

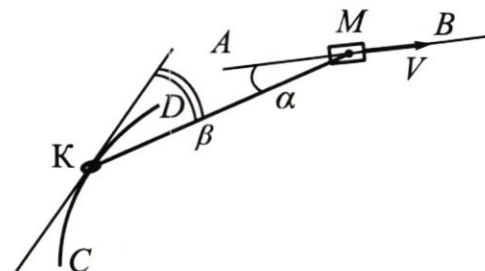
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-04

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

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.



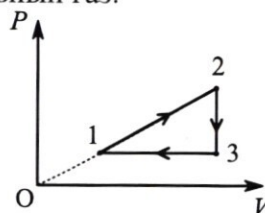
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

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.

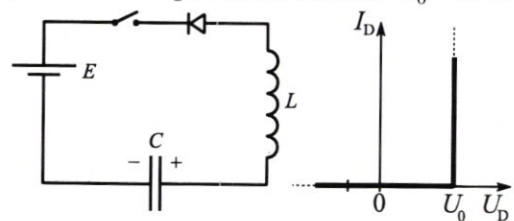
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.

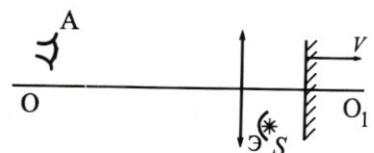


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

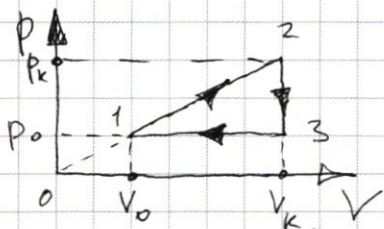
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2.



На участке 1-2 $p \sim V \Rightarrow p = V \cdot k$;
 $p_0 = V_0 \cdot k$; $p_k = V_k \cdot k$; $pV = \nu RT \Rightarrow$
 $V^2 \cdot k = \nu RT$

т.к. на участке 1-2 $V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

На участке 2-3 $V = \text{const}$ и $p \downarrow \Rightarrow T \downarrow$

на участке 3-1 $p = \text{const}$ и $V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$

$$C_{23} = \frac{\Delta Q}{\Delta T \cdot \nu} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T}{\Delta T \cdot \nu} = \frac{3}{2} R; \quad C_{31} = \frac{\Delta Q}{\Delta T \cdot \nu} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T + \nu R \cdot \Delta T}{\Delta T \cdot \nu} = \frac{5}{2} R;$$

молярная теплоемкость при изобаре = $\frac{i+2}{2} \cdot R$;

молярная теплоемкость при изохоре = $\frac{i}{2} R \Rightarrow$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6.$$

В процессе 1-2 $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} \cdot (V_k^2 \cdot k - V_0^2 \cdot k)$

$$A = \frac{p_0 + p_k}{2} \cdot (V_k - V_0) = \frac{k \cdot (V_0 + V_k)(V_k - V_0)}{2} = \frac{k \cdot (V_k^2 - V_0^2)}{2}$$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{\frac{3}{2} \cdot k \cdot (V_k^2 - V_0^2)}{\frac{1}{2} \cdot k \cdot (V_k^2 - V_0^2)} = 3.$$

$$\eta = \frac{A}{Q_H}; \quad A = (V_k - V_0) \cdot (p_k - p_0) \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \cdot (V_k \cdot k - V_0 \cdot k) \cdot (V_k - V_0) =$$

$$= \frac{1}{2} k \cdot (V_k - V_0)^2; \quad Q_H = Q_{12} = \Delta U + A = \frac{3}{2} \cdot k \cdot (V_k^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} \cdot k \cdot (V_k^2 - V_0^2) =$$

$$= 2k \cdot (V_k^2 - V_0^2)$$

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\frac{1}{2} k \cdot (V_k - V_0)^2}{2k \cdot (V_k^2 - V_0^2)} = \frac{V_k - V_0}{4 \cdot (V_k + V_0)}$$

Пусть $V_0 = \text{const}$; Тогда $\eta(V) = \frac{V - V_0}{4(V + V_0)} = \frac{V + V_0 - 2V_0}{4(V + V_0)} = \frac{1}{4} - \frac{V_0}{2(V + V_0)}$

Продолжение задачи 2.

т.к. $y(V) = \frac{1}{4} - \frac{V_0}{2(V+V_0)}$; $\frac{V_0}{2(V+V_0)} > 0 \Rightarrow$

$y_{\max} \approx \frac{1}{4}$.

Ответ: 1) 0,6.
2) 3
3) 0,25.

Задача 1.

Решение:

$V = 2 \text{ м/с}$

$m = 0,4 \text{ кг}$

$R = 1,9 \text{ м}$

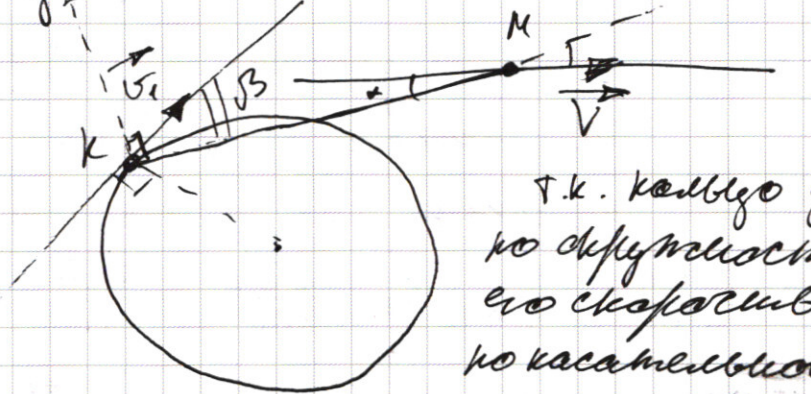
$L = \frac{14R}{15}$

$\cos \alpha = \frac{4}{5}$

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

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

$\sin \beta = \frac{15}{17}$



т.к. кабель движется по окружности $\Rightarrow$ его скорость направлена по касательной.

В связи с нерастяжимостью троса имеем кинематическую связь: проекции на трос скоростей точек K и M равны $\Rightarrow$

$U_1 \cdot \cos \beta = V \cdot \cos \alpha$; $U_1 = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} \text{ м/с} = \frac{17}{5} \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$.

Рассмотрим проекции скоростей в кр-исл-системе координат xOy , где Ox ~~на~~ совпадает с продолжением троса.

Тогда: $U_{1x} = U_1 \cdot \cos \beta$

$V_x = V \cdot \cos \alpha$

$U_{1y} = U_1 \cdot \sin \beta$

$V_y = -V \cdot \sin \alpha$

Если мы ~~перейдем~~ ~~в~~ рассмотрим скорость u — скорость кабеля относительно земли, то получим:

$u_x = U_{1x} - V_x = 0$;

$u_y = U_{1y} - V_y = U_1 \cdot \sin \beta + V \cdot \sin \alpha = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \sin \beta + V \cdot \sin \alpha$

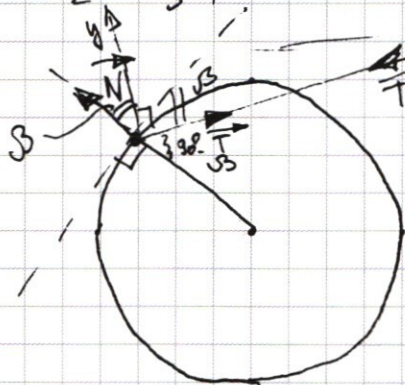
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Продолжение задачи 1:

$$u_y = V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha + V \cdot \sin \alpha;$$

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = V(\operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = 2 \cdot \left(\frac{15}{8} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \right) =$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{3}{2} + \frac{3}{5} \right) = 3 + \frac{6}{5} = 4,2 \text{ м/с.}$$



$$m \cdot a = T \cdot \sin \beta - N$$

$$N = T \cdot \sin \beta - m \cdot \frac{u_1^2}{R}$$

Если мы перейдем в ~~инерциальную~~ систему отсчета, связанную с землей, то в ней кольцо будет двигаться ~~равномерно~~ по окружности с

центром M и радиусом L. ~~Поскольку~~

~~переходя к системе отсчета, связанной с кольцом, то у каждого будет относительная скорость, которую мы найдем по задаче, неслучайно~~

Тогда:

$$m a_x = T - N \cdot \sin \beta; \quad a_x = \frac{u^2}{L}; \quad \Rightarrow m \cdot \frac{u^2}{L} = T - N \cdot \sin \beta;$$

$$m \cdot \frac{u^2}{L} = T - T \cdot \sin^2 \beta + m \cdot \frac{u_1^2}{R} \cdot \sin \beta; \quad T \cdot \cos^2 \beta = m \left(\frac{u^2}{L} - \frac{u_1^2}{R} \cdot \sin \beta \right)$$

$$T \cdot \cos^2 \beta = m \cdot \left(\frac{u^2 \cdot 15}{12R} - \frac{15 \cdot u_1^2}{12R} \right); \quad T = \frac{15m}{12R \cdot \cos^2 \beta} \cdot (u^2 - u_1^2) =$$

$$= \frac{15 \cdot 0,4}{12 \cdot 1,9 \cdot \frac{64}{142}} \cdot 0,8 \cdot 7,6 = \frac{15 \cdot 0,4 \cdot 3,6 \cdot 0,8 \cdot 17}{50 \cdot \frac{1,9 \cdot 64 \cdot 17}{8020}} = \frac{15 \cdot 17}{50} = \frac{3 \cdot 17}{10} = 5,1 \text{ Н.}$$

Ответ: 1) 3,4 м/с.
2) 4,2 м/с
3) 5,1 Н.

Uz Populigato gila molekuloj: $\frac{1}{P} = \frac{1}{d} + \frac{1}{p} = \infty$

$$\frac{X}{\frac{8F}{5} + 20 \cdot \Delta t} = \frac{y}{\frac{8F}{15}}; \quad y = \frac{X \cdot \frac{8F}{15}}{\frac{8F}{5} + 20 \cdot \Delta t} = \frac{8F}{15} \cdot 5 \cdot \frac{F}{4F + 100 \cdot \Delta t} =$$

$$|tg \alpha| = \frac{|v_y|}{|v_x|}$$

$$x'(t) = -5F^2 \cdot \frac{1}{(4F + 100 \cdot t)^2} \cdot 100 = -\frac{50F^2 \cdot 100}{(4F + 100 \cdot t)^2}$$

$$v_y(t) = y'(t) = -\frac{8F^2}{(12F + 300t)^2} \cdot 30V = -\frac{240F^2 \cdot V}{(12F + 300t)^2}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{\frac{25}{9} + \frac{625}{64}} = \sqrt{\frac{1600 + 5625}{3 \cdot 64}} = \frac{5}{24} \cdot \sqrt{7225} =$$

Amber: 1) $\frac{9}{4} F$

$$2) \quad \tan \alpha = \frac{8}{15}$$

$$3) U_m = \frac{85}{24} \text{ V}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4.

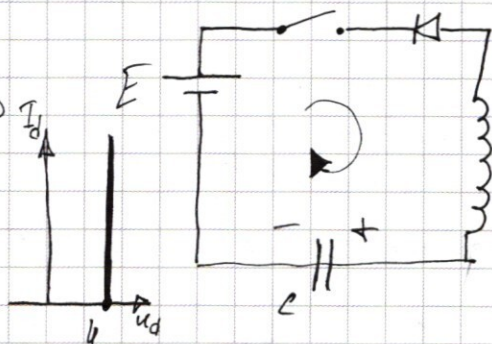
$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 3 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$



Обсуждая контур
по правилу Кирхгофа

имеем:

$$E = U_k + \mathcal{E}_{is} + U_D;$$

$$\text{При этом } \mathcal{E}_{is} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t};$$

Тогда в начальный момент. ($U_D = 0$; $U_k = U_1$)

~~$$\text{т.к. } U_k > E \Rightarrow \mathcal{E}_{is} < 0 \Rightarrow \text{то заряд начнет}$$~~

~~уменьшаться~~ ток $\Rightarrow$ он ~~уменьшится~~. Тогда:

~~$$E = U_1 - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} - U_0; \quad E = U_1 + \mathcal{E}_{is};$$~~

~~$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L}; \quad E = U_1 - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$~~

~~$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{3 - 1 - 6}{0,4} = -5 \text{ А/с}$$~~

~~$$\text{т.к. } U_k > E \Rightarrow \mathcal{E}_{is} < 0 \Rightarrow$$~~

ток начнет возрастать
и идти по направлению
заряд $\Rightarrow$ заряд ~~уменьшится~~ $U_D = U_0$

Тогда: $E = U_1 - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} - U_0;$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = 5 \text{ А/с}.$$

~~из энергетических соображений имеем.~~

~~$$W_D - W_k = A \cdot \Delta W_0 = \frac{C U_0^2}{2} - \frac{C U_k^2}{2}; \quad W_k = \frac{C U_k^2}{2} + \frac{L I^2}{2};$$~~

~~$$A = \frac{C U_0^2}{2} - \frac{C U_k^2}{2} - \frac{L I^2}{2}; \quad \frac{C U_k^2}{2} = \frac{q^2}{2C}; \quad \frac{\Delta q}{\Delta t} = I$$~~

~~Продифференцируем по t, тогда:~~

~~$$A = U_D \cdot I = -\mathcal{E}_{is} \cdot I \quad U_D \cdot I = -\frac{I^2}{2C} - \frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t} \cdot I$$~~

~~$$U_D \cdot I = -\frac{I^2}{2C} - \frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t} \cdot I$$~~

~~$$u_B = \frac{L \cdot I^2}{2C} = \frac{L \cdot I^2}{2C}$$~~

* $I_{\max}$ когда $I'(t) = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_{is} = 0$;

из энергетических соображений:

$$\frac{C U_0^2}{2} = \text{const} = \frac{C U_K^2}{2} + \frac{L \cdot I^2}{2} + A$$

$$N + \left(\frac{C U_K^2}{2} \right) / dt = 0.$$

~~$$U_D \cdot I_{\max} + \left(\frac{dI}{dt} \right) / dt$$~~

При установившемся состоянии $\mathcal{E}_{is} = 0$;

$$U_2 = \text{const}; I = 0 \Rightarrow U_D = 0, \quad U_2 = E = 6 \text{ В}$$

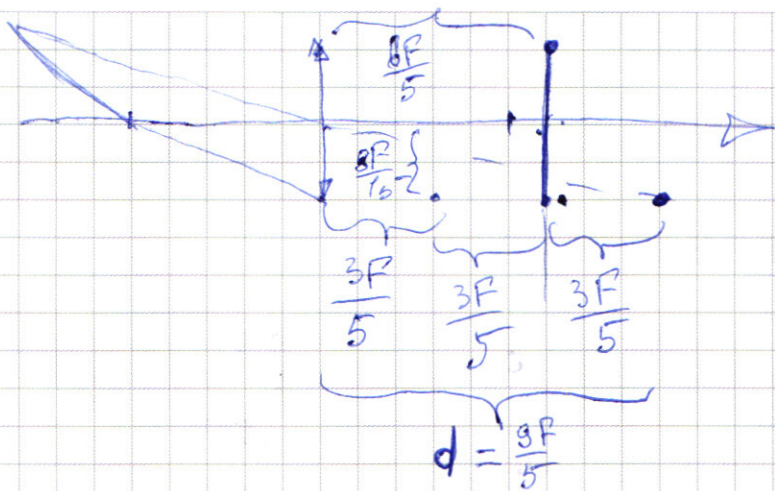
Ответ: 1) 5 А/с

3) 6 В.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten student work on grid paper, featuring various physics problems and solutions:

- Top Left:** Vector diagram showing velocity components. Equations: $\frac{E_0 \cdot S}{d} = C$, $v_1 \cdot \cos \beta = V \cdot \cos \alpha$, $v_1 = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = 3,4$.
- Top Right:** Vector diagram with velocity v and angle α .
- Middle Left:** Vector diagram with forces N , T , and velocity v . Equations: $\frac{\Delta u}{A} = \frac{3 \cdot 1 (v_k^2 - v_0^2)}{k \cdot (v_0 + v_k)}$, $\frac{\Delta Q}{\Delta T}$, $Q = A + \Delta U$.
- Middle Right:** Equations: $pV = \sqrt{RT}$, $a) \uparrow \downarrow \quad 3-1 \quad 2-3$, $p = V \cdot k$, $V^2 \cdot k = \sqrt{RT}$.
- Bottom Left:** Circular diagram with current I . Equations: $-L \cdot \frac{dI}{dt}$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot (-L)$, $\frac{L \cdot I^2}{2} + \frac{C u^2}{2} + A$, $\frac{L \cdot I_0^2}{2} - \frac{C u_0^2}{2} + \frac{L \cdot I_k^2}{2} + \frac{C u_k^2}{2} = A$, $E \cdot q \cdot a \cdot \omega^2 \cdot x =$.
- Bottom Center:** Vector diagram with forces and velocity. Equations: $E \cdot S$, $-L \cdot v + g B = 6 B$, $10 B - L \cdot B = 6 B$, $v = \frac{u}{4} = 10^4 / c$.
- Bottom Right:** Circular diagram with velocity v and angle α . Equations: $x = x_m \cdot \cos(\omega t)$, $x = \frac{k \cdot q \cdot r_0^2}{k_2}$, $\frac{q}{e_0} = -$, $\frac{c_4}{(0,5d-x)^2} + \frac{c}{(0,5d+x)^2}$.



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d'} = \frac{4}{8F}$$

$$d = \frac{8F}{4}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{\frac{8F}{4}} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{\frac{8F}{4} + 5\Delta t} = \frac{\frac{4F}{5} + 20\Delta t}{F(\frac{8F}{5} + 20\Delta t)} = \frac{1}{F}$$

$$x_0 = \frac{8F}{4}$$

$x_F =$

$$x_0 = \frac{F \cdot (\frac{8F}{5} + 20\Delta t)}{\frac{4F}{5} + 20\Delta t} = x$$

$$\frac{y}{\frac{8F}{15}} = \frac{x}{\frac{8F}{5} + 20\Delta t}$$

$$y = \frac{x \cdot \frac{8F}{15}}{\frac{8F}{5} + 20\Delta t}$$

$$y_0 = \frac{2}{3} F$$

$$\frac{2 \cdot 8 \cdot 8F}{3 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 8}$$

$$x_0 = F + \frac{5F^2}{4F + 100\Delta t}$$

$$\Delta d^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$$

$$y = \frac{8F^2}{2F + 300\Delta t}$$

$$y = \frac{8F^2}{15 \cdot (\frac{4F}{5} + 20\Delta t)} = \frac{8F^2}{12F + 300\Delta t}$$

$$d^2 = (x + \Delta x)^2 + (y + \Delta y)^2$$

$$d^2 = x^2 + 2x \cdot \Delta x + y + 2y \cdot \Delta y$$

$$u^2 = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$$

$x - x$

$$u_x = \frac{5F^2}{(4F + 100\Delta t)^2} \cdot 100$$

$$u_y =$$

25

$$\frac{6400}{4} = 1600$$

$$\frac{625}{56} = 25$$

$$125 \cdot 5 \cdot 9$$

$$\frac{125}{9} = 11 \frac{25}{9}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

$$\frac{2}{2} - \frac{2}{2} = 0$$



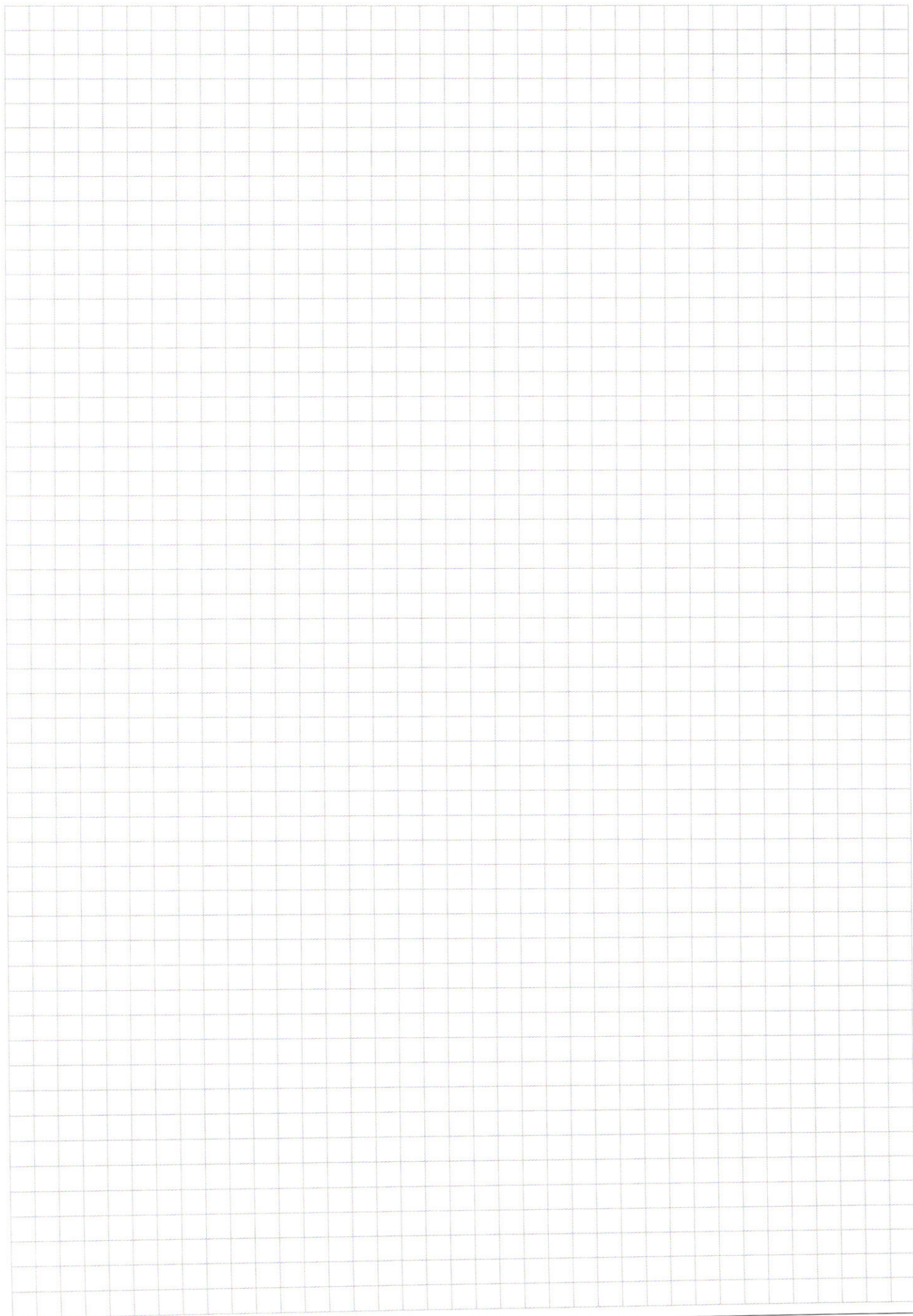
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)