

Разбор и рекомендации по заданию № 26 ЕГЭ по физике: стратегия решения и критерии оценки

**Попов Денис Анатольевич,
старший преподаватель СУНЦ НГУ**

Задание №26

Темы: Кинематика. Динамика.

Законы сохранения в механике. Статика.

Максимальный балл: 4

Критерии оценивания

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<i>Критерий 1</i>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей).	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0

Критерии оценивания

Критерий 2

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом.

II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (*за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов*);

III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины

3

Критерии оценивания

Критерий 2

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.

Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.

И (ИЛИ)

В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.

И (ИЛИ)

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.

И (ИЛИ)

Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)

2

Критерии оценивания

Критерий 2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.

1

Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.

ИЛИ

В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.

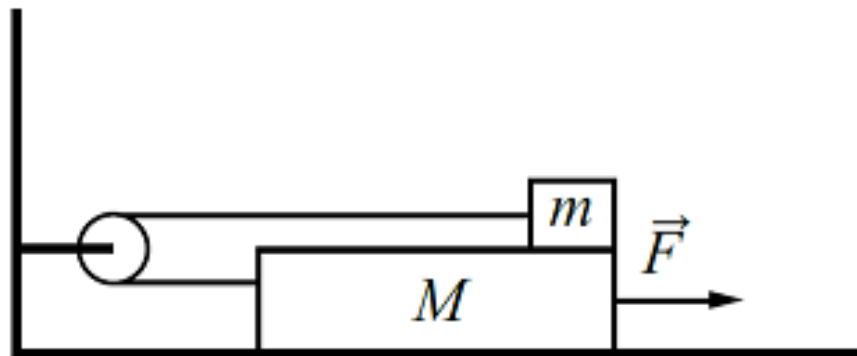
ИЛИ

В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла

0

Задача №1

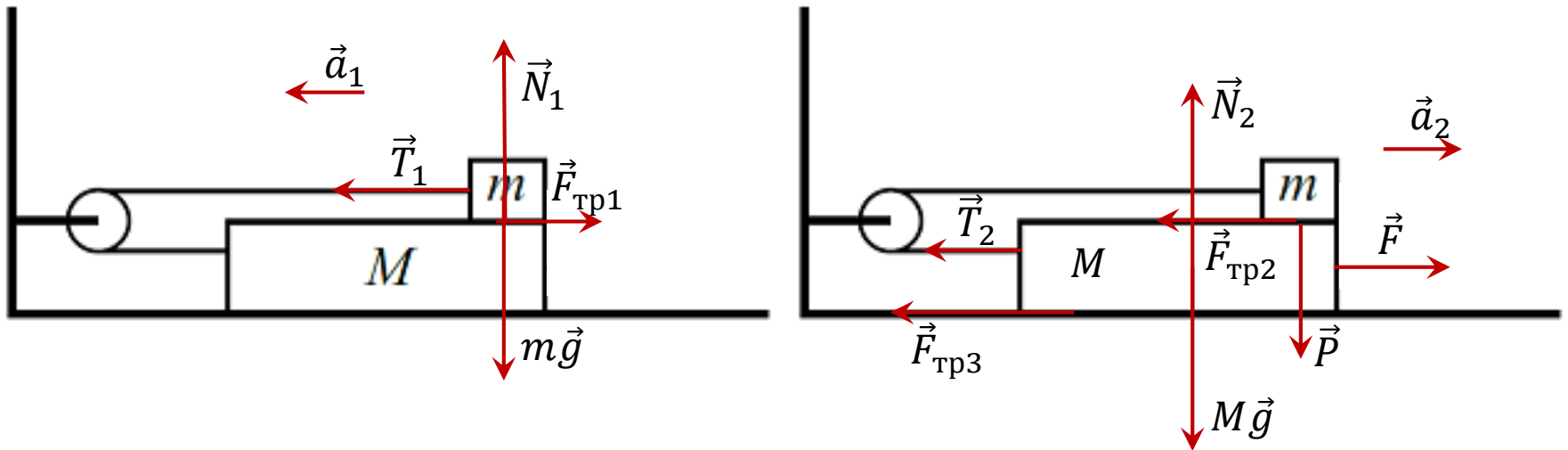


На горизонтальном неподвижном столе лежит доска массой $M = 0,8$ кг. На доске находится маленький брусок массой $m = 200$ г. Брусок и доска связаны невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок, который закреплён на стене (отрезки нити, не лежащие на блоке, горизонтальны). Коэффициент трения между бруском и доской $\mu_1 = 0,5$, между столом и доской $\mu_2 = 0,3$. Доску тянут вправо горизонтальной силой \vec{F} . Чему равен модуль силы \vec{F} , если модуль ускорения бруска относительно стола $a = 1$ м/с²? Трением в оси блока пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

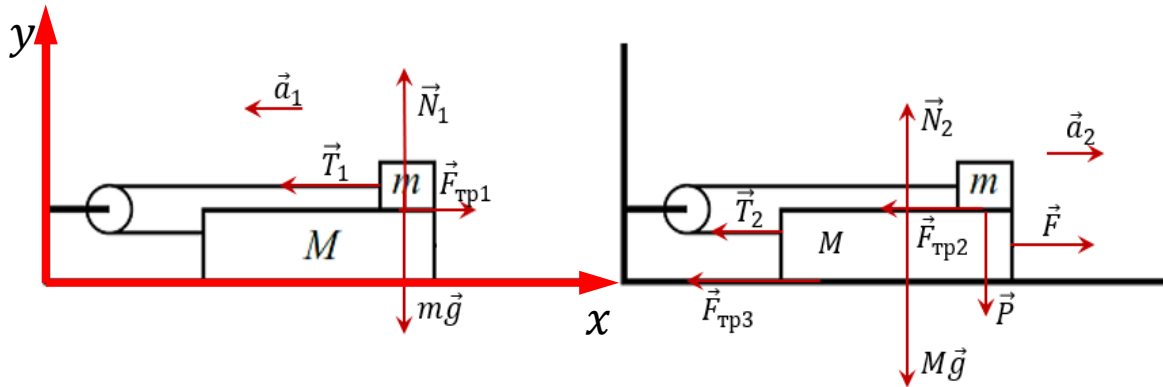
Задача №1

Рисунок



Задача №1

Решение



$$a_1 = a_2 = a$$

$$T_1 = T_2 = T$$

По 3 закону Ньютона:

$$\vec{F}_{тр2} = -\vec{F}_{тр1} \Rightarrow F_{тр2} = F_{тр1}$$

$$\vec{P} = -\vec{N}_1 \Rightarrow P = N_1$$

Запишем второй закон Ньютона:

$$m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{тр1} + \vec{N}_1; \quad M\vec{a}_2 = M\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_{тр2} + \vec{F}_{тр3} + \vec{N}_2 + \vec{P} + \vec{F}$$

Сделаем проекции на выбранные оси:

$$Ox: -ma = -T + F_{тр1};$$

$$Ox: Ma = F - T - F_{тр2} - F_{тр3};$$

$$Oy: 0 = N_1 - mg \Rightarrow N_1 = mg \quad Oy: 0 = N_2 - Mg - P \Rightarrow N_2 = mg + Mg$$

Так как во всех случаях наблюдается трение скольжения, то:

$$F_{тр1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg; \quad F_{тр3} = \mu_2 N_2 = \mu_2 (mg + Mg)$$

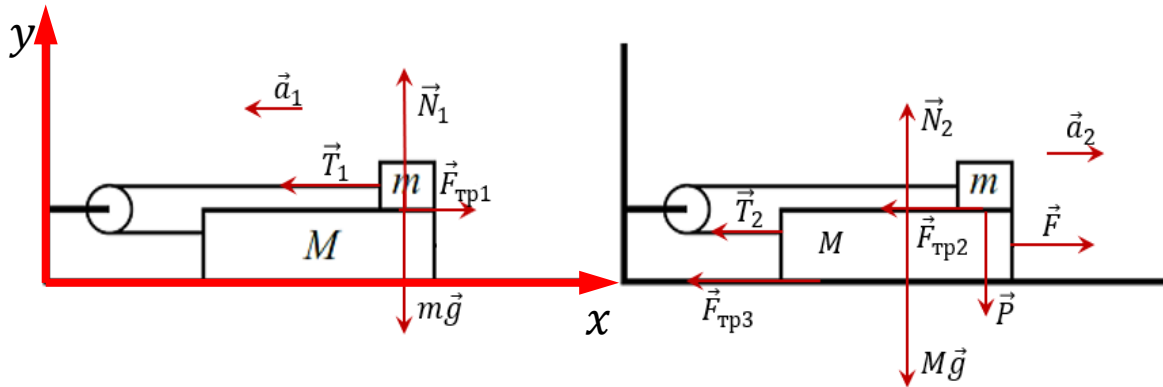
Решая систему полученных уравнений получаем:

$$F = (m + M)(a + \mu_2 g) + 2\mu_1 mg = (0,2 + 0,8)(1 + 0,3 \cdot 10) + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10 =$$

6Н

Задача №1

Обоснование



$$a_1 = a_2 = a$$

$$T_1 = T_2 = T$$

По 3 закону Ньютона:

$$\vec{F}_{тр2} = -\vec{F}_{тр1} \Rightarrow F_{тр2} = F_{тр1}$$

$$\vec{P} = -\vec{N}_1 \Rightarrow P = N_1$$

Запишем второй закон Ньютона:

$$m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{тр1} + \vec{N}_1;$$

$$M\vec{a}_2 = M\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_{тр2} + \vec{F}_{тр3} + \vec{N}_2 + \vec{P} + \vec{F}$$

Сделаем проекции на выбранные оси:

$$Ox: -ma = -T + F_{тр1};$$

$$Ox: Ma = F - T - F_{тр2} - F_{тр3};$$

$$Oy: 0 = N_1 - mg \Rightarrow N_1 = mg$$

$$Oy: 0 = N_2 - Mg - P \Rightarrow N_2 = mg + Mg$$

Так как во всех случаях наблюдается трение скольжения, то:

$$F_{тр1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg;$$

$$F_{тр3} = \mu_2 N_2 = \mu_2 (mg + Mg)$$

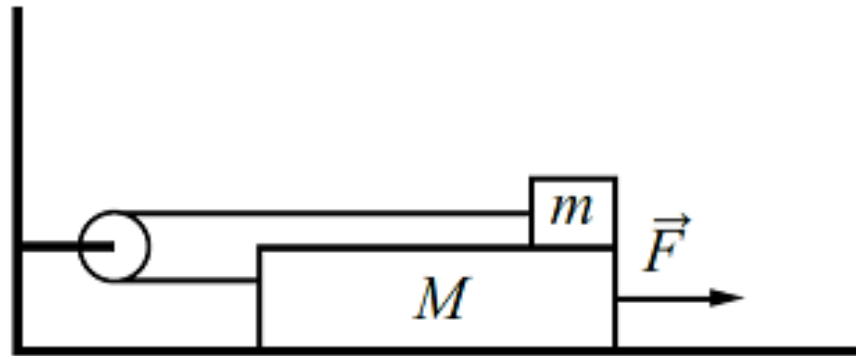
Решая систему уравнений, получаем:

$$F = (m + M)(a + \mu_2 g) + 2\mu_1 mg = (0,2 + 0,8)(1 + 0,3 \cdot 10) + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10 =$$

6Н

Задача №1

Обоснование



На горизонтальном неподвижном столе лежит доска массой $M = 0,8$ кг. На доске находится **маленький брусок** массой $m = 200$ г. Брусок и доска связаны **невесомой нерастяжимой нитью**, перекинутой через **невесомый блок**, который закреплён на стене (отрезки нити, не лежащие на блоке, горизонтальны). Коэффициент трения между бруском и доской $\mu_1 = 0,5$, между столом и доской $\mu_2 = 0,3$. Доску тянут вправо горизонтальной силой \vec{F} . Чему равен модуль силы \vec{F} , если модуль ускорения бруска относительно стола $a = 1$ м/с²? **Трением в оси блока пренебречь**. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

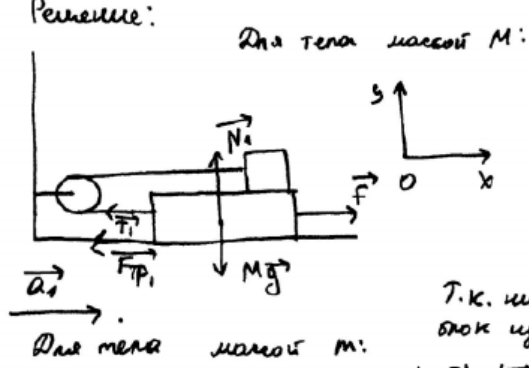
Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Задача №1

Обоснование

1. Будем решать задачу в ИСО, связанной со столом. (можно с Землёй)
2. Будем описывать тела моделью материальной точки, так как они движутся поступательно.
3. Пункты 1 и 2 позволяют использовать закон Ньютона для описания движения и взаимодействия тел.
4. Так как нить лёгкая, блок лёгкий и трением в оси блока можно пренебречь, то модуль силы натяжения одинаков по всей длине нити ($T_1 = T_2$).
5. Так как нить нерастяжима, её длина не меняется. Следовательно, ускорения грузов одинаковы по модулю ($a_1 = a_2$).
6. Так как тела скользят по поверхности, то для нахождения силы трения скольжения можно использовать закон Амонтона-Кулона $F_{\text{тр}} = \mu N$.
7. По 3 закону Ньютона: $\vec{F}_{\text{тр}2} = -\vec{F}_{\text{тр}1} \Rightarrow F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}1}$; $\vec{P} = -\vec{N}_1 \Rightarrow P = N_1$

№26. Дано:
 $M = 0,8 \text{ кг}$
 $m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$
 $\mu_1 = 0,5$
 $\mu_2 = 0,3$
 $a = 1 \text{ м/с}^2$
 $F = ?$

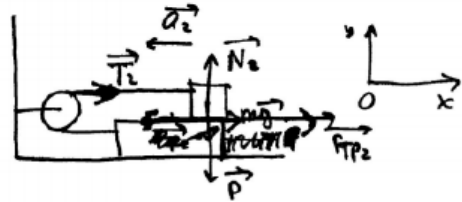


Т.к. нет известной скорости идеальности, то

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$$

Т.к. нет перпендикулярности

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$$



По 2-му 3-му Ньютону
 1 тело:

$$Ox: F - T - F_{тр1} = Ma \quad (1)$$

$$Oy: Mg - N_1 = 0, \quad N_1 = Mg$$

$$F_{тр1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 Mg$$

2 тело:

$$Ox: T + F_{тр2} = -ma \quad (2)$$

$$Oy: N_2 - mg - P = 0$$

По 3-му 3-му Ньютону:

$$\vec{N}_2 = -\vec{P}$$

в проекции на ось:

$$N_2 = P$$

$$2N_2 - mg = 0$$

$$N_2 = \frac{mg}{2}$$

26. (1) + (2):

$$F - F_{тр1} - T + F_{тр2} = Ma - ma$$

$$F - F_{тр1} + F_{тр2} = a(M - m)$$

$$F = a(M - m) + F_{тр1} - F_{тр2}$$

$$F = 1(0,8 - 0,2) + 0,5 \cdot 0,8 \cdot 10 - \frac{0,3 \cdot 0,2 \cdot 10}{2} = 4,3 \text{ Н.}$$

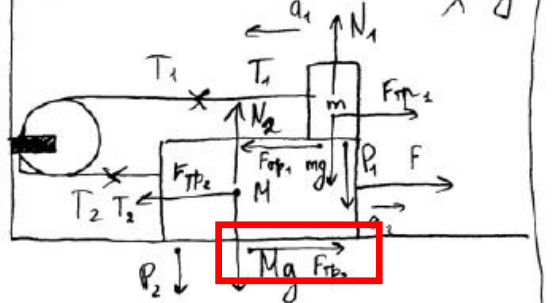
Ответ: 4,3 Н.

Обоснование:

- 1) Рассмотрим задачу в ~~системе отсчета~~ системе отсчета, связанной с землей. Будем считать её инерциальной (ИСО)
- 2) Т.к. движение тел поступательное, используем для них модель материальной точки.
- 3) Для материальной точки при поступательном движении используем 2-й и 3-й законы Ньютона.
- 4) Т.к. нет известной скорости идеальности, то модуль силы натяжения равен по модулю $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$.
- 5) Т.к. нет перпендикулярности, то ускорения тел равны по модулю: $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$.

Кр 1 - 0 6

Кр 2 - 0 6



$\mu_1 = 0,5$ $a = 1 \text{ м/с}^2$
 $\mu_2 = 0,3$ $m = 0,2 \text{ кг} = 200 \text{ г}$
 $M = 0,8 \text{ кг}$

Обоснование:

- 1) систему, связанную с Землей, будем считать инерциальной (ИСО)
- 2) оба тела движутся поступательно, значит можем приложить их за Материальное тело (МТ)
- 3) На основании пунктов 1-2 можем использовать 3 и 2 Закон Ньютона.

4) из-за того, что блок идеальный и нитька ~~идеальная~~ ^{идеальная}, получаем, что $T_1 = T_2 = T$. Так же благодаря идеальности блока и керасел. нитиности нити получаем, что $a_1 = a_2 = a$. Под идеальностью блока я подразумеваю, что на него не действует сила трения, а так сказано в условии.

5) Так же пренебрежем сопротивлением воздуха.

Решение:
 запишем второй закон Ньютона для блока в проекциях на ось Ox и Oy .
 на Ox : $am = N_1 - mg$, но в этой оси он неподвижен

$a = 0, \Rightarrow N_1 = mg$.
 рассмотрим как ось Ox :
 $-am = F_{T1} - T_1$, $F_{T1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg$
 $-am = \mu_1 mg - T$ (1)

запишем 2 Закон Ньютона для довки как ось Oy :
 $a(M+m) = N_2 - Mg - P_1$ по 3 закону Ньютона $P_1 = N_1$
 $a = 0$ (по Oy снасть покоится)

$N_2 = Mg + mg = g(M+m)$
 Ox : $a(M+m) = F + F_{T2} - F_{T1} - F_{T2} - T$

$F_{T2} = \mu_2 N_2 = \mu_2 g(M+m)$
 $a(M+m) = F - \mu_2 g(M+m) - \mu_1 g m - T$ (2)

выразим из (1) T :
 $T = \mu_1 mg + am = m(\mu_1 g + a)$

выразим из (2) T :
 $T = F - \mu_1 g m - \mu_2 g(M+m) - a(M+m)$

приравняем:

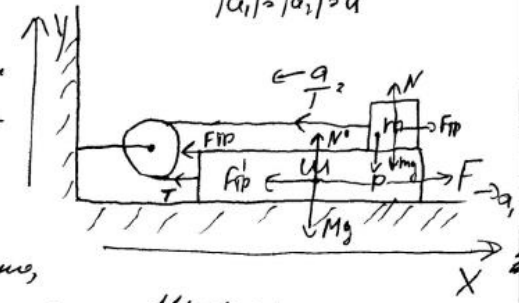
$$m(\mu_1 g + a) = F - \mu_1 g m - \mu_2 g(M+m) - a(M+m)$$

$$F = m(\mu_1 g + a) + \mu_1 g m + \mu_2 g(M+m) + a(M+m) =$$

$$= 0,2(0,5 \cdot 10 + 1) + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 10(0,8 + 0,2) + 1(0,8 + 0,2) =$$

$$= 6,2 \text{ Н}$$

$|a_1| = |a_2| = a$



Обсуждение:

- 1) Разрешим задачу, разобравшись тем временем, что такое момент инерции точки.
- 2) Систему считаем связной с землей, она икерманит, поэтому в ней действует закон Ньютона.
- 3) Пела движатся по горизонтальному, с ускорением, блок как если несколько горизонтальных сил F
- 4) Так как тело движется по горизонтальной поверхности, то на него действует сила трения ~~вдоль поверхности~~. Разделим её по закону Кулона-Ампера.
- 5) Нет воздуха (кедесама и керастованна) \Rightarrow ускорения тел a_1 и a_2 будут равны. $|a_1| = |a_2| = a$

Заменим ~~вместо~~ закон Ньютона для точки:

$$\vec{N}' + \vec{T} + \vec{F}_{1P} - \vec{F}_{2P} + \vec{Mg} + \vec{P} + \vec{F} = M\vec{a}$$

$$Oy: N' - P - Mg = 0, N' = P + Mg \Rightarrow P = mg \Rightarrow N' = mg + Mg$$

$$Ox: -T - F_{1P} - F_{2P} + F = Ma \quad \text{по закону Кулона-Ампера.}$$

$$F_{1P} = \mu_2 N' = \mu_2 (mg + Mg)$$

$$F = Ma + T + F_{1P} + F_{2P}$$

$$F = Ma + \mu_1 mg + ma + \mu_2 (mg + Mg) + \mu_1 mg$$

$$F = Ma + 2\mu_1 mg + ma + \mu_2 (mg + Mg) = 0,8 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10 + 0,2 \cdot 1 + 0,3 (0,2 \cdot 10 + 0,8 \cdot 10) = 0,8 + 2 + 0,2 + 0,3 (2 + 8) = 1 + 2 + 0,3 \cdot 10 = 6 \text{ Н}$$

Ответ: $F = 6 \text{ Н}$

Заменим 2 з.н. для блока: $\vec{N} + \vec{mg} + \vec{F}_{1P} + \vec{P} = m\vec{a}$

$$Oy: N = mg; Ox: F_{1P} - T = -ma; T = F_{2P} + ma; T = \mu_1 mg + ma$$

по закону Кулона-Ампера: $F_{2P} = \mu_1 N = \mu_1 mg$

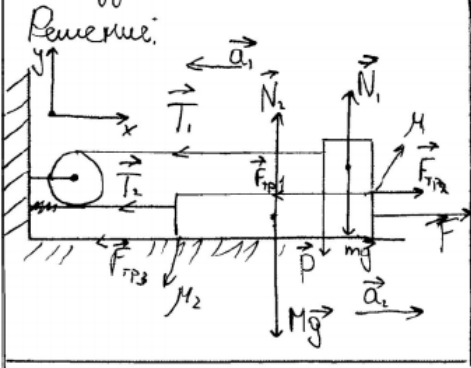
Кр 1 - 06
Кр 2 - 26

2б. 1) Рассмотрим систему отсчета, связанную с Землей. Будем считать её инерциальной.

2) Определим доску и брусок моделями материальной точки, их движение поступательное.

3) П.к. нить легкая, а блок идеальный, то силы натяжения нити равны в любой точке по модулю.

4) П.к. нить нерастяжима, то ускорения бруска и доски равны по модулю.



4) Введем оси Ox и Oy .

- 1) $|a_1| = |a_2|$ (п.к. нить нерастяжима) $= a$
- 2) $T_1 = T_2$ (п.к. нить легкая и блок идеальный) $= T$
- 3) Можем применить 2 и 3 законы Ньютона т.к. мы рассматриваем ИСО, брусок и доска являются мат. точками и их движение поступательное.

Кр 1 - 16
Кр 2 - 26

5) $|F_{TP1}| = |F_{TP2}|$ (по 3 закону Ньютона) $= N_1 \mu_1$

6) \vec{P} - век, с которым брусок давит на доску $|P| = |N_1|$ (по 3 закону Ньютона) $= mg$

7) $F_{TP2} = N_2 \mu_2$

~~Выводим уравнение движения системы~~

9) Запишем 2 закона Ньютона для бруска

$$\vec{T} + mg + N_1 + F_{TP2} = ma \Rightarrow \begin{cases} OX: -T + N_1 \mu_1 = -ma \\ OY: N_1 = mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = m(g\mu_1 + a) \\ N_1 = mg \end{cases}$$

$$T = 0,2 \cdot (10 \cdot 0,5 + 1) = 1,2 \text{ (Н)}$$

10) Запишем 2 закон Ньютона для доски

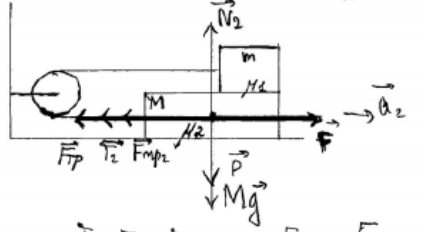
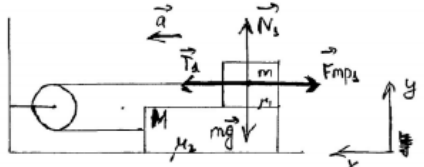
$$\vec{P} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{TP2} + \vec{Mg} + \vec{T} + \vec{F}_{TP1} = M\vec{a} \Rightarrow \begin{cases} OX: F - T - N_1 \mu_1 - N_2 \mu_2 = Ma \\ OY: N_2 = Mg + P \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} OX: F - T - mg\mu_1 - (M+m)g\mu_2 = Ma \\ OY: N_2 = Mg + P \end{cases}$$

$$F = Ma + T + mg\mu_1 + (M+m)g\mu_2 = 0,8 \cdot 1 + 1,2 + 0,2 \cdot 10 \cdot 0,5 + (0,8 + 0,2) \cdot 10 \cdot 0,3 = 0,8 + 1,2 + 1 + 3 = 6 \text{ (Н)}$$

Ответ: $F = 6 \text{ (Н)}$

Дано:
 $M = 0,8 \text{ кг}$
 $m = 0,2 \text{ кг}$
 $\mu_1 = 0,5$
 $\mu_2 = 0,3$
 $a = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
 $F = ?$

Решение:



$a = a_2$; $T_1 = T_2 = T$; $F_{mp1} = F_{mp2}$ по III Закону Ньютона
 $N_1 = P$ по III Закону Ньютона

Брусок:
 $y: N_1 = mg$; $F_{mp1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg$; $P = \mu_2 M = mg$
 $x: T - F_{mp1} = ma$; $T = ma + F_{mp1} = ma + \mu_1 mg = m(a + \mu_1 g)$

доска:
 $y: N_2 = Mg + P$; $N_2 = Mg + mg = g(M+m)$
 $F_{mp} = \mu_2 N_2 = \mu_2 g(M+m)$; $F_{mp2} = F_{mp1} = \mu_1 mg$
 $x: F - T - F_{mp2} - F_{mp} = Ma$
 $F = Ma + T + F_{mp2} + F_{mp} = Ma + m(a + \mu_1 g) + \mu_1 mg + \mu_2 g(M+m) = a(M+m) + \mu_1 g m + \mu_1 g m + \mu_2 g(M+m) = (M+m)(\mu_2 g + a) + 2\mu_1 g m$
 см лист 5

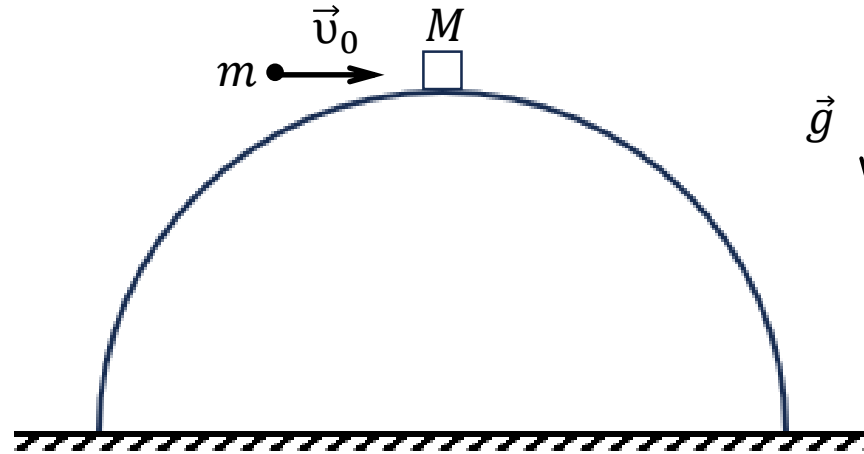
$F = (M+m)(\mu_2 g + a) + 2\mu_1 g m$
 $F = (0,8 + 0,2) \text{ кг} \cdot (0,3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}) + 2 \cdot 0,5 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,2 \text{ кг} = 6 \text{ Н}$

Обсуждение:

- 1) Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать инерциальной.
 - 2) Брусок и доска движутся поступательно, поэтому их можно принять за материальные точки.
 - 3) В ИСО для материальной точки применимы Законы Ньютона.
 - 4) На брусок действуют сила натяжения нити T_1 , сила тяжести mg , сила реакции опоры N_1 , сила трения скольжения F_{mp1} . $F_{mp1} = \mu_1 N_1$
 - 5) На доску действуют сила натяжения нити T_2 , сила тяжести Mg , сила реакции опоры N_2 , вес бруска P , сила трения скольжения F_{mp2} , сила трения скольжения F_{mp} . $F_{mp} = \mu_2 N_2$.
 - 6) По III Закону Ньютона $F_{mp1} = F_{mp2}$ и $P = N_1$
 - 7) Т.к. нить невесома, блок идеальной, то $T_1 = T_2$
 - 8) Т.к. нить нерастяжима, то $a_1 = a_2$. $a = a_2$
- Ответ: 6 Н.

Кр 1 - 1 6
Кр 2 - 3 6

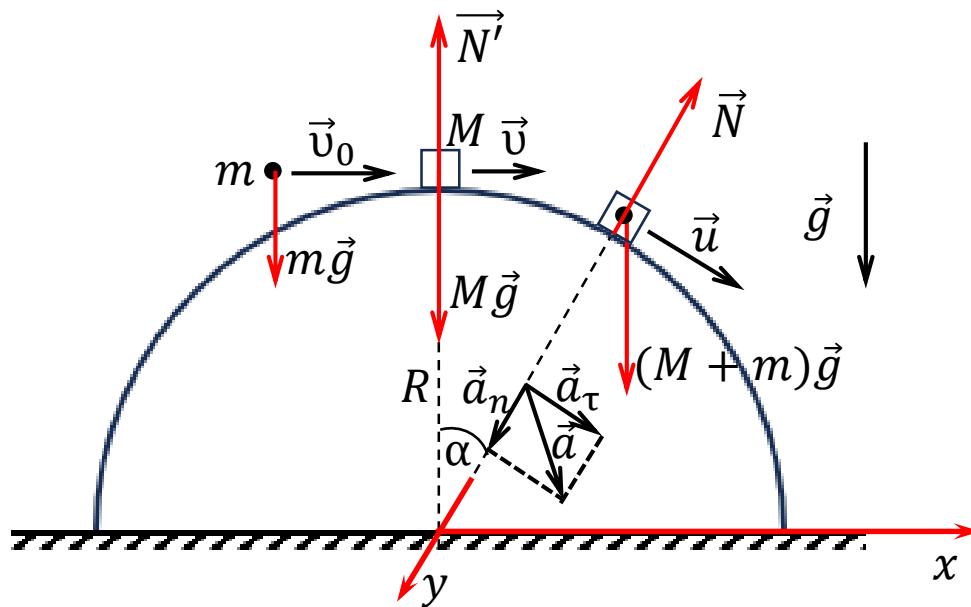
Задача №2



Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 100$ м/с, и застревает в нем. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите радиус сферы, если высота, на которой тело оторвется от поверхности полусферы, $h = 0,7$ м. Высота отсчитывается от основания полусферы. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

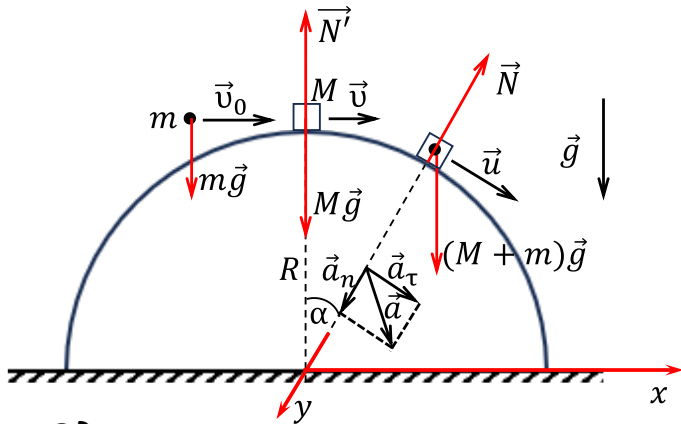
Задача №2

Рисунок



Задача №2

Решение



Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось x :

$$mv_0 = (m + M)v$$

Запишем второй закон Ньютона:

$$(m + M)\vec{a} = (m + M)\vec{g} + \vec{N}$$

Сделаем проекцию на ось y , учитывая что $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$:

$$(m + M)a_n = (m + M)g \cos \alpha - N$$

В момент отрыва сила реакции опоры становится равной нулю ($\vec{N} = \vec{0}$).

Учитывая, что $a_n = \frac{u^2}{R}$, а $\cos \alpha = \frac{h}{R}$: $(m + M) \frac{u^2}{R} = (m + M)g \frac{h}{R} \Rightarrow u^2 = gh$

Запишем закон сохранения механической энергии:

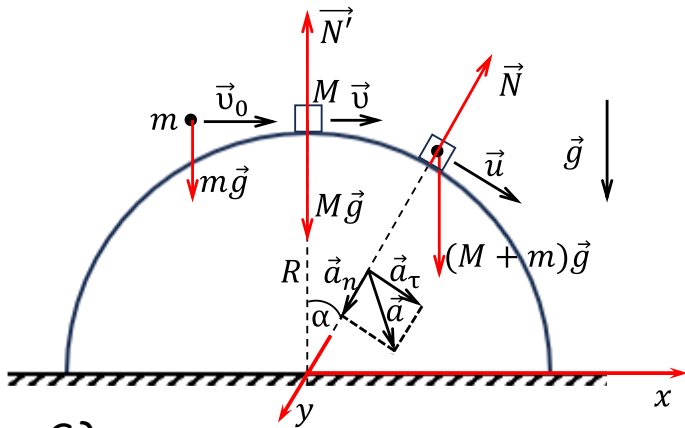
$$(m + M)gR + \frac{(m+M)v^2}{2} = (m + M)gh + \frac{(m+M)u^2}{2}$$

Решая систему уравнений, получаем:

$$R = \frac{3}{2}h - \frac{m^2 v_0^2}{2(m + M)^2 g} = \frac{3}{2} \cdot 0,7 - \frac{0,01^2 \cdot 100^2}{2 \cdot (0,01 + 0,99)^2 \cdot 10} = 1 \text{ м}$$

Задача №2

Обоснование



Запишем **закон сохранения импульса** в проекции на ось x :

$$mv_0 = (m + M)v$$

Запишем **второй закон Ньютона**:

$$(m + M)\vec{a} = (m + M)\vec{g} + \vec{N}$$

Сделаем проекцию на ось y , учитывая что $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$:

$$(m + M)a_n = (m + M)g \cos \alpha - N$$

В момент отрыва сила реакции опоры становится равной нулю ($\vec{N} = \vec{0}$).

Учитывая, что $a_n = \frac{u^2}{R}$, а $\cos \alpha = \frac{h}{R}$: $(m + M) \frac{u^2}{R} = (m + M)g \frac{h}{R} \Rightarrow u^2 = gh$

Запишем **закон сохранения механической энергии**:

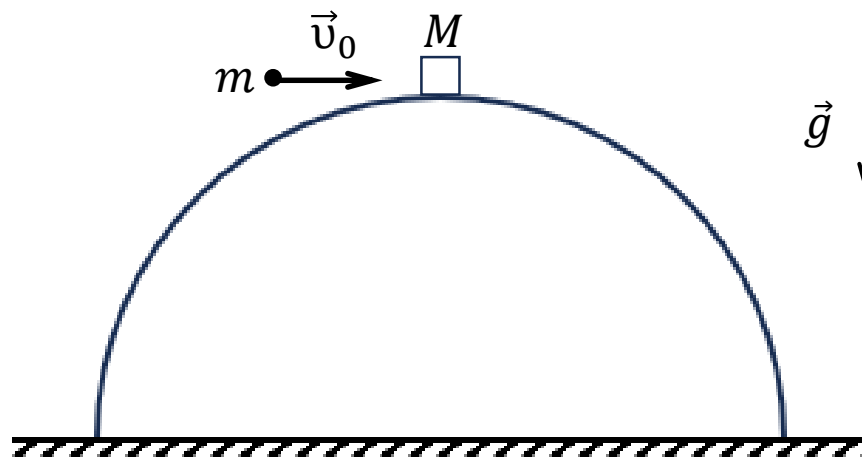
$$(m + M)gR + \frac{(m+M)v^2}{2} = (m + M)gh + \frac{(m+M)u^2}{2}$$

Решая систему уравнений, получаем:

$$R = \frac{3}{2}h - \frac{m^2 v_0^2}{2(m + M)^2 g} = \frac{3}{2} \cdot 0,7 - \frac{0,01^2 \cdot 100^2}{2 \cdot (0,01 + 0,99)^2 \cdot 10} = 1 \text{ м}$$

Задача №2

Обоснование



Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 100$ м/с, и застревает в нем. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите радиус сферы, если высота, на которой тело оторвется от поверхности полусферы, $h = 0,7$ м. Высота отсчитывается от основания полусферы. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

Задача №2

Обоснование

1. Примем СО, связанную с Землёй, инерциальной, и будем решать задачу в этой СО.
2. Будем описывать тела моделью материальной точки, так их размеры малы в сравнении с радиусом полусферы.
3. Пункты 1 и 2 позволяют использовать закон Ньютона для описания движения тел.
4. Так как время взаимодействия при ударе мало, и внешние силы, действующие на систему «пуля-тело», конечны, то сила реакции опоры не успевает сообщить этой системе значительный импульс по горизонтали, следовательно, импульс в проекции на ось X сохраняется.
5. В ИСО изменение механической энергии равно суммарной работе внешних сил и внутренних неконсервативных сил. В данном случае, так как полусфера гладкая, единственной такой силой является сила реакции опоры \vec{N} . Так как в любой момент времени она перпендикулярна скорости тела, то её мощность $P = (\vec{N} \vec{u}) = 0$, следовательно, работа силы реакции опоры также нулевая. Таким образом, механическая энергия сохраняется.
6. В момент отрыва сила реакции опоры становится равной нулю.

Обоснование:

1) Будем рассматривать задачу в инерциальной системе отсчета, связанной с поверхностью Земли, т.е. выполняется II закон Ньютона.

2) На тело и пулю действуют только консервативные силы (сила тяжести), др. сила реакции опоры.
 Применяется закон сохранения энергии и закон сохранения импульса.
(считаем форму абсолютно гладкой по оси, трение нет)

3) ~~Удар между пулей и телом будем считать абсолютно неупругим.~~
 После соударения считаем тело и пулю единым целым массой $(M+m)$

Решение: при соударении по ЗСИ: $m v_0 = (M+m) v \Rightarrow v = \frac{m v_0}{M+m}$ - скорость тела с пулей после удара. На высоте h по ЗЭ: $\frac{(M+m) v^2}{2} + (M+m) g h = \frac{(M+m) v_1^2}{2} + (M+m) g h$

т.е. v_1 - скорость на высоте h . Имеем:

$$v_1^2 = v^2 + 2g(R-h)$$

Условие отрыва: сила реакции опоры $N=0$,

т.к. на тело с пулей действует только $\vec{F}_r = (M+m)\vec{g}$

По II закону Ньютона: $(M+m)\vec{a}_{\text{доп}} = \vec{F}_r$ ($a_{\text{доп}}$ - центростремительное ускорение тела)

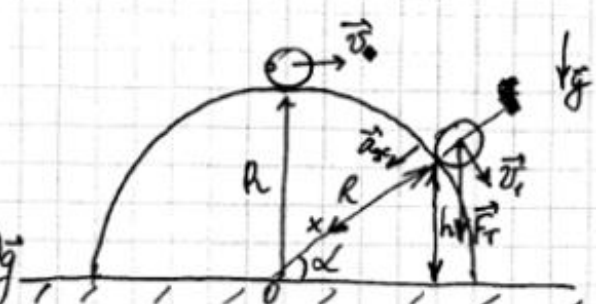
$$a_{\text{доп}} = \frac{v^2}{R}$$

По условию отрыва

$$\text{Ох: } (M+m) \frac{v_1^2}{R} = F_r \cdot \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \frac{h}{R}$$

$$v^2 + 2g(R-h) = v_1^2 = gh \Rightarrow R = \frac{3}{2}h - \frac{v^2}{2g} = \frac{3}{2}h - \frac{(m v_0)^2}{2g(M+m)^2}$$

$$R = \frac{3}{2} \cdot 0,7 - \frac{(0,01 \cdot 100)^2}{2 \cdot 10 \cdot (9,99+9,01)^2} = 1 \text{ м}$$



Кр 1 - 06
 Кр 2 - 16

~ 26.

По 3СН:

x:
 $m \cdot v_0 = (M+m) v_1$

По 3ЛЭ: $\frac{(M+m)v_1^2}{2} + (M+m)g(R-h) = \frac{(M+m)v_2^2}{2}$

По II Э: Высота:

$(M+m) \cdot g \cdot c - mg \cdot \sin \alpha = (M+m) a$

$a = 0$; $\sin \alpha = \frac{h}{R}$; $g \cdot c = \frac{v_2^2}{R}$

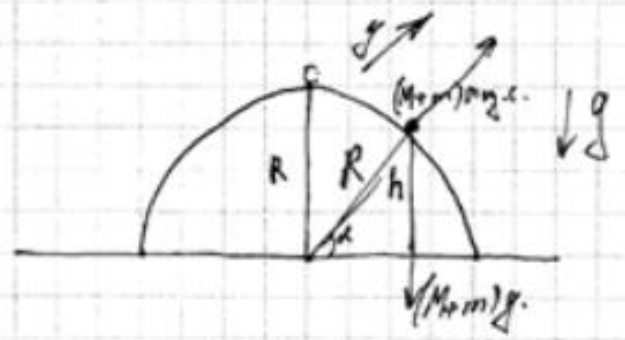
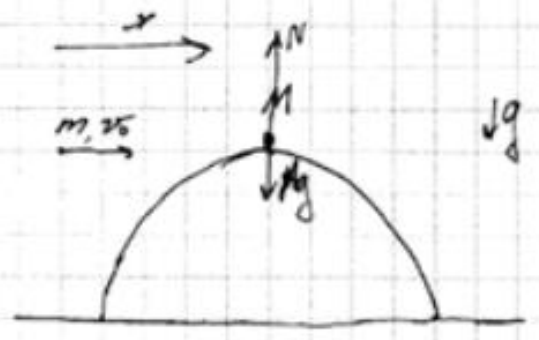
$v_1 = v_0 \cdot \frac{m}{M+m} = 100 \cdot \frac{0.01}{0.99+0.01} = 1 \text{ м/с}$

$g \cdot c = g \cdot \sin \alpha \Rightarrow \frac{v_2^2}{R} = g \cdot \sin \alpha \Rightarrow \frac{v_2^2 + 2(R-h)g}{R} = g \cdot \frac{h}{R} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_2^2 + 2(R-h)g = gh \Rightarrow R = \frac{5}{2}h - \frac{v_2^2}{2g} = 2.5 \cdot 0.7 - \frac{1}{2 \cdot 10} = 1 \text{ м}$
 Ответ: 1 м.

Вопросы:

- 1) Вектор \vec{CO} , шарик касается с землей, будет направлен в вертикальном.
- 2) Для тела, и где нет никаких моментов материальной точки т.к. на шарике нет никаких моментов шарика.
- 3) Т.к. шарик находится в равновесии и в момент удара $\vec{F}_0 = 0 \Rightarrow P_{\text{мат}} = \text{const} \Rightarrow$
 \Rightarrow принцип 3СН.
- 4) Т.к. тело находится в равновесии (т.к. шарик находится в равновесии $\Rightarrow F_T = 0$) в UO_3
 \Rightarrow принцип II Э. Высота.
- 5) Т.к. шарик находится в равновесии и $A_{\text{ш}} = 0 \Rightarrow$ ~~принцип 3СН~~ $E = E_x + E_n = \text{const} \Rightarrow$
 \Rightarrow принцип 3ЛЭ.



Кр 1 - 06

Кр 2 - 16

№26

$$M = 0.99 \text{ кг}$$

$$m = 0.01 \text{ кг}$$

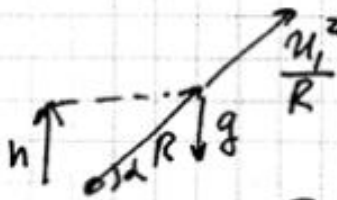
$$u_0 = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$h = 0.7 \text{ м}$$

R = ?

1. $mu_0 = (M+m)u \Rightarrow u = u_0 \cdot \frac{m}{M+m} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2. Проверим, что опора не имеет горизонтальной скорости: $N=0$



3. $R \sin \alpha = h$

$$\frac{u_1^2}{R} = g \sin \alpha = \frac{u_1^2 \sin \alpha}{h} \Rightarrow u_1^2 = gh =$$

$$4. \frac{u_1^2 (M+m)}{2} = \frac{u_0^2 (M+m)}{2} + g(R-h)(M+m) \Rightarrow R = h + \frac{u_1^2 - u_0^2}{2g} = 1 \text{ м}$$

Ответ: $R = 1 \text{ м}$

Кр 1-06

Кр 2-16

Р2Б Обоснование:

1) перейдем в Ω , связанную с Землей, будем считать её инерциальной.

2) Т.к. тело имеет малые размеры, а пуля движется поступательно, применим модель материальной точки. Следовательно, можем применить 3-е Ньютонна.

3) Т.к. время удара пули и тела мало, применим ЗСИ.

4) Т.к. сопротивление воздуха пренебрежимо мало, полушара гладкая (значим время нет), применим ЗСЭ.

$$v^2 = u^2 + 2g(R-h) = \left(\frac{mU_0}{m+u}\right)^2 + 2g(R-h)$$

3) 3-е Ньютонна $\Sigma F_y = (m+u)a_y$
момент отрыва:

$$\Sigma F_y = (m+u)g \cos \alpha = (m+u)g \frac{h}{R}$$

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

$$(m+u)g \frac{h}{R} = (m+u) \frac{v^2}{R}$$

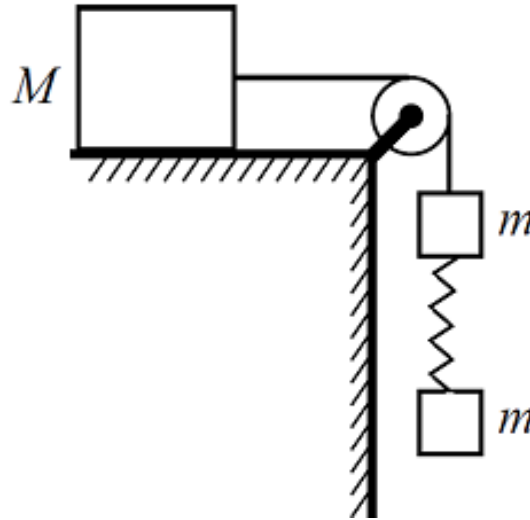
$$gh = \left(\frac{mU_0}{m+u}\right)^2 + 2g(R-h) \Rightarrow R = \frac{2}{g} h - \frac{1}{2g} \left(\frac{mU_0}{m+u}\right)^2$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot 0,7 \text{ м} - \frac{1}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \left(\frac{0,01 \text{ кг} \cdot 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0,01 \text{ кг} + 0,99 \text{ кг}}\right)^2 = 1 \text{ м}$$

Кр 1 - 0 6

Кр 2 - 3 6

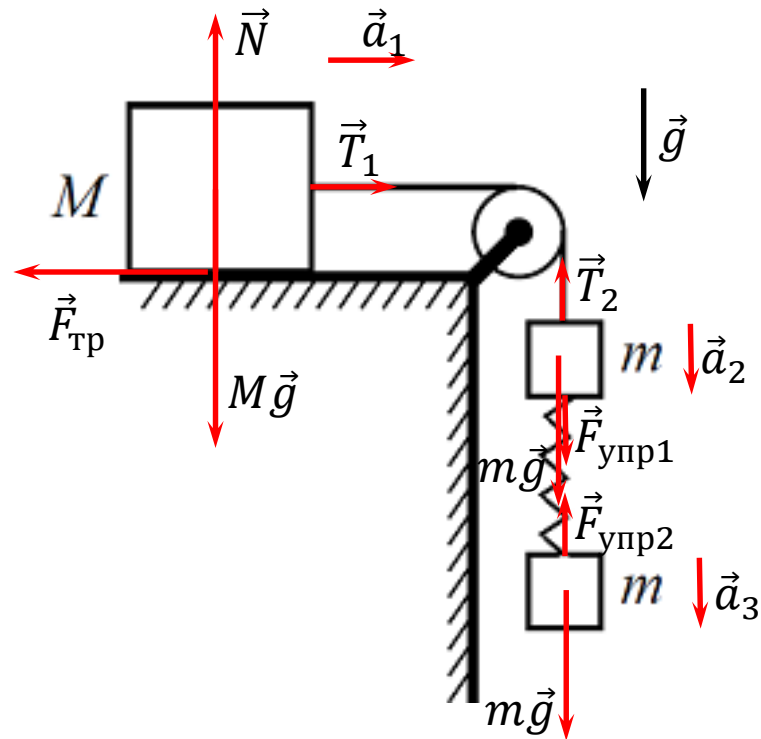
Задача №3



Груз массой $M = 800$ г соединён невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с бруском массой $m = 400$ г. К этому бруску на лёгкой пружине жёсткостью $k = 80$ Н/м подвешен второй такой же брусок. Длина нерастянутой пружины $l = 10$ см, коэффициент трения груза о поверхность стола $\mu = 0,2$. Определите длину пружины при движении брусков, считая, что при этом движении она постоянна. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

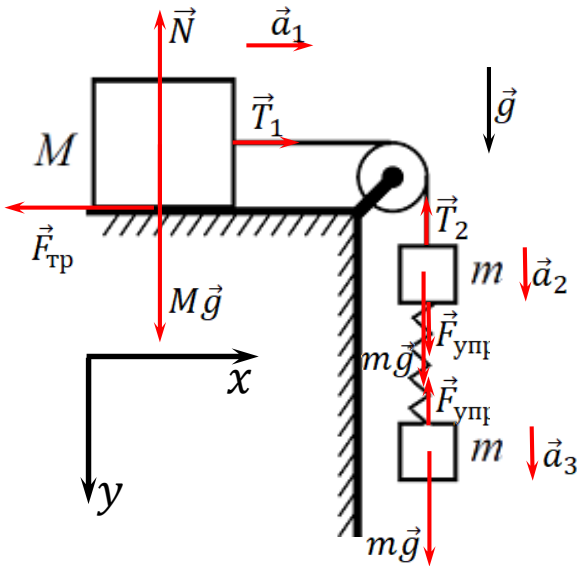
Задача №3

Рисунок



Задача №3

Решение



$$a_1 = a_2 = a_3 = a$$

$$T_1 = T_2 = T$$

$$F_{\text{упр1}} = F_{\text{упр2}} = F_{\text{упр}}$$

Закон Гука:

$$F_{\text{упр}} = k(L - l)$$

Запишем второй закон Ньютона:

$$M\vec{a}_1 = M\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}; \quad m\vec{a}_2 = m\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_{\text{упр1}};$$

$$m\vec{a}_3 = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр2}}$$

Сделаем проекции на выбранные оси:

$$\text{Ox: } Ma = T - F_{\text{тр}};$$

$$\text{Ox: } ma = F_{\text{упр}} - T - mg;$$

$$\text{Ox: } ma = mg - F_{\text{упр}}$$

$$\text{Oy: } 0 = N - Mg \Rightarrow N = Mg$$

Так как груз M скользит, то: $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg$;

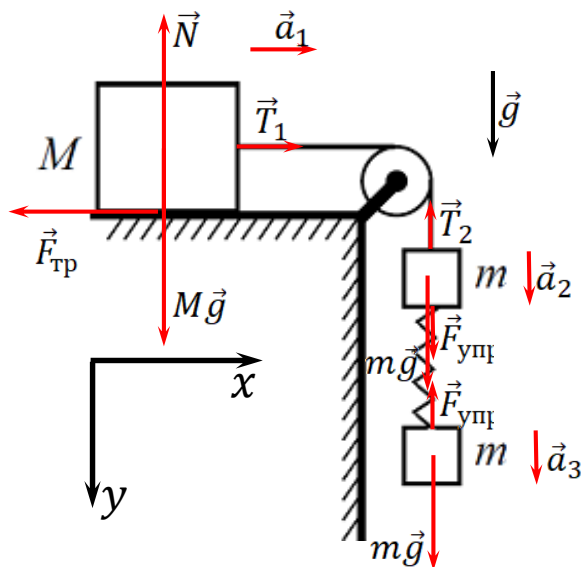
Суммируя уравнения, получаем выражение для ускорения: $a = \frac{2mg - \mu Mg}{M + 2m}$

Используя закон Гука, получаем ответ:

$$L = l + \frac{mMg(1 + \mu)}{(M + 2m)k} = 0,1 + \frac{0,4 \cdot 0,8 \cdot 10 \cdot (1 + 0,2)}{(0,8 + 2 \cdot 0,4)80} = 0,13 \text{ м}$$

Задача №3

Обоснование



$$a_1 = a_2 = a_3 = a$$

$$T_1 = T_2 = T$$

$$F_{\text{упр}1} = F_{\text{упр}2} = F_{\text{упр}};$$

Закон Гука:

$$F_{\text{упр}} = k(L - l)$$

Запишем *второй закон Ньютона*:

$$M\vec{a}_1 = M\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}; \quad m\vec{a}_2 = m\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_{\text{упр}1};$$

$$m\vec{a}_3 = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{упр}2}$$

Сделаем проекции на выбранные оси:

$$Ox: Ma = T - F_{\text{тр}};$$

$$Ox: ma = F_{\text{упр}} - T - mg;$$

$$Ox: ma = mg - F_{\text{упр}}$$

$$Oy: 0 = N - Mg \Rightarrow N = Mg$$

Так как груз M скользит, то: $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg$;

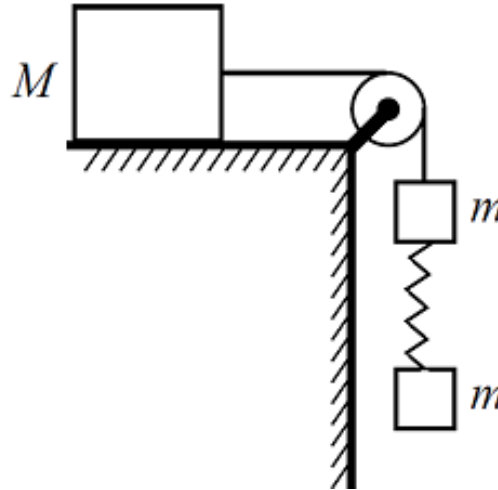
Суммируя уравнения, получаем выражение для ускорения: $a = \frac{2mg - \mu Mg}{M + 2m}$

Используя закон Гука, получаем ответ:

$$L = l + \frac{mMg(1 + \mu)}{(M + 2m)k} = 0,1 + \frac{0,4 \cdot 0,8 \cdot 10 \cdot (1 + 0,2)}{(0,8 + 2 \cdot 0,4)80} = 0,13 \text{ м}$$

Задача №3

Обоснование



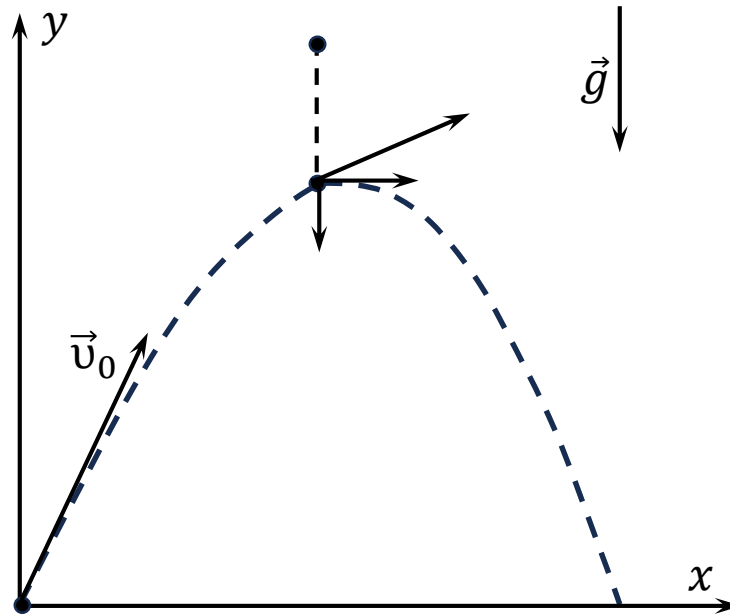
Груз массой $M = 800$ г соединён невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с бруском массой $t = 400$ г. К этому бруску на лёгкой пружине жёсткостью $k = 80$ Н/м подвешен второй такой же брусок. Длина нерастянутой пружины $l = 10$ см, коэффициент трения груза о поверхность стола $\mu = 0,2$. Определите длину пружины при движении брусков, считая, что при этом движении она постоянна. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

Задача №3

Обоснование

1. Примем СО, связанную с Землёй, инерциальной, и будем решать задачу в этой системе отсчёта.
2. Будем описывать тела моделью материальной точки, так как они движутся поступательно.
3. Пункты 1 и 2 позволяют использовать закон Ньютона для описания движения тел.
4. Так как нить лёгкая, блок идеальный, то модуль силы натяжения одинаков по всей длине нити ($T_1 = T_2$).
5. Так как нить нерастяжима, её длина не меняется. Следовательно, ускорения грузов одинаковы по модулю ($a_1 = a_2$).
6. Так как пружина лёгкая, то модуль силы упругости будет одинаков по все её длине ($F_{\text{упр1}} = F_{\text{упр2}}$).
7. Так как пружина не меняет своей длины, то расстояние между грузами, соединёнными пружинами, не меняется, и они проходят одинаковый путь. Следовательно, модули их ускорений одинаковы ($a_2 = a_3$).
8. Считаем деформацию пружины малой упругой, следовательно, можно применить закон Гука ($F_{\text{упр}} = k\Delta l$).
9. Так как тело М скользит по поверхности, то для нахождения силы трения скольжения можно использовать закон Амонтона-Кулона $F_{\text{тр}} = \mu N$.

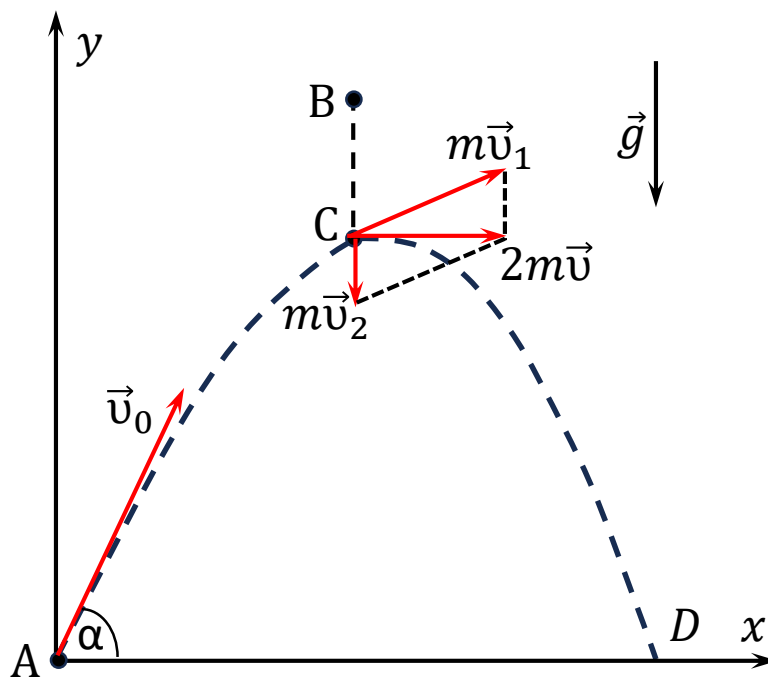
Задача №4



Пластилиновый шарик в момент $t = 0$ бросают с горизонтальной поверхности Земли с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Одновременно с некоторой высоты над поверхностью Земли начинает падать из состояния покоя другой такой же шарик. Шарики абсолютно неупруго сталкиваются в воздухе. Сразу после столкновения скорость шариков направлена горизонтально. В какой момент времени τ шарики упадут на Землю? Соппротивлением воздуха пренебречь. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

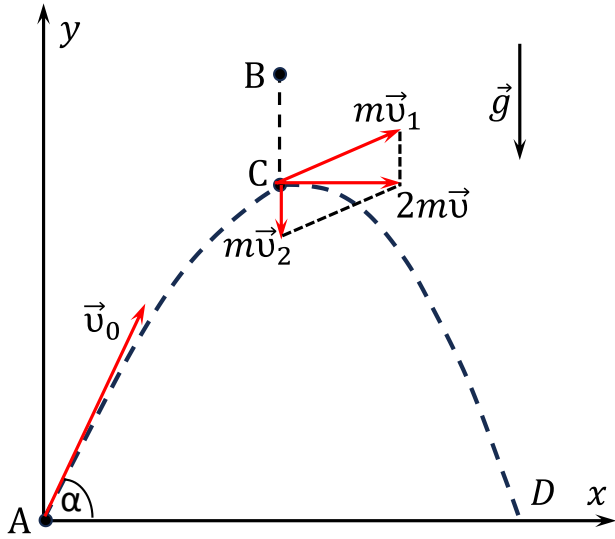
Задача №4

Рисунок



Задача №4

Решение



Рассмотрим равнопеременное движение до столкновения тел. Используем формулы:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t; \quad \vec{\Delta r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

Участок AC:

$$Oy: v_{1y} = v_0 \sin \alpha - gt_1; h = v_0 \sin \alpha t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$$

$$\text{Участок BC:} \quad Oy: v_{2y} = -gt_1$$

Запишем закон сохранения импульса: $m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 2m\vec{v}$

В проекции на ось y: $mv_{1y} + mv_{2y} = 0$

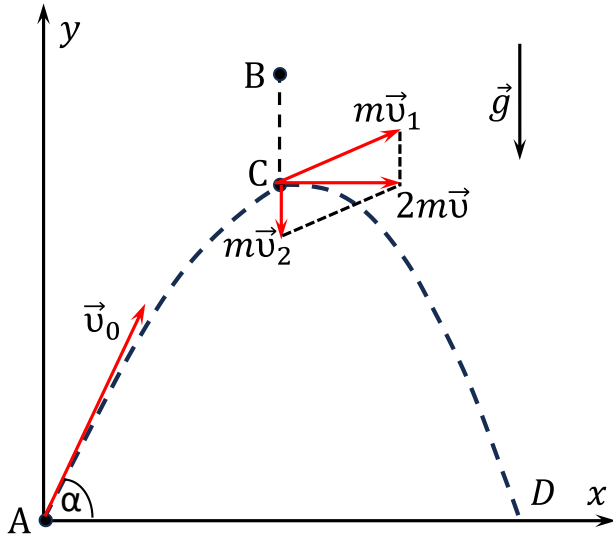
$$v_0 \sin \alpha - gt_1 - gt_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{2g}; h = \frac{3v_0^2 \sin^2 \alpha}{8g}$$

$$\text{Участок CD:} \quad Oy: -h = -\frac{gt_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{\sqrt{3}v_0 \sin \alpha}{2g}$$

$$\text{Полное время движения: } \tau = t_1 + t_2 = \frac{(\sqrt{3}+1)v_0 \sin \alpha}{2g}$$

Задача №4

Обоснование



Рассмотрим равнопеременное движение до столкновения тел. **Используем формулы:**

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t; \quad \vec{\Delta r} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}$$

Участок AC:

$$Oy: v_{1y} = v_0 \sin \alpha - gt_1; h = v_0 \sin \alpha t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$$

$$\text{Участок BC:} \quad Oy: v_{2y} = -gt_1$$

Запишем **закон сохранения импульса:** $m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 2m\vec{v}$

В проекции на ось y: $mv_{1y} + mv_{2y} = 0$

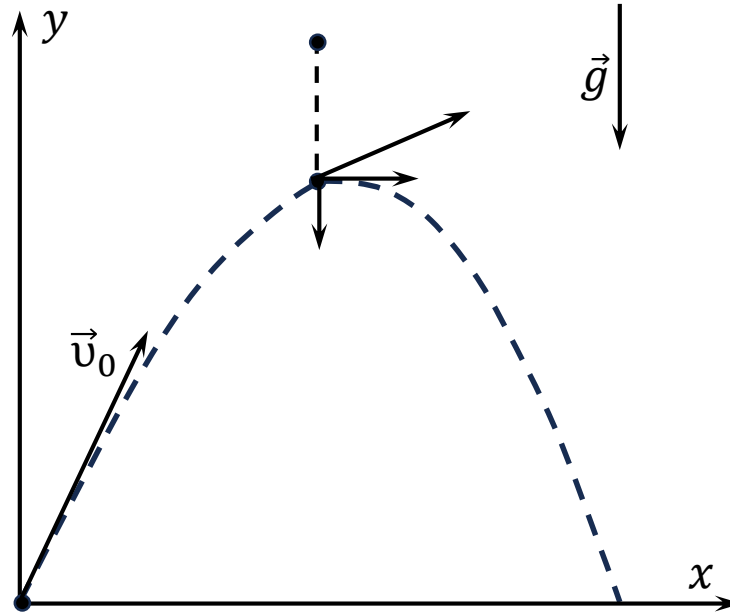
$$v_0 \sin \alpha - gt_1 - gt_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{2g}; h = \frac{3v_0^2 \sin^2 \alpha}{8g}$$

$$\text{Участок CD:} \quad Oy: -h = -\frac{gt_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{\sqrt{3}v_0 \sin \alpha}{2g}$$

$$\text{Полное время движения: } \tau = t_1 + t_2 = \frac{(\sqrt{3}+1)v_0 \sin \alpha}{2g}$$

Задача №4

Обоснование



Пластилиновый шарик в момент $t = 0$ бросают с горизонтальной поверхности Земли с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Одновременно с некоторой высоты над поверхностью Земли начинает падать из состояния покоя другой такой же шарик. Шарик абсолютно неупруго сталкиваются в воздухе. Сразу после столкновения скорость шариков направлена горизонтально. В какой момент времени τ шарик упадут на Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь. **Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.**

Задача №4

Обоснование

1. Примем СО, связанную с Землёй, инерциальной, и будем решать задачу в этой системе отсчёта.
2. Будем описывать тела моделью материальной точки, так как их размерами можно пренебречь в условиях данной задачи.
3. Так как время соударения мало, а внешняя сила (сила тяжести) конечна, изменением импульса системы за счёт её действия можно пренебречь. Следовательно, можно записать ЗСИ.
4. Так как сопротивлением воздуха можно пренебречь, тела движутся в поле тяжести Земли с постоянным ускорением \vec{g} . Следовательно, можно применять формулы равнопеременного движения.

**Благодарю за
внимание!**

Успехов в подготовке