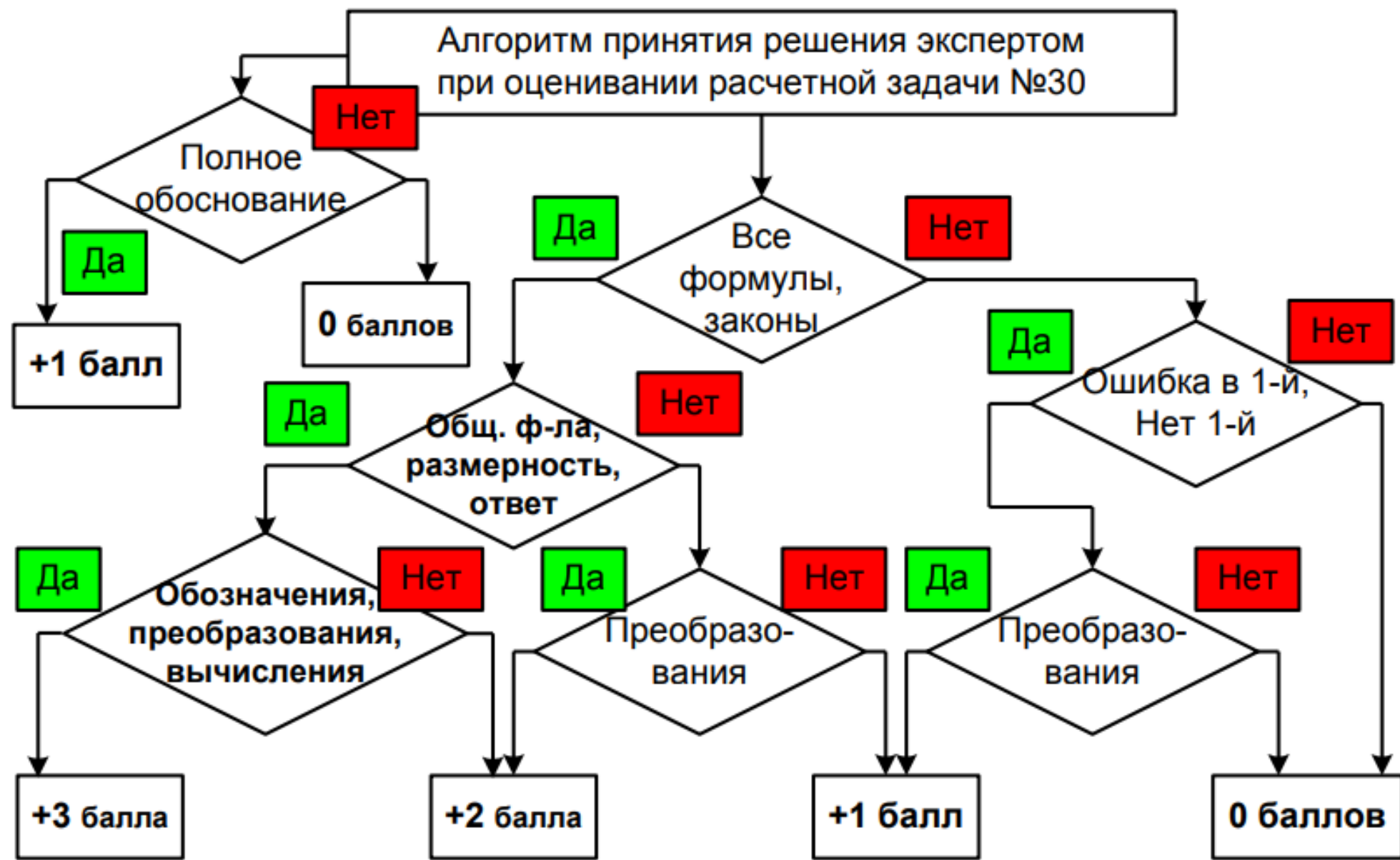


# Решение задачи №30 ЕГЭ ( механика)

Подготовила и провела консультацию  
Абдулнасырова Галима Язмуханбетовна,  
учитель физики МБОУ СШ №31

г. Сургут, 2023 г



## Комментарии к обобщённым схемам оценивания расчётных задач

1. Решение экзаменуемого может иметь логику, отличную от авторской логики решения (альтернативное решение). В этом случае эксперт оценивает возможность решения конкретной задачи тем способом, который выбрал экзаменуемый. Если ход решения экзаменуемого допустим, то **эксперт оценивает полноту и правильность этого решения на основании того списка основных законов, формул или утверждений, которые соответствуют выбранному способу решения.**

2. В качестве исходных формул принимаются только те, которые указаны в кодификаторе. При этом форма записи формулы значения не имеет (например:  $Q = cm\Delta T$ ,  $c = \frac{Q}{m\Delta T}$  и т.п.). Если же выпускник использовал в качестве исходной формулы ту, которая не указана в кодификаторе, то работа оценивается исходя из отсутствия одной из необходимых для решения формул. (Например, выпускник может в качестве исходной использовать формулу для внутренней энергии одноатомного идеального газа  $U = \frac{3}{2}pV$ , поскольку она есть в кодификаторе. А формулу для количества теплоты  $Q = \frac{5}{2}pV$ , полученного газом в изобарном процессе, в качестве исходной использовать нельзя – она отсутствует в кодификаторе. В случае её использования считается, что в решении отсутствует одна из исходных формул.)

3. Решение задачи может оцениваться в 2 балла при полном правильном решении и верном ответе, если не описаны дополнительно введённые физические величины. Описанием считается словесное указание на величину рядом с её символическим обозначением, указание символического обозначения величины в записи условия («Дано») или на схематическом рисунке. Допускается введение новых величин без описания, если используются стандартные обозначения, принятые в кодификаторе элементов содержания и требований к уровню подготовки выпускников общеобразовательных организаций для проведения единого государственного экзамена по физике.

4. Если в тексте задания требуется сделать рисунок с указанием сил, действующих на тело, то правильным считается рисунок, в котором верно указаны все необходимые силы и их направление. Погрешности в соотношении длин векторов и отсутствие знака вектора не считаются ошибками.

5. При проверке правильности числового ответа необходимо проверить вычисления экзаменуемого при помощи калькулятора. Допускается округление с учётом того числа значащих цифр, которые указаны в условии задачи. Избыточная точность числового ответа не считается ошибкой. При решении задачи по действиям допускается погрешность ответа, не меняющая физической сути числового ответа задачи.

6. Встречаются случаи, когда экзаменуемый представляет решение, в котором «подменяется» условие задачи, и определяет другую физическую величину. Здесь можно рассматривать три варианта.

- Если в задании требовалось определить отношение величин « $A/B$ », а участник экзамена определил значение отношения « $B/A$ », то это не считается ошибкой или погрешностью.
- Если подмена сводится к тому, что экзаменуемый определил не ту величину, которую требовалось рассчитать по условию задачи, а другую (при условии, что полученный ответ можно считать промежуточным этапом при определении требуемой величины и при этом в других вариантах не требуется определить именно найденную экзаменуемым величину), то такая подмена относится к ошибкам того же типа, что и ошибки в преобразованиях.
- Если же подмена выражается в решении задачи, представленной **в другом варианте экзаменационной работы**, то такое решение оценивается **0 баллов**.



### 3.4. Примеры оценивания ответов на задания 30

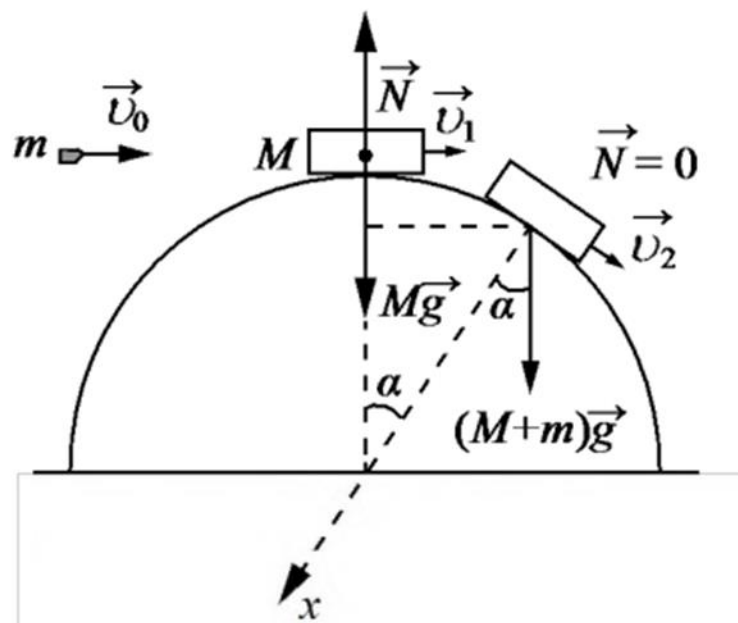
#### Задание 1

Небольшое тело массой  $M = 0,99$  кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом  $R = 1$  м. В тело попадает пуля массой  $m = 0,01$  кг, летящая горизонтально со скоростью  $v_0 = 200$  м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту  $h$ , на которой это тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

#### Возможное решение

#### Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.
2. При соударении для системы «пуля – тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.
3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).
4. В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры  $\vec{N}$ .
5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

### **Решение**

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой  $m + M$  сразу после удара:

$$mv_0 = (m + M)v_1.$$

Закон сохранения механической энергии связывает скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

$$\frac{(m + M)v_1^2}{2} + (m + M)gR = \frac{(m + M)v_2^2}{2} + (m + M)gR \cos \alpha,$$

где  $v_2$  – скорость составного тела в момент отрыва;  $h = R \cos \alpha$  – высота точки отрыва (см. рисунок).

---

2. Вторым закон Ньютона в проекциях на ось  $x$  (направленную в центр полусферы), в момент отрыва тела принимает вид:

$$(m + M)g \cos \alpha = \frac{(m + M)v_2^2}{R}.$$

3. Объединяя уравнения, получим:

$$\frac{v_1^2}{2} + gR = \frac{3}{2}gh.$$

$$\text{Отсюда } h = \frac{1}{3g} \cdot \left( \frac{mv_0}{M + m} \right)^2 + \frac{2}{3}R = \frac{1}{3 \cdot 10} \cdot \left( \frac{0,01 \cdot 200}{0,99 + 0,01} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 1 = 0,8 \text{ м.}$$

Ответ:  $h = 0,8$  м

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, модель материальной точки, условия применимости законов сохранения импульса и сохранения механической энергии, условие отрыва тела от поверхности полусферы</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0



## Критерий 2

<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы сохранения импульса и механической энергии, второй закон Ньютона</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>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);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены</p>	2

<p>ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>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</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
	<i>Максимальный балл</i> 4

Работа 1.1 (К1 – 0, К2 – 3)

30) Дано:	Решение:
$M = 0,99 \text{ кг}$	1. ЗЦЗ: $mV_0 = (M+m)V'$
$R = 1 \text{ м}$	$V' = \frac{mV_0}{M+m} = \frac{0,01 \cdot 200}{0,99+0,01} = 2 \text{ м/с}$
$m = 0,01 \text{ кг}$	2. ЗЭ: $(M+m)gR + \frac{(M+m)V'^2}{2} = (M+m)gh + \frac{(M+m)u^2}{2}$
$V_0 = 200 \text{ м/с}$	

$$gR + \frac{V'^2}{2} = gh + \frac{u^2}{2}$$

2. При отрыве от поверхности полусферы

$N = 0$  (сила реакции опоры равна нулю)

$$\vec{m}a_{yc} = m\vec{g} \quad (M+m)a_{yc} = (M+m)g$$

$$Ox: m a_{yc} = mg \sin \alpha \quad (M+m)a_{yc} = (M+m)g \sin \alpha \quad /: (M+m)$$

$$a_{yc} = g \sin \alpha; \quad \frac{u^2}{R} = g \sin \alpha; \quad \sin \alpha = \frac{h}{R}$$

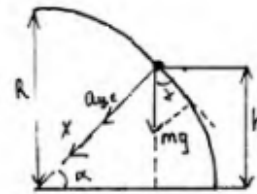
$$\frac{u^2}{R} = \frac{gh}{R} \quad u^2 = gh$$

$$3. \quad gR + \frac{u^2}{2} = gh + \frac{gh}{2} \quad gR + \frac{u^2}{2} = \frac{3gh}{2} \quad / \cdot 2$$

$$2gR + u^2 = 3gh \quad h = \frac{2gR + u^2}{3g}$$

$$h = \frac{2 \cdot 10 \cdot 1 + 2^2}{3 \cdot 10} = 0,8 \text{ м}$$

Ответ: 0,8 м



По критерию 1 – 0 баллов, так как в обосновании представлен только один элемент о равенстве нулю силы реакции опоры при отрыве груза от поверхности полусферы. В работе представлено полное верное решение, соответственно по критерию 2 – 3 балла. Работа оценивается 3 баллами.

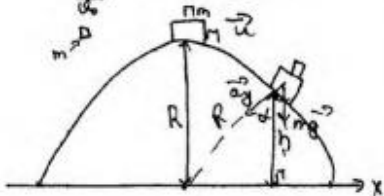


Задание 30

Дано:  $M = 0,99 \text{ кг}$   
 $R = 1 \text{ м}$   
 $m = 0,01 \text{ кг}$   
 $\varphi_0 = 300 \text{ м/с}$   
 $h = ?$

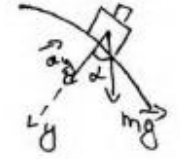
Решение:  
**Обоснование:**  
 Так как тело движется по окружности, можем применить закон сохранения импульса. Мы можем пренебречь размерами пули и тела, значит будем считать их материальными точками.  
 Так как соударение пули и тела происходит мгновенно, и силы не успевают подействовать, то сохраняется импульс и мы можем применить закон сохранения импульса.  
 Так как Паллиадера гладкая, кет силы трения, и единственная сила, которая действует на систему тел - сила тяжести, то можем применить закон сохранения энергии.  
 Так как земля приближенно является инерциальной системой, то можем применить II закон Ньютона.  
 $\vec{F} = m\vec{a}$  - II закон Ньютона  
 $a_y = \frac{v^2}{R}$  - центростремительное ускорение

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$  - закон сохранения импульса  
 В данном случае  $m \vec{v}_0 = m \vec{u} + M \vec{u}$ , где  $u$  - скорость системы тел "тело + пуля"  
 $Ox: m v_0 = u(m+M)$ ,  $u = \frac{m v_0}{m+M}$ ,  $u = \frac{0,01 \cdot 300}{0,99 + 0,01} = 2 \text{ (м/с)}$   
 Пуля пройдет тогда, когда сила реакции опоры будет равна 0 нулю



Запишем II закон Ньютона для точки отрыва:

$(m+M) \vec{g} = m \vec{a}_y$   
 $Oy: (m+M) g \cdot \cos \alpha = (m+M) a_y$ , где  $\alpha$  - угол между силой тяжести и  $a_y$   
 $\cos \alpha = \frac{h}{R}$   
 $g \frac{h}{R} = \frac{u'^2}{R}$ ,  $u'^2 = g h$  - скорость системы тел на высоте  $h$



$E_k + E_p = E_{k2} + E_{p2}$  - закон сохранения энергии

Для системы тел от точки удара до  $h$ :

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

$$\frac{u^2}{2} + g R = \frac{u'^2}{2} + g h, h = \frac{u^2 + 2 g R}{2 g}$$

$$h = \frac{2^2 + 2 \cdot 10 \cdot 1}{2 \cdot 10} = 0,8 \text{ (м)}$$

Ответ: 0,8 м

В обосновании неверно приведены условия применимости закона сохранения импульса и закона сохранения энергии. По критерию 1 - 0 баллов. В решении есть записи для закона сохранения импульса, которые не соответствуют условию задачи и в дальнейшем не используются. Их можно отнести к лишним записям. По критерию 2 - 2 балла. Работа оценивается 2 баллами.

30

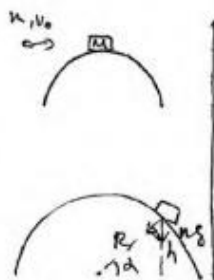
$$M = 0,99 \text{ кг}$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$m = 0,01 \text{ кг}$$

$$v_0 = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$h = ?$$



Заменим закон сохранения импульса в момент, когда шарики попадают в центр:

$$m v_0 = (M + m) u$$

$$u = \frac{m v_0}{M + m} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Заменим закон сохранения энергии, когда тело попало на вершину и на высоте  $h$ , где оно оторвалось от сферы:

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

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

Для отрыва от сферы соответствует условие:

$$m \frac{v^2}{R} \geq m g \cdot \cos(90^\circ - \alpha)$$

Значит, тело оторвется в момент

$$\frac{m v^2}{R} = m g \sin \alpha = m g \frac{h}{R}$$

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

$$h = \frac{u^2 + 2 g R}{g \cdot 3} = \frac{4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 20 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{30 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,8 \text{ м}$$

Ответ:  $h = 0,8 \text{ м}$

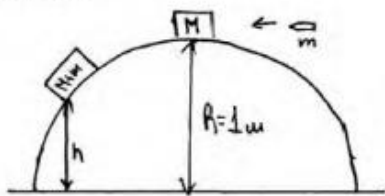


Работа 1.4 (K1 - 0, K2 - 1)

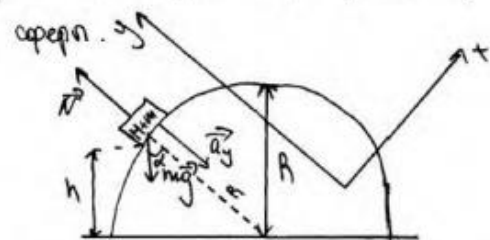
№30-

Дано:  
 $M = 0,99 \text{ т}$   
 $R = 0,1 \text{ м}$   
 $m = 0,01 \text{ кг}$   
 $v_0 = 200 \text{ м/с}$

Решение:



$h = ?$   $h$  - высота, на которой тело оторвется от поверхности полу-



1) Тело оторвется от поверхности сферы, когда сила реакции опоры  $\vec{N}$  станет  $\leq$  чем центростремительное ускорение:  $N \leq a_y$ .

2) Распишем проекции сил, действующих на груз, на  $Oy$ :  
 $m_1 a_y = N$ . (2)

3) По  $Oy$ :  $N = m_1 g \cos \alpha$  (1)

из (2) и (1):  $m_1 g \cos \alpha = m_1 a_y$ ; где  $m_1 = M + m \Rightarrow (M + m) g \cos \alpha = (M + m) a_y$  (3)

4) Распишем закон сохранения импульса по соударению шара и груза и составе:

$$M v_1 + m v_0 = (M + m) v \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,99 \cdot v_1 + 0,01 \cdot 200 = (0,99 + 0,01) v ; \text{ т.к. груз ударяется попоперек, то } v_1 = 0$$

$$0,99 \cdot 0 + 2 = 1 \cdot v$$

$$v = 2 \text{ м/с.}$$

б) Распишем условие отрыва тела от поверхности:

$$N \leq a_y$$

$$m_1 g \cos \alpha \leq m_1 a_y$$

$$g (M + m) \cos \alpha \leq (M + m) a_y$$

$$10 \cdot 1 \cdot (0,99 + 0,01) \cos \alpha \leq (0,99 + 0,01) \frac{v^2}{R}$$

$$10 \cos \alpha \leq \frac{2^2}{1}$$

$$\cos \alpha \leq \frac{4}{10} \quad (4)$$

б)  $\cos \alpha$  - отношение  $h$  к  $R \Rightarrow \cos \alpha = \frac{h}{R}$  (5)

$$\text{из (4) и (5): } \frac{h}{R} \leq \frac{4}{10} ; \frac{h}{1} \leq \frac{4}{10} \Rightarrow h \leq 0,4 \text{ м} \Rightarrow \text{при } h = 0,4 \text{ м}$$

тело оторвется от поверхности полушара.

Данную систему можно считать инерциальной, поэтому можно применить Второй закон Ньютона. Тела, находящиеся в данной системе, а именно шаре и груз, можно принять за материальные точки. Т.к. поверхности полушара груз гладкие, то силы трения скольжения можно пренебречь. Т.к. в момент соударения шар и груза система замкнутая, можно применить закон сохранения импульса

Ответ: 0,4 м.

В обосновании неверно приведены условия применимости закона сохранения импульса и закона сохранения энергии, неверно сформулировано условие отрыва тела от полушара, соответственно, по критерию 1 - 0 баллов. В решении отсутствует закон сохранения энергии при наличии двух других обязательных уравнений. По критерию 2 - 1 балл. Работа оценивается 1 баллом.

ЗАДАЧА 30.

УСЛОВИЯ:

$M$  - МАССА ТЕЛА  $M = 0,99 \text{ КГ}$

$R = 1 \text{ М}$  - РАДИУС ПОЛУСФЕРЫ

$m = 0,01 \text{ КГ}$  - МАССА ПУЛИ

$u_0$  - СКОРОСТЬ ПУЛИ

$u_0 = 200 \text{ М/С}$

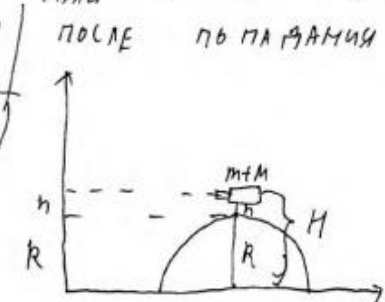
$h$  - ВЫСОТА ПОРЯЖЕНИЯ ОТ УРОВНЯ СФЕРЫ

$H$  - ВЫСОТА ТЕЛА С ПУЛЕЙ ОТ УРОВНЯ ЗЕМЛИ

$H = R + h$

2) ПОСКОЛЬКУ ТЕЛО НЕБОЛЬШЕЕ А РАЗМЕРЫ ПУЛИ МАЛЫ ПРИМЕМ ИХ ЗА МАТЕРИАЛЬНЫЕ ТОЧКИ;

3) ЕСТЬ ЗЕМЛЯ И ИЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА, ТОГДА ПОСКОЛЬКУ ТРЕНИЯ МЕЖДУ ТЕЛОМ И СФЕРОЙ НЕТ И МОЖНО ПРЕБРЕЦЬ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА, ТО ГДА СПРАВЕЛИВ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:



ТАК КАК СМЕЩЕНИЕМ ТЕЛА ЗА ВРЕМЯ УДАРА МОЖНО ПРЕБРЕЦЬ, ТО ПРИМЕМ  $H$  - ВЫСОТА

ПОСКОЛЬКУ ТЕЛО НЕБОЛЬШЕЕ А РАЗМЕРЫ ПУЛИ МАЛЫ ПРИМЕМ ИХ ЗА МАТЕРИАЛЬНЫЕ ТОЧКИ;

3) ЕСТЬ ЗЕМЛЯ И ИЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА, ТОГДА ПОСКОЛЬКУ ТРЕНИЯ МЕЖДУ ТЕЛОМ И СФЕРОЙ НЕТ И МОЖНО ПРЕБРЕЦЬ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА, ТО ГДА СПРАВЕЛИВ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:

$$(m+M)gh + \frac{m u_0^2}{2} + MgR = (m+M)g(R+h)$$

$$0,01 \text{ КГ} \cdot 10 \text{ М/С}^2 \cdot 1 \text{ М} + \frac{0,01 \text{ КГ} \cdot (200 \text{ М/С})^2}{2} + 0,99 \text{ КГ} \cdot 10 \text{ М/С}^2 \cdot 1 \text{ М} = 1 \text{ КГ} \cdot 10 \text{ М/С}^2 \cdot (1 \text{ М} + h)$$

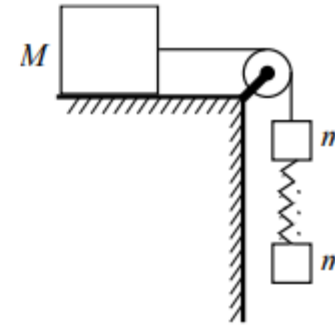
$$0,01 + 200 + 9,9 = 10 + 10h \Rightarrow h = \frac{190}{10} = 19 \text{ М}$$

ОТВЕТ:  $h = 19 \text{ М}$

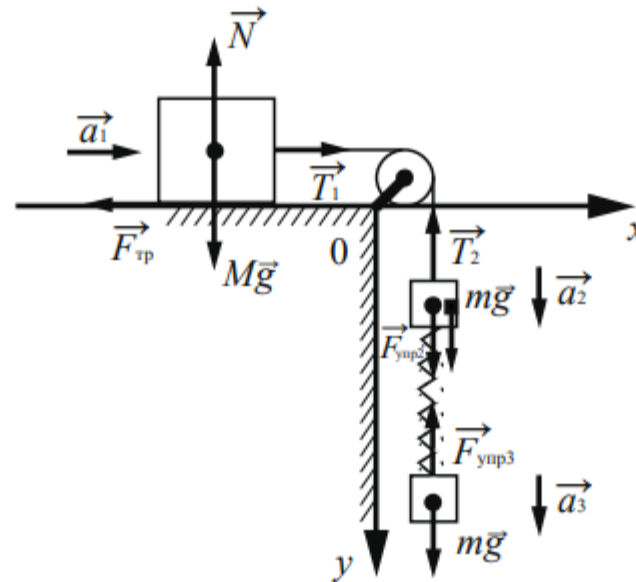
В обосновании неверно приведены условия применимости закона сохранения импульса и закона сохранения энергии, соответственно, по критерию 1 - 0 баллов. В решении законы, необходимые для решения задачи, записаны неверно. По критерию 2 - 0 баллов. Работа оценивается 0 баллов.

### Задание 2

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 используемых законов к решению задачи.



#### Возможное решение



Обоснование

### Обоснование

Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной с поверхностью стола. Будем применять для грузов и бруска законы Ньютона, справедливые для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и трением о воздух, а также массой блока пренебрежём.

Так как нить нерастяжима и длина пружины постоянна, ускорения обоих брусков и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3| = a. \quad (1)$$

На рисунке показаны силы, действующие на бруски и груз.

Так как блок и нити невесомы, а трение отсутствует, то модули сил натяжения нити, действующих на груз и верхний брусок, одинаковы:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \quad (2)$$

$$\text{Равны по модулю и силы } |\vec{F}_{\text{упр}2}| = |\vec{F}_{\text{упр}3}|, \quad (3)$$

так как пружина лёгкая.

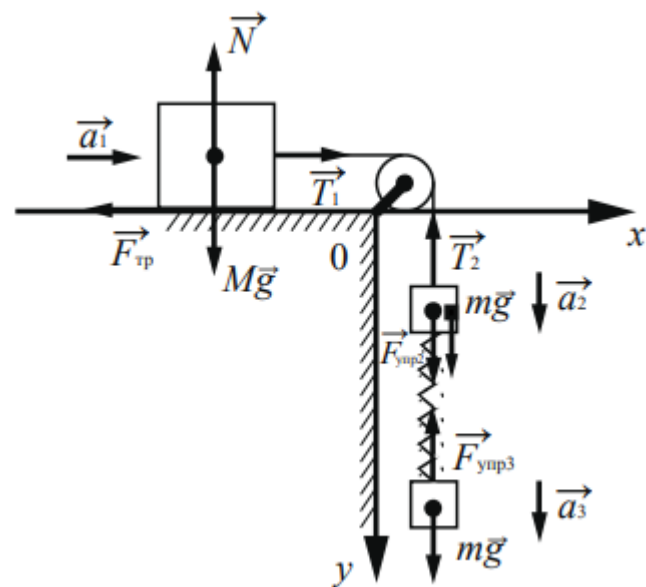
### Решение

1. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  выбранной системы координат.

С учётом (1)–(3) получим:

$$Ox: Ma = T - F_{\text{тр}}$$

$$Oy: N = Mg, \quad ma = mg - T + F_{\text{упр}}, \quad ta = mg - F_{\text{упр}}.$$





Сложив эти уравнения, найдём ускорение тел:  $a = \frac{2mg - F_{тр}}{M + 2m}$ .

2. Сила трения  $F_{тр} = \mu N = \mu Mg$ .

3. Из последнего уравнения в п. 1 получим  $F_{упр} = m(g - a) = \frac{mMg(1 + \mu)}{M + 2m}$ .

По закону Гука  $F_{упр} = k\Delta l = k(L - l)$ , тогда

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

Ответ:  $L = 0,13 \text{ м}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
--	-------

**Критерий 1**

Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>инерциальная система отсчёта, модель материальной точки, условия равенства сил натяжения нитей и равенства упругих сил, равенства ускорений тел</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0

**Критерий 2**

Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>II закон Ньютона, закон Гука, закон трения скольжения</i> ); II) Сделан верный рисунок с указанием сил, действующих на тела; III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( <i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i> ); IV) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины	3
---	---

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пунктам II и III, 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	2
--	---

И (ИЛИ)	
Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. 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	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	4



№30.

$$M = 800 \text{ кг} = 0,8 \text{ Мк}$$

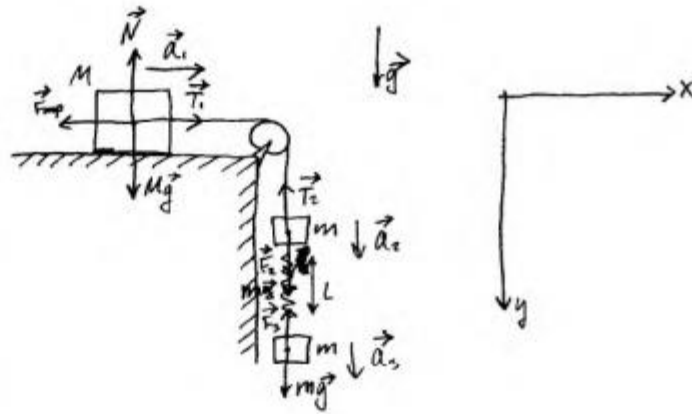
$$m = 400 \text{ кг} = 0,4 \text{ Мк}$$

$$k = 80 \text{ Н/м}$$

$$l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$\mu = 0,2$$

$$L - ?$$



Обоснование.

- 1) Задачу решаем в СД земли, она - ИСО.
  - 2) Грузы движутся поступательно  $\Rightarrow$  их можно считать материальными точками.
  - 3) Из (1) и (2) применим 2-й закон Ньютона
  - 4) Груз массой  $M$  движется  $\Rightarrow$  на него действует сила трения скольжения  $\Rightarrow$  применим 3-й закон Ньютона
  - 5) П.к. шнур нерастяжим, а пружина не меняет длину,  $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3|$
  - 6) П.к. блок ~~идеальный~~ невесомый, гладкий, нить невесомая,  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2|$
  - 7) П.к. пружина лёгкая,  $|\vec{F}_3| = |\vec{F}_2|$ . ( $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_2$  имеют на ~~одну~~ грузы со стороны пружины)
- 2) применим 2-й закон н.к. материальной точки и закон сохранения энергии.

Решение

Пусть  $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3| = \alpha$ ,  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ ,  $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = F_{\text{тр}}$ .

1) 2-й для груза массой  $M$ : по  $Oy$ :  $Mg - N = 0 \Rightarrow N = Mg$   
по  $Ox$ :  $T - F_{\text{тр}} = Ma$

3-й Ампермана-Купона:  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu Mg$

$T - \mu Mg = Ma$

2) 2-й для верхней груза массой  $m$  по  $Oy$ :  $F_{\text{тр}} - T = ma$

3) 2-й для нижнего груза массой  $m$  по  $Oy$ :  $mg - F_{\text{тр}} = ma$

4) 
$$\begin{cases} T - \mu Mg = Ma & (1) \\ mg + F_{\text{тр}} - T = ma & (2) \\ mg - F_{\text{тр}} = ma & (3) \end{cases}$$

Вычтем из (2) (3):  $T - \mu Mg + mg + F_{\text{тр}}$

$T - \mu Mg + mg + F_{\text{тр}}$

Вычтем из (2) (3):  $mg + F_{\text{тр}} - T - mg + F_{\text{тр}} = ma - ma$

Получим в (1):  $2F_{\text{тр}} - \mu Mg = Ma$  (4)

Умножим (4) на  $m$ , а (3) на  $M$ .

$$\begin{cases} 2m F_{\text{тр}} - \mu M g m = M a m \\ M m g - F_{\text{тр}} M = M a m \end{cases}$$

$\Rightarrow 2m F_{\text{тр}} - \mu M g m = M m g - F_{\text{тр}} M$

$F_{\text{тр}} (2m + M) = M m g (1 + \mu)$

$F_{\text{тр}} = \frac{M g m (1 + \mu)}{2m + M}$

$= \frac{0,8 \cdot 10 \cdot 0,4 (1 + 0,2)}{0,4 \cdot 2 + 0,8} = \frac{3,84}{1,6} = 2,4 \text{ (Н)}$

5) 3-й Тупа:  $F_{\text{тр}} = k \Delta x$ , где  $\Delta x$  — удлинение пружины,  $\Delta x = L - l$

$L = l + \Delta x = l + \frac{F_{\text{тр}}}{k} = 0,1 + \frac{2,4}{80} = 0,13 \text{ (м)}$

$0,13 \text{ м} = 13 \text{ см}$

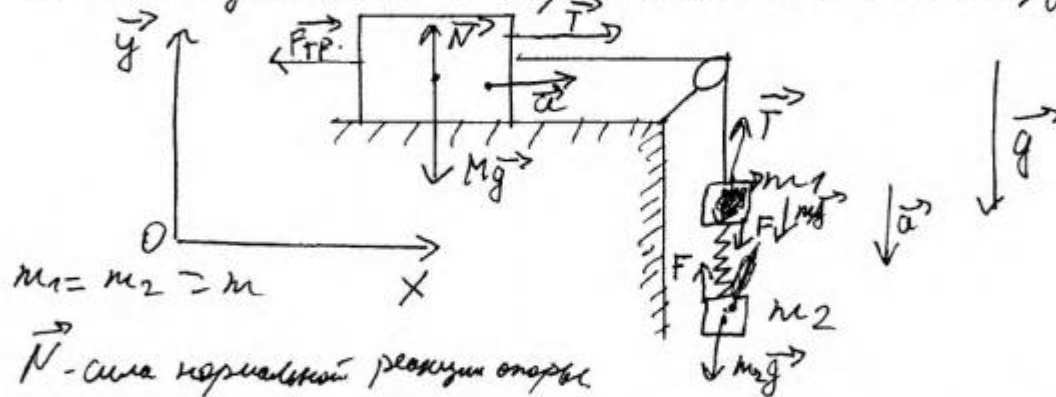
Ответ: 13 см.

В обосновании приведены все необходимые элементы, соответственно, по критерию 1 – 1 балл. В решении приведены все необходимые законы, представлены преобразования, получен ответ, приведен верный рисунок. По критерию 2 – 3 балла. Работа оценивается 4 баллами.

№30.

1. Введём Декартову систему координат, связанную с ~~землей~~ Землей, с направлениями осей  $x$  и  $y$ .

2. Нарисуем рисунок и расставим на нём силы, приложенные к телам, а также укажем направления осей координат.



$\vec{N}$  - сила нормальной реакции опоры

$\vec{F}_{тр}$  - сила трения скольжения (т.к. указано, что брусок находится в движении);  $\vec{T}$  - сила натяжения нити;  $\vec{F}$  - сила жёсткой пружины.

3. Распишем силы, приложенные к телам, в векторном виде, по II закону Ньютона.

$$\begin{cases} M\vec{a} = \vec{T} + \vec{F}_{тр} + M\vec{g} + \vec{N} \\ m_1\vec{a} = \vec{T} + \vec{F} + m_1\vec{g} \\ m_2\vec{a} = \vec{F} + m_2\vec{g} \end{cases}$$

4. Спроецируем силы на ось  $Ox$ ;

$$Ox: Ma = T - F_{тр.} \quad (1)$$

Горизонтальных сил к брускам массами  $m_1$  и  $m_2$  не приложено.

Спроецируем на ось  $Oy$ :

$$Oy: N - Mg = 0 \Rightarrow N = Mg \quad (2)$$

$$Oy: T - m_1 g - F = -m_1 a \quad (3)$$

$$Oy: F - m_2 g = -m_2 a \quad (4)$$

5. Сила трения скольжения может быть записана как  $\mu \cdot N$ ;  ~~$\mu \cdot Mg$~~ , т.е.

$$F_{тр.} = \mu \cdot N = \mu \cdot Mg \quad (\text{из ур. 2})$$

$$6. F = -kx \quad (\text{Закон Гюка})$$

7. Перепишем уравнение (3) с учётом

$$н. 5: Ma = T - \mu Mg; \text{ отсюда } T = Ma + \mu Mg \quad (5)$$

$$8. \text{ Из ур. (3) и (4): } \begin{cases} F = T - m_1 g + m_1 a \\ F = m_2 g - m_2 a \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T - m_1 g + m_1 a = m_2 g - m_2 a$$

Подставим ур. (5) вместо  $T$ , также заменим  $m_1$

и  $m_2$  на  $m$ :

$$Ma + \mu Mg - m g + m a = m g - m a$$

$$Ma + \mu Mg - 2m g + 2m a = 0$$

$$a = \frac{2mg - \mu Mg}{M + 2m} \quad (6)$$

9. Из (4); (5); (6) и п.6:

$$kx = mg - ma; \quad \Delta x = x - l$$

$$\Delta x = \frac{m(g-a)l}{k} = \frac{m \left( g - \frac{2mg - \mu Mg}{M + 2m} \right) + l}{k}$$

10. Подставим числовые значения, переведённые в систему СИ:  $M = 8002 = 0,8 \text{ кг}$ ;

$m = 4002 = 0,4 \text{ кг}$ ;  $l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$ ;  $k = 80 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$$x = 0,4 \text{ кг} \cdot \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \left( \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,4 \text{ кг} - 0,2 \cdot 0,8 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{0,8 \text{ кг} + 2 \cdot 0,4 \text{ кг}} \right) + 0,1 \text{ м}}{80 \frac{\text{Н}}{\text{м}}}$$

$$= 0,13 \text{ м}$$

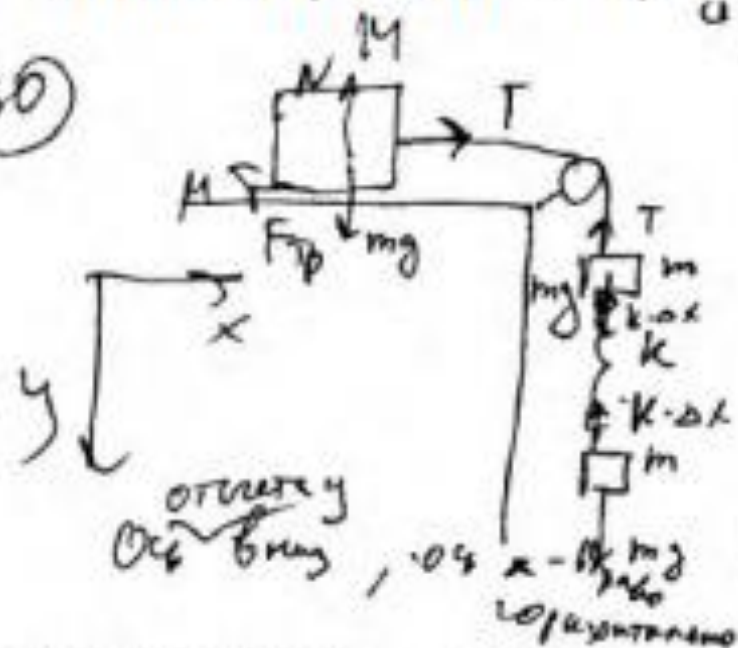
Ответ: 0,13 м

Обоснование отсутствует, в соответствии с критерием 1 – 0 баллов. Приведено верное решение, получен верный ответ. В соответствии с критерием 2 – 3 балла. Работа оценивается 3 баллами.



Работа 2.3 (К1 - 0, К2 - 2)

(30)



T - сила натяжения нити,

$\Delta x$  - растяжение пружины при движении

II 3-й закон Ньютона для нижней груза (T и вес в противоположн. направлении):

$$m \cdot a = mg - k \cdot \Delta x,$$

a - ускорение груза.

Для среднего груза (анализом II 3-го закона,

T и вес в противоположн. направлении и пружина со стороны своего

справа (вес и сила натяжения и пружина со стороны своего веса):

$$m a = k \Delta x + mg - T$$

II 3-й закон Ньютона (T и вес в противоположн. направлении):

Для верхнего груза в направлении на ось y:  $Mg = N$ , не участвует в движении (всего перемещений то же ускорение a)

$$Mg = N, \text{ не участвует}$$

$$Ma = T - \mu Mg$$

Получим:

$$\begin{cases} ma = mg - k\Delta x \\ ma = k\Delta x + mg - T \\ Ma = T - \mu Mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} ma = mg - k\Delta x \\ ma + Ma = k\Delta x + mg - \mu Mg \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{(m+M)(mg - k\Delta x)}{m} = k\Delta x + mg - \mu Mg \quad (1)$$

$$(1) \quad \cancel{mg} + M^2g + mMg - k\Delta x m - k\Delta x M = k\Delta x m + \cancel{mg} - \mu Mg \quad (2)$$

$$(2) \quad k\Delta x (2m + M) = \mu Mg (M + 1) \quad (3)$$

$$(3) \quad \Delta x = \frac{\mu Mg (M + 1)}{k (2m + M)} = \boxed{3 \text{ см}}$$

Обоснование отсутствует, соответственно, по критерию 1 – 0 баллов. В решении верно записаны все необходимые законы и формулы, но допущена ошибка в преобразованиях, не проведены расчеты, получен неверный ответ. По критерию 2 – 2 балла. Работа оценивается 2 баллами.

30

Дано:

- $M = 0,8 \text{ кг}$
- $m = 0,4 \text{ кг}$
- $k = 80 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
- $l = 0,1 \text{ м}$
- $\mu = 0,2$

Решить:

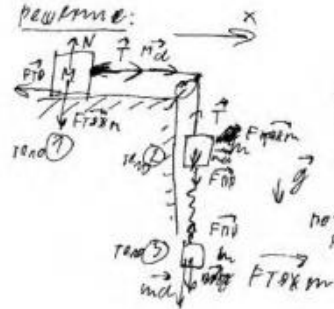
$L = ?$

Обосновать:

- 1) Блоки считать  $C_0$ , связанным со столом (и соотв. землей) и невесомым.
- 2) Все грузы в задаче можно считать мат. точками, т.к. их размеры можно пренебречь.
- 3) Тк нити лёгкие и нерастяжимые, пружина идеальная, а блок невесомый и гладкий, то натяжение любой точки нити одинаково, любой точки пружины одинаково, ускорения <sup>и скорости</sup> любой точки нити равны по модулю, как и любой точки пружины, считая её длиной  $l$  по условию.

Благодаря вышеуказанным фактам для задачи справедливы 3-ий закон Ньютона, закон сохранения и справедливы кинематические уравнения движущихся тел.

Решение:



1) ВВОДИМ Ось  $x$  и  $y$  как показано на рисунке.

Тогда:-

ОУ:  
 $F_{12} = Mg$   
 $F_{21} = mg$   
 $F_{sp} = k(l-l_0)$   
 по закону Гука  
 $F_{sp} = k(l-l_0)$

③  $F_{12} - F_{21} = Ma$   
 $Mg - k(l-l) = Ma$   
 ②  $-F_{21} + F_{12} + T = ma$   
 $-mg - k(l-l) + T = ma$   
 ①  $N - F_{12} = 0 \Rightarrow N = Mg$

ОХ:  
 ①  $T - F_{21} = ma$

отв:  $a = \frac{kL}{2M}$   
 $Mg - k(L-l) = Ma = -mg - k(L-l) + T$

$T = 2mg$

В обосновании не указаны условие равенства сил натяжения нити и условие равенства ускорений тел как отдельные элементы. По критерию 1 - 0 баллов. В решении неверно записан закон Ньютона для одного из тел, соединенных пружиной. По критерию 2 - 1 балл. Работа оценивается 1 баллом.

№ 30.

Дано:

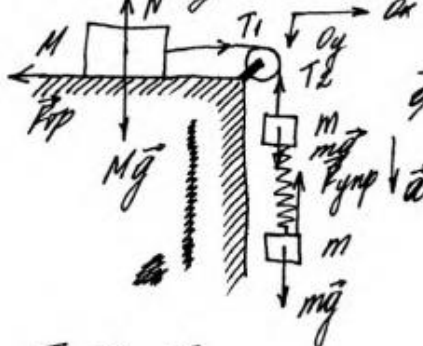
- $M = 0,8 \text{ кг}$ ,
- $m = 0,4 \text{ кг}$ ,
- $v = 80 \text{ Н/м}$ ,
- $l = 0,1 \text{ м}$ ,
- $\mu = 0,2$ ,
- $T + a = ?$

Равновесие

Рассмотрим систему отсчета, связанную с Землей. Точка отсчета этой системы отсчета ищем на нити. Точка отсчета движется относительно поверхности Земли, например (предположим).

№ 30 (продолжение)

рассмотрим движущийся. Точки связаны нитью, нить и пружинкой нити, след сила натяжения нити со стороны каждого из блоков одинакова ( $T_1 = T_2 = T$ ). Точки движутся с ускорением.



Запишем уравнения движения блоков относительно осей  $Ox$  и  $Oy$ :

$$Ox: -F_{sp} + T_1 = Ma$$

$$Oy: Mg - N = 0$$

$$F_{sp} - mg = 2ma$$

$$-Ma + T_1 = -T_2 + 2ma$$

$$-Ma + 2T = 2ma$$

$T_1 = T_2 = T$

Выразим  $T$ ;  $2T = 2ma + Ma$ ,

$$T = \frac{2a(m+M)}{2} \Rightarrow T = a(m+M) \quad (1)$$

Подставим (1) в (2), где  $-F_{sp} + T = Ma$  (2)

$$-F_{sp} + a(m+M) = Ma$$

$$- \mu N = Ma - a(m+M)$$

$$- \mu Mg = a(M - (m+M))$$

(продолжение следует)



W30 (продолжение)

$$- \mu mg = a(m - m - M)$$

$$- \mu mg = a(-m)$$

$$\mu mg = ma, \quad a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ м/с}^2$$

Теперь найдем силу упругости пружины

$$F_{\text{уп}} = 2ma + mg$$

$$F_{\text{уп}} = 2m(a + g), \quad F_{\text{уп}} = 0,8(2 \cdot 10) = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ Н}$$

Найдем удлинение пружины  $d$  при движении брусков:

$$F_{\text{уп}} = k \Delta l = k(l + d), \quad (l + d) = \frac{F_{\text{уп}}}{k} = \frac{9,6 \text{ Н}}{80 \text{ Н/м}}$$

$$= \frac{9,6}{80} = 0,12 \text{ м} - \text{длина растянута}$$

пружина при движении брусков.

Ответ: длина растянута пружины при движении брусков равна 0,12 м или 12 см.

В обосновании отсутствует условие равенства ускорений тел. По критерию 1 – 0 баллов. В решении неверно записаны законы Ньютона для тел, связанных пружиной. По критерию 2 – 0 баллов. Работа оценивается 0 баллов.

Спасибо за внимание!