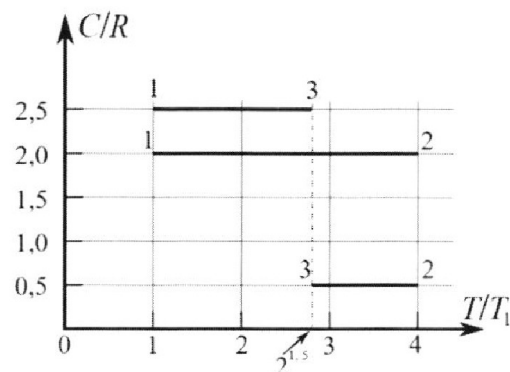


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

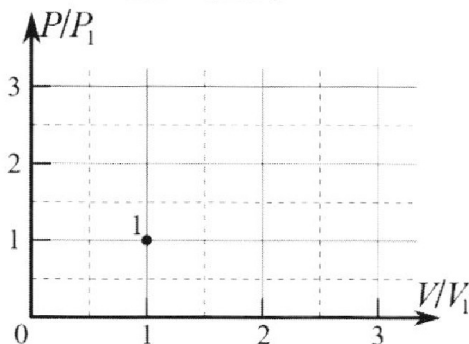
Вариант 10-01

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

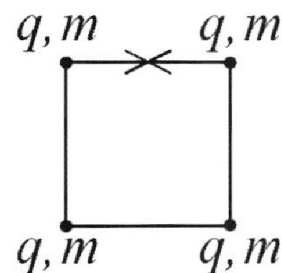
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

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



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.

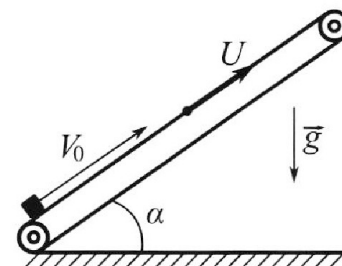
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.

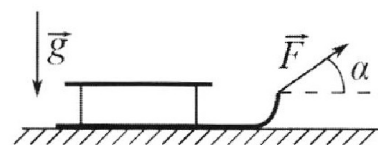
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.



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!

Ускорение свободного падения — g направлено вертикально
вниз. В первом случае. Максимальная
высота достигается когда скорость тела равна 0. Из

$$V(t) = V_0 - g t, \text{ где } t - \text{время полета падающим тело при}$$
$$\text{максимальной высоте } V(t) = 0 \Rightarrow V_0 = g T = 20 \text{ м/с.}$$

Для второго случая запишем зависимость координат
 x, y тела (за начало координат берем точку старта) от
скорости $V_0 = \text{const}$ времени ($V_0 = \text{const}$; α — угол под которым
бросили мяч).

$$x = V_0 \cos \alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{V_0 \cos \alpha}$$

$$y = V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2}$$

Выразим и подставим t из 1-ого уравнения во 2-е:

$$y = \tan \alpha \cdot x - \frac{g x^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} \quad \text{Из тригонометрии: } \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \tan^2 \alpha.$$

$$\text{П.е.: } y = \tan \alpha \cdot x - \frac{g x^2}{2 V_0^2} - \frac{g x^2 \tan^2 \alpha}{2 V_0^2} \quad \text{Пусть мы бросили}$$

мяч под углом α , что при попадании в сетку мы достигли

максимальной возможной высоты $y = h_{\max}$, причем тогда $x = S = 20 \text{ м}$

$$h_{\max} = \tan \alpha \cdot S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} - \frac{g S^2 \tan^2 \alpha}{2 V_0^2} \Rightarrow \tan \alpha \cdot \frac{g S^2}{2 V_0^2} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} + \frac{g S^2}{2 V_0^2} + h_{\max} = 0$$

Сократим это квадратное уравнение относительно $\tan \alpha$.



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!

Мы ведем что $\tan \alpha \in \mathbb{R} \Rightarrow D \geq 0$ т.е.:

$$S^2 - 4 \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} \left(\frac{g S^2}{2 v_0^2} + h_{\max} \right) \geq 0. \text{ Подставим:}$$

$$h_{\max} \leq - \frac{g S^2}{2 v_0^2} + \frac{S^2}{4 g} \text{ Подставим известные значения } S, v_0$$

$$\text{получим. } h_{\max} \leq 15 \text{ м.} \Rightarrow h_{\max} = 15 \text{ м. (максимальное значение)}$$

$$\text{Таким. } h_{\max} < v_0 T - \frac{g T^2}{2} \quad h_{\max} < 20 \text{ м - в первом случае.}$$

Ответ: $h_{\max} = 15 \text{ м.}$

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

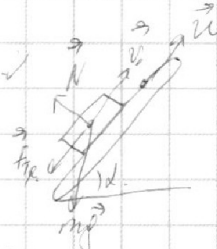
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Во втором случае, скорость тела, которая равна $U = 2 \text{ м/с}$.

В момент когда тело перестанет скользить по траектории

на каретку будут действовать абсолютно те же силы

что и в первом случае $\Rightarrow a_3 = g = 10 \text{ м/с}^2$



Скольжение прекратится когда

скорость каретки станет равна скорости тела.

$$U(t) = V_0 - a_3 t_3 \quad U = V_0 - a_3 t_3 \Rightarrow t_3 = \frac{V_0 - U}{a} = 0,2 \text{ с.}$$

$$\text{За это время каретка пройдет расстояние } L = V_0 t_3 - \frac{a t_3^2}{2} = 0,6 \text{ м.}$$

После прохождения расстояния L во втором случае тело начнет скользить вниз. ($mg \sin \alpha > \mu mg \cos \alpha$)

$$y: N = mg \cos \alpha; \quad F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha.$$

$$x: m a_1 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha.$$



$$a_1 = a_2 = 0,6 g = 6 \text{ м/с}^2. \quad \text{Скорость тела будет равна нулю.}$$

Скорость тела зависит от времени, как $V_x(t) = U - a_2 t_4$, при

$$V_x = 0. \quad U = a_2 t_4 \Rightarrow t_4 = \frac{2 \text{ м/с}}{6 \text{ м/с}^2} = \frac{1}{3} \text{ с.} \quad \text{За это время тело}$$

$$\text{спустится на высоту расстояние } X = \frac{a_2 t_4^2}{2} - U t_4 = -\frac{1}{3} \text{ м.}$$

$$\text{то есть оно поднимется на } \frac{1}{3} \text{ м. Тогда } H = (L + |X|) \sin \alpha = 0,747 \text{ м.}$$

$$\text{Ответ: } T = 0,4 + \frac{1}{3} \text{ с} \quad L = 0,6 \text{ м.} \quad H \approx 0,747 \text{ м.}$$

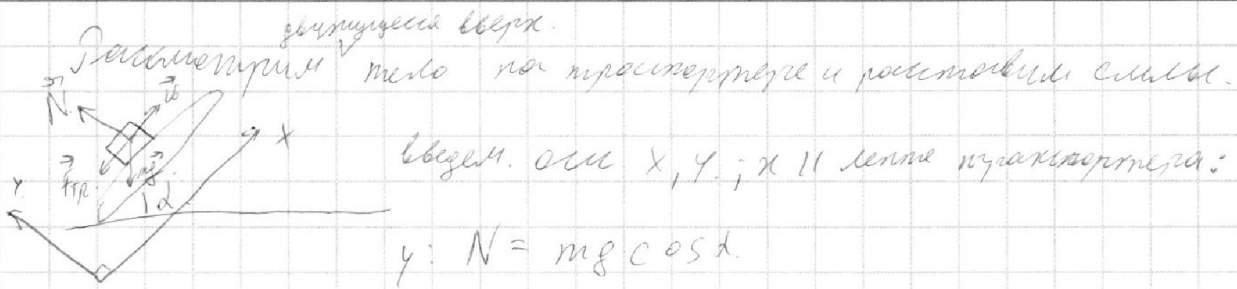
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$x: ma_1 = mg \sin \alpha + F_{\text{тр}} \Rightarrow ma_1 = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_1 = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha. \text{ — так как } v_x \geq 0. \text{ (пока тело движется вверх)}$$

$$\alpha \text{ Знаем } \sin \alpha = 0,8, \text{ найдем } \cos \alpha: \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6$$

$$a_1 = 0,8g + \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot g = g = 10 \text{ м/с}^2$$

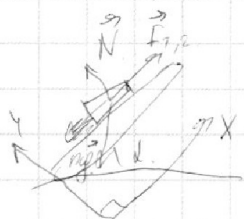
$$\text{Заметим что } t_1 \text{ — время движения вверх, равно } \frac{v_0}{a_1} = \frac{v_0}{g}$$

$$\text{Из } v(t) = v_0 - a_1 t, t_1 = 0,4 \text{ с. За это время тележка}$$

$$\text{проходит путь } S_1 = v_0 t_1 - \frac{g a_1 t_1^2}{2} = 0,8 \text{ м. Тогда}$$

чтобы тело прошло путь $S = 1 \text{ м}$, оно должно "сехать" вниз

на $0,2 \text{ м} = S_2$. Для второго случая:



Причем тело обязательно начнет скользить т.к.

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N \Rightarrow F_{\text{тр}} \leq \mu mg \cos \alpha \leq mg \sin \alpha$$

по оси y все аналогично. 1-му случаю по оси x :

$$ma_2 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha. a_2 = 0,6g = 6 \text{ м/с}^2$$

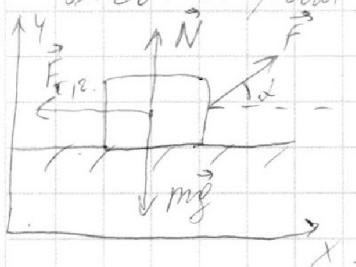
$$S_2 = \frac{a_2 t_2^2}{2} = 0,2 \text{ м} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{6 \text{ м/с}^2}} = \frac{1}{\sqrt{15}} \Rightarrow T = t_1 + t_2 = 0,4 + \frac{1}{\sqrt{15}} \text{ с.}$$

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!

Нак. как. катящиеся скорости v_1, v_2 шаров в обоих случаях равны и равны v_0 . И время, разгона также одинаково и равно t . Мы можем сделать вывод, что ускорение шаров в обоих случаях, равны и, равны a .

Рассмотрим 1-ый случай:



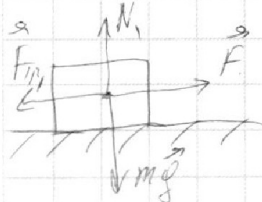
Введем осн. x и y :

$$y: N + F \sin \alpha = mg \Rightarrow N = mg - F \sin \alpha$$

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

$$x: F \cos \alpha - F_{тр} = ma \Rightarrow ma = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$$

Рассмотрим второй случай:



$$y: N_1 = mg$$

$$F_{тр1} = \mu N_1 = \mu mg$$

$$x: F - F_{тр1} = ma \Rightarrow ma = F - \mu mg$$

Приравняем два катящихся уравнения для обоих случаев: $F - \mu mg = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$

$$1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha \Rightarrow \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \text{ где } \alpha - \text{это угол наклона}$$

из условия угол.

После прекращения действия силы F на шарик μ будет действовать

вот только сила $F_{тр1} = \mu mg \Rightarrow a_1 = \mu g$ - ускорение

торможения. Тогда $T = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$ Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ $T = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$



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!

Ответ: $T = \frac{\sqrt{2} \text{ кг}^2 (\sqrt{2} + 0,5)}{2 b^2}$; $V = \frac{\text{кг}^2}{b^2} + \frac{\sqrt{2} \text{ кг}^2}{4 b^2} \cdot \sqrt{\frac{9 b}{2}}$
 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!



$$0,84 \quad 0,5 \cdot 0,04 = 0,2$$

$$0,6 + 0,333$$

$$\frac{8}{3} = 2 \frac{2}{3}$$

$$2\sqrt{2}T = \sqrt{2}F$$

$$0,933 \cdot 0,8$$

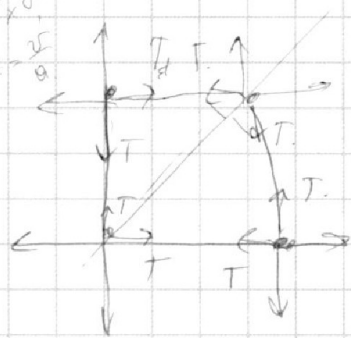
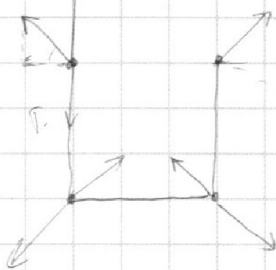
$$V = 0,8 \cdot e^{-\frac{V}{a}}$$

$$S = \frac{V^2 + 0,8V^2}{2}$$

$$F = k \frac{q^2}{Rb^2}$$

$$T = k \frac{q^2}{b}$$

$$S = \frac{V^2}{2a}$$



$$p_1 V_1 = \sqrt{2} T_1$$

$$\sqrt{2} T = p_2 V - p_1 V_1$$

$$Q = \Delta U + A_2 = C m \Delta T$$

$$C = \frac{\Delta U + A_2}{m \Delta T} = \frac{3}{2} \sqrt{2} T + p \Delta$$

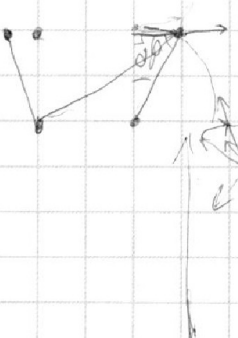
$$F = k \frac{q^2}{b^2}$$

$$F = k \frac{q^2}{2b^2}$$

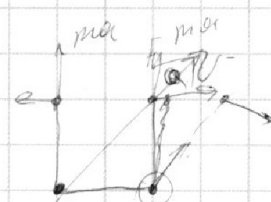
$$3 \frac{kq^2}{b^2}$$

$$\sqrt{2} F + \frac{F}{2} = F \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right)$$

$$T_1 = m a_1 = \frac{V^2}{2b}$$



$$F \cos \alpha d\varphi$$



$$F = m a, \sum F = m a_1$$

$$m a_1$$

80.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

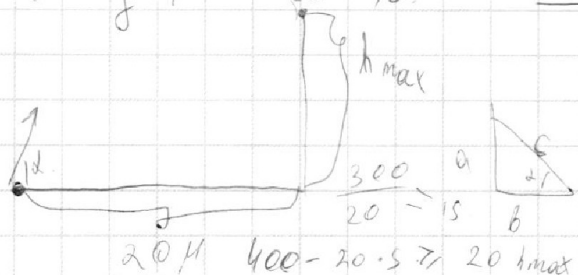
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

МФТИ



$$V_0 = g T = 20 \text{ м/с.}$$

$$\frac{10 \text{ м/с} \cdot 400 \text{ м/с}^2}{400 \text{ м/с}^2} = 10 \text{ м/с.}$$



$$\text{tg} \alpha = \frac{a}{b} = \frac{300}{20} = 15$$

$$1 - \text{tg}^2 \alpha = \frac{b^2 - a^2}{b^2}$$

$$\frac{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \alpha}}{\cos^2 \alpha} = \frac{a^2 + b^2}{b^2} = \frac{c^2}{b^2} = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{c^2}{b^2} = \frac{a^2}{b^2} + 1$$

$$x = V_0 \cos \alpha T = 20 \text{ м.} \Rightarrow T = \frac{x}{V_0 \cos \alpha}$$

$$y = V_0 \sin \alpha T - \frac{g T^2}{2} = h_{\max} = \text{tg} \alpha x - \frac{g x^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= \text{tg} \alpha x - \frac{g x^2 (1 + \text{tg}^2 \alpha)}{2 V_0^2} - \frac{g x^2 \text{tg}^2 \alpha}{2 V_0^2} = h_{\max}$$

$$\text{tg} \alpha \in \mathbb{R}$$

$$D \geq 0 \quad D = x^2 - 4 \cdot \frac{g x^2}{2 V_0^2} \cdot \left(\frac{g x^2}{2 V_0^2} + h_{\max} \right) \geq 0$$

$$\frac{g x^2 \text{tg}^2 \alpha}{2 V_0^2} - \text{tg} \alpha x + \frac{g x^2}{2 V_0^2} + h_{\max} = 0$$

$$\frac{4}{60} = \frac{1}{15}$$

$$h_{\max} \frac{g x^2}{2 V_0^2} \leq x - 4 \cdot \frac{g x^2}{2 V_0^2} \quad 20 \text{ м/с} \cdot 2 - \frac{10 \cdot 4}{2} = 20$$

$$h_{\max} \leq \frac{300 \cdot 400 \cdot 2}{4000 \cdot 10 \cdot 5} \leq 60 \text{ м.} \quad F_{T2} \leq \mu N$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$mg \cdot 0,8 > mg \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,6$$

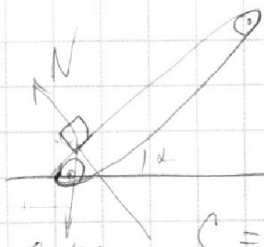
$$ma_1 = mg \cdot 0,8 + N \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,6$$

$$a_1 = g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$T_2 = \frac{v_{0,2}}{a_2} = \frac{1}{15} \quad T_1 = \frac{V_0}{a_1} = 0,4 \text{ с}$$

$$S_1 = V_0 \cdot T_1 - \frac{a_1 T_1^2}{2} = 0,8 \text{ м.}$$

$$S_2 = \frac{a_2 T_2^2}{2} \quad ma_2 = mg \sin \alpha - mg \cos \alpha \cdot \mu = 0,8 g \quad T = T_1 + T_2$$



$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6$$

$$mg \sin \alpha$$

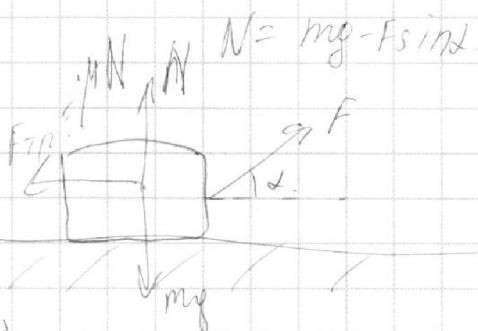
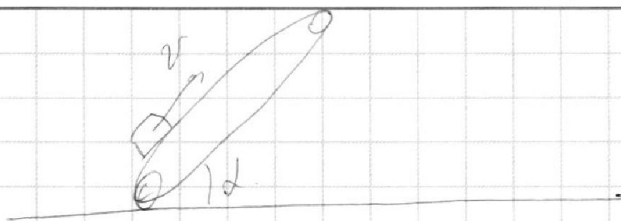
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$F_1 = F_2 \quad v_1 = v_2 = v_0$$

$$\Rightarrow a_1 = a_2$$

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

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

$$\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

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

$$3) \quad v_0 = a \cdot t, \quad F_* = 0, \quad ma_* = \mu mg = \mu g$$

$$t = \frac{v_0}{a_*} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) g}$$