

2

CON LẮC Lò XO

I – MỤC TIÊU

- Viết được :
 - Công thức của lực kéo về tác dụng vào vật dao động điều hoà.
 - Công thức tính chu kì của con lắc lò xo.
 - Công thức tính thế năng, động năng và cơ năng của con lắc lò xo.
- Giải thích được tại sao dao động của con lắc lò xo là dao động điều hoà.
- Nêu được nhận xét định tính về sự biến thiên động năng và thế năng khi con lắc dao động.
- Áp dụng được các công thức và định luật có trong bài để giải bài tập tương tự như ở trong phần bài tập.
- Viết được phương trình động lực học của con lắc lò xo.

II – CHUẨN BỊ

1. Giáo viên

Con lắc lò xo dao động theo phương ngang. Vật m có thể là một vật hình chữ "V" ngược chuyển động trên đệm không khí.

2. Học sinh

Ôn lại khái niệm lực đàn hồi và thế năng đàn hồi ở lớp 10.

III – THÔNG TIN BỔ SUNG

1. Phân biệt lực kéo về với lực đàn hồi của lò xo

a) Lực kéo về chỉ có một đặc điểm là luôn luôn hướng về vị trí cân bằng (VTCB), làm cho vật dao động quanh VTCB (có thể không điều hoà). Ví dụ, đối với con lắc đơn thì lực $P_t = -mg \sin \alpha$ là lực kéo về dù α lớn.

– Nếu vật dao động điều hoà thì lực kéo về tỉ lệ với li độ. Jay Orear gọi lực kéo về tuyến tính là lực điều hoà (harmonic force) : $F = -kx$.

b) Lực kéo về là hợp lực của các lực tác dụng vào vật dao động điều hoà. Trong số các lực đó có lực đàn hồi của lò xo hoặc không. Vì thế mà có sự khác nhau giữa lực kéo về và lực đàn hồi của lò xo. Ta hãy xét một vài ví dụ.

Ví dụ 1. Đối với con lắc lò xo nằm ngang (H.2.1 SGK) : Lực kéo về tuyến tính là lực đàn hồi của lò xo tác dụng vào vật m .

$$\vec{F} = \vec{F}_{lx} + \underbrace{\vec{P} + \vec{N}}_{=\vec{0}} = \vec{F}_{lx}$$

hay dưới dạng đại số :

$$F = F_{lx} = -kx \quad (x \text{ vừa là li độ vừa là độ biến dạng của lò xo}).$$

Với F_{lx} là lực mà lò xo tác dụng vào vật m .

Ví dụ 2. Đó là một hệ dao động gồm một vật m , lò xo, Trái Đất và giá đỡ. Con lắc lò xo treo thẳng đứng (H.2.1). Nếu chọn chiều dương hướng xuống, chọn gốc toạ độ tại vị trí cân bằng thì tại vị trí cân bằng, ta có :

– Lực đàn hồi :

$$F_{lx} = -k\Delta l_0 \quad (\neq 0).$$

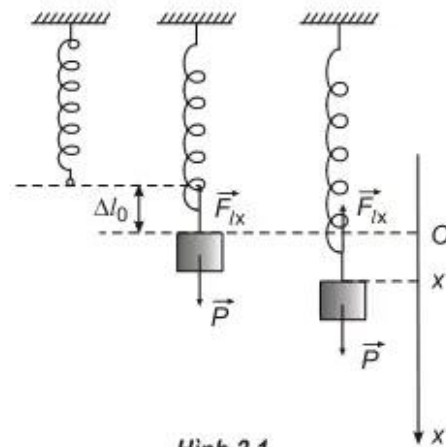
– Lực kéo về :

$$F = F_{lx} + P = -k\Delta l_0 + mg = 0$$

Còn tại li độ x , ta có :

– Lực đàn hồi $F_{lx} = -k(\Delta l_0 + x) = -k\Delta l_0 - kx$.

– Lực kéo về $F = -kx$.



Hình 2.1

Ta thấy lực đàn hồi của lò xo có thể chia làm hai phần : Một phần không đổi ($-k\Delta l_0$) cân bằng với trọng lực và phần biến thiên điều hoà ($-kx$) là lực kéo về tuyến tính. *Cách nói lực kéo về là hợp lực của lực đàn hồi và trọng lực, cũng tương đương với cách nói lực kéo về là phần lực đàn hồi không bị cân bằng bởi trọng lực.* Ở đây x là li độ, chứ không phải là độ biến dạng của lò xo (độ biến dạng của lò xo là $\Delta l_0 + x$), nhưng k thì đúng là độ cứng của lò xo.

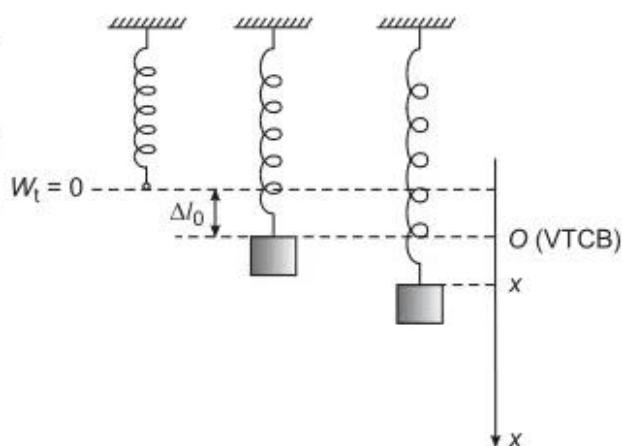
c) Lại có những hệ dao động điều hoà, trong đó không có phần tử cấu trúc nào của hệ là lò xo. Con lắc đơn, khúc gỗ nổi bập bênh trên mặt nước,... là những hệ như vậy. Đối với các hệ này, khi dao động nhỏ lực kéo về vẫn có dạng $F = -kx$, nhưng không có bản chất của lực đàn hồi. Hệ số tỉ lệ k gọi là "độ cứng" (trong ngoặc kép) của hệ.

2. Thành lập công thức tính thế năng của con lắc lò xo treo thẳng đứng

Có nhiều cách thành lập khác nhau. Sau đây là một cách khác, phù hợp với trình độ HS phổ thông.

Giả sử ta cần lập biểu thức thế năng của con lắc lò xo treo thẳng đứng và lúc đầu chọn mốc tính thế năng là đầu tự do của lò xo khi chưa treo vật nặng (H.2.2).

Vì lực kéo về là hợp lực của lực đàn hồi và trọng lực nên ta phải đưa cả hai loại thế năng vào công thức thế năng của con lắc, đó là thế năng đàn hồi của lò xo và thế năng trọng trường của vật m .



Hình 2.2

Thế năng của con lắc tại vị trí cân bằng (tức là tại $x = 0$) là :

$$W_t(x=0) = \frac{1}{2}k\Delta l_0^2 - mg\Delta l_0 \quad (2.1)$$

Như đã biết, nếu vật m đứng yên ở VTCTB thì khi thả tay, nó đứng yên mãi và con lắc không dao động. Điều đó có nghĩa là thế năng của con lắc ở vị trí cân bằng dù có giá trị thế nào cũng không phải là nguyên nhân gây ra dao động điều hoà của con lắc (xét về mặt năng lượng).

Kéo vật nặng của con lắc đến vị trí có li độ x thì thế năng của con lắc là :

$$\begin{aligned} W_t &= \frac{1}{2}k(\Delta l_0 + x)^2 - mg(\Delta l_0 + x) \\ &= \frac{1}{2}kx^2 + (k\Delta l_0 - mg)x + \frac{1}{2}k\Delta l_0^2 - mg\Delta l_0 \end{aligned}$$

Nhớ lại rằng tại vị trí cân bằng, ta có $F_{hl} = 0$, hay $k\Delta l_0 - mg = 0$, và kết hợp với (2.1), ta có :

$$W_t(x) = W_t(0) + \frac{1}{2}kx^2 \quad (2.2)$$

Nếu ta thả vật nặng ở li độ x thì nó sẽ dao động. Tại sao vậy ? Xét về mặt năng lượng, đó là vì $W_t(x)$ lớn hơn $W_t(0)$, và càng lớn hơn thì con lắc dao động càng mạnh. Như vậy, hiệu $W_t(x) - W_t(0) = \frac{1}{2}kx^2$ mới tham gia vào quá trình chuyển hoá năng lượng một cách điều hoà từ thế năng sang động năng và ngược lại. Chính vì lí do đó mà Hu-bơ Lum-brô-xô (Hubert Lumbroso), tác giả người Pháp, đã gọi $\frac{1}{2}kx^2$ là thế năng điều hoà (potentiel harmonique).

Vì hiệu của hai thế năng không phụ thuộc vào mốc tính thế năng, cho nên nếu ta chọn vị trí cân bằng làm mốc, tức là coi $W_t(0) = 0$ thì thế năng của con lắc ở li độ x là :

$$W_t(x) = \frac{1}{2}kx^2 \quad (2.3)$$

Cần nhắc lại là, đối với con lắc lò xo treo thẳng đứng thì cả lực đàn hồi và trọng lực đều thực hiện công, nên thế năng của con lắc bao gồm cả thế năng đàn hồi và thế năng trọng trường. Còn đối với con lắc lò xo nằm ngang, thì trọng lực và phản lực N của mặt phẳng không sinh công, nên thế năng của con lắc chỉ là thế năng đàn hồi của lò xo.

3. Trong dao động điều hoà của con lắc, những đại lượng nào không phải là đại lượng biến thiên điều hoà ?

a) Một đại lượng X được gọi là điều hoà khi nó thoả mãn phương trình vi phân $X'' + \omega^2 X = 0$ (trong đó ω^2 là một hằng số dương) hoặc là nghiệm của

phương trình vi phân đó : $X = A \cos(\omega t + \varphi)$ hay $X = A \sin(\omega t + \varphi)$ (trong đó A , ω là hai hằng số dương, còn φ là hằng số có thể dương, âm hoặc bằng 0).

b) Theo định nghĩa trên thì các đại lượng như li độ, vận tốc và gia tốc của con lắc dao động điều hoà và lực kéo về là những đại lượng điều hoà, còn *động năng của con lắc không phải là đại lượng điều hoà vì nó luôn luôn dương*. Thế còn thế năng của con lắc thì sao ? Thế năng khác động năng ở chỗ giá trị của nó có thể khác nhau tùy theo mốc tính thế năng. *Nếu chọn mốc thế năng của con lắc ở vị trí cân bằng thì thế năng $W_t = \frac{1}{2} kx^2$ cũng không phải là đại lượng điều hoà.*

Thật vậy :

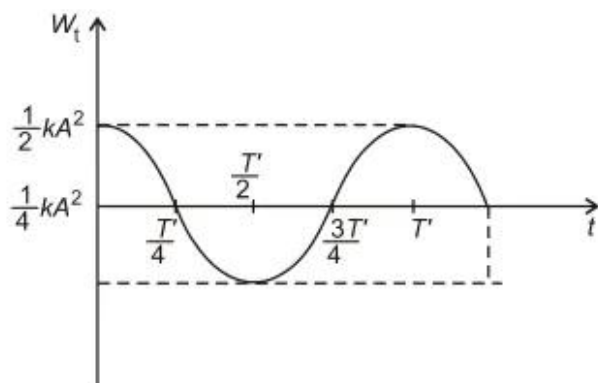
$$W_t = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kA^2 \cos^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{4} kA^2 \cos(2\omega t + 2\varphi) + \frac{1}{4} kA^2$$

Thế năng W_t có dạng của hàm $Y = B \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + D$. Như thế, nó không thoả mãn phương trình vi phân $Y'' + \omega^2 Y = 0$ đặc trưng cho dao động điều hoà.

Như đã biết *chỉ có hiệu hai thế năng mới có ý nghĩa vật lí vì nó không phụ thuộc mốc mà ta chọn. Dù chọn mốc nào thì hiệu $[W_t$ (tại li độ x) – W_t (tại VTCB)]* cũng luôn luôn bằng $\frac{1}{2} kx^2$ và do đó *cũng không phải là đại lượng điều hoà.*

Căn cứ vào đường cong thế năng là đường hình sin (H.2.3) ta chỉ có thể nói nếu chọn mốc thế năng tại VTCB thì giá trị của thế năng biến thiên điều hoà quanh giá trị $\frac{1}{4} kA^2$ với biên độ là $\frac{1}{4} kA^2$ và với chu kì

$T' = \frac{T}{2}$. Ta cũng có thể phát biểu tương tự như vậy đối với động năng.



Hình 2.3. Đồ thị của W_t với $\varphi = 0$.

IV – GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

Bài này dạy trong 1 tiết.

1. Ở mục I, thông qua mô hình con lắc lò xo, GV hình thành ở HS biểu tượng cụ thể về dao động điều hoà và củng cố một số khái niệm, như :

– Hệ dao động : Con lắc lò xo là một hệ vật gồm một vật nặng và một lò xo gắn vào giá đỡ cố định (điểm treo).

– Vị trí cân bằng : Con lắc có một vị trí cân bằng. Nếu vật được giữ yên ở vị trí cân bằng thì khi thả ra, vật sẽ đứng yên mãi.

– Vị trí biên : Nếu kéo vật ra khỏi vị trí cân bằng một đoạn rồi thả ra, thì vật sẽ dao động trên một đoạn thẳng quanh vị trí cân bằng, giữa hai vị trí biên (có vận tốc bằng không).

– Biên độ dao động.

– Chu kì và tần số của dao động.

2. Mục II là một phần nội dung chính của bài. GV hướng dẫn HS vận dụng phương pháp động lực học để khảo sát chuyển động của con lắc. Cụ thể là :

– Xác định các lực tác dụng vào vật m khi nó ở VTCB và khi nó bị kéo ra khỏi VTCB (H.2.1a và b SGK).

– Xác định hợp lực tác dụng vào vật : $\vec{F} = -k\Delta\vec{l}$. GV có thể nêu câu hỏi "Muốn diễn tả lực $\vec{F} = -k\Delta\vec{l}$ dưới dạng đại số thì ta phải làm gì ?".

(Chọn trục toạ độ và góc toạ độ rồi chuyển công thức $\vec{F} = -k\Delta\vec{l}$ thành công thức $F = -kx$).

– Áp dụng định luật II Niu-tơn để tìm công thức tính gia tốc của vật.

GV có thể nêu tiếp câu hỏi : Ta đã có thể trả lời vấn đề đặt ra ở cuối mục I hay chưa ? Căn cứ vào đâu ? GV hướng sự chú ý của HS vào sự giống nhau giữa công thức (2.2) với công thức (1.4) (SGK) ở bài trên để rút ra các kết luận như trong bài học.

3. Mục III cũng là một nội dung chính của bài. GV có thể gợi ý HS nhớ lại các kiến thức về động năng, thế năng đàn hồi và cơ năng đã học ở lớp 10 để dựa vào đó mà lập công thức tính động năng, thế năng và cơ năng của con lắc lò xo.

V – TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

c1. Từ $F = ma \Rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$.

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

$\Rightarrow \frac{m}{k}$ có đơn vị là $\frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ kg/s}^2} = 1 \text{ s}^2$

$\Rightarrow \sqrt{\frac{m}{k}}$ có đơn vị là giây (s) (2π là một số không có đơn vị).

C2. Khi đi từ vị trí biên về VTCB thì thế năng của con lắc giảm dần, còn động năng của con lắc tăng dần. Nói cách khác, thế năng biến đổi thành động năng. Khi đi từ VTCB đến vị trí biên thì ngược lại.

1. Xem mục II.1, 2, 4 SGK.

2. Xem mục II.3 SGK.

3. Xem mục III.1, 2, 3 SGK.

4. D.

5. D.

6. B.