



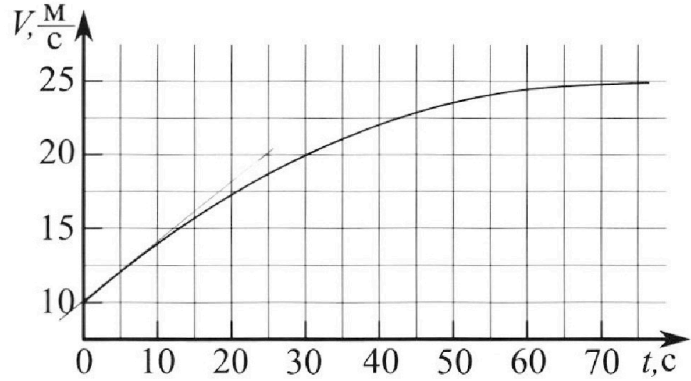
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

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?

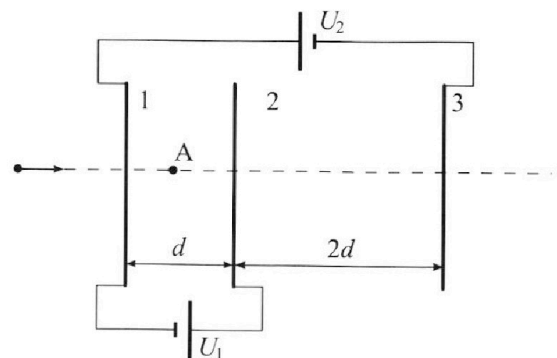
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 $P_0 = P_{\text{АТМ}}/2$ ($P_{\text{АТМ}}$ - 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 v пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kp v$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ 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 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

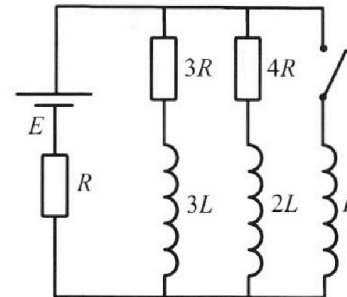


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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 $n_v = 1,0$. 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.

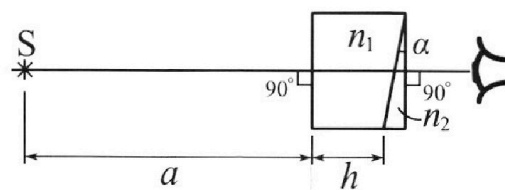


рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, 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 $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, 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:

 МФТИ



1 2 3 4 5 6 7

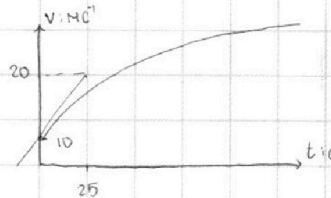
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

задача 1.

1) Ускорение (a) = $\frac{dv}{dt}$ \Rightarrow значение ускорения в начальный момент времени -
коэфф наклона касательной.

$$a_0 = \frac{20 - 10}{25} \text{ мс}^{-2} = 0,4 \text{ мс}^{-2}$$

Ответ: $0,4 \text{ мс}^{-2}$



2) Заметим, что в конце: $\lim_{t \rightarrow t_k} \frac{dv}{dt} = 0$ тело движется с
постоянной скоростью.

Запишем ПЗН в конце: $F_k - \alpha v_k = 0$, где α - коэфф пропорциональности между
силой сопротивления и скоростью.

Конечная скорость = 25 мс^{-1} (это асимптота данного графика)

$\alpha = \frac{F_k}{v_k} \Rightarrow$ запишем ПЗН для начала движения: $F_0 - \alpha v_0 = m a_0$

$$F_0 = \alpha v_0 + m a_0 = m a_0 + \frac{F_k v_0}{v_k} = 1500 \cdot 0,4 \text{ Н} + \frac{600 \cdot 10 \text{ Н}}{25} = 240 \text{ Н} + 600 \text{ Н} = 840 \text{ Н}$$

Ответ: $F_0 = 840 \text{ Н}$

3) $P_0 = F_0 \cdot v_0 = 840 \text{ Н} \cdot 10 \text{ мс}^{-1} = 8400 \text{ Вт}$

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

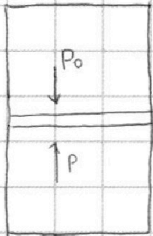
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

задача 2.



1) найдём давление снизу.

$$P_{\text{атм}} + P_0 = P_{\text{снизу}} \Rightarrow P_{\text{снизу}} = \frac{3}{2} P_{\text{атм}} = 3P_0$$

УСИГ для газа сверху

$$P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{\text{не}} \cdot R T_0$$

Снизу давление создает только газ, объёмом $\frac{V}{4}$:

$$P_{\text{снизу}} \cdot \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} R T_0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P_0 \cdot \frac{V}{2} = \nu_{\text{не}} R T_0 \\ P_0 \cdot 3 \cdot \frac{V}{4} = \nu_{\text{CO}_2} R T_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{3}{8} \frac{1}{2} \times 4 = \frac{\nu_{\text{не}}}{\nu_{\text{CO}_2}}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{\nu_{\text{не}}}{\nu_{\text{CO}_2}}$$

Ответ: $\frac{2}{3}$

2) Так в конце поршень в равновесии. $P_{\text{верх}} + P_{\text{атм}} = P_{\text{ниж}}$

$P_{\text{верх}}$ + давление верхней части; $P_{\text{ниж}}$ - нижняя

$$P_{\text{верх}} \cdot \frac{V}{5} = \nu_{\text{не}} \cdot R \cdot T$$

$$P_{\text{ниж}} \cdot \left(\frac{4V}{5} - \frac{V}{4} \right) = (\nu_{\text{CO}_2} - \Delta \nu) R T$$

по закону Генри $d\nu = \frac{\nu}{4} \cdot P(0) \cdot k = \frac{\nu}{4} \cdot k \cdot P(0)$ просуммируем.

$$\Delta \nu = \frac{kV}{4} \cdot (P_{\text{ниж}} - P_{\text{снизу}}) = \frac{kV}{4} \left(P_{\text{ниж}} - \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T_0 \cdot 4}{3V} \right)$$

$$P_{\text{ниж}} \cdot \frac{11V}{20} = \nu_{\text{CO}_2} R T + \frac{kV}{4} P_{\text{ниж}} - \frac{kV R T}{4} \nu_{\text{CO}_2} - \frac{kV R T}{4} \left(P_{\text{ниж}} - \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T_0 \cdot 4}{3V} \right)$$

$$\left(P_{\text{ниж}} - P_{\text{атм}} \right) \cdot \frac{V}{5} = \frac{2}{3} \nu_{\text{CO}_2} \cdot R \cdot T$$

$$P_{\text{ниж}} \cdot \frac{11}{20} V = \nu_{\text{CO}_2} R T - \frac{kV R T}{4} P_{\text{ниж}} + \frac{3kV R T}{4} P_0$$

$$\frac{11}{20} P_{\text{ниж}} \cdot V = \nu_{\text{CO}_2} R T - \frac{kV R T}{4} P_{\text{ниж}} + \frac{3kV R T}{4} P_0 \Rightarrow P_{\text{ниж}} = \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T + \frac{3kV R T}{4} P_0}{\frac{11}{20} V + \frac{kV R T}{4}}$$

$$P_{\text{ниж}} = \frac{\frac{10}{3} \nu_{\text{CO}_2} R T}{\frac{11}{20} + \frac{kRT}{4}} \Rightarrow \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T + \frac{3kV R T}{4} P_0}{\frac{11}{20} + \frac{kRT}{4}} = \frac{10 \nu_{\text{CO}_2} R T}{3}$$

$$\frac{\frac{3}{4} T_0 + \frac{3}{4} kRT}{\frac{11}{20} + \frac{kRT}{4}} = \frac{3 T_0 + 3 kRT}{\frac{11}{5} + kRT} = \frac{10}{3} T_0 \Rightarrow T/T_0 = \frac{14,5 \times 3}{28} = \frac{13,5}{28} \approx \frac{1}{2}$$

Ответ: $\frac{13,5}{28} \approx \frac{1}{2}$

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

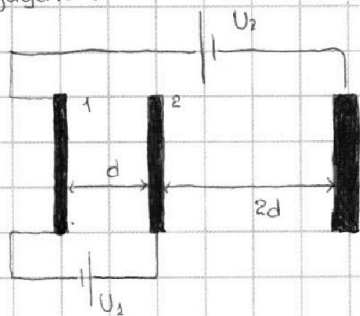
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

задача 3.



Пусть ϕ - потенциал пластины 1 \Rightarrow
потенциал сетки 2 $= \phi + U$ Потенциал
сетки 3 $= \phi - 3U$

\rightarrow Напряженность поле между пластинами (сетками)

$$1 \text{ и } 2: \frac{U}{d}$$

$$\text{II закон Ньютона: } \frac{qU}{d} = -ma \Rightarrow a = -\frac{qU}{md}$$

Ответ: $a = -\frac{qU}{md}$

2) $K_1 = \frac{mv_0^2}{2}$ разность K_1 и $K_2 = -A$ поля по переносу заряда:

$$K_1 - K_2 = (\phi_1 - \phi_2)q = \frac{qU}{d} \quad \text{Ответ: } K_1 - K_2 = qU$$

3) Запишем закон изменения энергии.

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{qU \cdot d}{d} = \frac{mv^2}{2}$$

$$mv_0^2 - qU = mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

Ответ: $v = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

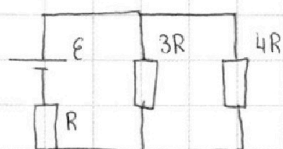
МФТИ

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



задача 4.

1) так в установившемся режиме токи не меняются, напряжение на каждой катушке 0
Заменим их на провод.



Найдем эквивалентное сопротивление.

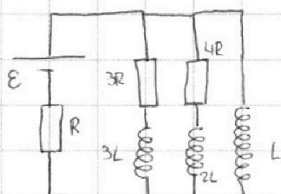
для параллельного участка: $\frac{4R \cdot 3R}{4R + 3R} = \frac{12R}{7}$

общее: $\frac{12R}{7} + R = \frac{19R}{7} \Rightarrow$ общий ток равен $\frac{\epsilon}{19R/7} = \frac{7\epsilon}{19R}$

ток $I_{30} = \frac{4}{7} \cdot I_{\text{общ}} = \frac{4}{19} \frac{\epsilon}{R}$

Ответ: $I_{30} = \frac{4\epsilon}{19R}$

2) Сразу после замыкания напряжения на катушках $3L$ и $2L$ не успеют измениться. \Rightarrow
токи через резисторы не меняются.



$\epsilon = I_{\text{общ}} R + L \frac{dI}{dt}$ где I ток через катушку L

$\frac{\epsilon - I_{\text{общ}} R}{L} = \frac{dI}{dt} = \frac{\epsilon - 7/19 \epsilon}{L} = \frac{12\epsilon}{19L}$

Ответ: $\frac{dI}{dt} = \frac{12\epsilon}{19L}$

3) Пусть I_1 - ток через резистор $3R$; I_2 - ток через резистор $4R$; I_3 - ток через катушку L .

Тогда общий ток: $I_1 + I_2 + I_3$

В начальный момент времени: $I_{10} = \frac{4\epsilon}{19R}$; $I_{20} = \frac{3\epsilon}{19R}$ (через $4R$); $I_{30} = 0$

В конце напряжение на катушке $L = 0 \Rightarrow$

I в конце $= \epsilon/R$ (остальные токи (через $3R$ и $4R$) = 0)

В силу последовательного соединения резистора и катушки, а также параллельности соединения участка в цепи

$I_1 \cdot 3R + 3L \frac{dI_1}{dt} = L \frac{dI}{dt}$, $I_1 = \frac{dq_1}{dt}$ где q_1 - заряд, протекший через $3R$.

$3R \frac{dq_1}{dt} + 3L \frac{dI_1}{dt} = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \int_0^{\infty} 3R \frac{dq_1}{dt} dt + \int_0^{\infty} 3L \frac{dI_1}{dt} = \int_0^{\infty} L \frac{dI}{dt}$

$3R(\Delta q_1) + 3L(0 - I_{30}) = L(I_{\text{в конце}} - 0)$

Δq_1 - исконый заряд

$3R \Delta q_1 = L \cdot \frac{\epsilon}{R} + 3L \cdot \frac{4\epsilon}{19R} = \frac{L\epsilon}{R} \left(1 + \frac{12}{19}\right) = \frac{31LE}{19R} \Rightarrow \Delta q_1 = \frac{31LE}{57R^2}$

Ответ: $\frac{31LE}{57R^2}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

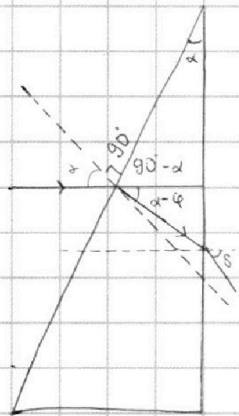
1 2 3 4 5 6 7



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

задача 5

1) так $n_1 = 1$ (воздуха), свет там не преломляется \Rightarrow построим ход луча в тонкой призме.



Пусть угол, под которым пошел луч после первой границы - φ . Так φ мал $\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi$

В силу малости α : $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$

З-н Снеллиуса:

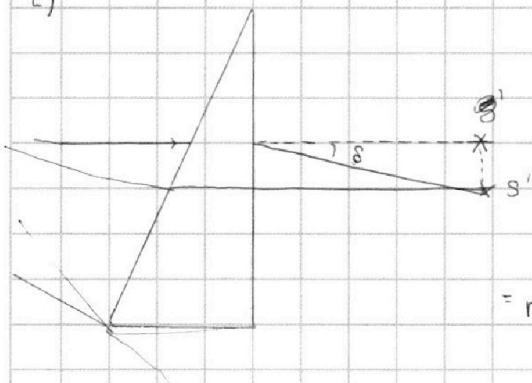
$$\sin \alpha = n_2 \sin \varphi \Rightarrow \alpha = n \varphi$$

Для второй границы:

$n \sin(\alpha - \varphi) = \sin \delta$, где δ - угол отклонения (он же угол, под которым выйдет луч. $\Rightarrow \delta = n\alpha - \alpha = (n-1)\alpha = 0.07 \text{ рад}$

Ответ: $\delta = (n-1)\alpha = 0.07 \text{ рад}$

2)



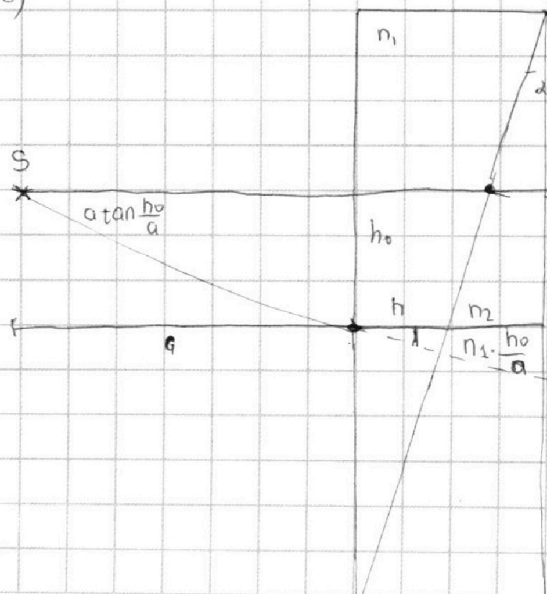
Рассмотрим луч, который пришел под углом 90° к второй поверхности. Он выйдет под углом $n\alpha$

$$r = (a+h) \cdot \frac{n\alpha \cdot \alpha(n+1)}{\alpha(n-1)} =$$

$$= r = (a+h) \cdot \frac{n(n+1)\alpha}{n-1} = (90+14) \cdot \frac{1.7 \cdot 2.7}{0.7} = 682.24 \text{ см}$$

Ответ: 682.24 см

3)



1) центр луча преломится так же как в n_1

$$\frac{a+h}{\sin \delta} = \frac{s}{\sin(\frac{h_0}{a} + n \frac{h_0}{a})}$$

$$h_0 = \frac{h \cdot \alpha}{2}$$

$$\frac{a+h}{(n_2-1)\alpha} = \frac{s \cdot a}{h_0(n_1+1)}$$

$$s = \frac{(a+h) h \alpha (n_1+1)}{a(n_2-1) \cdot 2} = 24.48 \text{ см}$$

Ответ: 24.48 см



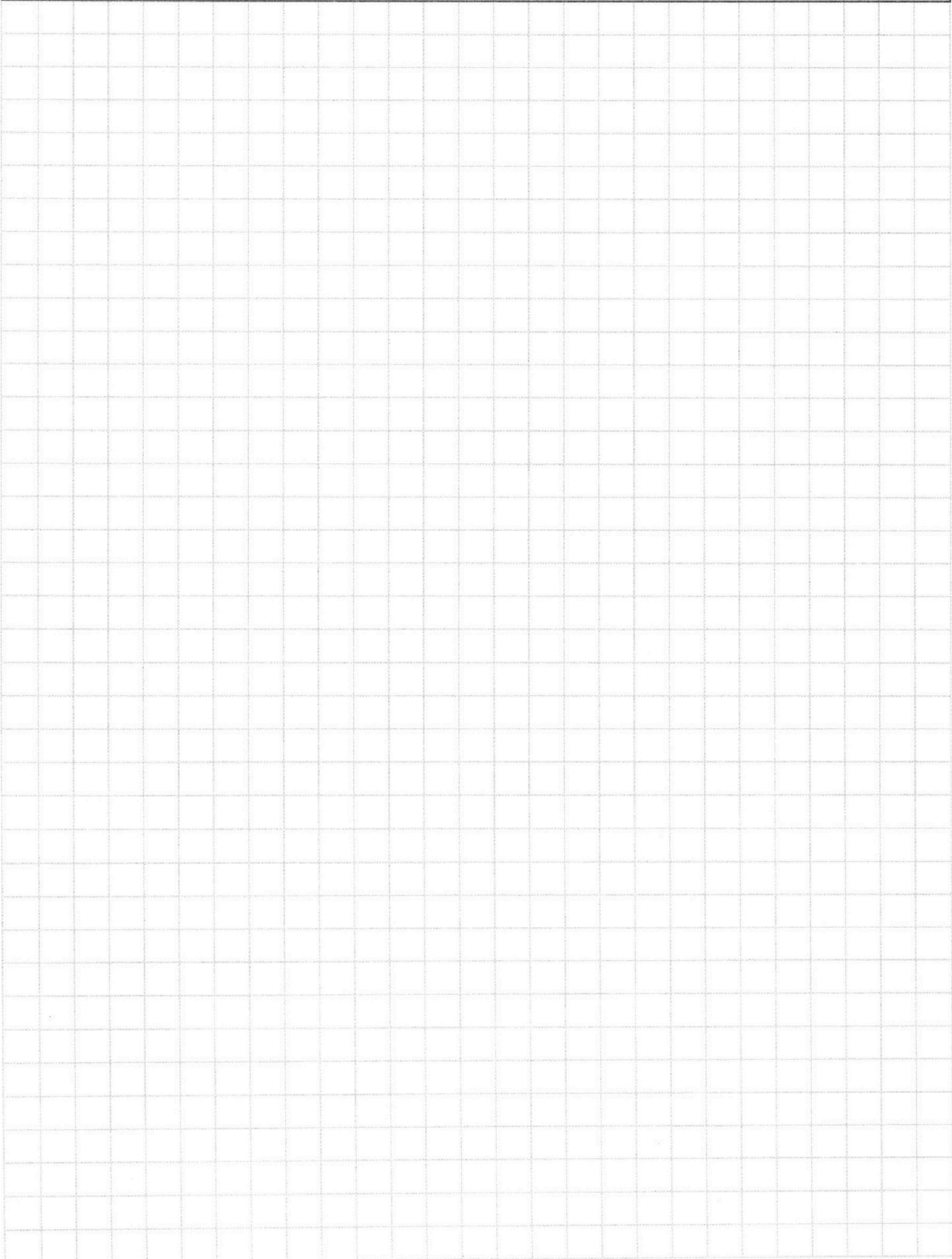
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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

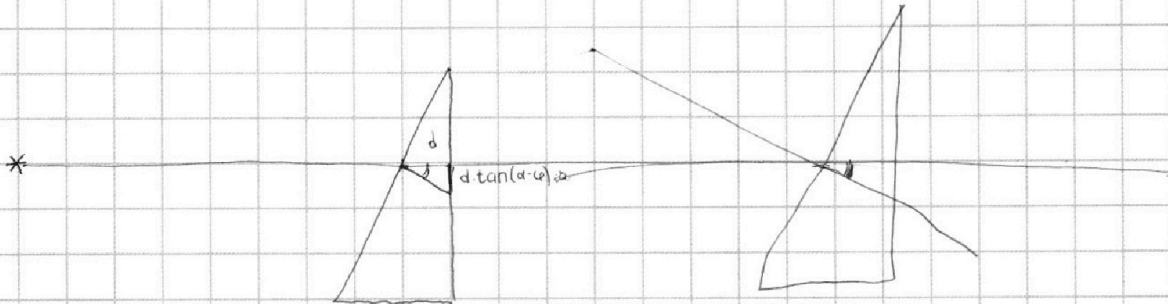
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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"/> |

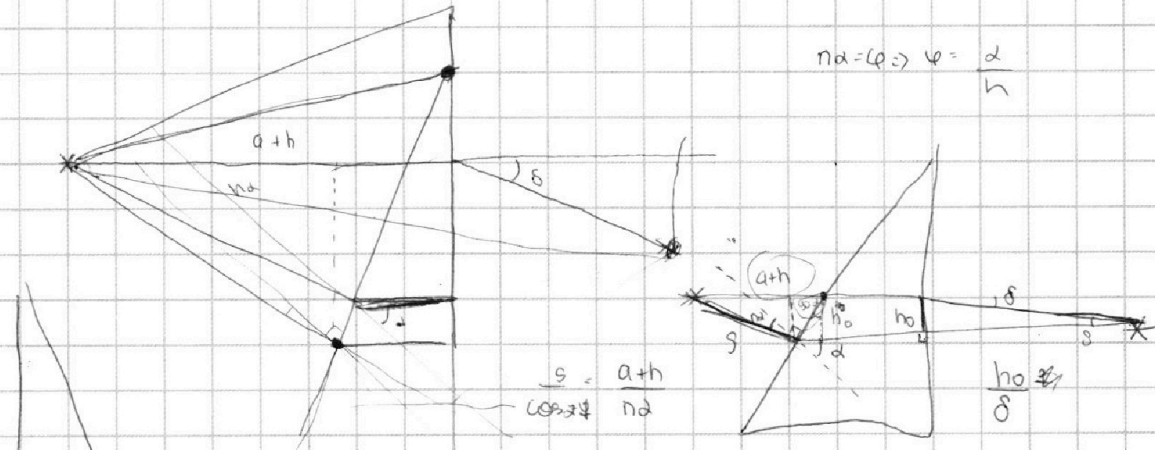


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\left(\frac{11\sqrt{1} + \sqrt{11}}{20} \right)$$

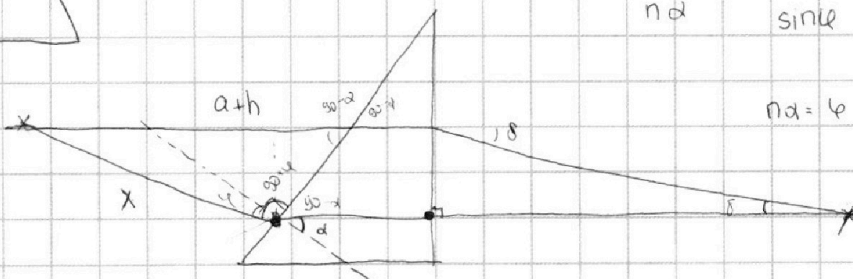


$$n\alpha = \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{\alpha}{n}$$



$$s = \frac{a+h}{\cos \alpha}$$

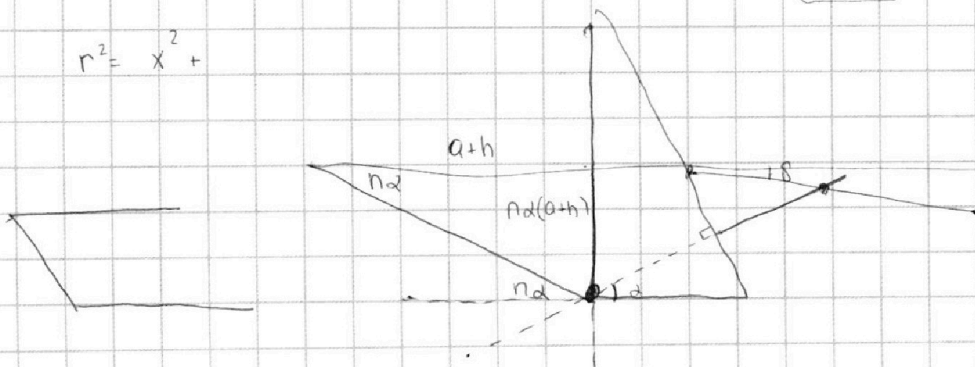
$$\frac{a+h}{n\alpha} = \frac{h_0}{\cos \alpha} \Rightarrow h_0 = \frac{(a+h) \cos \alpha}{n\alpha}$$



$$n\alpha = \varphi \Rightarrow n\alpha$$

$$\frac{x}{\cos \alpha} = \frac{a+h}{\sin(\alpha + \varphi)} = \frac{a+h}{\varphi} \Rightarrow x = \frac{a+h}{\varphi} \cdot \left(\frac{1 - \alpha^2}{2} \right) = \frac{a+h}{n\alpha} - \frac{(a+h)\alpha}{2n}$$

$$n^2 = x^2 +$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7



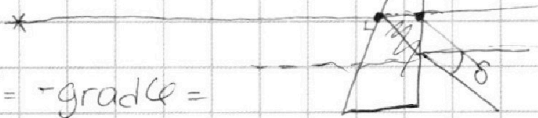
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



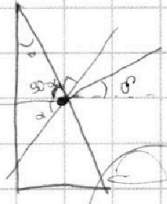
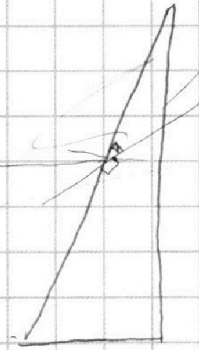
задача 5.

$$\begin{aligned} \varphi_2 - \varphi_1 &= U_1 = U \\ \varphi_1 - \varphi_3 &= U_2 = 3U \\ \varphi_2 - \varphi_3 &= 4U \end{aligned}$$

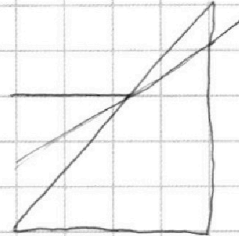
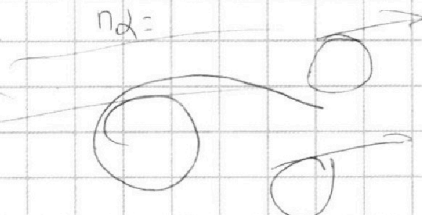
$$E = -\text{grad}\varphi =$$



φ_1, φ_2

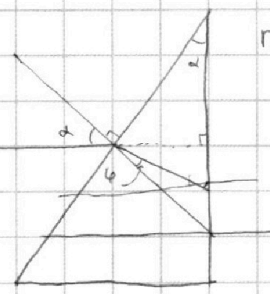
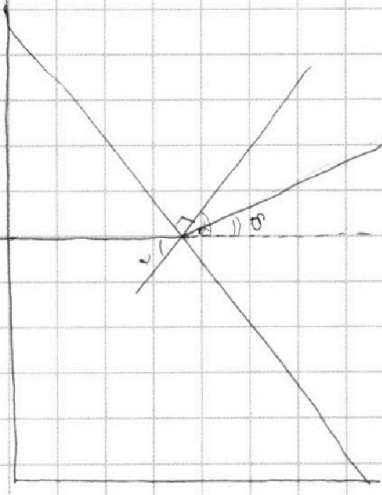


$n\alpha =$

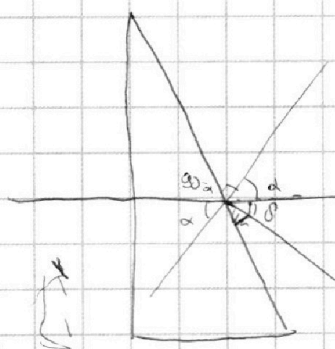


$$\begin{aligned} (\alpha - \delta) &= n\alpha \\ (\alpha - n)\alpha &= \delta \end{aligned}$$

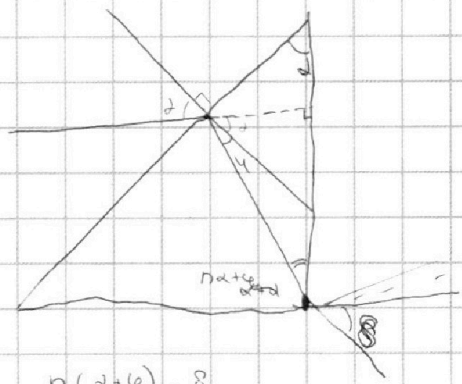
$$\frac{U}{d} = E$$



$n\varphi = \alpha$



$$\begin{aligned} n\alpha &= \alpha + \delta \\ \delta &= (n-1)\alpha \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} n(\alpha + \delta) &= \delta \\ n\alpha + \alpha &= \delta \\ \delta &= \alpha(n+1) \end{aligned}$$

$n\alpha = \delta$

