

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.

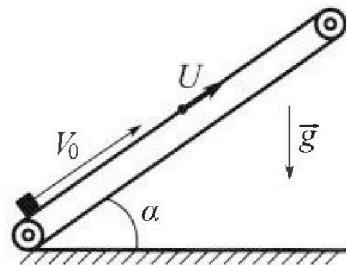
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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

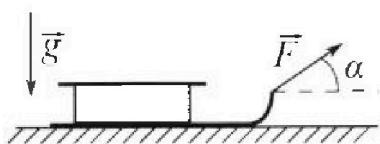
$$U = 1 \text{ м/с}$$

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 .

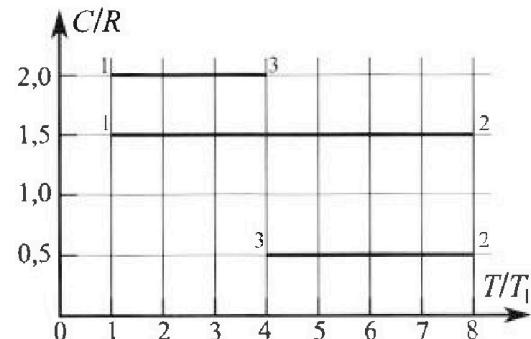
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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

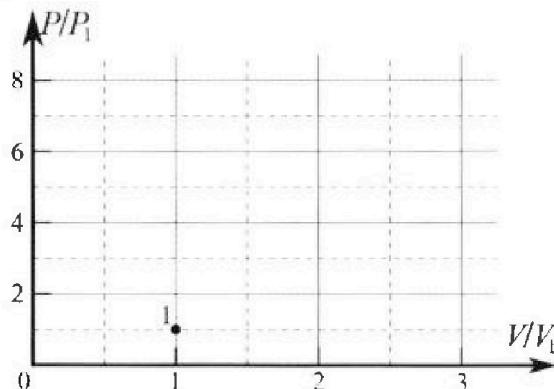
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



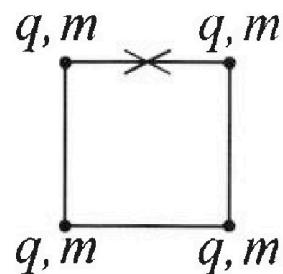
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

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 вверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





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

МФТИ

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



N1
 τ - время полета
 Уравнение движения мячика:

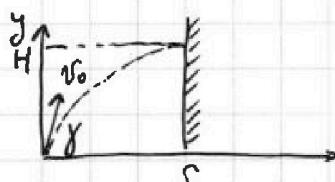
$$Ox: L = v_0 \cos d \tau \quad (1)$$

$$Oy: 0 = v_0 \sin d \tau - \frac{g \tau^2}{2} \Rightarrow \tau = \frac{2 v_0 \sin d}{g}$$

$$\text{Подставим } \tau \text{ в (1): } L = v_0 \cos d \frac{2 v_0 \sin d}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2d}{g}$$

$$\text{Выразим } v_0: v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2d}}; \text{ при } L = 20 \text{ м; } d = 45^\circ$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{\sin 90^\circ}} = \sqrt{200} \approx 14,2 \text{ м/с}$$



γ - произвольный угол, t - время до удара

Уравнение движения мячика:

$$Ox: S = v_0 \cos \gamma t \quad (2)$$

$$Oy: H = v_0 \sin \gamma t - \frac{gt^2}{2} \quad (3)$$

Выразим t из (2) и подставим в (3):

$$t = \frac{S}{v_0 \cos \gamma}; H = v_0 \sin \gamma \frac{S}{v_0 \cos \gamma} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \gamma}$$

$$(\cos^2 \gamma)^{-1} = 1 + \tan^2 \gamma \Rightarrow H = S \tan \gamma - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \gamma$$

- получим уравнение траектории мяча в зависимости от $\tan \gamma$; найдем максимум H , мене $\tan \gamma$, как вершину параболы,

$$\tan \gamma = \frac{-b}{2a} = \frac{-S}{-\frac{g S^2}{2 v_0^2}} = \frac{v_0^2}{g S} \quad \text{т.к. вершина параболы, то максимум в ее вершине.}$$

$$H = S \frac{v_0^2}{g S} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \frac{v_0^4}{g^2 S^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$



$$\text{Выразим } S: S = \sqrt{\frac{2 v_0^2}{g} \left(\frac{v_0^2}{2g} - H \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200}{10} \left(\frac{200}{2 \cdot 10} - 3,6 \right)} = 16 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: 1) } v_0 = \sqrt{200} \text{ м/с} \approx 14,2 \text{ м/с} \quad 2) S = 16 \text{ м}$$



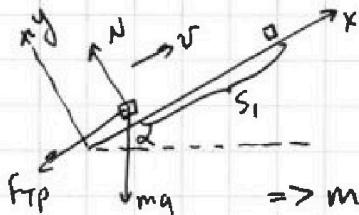
- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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

МФТИ

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

Дано:
 $\sin \alpha = 0,6$
 $v_0 = 6 \text{ м/с}$
 $\mu = 0,5$
 $T = 1 \text{ с}$
 $U = 1 \text{ м/с}$
 Находим: 1) s
 2) T_1 , 3) L

№2
 1. Найдем за какое время обнулитася
 скорость коробки на подиущейся ленте:



Оу: $N - mg \cos \alpha = 0$
 Ох: $\max = -F_{rp} - mg \sin \alpha$
 $F_{rp} = \mu N$ - силы сопротивления

$$\Rightarrow \max = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

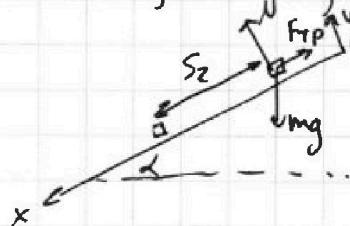
$$a_x = -g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$\sin \alpha = 0,6 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,8 \Rightarrow a_x = -10 \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \right) = -10 \text{ м/с}^2$$

Тогда скорость по Ох обнулитася за: $0 - v_0 = a_x t$
 $\Rightarrow t = \frac{v_0}{a_x} = 0,6 \text{ с}$

т.е. $\pi/3$ $t=0,6 \text{ с}$ коробка прошет: $S_1 = \frac{0 - v_0^2}{2a_x} = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ м}$

Еще у коробки оставшееся время $\tau = T - t = 0,4 \text{ с}$
 Найдем путь, проийденный за это время:



Оу: $N - mg \cos \alpha = 0$
 Ох: $\max = mg \sin \alpha - F_{rp}$
 $F_{rp} = \mu N$ - путь сопротивления есть

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

Подставим числа: $a_x = 10 \left(\frac{3}{5} - \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{2} \right) = 2 \text{ м/с}^2 > 0$
 \Rightarrow сопротивление есть

Получаем 2 $\pi/3$ τ ман движение из состояния покоя: $S_2 = \frac{0 \cdot \tau^2}{2} = \frac{2 \cdot 0,4^2}{2} = 0,16 \text{ м}$

Тогда путь, проийденный шайбой за 1 с:

$$S = S_1 + S_2 = 1,8 + 0,16 = 1,96 \text{ м}$$



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

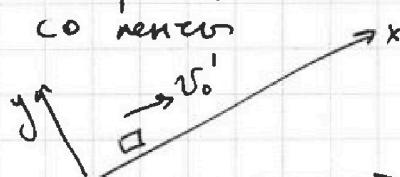
МФТИ

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

н2

2. Нужно найти $\gamma/3$ ищас время скорости коробки будем равна V , но скорость ленты тоже V значит при разгоне замедлении коробки их векторы направлены в одну сторону, значит нужно найти время, когда прекратится ускорение коробки относительно ленты, для этого перейдем в СО ленты $\Rightarrow V_0' = V_0 - V = 5 \text{ м/с}$ - новая скорость коробки:

со лентой

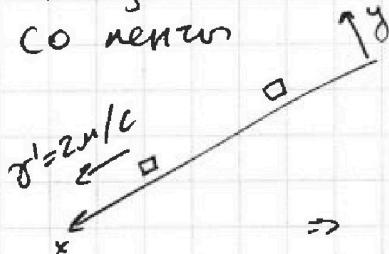


Ускорение коробки для этого случая нет уже считали $a_x = -10 \text{ м/с}^2$:

$$\Rightarrow T_1 = \frac{-V_0'}{a_x} = \frac{-5}{-10} = 0,5 \text{ с}$$

НО!!! возможен второй случай, когда скорость коробки будем V , когда при спуске с ленты она будет иметь скорость 2 м/с относительно ленты, тогда относительная скорость будет: $2 - 1 = 1 = V$

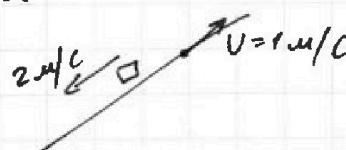
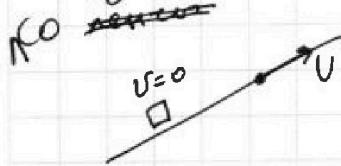
со лентой



Ускорение коробки для этого случая нет уже считали $a_x = 2 \text{ м/с}^2$:

$$\Rightarrow V' - 0 = a_x t_2 \Rightarrow t_2 = \frac{2}{2} = 1 \text{ с}$$

Получаемое значение скорости коробки в АСО равно V
 $\gamma/3 = 0,5 \text{ с}$ после начала или $\gamma/3 + 0,5 = 1,5 \text{ с}$
~~ACO ленты~~



$$T_1 = 0,5 \text{ с} \quad \text{или} \quad T_1 = 1,5 \text{ с}$$

P.S. м.н. $V = \text{const}$, то АСО ленты инерциальная
 \Rightarrow все ускорение коробки сохраняется, т.е. те, которые были при неподвижной ленте.

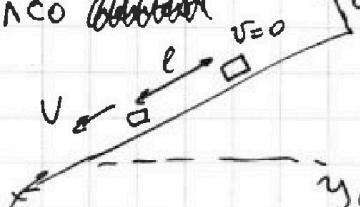
- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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



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

№2

3. Скорость коробки обнуляется тогда, когда ее скорость в СО ленты будет равна v и направлена вдоль ленты: Если ленту можно считать, то в АСО коробка должна разогнаться до v .



Рассмотрим движение, когда шестерня коробки остановилась и разогналась до v отн. ленты.

$$\text{Ускорение в этом случае: } a_x = 2 \text{ м/с}^2$$

$$v = a_x t' \Rightarrow t' = \frac{v}{a_x} = \frac{1 \text{ м/с}}{2 \text{ м/с}^2} = 0,5 \text{ с}$$

Приданное коробкой расстояние в СО ленты:

$$l = \frac{v^2}{2a_x} = \frac{1}{2 \cdot 2} = 0,25 \text{ м}$$

Теперь найдем на каком расстояние коробка остановилась от места запуска до обнуления скорости:

из пункта 1: коробка останавливается за $t = 0,6 \text{ с}$, проходя $S_1 = 1,8 \text{ м}$

из пункта 3: коробка набирает скорость v за $t' = 0,5 \text{ с}$, проходя $l = 0,25 \text{ м}$

За все это время: $t + t' = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ с}$
Лента сносит коробку на $1,1 \text{ с} \cdot 1 \text{ м/с} = 1,1 \text{ м}$ вперед

$$\text{Тогда: } L = S_1 - l + 1,1 \text{ м} = 1,8 \text{ м} - 0,25 \text{ м} + 1,1 \text{ м} = 2,65 \text{ м}$$

Ответ: 1) $S = 1,96 \text{ м}$

$$2) T_L = 0,5 \text{ с} \quad T_1 = 1,5 \text{ с}$$

$$3) L = 2,65 \text{ м}$$

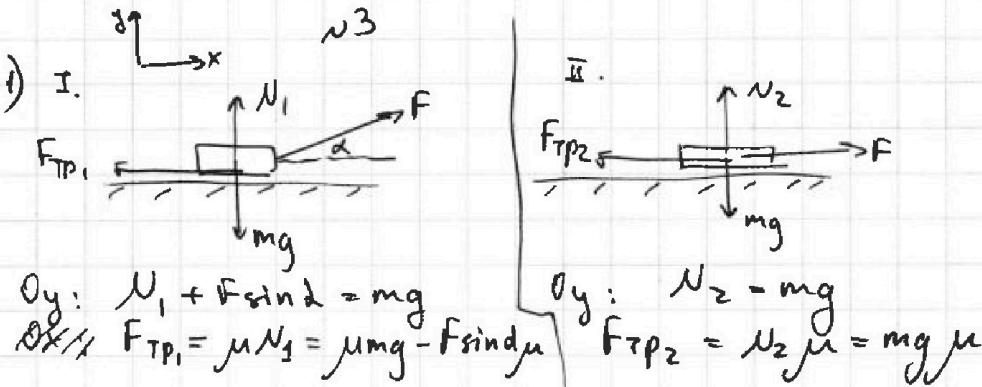


- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ.

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

Дано:
 K ; d ; m
Найти:
1) μ 2) S



Равн. происходят на одинаковых участках пути
только что длина b .

Задача I:

$$-F_{Tp_1} b + F \cos d b = K$$

Задача II:

$$-F_{Tp_2} L + F L = K$$

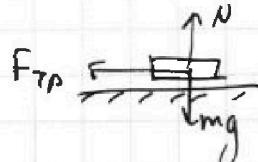
Представим через трение:

$$F \sin d \mu L - \mu mg L + F \cos d L = K \quad (1) \quad -\mu mg L + F L = K \quad (2)$$

$$\text{Вычитем } (1) - (2): \quad F \sin d \mu L + F \cos d L - F L = 0 \quad | : FL$$

$$\sin d \mu + \cos d - 1 = 0 \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos d}{\sin d}$$

2) Найдем S ; величина F превратилась:



$$N = mg; \quad F_{Tp} = \mu N = \mu mg$$

Тогда изменение кин. энергии: $F_{Tp} S = K$

$$\Rightarrow \mu mg S = K \Rightarrow S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K \sin d}{mg(1 - \cos d)}$$

Однако: 1) $\mu = \frac{1 - \cos d}{\sin d}$ 2) $S = \frac{K \sin d}{mg(1 - \cos d)}$

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



~4

Заметим, что: $Q = \dot{V} C_v T$,
где $C_v T$ - площадь под графиком

1) Найдем Q_{31} : $Q_{31} = \dot{V} 2R(T_1 - 4T_1) = -6\dot{V}RT_1$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \dot{V} R (T_1 - 4T_1) = -\frac{9}{2} \dot{V} RT_1$$

По I. З. термодинамики: $A_{31} + \Delta U_{31} = Q_{31}$

$$A_{31} = -6\dot{V}RT_1 - \left(-\frac{9}{2}\dot{V}RT_1\right) = -\frac{3}{2}\dot{V}RT_1 \text{ - работа газа}$$

$$A_{31}^{\text{нагрузка}} = -A_{31} = \frac{3}{2}\dot{V}RT_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = 2493 \text{ Дж}$$

2) Найдем КПД цикла; посчитаем Q на каждом участке:

$$Q_{31} = \dot{V} 2R(T_1 - 4T_1) = -6\dot{V}RT_1 \quad \left. \right\} Q_X$$

$$Q_{23} = \dot{V} 0,5R(4T_1 - 8T_1) = -2\dot{V}RT_1 \quad \left. \right\} Q_X$$

$$Q_{12} = \dot{V} 1,5R(8T_1 - T_1) = \frac{21}{2}\dot{V}RT_1 \quad \left. \right\} Q_H$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_X|}{Q_H} = 1 - \frac{8\dot{V}RT_1}{\frac{21}{2}\dot{V}RT_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21} \approx 24\%$$

3) Процесс $1 \rightarrow 2$ - изохорный, т.к. $C = 1,5R$

Определим процесс $3 \rightarrow 1$, рассчитав пока замену
коэффициентов:

$$n = \frac{C - C_P}{C - C_V} = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{0,5R}{-0,5R} = -1 \Rightarrow pV^{-1} = \text{const}$$

$$\Rightarrow p = \alpha V \text{ (давление зависит пропорционально от объема) } \alpha = \text{const}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

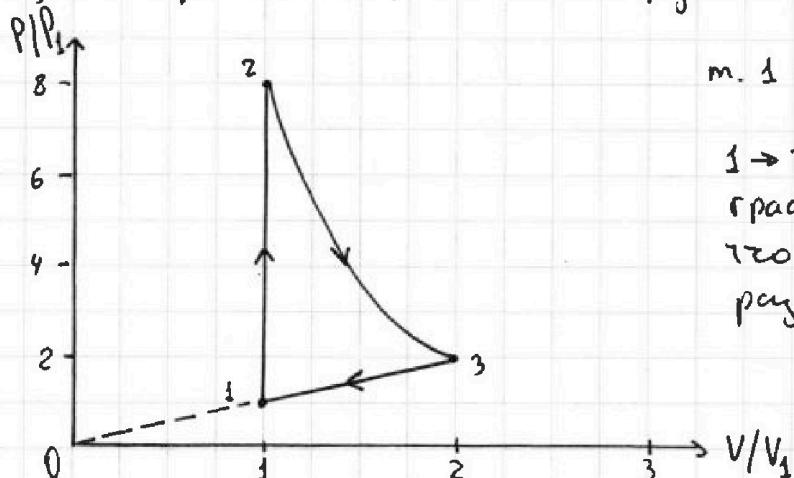
№

Определим процесс $2 \rightarrow 3$:

$$n = \frac{C - C_P}{C - C_V} = \frac{0,5R - 2,5R}{9,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$$

$$\Rightarrow pV^2 = \text{const} \Leftrightarrow p = \frac{d}{V^2}$$

4) Построим график в координатах $(P/P_1, V/V_1)$



$$\text{м. 1: } p_1 V_1 = \sqrt{R T_1} \quad (\text{n/g})$$

$1 \rightarrow 2$ - изокорный по
графику $(C/R, T/T_1)$ видно,
что T_2 увеличилась в 8 раз,
значит и давление
увеличилось в
8 раз.

В т. 3 температура в 4 раза больше, чем в м. 1,
но так как $3 \rightarrow 1$ процесс, где давление пропорционально объему и координатам м. 1
(1;1), то координаты м. 3 (2;2)

Далее соединим м. 2 и м. 3 изображенной
интерполяцией.

$$\text{Объем: 1) } A_{31}^{\text{наг газом}} = 2493 \text{ дм}^3$$

$$2) \eta = \frac{5}{21} \approx 24\%$$

3) см. выше

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

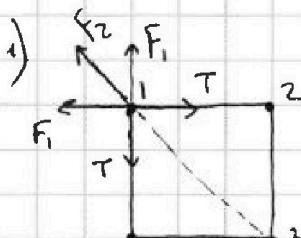
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ



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



~5

Рассмотрим силы, действующие на верхний левый шарик:

сумма $F_1 = \frac{Kq^2}{a^2}$ со сторонами 2 и 4

и сила $F_2 = \frac{Kq^2}{(a\sqrt{2})^2}$ со сторонами 3 шарика

, которая тоже отталкивает.

Условие равновесия шарика 1 на оси Ox:

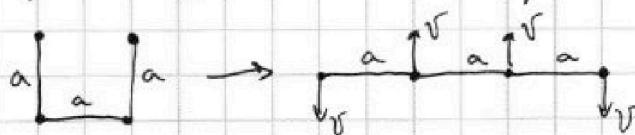
$$-F_1\sqrt{2} - F_2 + T\sqrt{2} = 0; -\frac{Kq^2}{a^2}\sqrt{2} - \frac{Kq^2}{2a^2} + T\sqrt{2} = 0 \quad | : \sqrt{2}$$

$$\text{Выразим } |q|: T = \frac{Kq^2}{a^2} + \frac{Kq^2}{2\sqrt{2}a^2} \Rightarrow |q| = a \sqrt{\frac{T\sqrt{2}}{K(2\sqrt{2}+1)}}$$

Чем меньше T выражите $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

$$\text{Тогда: } |q| = a \sqrt{\frac{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0 T}{2\sqrt{2}+1}}$$

2) Когда перенесут верхнюю силу, 2/3 какое-то время шарик останется на одной линии, и эти же времена движение произойдет не будут, т.к. шарики движутся одинаково и отталкиваются



Каждые шарик придут сверху, верхнее движение. Скорость всех шариков будут равны

но модульно, т.к. равны их массы. Начало движения начнется синхронно для 0, значит начнется тоже должно быть тоже. Внешних сил нет.

Найдем начальную энергию будущего синхронного движения шариков:

$$M_1 f / 2 / \frac{Kq^2}{a^2} + 1 / 2 / \frac{Kq^2}{(a\sqrt{2})^2} = 5 / \frac{Kq^2}{a^2}$$

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!

н⁵

Найдем начальную энергию взаимодействия шариков:

$$W_1 = 4 \frac{kq^2}{a} + 2 \cdot \frac{kq^2}{a\sqrt{2}} = \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2})$$

Конечная:

$$W_2 = 3 \frac{kq^2}{a} + 2 \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} = \frac{kq^2}{a} \left(4 + \frac{1}{3}\right)$$

Кинетическая энергия любого шарика K

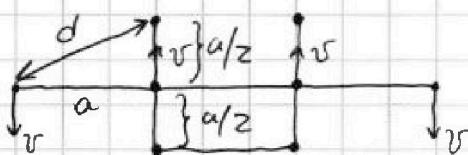
Запишем ЗСД: $W_1 - W_2 = 4K$

$$\frac{kq^2}{a} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3}\right) = 4K$$

Из п.1: $T = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$ подставим в ЗСД:

$$\frac{Ta \cdot 2\sqrt{2} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3}\right)}{2\sqrt{2} + 1} = 4K \Rightarrow K = \frac{Ta \left(2 - \frac{\sqrt{2}}{3}\right)}{2(2\sqrt{2} + 1)}$$

3) В любой момент скорости всех шариков по модулю и по вертикали равны т.к. начальный импульс $\vec{0} \Rightarrow$ расстояние, которое прошел каждый шарик по вертикали одинаково и равно $a/2$:



Найдем d по н. Пифагора:

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

Объем: 1) $|q| = a \sqrt{\frac{8\sqrt{2} \pi E_0 T}{2\sqrt{2} + 1}}$

2) $K = \frac{Ta \left(2 - \frac{\sqrt{2}}{3}\right)}{2(2\sqrt{2} + 1)}$ 3) $d = \frac{\sqrt{5}}{2} a$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

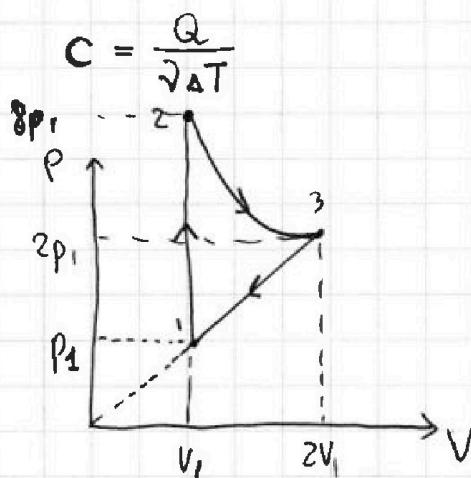
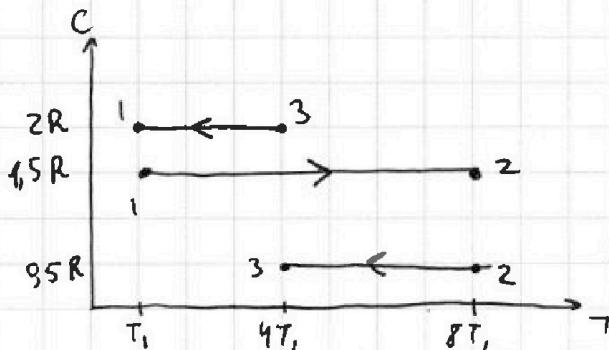
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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



$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} = \frac{C - 2,5R}{C - 1,5R}$$

$$pV^n = \text{const}$$

$$(3-1) \quad n = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{-0,5R}{0,5R} = -1$$

$$pV^{-1} = \text{const} \Rightarrow p = dV$$

$$(1-2) : \quad n = \frac{1,5R - 2,5R}{1,5R - 1,5R} = \infty$$

(1-2) - изохорный

$$(2-3) : \quad n = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$$

$$pV^2 = \text{const}$$

$$p = \frac{d}{V^2}$$

$$8p_1 V_1^2 = 2p_1 \cdot 4V_1^2$$

$$3-1 : \quad Q = -2 \cdot 2R \cdot 3T_1 = -6\sqrt{R}T_1 \quad A_{23} = -2\sqrt{R}T_1 + \frac{3}{2}\sqrt{R}(4T_1 - 8T_1) = \\ \Delta U = \frac{3}{2}\sqrt{R} \cdot (T_1 - 4T_1) = -\frac{9}{2}\sqrt{R}T_1 \quad = \sqrt{R}T_1(-2 + 6) = 4\sqrt{R}T_1$$

$$A = Q - \Delta U = -6\sqrt{R}T_1 + 4,5\sqrt{R}T_1 = -\frac{3}{2}\sqrt{R}T_1$$

~~K = 1
4RT_1~~

$$Q_{12} = 1,5R \cdot 7T_1 = \frac{3}{2} \cdot 7\sqrt{R}T_1 = \frac{21}{2}\sqrt{R}T_1$$

$$Q_{23} = 0,5R \cdot 7 \cdot 4T_1 = 2\sqrt{R}T_1$$

$$Q_{31} = -6\sqrt{R}T_1$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H} = 1 - \frac{8\sqrt{R}T_1}{21\sqrt{R}T_1} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21}$$

$$\eta = \frac{4\sqrt{R}T_1 - \frac{3}{2}\sqrt{R}T_1}{\frac{21}{2}\sqrt{R}T_1} = \frac{\frac{5}{2}}{\frac{21}{2}} = \frac{5}{21}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

N5

Найдем кинетическую энергию взаимодействия:

$$W_2 = 3 \frac{kq^2}{a^2} + 2 \cdot \frac{kq^2}{(2a)^2} + \frac{kq^2}{(3a)^2} = \frac{kq^2}{a^2} \left(3 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} \right)$$

Запишем ЗС \Rightarrow где лен системе:

$$W_1 = W_2 + E_{lc} ; E_{lc} = 4 \cdot \frac{mv^2}{2} = 2mv^2$$

~~также~~ $5 \frac{kq^2}{a^2} = \frac{kq^2}{a^2} \cdot 3 \frac{11}{18} + 2mv^2$

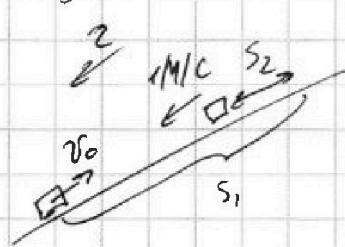
$$\frac{kq^2}{a^2} \cdot 1 \frac{7}{18} = 2mv^2 \Rightarrow \frac{25}{7} \frac{kq^2}{a^2} = 2mv^2$$

$K = \frac{mv^2}{2}$ - кинетическая энергия одного заряда.

$$\Rightarrow \frac{25}{7} \frac{kq^2}{a^2} = 4K \Rightarrow K = \frac{25}{28} \frac{kq^2}{a^2}$$

проверка / подтверждение / \checkmark из н.т.: $T = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)$

Поставим



$$S_1 = \frac{36}{20} = 1,8 \text{ м}$$

$$S_2 = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ м}$$

$$t_1 = 0,6 \text{ с} \quad t_2 = 0,5 \text{ с}$$

сумма

10

$$1,8 + 0,25 + 0,1 = 1,55 + 0,1 = 2,65$$

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"/> |

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

 МФТИ.



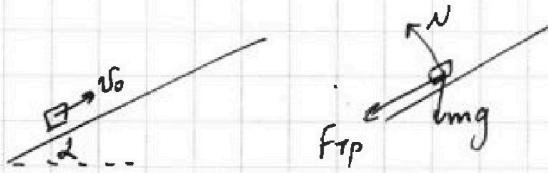
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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



$$N = mg \cos \alpha$$

$$ma = mg \cos \alpha \mu + mg \sin \alpha$$

$$a = g (\sin \alpha + \cos \alpha \mu)$$

$$\sin \alpha = 0,6, G \Rightarrow \cos \alpha = 0,8$$

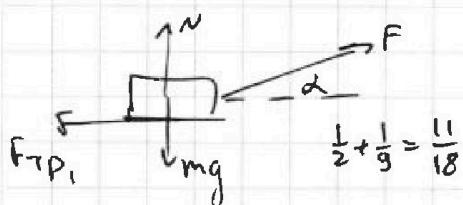
$$\frac{3}{5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{5} =$$

$$= \frac{6}{10} + \frac{4}{10} = 1$$

$$a = 10 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 6 + 4 = 10 \text{ m/c}$$

$$t = \frac{v_0}{a} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ c}$$

$$\frac{3}{5} - \frac{4}{10} = \frac{6}{10} - \frac{4}{10} = \frac{2}{10}$$



$$W_1 = 4k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{2a^2} = 5k \frac{q^2}{a^2}$$

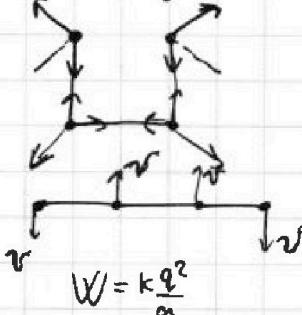
$$W_2 = 3k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{4a^2} + k \frac{q^2}{9a^2}$$

$$f_{T_p} = \mu mg$$

$$-\mu mg x + Fx = K$$

$$\frac{F \cos \alpha - \mu g \mu + f \sin \alpha \mu}{m} = \frac{F - \mu g \mu}{m}$$

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



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

m - масса катка

$$\frac{mv^2}{2} = K \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

$$S = \frac{2K}{m^2 \mu g} = \frac{K}{\mu g}$$

$$q^2 = \frac{a^2}{K} \frac{T^2 \sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}$$

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

$$3 \cdot 8,31 \cdot 100 = 3 \cdot 831 = \frac{2\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}}$$

$$= 2400 + 90 + 3 = 2493 \quad //$$

$$-\frac{5}{4} \overline{000} \quad | \overline{21} \quad T = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)$$

$$\overline{80} \quad \overline{63} \quad \frac{kq^2}{a^2} = \frac{T^2 \sqrt{2}}{2\sqrt{2}+1}$$

$$\overline{170} \quad \overline{168}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

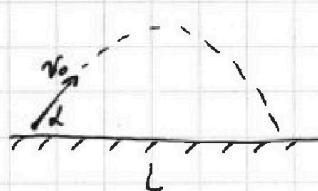
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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



$$L = v_0 \cos \alpha t$$

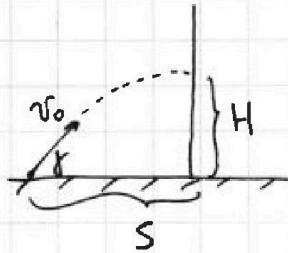
$$0 = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow \frac{gt}{2} = v_0 \sin \alpha t \\ \Rightarrow t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow L = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{200}$$

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

$$H = \frac{200 \cdot 0,5}{2 \cdot 10} = \frac{100}{20} = 5 \text{ m}$$

$$v_0^2 = 2gH + v_0^2 \cos^2 \alpha$$



$$S = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$H = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

$$H = S \tan \alpha - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad | : \cos^2 \alpha$$

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

$$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$H = - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \alpha + S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$H_{\max} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{-S}{-g S^2} = \frac{v_0^2}{Sg} = \frac{200}{16 \cdot 10} = \frac{20}{16} = \frac{5}{4}$$

$$H = - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \frac{v_0^2}{S^2 g^2} + S \cdot \frac{v_0^2}{Sg} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} = - \frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} =$$

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

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

$$= 40 (10 - 3,6) = 40 \cdot 6,4 = 4 \cdot 64$$

$$\begin{array}{r} \times 14,1 \\ 14,1 \\ \hline + 564 \\ \hline 198,81 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 14,2 \\ 14,2 \\ \hline + 568 \\ \hline 201,64 \end{array}$$



$$\Rightarrow S = 2 \cdot 8 = 16 \text{ m}$$

$$F_1 = \frac{kq^2}{a^2} \quad F_2 = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$T\sqrt{2} = F_1\sqrt{2} + F_2$$