



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-04



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

1. Снаряд массой $M = 5$ кг летит по вертикали и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, летящих во всевозможных направлениях с равными по модулю скоростями. Через $t_1 = 0,6$ с после разрыва все осколки находятся в полете, в этот момент один из осколков движется по вертикали вниз, импульс осколка $P_1 = 50$ кг·м/с.

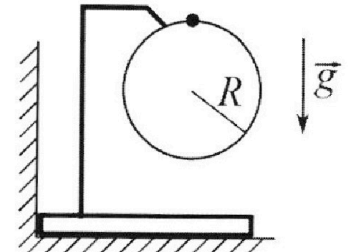
1) Найдите модуль P_2 суммарного импульса \vec{P}_2 всех остальных осколков в этот момент времени. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

2) Найдите угол α между векторами \vec{P}_2 и \vec{g} в этот момент времени.

Продолжительность полета осколков, упавших на горизонтальную поверхность на максимальном расстоянии от точки разрыва, $T = 3$ с.

3) На каком максимальном расстоянии d от точки разрыва такие осколки упали на горизонтальную поверхность? Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Брусок установлен вплотную к вертикальной стенке (см. рис.). На бруске закреплено в вертикальной плоскости кольцо радиуса $R = 0,6$ м, на которое надет шарик. Массы шарика и бруска одинаковы и равны $m = 0,2$ кг. Кольцо и держатель легкие. Трения нет. Из верхней точки кольца шарик скользит с пренебрежимо малой начальной скоростью.



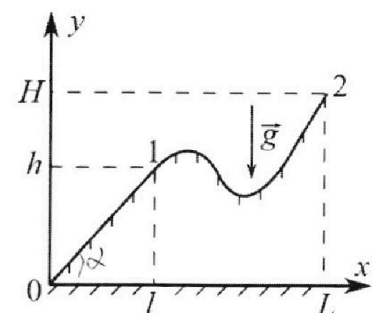
1) Найдите равнодействующую \vec{F} сил, приложенных к шарик в тот момент, когда сила, с которой вертикальная стенка действует на брусок, обращается в ноль. В ответе укажите модуль F и направление вектора \vec{F} .

2) Найдите горизонтальное перемещение S шарика к этому моменту времени.

3) Найдите скорость V шарика в тот момент, когда скорость бруска наибольшая. Брусок безотрывно движется по гладкой горизонтальной плоскости.

Все перемещения происходят в одной вертикальной плоскости. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². В процессе движения брусок не отрывается от гладкой горизонтальной плоскости.

3. На рисунке к задаче показан в вертикальной плоскости профиль горки, на которую школьник втаскивает санки. Масса санок $m = 7$ кг, вертикальная координата точки 1 $h = 5$ м. Из точки 1 санки съезжают с нулевой начальной скоростью и достигают у основания горки в точке 0 скорости $V = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения санок по горке одинаков на всей поверхности горки. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



1) Какую работу A_1 следует совершить, чтобы медленно втащить санки на горку из точки 0 в точку 1 по линии скатывания, прикладывая силу вдоль плоской поверхности горки?

Школьник медленно перемещает санки по горке из точки 1 в точку 2. На этом перемещении работа внешней силы $A_2 = 1,4$ кДж.

2) На какую высоту H школьник втащил санки?

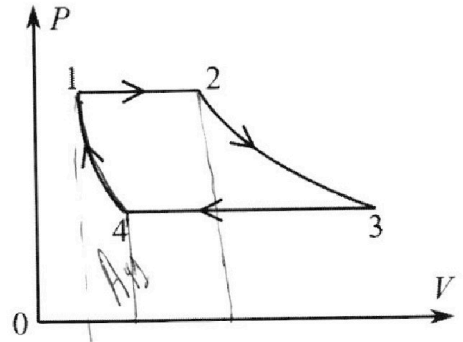
Горизонтальные координаты точек 1 и 2 связаны соотношением $L = 6l$. На каждом элементарном перемещении вектор силы, которую школьник прикладывает к санкам, и вектор перемещения санок лежат на одной прямой. Все перемещения происходят в одной вертикальной плоскости.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-04

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

4. В цикле 1-2-3-4-1 тепловой машины две изобары и две изотермы (см. рис). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ. В процессе изобарного расширения объем газа увеличивается в четыре раза. В процессах изотермического расширения и изобарического сжатия газ совершает одинаковую по модулю работу A .

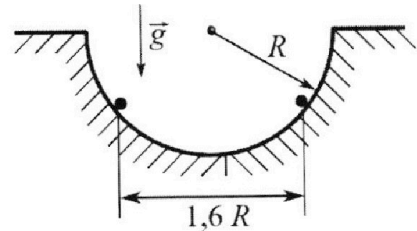


1) Найдите количество Q_{34} теплоты, отведенной от газа в процессе изобарического сжатия ($Q_{34} > 0$).

2) Найдите количество $Q_{\text{подв}}$ теплоты, подведенной к газу в процессах 1-2-3.

3) Найдите КПД η цикла.

5. В гладкой горизонтальной плоскости сделана полусферическая лунка радиуса R , в которой на одном горизонтальном уровне удерживаются два заряженных шарика. Заряд каждого шарика Q , расстояние между шариками $1,6R$. Шарики одновременно отпускают, и они вылетают из лунки. Отсчитанная от края лунки максимальная высота, на которую поднимается в полете каждый шарик, равна $2R$. Шарики отрываются от гладких стенок лунки у краев.



1) Через какое время T после отрыва шарики впервые поднимутся на максимальную высоту?

2) Найдите массу m каждого шарика.

3) Найдите наибольшую скорость V каждого шарика после вылета из лунки. Соударения шариков с горизонтальной плоскостью абсолютно упругие.

Ускорение свободного падения g . Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k .

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

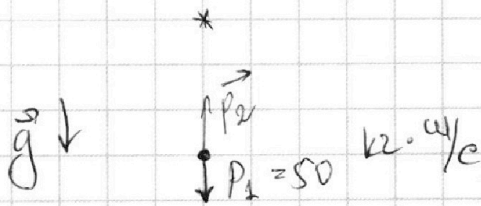
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

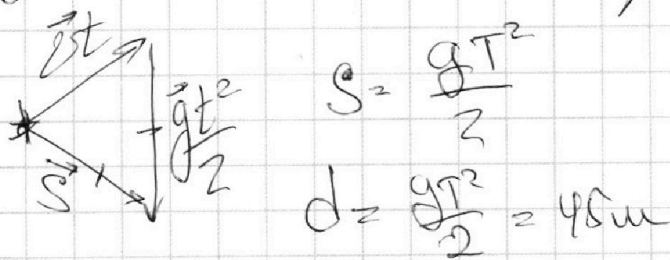
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Через $t_1 = 0,6$ с суммарный импульс системы равен $p = mg t_1$ и направлен вертикально вниз $p = 30 \text{ кг} \cdot \text{м/с} \Rightarrow p_2 = 20 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ и направлен вверх.

2) Угол α между векторами \vec{p}_2 и \vec{g} равен 180° .

3) Известно, что ось осевого четки на максимальное расстояние, то траектория перемещений этой осевой равнобедренная.



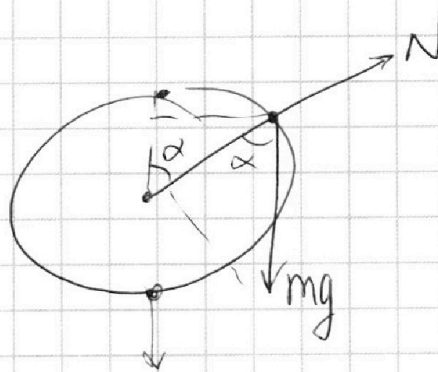
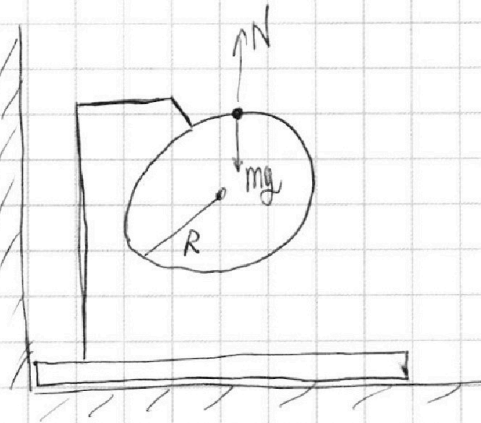
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input 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!



Рассмотрим, силу действующую на шарик.

$$N - mg \cos \alpha = \frac{v^2}{R} m = \frac{v^2}{R} m$$

Из закона сохранения энергии:

$$\frac{v^2}{2} = (R - R \cos \alpha) mg \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = 2R(1 - \cos \alpha)g$$

$$N - mg \cos \alpha = 2(1 - \cos \alpha)mg \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = 2mg - 2mg \cos \alpha + mg \cos \alpha$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

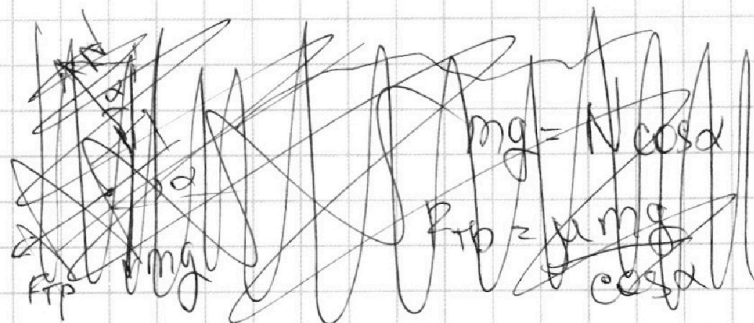
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

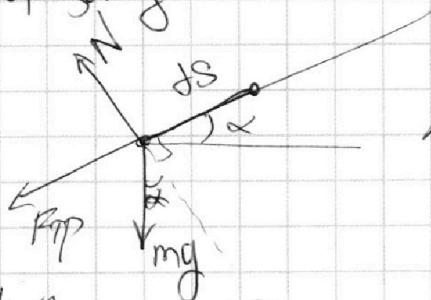
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Заменим закон сохранения энергии гравитацией,
учитывая работу силы трения.

$$mgh = \frac{v^2 m}{2} + \int S F_{\text{тр}}$$



Рассмотрим участок длины ds и кажемось α
к горизонту.



В проекции на ось,
перпендикулярную поверхности:

$$mg \cdot \cos \alpha = N$$

$$dA_{\text{тр}} = - ds \cdot \mu mg \cos \alpha = - \mu mg \cdot dx \Rightarrow$$

$$A_{\text{тр}} \Rightarrow mgh = \frac{v^2 m}{2} + \mu mg(l - 0)$$

$$\frac{gh - \frac{1}{2}v^2}{g} = \mu l \Rightarrow \mu l = 3,2 \text{ м} \Rightarrow$$

$$1) \Rightarrow A_1 = mgh + mg\mu l = mg(h + \mu l) =$$
$$= 574 \text{ Дж}$$

$$A_2 = mg(H - h) + 5mg\mu l \Rightarrow$$

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!

$$\frac{A_2 + mgh - 5mg\mu l}{mg} = H$$

$$2) \frac{A_2}{mg} + h - 5\mu l = H \Rightarrow H = \frac{A_2}{mg} + h - 5\mu l$$

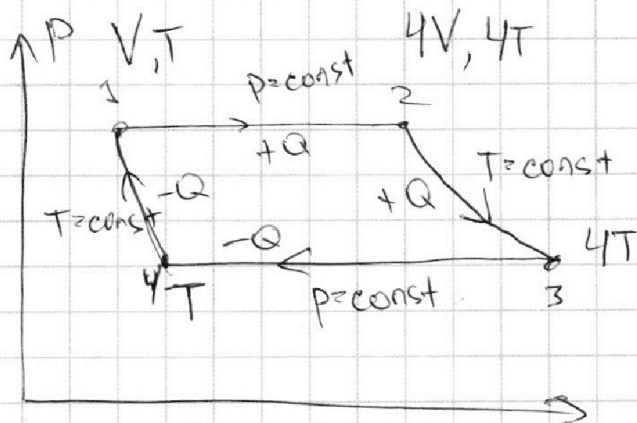
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$Q_{34} = \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) + A_{34}$$

$$A_{34} = p(V_4 - V_3) \quad \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) = \frac{3}{2} p(V_4 - V_3)$$

$$Q_{34} = \frac{3}{2} A_{34} + A_{34} \quad -A_{34} = A$$

$$1) Q_{34} = -\frac{5}{2} A \Rightarrow |Q_{34}| = \frac{5}{2} A$$

~~Решение~~ Расставим температуру газа в каждой точке, исходя из процессов (на рисунке T-температура в точке 1)

$$Q_{34} = -\frac{5}{2} A \quad Q_{23} = A$$

$$Q_{32} = \frac{3}{2} p(4V - V) + p(4V - V) = \frac{15}{2} pV = \frac{15}{2} \nu RT$$

$$-A = p_3(V_4 - V_3) = -\nu R \cdot 3T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} A = \nu RT$$

$$2) Q_{12} = \frac{5}{2} A \quad Q_{1234} = \frac{5}{2} A + A = \frac{7}{2} A$$

$$\eta = \frac{A - A + A_{12} + A_{41}}{Q_{12} + Q_{23}} = \frac{A_{12} + A_{41}}{Q_{12} + Q_{23}}$$

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 checked="" 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!

$$A_{12} = 30RT = A$$

$$A_{42} = Q_{41} = \frac{5}{2}A - A - \frac{5}{2}A = -A;$$

$$3) \eta = 0$$

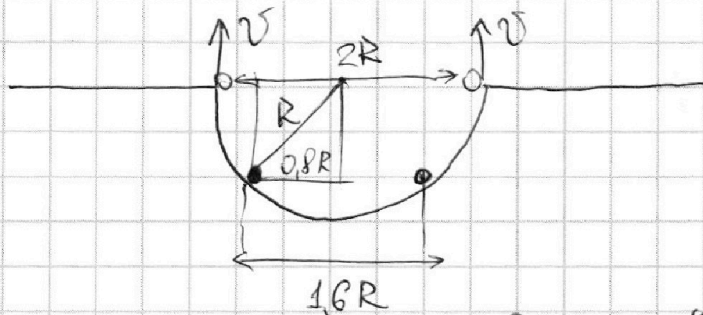
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$A_{эл} = Q \Delta \varphi = Q \left(k \frac{Q}{1,6R} - k \frac{Q}{2R} \right) =$$

$$= \frac{k Q^2}{R} \left(\frac{1}{1,6} - \frac{1}{2} \right) = k \frac{Q^2}{R} \left(\frac{5}{8} - \frac{4}{8} \right) = k \frac{Q^2}{8R}$$

$$A_{эл} = m g \Delta h + \frac{v^2 m}{2}$$

$$\Delta h = R^2 - (0,8R)^2 = 0,36R^2 = 0,6R$$

$$2R = \frac{v^2}{2g} \Rightarrow v^2 = 4Rg \Rightarrow v = 2\sqrt{Rg}$$

$$1) T = \frac{v}{g} = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$A_{эл} = m \left(0,6Rg + \frac{1}{2} 4Rg \right) = 2,6Rg m$$

$$2) m = \frac{k Q^2}{2,6Rg \cdot 8R} = \frac{k Q^2}{20,8R^2 g} = \frac{5k Q^2}{104R^2 g}$$

Так как соударения абсолютно упругие шарики продолжают двигаться, а максимальная скорость будет достигнута в нижней точке траектории и, когда потенциал шарика будет равен нулю.

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 checked="" 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!

$$A_{эл} = Q \Delta \varphi = Q \left(\frac{kQ}{2R} - 0 \right) = \frac{kQ^2}{2R}$$

Электрические силы будут действовать только
по оси x (горизонтальной), разной марки \Rightarrow

$$\Rightarrow \frac{kQ^2}{2R} + mg2R = \frac{v^2 m}{2}$$

$$v_{\max}^2 = \frac{kQ^2}{mR} + 4mgR = \frac{104R^2g}{5kQ^2} \cdot \frac{kQ^2}{R} + 4gR =$$

$$= \frac{104R^2g}{5} \cdot 4 = \frac{416}{5} R^2 g^2 \Rightarrow \sqrt{\frac{416}{5}} Rg = v_{\max}$$



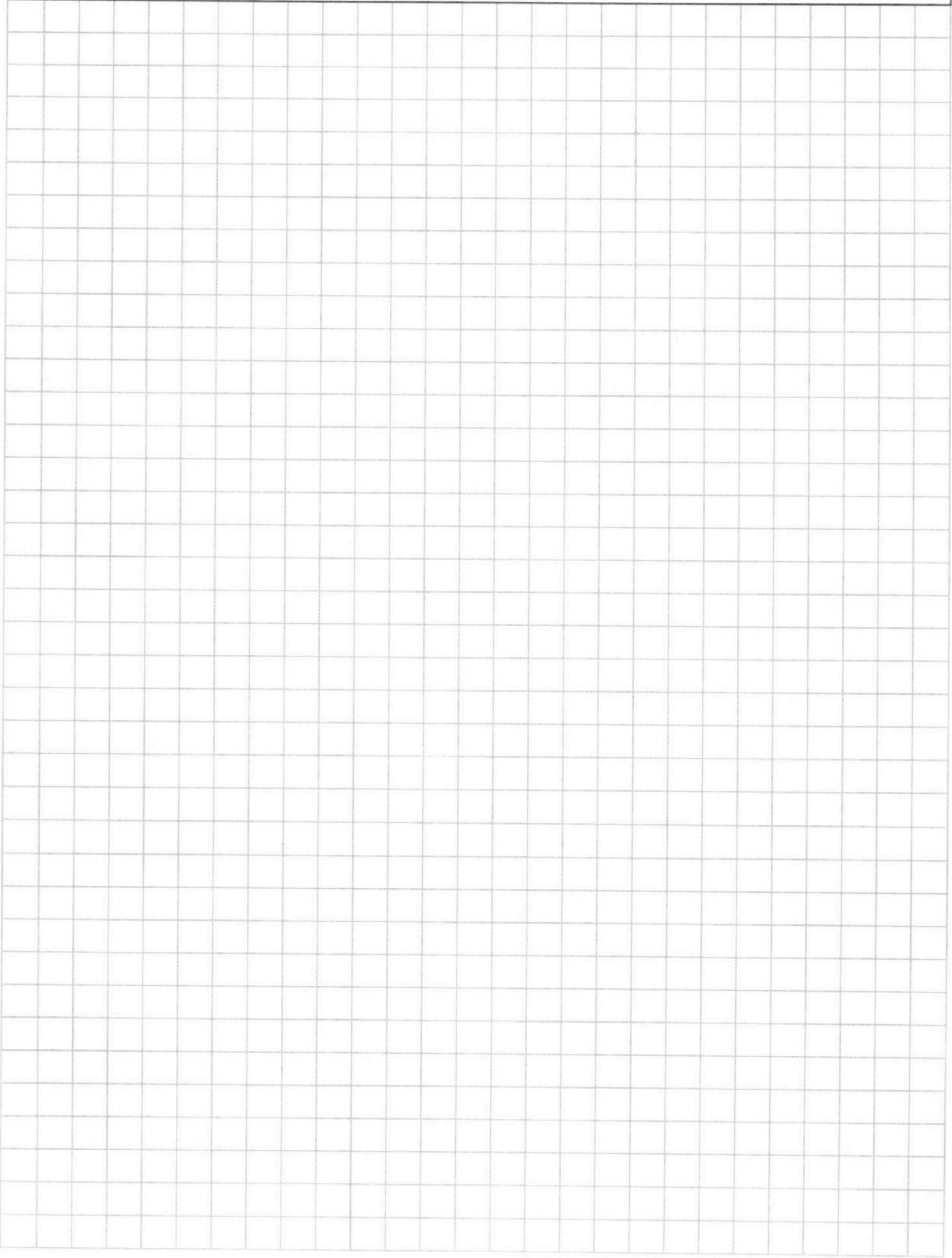
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





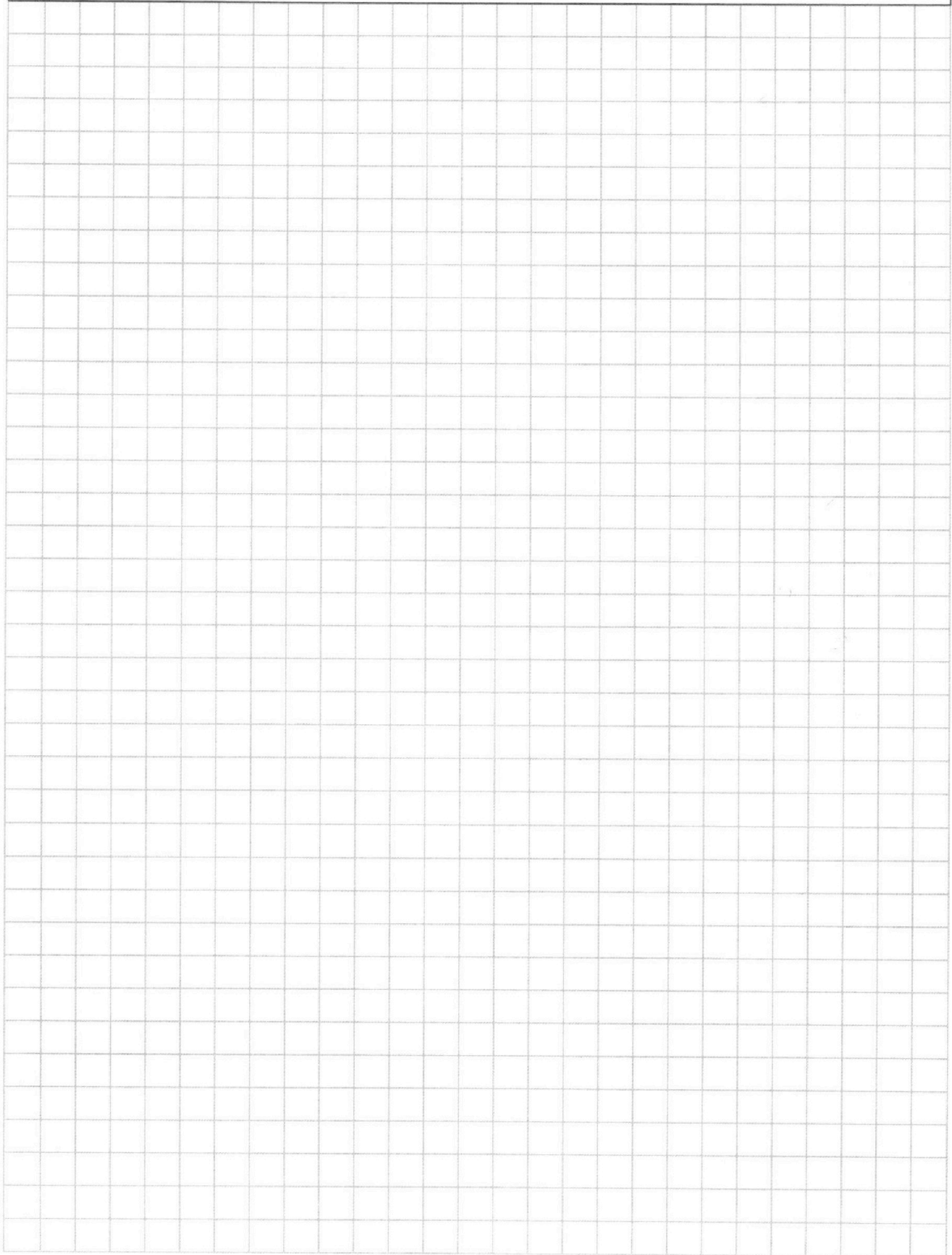
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

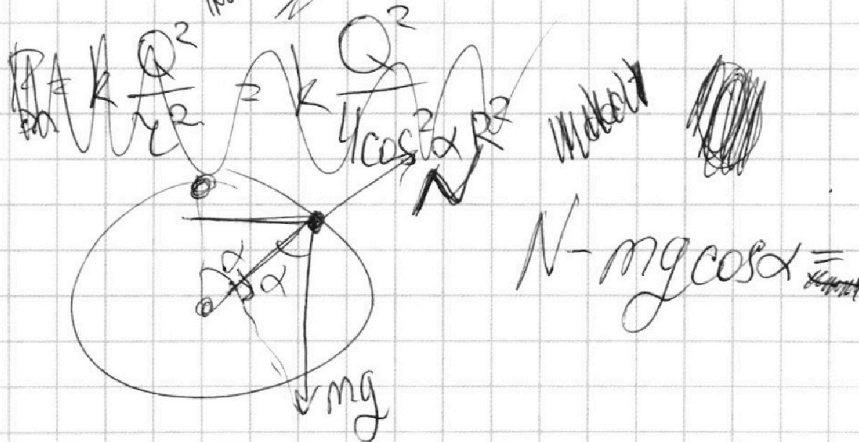
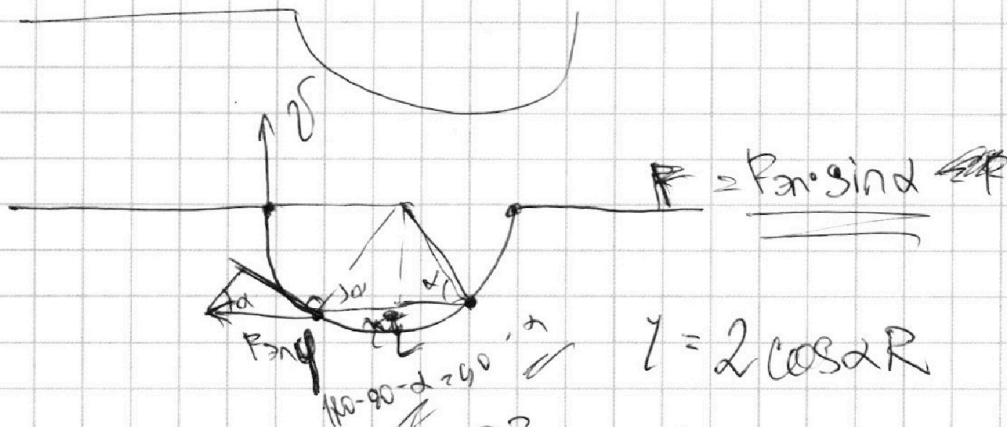
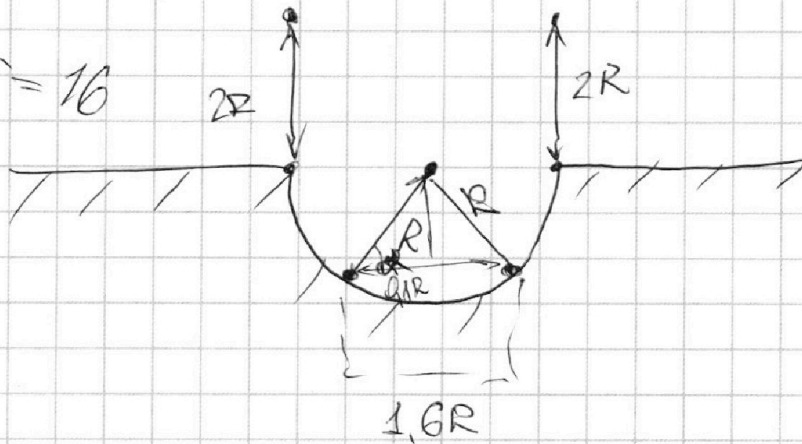
МФТИ

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



$$\frac{1400}{70} + 5 = 16 = 25 - 16 = 9 \text{ м}$$

$$3,2 \cdot 5 = 16$$



$$Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

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!



$$A_{32} = 30RT = A$$

$$p_{\Delta V} < \theta_{RT}$$

$$A_{41} = Q_{41} = -Q_{34} - Q_{12} - Q_{23} = \frac{5}{2}A - A - \frac{5}{2}A = -A$$

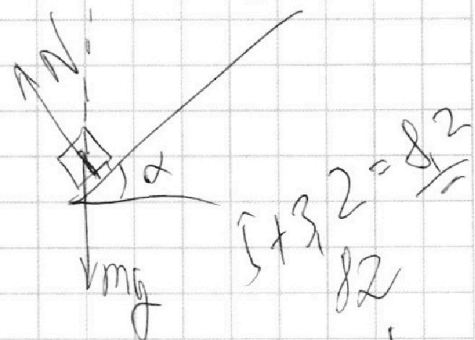
3) $h = 0$

$$\frac{3}{2} \cdot 3pV + 3pV = \frac{15}{2}$$

$$\frac{9}{2} + 3 = \frac{15}{2}$$



$$\frac{ds}{\cos \alpha} = ds^2$$

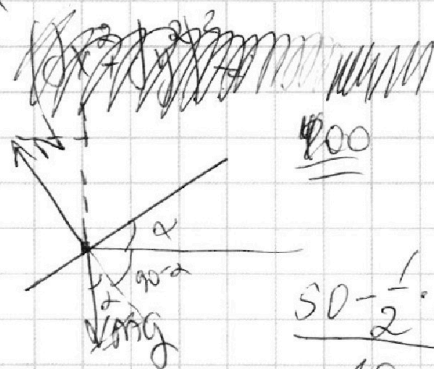


$$\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$$

$$dx^2 + dy^2$$

$$R_{TP} = \frac{\mu mg}{\cos \alpha}$$

$$A_{TP} ds = \frac{\mu mg}{\cos \alpha}$$



$$A_{TP} = ds \cdot \frac{\mu mg}{dx}$$

$$\frac{50 - \frac{1}{2} \cdot 36}{10} =$$

$$\frac{1}{20,8} = \frac{5}{104}$$

$$mg \cos \alpha ds = dJ$$

$$\frac{mg \cos \alpha}{g} = N = 3,2$$

$$82,7 = 560 + 14 = 574 \text{ Дж}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

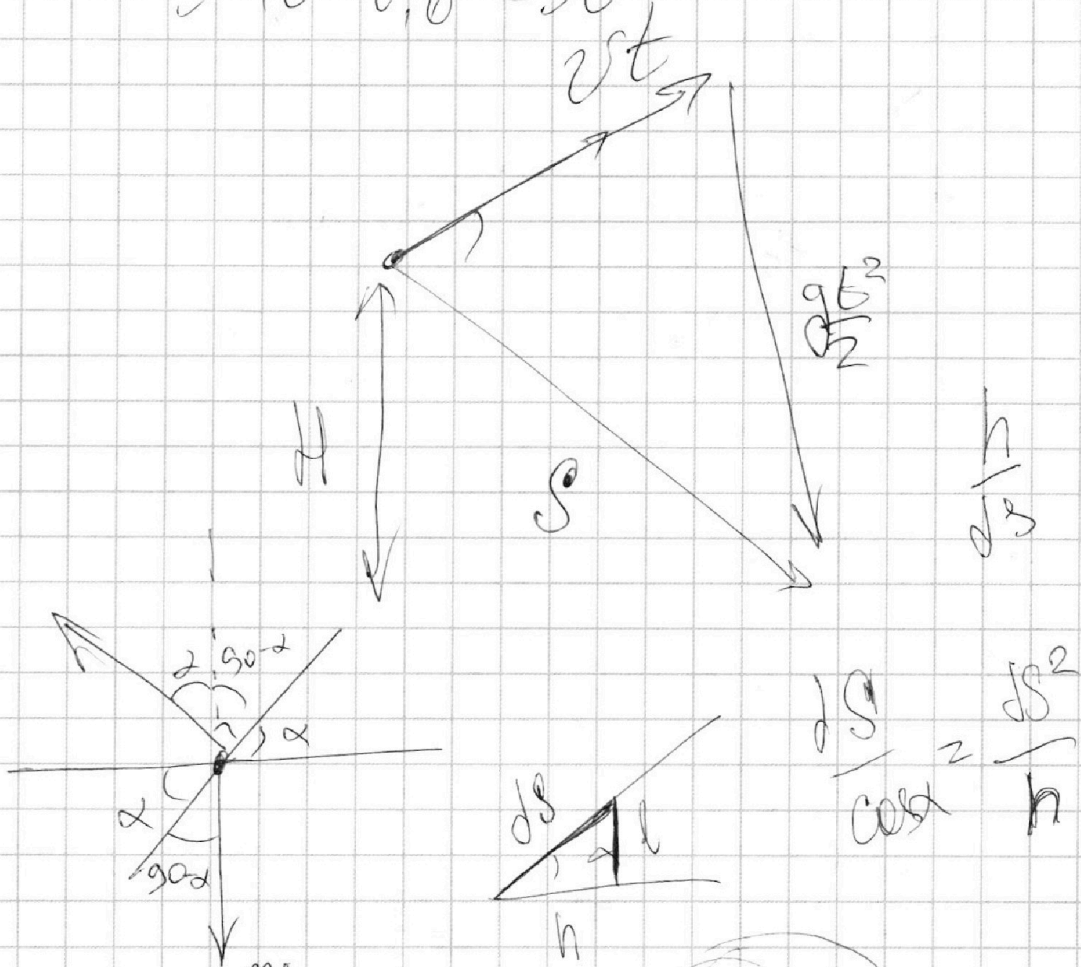
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



$$5 \cdot 10 \cdot 0,6 = 30$$



$$\frac{ds}{\cos \alpha} = \frac{ds^2}{h}$$

$$\frac{1}{2} v^2 = gh$$

$$v^2 = 2gh$$
$$v^2 = 4gh$$

$$A_{\text{тр}} = S \frac{\mu mg}{\cos \alpha}$$

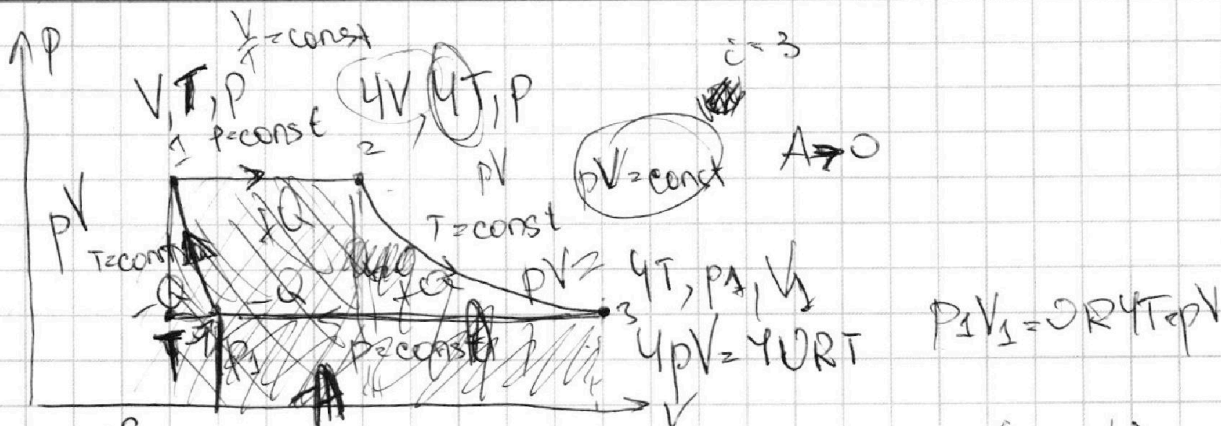
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$Q_{34} = \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) + A_{34} \quad \nu R (T_4 - T_3) = p (V_4 - V_3)$$

$$Q_{34} = \frac{3}{2} p (V_4 - V_3) + A_{34}$$

$$A_{34} = p (V_4 - V_3) \quad A = -A_{34}$$

$$Q_{34} = \frac{3}{2} p (V_4 - V_3) + p (V_4 - V_3) = \left(\frac{3}{2} + 1 \right) p (V_4 - V_3) = \frac{5}{2} p (V_4 - V_3)$$

$$-p (V_4 - V_3) = A$$

$$1) \quad Q_{34} = -\frac{1}{2} A \Rightarrow Q_{34} = \frac{1}{2} A$$

$$Q_{24} = A$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} p \Delta V + p \Delta V =$$

$$= \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$pV = \nu RT$$

$$-A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$A = 3 \nu R \Delta T$$

$$3 p V \cdot \frac{5}{2}$$

$$Q_{43} + Q_{34} + Q_{52} + Q_{23} = 0$$