



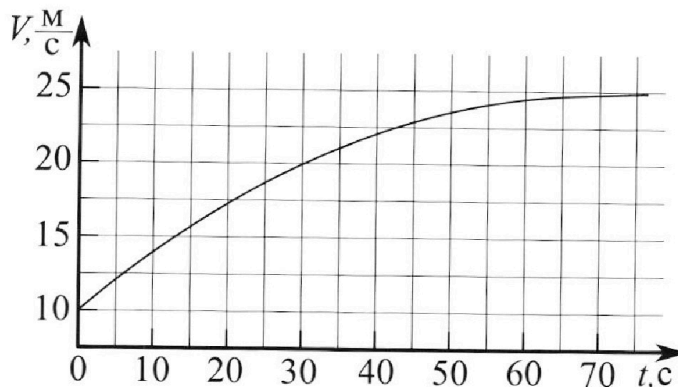
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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 ?

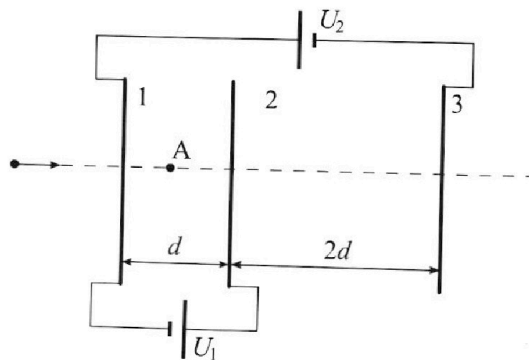
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 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

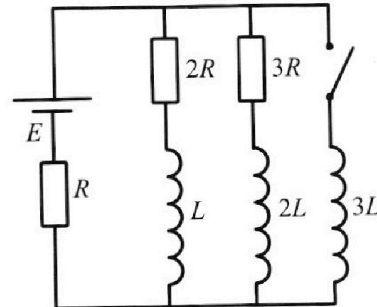
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



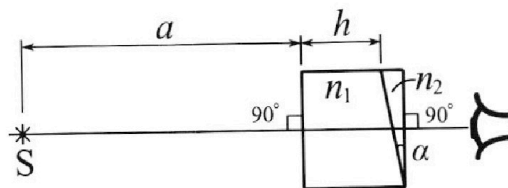
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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

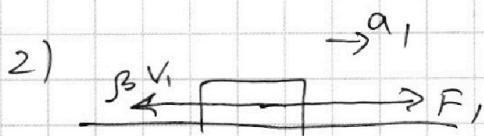
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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

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

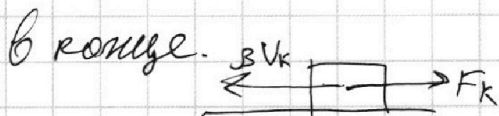
ΔV , Δt - по касательной

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 ^екутно.

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

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:

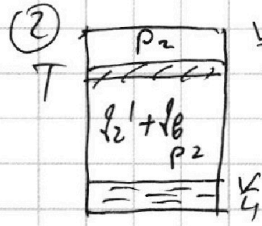
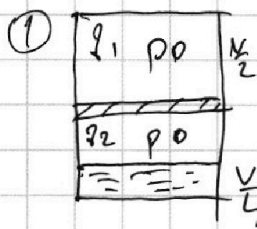
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



2) $\frac{V}{T_0}$



$$1) \frac{p_1 R T_0}{V/2} = \frac{p_2 R T_0}{V/4}$$

$$2 \frac{p_1}{V} = 4 \frac{p_2}{V}$$

Ответ: $p_1 = 2p_2$

потом когда нагрузка

$$p_2' = p_2 + \Delta p \quad \Delta p = k \cdot p_0 \cdot \omega = k \cdot p_0 \cdot \frac{V}{4}$$

$$p_0 \cdot \frac{V}{4} = p_2 R T_0$$

$$\Delta p = k p_2 R T_0$$

$$p_2' = p_2 (1 + k R T_0)$$

после нагрева $p_2 = p_{21} + p_{2га}$ $p_{2га} = p_{атм}$

$$p_{21} = \frac{p_2' R T}{V \frac{11}{20}} = \frac{p_2 R T}{V} \frac{20}{11} (1 + k R T_0)$$

$$p_2 = \frac{p_2 R T}{V} \frac{20}{11} (1 + k R T_0) + p_{атм}$$

в верхней части. $p_2 \cdot \frac{V}{5} = p_1 R T = 2 p_2 R T$
 $p_2 R T = \frac{p_2 V}{10}$

$$p_2 = \frac{p_2}{10} \cdot \frac{20}{11} \left(1 + \frac{4}{5} k R T\right) + p_{атм} =$$

$$= 2 p_2 \cdot \frac{1 + \frac{4}{5}}{11} + p_{атм} = \frac{18}{55} p_2 + p_{атм}$$

$$p_2 \left(1 - \frac{18}{55}\right) = p_{атм}$$

~~$\frac{37}{55} p_{атм}$~~

$$\frac{37}{55} p_2 = p_{атм}$$

$$p_2 = \frac{55}{37} p_{атм}$$

$$\frac{p_0 \frac{V}{2}}{T_0} = \frac{p_2 \frac{V}{5}}{T} = \frac{55}{37} p_{атм} \cdot \frac{V}{5} \cdot \frac{1}{\frac{5}{4} T_0}$$

$$p_0 = \frac{55}{37} \cdot 2 p_{атм} \cdot \frac{1}{25} \cdot 4$$

Ответ: $p_0 = \frac{88}{37 \cdot 5} p_{атм}$

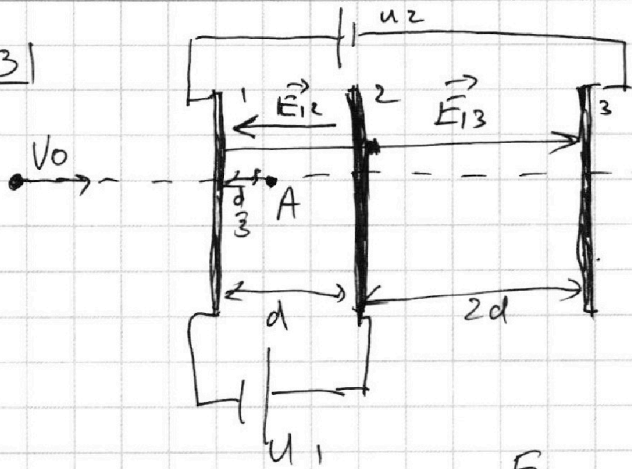
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



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

1) Столкновение происходит между 1 и 2
считываем U_2 полей

$E_{12} = \frac{U}{d}, E_{13} = \frac{4U}{3d}$
 $\frac{3}{2} - \frac{1}{3} = \frac{3 \cdot 2 - 2}{6} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$
 $\frac{7}{6} - \frac{1}{3} = \frac{7 - 2}{6} = \frac{5}{6}$
 $\frac{7}{6} - \frac{1}{3} = \frac{7 - 2}{6} = \frac{5}{6}$

~~Суммарное поле в 1 и 2
 $E_{12} = E_{13} - E_{12} = (\frac{4}{3} - 1) \frac{U}{d} = \frac{1}{3} \frac{U}{d}$
 $\frac{U_2}{d} = \frac{1}{3} \frac{U}{d} \Rightarrow U_2 = \frac{1}{3} U$
 $\frac{3U + U}{18} = \frac{4U}{18} = \frac{2U}{9}$
 $\frac{U_2}{3d} = \frac{2U}{9} \Rightarrow U_2 = \frac{2}{3} U$
Ответ: $a = \frac{qU}{3dm}$~~

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

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

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) $\frac{mv_0^2}{2} = q\varphi_1 + K_1$
 $\frac{mv_0^2}{2} = q\varphi_2 + K_2$

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

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

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

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

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

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

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

Ответ: $\frac{38}{18} qU$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

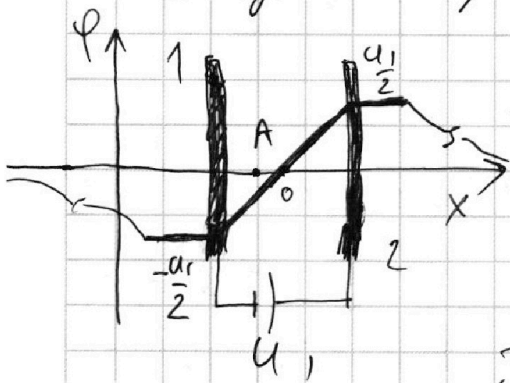
1 2 3 4 5 6 7



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 $\varphi_0 = 0$

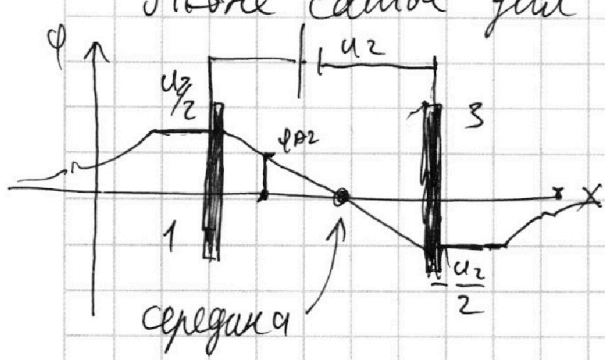


и это с ~~двух~~ стороны конденсатора.

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 постояен. А на больших расстояниях убывает до нуля.

Тогда самое глупое конденсаторы 1-3.



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

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

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

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

$$\varphi_{A2} = \frac{u_2}{9} = \frac{4}{9} u$$~~

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

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

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

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

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!

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

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

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

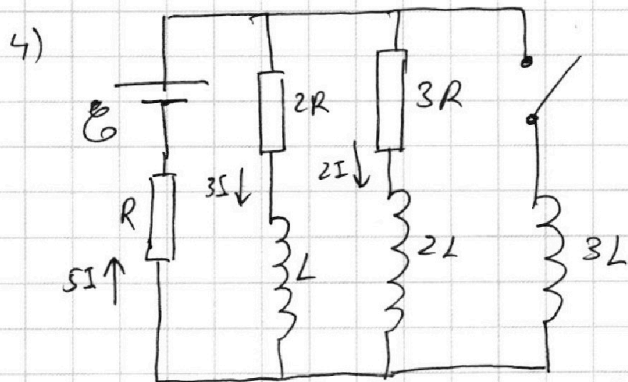
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

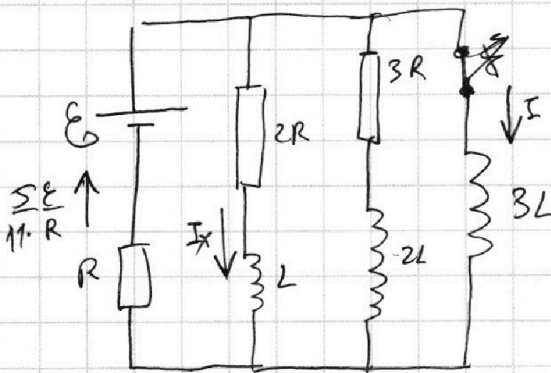
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



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

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

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

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

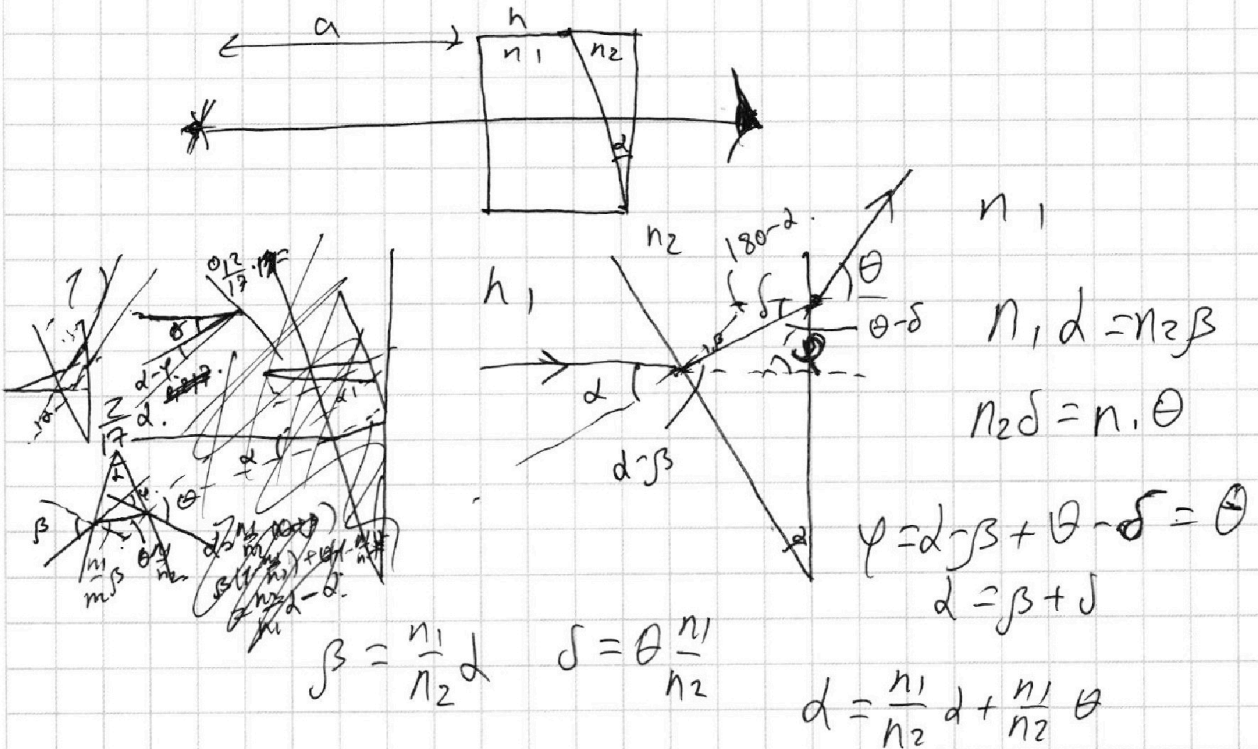
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

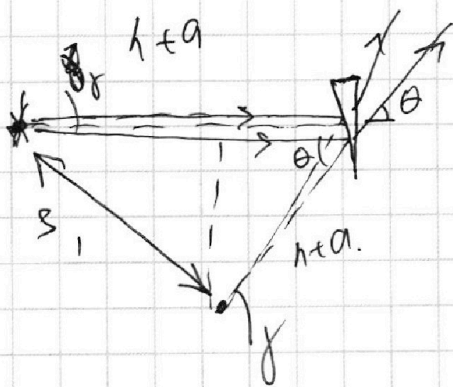
МФТИ

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



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) φ - одинаков для всех лучей.



$$S_1 = 2(h+a) \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

θ 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:

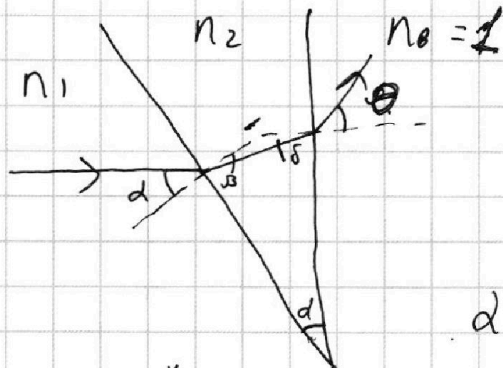
МФТИ



- 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)



$$n_1 d = n_2 \beta$$

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

$$d = \beta + \delta$$

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

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

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

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

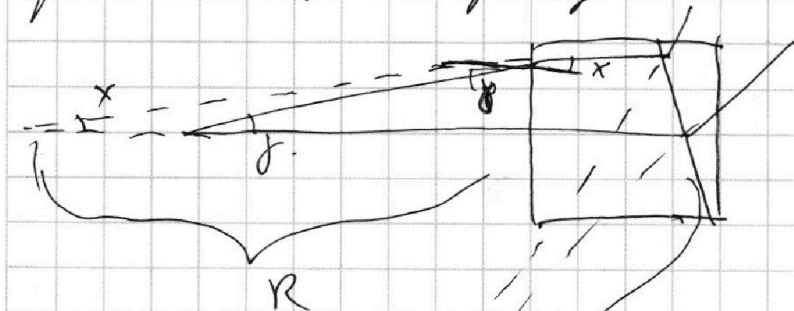
$$d(n_2 - n_1) = \theta$$

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

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

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

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

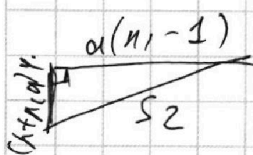


~~$j(h+a)$~~

$$j R = x R, \quad j = n_1 x$$

$$R = n_1 R$$

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



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

ответ: \uparrow



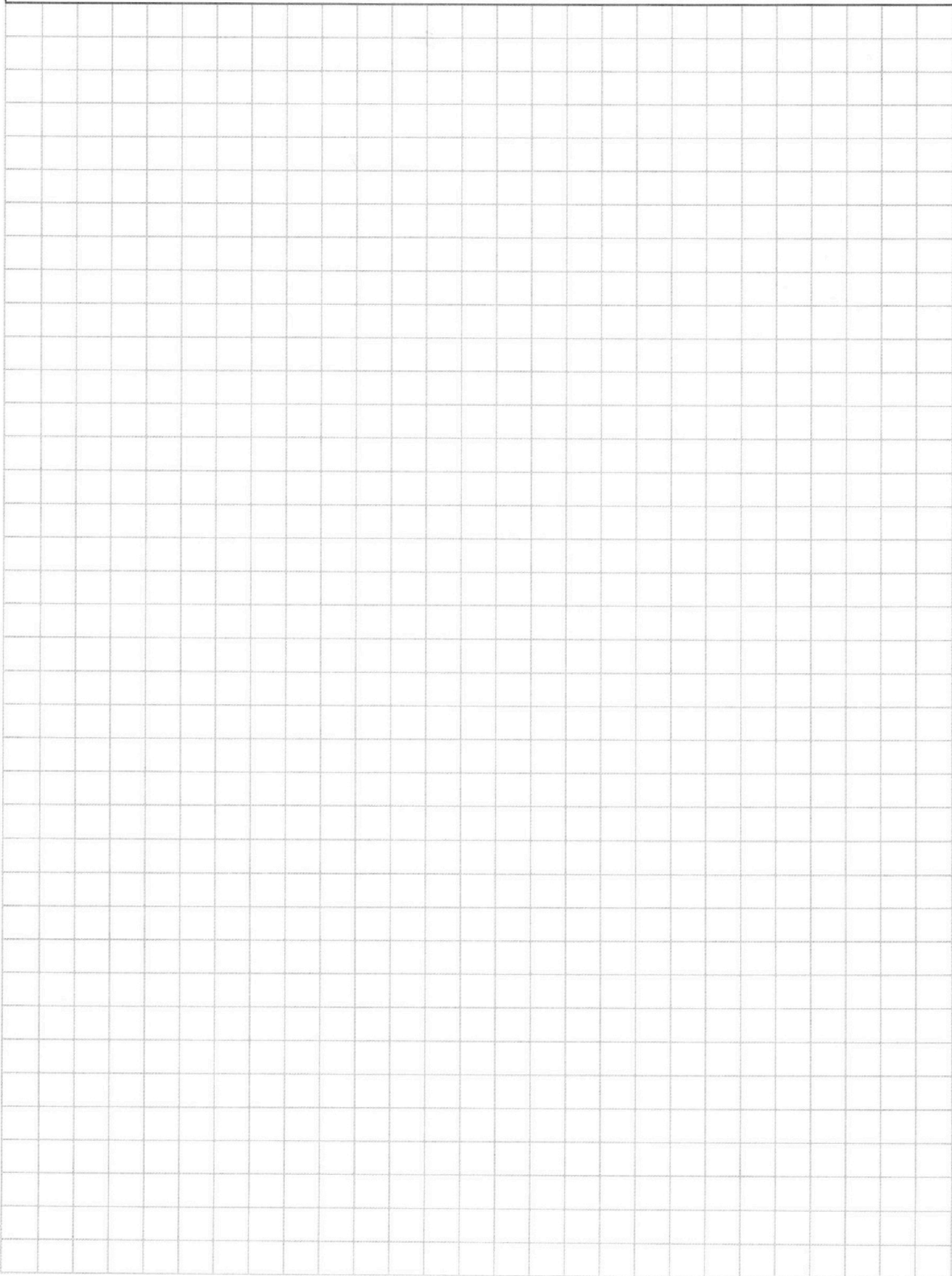
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





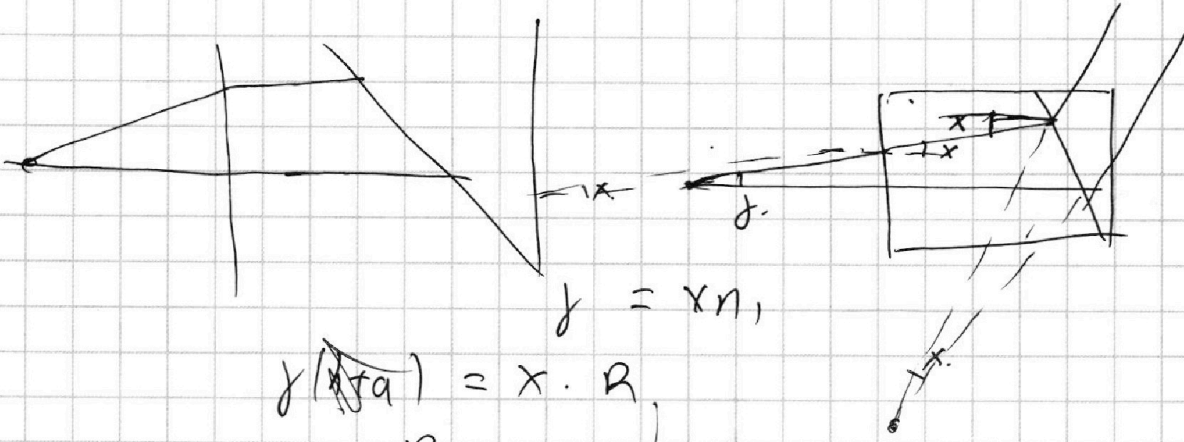
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$y = xn,$$

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

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