

2.6. Закон сохранения импульса

Определим условия, при которых импульс механической системы сохраняет свою величину и направление. Поскольку к изменению импульса приводит действие внешних сил, рассмотрим замкнутую механическую систему, на которую внешние силы вообще не действуют: $\vec{F}^{\text{внешн}} = 0$.

Для замкнутой системы уравнение (2.22) теоремы об изменении импульса принимает вид:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0.$$

Производная импульса замкнутой системы по времени равна нулю. Следовательно, импульс замкнутой системы является постоянной величиной: $\vec{p} = \text{const}$. Это утверждение называют **законом сохранения импульса**.

Закон сохранения импульса

Импульс замкнутой физической системы не изменяется.

Поскольку импульс – векторная величина, не изменяется ни модуль, ни направление импульса замкнутой системы.

Из закона сохранения импульса также следует, что внутренние силы не могут изменить импульс механической системы.

Закон сохранения импульса носит универсальный характер. Он справедлив не только в рамках классической механики Ньютона, но и в других разделах физики. Например, этот закон справедлив для замкнутых систем микрочастиц, поведение которых описывается квантовой механикой.

В механике широко используют частный случай закона сохранения импульса – **закон сохранения движения центра масс механической системы**.

Если система – замкнутая, то уравнение (2.24) для неё принимает вид:

$$m\vec{a}_C = m\frac{d\vec{V}_C}{dt} = 0. \quad (2.26)$$

Т.к. производная скорости центра масс по времени равна нулю, то сама скорость центра масс – постоянный вектор: $\vec{V}_C = const$.

Закон сохранения движения центра масс механической системы

Скорость центра масс замкнутой системы сохраняет свою величину и направление.

Из этого закона также следует, что внутренние силы не могут изменить скорость центра масс механической системы.

Замкнутая система – идеализированная теоретическая модель. В Природе все тела, так или иначе, взаимодействуют между собой. Возникает вопрос, какой практический смысл имеют законы сохранения? Когда эти законы можно применять для изучения реальных объектов, на которые всегда оказывается какое-то внешнее воздействие?

Частные случаи применения закона сохранения импульса и закона сохранения движения центра масс для незамкнутых систем

1). Сумма внешних сил, действующих на незамкнутую систему, равна нулю.

Если внешние силы на систему действуют, но их сумма равна нулю, то импульс такой системы и скорость движения её центра масс не изменяются.

2). Сумма проекций внешних сил на какую-либо координатную ось равна нулю.

Пусть, например, равна нулю сумма проекций внешних сил на ось Ox :

$$F_x^{\text{внешн}} = \sum_{i=1}^n F_{ix}^{\text{внешн}} = 0.$$

В этом случае равны нулю производные по времени (см. Приложение 5):

$$\frac{dp_x}{dt} = 0; \quad \frac{dV_{Cx}}{dt} = 0.$$

И, соответственно, $p_x = const$; $V_{Cx} = const$.

Вывод: если сумма проекций внешних сил на какую-либо координатную ось равна нулю, то сохраняется проекция импульса и проекция скорости центра масс на данную ось.

3). Взаимодействие между частями системы происходит за короткий промежуток времени (удар, взрыв и т.п.).

Из уравнения (2.22) можно определить изменение $\Delta\vec{p}$ импульса механической системы за промежуток времени Δt :

$$\Delta\vec{p} = \int_0^{\Delta t} F^{\text{внешн}} dt. \quad (2.27)$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ $\Delta\vec{p} \rightarrow 0$, т.е. импульс практически не изменяется.

Вывод: при кратковременном взаимодействии между частями системы влияние внешних сил пренебрежимо мало; в этом случае можно применять к взаимодействующим телам одной и той же системы закон сохранения импульса и закон сохранения движения центра масс. Исключение составляет случай, когда внешнее воздействие носит ударный характер.

Примечание. Соотношение (2.27) представляет собой уравнение теоремы об изменении импульса механической системы в интегральной форме, а интеграл в правой части (2.27) равен сумме **импульсов внешних сил** за промежуток времени Δt (см. Приложение 6).

Импульс механической системы как мера движения описывает поступательную часть движения системы, но эта величина оказывается бесполезной при изучении вращений.

Рассмотрим, например, вращающееся вокруг неподвижной оси тело, центр масс которого находится на оси вращения. Как бы это тело ни двигалось, скорость его центра масс всегда будет равна нулю: $\vec{V}_C \equiv 0$. А, следовательно, всегда будет равен нулю импульс этого тела: $\vec{p} = m\vec{V}_C \equiv 0$. Т.е. импульс не может служить мерой вращательного движения.

Возникает задача поиска такой величины, которая могла бы служить мерой вращательной составляющей движения механической системы. Но для этого необходимо сначала ввести в рассмотрение меру вращательного взаимодействия тел.