

VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG 1

CƠ NHIỆT

GV: TRỊNH HOA LĂNG



In warm-blooded or homeothermic (constant temperature) animals, body temperature is carefully regulated. The hypothalamus, located in the brain, acts as the master thermostat to keep body temperature constant to within a fraction of a degree Celsius in a healthy animal. When the body temperature starts to deviate much from the desired level, the hypothalamus causes changes in blood flow and metabolic processes, such as shivering or perspiration, to bring the temperature back to normal. What evolutionary advantage does a constant temperature give the warm-blooded animals (birds and mammals) over cold-blooded (such as reptiles and insects)? What is the answer.)

A crocodile basks on a rock in Lake Baringo (Kenya) to get warm.

BÀI 5

KHÍ LÝ

TƯỞNG



1

NHIỆT ĐỘ?

2

ÁP SUẤT?

3

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

4

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ CÁC CHẤT KHÍ

5

PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

6

PHÉP CỘNG ÁP SUẤT DALTON

Nhiệt động học cũng giải đáp nhiều thắc mắc trên thực tế. Bạn có bao giờ tự hỏi rằng làm sao tủ lạnh có thể làm lạnh các đồ ở bên trong nó?, kiểu biến đổi nào trong các nhà máy điện hay trong các động cơ xe mà ta đang sử dụng hàng ngày? Hay chuyện gì xảy ra đối với động năng của một vật đang chuyển động khi nó có khuynh hướng dừng lại? **Các nguyên lý nhiệt động học có thể được sử dụng để giải thích các hiện tượng trên.**

Trong cơ học chúng ta đã định nghĩa thành công các khái niệm khối lượng, lực và động năng để dễ dàng tính toán định lượng các đại lượng quan tâm. Tương tự mô tả định lượng của các hiện tượng nhiệt học cũng cần các định nghĩa các đại lượng quan trọng như ***nhiệt độ, nhiệt và nội năng***. Trong phần này ta sẽ định nghĩa các đại lượng này và đưa ra nguồn gốc của các đại lượng và các nguyên lý nhiệt động học đi kèm.



Định nghĩa nhiệt của nhiệt độ dựa trên khái niệm **cân bằng nhiệt**. Khi nhiệt độ của hai vật bằng nhau thì sẽ không còn bất kỳ dòng năng lượng nào giữa hai vật; lúc này vật được nói là ở **trạng thái cân bằng nhiệt**. *Do đó nhiệt độ là đại lượng quyết định khi nào các vật ở trạng thái cân bằng nhiệt. Các vật không nhất thiết có cùng năng lượng khi ở trạng thái cân bằng nhiệt – hay còn gọi NGUYÊN LÝ ZERO.*

Cơ sở đo nhiệt độ: hai vật ở trạng thái cân bằng nhiệt thì có cùng nhiệt độ.

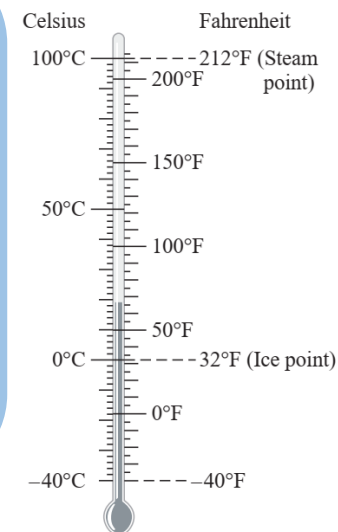
Các phép đo nhiệt độ là một phần không thể thiếu trong cuộc sống hàng ngày.

Vậy **nhiệt độ là gì?**: là đại lượng đặc trưng cho mức độ nóng hay lạnh của một vật hay một hệ.



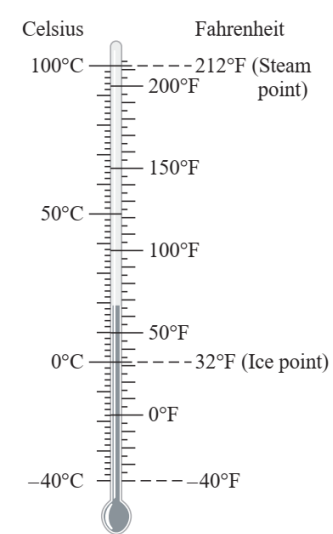
Nhiệt kế đo nhiệt độ bởi tính chất vật lý phụ thuộc vào nhiệt của một số chất như: (1) thể tích của chất lỏng; (2) kích thước của vật rắn; (3) áp suất của một thể tích chất khí không đổi; (4) thể tích chất khí ở áp suất không đổi.

Nhiệt kế dùng chất lỏng như thủy ngân hay alcohol đo nhiệt độ dựa trên sự nở nhiệt của các chất này.



NHIỆT ĐỘ

NHIỆT ĐỘ? – SỰ CÂN BẰNG NHIỆT



Giai đo nhiệt kế thông dụng nhất trên thế giới là giai đo độ Celsius °C. Ở thang đo nhiệt độ °C, ở 0°C là nhiệt độ đóng băng của nước ở áp suất 1atm và 100°C là nhiệt độ sôi (điểm bay hơi) của nước cũng ở áp suất 1atm.

Ở Mỹ thì thang đo nhiệt độ thông dụng nhất là Fahrenheit – độ °F, mối liên hệ giữa độ °F và độ °C là

$$T_F = 1,8(^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C})T_C + 32^{\circ}\text{F} \quad (1) \quad \text{Hay} \quad T_C = \frac{T_F - 32^{\circ}\text{F}}{1,8(^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{C})} \quad (2)$$

Trong hệ đơn vị SI thì thang đo của nhiệt độ là Kelvin ký hiệu K không có ký hiệu độ °, với 0K là không độ tuyệt đối, không có nhiệt độ nào thấp hơn 0K.

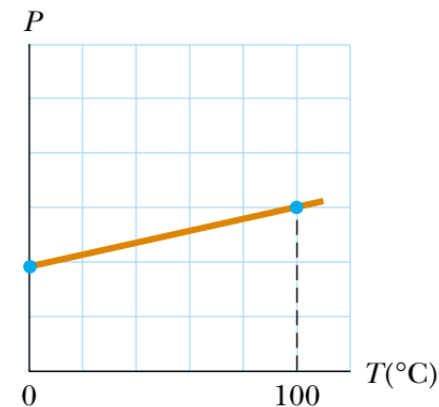
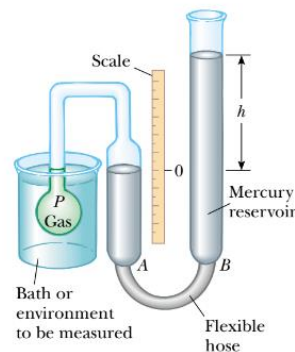
Nên mối liên hệ giữa độ °C (T_C hay ký hiệu t) và K (T_K hay ký hiệu T) như sau:

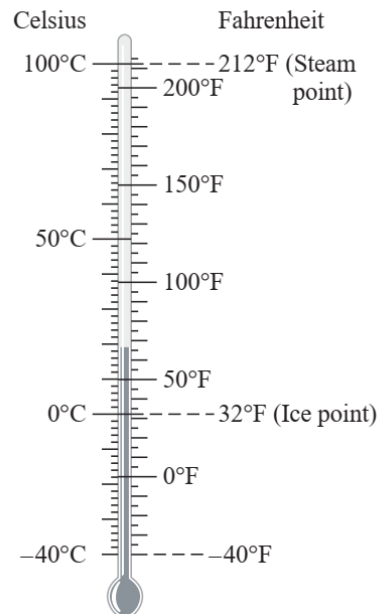
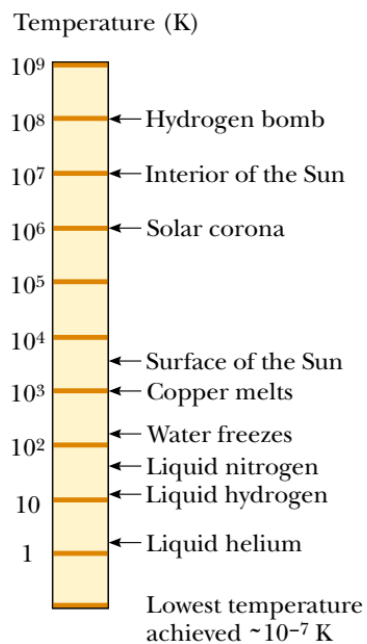
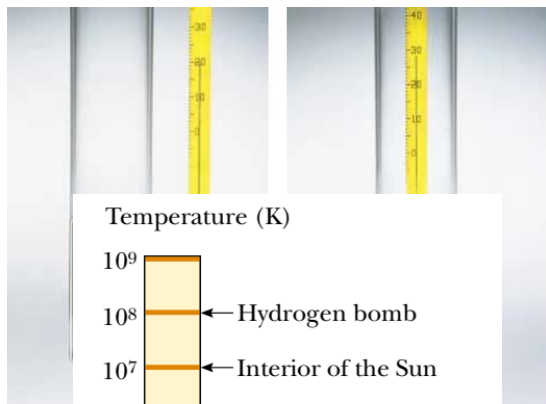
$$T_C = T_K - 273,15 \quad (3)$$

1

NHIỆT ĐỘ

CÁC GIAI (THANG) ĐO NHIỆT ĐỘ





Bảng một số sự chênh lệch nhiệt độ của các chất theo °C, °F hay K được cho trong bảng

Bảng nhiệt độ tham chiếu của một số chất

| | K | °C | °F | | K | °C | °F |
|---|------------|------|---------|----------------------------|--------|--------|--------|
| Không độ tuyệt đối | 0 | - | -459,67 | Nước sôi | 373,1 | 100,00 | 212,0 |
| Nhiệt độ thấp nhất tức thời được làm lạnh bằng laser | 10^{-9} | | | Lửa trại | 1000 | 700 | 1300 |
| Khoảng không giữa các thiên hà | 3 | -270 | -454 | Vàng nóng chảy | 1337 | 1064 | 1947 |
| Heli sôi ở | 4,2 | -269 | -452 | Bề mặt mặt trời; hàn sắt | 6300 | 6000 | 11000 |
| Nitơ sôi ở | 77 | -196 | -321 | Sợi tóc bóng đèn | 3000 | 2700 | 4900 |
| CO₂ đóng băng ở | 195 | -78 | -108 | Tâm của trái đất | 16000 | 15700 | 28300 |
| Thủy ngân đóng băng ở | 234 | -39 | -38 | Tia chớp sấm sét | 30000 | 30000 | 50000 |
| Nước đóng băng ở/ Băng tan chảy ở | 273,1 5 | 0 | 32,0 | Tâm mặt trời | 10^7 | 10^7 | 10^7 |
| Nhiệt độ cơ thể người | 310 | 37 | 98,6 | Bên trong ngôi sao neutron | 10^9 | 10^9 | 10^9 |

1

NHIỆT ĐỘ

CÁC GIAI (THANG) ĐO NHIỆT ĐỘ



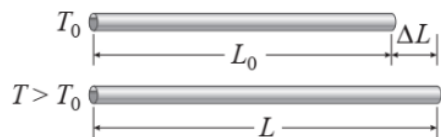
**ĐỌC
THÊM**

1

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

Hầu hết các vật đều giãn nở khi nhiệt độ của nó tăng lên. Nguyên nhân gây ra sự nở nhiệt đã được biết cách đâu rất lâu và đã được ứng dụng trong thực tế như các vòng sắt giữ các thanh gỗ trong các thùng đựng rượu.



**ĐỌC
THÊM**

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

Sự nở nhiệt dài: Nếu chiều dài của một vật dạng hình sợi, thanh hay dạng ống có chiều dài l_0 ở nhiệt độ t_0 thì khi ở nhiệt t :

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta t = \alpha(t - t_0) \quad (4)$$

Hay

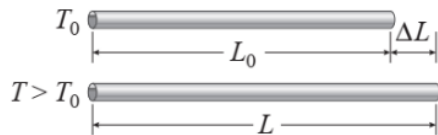
$$l = (1 + \alpha \Delta t) l_0 \quad (5)$$

Hệ số α được gọi là hệ số nở nhiệt tuyến tính của vật. Hệ số α phụ thuộc vào bản chất của vật liệu và có đơn vị trong hệ SI là K^{-1} hay $^{\circ}C^{-1}$.

Table 13.2

Coefficients of Linear Expansion α for Solids
(at $T = 20^\circ\text{C}$ unless otherwise indicated)

| Material | $\alpha (10^{-6} \text{ K}^{-1})$ |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Glass (Vycor) | 0.75 |
| Brick | 1.0 |
| Glass (Pyrex) | 3.25 |
| Granite | 8 |
| Glass, most types | 9.4 |
| Cement or concrete | 12 |
| Iron or steel | 12 |
| Copper | 16 |
| Silver | 18 |
| Brass | 19 |
| Aluminum | 23 |
| Lead | 29 |
| Ice (at 0°C) | 51 |



Bảng một số hệ số nở nhiệt tuyến tính cho một số chất rắn được cho trong bảng

ĐỌC
THÊM

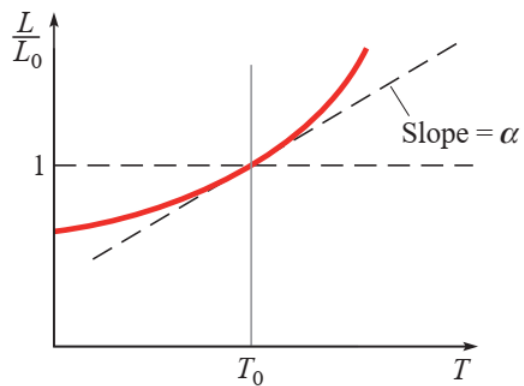
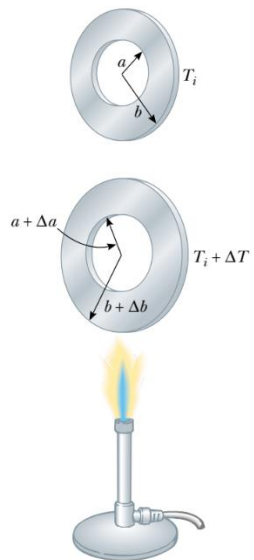
NHIỆT ĐỘ

SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN

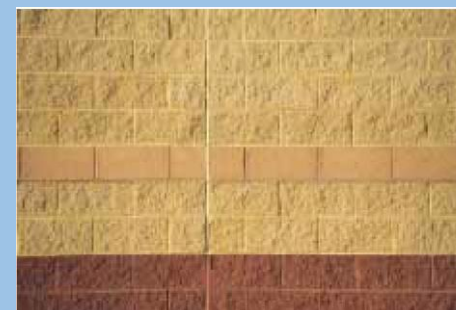
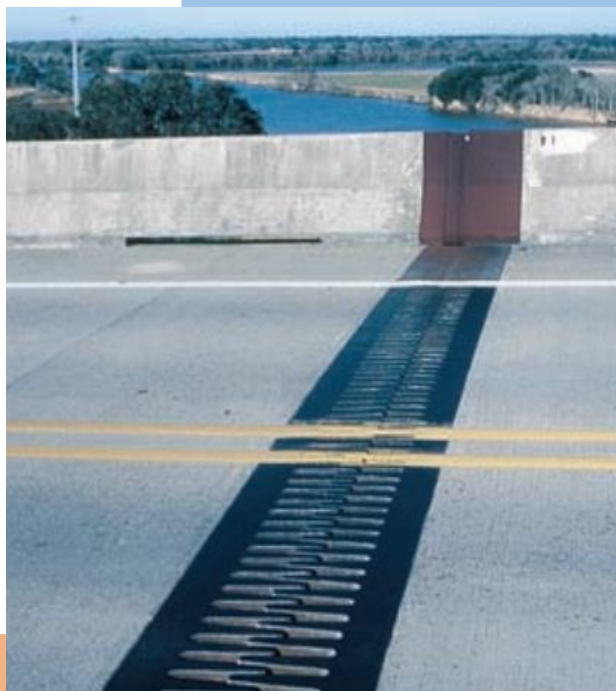
Table 19.1

Average Expansion Coefficients for Some Materials Near Room Temperature

| Material | Average Linear Expansion Coefficient (α) ($^\circ\text{C}$) $^{-1}$ | Material | Average Volume Expansion Coefficient (β) ($^\circ\text{C}$) $^{-1}$ |
|---------------------|--|---------------------------------------|---|
| Aluminum | 24×10^{-6} | Alcohol, ethyl | 1.12×10^{-4} |
| Brass and bronze | 19×10^{-6} | Benzene | 1.24×10^{-4} |
| Copper | 17×10^{-6} | Acetone | 1.5×10^{-4} |
| Glass (ordinary) | 9×10^{-6} | Glycerin | 4.85×10^{-4} |
| Glass (Pyrex) | 3.2×10^{-6} | Mercury | 1.82×10^{-4} |
| Lead | 29×10^{-6} | Turpentine | 9.0×10^{-4} |
| Steel | 11×10^{-6} | Gasoline | 9.6×10^{-4} |
| Invar (Ni-Fe alloy) | 0.9×10^{-6} | Air ^a at 0°C | 3.67×10^{-3} |
| Concrete | 12×10^{-6} | Helium ^a | 3.665×10^{-3} |



Ứng dụng sự nở nhiệt: như các miếng nối giữa hai mố cầu

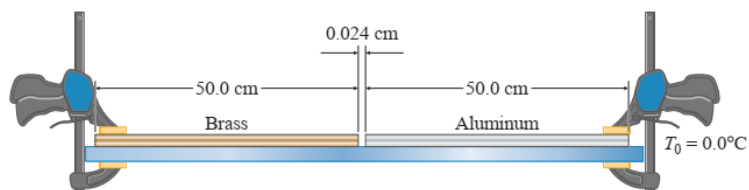


**ĐỌC
THÊM**

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

VÍ DỤ 2



**ĐỌC
THÊM**

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

Ví dụ: Hai thanh kim loại dài, một thanh nhôm và một thanh đồng thau mỗi một thanh được kẹp chặt ở một đầu như trong hình. Ở $0,0^\circ\text{C}$ hai thanh có chiều dài 50,0cm và cách nhau một khoảng 0,024cm ở hai đầu không kẹp. Hãy tính nhiệt độ để hai thanh vừa chạm nhau?

- HD: Hai thanh vật liệu khác nhau thì có độ nở dài khác nhau. Nhưng tổng độ nở dài phải bằng khoảng cách của hai thanh. Sau khi tìm ra ΔT thì ta cộng giá trị này với $0,0^\circ\text{C}$ để biết nhiệt độ mà hai thanh chạm vào nhau.

- Tóm tắt đề:

- $L_0 = 50,0\text{cm}, T = 0,0^\circ\text{C}$

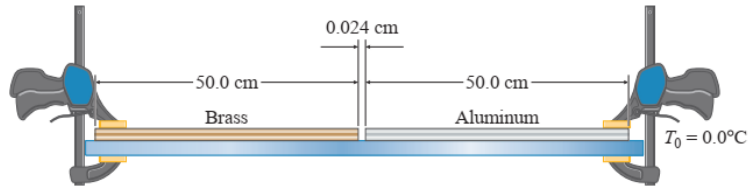
- Tra bảng ta có

- $\alpha_{br} = 19 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}; \alpha_{Al} = 23 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$

- Điều kiện: $\Delta L_{br} + \Delta L_{Al} = 0,024\text{cm}$

- Cần tìm $T_f = T_0 + \Delta T$

VÍ DỤ 2



GIẢI:

Sự nở dài của thanh đồng thau (brass): $\Delta L_{br} = \alpha_{br} \Delta T L_0$

Sự nở dài của thanh nhôm (Aluminum): $\Delta L_{Al} = \alpha_{Al} \Delta T L_0$

Theo đề cho ta có

$$\Delta L_{br} + \Delta L_{Al} = 0,025 \Rightarrow \alpha_{br} \Delta T L_0 + \alpha_{Al} \Delta T L_0 = 0,024 \text{ cm}$$

Hay

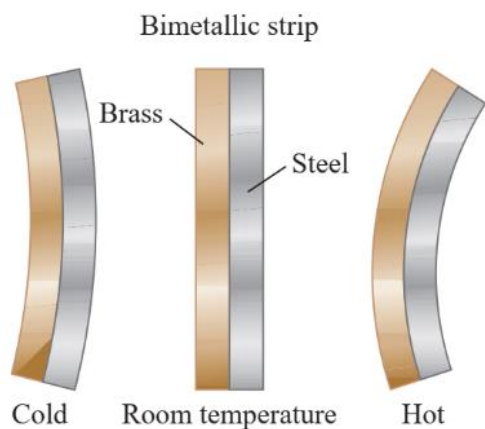
$$\Delta T = \frac{0,024 \text{ cm}}{L_0 (\alpha_{br} + \alpha_{Al})} = 11,4^\circ\text{C}$$

Ta có $T_f = T_0 + \Delta T = 11,4^\circ\text{C}$

**ĐỌC
THÊM**

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**



**ĐỌC
THÊM**

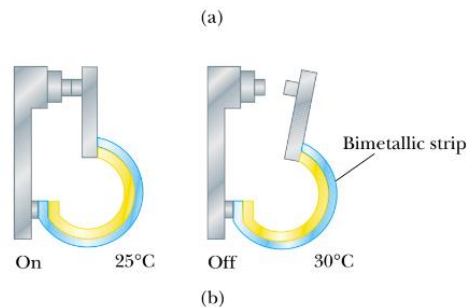
NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

SỰ NỞ NHIỆT DIỆN TÍCH: Đối với vật thể có kích thước 3 chiều thì mỗi một chiều của vật sẽ giãn nở khi nhiệt độ của vật tăng. Ví dụ như ống nước khi tăng nhiệt thì không chỉ chiều của ống giãn nở mà bán kính ống cũng giãn nở. Đối với vật liệu đồng chất thì sự nở nhiệt sẽ đồng đều theo mọi hướng mà sẽ làm thay đổi diện tích bề mặt của vật và thể tích của vật để vật không bị biến dạng. Đối với sự thay đổi nhỏ của nhiệt độ thì diện tích của bất kỳ bề mặt phẳng nào của vật rắn tỷ lệ với diện tích ban đầu A_0 và sự thay đổi nhiệt độ như sau:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha\Delta T \quad (6)$$

Hệ số 2 ở trước hệ số α là do bề mặt giãn nở theo hai hướng vuông góc nhau.



**ĐỌC
THÊM**

NHIỆT ĐỘ

**SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ
CHẤT RẮN**

SỰ NỞ NHIỆT THỂ TÍCH: Bởi vì sự nở dài của vật thay đổi theo nhiệt độ nên sự theo thể tích cũng thay đổi theo nhiệt độ. Sự nở nhiệt thể tích tỷ lệ với thể tích ban đầu V_0 và nhiệt độ như sau:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T \quad (7)$$

Với β là hệ số giãn nở thể tích trung bình của vật liệu. Đối với chất rắn đồng chất thì

$$\beta = 3\alpha \quad (8)$$

Tức là vật liệu giãn nở như nhau ở mọi hướng.

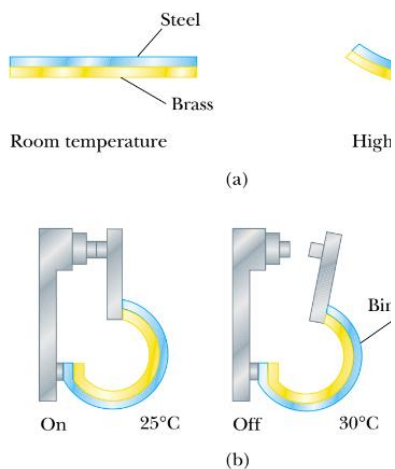


Table 19.1

| Average Expansion Coefficients for Some Materials Near Room Temperature | | | |
|---|--|-------------------------|---|
| Material | Average Linear Expansion Coefficient (α) ($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$ | Material | Average Volume Expansion Coefficient (β) ($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$ |
| Aluminum | 24×10^{-6} | Alcohol, ethyl | 1.12×10^{-4} |
| Brass and bronze | 19×10^{-6} | Benzene | 1.24×10^{-4} |
| Copper | 17×10^{-6} | Acetone | 1.5×10^{-4} |
| Glass (ordinary) | 9×10^{-6} | Glycerin | 4.85×10^{-4} |
| Glass (Pyrex) | 3.2×10^{-6} | Mercury | 1.82×10^{-4} |
| Lead | 29×10^{-6} | Turpentine | 9.0×10^{-4} |
| Steel | 11×10^{-6} | Gasoline | 9.6×10^{-4} |
| Invar (Ni-Fe alloy) | 0.9×10^{-6} | Air ^a at 0°C | 3.67×10^{-3} |
| Concrete | 12×10^{-6} | Helium ^a | 3.665×10^{-3} |

Giá trị hệ số nở nhiệt thể tích trung bình của một số vật liệu được cho trong bảng

ĐỌC
THÊM

NHIỆT ĐỘ

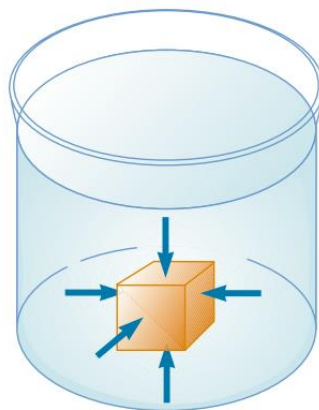
SỰ NỞ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ CHẤT RẮN

Table 13.3

Coefficients of Volume Expansion β for Liquids and Gases (at $T = 20^{\circ}\text{C}$ unless otherwise indicated)

| Material | $\beta(10^{-6} \text{ K}^{-1})$ |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Liquids | |
| Water (at 0°C)* | -68 |
| Mercury | 182 |
| Water (at 20°C) | 207 |
| Gasoline | 950 |
| Ethyl alcohol | 1120 |
| Benzene | 1240 |
| Gases | |
| Air (and most other gases) at 1 atm | 3340 |

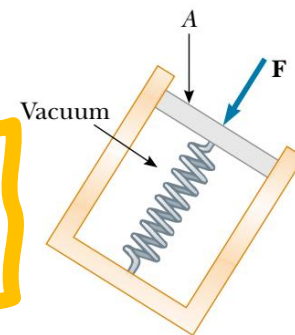
*Below 3.98°C, water contracts with increasing temperature.



Áp suất lên thành bình chứa được gây nên bởi các nguyên tử hay phân tử chuyển động nhanh của chất khí hay chất lỏng. Khi một phân tử va chạm với thành bình và bật ngược trở lại thì động lượng của nó bị thay đổi bởi lực tác dụng của thành bình lên phân tử khí (định luật 3 Newton).

Nếu lực tác dụng vuông góc với diện tích của pít tông **A** là **F** thì **áp suất P** tác dụng lên pít tông là:

$$P = \frac{F}{A} \quad (9)$$



vi phân lực tác dụng vô cùng nhỏ dF tác dụng lên phần tử vi phân diện tích vô cùng nhỏ dA như sau:

$$dF = P dA \rightarrow P = dF/dA \quad (10)$$

Đơn vị của áp suất theo hệ SI là **passcal** ký hiệu **Pa**:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Được đặt tên theo nhà khoa học người Pháp Blaise Pascal (1623 – 1662).

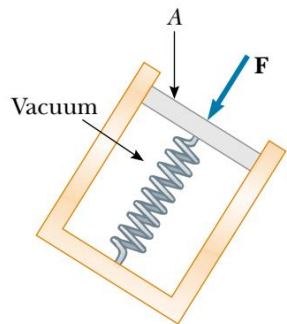
Đơn vị áp suất khí quyển atm – atmosphere. Một atm là áp suất không khí trung bình ở mực nước biển:

$$1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$$

2

ÁP SUẤT

VÍ DỤ 3



2

ÁP SUẤT

Áp suất của giày cao gót. Một cô gái có trọng lượng 534N đi vào phòng ngủ với đôi giày tennis đang mang trong chân. Sau đó cô gái thay váy áo và giày cao gót để đi chơi với bạn trai. Ta biết diện tích tiết diện của giày tennis là $60,0 \text{ cm}^2$ còn diện tích tiết diện của giày cao gót là $1,00 \text{ cm}^2$. Hãy tìm áp suất trung bình lên sàn nhà được gây ra đối với mỗi đôi giày giả sử rằng toàn bộ trọng lượng của cô gái được đặt trên một chân mang giày?

HD: Áp suất trung bình bằng với tác dụng lên sàn nhà chia cho diện tích tiếp xúc. Lực của giày tác dụng lên sàn nhà chính là trọng lượng của cô gái 534N. Ta cần phải đổi đơn vị diện tích từ cm^2 sang m^2 .

GIẢI:

Áp suất trung bình: $P = \frac{F}{A}$

Áp dụng cho giày tennis: $P = \frac{534\text{N}}{6,00 \times 10^{-3} \text{m}^2} = 8,90 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 89,0 \text{kPa}$

Áp dụng cho giày cao gót: $P = \frac{534\text{N}}{1,00 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 5,34 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 5,34 \text{MPa}$

Ở Mỹ áp suất trong lốp xe được đo bằng đơn vị pound/inch² (**lb/in²**).

Hay như ở trung tâm dự báo thời tiết đo áp suất khí quyển theo đơn vị bar hay milibar (**mbar**).

Mỹ dự báo thời tiết trên ti vi và dụng cụ đo khí áp trong nhà (phong vũ biểu – barometer) đo áp suất theo đơn vị inch của thủy ngân (**in Hg**).

Huyết áp sự khác biệt của áp suất máu và áp suất khí quyển được đo bằng đơn vị mili mét thủy ngân (**mm Hg**) hay còn được gọi là **torr**.

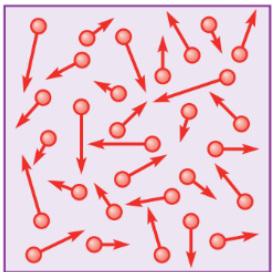
Mối liên hệ giữa các đơn vị đo áp suất được cho như sau:

$$1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa} = 1,013 \text{ bar} = 14,7 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} = 760,0 \text{ mm Hg} = 760,0 \text{ torr} = 29,9 \text{ in Hg}$$

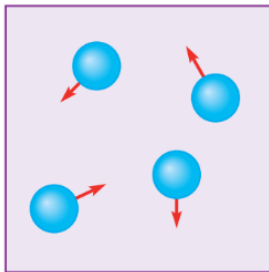
2

ÁP SUẤT

ĐO ÁP SUẤT



(a)



(b)

Mật độ số hạt (nguyên tử hay phân tử): Nếu chất khí có khối lượng M chiếm thể tích V , mỗi một phân tử khí có khối lượng m thì số phân tử khí là

$$N = \frac{M}{m} \quad (17)$$

Và mật độ số hạt trung bình là
$$\frac{N}{V} = \frac{M}{Vm} = \frac{\rho}{m} \quad (18)$$

Với $\rho = M/V$ là mật độ khối lượng.

Mole là đơn vị SI được định nghĩa như sau: một mol chất bất kỳ luôn có cùng số lượng của số nguyên tử Carbon – 12 trong 12gam Carbon – 12. Giá trị này được gọi là số Avogadro là:

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

là số nguyên tử hay phân tử trong một mol.

**GIẢI
THÍCH**

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

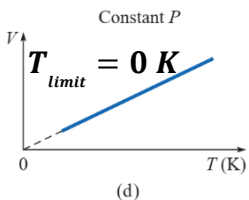
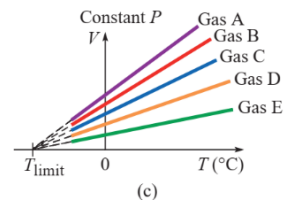
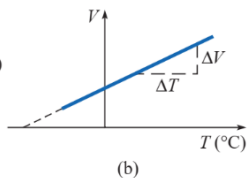
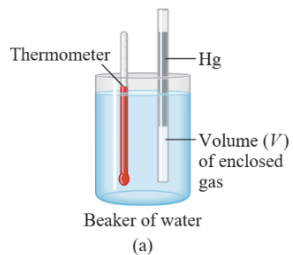
**BỨC TRANH CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ
– SỐ AVOGADRO**

Nên số mol ký hiệu n được tính bởi

$$\text{số mol} = \frac{\text{tổng số hạt (số nguyên tử hay phân tử)}}{\text{số hạt trong 1 mol}}$$

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (19)$$

N là số nguyên tử hoặc phân tử vật chất.



$$T_{\text{limit}} = -273,15^{\circ}\text{C}$$

Đối với chất khí thì sự nở nhiệt của thể tích chất khí sẽ như thế nào? Nhà khoa học người Pháp Jacques Charles (1746 – 1823) đã tìm ra bằng thực nghiệm rằng nếu áp suất của chất khí được giữ không đổi ($P = \text{const}$) thì sự thay đổi nhiệt độ của chất khí tỷ lệ với sự thay đổi thể tích của chất khí như minh họa trong hình a) như sau:

Định luật Charles:

$$\Delta V \propto \Delta T \text{ (với } P = \text{const)} \quad (20)$$

Khi đó định luật Charles được viết theo thang đo độ tuyệt đối Kelvin (K) như sau:

$$V \propto T \text{ (} P = \text{const)} \quad (21)$$

Định luật Gay – Lussac như sau:

$$P \propto T \text{ đối với } V = \text{const.} \quad (22)$$

Chỉ đúng cho khí loãng

hai thí nghiệm khác đã được thực hiện để khám phá ra định luật này cho chất khí loãng là định luật Boy và Avogadro.

Định luật Boy :

$$P \propto \frac{1}{V} \text{ (với } T = \text{const)} \quad (23)$$

Định luật Avogadro:

$$V \propto N \text{ (với } T = \text{const và } P = \text{const)} \quad (24)$$

GIẢI THÍCH

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

CHARLES: $V \propto T$ ($P = \text{const}$) (21)

GAY – LUSSAC: $P \propto T$ ($V = \text{const}$). (22)

BOY: $P \propto \frac{1}{V}$ ($T = \text{const}$) (23)

AVOGADRO : $V \propto N$ ($T = \text{const}$ và $P = \text{const}$)

Kết hợp các định luật trên ta có phương trình mô tả sự phụ thuộc của thể tích (V), áp suất (P), nhiệt độ (T) và số phân tử chất khí (N) được gọi là **phương trình trạng thái khí lý tưởng VI MÔ** :

$$PV = Nk_B T \quad (25)$$

$k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$: hằng số Boltzmann

Phương trình trạng thái khí lý tưởng được biểu diễn theo số mol (n) thay cho biểu diễn theo số phân tử khí (N): $N = nN_A$

$$PV = Nk_B T = nN_A k_B T \quad (26)$$

P được tính theo đơn vị Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$), thể tích V tính theo đơn vị mét khối (m^3) thì PV có đơn vị N.m hay là Joule ($1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$).

Nên ta đặt $R = N_A k_B = 8,31 \text{ J/(K.mol)}$ được gọi là hằng số khí.

KHÍ LÝ TƯƠNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

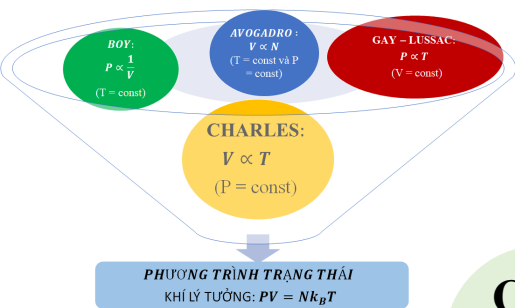
PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯƠNG

$$n = \frac{M}{\mu}$$

$$PV = nRT \quad (27)$$

$$PV = \frac{M}{\mu} RT \quad (28)$$

khối lượng chất khí là M và khối lượng một mol là μ



$$PV = nRT \quad (27)$$

$$\frac{PV}{T} = nR \equiv \text{const} \quad (29)$$

Cho thấy rằng đối với khí lý tưởng thì tỷ số PV trên T luôn không đổi nên cho dù hệ chất khí thay đổi như thế nào ở trạng thái nào thì ta luôn có

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j V_j}{T_j} \quad (31)$$

Các đại lượng P , V và T được gọi là các biến **nhiệt động học** của khí lý tưởng.

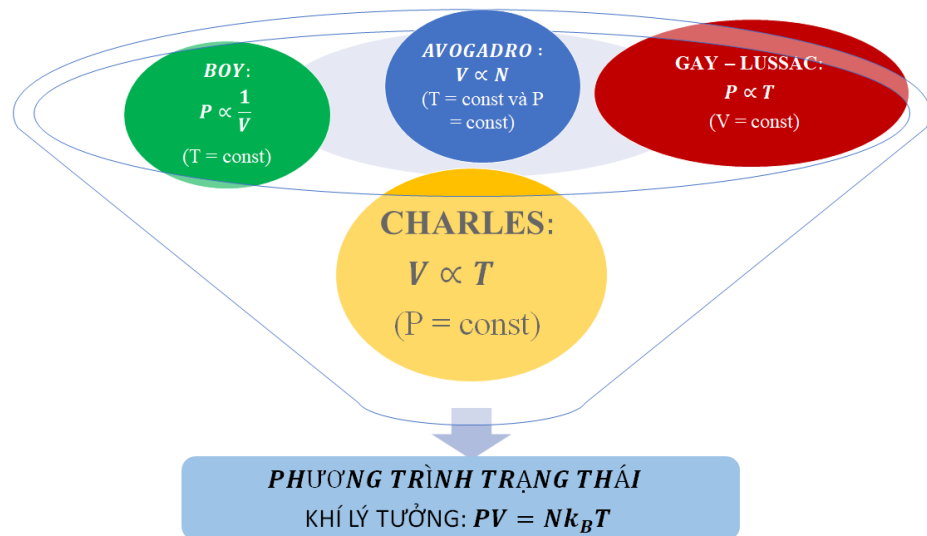
Như vậy định luật khí lý tưởng khẳng định rằng nếu thể tích (V) và nhiệt độ (T) của một lượng khí nhất định (n) không đổi thì áp suất của chất khí (P) cũng không đổi.

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j V_j}{T_j}$$



KHÍ LÝ TƯỢNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

TÓM LẠI:

QUÁ TRÌNH ĐẲNG ÁP – ĐỊNH LUẬT CHARLES ($P = \text{CONST}$):

$$\frac{V}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \frac{V_j}{T_j}$$

QUÁ TRÌNH ĐẲNG TÍCH – ĐỊNH LUẬT GAY - LUSSAC ($V = \text{CONST}$):

$$\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j}{T_j}$$

QUÁ TRÌNH ĐẲNG NHIỆT – ĐỊNH LUẬT BOY ($T = \text{CONST}$):

$$PV = \text{const} \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots = P_j V_j$$

VÍ DỤ 8

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j V_j}{T_j}$$

Một khí lý tưởng chiếm thể tích 100cm^3 ở nhiệt độ 20°C và áp suất 100Pa . Hãy tìm số mol của khí lý tưởng?

Giải:

$$V = 100\text{cm}^3 = 10^{-4} \text{ m}^3; P = 100\text{Pa}; T = 20^\circ\text{C} = 293\text{K}.$$

Sử dụng phương trình (29) ta có

$$\frac{PV}{T} = nR \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{(100\text{Pa})(10^{-4}\text{m}^3)}{(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}})(293\text{K})} = 4,11 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

VÍ DỤ 9

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j V_j}{T_j}$$

Một bình khí của thợ lặn biển được thiết kế để chứa được 66 ft³ không khí khi không khí ở áp suất khí quyển và ở nhiệt độ 22°C. Nếu thể tích không khí này được nén vào bình khí có thể tích 10 lít (0,350 ft³) có áp suất 3000 lb/in, thì không khí sẽ trở nên rất nóng nên bình chứa khí lúc này cần được làm mát trước khi sử dụng. Hãy xác định nhiệt độ bình khí trước khi sử dụng giả sử không khí được xem là khí lý tưởng?

Giải:

$$V_1 = 66 \text{ ft}^3; P_1 = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb/in}^2; T_1 = 22^\circ\text{C} = 295\text{K}$$

$$V_2 = 10 \text{ lít} = 0,35 \text{ ft}^3; P_2 = 3000 \text{ lb/in}^2; T_2 = ?$$

Ta sử dụng công thức (31)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_1 \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 319\text{K}$$

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_j V_j}{T_j}$$

Bài tập hiểu & áp dụng 6

Một bình xịt chứa khí có áp suất gấp hai lần áp suất khí quyển (202kPa) có thể tích 125cm³ ở nhiệt độ 22°C. Ném bình xịt này vào đồng lửa khi đó nhiệt độ của bình xịt tăng lên 195°C.

- Giả sử thể tích bình thay đổi không đáng kể hãy xác định áp suất khí của bình lúc này?
- Giả sử thể tích của bình thay đổi theo sự nở nhiệt theo thể tích của thép, hãy xác định áp suất của bình lúc này?

Bài tập hiểu & áp dụng 7

Trước một chuyến đi dài ta thường kiểm tra các bánh xe để đảm bảo rằng các bánh xe được bơm căng phù hợp ở áp suất 31 lb/in² (214 kPa) và nhiệt độ là 15°C. Sau vài giờ chạy trên cao tốc, ta dừng lại kiểm tra áp suất bánh xe ta thấy áp suất bánh xe bây giờ là 35 lb/in² (241 kPa). Hãy tính nhiệt độ không khí trong bánh xe lúc này?

KHÍ LÝ TƯỞNG – PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI

3

Trong chất khí **tương tác của hai phân tử hay nguyên tử yếu** và giảm rất nhanh khi khoảng cách giữa hai nguyên tử hay phân tử tăng.

Trong chất khí loãng khoảng cách trung bình giữa hai nguyên tử hay phân tử đủ lớn nên ta có thể **bỏ qua tương tác của chúng ngoại trừ khi chúng va chạm lẫn nhau**.

Thêm vào đó **thể tích của nguyên tử hay phân tử rất nhỏ** so với tổng **thể tích chứa cả khối khí (V)** – nên chất khí được xem hầu như là “không gian trống”.

Khí lý tưởng là mô hình **đơn giản của chất khí loãng** mà ta xem các nguyên tử hay phân tử khí như là chất điểm chuyển động độc lập tự do trong không gian không tương tác với nhau ngoại trừ khi chúng tương tác và chạm đàn hồi với nhau.

Mô hình xấp xỉ này đúng cho một số chất khí trong điều kiện bình thường. Có nhiều tính chất của chất khí có thể được tìm hiểu từ mô hình này. Lý thuyết vi mô dựa trên mô hình này được gọi là **thuyết động học khí lý tưởng**.

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4



Khí lý tưởng là chất khí tuân theo một số giả thuyết sau:

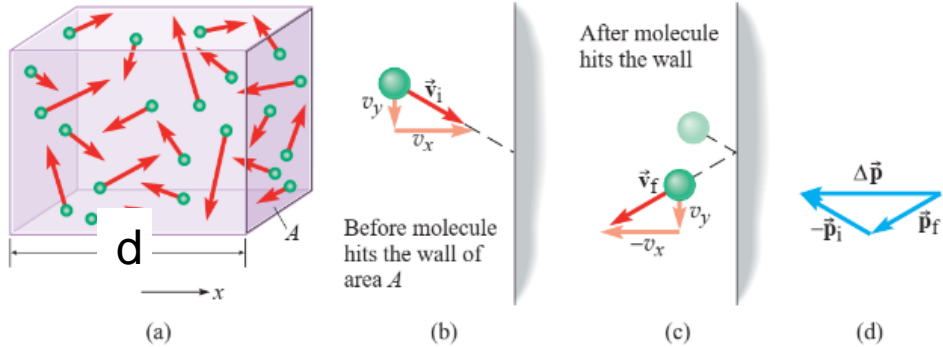
1. Số lượng phân tử khí lớn và khoảng cách trung bình giữa các phân tử khí thì rất lớn so với kích thước của phân tử khí.
2. Chuyển động các phân tử khí tuân theo các định luật chuyển động của Newton. Nhưng các phân tử khí chuyển động độc lập, tự do và ngẫu nhiên. Có nghĩa là các phân tử khí có thể chuyển động ở bất kỳ hướng nào ở bất kỳ tốc độ nào.
3. Các phân tử khí chỉ tương tác khi chúng va chạm đàn hồi với nhau.
4. Các phân tử khí va chạm đàn hồi với thành bình chứa.
5. Các phân tử khí trong chất khí là cùng một loại.

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4

KHÍ LÝ TƯỞNG

Áp dụng đầu tiên của thuyết động học khí lý tưởng là tìm **áp suất của N** phân tử khí lý tưởng chứa trong bình có thể **tích V** theo các đại lượng vi mô



Lực do va **chạm đàn hồi** của các **phân tử** khí lên thành bình hướng ra **khỏi thành bình** tạo ra **áp suất P** lên thành bình.

GIẢI THÍCH

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4

CƠ SỞ VI MÔ CỦA ÁP SUẤT

Áp suất **P** của các phân tử khí lên thành bình phụ thuộc vào 3 yếu tố:

- Có bao nhiêu phân tử khí ở trong bình.
- Tần suất phân tử khí va chạm với thành bình.
- Sự truyền động lượng của mỗi một va chạm lên thành bình.

Nếu ta xét phương x là phương vuông góc với thành bình thì nếu động lượng của phân tử khí trước va chạm là thì động lượng của phân tử sau khi va chạm với thành bình là (do phân tử tán xạ ngược trên thành bình theo phương x):

$$\Delta p_{xi} = p'_{xi} - p_{xi} = -mv_{xi} - mv_{xi} = -2mv_{xi} \quad (32)$$

Lực tác dụng trung bình của thành bình lên phân tử theo phương x là

$$\bar{F}_i \Delta t_c = \Delta p_{xi} = -2mv_{xi} \quad (33)$$

Để cho phân tử này thực hiện va chạm tiếp theo trên cùng một thành bình thì nó phải di chuyển trên quãng đường $2d$ theo phương x \Rightarrow thời gian va chạm giữa hai lần liên tiếp của một phân tử trên cùng một thành bình là:

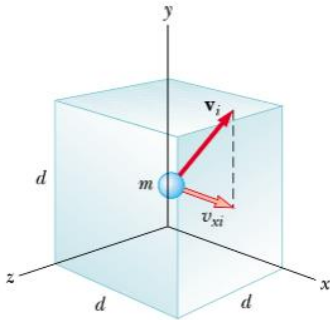
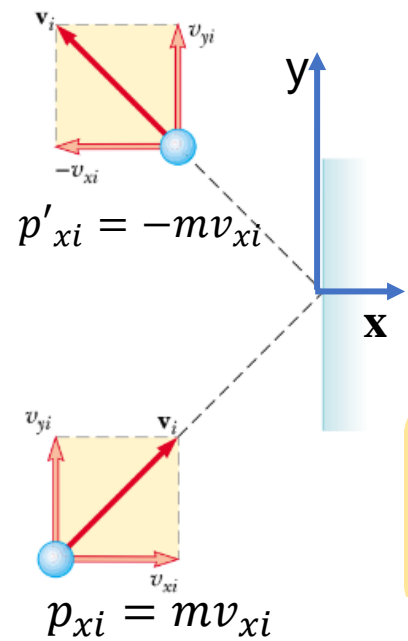
$$\Delta t_c \cong \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{2d}{v_{xi}} \quad (34)$$

Nên giờ lực trung bình được tính như sau:

$$\bar{F}_i \Delta t_c = \bar{F}_i \Delta t = \Delta p_{xi} = -2mv_{xi} \quad (35)$$

$$\bar{F}_i \frac{2d}{v_{xi}} = -2mv_{xi} \Rightarrow \bar{F}_i = -\frac{mv_{xi}^2}{d} \quad (36)$$

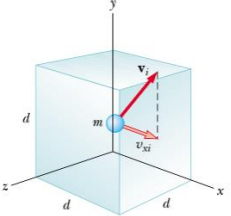


GIẢI THÍCH

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

CƠ SỞ VI MÔ CỦA ÁP SUẤT

4



Lực tác dụng trung bình của thành bình lên phân tử theo phương x là

$$\bar{F}_i \frac{2d}{v_{xi}} = -2mv_{xi} \Rightarrow \bar{F}_i = -\frac{mv_{xi}^2}{d} \quad (36)$$

Theo định luật 3 Newton thì 1 phân tử sẽ tác dụng lên thành bình một lực \bar{F}'_i

$$\bar{F}'_i = -\bar{F}_i = \frac{mv_{xi}^2}{d} \quad (37)$$

Xét tất cả các phân tử trong bình ta có tổng lực trung bình \bar{F}

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^N \bar{F}'_i = \sum_{i=1}^N \frac{mv_{xi}^2}{d}$$

$$\bar{F} = \frac{m}{d} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2 \quad (38)$$

Với số lượng rất lớn các phân tử khí thì lực tác dụng lên thành bình nên ta thay ký hiệu lực trung bình $\bar{F} \equiv F$

$$F = \frac{m}{d} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2 \quad (39)$$

vận tốc bình phương trung bình theo trục x

$$\overline{v_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^N v_{xi}^2}{N} \quad (40)$$

$$F = \frac{m}{d} N \overline{v_x^2} \quad (41)$$

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

CƠ SỞ VI MÔ CỦA ÁP SUẤT

4

Nếu ta xét tất cả các thành phần vận tốc của phân tử theo x, y và z thì ta có vận tốc toàn phần bình phương trung bình là

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \quad (42)$$

Do các phân tử khí chuyển động độc lập và ngẫu nhiên nên vận tốc bình phương trung bình trên các phương x, y và z luôn bằng nhau

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \quad (43)$$

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2} \quad (44)$$

$$F = \frac{m}{d} N \overline{v_x^2} \quad (41)$$

$$F = \frac{m}{d} N \frac{\overline{v^2}}{3} = \frac{N}{3} \left(\frac{m \overline{v^2}}{d} \right) \quad (45)$$

có áp suất phân tử khí **P** lên thành bình có diện tích **A** là

$$V = d^3$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{d^2} = \frac{N}{3} \left(\frac{m \overline{v^2}}{d} \right) \frac{1}{d^2} = \frac{1}{3} \left(\frac{N}{V} \right) m \overline{v^2} \quad (46)$$

$$P = \frac{2}{3} \left(\frac{N}{V} \right) \frac{m \overline{v^2}}{2} \quad (47)$$

Kết quả này cho thấy áp suất của chất khí tỷ lệ với số phân tử khí trên một đơn vị thể tích (N/V) và động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí ($\frac{m \overline{v^2}}{2}$).

GIẢI THÍCH

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4

CƠ SỞ VI MÔ CỦA ÁP SUẤT

$$P = \frac{2}{3} \left(\frac{N}{V} \right) \frac{m \overline{v^2}}{2} \Leftrightarrow PV = \frac{2}{3} N \frac{m \overline{v^2}}{2}$$

Phương trình trạng thái khí lý tưởng

$$PV = Nk_B T \quad (49)$$

Từ phương trình áp suất ta thấy rằng muốn tăng áp suất của bình chứa thì ta có hai cách:

Thứ 1: Tăng số lượng phân tử khí trên một đơn vị thể tích (N/V), điều này tương tự việc ta bơm không khí vào bánh xe tức là ta đang tăng số lượng phân tử không để tăng áp suất.

Thứ 2: ta tăng động năng tịnh tiến trung bình của phân tử bằng cách tăng nhiệt độ. Nên khi xe chạy ma sát bánh xe và mặt đường làm tăng nhiệt độ khí trong bánh xe cũng sẽ làm tăng áp suất của bánh xe.

$$\frac{m \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} k_B T \quad (50)$$

Động năng trung bình nhiệt ở nhiệt độ T của phân tử khí.

$$T = \frac{2}{3k_B} \frac{m \overline{v^2}}{2} \quad (51)$$

nhiệt độ có thể được dùng để đo trực tiếp động năng trung bình của phân tử khí.

định động năng trung bình tại nhiệt độ T trên từng chiều x , y và z với $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$ như sau:

$$\frac{m \overline{v_x^2}}{2} = \frac{1}{2} k_B T; \quad \frac{m \overline{v_y^2}}{2} = \frac{1}{2} k_B T; \quad \frac{m \overline{v_z^2}}{2} = \frac{1}{2} k_B T \quad (52)$$

Ta có tổng động năng tịnh tiến của N phân tử khí là

$$K_t = N \left(\frac{m \overline{v^2}}{2} \right) = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2} n R T \quad (53)$$

$$n = N/N_A \text{ và } R = N_A k_B.$$

hệ số “3” ở trước $\frac{1}{2} N k_B T$ được xem như là bậc tự do của phân tử khí trong trường hợp này phân tử khí hoạt động có bậc tự do là 3 chuyển động độc lập theo 3 chiều

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4

CƠ SỞ VI MÔ CỦA ÁP SUẤT

Some rms Speeds

| Gas | Molar mass (g/mol) | v_{rms} at 20°C(m/s) |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| H ₂ | 2.02 | 1 902 |
| He | 4.00 | 1 352 |
| H ₂ O | 18.0 | 637 |
| Ne | 20.2 | 602 |
| N ₂ or CO | 28.0 | 511 |
| NO | 30.0 | 494 |
| O ₂ | 32.0 | 478 |
| CO ₂ | 44.0 | 408 |
| SO ₂ | 64.1 | 338 |

Từ đây cũng cho thấy rằng động năng tịnh tiến của khí lý tưởng cũng chính là nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

Khai căn vận tốc bình phương trung bình ta có vận tốc quân phương “root mean square - rms”, từ phương trình (50) là

$$v_{rms} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{mN_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (54)$$

Với $M = mN_A$ là khối lượng mol của chất khí. Khối lượng mol và vận tốc quân phương của một số chất khí ở nhiệt độ nhất định được cho trong bảng.

4

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

NHIỆT ĐỘ & ĐỘNG NĂNG TỊNH TIẾN TRUNG BÌNH

VÍ DỤ 11

Some rms Speeds

| Gas | Molar mass (g/mol) | v_{rms} at 20°C(m/s) |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| H ₂ | 2.02 | 1 902 |
| He | 4.00 | 1 352 |
| H ₂ O | 18.0 | 637 |
| Ne | 20.2 | 602 |
| N ₂ or CO | 28.0 | 511 |
| NO | 30.0 | 494 |
| O ₂ | 32.0 | 478 |
| CO ₂ | 44.0 | 408 |
| SO ₂ | 64.1 | 338 |

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

4

NHIỆT ĐỘ & ĐỘNG NĂNG TỊNH TIẾN TRUNG BÌNH

Một bình chứa khí He có thể tích 0,3 m³ chứa 2,0 mol khí ở nhiệt độ 20,0°C. Giả sử xem He là khí lý tưởng.

- Tính tổng động năng tịnh tiến của các phân tử khí?
- Tính động năng trung bình của một phân tử khí?

Giải:

- Dùng công thức (53)

$$K_t = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2} \times (2,0 \text{ mol}) \times (8,31 \text{ J/K} \cdot \text{mol}) \times (293 \text{ K}) \\ = 7,3 \times 10^3 \text{ J}$$

- Dùng công thức (50) ta có

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}k_B T = 6,07 \times 10^{-21} \text{ J}$$



Ludwig Boltzmann
Austrian physicist (1844–1906)

Boltzmann made many important contributions to the development of the kinetic theory of gases, electromagnetism, and thermodynamics. His pioneering work in the field of kinetic theory led to the branch of physics known as statistical mechanics. (Courtesy of AIP Niels Bohr Library, Lande Collection)

Trên thực tế các phân tử khí chuyển động hỗn loạn tự do, ngẫu nhiên và có các vận tốc khác nhau, **nên giờ ta muốn biết có bao nhiêu phân tử khí có vận tốc nằm trong một khoảng xác định nào đó.**

Do mỗi một phân tử khí bất kỳ va chạm với các phân tử khác ở tần suất va chạm cực kỳ lớn tiêu biểu khoảng cả tỷ lần va chạm trên một giây. Mỗi một va chạm sẽ làm đổi hướng và vận tốc của phân tử khí. **Nên các phương trình ở trên chỉ có thể dùng các giá trị trung bình của vận tốc phân tử khí.**

xét đến mật độ số hạt trong một đơn vị thể tích V có năng lượng E là $n_V(E)$ là một hàm của năng lượng **được gọi là hàm phân bố**

$$n_V(E)dE \quad (54)$$

Là số phân tử trong một đơn vị thể tích có năng lượng trong khoảng từ E đến $E + dE$

Theo vật lý thống kê ta có

$$n_V(E) = n_0 e^{-\frac{E}{k_B T}} \quad (55)$$

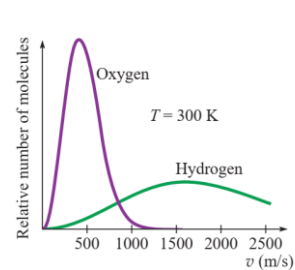
GIẢI THÍCH

5 ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

PHÂN BỐ MAXWELL – BOLTZMANN

Với n_0 là tổng mật độ số hạt trong một đơn vị thể tích có năng lượng trong khoảng từ $E = 0$ đến E . Phương trình này được biết như là phương trình định luật **phân bố Boltzmann**.

Xác suất tìm thấy các phân tử có năng lượng cụ thể E thay đổi theo hàm e mũ âm của năng lượng phân tử E chia cho $k_B T$.



Sự phân bố vận tốc các phân tử khí đã được quan sát ở **trạng thái cân bằng nhiệt** được cho trong hình. Đại lượng N_v được gọi là **hàm phân bố vận tốc Maxwell – Boltzmann**. Nó được định nghĩa như sau

Gọi N là tổng số phân tử khí có trong bình chứa thì số phân tử khí có vận tốc nằm trong khoảng v và $v + dv$ là

$$dN = N_v dv \quad (56)$$

Biểu thức cơ bản của phân bố vận tốc của N chất khí được cho

$$N_v \equiv N_v(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}} \quad (57)$$

Vận tốc trung bình

$$\bar{v} = \frac{\int_0^\infty v N_v(v) dv}{\int_0^\infty N_v(v) dv} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}} \quad (58)$$

Vận tốc bình phương trung bình

$$\overline{v^2} = \frac{\int_0^\infty v^2 N_v(v) dv}{\int_0^\infty N_v(v) dv} = \frac{3k_B T}{m} \quad (59)$$

Nên ta có vận tốc quân phương

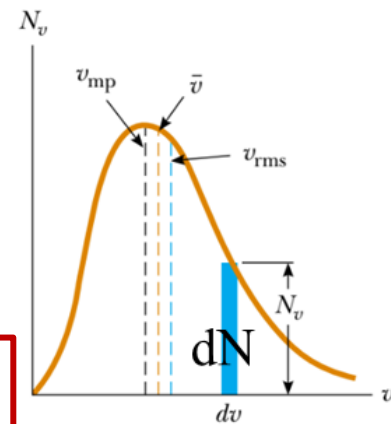
$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \quad (60)$$

Vận tốc phân bố cực đại

$$\frac{dN_v}{dv} = 0 \Leftrightarrow 2v - \frac{mv^3}{k_B T} = 0 \Rightarrow v \equiv v_{mp} = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}} \quad (61)$$

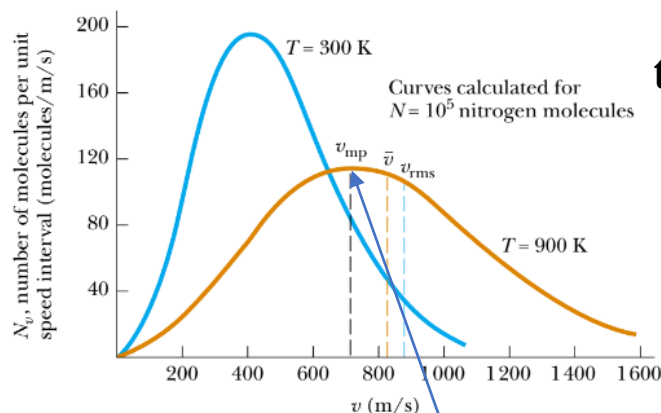
có một vận tốc nằm ở đỉnh phân bố được gọi là vận tốc có xác suất cực đại v_{mp} mà phần lớn các phân tử khí có vận tốc này.

$$v_{rms} > \bar{v} > v_{mp} \quad (62)$$



Vào năm 1860 James Clerk Maxwell (1831 – 1879) đã đưa ra biểu thức phân bố vận tốc phân tử khí. 60 năm sau các nhà thực nghiệm đã chứng minh được định luật này của Maxwell.

m là khối lượng của một phân tử khí, k_B là hằng số Boltzmann



5

ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

CÁC PHÂN BỐ VẬN TỐC PHÂN TỬ KHÍ

GIẢI THÍCH



Ludwig Boltzmann
Austrian physicist (1844–1906)

Boltzmann made many important contributions to the development of the kinetic theory of gases, electromagnetism, and thermodynamics. His pioneering work in the field of kinetic theory led to the branch of physics known as statistical mechanics. (Courtesy of AIP Niels Bohr Library, Lande Collection)

Giờ ta sẽ xem xét sự phân bố các phân tử khí trong bầu khí quyển của trái đất.

Xem xét có bao nhiêu phân tử khí trên một đơn vị thể tích thay đổi theo độ cao tính từ mực nước biển.

Giả sử rằng nhiệt độ của khí quyển là T không đổi theo độ cao.

Thực tế thì cứ mỗi 300m độ cao thì nhiệt độ sẽ giảm 2°C . Ta xem không khí như là khí lý tưởng.

Theo định luật khí lý tưởng $PV = Nk_B T$ $n_v = \frac{N}{V}$

Đại lượng n_v thì rất quan trọng vì nó thay đổi từ điểm này đến điểm khác \Rightarrow Biết mật độ số phân tử khí $n_v \Rightarrow$ thể tính được áp suất tại điểm đó và ngược lại.

xét mô hình của một lớp không khí có bề dày dy và có diện tích A ở tại độ cao y

Trọng lượng của khối khí

$$p = Nmg = n_v mgAdy \quad (63)$$

Lực do các lớp khí ở trên có áp suất $P + dP$ lên A

$$F_1 = (P + dP)A \quad (64)$$

Lực do các lớp khí ở dưới có áp suất P lên A

$$F_2 = PA \quad (65)$$

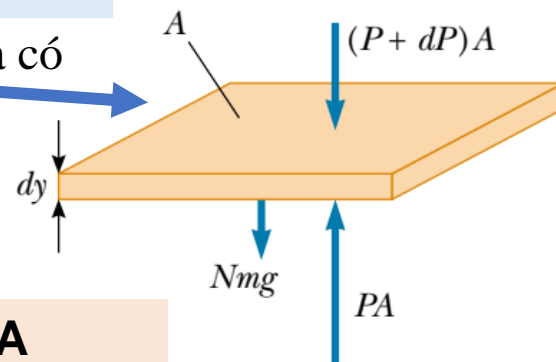
Do tổng lực lên lớp khí bằng không

$$F_2 - F_1 - p = 0$$

$$\Leftrightarrow PA - (P + dP)A = n_v mgAdy \quad (66)$$

$$dP = -mgn_v dy \quad (67)$$

$$k_B T dn_v = -mgn_v dy \Rightarrow \frac{dn_v}{n_v} = -\frac{mg}{k_B T} dy \quad (69)$$



5

ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

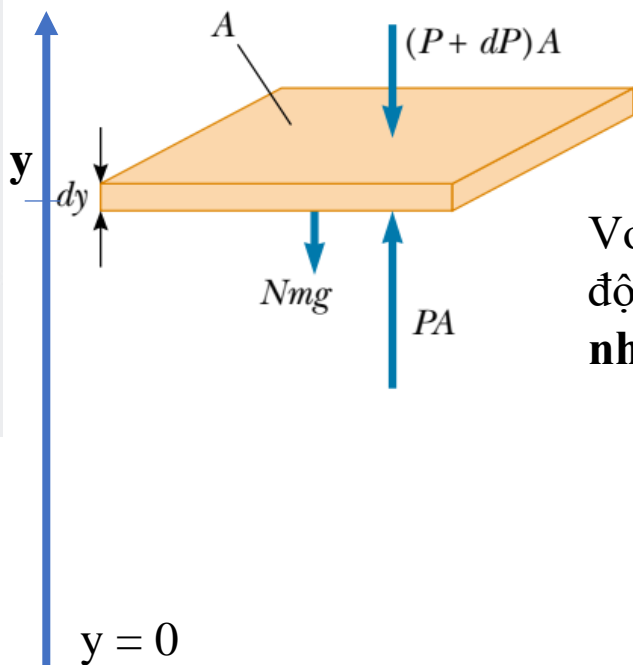
PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ KHÍ THEO ĐỘ CAO - ĐỊNH LUẬT KHÍ QUYỂN

GIẢI THÍCH



Ludwig Boltzmann
Austrian physicist (1844–1906)

Boltzmann made many important contributions to the development of the kinetic theory of gases, electromagnetism, and thermodynamics. His pioneering work in the field of kinetic theory led to the branch of physics known as statistical mechanics. (Courtesy of AIP Niels Bohr Library, Lande Collection)



Với n_0 là mật độ phân tử khí (mật độ khí) khi $y = 0$. Đây được xem như là định luật khí quyển.

Nếu ta chọn $y = 0$ tại mực nước biển ta có mật độ khí tại mực nước biển là $n_0 = 2,69 \times 10^{25}$ phân tử/ m^3

$$\frac{dn_v}{n_v} = -\frac{mg}{k_B T} dy \quad (69)$$

Lấy tích phân hai vế ta được

$$n_v(y) = n_0 e^{-\frac{mg}{k_B T} y} \quad (70)$$

$$P = n_v k_B T = n_0 k_B T e^{-\frac{mg}{k_B T} y} \quad (71)$$

$$P(y) = P_0 e^{-\frac{mg}{k_B T} y} \quad (72)$$

Với $P_0 = n_0 k_B T$ áp suất khí tại $y = 0$. Kết quả cho thấy rằng xấp xỉ sự giảm áp suất theo hàm e mũ là phù hợp để mô tả áp suất khí quyển theo độ cao.

5

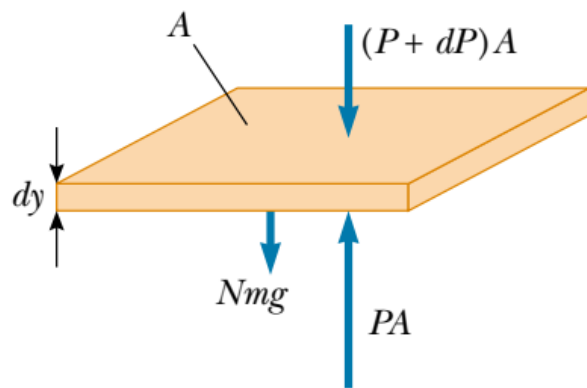
ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ KHÍ THEO ĐỘ CAO - ĐỊNH LUẬT KHÍ QUYỂN



Ludwig Boltzmann
Austrian physicist (1844–1906)

Boltzmann made many important contributions to the development of the kinetic theory of gases, electromagnetism, and thermodynamics. His pioneering work in the field of kinetic theory led to the branch of physics known as statistical mechanics. (Courtesy of AIP Niels Bohr Library, Lande Collection)



$$\frac{dn_v}{n_v} = -\frac{mg}{k_B T} dy \quad (69)$$

5

ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

PHÂN BỐ CÁC PHÂN TỬ KHÍ THEO ĐỘ CAO – ĐỊNH LUẬT KHÍ QUYỂN

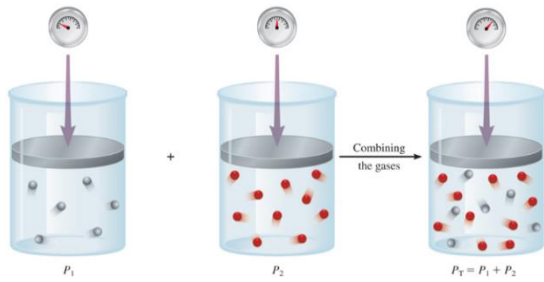
Tính mật độ số hạt của không khí ở độ cao 11,0km so với mực nước biển? Giả sử nhiệt độ không khí ở độ cao này cũng bằng nhiệt độ không khí ở mặt đất 20°C.

Giải:

Giả sử khối lượng trung bình của phân tử không khí là 28,9u = 4,80x10⁻²⁶kg. Dùng công thức (70) ta có

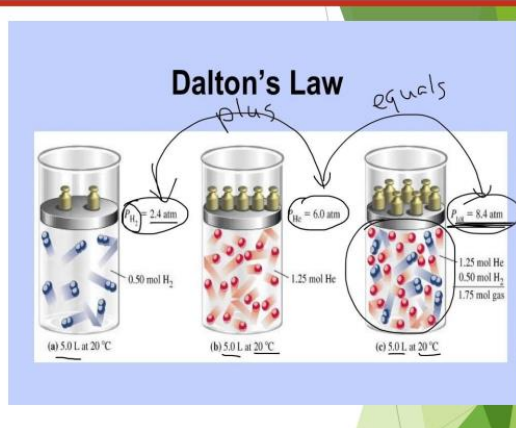
$$\frac{mg}{k_B T} = 1,28$$

$$n_v(y) = n_0 e^{-\frac{mg}{k_B T} y} = 0,278 n_0$$



Nếu chất khí lý tưởng là hỗn hợp của nhiều loại chất khí gồm các chất khí A, B và C có số mol khí tương ứng là n_A , n_B và n_C chứa trong bình có thể tích V_m , có áp suất P_m và ở nhiệt độ T_m ở trạng thái cân bằng nhiệt thì khi đó áp suất của bình chứa P_m bằng tổng áp suất của từng loại chất khí tác dụng lên thành bình.

Định luật Dalton: Cộng áp suất



Ta có các phương trình trạng thái cho các chất khí A, B và C ở nhiệt độ T_m ở trong bình có thể tích V_m là:

$$P_A = n_A \frac{RT}{V_m}; \quad P_B = n_B \frac{RT}{V_m}; \quad P_C = n_C \frac{RT}{V_m} \quad (73)$$

Thì

$$P_m = (n_A + n_B + n_C) \frac{RT}{V_m} = P_A + P_B + P_C \quad (74)$$

Công thức trên chính là định luật cộng áp suất của Dalton được minh họa trong hình.

6

ĐỊNH LUẬT DALTON

MỘT SỐ CHẤT KHÍ

[illegible]

| Elements | Compounds |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| H ₂ (molecular hydrogen) | HF (hydrogen fluoride) |
| N ₂ (molecular nitrogen) | HCl (hydrogen chloride) |
| O ₂ (molecular oxygen) | HBr (hydrogen bromide) |
| O ₃ (ozone) | HI (hydrogen iodide) |
| F ₂ (molecular fluorine) | CO (carbon monoxide) |
| Cl ₂ (molecular chlorine) | CO ₂ (carbon dioxide) |
| He (helium) | NH ₃ (ammonia) |
| Ne (neon) | NO (nitric oxide) |
| Ar (argon) | NO ₂ (nitrogen dioxide) |
| Kr (krypton) | N ₂ O (nitrous oxide) |
| Xe (xenon) | SO ₂ (sulfur dioxide) |
| Rn (radon) | H ₂ S (hydrogen sulfide) |
| | HCN (hydrogen cyanide)* |

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 3: Một chất khí được chứa trong một bình chứa có thể tích 8,00 lít ở nhiệt độ $20,0^{\circ}\text{C}$ và áp suất 9,00atm.

- a) Xác định số mol chất khí có trong bình?
- b) Tính số phân tử khí có trong bình?

Bài 4: Cho 9 gam nước trong nồi áp suất có dung tích 2 lít được đun nóng đến 500°C . Hãy tính áp suất hơi nước ở trong nồi. Giả sử hơi nước không thoát ra ngoài?

Bài 5: Khối lượng của quả kính khí cầu và hàng hóa là 200kg (không kể không khí trong kính khí cầu). Không khí bên ngoài ở nhiệt độ 10°C và áp suất là 101kPa. Thể tích của kính khí cầu là 400m^3 . Để kính khí cầu bay lên thì cần phải đốt nóng không khí trong kính khí cầu đến nhiệt độ bao nhiêu? Cho biết mật độ không khí ở 10°C là $1,25\text{kg}/\text{m}^3$.

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 6: Cho một mol khí O_2 ở áp suất 6,00 atm và nhiệt độ $27^\circ C$.

- a) Nếu khí được đun nóng với thể tích không đổi sao cho áp suất tăng lên đến gấp 3 lần áp suất ban đầu, hãy tính nhiệt độ của khí O_2 lúc này?
- b) Nếu chất khí được đun nóng sao cho thể tích và áp suất của chất khí tăng lên gấp đôi so với ban đầu, hãy tính nhiệt độ chất khí lúc này?

Bài 7: Một đồng hồ đo áp suất được gắn vào một bình chứa khí dùng để đo sự chênh lệch áp suất của khí bên trong và bên ngoài bình. Khi bình chứa đầy khí O_2 với khối lượng 12kg thì đồng hồ áp suất chỉ số áp suất là 40,0atm. Hãy xác định khối lượng khí O_2 được rút ra khỏi bình khi đồng hồ áp suất báo chỉ số áp suất chỉ còn 25,0 atm? Giả sử quá trình rút khí O_2 ra khỏi bình thì nhiệt độ bình vẫn không đổi.

Bài 8: Một bình chứa có thể tích 5,00 lít chứa 2 mol khí oxy ở áp suất 8,00 atm. Hãy tìm động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí oxy.

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 9: Một quả bóng hình cầu có thể tích 4000 cm^3 chứa khí heli ở bên trong ở áp suất $1,2 \times 10^5 \text{ Pa}$. Hãy xác định có bao nhiêu mol khí heli trong quả bóng nếu biết mỗi một nguyên tử heli có động năng trung bình là $3,60 \times 10^{-22} \text{ J}$.

Bài 10: vận tốc quân phương của nguyên tử khí heli ở nhiệt độ xác định là 1350 m/s . Hãy tìm vận tốc quân phương của phân tử khí oxy ở nhiệt độ này. Biết khối lượng mol của oxy là $32,0 \text{ g/mol}$ và khối lượng mol của heli là $4,00 \text{ g/mol}$.

Bài 11: a) Hãy xác định có bao nhiêu nguyên tử khí heli chứa trong quả bóng hình cầu có đường kính $30,0 \text{ cm}$ ở nhiệt độ $20,0^\circ \text{C}$ và áp suất $1,00 \text{ atm}$?

b) Hãy xác định động năng trung của khí heli?

c) Hãy xác định vận tốc quân phương của mỗi nguyên tử khí heli?

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 12: Một bình có thể tích 5 lít chứa khí nitơ ở nhiệt 27°C và áp suất 3,00 atm.

- a) Tìm tổng động năng tịnh tiến của các phân tử khí?
- b) Tìm động năng trung bình của một phân tử khí?

Bài 13: Một bình chứa hình trụ chứa hỗn hợp khí heli và khí argon ở điều kiện cân bằng ở nhiệt độ 150°C .

- a) Tìm động năng trung bình cho mỗi loại khí?
- b) Tìm vận tốc quân phương cho mỗi loại phân tử khí?

Bài 14: Hãy tính số phân tử H_2O trong cơ thể người có khối lượng 80,2 kg. Giả sử rằng trung bình nước chiếm 62% khối lượng cơ thể.

Bài 15: Một xy lanh trong động cơ xe hơi lấy vào một lượng không khí có thể tích $V_i = 4,50 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ở nhiệt độ 30°C ở áp suất khí quyển (1 atm). Sau đó pít tông nén không khí đến thể tích bằng $1/9$ thể tích ban đầu và áp suất tăng lên đến 20 lần áp suất ban đầu. Hãy tính nhiệt độ không khí trong xy lanh lúc này?

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 16: Hãy tính mật độ khối lượng của không khí ở áp suất $P = 1 \text{ atm}$, và ở nhiệt độ

a) $T = 10^\circ\text{C}$

b) $T = 30^\circ\text{C}$

Cho biết khối lượng mol trung bình của không khí là 29 u .

Bài 17: Một quả bóng hydro ở bề mặt trái đất có thể tích $5,0 \text{ m}^3$ vào ban ngày khi nhiệt độ là 27°C và áp suất $1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Quả bóng bay lên cao và giãn nở ra khi áp suất giảm. Hãy tính thể tích của cùng lượng khí hydro như lúc đầu khi quả bóng bay lên độ cao 40 km mà có áp suất $0,33 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ và nhiệt độ là -13°C ?

Bài 18: Một khí lý tưởng chiếm thể tích $1,2 \text{ m}^3$ ở áp suất $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ và nhiệt độ 27°C . Khí lý tưởng này được nén đến thể tích $0,60 \text{ m}^3$ và khí được đun nóng đến nhiệt độ 227°C . Hãy tính áp suất của khí lúc này?

Bài 19: Khoảng không gian giữa các thiên hà có mật độ hydro trung bình là 1 nguyên tử hydro trên 1 cm^3 ở nhiệt độ là 3 K . Hãy tính áp suất tuyệt đối của không gian này?

Bài 20: Một bình chứa không khí có thể tích $1,0 \text{ m}^3$ có áp suất $20,0 \text{ atm}$ và nhiệt độ $T = 273 \text{ K}$. Van của bình chứa được mở ra để không khí thoát ra ngoài cho đến khi áp suất của bình chứa còn $15,0 \text{ atm}$. Hãy xác định số lượng phân tử khí thoát ra ngoài?

BÀI TẬP CUỐI BÀI

Bài 21: Có 0,532kg khí oxy chứa trong bình có áp suất $1,0 \times 10^5$ Pa ở 0°C . Hãy tính thể tích của bình chứa?

Bài 22: Hãy tính nhiệt độ của khí lý tưởng có động năng trung bình nhiệt của một phân tử là $3,20 \times 10^{-20}\text{J}$?

Bài 23: Hãy tính động năng trên một đơn vị thể tích của khí lý tưởng ở áp suất:

a) $P = 1,00\text{atm}$?

b) $P = 300,0\text{atm}$?

Bài 24: Nếu 2,0 mol khí N_2 được chứa trong bình chứa hình hộp chữ nhật có chiều dài mỗi cạnh là 25 cm ở áp suất $P = 1,6$ atm. Hãy tính vận tốc quân phương của phân tử khí nitơ.

Bài 25: Một hạt khói có khối lượng $1,38 \times 10^{-17}\text{kg}$ chuyển động ngẫu nhiên trong trạng thái cân bằng nhiệt ở nhiệt độ phòng là 27°C . Hãy tính tốc độ quân phương của hạt khói?

Bài 26: Hãy tính nhiệt độ của khí lý tưởng có các phân tử khí chuyển động ngẫu nhiên có động năng trung bình $4,60 \times 10^{-20}\text{J}$?

Bài 27: Một chất khí ở 0°C . Nếu ta muốn chất khí có vận tốc quân phương của phân tử khí tăng lên gấp đôi thì ta cần phải tăng nhiệt độ khí lên bao nhiêu?