



# 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.

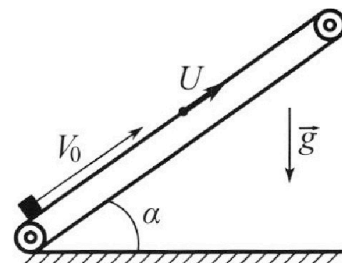
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  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

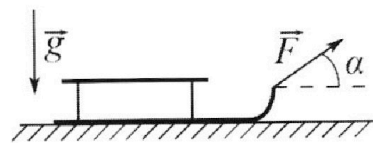
$U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.



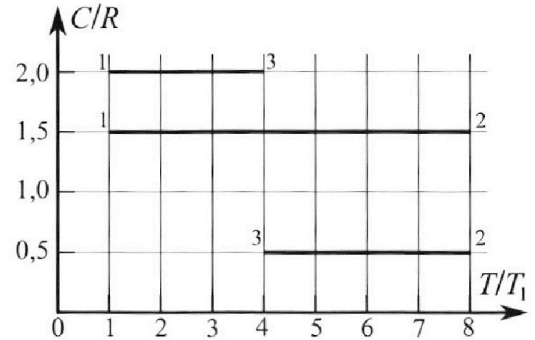
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

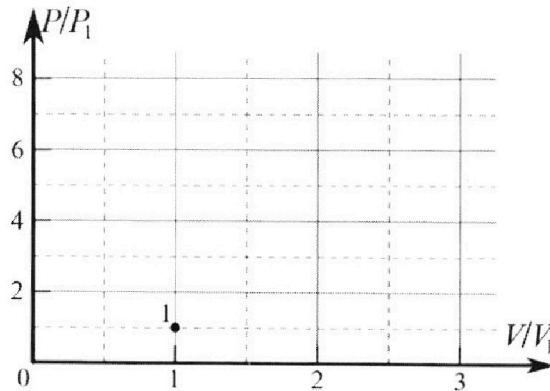


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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).

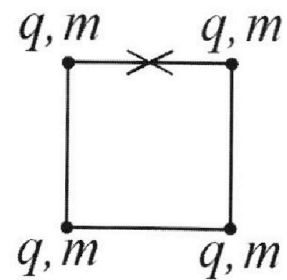


- 1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 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  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



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

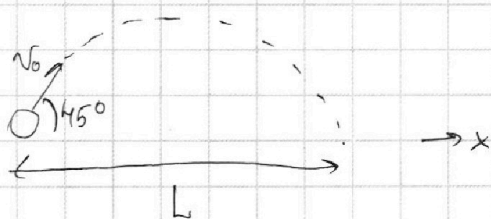
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" 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!

№1.



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

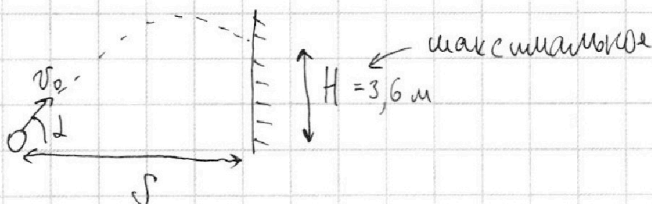
$$\Rightarrow t = \frac{v_0 \sin 45^\circ}{g}$$

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

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

Ответ: ~~20 м/с~~  $10\sqrt{2} \text{ м/с}$

2)



~~Алгоритм / А / отсюда  
максимальная  
высота / достигнута  
равен 4.5 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

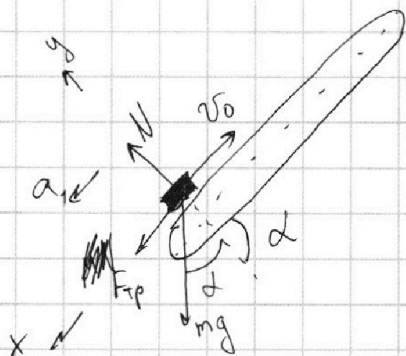
МФТИ

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



№2.

1)

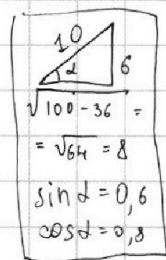


$N$  - сила нормальной реакции опоры

$F_{тр}$  - сила трения

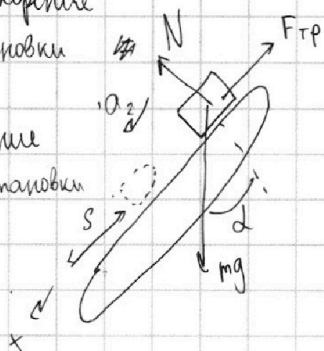
$m$  - масса коробки

$\tau$  - время, через которое ~~прекращается~~ коробка остановится



$a_1$  - ускорение до остановки

$a_2$  - ускорение после остановки



1) II ЗН:

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

$$x: F_{тр} + mg \sin \alpha = ma_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

II ЗН 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  $T$

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!



ЗСЭ:

$A_{тр}$  работа сил трения

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

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

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

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 ленты:

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

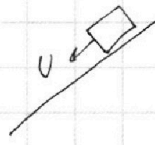
$\tau$  - время, за которое коробка  
остановится в ИСО ленты

Ответ: 0,5 с

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

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

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



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

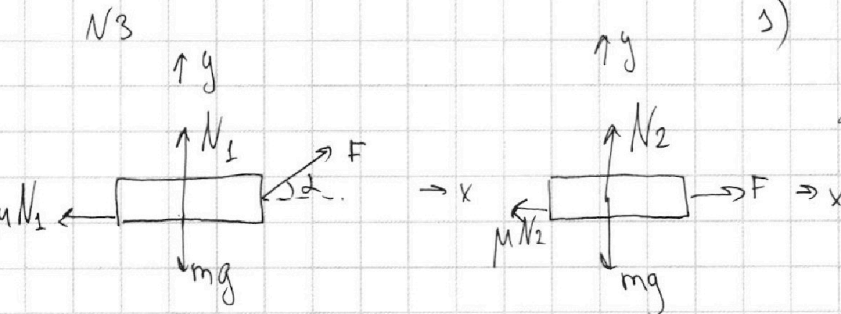
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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



1)  $N_1, N_2$  - силы нормальной реакции опоры  
 $m$  - масса саней  
~~Длина участка разгона~~  
~~и скорости, с которой разогнали~~  
~~...~~

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

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

Длина разгона  
 и скорости равны  $\Rightarrow$   
 ускорения равны

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

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

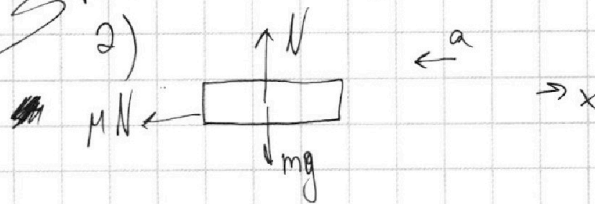
$ma = F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$

Ответ:  $\mu = \frac{F \cos \alpha - ma}{F \sin \alpha - mg}$

~~2) ЗН:~~

~~$k = A \cdot \mu = \mu mg s$~~

~~Аналогично случаю 1) решается~~



II ЗН: 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

$$T_1$$

$$T_2 = 8T_1$$

$$T_3 = 4T_1$$

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

$$A_{12} = 0$$

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

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

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

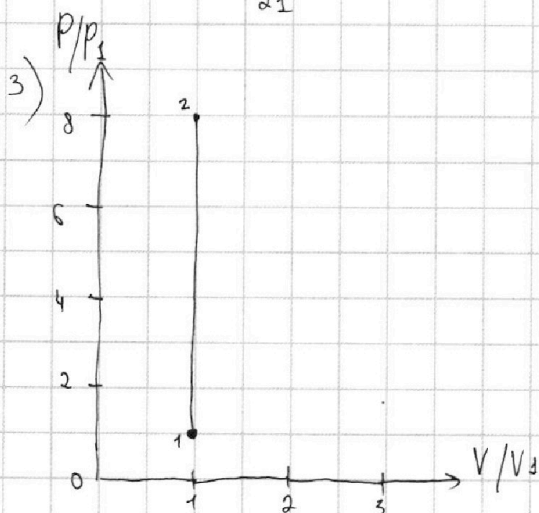
$$A_{31} = -1,5 \nu R T_1 = -1,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = -2493 \text{ Дж}$$

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:  $\frac{5}{21}$



$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

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

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

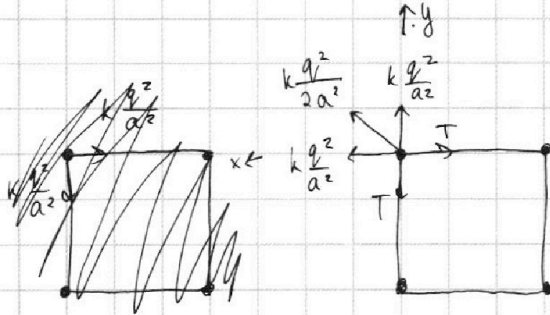
**МФТИ**

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



№5.

1)



II ЗЧ на один из шариков:

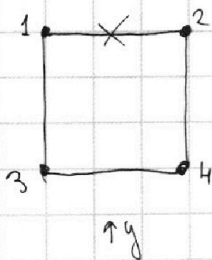
$$y: k \frac{q^2}{a^2} + \frac{k q^2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} - T = 0$$

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

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

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

2)



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

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

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

~~Σ F<sub>y</sub>~~ = 0 ⇒ шарикки

устанавливаются шарики в таком

положении друг относительно друга ⇒

относительная скорость между любыми двумя шариками равна 0 ⇒

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
<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!

$$E_{12} = E_{23} = E_{34} = k \frac{q^2}{a} \quad E_{13} = E_{24} = k \frac{q^2}{2a} \quad E_{14} = k \frac{q^2}{3a}$$

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

ЗСЭ:

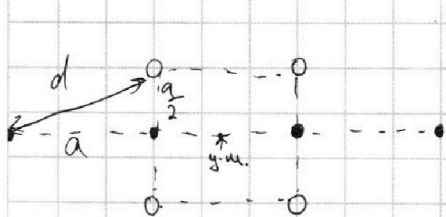
$$E_0 = E + 4k$$

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

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

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:  $\frac{a}{2} \sqrt{5}$



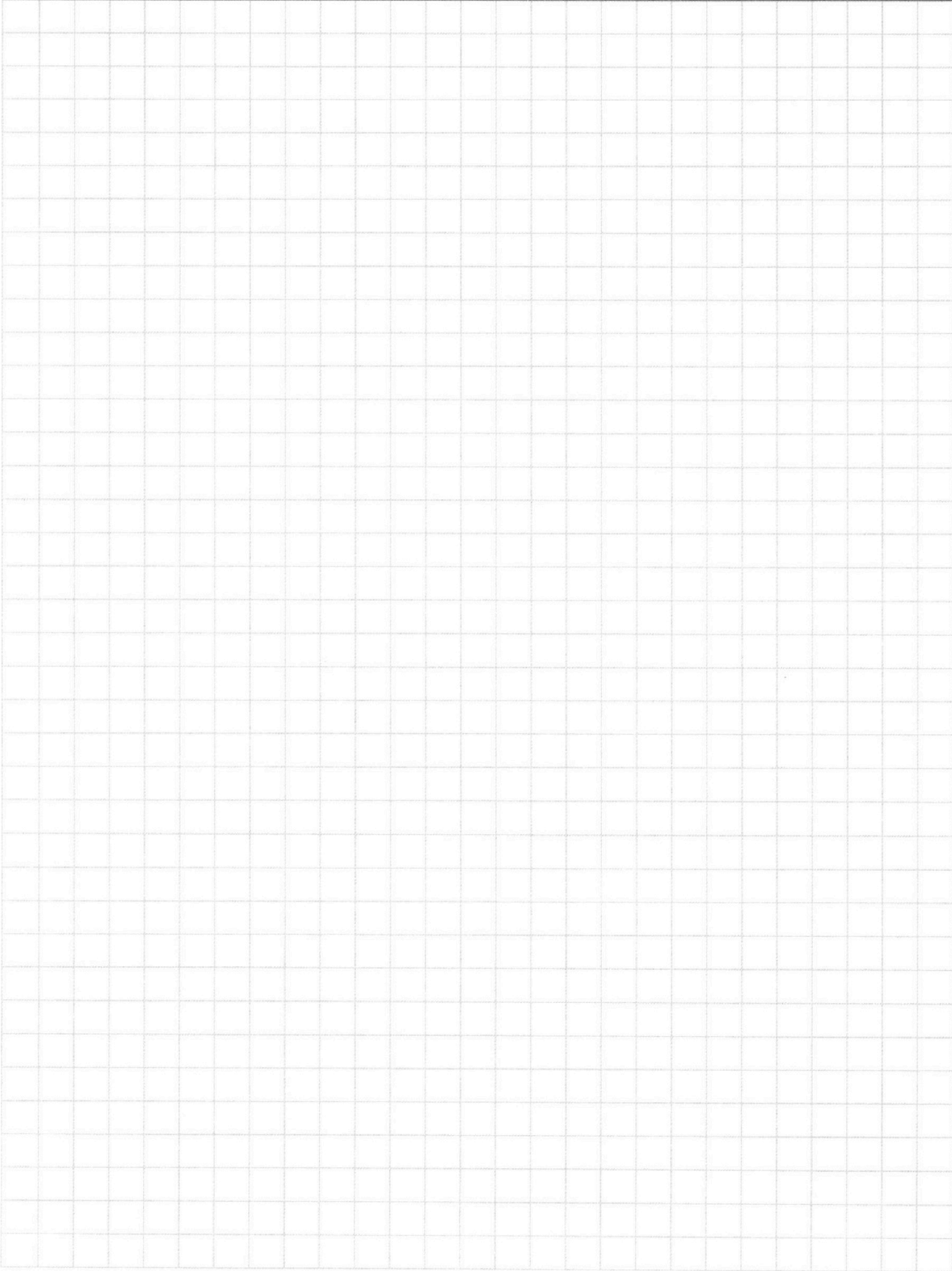
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

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

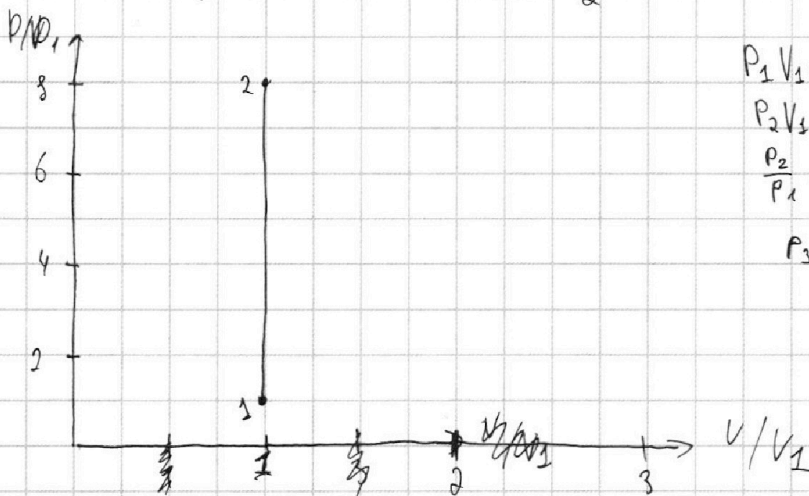
$$T_2 = 8 T_1$$

$$T_3 = 4 T_1$$

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

$$A_{31} = -A_{13} = -\cancel{2} R T_1 \left( \frac{12}{2} - \frac{9}{2} \right) = \frac{3}{2} R T_1$$

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



$$P_1 V_1 = \cancel{2} R T_1$$

$$P_2 V_2 = \cancel{2} R \cdot 8 T_1$$

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

$$P_3 V_3 = \cancel{2} R \cdot 4 T_1$$

$$\frac{851}{2493}$$

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

$$A_{23} = -4 R T_1$$

$$\frac{21}{2} = 10,5$$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

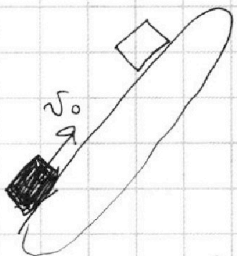
- 1  2  3  4  5  6  7



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



N2



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

$$Q = C \Delta T$$

~~ABCDA~~

$$H = v_0 \sin \alpha$$

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

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

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

max H  $\Leftrightarrow$  max S max H

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

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

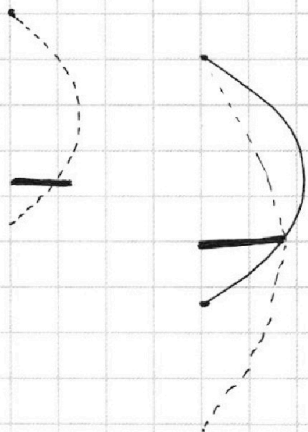
$$t = \frac{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gH}}{g}$$

max S  $\Leftrightarrow$  max  $v_0 \cos \alpha t \Leftrightarrow$  max

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

$$\max (\cos \alpha (2 \sin \alpha)) \Rightarrow \sin \alpha \Rightarrow \max$$

$$Q_1 Q_3 = 2 \Delta T = 2 (t_3 - t_1)$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" 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!

ЗСЗ:

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

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

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

$$= \frac{36 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot 0,2^2 \cdot 0,4^2}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{36 - 100 \cdot 0,04 \cdot 0,16}{20} \text{ м} =$$

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

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



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!

