



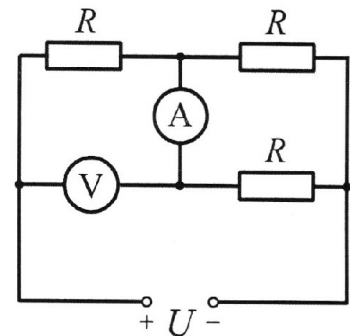
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2025

Вариант 09-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. В электрической цепи (см. схему на рис.) сопротивления трех резисторов одинаковы и равны $R = 100$ Ом. Цепь подключена к источнику постоянного напряжения $U = 30$ В. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало по сравнению с R , сопротивление вольтметра очень велико по сравнению с R .



✓1 Найдите силу I тока, текущего через источник.

✓2 Найдите показание U_v вольтметра.

✓3 Какая мощность P рассеивается в цепи?

5. В калориметр, содержащий воду при температуре $t_1 = 10$ °С, помещают лед. Масса льда равна массе воды. После установления теплового равновесия отношение массы льда к массе воды $n = 9/7$.

✓1. Найдите долю δ массы воды, превратившейся в лед.

2. Найдите начальную температуру t_2 льда.

В теплообмене участвуют только лед и вода. Удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,36 \cdot 10^5$ Дж/кг, температура плавления льда $t_0 = 0$ °С.



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 09-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Шайба массой $m=0,2$ кг движется поступательно по гладкой горизонтальной плоскости. Скорость шайбы изменяется со временем по закону $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right)$, здесь $\vec{v}_0$ – вектор начальной скорости, модуль начальной скорости $v_0 = 4$ м/с, постоянная $T = 2$ с.

✓1. Найдите путь S , пройденный шайбой за время от $t = 0$ до $t = 4T$.

✓2. Найдите модуль F горизонтальной силы, действующей на шайбу.

✓3. Найдите работу A силы F за время от $t = 0$ до $t = T$.

2. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Через $T = 4$ с мяч падает на площадку. Известно, что отношение максимальной и минимальной скоростей мяча в процессе полета $\frac{v_{MAX}}{v_{MIN}} = n = 2$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

✓1. Найдите максимальную высоту H полета.

✓2. Найдите горизонтальную дальность S полета.

✓3. Найдите радиус R кривизны начального участка траектории.

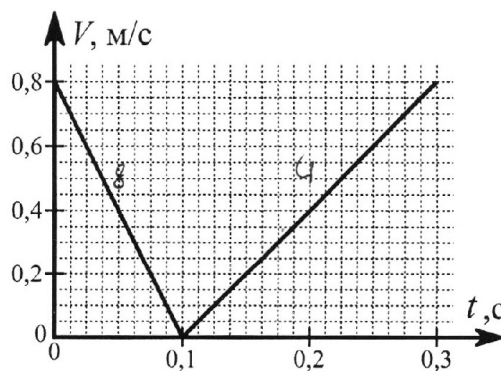
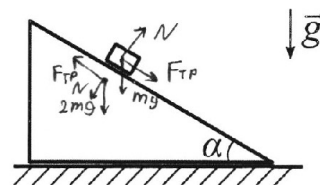
$$\frac{v^2}{2} = gH; \quad H = \frac{v^2}{2g} = \frac{400}{2 \cdot 10} = \frac{400}{20} = 20$$
$$\frac{\frac{1}{3} + 1}{\frac{1}{3}} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{1}{3}} = 4$$
$$\frac{40^2}{5} = \frac{1600}{5} = 320 + \frac{1600}{5} = 320 + 320 = 640$$

3. На шероховатой горизонтальной плоскости стоит клин. Шайбу кладут на шероховатую наклонную плоскость клина и сообщают шайбе начальную скорость. Шайба движется по покоящемуся клину. Часть зависимости модуля скорости шайбы от времени представлена на графике к задаче. Поступательное движение шайбы до и после остановки происходит по одной и той же прямой. Масса шайбы $m = 0,2$ кг, масса клина $2m$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

✓1. Найдите $\sin \alpha$, здесь α – угол, который наклонная плоскость клина образует с горизонтом.

✓2. Найдите модуль $F_{тр}$ наибольшей силы трения, с которой горизонтальная плоскость действует на клин в процессе движения шайбы по клину при $0 < t < 0,3$ с.

3. При каких значениях коэффициента μ трения скольжения клина по горизонтальной плоскости клин будет находиться в покое при $0 < t < 0,3$ с?





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

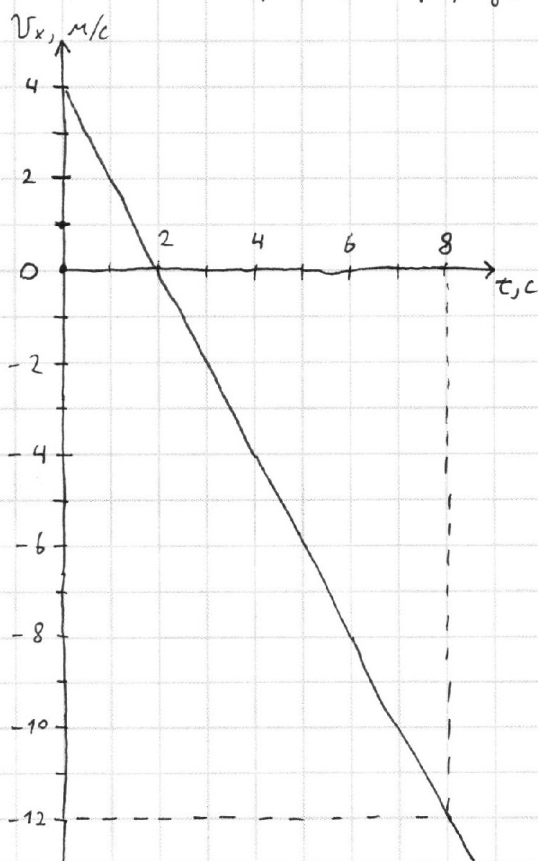
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$\vec{v}(t) = \vec{v}_0(1 - \frac{t}{T})$; введём ось Ox , вдоль которой будет двигаться шайба:



Тогда в проекции на Ox ~~представим~~: $v_x(t) = v_{0x}(1 - \frac{t}{T})$,
из v_x и v_{0x} - ~~координат~~ проекции соотв. скоростей шайбы на ось Ox .
П.к. Ox совпадает с $\vec{v}_0$, то $v_x = v$ и $v_{0x} = v_0 \Rightarrow v(t) = v_0(1 - \frac{t}{T})$.
 $v(t) = v_0 - v_0 \cdot \frac{t}{T}$; по ум: $v_0 = 4 \text{ м/с}$; $T = 2 \text{ с} \Rightarrow v(t) = 4 \text{ м/с} - 4 \text{ м/с} \cdot \frac{t}{2 \text{ с}} \Rightarrow$
 $\Rightarrow v(t) = 4 \text{ м/с} - 2 \text{ м/с}^2 \cdot t$. Видно, что зависимость $v(t)$ - линейная и
будет $v_x(t) = v_{0x} + a_x t$, где a_x - ~~ускорение~~ ^{проекция} ускорения тела. Тогда $a_x = -2 \text{ м/с}^2$ и
модуль ^{вектора} ускорения $\vec{a}$ есть 2 м/с^2 . По второму зок. Ньютона: $\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow F = ma =$
 $= 0,2 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}^2 = \boxed{0,4 \text{ Н}}$.

Вернёмся к скорости: изобразим график $v_x(t) = v(t)$.



Пусть, пройденный шайбой, будет

модуль модуль по этим графиком

то есть искомый $S = \frac{4 \cdot 2}{2} \text{ м} + \frac{6 \cdot 12}{2} \text{ м} =$

$= 4 \text{ м} + 36 \text{ м} = \boxed{40 \text{ м}}$ (модуль от $t=0$ до $t=4T=8 \text{ с}$)

Известно, что работа или ~~модуль~~ есть

$\vec{A} = \vec{F} \Delta r$, где Δr - перемещение

тела. В проекции на Ox , т.к. $\vec{F}$

совпадает с Ox , то $A = FS'$, где

A - искомая работа, S' - путь, пройденный

телом за время от $t=0$ до $t=T=2 \text{ с}$.

Тогда S' найдём из графика: $S' = \frac{4 \cdot 2}{2} \text{ м} = 4 \text{ м}$.

Если F была найдена ранее; тогда

$A = 0,4 \text{ Н} \cdot 4 \text{ м} = \boxed{1,6 \text{ Дж}}$.

ОТВЕТ:

1) $S = 40 \text{ м}$

2) $F = 0,4 \text{ Н}$

3) $A = 1,6 \text{ Дж}$

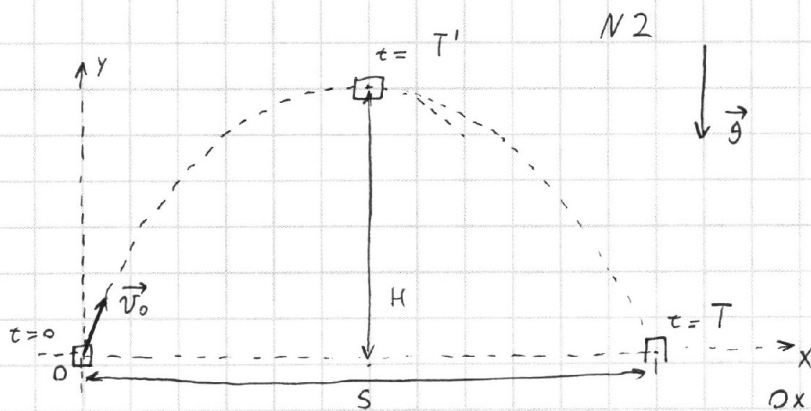


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Определим систему координат xOy , где начало отсчёта расположено в начале пути тела.

В проекции на ось Ox движение является равномерным.

Ох:

$$v_x = v_{0x}$$

$$x = v_{0x} t$$

Oy:

$$v_y = v_{0y} - g t$$

$$y = v_{0y} t - \frac{g t^2}{2}$$

где v_x - проекция $\vec{v}$ на Ox , v_{0x} - проекция $\vec{v}_0$ на Ox
 v_y - проекция $\vec{v}$ на Oy , v_{0y} - проекция $\vec{v}_0$ на Oy
 $\vec{v}$ - вектор скорости тела; $\vec{v}_0$ - вектор нач. скорости тела
 t - время, прошедшее с начала движения тела.

~~Решение задачи. По условию, тело движется по параболе. Начальная скорость v_0 направлена под углом α к горизонту. Тело движется в вертикальной плоскости.~~

~~По теореме Пифагора: $v^2 = v_x^2 + v_y^2$, где v - модуль $\vec{v}$. Поскольку $v_x = v_{0x} = \text{const}$, то минимум v достигается при минимуме v_y , а максимум - при максимуме v_y .~~

~~$v_y = 0$ в наивысшей точке траектории, а максимум v_y достигается в нижней точке (-а), но есть в начале/конце пути и равна v_{0y} .~~

~~Потому выходит, что $v_{\min}^2 = v_{0x}^2$ и $v_{\max}^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$. Это понадобится позже.~~

~~Выполним, что $v_y = v_{0y} - g t$. Это есть для всякой точки траектории:~~

~~$0 = v_{0y} - g T'$, где T' - время, в которое тело было в наивысшей точке траектории.~~

~~По симметрии движения и в аналогичных траекториях,~~

~~как минимум g всегда направлено вниз, так же, так же и v_y~~

~~обратно. Тогда $T = 2 T' \Rightarrow T' = \frac{T}{2} = \frac{4}{2} \text{ с} = 2 \text{ с} \Rightarrow v_{0y} = g T' = 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с} = 20 \text{ м/с}$.~~

~~Подставим в формулу для y и найдем H : $H = v_{0y} T' - \frac{g T'^2}{2} = 20 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} - \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ с}^2}{2} = (20 \cdot 2 - 20) \text{ м} = 20 \text{ м}$~~

~~Вспомогательные, что $v_{\min}^2 = v_{0x}^2$ и $v_{\max}^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$; можем выразить:~~

$$\left(\frac{v_{\max}}{v_{\min}} \right)^2 = n^2 = \frac{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}{v_{0x}^2} \Rightarrow v_{0x}^2 \cdot n^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2 \Rightarrow v_{0x}^2 (n^2 - 1) = v_{0y}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{0x} = \frac{v_{0y}}{\sqrt{n^2 - 1}} = \frac{20}{\sqrt{4 - 1}} = \frac{20}{\sqrt{3}} \text{ м/с.}$$

по усл.

Подставим в формулу для x и найдем S :

$$S = v_{0x} T = \frac{20}{\sqrt{3}} \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = \frac{80}{\sqrt{3}} \text{ м.}$$

(М. СЛЕА. СТР.



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐

2
☒

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

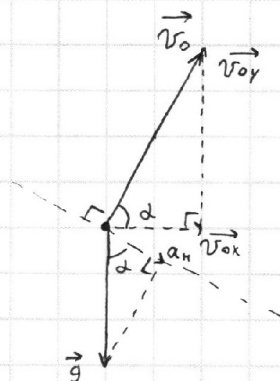
7
☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!

По определению, радиус кривизны R такой, что $a_n = \frac{v^2}{R}$, где a_n — ускорение тела, направленное по $\perp$ к траектории, а v — скорость тела.

Найдем тело в начальный момент времени!



По теореме Пифагора: $v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2 = 7$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2} = 20 \text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} + 1} = \frac{40}{\sqrt{3}} \text{ м/с.}$$

$$\cos \alpha = \frac{v_{0x}}{v_0} = \frac{a_n}{g} \Rightarrow a_n = g \cdot \frac{v_{0x}}{v_0} \quad (= 10 \cdot \frac{\frac{20}{\sqrt{3}}}{\frac{40}{\sqrt{3}}} \text{ м/с}^2 = 5 \text{ м/с}^2)$$

$$R = \frac{v_0^2}{a_n} = \frac{v_0^2}{g \cdot \frac{v_{0x}}{v_0}} = \frac{v_0^3}{g \cdot v_{0x}} = \frac{\frac{40^3}{\sqrt{3}}}{10 \cdot \frac{20}{\sqrt{3}}} \text{ м} = \frac{40^2 \cdot \sqrt{3}}{200 \cdot \sqrt{3}} \text{ м} = \frac{1600}{200} \text{ м} = 8 \text{ м}$$

$$= \frac{4^3 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 2 \cdot 3} \text{ м} = \frac{10 \cdot 2^6}{2 \cdot 3} \text{ м} = \frac{10 \cdot 2^5}{3} \text{ м} = \frac{320}{3} \text{ м} = 106 \frac{2}{3} \text{ м}$$

Ответ:

1) $H = 20 \text{ м}$

2) $S = \frac{80}{\sqrt{3}} \text{ м} = \frac{80\sqrt{3}}{3} \text{ м}$

3) $R = \frac{320}{3} \text{ м} = 106 \frac{2}{3} \text{ м}$





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 2

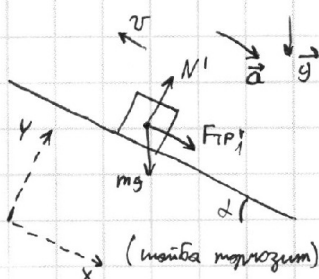
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

N3

Физно, что график $v(t)$ увеличивается в $t = 0,1 \text{ c}$. Из этого следует, что шайба начала характер движения, при этом график увеличивается резко в $v = 0 \Rightarrow$ что шайба начала характер движения $\Rightarrow$ сначала она двигалась вверх по клизу, а потом движется по клизу вниз, т.к. иначе бы она не разогнулась и изгиб не было бы.

В условии сказано, что в процессе движения шайбы клиз поворачивается.

Поэтому рассмотрим его пока не будет: только шайбу. В обоих случаях $F_{TP} = N'N'$, когда шайба едет поперек:



По II-ому закону Ньютона:

$$Ox: \cancel{N' \sin \alpha} + F_{TP} + mg \sin \alpha = ma_1$$

$$Oy: N' - mg \cos \alpha = 0$$

$$N' + mg \sin \alpha = ma_1, \quad g \sin \alpha + g \sin \alpha = a_1$$

$$N' = mg \cos \alpha$$

Обозначения:

N' - норм. реакц. сила

F_{TP} - сила трения шайбы о клиз

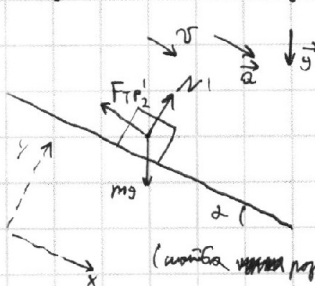
μ' - коэф. трения

шайбы о клиз

a_1 - ускорение, когда шайба едет вверх

a_2 - когда едет вниз.

Когда шайба едет вниз:



По II-ому закону Ньютона:

$$Ox: -F_{TP} + mg \sin \alpha = ma_2$$

$$Oy: N' - mg \cos \alpha = 0$$

$$-N' + mg \sin \alpha = ma_2, \quad -g \sin \alpha + g \sin \alpha = a_2$$

$$N' = mg \cos \alpha$$

Искомые найдем из уравнений: $2g \sin \alpha = a_1 + a_2 = 7$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2g}$$

Из графика найдем a_1 и a_2 (помним, что это модули ускорения!)

$$a_1 = \left| \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \right| = \left| \frac{-0,8 \text{ м/с}}{0,1 \text{ c}} \right| = 8 \text{ м/с}^2$$

$$a_2 = \left| \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \right| = \left| \frac{0,8 \text{ м/с}}{0,2 \text{ c}} \right| = 4 \text{ м/с}^2$$

$$\sin \alpha = \frac{4 \text{ м/с}^2 + 8 \text{ м/с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = \frac{12}{20} = 0,6$$

Тогда найдем $\cos \alpha$:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8$$

Тогда найдем:

$$F_{TP1} = m(a_1 - g \sin \alpha)$$

$$F_{TP2} = m(g \sin \alpha - a_2)$$

См. ЧАСТ. СТР.

$$\textcircled{3} \mu \geq \frac{16}{63}$$

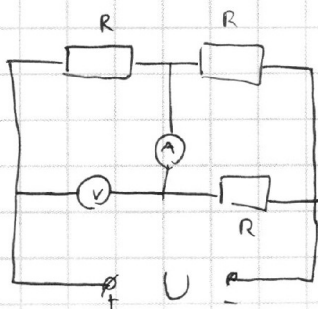


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

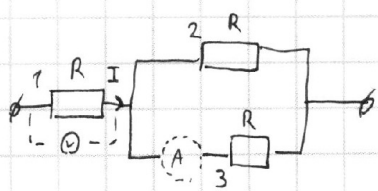
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



N4

Покажем R_V (сопротивление вольтметра) $\gg R$ по усл.
 R_A (сопротивление амперметра) $\ll R$
 Тогда по V ток не меняем $\Rightarrow$ по закону токов
 в цепи, а A можно пропустить ток през.



Резисторы 2 и 3 без парал. $\Rightarrow$
 $= R_{23}$ (из экв. конт.) $= \frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{1}{2} R$

Резистор 1 соед. с ними парал. $\Rightarrow$
 $\Rightarrow R_0$ (общее сопр. цепи) $= R + R_{23} = \frac{3}{2} R$.

По зак. Ома: $U = IR_0 \Rightarrow I = \frac{U}{R_0} = \frac{2}{3} \frac{U}{R} = \frac{2}{3} \frac{30}{100} A = 0,2 A$

Видно, что вольтметр V измеряет полное напряжение на 1-ом резисторе $\Rightarrow$
 $\Rightarrow U_B = RI = (100 \cdot 0,2) B = 20 B$.

Общая мощность, рассеиваемая в цепи, есть $P = IU = (0,2 \cdot 30) Bt = 6 Bt$.

ВМ

От вет:

- 1) $I = 0,2 A$
- 2) $U_B = 20 B$
- 3) $P = 6 Bt$

N5 НА ОБР. СТОРОНЕ



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА

1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

N5

Первоначально в котле было m воды. Тогда вода была тоже m (по усл.).

После перемешивания в котле было $2m$ воды, то есть, по усл.

отношение массы воды к массе льда стало $n = \frac{2}{1} \frac{m}{m}$ (поскольку $\rho_{\text{воды}} = \frac{m}{m}$), а

$$m_{\text{л}} + m_{\text{в}} = 2m, \text{ то } m_{\text{в}} \cdot n = m_{\text{л}} \Rightarrow 2m = m_{\text{в}}(1+n) \Rightarrow m_{\text{в}} = m \cdot \frac{2}{1+n} = m \cdot \frac{2}{1+\frac{2}{1}} = m \cdot \frac{2}{2} = m, \text{ а } m_{\text{л}} = 2m - m_{\text{в}} = m(2 - \frac{2}{2}) = \frac{2}{2}m.$$

Итого:

	было	стало
вода	m	$\frac{2}{2}m$
лед	m	$\frac{2}{2}m$

Видно, что $\frac{1}{2}m$ воды перешла из состояния вода в лед.

Этот же и искомая $\delta = \frac{1}{2} \frac{m}{m} = \frac{1}{2}$

Затем ур-не теплового баланса: $Q_{\text{пл}} = Q_{\text{от}} + Q_{\text{ка}}$ (теплота поглощенная равна отданной)

$$Q_{\text{пл}} + \text{...} = Q_{\text{от}} + Q_{\text{ка}}$$

↑ лед тает

↑ лед тает

↑ вода остывает

↑ вода уменьшается

$$10 \cdot 4,2 \cdot 10^3 + 3,36 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{2} = 7 \cdot 0,48 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2}$$

$$m_{\text{л}}(t_0 - t_2) = m_{\text{в}}(t_1 - t_0) + m_{\text{в}}\delta; t_0 = 0^\circ\text{C} \Rightarrow t_0 - t_2 = -t_2 \text{ и } t_1 - t_0 = t_1$$

$$-t_2 c_{\text{л}} = t_1 c_{\text{в}} + \delta$$

$$t_2 = - \frac{t_1 c_{\text{в}} + \delta}{c_{\text{л}}} = - \frac{10 \cdot 4,2 \cdot 10^3 + 3,36 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{2}}{2,1 \cdot 10^3} ^\circ\text{C} = -20^\circ\text{C} - \frac{7 \cdot 0,48 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2}}{2,1 \cdot 10^3} ^\circ\text{C}$$

$$= -20^\circ\text{C} - \frac{48 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2}}{210} ^\circ\text{C} = -20^\circ\text{C} - \frac{48 \cdot 100}{210} ^\circ\text{C} = -40^\circ\text{C}$$

Ответ:

$$1) \delta = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$2) t_2 = -40^\circ\text{C}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

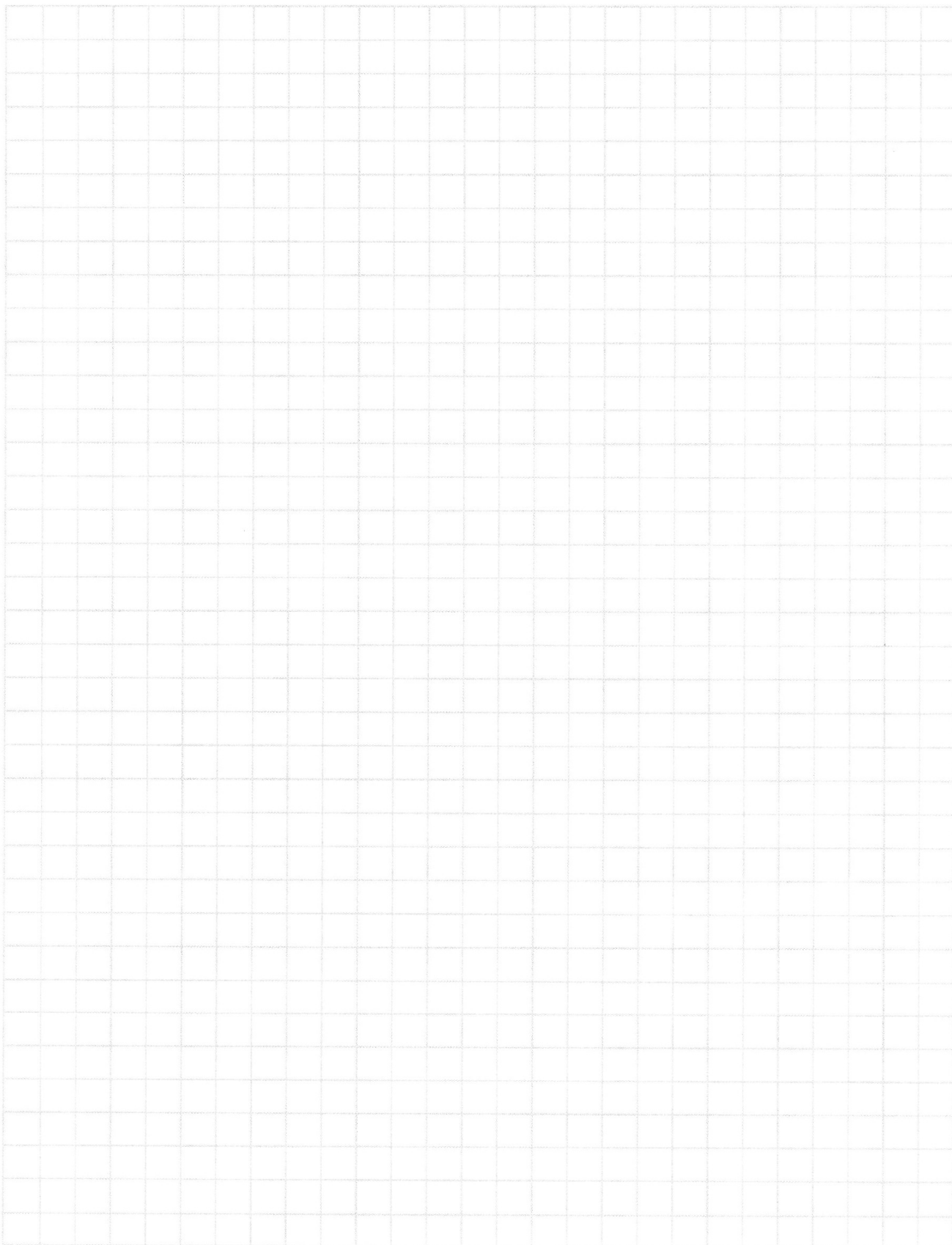
5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно**. Порча QR-кода недопустима!

