



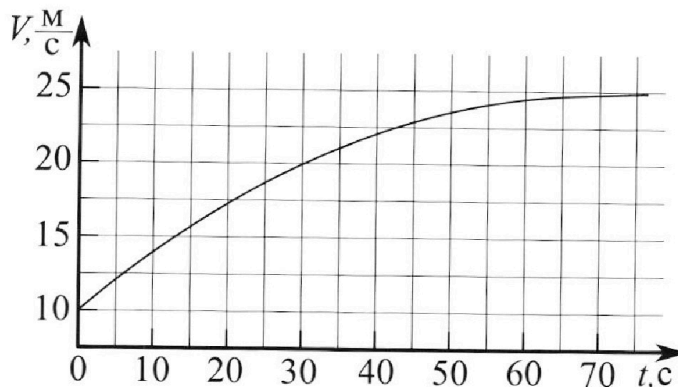
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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  $V_1$ ?

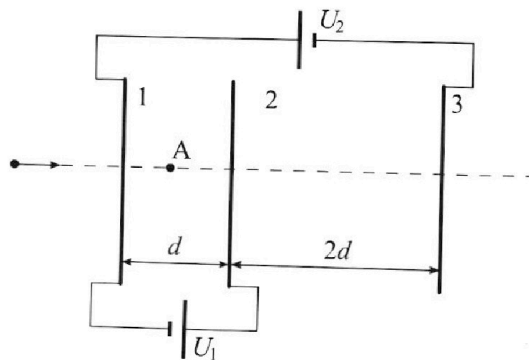
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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.

- 1) Найти отношение количества 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

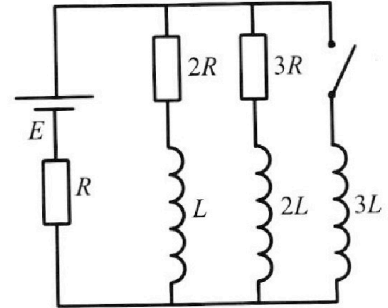
Вариант 11-01

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

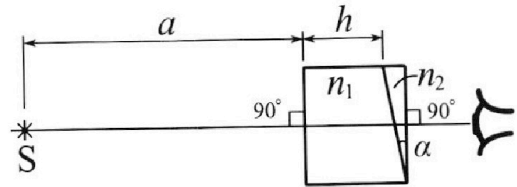
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

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

МФТИ

1  2  3  4  5  6  7

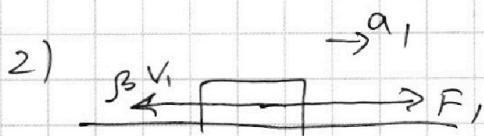
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\begin{cases} m = 1800 \text{ кг} \\ F_k = 500 \text{ Н} \\ F_{\text{ср}} = \beta V \end{cases}$$

1)  $a = \frac{dv}{dt} = \text{tg} \alpha$  - угол наклона  
касательной в точке  $V_1 = 20 \text{ м/с}$

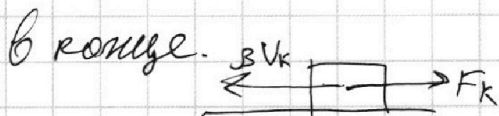
$\Delta V$ ,  $\Delta t$  - по касательной

Ответ:  $a_1 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{25 - 12,5}{40} = \frac{12,5}{40} = \frac{1}{2} \cdot \frac{25}{40} = \frac{5}{16} \text{ м/с}^2$



$$F_1 - \beta V_1 = ma_1$$

$$F_1 = \beta V_1 + ma_1$$



$$V_k = 25 \text{ м/с}$$

в конце двигателя автомобиля работ <sup>е</sup>кутно.

$$\Rightarrow F_k = \beta V_k \quad \beta = \frac{F_k}{V_k} = \frac{500}{25} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

и подставим это в формулу  $F_1$

Ответ:  $F_1 = 20 \cdot 20 + 1800 \cdot \frac{5}{16} = 400 + \frac{1800 \cdot 5}{16} \approx 1000 \text{ Н}$

Ответ:

3)  $P_1 = F_1 \cdot V_1 \approx 2 \cdot 10^4 \text{ Вт}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



2)  $\frac{V}{T_0}$  ①  $\rho_1 \rho_0 \frac{V}{2}$  ②  $\rho_2 \frac{V}{5}$  1)  $\frac{\rho_1 R T_0}{V/2} = \frac{\rho_2 R T_0}{V/4}$

$\rho_2 \rho_0$   $\rho_2'$   $\rho_2$   $2 \frac{\rho_1}{V} = 4 \frac{\rho_2}{V}$

Ответ:  $\rho_1 = 2\rho_2$

потом когда нагрузка

$\rho_2' = \rho_2 + \Delta \rho$   $\Delta \rho = k \cdot \rho_0 \cdot \omega = k \cdot \rho_0 \cdot \frac{V}{4}$

$\frac{1}{5} + \frac{1}{4} = \frac{9}{20}$   
 $1 - \frac{9}{20} = \frac{11}{20}$

$\rho_0 \cdot \frac{V}{4} = \rho_2 R T_0$

$\Delta \rho = k \rho_2 R T_0$

$\rho_2' = \rho_2 (1 + k R T_0)$

после нагрева  $\rho_2 = \rho_{21} + \rho_{2га}$   $\rho_{2га} = \rho_{амм}$

$\rho_{21} = \frac{\rho_2' R T}{V \frac{11}{20}} = \frac{\rho_2 R T}{V} \frac{20}{11} (1 + k R T_0)$

$\rho_2 = \frac{\rho_2 R T}{V} \frac{20}{11} (1 + k R T_0) + \rho_{амм}$

в верхней части.  $\rho_2 \cdot \frac{V}{5} = \rho_1 R T = 2\rho_2 R T$   
 $\rho_2 R T = \frac{\rho_2 V}{10}$

$\rho_2 = \frac{\rho_2}{10} \cdot \frac{20}{11} \left(1 + \frac{4}{5} k R T\right) + \rho_{амм} =$   
 $= 2\rho_2 \cdot \frac{1 + \frac{4}{5}}{11} + \rho_{амм} = \frac{18}{55} \rho_2 + \rho_{амм}$

$\rho_2 \left(1 - \frac{18}{55}\right) = \rho_{амм}$   ~~$\frac{37}{55} \rho_{амм}$~~

$\frac{37}{55} \rho_2 = \rho_{амм}$   $\rho_2 = \frac{55}{37} \rho_{амм}$

$\frac{\rho_0 \frac{V}{2}}{T_0} = \frac{\rho_2 \frac{V}{5}}{T} = \frac{\frac{55}{37} \rho_{амм} \cdot \frac{V}{5}}{\frac{5}{4} T_0}$   $\rho_0 = \frac{55}{37} \cdot 2 \rho_{амм} \cdot \frac{1}{25} \cdot 4$

Ответ:  $\rho_0 = \frac{88}{37 \cdot 5} \rho_{амм}$

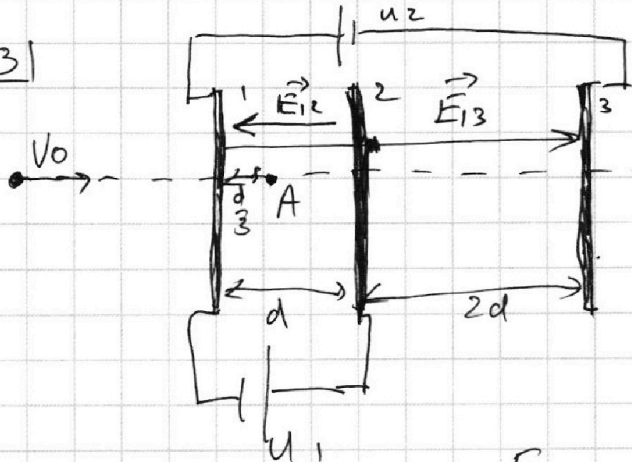
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$v_0, U_1 = U, U_2 = 4U, m, q$

1) Столкновение происходит между 1 и 2  
считаем, что  $U_2$  не учитываем

$E_{12} = \frac{U}{d}$      $E_{13} = \frac{U}{3d}$   
 $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$      $\frac{7}{6} - \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$      $\frac{7}{6} - \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$

суммарное поле в 1 и 2

$E_{12} = E_{13} - E_{12} = (\frac{1}{3} - 1) \frac{U}{d}$   
 $\frac{U}{d} - \frac{1}{3} \frac{U}{d} = \frac{2}{3} \frac{U}{d}$   
 $\frac{2}{3} \frac{U}{d} = \frac{2}{3} \frac{U}{d}$

$U_1 = E_{12} d$   
 $U_2 = E_{13} 3d$

$\text{Ответ: } a = \frac{qU}{3dm}$

1)  $E_{12} = \frac{U_1}{d} = \frac{U}{d}$

~~$U_2 = E_{23} \cdot 2d$~~

Ответ:

$q = \frac{E_{12} \cdot q}{m} = \frac{Uq}{md}$

$U_2 = E_{23} \cdot 2d - E_{12} \cdot d = E_{23} \cdot 2d - U$

$E_{23} = \frac{U_1 + U_2}{2d}$

2)  $\frac{mv_0^2}{2} = q\varphi_1 + K_1$

$K_1 = \frac{mv_0^2}{2} - q\varphi_1$

$\frac{mv_0^2}{2} = q\varphi_2 + K_2$

$K_2 = \frac{mv_0^2}{2} - q\varphi_2$

$K_1 - K_2 = q(\varphi_2 - \varphi_1)$

$\varphi_1 = \frac{U_2 - U_1}{2} = \frac{3}{2} U$

$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{38}{18} U$

$\varphi_2 = \frac{7}{9} U_2 + \frac{U_1}{2} = (\frac{28}{9} + \frac{1}{2}) U = \frac{65}{18} U$

$K_1 - K_2 = \frac{38}{18} qU$

Ответ:  $\frac{38}{18} qU$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

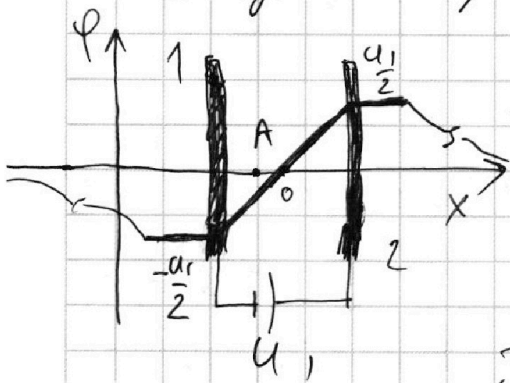
1  2  3  4  5  6  7



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



3) Рассчитаем потенциал в точке А. Он складывается из ~~двух~~ потенциалов ~~двух~~ конденсаторов. Рассмотрим их отдельно в пустом пространстве. В бесконечности  $\varphi_0 = 0$

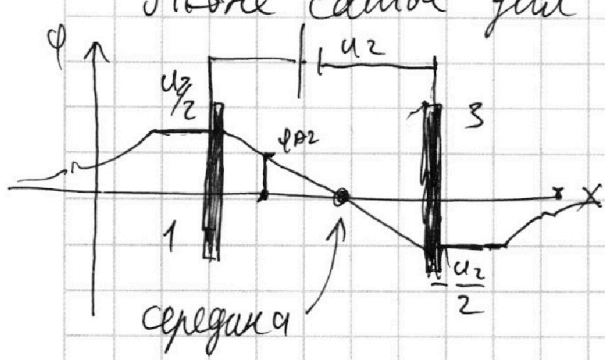


и это с ~~двух~~ сторон конденсатора.

Тогда из соображений симметрии потенциал в середине тоже должен равняться нулю.

Так как поле снаружи, близко к сеткам, достаточно мало по сравнению с внутренним полем, то потенциал недалеко от сеток постоянен. А на больших расстояниях убывает до нуля.

Тогда самое глупое конденсаторы 1-3.



$$\varphi(A) = \varphi_{A1} + \varphi_{A2}$$

$$\varphi_{A1} = \frac{\varphi_1}{-u_1/2} = \frac{\frac{1}{2} - \frac{1}{3}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{6} \cdot 2 = \frac{1}{3}$$

$$\varphi_{A1} = -\frac{u_1}{6} = -\frac{U}{6}$$

~~$$\varphi_{A2} = \frac{3}{2} - \frac{1}{3} = \frac{9}{6} - \frac{2}{6} = \frac{7}{6}$$

$$\varphi_{A2} = \frac{u_2}{3} = \frac{U}{3}$$~~

~~$$\varphi(A) = \left(\frac{16}{9} - \frac{1}{6}\right)U = U \frac{32 - 3}{18} = U \frac{29}{18}$$

$$\varphi(A) = U \frac{29}{18}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = qU \frac{29}{18} + \frac{mv^2}{2}$$

$$v^2 = v_0^2 - \frac{2qU \cdot 29}{m \cdot 9}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{2qU \cdot 29}{m \cdot 9}}$$~~

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!

$$\varphi(A) = u \left( \frac{q_4}{19} - \frac{1}{6} \right) = \frac{28 - \cancel{3}}{18} u = \frac{\cancel{10}}{\cancel{18}} \cdot \frac{25}{18} u.$$

$$\frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V^2}{2} + q \varphi(A)$$

Ответ:  $V = \sqrt{V_0^2 - 2 \frac{q_4 \varphi(A)}{m}}$

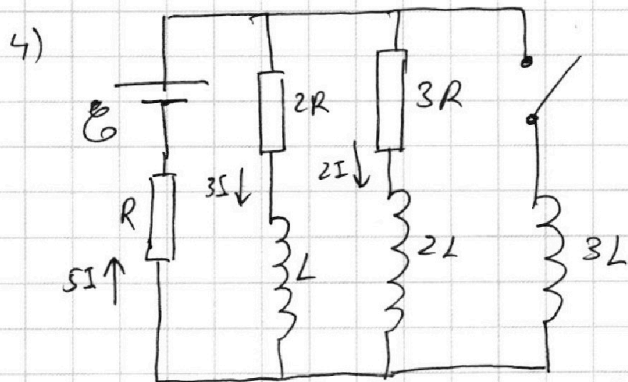
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

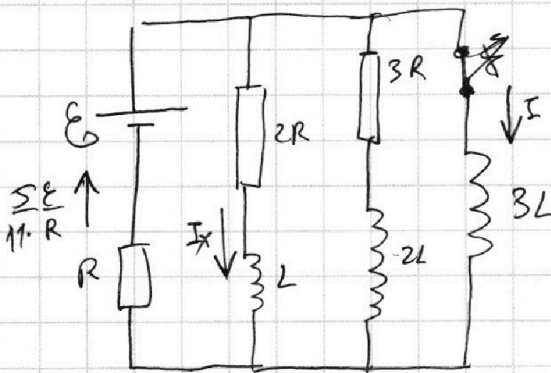
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$1) \quad \mathcal{E} = 6IR + 5IR = 11IR$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{11R}$$

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



2) сразу после зашоркивания

ток через R не меняется. Планируем  
использовать Кирхгофа в соевом  
розетке:

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_L = U.$$

$$\mathcal{E} - 3L \frac{dI}{dt} = \frac{5}{11} \mathcal{E}$$

$$3L \frac{dI}{dt} = \mathcal{E} \left(1 - \frac{5}{11}\right) = \mathcal{E} \frac{6}{11}$$

Ответ:  $\frac{dI}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{L} \cdot \frac{2}{11}$

3) Исправно Кирхгофа  
в розетке 2R-L-3L

$$-3L \frac{dI}{dt} + L \frac{dI_x}{dt} = -2I_x R$$

$$-3L dI + L dI_x = -2R I_x dt = -2R dq$$

$$2R dq = 3L dI - L dI_x \quad \text{проинтегрируем}$$

$$2RQ = 3L I_k + L I_{10}$$

$$2RQ = 3 \frac{\mathcal{E}L}{R} + \frac{3}{11} \frac{\mathcal{E}L}{R}$$

$$2RQ = \frac{36}{11} \frac{\mathcal{E}L}{R}$$

Ответ:  $Q = \frac{36}{22} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$

$$I_k = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad \text{— ток через R}$$



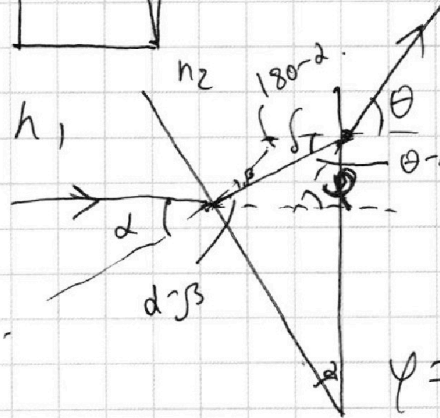
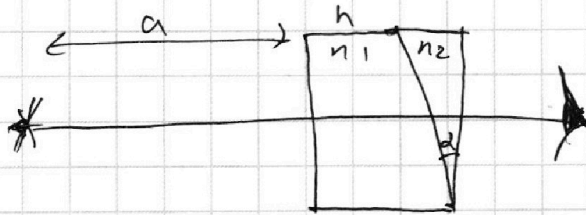
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$n_1 d = n_2 \beta$$

$$n_2 \delta = n_1 \theta$$

$$\varphi = \alpha - \beta + \theta - \delta = \theta$$

$$d = \beta + \delta$$

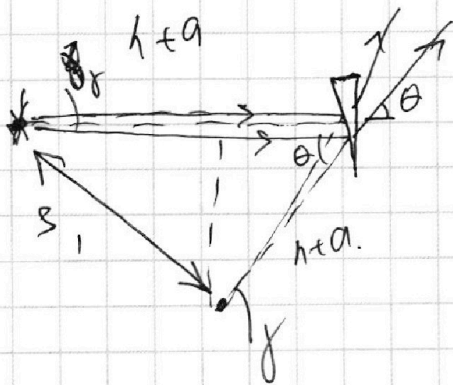
$$\beta = \frac{n_1}{n_2} \alpha \quad \delta = \theta \frac{n_1}{n_2}$$

$$d = \frac{n_1}{n_2} \alpha + \frac{n_1}{n_2} \theta$$

$$\theta \frac{n_1}{n_2} = d \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right) = d \frac{n_2 - n_1}{n_2}$$

Ответ:  $\varphi = \theta = 2 \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) = 0,07 \text{ рад}$ .  $\varphi = \theta = d \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$

2)  $\varphi$  - одинаков для всех лучей.



$$s_1 = 2(h+a) \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

$\theta$  мал ( $\Rightarrow$ )

$$\Rightarrow s_1 = (h+a) \cdot \theta =$$

$$= 2,03 \cdot 0,07 \approx 0,14 \text{ м}$$

Ответ:  $\approx 0,14 \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

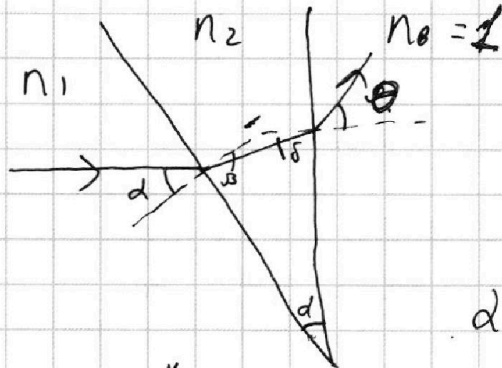
**МФТИ**



- 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!

3)



$$n_1 d = n_2 \beta$$

$$n_2 \delta = 1 \cdot \theta$$

$$d = \beta + \delta$$

$$\beta = d \frac{n_1}{n_2} \quad \delta = \frac{1}{n_2} \theta$$

$$\varphi = d - \beta + \theta - \delta = \theta$$

$$d = d \frac{n_1}{n_2} + \frac{\theta}{n_2}$$

$$n_2 d = d n_1 + \theta$$

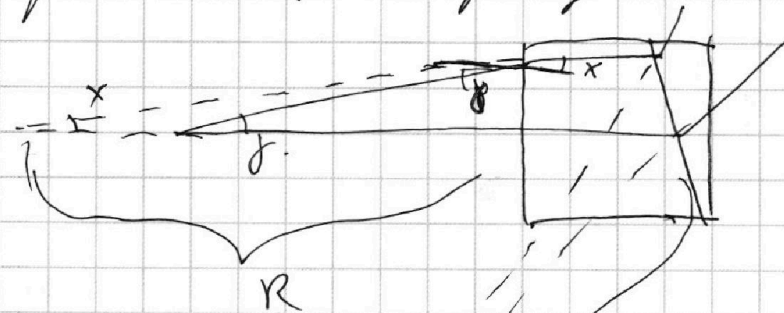
$$d(n_2 - n_1) = \theta$$

$$\varphi = \theta = d(n_2 - n_1) = 0,02 \mu\text{m}$$

~~$S_2 = h + a$~~   ~~$S_2 = (h+a)\varphi = 2,03 \cdot 0,02 \mu\text{m}$~~

~~ответ:  $2,03 \mu\text{m}$~~   ~~$\approx 0,09 \mu\text{m}$~~

сейчас, кроме центральной лучи, все остальные лучи падают на границе  $n_1$ .

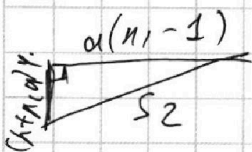


~~$j(h+a)$~~

$$jR = xR, \quad j = n_1 x$$

$$R = n_1 R$$

$(h+n_1 a) \cdot \varphi$  — почти горизонтально.



$$S_2 = \sqrt{(h+n_1 a \varphi)^2 + \alpha^2 (n_1 - 1)^2}$$

ответ:  $\uparrow$



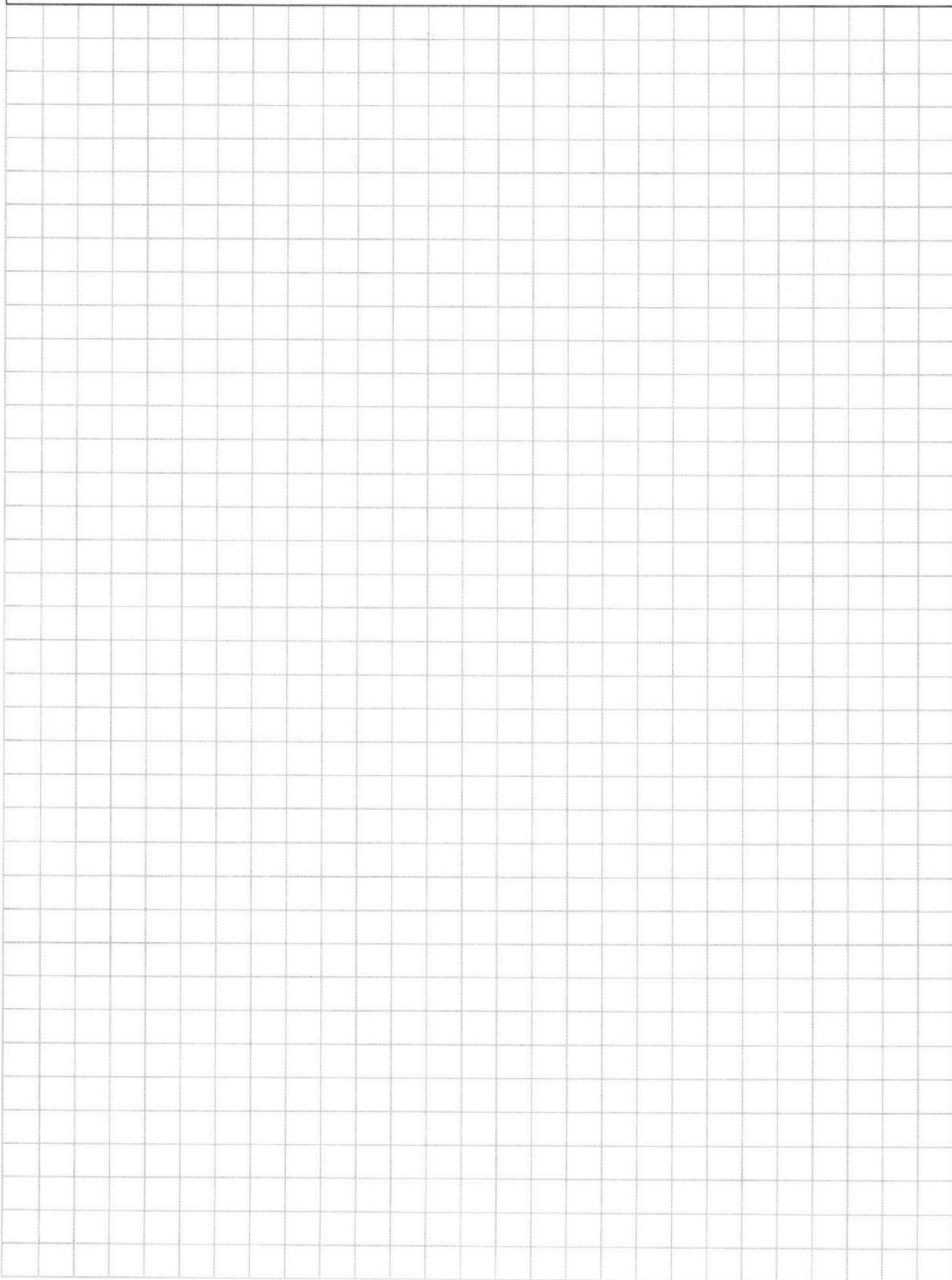
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





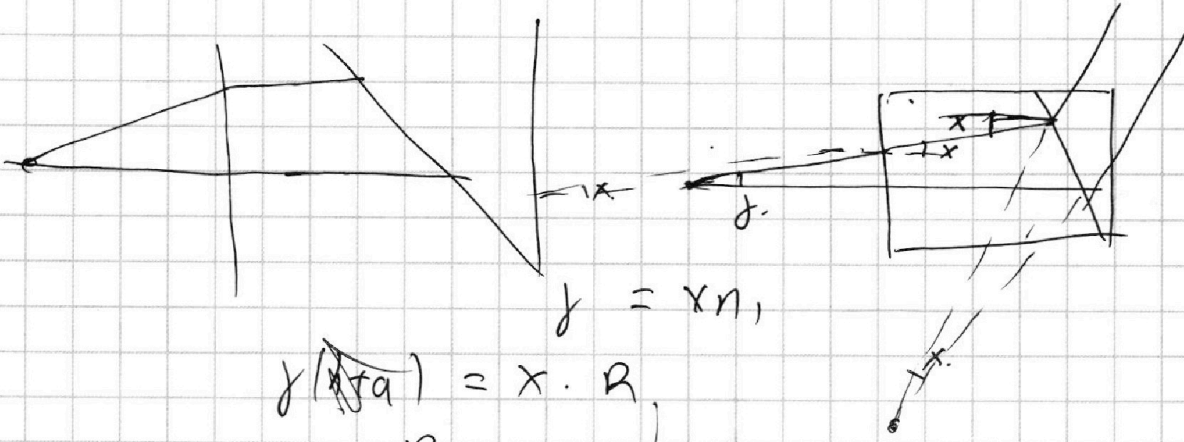
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$y = xn,$$

$$y(A+a) = x \cdot R,$$

$$R = n_1(A+a).$$