



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



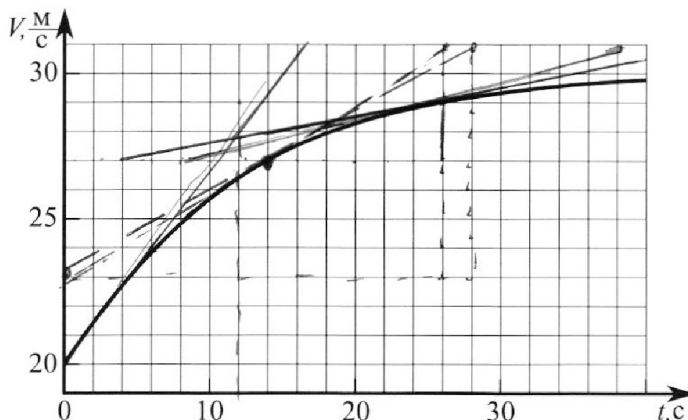
1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 300$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 405$ Н.

1) Используя график, найти ускорение мотоцикла при скорости $V_1 = 27$ м/с.

2) Найти силу сопротивления движению F_1 при скорости V_1 .

3) Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению при скорости V_1 ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.



2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится азот, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/6$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δn растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta n = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.

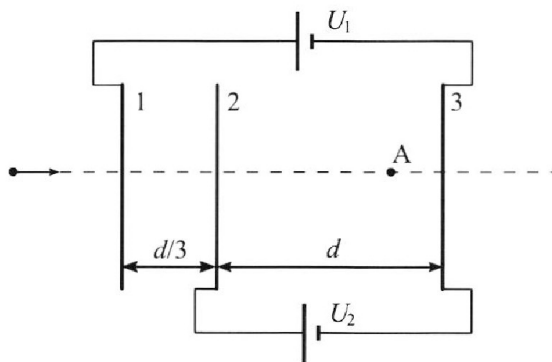
2) Определите конечное давление в сосуде P . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 2U$ и $U_2 = U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.

1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.

2) Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.

3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $2d/3$ от сетки 2.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-02

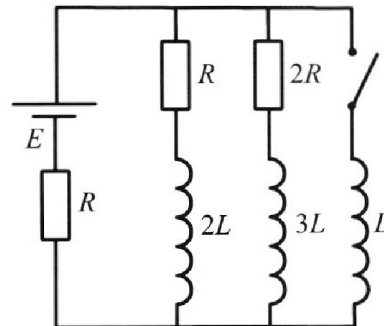
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ при замкнутом ключе?

Отв еты давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 200$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

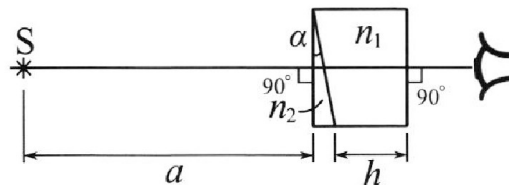


рис.). Угол $\alpha = 0,05$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,6$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,8$, $n_2 = 1,6$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

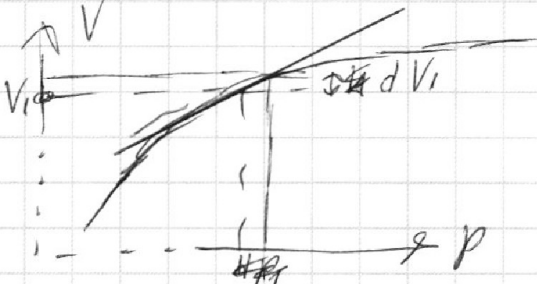
МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1) стрелка касательна к графику в точке где $v = v_1 = 27 \text{ м/с}$, и находим $\frac{dv}{dt}$ в этой точке, это будет a_1 .

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt_1} \approx \frac{27 \text{ м/с}}{6 \text{ с}} = \frac{1}{3} \text{ м/с}^2$$

$$a_1 = \frac{1}{3} \text{ м/с}^2$$



2) $p = \text{const}$

$$p = v \cdot (F_g) \quad \text{или} \quad p = v \cdot (a \cdot m + F_g) \quad \text{или} \quad p = v \cdot (F_g - F) \quad \text{или} \quad p = v \cdot F$$

$$F_g = (a \cdot m + F)$$

$$p = v \cdot (a \cdot m + F)$$

$$p = (v_k \cdot F_k)$$

сила сопротивления F , которая всегда зависит от скорости $F(v)$.

Найдём a_0 , тогда мы получим, как a_1 .

$$a_0 = \frac{28 \text{ м/с}}{12 \text{ с}} = \frac{2}{3} \text{ м/с}^2$$

$$p = v_0 \cdot a_0 \cdot m + F_0 \cdot v_0 = v_1 \cdot a_1 \cdot m + F_1 \cdot v_1 = v_k \cdot F_k$$

$$\left(\frac{v_k F_k - F_0 \cdot v_0}{v_0 \cdot a_0} \right) = \left(\frac{v_k F_k - F_1 \cdot v_1}{v_1 \cdot a_1} \right)$$

$$\cancel{p = v \cdot F} = \cancel{28 \cdot 28 \text{ м} + F_0 \cdot v_0}$$

исходя из графика 2 предположим, что $v_k \approx 30 \text{ м/с}$,

$$\text{тогда } p \approx v_k \cdot F_k$$

$$\text{при } v_2 = 29 \text{ м/с}, \quad a_2 = \frac{2}{22} \approx \frac{1}{11} \text{ м/с}^2$$

$$\text{если } a_1 = a_0 \approx \frac{a_2 - a_1}{v_1 - v_0} \approx \frac{a_2 - a_1}{v_2 - v_0}$$

$$\frac{1}{3} \approx \frac{a_2 - \frac{1}{3}}{29 - 27}$$

Исходя из того, что график сходится к $v = 30 \text{ м/с}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



выполнение задачи ~~N°2~~ N°1
~~необходимо вычислить~~ предельный ток $\mathcal{I}_K = 30 \text{ кА}$,
тогда $\mathcal{I} = 405 \text{ А}$ $\mathcal{P} = \mathcal{I}_K \cdot F_K = 12150 \text{ (Вт)}$

$$\mathcal{P} = \alpha_i \cdot m \cdot \mathcal{V}_i + F_i \cdot \mathcal{V}_i \Rightarrow F_i = \left(\frac{\mathcal{P}}{\mathcal{V}_i} - \alpha_i \cdot m \right)$$

$$\alpha_i \cdot m \approx 100 \text{ К.}$$

$$\frac{\mathcal{P}}{\mathcal{V}_i} \approx \frac{\mathcal{I}_K}{\mathcal{V}_i} \cdot F_K \approx \frac{10}{9} F_K \approx \frac{10 \cdot 405}{9} = 450 \text{ К.}$$

$$F_i = \left(\frac{\mathcal{P}}{\mathcal{V}_i} - \alpha_i \cdot m \right) = 450 - 100 = 350 \text{ К.}$$

$$3) \eta \approx \frac{F_i \cdot \mathcal{V}_i}{\mathcal{P}} = \frac{27 \cdot 350}{12150} \approx \frac{9 \cdot 35}{405} \approx \frac{35}{45} \approx \left(\frac{7}{9} \right)$$

$$\text{Ответ: 1) } \alpha_i \approx \frac{1}{3} \text{ к/е, 2) } F_i \approx 350 \text{ К., 3) } \eta \approx \left(\frac{7}{9} \right)$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$T = \frac{4T_0}{3} = 373 \text{ K}$$

N2

$$T_0 \approx \left(\frac{373 \cdot 3}{4} \right) \text{ K}; T_0 \approx \left(\frac{3T}{4} \right)$$

$$P_1 = P_2 = P_0$$

$$1) P_1 = P_A$$

$$P_2 = P_{B_1} + P_{CO_2}$$

$$PV = \nu RT = ?$$

$$\left\{ \begin{aligned} P_1 &= \frac{\nu_A R T_0}{V_A} = \frac{2 \nu_A R T_0}{V} \end{aligned} \right.$$

$$P_{B_1} = \frac{\nu_B \cdot R \cdot T_0}{V_{CO_2}} \approx \frac{4 \nu_B R T_0}{V}$$

$$P_{CO_2} = \frac{\nu_{CO_2} \cdot R \cdot T_0}{V_{CO_2}} \approx \frac{4 \nu_{CO_2} R T_0}{V}$$

$$P_1 = P_{B_1} + P_{CO_2} = ?$$

$$= ? \frac{2 \nu_A R T_0}{V} = \frac{4(\nu_B + \nu_{CO_2}) \cdot R T_0}{V} = ?$$

$$n = \frac{\nu_A}{\nu_B + \nu_{CO_2}} \approx 2, \text{ в верхней части будет больше молей газа. } P_{B_1} \approx 0 \Rightarrow n = \frac{\nu_A}{\nu_{CO_2}} = 2$$

$$2) P_2^* V_2^* = \nu_A \cdot R T = 2 \nu_{CO_2}^* R T$$

при $T \approx 373^\circ \text{ K}$, давление водяных паров равно атмосферному

$$P_{B_2}^* = P_{\text{атм.}}$$

$$\Delta \nu_{CO_2} = \kappa p w = \frac{1}{4} \nu_{CO_2}^* R T_0$$

$$P_2^* = P_{B_2}^* + P_{CO_2}^* = P_{\text{атм.}} + P_{CO_2}^* = P_0^*$$

$$P_2^* = \frac{\nu_A \cdot R \cdot T}{V_2^*} \approx \frac{6 \cdot \nu_A \cdot R \cdot \frac{4}{3} T_0}{V} = \frac{8 \nu_A R T_0}{V} \approx 4 P_0$$

$$P_{CO_2}^* \cdot V_{CO_2}^* = (\nu_{CO_2} + \Delta \nu_{CO_2}) \cdot R T$$

$$V_{CO_2}^* = V - \frac{V}{6} - \frac{V}{4} = \frac{7}{12} V$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

продолжение задачи №2

$$p_{CO_2}^* = \frac{(p_{CO_2} + \Delta p_{CO_2}) \cdot RT}{V_{CO_2}^*} = \frac{12 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^6$$

$$p_{CO_2}^* = \frac{12}{7} \cdot \frac{p_{CO_2} \cdot RT}{V} + \frac{12}{7} \cdot \frac{\Delta p_{CO_2} \cdot RT}{V} = p_0^* - p_{атм} =$$

$$= 8 p_0^* - p_{атм}$$

$$p_{CO_2}^* p_0^* = \frac{12 p_{CO_2} \cdot RT_0}{7V} + \frac{12 \cdot (\frac{1}{4}V) \cdot K \cdot \frac{p_0^*}{8} \cdot RT}{7V} - p_{атм} =$$

$$= \frac{1}{7} p_0^* + \frac{3 \cdot K \cdot p_0^* \cdot RT}{28} - p_{атм}$$

$$\frac{3 \cdot K \cdot p_0^* \cdot RT}{28} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{7 \cdot 8} = \frac{(p_0^* \cdot 27)}{280}$$

$$p_0^* = \frac{1}{14} p_0^* + \frac{p_0^* \cdot 27}{280} + p_{атм}$$

$$p_0^* \left(\frac{280 - 47}{280} \right) = p_{атм}$$

$$\frac{3 \cdot K \cdot p_0^* \cdot RT}{28} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 2}{7 \cdot 2 \cdot 20} = \frac{27}{140}$$

$$p_0^* = \frac{1}{7} p_0^* + \frac{27}{140} p_0^* + p_{атм}$$

$$p_0^* \cdot \frac{(140 - 20 - 27)}{140} p_0^* = p_{атм}$$

$$p_0^* = \frac{140}{93} p_{атм}$$

Ответ: 1) $n = \frac{\Delta A}{\Delta p_{CO_2}} = 2$, 2) $p_0^* = \frac{140}{93} p_{атм}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



N 3

1) Запишем 2, 3, Ньютона:

$$m a_{23} = F_{k23}$$

$$F_{k23} = qE$$

$$E \cdot d = v^2 \Rightarrow E = \left(\frac{v}{d} \right)$$

$$F_{k23} = \frac{qv}{d}$$

$$a_{23} = \frac{F_k}{m} = \left(\frac{qv}{dm} \right)$$

2) Запишем 3, с.э:

$K_2 = K_3 - A_{23}$, где A_{23} - работа эл. поля между пластинами 2 и 3

$$A_{23} = F_k \cdot d = (qv) \Rightarrow$$

$$K_2 = K_3 - qv \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_3 - K_2 = qv$$

$$(K_3 - K_2) = qv$$

3) Запишем 3, с.э:

$\frac{V_0^2 \cdot m}{2} = \frac{V_A^2 \cdot m}{2} - A_{12} - A_{2A}$, где A_{12} - работа эл. поля между 1 и 2 обкладками, а A_{2A} - между 2 обкладкой и металлической

$$A_{12} = F_{k12} \cdot \frac{d}{3}, F_{k12} = E_{12} \cdot q, E_{12} = \left(\frac{V_1 - V_2}{d/3} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{12} = (V_1 - V_2) \cdot q = v \cdot q$$

$$A_{23} = F_{k23} \cdot \frac{2d}{3} = \frac{2}{3} qv$$

$$\frac{V_0^2 \cdot m}{2} = \frac{V_A^2 \cdot m}{2} + \frac{2}{3} qv + qv = \frac{V_A^2 \cdot m}{2} + \frac{5}{3} qv \Rightarrow$$

$$V_A = \sqrt{V_0^2 + \frac{10qv}{3m}}$$

$$\text{Итого: 1) } a_{23} = \frac{qv}{dm}, 2) (K_3 - K_2) = qv, 3) V_A = \sqrt{V_0^2 + \frac{10qv}{3m}}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



N 4

1) при замыкании выключателя ток: $E_L = 0, E_{3L} = 0$.

Закроем 1 закон

Кирхгофа:

$$I_0 = I_1 + I_2$$

Закроем 2 закон Кирхгофа:

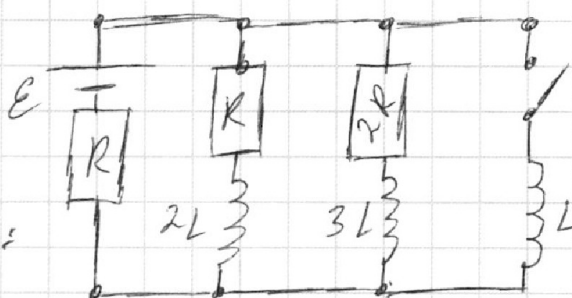
$$\begin{cases} E - I_0 R - I_1 R = 0 \\ E - I_0 R - I_2 R = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_1 = 2 I_2$$

$$I_0 = 3 I_2 \Rightarrow E - 3 I_2 R - I_2 R \cdot 2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = 5 I_2 R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{E}{5R}$$



$$2) I_0 = 3 I_2 = \frac{3E}{5R}$$

Закроем 2 закон Кирхгофа:

$$E_0 - R I_0 - \dot{I}_L L = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_0 - \frac{3E}{5} = \dot{I}_L L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{I}_L = \frac{2E}{5L}$$

3) В начале ток идет только через катушку с(L), тк у неё не будет сопротивления.

2 закон Кирхгофа:

$$E_0 - I_0 R - I_1 R - \dot{I}_2 L = 0$$

$$E_0 - I_0 R - I_2 2R - \dot{I}_3 L = 0$$

$$E_0 - I_0 R - \dot{I}_L L = 0$$

$$\Rightarrow I_1 R + \dot{I}_2 L = I_2 2R + \dot{I}_3 L = \dot{I}_L L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dQ_2}{dt} \cdot 2R + \frac{dI_3}{dt} \cdot 3L = \frac{dI_L}{dt} \cdot L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \int_0^{Q_2} dQ_2 \cdot 2R = \int_{I_{20}}^{I_{2K}} dI_3 \cdot 3L + \int_0^{I_{LK}} dI_L \cdot L$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

продолжение задачи №4

$$I_{3K} \geq 0$$

Каждый I_{LK} через 2 волюн как 2 волюн:

$$E - I_{LK} \cdot R \geq 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{LK} \leq \frac{E}{R}$$

$$Q_2 \cdot 2R = I_{20} \cdot 3L + I_{LK} \cdot L = \frac{3LE}{5R} + \frac{EL}{R}$$

$$Q_2 \geq \frac{8LE}{5R} \cdot \frac{1}{2R} \geq \left(\frac{4LE}{5R^2} \right)$$

$$\text{Ответ: } 1) I_{20} = \frac{E}{5R}, 2) I_L = \frac{2E}{5L}, 3) Q_2 = \left(\frac{4LE}{5R^2} \right)$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



NS

1) так как луч входит
в первую призму под углом
 30° , то передыщем
его траекторию,
на графике между
призмами луч пройдет
под углом (α) ко второй
призме.



используем закон Снеллиуса:

$$\sin(\alpha) \cdot n_2 = \sin(\beta) \cdot n_1$$

$$2 \cdot \sin(\alpha) = \sin(\beta) \approx 2, \text{ где } \beta, \text{ так же}$$

$$2 \cdot n_2 = \beta \cdot n_1$$

$$\beta \approx \frac{2 \cdot n_2}{n_1} \approx 1.62$$

при выходе из призмы с (n_2) луч не будет
преломляться, так $n_1 \approx n_2$.

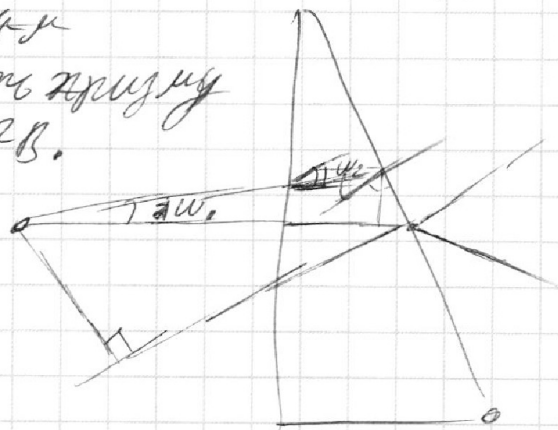
и так построим траекторию луча после прохождения
первой линзы.

$$\gamma = (\beta - \alpha) = (n_2 - n_1) \cdot \alpha \approx 0.6 \cdot \alpha \approx \frac{3}{100} \text{ рад}$$

2) угол под которым
луч идет к второй призме
с $(n_1) \approx \text{т.к. } n_1 \approx n_2$.

лучи проходят
через первую стержень

изображение будет
на расстоянии (S_1^*)



$$\alpha \cdot \sin(w_1) = S_1^* \cdot \sin(w_2)$$

$$\sin(w_1) \cdot n_1 = \sin(w_2) \cdot n_2 \approx 2$$

$$S_1^* \approx \frac{n_2 \cdot \alpha}{n_1} \approx 1.6 \alpha \approx 320 \text{ см.}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



продолжение задачи №5

исход изGeom Костылевский
и теорема синусов и косинусов.
прямая линия,
поэтому, что

$$\frac{OS^{**}}{OS^*} = \frac{R_B}{R_2}$$

$$\frac{OS}{OS^*} = \frac{R_B}{R_2}$$

$$\cos(\alpha) \approx 1$$

$$\Rightarrow SS^{**} = SR \cos(\alpha) \cdot (OS^* - OS) =$$

$$= S(R_2) \cdot (R_2 - R_B) \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 200 \cdot 0,905$$

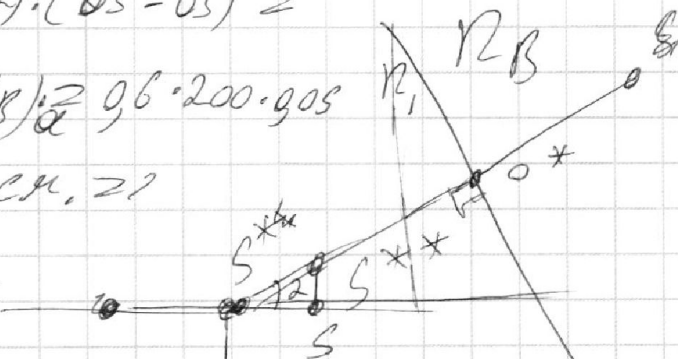
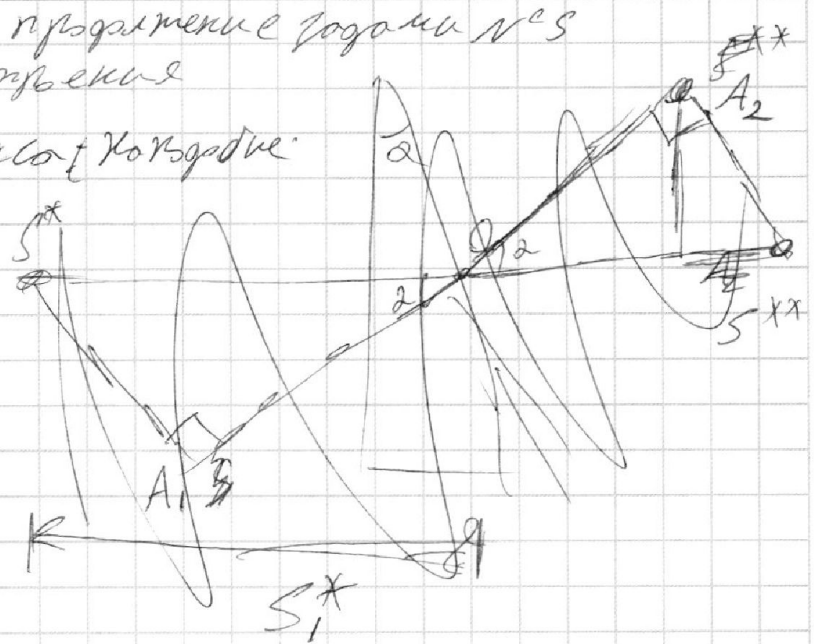
$$= \frac{0,6 \cdot 200}{20} = 6 \text{ см.} \Rightarrow$$

$$SS^{**} = 6 \text{ см.}$$

~~Ответ~~

В

Ответ: 1) $\alpha \approx \frac{3}{100} \text{ рад} \approx 0,03 \text{ рад}$, 2) $SS^{**} = 6 \text{ см.}$





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

