



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.

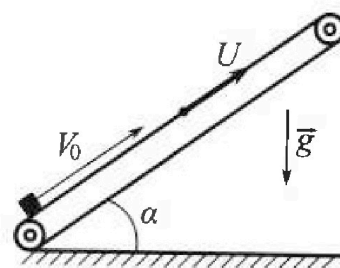
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.

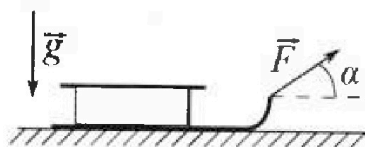
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.

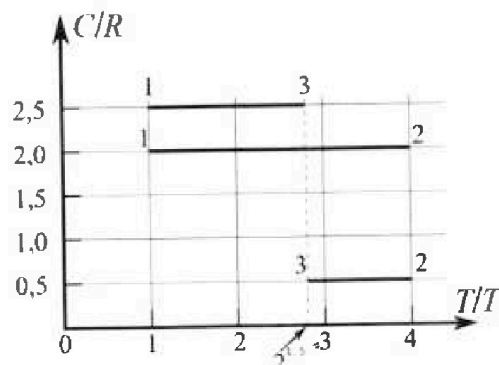


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

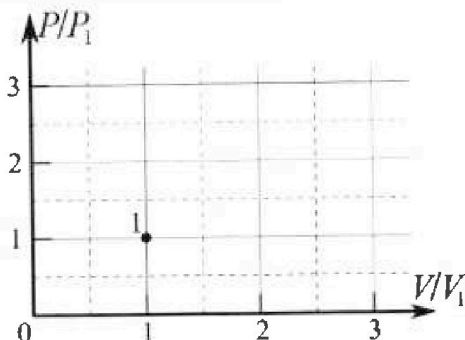
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



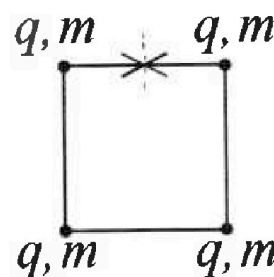
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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!

1. Дано:

Решение

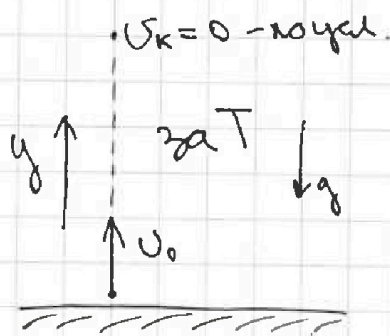
$$T = 2c$$

$$S = 20 \text{ м}$$

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

$$v_0 = ?$$

$$H = ?$$



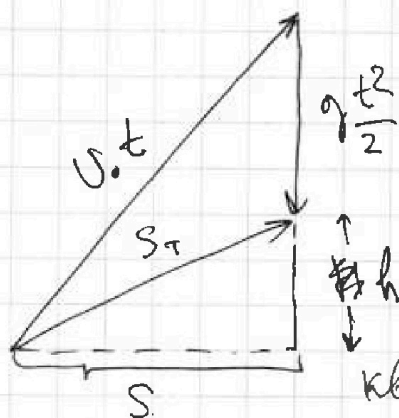
v_k - скорость мяча в высшей
точке траектории

По усл. единственная сила,
действующая на мяч -
сила тяжести, то движение
мяча равноускоренное
(ускорение = g)

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

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

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



Т.к. Парабола:

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

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

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

кв.-ное ур-ие отн. t^2

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

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

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



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) $H = 15 \text{ м}$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

2. Дано:

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

$$U_0 = 4 \frac{m}{c}$$

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

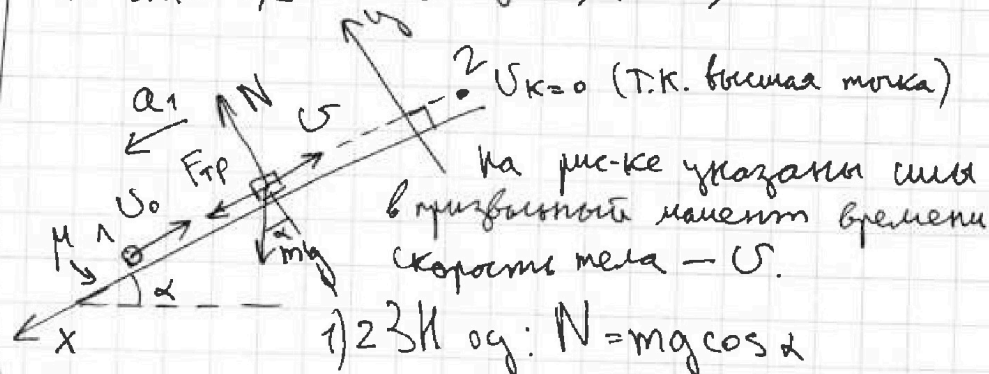
$$S = 1M$$

$$u = 2 \frac{m}{c}$$

$$g = 10 \frac{m}{c^2}$$

Решение

$$T.K. \sin \alpha = 0,8 \rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - 0,64} = 0,6$$



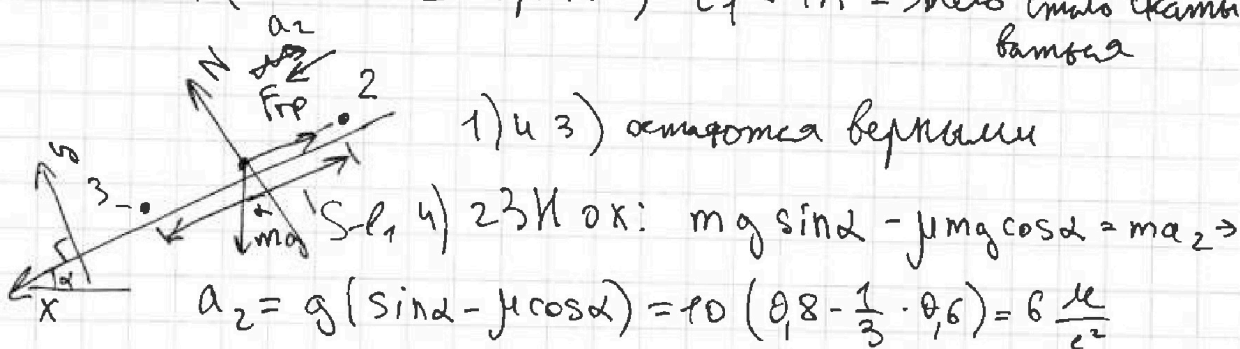
$$1) 23 \text{ И } OY: N = mg \cos \alpha$$

$$2) 23 \text{ И } OX: F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma_1$$

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

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

$$l_1 = \frac{U_0^2}{2a_1} = \frac{16}{2 \cdot 10} = 0,8M - \text{перемещение коробки до момента остановки (момент 2 на рис-ке)} \quad l_1 < 1M \Rightarrow \text{тело стало скатываться}$$



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

$$\text{нужно тело прошло } S - l_1 \text{ за } t_2, \text{ тогда } S - l_1 = \frac{a_2 t_2^2}{2} \rightarrow$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2(S - l_1)}{a_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{6}} = \sqrt{\frac{2}{30}} = \sqrt{\frac{1}{15}} c$$

$$t_1 - \text{время движения из Т1 в Т2, тогда: } t_1 = \frac{U_0}{a_1} = 0,4c.$$

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 ☐

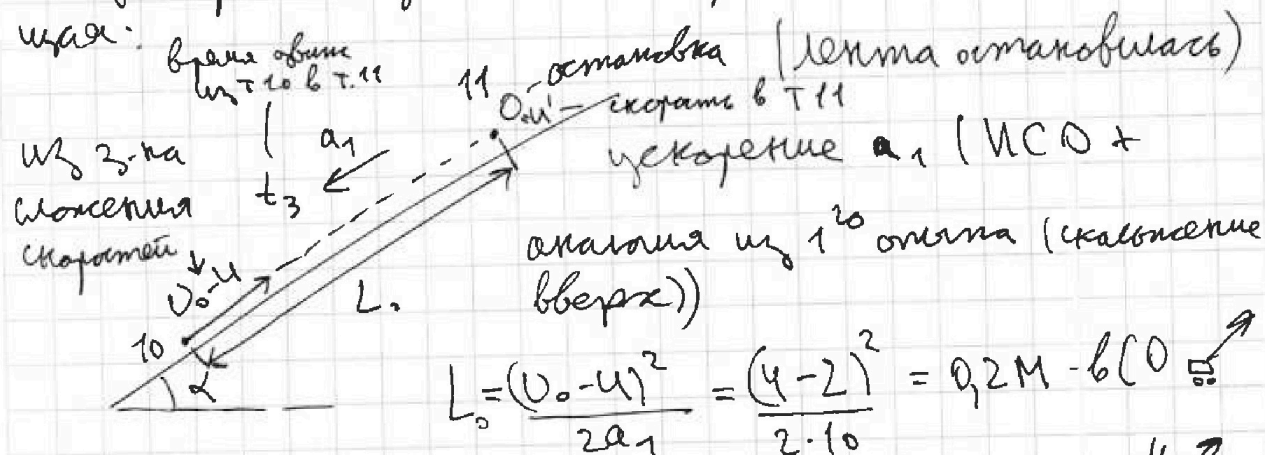
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ

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

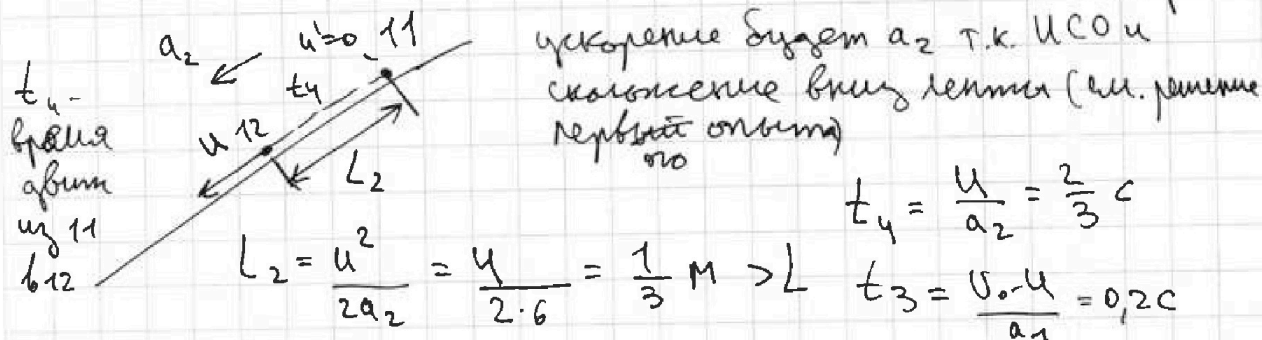
Опыт: 2 Перейдём в ИСО $\Rightarrow$ с вот такой скор-стью

Тогда картина движения коробки будет следующая:

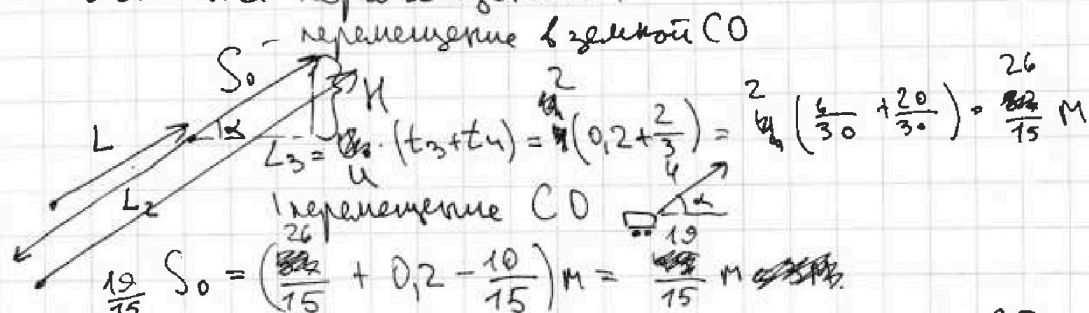


Скорость в земной СО = 0, когда коробка в со $\Rightarrow$ с вот такой скор-стью

Будет иметь такую скорость: $u = 2$ - из 3-на слож. скор.



3-и сложения перемещений:



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

стр 2



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☒

3
☐

4
☐

5
☐

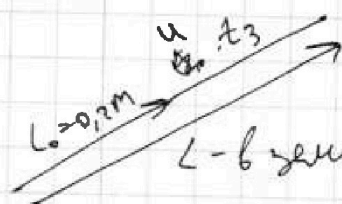
6
☐

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 - в земной СО

$$L = L_0 + \frac{u}{c} t_3 = 0,2 \text{ м} + 2 \cdot 0,2 \text{ м} = 0,6 \text{ м}.$$

Ответ: 1) $T = \left(0,4 + \sqrt{\frac{1}{15}}\right) \text{ с}$

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:

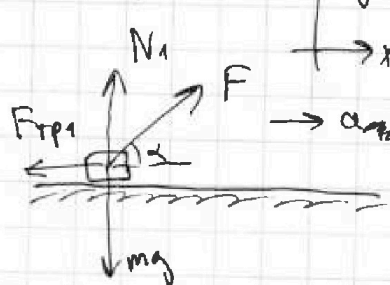
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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
 μ - ?
 T - ?

Решение



1) Т.к. $t_1 \rightarrow t_2$ и $U = U_2 - 0 = U_0$

$m a_1 = a_2 = a$

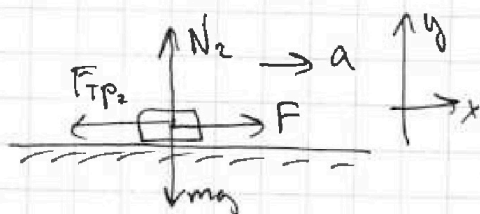
2) $N_1 + F \cdot \sin \alpha = mg$ - 23 Н 0 y

3) $F \cos \alpha - F_{тр1} = m a$ - 23 Н 0 x

4) $F_{тр1} = \mu N_1 \stackrel{\text{ср. 2)}}{=} \mu (mg - F \sin \alpha)$

Тк скатывание

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



5) 23 Н 0 y: $N_2 = mg$

6) 23 Н 0 x: $F - F_{тр2} = m a$

7) $F_{тр2} = \mu N_2 \stackrel{\text{ср. 5)}}{=} \mu mg$

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

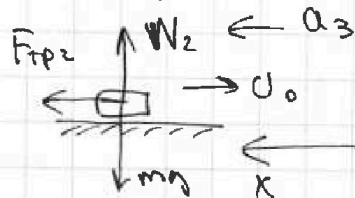
3): $\therefore m a \cos \alpha + \mu mg \cos \alpha - \mu mg + \mu m a \sin \alpha + \mu^2 mg \sin \alpha = m a$

$a \cos \alpha + \mu g \cos \alpha - \mu g + \mu a \sin \alpha + \mu^2 g \sin \alpha = a$

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

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

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



$N_2 = mg$

$F_{тр2} = \mu N_2 = \mu mg$

$F_{тр2} = m a_3 = \mu mg \rightarrow a_3 = \mu g$

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

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
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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

МФТИ



4.
Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$i = 3$$

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

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

$$A_{12} = ?$$

$$\eta = ?$$

Решение:

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

$$C_{12} = 2R \text{ из условия}$$

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

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

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

$$2R\nu (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + A_{12} \quad \times \frac{831}{6} = 4986$$

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

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

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

A_{Σ} - работа газа за цикл

$$C_V = \frac{R}{2} - \text{мол. теплоемкость для } V = \text{const}$$

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

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

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

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

I-е нач. терм. для 1-2-3-1:

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

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

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
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

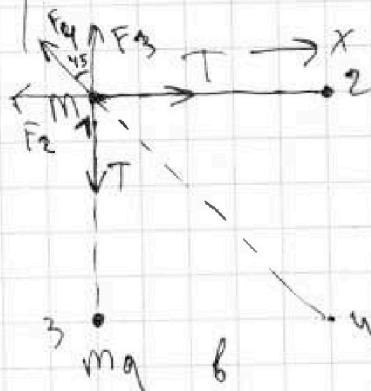
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

5.
Дано:
 m, q, b

Решение

3-й кулон $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

$T = ?$



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

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

2-й кулон $\frac{kq^2}{b^2}$ по отношению к 1-й 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 ЗСН

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

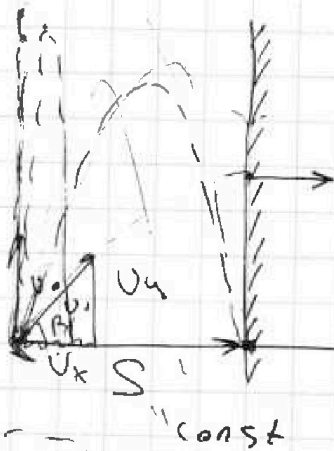
1 ☒ 2 ☒ 3 ☒ 4 ☒ 5 ☒ 6 ☒ 7 ☒

МФТИ

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



$$\tan \beta = \frac{v_y}{v_x}$$



$$S_x = S = 20 \text{ м}$$

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

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

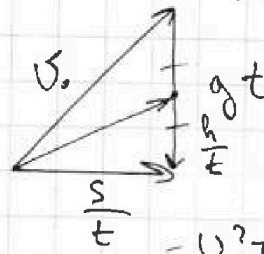
$$h = v_y t - \frac{g t^2}{2} \quad \frac{1}{v_0^2} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)^2 = \frac{1}{v_x^2}$$

$$h = \frac{v_y}{v_0 v_x} S - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v_x^2}$$

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

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

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



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

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

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

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

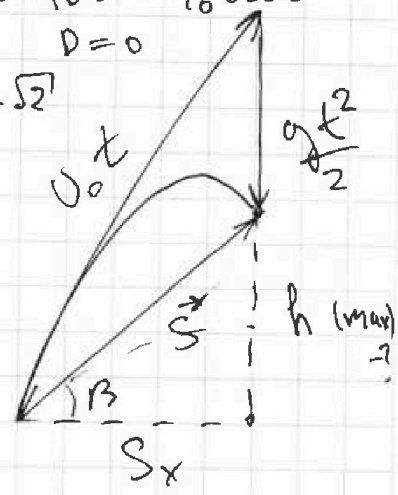
$$D = 0 \quad t = \sqrt{2}$$

$$h = \tan \beta S - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v_x^2} = h(\tan \beta)$$

$$\tan \beta = \frac{\sqrt{v_0^2 t^2 - S_x^2}}{S_x}$$

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

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



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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

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

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

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

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

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

$$(28)^2 = 400 + 2 \cdot 20 \cdot 8 + 64 = 720 + 64 = 784$$

$$\begin{array}{r} 7,2 \\ \times 1,2 \\ \hline 5,84 \\ 14,4 \\ \hline 8,64 \end{array}$$
$$65 - 2 \cdot 28 = 9$$
$$\begin{array}{r} 6,5 \\ - 5,6 \\ \hline 0,9 \end{array}$$
$$0,9 = 0,3 \cdot 3$$