

Bản Giao Hưởng Năng Lượng

Bất Biến trong Biến Đổi: Sự Bảo Toàn Cơ Năng
trong Dao Động Điều Hoà

Nguyên Tắc Nền Tảng: Cơ Năng Được Bảo Toàn

Trong dao động điều hoà, có một sự chuyển hoá qua lại liên tục giữa động năng và thế năng. Tuy nhiên, tổng của chúng, được gọi là cơ năng, là một đại lượng không đổi.



Cơ Năng (W)

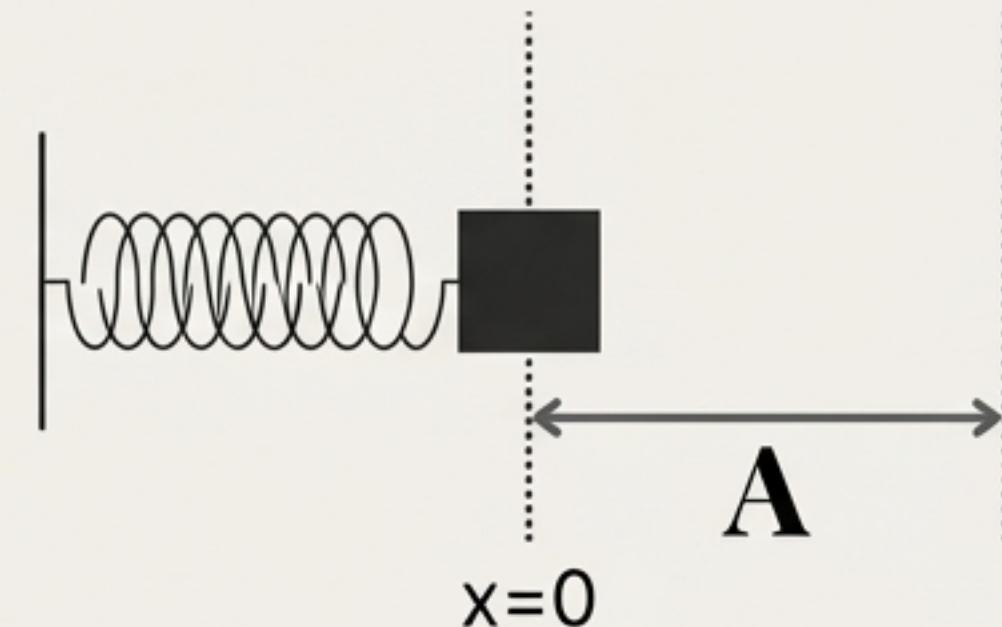
$$W = W_d + W_t = \text{hằng số}$$

Giá Trị Bất Biến Của Cơ Năng

Cơ năng của một **vật dao động điều hoà** luôn **không đổi** và được xác định bởi khối lượng (m), tần số góc (ω), và **biên độ** (A) của dao động.

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \longrightarrow \text{Cơ Năng (W)}$$

- Cơ năng tỉ lệ thuận với bình phương của biên độ và bình phương của tần số góc.
- Đây cũng chính là giá trị động năng cực đại (khi vật ở VTCB) và thế năng cực đại (khi vật ở biên).



Người Choi Thứ Nhất: Động Năng - Năng Lượng Của Chuyển Động

Động năng của vật dao động điều hoà được xác định bởi công thức $W_d = \frac{1}{2}mv^2$.

Biểu thức theo thời gian (t)

Thay $v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$, ta có:

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

Đặc điểm:

- Cực đại ($W_{d_max} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$) khi vật ở vị trí cân bằng ($x=0, v=v_{max}$).
- Bằng 0 khi vật ở vị trí biên ($x=\pm A, v=0$).

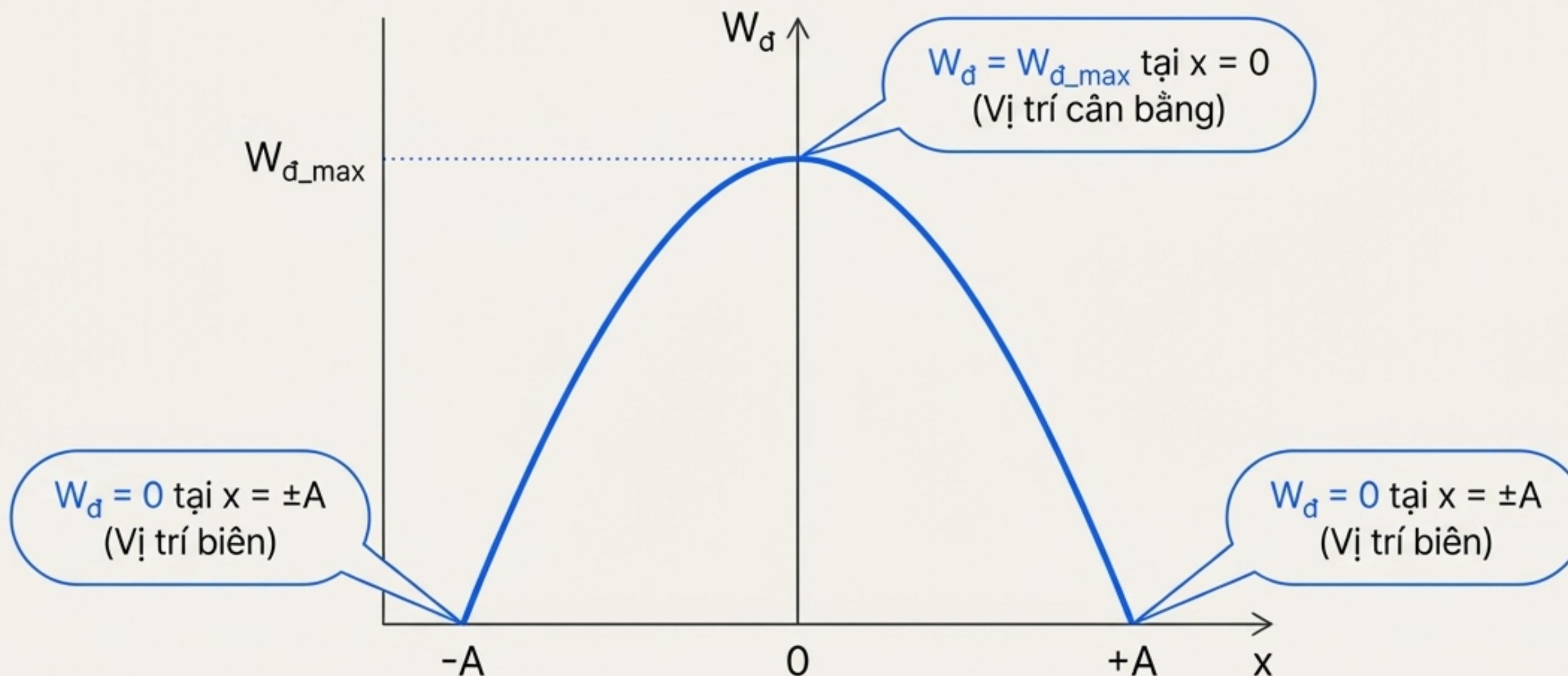
Biểu thức theo li độ (x)

Từ $v^2 = \omega^2(A^2 - x^2)$, ta có:

$$W_d = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2)$$

Sự Biến Thiện Của Động Năng Theo Lí Độ

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của động năng (W_d) vào lí độ (x) là một đường parabol có bờ lõm hướng xuống.



Người Chơi Thứ Hai: **Thể Năng** - Năng Lượng Của Vị Trí

Dựa vào định luật bảo toàn năng lượng, thể năng tại một li độ x bất kỳ được xác định là $W_t(x) = W - W_d(x)$.

Biểu thức theo li độ (x)

$$W_t = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 - \frac{1}{2} m\omega^2(A^2 - x^2)$$

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

Biểu thức theo thời gian (t)

Thay $x = A\cos(\omega t + \varphi)$, ta có:

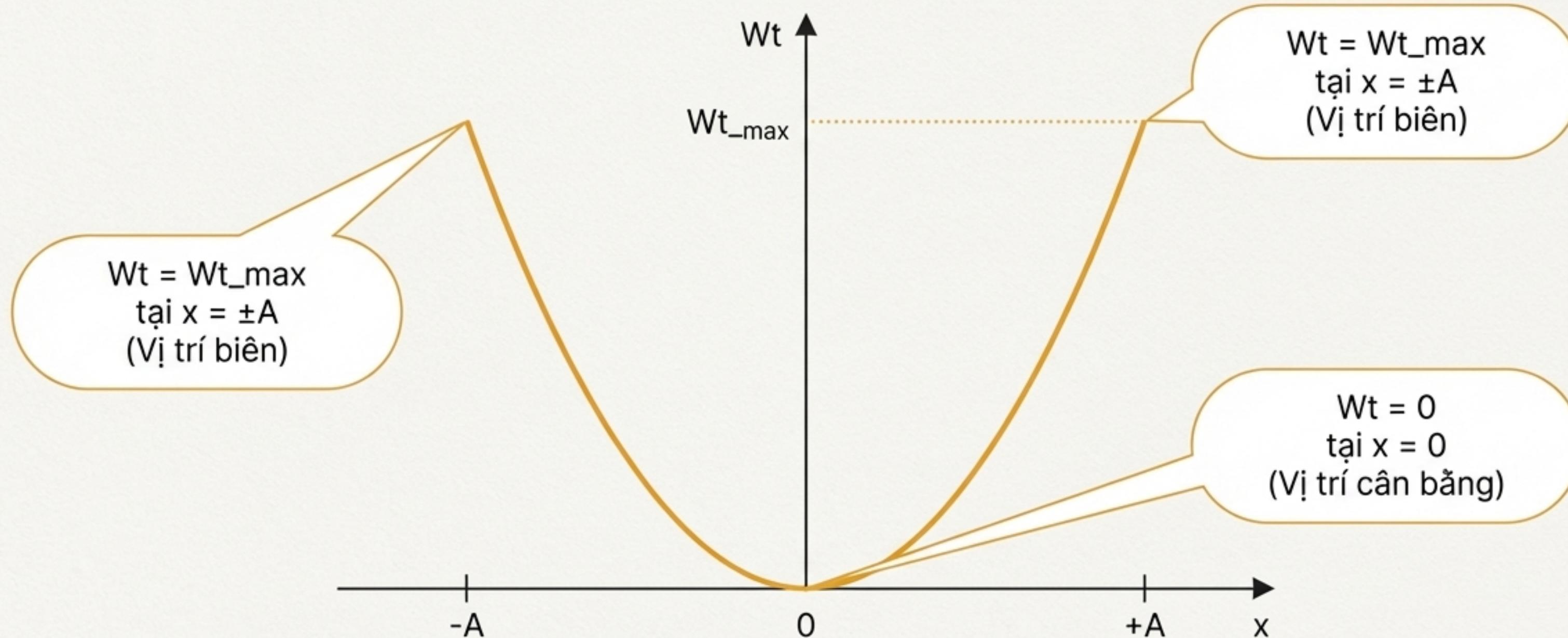
$$W_t = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

Đặc điểm:

- Cực đại ($W_{t_max} = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$) khi vật ở vị trí biên ($x = \pm A$).
- Bằng 0 khi vật ở vị trí cân bằng ($x = 0$).

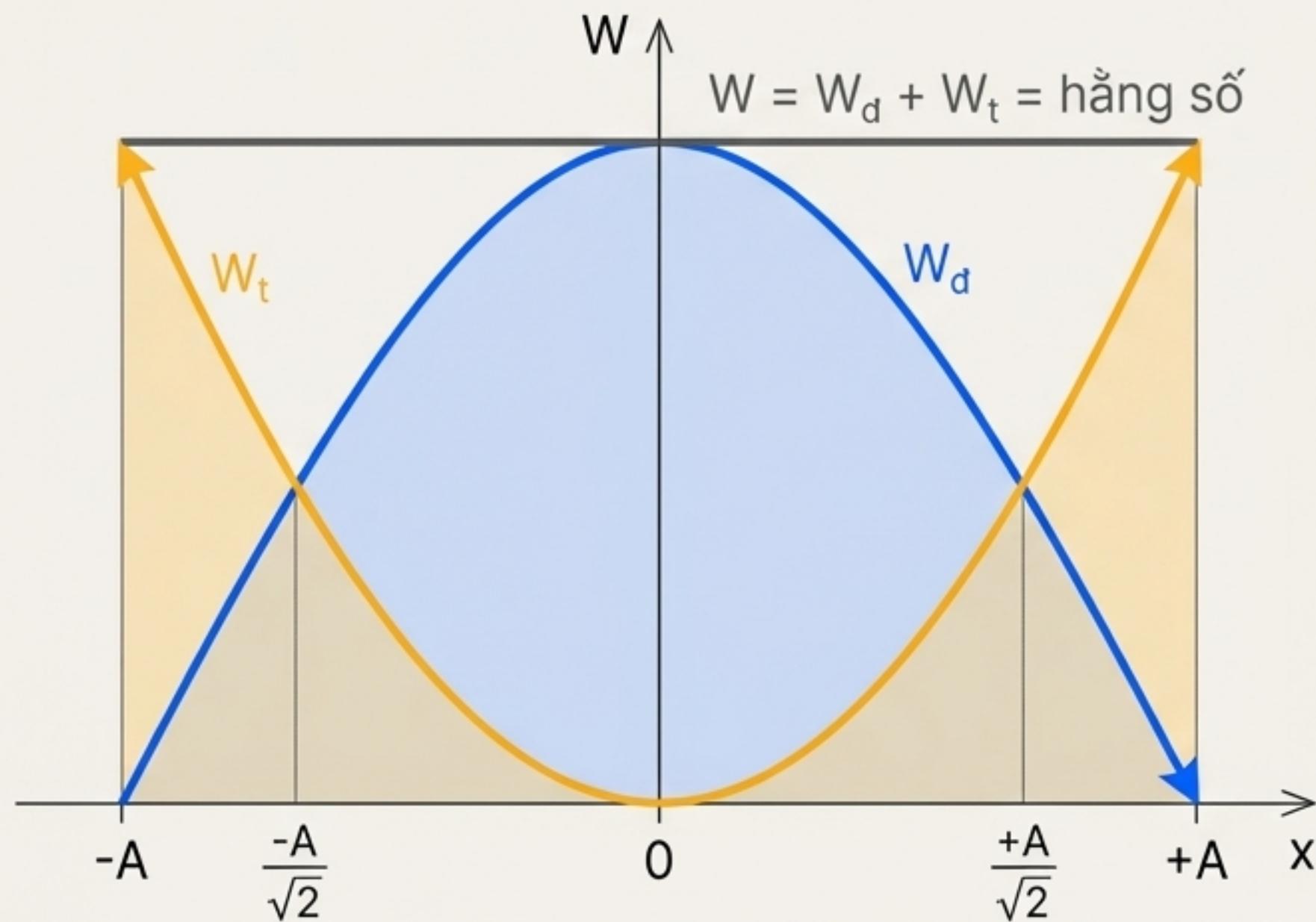
Sự Biến Thiện Của Thế Năng Theo Lí Độ

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của thế năng (W_t) vào lí độ (x) là một đường parabol có bờ lõm hướng lên.



Màn Trình Diễn: Sự Chuyển Hóa Năng Lượng Theo Vị Trí

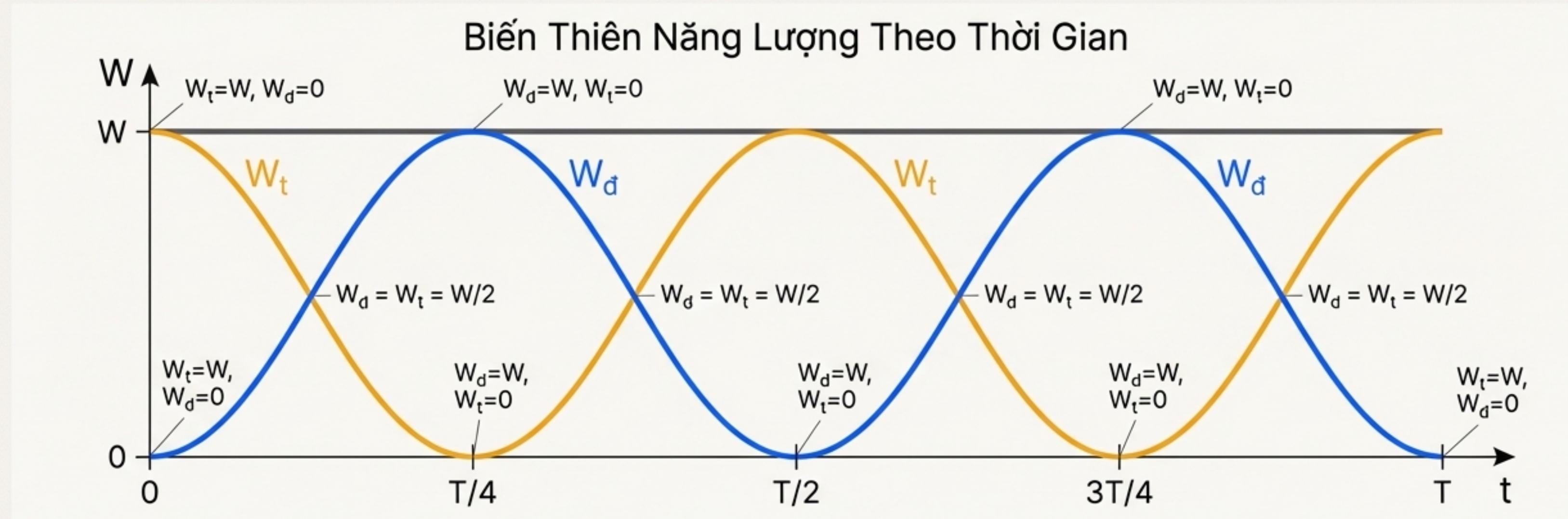
Khi vật di chuyển, động năng và thế năng chuyển hóa lẫn nhau. Khi một dạng năng lượng giảm, dạng kia tăng, nhưng tổng của chúng (cơ năng W) luôn không đổi.



Tại Biên ($x = A$)	Energy Bar	
Tại VTCB ($x = 0$)	Energy Bar	
Tại vị trí bất kỳ ($0 < x < A$)	Energy Bar	

Nhịp Độ Của Năng Lượng: Biến Thiên Theo Thời Gian

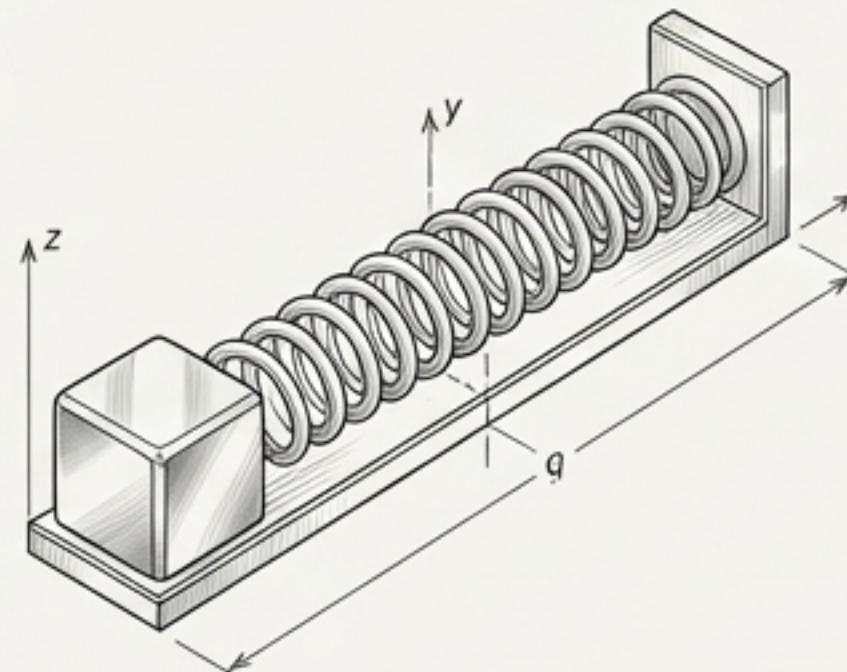
Động năng và thế năng không chỉ biến đổi theo vị trí mà còn tuần hoàn theo thời gian.



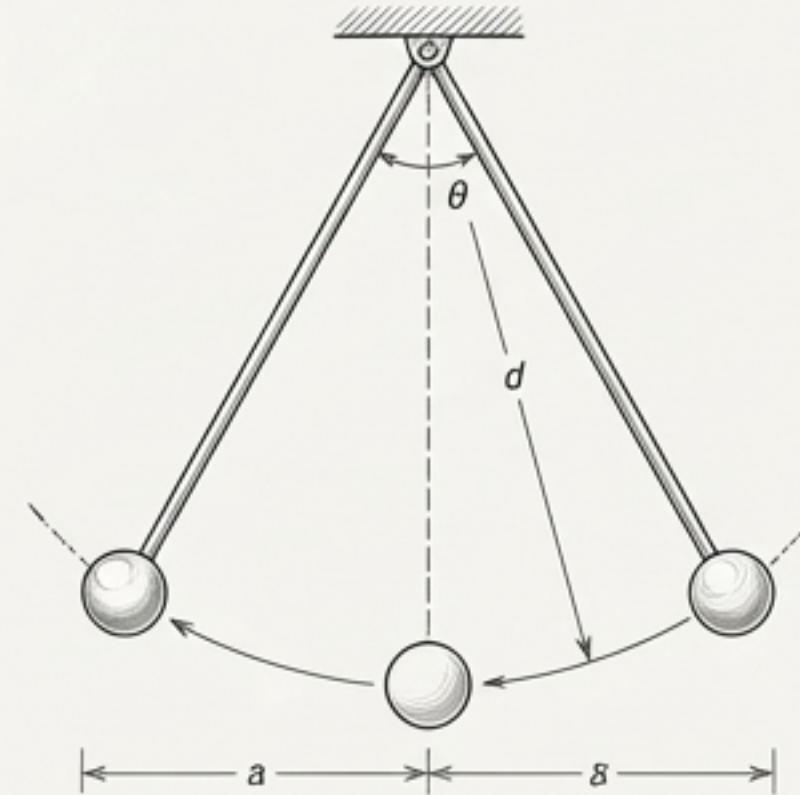
Động năng và thế năng biến thiên tuần hoàn với tần số góc $\omega' = 2\omega$ (tức là tần số $f' = 2f$ và chu kỳ $T' = T/2$).

Hai Sân Khấu Kinh Đึển: Con Lắc Lò Xo & Con Lắc Đơn

Nguyên lý bảo toàn cơ năng được thể hiện một cách hoàn hảo trong hai hệ thống dao động điều hoà quen thuộc: con lắc lò xo và con lắc đơn. Mặc dù cấu tạo khác nhau, bản giao hưởng năng lượng của chúng tuân theo cùng một quy luật.



Con lắc lò xo



Con lắc đơn

Con Lắc Lò Xo: Năng Lượng Đàn Hồi

Đối với con lắc lò xo dao động điều hoà, thế năng là thế năng đàn hồi của lò xo.

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

Liên kết với công thức tổng quát:

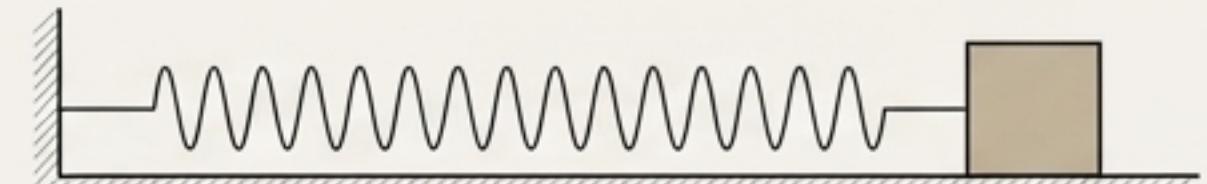
Ta biết tần số góc của con lắc lò xo là $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Thay vào công thức thế năng tổng quát $W_t = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2$, ta được:

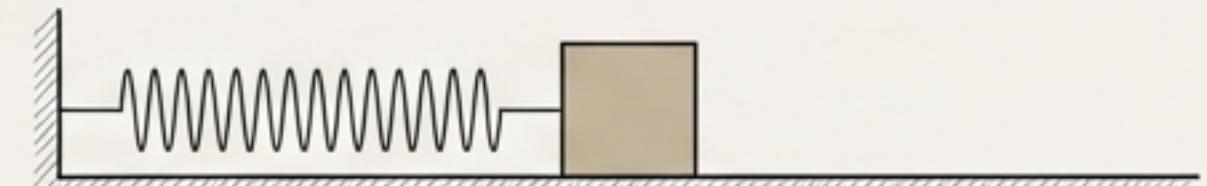
$$W_t = \frac{1}{2} m \left(\frac{k}{m} \right) x^2 = \frac{1}{2} kx^2$$

Cơ năng toàn phần:

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kA^2 = \text{hằng số}$$



Thế năng cực đại ($W_{t \max}$), Động năng bằng 0



Động năng cực đại ($W_{d \max}$), Thế năng bằng 0



Thế năng cực đại ($W_{t \max}$), Động năng bằng 0

Con Lắc Đơn: Năng Lượng Thể Trọng Trường

Đối với con lắc đơn dao động điều hoà (với góc lệch nhỏ), thế năng là thế năng trọng trường.

$$W_t = mgl(1 - \cos\alpha)$$

Với góc α nhỏ:

$$1 - \cos\alpha \approx \frac{\alpha^2}{2}$$

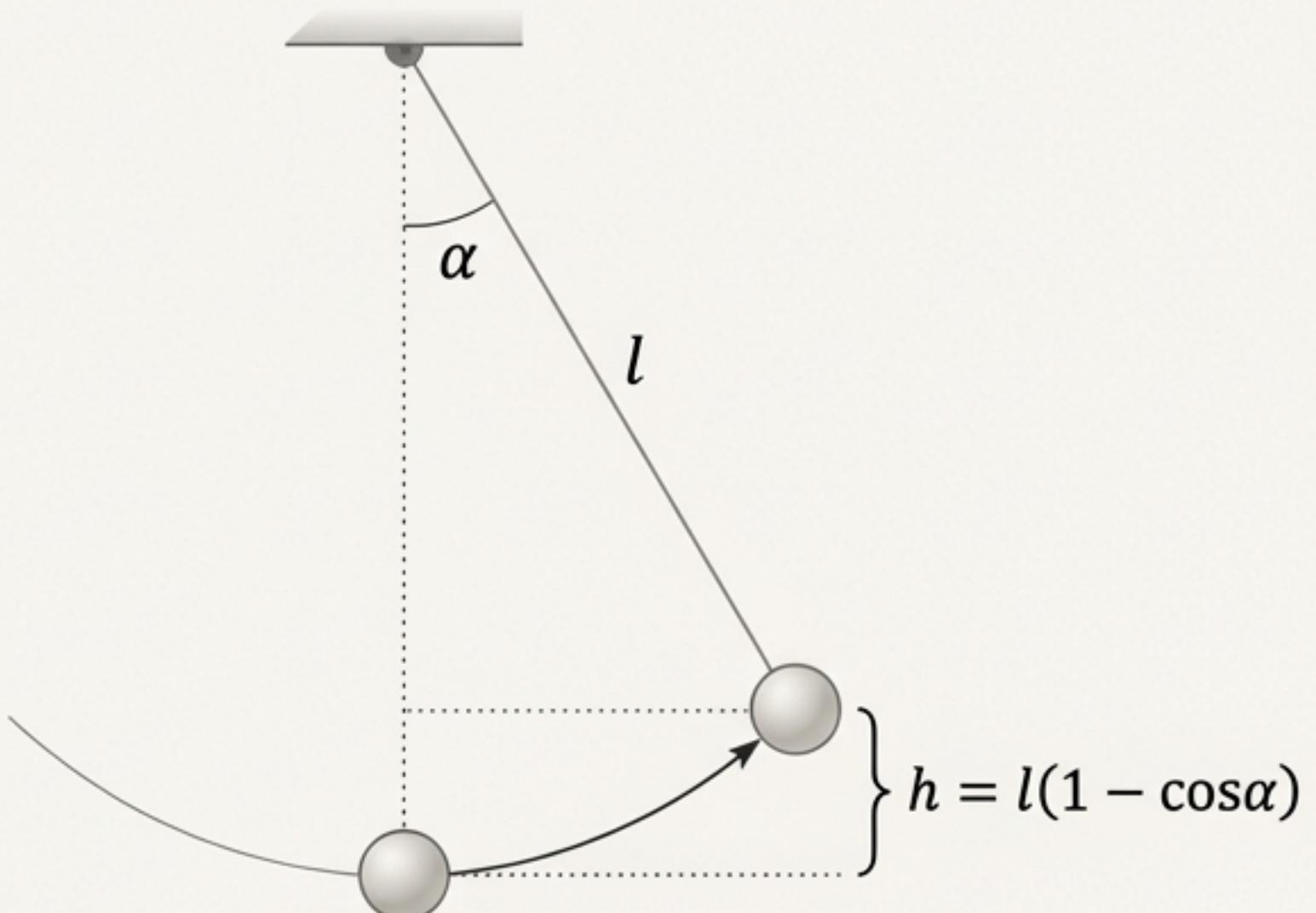
$$W_t \approx \frac{1}{2}mgl\alpha^2$$

Liên kết với công thức tổng quát:

Với lì độ dài $s = l\alpha$ và $\omega^2 = \frac{g}{l}$, ta có:

$$W_t \approx \frac{1}{2} \frac{mg}{l} (l\alpha)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{mg}{l}\right) s^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 s^2$$

Cơ năng toàn phần: $W \approx \frac{1}{2} m\omega^2 S_0^2 =$ hằng số, với S_0 là biên độ dài.



Tổng Kết: Các Nguyên Tắc Vàng

Tóm tắt các công thức và nguyên lý chính về năng lượng trong dao động điều hoà.

Động Năng (W_d)

$$W_d = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2)$$

Biến đổi từ 0 đến W_{\max} .

Thế Năng (W_t)

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

Biến đổi từ 0 đến W_{\max} .

Cơ Năng (W)

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

Luôn là hằng số.



Giai Điệu Bất Tận Của Vũ Trụ

Từ dao động của một chiếc xích đu, sự rung động của dây đàn guitar, đến chuyển động của các phân tử, bản giao hưởng năng lượng này luôn được trình diễn. Nguyên lý "bất biến trong biến đổi" không chỉ là một công thức vật lý, mà là một trong những quy luật cơ bản định hình nên thế giới của chúng ta.

