



сдан в 16.01  
Синя

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант \_\_\_\_\_

Место проведения Москва  
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

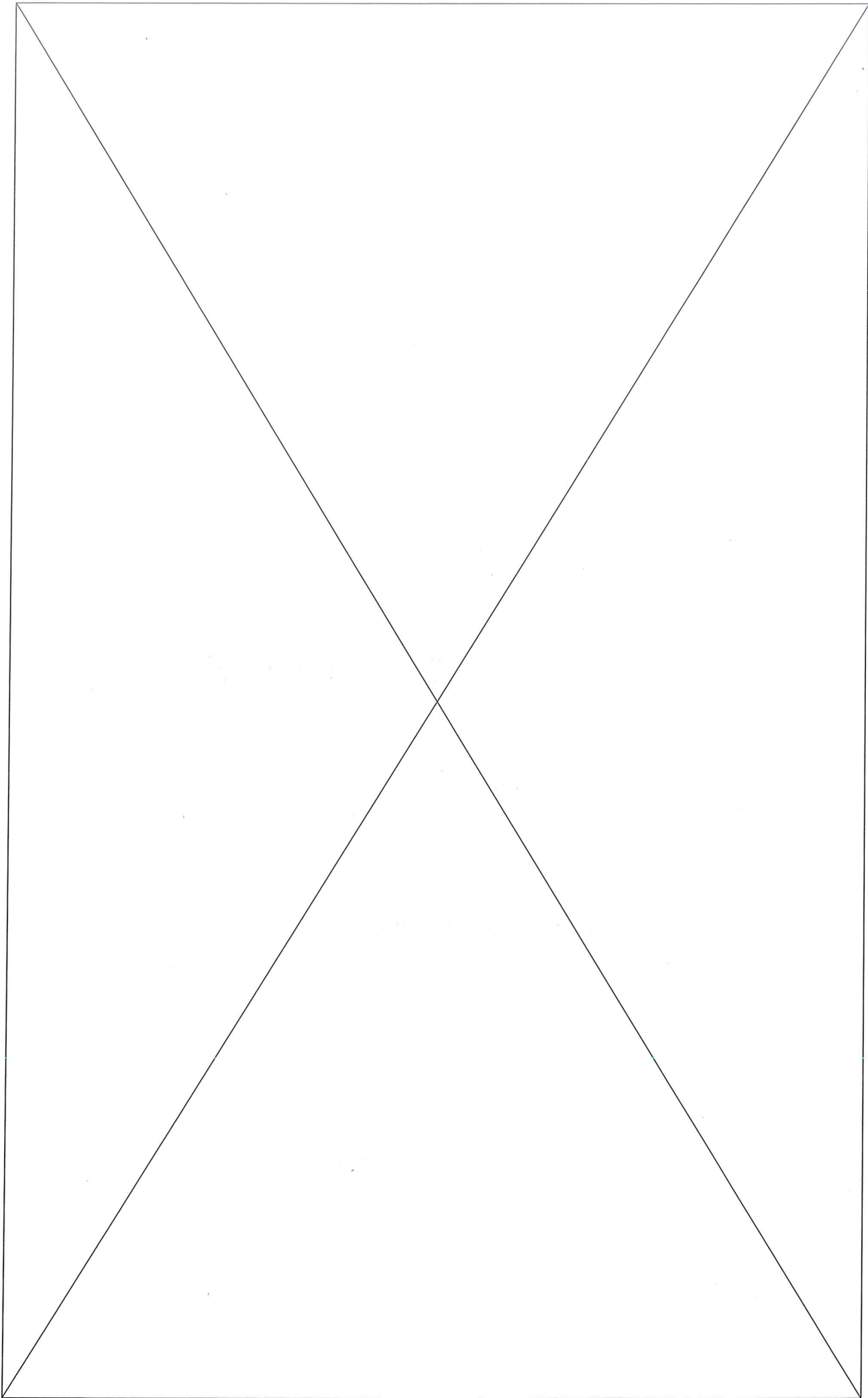
Олимпиада школьников „Покори Воробьёвы Горы“  
наименование олимпиады

по Физике  
профиль олимпиады

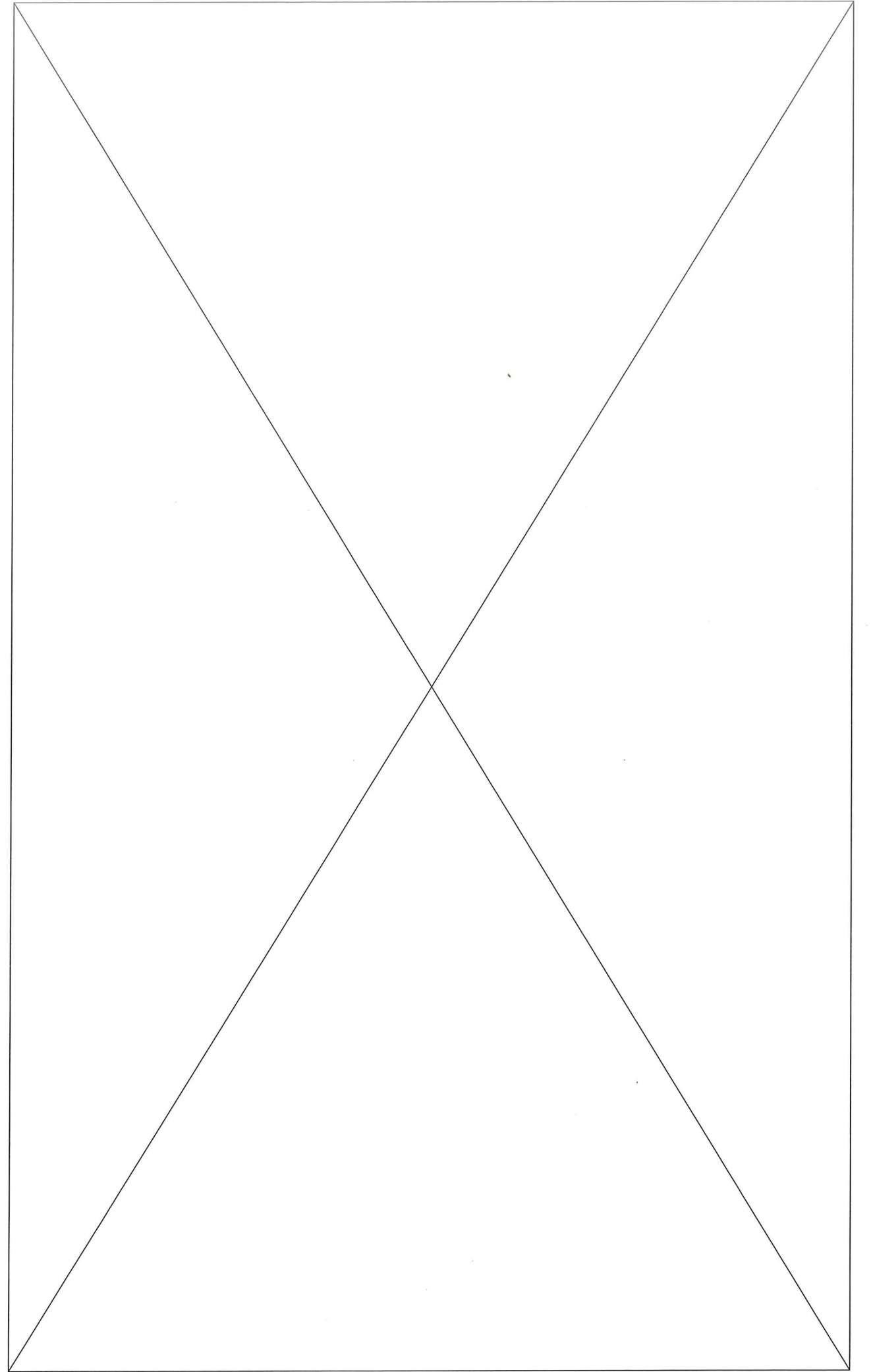
Гафарова Марата Эрнестовича  
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата  
«03» апреля 2026 года

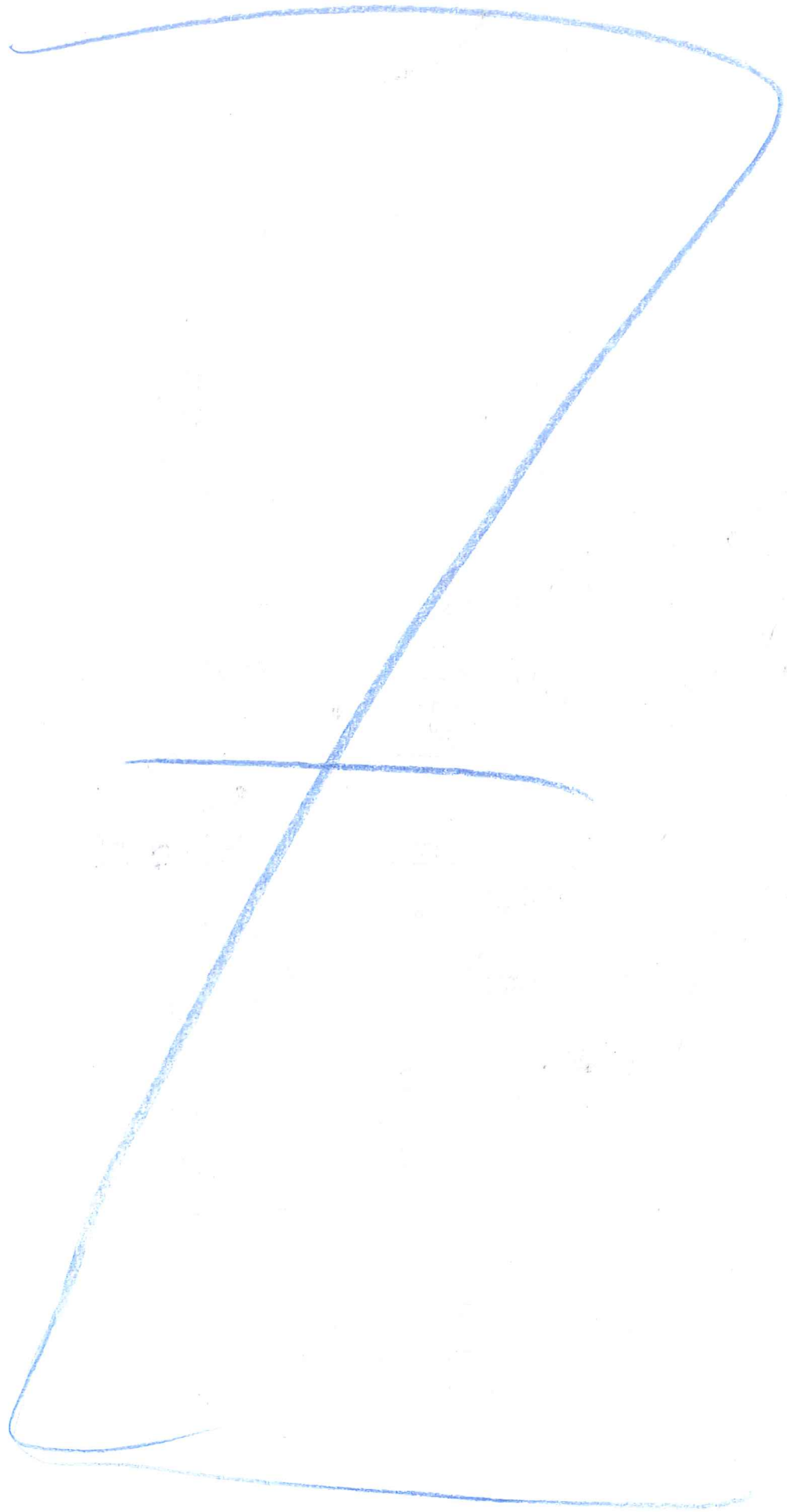
Подпись участника  
Аб



Выполнять задания на титульном листе запрещается!



Выполнять задания на титульном листе запрещается!



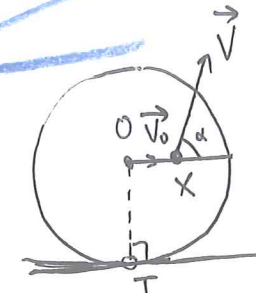
96-09-79-58  
(139,4)

Вопрос

№1

Вопрос

Скорость той точки диска, в которой он касается пов-и равна 0, т.е. диск движется без проскальзывания, поэтому  $V_0 \perp OT$ , т.е. скорость центра горизонтальна



Диск - твердое тело, поэтому проекции скорости точек O и X на OX равны:

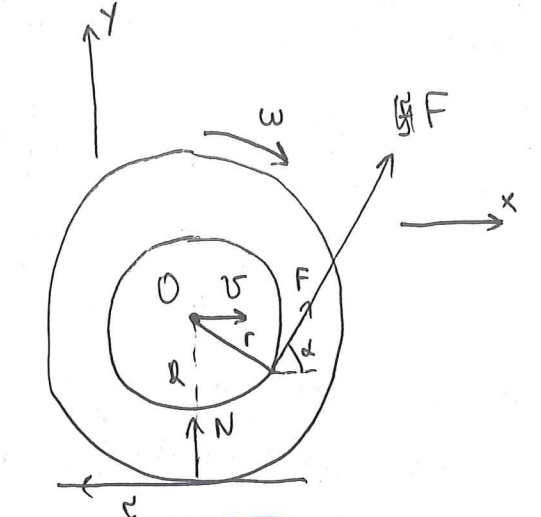
$$V_0 = V \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,96^2} = \sqrt{(1 - 0,96)(1 + 0,96)} = \sqrt{0,04 \cdot 1,96} = 0,2 \cdot 1,4 = 0,28$$

$$V_0 = 0,28V$$

Задача

Имеется сила пружины, действующая на катимку равна  $F$ . Тогда по 23Н для катимки в проекции на ось x:



$$M \cdot \frac{dv}{dt} = F \cos \alpha - F$$

Ур-е моментов от центра катимки O:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = F \cdot r - F \cdot R$$

Катимка не проскальзывает, поэтому:

$$v = \omega \cdot R \Rightarrow \frac{dv}{dt} = R \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$\Downarrow \quad M \cdot R \cdot \frac{d\omega}{dt} = F \cos \alpha - F \Rightarrow \frac{M \cdot R}{I} = \frac{F \cos \alpha - F}{F \cdot R - F \cdot r}$$

$$I = \frac{M}{2} \cdot \frac{R^2}{2} + \frac{M}{2} \cdot \frac{R^2}{2} = \frac{M \cdot R^2}{2}$$

$$\Downarrow \quad \frac{2}{R} = \frac{F \cos \alpha - F}{F \cdot R - F \cdot r} \Rightarrow F \cdot R \cos \alpha - F \cdot R = 2F \cdot R - 2F \cdot r \Rightarrow F = F \cdot \frac{R \cos \alpha + 2r}{3R} = F \cdot \left( \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{2r}{3R} \right)$$

$$M \cdot \frac{dv}{dt} = M a_x = F \cos \alpha - F = F \left( \cos \alpha - \frac{\cos \alpha}{3} - \frac{2r}{3R} \right) = \frac{2F}{3} \left( \cos \alpha - \frac{r}{R} \right)$$

$$a_x = \frac{2F}{3M} \left( \cos \alpha - \frac{r}{R} \right) = \frac{2 \cdot \frac{5}{8} M g}{3M} (0,28 - 0,48) = -\frac{1}{12} g$$

Таким образом, катушка будет двигаться вправо с ускорением

$$a = |a_x| = \frac{g}{12}$$

$g_{23H}$  для катушки в проекции на ось  $x$ :

$$mg \sin \alpha - N + F \sin \alpha - Mg = 0$$

$$N = Mg - F \sin \alpha$$

$$F = F \left( \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{2\Gamma}{3R} \right) \leq \mu N$$

$$\frac{5Mg}{8} \mu \geq \frac{F \left( \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{2\Gamma}{3R} \right)}{Mg - F \sin \alpha} = \frac{5Mg \left( \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{2\Gamma}{3R} \right)}{Mg - \frac{5Mg}{8} \sin \alpha} = \frac{5(\cos \alpha + \frac{2\Gamma}{R})}{24 - 15 \sin \alpha}$$

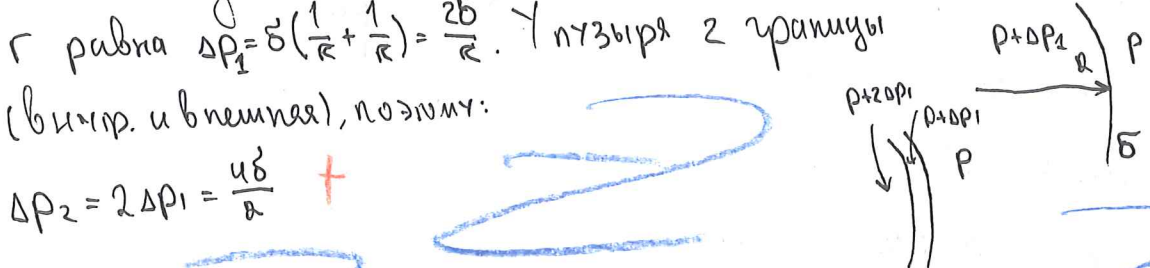
$$\frac{\Gamma}{R} = 0.48 = \frac{48}{100} = \frac{12}{25}; \cos \alpha = 0.28 = \frac{28}{100} = \frac{7}{25}; \sin \alpha = 0.96 = \frac{96}{100} = \frac{24}{25}$$

$$\mu \geq \frac{1}{5} \frac{7 + 24}{24 - \frac{72}{5}} = \frac{31}{48} \Rightarrow \mu \geq \frac{31}{48}$$

(N2)

Вопрос

Разность давлений по разные стороны сферической границы радиуса  $r$  равна  $\Delta p_1 = \delta \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \right) = \frac{2\delta}{r}$ . Упругая 2 границы



(внутр. и внешняя), поэтому:

$$\Delta p_2 = 2\Delta p_1 = \frac{4\delta}{r}$$

Задача изотермическое сжатие

Внешнее работа пойдет на ~~увеличение~~ ~~вытеснение~~ ~~вытеснение~~ энергии воздуха и поверхности энергии азота:

$$A = A_{ск} + W_{пов}$$

$$W_{пов} = 2\delta S (\text{1 пазуря 2 пов-ти}) = 2\delta \cdot 4\pi r^2 = 8\delta\pi r^2$$

$A_{ск}$

$(P_0 + \frac{4\delta}{R})$   
 $P_0 V_0 \cdot \ln$   
 $T = const$   
 $P_0 V_0$   
 $A = P_0$   
 $(P_0 + \frac{4\delta}{R})$   
 $0.96^2$   
 $(1 - 0.96)(1 + 0.96)$   
 $0.2 \cdot \sqrt{1.96}$   
 $0.02 \cdot \sqrt{1.96}$   
 $\frac{\mu_0 \cdot I}{2r} \cdot \sigma = m \frac{dv}{dt}$   
 $\frac{53}{96}$   
 $\frac{1}{576}$   
 $\frac{884}{9216}$   
 $\frac{10000}{9216}$   
 $784$   
 $\frac{2 \cdot \frac{5}{8} Mg}{3} (0.28 - 0.48)$   
 $21 \frac{5}{12} \frac{\mu_0 I}{2r}$   
 $\frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{2\pi r}{r^2}$   
 $\frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{2\pi r}{r^2}$   
 $\frac{\mu_0 I}{2r}$

Handwritten notes and diagrams on the left page. Includes:

- Diagram of a curved wire with a 30-degree angle and a radius of 0.5.
- Equation:  $A = \frac{T}{r}$
- Diagram of a triangle with sides  $\sqrt{3}x$  and  $\sqrt{3}x = mx$ .
- Diagram of a circular ring with radius  $a$  and current  $I$ .
- Equation:  $\frac{1}{x} \left(1 - \frac{l}{x}\right)$
- Equation:  $\frac{1}{\sqrt{x+l}} + \frac{1}{x-l \cos \alpha}$
- Other notes:  $4\pi \cdot 10^{-7}$ ,  $V_y = \text{const}$ ,  $\Delta = k$ ,  $c = \frac{k}{T} = 10$ ,  $\frac{340}{8000}$  cm,  $0.34$ ,  $0.034$ ,  $0.04$ .

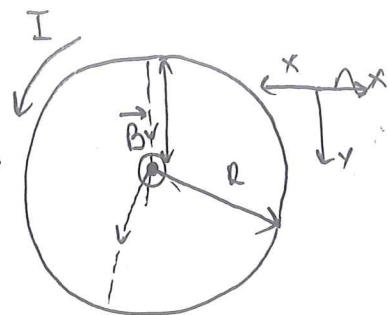
96-09-79-58  
(139.4)

Handwritten notes and diagrams on the right page. Includes:

- Section header: **Задача (2)**
- Text: "Наша работа пойдет на изотермическое сжатие воздуха и увеличение поверхностной энергии пазыра:"
- Equation:  $A = A_{сж} + \Delta W_{пов}$
- Equation:  $\Delta W_{пов} \approx 2\delta S - 0 = 2\delta S = 8\delta\pi R^2$  (у пазыря 2 пов-ти)
- Equation:  $A_{сж} = -A_{возг}$  ( $A_{возг}$  - работа самого газа)
- Equation:  $P_a \cdot A \cdot \mu \cdot T = \text{const}$ ,  $PV = \text{const} = P_0 V_0 \Rightarrow P = \frac{P_0 V_0}{V}$  ( $P_0, V_0$  - нач. давление и объем)
- Equation:  $A_{возг} = \int_{V_0}^{V_k} P dV = P_0 V_0 \int_{V_0}^{V_k} \frac{dV}{V} = P_0 V_0 \cdot \ln\left(\frac{V_k}{V_0}\right) = P_0 V_0 \cdot \ln\left(\frac{P_0}{P_k}\right)$  ( $P_k, V_k$  - конечные дав-е и объем)
- Equation:  $= P_k V_k \cdot \ln\left(\frac{P_0}{P_k}\right) = -P_k V_k \cdot \ln\left(\frac{P_k}{P_0}\right)$
- Text: "В нашем случае:"
- Equation:  $P_k = P_a + \frac{4\delta}{R}$ ;  $V_k = \frac{4}{3}\pi R^3$ ;  $P_0 = P_a$
- Equation:  $A_{возг} = \left(P_a + \frac{4\delta}{R}\right) \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{4\delta}{2P_a R}\right)$
- Equation:  $A_{сж} = \left(P_a + \frac{4\delta}{R}\right) \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{4\delta}{2P_a R}\right)$
- Equation:  $A = 8\delta\pi R^2 + \left(P_a + \frac{4\delta}{R}\right) \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{4\delta}{2P_a R}\right)$
- Text: "Заметим, что  $\frac{4\delta}{R} = \frac{4 \cdot 0.04}{0.04} \text{ Па} = 4 \text{ Па} \ll P_a \Rightarrow \ln\left(1 + \frac{4\delta}{2P_a R}\right) \approx \frac{4\delta}{2P_a R}$ ;  $P_a + \frac{4\delta}{R} \approx P_a$ "
- Equation:  $A \approx 8\delta\pi R^2 + P_a \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \frac{4\delta}{P_a R} = 8\pi R^2 \left(8 + \frac{16}{3}\right) = \frac{40}{3} \delta\pi R^2$
- Text: "нет числа"
- Section header: **(N3) Вопрос**
- Text: "Поле от малого элемента токит:"
- Equation:  $\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$
- Text: "В кольце все же любой участка  $d\vec{l} \perp \vec{r}$  и  $d\vec{B}$  направ. вдоль оси z  $\perp$  плоск. кольца:"
- Equation:  $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{dl \cdot a}{a^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{dl}{a^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{2\pi a}{a^2} = \frac{\mu_0 I}{2a}$

Задача

Т.к импульс тока очень короткий, то можно считать, что за время, пока в кольцо был ток, катушка не сместилась. Также  $h \ll r$ , т.е. горизонтальная приобретенная скоростью очень мала по сравнению с вертикальной, поэтому ее можно считать в первом приближении  $v_y \approx \text{const}$



Пусть в кольцо сейчас идет ток  $I$ . Тогда магнитная индукция  $B$  в его центре:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad (B \text{ направ. вверх})$$

ЗЗН для катушки:

$$m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}]$$

В проекциях на оси  $x$  и  $y$  получим:

$$m \cdot \frac{dv_x}{dt} = q \cdot v_y \cdot B; \quad m \cdot \frac{dv_y}{dt} = -q \cdot v_x \cdot B$$

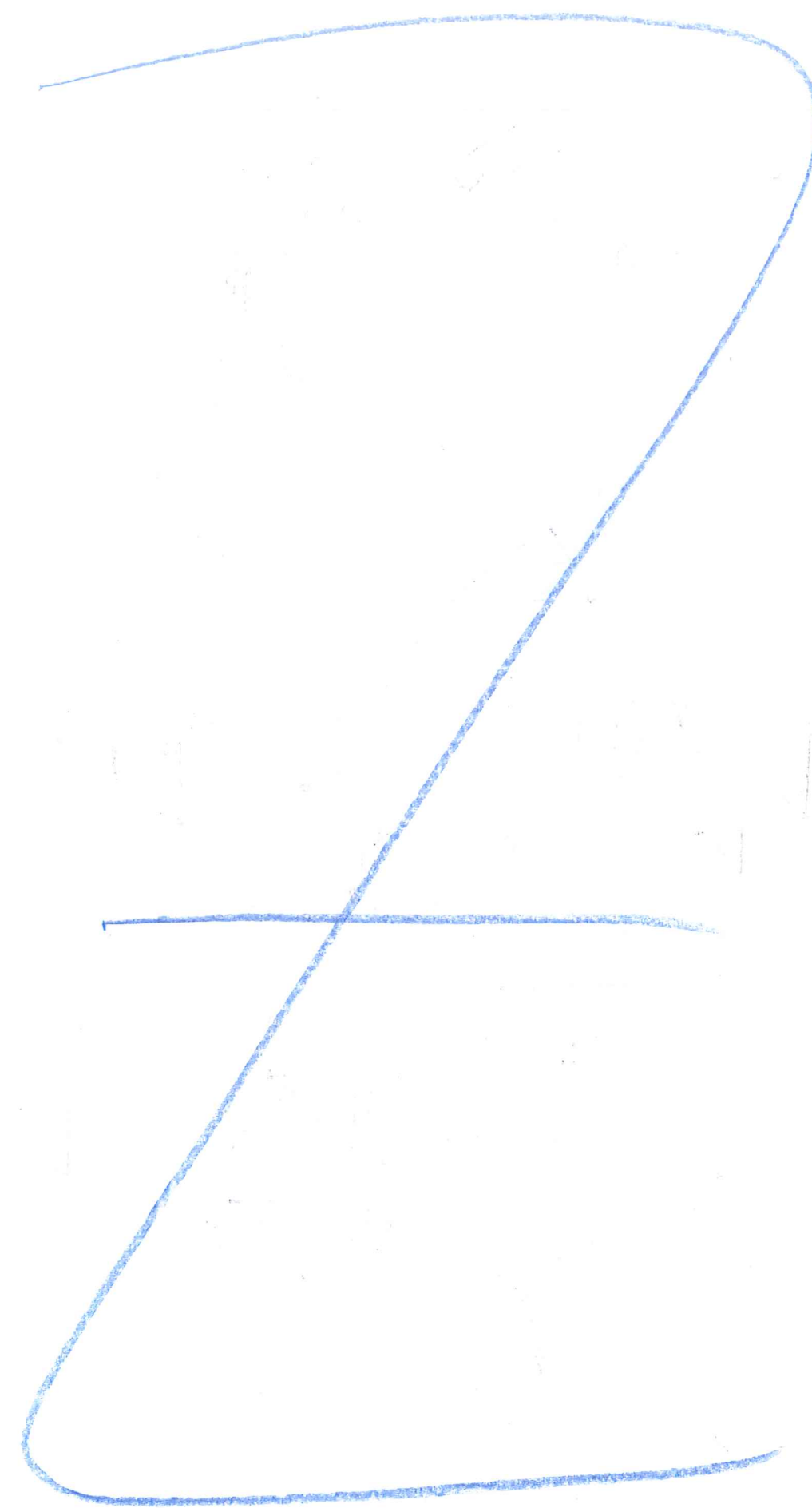
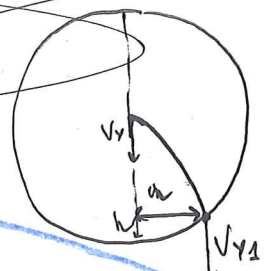
Т.к  $h \ll r$ , то горизонтальная скорость приобретенная катушкой

горизонтальная скорость катушки после импульса можно считать вертикальной, т.е. можно считать что за время импульса  $v_y \approx \text{const}$  (т.к.  $\frac{dv_y}{dt} \ll \frac{dv_x}{dt}$ )

$$v_y \approx \text{const} \quad (\text{т.к. } \frac{dv_y}{dt} \ll \frac{dv_x}{dt})$$

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{q v_y B}{m} = \frac{q v_y \mu_0 I}{2r m}$$

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{q v_y \mu_0}{2r m} \cdot \frac{dQ}{dt} \Rightarrow dv_x = \frac{q v_y \mu_0}{2r m} dQ \Rightarrow v_x - 0 = v_x = \frac{q v_y \mu_0}{2r m} Q$$

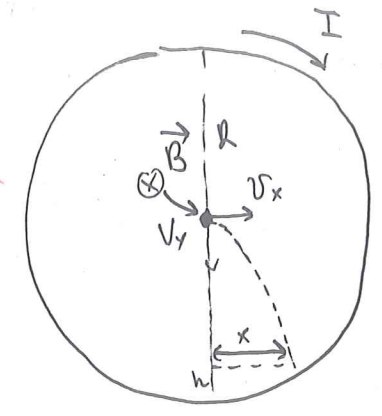




85-09-79-58  
(1394)

Задача (3)

Импульс тока очень короткий, поэтому смещением кольца за это время можно пренебречь, как и влиянием силы тяжести +



Также в итоге пылинки отклоняются по вертикали всего на

$$x = \sqrt{2z^2 - (R-h)^2} \approx \sqrt{2}zh \ll \ll R?$$

Поэтому можно считать, что горизонтальная скорость  $v_x$  приобретенная пылинкой намного меньше ее вертикальной скорости  $v_y$   $v_x \ll v_y$

23H для пылинки:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \vec{v} \times \vec{B} + \vec{F}_{эл}$$

В проекциях на ось x и y получим:

$$m \frac{dv_x}{dt} = qBv_y; \quad m \frac{dv_y}{dt} = -qBv_x$$

Т.е. можем считать  $v_y = \text{const}$  на время действия импульса:  $\sqrt{2gR}$

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{qB\sqrt{2gR}}{m} \cdot B$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu_0}{2R} \cdot \frac{dQ}{dt} \Rightarrow \frac{dv_x}{dt} = \frac{q\sqrt{2gR}}{2Rm} \cdot \mu_0 \cdot \frac{dQ}{dt} \Rightarrow dv_x = \frac{q}{m} \cdot \sqrt{\frac{g}{2R}} \cdot \mu_0 \cdot dQ$$

$$v_x = \gamma \cdot \sqrt{\frac{g}{2R}} \cdot \mu_0 \cdot Q$$

Рассчитаем время, прошедшее с момента подачи импульса до момента падения пылинки на кольцо:

$$t = \frac{\sqrt{2g \cdot 2R} - \sqrt{2gR}}{g} = \sqrt{\frac{2}{g}} (2 - \sqrt{2}) +$$

$$x = v_x t \Rightarrow \sqrt{2g \cdot 2R} = \sqrt{\frac{2}{g}} (2 - \sqrt{2}) \cdot \gamma \cdot \sqrt{\frac{g}{2R}} \cdot \mu_0 \cdot Q$$

$$\sqrt{2R} = (\sqrt{2} - 1) \gamma \mu_0 Q \Rightarrow \gamma = \frac{\sqrt{2R}}{(\sqrt{2} - 1) \mu_0 Q}$$

без запятой, пожалуйста

~~З~~

(N4)

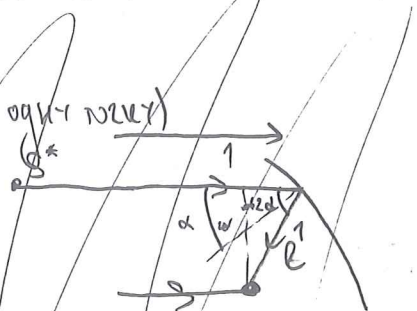
Задача

Понятно, что звуковые волны ведут себя аномально световым, т.е. угловое максимум интенсивности:

$\Delta = m\lambda$  ( $\Delta$  - разность хода лучей, прошедших в одну точку)

При этом угловое падение равно  $\alpha$ , то угол между лучом и отраженным лучом равен  $2\alpha$ .

S - источник излучения, поэтому Амплитуда обратно пропорциональна  $r^2$ , который прошел  $r^2$ :



(т.к. S источник, можно считать, что  $r^2$ )

~~А~~

~~З~~

(N4)

Вопрос

Приближение геом. оптики применимо, если все геометрические размеры системы много больше, чем длина волны света. (+)

