



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

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



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.

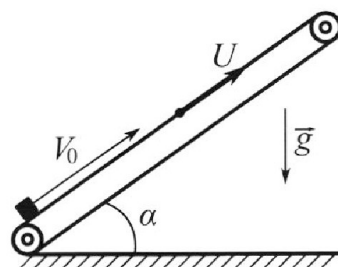
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время T после старта коробка пройдет в первом опыте путь $S = 1$ м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

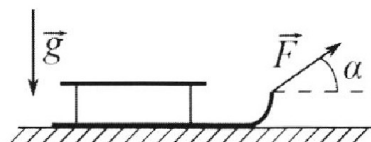
2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? 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 скорости V_0 за одинаковое время.

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 скорости V_0 действие внешней силы прекращается.



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

2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g .

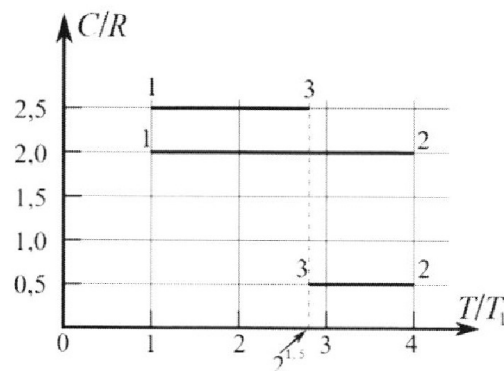
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

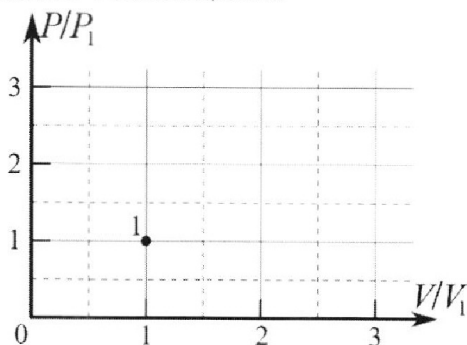
Вариант 10-01

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

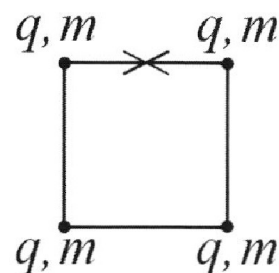
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



- 1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.
- 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 b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .



- 1) Найдите силу T натяжения нитей. Одну нить пережигают.
- 2) Найдите скорость V 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)?

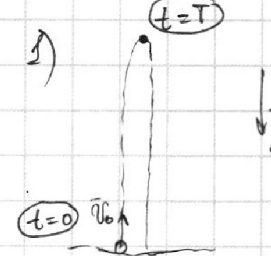
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

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!

З1.

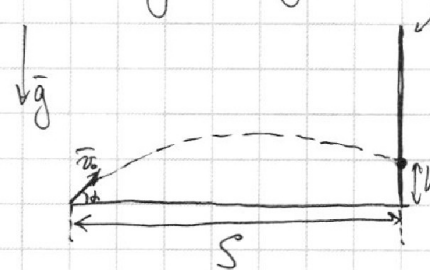
1) На максимальной высоте скорость мяча:



$$v=0=v_0-gT \Rightarrow v_0=gT$$

$$v_0=10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2\text{с} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) Мяч thrown под углом α к горизонту. Тогда:



h - высота, на которой мяч ударился о стену, t - время полета мяча. $\Rightarrow$

$$\begin{cases} S = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t = \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} \\ h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} - \frac{gS^2}{2 \cos^2 \alpha} \end{cases}$$

Рассмотрим угол h :

$$h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = S \cdot \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

П.к. $\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$, то:

$$h = S \cdot \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \tan^2 \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

В случае $h=h_{\max}$: $h'=0$ (вектор), где $h_{\max}$ - максимальная высота, на которой мяч ударился о стену.

Замена: $x = \tan \alpha \Rightarrow h = S \cdot x - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot x^2 - \frac{gS^2}{2v_0^2}$

$$h' = S - \frac{gS^2}{v_0^2} \cdot x = 0 \Rightarrow S = \frac{gS^2}{v_0^2} \cdot x \Leftrightarrow \frac{gS}{v_0^2} \cdot x = 1 \Leftrightarrow x = \frac{v_0^2}{gS} \Rightarrow$$

$$\tan \alpha = \frac{v_0^2}{gS} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{(10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})^2}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 20\text{м}} = 2 \Rightarrow$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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

$$\begin{aligned}
 h &= h_{\max} \text{ при } t g d = 2 \Rightarrow \frac{g t^2}{2} \\
 h &= h_{\max} = S \cdot 2 - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = 2 \cdot \frac{g S^2}{v_0^2} \cdot \left(\frac{g t^2}{S} \right)^2 = \\
 &= g t^2 - \frac{1}{2} \frac{g^3 t^4}{v_0^2} \Rightarrow h_{\max} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2 \text{ с})^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})^3 \cdot (2 \text{ с})^4}{\text{с}^2} \\
 h_{\max} &= g t^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{g^3 t^4}{(g t)^2} = g t^2 - \frac{1}{2} \cdot g t^2 = \frac{1}{2} g t^2 \\
 h_{\max} &= \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2 \text{ с})^2 = 20 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= h_{\max} \text{ при } t g d = 2 \Rightarrow \\
 h &= h_{\max} = S \cdot 2 - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 2^2 = 2 \left(S - \frac{g S^2}{v_0^2} \right) = \\
 &= 2 \left(S - \frac{g S^2}{g t^2} \right) = 2 \left(S - \frac{S^2}{g t^2} \right) \\
 h_{\max} &= 2 \left(20 \text{ м} - \frac{(20 \text{ м})^2}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2 \text{ с})^2} \right) = 2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= h_{\max} \text{ при } t g d = 2 \\
 h &= h_{\max} = 2S - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 2^2 - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = 2S - 2,5 \frac{g S^2}{v_0^2} = \\
 &= 2S - 2,5 \cdot \frac{g S^2}{(g t)^2} = 2S - 2,5 \frac{S^2}{g t^2} \\
 h_{\max} &= 2 \cdot 20 \text{ м} - 2,5 \cdot \frac{(20 \text{ м})^2}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2 \text{ с})^2} = (40 - 2,5 \cdot 10) \text{ м} = (40 - 25) \text{ м} = \\
 &= 15 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

Ответ: 1) $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
2) $h_{\max} = 15 \text{ м.}$

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!

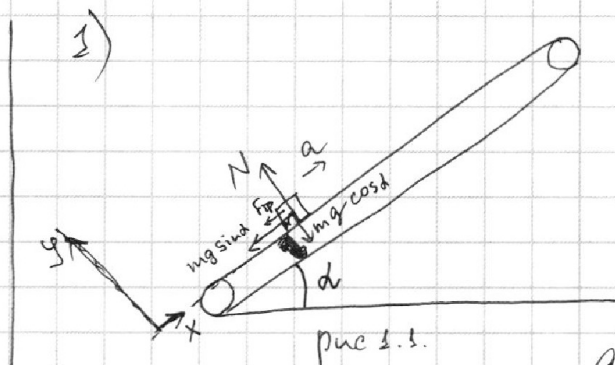
Д2.

$$v_0 = 4 \frac{m}{c}$$

$$\mu = \frac{1}{3}$$

$$\sin \alpha = 0,8$$

$$S = 1 \text{ м}$$



m - масса коробки
 $F_{тр}$ - сила трения,
 действующая
 на коробку
 a - ускорение коробки
 на покатой ленте.

II Закон Ньютона для коробки:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + \vec{m}\vec{g} + \vec{N}$$

На ось Ox :
(см. рис.)

$$ma = -F_{тр} - mg \sin \alpha$$

На ось Oy :

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

$$F_{тр} = \mu N = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow$$

$$ma = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

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

Предположим, что коробка проехала
 путь S , двигаясь только вверх

Для коробки: $S = v_0 T + \frac{aT^2}{2} \Rightarrow aT^2 + 2v_0 T - 2S = 0$

$$D = 4v_0^2 + 4 \cdot 2S \cdot a \Rightarrow$$

$$D = 4v_0^2 + 8aS = 4v_0^2 + 8 \cdot (-g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha))S = 4v_0^2 - 8g(\frac{1}{3} \cdot 0,6 + 0,8)S =$$

$$= 4v_0^2 - 8g \cdot S = 4v_0^2 - 8gS = 4 \cdot (4 \frac{m}{c})^2 - 8 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot 1 \text{ м} = (16 - 80) \frac{m}{c^2} = -64 \frac{m}{c^2} < 0$$

$\Rightarrow$ Коробка проехала S_1 метров "вверх", остано-
 вившись ~~и~~ и проехала S_2 метров "вниз" по ленте

где $S_1 + S_2 = S, T = t_1 + t_2$

за время t_2

$$\begin{aligned} \sin \alpha = 0,8; \alpha - \text{острый угол} \Rightarrow \\ \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \\ = \sqrt{1 - (\frac{4}{5})^2} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \\ = \frac{3}{5} = 0,6. \end{aligned}$$

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

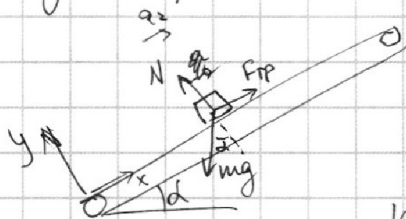
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$2aS_1 = 0 - v_0^2 \Rightarrow S_1 = \frac{-v_0^2}{2a} = \frac{-v_0^2}{2 \cdot (-g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha))} = \frac{v_0^2}{2g}$$

при этом $v = v_0 + at_1$ $v_0 + at_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{-v_0}{a} = \frac{v_0}{g} = \frac{20 \cdot 4}{10} \text{ c} = 0,4 \text{ c}$

$$S_2 = S - S_1 = S - \frac{v_0^2}{2g}$$

Когда коробка поедет обратно:



a_2 - новое ускорение.

$$N = mg \cos \alpha \Rightarrow F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$$

$$ma_2 = F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha$$

$$ma_2 = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \Rightarrow a_2 = \mu g \cos \alpha - g \sin \alpha =$$

$$= g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = g \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 0,6 - 0,8 \right) = -0,6g$$

$$S_2 = -\left(S - \frac{v_0^2}{2g} \right) = \frac{a_2 t_2^2}{2} \Rightarrow \frac{v_0^2}{2g} - S = -\frac{0,6g t_2^2}{2} = -0,3g t_2^2$$

т.к. мы
бег. сверху

$$t_2^2 = \frac{S - \frac{v_0^2}{2g}}{0,3g}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{20 \text{ м}}{0,3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} - \frac{(4 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{0,6 \cdot (10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})}} =$$

$$= \sqrt{\frac{20}{3} - \frac{16}{60}} \text{ c} = \sqrt{\frac{20}{3} - \frac{0,8}{3}} \text{ c} =$$

$$= \sqrt{\frac{19,2}{3}} \text{ c} = \sqrt{6,4} \text{ c} = \frac{8}{\sqrt{10}} \text{ c} \Rightarrow T = t_1 + t_2 = 0,4 \text{ c} + \frac{8}{\sqrt{10}} \text{ c} =$$

$$= 0,4 + \frac{8\sqrt{10}}{10} = (0,4 + 0,8\sqrt{10}) \text{ c}$$

Ответ: 1) $(0,4 + 0,8\sqrt{10}) \text{ c}$.

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!

52

3) Найти, на каком расстоянии S от старта скорость коробки во второй раз будет равна нулю; акалометр 1.2:

~~при $S=0$~~ $0 = U + V_k$
 $V_k = -U$

$$2a_y = (-U)^2 - v_0^2$$
$$-2gy = U^2 - v_0^2 \Rightarrow S = \frac{-U^2 + v_0^2}{2g}$$

$$H = S \cdot \sin \alpha \Rightarrow H = \frac{v_0^2 - U^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

$$H = \frac{(4 \frac{m}{c})^2 - (2 \frac{m}{c})^2}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2}} \cdot 0,8 = \frac{12 \cdot 0,8}{20} m = \frac{6 \cdot 0,8}{10} m =$$

$$= 0,48 m$$

Ответ: 3) $H = 0,48 m$.

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!

52

- 2) ~~Исх~~ Исх Если скорость коробки стала равна $U = 2 \frac{м}{с}$ при ~~подъеме~~ движении вверх. $\Rightarrow$ Т.к. $V_k = U + V_k$, где V - скорость коробки в лабораторной системе отсчета, V_k - в системе отсчета транспортера
 $V = V + V = U = U + V_k \Rightarrow V_k = 0$

Т.к. система транспортера инерциальная,
то: $V_k = 0 \Rightarrow V_k = 0 \Rightarrow 2gh = V_k^2 - V_0^2 = -V_0^2$
 ~~$2gh = V_k^2 - V_0^2 = -V_0^2$~~

Исх н.п. $a = -g \Rightarrow$
(см рис 1.5)

$$-2gh = -V_0^2$$

$$L = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{(4 \frac{м}{с})^2}{2 \cdot 10 \frac{м}{с^2}} = \frac{16}{20} м = 0,8 м$$

Если скорость коробки стала равна $U = 2 \frac{м}{с}$ при движении вниз ~~и т.д.~~ (просто скорость U направлена в другую сторону) $\Rightarrow -U = U + V_k$

$$V_k = -2U \Rightarrow 2gh = -2gh = V_k^2 - V_0^2 = 4U^2 - V_0^2$$

$$L = \frac{(4 \frac{м}{с})^2 - 4 \cdot (2 \frac{м}{с})^2}{2g} = 0 м.$$

$$L = \frac{V_0^2 - 4U^2}{2g}$$

Ответ: 2) $L = 0$ или $L = 0,8 м$

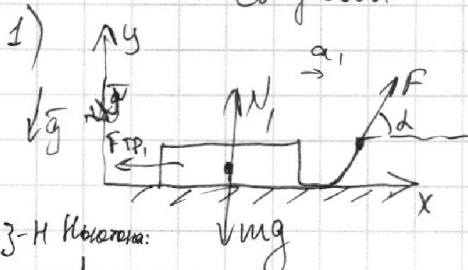
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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

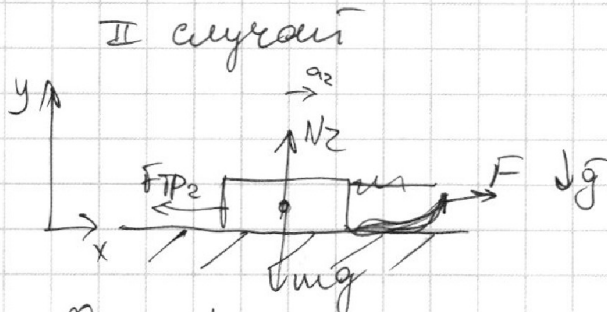
№3

$$F_{тр1} = \mu N_1, F_{тр2} = \mu N_2$$

I случай



II случай



III - Ньютон:

$$Q_y: \mu_1 = mg \sin \alpha + F \sin \alpha$$

$$Q_y: \mu_2 = mg$$

$$Q_x: ma_1 = F \cos \alpha - F_{тр1}$$

$$ma_1 = -\mu(mg \sin \alpha + F \sin \alpha) + F \cos \alpha$$

$$Q_x: F - F_{тр2} = ma_2$$

$$F - \mu mg = ma_2$$

m - масса санок; a_1 и a_2 - ускорения санок в I и II случаях соответственно, F - сила, с которой тянут, N_1, N_2 - силы реакции опоры, $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$ - силы трения, действующие на санки

Т.к. санки разошлись до одной скорости за одинаковое время, то $a_1 = a_2 \Rightarrow ma_1 = ma_2 \Rightarrow$

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

$$-\mu mg + \mu F \sin \alpha + F \cos \alpha = F - \mu mg$$

$$+\mu F \sin \alpha + F \cos \alpha = F$$

$$\cos \alpha - \mu \sin \alpha = 1 \quad \mu \sin \alpha = 1 - \cos \alpha$$

$$\mu \sin \alpha = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \quad \boxed{\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}}$$

2) После того, как санки отпустили:

a - ускорение санок.

$F_{тр}$ - сила трения

$$F_{тр} = \mu N$$

$$v_0 + at = 0 \Rightarrow T = -\frac{v_0}{a}$$

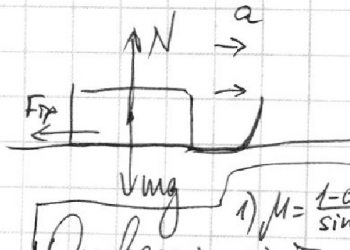
$$T = \frac{v_0}{\mu g}$$

III - Ньютон:

$$Q_x: ma = -F_{тр}$$

$$Q_y: N = mg$$

$$ma = -\mu mg \Rightarrow a = -\mu g$$



Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ 2) $T = \frac{v_0}{\mu g}$

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!

Д4

ν = количество газа

- 1) Q_{12} - тепло, переданное газу в процессе 1-2,
 C_{12} - теплоемкость газа в процессе 1-2

ΔT_{12} - изменение температуры в процессе 1-2

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = 4T_1 - T_1 = 3T_1$$

↑
температура
в точке 2

$C_{12} = 2R$ из графика

$$Q_{12} = C_{12} \cdot \Delta T_{12} \cdot \nu = 2R \cdot 3T_1 \cdot \nu = 6RT_1 \nu$$

т.к. C_{12} не меняется
в процессе

$$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow A_{12} = Q_{12} - 1,5 \nu R \cdot 3T_1 = Q_{12} - 4,5 \nu RT_1$$

↑
т.к. газ одноатомный

$$A_{12} = 6RT_1 \nu - 4,5 \nu RT_1 = 1,5 \nu RT_1$$

$$A_{12} = 1,5 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 400 \text{ К} = 600 \cdot 8,31 \text{ Дж} =$$

$$= 4986 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 4986 Дж

- 2) $\eta = \frac{A}{Q_+}$, где A - работа газа за цикл,
 Q_+ - ^{количество}тепла, переданного газу за цикл. $Q_+ > 0$

Аналогично и 1 найдем тепло переданное газу
 Q_{ij} и работу, совершаемую газом A_{ij} на участке $i-j$
 ΔT_{ij} - известные температуры на участке $i-j$
 T_i - температура в точке i .
 C_{ij} - теплоемкость на участке $i-j$

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!

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{4,5 \text{ Дж}}{(3,5 + 5\sqrt{2}) \text{ Дж}} = \frac{4,5}{3,5 + 5\sqrt{2}} = \frac{9}{7 + 10\sqrt{2}} \quad \boxed{\text{Ответ: } 2) \eta = \frac{9}{7 + 10\sqrt{2}}}$$

3) P_2, P_3 и V_2, V_3 - давления ^{и объёмы} в состояниях 2 и 3, соответственно

Ур-е состояния идеального газа:

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$P_3 V_3 = \nu R T_3$$

$\nu C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} + \frac{3}{2} \nu R$ - формула для общего случая,
где Q - подведённое тепло, ΔT - изменение температуры газа

$$C = \frac{\Delta(PV)}{\nu \Delta T} + \frac{3}{2} R \Rightarrow \text{Если } C = \text{const, то } \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \text{const}$$

$\nu R \Delta T = \frac{PV - P_0 V_0}{\text{ср.}} \Rightarrow$ где P_0, V_0 - изначальные давление и объём; P, V - конечные.

В изобарном процессе: $\frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{P \Delta V}{\Delta T} = \frac{P(V - V_0)}{\Delta T} = \nu R$

$\Rightarrow C_p = \nu R + \frac{3}{2} \nu R = \frac{5}{2} \nu R = C_{3,1} \Rightarrow$ Процесс 3-1 изобарный $\Rightarrow P_3 = P_1 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_1} =$

$$= \frac{2^{1,5} T_1}{T_1} = 2^{1,5} = 2\sqrt{2} \Rightarrow V_3 = 2\sqrt{2} V_1$$

Тогда $A_{23} = P_1 \cdot (2\sqrt{2} - 1) V_1 = \nu R T_1 (2\sqrt{2} - 1) \Rightarrow$ Сходится.

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!

Процесс 2-3:

$$Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23}$$

↑
не меняется

$$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 = 2^{1,5} T_1 - 4 T_1 = (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1$$

$$C_{23} = 0,5 R$$

$$2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} < 4$$

$$Q_{23} = A_{23} + \frac{3}{2} R \Delta T_{23}$$

$$Q_{23} = 0,5 (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 R$$

$$\Delta T_{23} < 0$$

$$Q_{23} < 0$$

$$A_{23} = Q_{23} - 1,5 R \Delta T_{23}$$

$$A_{23} = \frac{1}{2} (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 R - 1,5 R \cdot (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 =$$

$$= \frac{1}{2} (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 R - 1,5 R T_1 (2^{\frac{3}{2}} - 4) = (4 - 2\sqrt{2}) R T_1$$

Процесс 3-1:

$$Q_{31} = C_{31} \Delta T_{31}$$

$$\Delta T_{31} = T_3 - T_1 = (2^{1,5} - 1) T_1 > 0$$

$$C_{31} = 2,5 R - \text{const}$$

$$Q_{31} = 2,5 R (2^{1,5} - 1) T_1 > 0$$

$$Q_{31} = A_{31} + \frac{3}{2} R \Delta T_{31} \Rightarrow A_{31} = Q_{31} - 1,5 R \Delta T_{31} =$$

$$= 2,5 R T_1 (2^{1,5} - 1) - 1,5 R (2^{1,5} - 1) T_1 =$$

$$= R T_1 (2^{1,5} - 1)$$

Т.к. $Q_{31} > 0$, $Q_{23} < 0$, $Q_{12} > 0$, то: $Q_+ = Q_{31} + Q_{12}$

$$A = A_{12} + A_{31} + A_{23} = 1,5 R T_1 + R T_1 (2^{1,5} - 1) + (4 - 2\sqrt{2}) R T_1 =$$

$$= 1,5 R T_1 (1,5 + 2\sqrt{2} - 1 + 4 - 2\sqrt{2}) = 4,5 R T_1$$

$$Q_+ = 6 R T_1 + 2,5 R T_1 (2\sqrt{2} - 1) = R T_1 (6 - 2,5 + 5\sqrt{2}) =$$

$$= (3,5 + 5\sqrt{2}) R T_1 \Rightarrow$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

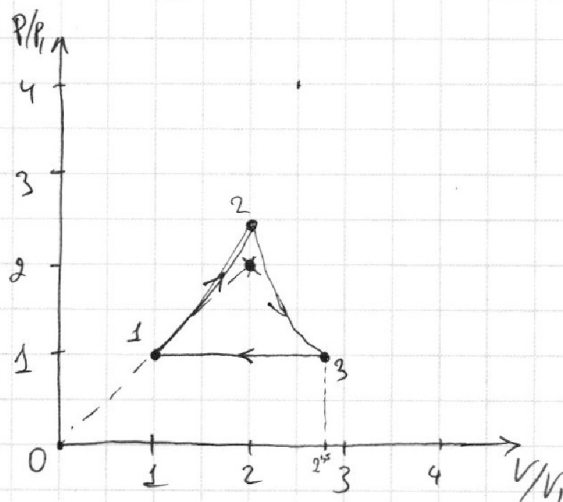
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3). продолжение.

$$C = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{1}{5}P$$

$$C_{12} = \frac{\Delta(PV)_{12}}{\Delta T_{12}}$$



$$C_V = C_p + R = 3,5R$$

т.к. C_{12} и C_{23} - const, но

$C_{12} \neq C_V$ и $C_{23} \neq C_V$, т.к.
 C_V - теплоёмкость
в изохорном
процессе,

то
в процессе 1-2:
 PV растёт линейно.
или $PV \sim T$
 $P \sim \frac{T}{V}$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \sqrt{2}$$

~~$$P_2 = P_3 \cdot \frac{V_3}{V_2} \cdot \sqrt{2} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \sqrt{2}$$~~

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1}{V_2} \cdot 4$$

$$A_{12} = 1,5 JRT_1 = 1,5 P_1 V_1$$

Продолжим, что процесс линейный. Тогда

$$\angle A_{23} = (4 - 2\sqrt{2}) JRT_1 = (4 - 2\sqrt{2}) P_1 V_1$$

Тогда по известной найдём
точку 2.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

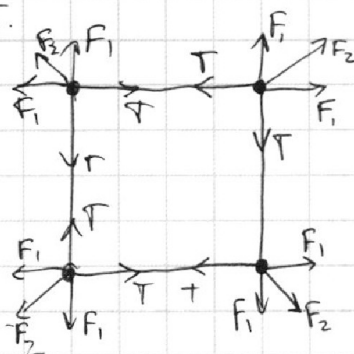
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

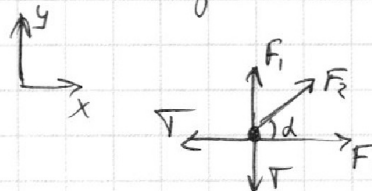
МФТИ



№5.



Т.к. картинка симметрична, то $\alpha = 45^\circ$ и все силы на шарик $\uparrow$ одинаковы
Рассмотрим 1 шарик
символично:
 $\alpha = 45^\circ$



III закон Ньютона:

$$O_x: F_1 + F_2 \cos \alpha = T$$

$$O_y: F_1 + F_2 \sin \alpha = T$$

$$T = F_1 + F_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$T = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2b^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

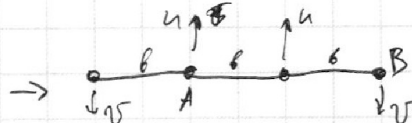
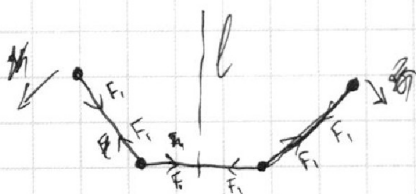
Ответ: 1) $T = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$

F_1 - сила, действующая на шарик со стороны соседнего, F_2 - со стороны дальнего

$$F_1 = k \cdot \frac{q \cdot q}{b^2} = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$F_2 = k \cdot \frac{q \cdot q}{b^2 + b^2} = \frac{kq^2}{2b^2}$$

2) Т.к. картинка симметрична, то все шары будут двигаться симметрично относительно оси l :



ЗСЭ отн. т. А:

$$2 \cdot \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} \right) =$$

$$0 = 2 \frac{mv^2}{2} + \frac{2mv^2}{2} + \left(\frac{kq^2}{b\sqrt{2}} - kq \right)$$

ЗСН:

$$0 = mv - mv$$

$u = v$
для осей вдоль которых движется пара шаров.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

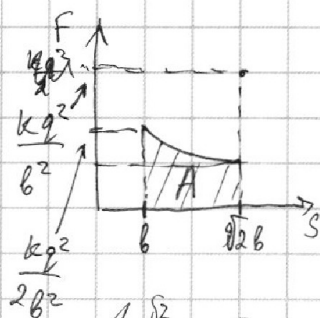
МФТИ

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

ЗСЭ: ~~2~~ 4

$$2 \cdot \frac{mv^2}{2} + 2 \frac{mv^2}{2} = \cancel{2 \cdot \frac{mv^2}{2} + 2 \frac{mv^2}{2}} \quad 2A$$

A =



s - расстояние
между шаром A
и шаром B.

F - сила, действующая на шар B

$$A = \int_b^{1/2 b} \frac{kq^2}{s^2} ds = \ln \frac{1/2 b}{b} \frac{kq^2}{b}$$



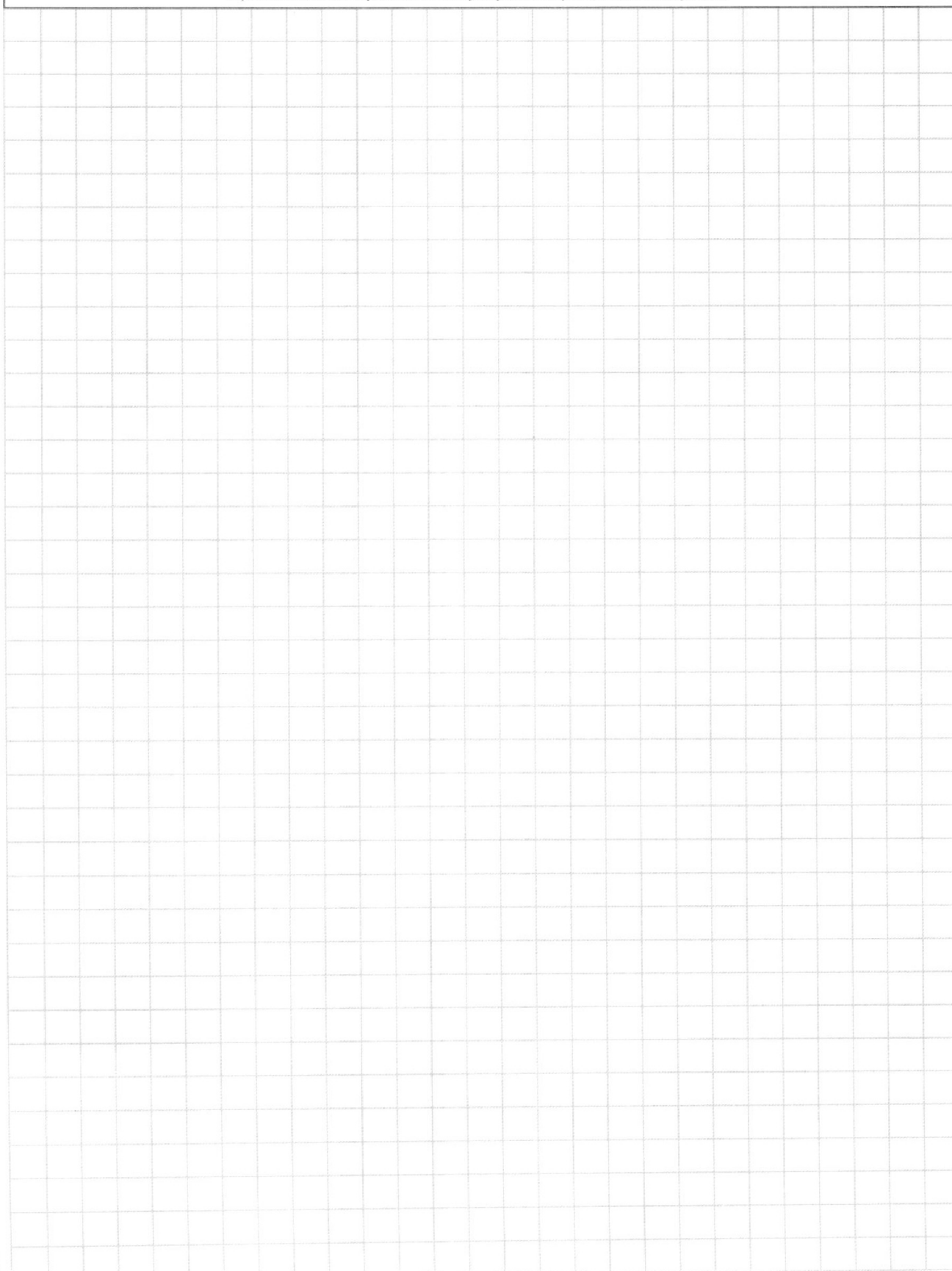
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

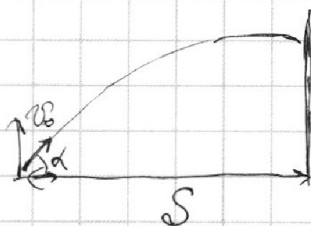


Черновик. $\sqrt{2}$.

$$v_0 - gT = 0$$

$$v_0 = gT$$

$$20 \frac{m}{c}$$



$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = 4g^2 d + 3$$

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

$$v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = h$$

$$S \cdot \frac{1}{2} g d - \frac{gS^2}{2v_0^2} (4g^2 d + 3) = h$$

Задание:

$$n = \frac{1}{2} g d$$

$$S \cdot n - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot n^2 = h + \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$v_0 \cdot \frac{S}{v_0 \cos \alpha} \sin \alpha - g \cdot \frac{S^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} = h$$

$$S \cdot \frac{1}{2} g d - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = h$$

$$h^2 \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} - S \cdot n - h - \frac{gS^2}{2v_0^2} = 0$$

$$-\frac{gS^2}{2v_0^2} + g^2 d + S \cdot \frac{1}{2} g d - \frac{gS^2}{2v_0^2} = h$$

$$D = S^2 - 4 \cdot gS^2$$

$$\left(-\frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot x^2 + S \cdot x - \frac{gS^2}{2v_0^2} \right)' =$$

$$= -2 \cdot \frac{gS^2}{2v_0^2} x + S = 0 \Rightarrow \frac{gS^2}{v_0^2} x = S$$

$$\frac{gS^2}{v_0^2} x = S$$

$$x = \frac{S v_0^2}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS}$$

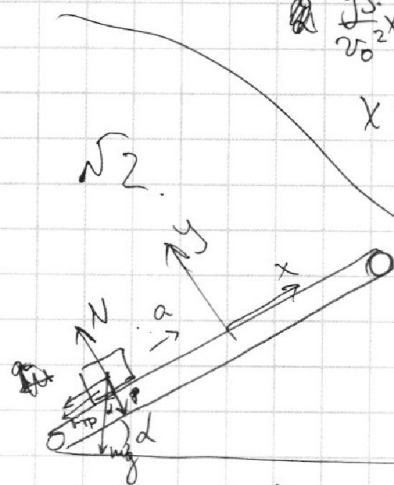
$$= \frac{400}{10 \cdot 20} = 2 = \frac{1}{2} g d$$

$$\frac{16}{20} = \frac{4}{5} = 0.8$$

$$h = -2 \frac{gS^2}{v_0^2} + 2S - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$h = 2S - 2,5 \frac{gS^2}{v_0^2}$$

$$40m - 2,5 \cdot \frac{10 \cdot 400}{400} = 15m$$



$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{tr} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$ma = -F_{tr} - mg \sin \alpha = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

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

$$S = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

$$\frac{gT^2}{2} - v_0 T + S = 0$$

$$D = v_0^2 - 4 \cdot \frac{gS}{2} = 16 + 20 = 36$$

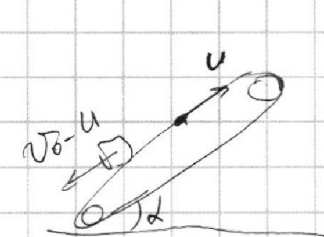
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta PV}{\Delta T} + \frac{3}{2}R$$

$$C_p = \frac{P \Delta V}{\Delta T} + \frac{3}{2}R = \frac{5}{2}R$$

$$PV = \nu RT$$

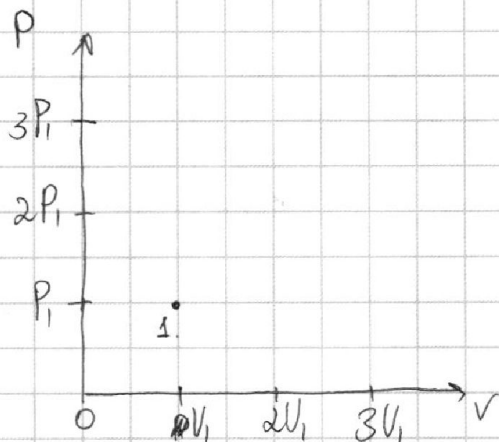
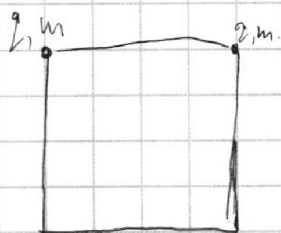
$$P(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T)$$

$$\Rightarrow P \Delta V = \nu R \Delta T$$

$$\frac{M^3 \cdot C^{-2}}{M^2 \cdot C^{-2}} = M$$

$$\left(\frac{M}{L^2} \right)^3 \cdot \frac{C^4}{\left(\frac{M}{L^2} \right)^2} = \left(\frac{M}{L^2} \right)^4$$

DS.



η_{p1-3} :

$$\frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \text{const}$$

$$\frac{P \Delta V}{\Delta T} = \text{const}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \text{const}$$

$$\frac{3.5}{10.5}$$

Анализ

$$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$\Delta T_{12} = 3T_1$$

$$A_{12} = \nu C \cdot \Delta T_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = 4.5 \nu R \Delta T_{12}$$

$$= 2 \nu R \Delta T_{12} + 1.5 \nu R \Delta T_{12} = 3.5 \nu R \Delta T_{12}$$

$$= 10.5 \nu R T_1$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1}{4}$$

$$V_2 = 4V_1$$