



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

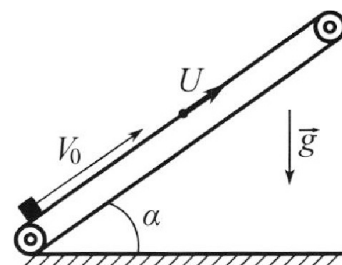
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

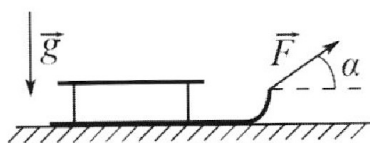
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.



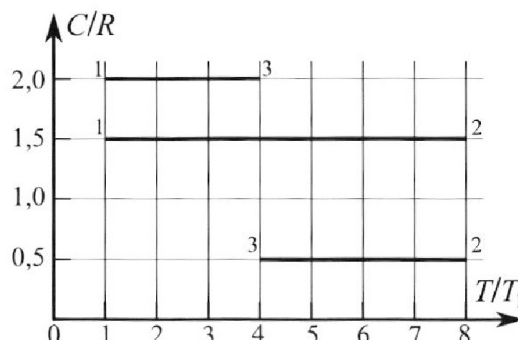
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

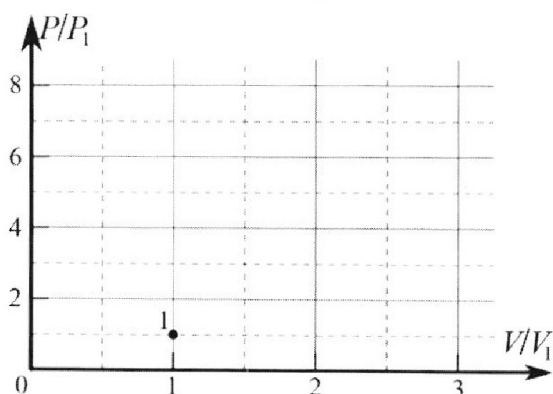
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

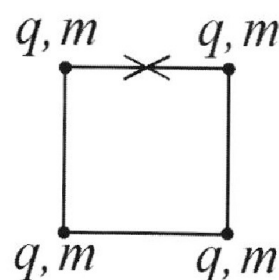


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

- 1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
 - 2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
 - 3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?
- Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

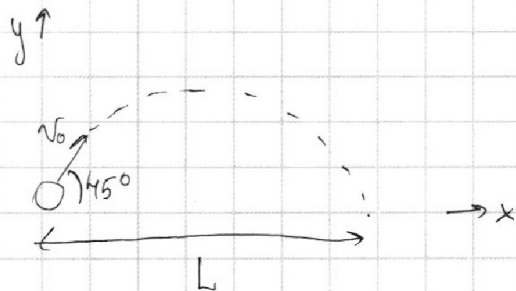
1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



№1.



1) v_y - скорость мяча по оси y
 в наивысшей точке траектории:
 $v_y = 0 = v_0 \sin 45^\circ - g t$
 t - время, за которое мяч достиг
 наивысшей точки траектории
 после удара, равное времени, ~~за~~ которое
 мяч из высшей точки траектории достиг-
 нет земли

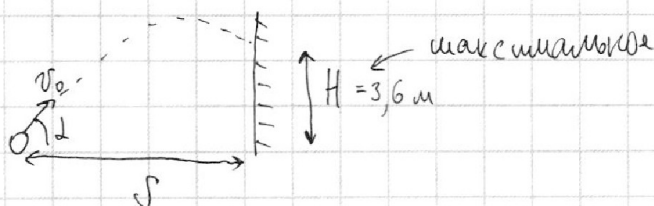
$$\Rightarrow t = \frac{v_0 \sin 45^\circ}{g}$$

$$L = v_0 \cos 45^\circ 2t = \frac{2v_0^2 \sin 45^\circ \cos 45^\circ}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{2 \sin 45^\circ \cos 45^\circ}} =$$

$$= \sqrt{\frac{20 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}}} = \sqrt{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: ~~10~~ $10\sqrt{2} \text{ м/с}$

2)



~~Максимальная высота, которую достигнет мяч, равна 3.6 м.~~

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

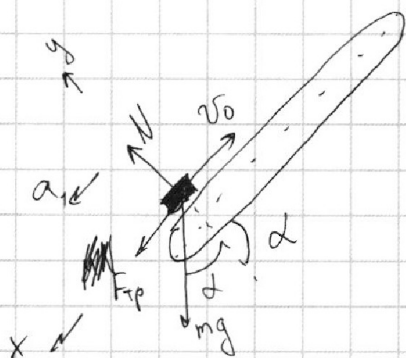
МФТИ

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



№2.

1)

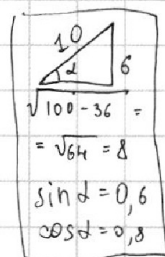


N - сила нормальной реакции опоры

$F_{тр}$ - сила трения

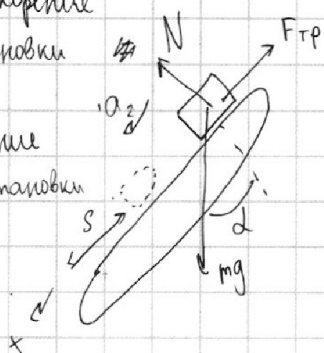
m - масса коробки

τ - время, через которое ~~хвост~~ коробка остановится



a_1 - ускорение до остановки

a_2 - ускорение после остановки



1) II 3Н:

$$y: N - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

$$x: F_{тр} + mg \sin \alpha = ma_1$$

$$z: v(\tau) = 0 = v_0 - a_1 \tau \Rightarrow \tau = \frac{v_0}{a_1}$$

$$\text{До остановки коробки } F_{тр} = \mu N =$$

$$= \mu mg \cos \alpha$$

$$a_1 = \frac{F_{тр}}{m} + g \sin \alpha = \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha =$$

$$= g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$\tau = \frac{v_0}{a_1} = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} =$$

$$= \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 0,6 \text{ с}$$

$$\text{Если } \mu mg \cos \alpha > mg \sin \alpha,$$

коробка больше не будет двигаться

$$\mu \cos \alpha = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 < 0,6 = \sin \alpha \Rightarrow$$

Движение продолжится

$$\text{II 3Н } x: mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma_2$$

$$\Rightarrow a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$x: v(T) = a_2 (T - \tau) = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) (T - \tau)$$

v - скорость коробки через время T

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐



ЗС 9:

$A_{тр}$ работа сил трения

$$\frac{mv^2}{2} + mgS \sin \alpha - \frac{mv_0^2}{2} = A_{тр} = -\mu mg \cos \alpha S$$

$$S = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{v_0^2 - g^2(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)^2 \left(T - \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}\right)^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$= \frac{36 - 100(0,2)^2 \left(1 - \frac{6}{10 \cdot 1}\right)^2}{20 \cdot 1} \text{ м} = 1,48 \text{ м}$$

Ответ: ~~1,48 м~~ 1,44 м

2) $v_0 = 6 \text{ м/с}$ $U = 1 \text{ м/с}$ $v_{отн}$ - скорость коробки отн-но ленты

$$v_{отн} = v_0 - U = 5 \text{ м/с}$$

В ИСО лентой:

$$\tau' = \frac{v_{отн}}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{5}{10 \cdot 1} \text{ с} = 0,5 \text{ с}$$

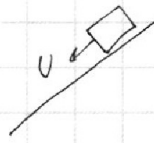
τ' - время, за которое коробка
остановится в ИСО ленте

Ответ: 0,5 с

3) скорость ноль $\Rightarrow$ в ИСО ленте:

$$T_1 + t = \frac{U}{a_2} = \frac{U}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

$T_1 + t$ - время, за которое
выполнится условие



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

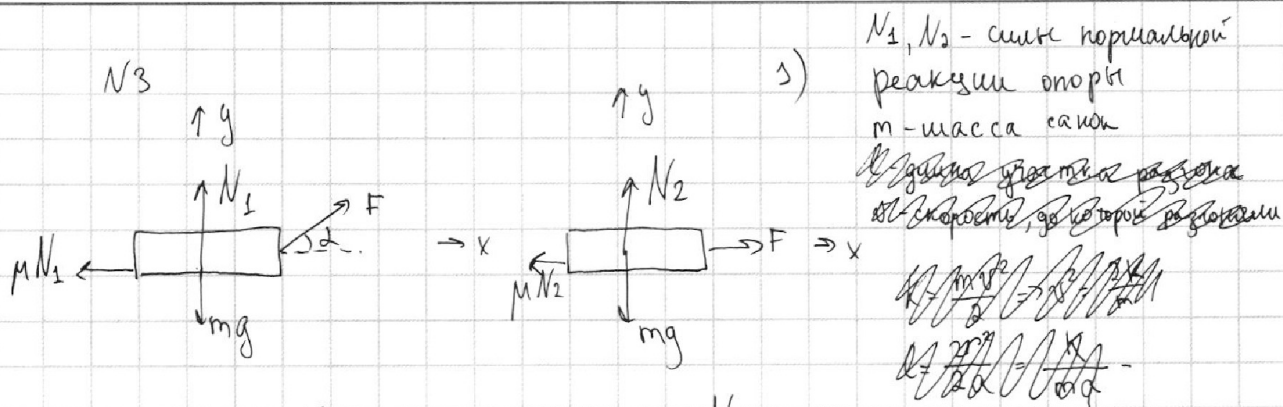
Отметьте крестиком номер задачи,

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!



II 3К: y: $N_1 + F \sin \alpha - mg = 0$
 $\Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$

$N_2 - mg = 0$
 $\Rightarrow N_2 = mg$

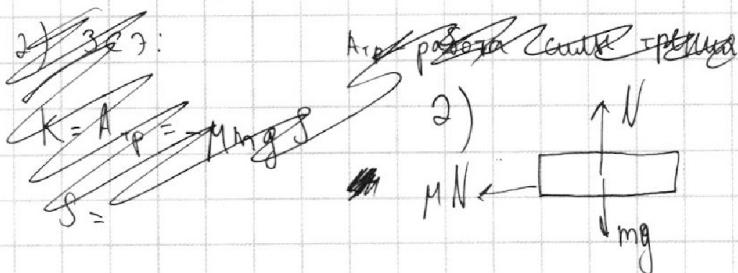
Движение равноускоренное
 и скорости равны
 ускорения равны

x: $F \cos \alpha - \mu N_1 =$
 $= F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = ma$

$F - \mu N_2 = F - \mu mg = ma$

$ma = F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$

Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\mu \sin \alpha}$



II 3К: x: $-\mu mg = -ma \Rightarrow a = \mu g$

$v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$

$s = \frac{v^2}{2a} = \frac{k}{\mu mg}$

Ответ: $\frac{k}{\mu mg}$

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!



№4

Q - тепло, переданное газу

$$\begin{aligned} T_1 \\ T_2 = 8T_1 \\ T_3 = 4T_1 \end{aligned}$$

$$Q_{12} = \nu \cdot 1,5 R (8T_1 - T_1) = A_{12} + \frac{3}{2} \nu R (8T_1 - T_1)$$

$$A_{12} = 0$$

$$Q_{23} = \nu \cdot 0,5 R (4T_1 - 8T_1) = A_{23} + \frac{3}{2} \nu R (4T_1 - 8T_1)$$

$$A_{23} = 4 \nu R T_1$$

$$Q_{31} = \nu \cdot 2 R (T_1 - 4T_1) = A_{31} + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - 4T_1)$$

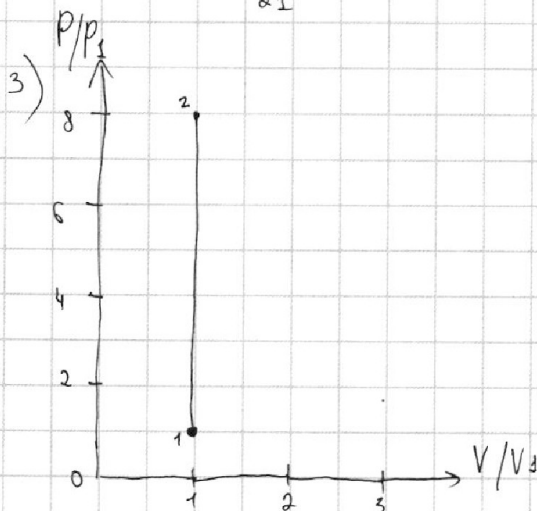
$$A_{31} = -1,5 \nu R T_1 = -1,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = -2493 \text{ Дж}$$

если работа газа отрицательная, то её модуль равен работе сил над газом

1) Ответ: 2493 Дж

$$2) \eta = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{0 + 4 \nu R T_1 - 1,5 \nu R T_1}{\frac{21}{2} \nu R T_1} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{21}{2}} = \frac{5}{21}$$

Ответ: $\frac{5}{21}$



$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$V_1 = V_2 \text{ (т.к. } A_{12} = 0 \Rightarrow \text{)}$$

$$P_2 V_2 = 8 \nu R T_1$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 8$$

$$P_3 V_3 = 4 \nu R T_1 = A_{23}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

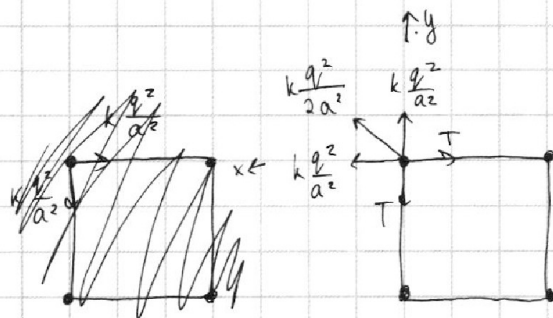
МФТИ

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



№5.

1)



II 3H на один из шариков:

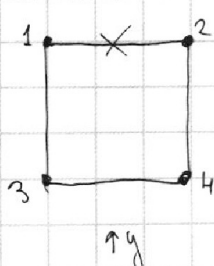
$$y: k \frac{q^2}{a^2} + \frac{k q^2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} - T = 0$$

$$\frac{1}{a^2} \cdot \left(k q^2 + \frac{k q^2}{2\sqrt{2}} \right) = T$$

$$a = q \sqrt{\frac{k(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})}{T}}$$

$$\text{Ответ: } q = a \sqrt{\frac{T}{k(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})}}$$

2)



$$E_{12} = k \frac{q^2}{a^2} \quad E_{13} = k \frac{q^2}{a^2} \quad E_{14} = k \frac{q^2}{\sqrt{2}a^2}$$

$$E_{24} = k \frac{q^2}{a^2} \quad E_{34} = k \frac{q^2}{a^2} \quad E_{23} = k \frac{q^2}{\sqrt{2}a^2}$$

$$E_0 = k \frac{q^2}{a^2} (4 + \sqrt{2})$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \text{шарики}$$

установятся именно в таком

положении друг относительно друга $\Rightarrow$

относительная скорость между любыми двумя шариками равна 0 $\Rightarrow$

их скорости и кин. энергии равны



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!

$$E_{12} = E_{25} = E_{34} = k \frac{q^2}{a} \quad E_{13} = E_{24} = k \frac{q^2}{2a} \quad E_{15} = k \frac{q^2}{3a}$$

~~$$E = k \frac{q^2}{a} \left(3 + \frac{2}{2} + \frac{1}{3} \right) = \frac{13}{3} k \frac{q^2}{a}$$~~

ЗСЭ:

$$E_0 = E + 4k$$

$$k = \frac{E_0 - E}{4} = \frac{k q^2}{4a} \left(4 + \sqrt{2} - \frac{13}{3} \right) = \frac{k q^2}{4a} \left(\frac{12 + 3\sqrt{2} - 13}{3} \right) =$$

$$= \frac{(3\sqrt{2} - 1) k q^2}{12a}$$

Ответ: $\frac{(3\sqrt{2} - 1) k q^2}{12a}$

3) Векторы сил кет $\Rightarrow$ центр масс останется на месте



$$d = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{a}{2} \sqrt{5}$$

Ответ: $\frac{a}{2} \sqrt{5}$



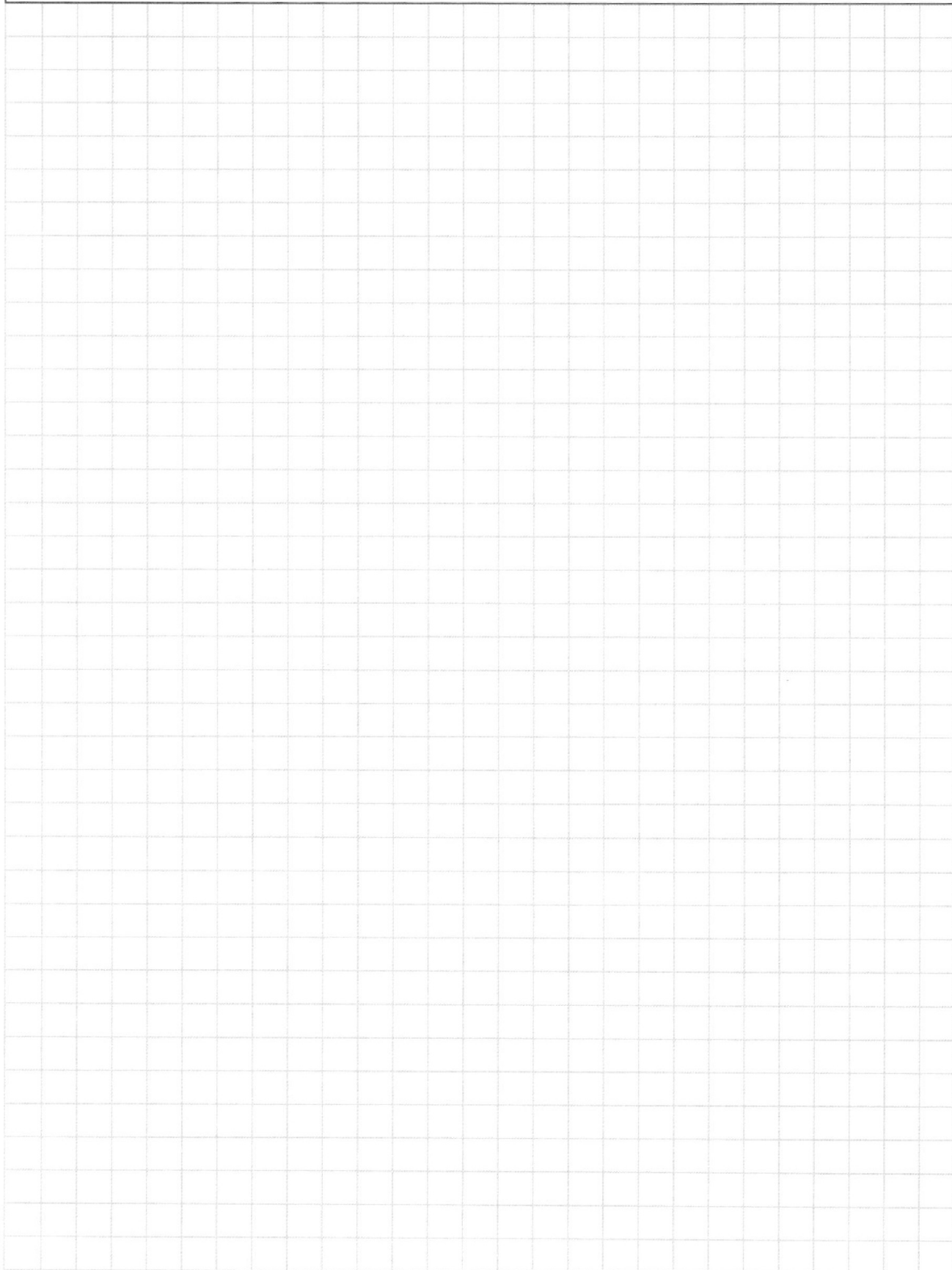
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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!

$$\sqrt{4} \quad T_1 = 200 \text{ K}$$

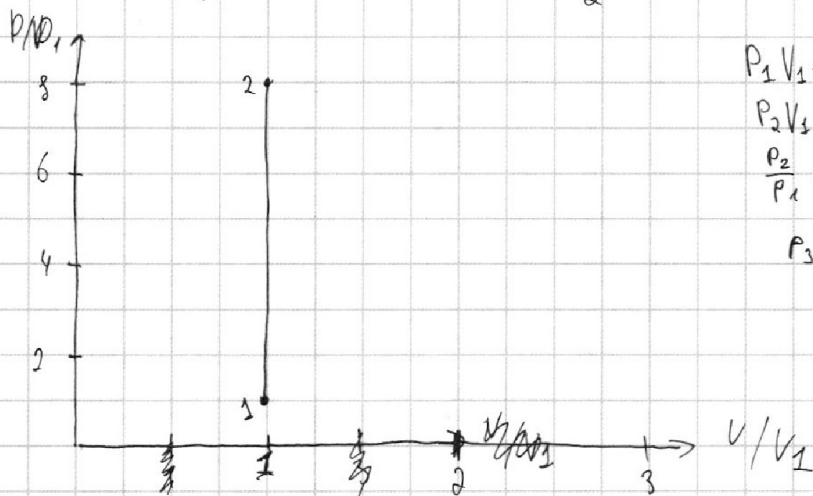
$$T_2 = 8 T_1$$

$$T_3 = 4 T_1$$

$$Q_{13} = \cancel{C_{13}} \cdot 3 T_1 = \cancel{6} \cancel{V} R T_1 = A_{13} + \frac{3}{2} \cancel{V} R \cdot 3 T_1$$

$$A_{31} = -A_{13} = -\cancel{V} R T_1 \left(\frac{13}{2} - \frac{9}{2} \right) = \frac{3}{2} \cancel{V} R T_1$$

$$Q_{12} = \cancel{V} 1,5 R \cdot 7 T_1 = A_{12} + \frac{3}{2} \cancel{V} R \cdot 7 T_1 \Rightarrow A_{12} = 0$$



$$P_1 V_1 = \cancel{V} R T_1$$

$$P_2 V_2 = \cancel{V} R \cdot 8 T_1$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 8$$

$$P_3 V_3 = \cancel{V} R \cdot 4 T_1$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ \times 3 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$Q_{23} = A_{23} + \frac{3}{2} \cancel{V} R 4 T_1 = \cancel{V} 0,5 R \cdot 4 T_1$$

$$A_{23} = -4 \cancel{V} R T_1$$

$$\frac{24}{3} = 10,5$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

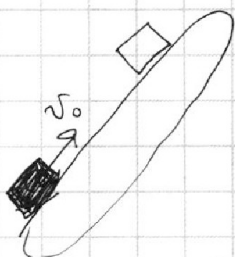
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



N2



$$\left(\cos \alpha \left(\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha - \frac{2gH}{v_0^2}} \right) \right)' = -\sin \alpha \dots$$

$$Q = C \Delta T$$

$$Q = C \Delta T$$

$$v_0 \sin \alpha$$

$$H = v_0^2 \sin^2 \alpha$$

$$v_0 \cos \alpha t = S \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$H = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} = \frac{v_0 \sin \alpha S}{\cos \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\max H \Leftrightarrow \max S \text{ max } H$$

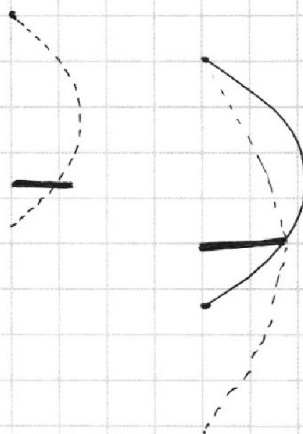
$$H = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2}$$

$$\frac{g t}{2} - \frac{g v_0 \sin \alpha + H = 0}{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gH}}$$

$$\max S \Leftrightarrow \max v_0 \cos \alpha t \Leftrightarrow \max \cos \alpha \left(\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha - \frac{2gH}{v_0^2}} \right)$$

$$\max (\cos \alpha (2 \sin \alpha)) \Rightarrow \sin \alpha \text{ max} \Rightarrow \dots$$

$$Q_1 Q_3 = 2 \Delta T = 2 (T_3 - T_1)$$



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!

ЗСЗ:

$$\frac{mv(t)^2}{2} + mgS \sin \alpha - \frac{mv_0^2}{2} = A = -\mu mg \cos \alpha S$$

$$S g (\sin \alpha + \mu g \cos \alpha) = \frac{v_0^2}{2} - \frac{(v(t))^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{g^2 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)^2 (T-t)^2}{2}$$

$$S = \frac{v_0^2 - g^2 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)^2 (T-t)^2}{2g (\sin \alpha + \mu g \cos \alpha)} = \frac{36 \frac{m^2}{c^2} - 100 \frac{m^2}{c^2} (0,6 - 0,5 \cdot 0,8)^2 (1 - 0,6)^2}{20 \frac{m}{c} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)}$$

$$= \frac{36 \frac{m^2}{c^2} - 100 \frac{m^2}{c^2} \cdot 0,2^2 \cdot 0,4^2 c^2}{20 \frac{m}{c}} = \frac{36 - 100 \cdot 0,04 \cdot 0,16}{20} m =$$

$$= \frac{36 - 0,64}{20} m = 1,8 m - 0,032 m = \cancel{1,768 m} \quad 1,768 m$$

2) Такая скорость во втором опыте - это значит,
что относительного движение нет. Система

