



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.

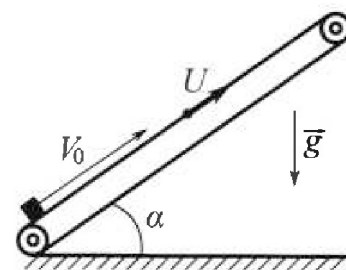
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Уск. орение свободного падения $g = 10$ м/с². 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 $V_0 = 6$ 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 $T = 1$ с?

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

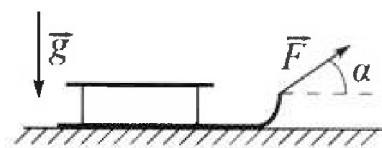
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? 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 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.



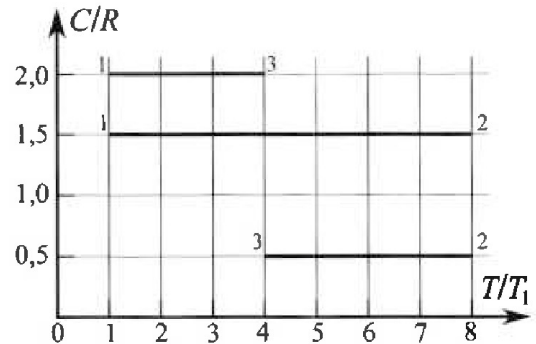
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

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



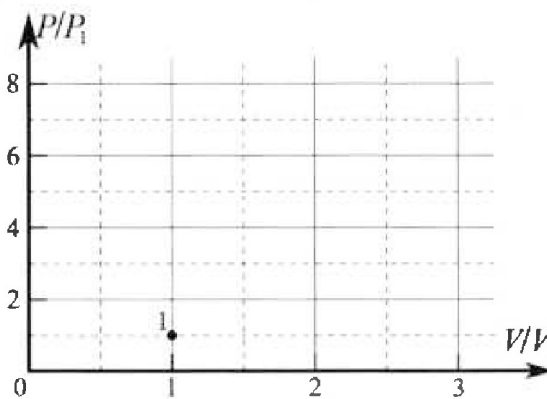
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

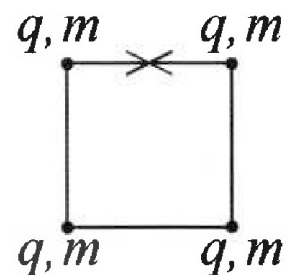
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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 сверху (на рисунке)?

Элементарная 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:

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

$$\Rightarrow \frac{9}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sin(60^\circ)}{\cos(60^\circ)} = \frac{9}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}} = 9\sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} (x^n)' &= n x^{n-1} x' \\ \frac{1}{\cos^2 l} &= 1 + \tan^2(l) \quad l = \text{const} \quad \begin{aligned} \left(\frac{1}{\cos(l)}\right)' &= \cos(l) l' \\ \left(\cos(l)\right)' &= -\sin(l) l' \end{aligned} \\ \Rightarrow l' &= 1 \\ \left(\frac{\sin(l)}{\cos(l)}\right)' &= \left(\sin(l) \cos^{-1}(l)\right)' = \sin(l) (\cos^{-1}(l))' + \cos^{-1}(l) \cdot \sin'(l) = \tan^2(l) + 1 = (\tan(l))' \\ &= \frac{\sin''(l) \cos^{-1}(l) - \sin^{-1}(l) \cos''(l)}{\sin^2(l) \cos^{-2}(l)} \quad (\tan^2(l))' = 2 \tan(l) (\tan'(l) + 1) \end{aligned}$$

$$h = \lg(h) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \lg^2(h) - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \left(\frac{dh}{dh} = 0 = (\lg^2(h+1) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot 2 \lg(h) \cdot (\lg^2(h+1)) \right)$$

заменим $\frac{1}{\cos^2(\varphi)}$ через $\frac{1}{\sin^2(\varphi)}$

$$0 = (\operatorname{tg}^4 \varphi + 1) S - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (2 \operatorname{tg}^3 \varphi + 2 \operatorname{tg} \varphi) \quad \left(\begin{array}{l} \text{сокращ.} \\ \text{на} \\ (\operatorname{tg}^2 \varphi + 1) \end{array} \right)$$

$$\Rightarrow \cancel{g} \quad 0 = S - \frac{g S^2}{2v_0^2} \cdot 2tg(t) \Rightarrow \frac{gS}{v_0^2} tg(t) = 1.$$

$$\Rightarrow \text{h-max при } t_0(f) = \frac{v_0^2}{g \cdot S} \quad t_0(f) = \frac{v_0^2}{g \cdot S}$$

$$\Rightarrow H = \frac{v_0^2}{gS} \cdot S - \frac{v_0^2}{2v_0^2} \cdot \frac{v_0^2}{gS^2} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$\Rightarrow H - \frac{v_0^2}{2g} = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \Rightarrow S^2 = \left(\frac{v_0^2}{2g} - H \right) \cdot \frac{2v_0^2}{g}$$

$$S = \sqrt{\frac{v_0^4}{g^2} - H \cdot \frac{2v_0^2}{g}} = \sqrt{\left(\frac{200}{20} - 3,6\right) \cdot \frac{2 \cdot 200}{10}} = \sqrt{0,64 \cdot 400} = 0,8 \cdot 20$$

$$\Rightarrow \boxed{s = 76 \text{ m.}}$$

Ответ: 1) $V_0 = 10\sqrt{2} \frac{m}{c}$; 2) $S = 16m$

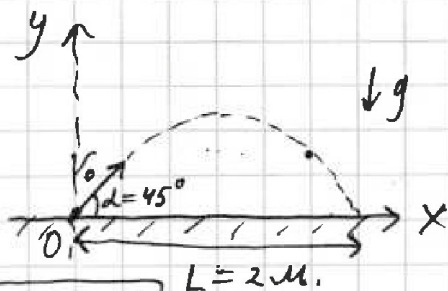
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



$V_0 = ?$

уравнения движения:

$$1) \begin{cases} x = V_0 \cos(\alpha) \tau \\ y = \tau V_0 \sin(\alpha) - \frac{g \tau^2}{2} \end{cases}$$

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

$$V_y = V_0 \sin(\alpha) - g \tau$$

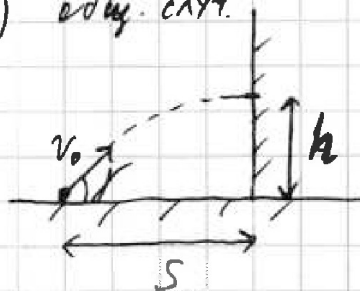
$\Rightarrow L = V_0 \cos(\alpha) \tau_0$; где τ_0 - общ. время полёта.
при этом $y_{конечн} = 0 \Rightarrow 0 = \tau_0 V_0 \sin(\alpha) - \frac{g \tau_0^2}{2}$

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

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

ответ: $V_0 = \sqrt{\frac{g L}{\sin(2\alpha)}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20 \text{ м}}{1 \cdot \frac{1}{\text{с}}}} = \sqrt{200 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$
 $\sin(90^\circ) = 1$ $25 \cdot 4 \cdot 2$

2) общ. случ.



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

$S = ?$

уравнения движения аналогичны п.1.
с заменой $\alpha \rightarrow \beta$.

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

$$x(\tau_x) = \tau_x V_0 \cos(\beta) = S$$

$$y(\tau_x) = \tau_x V_0 \sin(\beta) - \frac{g \tau_x^2}{2} = h$$

выраз. τ_x из $x(\tau_x)$
и подст. в $y(\tau_x)$.

$$h = \frac{V_0 \sin(\beta)}{V_0 \cos(\beta)} \cdot S - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2(\beta)} = \tan(\beta) S - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2(\beta)}$$

$\Rightarrow$ найдём β ; при кот-м. h -max ; берём $\frac{1}{\cos^2(\beta)} = \tan^2(\beta) + 1$ заменим.

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

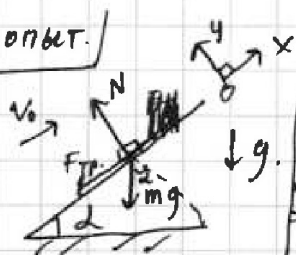
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

I опыт.



т.е. есть 2 случая, когда
V. напр. близ: $\frac{V_0}{c}$ (I) и когда
сверх: $\frac{V_0}{c}$ (II)

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

2) 1) ЛЕНТА ПОКОИТСЯ: F!

2-ой Закон Ньютона при
скольжении:

$$Ox: F_{TP} - mg \sin(21) = ma_x$$

$$\text{OY: } N - mg \cos(\alpha) = 0.$$

27 ОУ: одинак для I и II

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

$$27) F_{Tp} = \mu mg \cos(\alpha)$$

$$\text{II: } \left\{ \begin{array}{l} \text{OX: } -F_{Tp} - mg \sin(\alpha) = ma_x \end{array} \right.$$

7) I: $a_x = \mu g \cos(L) - g \sin(L) = 10(0.5) - 9.81 = -0.31 \text{ m/s}^2$; $N = mg \cos(L) = 0$

$$\text{II: } a_{x_2} = -\mu g \cos(\alpha) - g \sin(\alpha) \stackrel{10(0.25+0.196) \leq 0.2}{=} -1.03 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{mit } \alpha = 10.4^\circ$$

=) т.к. движение равноускоренное $= \frac{1}{2} a t^2$

7) 2) I: $s_1(T) = |-v_0 + a_{x_1} T| = |-6 + (-2) \cdot 1| = |-8| = 8 \text{ m}$

Заметим, что во II-м случае коробка

Reba Sharp: ~~Reba Sharp~~

1891

27 ~~best 4: 11/20/17 Fall 2017~~

10/11/1971

27. поменяет. напр. двх $\Rightarrow$ сила трен. помен.

⇒ рассм. ее движ.

в 2 ЭТАПА: на 1-м ускор: a_{x2} (до мом. остановки)

and now: $ma'_{x_2} = F_{TP} - mg \sin(\alpha) = a_{x_1}$

$$\Rightarrow S_2 = \frac{|a_{x_2}| \tau_2^2}{2} + \frac{|a_{x_1}| \tau_1^2}{2} \quad \left(\begin{array}{l} \text{т.к. нас интересует} \\ \text{пути} \Rightarrow \text{длины траект.} \end{array} \right)$$

geg: $\tau_2 = \left| \frac{v_0}{a_{x2}} \right| = \left| \frac{6}{-10} \right| = 0,6 \text{ s}$ $\Rightarrow S_2 = \frac{10 \cdot 0,36}{2} + \frac{2 \cdot 0,16}{2} = 1,8 + 0,16 = 1,96 \text{ m}$

$$\tau_1 = T - \tau_2 = 0,4 \text{ c.}$$

ответ: 1) ~~S_1~~ $S_2(V_0 - k_{\text{пер}}) = 7,96 \text{ м.}$
 $S_2(V_0 - k_{\text{мз}}) = 4 \text{ м.}$

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

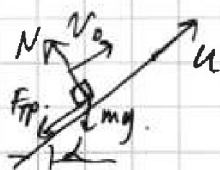
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Опыт II

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

$\Rightarrow$



2) т.к. нас интересует время, за кото скор. коробки станет $1 \frac{м}{с}$, заметим, что таких мом. 2 (когда $\vec{v}_k = \vec{u}$ т.е. в лоб. с.о. $v_k = 1 \frac{м}{с}$ и $\vec{u}$ неподв. отн. ленты) и когда $\vec{v}_k = -\vec{u}$

$\Rightarrow$ расем. оба вар.:

I) T_I (мом, когда $\vec{v}_k = \vec{u}$) $\Rightarrow$ т.к. ур-я динамики аналогичны п.1) $\Rightarrow a_{1x} = a_{k2}$, но клонх. $\Delta v_{x1} = v_0 - u = 5 \frac{м}{с}$

$$\Rightarrow T_I = \frac{\Delta v_{x1}}{a_{1x}} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с.}$$

II) T_{II} (мом, когда $\vec{v}_k = -\vec{u}$) $\Rightarrow$ заметим, что этот мом. соотв. мом, когда $\vec{v}_k = -\vec{u}$, отн. ленты. тело двиг-ся вниз со скор. $2 \frac{м}{с}$.

$\Rightarrow$ аналогично II в п.1. разобьем движ на 2 участка: до ост. и после ост.

$$T_{II} = T_I + T_3; \text{ где } T_3: |a_{x1}| T_3 = 2 \frac{м}{с} = 2u.$$

$$\Rightarrow T_{II} = T_I + \frac{2u}{|a_{x1}|} =$$

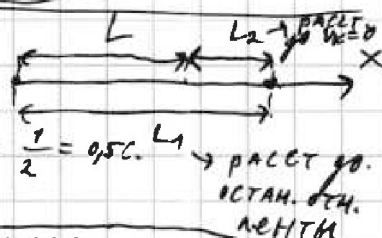
$$\Rightarrow T_{II} = 0,5 + \frac{2}{2} = 1,5 \text{ с.}$$

ответ: $T_{II} = [0,5; 1,5] \text{ с.}$

3) : $v_k = 0$ при $\vec{v}_{отн.ленты} = -\vec{u} \Rightarrow$

$$\Rightarrow L_1 = \frac{a_{x2} T_I^2}{2}; L_2 = \frac{a_{x1} T_4^2}{2}; \text{ где } T_4 = \frac{u}{|a_{x1}|} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ с.}$$

$$\Rightarrow L = L_1 - L_2 = \frac{10 \cdot 0,25}{2} - \frac{2 \cdot 0,25}{2} = 1 \text{ м}$$



ответ: 1) $\frac{5(v_0 - v_{отн.ленты})}{5(v_0 - v_{отн.ленты})} = 1,5 \text{ м.}$; 2) $T_1 = [0,5; 1,5] \text{ с.}$; 3) $L = 1 \text{ м.}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

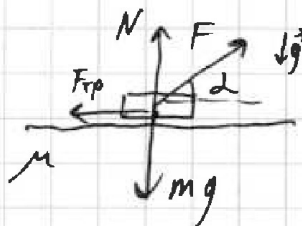
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

I)



МАССА САНОК m

$\Rightarrow$ запишем ур-я динамики
(2-ой закон Ньютона) для
обоих случаев по осям:

I: $OX: F \cos(\alpha) - F_{тр} = a_x m$

$OY: N + F \sin(\alpha) - mg = 0$

II: $OX: F - F'_{тр} = a'_x m$

$OY: N' - mg = 0$

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

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

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

т.к. разгон до одной и той же K ($v \Rightarrow u$) проводился
на одинак. участках пути ~~т.к.~~ в обоих случаях

$\Rightarrow$ (т.к. двух равноускор) $a_x = a'_x$

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

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

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

~~Хочу: $R = \frac{mv_x^2}{2}$ где v_x - конечная скорость при разгоне.
при этом: $v_x = a_x t_x$ (из $\cos$ поворота, радиускор)
 $\Rightarrow S_{разг} = \frac{a_x t_x^2}{2} = \frac{v_x^2}{2a_x} \Rightarrow S_{разг} = \frac{1}{2a_x} \cdot \frac{2K}{m} = \frac{K}{a_x m}$
перемещение саней при разгоне до $K(v_x)$ заметим, что~~

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
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

2) пусть $K = \frac{m v_x^2}{2}$; тогда при тормож.
поу действ. силы трения $K \rightarrow 0$.

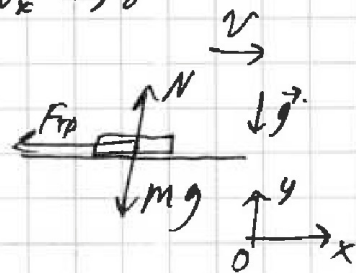
⇒ запишем 2-ой закон Ньютона $v_x \rightarrow 0$
по осям в этом случае!

$$OX: -F_{тр} = m a_x''$$

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

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

$$\Rightarrow a_x'' = -\mu g \text{ (т.е. напр. против } OX \text{ на тормож.)}$$



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

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

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

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐

МФТИ

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

$$j = 1 \text{ м. л. в.} ; i = 3 \text{ (одноат. газ)}$$

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

$$\Rightarrow 7) Q_{31} = \underbrace{C_{31}}_{2R \text{ из графика}} \cdot \Delta T_{31} = 2RJ \cdot \underbrace{(T_1 - T_3)}_{4T_1} = 2RJ(-3T_1) = -6RJ T_1$$

при этом: $Q_{31} = \Delta U + A'_{31} = cv(T_2 - T_3) + A'_{31}$
 по 1-му ЗЗ $\Rightarrow A'_{31} = -A'_{13}$

$$\Rightarrow A_{31}^I = -A_{31} = -6RT_1V - \frac{i}{2} R V (T_2 - T_3) = -6RT_1V + \frac{9}{2} RT_1V = -1.5RT_1V$$

$$b) A_{31} = \frac{3}{2} R T_1 v = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 200 \cdot 1 =$$

7) $A_{31} = 8,31 \cdot 100 = 24,93 \cdot 100 = 2493 \text{ g}$

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

2) Тепло подводилось только в процессе 1-2

$$2) Q_{\text{подб}} = Q_{\text{за}} = \sqrt{C_{12} \cdot \Delta T_{12}} = 1,5 \text{ РВ} \left(\sqrt{T_2 - T_1} \right) = \frac{2,1}{2} \text{ РТ}_1 \cdot \sqrt{T_2 - T_1}$$

теперь определим работу цикла:
для этого заметим, что

$$\sum Q_{net,y} = \sum \Delta U + \sum A = \sum A = A_g.$$

$$\Rightarrow A_g = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = \frac{27}{2} RT_1 \downarrow + 0.5R \downarrow (8T_1 - 4T_1) + (-6) RT_1 \downarrow$$

$$A_g = \left(\frac{27}{2} - 2 - 6 \right) \downarrow RT_1 = \frac{27 - 4 - 12}{2} \downarrow RT_1 = \frac{5}{2} \downarrow RT_1$$

⇒ no. of imp: $\eta = \frac{A_y}{Q_{\text{max}}} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{27}{2}} = \frac{5}{27}$ 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!



выведем ур-е политромы в зависи-ти от C :

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

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

$$P = \frac{\nu R T}{V}$$

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow T_2 = 8T_1 \\ T_3 = 4T_1$$

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

$$\Rightarrow VT^0 = const \\ \Rightarrow V = const$$

$$C_{23} = 0,5R \Rightarrow VT^{\frac{0,5R - 1,5R}{R}} = const \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = 8P_1$$

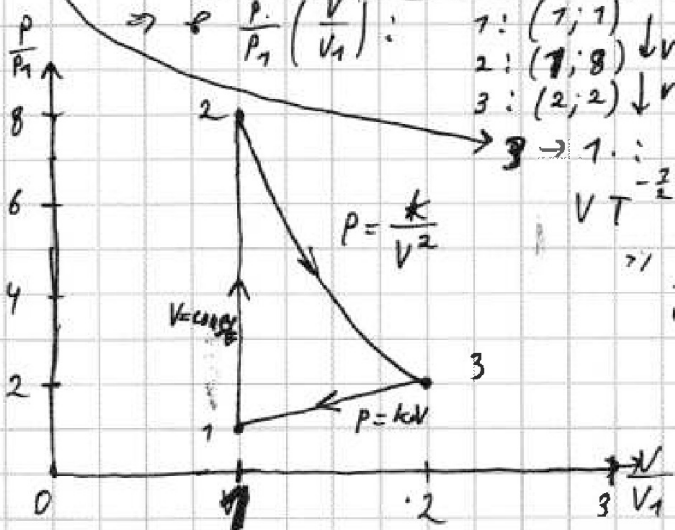
$$C_{31} = 2R \Rightarrow VT^{\frac{2R - 1,5R}{R}} = const \Rightarrow 2-3: VT = const \Rightarrow PV^2 = const \Rightarrow P = \frac{k}{V^2}$$

Точки на графике $P(V)$:

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

$$\Rightarrow P = \frac{P_1}{V_1} \left(\frac{V}{V_1}\right)^2$$

1: $(1; 1) \downarrow V = const$
2: $(8; 1) \downarrow VT = const; P = \frac{k}{V^2}$
3: $(2; 2) \downarrow VT = const; P = \frac{k}{V^2}$



$$\Rightarrow 8T_1 V_1 R = 8P_1 V_1 (2) \\ 4T_1 V_1 R = P_2 V_1 (3)$$

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

$$\Rightarrow P_3 = 2P_1$$

$$VT^{-\frac{2}{1}} = const \Rightarrow \frac{VT^{-\frac{2}{1}}}{P} = const \Rightarrow \frac{VT^{-\frac{2}{1}}}{\frac{k}{V^2}} = const \Rightarrow \frac{V^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{T}} = const = \frac{V}{\sqrt{\frac{PV}{VR}}} = \frac{1}{\sqrt{R}} \cdot \sqrt{\frac{V}{P}} = const$$

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

Ответ: $\eta = \frac{5}{21}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

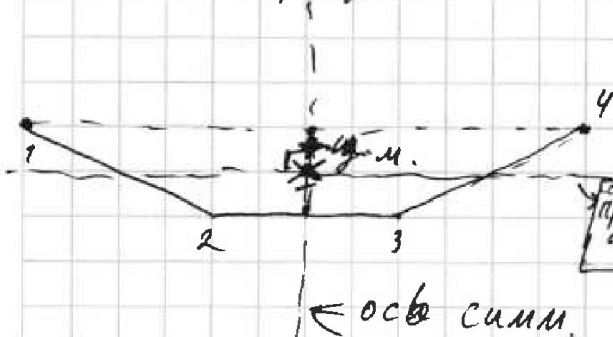
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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. Печать QR-кода не допускается!

Рассм произвольный момент для сист. после перехит. мига.



заметьте, что $\forall t$:

расст. от линии, соед.

1 и 4 шарики, ~~и 2 и 3~~

до линии, соед. 2 и 3 шарики
одинаково (т.к. иначе)
(ц.м. сдвин.)

при этом, также верно,

что. центры шток. 1-2 и 3-4

лежат на пр. "а" и
равноуд. от ц.м.

2) рассм. энергию системы!

измач. энерг. составлялась
суммой потенц. энерг.
в-я пар шаров $\Rightarrow$.

$$\Sigma E = E_{п.12} + E_{п.23} + E_{п.34} + E_{п.14} + E_{п.13} + E_{п.24}$$

при этом, в силу симм.:

$$E_{п.12} = E_{п.23} = E_{п.34} = E_{п.14} = \frac{kq^2}{a}$$

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

$$\Rightarrow \Sigma E = \frac{kq^2}{a} \left(4 + \frac{2}{\sqrt{2}} \right) = \frac{2kq^2}{a} \left(\frac{2\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}} \right) = E_{нач.}$$

когда шары встали в одну линию ~~кажд~~
из них приобрёл энерг K ~~при перехит.~~ (т.к. все скор.
равн. нулю.)

$$\Rightarrow \Sigma E = 4K + E_{п.12} + E_{п.23} + E_{п.34} + E_{п.14} + E_{п.13} + E_{п.24} = E_{кон.}$$

$$E_{кон.} = 4K + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3} = \frac{13}{3} \cdot \frac{kq^2}{a} = E_{нач.}$$

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

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

по закону сохр. энерг и $A_{вн.} = 0$ нет вниш. сил

заменяем $k \rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

$|q| = 4a\sqrt{\frac{\pi\epsilon_0}{4+\sqrt{2}}}$

Ответ: $K = \frac{6-\sqrt{2}}{49\sqrt{2}} \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$

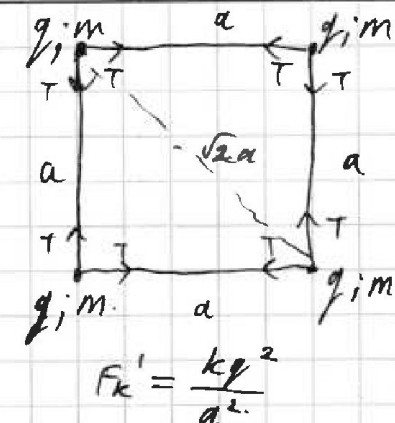
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

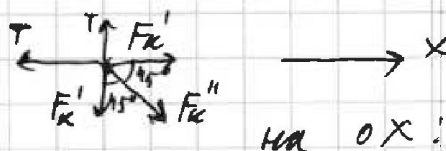
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

МОФИ



1) система находится в покое
и симметрична для любого шарика
2) достаточно рассм. один шарик и силы на него.



т.к. шары
заряды
одинаковы
⇒ отталкиваются.

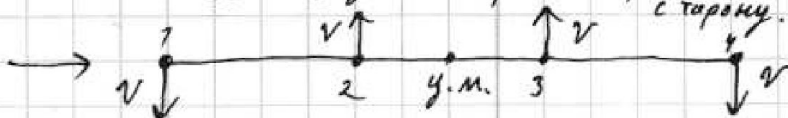
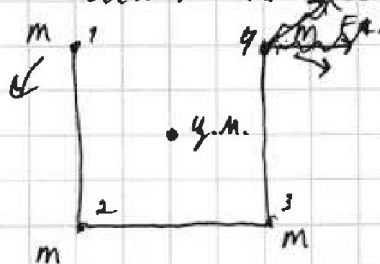
$$\Rightarrow F_k'' = \frac{kq^2}{2a^2}$$

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

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

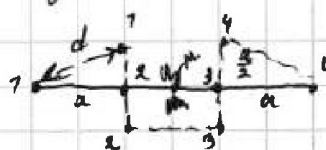
$$\boxed{\text{ответ: } |q| = 2a \sqrt{\frac{T}{(4+\sqrt{2})k}}}$$

2) Заметим, что система шаров замкнута и (в т) симметрична отн. н^о прямой, проходящей 1/3 ц.м. и $\perp$ к. 2-3.
и когда шары выстроятся в одну прямую:
симметрия сохр. и $\Sigma p = 0$. ⇒ будут иметь равн. по модулю скор. но у крайн. шаров она будет напр. в противоположные стороны.



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

3) отсюда следует, что d-расст. от старта для крайн. шариков:



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

(ответ:)



все шары отталкиваются.