

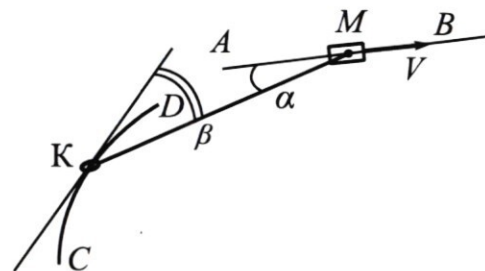
# Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

## Вариант 11-03

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без

1. Муфту М двигают со скоростью  $V = 34$  см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой  $m = 0,3$  кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом  $R = 0,53$  м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной  $l = 5R/4$ . Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол  $\alpha$  ( $\cos \alpha = 15/17$ ) с направлением движения муфты и угол  $\beta$  ( $\cos \beta = 3/5$ ) с направлением движения кольца.



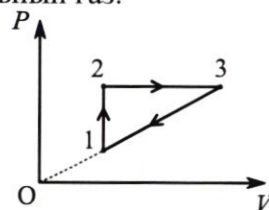
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния  $d$  между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии  $0,3d$  от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью  $V_1$ . Удельный заряд частицы  $\frac{|q|}{m} = \gamma$ . Площадь  $S$

1) Через какое время  $T$  частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?

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.

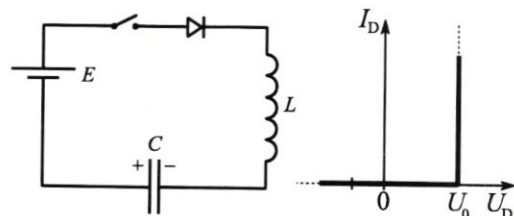
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника  $E = 6$  В, конденсатор емкостью  $C = 40$  мкФ заряжен до напряжения  $U_1 = 2$  В, индуктивность идеальной катушки  $L = 0,1$  Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке,

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.

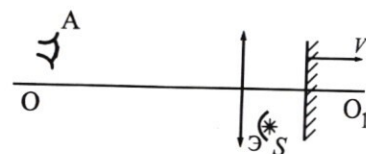


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$ , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника  $S$  может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси  $OO_1$  линзы. Источник  $S$  находится на расстоянии  $3F/4$  от оси  $OO_1$  и на расстоянии плоскости  $F/4$  от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью  $V$  вдоль оси  $OO_1$ . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии  $3F/4$  от линзы.

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

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

3) Найти скорость изображения в этот момент.





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

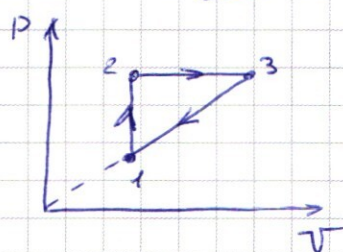
$$i = 3$$

(газ одноатомный)

$$C_{v12}/C_{v23} - ?$$

$$\Delta U_{23}/A_{23} - ?$$

$$\eta_{\max} - ?$$



1) Теплота поступает

на 1-2 и 2-3 ( $T \uparrow$ )

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{21},$$

$$C_{v12} = \frac{Q_{12}}{\Delta T_{21} \nu} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_2 (V_3 - V_2) =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_3 V_3 - p_2 V_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \nu R (T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2); \quad C_{v23} = \frac{Q_{23}}{(T_3 - T_2) \nu} = \frac{5}{2} R$$

$$\boxed{\frac{C_{v12}}{C_{v23}} = \frac{3}{5}}$$

Ответ 1:  $\frac{C_{v12}}{C_{v23}} = \frac{3}{5}$

$$2) \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2); \quad A_{23} = p_2 (V_3 - V_2) = p_3 V_3 - p_2 V_2 = \nu R (T_3 - T_2);$$

$$\boxed{\Delta U_{23}/A_{23} = \frac{3}{2}}$$

Ответ 2:  $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$

$$3) \eta = \frac{A}{Q_+} \quad A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_3 - V_1). \text{ Пусть } p_3 = 2p_1. \text{ Тогда } V_3 = 2V_1 (p_2 = p_3)$$

$$A = \frac{1}{2} (p_3 - p_1) (V_3 - V_1) = \frac{1}{2} (2p_1 - p_1) (2V_1 - V_1) = \frac{1}{2} p_1 V_1 (2-1) = \frac{1}{2} \nu R T_1 (2-1)^2$$

$$Q_+ = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R T_3 - \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R} = 2^2 \frac{p_1 V_1}{\nu R} = 4T_1; \quad T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R} = \frac{p_3 V_1}{\nu R} = 2 \frac{p_1 V_1}{\nu R} = 2T_1$$

$$Q_+ = \frac{5}{2} \nu R T_1 \cdot 4 - \nu R T_1 \cdot 2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \nu R T_1 \left( \frac{5}{2} \cdot 4 - 2 - \frac{3}{2} \right)$$

$$\eta = \frac{(2-1)^2}{5 \cdot 2^2 - 2 - 3} = \max \quad \eta' = 0 = \frac{(2x-2)(5x^2-2x-3) - (x^2-2x+1)(10x-2)}{(5x^2-2x-3)^2} = \frac{8(x-1)^2}{(5x^2-2x-3)^2}$$

15

Дано:

$U, F$

$f - ?$

$L - ?$

$U_{из} - ?$

1) Изобр. источника  $S$  в зеркале  $S'$  удалено от ГОО на  $\frac{3F}{4}$  и от линзы на  $\frac{F}{4} + 2(\frac{3F}{4} - \frac{F}{4}) = \frac{5F}{4}$

Ф-ла тонкой линзы:

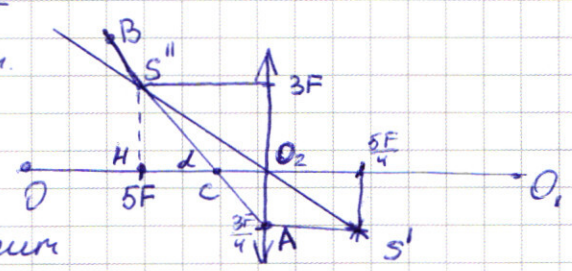
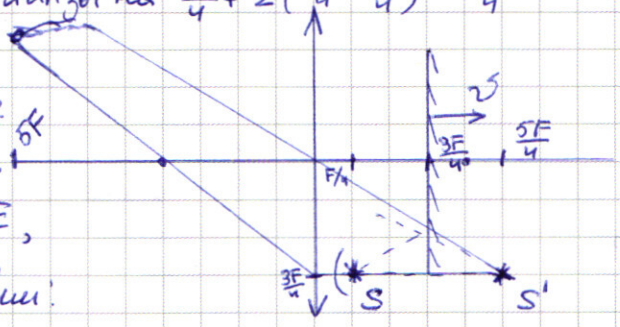
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{dF}{d-F},$$

где  $d = \frac{5F}{4}$ . Подставим:

$$f = \frac{5F^2 \cdot 4}{4 \cdot F} = 5F. \text{ Ответ 1: } f = 5F$$

2) Из подобия треуго. раст.

от  $S''$  до ГОО равно  $3F$



Заметим, что изобр. ~~всегда~~ всегда летит

на луче  $AB$  (м.к. при движен. зеркала  $S'$  сдвин. вдоль ГОО, т.е.  $AB$  не изменяется). Найдём  $L$  между  $AB$  и  $OO_1$ :  $OO_1 \perp AB = C$

$$\frac{HC}{CO_2} = \frac{3F}{3F/4} = 4 \quad HC + CO_2 = 5F \Rightarrow HC = 4F. \quad S''H = 3F, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{S''H}{HC} = \frac{3}{4},$$

т.е.  $\alpha = \operatorname{arctg}(0,75)$ . Ответ 2:  $L = \operatorname{arctg}(0,75)$

14

Дано:

$E = 6B$

$C = 40 \text{ мкФ}$

$U_1 = 2B$

$L = 0,1 \text{ Гн}$

$U_0 = 1B$

$I - ?$

$I_{max}, U_2 - ?$

1)  $E_{кат} = E - U_1 - U_0$  (по 2-му пр. Кирхгофа)

$$E_{кат} = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \dot{I} = \frac{E_{кат}}{L} = \frac{E - U_1 - U_0}{L} = \frac{3B}{0,1 \text{ Гн}} = 30 \text{ А/с}$$

Ответ 1:  $\dot{I} = 30 \text{ А/с}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

13

Дано:

$$d, v_1, \gamma = \frac{1\varphi}{n}$$

$T - ?$

$Q - ?$

$v_2 - ?$

1) Частица кутеко пройди  $(0,5d - 0,3d) = 0,2d$   
под действием однородного э. поля с напря.  $E$ .

$$F_e = E \cdot q = ma \Rightarrow a = E \frac{q}{m} = E\gamma$$

$$v_1 = 0 + at = E\gamma t, \text{ где } t - \text{время вылета}$$

$$0,2d = \frac{aT^2}{2} = \frac{E\gamma T^2}{2} \Rightarrow T^2 = \frac{0,4d}{E\gamma}$$

$$v_1 = 0 + at = E\gamma t, \text{ где } t - \text{время вылета}$$

$$0,7d = \frac{E\gamma t^2}{2} = \frac{v_1 t}{2}, \text{ т.е. } t = \frac{1,4d}{v_1}$$

$$v_1 = E\gamma t = \frac{E\gamma \cdot 1,4d}{v_1} \Rightarrow E = \frac{v_1^2}{1,4d\gamma}, \text{ т.е.}$$

$$T^2 = \frac{0,4d}{E\gamma} = \frac{0,4d \cdot 1,4d\gamma}{v_1^2} = \frac{5,6d^2}{v_1^2}, \quad \boxed{T \approx 2,5 \frac{d}{v_1}} \quad \leftarrow \text{ответ 1}$$

11

Дано:

$$v = 34 \text{ см/с}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

$$l = \frac{5R}{u}$$

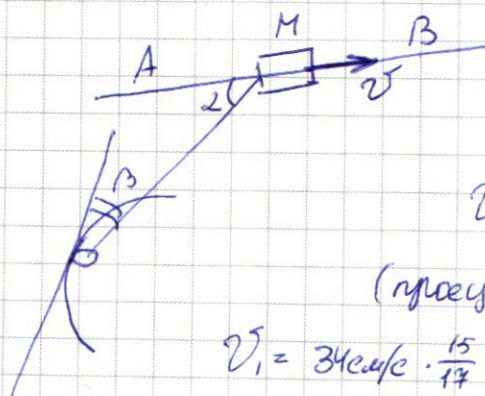
$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

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

$v_1 - ?$

$v_{\text{отн}} - ?$

$T - ?$



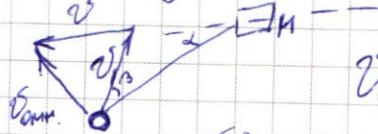
$$v_{\text{вертика}} = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_1 = v_{\text{вер.}} \cdot \cos \beta = v \cos \alpha \cos \beta$$

(проецируем)

$$v_1 = 34 \text{ см/с} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} = \boxed{18 \text{ см/с}}$$

Перейдем в систему отсчета M:



$$v_{\text{отн}}^2 = v^2 + v_1^2 - 2vv_1 \cos(\alpha + \beta) =$$

$$= v^2 + v^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta - 2v^2 \cos \alpha \cos \beta (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) =$$

$$= v^2 (1 + \sin \alpha \sin \beta \cos \alpha \cos \beta);$$

$$v_{\text{опп}} = v \sqrt{1 + \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta} = 34 \text{ см/с} \sqrt{1 + \frac{15 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 4}{17 \cdot 17 \cdot 5 \cdot 5}} = 34 \text{ см/с} \cdot$$

$$\cdot \sqrt{1 + \frac{1440}{17^2 \cdot 25}} \approx \boxed{40 \text{ см/с}}$$

2)  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S \epsilon_0} = \frac{v_1^2}{1,4d\gamma}$ , м.е.  $\boxed{Q = \frac{v_1^2 S \epsilon_0}{1,4d\gamma}}$  (ответ 2)

3) После прохождения пластины  $E=0$ , м.е.  $F=0 \Rightarrow \boxed{v_2 = v_1}$  (ответ 3)

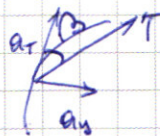
$S'$  движется со ск-ю  $2v$  (из-за возд. зрелания)

$$v_{S''}^2 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \dots$$

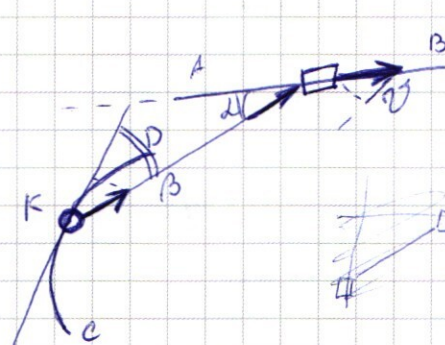
$ma = F \Rightarrow a = \sqrt{a_{\text{из}} + a_{\text{т}}}$

$$a_{\text{из}} = \frac{v_1^2}{R}; a_{\text{т}} = T \cos \beta$$

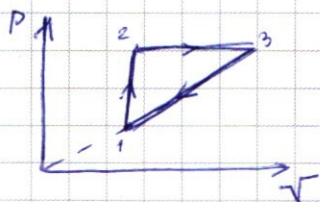
$$a = \sqrt{\frac{v_1^2}{R}}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$T = ???$



$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$A = p_3 V_3 - p_2 V_2 =$$

$$= \nu R T_3 - \nu R T_2 =$$

$$= \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{2}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \nu R T_1 (2^2 - 2 + 1)}{\nu R T_1 (2^2 \cdot \frac{5}{2} - 2 - \frac{3}{2})} = \frac{1}{2} \frac{(V_3 p_3 - V_2 p_2 - V_1 p_1 + p_1 V_1)}{p_1 V_1} =$$

$$= \frac{2^2 - 2 + 1}{5 \cdot 2^2 - 2 - 3} = \max$$

$$\frac{f'g - fg'}{g^2} = 0$$

$$(2L-2)(5L^2-2L-3) - (L^2-2L+1)(10L-2) = 0$$

$$10L^3 - 10L^2 - 4L^2 + 4L - 6L + 6 - (10L^3 - 2L^2 - 20L^2 + 4L + 10L - 2) =$$

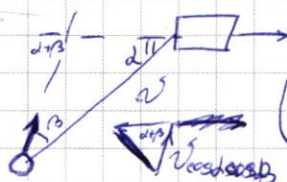
$$8L^2 - 16L + 8 = 0$$

$$L^2 - 2L + 1 = 0 \quad (L-1)^2 = 0 \quad \boxed{L=1}$$

Кин. гл. со. ср-ю  $V \cos \alpha$  (проеку.)

Ср-м. кин.  $V \cos \alpha \cdot \cos \beta$  (проеку.) ???

$$5 \cdot \frac{3}{5} \quad V = 2 \cdot V$$



$$V_{\text{пр}} = V^2 + V^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta - V^2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta)$$

$$V^2 + V^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta - V^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + V^2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta =$$

$$= V^2 \left( 1 + \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\beta \right)$$

пересчит.

$$C_{v12} = ? \quad C_{v23} = ?$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 0$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$C_{v12} = \frac{3}{2} \nu R$$

$$\frac{C_{v12}}{C_{v23}} = \frac{3}{5}$$

$$C_v = \frac{Q}{\Delta T \cdot \nu}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_2 (V_3 - V_2) =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_3 V_3 - p_2 V_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) +$$

$$p_2 V_2 - p_1 V_1 = \frac{5}{2} \nu R T_3 - \frac{5}{2} \nu R T_2$$

$$p_3 = 2p_1 \quad T_3 = 2T_1 \quad = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\boxed{C_{v23} = \frac{5}{2} \nu R}$$

$$Q_+ = Q_{12} + Q_{23} =$$

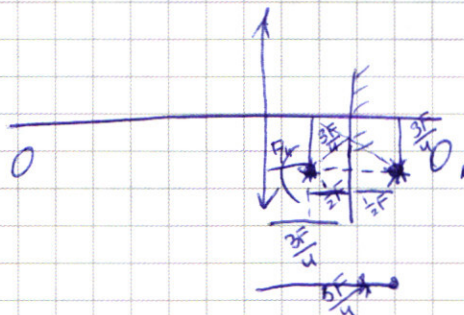
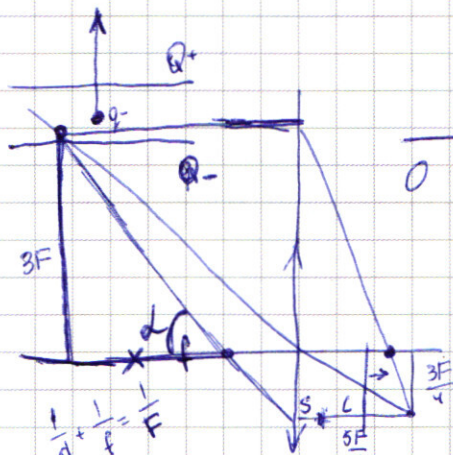
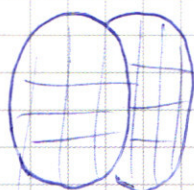
$$= \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) +$$

$$+ \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R T_3 - \nu R T_2 -$$

$$L^2 \cdot \frac{5}{2} \nu R T_1 - 2 \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$- \frac{3}{2} \nu R T_1 = \nu R T_1 \left( L^2 \cdot \frac{5}{2} - 2 - \frac{3}{2} \right)$$



$$f = \frac{dF}{d-F}$$

$$d = s + 2L + 2\sqrt{t} = L + 2\sqrt{t}$$

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

$$\frac{1}{f} = \frac{d-F}{dF}$$

$$f = \frac{dF}{d-F}$$

$$\frac{3F}{4} = \frac{5F}{4}$$

$$H = \frac{3F}{4} \cdot 4 = 3F$$

$$\frac{H}{\frac{3F}{4}} = \frac{5F}{\frac{5F}{4}}$$

$$H = h \cdot \frac{f}{d} = h \left( \frac{F}{d-F} \right)$$

$$\tan \alpha = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4}$$

$$\sqrt{f^2 + H^2}$$

$$f = \frac{(L + 2\sqrt{t})F}{L + 2\sqrt{t} - F} = \frac{LF + 2\sqrt{t}F}{L + 2\sqrt{t} - F}$$

$$\frac{3F}{\frac{3F}{4}} = \frac{x}{5F-x}$$

$$20F - 4x = x$$

$$20F = 5x \quad x = 4F$$

За время  $\Delta t$  з проме  $\Delta t$

$$\frac{1}{2\sqrt{f^2 + H^2}} \cdot (2F + 2H)$$

$$\sqrt{\frac{d^2 F^2}{(d-F)^2} + \frac{h^2 F^2}{(d-F)^2}} = \frac{F}{d-F} \sqrt{d^2 + h^2}$$

$$d \Rightarrow d + 2\sqrt{t}$$

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2$$

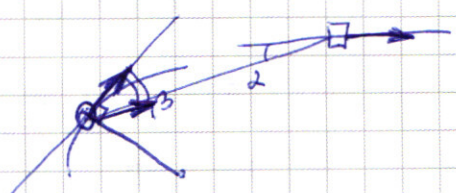
$$\frac{F \cdot \sqrt{d^2 + h^2}}{d-F}$$

$$\frac{F}{d + 2\sqrt{t}F - F} \sqrt{(d + 2\sqrt{t})^2 + h^2}$$

$$f' = \left( \frac{dF}{d-F} \right)' = \left( \frac{(x_0 + v_x t)F}{x_0 + v_x t - F} \right)'$$

$$F \cdot \left( \frac{1}{d-F} \right)' = \left( \frac{F}{d-F} \right)' = F \cdot \left( -\frac{(d-F)'}{(d-F)^2} \right) = \frac{-F \cdot 2v}{(L-F+2\sqrt{t})^2}$$

$$\frac{F v_x (x_0 + v_x t - F) - v_x F (x_0 + v_x t)}{(x_0 + v_x t - F)^2} = \frac{-F^2 v_x}{(x_0 + v_x t - F)^2}$$

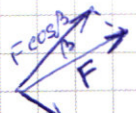


$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

$$ma = F$$



$$\begin{array}{ccc} 280-225 & 64 & \frac{15}{17} \frac{8}{17} \\ & & \frac{3}{5} \frac{4}{5} \end{array}$$



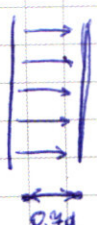
$$F^2 = (F \cos \beta)^2 + \left( \frac{v^2}{R} \right)^2$$

$$F^2 (1 - \cos^2 \beta) = \left( \frac{v^2}{R} \right)^2$$

$$F = \frac{v^2}{R \sin \beta}$$

$$\begin{array}{l} \sin \\ 10L^3 - 4L^2 - 6L - 10L^2 + 4L + 6 \\ 10L^3 - 2L^2 - 20L^2 + 4L + 10L - 2 \\ -14L^2 + 22L^2 - 2L - 14L + 6 + 2 \\ 8L^2 - 16L + 8 = 8(L^2 - 2L + 1) = \\ 8(L-1)^2 \\ F = qE = ma \\ a = E \cdot \gamma \\ 0,7d = \frac{E \gamma t^2}{2} \quad v = E \gamma t \end{array}$$

$$8(2L-2)$$



$$E = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$0,2d = \frac{E \gamma t^2}{2} = \frac{v \gamma t}{2}$$

$$T = 0,2d / v$$



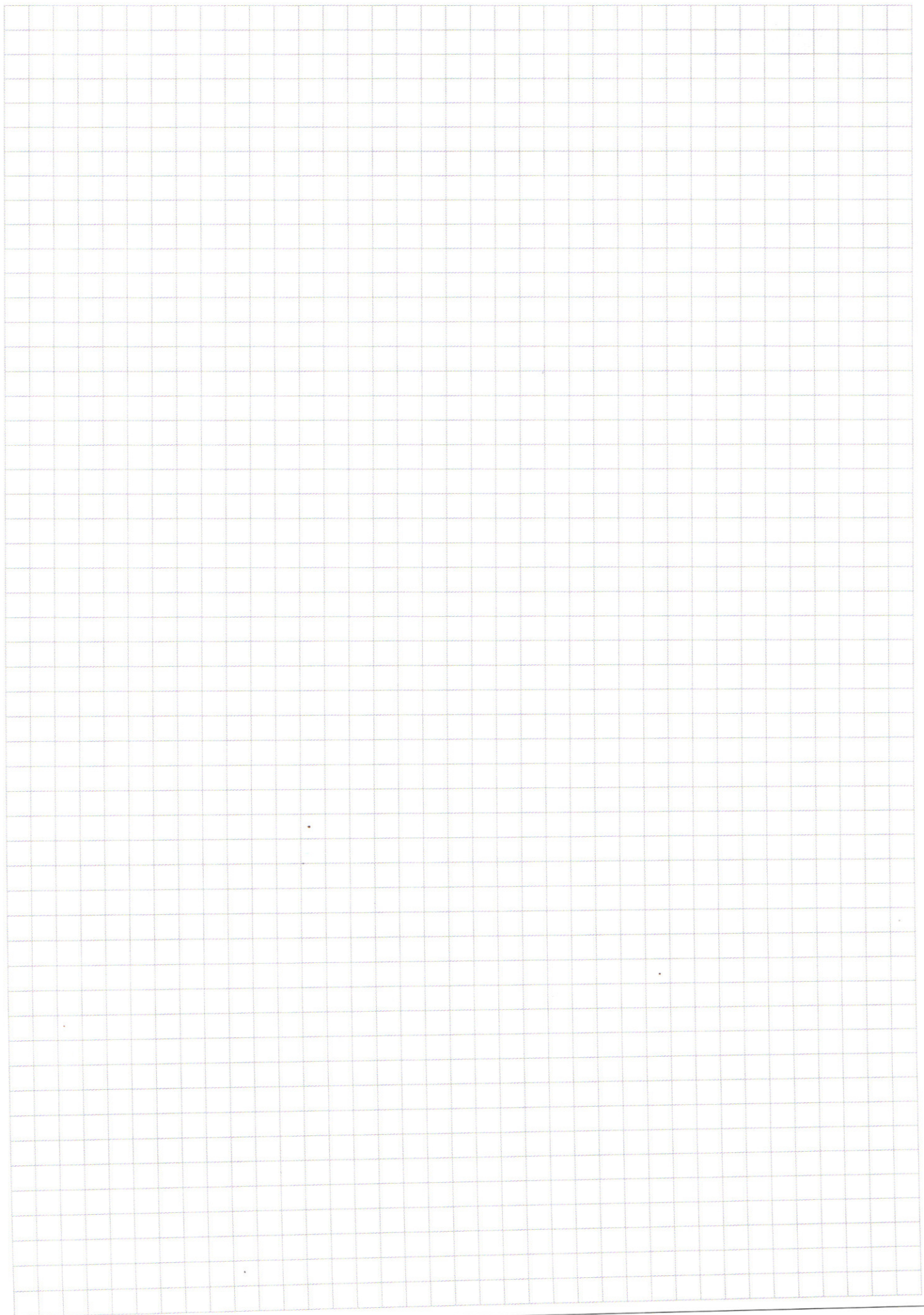
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)



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)

