



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

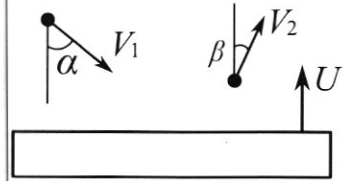
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 8$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{3}{4}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{2}$ ) с вертикалью.

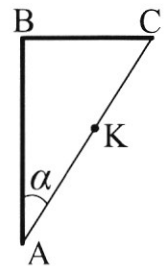


1) Найти скорость  $V_2$ .  
 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.  
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве  $\nu = 3/7$  моль. Начальная температура азота  $T_1 = 300$  К, а кислорода  $T_2 = 500$  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).

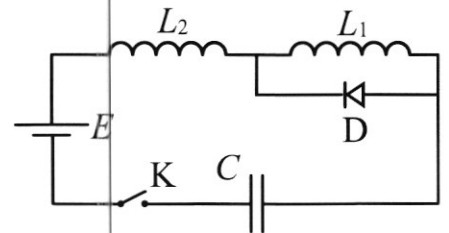
1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.  
 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.  
 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



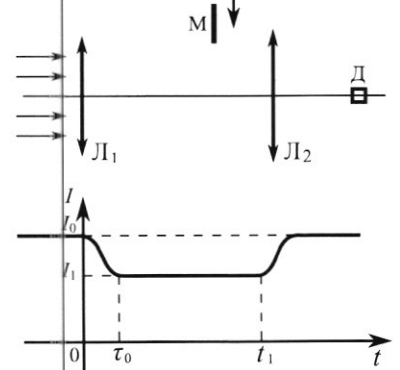
1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?  
 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 2\sigma, \sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/7$ . 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  $L_1 = 2L, L_2 = L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ К 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 фокусным расстоянием  $F_0$  у каждой. Расстояние между линзами  $3F_0$ . 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  $2F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 3I_0/4$ .

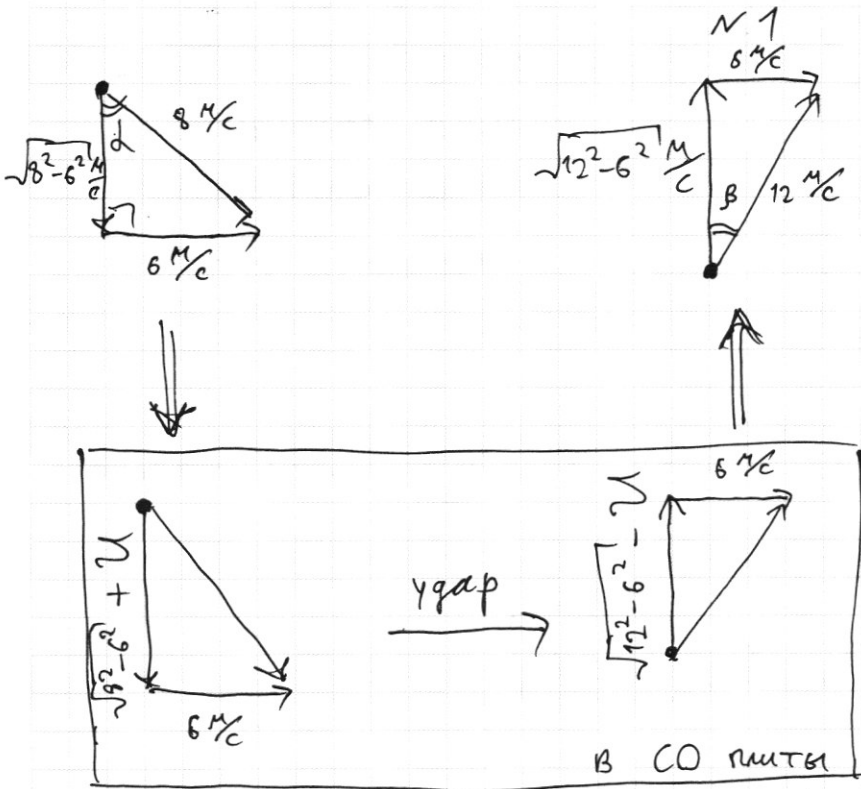


1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.  
 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\sin \alpha = \frac{3}{4}$$

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

Горизонтальная  
компонента скорости  
сокращается

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

$$v_2 = 12 \text{ м/с}$$

ответ 1

Ограничения на  $U$ :

$$\begin{cases} \sqrt{8^2 - 6^2} + U > 0 \\ \sqrt{12^2 - 6^2} - U > 0 \end{cases} \leftarrow \text{направление движения}$$

$$\sqrt{12^2 - 6^2} - U < \sqrt{8^2 - 6^2} + U \leftarrow \text{удар неупругий}$$

$$6\sqrt{3} - 2U < 2\sqrt{7}$$

$$U < 6\sqrt{4-1}$$

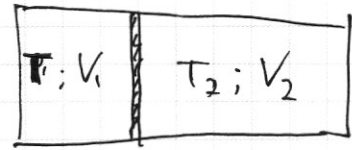
$$\begin{cases} U < 6\sqrt{3} \\ U > 3\sqrt{3} - \sqrt{7} \end{cases} \text{ответ 2}$$

№2

Давления в сосудах равны, т.к. поршень движется без трения.

$$pV_{10} = \nu R T_{10} \Rightarrow \frac{V_{10}}{V_{20}} = \frac{T_{10}}{T_{20}}$$

$$pV_{20} = \nu R T_{20}$$



Любое перемещение поршня сопровождается совершением работы

$$\frac{V_{10}}{V_{20}} = \frac{300}{500} = \boxed{\frac{3}{5}}$$

ответ 1

$$p(V_1 + V_2) = \nu R (T_1 + T_2) \Rightarrow T_1 + T_2 = \text{const} = 800 \text{ K}$$

const

т.е. когда  $T_1 = T_2$ :  $T_1 = T_2 = \boxed{400 \text{ K}}$

ответ 2

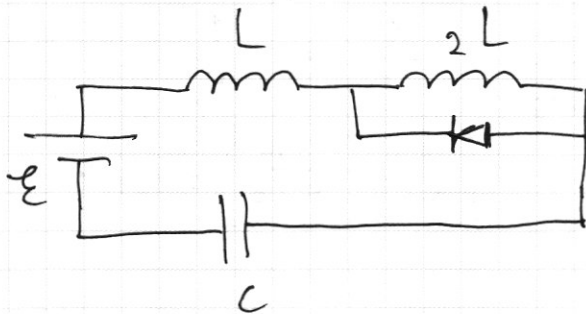
$$\Delta Q = c_p \cdot \nu \cdot \Delta T = \left( \frac{5}{2} R + R \right) \cdot \frac{3}{7} \cdot 100 =$$

$$= 1,5 \cdot 8,3 \cdot 100 = \boxed{1236 \text{ Дж}}$$

ответ 3

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

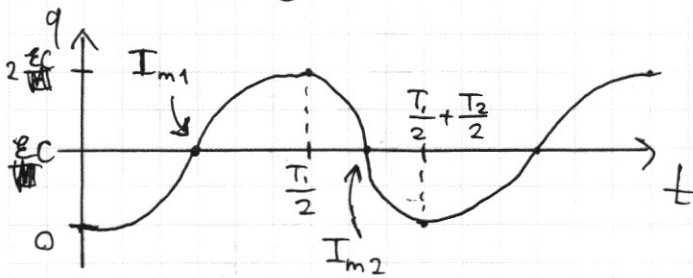
№4



амплитуда колебаний и  
положение равновесия:

$$\varepsilon = \frac{q}{C} \quad | \Rightarrow A = \varepsilon C$$

$$q = \varepsilon C$$



~~$$q_1(t) = \varepsilon C - \varepsilon C \cdot \cos\left(\frac{t}{\sqrt{3LC}}\right)$$~~
~~$$q_2(t) = \varepsilon C - \varepsilon C$$~~

Когда ток течёт в  
одну сторону, диод закрыт  
и ёмкость катушек  $3L$ .

Когда ток течёт в другую  
—  $1L$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{3LC}} \quad ; \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

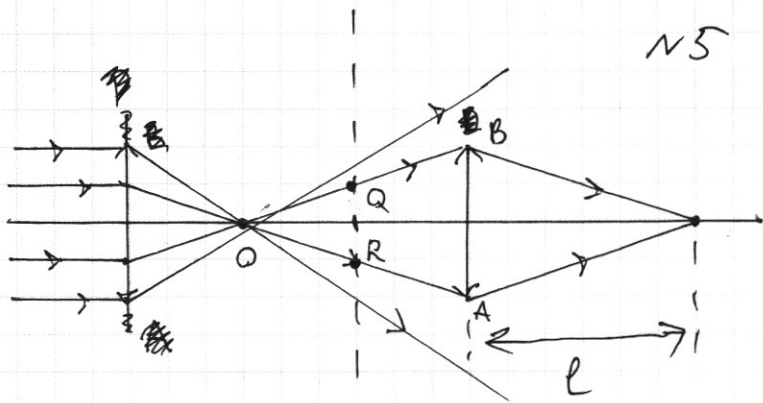
$$T_1 = 2\pi \sqrt{3LC} \quad ; \quad T_2 = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$T_{\text{сум}} = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi (\sqrt{3LC} + \sqrt{LC})$$

1)  $T_{\text{сум}} = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{3} + 1)$  ответ 1

2)  $I_{m1} = \frac{A}{\omega_1^{-1}} = A \cdot \omega_1 = \frac{\varepsilon C}{\sqrt{3LC}}$  ответ 2

3)  $I_{m2} = \frac{A}{\omega_2^{-1}} = A \cdot \omega_2 = \frac{\varepsilon C}{\sqrt{LC}}$  ответ 3



№5

первая линза фокусирует пучок на расстоянии  $F_0$  от себя.

$$\frac{1}{2F_0} + \frac{1}{l} = \frac{1}{F_0}$$

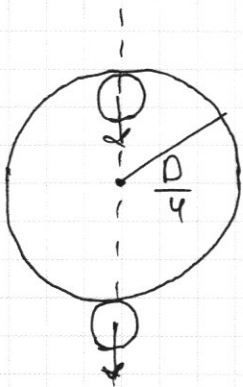
$$\boxed{l = 2F_0} \text{ ответ 1}$$

Не все лучи, прошедшие через  $\Lambda_1$ , проходят через  $\Lambda_2$ . Но

вместо на ток  $I$  накроется только когда мишень закроет нужные лучи.

$$\triangle OBA \sim \triangle OQR$$

$$\frac{OB}{OQ} = 2 = \frac{BA}{QR} \Rightarrow QR = \frac{AB}{2} = \frac{D}{2}$$



из графика:

$$\frac{2r}{v} = \tau_0$$

$$\frac{2 \cdot \frac{D}{4}}{v} = \tau_1$$

$$v = \frac{2 \cdot \frac{D}{8}}{\tau_0} = \boxed{\frac{D}{4\tau_0} = v} \text{ ответ 2}$$

$$\tau_1 = \frac{D}{2v} = \frac{4\tau_0}{2} = \boxed{2\tau_0 = \tau_1} \text{ ответ 3}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{3}{4}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_0} = \frac{3}{4}$$

$\Downarrow$

$$\frac{S_1}{S_0} = \frac{3}{4}$$

$$\frac{S_0 - S_r}{S_0} = \frac{3}{4}$$

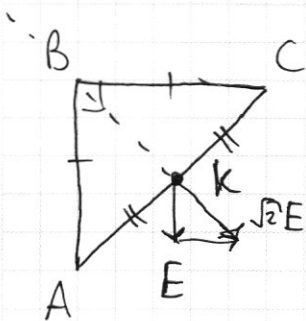
$$S_r = \frac{S_0}{4}$$

$$\pi r^2 = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^2}{4}$$

$$r = \frac{D}{8}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№3

$$\operatorname{tg} \frac{\pi}{4} = 1 \Rightarrow AB = BC$$

Когда заряжена только BC:  $\vec{E}_1 \perp BC$   
т.к.  $AK = KC$ ; пластинка BC бесконечная.

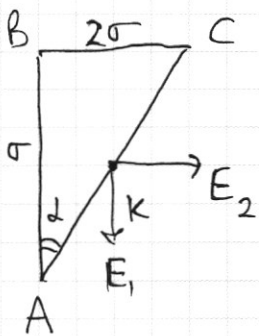
Когда заряжены обе пластинки:

по суперпозиции AB создаёт вектор  $\vec{E}_2 \perp AB$ ;  $|\vec{E}_2| = |\vec{E}_1|$

$$AB \perp BC \Rightarrow E = \sqrt{2} E_1$$

в  $\sqrt{2}$  раз

ответ 1



$$E_1 = \frac{2\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{4} + 1}$$

ответ 2

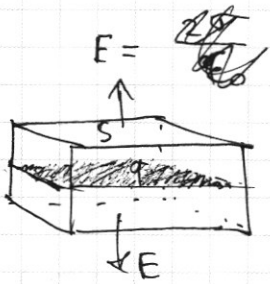
$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2}$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



Рынок

бас

басог

бас басог

$$E \cdot 2S = \frac{q}{\epsilon_0}$$

b

le

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$$

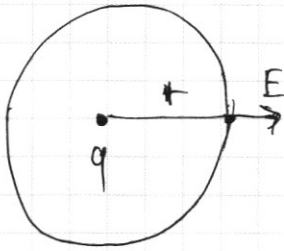
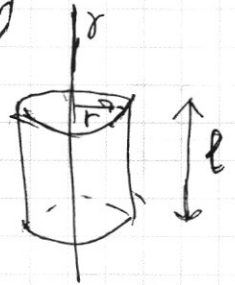
eee

ee

eee eee

$$\frac{2q}{\epsilon_0} \cdot 2S = \frac{4q}{\epsilon_0}$$

γ 2 1888



$$S = 4\pi r^2$$

$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}$$

$$E \cdot S = \frac{q}{\epsilon_0}$$

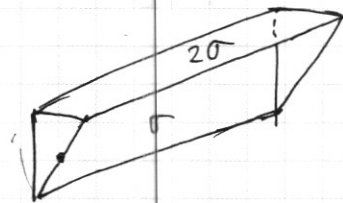
$$\varphi = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\frac{E \cdot \gamma}{\epsilon_0} = E \cdot 2\pi r l$$

$$E = \frac{\gamma}{2\pi r \cdot \epsilon_0}$$

$$\frac{4q}{\epsilon_0} = 4q \cdot k = E \cdot 4\pi r^2$$

$$E = \frac{4kq}{r^2}$$



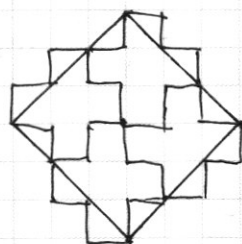
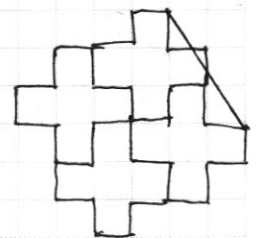
$$E = \frac{q}{5\epsilon_0}$$

$$E \cdot \frac{2q}{\sigma} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot S = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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

22  
x 365  
4  
1460



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

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

$$I(t) = -\frac{\varepsilon C}{\sqrt{LC}} \cdot \sin\left(\frac{\pi\sqrt{3LC}}{2\sqrt{3LC}}\right)$$

$$\frac{C \cdot (2A)^2}{2} - \frac{C \cdot A^2}{2} = \frac{C \cdot 3A^2}{2} = \frac{LI^2}{2}$$

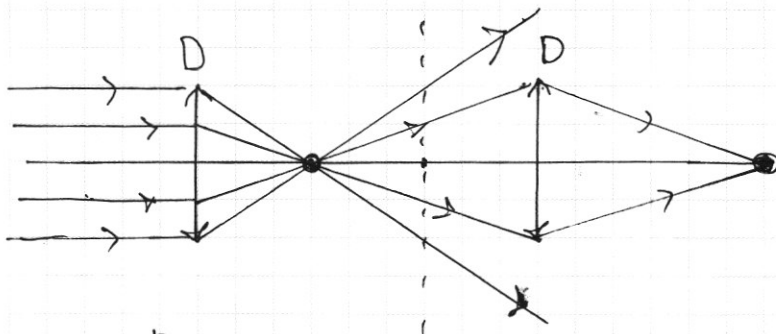
$$I_{mI} = \frac{\varepsilon}{C} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{LC}}$$

$$\frac{3}{C} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{C}\right)^2 = LI^2$$

$$I_{mII} = \frac{\varepsilon}{C} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{LC}}$$

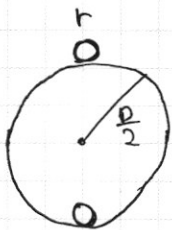
$$I_{mI}^2 = \left(\frac{\varepsilon}{C}\right)^2 \cdot \frac{3}{LC}$$

$$I_{mI} = \frac{\varepsilon}{C} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{LC}}$$



$$\frac{1}{2F} + \frac{1}{l} = \frac{1}{F}$$

$$l = 2F$$



$$\frac{2r}{v} = \tau_0 \Rightarrow v = \frac{2r}{\tau_0}$$

$$\frac{D}{v} = t_1$$

$$v = \frac{D}{2\tau_0}$$

$$t_1 = 2\tau_0$$

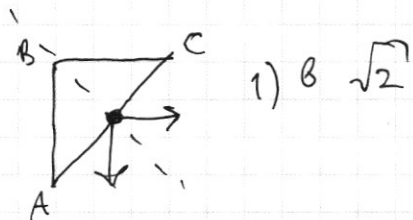
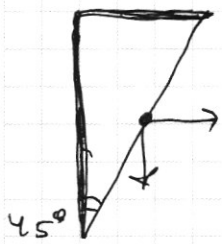


$$\frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi r^2} = 4$$

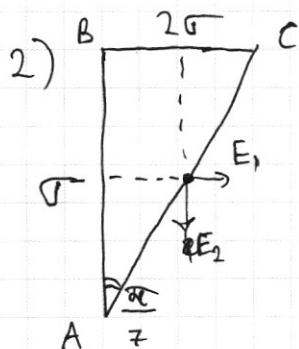
$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = 4r^2$$

$$\frac{D}{2} = 2r$$

$$r = \frac{D}{4}$$



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



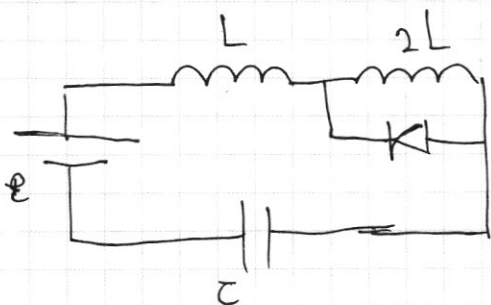
$$\frac{\frac{AC}{2} \cdot \sin \alpha}{\frac{AC}{2} \cdot \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$E \sim \frac{1}{R}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{AC}{2} \cdot \sin \alpha}{\frac{AC}{2} \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{2\sigma}{\sigma}$$

$$E_2 = 2 \operatorname{tg} \alpha \cdot E_1$$

$\tau$                      $\tau$   
 $\tau$                      $\tau$   
 $\tau$                      $\tau$   
 $\tau$                      $\tau$



$$A = \frac{\mathcal{E}}{C}$$

~~q = A \cdot \mathcal{E}~~

$$q = UC$$

$$q = \frac{\mathcal{E}}{C} - A \cdot \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)$$

$$q = \frac{\mathcal{E}}{C} \left(1 - \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)\right)$$

$$q/C + i\omega L = 0$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

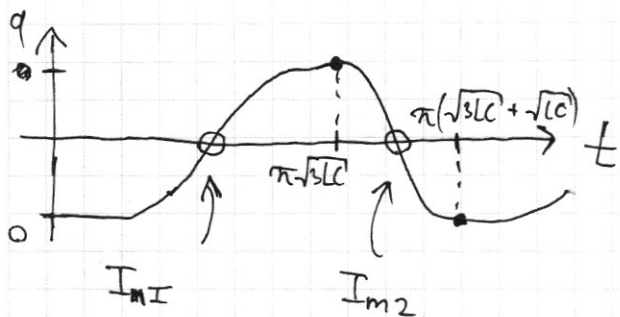
~~$T = 2\pi \sqrt{LC}$~~

$$T_1 = 2\pi \sqrt{3LC}$$

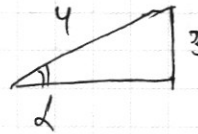
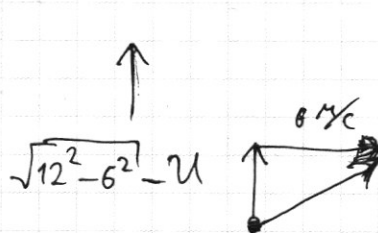
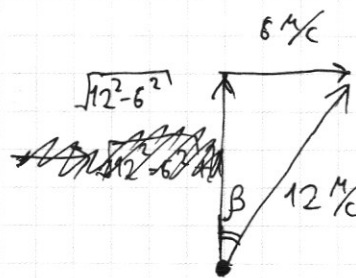
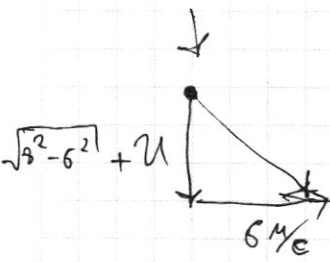
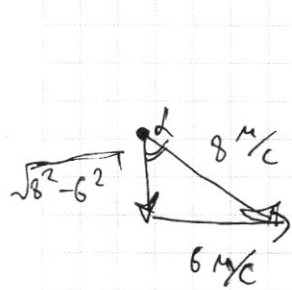
$$T_2 = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$I = -\frac{A}{\sqrt{LC}} \cdot \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)$$

$$I_{mI} = -\frac{A}{\sqrt{LC}} \cdot \sin\left(\frac{\pi \sqrt{3LC}}{2LC}\right) = -\frac{A}{\sqrt{LC}} \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\pi\right)$$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

144

64

36

$$v_2 = 12 \text{ м/с}$$

$$\sqrt{8^2 - 6^2} + u \geq 0$$

$$\sqrt{12^2 - 6^2} - u \geq 0$$

$$\sqrt{12^2 - 6^2} - u \leq \sqrt{8^2 - 6^2} + u$$

$$6\sqrt{3} - 2u \leq 2\sqrt{7}$$

$$2u \geq 6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}$$

$$u \geq 3\sqrt{3} - \sqrt{7}$$

$$u \leq 6\sqrt{3}$$

1  
× 8,31  
1,5  
405  
83  
12,35

$$(3\sqrt{3} - \sqrt{7}) < u < (6\sqrt{3})$$

$$pV_1 = \nu RT_1$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$$

$$p(V_1 + V_2) = \nu R(T_1 + T_2)$$

$$T_1 = T_2 = 400 \text{ K}$$

$$\Delta Q = \frac{7}{2} R \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot 8,3 \cdot 100 = 1236 \text{ Дж}$$

