



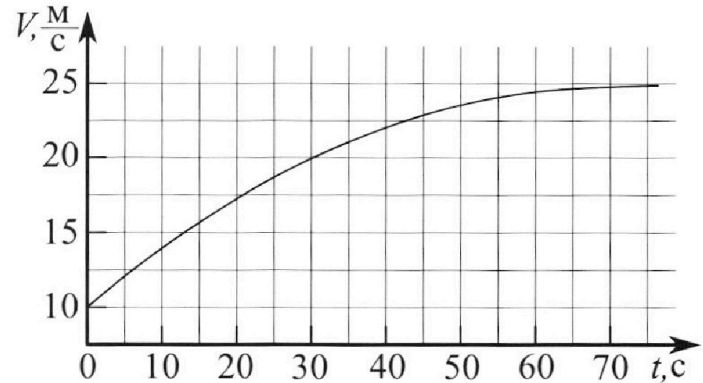
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

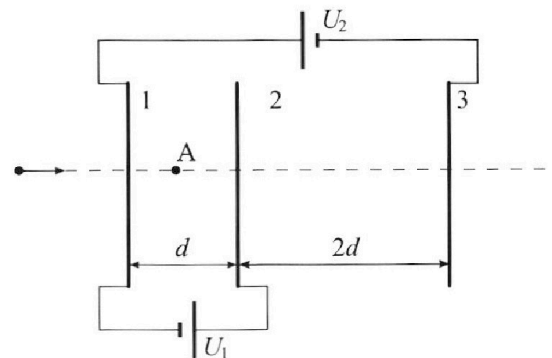
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 А на расстоянии $d/3$ от сетки 1.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-01

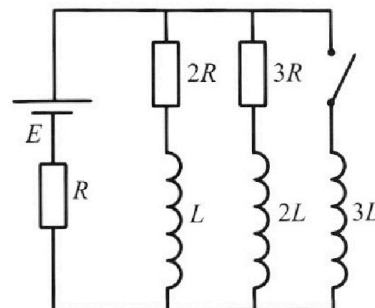
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



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

- 1) Найти ток I_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.

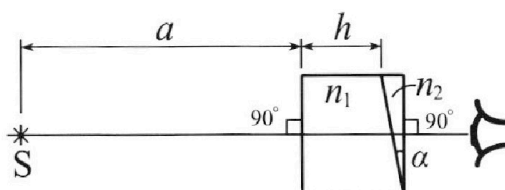


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 9$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 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.

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.

$m = 1800 \text{ кг}$

$F_k = 500 \text{ Н}$

$v = 20 \text{ м/с}$

$v(t)$ - график

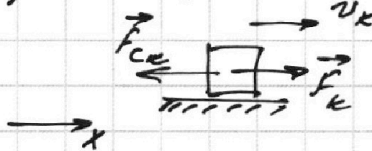
1) $a(t) = v'(t) \Rightarrow$ ускорение можно считать как тангенс угла касательной, проведенной к графику в данной точке.

В точке, где $v = v$, тангенс угла касательной равен $\tan \alpha = \frac{1}{2}$. В пересечении на масштабе графика

$$a = \frac{5 \text{ м/с}}{20 \text{ с}} = 0,25 \text{ м/с}^2$$

ответ: $0,25 \text{ м/с}^2$.

2) В момент разгона (исходя из графика) автомобиль движется равномерно \Rightarrow он находится в равновесии



ИЗ-У: $\vec{F}_k + \vec{F}_{ск} = \vec{0}$

от: $F_k - F_{ск} = 0$

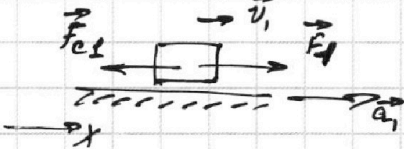
по усл. $F_{ск} = k \cdot v_k$,

где k - коэффициент сопр.,

а $v_k = 25 \text{ м/с}$ (из графика)

$$F_k = k \cdot v_k \Rightarrow k = \frac{F_k}{v_k} = \frac{500 \text{ Н}}{25 \text{ м/с}} = 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

В момент, когда $v = v_1 = 20 \text{ м/с}$:



ИЗ-У: $\vec{F}_1 + \vec{F}_{с1} = \vec{a}_1 \cdot m$

от: $F_1 = ma_1 + F_{с1} = ma_1 + kv_1$

$$= 1800 \text{ кг} \cdot 0,25 \text{ м/с}^2 + 20 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \cdot 20 \text{ м/с} = 850 \text{ Н}$$

ответ: 850 Н .

3) Рассмотрим малый интервал времени Δt , на котором скорость v можно считать постоянной. Переменное за это время пропорционально изменению скорости Δv при $\Delta t \rightarrow 0$

$\Delta s = v \cdot \Delta t$. Тогда работа при $\Delta A = F_1 \Delta s$, соотв. мощность

$$P_1 = \frac{\Delta A}{\Delta t} = F_1 v_1 = 850 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м/с} = 17 \text{ кВт}$$

ответ: 17 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 2

p_0 - нач. давление газа
равновесие \Rightarrow и сверху, и снизу от корки - p_0



1) В нач. момент времени в нижней части сосуда в газобразном состоянии находится только CO_2 для верхнего газа:

$$p_0 \frac{V}{2} = \nu_B R T_0 \quad (1)$$

ν_B - кол-во CO_2 сверху от поршня

для нижнего

$$p_0 \frac{V}{4} = \nu_H R T_0 \quad (2)$$

ν_H - кол-во CO_2 снизу

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

Ответ: 2.

2) В начальной момент времени количество CO_2 , растворенного в воде: $\nu_0 = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4}$. После нагревания для верхней части сосуда:

$$p_1 \cdot \frac{V}{5} = \nu R T = \frac{5}{4} \nu_B R T_0 \quad (3)$$

давление после нагрев.

отсюда (с ур. (1)) $p_1 = \frac{25}{8} p_0$

Для нижнего газа CO_2 после нагревания

$\frac{25}{8} p_0$ заметим, что если давление $p_1 > p_{атм}$ то вода находится в жидком сост.

Если $p_1 < p_{атм}$, то вода полностью испарилась бы, что по условию не так. Для $p_1 \geq p_{атм}$.

Начальное давление пара - $p_{атм}$. \Rightarrow нач. дав. CO_2 внизу

$$p_H = p_1 - p_{атм}$$

для нижнего газа:

$$(p_1 - p_{атм}) \left(\frac{V}{4} - \frac{V}{5} \right) = \left(\nu_H + k p_0 \frac{V}{4} \right) R T$$

$$\left(\frac{11}{20} \cdot \frac{25}{8} p_0 - \frac{11}{20} p_{атм} \right) \frac{V}{20} = \left(\frac{\nu_B}{2} + k p_0 \frac{V}{4} \right) R T_0$$

$$\frac{55}{32} p_0 V - \frac{11}{20} p_{атм} V = \frac{\nu_B}{2} R T_0 + p_0 \frac{V}{4}$$

$$\frac{55}{32} p_0 - \frac{11}{20} p_{атм} = \frac{9}{16} p_0$$

$$\frac{11}{20} p_{атм} = \frac{37}{32} p_0 \Rightarrow p_0 = \frac{11 \cdot 8}{5 \cdot 37} p_{атм} = \frac{88}{185} p_{атм}$$

$$\left. \begin{aligned} k \cdot R T_0 &= \frac{1}{5} \cdot 10^{-3} \frac{моль}{м^3} \cdot \frac{1}{атм} \\ &= 3 \cdot 10^{-3} \frac{моль}{м^3 \cdot атм} \\ &= 1 \end{aligned} \right\}$$

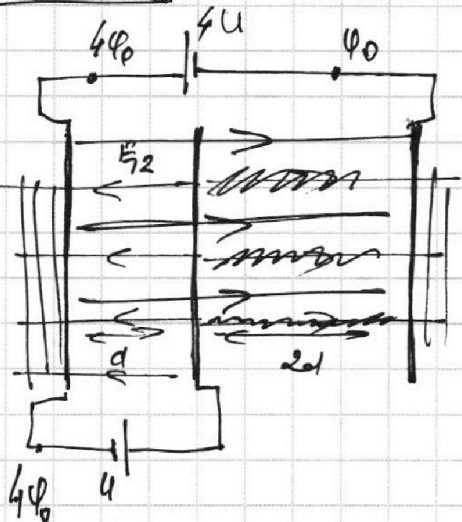
из (1): $\frac{\nu_B}{2} R T_0 = \frac{5 p_0 V}{8} = \frac{5 p_0 V}{16}$

Ответ: $\frac{88}{185} p_{атм}$.

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 3



1) Пусть потенциалы сеток $\varphi_1; \varphi_2$ и φ_3 соотв.

Тогда

Тогда

$$\varphi_3 = \varphi_1 - U$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + U$$

Напряженность поля, ^{ориентированного} ~~обратного~~ ^{от сетки 1 к 2} ~~поле между сетками 1 и 2~~

$$E_{12} = \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{d} = \frac{U}{d} \quad E_{13} = \frac{U}{3d}$$

Сила действ. зарядов $F = E_{12} \cdot q = \frac{qU}{d}$
Ускорение частицы $a = \frac{F}{m} = \frac{qU}{md}$

по принципу суперпозиции

$$E_A = E_{13} - E_{12} = \frac{U}{3d}$$

в т. А (метод) $F = \frac{qU}{3d}$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qU}{3md}$$

Ответ: $\frac{qU}{3md}$

2) $K_1 - K_2 = -\Delta \phi_{пол} = -\frac{qU}{3} = -qEd = -\frac{qU}{3}$

Ответ: $\frac{qU}{3}$

3) поле между пластинами E_{13}

За пластинками, ^{сетками 1 и 3} ~~поле нет~~ \Rightarrow $\frac{mv_0^2}{2} + qEd = \frac{mv^2}{2}$ \Rightarrow $v_2 = v_0$
 $\frac{mv_0^2}{2} + \frac{qU}{3} = \frac{mv^2}{2}$
 $v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{2qU}{3}}$

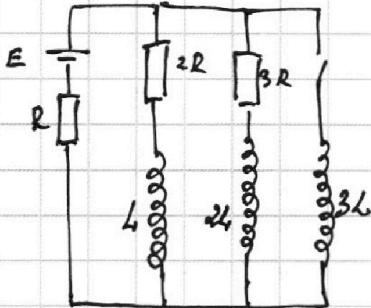
Ответ: $\sqrt{v_0^2 + \frac{2qU}{3}}$

29 (какое-то)

1 2 3 4 5 6 7

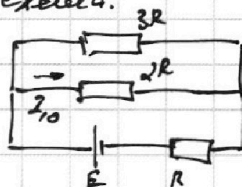
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Задача 4



1) При разомкнутом ключе и уст. режиме катушки можно считать идеальными ($I_L = \text{const} \Rightarrow U_L = 0$)

экв. схема:



на $2R$ на $3R$
 $U_{2R} = U_{3R} \Rightarrow$ только $3R$
 $\Rightarrow I_{20} \cdot 3R = I_{10} \cdot 2R \Rightarrow$
 $\Rightarrow I_{20} = \frac{2}{3} I_{10}$

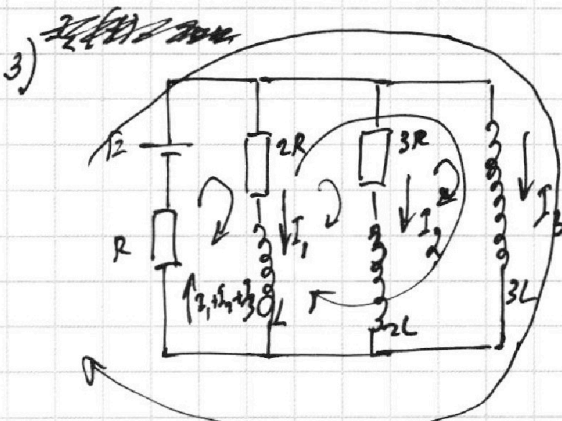
по 1-му закону Кирхгофа
 обш. ток в цепи $\Rightarrow I_0 = \frac{5}{3} I_{10}$

по 2-му закону Кирхгофа:
 $I_{10} \cdot 2R + \frac{5}{3} I_{10} \cdot R = E$

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

2) сразу после замыкания ключа ток в цепи все еще как и был в разомкнутом положении \Rightarrow напряжение на катушке сразу после замыкания равно напряжению на резисторах (параллельное соединение)

$3L I'_{30} = I_{10} \cdot 2R = \frac{6E}{11} \Rightarrow I'_{30} = \frac{6E}{11 \cdot 3L} = \frac{2E}{11L}$
 ответ: $\frac{2E}{11L}$



для правой контура

$3L I'_3 = 2L I'_2 + 3R_2 I_2$

по 1-му закону Кирхгофа

для лев. контура (ист. + $2R$)

$E = 2I_1 R + L I'_1 + (I_1 + I_2 + I_3) R$

для ср. контура

$-2I_1 R - L I'_1 + 3R I_2 + 2L I'_2 = 0$

для внешнего контура

$E = (I_1 + I_2 + I_3) R + 3L I'_3$

или для контура ($2R; L; 3L$)

$-L I'_1 + 2R I_1 + 3L I'_3 = 0$

$2R I_1 = 3L I'_3 - L I'_1$

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 4) Пролом.

Заряд, прошедший по dR : $q = \int_0^{t_3} I_1 dt$ $t_3 \leftarrow$ уст. ток

$$I_1 = \frac{L}{2R} \frac{dI_2}{dt} + \frac{3L}{2R} \frac{dI_1}{dt} \quad | \cdot dt + \int$$

$$q = \frac{L}{2R} \left(\frac{E}{R} - 0 \right) + \frac{3L}{2R} \left(0 - \frac{3E}{11R} \right)$$

кон. ток через $3L$ кон ток через $3L$ кон. ток по $2R$ кон ток по $2R$

Когда в цепи установится режим, ток пойдет только через катушку \Rightarrow

$$I_k = \frac{E}{R} - \text{контакт ток}$$

$$q = \frac{LE}{2R^2} + \frac{9EL}{2 \cdot 11R^2} = \frac{10EL}{11R^2}$$

Ответ: $\frac{10EL}{11R^2}$

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

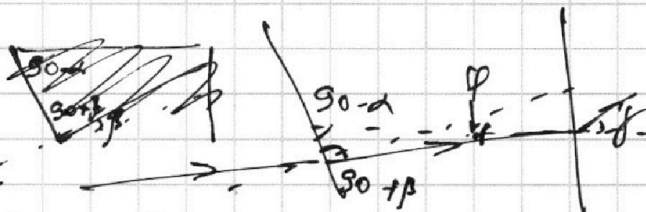
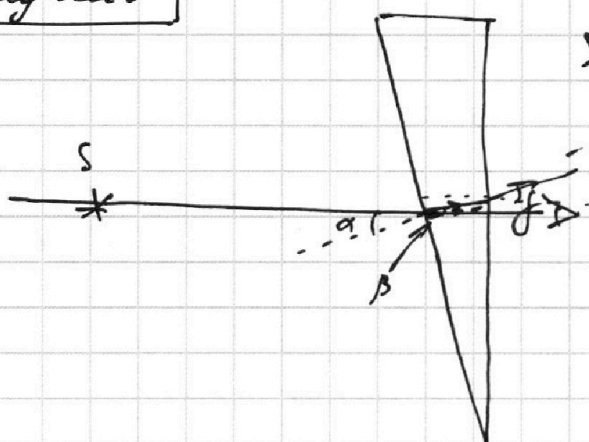
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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



α - угол падения на катет.
 β - угол преломления.
 $\rho = \alpha - \beta$ - угол падения на верш.
 γ - угол - выходя, он же угол скольжения

1) $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

2) $n_2 \sin(\alpha - \beta) = n_1 \sin \gamma$

п/к $n_2 = n_1 = 1$ (у α -мат):

$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha - \sin \beta$

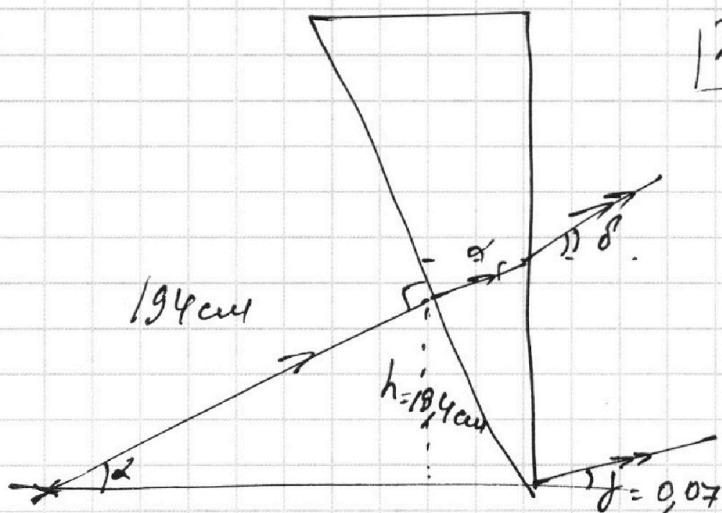
$0,1 = \sin \beta \Rightarrow \sin \beta = \beta = \frac{1}{17}$

$17 \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{17} \right) = \sin \gamma = \gamma$

$\gamma = \frac{289 - 100}{1700} = \frac{189}{1700} = 0,111$

Ответ: ~~0,07~~. 0,07 рад.

2) Построим угол δ и угол



$n_2 \sin \alpha = n_1 \sin \delta$

$1,7 \alpha = \delta \Rightarrow \delta = 0,17$

$h = a \alpha = 19,4 \text{ см.}$

призма малая \Rightarrow

\Rightarrow лучи выходят из тех же точек на боковой поверхности.

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

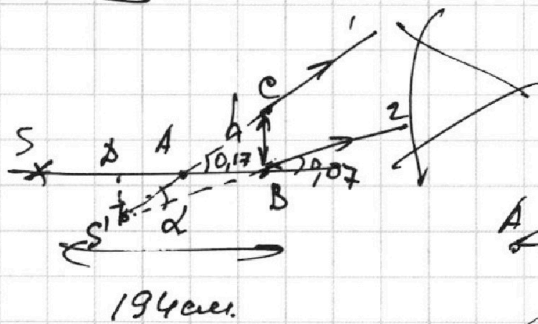
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

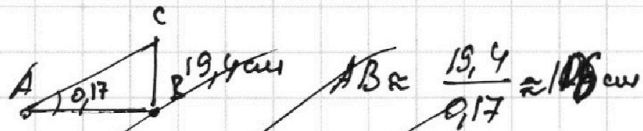
МФТИ

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

Задача 5 Продолжи



лучь выйдут там же
пересек. лучей 1 и 2.



$$2A \cdot 0,17 = BA \cdot 0,07$$

$$2A \cdot 0,17 = (2A + 15) \cdot 0,07$$

$$2A \cdot 0,1 = 105 \cdot 0,07$$

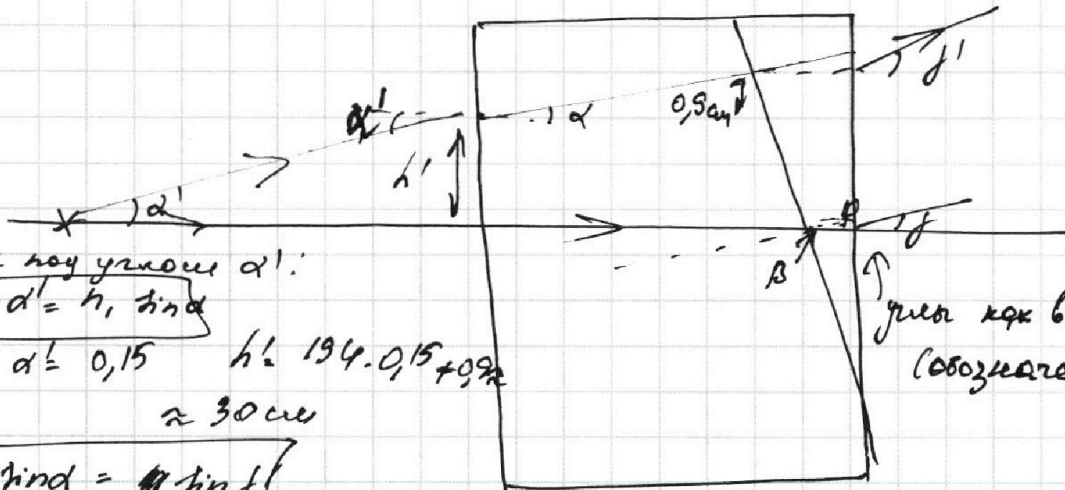
$$2A \approx 105 \cdot 0,7 \approx 73,5 \text{ см.}$$

$$BD \approx 180 \text{ см.}$$

$$SD \approx 15 \text{ см.} \approx SS'$$

~~Угол падения луча всегда меньше угла преломления~~
лучей. между ~~лучами~~ ≈ 15 см что крайне маленькое
мало по ср. с $a = 194$ см. Для более точных
расчетов, калкулятор ф.
ответ: 45 см.

3)



Из углов знаем α' :

$$h \sin \alpha' = h_1 \sin \alpha$$

$$\alpha' \approx 0,15 \quad h_1 = 194 \cdot 0,15 + 0,9 \approx 30 \text{ см}$$

$$h_2 \sin \alpha = h_1 \sin \alpha'$$

$$\alpha = 0,17$$

луч как в 1).
(обозначены)

$$h_1 \sin \alpha = h_2 \sin \beta$$

$$\beta = \frac{0,1 \cdot 0,15}{0,17} = \frac{15}{170} \approx 0,09$$

$$n_2 \sin (\alpha - \beta) = n_1 \sin \beta$$

$$\beta = 0,017$$

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

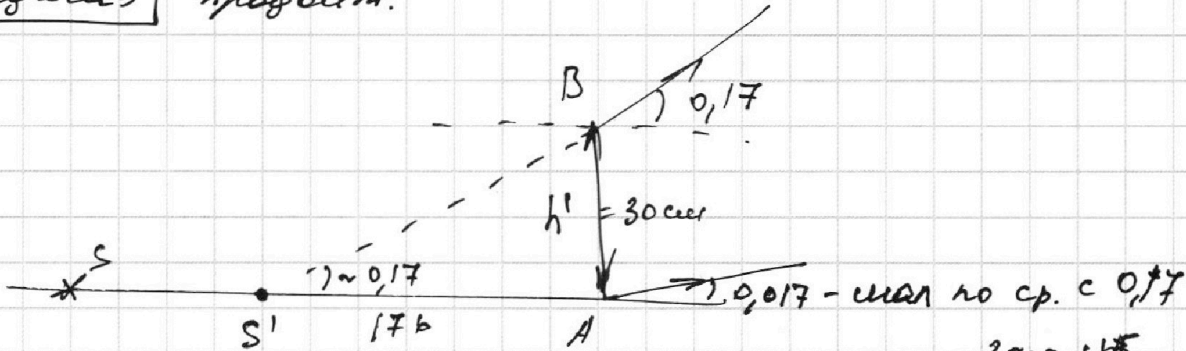
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

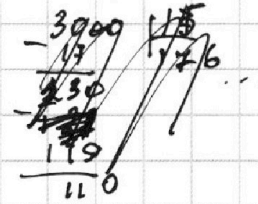
Задача 5 прополн.



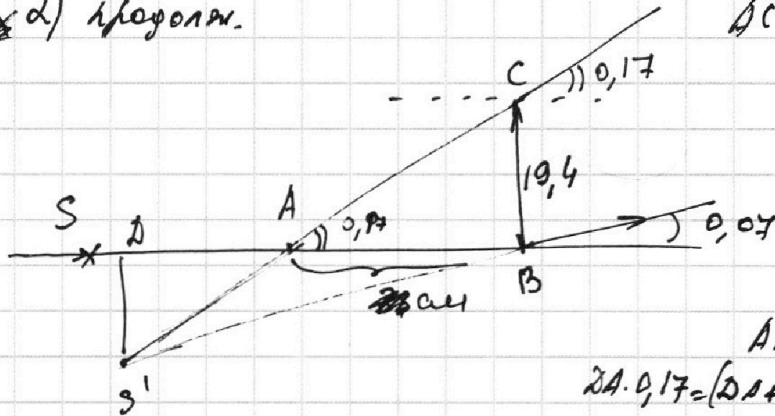
Если переопредели угол α , $0,17$:
 $AS \approx 30 \text{ см} : 0,17 \approx 176 \text{ см}$

$SS' \approx 15 \text{ см}$

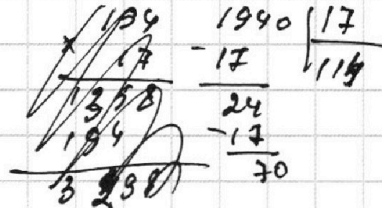
~~Ответ: 15 см~~



2) прополн.



$AC = 19,4 : 0,17 = 114 \text{ см}$



$AB \approx 100 \text{ см}$

$2A \cdot 0,17 = (2A + 100) \cdot 0,07$

$0,12A = 7$

$2A = 70$ $SD = 24 \text{ см}$

$\frac{SD'}{19,4} = \frac{70}{100} \Rightarrow SD' = 14 \text{ см}$

$SS' = \sqrt{24^2 + 14^2} = \sqrt{576 + 196} = 25$

Ответ: 25 см. (2 вопроса).

3) с углом $\alpha \approx 0,17$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

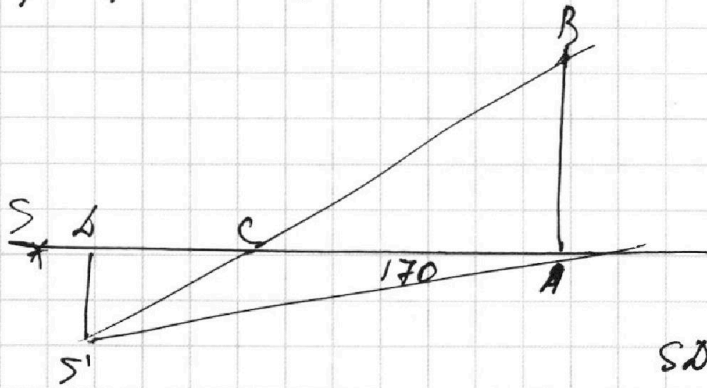
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

Задача 5

3) с учетом угла $0,017$:



$$0,9 \Delta C = 17 \quad \Delta C = 15$$

$$CA \cdot 0,17 = 0,017 \cdot (BC + 170)$$

$$\frac{170}{\cancel{0,17}} = \frac{30}{S'D}$$

$$S'D = 3 \text{ см}$$

$$SD = 154 - 170 - 15 = 10 \text{ см}$$

$$SS' = \sqrt{9 + 100} = 10 \text{ см}$$

Ответ: 10 см

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

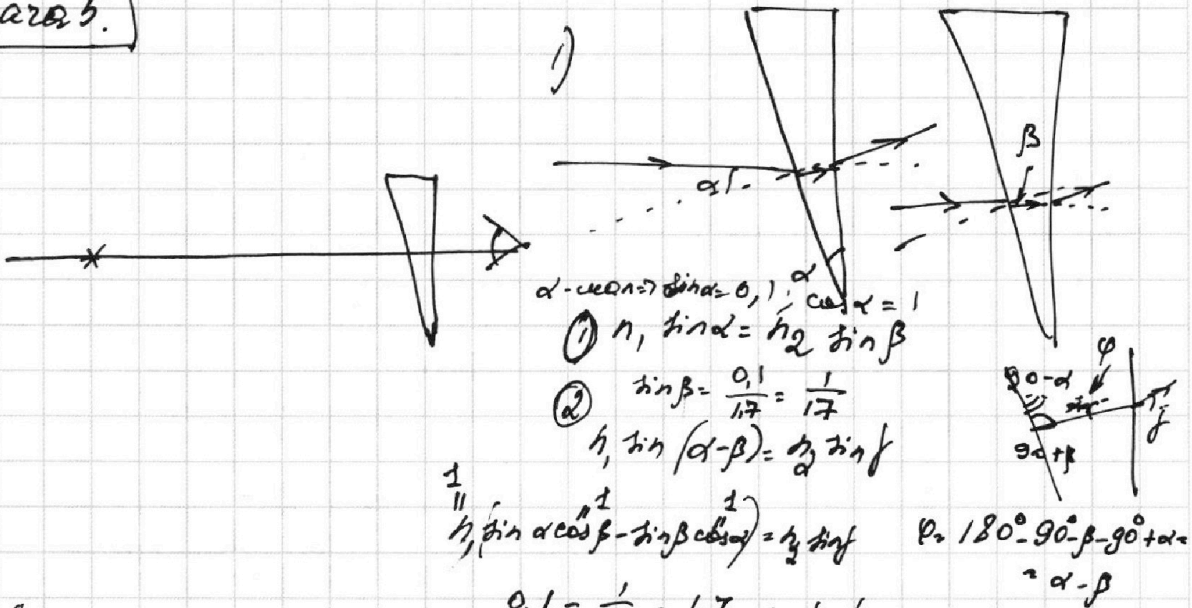
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

Задача 5.



$\alpha = \text{угол} \Rightarrow \sin \alpha = 0,1, \cos \alpha = 1$

1) $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

2) $\sin \beta = \frac{0,1}{1,7} = \frac{1}{17}$

$n_1 \sin(\alpha - \beta) = n_2 \sin \gamma$

$n_1 \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha = n_2 \sin \gamma$ $\approx 180^\circ - 90^\circ - \beta - 90^\circ + \alpha = \alpha - \beta$

в обратном смысле

$0,1 - \frac{1}{17} = 1,7 \cdot \sin \gamma \cdot \frac{1,10}{17}$

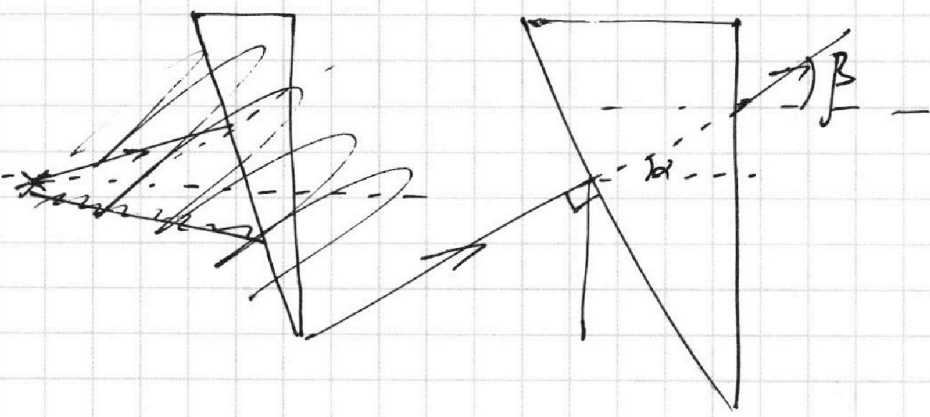
$\sin \gamma = \frac{n_1}{n_2} (\sin \alpha - \sin \beta)$

~~$\sin \gamma = \frac{1}{17} - \frac{10}{289} = \frac{7}{289} \approx \frac{1}{40}$~~

$\approx 0,025 \Rightarrow \gamma \approx 0,025$

Ответ: 0,025 рад.

2) Если $\varphi = 0$, то луч выходит перпендикулярно верт. плоск.



$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

$\beta = \frac{0,1}{1,7} = \frac{10}{17}$

Черновик