

**Импульс**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Урок  
№1.

**ИМПУЛЬС ТЕЛА**

Урок  
№2.

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ  
ИМПУЛЬСА ТЕЛА**

Урок  
№3.

**ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА  
СОХРАНЕНИЯ  
ИМПУЛЬСА ТЕЛА**

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧ**

Урок №1.

# ИМПУЛЬС ТЕЛА

Причиной изменения скорости тела является действие на него силы  $F$ , при этом тело не может изменить свою скорость мгновенно.

Следовательно, изменение скорости зависит не только от силы но и от времени ее действия

Выясним зависимость изменения скорости тела от силы действующей на него и времени действия этой силы при равноускоренном движении тела из состояния покоя :

Согласно второму закону Ньютона:

$$F = ma$$

Ускорение тела при  
равноускоренном движении из  
состояния покоя равно:

$$a = \frac{v}{t}$$

подставим вместо ускорения его  
значение и получим:

$$F = m \cdot \frac{v}{t}$$

Преобразуем данное выражение

$$t \cdot F = m \cdot v$$



# Рассмотрим полученное выражение

$$t \cdot F = m \cdot v$$



Физическая величина,  
равная произведению силы,  
действующей на тело, и  
времени ее действия  
называется

**ИМПУЛЬС СИЛЫ**



Физическая величина,  
равная произведению  
массы тела и его скорости  
называется

**ИМПУЛЬС ТЕЛА**

$$p = m v$$

**Импульс тела** – векторная физическая величина характеризующая количество движения.

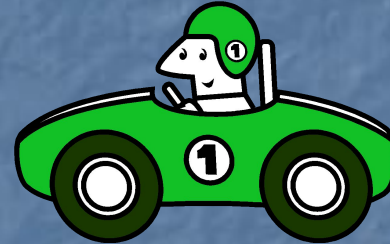
Направление вектора импульса тела совпадает с направлением скорости тела.

Если скорость тела равна нулю,

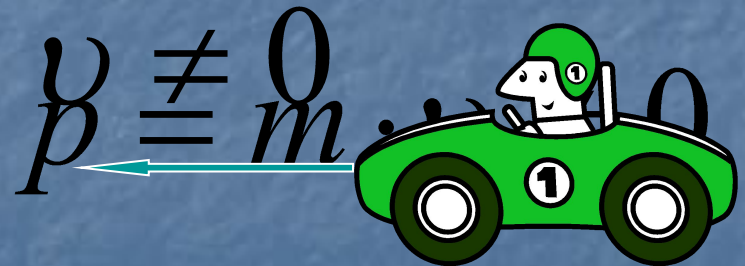
$$v = 0$$

то его импульс  
равен нулю,

$$p = m \cdot v = m \cdot 0 = 0$$



Если тело обладает скоростью, то его импульс  
не равен нулю,





Единицей измерения импульса в СИ  
является

килограмм-метр в секунду

$$[p] = [m \cdot v] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \text{кг} \cdot \text{м/с}$$

Понятие импульса было введено в физику французским ученым Рене Декартом (1596-1650).



**пример**

*Урок  
№2.*

# **Закон сохранения импульса**

“Я принимаю, что во Вселенной, во всей созданной материи есть известное количество движения, которое никогда не увеличивается, не уменьшается, и, таким образом, если одно тело приводит в движение другое, то теряет столько своего движения, сколько его сообщает”.

Рене Декарт.

С другой стороны мы знаем третий закон Ньютона:

Сила с которой взаимодействуют два любые тела, всегда равны по величине и противоположны по направлению.



Два этих утверждения не могут быть не взаимосвязаны так, как описывают одно и тоже взаимодействие.

## Докажем эту взаимосвязь.

Согласно третьему закону Ньютона, силы взаимодействия между двумя телами равны:

$$F_1 = F_2$$

Умножим правую и левую части равенства на время взаимодействия.

$$t \cdot F_1 = F_2 \cdot t$$

Получим в правой и левой части равенства импульсы сил которые сообщаются этим телам, а импульсы сил равны импульсам тел полученных во время их взаимодействия.

$$p_1 = p_2$$



В более общем виде данное выражение выглядит следующим образом:

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

При взаимодействии двух тел их общий импульс остается неизменным (т.е. сохраняется)

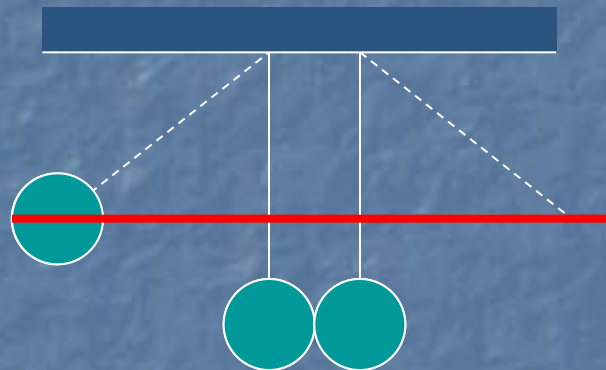
Данный закон является фундаментальным законом природы.

Закон сохранения импульса используется в случаях когда взаимодействие тел нельзя описать с помощью законов Ньютона, т. е. при долговременных или кратковременных взаимодействиях.

Для демонстрации закона сохранения импульса тела рассмотрим опыт.

Подвесим на тонких нитях два одинаковых шарика

Отведем один из шариков в сторону



Мы видим что после столкновения левый шар остановился, а правый пришел в движение.

Высота подъема правого шара, равна высоте на которую отклонили левый шар.

Это говорит о том, что левый шар отдал весь свой импульс правому шару.

**пример**

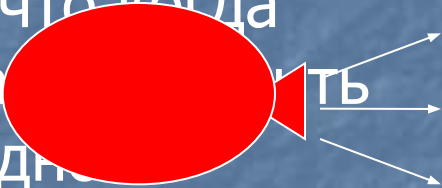
Урок  
№3.

# Применение закона сохранения импульса

Закон сохранения импульса используется в случаях когда взаимодействие тел нельзя описать с помощью законов Ньютона, т. е. при долговременных или кратковременных взаимодействиях.

Рассмотрим простой пример: возьмем детский резиновый шарик, надуем его и отпустим.

Мы видим что когда воздух начинает вылетать из шарика в одном направлении, то сам шарик полетит в другую сторону

A diagram showing a red oval representing a balloon. On the right side of the oval, there is a small red wedge-shaped opening. Three white arrows point outwards from this opening towards the right, representing air escaping. The text above and below the diagram explains that the balloon moves in the opposite direction of the escaping air.

Движение тела, возникающее при отделении от тела его части с некоторой скоростью, называется

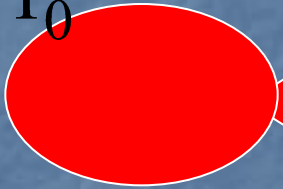
**реактивным движением.**

## Рассмотрим реактивное движение с помощью закона сохранения импульса

Скорость шарика в начальный момент времени была равна нулю

И скорость воздуха в начальный момент времени была равна нулю

Следовательно импульсы тел, до взаимодействия, тоже равны нулю



$v_{1_0} = 0$   
 $v_{2_0} = 0$

$$p_1 = m_1 \cdot v_{1_0} = m_1 \cdot 0 = 0$$

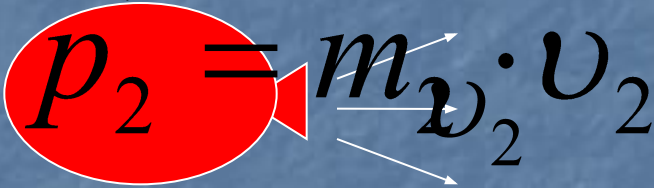
$$p_2 = m_2 \cdot v_{2_0} = m_2 \cdot 0 = 0$$



Предположим, что воздух выходит из шарика с одинаковой скоростью  $v_2$

После выхода всего газа массой  $m_2$ , шар приобретет скорость  $v_1$

Тогда импульсы тел после взаимодействия будут равны:

$$v_1 \quad p_1' = m_1 \cdot v_1; \quad p_2' = m_2 \cdot v_2$$
A diagram illustrating momentum vectors. A red oval highlights the term  $p_2'$  in the equation. To the right of the oval, a vector  $p_2'$  is shown with a red arrow pointing to the right. Below it, a vector  $v_2$  is shown with a black arrow pointing to the right. The text  $m_2 \cdot v_2$  is also present, with a black arrow pointing to the right.

Согласно закону сохранения импульса, получим:

$$p_1' + p_2' = p_1 + p_2$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0 + 0$$

Найдем скорость шарика  $v_1$

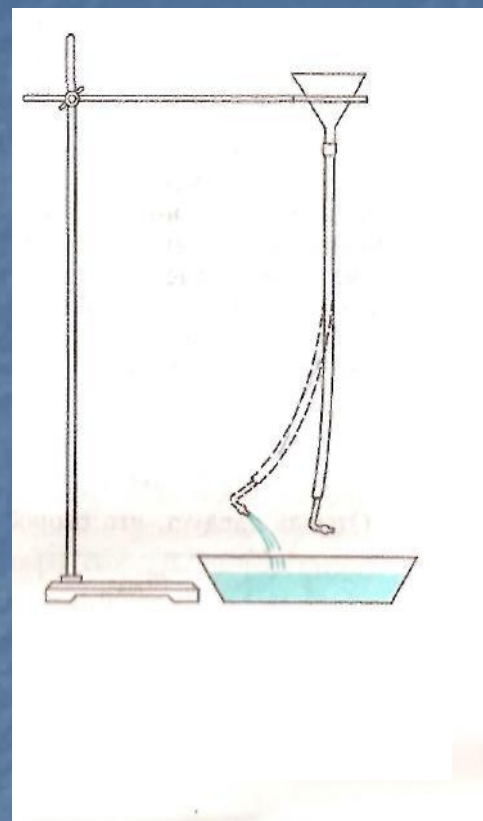
$$m_1 v_1 = -m_2 v_2$$

$$v_1 = -\frac{m_2}{m_1} v_2$$

Знак «-» показывает, что скорость шарика имеет противоположное направление скорости вырывающегося из него воздуха.

**Реактивное движение, возникающее при выбросе воды, можно наблюдать на следующем опыте. Нальем воду в стеклянную воронку, соединенную с резиновой трубкой, имеющей Г-образный наконечник.**

**Мы увидим, что, когда вода начнет выливаться из трубки, сама трубка придет в движение и отклонится в сторону, противоположную направлению вытекания воды.**





**По принципу реактивного движения передвигаются некоторые представители животного мира, например кальмары и осьминоги. Периодически выбрасывая в себя воду, они способны развивать скорость до 60—70 км/ч. Аналогичным образом перемещаются медузы, каракатицы и некоторые другие животные.**

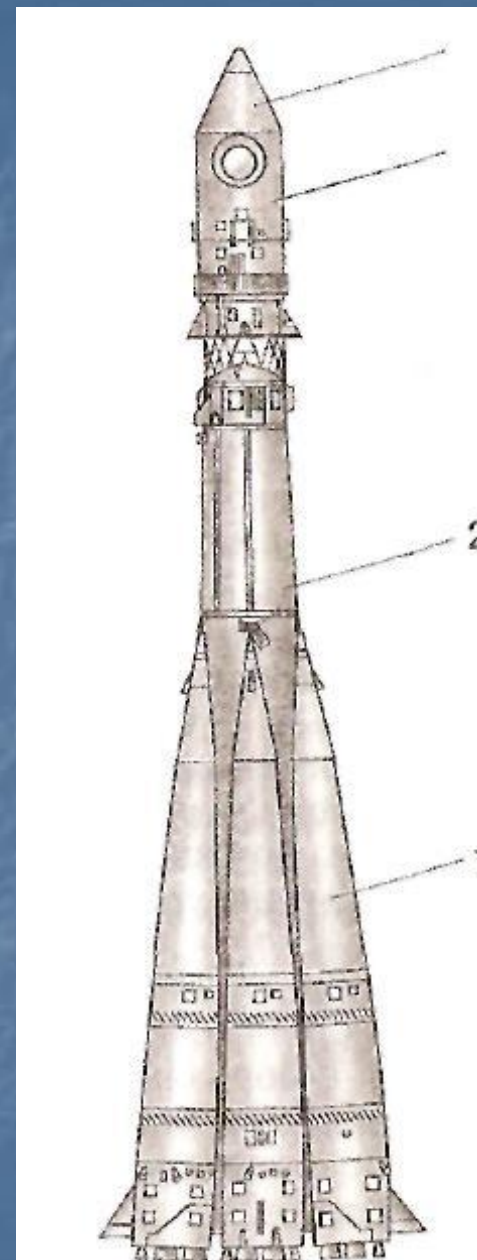


**Примеры реактивного движения можно обнаружить и в мире растений. Например, созревшие плоды «бешеного» огурца при самом легком прикосновении отскакивают от плодоножки и из отверстия, образовавшегося на месте отделившейся ножки, с силой выбрасывается горькая жидкость с семенами; сами огурцы при этом отлетают в противоположном направлении.**



На принципе реактивного движения основаны полеты **ракет**. Современная космическая ракета представляет собой очень сложный летательный аппарат, состоящий из сотен тысяч и миллионов деталей.

Масса ракеты огромна. Она складывается из массы рабочего тела (т. е. раскаленных газов, образующихся в результате сгорания топлива и выбрасываемых в виде реактивной струи) и конечной или, как говорят, «сухой» массы ракеты, остающейся после выброса из ракеты рабочего тела.





Обозначим «сухую»  
массу ракета

$$m_p$$

Скорость ракеты

$$v_p$$

а массу вырывающихся  
газов

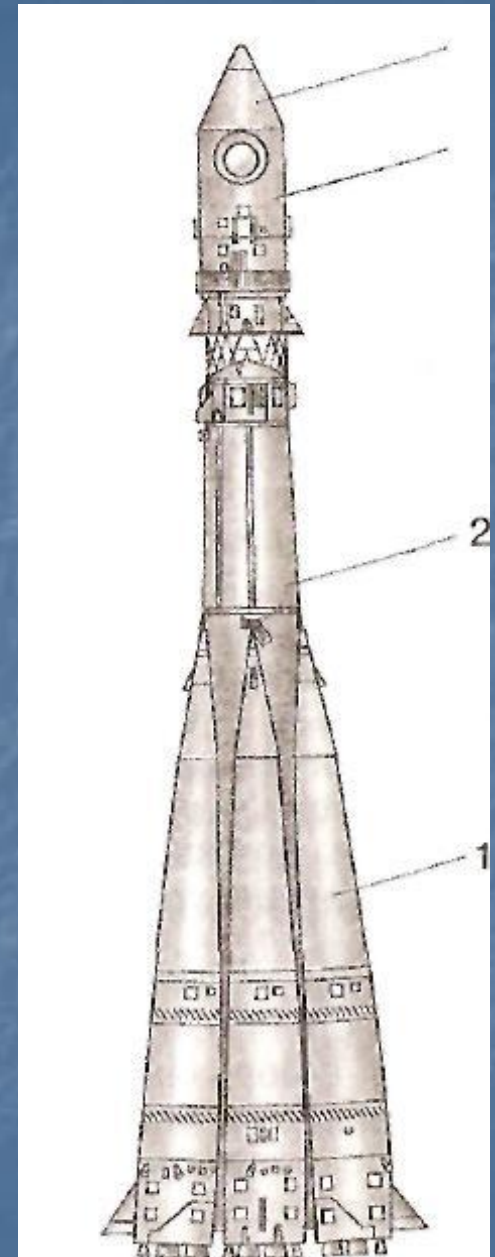
$$m_{газ}$$

Скорость  
вырывающихся газов

$$v_{газ}$$

То уравнение полученное нами для  
резинового шарика примет следующий вид

$$w_p = \frac{m_{газ} v_{газ}}{m_p} w_{газ}$$



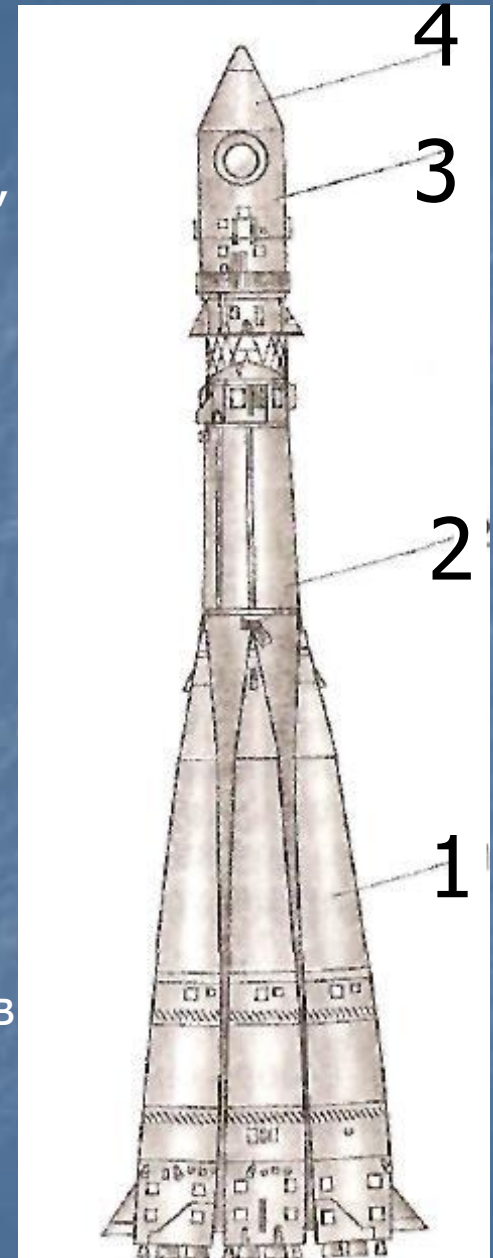
**Мы видим, что чем больше масса ракеты тем меньше ее скорость.**

По мере истечения рабочего тела освободившиеся баки, лишние части оболочки и т. д. начинают обременять ракету ненужным грузом, затрудняя ее разгон. Поэтому для достижения космических скоростей применяют составные (или многоступенчатые) ракеты.

Сначала в таких ракетах работают лишь блоки первой ступени **1**. Когда запасы топлива в них кончаются, они отделяются и включается вторая ступень **2**; после исчерпания в ней топлива она также отделяется и включается третья ступень **3**.

Находящийся в головной части ракеты спутник или какой-либо другой космический аппарат укрыт головным обтекателем **4**, обтекаемая форма которого способствует уменьшению сопротивления воздуха при полете ракеты в атмосфере Земли.

$$v_p = \frac{m_{\text{вз}}}{m_p} v_{\text{вз}}$$



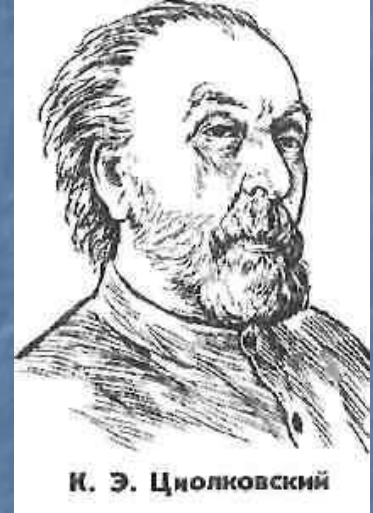
Формула выведенная нами является приближенной.

В ней не учитывается, что по мере сгорания топлива масса летящей ракеты становится все меньше и меньше. Точная формула для скорости ракеты впервые была получена в 1897 г. К. Э. Циолковским.

В таблице приведены отношения начальной массы ракеты  $m_0$  к ее конечной массе  $m$ , соответствующие разным скоростям ракеты при скорости газовой струи (относительно ракеты)

$$v = 4 \text{ км/с}$$

$$v_p = \frac{m_{\text{газ}}}{m_p} v_{\text{газ}}$$



$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$	$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$	$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$
4	2,7	16	55	28	1100
8	7,4	20	148	32	2980
12	20,1	24	403	36	8100

Например, для сообщения ракете скорости, превышающей скорость истечения газов в 4 раза ( $v=16$  км/с), необходимо, чтобы начальная масса ракеты (вместе с топливом) превосходила конечную («сухую») массу ракеты в 55 раз ( $m_0/m = 55$ ). Это означает, что львиную долю от всей массы ракеты на старте должна составлять именно масса топлива. Полезная же нагрузка по сравнению с ней должна иметь очень малую массу.

$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$	$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$	$v_p, \text{км/с}$	$m_0/m$
4	2,7	16	55	28	1100
8	7,4	20	148	32	2980
12	20,1	24	403	36	8100

**пример**



# Примеры решения задач.

**Импульс тела**

**Закон сохранения  
импульса тела**

**Реактивное движение**

**[В оглавление](#)**



Чему равен импульс космического корабля, движущегося со скоростью 8 км/с? Масса корабля 6,6 т.

Дано:	СИ
$v = 8 \text{ км/с}$	$8000 \text{ м/с}$
$m = 6,6 \text{ т}$	$6600 \text{ кг}$
<hr/>	
$p - ?$	

Решение:

$$p = mv =$$
$$= 6600 \text{ кг} \cdot 8000 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 52800000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $52800000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$



Когда человек подпрыгивает, то, отталкивается ногами от земного шара, он сообщает ему некоторую скорость. Определите эту скорость, если масса человека 60 кг и он отталкивается со скоростью 4,4 м/с. Масса земного шара  $6 \cdot 10^{24}$  кг.

Дано:

$$m_1 = 60 \text{ кг}$$

$$v_1 = 4,4 \text{ м/с}$$

$$m_2 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

$v - ?$

Решение:

Рассмотрим импульсы человека и земли до взаимодействия:

$$p_1 = m_1 \cdot v_{1_0} = m_1 \cdot 0 = 0$$

$$p_2 = m_2 \cdot v_{2_0} = m_2 \cdot 0 = 0$$

После взаимодействия импульсы человека и земли станут равны:

$$p'_1 = m_1 \cdot v_1 = 60 \text{ кг} \cdot 4,4 \text{ м/с} = 264 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$p'_2 = m_2 \cdot v_2$$

Согласно закону сохранения импульса, полный импульс системы остается неизменным:

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 \quad \text{следовательно:} \quad 0 + 0 = p'_1 + p'_2 \quad p'_2 = -p'_1$$

$$m_2 \cdot v_2 = -264 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \quad v_2 = -\frac{264 \text{ кг} \cdot \text{м}}{m_2 \text{ кг}} = -\frac{264 \text{ кг} \cdot \text{м}}{6 \cdot 10^{24} \text{ кг}} =$$

Ответ:  $44 \cdot 10^{-24} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$= -\frac{264 \text{ м}}{6 \cdot 10^{24} \text{ кг}} = -44 \cdot 10^{-24} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Знак «-» показывает, что скорость земного шара имеет противоположное направление скорости человека.



Чему равна скорость пороховой ракеты массой 1 кг после вылета из нее продуктов сгорания массой 0,1 кг со скоростью 500 м/с.

Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

$$v_1 = 500 \text{ м/с}$$

$$m_2 = 1 \text{ кг}$$

$$v = ?$$

Решение:

Рассмотрим импульсы ракеты и продуктов сгорания до взаимодействия:

$$p_1 = m_1 \cdot v_{1_0} = m_1 \cdot 0 = 0$$

$$p_2 = m_2 \cdot v_{2_0} = m_2 \cdot 0 = 0$$

После взаимодействия импульсы ракеты и продуктов сгорания станут равны:

$$p'_1 = m_1 \cdot v_1 = 0,1 \text{ кг} \cdot 500 \text{ м/с} = 50 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$$p'_2 = m_2 \cdot v_2$$

Согласно закону сохранения импульса, полный импульс системы остается неизменным:

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 \quad \text{следовательно:} \quad 0 + 0 = p'_1 + p'_2 \quad p'_2 = -p'_1$$

$$m_2 \cdot v_2 = -50 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \quad v_2 = -\frac{50 \text{ кг} \cdot \text{м}}{m_2 \text{ кг}} = -\frac{50 \text{ кг} \cdot \text{м}}{1 \text{ кг}} = -50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Знак «-» показывает, что скорость земного шара имеет противоположное направление скорости человека.

