



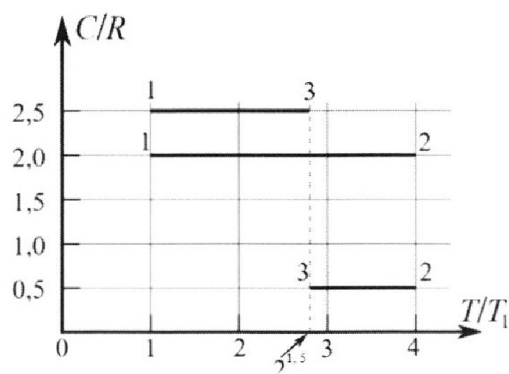
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

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



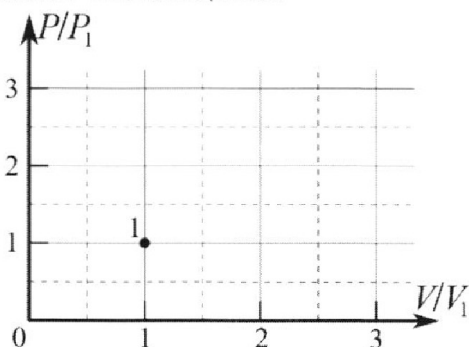
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



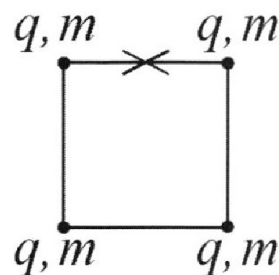
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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.

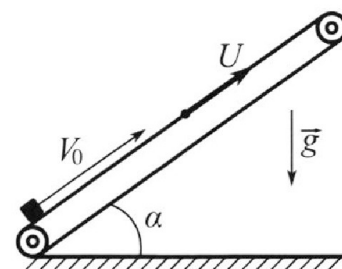
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.

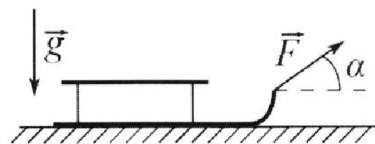
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.



1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

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

1. Дано: $T=2c$ Найти: 1) V_0 ? 2) h_{max} ?

$$S=20m$$

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

$$V_0 - gT = 0 \quad V_0 = gT = 20 \frac{m}{c}$$

2) $x = V_0 \cos \alpha t$ $y = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$ — уравнения движения мяча.

$S = V_0 \cos \alpha t$, где t — время полета до удара о землю.

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

$$h_{max} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} \quad h_{max} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2} (1 + \tan^2 \alpha)$$

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

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

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

$$h_{max} = \frac{-g S^2 \tan^2 \alpha}{2 V_0^2} + S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2}$$

Парабола с $\alpha < 0$ (ветвь вниз) $\Rightarrow$

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

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

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!

2) (прод.) Заметим, что $(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 1$ и что груз начнет спускаться по тому же пути $S = 1 \text{ м}$ обозначим $v = v_0 - at$. $v_0 = at$ $t = 0,4 \text{ с}$, я так же считаю $x = 0,8 \text{ м}$.
← когда $v = 0$

Когда груз начинает спускаться, $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$, но направлена она по оси x (против движения). Т.е. проекция $\vec{F}$ и $\vec{g}$ на xy уменьшится $\Rightarrow -ma_x = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$
 $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \frac{2}{3}g$ (сразу поставили для удобства).

Для выполнения условия задачи остается пройти $(S - l)$.

$$S - l = \frac{at^2}{2} \quad t = \sqrt{\frac{2(S - l)}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{\frac{2}{3}g}} = \sqrt{\frac{2}{30}} \text{ с}$$

$$T \text{ будет складываться из } t_1 \text{ и } t \Rightarrow T = t_1 + t = \left(0,4 + \sqrt{\frac{2}{15}}\right) \text{ с}$$

2) $v_k = U$, когда груз перестанет двигаться отн. лотка $\Rightarrow$
 $v_0 + U - gt = U \quad v_0 = gt \quad t = \frac{v_0}{g}$ — время, через t $v_k = U$

Ускорение при этом так же равно $a = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = g$

$$L = (v_0 + U)t - \frac{gt^2}{2} = \frac{(v_0 + U)v_0}{g} - \frac{gv_0^2}{g^2} =$$

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

3) Скорость коробки в ЛДБ. с тем же значением g , когда $|v_k| = U$ т.е. $v_{\text{абс.}} = v_k + U \Rightarrow$ в направлении на Ox : $0 = v_k + U$
 $v_k = -U$

Т.е. движение лотка не имеет на ускорение груза $\Rightarrow$ после момента t и U (когда груз остановился отн. лотка), он начнет спускаться вниз отн. лотка с $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \frac{2}{3}g$
 ~~$v_0 = 0$~~ $v - \frac{2}{3}gt_1 = 0 \quad v = \frac{2}{3}gt_1 \quad t_1 = \frac{3}{2} \frac{v}{g}$

За это время груз пройдет $l = U \cdot t_1 - \frac{\frac{2}{3}g \cdot t_1^2}{2} = \frac{U^2}{3g} - \frac{2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot U^2}{10 \cdot 3 \cdot g^2}$
 $\frac{4 \cdot 5}{20} - \frac{20}{60} = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \text{ м}$



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!

2. (прод.) Тогда за всё время до остановки груза траектор $S = L + l$, где L — расстояние из п. 2.

$$\text{Тогда } H = (L + l) \sin \alpha = \left(\frac{4^2}{5} + \frac{1^2}{3} \right) \frac{4}{5} = \left(\frac{12 + 5}{15} \right) \frac{4}{5} = \frac{17 \cdot 4}{65} = \frac{68}{65} \text{ м}$$

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

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

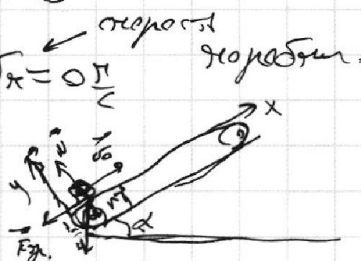
2. Дано: $\sin \alpha = 0,8$, $\mu = \frac{1}{3}$

Найти: 1) T , если $v_0 = 4 \frac{m}{s}$ и $S = 1 м$

2) L , $v_0 = 4 \frac{m}{s}$; $v = 2 \frac{m}{s}$ 3) H при $v_k = 0 \frac{m}{s}$

Решение:

1) ~~Рассмотрим ось x вдоль~~
лестницы и Oy перпен. ей.



Тогда силы, действующие на груз: $a_x: -ma_z - F_{fr} - mg \sin \alpha$
 $a_y: 0 = N - mg \cos \alpha$ $N = mg \cos \alpha$ $F_{fr} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$

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

Используя уравнения движения: $x = v_0 t - \frac{a t^2}{2}$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,6^2} =$$

$$0,8$$

(по определению
Тригонометрии).

Найдем время движения:

$$S = v_0 T - \frac{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) T^2}{2}$$

$$\frac{T^2 - v_0 T \cdot 2}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} + \frac{2S}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = 0$$

$$T_{1,2} = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} \pm \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)^2} - \frac{2S}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}}$$

Координата груза будет равна S в первый раз при падении
и второй - при скачке. Мы интересуемся первым случаем - T

$$T = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gS(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = 4 - \sqrt{16 - 20\left(\frac{1}{3} + \frac{4}{5}\right)}$$

$$v_0 = 4$$

$$t = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = 2,4$$

$$x = 0,4 - \frac{10 \cdot 0,16}{x} = 0,16 - 0,8208$$

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!



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

Решение:

1) Пропускаем цилиндр в 1-ом случае:

$$Ox: F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = ma_1$$

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

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

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

Во 2-ом случае:

$$Ox: F - F_{\text{тр}2} = ma_2 \quad Oy: N_2 = mg \Rightarrow F_{\text{тр}2} = \mu mg$$

$$F - \mu mg = ma_2$$

$a_1 = a_2$, т.к. $t_1 = t_2$ и v_0 одинаковы
следовательно v_0 .

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

$$F - \mu mg = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha \quad \mu F \sin \alpha = F(1 - \cos \alpha)$$

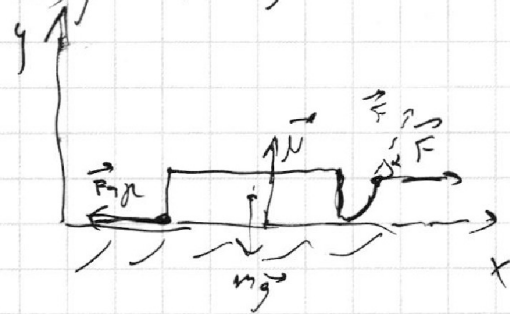
$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

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

$$\text{Поскольку } a = \mu g \quad v = v_0 - \mu g t \Rightarrow$$

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

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



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



4. (прод.)

3).

$$p_1 V_1 = \sqrt{2} T_1$$

$$p_2 V_2 = 4 \sqrt{2} T_1$$

$$4 p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Процесс 3-В -

изобарический, т.е.

$$C_p = \frac{i+2}{2} R = \frac{5}{2} R = C_{m1}$$

$$p_1 = p_3 \quad p_1 V_3 = \sqrt{2} T_1 \cdot 2^{1.5} \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = 2^{0.5}$$

$$p_1 V_1 = \sqrt{2} T_1$$

$$\text{Рассмотрим } Q_{23}. \quad Q_{23} = 0,5 R V T_1 (\sqrt{2} - 2)$$

$$\Delta U_{23} = 3 \sqrt{2} R T_1 (\sqrt{2} - 2) \Rightarrow A'_{23} = -2 R V T_1 (\sqrt{2} - 2),$$

$$p_2 V_2 = 4 \sqrt{2} R T_1$$

$$p_2 = \frac{4 p_1 V_1}{V_2}$$

$$4x = \frac{1}{y} \quad g = \frac{1}{x}$$

$$g_{12} = 3 \quad f = \frac{5}{3}$$

$$\Delta U_{23} = 3 \sqrt{2} R T_1 (\sqrt{2} - 2) = 3(p_2 V_2 - p_1 V_1) = 3 p_1 (V_2 - V_1) \quad \text{который}$$

$$\sqrt{2} R T_1 (\sqrt{2} - 2) = 3 p_1 (V_2 - V_1) - 2 R V T_1 (\sqrt{2} - 2)$$

связь в координатах

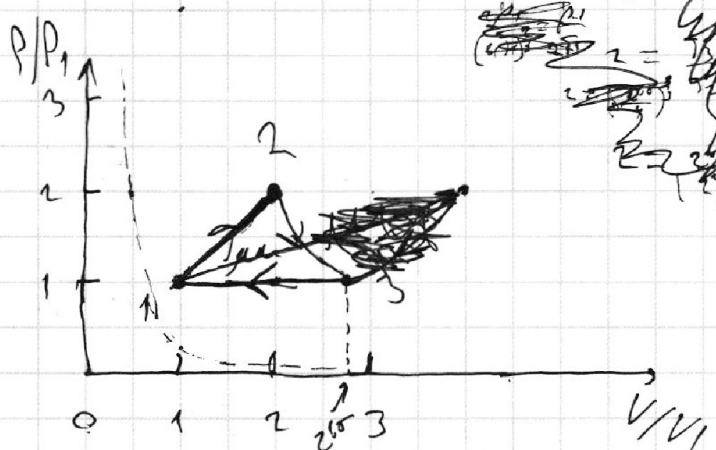
Me(4;1), т.е. 4 и 1 изохорический. (2;2) и (4;1) $\Rightarrow$

(2;2). $2 p_1 = 3 p_2 \quad V_2 = 2 V_1$. Процесс 2-3 изобарический

адиабатический. Продолжим $A_{23} = \frac{3}{2} p_1 (V_2 - V_1) = \frac{3}{2} p_1 V_1 = \frac{3}{2} \sqrt{2} R T_1$.

Действительно, если процесс 1-2 изобарический, то процесс 2-3 адиабатический $\Rightarrow$ 1-2-процесс

$$\text{Отвст: 1) } A_{23} = \frac{3}{2} \sqrt{2} R T_1 = 4986 \text{ Дж; 2) } \eta = 1 - \frac{2,5(2^{1.5} - 1) + 2 - \sqrt{2}}{6}$$



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!

4. Дано: $T_1 = 400\text{K}$, Матн: 1) A_{12} ? 2) η ? 3) Погр. градиент
 графини, $i=3$ $(\frac{P}{P_1} \cdot \frac{V}{V_1})$

Решение:

$$1) \cancel{Q_{12} = \frac{P_{12}}{2} = \frac{5R}{2} T_1} \quad T_1 = 400\text{K} \quad T_2 = 4T_1$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} NR(4T_1 - T_1) = \frac{9}{2} NR T_1$$

$$Q_{12} = C_{V2} \Delta T_{12} = 2 R \cdot V \cdot 3T_1 \quad \text{т.к. 3-х. термодинамики}$$

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

$$4986 \text{ Дж.}$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \times 600 \\ \hline 4986 \end{array}$$

$$2) \eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_{12}} \quad Q_x = Q_{23} + Q_{31}$$

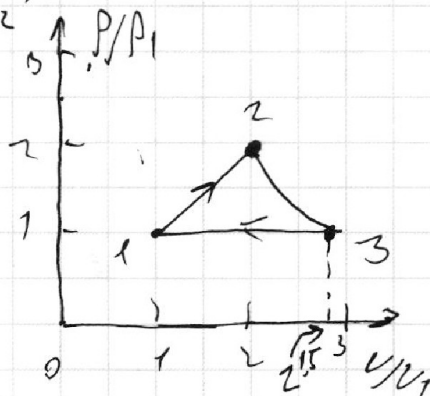
$$Q_{12} = Q_{23} + Q_{31}$$

$$Q_{23} = C_{V3} V (2^{1,5} T - 4T) = V T (\sqrt{2} - 2) R$$

$$Q_{31} = C_{V1} V (T_1 - 2^{1,5} T_1) = 2,5 R \cdot V \cdot T_1 (1 - 2^{1,5})$$

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

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



3) Очевидно, что на участке 2-3 заданная

равн. характеризуется
 показательной функцией
 (убывающей) $P_{23} = 2^{1,5} P_2$

Также можно
 сказать, что процесс изобарический

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!

5 (прод.) $W_{\text{пот.2}} = W_{\text{пот.3}}$ (симметрия)

$$W_{\text{пот.2}} = \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} \right) = \frac{5kq^2}{2b}$$

↑ ↑ ↑
 φ_{12} φ_{13} φ_{14}

$$W_{\text{пот.1}} = \left(\frac{2kq^2}{6b} + \frac{6kq^2}{2b} \right) = \frac{kq^2}{b} \cdot \frac{5}{3} = \frac{26kq^2}{3b} - \frac{13kq^2}{3b}$$

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

$$- \frac{kq^2}{b} \left(\frac{4}{3} - \sqrt{2} \right) \quad \text{Знак $\Delta W_{\text{пот.}}$ отрицательный, значит потенциал увеличивается.$$

ЗСЭ:

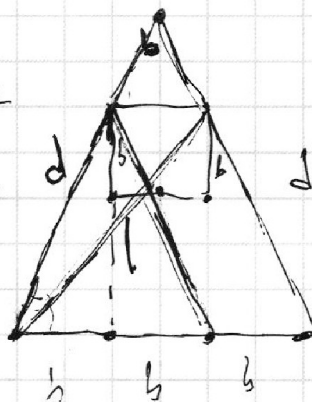
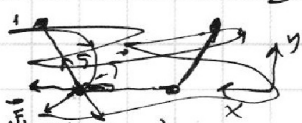
$$- \frac{kq^2}{b} \left(\frac{4}{3} - \sqrt{2} \right) + \frac{4 \cdot m v^2}{2} = 0$$

$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{b \cdot 2m} \left(\frac{4 - 3\sqrt{2}}{3} \right)}$$

↑
 $\Delta W_{\text{мех.}} = 0$
 $W_{\text{мех.1}} = \frac{4 \cdot m v^2}{2}$

3) Ответ:

$$2b \cdot (b+1) = \frac{1}{2} b(b+b+1) + 2$$



Поскольку площадь равна
формуле:

$$(3b+b) \cdot (b+1) = \frac{1}{2} b(b+1) + \frac{1}{2} (b+1)b$$



Вопрос: как
изначально
предполагалось
показать
как следует.

Вопрос: как следует доказать, что
равенство верно? Так же следует доказать, что
на самом деле

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!



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

Решение:

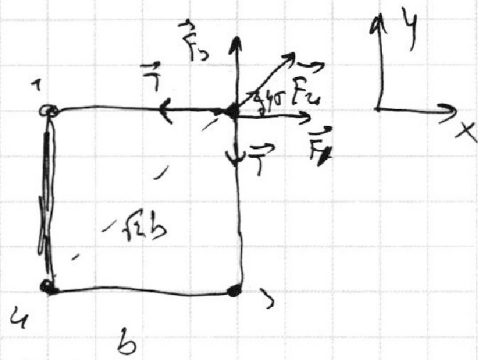
$$1) |F_A - F_B| = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$F_{11} = \frac{kq^2}{2b^2} \quad T \text{ всех нитей}$$

равны по модулю и силу симметричны.

рассмотрим шар 2, $\therefore Q_x: F_4 \cdot \cos 45^\circ + F_1 = T$

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



2) Если шары движутся друг к другу, значит есть сила притяжения, их скорости будут равны (F₁₁ будет действовать только вдоль прямой $\Rightarrow$ их будут компенсировать T нитями).

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

В силу симметрии потенциалы $W_{пот.}$ в каждой вершине будут

одинаковыми $\Rightarrow$ нам нужно найти одну и умножить на $\frac{4}{2}$ (кол-во шаров)

$$W_{пот.} = 2 \cdot (W_{12} + W_{13} + W_{14}) = \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} \right) \cdot 2 = \frac{kq^2}{b} \left(2 + \sqrt{2} \right)$$

$$W_{12} = W_{13} = \frac{kq^2}{b} \quad W_{14} = \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} \quad W_{пот.} = \frac{kq^2}{b} \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

За счет изм. $W_{пот.}$

изменяется $W_{кин.}$ шаров

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

