

1. Hệ kín

Trong thực tế, trên Trái Đất khó có thể thực hiện được một hệ tuyệt đối kín vì không thể nào triệt tiêu hoàn toàn lực ma sát và các lực cản khác. Hệ gồm vật và Trái Đất cũng chỉ gần đúng là hệ kín vì vẫn luôn tồn tại các lực hấp dẫn từ các thiên thể trong vũ trụ tác dụng lên hệ. Trong các hiện tượng như nổ, va chạm, các nội lực xuất hiện thường rất lớn so với ngoại lực thông thường, nên hệ vật có thể coi gần đúng là kín trong thời gian ngắn xảy ra hiện tượng.

Trong cơ học cổ điển, một số định luật bảo toàn có thể suy ra từ các định luật Niu-ton. Tuy nhiên, vật lí học hiện đại có những lĩnh vực mà ở đó các định luật Niu-ton không áp dụng được, nhưng vẫn tồn tại các định luật bảo toàn. Điều này nói lên tính phổ biến và tổng quát của các định luật bảo toàn.

Khi nghiên cứu chuyển động của các vật dưới tác dụng của lực, có thể xét từng vật riêng rẽ, nhưng cũng có thể xét nhiều vật hợp thành hệ. Mỗi vật trong hệ có thể chịu tác dụng của nhiều lực, từ các vật bên trong hệ và cả từ các vật bên ngoài hệ. Bài toán sẽ đơn giản hơn, nếu hệ mà ta khảo sát là *hệ kín* hay *hệ cô lập*.

Một hệ vật gọi là hệ kín nếu chỉ có những lực của các vật trong hệ tác dụng lẫn nhau (gọi là nội lực) mà không có tác dụng của những lực từ bên ngoài hệ (gọi là ngoại lực), hoặc nếu có thì những lực này phải triệt tiêu lẫn nhau. Ta nhớ lại, các nội lực từng đôi trực đối nhau theo định luật III Niu-ton.

2. Các định luật bảo toàn

Khi giải các bài toán cơ học, ta đã quen với phương pháp động lực học, tức là vận dụng các định luật Niu-ton. Ngoài ra, còn có một phương pháp khác, đó là dùng các *định luật bảo toàn*.

Khảo sát các hệ kín, người ta thấy có một số đại lượng vật lí đặc trưng cho trạng thái của hệ được *bảo toàn*, nghĩa là chúng *có giá trị không đổi theo thời gian*. Cụ thể là, một đại lượng vật lí nào đó thuộc mỗi phần của hệ kín có thể biến đổi do tương tác với các phần khác trong nội bộ hệ, nhưng tổng của các đại lượng này đối với toàn hệ thì luôn được bảo toàn.

Người ta đã thiết lập được một số định luật bảo toàn đối với hệ kín, trong đó có thể kể những định luật cơ bản nhất như định luật bảo toàn khối lượng, bảo toàn động lượng, bảo toàn năng lượng...

Các định luật bảo toàn có vai trò rất quan trọng trong nghiên cứu vật lí vì chúng có lĩnh vực áp dụng rất rộng rãi.

Các định luật bảo toàn cho ta một phương pháp nghiên cứu mới mà không cần sử dụng các định luật cơ bản quen thuộc của động lực học.

Trong bài này ta nghiên cứu định luật bảo toàn đầu tiên, đó là định luật bảo toàn động lượng.

3. Định luật bảo toàn động lượng

a) Tương tác của hai vật trong một hệ kín

Xét một hệ kín gồm hai vật có khối lượng m_1 và m_2 tương tác với nhau. Ban đầu chúng có vectơ vận tốc lần lượt là \vec{v}_1 và \vec{v}_2 . Sau thời gian tương tác Δt , các vectơ vận tốc biến đổi thành \vec{v}'_1 và \vec{v}'_2 .

Gọi \vec{F}_1 là lực do vật 2 tác dụng lên vật 1. Theo định luật II Niu-ton, ta có :

$$\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1 = m_1 \frac{\Delta \vec{v}_1}{\Delta t} = m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

Tương tự, gọi \vec{F}_2 là lực do vật 1 tác dụng lên vật 2, ta cũng có :

$$\vec{F}_2 = m_2 \vec{a}_2 = m_2 \frac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t} = m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{\Delta t}$$

Nhưng theo định luật III Niu-ton :

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Vậy :

$$m_1(\vec{v}'_1 - \vec{v}_1) = -m_2(\vec{v}'_2 - \vec{v}_2)$$

Chuyển vế và biến đổi, ta được :

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 \quad (31.1)$$

b) Động lượng

Trong đẳng thức (31.1), xuất hiện một đại lượng có dạng tích $m\vec{v}$ mô tả chuyển động của vật. Vết dấu của đẳng thức là các đại lượng trước tương tác, vết sau là các đại lượng sau tương tác. Người ta định nghĩa :

Động lượng của một vật chuyển động là đại lượng đo bằng tích của khối lượng và vận tốc của vật.

Trong trường hợp các vận tốc trước và sau tương tác đều cùng phương thì có thể thay (31.1) bằng phương trình đại số.

Động lượng là một đại lượng vectơ, có cùng hướng với vectơ vận tốc (vì khối lượng luôn dương) và được kí hiệu là \vec{p} :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (31.2)$$

Đơn vị của động lượng trong hệ SI là kg.m/s.

Ta trở lại biểu thức của định luật II Niu-ton áp dụng cho một vật khối lượng m chịu tác dụng của lực \vec{F} :

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Vì khối lượng của vật là không đổi nên có thể viết

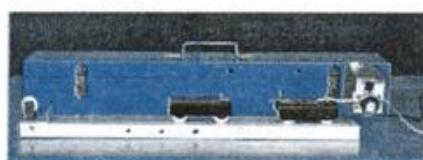
$$\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \quad (31.5)$$

Định luật II Niu-ton đầu tiên được viết dưới dạng này và đại lượng $m\vec{v}$ được chính Niu-ton đặt tên là "lượng của chuyển động".

Hệ thức (31.5) có thể viết thành

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p} \quad (31.5')$$

Tích $\vec{F}\Delta t$ được gọi là *xung lượng của lực* tác dụng trong khoảng thời gian Δt và bằng độ biến thiên động lượng của vật trong thời gian đó.



Hình 31.1 *Thí nghiệm kiểm chứng định luật bảo toàn động lượng*

c) Định luật bảo toàn động lượng

Với định nghĩa (31.2) của động lượng, ta có thể viết lại đẳng thức (31.1) dưới dạng :

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

Có thể mở rộng cho một hệ kín gồm một số bất kì n vật, ta cũng thu được đẳng thức tương tự :

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 + \dots + \vec{p}'_n$$

Ta gọi động lượng của hệ vật là tổng vectơ các động lượng của từng vật (coi như chất điểm) trong hệ :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots \quad (31.3)$$

Định luật bảo toàn động lượng được phát biểu như sau :

Vector tổng động lượng của hệ kín được bảo toàn.

$$\vec{p} = \vec{p}' \quad (31.4)$$

d) Thí nghiệm kiểm chứng

Ta dùng thiết bị thí nghiệm giống như trong bài 3 gồm một máng đặt nằm ngang đã được chỉnh để ma sát có thể coi là không đáng kể, hai xe lăn (có thể thay đổi được khối lượng bằng các giá trọng) được đặt cách nhau một khoảng. Xe 1 có gắn băng giấy luồn qua bộ cân rung dùng để xác định quãng đường đi được trong những khoảng thời gian bằng nhau (Hình 31.1).

Dùng tay đẩy xe 1 chuyển động với vận tốc \vec{v}_1 đến va chạm với xe 2 đứng yên ($v_2 = 0$). Lá thép mỏng ở đầu xe 1 sẽ cắm vào cái kẹp ở đầu xe 2 làm cho hai xe gắn chặt vào nhau và cùng chuyển động với vận tốc \vec{v}' theo chiều của \vec{v}_1 .

Dùng bộ cân rung đánh dấu vị trí của xe sau những khoảng thời gian bằng nhau $\Delta t = 0,02$ s. Đo những khoảng cách giữa các vết mực liên tiếp Δs trước va chạm và $\Delta s'$ sau va chạm, ta xác nhận được các chuyển động trước và sau va chạm đều là chuyển động đều với các vận tốc tương ứng là

$$v_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ và } v' = \frac{\Delta s'}{\Delta t}.$$

Ta hãy tính động lượng mv cho từng xe và cả hệ, sau đó so sánh các giá trị trước và sau va chạm. Thí nghiệm được tiến hành trong ba trường hợp khác nhau với sai số trung bình của vận tốc là 0,02 m/s (vận tốc trung bình được tính sau một số khoảng thời gian Δt bằng nhau).

Bảng 1 thống kê các kết quả của một thí nghiệm đã thực hiện.

Bảng 1

Thí nghiệm	Trước va chạm				Sau va chạm			
	Xe 1		Xe 2		Xe 1		Xe 2	
	v_1 (m/s)	m_1v_1 (kg.m/s)	v_2 (m/s)	m_2v_2 (kg.m/s)	v' (m/s)	m_1v' (kg.m/s)	v' (m/s)	m_2v' (kg.m/s)
Lần 1 $m_1 = m_2 = 0,16$ kg	0,90	0,16.0,90	0	0	0,45	0,16.0,45	0,45	0,16.0,45
Lần 2 $m_1 = 0,32$ kg $m_2 = 0,16$ kg	0,80	0,32.0,80	0	0	0,52	0,32.0,52	0,52	0,16.0,52
Lần 3 $m_1 = 0,16$ kg $m_2 = 0,32$ kg	0,98	0,16.0,98	0	0	0,32	0,16.0,32	0,32	0,32.0,32

Trong phạm vi sai số, ta nhận thấy trong tất cả các lần thí nghiệm, kết quả sau đây được nghiệm đúng :

$$m_1v_1 = m_1v' + m_2v' = (m_1 + m_2)v'$$

Kết quả này cho ta nghiệm lại định luật bảo toàn động lượng áp dụng cho trường hợp đơn giản : hệ kín gồm hai vật tương tác, trong đó có một vật ban đầu đứng yên.

CÂU HỎI

- Thế nào là hệ kín ? Cho ví dụ.
- Định nghĩa động lượng của một vật, của một hệ vật. Chứng tỏ các hệ thức $\vec{F} = \vec{m}\vec{a}$ và $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ là tương đương. Cho biết ý nghĩa của khái niệm xung lượng của lực.
- Phát biểu định luật bảo toàn động lượng và viết phương trình cho trường hợp hệ hai vật.
- Từ phương trình (31.5') suy ra rằng đơn vị động lượng trong hệ SI còn có thể đo bằng N.s. Bằng cách thay đơn vị niutơn bằng biểu thức của nó, hãy chứng tỏ rằng hai đơn vị khác nhau của động lượng là kg.m/s và N.s, thực chất chỉ là một.
- Trong bóng đá, khi người thủ môn bắt một quả bóng sút rất căng, người đó phải làm động tác kéo dài thời gian bóng chạm tay mình (thu bóng vào bụng). Hãy giải thích tại sao.

BÀI TẬP

- Đơn vị của động lượng là gì ?
A. kg.m.s². B. kg.m.s. C. kg.m/s. D. kg/m.s.
- Một quả bóng khối lượng m đang bay ngang với vận tốc v thì đập vào một bức tường và bật trở lại với cùng vận tốc. Độ biến thiên động lượng của quả bóng là bao nhiêu ?
A. mv . B. $-mv$. C. $2mv$. D. $-2mv$.
- Hai vật có khối lượng $m_1 = 1\text{ kg}$ và $m_2 = 3\text{ kg}$ chuyển động với các vận tốc $v_1 = 3\text{ m/s}$ và $v_2 = 1\text{ m/s}$. Tìm tổng động lượng (phương, chiều, độ lớn) của hệ trong các trường hợp :
a) \vec{v}_1 và \vec{v}_2 cùng hướng. b) \vec{v}_1 và \vec{v}_2 cùng phương, ngược chiều.
c) \vec{v}_1 vuông góc với \vec{v}_2 . d) \vec{v}_1 hợp với \vec{v}_2 góc 120° .
- Giải lại bài tập 1 ở bài 16 bằng cách áp dụng định luật bảo toàn động lượng.
- Một quả cầu rắn có khối lượng $m = 0,1\text{ kg}$ chuyển động với vận tốc $v = 4\text{ m/s}$ trên mặt phẳng nằm ngang. Sau khi va vào một vách cứng, nó bị bật trở lại với cùng vận tốc 4 m/s . Hỏi độ biến thiên động lượng của quả cầu sau va chạm bằng bao nhiêu ? Tính xung lực (hướng và độ lớn) của vách tác dụng lên quả cầu nếu thời gian va chạm là $0,05\text{ s}$.
- Bắn một hòn bi thép với vận tốc v vào một hòn bi thuỷ tinh đang nằm yên. Sau khi va chạm, hai hòn bi cùng chuyển động về phía trước, nhưng bi thuỷ tinh có vận tốc gấp 3 lần vận tốc của bi thép. Tìm vận tốc của mỗi hòn bi sau va chạm. Biết khối lượng bi thép bằng 3 lần khối lượng bi thuỷ tinh.
- Một người có khối lượng 60 kg thả mình rơi tự do từ một cầu nhảy ở độ cao 3 m xuống nước và sau khi chạm mặt nước được $0,55\text{ s}$ thì dừng chuyển động. Tìm lực cản mà nước tác dụng lên người.