



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

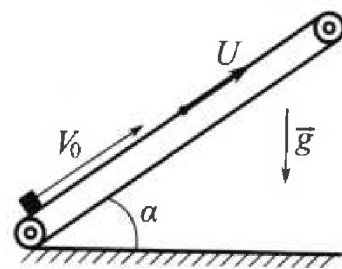
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



- ✓ 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/с². 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 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.



- ✓ 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/с². 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.

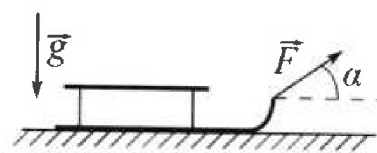
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости V_0 действие внешней силы прекращается.

- ✓ Найдите коэффициент μ 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

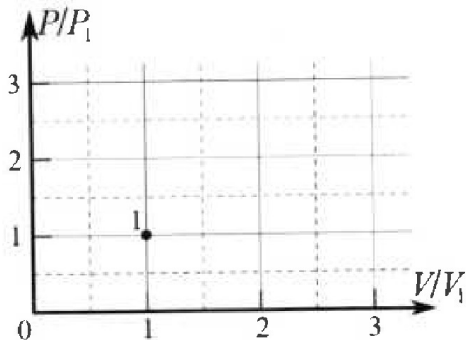
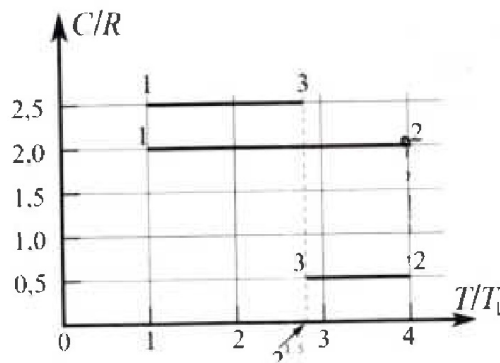
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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 $T_1 = 400$ K, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·K).

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.



~~Есть~~

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

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

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

$$- d(PV) = A$$

4. 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 .

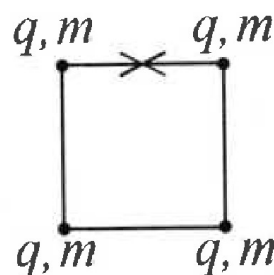
1) Найдите силу T натяжения нитей.

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.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

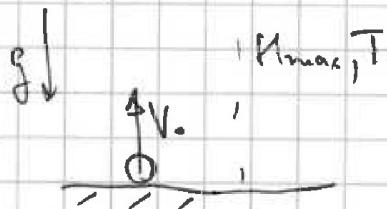
1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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

Условие
Задача 1

$$V_1 = 0$$



~~30 Э. 100 Э. 30 Э. 100 Э.~~ (лист 1/9)

1) Мяч движется равнозам.
с ускорением g .

$$\Rightarrow V_1 = V_0 - gT$$

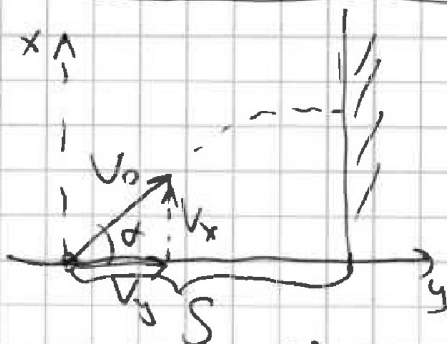
$$V_0 = V_1 + gT = 0 + 10 \cdot 2 = 20 \text{ м/с}$$

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

$$\begin{cases} H_0 = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \\ S = V_0 \cos \alpha t \end{cases} \Rightarrow H_0 = S \text{tg} \alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= S \left(\text{tg} \alpha - \frac{g}{2V_0^2} S \cdot \text{tg}^2 \alpha - \frac{gS}{2V_0^2} \right) - \text{параб. ветвь макс.}$$

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

$$H_{0\text{max}} = 20 \left(2 - \frac{10}{2 \cdot 400} \cdot 20 \cdot 2^2 - \frac{10 \cdot 20}{2 \cdot 400} \right)$$

$$H_0 = \frac{V_0^2}{8S} = \frac{400}{10 \cdot 20} = 2$$

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!

Установка задачи №1 продолжение лист 2/9

$$K_{\max} = 20 \left(2 - \frac{\omega \cdot 20 \cdot 2^2}{2 \cdot 400} - \frac{\omega \cdot 20}{2 \cdot 400} \right) =$$
$$= 20 \left(2 - 1 - \frac{1}{4} \right) = 20 \cdot \frac{3}{4} = \underline{15 \text{ м}}$$

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:

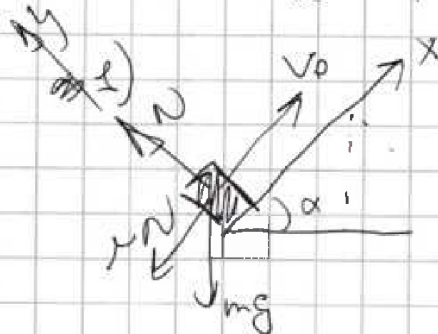
1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

МФТИ

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

Чистовик Задача 12

лист 5/9



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

По закону Ньютона:

$$OY: 0 = N - mg \cos \alpha$$

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

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

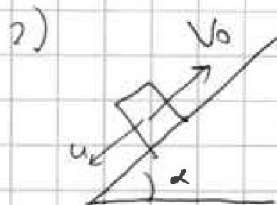
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow \frac{at^2}{2} + v_0 t - S = 0$$

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

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

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

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



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

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:

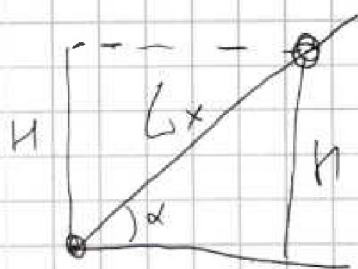
1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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

МФТИ

Установка задача 12 продолжение лист 6/9

3) В СО ~~кар~~ транспортёра, когда
коробка будет ^{выез} съезжать с транспортёра со
скоростью u , в лад. СО её скорость будет 0.



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

усл. такое-же как в п.1

$$L_x = (V_0 - u)t_x + \frac{at_x^2}{2}$$

$$-u = (V_0 - u) + at_x$$

$$t_x = \frac{-u - V_0 + u}{a} = \frac{-2 - 4 + 2}{-2} = \cancel{2} 2c$$

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

Ответ на п.3: $H = 0m$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

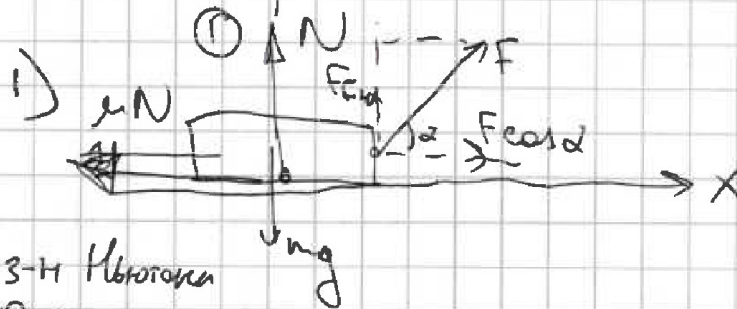
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

Чистовик Задача №3

лист 3/9



т.к. разгоняют
за одно и то
же время $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ ускорения
равны

Заи 3-й Ньютона

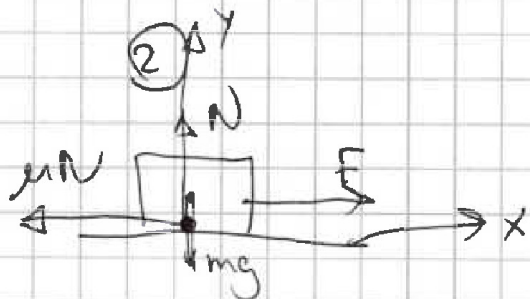
Ox:

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

Oy:

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

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



Заи 3-й Ньютона

Ox: $ma = F - \mu N$

Oy: $0 = N - mg$

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

(1) - (2)

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

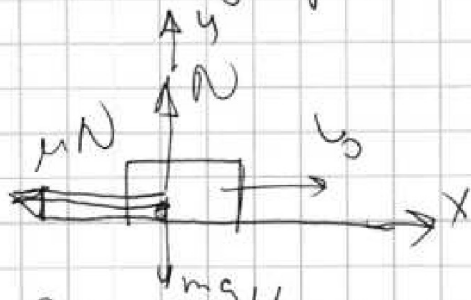
МФТИ

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



Чистовик задачи п.3 продолжение (лист 4/9)

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



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

Закон 3-х Ньютонов:

OY:

$$0 = N - mg$$

Ox:

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

$$a = -\mu g$$

$$V_{кон} = V_0 + aT$$

$$V_{кон} = 0$$

$$\Rightarrow T = \frac{-V_0}{a} = \frac{-V_0}{-\mu g} = \frac{V_0}{\mu g} =$$

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

В

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

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. Поря QR-кода нет.

Числовые задачи ~ 4

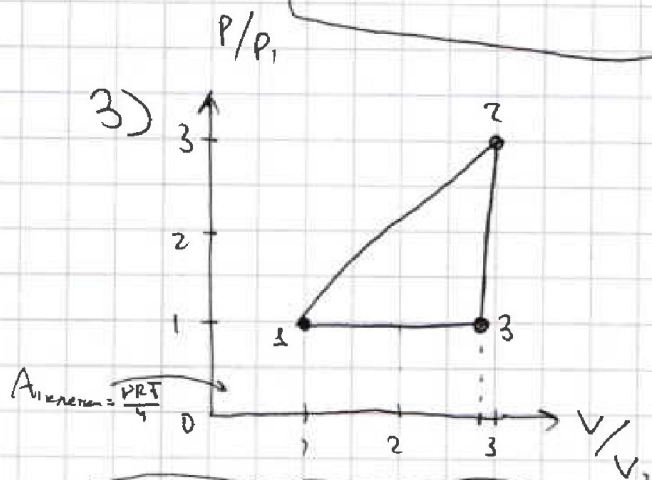
$(1) 2^{1,5} = 2^{\frac{3}{2}} = \sqrt{2^3} = \sqrt{8}$ (по 7/9)

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

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

2) $\eta = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} = 1 - \frac{\frac{pR}{2} T_1 (4 - \sqrt{8}) + \frac{5}{2} p T_1 p (\sqrt{8} - 1)}{\frac{3}{2} p R T_1 (4 - 1)} =$
 $= \frac{6 - 2 + \frac{\sqrt{8}}{2} - \frac{5}{2} \sqrt{8} + \frac{5}{2}}{6} = \frac{4 + \frac{5}{2} - \frac{4}{2} \sqrt{8}}{6} = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6}$

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



В процессе 13 $C = C_p \Rightarrow$

$\Rightarrow 13$ - изоб. процесс

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

В процессе 12 $A = \frac{1}{2} p R \Delta T \Rightarrow$ т.е. процесс под давлением

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

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

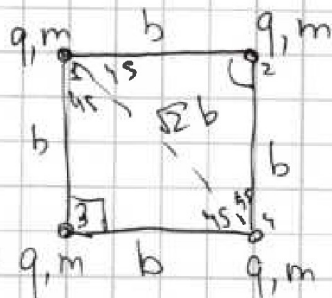
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Чистовик Задача №5

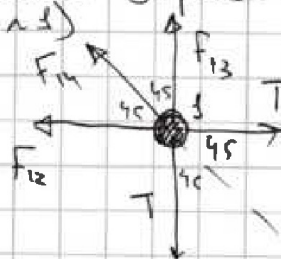
лист 81/9

1)

т.к. заряды
одинаковые
они будут
отталкиваться



Рассм. силы действ. на
один заряд. (Б.О.О заряд
№1)



Зап. закон Ньютона на

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

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

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

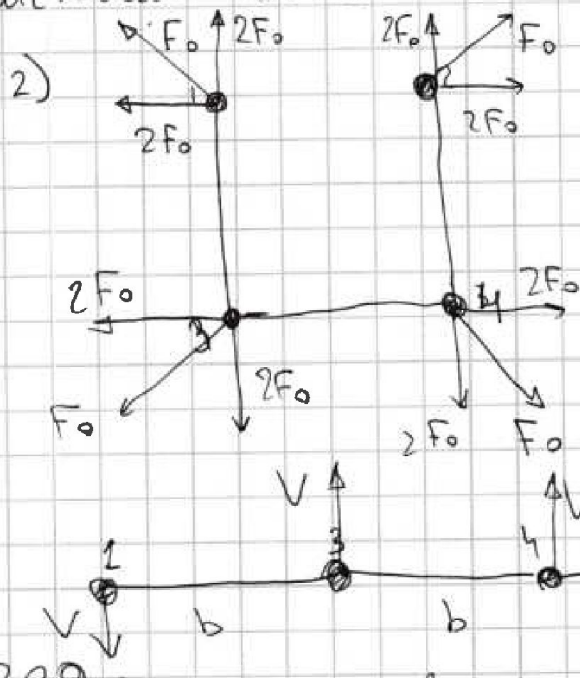
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

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

МФТИ



Чистовик Задача №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 №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 разойдутся в противоположные стороны



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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

МФТИ

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

1 2 3 4 5 6 7

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!

[illegible]

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!

Черновик

8,31
6

$\cos \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = 60^\circ$

$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{2 \cdot 10} = 5$

$40 = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \Rightarrow \sin^2 \alpha = 2$

$\alpha = 45^\circ$

$\tan \alpha = \frac{V_0 \sin \alpha}{V_0 \cos \alpha} = \frac{20}{20} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$

$\frac{1}{2} V_0^2 = \frac{1}{2} g L^2$

$-5x^2 + 20x - 5 = 0$

$H = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$

$5 = 20 \sin 45^\circ t - \frac{10t^2}{2}$

$5 = 10t - 5t^2$

$x = 2$

$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{2 + gL}{\cos^2 \alpha V_0^2}$

$\frac{1}{\cos^2 45^\circ} = \frac{2 + 10L}{\cos^2 45^\circ \cdot 400}$

$2 = \frac{2 + 10L}{400}$

$800 = 2 + 10L$

$L = 79.8$

$H_0 = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{400 \cdot \frac{1}{4}}{2 \cdot 10} = 5$

$\frac{mV_0^2}{2} = m g L \sin \alpha + m g L \cos \alpha$

