

31 ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN ĐỘNG LƯỢNG

I – Mục tiêu

- Biết được thế nào là hệ kín.
- Nắm vững định nghĩa động lượng và nội dung định luật bảo toàn động lượng áp dụng cho cơ hệ kín.
- Biết vận dụng định luật để giải một số bài toán.

II – Chuẩn bị

Ở bậc THCS, HS đã được học định luật bảo toàn công. GV có thể nhắc cho HS nhớ lại khái niệm bảo toàn để chuẩn bị cho bài học mới. Lưu ý để HS biết, sẽ được học những định luật bảo toàn quan trọng trong cơ học ở mức độ tổng quát và sâu hơn.

III – Những điều cần lưu ý

1. Các định luật bảo toàn phản ánh những quy luật vật lí đặc biệt, có tính khái quát cao hơn các định luật Niu-tơn vì chúng gắn với tính chất của không – thời gian. Từ các tính chất này có thể dẫn tới định luật bảo toàn, cụ thể như :

Định luật bảo toàn động lượng phản ánh tính chất đồng tính của không gian.

Định luật bảo toàn momen động lượng phản ánh tính chất đẳng hướng của không gian.

Định luật bảo toàn năng lượng phản ánh tính chất đồng nhất của thời gian.

Dù không thể giải thích cho HS, nhưng GV cần nắm được để có cách trình bày ý nghĩa các định luật bảo toàn ở mức độ sao cho phù hợp.

Trong bài này, ta thành lập định luật bảo toàn động lượng xuất phát từ các định luật Niu-tơn. Thực ra, Niu-tơn khi thiết lập định luật II đã bắt đầu từ hệ thức tổng quát :

$$\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \quad (1)$$

Biểu thức này cho thấy tương tác giữa các vật được thể hiện và đo bằng độ biến thiên của động lượng theo thời gian. Như vậy, động lượng có ý nghĩa như một đại lượng vật lí đặc trưng cho sự truyền chuyển động giữa các vật thông qua lực tương tác.

Trong chương II (bài 15), định luật II Niu-tơn được trình bày dưới dạng :

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (2)$$

và coi lực là nguyên nhân gây ra sự biến đổi vận tốc (tức là gây ra gia tốc cho vật). Cách phát biểu này đã tách riêng khối lượng của vật, và từ (2) ta tìm thấy ý nghĩa khối lượng là đại lượng đặc trưng cho mức quán tính của vật thể hiện qua định luật I Niu-tơn.

Đó chính là sự phân biệt về tính tổng quát của hệ thức (1) so với (2). Thực tế, đối với một vật chuyển động, không thể tách rời khối lượng và vận tốc của nó. Trái lại, đại lượng đặc trưng cho sự truyền tương tác giữa các vật chuyển động chính là động lượng $m\vec{v}$, nó cho thấy sự gắn kết chặt chẽ khối lượng với vận tốc của một vật.

2. Có thể nêu một sự khác biệt nữa. Từ (2) ta có thể suy ra định luật quán tính : Khi $\vec{F} = 0$ thì $\vec{a} = 0$, tức là vận tốc giữ không đổi cả về độ lớn và phương, chiều. Trong khi đó, từ (1) ta suy ra một hệ quả tổng quát hơn : khi không có tương tác thì động lượng của vật không thay đổi. Từ đó mở rộng cho một hệ kín, ta đã tìm được định luật bảo toàn động lượng như trình bày trong SGK.

3. Cần lưu ý HS ghi nhớ khái niệm động lượng là một đại lượng vectơ, định luật bảo toàn động lượng là định luật bảo toàn vectơ tổng động lượng của hệ. Tuy nhiên, ở trình độ THPT thường chỉ xét trường hợp các vectơ động lượng có cùng phương, tức là chỉ vận dụng định luật bảo toàn động lượng dưới dạng đại số (dạng vectơ được xếp vào loại bài tập khó).

4. Trong chương trình THPT, cơ học hoàn toàn dựa trên các định luật Niu-tơn được trình bày như một tiên đề và đương nhiên, định luật bảo toàn động lượng sẽ là một hệ quả của các định luật Niu-tơn. Tuy nhiên, phạm vi của định luật bảo toàn động lượng không chỉ bó hẹp trong cơ học Niu-tơn (còn gọi là cơ học cổ điển). Cùng với các định luật bảo toàn khác, nó vẫn luôn đúng trong trường hợp mà các định luật Niu-tơn không thể vận dụng được nữa.

Có thể làm rõ điều này. Trong định luật II Niu-tơn phát biểu dưới dạng (2), khối lượng được xem như một thuộc tính của vật chất, là số đo mức quán tính của vật và không thay đổi trong khi vật chuyển động. Tuy nhiên, điều này không còn đúng nữa khi vật chuyển động với vận tốc lớn vào bậc

vận tốc truyền ánh sáng ($v \approx c$), và ta đã biết trong trường hợp này, phải thay thế cơ học Niu-ơn bằng cơ học tương đối tính của Anh-xtanh. Khối lượng của vật sẽ biến đổi và tăng theo vận tốc :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (m_0 \text{ là khối lượng của vật nằm yên})$$

dẫn đến sự thay đổi công thức của động lượng trong (1) :

$$\vec{p} = m \vec{v} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

Với công thức (3) của động lượng, định luật bảo toàn động lượng vẫn luôn đúng cho một hệ kín.

5. Cuối cùng, ta còn thấy rõ thêm tính phổ biến của định luật bảo toàn động lượng khi nó áp dụng đúng cho cả các đối tượng nguyên tử và hạt nhân. Trong tương tác của các hạt vi mô, có thể xác định động lượng bằng một công thức khác. Ví dụ, động lượng (sau này thường được gọi là *xung lượng*) của hạt phôtôn – lượng tử ánh sáng – được xác định từ lí thuyết tương đối của Anh-xtanh bằng công thức :

$$|\vec{p}| = \frac{E}{c} \quad (4)$$

trong đó, E là năng lượng và c là vận tốc của phôtôn.

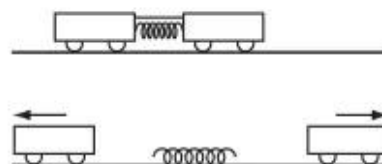
Mặc dù công thức của động lượng đã thay đổi, nhưng định luật bảo toàn động lượng vẫn áp dụng đúng cho mọi trường hợp các hạt vi mô tương tác với nhau như trong quá trình va chạm, phân rã hoặc trong phản ứng hạt nhân... (chương trình lớp 12).

IV – Gợi ý về phương pháp và tổ chức hoạt động dạy học

Thí nghiệm trình bày trong bài này là một thí nghiệm có mục đích kiểm chứng. Từ các kết quả của thí nghiệm, đã hình thành được một đại lượng mới đặc trưng của chuyển động, đó là động lượng $m \vec{v}$. Đồng thời, nghiệm lại định luật bảo toàn động lượng cho hệ kín đã được suy ra từ các định luật Niu-ơn. Dụng cụ thực hành là bộ đồ thí nghiệm được trang bị cho các trường THPT và kết quả thí nghiệm có thể kiểm chứng một cách khá chính xác.

Thực tế không có đủ thời gian để GV tiến hành trên lớp (SGK in chữ nhỏ để tham khảo), do đó GV có thể bố trí cho HS xem tại phòng thực hành.

Tuy nhiên, GV có thể làm một thí nghiệm trên lớp có tính chất minh họa như Hình 31.1. Sau khi đốt dây, lò xo (trước đó bị nén và giữ bởi dây) dãn ra và đẩy hai xe chuyển động theo hai hướng ngược nhau. Chọn trước tỉ lệ khối lượng hai xe, ví dụ 3 : 1. Ta đo trước các quãng đường mà hai xe chuyển động đều sẽ đạt được sau cùng một thời gian theo tỉ lệ nghịch 1 : 3 với khối lượng, cũng là tỉ lệ giữa các vận tốc của hai xe. Đặt những vật chặn tại các vị trí đó và nghiệm lại kết quả hai xe tới các vật chặn cùng một lúc.



Hình 31.1

Thí nghiệm này không thể đạt chính xác cao vì khi lò xo bung ra, hai xe sẽ chuyển động có gia tốc. Tuy nhiên, khoảng thời gian này vô cùng ngắn và ngay sau đó hai xe sẽ chuyển động đều nếu ma sát là không đáng kể. Do đó, trong phạm vi sai số cho phép, thí nghiệm vẫn đủ minh họa cho định luật.

V – Hướng dẫn trả lời câu hỏi và giải bài tập

Câu hỏi

4. Theo định nghĩa của đơn vị niutơn từ hệ thức của định luật II Niu-tơn :

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Do đó :
$$1 \text{ N} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m} \cdot \text{s}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

5. Quả bóng khối lượng m được sút căng (v lớn), khi dừng ($v = 0$) thì có biến thiên động lượng lớn. Nếu kéo dài thời gian bóng chạm tay, người thủ môn có thể giảm đáng kể lực cản để bắt bóng, vì :

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = - \frac{mv}{\Delta t}$$

Theo định luật III Niu-tơn, phản lực của bóng tác dụng lên *tay người* cũng giảm.

Có thể gợi ý cho HS liên hệ giải thích một số hiện tượng tương tự. Khi người nhảy từ trên cao xuống mặt đất cứng, người đó phải khụy chân lúc chạm đất. HS đã biết cách giải thích bằng định luật quán tính, nhưng cách giải thích dựa vào xung lượng của lực có tính định lượng chặt chẽ hơn.

Bài tập

1. C đúng.

2. D đúng.

3. a) $p = p_1 + p_2 = m_1v_1 + m_2v_2 = 1.3 + 3.1 = 6 \text{ kg.m/s.}$

b) $p = p_1 - p_2 = 0.$

c) $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{18} = 3\sqrt{2} = 4,24 \text{ kg.m/s.}$

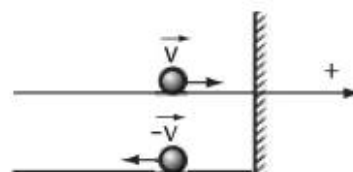
d) $p = p_1 = p_2 = 3 \text{ kg.m/s.}$

4. Chọn chiều dương là chiều chuyển động của xe 1, tức là $v_1 > 0$ và $v_2 < 0$. Áp dụng định luật bảo toàn động lượng cho hệ kín hai xe, ta có :

$$m_1v_1 - m_2v_2 = 0$$

Suy ra : $m_2 = \frac{m_1v_1}{v_2} = \frac{0,4.1,5}{1} = 0,6 \text{ kg} = 600 \text{ g.}$

5. Chọn chiều dương là chiều chuyển động của quả cầu trước khi va chạm vào vách. Biến thiên động lượng của quả cầu là (Hình 31.2) :



$$\Delta p = p_2 - p_1 = (-mv) - (mv)$$

$$= -2mv = -2.0,1.4 = -0,8 \text{ kg.m/s}$$

Hình 31.2

Nếu áp dụng định luật II Niu-tơn dưới dạng tổng quát, ta có : $F\Delta t = \Delta p.$

Lực \vec{F} do vách tác dụng lên quả cầu cùng dấu với Δp , tức là hướng ngược chiều chuyển động ban đầu của vật. Đối với một độ biến thiên động lượng xác định, thời gian tác dụng Δt càng nhỏ thì lực xuất hiện càng lớn, vì thế \vec{F} được gọi là xung lực.

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-0,8}{0,05} = -16 \text{ N.}$$

6. Gọi khối lượng bi thủy tinh là m , khối lượng bi thép là $3m$. Vận tốc sau va chạm của bi thủy tinh là v_1' , của bi thép là v_2' . Chọn chiều dương là chiều chuyển động ban đầu của bi thép và áp dụng định luật bảo toàn động lượng :

$$3mv = mv_1' + 3mv_2'$$

Thay $v_1' = 3v_2'$:

$$3mv = 3mv_2' + 3mv_2' = 6mv_2'$$

Kết quả : $v_2' = \frac{v}{2} ; v_1' = \frac{3v}{2}.$

7. Vận tốc của người khi chạm nước :

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 3} = 7,74 \text{ m/s}$$

Xung lượng của lực cản của nước bằng độ biến thiên động lượng của người :

$$F\Delta t = \Delta p = 0 - mv = -mv$$

Suy ra :

$$F = -\frac{mv}{\Delta t} = -\frac{60 \cdot 7,74}{0,55} = -845 \text{ N.}$$