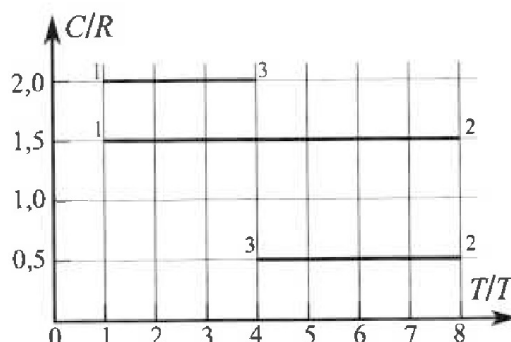


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

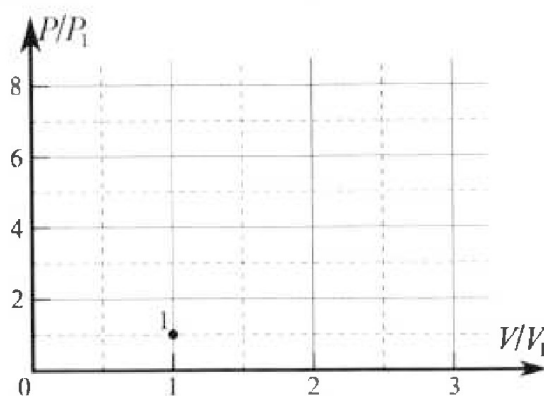
Вариант 10-02

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).

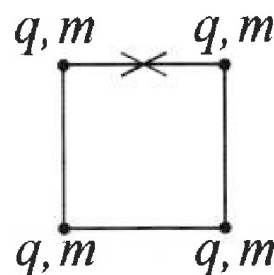


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует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

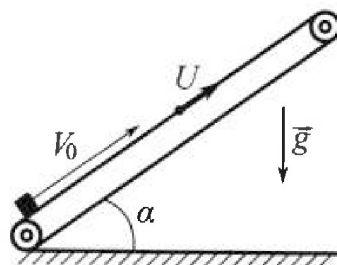
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/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.).

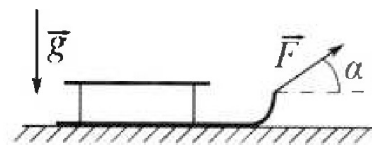
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

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:

$$\alpha = 45^\circ$$

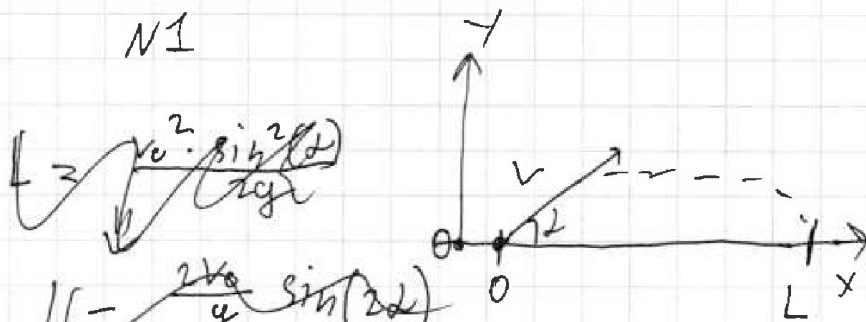
$$L = 20 \text{ м}$$

$$H = 3,6 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v = ?$$

$$S = ?$$



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

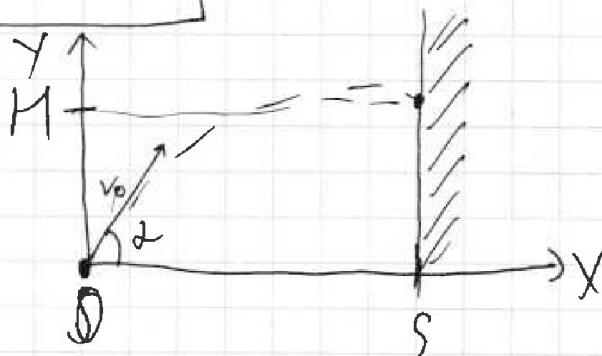
$$y(t) = v_0 \sin(\alpha) t - \frac{gt^2}{2} = 0$$

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

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

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

$$v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$



$$\begin{cases} y(t_1) = v_0 \sin(\alpha) t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = H \\ x(t_1) = v_0 \cos(\alpha) t_1 = S \end{cases}$$

t_1 — момент соприкосновения со 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
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

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

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

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

Найти макс. $y(t_1)$

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

$\tan(\alpha)$ при котором $y(t_1)$ имеет макс.

тогда

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

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

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

$$= \sqrt{2^2 \cdot 8^2} \quad u = 16 \text{ м}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Дано:

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

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$\mu = 0,5$$

$$T = 1 \text{ с}$$

$$v = 1 \text{ м/с}$$

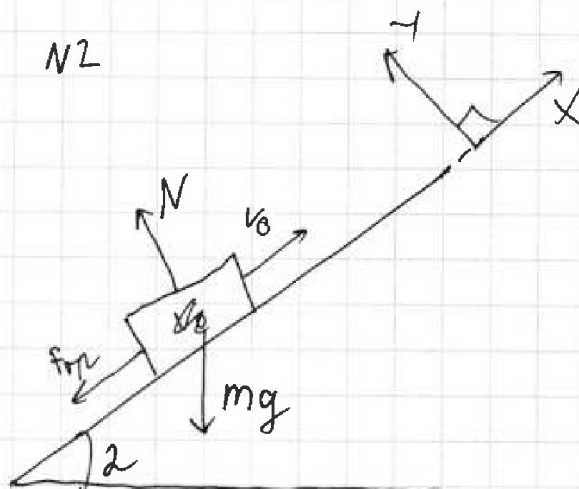
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$S = ?$$

$$T_1 = ?$$

$$L = ?$$

1)



Рассставим силы, действующие на тело

Запишем II з.сл для тела:

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

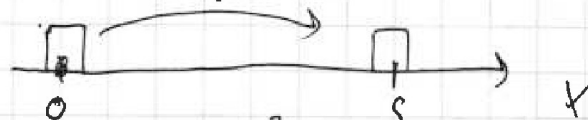
$$x: m a_x = -F_{fr} - mg \cdot \sin(\alpha)$$

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

a_x — ускорение тела в проекции на x .

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

через время T



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

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

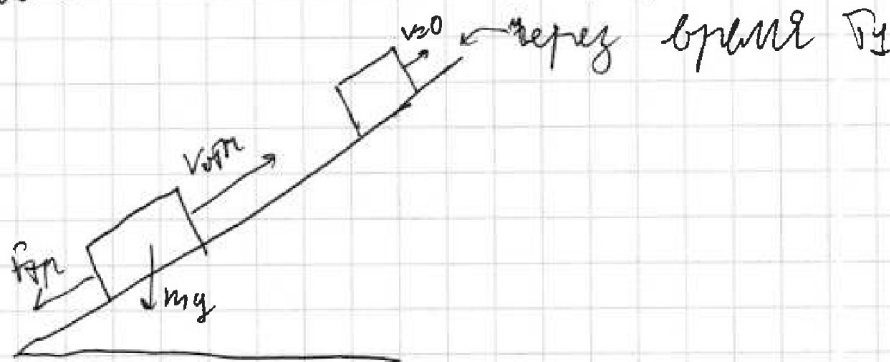
$$\mu = 1 \text{ м}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

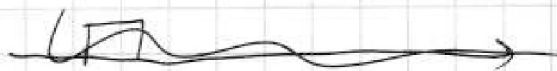
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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 прошлом 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
пути бот пройдет против
направления оси x , а
значит $S_b = S_6 - S_2 = 1,64 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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
тела T_0 .

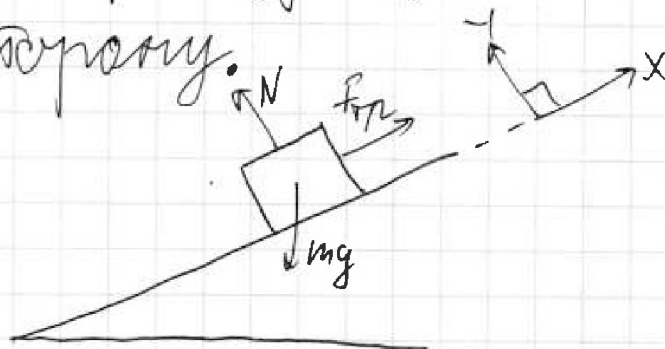
$$V_0 + a \cdot T_0 = 0 \Rightarrow T_0 = \frac{-V_0}{a} = \frac{+V_0}{g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))}$$

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

Пусть тело за это время!

$$S_0 = \frac{-V_0^2}{2a} = \frac{V_0^2}{2g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))} \approx 1,8 \text{ m}$$

Теперь для тела действовать в
горизонтальную.



$a_{x1} = g \sin(\alpha)$ 3. сл. для тела!

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

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

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

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!

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

$$= (3 - 3 \cdot 0,25) \text{ м} = 1,75 \text{ м}$$

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

$$L = 1,25 \text{ м}$$

~~Дополнительно~~ п. 1

~~Найдем 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
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

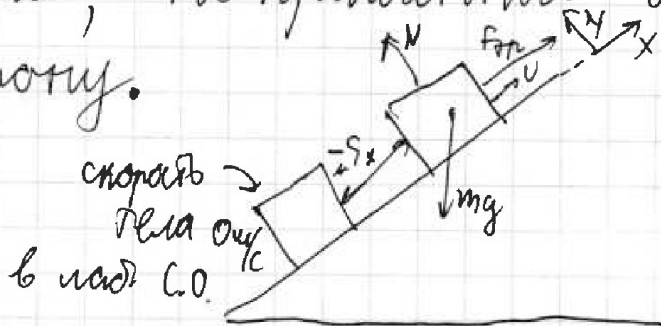
МФТИ

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

$$N_x(T_1) = (V_0 - U) - g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))T_1 = 0 \text{ м/с}$$

$$T_1 = \frac{V_0 - U}{g(\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha))} = 0,5 \text{ с}$$

После времени T_0 прошедшего времени T_1 на тело будет действовать сила трения, направленная в другую сторону.



тогда я запишем II з.сл для тела

$$\begin{cases} N = mg \cos(\alpha) - \text{на } T \\ m a_x = F_{\text{тр}} - mg \sin(\alpha) - \text{на } x \\ F_{\text{тр}} = \mu N \end{cases}$$

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

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

$$S_x = \frac{U^2}{2a_{x1}} = -0,5 \text{ м}$$

Найдём координату тела в нач. Л.О. 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
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

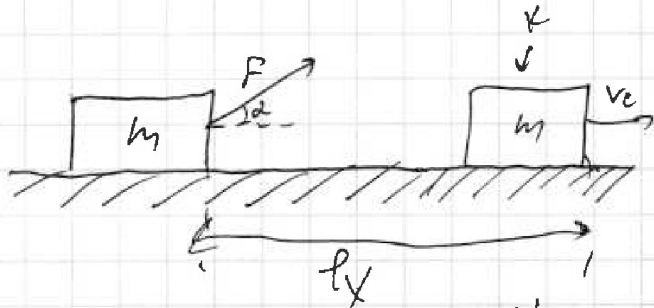
МФТИ

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

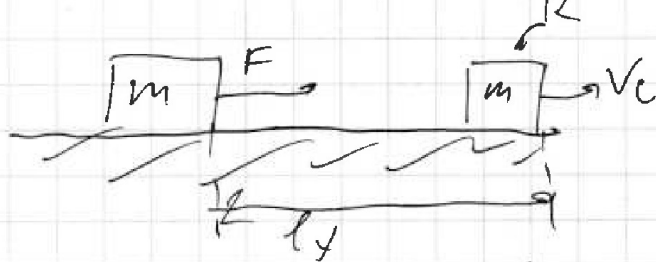
Дано:
 g, k, m, l, F
М-?
S-?

N3

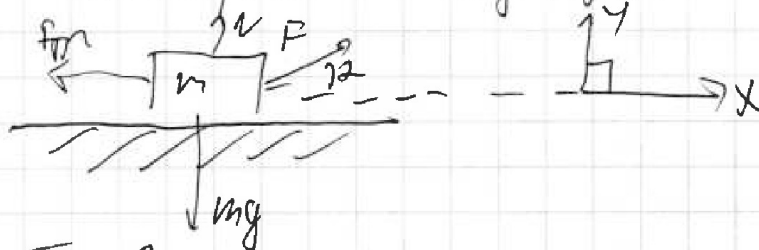
1)



2)



Рассмотрим ситуацию 1.



II 3. fl на осн!

$$N = mg - F \sin(\alpha)$$

$$F_{tr} = \mu N = \mu (mg - F \sin(\alpha))$$

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

$$A_{F_{tr_1}} = - \mu (mg - F \sin(\alpha)) \cdot l_x - \mu \text{ та чина } F$$

$$E_0 = 0 \text{ так как } \tilde{T}_0 \text{ ТЖК}$$

$$K = A_{F_1} + A_{F_{tr_1}} = F l_x (\cos(\alpha) + \mu \sin(\alpha)) - \mu m g$$

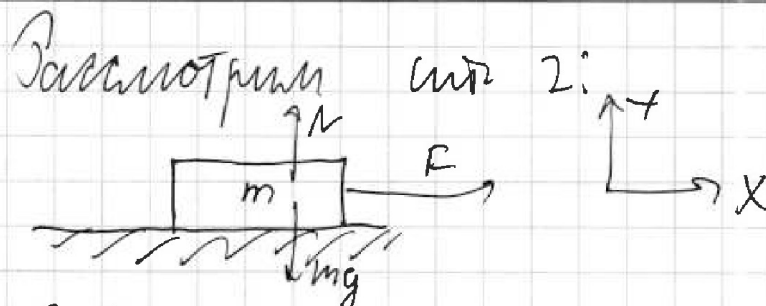
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



и 3. И для тела!

У: $N = mg$

$F_{тр} = \mu N = \mu mg$

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

$A_{тр} = -\mu mg l_x$ — работа силы трения
по ТЖК

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

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

получено из соотношения 1

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

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

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

$v_c = \sqrt{\frac{2K}{m}}$ — скорость центра в

рассматриваемый момент времени
или кин. энергия это K)



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!

Составим силы, учитывая на картинке



Запишем 3.сл.

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

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

$$S = \frac{k}{\mu mg}$$

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!

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

для $1 \rightarrow 2$

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

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

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

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

$$P_2 = \frac{\sqrt{8}}{8} P_1$$

Итак: график идет под 45° от
[1, 1] до [$\sqrt{8}$, $\frac{\sqrt{8}}{8}$]
для $2 \rightarrow 3$

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

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

Итак: график // оси ординат
и идет от [$\sqrt{8}$, $\frac{\sqrt{8}}{8}$] до [$\sqrt{8}$, $\frac{\sqrt{8}}{2}$]

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 недоступна!



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

1) Т.к. процесс идет с понижением температуры.

$$\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = \frac{17451 - 9942 - 2524}{17451} = \frac{4955}{17451} \approx \frac{1}{3,51} \approx 30\%$$

ответ $\boxed{\eta = 30\%}$

$$\begin{array}{r} 10 \quad 9942 \\ - 17451 \\ \hline 9942 \\ 2524 \\ \hline 4955 \end{array} \quad \begin{array}{r} 10 \quad 9942 \\ - 17451 \\ \hline 9942 \\ 2524 \\ \hline 4955 \end{array}$$

$$\left\{ \frac{C}{R} = \frac{dU + PdV}{R \cdot dT} = \frac{\frac{3}{2} R dT + PdV}{dT} = \frac{3}{2} + \frac{PdV}{RdT} \right.$$

$$PV = \frac{3}{2} RT - \text{гип. соот.}$$

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{3}{2} RT - \frac{PdV}{dT} \right) = \frac{3}{2} R + \frac{PdV}{dT}$$

$$PdV + VdP = \frac{3}{2} R dT \quad dT = \frac{PdV + VdP}{\frac{3}{2} R}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

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 газу. По 3CT - $Q = 4 \text{ кДж}$ -
работа внешних сил

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

$$Q_{12} = Q_1 - 3T_1 \cdot 2R \cdot \Delta T = -6 \cdot 8,31 \cdot 200 \text{ Дж} =$$
$$= -12 \cdot 831 \text{ Дж} = (8310 + 1662) \text{ Дж} = -9972 \text{ Дж}$$

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

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

$$Q_{12} = 7T \cdot 1,5 R \cdot \Delta T = 10,5 \Delta T =$$
$$= 10,5 \cdot 200 \cdot 8,31 \text{ Дж} = 21 \cdot 831 \text{ Дж} =$$

$$= (16620 + 831) \text{ Дж} = 17451 \text{ Дж} - \text{знак}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

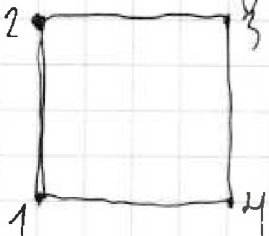
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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_k каждого из шариков: (найти для 2)



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

~~W_{ij} - потенциальная энергия z взаимно F_{0i} - результирующую~~

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

W_{ij} - потенциальная энергия взаимодействия 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 симм. отн. центра квадрата, а значит пот. энергия всех шариков одна и таже

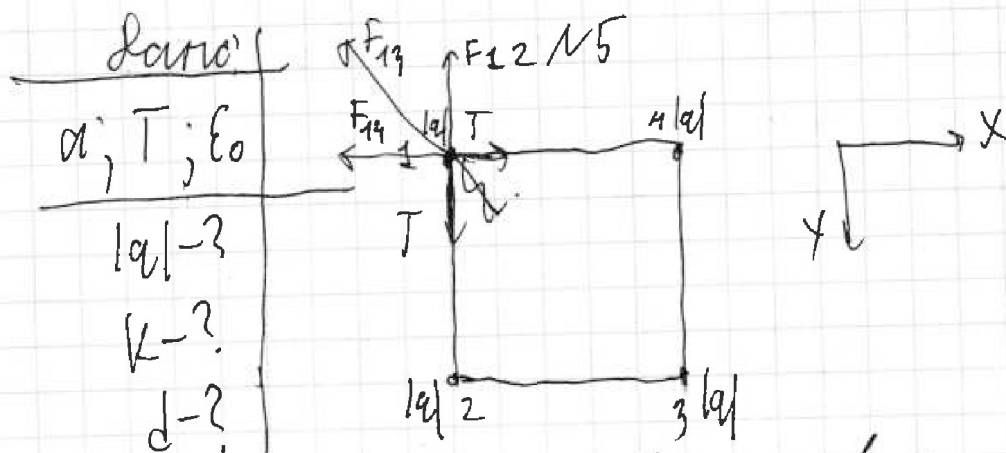
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 (они пронумерованы)

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

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

Запишем T как сумму проекций на ось:

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

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

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

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

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 непустима!

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

Поскольку на сст. Тел не действовало
никаких внешних сил, то

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

$K_{\text{сст}} = 4K_m - K_{\text{мн}}$ - энергия системы

$K_m - K_{\text{мн}}$ - энергия любого 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

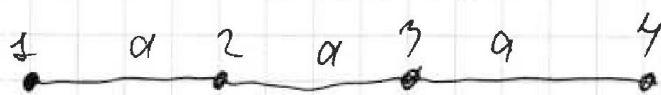
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Заметим, что в начальном состоянии скорости всех шариков равны 0, а значит $K_{\text{н}} = 0$. Найдем полную энергию системы шариков в момент когда они движутся в квадрате

$$E \geq W_{\text{н}} + K_{\text{н}} = 4W_2 + K_{\text{н}} = \frac{2(4 + \sqrt{2})}{24\pi\epsilon_0 a} q^2 =$$

$$= \frac{8(4 + \sqrt{2})}{24\pi\epsilon_0 a} q^2 = 8aT$$

Найдем пот. энергию системы шариков когда они находятся на $\frac{1}{\sqrt{2}}$ м.м.



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

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

$$= \frac{22aT}{3(4 + \sqrt{2})}$$

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

$$= \frac{10aT}{4 + \sqrt{2}}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

5
☐

6
☐

7
☐



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