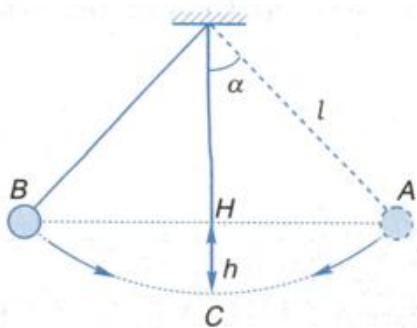


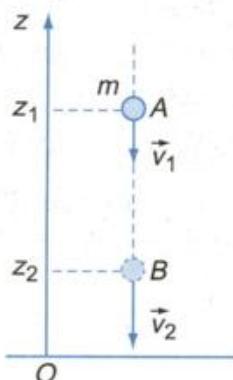
37

ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN CƠ NĂNG

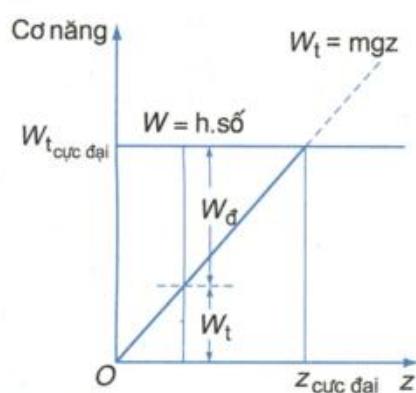


Hình 37.1 Con lắc đơn

Chuyển động của con lắc đơn được gọi là dao động.



Hình 37.2
Vật đang rơi
tự do trong
trọng trường



Hình 37.3

Đồ thị biểu diễn định luật bảo toàn cơ năng :

$$W = W_d + W_t = \text{hằng số}$$

$$\text{hoặc } \Delta W_d = -\Delta W_t$$

Giá trị động năng tăng bao nhiêu thì thế năng giảm bấy nhiêu và ngược lại.

Ta hãy quan sát chuyển động của con lắc đơn gồm một vật nhỏ có khối lượng m treo ở đầu một sợi dây không dãn chiều dài l , đầu kia của dây được giữ cố định (Hình 37.1). Đưa vật lên một độ cao xác định rồi thả cho vật chuyển động tự do. Ta thấy vật đi qua vị trí cân bằng (ứng với phương thẳng đứng của dây), tiếp tục đi lên chậm dần và dừng lại ở một độ cao bằng độ cao ban đầu. Sau đó, vật lại đi xuống qua vị trí cân bằng, tiếp tục đi lên,...

Trong quá trình chuyển động, động năng và thế năng của vật trong trọng trường liên tiếp thay đổi. Trong bài này ta sẽ xét xem có mối quan hệ gì giữa độ biến thiên của hai dạng năng lượng này.

1. Thiết lập định luật

a) Trường hợp trọng lực

Xét một vật khối lượng m rơi tự do, lần lượt qua hai vị trí A và B tương ứng với các độ cao z_1 và z_2 , tại đó vật có vận tốc tương ứng là \vec{v}_1 và \vec{v}_2 (Hình 37.2).

Áp dụng định lí động năng, ta có công do trọng lực thực hiện bằng độ tăng động năng của vật :

$$A_{12} = W_{d_2} - W_{d_1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (37.1)$$

Mặt khác, công này lại bằng độ giảm thế năng của vật trong trọng trường :

$$A_{12} = W_{t_1} - W_{t_2} = mgz_1 - mgz_2 \quad (37.2)$$

So sánh (37.1) và (37.2) ta được :

$$W_{d_1} + W_{t_1} = W_{d_2} + W_{t_2}; \text{ hay}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgz_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgz_2 \quad (37.3)$$

Các giá trị của vận tốc v và độ cao z tại các vị trí đầu và cuối trong chuyển động là bất kì, do đó tổng động năng và thế năng trong trọng trường của vật là không đổi (Hình 37.3). Định nghĩa tổng động năng và thế năng là *cơ năng* của vật, ta có định luật bảo toàn cơ năng phát biểu như sau :

Trong quá trình chuyển động, nếu vật chỉ chịu tác dụng của trọng lực, động năng có thể chuyển thành thế năng và ngược lại, và tổng của chúng, tức là cơ năng của vật, được bảo toàn (không đổi theo thời gian).

b) Trường hợp lực đàn hồi

Ta trở lại ví dụ con lắc lò xo trong bài trước. Dưới tác dụng của lực đàn hồi, vật gắn ở đầu lò xo thực hiện dao động quanh vị trí cân bằng (Hình 37.4a). Lực đàn hồi là lực thế, do đó ta có thể áp dụng cách lập luận tương tự với trường hợp trọng lực để suy ra định luật bảo toàn cơ năng.

Trong quá trình chuyển động, khi động năng của vật tăng thì thế năng đàn hồi giảm và ngược lại, nhưng tổng động năng và thế năng, tức là cơ năng của vật, thì luôn bảo toàn (Hình 37.4b).

Ta có :

$$W = W_d + W_{dh} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \text{hằng số} \quad (37.4)$$

Vật ở vị trí biên phải :

$$W_d = 0, W_{dh} \text{ cực đại}$$

Vật qua vị trí cân bằng :

$$W_d \text{ cực đại}, W_{dh} = 0$$

Vật ở vị trí biên trái :

$$W_d = 0, W_{dh} \text{ cực đại}$$

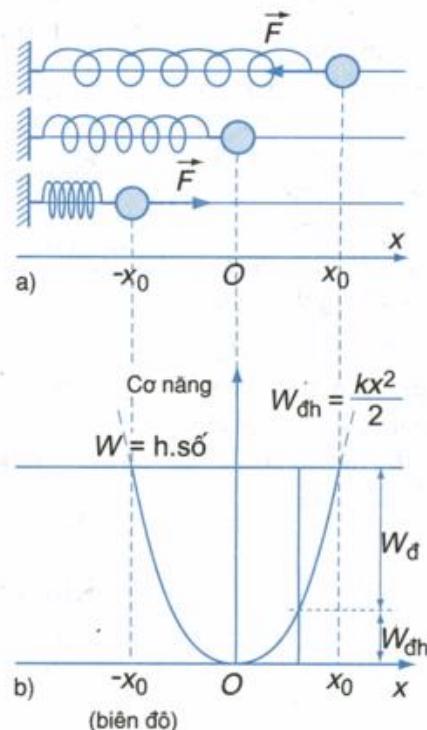
c) Áp dụng cách lập luận trên với một vật chuyển động trong trường lực thế bất kì, ta có thể đi đến kết luận tổng quát :

Cơ năng của một vật chỉ chịu tác dụng của những lực thế luôn được bảo toàn.

C1 Một vật được thả rơi tự do từ độ cao h xuống đất. Hãy áp dụng định luật bảo toàn cơ năng để chứng tỏ rằng vận tốc của vật khi chạm đất là :

$$v = \sqrt{2gh}$$

Thể năng của vật trong trọng trường cũng là *thể năng của hệ vật – Trái Đất*. Trong tương tác với vật, Trái Đất có khối lượng rất lớn nên coi như đứng yên (có động năng bằng 0). Vì lẽ đó cơ năng của hệ vật – Trái Đất cũng là cơ năng của vật trong trọng trường. Có thể phát biểu : "*Cơ năng của hệ vật – Trái Đất (hệ kín, tương tác bằng lực thế) được bảo toàn*".



Hình 37.4

Đồ thị biểu diễn định luật bảo toàn cơ năng :

$$W = W_d + W_{dh} = \text{hằng số}$$

C2 Có thể áp dụng định luật bảo toàn cơ năng cho chuyển động của con lắc đơn (Hình 37.1) được không ?

2. Biến thiên cơ năng. Công của lực không phải lực thế

Khi ngoài lực thế, vật còn chịu tác dụng của lực không phải lực thế, ví dụ lực ma sát (hay lực cản nói chung), cơ năng của vật sẽ không bảo toàn. Ta hãy tìm độ biến thiên cơ năng của vật trong trường hợp này.

Theo định lí động năng, ta có tổng công của các lực tác dụng bằng độ biến thiên động năng của vật khi vật di chuyển từ vị trí 1 đến vị trí 2 :

$$A_{12}(\text{lực không thế}) + A_{12}(\text{lực thế}) = W_{d_2} - W_{d_1} \quad (37.5)$$

Mặt khác, ta còn có thể tính công của lực thế theo độ biến thiên thế năng :

$$A_{12}(\text{lực thế}) = W_{t_1} - W_{t_2} \quad (= -\Delta W_t) \quad (37.6)$$

Phối hợp (37.5) và (37.6) :

$$\begin{aligned} A_{12}(\text{lực không thế}) &= W_{d_2} - W_{d_1} - (W_{t_1} - W_{t_2}) \\ &= (W_{d_2} + W_{t_2}) - (W_{d_1} + W_{t_1}) \end{aligned}$$

hay :

$$A_{12}(\text{lực không thế}) = W_2 - W_1 = \Delta W \quad (37.7)$$

Kết quả trên được phát biểu tổng quát như sau :

Khi ngoài lực thế vật còn chịu tác dụng của lực không phải lực thế, cơ năng của vật không bảo toàn và công của lực này bằng độ biến thiên cơ năng của vật.

3. Bài tập vận dụng

Bài 1

Xét con lắc đơn như ở Hình 37.1.

Thả cho con lắc chuyển động tự do từ vị trí mà dây hợp với phương thẳng đứng một góc α . Tim vận tốc của con lắc ở điểm thấp nhất (điểm C).

Bài giải

Ta thấy khó giải bài toán bằng định luật II Niu-ton vì hợp lực của trọng lực \vec{P} và lực căng dây \vec{T} tác dụng lên vật luôn biến đổi trong quá trình vật chuyển động. Nhưng có thể áp dụng định luật bảo toàn cơ năng vì trong trường hợp này, chỉ có trọng lực \vec{P} sinh công, còn lực căng \vec{T} của dây không thực hiện công do có phương vuông góc với độ dời tại mọi vị trí.

Chọn C làm mốc để tính độ cao của vật. Ban đầu, vật A có độ cao so với C là $HC = h = l(1 - \cos\alpha)$, tại đó vật có thế năng $W_t = mgl(1 - \cos\alpha)$, còn động năng thì bằng 0. Khi tới C , thế năng triệt tiêu và động năng bằng $\frac{mv^2}{2}$. Định luật bảo toàn cơ năng cho ta :

$$\frac{mv^2}{2} = mgl(1 - \cos\alpha)$$

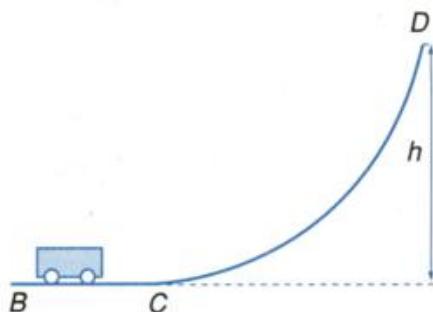
Ta suy ra vận tốc của vật tại điểm thấp nhất C , cũng là vận tốc cực đại :

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}$$

Chú ý : Nếu muốn tìm lực căng T của dây treo con lắc thì vẫn phải áp dụng định luật II Niu-ton. Cho nên phương pháp dùng định luật bảo toàn là đơn giản nhưng không thay thế hoàn toàn được phương pháp động lực học. Hai phương pháp này bổ sung cho nhau.

Bài 2

Một xe lăn nhỏ chạy trên đường ray từ trạng thái nghỉ, thoát đầu trên một đoạn nằm ngang $BC = 1$ m, sau đó theo một đường cong lên phía trên cao (Hình 37.5). Trên quãng đường BC ,



Hình 37.5

xe chịu tác dụng của lực không đổi $F = 120$ N cùng chiều với chuyển động. Biết khối lượng của xe là $m = 5$ kg.

- Tính động năng của xe tại điểm C.
- Tìm độ cao cực đại h so với mặt nằm ngang mà xe đạt tối nếu bỏ qua ma sát.
- Vì có ma sát nên xe chỉ lên tới độ cao $h' = 1,8$ m. Hãy tìm công của lực ma sát.

Bài giải

a) Trên độ dời BC , chỉ có lực \vec{F} thực hiện công (trọng lực có phương vuông góc với độ dời và bỏ qua ma sát). Áp dụng định lí động năng, ta có :

$$A_{BC} = F \cdot BC = W_{d_C} - W_{d_B} = W_{d_C} \quad (v_B = 0)$$

Từ đó :

$$W_{d_C} = 120 \cdot 1 = 120 \text{ J}$$

b) Nếu không có lực ma sát, cơ năng của xe được bảo toàn trong quá trình xe chuyển động từ C tới điểm cao nhất D. Nếu kí hiệu vị trí 1 tại điểm C, vị trí 2 tại điểm D mà tại đó $v = 0$, ta có đẳng thức của định luật bảo toàn cơ năng :

$$W_{d_1} + W_{t_1} = W_{d_2} + W_{t_2}$$

Chọn mức không của thế năng trọng trường tại mặt phẳng ngang, đẳng thức trên trở thành :

$$W_{d_1} = W_{t_2} = mgh$$

$$\text{Do đó : } h = \frac{W_{d_1}}{mg} = \frac{120}{50} = 2,4 \text{ m}$$

c) Nếu có ma sát, ta phải kể thêm công của lực ma sát và công này bằng độ biến thiên cơ năng của xe :

$$\begin{aligned} A_{ms} &= \Delta W = W'_{t_2} - W_{d_1} \\ &= mgh' - W_{d_1} = 50 \cdot 1,8 - 120 = -30 \text{ J} \end{aligned}$$

CÂU HỎI

1. Thế nào là cơ năng của một vật ? Cho ví dụ.
 2. Thiết lập định luật bảo toàn cơ năng trong trường hợp trọng lực.
 3. Viết định luật bảo toàn cơ năng cho trường hợp lực đàn hồi của lò xo. Suy rộng cho trường lực thế bất kì.

BÀI TẬP

- Một quả bóng được ném với một vận tốc đầu xác định. Đại lượng nào không đổi trong khi quả bóng chuyển động ?
 - Thể năng.
 - Động lượng.
 - Động năng.
 - Gia tốc.
 - Một hòn bi có khối lượng 20 g được ném thẳng đứng lên cao với vận tốc 4 m/s từ độ cao 1,6 m so với mặt đất.
 - Tính trong hệ quy chiếu mặt đất các giá trị động năng, thể năng và cơ năng của hòn bi tại lúc ném vật.
 - Tìm độ cao cực đại mà bi đạt được.
 - Một con lắc đơn có chiều dài $l = 1$ m. Kéo cho dây làm với đường thẳng đứng góc $\alpha = 45^\circ$ rồi thả tự do. Tim vận tốc của con lắc khi nó đi qua :
 - vị trí ứng với góc 30° ;
 - vị trí cân bằng.
 - Một vật được ném từ mặt đất với vận tốc 10 m/s hướng chêch lên phía trên, với các góc ném hợp với phương nằm ngang lần lượt là 30° và 60° . Bỏ qua sức cản của không khí.
 - Vận tốc chạm đất của vật trong mỗi lần ném thay đổi ra sao ?
 - Độ cao cực đại mà vật đạt được trong mỗi trường hợp bằng bao nhiêu ?

Hướng dẫn : Dùng định luật bảo toàn cơ năng để giải, có kết hợp với phương pháp động lực học.