



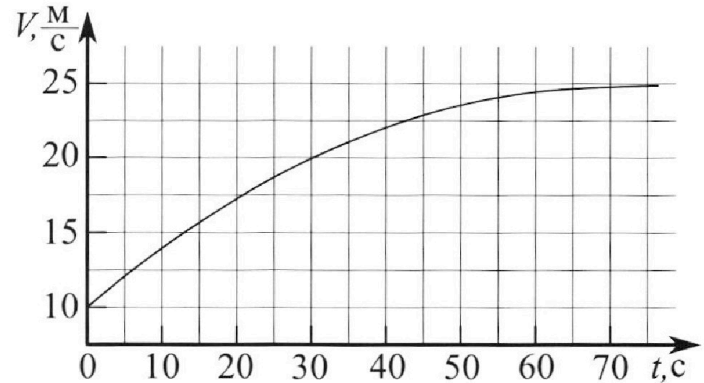
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

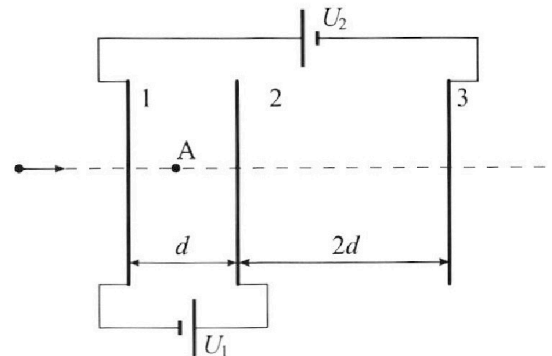
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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

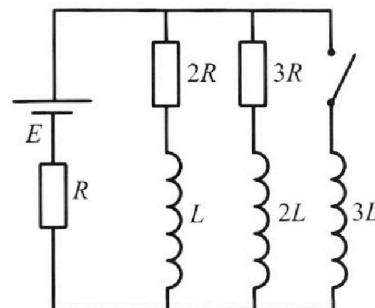
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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

- 1) Найти ток  $I_0$  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.

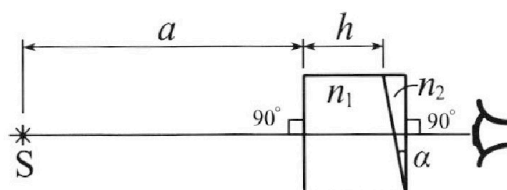


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 9$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 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

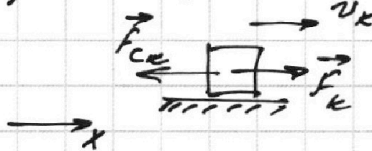
1)  $a(t) = v'(t) \Rightarrow$  ускорение можно считать как тангенс угла касательной, проведенной к графику в данной точке.

В точке, где  $v = v$ , тангенс угла касательной равен  $\tan \alpha = \frac{1}{2}$ . В пересечении на касательной 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 конце разгона (исходя из графика) автомобиль движется равномерно  $\Rightarrow$  он находится в равновесии



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

от:  $F_k - F_{ck} = 0$

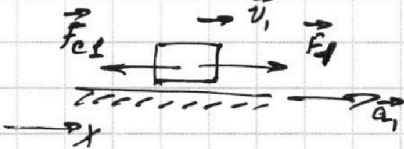
по усл.  $F_{ck} = k \cdot v_k$ ,

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:  $\vec{F}_1 + \vec{F}_{c1} = \vec{a}_1 \cdot m$

от:  $F_1 = ma_1 + F_{c1} = ma_1 + kv_1$

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

ответ:  $850 \text{ Н}$ .

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

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

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

ответ:  $17 \text{ кВт}$ .

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!

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:

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

$\nu_B$  - кол-во  $CO_2$  сверху от порки

для нижнего

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

$\nu_H$  - 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 жидкой 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:

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

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

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

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

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

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

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

Ответ:  $\frac{88}{185} p_{атм}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

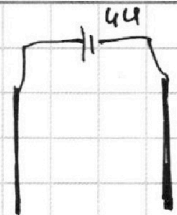
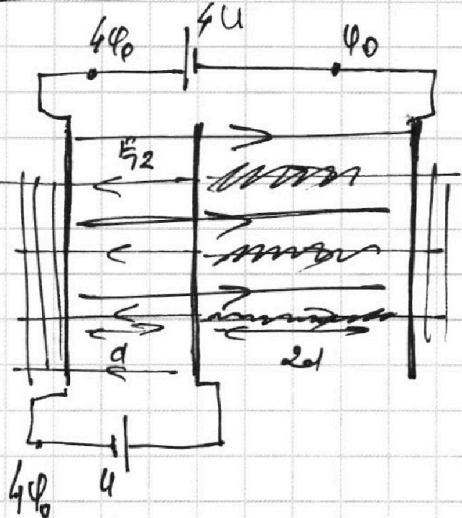
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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 3



1) Пусть потенциалы сеток  $\varphi_1; \varphi_2$  и  $\varphi_3$  соотв.

Тогда  $\varphi_3 = \varphi_1 - U$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + U$$

Напряженность поля, <sup>ориентированного</sup> ~~обратного~~ <sup>по направлению</sup> ~~по направлению~~ <sup>от сетки 1 к 2</sup> ~~от сетки 1 к 2~~

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

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

по принципу суперпозиции

$$E_A = E_{13} - E_{12} = -\frac{2U}{3d}$$

в т. А (металл)  $F = \frac{Uq}{3d}$

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

Ответ:  $\frac{Uq}{3md}$

2)  $K_1 - K_2 = -\Delta \phi_{пол} = -\int_{A_1}^{A_2} E \cdot dl = -q E_A d = -\frac{2U}{3}$

Ответ:  $-\frac{2U}{3}$

3) поле между пластинами  $E_{13}$

$$E_{13} = \frac{U}{3d}$$

за пластинками, <sup>сетками 1 и 3</sup> ~~поле нет~~  $\Rightarrow$   $n \cdot m$  <sup>вместе в сетку 1</sup>

$$v_2 = v_0$$

зср:  $\frac{mv_0^2}{2} + qEd = \frac{mv^2}{2}$   $\Rightarrow$   $v_0^2 + \frac{2qU}{3m} = v^2$   
зср:  $\frac{mv_0^2}{2} + qE \cdot \frac{d}{3} = \frac{mv^2}{2}$   $\Rightarrow$   $v_A = \sqrt{v_0^2 + \frac{2qU}{9}}$

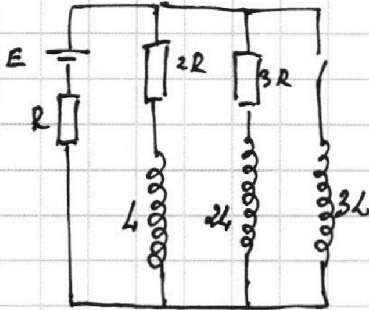
Ответ:  $\sqrt{v_0^2 + \frac{2qU}{9}}$

29 ~~зср (по условию)~~

1  2  3  4  5  6  7

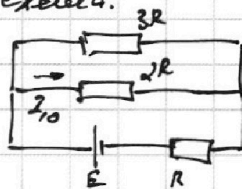
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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  $3R$   
 $\Rightarrow I_{20} \cdot 3R = I_{10} \cdot 2R \Rightarrow$   
 $\Rightarrow I_{20} = \frac{2}{3} I_0$

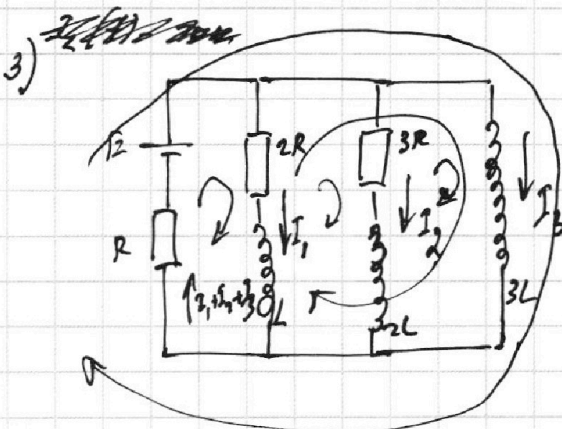
по 1-му закону Кирхгофа  
 обш. ток в цепи  $\Rightarrow I_0 = \frac{5}{3} I_{10}$

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 также не как и в разорванном положении  $\Rightarrow$  напряжение на катушке сразу после замыкания равно напряжению на резисторах (параллельное соединение)

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

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

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  $\Rightarrow$

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

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

Ответ:  $\frac{10EL}{11R^2}$

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

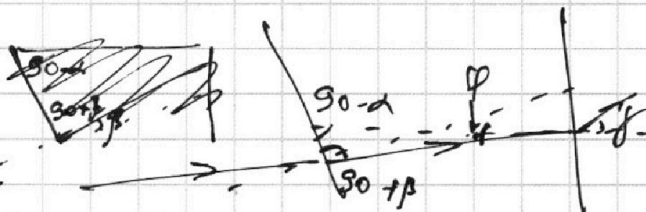
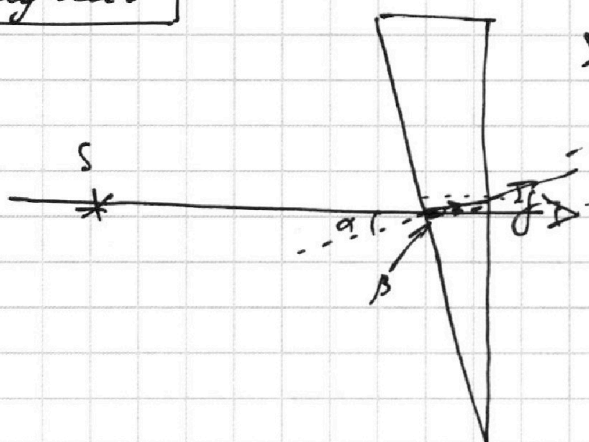
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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



$\alpha$  - угол падения на вкл.

$\beta$  - угол преломления.

$\delta = \alpha - \beta$  - угол падения на верш.

$\gamma$  - угол выхода,  $\alpha$  и  $\gamma$  - углы падения и преломления

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

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

п/к  $n_2 = n_1 = 1$  (и  $\alpha$  - макс):

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

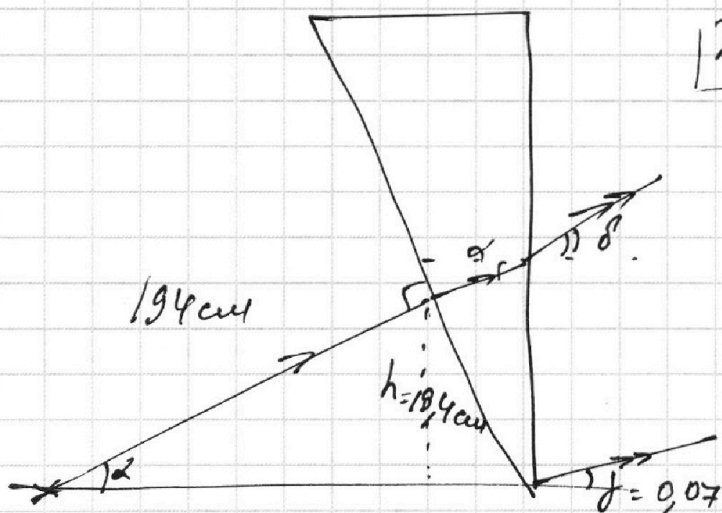
$0,1 = \sin \beta \Rightarrow \sin \beta = \beta = \frac{1}{10}$

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

$\gamma = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{10} = 0,0001$

Ответ: ~~0,0001~~ 0,07 рад.

2) Построим угол  $\delta$  между



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

$\sin \alpha = \sin \beta \Rightarrow \beta = 0,17$

$h = a \alpha = 19,4 \text{ см.}$

призма малая  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  лучи выходят из тех же точек на противоположной грани.



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

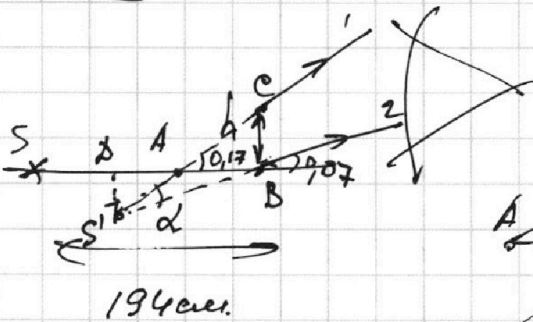
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

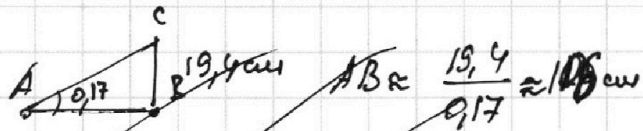
**МФТИ**

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 входит там же  
пересек. лучей 1 и 2.



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

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

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

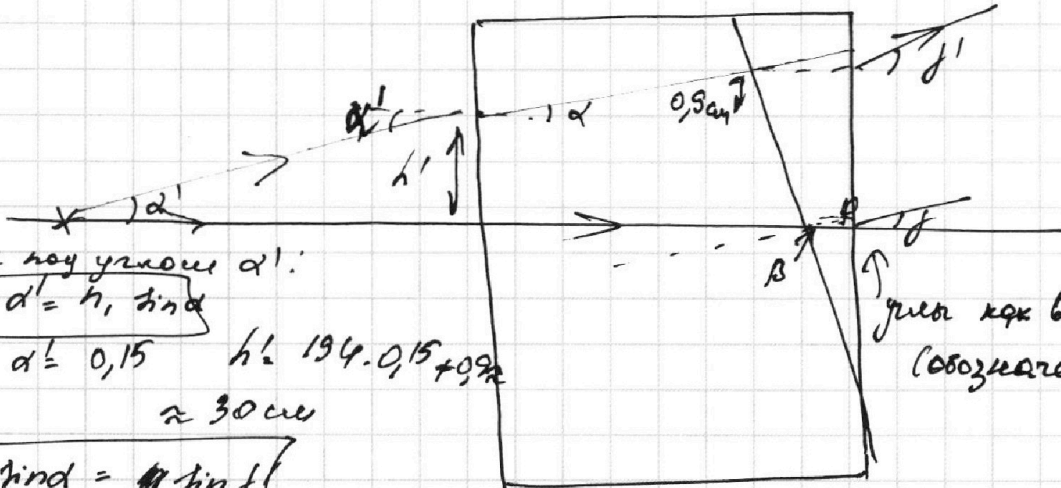
$$2A \approx 105 \cdot 0,7 \approx 73,5 \text{ см.}$$

$$BD \approx 180 \text{ см.}$$

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

~~Уточнение: по условию всегда считаем, что~~  
 угол между ~~лучами~~  $\approx 15$  см что крайне маленькое  
 мало по ср. с  $a = 194$  см. Для более точных  
 расчетов, калкулятор ф.  
 Ответ: 45 см.

3)



Из углов  $\alpha'$ :

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

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

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

$$\alpha = 0,17$$

луч как в 1).  
(обозначения)

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

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

$$h_2 \sin (\alpha - \beta) = h_1 \sin \alpha'$$

$$\alpha = 0,17$$

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

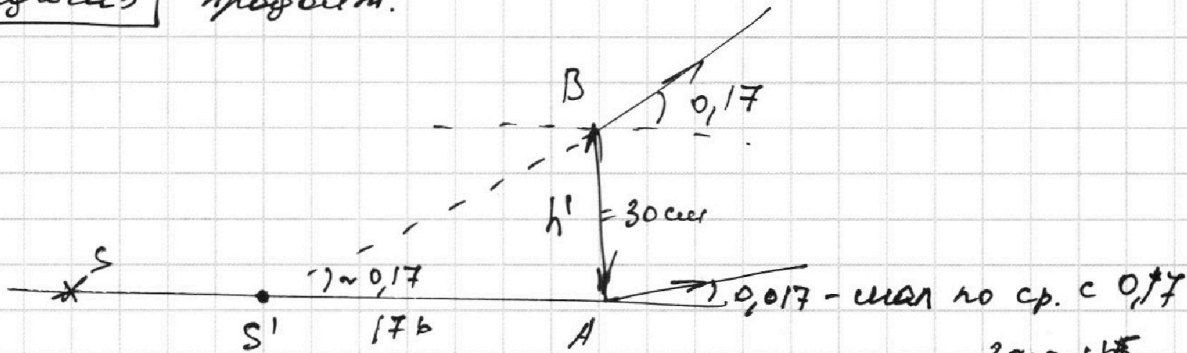
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

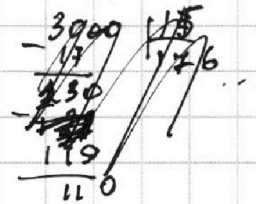
Задача 5 прополет.



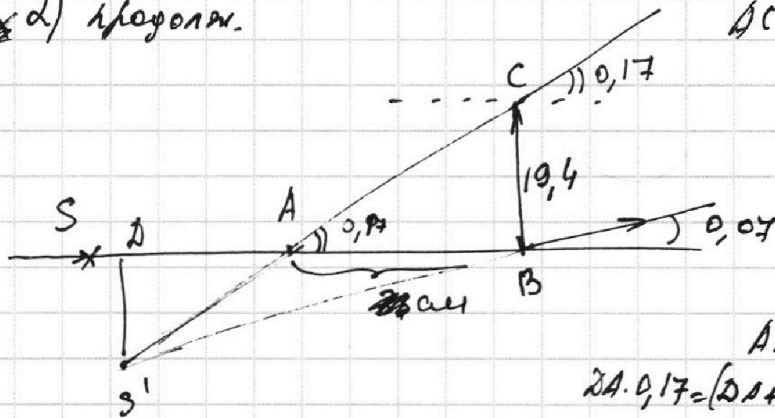
Если переопредели угол  $0,17$ :  
 $AS \approx 30 \text{ см} : 0,17 \approx 176 \text{ см}$

$SS' \approx 15 \text{ см}$

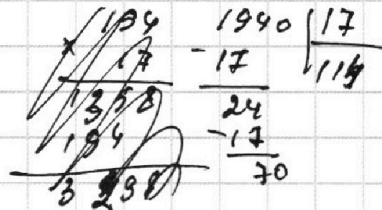
~~Ответ: 15 см~~



2) прополет.



$AC = 19,4 : 0,17 = 114 \text{ см}$



$AB \approx 100 \text{ см}$

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

$0,12A = 7$

$2A = 70$       $SD = 24 \text{ см}$

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

$SS' = \sqrt{24^2 + 14^2} = \sqrt{576 + 196} = 28$

Ответ: 25 см. (2 вопрос).

3) с углом  $0,17$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

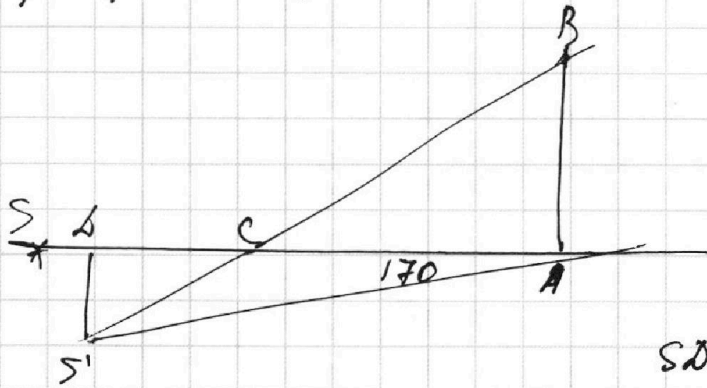
|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                                   | 6                        | 7                        |
| <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!

Задача 5

3) с учетом угла  $0,017$ :



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

$$CD \cdot 0,17 = 0,017 \cdot (DC + 170)$$

$$\frac{170}{\cancel{CD}} = \frac{30}{S'D}$$

$$S'D = 3 \text{ см}$$

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

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

Ответ: 10 см

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

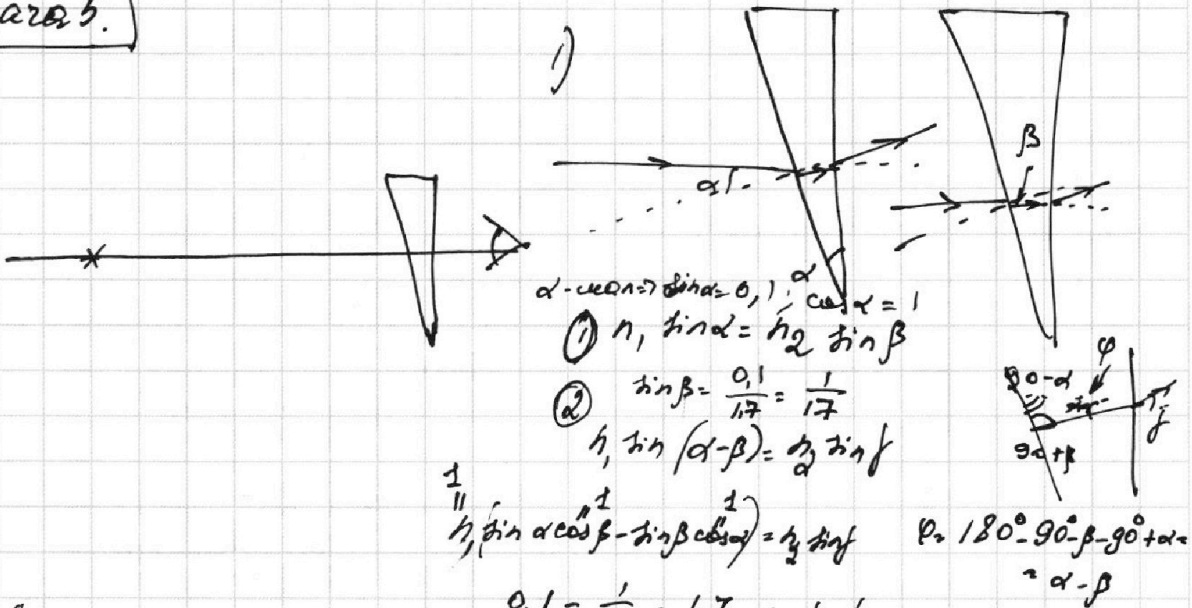
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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.



в обратном смысле

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

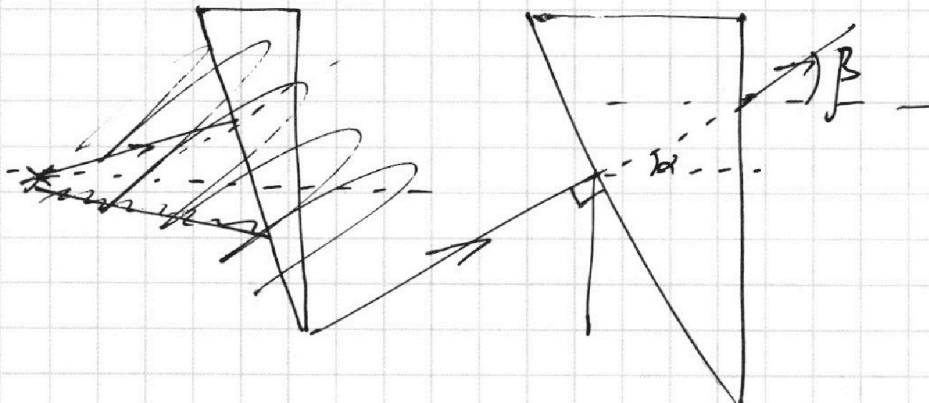
$$0,1 - \frac{1}{17} = 1,7 \cdot \sin \gamma \cdot \frac{1,10}{17}$$

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

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

Ответ: 0,025 рад.

2) Если  $\alpha = \beta$ , то луч выходит перпендикулярно верт. плоск.



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

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

Черновик