



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



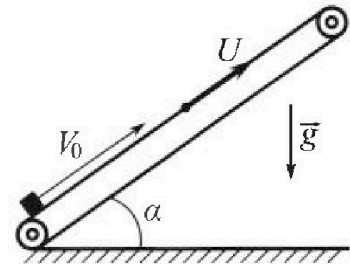
1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за  $T = 2$  с.

- 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<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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?

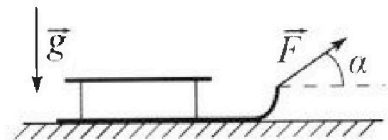
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 2$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 4$  м/с.

- 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/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.



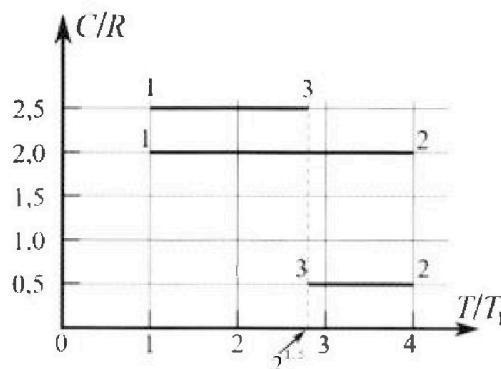
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



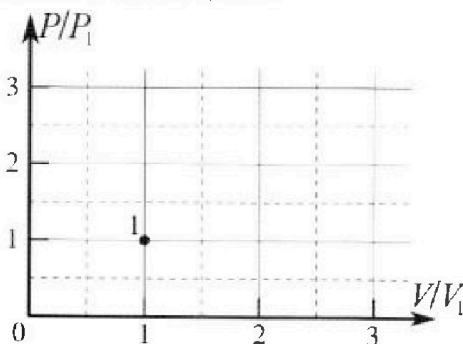
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 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  $A_1$  газа в процессе 1-2.

2) Найдите КПД  $\eta$  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.



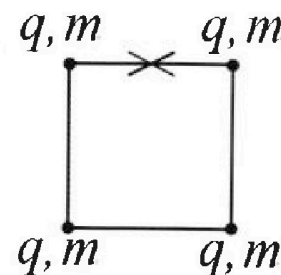
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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 вверху (на рисунке)?



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

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:

$$T = 2 \text{ с}$$

$$S = 20 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

1)  $v_0 = ?$

2)  $H = ?$

Решение:

1)  $v_x = v_0 - at;$

$$0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT;$$

и  $v_0 = 10 \cdot 2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

2)  $\frac{1}{2} g t^2 = v_0 t + \frac{a t^2}{2} \Rightarrow H = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2}; \quad (1)$

$$\Delta x = v_0 t + \frac{a t^2}{2} \Rightarrow S = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha} \quad (2)$$

Подставим (2) в (1):  $H = \frac{v_0 \sin \alpha S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha};$

$$H = S \operatorname{tg} \alpha - \left( \frac{g S^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} + \frac{g S^2 \cos^2 \alpha}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \right) \text{ м};$$

$$-S \operatorname{tg} \alpha + H = - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2};$$

$$\frac{g S^2}{2 v_0^2} \operatorname{tg}^2 \alpha - S \operatorname{tg} \alpha + \frac{g S^2}{2 v_0^2} + H = 0 \text{ - получим кв. уравнение,}$$

т.к. максимальной высоты мяч достигает только при  
одном значении  $\alpha$ , то  $D = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} - 4 \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \left( \frac{g S^2}{2 v_0^2} + H \right) = 0 \Leftrightarrow \frac{2gH}{v_0^2} = 1 - \frac{g^2 S^2}{2v_0^4};$$

$$H = \frac{v_0^4 - g^2 S^2}{2g v_0^2}; \quad H \stackrel{H}{=} v_0^2 \stackrel{v_0^2 = gT}{=} H = \frac{g^2 T^4 - S^2}{2g T^2};$$

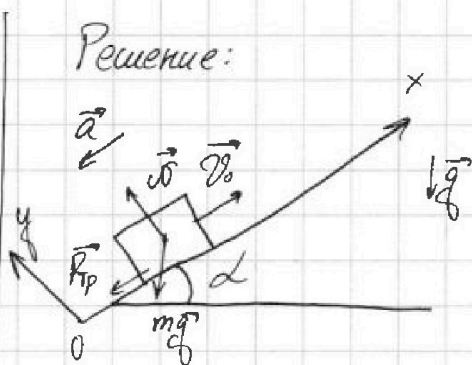
$$H = \frac{10^2 \cdot 2^4 - 20^2}{2 \cdot 10 \cdot 2^2} = 15 \text{ м.} \quad \text{Ответ: } v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}; H = 15 \text{ м.}$$



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:  
 $\sin d = 0,8$   
 $v_0 = 4 \frac{m}{c}$   
 $\mu = \frac{1}{3}$   
 $l = 1m$   
 2)  $u = 2 \frac{m}{c}$



По следствию из II з. Ньютона:

$$O_y: N - mg \cos d = 0 \Rightarrow N = mg \cos d \Rightarrow$$

$\Rightarrow$  по ф. Ампера-Кулона:  $F_{тр} = \mu mg \cos d$ .

$$O_x: ma = -mg \sin d - F_{тр};$$

$$ma = -mg \sin d - \mu mg \cos d, \text{ где}$$

$$\cos d = \sqrt{1 - \sin^2 d}; \quad \cos d = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = 0,6$$

$$a = g(\sin d + \mu \cos d). \quad (1)$$

По полезной формуле:  $S = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2a} \Rightarrow$

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

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

$$D = v_0^2 - 4 \cdot \frac{g(\sin d + \mu \cos d)}{2} \cdot S =$$

$$= v_0^2 - 2gS(\sin d + \mu \cos d);$$

$$\begin{cases} T = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gS(\sin d + \mu \cos d)}}{g(\sin d + \mu \cos d)}; & \text{- первый раз на } x=S; \\ T = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 - 2gS(\sin d + \mu \cos d)}}{g(\sin d + \mu \cos d)}; & \text{- второй раз на } x=S; \end{cases}$$



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!

нам подходит только первый ответ с  
минусом, т.к. требуется найти время за  
перемещение на  $S$ :

$$T = \frac{v_0 - \sqrt{2gS(\sin d + \mu \cos d) + v_0^2}}{g(\sin d + \mu \cos d)}$$

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

- отрицательное <sup>ое</sup> выражение под корнем  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  тело не достигнет координаты  $x=S$ , найдём

максимальную координату  $x_{\max}$ :

$$v_x = v_0 - at, \Rightarrow 0 = v_0 - g(\sin d + \mu \cos d)t, \Rightarrow$$

$$\text{Заметим, что } \sin d + \mu \cos d = 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6 = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = g \Rightarrow 0 = v_0 - gt, \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g} \quad (2)$$

$$x_{\max} = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$x_{\max} = \frac{16}{2 \cdot 10} = 0,8 \text{ м, далее тело}$$

поедет вниз, найдём время  $t_2$ , за которое оно

проедет  $S - x_{\max}$ , тогда  $T = t_1 + t_2$ :

$$S - x_{\max} = \frac{gt_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2(S - x_{\max})}{g}}$$

$$T = t_1 + t_2 = \frac{v_0}{g} + \sqrt{\frac{2(S - x_{\max})}{g}}, \quad T = \frac{4}{10} + \sqrt{\frac{2(1 - 0,8)}{10}} = 0,6 \text{ с.}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1  2  3  4  5  6  7



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

2). Все кинематические величины в лоб. системе  
отсчёта  $\Rightarrow$  ~~и~~ скорости  $u = 2 \frac{m}{c}$  коробка

достигнет, когда ~~она~~ остановится отн. ленты, тогда  
зная из предыдущего пункта время  $t_1 = \frac{v_0}{g}$  за  
которое коробка останавливается:

$$L = v_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2}, \text{ где } a = g \text{ (доказанно).}$$

$$v_1 = v_0 + u \text{ (по 3-ку сложения скоростей)}$$

$$L = (v_0 + u) \frac{v_0}{g} - \frac{v_0^2}{2g};$$

$$L = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{u \cdot v_0}{g}; \quad L = \frac{4^2}{2 \cdot 10} + \frac{2 \cdot 4}{10} = 1,6 \text{ м.}$$

$$3) \quad \sin \alpha = \frac{H}{L} \Rightarrow H = L \sin \alpha;$$

$$H = 1,6 \cdot 0,8 = 1,28 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: 1) } T = 0,6 \text{ с;}$$

$$2) L = 1,6 \text{ м;}$$

$$3) H = 1,28 \text{ м.}$$

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

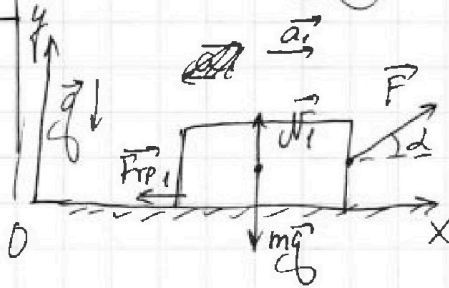
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Дано:  
 $g; v_0; t_1 = t_2; L; F$

Решение:

Первый случай:

- 1)  $\mu$ -?
- 2)  $T$ -?



По следствию из II з. Ньютона:

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

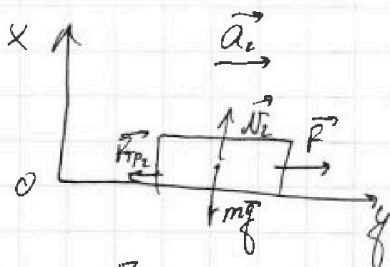
$\Rightarrow$  по  $\varphi$ . Закон Ома - Кулона:

$$F_{тр1} = \mu mg - \mu F \sin \alpha.$$

$$Ox: F \cos \alpha - F_{тр1} = ma_1;$$

$$a_1 = \frac{F}{m} \cos \alpha - \mu g + \frac{\mu F \sin \alpha}{m} \quad (1)$$

Второй случай:



По следствию из II з. Ньютона:

$$Oy: N_2 = mg \Rightarrow F_{тр2} = \mu mg;$$

$$Ox: ma_2 = F - F_{тр2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{F}{m} - \mu g \quad (2)$$



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 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!

$$t_1 = t_2; \quad v_0 = 0 + at \Rightarrow v_0 = at \Rightarrow a = \frac{v_0}{t};$$

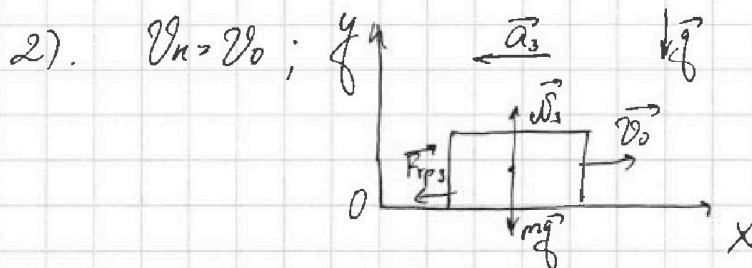
$$a \propto \frac{1}{t} \quad (\text{т.к. } v_0 = \text{const});$$

$$t_1 = t_2 \Rightarrow a_1 = a_2 \Rightarrow \frac{v_0}{t_1} = \frac{v_0}{t_2} = a_2;$$

$$(1) = (2): \quad \frac{F}{m} \cos \alpha - \mu g + \frac{\mu F \sin \alpha}{m} = \frac{F}{m} - \mu g; \quad | \cdot m$$

$$F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F \quad | \cdot \frac{1}{F}$$

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



По следствию из II з-на Ньютона:

$$O_y: N_3 = mg \Rightarrow F_{тр3} = \mu mg;$$

$$O_x: -ma_3 = -F_{тр3} \Rightarrow a_3 = \frac{\mu mg}{m} = \mu g \quad (3)$$

$$\text{С учётом } v_k = 0 \Rightarrow 0 = v_0 - a_3 T;$$

$$T = \frac{v_0}{a_3}; \quad \text{с учётом (3) а:}$$

$$T = \frac{v_0}{\mu g}, \quad \text{с учётом выражения для } \mu:$$

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

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

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!



Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль};$$

$$i = 3$$

$$T_1 = 400 \text{ K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

1)  $A_{1-2}$  - ?

2)  $\eta$  - ?

3) График  $P \sim V$ .

Решение:

$$C_{1,2} = 2R; \quad Q = C \Delta T; \quad (1)$$

От По I з. Термодинамики:

$$Q = \Delta U + A_{газ} \quad (2)$$

$$(1) - (2): \quad C \Delta T = \Delta U + A_{газ}$$

$$\text{Дал (1-2):} \quad 2R \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T + A_{газ} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{газ} = \frac{1}{2} R \Delta T$$

$$\Rightarrow A_{газ} = \frac{1}{2} R \Delta T$$

$$\text{Менделеева-Клапейрона:} \quad T = \frac{P V}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{газ} = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) - \text{формула работы газа}$$

при  $\frac{P_1}{V_1} = \text{const}$ , тогда найдём  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{R T_2}{P_2} = \frac{P_1}{P_2} \frac{R T_2}{P_1} = \frac{P_1}{P_2} V_1 \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_2 \text{ по графику } T_2 = 4 T_1 \Rightarrow A_{газ} = \frac{1}{2} R (4 T_1 - T_1) = \frac{3}{2} R T_1$$

$$A_{газ} = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 400 = 4986 \text{ Дж.}$$

$$2) \quad \eta = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2}, \text{ где } Q_1 = Q_{1,2} + Q_{1,3} \quad \text{T.K.}$$
$$\leftarrow Q_1 = Q_{2,3}$$

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 checked="" 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) Заметим, что процесс (2-3) соответствует изобарному сжатию, т.к.

$$Q = Q;$$

$$C_{2,3} \Delta T = \Delta Q_{2,3} + \Delta U_{2,3}$$

$$\frac{1}{2} R \Delta T = \Delta Q_{2,3} + \frac{3}{2} R \Delta T \Rightarrow \Delta Q_{2,3} = -R \Delta T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \text{const}; \Delta Q_{2,3} < 0$$

Для процесса (3-1):  $C_{3,1} \Delta T = \Delta Q_{3,1} + \Delta U_{3,1}$

$$\frac{5}{2} R \Delta T = \Delta Q_{3,1} + \frac{3}{2} R \Delta T$$

$$R \Delta T = \Delta Q_{3,1} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$  (3-1) - изобарное расширение.

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{2,3}|}{Q_{1,2}}, \text{ где } Q_{2,3} = Q_{1,2} + Q_{3,1}$$

$$Q_{1,2} = \Delta Q_{1,2} + \Delta U_{1,2} = \frac{3}{2} R T_1 + \frac{3}{2} R (4T_1 - T_1) = 6RT_1 > 0$$

$$Q_{2,3} = \Delta Q_{2,3} + \Delta U_{2,3} = -R(2\sqrt{2}T_1 - 4T_1) + \frac{3}{2} R(2\sqrt{2}T_1 - 4T_1) =$$
$$= \cancel{R} \cancel{R} \cancel{R} R T_1 (\sqrt{2} - 2) < 0$$

$$Q_{3,1} = \Delta Q_{3,1} + \Delta U_{3,1} = \cancel{R} R (T_1 - 2\sqrt{2}T_1) + \frac{3}{2} R (T_1 - 2\sqrt{2}T_1) =$$
$$= \cancel{R} R \frac{5}{2} R T_1 (1 - 2\sqrt{2}) < 0$$

$$\text{Значит, } \eta = 1 - \frac{|Q_{2,3}|}{Q_{1,2}} = 1 - \frac{|R T_1 (\sqrt{2} - 2) + R T_1 \frac{5}{2} (1 - 2\sqrt{2})|}{6RT_1} =$$

$$= 1 - \frac{|\sqrt{2} - 2 + \frac{5}{2} - 5\sqrt{2}|}{6} = 1 - \frac{4\sqrt{2} - \frac{1}{2}}{6} = 1 - 0,86 = 0,14$$



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!

3) При ~~AB~~  $T_2 \frac{pV}{R} \Rightarrow \Delta T = \frac{1}{R} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$ ,

Тогда:  $T_2 - T_1 = \frac{1}{R} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$ ;

~~$\Delta T_1 R = p_2 V_2 - p_1 V_1$ ;~~

~~$\frac{pV}{T} = const \Rightarrow \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1}$~~   
 ~~$\frac{4T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \Rightarrow$~~

~~$\Rightarrow p_2 V_2 = 4 p_1 V_1$~~

~~Простите, мне надо торопиться на сборы~~

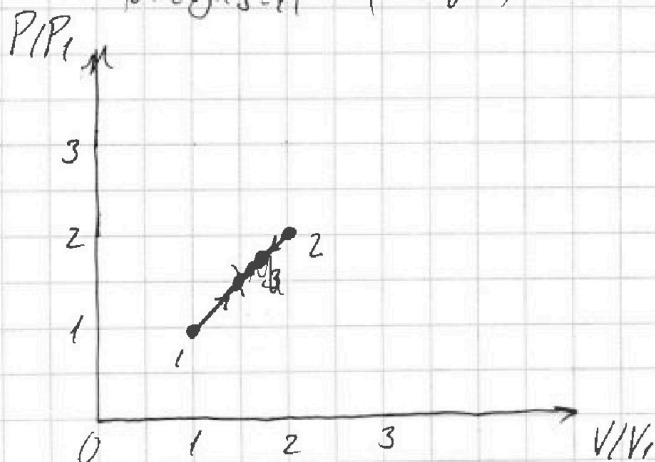
~~по астрономии, поэтому я не успел.~~

Начертим график знав, что  $A_{газ} = S_{под}$  графиком.

$A_{газ 1-2} = \frac{3}{2} R T_1 = \frac{3}{2} p_1 V_1$

$A_{газ 2-3} = \pi(2\sqrt{2}) p_1 V_1$

$A_{газ 3-1} = (1-2\sqrt{2}) R T_1 = \pi(2\sqrt{2}-1) p_1 V_1$



Ответ: 1)  $A_{1-2} = 4386 \text{ Дж}$ ; 2)  $A_{\eta} = 0,14$

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!

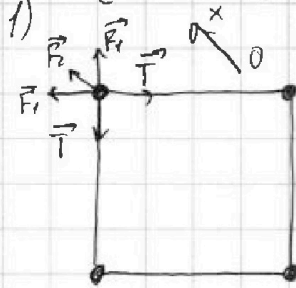


Дано:

$b; m; q; k$

- 1)  $T_0$  - ?
- 2)  $v$  - ?
- 3)  $d$  - ?

Решение:



Эта Д.С. система

симметрична: все  $T$  равны

между собой, рассмотрим

любой из шариков, здесь:

по 3-ку Кулона:

$$F_1 = k \frac{q^2}{b^2}; \quad F_2 = k \frac{q^2}{2b^2} \text{ (из т. Пифагора),}$$

Тогда по следствию из II 3-ка Ньютона:

$$\text{Ох: } 2T \sin 45^\circ = 2F_1 \sin 45^\circ + F_2$$

$$2T \frac{\sqrt{2}}{2} = 2 \cdot k \frac{q^2}{b^2} \frac{\sqrt{2}}{2} + k \frac{q^2}{2b^2}$$

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

~~2) По 3-ку сохранения энергии:~~

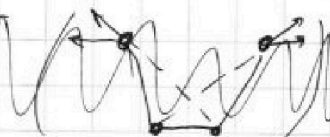
$$\cancel{E_{\text{ко}} + E_{\text{по}} = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}}$$

$$\cancel{4 \cdot k \frac{q^2}{b} + 2 \cdot k \frac{q^2}{b\sqrt{2}} = 4k \cdot \frac{q^2}{b} + 2k \frac{q^2}{2b} + k \frac{q^2}{3b} + \frac{4m v^2}{2}}$$

~~Конечное состояние:~~



Т.к. верхаие шары будут отталкивать  
и действовать друг на друга



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!

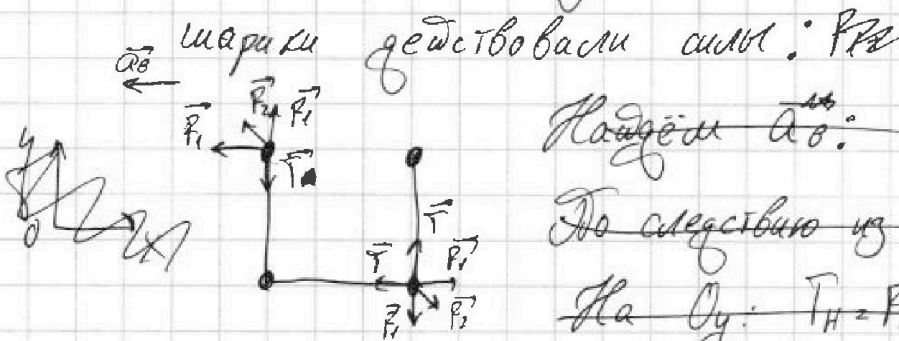


$$4k \frac{q^2}{b^4} + 2k \frac{q^2}{b^2} = 8k \frac{q^2}{b} + 2k \frac{q^2}{2b} + 8k \frac{q^2}{3b} + \frac{4mq^2}{2}$$

$$kq^2 \frac{q^2}{b} \left( 4 + \frac{2}{\sqrt{2}} - 3 - 1 - \frac{1}{3} \right) = 2mq^2$$

$$kq^2 \frac{q^2}{mb} = \frac{kq^2 \left( \frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3} \right)}{2mb} \Rightarrow v_{\text{к.д.}}^2 = \sqrt{\frac{kq^2 \left( \frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3} \right)}{2mb}}$$

2) В <sup>начале</sup> процессе движения на вершине



По следствию из II з. Ньютона:

На  $Oy$ :  $T_H = F_1 + F_2 \sin 45^\circ$

На  $Ox$ :  $-ma_0 = -F_1 - F_2 \sin 45^\circ$

А на нижние шарики силы электростатич.

Взаимодействия компенсированы силами натяжения нитей  $\Rightarrow$  их скорости останутся равны 0.  $\varphi$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

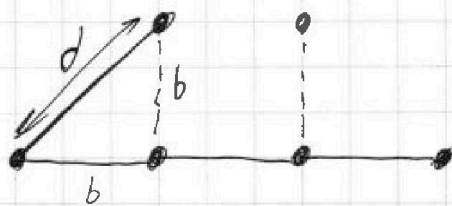
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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



3) Из 2 пункта можно найти  
расстояние любого из вершин шариков  
от начального положения:



По т. Пифагора:

$$d^2 = b^2 + b^2 = 2b^2$$

$$d = b\sqrt{2}$$

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

примерно  $1,35 k \frac{q^2}{b^2}$ ;

2) Для нижних шариков  $\mathcal{V} = 0$ .

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

примерно  $1,41 b = d$ .

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!



$$T = 20$$

$$H_{max} = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

$$0 = v_0 - gt$$

$$t = \frac{v_0}{g} = \frac{4}{10} = 0.4 \text{ c}$$

$$0 = v_0 - gt \Rightarrow v_0 = gt$$

$$H = \frac{gT^2}{2} \Rightarrow 10 \cdot 2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$S_{max} = 4 \cdot 0.4 - \frac{10 \cdot 0.16}{2} = 20 \text{ м}$$

$$= 1.6 - \frac{1.6}{2} = 0.8 \text{ м}$$

$$H = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2}; \quad S = v_0 \cos \alpha t$$

$$\cos \alpha = \frac{S}{v_0 t}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{S^2}{v_0^2 t^2}} = \frac{\sqrt{v_0^2 t^2 - S^2}}{v_0 t}$$

$$H = v_0 \frac{\sqrt{v_0^2 t^2 - S^2}}{v_0 t} - \frac{g t^2}{2} \quad t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$H = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H = S \left( \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{g S}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \right)$$

$$H = S \left( \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{g S}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} - \frac{g S}{2 v_0^2} \right);$$

$$\tan \alpha = \frac{H}{S} + \frac{g S}{2 v_0^2}$$

$$H = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \Rightarrow \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \alpha - S \tan \alpha + \frac{g S^2}{2 v_0^2} + H = 0$$

$$D = S^2 - 4 \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \left( \frac{g S^2}{2 v_0^2} + H \right) = 0$$

$$S^2 - \frac{g^2 S^4}{v_0^4} - 2 \frac{g S^2 H}{v_0^2} = 0$$

$$\frac{g^2 H}{v_0^2} = g^2 \left( 1 - \frac{g^2 S^2}{v_0^4} \right)$$

$$H = \frac{v_0^2 - \frac{g^2 S^2}{v_0^2}}{2g} = \frac{v_0^4 - g^2 S^2}{2g v_0^2} = \frac{400 - \frac{100 \cdot 20^2}{20^2}}{2 \cdot 10} = \frac{300}{20} = 15 \text{ м}$$

4980  
x 881  
-----  
4381

$$0.4 + \frac{10}{2} = 0.6 \text{ c}$$

$$80 \times 48 = 128$$

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!

Черновик.

$$C_{13} = \frac{5}{2} \quad b = \sqrt{2}$$

Процесс  $p = \text{const.}$   $b^2 = 2$

$$Q = C \cdot \Delta T$$

$$Q = \Delta U_{\text{газа}} + \Delta U$$

$$Q = \Delta U + \Delta U_{\text{газа}}$$

$$\Delta U_{\text{газа}} = \nu R \Delta T = \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 0,5R \text{ при } \begin{array}{r} 141 \\ \times 141 \\ \hline 5164 \\ 1410 \\ \hline 19881 \end{array}$$

изобарном охлаждении  $\Delta U + \Delta$

изохор процесс:  $\Delta U_{\text{газа}} = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow C \cdot \Delta T = \Delta U$$

$$C = \frac{\frac{1}{2} \nu R \Delta T}{\Delta T} = \frac{1}{2} \nu R$$

$$T = \frac{pV}{R}$$

~~5 азидата?~~  
~~изохор~~

$$\frac{1}{2} \nu R (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{при } p \propto dV$$

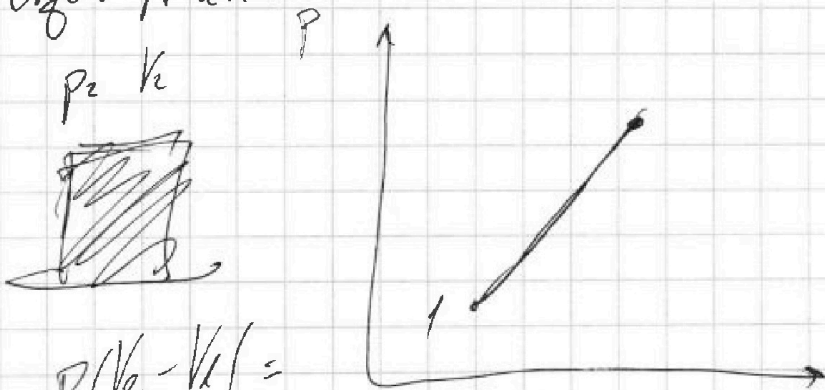
Известь  $p_1$  и  $V_1$ :

$$\frac{514}{6} = \frac{202 \cdot 257}{3} = \frac{250}{3} = 86$$

$$\Delta U_{12} = 0,5R \Delta T$$

$$\Delta U_{23} = -R \Delta T$$

$$\Delta U_{31} = R \Delta T$$



$$p(V_2 - V_1) =$$

$$\Rightarrow p_2 V_2 - p_1 V_1 = 0$$

$$\Rightarrow \nu R T_2 - \nu R T_1 = R \Delta T$$

$$\frac{1}{2,8} \quad \checkmark \quad \frac{100}{282} =$$

$$0,900 - 0,3 = 0,6$$

$$= 840 + 6 = 154$$

$$\frac{1000}{282} = 3,55$$

$$\frac{1540}{282} = 5$$