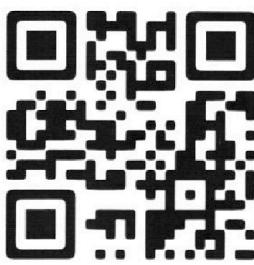


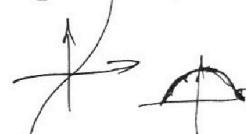
$$(\cos^2)^{\prime} = -2 \cdot \cos^{-3} \cdot \cos' = -2 \cos^{-3} \cdot (-\sin) = 2 \cos^{-3} \sin$$

$$\frac{164}{400} \quad 25600$$



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02



Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и

$$\operatorname{tg}^1 = \left(\frac{\sin}{\cos} \right)^1 = \frac{\sin \cos - \cos \sin}{\cos^2} = \frac{\cos^2 + \sin^2}{\cos^2} = \frac{1}{\cos^2} \quad \begin{array}{r} \times 0,4 \\ \times 0,4 \\ \hline 0,16 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 16 \\ \hline 256 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 0,8 \\ \hline 6,40 \end{array}$$

1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

$$\cos = \frac{1}{\sqrt{1+64}} \quad \frac{16}{\sqrt{85}}$$

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

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

$$20 - 3,6 = 16,4$$

Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

$$H = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = \frac{V_0 \sin^2 \alpha}{g} t - \frac{2V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} t^2 = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \frac{t^2}{L} \quad \begin{array}{r} \times 9 \\ \hline 81 \end{array}$$

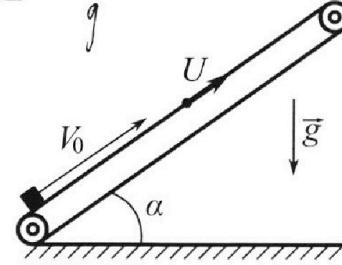
$$L = V_0 \cos \alpha t = V_0 \cos \alpha \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6 \text{ м/с}$. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.

$$S_m = \cancel{V_0 t} - \frac{V_0^2}{2\mu g}$$



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1 \text{ с}$?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1 \text{ м/с}$, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6 \text{ м/с}$ (см. рис.).

2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна

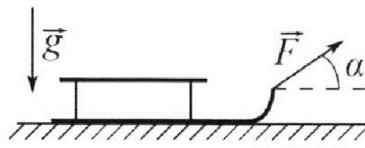
$$U = 1 \text{ м/с? } \cancel{2 \text{ с}}$$

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

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

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



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

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

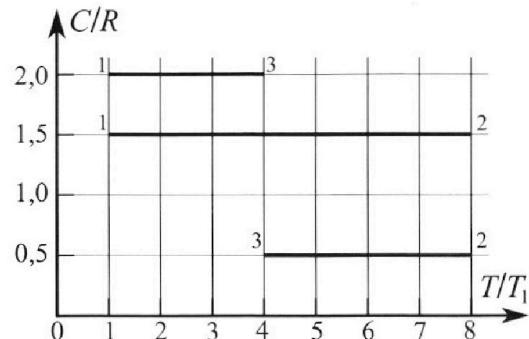
$$A_{T\mu} = \mu N S \Rightarrow S = \frac{A_{T\mu}}{\mu mg} = \frac{K}{\mu mg}$$

**Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023**

Вариант 10-02

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

4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1(см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.

2) Найдите КПД 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.

$$A(T) = \frac{R}{2} \cdot VT = \frac{VR}{2} =$$

$$\frac{831}{2} \times 3 = \frac{1}{2} PV - \frac{P_0V_0}{2}$$

$$\frac{2493}{2}$$

$$A = \frac{(P_3 - P_1)(V_3 - V_1)}{2} + P_1 V_1 =$$

$$\frac{2}{2} (V_3 - V_1) \left(\frac{P_1 + P_3}{2} \right)$$

5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных вверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

$$19 \cdot 7 = 140 - 7 = 133$$

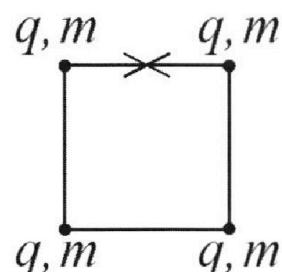
$$\begin{array}{r} 23 \\ \times 3 \\ \hline 69 \\ + 28 \\ \hline 97 \end{array}$$

$$W = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\begin{array}{r} 97 \\ \times 13 \\ \hline 291 \\ + 97 \\ \hline 1261 \end{array}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2}(P_3 V_3 - P_1 V_1) + \frac{P_1 + P_3}{2} (V_3 - V_1) =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{13 \cdot 23}{16} P_1 V_1 + \frac{7}{4} P_1 V_1 =$$





- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input checked="" 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!

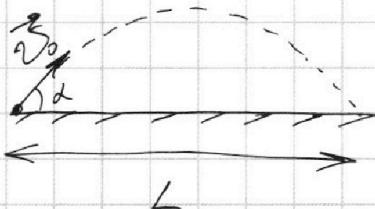
Задача №1

Дано:

$$\begin{aligned} \alpha &= 45^\circ \\ L &= 20 \text{ м} \\ g &= 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \\ H &= 3,6 \text{ м} \\ 1) & v_0 = ? \\ 2) & S = ? \end{aligned}$$

Решение:

1)



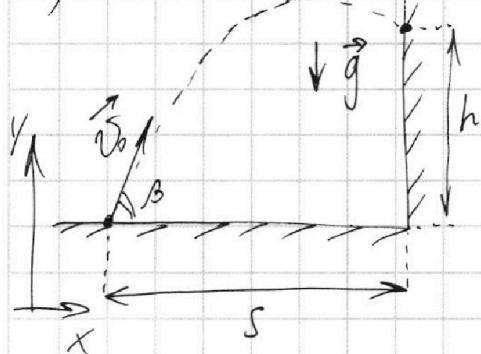
По формуле дальности полёта тела, брошенного под углом к горизонту:

$$L = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin(2\alpha)}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 20 \text{ м}}{\sin(2 \cdot 45^\circ)}} = \sqrt{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)



Пусть футболист бросил мяч под углом β к горизонту и он прилетел в стойку на высоте h . Тогда уравнение движения мяча:

$$S = v_0 \cos \beta \cdot t \quad (\text{движение по горизонтали равномерное});$$

$$h = v_0 \sin \beta \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (\text{движение по вертикали равноускоренное}).$$

$$t = \frac{S}{v_0 \cos \beta} \Rightarrow h = v_0 \sin \beta \frac{S}{v_0 \cos \beta} - \frac{g}{2} \left(\frac{S}{v_0 \cos \beta} \right)^2 =$$

$$= S \tan \beta - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \beta}.$$

Известно, что H — это максимальная h , достигаемая при некотором угле. Пусть этот угол φ . Найдём этот угол.

Найдём производную от h по φ :

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 7 |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

МФТИ

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

В максимуме функции производная равна нулю.

$$h'(\beta) = \frac{s}{\cos^2 \beta} - \frac{g s^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{2 \sin \beta}{\cos^3 \beta} = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(s - \frac{g s^2}{2 v_0^2} \cdot 2 \tan \beta \right)$$

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi} \left(s - \frac{g s^2}{2 v_0^2} \cdot 2 \tan \varphi \right) = 0 ; \frac{1}{\cos^2 \varphi} \neq 0 \Rightarrow s - \frac{g s^2}{2 v_0^2} \tan \varphi = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{g s}{2 v_0^2} \tan \varphi = 1 \Rightarrow \tan \varphi = \frac{v_0^2}{g s} .$$

Косинус угла выражается через тангенс как

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \varphi}} \Rightarrow \cos^2 \varphi = \frac{1}{1 + (\frac{v_0^2}{g s})^2} = \frac{(g s)^2}{(g s)^2 + v_0^4}$$

$$h(\varphi) = H, \text{ т.е. } s \tan \varphi - \frac{g s^2}{2 v_0^2 \cos^2 \varphi} = H$$

$$s \cdot \frac{v_0^2}{g s} - \frac{g s^2}{2 v_0^2 \cdot \frac{g^2 s^2}{g^2 s^2 + v_0^4}} = H$$

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

$$\Rightarrow s = \frac{\sqrt{\left(\frac{v_0^2}{g} - H \right) \cdot 2 v_0^2 g - v_0^4}}{g} = \frac{\sqrt{\left(\frac{200 \frac{m^2}{c^2}}{w \frac{m}{c^2}} - 3,6 m \right) \cdot 2 \cdot 200 \frac{m^2}{c^2} \cdot 10 \frac{m}{c^2}}}{10 \frac{m}{c^2}}$$

$$-\left(200 \frac{m^2}{c^2}\right)^2 = \frac{\sqrt{(16,4 \cdot 4000 - 40000) \frac{m^4}{c^4}}}{10 \frac{m}{c^2}} = \frac{\sqrt{25600}}{10} m = \sqrt{256} m =$$

$$= 16 \text{ м.}$$

$$\text{Ответ: 1) } v_0 = \sqrt{\frac{g L}{\sin(2\alpha)}} = 10 \sqrt{2} \frac{m}{c} ;$$

$$2) s = \frac{\sqrt{\left(\frac{v_0^2}{g} - H \right) \cdot 2 v_0^2 g - v_0^4}}{g} = 16 \text{ м.}$$



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

Задача №2.

Дано:

$$\angle = \arcsin(0,6)$$

$$v_0 = 6 \frac{m}{c}$$

$$\mu = 0,5$$

$$T = 1 c$$

$$U = 1 \frac{m}{c}$$

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

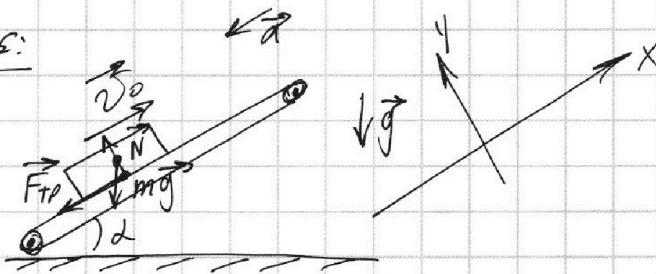
1) $s - ?$

2) $T_1 - ?$

3) $L - ?$

Решение:

1)



Второй закон Ньютона для коробки:

$\vec{F}_{tr} + \vec{mg} + \vec{N} = m\vec{a}$, где F_{tr} - сила трения между коробкой и лентой, N - сила нормальной реакции опоры, a - ускорение коробки.

В силу конструкции транспортера a направлено вдоль ленты. Введём ось x в этом направлении, направленном вверх. Тогда:

$$OK: -F_{tr} - mg \sin \alpha = -ma \Rightarrow a = \frac{F_{tr} + mg \sin \alpha}{m} = \frac{\mu N + mg \sin \alpha}{m}$$

$$OY (\perp OX): N - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \frac{\mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha}{m} = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

В этом случае скорость обратится в нуль, т.е. коробка развернётся, через время $t = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{g(\mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + \sin \alpha)}$.

Это время $t = \frac{6 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2} (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 0,6 c$, что меньше времени $T = 1 c$. Это значит, что коробка успевет раз-

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"/> |

МФТИ

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

Вернется и начнет движение вниз. Тогда:

$$S = V_0 t - \frac{\alpha t^2}{2} + \frac{\alpha_1 (T-t)^2}{2}$$

Ускорение при движении вниз α_1 будет другим, т.к.
 F_T сменил свой направление.

$$\alpha_1 = \frac{mg \sin \alpha - F_T}{m} = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

$$S = \frac{V_0^2}{2\alpha} + \frac{\alpha_1 (T-t)^2}{2} = \frac{V_0^2}{2\alpha} + \frac{g (\sin \alpha - \mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})}{2} \cdot \left(T - \frac{V_0}{\alpha}\right)^2$$

$$= \frac{V_0^2}{2g (\sin \alpha + \mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})} + \frac{g (\sin \alpha - \mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})}{2} \cdot \left(T - \frac{V_0}{g (\sin \alpha + \mu \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})}\right)^2$$

$$S = \frac{6^2 \frac{\mu^2}{c^2}}{2 \cdot 10 \frac{M}{c^2}} + \frac{10 \frac{M}{c^2} \cdot 0,2}{2} \cdot \left(10 - \frac{6 \frac{M}{c}}{10 \frac{M}{c^2}}\right)^2 = 0,3 \text{ м} + 0,16 \text{ м} =$$

$$= 0,46 \text{ м.}$$

2) Возможны два случая, два направления скорости коробки. При направлении вверх эта ситуация исключена остановке коробки в первом случае, т.к. лента — инерциальная с.о. Тогда $T_1 = t =$

$$= \frac{V_0}{\alpha} = \frac{V_0}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = 0,6 \text{ с.}$$

Если же скорость направлена вниз, то это равнозначно движению вниз со скоростью 2 и в первом случае. Тогда:

$$T_1 = t + \frac{2 \cdot 4}{\alpha_1} = \frac{V_0}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} + \frac{2 \cdot 4}{g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

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"/> |

МФТИ.

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

$$\text{в этом случае } T_1 = 96 \text{ с} + \frac{\frac{2\pi}{c}}{10 \frac{\pi}{c^2} (96 - 94)} = 16 \text{ с.}$$

3) Это равнотривиально движущую назад со скоростью
и в первом отсчете тогда время \approx до этого
момента равно:

$$t = t + \frac{u}{a_1} = t + \frac{u}{g(\cancel{u \sin \alpha} - u \cos \alpha)} = 96 \text{ с} + \frac{1 \frac{m}{s}}{10 \frac{m}{s^2} \cdot 0,2} \\ = 11 \text{ с.}$$

$$L = v_0 t - \frac{at^2}{2} - \frac{a_1(r-t)^2}{2} + ur =$$

$$= \cancel{v_0 t} - \frac{a_1(r-t)^2}{2} + ur = \frac{6^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} -$$

$$- \frac{0,2 \frac{m}{s^2} (11 \text{ с} - 96 \text{ с})^2}{2} + 1 \frac{m}{s} \cdot 11 \text{ с} = 18 \text{ м} - 0,025 \text{ м} + 11 \text{ м} =$$

$$= 2 \cancel{0,25} \text{ м} \stackrel{87}{\approx} 2,9 \text{ м}$$

Ответ: 1) $S = \frac{v_0^2}{2a} + \frac{a_1(T-t)^2}{2} = 0,46 \text{ м}$

2) $T_1 = t = 96 \text{ с}$ или $T_1 = t + \frac{2u}{a_1} = 16 \text{ с};$

3) $L = \frac{v_0^2}{2a} - \frac{a_1(r-t)^2}{2} + ur = 2,9 \text{ м.}$

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!

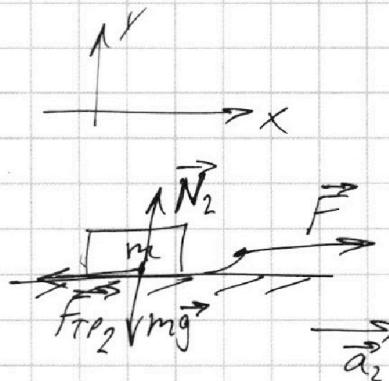
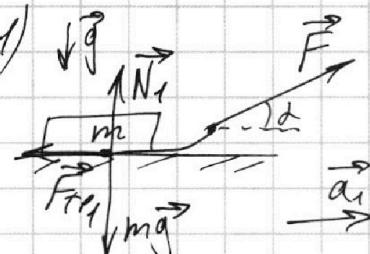
Задача №3.

Дано:

$$K, \alpha, g \\ \mu = ?$$

$$S = ?$$

Решение:



Причём в первом случае на санку действуют силы трения F_{Fr1} и реакции опоры N_1 , а во втором — соответственно, F_{Fr2} и N_2 . Запишем второй закон Ньютона:

$$\vec{F}_{Fr1} + \vec{N}_1 + \vec{mg} + \vec{F} = m\vec{a}_1; \quad \vec{F}_{Fr2} + \vec{N}_2 + \vec{mg} + \vec{F} = m\vec{a}_2$$

где a_1 и a_2 — ускорения в первом и втором случаях соответственно.

$$OX: F \cos \alpha - F_{Fr1} = ma_1; \quad F - F_{Fr2} = ma_2;$$

$$OY: N_1 = mg - F \sin \alpha; \quad N_2 = mg.$$

$$\Downarrow \quad F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = ma_1; \quad F - \mu mg = ma_2.$$

По скольку K в двух случаях одинаково и участки пути равны, ускорения также равны.

$$a_2 = \frac{F - \mu mg}{m} \Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = ma_1 = ma_2 =$$

$$= m \frac{F - \mu mg}{m} = F - \mu mg \Rightarrow$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input type="checkbox"/> | <input 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!

$$\Rightarrow F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F \Rightarrow \mu = \frac{F - F \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

2) ПУСР ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ РАЗГОНА САНКИ ДВИЖЕТСЯ
СО СКОРОСТЬЮ 25. ТОГДА:

$$K = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

РАВНОУСКОРЕНИЕ ДВИЖЕНИЕ:

$$S = \frac{v^2}{2a}, \text{ где } a - \text{ускорение в этом случае.}$$

$$S = \frac{2K}{2ma} = \frac{K}{ma}$$

$$a = \frac{F_{tr}}{m} = \frac{\mu N}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g \Rightarrow S = \frac{K}{\mu mg}$$

ОТВЕТ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha};$

2) $S = \frac{K}{\mu mg}.$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <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!

Задача №4.

Дано:

$$\begin{aligned}V &= 1 \text{ моль} \\T_1 &= 200 \text{ K} \\R &= 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}\end{aligned}$$

1) $A_{31} - ?$

2) $\eta - ?$

Решение:

1) Видно, что на участке 1-2 теплоёмкость равна теплоёмкости при постоянном объёме $C_V = \frac{3}{2}R$. Следовательно, 1-2 — изохора $\Rightarrow V_2 = V_1$
(V_1, V_2, V_3 — объёмы; p_1, p_2, p_3 — давления).

T_1, T_2, T_3 — температуры в точках 1, 2, 3 соответственно. $V = VR \frac{T}{p} \Rightarrow \frac{T_1}{p_1} = \frac{T_2}{p_2}$, из графика $T_2 = 8T_1$

$$\Rightarrow p_2 T_1 = p_1 T_2 = p_1 \cdot 8T_1 \Rightarrow p_2 = 8p_1.$$

$C = \frac{Q}{V\Delta T} = \frac{\Delta U + A}{V\Delta T} = \frac{3}{2}R + \frac{A}{V\Delta T}$, где ΔU — изменение внутренней энергии газа; A — работа газа.

$$\begin{aligned}A &= \left(C - \frac{3}{2}R\right) \cdot V \Delta T \Rightarrow A_{31} = - \left(C_{31} - \frac{3}{2}R\right) \cdot V \cdot (T_1 - T_3) \\&= \left(2R - \frac{3}{2}R\right) \cdot V \cdot (T_3 - T_1) = \frac{R}{2}V(4T_1 - T_1) = \frac{3}{2}VR T_1.\end{aligned}$$

$$A_{31} = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \cdot 200 \text{ K} = 2493 \text{ Дж}$$

3) На участке 2-3 $A = -VR \Delta T \Rightarrow$ участок представляет из себя прямую с конфигурацией наклона -1. На участке 3-1 $A = \frac{1}{2}VR \Delta T$, т.е. это прямая с конфигурацией наклона $\frac{1}{2}$.

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

Отметьте крестиком номер задачи,

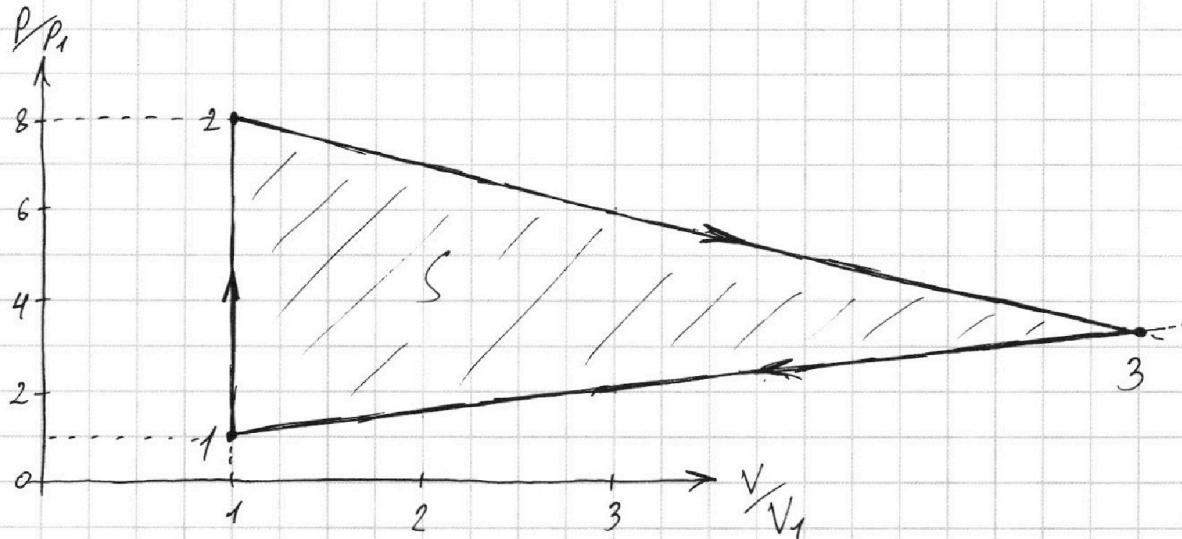
решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!



Эти две прямые пересекаются в точке 3 с координатами $(3\frac{1}{4}p_1; 5\frac{3}{4}V_1) \Rightarrow p_3 = \frac{13}{4}p_1;$
 $V_3 = \frac{23}{4}V_1.$

$$2) \eta = \frac{A}{Q_K}, \text{ где } Q_K - \text{ теплота, выделенная разом}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}+Q_{23}} = \frac{S}{Q_{12}+Q_{23}} = \frac{(p_2-p_1)(V_3-V_1)}{2(Q_{12}+Q_{23})} = \frac{(p_2-p_1)(V_3-V_1)}{2 \cdot \left(\frac{3}{2}VR(T_2-T_1) + \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_1V_1) + \frac{p_1+p_3}{2}(V_3 - V_1) \right)}$$

$$= \cancel{\frac{7p_1 \cdot \frac{19}{4}V_1}{3VR \cdot 7T_1}} = \cancel{\frac{13p_1V_1}{12VR}} = \cancel{\frac{13}{12}}$$

Ответ: 1) $A_{31} = \frac{3}{2}VR T_1 = 2493 \text{ Дж} = 2,5 \text{ кДж}$

2) $\eta = \frac{13}{12} \frac{532}{1261}$

3) см. рис.

$$\eta = \frac{7p_1 \cdot \frac{19}{4}V_1}{3VR \cdot 7T_1 + 3 \cdot \frac{13 \cdot 23}{16}p_1V_1 + \frac{7}{4}p_1 \cdot \frac{19}{4}V_1} = \frac{7 \cdot 19}{3 \cdot 4 \cdot 7 + \frac{3 \cdot 13 \cdot 23}{4} + 7} = \frac{7 \cdot 4 \cdot 19}{13 \cdot 4 \cdot 7 + 3 \cdot 23} = \frac{532}{1261}$$



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|

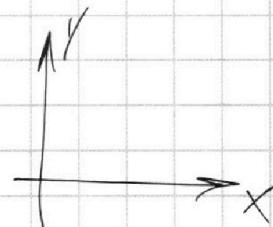
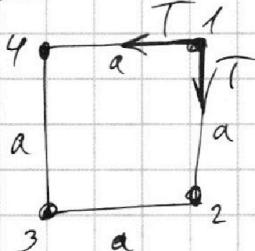
МФТИ

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

ЗАДАЧА №5.

- Дано:
- 1) T, E_0
 - 2) $q - ?$
 - 3) $K - ?$
 - 4) $J - ?$

Решение:



Второй З-к Ньютона для шарика 1:

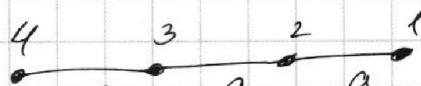
$$OX: T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (a\sqrt{2})^2} \sqrt{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

$$q = \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 a^2 T}{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}}}$$

2) Потенциальная энергия шарика 1 в начале:

$$W_1 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a\sqrt{2}} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

в конце:



$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)$$

Закон сохранения энергии:

$$W_1 = W_2 + K \Rightarrow K = W_1 - W_2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

На одной странице можно оформлять **ТОЛЬКО ОДНУ** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

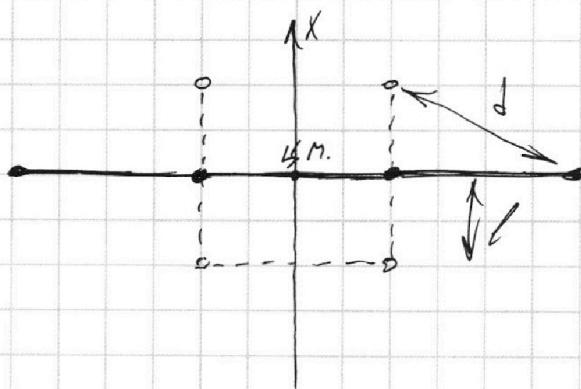
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!

3) Центр масс системы должен оставаться на оси
те. Итак в конце будут маятники т.к. край-
ний и второй феро шарик отталкиваются друг
от друга, как и два средних. Поворачивается
и смещается в сторону, параллельную себе,
средний отрезок не будет, т.к. все взаим-
ство его него симметрично. Следовательно, он
сместится перпендикулярно себе на некоторое
расстояние ℓ .



Поскольку центр масс
должен никогда не забы-
вать, $\ell = \frac{a}{2}$.

$$\text{Тогда } d = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}} =$$

$$= a \sqrt{\frac{3}{4}} = a \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Ответ: 1) $q = \sqrt{\frac{4\pi \epsilon_0 a^2 T}{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}}};$

2) $K = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a} \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right);$

3) $d = a \frac{\sqrt{3}}{2}.$



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!

