



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

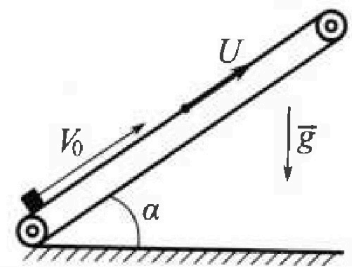
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



- ✎ Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за  $T = 2$  с.
- ✎ Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.
- ✎ 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.

- ✎ 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.



- ✎ 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.

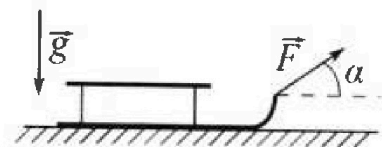
- ✎ На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

- ✎ 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.

- ✎ 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.



- ✎ Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

- ✎ Через какое время  $T$  после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения  $g$ .

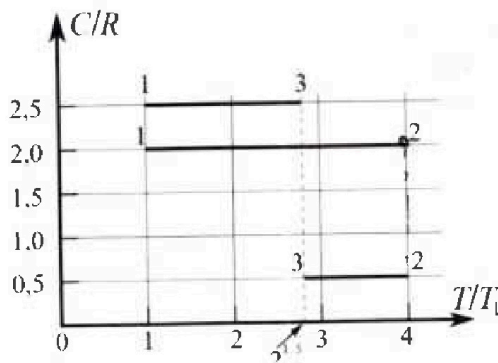
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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

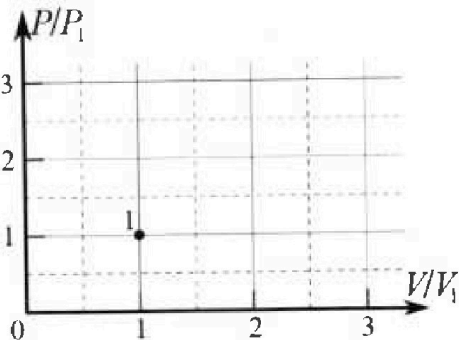
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



$$C d(PV) = \frac{3}{2} d(PV) + PdV$$

$$C d(PV) = \frac{3}{2} d(PV) + d(PV) - dPv$$

$$\frac{1}{2} d(PV) = A$$

$$-d(PV) = A$$

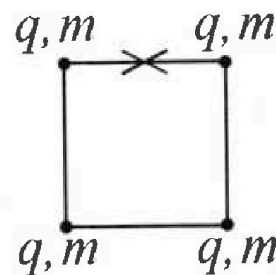
4. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарика находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

1) Найдите силу  $T$  натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость  $V$  любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарика 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:

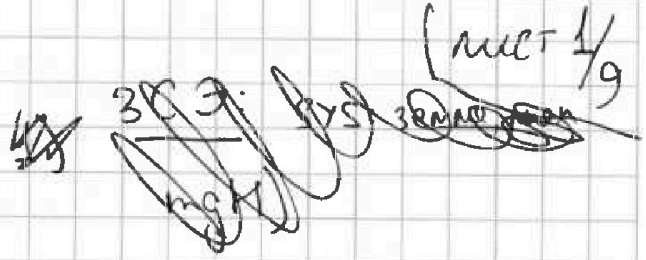
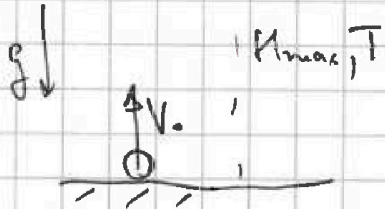
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Условие  
Задача n1

$$v=0$$



1) Мяч движется равнозамедленно с ускорением  $g$ .

$$\Rightarrow v_1 = v_0 - gT$$

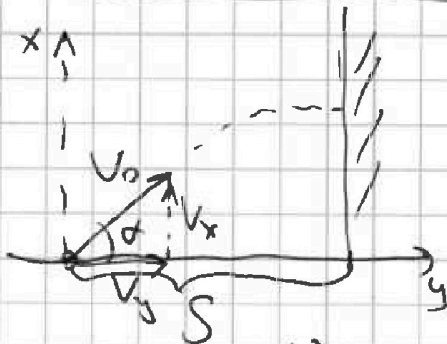
$$v_0 = v_1 + gT = 0 + 10 \cdot 2 = 20 \text{ м/с}$$

Ответ на п.2:  $v_0 = 20 \text{ м/с}$

2)

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\text{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$



т.к. стенка «высокая»  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  мяч её не перелетит

$\Rightarrow$  он ударится о неё на

своей максимальной

высоте. Найдём её

в зав-ти от угла

$$\begin{cases} H_0 = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} \\ S = v_0 \cos \alpha t \end{cases} \Rightarrow H_0 = S \text{tg} \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$= S \left( \text{tg} \alpha - \frac{g}{2 v_0^2} S \cdot \text{tg}^2 \alpha - \frac{g S}{2 v_0^2} \right)$$

- параболы ветками вниз  $\Rightarrow$  её максимум

$$\text{tg} \alpha_{\text{max}} = 2$$

$$H_{\text{max}} = 20 \left( 2 - \frac{10}{2 \cdot 400} \cdot 20 \cdot 2^2 - \frac{10 \cdot 20}{2 \cdot 400} \right)$$

$$H_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{8S} = \frac{400}{10 \cdot 20} = 2$$

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!

Чистовик задачи №1 продолжение мет  $\frac{2}{9}$

$$K_{\max} = 2\omega \left( 2 - \frac{\omega \cdot 2\omega \cdot 2^2}{2 \cdot 4\omega\omega} - \frac{\omega \cdot 2\omega}{2 \cdot 4\omega\omega} \right) =$$

$$= 2\omega \left( 2 - 1 - \frac{1}{4} \right) = 2\omega \cdot \frac{3}{4} = \underline{15\text{ м}}$$

Ответ на п.2.:  $K_{\max} = 15\text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

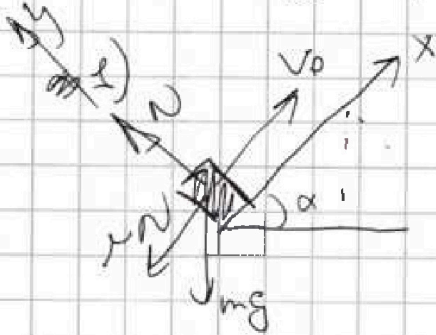
МФТИ

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



Чистовик Задача n.2

лист 5/9



$$\sin \alpha = \frac{4}{5} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{3}{5}$$

По закону Ньютона:

$$OY: 0 = \cancel{mg} N - mg \cos \alpha$$

$$OX: ma = -\mu N$$

$$\Rightarrow a = -\mu g \cos \alpha = -\frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{3}{5} = -2 \text{ м/с}^2$$

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow \frac{at^2}{2} + v_0 t - S = 0$$

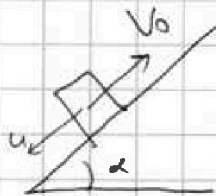
$$-\frac{2}{2}t^2 + 4t - 1 = 0$$

$$t^2 - 4t + 1 = 0$$

$$t = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 4}}{2} = 2 \pm \sqrt{3} \text{ с}$$

Ответ на п.1  $t = 2 \pm \sqrt{3} \text{ с}$

2)



Перейдем в СО трамспортёра, когда  
коробка остановится  $\Rightarrow$  она движется  
с трамспортёром как одно целое  $\Rightarrow$   $v_{\text{ц}}$   
в лад. СО

Ускорение такое же как в пункте 1.

$$L = (v_0 - u)t + \frac{at^2}{2} = (4 - 2) \cdot 1 + \frac{-2 \cdot 1^2}{2} = 1 \text{ м}$$

$$0 = v_0 - u + at \Rightarrow t = \frac{2 - 4}{-2} = 1 \text{ с}$$

Ответ на п.2:  $L = 1 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

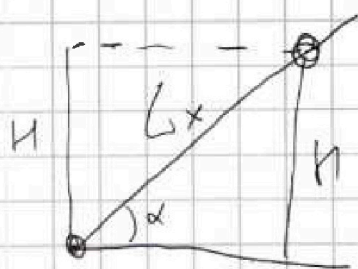
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Установка задача №2 продолжение лист 6/9

3) В  $\omega$  ~~кар~~ транспортёра, когда  
коробка будет <sup>выез</sup> съезжать с транспортёра со  
скоростью  $u$ , в пад.  $\omega$  её скорость будет  $v$ .



$$H = L_x \sin \alpha = \frac{4}{5} L_x$$

учи. такое же как в п.1

$$L_x = (v_0 - u)t_x + \frac{at_x^2}{2}$$

$$-u = (v_0 - u) + at_x$$

$$t_x = \frac{-u - v_0 + u}{a} = \frac{-2 - 4 + 2}{-2} = \cancel{2} 2 \text{ c}$$

$$L_x = (4 - 2) \cdot 2 + \frac{-2 \cdot 2^2}{2} = 4 - 4 = 0 \Rightarrow H = 0 \text{ m}$$

Ответ на п.3:  $H = 0 \text{ m}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

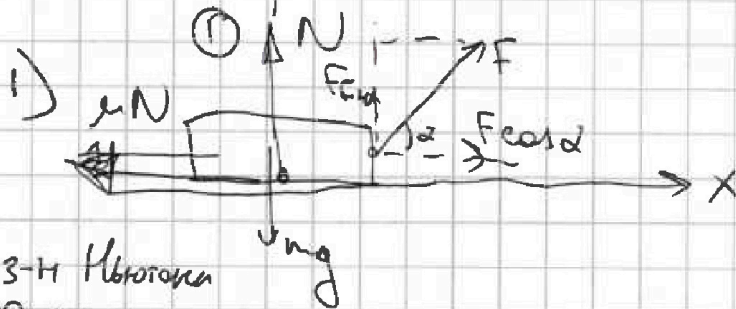
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Установка задачи №3

лист 3/9



т.к. разлетают  
за одно и то  
же время =>  
=> ускорения  
равны

Заи 3-н Ньютона

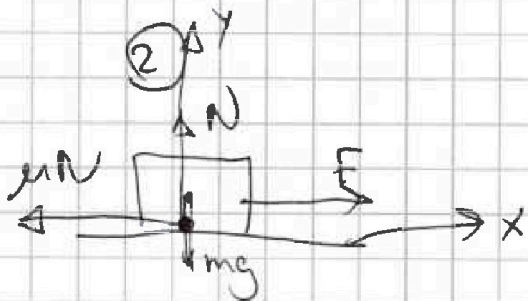
Ox:

$$ma = F \cos \alpha - \mu N$$

Oy:

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

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



Заи 3-н Ньютона

Ox:  $ma = F - \mu N$

Oy:  $0 = N - mg$

$$ma = F - \mu mg \quad (2)$$

$$(1) - (2)$$

$$0 = F (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - F \quad | : F$$

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

$$\Rightarrow \text{Ответ на п.1 } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

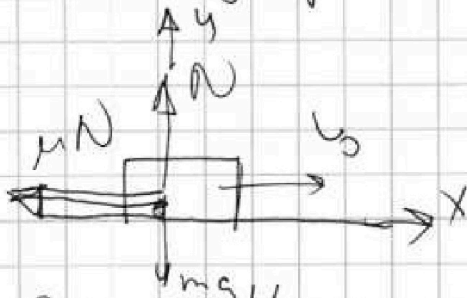
МФТИ

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



Чистовик задачи n 3 продолжение (лист 4/9)

2) из прошлого пункта:  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$



~~ЗЗЗ:  $(Q)_x - \left(\frac{mv_0}{2}\right) = -F_{тр} \cdot s$~~

Зои 3-и Ньютона:

0y:

$$0 = N - mg$$

0x:

$$ma = -\mu N \Rightarrow ma = -\mu mg$$

$$a = -\mu g$$

$$V_{\text{кон}} = V_0 + aT \Rightarrow T = \frac{-V_0}{a} = \frac{-V_0}{-\mu g} = \frac{V_0}{\mu g} =$$

$$V_{\text{кон}} = 0$$

$$= \frac{V_0 \sin \alpha}{g(1 - \cos \alpha)}$$

~~Q~~

$$\text{Ответ на н. 2. } T = \frac{V_0 \sin \alpha}{g(1 - \cos \alpha)}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7



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

Числовые заданы  $\sim 4$

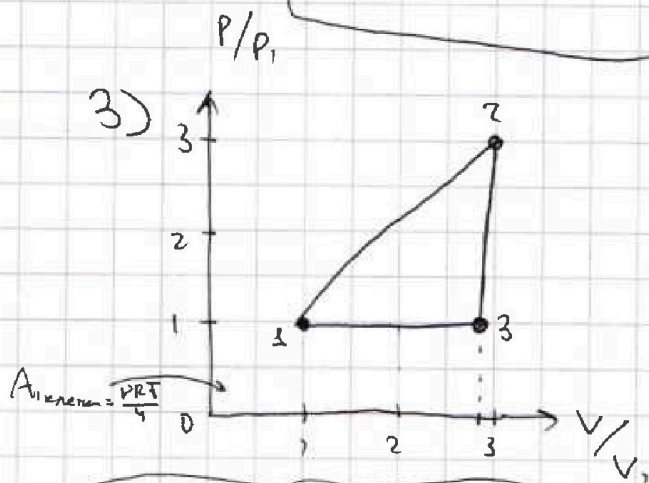
$(! 2^{1,5} = 2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{2^3} = \sqrt{8})$  числ 7/9

1)  $Q = C \nu \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A_{12} = \sqrt{8}$

$A_{12} = \nu \Delta T (C - \frac{3}{2} R) = 1 \cdot (4T_1 - T_1) (2R - \frac{3}{2} R) =$   
 $= 3 \cdot 400 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8,31 = 4986 \text{ Дж}$ 
Ответ на н.1  $A_{12} = 4986 \text{ Дж}$

2)  $\eta = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} = 1 - \frac{\nu \frac{R}{2} T_1 (4 - \sqrt{8}) + \frac{5}{2} R T_1 P (\sqrt{8} - 1)}{6 - 2 + \frac{\sqrt{8}}{2} - \frac{5}{2} \sqrt{8} + \frac{5}{2}}$   
 $= \frac{6 - 2 + \frac{\sqrt{8}}{2} - \frac{5}{2} \sqrt{8} + \frac{5}{2}}{6} = \frac{4 + \frac{5}{2} - \frac{4}{2} \sqrt{8}}{6} = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6}$

Ответ на н.2  $\eta = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6} \approx 15\%$



В процессе 13  $C = C_p \Rightarrow$

$\Rightarrow 13$  - изоб. процесс

~~$P_1 = P_2$~~   
 ~~$P_1 = P_2$~~   
 $P_3 = P_1$   
 $V_3 = V_1 \sqrt{8}$

В процессе 12  $C = C_p \Rightarrow$   
 $A = \frac{1}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow$  1.3 процесс под давлением  
 Анализ под процессом 12  $\Delta Q = 0$  значит быть 12 клеточек

$P_2 V_2 - P_1 V_1 = 3 (V_2 - V_1) (P_2 + P_1)$

~~$2 P_2 V_2 - 2 P_1 V_1 = 3 P_2 V_2 + 3 P_1 V_2 - 3 P_2 V_1 - 3 P_1 V_1$~~   
 ~~$0 = P_2 V_2 - P_1 V_1 + 3 P_1 V_2 - 3 P_2 V_1$~~

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

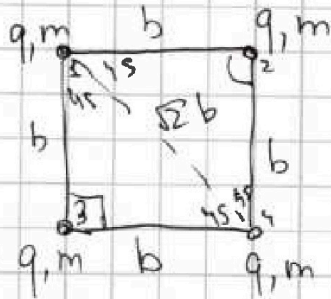
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Числовая задача №5

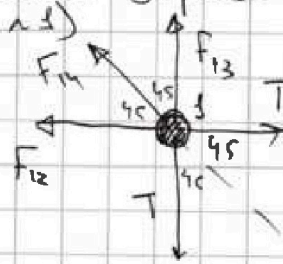
лист 8/9

1)

т.к. заряды  
одноименные  
они будут  
отталкиваться



Рассм. силы действ. на  
один заряд. (Б.О.О заряд



2ой закон Ньютона на

ось OX: т.к. шарики неподвижны их  $a=0$

$$m \cdot 0 = F_{14} + F_{13} \cdot \cos 45^\circ + F_{12} \cos 45^\circ - 2T \cos 45^\circ$$

$$T = \frac{F_{14} + F_{13} \cos 45^\circ + F_{12} \cos 45^\circ}{2 \cos 45^\circ} = \frac{\frac{kq^2}{2b^2} + \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}}{2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}$$

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

Ответ на н.д.:  $T = \frac{kq^2}{b^2} \left( 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right)$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

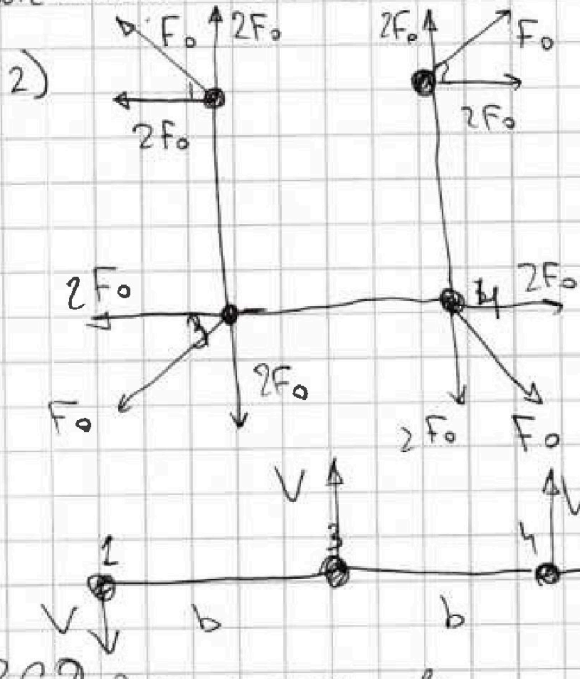
- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



Чистовик Задача n 5 продолжение (лист 9/9)



Заметим что

$$F_{14} = F_{23} = F_{32} = F_{41} = F_0$$

$$F_{13} = F_{12} = F_{21} = F_{23} = F_{31} \dots = F_1$$

$$F_0 = \frac{kq^2}{2b^2}$$

$$F_1 = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$\Rightarrow F_1 = 2F_0$$

все скорости будут одинаковы из сим-ии сил и

из того что  $V_{ц.м.} = 0$

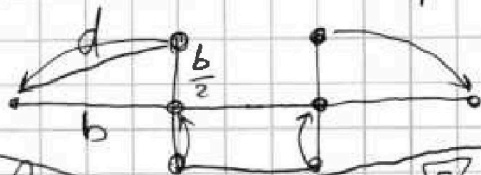
ЗСЭ для шарика n 1:

$$\left( \frac{mV^2}{2} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b} \right)_{\kappa} - \left( \frac{kq^2}{b} \cdot 2 + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b} \right)_{\kappa} = 0$$

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{kq^2}{6b} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}b}$$

$$V^2 = \frac{kq^2}{mb} \left( \frac{1}{3} + \sqrt{2} \right) \Rightarrow \text{Ответ на п. 2 } V = q \sqrt{\frac{k}{mb} \left( \frac{1}{3} + \sqrt{2} \right)}$$

3) т.к. внешних сил нет  $\Rightarrow$  ц.м. не подвигается  $\Rightarrow$  в момент когда шарик разойдет а в противополо



$$d = \sqrt{b^2 + \frac{b^2}{5}} = \frac{\sqrt{5}}{2} b$$

Ответ на п. 3.  $d = \frac{\sqrt{5}}{2} b$





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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

~~Условие задачи №4~~ Мет 7/

~~log односст.~~

$$1) Q = C \Delta T = \frac{3}{2} P R \Delta T + \alpha P R \Delta T = \left( \frac{3}{2} P + \alpha P \right) P \Delta T$$

$U \quad A$

В процессе 12:  $\Delta T = 4T_1 - T_1 = 1200 \text{ K}$

$$C = \frac{3}{2} P + \alpha P = 2P$$

$\leftarrow$  из графика

$$\alpha = \frac{1}{2} \quad \Delta P V_1 - P_1 V_1 =$$

$$A_{12} = \alpha P R \Delta T = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 1200 = 4986 \text{ Дж}$$

Ответ на п.1.  $A_{12} = 4986 \text{ Дж}$

2)  $\eta = \frac{A_{12}}{Q_{\text{получ}}}$   ~~$\eta = \frac{Q_{\text{получ}}}{Q_{\text{получ}}} = 1$~~

~~$A_{12}$  рассчитан через пред. кин. формулу~~

~~Далее это  $A_{12}$~~

$$\Delta U_{12} = A_{12} + A_{23} - A_{32} = \left( \frac{3}{2} P - \frac{3}{2} P \right) P \Delta T = 0$$

~~$\Delta U_{12}$  в процессе 23~~