

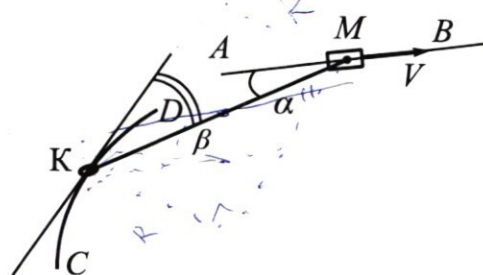
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-01

Класс 11

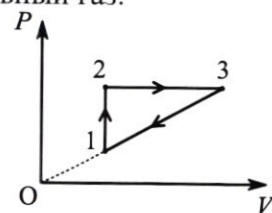
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити 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 повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

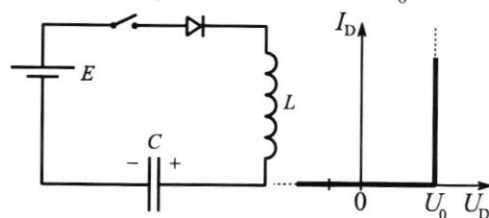
1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица 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 $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ 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.

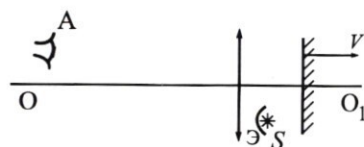
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, 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 $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости 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.

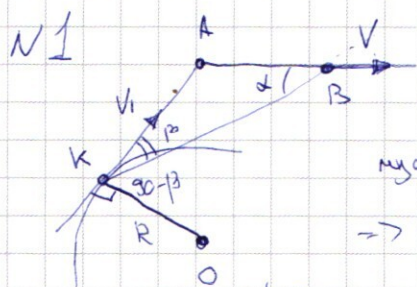
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



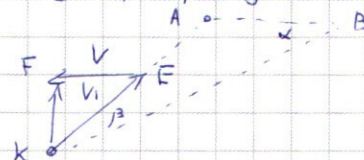
1) Пусть скорость колеса в несл. СО = V

Из кинематической связи, проекции скоростей мурта и колеса на КР (нить, их связывающую) равны.

$$\Rightarrow V_1 \cos \beta = V \cos \alpha \Rightarrow V_1 \cdot \frac{4}{5} = 68 \cdot \frac{15}{17} = \frac{300}{4} = \underline{\underline{75 \frac{\text{cm}}{\text{c}}}}$$

2) Чтобы найти скорость относительно мурта, перейдем в её

СО, т.е. возьмем $\vec{V}$. Получим треугольник ск.:



$$\angle BAE = \angle AEF \text{ (из парал. AB и FE)} = 180 - \alpha - \beta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \angle FEK = \alpha + \beta. \Rightarrow \text{из теоремы косинусов, искомая относительная KF} =$$

$$= \sqrt{FE^2 + EK^2 - 2FE \cdot EK \cdot \cos \angle FEK}. FE \text{ и } EK - \text{ наши скорости. } \cos FEK = \cos(\alpha + \beta) =$$

$$= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta. \sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{8}{17}, \sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \frac{3}{5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cos FEK = \frac{60}{85} - \frac{24}{85} = \frac{36}{85}. \text{ Подставим: } KF = \sqrt{4624 + 5625 - 2 \cdot 60 \cdot 24 \cdot \frac{36}{85}} = \sqrt{5929} =$$

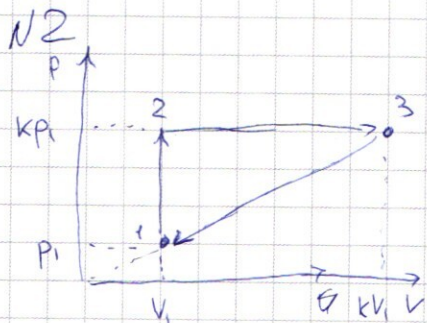
$$= \underline{\underline{77 \frac{\text{cm}}{\text{c}}}}. 3) \text{ Для нити } T \text{ должна сообщать колесу } a_{ц.с} = \frac{V_1^2}{R} \Rightarrow$$

$$\text{натяжение } T \text{ на КО (O - центр)} = \frac{V_1^2}{R} \cdot m \Leftrightarrow T \cdot \cos(90 - \beta) = \frac{V_1^2 m}{R} \text{ (ЛЗКО)}$$

$$= LA_{КО} - \beta. \angle A_{КО} = 90, \text{ как между кас. и рад.} \Leftrightarrow T \sin \beta = \frac{V_1^2 m}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{V_1^2 m \sin \beta}{R \sin \beta} = \frac{0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,1 \cdot 5}{1,9 \cdot 3} = \frac{9,5}{19,3 \cdot 16} = \frac{15}{19,3 \cdot 16} = \frac{15}{304} \text{ Н}$$

Ответ: $75 \frac{\text{cm}}{\text{c}}; 77 \frac{\text{cm}}{\text{c}}; \frac{15}{304} \text{ Н}$



Т.к. 1-3 - прямая пропорц., обозначим V_3 и r_3 сразу как kV_1 и kR , где k - неуб. коэф., а r_1 и V_1 - в точке 1

1) Т↑ происходит на 1-2 ($V = \text{const } r \uparrow$) и 2-3 ($r = \text{const } V \uparrow$) (на 3-1 $r \downarrow V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$). 1-2 - изохора. Для одного.

газа $C_V = \frac{3}{2} R$. 2-3 - изобара $\Rightarrow C_p = \frac{5}{2} R$.

$$\frac{C_p}{C_V} \text{ исконое} = \frac{5}{3} \text{ (или } \frac{3}{5} \text{ если наоборот)}$$

см. стр 2

2) Для изобары $3C \Rightarrow \Delta U = Q - A_2$ рассчитывается как

$$\frac{3}{2} J R \Delta T = \frac{5}{2} R J \Delta T - A_2 \Rightarrow A_2 = J R \Delta T \Rightarrow \text{искомое } \frac{Q}{A_2} = \frac{\frac{5}{2} J R \Delta T}{J R \Delta T} = \frac{5}{2}$$

3) $\eta = \frac{A_{\text{полн}}}{Q^+}$. $A_{\text{полн}}$ = площадь треугольника 123 в pV -координатах $\Rightarrow$

$$\Rightarrow A_{\text{полн}} = \frac{(k-1)^2 p_1 V_1}{2}. \text{ Газ получает тепло на } 1-2 \text{ и } 2-3$$

(исходные p_1 и изобарное V_1) $\Rightarrow Q^+ = Q_{12} + Q_{23}$. Рассмотрим $3C \Rightarrow$ этот процесс.

1-2:

$$\frac{3}{2} J R (k-1) T_1 = \frac{Q_{12}}{c_v} = \frac{\frac{3}{2} R J (k-1) T_1 - A_2}{\Delta T} \quad (\Delta T = T_2 - T_1, \text{ т.к. } p_1 V_1 \rightarrow k p_1 V_1)$$

2-3:

$$\frac{3}{2} J R (k-1) k T_1 = \frac{Q_{23}}{c_p} = \frac{\frac{5}{2} R J k (k-1) T_1 - J R k (k-1) T_1}{\Delta T} \quad (T_3 = k T_2, \text{ т.к. } k p_1 V_1 \rightarrow k p_1 k V_1)$$

$$\text{Итого } Q^+ = J R T_1 \left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2} k \right) (k-1) \Rightarrow \eta = \frac{(k-1)^2 p_1 V_1}{p_1 V_1 \left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2} k \right) (k-1)} =$$

$$= \frac{k-1}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2} k}. \text{ Максимизируем. Производная } = \frac{4}{\left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2} k \right)^2}. \text{ С учетом физ. смысла}$$

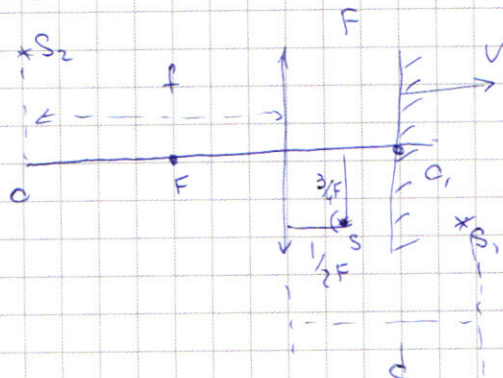
$k > 1$. При этом чем больше k , тем меньше производная (но ≥ 0) $\Rightarrow$

так значение при $k \rightarrow \infty$ и произв $\rightarrow 0$. Итого $\eta_{\text{max}} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k-1}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2} k} =$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k}{\frac{5}{2} k} = \frac{2}{5} = 40\%$$

Ответ: $\frac{2}{5}$ (или $\frac{5}{5}$); $\frac{5}{2}$; 40%

N5



1) Пусть изобр. в зеркале это S_1 , а объектное

в системе S_2 . Т.к. лучи идут в линзу только от зеркала, S_1 — источник для линзы. Найдем d от линзы до S_1 . Оно =

$$= \frac{1}{2} F + 2 \left(F - \frac{1}{2} F \right) = 1,5 F \quad (S \text{ и } S_1 \text{ симметричны от зеркала})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} + \frac{2}{3F} = \frac{3}{3F} \Rightarrow f = 3F,$$

где f — от линзы до S_2 (см. рис)

см. стр. 3

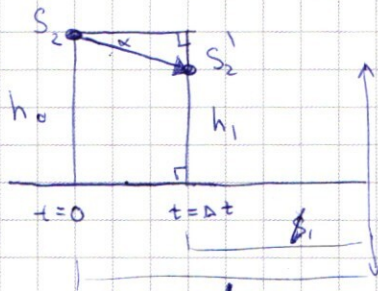
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Сразу решим 3). Как известно $\frac{V_f}{V_d} = \Gamma^2 = \frac{f^2}{d^2}$. В нашем случае $\frac{f}{d} = \frac{3F}{1,5F} = 2$
исх. уравн.

$\Rightarrow V_f$ исконое $= 4V_d$, а V_d , т.е. скорость $S_2 = 2V_d$ из симметрии

($s_2 \rightarrow s_1 \Rightarrow s_2 \leftarrow s_1$) $\Rightarrow V_f = 4 \cdot 2V = 8V$

2) Чтобы найти угол, рассмотрим перемещение S_2 через малое Δt увелич.



По найг. ранее l_0 (см. рис) $= 3F$; $h_0 = \frac{3}{4}F \cdot \Gamma = 1,5F$. По зак. Вилья за Δt S_1 пройдет $2V_d \Delta t \Rightarrow$ новое уравнение линзы

$$\frac{1}{1,5F + 2V_d \Delta t} + \frac{1}{l_1} = \frac{1}{F} \Rightarrow l_1 = \frac{3F \cdot (3F + 4V_d \Delta t)}{3F + 12V_d \Delta t}$$

$$\Rightarrow h_1 = \frac{3}{4}F \cdot \Gamma = \frac{3}{4}F \cdot \frac{1,5F + 2V_d \Delta t}{l_1} = \frac{3F^2}{2F + 8V_d \Delta t}$$

то $\tan \alpha$ (искомый угол перемещение) $= \frac{h_0 - h_1}{l_0 - l_1}$ (см. рис.)

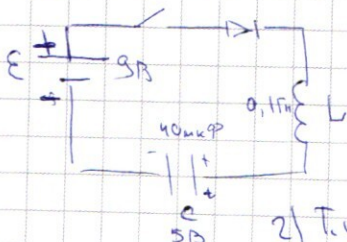
$$h_0 - h_1 = 1,5F - \frac{3F^2}{2F + 8V_d \Delta t} = \frac{12V_d \Delta t F}{2F + 8V_d \Delta t} = \frac{6V_d \Delta t F}{F + 4V_d \Delta t}$$

$$l_0 - l_1 = 3F - \frac{3F(3F + 4V_d \Delta t)}{3F + 12V_d \Delta t} = \frac{24V_d \Delta t F}{3F + 12V_d \Delta t} = \frac{8V_d \Delta t F}{F + 4V_d \Delta t}$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$$

Ответ: $3F$; $\frac{3}{4} = \tan \alpha$; $8V$.

НЧ



1) По правилу Кирхгофа, в нзг. момент времени $E + U_L + U_C = 0$ на кат. и кат. $U_C = 5V$

$\Rightarrow U_L = -4B$ (исх. стрелка обхвст). Суммарное напр. на кат. и кат. $= 9 - 5 = 4B > 1B \rightarrow$ диод открыт.

$$U_L = E_{с.и.} = -L I' \Rightarrow I' = \frac{U_L}{L} = \frac{4B}{0,1 \text{ Гн}} = 40 \frac{A}{C}$$

2) Т.к. равенство $I' = -\frac{U_L}{L}$ выполняется в любой момент, ток будет расти, пока на катушке есть стрел. напряжение (исх. контур). Т.к. в это время ток положителен, конденсатор заряжается. Когда он зарядится до $U_C = 8B$, диод закроется ($E + U_C = 9 - 8 = 1B$). Далее ток в кат. будет уменьшаться $\Rightarrow$ этот максимальный.

см. стр. 4.

Итого этот ток $= \int I' = \int -\frac{U_L}{L} = U_L$ изменяется от -4 до -1 $\Rightarrow$
 $\Rightarrow \int -\frac{U_L}{L} = \frac{3}{2 \cdot 0.1} = \underline{15A}$.

3) После этого энергия, запасенная в катушке с этим током переходит в ~~энергию~~ конденсатора. ($E_{\text{до}} \text{ энергии}$ в этот момент $= \frac{CU^2}{2} = 32 \cdot C \text{ Дж}$).

ЗСЭ:

$$E_{C_0} + E_{C_1} = E_{C_1} \Leftrightarrow 32 \cdot C + \frac{0.1 \cdot 15^2}{2} = \frac{CU_2^2}{2} \leftarrow \text{искомое}$$

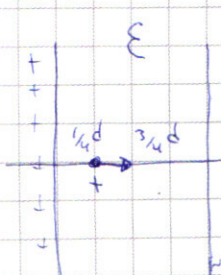
$$32C + 11.25 \text{ Дж} = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$1280 \text{ мкДж} + 11.25 \text{ Дж} = \frac{CU_2^2}{2}$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{22.5 \text{ Дж} + 2560 \text{ мкДж}}{40 \text{ мкФ}}} \quad U_2^2 = \frac{22.5 \text{ Дж} + 2560 \text{ мкДж}}{40 \text{ мкФ}}$$

Ответ: 40 мкФ; 15A; U=

N3



1) Пусть напряж. внутри (у оси) $= E \Rightarrow a = \frac{Eq}{m} = Ex$

От стенки с "+" будет отталкиваться $\Rightarrow$ пройдет нужно $3/4 d$. Если время $= T$, то $\frac{aT^2}{2} = \frac{3}{4} d$

$$\frac{ExT^2}{2} = \frac{3}{4} d \Rightarrow V = at = ExT \Rightarrow \frac{3d}{4T} \cdot 2 = \underline{1.5 \frac{d}{T}}$$

~~0.15 d/T~~ 2) Пусть все заряды на одной обкладке. Тогда все

центр потенциал $= 2\pi kQ \ln R$ (интегрировать потенциал по расстоянию)

Ускоренный на заряд от равен силе $Eq \Rightarrow a = E$, но док. выше $= \frac{V}{dT} = \underline{1.5 \frac{d}{T^2}}$

$$\Rightarrow Q = \frac{1.5 d}{8T^2 2\pi k \ln R}$$

3) Вылетев из конд., частица будет притягиваться к отриц. заряженной пластине сильнее, чем отталкивается от "+" (она будет дальше) $\Rightarrow$ будет иметь отриц. ускорение $\Rightarrow$ на бесконечности $V_2 = 0$

Ответ: $1.5 \frac{d}{T^2}$; 0.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\Delta T = (k-1)T_1$
 $\frac{3}{2} \Delta T R = \frac{3}{2} R \Delta T + A$
 $\frac{3}{2} \Delta T R = \frac{3}{2} R \Delta T + A$
 $\frac{3}{2} (k-1) T_1 + \frac{5}{2} (k-1) T_2 = k T_1$
 $\cos \beta = 4/5$
 $\cos \alpha = 15/17$
 $\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$
 $\frac{60}{85} = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17}$
 $\frac{5}{2} (k-1) R p_1 V_1 = (k-1) T_2 R$
 $C_v = \frac{3}{2} R$
 $C_p = \frac{5}{2} R$
 $\Delta U = Q - A_2$
 $\frac{3}{2} (k-1) R T_2 = \frac{5}{2} R \Delta T - A_2$
 $A_2 = 1 J R \Delta T$

$V \cos \alpha = V_1 \cos \beta$
 $68 \frac{15}{17} = V_1 \frac{4}{5}$
 $60 = V_1 \frac{4}{5}$
 $300 = V_1 \cdot 4$
 $V_1 = 75 \text{ cm/s}$
 $C = \frac{Q}{T} = \frac{15}{28}$
 $68 \cdot 35 = \frac{36}{85} \cdot 225$
 $60 \cdot 36 = 2160$
 $a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma = c^2$
 $68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot \cos \gamma$
 $30^2 = 8100$
 $10249 - 2160$
 $\sqrt{8089} = 89$
 89
 $A = 0$
 $6089 - 160$
 $5929 - 60$
 $\sqrt{5869} = ?$
 $77!$
 $A_2 = 1 J R \Delta T$

$75^2 = 625 \cdot 9$
 4624
 $5400 + 225$
 5625
 $20400 : 4 = 5100$
 5100
 $\frac{5100}{85} = \frac{300}{5} = 60 \cdot 36$
 2160
 $77^2 = 121 \cdot 49$
 4900
 $+ 3800$
 $+ 49$

$\Delta T = (k-1)T_1$
 $\frac{3}{2} \Delta T R = \frac{3}{2} R \Delta T + A$
 $\frac{3}{2} (k-1) T_1 + \frac{5}{2} (k-1) T_2 = k T_1$
 $\cos \beta = 4/5$
 $\cos \alpha = 15/17$
 $\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$
 $\frac{60}{85} = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17}$
 $\frac{5}{2} (k-1) R p_1 V_1 = (k-1) T_2 R$
 $C_v = \frac{3}{2} R$
 $C_p = \frac{5}{2} R$
 $\Delta U = Q - A_2$
 $\frac{3}{2} (k-1) R T_2 = \frac{5}{2} R \Delta T - A_2$
 $A_2 = 1 J R \Delta T$

$$\frac{k-1}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}k} = \frac{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}k - (k-1)\frac{3}{2}}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}k} = \frac{4}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}k} \quad k \rightarrow \infty$$

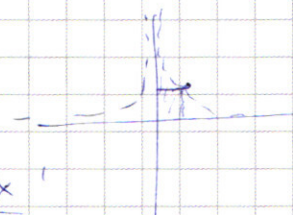
$$\frac{y'}{x} = \frac{y'x - yx'}{x^2}$$

$$\frac{x-1}{x} \quad \text{max}$$

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

$$\frac{1}{x} = \frac{x'}{x^2}$$

$$\frac{x'}{2x}$$



$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k-1}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}k} = \frac{k}{\frac{5}{2}k} \quad k \rightarrow \infty \rightarrow \frac{2}{5}$$

$$C = Sd$$

qap

$$CU = q$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\kappa \epsilon_0 A \cdot C}{B}$$

$$q = I + R$$

$$\frac{\kappa \epsilon_0}{B}$$

$$\frac{C}{\text{cm}}$$

$$2\pi \kappa q / \ln R$$

$$E = \frac{Eq}{m} = Ex$$

$$0,75d$$

$$\frac{ExT^2}{2} = 0,75d$$

$$V = ExT$$

$$2 \frac{0,75d}{T}$$

$$E = \frac{V}{T} = \frac{1,5d}{dT^2}$$

$$S = \pi R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$R_0 \rightarrow \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$\frac{2\pi \kappa q}{R}$$

$$q \cdot q = F$$

2TIR

$$\frac{1}{x} = \ln x$$

$$\frac{xq'}{R^2}$$

$$R_0 \rightarrow R$$

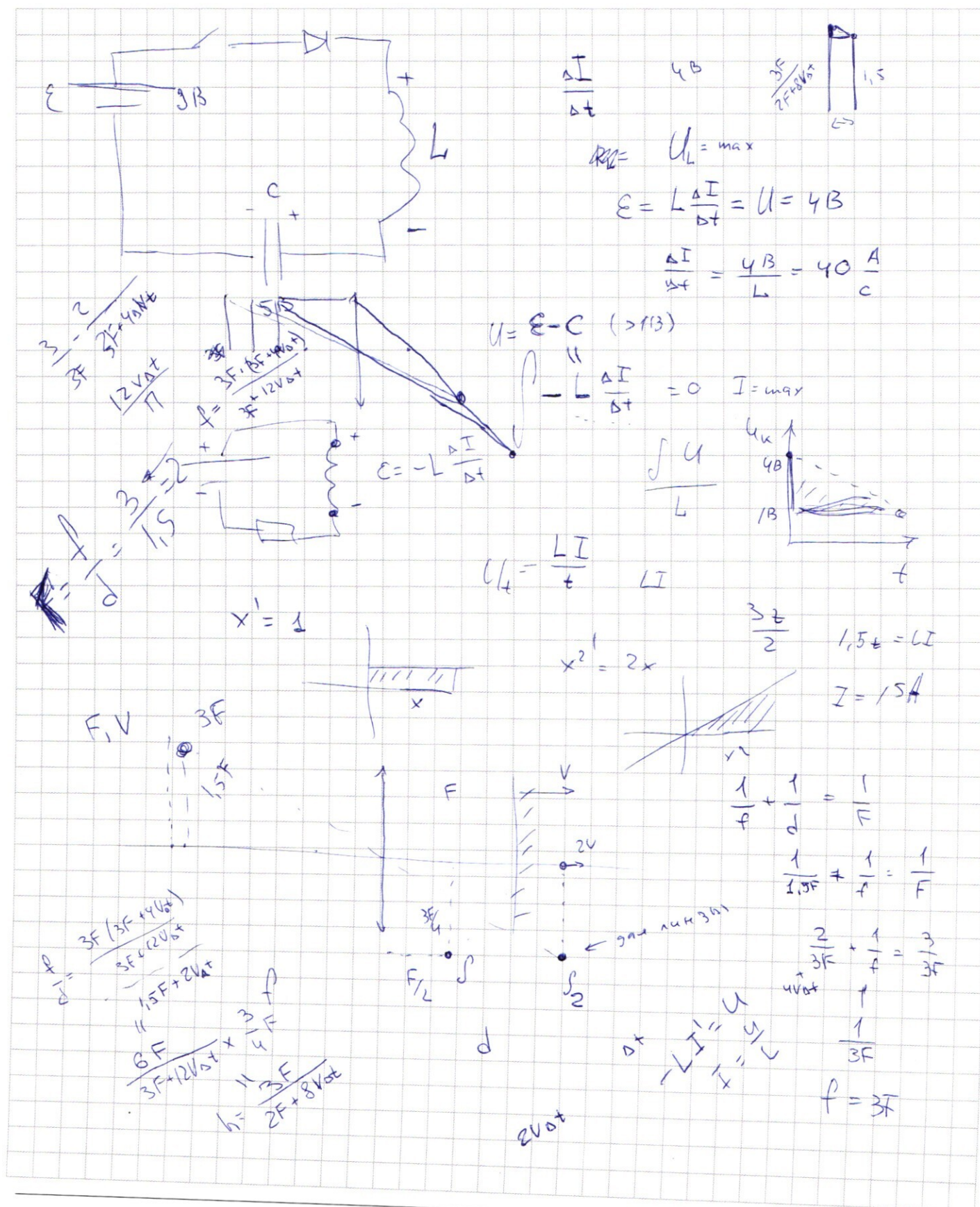
$$\frac{m \cdot \kappa \epsilon_0}{\kappa \epsilon_0 c^2}$$

$$\frac{a \cdot m}{\kappa \epsilon_0} = \frac{F}{\kappa \epsilon_0}$$

$$x^2 = \frac{1}{3} x^3$$

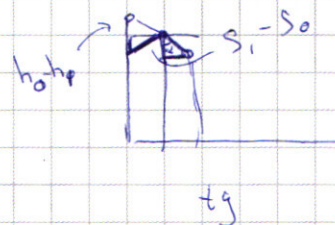
$$\frac{1}{x^2} = -\frac{1}{x}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$h_0 = 1,5F \quad h_1 = \frac{3FF}{2F + 8V_0t}$$

$$S_0 = 3F \quad S_P = \frac{3F(3F + 4V_0t)}{3F + 12V_0t}$$



$$h_0 - h_P = \frac{+12V_0t + F}{2F + 8V_0t} = \frac{+6V_0t + F}{F + 4V_0t}$$

$$S_0 - S_P = \frac{24V_0t + F}{3F + 12V_0t} = \frac{8V_0t + F}{F + 4V_0t}$$

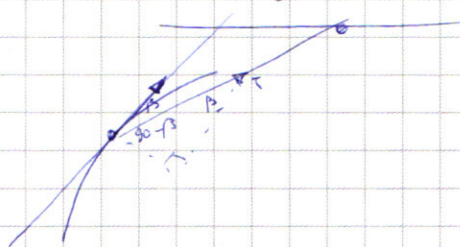
$$tg = \frac{4}{3}$$

$$V_1 = \frac{10V_0t + F}{F + 4V_0t} / at$$

S

$$\frac{V_1}{V_0} = \Gamma^2 \quad \Gamma = \sqrt{2}$$

$$V_P = V_0 \Gamma^2 = 4V_0 = 8V_0$$



$$F = \frac{V^2}{R} m$$

$$V = \omega R$$

$$T \sin \beta = \frac{V^2 m}{R}$$

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

$$\frac{3}{5} T = \frac{0,75 \cdot 0,75 \cdot 0,1}{1,9}$$

$$T =$$



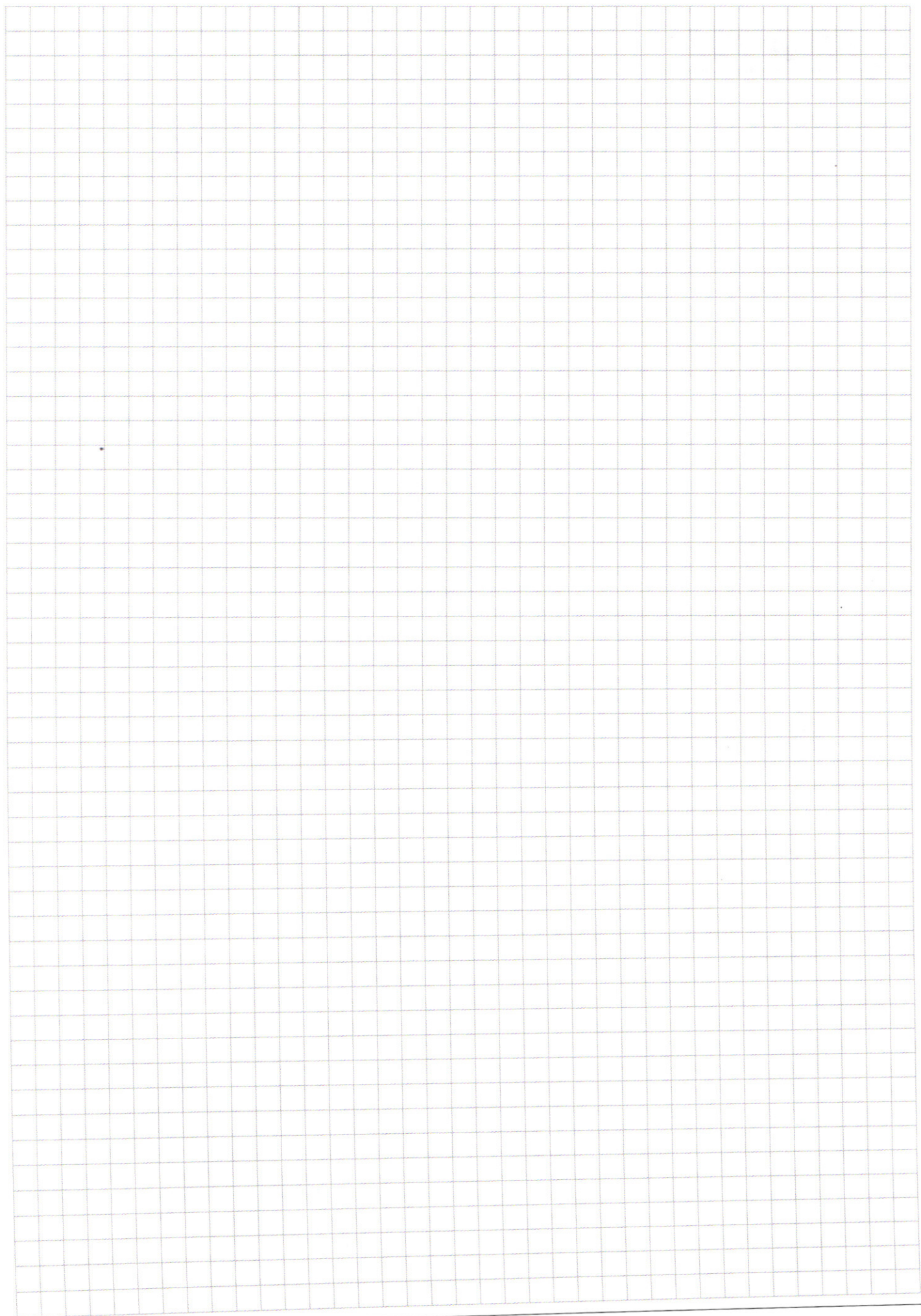
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)