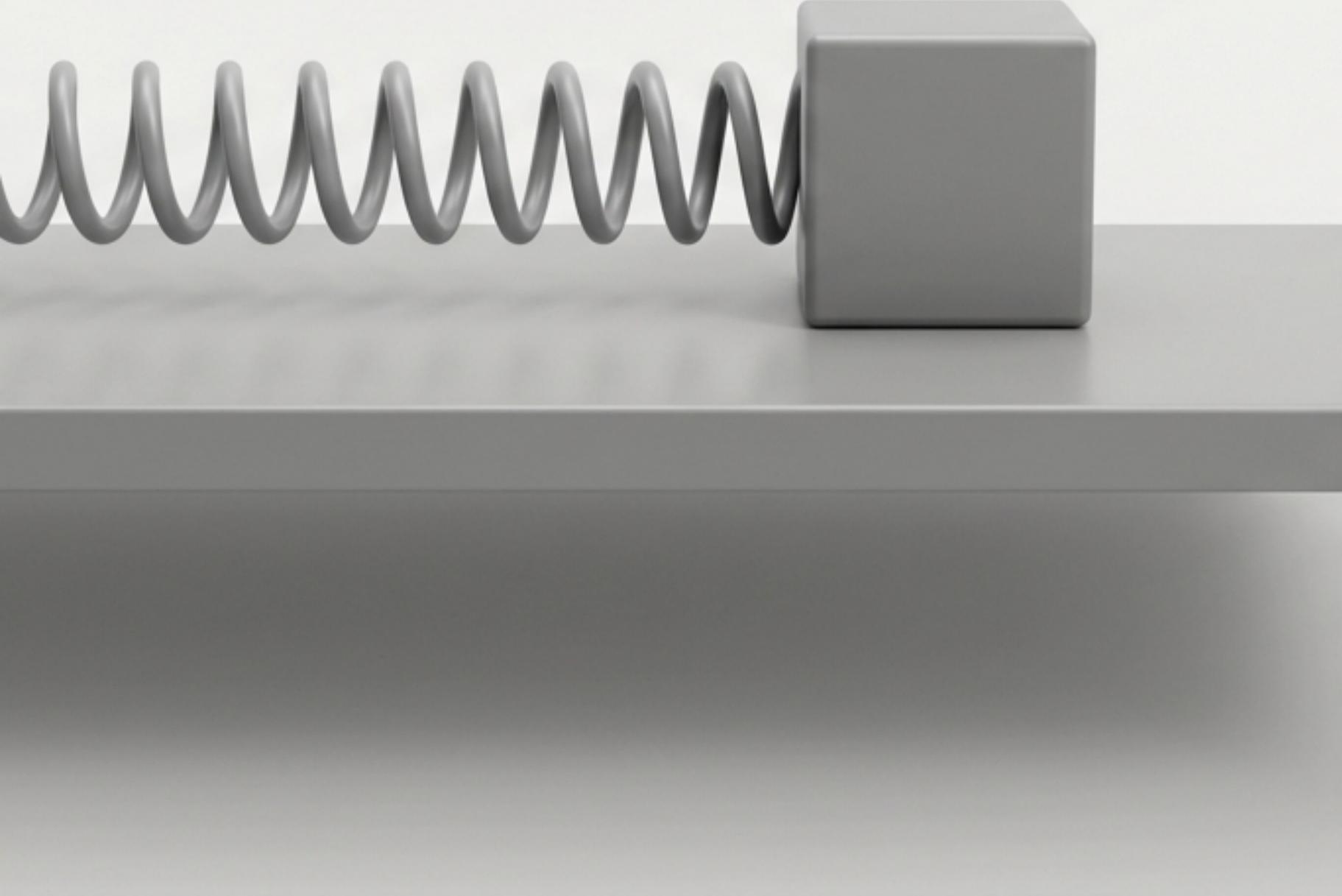




# Vũ Điệu Năng Lượng

Sự Bất Biến trong Biến Đổi của Dao Động Điều Hoà

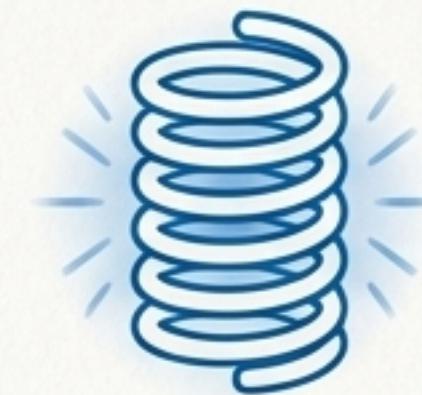


# Điều gì “nuôi dưỡng” một dao động không bao giờ tắt?

Mọi dao động điều hoà, trong mô hình lý tưởng, là một chuyển động lặp lại mãi mãi. Một vật liên tục di chuyển qua lại quanh một vị trí cân bằng. Nhưng điều gì duy trì chuyển động tuần hoàn này? Câu trả lời nằm ở một sự chuyển đổi năng lượng vô hình và liên tục.

# Bên trong mỗi dao động là một vũ điệu của hai dạng năng lượng.

## Thế năng (W<sub>t</sub>)



Năng lượng được 'lưu trữ' do vị trí của vật. Nó gắn liền với khả năng sinh công khi vật trở về vị trí cân bằng.

## Động năng (W<sub>d</sub>)



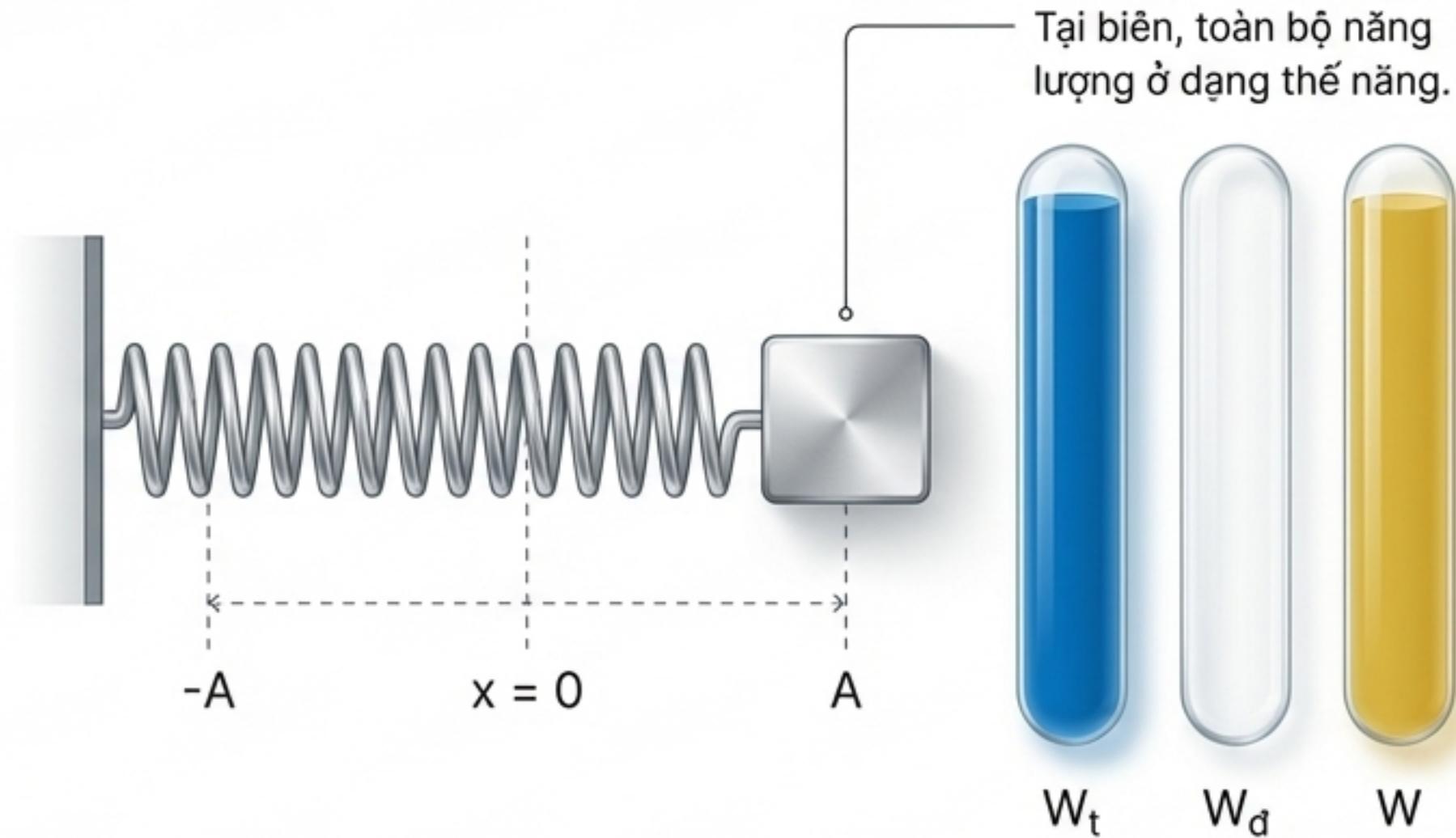
Năng lượng của chuyển động. Nó gắn liền với vận tốc của vật.

# Năng lượng được "lưu trữ" ở đâu?

Thể năng của hệ phụ thuộc vào lì độ ( $x$ ). Nó đạt giá trị cực đại khi vật ở hai biên (vị trí có lì độ lớn nhất) và bằng không tại vị trí cân bằng.

$$W_t = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$$

Energy Dashboard



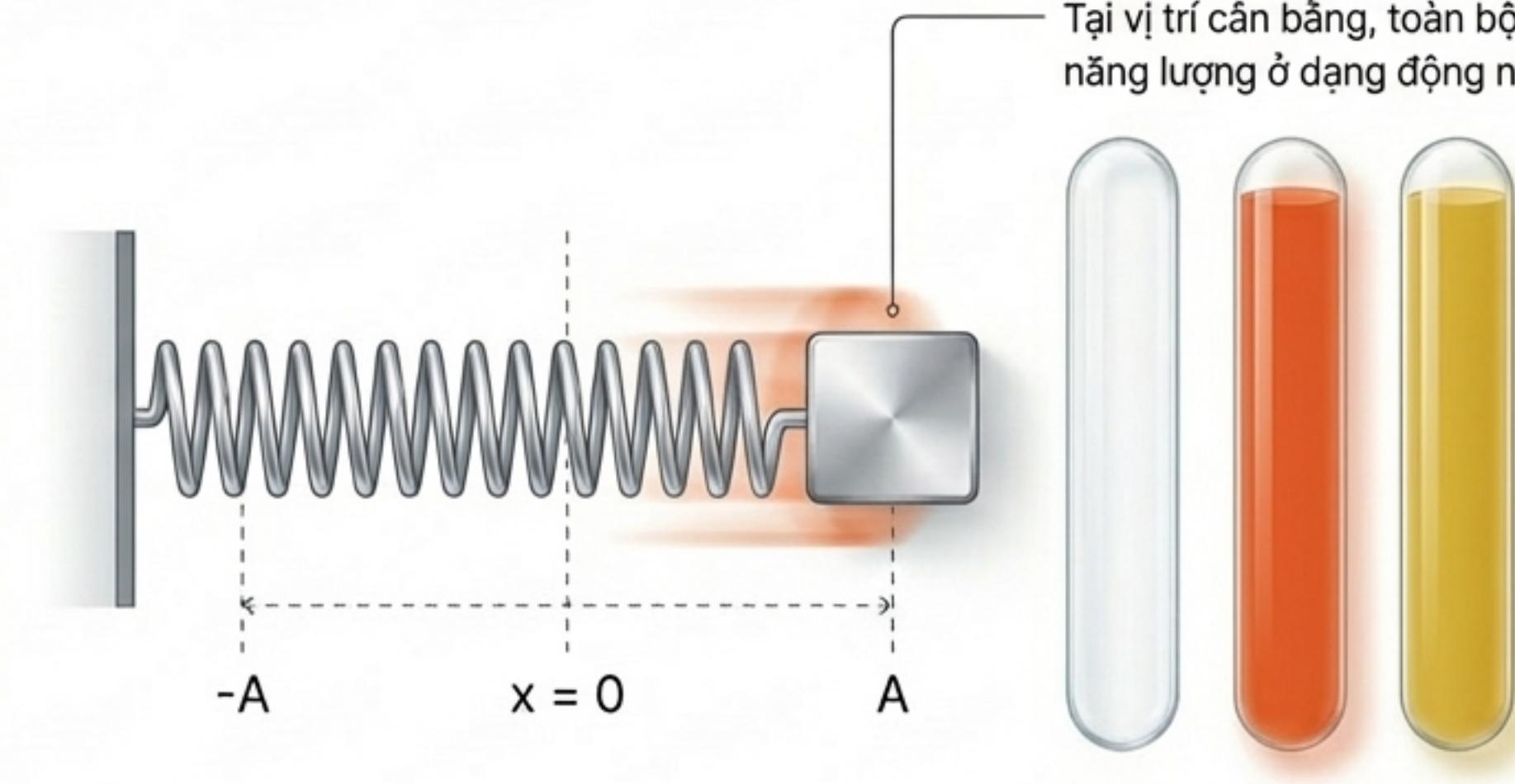
# Năng lượng của chuyển động đến từ đâu?

Động năng của vật phụ thuộc vào vận tốc ( $v$ ). Nó bằng không khi vật ở hai biên (nơi vật dừng lại để đổi chiều) và đạt giá trị cực đại khi vật đi qua vị trí cân bằng với tốc độ nhanh nhất.

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

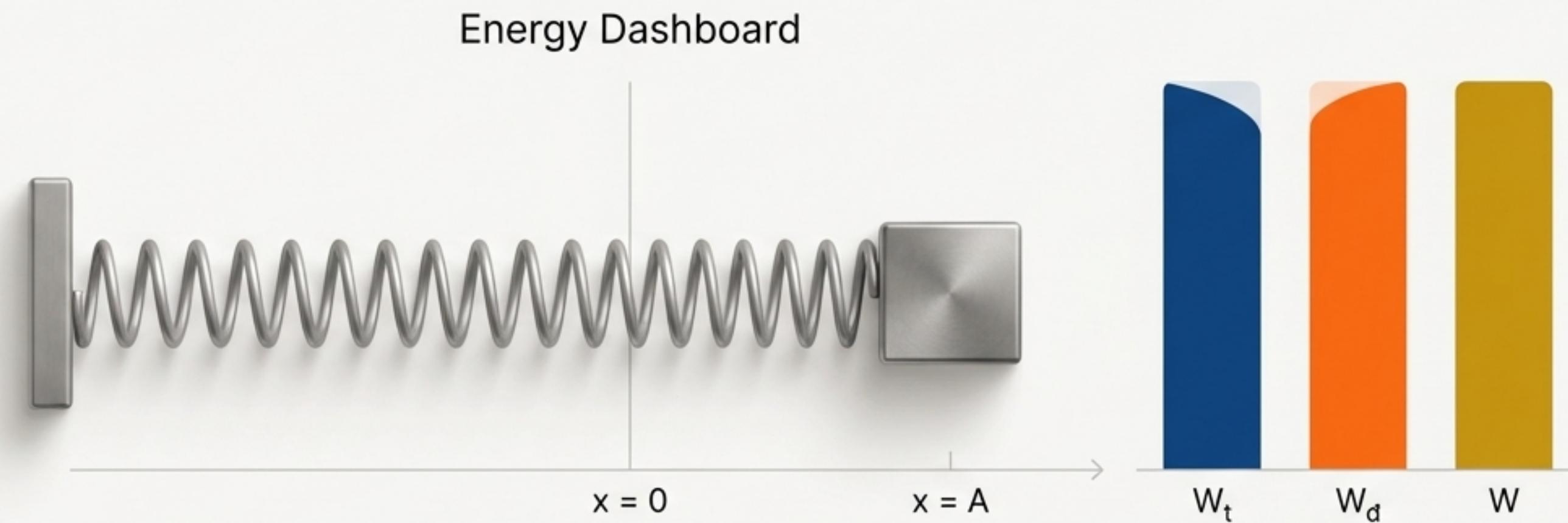
Energy Dashboard

Tại vị trí cân bằng, toàn bộ năng lượng ở dạng động năng.



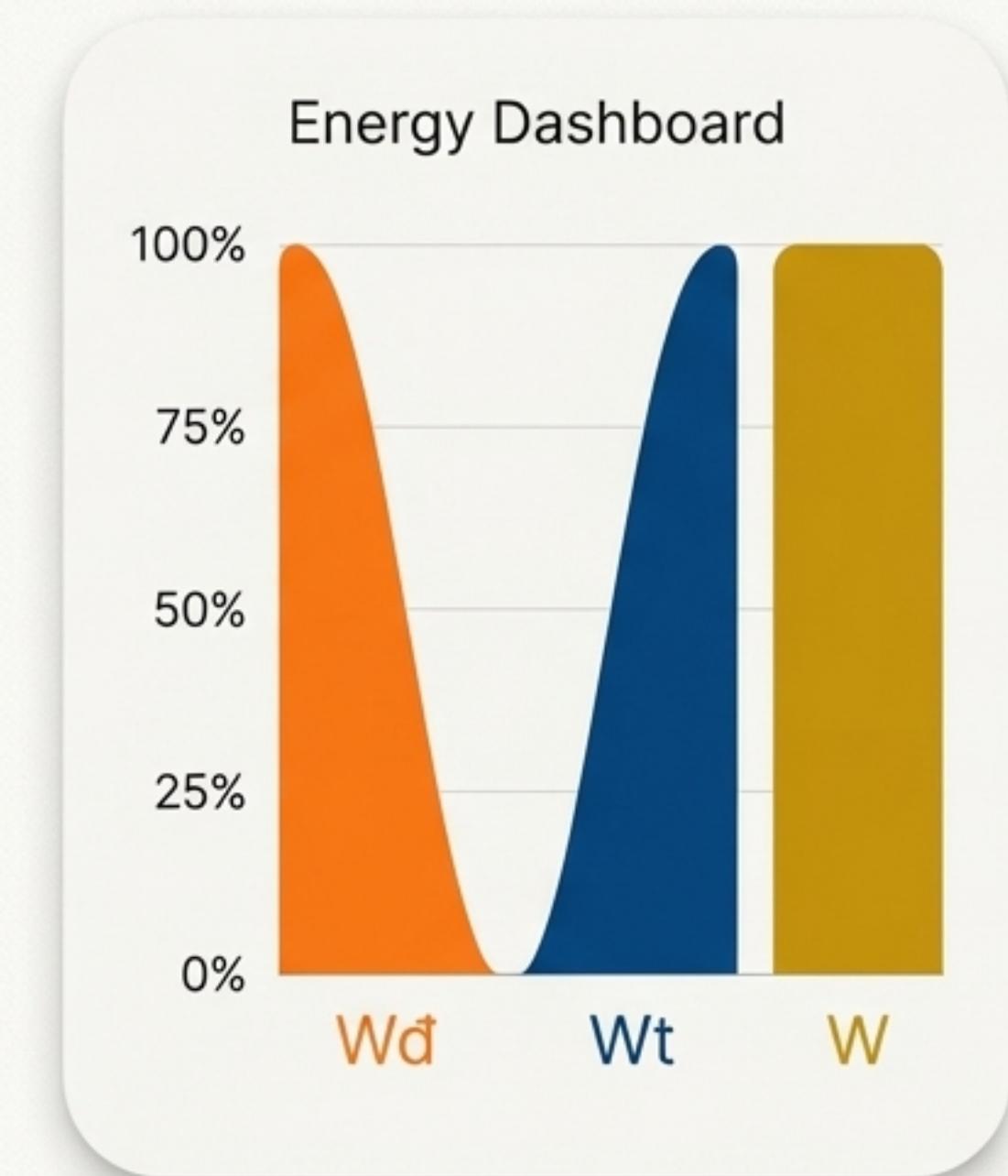
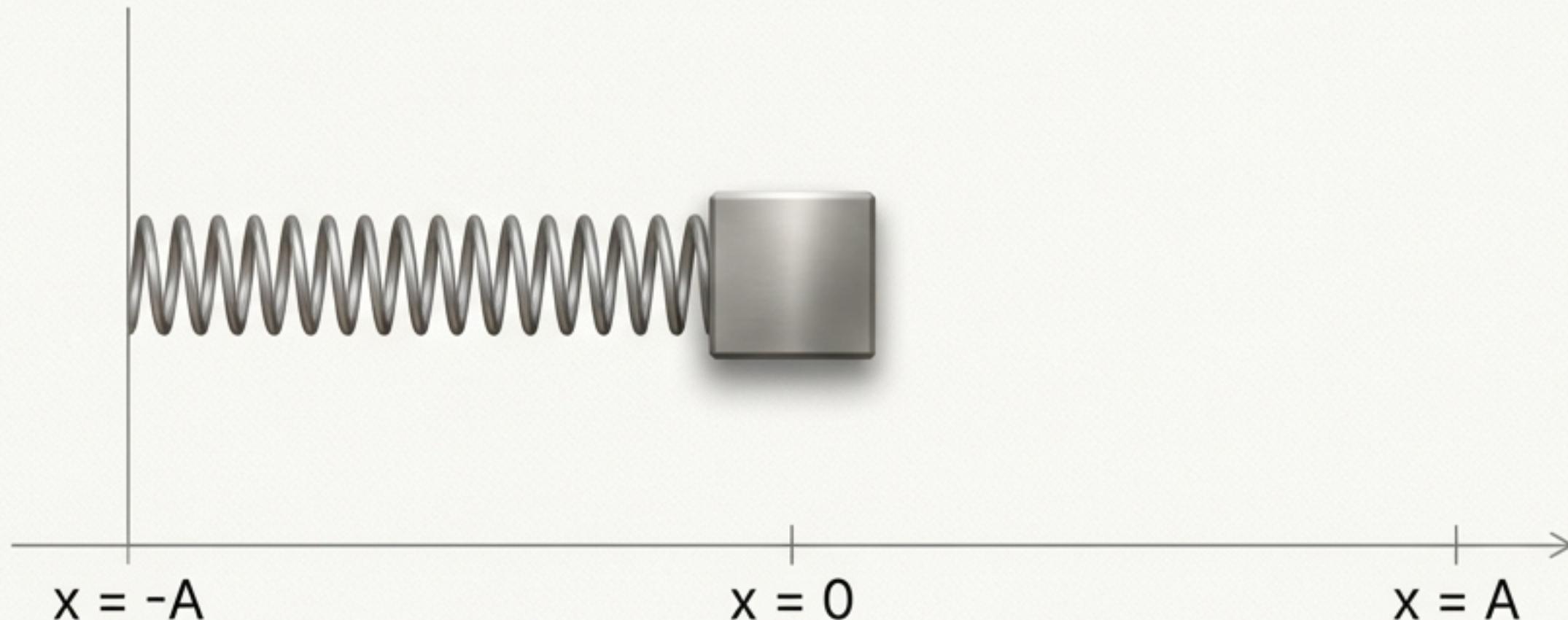
# Sự chuyển hóa: Khi thế năng “nhường chỗ” cho động năng.

Trong quá trình vật di chuyển từ vị trí biên về vị trí cân bằng, thế năng giảm dần và chuyển hóa hoàn toàn thành động năng. Tốc độ của vật tăng dần, đạt cực đại tại vị trí cân bằng.

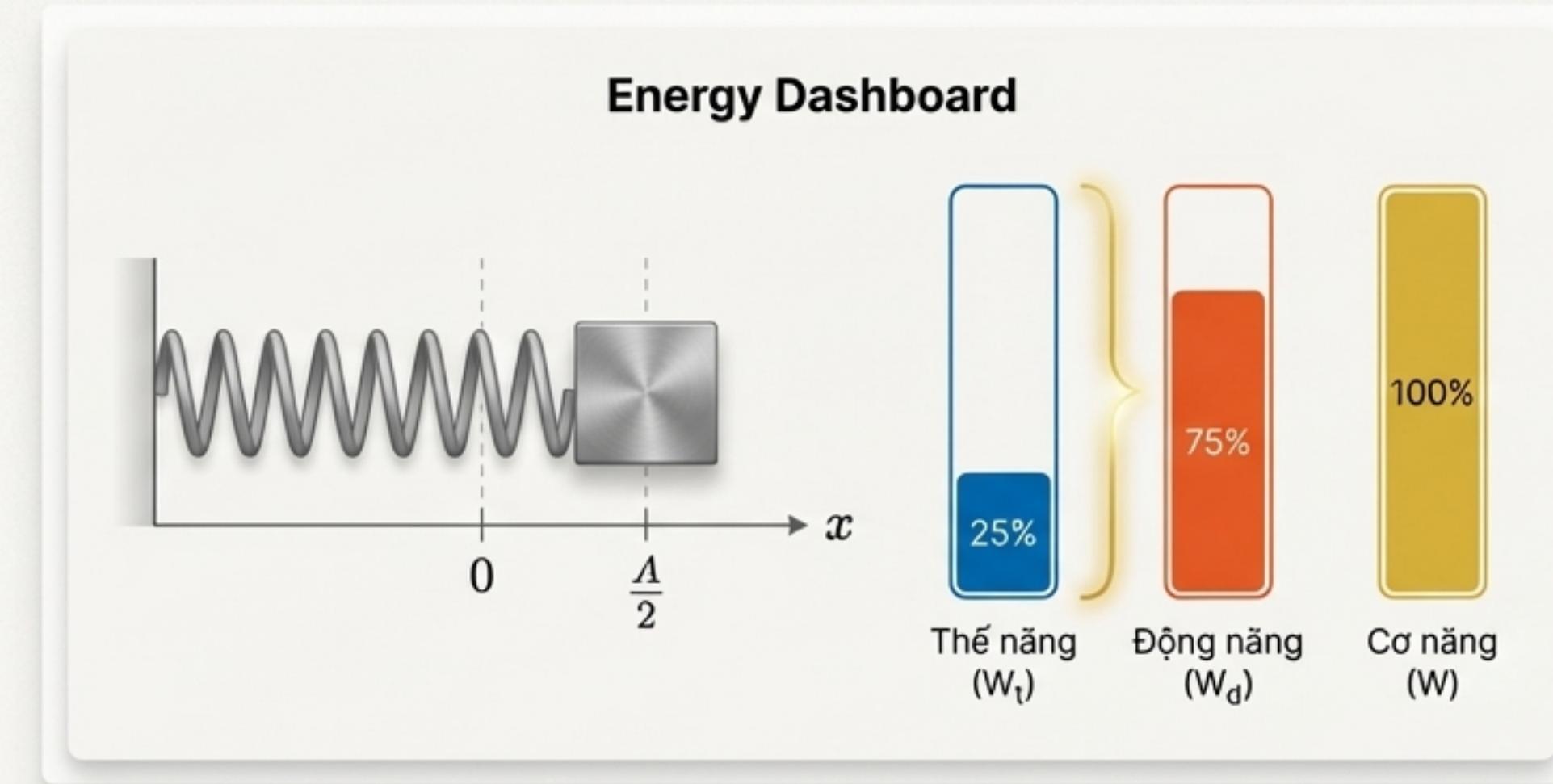


# Và ngược lại: Khi động năng “biến thành” thế năng.

Ngược lại, khi vật di chuyển từ vị trí cân bằng ra biên, động năng giảm dần và được chuyển hóa trở lại thành thế năng. Tốc độ của vật giảm dần về không tại biên.



# Điều gì không đổi khi mọi thứ thay đổi?



Trong suốt quá trình dao động, dù động năng và thế năng liên tục thay đổi, tổng của chúng—gọi là **Cơ năng (W)**—luôn không đổi.

$$W = W_t + W_d = \text{hằng số}$$

*“Đối với dao động điều hoà, cơ năng là đại lượng không thay đổi theo thời gian, tức là cơ năng luôn được bảo toàn.”*

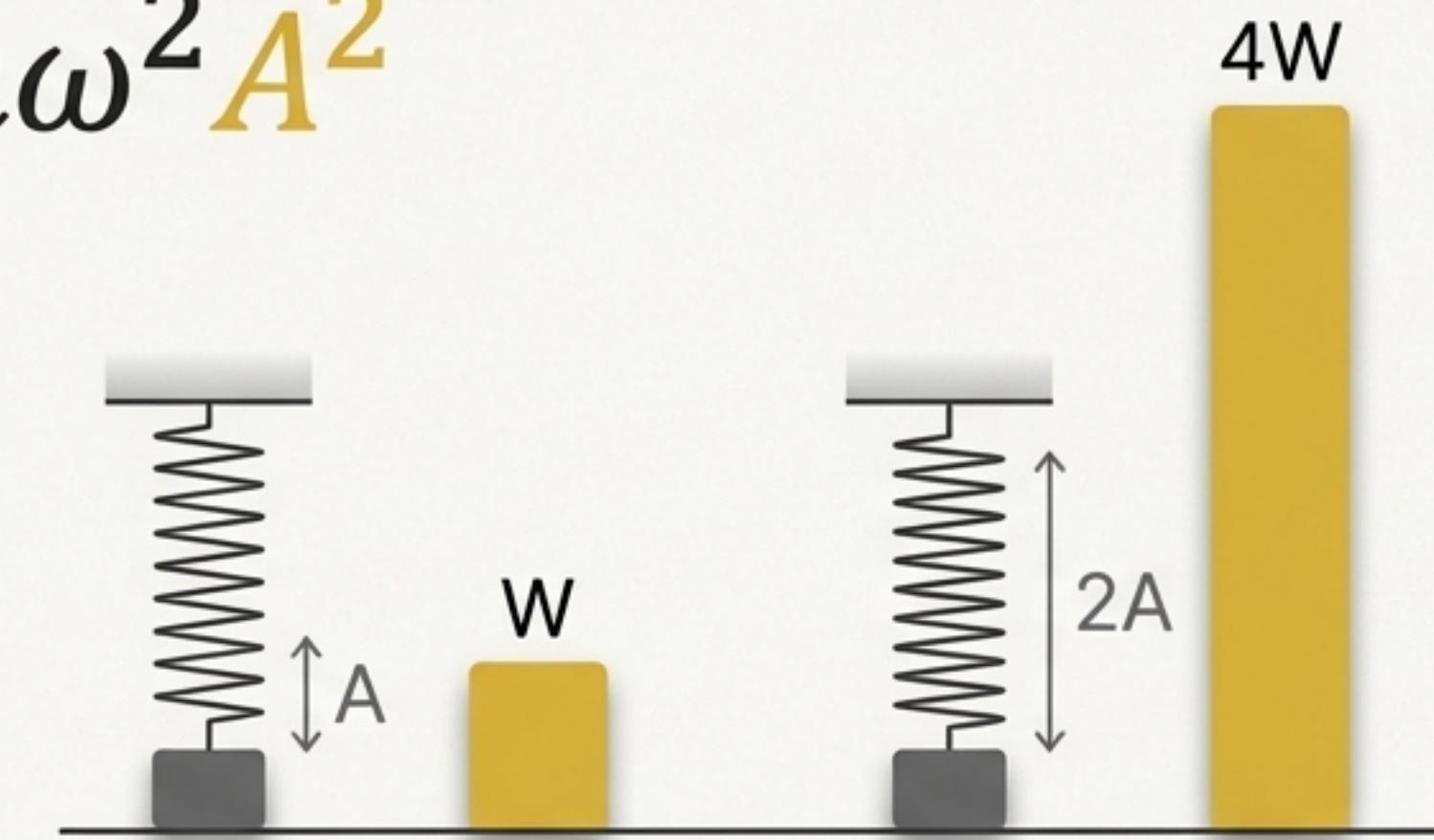
# Cơ năng: Một hằng số được quyết định bởi biên độ.

Giá trị của cơ năng không phụ thuộc vào thời gian mà được xác định hoàn toàn bởi các đặc tính của hệ và biên độ dao động.

$$W = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

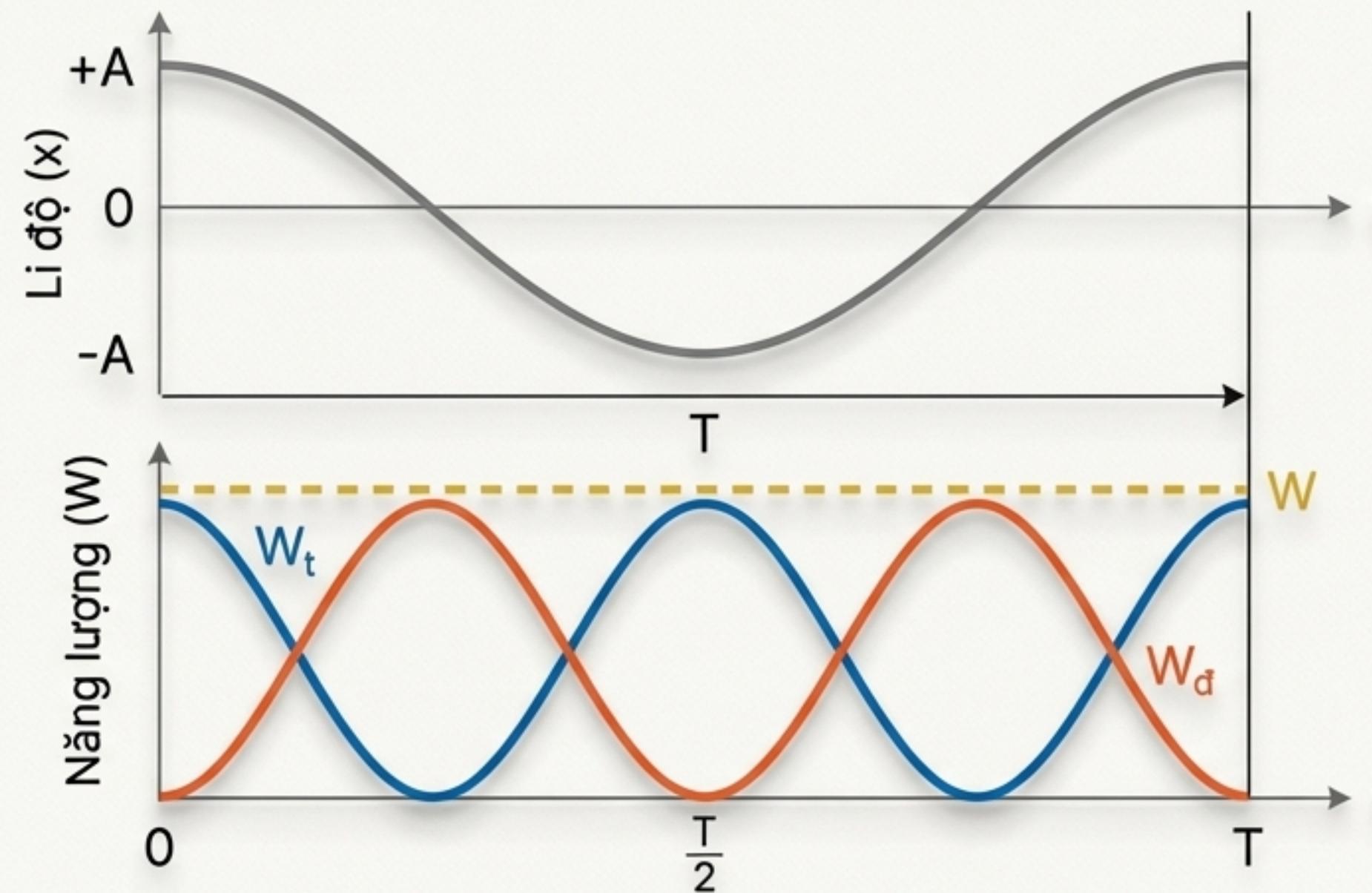
## \*\*Điểm chính\*\*

Cơ năng tỉ lệ thuận với **bình phương của biên độ** ( $A^2$ ). Điều này có nghĩa là nếu tăng biên độ lên 2 lần, năng lượng của dao động sẽ tăng lên 4 lần.



# Nhịp điệu của Năng lượng: Tại sao tần số lại gấp đôi?

Trong một chu kì dao động (vật đi từ A  $\rightarrow$  -A  $\rightarrow$  A), cả thế năng và động năng đều hoàn thành **hai** chu kì biến đổi (từ cực đại  $\rightarrow$  cực tiểu  $\rightarrow$  cực đại hai lần).



Thế năng và động năng biến đổi tuần hoàn với tần số góc  $\omega' = 2\omega$  và tần số  $f' = 2f$  so với li độ.

# Biểu thức của vũ điệu theo thời gian.

Sự biến đổi và bảo toàn năng lượng có thể được chứng minh chính xác bằng các biểu thức toán học theo thời gian:

$$\text{Li độ: } x = A \cos(\omega t + \phi_0)$$

$$\text{Thể năng: } W_t = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \phi_0)$$

$$\text{Động năng: } W_d = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi_0)$$

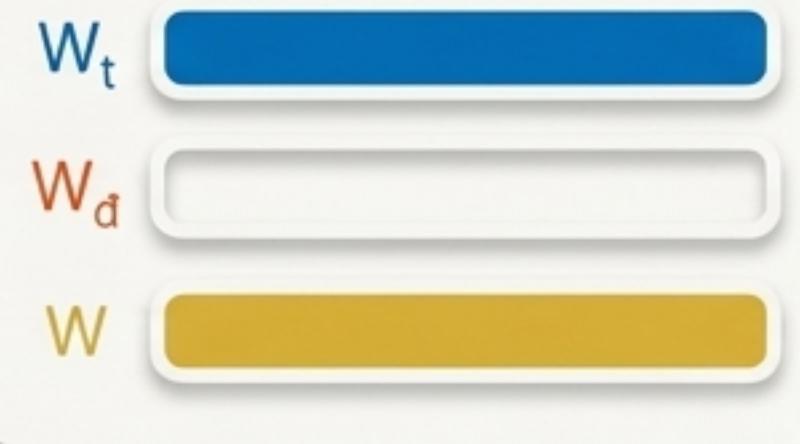
$$\text{Cơ năng: } W = W_t + W_d = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 (\cos^2(\dots) + \sin^2(\dots))$$

$$W = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

(Vì  $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$ )

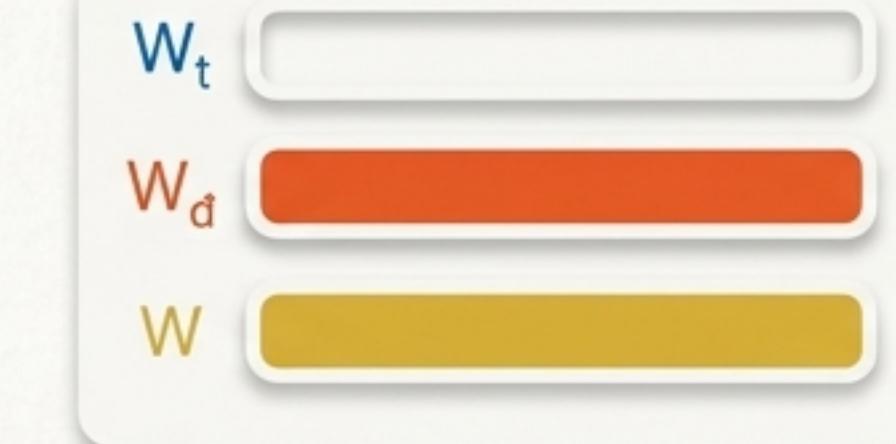
# Tóm tắt vũ điệu năng lượng tại các vị trí đặc biệt.

## Vị trí Biên ( $x = \pm A$ )



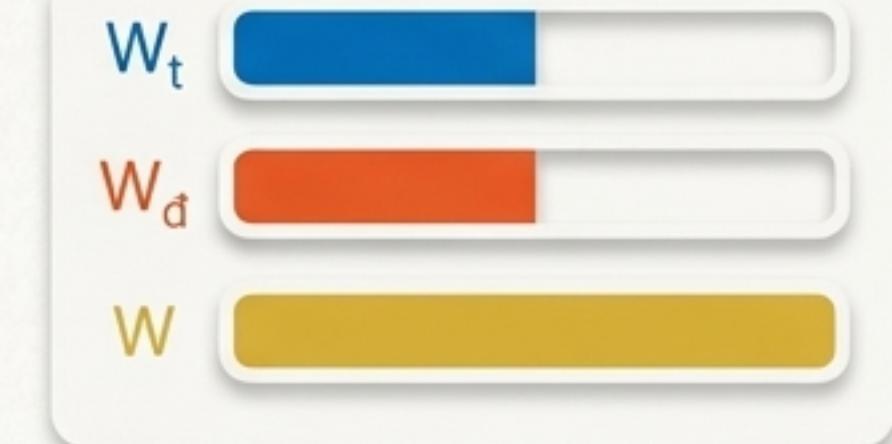
- Vận tốc  $v = 0$
- Thế năng  $W_t =$  Cực đại ( $W_{t\max}$ )
- Động năng  $W_d = 0$
- Cơ năng  $W = W_{t\max}$

## Vị trí Cân bằng ( $x = 0$ )

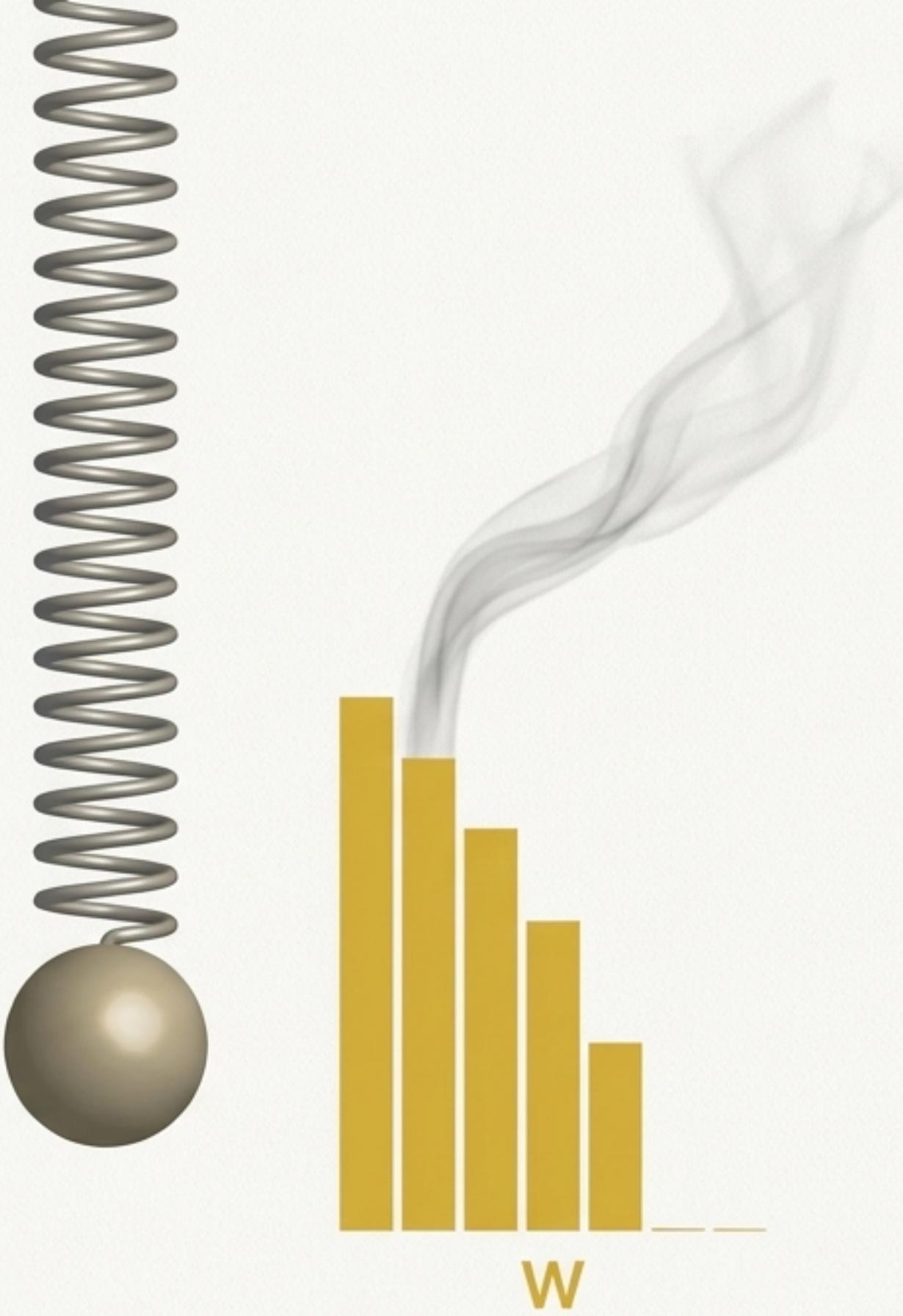


- Vận tốc  $v =$  Cực đại ( $v_{\max}$ )
- Thế năng  $W_t = 0$
- Động năng  $W_d =$  Cực đại ( $W_{d\max}$ )
- Cơ năng  $W = W_{d\max}$

## Vị trí bất kỳ ( $x, v$ )



$$\begin{aligned}\text{Cơ năng } W &= W_t + W_d \\ &= \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 + \frac{1}{2} mv^2 \\ &= \frac{1}{2} m\omega^2 A^2\end{aligned}$$



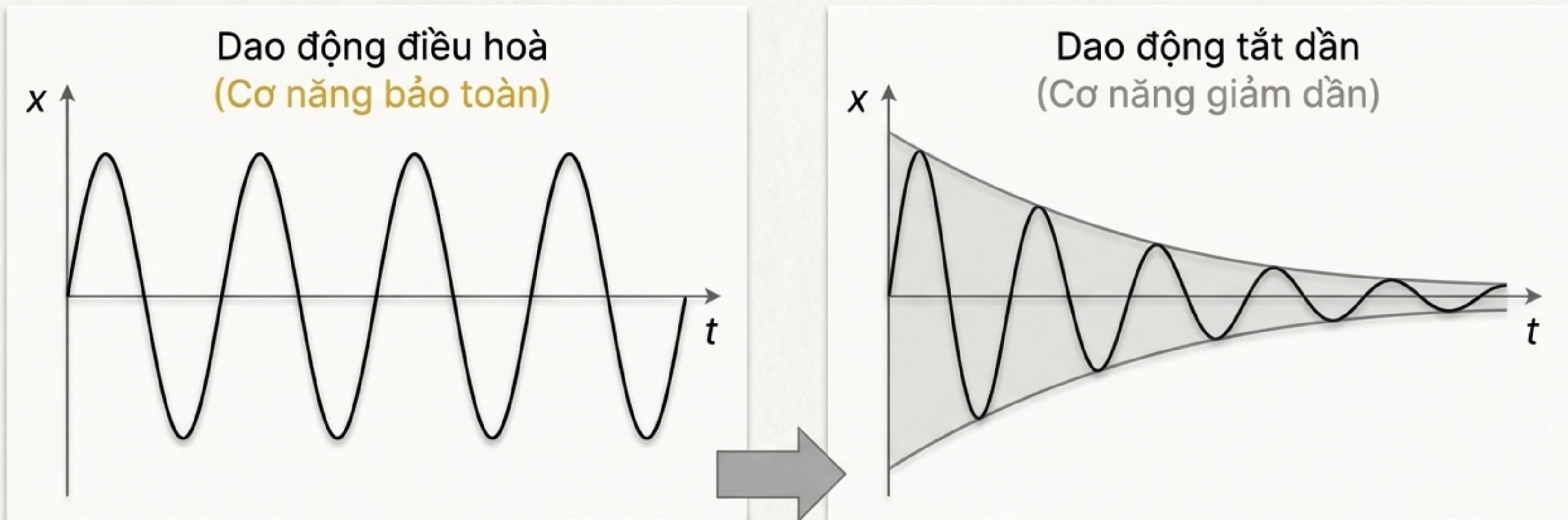
# Nhưng... tại sao trong thực tế mọi dao động đều tắt dần?

Mô hình dao động điều hoà và sự bảo toàn cơ năng là một sự lý tưởng hóa hoàn hảo. Chúng ta đã bỏ qua một yếu tố luôn có mặt trong thực tế: lực cản và ma sát. Trong thế giới thực, năng lượng không được bảo toàn một cách tuyệt đối.

# Khám phá tiếp theo: Dao động tắt dần

Khi cơ năng không được bảo toàn, dao động sẽ không còn là điều hoà nữa. Đây chính là khái niệm về **dao động tắt dần**—chủ đề của bài học tiếp theo.

*“...lực cản của môi trường làm cơ năng giảm, dẫn đến biên độ giảm dần theo thời gian.”*





# Bảo toàn Cơ năng: Nguyên lý nền tảng của sự tuần hoàn.

Sự bảo toàn cơ năng qua vũ điệu chuyển hóa liên tục giữa thế năng và động năng, chính là nguyên tắc giải thích tại sao dao động điều hoà có tính chất tuần hoàn. Nó là sự bất biến ẩn sau mọi biến đổi.