



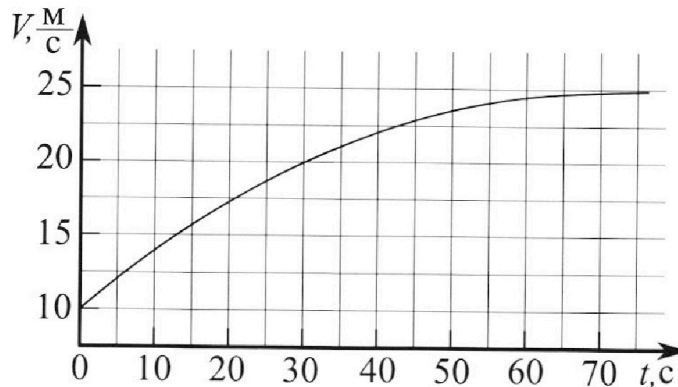
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

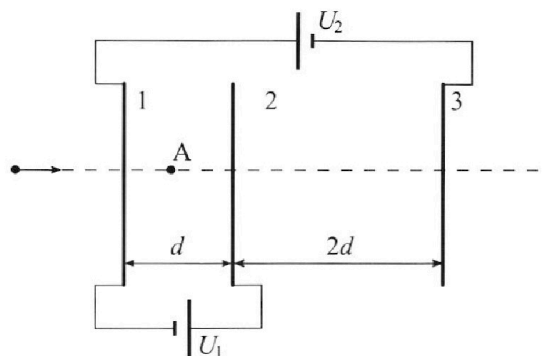
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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_{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 Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 А на расстоянии $d/4$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-03

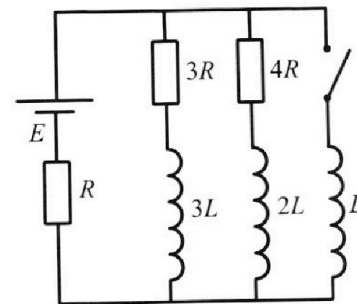
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



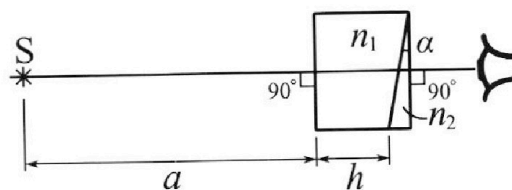
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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 -теп. 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 не
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

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 УМЧ (уравнение Клапейрона-Менделеева) для обоих газов при комнатной температуре:

$$\begin{cases} P_0 \left(\frac{V}{2} - \frac{V}{4} \right) = \nu_{\text{ум}} RT_0 & (\nu_{\text{ум}} \text{ и } \nu_{\text{пл}} - \text{кол-во ум. газа и пара соответственно}) \\ P_0 \frac{V}{2} = \nu_{\text{пл}} RT_0 & (\text{зависимость введ. пара не берем}) \end{cases}$$

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

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~~ ^{нагрев} ум. газ практически не растворяется, значит его кол-во увеличилось на $\Delta \nu$. Также появляется давление введ. пара (которым ранее, при комнатной температуре, пренебрегли). Заметим, что $T = 373\text{K} = 100^\circ\text{C}$, а значит давление введ. пара при такой температуре равно атмосферному: $P_{\text{пара}} = P_{\text{атм}}$.

Запишем УМЧ для смеси после окончательного нагрева:

Заметим, что $T = 373\text{K} = 100^\circ\text{C}$, а значит давление введ. пара при такой температуре равно атмосферному: $P_{\text{пара}} = P_{\text{атм}}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

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 первого уравнения 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 воздуха) 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 φ_1, φ_2 и φ_3 соответственно. Тогда:

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

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

Поле между пластинами 1 и 2 можно считать однородным, т.к. расстояния между пластинами d много меньше размеров пластин.

Тогда $E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d} = \frac{U}{d}$ (E - 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

Eq , направ. против силы тяжести (что), тогда 2 закон

Ньютона в проекции на направ. силы тяжести примет

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

ответ: ~~$\frac{Eq}{m}$~~ $\frac{Uq}{dm}$

2) ЗСЭ: $K_1 = K_2 + Eq \cdot d$ ← работа силы

или-но, $K_1 - K_2 = Eqd = \frac{U}{d} qd = Uq$

ответ: Uq

3) 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
<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!

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

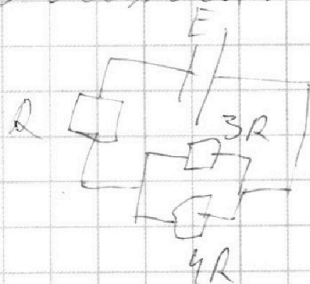
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



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

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

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

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

подвижная ЭДС катушки - на малом промежутке времени τ (который и

принимал за незначительный). 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
<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!



~~4.3) (продолжение) Тогда ЭДС индуцируется~~

$$\left| \mathcal{E}_{3L} \right| = L \frac{dI}{dt} = L \frac{4}{5} \frac{E}{R\tau} = \frac{4EL}{5R\tau}$$

~~Эта ЭДС действует на резистор $3R$, значит~~

$$I_{3R} = \frac{\mathcal{E}_{3L}}{3R} = \frac{4EL}{54R^2\tau}; \quad Q_{3R} = I_{3R} \cdot \tau =$$
$$= \frac{4EL}{54R^2}$$

~~Ответ: $\frac{4EL}{54R^2}$~~

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

характерное время установившейся

равновесия (т.е. время индукции)

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

Ответ: $\frac{2EL}{5R^2}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

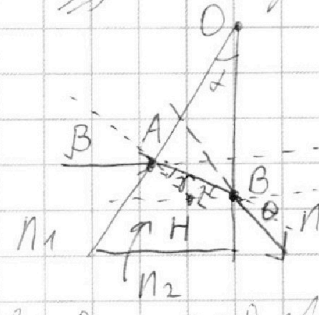
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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 α ;
 A - точка верха луча, B -
 точка верха; NA и NB -
 перпендикуляры к граням призмы;
 β - угол при A , γ - угол при B .
 Рассмотрим общий случай, поэтому
 слева от призмы угол с норм. NA ,
 справа - NB . (Угол при O - α). Тогда:
 $n_1 \sin \beta = n_2 \sin \gamma$; т.к. α - малый угол,
 то β и γ - тоже малые углы. Тогда
 $\sin \beta \approx \beta$ и $\sin \gamma \approx \gamma \rightarrow n_1 \beta = n_2 \gamma$
 $\angle NAO = \angle NBO = 90^\circ \rightarrow \angle BNA = 180^\circ - \alpha$, тогда $\angle NBA =$
 $= 180^\circ - (\gamma + 180^\circ - \alpha) = \alpha - \gamma$. Пусть θ - 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 θ). $\theta = \beta - \gamma + \theta - (\alpha - \gamma) =$
 $= \beta + \theta - \alpha = \beta - \alpha + n_2(\alpha - \gamma) = \beta - \alpha + n_2 \alpha - n_2 \gamma =$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

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

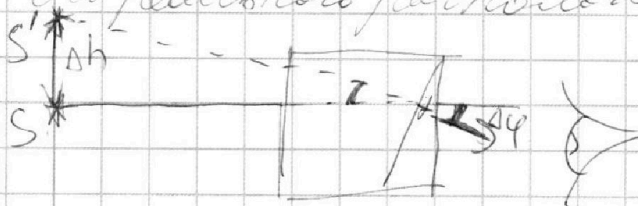
$$\beta = 90^\circ + \alpha - 90^\circ = \alpha, \text{ значит } \Delta\varphi = \alpha(1 - n_1) - \alpha(1 - n_2) = \\ = \alpha(n_2 - n_1)$$

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

Ответ: 0,07 рад

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

однородного распределения:



Весь действительный путь практически не изгибается

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

$$\approx (a+h) \Delta\varphi = 7,04 \text{ м} \cdot 0,07 \text{ рад} = 0,4928 \text{ м} \approx \\ (\Delta\varphi \text{ из пункта 1}) \approx 4,3 \text{ см.}$$

$$\begin{array}{r} 7,04 \\ \cdot 0,07 \\ \hline 0,4928 \end{array}$$

Ответ: 4,3 см.

$$3) \Delta\varphi = \alpha(n_2 - n_1) = 0,1 \text{ рад} \cdot 0,3 = 0,03 \text{ рад}$$

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

$$\approx 3,7 \text{ см.}$$

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

Ответ: 3,7 см.



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!