



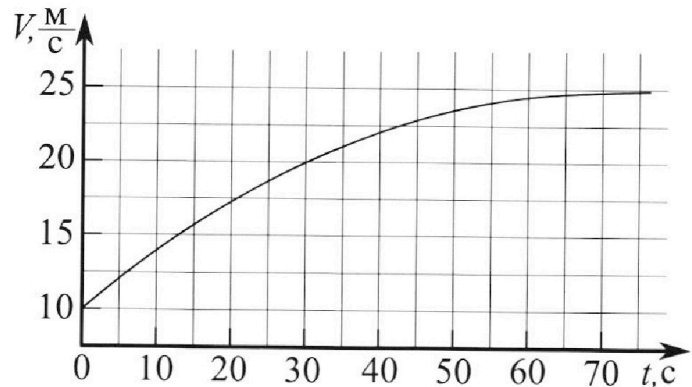
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03



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

1. Автомобиль массой  $m = 1500$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна  $F_k = 600$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



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

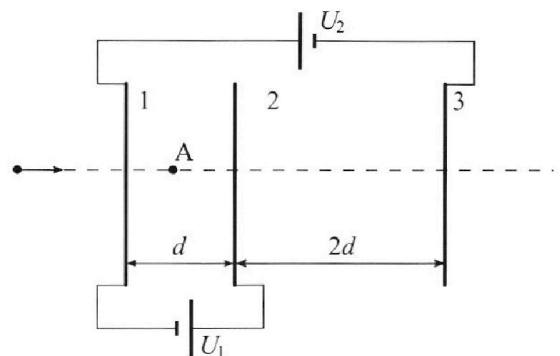
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд 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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении  $P_0 = P_{\text{ATM}}/2$  ( $P_{\text{ATM}}$  - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  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  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  моль/( $\text{м}^3 \cdot \text{Па}$ ). 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 ние количества вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определите отношение конечной и начальной температур в сосуде  $T/T_0$ .

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях  $d$  и  $2d$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = U$  и  $U_2 = 3U$ . Частица массой  $m$  и зарядом  $q > 0$  движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость  $V_0$  на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд  $q$  намного меньше модуля зарядов сеток.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке A на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 11-03

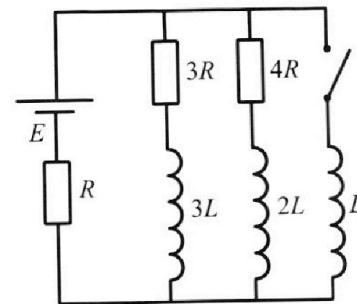
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



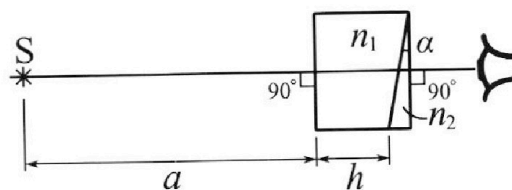
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

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

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  и находится в воздухе с показателем преломления  $n_{\text{в}} = 1,0$ . Точечный источник света  $S$  расположен на расстоянии  $a = 90$  см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.



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!

1. 1) ускорение  $a = \frac{dV}{dt}$ , т.е. численно ускоре-  
ние равно тангенсу угла наклона касатель-  
ной к графику  $V(t)$  в точке начала разгона ( $t=0$ ).

Из графика  $a \approx \frac{2 \frac{m}{c}}{5 c} = 0,4 \frac{m}{c^2}$

Ответ:  $0,4 \frac{m}{c^2}$

2) Введём коэфф. пропорциональности  
силы сопротивления скорости:  $F_{сопр} = kV$

( $V$  - темп. скорость,  $k$  - коэфф.,  $F_{сопр}$  - сила сопротивления)

В конце разгона:  $V_{кон.} \rightarrow 25 \frac{m}{c}$ ,  $a_{кон.} \rightarrow 0 \frac{m}{c^2}$

(т.к. скорость не меняется). Запишем 2 закон

Ньютона для конца разгона: (выберем на  
направление движения):

$$F_k - F_{сопр_{кон.}} = 0$$

$$F_k = kV_{кон.}$$

откуда:  $k = \frac{F_k}{V_{кон.}} = \frac{600 N}{25 \frac{m}{c}} = 24 \frac{N \cdot c}{m}$

23. Пусть на врезке на выпр. двателая для  
начала разгона:

$$F_0 - F_{сопр_{нач}} = m a_{нач}$$

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!

отсува  $F_0 = m a_{\text{нач}} + K V_{\text{нач}} = 2500 \text{ кг} \cdot 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} +$   
 $+ 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 600 \text{ Н} + 240 \text{ Н} = 840 \text{ Н}.$

Ответ: 840 Н

3) мгновенная мощность  $P_0$  в начале  
пути вычисляется по формуле:

$$P_0 = F_0 \cdot V_{\text{нач}} = 840 \text{ Н} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8400 \text{ Вт}$$

Ответ: 8400 Вт.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

2. 1) Запишем УКУ (уравнение Клапейрона-Менделеева) для обоих газов при комнатной температуре:

$$\begin{cases} P_0 \left( \frac{V}{2} - \frac{V}{4} \right) = \nu_{\text{ум}} RT_0 & (\nu_{\text{ум}} \text{ и } \nu_{\text{пл}} - \text{кол-во} \\ & \text{ум. газа и пл. пара соотв.}) \\ P_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{пл}} RT_0 & (\text{зависимость в. пара от температуры}) \end{cases}$$

$$\frac{\frac{V}{4}}{\frac{V}{2}} = \frac{\nu_{\text{ум}}}{\nu_{\text{пл}}} \rightarrow \frac{\nu_{\text{пл}}}{\nu_{\text{ум}}} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{4}} = 2$$

Ответ: 2

2) Вычислим кол-во растворенного в воде  
ум. газа:  $\Delta \nu = k P_0 \frac{V}{4} = \frac{k P_{\text{пл}} V}{8}$

Если ~~нагрев~~ <sup>нагрев</sup> ум. газ практически не растворится,  
значит его кол-во увеличилось на  $\Delta \nu$ . Также  
появится давление в. пара (которым ранее, при  
комнатной температуре, пренебрегли). Заметим,  
что  $T = 373\text{K} = 100^\circ\text{C}$ , а значит давление в. пара  
при такой температуре равно атмос-  
ферному:  $P_{\text{пара}} = P_{\text{атм}}$ .

Запишем УКУ для смеси после оконча-  
ния нагрева:

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!

$$\begin{cases} P_{\text{гид}} \left( V - \frac{V}{5} - \frac{V}{4} \right) = (J_{\text{гид}} + \Delta V) RT * \\ P_{\text{атм}} \frac{V}{5} = J_{\text{атм}} RT ** \end{cases}$$

а также учесть из условия равновесия!

$$P_{\text{атм}} = P_{\text{гид}} + P_{\text{пара}}$$

$$*! P_{\text{гид}} \cdot \frac{11}{20} V = \left( J_{\text{гид}} + \frac{\kappa P_{\text{атм}} V}{8} \right) RT$$

$$P_{\text{гид}} = \frac{20}{11} \left( \frac{J_{\text{гид}}}{V} + \frac{\kappa P_{\text{атм}}}{8} \right) RT$$

$$**! P_{\text{атм}} = \frac{5 J_{\text{атм}} RT}{V}$$

Также из пункта 1) известно, что  $J_{\text{атм}} = \frac{P_0 V}{2 RT_0}$  (из  
УКН для воды) и  $J_{\text{гид}} = \frac{J_{\text{атм}}}{2}$ . (сохранение фл.)

$$\frac{5 J_{\text{атм}} RT}{V} = \frac{20}{11} \left( \frac{J_{\text{гид}}}{V} + \frac{\kappa P_{\text{атм}}}{8} \right) RT + P_{\text{пара}}$$

$$\frac{5 P_0 T}{2 T_0} = \frac{20}{11} \left( \frac{P_0}{4 R T_0} + \frac{\kappa P_{\text{атм}}}{8} \right) RT + P_{\text{атм}}$$

$$\frac{5 P_{\text{атм}} T}{4 T_0} = \frac{20}{11} \cdot \frac{P_{\text{атм}} T}{8 T_0} + \frac{20}{11} \cdot \frac{\kappa P_{\text{атм}} RT}{8} + P_{\text{атм}}$$

$$\frac{T}{T_0} \left( \frac{5}{4} - \frac{20}{11 \cdot 8} \right) = \frac{5}{11 \cdot 2} \kappa RT + P_{\text{атм}} T$$

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\frac{5}{22} \kappa RT + 1}{\frac{5}{4} - \frac{5}{22}} = \frac{10 \kappa RT + 44}{55 - 10} = \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 + 44}{45} =$$

$$= \frac{59}{45}$$

Ответ:  $\frac{59}{45}$



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. ↑ Возьмем потенциалы точек  $\varphi_1, \varphi_2$  и  $\varphi_3$  соответственно. Тогда:

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U_2 = 3U$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_1 = U.$$

Получим между пластинами 1 и 2 поле однородное, т.к. пластинки имеют много меньшие размеры, чем расстояние между ними.

$$\text{Тогда } E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{U}{d} \quad (E \text{ - поле между пластинами 1 и 2, направление от 2 к 1, т.к. } \varphi_2 > \varphi_1)$$

На частицу в таком поле будет действовать сила

$F = Eq$ , направ. против силы тяжести (если  $q > 0$ ), тогда 2 задачи решаются в принципе на напряж. разности  $U$  и  $q$

$$\text{Будет: } -Eq = ma, \text{ откуда } |a| = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{dm}$$

$$\text{Ответ: } \frac{Uq}{dm}$$

$$2) \text{ ЗСЭ: } K_1 = K_2 + Eq \cdot d \quad \leftarrow \text{ работа силы}$$

$$\text{Или же, } K_1 - K_2 = Eqd = \frac{U}{d} qd = Uq$$

$$\text{Ответ: } Uq$$

$$3) \text{ ЗСЭ: } \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_A^2}{2} + Eq \cdot \frac{d}{4}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

- 1    2    3    4    5    6    7

 МФТИ

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

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mVA^2}{2} + \frac{Uq}{4}$$

$$VA^2 = \frac{2}{m} \left( \frac{m}{2} V_0^2 - \frac{Uq}{4} \right) = V_0^2 - \frac{Uq}{2m}$$

$$VA = \sqrt{V_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$

$$\text{Ответ: } \sqrt{V_0^2 - \frac{Uq}{2m}}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

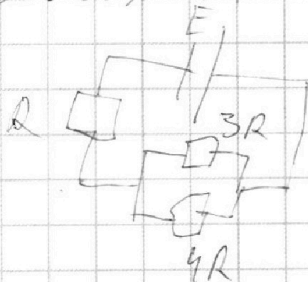
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



4. 1) при установившемся режиме ток не меняется, а значит на катушках ЭДС равна 0, т.е. они не оказывают никакого влияния. Значит, схема такая:



сначала считаем эквивалентное сопротивление

$$R_0 = R + \frac{3R \cdot 4R}{3R + 4R} =$$

$$= \frac{19}{4} R; \text{ тогда ток в цепи}$$

$$I_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

Обозначим ток на  $3R$  как  $I_{10}$ , на  $4R$  как  $I_{20}$ .

Имеем:  $I_{10} + I_{20} = I_0$ ,  $I_{10} 3R = I_{20} 4R$ ; откуда,

$$I_{20} = \frac{3}{4} I_{10} \Rightarrow I_0 = \frac{7}{4} I_{10} \Rightarrow I_{10} = \frac{4}{7} I_0 =$$

$$= \frac{4}{19} \frac{E}{R}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{4}{19} \frac{E}{R}$$

2) рассмотрим контур, состоящий из резистора  $R$ , батарейки, ключа и катушки  $L$ . В нач. момент времени ток на резисторе  $I_0$  из п. 1), тогда на катушке

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!



Нет, но есть скорость ее изменения ( $\frac{dI}{dt}$ );  
запишем для такого контура II правило Кирхгофа:  
Закон:

$$L \frac{dI}{dt} + I_0 R = E$$

откуда,  $\frac{dI}{dt} = \frac{E - I_0 R}{L} = \frac{E - \frac{72}{75} \frac{E}{R} R}{L} = \frac{72}{75} \frac{E}{L}$

Ответ:  ~~$\frac{72}{75} \frac{E}{L}$~~   $\frac{72}{75} \frac{E}{L}$

3) Что произошло: через резистор  $3R$  шло ток, после выключения

кнопки - уже не идет (все пошло через катушку)

значит ток через резистор, а значит

и катушку, уменьшился, значит

повышался ЭДС катушки - на малом

времени ток времени  $\tau$  (который и

принят за время задержки тока). Ввиду малости

времени, процесс убывания тока можно

считать линейным, тогда  $\frac{dI}{dt} = \frac{I_0 - I}{\tau}$   
 ~~$\frac{dI}{dt} = \frac{I_0 - I}{\tau}$~~



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!



~~4.3) (продолжение) Тогда ЭДС индуцируется~~  
 ~~$\mathcal{E}_{3L} = L \frac{dI}{dt} = L \frac{4E}{5R^2} = \frac{4EL}{5R^2}$~~

~~Эта ЭДС действует на резистор  $3R$ , значит~~  
 ~~$I_{3R} = \frac{\mathcal{E}_{3L}}{3R} = \frac{4EL}{5 \cdot 3R^2}$ ;  $Q_{3R} = I_{3R} \cdot \tau =$~~   
 ~~$= \frac{4EL}{5 \cdot 3R^2}$~~

~~Ответ:  $\frac{4EL}{5 \cdot 3R^2}$~~

4.3) (продолжение).  $\tau = \frac{3L}{3R} = \frac{L}{R}$

характерное время установившейся

равновесия (т.е. время индукции)

$$Q = \frac{I_{10} \cdot \tau}{2} = \frac{4E}{5} \frac{L}{R} \cdot \frac{L}{R} = \frac{2EL}{5R^2}$$

Ответ:  $\frac{2EL}{5R^2}$

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!

5. ~~Изобразим~~ изобразим призму 2 боковой:

Пусть  $O$  - вершина с углом  $\alpha$ ;  
 $A$  - точка верха лева,  $B$  -  
 точка верха;  $NA$  и  $NB$  -  
 перпендикуляры к грани призмы;  
 $\beta$  - угол правый,  $\gamma$  - угол левый  $\angle AOB$ .  
 Рассмотрим общий случай, поэтому  
 слева от призмы угол с норм.  $NA$ ,  
 справа -  $NB$ . (Угол при вершине -  $N_2$ ). Тогда:  
 $n_1 \sin \beta = n_2 \sin \gamma$ ; т.к.  $\alpha$  - малый угол,  
 то  $\beta$  и  $\gamma$  - тоже малые углы. Тогда  
 $\sin \beta \approx \beta$  и  $\sin \gamma \approx \gamma \rightarrow n_1 \beta = n_2 \gamma$   
 $\angle NAO = \angle NBO = 90^\circ \rightarrow \angle BNA = 180^\circ - \alpha$ , то же  $\angle NBA =$   
 $= 180^\circ - (\gamma + 180^\circ - \alpha) = \alpha - \gamma$ . Пусть  $\theta$  - угол между  
 перпендикулярами к грани и векторами  $OA$  и  $OB$ .  
 Тогда:  $n_2 \sin(\alpha - \gamma) = n_1 \sin \theta$ , а с  
 учетом малости углов:  $n_2(\alpha - \gamma) = n_1 \theta$ .  
 (Числом угол откладываем  $\Delta \varphi$ .  $\Delta \varphi = \beta - \gamma + \theta - (\alpha - \gamma) =$   
 $= \beta + \theta - \alpha = \beta - \alpha + n_2(\alpha - \gamma) = \beta - \alpha + n_2 \alpha - n_2 \gamma =$



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!

$$= \beta - \alpha + n_2 \alpha - n_1 \beta = \beta(1 - n_1) - \alpha(1 - n_2);$$

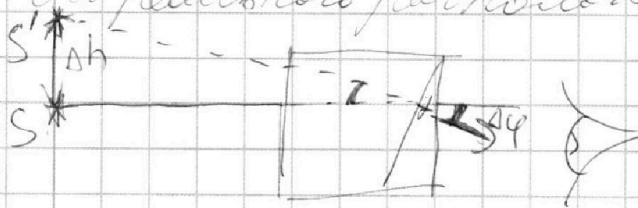
$$\beta = 90^\circ + \alpha - 90^\circ = \alpha, \text{ значит } \Delta\varphi = \alpha(1 - n_1) - \alpha(1 - n_2) = \\ = \alpha(n_2 - n_1)$$

тогда 1)  $\Delta\varphi = \alpha(n_2 - n_1) = 0,7 \text{ град} \cdot 0,7 = 0,07 \text{ град}$

Ответ: 0,07 град

2) с учетом малости всех углов и отклонений, наблюдатель увидит действительный путь в виде

однородного распределения:



Весь действительный путь практически не изгибается

тогда  $\Delta h = (a+h) \tan \Delta\varphi \approx$

$$\approx (a+h) \Delta\varphi = 7,04 \text{ м} \cdot 0,07 \text{ град} = 0,0728 \text{ м} \approx \\ (\Delta\varphi \text{ из пункта 1}) \approx 7,3 \text{ см.}$$

$$\begin{array}{r} 7,04 \\ \cdot 0,07 \\ \hline 0,0728 \end{array}$$

Ответ: 7,3 см.

3)  $\Delta\varphi = \alpha(n_2 - n_1) = 0,7 \text{ град} \cdot 0,3 = 0,03 \text{ град}$

аналогично,  $\Delta h = (a+h) \Delta\varphi = 0,0372 \text{ м} \approx$

$$\approx 3,7 \text{ см.}$$

$$\begin{array}{r} 7,04 \\ \cdot 0,03 \\ \hline 0,0372 \end{array}$$

Ответ: 3,7 см.

