



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

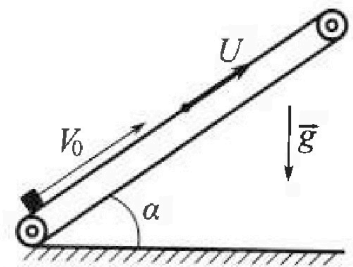
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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?

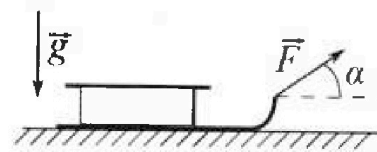
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

- 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.

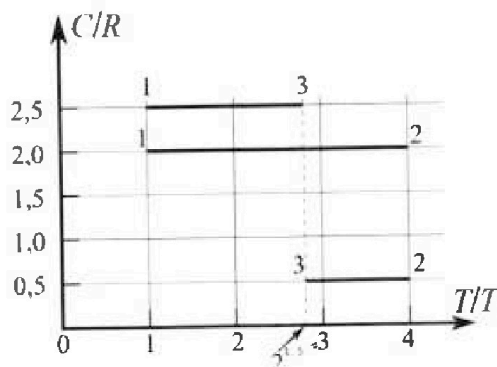
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



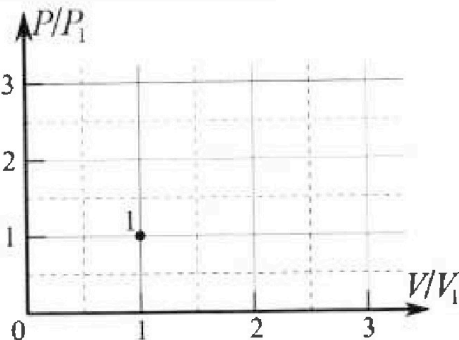
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



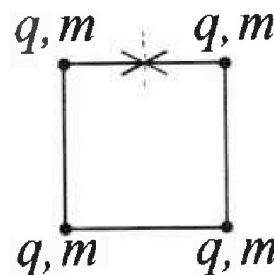
1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

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.

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. Дано:

Решение

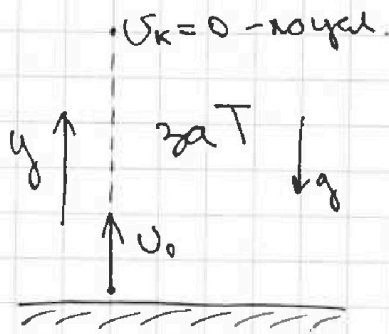
$$T = 2c$$

$$S = 20 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v_0 = ?$$

$$H = ?$$



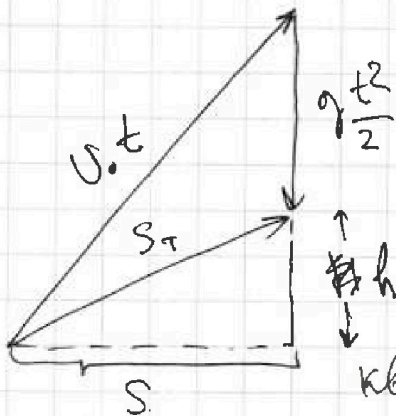
v_k - скорость мяча в высшей точке траектории

По усл. единственная сила, действующая на мяч - сила тяжести, но движение мяча равноускоренное ($a = -g$)

$$0y: v_y = v_{0y} + g_y t \Rightarrow v_k = v_0 - gT = 0 \Rightarrow$$

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

Рассмотрим криволинейный путь мяча пусть мяч за время t переместится по горизонт. на S .
 Δ перемещений:



Тр. Пифагора:

$$v_0^2 t^2 = S^2 + \left(g \frac{t^2}{2} + h \right)^2$$

$$v_0^2 t^2 = S^2 + \frac{g^2 t^4}{4} + g t^2 h + h^2$$

$$\frac{g^2 t^4}{4} + t^2 (gh - v_0^2) + S^2 + h^2 = 0$$

кв-ное ур-ие отн. t^2

Пусть $h = H$ $D = 0$ т.к. $H = h_{\text{max}}$ (1 время соответствует)

$$\left(g \frac{H}{2} - v_0^2 \right)^2 - 4 \cdot \frac{g^2}{4} \left(S^2 + \frac{H^2}{4} \right) = 0$$

$$\frac{g^2 H^2}{4} - 2g \frac{H}{2} v_0^2 + v_0^4 - g^2 S^2 - \frac{g^2 H^2}{4} = 0 \rightarrow \frac{H}{2} = \frac{-g^2 S^2 + v_0^4}{2g v_0^2}$$

стр. 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!

$$H = \frac{400 \cdot 400 - 100 \cdot 400}{20 \cdot 400} = \frac{30}{2} = 15 \text{ м}$$

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

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!

2. Дано:

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

$$v_0 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

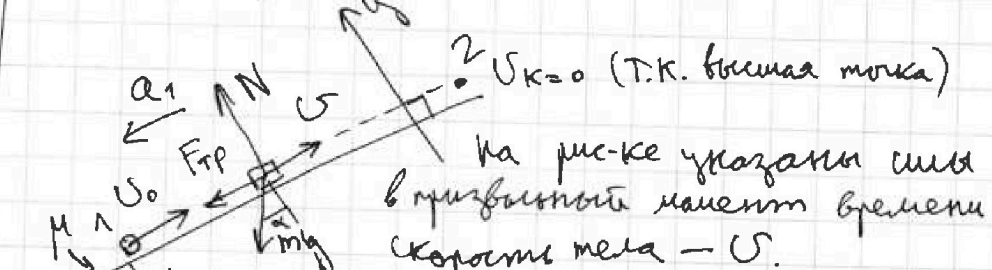
$$S = 1 \text{ м}$$

$$u = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Решение

$$\text{Т.к. } \sin \alpha = 0,8 \rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - 0,64} = 0,6$$



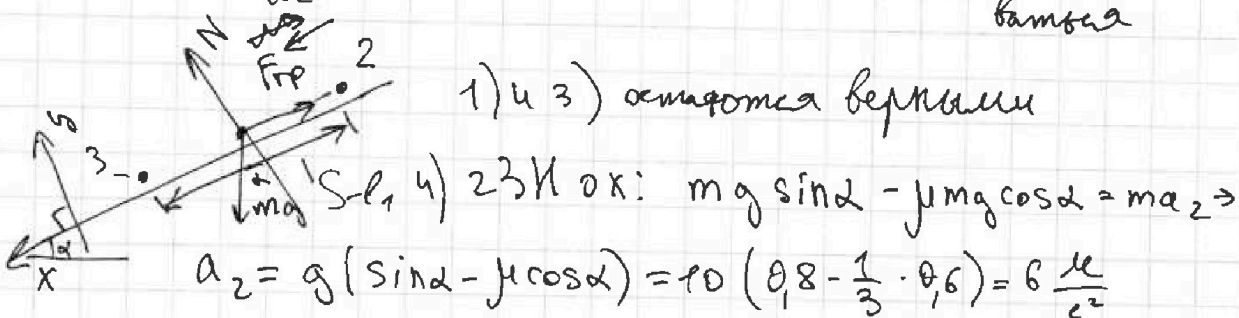
$$1) \text{ 2 ЗК } o_y: N = mg \cos \alpha$$

$$2) \text{ 2 ЗК } o_x: F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma_1$$

$$3) F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha - \text{т.к. скольжение}$$

$$3) \rightarrow 2): \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = ma_1 \rightarrow a_1 = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 10 \cdot (0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6) = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$l_1 = \frac{v_0^2}{2a_1} = \frac{16}{2 \cdot 10} = 0,8 \text{ м} - \text{перемещение коробки до момента остановки (момент 2 на рис-ке)} \quad l_1 < 1 \text{ м} \Rightarrow \text{тело только скатывалось}$$



$$a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 10(0,8 - \frac{1}{3} \cdot 0,6) = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{нужно тело пройти } S - l_1 \text{ за } t_2, \text{ тогда } S - l_1 = \frac{a_2 t_2^2}{2} \rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2(S - l_1)}{a_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{6}} = \sqrt{\frac{2}{30}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

$$t_1 - \text{время движения из } T_1 \text{ в } T_2, \text{ тогда: } t_1 = \frac{v_0}{a_1} = 0,4 \text{ с.}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

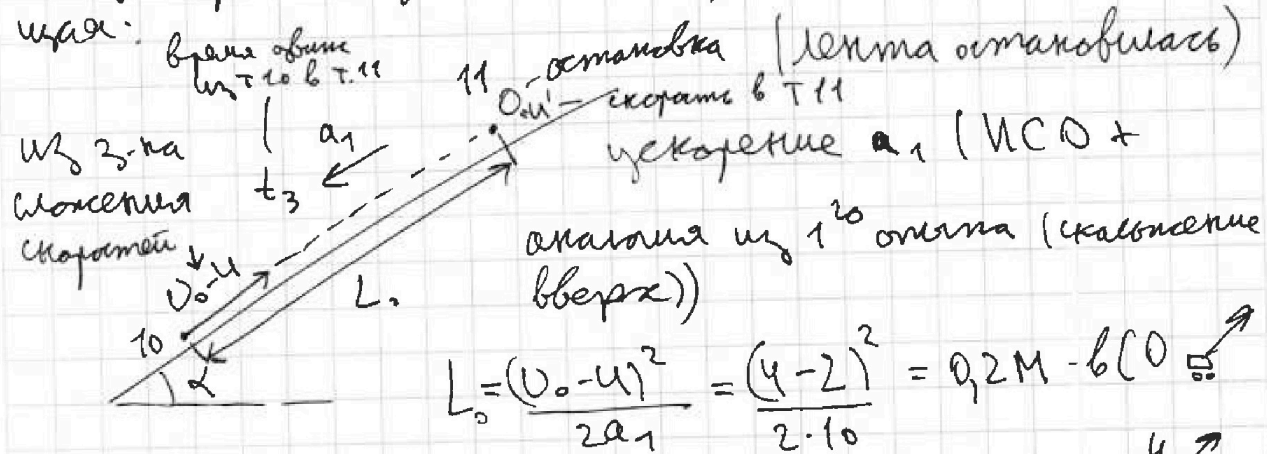
МФТИ

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

$$T = t_1 + t_2 = 0,4 \text{ с} + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

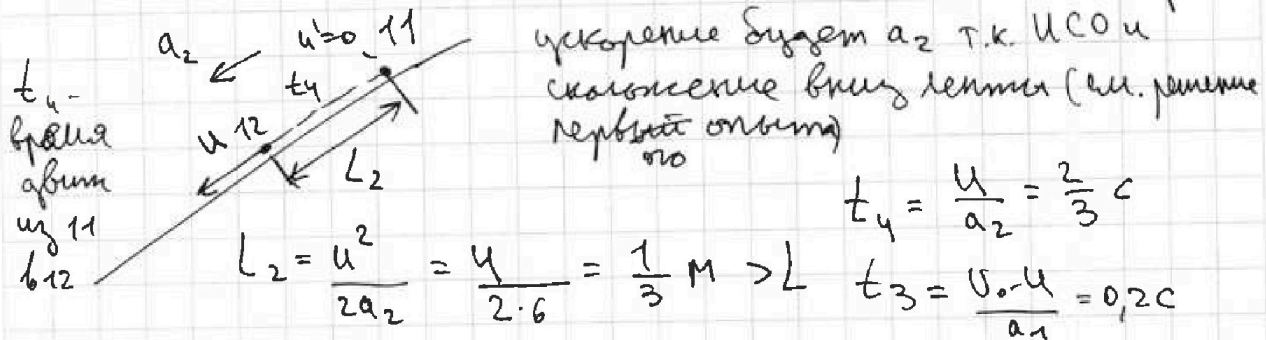
Дант: 2 Перейдем в ИСО \Rightarrow с вот такой скор-стью

Тогда картина движения коробки будет следующая:

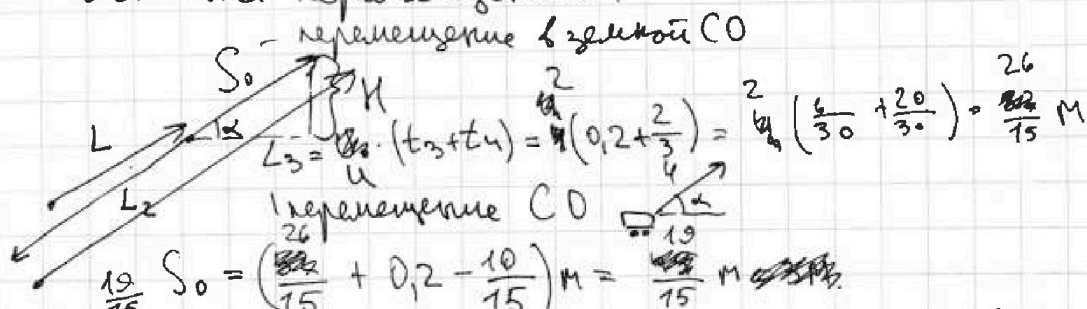


Скорость в земной СО = 0, когда коробка в СО \Rightarrow

Будет иметь такую скорость: $\frac{u}{a}$ - из 3-й слок. скор.



3-й слок. перемещений:



$$\text{Иск. H} = \frac{19}{15} \text{ м} \cdot \sin \alpha = \frac{152}{150} \text{ м}$$

стр 2

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

Отметьте крестиком номер задачи.

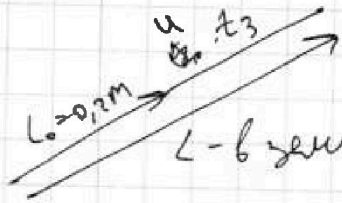
решение которой представлено на странице:

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!

для ответа на 2^й вопрос 3-й шаг. перемещений:



$$L = L_0 + L_1 + L_2 = 0,2 \text{ м} + 2 \cdot 0,2 \text{ м} = 0,6 \text{ м}.$$

Ответ: 1) $T = \left(0,4 + \sqrt{\frac{7}{75}}\right) \text{ с}$

2) $L = 0,6 \text{ м}$

3) $H = \frac{152}{150} \text{ м} \approx 1 \text{ м}.$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

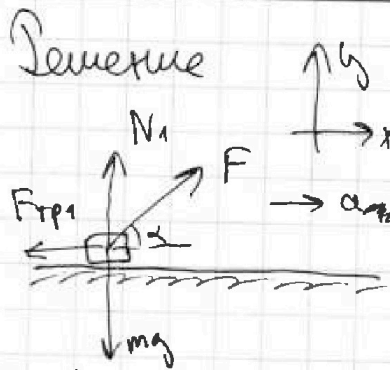
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

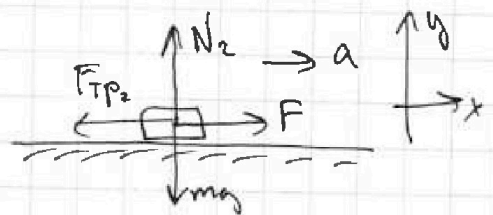
3 Дано:
 U_0, α, g
 $\mu = ?$
 $T = ?$



- 1) Т.к. $t_1 = t_2$ и $U = U_2 - 0 = U_0$
 $m g a_1 = a_2 = a$
- 2) $N_1 + F \cdot \sin \alpha = mg$ —
 $23 \text{ Н } 0y$
- 3) $F \cos \alpha - F_{\text{тр}1} = ma$ — $23 \text{ Н } 0x$

4) $F_{\text{тр}1} = \mu N_1 \stackrel{\text{ср. 2)}}{=} \mu (mg - F \sin \alpha)$
 TK скальзание

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



- 5) $23 \text{ Н } 0y: N_2 = mg$
- 6) $23 \text{ Н } 0x: F - F_{\text{тр}2} = ma$
- 7) $F_{\text{тр}2} = \mu N_2 \stackrel{\text{ср. 5)}}{=} \mu mg$

6): $F - \mu mg = ma \rightarrow F = ma + \mu mg$

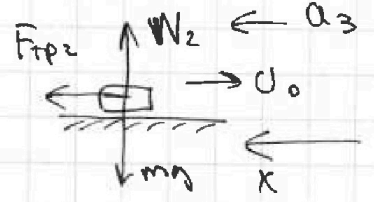
3): $\mu a \cos \alpha + \mu mg \cos \alpha - \mu mg + \mu a \sin \alpha + \mu mg \sin \alpha = ma$

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

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

$\cos \alpha (a + \mu g) + \mu \sin \alpha (a + \mu g) = a + \mu g \quad | : a + \mu g$

$\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1 \rightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$



$N_2 = mg$
 $F_{\text{тр}2} = \mu N_2 = \mu mg$
 $F_{\text{тр}2} = ma_3 = \mu mg \rightarrow a_3 = \mu g$

$T = \frac{U_0}{a_3} = \frac{U_0}{\mu g} = \frac{U_0 \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$

- Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$
 2) $T = \frac{U_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$

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!

4.
Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$i = 3$$

$$T_1 = 400 \text{ K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$$

$$A_{12} = ?$$

$$\eta = ?$$

Решение:

1) I-е начало термодинамики. для процесса 1-2:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$$

$$C_{12} = 2R \text{ из условия}$$

$$Q_{12} = C_{12} \cdot \nu (T_2 - T_1) = 2R\nu (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$2R\nu (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + A_{12}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 6 \\ \hline 4986 \end{array}$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad T_2 = 4T_1 \text{ из условия}$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} \nu R (3T_1) = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 400 = 831 \cdot 6 = 4986 \text{ Дж}$$

2) $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_{\text{нагр}}}$ $Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = 2R\nu \cdot 3T_1 = 6\nu R T_1$

A_{Σ} - работа газа за цикл

$C_V = \frac{R}{2}$ - малая теплоемкость при $V = \text{const}$

$$C_p = C_V + R = \frac{3}{2} R$$

$$C_{23} = \frac{R}{2} \quad C_{31} = \frac{5}{2} R \quad = 2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{2} \approx 1,414$$

$$Q_{23} = C_{23} \nu (T_3 - T_2) = \frac{R}{2} \nu (2^{1,5} T_1 - 4T_1) = \frac{\nu R T_1}{2} (2^{1,5} - 4) =$$

$$Q_{31} = C_{31} \nu (T_1 - T_3) = \frac{5}{2} R \nu (T_1 - \sqrt{8} T_1) = \frac{5}{2} \nu R T_1 (1 - \sqrt{8}) = \frac{\nu R T_1 (\sqrt{8} - 4)}{2}$$

I-е нач. терм. для 1-2-3-1:

$$Q_{1231} = \Delta U_{\Sigma} + A_{\Sigma} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{\nu R T_1 (\sqrt{8} - 4)}{2} + \frac{5}{2} \nu R T_1 (1 - \sqrt{8})$$

$$\eta = \frac{\frac{3}{2} + \frac{1}{2} (\sqrt{8} - 4) + \frac{5}{2} (1 - \sqrt{8})}{6} = \frac{4 + 2,5 - 2\sqrt{8}}{6} = \frac{6,5 - 2\sqrt{8}}{6} \approx 0,15$$

Ответ: 1) $A = 4986 \text{ Дж}$; 2) $\eta = 0,15$

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

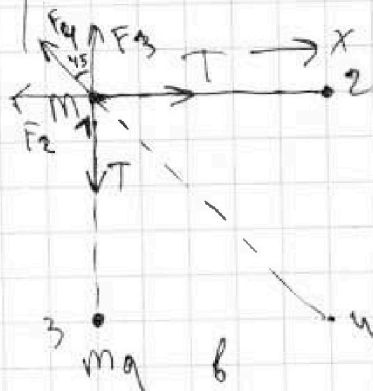
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

5.
Дано:
 m, q, b

Решение

3-я кулонка $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

$T = ?$



$$F_3 = F_2 = \frac{kq^2}{b^2} = F$$

$$F_4 = \frac{k \cdot q^2}{b^2}$$

2 ЗИ ox: $\frac{2q^2}{b^2}$ полой y 1-го шарика:

$$T = F + F_4 \cdot \sin 45^\circ = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{b^2 \cdot \sqrt{2}^3} =$$

$$= \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{1}{(\sqrt{2})^3} \right)$$

Т.к. система замкнута, то верен ЗСИ

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

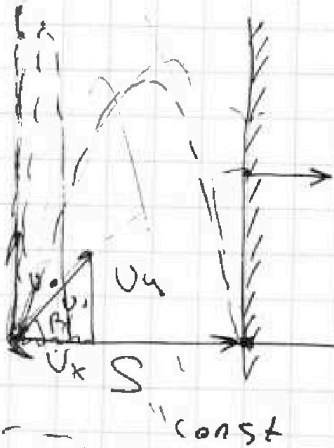
- 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7



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



$$\operatorname{tg} \beta = \frac{v_y}{v_x}$$



$$S_x = S = 20 \text{ м}$$

$$v_x^2 + v_y^2 = v_0^2$$

$$S = v_x \cdot t \rightarrow t = \frac{S}{v_x}$$

$$h = v_y t - \frac{g t^2}{2}$$

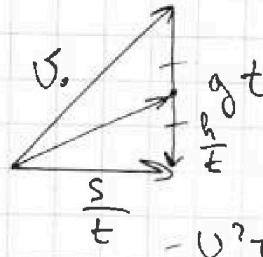
$$\frac{1}{v_0^2} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)^2 = \frac{1}{v_x^2}$$

$$h = \frac{v_y}{v_x} S - \frac{g S^2}{2 v_x^2}$$

$$\frac{g t}{2} = \frac{1}{t} \quad h = \frac{g t^2}{2} = 10$$

$$\frac{S^2}{t^2} + g^2 t^2 = v_0^2$$

$$S^2 + g^2 t^4 = v_0^2 t^2$$



$$v_0^2 t^2 + g^2 t^4 - S^2 = 0$$

$$t^2 = \frac{v_0^2 - 4 \sqrt{v_0^4 - 4 g^2 S^2}}{2 g^2}$$

$$20^4 - 4 \cdot 100 \cdot 400 = 160000$$

$$t^2 = \frac{400}{2 \cdot 100} = 2$$

$$D = 0$$

$$t = \sqrt{2}$$

$$h = \operatorname{tg} \beta S - \frac{g S^2}{2} \frac{1}{v_x^2 + \operatorname{tg}^2 \beta S^2} = h(\operatorname{tg} \beta)$$

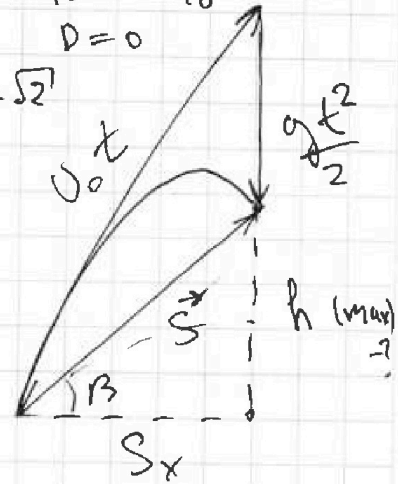
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{v_0^2 t^2 - S_x^2} - \frac{g t^2}{2}}{S_x}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{v_0^2 t^2 - S_x^2} - \frac{g t^2}{2}}{S_x} = a$$

$$v_0^2 t^2 - S_x^2 = \left(a + \frac{g t^2}{2} \right)^2$$

$$v_0^2 t^2 - S_x^2 = a^2 + a g t^2 + \frac{g^2 t^4}{2}$$

$$\frac{19}{15^2}$$



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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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!

$$v_0^2 t^2 = \frac{S_x^2 + g^2 t^4}{4} + g^2 t^2 h + h^2 \quad t$$

$$t^2 \frac{g^2 t^4}{4} + t^2 (gh - v_0^2) + S_x^2 + h^2 = 0$$

$$D = (gh - v_0^2)^2 - 4 \cdot g^2 (S_x^2 + h^2) = 0$$

$$g^2 h^2 - 2ghv_0^2 + v_0^4 - g^2 S_x^2 - g^2 h^2 = 0$$

$$h = \frac{g^2 S_x^2 + v_0^4}{2gv_0^2} = \frac{-100 \cdot 400 + 400^2}{2 \cdot 10 \cdot 400} = \frac{30}{2}$$

$$(28)^2 = 400 + 2 \cdot 20 \cdot 8 + 64 = 720 + 64 = 8784$$

$$\begin{array}{r} 7,2 \\ \times 1,2 \\ \hline 5,84 \\ 2,88 \\ \hline 8,52 \end{array}$$
$$65 - 2 \cdot 2,8 = 65 - 5,6 = 59,4$$
$$\frac{59,4}{2} = 29,7$$