Закон сохранения импульса. Реактивное движение.

Импульс тела (материальной точки) представляет собой векторную величину, равную произведению массы тела на скорость тела:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Направление импульса всегда совпадает с направлением скорости, так как m > 0, то $\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{v}$

Единица измерения импульса $[p] = \frac{кг \cdot м}{с}$

Произведение силы на время её действия называется импульсом силы.

Направления $\Delta\vec{p}$ и $\vec{F}$ совпадают.

Второй закон Ньютона в импульсной форме.

Изменение импульса тела (материальной точки) равно импульсу действующей на него силы:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$$

Импульс тела равен сумме импульсов отдельных его элементов:

$$\vec{p} = \vec{p_1} + \vec{p_2} + \cdots$$

Импульс обладает особым свойством - сохраняться.

- Силы, с которыми взаимодействуют тела системы друг с другом, называются внутренними, а силы, создаваемые телами, которые не принадлежат этой системе, являются внешними силами.
- Система, в которой внешние силы не действуют или сумма внешних сил равна нулю, называется замкнутой.

- Полный импульс тел сохраняется, в замкнутой системе тела могут только обмениваться импульсами.
- Столкновение тел представляет собой взаимодействие тел при их относительном перемещении. Абсолютно неупругий удар - это столкновение двух тел, которые объединяются и движутся дальше как одно целое.
- Закон сохранения импульса при неупругом ударе:

$$m_1\overrightarrow{v_1} + m_2\overrightarrow{v_2} = (m_1 + m_2)\vec{v}.$$

- Абсолютно упругий удар - столкновение тел, при котором тела не соединяются в одно целое и их внутренние энергии остаются неизменными.
- Закон сохранения импульса при упругом ударе:

$$m_1\overrightarrow{v_1} + m_2\overrightarrow{v_2} = m_1\overrightarrow{v_1'} + m_2\overrightarrow{v_2'}.$$

- Закон сохранения импульса.
- Если внешние силы на систему не действуют или их сумма равна нулю, то импульс системы остается неизменным: $\Delta\overrightarrow{p} = \text{const}.$

Задача 1

Тело свободно падает без начальной скорости. Изменение модуля импульса этого тела за промежуток времени 2 с равно 10 кг·м/с. Чему равна масса тела?

Решение

Дано: $\Delta t = 2$ с; $g \approx 10$ м/с2; $\Delta p = 10$ кг·м/с.

Найти: m.

Решение:

$v_0 = 0,$ т.к. тело свободно падает.Запишем второй закон Ньютона в импульсной форме: $\Delta p = F\Delta t$,

$F = mg$ – т.к. при свободном падении действует только сила тяжести,

тогда $\Delta p = mg\Delta t$, откуда: $m = \frac{\Delta p}{g\Delta t}$

Делаем расчёт:

$$m = \frac{10\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}}{\frac{10\text{м}}{\text{с}^{\text{с}}} \cdot 2\text{с}} = 0{,}5 \text{ кг.}$$

Ответ: m = 0,5 кг.

Задача 2

Тело массой 400 г изменяет свои координаты по закону:

$x = 2 + 4t + 2t^2$ (м)

Тело будет иметь импульс 8 Н·с после начала движения за промежуток времени равный _____?

Решение

Дано:

m = 40 $x = 2 + 4t + 2t^2$; Н·с

Найти: t.

Решение:

Записываем формулу импульса:

p = mv,

скорость равна 1-й производной от x по времени:

v = x'(t) = 4 + 4t

Из 1-й формулы скорость равна: v = p/m

4 + 4t = 8 / 0,4,

4t = 20 − 4 = 16,

t = 16 / 4,

t = 4 с.

Ответ: t = 4 с.

Реактивное движение

Движение тела, которое возникает при отделении с определённой скоростью какой-либо его части, называется реактивным.

- При реактивном движении возникает сила, которая называется реактивной.
- Согласно закону сохранения импульса: импульс вырывающихся газов равен импульсу ракеты.
- Закон сохранения импульса позволяет оценить скорость ракеты.
- Закон сохранения импульса для реактивного движения: $m_г v_г = m_р v_р$,

откуда скорость ракеты: $$v_р = \frac{m_г}{m_р} v_г$$

Скорость ракеты тем больше, чем больше скорость выбрасываемых газов и отношение массы топлива к массе ракеты. Эта формула справедлива для случая мгновенного сгорания топлива. На самом деле топливо сгорает постепенно, т.к. мгновенное сгорание приводит к взрыву.

Реактивные двигатели делятся на два класса: ракетные и воздушно-реактивные. Воздушно-реактивные в основном используют на самолётах.

Задача 3

Чему равна реактивная сила тяги двигателя, выбрасывающего каждую секунду 15 кг продуктов сгорания топлива со скоростью 3 км/с относительно ракеты?

Решение

Дано: $m = 15$ кг, $v = 3$ км/с $= 3000$ м/с, $\Delta t = 1$ с. Найти F.

Решение:

Записываем 2-й закон Ньютона в импульсной форме: $F\,\Delta t = m\,(v - v_0)$. Перед стартом скорость ракеты равна 0: $v0 = 0$. Выразим силу: $F = mv/\Delta t$, сделаем расчёт: $F = (15\text{ кг}\cdot 3000\text{ м/с}) / 1\text{ с} = 45000\text{ кг}\cdot\text{ м/ с}^2 = 45000$ Н.

Ответ: $F = 45000$ Н.

Задача 4

Из пороховой ракеты, летящей со скоростью 16 м/с, вылетают продукты сгорания массой 24 г со скоростью 600 м/с. Вычислите массу ракеты.

Решение

Дано: v_1 = 16 м / с, m_2 = 24 г = 0,024 кг, v_2 = 600 м/с. Найти m_1.

Решение:

Запишем закон сохранения импульса для реактивного движения: $m_1v_1 = m_2v_2$, выразим массу ракеты: $m_1 = m_2v_2 / v_1$.

Делаем расчёт: m_1 = (0,024 кг·600 м/с) / 16 м / с = 0,9 кг. Ответ: m_1 = 0,9 кг.