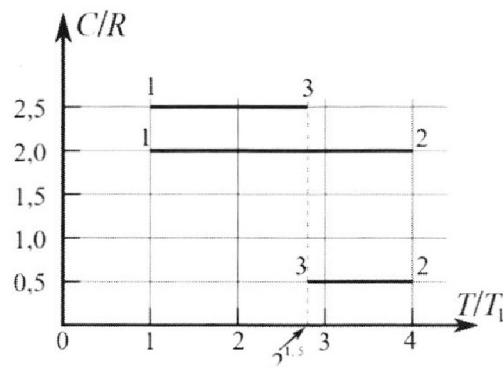


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

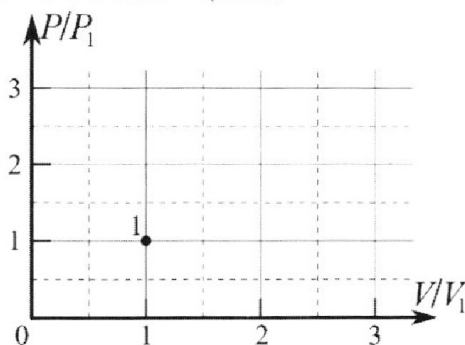
Вариант 10-01

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

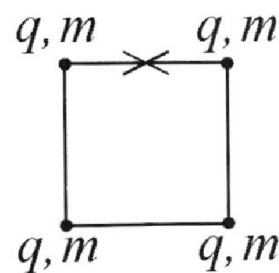
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

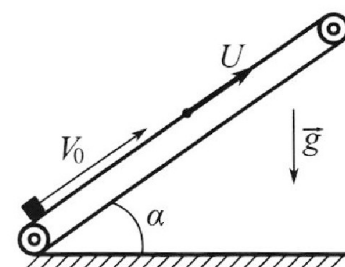
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.



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!

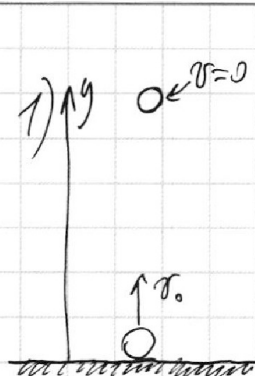


$$T = 2c$$

$$S = 20 \text{ м}$$

$$1) v_0 - ?$$

$$2) h_{\text{max}} - ?$$



$$y: v = v_0 - gt$$

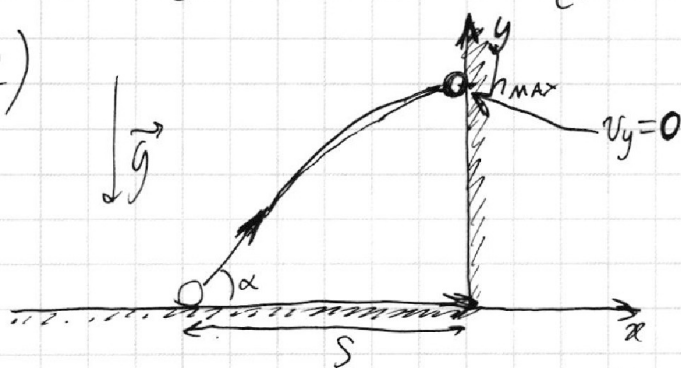
$$v = v_0 - gT = 0$$

$$v_0 = gT$$

$$v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2c = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)



Мяч будет на максимальной высоте, когда проекция его скорости на ось y будет равна 0.

t - время, при котором мяч ударится о землю с максимальной высотой

$$v_y = v_{0y} - gt = 0$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt = 0$$

$$v_0 \sin \alpha = gt \Rightarrow t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$y = h_{\text{max}} = v_{0y} t - \frac{gt^2}{2} = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$x: S = v_x t = v_{0x} t = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{S}{\frac{v_0^2 \sin \alpha}{g}} = \frac{Sg}{v_0^2 \sin \alpha} = \frac{20 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{(20 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 \sin \alpha} = \frac{1}{2 \sin \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\sin^2 \alpha + \frac{1}{4 \sin^2 \alpha} = 1$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

см. чер. чер.



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!

$$h_{\max} = \frac{(20 \frac{м}{с})^2 \frac{1}{4}}{2 \cdot 10 \frac{м}{с^2}} = \frac{(20 \frac{м}{с})^2 \frac{1}{2}}{2 \cdot 10 \frac{м}{с^2}} = 10 м$$

Ответ: $h_{\max} = 10 м.$

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!

$\sin \alpha = 0,8$
 $v_0 = 4 \frac{m}{c}$
 $M = \frac{1}{3}$
 1) $S = 1 m$
 2) $V = 2 \frac{m}{c}$
 $v = 0$
 1) $T = ?$
 2) $L = ?$
 3) $H = ?$

По III закону Ньютона

$$N = mg \cos \alpha$$

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

Теперь, каковы максимальным расстоянием l_{max} окажется каретка от точки старта

Эк: $E_k = A_{тр} + E_n$

$$\text{ЭСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} = F_{тр} l_{max} + mg l_{max} \sin \alpha$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu mg \cos \alpha l_{max} + mg l_{max} \sin \alpha$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = 0,6$$

$$l_{max} g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{v_0^2}{2}$$

$$l_{max} = \frac{v_0^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} \Rightarrow l_{max} = \frac{(4 \frac{m}{c})^2}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} (\frac{1}{3} \cdot 0,6 + 0,8)} = \frac{4}{5} m = 0,8 m$$

каретка пройдет вверх 0,8 м, затем будет двигаться 0,2 м вниз
после остановки II закон Ньютона

$$x: -mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = -ma$$

$$a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \Rightarrow a = 10 \frac{m}{c^2} (0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6) = 10 \frac{m}{c^2}$$

$$x: v_0 - at_1 = 0 \quad t_1 - \text{время до остановки}$$

$$v_0 = at_1$$

$$t_1 = \frac{v_0}{a}$$

$$t_1 = \frac{4 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2}} = 0,4 c$$

см. след. стр.

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

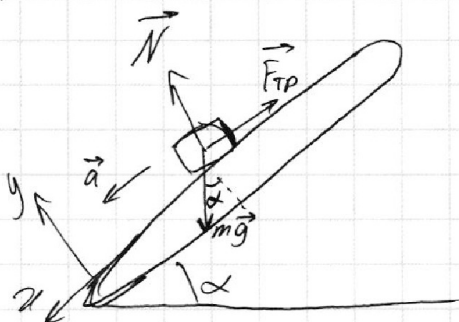
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

после остановки



По II закону Ньютона

$$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma$$

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

$$a = 10 \frac{m}{c^2} (0,8 - \frac{1}{3} 0,6) = 6 \frac{m}{c^2}$$

$$S' = S - l_{max} = 1m - 0,8m = 0,2m - \text{осталось проехать}$$

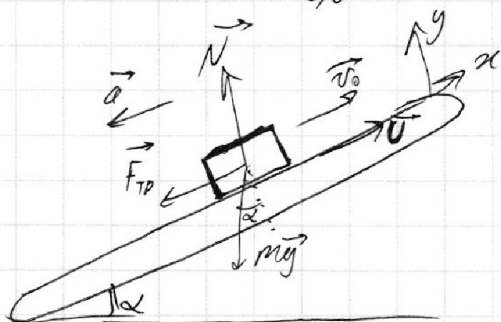
$$x = S' = \frac{a t_2^2}{2}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2S'}{a}} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2m}{6 \frac{m}{c^2}}} = \sqrt{\frac{1}{15}} c \approx 0,25c$$

$$T = t_1 + t_2 = 0,4c + 0,25c = 0,65c$$

$$\text{Ответ: } T = 0,65c$$

2)



$$\text{ЗЗ: } E_{k0} = A_{тр} + E_n + E_k$$

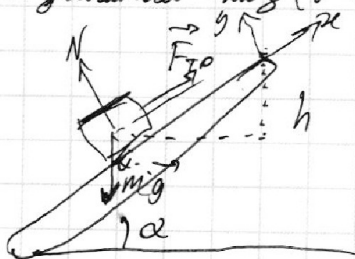
$$\frac{m v_0^2}{2} = \mu mg \cos \alpha L + mg L \sin \alpha + \frac{m v^2}{2}$$

$$L g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{v_0^2 - v^2}{2}$$

$$L = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} \Rightarrow L = \frac{(4 \frac{m}{c})^2 - (2 \frac{m}{c})^2}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} (\frac{1}{3} \cdot 0,6 + 0,8)} = \frac{3}{5} m$$

$$\text{Ответ: } L = \frac{3}{5} m$$

3) когда каретка начнет двигаться
вниз (v < 0)



$$\text{ЗЗ: } E_k = E_n + A_{тр}$$

$$E_k + A_{тр} = E_n$$

h - высота, на которую каретка
поднимется после остановки

см. см. стр.

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!

$$\frac{mU^2}{2} + \mu mg \cos \alpha \frac{h}{\sin \alpha} = mgh$$

$$h = g \cdot \cancel{\frac{1}{g}} \cdot \cancel{\frac{1}{g}}$$

$$\mu gh - \mu g \cos \alpha \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{U^2}{2}$$

$$hg(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}) = \frac{U^2}{2}$$

$$h = \frac{U^2}{2g(1 - \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha})} \Rightarrow h = \frac{(2 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 10 \frac{m}{s^2} (1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{0,6}{0,8})} = \frac{4}{15} \mu$$

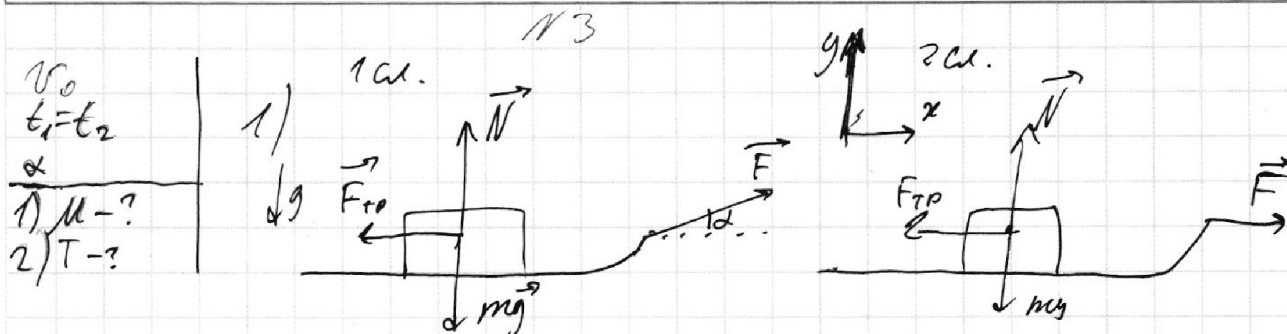
$$H = h + L \sin \alpha$$

$$H = \frac{4}{15} \mu + \frac{3}{5} \mu \cdot 0,8 = \frac{56}{75} \mu$$

$$\text{Ответ: } H = \frac{56}{75} \mu.$$

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!



По II закону Ньютона: $F \sin \alpha + N - mg = 0$

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

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

$$x: F \cos \alpha - F_{тр} = ma$$

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

$$v_1 = v_2 = v_0, t_1 = t_2 \Rightarrow a = \text{const} \Rightarrow ma = \text{const}$$

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

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

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

$$\mu F \sin \alpha = F (1 - \cos \alpha)$$

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

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

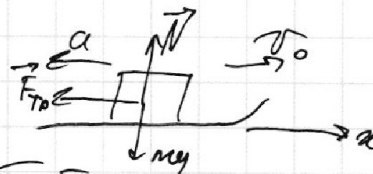
Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

$$2) v = 0 = v_0 - aT$$

$$v_0 = aT$$

$$T = \frac{v_0}{a}$$

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



По II закону Ньютона $F_{тр} = -ma \Rightarrow a = \frac{F_{тр}}{m}$

$$F_{тр} = \mu mg$$

$$a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g \Rightarrow a = g \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

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

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. Порча QR-кода недопустима!

$$T_1 = 400 \text{ K}$$

$$C_{1-2} = 2R$$

$$C_{2-3} = 0.5R$$

$$C_{3-1} = 2.5R$$

$$i = 3 (\text{одноатомный})$$

$$1) C = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

$$\Delta U_{1-2} = C_{1-2} \sqrt{T_2} = 2R \sqrt{4T_1 - T_1} = 2\sqrt{3}RT_1 = 6\sqrt{3}RT_1$$

$$\Delta U_{2-3} = C_{2-3} \sqrt{T_3} = 0.5R \sqrt{4T_1 - 2\sqrt{2}T_1} (2\sqrt{2}T_1 - 4T_1)$$

$$\Delta U_{3-1} = C_{3-1} \sqrt{T_3 - T_1} = 2.5R \sqrt{2\sqrt{2}T_1 - T_1 - 2\sqrt{2}T_1}$$

$$Q = A' + \Delta U$$

$$Q = P \Delta V + \frac{i}{2} \sqrt{R} \Delta T$$

$$PV = \sqrt{RT} \Rightarrow Q = A' = \sqrt{R}(T - T_0) = \sqrt{R} \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} A' \Rightarrow A'_{12} = \frac{2\Delta U}{3} = \frac{2 \cdot 6\sqrt{3}RT_1}{3} = 4\sqrt{3}RT_1$$

$$\text{Ответ: } A'_{12} = 4\sqrt{3}RT_1$$

$$A'_{12} = 4 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 400 \text{ K} = 13296 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } A'_{12} = 13296 \text{ Дж}$$

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!

В системе отсчета, связанной с лектой,
коробка движется со скоростью $v'_0 = v_0 - v$
когда скорость коробки будет равна v , она остановится относительно лекты

$$E(\gamma): \frac{mv_0'^2}{2} = E_k = A_{\text{тр}} + E_n$$

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

$$L \mu g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{v_0'^2}{2}$$

$$L g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{v_0^2 - v^2}{2}$$

$$L = \frac{v_0'^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{4}{20} = \frac{1}{5}$$

$$L = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{16 - 4}{20 \cdot 1} = \frac{12}{20} = \frac{3}{5}$$

$$L = v'_0 - at$$

По II закону Ньютона

$$x' - ma = -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

$$a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t = \frac{v'_0}{a} = \frac{2}{40} \text{с}$$

$$L_{\text{нр}} = vt = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{20} \text{с} = \frac{1}{10}$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{l} \Rightarrow h = l \sin \alpha$$

$$l = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$\sqrt{2k \log^2} = \frac{9}{6} \sqrt{2k} + k$$

$$F = \frac{9}{6} \sqrt{2k}$$

$$\frac{4}{20(1 - \frac{81}{84})} = \frac{1}{5 \cdot \frac{3}{4}} = \frac{4}{15}$$

$$\frac{4}{15} + \frac{3 \cdot 84}{5 \cdot 105} = \frac{4}{15} + \frac{12}{25} = \frac{20 + 36}{75} = \frac{56}{75} \text{ м}$$



$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \times 1600 \\ \hline 4986 \\ + 831 \\ \hline 13296,00 \end{array}$$

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

$$y = v_{0y} \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = v_{0y} \cdot \frac{v_{0y}}{g} - \frac{g \cdot v_{0y}^2}{2g^2} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$v_{0y} - gt = 0 \Rightarrow t = \frac{v_0}{g}$$

$$h_{\max} = v_{0y} \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$\cos \alpha = \frac{S}{v_0 t} = \frac{S}{v_0 \frac{v_0 \sin \alpha}{g}} = \frac{Sg}{v_0^2 \sin \alpha}$$

$$\frac{Sg}{v_0^2} = \frac{20 \cdot 10}{100} = \frac{20}{10} = 2$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\sin^2 \alpha + \left(\frac{Sg}{v_0^2 \sin \alpha} \right)^2 = 1$$

$$\sin^2 \alpha = x$$

$$x + \frac{S^2 g^2}{v_0^4 x} = 1$$

$$x^2 - x + \frac{S^2 g^2}{v_0^4} = 0$$

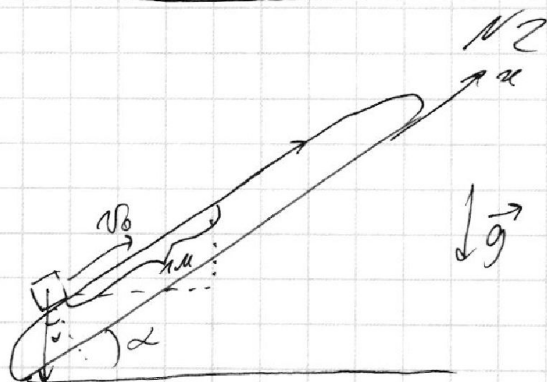
$$x^2 - x + \frac{1}{4} = 0$$

$$D = 1 - 4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{4} = 0$$

$$x = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

$$\frac{20^2 \cdot 1}{20 \cdot 2} = \frac{20}{2} = 10$$



$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,64} = \sqrt{0,36} = 0,6$$

$$\sqrt{\frac{1}{15}} \approx \sqrt{\frac{1}{26}} \approx \frac{1}{4}$$

$$\frac{9,4}{6} = \frac{4}{60} = \frac{1}{15}$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu mg \cos \alpha S_{\max} + mg S_{\max} \sin \alpha$$

$$S_{\max} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$S_{\max} = \frac{v_0^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{16 \cdot 84}{2 \cdot 10 \left(\frac{1}{3} \cdot 0,6 + 0,8 \right)} = \frac{4}{5 \cdot 1} = \frac{4}{5} \mu$$

$$\frac{1 \cdot 0,2}{3} = \frac{1}{15}$$