



Олимпиада «Физтех» по физике,

февраль 2023



Вариант 10-02

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

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.

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.

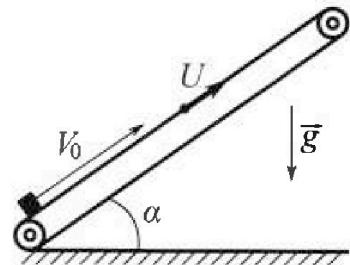
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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

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.



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

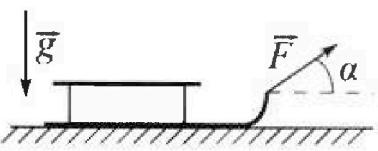
$$U = 1 \text{ м/с}?$$

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 .

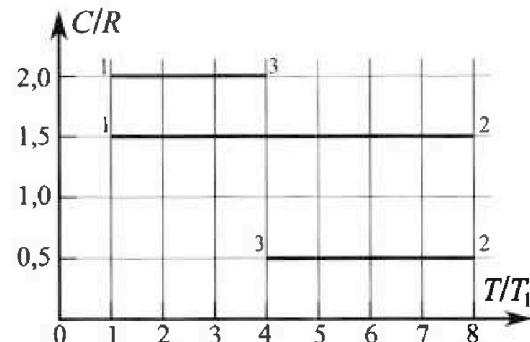
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

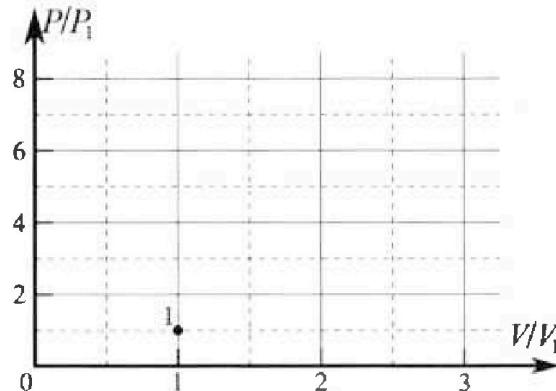
Вариант 10-02

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).

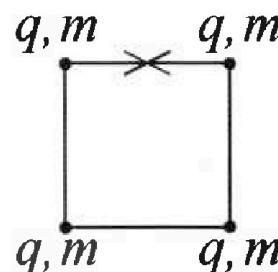


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



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.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right) = \frac{\cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{\cos(2\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{\cos(2\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = 2\tan(\alpha)$$

$$(x^n)'_x = nx^{n-1}x' \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\cos^2(\alpha)} \right) = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos^3(\alpha)} \quad \alpha = \text{const} \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right)_x = \frac{\cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{\cos(2\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{\cos(2\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = 2\tan(\alpha)$$

$$\left(\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right)'_x = \left(\frac{\sin(\alpha)\cos^2(\alpha)}{\cos^3(\alpha)} \right)'_x = \frac{\cos^2(\alpha)\cos(\alpha) + \sin(\alpha)(-\cos^2(\alpha))}{\cos^4(\alpha)} = \frac{\cos^3(\alpha) - \sin(\alpha)\cos^2(\alpha)}{\cos^4(\alpha)} = \frac{\cos(\alpha)(\cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha))}{\cos^4(\alpha)} = \frac{\cos(\alpha)\cos(2\alpha)}{\cos^4(\alpha)} = \frac{\cos(2\alpha)}{\cos^3(\alpha)} = \frac{1}{\cos^3(\alpha)} \cdot \frac{\cos(2\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{1}{\cos^3(\alpha)} \cdot \frac{2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = 2\tan(\alpha)$$

$$(x^n)'_x = nx^{n-1}x' \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\cos^2(\alpha)} \right) = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos^3(\alpha)} \quad \alpha = \text{const} \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \right)_x = \frac{\cos^2(\alpha) - \sin^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{\cos(2\alpha)}{\cos^2(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{\cos(2\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \cdot \frac{2\sin(\alpha)\cos(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{2\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = 2\tan(\alpha)$$

$$h = \tan(\theta) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \tan^2(\theta) - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \quad \frac{dh}{d\theta} = 0 = (\tan^2(\theta) + 1) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot 2 \tan(\theta)$$

$$\frac{1}{\cos^2(\theta)} \text{ через } \tan(\theta) \quad 0 = (\tan^2(\theta) + 1) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} (2 \tan^3(\theta) + 2 \tan(\theta)) \quad \begin{aligned} &\text{сокращ.} \\ &\text{на} \\ &(\tan^2(\theta) + 1) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{g S}{V_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2(\theta)} = S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot 2 \tan(\theta) \Rightarrow \frac{g S}{V_0^2} \tan(\theta) = 1$$

$$\Rightarrow h_{\max} \text{ при } \tan(\theta) = \frac{V_0^2}{g S} \quad \tan(\theta) = \frac{V_0^2}{g S}$$

$$\Rightarrow H = \frac{V_0^2}{g S} \cdot S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot \frac{V_0^4}{g^2 S^2} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} = \frac{V_0^2}{g} - \frac{V_0^2}{2 g} - \frac{g S^2}{2 V_0^2}$$

$$\Rightarrow H - \frac{V_0^2}{2 g} = - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \Rightarrow S^2 = \left(\frac{V_0^2}{2 g} - H \right) \cdot \frac{2 V_0^2}{g}$$

$$S = \sqrt{\frac{V_0^4}{g^2} - H \cdot \frac{2 V_0^2}{g}} = \sqrt{\left(\frac{200}{20} - 3,6 \right) \cdot \frac{2 \cdot 200}{10}} = \sqrt{0,64 \cdot 400} = 0,8 \cdot 20$$

$$\Rightarrow S = 16 \text{ м.}$$

$$\text{Ответ: 1) } V_0 = 10 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} ; 2) S = 16 \text{ м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

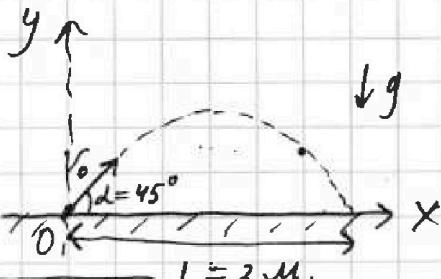
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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



$$V_0 = ?$$

ур-е движения:

$$1) \quad x = V_0 \cos(\alpha) t$$

$$y = V_0 \sin(\alpha) t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_x = V_0 \cos(\alpha)$$

$$v_y = V_0 \sin(\alpha) - gt$$

$$\Rightarrow L = V_0 \cos(\alpha) T_0; \text{ где } T_0 - \text{общ. время полёта}$$

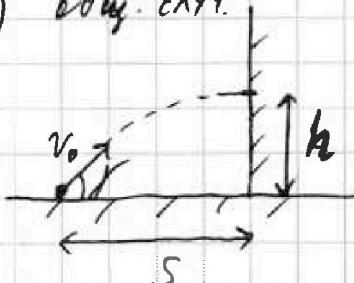
при этом уравнение = 0 $\Rightarrow 0 = T_0 V_0 \sin(\alpha) - \frac{gt_0^2}{2}$

$$\Rightarrow 0 = \frac{V_0 \sin(\alpha)}{V_0 \cos(\alpha)} \cdot L - \frac{g \cdot L^2}{2 V_0^2 \cos^2(\alpha)} = \tan(\alpha) L - \frac{gL^2}{2 V_0^2 \cos^2(\alpha)}$$

$$\Rightarrow \frac{gL}{2 V_0^2 \cos^2(\alpha)} = \tan(\alpha) \Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{gL \cos(\alpha)}{2 \sin(\alpha) \cos^2(\alpha)}} = \sqrt{\frac{gL}{2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)}}$$

$$\boxed{\text{Ответ: } V_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin(2\alpha)}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20}{1}} \frac{m}{s} = \sqrt{200} \frac{m}{s} = 10\sqrt{2} \frac{m}{s}}$$

2) общ. смы.



$$h_{\max} = H = 3,6 \text{ м.}; V_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с.}}$$

$$S = ?$$

ур-е движ аналогичны п. 1.
с заменой $\alpha \rightarrow f$.

\Rightarrow пусть мом. удара мяча о
стенку $T_x \Rightarrow$

\Rightarrow выраж. T_x из $X(T_x)$
и подст. в $y(T_x)$.

$$X(T_x) = T_x V_0 \cos(f) = S$$

$$h = \frac{V_0 \sin(f)}{V_0 \cos(f)} \cdot S - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2(f)} = \tan(f) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2(f)}; \text{ мы получили } h(f).$$

\Rightarrow найдём f ; при кот-ии $h = \max$

$$\frac{1}{\cos^2(f)} = \tan^2(f) + 1 / \text{записано.}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



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

I опыт



тж. есть 2 случая, когда

v_0 напр. близ: $\frac{v_0}{d}$ (I) и когда
вверх: $\frac{v_0}{d}$ (II)

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= 0,6 \\ \cos(\alpha) &= \sqrt{1 - 0,36} = 0,8 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 1) \text{ лента покончил: I: } \begin{aligned} &\text{2-ой закон Ньютона при} \\ &\text{склоне X: } F_{\text{тр}} - mg \sin(\alpha) = m a_x \\ &\text{OY: } N - mg \cos(\alpha) = 0. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N = mg \cos(\alpha)$$

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

$$\Rightarrow I: a_x = \mu g \cos(\alpha) - g \sin(\alpha) = 0,5 \cdot 0,8 - 0,6 = 0,2 \quad \text{OY: } N = mg \cos(\alpha) = 0.$$

$$\text{II: } a_{x_2} = -\mu g \cos(\alpha) - g \sin(\alpha) = -0,5 \cdot 0,8 + 0,6 = -0,2$$

$$\Rightarrow \text{т.к. движ. растянутое} = \text{т.к. движ. сжатое}$$

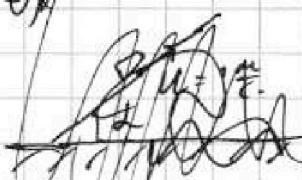
$$1) \Rightarrow I: S_1(T) = |-v_0 + a_{x_1} T| = |-6 + (-2) \cdot 1| = |-8| = 8 \text{ м}$$



заметим, что во II-м случае коробка

стала движ.: ~~движ. сжатое~~

~~и т.к. движ. сжатое~~



~~изменяет. напр. движ. \Rightarrow сила тряг. помен. напр. е.~~

\Rightarrow рассл. её движ.

в 2 этапа: на 1-м ускор: a_{x_1} (до мом. остановки),

$$\text{а на 2: } a'_{x_2} = F_{\text{тр}} - mg \sin(\alpha) = a_{x_1}$$

$$\Rightarrow S_2 = \frac{|a_{x_2}| T_2^2}{2} + \frac{|a_{x_1}| T_1^2}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{т.к. нас интересует} \\ \text{путь} \Rightarrow \text{движ. траектории} \end{array} \right.$$

рассл.:

$$T_2 = \frac{|v_0|}{a_{x_2}} = \frac{6}{-0,2} = 0,6 \text{ с.} \Rightarrow S_2 = \frac{10 \cdot 0,36}{2} + \frac{2 \cdot 0,16}{2} = 7,9 + 0,16 = 8,06 \text{ м.}$$

$$T_1 = T - T_2 = 0,4 \text{ с.}$$

$$\text{Ответ: 1) } S_1(v_0 - \text{вверх}) = 7,96 \text{ м.}$$

$$S_1(v_0 - \text{вниз}) = 4 \text{ м.}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

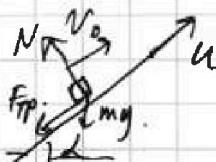


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Опыт II

т.к. лента для подъёма грузов
 $\Rightarrow \vec{U}$ -напр. вверх \vec{u} ; также из.
рис. видно, что $\vec{U} \uparrow \vec{V}_0$.

\Rightarrow



2) т.к. нас интересует время, за которое скор. коробки станет $\frac{u}{c}$, заметим, что таких мом. 2 (коробка) $\vec{V}_k = \vec{U}$ (т.е. 8 лад.) с.о. $V_k = \frac{u}{c}$ и когда $V_k = \frac{u}{c}$ (отн. ленты)

\Rightarrow расчет. оба варианта.

I) T_I (мом. коробки) \Rightarrow т.к. ур-я динамики аналогичны п.1
 $\vec{V}_k = \vec{U}$ $\Rightarrow a_{zx} = a_{x_2}$, но неотк. $\Delta V_{x_2} = V_0 - u$
 $\Rightarrow T_I = \frac{\Delta V_{x_2}}{a_{zx}} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с.}$

II) T_{II} (мом. коробки) \Rightarrow заметим, что тот мом. соотв. мом. коробки ~~затемнен~~ ~~затемнен~~.

отн. ленты. тело движ-ся выше со скор. $\frac{2u}{c}$.

\Rightarrow аналогично II в п.1. разделим движ-я на 2 участка: до ост. и после ост.

$\Rightarrow T_{II} = T_I + T_3$; где T_3 : $\frac{(a_{x_1}/T_3)^2}{\Delta V_{x_2}} = \frac{2u}{c} = 2u$.

$\Rightarrow T_{II} = T_I + \frac{2u}{|a_{x_1}|} =$

$\Rightarrow T_{II} = 0,5 + \frac{2}{2} = \frac{7,5}{2} \text{ с.}$

ответ: $T_{II} = \boxed{\frac{7,5}{2} \text{ с.}}$

3) : $V_k = 0$ при $\vec{V}_{\text{отн ленты}} = -\vec{U} \Rightarrow$

$\Rightarrow L_1 = \frac{a_{x_2} T_I^2}{2}; L_2 = \frac{a_{x_1} T_4^2}{2}$; где $T_4 = \frac{u}{|a_{x_1}|} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ с.}$

$\Rightarrow L = L_1 - L_2 = \frac{10,25}{2} - \frac{2 \cdot 0,25}{2} = 7 \text{ м}$

Ответ: 1) $\frac{5(V_0 - U_{\text{ленты}})}{5(V_0 - U_{\text{ленты}})} = 7,5 \text{ м.}$; 2) $T_{II} = \boxed{[0,5 \text{ с}; 7,5 \text{ с}]}$; 3) $L = 7 \text{ м.}$



расст. до
остан. фн.
ленты

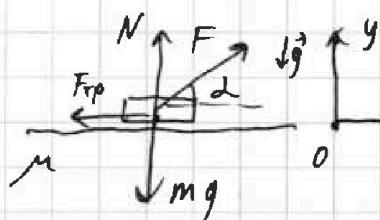


- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/>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

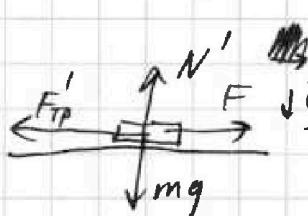
I)

Ищем массу самок M \Rightarrow записываем ур-я динамики
(2-ой закон Ньютона) для
обоих случаев по осям:

$$\text{I: } \partial X: F \cos(\alpha) - F_{Tp} = a_x M$$

$$\text{II: } \partial Y: N + F \sin(\alpha) - Mg = 0.$$

II)



$$\text{II: } \partial X: F - F'_{Tp} = a'_x m.$$

$$\partial Y: N' - mg = 0.$$

$$\Rightarrow F_{Tp} = \mu N; F'_{Tp} = \mu N'$$

$$\Rightarrow a_x m = F \cos(\alpha) - \mu (mg - F \sin(\alpha))$$

$$a'_x m = F - \mu mg$$

т.к. разгон до единой и той же K ($a \Rightarrow u$) проводился
на одинак. углах с т.к. пути ~~им~~ в обоих случаях

$$\Rightarrow (\text{т.к. одинак. разгон}) a_x = a'_x$$

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

$$\Rightarrow \cos(\alpha) + \mu \sin(\alpha) = 1 \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}$$

~~Однако это не верно~~

$$\text{Учтите: } R = \frac{m v_x^2}{2} \quad \text{т.к. } V_x - \text{ конечная скорость}$$

при этом: $V_y = a_y t_x$ (из соотношения, что a_y постоянна, разгон склон).

$$\Rightarrow S_{\text{раб}} = \frac{a_y t_x^2}{2} = \frac{V_y^2}{2 a_y} = \frac{V_x^2}{2 K} \Rightarrow S_{\text{раб}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 K}{m} = K$$

предположим, что склон скользкий
тогда $R = K(v_x)$

Продолж на обороте листа

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!

2) Пусть $K = \frac{m v_x^2}{r}$; тогда при торможении
погодейств. силы трения $K \rightarrow 0$.

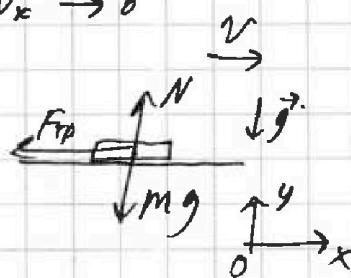
⇒ запишем 2-ой закон Ньютона $v_x \rightarrow 0$
по обеим в этом случае!

$$Ox: -F_{tr} = m a_x''$$

$$Oy: N - mg = 0.$$

$$\Rightarrow m a_x'' = -\mu mg.$$

⇒ $a_x'' = -\mu g$ (т.е. направл. против Ox)
нас тормож.



$$\Rightarrow S_{\text{торм}} = \frac{|a_x''| t_{\text{торм}}^2}{2}; v_x = |a_x''| t_{\text{торм}}.$$

$$\Rightarrow S_{\text{торм}} = \frac{v_x^2}{2|a_x''|} = \frac{\pi^2}{2|a_x''|} \cdot \frac{2K}{m} = \frac{K}{|a_x''| m}$$

$$\Rightarrow S_{\text{торм.}} = \frac{K}{\mu gm} = \frac{K}{gm} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}$$

$$\boxed{\text{Ответ: 1) } \mu = \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \quad 2) S = \frac{K}{gm} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}}$$

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 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 исполнится!

$$J = 1 \text{ м} \cdot 16; i = 3 \text{ (рабоч.)}$$

Заметим, что все процессы политропны ($C_{\text{проц}} = \text{const}$)

$$\Rightarrow 1) Q_{31} = C_{31} \cdot \Delta T_{31} = 2RJ \cdot (T_1 - T_3) = 2RJ(-3T_1) = -6RT_1, \quad \begin{matrix} " \\ 2 \text{ из графика} \\ 4T_1 \end{matrix}$$

$$\text{при этом: } Q_{31} = \Delta U + A'_{31} = cvJ(T_1 - T_3) + A'_{31} \quad \begin{matrix} " \\ \text{раб. раб.} \end{matrix} \Rightarrow A'_{31} = -A_{31}'$$

$$\Rightarrow A'_{31} = -A_{31} = -6RT_1 - \frac{i}{2} R J (T_1 - T_3) = -6RT_1 + \frac{9}{2} RT_1 = \frac{2}{2} R (-3T_1) = -3,5RT_1$$

$$\Rightarrow A_{31} = \frac{3}{2} RT_1 = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 200 \cdot 1 = >$$

$$1) A_{31} = 8,31 \cdot 300 = 24,93 \cdot 100 = 2493 \text{ Дж.}$$

2) Найдём η -КПД. процесса; для этого
заметим, что $\Delta T_{12} > 0$ и $\Delta T_{23}, \Delta T_{31} < 0$.

\Rightarrow тепло подводилось только в процессе 1-2.

$$\Rightarrow Q_{\text{подв}} = Q_{12} = C_{12} \cdot \Delta T_{12} = 1,5 RJ \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) = \frac{21}{2} RT_1, \quad \begin{matrix} " \\ \text{таким раб. как и перв.} \\ 8T_1 \end{matrix}$$

теперь определим работу цикла:
для этого заметим, что

$$\text{Но } \sum Q_{\text{проц}} = \sum \Delta U + \sum A = \sum A = A_g.$$

$$cv(T_1 - T_2)$$

$$\Rightarrow A_g = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = \frac{21}{2} RT_1 + 0,5 RJ (8T_1 - 4T_1) + (-6) RT_1$$

$$A_g = \left(\frac{21}{2} - 2 - 6 \right) RJ = \frac{21 - 4 - 12}{2} RJ = \frac{5}{2} RJ$$

$$\Rightarrow \text{но опр: } \eta = \frac{A_g}{Q_{\text{подв}}} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{21}{2}} = \frac{5}{21} \cdot 210.$$

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!

Выведем ур-е политропы в завис-ти от C :

$$\frac{dQ}{dT} = \sqrt{C}$$

$$dQ = C_V dT + P dV \Rightarrow \cancel{C_V dT} = \cancel{C_V dT} + \frac{dV}{V} \cancel{\lambda R T} ; C_V = \frac{3}{2} R$$

$$P = \frac{\sqrt{R T}}{V} \Rightarrow \frac{(C - C_V)}{R} \int \frac{dT}{T} = \int \frac{dV}{V}$$

$$\ln\left(T \frac{C_V - C}{R}\right) + \ln(V) = \text{const}$$

$$VT \frac{C_V - C}{R} = \text{const}$$

$$\Rightarrow T_2 = 8T_1$$

$$T_3 = 4T_1$$

$$\frac{C - C_V}{R} \ln(T) = \ln(V) + \text{const}$$

$$\ln\left(T \frac{C - C_V}{R}\right) = \ln(V) + \text{const}$$

$$C_{12} = 1,5R \Rightarrow VT \frac{1,5R - 1,5R}{R} = \text{const}$$

$$\Rightarrow VT^0 = \text{const}$$

$$\Rightarrow V = \text{const}$$

$$C_{23} = 0,5R \Rightarrow VT \frac{0,5R - 0,5R}{R} = \text{const} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_2 = 8P_1$$

$$C_{31} = 2R \Rightarrow VT \frac{2R - 0,5R}{R} = \text{const} \Rightarrow V_2 \cdot 8T_1 = 8T_1 \cdot V_1 = 4T_1 \cdot V_3$$

$$\Rightarrow V_3 = 2V_1$$

$$\Rightarrow 8T_1 \sqrt{R} = 8P_1 V_1 \quad (2)$$

$$4T_1 \sqrt{R} = P_3 V_1 \quad (3)$$

$$1: (P_1; V_1); 2: (8P_1; V_1); 3: (2P_1; 2V_1)$$

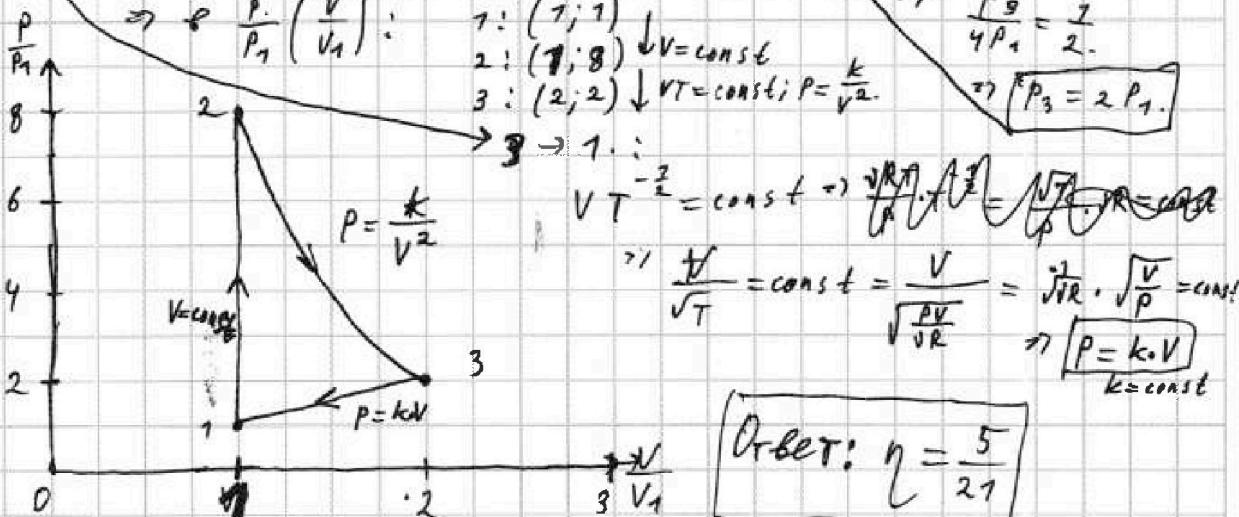
$$\Rightarrow \frac{P}{P_1} \left(\frac{V}{V_1} \right)^2 : \quad 1: (1; 1)$$

$$2: (1; 8) \downarrow V = \text{const}$$

$$3: (2; 2) \downarrow VT = \text{const}; P = \frac{k}{V^2}$$

$$\Rightarrow \frac{P_3}{4P_1} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow P_3 = 2P_1$$



$$VT^{-\frac{2}{3}} = \text{const} \Rightarrow \frac{\sqrt{R T}}{P} = \sqrt{V} \cdot \sqrt{R} = \text{const}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{\sqrt{T}} = \text{const} = \frac{V}{\sqrt{VR}} = \frac{1}{\sqrt{R}} \cdot \sqrt{\frac{V}{P}} = \text{const}$$

$$\Rightarrow P = k \cdot V$$

$$\text{Ответ: } \eta = \frac{5}{21}$$

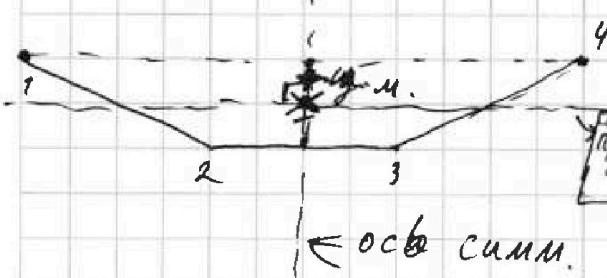
- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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

Рассм произвольный момент для сист. после перекл. шаров.



заметим, что $\forall \tau$:

расст. от линии, соед.

1 и 4 шарика, ~~и 2 и 3~~

одинаковы (т.к. иначе)
(т.к. иначе)
(т.к. иначе)

2) рассм. энергетическую систему!

из нач. энерг. состоялась
тумной погенц. энерг.
8-я пар шаров =).

$$\sum E = E_{n_{12}} + E_{n_{23}} + E_{n_{34}} + E_{n_{14}} + E_{n_{24}} + E_{n_{13}}$$

при этом, 8 силы симм:

$$E_{n_{12}} = E_{n_{23}} \neq E_{n_{34}} = E_{n_{14}} = \frac{kq^2}{a}$$

Бескор. б.
т.ч. и
угловое

$$E_{n_{13}} = E_{n_{24}} = \frac{kq^2}{\sqrt{2}a}$$

$$\Rightarrow \sum E = \frac{kq^2}{a} \left(4 + \frac{2}{\sqrt{2}} \right) = \frac{2kq^2}{a} \left(\frac{2\sqrt{2} + 2}{\sqrt{2}} \right) \sqrt{\frac{kq^2}{a}} = E_{\text{нор.}}$$

когда шарики встали в ^{рим.} одну линию как бы
из них приобрёл энерг. к ~~шарикам~~ (т.к. все сферы
расст. неизм.).

$$\Rightarrow \sum E = kE_{n_{12}} + E_{n_{23}} + E_{n_{34}} + E_{n_{14}} + E_{n_{13}} + E_{n_{24}} = E_{\text{нор.}}$$

$$E_{\text{нор.}} = k + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3} = \frac{13}{3} \cdot \frac{kq^2}{a} = E_{\text{нор.}}$$

по закону
сохранения
и $A_{\text{нор.}} = 0$
шаров

$$\Rightarrow K = -aE_n = -\left(\frac{13}{3} - 4 - \frac{2}{\sqrt{2}}\right) \cdot \frac{kq^2}{a}$$

запомним $k \rightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

$$K = \left(\frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{7}{3}\right) \cdot \frac{kq^2}{a} = \frac{6 - \sqrt{2}}{12\sqrt{2}} \cdot \frac{kq^2}{a}$$

$|d = \frac{\sqrt{5}a}{2}| K = \frac{6 - \sqrt{2}}{48\sqrt{2}} \cdot \frac{kq^2}{a}$

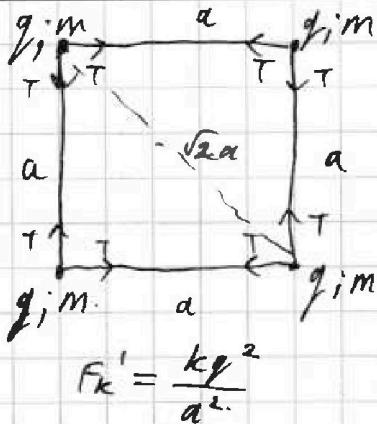
Ответ:



- 1 2 3 4 5 6 7

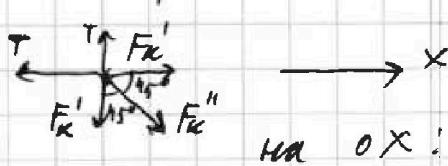
МФТИ

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



$$\Rightarrow F_k'' = \frac{kg^2}{2a^2}$$

- 1) система находится в покое
и симметрия для любого шарика
достаточно рассмотреть один.
шарик и силы на него.



т.к. шарик заряжен, то
отталкивается от стены

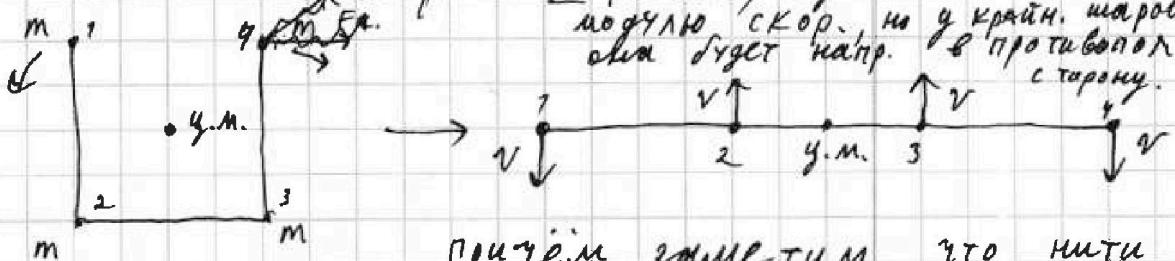
$$F_k' + F_k'' \cos(45^\circ) - T = 0.$$

$$\Rightarrow \frac{kg^2}{a^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right) = T$$

$$[0 \text{ т.к. } T = \frac{1}{2} F_k'']$$

- 2) Заметим, что система шаров замкнута и прямой, проходящей через центр масс и \perp к. 2-3. симметрия относительно ~~одинакова~~ $\Rightarrow \sum p = 0 = \text{const}$

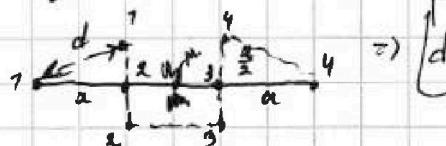
и когда шары выстроются в одну прямую:
симметрия относительно $\sum p = 0$. т.к. сумма радиусов



причём заметим, что нити останутся натянутыми; т.к.

- 3) отсюда следует,

что д-расст. от старт
до крайн. шариков:



$$\Rightarrow d = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2} a$$

(ОТВЕТ!)

все
шары
отталкиваются