العمليات الترموديناميكية الرئيسية للغازات المثالية (Thermodynamics processes of ideal gas)

سنقوم فيما يلي دراسة مختلف العمليات الترموديناميكية العكوسة عند انتقال الجملة المغلقة من حالة اولية متوازنة $1(P_1, V_1, T_1)$ إلى حالة نهائية متوازنة $2(P_2, V_2, T_2)$، واهمها:

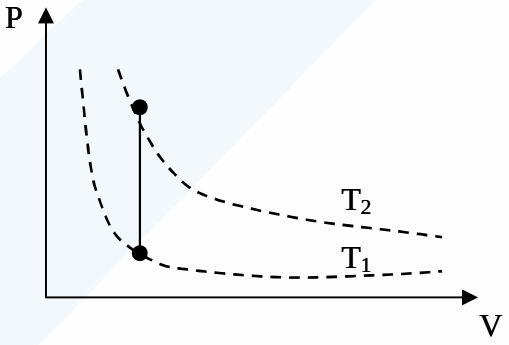
العمليات الإيزوخورية (Isochoric processes)، و العمليات الإيزوبارية (Isobaric processes) ، والعمليات الإيزوترمية (Isotermal processes)، والعمليات الإديباتية (Adiabatic processes)، والعمليات البوليتروبية (Polytropic processes).

العمليات التي تتم تحت حجم ثابت (Isochoric processes)

مثال عليها تسخين الماء في وعاء محكم الإغلاق.

معادلة العملية $\boxed{V = \text{constant}}$:

التمثيل البياني للعملية يتم تمثيل العملية الإيزوخورية في الإحداثيات (P,V) بمستقيم عمودي على المحور V.



العلاقة بين البارامترات: عبارة عن قانون غي لوساك:

$$\boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

عمل العملية (The work) لايمكن في العملية الإيزوخورية إنجاز عمل سببه تغيّر حجم الجملة $(\boldsymbol{dv = 0})$.

$$\delta w = P.dv \quad ; v = \text{constant} \quad \Rightarrow \boxed{w = 0}$$

كمية الحرارة (The Heat) من المبدأ الاول في الترموديناميك:

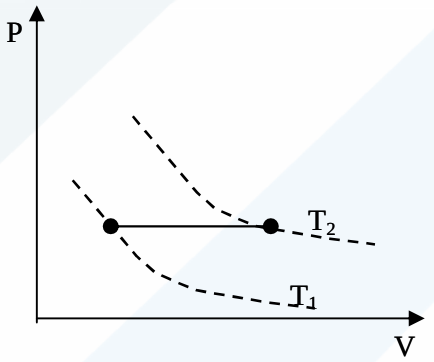
$$\boxed{\delta q = du = c_v dT}$$

العمليات التي تتم تحت ضغط ثابت (Isobaric processes)

مثال بسيط عنها تسخين الماء تحت الضغط الجوي

معادلة العملية (Equation of process) $\boxed{P = \text{constant}}$

التمثيل البياني للعملية يمكن تمثيل العملية الإيزوبارية في الإحداثيات (P,V) بمستقيم عمودي على المحور P



العلاقة بين البارامترات: عبارة عن قانون شارل $\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}}$

عمل العملية الإيزوبارية (The work)

$$\delta w = -P.dv \Rightarrow w_{12} = -\int_1^2 P.dv = -P.(v_2 - v_1)$$

$$\Rightarrow \boxed{w_{12} = -P.(v_2 - v_1)}$$

تغيّر كمية الحرارة (The Heat): من المبدأ الاول في الترموديناميك:

$$\delta q = \mathrm{d}u + p.\mathrm{d}v \Rightarrow q_{1\to 2} = c_v.(T_2 - T_1) + r.(T_2 - T_1) = (c_v + r).(T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \boxed{q_{1\to 2} = c_p.(T_2 - T_1) \Rightarrow q = h_2 - h_1}$$

تغيّر الطاقة الداخلية (The internal energy) :

$$\boxed{u_2 - u_1 = c_v.(T_2 - T_1)}$$

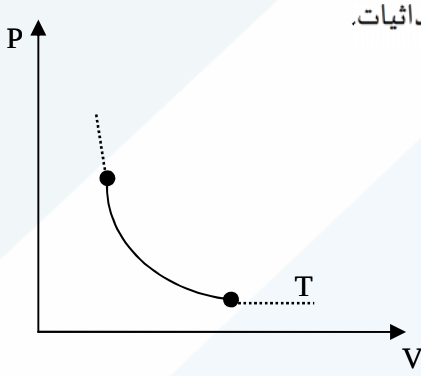
العمليات التي تتم تحت درجة حرارة ثابتة (Isothermal processes)

يتطلب تحقيق عملية التمدد إيزوترمية إضافة حرارة إلى الغاز باستمرار, وبالعكس من اجل تحقيق عملية انضغاط الغاز إيزوترميا فإنه يجب طرح حرارة باستمرار.

معادلة العملية (Equation of process): $\boxed{T = \text{constant}}$

التمثيل البياني للعملية

عند درجة حرارة ثابتة T = constant يكون: $P.v = \text{constant}$ وهذه عبارة عن معادلة قطع زائد متساوي الساقين خطاه المقاربان هما محورا الإحداثيات.



العلاقة بين البارامترات: هي عبارة عن علاقة بويل – ماريوت

$$P_1.v_1 = P_2.v_2 \Rightarrow \boxed{P.v = \text{constant}}$$

عمل العملية الإيزوترمية (The work) :

$$w_{12} = -\int_{v_1}^{v_2} P.dv = -\int_{v_1}^{v_2} r.T.\frac{dv}{v} = -r.T\int_{v_1}^{v_2}\frac{dv}{v}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{w_{1\to 2} = -r.T\ln\frac{v_2}{v_1} = r.T ln\frac{P_2}{P_1}}$$

تغيّر الطاقة الداخلية (The internal energy):

$dT = 0 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 0}$:

تغيّر كمية الحرارة (The Heat) من المبدا الاول في الترموديناميك:

$$\Delta U_{1\to 2} = W_{1\to 2} + Q_{1\to 2} \Rightarrow \quad \boxed{Q_{1\to 2} = -W_{1\to 2}}$$

أي أنّ كلّ عمل العملية الإيزوترمية للغاز المثالي يتمّ تبادله على شكل حرارة .

العملية التي تتم من دون تبادل حراري مع الوسط الخارجي (العملية الاديباتيةAdiabatic):

تجري العملية الاديباتية من دون حدوث أي تبادل حراري بين الجملة والوسط الخارجي أي: $Q = 0$. وهذا يتطلب عزلاً تاما للجملة عن الوسط الخارجي أو إجراء العملية بسرعة كبيرة جدا.

مثالٌ عن العملية الاديباتية، عمليات التمدد والانضغاط التي تجري في محركات الاحتراق الداخلي حيث تتم بسرعة كبيرة.

ملاحظة:

. ندعو العملية الاديباتية العكوسة بـ **العملية الإيزونتروبية.**

معادلة العملية (Equation of process)

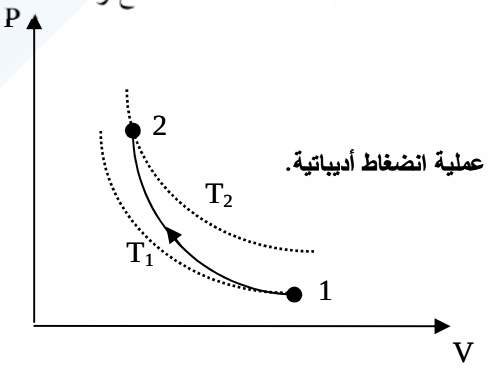
تتغيّر كلّ البارامترات في العملية الاديباتية، ويمكن أن نعطي معادلة العملية الاديباتية مباشرة بالعلاقة التي تعرف بقانون بواسون أو لابلاس:

$$P.v^{\gamma} = \text{constant}$$

حيث: γ الأس الاديباتي $\gamma = \frac{C_P}{C_v}$ ويكون من أجل الغاز أحادي الذرة يساوي1,6، وللغاز ثنائي الذرة يساوي1,4، وللغاز متعدد الذرات يساوي 1,3.

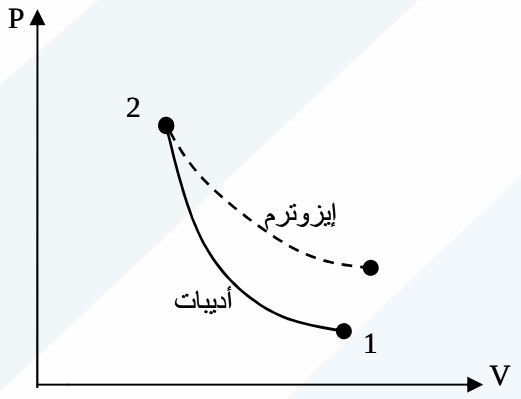
التمثيل البياني للعملية الاديباتية

تمثل معادلة العملية الاديباتية $P.v^{\gamma} = \text{constant}$ معادلة قطع زائد خطاه المقاربان هما محورا الإحداثيات.



المقارنة بين ميل المنحني الممثل للعملية الاديباتية و المنحني الممثل للعملية الإيزوترمية (The slope of Isothermal and Adiabatic curve on P-V Diagram)

يكون ميل منحني العملية الاديباتية اكبر من ميل منحني العملية الإيزوترمية بـ γ مرة.



العلاقة بين البارامترات

$$P_1 . v_1^{\gamma} = P_2 . v_2^{\gamma} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma}}$$

كما أنّ : $\boxed{\frac{v_2}{v_1} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{\gamma-1}}}$ و $\boxed{\frac{P_1}{P_2} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}}$

عمل العملية الاديباتية (The work)

نعلم انّ:

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

وبما انّ $\delta q = 0$

$$\Rightarrow \delta w = du = c_v . dT = \frac{r}{\gamma - 1} . dT \Rightarrow w_{1\to 2} = \Delta u = u_2 - u_1$$

وعندما تكون السعة الحرارية الحجمية فإنّ:

$$\Rightarrow \boxed{w_{1\to 2} = \frac{r}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) = \frac{P_2.v_2 - P_1.v_1}{\gamma - 1}}$$

تغير الطاقة الداخلية (The internal energy)

$$\delta w = du$$

أي أنّ عمل تمدد الغاز أديباتيا يتم على حساب انخفاض الطاقة الداخلية.

بينما يصرف كامل عمل الانضغاط في العملية الاديباتية على زيادة الطاقة الداخلية.

العملية البوليتروبية (Polytropic process)

تتغيّر كلّ البارامترات في العملية البوليتروبية كما انه يمكن للجملة ان تتبادل الحرارة مع الوسط المحيط.

معادلة العملية (Equation of process)

تُعطى معادلة العملية البوليتروبية بالشكل التالي:

$$\boxed{P.V^n = constant}$$

حيث n: هو الاس البوليتروبي ، وهو عبارة عن عدد لاواحدة له.

ملاحظة:

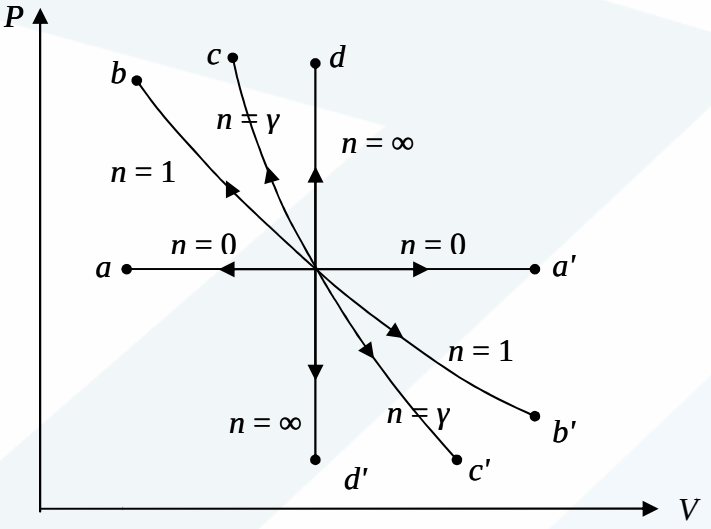
يمكن اعتبار العملية البوليتروبية بانّها عملية عامة وجميع العمليات الاخرى للغاز المثالية عبارة عن حالات خاصة

يمكن تحديد نوع العملية من خلال قيمة n.

- في العملية الايزوبارية يكون $n = 0 \Leftarrow P = \text{constant}$.
- في العملية الايزوترمية يكون $n = 1 \Leftarrow P.V = \text{constant}$ ،
- في العملية الايزوخورية يكون $n \to \infty \Leftarrow V = \text{constant}$.

التمثيل البياني للعملية البوليتروبية

نوضح على الشكل التالي تمثيل جميع العمليات الترموديناميكية السابقة بما فيها العملية البوليتروبية.



العلاقة بين البارامترات:

$$P_1.v_1^n = P_2.v_2^n \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n}$$

وكذلك: $\boxed{\frac{v_2}{v_1} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{n-1}}}$ وأيضاً : $\boxed{\frac{P_1}{P_2} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{n}{n-1}}}$

عمل العملية البوليتروبية (The work)

$$\delta w = -P.dv \Rightarrow w_{12} = -\int_1^2 P.dv$$

و من معادلة العملية البوليتروبية .

$$P.v^n = cte = c \Rightarrow P = \frac{c}{v^n}$$

حيث c عبارة عن ثابت ⇐

$$\Rightarrow w_{12} = -c.\int_1^2 \frac{dv}{v^n} = -c.\left[\frac{v^{-n+1}}{-n+1}\right]_1^2$$

$$\boxed{\Rightarrow w_{12} = \frac{1}{n-1}.(P_2.v_2 - P_1.v_1)}$$

يمكن أيضا أن نعبر عن عمل العملية البوليتروبية بالعلاقة:

$$w_{1\to 2} = \frac{r.T_2}{n-1}.\left|1-\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right|$$

أو:

$$w_{1\to 2} = \frac{r.T_2}{n-1}.\left|1-\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1}\right|$$

كمية الحرارة (The Heat) من المبدا الاول في الترموديناميك:

$$\delta q = du - \delta w$$

حيث:

$$\left.\begin{matrix} du = c_v.(T_2 - T_1) \\ w = \frac{r}{n-1}.(T_2 - T_1) \end{matrix}\right\} \Rightarrow q_{1\to 2} = c_v.(T_2 - T_1) - \frac{r}{n-1}.(T_2 - T_1)$$

$$\square \quad q_{1\to 2} = \left(c_v - \frac{r}{n-1}\right).$$

بالتعويض والترتيب:

$$q_{1\to 2} = \frac{n-\gamma}{\gamma-1}.w_{1\to 2}$$

جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY