



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.

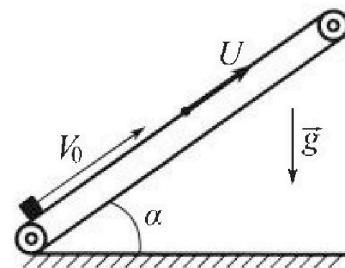
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.

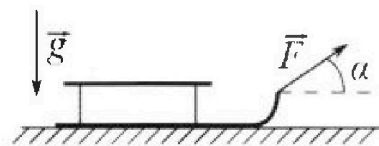
2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

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.



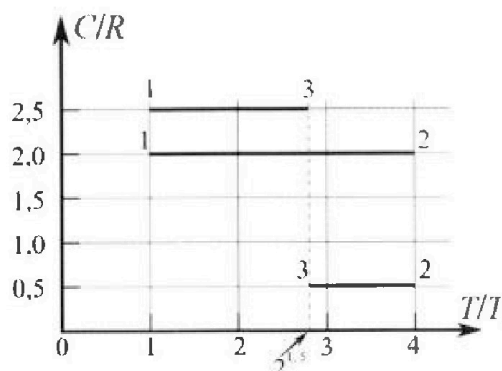
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



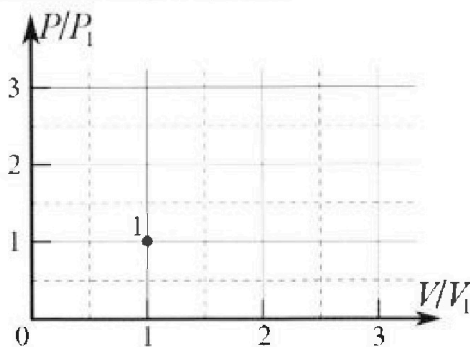
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



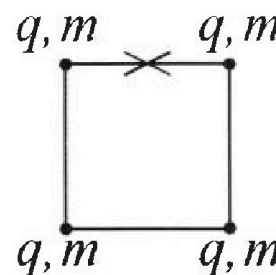
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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 как ом расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

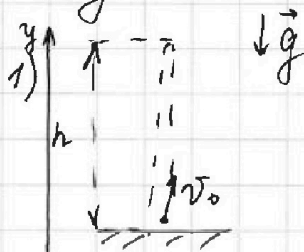


Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

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!

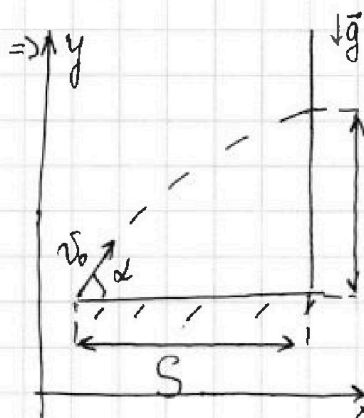
Задача 1.



Запишем 3-е равноускоренного
движения на ось y:

$$0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 20 \text{ м/с};$$

2) Траектория полета мяча - парабола $\Rightarrow$



Запишем 3-е равноускоренного
движения на оси x и y:

$$\left. \begin{aligned} H &= v_0 \sin \alpha t - g \frac{t^2}{2}; \\ S &= v_0 \cos \alpha t; \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow H = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow H = H_{\max} \Leftrightarrow H' = 0;$$

$$0 = S \cdot \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \right)' - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)' = S \cdot \frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\cos^3 \alpha} - \frac{g S^2}{v_0^2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha} =$$

$$= S \frac{1}{\cos^3 \alpha} - \frac{g S^2}{v_0^2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha} \Rightarrow 0 = \cos \alpha - \frac{g S}{v_0^2} \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{v_0^2}{g S} = 2 \Rightarrow \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha + 1 = 5;$$

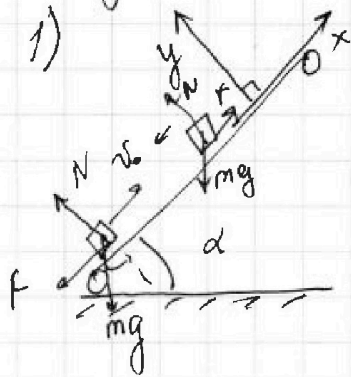
$$H_{\max} = 40 \text{ м} - 5 \cdot \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400} \text{ м} = 15 \text{ м};$$

Ответ: 1) $v_0 = 20 \text{ м/с}$; 2) $H_{\max} = 15 \text{ м}$;

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!

Задача 2.



Запишем 2^{ой} з-н Ньютона
для коробки на осях x и y :

$$x: -mg \sin \alpha - F = ma;$$

$$y: N - mg \cos \alpha = 0;$$

$F = \mu N$ - т.к. коробка скользит

$$a = -g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = -g$$

Запишем з-н равноускоренного движ. на
оси x и y по отн.: $\begin{cases} v_{0x} + at = 0 \\ v_{0y} + at = 0 \end{cases} \Rightarrow S_1;$

$$\begin{aligned} 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} T - g(0.8 + \frac{1}{3} \sqrt{1-0.8^2}) \frac{T^2}{2} &= 1 \text{ м}; \\ 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} T^2 - 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} T + 1 \text{ м} &= 0 \Rightarrow T = \frac{4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \pm \sqrt{16 - 20} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \end{aligned}$$

$\Delta < 0 \Rightarrow$ коробка не доедет до $S = 1 \text{ м}$

2) Перейдем в СО транспорта. В этой
СО скорость коробки 2 м/с . Скорость коробки
в лабораторной СО будет равна 2 м/с , когда
в СО ленты её скорость будет 0.

Запишем з-н равноускоренного движения
на ось x :

$$\begin{cases} 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot t + a \frac{t^2}{2} = l; \\ 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} + t \cdot a = 0; \end{cases}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

$t_1 = 0,4 \text{ c};$
 $S_1 = -\frac{v_0^2}{a} - \frac{v_0^2}{2a} = -\frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g} = 0,8 \text{ м} \Rightarrow < S \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ чтобы пройти путь $S=1 \text{ м}$, коробка поедет
вниз.

$$\left. \begin{aligned} ma' &= -mg \sin \alpha + F \\ F &= \mu N \\ N &= mg \cos \alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow a' = -g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = -6 \text{ м/с}^2$$

Из з-на равноускор. движи: $-a' \frac{t_2^2}{2} = S - S_1$

$$t_2 = \sqrt{\frac{0,4 \text{ м}}{6 \text{ м/с}^2}} \Rightarrow T = t_1 + t_2 = 0,4 \text{ c} + \sqrt{\frac{2}{30}} \text{ c};$$

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!

$$t = \frac{2\text{ м/с}}{-a} = 0,2 \text{ с};$$

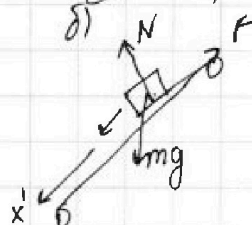
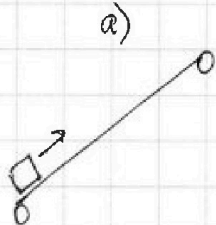
$$l = 0,4 \text{ м} - \frac{10}{2} \cdot 0,04 \text{ м} = 0,2 \text{ м};$$

Переходя обратно в лаб. СО нам надо добавить к l расстояние, на которое летит перемещенная коробка за $t \Rightarrow L = l + ut = 0,6 \text{ м};$

3) Также же запишем з-н равноускоренного движ. в СО лентки; только для двух участков

$$\left. \begin{aligned} 2\text{ м/с} \cdot t' + a \frac{t'^2}{2} &= l' \\ 2\text{ м/с} + at' &= -2\text{ м/с} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} t' &= 0,4 \text{ с}; \\ l' &= \end{aligned} \right.$$

в лаб. СО $v=0$;



2-й з-н Ньютона на x' :

$$\left. \begin{aligned} mg \sin \alpha - F &= ma' \\ F &= \mu mg \cos \alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a' = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = \frac{3}{5}g = 6 \text{ м/с}^2;$$

$$\left. \begin{aligned} a) \quad v_0 - at &= 0 \\ v_0 t - a \frac{t^2}{2} &= l \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} t &= 0,2 \text{ с} \\ l &= 0,2 \text{ м} \end{aligned} \right.$$

$$\left. \begin{aligned} б) \quad a' \frac{t'^2}{2} &= l' \\ a' t' &= 2 \text{ м/с} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} t' &= \frac{1}{3} \text{ с}; \\ l' &= \frac{1}{3} \text{ м}; \end{aligned} \right.$$

Изменение по x в СО лентки: $S_x = l - l' = -\frac{2}{15} \text{ м}$



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!

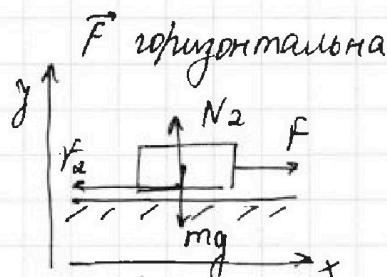
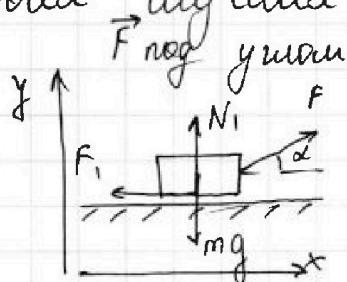
высечение по x в каб. CO : $L' = u(t + t') + S_x =$
 $= 0,4 \text{ м} + \frac{2}{3} \text{ м} - \frac{2}{15} \text{ м} = \frac{14}{15} \text{ м};$
 $H = \frac{L}{5} \sin \alpha = \frac{14}{15} \cdot \frac{4}{10} = \frac{56}{75} \text{ м};$
Ответ: 1) $T = 0,4 \text{ с} + \frac{\sqrt{41}}{15} \text{ с}$; 2) $L = 0,6 \text{ м}$; 3) $H = \frac{56}{75} \text{ м};$

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!

Задача 3.

1) Рассмотрим силы, действ. на сани в обоих случаях:



N_1, N_2 - силы нормальной реакции опоры.

F_1, F_2 - силы трения скольжения. ($F = \mu N$)

Запишем 2-ой закон Ньютона для саней на оси x и y в обоих случаях:

$$a) \quad y: N_1 + F \sin \alpha = mg; \quad b) \quad y: N_2 - mg = 0$$

$$x: ma_1 = F \cos \alpha - F_1; \quad x: F - F_2 = ma_2$$

$$F_1 = \mu N_1$$

$$F_2 = \mu N_2;$$

П.к. сани разгоняются до v_0 за одно и то же время, $a_1 = a_2 = a$;

$$\left. \begin{aligned} ma &= F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha \\ ma &= F - \mu mg \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos \alpha + \mu \sin \alpha - 1 = 0;$$

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

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

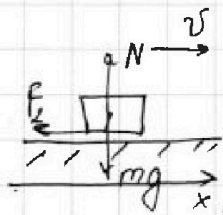
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

2)



Из 2^{ой} з-на Ньютона:

$$N = mg \Rightarrow F_f = \mu N = \mu mg$$

Запишем 3^{ий} з-н:

$$ma = \mu mg \Rightarrow a = \mu g$$

Если замедляются $\rightarrow$ уск. a . Запишем
з-н равноускор. движ на ось x :

$$v_0 - \mu g T = 0; \Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0}{g} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha};$$

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

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!

Задача 4.

$$\begin{aligned}
 1) \quad & \left. \begin{aligned} Q_{12} &= \Delta U_{12} + A_{12}; \\ Q_{12} &= C_V \Delta T_{12}; \\ \Delta U_{12} &= \left(\frac{3}{2}\right) \nu R \Delta T_{12}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow 2R \nu \cdot 3T_1 = \frac{3}{2} \nu R \cdot 3T_1 + A_{12} \\
 & \quad \quad \quad \text{из-за отсутствия} \quad A_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 831 \cdot 4 \text{ Дж} = 4986 \text{ Дж}.
 \end{aligned}$$

$$2) \quad \eta = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+};$$

Мы подводим тепло только на ух. 1→2,
а на ух. 2→3 и 3→1 отводим (температура
снижается)

$$Q_+ = C_{V12} \Delta T_{12} = 2R \nu \cdot 3T_1,$$

$$Q_- = Q_{23} + Q_{31} = 0,5R \nu \cdot (4 - 2^{1,5}) T_1 + 2,5R \nu (2^{1,5} - 1) T_1,$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{6R \nu T_1 - 0,5R \nu T_1 (4 - 2^{1,5}) - 2,5R \nu (2^{1,5} - 1) T_1}{6R \nu T_1} = \\
 &= \frac{6 - 2 + 2^{0,5} - 5 \cdot 2^{0,5} + 2,5}{6} = \frac{6,5 - 4 \cdot 2^{0,5}}{6} = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6};
 \end{aligned}$$

3) Во всех процессах $C = \text{const} \Rightarrow$ все процессы
в цикле - политропические ($PV^n = \text{const}$)

$$3 \rightarrow 1: C = 2,5R = \frac{3}{2}R + R = C_p \Rightarrow \text{в } 3 \rightarrow 1 \quad P = P_1 = \text{const} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_3 = \frac{\nu R \cdot 2^{1,5} T_1}{P_1} = 2^{1,5} V_1,$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



МФТИ

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

Имеем n газа $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$:

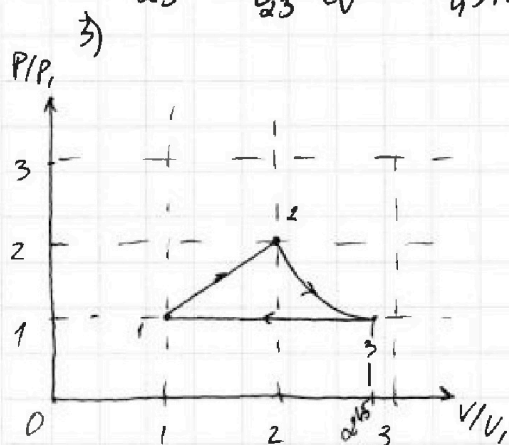
$$\eta_{12} = \frac{C_{12} - C_p}{C_{12} - C_v} = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = -1; \Rightarrow 1 \rightarrow 2: \frac{P}{V} = \text{const}$$

$$1 \rightarrow 2: P = kV$$

$$1: kV_1 \cdot V_1 = \nu RT_1$$

$$2: kV_2 \cdot V_2 = \nu R \cdot 4T_1 \Rightarrow \left. \begin{array}{l} V_2 = 2V_1 \\ P_2 = 2P_1 \end{array} \right\}$$

$$\eta_{23} = \frac{C_{23} - C_p}{C_{23} - C_v} = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = 2 \Rightarrow 2 \rightarrow 3: PV^2 = \text{const};$$

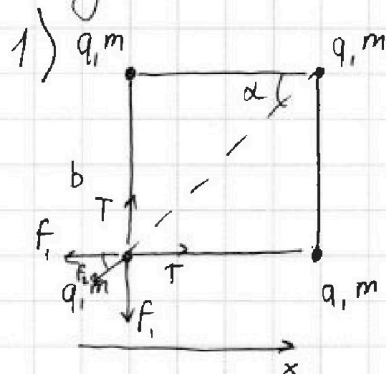


$$\text{Ответ: } 1) A = 4986 \text{ Дж}; 2) \eta = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6};$$

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!

Задача 5.



Запишем у-с равновесия
одного заряда на ось x:

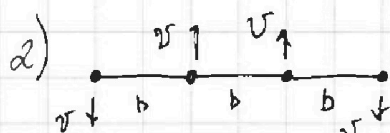
$$T - F_1 - F_2 \cos \alpha = 0;$$

$$F_1 = k \frac{q^2}{b^2};$$

$$F_2 = k \frac{q^2}{2b^2};$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$$\left. \begin{aligned} & \Rightarrow T = k \frac{q^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right) = \\ & = k \frac{q^2}{b^2} \cdot \frac{4 + \sqrt{2}}{4}; \end{aligned} \right\}$$



Исходя из ЗМ, скорости
у всех зарядов одинаковы

Рассчитаем энергию взаимодействия зарядов
в начале и когда они все будут на
одной прямой:

$$W_0 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \left(2 \cdot k \frac{q^2}{b} + k \frac{q^2}{\sqrt{2}b} \right)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \left(\left(2 k \frac{q^2}{b} + k \frac{q^2}{2b} \right) + \left(k \frac{q^2}{b} + k \frac{q^2}{2b} + k \frac{q^2}{3b} \right) \right)$$

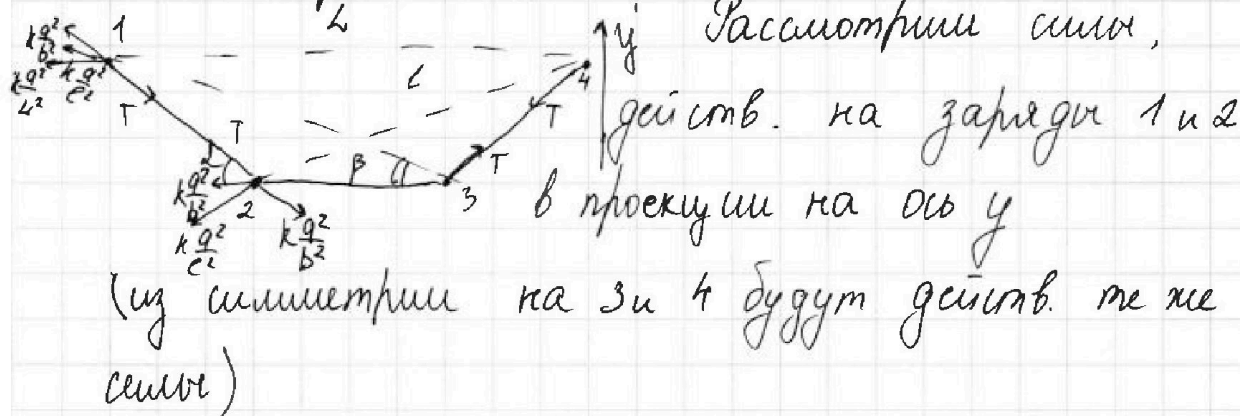
из ЗЭ: $\Delta W = 4 \cdot m \frac{v^2}{2}$

$$\begin{aligned} \Delta W = W_0 - W_2 &= 4 k \frac{q^2}{b} + \sqrt{2} k \frac{q^2}{b} - 2 k \frac{q^2}{b} - k \frac{q^2}{2b} - k \frac{q^2}{b} - k \frac{q^2}{2b} - k \frac{q^2}{3b} \\ &= k \frac{q^2}{b} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) \Rightarrow v = \sqrt{\frac{k q^2}{2 m b} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)}; \end{aligned}$$

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!

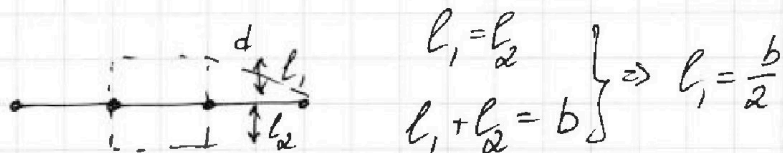
3) Рассмотрим систему в какой-то момент времени:



$$1: -ma_{y1} = T \cos \alpha - k \frac{q^2}{b^2} \sin \alpha - k \frac{q^2}{c^2} \sin \beta,$$

$$2: ma_{y2} = T \sin \alpha - k \frac{q^2}{b^2} \sin \alpha - k \frac{q^2}{c^2} \sin \beta,$$

Заметим, что $|a_{y1}| = |a_{y2}| \Rightarrow$ в любой момент времени ускорения на вертикаль равны $\Rightarrow$ в любой мом. времени вертик. сост. скоростей равны (нач. скорость 0) $\Rightarrow$ верхние заряды движутся от верхнего края на то же расстояние, что и нижние заряды от нижн. края.



из Тл. Теорема: $d = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + b^2} = b \frac{\sqrt{5}}{2}$

Ответ: 1) $T = \frac{kq^2}{b^2} \cdot \frac{4+\sqrt{5}}{4}$; 2) $v = \sqrt{\frac{kq^2}{2mb} (\sqrt{5}-1)}$; 3) $d = b \frac{\sqrt{5}}{2}$;



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 31 \\ \hline 6 \\ 4986 \end{array}$$