



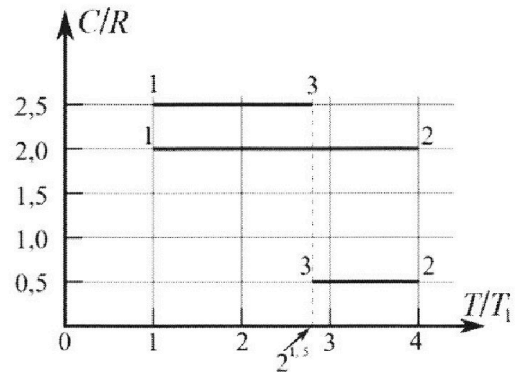
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



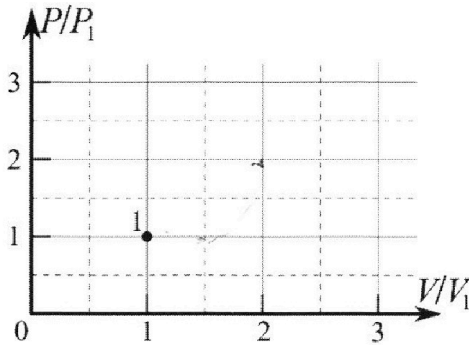
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

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.



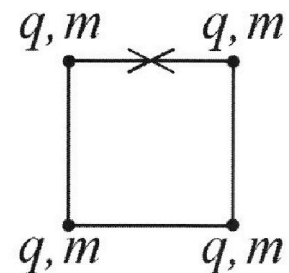
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

1) Найдите силу T натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость V 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)?



Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

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

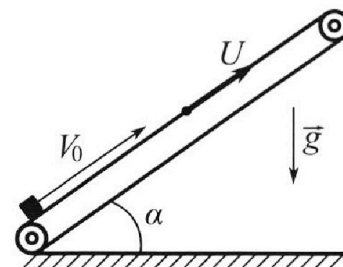


1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.
- 1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.
 - 2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.



- 1) За какое время T после старта коробка пройдет в первом опыте путь $S = 1$ м?

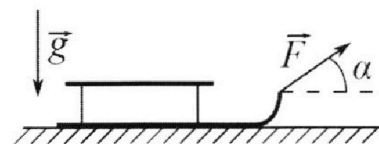
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

- 2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?
- 3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? 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 скорости V_0 за одинаковое время.

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 скорости V_0 действие внешней силы прекращается.



- 1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.
- 2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

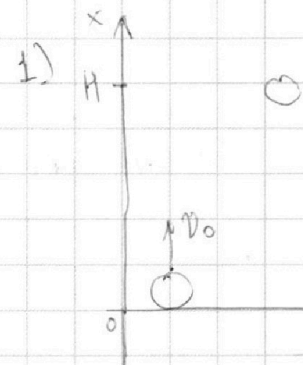
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,

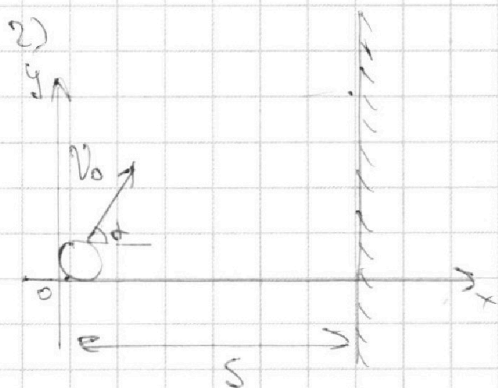
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$v(t) = v_0 - gt$$

$$\rightarrow v(T) = v_0 - gT = 0$$

$$\Leftrightarrow v_0 = gT = 20 \text{ м/с}$$



$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{at^2}{2} = v_0 \cos \alpha t$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{at^2}{2} = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2$$

T - время движения по прямой.

$$\rightarrow x(T) = v_0 \cos \alpha T = S$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$\Rightarrow y(T) = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{1}{2}g \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

Касательная. Высота достигается, если

точка касания - вершина траектории

$$\Rightarrow S = \frac{L}{2} \Leftrightarrow L = 2S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \Leftrightarrow \sin 2\alpha = \frac{2Sg}{v_0^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10 \cdot 10}{400} = \frac{1}{20} \Rightarrow 2\alpha = \arcsin \frac{1}{20} \Rightarrow \alpha = \frac{\arcsin \frac{1}{20}}{2} \Rightarrow H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{2 \cdot 10} = 10 \text{ м}$$

Ответ: 1) $v_0 = 20 \text{ м/с}$ 2) $H = 10 \text{ м}$

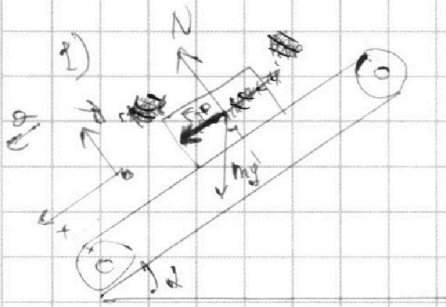
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$(\sin \alpha = 0,2 \Rightarrow \cos \alpha = 0,6)$$

m - масса коробки

$$y: N = mg \cos \alpha$$

$$x: F_{\text{фр}} + mg \sin \alpha = ma$$

$$F_{\text{фр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$\Rightarrow mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = ma \quad (\Rightarrow a = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = g)$$

$$S = v_0 T - a \frac{T^2}{2}$$

$$\Rightarrow a \frac{T^2}{2} - v_0 T + S = 0 \Rightarrow D = v_0^2 - 2aS$$

$$\Rightarrow T = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2aS}}{a} \quad T_1 = \frac{4 + \sqrt{16 - 20}}{10} \quad D < 0$$

(S1)

(R)

\Rightarrow Сначала коробка движется вверх, а затем вниз

$$a) S_1 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5} \text{ м} \quad \Rightarrow S_2 = \frac{1}{5} \text{ м}$$

$$T_1 = \frac{2S_1}{v_0} = \frac{2 \cdot \frac{4}{5}}{4} = \frac{2}{5} \text{ с}$$

$$b) \text{ При движении вниз } a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) (=a') = 0,6g$$

(сначала время поменяем направление)

$$\Rightarrow S_2 = a' \frac{T_2^2}{2} \quad (\Rightarrow T_2 = \sqrt{\frac{2S_2}{a'}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{1}{5}}{0,6 \cdot 10}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

$$\Rightarrow T = T_1 + T_2 = \frac{2}{5} + \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

2) Если бы не было трения, то

$$L = \frac{v_0^2 - v^2}{2a} = \frac{16 - 4}{20} = \frac{3}{5} \text{ м}$$

\Rightarrow в конце скорости коробки равны скорости

лестницы, поэтому относительно неё коробка находится

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!



Перейдем в систему отсчета, связанную с землей

$$\text{Поскольку } U'_0 = U_0 - U, \quad U'_k = U - U = 0$$

$$\Rightarrow S' = \frac{U'_0 - U'_k}{2a} = \frac{2 \cdot 0}{2 \cdot 0} = \frac{1}{5} \text{ м} \Rightarrow T' = \sqrt{\frac{2S'}{a}} = \sqrt{\frac{2/5}{10}} = \frac{1}{5} \text{ с}$$

(земля не имеет ускорения, поэтому
для корабля оно сохраняется)

Время движения в ИО (земля) сохраняется, а

$$\text{пусть на } T'U \text{ больше} \Rightarrow L = S' + T'U = \frac{3}{5} \text{ м}$$

3) Скорость равна нулю, если относительная
скорость корабля $-U$ с движется вниз со скоростью U

$$\Rightarrow S'_1 = \frac{U^2 - 0^2}{2a'} = \frac{2^2}{2 \cdot 6} = \frac{1}{3} \text{ м} \Rightarrow T'_1 = \sqrt{\frac{2S'_1}{a'}} = \sqrt{\frac{2/3}{6}} = \frac{1}{3} \text{ с}$$

$$\Rightarrow L_{\text{полн}} = L + T'_1 U - S'_1 = \frac{3}{5} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{14}{15} \text{ м}$$

$$\Rightarrow H = L_{\text{полн}} \sin \alpha = \frac{14}{15} \cdot 0,8 = \frac{56}{75} \text{ м}$$

$$\text{Ответ: 1) } T = 0,4 + \sqrt{1/5} \text{ с} \quad 2) L = \frac{3}{5} \text{ м (0,6 м)}$$

$$3) H = \frac{56}{75} \text{ м}$$

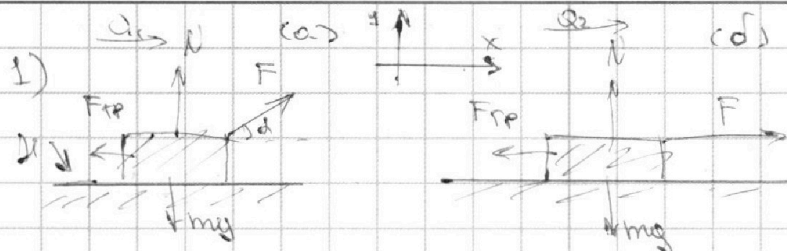
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$T_a = T_b = T'$
- время движения до остановки v_0

(a) $F \cos \alpha - \mu mg = ma$ (b) $F - \mu mg = ma$

$v(T) = v_0 + at = 0$ $v_{0a} = v_{0b} = 0$ главное из условия

$\Rightarrow a_1 = a_2 \Leftrightarrow \mu m = a_2 m$

$F \cos \alpha - \mu mg =$

(a): x: $F \cos \alpha - F_{mp} = ma_1$ y: $N + F \sin \alpha = mg$

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

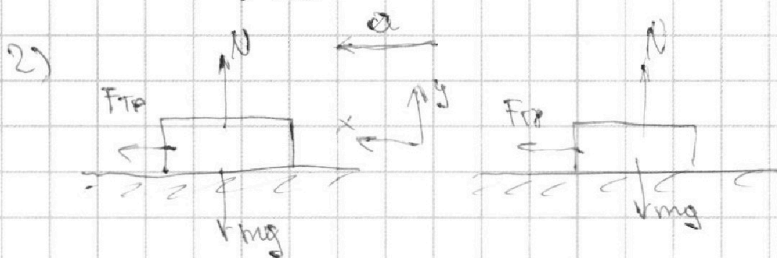
$\Rightarrow F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = ma_1$

(b): y: $N = mg$ x: $F - \mu mg = ma_2$

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

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

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



В обоих случаях получаем разные числа

y: $N = mg$ x: $F_{mp} = \mu N = \mu mg = ma \Leftrightarrow a = \mu g$

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 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!

$$\Rightarrow v_k = v_0 - aT = 0 \Leftrightarrow T = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha)g}$$

Ответ: 1) $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ 2) $T = \frac{v_0}{g} \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:



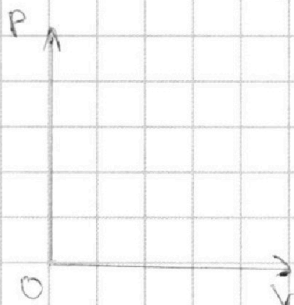
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

1) В процессе 12 $C = 2R$. Эта молярная теплоёмкость характерна для процесса $p \sim V$ ($i = 3$, в общем виде $C = \frac{i+1}{2} R$)

В этом процессе $T \uparrow \Rightarrow V \uparrow, P \uparrow$ (следствие)



$$T_2 = 4T_1 \quad \Delta Q_p = C \Delta T = 2C \Delta T_1 = 4C \Delta T_1$$

$$\Delta U_p = \frac{i}{2} \Delta T = \frac{3}{2} \Delta T_1$$

A' - работа газа \Rightarrow

$$A' = \Delta Q_p - \Delta U_p = 4C \Delta T_1 - \frac{3}{2} \Delta T_1 = \frac{5}{2} \Delta T_1$$

$$= \frac{5}{2} \cdot 1 \cdot 400 \cdot 8,31 \approx 8310 \text{ Дж}$$

3) В процессе 31 $C = 2,5R = \frac{5}{2} R$. Эта молярная

теплоёмкость характерна для изобарного процесса

В процессе 23 $C = 0,5R = \frac{1}{2} R$. Эта молярная

теплоёмкость характерна для процесса $p \sim V^2$

($i = 3$, в общем виде $C = \frac{i-2}{2} R$)

В процессах 23 и 31 $T \downarrow$ $T_3 = \frac{2\sqrt{2}}{3} T_1$

$$\rightarrow \text{при } p_1 = p_3 \quad (pV)_3 = \frac{2\sqrt{2}}{3} (pV)_1 \quad \text{При этом}$$

$$p_1 = p_3 \quad (31 - \text{изобара}) \Rightarrow \text{Если } \left(\frac{p_1}{V_1}, \frac{p_1}{V_1} \right) \rightarrow$$

$$T_1 (2, 2) \quad \text{то } \left(\frac{V_3}{V_1}, \frac{p_3}{p_1} \right) \rightarrow T_1 \left(\frac{2\sqrt{2}}{3}, 1 \right)$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

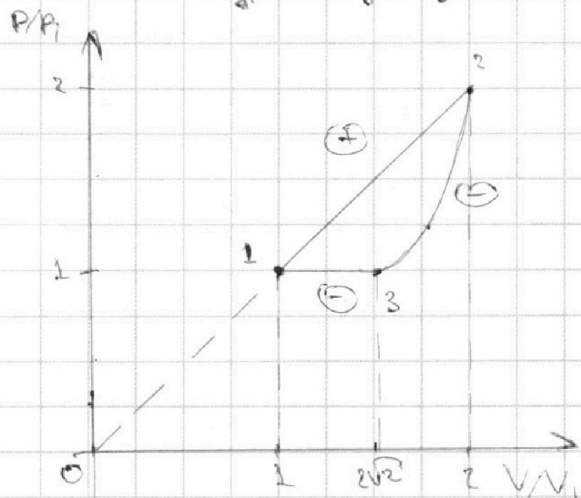
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

$T_2 = 4T_1 \Rightarrow (PV)_2 = 4(PV)_1$, но так в процессе
к $p \sim V^{-\kappa}$, то т. $(\frac{V_2}{V_1}, \frac{P_2}{P_1})$ лежит на прямой,
проходящей через т. $(0;0)$ и т. $(1;1)$

\Rightarrow Эта точка $(2;2)$. График $2/3$ изображен
как квадратичную зависимость



$$2) Q_+ = Q_{12} = 6VRT_1$$

$$|Q_-| = |Q_{23}| + |Q_{31}|$$

$$|Q_{23}| = C_{23} \nu \Delta T = \frac{R}{2} \nu T_1 (4 - 2\sqrt{2})$$

$$|Q_{31}| = \frac{5}{2} R \nu (2\sqrt{2} - 1) T_1$$

$$\Rightarrow |Q_-| = \nu R T_1 (4\sqrt{2} - 0.5)$$

$$\Rightarrow y = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{4\sqrt{2} - 0.5}{6} = \frac{12 - 8\sqrt{2} + 1}{12} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

Ответ: 1) $A'_{R} = 4986 \text{ Дж}$

$$2) y = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

3) см. график

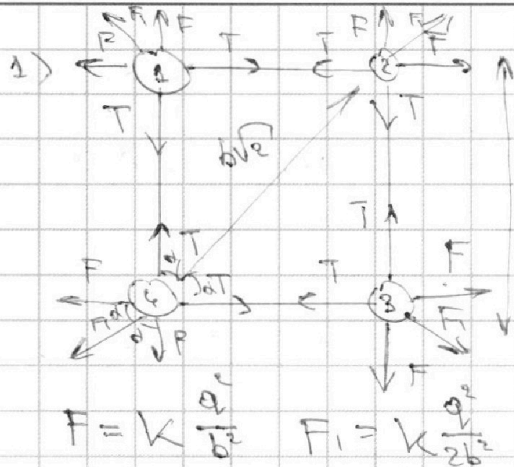
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



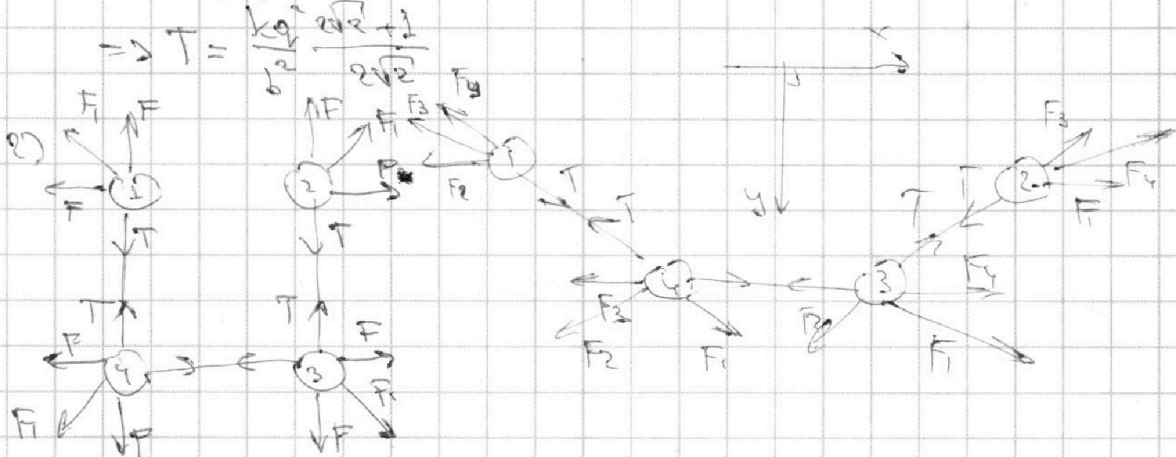
одинаковые заряды отталкиваются $\Rightarrow F$ отталкивание
 Рассмотрим шаг 4:
 он взаимодействует с шаром 1 и 3 с силой F и с шаром 2 с силой F_1
 Система уравновешивается (шар покоится)
~~III~~ II 3 H для шага 4:

$$2T \cos \alpha = 2F \cos \alpha + F_1 \Leftrightarrow T = F + \frac{F_1}{2 \cos \alpha} = k \frac{q^2}{b^2} + k \frac{q^2}{2b^2 \cdot 2 \cos \alpha} =$$

$$= \frac{4 \cos^2 \alpha k q^2 + k q^2}{4 b^2 \cos \alpha} = \frac{k q^2}{b^2} \frac{4 \cos^2 \alpha + 1}{4 \cos \alpha}$$

$$\alpha = 45^\circ \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\Rightarrow T = \frac{k q^2}{b^2} \frac{4 \cdot \frac{1}{2} + 1}{4 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{k q^2}{b^2} \frac{3}{2\sqrt{2}}$$



Система будет происходить только вдоль осей y (в силу симметрии) \Rightarrow вдоль осей x все равно не будет.
 В любой момент времени расстояние между (1) и (4), (4) и (3), (3) и (2) постоянно и равно $b \Rightarrow$ между ними (попарно) сила взаимодействия F всегда равна $k \frac{q^2}{b^2}$



Ответ: $T = \frac{k q^2}{b^2} \frac{2\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}}$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

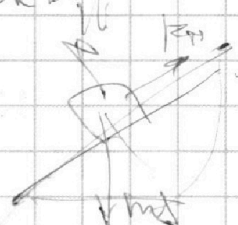
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

8,31
15
4155
331 МФТИ
12785
12465
400
49860 00

$$eR \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{T} = G \sqrt{R} T$$

$$1,5 \sqrt{R} \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \sqrt{R} \cdot \sqrt{T} \Delta T + \frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T$$



$$m \Delta v = m g \sin \alpha \Delta t - \mu m g \cos \alpha \Delta t$$

$$\Delta v = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \Delta t$$

$$= (0,2 - 0,2) g =$$

$$= 0,6 g = 6$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ 3 \\ \hline 2493 \\ -2 \\ \hline 12465 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1222 \\ 12465 \\ \hline 4986000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 400 \\ 400 \\ \hline 800 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ 1,4 \\ \hline 11,2 \end{array}$$

$$2 - \sqrt{2} + 5\sqrt{2} - 5/2 = 4\sqrt{2} - 2$$

$$2 - \sqrt{2} + 5\sqrt{2} - 5/2 = 4\sqrt{2} - 0,5$$

$$\frac{x^2}{x^2}$$

$$\frac{x}{x^2} = \frac{1}{x}$$

$$\frac{2 \cdot x^2 - x \cdot 2x}{x^4} = \frac{1-2}{x^2}$$

$$\int \frac{f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)}{g(x)^2} dx$$

$$\frac{x^3}{x^2} = \frac{3x^3 - x^2}{x^2} = 3x - x = 2x$$

$$\left(\frac{\sin x}{\cos x} \right)' = \frac{\cos^2 x + \sin^2 x}{\cos^2 x} = \frac{1}{\cos^2 x}$$

$$Q_1 eR \sqrt{R} \cdot \sqrt{T_1} = G \sqrt{R} T_1$$

$$Q_{-1} = \frac{R}{2} \sqrt{4T_1 - 2\sqrt{2} T_1}$$

$$Q_{-2} = \frac{87}{2} R \sqrt{(2\sqrt{2} - 1) T_1}$$

$$\frac{1}{\cos^2 x} = \frac{1}{\cos^2 x} + \frac{2 \sin x}{2 \cos^2 x \sin^2 x} = 0$$

$$\frac{\sin^2 \alpha + g \sin^2 \alpha}{200 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha} = 0$$

$$\cos^2 x = -\sin x \cdot 2 \cos x - \sin^2 x$$

$$2 - \sqrt{2} + 5\sqrt{2} - 2,5 = 4,5 \sqrt{2} - 9,5$$

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!



$$x(t) = v_0 t - g \frac{t^2}{2}$$

$$x(t) = v_{0x} t$$

$$x(t) = v_0 \frac{\sin \alpha \cos \alpha v_0 - \frac{1}{2} g t^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$g t = \frac{1}{2} \cdot 0,36 + 0,36 = 0,2 + 0,2 = 1$$

10 мкс

$$v_0 = 4 \text{ мкс}$$

$$S = \frac{v_0^2 - v_k^2}{2a}$$

$$v_0^2 - v_k^2 = 2as$$

$$S = g \frac{v_0 + v_k}{2}$$

$$\frac{0,36 \cdot 4}{2 \cdot 6} = \frac{1}{3} S = \frac{1}{2} + \frac{0,2 + 0,2}{12}$$

$$\frac{16}{20} = \frac{4}{5} \quad 1/5$$

$$1/5 = 0,69 \frac{g^2}{2}$$

$$S = \frac{16 - 4}{20} = \frac{12}{20} = \frac{3}{5} \text{ м}$$

$$T = \frac{2S}{v_0} = \frac{2 \cdot \frac{3}{5}}{4} = \frac{3}{10}$$

$$v(t) = v_0 + at$$

$$pV = T$$

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

$$\frac{v_0 \sin \alpha v_0 \cos \alpha}{g}$$

$$\frac{14 \cdot 4}{15 \cdot 5} = \frac{56}{75}$$