

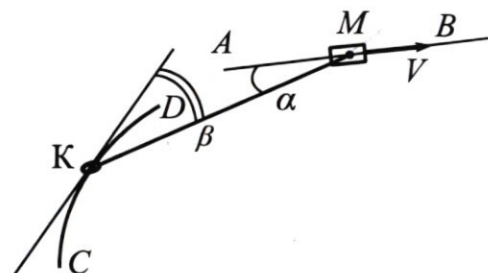
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без в.

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



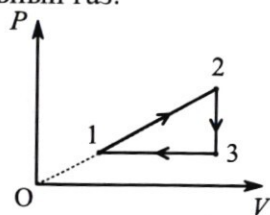
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

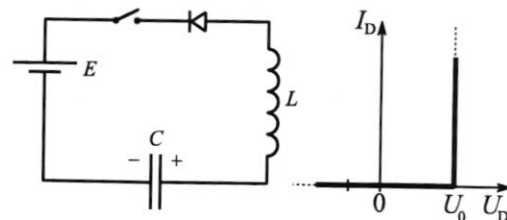
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

2) Найдите напряжение U на конденсаторе.

3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.

2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.

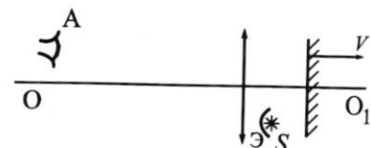
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель A сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Пусть потенциал отрицательной обкладки 0, тогда на расстоянии $0,2d$ от положит. обкладки потенциал будет $\Delta\varphi = \varphi_{\text{конц}} - 0 = -(-E_{\text{конд}}) \cdot 0,2d = 0,2d E_{\text{конд}}$

по З.С.Э: $\frac{mV_0^2}{2} = q\varphi_0 - q\varphi \Rightarrow V_0 = \sqrt{2\varphi_0}$

$\varphi_0 = 0,2d \cdot \frac{U}{d} = 0,2U = \frac{5V_1^2}{8} \cdot 0,8$ потенциал на бесконечности

$V_0 = \sqrt{2 \cdot 5V_1^2 \cdot 0,8} = 2V_1\sqrt{2}$

Ответ. $T = 1,6 \frac{d}{V_1}$
 $U = \frac{5V_1^2}{8}$
 $V_0 = 2V_1\sqrt{2}$

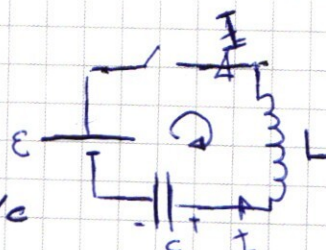
Задача № 4

1) Напишем II-ой закон Кирхгофа для цепи

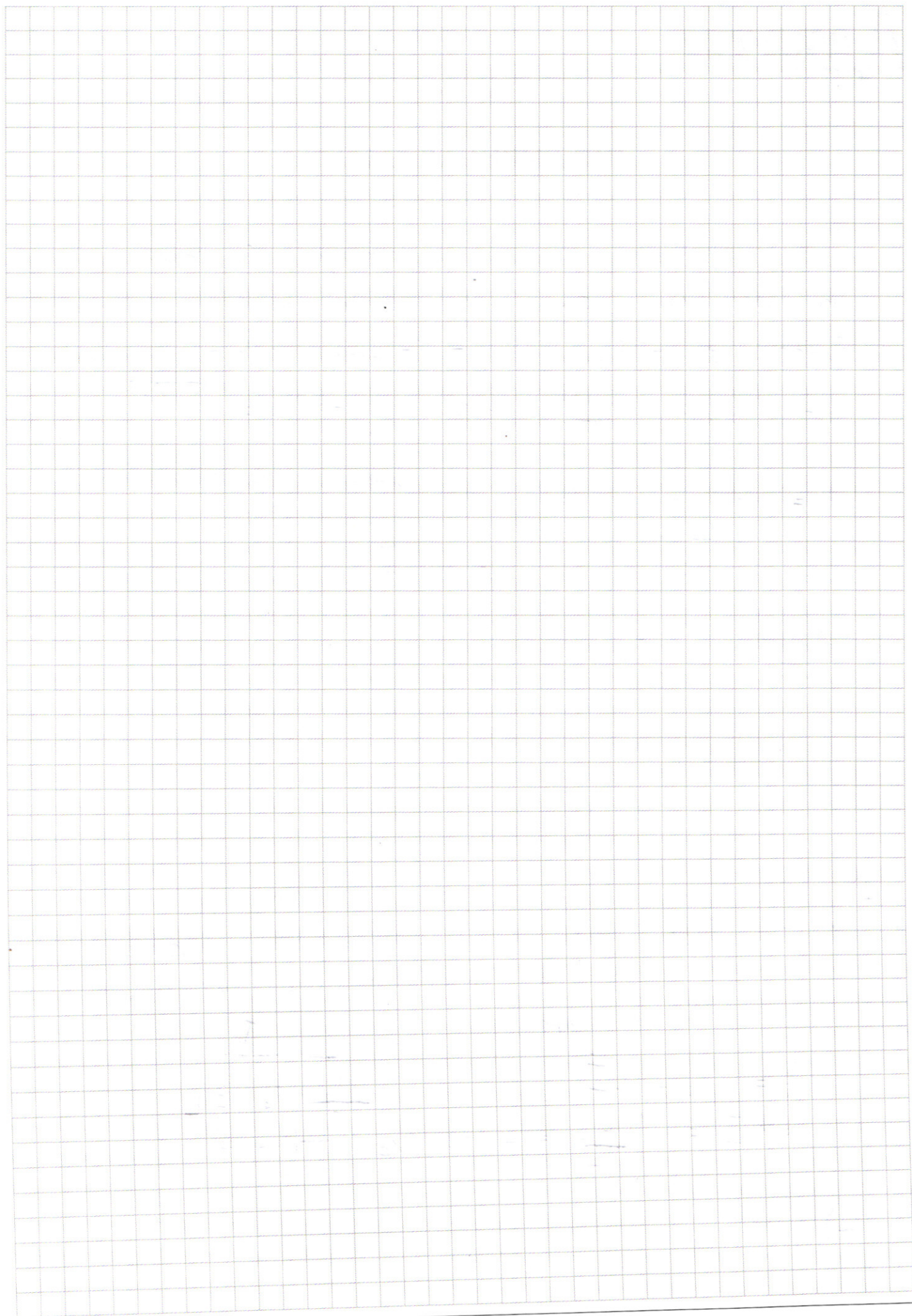
(ток будет течь против направления обхода, причем диод будет пропускать ток, поэтому его нет в Кирхгофе)

$\mathcal{E} = U_c - LI$

$\Rightarrow I = \frac{U_c - \mathcal{E}}{L} = \frac{3}{0,2} = 15 \text{ A}$

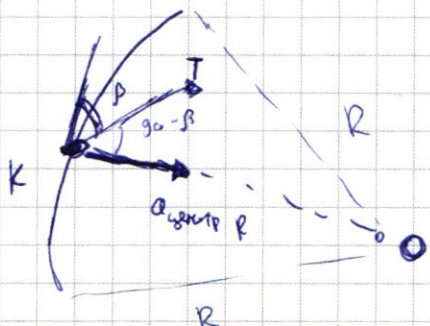


2) —



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) Найдём силу натяжения троса:



~~а центр c) к~~ $| = \frac{v^2}{R}$

$|T| \cdot \cos(90^\circ - \beta) = \frac{mv^2}{R}$ по II З.Н

$|T| = m \frac{v^2}{R} = \frac{m v^2 \cos^2 \beta}{R \cdot \cos^2 \beta} \cdot \frac{1}{\sin \beta}$

$|T| = \frac{1 \cdot 40^2 \cdot \frac{3^2}{5^2}}{1,4 \cdot \frac{8^2}{17^2}} \cdot \frac{1}{\frac{15}{14}} = \frac{201^2}{15} \cdot \frac{1}{\frac{15}{14}} = \frac{201^2}{15} \cdot \frac{14}{15}$

$= 6 \cdot 14^3 \cdot 0,01^2 \approx 6 \cdot 16^3 \cdot 0,01^2 = 6 \cdot 4096 \cdot 0,01^2 =$

$= 6 \cdot 0,4096 \approx 6 \cdot 0,4 = \underline{\underline{2,4 \text{ Н}}}$

Ответ:

$|u| = 51 \text{ м/с}$

$|u_{\text{пол}}| = 85 \text{ м/с}$

$|T| = 2,4 \text{ Н}$

№ 3

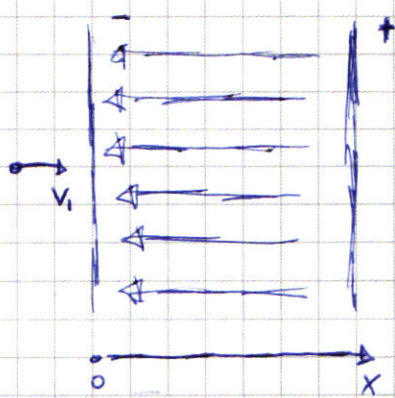
1) Поле внутри конденсатора:

~~$E = \frac{U}{d}$~~ $E = \frac{U}{d}$

откуда, ~~хуже~~ ускорение частицы вызванное кулоновской силой будет $|a| = \frac{U}{d} \gamma$

2) Очевидно, что частица влетела в со

сторону отрицательно заряженной обкладки, иначе бы он никогда не остановился, т.е. он прошел путь



$0,8d$;

2) Решим кинематическую задачу

$$V(t) = V_1 - at$$

$$x(t) = 0 + v_1 t - \frac{at^2}{2}$$

$$\begin{cases} V(T) = 0 \\ x(T) = 0,8d \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} |a| = \frac{V_1}{T} \\ v_1 T - \frac{v_1}{2} T^2 = 0,8d \end{cases} \Rightarrow V_1 T = 1,6d \Rightarrow T = 1,6 \frac{d}{V_1}$$

$$\Rightarrow |a| = \frac{10V_1^2}{16d} = \frac{5V_1^2}{8d}$$

3) Из п.1: $|a| = \frac{U}{d} \gamma$;

$$\Rightarrow U = \frac{5V_1^2}{\gamma}$$

4) Чтобы найти V_0 воспользуемся законом сохранения энергии:

$$\begin{aligned} \frac{mV_0^2}{2} &= q\varphi_0 \\ \varphi_0 - 0 &= E_{\text{конд}} - (-E_{\text{конд}})0,8d \\ \varphi_0 &= E_{\text{конд}} \cdot 0,8d \end{aligned}$$

(φ_0 - потенциал на расстоянии $0,8d$ от положительно заряженной обкладки)
 потенциал на бесконечности 0

см. след. блок.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

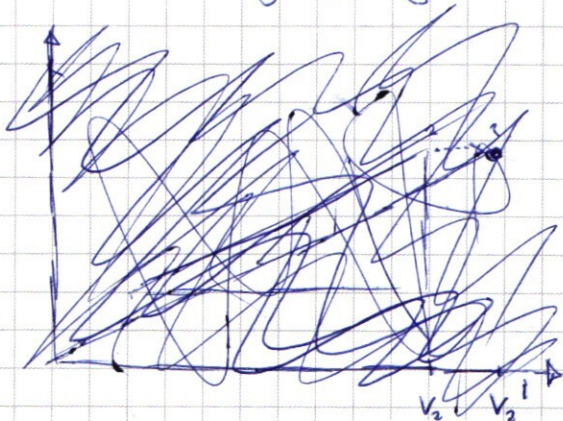
$$|Q_{\text{хол}}| = \frac{3}{2} k V_2 (V_2 - V_1) + \frac{5}{2} k V_1 (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{3}{2} k (V_2^2 - V_1^2) + k V_1 (V_2 - V_1)$$

т.е. КПД $\eta = 1 - \frac{|Q_{\text{хол}}|}{Q_{\text{нагрева}}} = \frac{1}{3} - \frac{V_1}{V_1 + V_2}$

~~и так как $V_1 < V_2$~~

~~и для увеличения КПД нужно "попытаться" увеличить V_2 ,
то же необходимо увеличить V_1 .~~



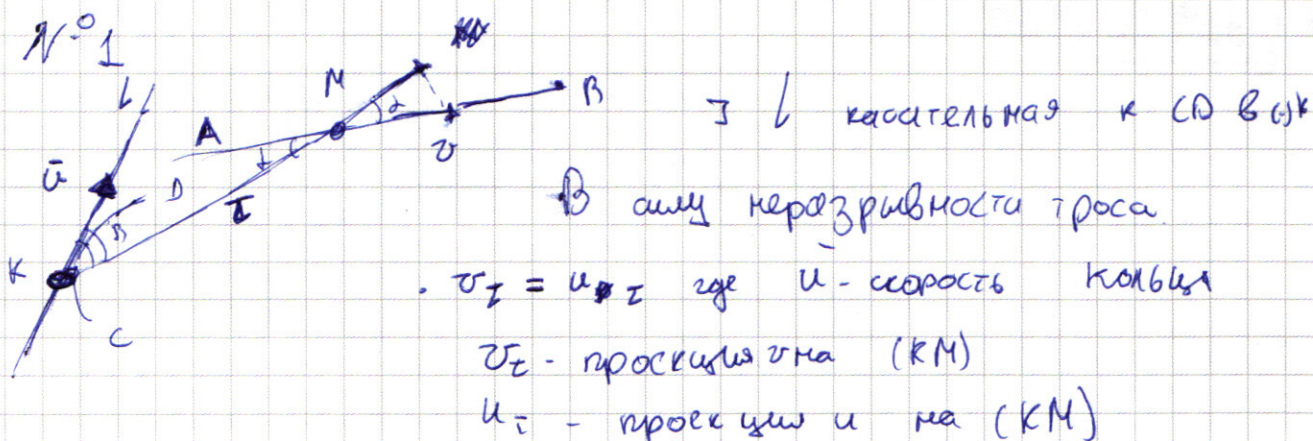
т.к. единственное ограничение на состояние 1 и 2, это то что $P_i = k V_i$, $i \in \{1, 2\}$, то возможна ситуация

когда $V_1 \ll V_1 + V_2$ а значит $\frac{V_1}{V_1 + V_2} \approx 0$,

т.е. $\eta_{\text{max}} = \frac{1}{3}$

Ответ: пункт 1): $\frac{5}{3}$ ($\frac{c_3 - c_1}{c_2 - c_3}$)
пункт 2): 4
пункт 3): $\eta_{\text{max}} = \frac{1}{3}$

См. след. блок

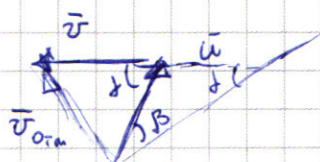


$$\begin{cases} v_{\tau} = |v| \cdot \cos \alpha; \\ u_{\tau} = |u| \cdot \cos \beta \end{cases}$$

откуда: $|u| = |v| \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 40 \cdot \frac{\frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} =$

$$|u| = 3.14 = \underline{51 \text{ см/с}}$$

2) Вычтем из вектора $\vec{u}$ вектор $\vec{v}$:



$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{u} - \vec{v}$ и есть искома
скорость

по т. об. о внешнем угле: $\gamma = \beta + \alpha$

по т. косинусов:

$$|\vec{v}_{\text{отн}}| = \sqrt{|\vec{u}|^2 + |\vec{v}|^2 - 2|\vec{u}||\vec{v}|\cos \gamma} =$$

$$= |v| \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} + 1 - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} (\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta)}$$

$$= \sqrt{51^2 + 40^2 - 2 \cdot 51 \cdot 40 \cdot \left(\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \sqrt{1 - \frac{3^2}{5^2}} \sqrt{1 - \frac{8^2}{17^2}} \right)}$$

$$= \sqrt{2601 + 1600 - 4080 \left(\frac{24}{85} - \sqrt{\frac{4^2}{5^2}} \cdot \sqrt{\frac{15^2}{17^2}} \right)} =$$

$$= \sqrt{3201 - 4080 \left(\frac{24}{85} - \frac{4 \cdot 15}{85} \right)} = \sqrt{5201 + 4080 \cdot \frac{36}{85}} =$$

$$\approx \sqrt{7275} = \underline{85 \text{ см/с}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

• Отсюда угол: $\tan \alpha = \left| \frac{u_y}{u_x} \right| = \left| \frac{1.6}{2.25} \right| \approx \frac{1.5}{2.25} = \frac{1}{1.5} =$
 $= \underline{\underline{0.666}}$

• А скорость $u = \sqrt{u_y^2 + u_x^2} = \sqrt{2.25^2 + 1.6^2} =$
 $= \sqrt{5.0625 + 2.56} \approx \underline{\underline{2.45 \text{ м/с}}}$
это что-то около $2.4^2 = 2.8^2$

Ответ: расстояние: 2,5 F

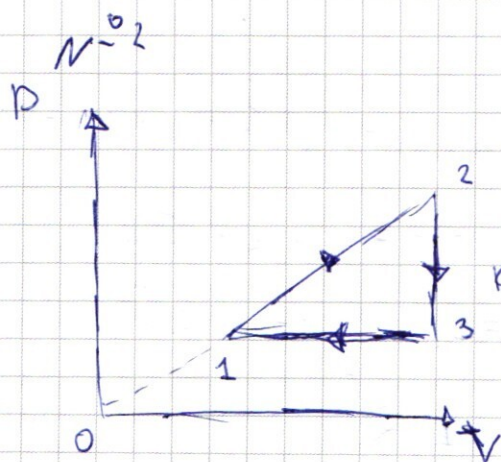
$\tan \alpha$: 0,666 (угол скорости)

Скорость u : 2,45 м/с (направление на рис)

$$\begin{array}{r} 27 \\ \times 27 \\ \hline 189 \\ 54 \\ \hline 729 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 27 \\ \times 27 \\ \hline 189 \\ 54 \\ \hline 729 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 16 \\ \times 16 \\ \hline 96 \\ 161 \\ \hline 256 \end{array}$$



1) Понижение температуры происходит на участках

2-3 и 3-1 т.к.

$$dT = \tilde{k} d(PV), \tilde{k} > 0$$

$$d(PV) = P dV + V dP, \text{ на}$$

• 1-2 $dV > 0, dP = 0 \Rightarrow dT > 0$

• 2-3 $dV = 0; dP < 0 \Rightarrow dT < 0$

• 3-1 $dP = 0; dV < 0 \Rightarrow dT < 0$

1-ое начало

$$C_{2 \rightarrow 3} = C_V = \frac{3}{2} R$$

$$C_{3 \rightarrow 1} = C_P = \frac{5}{2} R$$

Отсюда $\frac{C_{3 \rightarrow 1}}{C_{2 \rightarrow 3}} = \underline{\underline{\frac{5}{3}}}$

2) $\square P = kV$ на $1 \rightarrow 2$.

То же из ур. К.М.: $kV^2 = JR \Delta T$, откуда:

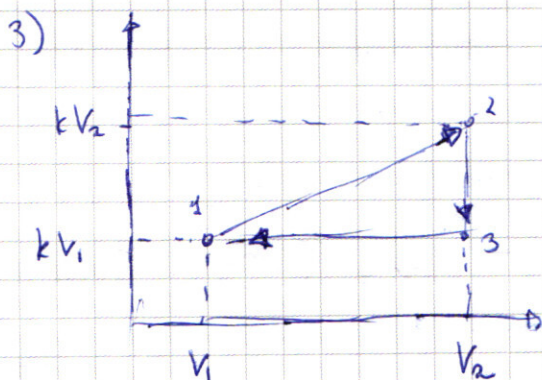
• $dT = \frac{2k}{JR} V dV$

• по формуле из I-ого закона:

• $dQ_{12} = dU_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} JR dT + P dV =$
 $= \frac{3}{2} 2k V dV + k V dV = 4k V dV$

• $A_{12} = P dV = kV dV$, откуда $\frac{dQ}{A} = 4$,

а значит $\frac{\int_1^2 dQ}{\int_1^2 A} = 4$ { это в том, что интеграл dQ по V из объема V состоит в объеме k состоит 2 равен 4 интегралом $A = P dV$ из V_1 в V_2



$\Delta Q_{нагрева} = \int_{V_1}^{V_2} dQ_{12} = 4k(V_2^2 - V_1^2)$

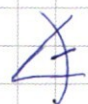
$\Delta Q_{холос} = Q_{23} + Q_{34}$

• $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} JR \Delta T_{23} =$
 $= \frac{3}{2} JR \cdot V_2 \cdot \frac{k(V_1 - V_2)}{JR}$

• $Q_{34} = \Delta U_{34} + A_{34} = \frac{3}{2} JR \Delta T_{34} + kV_1(V_1 - V_2) =$
 $= \frac{3}{2} JR \frac{kV_1(V_1 - V_2)}{JR} + kV_1(V_1 - V_2)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача № 5



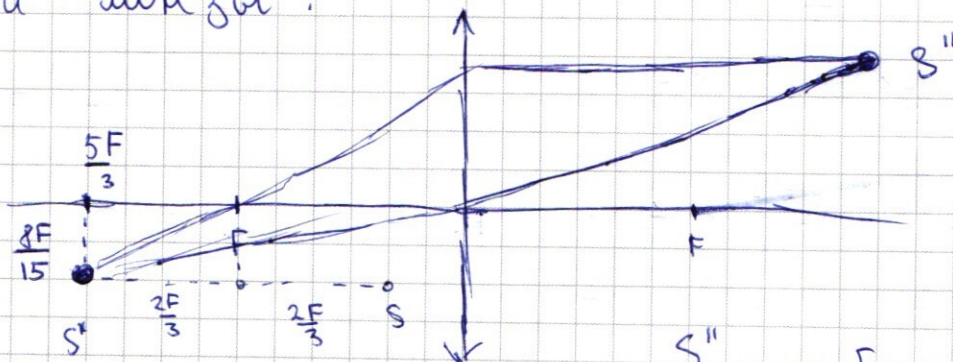
1) S' - изображение S в зеркале;

Скорость ($\cdot$) S' составит $2V$ (направлена см. рисунок)

Δd - расстояние от ($\cdot$) S до зеркала;
тогда расстояние $|SS'|_0 = 2\Delta d$

через время Δt : расстояние от S до зеркала
будет $\Delta d + v\Delta t$, а $|SS'|_{\Delta t} = 2\Delta d + 2v\Delta t$,
откуда $v_{S'} = \frac{|SS'|_{\Delta t} - |SS'|_0}{\Delta t} = 2V$

2) Теперь, чтобы узнать поведение изображения достаточно рассмотреть систему из источника S' и линзы:



S'' - изображение S' в линзе

3) Вычислим расстояние до плоскости линзы по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}, \quad \text{где } f - \text{расстояние до } S' \left(\frac{5F}{3}\right)$$

d - расстояние до изображения

$$\Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{5}{5F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F} \Rightarrow \underline{d = 2.5 F}$$

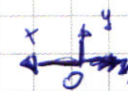
4)* Определим скорость течения, ^{вдоль оси линзы;} зная, что скорость (1) S' составляет $2V$:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{d}{f \cdot d} \quad d = \frac{f \cdot f}{f - F} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_x = F \left(\frac{v(f - F) - f v}{(f - F)^2} \right) = -v \left(\frac{F}{f - F} \right)^2 =$$

$$= -v \left(\frac{F}{\frac{2}{3}F} \right)^2 = -2.25 v$$

5) В эту подобию:

• $h' = h \cdot \frac{d}{f}$, откуда 

• $u_y = h \left(\frac{d}{f} \right)' = h \cdot \frac{d'f - f'd}{f^2}$

• $u_y = h \cdot \frac{u_x f - 2vd}{f^2} = h \cdot \frac{-2.25v \cdot \frac{5F}{3} - 2v \cdot 2.5F}{\frac{5^2 F^2}{3^2}} =$

• $u_y = -\frac{h \cdot v}{F} \left(\frac{2.25 \cdot \frac{5}{3} + 5}{5^2} \right) = -\frac{h \cdot v}{F} \left(\frac{3.5 \cdot 2.25 + 4.5}{2.5} \right)$

$= -\frac{h \cdot v}{F} \left(\frac{6.75 + 9}{5} \right) = -\frac{h \cdot v}{F} \cdot \frac{15.75}{5} =$

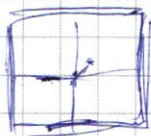
$= - \left(-\frac{8F}{15} \right) \cdot \frac{v}{F} \cdot 3.15 = v \cdot \frac{8 \cdot 3.15}{15} = v \cdot \frac{8 \cdot 3}{15} =$

$= v \cdot \frac{8}{5} = \underline{1.6v}$

* Здесь u - скорость S'' , $\begin{cases} u_x - \text{проекция скорости } u \text{ на} \\ u_y - \text{на оси } OX \text{ и } OY \text{ соотв} \end{cases}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{A + dU}{dT} = C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{\frac{3}{2} J R dT}{dT} = \frac{3}{2} R$$



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

$$dQ = dU + dA$$

$$dQ = \frac{3}{2} J R dT + P dV$$

$$C_{\text{своб}} = \frac{5}{2} R$$

$$P = kV$$

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

$$\int dQ = 4kV dV$$

$$Q_2 - Q_1 = 4k(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\sigma = \frac{q}{S} = \frac{CQ}{S}$$

$$P_1 V_1 = J R T_1$$

$$P_2 V_2 = J R T_2$$

$$kV_1^2 - V_2^2 = (T_2 - T_1) J R$$

$$\Delta \varphi = E dP$$

$$\Delta \varphi = -E a n \frac{1}{2} V$$

~~Уравнение~~

7

0.

$$\varepsilon = ? + L \dot{I} + U_C$$

LC контур

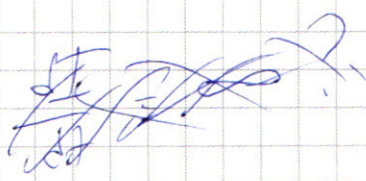
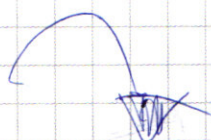
катушка

$$\varepsilon = \frac{q}{C} + L \dot{I}$$

$$\frac{dI}{dt} = \dots$$

EC

$$\dots = EC + \dots$$



$$\varepsilon_0 = \varepsilon - U_C + L \dot{I}$$