



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

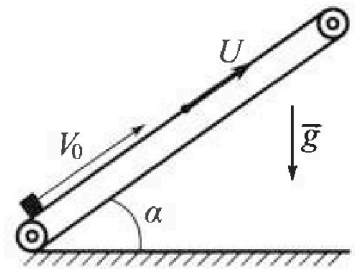
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



- ✓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.

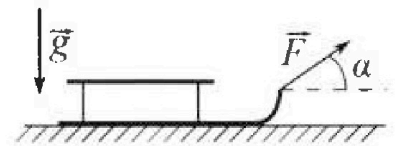
- ✓2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

- ✓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.

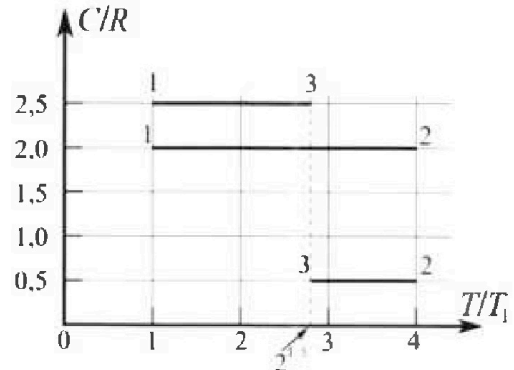
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



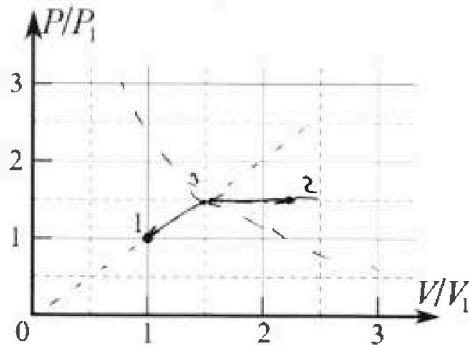
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



$$p \Delta V = pV_2 - pV_1 = \\ = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R \Delta T$$

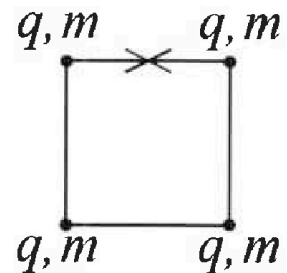
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

✓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.

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!



Дано:

$T = 2 \text{ c};$
 $g = 10 \text{ м/с}^2;$
 $S = 20 \text{ м};$
 $V_0 = ?$
 $H_{\text{max}} = ?$

Решение:

1) Очевидно, что на макс. высоте мячик будет обладать нулевой скоростью $\Rightarrow V_0 = T \cdot g \Rightarrow$

$V_0 = 2 \cdot 10 \text{ м/с} = \underline{20 \text{ м/с}}$

$\frac{400}{400}$

2)

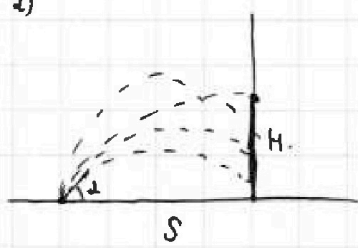
Пусть мы отправим шарик под углом α к горизонту.

Время полета $\tau = \frac{S}{V_0 \cdot \cos \alpha}$

Высота точки удара $H = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot \tau - \frac{g \tau^2}{2}$

$H = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot \tau - \frac{g \tau^2}{2}$

Вершина параболы при $\tau = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$



$H = S \cdot \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}$

$H = S \cdot 1 - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cdot 1} =$

$= 20 \text{ м} - \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 400 \text{ м}^2}{400 \text{ м}^2/\text{с}^2} = \underline{10 \text{ м}}$

$\frac{S}{V_0 \cdot \cos \alpha} = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g}$

$\frac{S g}{V_0^2} = \sin \alpha \cdot \cos \alpha$

$\frac{2 S g}{V_0^2} = \sin 2 \alpha$

$\alpha = \arcsin \left(\frac{2 S g}{V_0^2} \right)$

$\alpha = 45^\circ$

Ответ: 1) $V_0 = 20 \text{ м/с}$
 2) $H_{\text{max}} = 10 \text{ м}$

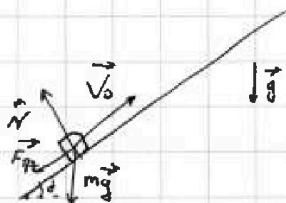
1 2 3 4 5 6 7

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



Дано:
 $\sin \alpha = 0,8$
 $V_0 = 4 \text{ м/с}$
 $\mu = \frac{1}{3}$
 $T = ?$
 $S = 1 \text{ м}$
 $U = 2 \text{ м/с}$
 $V_0 = 4 \text{ м/с}$
 $L = ?$
 $H = ?$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

Решение:



1) Посчитаем ускорение коробки // ~~по II з. Ньютона~~
 по II з. Ньютона:

$$m'a = m'g \cdot \cos \alpha \cdot \mu + m'g \cdot \sin \alpha,$$

где m - масса коробки
 a - её ускорение

$$a = g \cdot \cos \alpha \cdot \mu + g \cdot \sin \alpha; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6,$$

$$S = V_0 \cdot T - \frac{aT^2}{2}, \quad \text{т.к. } d = 0$$

$$\frac{aT^2}{2} - V_0 T + S = 0$$

Т.к.

т.к. + - пролетел вверх и вернулся ($\mu > \sin \alpha$)

$$T = \frac{V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - 2aS}}{a} = \frac{V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2aS}}{a}$$

$$= \frac{V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2S \cdot (g \cdot \cos \alpha \cdot \mu + g \cdot \sin \alpha)}}{a}$$

$$= \frac{4 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \sqrt{16 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 2 \text{ м} \cdot (10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,6 \cdot \frac{1}{3} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,8)}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}$$

$$= \frac{4 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \sqrt{16 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 20 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \Rightarrow \varnothing < 0$$

Коробка не доедет до 1 м.

$$V_0 = a \cdot \tau, \quad \text{где } \tau - \text{время до остановки.}$$

$$\tau = \frac{V_0}{a}$$

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!



$$S_1 = v_0 \cdot \tau - \frac{a\tau^2}{2} = \frac{v_0^2}{a} - \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2a}, \text{ где } S_1 - \text{ тормозной путь.}$$

$$S_2 + S_1 = S, \text{ где } S_2 - \text{ путь после остановки.}$$

$$S_2 = S - S_1$$

$$S_2 = \frac{a't^2}{2}, \text{ где } t - \text{ время движения после остановки}$$

$$m a' = m g \cdot \sin \alpha - m g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$a' = g \cdot \sin \alpha - g \cdot \cos \alpha \cdot \mu$$

$$S - \frac{v_0^2}{2a} = \frac{a't^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2S - \frac{v_0^2}{a}}{a'}} = \sqrt{\frac{2m - \frac{18 \text{ м}^2/\text{с}^2}{10 \text{ м}/\text{с}^2}}{9.6 \text{ м}/\text{с}^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0.4 \text{ м}}{9.6 \text{ м}/\text{с}^2}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{24}} \text{ с} = \frac{\sqrt{60}}{30} \text{ с} = \frac{\sqrt{15}}{15} \text{ с}$$

$$T = \tau + t = \frac{v_0}{a} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{24}} \text{ с} = \frac{4}{10} + \frac{\sqrt{60}}{30} \text{ с} = \frac{12 + 2\sqrt{15}}{30} \text{ с}$$

$$= \frac{12 + 10\sqrt{15}}{30} \text{ с} = \frac{6 + 5\sqrt{15}}{15} \text{ с} = \frac{6 + \sqrt{15}}{15} \text{ с}$$

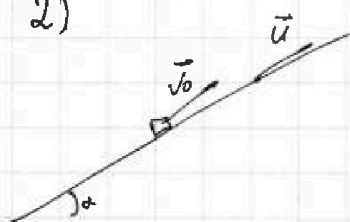
$$S = v_0 \cdot \tau - \frac{a\tau^2}{2}$$

$$\tau = \frac{v_0 - u}{a}$$

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

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

2)



В α время на коробку действует сила трения против напр. движения.

$$m a' = m g \cdot \cos \alpha \cdot \mu + m g \cdot \sin \alpha$$

По формуле тормозного пути:

$$L = \frac{v_0^2 - u^2}{2a} = \frac{16 \text{ м}^2/\text{с}^2 - 4 \text{ м}^2/\text{с}^2}{10 \text{ м}/\text{с}^2} = 9.6 \text{ м}$$

Но коробка может остановиться и снова разогнаться до $u = 2 \text{ м}/\text{с}$.

Из предыдущей задачи: $L = S_1 + S_2$, где S_2 — путь разгона от $u = 2 \text{ м}/\text{с}$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

Тогда $L' = S_0 - S_{01}$, где L' - другое L

S_0 - тормозной путь на месте.

S_{01} - путь при разгоне обратно до u .

$$S_0 = L + S_2, \text{ где } S_2 \text{ - путь тормоза пути после } \text{возвращения } u?$$

По дороге при u ускорен увеличивается и становится равным a' (увеличит напр. сила трения).

$$S_2 = \frac{u^2}{2a'}$$

$$S_0 = L + \frac{u^2}{2a'}$$

$$S_{01} = \frac{u^2}{2a'}$$

$$L' = L$$

Другие пути со скоростью u не

будет, т.к. запись корабля только разговора ($\mu < \frac{u}{g} = \frac{1}{3}$)

3) $M u$ где устно вым, что $S_0 = L + \frac{u^2}{2a'}$

$$S_0 = \frac{H}{a}$$

$$H = \left(L + \frac{u^2}{2a'} \right) \cdot \sin \alpha = \left(0,6 + \frac{4}{12} \right) \cdot 0,8 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot \frac{8}{10} = \frac{32}{75} \text{ м} \quad \text{или} \quad \frac{1}{15} \cdot \frac{1}{16} = \frac{32}{225} \text{ м}$$

Ответ: 1) $T = \frac{6 + \sqrt{15}}{15} \text{ с}$

2) $L = 0,6 \text{ м}$

3) $H = \frac{32}{75} \text{ м}$

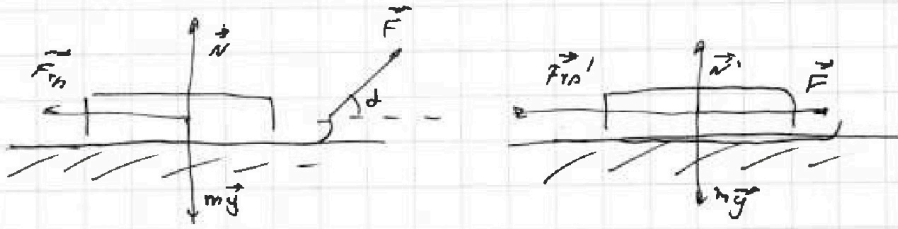
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



- 1) Если шарики разгоняют за одинаковое время, то и ускорение равное:
Запишем II з. Ньютона:

$$ma = F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = F - F_{\text{тр}}, \text{ где } a - \text{ уск. } F_{\text{тр}} = N \cdot \mu$$

$$F \cdot \cos \alpha - (\cancel{mg} - F \cdot \sin \alpha) \mu = F - \cancel{mg} \mu$$

$$F_{\text{тр}}' = N' \cdot \mu$$

$$N' = mg; \quad N = mg - F \cdot \sin \alpha$$

$$F - F \cdot \cos \alpha = F \cdot \sin \alpha \cdot \mu$$

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

- 2) (как не geht стает \Rightarrow N' и $F_{\text{тр}}'$)
и по II з. Ньютона
 $ma = \cancel{mg} \mu$.

$$T = \frac{V_0}{a} = \frac{V_0}{\mu g} = \frac{V_0}{\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot g}$$

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

2) $T = \frac{V_0}{\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot g}$

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!



Дано:

$V = 1 \text{ моль}$
 $i = 3$
 $T_1 = 400 \text{ К}$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
 $A_{1-2} = ?$
 $\eta = ?$

Решение:

Запишем I начало термодинамика:

$$\Delta Q = \Delta U + A$$

$$\Delta Q = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + A$$

$$C' = \frac{i}{2} \nu R + \frac{A}{\Delta T}$$

$$C = \frac{i}{2} R + \frac{A}{\nu \Delta T}$$

$$C = \frac{3}{2} R + \frac{A}{\nu \Delta T}$$

$$C_{1-2} = 2R$$

$$\frac{1}{2} R = \frac{A_{1-2}}{\nu \Delta T_{1-2}}$$

$$2,1^{\frac{1}{2}} = 2 \cdot \sqrt{2} \approx 2 \cdot 1,41 = 2,82$$

$\Delta Q = \frac{1}{2} \nu R T_1 + \nu R T_2$
 $\text{в } T_1, \text{ но } T_2 > 0$

$$\Delta T_{1-2} = 1600 \text{ К} - 400 \text{ К} = 1200 \text{ К}$$

$$A_{1-2} = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{1-2} = \frac{1}{2} 9972 \text{ Дж} = \underline{\underline{4986 \text{ Дж}}}$$

$$2) \quad \eta = \frac{A_{\Sigma}}{\Delta Q_{\Sigma}} = \frac{A_{1-2} + A_{2-3} + A_{3-1}}{\Delta Q_{1-2} + \Delta Q_{2-3} + \Delta Q_{3-1}}$$

Запишем I начало:

$$\Delta Q = \Delta U + A$$

$$A_x = (C_x - \frac{3}{2} R) \cdot \nu \cdot \Delta T_x$$

$$8,31 \cdot 400 = 831 \cdot 4 = 8320 + 1904 = 3324$$

$$\Delta Q_x = A_x + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_x$$

$$A_{1-2} = 4986 \text{ Дж}$$

$$A_{2-3} = +R \nu \cdot T_1 \cdot (4 - 2,82) = 3324 \text{ Дж} \cdot 1,18 = 3922,32 \text{ Дж}$$

$$A_{3-1} = -R \nu \cdot T_1 \cdot (2,82 - 1) = -3324 \cdot 1,82 = -6049,68 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r}
 3324 \\
 26592 \\
 \hline
 6049,68
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3324 \\
 3324 \\
 26592 \\
 \hline
 3922,32
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3324 \cdot 8 = 24000 \\
 24000 \\
 1800 \\
 32 \\
 \hline
 28592
 \end{array}$$

$$= -6049,68 \text{ Дж}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

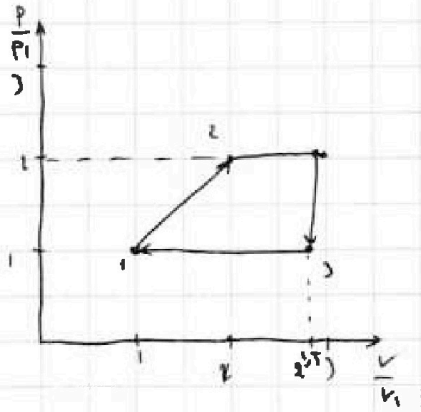
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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



Изобразим полученный график:



~~$A_2 = 1.5 \cdot 2 = 3$~~
 ~~$= (2.5 - \frac{3}{2}) \cdot 1.5$~~
 ~~$P.V.$~~

Ответ: 1) $A_1 = 4986 \text{ Дж}$

2) $\eta \approx 20\%$

3) см. рас.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

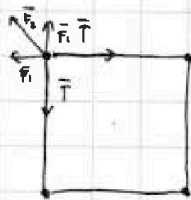
Отметьте крестиком номер задачи.

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:
 $q; b;$
 $T = ?$
 $v = ?$
 $d = ?$

Решение:

Запишем рав-во сил, прилож-
 к верхней левой паре
 по горизонтальной оси:

$$T = F_1 + F_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}, \text{ где}$$

F_1 - сила отталкивания с верхним
 зарядом

F_2 - сила отталкивания с нижним
 зарядом.

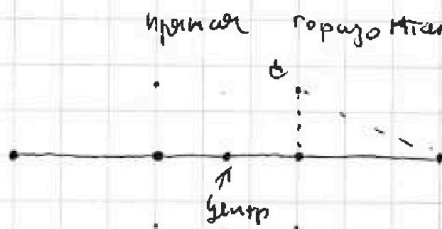
По 3. Кулона: $F_1 = \frac{kq^2}{b^2}$

$$F_2 = \frac{kq^2}{2b^2}$$

$$T = kq^2 \left(\frac{1}{b^2} + \frac{\sqrt{2}}{4b^2} \right) = \frac{kq^2}{b} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right)$$

2) По т. о движении центра масс. у.п. системы не
 сдвинулся \Rightarrow центр масс "параллели" в центре квадрата.

Из соображений симметрии система должна была остаться
 симметричной по верт. осц, проходящей через центр квадрата.



прямая горизонтальная (не верт, т.к. тогда нарушилась бы
 симметрия) в процессе движения)

Или энергетически, потому не могут
 запасать энергию. Запишем
 ЗСЭ у.п. правого верхнего заряда:

$$\frac{d}{b} kq^2 + \frac{4}{\sqrt{2}b} kq^2 = \frac{2mv_1^2}{2} + \frac{2mv_2^2}{2} \rightarrow \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b}$$

$$\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b}$$

$$kq^2 \left(\frac{6\sqrt{2} + 6 + 3\sqrt{2} + 2\sqrt{2}}{6\sqrt{2}b} \right) = \frac{mv^2}{2}$$

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!



$$kq^2 \frac{mv^2 + 6}{6bv^2} = \frac{mv^2}{2}$$

$$kq^2 \frac{mv^2 + 6}{3bm^2} = v$$

3) Теперь ещё раз наметим фигуру и квадрат:



Как видно, гипотенуза верхнего треугольника равна $\frac{b}{2}$ высоте

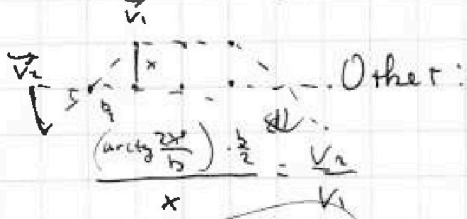
и на b высота $\Rightarrow d = \sqrt{(\frac{b}{2})^2 + b^2} = b\sqrt{\frac{1}{4} + 1} = b\frac{\sqrt{5}}{2}$

1) $T = \frac{kq^2}{b} (1 + \frac{\sqrt{5}}{4})$

2) $v = \sqrt{\frac{kq^2(6+mv^2)}{3bm}}$

3) $d = b\frac{\sqrt{5}}{2}$

Рассм начав
вспомогат. x



$$V_1 = V_2 \cdot \frac{x}{(\arctan \frac{2x}{b}) \frac{b}{2}}$$

1) $T = \frac{kq^2}{b} (1 + \frac{\sqrt{5}}{4})$

2) $v = \sqrt{\frac{kq^2(6+mv^2)}{\sqrt{5}bm(1 + \frac{b}{2}(\arctan \frac{2x}{b})^2)}}$

3) $d = b\frac{\sqrt{5}}{2}$

$$\frac{\frac{8kq^2}{bm} + \frac{2kq^2}{\sqrt{5}bm}}{1 + \frac{x}{\frac{b}{2}(\arctan \frac{2x}{b})}} = v_2$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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



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

