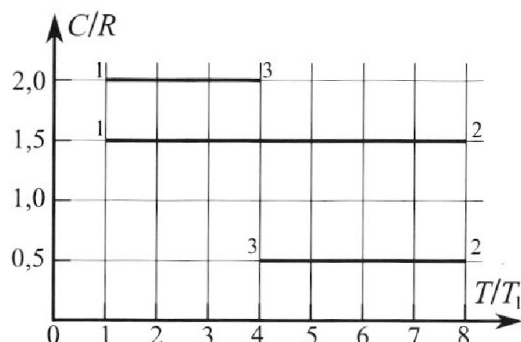


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

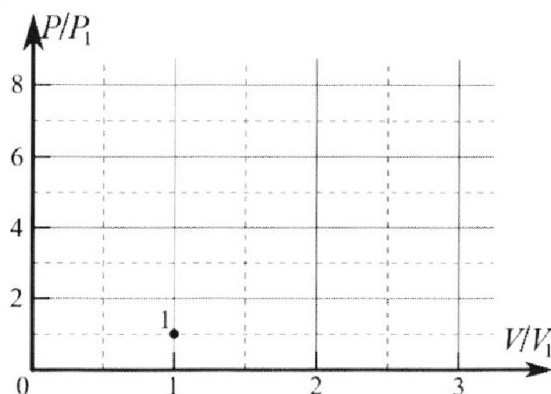
Вариант 10-02

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).

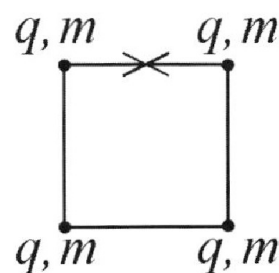


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует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

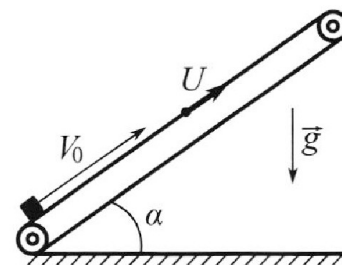
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного 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

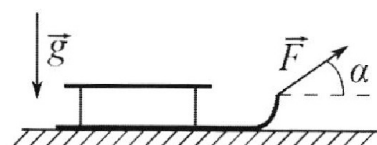
$U = 1$ м/с?

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!



1) $\begin{cases} L = V_0 \cos \alpha \cdot t_n \\ 0 = V_0 \sin \alpha \cdot t_n - \frac{gt_n^2}{2} \end{cases}$ ~~т-время~~ t_n - время наименьшего g - наименьшего g - наименьшего

$x(t) = V_0 \cos \alpha \cdot t$, $y(t) = V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$, а g - наименьшего $x(t_n) = L$, $y(t_n) = 0$

и. $t_n = \frac{L}{V_0 \cos \alpha}$, $0 = (V_0 \sin \alpha - \frac{gt_n}{2}) t_n$, и. $\left. \begin{matrix} t_n = 0 \\ t_n = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \end{matrix} \right\}$

и. к. g - наименьшего по g - наименьшего $L > 0$, $t_n > 0$

и $\frac{L}{V_0 \cos \alpha} = t_n = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g}$

$gL = V_0^2 - 2 \sin \alpha \cos \alpha = V_0^2 \sin 2\alpha$

$V_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{\sin 90^\circ}} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$

Ответ: $V_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$

2) ~~т-время~~ t_n - время наименьшего g - наименьшего

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!

1) Пока скорость коробки направлена вверх по ленте сила трения действует **вниз** по ленте т.е. $ma_1 = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$, т.е. $a_1 = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$
 $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,36} = \sqrt{0,64} = 0,8$ (это ускорение)
 т.е. $a_1 = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 10(0,5 \cdot 0,8 + 0,6) =$ **вниз по ленте**
 $= 10(0,6 + 0,4) = 10 \text{ м/с}^2$

Поскольку $V_0 - a_1 t_1 = 0$, то через t_1 с. скорость коробки станет 0 и ~~она~~ она станет **глубже** **вниз** по ленте, ~~и~~ сила трения станет **действовать** **вверх** по ленте.

$$t_{01} = \frac{V_0}{a_1} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ с.}$$

За это время коробка пройдет $S_1 = V_0 t_1 - \frac{a_1 t_1^2}{2}$ **вверх** по ленте.

$$\text{т.е. } S_1 = 6 \cdot 0,6 - \frac{10 \cdot 0,6^2}{2} = 6 \cdot 0,6 - \frac{6 \cdot 0,6}{2} = \frac{6 \cdot 0,6}{2} = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м.}$$

Потом $ma_2 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$, т.к. сила трения **действует** **вверх** по ленте (a_2 **сначала** **вниз** по ленте), т.е. $a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 10(0,6 - 0,4) = 2 \text{ м/с}^2$

Потом ~~также~~ коробка будет **спускаться** с ускорением a_2 **вниз** по ленте **до** **максимальной** скорости $T - t_1$ секунд.

Поскольку она пройдет $S_2 = \frac{a_2 (T - t_1)^2}{2}$ **вниз** по ленте.
 т.е. $S_2 = a_2 (T - t_1)^2 : 2 = 2 \cdot (1 - 0,6)^2 : 2 = 0,4^2 = 0,16 \text{ м.}$

$$\text{т.е. всего коробка пройдет } S = S_1 - S_2 = 1,8 - 0,16 = 1,64 \text{ м вверх по ленте.}$$

$$\text{Ответ: } S = 1,64 \text{ м}$$

2) Рассмотрим систему отсчета связанную с лентой (которая движется, как лента). В этой системе отсчета скорость коробки $V_1 = V_0 - u = 6 - 1 = 5 \text{ м/с}$ (направлена **вверх** по ленте)

В момент, когда скорость коробки будет равна u в нашей системе отсчета скорость коробки будет $V_2 = u - u = 0 \text{ м/с}$

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!

П.к. скорость коробки направлена вверх, ~~по~~ по ленте, сила трения действует вниз по ленте, $ma = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$ (a - ускорение коробки вниз по ленте)

$$\text{и. } a = \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 10 \text{ м/с}^2$$

$$V_2 = V_1 - aT_1, \text{ и. } T_1 = \frac{V_1 - V_2}{a} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с.}$$

(ускорение постоянно, т.к. коробка движется вверх всё это время, и сила трения не меняет своего направления).

Ответ: $T_1 = 0,5 \text{ с.}$

3) Рассмотрим как и в 2) систему отсчёта связанную с лентой. Тогда $V_1 = V_0 - u = 5 \text{ м/с}$

Есть скорость коробки 0, тогда её скорость ~~в нашей~~ в нашей системе отсчёта $V_2 = 0 - u = -u = -1 \text{ м/с}$ (считаем, что скорость направлена вверх по ленте, но -значит она может быть отрицательной).

Тогда сначала, пока скорость коробки не 0, она движется ~~вверх~~ вверх по ленте, а ~~скорость~~ сила трения направлена вниз по ленте, т.е. $ma_1 = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$ (a_1 - ускорение коробки вниз по ленте), и. $a_1 = 10 \text{ м/с}^2$

Поскольку она движется, пока её скорость в нашей системе отсчёта не стала 0, т.е. T_1 секунду из 2).

$$\text{За это время коробка прошла } l_1 = V_1 T_1 - \frac{a_1 T_1^2}{2} = \frac{V_1 T_1}{2} = \frac{5 \cdot 0,5}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ м. вверх по ленте}$$

Теперь она движется вниз по ленте, и сила трения направлена вверх по ленте, и. $ma_2 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$ (a_2 - ускорение коробки вниз по ленте), и. $a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 10(0,6 - 0,5 \cdot 0,8) = 2 \text{ м/с}^2$

Теперь ~~когда~~ когда её скорость не V_2 она пройдет

$$l_2 = \frac{V_2^2 - 0^2}{2a_2} = \frac{V_2^2}{2a_2} = \frac{1}{2 \cdot 2} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ м. вниз по ленте}$$

$$\text{и. } l = |l_1 - l_2| = 1,25 - 0,25 = 1 \text{ м. Ответ: } l = 1 \text{ м.}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

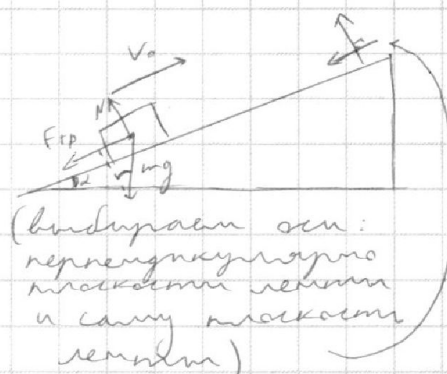
МФТИ

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



1) Если $F_{тр}$ - сила трения,
действующая на коробку,
а N - сила, с которой лента
действует на коробку,
тогда:

$$\begin{cases} F_{тр} = \mu N \\ N = mg \cos \alpha \\ ma = F_{тр} + mg \sin \alpha \end{cases}$$



$$ma = F_{тр} + mg \sin \alpha = mg (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$\text{и } a = g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$S = v_0 T - \frac{a T^2}{2}, \text{ м.к. перемещение относительно ленты равно } a$$

$$S = v_0 T - \frac{a T^2}{2} = v_0 T - g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) \frac{T^2}{2}; 2 = 6 - 10 (0,5 \cdot \cos \alpha + 0,6) \frac{T^2}{2}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,36} = \sqrt{0,64} = 0,8$$

$$\text{и } S = \cancel{6 - 5(0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 6 - 5(0,5 \cdot 0,8 + 0,6) = 1$$

Ответ: $S = 1 \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



1) $K \neq |A_{\text{тр}}| = A_F$, где $A_{\text{тр}}$ - работа силы трения,
а A_F - работа постоянной силы F ,
приложенной к санкам

$|A_{\text{тр}}| = |-\mu N L| = \mu N L$, где N - сила, с которой ~~земля~~
действует на санки, а
 L - пройденный путь до пункта
максимальной кинетической энергии

(Далее m - масса санок)

~~В~~ В первом случае $N_1 + F \sin \alpha = mg$, т.к.
санки не ускоряются по вертикали.

т.е. $|A_{\text{тр}}| = \mu (mg - F \sin \alpha) L = \mu m g L - \mu L F \sin \alpha$, а
 $A_F = F \cos \alpha \cdot L$, т.е. $K + \mu m g L - \mu L F \sin \alpha = F L \cos \alpha$
и $K + \mu m g L = F L (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$

т.к. санки разогнались на одинаковых
участках пути, путь пройденный до кинети-
ческой энергии K один и тот же в обоих
случаях.

Во втором случае $N_2 = mg$, т.к. санки не
ускоряются по вертикали, т.е. $|A_{\text{тр}}| = \mu m g L$,
а $A_F = F L$, и $K + \mu m g L = F L$

и $F L = K + \mu m g L = F L (\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$

и $F L (\mu \sin \alpha + \cos \alpha - 1) = 0$, и $\mu \sin \alpha + \cos \alpha = 1$

и $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) $K \neq |A_{\text{тр}}| = \mu N S = \mu m g S$, т.к. вся кинетическая

$$S = \frac{K}{\mu m g} = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) m g}$$

Ответ: $S = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) m g}$ м

~~энергия передана в ра-
боту силы трения~~

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!



1) $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$, и $\Delta T = \frac{2 \Delta U}{3 \nu R}$ (ΔU - изм. внутренней энергии, Q - кол-во теплоты, ΔT - изменение абс. температуры)

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Q}{\frac{2 \Delta U}{3 \nu R}} = \frac{Q \cdot 3 \nu R}{2 \Delta U}$$

$\nu = 1$ моль, и $C = \frac{3 R Q}{2 \Delta U}$

$C_{31} = 2 R$, и $3 R Q_{31} = 4 R \Delta U_{31}$, и $Q_{31} = \frac{4}{3} \Delta U_{31}$

$Q_{31} = \Delta U_{31} + A'_{31}$, и $A'_{31} = \frac{\Delta U_{31}}{3}$ (A'_{31} - работа газа на 3-1)

$A_{31} = -A'_{31} = -\frac{1}{3} \Delta U_{31} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \nu R (T_3 - T_1) : 2 =$
 $= R (4 T_1 - T_1) : 2 = 3 R T_1 : 2 = 3 \cdot 8,31 \cdot 200 : 2 = 300 \cdot 8,31 =$
 $= 2493 \text{ Дж}$

(T_1 - темп. в начале $\times$ (темп. в К))

Ответ: $A_{31} = 2493 \text{ Дж}$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 3 \\ \hline 2493 \end{array}$$

2) $C_{12} = 1,5 R$, и $3 R Q_{12} = 3 R \Delta U_{12}$, и $Q_{12} = \Delta U_{12}$
 $C_{23} = 0,5 R$, и $3 R Q_{23} = 1 R \Delta U_{23}$, и $Q_{23} = \frac{1}{3} \Delta U_{23}$
 $Q_{31} = \frac{4}{3} \Delta U_{31}$ (из 1)

(Q_{xy} - кол-во Q переданного на $x-y$, ΔU_{xy} - изменение внутренней энергии на $x-y$)
 A'_{xy} - работа газа на $x-y$

$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} R \cdot 7 T_1 = \frac{21}{2} R T_1 > 0$
 и $Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{21}{2} R T_1 > 0$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} R (4 T_1 - 8 T_1) = -\frac{3}{2} R \cdot 4 T_1 = -6 R T_1 < 0$
 и $Q_{23} = \frac{1}{3} \Delta U_{23} = -2 R T_1 < 0$

$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} R (T_1 - 4 T_1) = -\frac{9}{2} R T_1 < 0$
 и $Q_{31} = \frac{4}{3} \Delta U_{31} = -\frac{4}{3} \cdot \frac{9}{2} R T_1 = -6 R T_1 < 0$

$Q_{12} = \Delta U_{12} + A'_{12}$; $Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23}$; $Q_{31} = \Delta U_{31} + A'_{31}$

и $A'_{12} = 0$, $A'_{23} = -\frac{2}{3} \Delta U_{23} = \frac{4 R T_1}{3}$, $A'_{31} = \frac{1}{3} \Delta U_{31} = -2 R T_1$

(Q_m - переданная теплота) $Q_m = Q_{12} = \frac{21}{2} R T_1$

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!



$$\eta = \frac{A'}{Q_m} = \frac{A'_{12} + A'_{23} + A'_{31}}{Q_m} = \frac{0 + \frac{4RT_1}{2} - 2RT_1}{\frac{21}{2}RT_1} = \frac{4-2}{\frac{21}{2}} = \frac{4}{21}$$

Ответ: $\eta = \frac{4}{21}$

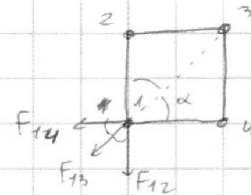
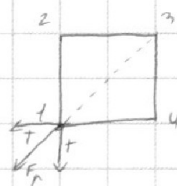
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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



1) $\alpha = 45^\circ$, м.к. Это квадрат

Для 1 действующим 2 сила
прямая, м. к. равнодей-
ствующая $F_R = T\sqrt{2}$ и
направлена как на
рисунке.



м. $F_{14} \cdot \sin 45^\circ = F_{12} \cdot \sin 45^\circ$, м.к. F_R действующим в направлении F_{13}
м. $F_{14} = F_{12}$

(F_{xy} — сила взаимодействия между м. x и м. y)

$$F_{14} = \frac{q_1 q_4}{4\pi\epsilon_0 a^2}, F_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 a^2}, \text{ м. } q_2 = q_4$$

Аналогично ~~заменим~~ ~~q1 q2~~ для м. 2, м. $q_1 = q_3$

$$F_{13} = \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 (a\sqrt{2})^2}, \text{ м.к. расстояние между м. 1 и м. 3 — это } a\sqrt{2}$$

$$\text{м. } F_{13} = \frac{q_1 q_3}{8\pi\epsilon_0 a^2}$$

$$T\sqrt{2} = F_R = F_{13} + F_{14} \cos \alpha + F_{12} \cos \alpha = F_{13} + \frac{2}{\sqrt{2}} F_{12}$$

$$\begin{aligned} \text{м. } T\sqrt{2} &= \frac{q_1 q_3}{8\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{\sqrt{2} q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 a^2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(\frac{q_3}{2} + \sqrt{2} q_2 \right) = \\ &= \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(\frac{q_1}{2} + \sqrt{2} q_2 \right) \end{aligned}$$

Аналогично заменим для м. 2 и получим,
что $T\sqrt{2} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(\frac{q_2}{2} + \sqrt{2} q_1 \right)$

$$\text{м. } q_1 \left(\frac{q_1}{2} + \sqrt{2} q_2 \right) = q_2 \left(\frac{q_2}{2} + \sqrt{2} q_1 \right)$$

$$\text{м. } q_1^2/2 + \sqrt{2} q_1 q_2 = q_2^2/2 + \sqrt{2} q_1 q_2$$

$$\text{м. } q_1^2 - q_2^2 = 0, \text{ м. } (q_1 - q_2)(q_1 + q_2) = 0, \text{ м. } |q_1| = |q_2|,$$

$$\text{м. } |q_1| = |q_2| = |q_3| = |q_4|$$

$$\underline{\text{1 м.}} \quad q_1 = -q_2, \text{ м.к. } q_2 = -q_1$$

$$\text{м. } T\sqrt{2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(\frac{q_1}{2} - \sqrt{2} q_1 \right) = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \frac{1 - 2\sqrt{2}}{2}$$

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!



с. $T = \frac{q_1^2}{8\pi\epsilon_0 a^2} \cdot (1 - 2\sqrt{2}) < 0$, но $T > 0$ (✓)

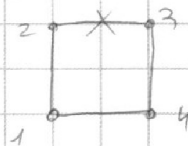
2 с. $q_1 = q_2$, тогда $T\sqrt{2} = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left(\frac{q_1}{2} + q_1\sqrt{2} \right)$

с. $T\pi\epsilon_0 a^2 \cdot 4\sqrt{2} = q_1^2 \cdot \frac{1+\sqrt{2}}{2}$

с. $|q_1| = \sqrt{\frac{8\sqrt{2} T \pi \epsilon_0 a^2}{1+\sqrt{2}}}$

а Ответ: $|q_1| = |q_4| = |q_3| = |q_2| = |q_1| = \sqrt{\frac{8\sqrt{2} T \pi \epsilon_0 a^2}{1+\sqrt{2}}}$

2) Перемещим точки 2-3 и
напомним, пока все заряды
не сканутся на одной прямой.



До перемещения потенциальная энергия системы зарядов W_1 .

$$W_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1 q_4}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 a\sqrt{2}} = \frac{q_1^2}{2\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1^2}{4\sqrt{2}\pi\epsilon_0 a} =$$

$$= \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{q_1^2 (2\sqrt{2} + 1)}{4\sqrt{2}\pi\epsilon_0 a}$$

Когда заряды сканутся на одной прямой
потенциальная энергия системы зарядов стала W_2

$$W_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1 q_4}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 2a} = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(2 + \frac{1}{2} \right) = \frac{5q_1^2}{8\pi\epsilon_0 a}$$

П.к. энергия сохранилась

До перемещения потенциальная энергия системы зарядов $W_1 = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} \cdot 4 + \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a\sqrt{2}} \cdot 2 = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} (4 + \sqrt{2})$

После перемещения она стала $W_2 = 3 \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} + 2 \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 2a} + \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 3a} = \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} \left(3 + 1 + \frac{1}{3} \right) = \frac{13q_1^2}{12\pi\epsilon_0 a}$

Энергия сохранилась с. $W_1 = 4K + W_2$, с. $K = \frac{W_1 - W_2}{4} =$

$$K = \frac{q_1^2}{16\pi\epsilon_0 a} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0 a^2 T}{16\pi\epsilon_0 a (1+\sqrt{2})} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{T\sqrt{2}}{1+\sqrt{2}} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)$$
 Ответ: $K = \frac{T\sqrt{2}}{1+\sqrt{2}} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



Черновик

$$K = |A + b| = \mu mg S$$

$$V = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

$$V = at = \left(\frac{F}{m} - \mu g\right)t$$

$$F \cos \alpha > \mu (mg - F \sin \alpha)$$

$$F (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) > \mu mg$$

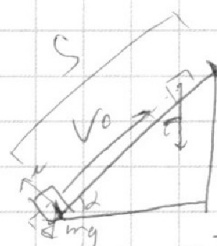
$$F > \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \mu mg$$

$$m < \frac{F \sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

$$a = -\mu g$$

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

$$W_{p1} = 4 \cdot \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} + 2 \cdot \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a\sqrt{2}} = \frac{q_1^2}{\pi\epsilon_0 a} + \frac{q_1^2}{2\sqrt{2}\pi\epsilon_0 a} = \frac{q_1^2}{\pi\epsilon_0 a} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$$



$$S = V_0 T - \frac{aT^2}{2}$$

$$W_{p2} = 3 \cdot \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 a} + 2 \cdot \frac{q_1^2}{4\pi\epsilon_0 2a} + m \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 a}$$

$$ma = mg \sin \alpha$$

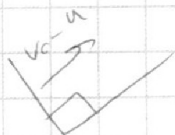
$$S = V_0 T - mg \sin \alpha \frac{T^2}{2}$$

$$a_1 = 10(0,5 + 0,8 + 0,6) = 40$$

$$a_2 = 10(0,6 - 0,5 - 0,8) = 2$$

$$V_0 - a_1 t_0 = 0$$

$$L_0 = \frac{V_0}{a_1} = \frac{6}{10} = 0,6$$



$$P_2 V_2 = 2AT_2 = 8 \cdot 2AT_1 = 8P_1 V_1$$

$$P_2 = 8P_1$$

$$P_3 V_3 = 2AT_3 = 4 \cdot 2AT_1 = 4P_1 V_1$$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

7

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!



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!



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

Черновик

$$F \cos \alpha - \mu N = F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = ma$$

$$m a_1 = F (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu mg$$

$$m a_2 = F - \mu mg$$

$$a_1 = \frac{F}{m} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu g$$

$$a_2 = \frac{F}{m} - \mu g$$

$$K + A_{\text{тр}} = A_F$$

$$\mu N S = F S$$

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

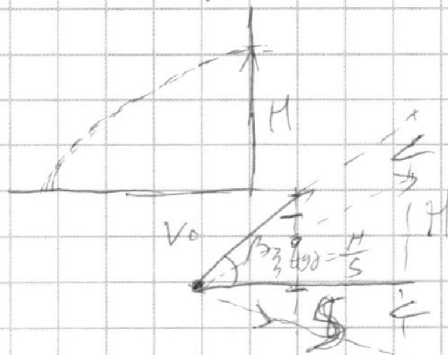
$$K + \mu mg S = F \cos \alpha S$$

$$K + \mu mg S = F S (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) = F S$$

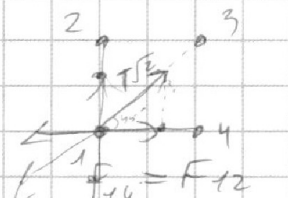
$$\mu \sin \alpha + \cos \alpha = 1$$

$$K = A_{\text{тр}} = \mu mg S$$

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



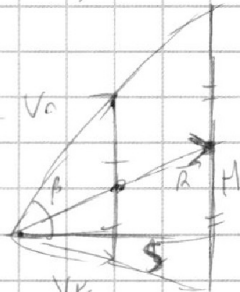
$$H = S \sin \alpha = \frac{v_k^2}{2g}$$



$$F_{14} = \frac{-9 \cdot 9}{4 \pi \epsilon_0 a}$$

$$F_{12} = \frac{-9 \cdot 9}{4 \pi \epsilon_0 a}$$

$$F_1 = \frac{-9}{4 \pi \epsilon_0}$$



$$i = v_0 \cos \beta$$

$$\mu = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$K = \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{Q - V^2}{2a} = S$$

$$S = -\frac{V^2}{2a} = \frac{V^2}{2\mu g} = \frac{K}{\mu mg}$$

$$a = -\mu g$$

$$\left(\frac{gt^2}{2} + H \right) / S = \tan \beta$$

$$\frac{gt^2}{2} = S \tan \beta - H$$

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!



1) $0 = V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2}$

$l = V_0 \cos \alpha \cdot t$

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

$l = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 45^\circ}{g}$

$V_0 = \sqrt{g l} = \sqrt{20 \cdot 9.8} = \sqrt{196} = 14$

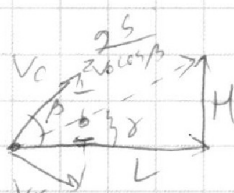
2) $S = V_0 \cos \beta \cdot t$

$h = V_0 \sin \beta \cdot t - \frac{g t^2}{2}$

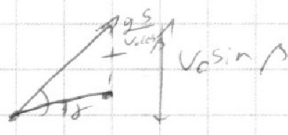
$t = \frac{S}{V_0 \cos \beta}$

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

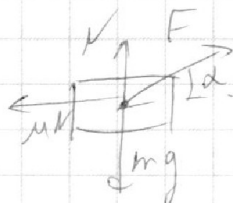
$h = S \left(\tan \beta - \frac{g S}{2 V_0^2 \cos^2 \beta} \right)$



max H → max γ

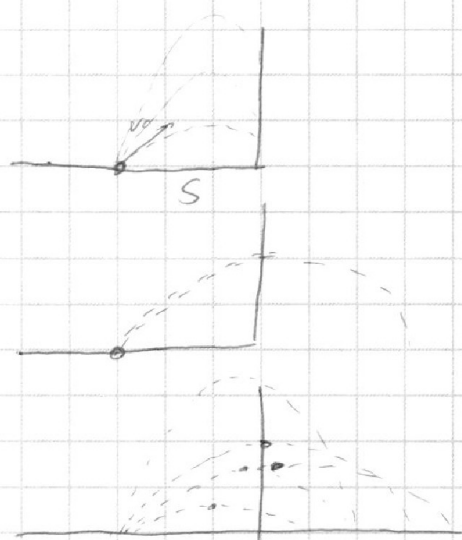
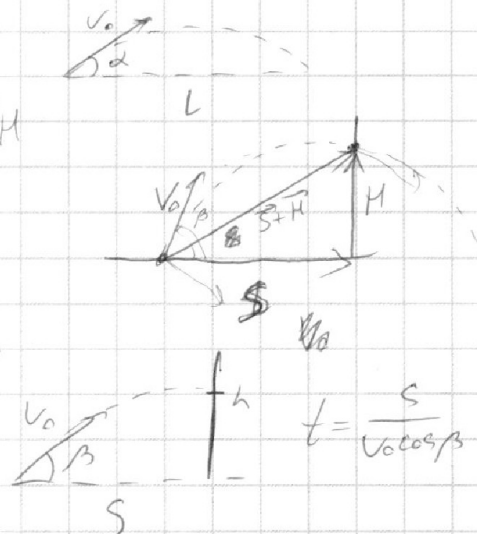


$\tan \beta = \frac{V_0 \sin \beta}{V_0 \cos \beta} = \frac{g S}{2 V_0^2 \cos^2 \beta} = \frac{h}{S}$



I $\begin{cases} N + F \sin \alpha = mg \\ F \cos \alpha - \mu N = m a_1 \end{cases}$

II $\begin{cases} N = mg \\ F - \mu N = m a_2 \end{cases}$



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!



$$C_{12} = 2R, \quad C_{12} = 1,5R, \quad C_{32} = 0,5R$$

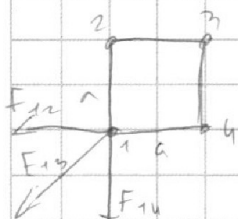
$$C_{12} = \frac{Q_{12}}{\Delta T} = \frac{Q_{12} 3R}{2 \Delta U}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} 2R \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T, \quad \Delta T = \frac{2 \Delta U}{3R}$$

$$C_{12} : Q_{12} = \Delta U_{12}, \quad \text{и} \quad A'_{12} = 0, \quad \text{и} \quad 1-2 - \text{высшая}$$

$$C_{13} : Q_{13} = \frac{1}{3} \Delta U_{13}, \quad \text{и} \quad A'_{13} = \frac{1}{3} \Delta U_{13} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2} 2R(T_1 - T_3) = \frac{1}{2} R(T_1 - 4T_3) =$$

$$C_{32} : Q_{32} = \frac{1}{3} \Delta U_{32}, \quad \text{и} \quad A'_{23} = -\frac{2}{3} \Delta U_{32} = -\frac{2}{3} R T_1 = -\frac{2}{3} R 200 = -266,67$$



$$F_{14} = F_{12}, \quad \text{и} \quad q_2 = q_4$$

$$\text{и} \quad \text{и} \quad q_1 = q_3$$

$$T\sqrt{2} = F_{12} \cos 45^\circ + F_{14} \cos 45^\circ + F_{13} =$$

$$= \frac{2}{\sqrt{2}} F_{12} + F_{13} = \frac{2}{\sqrt{2}} \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 a} + \frac{q_1 q_3}{4\pi \epsilon_0 a \sqrt{2}} =$$

$$= \frac{q_1}{4\pi \epsilon_0 a \sqrt{2}} (2q_2 + q_3)$$

$$2q_2 + q_3$$

$$8T\pi \epsilon_0 a = q_1 (2q_2 + q_3) = q_1^2 + 2q_1 q_2$$

$$8T\pi \epsilon_0 a = q_2 (2q_1 + q_2) = q_2^2 + 2q_1 q_2$$

$$q_1^2 + 8T\pi \epsilon_0 a - q_2^2 = 8T\pi \epsilon_0 a$$

$$q_1^2 - q_2^2 = 0, \quad q_1 = q_2$$

$$T\sqrt{2} = \frac{3q_1^2}{4\pi \epsilon_0 a \sqrt{2}}$$

$$\text{и} \quad \sqrt{\frac{8T\pi \epsilon_0 a}{3}} = |q_1|$$