

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.

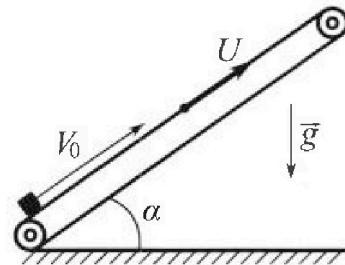
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

2) Теннисист посыпает 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 $g = 10 \text{ м/с}^2$. 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 $V_0 = 4 \text{ м/с}$. 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 $U = 2 \text{ м/с}$, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4 \text{ м/с}$.

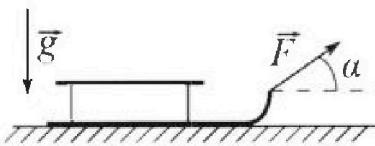
2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2 \text{ м/с}$?

3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. 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

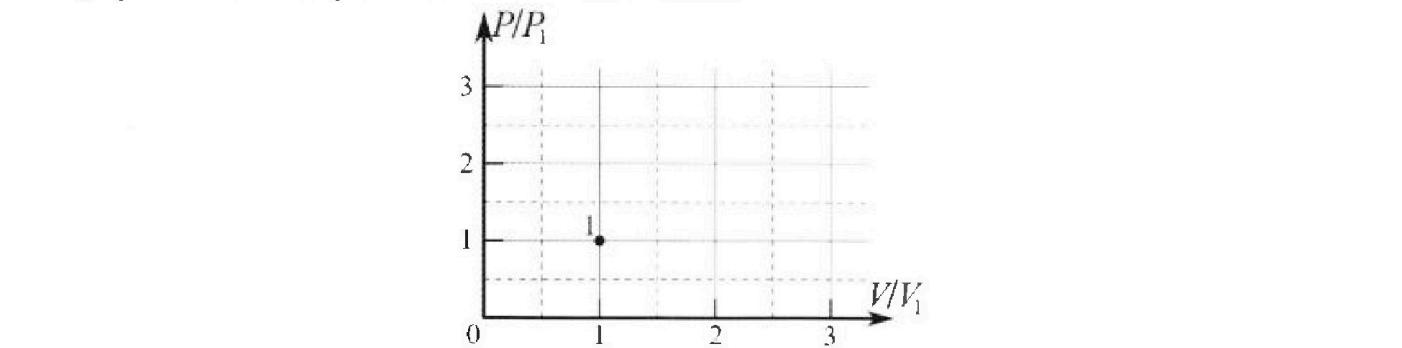
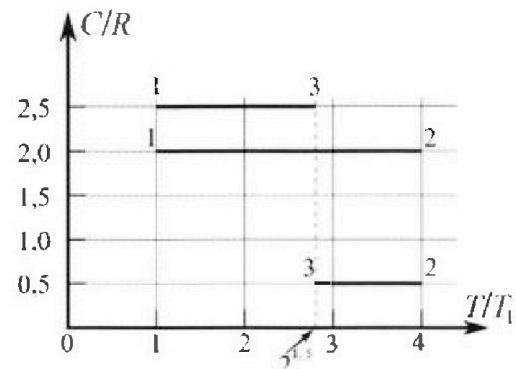
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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 .

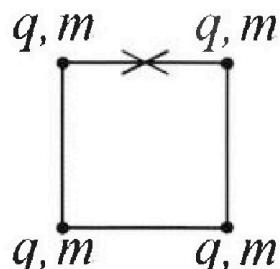
1) Найдите силу T натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость V любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На 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.





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

МФТИ

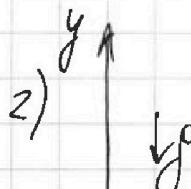
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



↓

$$y = V_0 t - \frac{gt^2}{2}; \text{ при } y = H_{\max} : V = 0 \\ V = V_0 - gt; \text{ при } y_t = H_{\max} \quad t = T = 2 \text{ с.} \\ 0 = V_0 - gT; \quad V_0 = gT = \underline{\underline{20 \text{ м/с}}}$$

V_0



V_0

$V_0 \cos \alpha$

$V_0 \sin \alpha$

α

x

$S = 20 \text{ м}$

$$V_x = V_0 \cos \alpha \\ V_y = V_0 \sin \alpha - gt \\ x = V_0 t \cos \alpha \\ y = V_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$$

Пусть при ударе о стекло $t = t_x$,

тогда $x = S = V_0 t_x \cos \alpha$

$$\frac{1}{t_x} = \frac{S}{V_0 \cos \alpha}; \quad y = h = V_0 \sin \alpha \cdot \frac{S}{V_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$h = S \sin \alpha \cdot \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}; \quad \text{пусть } k = \frac{1}{\cos \alpha}, \text{ тогда}$$

$h = S \sin \alpha \cdot k - \frac{g S^2}{2 V_0^2} k^2$, - уатрик-парабола, вершина вниз.

$$\text{Чт-ко максимум } h \text{ вершине } k = \frac{-S \sin \alpha}{-\frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot 2} = \frac{S \sin \alpha}{\frac{g S^2}{V_0^2}} =$$

$$= \frac{V_0^2 S \sin \alpha}{g S^2} = \frac{V_0^2 \sin \alpha}{g S} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{V_0^2 \sin \alpha}{g S \cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{g S}{V_0^2 \sin \alpha}; \quad 2 \sin \alpha \cos \alpha = \frac{g S}{V_0^2} = 2 \sin \alpha \sin(2\alpha) = \frac{2 \cdot 10 \cdot 20}{20^2}$$

$$\sin(2\alpha) = 1; \quad \text{Чт-ко } 2\alpha = 90^\circ; \quad \alpha = 45^\circ.$$

$$h = S t_x \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} = 20 - \frac{4000}{2 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2}} = 20 - 10 = 10 \text{ м}$$

Ответ: 1) 20 м/с; 2) 10 м

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

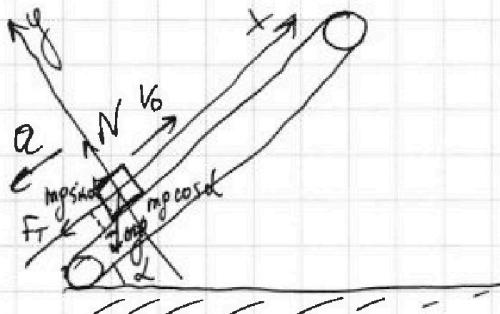
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" 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!



$$\sin \alpha = 0,8; \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,64} = 0,6$$
$$\mu = \frac{1}{3}$$

$$1) Dy: \alpha = N - m g \cos \alpha; N = m g \cos \alpha$$
$$F_f = \mu N = \mu m g \cos \alpha$$

$$Dx: -m a = -F_f - m g \sin \alpha$$

$$m a = \mu m g \cos \alpha + m g \sin \alpha$$

$$\alpha = \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) =$$
$$= g\left(\frac{1}{3} \cdot 0,6 + 0,8\right) = g(0,8 + 0,2) = g$$

2) Найдите на какое
расстояние вверх (x_m)
по остановленному
транспартиру чай суп
проехал по склону:

$$\frac{m V_0^2}{2} - \mu m g \cos \alpha x = m g x \sin \alpha$$

$$\frac{V_0^2}{2} = g x \sin \alpha + M g x \cos \alpha = g x (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = g x$$

$$x = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ м}, \text{ а-ко чай суп останется}$$

однако до того как проехал $S = 1 \text{ м}$.

$S = x + S'$. Расстояние $x = 0,8$ он проехал за t_1 ,
расстояние S' за t_2 . $T = t_1 + t_2$ - искомое.

$$0 = V_0 - at_1; at_1 = V_0; gt_1 = V_0; t_1 = \frac{V_0}{g} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ с.}$$

$$S': S' = \frac{\alpha t_2^2}{2}; \alpha' = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) =$$
$$= g(0,8 - 0,2) = 0,6g \text{ м/с}^2 \text{ сила тяжести стала действовать}$$
$$\text{в другую сторону.}$$

$$S' = 0,2 \text{ м} = \frac{0,6g t_2^2}{2}; 0,6g t_2^2 = 0,4; 6g t_2^2 = 4; t_2^2 = \frac{4}{60} = \frac{1}{15}$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{15}}{15}; T = 0,4 + \frac{\sqrt{15}}{15}$$

?

См. в след. листе задачи 2

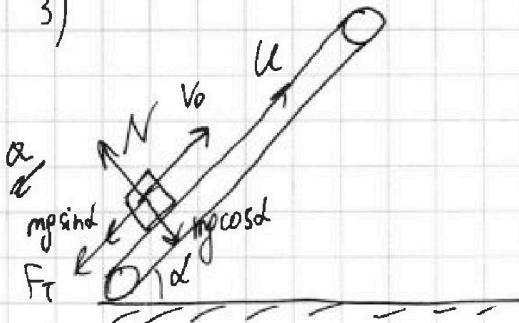


- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

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

МФТИ

3)



Во втором эксперименте сила трущие будут действовать "вниз" будь плоскости пока $v > u$ когда
и станет больше v сила
трущие станут действовать
вверх.

Найдём L , при которых $v = u$, тогда $v = v_0$

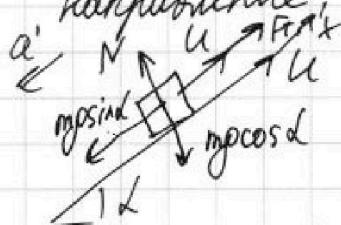
при $v > u$ $\alpha = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = g$

$$\frac{mv_0^2}{2} - \mu mg \cos \alpha L = \frac{mu^2}{2} + mg L \sin \alpha$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{u^2}{2} + gL(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{u^2}{2} + gL$$

$$L = \frac{\frac{v_0^2}{2} - \frac{u^2}{2}}{g} = \frac{16 - 4}{20} = \frac{12}{20} = \frac{3}{5} = 0,6 \text{ м}$$

После этого момента сила трущие поменяла
направление, т.к. $v < u$



ли-но. От: $-ma^2 = -m \alpha \sin \alpha + \mu m \alpha \cos \alpha$

$$a^2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = g(0,8 - 0,2) = 0,6g$$

при остановке $0 = u - 0,6g t_x$; $t_x = \frac{u}{0,6g}$

Путь s по остановки проедет еще L'

$$L' = ut_x - \frac{0,6g t_x^2}{2} = ut - \frac{0,6ut^2}{2} = \frac{u^2}{0,6g} - \frac{u^2}{2} = \frac{u^2}{1,2g}$$

$$L' = \frac{4}{12} = \frac{1}{3} \text{ м}, \text{ тогда исходное}$$

$$H = (L + L') \sin \alpha = \left(\frac{3}{5} + \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{4}{5} = \frac{14}{15} \cdot \frac{4}{5} = \frac{56}{75} \text{ м.}$$

Ответ: 1) $T = (94 + \frac{775}{75}) \text{ кг}$; 2) $0,6 \text{ м}$; 3) $\frac{56}{75} \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

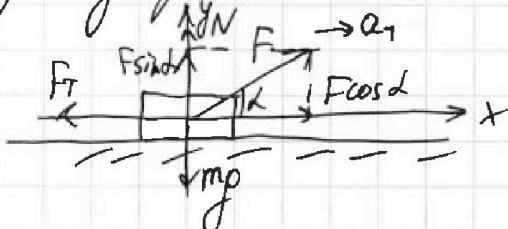


- | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|

МФТИ

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

1) Дог упаки α



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

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

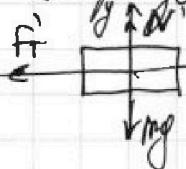
$$F_{Rp} = \mu N = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

$$Ox: ma_1 = F \cos \alpha - F_f =$$

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

$$v_0 = a_1 t = \frac{Ft}{m} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu gt$$

2) Горизонтальная сила



$$Oy: 0 = N' - mg; N' = mg$$

$$F_{Rp} = \mu mg$$

$$Ox: ma_2 = F - F_f = F - \mu mg \quad Ox: ma_2 = F - \mu mg$$

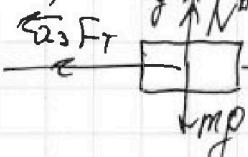
$$a_2 = \frac{F - \mu mg}{m}; v_0 = a_2 t = \frac{Ft}{m} - \mu gt$$

По усл. $v_0 = a_1 t = a_2 t$, отсюда

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

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

3) Максимальные действующие силы:



$$Oy: 0 = N' - mg; N' = mg; F_f = \mu mg$$

$$Ox: -ma_3 = -\mu mg; a_3 = \mu g$$

$$0 = v_0 - \mu g t; T = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{\mu(1 - \cos \alpha)}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <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!

$$V = 1 \text{ моль}; T_1 = 400 \text{ K}$$

1) В процессе 1-2:

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}. C_{12} = 2R - \text{из уравнка.}$$

$$Q_{12} = V C_{12} \Delta T_{12}; V C_{12} (4T_1 - T_1) = 6V R T_1 - \text{из ур.}$$

$$\text{Чур } \Delta U_{12} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} V R T_1 \cdot 3 = 4,5 V R T_1$$

$$A_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 1,5 V R T_1 = 1,5 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 400 = \\ = 600 \cdot 8,31 = 4986 \text{ дж}$$

$$2) \eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}, \text{ где } Q_H - \text{"наработано"; } Q_X - \text{"хонорарная"}$$

$$Q_H = Q_{12}; Q_X = Q_{23} + Q_{31}; \text{ Из ур. } Q_{23} = V C_{23} \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = 0,5R; \Delta T_{23} = 2\sqrt{2}T_1 - 4T_1$$

$$Q_{23} = V \cdot 0,5R \cdot T_1 (2\sqrt{2} - 4) = V R T_1 (\sqrt{2} - 2)$$

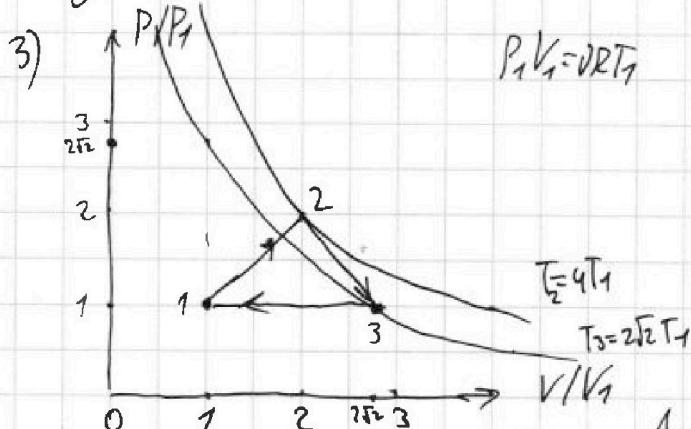
$$Q_{31} = V C_{31} \Delta T_{31}; C_{31} = 2,5R; \Delta T_{31} = T_1 - 2\sqrt{2}T_1$$

$$Q_{31} = 2,5 V R T_1 (1 - 2\sqrt{2})$$

$$Q_X = |Q_{31}| + |Q_{23}| = V R T_1 (2 - \sqrt{2}) + 2,5 V R T_1 (2\sqrt{2} - 1) =$$

$$= V R T_1 (2 - \sqrt{2} + 5\sqrt{2} - 2,5) = V R T_1 (4\sqrt{2} - 0,5)$$

$$\eta = \frac{6 V R T_1 - (4\sqrt{2} - 0,5) V R T_1}{6 V R T_1} = \frac{6 - 4\sqrt{2} + 0,5}{6} = \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$



$$P_1 V_1 = V R T_1$$

$$\begin{aligned} A_{23} &= Q_{23} - \Delta U_{23} = 2\sqrt{2} - 4 \\ &= V R T_1 (\sqrt{2} - 2) - \frac{3}{2} V R T_1 (4 - 2\sqrt{2}) = \\ &= V R T_1 (\sqrt{2} - 2) - 3 V R T_1 (2 - \sqrt{2}) = \\ &= -2 V R T_1 (\sqrt{2} - 2) = \sqrt{2} - 2 \\ &= (-2\sqrt{2} + 4) P_1 V_1. \quad T_2 = 4T_1 \\ T_3 &= 2\sqrt{2} T_1 \end{aligned}$$

$$A_{31} = A_{23} = (P_2 + P_1) \cdot \frac{1}{2} \cdot (V_2 - V_1)$$

$$P_2 V_2 = 4 V R T_1 = 4 P_1 V_1$$

$$\begin{aligned} A_{23} &= \frac{1}{2} (4 P_1 V_1 - P_1 V_1 + P_2 V_2 - P_2 V_1) = \\ &= \frac{1}{2} (3 P_1 V_1 + P_2 V_2 - P_2 V_1) = (4 - 2\sqrt{2}) P_1 V_1 \\ 3 P_1 V_1 + P_2 V_2 - P_2 V_1 &= 8 P_1 V_1 - 4\sqrt{2} P_1 V_1; P_1 V_2 - P_2 V_1 = (5 - 4\sqrt{2}) P_1 V_1 \end{aligned}$$

$$\frac{V_2}{V_1} - \frac{P_2}{P_1} = 5 - 4\sqrt{2}; A_{31} = V R T_1 (1 - 2\sqrt{2}). \text{ Отвем: } \frac{P_2}{P_1} = 2\sqrt{2}; \frac{V_2}{V_1} = 1 - 2\sqrt{2} \quad 1) 4986 \text{ дж} \quad 2) \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

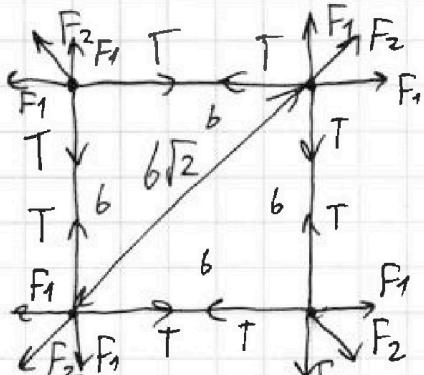
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|

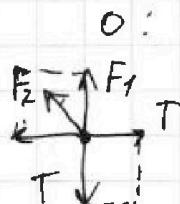
МФТИ



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



1) Рассмотрим один шарик, равноравнствующий силам, которые были на начале ряда



$$F_2 = T\sqrt{2} = F_2 + F_1\sqrt{2}$$

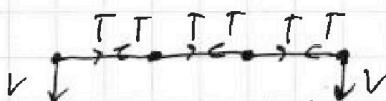
$$F_1 = \frac{kq^2}{b^2}$$

$$F_2 = \frac{kq^2}{2b^2} \text{ - диагональ}$$

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

$$T = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right) = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

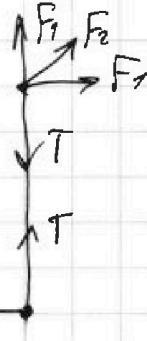
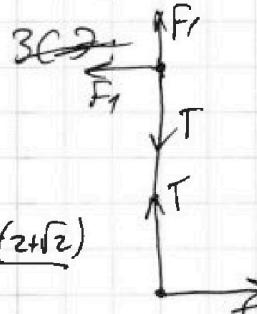
2)



$$\text{ЗСД: } \frac{2mV^2 + 2kq^2}{2} = \frac{2mV^2 + 2kq^2}{2}$$

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{kq^2}{b^2} \cdot (2 + \sqrt{2})b = \frac{kq^2(2 + \sqrt{2})}{b}$$

$$V = \sqrt{\frac{2kq^2(2 + \sqrt{2})}{mb}}$$



$$\text{Ответ: 1) } T = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right); 2) V = \sqrt{\frac{2kq^2(2 + \sqrt{2})}{mb}}$$



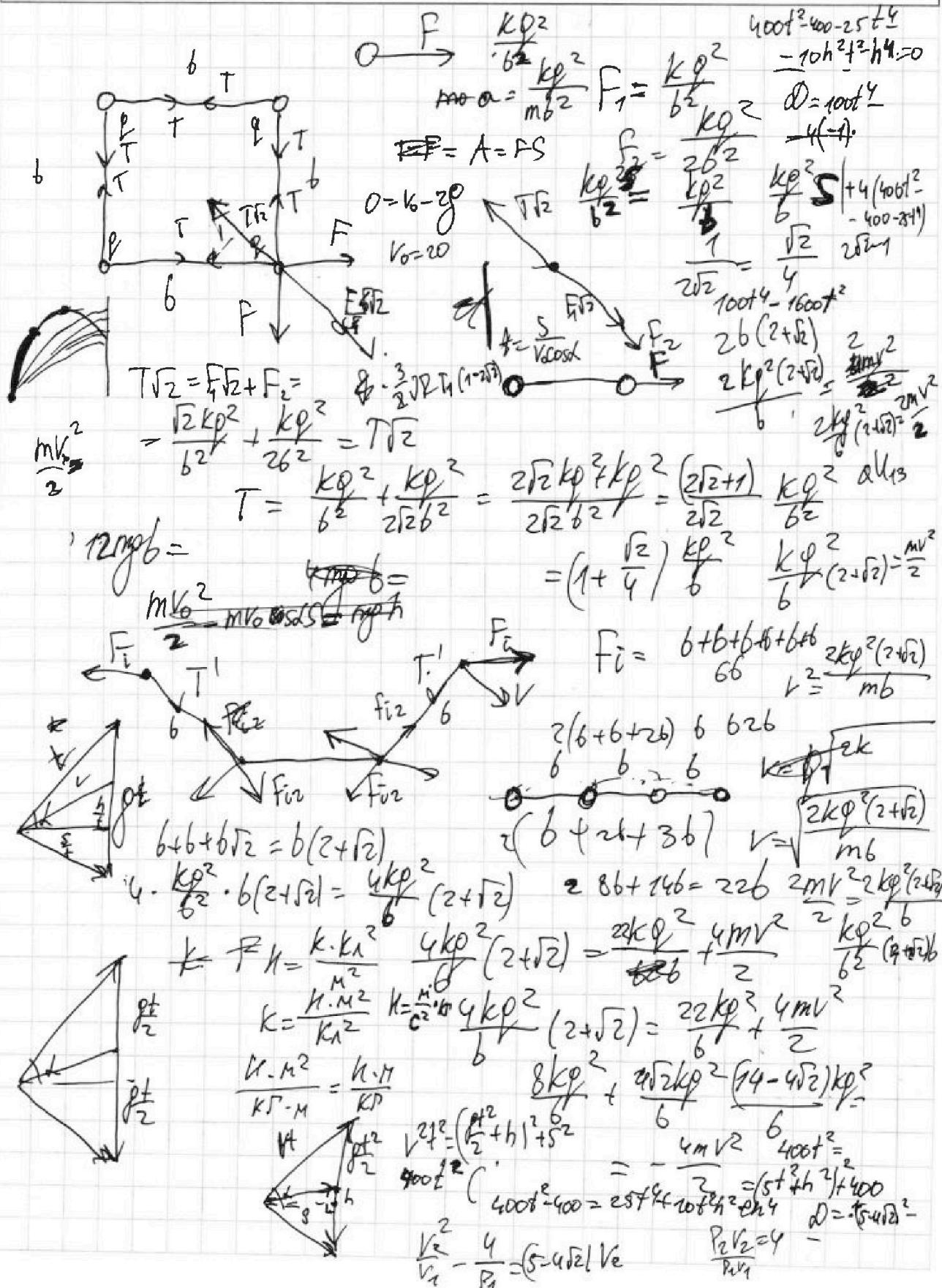
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.





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!



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!



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.