

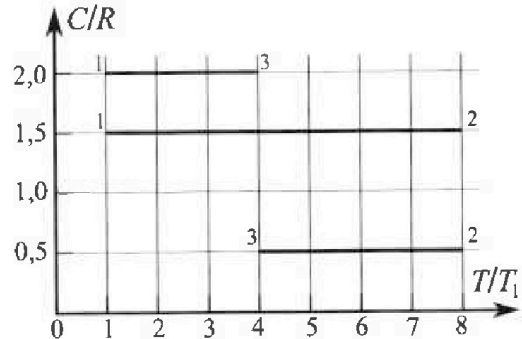
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

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



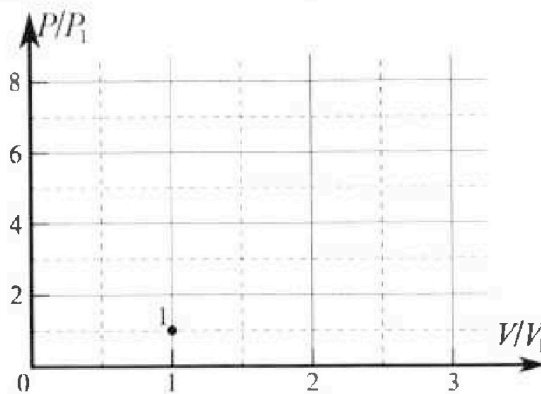
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

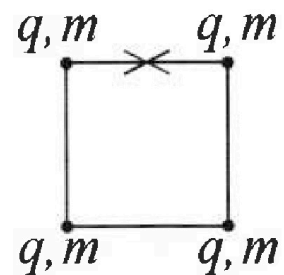
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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)?

Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

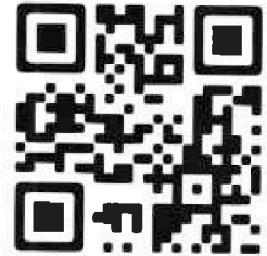




Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

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.

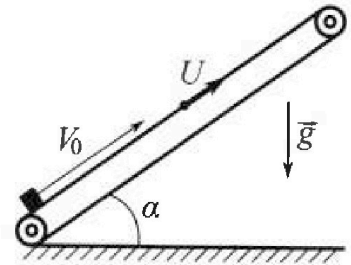
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  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.).

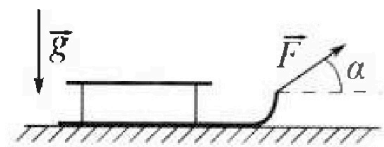
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.

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!

Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

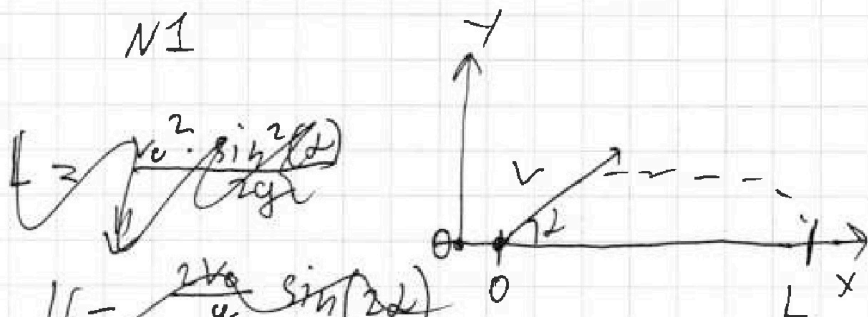
$$L = 20 \text{ м}$$

$$H = 3,6 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$v = ?$

$S = ?$



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

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

$$x(t) = v_0 \cos(\alpha) t = L$$

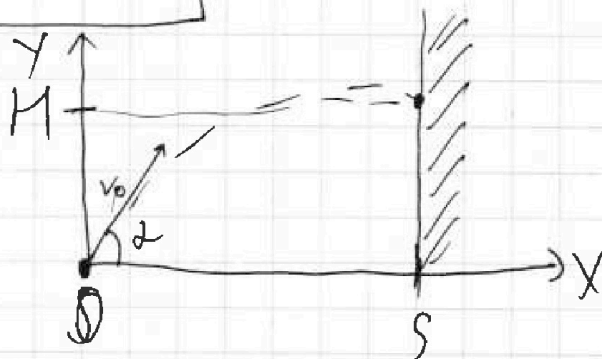
$$y(t) = v_0 \sin(\alpha) t - \frac{gt^2}{2} = 0$$

$$t = \frac{2v_0 \sin(\alpha)}{g} \rightarrow t \neq 0$$

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

$$v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin(2\alpha)}} = \sqrt{200} \text{ м/с}$$

$$v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$



$$\begin{cases} y(t_1) = v_0 \sin(\alpha) t_1 - g \frac{t_1^2}{2} = H \\ x(t_1) = v_0 \cos(\alpha) t_1 = S \end{cases}$$

$t_1$  - момент соприкосновения с стеной

$t$  - момент падения камня



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"/>	<input 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!

$$t_1 = \frac{S}{v_0 \cdot \cos(\alpha)}$$

$$y(t_1) = S \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (1 + \operatorname{tg}^2(\alpha))$$

$$y(t_1) = - \operatorname{tg}^2(\alpha) \left( \frac{g S^2}{2 v_0^2} \right) + S \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

Найти макс.  $y(t_1)$

$$\operatorname{tg}(\alpha)_{\max} = \frac{S \cdot v_0^2}{g S^2} = \frac{v_0^2}{g S} = \frac{L}{S \cdot \sin^2(\alpha)} \approx \frac{L}{S}$$

$\operatorname{tg}(\alpha)$  при котором  $y(t_1)$  имеет макс.

тогда

$$y(t_1)_{\max} = H = \frac{-g L^2}{2 v_0^2} + L - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$H = L - 0,5 L - \frac{S^2}{2 L}$$

$$S = \sqrt{2(0,5 L - H)} = \sqrt{40 \cdot 6,4} \quad \mu =$$

$$= \sqrt{2^2 \cdot 8^2} \quad \mu = 16 \mu$$

$$\text{Ответ: } v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с; } S = 16 \mu$$



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!



Дано:

$$\sin(\alpha) = 0,6$$

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$\mu = 0,5$$

$$T = 1 \text{ с}$$

$$U = 1 \text{ м/с}$$

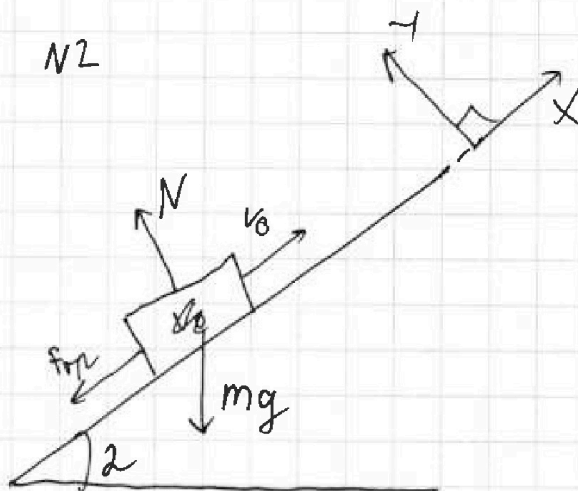
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$S = ?$$

$$T_1 = ?$$

$$L = ?$$

1)



Рассставим силы, действующие на тело

Заменим II з.сл. для тела:

$$y: N = mg \cdot \cos(\alpha)$$

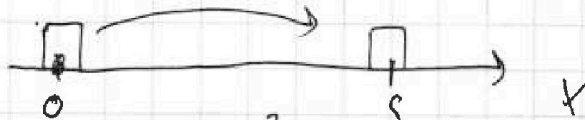
$$x: ma_x = -F_{tr} - mg \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_{tr} = \mu N$$

$a_x$  — ускорение тела в проекции на X.

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

через время T



$$v(t) = v_0 t + a_x \frac{t^2}{2} \quad \text{если } t \leq \frac{v_0}{-a_x}$$

$$S = x(T) = v_0 T + a_x \frac{T^2}{2} = \left( 6 - 10(0,6 + 0,4) \cdot \frac{1}{2} \right)$$

$$S = 1 \text{ м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

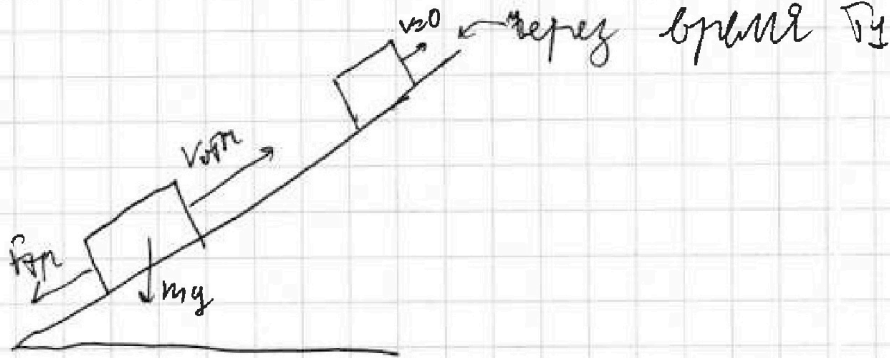
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

2) Перейдем в С.О. отн ленты  
 $V_{отн} = V_0 - U = 5 \text{ м/с}$  - скорость груза  
отн. ленты

$V_{отн} = U - U = 0 \text{ м/с}$  - скорость через  
время  $T_1$  отн. ленты



В этой С.О. на тело будут  
действовать такие-же силы как  
и на в прямой случае (мы  
рассматриваем интервал времени  
до остановки в этой С.О.), тогда  
 $a_x = -g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))$ .

тогда  $v_x(t) = v_{отн} + a_x t$  - проекция  
скорости тела на ось  $x$  в  
С.О. отн. ленты

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!

$S_2 = 0,16 \text{ м}$  - замечаем, что этот  
нуль дом пройдет против  
направления оси  $x$ , а  
значит  $S_{\text{в}} = S_6 - S_2 = 1,64 \text{ м}$



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

Найти время с момента старта до  
момента  $T_0$ .

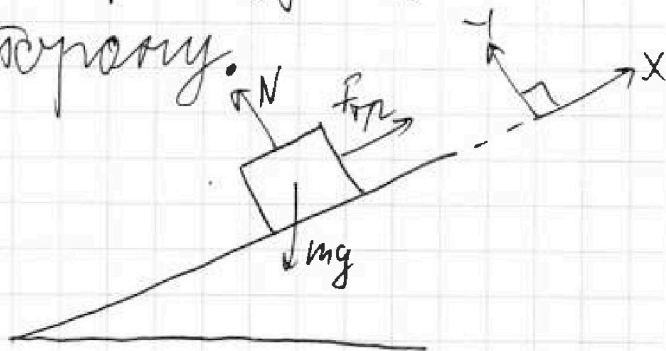
$$v_0 + a \cdot T_0 = 0 \Rightarrow T_0 = \frac{-v_0}{a} = \frac{+v_0}{g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))}$$

$\approx 0,6 \text{ c.}$

Было тело за это время!

$$S_1 = \frac{-v_0^2}{2ax} = \frac{v_0^2}{2g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))} \approx 1,8 \text{ м}$$

Теперь для тела действуют в  
горизонтальном направлении.



$a_{x1} = g \sin(\alpha)$  ? сл. для тела!

$$\begin{cases} X: m a_{x1} = F_{tr} - m g \cdot \sin(\alpha) \\ Y: N = m g \cos(\alpha) \\ F_{tr} = \mu N \end{cases}$$

$$\downarrow a_{x1} = g(\cos(\alpha) - \mu \sin(\alpha))$$

$$S_2 = -a_{x1} \frac{(t - T_0)^2}{2} - \text{было тело за}$$

время от  $T_0$  до  $T$

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!

$$x(T_1) = v_0 T_1 + a_x \frac{T_1^2}{2} = v_0 T_1 - g \frac{(\cos(\alpha) \cdot M + \sin(\alpha)) T_1^2}{2} =$$

$$= (3 - 5 \cdot 0,25) \text{ м} = 1,25 \text{ м}$$

$$\text{тогда } L = x(T_1) + S_x = 1,25 \text{ м}$$

$$L = 1,25 \text{ м}$$

~~Дополнительно № 1~~

~~Сначала время остановки тела  $T_0$~~

$$v_0 + a_x T_0 = 0 \Rightarrow T_0 = \frac{v_0}{-a_x} = 0,6 \text{ с.}$$

~~Координата~~

$$\text{ответ: } T_1 = 0,5 \text{ с} ; L_1 = 1,25 \text{ м}$$

$$S = 1,64 \text{ м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

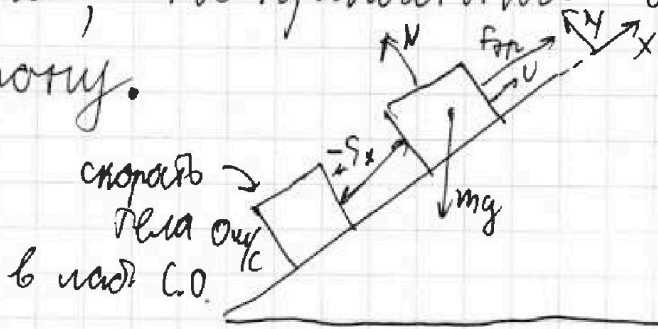
МФТИ

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

$$v_x(t_1) = (v_0 - U) - g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))T_1 = 0 \text{ м/с}$$

$$T_1 = \frac{v_0 - U}{g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))} = 0,5 \text{ с}$$

После времени  $T_1$  на тело будет действовать сила трения, направленная в противоположную сторону.



тогда мы запишем  $\Sigma F_x = 0$  для тела:

$$\begin{cases} N = mg \cos(\alpha) - \text{ноль} \\ m a_x = F_{fr} - mg \sin(\alpha) - \text{ноль} \\ F_{fr} = \mu N \end{cases}$$

$$a_x = +g(\mu \cos(\alpha) - \sin(\alpha))$$

В лабораторной С.О. скорость тела в этот момент равна  $U$ , тогда

$$S_x = \frac{U^2}{2a_x} = -0,5 \text{ м}$$

Найдём координату тела в момент времени  $T_1$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

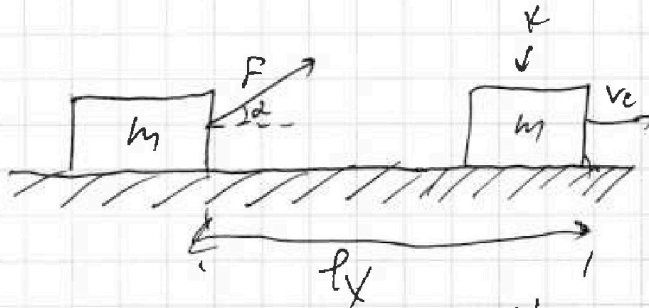
МФТИ

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

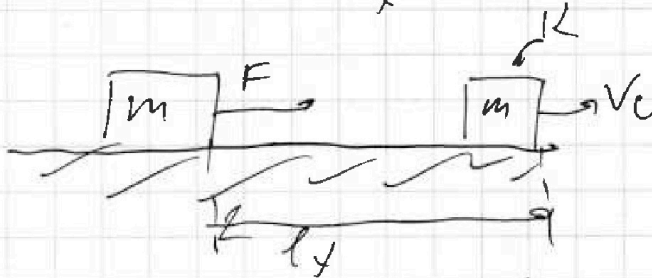
Дано:  
 $g, k, m, d, F$   
 $M = ?$   
 $S = ?$

N3

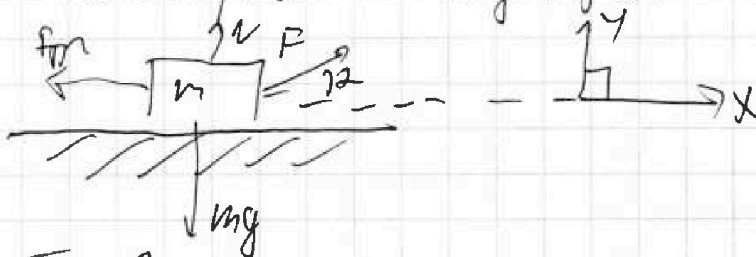
1)



2)



Рассмотрим ситуацию 1.



II 3. fl ма ош!

$\text{ххх}$   $\text{хх}$   $\text{у}$ :  $N = mg - F \sin(\alpha)$   
 $F_{fr} = \mu N = \mu (mg - F \sin(\alpha))$

$A_{F_1} = F \cdot l_x \cdot \cos(\alpha) - \mu \cdot \text{та}$   $\text{шма}$   $\text{фр}$   $F$

$A_{F_{fr_1}} = -M (mg - F \sin(\alpha)) \cdot l_x - \mu \cdot \text{та}$   $\text{шма}$   $\text{трома}$

$E_0 = 0$   $\text{там}$   $\text{фр}$   $\text{шма}$   $\text{фр}$

$K = A_{F_1} + A_{F_{fr_1}} = F l_x (\cos(\alpha) + \mu \sin(\alpha)) - \mu m g$

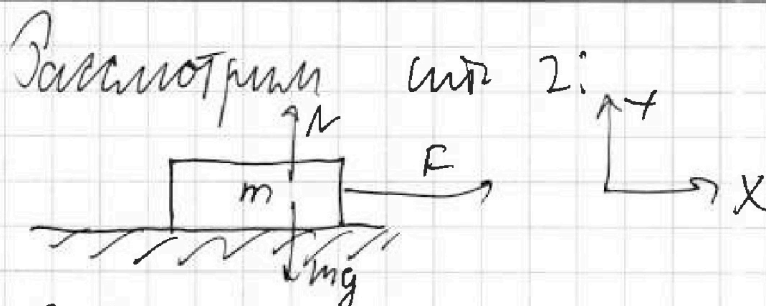
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



У 3. И для тела:

$$N = mg$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$$

$$A_{F_2} = F \cdot l_x - \text{работа силы } F$$

$$A_{\text{тр}} = -\mu mg l_x - \text{работа силы трения по ТЭК}$$

$$K = A_{F_2} + A_{\text{тр}} = F \cdot l_x - \mu mg l$$

$$K = F l_x (\cos(\alpha) + \mu \sin(\alpha)) - \mu mg l$$

получено из синусов и 1

$$1 = \cos(\alpha) + \mu \sin(\alpha)$$

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

$$K = \frac{mv_c^2}{2} - \text{по определению кин. энергии}$$

$$v_c = \sqrt{\frac{2K}{m}} - \text{скорость центра масс рассматриваемой массы (вектор энергии это K)}$$



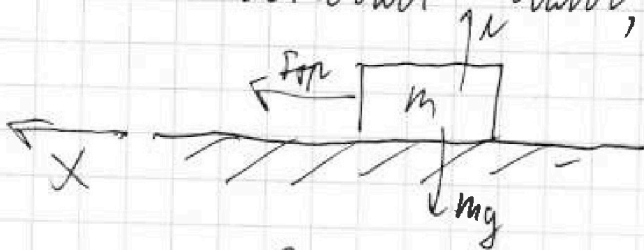
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

МФТИ

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

Составим силы, учитывая на картинке



Затем  $\underline{y}$  3. ст.

$$\begin{cases} x: & \max = F_{fr} \\ y: & \begin{cases} mg = N \\ F_{fr} = \mu N \end{cases} \end{cases} \rightarrow a_x = +\mu g$$
$$S = \frac{v_0^2}{2a_x} = \frac{v_0^2}{2\mu g} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

Ответ:  $\mu_{\text{кр}} = \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}$

$$S = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

Найти зависимость  $P(V)$  для  
уч-ков  $1 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 3$ ,  $3 \rightarrow 1$

$$\frac{1}{2} = \frac{P}{P + V \cdot \frac{dP}{dV}} \Rightarrow V \frac{dP}{dV} = P$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{P} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \gamma R T_1 \\ P_2 V_2 = \gamma R T_2 \end{cases} \quad \text{— уч-ков для } 1 \rightarrow 2$$

$$\left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{8} \Rightarrow \begin{cases} V_2 = \sqrt{8} V_1 \\ P_2 = \frac{\sqrt{8}}{8} P_1 \end{cases}$$

Уточн: графика идёт под  $45^\circ$  от  
[ $V_1, P_1$ ] до [ $\sqrt{8} V_1, \frac{\sqrt{8}}{8} P_1$ ]

$$0 = \frac{P}{P + V \frac{dP}{dV}} \Rightarrow \frac{dP}{dV} \rightarrow \infty \Rightarrow V = \text{const.}$$

$$\begin{cases} P_2 V_2 = \gamma R T_2 \\ P_3 V_3 = \gamma R T_3 \end{cases} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{1}{2}$$

Уточн: <sup>участок</sup> графика // оси ординат  
и идёт от [ $\sqrt{8} V_1, \sqrt{8} P_1$ ] до [ $\sqrt{8} V_1, \frac{\sqrt{8}}{2} P_1$ ]



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

$$Q_{23} = -0,5 \cdot 4 \text{ Дж} = -2 \text{ Дж} = -4,831 \text{ Дж} = -2524 \text{ Дж}$$

и выдран знак

1) Т.к процесс идет с ~~потомственной~~ температурой.

$$\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{13}}{Q_{12}} = \frac{17451 - 9942 - 2524}{17451}$$

$$= \frac{4955}{17451} \approx \frac{1}{3,51} \approx 30\%$$

ответ  $\eta = 30\%$

$$\begin{array}{r} 10 \\ 17451 \\ - 2524 \\ \hline 14927 \\ 211 \\ \times 4955 \\ 3 \\ \hline 14865 \\ - 25860 \\ \hline 19975 \\ 5885 \end{array}$$

$$100 \mid 3,51$$

$$\frac{C}{R} = \frac{dU + PdV}{R \cdot dT} = \frac{\frac{3}{2} R dT + PdV}{R dT} = \frac{3}{2} + \frac{PdV}{R dT}$$

$PV = \frac{3}{2} RT$  — упр. соот.

~~$$\frac{C}{R} = \frac{3}{2} + \frac{PdV}{R dT} = \frac{3}{2} + \frac{PdV}{V dT} \cdot \frac{V}{R}$$~~

$$P dV + V dP = \frac{3}{2} R dT \Rightarrow dT = \frac{P dV + V dP}{\frac{3}{2} R}$$

$$\frac{C}{R} = \frac{3}{2} + \frac{P dV}{P dV + V dP} = \frac{3}{2} + \frac{P}{P + V \cdot \frac{dP}{dV}}$$

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!

НМ  
 $Q = \int_{T_1}^{T_2} C dT$  - теплота, подводимая  
к  $T_1$  кату. По ЗСЭ  $-Q = A_{\text{вн}}$   
работа внешних сил

замечу, что  $\int C dT \approx$  площадь  
под графиком  $C(T)$ , тогда!

$$Q_{12} = \int_{T_1}^{T_2} C dT = -6,831 \cdot 100 \text{ Дж}^2 \\ = -12 \cdot 831 \text{ Дж} = (8310 + 1662) \text{ Дж} = -9972 \text{ Дж}$$

~~Работа~~ Теплота идёт со знаком  
" - " - т.к. температура уменьшается  
в процессе.

Найдём тепло, подводимое на  
уч-ке 1-2 к кату:

$$Q_{12} = 7T \cdot 1,5 R \cdot \Delta T = 10,5 \Delta T = \\ = 10,5 \cdot 100 \cdot 8,31 \text{ Дж} = 21 \cdot 831 \text{ Дж} = \\ = (16620 + 831) \text{ Дж} = 17451 \text{ Дж} - \text{знак}$$

" + " т.к. в процессе темп-ра  
увеличивается





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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**ЛМФТИ**

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

Реш. 1 → 3

$$\frac{1}{2} = \frac{3}{2} + \frac{p}{\rho + v \frac{dp}{dv}} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{p}{\rho + v \frac{dp}{dv}}$$

$$-v \frac{dp}{dv} = 2p$$

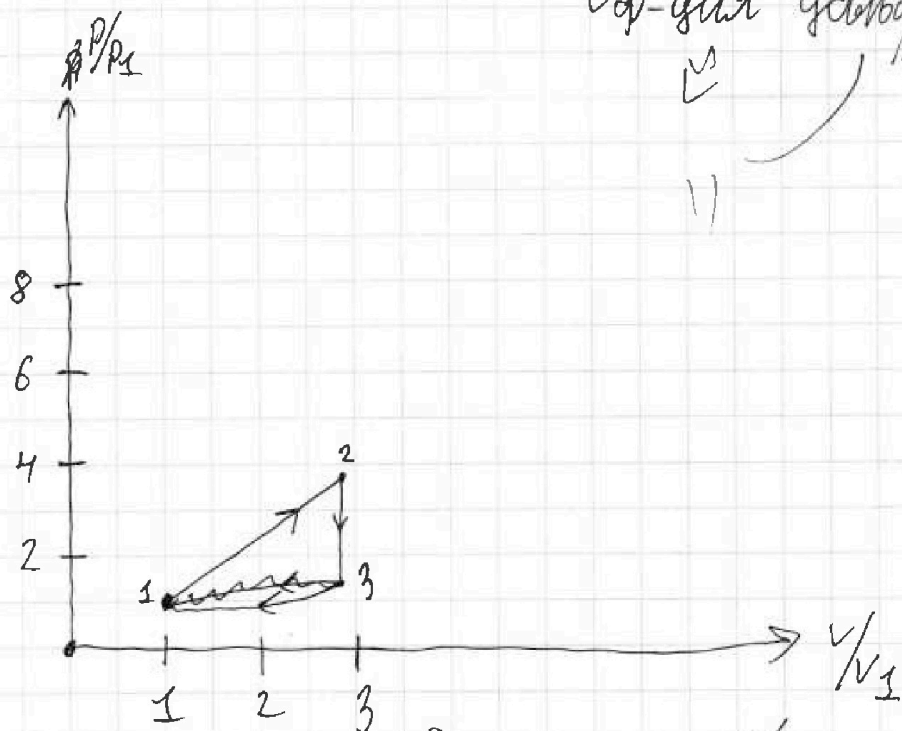
$$\frac{dv}{v} = -2 \frac{dp}{3p} \Rightarrow \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = -\frac{2}{3} \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{-1/3}$$

$$f(x) = x^{-1/3}$$

$$\forall x \quad f'(x) = -\frac{1}{3} x^{-4/3} \leq 0$$

↘ функция убывает



Ответы:  $A_{\text{ит}} = 99,42 \text{ Дж}$ ;  $\eta = 30\%$

~  
Замечание - у г-ка 3 → 1 - не правильно, а в отличие от у г-ка 1 → 2 и 2 → 3

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

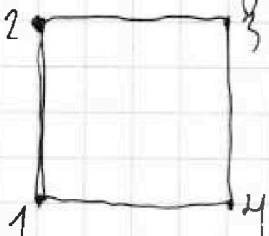
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

2) Найти потенциал энергии  $W_2$  каждого из шариков (найти для 2)



~~$$W_2 = W_{12} + W_{23} + W_{24} \text{ (Формула)}$$~~

~~$W_{ij}$  - потенциальная энергия  $z$  взаимно взаимодействующих зарядов  $i$  и  $j$ .~~  
~~Взаимодействующие  $F_{ij}$  - результирующую~~

~~$$W_2 = W_{12} + W_{23} + W_{24}$$~~

$W_{ij}$  - потенциальная энергия взаимнодействующих зарядов  $i$  и  $j$ .

$$W_{12} = W_{23} = \frac{kq^2}{a} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$$

$$W_{24} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{2} \cdot a}$$

$$W_2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left( 2 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \frac{(2 + \sqrt{2}) q^2}{8\pi\epsilon_0 a}$$

Заметим, что картина симметрична относительно центра квадрата, а значит пот. энергия всех шариков одна и также

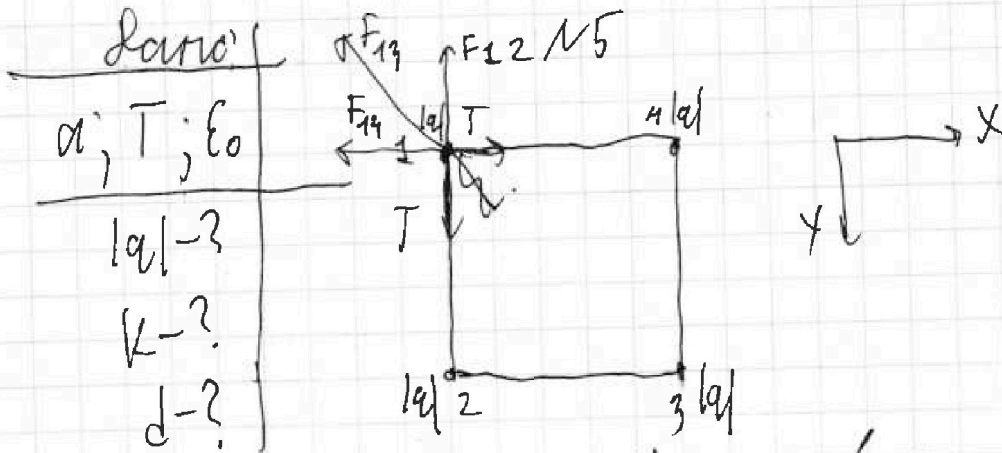
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Штрих QR-кода недопустима!



$F_{xy}$  — сила Кулоновского  
взаимодействия между зарядами

$x$  и  $y$  (от центра квадрата)

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{14}| = \frac{1 \cdot a^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot a^2}$$

$$|\vec{F}_{13}| = \frac{1 \cdot a^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2a^2} = \frac{1 \cdot a^2}{8\pi\epsilon_0 a^2}$$

Затем и  $T$  и  $T$  в проекции на ось:

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

$$y: T = \frac{1 \cdot a^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot a^2}{16\pi\epsilon_0 a^2} \quad \text{— на ось } x \text{ и } y$$

$$16\pi\epsilon_0 a^2 T = 1 \cdot a^2 (4 + \sqrt{2})$$

$$|a| = \sqrt{\frac{16\pi\epsilon_0 a^2 T}{4 + \sqrt{2}}}$$



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. Печать QR-кода обязательна!



$$W_{\text{смет}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 2aT \left( \frac{52}{3(4+\sqrt{2})} \right) = \frac{104 aT}{3(4+\sqrt{2})}$$

Поскольку на счет перем не действовало  
функции вычитает см, то

$$W_{\text{смет}} + K_{\text{смет}} = E - 3C$$

$K_{\text{смет}} = 4K_M - K_{\text{мн}}$  - энергия системы

$K_M - K_{\text{мн}}$  - энергия одного шарика

$$K_M = \frac{-104 + 24(4+\sqrt{2})}{12(4+\sqrt{2})} aT = \frac{24\sqrt{2} - 8}{12(4+\sqrt{2})} aT =$$
$$= \frac{6\sqrt{2} - 2}{3(4+\sqrt{2})} aT$$
$$K_M = aT \frac{6\sqrt{2} - 2}{3(4+\sqrt{2})}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

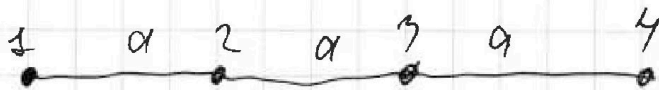
МФТИ

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

Заметим, что в начальном состоянии скорости всех шариков равны  $0 \frac{m}{s}$ , а значит  $K_{ин} = 0$ . Найдем полную энергию системы шариков, в момент когда они движутся вправо

$$E = W_{ин} + K_{ин} = 4W_2 + K_{ин} = \frac{2(4 + \sqrt{2})}{24 \cdot 8 \pi \epsilon_0 a} q^2 = \\ = \frac{8(4 + \sqrt{2}) a T}{4(4 + \sqrt{2})} = 8 a T$$

Найдем полную энергию системы шариков когда они неподвижны на  $\frac{1}{3} a$  мм.



Заметим, что  $W_1 = W_4$ ;  $W_2 = W_3$   
 $W_i$  — полная энергия  $i$ -го шарика

$$W_1 = W_4 = \frac{q^2}{4 \pi \epsilon_0 a} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right) = \frac{11 q^2}{24 \pi \epsilon_0 a} = \\ = \frac{22 a T}{3(4 + \sqrt{2})}$$

$$W_2 = W_3 = \frac{q^2}{4 \pi \epsilon_0 a} \left( 2 + \frac{1}{2} \right) = \frac{5 q^2}{8 \pi \epsilon_0 a} = \\ = \frac{10 a T}{4 + \sqrt{2}}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



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

