

Áp Suất & Động Năng Phân Tử: Câu Chuyện Phía Sau Nhiệt Độ

Khám phá thế giới vi mô để giải thích những hiện tượng vĩ mô.

Áp suất khí từ đâu mà có?

Chúng ta trải nghiệm áp suất mỗi ngày—không khí trong lốp xe, gió thổi trên mặt. Nhưng điều gì đang thực sự xảy ra ở cấp độ mà mắt thường không thể nhìn thấy?

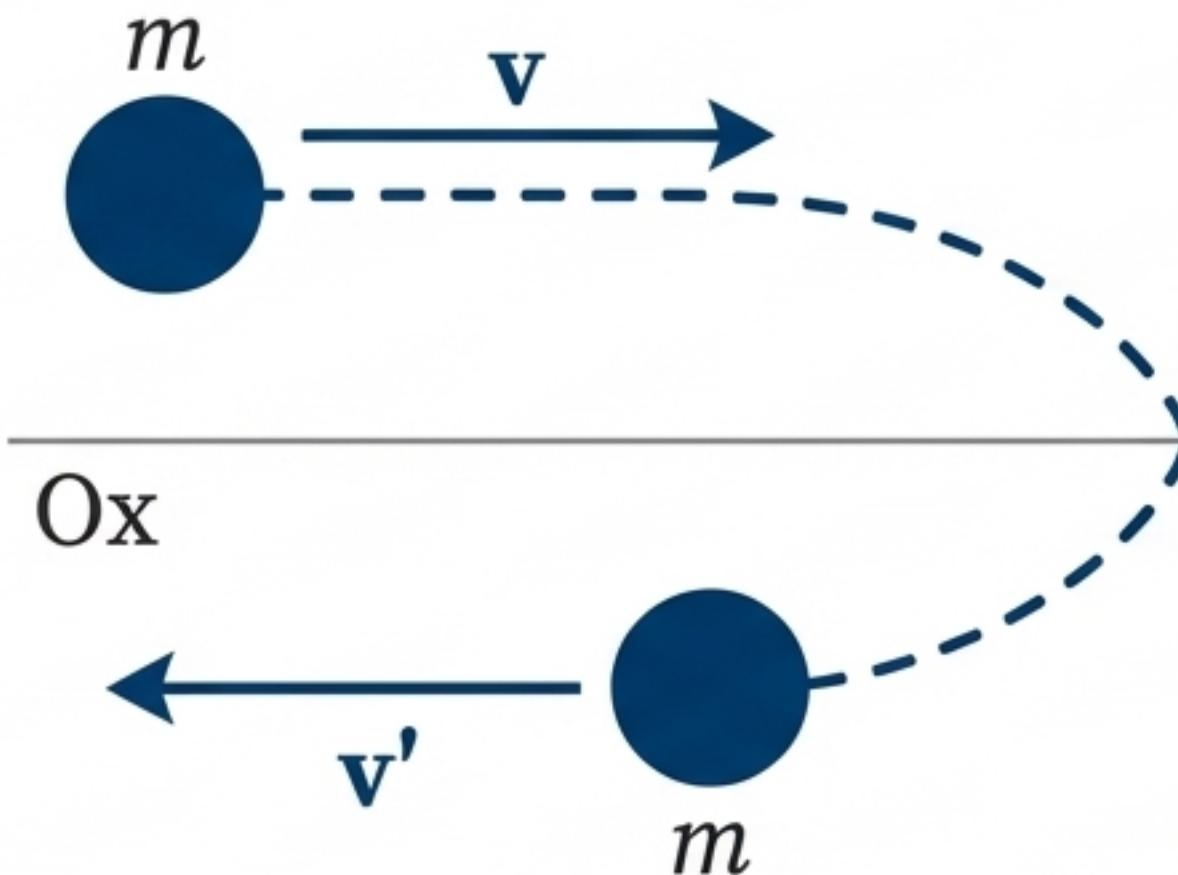
Áp suất là kết quả của vô số va chạm không ngừng từ các phân tử khí lên thành bình.



Bắt đầu từ điều đơn giản nhất: một phân tử.

Để hiểu được toàn bộ, trước tiên chúng ta phân tích một phần. Hãy xem xét một phân tử khí duy nhất có khối lượng m , chuyển động với vận tốc v theo phương Ox vuông góc với thành bình.

Giả định: Coi va chạm giữa phân tử và thành bình là va chạm đàn hồi.



Một va chạm tạo ra lực như thế nào?

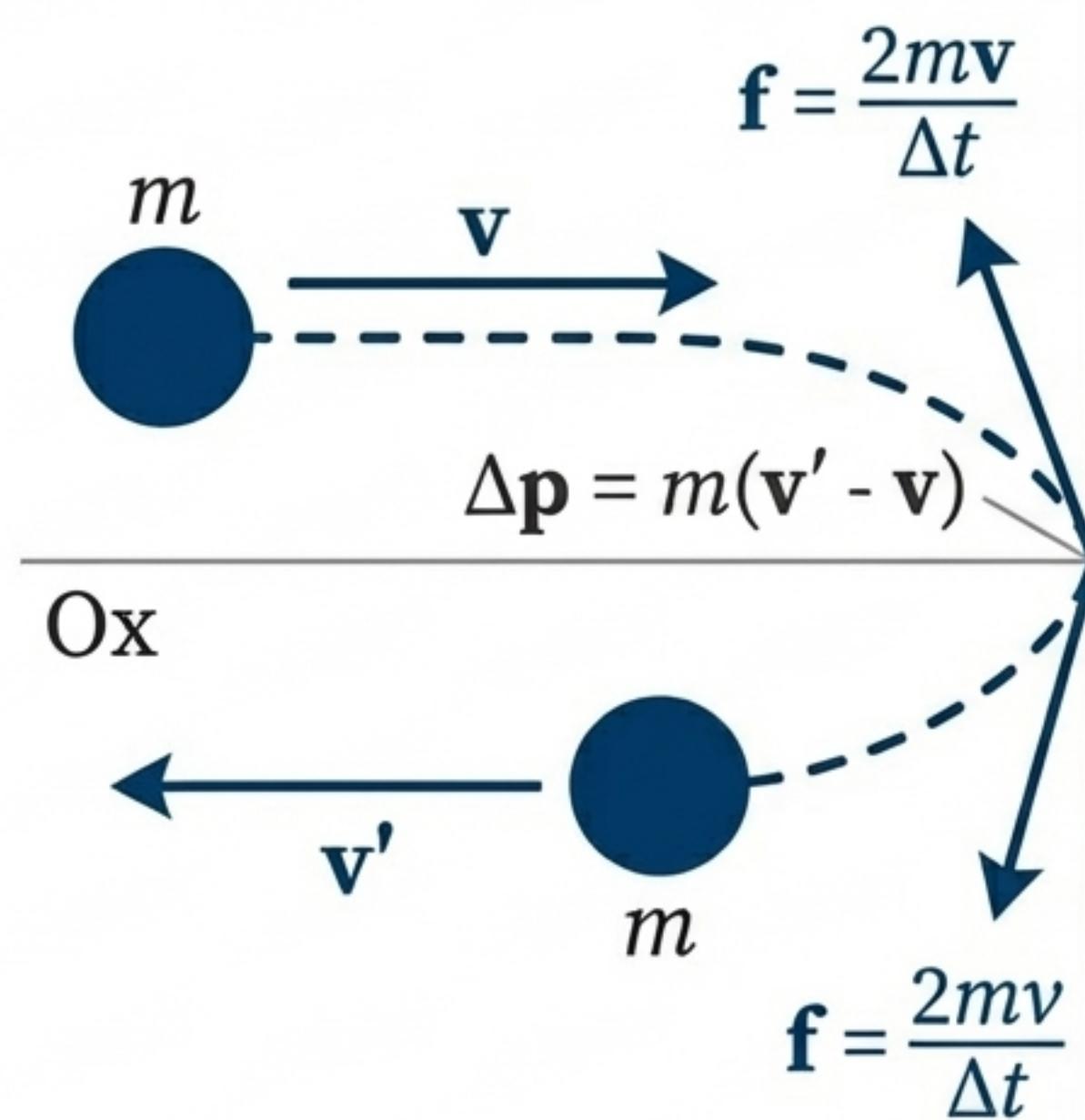
Theo định luật II Newton, lực mà phân tử tác dụng lên thành bình trong thời gian va chạm Δt có độ lớn bằng:

$$f = \left| \frac{\Delta p}{\Delta t} \right| = \frac{|m(v' - v)|}{\Delta t}$$

Vì va chạm là đòn hồi, $v' = -v$, nên độ biến thiên động lượng là:

$$|m(-v - v)| = 2mv$$

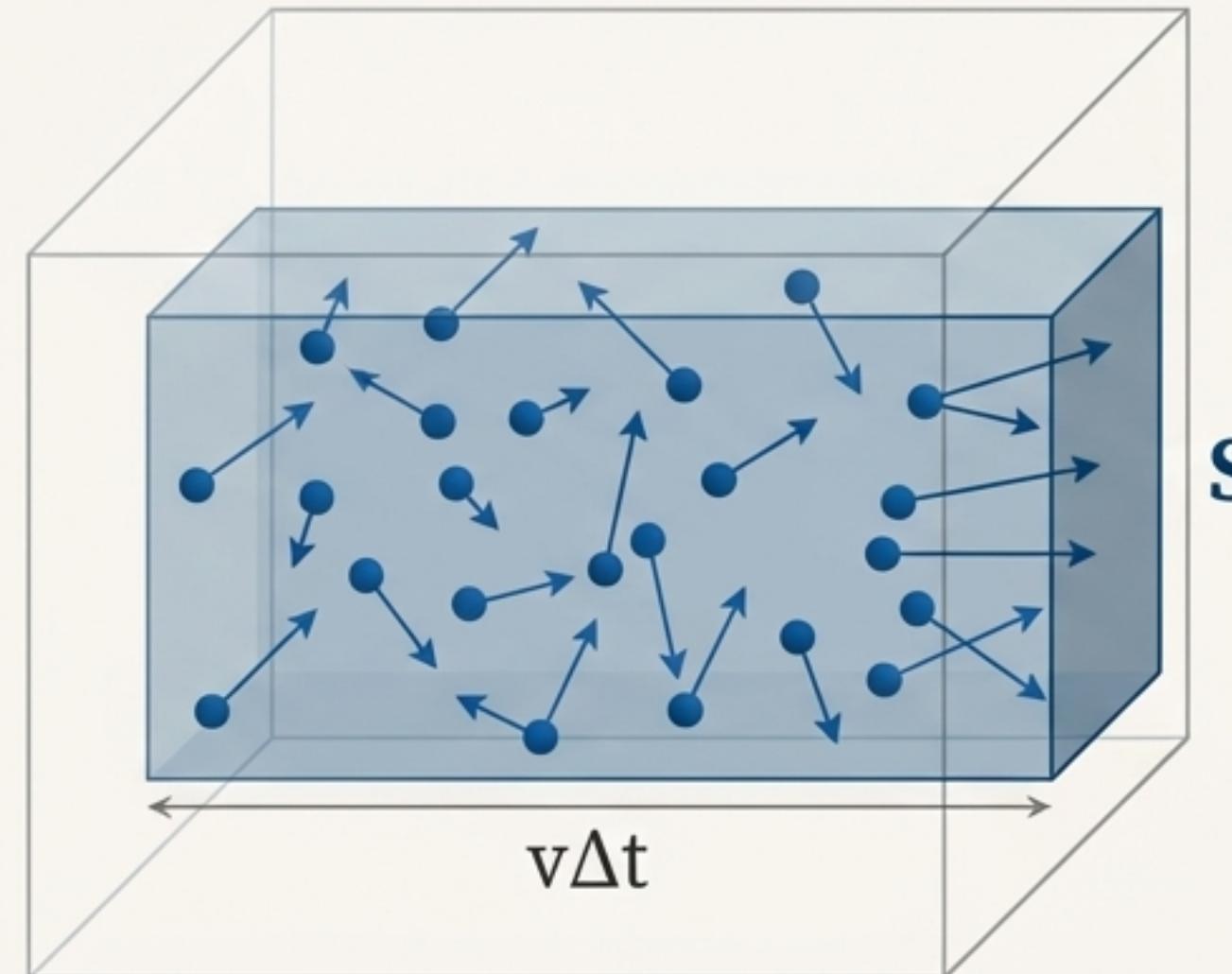
Do đó, lực do một phân tử tác dụng lên thành bình là: $f = \frac{2mv}{\Delta t}$



Từ một phân tử đến một tập thể hàng tỷ.

Gọi n là mật độ phân tử (số phân tử trong một đơn vị thể tích).

Trong khoảng thời gian Δt , chỉ những phân tử trong thể tích $S * v\Delta t$ mới có thể va vào diện tích S .



Do chuyển động hỗn loạn, trung bình chỉ có **1/6** số phân tử bay về phía thành bình đang xét.

$$\text{Số phân tử va vào diện tích } S: N_{\text{va_chạm}} = (1/6) * n * (S * v\Delta t)$$

Tổng hợp lực từ hàng tỷ va chạm.

Lực tổng hợp **F** mà các phân tử tác dụng lên diện tích **S** là tích của số va chạm và lực của mỗi va chạm.

Lực tổng hợp (Total Force):

$$F = N_{va_chạm} * f = \left(\frac{1}{6} * nSv\Delta t \right) * \frac{2mv}{\Delta t}$$

$$F = \frac{1}{3} * nSmv^2$$

Áp suất (Pressure):

Áp suất là lực trên một đơn vị diện tích: $p = \frac{F}{S}$.

$$p = \frac{\frac{1}{3} * nSmv^2}{S} = \frac{1}{3} * nmv^2$$



Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử khí

$$p = \frac{1}{3} * n * m_0 * v^2$$

p : Áp suất của khói khí.

n : Mật độ phân tử (số phân tử trên một đơn vị thể tích).

m₀ : Khối lượng của một phân tử.

v² : Trung bình bình phương tốc độ của các phân tử, vì các phân tử chuyển động với các tốc độ khác nhau.

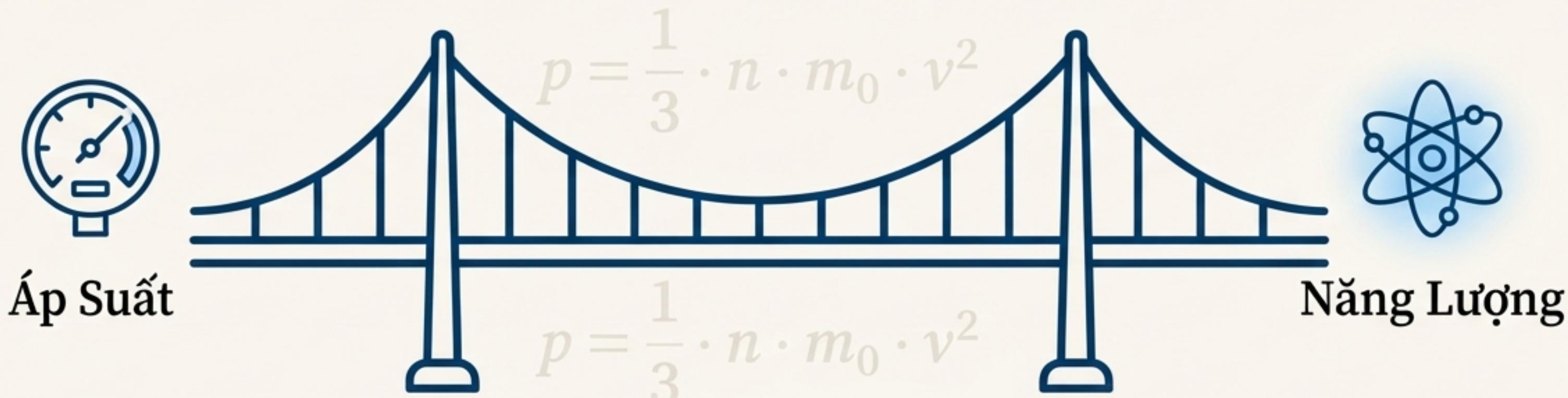
$$v^2 = (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2) / N$$

Dạng khác: Với mật độ khối lượng **$\mu = n * m_0$** , phương trình có thể viết là: **$p = \frac{1}{3} * \mu * v^2$**

Phương trình này tiết lộ điều gì?

Chúng ta đã liên kết thành công áp suất (một đặc tính vĩ mô) với chuyển động phân tử (một đặc tính vi mô).

Nhưng hãy nhìn kỹ hơn. Biểu thức m_0v^2 rất quen thuộc... nó liên quan trực tiếp đến động năng. Mỗi liên hệ giữa áp suất và năng lượng của các phân tử là gì?



Động năng trung bình của một phân tử.

Định nghĩa:

$$W_d = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2$$

Mối liên kết:

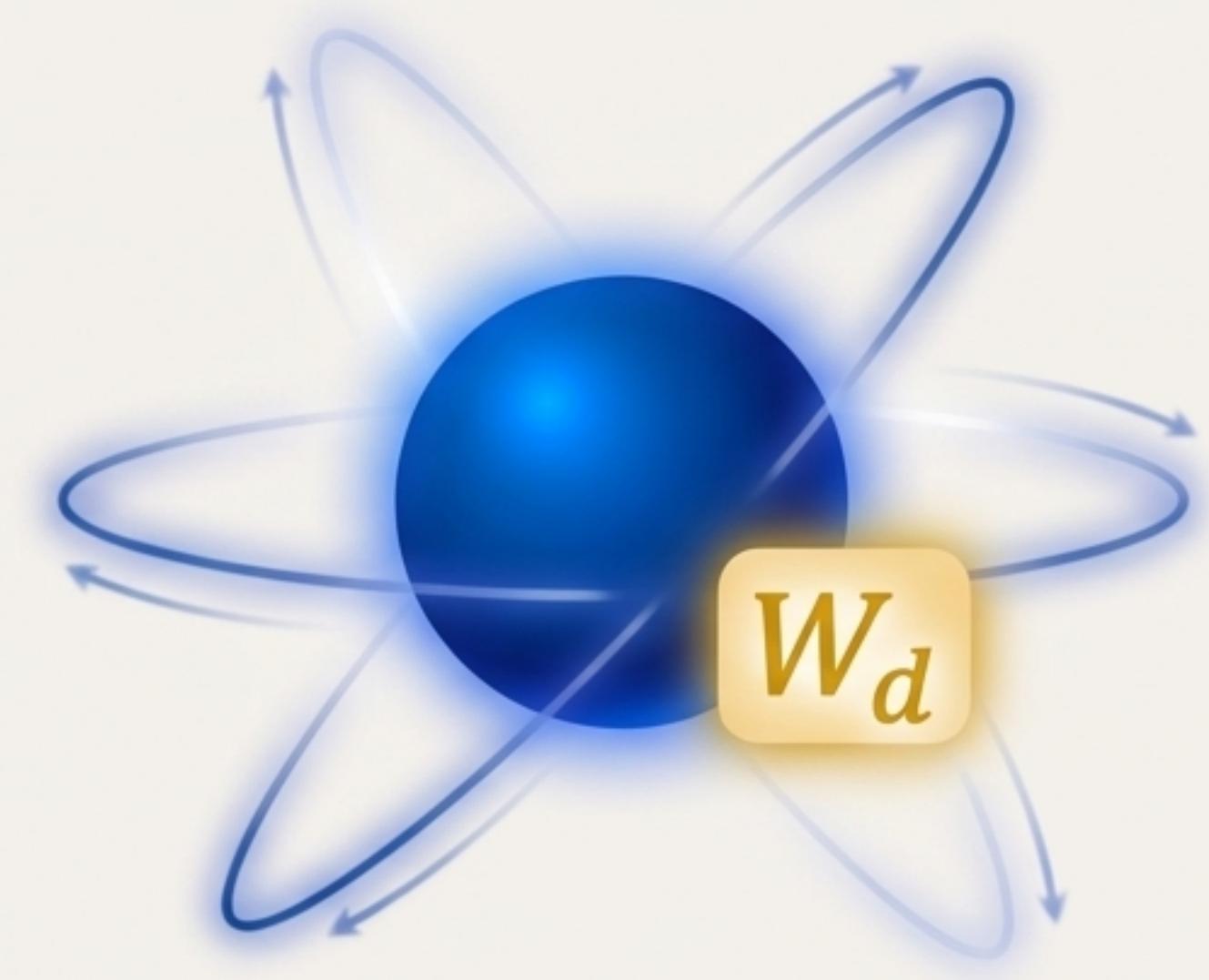
Ta có thể viết lại phương trình áp suất bằng W_d .

Từ $m_0 v^2 = 2W_d$, thay vào $p = \frac{1}{3} \cdot n \cdot m_0 \cdot v^2$, ta được:

$$p = \frac{1}{3} * n * (2W_d)$$

$$p = \frac{2}{3} * n * W_d$$

Kết luận: Áp suất khí tỷ lệ thuận trực tiếp với mật độ phân tử (n) và động năng trung bình của chúng (W_d).



Ý nghĩa thực sự của ‘Nhiệt Độ’.

Từ thuyết động học:
Source Serif Pro Regular

$$p = \frac{2}{3} n W_d$$

Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng:
Source Serif Pro Regular

$$p = nkT$$

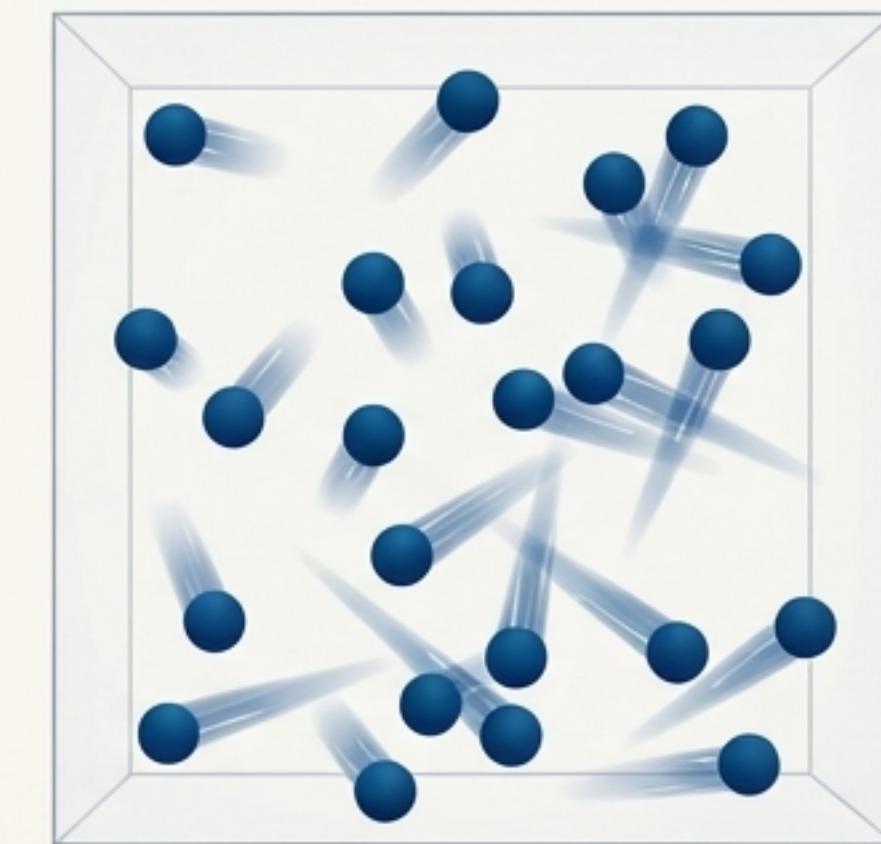
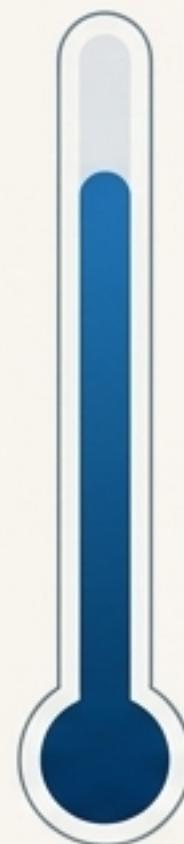
$$nkT = \frac{2}{3} n W_d$$

Khám phá:
Source Serif Pro Regular

$$kT = \frac{2}{3} W_d$$

Nhiệt độ chính là thước đo chuyển động.

$$W_d = \frac{3}{2} * kT$$



Điễn giải:

Động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử trong chất khí tỷ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối của nó.

Ý nghĩa:

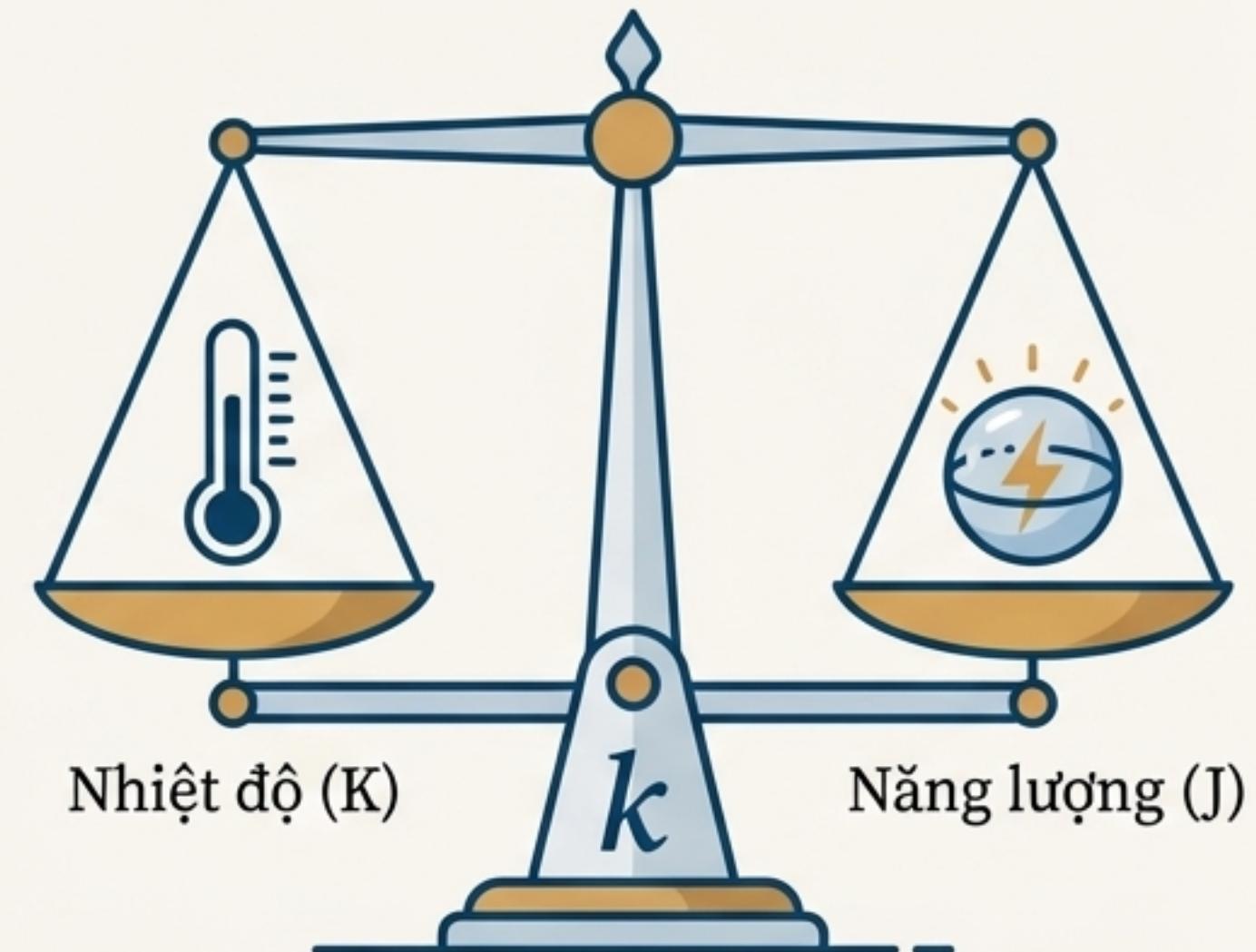
Nhiệt độ không phải là một khái niệm trừu tượng. Nó là một phép đo trực tiếp cho mức độ chuyển động dữ dội của các nguyên tử và phân tử cấu thành nên vật chất.

Hằng số Boltzmann: Cầu nối Năng lượng & Nhiệt độ.

Hằng số k trong biểu thức được gọi là hằng số Boltzmann.

$$k = \frac{R}{N_A} \approx 1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$$

k là một trong những hằng số cơ bản của tự nhiên. Nó chuyển đổi nhiệt độ, một thuộc tính thống kê vĩ mô, thành năng lượng của các hạt riêng lẻ. Nó là “tỷ giá quy đổi” giữa thế giới chúng ta cảm nhận (nhiệt độ) và thế giới của nguyên tử (năng lượng).

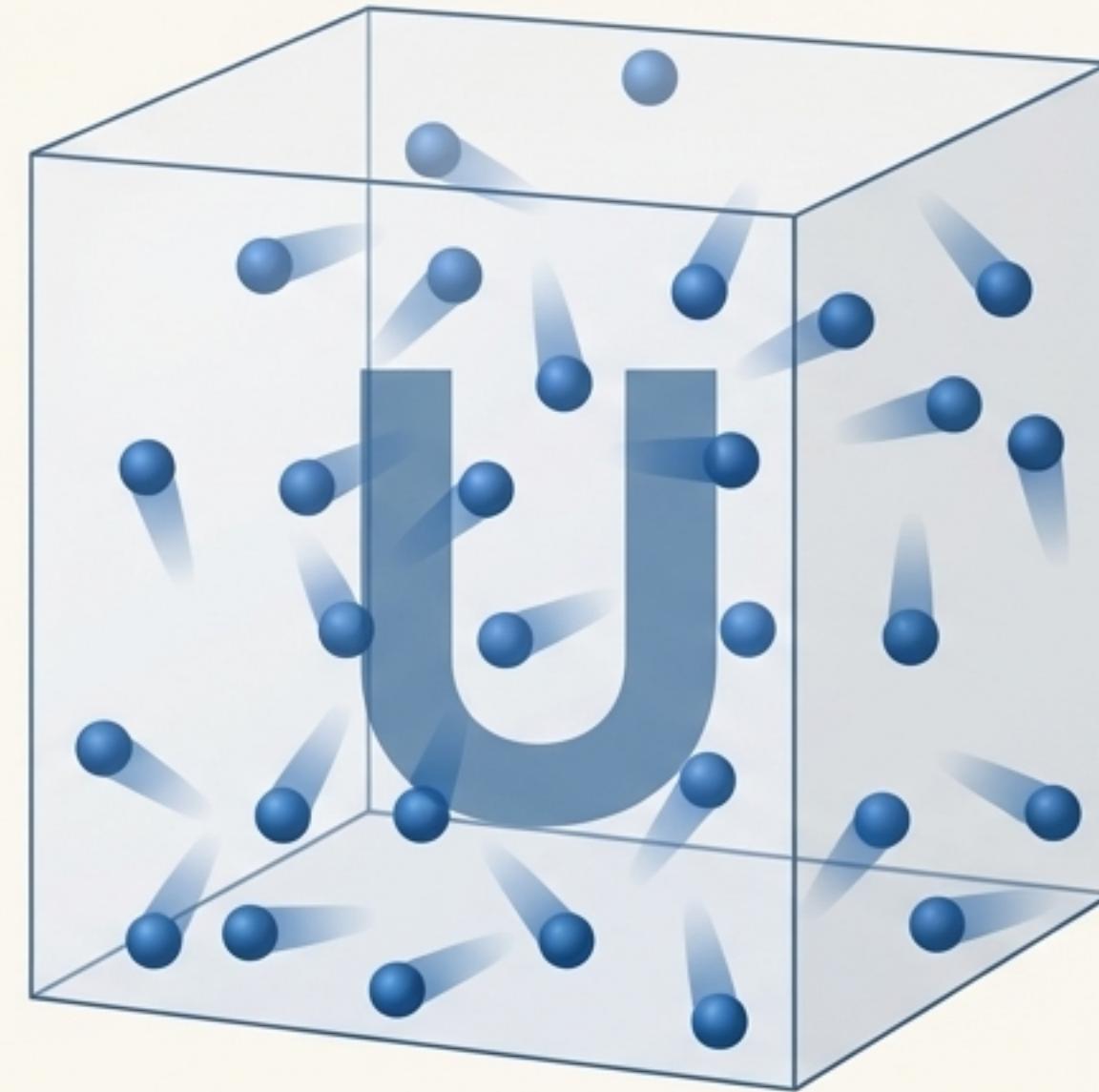


Bức tranh toàn cảnh: Nội năng của khí lý tưởng

Đối với khí lý tưởng đơn nguyên tử, nội năng U của khối khí là tổng động năng của tất cả các phân tử.

Calculation

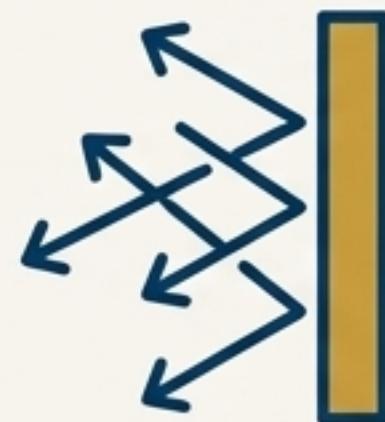
- Tổng số phân tử: N
- $U = N * W_d = N * (3/2 * kT)$
- Sử dụng $R = N_A * k$ và $N = n_{\text{mol}} * N_A$, ta có $Nk = n_{\text{mol}} * R$.
- Thay vào, ta được:



$$U = \frac{3}{2} * n_{\text{mol}} * RT$$

Nội năng của một khối khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nó.

Những ý chính cần ghi nhớ



Áp suất khí gây ra bởi vô số va chạm phân tử lên thành bình.



Ý tưởng lớn: Nhiệt độ tuyệt đối là thước đo trực tiếp cho động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử:

$$W_d = \frac{3}{2} \cdot kT$$



Phương trình cơ bản của thuyết động học:

$$p = \frac{1}{3} \cdot n \cdot m_0 \cdot v^2$$



Nội năng của một khối khí lý tưởng chỉ là một hàm của nhiệt độ:

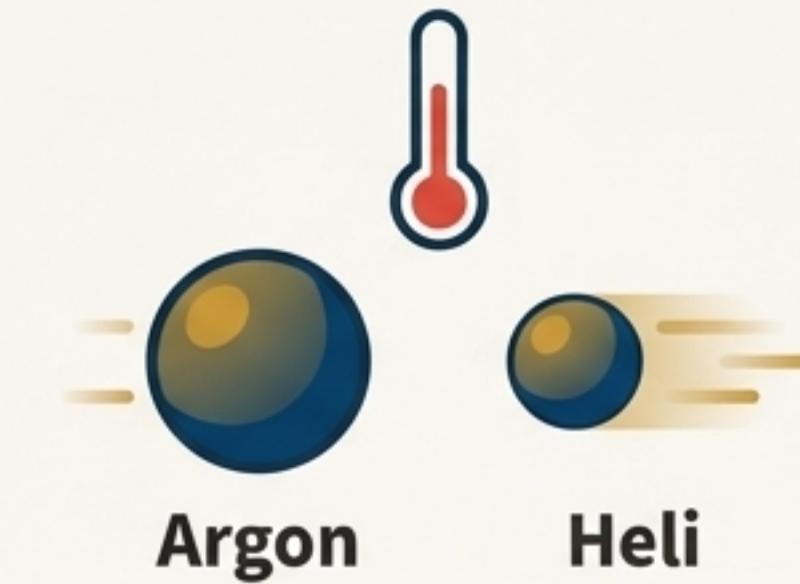
$$U = \frac{3}{2} \cdot n_{mol} \cdot RT$$

Mở rộng tư duy.



Không khí nóng sẽ bốc lên cao, tuy nhiên khi đứng trên đỉnh núi cao ta lại thấy lạnh hơn so với khi ở chân núi. Tại sao?

Gợi ý: Áp suất và mật độ không khí (*n*) giảm theo độ cao. Mặc dù mỗi phân tử riêng lẻ trên cao có thể có năng lượng lớn, nhưng có ít phân tử hơn rất nhiều để truyền nhiệt cho cơ thể bạn.



Nếu hai khối khí khác nhau (ví dụ Heli và Argon) ở cùng một nhiệt độ, loại phân tử nào sẽ chuyển động nhanh hơn? Phân tử nặng hơn hay nhẹ hơn?

Gợi ý: Chúng có cùng động năng trung bình ($W_d = \frac{1}{2} * m_0 * v^2$).