



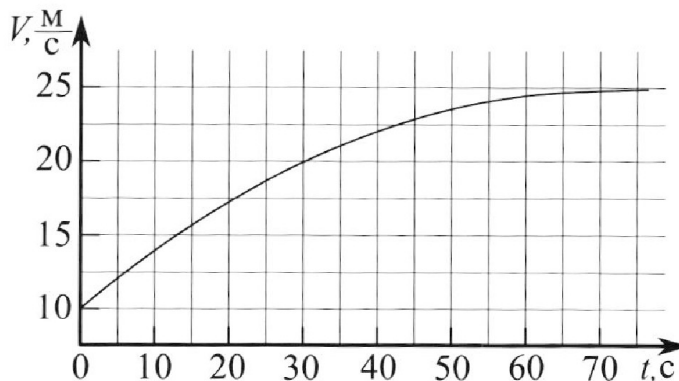
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

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.



1) Используя график, найти ускорение автомобиля при скорости $V_1 = 20$ м/с.

2) Найти силу тяги F_1 при скорости V_1 .

3) Какая мощность P_1 передается от двигателя на ведущие колеса при скорости V_1 ?

Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

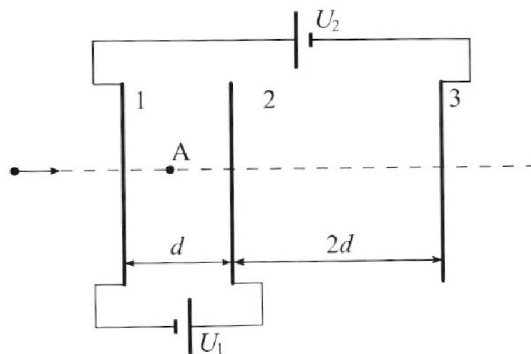
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный 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 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 $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ 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.

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

2) 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.



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 $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

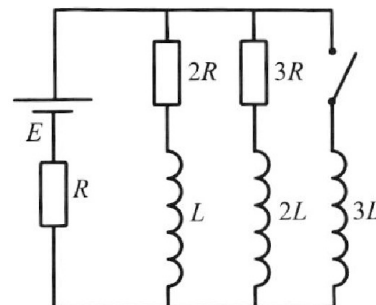
Вариант 11-01

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_{10} 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 ч-исловыми 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 $n_{\text{в}} = 1,0$. 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.

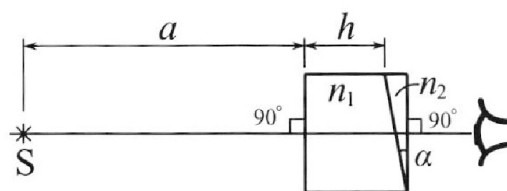


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.

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.

Дано:

$$m = 1800 \text{ кг}$$

$$F_k = 500 \text{ Н.}$$

Решение:

Пусть a_1 — ускорение машины
0) при скорости $v = v_1$.

$$a = \frac{dv}{dt}; \text{ из графика зависимости}$$

$$a_1 = ?$$

$$v_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F_1 = ?$$

$$P_1 = ?$$

$v(t)$ можно найти коэффициент наклона, в точке
со скоростью v_1 , это и будет ускорением
машин из определения.

$$\text{цена дел: } 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 5 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

2) Запишем 2 закон Ньютона в проекции на
ось движения машины направленно вдоль ее
движения:

$$ma = F - F_{\text{сопр}}, \quad F_{\text{сопр}} - \text{сила сопр.}$$

$$F_{\text{сопр}} = \alpha v - \text{по условию. } \alpha - \text{коэффициент кот. пропорцион.}$$

$$ma = F - \alpha v. \quad (1)$$

3) По условию нам известна сила тяги
в конце разгона. В этот момент ускорение
машины равно нулю. Значит: $F_k - \alpha v_k = 0$,

v_k — конечная скорость.

$$F_k = \alpha v_k \Rightarrow \alpha = \frac{F_k}{v_k} - \text{мы нашли } \alpha.$$

из графика видно, что $v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (тангенс наклона)

$$\alpha = \frac{500}{25} = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}. \quad \alpha = 20 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

4) подставим α в (1):

$$ma = F - \frac{F_k}{v_k} v \Rightarrow F = ma + \frac{F_k v}{v_k}.$$

мы нашли силу тяги в зависимости от скорости.

$$\text{При } v = v_1 \quad a = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$F = 1800 \cdot 0,25 + \frac{500 \cdot 20}{25} = 450 \text{ Н} + 400 \text{ Н} = 850 \text{ Н.}$$

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!

Продолжение №1.

5) По определению мощности силы: $P = F \cdot v$
В п. 4 была получена зависимость $F(v)$:
 $F = ma + \frac{F_k}{v_k} v$. подставим ее в expr. мощности:

$$P = F \cdot v = mav + \frac{F_k}{v_k} v^2 \quad P_1 = ma_1 v_1 + \frac{F_k}{v_k} v_1^2$$

При $a_1 = 0,25 \frac{M}{c^2}$ и $v_1 = 20 \frac{M}{c}$:

$$P_1 = 1800 \cdot 0,25 \cdot 20 + \frac{500}{25} \cdot 400 = 17000 \text{ Вт.}$$

Ответ: 1) $a_1 = 0,25 \frac{M}{c^2}$

2) $F_1 = 850 \text{ Н}$

3) $P_1 = 17 \text{ кВт.}$

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!



N2.

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$$

$$T = \frac{5T_0}{4} = 373K$$

$$\frac{V}{5}$$

$$\Delta V = k p w$$

Решение:

1) До того, как нагрели: Пусть снизу находится газ D_2 газа при давлении p_0 (всего - ~~под~~ давление CO_2 , можно пренебречь давл. паров воды).

По закону Генри растворился газ:

$$\Delta V = k \cdot p_0 \cdot w = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4}$$

Найдем, какой объем дополнительно занимает растворенный газ ΔV :

$$p_0 \Delta V = \Delta V R T_0 - \text{учитываем тот же газ}$$

$$p_0 \Delta V = k p_0 \frac{V}{4} R T_0$$

$$\Delta V = k R T_0 \cdot \frac{V}{4} \quad \Delta V = \frac{10^{-3}}{3} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$$

$\Delta V = \frac{V}{4}$ - столько занимает газ (растворился во всем объеме жидкости).

Для всего CO_2 снизу:

$$p_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{V}{4} + \Delta V \right) = p_2 R T_0$$

сверху: $p_0 \frac{V}{2} = p_1 R T_0$

V_r - объем газа снизу.

$$V_r = \frac{V}{2} \Rightarrow$$

$$p_1 = \frac{p_0 V}{2 R T_0}$$

$$p_2 = \frac{p_0 V}{2 R T_0}$$

$$p_1 = p_2$$

$$\frac{p_1}{p_2} = 1$$

$$p_1 = p_2 = p$$

2) В начальном состоянии: $p_0 \frac{V}{2} = p R T_0$ - сверху.

В конце: $p_1 \frac{V}{5} = p R T_1$ - сверху новый его объем

снизу: для углекислого газа: $p_2 \left(\frac{4V}{5} - \frac{V}{4} \right) = p R T$

Кроме того, вода еще нагрелась дает давление

$p_{атм}$ при температуре T

$$p_1 = p_2 + p_{атм} \quad \text{уч. равновесия}$$

$$p_1 - p_2 = p_{атм}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{5 p R T}{V} - \frac{10 p R T}{11 V} = \frac{35 p R T}{11 V}$$

$$\frac{35 p R T}{11 V} = p_{атм}; \quad T = \frac{5}{4} T_0; \quad p_{атм} = \frac{175 p R T_0}{44 V}$$

$$p_0 = \frac{2 p R T_0}{V}; \quad \frac{p_0}{p_{атм}} = \frac{88}{175}$$

Ответ: 1) $\frac{p_1}{p_2} = 1$ 2) $p_0 = \frac{88}{175} p_{атм}$

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!

№ 3 (продолж.)

6) Найдём потенциал в м. А.

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

$$\varphi_A - 0 = -E_1 \left(d - \frac{d}{3} - \frac{d}{2} \right) = -E_1 \frac{d}{6}$$

$$\varphi_A = -\frac{U}{6}$$

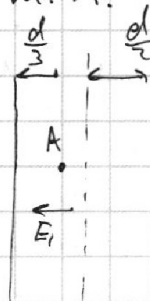
ЗСЭ: ~~так~~ вдали от пластины потенциал $\varphi \approx 0$.

$$\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_A^2}{2} - \frac{Uq}{6}$$

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

Ответ: 1) $a_{12} = \frac{Uq}{md}$ 2) $K_1 - K_2 = Uq$

3) $V_A = \sqrt{V_0^2 + \frac{Uq}{3m}}$



Воспользуемся тем, что ось симметрии — ось нулевого потенциала, потому что все заряды перпендикулярно этой оси ~~расходятся до~~ (до расстояний $\gg d$), $\gg$ размеров пластины

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!

№3.

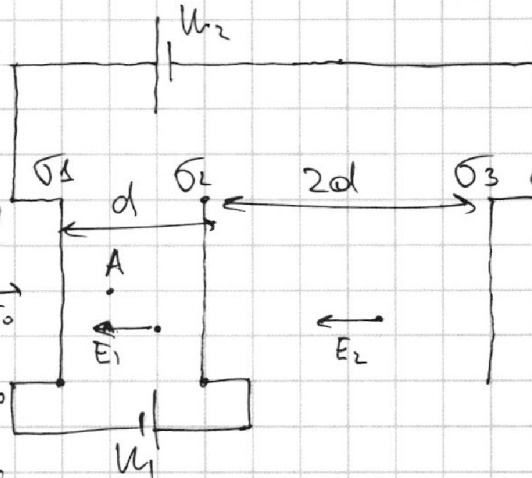
Дано:

$U_2 = 4U$
 $U_1 = U$
 $d, 2d$
 $m, q > 0$
 V_0

- 1) $a_{12} = ?$
 2) $K_1 - K_2 = ?$
 3) $V_A = ?$

Решение:

- 1) В приближении из условия можно считать, что пластины бесконечные. Из-за 2) по Теореме о единственности V_0 каждая из них заряжена равномерно



3) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — пов. плотности зарядов на 1, 2 и 3 м. соотв.

Реш: $\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = E_1 d$, E_1 — напряженность в обл. 12
 $\varphi_3 - \varphi_1 = U_2 = -(E_2 \cdot 2d + E_1 d)$, E_2 — в обл. 23.

Т.к. пластины не заряжены и одинакового размера, то

$$\begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \\ E_1 = \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \\ E_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \\ U_1 = \left(\frac{\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \right) d \\ U_2 = - \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0} \cdot 2d + U_1 \right) \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \\ U = \frac{\sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_1}{2\epsilon_0} d \\ 5U = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_3}{2\epsilon_0} d \end{cases}$$

умножаем первое на 2 и складываем второе 2:

$$7U = \frac{d}{\epsilon_0} (2\sigma_2) \Rightarrow \sigma_2 = \frac{7U\epsilon_0}{2d}$$

$$\sigma_3 = -\sigma_1 - \sigma_2$$

$$U = \left(\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_1 \right) \frac{d}{2\epsilon_0} = -\sigma_1 \frac{d}{\epsilon_0} \Rightarrow \sigma_1 = -\frac{2\epsilon_0 U}{d}$$

$$\sigma_3 = -\frac{5\epsilon_0 U}{2d}$$

Мн найдем все σ .

4) $a_{12} = \frac{E_1 \cdot q}{m}$ т. $E_1 q = m a_{12} \Rightarrow a_{12} = \frac{E_1 q}{m}$; $E_1 = \frac{\epsilon_0 U}{d} + \frac{2U}{d} = \frac{3U}{2d}$

$$a_{12} = \frac{3Uq}{2md}$$

$$a_{12} = \frac{Uq}{md}$$

5) ЗСЭ: $K_1 - U_1 q = K_2 \Rightarrow K_1 - K_2 = U_1 q$

$K_1 + A_{вн} = K_2$; $A_{вн} = -E_1 d q = -U q$; $K_1 - K_2 = U_1 q = U q$

$$K_1 - K_2 = U q$$

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!



№4 (чуж)

$$q_{2R} \cdot 2R = \frac{36LE}{11R}$$

$$q_{2R} = \frac{18LE}{11R^2}$$

Ответ: 1) $I_{10} = \frac{3E}{11R}$ 2) $\frac{dI_3}{dt} = \frac{2E}{11L}$ 3) $q_{2R} = \frac{18LE}{11R^2}$

$$\begin{array}{r} \times 200 \\ 002 \\ \hline 400 \\ 000 \\ 000 \\ \hline 00400 \\ \times \end{array}$$

см. на обороте - №5.

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!

№4
Дано:

E, R, L

1) $I_{10} = ?$

2) $\frac{dI_2}{dt} = ?$

3) $Q_{2R} = ?$

Решение:

1) Пусть I — ток

через рез. R ,

I_1 — ток через

катушку L

I_2 — ток через

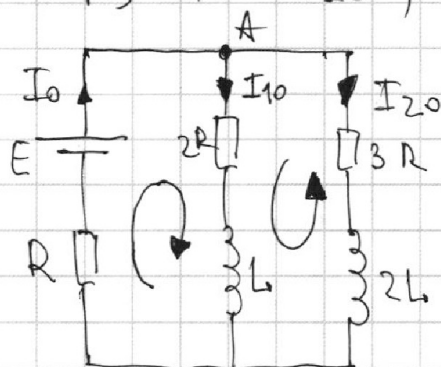
катушку $2L$

I_3 — ток через катушку $3L$ после замыкания

~~кнопа~~ кнопа в ~~пределах~~ в произвольный момент времени.

2) $\Delta 0$ замыкания кнопа в установившемся режиме токи через катушки не меняются, вследствие этого на них не вырабатывается E_{ind} .

До замыкания кнопа пусть через R течёт ток I_0 , через $2R$ — I_{10} , через $3R$ — I_{20} .



1 Правило Кирхгофа для узла А: $I_0 = I_{10} + I_{20}$

2 Пр. Кирхгофа для левого контура:

$$E = I_0 R + I_{10} \cdot 2R$$

2 Пр. Кирхгофа для правого внешнего контура:

$$I_{10} \cdot 2R - I_{20} \cdot 3R = 0.$$

Преобразуем: $I_{10} \cdot 2 = I_{20} \cdot 3 \Rightarrow I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$. подставим в 1 правило Кирхгофа:

$I_0 = I_{10} + \frac{2}{3} I_{10} = \frac{5}{3} I_{10}$. подставим во 2 правило Кирхгофа для левого контура:

$$E = I_0 R + 2 I_{10} R = \frac{5}{3} I_{10} R + 2 I_{10} R = \frac{11}{3} I_{10} R.$$

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

мы нашли макс. ток через $2R$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

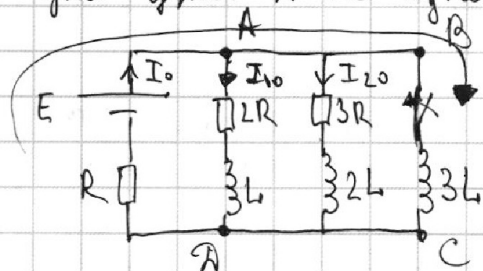
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

3) сразу после замыкания ключа ток через L и $2L$ катушки не может измениться на конечную величину, т.к. иначе в них возникла бы бесконечная ЭДС индукции. Раз не изменились ток через катушки L и $2L$, то не изменился и суммарный ток, текущий через них, т.е. по 1 правилу Кирхгофа где узла А не изменился, и ток через резистор R .



Найдем ток I_0 из п. 2:

$$I_0 = \frac{5}{3} I_{10}$$

$$I_{10} = \frac{3 \cdot E}{11R} \Rightarrow I_0 = \frac{5E}{11R}$$

Теперь напишем второе правило Кирхгофа для внешнего контура по ч.с.:

$$E = I_0 R + 3L \cdot \frac{dI_3}{dt}, \quad \frac{dI_3}{dt} - \text{скорость возрастания тока в неразрывном контуре через } 3L.$$

$$\frac{dI_3}{dt} \cdot 3L = E - I_0 R. \quad \frac{dI_3}{dt} = \frac{E - I_0 R}{3L}$$

$$\frac{dI_3}{dt} = \frac{E - \frac{5E}{11}}{3L} = \frac{6E}{11 \cdot 3L} = \frac{2E}{11L}$$

$$\boxed{\frac{dI_3}{dt} = \frac{2E}{11L}}$$

4) после замыкания ключа ток через $3L$ будет увеличиваться, через L - уменьшаться. В контуре (в уст. режиме) все токи будут постоянны $\Rightarrow$ нигде нет $E_{\text{инд}}$ $\Rightarrow$ через резисторы $2R$ и $3R$ не текут токи (иначе в уст. режиме на них будет нап. $\Rightarrow$ будет нап. и на $3L$ $\Rightarrow$ через нее ток будет изменяться $\Rightarrow$ противоречие). В контуре ток идет через E , R и $3L$. 2-е правило Кирхгофа вдоль этого контура:

$$E = I_R R, \quad I_R - \text{конечный ток через них (E, R и } 3L)$$

2 правило Кирхгофа для ABCD против ч.с. в контуре.

$$\text{Момент времени: } I_1 \cdot 2R + L \frac{dI_1}{dt} - 3L \frac{dI_3}{dt} = 0 \Rightarrow (I_1 = \frac{dq_{2R}}{dt})$$

$$\Rightarrow dq_{2R} \cdot 2R + L dI_1 - 3L dI_3 = 0 \Rightarrow \text{интегрируем} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_{2R} \cdot 2R + L \Delta I_1 - 3L \Delta I_3 = 0. \quad \Delta I_1 = 0 - I_{10} = -\frac{3E}{11R} \quad \Delta I_3 = I_R - 0 = \frac{E}{R}$$

$$q_{2R} \cdot 2R = 3L \frac{E}{R} + L \cdot \frac{3E}{11R} = \frac{36LE}{11R}$$



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!

N5 (ответ)

Ответ: 1) $\varphi = 9,07 \text{ рад}$
2) $\gamma = 14,21 \text{ рад}$
3) $S = 5 \text{ см.}$

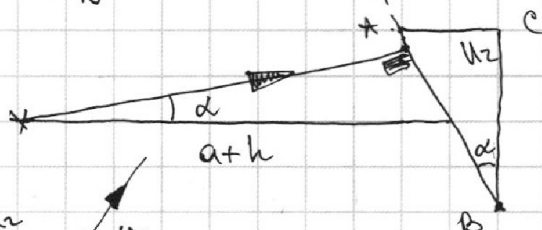
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

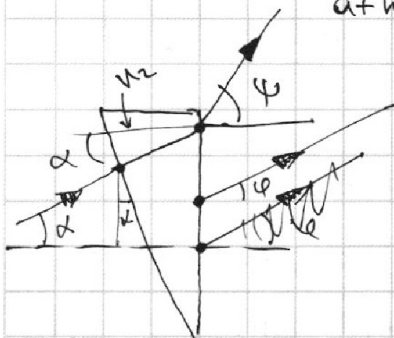
N 5 (продолж.).

$$\varphi = \frac{\alpha}{n_B} (n_2 - n_0) = \frac{0,1}{1} \cdot 0,7 = 0,07 \text{ рад.}$$

4)



Пусть луч падает α вверх
к ГОО штыря. Он
будет перп. границе АВ.



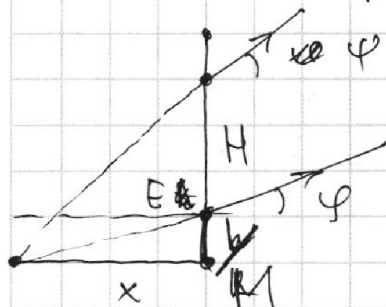
$n_2 \alpha = n_B \varphi$, φ - новый угол к
горизонтальной поверхности

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

Высота, на которой будет
луч: $H = \alpha(a+h)$, т.к.

$$\tan \alpha \approx \alpha$$

Высота, на которой ~~будет~~ будет первый (гориз.)
луч, пренебрежимо мала, т.к. мало раст. ОР по условию.
Найдем, где они пересекутся - это будет из-за ~~источни-~~ источни-
ка, где наблюдателя. Пусть x - расстояние до него
от правой плоской пов.



y - расстояние ЕМ (расст. до
источника по верт.)

$$\frac{y}{x} = \varphi \quad \frac{H+y}{x} = \varphi$$

$$\varphi - \varphi = \frac{H}{x} \Rightarrow x = \frac{H}{\varphi - \varphi} =$$

$$= \frac{\alpha(a+h)}{\frac{n_2 \alpha}{n_B} - \frac{\alpha}{n_B} (n_2 - n_0)} \approx \frac{a+h}{1}$$

Горизонтальное расстояние = 0 $\Rightarrow$ источники будут
ниже друг друга на y : $y = x\varphi = (a+h)\varphi$

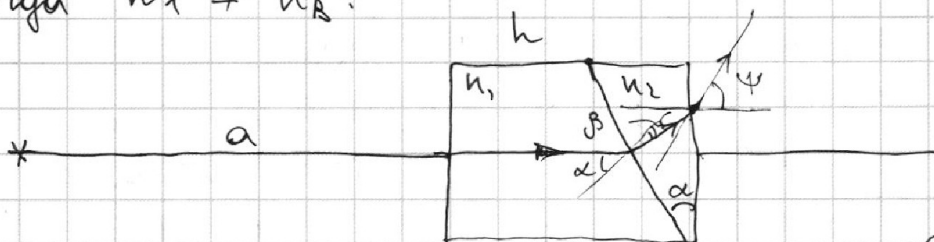
$$y = (a+h) \frac{\alpha}{n_B} (n_2 - n_0) \quad y = 203 \cdot 0,1 \cdot 0,7 = 14,21 \text{ см.}$$

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!

15 (продолж.)

5) Кода $n_1 \neq n_2$:



Первый луч гориз. $\perp$ перв. пов $\Rightarrow$ пойдет насквозь.
на искл:

$$n_1 \alpha = n_2 \beta; \quad \beta = \frac{n_1}{n_2} \alpha$$

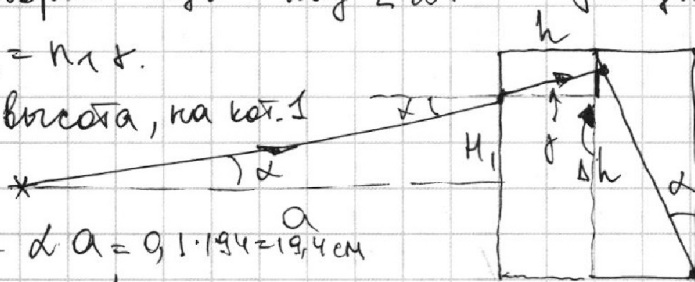
$n_2 (\alpha - \beta) = n_B \psi$ по высоте h мала

$$\psi = \frac{n_2 \alpha}{n_B} \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2} \right) = \frac{\alpha}{n_B} (n_2 - n_1) = \frac{0,1}{1,5} \cdot 0,2 = 0,02$$

Второй луч - под $\angle \alpha$: δ - угол перв. пр.

$$\alpha n_B = n_1 \delta$$

n_1 - высота, на кот. 1
прел.



$$\delta = \frac{n_B}{n_1} \alpha = \frac{1 \cdot 0,1}{1,5} = \frac{2}{3} \cdot 0,1$$

$$h_1 = \delta a = 0,1 \cdot 19,4 = 1,94 \text{ см}$$

$$\Delta h = 0,6 \text{ см}$$

Высота $\Delta h = h \delta$ - на столько поднимется вверх. $\delta = \frac{n_B}{n_1} \alpha$

Еще прел:

$$n_1 (\alpha - \delta) = n_2 \alpha_1, \quad \alpha_1 - \text{новый угол пр.}$$

$\alpha - \delta$ - угол падения

$$\alpha_1 = \frac{n_1 \alpha}{n_2} \left(\frac{n_1 - n_B}{n_1} \right)$$

$$\text{Еще пр: } n_2 (\alpha_1 - \alpha) = n_B \psi_2$$

$$n_2 \left(\alpha - \frac{n_1}{n_2} \alpha \left(1 - \frac{n_B}{n_1} \right) \right) = n_B \psi_2$$

$$\psi_2 = \frac{n_2}{n_B} \alpha \left(1 - \frac{n_1}{n_2} \left(1 - \frac{n_B}{n_1} \right) \right). \quad \text{Его высота} = h_1 + \Delta h$$

$$X_2 = \frac{h_1 + \Delta h}{\psi_2 - \psi}; \quad X_2 = \frac{1,94 \text{ см} + 0,6 \text{ см}}{\psi_2 - \psi}$$

$$\psi_2 = 1,7 \cdot 0,1 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{1,7} \left(1 - \frac{1}{1,5} \right) \right) = 0,17 \left(1 - \frac{5}{17} \right) = 0,17 \cdot \frac{12}{17} = 0,12$$

$$\psi = 0,02; \quad \psi_2 - \psi = 0,1$$

$$X_2 = 2,00 \text{ см}; \quad Y_2 = X_2 \cdot \psi = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см.}$$

$$S = \sqrt{\Delta Y^2 + \Delta X^2} = \sqrt{Y_2^2 + (a + h - X_2)^2} = \sqrt{5 \text{ см}}$$

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!

N5.

$$n_B = 1,0$$

$$a = 194 \text{ см}$$

$$\alpha = 0,1 \text{ рад}$$

$$h = 9 \text{ см}$$

$$1) n_1 = n_B = 1,0$$

$$n_2 = 1,7$$

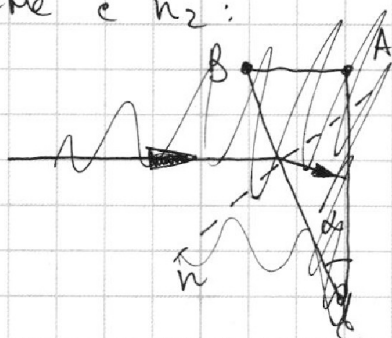
$$\varphi = ?$$



Решение:

1) Пусть φ — угол отклонения луча, идущего перпендикулярно южной грани системы. В первоначальном положении, когда $n_1 = n_B$, можно считать, что луча-воздуха

2) Рассмотрим преломление луча на границе с n_2 :



он будет преломляться на двух поверхностях. на пов. AB (см рисунок-обозначение β и α):

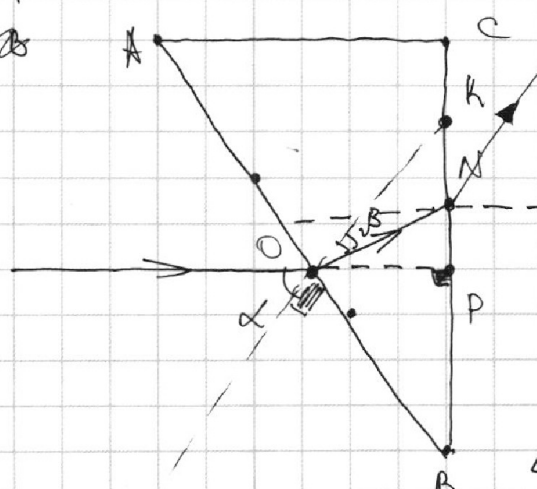
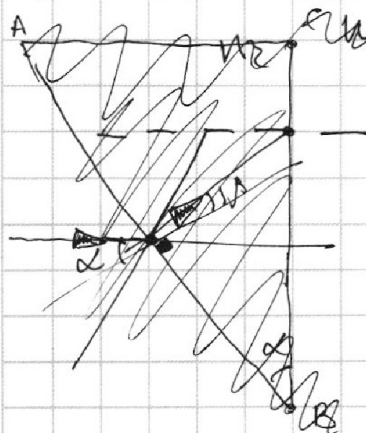
$$n_B \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \beta - \text{угол преломл.}$$

$$\alpha \ll \beta, \beta - \text{малый} \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha, \sin \beta \approx \beta.$$

$$n_B \alpha = n_2 \beta$$

$$\beta = \frac{n_B}{n_2} \alpha$$

3) Запишем преломление на пов. BC: KON , P — см. рис.



K — т. пер. нормали к т. O — точке падения луча на гр. AB на гр. BC ; N — точка пад. п. на гр. BC P — проекция. изм. напр. луча. $OP \perp BC$.

$\angle NOP$ — равен

углу падения луча на границу BC , потому что это перпендикулярные углы. $\angle KOP = \alpha$. $\angle NOP = \alpha - \beta$.

$$n_2 (\alpha - \beta) = n_B \varphi \quad (\text{т.к. } \varphi - \text{угол между нормалью к } BC \text{ и лучом, и } \beta \text{ — нормаль к } BC \text{ пер.} \parallel \text{изм. ходу луча, то } \angle \varphi - \text{искомый}) \Rightarrow \varphi = \frac{n_2 (\alpha - \beta)}{n_B}; \quad \beta = \frac{n_B}{n_2} \alpha \Rightarrow \varphi = \frac{n_2}{n_B} \alpha \left(1 - \frac{n_B}{n_2}\right)$$



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!

$$\begin{array}{r} 1800 \overline{) 4} \\ 16 \\ \underline{20} \\ 200 \\ \underline{200} \\ 00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 5 \\ 2 \\ \hline 10000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10000 \overline{) 25} \\ 100 \\ \underline{00} \\ 400 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 373 \\ 0,8 \\ \hline 298,4 \end{array}$$

$$450 + 400 = \boxed{850}$$

$$\begin{array}{r} \times 450 \\ 20 \\ \hline 9000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 500 \overline{) 25} \\ 20 \\ \times 400 \\ \hline 2000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9000 \\ + 2000 \\ \hline 17000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 20,3 \\ 0,7 \\ \hline 1421 \\ 000 \\ \hline 14,21 \end{array}$$



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!

