المبدأ الأول في الترموديناميك - عمل ، حرارة، طاقة كامنة، أنتالبي

The first law of thermodynamics - Work, Heat, Energy, Enthalpy

مفهوم الطاقة (The Energy)

يعبّر المبدأ الأول في الترموديناميك عن انحفاظ الطاقة الكلية. وينص قانون انحفاظ الطاقة (**Principe of conservation of energy**) على أنّ:

الطاقة لاتفنى ولاتنشأ من جديد و إنّما تتحول من شكل إلى آخر في أثناء العمليات الفيزيائية، والكيميائية.

يمكن للجملة الترموديناميكية المتوازنة أن تنتقل من حالة توازن معينة إلى حالة توازن أخرى، حيث يمكن وصف حالتي التوازن من خلال طاقتهما الكلية التي تساوي مجموع الطاقة الميكانيكية والطاقة الكامنة. ويتمّ في الترموديناميك دراسة تغيرات الطاقة الكليّة للجملة بين حالتي التوازن من خلال شكلي انتقال الطاقة: العمل والحرارة.

الطاقة هي مقدار متجانس واحدته جول: [J] .

الأشكال المختلفة للطاقة (The different types of Energy)

الطاقة الحركية E_C (Kinetic Energy)

الطاقة الحركية هي الطاقة التي يحويها الجسم المتحرك وتساوي مجموع الطاقات الحركية للعناصر المكونة للجسم، تربط الطاقة الحركية بين كتلة الجملة وسرعتها، فإذا كانت كتلة الجملة [kg] m و سرعة مركز ثقلها [$m.s^{-1}$] C يكون:

$$E_c = \frac{1}{2}.m.C^2$$

الطاقة الكامنة E_P (Potential Energy)

هي الطاقة التي يكتسبها الجسم عندما يخضع إلى حقل من القوى الخارجية. وترتبط بارتفاع الجسم عن سطح الأرض ، وتساوي من أجل جسم كتلته m يقع على ارتفاع h عن سطح الأرض :

$$E_P = m.g.h$$

حيث g تسارع الجاذبية الأرضية.

وتغيّر الطاقة الكامنة ΔE_P للجسم بين موقعين a و b يقعان على ارتفاعين مختلفين h_b و h_a يساوي:

$$\Delta E_P = m.g.(h_b - h_a)$$

الطاقة الميكانيكية E_m (Mechanical Energy)

تساوي الطاقة الميكانيكية في لحظة معينة t إلى مجموع الطاقة الحركية، والطاقة الكامنة في هذه اللحظة:

$$\boxed{E_m = E_P + E_c}$$

الطاقة الداخلية U (Internal Energy)

الطاقة الداخلية عبارة عن مجموع الطاقات (الحركية، الكامنة، ....) لمكونات الجملة (جزيئات، ذرات، إلكترونات، ....) عندما تكون هذه الجملة في حالة سكون وغير خاضعة لأي حقل من القوى الخارجية.

$$\Delta U = \int_1^2 dU = U_2 - U_1 = u(T_2) - u(T_1)$$

تساوي الطاقة الداخلية للجملة المكونة من عدة أجسام إلى مجموع الطاقات الداخلية للأجسام المكونة للجملة:

$$U = U_1 + U_2 + \ldots\ldots\ldots + U_m$$

طاقة الجملة المغلقة E_S (The energy of the closed system)

الطاقة الكلية E_S لجملة مغلقة كتلتها m وسرعتها C عبارة عن مجموع طاقتها الحركية و طاقتها الكامنة E_P وطاقتها الداخلية U.

$$\boxed{E_S = \frac{1}{2}.m.C^2 + E_P + U}$$

الطاقة الحرارية (Thermal Energy)

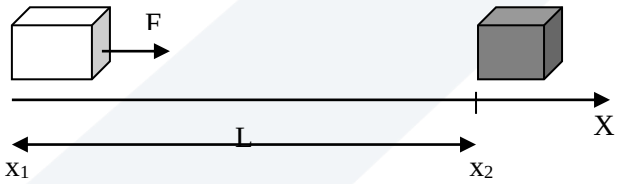
الطاقة الحرارية هي الطاقة التي يمكن أن يتمّ تبادلها عن طريق: التوصيل الحراري، أو الحمل الحراري، أو الإشعاع.

أشكال تبادل الطاقة في الترموديناميك (Types of Energy Transfer)

يمكن أن يتمّ تبادل الطاقة في الترموديناميك على شكل حرارة أو عمل.

العمل (Work)

العمل هو أحد أشكال الطاقة، فمثلاً حتى ينتقل الجسم من الموضع x_1 إلى الموضع x_2 (كما هو موضح على الشكل) نتيجة تأثير القوة F:



تكون الطاقة اللازمة تساوي:

$$W_{x1\to x2} = \int_{x_1}^{x_2} F.dx = F\int_{x_1}^{x_2} dx = F.L$$

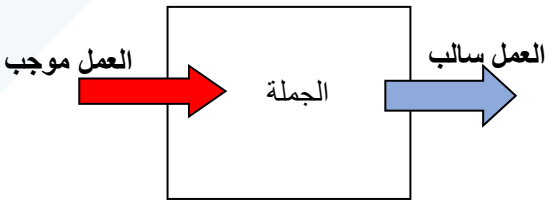
وبما أنّ هذه الطاقة أدت إلى حركة الجسم لذلك نقول عن العمل بأنّه طاقة ميكانيكية.

عمل تغير الحجم (volume work)

هو العمل الذي يترافق مع تغيّر الحجم وهو عبارة عن عمل ميكانيكي. وتُعتبر الغازات جملاً مميزة للدراسة في الترموديناميك.

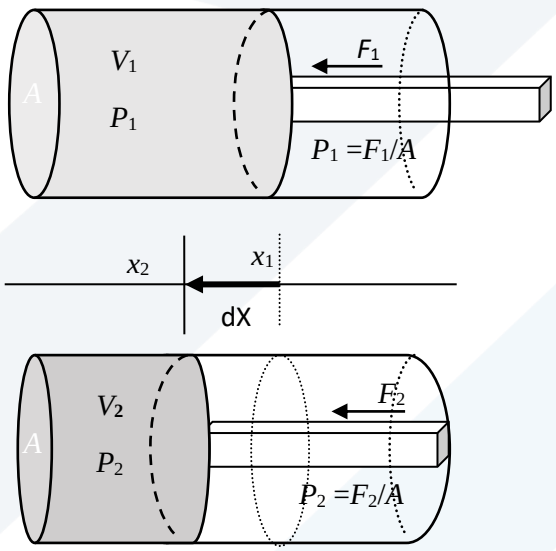
اصطلاح (Convention):

سنعتبر أنّ العمل موجباً عندما تتلقاه الجملة، وسالباً عندما ينتج عن الجملة.



3 عمل قوى الضغط (Work pressure forces)

ليكن لدينا جملة مكونة من كمية معينة من غاز مثالي موجود ضمن أسطوانة يتحرك فيها مكبس مساحة مقطعه A.
يوجد في حالة توازن ترموديناميكي مع الوسط المحيط
عند الضغط على المكبس بقوة معينة، فإنّ حجم الغاز سيتغير من V_1 إلى V_2 ،



العمل المنجز = جداء القوة في الانتقال،

و العمل العنصري المنجز (عمل الانضغاط) يساوي إلى:

$$\delta W = \vec{F}.\overrightarrow{dl} = P_{ext}.A.dx$$

حيث، dx هو الانتقال الجزئي اللامتناهي في الصغر:

$$\Rightarrow W_{1\to 2} = \int_{X_1}^{X_2} P_{ext}.A.dx = \int_{V_1}^{V_2} P_{ext}.(-dV) = -\int_{V_1}^{V_2} P.dV$$

$$\Rightarrow \boxed{W_{1\to 2} = -\int_{V_1}^{V_2} P.dV}$$

وبما أنّ العمل الذي تتلقاه الجملة يكون موجباً حسب الاصطلاح، وبما أنّ $V_2 < V_1$ لذلك فقد تمّت إضافة إشارة السالب على العلاقة السابقة.

حالة عملية عكوسة (Reversible process)

العملية العكوسة: هي العملية التي يمكن بعد حدوثها إعادتها إلى حالتها الأولية من دون تغيير في الجملة والوسط المحيط.

يُعطى العمل الذي تتلقاه الجملة عند انتقالها من الحالة المتوازنة 1 الموصوفة بالبارامترات (P_1, V_1, T_1) إلى الحالة المتوازنة 2 حيث (P_2, V_2, T_2) بالعلاقة:

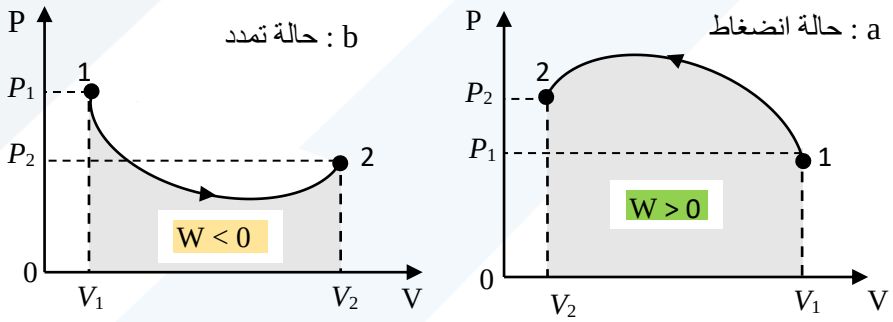
$$W_{1\to 2} = -\int_{V_1}^{V_2} P.dV$$

يجب الانتباه إلى الإشارة السالبة.

التمثيل البياني

يتعلق العمل الذي تتبادله الجملة بالطريق الذي تسلكه الجملة لتنتقل من الحالة المتوازنة (P_1, V_1, T_1) 1 إلى الحالة المتوازنة (P_2, V_2, T_2) 2، ولا يتعلق فقط بالحالتين البدائية والنهائية.

يمكن تمثيل الحالة البدائية 1 والحالة النهائية 2 على مخطط كلابيرون (P ,V) بنقطتين (P_1, V_1) و(P_2, V_2). وبما أنّه في العملية العكوسة تكون جميع العمليات الجزئية المكونة للعملية في حالة توازن، فإنّه يمكن تمثيل العملية تماماً على المخطط وفق الطريق الذي تسلكه الجملة بين الحالتين البدائية، والنهائية كما هو موضح على الشكل التالي:



رياضياً، تُعطى القيمة المطلقة للعمل $\int_{V1}^{V2} PdV$ بالمساحة المحصورة تحت المنحني P(V) الممثل للعملية على المخطط (P,V).

- الحالة a تمثل عملية انضغاط، أي أنّ dV سالب، والعمل الذي تتلقاه الجملة يكون موجباً ويساوي إلى:

$$W_{1\to 2} = -\int_{V_1}^{V_2} P.dV \qquad ; \quad W_{1\to 2} > 0$$

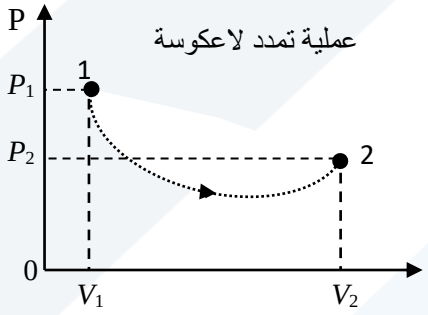
- الحالة b تمثل عملية تمدد، أي أنّ dV موجب، والعمل الذي تنجزه الجملة يكون سالباً ويساوي إلى:

$$W_{1\to 2} = -\int_{V_1}^{V_2} P.dV \qquad ; \qquad W_{1\to 2} < 0$$

حالة عملية لاعكوسة (Irreversible process)

بما أنّ الطريق الذي تسلكه الجملة بين الحالتين البدائية والنهائية لايكون معروفاً ، فإنّه يتمّ تمثيل العملية اللاعكوسة بمنحني P(V) وهمي (منقط).

كما أنّ **العمل الذي تتبادله الجملة لايكون مساوياً إلى المساحة المحصورة تحت هذا المنحني الوهمي.**

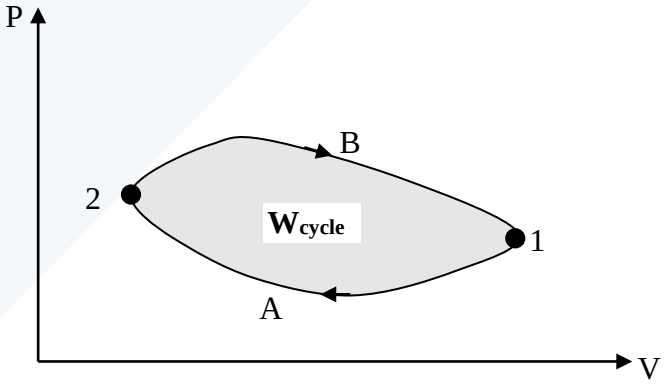


$$W_{1\to 2} \neq -\int_{V_1}^{V_2} P.dV$$

حالة دارة مغلقة (Closed Cycle)

حتى تتمكن الآلة من العمل باستمرار فإنّها يجب أن تنجز عمليات دورية مكررة، وحتى يكون عملها جيّداً يجب أن تكون الحالة النهائية لوسيط التشغيل مطابقة للحالة البدائية له. نسمي سلسلة العمليات هذه بـ: **دارة.**

يجب تحقيق عمليتين على الأقل من أجل إنجاز الدارة.



يكون العمل الذي تتبادله الدارة 1A2B1 يساوي:

$$W_{cycle} = W_{1\to A\to 2} + W_{2\to B\to 1}$$

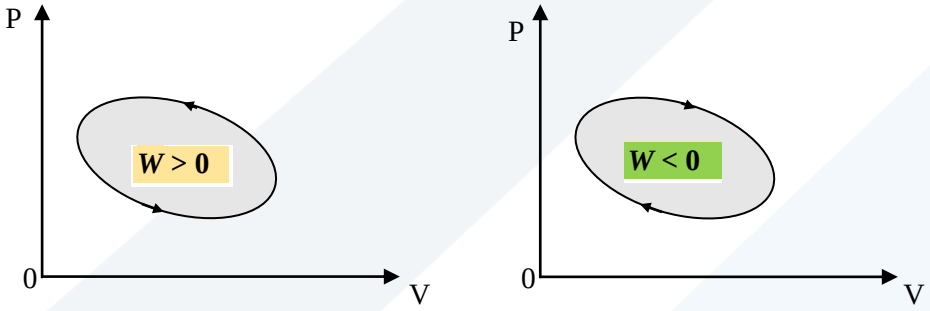
حيث إشارة $W_{1\to A\to 2}$ معاكسة لإشارة $W_{2\to B\to 1}$، وبالتالي فإنّ عمل الدارة يساوي إلى مساحة السطح المحصور ضمن المنحني.

ملاحظة:

تكون الدارة:

محركة (engine) عندما يكون العمل سالباً (اتجاه الدوران مع عقارب الساعة)

مقاومة (resistant) عندما يكون العمل موجباً (اتجاه الدوران مع عقارب الساعة)



(a): العملية المحرّكة. **(b): العملية المقاومة.**

كمية الحرارة:

تعتبر كمية الحرارة مثل عمل تغيّر الحجم أحد أشكال انتقال الطاقة.

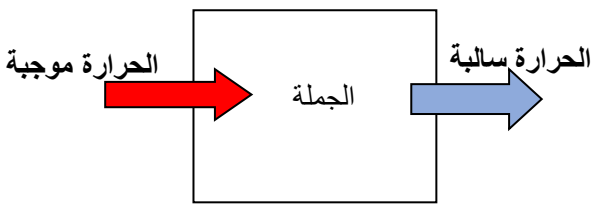
نعلم أنّ الطاقة الحرارية تنتقل من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأكثر برودة، وترتبط بشكل مباشر مع درجة الحرارة.

واحدة كمية الحرارة هي : جول [J] أو كيلوجول [kJ]. وواحدة كمية الحرارة النوعية هي: [J/kg] أو [kJ/kg].

(يمكن أيضاً قياسها بواحدة كالوري cal أو كيلو كالوري kcal حيث: 1kcal = 4,18 kJ).

ملاحظة:

- **نعتبر أنّ الحرارة موجبة عندما تتلقاها الجملة، ونعتبرها سالبة عندما تقدمها الجملة.**



- **الجملة الأديباتية (الكظيمة) هي الجملة التي لاتتبادل حرارة مع الوسط الخارجي (Q = 0).**

تكافؤ العمل وكمية الحرارة

الحرارة والعمل مقداران متكافئان، حيث يمكن تحويل كلّ منهما إلى الآخر. فمثلاً تنتج الحرارة عند الاحتكاك بين جسمين صلبين (الطاقة الميكانيكية تتحول إلى طاقة حرارية)، كما يمكن تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية.