



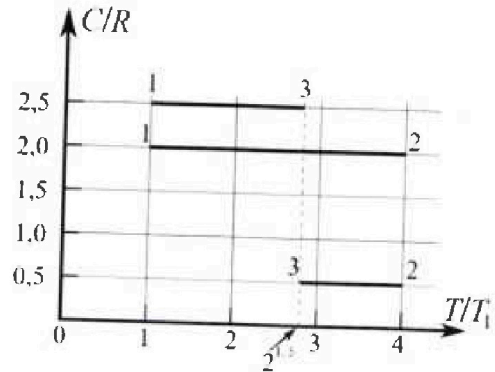
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



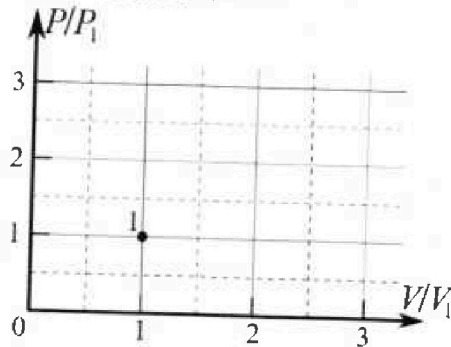
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



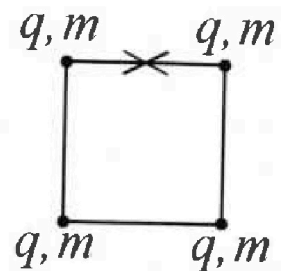
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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

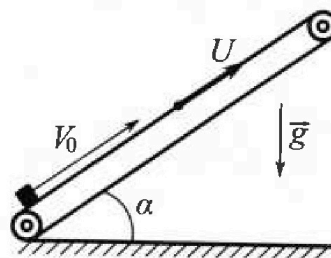
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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?

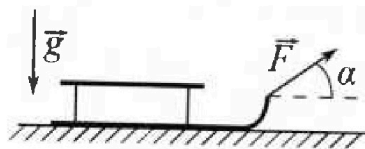
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

- 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.

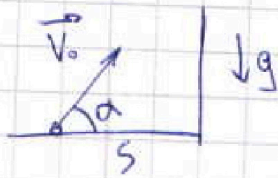
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

1. $T = 2c$ $g = 10 \frac{м}{с^2}$ (учк в падежи) $S = 20 м$ (расст от точки вылета до с)
 V_0 - нач. скорость мяча t - время полета до удара
 H - высота от пола места удара мяча об стенку
 α - угол, под которым бросили мяч



1) за время T скорость мяча с V_0 до 0
 $T = \frac{V_0 - 0}{g} = \frac{V_0}{g}$ $V_0 = Tg$

$V_0 = 2c \cdot 10 \frac{м}{с^2} = 20 \frac{м}{с}$
 2) $S = V_0 \cos \alpha \cdot t$ $t = \frac{S}{V_0 \cos \alpha}$
 $H = V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g}{2} t^2$

$$H = V_0 \sin \alpha \cdot \frac{S}{V_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2} (\tan^2 \alpha + 1)$$

$$H = -\frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot \tan^2 \alpha + S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 V_0^2}$$

Заметим, что min знач H будет при $\tan \alpha = -\left(\frac{S}{2 \frac{g S^2}{2 V_0^2}}\right) = \frac{V_0^2}{g S}$
 т.к. $H(\tan \alpha)$ - квадратич. функ.

$$H = -\frac{g S^2}{2 V_0^2} \cdot \frac{V_0^4}{g^2 \cdot S^2} + S \cdot \frac{V_0^2}{g S} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} = \frac{-V_0^2}{2g} + \frac{V_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} =$$

$$= \frac{V_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 V_0^2}$$

$$H = \frac{(20 \frac{м}{с})^2}{2 \cdot 10 \frac{м}{с^2}} - \frac{10 \frac{м}{с^2} \cdot (20 м)^2}{2 \cdot (20 \frac{м}{с})^2} = 15 м$$

Ответ: $V_0 = 20 \frac{м}{с}$, $H = 15 м$



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!

2. α - угол наклона трамвайной рельсы, V_0 - нач. скорость коробки, U - скорость гб трамвайной

$S = \frac{V_0^2}{2a}$ 1) зг.н. $ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha + \mu N = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$
 $\sin \alpha = 0,8 = \frac{4}{5}$ $a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$
 $\cos \alpha = \frac{3}{5}$ $a = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (\frac{4}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5}) = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
 $S = V_0 t - \frac{a}{2} t^2 \Rightarrow -\frac{a}{2} t^2 + V_0 t - S = 0$
 $t = \frac{-V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - 2aS}}{a}$ замечаем, что $(V_0^2 - 2aS) < 0$

$t = \frac{-4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \pm \sqrt{(4 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 - 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1 \text{м}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}$

\Rightarrow т.к. коробка не может до $S_1 = \frac{V_0^2}{2a}$ ($S_1 = 0,8 \text{ м}$) и повернется и начнет ехать с a_2

a_2 направ. аналогично a_1

$a_2 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$

$a_2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (\frac{4}{5} - \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5}) = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \Rightarrow t_2 = S_2 = S - S_1 = \frac{a_2 t_2^2}{2}$

$t_2 = \sqrt{\frac{2(S-S_1)}{a_2}}$ $t_1 = \frac{V_0}{a_1}$ $t = t_1 + t_2 = \frac{V_0}{a_1} + \sqrt{\frac{2(S-S_1)}{a_2}}$

$t = \frac{4 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 \text{м} - 0,8 \text{м})}{6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = (0,4 + \sqrt{\frac{0,4}{6}}) \text{с} \approx 0,65 \text{ с}$

2) м.к. $v_{\text{абс}} = v_{\text{амп}} + v_{\text{тр}}$, то $V = U = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ будет тогда, когда $v_{\text{амп}} = 0$

$L = S' + Ut$, где S' - сколько коробка прошла с момента $t=0$ т.р.

$S' = \frac{V_0^2}{2a}$ $S' = \frac{(4 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,8 \text{ м}$

$t = \frac{V_0}{a_1}$ $t = \frac{4 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,4 \text{ с}$

$L = 0,8 \text{ м} + 0,4 \text{ с} \cdot 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1,6 \text{ м}$

3) $v_{\text{абс}} = v_{\text{амп}} + v_{\text{тр}} \Rightarrow -v_{\text{амп}} = U$

ΔL - путь, пройденный коробкой с момента $t=0$ с ситуацией, описанной в (2)

$\Delta L = Ut' - \frac{v_{\text{амп}}^2}{2a_2} = Ut' - \frac{U^2}{2a_2}$

$t' = \frac{U}{a_2}$

Ut' - путь, как т.р. прошел коробку
 $\frac{U^2}{2a_2}$ - сколько путь, пр. коробкой в CD т.р.

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!

$$\Delta L = U \cdot \frac{U}{a_c} - \frac{U^2}{2a_c} = \frac{U^2}{2a_c} \quad \Delta L = \frac{(2 \frac{U}{c})^2}{2 \cdot 6 \frac{U}{c^2}} = 0,3 \text{ м}$$

$$H = (L + \Delta L) \cdot \sin \alpha$$

$$H = (1,6 \text{ м} + 0,3 \text{ м}) \cdot \frac{4}{5} = 1,52 \text{ м}$$

Ответ: $t = 0,65 \text{ с}$

$$L = 1,6 \text{ м}$$

$$H = 1,52 \text{ м}$$

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!

3. V_0 - начальная скорость, m - масса санки, α - угол, F - сила тяги,
 g - ускорение свободного падения, μ - коэффициент трения, t - время остановки

III. к. санки разогнаны до одинаковой скорости до одинаковой скорости \Rightarrow
 \Rightarrow ускорения стали равны

m не изменилось \Rightarrow сила трения все равно остается постоянной сил
вдоль оси движения не изменилось.

N_1, N_2 - силы реакции опоры в 1 и 2 случае соответственно
 $F_{\text{тр}1} = \mu N_1$ $N_1 = mg$ $N_2 = mg - F \sin \alpha$

$$F - F_{\text{тр}1} = F \cos \alpha - F_{\text{тр}2}$$

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

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



после разгона на санки вдоль оси движения действует
только сила трения равная силе тяги в 1 сл. \Rightarrow

$\Rightarrow \Delta p = F_{\text{тр}} \cdot t$ по 3.С.У

$$\Delta p = m v_0 - 0 = m v_0$$

$$t = \frac{\Delta p}{F_{\text{тр}}} = \frac{m v_0}{\mu m g} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g(1 - \cos \alpha)}$$

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

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



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



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

4) $Q = c_0 \rho \Delta T = \Delta U + A_{12}$ $\Delta U_2 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$
 Q - масса газа, ΔU - внут. энергия газа, c_0 - масса молекул
 ΔT_{12} - разн. температур в 1-2
 $A_{12} = Q - \Delta U = \rho \Delta T_{12} (c_0 - \frac{3}{2} R) = \frac{1}{2} R \Delta T_{12} \Rightarrow Q = 4 A_{12}$

$Q = A_{12} = \frac{Q}{4} = \frac{c_{12} \cdot (4T_1 - T_1) \cdot \nu}{4} = \frac{2R \cdot 3T_1 \cdot \nu}{4}$

$A_{12} = \frac{6 \cdot 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot 400К \cdot 1 моль}{4} = 4986 Дж$

2) м.к. $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow \Delta U_{12} = 3 A_{12}$

A_0 - общ. работа газа
 Q_0 - общ. энерг.

$\eta = \frac{A_0}{Q_0} = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$

$A_{12} = 0,25 Q_{12}$
 $A_{23} = -0$

$\Delta U_{23} = -\frac{2}{3} A_{23}$
 $\Delta U_{31} = 2 A_{31}$
 $Q_{12} = 4 A_{12} = 0,25 Q_{12}$
 $Q_{23} = A_{23} = -0,5 Q_{23}$
 $Q_{31} = A_{31} = 0,5 Q_{31}$

Q_{23} и Q_{31} элементы равны

2-3: $0,5 \nu R \Delta T_{23} = 1,5 \nu R \Delta T_{23} - 4 \nu R \Delta T_{23}$

3-1: $0,5 \nu R \Delta T_{31} = 1,5 \nu R \Delta T_{31} + \nu R \Delta T_{31}$

$\Rightarrow \eta = \frac{0,5 \nu R \Delta T_{12} + \nu R \Delta T_{23} - \nu R \Delta T_{31}}{2 \nu R \Delta T_{12} - 0,5 \nu R \Delta T_{23} - 0,5 \nu R \Delta T_{31}}$
 $= \frac{0,5 \Delta T_{12} + \Delta T_{23} - \Delta T_{31}}{2 \Delta T_{12} - 0,5 \Delta T_{23} - 2,5 \Delta T_{31}} = \frac{0,5 \cdot 3T_1 + (4-2,82)T_1 - (2,82-1)T_1}{2 \cdot 3T_1 - (4-2,82)T_1 - 0,5-2,5 \cdot (2,82-1)T_1}$

$= \frac{6,5 - 5,64}{6,5 + 1,41 - 6,05} = \frac{0,86}{1,86} \approx 0,41$ или $\eta = 41\%$

3) 3-1: $c_0 = 2,5$

Ответ: $A_{12} = 4986 Дж$
 $\eta = 41\%$

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!

5 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$



т.к. заряды шарика находятся в равновесии
 $\Rightarrow \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$

$$\sqrt{2} T = \sqrt{2} \cdot k \left(\frac{q}{8}\right)^2 + \frac{1}{2} k \left(\frac{q}{8}\right)^2$$

$$T = k \left(\frac{q}{8}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2} + \frac{1}{2}}{\sqrt{2}}\right) = k \left(\frac{q}{8}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$$



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!

$$\begin{array}{r} 860 \\ 186 \\ \hline 0,4 \end{array}$$

$$0,86 + 0,86 = 1,72$$

$$\frac{186}{86} = \frac{286 + 14}{86}$$

$$2 + \frac{14}{86}$$

860	186	186	186
744	0,406	4	5
1160		744	930

$$4 \nabla \uparrow \Rightarrow p \nabla \uparrow$$

$$p \Delta V = \nu R \Delta T_{3i}$$

$$\frac{2}{3} \nu R \Delta T$$

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!

$$C_0 \Delta T = \frac{Q}{\rho \Delta T} \cdot \Delta T = \frac{Q}{\rho} \quad \rho = 1 \text{ масс}$$

Q

Q

$$Q = \dots \cdot C_0 \Delta T$$

$\frac{1}{2}$

1

$$\frac{2+1-2}{2,5+2+0,5} = \frac{1}{4} = 25\%$$

$\frac{3-2}{2}$

$\frac{3+2}{2}$

$$A = \frac{1}{2} \rho R \Delta T$$

$\frac{3-2}{2}$

$\frac{3}{2} + 1$

$$\frac{\rho R \cdot 3T_1}{40}$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$Q = \frac{1}{2} \rho R \Delta T + \frac{1}{2} \rho R \Delta T \quad A$$

$$Q = C_0 \Delta T = \Delta U + A_{1,2}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \rho R \Delta T$$

$$\frac{3}{2} \rho R \Delta T$$

$$-A = A_{1,2}$$

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

Q →

$$\frac{3}{2} A - A = Q$$

$$A = -0,5 Q$$

$$\frac{-1}{0,5} = -2$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow 0,5 \rho R \Delta T = \frac{3}{2} \rho R \Delta T - 1 \rho R \Delta T$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \rho R \Delta T_{12} + \rho R \Delta T_{23} - \rho R \Delta T_{31}}{2 \rho R \Delta T_{12} - 0,5 \rho R \Delta T_{23} - 2,5 \rho R \Delta T_{31}}$$

2,82

5,64

1,41

6,05

$$1,5 + 4 + 1$$

$$2 \sqrt{2} = 2,82$$

$$1,5 + 3 - 2 \cdot 2,82$$

$$6 - 2 + 1,41 - 2,5 \cdot 2,82 + 2,5$$

$$\frac{6,5 + 5,64}{6,5 + 1,41 - 6,05} = \frac{1 - 0,14}{1,41 + 0,45} = 0,86$$

860
186
150
05
086

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

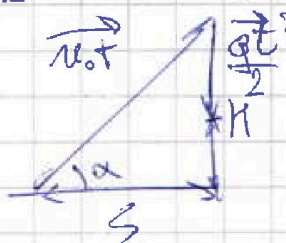
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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!

$$\frac{v_0}{g} = T \Rightarrow v_0 = gT$$



$$v_0 t \cos \alpha = s \Rightarrow t = \frac{s}{v_0 \cos \alpha}$$

$$v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = H$$

сдТ

$$H = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{s}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{s^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$s \operatorname{tg} \alpha \quad \text{сдТ} = \frac{Q}{\partial \Delta T} \Delta T = \frac{Q}{g} = Q$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} + 1 = \frac{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = 1$$

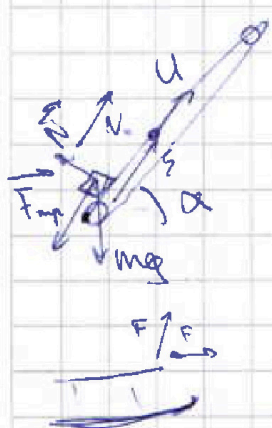
$$H = s \operatorname{tg} \alpha - \frac{gs^2}{2v_0^2} (\operatorname{tg}^2 \alpha + 1) \quad -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}$$

$$H = -\frac{gs^2}{2v_0^2} \operatorname{tg}^2 \alpha + s \operatorname{tg} \alpha - \frac{gs^2}{2v_0^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{b}{2a} = \frac{-s}{2 \cdot \frac{-gs^2}{2v_0^2}} = \frac{v_0^2}{gs}$$

$$H = -\frac{gs^2}{2v_0^2} \frac{v_0^4}{g^2 s^2} + s \cdot \frac{v_0^2}{gs} - \frac{gs^2}{2v_0^2} = \frac{400}{20} - \frac{4000}{800}$$

$$H = -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gs^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gs^2}{2v_0^2} \quad 20 - 5 = 15$$



$$v_0 = (v_0 + u) \quad F_{\text{fr}} = \mu mg \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = 0.8 = \frac{4}{5}$$

$$mg \cos \alpha \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - 0.64} = \sqrt{0.36} = \frac{3}{5}$$

$$a = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 10 \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \right) = 10$$

$$s = v_0 t - a$$

$$\frac{v_0}{t} = \frac{F - \mu mg}{m} = \frac{F \cos \alpha - (\mu mg - F \sin \alpha)}{m}$$

$$\frac{F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha}{m}$$

$$\frac{F}{m} \mu g = \frac{F}{m} g (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \quad \mu g$$

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