

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

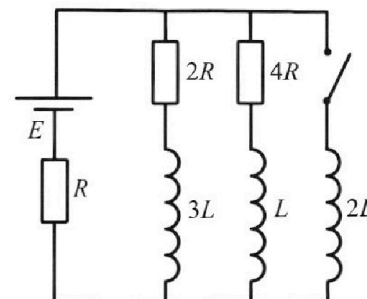
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



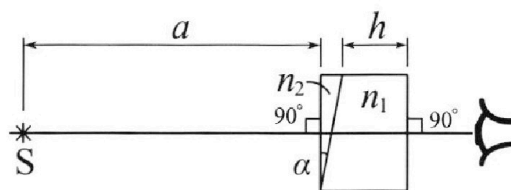
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэф. фициентами 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ 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.



(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 $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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.



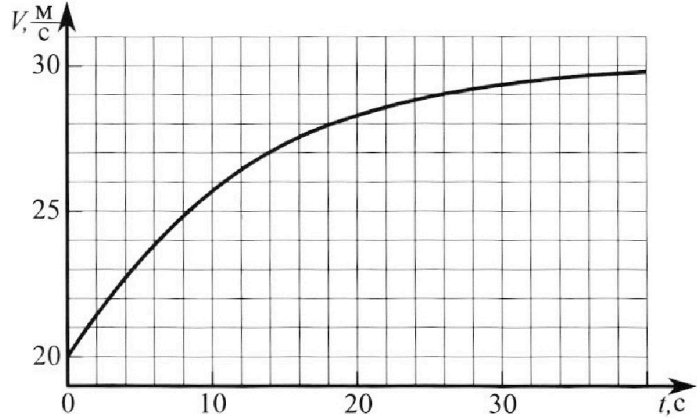
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



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

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ 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 $F_k = 200$ Н.



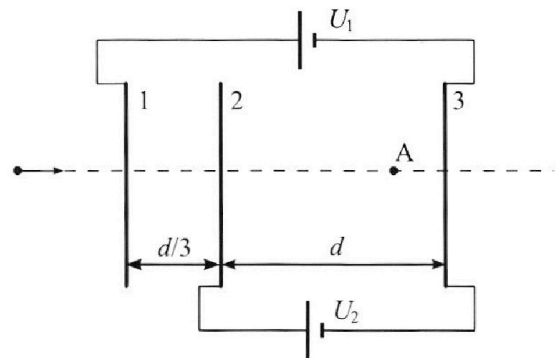
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 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 $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

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 $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ 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.

- 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 $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ 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.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

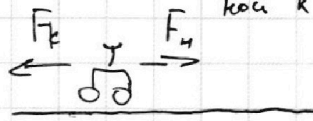
- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



1) $k = \frac{v_{нк}}{S_{нк}} = \frac{dv}{dt} = a_0 = \frac{v_{нк}/c}{b/c} = \frac{\sum v_{нк}/2}{b}$ ← из графика находим коэф. наклона касательной к зависимости v от t ($v_0; v_{нк}$)

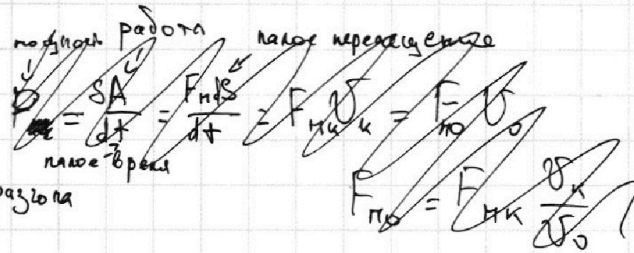


2) в конце разгона $a_k = 0$

$m a_k = F_{нк} - F_k$

$F_{нк} = F_k$

силы равны в конце разгона



в начале разгона:

$m a_0 = F_{н0} - F_{к0} = F_{нк} \frac{v_k}{v_0} - F_0$

$m a_0 = F_k \frac{v_k}{v_0} - F_0$

$F_0 = F_k \frac{v_k}{v_0} = m a_0 = 200 \cdot \frac{3}{2} = 300 \text{ Н}$

a_0 - ускорение в нач. разгона
 $v_0 = 20 \text{ м/с}$ - начальная скорость (из графика)

$v_k = 29,3 \text{ м/с}$ - конечная скорость (из графика)

$P = \frac{\delta A}{dt} = \frac{F_n ds}{dt} = F_{нк} v_k = F_{н0} v_0 \Rightarrow F_{н0} = F_{нк} \frac{v_k}{v_0}$
↑
силы равны в начале движения

3) $P = \frac{\delta A}{dt} = \frac{\delta A_c + \delta k}{dt} = \frac{F_0 ds}{dt} + \frac{m v_0 dv}{dt} = F_0 v_0 + m a_0 v_0$

ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m (v_0 + dv)^2}{2} + \delta A_c - \delta A$

$\delta A_c = \frac{m (v_0 + dv)^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} + \delta A_c$

$\delta k =$ изменение кин. энергии за время dt

P_c - работа силы сопр. равно, существ. на разгон

$\frac{P_c}{P} = \frac{F_0 v_0}{F_0 v_0 + m a_0 v_0} = \frac{F_0}{F_0 + m a_0} = \frac{300 \text{ Н}}{300 \text{ Н} + 140 \text{ Н}}$

$= \frac{140}{300} = \frac{7}{15}$

$\delta k = m v_0 dv + \frac{m dv^2}{2}$

Ответ: $\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{c^2}$; 140 Н ; $\frac{7}{15}$

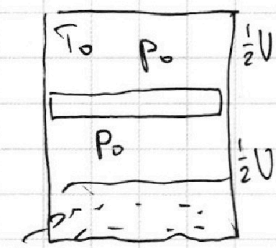
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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) В нач. момент времени:

$$\begin{aligned} p \cdot \frac{1}{2} V &= \nu_b R T_0 \\ p \cdot \left(\frac{1}{2} V - \frac{3}{8} V \right) &= \nu_n R T_0 \end{aligned}$$

$$\frac{\frac{1}{2} V}{\frac{1}{8} V} = \frac{\nu_b}{\nu_n} = 4$$

$$\nu_b = 4 \nu_n$$

$\frac{3}{8} V$ газы
давление
газов всегда
одинаково, т.к.
поршень невесомый

2) После нагревания:

$$p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_b R T \quad p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu_b R \cdot \frac{4}{3} T_0 \quad \text{①}$$

$$\text{② } p_1 \cdot \left(\frac{5}{8} V - \frac{1}{8} V \right) = (\nu_n + \nu_b) R T$$

всего газов газон

$$\frac{\frac{V}{8}}{\frac{4}{8} V} = \frac{\nu_b}{\nu_n + \nu_b} = \frac{1}{4}$$

$$4 \nu_b = \nu_n + \nu_b$$

$$3 \nu_b = \nu_n + \nu_b$$

$$\nu_b = 15 \nu_n$$

Для начального:

$$\nu_b = k p_0 \frac{3}{8} V = 15 \nu_n = \frac{15 \nu_n}{k}$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{8} = \nu_n R T_0 \Rightarrow V = \frac{8 \nu_n R T_0}{p_0}$$

$$\nu_n = \frac{p_0 V}{8 R T_0} = \frac{15 \nu_b}{k} = \frac{15 \nu_b}{k} \Rightarrow \nu_b = \frac{k}{15} \nu_n$$

$$\text{①: ②} \quad 4 \frac{p}{p_1} = \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{p}{p_1} = \frac{3}{16}$$

$$p_0 = \frac{8 \cdot 15}{3} \frac{\nu_n}{k V} = \frac{8 \cdot 5}{k V} \quad \nu_n = k \frac{5}{8 \cdot 10^4} = \frac{5}{6} \text{ ПаТМ}$$

$$\text{③: ④} \quad \frac{p}{4 p_1} = \frac{\nu_b}{\nu_n + \nu_b} \cdot \frac{3}{4}$$

$$\nu_n = \frac{3}{4} \nu_b \Rightarrow \nu_n = \frac{3}{4} \nu_b \Rightarrow \nu_n = \frac{3}{4} \nu_b$$

$$= \frac{5}{6} 10^4 = \frac{5}{6} \text{ ПаТМ}$$

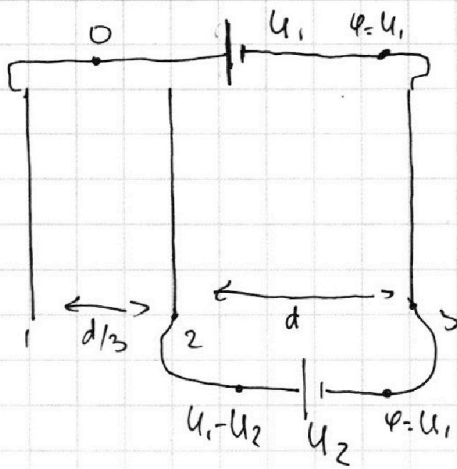
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) \Delta\varphi_{23} = U_1 - (U_1 - U_2) = U_2$$

$$ma_{23} = q \sum_{i=3} E_i = q \frac{U_2}{d} \Rightarrow a_{23} = \frac{qU}{dm}$$

$$2) a_{12} = \frac{q \sum_{i=2} E_i}{m} = \frac{q(U_1 - U_2)}{m} \frac{d}{3} = \frac{4qU}{3dm}$$

$$\frac{d}{3} = \frac{v_0^2 - v_2^2}{2a_{12}} \Rightarrow v_2^2 = v_0^2 - \frac{8qU}{3m}$$

$$d = \frac{v_2^2 - v_3^2}{2a_{23}} \Rightarrow v_3^2 = v_2^2 - \frac{2qU}{m}$$

$$k_3 - k_2 = \frac{mv_3^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = qU$$

$$3) \frac{3}{4}d = \frac{v_2^2 - v^2}{2a_{23}} \Rightarrow v^2 = v_2^2 - \frac{3}{2}da_{23} = v_0^2 - \frac{8qU}{m} - \frac{3qU}{2m} =$$

$$= v_0^2 - \frac{13}{2} \frac{qU}{m}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{13}{2} \frac{qU}{m}}$$

Ответ:

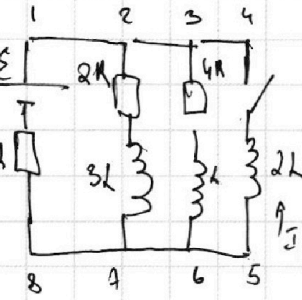
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

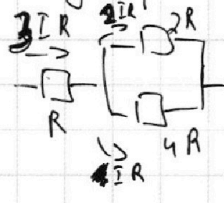


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

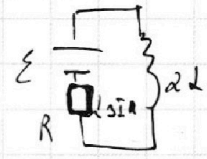


~~Индукция генератора $\mathcal{E}_{3L} = -L \frac{dI_2}{dt}$~~

В уст. режиме ток постоянный $\Rightarrow \mathcal{E}_{3L} = \mathcal{E}_L = 0$



$I_{20} = I = \frac{\mathcal{E}}{7R}$
 $3IR + 4IR = \mathcal{E} \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{7R}$



2) Импульс генератора \mathcal{E} через индуктивность

$\mathcal{E} - 2L \frac{dI}{dt} = 3IR = \frac{\mathcal{E}}{2}$
 $\frac{dI}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{2}$

~~$\frac{dI}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{2}$~~

3) При замыкании ключа в установившемся режиме \mathcal{E}_{3L} весь ток I будет течь через катушку $2L$, ток через спирали катушки $= 0$ (т.к. $\mathcal{E}_{2L} = 0$)

ЗЦЭ: $q\mathcal{E} = \frac{3L(2I)^2}{2} + \frac{L I^2}{2} - \frac{2(3I)^2}{2} + Q$

$q\mathcal{E} = \frac{(4 \cdot 3 + 1 - 18) I^2}{2} + Q$

$q\mathcal{E} = -\frac{5I^2}{2} + Q$

~~$q = q_1 + q_2 + q_3$~~

~~$q = q_1$~~

~~$2RI_2 = -3L \frac{dI_2}{dt} - 2L \frac{dI_3}{dt}$
 $4RI_3 = -L \frac{dI_2}{dt} - 2L \frac{dI_3}{dt}$~~

В любой момент времени

~~$2RI_2 + 3L \frac{dI_2}{dt} = -L \frac{dI_3}{dt} + 4RI_3$
 $4RI_2 + 4RI_3 = -3L \frac{dI_2}{dt} + L \frac{dI_3}{dt}$~~

Если $2L$ и $3L$ имеют нулевую индукцию, $2RI_2 - 4RI_3 = L \frac{dI_2}{dt} + 4RI_3 - \Delta I_3 4R$

$3 \frac{dI_2}{dt} = \frac{dI_3}{dt} \Rightarrow I_1 : I_2 : I_3 = \text{const}$
 $q_1 : q_2 : q_3 = 4 : 1$

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 checked="" 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!

$$3) \quad \mathcal{E} - \frac{d\tilde{I}_3}{dt} = I R + 4 \tilde{I}_3 R$$

$$\mathcal{E} - \frac{dI}{dt} = I R$$

$$\cancel{\mathcal{E}} - \frac{d\tilde{I}_3}{dt} = \cancel{\mathcal{E}} - \frac{dI}{dt} + 4 \tilde{I}_3 R$$

$$-d\tilde{I}_3 = -dI = 4 \tilde{I}_3 dt R$$

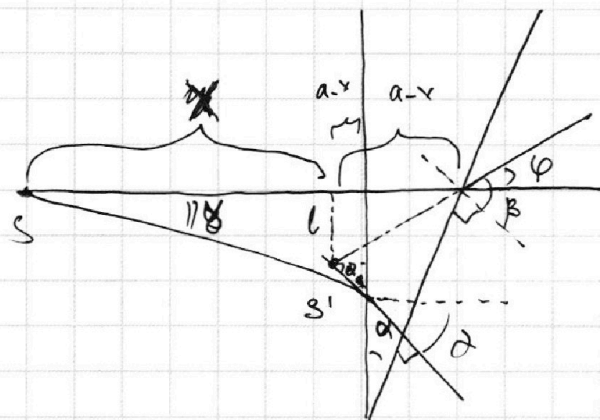
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 checked="" 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!



$$1) n_2 \beta = \alpha$$
$$\varphi = \beta - \alpha = \alpha (n_2 - 1) = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07$$

а) Направление луча под таким углом δ , чтобы он проходил через вторую часть линзы без преломления:

$$\text{преломления: } \delta = \alpha n$$

На пересечении этих лучей и будет изображение. Оно будет

натыным, т.к. лучи расходятся. Т.к. ~~какая~~ толщина линзы намного

меньше h , а она много меньше a , тогда на рис отмечены одинаковые

$a-x$

$$(a-x) \tan(\alpha(n-1)) + x \tan \alpha = a \tan \delta$$

$$a-x = \frac{\delta a}{\alpha(n-1)+\alpha} = \frac{\delta a}{\alpha n} = a \Rightarrow x=0$$

$$l = (a-x) \tan \varphi = a \alpha (n-1)$$

расстояние $SS' = \sqrt{l^2 + x^2} = l = a \alpha (n-1) =$
 $= 100 \text{ см} \cdot 0,1 \cdot 0,7 = 7 \text{ см}$

продолжение на с. стр.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

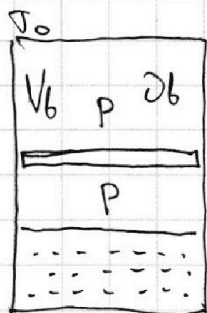
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



названия к вершиям:

$$pV_6 = \nu R T_0$$

$$p_0 = \frac{\nu R T_0}{V_6}$$

$$\Delta \nu = k p_0 \cdot \frac{3V}{8}$$

всего нагревание:

$$p_1 \cdot \frac{V}{8} = \nu R T \quad \text{вершин}$$

$$p_1 (V_{n2} + \Delta V) = (\nu_{n2} + \Delta \nu) R T$$

$$\frac{p_1}{RT} = \frac{8 \nu R}{V}$$

$$\frac{\nu_{n2} + \Delta \nu}{V_{n2} + \Delta V} = \frac{8 \nu R}{V}$$

$$\frac{\nu_{n2} + \frac{3}{8} k \frac{RT_0 \nu}{V_6}}{V_{n2} + \Delta V} = \frac{8 \nu R}{V}$$

В начальном момент времени для обеих газов объема T_0 и p_0 (т.е. поршень невесомый)

$$\frac{\nu_6}{\nu_{n2}} = \frac{V_6}{V_{n2}} = \frac{V_6}{V_1 - V_{n2}} = \frac{\frac{1}{2} V}{\frac{1}{2} V - \frac{3}{8} V} = \frac{1}{\frac{1}{4} V} = 4$$

p_1 - конечное давление
 V_6 - объем верхнего газа
 V_{n2} - объем нижнего газа
 ν_{n2} - начальное кол-во молекул газа

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} V + \frac{3}{8} k \frac{RT_0 V^2}{V_6} = 8 V_{n2} + 8 V_6 - V$$

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} + \frac{3}{8} k RT_0 \frac{V}{V_6} = 8 \frac{V_{n2}}{V} + 8 \frac{V_6}{V} - 1$$

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} + \frac{3}{8} k RT_0 \frac{V}{V_6} = 8 \left(\frac{V_{n2} + V_6}{V} \right) - 1$$

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} + \frac{3}{8} k RT_0 \frac{\nu_6 + \nu_{n2}}{\nu_6} = 7$$

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} \left(1 + \frac{3}{8} k RT_0 \right) = 7 - \frac{3}{8} k RT_0$$

$$\frac{\nu_{n2}}{\nu_6} = \frac{7 - \frac{3}{8} k RT_0}{1 + \frac{3}{8} k RT_0} = \frac{7 - \frac{3}{8} \cdot \frac{3}{4} k RT}{1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{3}{4} k RT} = \frac{7 - \frac{9}{32} \cdot 0.6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3}{1 + \frac{9}{32} \cdot 0.6 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3}$$

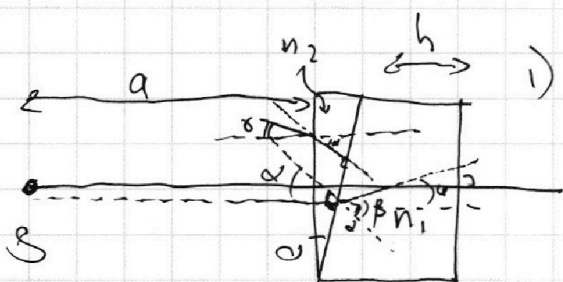
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



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

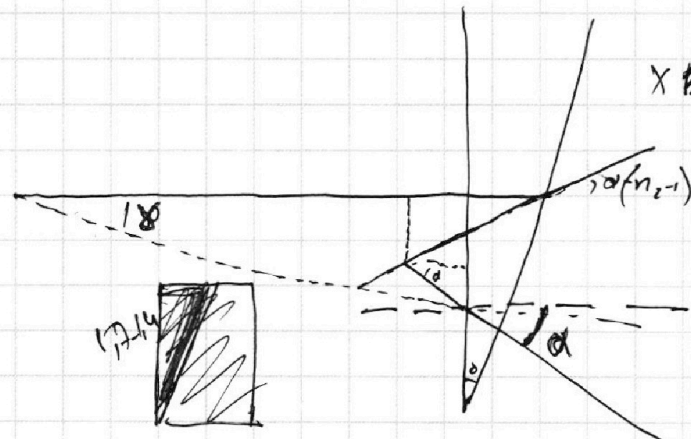
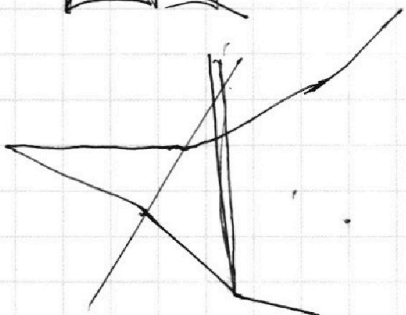
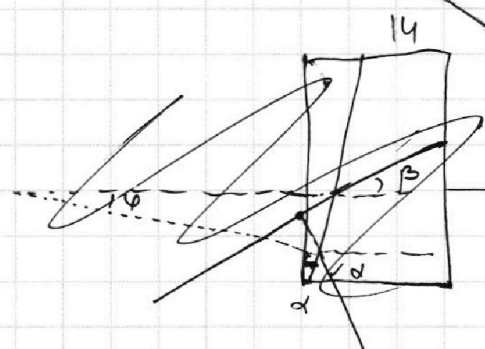
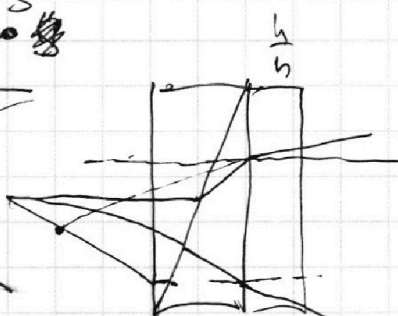
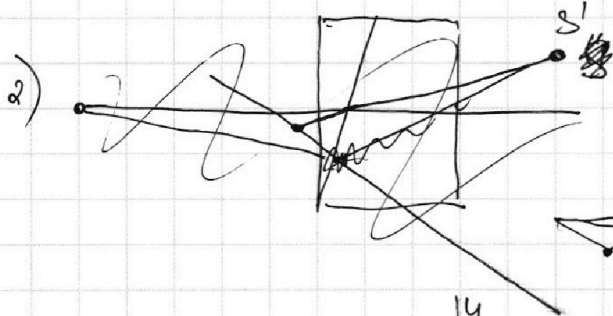


1) ~~1) $\alpha = n_2 \beta$~~

$$\alpha = n_2 \beta$$

$$\varphi = \beta - \alpha = \alpha (n_2 - 1)$$

$$\alpha = \frac{\varphi}{n_2}$$



$$x \cdot \frac{1}{n_2} \cdot \frac{1}{\alpha(n-1)} + x \cdot \frac{1}{\alpha} = a \cdot \frac{1}{\alpha}$$

$$x = \frac{\varphi \cdot a}{\alpha(n-1) + \alpha} = \frac{\varphi \cdot a}{n_2 \alpha}$$

~~17) 14~~

$$\sqrt{500}$$

$$100 \cdot 5$$

$$500$$

$$10 \sqrt{10}$$



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!

