



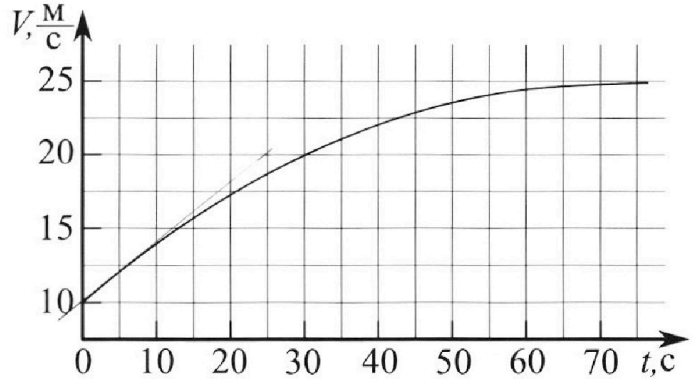
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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?

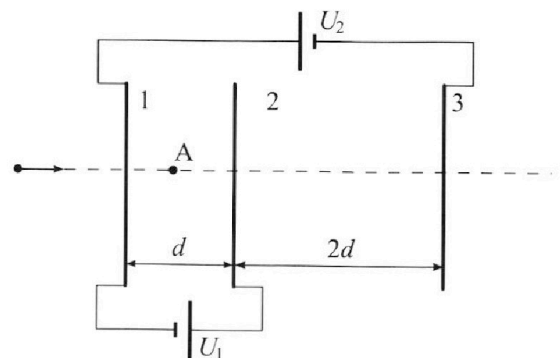
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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  $\Delta v$  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/(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 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

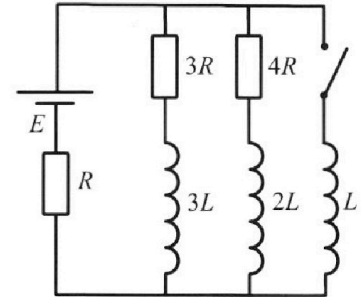


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

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  $n_{\text{в}} = 1,0$ . 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.

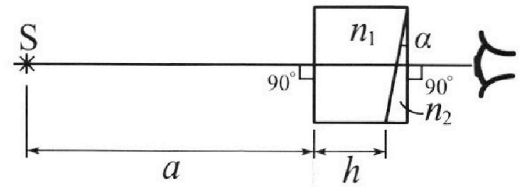


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_{\text{в}} = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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

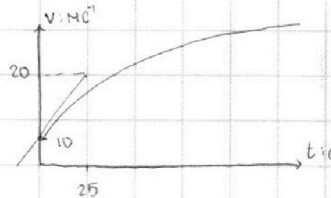
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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  $\alpha$  - коэфф пропорциональности между  
силой сопротивления и скоростью.

Конечная скорость =  $25 \text{ мс}^{-1}$  (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  $d\nu = \frac{\nu}{4} \cdot p(\nu) \cdot k = \frac{\nu}{4} \cdot k \cdot p(\nu)$  просуммируем.

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

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

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

$$p_{\text{ниж}} \cdot \frac{11}{20} V = \nu_{\text{CO}_2} R T - \frac{kV R T}{4} \cdot (p_{\text{ниж}} - 3p_0)$$

$$\frac{11}{20} p_{\text{ниж}} \cdot V = \nu_{\text{CO}_2} R T - \frac{kV R T}{4} p_{\text{ниж}} + \frac{3kV R T}{4} p_0 \Rightarrow p_{\text{ниж}} = \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T + \frac{3kV R T}{4} p_0}{\frac{11}{20} V + \frac{kV R T}{4}}$$

$$p_{\text{ниж}} = \frac{\frac{10}{3} \nu_{\text{CO}_2} R T}{\frac{11}{20} + \frac{kR T}{4}} \Rightarrow \frac{\nu_{\text{CO}_2} R T + \frac{3kV R T}{4} p_0}{\frac{11}{20} + \frac{kR T}{4}} = \frac{10 \nu_{\text{CO}_2} R T}{3}$$

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

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

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

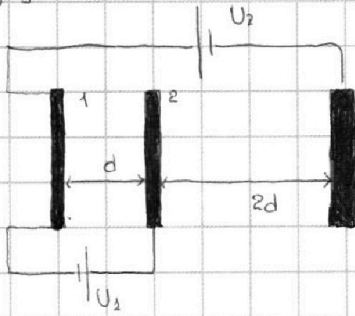
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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  $\varphi$  - потенциал пластины 1  $\Rightarrow$   
потенциал сетки 2  $= \varphi + U$  Потенциал  
сетки 3:  $\varphi - 3U$

$\rightarrow$  Напряженность поле между пластинами (сетками)  
1 и 2:  $\frac{U}{d}$

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:

$$K_1 - K_2 = (\varphi_1 - \varphi_2)q = \frac{qU}{d} \quad \text{Ответ: } K_1 - K_2 = qU$$

3) Запишем закон изменения энергии.

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

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

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

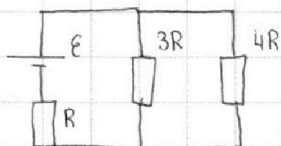


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



задача 4.

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



Найдем эквивалентное сопротивление.

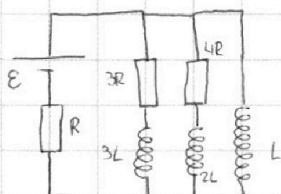
для параллельного участка:  $\frac{4R \cdot 3R}{4R + 3R} = \frac{12R}{7}$

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

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

Ответ:  $I_{30} = \frac{4E}{19R}$

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



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

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

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

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:  $I_{10} = \frac{4E}{19R}$ ;  $I_{20} = \frac{3E}{19R}$  (через  $4R$ );  $I_{30} = 0$

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

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

В силу последовательного соединения резистора и катушки, а также параллельности соединения участков 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  $3R$ .

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

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

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

Ответ:  $\frac{31LE}{57R^2}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

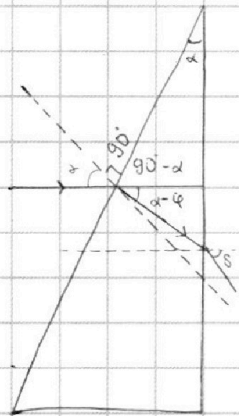
1  2  3  4  5  6  7



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 -  $\varphi$ . Так  $\varphi$  мал  $\sin \varphi \approx \tan \varphi \approx \varphi$

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

З-н Снеллиуса:

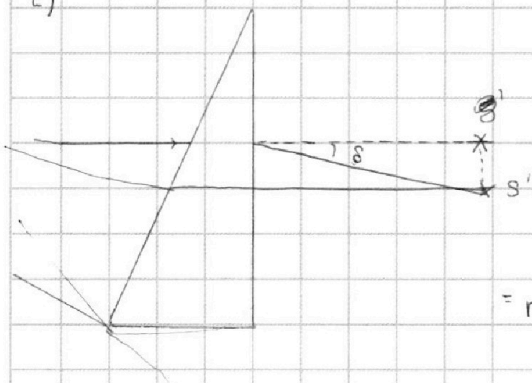
$$\sin \alpha = n_2 \sin \varphi \Rightarrow \alpha = n \varphi$$

Для второй границы:

$n \sin(\alpha - \varphi) = \sin \delta$ , где  $\delta$  - 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)



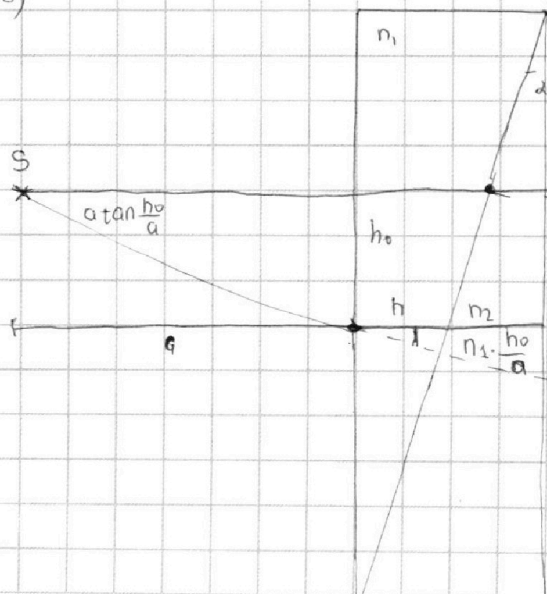
Рассмотрим луч, который пришел под углом  $90^\circ$  к второй поверхности. Он вышел под углом  $n\alpha$

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

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

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



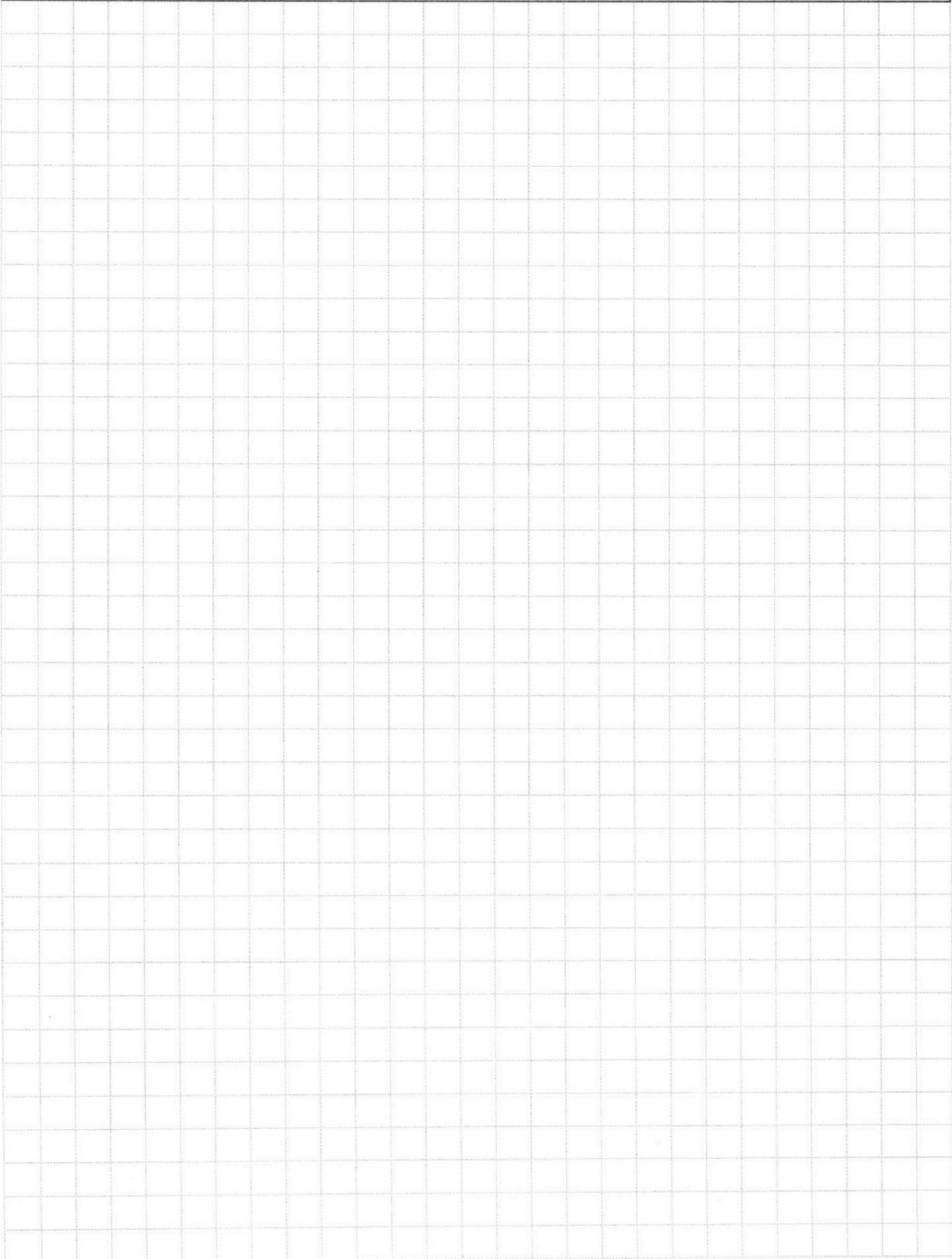
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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



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



$$\frac{104 \times 17 \times 0,7 \times 2,4}{0,7 \times 2 \times 90}$$

$$\frac{1,8}{10,4 \times 17 \times 2,4}$$

$$90 \times 2$$

$$\frac{6,56 \times 104}{2624}$$

$$\frac{656}{2624}$$

$$\frac{32}{1,44}$$

$$\frac{17}{1006}$$

$$\frac{48}{24}$$

$$1) \frac{qU}{d} = ma \Rightarrow a = \frac{Uq}{md}$$

$$2) \frac{mv^2}{2} - qU = K_2 \quad K_1 - K_2 = \frac{qU}{d}$$

$$K_1 + \frac{4qU}{d} = K_2$$

$$K_1 - K_2 = -4qU$$

$$3) \frac{mv_0^2}{2} - \frac{qU \cdot d}{4} = \frac{mv^2}{2}$$

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

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

Рверх.  $\frac{V}{2} = \nu_{не} \cdot R \cdot T_0$   
 Рверх.  $\frac{V}{5} = \nu_{не} \cdot R \cdot T_{кон}$   
 $\Rightarrow \frac{P_{верх}}{P_{ниж}} = \frac{\nu_{не}}{\nu_{со2}}$   
 Рниж.  $\frac{V}{2} = \nu_{со2} \cdot R \cdot T_0$

$$W \cdot P \cdot K \leftarrow 189$$

$$45,9$$

$$-42$$

$$\frac{17}{65,1571}$$

$$\frac{30}{24}$$



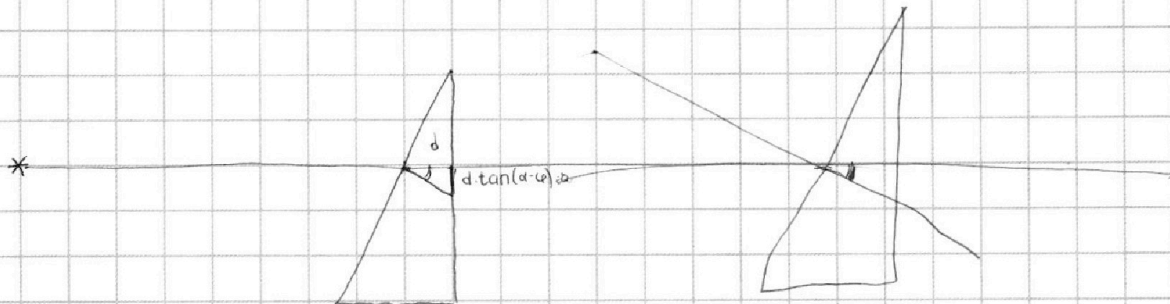
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

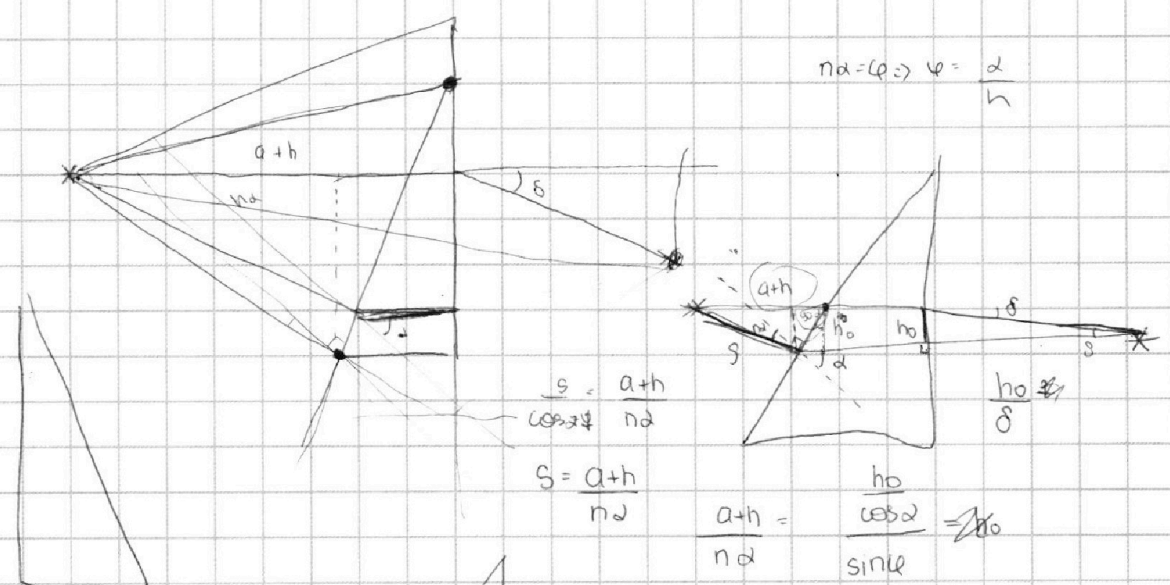
- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!



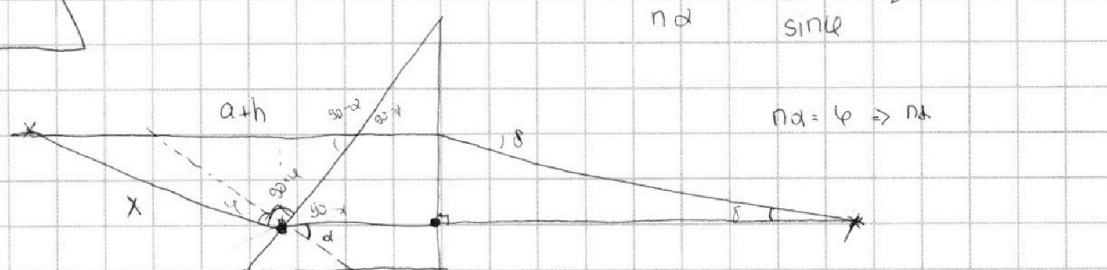
$$\left( \frac{11\sqrt{2} + \sqrt{17}}{20} \right)$$



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

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

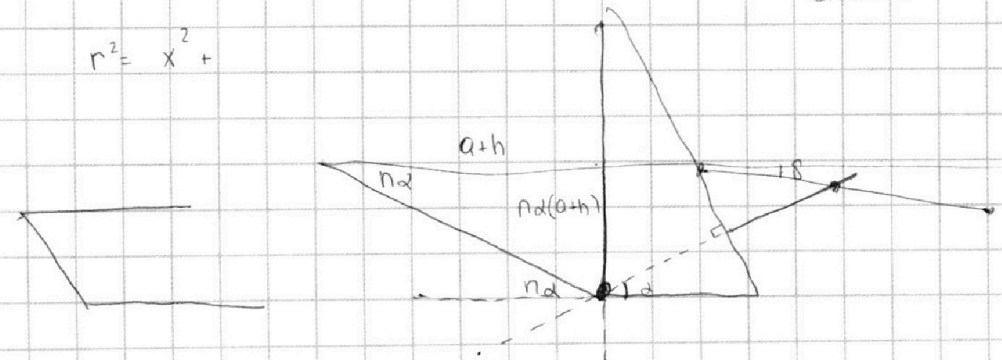
$$\frac{a+h}{n\alpha} = \frac{ho}{\cos \alpha} \Rightarrow ho = \frac{(a+h) \cos \alpha}{n\alpha}$$



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

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

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



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.

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

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

$$n\alpha =$$

$$(\alpha - \delta) = n\alpha$$

$$(1 - n)\alpha = \delta$$

$$n\varphi = \alpha$$

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

$$n\alpha = \alpha + \delta$$

$$\delta = (n-1)\alpha$$

$$n(\alpha + \varphi) = \delta$$

$$n\alpha + \alpha = \delta$$

$$\delta = \alpha(n+1)$$

$n\alpha = \delta$

