



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

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



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол  $\alpha = 45^\circ$  с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета  $L = 20$  м.

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью  $V_0$  к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна  $H = 3,6$  м.

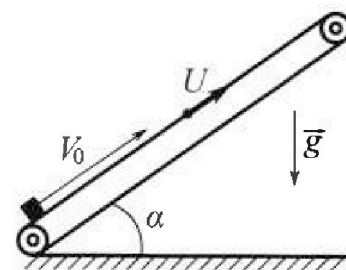
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Уск. орение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,6$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 6$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = 0,5$ .

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь  $S$  пройдет коробка в первом опыте к моменту времени  $T = 1$  с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 1$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 6$  м/с (см. рис.).

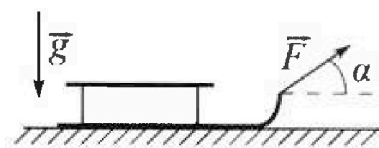
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? 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 кинетической энергии  $K$  на одинаковых участках пути.

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 кинетической энергии  $K$  действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение  $S$  санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения  $g$ . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

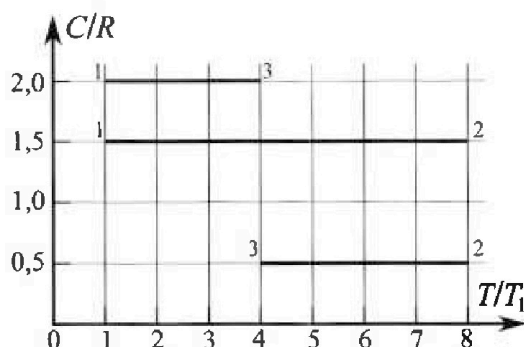
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

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



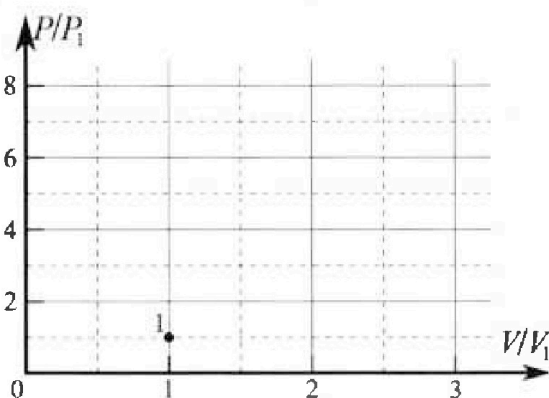
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1 = 200$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.

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  $a$  (см. рис.). Сила натяжения каждой нити  $T$ .

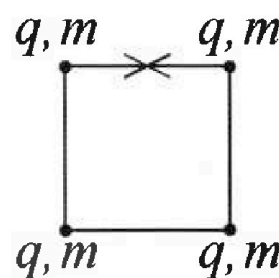
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию  $K$  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)?

Элементарная постоянная  $\varepsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





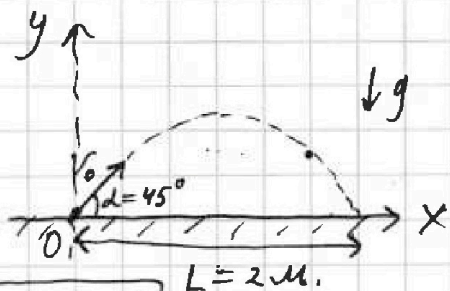
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$v_0 = ?$

$L = 2 \text{ м.}$

ур-я движения:

$$1) \begin{cases} x = v_0 \cos(\alpha) \tau \\ y = \tau v_0 \sin(\alpha) - \frac{g \tau^2}{2} \end{cases}$$

$$v_x = v_0 \cos(\alpha)$$

$$v_y = v_0 \sin(\alpha) - g \tau$$

$\Rightarrow L = v_0 \cos(\alpha) \tau_0$ ; где  $\tau_0$  - общ. время полёта.  
при этом  $y_{конечн} = 0 \Rightarrow 0 = \tau_0 v_0 \sin(\alpha) - \frac{g \tau_0^2}{2}$

$$\Rightarrow 0 = \frac{v_0 \sin(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha)} \cdot L - \frac{g \cdot L^2}{2 v_0^2 \cos^2(\alpha)} = L \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{g L^2}{2 v_0^2 \cos^2(\alpha)}$$

$$\Rightarrow \frac{g L}{2 v_0^2 \cos^2(\alpha)} = \operatorname{tg}(\alpha) \rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{g L \cos^2(\alpha)}{2 \sin(\alpha) \cos^2(\alpha)}} = \sqrt{\frac{g L}{2 \sin(2\alpha)}}$$

Ответ:  $v_0 = \sqrt{\frac{g L}{\sin(2\alpha)}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 20 \text{ м}}{1 \cdot \text{с}}} = \sqrt{200} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2) общ. случ.



$h_{\max} = H = 3,6 \text{ м.}; v_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 $S = ?$

ур-я движ аналогичны п.1.  
с заменой  $\alpha \rightarrow \beta$ .

$\Rightarrow$  пусть мом. удара мяча о стенку  $\tau_x \Rightarrow$

выраз.  $\tau_x$  из  $x(\tau_x)$   
и подст. в  $y(\tau_x)$ .

$$x(\tau_x) = \tau_x v_0 \cos(\beta) = S$$

$$y(\tau_x) = \tau_x v_0 \sin(\beta) - \frac{g \tau_x^2}{2} = h$$

$$h = \frac{v_0 \sin(\beta)}{v_0 \cos(\beta)} \cdot S - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2(\beta)} = \operatorname{tg}(\beta) S - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2(\beta)}$$

и мы получили  $h(\beta)$ .

$\Rightarrow$  найдём  $\beta$ ; при кот-м.  $h$ -max ; когда  $\frac{1}{\cos^2(\beta)} = \operatorname{tg}^2(\beta) + 1$  заменим.

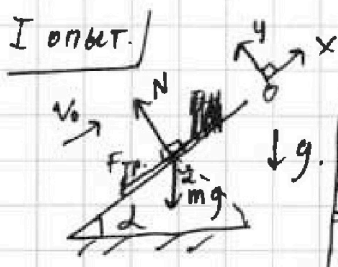
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Печать QR-кода недоступна!



т.к. есть 2 случая, когда  $v_0$  напр. вниз:  $v_0 > 0$  (I) и когда вверх:  $v_0 < 0$  (II)

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= 0,6 \\ \Rightarrow \cos(\alpha) &= \sqrt{1 - 0,36} = 0,8 \end{aligned}$$

$\Rightarrow$  1) лентка покоится: I:  
 $\Rightarrow$  OY: одинак для I и II  
 $\Rightarrow N = mg \cos(\alpha)$   
 $\Rightarrow F_{тр} = \mu mg \cos(\alpha)$

2-ой закон Ньютона при сколе X:  
 OX:  $F_{тр} - mg \sin(\alpha) = ma_x$   
 OY:  $N - mg \cos(\alpha) = 0$

II: OX:  $-F_{тр} - mg \sin(\alpha) = ma_x$   
 OY:  $N - mg \cos(\alpha) = 0$

$\Rightarrow$  т.к. движ. равноускор  $\Rightarrow$   
 1)  $\Rightarrow$  I:  $S_1(t) = -v_0 + a_{x1}t = |-6 + (-2) \cdot 1| = |-8| = 8 \text{ м}$

Заметим, что во II-м случае коробка

~~двигается вверх~~  
~~и т.д.~~  
 $\Rightarrow$  ~~всплыв~~  $\Rightarrow$  ~~изменяет напр. движ~~  
 $\Rightarrow$  ~~сил трен. помен.~~  
 $\Rightarrow$  ~~напр-е.~~  
 в 2 этапа: на 1-м ускор:  $a_{x2}$  (до мом. остановки)

а еще!  $ma'_{x2} = F_{тр} - mg \sin(\alpha) = a_{x1}$   
 $\Rightarrow S_2 = \frac{|a_{x2}|t_2^2}{2} + \frac{|a_{x1}|t_1^2}{2}$  (т.к нас интересует путь  $\Rightarrow$  длина траект)

где:  $t_2 = \left| \frac{v_0}{a_{x2}} \right| = \left| \frac{6}{-10} \right| = 0,6 \text{ с.}$   $\Rightarrow S_2 = \frac{10 \cdot 0,36}{2} + \frac{2 \cdot 0,16}{2} = 1,9 + 0,16 = 2,06 \text{ м.}$

$t_1 = T - t_2 = 0,4 \text{ с.}$  ответ: 1)  $S_2(v_0 - \text{вверх}) = 2,06 \text{ м.}$   
 $S_1(v_0 - \text{вниз}) = 4 \text{ м.}$

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



- 1  2  3  4  5  6  7

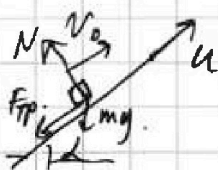
МФТИ

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

Опыт II

т.к. лента для подъёма грузов  
 $\Rightarrow$   $u$ -напр вверх  $\vec{u}$ ; также см.  
 рис. видно, что  $u \uparrow \vec{v}_0$ .

$\Rightarrow$



2) т.к. нас интересует время,  
за котоe скор. коробки станет  $1 \frac{m}{c}$   
 заметим, что таких мом. 2 (когда  $v_k = u$  и когда  $v_k = -u$ )  
 $\vec{v}_k = \vec{u}$  (т.е. в лад. с.о.  $v_k = 1 \frac{m}{c}$  и  $u$  неподв. отн. ленты) (I)  
 (II)

$\Rightarrow$  расем. оба вар.:

I)  $T_I$  (мом, когда  $v_k = u$ )  $\Rightarrow$  т.к. ур-я динамики аналогичны п.1)  
 $\Rightarrow a_{1x} = a_{k2}$ , но  $u$  в лад. с.о.  $\Delta v_{xI} = v_0 - u = 5 \frac{m}{c}$

$$\Rightarrow T_I = \frac{\Delta v_{xI}}{a_{1x}} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с.}$$

II)  $T_{II}$  (мом, когда  $v_k = -u$ )  $\Rightarrow$  заметим, что этот мом. соотв. мом, когда  $v_k = -u$ , т.е. отн. ленты.

отн. ленты. тело двиг-ся вниз со скор.  $2 \frac{m}{c}$ .

$\Rightarrow$  аналогично II в п.1. разобьем двух на 2 участка: до ост. и после ост.

$$\Rightarrow T_{II} = T_I + T_3; \text{ где } T_3: |a_{x1}| T_3 = 2 \frac{m}{c} = 2u.$$

$$\Rightarrow T_{II} = T_I + \frac{2u}{|a_{x1}|}$$

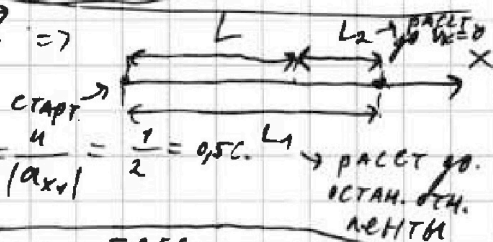
$$\Rightarrow T_{II} = 0,5 + \frac{2}{2} = 1,5 \text{ с.}$$

ответ:  $T_{II} = [0,5 \text{ с.}; 1,5 \text{ с.}]$   
2)

3) :  $v_k = 0$  при  $v_{отн.ленты} = -u \Rightarrow$

$$\Rightarrow L_1 = \frac{a_{x2} T_I^2}{2}; L_2 = \frac{a_{x1} T_4^2}{2}; \text{ где } T_4 = \frac{u}{|a_{x1}|} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ с.}$$

$$\Rightarrow L = L_1 - L_2 = \frac{10 \cdot 0,25}{2} - \frac{2 \cdot 0,25}{2} = 1 \text{ м}$$



ответ: 1)  $\frac{5(v_0 - u_{ленты})}{5(v_0 - v_{излз})} = 1,5 \text{ м.}$ ; 2)  $T_{II} = [0,5 \text{ с.}; 1,5 \text{ с.}]$ ; 3)  $L = 1 \text{ м.}$

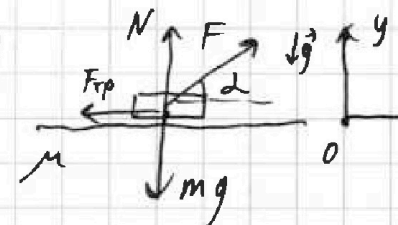
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

I) 

MASSA санок  $m$   
 $\Rightarrow$  запишем ур-я динамики (2-ой закон Ньютона) для обоих случаев по осям:

1) I:  $0x: F \cos(\alpha) - F_{тр} = a_x m$   
 $0y: N + F \sin(\alpha) - mg = 0$

II:  $0x: F - F'_{тр} = a'_x m$   
 $0y: N' - mg = 0$

$\Rightarrow F_{тр} = \mu N; F'_{тр} = \mu N'$

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

$a'_x m = F - \mu mg$

т.к. разгон до одной и той же  $K$  ( $a \Rightarrow v$ ) проводился на одинак. участках пути ~~т.к.~~ в обоих случаях

$\Rightarrow$  (т.к. двух равноускор)  $a_x = a'_x$

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

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

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

~~пусть  $R = \frac{mv_x^2}{2}$  где  $v_x$  - конечная скорость при разгоне. при этом:  $v_x = a_x t_x$  (из кос. покроя, радиусской).  $\Rightarrow S_{разг} = \frac{a_x t_x^2}{2} = \frac{v_x^2}{2a_x} \Rightarrow S_{разг} = \frac{1}{2a_x} \cdot \frac{2K}{m} = \frac{K}{a_x m}$~~

~~перемещ. санок при разг. до  $K$  ( $v_x$ )~~

~~Заметим, что~~

Продолж на обороте. листа

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) пусть  $K = \frac{m v_x^2}{2}$ ; тогда при тормож.  
под дейст. силы трения  $K \rightarrow 0$ .

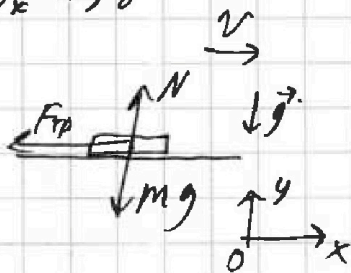
⇒ запишем 2-ой закон Ньютона  $v_x \rightarrow 0$   
по осям в этом случае:

$$Ox: -F_{тр} = m a_x''$$

$$Oy: N - mg = 0.$$

$$\Rightarrow m a_x'' = -\mu mg.$$

$$\Rightarrow a_x'' = -\mu g \text{ (т.е. напр. против } Ox \text{ на тормож.)}$$



$$\Rightarrow S_{\text{торм}} = \frac{|a_x''| \tau_{\text{торм}}^2}{2}; \quad v_x = |a_x''| \tau_{\text{торм}}.$$

$$\Rightarrow S_{\text{торм}} = \frac{v_x^2}{2|a_x''|} = \frac{v}{2|a_x''|} \cdot \frac{2K}{m} = \frac{K}{|a_x''| m}$$

$$\Rightarrow S_{\text{торм}} = \frac{K}{\mu g m} = \frac{K}{g m} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}$$

$$\text{Ответ: } 1) \mu = \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \quad 2) S = \frac{K}{g m} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}$$





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!



выведем ур-е политромы в зависимости от C:

$$\frac{dQ}{dT} = \nu C$$

$$dQ = C_V dT + P dV \Rightarrow \nu C dT = \nu C_V dT + \frac{dV}{V} \nu R T ; C_V = \frac{3}{2} R$$

$$P = \frac{\nu R T}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{(C - C_V) dT}{R T} = \frac{dV}{V}$$

$$\frac{C - C_V}{R} \ln(T) = \ln(V) + const$$

$$\ln\left(T^{\frac{C - C_V}{R}}\right) = \ln(V) + const$$

$$\ln\left(T^{\frac{C - C_V}{R}}\right) + \ln(V) = const$$

$$VT^{\frac{C - C_V}{R}} = const$$

$$\Rightarrow T_2 = 8T_1$$

$$T_3 = 4T_1$$

$$C_{12} = 1,5R \Rightarrow VT^{\frac{1,5R - 1,5R}{R}} = const$$

$$\Rightarrow VT^0 = const$$

$$\Rightarrow V = const$$

$$C_{23} = 0,5R \Rightarrow VT$$

$$\frac{1,5R}{R} \Rightarrow VT^{\frac{1,5R - 0,5R}{R}} = const$$

$$V_1 = V_2 \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{T_1/T_2} \Rightarrow P_2 = 8P_1$$

$$\Rightarrow P_2 = 8P_1$$

$$C_{31} = 2R \Rightarrow VT^{\frac{1,5R - 2R}{R}} = const$$

$$2-3: VT = const$$

$$PV^2 = const \Rightarrow P = \frac{1}{V^2}$$

$$\Rightarrow V_2 \cdot 8T_1 = 8T_1 V_1 = 4T_1 V_3$$

$$\Rightarrow V_3 = 2V_1$$

$$\Rightarrow 8T_1 V R = 8P_1 V_1 (2)$$

$$4T_1 V R = P_2 V_1 (3)$$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{4P_1} = 2$$

$$\Rightarrow P_3 = 2P_1$$

Точки на графике  $P(V)$ :

1:  $(P_1; V_1)$ ; 2:  $(8P_1; V_1)$ ; 3:  $(2P_1; 2V_1)$



$\Rightarrow P = \frac{P_1}{P_1} \left(\frac{V}{V_1}\right)$

1:  $(1; 1)$   
2:  $(8; 1)$   
3:  $(2; 2)$

$$VT^{-\frac{2}{3}} = const \Rightarrow \sqrt[3]{\frac{V}{P}} = const$$

$$\Rightarrow \frac{V}{\sqrt{P}} = const = \frac{V}{\sqrt{\frac{P_1}{V}}} = \sqrt{\frac{V}{P_1}} = const$$

$$\Rightarrow P = k \cdot V$$

Ответ:  $\eta = \frac{5}{21}$



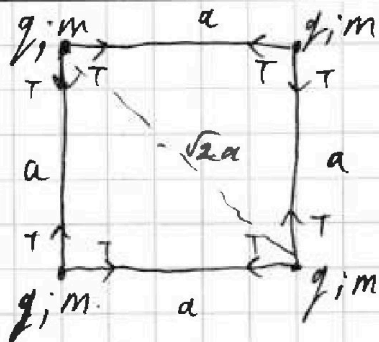
На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
 Отметьте крестиком номер задачи,  
 решение которой представлено на странице:



- 1  2  3  4  5  6  7

МОФИ

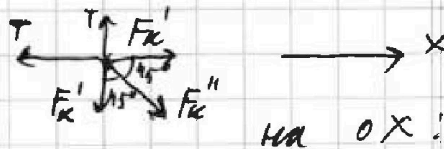
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
 страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$F_k' = \frac{kq^2}{a^2}$$

$$\Rightarrow F_k'' = \frac{kq^2}{2a^2}$$

1) система находится в покое  
 и симметрична для любого шарика  
 2) достаточно рассмотреть один шарик и силы на него.



на OX:

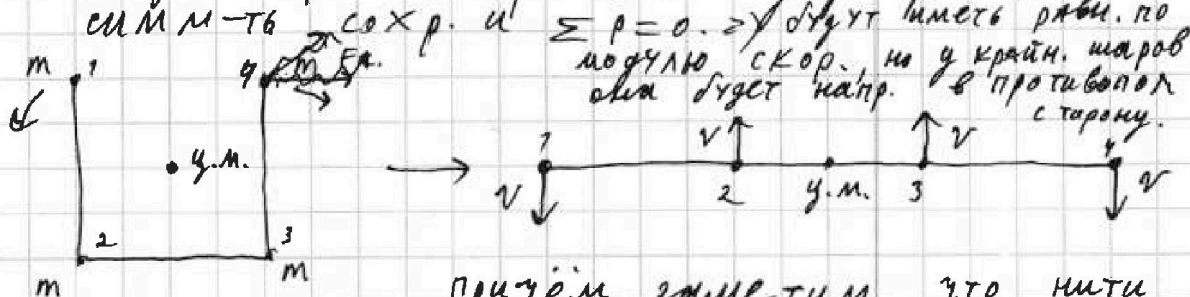
$$F_k' + F_k'' \cos(45^\circ) - T = 0$$

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

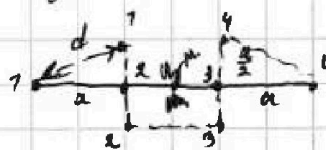
$$\boxed{\text{ответ: } |q| = 2a \sqrt{\frac{T}{(1+\frac{\sqrt{2}}{2})k}}}$$

2) заметим, что система шаров замкнута и симметрична относительно прямой, проходящей через ц.м. и перпендикулярно к. л. 2-3.

и когда шары выстроятся в одну прямую:



3) отсюда следует, что d - расстояние от старта для крайних шариков:



$$\Rightarrow d = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2} a$$

ответ:

т.к. шары заряжены одинаково  
 $\Rightarrow$  отталкиваются.

причем заметим, что нити останутся натянутыми; т.к. для крайних шаров все шары отталкиваются.