PHENIKAA UNIVERSITY

NHIỆT ĐỘNG HỌC

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

PHENIKAA UNIVERSITY

CHU TRÌNH ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Chương 5

Nội dung:

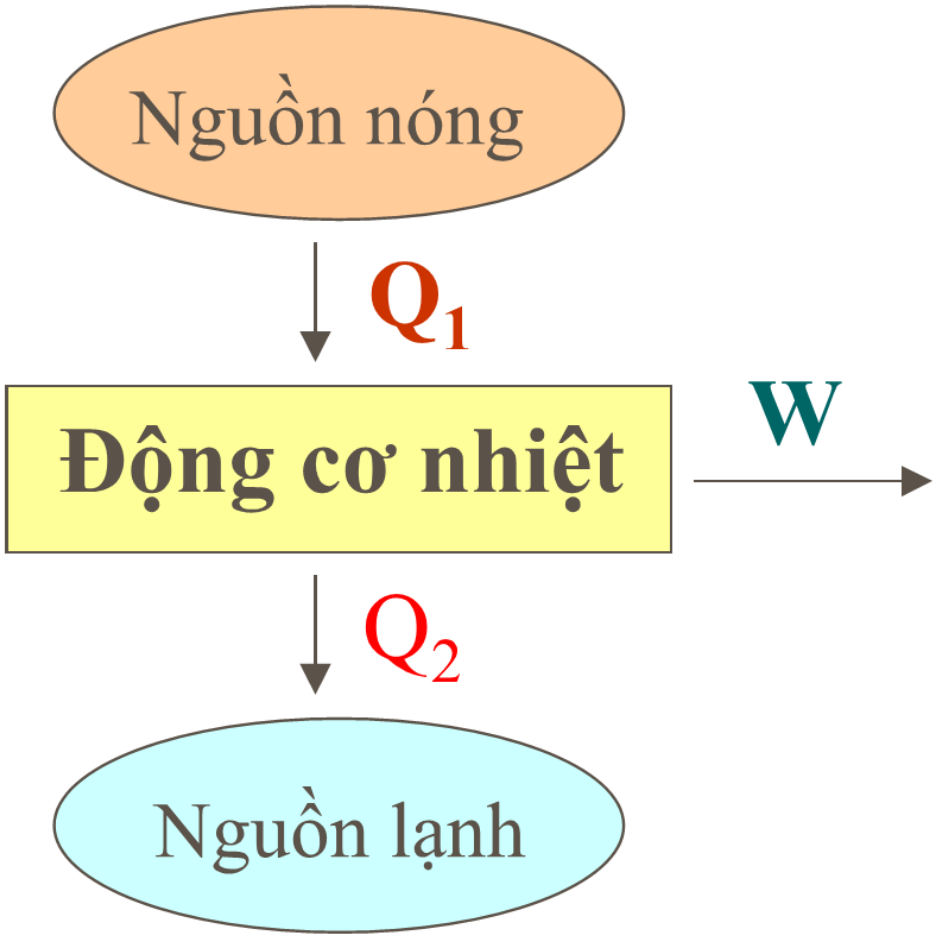
5.1. Khái niệm

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

5.3. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp

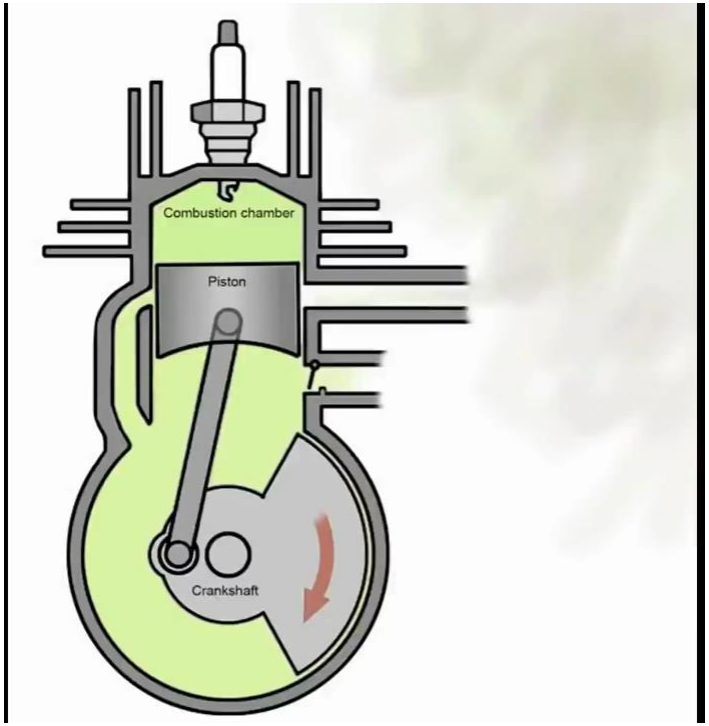
5.4. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

5.1. Khái niệm



5.1. Khái niệm

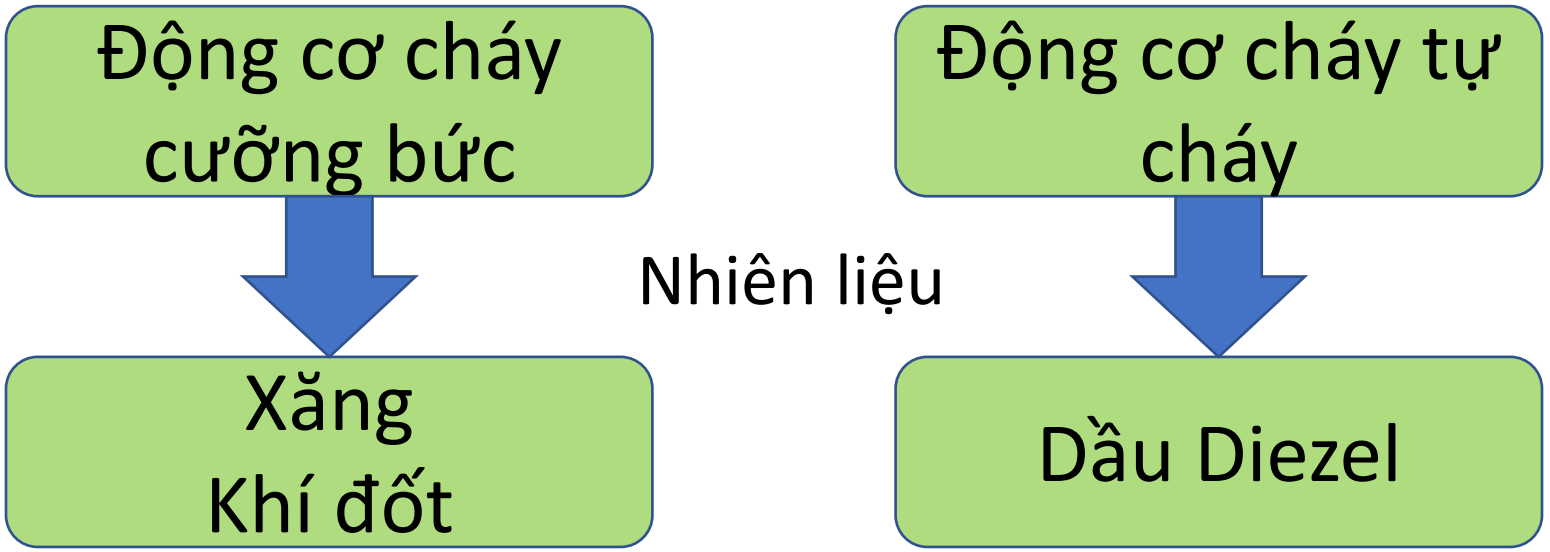
ĐCĐT bao hàm quá trình cháy xảy ra bên trong động cơ, và thường xét loại động cơ đốt trong kiểu piston.
ĐCĐT thực hiện các quá trình: hút (nạp), nén, giãn nở (nổ) và thải (xả)



5.1. Khái niệm

Phân loại

1. Theo phương pháp đốt nhiên liệu



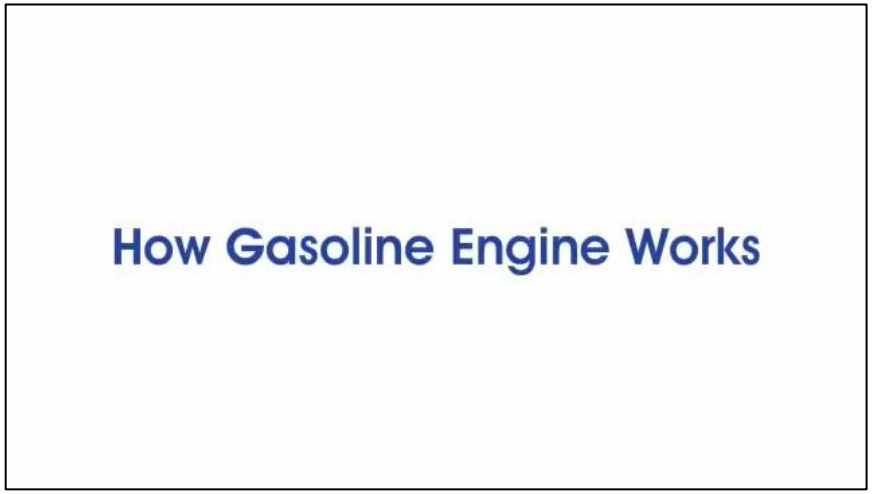
5.1. Khái niệm

Phân loại

1. Theo phương pháp đốt nhiên liệu

Động cơ cháy cưỡng bức

Động cơ cháy tự cháy



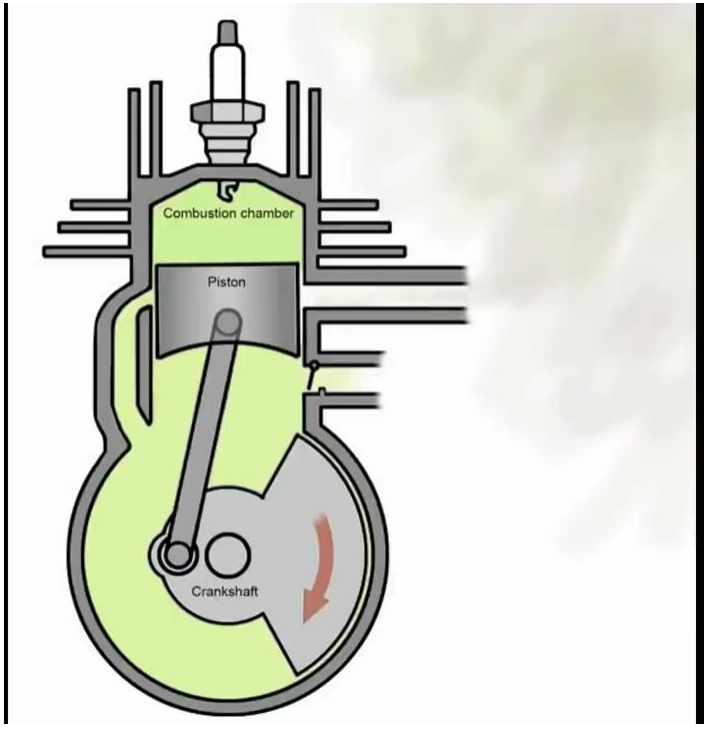
5.1. Khái niệm

Phân loại

2. Theo số hành trình piston để hoàn thành 1 chu trình nhiệt

Động cơ 4 thì

Động cơ 2 thì



5.1. Khái niệm

Phân loại

3. Theo quá trình cấp nhiệt của động cơ

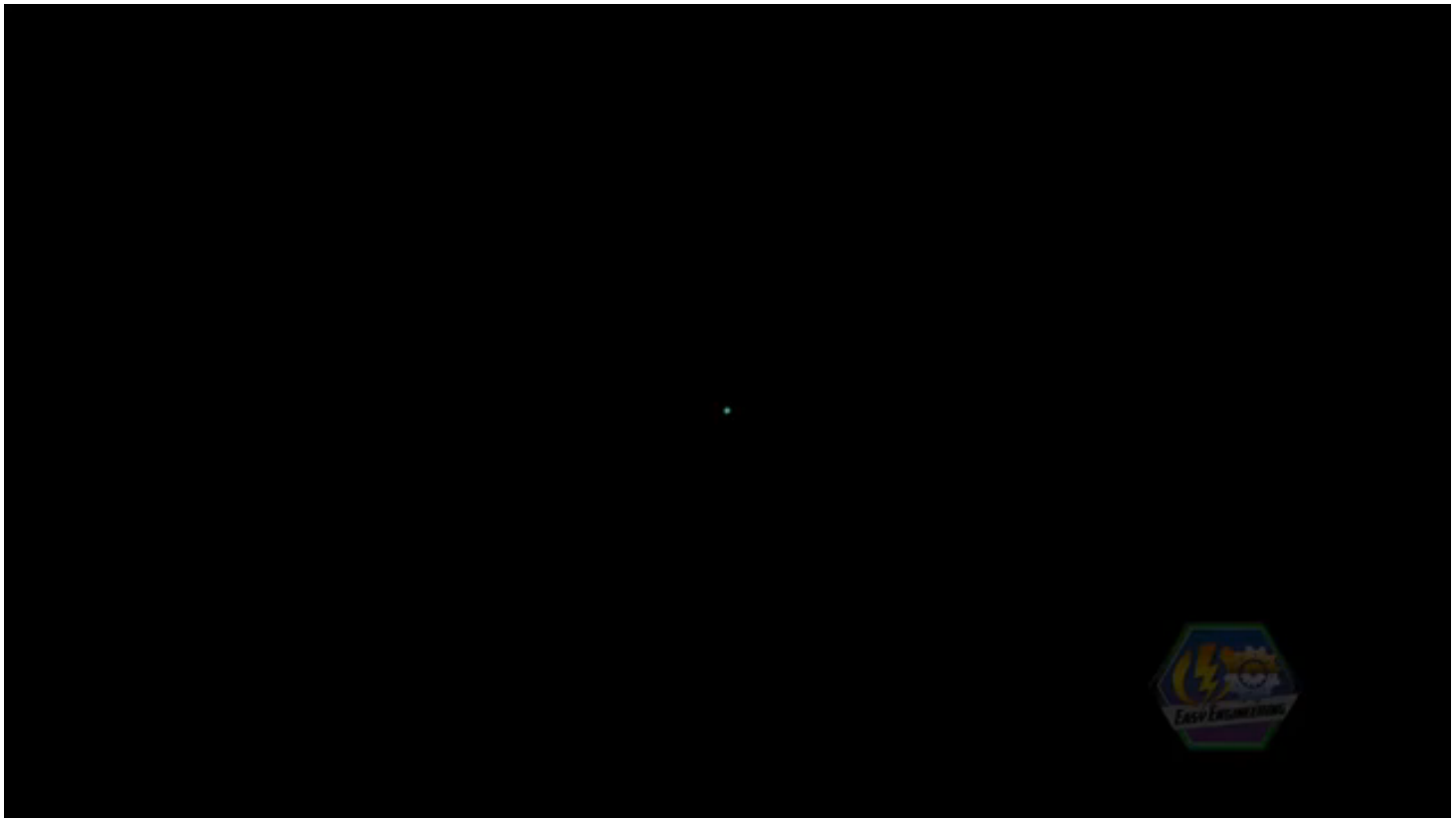
Chu trình cấp nhiệt đẳng tích

Chu trình cấp nhiệt đẳng áp

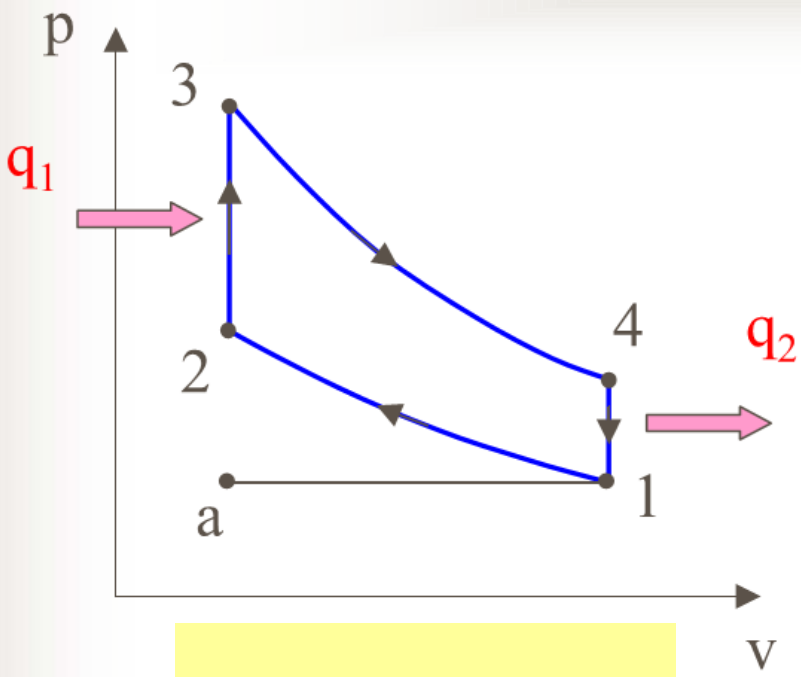
Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

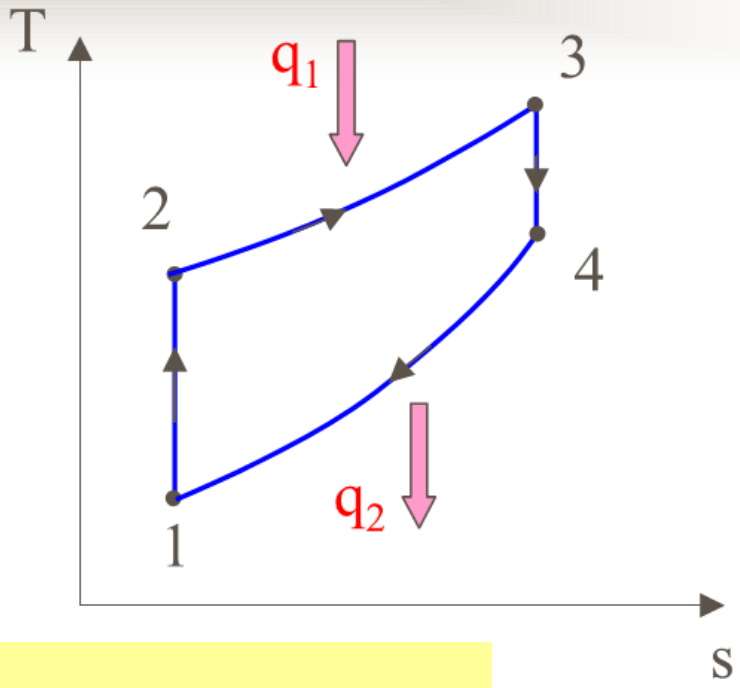
5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Thường gặp ở động cơ xăng hoặc khí



5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)





a-1: nạp hỗn hợp

1-2: nén hỗn hợp

2-3: đốt cháy hh

3-4: hh giãn nở

4-1: Thải khí cháy

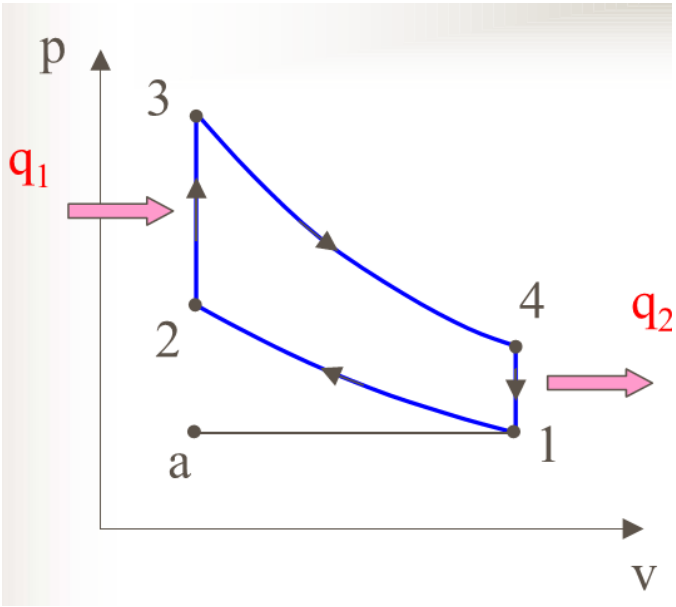
1-a: Quét khí cháy

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Các thông số đặc trưng:

Tỷ số nén:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$



Tỷ số tăng áp:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Các tính chất của quá trình:

- Hỗn hợp khí là lý tưởng
- Các quá trình:

1-2: nén đoạn nhiệt $\longrightarrow$ $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$

2-3: cấp nhiệt đẳng tích $\longrightarrow$ $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$

3-4: giãn nở đoạn nhiệt $\longrightarrow$ $p_3 v_3^k = p_4 v_4^k$

4-1: thải nhiệt đẳng tích $\longrightarrow$ $\frac{p_4}{T_4} = \frac{p_1}{T_1}$

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Nguyên tắc tính toán chu trình cấp nhiệt đẳng tích

- Từ các thông số đã biết trước:

  + Biết thông số trạng thái của 1 trong 4 điểm 1, 2, 3, 4 (ví dụ p_1, T_1)
  + Tỉ số nén: $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$
  + Tỉ số tăng áp: $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$

- Kết hợp tính chất các quá trình:

  + 1-2 và 3-4: ĐOẠN NHIỆT
  + 2-3 và 4-1: ĐẲNG TÍCH

⇒ Thông số trạng thái (p, v, T) của các điểm 1, 2, 3, 4

⇒ Nhiệt cấp q_1 (kJ/kg), nhiệt thải q_2 (kJ/kg), công chu trình w (kJ/kg)

⇒ Hiệu suất nhiệt của chu trình η_t

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Tính toán cụ thể (giả sử biết thông số ban đầu p_1, T_1)

Biết: - Thông số ở trạng thái 1, tỉ số nén **ε** , tỉ số tăng áp **λ**

→ Cần tính thông số trạng thái tại 2, 3, 4, nhiệt lượng, công và hiệu suất của chu trình

---

Điểm 1: biết p_1, T_1 → $v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1} \quad (m^3/kg)$

Điểm 2: biết $\varepsilon = \dfrac{v_1}{v_2}$ → $v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon} \quad (m^3/kg)$

1-2 là quá trình đoạn nhiệt → $p_2 = p_1\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^k = p_1\,\varepsilon^k$

$$T_2 = T_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = T_1\,\varepsilon^{k-1}$$

Điểm 3: biết $\lambda = \dfrac{p_3}{p_2}$ → $p_3 = \lambda\, p_2 = \lambda\, p_1\,\varepsilon^k$

2-3 là quá trình đẳng tích → $v_3 = v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon} \quad (m^3/kg)$

$$T_3 = T_2\frac{p_3}{p_2} = T_2\,\lambda = \lambda\, T_1\,\varepsilon^{k-1}$$

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

Điểm 4:

4-1 là quá trình đẳng tích $\longrightarrow$ $v_4 = v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1}$

3-4 là quá trình đoạn nhiệt $\longrightarrow$ $p_4 = p_3\left(\dfrac{v_3}{v_4}\right)^k = p_3\left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^k = \lambda\, p_1$

$$T_4 = T_3\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = T_3\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \lambda T_1$$

* Nhiệt lượng cấp vào chu trình: $q_1 = q_{2-3} = c_v(T_3 - T_2)$ (kJ/kg)

* Nhiệt lượng thải ra của chu trình: $|q_2| = |q_{4-1}| = c_v(T_4 - T_1)$ (kJ/kg)

* Công của chu trình: $w = q_1 - |q_2|$ (kJ/kg)

* Hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng tích :

$$\eta_t = \frac{w}{q_1} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto)

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{\lambda T_1 - T_1}{T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda - T_1 \varepsilon^{k-1}}$$

$$= 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Bảng 11-1 $\eta_t = f(\varepsilon, k)$

ε	η_t	
	k = 1,35	k = 1,4
3	32,0	36,0
4	38,0	43,0
5	42,5	47,5
6	46,5	51,5
7	49,4	55,0
8	51,7	57,0
10	55,2	61,5

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto) - Ví dụ

Động cơ đốt trong làm việc với chu trình cấp nhiệt đẳng tích. Các thông số của chu trình như sau: $p_1 = 1$ bar, $T_1 = 320$ K, tỉ số nén $\varepsilon = 4$, tỉ số tăng áp $\lambda = 4$, môi chất công tác xem gần giống không khí $R = 287$ J/kg.độ, $k = 1.4$

a) Xác định thông số tại các điểm, hiệu suất nhiệt và công của chu trình

b) So sánh với chu trình Carno có cùng nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng tích (chu trình Otto) - Ví dụ

Động cơ đốt trong làm việc với chu trình cấp nhiệt đẳng tích. Các thông số của chu trình như sau: p_1= 1 bar, T_1 = 320 K, tỉ số nén $\varepsilon = 4$, tỉ số tăng áp $\lambda = 4$, môi chất công tác xem gần giống không khí R = 287 J/kg.độ, k = 1.4

a) Xác định thông số tại các điểm, hiệu suất nhiệt và công của chu trình

b) So sánh với chu trình Carno có cùng nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh

a) ***Điểm 1***: $p_1 = 1$ bar, $T_1 = 320$ K $\longrightarrow$ $v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1} = \dfrac{287*320}{1*10^5} \quad (m^3/kg)$

Điểm 2: $v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon} \quad (m^3/kg)$, $p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 3: $v_3 = v_2$, $p_3 = \lambda p_2$, $T_3 = \lambda T_2$

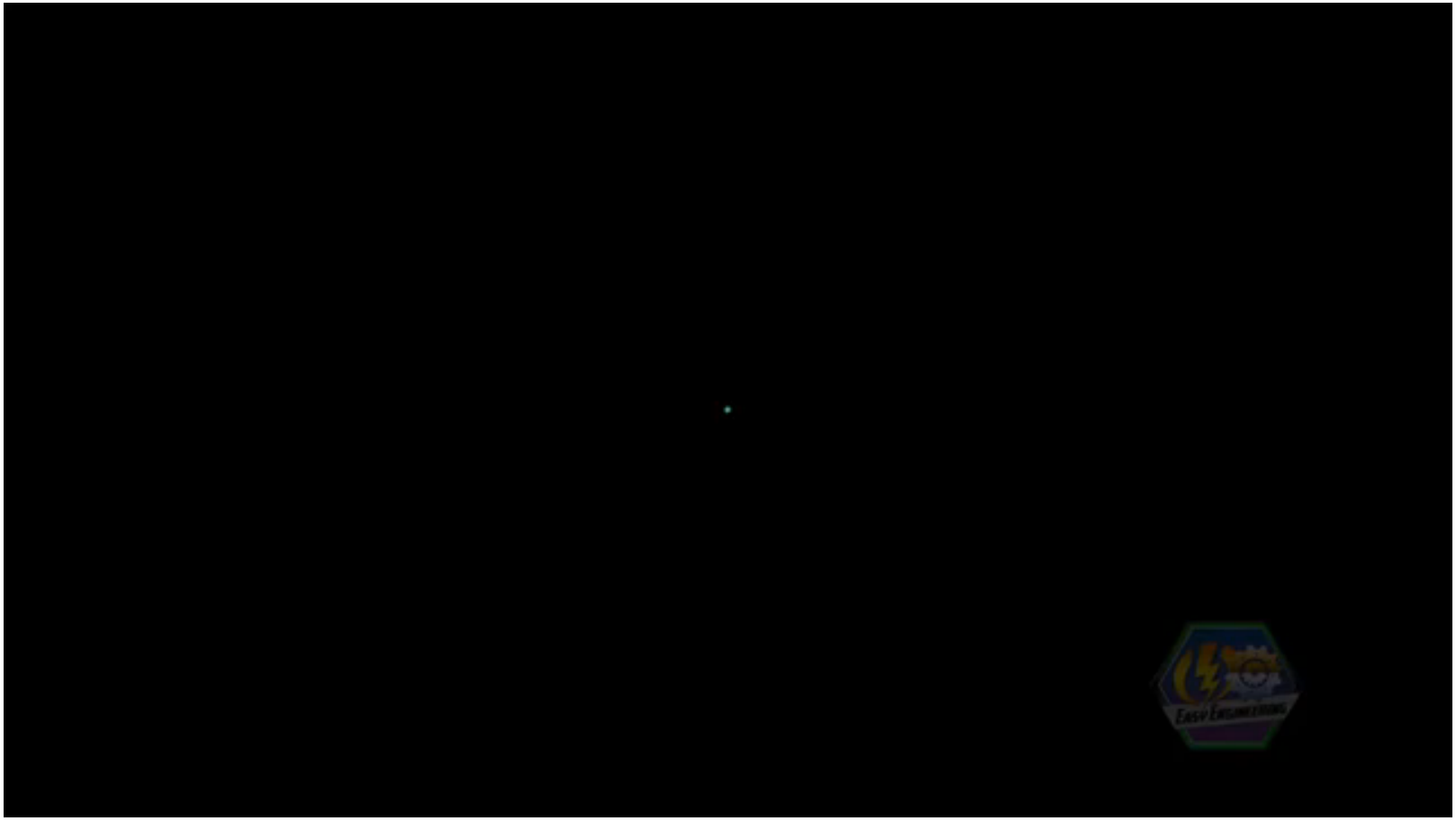
Điểm 4: $v_4 = v_1$, $p_4 = \lambda p_1$, $T_4 = \lambda T_1$

Công của chu trình: $w = q_1 - |q_2| = c_v(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1) \quad (kJ/kg)$

Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_t = 1 - \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$

b) Hiệu suất của chu trình Carno có cùng nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh: $\eta_{Carno} = 1 - \dfrac{T_1}{T_3} > \eta_t$

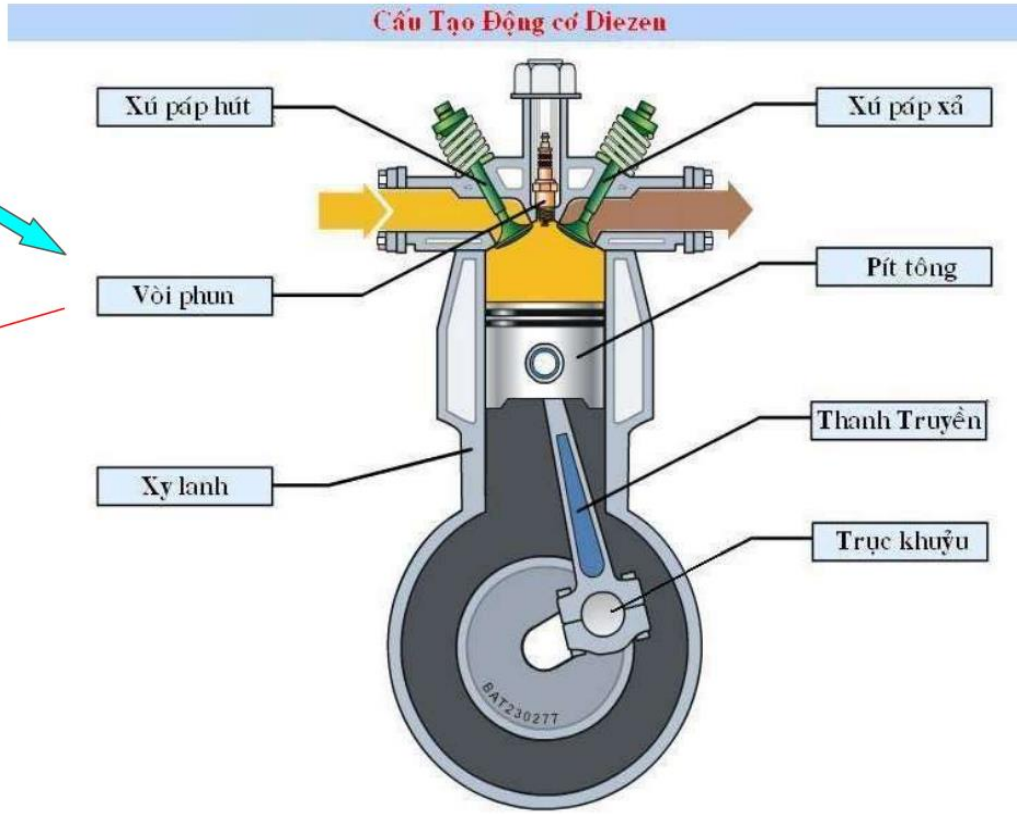
5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel)



5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel)

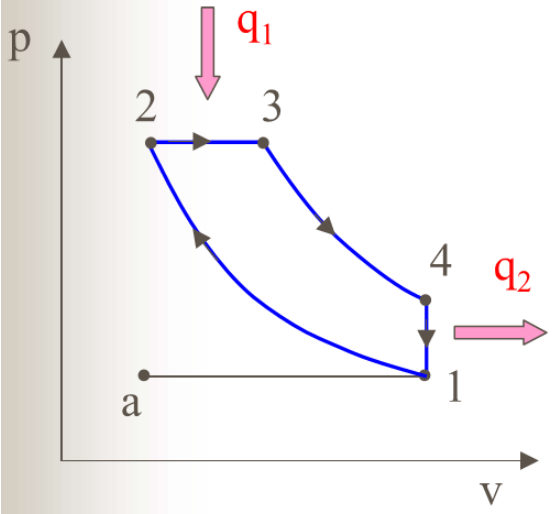
Điểm khác biệt giữa động cơ Diesel và động cơ Otto (xăng):

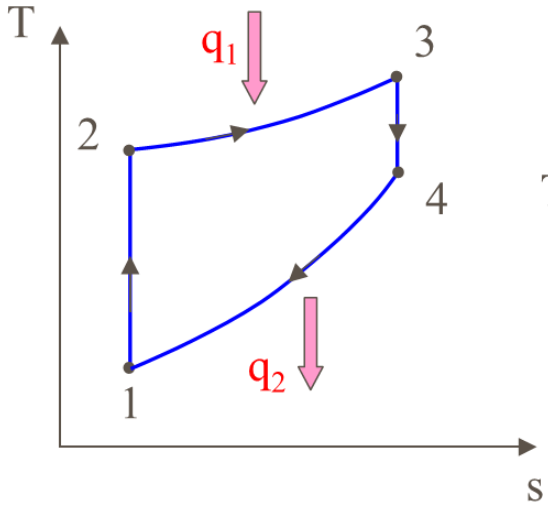
Không khí được nén đến nhiệt độ 600-800°C cao hơn nhiệt độ tự bốc cháy của nhiên liệu → nhiên liệu được phun sương vào xylanh có sẵn KK nóng và tự bốc cháy



5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel)

➢ Sơ đồ nguyên lý **của chu trình cấp nhiệt đẳng áp**





Thông số đặc trưng:

Tỉ số nén: $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$

Tỉ số giãn nở sớm: $\rho = \frac{v_3}{v_2}$

1-2: nén đoạn nhiệt ⟶ $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$

2-3: cấp nhiệt đẳng áp ⟶ $\frac{v_2}{T_2} = \frac{v_3}{T_3}$

3-4: giãn nở đoạn nhiệt ⟶ $p_3 v_3^k = p_4 v_4^k$

4-1: thải nhiệt đẳng tích ⟶ $\frac{p_4}{T_4} = \frac{p_1}{T_1}$

(k = 1.4 : số mũ đoạn nhiệt của không khí)

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel)

➢ **Tính toán cụ thể** (giả sử biết thông số ban đầu p_1, T_1)

Biết: - Thông số ở trạng thái 1, tỉ số nén $\varepsilon = v_1/v_2$, tỉ số giãn nở sớm $\rho = v_3/v_2$

Điểm 1: biết p_1, T_1 $\longrightarrow$ $v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1}$ (m^3/kg)

Điểm 2: $v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon}$, $p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 3: $v_3 = \rho v_2$, $p_3 = p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_3 = \rho T_2 = \rho T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 4: $v_4 = v_1$, $p_4 = p_1 \rho^k$, $T_4 = \rho^k T_1$

* Nhiệt lượng cấp vào chu trình: $q_1 = q_{2-3} = c_p(T_3 - T_2)$ (kJ/kg)

* Nhiệt lượng thải ra của chu trình: $|q_2| = |q_{4-1}| = c_v(T_4 - T_1)$ (kJ/kg)

* Công của chu trình: $w = q_1 - |q_2| = c_v T_1 \left[k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1) - (\rho^k - 1)\right]$ (kJ/kg)

Hiệu suất nhiệt của chu trình cấp nhiệt đẳng áp: $\eta_t = \dfrac{w}{q_1} = 1 - \dfrac{\rho^k - 1}{k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1)}$

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel) – Ví dụ

Tính hiệu suất nhiệt η_t và thông số tại các điểm đặc trưng của chu trình cấp nhiệt đẳng áp với tỉ số nén $\varepsilon = 10$, tỉ số giãn nở sớm $\rho = 2$, môi chất được xem tương tự không khí. Biết thông số trạng thái đầu $p_1 = 1$ bar và $T_1 = 400$ K.

5.2. Chu trình cấp nhiệt đẳng áp (chu trình Diesel) – Ví dụ

Tính hiệu suất nhiệt η_t và thông số tại các điểm đặc trưng của chu trình cấp nhiệt đẳng áp với tỉ số nén $\varepsilon = 10$, tỉ số giãn nở sớm $\rho = 2$, môi chất được xem tương tự không khí. Biết thông số trạng thái đầu $p_1 = 1$ bar và $T_1 = 400$ K.

Điểm 1: biết p_1, T_1 $\longrightarrow$ $v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1} \quad (m^3/kg)$

Điểm 2: $v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon}$, $p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 3: $v_3 = \rho v_2$, $p_3 = p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_3 = \rho T_2 = \rho T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 4: $v_4 = v_1$, $p_4 = p_1 \rho^k$, $T_4 = \rho^k T_1$

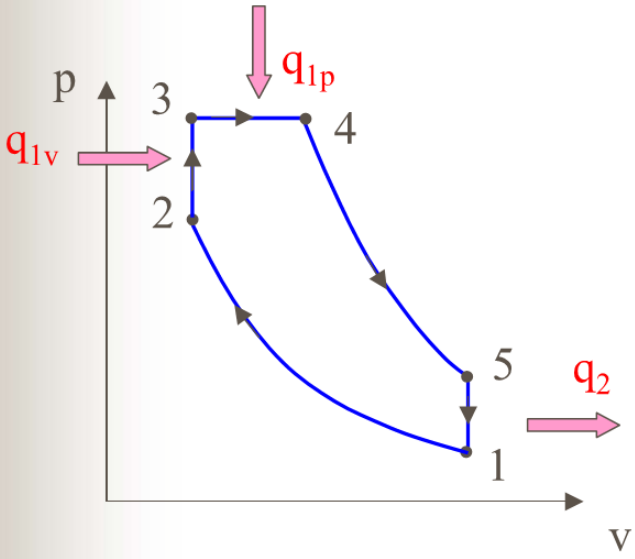
* Nhiệt lượng cấp vào chu trình: $q_1 = q_{2-3} = c_p(T_3 - T_2) \quad (kJ/kg)$

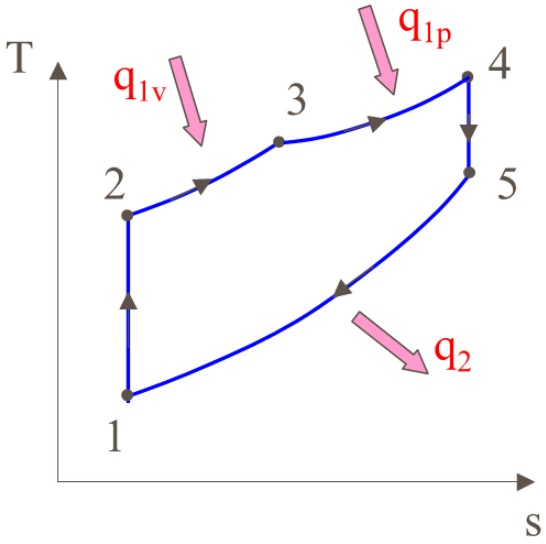
* Nhiệt lượng thải ra của chu trình: $|q_2| = |q_{4-1}| = c_v(T_4 - T_1) \quad (kJ/kg)$

* Hiệu suất nhiệt của chu trình tính theo 1 trong 2 công thức:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} \quad \text{hoặc} \quad \eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k\varepsilon^{k-1}(\rho - 1)}$$

5.3. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp





Để tính toán chu trình cấp nhiệt hỗn hợp cần biết thông số trạng thái 1 điểm và *3 thông số đặc trưng* của chu trình gồm:

- Tỉ số nén : $\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$
- Tỉ số tăng áp : $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$
- Tỉ số giãn nở sớm: $\rho = \frac{v_4}{v_3} = \frac{v_4}{v_2}$

5.3. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

➢ **Tính toán cụ thể** (giả sử biết thông số ban đầu p_1, T_1)

Biết: - Thông số ở trạng thái 1, tỉ số nén $\varepsilon = v_1/v_2$, tỉ số tăng áp $\lambda = p_3/p_2$, và tỉ số giãn nở sớm $\rho = v_4/v_3$

Điểm 1: biết p_1, T_1 $\longrightarrow$ $v_1 = \dfrac{RT_1}{p_1}$ (m^3/kg)

Điểm 2: $v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon}$, $p_2 = p_1 \varepsilon^k$, $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 3: $v_3 = v_2 = \dfrac{v_1}{\varepsilon}$, $p_3 = \lambda p_1 \varepsilon^k$, $T_3 = \lambda T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 4: $v_4 = \dfrac{\rho v_1}{\varepsilon}$, $p_4 = p_3 = \lambda p_1 \varepsilon^k$, $T_4 = \lambda\rho T_1 \varepsilon^{k-1}$

Điểm 5: $v_5 = v_1$, $p_5 = \lambda p_1 \rho^k$, $T_5 = \lambda T_1 \rho^k$

* Nhiệt lượng cấp vào chu trình: $q_1 = q_{1v} + q_{1p} = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)$ kJ/kg

* Nhiệt lượng thải ra của chu trình: $|q_2| = c_v(T_5 - T_1)$ kJ/kg

* Công của chu trình: $w = q_1 - |q_2|$ kJ/kg

* Hiệu suất nhiệt của chu trình: $\eta_t = \dfrac{w}{q_1} = 1 - \dfrac{\lambda\rho^k - 1}{[(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)]\varepsilon^{k-1}}$

5.3. Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp

Chu trình cấp nhiệt hỗn hợp (hình 10-5) có thông số như sau:

Trạng thái ban đầu $p_1 = 1$ bar; $T_1 = 400$ K

Tỷ số nén $\varepsilon = 16$

Tỷ số tăng áp $\lambda = 1{,}6$

Tỷ số giãn nở sớm $\rho = 2$

Xác định thông số tại các điểm đặc trưng, nhiệt lượng cấp vào q_1, nhiệt lượng thải q_2, công sinh ra của chu trình W, hiệu suất nhiệt của chu trình η_t.

Xét các quan hệ $\eta_t = f(\varepsilon, \lambda, \rho)$

Chất môi giới xem tương tự không khí, nhiệt dung riêng xem là hằng số.

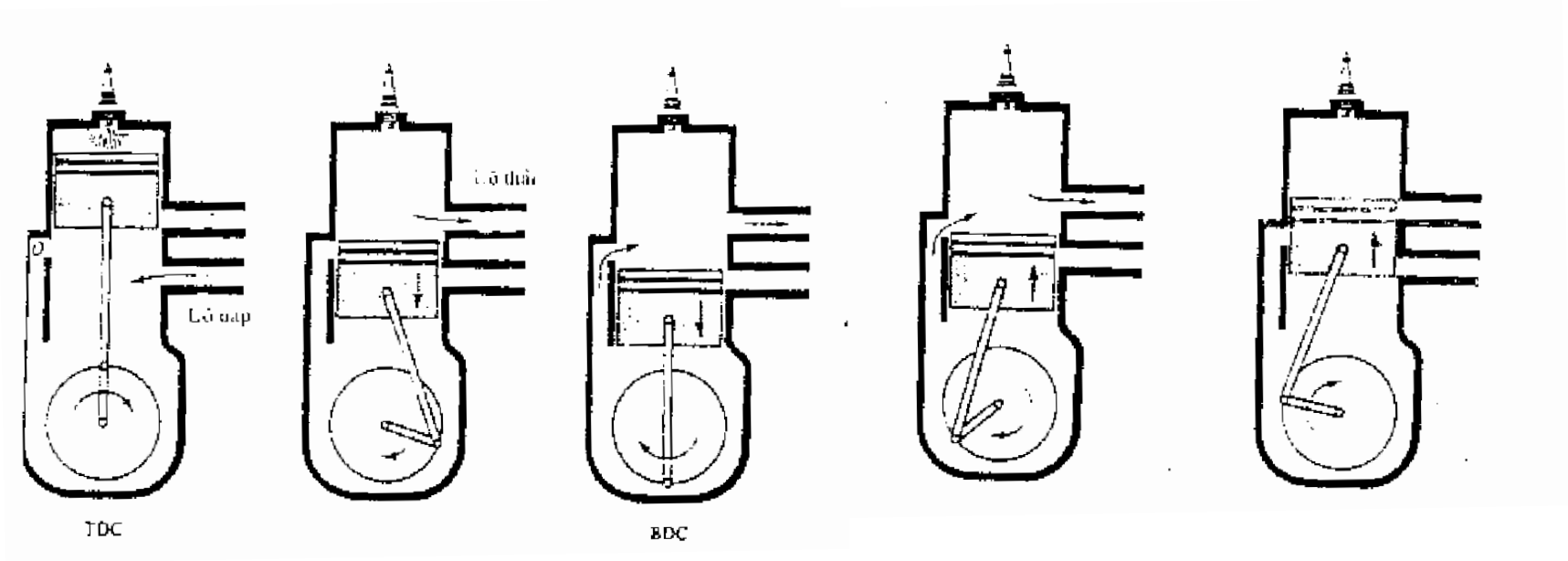
Một chu trình động cơ đốt trong 4 thì cấp nhiệt đẳng tích, môi chất là 1 kg không khí. Áp suất nhỏ nhất là 1bar, nhiệt độ thấp nhất là 350°K, tỷ số nén bằng 3 và tỷ số tăng áp bằng 2. Hãy:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị p - v và T - s;
- Tính các thông số trạng thái tại các điểm đặc biệt của chu trình;
- Tính Nhiệt lượng trao đổi giữa môi chất với các nguồn nhiệt;
- Tính Công và Hiệu suất nhiệt của chu trình.

Một chu trình động cơ đốt trong cấp nhiệt đẳng áp, môi chất là 1kg không khí có nhiệt dung riêng bằng hằng số, áp suất nhỏ nhất là 1,5bar; nhiệt độ thấp nhất 300°K; tỉ số nén bằng 5, hệ số giãn nở sớm bằng 2. Hãy:

- Biểu diễn chu trình trên đồ thị p - v và T - s;
- Tính các thông số trạng thái tại các điểm đặc biệt của chu trình;
- Tính Nhiệt lượng trao đổi giữa môi chất với các nguồn nhiệt;
- Tính Công và Hiệu suất nhiệt của chu trình.

5.4. Động cơ 2 thì



Bài tập 1

Một động cơ đốt trong 4 thì gồm 4 xylanh hoạt động theo chu trình Otto, tỷ số nén $\varepsilon = 8,5$; dung tích quét của 4 xylanh-pittông là $V_q = 1100cm^3$, áp suất của khí ở trạng thái ban đầu $p_1 = 1bar$, nhiệt độ $t_1=20^oC$, nhiệt lượng cấp vào cho mỗi xylanh là 135J.

a. Tính hiệu suất nhiệt của chu trình

b. Xác định nhiệt độ T_{max} và p_{max} của chu trình. Khi tính xem chất môi giới như là không khí, $\mu = 29kg/kmol$, nhiệt dung riêng xem là hằng số.

Bài tập 2

Một động cơ hoạt động theo chu trình cấp nhiệt đẳng tích (Otto cycle), chất môi giới xem là không khí (μ=29kg/kmol, k = 1,4, nhiệt dung riêng xem là hằng số), thông số của chu trình như sau: khí hút vào động cơ có p_1 = 100kPa, t_1=27°C, tỷ số nén ε = 8, nhiệt lượng cấp vào q_1 = 1800kJ/kg.

a. Biểu diễn chu trình trên đồ thị p-v và T-s

b. Xác định p, v, T tại các điểm đặc trưng.

c. Tính hiệu suất nhiệt của chu trình.

Bài tập 3

Một động cơ đốt trong 4 thì hoạt động theo chu trình động cơ Diesel cấp nhiệt đẳng áp, các thông số cần thiết như sau: không khí hút vào có p_1=100kPa, t_1=27°C, tỉ số nén ε =18, nhiệt độ cực đại của chu trình T_{max}=2653,3K

a. Xác định thông số p, v, T tại các điểm đặc trưng của chu trình.

b. Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

c. Biểu diễn chu trình trên đồ thị T-s và thể hiện bằng diện tích các phân năng lượng liên quan: q_1, $|q_2|$, l.

Bài tập 4

Động cơ xăng 1 xylanh có dung tích công tác VS = 0,006 m3, thể tích buồng đốt VC = 0,001 m3. Chu trình trình lý thuyết bao gồm các quá trình : nén đoạn nhiệt (a-c), cấp nhiệt đẳng tích (c-z), dãn nở đoạn nhiệt (z-b) và nhả nhiệt đẳng tích (b-a) ta = 20 ^{0}C, pa = 1 bar, pz = 25 bar. Môi chất công tác là khí lý tưởng có chỉ số đoạn nhiệt k = 1,4, khối lượng phân tử μ = 29, nhiệt dung riêng đẳng tích cμv = 20,9 kJ/kmol.deg.

1) Biểu diễn chu trình trên đồ thị công và đồ thị nhiệt ?
2) Thông số trạng thái (p, v, T) ở các điểm đặc trưng của chu trình ?
3) Lượng nhiệt mà MCCT nhận và thải ra (Q1, Q2) ?
4) Công chu trình (W) ?
5) Hiệu suất nhiệt (η)?

Bài tập 5

Chu trình lý thuyết của động cơ diesel bao gồm các quá trình : nén đoạn nhiệt a - c, cấp nhiệt đẳng áp c - z, dãn nở đoạn nhiệt z - b, nhả nhiệt đẳng tích b - a. Môi chất công tác là khí lý tưởng có khối lượng m = 1 kg, phân tử lượng μ = 29, nhiệt dung riêng đẳng áp cμp = 29,3 kJ/kmol.deg, chỉ số đoạn nhiệt k = 1,4.

Biết : pa = 1 bar; ta = 20 ^{0}C; tỷ số nén ε = va/vc = 12,7; tỷ số dãn nở sớm ρ = vz/vc = 2

1) Biểu diễn chu trình trên đồ thị công và đồ thị nhiệt ?
2) Thông số trạng thái (p, v, T) ở các điểm đặc trưng của chu trình ?
3) Lượng nhiệt mà MCCT nhận và thải ra (Q1, Q2) ?
4) Công chu trình (W) ?
5) Hiệu suất nhiệt (η)?

Bài tập 6

Động cơ đốt trong hoạt động theo chu trình cấp nhiệt đẳng áp (air-standard Diesel cycle), công suất phát của động cơ N = 3700 kW, chu trình hoạt động với thông số:

Tỷ số nén $\varepsilon = 14$

Tỷ số giãn nở sớm $\rho = 2$

Nhiên liệu sử dụng cho động cơ có nhiệt trị phát ra khi cháy:

$$Q_p^H = 4,16 \times 10^4 \text{ kJ/kg}$$

1- Biểu diễn chu trình trên đồ thị p-v và T-s.

2- Xác định hiệu suất nhiệt của chu trình.

3- Tính lượng nhiên liệu tiêu hao của động cơ trong 1 giờ G_{nl} [kg/h]

Khi tính toán chất môi giới xem như không khí ($\mu_k = 29$), nhiệt dung riêng (NDR)
xem là hằng số.