



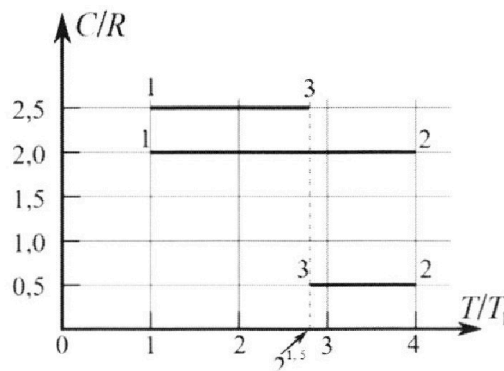
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



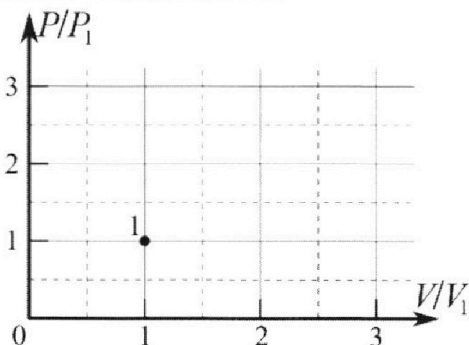
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



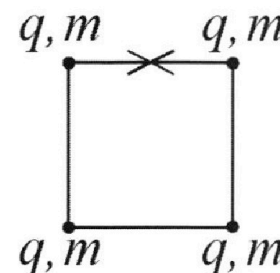
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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.

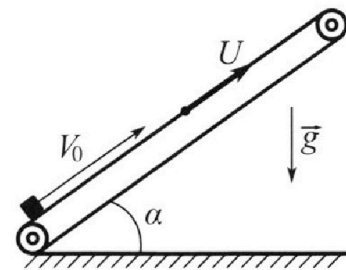
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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. Спротивление 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.

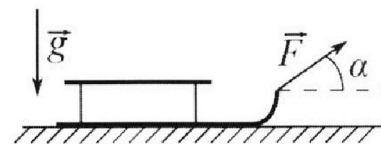
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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



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.

$S = v_0 \cos \alpha t$, $2g_0 t$ — время полета до удара о землю.

$$h_{max} = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \quad \leftarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$h_{max} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \quad h_{max} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha)$$

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

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

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

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

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

$$h_{max} = \frac{-S \cdot v_0^2}{-g S^2} = \frac{v_0^2}{g S} = \frac{400}{200} = 20 m$$

макс. значение принимает в вершине

Ответ: 1) $v_0 = 20 \frac{m}{c}$ 2) $h_{max} = 20 m$.

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

МФТИ



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.) Заметил, что $(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 1$ и что груз начнет спускаться по тому же пути $S = 1 \text{ м}$ обозначим как l
 $v = v_0 - at$ $v_0 = at$ $t = 0,4 \text{ с}$, я так же сразу $x = 0,8 \text{ м}$.
 ← 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{v} на z направлены $\Rightarrow -ma_z = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$
 $a \geq g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \geq \frac{2}{3}g$ (сразу поставили для удобства).

Для выполнения условия ускорения должно быть $(S-1)$.

$$S-1 = \frac{at^2}{2} \quad t = \sqrt{\frac{2(S-1)}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{\frac{2}{3}g}} = \sqrt{\frac{2}{30}} \text{ с}$$

Т.е. груз останавливается из t и $t \Rightarrow T = t_1 + t = (0,4 + \sqrt{\frac{2}{15}}) \text{ с}$

2) $v_k = U$, когда груз перестанет двигаться отн. лотка \Rightarrow
 $v_0 + U - gt = U$ $v_0 = gt$ $t = \frac{v_0}{g}$ - время, через $t=0$ $v_{\text{отн}} = U$

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 ЛАБ. сА становится равной нулю, когда $v_{\text{отн}} = 0$ т.е. $v_{\text{отн}} = v_k + U \Rightarrow$ 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 $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \frac{2}{3}g$
 ~~$v_0 = 0$~~ $v - \frac{2}{3}gt = 0$ $v = \frac{2}{3}gt$ $t_1 = \frac{3v}{2g}$

За это время груз пройдет $l = v \cdot t_1 - \frac{2}{3}g \cdot t_1^2 = \frac{v^2 \cdot 3}{2g} - \frac{2}{3}g \cdot \frac{9v^2}{4g^2} = \frac{3v^2}{2g} - \frac{3v^2}{2g} = 0$

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

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<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!

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

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

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

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!

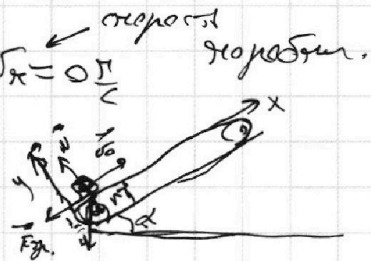
2. Дано: $\sin \alpha = 0,8$, $\mu = \frac{1}{3}$

Масса: 1) T , если $v_0 = 4 \frac{m}{c}$ и $S = 1 мБ$

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

Решение:

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



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

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

Уравнение движения груза: $x = v_0 t - \frac{a t^2}{2}$

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

0,8

(по определению $\tan \alpha = 0,6$).

Положим ~~равно нулю~~ ~~значение~~:

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

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

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

~~Координата груза будет равна S в первый раз при повороте и второй - при сходе. Так как требуется первый случай - знак~~

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

$v_0 = 4$

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

$x = 0,4 - \frac{10 \cdot 0,16}{x} = 1,6 - 0,8208$

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) Пренебрежим сил трения в 1-ом случае:

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

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

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

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

Во 2-ом случае.

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

$$F - \mu mg = ma_2 \quad a_1 = a_2, \text{ т.к. } t_1 = t_2 \text{ и } s_1 = s_2 \text{ (или } v_0 \text{)}$$

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

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

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

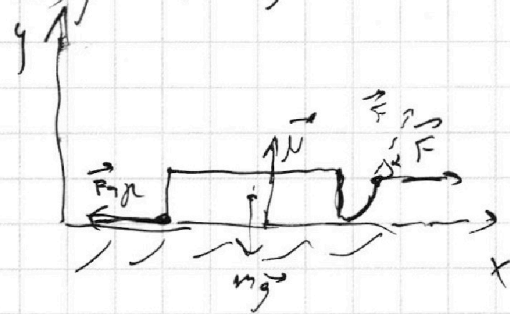
2) После пренебрежения силой трения F на самом го игольце

$$Oy: N = mg \text{ и } Ox: -ma = -\mu mg$$

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

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

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

3).

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = 4 \nu R T_1$$

$$4 p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Процесс 3-В-

изобарический, т.е.

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

$$p_1 = p_2 \quad p_1 V_2 = \nu R T_1 \cdot 2^{1.5} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 2^{0.5}$$

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

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

$$p_2 V_2 = 4 \nu R T_1$$

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

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

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

$$i = 5 \quad f = \frac{5}{2}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R T_1 (\sqrt{2} - 2) = 3 p_1 V_2 - p_1 V_1 = 3 p_1 (V_2 - V_1)$$

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

которое
обито в
координатах

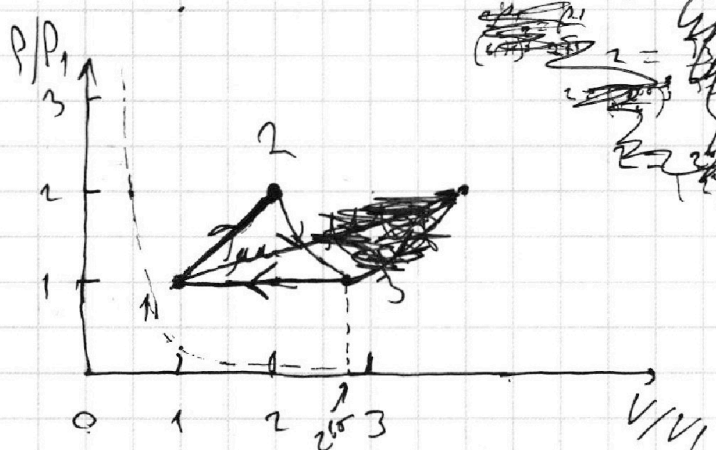
Me(4;1), т.е. t-2 изохорический. (2;2) и (4;1) =>

(2;2). $2 p_1 = 3 p_2 \quad V_2 = 2 V_1$. Процесс 03 изобарический

адиабатический. Продолжим $A_{12} = \nu R T_1 (2 - 1) = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1$.

Действительно, масса газа постоянна по 3-му закону => t-2-изохорический

От вет: 1) $A_2 = \frac{3}{2} \nu R T_1 = 4986 \text{ Дж}$; 2) $\eta = 1 - \frac{2.5(2^{1.5} - 1) + 2 - \sqrt{2}}{6}$



~~Handwritten scribbles and calculations on the right side of the page.~~

~~Handwritten notes: 2-3 изобарический процесс, т.е. p2 = p3.~~

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: $T_1 = 400\text{K}$, $M_{\text{атм}}$: 1) $A_{12}=?$ 2) $\eta=?$ 3) Попр. график
График, $i=3$ $\left(\frac{P}{P_1}, \frac{V}{V_1}\right)$

Решение:

1) $G = \frac{P_1 V_1}{2} = \frac{5R}{2} T_1$ $T_1 = 400\text{K}$ $T_2 = 4T_1$
 $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (4T_1 - T_1) = \frac{9}{2} \nu R T_1$

$Q_{12} = C_{V2} \Delta T_{12} = 2 R \cdot \nu \cdot 3T_1$ \leftarrow и $3 \nu R$ термодинамическая

$Q = A' + \Delta U \Rightarrow A_{12} = 6 R \nu T_1 - \frac{9}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{600 \cdot 8,31}{2} = 4986 \text{ Дж}$

$\frac{600 \cdot 8,31}{2} = 4986$

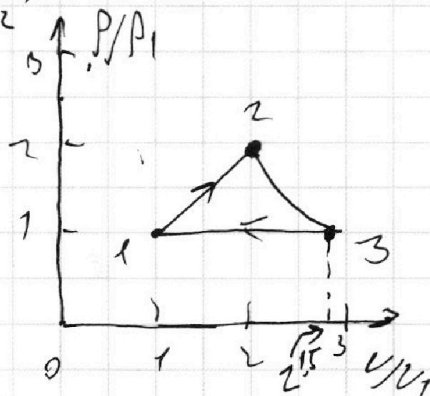
2) $\eta = 1 - \frac{Q_{\text{от}}}{Q_{\text{кв}}}$ $Q_{\text{от}} = Q_{23} + Q_{31}$
 $Q_{\text{кв}} = Q_{12} + Q_{23}$

$Q_{23} = C_{V3} \nu (2^{1,5} T_1 - 4T_1) = \nu R T_1 (\sqrt{2} - 2)$

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

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

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



3) Очевидно, что на участке 2-3 задана

равнобаротная процесс характеризуется показательной функцией (убывающей)

Тогда, $P_2 = 2^{1,5} P_1$ 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



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

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

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

\uparrow \uparrow \uparrow
 φ_{12} φ_{13} φ_{14}

$$W_{пот.1} = \left(\frac{2\pi q^2}{6b} + \frac{6\pi q^2}{2b} \right) = \frac{\pi q^2}{b} \cdot \frac{5}{3} = \frac{5\pi q^2}{3b}$$

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

$$= \frac{\pi q^2}{b} \left(\frac{4}{3} + \sqrt{2} \right)$$

Знак $\Delta W_{пот.}$ положительный, пот. энергия увеличивается.

ЗСЭ:

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

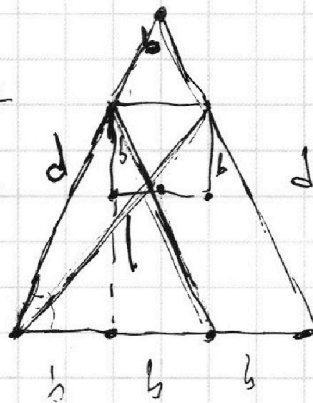
т.к. шариков 4 и $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi q^2}{b \cdot 2m} \left(\frac{4}{3} + \sqrt{2} \right)}$$

$\Delta W_{пот.}$
 $\Delta W_{пот.} = 0$
 $W_{пот.1} = \frac{4 \cdot m \sigma^2}{2}$

3) Ответ:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi q^2}{b \cdot 2m} \left(\frac{4}{3} + \sqrt{2} \right)}$$



Посчитаем площадь поверхности
русыми:

$$(3b+b) \cdot (b+h) = b(b+h) + (b+h)b$$

Вопрос: как
использовать
формулу
для
расчета
площади
поверхности.

Вывод: формула для расчета площади поверхности.
 $\Delta W_{пот.} = 0$ так же будет считаться $\Delta W_{пот.}$ и $\Delta W_{пот.}$

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!



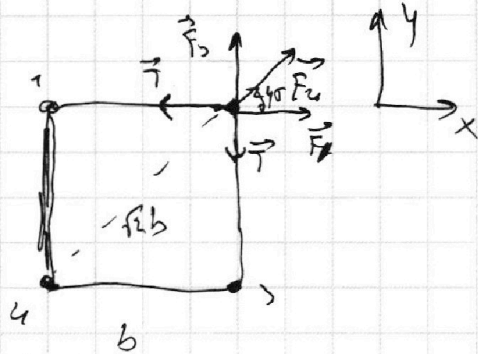
5. Дано: b, m, q . Найти: 1) T ? 2) v ? 3) d ?

Решение:

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

$$F_{i1} = \frac{kq^2}{2b^2} \quad \text{всех ионов}$$

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 бы шары были, например, на одной прямой, их скорости будут равны (F_{i1} будет действовать только вдоль прямой \Rightarrow их будут компенсировать T ионы).

Найдем потенциальную энергию системы. Она равна сумме W_{i1} в каждой точке (точка - шар).

В силу симметрии достаточно W_{i1} в каждой вершине будет

одинакова \Rightarrow мы суммируем W_{i1} и умножим на $\frac{4}{2}$ (шаров)

$$W_{i1} = \frac{1}{2} (W_{12} + W_{13} + W_{14}) = \left(\frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} \right) = \frac{kq^2}{b} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

$$W_{12} = W_{13} = \frac{kq^2}{b} \quad W_{14} = \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} \quad W_{i1} = \frac{kq^2}{b} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \frac{4}{2}$$

За счет изм. W_{i1} .

изменяется W_{i1} шаров

$$W_{i1} = \sum_{i=1}^4 W_{i1} = \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} + \frac{kq^2}{b} = \frac{11kq^2}{5Gb} = W_{i1,4} \text{ (симметрия)}$$

