

# BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Vật lý đại cương I  
<http://iep.hut.edu.vn>

## Chương 13

Thuyết động học phân tử các  
chất khí và định luật phân bố

# Mở đầu

- **Chuyển động nhiệt**: chuyển động **hỗn loạn** của các phân tử/ nguyên tử / xác định **nhiệt độ** của vật. Đối tượng của vật lý phân tử và **Nhiệt động lực học**.
  - Hai phương pháp nghiên cứu:
    - “ Phương pháp thống kê: NC quá trình đối với từng phân tử riêng biệt + định luật thống kê --  
>Tìm **Quy luật chung của cả tập thể phân tử và giải thích các tính chất của hệ (dựa vào cấu tạo phân tử)**

Phương pháp nhiệt động lực: NC biến  
hoá năng lượng về: Dạng, định lượng;  
Dựa vào kết quả của thực nghiệm:  
Nguyên lý I & Nguyên lý II nhiệt động  
lực học.

--> Tính chất & Điều kiện (Không cần NC  
bản chất cấu tạo phân tử.)

--> Giải quyết vấn đề thực tế tốt.

# §1. Những đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng cổ điển

- **Hệ nhiệt động**: gồm nhiều phân tử/nguyên tử (hoặc nhiều vật)  
--> Môi trường xung quanh gồm các **ngoại vật**.
- **Hệ cô lập**: Không tương tác, không trao đổi **Nhiệt & Công** với môi trường.  
**Cô lập nhiệt, cô lập cơ**.
- **Thông số trạng thái**: Là các tính chất đặc trưng của hệ.  
-> Đại lượng vật lý  **$p, m, T, V$**  là các th.số tr.th  
-> Các thông số trạng thái: Độc lập, Phụ thuộc

- Phương trình:  $f(p, V, T) = 0$  có 3 thông số  $p, V, T$  được chọn.

**n CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ/ THỐNG SỐ TRẠNG THÁI:**

- **Áp suất:** Đại lượng vật lý = Lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$at = 9,81 \cdot 10^4 Pa = 736 mmHg$$

$atm = 1,013 \cdot 10^5 Pa$  tại  $0^\circ C$ , điều kiện tiêu chuẩn

$$p = \frac{P_n}{S} \quad \text{n vd} \quad \frac{N}{m^2} = Pa(\text{pascal})$$

- **Nhiệt độ**: đại lượng đặc trưng cho **độ nóng, lạnh**.

Đo bằng **nhiệt kế** (*Đo bằng cách đo một đại lượng vật lý biến thiên theo nhiệt độ*:

***ví dụ**: độ cao cột thủy ngân, suất điện động*).

- Nhiệt độ tuyệt đối (**K**-Kelvin), nhiệt độ Bách phân (**°C** -Celsius):

$$TK = t^{\circ C} + 273,16$$

## §2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

### 1. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ:

\* **ĐL Boyle-Mariotte**: Với 1 khối khí ( $m=\text{const}$ ) Nếu  $T=\text{const}$  (Đẳng nhiệt), thì  $pV=\text{const}$ .

\* **ĐL Gay-Lussac**: Với 1 khối khí ( $m=\text{const}$ )

Nếu  $V=\text{const}$  (Đẳng Tích), thì  $p/T=\text{const}$ .

Nếu  $p=\text{const}$  (Đẳng áp), thì  $V/T=\text{const}$ .



Sai lệch giữa các định lý trên với thực nghiệm:  
khi  $p$  cao ( $p > 500 \text{at}$ ) hoặc  $T$  thấp & cao.

Khí lý tưởng: Khí tuân theo ĐL Boyle-Mariotte  
và Gay-Lussac là khí lý tưởng.

KLT ở điều kiện tiêu chuẩn:  $T_0 = 273,16 \text{K}$  ( $0^\circ \text{C}$ ),  
 $p_0 = 1,033 \text{at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$ ,  $V_0 = 22,410 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$ .

## 2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG:

1 mol khí lý tưởng có  $6,023 \cdot 10^{23}$  (*số Avogadro*)  
phân tử với  $m = \mu \text{kg}$  tuân theo ĐL Clapayron-  
Mendeleev:

$$pV = RT$$

$m$  kg khí lý tưởng:  $pV = \frac{m}{\mu} RT$  *Chứng minh:*

Dùng 2 đường đẳng nhiệt của 1 khối khí:

$$p_1 V_1 T_1 + (\text{đẳng nhiệt}) \rightarrow p'_1 V_2 T_1 \rightarrow p_1 V_1 = p'_1 V_2$$

$$p'_1 V_2 T_1 + (\text{đẳng tích}) \rightarrow p_2 V_2 T_2 \rightarrow p'_1 / T_1 = p_2 / T_2$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$$

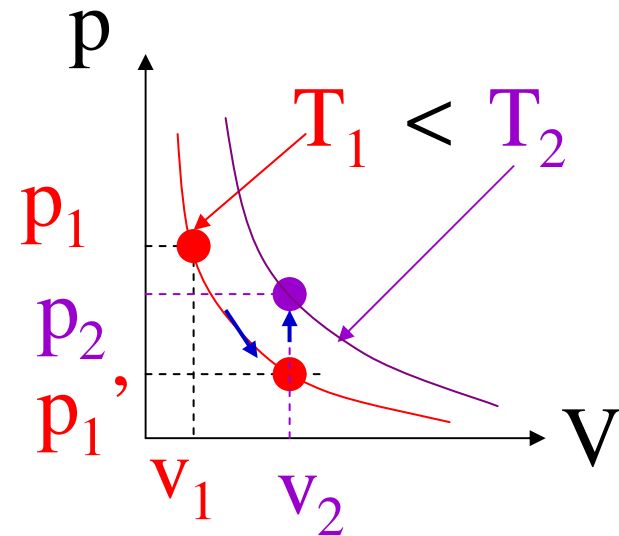
R-Hằng số khí lý tưởng

$$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{kg/mol đối với } H_2$$

\* Tính khối lượng

riêng của khối khí:

$$V=1 \rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu p}{RT}$$



ĐT Clapayron

### §3. Thuyết động học phân tử

1. NHỮNG CƠ SỞ THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ:

\* **Kích thước** phân tử cỡ  $10^{-10}\text{m}$ ; ở khoảng cách:

$r < 3 \cdot 10^{-10}\text{m}$ : Đẩy nhau;

$3 \cdot 10^{-10}\text{m} < r < 15 \cdot 10^{-10}\text{m}$ : Hút nhau.

$r > 15 \cdot 10^{-10}\text{m}$  (điều kiện bình thường) Bỏ qua lực tương tác.

Các phân tử khí chiếm 1/1000 thể tích.

\* **Chuyển động Brown**: Hỗn loạn không ngừng.

Trong **Khí**: Hoàn toàn hỗn loạn;

**Lỏng**: dao động + dịch chuyển;

**Rắn**: Dao động quanh vị trí cố định;

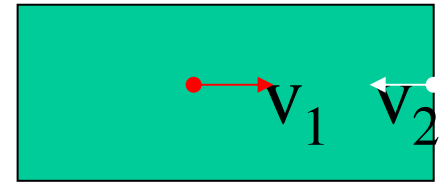
## 2. Nội dung của thuyết động học phân tử:

- a. Các chất **cấu tạo gián đoạn** và gồm một số lớn các phân tử.
  - b. Các phân tử **chuyển động hỗn loạn không ngừng**. Cường độ chuyển động phân tử biểu hiện **nhiệt độ của hệ**.
  - c. Kích thước phân tử rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng. Có thể coi **phân tử là chất điểm** trong các tính toán.
  - d. Các phân tử **không tương tác, chỉ va chạm theo cơ học Newton**.
- a,b đúng với mọi chất; c,d chỉ đúng với khí LT.

### 3. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad \Delta S$$

\* Thiết lập pt trình cơ bản: **áp suất do lực va chạm** của ft lên thành bình:



$\Delta S$ - phần diện tích thành-đáy trụ,

$$v \cdot \Delta t \quad (v_1 = v = v_2)$$

$\Delta t$  -thời gian va đập;  $v \cdot \Delta t$ -chiều cao trụ

**Số phân tử** chứa trong trụ:  $n = n_0 \cdot v \cdot \Delta t \cdot \Delta S$ ;

Số ph/t va chạm với đáy trụ:  $\Delta n = \frac{n}{6} = \frac{1}{6} n_0 \cdot v \cdot \Delta t \cdot \Delta S$

**Xung lượng lực** do 1 ft:  $f \Delta t = |m_0 \vec{v}_2 - m_0 \vec{v}_1| = -2m_0 v$

$$F = \frac{2m_0 v}{\Delta t} \Delta n = \frac{2m_0 v}{\Delta t} \frac{1}{6} n_0 v \Delta t \Delta S$$

$$= \frac{1}{3} n_0 m_0 v^2 \Delta S \Rightarrow$$

$$p = \frac{1}{3} n_0 m_0 v^2$$

Trung bình bình phương vận tốc  $\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}$

Áp suất lên thành bình:  $p = \frac{1}{3} n_0 m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n_0 \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n_0 \overline{W}$

$\overline{W}$  - Động năng tịnh tiến trung bình

Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử:  $p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W}$

b. Hệ quả:

\* Biểu thức tính động năng tịnh tiến và ý nghĩa nhiệt độ tuyệt đối:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W} = \frac{RT}{V} \rightarrow \overline{W} = \frac{3}{2} \frac{RT}{n_0 V} = \frac{3RT}{2N}$$

$N=n_0V=6,023.10^{23}$  số phân tử trong 1mol

$k=R/N=1,38.10^{-23}$  J/K Hằng số Boltzmann

\* **Động năng** tịnh tiến trung bình tỷ lệ  $\overline{W} = \frac{3}{2}kT$  với nhiệt độ tuyệt đối của khối khí.

\* **T** là số đo cường độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ.  $\rightarrow$  chuyển động nhiệt.

\* Các phân tử chuyển động không ngừng  $\rightarrow$   **$T \neq 0K$**

### 3. Vận tốc căn quân phương:

$$\overline{W} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow v_c = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

**$R=kN$  &  $Nm_0 = \mu$** ;  $m_0$  - khối lượng 1 phân tử.

## 4. Mật độ phân tử:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W} \Rightarrow n_0 = \frac{3p}{2 \overline{W}} = \frac{3p}{2 \frac{3}{2} kT} = \frac{p}{kT}$$

Vậy:  $n_0 = \frac{p}{kT}$

Dưới cùng một áp suất và nhiệt độ mọi chất khí đều có cùng mật độ phân tử .

ở điều kiện tiêu chuẩn: **số Loschmidt**

$$n_0 = \frac{p_0}{kT_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273} = 2,687 \cdot 10^{25} \text{ ft} / \text{m}^3$$



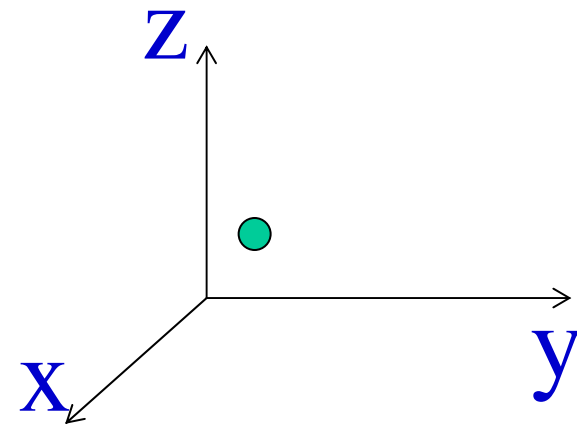
## 4. NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG

**Nội năng = Động năng + thế năng tương tác** giữa các phân tử + **W dao động** của các nguyên tử.

Bỏ qua tương tác  $\rightarrow$  **Nội năng của khí lý tưởng bằng tổng động năng của các phân tử.**

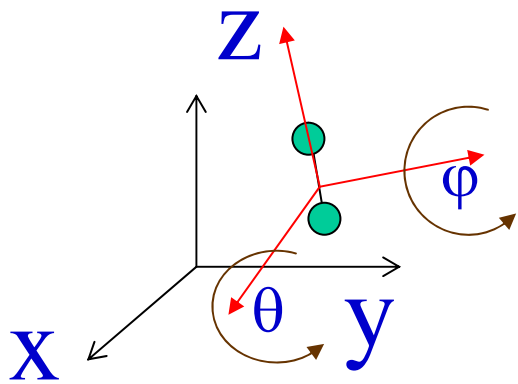
$$W_{tp} = W_{\text{tịnh tiến}} + W_{\text{quay}}$$

**Bậc tự do  $i$  là số tọa độ xác định các khả năng chuyển động của phân tử trong không gian**

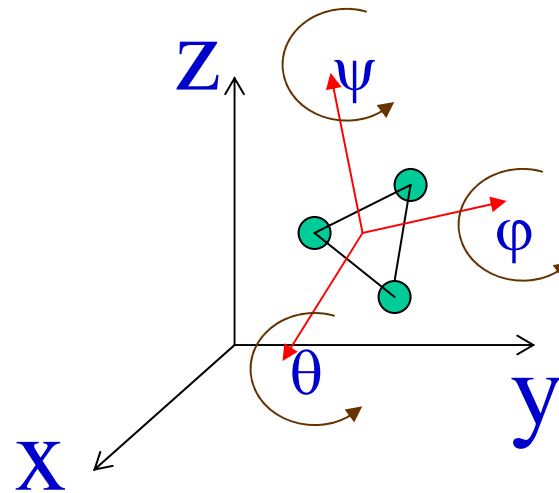


**3 tọa độ  $x, y, z$  xác định 3 chuyển**

**Phân tử đơn nguyên tử có  $i=3$  động tịnh tiến**



Phân tử gồm hai nguyên tử:  
3 tịnh tiến ( $x, y, z$ ) + 2 bậc  
quay ( $\varphi, \theta$ );  $i=5$



Phân tử gồm ba nguyên tử:  $i=6$

3 bậc tịnh tiến ( $x, y, z$ ) + 3 bậc quay ( $\varphi, \theta, \psi$ ).

- **Phân bố đều cho các bậc tự do:**

**ĐL (Maxwell):** Động năng trung bình của các phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do của phân tử.

**Biểu thức tính nội năng:** Của một mol là của N phân tử:

$$U_0 = N \frac{ikT}{2} = \frac{iRT}{2} \quad R=kN; \quad i \text{ -số bậc tự do}$$

Của khối khí khối lượng **m kg:**

**0** Nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ

$$U = \frac{m}{\mu} U_0 = \frac{m}{\mu} \frac{iRT}{2}$$

## §4. Các định luật phân bố phân tử

### 1. XÁC SUẤT VÀ GIÁ TRỊ TRUNG BÌNH:

Số phân tử  $n$  lớn, các đại lượng VL đặc trưng của chúng rất khác nhau; Giả sử  $n_i$  phân tử có vận tốc  $v_i$ , vận tốc trung bình:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum n_i v_i = \sum \frac{n_i}{n} v_i = \sum P_i v_i$$

$P_i = \frac{n_i}{n}$  là **xác suất tìm thấy phân tử có vận tốc  $v_i$**

Với điều kiện chuẩn  
hoá

$$\sum_i P_i = \sum_i \frac{n_i}{n} = 1$$

Gía trị bình phương  
trung bình :

$$\overline{v^2} = \sum_i P_i v_i^2$$

## 2. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO VẬN TỐC MAXWELL:

$dn$  là số pt có vận tốc trong khoảng  $v$  đến  $v+dv$ , thì xác suất của pt có vận tốc trong khoảng  $(v,$

$v+dv)$  là:  $\frac{dn}{n} = F(v)dv$  Suy ra  $dn = nF(v)dv$   
Maxwell tìm ra hàm

$\int_0^{\infty} nF(v)dv = n \rightarrow \int_0^{\infty} F(v)dv = 1$  phân bố:

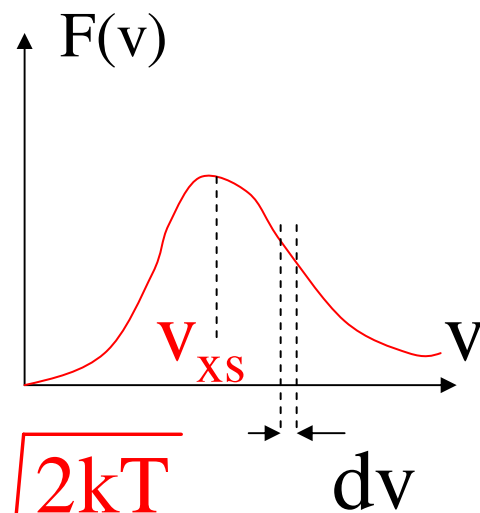
$$F(v) = \text{const.} \cdot v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

$$\text{const} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{dF(v)}{dv} = 0$$

$F(v)$  đạt  
cực đại tại

$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$



$F(v)dv$  là xác suất phân tử có **vận tốc** trong khoảng **(v, v+dv)**.

Vận tốc trung bình:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} F(v)v dv = \sqrt{\frac{8kT}{m_0\pi}}$$

$$v_{xs} < \bar{v} < v_c$$

Vận tốc căn quân phương:

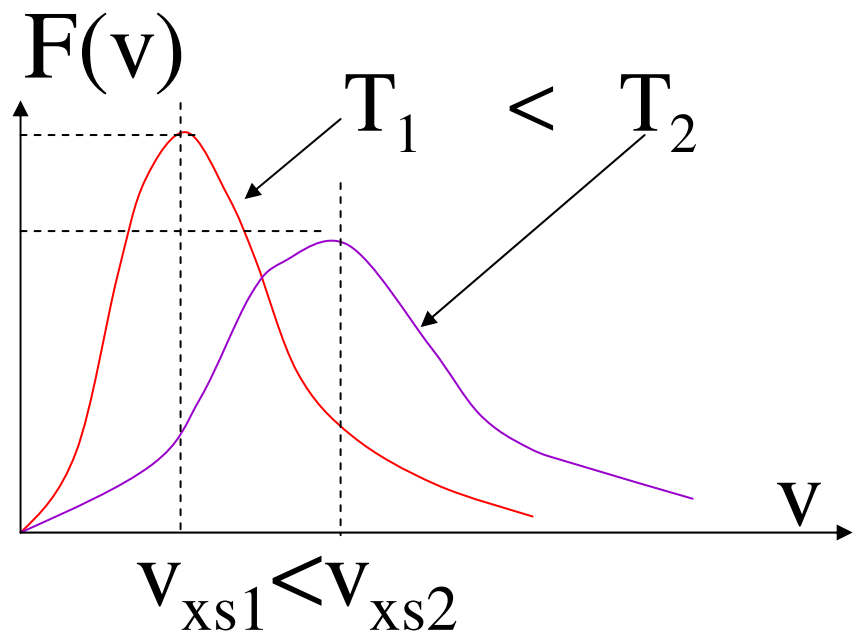
$$\overline{v^2} = \int_0^{\infty} F(v)v^2 dv = \frac{3kT}{m_0} \rightarrow$$

$$v_c = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Cả 3 vận tốc này đều **tăng theo nhiệt độ**.

Khi nhiệt độ  $T$  tăng số phân tử có vận tốc  $v_{xs}$  giảm đi:

$$F(v_{xs}, T_1) > F(v_{xs}, T_2)$$



$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad v_c = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{m_0\pi}} = \sqrt{\frac{8RT}{\mu\pi}} \quad v_{xs} < \bar{v} < v_c$$

**V** Xác suất < **V** trung bình < **V** căn quân phương

Ý nghĩa:

- Xác suất phân tử có  $v_{xs}$  là cao nhất.
- $v_c$  ứng với động năng trung bình của phân tử.
- ^ Tại nhiệt độ T của hệ, mỗi phân tử có vận tốc khác nhau,  $\bar{v}$  là giá trị trung bình cộng của vận tốc các phân tử trong cả hệ (các p/t có cùng  $\bar{v}$ ).

### 3. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO THỂ NĂNG

Phân bố Maxwell không tính đến sức hút của trái đất lên phân tử. Do sức hút mật độ phân tử giảm theo chiều cao  $h$ .

a. Công thức khí áp :

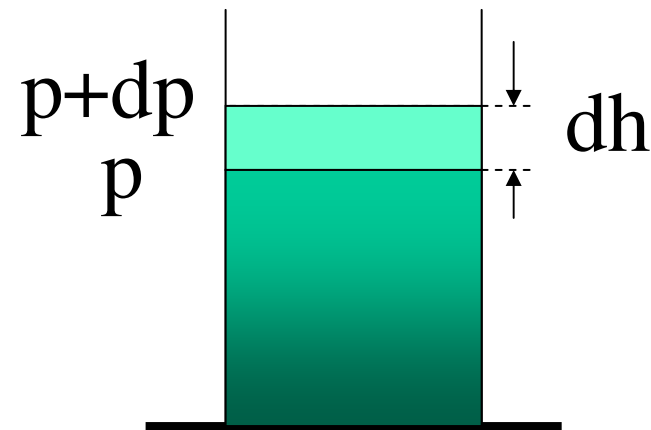
Cột khí cao  $dh$ , đáy  $S=1m^2$ ,

áp suất đáy dưới là  $p$ ,

đáy trên  $p+dp$ ;

$dp < 0$  nên  $dp = -dP$

$dP$  là trọng lượng cột khí  $dh$



$$dP = m_0 g n_0 S dh$$



Số phân tử nằm trong cột khí:

$$dn = n_0 S \cdot dh = n_0 dh$$

Trọng lượng khối khí:

$$dP = dn \cdot m_0 \cdot g = m_0 g n_0 dh$$

áp suất tăng:

$$dp = -dP = -m_0 g n_0 dh = -m_0 g \frac{p}{kT} dh$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{m_0 g dh}{kT}$$

Lấy tích phân hai vế:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \int_0^h -\frac{m_0 g}{kT} dh \quad \ln \frac{p}{p_0} = -\frac{m_0 g}{kT} h$$

Công thức khí áp:

$$p = p_0 e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$$

Nồng độ khí tỷ lệ với áp suất:

$$n_0 = n_{0d} e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$$

Bầu khí quyển chỉ dày 3000km, hơn nữa  $g \& T \neq \text{const}$ .

b. Phân bố theo thế năng:  $m_0 g h = W_t$

$$n_{0h} = n_{0d} e^{-\frac{W_t}{kT}}$$

# Phân bố Maxwell-Boltzmann

. Xác suất hai hiện tượng đồng thời độc lập bằng tích các xác suất xảy ra các hiện tượng ấy:

Tại vùng tọa độ  $x \div x+dx$ ,  $y \div y+dy$ ,  $z \div z+dz$

Tổng số phân tử có vận tốc trong khoảng

$$v_x \div v_x + dv_x, v_y \div v_y + dv_y, v_z \div v_z + dv_z,$$

$$dN = A.Ne^{-\frac{1}{kT}\left(\frac{m_0 v^2}{2} + W_t\right)} dx dy dz dv_x dv_y dv_z$$

Xác định A theo:

$$\int \frac{dN}{N} = \iiint_{x,y,z} \iiint_{v_x,v_y,v_z} A.e^{-\frac{1}{kT}\left(\frac{m_0 v^2}{2} + W_t\right)} dx dy dz dv_x dv_y dv_z = 1$$