

Tổng hợp kiến thức: Định luật bảo toàn động lượng

Định luật bảo toàn động lượng là một trong những định luật nền tảng và quan trọng nhất trong vật lý cơ học. Nó không chỉ giúp giải thích nhiều hiện tượng trong tự nhiên mà còn là cơ sở cho nhiều ứng dụng kỹ thuật quan trọng. Bài viết này sẽ hệ thống hóa toàn bộ kiến thức về động lượng và định luật bảo toàn động lượng.

1. Động lượng

a. Khái niệm

Động lượng của một vật là một đại lượng vector, đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động của vật khi tương tác với các vật khác. Nó được xác định bằng tích của khối lượng và vận tốc của vật.

Công thức tính động lượng:

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

- **p**: Động lượng của vật (vector).
- **m**: Khối lượng của vật (kg).
- **v**: Vận tốc của vật (m/s).

Đặc điểm của vector động lượng:

- **Phương:** Cùng phương với vector vận tốc.
- **Chiều:** Cùng chiều với vector vận tốc.
- **Đơn vị:** Trong hệ SI, đơn vị của động lượng là kilôgam mét trên giây (kg.m/s).

Ví dụ 1: Một ô tô có khối lượng 1.5 tấn (1500 kg) đang chuyển động với vận tốc 72 km/h (tức 20 m/s). Động lượng của ô tô là $p = 1500 * 20 = 30000 \text{ kg.m/s}$.

Ví dụ 2: Một viên đạn khối lượng 10 g (0.01 kg) bay với vận tốc 500 m/s. Động lượng của viên đạn là $p = 0.01 * 500 = 5 \text{ kg.m/s}$.

b. Xung lượng của lực và độ biến thiên động lượng

Khi một lực $\vec{F}$ tác dụng lên một vật trong một khoảng thời gian ngắn Δt , nó sẽ làm thay đổi vận tốc của vật, do đó làm thay đổi động lượng. Tích của lực và khoảng thời gian tác dụng được gọi là xung lượng của lực.

Công thức:

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

Mối liên hệ này cho thấy độ biến thiên động lượng của một vật trong một khoảng thời gian bằng xung lượng của tổng các lực tác dụng lên vật trong khoảng thời gian đó. Dạng này của định luật II Newton rất hữu ích khi lực tác dụng thay đổi theo thời gian.

Ví dụ 1: Một cầu thủ đá vào quả bóng có khối lượng 0.5 kg đang đứng yên. Lực tác dụng trung bình là 250 N trong thời gian 0.02 s. Vận tốc của quả bóng ngay sau khi đá là bao nhiêu? Ta có: $\Delta p = F * \Delta t = 250 * 0.02 = 5 \text{ kg.m/s}$. Vì ban đầu bóng đứng yên ($p_{\text{đầu}} = 0$), nên $p_{\text{sau}} = \Delta p = 5 \text{ kg.m/s}$. Suy ra $v_{\text{sau}} = p_{\text{sau}} /$

$$m = 5 / 0.5 = 10 \text{ m/s.}$$

Ví dụ 2: Túi khí trong ô tô bung ra khi có va chạm. Nó làm tăng thời gian va đập (Δt) của người lái vào vô lăng, từ đó làm giảm lực tác dụng trung bình (F) lên người, giúp giảm thiểu chấn thương, trong khi độ biến thiên động lượng (Δp) là không đổi.

2. Định luật bảo toàn động lượng

a. Hệ cô lập (Hệ kín)

Một hệ được gọi là hệ cô lập (hay hệ kín) khi không có ngoại lực tác dụng lên hệ, hoặc nếu có thì tổng hợp các ngoại lực đó bằng không. Trong một hệ kín, các vật trong hệ chỉ tương tác với nhau (nội lực).

Trong thực tế, một hệ có thể được coi là gần đúng là hệ kín nếu các ngoại lực (như trọng lực, lực ma sát) rất nhỏ so với các nội lực phát sinh trong thời gian tương tác ngắn (ví dụ như trong va chạm, nổ).

b. Phát biểu và biểu thức của định luật

Phát biểu: Động lượng toàn phần của một hệ cô lập là một đại lượng bảo toàn.

Điều này có nghĩa là tổng vector động lượng của các vật trong hệ trước tương tác bằng tổng vector động lượng của chúng sau tương tác.

Biểu thức cho hệ hai vật:

$$\vec{p}_{trước} = \vec{p}_{sau}$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

- **m_1, m_2 :** Khối lượng của vật 1 và vật 2.

- $\vec{v}_1, \vec{v}_2$: Vận tốc của hai vật trước tương tác.
- $\vec{v}_1', \vec{v}_2'$: Vận tốc của hai vật sau tương tác.

Lưu ý: Vì động lượng là đại lượng vector, khi giải bài toán cần chọn một chiều dương và chiếu các vector vận tốc lên chiều đó.

Ví dụ 1: Hai người trượt băng, người A (60 kg) và người B (40 kg), đứng yên trên sân băng. Người A đẩy người B. Sau khi đẩy, người B chuyển động với vận tốc 3 m/s. Hỏi vận tốc của người A?

Hệ (A+B) là hệ kín. Động lượng ban đầu của hệ bằng 0.

Theo ĐLBTDL: $0 = m_A \cdot v_A' + m_B \cdot v_B'$.

Chọn chiều dương là chiều chuyển động của B.

$0 = 60 \cdot v_A' + 40 \cdot 3 \Rightarrow v_A' = -120 / 60 = -2 \text{ m/s}$. Dấu "-" cho thấy người A chuyển động ngược chiều với người B.

Ví dụ 2: Một người khối lượng 50 kg đang đứng trên một chiếc thuyền 200 kg đang đứng yên trên mặt nước. Người đó nhảy về phía trước với vận tốc 2 m/s so với thuyền. Tìm vận tốc của thuyền. (Bỏ qua sức cản của nước).

Gọi $v_{n,đ}$ là vận tốc người so với đất, $v_{t,đ}$ là vận tốc thuyền so với đất. Vận tốc người so với thuyền là $v_{n,t} = v_{n,đ} - v_{t,đ} = 2 \text{ m/s}$.

Động lượng ban đầu bằng 0.

Động lượng sau: $p_{\text{sau}} = m_n \cdot v_{n,đ} + m_t \cdot v_{t,đ} = 0$.

$\Rightarrow 50 \cdot (v_{t,đ} + 2) + 200 \cdot v_{t,đ} = 0 \Rightarrow 250 \cdot v_{t,đ} = -100 \Rightarrow v_{t,đ} = -0.4 \text{ m/s}$. Thuyền chuyển động lùi lại.

3. Va chạm

Va chạm là sự tương tác trong thời gian rất ngắn giữa hai hay nhiều vật, trong đó nội lực rất lớn so với ngoại lực, nên hệ được coi là hệ kín và động lượng được bảo toàn. Ta xét hai loại va chạm chính:

Tiêu chí	Va chạm đàn hồi	Va chạm mềm (không đàn hồi)
Định nghĩa	Sau va chạm, các vật tách rời nhau và tổng động năng của hệ được bảo toàn.	Sau va chạm, các vật dính vào nhau và chuyển động cùng một vận tốc.
Bảo toàn Động lượng	Có bảo toàn. $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$	Có bảo toàn. $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{V}$
Bảo toàn Động năng	Có bảo toàn. $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$	Không bảo toàn. Một phần động năng chuyển hóa thành nhiệt năng, âm thanh...
Ví dụ	Các viên bi-a va chạm vào nhau. Các phân tử khí lý tưởng va chạm.	Viên đạn găm vào khúc gỗ. Hai toa tàu móc vào nhau.

Ví dụ va chạm mềm: Một viên đạn 20 g (0.02 kg) bay theo phương ngang với vận tốc 400 m/s đến cắm vào một bao cát khối lượng 4.98 kg treo ở đầu một sợi dây. Tìm vận tốc của hệ (đạn + bao cát) ngay sau va chạm.

Áp dụng ĐLBTDL cho hệ kín (đạn + bao cát):

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) V$$

$$0.02 * 400 + 4.98 * 0 = (0.02 + 4.98) * V$$

$$8 = 5 * V \Rightarrow V = 1.6 \text{ m/s.}$$

4. Chuyển động bằng phản lực

Nguyên tắc chuyển động bằng phản lực là một ứng dụng quan trọng của định luật bảo toàn động lượng.

a. Nguyên tắc

Trong một hệ kín, khi một phần của hệ chuyển động theo một hướng, phần còn lại của hệ sẽ chuyển động theo hướng ngược lại để đảm bảo động lượng toàn phần của hệ không đổi.

b. Ví dụ về tên lửa

Hệ gồm tên lửa (vỏ + nhiên liệu) ban đầu đứng yên, động lượng bằng 0.

Khi nhiên liệu cháy, một lượng khí (khối lượng m) được phụt ra phía sau với vận tốc $\vec{v}$. Theo định luật bảo toàn động lượng, phần còn lại của tên lửa (khối lượng M) phải chuyển động về phía trước với vận tốc $\vec{V}$ sao cho:

$$\vec{p}_{\text{trước}} = \vec{p}_{\text{sau}}$$

$$0 = m * \vec{v} + M * \vec{V}$$

$$\Rightarrow M * \vec{V} = - m * \vec{v}$$

Dấu "-" cho thấy vector vận tốc của tên lửa ($\vec{V}$) ngược chiều với vector vận tốc của khí ($\vec{v}$). Tên lửa bay về phía trước do "phản lực" từ việc đẩy khí ra phía sau.

Ví dụ 1: Tên lửa vũ trụ phóng lên không trung. Khí nóng được phụt ra với tốc độ rất cao từ phía đuôi, đẩy tên lửa bay lên cao.

Ví dụ 2: Một con mực phun nước ra phía sau để đẩy cơ thể nó di chuyển về phía trước trong nước. Đây cũng là một dạng chuyển động bằng phản lực.

5. Các ứng dụng thực tế khác

- **Súng giạt khi bắn:** Khi viên đạn (m) bay về phía trước với vận tốc lớn (v), khẩu súng (M) sẽ giạt lùi về phía sau với vận tốc V để bảo toàn động lượng của hệ (súng + đạn).
- **Động cơ phản lực (máy bay):** Không khí được hút vào động cơ, nén lại, đốt cháy với nhiên liệu và phụt ra phía sau với vận tốc lớn, tạo ra lực đẩy máy bay về phía trước.
- **Vòi phun nước tưới cây:** Khi nước phun ra khỏi vòi theo một hướng, vòi sẽ có xu hướng quay theo hướng ngược lại.