

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

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

مفهوم الطاقة (The Energy)

في الترموديناميك، يمكن للجملّة الموجودة في حالة توازن معينة، والموصوفة ببارامترات الحالة أن تنتقل إلى حالة توازن جديدة. يتم وصف حالتي التوازن هاتين من خلال طاقتيهما الكلية، والتي هي عبارة عن مجموع الطاقة الميكانيكية، والطاقة الكامنة.

يدرس علم الترموديناميك تغيّرات الطاقة الكلية للجملّة بين حالتي توازن من خلال دراسة شكلين لانتقال الطاقة هما العمل، وانتقال الحرارة. ويعبّر المبدأ الأول في الترموديناميك عن انحفاظ الطاقة الكلية.

ينص قانون انحفاظ الطاقة (Principle of conservation of energy) على أن:

الطاقة لا تفتى، ولا تنشأ من جديد وإنما تتحول من شكل إلى آخر في أثناء العمليات الفيزيائية، والكيميائية.

فكميّة الطاقة الموجودة في جملّة معزولة عن الوسط الخارجي تبقى ثابتة، حيث أنّ أي نقصان في أي نوع من أنواع الطاقة في جملّة ما يجب أن يترافق مع زيادة في طاقة جملّة أخرى.

الطاقة عبارة عن مقدار متجانس واحده جول: J.

سنتعرف فيما يلي على بعض الأشكال المختلفة للطاقة التي تمتلكها الجملّة، وتلك المتبادلة مع الوسط الخارجي.

الأشكال المختلفة للطاقة (The different types of Energy)

الطاقة الحركية (Kinetic Energy)

تربط الطاقة الحركية بين كتلة الجملّة وسرعتها، فهي الطاقة المحتواة ضمن أي جسم متحرك. وتكون الطاقة الحركية لجملّة تساوي مجموع الطاقات الحركية لكل العناصر المكونة للجملّة فإذا كانت كتلة الجملّة m kg و سرعة مركز ثقلها C [m.s⁻¹] فإن طاقتها الحركية تعطى بالعلاقة:

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

الطاقة الكامنة (Potential Energy)

الطاقة الكامنة E_p هي الطاقة التي يكتسبها الجسم عندما يخضع إلى حقل من القوى الخارجية (حقل: قوى الجاذبية، كهربائي، مغناطيسي،). وترتبط بارتفاع الجسم عن سطح الأرض ، وتكون من أجل جسم كتلته m يقع على ارتفاع h عن سطح الأرض تساوي إلى:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

حيث g تسارع الجاذبية الأرضية.

ويُعطى تغير الطاقة الكامنة ΔE_p للجسم بين موقعين a و b لهما ارتفاعين مختلفين h_a و h_b بالعلاقة:

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot (h_b - h_a)$$

الطاقة الميكانيكية (Mechanical Energy)

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

$$E_m = E_p + E_c$$

الطاقة الداخلية (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.

طاقة الجملة المغلقة (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 و طاقتها الداخلية U .

$$E_s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot C^2 + E_p + U$$

الطاقة الحرارية (Thermal Energy)

الطاقة الحرارية هي الطاقة التي يمكن أن نقدمها إلى الجسم عن طريق أحد الأشكال الثلاثة الأساسية في انتقال الحرارة: التوصيل، أو الحمل، أو الإشعاع.

أشكال تبادل الطاقة في الترموديناميك (Types of Energy Transfer)

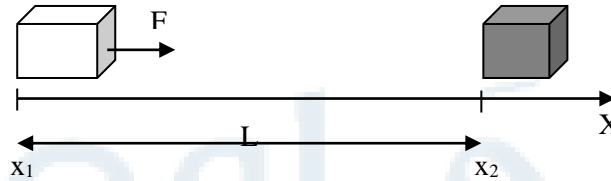
يعتبر انتقال الحرارة أحد أشكال انتقال الطاقة، وعندما تزداد درجة حرارة الجسم فإن طاقته تزداد، في حين أنه عند انخفاض درجة حرارة الجسم تنخفض طاقته. ويمكن لتغير درجة الحرارة أن يترافق، أو لا يترافق، بتبادل عمل.

العمل (Work)

العمل عبارة عن أحد أشكال الطاقة، فمثلاً تكون الطاقة اللازمة حتى ينتقل الجسم من x_1 إلى x_2 نتيجة تأثير القوة F عليه تساوي:

$$W_{x_1 \rightarrow x_2} = \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx = F \int_{x_1}^{x_2} dx = F \cdot L$$

وبما أن هذه الطاقة أدت إلى حركة الجسم لذلك نقول عن العمل بأنه طاقة ميكانيكية. ويمكن تمثيل هذه الطاقة على الإحداثيات (F, X) كما هو موضح بالشكل (1.3).



عمل تغير الحجم (volume work)

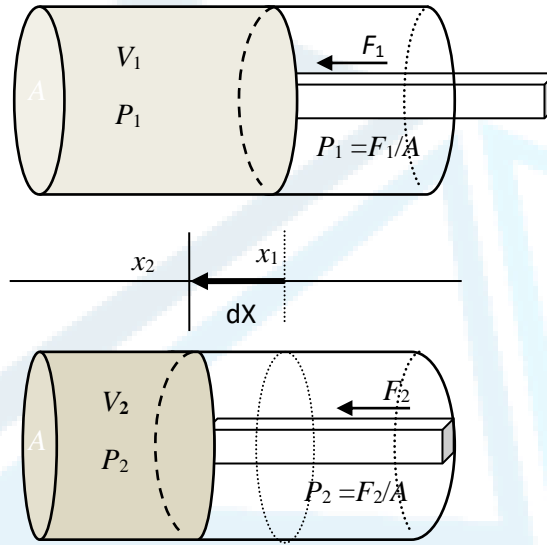
هو العمل الذي يترافق بتغير الحجم وهو عبارة عن عمل ميكانيكي. وتعتبر الغازات جماً مميزة للدراسة في الترموديناميك.

اصطلاح (Convention):

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

3 عمل قوى الضغط (Work pressure forces)

لنفرض أنّه لدينا جملة مكونة من كمية معينة من غاز مثالي موجود ضمن أسطوانة يتحرك فيها مكبس مساحة مقطعه A . يؤثر الغاز على المكبس بضغط مقداره P_1 ، و يوجد المكبس في حالة توازن ترموديناميكي مع الوسط المحيط
عند الضغط على المكبس بقوة F_2 فإنّ الغاز سيخضع للضغط F_2/A و سيتغير حجمه من V_1 إلى V_2 ، ويضغط على السطح الداخلي للمكبس (الشكل 2.3). لندرس الانتقال الجزئي اللامتناهي في الصغر dx :



العمل المنجز = جداء القوة في الانتقال،

فإنّ العمل العنصري المنجز (عمل الانضغاط) يساوي إلى:

$$\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l} = P_{ext} \cdot A \cdot dx$$

$$\Rightarrow W_{1 \rightarrow 2} = \int_{x_1}^{x_2} P_{ext} \cdot A \cdot dx = \int_{V_1}^{V_2} P_{ext} \cdot (-dV) = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$\Rightarrow W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

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

حالة عملية عكوسة (Reversible process)

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

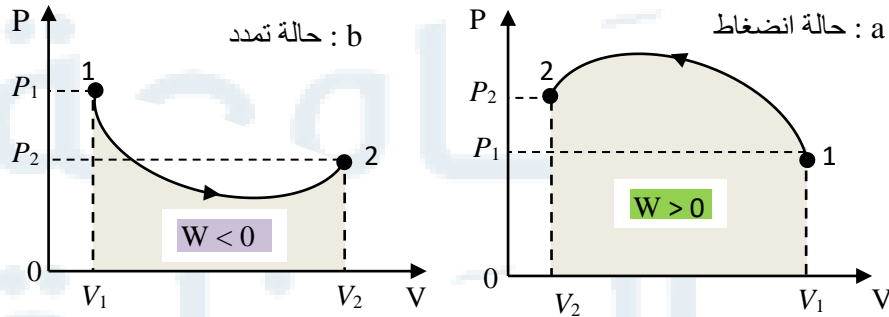
يُعطى العمل الذي تتلقاه الجملة عند انتقالها من الحالة المتوازنة 1 الموصوفة بالبارامترات (P_1, V_1, T_1) إلى الحالة المتوازنة 2 حيث (P_2, V_2, T_2) بالعلاقة:

$$W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

يجب الانتباه إلى الإشارة السالبة.

التمثيل البياني

يتعلق العمل الذي تتبادله الجملة بالطريق الذي تسلكه الجملة لنتقل من الحالة المتوازنة 1 (P_1, V_1, T_1) إلى الحالة 2 (P_2, V_2, T_2) ، ولا يتعلق فقط بالحالتين البدائية والنهائية. حيث يمكن تمثيل الحالة البدائية 1 والحالة النهائية 2 على مخطط كلايرون (P, V) بنقطتين (P_1, V_1) و (P_2, V_2) . وبما أنه في العملية العكوسة تكون جميع العمليات الجزئية المكونة للعملية في حالة توازن، فإنه 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 $\int_{V_1}^{V_2} P dV$ بالمساحة المحصورة تحت المنحني $P(V)$ الممثل للعملية على المخطط (P, V) .

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

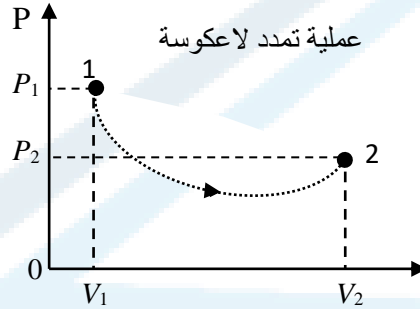
$$W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \quad ; \quad W_{1 \rightarrow 2} > 0$$

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

$$W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \quad ; \quad W_{1 \rightarrow 2} < 0$$

حالة عملية لاعكوسة (Irreversible process)

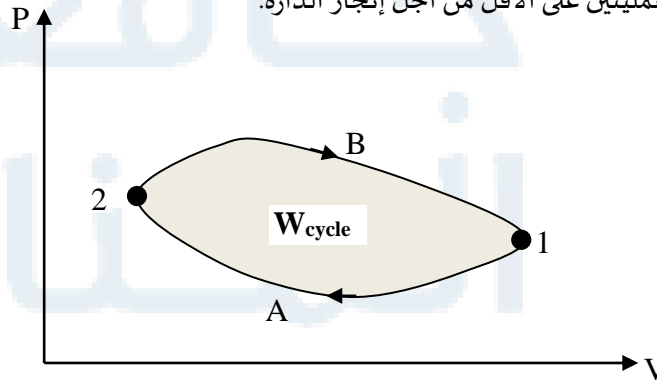
تمثل العملية اللاعكوسة بمنحني $P(V)$ وهي (منقط)؛ لأنَّ الطريق الذي تسلكه الجملة بين الحالتين البدائية والتهائية لا يكون معروفاً. كما أنَّ العمل الذي تتبادله الجملة لا يكون مساوياً إلى المساحة المحصورة تحت هذا المنحني الوهبي.



$$W_{1 \rightarrow 2} \neq - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

حالة دائرة مغلقة (Closed Cycle)

حتى تتمكن الآلة من العمل باستمرار فإنَّها يجب أن تنجز عمليات دورية مكررة، وحتى يكون عملها جيداً يجب أن تكون الحالة النهائية لوسيط التشغيل مطابقة للحالة البدائية له. نسي سلسلة العمليات هذه بـدائرة. ويجب تحقيق عمليتين على الأقل من أجل إنجاز الدارة.



يكون العمل الذي تتبادله الدارة 1A2B1:

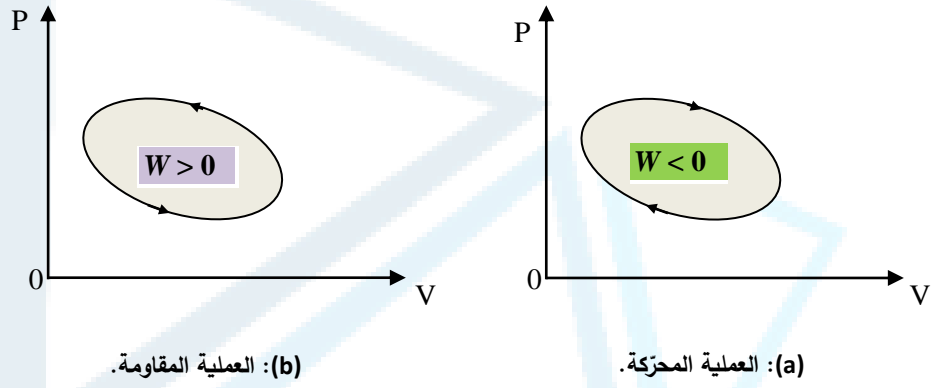
$$W_{\text{cycle}} = W_{1 \rightarrow A \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow B \rightarrow 1}$$

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

ملاحظة:

تكون الدارة:

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



كمية الحرارة:

تعتبر كمية الحرارة مثل عمل تغير الحجم فهما شكلان مختلفان لانتقال الطاقة. بينت التجارب أن الطاقة الحرارية تنتقل من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأكثر برودة. والحرارة مقدار مميز للعملية لاتظهر إلا عند حدود الجملة، لها نفس متحولات الطاقة الداخلية، وترتبط بشكل مباشر مع درجة الحرارة.

تقاس كمية الحرارة بـ جول J أو كيلوجول kJ. أما كمية الحرارة النوعية فتقاس بـ J/kg أو kJ/kg.

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

ملاحظة:

نعتبر أن الحرارة موجبة عندما تتلقاها الجملة، ونعتبرها سالبة عندما اقدمها الجملة. ندعو الجملة التي لاتتبادل حرارة مع الوسط الخارجي ($Q=0$) بالجملة الأديباتية (الكظيمة).

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.