



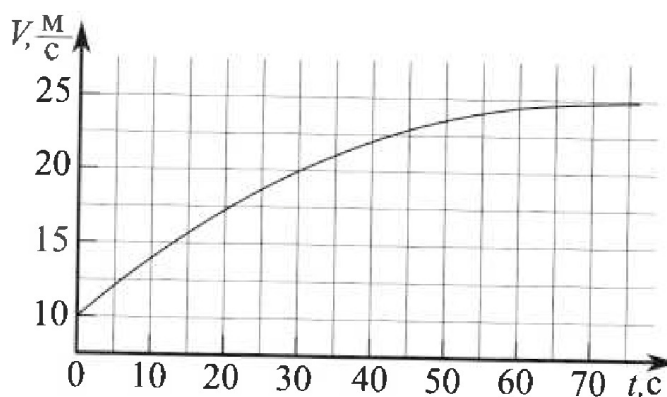
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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%.

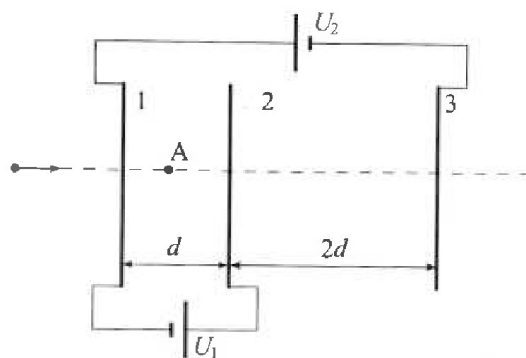
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $V/4$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 5T_0/4 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/5$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx (1/3) \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

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 A на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

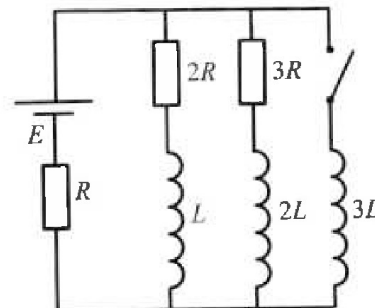
Вариант 11-01

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

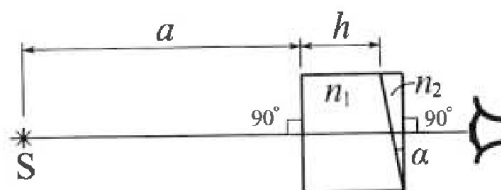
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

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

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. 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.



- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

Тогда для конечного момента по 2 закону Ньютона:

$$F_k - F_{\text{сопр.к}} = ma_k \Rightarrow F_k - dV_k = ma_k \quad (F_{\text{сопр.к}} - F_{\text{сопр}} \text{ для конеч. момента})$$

$$F_k - dV_k = 0 \quad d = \frac{F_k}{V_k} = \frac{500 \text{ Н}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

Для момента t_1 по 2 закону Ньютона:

$$F_1 - F_{\text{сопр.1}} = ma_1 \quad (F_{\text{сопр.1}} - F_{\text{сопр}} \text{ для момента } t_1)$$

$$F_1 = ma_1 + F_{\text{сопр.1}} = ma_1 + dV_1 = ma_1 + \frac{F_k V_1}{V_k} =$$

$$= 1800 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 2200 \text{ Н}$$

Ответ: $F_1 = 2200 \text{ Н}$

3) $P_1 = \frac{\Delta A_1}{\Delta t}$, где ΔA_1 - ~~измен~~ малое расстояние, пройденное машиной за малое время Δt при скорости V_1) то есть $P_1 = \frac{\Delta A_1}{\Delta t}$ ($\Delta A_1 = F_1 \Delta l_1$ - работа силы F_1 за время Δt), но т.к. $\frac{\Delta l_1}{\Delta t} = V_1$, то

$$P_1 = F_1 V_1 = 2200 \text{ Н} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 44 \text{ кВт}$$

Ответ: $P_1 = 44 \text{ кВт}$



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!

Задача 1.

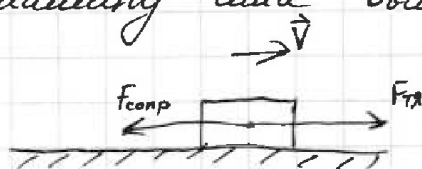
1) Т. к. угловое - преобразуемое скорости по времени, $a_1 = \dot{V}_1$, где a_1 - ускорение машины в момент, когда её скорость равна V_1 . На графике видно, что касательная к нему в точке $В$ ~~В~~ $(t_1; V_1)$, где t_1 - время, когда была скорость V_1 , наклонена под углом, тангенс которого равен $\frac{1}{2}$ ~~крат~~ в клетках, т. е. $\frac{10 \frac{м}{с}}{10 с} = 1 \frac{м}{с^2}$.

Ответ: $a_1 = 1 \frac{м}{с^2}$

2) Т. к. в конце ускорение скорости машины почти не изменилась, и стремилось к $25 \frac{м}{с}$, то конечные ускорение a_k и скорость V_k ^{приближно} равны:

$$a_k = 0 \quad V_k = 25 \frac{м}{с}$$

Т. к. $a_k = 0$, то в конце равнодействующая на машину сила была равна 0. Показем силы:



где V - скорость автомобиля, $F_{тр}$ - сила тяги, а $F_{сопр}$ - сила сопр.

Т. к. сила сопротивления пропорциональна скорости, запишем $F_{сопр} = \alpha V$, где α - коэф. сопр., $\alpha = const$.



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!

Задача 2.

1) Т.к. поршень делит сосуд на 2 равные части, объём каждой из частей равен $\frac{V}{2}$, Т.к. в нижней части вода занимает $\frac{V}{4}$, то газа там тоже $\frac{V}{4}$ ($\frac{V}{2} - \frac{V}{4}$). Давление р. газа сверху и снизу поршня одинаково, т.к. он невесомый.

Тогда, применяя ~~идеальный~~ уравнение состояния пара воды получим:

$$p_0 = \frac{\nu_H R T_0}{\frac{V}{4}} = \frac{\nu_B R T_0}{\frac{V}{2}}, \text{ где } \nu_H - \text{количество газа снизу, а}$$

ν_B - сверху поршня), получаем $4\nu_H = 2\nu_B \Rightarrow \nu_B = 2\nu_H$,

$$\frac{\nu_B}{\nu_H} = 2$$

Ответ: $\frac{\nu_B}{\nu_H} = 2$

2) Т.к. при температуре T давление водяных паров равно $p_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$, и углекислый газ почти не растворяется в воде, то в газобразном состоянии будет $\nu_H + \Delta \nu_0$ грм. газа, $\Delta \nu_0$ - растворённая часть газа при T_0 . Над поршнем все остальное ν_B газа.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$(\nu_H + \Delta \nu_0) \cdot R \cdot T = p_{\text{ж}} \frac{V}{4} \left(V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} \right), \text{ где } p_{\text{ж}} - \text{давление ж.}$$

грм. газа над поршнем на поршень,

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

каждой из сторон на поршень, а $V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4}$ - объем
занимаемый газом под поршнем.

$p_k \frac{V}{5} = \nu_B R T$ p_k - давление на поршень ~~на~~ с
каждой из сторон при T .

$$p_k = p_{\text{ук}} + p_{\text{атм}}$$

$$\Delta \nu_0 = k p_0 \frac{V}{4}$$

Тогда подставим ~~в~~ всё это и приравняем p_k :

$$p_k = \frac{\nu_B R T}{\frac{V}{5}} = \frac{\left(\frac{\nu_B}{2} + k p_0 \frac{V}{4}\right) \cdot R T}{\left(V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5}\right)} + p_{\text{атм}}$$

$$\frac{5 \nu_B R T}{V} = \frac{\frac{20}{11} \frac{\nu_B}{2} R T}{V} + \frac{k p_0 \frac{V}{4} \cdot \frac{20}{11} R T}{V} + p_{\text{атм}}$$

Т.к. $p_0 = \frac{\nu_B R T}{\frac{V}{2}} = 2 \frac{\nu_B R T}{V}$, то

$$2,5 p_0 = \frac{5}{11} p_0 + \frac{5}{11} k p_0 \cdot R T + p_{\text{атм}}$$

$$p_0 \left(2,5 - \frac{5}{11} - \frac{5}{11} k R T\right) = p_{\text{атм}} \quad (k R T = \frac{1}{3} \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 1)$$

$$p_0 = \frac{p_{\text{атм}}}{2,5 - \frac{5}{11} - \frac{5}{11} k R T} = \frac{p_{\text{атм}}}{\frac{55}{22} - \frac{20}{22}} = \frac{p_{\text{атм}} \cdot 22}{35} = \frac{22}{35} p_{\text{атм}}$$

Ответ: $\frac{22}{35} p_{\text{атм}}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



МФТИ

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

Задача 3

1) Т. к. суммарный заряд сеток равен нулю, то при ^{напряженность} d , или же метровой разности сетки $\sqrt{\text{поле}}$ справа и слева от сеток будет равна 0.

~~Заряды Q_1, Q_2, Q_3 равны нулю.~~

Тогда ~~$U_2 - U_1 = \frac{Q_3}{2\epsilon_0} - \frac{Q_2}{2\epsilon_0}$~~

$U_2 - U_1 = E_{23} \cdot 2d$, E_{23} - напряженность между 2 и 3

$U_1 = E_{12} d$ ~~напряженность~~ сетками, E_{12} - между 1 и 2.

Т. к. напряжение - это разность потенциалов в точках, куда оно подведено.

Тогда между сетками 1 и 2 ускорение a_{12} на

частицу - $a_{12} = \frac{E_{12} q}{m} = \frac{U_1 q}{d m} = \frac{U q}{d m}$ Ответ: $a_{12} = \frac{U q}{d m}$

2) Т. к. напряженность во всей системе 0, $K_1 = \frac{m v_0^2}{2}$

по теореме об укл. кин. энергии $K_2 = K_1 + A_{\text{внеш.}}$

$A_{\text{внеш.}} = E_{12} q \cdot d$, т. к. E_{12} направлено вправо (т. к. на

ист. U , полев. вывод подключен к 2 сетке)

Отсюда $K_2 - K_1 = E_{12} q \cdot d = \frac{U_1 q d}{d} = U_1 q$ ~~Ответ~~

Тогда $K_1 - K_2 = -U_1 q$ Ответ: $-U_1 q$

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!



3) V_A - искомая скорость. По той же теореме:

$$K_A = E_{12} \frac{d}{3} + K_1 \quad K_A - \text{энергия кин. энергия в т. А.}$$

$$K_A = \frac{m V_A^2}{2}$$

$$V_A = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{U_1 d}{d \cdot 3} + \frac{m V_1^2}{2} \right)} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{U_1}{3} + \frac{m V_1^2}{2} \right)} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{U_1}{m} + V_1^2}$$

$$\text{Ответ: } V_A = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{U_1}{m} + V_1^2}$$

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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



Задача 4.

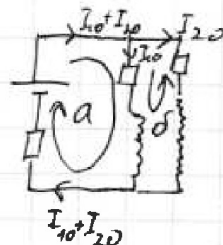
1) при разомкнутом ключе в установившемся режиме напряжения на катушках отсутствуют, ток через них постоянный. Получается:

$E \approx I_{10} \cdot 2R + I_{20}$ если I_{20} - ток через резистор $3R$,

то по правилу Кирхгофа:

$$a) E = I_{10} \cdot 2R + (I_{20} + I_{10})R$$

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



$$I_{20} = \frac{3}{2} I_{10}$$

$$\text{Или } \frac{E}{R} = 2I_{10} + \frac{3}{2} I_{10} + I_{10} \quad 4.5 I_{10} = \frac{E}{R} \quad I_{10} = \frac{2E}{9R}$$

$$\text{Ответ: } I_{10} = \frac{2E}{9R}$$

2) Напряжение на катушке $3L$ сразу после замыкания равно $E - (I_{10} + I_{20})R$. Напряжение на катушке это скорость изменения тока на индуктивность.

$$\text{Отсюда } \dot{I}_{3L} \cdot 3L = E - (I_{10} + I_{20})R \quad \dot{I}_{3L} = \frac{E - \frac{5}{2} I_{10} R}{3L} = \frac{E}{3L} \left(1 - \frac{5 \cdot 2}{2 \cdot 9} \right)$$

$$= \frac{E}{3L} \left(1 - \frac{4}{9} \right) = \frac{4E}{27L}$$

$$\text{Ответ: } \frac{4E}{27L}$$

3) В случайный момент времени после замыкания ключа (индекс соотв. элементу, например I_{3L} -

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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

МФТИ

ток через катушку $3L$):

~~#1~~ ~~$E = \mathcal{E}_{2R} + \mathcal{E}_{3L}$~~

$$\dot{I}_{3L} \cdot 3L = I_{2R} \cdot 2R + \dot{I}_{2R} \cdot L$$

$$\frac{dI_{3L}}{dt} \cdot 3L = I_{2R} \cdot 2R + \frac{dI_{2R}}{dt} \cdot L$$

$$dI_{3L} \cdot 3L = I_{2R} \cdot dt \cdot 2R + dI_{2R} \cdot L$$

Продифференцируем по времени:

$$(I_k - 0) \cdot 3L = I_{2R} \cdot 2R + (0 - I_{10}) \cdot L$$

$$I_k - \text{ток в уст. режиме. } I_k \cdot R = E \quad I_k = \frac{E}{R}$$

$$\frac{3EL}{R} = 2I_{2R} \cdot R - \frac{2EL}{9R}$$

$$I_{2R} = \frac{EL}{2R^2} \left(3 - \frac{2}{9} \right) = \frac{EL}{2R^2} \cdot \frac{25}{9} = \frac{25}{18} \frac{EL}{R^2}$$

$$\text{Ответ: } \frac{25}{18} \frac{EL}{R^2}$$

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!

Задача 5

1) согласно закону преломления, т. к. $n_1 = n_3$, ~~то~~
луч с показателем n_1 выйдет на поверхность
будет так же, как её отсутствовало. рассмотрим
луч через призму " n_2 ":



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

$$\gamma = 180^\circ - (180^\circ - \alpha) - \beta$$

$$\sin \varphi = n_2 \sin \gamma$$

~~угол~~ угол падения α , т. к.

угол преломления β , угол между перпендикулярами
к граням тоже α , значит $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ - \alpha$.

Т. к. углы малые, $\sin \alpha$, $\sin \beta$, $\sin \gamma$ и $\sin \varphi$ равны

α , β , γ , φ соответственно. Получаем:

$$\beta = n_2 \alpha$$

$$\gamma = 180^\circ - 180^\circ + \alpha - n_2 \alpha$$

$$\varphi = n_2 (\alpha - n_2 \alpha) = 1/n_2 (n_2^2 \alpha - \alpha) = n_2 \alpha - \alpha = 0,14 - 0,1 \text{ рад}$$

$$\varphi = 0,04 \text{ рад}$$

Ответ: $\varphi = 0,04 \text{ рад}$.

2) Покажем путь луча от источника в глаз:

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

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

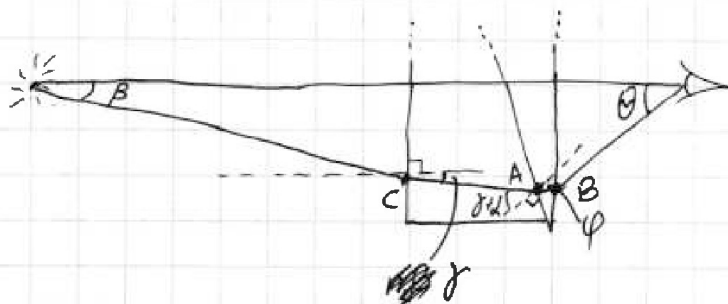
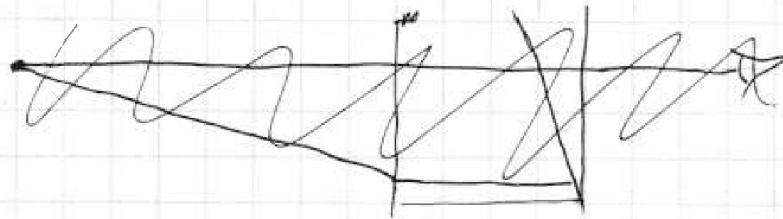
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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



3)



Затем ~~первое~~ 2 ~~преломления~~ ~~луча~~ под углом β к оси:

$$\beta = n_1 \gamma \quad \gamma = \frac{\beta}{n_1} \quad n_1 \varphi = n_1 (\gamma + \alpha)$$

$$\varphi = \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{\beta}{n_1} + \alpha \right) = \frac{\beta}{n_2} + \frac{n_1}{n_2} \alpha \quad \text{Заметим, этот угол}$$

аналогичен углу γ из пункта 2. (γ — угол преломления луча под углом β). Только теперь коэффициент перед α не $\frac{1}{n_2}$, а $\frac{n_1}{n_2}$



$$\omega = \alpha + \varphi = \alpha - \frac{n_1 \alpha + \beta}{n_2}$$

$$\theta = n_2 \omega = n_2 \alpha - n_1 \alpha + \beta$$

θ аналогичен θ из п. 2, но

коэф перед α больше в n_1 раз.

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!

Тогда SS' точно будет перпендикулярно оси,
 SS' почти перпендикулярна оси. Его смещение
обусловлено тем, что скорость света в среде
 n_1 меньше c . Можно сказать, что:



Удобнее в этом случае будет
тоже почти на перпендикуляре к
оси, но чуть ближе к S , т.к. угол
наклона ~~у~~ участка AC меньше, чем

SC . Получается $SS' = \frac{a \sin \theta}{\cos \beta} (\sin \theta - \sin \beta) +$

$$+ \frac{h (\sin \theta - \sin \beta)}{n_1} = a (\theta - \beta) + \frac{h (\theta - \beta)}{n_1} =$$

$$= a (n_2 L - n_1 L) + \frac{h (n_2 L - n_1 L)}{n_1} = \left(a + \frac{h}{n_1} \right) (n_2 - n_1) L =$$

$$= 0,1 \cdot 0,2 \cdot \left(1,5 + \frac{9}{1,5} \right) = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ см}$$

Ответ: ~~11~~ 4 см