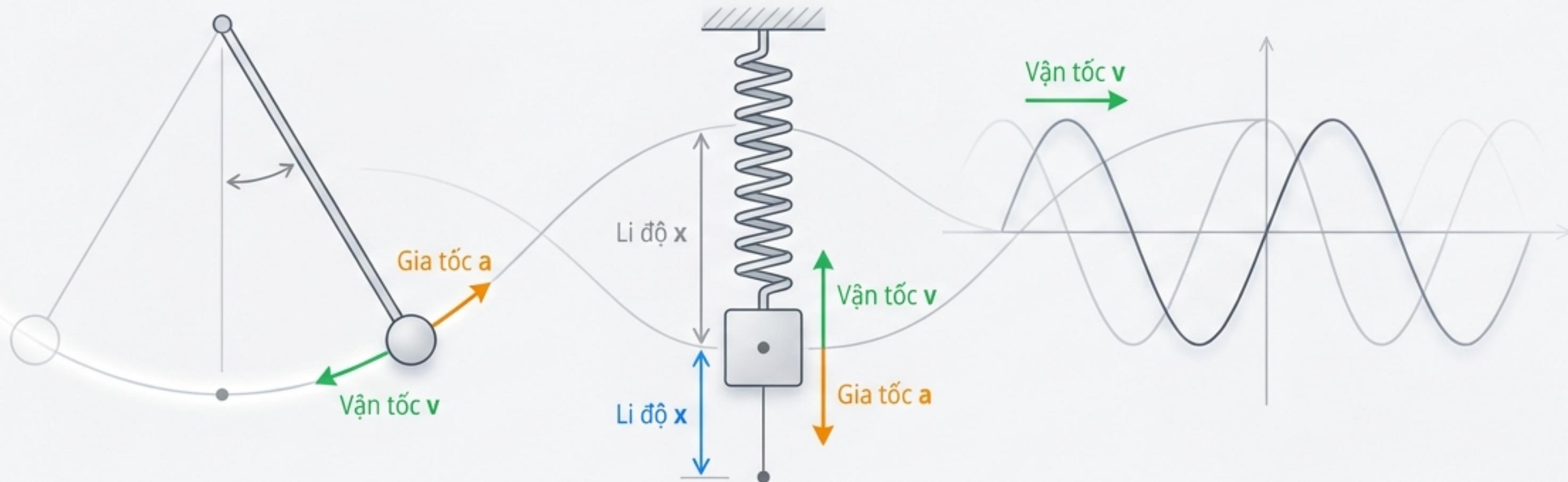


Giải Mã Chuyển Động Điều Hòa

Từ Phương Trình Đến Bản Chất Vật Lý



Giới thiệu rằng dao động điều hòa là một trong những chuyển động quan trọng và phổ biến nhất trong tự nhiên và kỹ thuật. Slide này đặt ra câu hỏi trung tâm: Làm thế nào chúng ta có thể mô tả chính xác trạng thái (vị trí, vận tốc, gia tốc) của một vật dao động tại mọi thời điểm? Chúng ta sẽ xây dựng một bộ công cụ toán học để trả lời câu hỏi này, bắt đầu từ nền tảng cơ bản nhất.

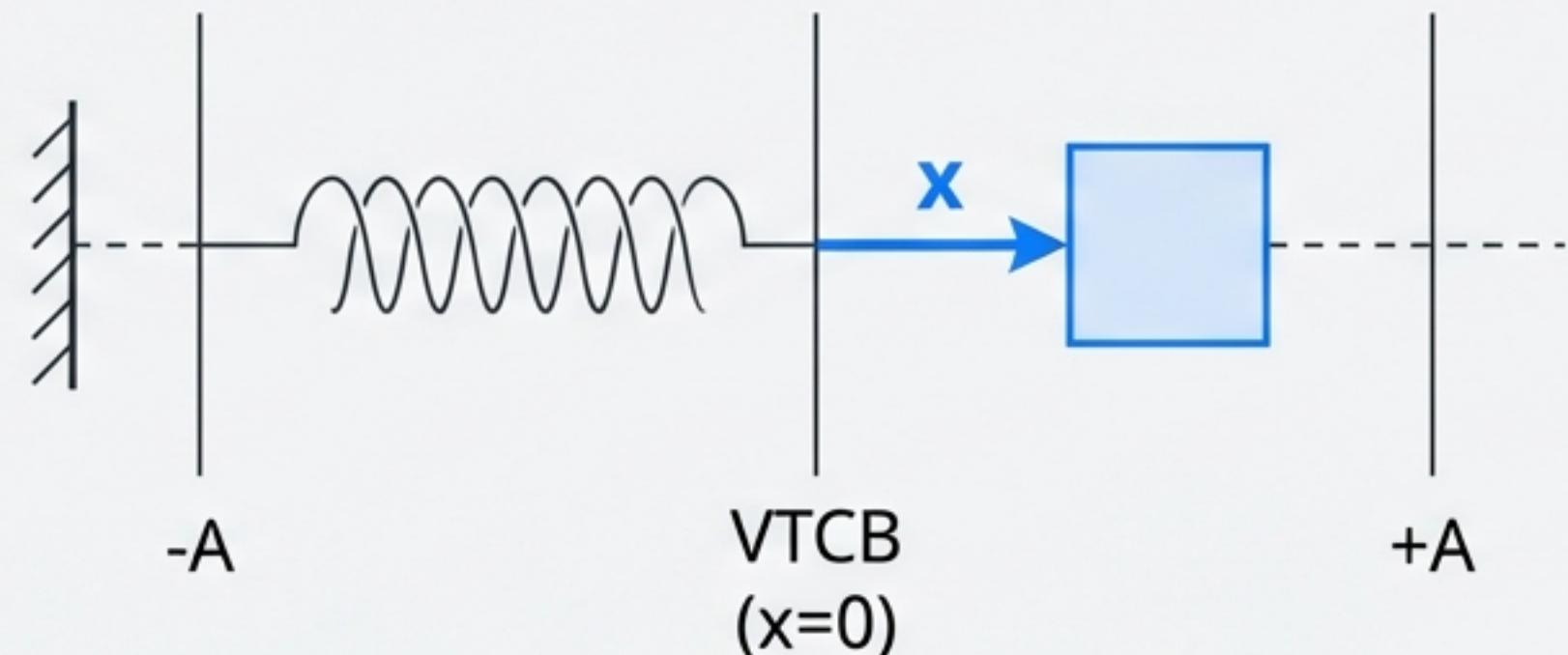
Điểm Xuất Phát: Xác Định Vị Trí Của Vật (Li độ)

Để mô tả chuyển động, trước hết ta cần biết vị trí của vật. Trong dao động điều hòa, vị trí này được gọi là **li độ (x)**: tọa độ của vật so với vị trí cân bằng.

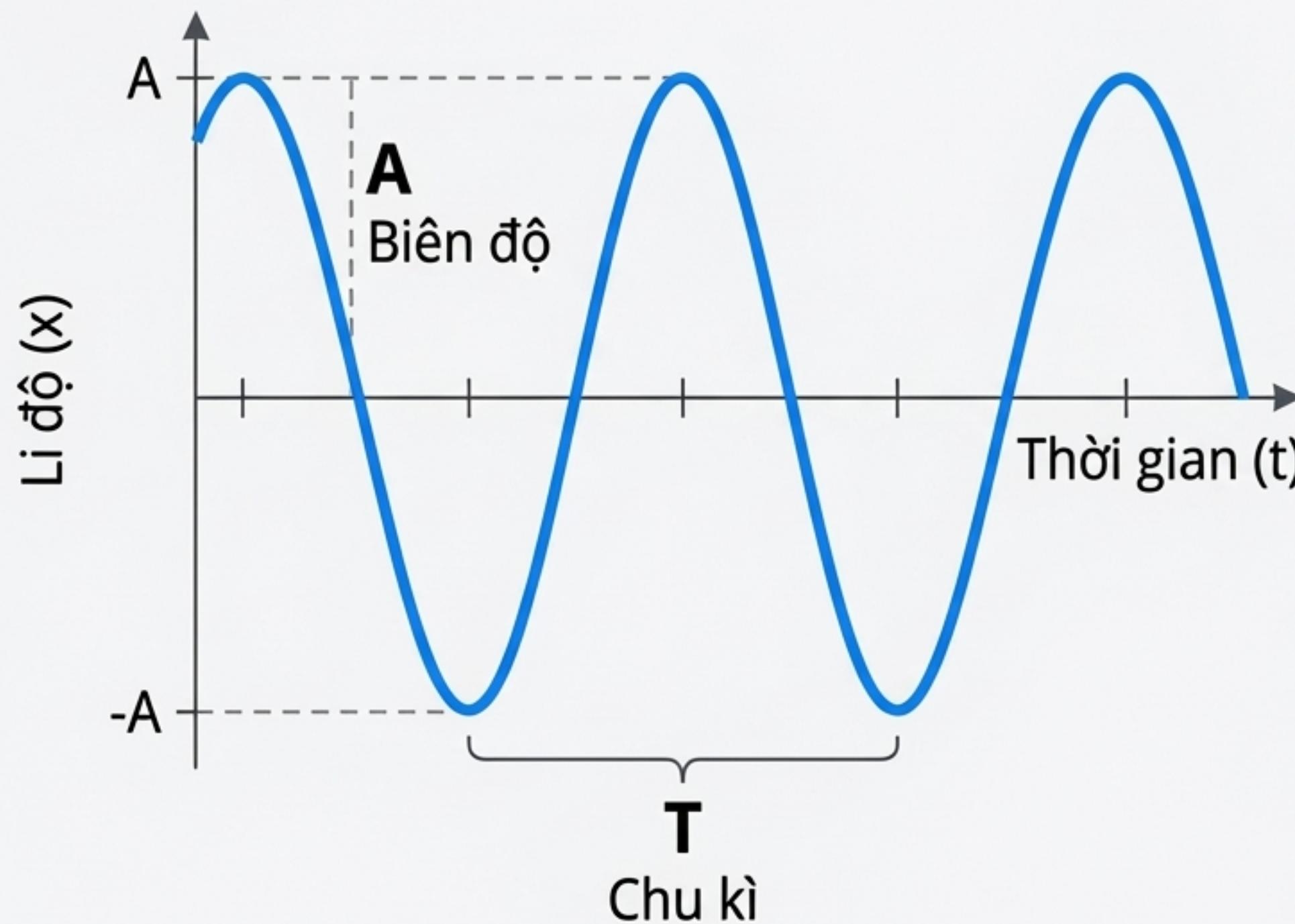
Phương trình li độ theo thời gian có dạng:

- **x**: Li độ (m) - vị trí tức thời của vật.
- **A**: Biên độ (m) - li độ cực đại, giới hạn không gian của chuyển động.
- **ω**: Tần số góc (rad/s) - tốc độ biến thiên của pha dao động.
- **φ = (wt + φ₀)**: Pha dao động (rad) - xác định trạng thái dao động tại thời điểm t.
- **φ₀**: Pha ban đầu (rad) - xác định trạng thái dao động tại thời điểm t = 0.

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$



Hình Dạng Của Chuyển Động: Đồ Thị Li Độ Theo Thời Gian



Phương trình $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ cho thấy li độ biến thiên tuần hoàn theo thời gian.

Khi biểu diễn trên đồ thị, ta thu được một đường hình sin. Đây là đặc trưng nhận dạng của dao động điều hòa.

Li độ (x) là độ dịch chuyển từ vị trí cân bằng.

Độ dịch chuyển (d) so với vị trí ban đầu cũng biến thiên điều hòa cùng biên độ, chu kì và pha với li độ.

Tốc Độ Biến Thiêng: Vận Tốc Tức Thời (v)

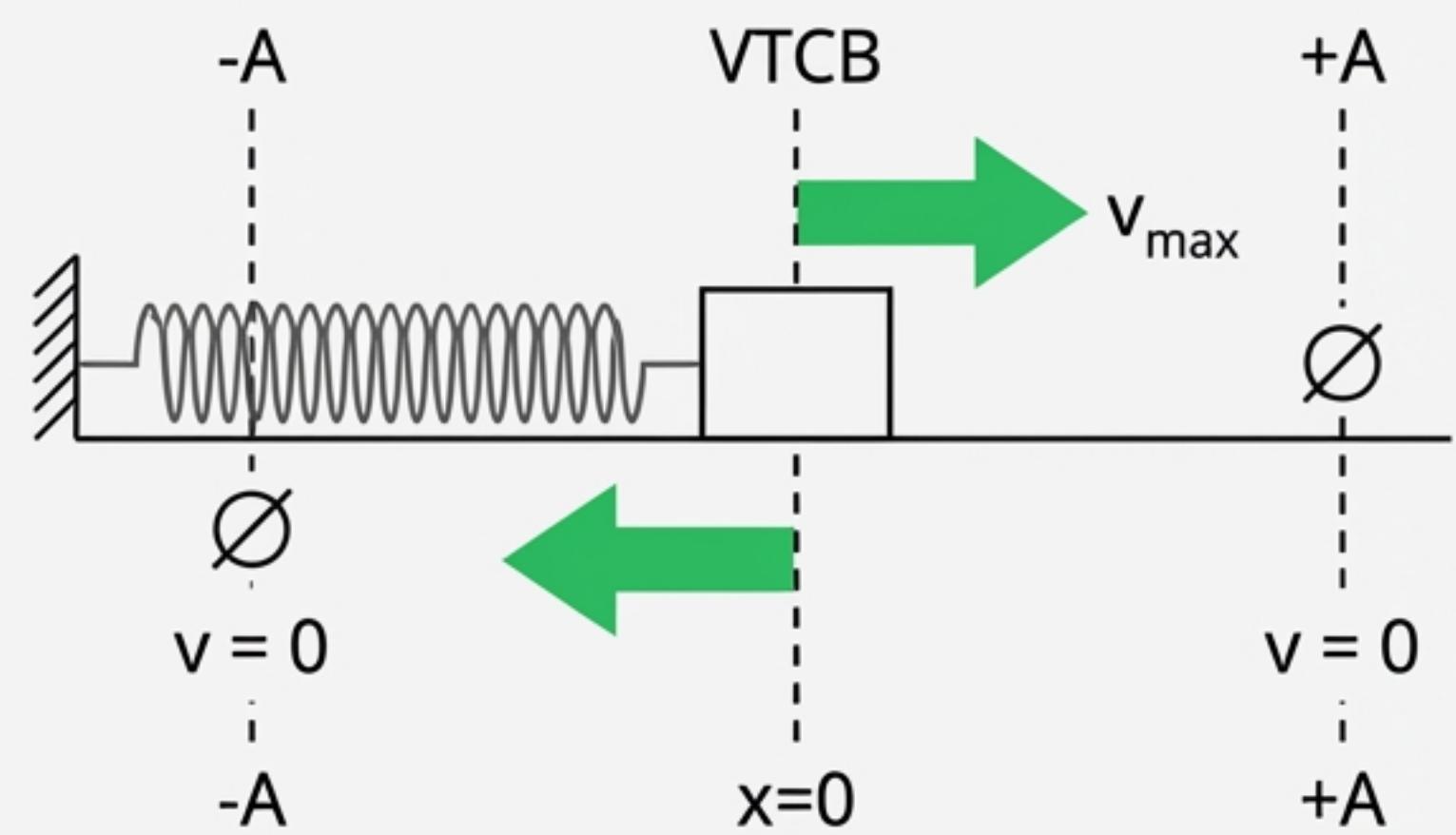
$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0) = \omega A \cos(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2})$$

Vận tốc cho biết sự thay đổi vị trí nhanh hay chậm và theo chiều nào. Vận tốc là đạo hàm của li độ theo thời gian.

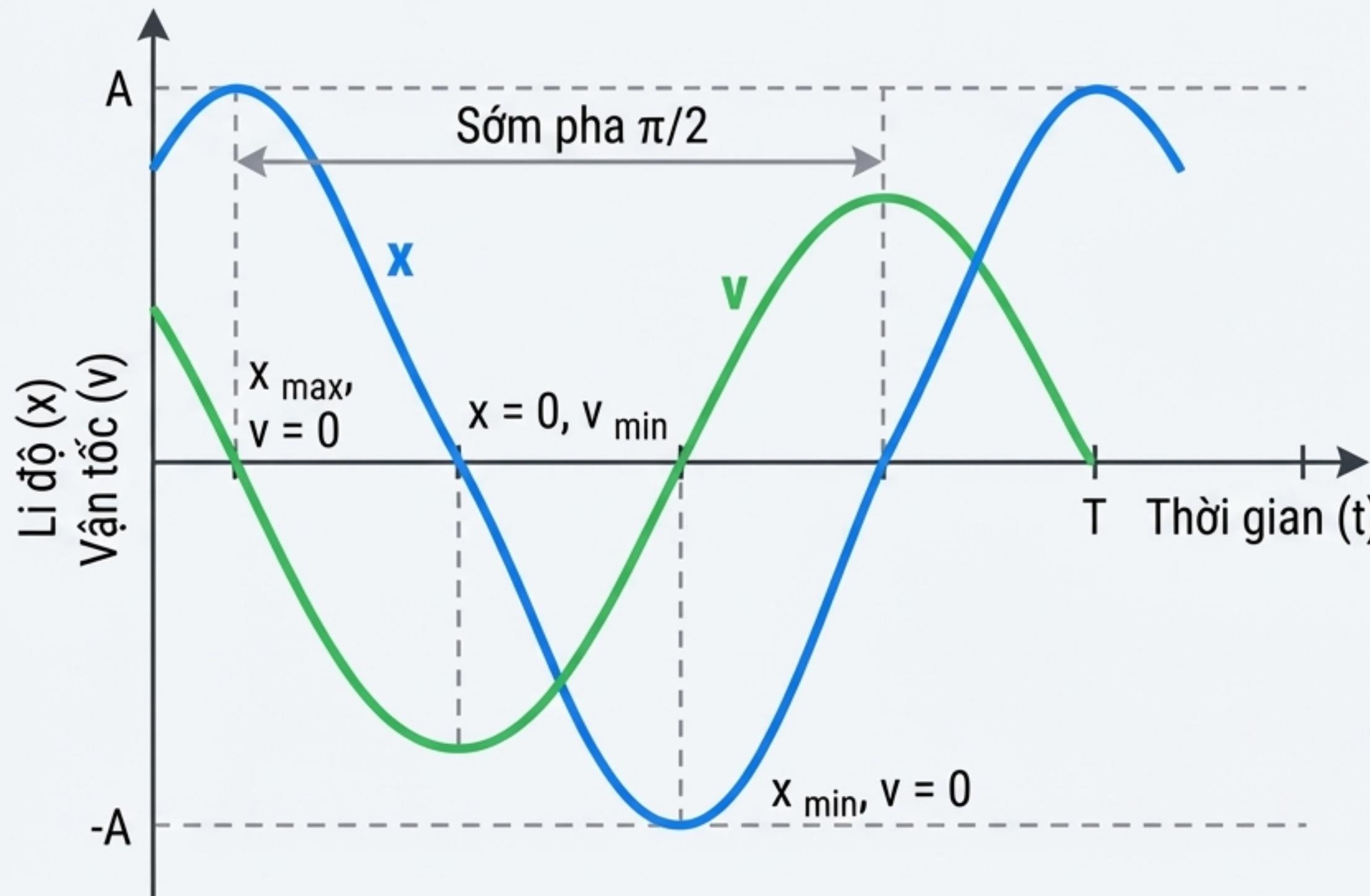
Vận tốc của vật dao động điều hòa cũng **biến đổi điều hòa** theo thời gian với cùng chu kỳ T (và tần số f) như li độ.

Tốc độ cực đại: Vật chuyển động nhanh nhất khi đi qua vị trí cân bằng ($x=0$), với tốc độ $v_{max} = \omega A$.

Vận tốc bằng không: Vật dừng lại tức thời ở hai biên ($x = \pm A$) để đổi chiều chuyển động.



Mối Quan Hệ Lệch Pha: Vận Tốc Luôn "Vượt Trước" Li Độ



So sánh hai phương trình:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

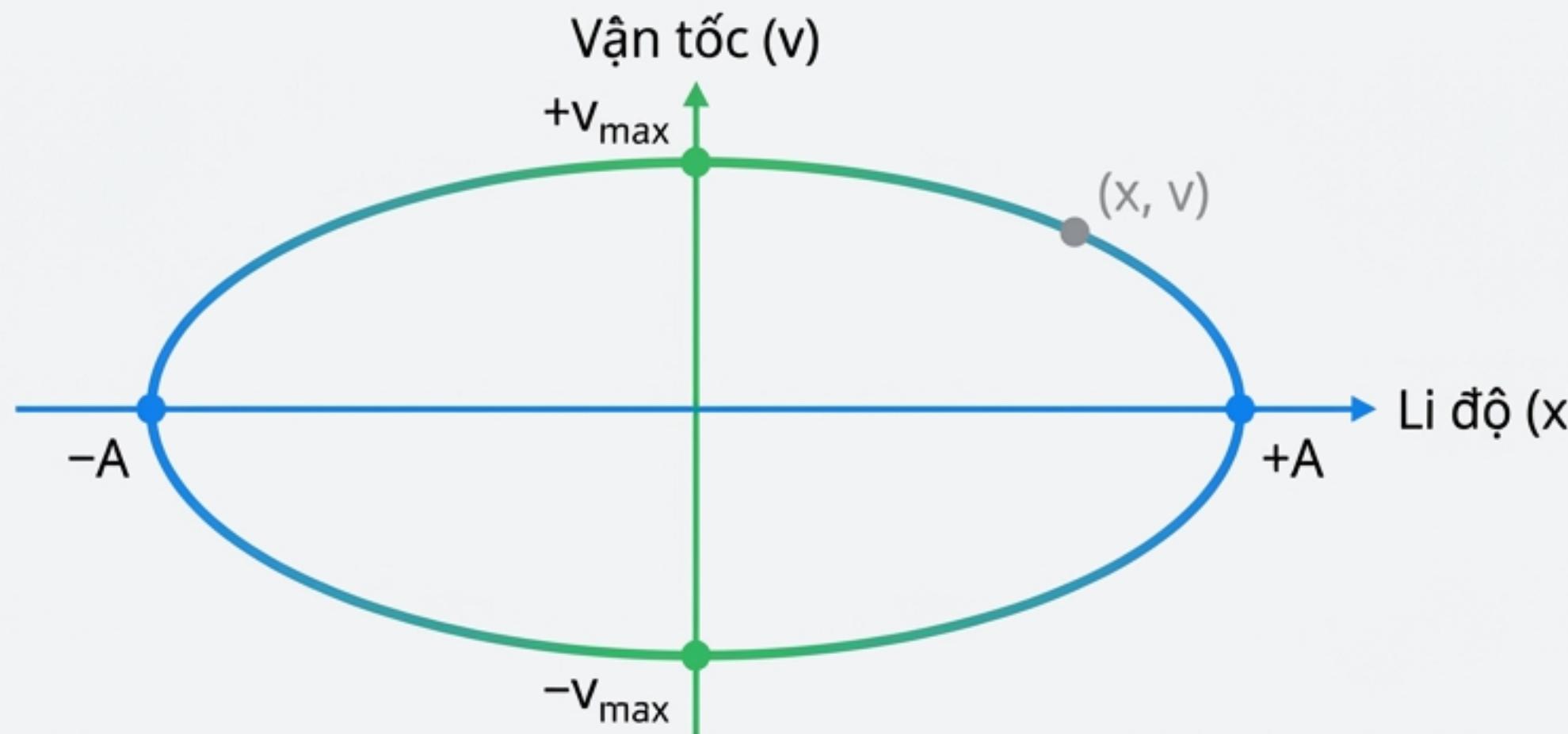
$$v = \omega A \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)$$

Pha của vận tốc luôn lớn hơn pha của li độ một góc $\pi/2$. Ta nói:
Vận tốc sớm pha $\pi/2$ so với li độ.

Ý nghĩa vật lý:

- * Khi vật ở biên (li độ cực đại, $|x| = A$), vận tốc bằng 0.
- * Khi vật ở vị trí cân bằng (li độ bằng 0, $x = 0$), tốc độ đạt cực đại (v_{\max}).

Bức Chân Dung Động Lực Học: Đồ Thị Liên Hệ v-x



Ta có thể liên hệ trực tiếp giữa v và x mà không cần biến thời gian t . Mỗi liên hệ này được gọi là công thức độc lập với thời gian:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{(\omega A)^2} = 1; \frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{v_{\max}^2} = 1$$

Đây là phương trình của một **đường ellipse**.

Đồ thị này cho thấy tại mỗi vị trí x , vật sẽ có một vận tốc v tương ứng, thể hiện một cách trọn vẹn trạng thái của hệ dao động.

Nguồn Gốc Của Sự Biến Đổi: Gia Tốc Tức Thời (a)

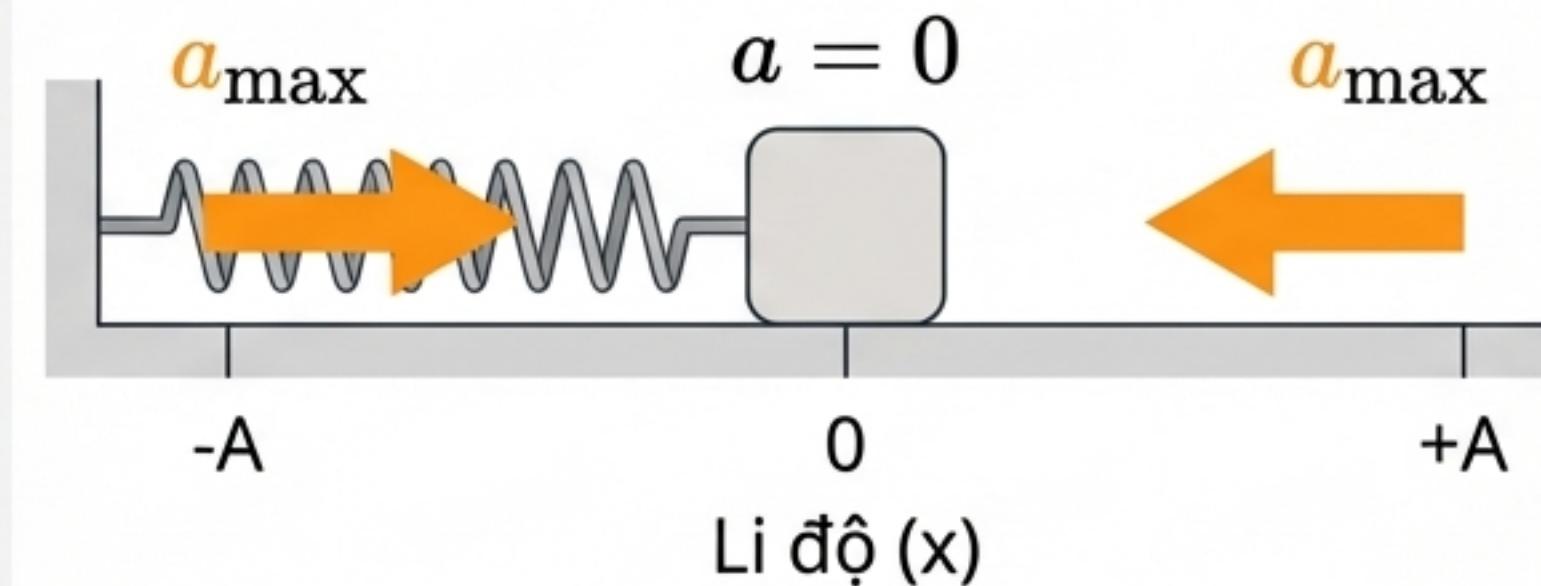
$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = -\omega^2 x$$

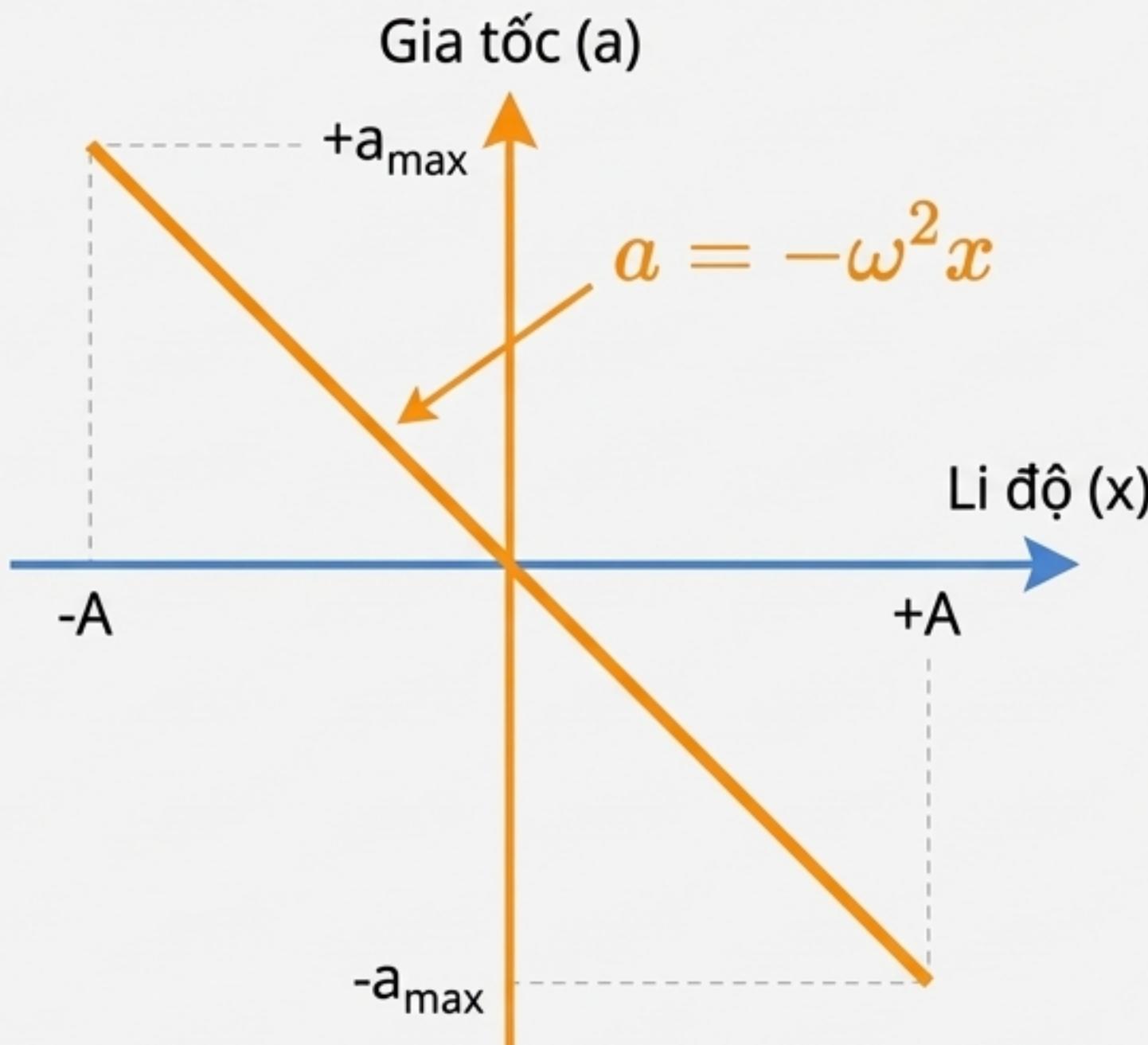
Gia tốc mô tả sự thay đổi của vận tốc. Gia tốc là đạo hàm của vận tốc theo thời gian.

Giống như li độ và vận tốc, gia tốc cũng **biến đổi điều hòa** theo thời gian với cùng chu kì T.

Phương trình gia tốc cho thấy một mối liên hệ cực kỳ quan trọng với li độ.



Định Luật Của Dao Động: Gia Tốc Luôn Hướng Về Vị Trí Cân Bằng



Mỗi liên hệ $a = -\omega^2 x$ là định nghĩa toán học của dao động điều hòa.

Dấu "-" chỉ ra rằng véc-tơ gia tốc **luôn ngược chiều** với véc-tơ li độ, tức là luôn hướng về vị trí cân bằng ($x=0$). Đây là nguyên nhân khiến vật luôn bị 'kéo' về trung tâm.

Độ lớn gia tốc cực đại: $a_{max} = \omega^2 A$ tại hai vị trí biên ($x = \pm A$).

Đồ thị liên hệ $a-x$ là một **đoạn thẳng đi qua gốc tọa độ** với hệ số góc là $-\omega^2$.

Điều kiện để vật dao động điều hòa: Lực tác dụng lên vật phải luôn hướng về vị trí cân bằng và có độ lớn tỉ lệ với li độ.

Bức Tranh Toàn Cảnh: Sự Dịch Chuyển Pha Của x , v , a



Khi đặt ba đồ thị trên cùng một trục thời gian, ta thấy rõ mối quan hệ lệch pha giữa chúng:

- Vận tốc (v) sớm pha $\pi/2$ so với li độ (x).
- Gia tốc (a) sớm pha $\pi/2$ so với vận tốc (v).
- Gia tốc (a) và li độ (x) ngược pha (lệch pha π).

Bảng Tổng Hợp Động Học Dao Động Điều Hòa

Đại lượng	Phương trình	Giá trị cực đại	Mối quan hệ pha
 Li độ (x)	$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$	$x_{\max} = A$	(Gốc)
 Vận tốc (v)	$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$	$v_{\max} = \omega A$	Sớm pha $\pi/2$ so với x
 Gia tốc (a)	$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0)$	$a_{\max} = \omega^2 A$	Ngược pha (π) với x

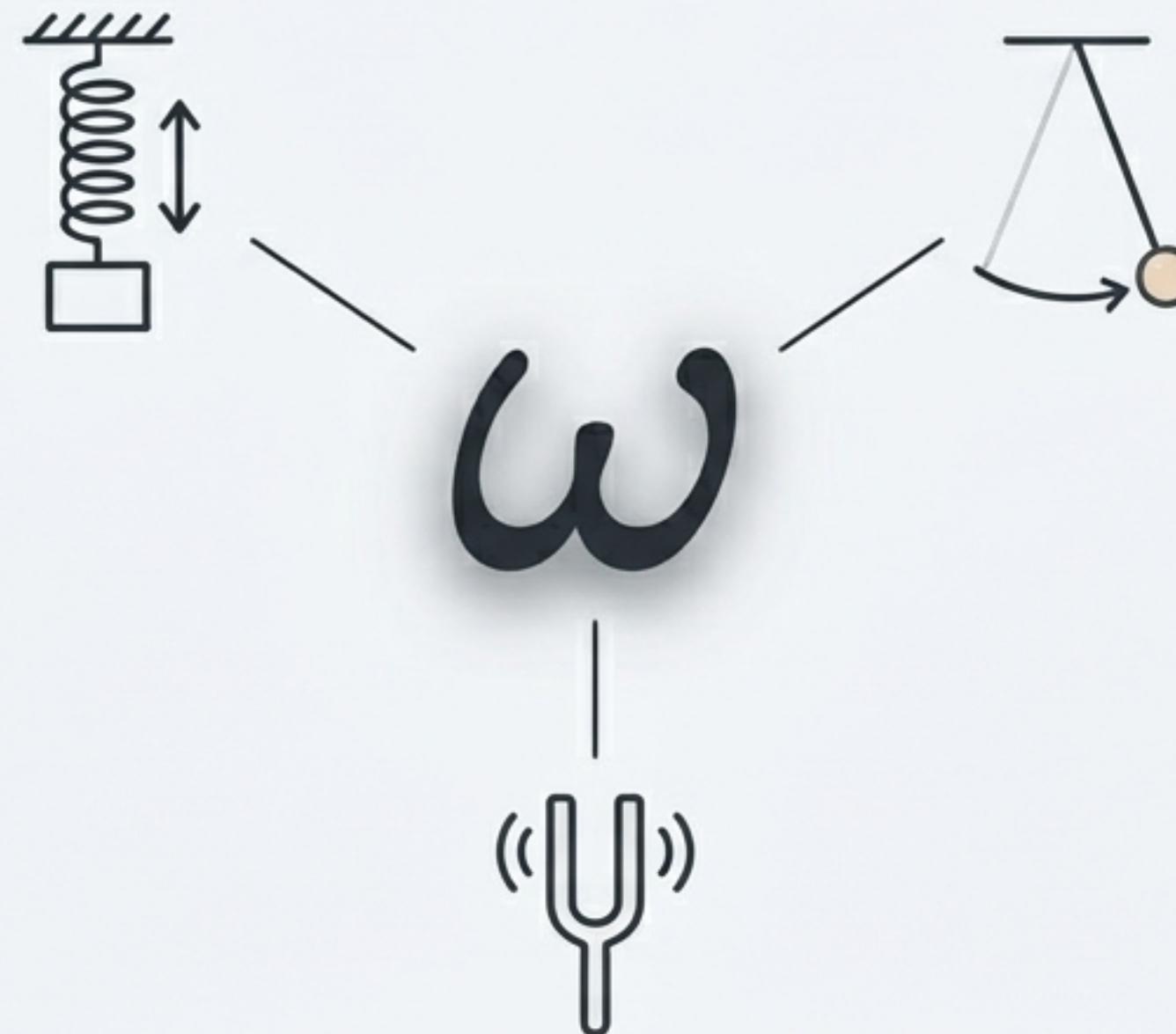
Công thức độc lập:

- $A^2 = x^2 + (v/\omega)^2$
- $a = -\omega^2 x$

‘Nhịp Tim’ Của Hệ: Tần Số Góc (ω) Phụ Thuộc Vào Cái Gì?

Chúng ta đã thấy ω xuất hiện trong mọi phương trình.

Nhưng nó đến từ đâu?



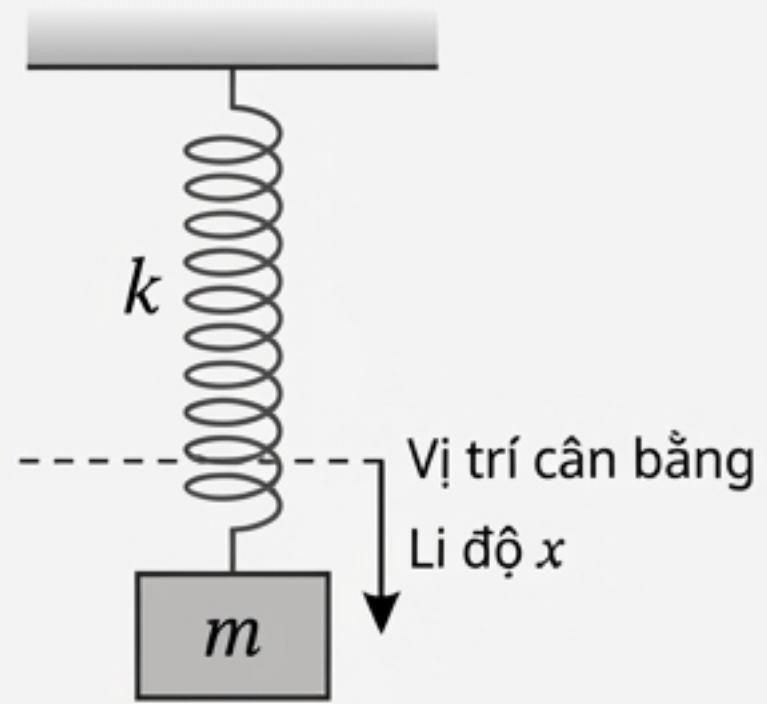
Giá trị của ω phụ thuộc vào các yếu tố cấu thành nên hệ.

Tần số góc ω không phải là một giá trị tùy ý.

Nó là một **đặc tính vật vật lý** của chính hệ dao động, quyết định tốc độ dao động nhanh hay chậm.

Hai Hệ Dao Động Kinh Điển: Con Lắc Lò Xo và Con Lắc Đơn

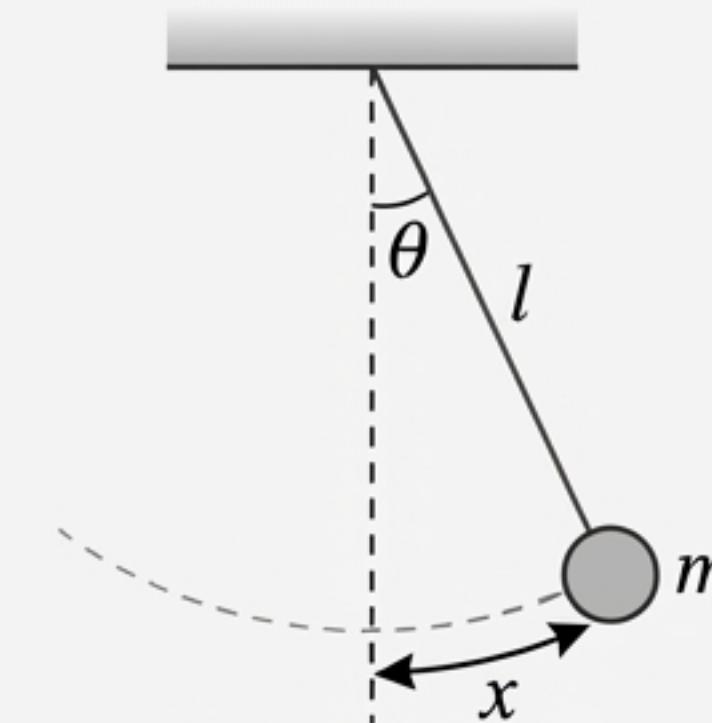
Con lắc lò xo



Một vật khối lượng m gắn vào lò xo có độ cứng k .
Lực kéo về: $F = -kx$. Lực này tỉ lệ với li độ x ,
thỏa mãn điều kiện dao động điều hòa.
Tần số góc:

$$\omega = \sqrt{k/m}$$

Con lắc đơn



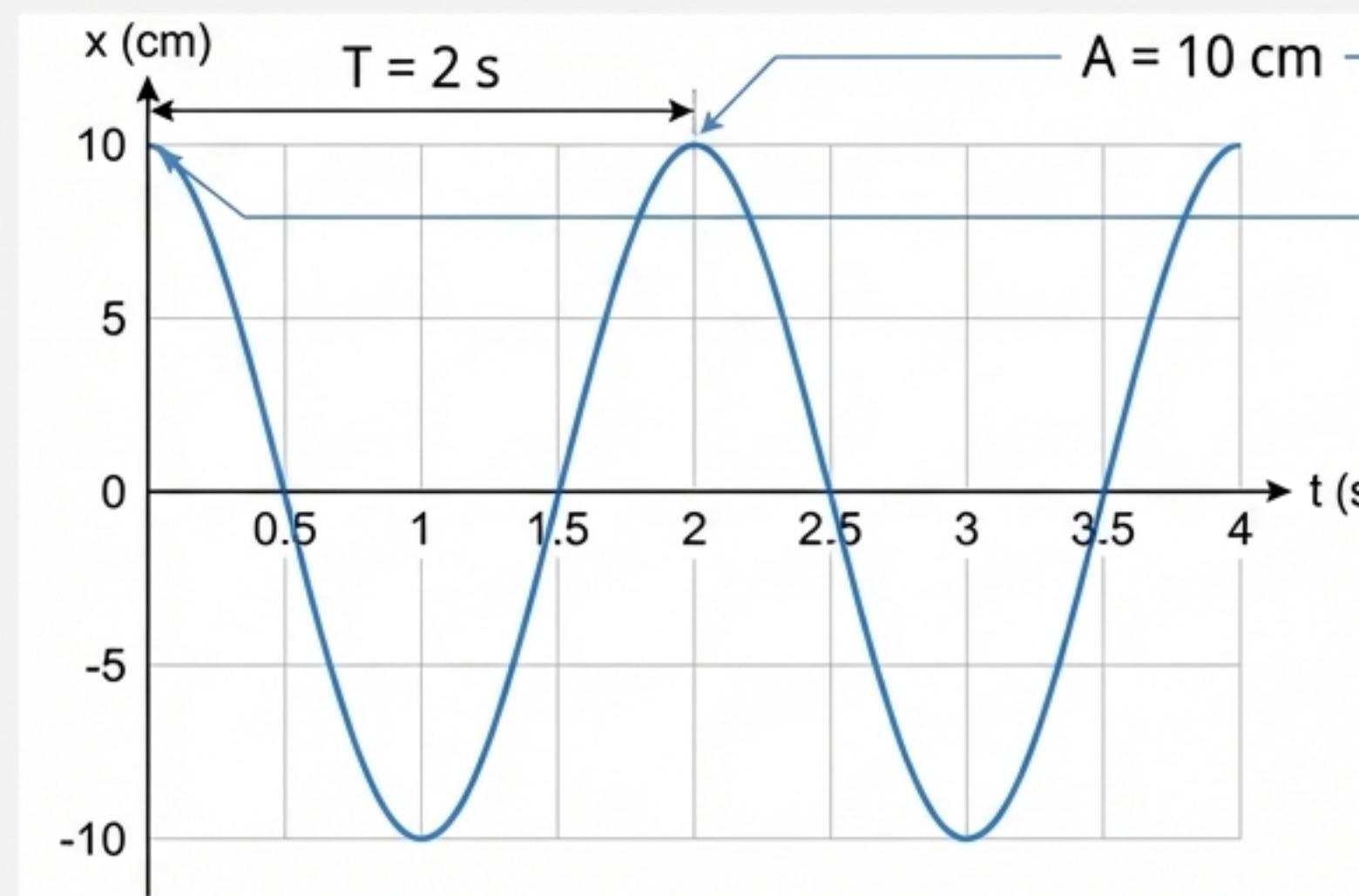
Một vật khối lượng m treo trên sợi dây dài l .
Với góc lệch nhỏ, thành phần lực kéo về xấp xỉ
tỉ lệ với li độ.
Tần số góc:

$$\omega = \sqrt{g/l}$$

Từ Đồ Thị Đến Phương Trình: Một Ví Dụ Thực Tế

Bài toán

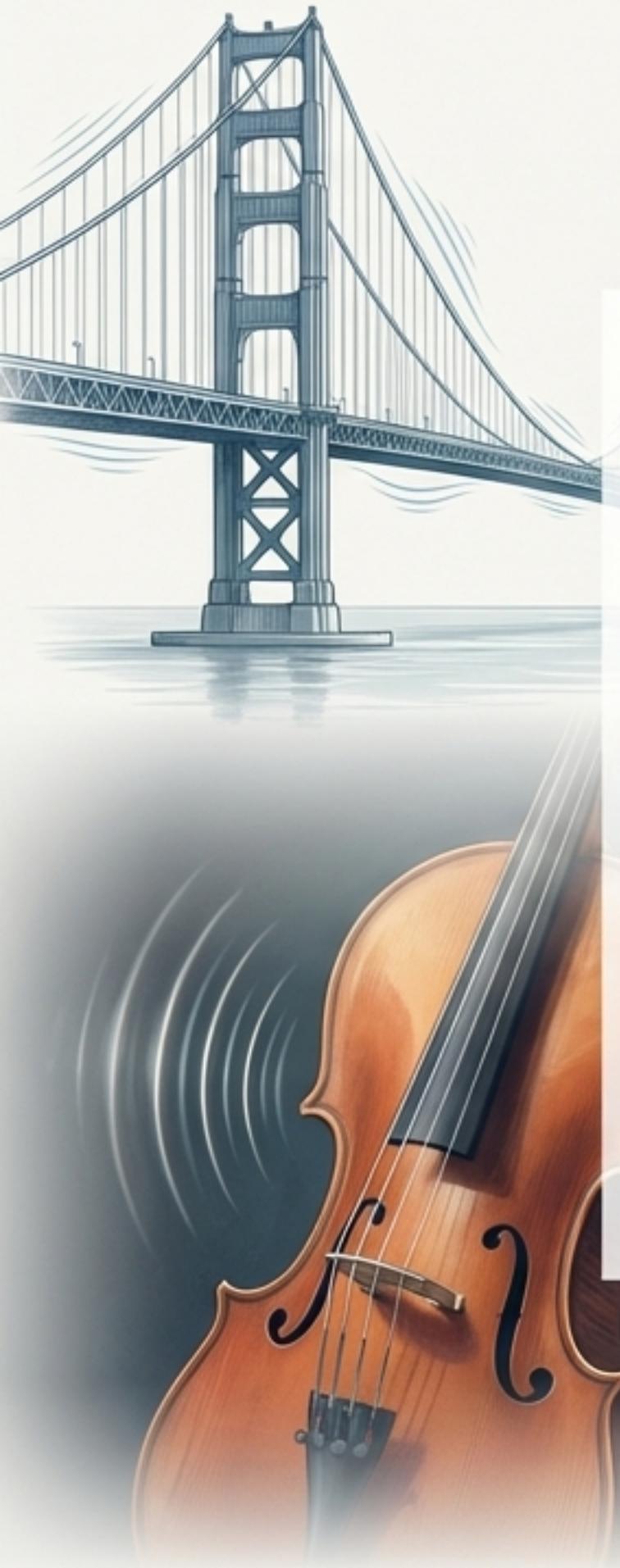
Cho đồ thị lì độ - thời gian của một vật dao động điều hòa. Hãy xác định các đại lượng và viết phương trình dao động.



Các bước phân tích

- Xác định Biên độ (A):** Đọc giá trị lì độ cực đại trên đồ thị.
- Xác định Chu kì (T):** Đo khoảng thời gian giữa hai đỉnh sóng liên tiếp.
- Tính Tần số góc (ω):** Sử dụng công thức $\omega = 2\pi/T$.
$$\omega = 2\pi/2 = \pi \text{ rad/s}$$
- Xác định Pha ban đầu (φ_0):** Dựa vào trạng thái của vật tại $t=0$.
Tại $t = 0, x = A \Rightarrow \cos(\varphi_0) = 1 \Rightarrow \varphi_0 = 0$
- Viết phương trình hoàn chỉnh:** Thay các giá trị A , ω , φ_0 vào phương trình $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$.

$$x = 10 \cos(\pi t) \text{ (cm)}$$



$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Ngôn Ngữ Của Rung Động: Một Bộ Phương Trình Mô Tả Vận Vật

Ba phương trình của li độ, vận tốc, và gia tốc không chỉ là công thức. Chúng tạo thành một hệ thống ngôn ngữ hoàn chỉnh để mô tả và dự đoán bất kỳ dao động điều hòa nào. Từ chuyển động của một chiếc xích đu, sự rung động của dây đàn, đến dao động của các nguyên tử trong mạng tinh thể, tất cả đều tuân theo những quy luật luật động học thanh lịch này. Hiểu rõ các phương trình này là nắm được chìa khóa để phân tích nền tảng của sóng và nhiều hiện tượng vật lý quan trọng khác.

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = -\omega^2 x$$

