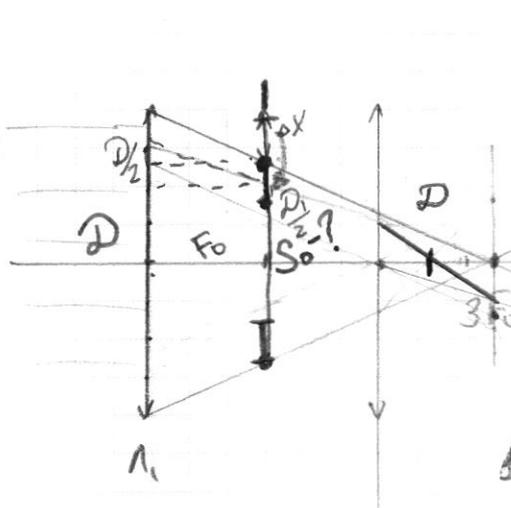
$$\times 300$$

$$\times 8,31$$

$$\times 3$$

$$\hline 2493$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{D}{6F_0} = \frac{\Delta X}{F_0}$$

$$\Delta X = \frac{D}{6}$$

$$\frac{D_1}{2} = R = \frac{R}{6} = \frac{D}{3}$$

$$\frac{3D}{6} - \frac{D}{6} = \frac{2D}{6} = \frac{D}{3} \quad \frac{36}{144}$$

$$S_0 = \pi \left(\frac{R}{6}\right)^2 = \frac{\pi R^2}{36} = \frac{\pi D^2}{144}$$

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

$$V \cdot T_0 = \frac{D}{3}$$

$$V = \frac{D}{3T_0}$$

$$(t_1 - t_0)V$$

$$\frac{\left(\frac{2}{3}D - \frac{D}{9}\right)}{V} = (T_1 - t_0)$$

$$\frac{5}{9}D = VT_0 + Vt_1$$

$$Vt_1 = \frac{5}{9}D + VT_0$$

$$t_1 = \frac{5/9 D}{V} + T_0$$

$$t_1 = \frac{5/9 D}{D/3T_0} + T_0$$

$$t_1 = \frac{5T_0}{3} + T_0$$

$$t_1 = 6T_0$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{-3F_0} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{-1}{3F_0} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{-d + 3F_0}{3F_0 d}$$

$$F_0 = \frac{3F_0 d}{3F_0 + d}$$

$$3F_0^2 - F_0 d = 3F_0 d$$

$$3F_0 - d = 3d$$

$$3F_0 = 4d$$

$$F_0 = \frac{4d}{3}$$

$$d = \frac{3}{4} F_0$$

$$R_2^2 = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = \frac{D_2^2}{4}$$

$$\frac{D_2^2}{4} = \frac{D^2}{9 \cdot 9 \cdot 4}$$

$$D_2 = \frac{D}{3}$$

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

$$\frac{1}{F_0} = \frac{-d + F_0}{dF_0}$$

$$dF_0 = dF_0 - dF_0$$

$$F_0 = cd$$

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

$$S = S_0 - S = \frac{5}{9} S_0$$

$$S = \frac{4}{9} S_0$$



$$D_2 = \frac{D}{3}$$

$$S = \pi R^2$$

$$\pi R_2^2 = \frac{4}{9} \cdot \frac{\pi D^2}{144}$$

$$\pi R_2^2 = \frac{\pi D^2}{9 \cdot 9 \cdot 4}$$