

8

NĂNG LƯỢNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

Khi một vật dao động, vị trí và vận tốc của nó luôn luôn thay đổi theo thời gian, vì thế mà thế năng và động năng của vật cũng luôn luôn biến đổi. Trong bài này, ta sẽ xét xem biến đổi đó diễn biến như thế nào.

1. Sự bảo toàn cơ năng

Trong các con lắc mà ta đã xét ở chương này thì vật nặng chịu tác dụng của lực đàn hồi ($F = -kx$) hoặc trọng lực ($P = mg$). Các lực này là lực thế. Ở SGK Vật lí 10 nâng cao, ta đã biết rằng cơ năng (động năng + thế năng) của một vật chuyển động trong trường lực thế được bảo toàn.

Như vậy : **Cơ năng của vật dao động được bảo toàn.**

Ta sẽ xem xét chi tiết sự biến đổi từng thành phần của cơ năng, tức là động năng và thế năng, của vật nặng trong con lắc lò xo và thử lại rằng cơ năng được bảo toàn.

2. Biểu thức của thế năng

Trước hết, cần nói rõ rằng thế năng W_t của vật nặng dưới tác dụng của lực đàn hồi cũng chính là thế năng đàn hồi của lò xo.

Xét vật nặng trong con lắc lò xo, vật dao động với tần số góc ω và biên độ A , li độ của vật là :

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (8.1)$$

Lực đàn hồi của lò xo tác dụng lên vật là $F = -kx$. Dưới tác dụng của lực này, thế năng của vật là :

$$W_t = \frac{1}{2} kx^2$$

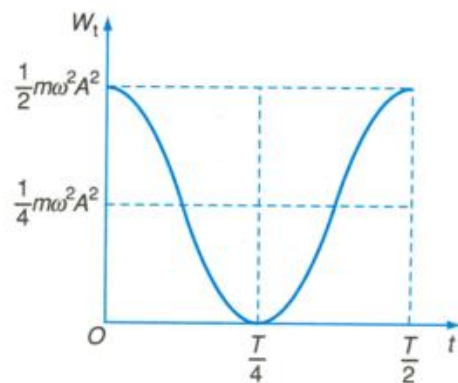
Thay x từ (8.1), ta có :

Biến đổi của thế năng theo thời gian

Dựa vào công thức (8.2) và dùng biến đổi lượng giác $\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}$, ta có :

$$\begin{aligned} W_t &= \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \frac{1 + \cos 2(\omega t + \varphi)}{2} \\ &= \frac{1}{4} m\omega^2 A^2 + \frac{1}{4} m\omega^2 A^2 \cos 2(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

Chọn gốc thời gian sao cho $\varphi = 0$, ta có đường biểu diễn của $W_t(t)$ ở Hình 8.1.



Hình 8.1 Đường biểu diễn biến đổi thế năng theo thời gian ($\varphi = 0$).

C1 Từ công thức và đường biểu diễn của W_t , hãy rút ra nhận xét về biến đổi thế năng.

$$W_t = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

mà $\omega^2 = \frac{k}{m}$ tức là $k = m\omega^2$, do đó :

$$W_t = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \quad (8.2)$$

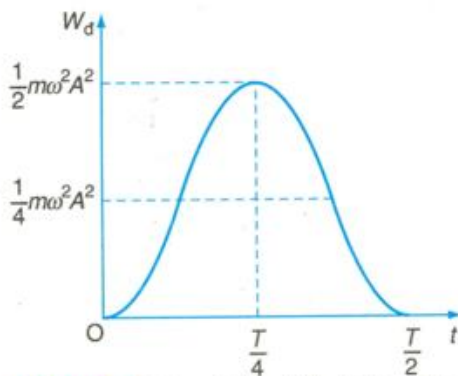
Đây là biểu thức của thế năng phụ thuộc vào thời gian. Từ đây có thể khảo sát sự biến đổi của thế năng theo thời gian (xem Hình 8.1).

Biến đổi của động năng theo thời gian

Dùng công thức $\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$, ta có thể biến đổi (8.3) như sau :

$$\begin{aligned} W_d &= \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \frac{1 - \cos 2(\omega t + \varphi)}{2} \\ &= \frac{1}{4}m\omega^2 A^2 - \frac{1}{4}m\omega^2 A^2 \cos 2(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

Với $\varphi = 0$, ta có đồ thị ở Hình 8.2.



Hình 8.2 Đường biểu diễn biến đổi động năng theo thời gian.

☞ Từ công thức và đường biểu diễn của W_d , hãy rút ra nhận xét về sự biến đổi của động năng.

3. Biểu thức của động năng

Theo định nghĩa, động năng của vật nặng là :

$$W_d = \frac{1}{2}mv^2$$

Vận tốc v có thể tính được theo công thức (8.1) của li độ x :

$$v = x' = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$$

Thay vào biểu thức trên của động năng, ta có :

$$W_d = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) \quad (8.3)$$

Đây là biểu thức của động năng phụ thuộc vào thời gian. Từ đây có thể khảo sát sự biến đổi của động năng theo thời gian (xem cột bên trái).

Vì khối lượng của lò xo rất nhỏ so với khối lượng của vật nên có thể bỏ qua động năng của lò xo. Như thế, động năng của vật cũng là động năng của cả con lắc lò xo.

4. Biểu thức của cơ năng

Cơ năng W của vật nặng bằng tổng động năng và thế năng của vật, đó cũng là cơ năng của con lắc lò xo :

$$W = W_d + W_t$$

$$= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 [\cos^2(\omega t + \varphi) + \sin^2(\omega t + \varphi)]$$

suy ra :

$$W = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \quad (8.4)$$

Từ (8.4) ta thấy rằng, cơ năng W không phụ thuộc thời gian. Vậy, cơ năng của vật nặng dao động, tức cũng là cơ năng của con lắc lò xo, được bảo toàn.

Chú ý rằng $k = m\omega^2$, ta có :

$$W = \frac{1}{2} k A^2 \quad (8.5)$$

Cơ năng tỉ lệ với bình phương biên độ A của dao động.

Ghi chú :

Sự bảo toàn cơ năng đã được thử lại cho trường hợp con lắc lò xo. Có thể thử lại cho dao động của các con lắc khác (xem bài tập 3).

CÂU HỎI

- Vẽ ba đường biểu diễn sự phụ thuộc của thế năng, động năng, cơ năng của vật nặng dao động điều hoà theo thời gian trên cùng một đồ thị. Nói rõ trong khoảng thời gian nào thì có sự chuyển hoá thế năng thành động năng và trong khoảng thời gian nào thì có sự chuyển hoá ngược lại.
- Chứng tỏ rằng, cơ năng của vật nặng dao động điều hoà bằng động năng của nó khi đi qua vị trí cân bằng và bằng thế năng của nó khi li độ là cực đại.

BÀI TẬP

- Động năng của vật nặng dao động điều hoà biến đổi theo thời gian
 - theo một hàm dạng sin.
 - tuần hoàn với chu kì T .
 - tuần hoàn với chu kì $\frac{T}{2}$
 - không đổi.
- Một vật có khối lượng 750 g dao động điều hoà với biên độ 4 cm và chu kì $T = 2$ s. Tính năng lượng của dao động.
- Tính thế năng, động năng và cơ năng của con lắc đơn ở một vị trí bất kì (li độ góc α) và thử lại rằng cơ năng không đổi trong chuyển động.
- Dựa vào định luật bảo toàn cơ năng, tính :
 - Vận tốc của vật nặng trong con lắc lò xo khi đi qua vị trí cân bằng theo biên độ A .
 - Vận tốc của con lắc đơn khi đi qua vị trí cân bằng theo biên độ góc α_0 .