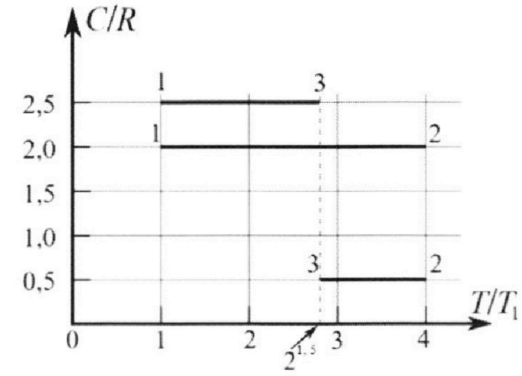
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

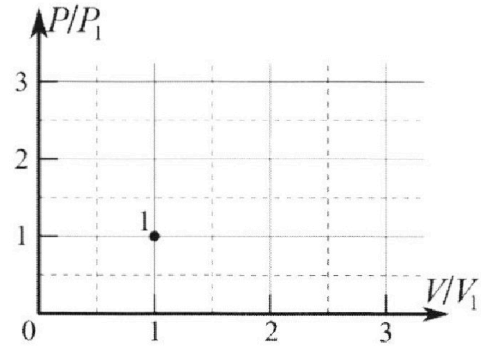
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



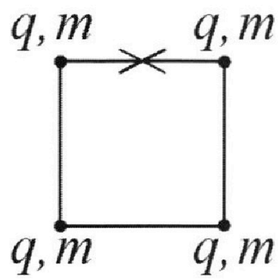
1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

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 ка ком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных вверху (на рисунке)?

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

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

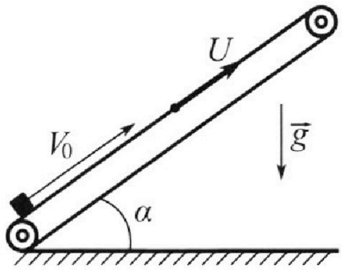
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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/с^2. 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.).



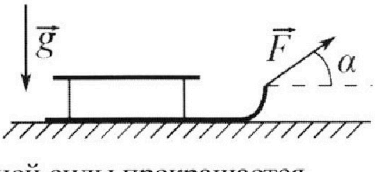
В первом опыте небольшую коробку ставят на *покоящуюся* ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.

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 как ом 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/с^2. 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 [X] 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. Дано: $T = 2c$ Найти: 1) V_0 - ? 2) h_{max} - ?
$S = 20м$

Решение: 1) Когда мяч достигает макс. высоты, $V = 0 \Rightarrow$

$V_0 - gT = 0 \qquad V_0 = gT = 20 \frac{м}{с}$

2) $x = V_0 \cos\alpha\, t \quad y = V_0 \sin\alpha\, t - \frac{gt^2}{2}$ - ур-ния движения мяча.

$S = V_0 \cos\alpha\, t$, где t - время полёта до удара о стену.

$h_{max} = V_0 \sin\alpha\, t - \frac{gt^2}{2} \leftarrow t = \frac{S}{V_0 \cos\alpha}$

$h_{max} = S\,tg\alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2\cos^2\alpha} \qquad h_{max} = S\,tg\alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2}(1 + tg^2\alpha)$

$tg^2\alpha = \frac{\sin^2\alpha}{\cos^2\alpha}$

$tg^2\alpha = \frac{1-\cos^2\alpha}{\cos^2\alpha} \qquad h_{max} = -\frac{gS^2}{2V_0^2} tg^2\alpha + S\,tg\alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2}$

$tg^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha} - 1 \quad \frac{1}{\cos^2\alpha} = tg^2\alpha + 1$ Парабола с $a<0$ (ветви вниз) $\Rightarrow$

макс. значение принимает в вершине

$h_{max} = \frac{-S \cdot V_0^2}{-gS^2} = \frac{V_0^2}{gS} = \frac{400}{200} = 20м$

Ответ: 1) $V_0 = 20 \frac{м}{с}$ 2) $h_{max} = 20м$.

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!

МФТИ

2(прод.) Заметим, что $(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)=1$ и что груз начнет опускаться до того как пройдет путь $S=1м$ ← обозначим как 1

$v=v_0-gt$ $v_0=at$ $t=0{,}4с$, а таком случае $x=0{,}8м$.

← когда $v=0$

Когда груз начинает спускаться, $F_{тр}=\mu mg\cos\alpha$, но направлена она по оси x (против движения). т.к. проекция $\vec{N}$ никуда не изменилась $\Rightarrow$ $-ma_1=\mu mg\cos\alpha-mg\sin\alpha$

$a=g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)=\frac{3}{5}g$ (сразу подставим для удобства).

Для выполнения условия задачи осталось пройти $(S-1)$.

$S-1=\frac{a t_1^2}{2}$ $t_1=\sqrt{\frac{2(S-1)\cdot 5}{3g}}=\sqrt{\frac{10\cdot 0{,}2}{30}}=\sqrt{\frac{2}{30}}$ с

T будет складываться из t_1 и t $\Rightarrow T=t_1+t=\left(0{,}4+\sqrt{\frac{1}{15}}\right)$с

2) $v_к=U$, когда груз перестанет двигаться отн. ленты $\Rightarrow$

$v_0+U-gt=U$ $v_0=gt$ $t=\frac{v_0}{g}$ – время, через кот. $v_к=U$

Ускорение при этом так же равно $a=g\underbrace{(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}_{1}=g$

$L=(v_0+U)t-\frac{gt^2}{2}=\frac{(v_0+U)}{g}v_0-\frac{g v_0^2}{g^2}=$

$\frac{(4+2)}{10}4-\frac{16}{10}=2{,}4-1{,}6=0{,}8м$

3) Скорость коробки в лаб. со станет равной нулю, когда $|v_к|=|U|$ т.к. $v_{лаб.}=v_к+U\Rightarrow$ в проекции на Ox: $0=v_к+U$
$v_к=-U$

Т.к. движение ленты не влияет на ускорение груза $\Rightarrow$ после момента t из п.(2) (когда груз остановился отн. ленты), он начнет съезжать вниз отн. неё с $a=g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)=\frac{3}{5}g$

~~v_0+U~~ $U-\frac{3}{5}gt_1=0$ $U=\frac{3}{5}gt_1$ $t_1=\frac{5U}{3g}$

За это время груз пройдет $l=U\cdot t_1-\frac{3g\cdot t_1^2}{5\cdot 2}=\frac{U^2 5}{3g}-\frac{3g\cdot 25\cdot U^2}{10\cdot 9\cdot g^2}$

$\frac{4\cdot 5}{30}-\frac{20}{60}=\frac{2}{3}-\frac{1}{3}=\frac{1}{3}м$

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!

2. (прод) Тогда за всё время до остановки груз пройдёт $S = L + l$, где L - расстояние из п. 2.

Тогда $H = (L+l)\sin\alpha = \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{3}\right)\frac{4}{5} = \left(\frac{12+5}{15}\right)\frac{4}{5} =$

$\frac{17 \cdot 4}{65} = \frac{68}{65}$ м

Ответ: 1) $T = \left(\frac{2}{5} + \sqrt{\frac{1}{15}}\right)$ с 2) $L = 0{,}8$ м 3) $H = \frac{68}{65}$ 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

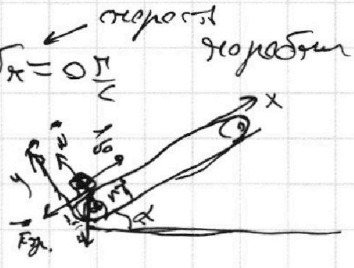
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2. Дано: $\sin\alpha = 0,8$ $\mu = \frac{1}{3}$

Найти: 1) T, если $V_0 = 4\frac{м}{с}$ и $S = 1м$

2) L, $V_0 = 4\frac{м}{с}$; $V = 2\frac{м}{с}$ 3) H при $V_x = 0\frac{м}{с}$ скорость коробки.

Решение:



1) ~~Ось~~ Проведем ось x вдоль ленты и Oy перп. ей.

Тогда силы, действующие на груз: $Ox: -ma = -F_{тр} - mg\sin\alpha$
$O_y: 0 = N - mg\cos\alpha$ $N = mg\cos\alpha$ $F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$

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

Ур-ние движения груза: $x = V_0 t - \frac{at^2}{2}$ $\cos\alpha = \sqrt{1-0,64} = 0,6$ (по основному тождеству).

~~Подставим данные значения:~~

~~$S = V_0 T - \frac{g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)T^2}{2}$~~

~~$T^2 - \frac{V_0 \cdot T \cdot 2}{g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} + \frac{2S}{g(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)} = 0$~~

~~$T_{1,2} = \frac{V_0}{g(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)} \pm \sqrt{\frac{V_0^2}{g^2(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)^2} - \frac{2S}{g(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}}$~~

~~Координата груда будет равна S в первый раз при подъеме и второй - при спуске. Нас интересует первый случай $\Rightarrow$ знак~~

~~$T = \frac{V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2gS(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}}{g(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)} = 4 - \sqrt{16 - 20(\frac{1}{5} + \frac{4}{5}}$~~

$V_0 - gt$ $t = \frac{V_0}{g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} = 0,4$ $x = 0,4 \cdot 4 - \frac{10 \cdot 0,16}{2} = 1,6 - 0,8 = 0,8$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

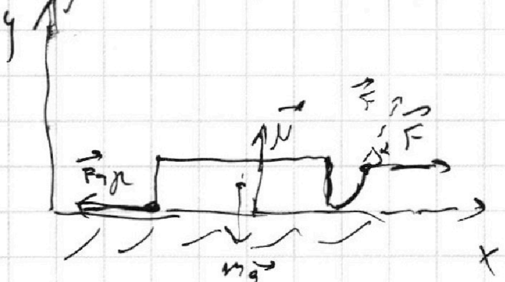
☐ ☐ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐

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

МФТИ

3. Дано: v_0, $t_1 = t_2$, α, F Найти: 1) μ - ? 2) T - ?

Решение:



1) Проекции сил якоби в 1-ом случае:

Ox: $F\cos\alpha - F_{тр} = ma_1$

Oy: $N_1 - mg + F\sin\alpha = 0$

$N_1 = mg - F\sin\alpha$ $F_{тр} = \mu N = \mu(mg - F\sin\alpha)$

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

во 2-ом случае.

Ox: $F - F_{тр_2} = ma_2$ Oy: $N_2 = mg \Rightarrow F_{тр_2} = \mu mg$

$F - \mu mg = ma_2$ $a_1 = a_2$, т.к. за ~~одно~~ $t_1 = t_2$ время разогнали санки до v_0.

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

$F - \cancel{\mu mg} = F\cos\alpha - \cancel{\mu mg} + \mu F\sin\alpha$ $\mu\cancel{F}\sin\alpha = \cancel{F}(1-\cos\alpha)$

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

2) После прекращения действия F на санки действуют Oy: $N = mg$ и Ox: $-ma = -\mu mg$

Отсюда $a = \mu g$ $v = v_0 - \mu g t \Rightarrow$

$0 = v_0 - \mu g T$ $T = \dfrac{v_0}{\mu g} = \dfrac{v_0 \sin\alpha}{g(1-\cos\alpha)}$

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

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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

МФТИ

4. (прод.)

3)

$-A_{23} = +\nu R T_1(2\sqrt{2}-4) = p_1 V_3 - 4p_1V_1 =$

$p_1(2^{1,5}V_1 - 4V_1) =$

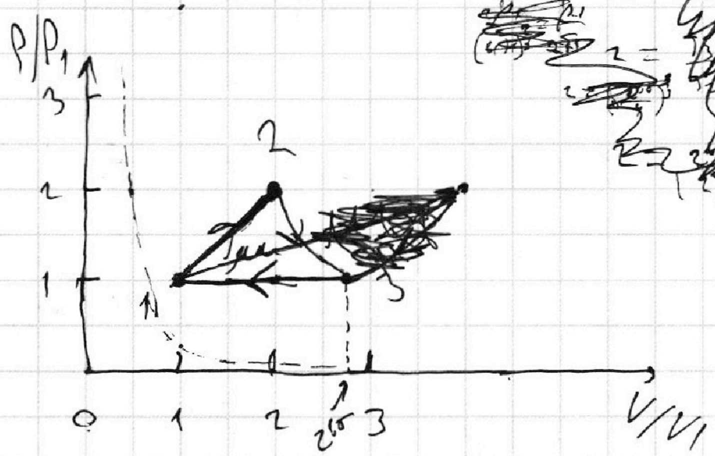
$p_1V_1 = \nu R T_1$

$p_2V_2 = 4\nu R T_1$

$4p_1V_1 = p_2V_2$

Процесс 3-1 – изобарический, т.к.

$C_p = \frac{i+2}{2}R = \frac{5}{2}R = C_{31}$



~~2-3~~ можно считать практически изобарным

$p_1 = p_3$ $\quad p_1V_3 = \nu R T_1 \cdot 2^{1,5} \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = 2^{1,5}$

$p_1V_1 = \nu R T_1$

Рассмотрим Q_{23}. $Q_{23} = R\nu T_1(\sqrt{2}-2)$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R T_1(\sqrt{2}-2) \Rightarrow A_{23}' = -2R\nu T_1(\sqrt{2}-2)$,

$p_2V_2 = 4\nu R T_1$ $\quad p_2 = \frac{4p_1V_1}{V_2}$ $\quad 4x = \frac{1}{4}$ $\quad y = \frac{1}{4x}$

для $i=3$ $\quad \gamma = \frac{5}{3}$ $\quad p_1V_1 = \frac{p_2V_2}{4}$ $\quad p_2V_2 = 4p_1V_1$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R T_1(\sqrt{2}-2) = \frac{3}{2}(p_1V_3 - p_1V_1) = \frac{3}{2}p_1(V_3 - V_1)$ может быть в координатах

$\nu R T_1(\sqrt{2}-2) = \frac{3}{2}p_1(V_3 - V_1) - 2R\nu T_1(\sqrt{2}-2)$

Не (4;1), т.к. 1-2 не изохорический. (2;2) и (4;1) $\Rightarrow$

(2;2). $2p_1 = p_2$ $\quad V_2 = 2V_1$. ~~Процесс 1-2 практически адиабатический~~. Предположим $A_{1-2} = \frac{(p_1+2p_1)(2V_1-V_1)}{2} = \frac{3}{2}RV = \frac{3}{2}\nu R T_1$.

Действительно, определена площади трапеции под графиком $\Rightarrow$ 1-2 – прямая

Ответ: 1) $A = \frac{3}{2}\nu R T_1 = 4986$ Дж; 2) $\eta = 1 - \frac{2{,}5(2^{1,5}-1)+2-\sqrt{2}}{6}$

4. Дано: $T_1 = 400K$, Найти: 1) A_{12}-? 2) η-? 3) Подр. график $\left(\frac{p}{p_1};\frac{V}{V_1}\right)$
графики, $i=3$

Решение:

1) ~~$C_p = \frac{R(i+2)}{2} = \frac{5}{2}R$~~ ~~$T_1 = 400K$~~ $T_2 = 4T_1$

$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2}\nu R(4T_1 - T_1) = \frac{9\nu RT_1}{2}$

$Q_{1-2} = C_{1-2}\nu\Delta T_{1-2} = 2R\cdot\nu\cdot 3T_1$ 1-й з-н. термодинамики

$Q = A' + \Delta U \Rightarrow A_{12} = 6R\nu T_1 - \frac{9}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{600\cdot 8{,}31}{2} =$

4986 Дж.

$\times\ 8{,}31 \cdot 600 = 4986$

2) $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_н}$ $Q_x = Q_{23} + Q_{31}$

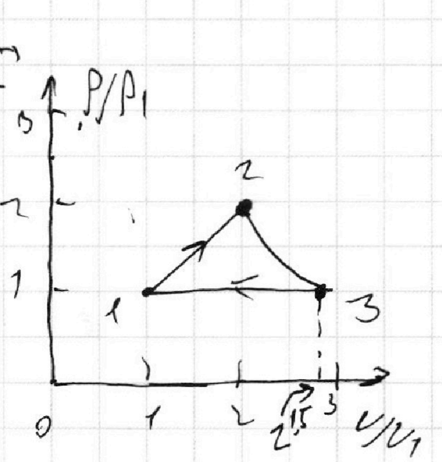
$Q_н = Q_{12} + 0$

$Q_{23} = C_{23}\nu(2^{1,5}T - 4T) = \nu T(\sqrt{2} - 2)R$

$Q_{31} = C_{31}\nu(T_1 - 2^{1,5}T_1) = 3{,}5R\cdot\nu\cdot T_1(1 - 2^{1,5})$

$\eta = 1 - \frac{3{,}5R\nu T_1(2^{1,5}-1) + \nu RT_1(2-\sqrt{2})}{6R\nu T_1} = 1 - \frac{2{,}5(2^{1,5}-1) + 2 - \sqrt{2}}{6}$

$\eta = 1 - \frac{3{,}5(2^{1,5}-1) + 2 - \sqrt{2}}{6}$



3) Очевидно, что на участке 2-3 зависимость P от V характеризуется показательной функцией (убывающей); ~~Причём, $V_3 = 2^{1,5}$~~ Также можно сказать что процесс практически адиабатический

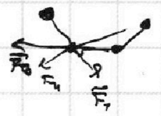
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

5 (прод.) Рассмотрим ~~движение одного из нижних шариков~~ ~~движения~~ отдельно.

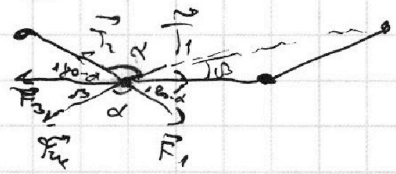
~~движение двух нижних шариков~~



~~$F_{гр.} = \frac{kq^2}{2b^2} + \frac{kq^2}{8b^2} = \frac{5kq^2}{8b^2}$~~

~~$t = \frac{m\upsilon \cdot b^2}{5kq^2}$~~ ~~$l = \frac{\upsilon^2 m b^2}{10kq^2}$~~

~~Движение одного из нижних шаров ... равномерное, с приложенной к нему $F_{гр.}$, ... скорость~~



3) $d =$

Ответ: 1) $T = \frac{kq^2}{b^2}\left(\frac{\sqrt{2}}{4}+1\right)$ 2) $\upsilon = \sqrt{\frac{kq^2}{2mb}\left(\frac{4-3\sqrt{2}}{2}\right)}$ это b

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!

МФТИ

5 (прод.) $W'_{пот.2} = W'_{пот.3}$ (симметрия)

$$W'_{пот.2} = \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b}\right) = \frac{5kq^2}{2b}$$

φ_{12} φ_{32} φ_{42}

$$W'_{пот.} = \left(\frac{22kq^2}{6b} + \frac{10kq^2}{2b}\right)\cdot\frac{1}{2} = \frac{kq^2}{b}\cdot\frac{52}{6} = \frac{26}{2\cdot 3}\frac{kq^2}{b} = \frac{13kq^2}{3b}$$

$$\Delta W_{пот.} = \frac{13kq^2}{3b} - \frac{kq^2}{b}(2+\sqrt{2}) = -\frac{kq^2}{b}\left(\frac{13}{3} - 2 - \sqrt{2}\right) =$$

$$-\frac{kq^2}{b}\left(\frac{7}{3} - \sqrt{2}\right)$$ За счёт ~~за~~ уменьшения пот. энергии увеличилась $E_{кин}$.

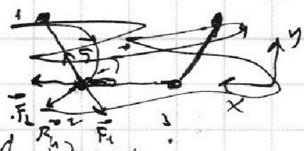
ЗСЭ:

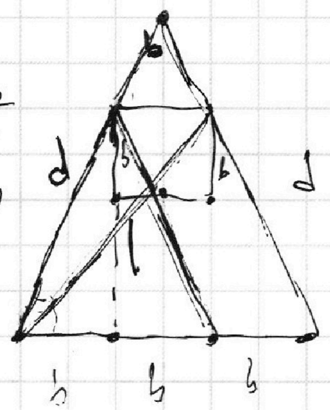
т.к. шариков 4 и $v_1 = v_2 = v_3 = v_4$

$$-\frac{kq^2}{b}\left(\frac{7}{3} - \sqrt{2}\right) + \frac{4\cdot mv^2}{2} = 0$$

$\Delta W_{кин}$, $W_{кин,0} = 0$, $W_{кин,1} = \frac{4mv^2}{2}$

$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{b\cdot 2m}\left(\frac{7-3\sqrt{2}}{3}\right)}$$





3) ~~Фигура~~ 2:

~~Отв: $2b\cdot(b+l) = b\cdot b\cdot(b+l) + 2\cdot$~~

~~Посчитаем площади фигур на~~ рисунке: $\frac{(3b+b)\cdot(b+l)}{2} = b(b+l) + \frac{(b+l)b}{2}$, $l =$

~~Возьмём ... изначально ... шара.~~

Нач систему. ~~Видно, что они будут двигаться прямолинейно.~~ И ~~равнодействующая~~ $\Rightarrow$ так же будут сближаться и по окончании

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

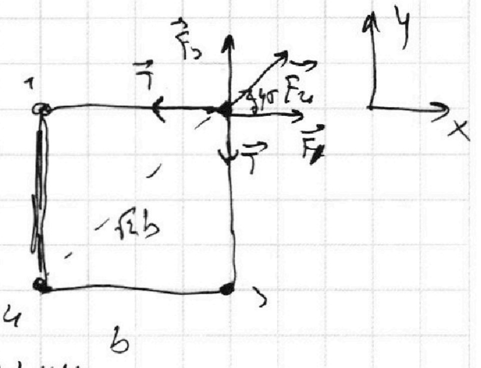
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

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

МФТИ

5. Дано: b, m, q. Найти: 1) T-? 2) v-? 3) d-?

Решение:



1) $|F_1| = |F_3| = \dfrac{kq^2}{b^2}$

$F_4 = \dfrac{kq^2}{2b^2}$ T всех нитей

равны по модулю в силу симметрии.

рассмотрим шар 2.: Ox: $F_4 \cdot \cos 45 + F_1 = T$

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

2) Когда шарики будут находится на одной прямой, их скорости будут равны ($F_{эл.}$ будут действовать только вдоль прямой $\Rightarrow$ их будут компенсировать T нитей).

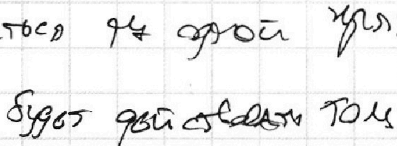
Найдем потенциальную энергию системы. Она равна сумме $W_{пот.}$ в каждой точке (точнее - шар.).

В силу симметрии ~~потенциальная~~ $W_{пот.}$ в каждой вершине будет одинакова $\Rightarrow$ нам нужно найти одну и умножить на $\frac{4}{2}$ (кол-во вершин)

$$W_{пот.2} = (\varphi_{12}+\varphi_{32}+\varphi_{42})q = \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}}\right) = \frac{kq^2}{b}\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$\varphi_{12} = \varphi_{32} = \dfrac{kq}{b}$ $\varphi_{42} = \dfrac{kq}{b\sqrt{2}}$ $W_{пот.} = \dfrac{kq^2}{b}\left(1+\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)\dfrac{4}{2}$

За счет изм. $W_{пот.}$ изменится $W_{кин}$ шариков.



$$W'_{пот.} = \frac{\sum_{i=1}^{4} W'_{пот.i}}{2} \qquad W'_{пот.1} = \left(\frac{kq^2}{3b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{b}\right) = \frac{11kq^2}{6b} = W'_{пот.4} \text{ (симметрия)}$$

φ_{41} φ_{31} φ_{21}