

I. Kiến thức chung về con lắc lò xo

1. Cấu tạo

Con lắc lò xo gồm một vật nhỏ có khối lượng **m** gắn vào một đầu của lò xo có độ cứng **k** và khối lượng không đáng kể, đầu còn lại của lò xo được giữ cố định.

2. Lực phục hồi (Lực kéo về)

Lực phục hồi là lực luôn hướng về vị trí cân bằng (VTCB) và gây ra gia tốc cho vật dao động điều hòa.

- **Công thức:** $F_{ph} = -kx$
- **Giải thích:**
 - **x**: li độ của vật (khoảng cách từ vị trí của vật đến VTCB).
 - Dấu "-" cho biết lực phục hồi luôn ngược chiều với li độ.
- **Đặc điểm:**
 - Luôn hướng về VTCB.
 - Biến thiên điều hòa cùng tần số với li độ.
 - Độ lớn tỉ lệ với độ lớn của li độ: $|F_{ph}| = k|x|$.
 - Đạt giá trị cực đại ở hai biên ($F_{ph_max} = kA$) và bằng 0 ở VTCB.

Ví dụ:

1. Một con lắc lò xo có độ cứng $k = 100 \text{ N/m}$. Kéo vật ra khỏi VTCB một đoạn 5 cm rồi thả nhẹ. Lực phục hồi tác dụng lên vật khi nó ở vị trí biên là bao nhiêu?

Giải: Khi vật ở vị trí biên, $x = A = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$. Độ lớn lực phục hồi cực đại là $F_{ph_max} = kA = 100 * 0.05 = 5 \text{ N}$.

2. Một con lắc lò xo dao động với phương trình $x = 4\cos(10t) \text{ cm}$. Độ cứng lò xo là 50 N/m . Tìm lực phục hồi khi $t = 0.5\text{s}$.

Giải: Li độ của vật tại $t = 0.5\text{s}$ là $x = 4\cos(10 * 0.5) = 4\cos(5) \approx -1.135 \text{ cm} = -0.01135 \text{ m}$. Lực phục hồi là $F_{ph} = -kx = -50 * (-0.01135) \approx 0.5675 \text{ N}$.

3. Chu kỳ, tần số, tần số góc

Đây là các đại lượng đặc trưng cho sự nhanh hay chậm của dao động.

- **Tần số góc:** $\omega = \sqrt{(k/m)}$ (rad/s)
- **Chu kỳ:** $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{(m/k)}$ (s)
- **Tần số:** $f = 1/T = \omega/(2\pi) = (1/(2\pi))\sqrt{(k/m)}$ (Hz)

Ví dụ:

1. Một con lắc lò xo gồm vật nặng $m = 200\text{g}$ và lò xo có độ cứng $k = 80 \text{ N/m}$. Tính chu kỳ dao động.

Giải: Đổi $m = 200\text{g} = 0.2 \text{ kg}$. Chu kỳ $T = 2\pi\sqrt{(m/k)} = 2\pi\sqrt{(0.2/80)} = 2\pi * 0.05 = 0.1\pi \text{ s} \approx 0.314 \text{ s}$.

2. Một con lắc lò xo dao động với tần số $f = 2 \text{ Hz}$. Nếu khối lượng vật nặng tăng lên 4 lần thì tần số mới là bao nhiêu?

Giải: Ta có f tỉ lệ nghịch với $\sqrt{m}$. Khi $m' = 4m$, thì $f' = (1/(2\pi))\sqrt{(k/(4m))} = (1/2) * (1/(2\pi))\sqrt{(k/m)} = f/2 = 2/2 = 1 \text{ Hz}$.

4. Năng lượng của con lắc lò xo

Cơ năng của con lắc lò xo được bảo toàn nếu bỏ qua ma sát.

- **Động năng:** $W_d = (1/2)mv^2$
- **Thế năng đàn hồi:** $W_t = (1/2)kx^2$
- **Cơ năng:** $W = W_d + W_t = (1/2)mv^2 + (1/2)kx^2 = (1/2)kA^2 = (1/2)m\omega^2 A^2 = \text{hằng số}$

Ví dụ:

1. Một con lắc lò xo có $k = 50 \text{ N/m}$, $m = 0.5 \text{ kg}$, dao động với biên độ $A = 4 \text{ cm}$.

Tính cơ năng của con lắc.

Giải: Đổi $A = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$. Cơ năng $W = (1/2)kA^2 = (1/2) * 50 * (0.04)^2 = 0.04 \text{ J}$.

2. Một con lắc lò xo dao động điều hòa. Khi vật có li độ $x = 2 \text{ cm}$ thì động năng bằng 3 lần thế năng. Tìm biên độ dao động.

Giải: Ta có $W_d = 3W_t$. Cơ năng $W = W_d + W_t = 3W_t + W_t = 4W_t$. Suy ra $(1/2)kA^2 = 4 * (1/2)kx^2$. Do đó $A^2 = 4x^2$, suy ra $A = 2|x| = 2 * 2 = 4 \text{ cm}$.

II. Con lắc lò xo nằm ngang

1. Vị trí cân bằng (VTCB)

Ở VTCB, lò xo không bị biến dạng. Gốc tọa độ O thường được chọn trùng với VTCB.

2. Lực đàn hồi và lực phục hồi

Đối với con lắc lò xo nằm ngang, lực đàn hồi chính là lực phục hồi.

- **Công thức:** $F_{đh} = F_{ph} = -kx$
- **Giải thích:** Vì ở VTCB lò xo không biến dạng, nên độ biến dạng của lò xo tại li độ x chính là $|x|$. Do đó, lực đàn hồi và lực phục hồi là một.

Ví dụ:

1. Con lắc lò xo nằm ngang $k = 100 \text{ N/m}$, $m = 1\text{kg}$. Kéo vật lệch khỏi VTCB 5cm rồi thả nhẹ. Lực đàn hồi tác dụng lên vật khi nó qua vị trí có li độ 2cm là bao nhiêu?

Giải: Lực đàn hồi có độ lớn $F_{đh} = k|x| = 100 * |0.02| = 2 \text{ N}$. Lực này hướng về VTCB.

3. Năng lượng

Các công thức năng lượng áp dụng tương tự phần kiến thức chung.

- $W_t = (1/2)kx^2$
- $W_d = (1/2)mv^2$
- $W = (1/2)kA^2$

III. Con lắc lò xo treo thẳng đứng

1. Vị trí cân bằng (VTCB)

Ở VTCB, lò xo bị dãn ra một đoạn Δl_0 để lực đàn hồi cân bằng với trọng lực.

- **Công thức:** $P = F_{đh0} \Leftrightarrow mg = k\Delta l_0$

- Suy ra: $\Delta l_0 = mg/k$

Từ đây, ta có thể tính chu kỳ, tần số theo Δl_0 :

- $\omega = \sqrt{(k/m)} = \sqrt{(g/\Delta l_0)}$
- $T = 2\pi\sqrt{(m/k)} = 2\pi\sqrt{(\Delta l_0/g)}$

Ví dụ:

1. Một lò xo có độ cứng $k = 100 \text{ N/m}$, treo vật $m = 400\text{g}$. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$. Tìm độ dãn của lò xo tại VTCB.

Giải: Đổi $m = 400\text{g} = 0.4 \text{ kg}$. Tại VTCB: $\Delta l_0 = mg/k = (0.4 * 10) / 100 = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$.

2. Một con lắc lò xo treo thẳng đứng dao động với chu kỳ $T = 0.4 \text{ s}$. Lấy $g = \pi^2 \text{ m/s}^2$. Tính độ dãn của lò xo tại VTCB.

Giải: $T = 2\pi\sqrt{(\Delta l_0/g)} \Rightarrow \Delta l_0 = T^2 g / (4\pi^2) = (0.4)^2 * \pi^2 / (4\pi^2) = 0.16 / 4 = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$.

2. Lực đàn hồi và Lực phục hồi

Hai lực này **KHÁC NHAU** đối với con lắc lò xo treo thẳng đứng. Gốc tọa độ O ở VTCB, chiều dương hướng xuống.

- **Lực phục hồi:** $F_{ph} = -kx$. Luôn hướng về VTCB (điểm O).
- **Lực đàn hồi:** $F_{đh} = -k(\Delta l_0 + x)$. Luôn hướng về vị trí lò xo không biến dạng (điểm I).

Độ lớn lực đàn hồi:

- **Lực đàn hồi cực đại (ở vị trí thấp nhất):** $F_{đh_max} = k(\Delta l_0 + A)$

- **Lực đàn hồi cực tiểu (ở vị trí cao nhất):**

- Nếu $A \leq \Delta l_0$: Vật luôn ở dưới vị trí không biến dạng. $F_{đh_min} = k(\Delta l_0 - A)$.
- Nếu $A > \Delta l_0$: Vật đi qua vị trí không biến dạng. Lực đàn hồi nhỏ nhất bằng 0 khi vật ở vị trí lò xo không biến dạng ($x = -\Delta l_0$). $F_{đh_min} = 0$.

Ví dụ:

1. Con lắc lò xo treo thẳng đứng có $k = 100 \text{ N/m}$, $m = 250\text{g}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$. Kích thích cho vật dao động với biên độ $A = 4 \text{ cm}$. Tìm $F_{đh_max}$ và $F_{đh_min}$.

Giải: $\Delta l_0 = mg/k = (0.25 \cdot 10) / 100 = 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ cm}$.

Vì $A = 4 \text{ cm} > \Delta l_0 = 2.5 \text{ cm}$.

$$F_{đh_max} = k(\Delta l_0 + A) = 100 \cdot (0.025 + 0.04) = 6.5 \text{ N}.$$

$$F_{đh_min} = 0 \text{ (vì vật đi qua vị trí lò xo không biến dạng)}.$$

2. Với con lắc trên, nếu biên độ dao động là $A = 2 \text{ cm}$. Tìm $F_{đh_max}$ và $F_{đh_min}$.

Giải: $\Delta l_0 = 2.5 \text{ cm}$.

Vì $A = 2 \text{ cm} < \Delta l_0 = 2.5 \text{ cm}$.

$$F_{đh_max} = k(\Delta l_0 + A) = 100 \cdot (0.025 + 0.02) = 4.5 \text{ N}.$$

$$F_{đh_min} = k(\Delta l_0 - A) = 100 \cdot (0.025 - 0.02) = 0.5 \text{ N}.$$

3. Chiều dài lò xo

Gọi l_0 là chiều dài tự nhiên của lò xo.

- **Chiều dài tại VTCB:** $l_{cb} = l_0 + \Delta l_0$

- **Chiều dài cực đại (ở biên dưới):** $l_{max} = l_{cb} + A = l_0 + \Delta l_0 + A$

- **Chiều dài cực tiểu (ở biên trên):** $l_{\min} = l_{\text{cb}} - A = l_0 + \Delta l_0 - A$

Ví dụ:

1. Một con lắc lò xo treo thẳng đứng có chiều dài tự nhiên $l_0 = 30$ cm. Tại VTCB, lò xo dài 34 cm. Kích thích dao động với biên độ $A = 6$ cm. Tìm $l_{\max}$ và $l_{\min}$.

Giải: $\Delta l_0 = l_{\text{cb}} - l_0 = 34 - 30 = 4$ cm.

$$l_{\max} = l_{\text{cb}} + A = 34 + 6 = 40 \text{ cm.}$$

$$l_{\min} = l_{\text{cb}} - A = 34 - 6 = 28 \text{ cm.}$$

4. Năng lượng

Nếu chọn gốc thế năng tại VTCB, các công thức năng lượng vẫn giống như con lắc lò xo nằm ngang.

- $W_t = (1/2)kx^2$ (Thế năng này bao gồm cả thế năng đàn hồi và thế năng trọng trường so với mốc tại VTCB)
- $W_d = (1/2)mv^2$
- $W = (1/2)kA^2 = (1/2)m\omega^2 A^2$

IV. Bảng so sánh con lắc lò xo nằm ngang và treo thẳng đứng

Tiêu chí	Con lắc lò xo nằm ngang	Con lắc lò xo treo thẳng đứng
Vị trí cân bằng (VTCB)	Lò xo không biến dạng.	Lò xo dãn một đoạn $\Delta l_0 = mg/k$.
Lực phục hồi	$F_{ph} = -kx$	$F_{ph} = -kx$
Lực đàn hồi	$F_{đh} = -kx$ (trùng với lực phục hồi).	$F_{đh} = -k(\Delta l_0 + x)$ (khác lực phục hồi).
Chu kỳ, Tần số	$T = 2\pi\sqrt{m/k}$	$T = 2\pi\sqrt{m/k} = 2\pi\sqrt{(\Delta l_0/g)}$
Năng lượng (gốc thế năng tại VTCB)	$W = (1/2)kx^2 + (1/2)mv^2 = (1/2)kA^2$	$W = (1/2)kx^2 + (1/2)mv^2 = (1/2)kA^2$

V. Các lưu ý quan trọng

- **Lực nén, lực kéo:** Đối với con lắc lò xo treo thẳng đứng, khi vật ở phía trên vị trí lò xo không biến dạng ($x < -\Delta l_0$), lò xo bị nén. Khi vật ở phía dưới vị trí này ($x > -\Delta l_0$), lò xo bị dãn.
- **Thời gian lò xo nén/dãn trong một chu kỳ:** Đây là dạng bài tập nâng cao liên quan đến đường tròn lượng giác, thường xuất hiện khi $A > \Delta l_0$.
- **Cắt/Ghép lò xo:**

- **Ghép nối tiếp:** $1/k_{nt} = 1/k_1 + 1/k_2$
- **Ghép song song:** $k_{ss} = k_1 + k_2$
- Luôn phân biệt rõ ràng giữa **li độ x** (tính từ VTCB) và **độ biến dạng của lò xo Δl** (tính từ vị trí không biến dạng).

VIDOCU.COM