



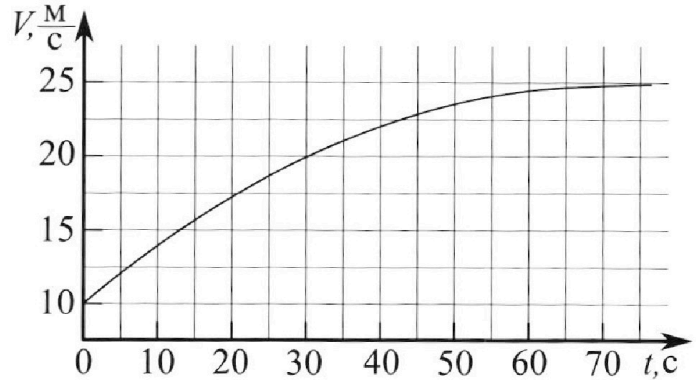
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

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  $V_1$ ?

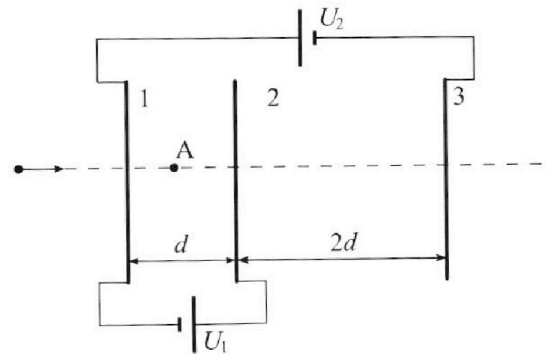
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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/(м<sup>3</sup>·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 А на расстоянии  $d/3$  от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-01

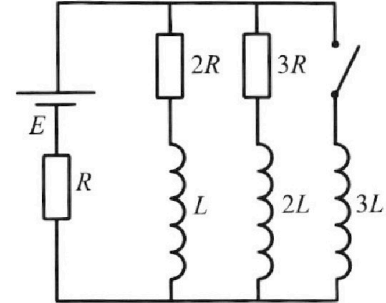
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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 ислowymi 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.

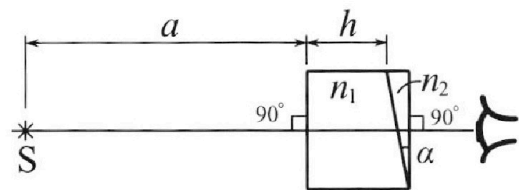


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

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.

Дано:

$$m = 1800 \text{ кг}$$

$$F_k = 500 \text{ Н.}$$

Решение:

Пусть  $a_1$  — ускорение машины  
1) 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 касательными к кривой, а в точке со скоростью  $v_1$ , это и будет ускорением. Итого из определения.

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

или

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

2) Запишем 2 закон Ньютона в проекции на ось движения машины направленно вдоль ее движения:  
 $F$  — сила тяги

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

$$F_{\text{сопр}} = \alpha v. \text{ — по условию. } \alpha \text{ — постоянный коэф. пропорцион.}$$

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

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

$v_k$  — 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 касательной)  $(v_{\text{тяги}} = 0)$

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

4) подставим  $\alpha$  в (1):

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

Мы нашли силу тяги  $F$  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
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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!

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.

$$V_{\text{кисл}} \frac{V}{4} = W$$

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

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

$$\Delta V = k p w$$

Решение:

1)  $\Delta_0$  того, как нагрели: Пусть снизу находится газ  $D_2$  газа при давлении  $p_0$  (всего по - ~~по~~ давлению  $C_{O_2}$ , 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  $\Delta V$ :

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

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

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

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

Для всего  $C_{O_2}$  снизу:  $p_0 \left( \frac{V}{2} - \frac{V}{4} + \Delta V \right) = D_2 R T_0$

сверху:  $p_0 \frac{V}{2} = D_1 R T_0$

$V_T$  - объем газа снизу.

$$V_T = \frac{V}{2} \Rightarrow D_1 = \frac{p_0 V}{2 R T_0}$$

$$D_2 = \frac{p_0 V}{2 R T_0} \quad \boxed{D_1 = D_2}$$

$$\boxed{\frac{D_1}{D_2} = 1}$$

$$D_1 = D_2 = D$$

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

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

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

Кроме того, ~~вода еще~~ пар воды дает давление

$p_{\text{атм}}$  при давлении  $T$

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

$$p_1 - p_2 = p_{\text{атм}}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{5 D R T}{V} - \frac{2 D R T}{11V} = \frac{35 D R T}{11V}$$

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

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

Ответ: 1)  $\frac{D_1}{D_2} = 1$  2)  $p_0 = \frac{88}{175} p_{\text{атм}}$ .

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

№ 3 (продолж.)

б) 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 у границы  $\varphi \approx 0$ .

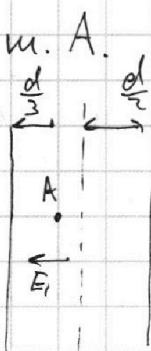
$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_A^2}{2} - \frac{Uq}{6}$$

$$v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{Uq}{3m}}$$

Ответ: 1)  $a_{12} = \frac{Uq}{md}$

2)  $K_1 - K_2 = Uq$

3)  $v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{Uq}{3m}}$



Вспомогательная тем,  
что ось симметрии  
ось нулевого потенциала,  
потому что все эквипотенциалы  
поле  $E$  перпендикулярно  
этой оси ~~потому что~~  
~~до расхождения  $\gg d$ ,~~  
 ~~$\gg$  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.

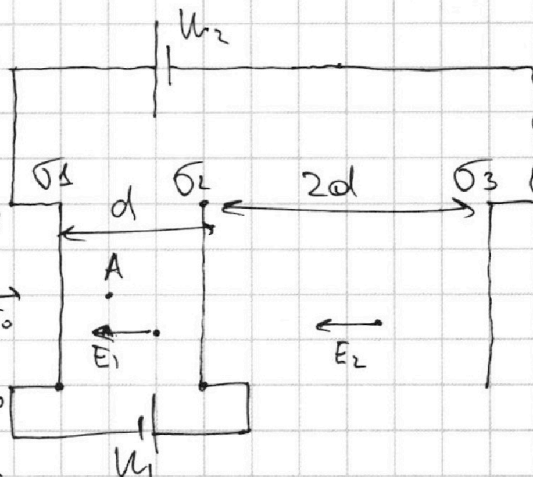
Дано:

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

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

Решение:

1) В приближении из условия можно считать, что пластины бесконечны. 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. соств.

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 <sup>первое</sup> второе на 2 и складываем второе 2:

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

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

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

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

Мн найдем все  $\sigma$ .

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

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

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

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 (маг)

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

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

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.

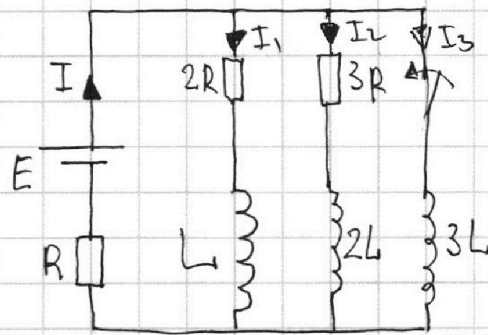


1  2  3  4  5  6  7

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

№4  
Дано:  
 $E, R, L$

Решение:



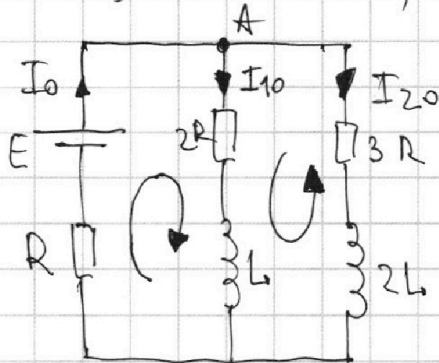
- 1)  $I_{10} = ?$   
2)  $\frac{dI_3}{dt} = ?$   
3)  $Q_{2R} = ?$

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 ~~привычные~~ привычные моменты времени.

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

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



1 правило Кирхгофа где 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:

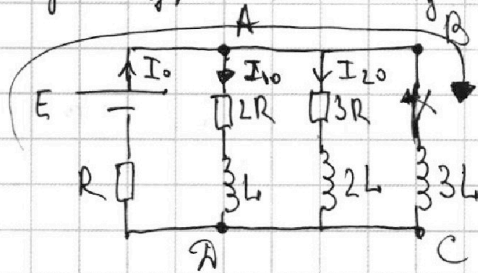
1  2  3  4  5  6  7

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  $3L$  маг. катушки не может увеличиться на конечную величину, т.к. иначе в них возникла бы бесконечная ЭДС индукции. Раз не увеличился ток через катушки  $L$  и  $2L$ , то не увеличился 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 конце (в уст. regime) все токи будут постоянны  $\Rightarrow$  нигде нет ЭДС индукции  $\Rightarrow$  через резисторы  $2R$  и  $3R$  не текут токи (иначе в уст. regime на них будет нап.  $\Rightarrow$  будет нап. и на  $3L$ )  $\Rightarrow$  через них ток будет уменьшаться  $\Rightarrow$  противоречие). В конце ток идет через  $E$ ,  $R$  и  $3L$ . 2 пр. Кирхгофа вдоль этого контура:

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

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

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

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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

N5 (ответ)

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

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

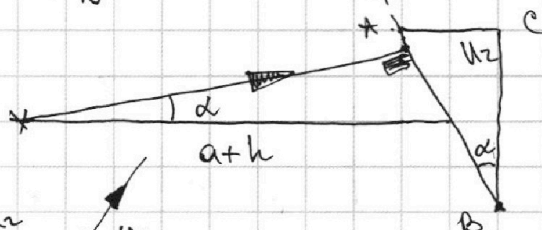


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

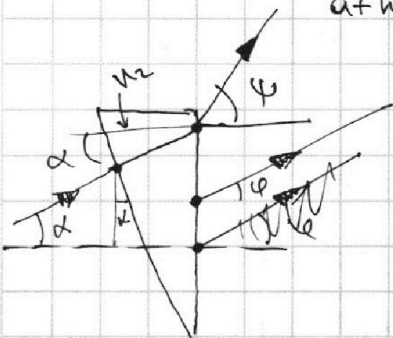
№ 5 (продолж.).

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

4)



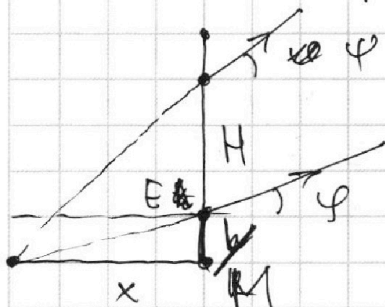
Пусть луч падает  $\alpha$  вверх к ГОО системы. Он будет перп. границе АВ.



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

$$\varphi = \frac{n_2 \alpha}{n_B} \quad \text{Высота, на которой будет луч: } H = \alpha(a+h), \text{ т.к. } \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$$

Высота, на которой ~~было~~ будет первый (гориз) луч, пренебрежимо мала, т.к. мало раст. ОР по условию. Найдем, где они пересекутся - это будет изогн. ~~луч~~ ~~источник~~ ~~кан.~~ ~~для~~ ~~наблюдателя~~. Пусть  $x$  - расстояние до него от правой плоской пов.



$y$  - расстояние EM (расст. до него 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  $y$ :  $y = x\varphi = (a+h)\varphi$

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

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

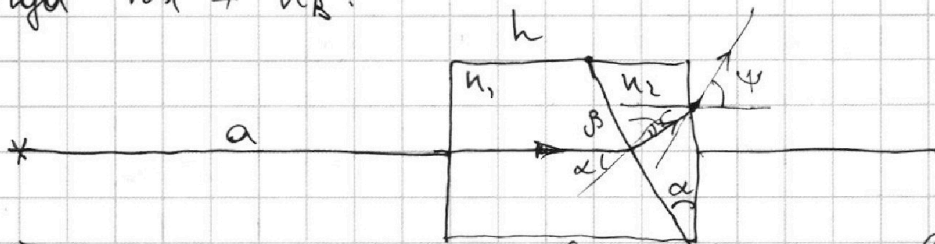
1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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

NS (продолжи)

5) К руда  $n_1 \neq n_2$ :



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

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

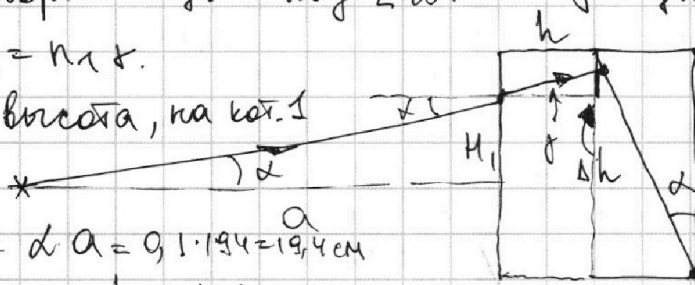
$n_2 (\alpha - \beta) = n_B \psi$  по высоте  $h$  или мала

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

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

$$\alpha n_B = n_1 \delta$$

$n_1$  - высота, на кот.  $\perp$  искл.



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

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

Высота  $\Delta h = h \delta$  - на столько поднимется вверх.  $\Delta h = \frac{2}{3} \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,06 \text{ см}$

Еще искл:

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

$\alpha - \delta$  - угол падения

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

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

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

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

$$X_2 = \frac{h_1 + \Delta h}{\psi_2 - \psi}; \quad X_2 = \frac{1,94 \text{ см} + 0,06 \text{ см}}{\psi_2 - \psi}$$

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

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

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

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

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!

№5.

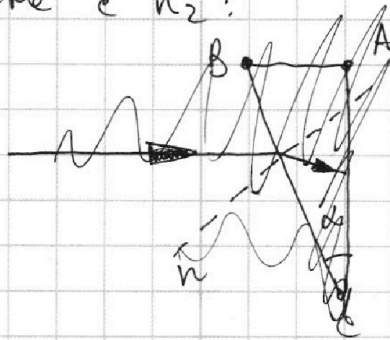
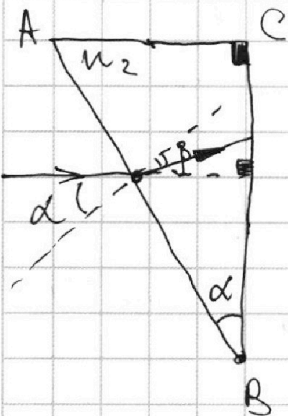
$n_B = 1,0$   
 $a = 194 \text{ см}$   
 $\alpha = 0,1 \text{ рад}$   
 $h = 9 \text{ см}$

Решение:

1) Пусть  $\varphi$  - угол отклонения луча, идущего перпендикулярно левой грани системы. В первоначальном положении, когда  $n_1 = n_B$ , можно считать, что левая граница воздуха

1)  $n_1 = n_B = 1,0$   
 $n_2 = 1,7$   
 $\varphi = ?$

2) Рассмотрим преломление луча на границе с  $n_2$ :



он будет преломляться на двух поверхностях. на пов. AB (см рисунок - обозначение  $\alpha, \beta$ ):

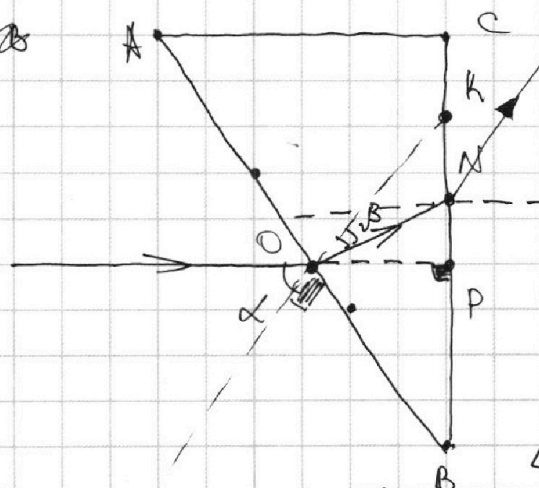
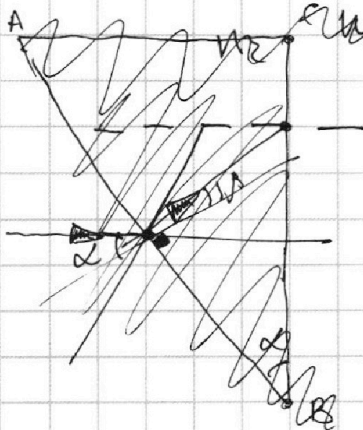
$$n_B \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \beta - \text{угол преломл.}$$

$$\alpha \approx \alpha, \beta \approx \beta \Rightarrow \sin \alpha \approx \alpha, \sin \beta \approx \beta.$$

$$n_B \alpha = n_2 \beta$$

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

3) Запишем преломление на пов. BC:  $K, N, P$  см. рис.



$K$  - т. пер. нормали к т.  $O$  - точке падения луча на гр.  $AB$  на гр.  $BC$ ;  $N$  - точка пад. л. на гр.  $BC$ ;  $P$  - проекц. иск. выпр. луча.  $OP \perp BC$ .

$\angle NOP$  - равен

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

 МФТИ

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!



$$\begin{array}{r} 1800 \overline{) 4} \\ 16 \phantom{00} \\ \hline 20 \phantom{00} \\ 20 \phantom{00} \\ \hline 00 \end{array}$$

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

$$\begin{array}{r} 10000 \overline{) 25} \\ 100 \phantom{00} \\ \hline 00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 373 \\ 08 \\ \hline 298,4 \end{array}$$

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

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

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

$$\begin{array}{r} 9000 \\ + 8000 \\ \hline 17000 \end{array}$$

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



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

