



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-03

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



1. Снаряд летит по вертикали и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, летящих во всевозможных направлениях с равными по модулю скоростями. Через $t_1 = 0,4$ с после разрыва все осколки находятся в полете, один из осколков движется горизонтально, его импульс $P_1 = 30$ кг·м/с. Масса снаряда $M = 10$ кг.

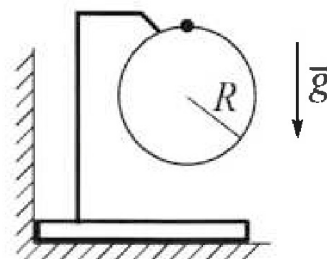
1) Найдите модуль P_2 суммарного импульса $\vec{P}_2$ всех остальных осколков в этот момент времени. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

2) Найдите угол α между векторами $\vec{P}_2$ и $\vec{g}$ в этот момент времени. В ответе укажите значение тригонометрической функции угла α : $\sin \alpha$ или $\operatorname{tg} \alpha$.

Наибольшее расстояние от точки разрыва до точки падения осколков на горизонтальную поверхность оказалось $d = 80$ м.

3) Найдите продолжительность T полета таких осколков. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Брусек установлен вплотную к вертикальной стенке (см. рис.). На бруске закреплено в вертикальной плоскости кольцо радиуса $R = 1$ м, на которое надет шарик. Массы бруска и шарика одинаковы. Кольцо и держатель легкие. Трения нет. Из верхней точки кольца шарик скользит с пренебрежимо малой начальной скоростью.



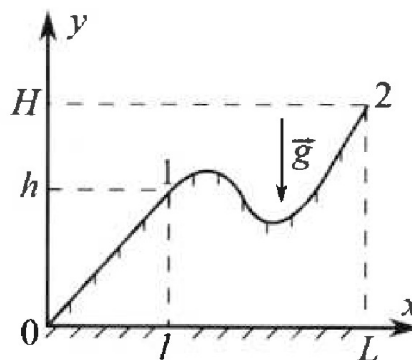
1) Найдите ускорение $\vec{a}$ шарика в тот момент, когда сила, с которой брусек действует на вертикальную стенку, обращается в ноль. В ответе укажите модуль и направление вектора $\vec{a}$.

2) Найдите вертикальное перемещение h шарика к этому моменту времени.

3) Найдите наибольшую скорость V бруска.

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

3. Школьник втаскивает санки на горку. Профиль горки в вертикальной плоскости показан на рисунке к задаче. Для того, чтобы, двигаясь по прямой, медленно втащить санки массой $m = 5$ кг, из точки 0 в точку 1, прикладывая силу вдоль плоской поверхности горки, необходимо совершить работу $A_1 = 300$ Дж. В точке 1 школьник отпускает санки. Вертикальная координата точки старта $h = 4,6$ м, начальная скорость санок нулевая. Коэффициент трения скольжения санок по горке одинаков на всей поверхности горки. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



1) Найдите скорость V санок у основания горки в точке 0.

2) Какую работу A_2 следует совершить, чтобы медленно переместить санки по горке из точки 1 в точку 2? В точке 2 вертикальная координата $H = 10$ м, $L = 4l$. 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

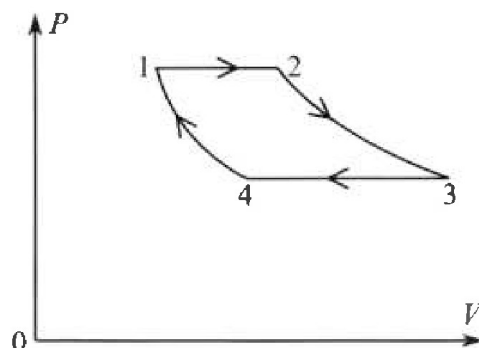
Вариант 10-03

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

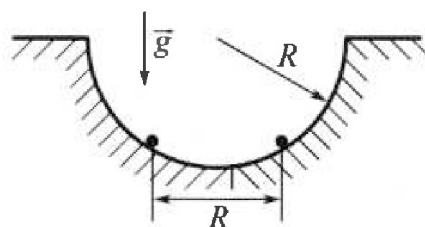


4. В цикле 1-2-3-4-1 тепловой машины две изобары и две изотермы (см. рис). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ. В процессе изобарного расширения до удвоения объема газ совершает работу A . Такую же работу A совершает газ при изотермическом расширении.

- 1) Найди те количество $Q_{\text{подв}}$ теплоты, подведенной к газу в процессах 1-2-3.
- 2) Найдите количество Q_{34} теплоты, отведенной от газа в процессе изобарического сжатия ($Q_{34} > 0$).
- 3) Найдите КПД η цикла.



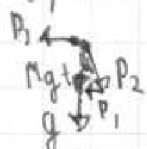
5. В гладкой горизонтальной плоскости сделана полусферическая лунка радиуса R , в которой на одном горизонтальном уровне удерживаются два заряженных шарика. Масса каждого шарика m , расстояние между шариками R . Шарiki одновременно отпускают, и они вылетают из лунки. Отсчитанная от края лунки максимальная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



- 1) С какой скоростью V движется каждый шарик за мгновение до отрыва от края лунки?
- 2) Найдите заряд Q каждого шарика.
- 3) Найдите наибольшую скорость U , с которой растет расстояние между шариками после вылета из лунки. Соударения шариков с горизонтальной плоскостью абсолютно упругие. Ускорение свободного падения g . Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k .

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

12) М.к. Включите все осколки летят ~~то~~ равномерно во все стороны, $\vec{P}_{нач} = \vec{0}$, чер на все камни действует сила тяжести, за время t изм. $\vec{P}$ камня на $m_{камень} \vec{g} t$, т.е. $\vec{P}_2 + \vec{P}_1 = M \vec{g} t$



по α составляем:

$$\sin \alpha = \frac{P_1}{P_2} = \frac{3}{5}$$

$$P_2 \cos \alpha = M g t$$

$$P_2 \sin \alpha = P_1$$

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 + M^2 g^2 t^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3) Ж.к. Какое расстояние пролетит камень, вылетевший из скрепца под углом 45° к горизонту

максимальную дальность знаем -45° , в каком направлении $\theta = V \cdot \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} \rightarrow \frac{V}{g} = \frac{\sqrt{2} V}{g}$, учтем

то из формулы $d = t \cdot V \cos \alpha = \frac{V^2}{g} \Rightarrow V = \sqrt{d g}$

и $T = t = \frac{\sqrt{2} \sqrt{d g}}{g} = \sqrt{\frac{2 d}{g}} = 4 \text{ с}$

Ответ: 1) $50 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2) $\sin \alpha = \frac{3}{5}$

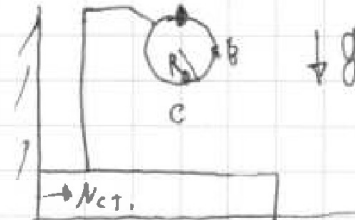
3) $T = 4 \text{ с}$



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!

2) Пусть угол между нормалью к поверхности и вектором отв. центра α .
На шарик действуют сила тяжести $\vec{G}$ и



сила сопротивления воздуха N , если $N > 0$,
то по 3-ему закону Ньютона, на бруске действует с силой, имеющей противоположно направленную гор. проекцию $\Rightarrow$ брусок движется с горизонтальной скоростью. В этот момент скорости бруска и шарика V и $N = 0$ и тем $h = R(1 - \cos \alpha)$, по 3.с.з.
 $\Rightarrow gR(1 - \cos \alpha) = \frac{V^2}{2} \Rightarrow V^2 = 2gR(1 - \cos \alpha)$, максимальное ускорение
 $a = g \cos \alpha - N = g \cos \alpha = \frac{V^2}{R} = 2g(1 - \cos \alpha) \Rightarrow \cos \alpha = \frac{2}{3}$
т.к. $N = 0$, ускорение шарика g и направлено вниз, $h = R(1 - \cos \alpha) = \frac{R}{3}$

3) После достижения бруска шариком точка В, ввиду сохранения полного импульса масс, брусок поворачивается либо в своем текущем положении, либо правее него, значит $N_{ст} = 0$ и этого момента $P_{гор} = \text{const}$, тогда $P_{бр} = -P_{ш.гор}$, скорости шарика максимальны в точке С, и тем $V_C = V_{гор.макс}$, поскольку максимальная скорость бруска тогда шарик в точке С
 $(P_{бр}) = V_{ш.гор} \leq V_{ш} \leq V_{ш.С}$, и тем равенство выполняется в точке С. Из этого 3.с.з.

$$2mgR = m \frac{V_C^2}{2} + m \frac{V_{бр.макс}^2}{2} \Rightarrow V_{бр.макс} = \sqrt{2gR}$$

Смбон: 1) $a = g$, направлено вниз.

2) $h = \frac{R}{3}$

3) $V_{бр.макс} = \sqrt{2gR}$

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) Пусть коэф. трения μ , тогда сила трения на пути $0-l$ $mg \cos \alpha$
 где $\Delta h = \frac{e}{\sqrt{h^2+e^2}}$, $\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2+e^2}}$ - угол между гипотенузой
 и горизонталью, $A_2 = mgh + \mu mg \cos \alpha \sqrt{h^2+e^2} = mgh + \mu mge$
 $\Rightarrow \mu e = \frac{A}{mg} - h = 6 - 4,6 = 1,4 \text{ м}$

ускорение санок $a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = \frac{g}{\sqrt{h^2+e^2}} (h - \mu e)$, отсюда $\sqrt{h^2+e^2}$
 мер и не скорости V , т.е. $\sqrt{h^2+e^2} = \frac{t^2}{2} g (h - \mu e) \Rightarrow t = \frac{2}{g(h - \mu e)} \sqrt{2a \sqrt{h^2+e^2}}$
 $V = t a = \frac{g}{\sqrt{h^2+e^2}} (h - \mu e) \cdot \frac{2}{g(h - \mu e)} \sqrt{2a \sqrt{h^2+e^2}}$
 $v = \sqrt{2g(h - \mu e)} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 4,6 - 1,4 \cdot 10^2} = \sqrt{20(4,6 - 1,4)} = \sqrt{20 \cdot 3,2} = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Ответ: 1) $V = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

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!



Дано условие: $P_1 V_1 = P_2 V_2$; $V_2 = 2V_1$; $P_1 = P_2$; $P_3 = P_4$; $P_2 V_2 = P_3 V_3$; $T_1 = T_2 = T_3 = T_4$
где P, V, T - параметры газа в точке; $T(P, V) = P, V$ или изотермическим процессом, пусть n -моль идеального газа

1-2) $A = \int P dV = P_1 (V_2 - V_1) = P_1 V_1$, $P_1 V_1 = n R T_1$; $P_2 V_2 = n R T_2$
 $(T_2 - T_1) n R = P_1 (V_2 - V_1) = A$, кроме того $\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} n R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} A$
по 1-ому началу термодинамики $\Delta Q_{1-2} = \Delta A_{1-2} + \Delta U_{1-2} = \frac{5}{2} A$

2-3) т.к. $T_2 = T_3$, $\Delta T = 0$ $\Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} n R \Delta T = 0$; $\Delta Q_{2-3} = \Delta A_{2-3} + \Delta U_{2-3} = A$

3-4) $\Delta Q_{3-4} = \Delta U_{3-4} + A_{3-4} = \Delta U_{3-4} + P_3 (V_4 - V_3) = \frac{3}{2} n R (T_4 - T_3) + P_3 (V_4 - V_3) =$
 $= \frac{3}{2} n R T_4 - \frac{3}{2} n R T_3 + P_4 V_4 - P_3 V_3 = P_4 V_4 - \frac{3}{2} P_3 V_3 + P_4 V_4 - P_3 V_3 = \frac{5}{2} P_4 V_4 - \frac{5}{2} P_3 V_3 =$
 $= P_1 V_1 \frac{5}{2} - \frac{5}{2} P_2 V_2 = \frac{5}{2} A - \frac{5}{2} A = 0$ (работа газа $A_{3-4} = P_3 (V_4 - V_3) = A - P_2 V_2 = -A$)
 $Q_{3-4} = \frac{5}{2} A$

4-1) т.к. $T_1 = T_4$, $\Delta U_{4-1} = 0$; на процессе 2-3
 $A = \int P dV = P_2 V_2 \int_{V_2}^{V_3} \frac{1}{V} dV = P_2 V_2 \ln \frac{V_3}{V_2} = 2 A \ln \frac{V_3}{V_2} \Rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \sqrt{e} = \frac{V_3 P_3}{V_2 P_3} = \frac{P_2}{P_3} = \frac{P_1}{P_4}$
на процессе 4-1 $A_{4-1} = \int P dV = P_1 V_1 \int_{V_1}^{V_4} \frac{1}{V} dV = P_1 V_1 (\ln V_1 - \ln V_4) =$
 $= P_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_4} = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_1 P_1}{V_4 P_1} \right) = A \ln \frac{P_4}{P_1} = A \ln \left(\frac{1}{\sqrt{e}} \right) = -\frac{A}{2}$
 $\Delta Q_{4-1} = \Delta U_{4-1} + A_{4-1} = -\frac{A}{2}$
к.п.д. цикла: $\eta = \frac{A_{1-2} + A_{2-3} + A_{3-4} + A_{4-1}}{Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-1}} = \frac{\frac{5}{2} A + A + 0 - \frac{A}{2}}{\frac{5}{2} A + A + \frac{5}{2} A - \frac{A}{2}} =$
 $= 100\%$

Ответ: 1) $Q_{1-2} = \frac{5}{2} A$ $Q_{2-3} = A$
2) $Q_{3-4} = \frac{5}{2} A$
3) $\eta = 1$.

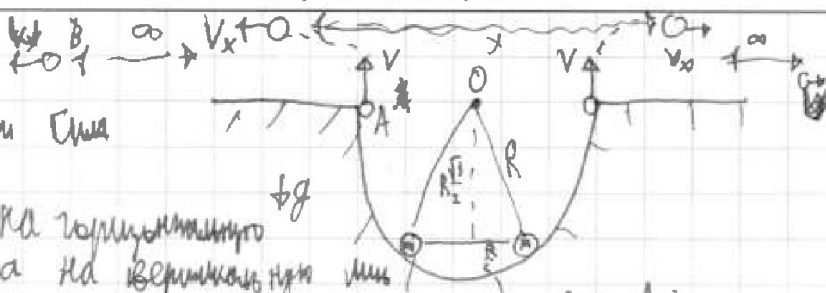
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!


МФТИ

1) после отрыва от поверхности тела

Кинема визвет $v_{\text{мг}}$ на тангенциалната δr
 скорост шаркива, а на вертикалната $v_{\text{в}}$
 сила $\vec{F}_{\text{тяг}}$ $m g$, в хоризонтална, н.к. лент. Височ. h . $\circ$ равна R .

$$R = V \cdot t - \frac{g t^2}{2} \quad \text{u} \quad V = g \cdot t \Rightarrow R = V \cdot \frac{V}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{V^2}{g^2} = \frac{V^2}{g} - \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{2gR}$$

2) Пусть ϕ — коммутационная энергия кулоновского взаимодействия
связи достигается минимума при расстоянии между ионами

b) $l \rightarrow +\infty$; m orga. (3. l. d.) $E_{\text{max}} = 2 \cdot mg \left(R - \frac{\sqrt{3}}{2} R \right) + \frac{kQ^2}{R}$

(8) $\text{молче } A \text{ и } B \text{ (векторная сумма)} \in E_{\text{акт}} = 2mgR + 2 \cdot \frac{mv^2}{2} + \frac{kG^2}{2R}$

$$\therefore K. E_{\text{max}} = E_A + \frac{kQ^2}{R} - mgR\sqrt{3} = + \frac{kQ^2}{2R} + 2mgR \Rightarrow \frac{kQ^2}{2R} = mgR(2 + \sqrt{3})$$

$$Q = R \sqrt{2mg(2+\sqrt{3})}^{\frac{1}{k}}$$

3) кинетическая сумма потенциальной энергии и кинетической энергии вертикальной скорости постоянна.

Но потенциальная энергия кулоновского взаимодействия не перестает в линейном приближении зависеть от скорости, а как и потенциал, пропорционален $\frac{1}{r}$.

$$\frac{m V_{\text{rot}}^2}{2} + \frac{k Q^2}{x} = \frac{m V_{\text{rot}}^2}{2} + \frac{k Q^2}{e}, \quad \text{für } l \rightarrow +\infty$$

For m.A in B 3.C.D: $\frac{kQ^2}{2R} = 2 \cdot \frac{mV^2}{2} = mV^2 \frac{kQ^2}{e} \rightarrow 0$

$$U^2 = \frac{kQ^2}{2Rm} = \frac{k}{2Rm} \cdot R^2 \cdot \cancel{\pi g} (2+\sqrt{3}) \cdot \frac{1}{R^2} R g (2+\sqrt{3})$$

Answer: 1) $v = \sqrt{2gR}$ 2) $Q = R \sqrt{2mg(2+\sqrt{3}) \frac{1}{u}}$

3) $V = \sqrt{Rg(2+1)}$



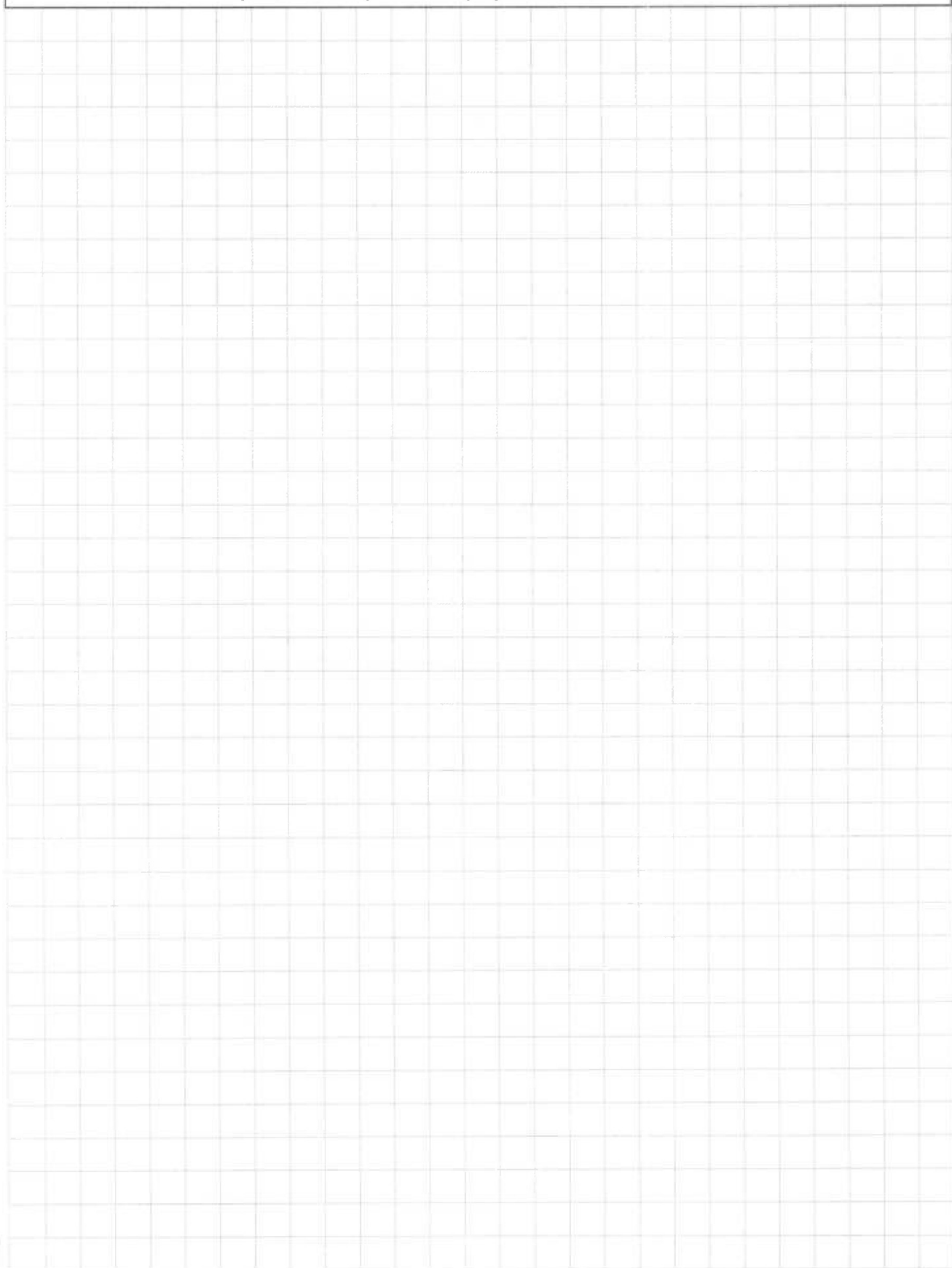
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



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!



$$E = -\frac{kQ^2}{R}$$

$$E_{\text{нач}} = 2 \cdot mg(R - \frac{\sqrt{3}}{2}R) - \frac{kQ^2}{R}$$

$$E_{\text{кон}} = 2 \cdot \frac{mv^2}{2} + 2 \cdot mgR - \frac{kQ^2}{2R}$$

$$R = v \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$t = \frac{v}{g}$$

$$R = \frac{v^2}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2}$$

$$R = \frac{v^2}{g} - \frac{v^2}{2g}$$

$$R = \frac{v^2}{2g}$$

$$E_{\text{кон}} = +\frac{kQ^2}{2R}$$

$$E_{\text{кон}} = 2 \cdot \frac{mv^2}{2}$$

$$V_y^2 = -\frac{kQ^2}{2Rm}$$

$$\cos \alpha \leq \frac{2}{3}$$

$$N = 3g \cos \alpha - 2g \leq 0$$

$$2g - 2g \cos \alpha \geq 2g(1 - \cos \alpha) \Rightarrow \frac{v^2}{R} = a_1 = g \cos \alpha - N$$

$$\text{если } N \leq 0, \text{ то } a_1 = g \cos \alpha$$

$$v = \sqrt{2gR}$$

$$E = -\frac{kQ^2}{R_1} / -\frac{kQ^2}{R_2} / -\frac{kQ^2}{R_3}$$

$$A_1 = -\frac{kQ^2}{R_2} + \frac{kQ^2}{R_1}$$

$$A_2 = -\frac{kQ^2}{R_3} + \frac{kQ^2}{R_2}$$

$$A_{1-3} = \frac{kQ^2}{R_1} - \frac{kQ^2}{R_3}$$



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!



$$H \geq 2V + \frac{V^2}{2} = 0.4V + 0.2$$

$$t = \frac{2V \sin \beta + \sqrt{4V^2 \sin^2 \beta + 32V + 16}}{2g}$$

$$t = \frac{\sqrt{2}V}{g}$$

$$\frac{V^2}{g} = d$$

$$x = \frac{V^2}{g} \left(\frac{\sin 2\beta}{2} + \sqrt{\sin^2 \beta + \frac{2gH}{V^2}} \cos \beta \right)$$

$$V = 20\sqrt{2}$$

$$t = 4 \text{ c.}$$