



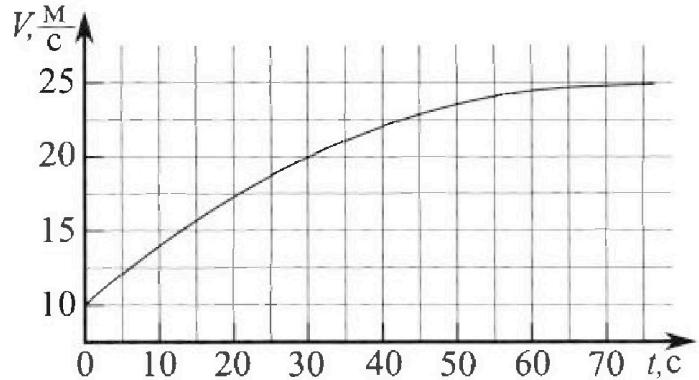
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03



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

1. Автомобиль массой $m = 1500$ 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 $F_k = 600$ Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги F_0 в начале разгона.
- 3) Какая мощность P_0 передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

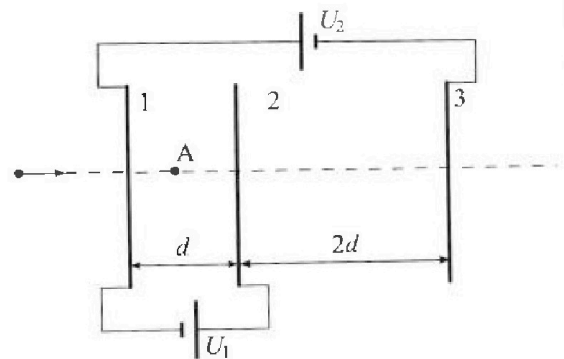
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении $P_0 = P_{\text{атм}}/2$ ($P_{\text{атм}}$ - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 373$ 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 $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 отношение конечной и начальной температур в сосуде T/T_0 .

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 $U_2 = 3U$. 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 1 и 2.
- 2) Найти разность $K_1 - K_2$, где K_1 и K_2 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-03

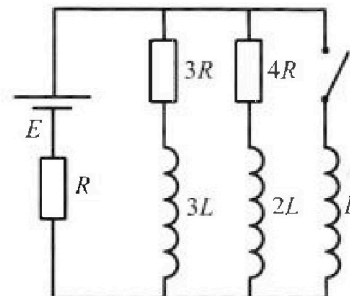
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



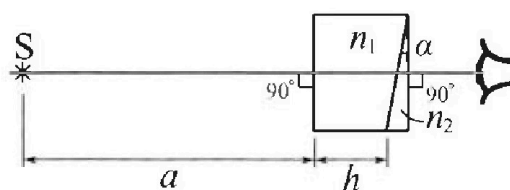
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_0 через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд про течет через резистор с сопротивлением $3R$ 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 $a = 90$ 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 $h = 14$ 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 $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, 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!

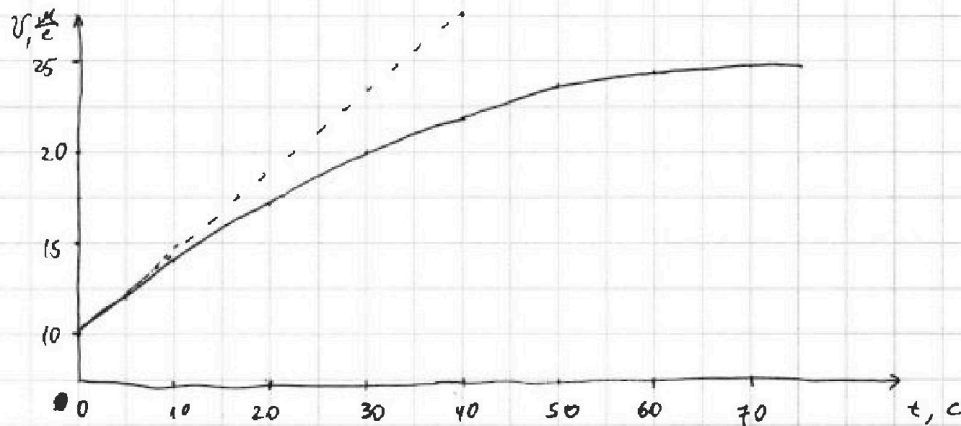
$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$F_k = 600 \text{ Н}$$

$$a_0 = ?$$

$$F_0 = ?$$

$$P_0 = ?$$



1) $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow a_0 = v'_x(0)$ Проведем касательную в н.о. и определим её угловой коэффициент:

$$k = \frac{27,5 - 10}{40} \text{ м/с}^2 = \frac{7}{16} \text{ м/с}^2 \Rightarrow a_0 = \frac{7}{16} \text{ м/с}^2$$

2) Видно, что касательная к графику в конце разгона параллельна оси времени $\Rightarrow a_k = 0 \Rightarrow m a_k = 0$

$$\Rightarrow F_k = F_{\text{сопр}} = \alpha v_k \Rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v_k}$$

2 з. Н. для начала разгона: $m a_0 = F_0 - \alpha v_0 = F_0 - F_k \cdot \frac{v_0}{v_k}$

$$\Rightarrow F_0 = m a_0 + F_k \frac{v_0}{v_k} = 1500 \cdot \frac{7}{16} \text{ Н} + 600 \cdot \frac{10}{25} \text{ Н} = 896,25 \text{ Н}$$

$$3) P = \frac{dA}{dt} = \frac{F \cdot ds}{dt} = F \cdot v \Rightarrow P_0 = F_0 v_0 = 896,25 \cdot 10 \text{ Вт} = 8962,5 \text{ Вт}$$

Ответ: 1) $a_0 = \frac{7}{16} \text{ м/с}^2$ 2) $F_0 = 896,25 \text{ Н}$ 3) $P_0 = 8962,5 \text{ Вт}$

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!



1)

$p_0, \frac{V}{2}, \nu_{He}$	He
$p_0, \frac{V}{4}, \nu_1$	CO ₂
$\frac{V}{4}$	H ₂ O

Уравнение состояния газов:

$$\begin{cases} p_0 \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0 \\ p_0 \frac{V}{4} = \nu_1 RT_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_1} \Rightarrow \frac{\nu_{He}}{\nu_1} = 2$$

2)

$p_1, \frac{V}{5}, \nu_{He}$	CO ₂
$p_1, \frac{11V}{20}, \nu_2$	H ₂ O
$\frac{V}{4}$	H ₂ O

$$V_{CO_2} = V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{11V}{20}$$

Уравнение состояния газов:

$$\begin{cases} p_1 \frac{V}{5} = \nu_{He} RT \\ p_1 \frac{11V}{20} = \nu_2 RT \end{cases}$$

Мак же мы знаем, что: $\nu_2 = \nu_1 + \Delta \nu = \frac{p_0 V}{4RT_0} + k p_0 \frac{V}{4}$

$$\Rightarrow \frac{11 p_1 V}{20 RT} = \frac{p_0 V}{4RT_0} + k \frac{p_0 V}{4}$$

$$\begin{cases} \nu_{He} = \frac{p_0 V}{2RT_0} \\ \nu_{He} = \frac{p_1 V}{5RT} \end{cases} \Rightarrow \frac{p_0 V}{2RT_0} = \frac{p_1 V}{5RT} \Rightarrow p_1 = \frac{5p_0}{2} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$$\Rightarrow \frac{11}{20RT} \cdot \frac{5p_0 T}{2T_0} = \frac{p_0}{4RT_0} + \frac{k p_0}{4} \Rightarrow 55 = 10 + 10RT_0 k$$

$$\Rightarrow RT_0 = \frac{9}{2k} = 9 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$RT = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$\Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{RT}{RT_0} = \frac{1}{3}$$

Ответ: 1) $\frac{\nu_{He}}{\nu_1} = 2$ 2) $\frac{T}{T_0} = \frac{1}{3}$

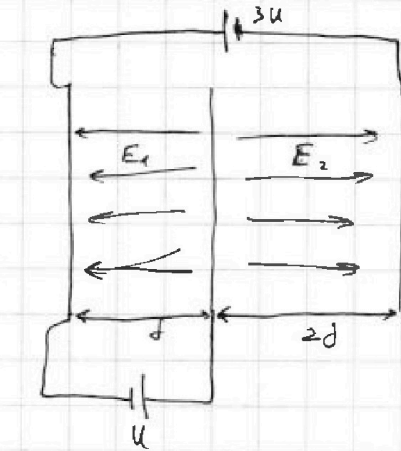
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



$$1) \quad ma = qE_1$$

$$U = E_2 d \Rightarrow E_1 = \frac{U}{d}$$

$$\Rightarrow a = \frac{q}{m} \cdot \frac{U}{d} = \frac{qU}{md}$$

$$2) \quad A_{\text{поля}} = -qU$$

$$\Rightarrow \Delta W = A_{\text{поля}} = -qU$$

$$\Rightarrow K_2 - K_1 = -qU \Rightarrow K_1 - K_2 = qU$$

$$3) \quad A_{\text{поля A}} = -E_1 \cdot \frac{d}{4} q = -\frac{U}{d} \cdot \frac{d}{4} q = -\frac{qU}{4}$$

$$\Rightarrow \frac{m v_A^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} = -\frac{qU}{4} \Rightarrow \frac{m v_A^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} - \frac{qU}{4}$$

$$\Rightarrow v_A^2 = v_0^2 - \frac{qU}{2m} \Rightarrow v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

Ответ: 1) $a = \frac{qU}{md}$ 2) $K_1 - K_2 = qU$ 3) $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$

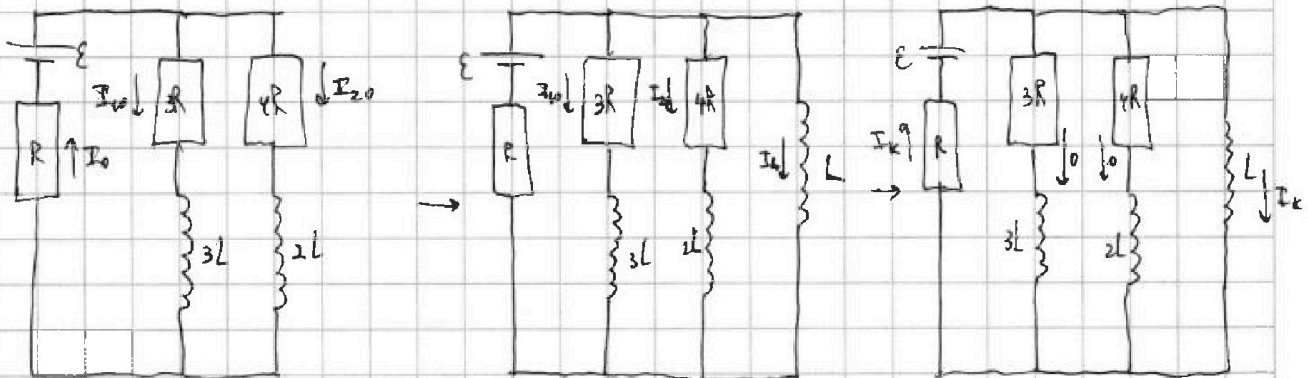
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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) Р.е. уже установившиеся, но $U_{3L} = U_{2L} = 0$

$$\text{Закон Ома: } I_0 = \frac{E}{R + \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R}} = \frac{7E}{19R}$$

$$I_0 = I_{10} + I_{20}$$

$$3R I_{10} = 4R I_{20} \Rightarrow I_{20} = \frac{3}{4} I_{10} \Rightarrow \frac{7E}{19R} = I_{10} + \frac{3}{4} I_{10} = \frac{7}{4} I_{10}$$

$$\Rightarrow I_{10} = \frac{4E}{19R}$$

2) Максимум еще не достигнут, поэтому:

$$L \cdot \frac{dI_L}{dt} = E - I_0 R = E - \frac{7}{19} E = \frac{12E}{19} \Rightarrow \frac{dI_L}{dt} = \frac{12E}{19L}$$

3) В конце во резисторах $3R$ и $4R$ ^{тогда} не будет, а в катушке L будет ток $I_K = \frac{E}{R}$.

Для произвольного момента:

$$L \cdot \frac{dI_L}{dt} = 3R \cdot I_{3L} - L \frac{dI_{3L}}{dt} \quad | \cdot dt$$

$$L dI_L = 3R \cdot I_{3L} \cdot dt - L dI_{3L} \Rightarrow \int_0^{I_K} L dI_L = \int_0^{E/R} 3R \cdot dQ_{3L} - \int_{I_0}^0 L dI_{3L}$$

$$\Rightarrow L \cdot \frac{E}{R} = 3R Q_{3L} + L I_0 = 3R Q_{3L} + \frac{4EL}{19R}$$

$$\Rightarrow 3R Q_{3L} = \frac{15EL}{19R} \Rightarrow Q_{3L} = \frac{5EL}{19R^2}$$

$$\text{Ответ: } 1) I_{10} = \frac{4E}{19R} \quad 2) \frac{dI_L}{dt} = \frac{12E}{19L} \quad 3) Q_{3L} = \frac{5EL}{19R^2}$$

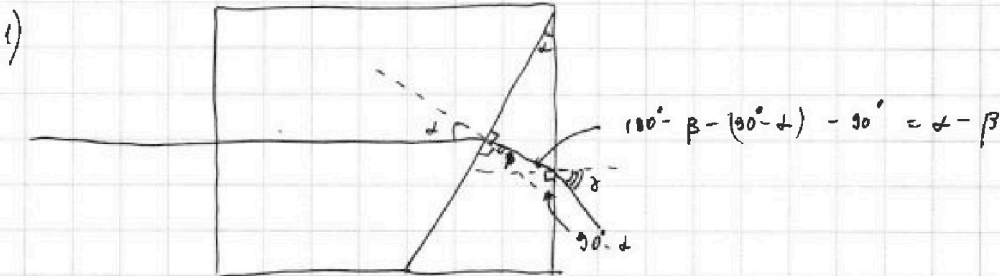
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

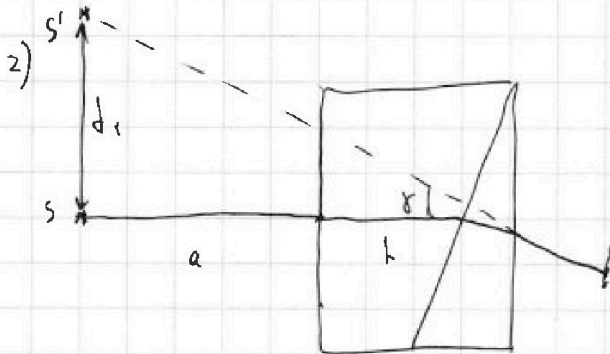
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\sin \alpha = n_2 \sin \beta, \alpha \text{ max} \Rightarrow \alpha = n_2 / \beta$$

$$n_2 \sin(\alpha - \beta) = \sin \delta \Rightarrow \delta = n_2(\alpha - \beta) = n_2 \alpha - n_2 \beta = n_2 \alpha - \alpha = \alpha(n_2 - 1) =$$

$$= 0,1 \cdot 0,1 \text{ рад} = 0,01 \text{ рад}$$



$$\text{tg } \gamma = \frac{d_1}{a+h}$$

$$\Rightarrow d_1 = \text{tg } \gamma \cdot (a+h) = \gamma \cdot (a+h) =$$

$$\approx 0,07 \cdot 104 \text{ см} = 7,28 \text{ см}$$

3) Запишем уравнения, аналогичные тем, что в 1п., но с учетом того, что $n_1 = 1,4$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \Rightarrow \beta = \alpha \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 \sin(\alpha - \beta) = \sin \delta \Rightarrow \delta = n_1(\alpha - \beta) = n_1 \left(\alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2} \right) = \alpha n_1 \left(1 - \frac{n_1}{n_2} \right) =$$

$$= 0,1 \cdot 1,4 \cdot \left(1 - \frac{1,4}{1,7} \right) = \frac{21}{850}$$

$$\text{tg } \gamma \approx \delta = \frac{d_2}{a+h} \Rightarrow d_2 = \delta \cdot (a+h) = \frac{21}{850} \cdot 104 \text{ см} = \frac{1092}{425} \text{ см} \approx 2,5 \text{ см}$$

Ответ: 1) $\delta = 0,01 \text{ рад}$ 2) $d_1 = 7,28 \text{ см}$ 3) $d_2 = 2,5 \text{ см}$



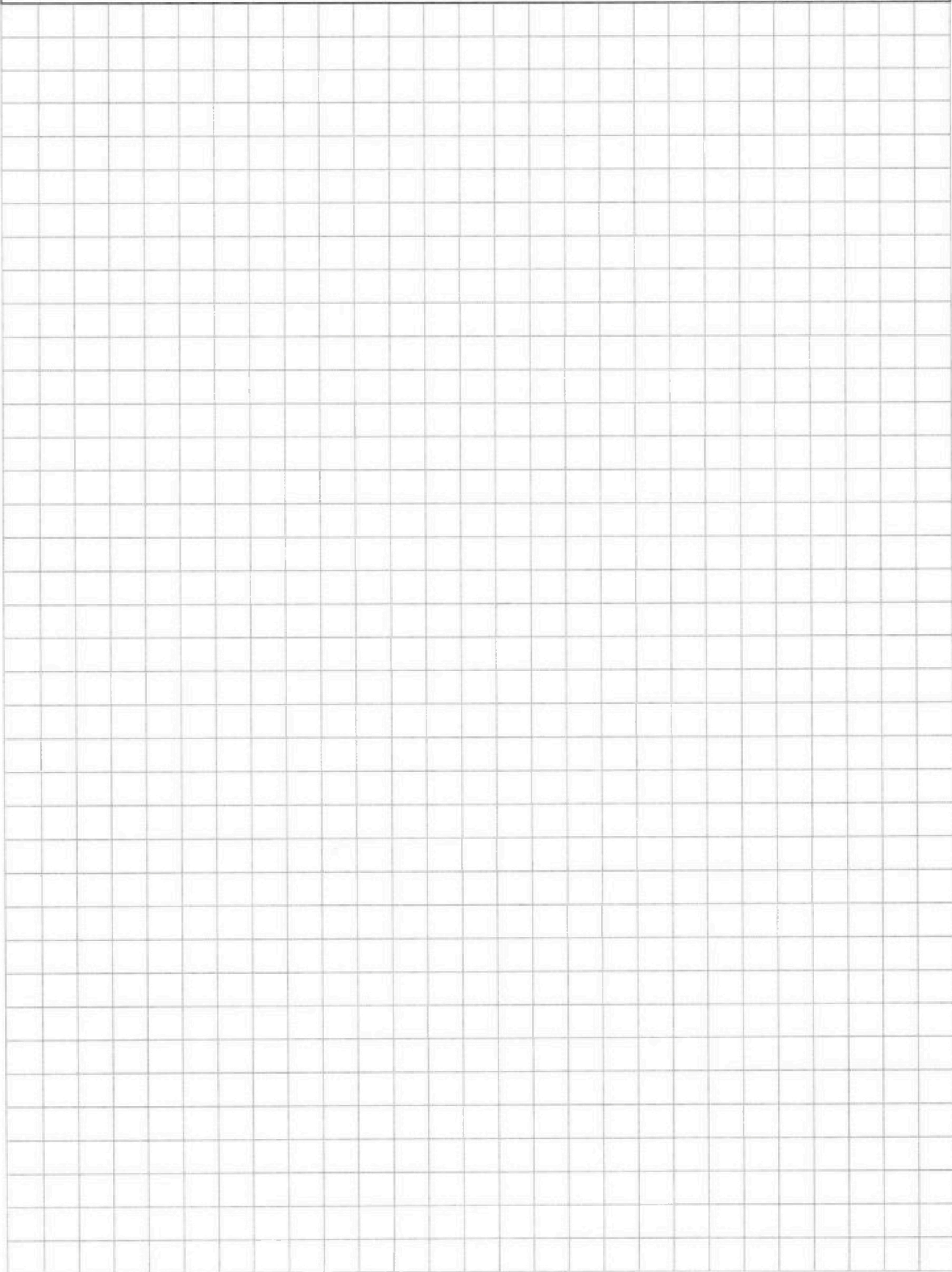
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

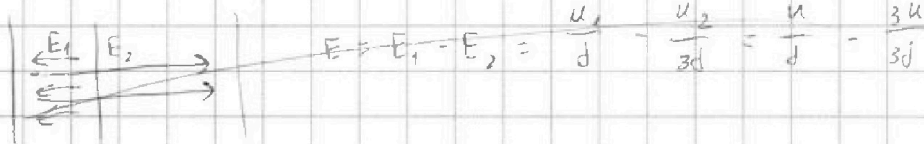
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$$m\dot{v} = q\vec{E} = \vec{q}U$$



$$E_1 = \frac{U}{d}$$

$$m\dot{v} = q \frac{U}{d}$$

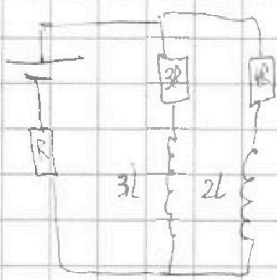
$$a = \frac{qU}{md}$$

$$\cancel{2qU} = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2a} = \frac{(v_0^2 - v_1^2) md}{2qU}$$

$$2qU = m v_0^2 - m v_1^2$$

$$qU = \frac{m v_0^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} \Rightarrow K_2 = K_1 - qU$$

$$K_1 - K_2 = qU$$



$$I_0 = \frac{E}{R + \frac{3R \cdot L}{3R + L}} = \frac{E}{R \left(1 + \frac{L}{3R}\right)} = \frac{E}{19R} = I_{30} + I_{20}$$

$$\cancel{I_0} \quad 3R \cdot I_{30} = L \cdot I_{20}$$

$$I_{30} = 0,75 I_{20}$$

$$\frac{E}{19R} = I_{30} + \frac{4}{3} I_{30} = \frac{7}{3} I_{30}$$

$$I_{30} = \frac{4E}{19R}$$

$$I = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$L \frac{dI_2}{dt} = 3R \cdot I_{30} - \frac{4E}{19R}$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{12E}{19L}$$

$$L \frac{dI_2}{dt} = 3R \cdot I_{30} - L \frac{dI_{30}}{dt}$$

$$L dI_2 = 3R \cdot I_{30} dt - L dI_{30}$$

$$L dI_2 = 3R \cdot dI_{30} - L dI_{30}$$

$$L \cdot \frac{E}{R} = 3R \cdot I_{30} + L \cdot \frac{4E}{19R}$$

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!



$$\frac{145}{10} = \frac{35}{80} = \frac{7}{16}$$

$$\frac{750 - 7}{8} = \frac{375 \cdot 7}{4} + 240 = \frac{375 \cdot 7 + 960}{4}$$

$$\begin{array}{r} 600 \\ 50 \overline{) 24} \\ \underline{100} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 375 \\ \cdot 7 \\ \hline 2625 \\ + 960 \\ \hline 3585 \end{array}$$

$$\frac{3585}{4}$$

$$\begin{array}{r} 896,25 \\ 32 \overline{) 896} \\ \underline{32} \\ 36 \\ \underline{36} \\ 25 \\ \underline{24} \\ 1 \end{array}$$

$$\Delta V = \kappa p V$$

$P_0, \frac{V}{2}$
...
$P_0, \frac{V}{4}$
$-\frac{V}{4}$

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{He} RT_0$$

$$P_0 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{CO_2} RT_0$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} = \frac{\nu_{He}}{\nu_{CO_2}} = 2$$

896,25

$P_1, \frac{V}{5}$
...
$P_1, \frac{11V}{20}$
$-\frac{V}{4}$

$$\frac{11}{5} - \frac{1}{4} = \frac{16-5}{20} = \frac{11}{20}$$

$$P_1 \cdot \frac{V}{5} = \nu_{He} RT$$

$$P_1 \cdot \frac{11V}{20} = \nu_{CO_2} RT$$

$$\nu_{CO_2} = \nu_{CO_2} + \kappa P_0 \cdot \frac{V}{4} =$$

$$= \frac{P_0 V}{4 RT_0} \text{ или } \frac{P_0 V}{4} = \frac{11 P_1 V}{20 RT}$$

$$\frac{P_0 V}{2} = \frac{T_0}{T} = \frac{5 P_0}{2 P_1}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{5 P_0}{2} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{11 \cdot \frac{5}{2} P_0 T}{20 RT T_0} = \frac{P_0}{4 RT_0} + \frac{\kappa P_0}{4}$$

$$\frac{55}{2} = 5 + 5 RT_0 \kappa$$

$$5 RT_0 \kappa = \frac{45}{2}$$

$$RT_0 = \frac{9}{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-3}} = 9 \cdot 10^3$$

ET

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

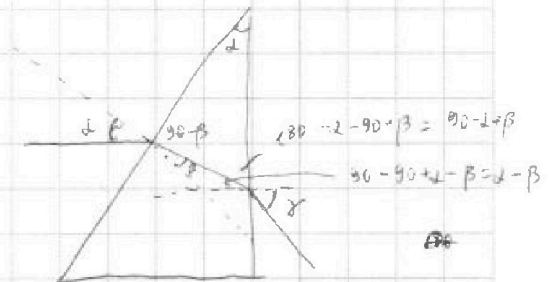
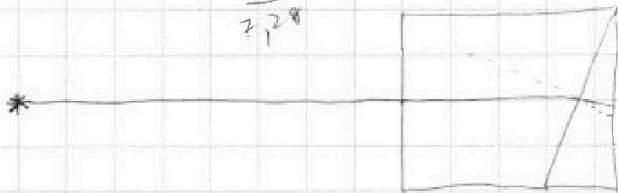
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



$$\frac{104}{2,28}$$



$$n \sin(\alpha - \beta) = \sin \gamma$$

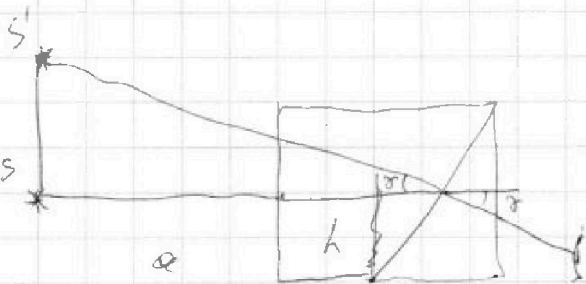
$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

$$\alpha = n \beta$$

$$n\alpha - n\beta = \gamma = n(n\beta - \beta) = n\beta(n-1) = 2\beta(n-1) = 0,1 \cdot 0,97 = 0,097 \text{ рад}$$

$$f = (\alpha + h) \cdot \tan \gamma = (\alpha + h) \cdot \gamma = 104 \cdot 0,097 = 7,28 \text{ см}$$

$$180 - \beta - 90 + \alpha = 90$$



$$\begin{array}{r} 1092 \quad | \quad 425 \\ 850 \\ \hline 2420 \\ 2125 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 52 \\ -29 \\ \hline 92 \\ 104 \\ \hline 1092 \end{array}$$

$$\frac{17-14}{17}$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

$$\beta = \alpha \cdot \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 \sin(\alpha - \beta) = \sin \gamma$$

$$\gamma = n_1 (\alpha - \beta) =$$

$$= n_1 \left(\alpha - \alpha \frac{n_1}{n_2} \right) =$$

$$= \alpha n_1 \left(1 - \frac{n_1}{n_2} \right) =$$

$$= 0,1 \cdot 1,4 \left(1 - \frac{1,4}{1,7} \right) =$$

$$= 0,1 \cdot \frac{7}{10} \cdot \frac{3}{17} = \frac{21}{850}$$

$$d = \frac{21 \cdot 104}{850} = \frac{2184}{850} = \frac{1092}{425} \approx 2,5 \text{ см}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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

