

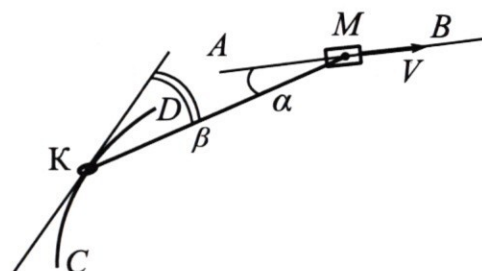
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-04

Класс 11

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

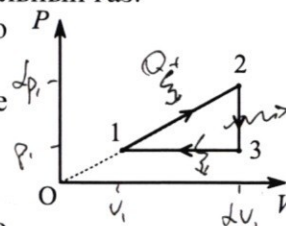
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) 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 изменения внутренней энергии газа 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. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

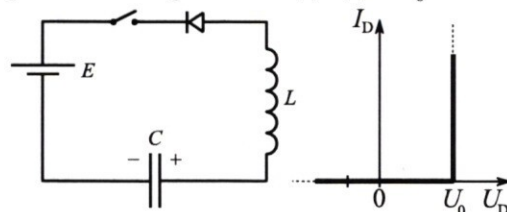
- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{V_1^2}{1,6U}$.
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

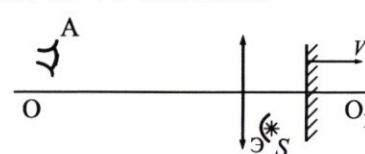
Ключ замыкают.

- 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.



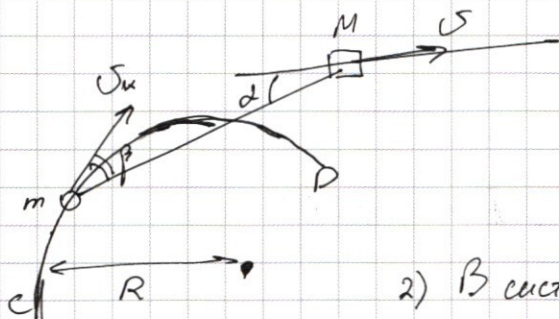
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ 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

Задача 1



1) Проекции скорости муфты и кольца на ось троса равны. (v_k - скорость кольца)

$$v \cos \alpha = v_k \cos \beta \Rightarrow v_k = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 3,4 \text{ м/с}$$

2) В системе отсчета, связанной с муфтой, кольцо движется по окружности радиусом l вокруг муфты. В такой системе отсчета скорость муфты 0, а скорость кольца $v_k' = v_k - v \Rightarrow$

$$v_k' = v_k \sin \beta + v \sin \alpha \quad (\text{скорости вдоль троса равны})$$

$$\Rightarrow v_k' = 4,2 \text{ м/с}$$

3) На кольцо действует только сила натяжения троса T (направл. вдоль троса). По II з. Ньютона: $\vec{T} = m \vec{a}$, где a - ускорение кольца

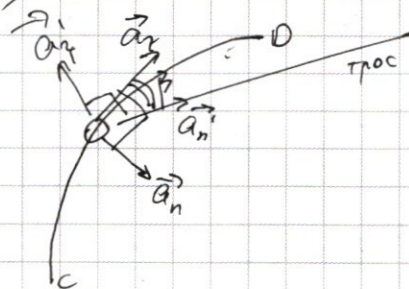
$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau \quad (a_n, a_\tau - \text{нормальное и тангенциальное ускорения движения по окружности } CD)$$

$$\vec{a} = \vec{a}_n' + \vec{a}_\tau' \quad (a_n', a_\tau' - \text{нормальное и тангенциальное ускорения движения по окружности радиусом } l \text{ в инерциальной системе отсчета из п.п.2})$$

$$a_n^2 + a_\tau^2 = a_n'^2 + a_\tau'^2 \Rightarrow$$

$$\Leftrightarrow \left(\frac{v_k'^2}{R} \right) + a_\tau^2 = \left(\frac{v_k'^2}{l} \right) + a_\tau'^2 = a^2$$

$$\text{в то же время } a_n' = a_\tau \cos \beta + a_n \sin \beta \Rightarrow$$



$$\Rightarrow \begin{cases} a_z = \frac{a_n' - a_n \sin \beta}{\cos \beta} \\ a^2 = a_n^2 + a_z^2 \end{cases} \Rightarrow a^2 = a_n^2 + \left(\frac{a_n' - a_n \sin \beta}{\cos \beta} \right)^2 = \frac{v_n^4}{R^2} + \left(\frac{v_n^2}{R \cos \beta} - \frac{v_n^2 \sin \beta}{R \cos \beta} \right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = ma = m \gamma \left(\frac{(v \cos \alpha)^4}{R^2} + \left(\frac{v^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)}{\frac{17}{15} R} - \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{R \cos \beta} - \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{R \cos \beta} \right)^2 \right)$$

$$\Rightarrow T \approx 0,4 \cdot \sqrt{88} \approx 0,4 \cdot 9,4 = \underline{\underline{3,76 \text{ Н}}}$$

Реш: 1) $v_n = 3,4 \text{ м/с}$ 2) $v_n' = 4,2 \text{ м/с}$ 3) $T = 3,76 \text{ Н}$

Задача 2



1) Температура повышается на 2 → 3 и 3 → 1

$$\begin{aligned} Q_{23} &= C_{23} \Delta T_{23} = C_{23} \frac{(d-1)}{R} p_0 v_0 \\ Q_{31} &= C_{31} \Delta T_{31} = C_{31} \frac{1-d}{R} p_0 v_0 \end{aligned} \Rightarrow \frac{Q_{23}}{Q_{31}} = d \frac{C_{23}}{C_{31}}$$

Из I начала ТД: $Q_{23} = \Delta U_{23}$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + \Delta U_{23}$$

$$\begin{aligned} Q_{23} &= \frac{3}{2}(d-1)p_0 v_0 \\ Q_{31} &= -(d-1)p_0 v_0 + \frac{3}{2}(d-1)p_0 v_0 \end{aligned} \Rightarrow \frac{Q_{23}}{Q_{31}} = \frac{3}{5}d$$

$$\Rightarrow d \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}d \Rightarrow \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}$$

увеличить, я ошибся, когда расписывал Q_{23} и Q_{31} и перепутал их.

$$2) \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \Delta R (d^2 - 1) T_0}{(d-1) v_0 (d+1) p_0} = 3$$

$$\begin{aligned} 3) \eta &= 1 - \frac{Q_{31}}{Q_{12}} = 1 - \frac{\Delta U_{12} + A_{12}}{\Delta U_{23} + \Delta U_{31} + A_{31}} = 1 - \frac{4 A_{12}}{\Delta U_{21} + A_{31}} = 1 - \frac{2 (d^2 - 1) p_0 v_0}{\frac{3}{2} (d^2 - 1) p_0 v_0 + (d-1) p_0 v_0} = 1 - \frac{2(d+1)}{\frac{3}{2}(d+1) + 1} = \\ &= 1 - \frac{4d+4}{3d+5} = 1 - \frac{3d+5}{4d+4} = \frac{d-1}{4d+4} = \underline{\underline{\eta}} \end{aligned}$$

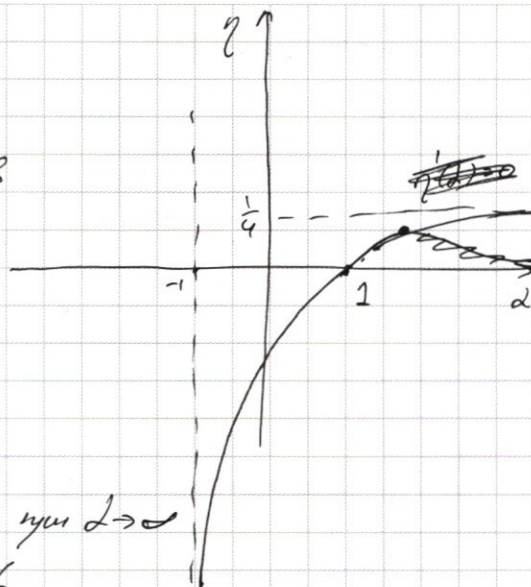
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Исследуем функцию $\eta(d)$ на максимум:

$$\eta'(d) = \frac{1}{4} \frac{2}{(d+1)^2} = \frac{1}{2(d+1)^2} \text{ значит нет экстремумов}$$

$$\Rightarrow \max \eta \text{ при } d \rightarrow \infty$$

$$\underline{\underline{\eta = \frac{1}{4}}}$$



Ответ: 1) $\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}$ 2) $\frac{C_{12}}{A_{12}} = 3$ 3) $\max \eta = \frac{1}{4}$ при $d \rightarrow \infty$
= 25%

Задача 3

1) Частица влетает в эл. поле со скоростью U_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от второй обкладки конденсатора. Если бы на нее не действовала сила $F = Uq$, то она бы как раз долетела до второй обкладки.

Потенциал эл. поле в конденсаторе постоянен на любом расстоянии от обкладки, то энергия частицы $E = \frac{mU_1^2}{2} = \frac{d-0,2d}{d} Uq \Rightarrow \gamma = \frac{1q}{m} = \frac{U_1^2}{2 \cdot 0,8U} = \frac{U_1^2}{1,6U}$

2) На частицу действует сила $F = Eq$. По II з. Ньютона $Eq = ma \Rightarrow a = Eq$
полностью

из з-нов движения:

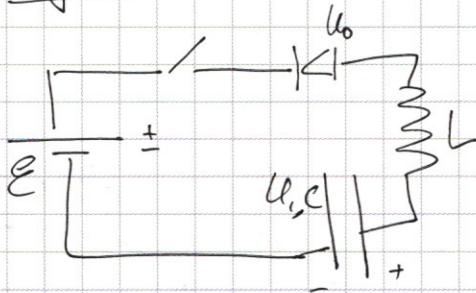
$$x: 0,8d = U_1 T - a \frac{T^2}{2} \Rightarrow 0,8d = \frac{U_1^2}{a} T \Rightarrow T = \frac{U_1}{a} = \frac{U_1}{Eq} = \frac{U_1 \cdot 1,6U}{E U_1^2} = \frac{1,6U}{E U_1}$$

$$= \frac{3,2 \epsilon_0}{C U_1} \left(\frac{3,2d}{S U_1} \right), \text{ где } S - \text{площадь конденсатора.}$$

избавиться от ϵ_0 и U_1 из условия

Ответ: 1) $\gamma = \frac{5,7}{1,64}$ 2) $T = \frac{3,2 E_0}{c \omega_1} = \frac{3,2 d}{55}$

Задача 4



1) т.к. $U_0 > E$, то ток потечет против направления стрелки.

По 2 правилу Кирхгофа: $U_0 - E - E_i = 0 \Leftrightarrow$ в 1 момент времени

$$U_0 - E - LI' = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I' = \frac{U_0 + E - U_0}{L} = \underline{\underline{5 \text{ A}}}$$

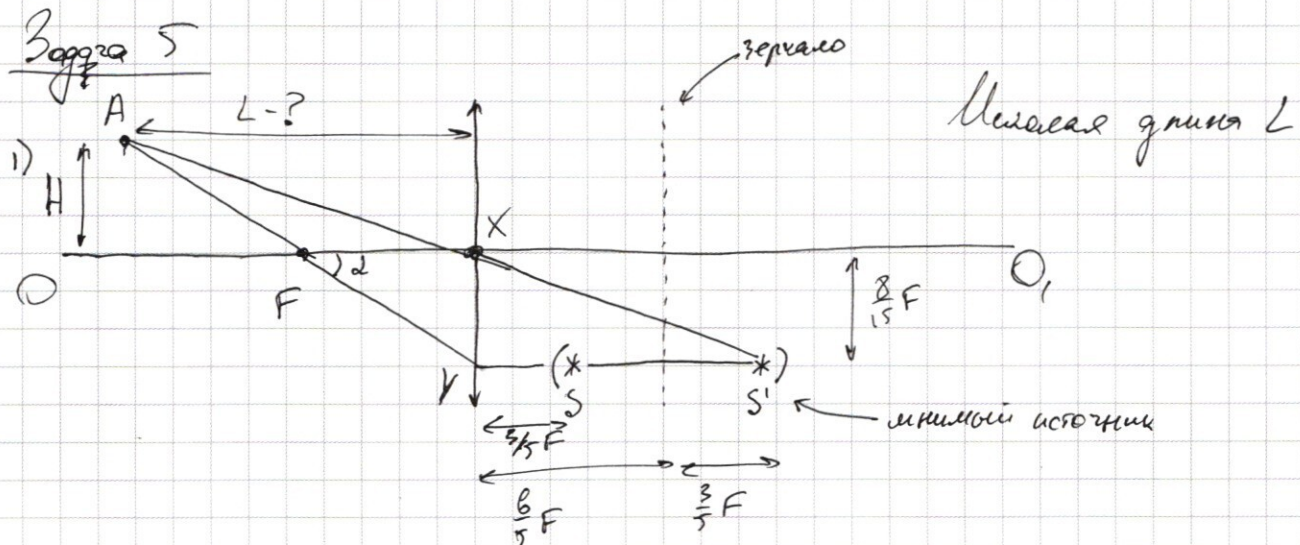
2) Период полусинусоидального тока $T = 2\pi \sqrt{LC}$

В момент времени $t=0$ ток на катушке $I_0 = 0$, а изменение тока $I'_{\text{макс}}$.

$$I' = I_{\text{макс}} \sin \omega t$$

$$\Rightarrow I_{\text{макс}} = I'_{\text{макс}} \frac{1}{\omega} = \frac{5}{\sqrt{LC}} = \frac{5}{\sqrt{0,4 \cdot 10^{-5}}} = \frac{5}{2 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{2500 \text{ A}}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Из подобия $\triangle AFK$ и $\triangle AYS'$: $\frac{H}{H + \frac{8}{15}F} = \frac{F}{\frac{3}{5}F} \Rightarrow H = \frac{2}{3}F$

Из подобия $\triangle AKH$ и $\triangle XS'Y$: $\frac{L}{\frac{9}{5}F} = \frac{H}{\frac{2}{15}F} \Rightarrow L = \frac{9}{4}F$

2) Если зеркало движется, то это всё равно что движется S' .

Пусть $S'Y$ содержит в себе траекторию $S' \Rightarrow$ изображение S' движется

вдоль $YF \Rightarrow$ нам нужен угол $\alpha = \angle FXY$

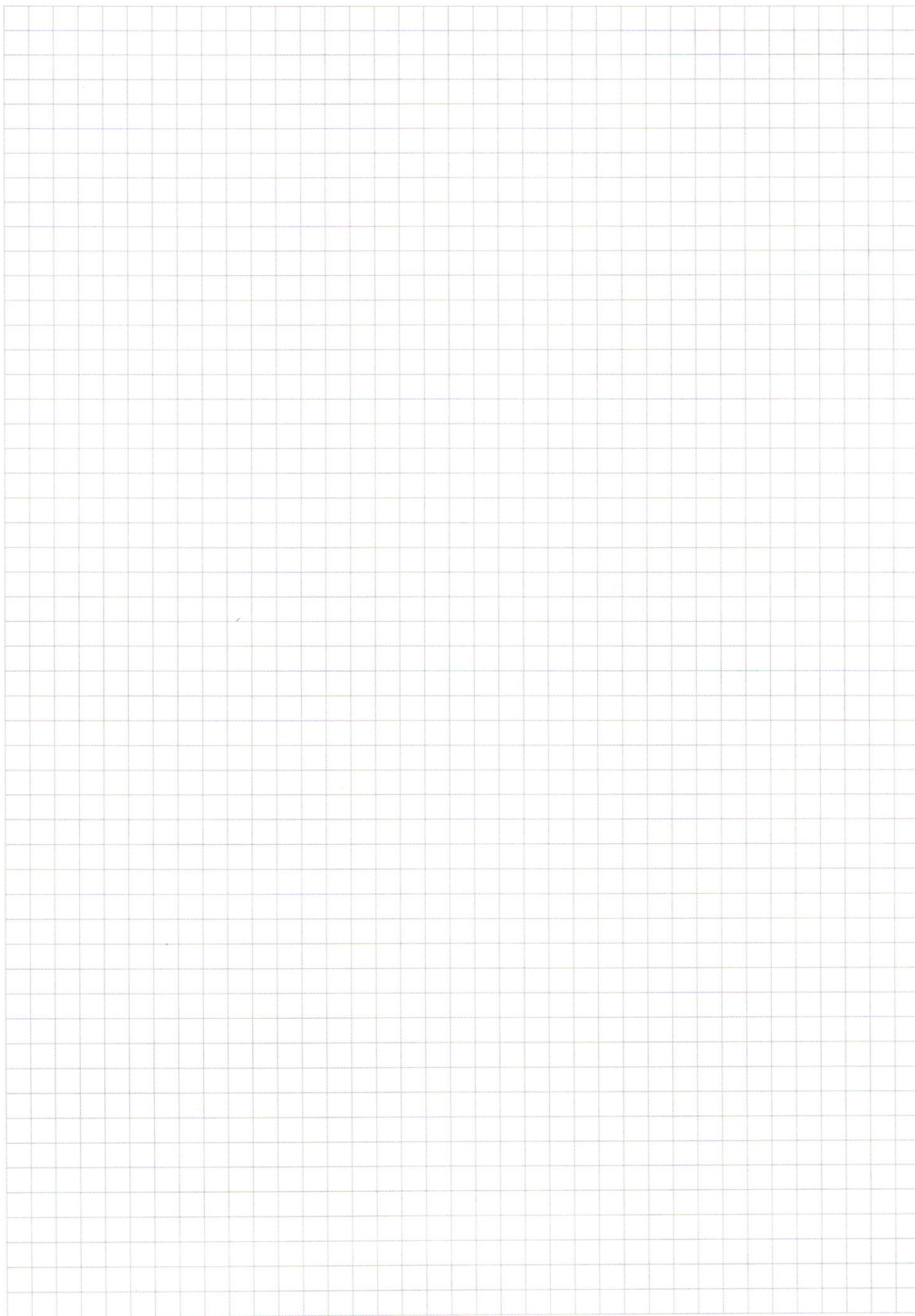
$$\tan \alpha = \frac{8}{15}F \cdot \frac{1}{F} = \frac{8}{15}$$

3) Скорость источника $S' = 2v$

Пусть S' пройдёт x за t , тогда изображение по вертикали движется на Γ^2 , а по горизонтали на $F^2 \Rightarrow l = x \sqrt{\Gamma^2 + 1} \Rightarrow v_{\text{изобр}} = 2v \cdot \sqrt{\Gamma^2 + 1}$
т.к. S' — точка

$$F = \frac{H}{\frac{8}{15}F} = \frac{5}{4} \Rightarrow v_{\text{изобр}} = 2v \cdot \frac{5}{4} \sqrt{\frac{41}{16}} = v \cdot \frac{5}{8} \sqrt{41}$$

Ответ: 1) $L = \frac{9}{4}F$ 2) $\tan \alpha = \frac{8}{15}$ 3) $v_{\text{изобр}} = \frac{5}{8} \sqrt{41} \cdot 2v$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

② $T \downarrow$ на 23 и 31

1) $Q_{23} = C_{23} T_0 = C_{23} \cdot \frac{(d^2 - d^3)}{dR} p_0 U_0$

$p_0 U_0 d^2 = dR T$ $T \downarrow T = \frac{p_0 U_0}{dR} (d^2)$
 $p_0 U_0 d = dR T'$

$Q_{31} = C_{31} \frac{d - d^2}{R} p_0 U_0$

$dR \cdot d^2$

$Q_{23} = A + \Delta U = \frac{1}{2} \cdot \frac{(d^2 - d^3)}{dR} p_0 U_0$

$\frac{Q_{23}}{Q_{31}} = \frac{\frac{3}{2} d}{1 + \frac{3}{2}} = \frac{C_{23} d}{C_{31}} = \frac{3}{5}$

$Q_{31} = A + \Delta U = (d - 1) p_0 U_0 + \frac{1}{2} (d - d^2) p_0 U_0$

2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{1}{2} dR (d^2 - 1) T_0}{(d - 1) U_1 \cdot (d - 1) p_0} = \frac{3}{2}$

$\frac{1}{2} d = \frac{3}{2}$

$\frac{1}{2} d = \frac{3}{2}$

3) $\eta_{\max} = \frac{Q_{23}}{Q_{31}} = \frac{A}{Q_{31}} = \frac{\frac{(d-1)^2}{2} p_0 U_0}{(d-1) p_0 U_1 + (d-1) \frac{1}{2} p_0 d} = \frac{(d-1)^2}{(d+1)(d-1)} = \frac{d-1}{d+1}$

$\frac{m U_1^2}{2} = \frac{U}{g}$

3A2

$\frac{U_1^2}{2} = \frac{U}{g} \Rightarrow U = \frac{g U_1^2}{2}$

$F = m a$
 $F = E q$

$U = \frac{q}{c} = E q \Rightarrow E = \frac{U}{q} = F x = F \cdot 0.8d$

0

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

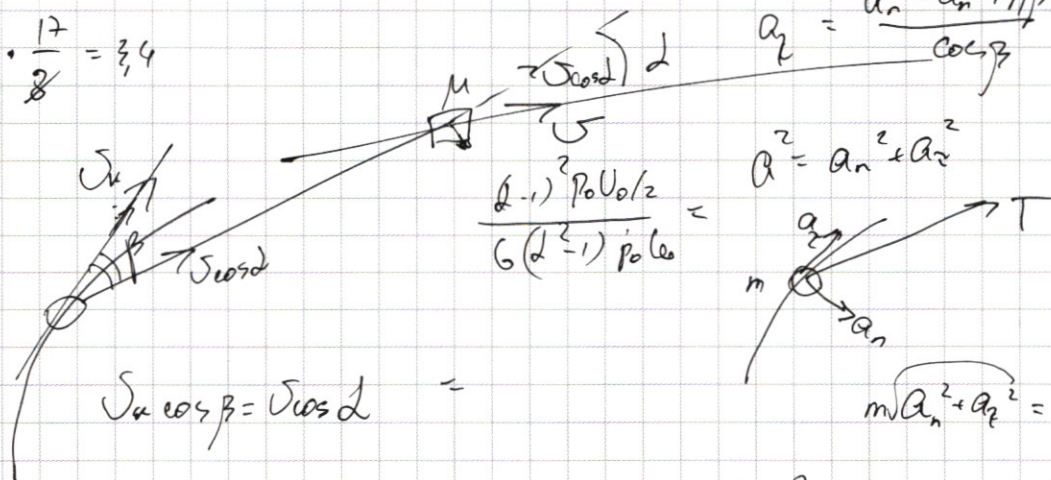
$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$\frac{U}{c} = E q$

$$2 \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{17}{8} = 3,4$$



$$a_t = \frac{a_n' - a_n \sin \beta}{\cos \beta}$$

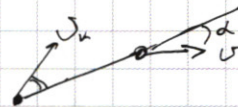
$$a^2 = a_n^2 + a_t^2$$

$$m(a_n^2 + a_t^2) = T$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17}$$

$$U_k = 2 \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{17}{8} = 3,4 \text{ m/s}$$

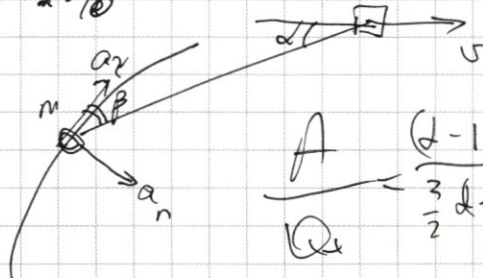
$$l = \frac{R}{\sin \beta}$$



$$U_{\text{rel}} = U \sin \beta + U_k \sin \beta = 2 \cdot \frac{3}{5} + 3,4 \cdot \frac{15}{17} = 1,2 + 3 = 4,2 \text{ m/s}$$

$$0,2 \cdot \frac{15}{17} + 2 \cdot \frac{3}{10} = 3 + 1,2$$

$$U_k' = U \cos \beta \tan \beta + U_{\text{rel}}$$



$$Q_k = \frac{(d-1) \rho_0 U_0 / 2}{\frac{3}{2} (d-1) (1 + \rho_0 U_0 + (d-1) \rho_0 U_0)} a_n = \frac{U_k^2}{R}$$

$$E = F q$$

$$\varphi = F q d$$

$$A = F d = k \frac{q_1 q_2}{r^2} d$$

$$\eta = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+}$$

$$Q_+ = \frac{3}{2} \rho_0 U_0 (d^2 - 1) + \rho_0 U_0 (d^2 - 1)$$

$$Q_- = \frac{3}{2} \rho_0 U_0 (d - d^2) + \frac{3}{2} \rho_0 U_0 (d - 1) + (d - 1) \rho_0 U_0$$

$$a_t \cos \beta + a_n \cos(90^\circ - \beta) =$$

$$= a_{n2}$$

$$a_t \cos \beta + a_n \sin \beta$$

$$q E = F \Rightarrow E = \frac{F}{q}$$

$$q \varphi = A = F d$$

$$\varphi = \frac{F}{q} d = E d$$

$$\eta = \frac{\frac{3}{2} (d^2 - 1) - (\frac{3}{2} (d^2 - d) + \frac{3}{2} (d - 1) + (d - 1))}{\frac{3}{2} (d^2 - 1)}$$

$$= \frac{\frac{3}{2} (d + 1) - \frac{3}{2} d - \frac{5}{2}}{\frac{3}{2} (d + 1)} = \frac{\frac{3}{2} d - \frac{3}{2} d - \frac{5}{2}}{\frac{3}{2} d + \frac{3}{2}} = \frac{-\frac{5}{2}}{\frac{3}{2} d + \frac{3}{2}}$$

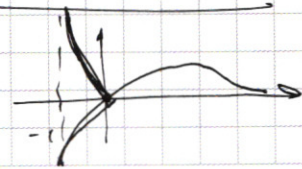
$$R \cos \beta$$

$$a_t = \frac{(U_k \sin \beta + U_{\text{rel}})^2 \sin \beta}{R}$$

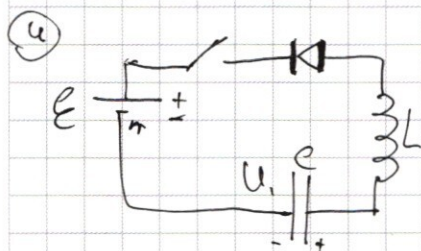
$$= a_t \cos \beta + \frac{U_k^2}{R} \sin \beta$$

$$m a = \sqrt{a_t^2 + \frac{U_k^2}{R}} = T$$

$$l = \frac{2d}{5d + 5}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$U_0 > E \Rightarrow$ конденсатор разряжается

$$L I' = E;$$

$$q = CU$$

$$dq = C dU$$

$$E + U_c + E_i = U_0$$

$$E + \frac{q}{C} + L I' = U_0$$

$$\cos' = -\sin$$

$$\cos'' = -\sin' = -\cos$$

$$E + \frac{dq}{dt \cdot C} + \frac{L dI}{dt} = U_0$$

$$\sqrt{0,4 \cdot 10^{-5}} = \sqrt{4 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$E - U_c(t) = L I'(t) = U_0$$

$$L \frac{q''}{C} + \frac{q}{C} = U_0 + E$$

$$q'' + \frac{1}{LC} q = \frac{E - U_0}{L}$$

$$\sin' = \cos$$

$$\sin'' = \cos' = -\sin$$

$$\tilde{q} \quad \frac{2}{0,4} = \frac{1}{2} \cdot 10 \quad \frac{I_{\text{н}} - 0}{\Delta t} = \frac{U_0 - E - \frac{q - 0}{\Delta t C}}{L}$$

$$\tilde{q}'' + \tilde{q} \frac{1}{LC} = 0$$

$$\omega \tilde{y} = A \cos \omega$$

$$\tilde{y}' = A \omega \sin \omega$$

$$\tilde{q} = A \sin(\omega t) + \frac{(E - U_0) \cdot LC}{L} \frac{q''}{\Delta t^2} = \frac{U_0 - E - \frac{q}{\Delta t C}}{L}$$

$$\tilde{q} = -\omega^2 A \sin(\omega t)$$

$$q = \frac{\Delta t^2 (U_0 - E)}{2} - \frac{\Delta t \cdot E}{L}$$

$$I_{\text{max}} = \omega$$

$$-\omega^2 A \sin \omega t + \frac{A \sin \omega t}{LC} = 0$$

$$\left(\omega^2 = \frac{1}{LC} \right)$$

$$\frac{\Delta t q}{LC} = q$$

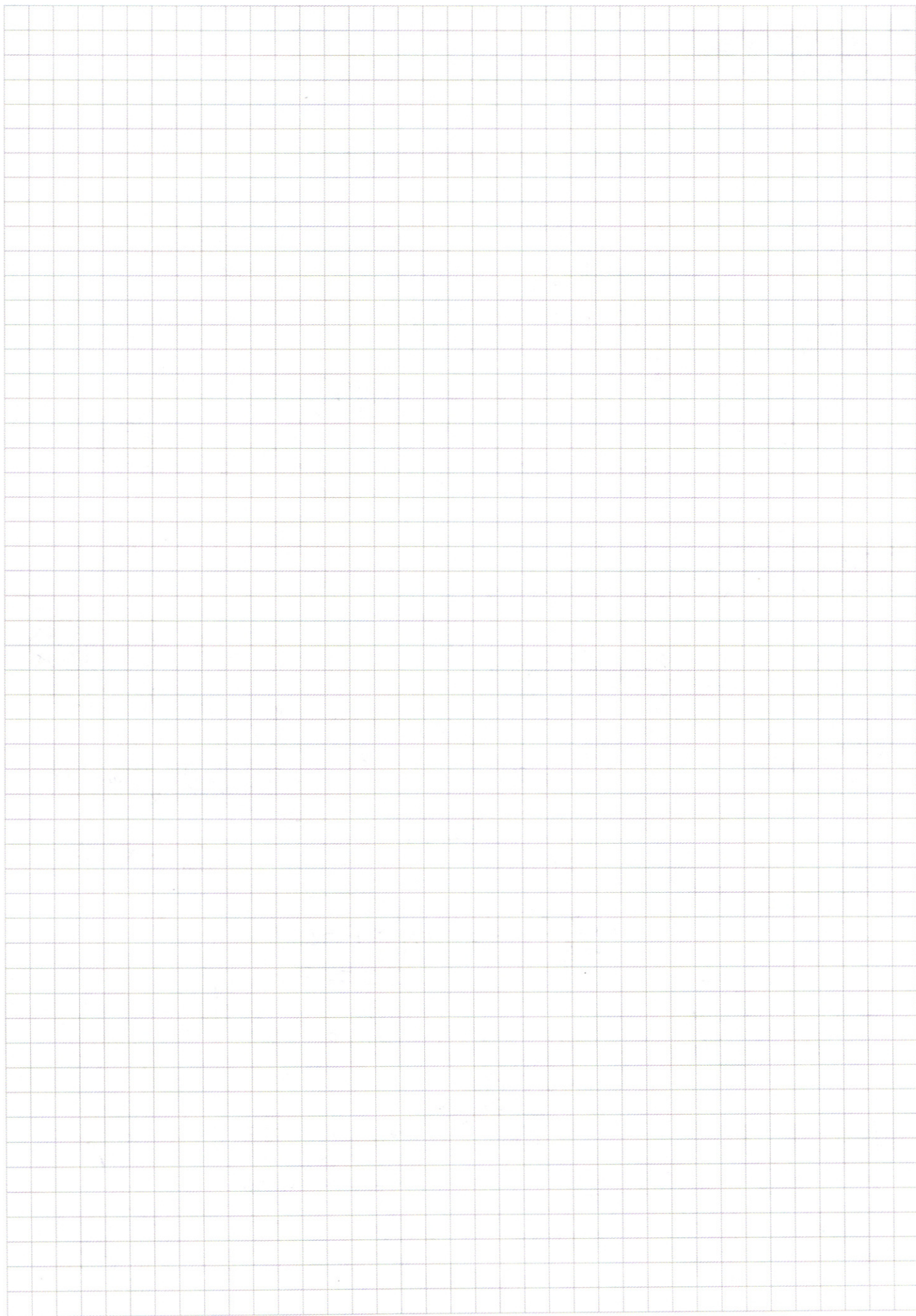
$$q(t) = A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) + (E - U_0)C$$

$$q'(t) = -\frac{1}{\sqrt{LC}} A \sin(0) = 0$$

$$-\frac{A \sin \omega t}{LC} + \frac{A \sin \omega t}{LC} + \frac{E - U_0}{LC} = \frac{E - U_0}{L}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

[illegible]



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



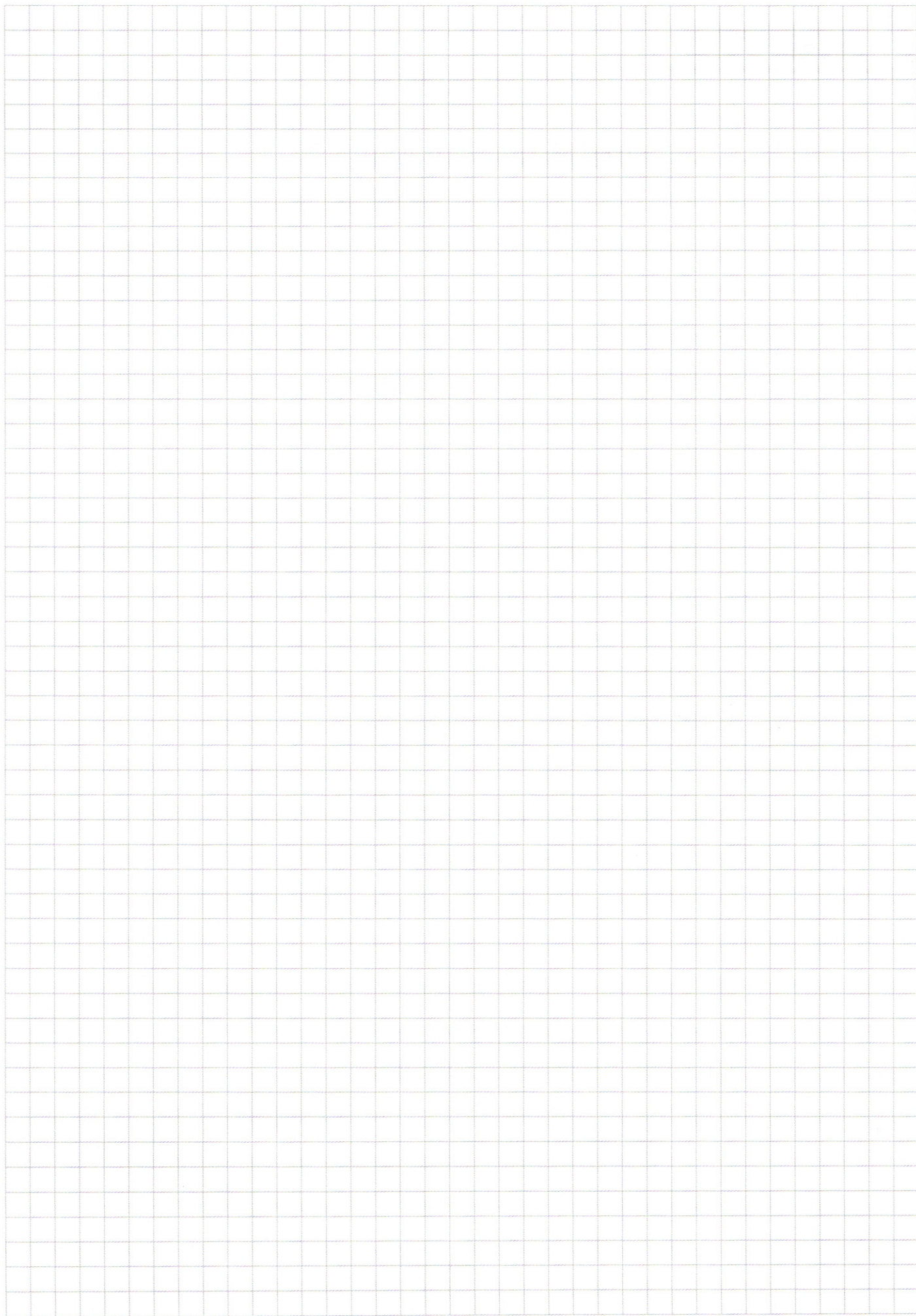
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)