



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.

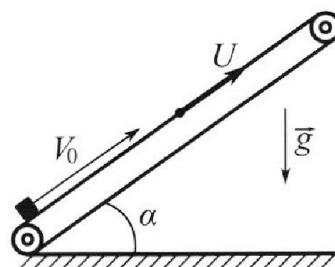
2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью  $V_0$  под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии  $S = 20$  м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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/с<sup>2</sup>. 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.

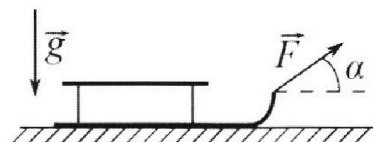
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

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  $\mu$  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.



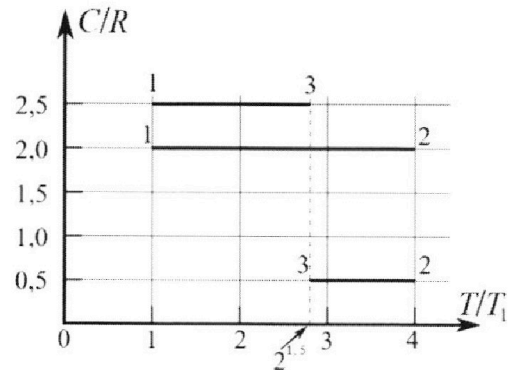
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



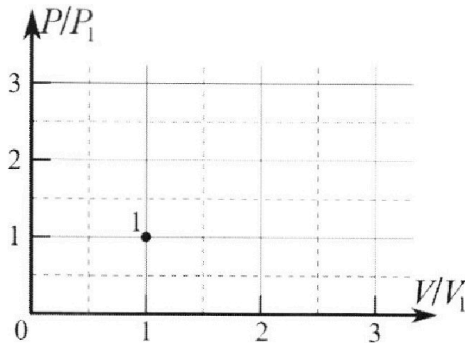
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 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  $\eta$  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.



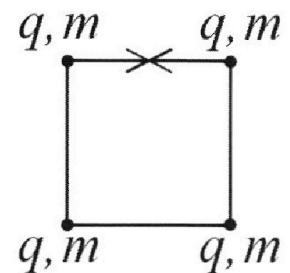
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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.

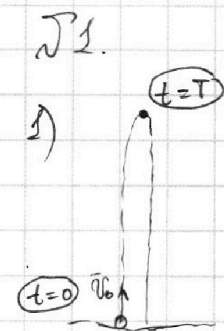
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

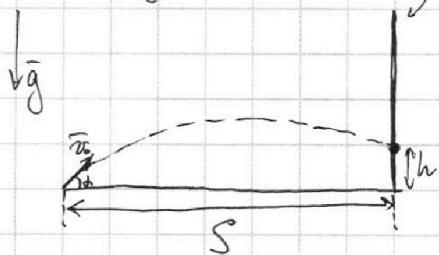


На максимальной высоте скорость мяча:

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

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

2) Мяч выстрелен под углом  $\alpha$  к горизонту. Тогда:



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

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

Рассмотрим угол  $\alpha$  к  $h$ :

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

Т.к.  $\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$ , то:

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

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

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

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0^2}{gS} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{(20)^2}{10 \frac{м}{с^2} \cdot (20)^2} = \frac{400}{4000} = 0.1 \Rightarrow$$

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!

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

$$h = h_{\max} \text{ при } tgd = 2 \Rightarrow$$
$$h = h_{\max} = S \cdot 2 - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot 2^2 = 2 \left( S - \frac{gS^2}{v_0^2} \right) =$$
$$= 2 \left( S - \frac{gS^2}{g^2 t^2} \right) = 2 \left( S - \frac{S^2}{gt^2} \right)$$
$$h_{\max} = 2 \left( 20 \text{ м} - \frac{(20 \text{ м})^2}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2\text{с})^2} \right) = 2 \cdot$$

$$h = h_{\max} \text{ при } tgd = 2$$
$$h = h_{\max} = 2S - \frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot 2^2 - \frac{gS^2}{2v_0^2} = 2S - 2,5 \cdot \frac{gS^2}{v_0^2} =$$
$$= 2S - 2,5 \cdot \frac{gS^2}{(gt)^2} = 2S - 2,5 \frac{S^2}{gt^2}$$
$$h_{\max} = 2 \cdot 20 \text{ м} - 2,5 \cdot \frac{(20 \text{ м})^2}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (2\text{с})^2} = (40 - 2,5 \cdot 10) \text{ м} = (40 - 25) \text{ м} =$$
$$= 15 \text{ м.}$$

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



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

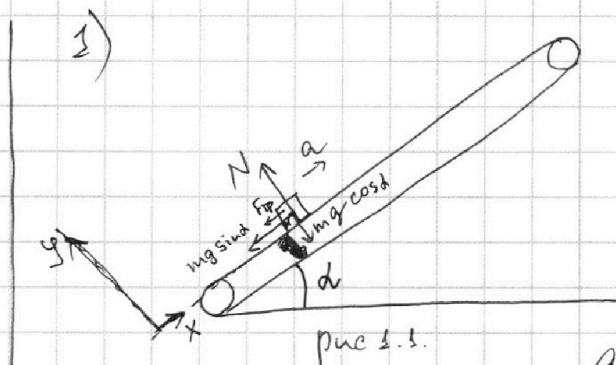
- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



$v_0 = 4 \frac{м}{с}$   
 $\mu = \frac{1}{3}$   
 $\sin \alpha = 0,8$   
 $S = 1 м$



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

II Закон Ньютона для коробки:  $m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + m\vec{g} + \vec{N}$

На ось  $Ox$ : (см. рис.)

$ma = -F_{тр} - mg \sin \alpha$

На ось  $Oy$ :

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

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

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

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

$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$  Предполагаем, что коробка проехала путь  $S$ , движась только вверх

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

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

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

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

$\Rightarrow$  коробка проехала  $S_1$  метров "вверх", <sup>за время  $t_1$</sup>  остановилась <sup>и</sup> проехала  $S_2$  метров "вниз" по ленте <sup>за время  $t_2$</sup>

где  $S_1 + S_2 = S, T = t_1 + t_2$

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

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**

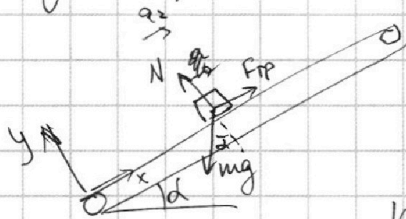
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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

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

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

Когда коробка поедет обратно:



$a_2$  - новое ускорение.

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

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

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

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

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

- т.к. мы  
бгп. сторону

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

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

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

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

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

Ответ: 1)  $(0,4 + 0,8\sqrt{10})c$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



52

3) Какое, на каком расстоянии  $S$  от старта скорость коробки во время будет равна нулю; а как высота  $h$ :

~~при  $S=0$~~   $0 = U + v_k$

$$v_k = -U$$

$$2ag = (-U)^2 - v_0^2$$

$$-2ag = U^2 - v_0^2 \Rightarrow S = \frac{-U^2 + v_0^2}{2g}$$

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

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

$$= 0,48 m$$

Ответ: 3)  $H = 0,48 m$ .



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!

Д2

2) ~~Иссл.~~ Иссл. скорость коробки стала  
равна  $U = 2 \frac{м}{с}$  при ~~подъеме~~

движением вверх.  $\Rightarrow$  Т.к.  $V_{\text{к}} = U + V_{\text{к}}$ , где  
 $V$  - скорость коробки в лабораторной систе-  
ме отсчета,  $V_{\text{к}}$  - в системе отсчета транспортера

$$V = V_{\text{к}} + U = U + V_{\text{к}} \Rightarrow V_{\text{к}} = 0$$

Т.к. система транспортера инерциальная,

то:  $V_{\text{к}} \neq 0 \Rightarrow V_{\text{к}} = 0 \Rightarrow 2ah = V_{\text{к}}^2 - V_0^2 = -V_0^2$   
 ~~$2ah = V_0^2 - V_{\text{к}}^2 = -V_0^2$~~

Уг н. л.  $a = -g \Rightarrow$   
(см рис 5.5)

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

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

Иссл. скорость коробки стала равна  $U = 2 \frac{м}{с}$  при  
движением вниз ~~и т.д.~~ (просто скорость  $U$   
направлена в другую сторону)  $\Rightarrow -U = U + V_{\text{к}}$

$$V_{\text{к}} = -2U \Rightarrow 2ah = -2gh = V_{\text{к}}^2 - V_0^2 = 4U^2 - V_0^2$$

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

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

Ответ: 2)  $L = 0 м$  или  $L = 0,8 м$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

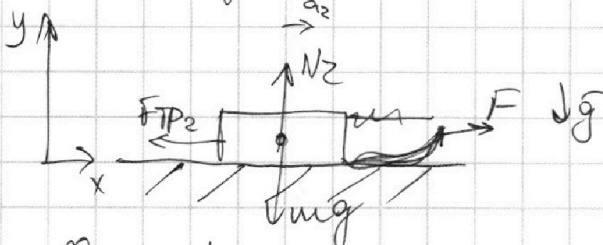
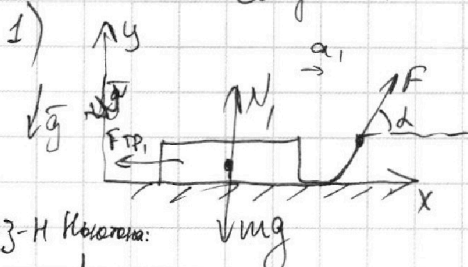


№3

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

I случай

II случай



IIЗ-Н Ньютона:

$$O_y: N_1 = mg + F \cdot \sin d$$

$$O_y: N_2 = mg$$

$$O_x: ma_1 = F \cos d - F_{тр1}$$

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

$$O_x: F - F_{тр2} = ma_2$$

$$F - \mu mg = ma_2$$

$m$  - масса санок;  $a_1$  и  $a_2$  - ускорения санок в I и II сл. 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  $a_1 = a_2 \Rightarrow ma_1 = ma_2 \Rightarrow$

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

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

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

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

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

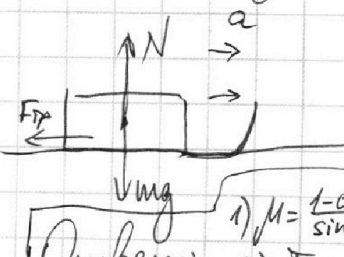
2) То же тою, как санки отпустили:

IIЗ-Н Ньютона:

$$O_x: ma = -F_{тр}$$

$$O_y: N = mg$$

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



$a$  - ускорение санок.

$F_{тр}$  - сила трения

$$F_{тр} = \mu N$$

$$v_0 + at = 0 \Rightarrow$$

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

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

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



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!

D4

$\nu$  = масса - кол-во газа

1)  $Q_{12}$  - тепло, переданное газу в процессе 1-2,

$C_{12}$  - теплоемкость газа в процессе 1-2

$\Delta T_{12}$  - 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

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

↑  
т.к. газ одноатомный

$$A_{12} = 6RT_1 \nu - 4,5 \nu R T_1 = 1,5 \nu R T_1$$

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

$$= 4986 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 4986 Дж

2)  $\eta = \frac{A}{Q_+}$ , где  $A$  - работа газа за цикл,  
 $Q_+$  - тепло, переданное газу за цикл.  $Q_+ > 0$

Аналогично и с найдем тепло переданное газу  $Q_{ij}$  и работу, совершаемую газом  $A_{ij}$  на участке  $i-j$   
 $\Delta T_{ij}$  - изменение 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
<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!



$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{4,5 \cancel{JRT_1}}{\cancel{JRT_1} (3,5 + 5\sqrt{2})} = \frac{4,5}{3,5 + 5\sqrt{2}} = \frac{9}{7 + 10\sqrt{2}} \quad \boxed{\text{Ответ: } 2) \eta = \frac{9}{7 + 10\sqrt{2}}}$$

3)  $P_2, P_3$  и  $V_2, V_3$  - давления <sup>и объемы</sup> в состояниях 2 и 3, соответственно

Ур-е состояния идеального газа:

$$P_1 V_1 = JRT_1$$

$$P_2 V_2 = JRT_2$$

$$P_3 V_3 = JRT_3$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} + \frac{3}{2} J R \quad \text{- формула для общего случая,}$$

где  $Q$  - подведенное тепло,  $\Delta T$  - изменение температуры газа

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

$J R \Delta T = \frac{PV - P_0 V_0}{\cancel{JRT_1}}$ , где  $P_0, V_0$  - изначальные давление и объем;  $P, V$  - конечные.

$$\text{В изобарном процессе: } \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{P \Delta V}{\Delta T} = \frac{PV - P_0 V_0}{\Delta T} = J R$$

$$\Rightarrow C_p = J R + \frac{3}{2} J R = \frac{5}{2} J R = C_{3,1} \Rightarrow \text{Процесс 3-1 изобар-}$$

↑  
теплоемкость  
в изобарном  
процессе

$$\text{Идеи} \Rightarrow P_3 = P_1 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{P_1 T_3}{P_1 T_1} =$$

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

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



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!



Процесс 2-3:

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

$$Q_{23} = C_{23} \nu_0 \Delta T_{23}$$

↑  
не меняется

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

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

$$Q_{23} = A_{23} + \frac{3}{2} \nu R_0 \Delta T_{23}$$

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

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

$$Q_{23} < 0$$

$$A_{23} = Q_{23} - 1,5 \nu R_0 \Delta T_{23}$$

$$A_{23} = \frac{1}{2} (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 \nu R - 1,5 \nu R_0 (2^{\frac{3}{2}} - 4) T_1 =$$

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

Процесс 3-1:

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

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

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

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

$$Q_{31} = A_{31} + \frac{3}{2} \nu R_0 \Delta T_{31} \Rightarrow A_{31} = Q_{31} - 1,5 \nu R_0 \Delta T_{31} =$$

$$= 2,5 \nu R T_1 (2^{1,5} - 1) - 1,5 \nu R_0 (2^{1,5} - 1) T_1 =$$

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

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

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

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

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

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

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

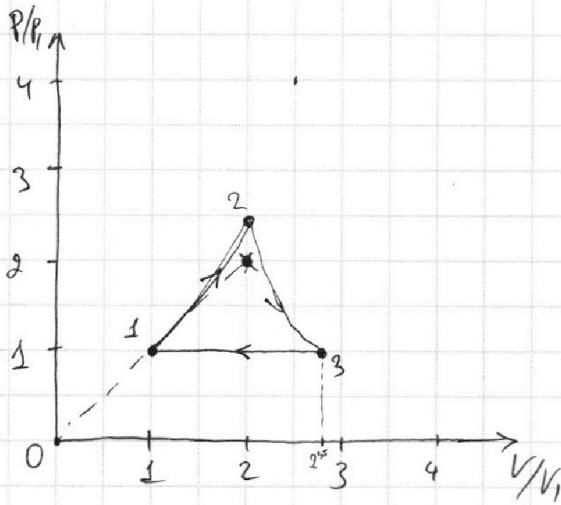
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3). продолжение.

$$C_1 = \frac{\Delta(PV)}{\Delta T} = \frac{\Delta(PV)}{0} = \frac{1}{0} P$$

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



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

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  
 для  $PV \sim T$   
 $P \sim \frac{T}{V}$

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

~~$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \sqrt{2} = \frac{V_1}{V_2} \cdot 4$$~~

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

$$A_{12} = 1,5 \Delta RT = 1,5 P_1 V_1$$

Предположим, что процесс линейный. Тогда

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

Тогда по теореме Каллема найдем точку 2.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

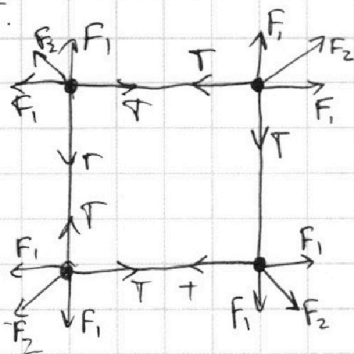
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

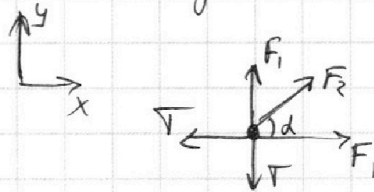
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



15.



1) Т.к. картинка симметрична, то  $d=45^\circ$  и все силы ~~напряжения~~ одинаковы. Рассмотрим 1 шарик <sup>напряжения равны</sup> угловое:



II 3-й закон Ньютона:

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

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

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

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

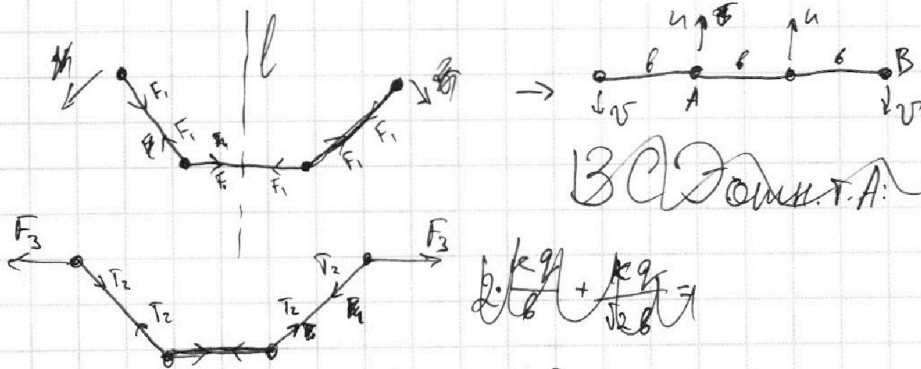
Ответ: 1)  $T = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$

$F_1$  - сила, действующая на шарик со стороны соседа,  $F_2$  - со стороны гравитации

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

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

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



ЗСЭ (Закон сохранения энергии):

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

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

ЗСМ:

$$0 = mv - mv$$

$$v = v$$

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

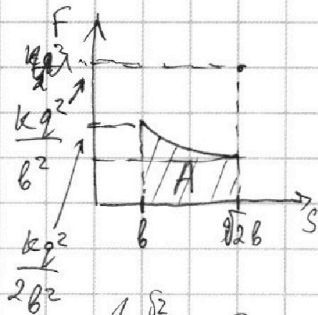
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



ЗСЭ. ~~ЗСЭ~~

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

A =



s - расстояние  
между шаром А  
и шаром В.

F - сила, действующая  
на шар В

$$A = \int_0^{\sqrt{2}b} \frac{kq^2}{b^2} ds = \ln \sqrt{2} \frac{kq^2}{b^2}$$



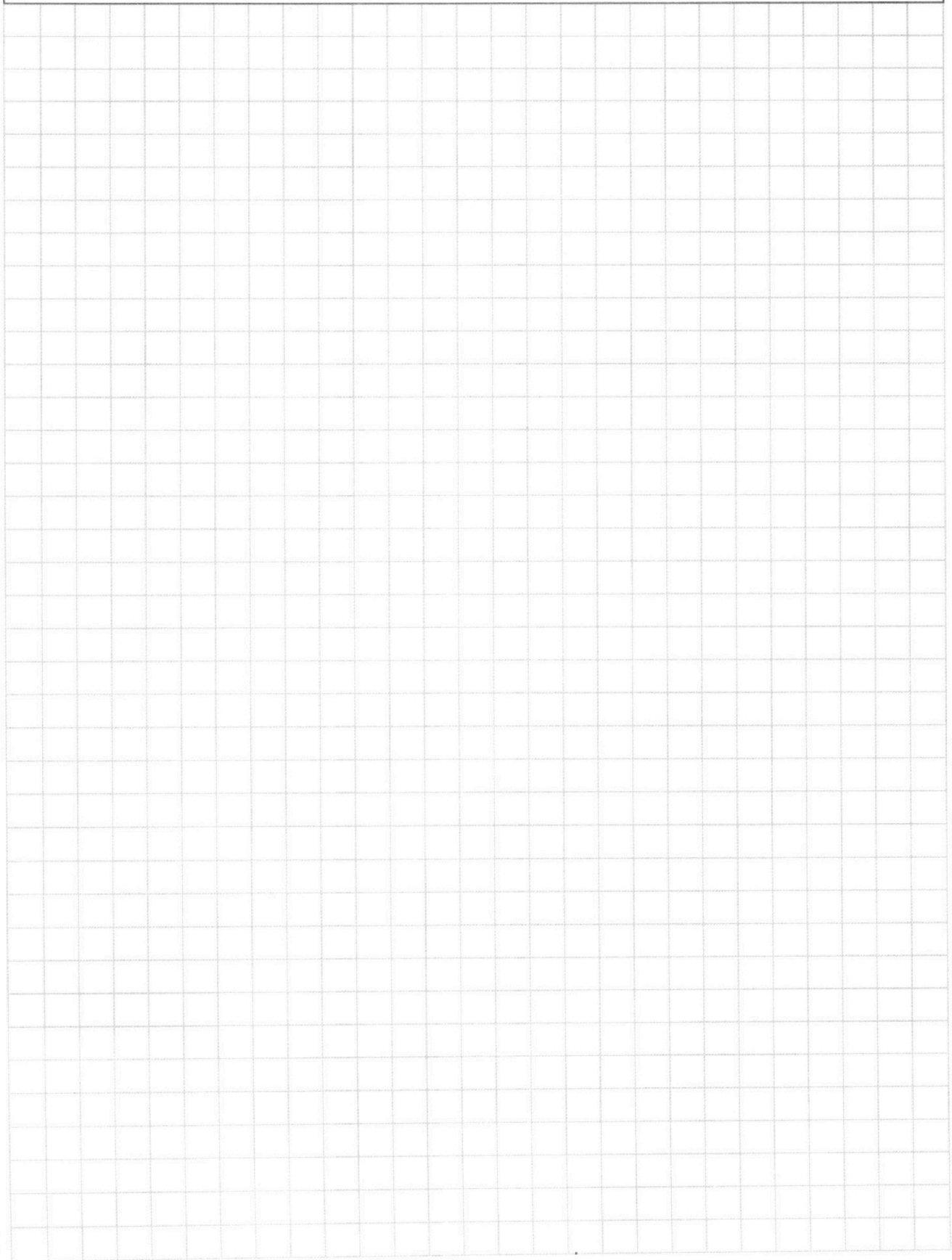
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



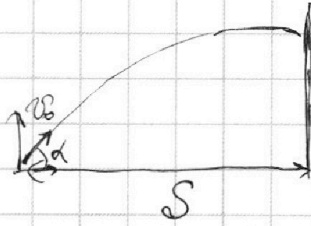
Черновик.  $\vec{v}_1$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \sqrt{g^2 d + \beta}$$

$$v_0 - gt = 0$$

$$v_0 = gt$$

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



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

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

$$S \cdot \sqrt{gh} - \frac{gS^2}{2v_0^2} (\sqrt{gh} + 1) = h$$

Задана:

$$h = \sqrt{gd}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= \frac{400}{10 \cdot 20} = 2 = \sqrt{gd}$$

$$\begin{array}{r} 19 \cdot 2 \cdot 3 \\ 18 \cdot 2 \cdot 69 \\ \hline 5 \cdot 2 \\ \hline 11 \cdot 0 \end{array}$$

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

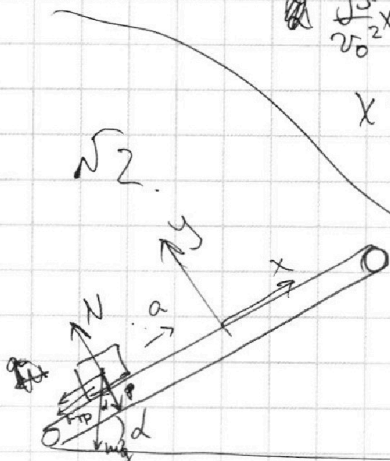
$$x = \frac{S v_0^2}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS}$$

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

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

$$20 \cdot 0.8 = 16$$

$$h = 2S - 2.5 \frac{gS^2}{v_0^2} = 40m - 2.5 \cdot \frac{10 \cdot 400}{400} = 15m$$



$$N = mg \cos \alpha$$

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

$$S = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

$$\frac{gt^2}{2} - v_0 t + S = 0$$

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

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

$$D = v_0^2 - 4 \cdot 10 \cdot 20 = 16 + 20 = 36$$

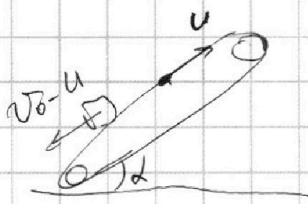
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



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

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

$$PV = \nu RT$$

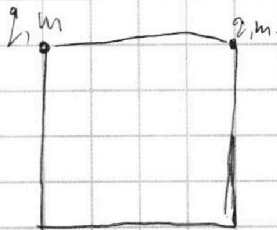
$$P(V+\Delta V) = \nu R(T+\Delta T)$$

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

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

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

$\nu$



$\eta_{p 1-3} :$

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

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

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

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

$A_{12}$

$$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12} \quad \Delta T_{12} = 3T_1$$

$$A_{12} = \nu C \cdot \Delta T_{12} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12} = 4,5\nu R\Delta T_{12}$$

$$= 2\nu R\Delta T_{12} + 1,5\nu R\Delta T_{12} = 3,5\nu R\Delta T_{12}$$

$$= 10,5\nu R T_1$$

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

$$V_2 = 4V_1$$