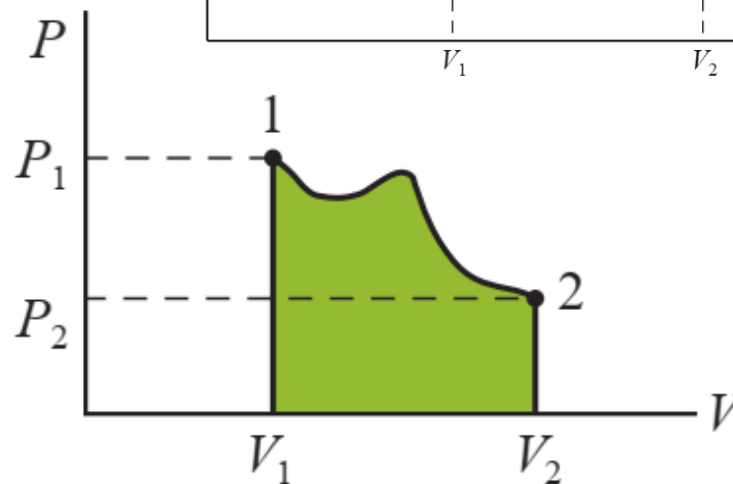
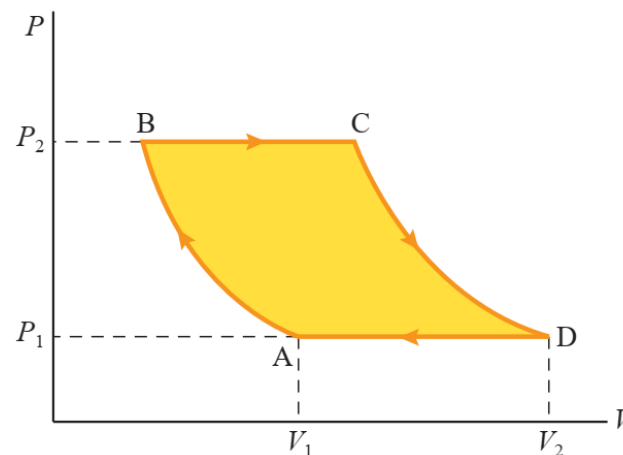
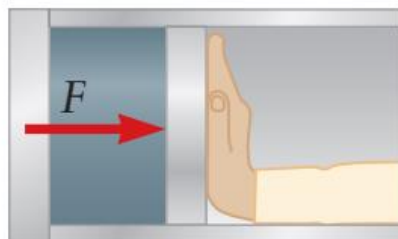
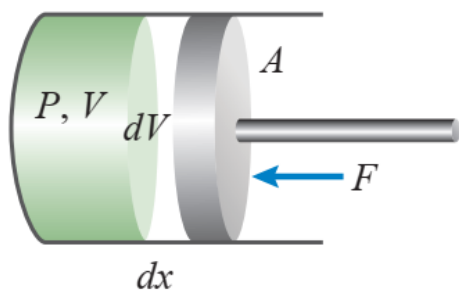


# NHIỆT HỌC

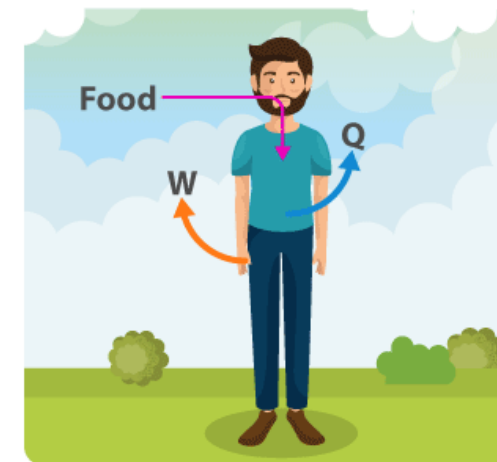
## Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học



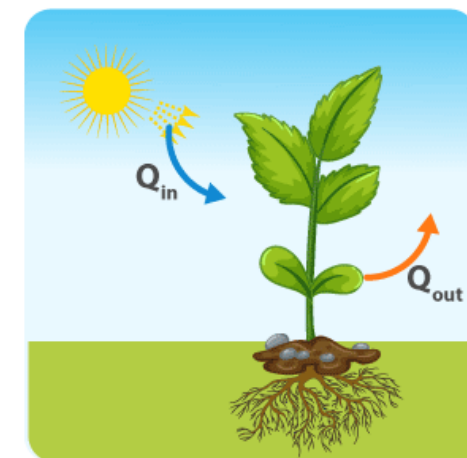
Ivan Smuk/Shutterstock.com



$$\Delta U = -Q - W + \text{Food energy}$$



$$\Delta U = \text{Stored food energy}$$



PGS.TS. Lê Công Hảo

# 1. Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

- Trạng thái cân bằng của một hệ là trạng thái mà các thông số trạng thái có giá trị hoàn toàn xác định.
- Quá trình cân bằng là một quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng.
- Nếu hệ là một khối khí xác định thì mỗi trạng thái cân bằng của nó được xác định bởi 2 trong 3 thông số  $p$ ,  $V$  và  $T$ .
- Thực tế không có quá trình hoàn toàn cân bằng vì trạng thái cân bằng trước luôn bị phá hủy

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

### 2.1. NĂNG LƯỢNG

Năng lượng của một hệ là đại lượng vật lý:

- Mức độ vận động của hệ (động năng),
- Mức độ tương tác của hệ với môi trường ngoài (thế năng)
- Khả năng tương tác lẫn nhau của các hạt tạo thành hệ (nội năng).

Thông thường các đối tượng nghiên cứu xem là đứng yên và bỏ qua các trường ngoài.



Động năng và thế năng của hệ bằng không.



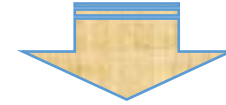
Năng lượng = Nội năng

Đơn vị của nội năng là đơn vị năng lượng (Joule) hay của đơn vị nhiệt lượng (calory).

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

Hệ ở trạng thái xác định

Hệ thay đổi trạng thái

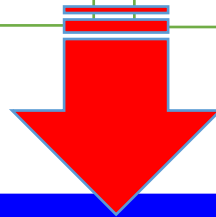


Nội năng  $U$  có giá trị xác định

$U$  thay đổi

Nội năng phụ thuộc  
vào trạng thái của hệ

Nội năng không phụ  
thuộc quá trình biến đổi



Nội năng là hàm đơn trị của trạng thái.

$$U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$
$$\Delta T = T_2 - T_1$$

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

### 2.2. CÔNG

#### Khái niệm

*(Với khối khí đứng yên)*

Lực tác dụng lên chất khí được xem là thực hiện một công nếu làm thể tích chất khí thay đổi.

➡ Khái niệm công gắn liền với quá trình biến đổi thể tích!

Công mà hệ thực hiện được khi đi theo các qui trình khác nhau là khác nhau.



Công không những phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối mà nó còn phụ thuộc vào qui trình đường đi.



**Công là hàm của quá trình**

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

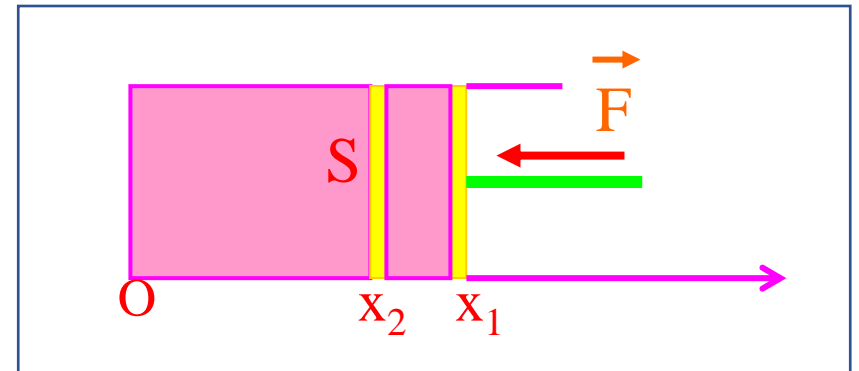
### 2.2.1. Qui ước

- Công  $A > 0$  nếu hệ nhận công.
- Công  $A < 0$  nếu hệ sinh công.
- Công nguyên tố, ta biểu diễn là  $\delta A$
- Công là một hình thức trao đổi năng lượng giữa hai hệ (Joule hoặc Calory).

### 2.2.2. Biểu thức tính công trong một quá trình cân bằng

❖ Công nhỏ  $\delta A$ :

Bài toán: Xét một khối khí trong một xy lanh, pít tông có thể di chuyển tự do không ma sát, chọn trục Ox như hình vẽ.



## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

$$F_{\text{ngluc}} = -(F_{\text{khí}}) = -pS \quad \vec{F}_{\text{ngluc}}$$

➤ Áp suất bên ngoài tác dụng lên pít tông:

$$p = F/S$$

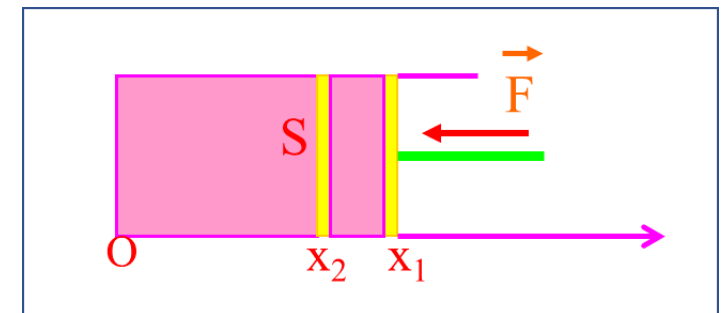
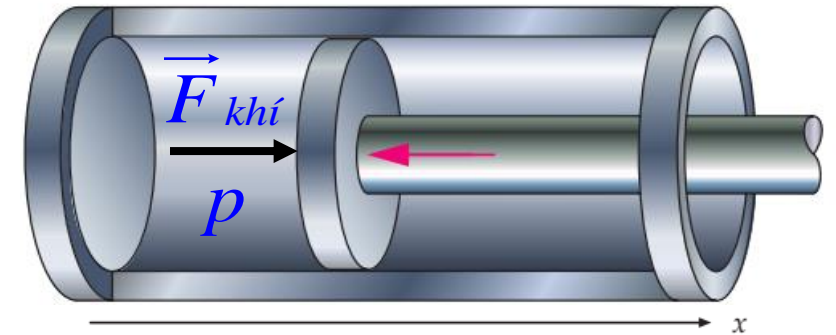
➤ Trong quá trình cân bằng, áp suất này là áp suất của khối khí trong xy lanh và công mà khối khí nhận được  $\delta A$  (dương). Công đó là công mà ta đã mất đi để nén pít tông.

$$\delta A = F_{\text{ngluc}} dx = -F_{\text{khí}} dx = -pS dx$$

$$dx = (x_2 - x_1) < 0$$

$$\delta A = -pdV$$

➔  $\delta A = -pdV > 0$





## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

### ❖ Công lớn A:

❖ Bài toán: Cho một quá trình biến đổi hữu hạn, trong đó thể tích của hệ thay đổi từ  $V_1$  đến  $V_2$ .

❖ Phương pháp tính công: Chia nhỏ quá trình thành nhiều quá trình nhỏ liên tiếp để tính **công vi phân  $\delta A$  mà hệ nhận được** trong từng quá trình nhỏ, sau đó lấy tổng.

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} \delta A$$

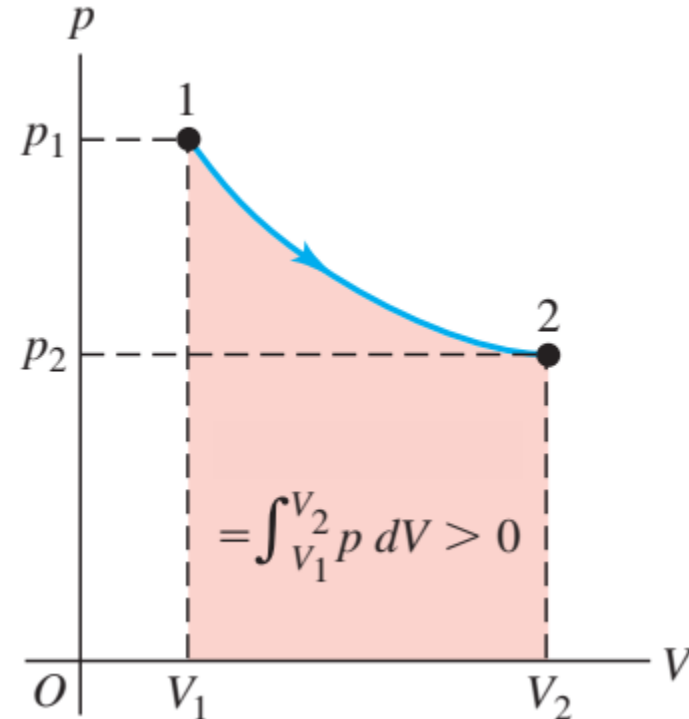


$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Công thực hiện bởi hệ:



$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$





## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

### 2.2.3. NHIỆT LƯỢNG

- Giả sử có hai vật, gồm một vật nóng và một vật lạnh tiếp xúc nhau.
- Năng lượng được truyền từ vật nóng sang vật lạnh mà thể tích của hai vật vẫn không thay đổi, điều này có nghĩa là không có sự thực hiện công.
- Vậy hai vật vẫn trao đổi năng lượng với nhau nhưng không phải qua công mà là qua nhiệt lượng. Nói cách khác, nhiệt lượng là một dạng trao đổi khác của năng lượng khi công không được thực hiện.

Nhiệt lượng chỉ tồn tại khi có một quá trình biến đổi xảy ra.



Sự trao đổi nhiệt không những phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối mà còn phụ thuộc vào đường đi.



Nhiệt lượng không phải là hàm của trạng thái mà là hàm của quá trình.

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

### 2.3.1. Qui ước

➤ Một nhiệt lượng  $Q$  *dương* có ý nghĩa là có một luồng nhiệt *chảy vào* hệ thống, nói cách khác nếu hệ *nhận* nhiệt thì  $Q$  được coi là *dương*.

➤ Một nhiệt lượng  $Q$  *âm* có ý nghĩa là có một luồng nhiệt *chảy ra* khỏi hệ thống, nói cách khác nếu hệ *nhả* nhiệt thì  $Q$  được coi là *âm*.

➤ Đơn vị: Joule hoặc Calory.

### 2.3.2. Biểu thức tính nhiệt lượng trong một quá trình cân bằng

❖ Nhiệt lượng nhỏ  $\delta Q$ :

- Gọi  $\delta Q$  là nhiệt lượng hệ nhận vào để nhiệt độ tăng  $dT$ .
- Thực nghiệm:  $\delta Q$  tỉ lệ với  $dT$  và tỉ lệ khối lượng  $M$  của hệ

$$\delta Q = cMdT$$

$c$  là hệ số tỉ lệ, được gọi là dung lượng riêng của hệ (J/kg)

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

- Nhiệt dung phân tử  $C$  là:

$$C = \mu \cdot c$$

- Vậy nhiệt lượng mà hệ nhận được:

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C dT$$

❖ **Nhiệt lượng lớn  $Q$ :**

❖ Bài toán: Xét một quá trình nung nóng hệ trong đó nhiệt độ thay đổi từ  $T_1$  đến  $T_2$ .

❖ Phương pháp tính: Tương tự như trong trường hợp công.

Ta tính được:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{M}{\mu} C dT$$

Vậy:

$$Q = \frac{M}{\mu} C \Delta T$$

## 2. KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG

Quá trình  
đẳng tích

$C = C_v$  : nhiệt dung  
phân tử đẳng tích.

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C_v dT$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T$$

Quá trình  
đẳng áp

$C = C_p$  : nhiệt dung phân tử  
đẳng áp.

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C_p dT$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_p \Delta T$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.1. PHÁT BIỂU VÀ BIỂU THỨC

##### 3.3.1/ Phát biểu

Độ biến thiên nội năng (năng lượng) của một hệ trong một quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào trong quá trình đó.

Hoặc  $\Delta U = Q - W$   $W$  công của hệ sinh ra

##### 3.3.2/ Biểu thức

Nếu quá trình nhỏ,  
độ biến thiên nội năng:

$$dU = \delta A + \delta Q$$

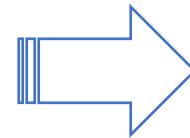
Quá trình hữu hạn:

$$\Delta U = A + Q$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

➤ Chu trình khép kín là quá trình mà trạng thái cuối trùng với trạng thái đầu.

➤ Nội năng là hàm trạng thái.



$$U_1 = U_2$$

➤ Vậy độ biến thiên nội năng (năng lượng) của một hệ trong một quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào trong quá trình đó.

Chu trình khép kín



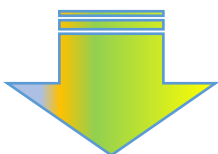
$$\Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow A = -Q$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

Hệ nhận công ( $A > 0$ )

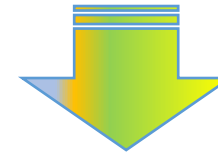


Toả nhiệt ( $Q < 0$ )

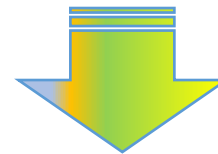


Môi trường bên ngoài  
nhận nhiệt lượng  
 $Q' = -Q > 0$

Hệ nhận nhiệt ( $Q > 0$ )



Sinh công ( $A < 0$ )



Môi trường bên ngoài  
nhận được công  
 $A' = -A > 0$



### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

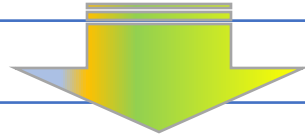
#### 3.3.3/ Động cơ vĩnh cửu loại một

Xét một động cơ nhiệt hoạt động theo một chu trình kín, kết thúc chu trình thì độ biến thiên nội năng của hệ  $\Delta U = 0$ .

Động cơ vĩnh cửu loại một: là động cơ có khả năng sinh ra công mà không cần nhận năng lượng ở đầu vào.

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

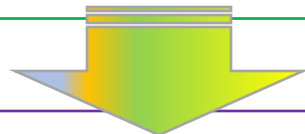
Nguyên lý thứ nhất



Nếu động cơ sinh công ( $A < 0$ ) thì phải nhận một lượng nhiệt từ bên ngoài ( $Q > 0$ ).



Không thể có động cơ có thể sinh ra công mà không cần nhận năng lượng.



Không thể nào chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại một !!!

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC ĐỂ NGHIÊN CỨU CÁC QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

##### 3.2.1/ Quá trình đẳng tích ( $V = \text{const}$ )

Xét quá trình hơi nóng hoặc làm lạnh khối khí trong một bình kín có hệ số giãn nở không đáng kể.

❖ Công hệ nhận được:

$$\mathbf{A} = - \int_{V_1}^{V_2} \mathbf{p} d\mathbf{V} \quad \blacksquare \quad \text{Do } V = \text{const} \text{ nên } dV = 0.$$

■ Công mà hệ nhận trong quá trình đẳng tích:

$$\mathbf{A} = - \int_{V_1}^{V_2} \mathbf{p} d\mathbf{V} = 0$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.1/ Quá trình đẳng tích ( $V = \text{const}$ )

❖ Độ biến thiên nội năng

❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

■ Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$\Delta U = A + Q$$

$$Q = \Delta U - A = \Delta U$$

■ Từ biểu thức  $Q = \Delta U$ , suy ra nhiệt dung riêng phân tử đẳng tích:

$$C_v = \frac{iR}{2}$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

3.2.2. Quá trình đẳng áp ( $P = \text{const}$ )

❖ Công hệ nhận được:

Xét quá trình hơi nóng hoặc làm lạnh khối khí trong một bình kín có hệ số dẫn nở không đáng kể.

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

▪ Do  $P = \text{const}$  nên:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = -p(V_2 - V_1)$$

❖ Độ biến thiên nội năng

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

▪ Công mà hệ nhận trong quá trình đẳng áp:

$$A = p(V_1 - V_2)$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$Q = \Delta U - A = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + p(V_2 - V_1)$$

$$Q = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} RT_2 - \frac{M}{\mu} RT_1$$

$$Q = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

$$Q = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} R \Delta T \quad \longrightarrow$$

- Nhiệt dung phân tử đẳng áp:

$$C_P = \frac{iR}{2} + R = C_V + R$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_P \Delta T$$

- Nhiệt lượng mà hệ nhận được trong quá trình đẳng áp:

$$Q = \frac{M}{\mu} \left( \frac{i}{2} + 1 \right) R \Delta T$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

$$C_P = \frac{iR}{2} + R = C_V + R$$

$$C_V = \frac{iR}{2}$$

$$C_P - C_V = R$$

- Phương trình Maier:

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}$$

- Hệ số Possion

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}$$



### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.3 Quá trình đẳng nhiệt ( $T = \text{const}$ )

Một quá trình xem là đẳng nhiệt thì  **nhiệt lượng từ bên ngoài**  cung cấp cho hệ cũng như là  **nhiệt lượng mà hệ nhả ra**  cho môi trường xung quanh phải diễn ra rất chậm sao cho  **hệ luôn luôn ở trạng thái cân bằng nhiệt**  trong suốt quá trình đó.

Ví dụ: Quá trình nén hoặc giãn rất chậm một khối khí trong trường hợp môi trường có nhiệt độ không đổi.

❖ Công hệ nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad pV = \frac{M}{\mu} RT$$

$$A = - \frac{M}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - p_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$A = - p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

■ Công quá trình đẳng nhiệt:

$$A = - \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.3 Quá trình đẳng nhiệt ( $T = \text{const}$ )

❖ Độ biến thiên nội năng      ■ Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

$$Q = \Delta U - A = -A$$

■ Do  $T = \text{const}$  nên  $\Delta T = 0$ .

❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

■ Vậy:

$$\Delta U = 0$$

$$Q = \frac{M}{\mu} R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.4. Quá trình đoạn nhiệt

##### Định nghĩa

Quá trình đoạn nhiệt là một quá trình mà trong đó không có sự truyền nhiệt vào trong cũng như mất nhiệt ra khỏi hệ nhiệt động đang xét. Nói cách khác, quá trình đoạn nhiệt là một quá trình hoàn toàn cách nhiệt ( $Q = 0$ ).

Ví dụ: quá trình nén hoặc giãn khí trong một bình có vỏ cách nhiệt tốt.

- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$dU = \delta A + \delta Q$$

$$\delta Q = 0 \rightarrow dU = \delta A \quad (*)$$

$$U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT \quad pV = \frac{M}{\mu} RT$$

- Vậy:

$$U = \frac{i}{2} pV$$

$$\rightarrow dU = \frac{i}{2} (pdV + Vdp) \quad (**)$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.4. Quá trình đoạn nhiệt

$$\delta A = -pdV$$

- Vậy theo (\*) và (\* \*) thì:

$$\frac{i}{2}(pdV + Vdp) = -pdV$$

$$\Rightarrow \left(\frac{i}{2} + 1\right)pdV + \frac{i}{2}Vdp = 0$$

$\gamma$  là hệ số Poisson

- Nên:  $\gamma pdV + Vdp = 0$

- Chia hai vế cho  $pV$ :

$$\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0$$

- Tích phân hai vế:

$$\ln V^\gamma + \ln p = \text{const}$$



$$\ln(pV^\gamma) = \text{const}$$

- Phương trình Poisson đối với quá trình đoạn nhiệt

$$pV^\gamma = \text{const}$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.4. Quá trình đoạn nhiệt

- Từ phương trình trạng thái

của khí lý tưởng

$$p = \frac{M}{V\mu} RT$$

- Thay p vào phương trình Poisson (8.22)

- Ta có  $\frac{M}{\mu} RT V^{\gamma-1} = \text{const}$

- Vậy:  $TV^{\gamma-1} = \text{const}$

❖ Công hệ nhận được:

$$A = \Delta U - Q = \Delta U$$

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \quad \xrightarrow{\hspace{1cm}} \quad A = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT_1 - \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT_2$$

$$A = \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

- Mà:  $1 + \frac{2}{i} = \gamma \rightarrow \frac{i}{2} = \frac{1}{\gamma - 1}$

- Vậy công mà hệ nhận được trong quá trình đoạn nhiệt

$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$$

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.4. Quá trình đa biến (polytropic)

##### Định nghĩa

Quá trình đa biến là quá trình mà áp suất và thể tích khí lý tưởng liên hệ với nhau bằng hệ thức:

$$pV^n = \text{const}$$

- $n$  có thể lấy giá trị từ  $-\infty$  đến  $+\infty$ .
- Tất cả các quá trình mà ta vừa xét ở trên là những trường hợp riêng của quá trình đa biến, được nêu trong bảng 8.1.

Bảng 8.1

n	Quá trình
0	Đẳng áp
1	Đẳng nhiệt
$\gamma$	Đoạn nhiệt
$\pm\infty$	Đẳng tích

### 3. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

#### 3.2.4. Quá trình đa biến (polytropic)

- Ta có thể suy ra quá trình đẳng tích như sau:

$$pV^n = \text{const}$$



$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$$

(các chỉ số 1 và 2 chỉ hai trạng thái tùy ý nào đó)

- Lấy căn bậc n:

$$p_1^{\frac{1}{n}} V_1 = p_2^{\frac{1}{n}} V_2$$

- Khi  $n \rightarrow \pm\infty$ , ta được  $V_1 = V_2$ , nghĩa là quá trình biến đổi từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 là quá trình đẳng tích.



Quá trình	A	Q	$\Delta U$
<b>Đẳng tích</b> (V=const) P/T = const	0	$\frac{M}{\mu} C_V \Delta T$	Q
<b>Đẳng áp</b> (p=const) V/T = const	$A = p(V_1 - V_2)$	$\frac{M}{\mu} C_P \Delta T$	$\frac{M}{\mu} C_V \Delta T$
<b>Đẳng nhiệt</b> (T=const) pV = const	$-\frac{M}{\mu} \times R \times T \times \ln \frac{V_2}{V_1}$	-A	0
<b>Đoạn nhiệt</b> $pV^\gamma = \text{const}$ $TV^{\gamma-1} = \text{const}$	$\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$	0	A

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}$$

$$C_V = \frac{iR}{2}$$

$$C_P = \frac{iR}{2} + R = C_V + R$$

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$PV = \frac{M}{\mu} RT$$

**Ví dụ**: Không khí (khí lưỡng nguyên tử)  $20^{\circ}\text{C}$  trong buồng đốt động cơ diesel được nén đoạn nhiệt từ trạng thái có áp suất  $1\text{ atm}$ , thể tích  $800\text{ cm}^3$  xuống còn  $60\text{ cm}^3$ . Tính áp suất và nhiệt độ trạng thái cuối?

Khí lưỡng nguyên tử

a. Tính áp suất

Nén đoạn nhiệt

$$P_f = P_i \left( \frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = 1.40$$

$$= (1.00\text{ atm}) \left( \frac{800.0\text{ cm}^3}{60.0\text{ cm}^3} \right)^{1.40} = 37.6\text{ atm}$$

b. Nhiệt độ trạng thái cuối

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

$$T_f = \frac{P_f V_f}{P_i V_i} T_i = \frac{(37.6\text{ atm})(60.0\text{ cm}^3)}{(1.00\text{ atm})(800.0\text{ cm}^3)} (293\text{ K})$$

$$= 826\text{ K} = 553^{\circ}\text{C}$$

**Ví dụ:** Khí lưỡng nguyên tử có  $p_i = 2 \times 10^5$  Pa và  $V_i = 4 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup> giãn nở đoạn nhiệt đến  $V_f = 8 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>. Tính công khối khí thực hiện được và độ biến thiên nội năng?

**Nhớ lại**

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} \delta A$$

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$p_i V_i^\gamma = p_f V_f^\gamma$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = 1.40$$

Công thức hiện bởi hệ:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$p = \frac{1}{V^\gamma} p_i V_i^\gamma = V^{-\gamma} p_i V_i^\gamma$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV = \int_{V_i}^{V_f} V^{-\gamma} p_i V_i^\gamma dV = p_i V_i^\gamma \int_{V_i}^{V_f} V^{-\gamma} dV = \frac{1}{-\gamma + 1} p_i V_i^\gamma [V^{-\gamma+1}]_{V_i}^{V_f}$$

$$= \frac{1}{-\gamma + 1} p_i V_i^\gamma [V_f^{-\gamma+1} - V_i^{-\gamma+1}]$$

$\Delta U = Q - W$  W công của hệ sinh ra

Đoạn nhiệt  $Q = 0$

$$W = \frac{1}{-1.4 + 1} (2.00 \times 10^5) (4.00 \times 10^{-6})^{1.4}$$

$$\times [(8.00 \times 10^{-6})^{-1.4+1} - (4.00 \times 10^{-6})^{-1.4+1}] = 0.48 \text{ J}$$

$$\Delta U = -0.48 \text{ J}$$

## Bài tập KT vận dụng tại lớp

1 mol khí Oxygen (KLT) ở trạng thái đầu có nhiệt độ 310 K và 12 L giãn nở đến thể tích 19 L.

- a. Tính nhiệt độ khối khí khi nó giãn nở đoạn nhiệt?
- b. Tính nhiệt độ khối khí khi nó giãn nở tự do nếu áp suất ban đầu 2 Pa?