

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

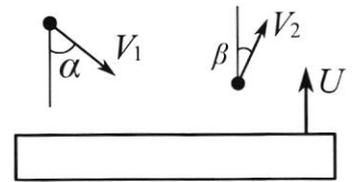
Класс 11

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.

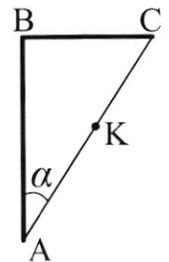


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

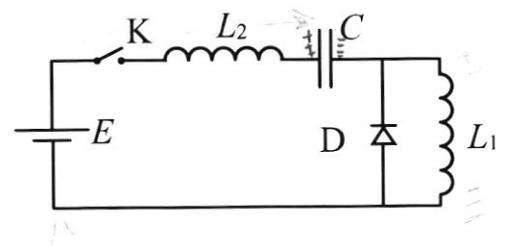
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



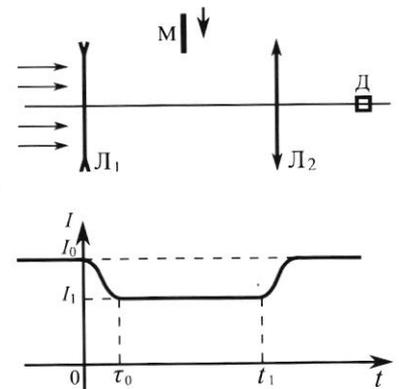
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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 D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , 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

N 1

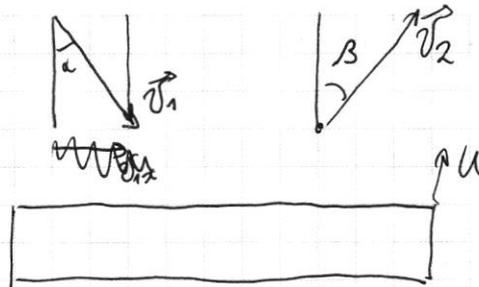
$$v_1 = 18 \text{ м/с}$$

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

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

$$v_2 = ?$$

$$u = ?$$



M - масса плитки $M \gg m$. m - масса шарика.

Введём систему координат OXY .

v_{1x} - проекция \vec{v}_1 на x v_{2y} - проекция \vec{v}_2 на y .

v_{1y} - проекция \vec{v}_1 на y v_{2x} - проекция \vec{v}_2 на x

~~Здесь на шарике:~~

$$\Delta \vec{p} = F_{\text{упр}} \cdot \Delta t$$

$$\Delta p_{yx} = F_{\text{упр}} \cdot \Delta t$$

$$\Delta p_{yx} = 0$$

$$m v_{1x} + M u_x = m v_{2x} + M u_x$$

$$m v_{1x} + 0 = m v_{2x} + 0$$

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

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

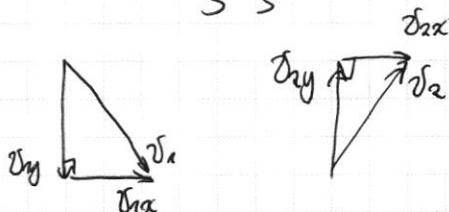
$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

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

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

$$v_2 = \frac{18 \cdot 2 \cdot 5}{3 \cdot 3} = 2 \cdot 2 \cdot 5 = 20 \text{ (м/с)}$$

Найдём v_{1y} и v_{2y} .



$$v_{1y} = \sqrt{v_1^2 - v_{1x}^2} = \sqrt{18^2 - 12^2} = \sqrt{324 - 144} = 6\sqrt{5} \text{ (м/с)}$$

$$v_{1x} = v_1 \sin \alpha = 18 \cdot \frac{2}{3} = 12$$

$$v_{2y} = v_2 \cos \beta = 20 \cdot \frac{4}{5} = 16 \text{ (м/с)}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$$

Требуется, что минимальная скорость плиты \vec{v} направлена абсолютно горизонтально. Рассмотрим ее:

Введем систему координат $Ox'y'$ с U .

$$\vec{v}_{xy} = \vec{v}_{xy}' + \vec{U} \quad \vec{v}_{zy} = \vec{v}_{zy}' + \vec{U}$$

$$Ox': \quad -v_{xy} = -v_{xy}' + U \quad v_{zy} = v_{zy}' + U$$

$$v_{xy}' = v_{xy} + U \quad v_{zy}' = v_{zy} - U$$

т.к. $m \ll M$, изменение U пренебрежимо мало.

Значит, при абсолютно упругом ударе.

$$v_{xy}' = v_{zy}' \quad U = \frac{v_{zy} - v_{xy}}{2}$$

$$v_{xy} + U = v_{zy} - U$$

$$2U = v_{zy} - v_{xy}$$

$$U_{\min} = \frac{16 - 6\sqrt{5}}{2} = 8 - 3\sqrt{5} \text{ (м/с)}; \text{ но удар неупругий } \Rightarrow U_{\min} > 8 - 3\sqrt{5} \text{ (м/с)}$$

Требуется, что минимальная скорость плиты — когда удар почти абсолютно упругий, но при этом шарик отделяется от плиты (по условию) $\Rightarrow v_{zy} > U$

$$U < 16 \text{ (м/с)}$$

$$\text{Ответ: } v_2 = 20 \text{ м/с; } U \in (8 - 3\sqrt{5}; 16) \text{ м/с.}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2

начало:

$$v_1 = v_2 = \frac{3}{5} \text{ м/с}$$

$$T_1 = 320 \text{ К} \quad T_2 = 400 \text{ К}$$

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

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

$$T_k = ?$$

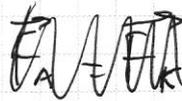
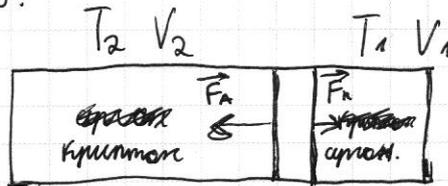
$$\Delta Q = ?$$

S - площадь поршня.

$$pV = \nu RT$$

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5} = 0,8$$



$$F_A = F_K \text{ (по III закону Ньютона)}$$

Сила давления
газа на поршень

Сила давления
криттона на поршень.

p_1 - давление газа

p_2 - давление криттона.

$$p_1 S = p_2 S \quad p_1 = p_2$$

$$\frac{\nu_1 R T_1}{V_1} = \frac{\nu_2 R T_2}{V_2}$$

$$\frac{\nu_1 R T_1}{\nu_2 R T_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

2) П.Н. система замкнутая: $Q_1 + Q_2 = 0$

теплота, переданная газу

теплота
криттоном

$$Q = C_2 \nu \Delta T$$

C_1 - молярная теплоёмкость
газа

$$C_1 \nu_1 \Delta T_1 = -C_2 \nu_2 \Delta T_2$$

$$-C_1 \nu_1 (T_k - T_1) = C_2 \nu_2 (T_k - T_2)$$

C_2 - молярная теплоёмкость
криттона.

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\nu_1 (T_k - T_1)}{\nu_2 (T_2 - T_k)}$$

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{84}{20} = \frac{21}{5}$$

$M_2 = 84 \text{ г/моль}$ - мол. масса криттона

$M_1 = 20 \text{ г/моль}$ - мол. масса газа

$$\frac{T_K - T_1}{T_2 - T_K} = \frac{21}{5} = \frac{42}{10} = 4,2$$

$$T_K = \frac{4,2 \cdot 400 + 320}{5,2} = 384 \frac{8}{13} \approx$$

$$T_K - T_1 = 4,2 T_2 - 4,2 T_K$$

$$\approx 385 \text{ (K)}$$

$$5,2 T_K = 4,2 T_2 + T_1$$

$$T_K = \frac{4,2 T_2 + T_1}{5,2}$$

3)

$$Q_1 = A_1 + \delta U_1$$

$$Q_2 = A_2 + \delta U_2$$

$$A = p \delta V \quad \delta U = \frac{3}{2} \delta R \delta T$$

$$p \delta V = \delta R \delta T$$

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$A_1 + \delta U_1 + A_2 + \delta U_2 = 0$$

$p = \text{const}$ / на протяжении всего процесса

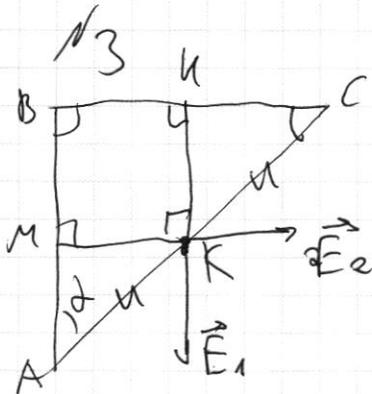
~~$$A_1 + \delta U_1 + A_2 + \delta U_2 = 0$$~~

$$Q_1 = p \delta V_1 + \frac{3}{2} \delta R \delta T_1 = \frac{5}{2} \delta R \delta T_1$$

$$Q_1 = \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot (385 - 320) \approx 811 \text{ (Дж)}$$

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = 0,8$; $T_K \approx 385 \text{ K}$; $Q \approx 811 \text{ (Дж)}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) $AB \perp BC$
 $\sigma, d = \frac{U}{U}$
 $\frac{E_K}{E_0} - ?$

2) $G_1 = \sigma$
 $G_2 = 2\sigma/7$
 $d = \frac{U}{g}$
 $E_K - ?$

1) KM, KM - высоты

$\Delta ABC, \angle B = 90^\circ, \angle C = \frac{\pi}{4} \Rightarrow c = \frac{a}{\sqrt{2}}$

$\Delta AMK \sim \Delta CMK, (\angle C = \angle A, AK = KC, \angle M = \angle K = 90^\circ)$

$\Rightarrow MK = MK$

~~$\Delta AMK \sim \Delta CMK$~~

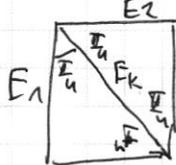
Итак, пусть BC создаёт поле направления \vec{E}_1 в т. K
(поле не вышло)

ΔAB создаст поле направления \vec{E}_2

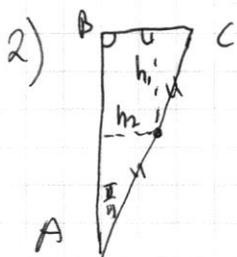
$\vec{E}_K = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$E_1 = E_2$, т.к. $BC = AB$ (в р. Δ); $S_{AB} = S_{AC}$; $S(BC; K) = S(AB; K)$

Итак, $E_K = \sqrt{2} E_1$ (из геометрии. Аналогия)



$\frac{E_K}{E_0} = \frac{E_K}{E_1} = \frac{\sqrt{2}}{1} = \sqrt{2}$



$h_1 = \frac{AB}{2}$

$h_2 = \frac{BC}{2} \rightarrow 0$

$G = \frac{q}{S}$

$\frac{BC}{AB} = \tan \frac{\pi}{4}$

$G_1 = \frac{q_{AB}}{BC \cdot l} = G$

$G_2 = \frac{q_{AC}}{AB \cdot l} = \frac{2G}{7}$

$$\frac{7q_{AB}}{2AB \cdot \epsilon} = \frac{q_{BC}}{BC \cdot \epsilon}$$

$$\frac{7q_{AB}}{2AB} = \frac{q_{BC}}{AB \cdot \frac{2}{5}}$$

$$7 \frac{7}{9} q_{AB} = 2 q_{BC}$$

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 r^2}$$

И.ч.

$$L_1 = 5L$$

$$L_2 = 4L$$

C D

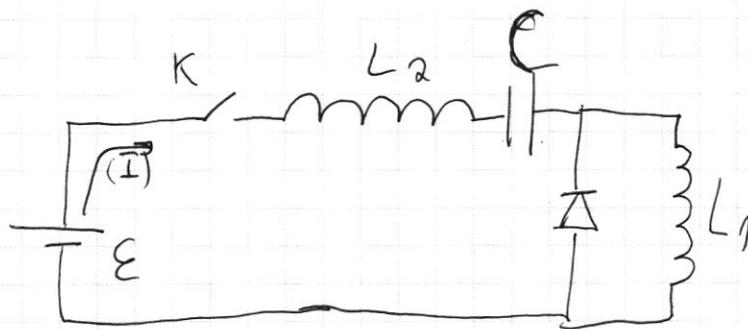
T - ?

I₀₁ - ?

I₀₂ - ?

$$E_K = -L I'$$

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



Зарядка конденсатора (ток через диод не течёт) U - напря. на конденсаторе.

$$\begin{aligned} \epsilon &= U + E_{K2} + E_{K1} = U + L_1 I' + L_2 I' = \\ &= U + 5L I' + 4L I' \end{aligned}$$

При зарядке конденсатора, который успеваем зарядить и разрядить.

Разрядка: L_1 никак не участвует, поскольку ток будет течь через диод.

Через индуктивн. ветвь кончая один и тот же заряд в противоположные стороны.

Первая половина

Вторая половина

$$I_1 = \frac{2\pi \sqrt{(L_2 + L_1)C}}{2} = \pi \sqrt{9LC}$$

$$I_2 = \frac{2\pi \sqrt{L_2 C}}{2} = \pi \sqrt{4LC}$$

$$T = \pi (3\sqrt{LC} + 2\sqrt{LC}) = 5\pi \sqrt{LC}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) ~~И~~ I_{01} :

$$\mathcal{E} = U + gL I' \quad I_{01} \text{ макс} \rightarrow I' = 0$$

$$\mathcal{E} = U$$

$$\frac{L_1 I_{01}^2}{2} + \frac{L_2 I_{01}^2}{2} = \frac{C \mathcal{E}^2}{2}$$

$$I_{01}^2 (gL) = C \mathcal{E}^2$$

$$I_{01} = \frac{\mathcal{E}}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

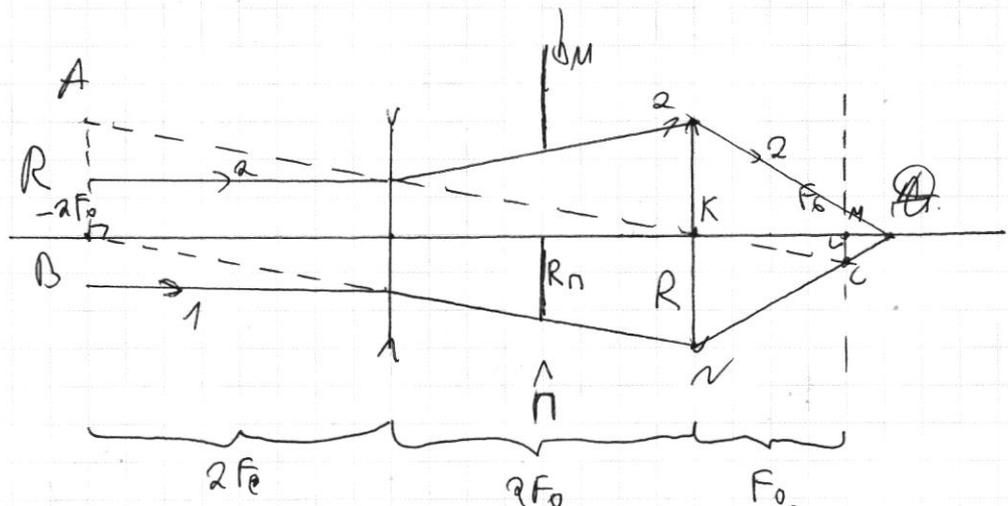
3) $\frac{L_2 I_{02}^2}{2} = \frac{C \mathcal{E}^2}{2}$

$$I_{02}^2 = \frac{C \mathcal{E}^2}{4L} \quad I_{02} = \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{\mathcal{E}}{2}$$

Ответ: $T = 5 \sqrt{LC}$; $I_{01} = \frac{\mathcal{E}}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$; $I_{02} = \frac{\mathcal{E}}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$

$\sqrt{5}$
 $-2F_0$
 F_0
 $2F_0$
 D: $g(M_1; M) = F_0$
 $I_1 = \frac{7I_0}{16}$

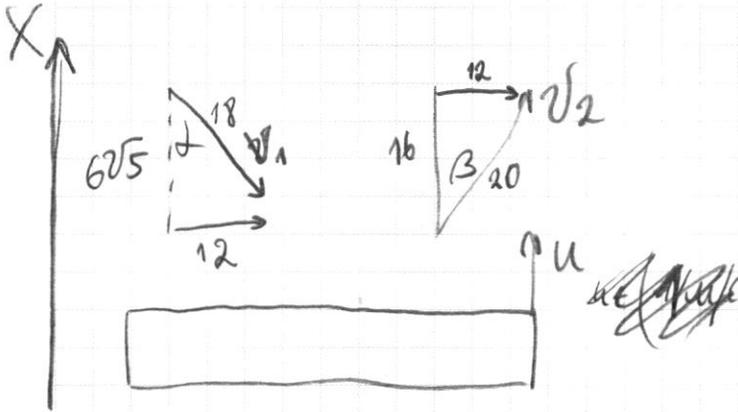
 $g(A_2; B) - ?$
 $V - ? \quad t_1 - ?$



$$R; R = \frac{F}{2}$$

Построим ход луча?

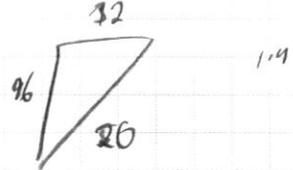
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

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

1) 12 м/с.



$$\sqrt{18^2 - 12^2} = \sqrt{180} = \sqrt{9 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 5} = 6\sqrt{5}$$

$$(10+8)^2 = 100 + 160 + 64 = 324$$

$$\begin{array}{r} 10 \\ - 324 \\ \hline 144 \\ - 180 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 36 \\ \hline 180 \\ 72 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 36 \\ \hline 180 \\ 72 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 20000 \\ - 384 \\ \hline 19616 \\ - 440 \\ \hline 19176 \\ - 200 \\ \hline 18976 \\ - 32 \\ \hline 18944 \end{array}$$

$$\frac{20000}{52}$$

~~20000/52~~

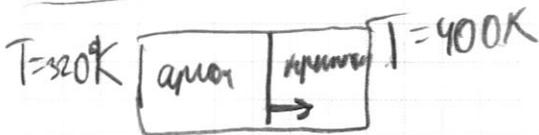
$$6\sqrt{5} + u = 16 - u$$

$$2u = 16 - 6\sqrt{5}$$

$$u = 8 - 3\sqrt{5}$$

$$u = 16 \leftarrow \text{максимальная}$$

$$\begin{array}{r} 384 \\ - 52 \\ \hline 332 \\ - 16 \\ \hline 316 \\ - 8 \\ \hline 308 \end{array}$$



$$D = \frac{3}{5} \text{ мав.}$$

$$D = \frac{3}{5} \text{ мав.}$$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$C_{\text{мот1}} = C_{\text{мот2}}$$

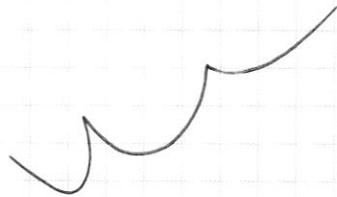


$$P_0 \Delta V + \frac{\Delta P \Delta V}{2} = P_0 \Delta V + \frac{P_{\text{кв}} \Delta V}{2} - \frac{P_0 \Delta V}{2}$$

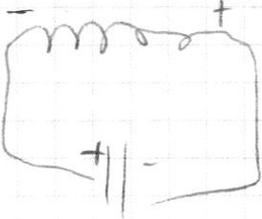
$$\begin{array}{r} + 16180 \\ \times 42 \\ \hline 20000 \end{array}$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{D_n - D_m}{25} = \frac{\frac{3D}{4} - \frac{9D}{16}}{25} = \frac{\frac{(12-9)D}{16}}{25} = \frac{\frac{3D}{16}}{25}$$

$$\frac{3D}{16} \cdot \frac{16^2}{D}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$T = 2\pi\sqrt{L_2 C}$$

$$C = \frac{q}{u}$$

$$\frac{\epsilon u^2}{2} + \frac{L_2 I^2}{2} + \frac{L_1 I^2}{2} = \text{const}$$

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

$$(C u^2 + 4L I^2 + 5L I^2 = \text{const})' = 0$$

$$C \frac{2q \cdot I'}{u} + 8L I' + 10L I' = 0$$

$$\frac{I C q}{g L} + 9L I' = 0 \quad \frac{C q}{9L}$$

$$\epsilon = 4L I' + 5L I' + u \quad u = \epsilon - 9L I'$$

Зарядка