



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

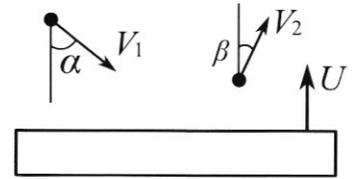
Класс 11

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  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{2}{3}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{3}{5}$ ) 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.

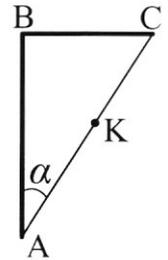
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве  $\nu = 3/5$  моль. Начальная температура аргона  $T_1 = 320$  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?

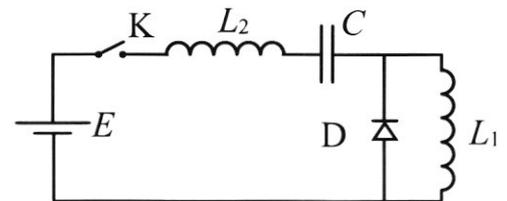
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $L_2$ .

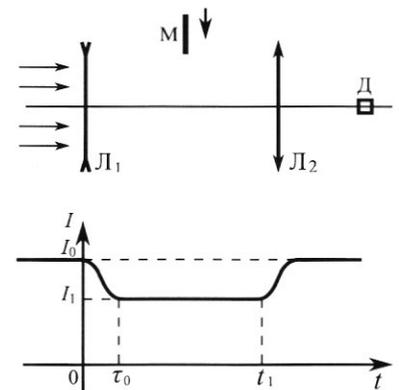


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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.

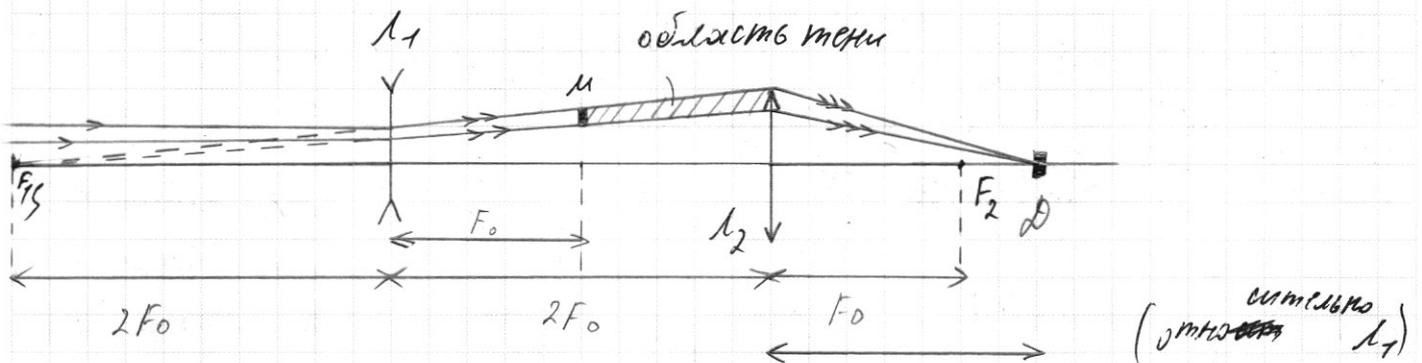
2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5



При прохождении лучей через  $L_1$  создается мнимый источник  $S$ , тогда ~~тогда~~ для  $L_2$ :  $\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} \Leftrightarrow \frac{1}{f} = \frac{3}{4F_0} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow f = \frac{4}{3} F_0$  2)  $I \sim \int_{\text{освещенной}}$ , т.к. интенсивность в  
лучке = const  $\Rightarrow \frac{I_0}{I_1} = \frac{17}{6} = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{S_{\text{осв}}}$ , но  $S_{\text{осв}} \neq S_{\text{осв}_0} - S_{\text{тени}}$

т.к. мишень не вплотную прилегает к  $L_2$ .  $S_{\text{осв}} = S_{\text{осв}_0} - S_{\text{тени}}$

$S_{\text{тени}} = \frac{4}{3} \cdot S_{\text{мишени}} = \frac{4}{3} \pi \frac{d^2}{4}$ , где  $d$  - диаметр мишени.

$$\text{т.о. } \frac{17}{6} = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{\pi \frac{D^2}{4} - \pi \frac{d^2}{4}} \Leftrightarrow \frac{6}{17} = 1 - \frac{d^2}{D^2} \Leftrightarrow \frac{d}{D} = \sqrt{\frac{11}{17}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow d = D \sqrt{\frac{11}{17}}$$

~~тогда~~  $I(t)$  достигает  $I_1$  когда освещенной

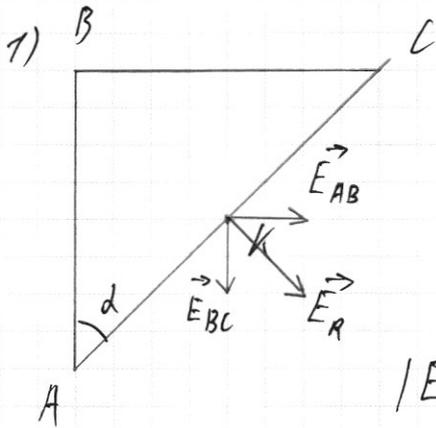
окажется вся поверхность мишени  $\Rightarrow v = \frac{d}{\tau_0} = \frac{D}{\tau_0} \sqrt{\frac{11}{17}}$

3)  $t_1$  - последний момент, когда вся поверхность мишени освещена  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{D}{v} = \tau_0 \sqrt{\frac{17}{11}}$$

Ответ: 1)  $f = \frac{4}{3} F_0 \sqrt{\frac{17}{11}}$   
2)  $v = \frac{D}{\tau_0} \sqrt{\frac{11}{17}}$   
3)  $t_1 = \tau_0 \sqrt{\frac{17}{11}}$

N3

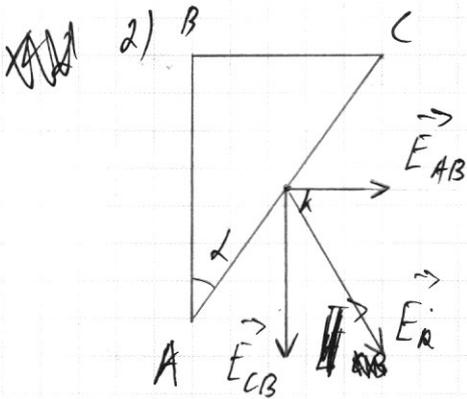


$$E = \frac{b}{2\epsilon\epsilon_0}$$

$$\vec{E}_R = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}$$

$$|E_R| = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{2} E_{BC}$$

тогда, \* координаты в точке K изменятся в  $\sqrt{2}$  раз



$$\vec{E}_R = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{CB}$$

$$|E_R| = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{b}{2\epsilon\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\frac{3}{2}b}{2\epsilon\epsilon_0}\right)^2} =$$

тк. пластины бесконечные, то можно пользоваться формулой E для бесконечных

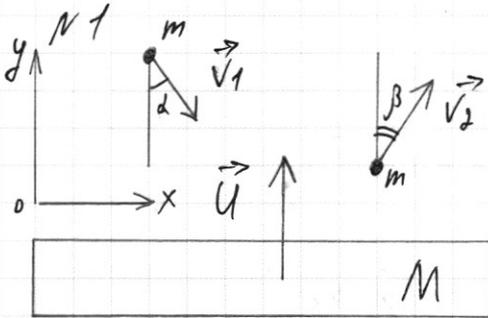
пластин:  
 $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2}\right)^2 \left(\frac{b}{2\epsilon\epsilon_0}\right)^2} = \frac{b}{\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{3}{\sqrt{14}}$$

Ответ: 1)  $\frac{E_{q0}}{E_{поле}} = \sqrt{2}$

2)  $\frac{b}{\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{3}{\sqrt{14}} = E_K$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) ЗИИ: ОХ:  $m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta + M U'_x$

тк.  $\vec{U} = \text{const}$  и  $\vec{U} \perp \vec{Oy}$ , то

$$U_x = 0 \Rightarrow m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} =$$

$$= 18 \cdot \frac{20}{9} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) ~~Значение U зависит от степени~~

упругости удара. Так, если удар почти абсолютно неупругий, то  $v_2 \cos \beta = U$ , тк. шарик и плита теперь движутся вместе.

т.е.  $U = v_2 \cos \beta = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{4}{5} = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  - верхняя граница

$U$ , тк при  $U > 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  плита толкнет шарик и будет его толкать вперёд со своей скоростью.

~~Что больше упругости удара, тем больший вклад в вертикальную составляющую импульса шарика после удара будет вносить  $v_1$ . Тогда, минимально возможную  $U$  можно найти из рассмотрения почти абсолютно упругого удара:~~

~~ЗИИ: Оу:  $-m v_1$~~

~~ЗУИ для шарика:  $-m v_1 \cos \alpha + \Delta P = m v_2 \cos \beta \Rightarrow$~~

~~$\Rightarrow \Delta V = v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha$~~

~~тк. можно пообразить так~~

ЗУИ для шарика:  $-m v_1 \cos \alpha + \Delta P = m v_2 \cos \beta \Rightarrow$

$\rightarrow \Delta V = 20 \cdot \frac{4}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}} + 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} \frac{\text{м}}{\text{с}} = (16 + 6\sqrt{5}) \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 $v_2 \cos \beta \gg v_1 \cos \alpha$

~~тк. при нулевой ударе скорость будет~~

$U_{\min} \neq 0$ , тк. при абсолютно упругом ударе при ударе близком к углу  $|v_1 \cos \alpha|$  было бы равно  $(v_2 \cos \beta)$  т.о.  $U \in (0; 16) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

- Отв: 1)  $v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 2)  $U \in (0; 16) \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N 2

$v T_1 P v_1$	$v T_2 P v_2$
$A_r$	$K_r$

тк. поршень перемещается медленно, то можно сказать, что происходит это из-за изменения

температуры  $T$ , а не разности  $P \Rightarrow P_1 = P_2 = P = \text{const}$

т.о:  $P v_1 = \nu R T_1$   
 $P v_2 = \nu R T_2$  }  $\Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320 \text{ K}}{400 \text{ K}} = \frac{4}{5}$

ЗСЭ для газов  $V$ :  
 тк. цилиндр теплоизолир.

$\frac{3}{2} \nu k T_1 + \frac{3}{2} \nu k T_2 = \frac{3}{2} \nu k T_{\text{ср}} + \frac{3}{2} \nu k T_{\text{ср}}$

$\Rightarrow T_{\text{ср}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 360 \text{ K}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$3) Q_{Ar} = A_{Ar} + \Delta U_{Ar} = P \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta T =$$

$$= P(V_1' - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_{yem} - T_1)$$

$$\left. \begin{array}{l} P V_1' = \nu R T_{yem} \\ P V_1 = \nu R T_1 \end{array} \right\} \Rightarrow V_1' = V_2' \Rightarrow \begin{cases} V_1 = \frac{4}{9} V_{оду} \\ V_1' = \frac{4,5}{9} V_{оду} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_1' - V_1 = \frac{1}{18} V_{оду} = \frac{1}{18} \cdot \frac{9}{4} \cdot V_{оду} = \frac{1}{8} V_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{Ar} = P \cdot \frac{1}{8} V_1 + \frac{3}{2} \nu R (T_{yem} - T_1) =$$

$$= \frac{1}{8} \cdot \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R (T_{yem} - T_1) = \frac{1}{8} \cdot \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_{yem} - \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$

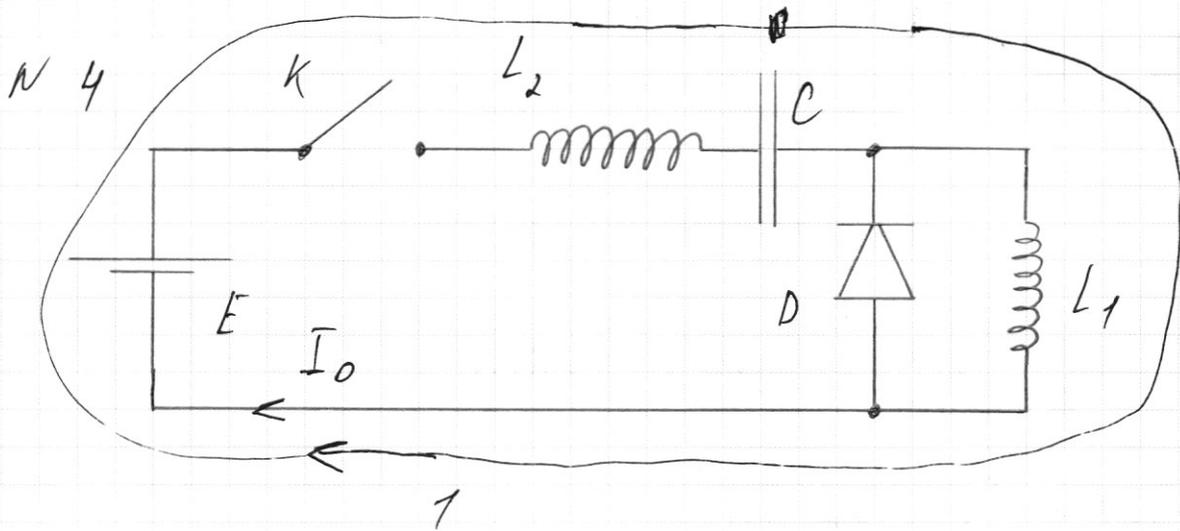
$$= \left( \frac{320 \text{ K}}{8} + \frac{3}{2} (40 \text{ K}) \right) = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \frac{9}{5} (40 \text{ K} + 60 \text{ K}) =$$

$$= 8,31 \text{ Дж} \cdot \frac{9}{5} \cdot 100 = 8,31 \cdot 60 \text{ Дж} = 498,6 \text{ Дж}$$

$$\text{Отв: 1) } \frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{5}$$

$$2) T_{yem} = 360 \text{ K}$$

$$3) Q_{Ar} = 498,6 \text{ Дж}$$



Когда  $I_0 \uparrow \uparrow$  направление обхода 1:  $I_D = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \text{П.к.г.р. } \textcircled{1}: \quad \mathcal{E} - L_2 \frac{dI_0}{dt} - \frac{q}{C} - L_1 \frac{dI_0}{dt} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{E} - \frac{q}{C} = (L_1 + L_2) \ddot{q} \Leftrightarrow \frac{\mathcal{E}}{L_1 + L_2} - \frac{q}{C(L_1 + L_2)} = \ddot{q} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{к.р. } q(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) \quad \left. \begin{array}{l} \Rightarrow B = 0 \end{array} \right\}$$

~~$q(0) = 0$~~

~~$\omega = \sqrt{\frac{1}{C(L_1 + L_2)}}$~~

~~$T = 2\pi \sqrt{C(L_1 + L_2)}$~~

$$t=0 \quad \mathcal{E} - L_2 \ddot{q}_0 - L_1 \ddot{q}_0 = 0 \Rightarrow \ddot{q}_0 = \frac{\mathcal{E}}{L_1 + L_2} \Rightarrow$$

$$\ddot{q}(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t) - B\omega^2 \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = \frac{\mathcal{E}}{(L_1 + L_2)\omega^2} = \\ I_0(0) = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \omega^2 = \frac{1}{(L_1 + L_2)C} \\ A = q_{\max} \\ = \frac{\mathcal{E}}{(L_1 + L_2)\omega} \cdot \sqrt{\frac{1}{C}} = \\ = \mathcal{E} \sqrt{\frac{C}{L_1 + L_2}} \end{array} \right.$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$q_{\max} = \frac{\varepsilon}{(L_1 + L_2)\omega} = \varepsilon C \Rightarrow$$

→ когда  $I_0$  начнет течь против обхода  $\tau$ :

$$U_D = 0 \Rightarrow |L_1 \frac{dI_1}{dt}| \Rightarrow \text{пока ток течет через}$$

$$D, I_1 = \text{const} = 0$$

$$\text{В } \omega \text{ в } \text{мгн} \text{ время } I_0 \uparrow \downarrow \emptyset: \sqrt{\frac{1}{L_2 C}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{\text{обл}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \pi \left( \sqrt{C(L_1 + L_2)} + \sqrt{L_2 C} \right)$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v_{xy} = 18 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{9}} = 18 \cdot \frac{\sqrt{16}}{3} = 6\sqrt{8}$$

$$36 \cdot 5 = 180$$

$$10 \cdot \frac{4}{5} = \frac{40}{5} = 8$$

$$P V_1 = \nu k T = P V_2 \Rightarrow$$

$$\hookrightarrow V_1 = V_2$$

$$P V = \nu R T$$

$$P = \nu k T$$

$$P = \frac{2}{3} k T$$

$$E = \frac{3}{2} k T + \frac{3}{2} k T \Rightarrow$$

$$-m u + \Delta P = m u \Rightarrow \Delta P = 2 m u = \frac{3}{2} k T_{cm} \Rightarrow$$

$$P = \nu k T \Rightarrow T_{cm} = T$$

$$\Delta V = v_2 \cos \beta + v_1 \cos \alpha$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{m u^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m u^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2} \Rightarrow v_1 = v_2$$

$$F \Delta \delta = \Delta q(0) = 0 \Rightarrow B = 0 \Rightarrow$$

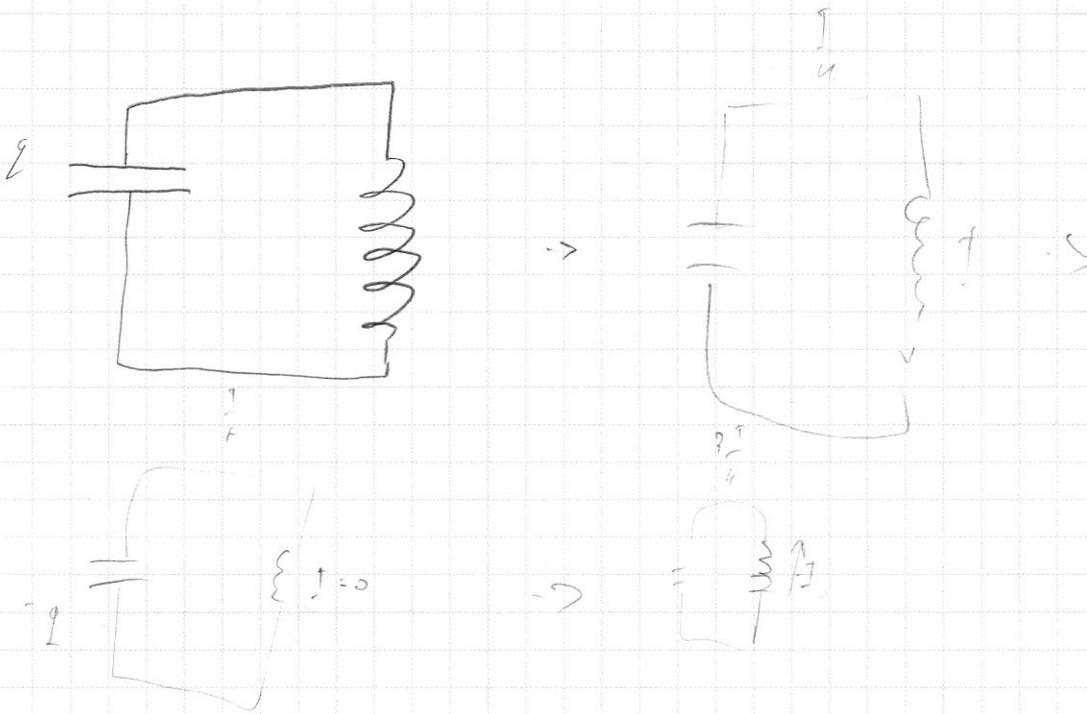
$$\rightarrow q(\delta) = A \cos \omega t$$

$$10 \cdot \frac{4}{5} = 8$$

$$v_1 \cos \alpha = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} = 6\sqrt{5} \text{ м}$$

$$\frac{831}{000} = 831$$

$$\frac{4986}{44860}$$



$$i = -A\omega \sin(\omega t) \quad \text{и} \quad \omega A$$

$$q(t) = A \cos(\omega t)$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\vec{v}_1$   $\alpha$   $\vec{v}_2$   $\beta$   $\vec{U}$

$\vec{v} = 18 \text{ c.u.}$

$Ox: m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$   
 $Oy: -m v_1 \cos \alpha = m v_2 \cos \beta$

$Ox: m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$   
 $Oy: -m v_1 \cos \alpha$

$v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \frac{\mu}{c} \cdot \frac{\frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{10}{9} \cdot 18 \frac{\mu}{c} = 20 \frac{\mu}{c}$

2) удар полностью неупруг

$v$	$T_1$	$P_1 V_1$	$v$	$T_2$	$V_2 P_2$
-----	-------	-----------	-----	-------	-----------

$$\left. \begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu R T_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$U = \text{const} \Rightarrow P O x = P_{m O x} = \text{const}$

$U \leq 20$