

NHIỆT ĐỘNG HỌC

GIẢNG VIÊN: PGS. TS. VŨ VĂN TRƯỜNG
KHOA KT Ô TÔ & NĂNG LƯỢNG
TRƯỜNG ĐH PHENIKAA

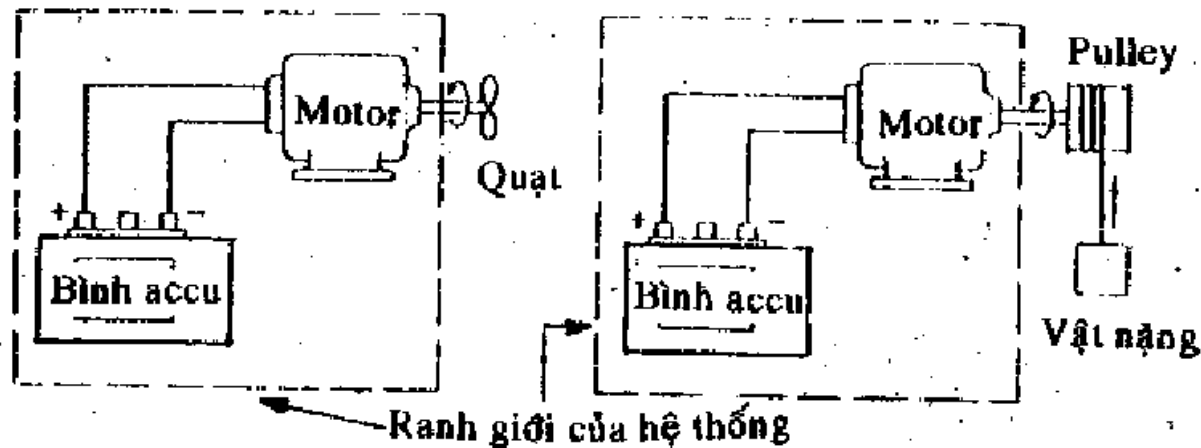


ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG I

NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

1. CÔNG

Công là lượng năng lượng đi qua bề mặt ranh giới có khả năng nâng cao một vật nào đó.



Trong hệ thống kín

Công do sự thay đổi thể tích (W_{tt})

Trong hệ thống hở

Công lưu động (W_{ld}) + công kỹ thuật (W_{kt})

1. CÔNG

Quy ước dấu của công

↪ Hệ thống sinh công: $W > 0$

↪ Hệ thống nhận công: $W < 0$

Ví dụ:

■ Khảo sát một hệ thống nhiệt động ban đầu có p_1 , t_1 , V_1 . Sau khi cho hệ thống tiến hành một quá trình thì ta nhận được một công là 500 kJ , ... $\Rightarrow W = 500 \text{ kJ}$

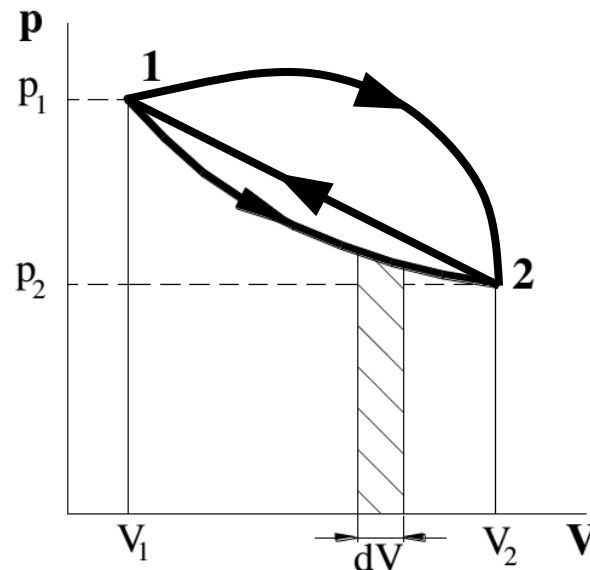
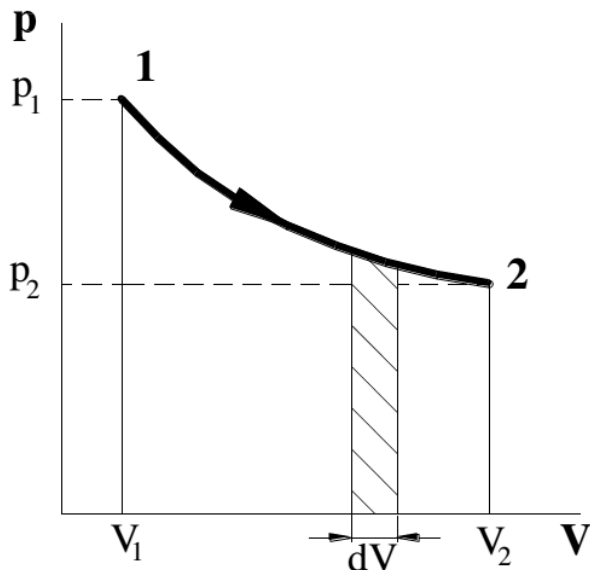
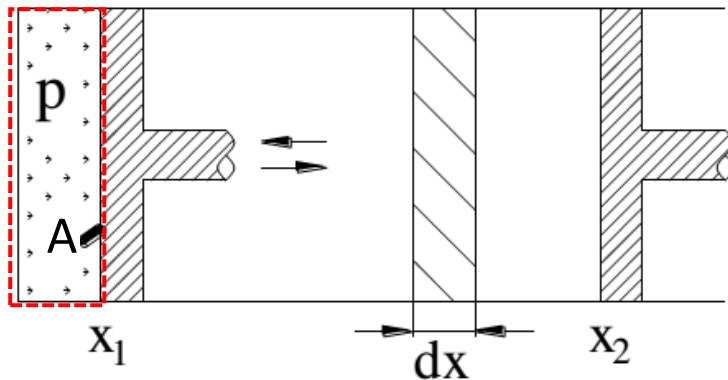
1.1. HT Kín - Công thay đổi thể tích

Dưới tác động của p , bề mặt ranh giới bị dịch chuyển

p : áp suất chất môi giới

A : tiết diện piston

V : thể tích chất môi giới



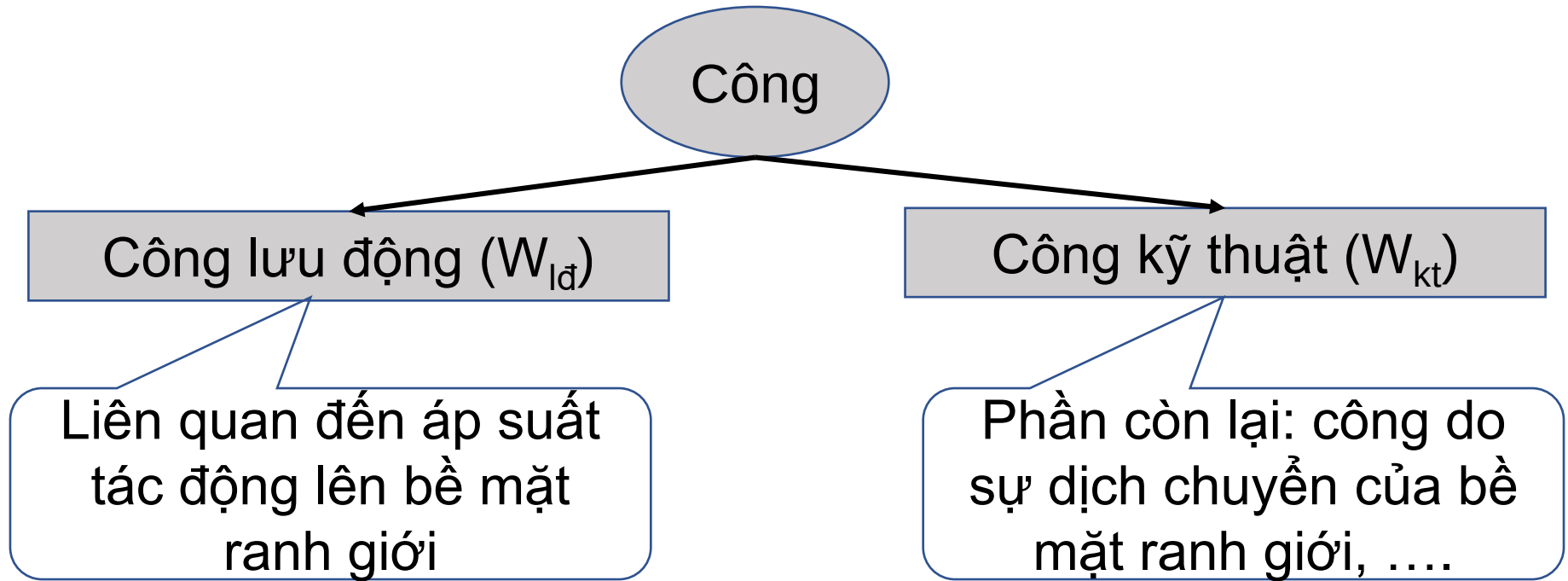
- Khi $G = 1$ kg:

$$w_{tt} = \int_1^2 p \cdot dv$$

- Khi $G \neq 1$ kg:

$$W_{tt} = G \int_1^2 p \cdot dv$$

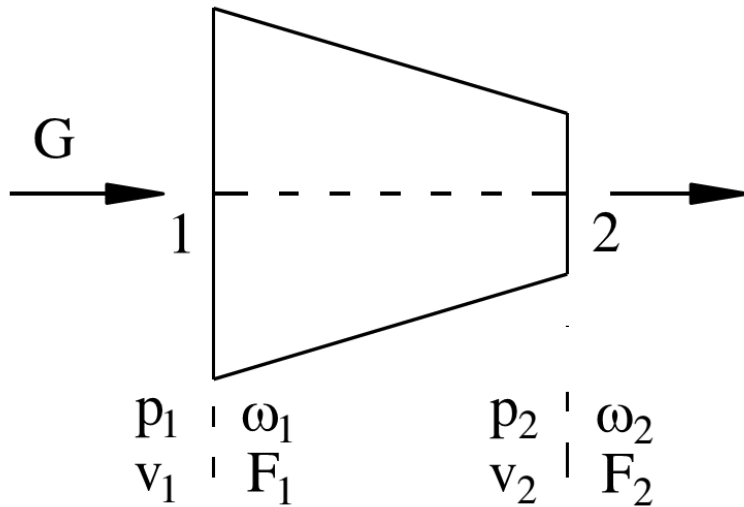
1.2. HT Hở



$$W = W_{ld} + W_{kt}$$

1.2. HT HỒ

Công lưu động (W_{ld})



$$G = \frac{F\omega}{v} = \text{const}$$

- Khi $G = 1 \text{ kg}$:

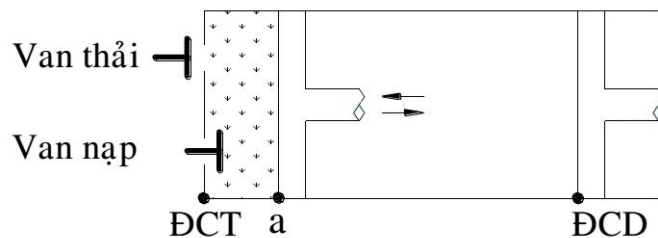
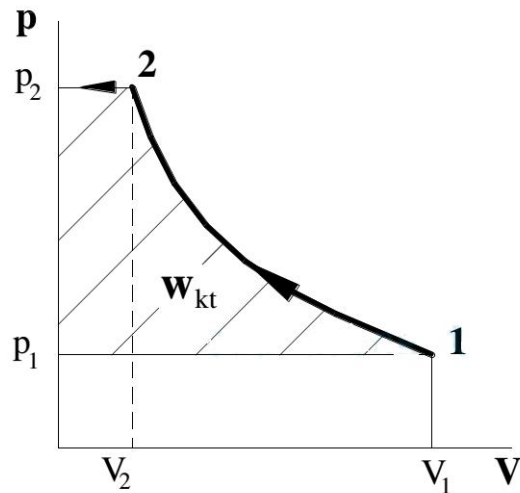
$$w_{ld} = \int_1^2 d(pv)$$

- Khi $G \neq 1 \text{ kg}$:

$$W_{ld} = G \int_1^2 d(pv)$$

1.2. HT HỒ

Công kỹ thuật (W_{kt})



- Khi $G = 1$ kg:

$$W_{kt} = - \int_1^2 v dp$$

- Khi $G \neq 1$ kg:

$$W_{kt} = -G \int_1^2 v dp$$

1.3. Ví dụ

Một hệ thống xy lanh-piston có thể tích lúc ban đầu là $0,1 \text{ m}^3$ và đang chứa một chất khí ở áp suất 3 bar. Xác định công giãn nở tạo ra bởi hệ thống nếu chất khí trong xy lanh được cho biến đổi trạng thái theo quá trình có $pV^n = \text{const}$ ứng với 3 trường hợp sau:

a- $n = 1,5$

b- $n = 1$

c- $n = 0$

Trong cả 3 trường hợp, cho biết thể tích của hệ thống ở cuối quá trình là $0,2 \text{ m}^3$.

2. NHIỆT LƯỢNG

↪ Là lượng năng lượng đi xuyên qua bề mặt ranh giới khi giữa chất môi giới và môi trường **có sự chênh lệch nhiệt độ**.

Quy ước dấu:

Hệ thống nhận nhiệt: $Q > 0$
Hệ thống nhả nhiệt: $Q < 0$

Chú ý

Nhiệt lượng không phải là thông số trạng thái

2.1. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi entropy

Theo định nghĩa entropy: $ds = \frac{\delta q}{T} \Rightarrow \delta q = Tds$

- Nhiệt lượng trao đổi trong một quá trình hữu hạn từ 1 đến 2 ứng với 1 kg chất môi giới:

$$q = \int_1^2 T.ds \Rightarrow q = T(s_2 - s_1) \text{ , kJ/kg}$$

Chú ý

Chỉ áp dụng công thức này để tính nhiệt lượng cho quá trình thuận nghịch

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

- Nhiệt lượng trao đổi trong một quá trình khi có sự thay đổi nhiệt độ:

$$\delta q = c.dT \quad \Rightarrow \quad q = c(T_2 - T_1)$$

Trong đó: **c** – Nhiệt dung riêng của chất môi giới

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

↪ Là nhiệt lượng cần thiết để làm cho một đơn vị chất môi giới biến đổi 1 độ theo một quá trình nào đó.

↪ Có các loại nhiệt dung riêng sau:

- Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng tích: c_v , kJ/kgK
- Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp: c_p , kJ/kgK
- Nhiệt dung riêng thể tích đẳng tích: c'_v , kJ/m³K
- Nhiệt dung riêng thể tích đẳng áp: c'_p , kJ/m³K
- Nhiệt dung riêng mol đẳng áp: $(\mu c)_p$
- Nhiệt dung riêng mol đẳng tích: $(\mu c)_v$

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

$$c_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p$$

- Với khí lý tưởng, c_v và c_p chỉ phụ thuộc vào T

$$c_v(T) = \frac{du}{dT}$$

$$c_p(T) = \frac{di}{dT}$$



$$c_p(T) = c_v(T) + R$$

$$\text{Với } (\mu c)_{p,v} = \mu c_{p,v}$$

$$(\mu c)_p = (\mu c)_v + R_\mu$$

(Công thức Mayer của khí lý tưởng)

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

Đặt $k = \frac{c_p}{c_v}$: số mũ đoạn nhiệt

- Với khí lý tưởng, k chỉ phụ thuộc vào T

$$c_p(T) = \frac{k \cdot R}{k-1}$$

$$c_v(T) = \frac{R}{k-1}$$

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

Nhiệt độ, °K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	Nhiệt độ, °K
	Không khí			Nitrogen, N ₂			Oxygen, O ₂			
250	1,003	0,716	1,401	1,039	0,742	1,400	0,913	0,653	1,398	250
300	1,005	0,718	1,400	1,039	0,743	1,400	0,918	0,658	1,395	300
350	1,008	0,721	1,398	1,041	0,744	1,399	0,928	0,668	1,389	350
400	1,013	0,726	1,395	1,044	0,747	1,397	0,941	0,681	1,382	400
450	1,020	0,733	1,391	1,049	0,752	1,395	0,956	0,696	1,373	450
500	1,029	0,742	1,387	1,056	0,759	1,391	0,972	0,712	1,365	500
550	1,040	0,753	1,381	1,065	0,768	1,387	0,988	0,728	1,358	550

Nhiệt độ, °K	Carbon dioxide, CO_2			Carbon monoxide, CO			Hydrogen, H_2			Nhiệt độ, °K
	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	
250	0,791	0,602	1,314	1,039	0,743	1,400	14,051	9,927	1,416	250
300	0,846	0,657	1,288	1,040	0,744	1,399	14,307	10,183	1,405	300
350	0,895	0,706	1,268	1,043	0,746	1,398	14,427	10,302	1,400	350
400	0,939	0,750	1,252	1,047	0,751	1,395	14,476	10,352	1,398	400
450	0,978	0,790	1,239	1,054	0,757	1,392	14,501	10,377	1,398	450
500	1,014	0,825	1,229	1,063	0,767	1,387	14,513	10,389	1,397	500
550	1,046	0,857	1,220	1,075	0,778	1,382	14,530	10,405	1,396	550

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

- Có thể xem nhiệt dung riêng và k của khí lý tưởng là hằng số, nếu yêu cầu mức độ chính xác không cao

Bảng nhiệt dung riêng của chất khí:

Khí lý tưởng	kcal/kmolK		kJ/kmolK		$k = \frac{c_p}{c_v}$
	$c_{\mu v}$	$c_{\mu p}$	$c_{\mu v}$	$c_{\mu p}$	
Khí 1 nguyên tử	3	5	12,6	20,9	1,667
Khí 2 nguyên tử	5	7	20,9	29,3	1,4
Khí 3 nguyên tử trở lên	7	9	29,3	37,7	1,286

2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi nhiệt độ

Nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí lý tưởng

$$c_{v_{hh}} = g_1 c_{v_1} + g_2 c_{v_2} + \dots + g_n c_{v_n} = \sum_{i=1}^n g_i c_{v_i}, \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p_{hh}} = g_1 c_{p_1} + g_2 c_{p_2} + \dots + g_n c_{p_n} = \sum_{i=1}^n g_i c_{p_i}, \text{ kJ/kgK}$$

$$k_{hh} = \frac{c_{p_{hh}}}{c_{v_{hh}}}$$

2.3. Ví dụ

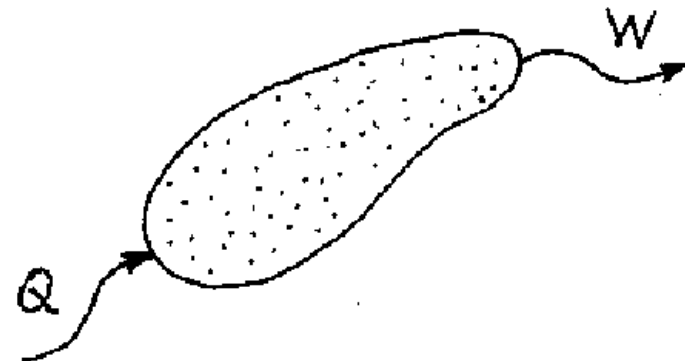
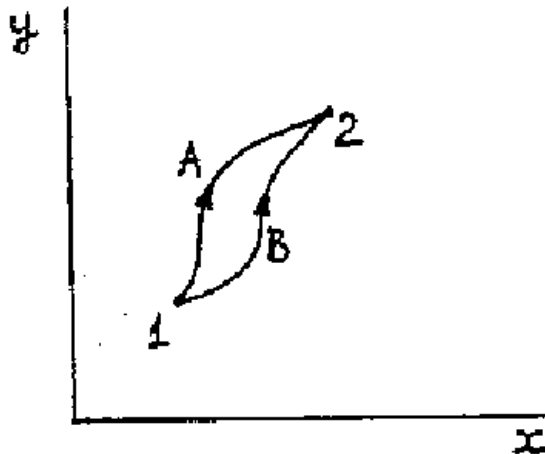
Một bình kín có thể tích $V = 300$ lit chứa không khí ở áp suất 3 at và nhiệt độ 20°C . Hỏi cần cung cấp một nhiệt lượng là bao nhiêu để nhiệt độ không khí trong bình đạt đến giá trị 120°C . Có thể coi nhiệt dung riêng của không khí là hằng số

Kết quả: $Q = 18,123 \text{ kcal}$

2. ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ I

Đây là định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng trong phạm vi nhiệt động.

3.1. Hệ kín

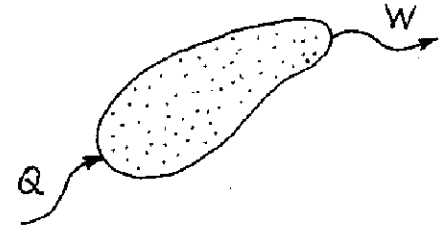
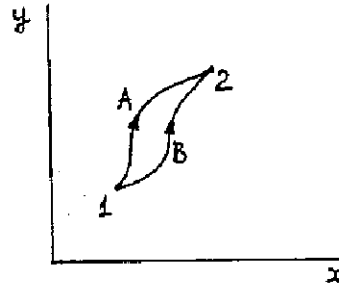


A: Đoạn nhiệt
B: Không đoạn nhiệt

3.1. Hệ kín

A: Đoạn nhiệt

B: Không đoạn nhiệt



$$A: E_2 - E_1 = -W_A$$

$$B: E_2 - E_1 = -W_A + Q$$



$$Q = E_2 - E_1 + W$$



$$Q = U_2 - U_1 + W$$

$$\text{Hệ kín: } W = W_{tt}$$

3.1. Hệ kín

Viết dưới dạng vô cùng bé

$$\delta q = du + \delta w$$

$$\delta q = du + p dv$$

Tại một thời điểm nào đó

$$\dot{Q} = \frac{dU}{dt} + \dot{W}$$

3.1. Hệ kín

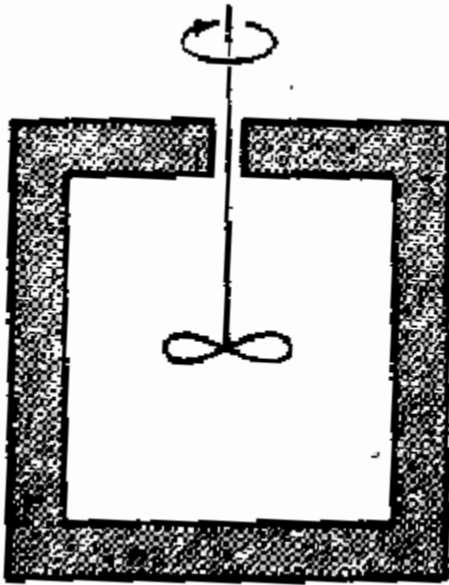
$$\delta q = du + p dv$$



$$J \oint \delta q = \oint \delta w$$

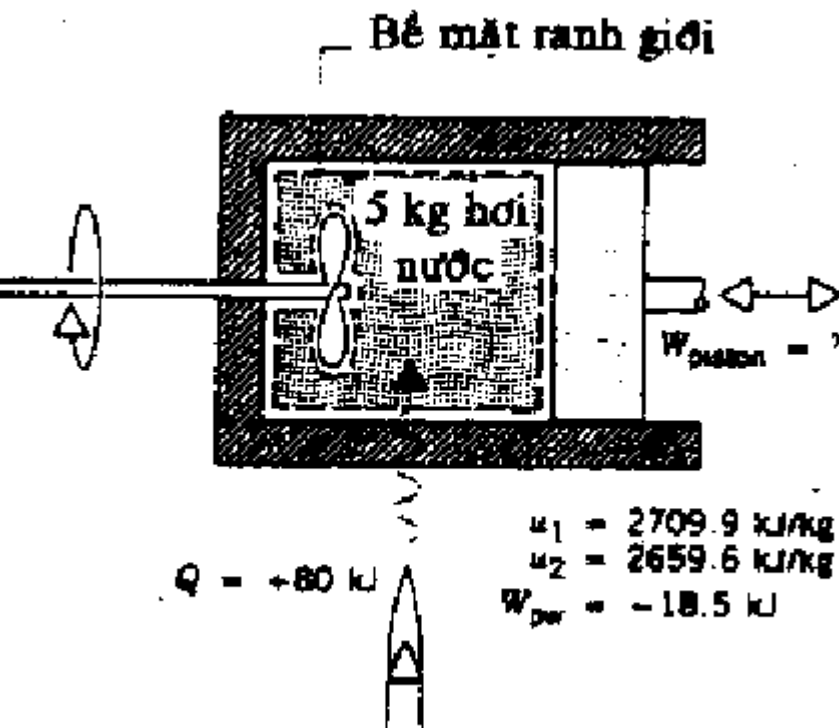
J: đương lượng công của nhiệt

3.1. Hệ kín – Ví dụ 1



Một bình có thể tích 1m^3 chứa đầy nước. Sau một thời gian dùng máy khuấy nước, nhiệt độ của nước tăng từ 40°C đến 80°C . Xác định công cung cấp bởi máy khuấy. Bỏ qua nhiệt lượng trao đổi với môi trường. Cho biết nội năng của nước ở 40°C và 80°C lần lượt là $167,4\text{ kJ/kg}$ và 251 kJ/kg

3.1. Hệ kín – Ví dụ 2



Một hệ thống xylanh-piston có sơ đồ mô tả ở hình 2.13. Cho biết bên trong xylanh có chứa 5 kg hơi nước và đang thực hiện quá trình giãn nở từ trạng thái 1 đến trạng thái 2. Trong quá trình đó người ta cấp thêm vào hệ thống một nhiệt lượng là 80 kJ, đồng thời - thông qua máy khuấy - người ta cấp cho hệ một công là 18,5 kJ. Xác định công tạo ra bởi hệ thống qua sự chuyển động của piston. Cho biết nội năng của nước tại trạng thái 1 và 2 là 2709,9 kJ/kg và 2659,6 kJ/kg.

3.2. Hệ hở

Hệ hở: có sự trao đổi môi chất với môi trường



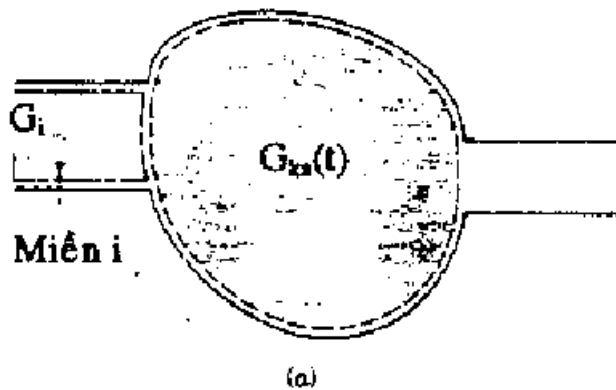
Nguyên tắc:

- Bảo toàn khối lượng
- Bảo toàn năng lượng

3.2. Hệ hở

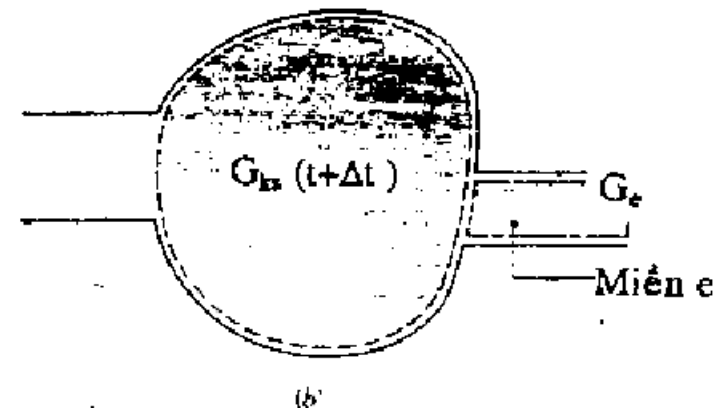
3.2.1. Nguyên tắc bảo toàn khối lượng

Nguyên tắc: tổng khối lượng chất môi giới đi vào hệ thống bằng lượng biến đổi khối lượng của hệ thống cộng với tổng khối lượng chất môi giới đi ra hệ thống



Tại t :

$$G = G_{ks}(t) + G_i$$



Tại $t + \Delta t$

$$G = G_{ks}(t + \Delta t) + G_e$$

3.2. Hệ hở

3.2.1. Nguyên tắc bảo toàn khối lượng

Bảo toàn khối lượng:

$$G_{ks}(t) + G_i = G_{ks}(t + \Delta t) + G_e$$



$$\frac{G_{ks}(t + \Delta t) - G_{ks}(t)}{\Delta t} = \frac{G_i}{\Delta t} - \frac{G_e}{\Delta t}$$



$$\frac{dG_{ks}}{dt} = \dot{G}_i - \dot{G}_e$$

3.2. Hệ hở

3.2.1. Nguyên tắc bảo toàn khối lượng

$$\frac{dG_{ks}}{dt} = \dot{G}_i - \dot{G}_e$$

$\dot{G}_i$ và $\dot{G}_e$: lưu lượng khối lượng chất môi giới ở đầu vào và đầu ra

$\frac{dG_{ks}}{dt}$: lượng biến đổi khối lượng chất môi giới ở trong hệ thống

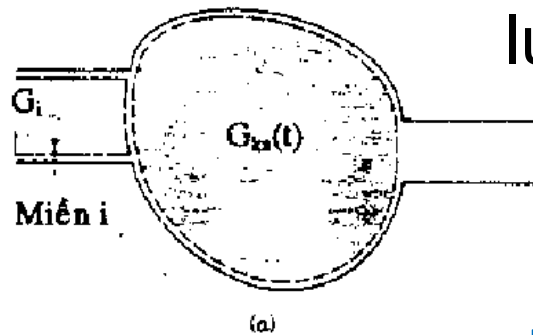
Hệ ổn định: $\dot{G}_i = \dot{G}_e$

Nhiều đầu vào/ra: $\sum_i \dot{G}_i = \sum_e \dot{G}_e$

3.2. Hệ hở

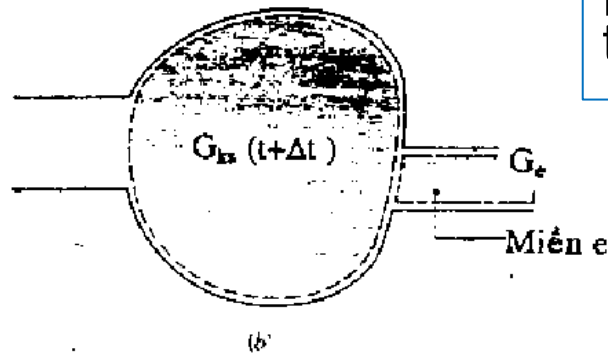
3.2.2. Cân bằng năng lượng

Năng lượng tổng (ứng với khối lượng G):



$$E(t) = E_{ks}(t) + G_i \left(u_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right)$$

Năng lượng tổng của môi chất trong không gian đang khảo sát



$$E(t + \Delta t) = E_{ks}(t + \Delta t) + G_e \left(u_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right)$$

u_i , u_e , ω_i , ω_e , z_i và z_e lần lượt là nội năng, tốc độ và khoảng cách của dòng chất môi giới so với mặt phẳng chuẩn tại đầu vào và đầu ra của hệ.

3.2. Hệ hở

3.2.2. Cân bằng năng lượng

Ta có:

$$E(t + \Delta t) - E(t) = Q - W$$



$$E_{ks}(t + \Delta t) - E(t) = Q - W + G_i \left(u_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right) - G_e \left(u_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right)$$



$$\frac{dE_{ks}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{G}_i \left(u_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{G}_e \left(u_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right)$$

$\frac{dE_{ks}}{dt}$ - lượng biến đổi năng lượng tổng của chất môi giới trong không gian đang khảo sát

tính theo thời gian.

$\dot{Q}$ và $\dot{W}$ - lượng nhiệt và công trao đổi giữa chất môi giới và môi trường theo thời gian.

3.2. Hệ hở

3.2.2. Cân bằng năng lượng

Ta có: $\dot{W} = \dot{W}_{kt} + \dot{W}_{ld} = \dot{W}_{kt} + \dot{G}_e(p_e v_e) - \dot{G}_i(p_i v_i)$

$$\frac{dE_{ks}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{kt} + \dot{G}_i \left(u_i + p_i v_i + \frac{\omega_i^2}{2} + g z_i \right) - \dot{G}_e \left(u_e + p_e v_e + \frac{\omega_e^2}{2} + g z_e \right)$$

thay $\dot{Q}$ bởi $\dot{Q}_{ks}$:

$$\frac{dE_{ks}}{dt} = \dot{Q}_{ks} - \dot{W}_{kt} + \dot{G}_i \left(i_i + \frac{\omega_i^2}{2} + g z_i \right) - \dot{G}_e \left(i_e + \frac{\omega_e^2}{2} + g z_e \right)$$

Nhiều đầu vào/ra:

$$\frac{dE_{ks}}{dt} = \dot{Q}_{ks} - \dot{W}_{kt} + \sum_i \dot{G}_i \left(i_i + \frac{\omega_i^2}{2} + g z_i \right) - \sum_e \dot{G}_e \left(i_e + \frac{\omega_e^2}{2} + g z_e \right)$$

3.2. Hệ hở

3.2.2. Cân bằng năng lượng

Hệ ổn định:

$$0 = \dot{Q}_{ks} - \dot{W}_{kt} + \dot{G}_i \left(i_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{G}_e \left(i_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right)$$



$$\dot{W}_{kt} = \dot{Q}_{ks} + \dot{G}_i \left(i_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{G}_e \left(i_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right)$$



$$\dot{G} = \dot{G}_i = \dot{G}_e$$

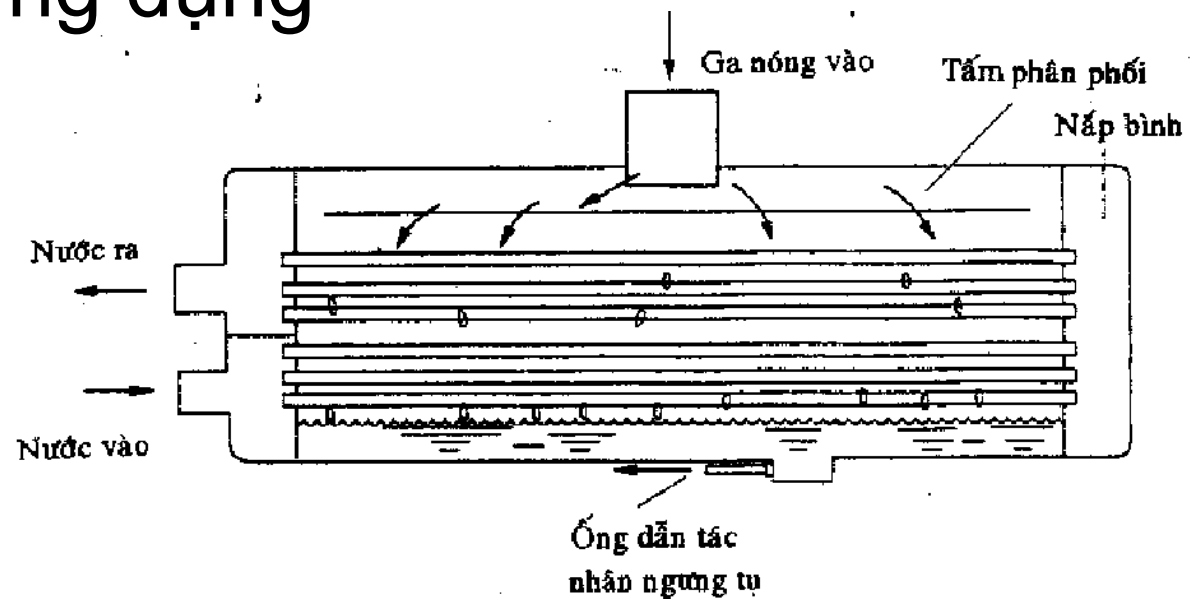
$$\frac{\dot{W}_{kt}}{\dot{G}} = \frac{\dot{Q}_{ks}}{\dot{G}} + (i_i - i_e) + \frac{(\omega_i^2 - \omega_e^2)}{2} + g(z_i - z_e)$$

Phương trình năng lượng cho dòng ổn định

3.2. Hệ hở

3.2.3. Ứng dụng

Bình ngưng tụ:



Hình 2.15. Bình ngưng tụ ống nước có thân nằm ngang

$$\dot{G}_n \cdot i_{ni} + \dot{G}_h \cdot i_{hi} = \dot{G}_n \cdot i_{ne} + \dot{G}_{hn} \cdot i_{hn}$$

$$\downarrow \quad \dot{G}_h = \dot{G}_{hn}, \quad \dot{G}_1 = \dot{G}_n \text{ và } \dot{G}_2 = \dot{G}_h = \dot{G}_{hn}$$

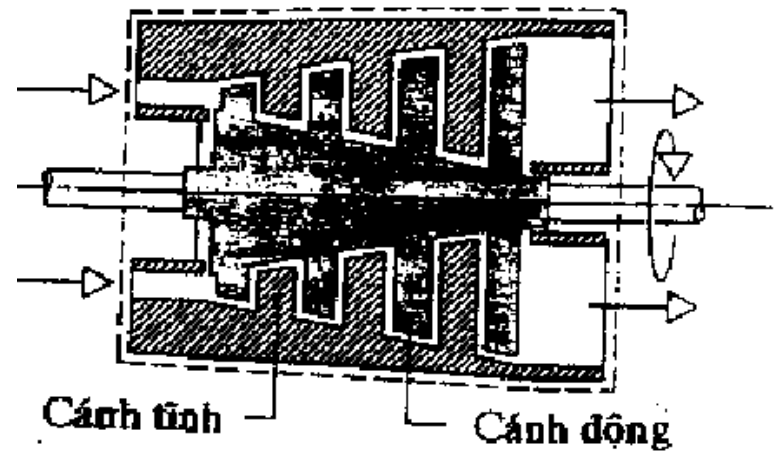
$$\dot{G}_1(i_{ne} - i_{ni}) = \dot{G}_2(i_{hi} - i_{hn})$$

3.2. Hệ hở

3.2.3. Ứng dụng

Tua bin:

$$\frac{\dot{W}_{kt}}{\dot{G}} = i_i - i_e$$



Hình 2.16. Turbine

3.2. Hệ hờ

3.2.3. Ứng dụng

Ống tăng áp:

$$i_i - i_e = \frac{\omega_e^2}{2} - \frac{\omega_i^2}{2}$$

Lò hơi:

$$\dot{Q}_{ks} = \dot{G}(i_e - i_i)$$

Ở đây:

$\dot{Q}_{ks}$ - lượng nhiệt cần phải cung cấp cho lò hơi.

i_i và i_e - entanpi của nước cấp và của hơi ra khỏi lò hơi.

3.3. Các phương trình T.ds

$$T.dS = dU + p.dV$$



$$T.dS = dI - V . dp$$

G = 1 kg:



$$T.ds = du + pdv$$

$$T.ds = di - vdp$$



Khí lý tưởng

$$T.ds = c_v . dT + pdv$$

$$T.ds = c_p . dT - vdp$$

3.4. Ví dụ

Một turbine hơi nước làm việc ở các điều kiện sau: hơi vào có áp suất 80 bar và entanpi 3640 kJ/kg, hơi ra có áp suất 0,045 bar và entanpi 2250 kJ/kg. Cho biết lưu lượng hơi qua turbine là 0,32 kg/s. Xác định công suất lý thuyết phát ở đầu trục turbine khi bỏ qua lượng biến đổi động năng, thế năng và tổn thất nhiệt.

$$\dot{W}_{kt} = 444,8 \text{ kW}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Thiết lập mối quan hệ giữa các trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Thiết lập mối quan hệ giữa các trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Mối quan hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.1. Khái niệm

Các quá trình nhiệt động cơ bản:

- Quá trình **đẳng tích**: $v = \text{const}$
- Quá trình **đẳng áp**: $p = \text{const}$
- Quá trình **đẳng nhiệt**: $T = \text{const}$
- Quá trình **đoạn nhiệt**: $Q = 0$
- Quá trình **đa biến**: $p v^n = \text{const}$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Mối quan hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ta có

$$\delta q = c.dT$$



$$\delta q = c.dT = du + pdv$$

$$\delta q = c.dT = di - vdp$$



(u, i chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ)

$$c.dT = c_v dT + pdv$$

$$c.dT = c_p dT - vdp$$

**Quá trình
đa biến**

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ta có

$$\delta q = c.dT$$



$$\delta q = c.dT = du + pdv$$

$$\delta q = c.dT = di - vdp$$



(u, i chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ)

$$c.dT = c_v dT + pdv$$

$$c.dT = c_p dT - vdp$$

**Quá trình
đa biến**

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

$$c \cdot dT = c_v dT + p dv$$

$$c \cdot dT = c_p dT - v dp$$



$$(c - c_v) dT = p dv$$

$$(c - c_p) dT = -v dp$$



$$\frac{c - c_p}{c - c_v} = - \frac{v dp}{p dv}$$

**Quá trình
đa biến**

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Đặt

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v}$$

Quá trình
đa biến

n: số mũ đa biến

$$n = -\frac{vdp}{pdv}$$

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

(Phương trình biểu diễn của quá trình đa biến)

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ta có

$$\delta q = c.dT$$



$$0 = c.dT = du + pdv$$

$$0 = c.dT = di - vdp$$



(u, i chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ)

$$0 = c_v dT + pdv$$

$$0 = c_p dT - vdp$$

Quá trình
đoạn nhiệt

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

**Quá trình
đoạn nhiệt**

Đặt

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

k: số mũ đoạn nhiệt

$$k = -\frac{vdp}{pdv} = (n)$$

$$pv^k = \text{const}$$

(Phương trình biểu diễn của quá trình đoạn nhiệt)

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

Đoạn nhiệt
($n = k$)

$$pv^k = \text{const}$$

Đẳng áp
($n = 0$)

$$p = \text{const}$$

Đa biến

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

Đẳng tích
($n = \infty$)

$$v = \text{const}$$

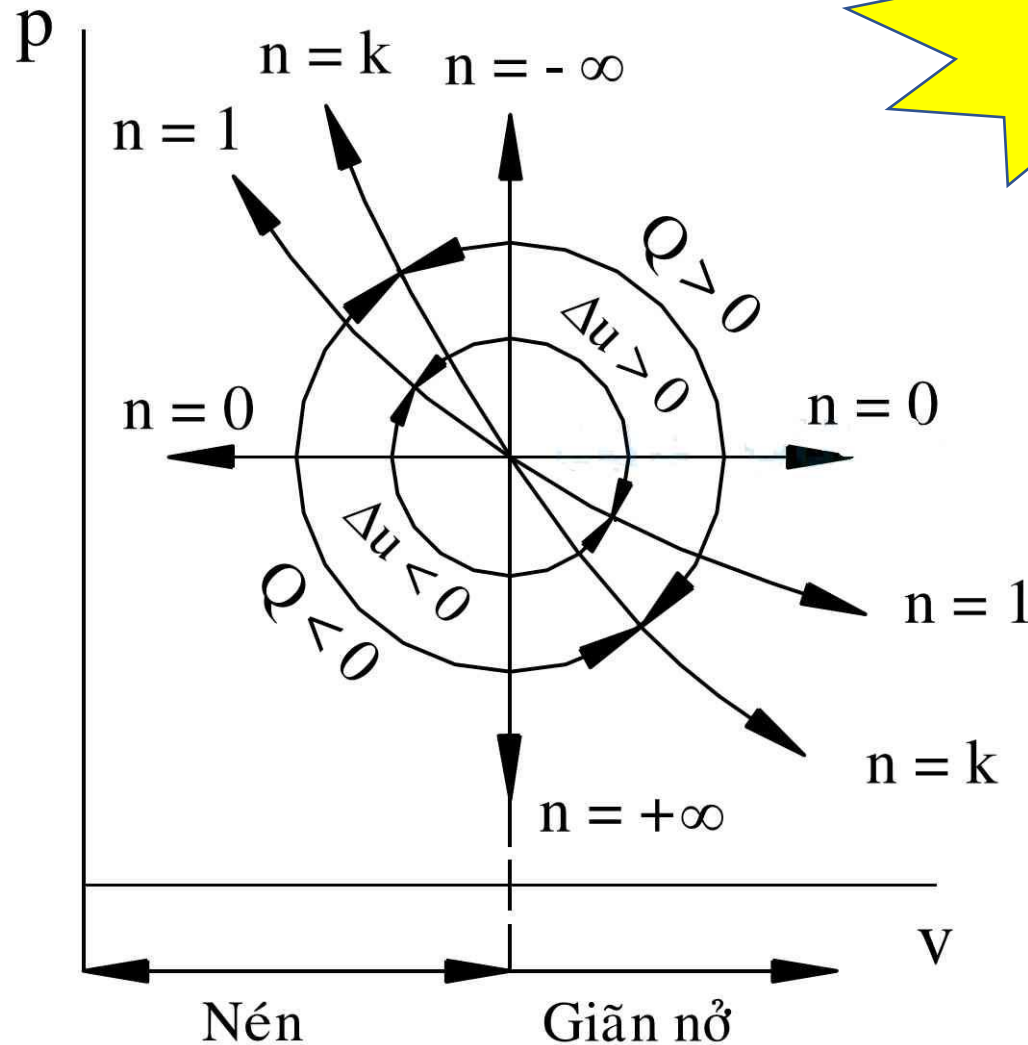
Đẳng nhiệt
($n = 1$)

$$pv = \text{const}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

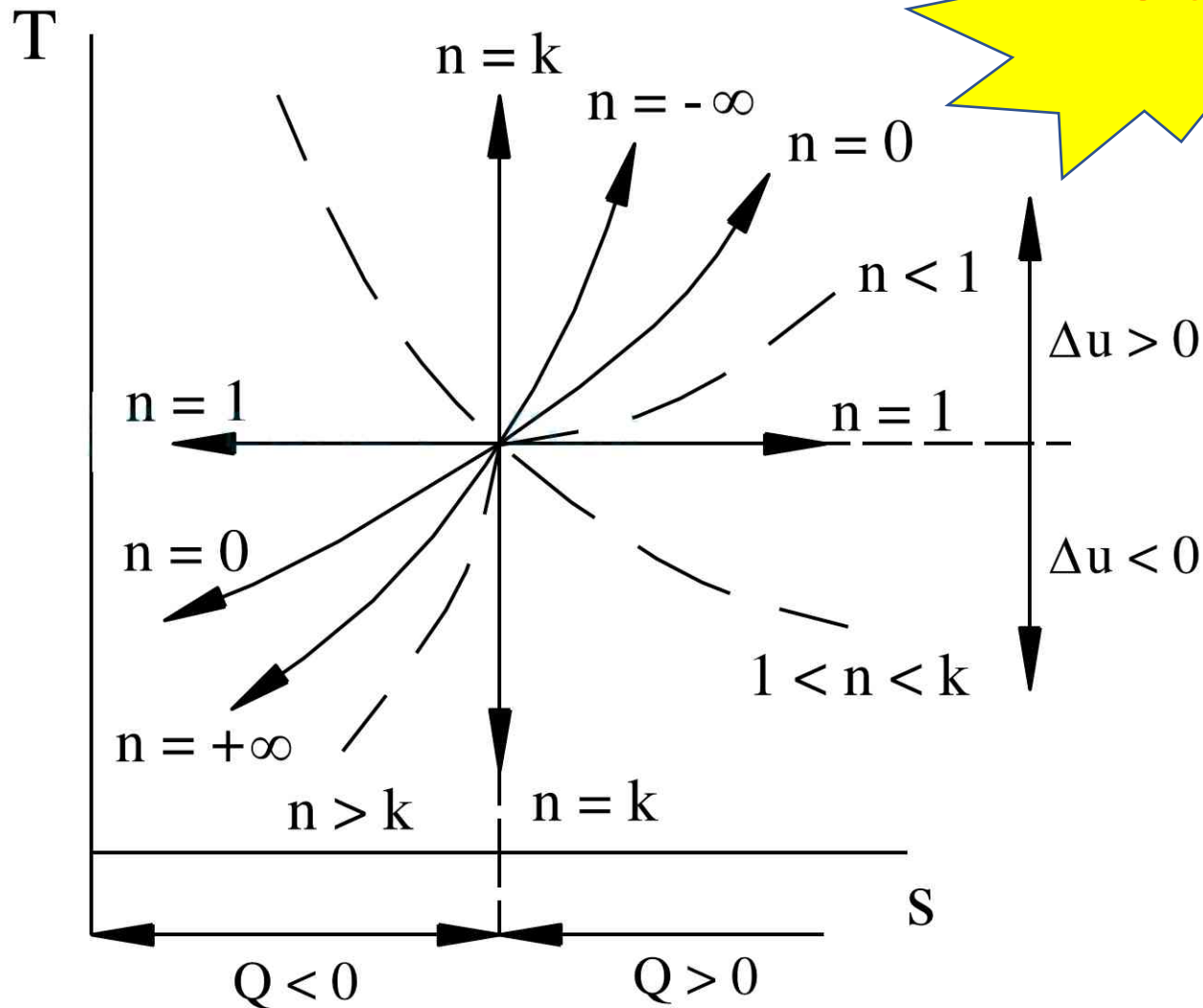
Đồ thị p-v



4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Đồ thị T-S



4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ví dụ 1

Vào mùa đông, lốp ô tô có áp suất là 2 bar và nhiệt độ là 0°C . Vào mùa hè, nhiệt độ là 50°C , thì áp suất lốp là bao nhiêu? Giả sử van kín.

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ví dụ 2

Không khí được nén đoạn nhiệt trong máy nén từ áp suất $p_1 = 1$ at đến áp suất $p_2 = 8$ at. Cho biết nhiệt độ không khí trước khi nén là 20°C . Xác định các thông số cơ bản của không khí sau khi nén. Cho $k = 1,4$.

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.2. Phương trình biểu diễn

Ví dụ 2

Vào mùa đông, lốp ô tô có áp suất là 2 bar và nhiệt độ là 0°C . Vào mùa hè, nhiệt độ là 50°C , thì áp suất lốp là bao nhiêu? Giả sử van kín.

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Thiết lập mối quan hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Mối quan hệ giữa các trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.3. Mối quan hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản

Ta có: 1- trạng thái đầu
2- trạng thái cuối

QT đa biến

$$p v^n = \text{const}$$



$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n$$



$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.3. Mối quan hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n & \xrightarrow{pv = RT} & \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \\
 \\
 \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} & \xrightarrow{pv = RT} & \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}
 \end{array}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Mối quan hệ giữa các trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

(a). Lượng biến đổi nội năng Δu

$$\Delta u = u_2 - u_1$$



Khí lý tưởng

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} c_v \cdot dT$$

Nếu quá trình là đẳng nhiệt thì $\Delta u = 0$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

(b). Lượng biến đổi entanpi Δi

$$\Delta i = i_2 - i_1$$



Khí lý tưởng

$$\Delta i = \int_{T_1}^{T_2} c_p \cdot dT$$

quá trình đẳng nhiệt thì $\Delta i = 0$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

(c). Lượng biến đổi entropi Δs

$$ds = \frac{\delta q}{T}$$

↓
Khí lý
tưởng

$$ds = \frac{c_v \cdot dT + p dv}{T} = \frac{c_p \cdot dT - v dp}{T}$$



$$ds = c_p \cdot \frac{dv}{v} + c_v \cdot \frac{dp}{p}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

(c). Lượng biến đổi entropi Δs

$$ds = c_p \cdot \frac{dv}{v} + c_v \cdot \frac{dp}{p} \quad \rightarrow \quad \Delta s = \int_{s_1}^{s_2} ds = s_2 - s_1$$

$$\Delta s = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} + c_v \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

Nội dung:

4.1. Khái niệm

4.2. Phương trình biểu diễn

4.3. Mối quan hệ giữa các trạng thái cơ bản ở điểm đầu và điểm cuối

4.4. Xác định lượng biến đổi u , i , s

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

(a). Công

QT đa biến

Công thay đổi thể tích: $w_{tt} = \int_{v_1}^{v_2} p dv$ [J/kg]

$$w_{tt} = \frac{R}{1-n} \cdot (T_2 - T_1) \quad [\text{J/kg}]$$

$$w_{tt} = \frac{p_1 v_1}{1-n} \left[\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} - 1 \right] \quad [\text{J/kg}]$$

$$w_{tt} = \frac{p_1 v_1}{1-n} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad [\text{J/kg}]$$

$$W_{tt} = G \cdot w_{tt} \quad [\text{J}]$$

$p - \text{N/m}^2$
 $v - \text{m}^3/\text{kg}$
 $T - \text{K}$
 $G - \text{kg}$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

(a). Công

QT đa biến

– Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = n \cdot w_{tt} \quad [J/kg]$$

$$W_{kt} = G \cdot w_{kt} \quad [J]$$

4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

4.5. Công và nhiệt lượng trao đổi với môi trường

(a). Nhiệt lượng

QT đa biến

$$q = c_n (T_2 - T_1) \quad [\text{kJ/kg}]$$

Với $c_n = c_v \frac{n-k}{n-1}$ - nhiệt dung riêng của qt đa biến

$$Q = G.q = G.c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1) \quad [\text{kJ}]$$

QUÁ TRÌNH ĐẲNG ÁP

- Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p \int_{v_1}^{v_2} dv = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$$

- Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = 0$$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entanpy: $\Delta i = c_p (T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entropy: $\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

QUÁ TRÌNH ĐẲNG TÍCH

- Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = 0$$

- Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = -v \int_{p_1}^{p_2} dp = -v(p_2 - p_1) = v(p_1 - p_2)$$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta u = c_v(T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entanpy: $\Delta i = c_p(T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entropy: $\Delta s = c_v \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

QUÁ TRÌNH ĐẲNG NHIỆT

– Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad [\text{J/kg}]$$

– Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = n \cdot w_{tt} \text{ mà } n = 1 \Rightarrow w_{kt} = w_{tt}$$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta u = c_v (T_2 - T_1) = 0$

Độ biến thiên entanpy: $\Delta i = c_p (T_2 - T_1) = 0$

Độ biến thiên entropy: $\begin{cases} \Delta s = \frac{q}{t} \\ q = w_{tt} = w_{kt} \end{cases} \Rightarrow \Delta s = R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$

QUÁ TRÌNH ĐOẠN NHIỆT

- Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = \frac{p_1 v_1}{1-k} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

- Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = k \cdot w_{tt}$$

$$W_{kt} = G \cdot w_{kt}$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta u = -w_{tt}$$

Độ biến thiên entanpy:

$$\Delta i = -w_{kt}$$

Độ biến thiên entropy:

$$s = \text{const}$$

$$\Rightarrow \Delta s = 0$$

Ví dụ 1

Người ta nung 1 kg không khí trong điều kiện áp suất không đổi từ nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$ đến $t_2 = 110^\circ\text{C}$. Tính nhiệt lượng cần cung cấp, công sinh ra, lượng thay đổi nội năng và lượng biến thiên entropi.

Ví dụ 2

Một khối không khí có khối lượng 3 kg ở áp suất ban đầu $p_1 = 1 \text{ bar}$ và $t_1 = 27^\circ\text{C}$ được nén đến áp suất $p_2 = 15 \text{ bar}$ và $t_2 = 227^\circ\text{C}$ theo quá trình đa biến. Xác định số mũ đa biến của quá trình, thể tích của không khí ở cuối quá trình, công nén và lượng nhiệt nhả ra môi trường từ không khí.

Ví dụ 3

Không khí ở trạng thái ban đầu $p_1 = 5 \text{ bar}$ và $t_1 = 120^\circ\text{C}$ biến đổi trạng thái theo quá trình đa biến đến nhiệt độ $t_2 = 50^\circ\text{C}$, trong quá trình đó môi trường cấp cho không khí một nhiệt lượng là 60 kJ/kg . Xác định lượng biến đổi entropi của không khí.

Ví dụ 4

Cho một chất khí lý tưởng có hằng số $R=200 \text{ J/kg.K}$ và số mũ đoạn nhiệt $k = 1,4$, đựng trong một bình kín với thể tích $0,3\text{m}^3$. Ở nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$, áp suất khối khí $p_1=3 \text{ bar}$. Đốt nóng khối khí đến áp suất $p_2=6 \text{ bar}$.

- Biểu thị quá trình thay đổi trạng thái trên đồ thị $p-v$ và $T-S$;
- Xác định khối lượng môi chất trong bình, $G \text{ (kg)}$;
- Nhiệt độ cuối quá trình $t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$;
- Nhiệt lượng cung cấp cho khối khí Q ;
- Xác định độ biến thiên ΔU , ΔI , W_{kt}

BÀI TẬP

Ví dụ 1

Một bình có thể tích $0,625\text{m}^3$ chứa ôxi với 23 bar, nhiệt độ 280°C .
Hãy xác định:

- Khối lượng ôxi trong bình, kg ;
- Thể tích riêng và khối lượng riêng của ôxi trong bình ở trạng thái đó và trạng thái tiêu chuẩn ($p=760\text{mmHg}$, $t = 0^\circ\text{C}$).
- Thể tích ôxi chứa trong bình qui ra điều kiện tiêu chuẩn.

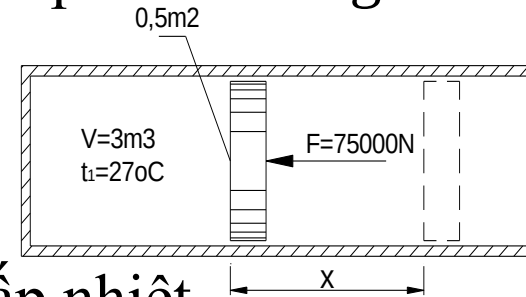
Ví dụ 2

Một bình kín chứa $0,5\text{m}^3$ không khí ở $p_1 = 2 \text{ bar}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Sau khi lấy một ít, trong bình có độ chân không $p_{\text{ck}} = 420\text{mmHg}$ mà nhiệt độ không đổi, biết áp suất khí quyển 768mmHg . Xác định lượng không khí trong bình trước và sau khi lấy ra, lượng khí đã lấy

Ví dụ 3

Một xy lanh chứa không khí có thể tích ban đầu $V_1=3\text{m}^3$, nhiệt độ $t_1=27^\circ\text{C}$, diện tích bề mặt tiết diện ngang xy lanh $S=0,5\text{m}^2$. Lực tác động lên pittông không đổi $F=75000\text{N}$. Cung cấp cho không khí nhiệt lượng $Q=525\text{kJ}$. Hỏi:

- Áp suất và khối lượng không khí trong bình.
- Nhiệt độ không khí sau khi cấp nhiệt .
- Quãng đường mà pittông dịch chuyển sau khi cấp nhiệt.



Ví dụ 4

Một bóng đèn điện chứa N_2 khi chưa sáng nhiệt độ bên trong đồng đều và bằng 25°C , độ chân không 200 mmHg. Khi sáng ổn định nhiệt độ phần cầu 160 $^\circ\text{C}$, phần trụ 70 $^\circ\text{C}$. Biết thể tích phần cầu 90 cm^3 và phần trụ 15 cm^3 . Xác định áp suất lúc sáng, biết áp suất khí quyển 760mmHg.

- Lúc chưa sáng : $p_o.V = G.R.T_o$ hay $G = \frac{p_o.V}{R.T_o}$

- Lúc đốt sáng :

+ Phần cầu $p.V_1 = G_1.R.T_1$ hay $G_1 = \frac{p.V_1}{R.T_1}$

+ Phần trụ $p.V_2 = G_2.R.T_2$ hay $G_2 = \frac{p.V_2}{R.T_2}$

Ta có: $G = G_1 + G_2$

Suy ra
$$p = p_o \cdot \frac{\frac{V}{T_o}}{\frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_2}} = (760 - 200) \cdot \frac{\frac{105}{298}}{\frac{90}{433} + \frac{15}{333}} = 780 \text{ mmHg}$$

Ví dụ 5

Đốt nóng 02 kg khí O_2 ($\mu = 32 \text{ kg/kmol}$, $k=1,4$) trong điều kiện áp suất không đổi $p=5 \text{ bar}$ từ nhiệt độ $t_1=27^\circ\text{C}$ đến $t_2=127^\circ\text{C}$.

- Biểu thị quá trình trên đồ thị $p-v$ và $T-S$
- Xác định thể tích của O_2 ở trạng thái đầu và cuối
- Xác định Q , ΔI , ΔU , W_{kt} , W



QUÁ TRÌNH ĐẲNG ÁP

- Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p \int_{v_1}^{v_2} dv = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$$

- Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = 0$$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entanpy: $\Delta i = c_p (T_2 - T_1)$

Độ biến thiên entropy: $\Delta s = c_p \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

Có 12 kg không khí ở nhiệt độ 27°C , áp suất tuyệt đối $p = 6\text{bar}$, giãn nở đẳng nhiệt để thể tích tăng 4 lần.

- Biểu thị quá trình trên đồ thị $p-v$ và $T-S$
- Xác định các thông số trạng thái cuối
- Xác định Q , ΔI , ΔU , W_{kt} , W , ΔS



QUÁ TRÌNH ĐẲNG NHIỆT

– Công thay đổi thể tích:

$$w_{tt} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad [\text{J/kg}]$$

– Công kỹ thuật:

$$w_{kt} = n \cdot w_{tt} \quad \text{mà } n = 1 \quad \Rightarrow \quad w_{kt} = w_{tt}$$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta u = c_v (T_2 - T_1) = 0$

Độ biến thiên entanpy: $\Delta i = c_p (T_2 - T_1) = 0$

Độ biến thiên entropy: $\begin{cases} \Delta s = \frac{q}{t} \\ q = w_{tt} = w_{kt} \end{cases} \Rightarrow \Delta s = R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$

71

Ví dụ 7

Giãn nở đoạn nhiệt 2kg không khí từ $t_1 = 327^\circ\text{C}$, $p_1 = 10 \text{ bar}$ đến $p_2 = 1 \text{ bar}$.

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v và T-S
- Xác định các thông số trạng thái cơ bản trạng thái cuối
- Xác định Q , ΔI , ΔU , W_{kt} , W , ΔS

Ví dụ 8

Nén đa biến 01 kg không khí $n=1,2$ từ $t_1=20^\circ\text{C}$, $p_1 = 0,981$ bar đến $p_2 = 7,845$ bar

- Biểu diễn quá trình trên đồ thị p-v và T-S
- Xác định các thông số trạng thái cơ bản trạng thái cuối
- Xác định Q , ΔI , ΔU , W_{kt} , W

Cho 1,0 kg không khí ($R=287 \text{ J/kg.K}$ và $k=1,4$) thực hiện quá trình đa biến từ trạng thái ban đầu với $p_1=10 \text{ bar}$ và $t_1 = 307^\circ\text{C}$. Sau quá trình không khí nhận nhiệt lượng $q=200 \text{ kJ/kg}$ và sinh công $w = 400 \text{ kJ/kg}$.

- Xác định chỉ số đa biến n và các thông số trạng thái cơ bản (p , v và T) trạng thái cuối.
- Xác định biến thiên entropi Δs .
- Biểu diễn quá trình trên đồ thị p - v và T - s .

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n \xrightarrow{pv = RT} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \xrightarrow{pv = RT} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}$$

Ví dụ 10

Một bình kín có thể tích 790 lít bên trong chứa hỗn hợp khí lý tưởng có thành phần khối lượng như sau: $g_{\text{CO}_2} = 0,5$, $g_{\text{O}_2} = 0,2$, $g_{\text{N}_2} = 0,3$. Cho biết ban đầu áp kế trên bình chỉ 2,9 bar; nhiệt độ $t_1 = 47^\circ\text{C}$. Xác định:

1. Khối lượng các khí trong hỗn hợp
2. Số chỉ của áp kế sau khi làm lạnh bình đến nhiệt độ $t_2 = 7^\circ\text{C}$
3. Nhiệt lượng trao đổi của quá trình.

Cho áp suất khí quyển $p_{\text{kq}} = 100 \text{ kPa}$

Ví dụ 11

Khảo sát 0,6 kg hỗn hợp 2 khí lý tưởng N_2 và CO_2 chứa trong một hệ thống pittông xy lanh. Ở trạng thái ban đầu hỗn hợp có $p_1 = 2 \text{ bar}$; $V_1 = 0,3 \text{ m}^3$. Sau đó người ta nén đoạn nhiệt hỗn hợp này đến trạng thái 2 có $p_2 = 5 \text{ bar}$; $V_2 = 0,15364 \text{ m}^3$.

Hãy xác định:

- Số mũ đoạn nhiệt của quá trình
- Công trao đổi của quá trình. Nhận xét
- Khối lượng của từng khí chứa trong hỗn hợp
- Nhiệt độ của hỗn hợp ở trạng thái 1 và 2