



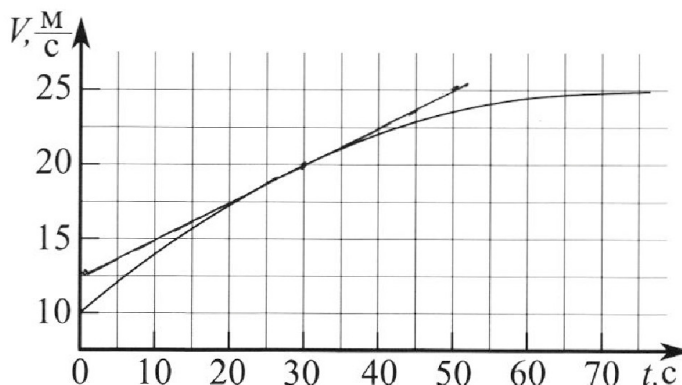
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

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



1. Автомобиль массой $m = 1800$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна $F_k = 500$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.
- Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .
- Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

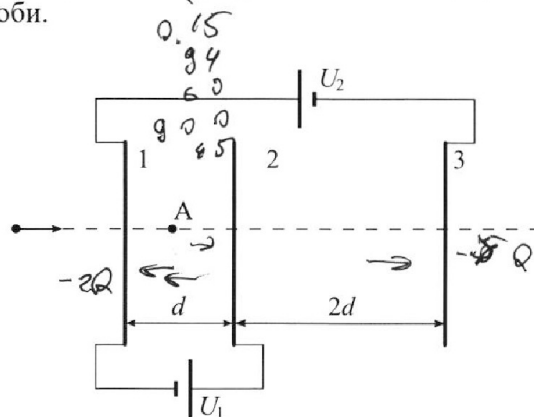
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом 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 углекислый газ, 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 $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- Определите начальное давление в сосуде P_0 . 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 $2d$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = U$ и $U_2 = 4U$. 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- Найти скорость частицы в точке A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Handwritten calculations for the third problem: $1/3 \cdot 9$, $4/3 \cdot 2/3$, $4/3 \cdot 2/3$.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-01

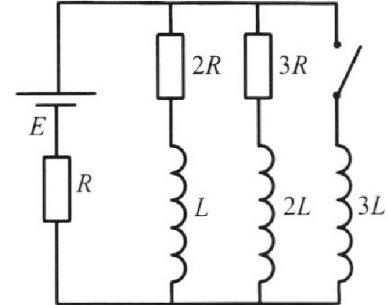
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $2R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $3L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $2R$ при замкнутом ключе?

Ответы 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 $n_b = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 194$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ 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.

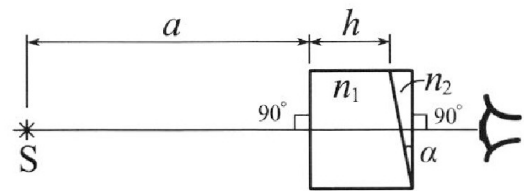


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_b = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_b = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

$$194 + 9 = 203$$

$$\begin{array}{r} 42 \\ 194 \\ 115 \\ 1940 \\ 1940 \\ 2910 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 42 \\ 194 \\ 15 \\ 940 \\ 1940 \\ 291 \end{array}$$

$$\begin{aligned} v_0 t - \frac{a}{2} t^2 &= \frac{d}{3} \\ \frac{a}{2} t^2 - v_0 t + \frac{d}{3} &= 0 \\ D = v_0^2 - \frac{2ad}{3} \\ t &= \frac{v_0 \pm \sqrt{D}}{a} \end{aligned}$$

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!

- а) Заметим, что в конце разгона скорость автомобиля примерно постоянна, а значит ускорение в этот момент примерно 0, тогда:

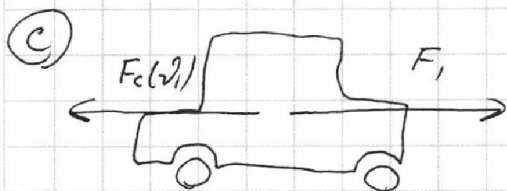
$$\begin{cases} F_k = F_{\text{сопр}}(v_k) \\ F_{\text{сопр}}(v_k) = k v \end{cases} \quad v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (\text{по графику})$$

$$k v_k = F_k \quad k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{500 \text{ Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

- б) Т.к. линейки запрещены, воспользуемся планком ответов, чтобы провести касательную к графику $v(t)$ в точке с координатами $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $t = 30 \text{ с}$. Ускорение при $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - это производная

$\frac{dv}{dt}$, тогда по ~~угловому~~ наклону касательной, определим $a_1 = \frac{25 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{50 \text{ с} - 10 \text{ с}} = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{40 \text{ с}} = 0.25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$\textcircled{1} \quad a(v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}) = 0.25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



$$F_1 = F_{\text{сопр}}(v_1) + m a_1$$

$$F_1 = k v_1 + m a_1$$

$$F_1 = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 1800 \text{ кг} \cdot 0.25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} =$$

$$\textcircled{2} \quad F_1 = 400 \text{ Н} + 450 \text{ Н} = 850 \text{ Н}$$



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!

$$\textcircled{4} \quad P_1 = \frac{dA_1}{dt} = \frac{F_1 dl_1}{dt} = F_1 v_1 = 850 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$P_1 = 17000 \text{ Вт} = 17 \text{ кВт}$$

Ответ: 1) $a_1 = 0.25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

2) $F_1 = 850 \text{ Н}$

3) $P_1 = 17 \text{ кВт}$

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

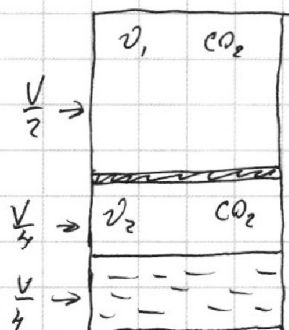
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

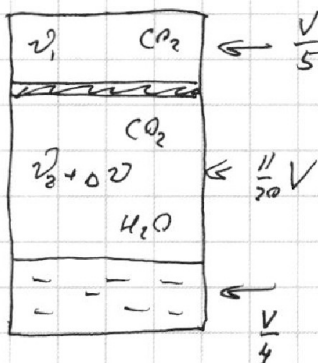
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

а) Было



T_0 , р_{нат}

Стало



$\frac{5}{4}T_0$, р_{ком}

Т.к. давлением
водяных паров
можно пренебречь,
то единственной
газообразной

веществом ^{вытеснит} будет углекислый газ.

$$\begin{cases} p_{\text{нат}} \cdot \frac{V}{2} = \nu_1 R T_0 \\ p_{\text{нат}} \cdot \frac{V}{4} = \nu_2 R T_0 \end{cases}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{1} = 2$$

① $\boxed{\frac{\nu_1}{\nu_2} = 2}$

с) После нагревания при $\frac{5}{4}T_0$ ~~вытеснит~~ некоторая
часть воды превратится в пар, а давление
насыщенного водяного пара при 100°C (или 373°K)
равно р_{атм}.

$$\begin{cases} p_3 \cdot \frac{11}{20}V = (\nu_2 + \Delta\nu) R T_K \\ (p_3 + p_{\text{атм}}) \cdot \frac{V}{5} = \nu_1 R T_K \\ \Delta\nu = k \cdot p_{\text{нат}} \cdot \frac{V}{4} \end{cases}$$

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!



$$\begin{cases} p_0 V = \frac{20}{11} \left(v_2 + \frac{k_{\text{max}} \cdot V}{4} \right) R T_k \\ p_0 V + p_{\text{атм}} V = 5 v_1 R T_k \end{cases}$$

$$\frac{20}{11} v_2 R T_k + \frac{5}{11} k_{\text{max}} V R T_k = 5 v_1 R T_k - p_{\text{атм}} V$$

$$v_1 R T_0 = p_{\text{max}} \frac{V}{2} \Rightarrow v_1 R \frac{5}{4} T_0 = p_{\text{max}} V \frac{5}{8}$$

$$v_2 R T_0 = p_{\text{max}} \frac{V}{4} \Rightarrow v_2 R T_k = p_{\text{max}} V \frac{5}{16}$$

$$\frac{20}{11} \cdot p_{\text{max}} V \cdot \frac{5}{16} + \frac{5}{11} k_{\text{max}} V R T_k = 5 \cdot \frac{5}{8} p_{\text{max}} V - p_{\text{атм}} V$$

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{max}} \left(\frac{25}{8} - \frac{5}{11} k R T_k - \frac{25}{44} \right)$$

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{max}} \left(\frac{25 \cdot 11}{88} - \frac{50}{88} - \frac{25}{44} \right) = p_{\text{max}} \left(\frac{275 - 50 - 275}{88} \right) = p_{\text{max}} \left(\frac{-50}{88} \right)$$

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{max}} \left(\frac{250 + 25 - 50}{88} - \frac{40}{88} \right) = p_{\text{max}} \left(\frac{185}{88} \right)$$

$$p_{\text{max}} = p_0 = \frac{88}{185} p_{\text{атм}}$$

Ответ: 1) $\frac{v_1}{v_2} = 2$

2) $p_0 = \frac{88}{185} p_{\text{атм}}$

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!

а) Т.к. сетки ~~указанные~~ не заряжены суммарный заряд ~~через~~ $q_1 + q_2 + q_3 = 0$.

$$E_1 = \frac{q_1}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_2 = \frac{q_2}{2\epsilon_0 S}$$

$$E_3 = \frac{q_3}{2\epsilon_0 S}$$

$$\begin{cases} (E_2 + E_3 - E_1) d = U_1 \\ E_1 \cdot 3d + (E_2 + E_3) d + (E_2 - E_3) 2d = U_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_2 + q_3 - q_1 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_1 = \frac{2\epsilon_0 S 4}{d} \\ 3q_1 - 3q_3 + q_2 = \frac{2\epsilon_0 S}{d} U_2 = 8 \frac{\epsilon_0 S 4}{d} \\ q_1 + q_2 + q_3 = 0. \end{cases}$$

$$q_2 = -q_1 - q_3$$

$$-2q_1 = \frac{2\epsilon_0 S 4}{d}$$

$$2q_1 - 4q_3 = 8 \frac{\epsilon_0 S 4}{d}$$

$$-4q_3 = 8 \frac{\epsilon_0 S 4}{d} + \frac{2\epsilon_0 S 4}{d} = 10 \frac{\epsilon_0 S 4}{d}$$

$$q_1 = - \frac{\epsilon_0 S 4}{d} = -2Q$$

$$q_3 = -2.5 \frac{\epsilon_0 S 4}{d} = -5Q$$

$$q_2 = 3.5 \frac{\epsilon_0 S 4}{d} = +7Q$$

$$, \text{ где } Q = \frac{\epsilon_0 S 4}{2d}$$

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!

МФТИ

$$\textcircled{b} \quad E_{12} = E_1 - E_2 - E_3 = (q_1 - q_2 - q_3) \frac{1}{2\epsilon\epsilon_0} =$$

$$= (-2Q - \cancel{Q} + 3Q) \frac{1}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{-2Q}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{-\epsilon_0 \cancel{54}}{d \epsilon_0} = \frac{-4}{d}$$

Это направление эл. поля между сетками
1 и 2.

$$a_{12} = |E_{12} q|$$

$$\textcircled{1} \quad a_{12} = \frac{4q}{md}$$

$$\textcircled{c} \quad K_1 - K_2 = -E_{12} \cdot q \cdot d = +qU$$

$$\textcircled{2} \quad K_1 - K_2 = +qU$$

$$\textcircled{d} \quad \frac{mv_0^2}{2} + E_{12} q \cdot \frac{d}{3} = \frac{mU^2}{2}$$

$$mU^2 = -\frac{2}{3} qU + mv_0^2$$

$$\textcircled{3} \quad U = \sqrt{-\frac{2qU}{3m} + \frac{v_0^2}{m}}$$

при $v_0^2 \geq \frac{2}{3} \frac{qU}{m}$
иначе не пролетит до $\frac{2}{3}d$.

Ответ: 1) ~~ВЛ~~ $a_{12} = \frac{4q}{md}$

2) $K_1 - K_2 = qU$

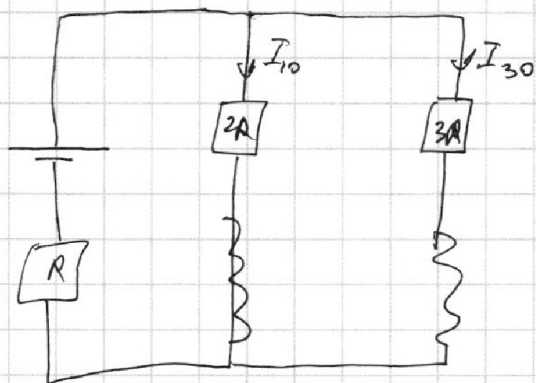
3) $\sqrt{-\frac{2qU}{3m} + \frac{v_0^2}{m}}$

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!



- а) Пока ключ разомкнут, все токи постоянны,
т.к. режим установившийся:



$$\begin{cases} \mathcal{E} = 3I_{10}R + I_{30}R \\ 2I_{10}R = 3R \cdot I_{30} \end{cases}$$

$$I_{30} = \frac{2}{3} I_{10}$$

$$\mathcal{E} = R I_{10} \left(3 + \frac{2}{3} \right)$$

$$\mathcal{E} = R I_{10} \cdot \frac{11}{3}$$

①

$$I_{10} = \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

- б) Сразу после замыкания ток через катушку $3L$ равен 0.

$$\mathcal{E} - (I_{10} + I_{30})R = -\mathcal{E}_{3L} = + \frac{d\Phi}{dt} = + L \dot{I}$$

$$\dot{I} = \frac{\mathcal{E} - \frac{3}{11}\mathcal{E} - \frac{2}{11}\mathcal{E}}{+L} = + \frac{6}{11} \frac{\mathcal{E}}{L}$$

② $\dot{I} = + \frac{6}{11} \frac{\mathcal{E}}{L}$

ток $\vec{I}$ при входе
катушки по часовой стрелке в $3L$ будет
увеличиваться.



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

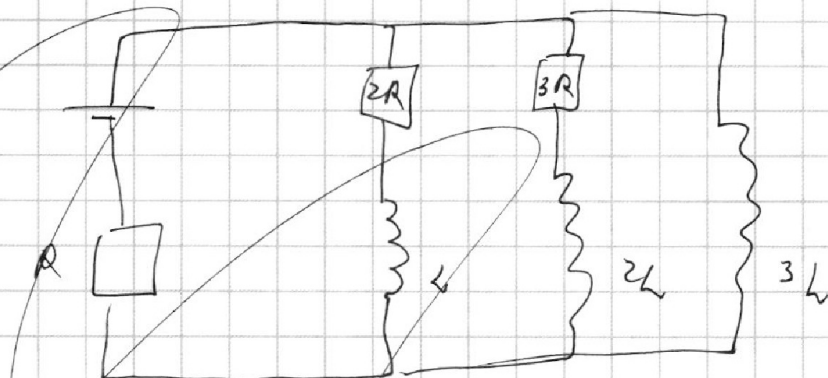
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

С



$$2RI_1 + \dot{I}_1 L = 3RI_2 + 2\dot{I}_2 L = 3LI_3$$

В нах. момент:

$$I_2 = \frac{2}{3} I_1$$

$$I_1 = 2I_2$$

Ответ: 1) $\frac{3}{11} \frac{\varepsilon}{R}$

2) $\frac{6}{11} \frac{\varepsilon}{L}$

3)

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

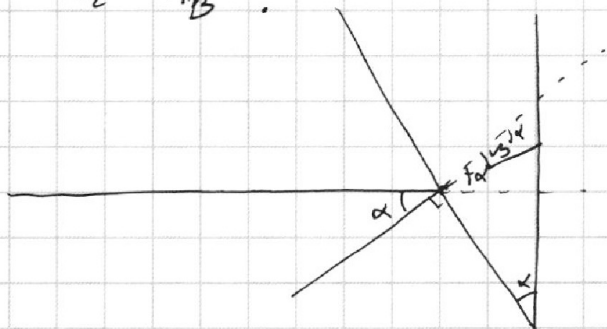
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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

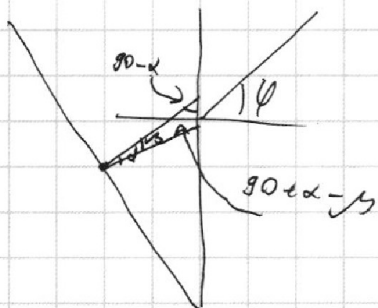
а) Луч падает на углы $n_1, -n_2$ и

$n_2 - n_B$.



$$\alpha n_1 = \beta n_2$$

$$\beta = \alpha \frac{10}{17}$$



$$(\alpha - \beta) n_2 = \varphi n_B$$

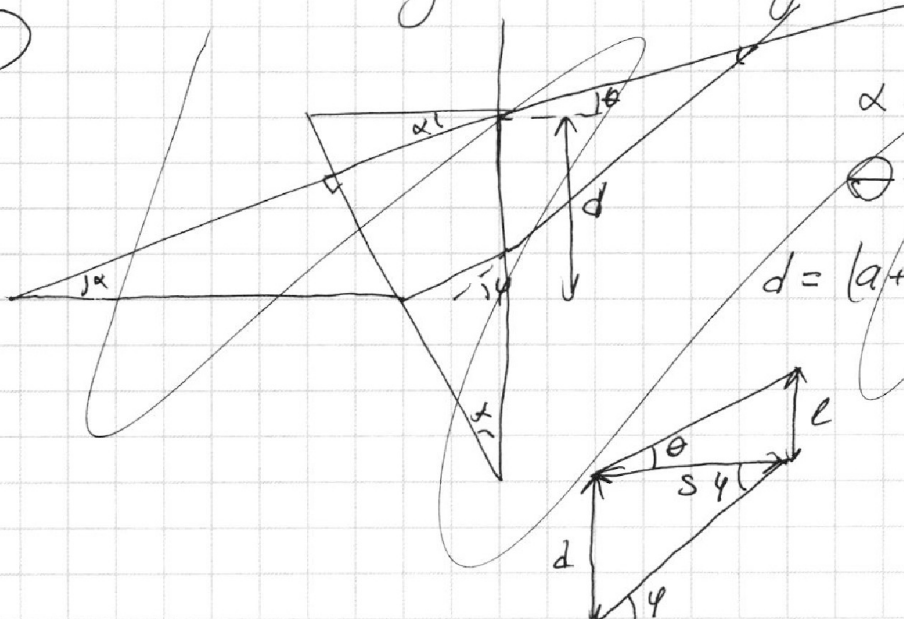
$$\alpha \left(\frac{10}{17} \right) \cdot 1.7 = \varphi \cdot 1$$

$$\varphi = 0.7 \alpha = 0.07 \text{ рад.}$$

$$\textcircled{1} \quad \boxed{\varphi = 0.07 \text{ рад.}}$$

Здесь использовалось, что $\sin \alpha \approx \alpha$
для малых углов.

б)



$$\alpha n_2 = \Theta n_B$$

$$\Theta = 0.17 \text{ рад.}$$

$$d = (a + h) \cdot \alpha = 20.3 \text{ см}$$

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!

$$\begin{cases} \frac{d}{s} = \varphi \\ \frac{e}{s} = \theta \end{cases}$$

$$e \in H \Rightarrow e = \frac{\theta}{\varphi} d$$

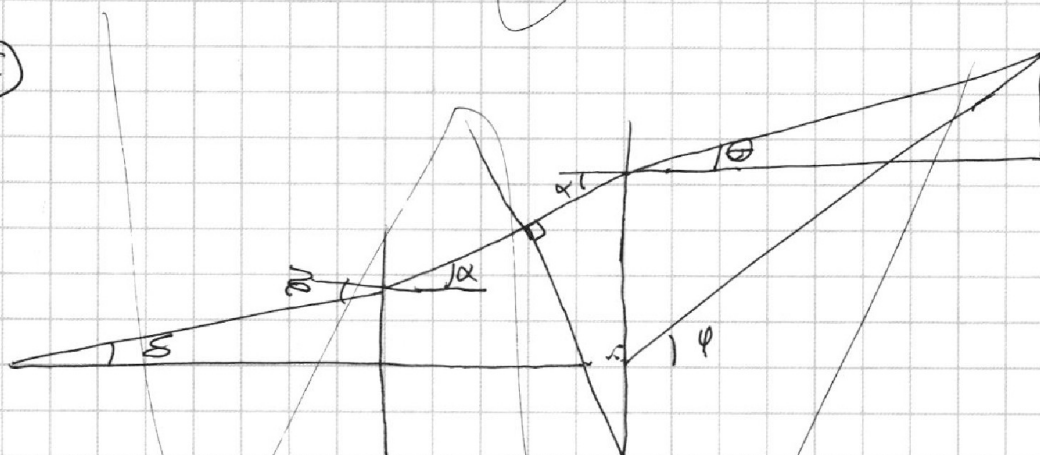
$$s = \frac{d}{\varphi} = \frac{20.3 \text{ см}}{0.07}$$

$$L = s + a + h = \frac{2030 \text{ см}}{7} + 203 \text{ см} = (290 + 203) \text{ см}$$

$$L = 493 \text{ см}$$

(2)

9



$$\sin \alpha = n_1 \cdot \alpha$$

$$\alpha = 0.15 \text{ рад}$$

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

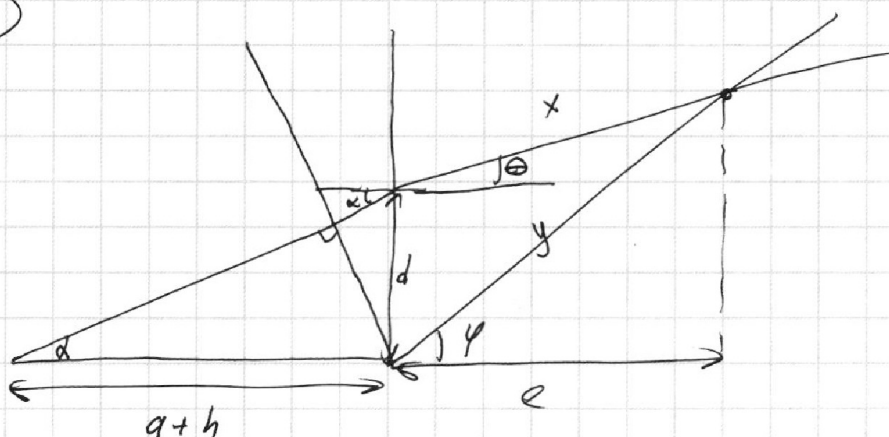
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

б



$$\begin{cases} d = \alpha(a+h) \\ x \approx y \approx l \\ l(\varphi - \theta) = d \end{cases}$$

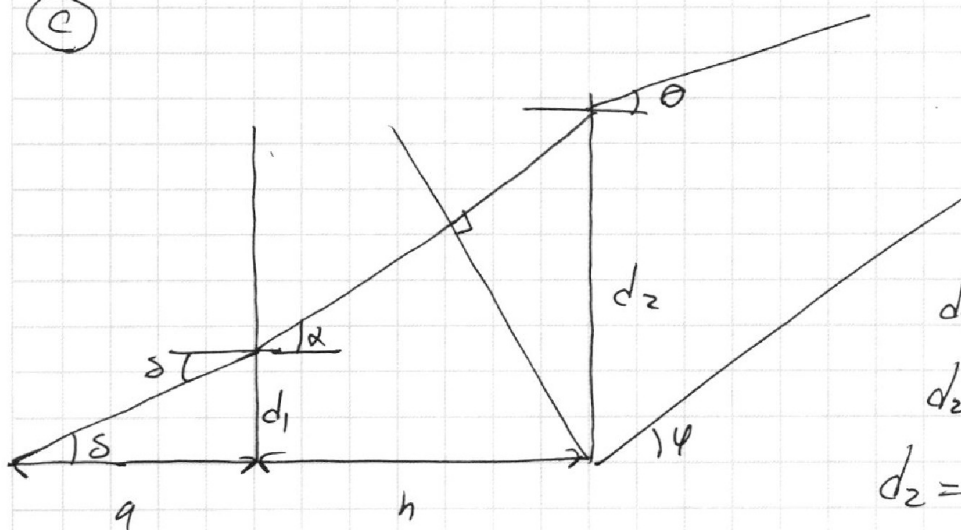
$$l = \frac{d}{-0.1} = \frac{0.1(a+h)}{-0.1} = -(a+h).$$

$$n_2 \alpha = \Theta n_1 \quad \Theta = 0.17 \text{ рад}$$

$$\varphi = 0.07 \text{ рад}$$

Т.е. изображение будет минимальным и
находится там же где и источник.

в



$$\delta \cdot n_1 = n_2 \alpha$$

$$\delta = 0.15 \text{ рад}$$

$$d_1 = \delta a$$

$$d_2 = h \alpha + d_1$$

$$d_2 = h \alpha + \delta a$$

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!



$$d_2 = 0.9 \text{ м} + 29,1 \text{ м} = 30 \text{ м}.$$

Напомню пункту 6)

$$l = \frac{dz}{\varphi - \Theta} = -300 \text{ см}$$

$$L = l + a + h = -97 \text{ см} \quad (\text{изображение левее источника на } 97 \text{ см})$$

Ответ: 1) $\varphi = 0,07 \text{ рад}$

2) $L = 0$ изобр. миним. находится там же где источник.

3) $L = 97 \text{ см.}$ (правее)