



The heat engine cycles

Engineering
Vietnam Maritime University (VMU)
31 pag.

Try for free!



Document share: <https://www.docsity.com/en/the-heat-engine-cycles/10712390/>

docsity AI

Generate concept maps,
summaries and more with AI



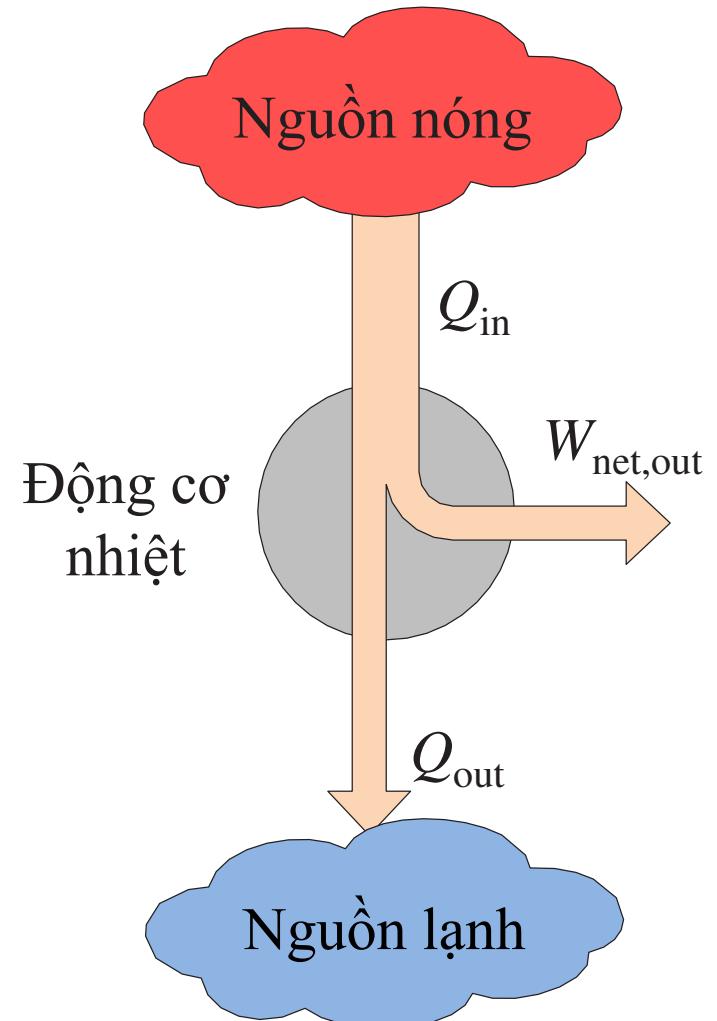
Động cơ nhiệt

Khái niệm: Là thiết bị dùng để chuyển hóa nhiệt năng thành công có ích.

Tính chất của động cơ nhiệt:

1. Nhận nhiệt từ nguồn nóng (nguồn có nhiệt độ cao như lò hơi).
2. Chuyển hóa một phần nhiệt nhận được thành công có ích (thường là công trên trực ra).
3. Nhả phần nhiệt còn lại cho nguồn lạnh (có nhiệt độ thấp như là môi trường).
4. Hoạt động theo chu kỳ → **Chu kỳ sinh công**

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





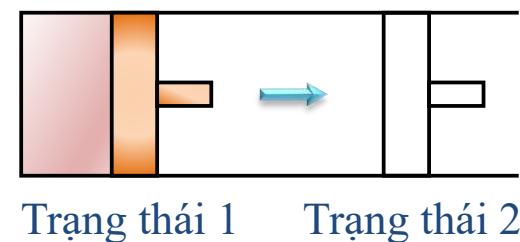
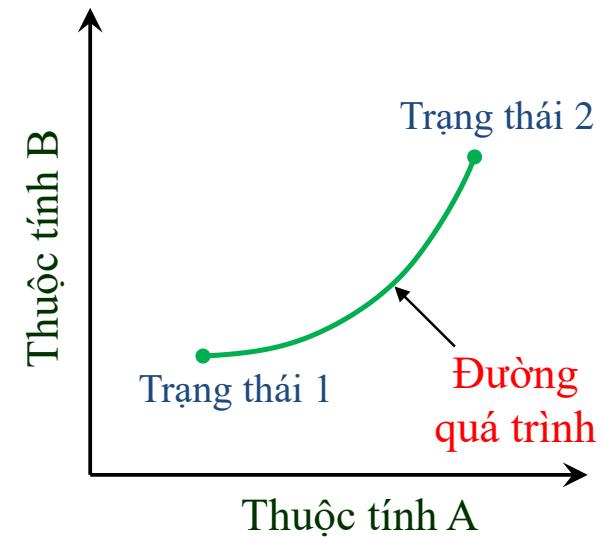
Quá trình (process), đường quá trình

Quá trình

Quá trình = sự thay đổi từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng khác.

Đường quá trình (Đường dẫn, đường đặc tính)

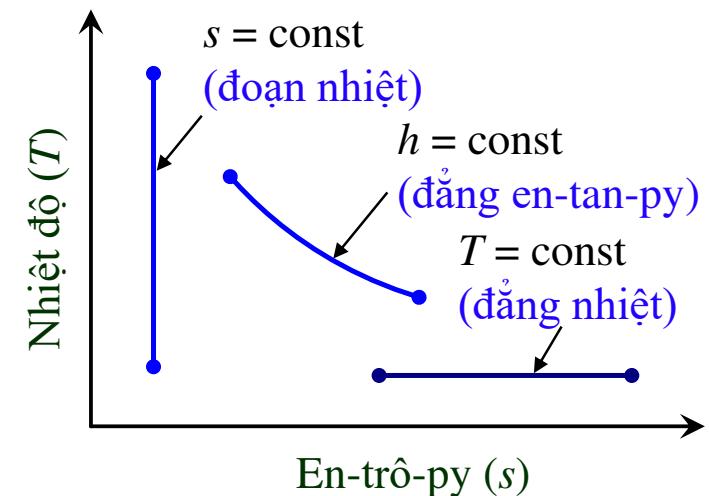
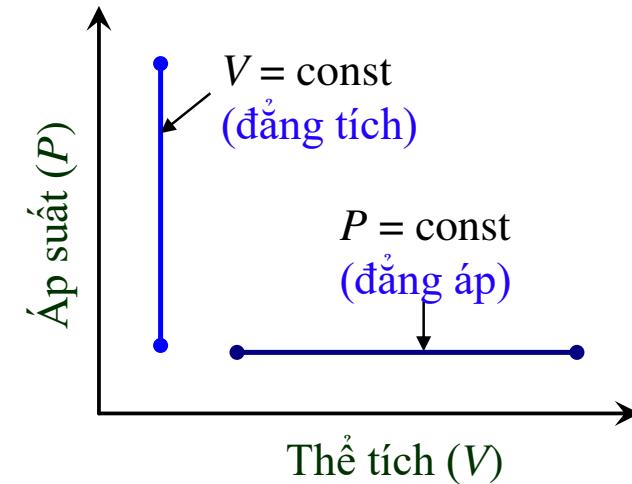
Đường quá trình = Tập hợp các trạng thái mà hệ thống đi qua trong một quá trình.





Một số quá trình đặc biệt

- Quá trình đẳng nhiệt: $T = \text{const}$,
- Quá trình đẳng áp: $P = \text{const}$,
- Quá trình đẳng tích: $V = \text{const}$,
- Quá trình đẳng en-tan-py: $h = \text{const}$,
- Quá trình đẳng en-trô-py: $s = \text{const}$.





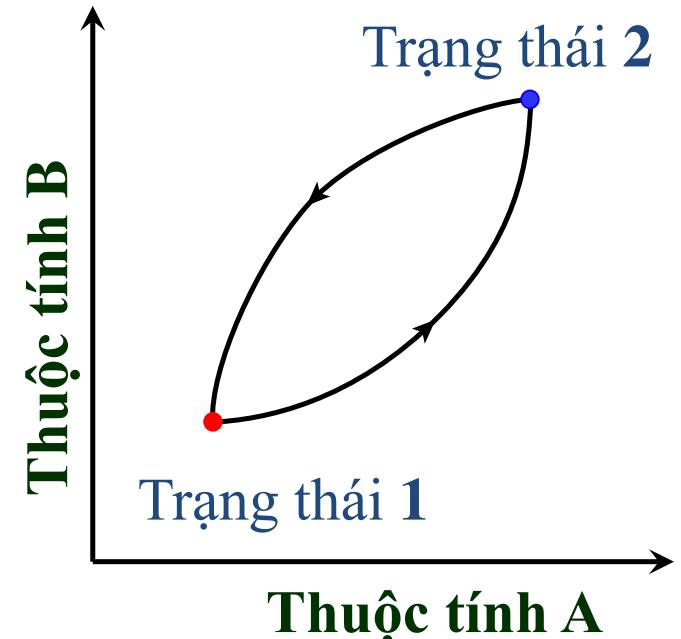
Chu trình

Chu trình = 1 vòng thay đổi, từ trạng thái đầu sang trạng thái cân khác, rồi trở lại trạng thái ban đầu.

→ Trạng thái đầu/cuối của chu trình đã được định trước.

Chu trình nhiệt động = 1 vòng khép kín của dãy các quá trình truyền nhiệt và công, nhờ sự thay đổi nhiệt độ, áp suất và các thông số trạng thái khác của môi chất công tác, cuối cùng đưa hệ thống trở về trạng thái ban đầu.

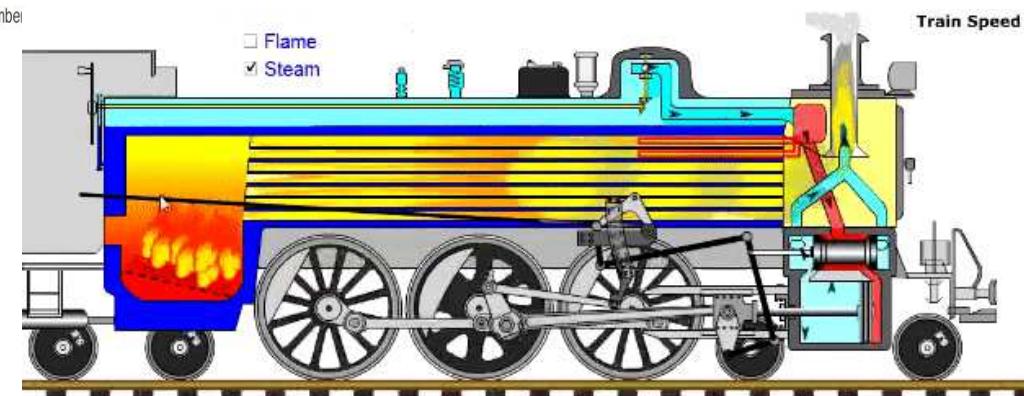
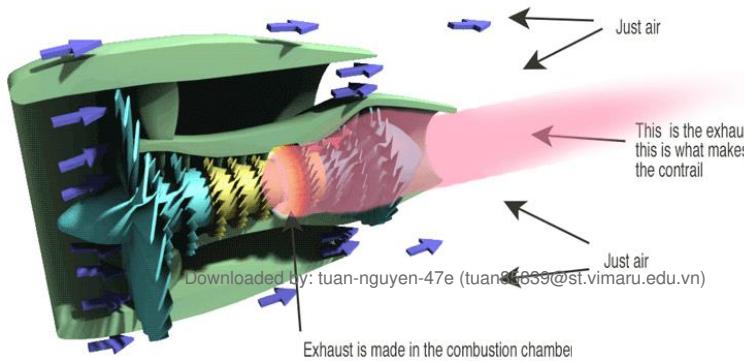
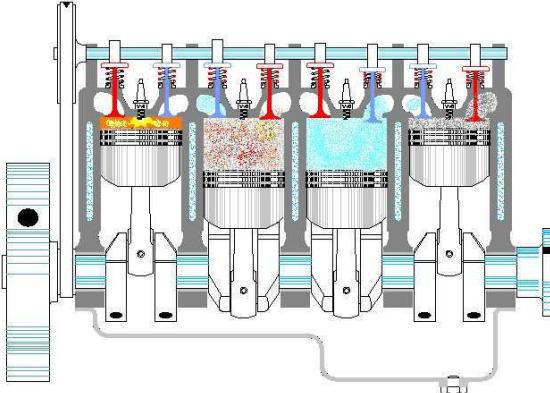
Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)



Động cơ nhiệt

Là những thiết bị hoặc hệ thống cơ học, được dùng để sản sinh công có ích → Động cơ nhiệt hoạt động với chu trình sinh công, chuyển đổi nhiệt năng thành cơ năng.

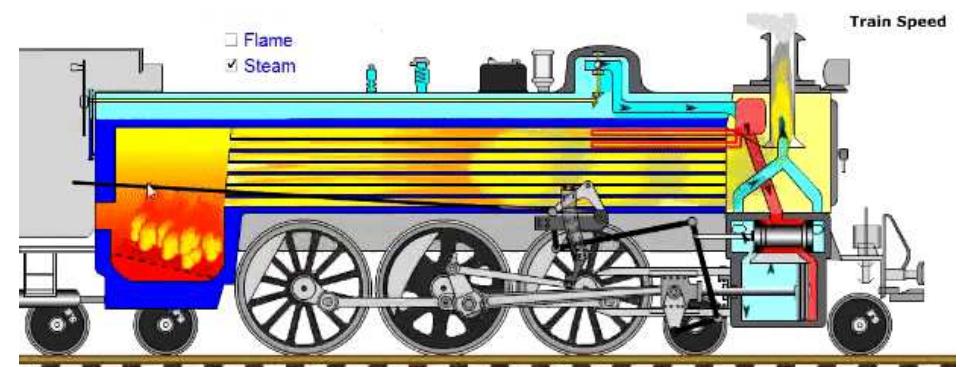
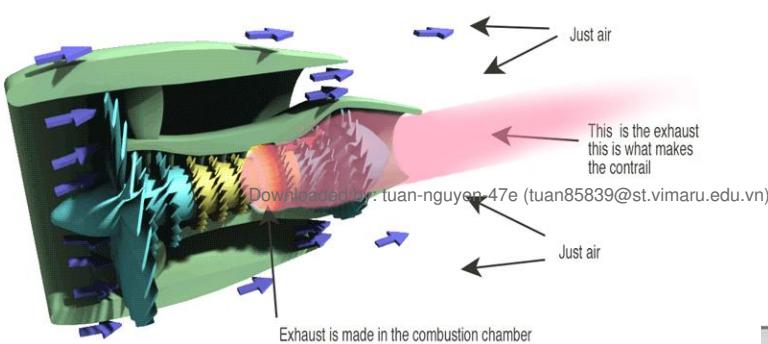
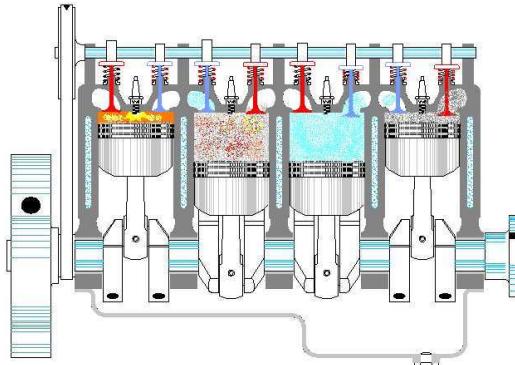
Ví dụ: Động cơ ô tô/máy bay/tàu hỏa, ...



Động cơ nhiệt

Động cơ đốt trong: nhiệt cấp cho môi chất công tác bằng cách đốt cháy nhiên liệu ở buồng đốt, bố trí ở trong biên giới của hệ.

Động cơ đốt ngoài: nhiệt cấp cho môi chất công tác bằng cách đốt cháy nhiên liệu ở buồng đốt, bố trí ở bên ngoài biên giới của hệ.

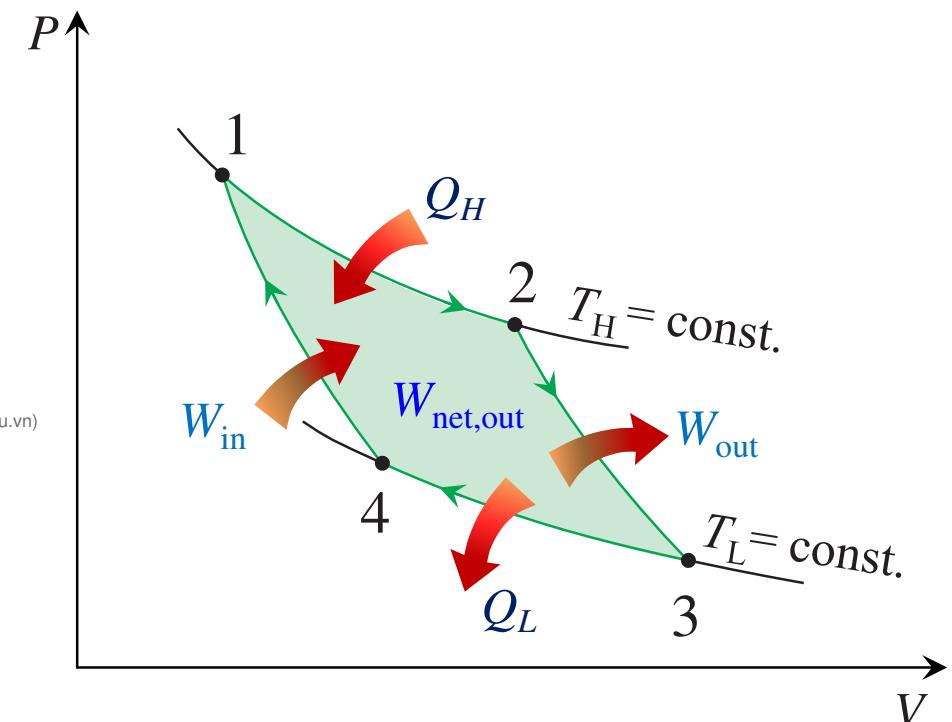




Chu trình Các-nô

- Do Sadi Carnot, kỹ sư người Pháp, đề xuất năm 1824,
- Bao gồm 4 quá trình thuận nghịch kế tiếp nhau: 2 quá trình đằng nhiệt và 2 quá trình đoạn nhiệt
 - 1–2: Giãn nở đằng nhiệt: nhận nhiệt Q_H
 - 2–3: Giãn nở đoạn nhiệt: $T_H \rightarrow T_L$
 - 3–4: Nén đằng nhiệt: nhả nhiệt Q_L
 - 4–1: Nén đoạn nhiệt: $T_L \rightarrow T_H$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Phân tích nhiệt Chu trình Các-nô

Nhiệt nhận vào từ nguồn nóng (Quá trình 1-2):

$$Q_{in} = Q_H = Q_{12}$$

Công sinh ra trong 1 chu trình (Quá trình 1-3):

$$W_{out} = \int_3^1 PdV$$

Nhiệt nhả ra cho nguồn lạnh (Quá trình 3-4):

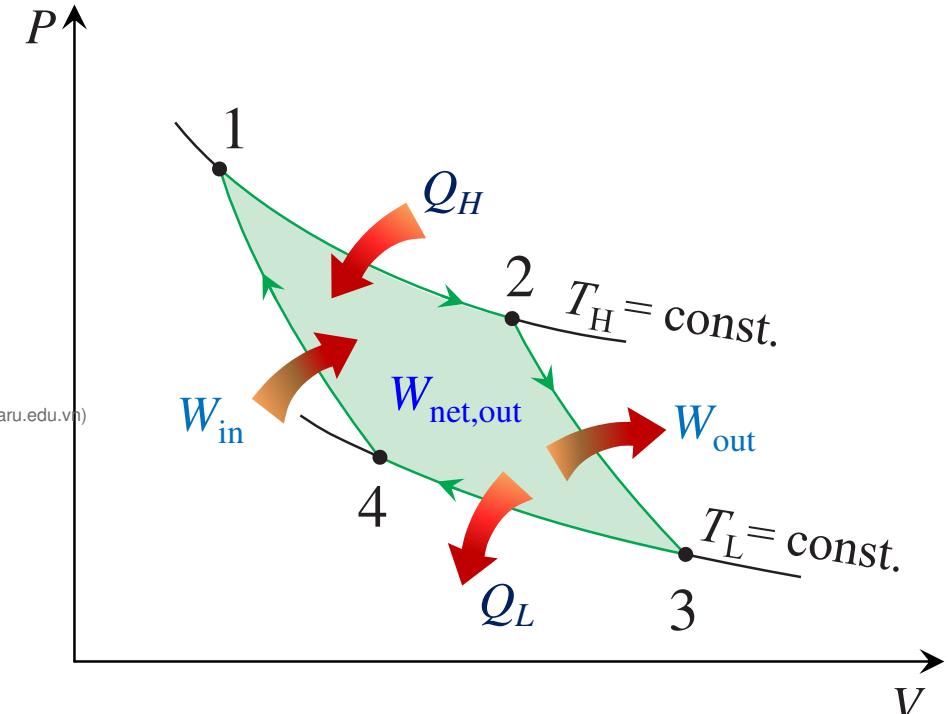
$$Q_{out} = Q_L = Q_{34}$$

Công ngoài (dẫn động) nhận được (Quá trình 3-1):

$$W_{in} = \int_1^3 PdV$$

Công có ích sinh ra trong 1 chu trình:

$$W_{net,out} = W_{in} - W_{out} = Q_{in} - Q_{out}$$





Động cơ nhiệt Các-nô

Động cơ nhiệt lý tưởng, làm việc theo chu trình Các-nô.

Hiệu suất nhiệt của động cơ nhiệt bất kỳ:

$$\eta_{th} = 1 - Q_L/Q_H$$

Với động cơ nhiệt Các-nô (làm việc theo chu trình thuận nghịch), tỷ số nhiệt lượng Q_L/Q_H có thể thay bằng tỷ số nhiệt độ tuyệt đối $T_L/T_H \rightarrow$ hiệu suất nhiệt của động cơ Các-nô:

$$\eta_{th,rev} = 1 - T_L/T_H$$

$\eta_{th,rev}$ là hiệu suất cao nhất mà động cơ nhiệt có thể đạt được, khi làm việc với hai nguồn nhiệt có nhiệt độ tương ứng là T_H và T_L .

Nguyên lý Các-nô

$$\eta_{th} \begin{cases} < \eta_{th,rev} \rightarrow \text{Động cơ bất thuận nghịch} \\ = \eta_{th,rev} \rightarrow \text{Động cơ thuận nghịch} \\ > \eta_{th,rev} \rightarrow \text{Không thể} \end{cases}$$



Không khí tiêu chuẩn

Ở động cơ đốt trong, chất tải nhiệt là sản phẩm cháy của hỗn hợp nhiên liệu và không khí, được thải ra ngoài sau mỗi chu trình → **hệ hở** → Khó phân tích.

Để giảm sự phức tạp → **giả thiết không khí tiêu chuẩn**:

- Chất công tác là không khí → khí lý tưởng,
- Chất công tác lưu động tuần hoàn liên tục trong hệ thống → **hệ kín**,
- Các quá trình trong chu trình là thuận nghịch trong,
- Quá trình cháy được thay thế bằng quá trình cấp nhiệt Q_H từ nguồn nóng,
- Quá trình xả được thay thế bằng quá trình thải nhiệt Q_L tới nguồn lạnh.



Không khí lạnh tiêu chuẩn

Không khí lạnh tiêu chuẩn = không khí tiêu chuẩn có nhiệt dung riêng không đổi và bằng nhiệt dung riêng của không khí ở nhiệt độ phòng (25°C).

Chu trình không khí tiêu chuẩn

Chu trình không khí tiêu chuẩn (Chu trình tiêu chuẩn) = chu trình động cơ nhiệt làm việc với không khí tiêu chuẩn.

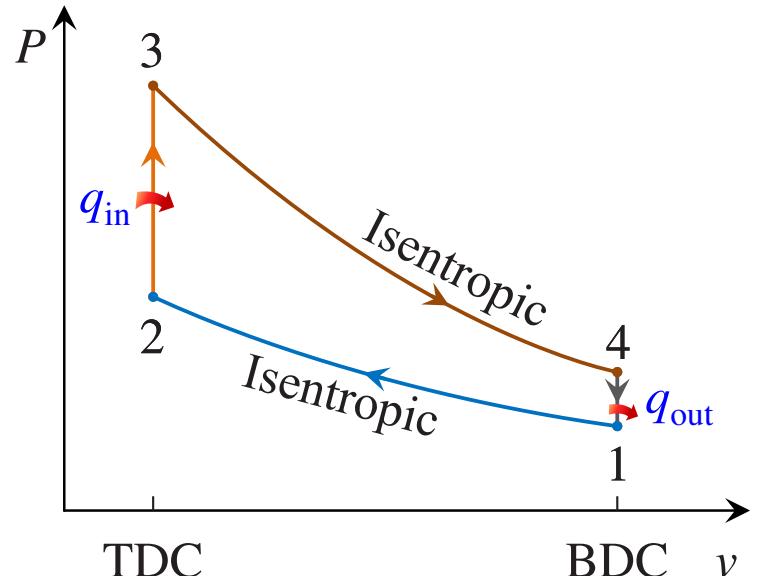
Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)



Chu trình Otto: Chu trình lý tưởng của động cơ cháy cưỡng bức

- Do kỹ sư người Pháp, Alphonse Eugène Beau de Rochas, đề xuất năm 1862;
- Được kỹ sư người Đức, Nicolaus August Otto, áp dụng và phát triển thành công trên động cơ cháy cưỡng bức 4 kỳ, năm 1876 → gọi là **chu trình Otto**;
- Sử dụng **các giả thiết không khí tiêu chuẩn** → chu trình lý tưởng;
- Chu trình Otto bao gồm 4 quá trình thuận nghịch trong:
 - 1-2: Nén đoạn nhiệt
 - 2-3: Nhận nhiệt q_{in} đẳng tích
 - 3-4: Giãm nở đoạn nhiệt
 - 4-1: Nhả nhiệt q_{out} đẳng tích

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Đặc điểm phân tích nhiệt Chu trình Otto

- Trong quá trình nạp/thải: Chất công tác chỉ thay đổi về mặt số lượng, không thay đổi giá trị nhiệt động,
- Công hút W_{Intake} và công thải W_{Exhaust} triệt tiêu nhau → bỏ qua (hai quá trình này) khi tính toán động cơ đốt trong,
- Xét riêng cho từng quá trình và cho toàn bộ chu trình.

Các giả thiết

- Môi chất công tác **là không khí tiêu chuẩn**,
- Chu trình kín → Phương trình cân bằng năng lượng của hệ kín (**Chương 4**),
Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)
- Bỏ qua sự thay đổi của động năng và thế năng của chất công tác → sự thay đổi năng lượng trong hệ ~ sự thay đổi về nội năng của môi chất công tác: $\Delta E_{\text{system}} = \Delta U_{\text{system}}$,



Phân tích nhiệt Chu trình Otto

Phương trình cân bằng năng lượng của hệ kín:

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\substack{\text{Tổng năng} \\ \text{lượng truyền}}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\substack{\text{Thay đổi} \\ \text{nội năng}}} \quad (\text{kJ})$$

Xác định các đại lượng:

$$E_{in} = Q_{in} + W_{in},$$

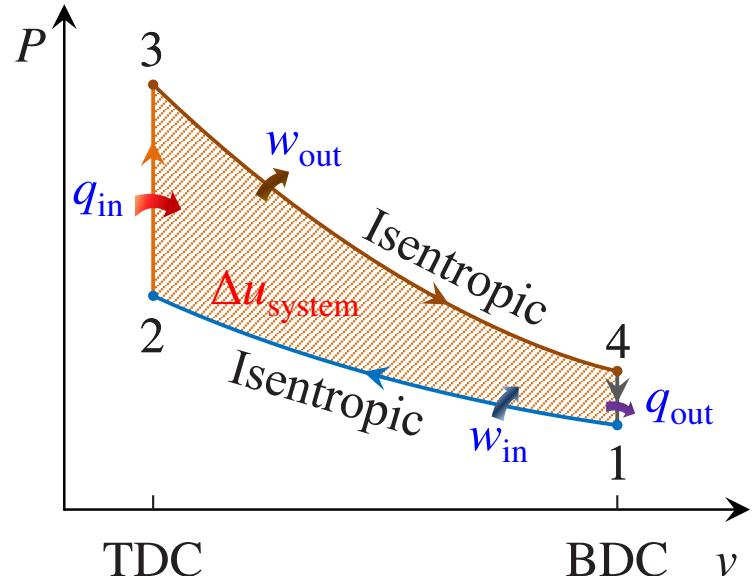
$$E_{out} = Q_{out} + W_{out},$$

$$\Delta E_{system} = \Delta U_{system}.$$

Viết lại phương trình cân bằng năng lượng:

$$(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta U_{system}$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Xét riêng từng quá trình

Nén đoạn nhiệt 1-2: Không có trao đổi nhiệt, chỉ nhận công

$$W_{in} = \Delta U_{1-2} = U_2 - U_1 = mc_v(T_2 - T_1)$$

Cháy đốt tích 2-3: Không có trao đổi công, chỉ nhận nhiệt

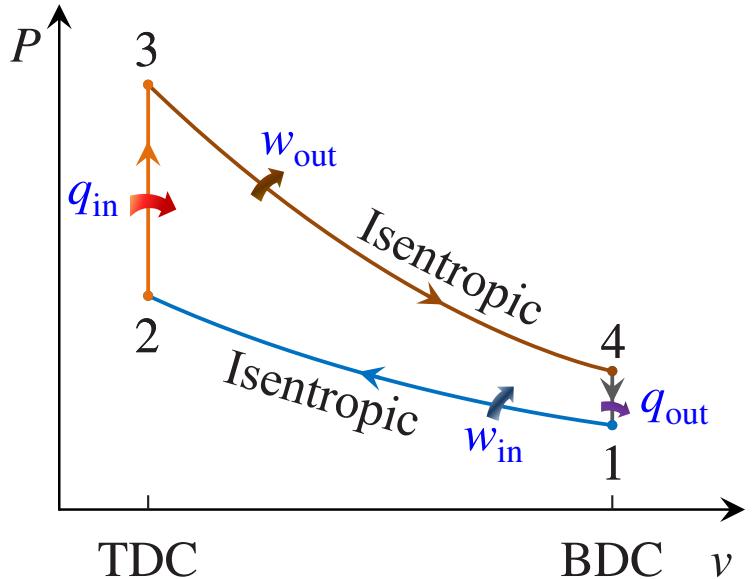
$$Q_{in} = \Delta U_{2-3} = U_3 - U_2 = mc_v(T_3 - T_2)$$

Giãn nở đoạn nhiệt 3-4: Không có trao đổi nhiệt, chỉ sinh công

$$- W_{out} = \Delta U_{3-4} = U_4 - U_3 = mc_v(T_4 - T_3)$$

Nhả nhiệt đốt tích 4-1: Không có trao đổi công, chỉ thải nhiệt

$$- Q_{out} = \Delta U_{4-1} = U_1 - U_4 = mc_v(T_1 - T_4)$$





Xét toàn bộ 1 chu trình: 1-2-3-4-1

Sau 1 chu trình, hệ trở về trạng thái ban đầu: $\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{initial}} = 0$.

Ta có:

$$\begin{aligned}(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) &= U_1 - U_1 = 0 \\ \leftrightarrow W_{out} - W_{in} &= Q_{in} - Q_{out}\end{aligned}$$

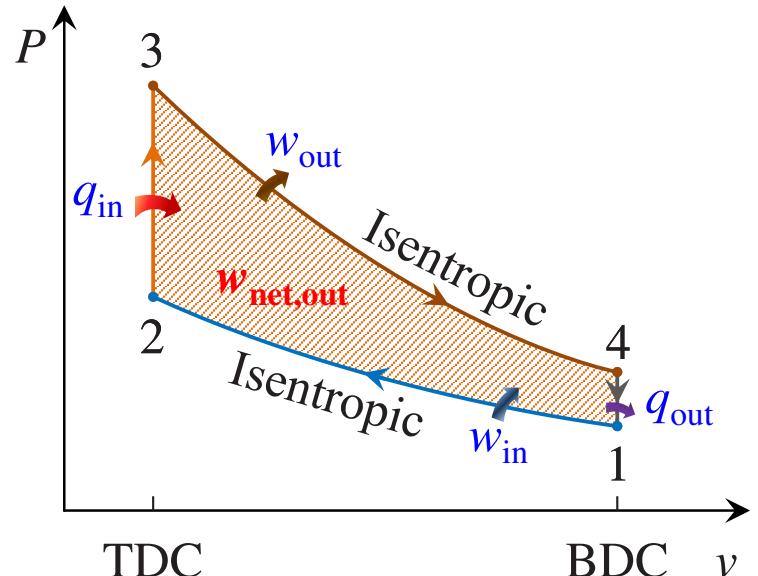
Công có ích của động cơ

$$\begin{aligned}W_{net,out} &= W_{out} - W_{in} \\ \leftrightarrow W_{net,out} &= Q_{in} - Q_{out}\end{aligned}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình Otto:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)

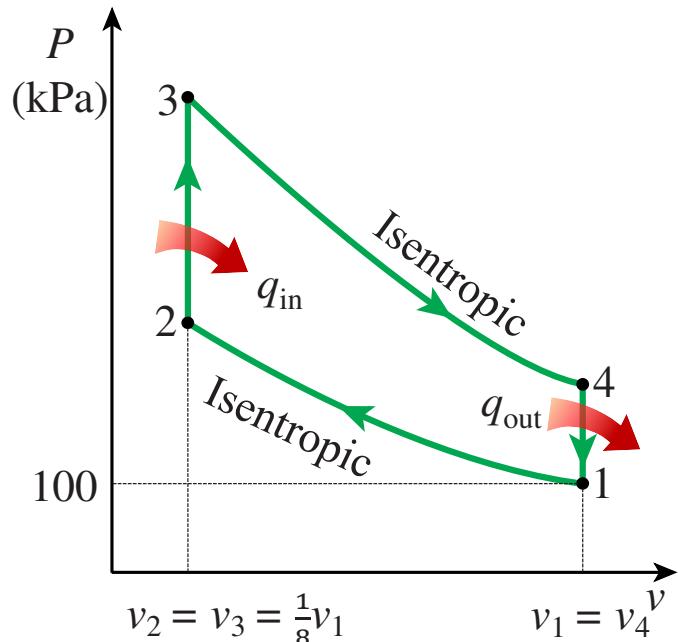




Ví dụ 1: Chu trình Otto lý tưởng

Một động cơ 4 kỳ làm việc theo chu trình Otto lý tưởng với tỷ số nén $r = 8$. Tại thời điểm bắt đầu của quá trình nén, không khí ở 100 kPa và 17 °C. Biết, trong quá trình cháy đằng tích, nhiên liệu bị đốt cháy nhả ra một nhiệt lượng 800 kJ/kg. Hãy xác định:

- Thông số trạng thái (P, v, T) của môi chất công tác tại các điểm đặc trưng của chu trình,
- Nhiệt lượng do động cơ thải ra môi trường,
- Công suất do động cơ sinh ra,
- Hiệu suất nhiệt của động cơ,
- MEP,
- Nếu tổng thể tích xy lanh của động cơ là 1.6 L và tốc độ quay là 4000 vg/ph. Hãy xác định công suất do động cơ sinh ra theo kW.





Bài giải

1. Thông số trạng thái của môi chất tại các điểm đặc trưng

Trạng thái 1: Bắt đầu chu trình

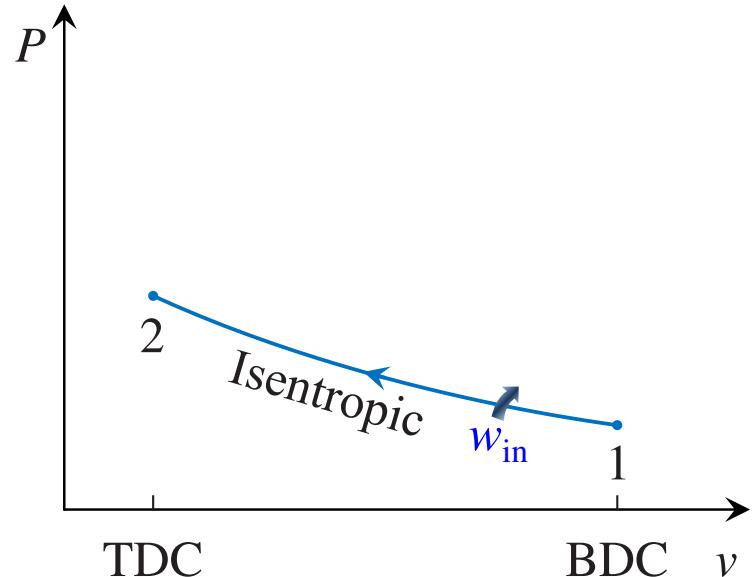
$$T_1 = 290 \text{ K}, P_1 = 100 \text{ kPa},$$

Từ $T_1 = 290 \text{ K}$, tra Bảng A-17 $\rightarrow u_1, v_{r1}$.

Thể tích $v_1 = ?$

$$P_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Bài giải

1. Thông số trạng thái của môi chất tại các điểm đặc trưng

Trạng thái 2: Kết thúc quá trình nén, bắt đầu quá trình cháy

$$v_2 = ? \text{ Từ } r = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{r1}}{v_{r2}} \rightarrow v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r}, (m^3/kg)$$

Từ , tra Bảng A-17 $\rightarrow u_2, T_2, P_{r2}$,

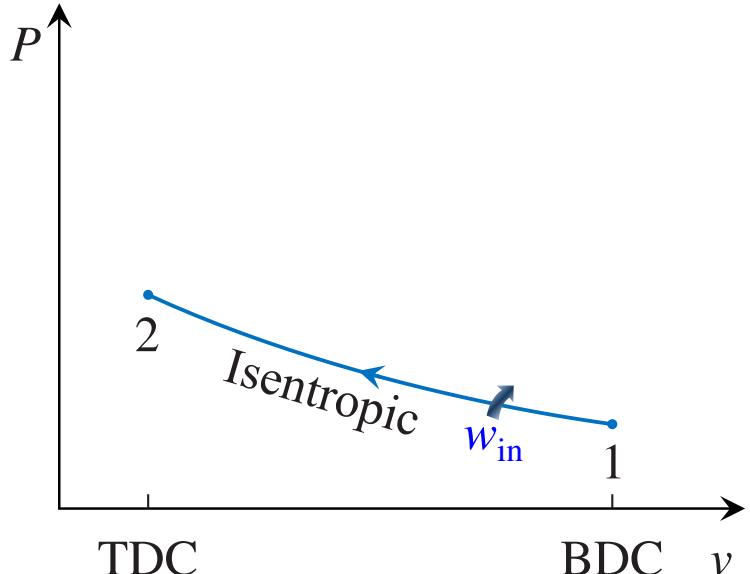
P₂ = ? Do quá trình nén đoạn nhiệt: $Pv^k = RT = const$, nên:

$$P_2 v_2^k = P_1 v_1^k \rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = P_1 r^k,$$
Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)

$k = c_p/c_v$ số mũ đoạn nhiệt, với không khí, $k \approx 1,4$.

T₂ = ? Từ phương trình trạng thái:

$$P_2 v_2 = RT_2 \rightarrow T_2 = \frac{P_2 v_2}{R}$$



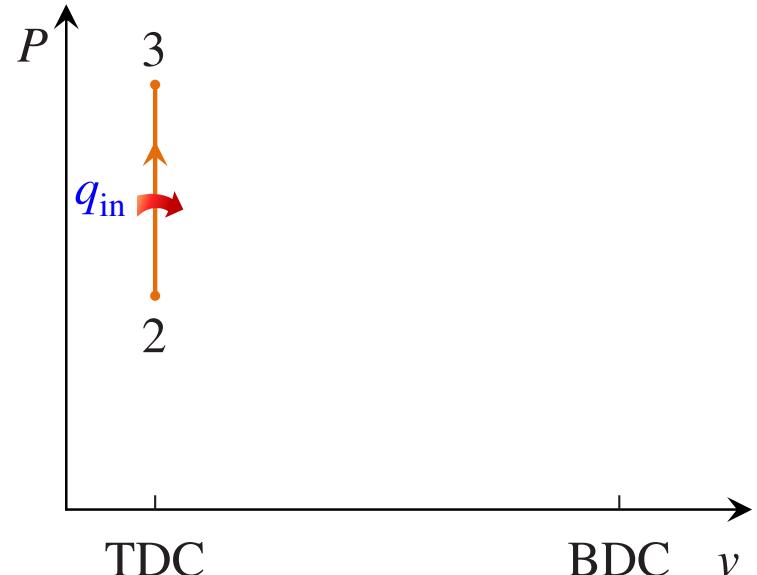


Trạng thái 3: Cuối quá trình cháy, đầu quá trình giãn nở

$v_3 = ?$ 2 – 3 là quá trình nhận nhiệt đẳng tích $\rightarrow v_3 = v_2$

$$T_3 = ? \text{ Từ } q_H = c_v(T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = T_2 + \frac{q_v}{C_v} (K)$$

$$P_3 = ? \text{ Từ PTTT: } P_3 = \frac{RT_3}{v_3}$$



Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)



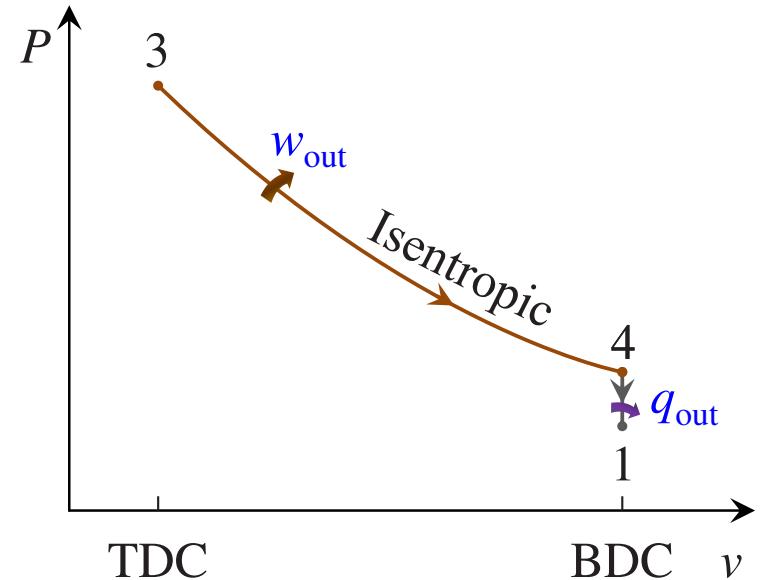
Trạng thái 4: Cuối quá trình giãn nở, đầu quá trình xả

$v_4 = ?$ Do 4 – 1 là quá trình nhả nhiệt đẳng tích $\rightarrow v_4 = v_1$,

$P_4 = ?$ Do 3 – 4 là quá trình giãn nở đoạn nhiệt nên:

$$P_4 v_4^k = P_3 v_3^k \rightarrow P_4 = P_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = \frac{P_3}{r^k}$$

$$T_4 = ? \text{ Từ PTTT: } T_4 = \frac{P_4 v_4}{R}$$



Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)



2. Nhiệt lượng do động cơ thải ra:

$$q_{out} = q_L = c_v(T_4 - T_1)$$

3. Công do động cơ sinh ra:

$$w_{net,out} = q_H - q_L$$

4. Hiệu suất nhiệt của động cơ:

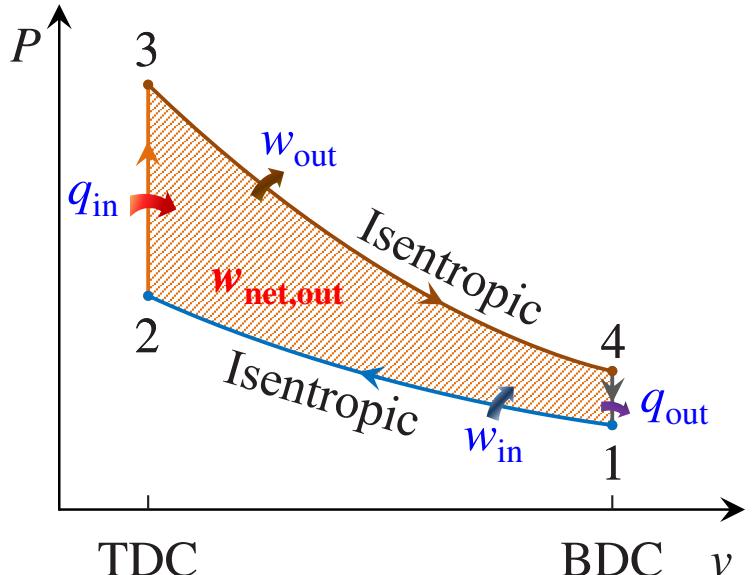
$$\eta_{th} = \frac{w_{net,out}}{q_H}$$

5. Áp suất có ích trung bình MEP:

$$MEP = \frac{w_{net,out}}{v_1 - v_2}$$

6. Công suất do động cơ sinh ra trong một chu trình:

$$W_{net,out} = \left(m = \frac{V_d}{v_1} \right) w_{net,out} = \frac{V_d}{v_1} w_{net,out}$$





7. Số chu trình nhiệt động trong 1 phút:

- Động cơ 4 kỳ: một chu trình nhiệt động được hoàn thành sau 2 vòng quay của trục khuỷu, nên:

$$n_c^{4 \text{ kỳ}} = \frac{n_{\text{đc}}}{2}$$

- Tổng công suất do động cơ sinh ra:

$$\dot{W}_{net,out}^{4 \text{ kỳ}} = W_{net,out}^{4 \text{ kỳ}} \times n_c^{4 \text{ kỳ}} (\text{kW})$$

8. Trường hợp động cơ 2 kỳ:

- Số chu trình nhiệt động trong 1 phút:

$$n_c^{2 \text{ kỳ}} = n_{\text{đc}}$$

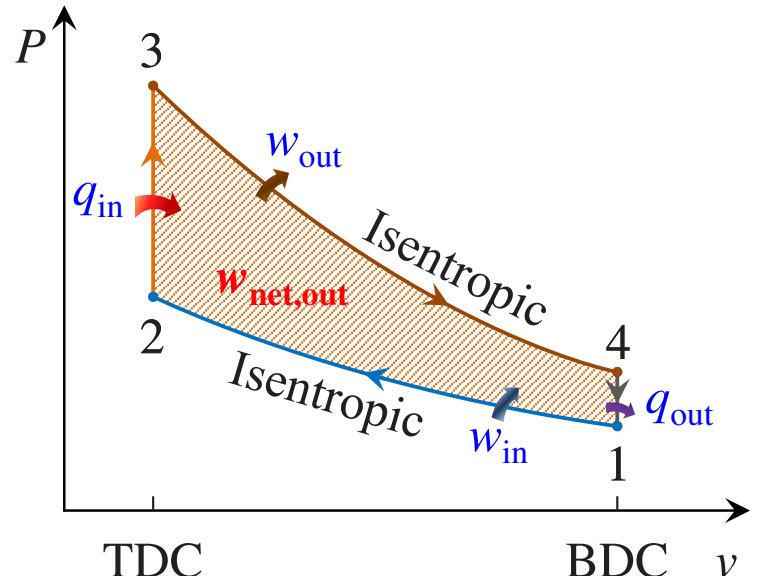
- Tổng công suất do động cơ sinh ra:

$$\dot{W}_{net,out}^{2 \text{ kỳ}} = W_{net,out}^{2 \text{ kỳ}} \times n_c^{2 \text{ kỳ}} (\text{kW})$$

9. So sánh động cơ 2 kỳ và 4 kỳ:

$$\alpha = \frac{\dot{W}_{net,out}^{2 \text{ kỳ}}}{\dot{W}_{net,out}^{4 \text{ kỳ}}}$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)

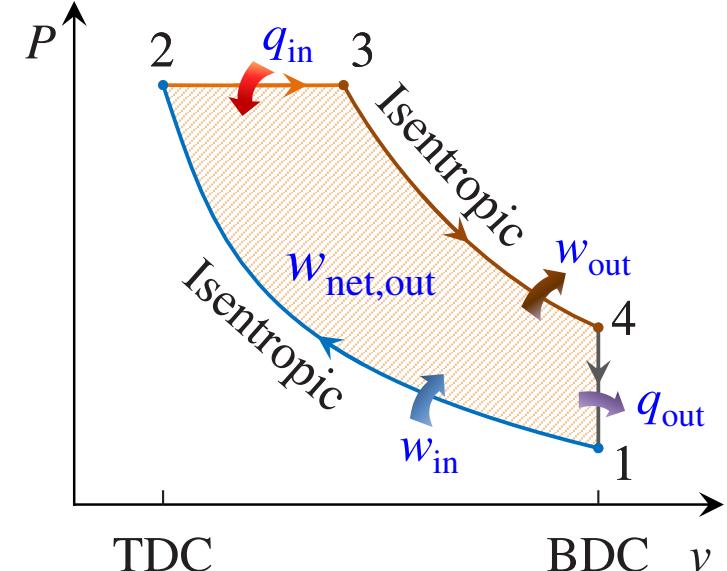




Chu trình Diesel: Chu trình lý tưởng của động cơ tự cháy

- Do nhà phát minh – kỹ sư người Đức, Rudolf Christian Karl Diesel, phát triển trong những năm 1890;
- Chủ yếu làm việc với nhiên liệu Diesel;
- Là chu trình động cơ đốt trong có hiệu suất nhiệt cao nhất, chỉ sau chu trình lý tưởng Các-nô;
- Bao gồm 4 quá trình thuận nghịch trong:
 - 1-2: Nén đoạn nhiệt \rightarrow nhận công w_{in} ,
 - 2-3: Nhận nhiệt $\ddot{e}ng$ tích q_{in} ,
 - 3-4: Giãn nở đoạn nhiệt \rightarrow sinh công w_{out} ,
 - 4-1: Nhả nhiệt $\ddot{e}ng$ tích q_{out}

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)



Phân tích nhiệt Chu trình Diesel

- Tương tự như chu trình Otto, chỉ khác nhau ở quá trình cháy.
- Quá trình cháy đằng áp 2 – 3: Vừa nhận nhiệt, vừa sinh công
 → phương trình cân bằng năng lượng:

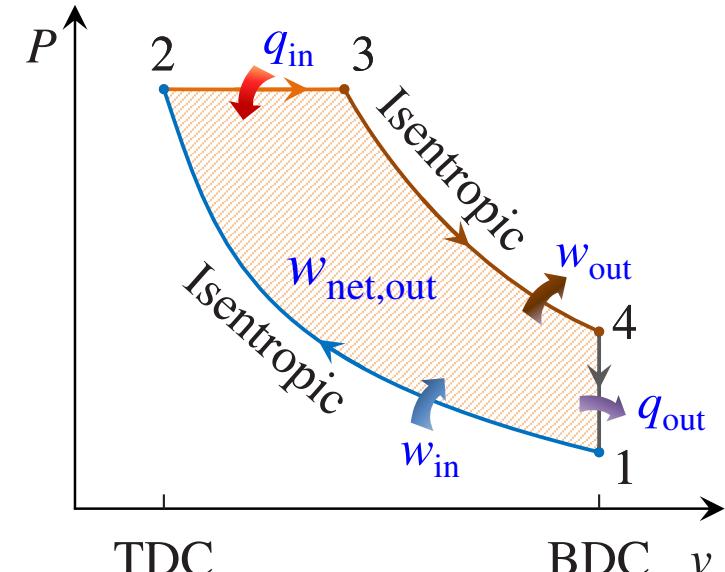
$$Q_{in} - W_{b,out} = \Delta U_{2-3} = U_3 - U_2$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow Q_{in} &= U_3 - U_2 + W_{b,out} = U_3 - U_2 + P_2(V_3 - V_2) \\ &= (U_3 + P_3 V_3) - (U_2 + P_2 V_2) \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow Q_{in} = Q_H = H_3 - H_2 = mc_p(T_3 - T_2)$$

- Tỷ số giãn nở sớm (cutoff) r_c = tỷ số thể tích của xy lanh trước và sau quá trình cháy:

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{mv_3}{mv_2} = \frac{v_3}{v_2}$$



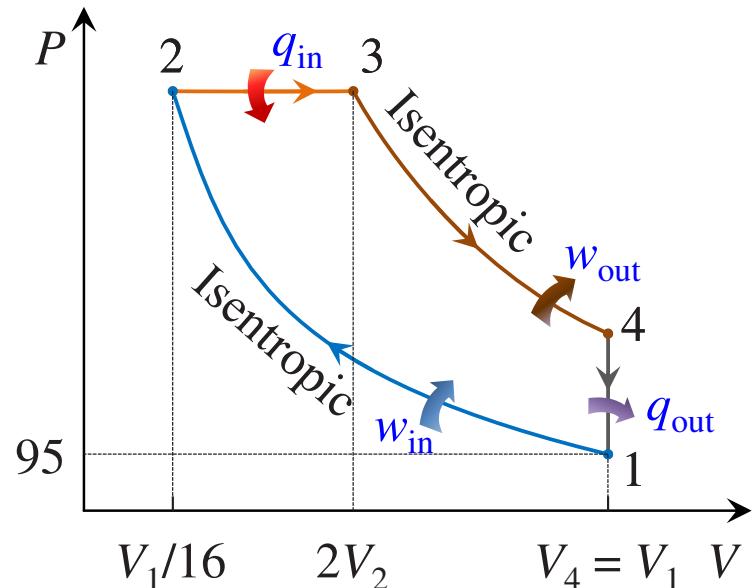


Ví dụ 2: Chu trình động cơ Diesel lý tưởng

Một động cơ đốt trong, làm việc theo chu trình Diesel, có tỷ số nén $r = 16$ và tỷ số giãn nở sớm $r_C = 2$. Tại thời điểm bắt đầu của quá trình nén, không khí ở trạng thái 95 kPa và 27 °C. Hãy xác định:

- Thông số trạng thái (P, v, T) của môi chất tại các điểm đặc trưng của chu trình,
- Nhiệt lượng động cơ nhận được trong quá trình cháy,
- Nhiệt lượng do động cơ thải ra môi trường,
- Công suất do động cơ sinh ra,
- Hiệu suất nhiệt,
- MEP.

Downloaded by tuan.nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Bài giải

Thông số trạng thái của môi chất tại các điểm đặc trưng

Trạng thái 1: Bắt đầu chu trình

$T_1 = 290 \text{ K}$, $P_1 = 100 \text{ kPa} \rightarrow$ Tìm v_1 từ phương trình trạng thái:

$$P_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Trạng thái 2: Cuối quá trình nén đoạn nhiệt, đầu quá trình cháy
đẳng áp

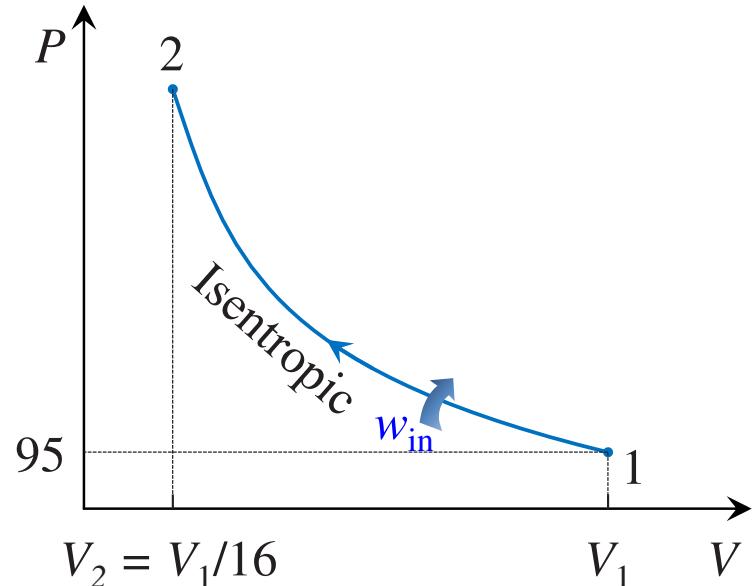
$$v_2 = ? \text{ Từ } r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow v_2 = r v_1$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)

$P_2 = ?$ Do 1-2 là quá trình nén đoạn nhiệt: $P_2 v_2^k = P_1 v_1^k$

$$\rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k = P_1 r^k$$

$T_2 = ?$ Từ phương trình trạng thái: $P_2 v_2 = RT_2 \rightarrow T_2 = \frac{P_2 v_2}{R}$





Bài giải

Thông số trạng thái của môi chất tại các điểm đặc trưng

Trạng thái 3: Cuối quá trình cháy, đầu quá trình giãn nở

$P_3 = ?$ Do 2 – 3 là quá trình cấp nhiệt đẳng áp: $P = \text{const.}$

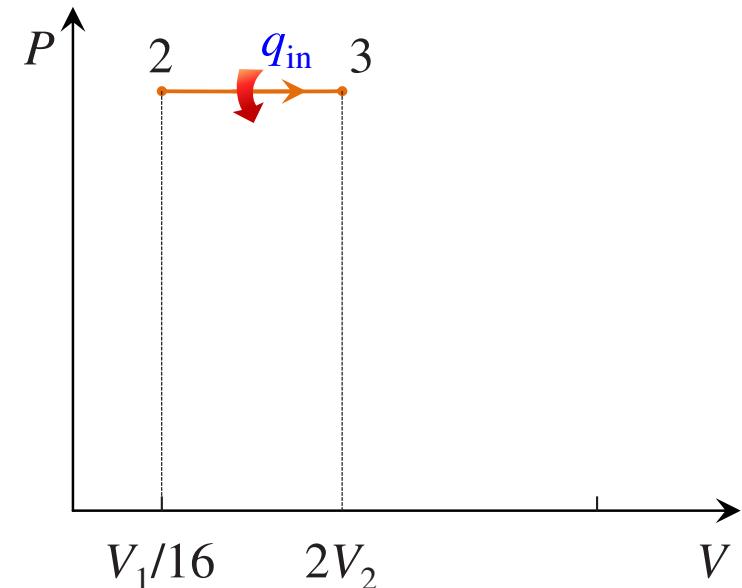
$$\rightarrow P_3 = P_2$$

$V_3 = ?$ Từ thông số cho trước: $V_3 = 2V_2 \rightarrow r_c = V_3/V_2 = 2,$

$T_3 = ?$ Từ phương trình trạng thái:

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \rightarrow T_3 = T_2 \left(\frac{V_3}{V_2} \right) = T_2 \cdot r_c$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)





Bài giải

Thông số trạng thái của môi chất tại các điểm đặc trưng

Trạng thái 4: Cuối quá trình giãn nở, đầu quá trình xả/thải

$V_4 = ?$ Do 4-1 là quá trình nhả nhiệt đẳng tích: $V = \text{const.}$
 $\rightarrow V_4 = V_1$

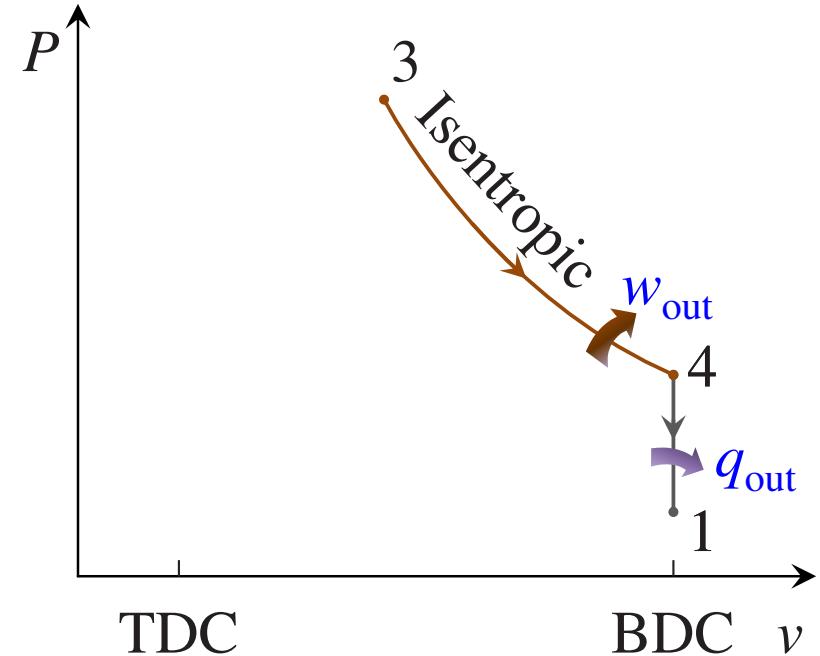
Do 3-4 là quá trình giãn nở đoạn nhiệt:

$$P_4 v_4^k = P_3 v_3^k \rightarrow P_4 = P_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = P_3 \left(\frac{v_2 \cdot r_c}{v_1} \right)^k$$

Downloaded by: tuan-nguyen-47e (tuan85839@st.vimaru.edu.vn)

$$= P_3 \left(\frac{\frac{v_1 \cdot r_c}{r}}{v_1} \right)^k$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{V_1 \cdot r_c}{V_1} \right)^{k-1}$$





2. Nhiệt lượng động cơ thải ra

$$Q_{out} = mq_{out} = mc_v(T_4 - T_1)$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$$

3. Công do động cơ sinh ra

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$$

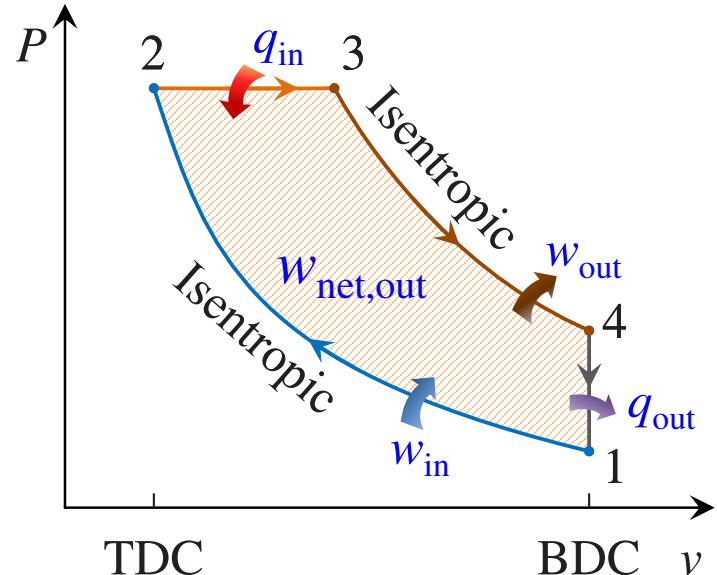
$$Q_{in} = mq_{in} = mc_p(T_3 - T_2)$$

4. Hiệu suất nhiệt của động cơ

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}}$$

5. Áp suất có ích trung bình MEP

$$MEP = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2}$$



Chu trình động cơ Diesel cấp nhiệt hỗn hợp

- Trong động cơ diesel cao tốc, nhiên liệu được phun vào trong buồng đốt sớm hơn so với các loại động cơ diesel khác.
- Nhiên liệu sẽ bắt đầu cháy ở cuối hành trình nén → xảy ra ở điều kiện đẳng tích.
- Nhiên liệu tiếp tục được phun cho tới khi pít tông đến TDC và quá trình cháy tiếp tục ở đầu hành trình giãn nở sinh công.
- Do vậy, toàn bộ quá trình cháy là sự kết hợp giữa quá trình cháy đẳng tích và cháy đẳng áp → **chu trình hỗn hợp (dual)**.

Tính toán nhiệt chu trình động cơ Diesel cấp nhiệt hỗn hợp

Tương tự các chu trình Otto và Diesel, chỉ khác nhau ở quá trình cháy.

$$\text{Cháy hỗn hợp} = \text{Cháy Otto} + \text{Cháy Diesel}$$

$$\Leftrightarrow Q_H = Q_v + Q_P = mc_v(T_X - T_2) + mc_P(T_3 - T_X)$$

