

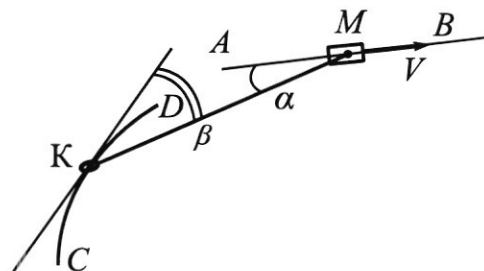
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без

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.



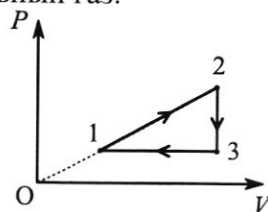
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

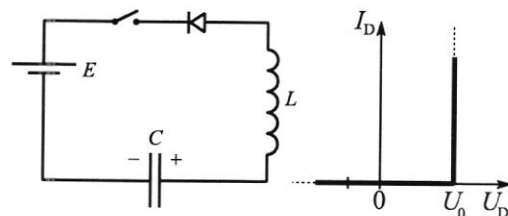
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке,

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.

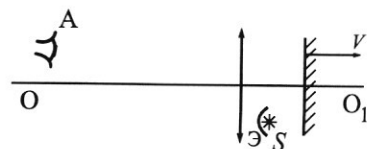


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 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

√2 $pV = \nu RT$, одноатомный газ $\Rightarrow i = 3$

1) Понижение температуры происходит в процессах 2-3 и 3-1

2-3 - изохора $\Rightarrow A_{2-3} = 0$, $\Delta U_{2-3} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$ ~~$\Delta T = \frac{p \Delta V}{\nu R}$~~ $\Rightarrow$

$\Rightarrow Q = \frac{i}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow C_{2-3} = \frac{Q}{\nu \Delta T} = \frac{i}{2} R = 12,465 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

3-1 - изобара $\Rightarrow A_{3-1} = p \Delta V$, $\Delta U_{3-1} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$, $\Delta T = \frac{p \Delta V}{\nu R} \Rightarrow$

$\Rightarrow Q_{3-1} = p \Delta V + \frac{i}{2} p \Delta V = \frac{i+2}{2} p \Delta V \Rightarrow C_{3-1} = \frac{Q_{3-1}}{\nu \Delta T} = \frac{i+2}{2} R = 20,775 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Ответ. $C_{2-3} = 12,465 \text{ Дж/К}$, $C_{3-1} = 20,775 \text{ Дж/К}$

2) В процессе 1-2 $p = \alpha V$, где $\alpha = \text{const}$

$A_{1-2} = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2 + V_1) (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$ - площадь под графиком

~~$\Delta T = \frac{p \Delta V}{\nu R}$~~ $T = \frac{pV}{\nu R} = \frac{\alpha V^2}{\nu R}$ $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \frac{\alpha V_2^2 - \alpha V_1^2}{\nu R} = i \cdot \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) =$

$= i \cdot A$

$Q = A + \Delta U = (i+1) A$

~~$\frac{Q}{A} = i+1 = 4$~~ $\frac{Q}{A} = i+1 = 4$

Ответ. $\frac{Q}{A} = 4$

3) $\eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_{\text{н}}} \quad Q_{\text{н}} = Q_{1-2} = (i+1) \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$

$A_{\text{цикл}} = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2$ - площадь цикла

$\eta = \frac{1}{i+1} \cdot \frac{\frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2}{\frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)} = \frac{\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right)^2}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - 1} \cdot \frac{1}{i+1} \quad x > 1$

Пусть $x = \frac{V_2}{V_1}$ $\eta(x) = \frac{(x-1)^2}{x^2 - 1} \cdot \frac{1}{i+1}$

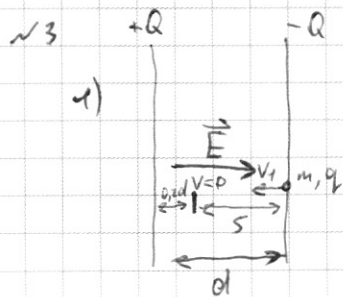
$\eta'(x) = \frac{1}{i+1} \cdot \frac{2(x-1)(x^2-1) - 2x(x-1)}{(x^2-1)^2} = \frac{1}{i+1} \cdot \frac{2x^2 - 2 - 2x^2 + 2x}{(x+1)^2(x-1)} = \frac{2}{i+1} \cdot \frac{1}{(x+1)^2}$

$\eta'(x) > 0$ при любых $x \Rightarrow \eta(x)$ - возрастает на области определения

В то же время $\lim_{x \rightarrow \infty} \eta(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 - 2x + 1}{x^2 - 1} \cdot \frac{1}{i+1} = \frac{1}{i+1}$

Значит, максимальный предельно возможный КПД равен $\frac{1}{1+1} = \frac{1}{4}$

Ответ. $\frac{1}{4}$



$S = 0,8d$ ~~высказание~~ Это условие между обложками

конденсатора $E = \text{const}$ (вблизи ~~по~~ оси симметрии) $\Rightarrow$ частица движется равноускоренно

$$S = \frac{v_1^2}{2a} \quad a - \text{ускорение частицы}$$

$$a = \frac{v_1^2}{2S}$$

$$a = \frac{v_1}{T}$$

$$\frac{v_1}{T} = \frac{v_1^2}{2S} \Rightarrow T = \frac{2S}{v_1} = \frac{1,6d}{v_1}$$

Ответ. $\frac{1,6d}{v_1}$

2) $Eq = am$ $E = \frac{m}{q} a = \frac{v_1^2}{2S\gamma} = \frac{v_1^2}{1,6d\gamma}$

$$U = Ed = \frac{v_1^2}{1,6\gamma}$$

Ответ. $\frac{v_1^2}{1,6\gamma}$

3) Расстояние d пренебрежимо мало по сравнению с размерами обложки ~~и~~ ^и $\Rightarrow$ конденсатор вблизи оси симметрии вне себя ^и не создаёт.

Значит, движась из бесконечности, частица не меняет скорость $\Rightarrow$

$$\Rightarrow v_0 = v_1$$

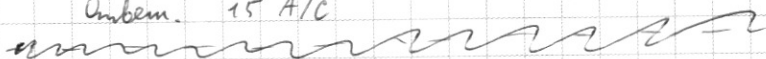
~~Ответ~~ Ответ. v_1

~4 1) Сразу после замыкания ключа напряжение на катушке

$$\text{составило } U_k = U_1 - E = 30\text{В}$$

$$U_k = L \frac{dI}{dt} \quad \frac{dI}{dt} = \frac{U_k}{L} = \frac{U_1 - E}{L} = 15 \text{ А/с}$$

Ответ. 15 А/с



и б) вообще говоря, на схеме изображён колебательный контур с циклической частотой колебаний $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Максимальное напряжение на конденсаторе $U_k = U_1 - \frac{E}{\epsilon} \Rightarrow$ амплитуда колебаний заряда $q_0 = (U_1 - \frac{E}{\epsilon}) C$

$$q = q_0 \cos(\omega t) \quad I = q' = -q_0 \omega \sin(\omega t)$$

к моменту t_0 , когда напряжение на конденсаторе становится $U_{к.н.} = U_0$.

капающее превращаясь. В этот момент будет наблюдаться I_{max} и установится напряжение на конденсаторе.

$$u = \frac{q}{c} = \frac{q_0}{c} \cos(\omega t) \quad u_0 = \left(u_1 - \frac{E}{q}\right) \cos(\omega t_0) \quad \cos(\omega t_0) = \frac{u_0}{u_1 - \frac{E}{q}}$$

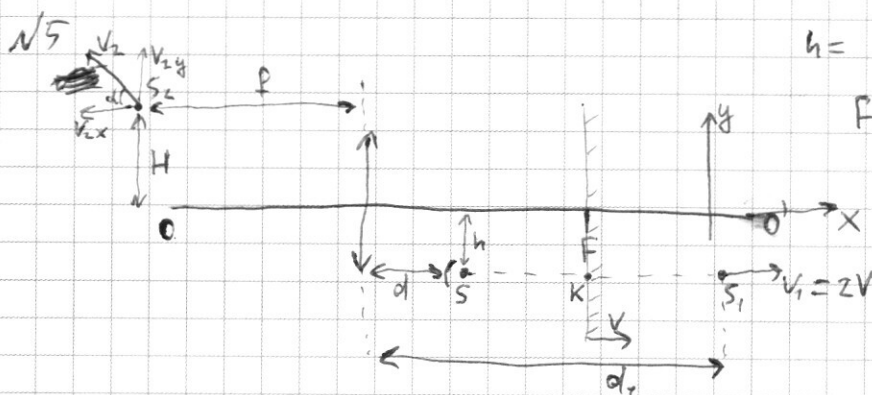
$$\sin(\omega t_0) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega t_0)} = \sqrt{1 - \left(\frac{u_0}{u_1 - E}\right)^2}$$

$$I_{\text{max}} = (U_1 - E) C \omega \frac{\sqrt{(U_1 - E)^2 - U_0^2}}{U_1 - E} = \sqrt{\frac{C^3}{L} (U_1 - E)^2 - U_0^2} \approx 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

$$U_{\text{Kong}} = U_0 - E \Rightarrow U_0 = U_{\text{Kong}} + E = 4,03$$

~~Frage~~ 2) Ankerem. $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ A}$

3) Emblem. 4 B



$$h = \frac{8}{15} F, \quad d = \frac{1}{3} F$$

F - фокусное расстояние линзы

$$1) \quad S_K = F - d = S_1 K$$

$$d_1 = F + F - d = 2F - d$$

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d_r} = \frac{d_r - F}{F d_r}$$

$$f = \frac{d_1 F}{d_1 - F} = \frac{(2F - d)F}{F - d} = \frac{\frac{5}{3}F^2}{\frac{2}{3}F} =$$

$$= 2,5 F \quad \text{Anthem. } 2,5 F$$

2) и 3) Две бусины, изогнувшись S_1 движется со скоростью $V_1 = 2V$

$$V_1 = d_1'(t)$$

$$V_{2x} = f'(t) = \left(\frac{F d_1}{d_1 - F} \right)' = \frac{F d_1'(d_1 - F) - d_1 d_1' F}{(d_1 - F)^2} = - \frac{d_1' F^2}{d_1(F - d_1)^2} = - \frac{F^2}{\frac{4}{9} F^2} \cdot 2V = -\frac{9}{2} V$$

$$H = h \frac{F}{d_1} = \frac{F h}{d_1 - F}$$

$$V_{2y} = H'(t) = \frac{-F h d_1'}{(d_1 - F)^2} = - \frac{\frac{8}{15} F^2}{\frac{4}{9} F^2} \cdot 2V = - \frac{12}{5} V$$

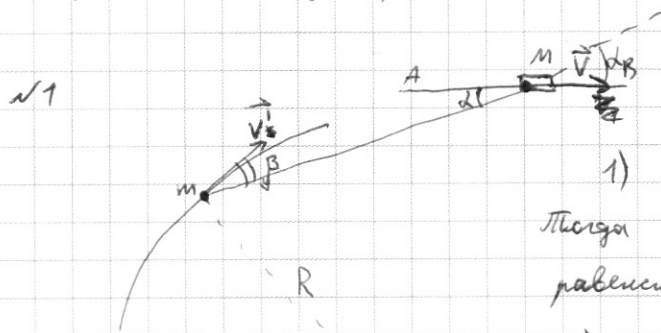
$\angle$ - угол между V_2 и $00'$

$$\tan \angle = \frac{V_{2y}}{V_{2x}} = \frac{-\frac{12}{5} V}{-\frac{9}{2} V} = \frac{8}{15}$$

2) Ответ. $\tan \angle = \frac{8}{15}$

$$V_2 = \sqrt{V_{2y}^2 + V_{2x}^2} = \sqrt{\frac{81}{4} + \frac{144}{25}} V = 5,1 V$$

3) Ответ. $V_2 = 5,1 V$



1) Треугольник, это триггер не растяжим.

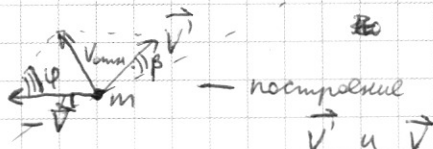
Потому $V \cos \alpha = V' \cos \beta$ (условие нерастяжимости — равенство проекций конусов)

$$V' = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} \cdot 40 \text{ см/с} = 51 \text{ см/с}$$

Ответ. 51 см/с

Решение.

2)



По построению $\phi = \angle + \beta$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5} \quad \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$\cos(\angle + \beta) = \cos \angle \cos \beta - \sin \angle \sin \beta = \frac{24}{85} - \frac{12}{17} = \frac{24 - 60}{85} = -\frac{36}{85}$$

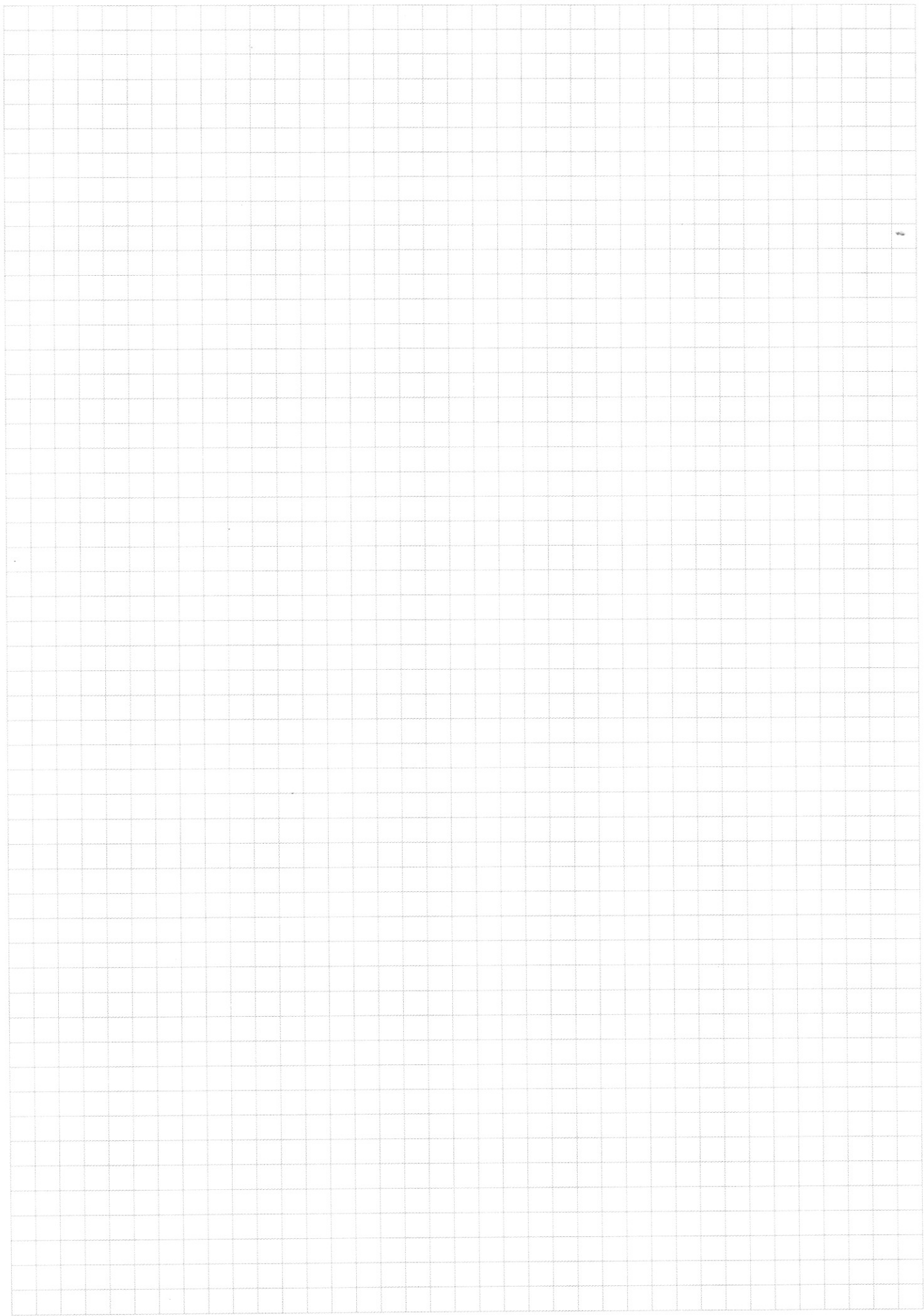
$$V_{\min} = \sqrt{V^2 + V'^2 - 2VV' \cos(\angle + \beta)} = \sqrt{1600 \text{ см}^2/\text{с}^2 + 2601 \text{ см}^2/\text{с}^2 + \frac{72}{85} \cdot 40 \cdot 51 \text{ см}^2/\text{с}^2} =$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\approx 77 \text{ см/с}$

Ответ. 77 см/с



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten solution on grid paper for a physics problem involving a charged rod and a point charge.

Diagram: A horizontal rod of length $2d$ with a linear charge density λ is shown. A point charge q is located at a distance d from the right end of the rod. The distance from the left end of the rod to the charge is $3d$. The electric field E is calculated at the position of the charge.

Formulas and Calculations:

$$h = \frac{8}{15} F$$

$$F = \frac{Fd}{d-F} = \frac{\frac{5}{3} F^2}{\frac{2}{3} F} = 2,5 F$$

$$P = F \frac{d'(d-F) - d \frac{d}{3}}{(d-F)^2} = \frac{-F^2 d'}{(d-F)^2} = \frac{-F^2 \cdot 2V}{\frac{4}{9} F^2} = -\frac{9}{2} V$$

$$H = \frac{Fh}{d-F} = -\frac{Fh}{(d-F)^2} d' = -\frac{F \cdot \frac{8}{15} F}{\frac{4}{9} F^2} \cdot 2V = -\frac{4 \cdot 9}{15} V = -\frac{12}{5} V$$

$$\tan \alpha = \frac{\frac{12}{5} V}{\frac{9}{2} V} = \frac{24}{45} = \frac{8}{15}$$

$$V = \left(\frac{81}{4} + \frac{144}{25} \right) V = \sqrt{26,01} V = 5,1 V$$

Arithmetic Calculations:

$$\begin{array}{r} \times 81 \\ 405 \\ + 162 \\ \hline 2025 \\ + 576 \\ \hline 2601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 144 \\ 4 \\ \hline 576 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 363 \\ 7 \\ \hline 2541 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 51 \\ 51 \\ + 255 \\ \hline 1601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 8,71 \\ 15 \\ + 4155 \\ \hline 831 \\ + 831 \\ \hline 12465 \end{array}$$

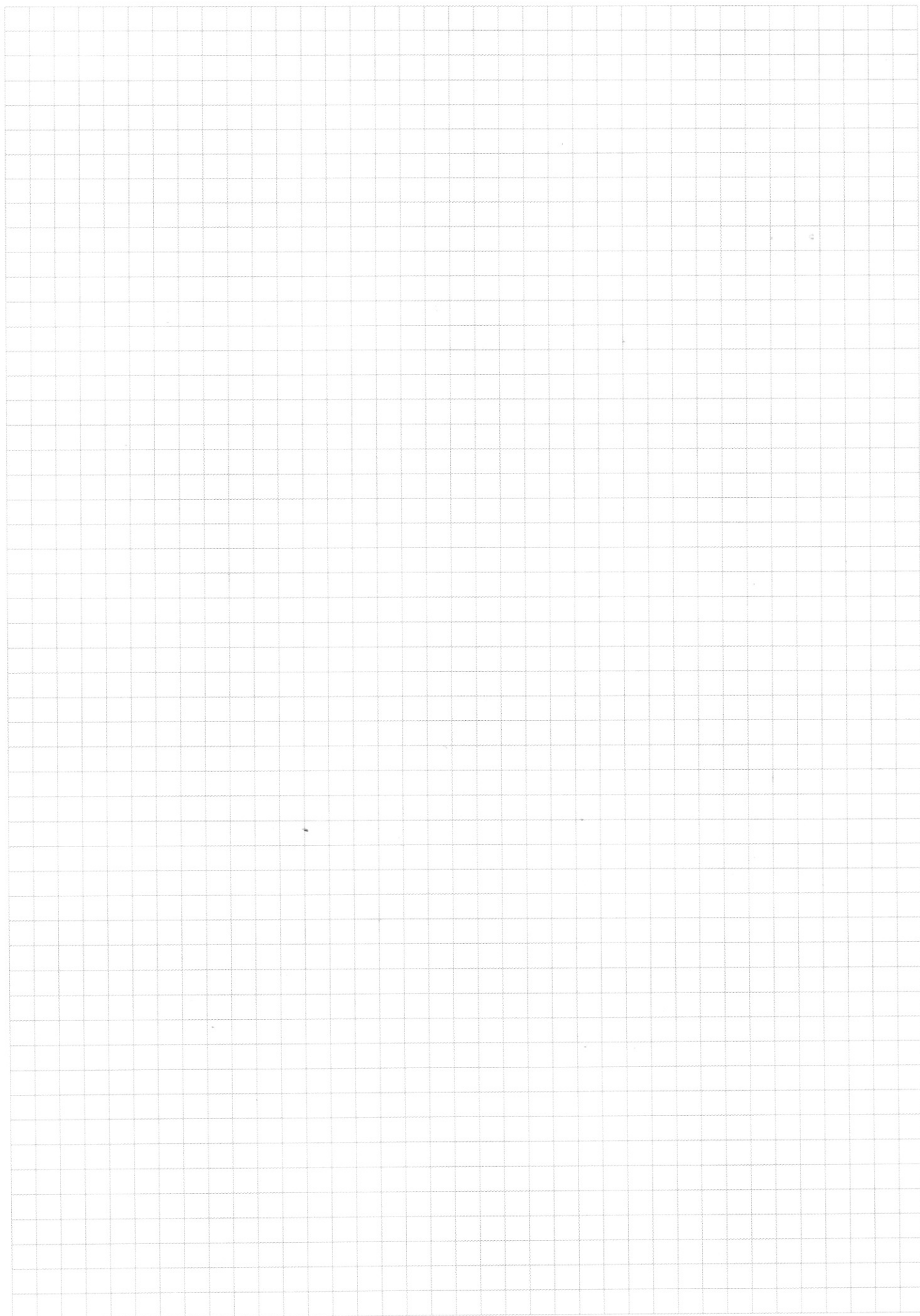
$$\begin{array}{r} \times 8,71 \\ 2,5 \\ + 4155 \\ \hline 1662 \\ + 20,775 \\ \hline 20,775 \end{array}$$

$$9201 + \frac{72 \cdot 8,71}{5,1} = 9201 + 24 \cdot 7,72$$

$$\begin{array}{r} \times 24 \\ 72 \\ + 48 \\ \hline 168 \\ + 1728 \\ \hline 4201 \\ + 5929 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 73 \\ 73 \\ + 219 \\ \hline 511 \\ + 5329 \\ \hline 5329 \end{array}$$

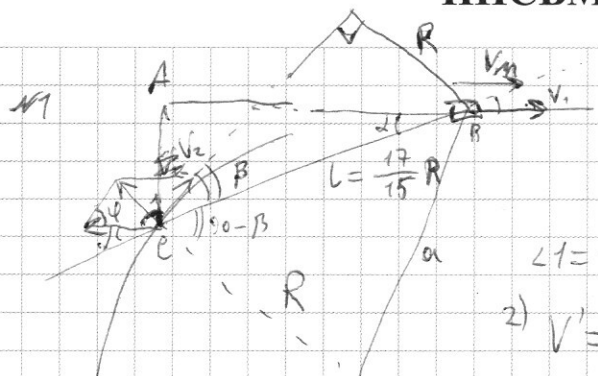
$$\begin{array}{r} \times 77 \\ 77 \\ + 539 \\ \hline 539 \\ + 539 \\ \hline 5929 \end{array}$$



☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta$$

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

$$\angle 1 = 180^\circ - \alpha - \beta \quad \varphi = \alpha + \beta$$

$$2) V' = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos(\alpha + \beta)}$$

$$AB = \frac{17}{15} R \cos \alpha = \frac{17}{25} R$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$3) a_T = T \cos \beta$$

WTF?

$$\sqrt{2} \quad pV = \nu RT$$

$$p = \text{const:} \quad A = p \Delta V, \quad \Delta T = \frac{p}{\nu R} \Delta V$$

$$V = \text{const:} \quad A = 0, \quad \Delta U = \frac{i}{2} \nu RT$$

$$Q = A + \frac{i}{2} \nu R \Delta T = p \Delta V + \frac{i}{2} p \Delta V =$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$= \frac{i+2}{2} p \Delta V$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\frac{i+2}{2} p \Delta V}{\frac{p \Delta V}{\nu R}} = \frac{i+2}{2} \nu R$$

$$C_V = \frac{i+2}{2} R$$

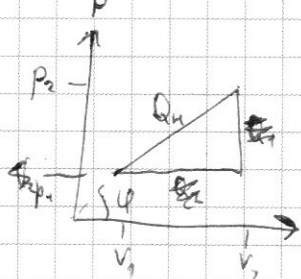
$$2) \quad p = \alpha V$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{\nu R}{T}$$

$$\Rightarrow T = \frac{pV}{\frac{\nu R}{T}} = \frac{pV}{\nu R} T = \frac{\alpha V^2}{\nu R} V^2$$

$$A = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{2p + \alpha p}{2} \Delta V$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$



$$A = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$T = \frac{\alpha V^2}{\nu R} \quad \Delta T = \frac{\alpha}{\nu R} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \alpha (V_2^2 - V_1^2) = iA$$

$$Q = (i+1)A \quad \frac{A}{Q} = \frac{1}{i+1} = \frac{1}{4} \quad (i=3)$$

$$3) \quad p = \alpha V \Rightarrow \alpha = \frac{p}{V}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{in}}$$

$$A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2$$

$$Q_{u_1} = (i+1) \frac{x}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\eta = \frac{(V_2 - V_1)^2}{(i+1)(V_2^2 - V_1^2)} = \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - 2\frac{V_2}{V_1} + 1}{(i+1)\left(\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - 1\right)} \quad \frac{V_2}{V_1} = X$$

$$\eta = \frac{1}{4} \frac{x^2 - 2x + 1}{x^2 - 1}$$

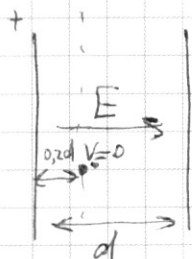
$$\eta' = \frac{1}{4} \frac{2(x-1)(x^2-1) - 2x(x-1)^2}{(x^2-1)^2} = \frac{1}{4} \frac{2x^2-2-2x^2+2x}{(x+1)^2(x-1)} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(x+1)^2}$$

применяя закон Кирхгофа - по

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \eta(x) = \frac{1}{4}$$

3



$$\frac{q}{m} = \gamma \quad 1)$$

$$S = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2a}$$

$$0,8d = \frac{V_1^2}{2a} \quad a = \frac{V_1^2}{1,6d}$$

$$aT = V_1 - V_0 = V_1$$

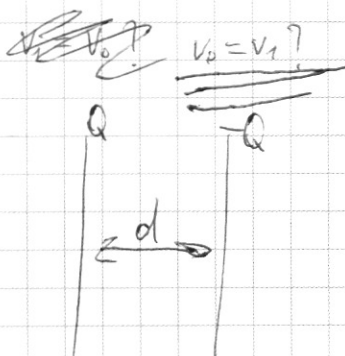
$$T = \frac{V_1}{a} = \frac{1,6d}{V_1}$$

$$2) \quad ma = qE$$

$$E = a \frac{m}{q} = \frac{V_1^2}{1,6d\gamma}$$

$$U = Ed = \frac{V_1^2}{1,6\gamma}$$

3)



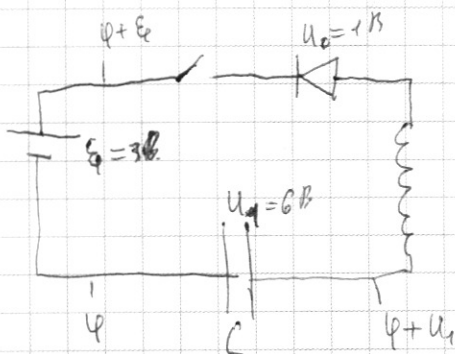
$$E = \frac{kQ}{R^2}$$

$$\varphi = \frac{kQ}{R}$$

$$\varphi = \frac{-kQ}{R} + \frac{kQ}{R+d} = \frac{-kQd}{R(R+d)}$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{0,2} (9-1)} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-2}$$

4



$$\varphi + U_1 - \varphi - \varphi = U_0$$

$$3) U_1' = U_0 + \varphi = 4V$$

$$U = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$3) U_1' = U_0 + \varphi$$

$$U = U_1 - \varphi$$

$$\frac{q}{C} \alpha = -L q''$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$q = q_0 \cos(\omega t)$$

$$I = -\frac{q\omega}{C} \sin \omega t$$

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

$$I = -U_0 \omega \sin \omega t$$

$$U = U_0 \cos \omega t$$

$$I = -U_0 \omega \sin \omega t$$

$$I_{\max} = U_0 \omega \sqrt{1 - \left(\frac{U_0}{U_1}\right)^2}$$

$$\cos \varphi =$$

$$z = 3 \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{2}{3}$$

$$\sin \varphi = \frac{\sqrt{5}}{3}$$