الفصل السابع

الديناميكا الحرارية (Thermodynamics)

7-1 متغيّرات الحالة (State Variables)

في الديناميكا الحرارية نناقش عادة سلوك مجموعة محدّدة من الجزيئات نسميها **النظام** ، وقد يكون النظام هو جزيئات الغاز في وعاء أو الجزيئات في المحلول أو غيرها بشرط أن يكون النظام محدّدا ليمكننا من إعطاء وصف واضح له .

لوصف النظام نستخدم كميات معينة تنطبق على النظام بأكمله أو على جزء محدّد منه ، فالضغط (P) ودرجة الحرارة (T) والحجم (V) هي كميات نموذجية تستخدم على نطاق واسع في وصف النظام ويمكن قياسها بسهولة وتعتبر متغيّرات حالة للنظام .

7-2 القانون الأول للثرموداينمك (The First Law of Thermodynamics)

لكل نظام في حالة معينة كمية محدّدة من الطاقة الداخلية (U) ويمكن أن تتغيّر هذه الطاقة للنظام بإحدى الطريقتين :

1- بإنتقال الطاقة الحرارية إلى النظام أو منه .

2- بأن يبذل النظام شغلا ضد بعض أنواع القوى الخارجية أو تبذل عليه .

ويمكن تلخيص ذلك بالصيغة الرياضية الآتية والتي هي صيغة القانون الأول للثرموداينمك :

$$\boxed{\Delta U = \Delta Q - \Delta W ...(1-7)}$$

حيث أن :

ΔU : مقدار التغيّر في الطاقة الداخلية للنظام .

ΔQ : كمية الحرارة التي يكتسبها النظام (+) من المحيط ، أو يفقدها النظام (-) إلى المحيط .

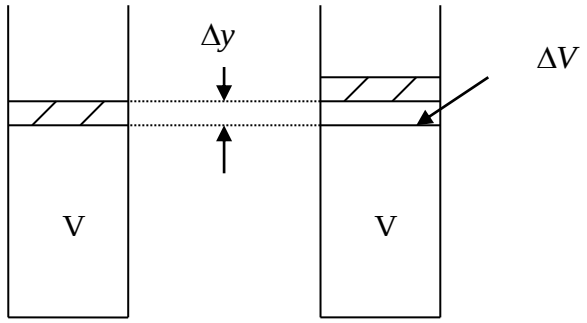
ΔW : مقدار الشغل المبذول من المحيط على النظام (-) ، أو من قبل النظام على المحيط (+) .

3-7 تطبيقات على القانون الأول للثرموداينمك

(Applications on the First Law of Thermodynamics)

7-3-1 الشغل أثناء تغيّر الحجم (The Work During Change of Volume)

تحدث هذه العملية للنظام مع بقاء ضغطه ثابتا ، لنأخذ النظام المبيّن في الشكل (7 - 1) والذي يمثّل كمية من الغاز محصورة في إسطوانة مغلقة بمكبس . الآن ما هي كمية الشغل الذي يبذله الغاز عندما يتمدّد ويدفع المكبس إلى الأعلى قليلا ؟



شكل (7 – 1) : كمية من الغاز محصورة فى إسطوانة مغلقة بمكبس

إذا كانت إزاحة المكبس صغيرة فإن ضغط الغاز لن يتغيّر كثيرا وعليه فإن القوة التي يؤثر بها الغاز على المكبس تساوي :

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA$$

حيث أن :

A : مساحة سطح المكبس ، وإذا كانت الإزاحة Δy فإن الشغل المبذول بواسطة الغاز على المكبس هو :

$$\Delta W = F\Delta y$$

$$\Delta W = (PA)(\Delta y) = P(A\Delta y)$$

لكن الكمية $(A\Delta y)$ هي التغيّر في الحجم (ΔV) إذن :

$$\boxed{\Delta W = P\Delta V ...(2-7)}$$

وتنطبق هذه المعادلة على أي نظام يظل ضغطه ثابتا أثناء تغيّر الحجم .

7-3-2 الشغل تحت حجم ثابت (The Work Under Constant Volume (Isovolumic Processes

تحدث هذه العملية للنظام مع بقاء حجمه ثابتا وفي هذه العملية فإن الشغل (ΔW) يساوي صفرا لأن الحجم لم يتغيّر ($\Delta W = P\Delta V$) لذلك فإن قانون الديناميكا الحرارية الأول يصبح كالتالي :

$$\boxed{\Delta U = \Delta Q ... (3-7)}$$

ومعنى ذلك أن الحرارة التي تعطى للنظام تذهب كلها في زيادة الطاقة الداخلية للنظام .

7-3-3 الشغل عند درجة حرارة ثابتة (The Work Under Constant Temperature (Isothermal Processes

في هذه العملية تتغيّر حالة النظام دون أن تتغيّر درجة حرارته ، وبما أن درجة حرارة الغاز هو مقياس لطاقته الداخلية لذلك فإن هذه العملية تكون ثابتة الطاقة الداخلية ، وبتطبيق قانون الديناميكا الحرارية الأول على هذه الحالة نحصل على :

$$\Delta U = u_2 - u_1 = 0$$

$$\boxed{\Delta Q = \Delta W ... (4-7)}$$

أي أن الحرارة المعطاة للنظام تتحوّل بالكامل إلى شغل أو أن الشغل المعطى يتحوّل إلى حرارة .

7-3-4 العملية الأديباتيكية (Adiabatic Process)

وهي العملية التي تحدث للنظام بحيث لا تدخله ولا تخرج منه حرارة ، ويتم ذلك إما بعزل النظام عن المحيط عزلا جيدا ، أو بالقيام بالعملية بسرعة كبيرة جدا بحيث نضمن عدم إنتقال الحرارة من النظام أو إليه ، وبتطبيق قانون الديناميكا الحرارية الأول على هذه العملية نحصل على :

$$\boxed{\Delta U = -\Delta W ... (5-7)}$$

ونستطيع أن نستنتج أنه في العملية الأديباتيكية :

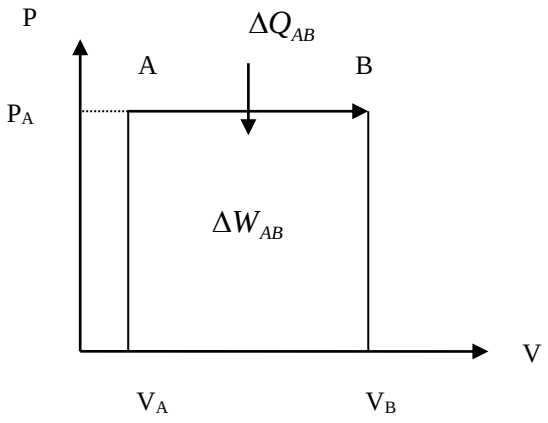
1- يكون التغيّر في طاقة النظام الداخلية مساويا إلى القيمة المطلقة للشغل .

2- عندما يتقلص النظام ، يكون الشغل سالبا ، وتزداد الطاقة الداخلية للنظام ، وعادة ما يصاحب هذه الزيادة إرتفاع في حرارة النظام .

3- عندما يتمدّد النظام ، فإن الشغل يكون موجبا ، وتنخفض الطاقة الداخلية للنظام ، وعادة ما يصاحب هذا الإنخفاض نقصان في حرارة النظام .

4-7 العمليات الدورية (Cyclic Processes)

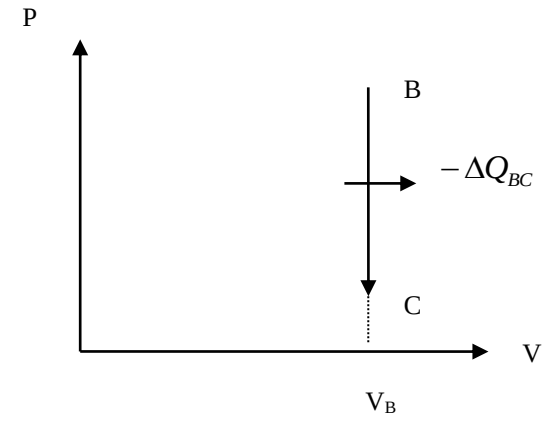
إذا بدأنا في تسخين الغاز ببطء عندئذ سوف يزداد الحجم من A إلى B ويظل الضغط ثابتا أثناء هذه العملية إضافة إلى ذلك فإن كمية من الحرارة (ΔQ_{AB}) تضاف إلى النظام ، وكما هو مبيّن في الشكل (7 – 2) وحيث أن الغاز يتمدّد فإنه يبذل أيضا كمية من الشغل (ΔW_{AB}) تساوي المساحة المظللة .



$$\Delta W = \Delta W_{AB}, \Delta Q = \Delta Q_{AB}$$

شكل (7 – 2) : تسخين الغاز ببطء عند ضغط ثابت

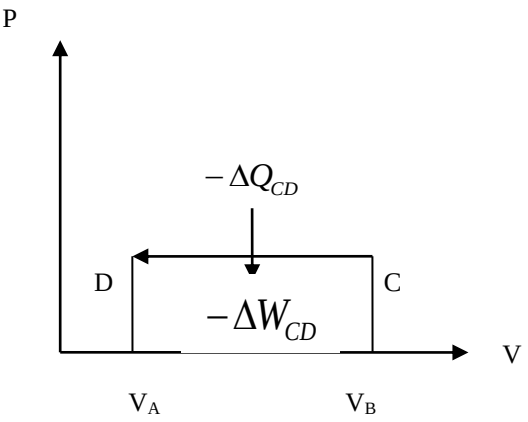
لنبرّد بعد ذلك النظام ببطء بحيث يظل الحجم ثابتا وهذا هو الجزء BC من الدورة ، حيث يلاحظ بأن الشغل المبذول في هذا الجزء من الدورة يساوي صفرا (لاحظ المساحة تحت هذا المنحني تساوي صفرا كذلك) ولكن الحرارة تنتزع من النظام في هذه الحالة إذن ($\Delta Q = -\Delta Q_{BC}$) كما هو مبيّن في الشكل (7 – 3) .



$$\Delta W = 0, \Delta Q = -\Delta Q_{BC}$$

شكل (7 – 3) : تبريد الغاز ببطء عند حجم ثابت

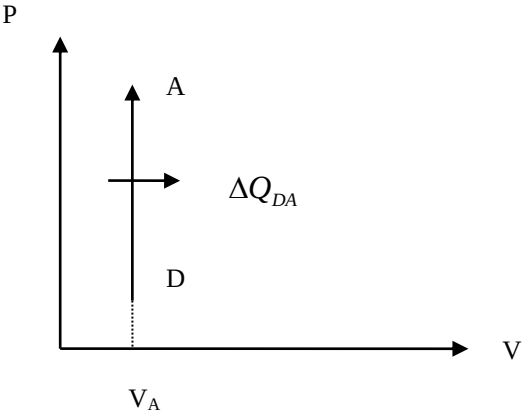
الخطوة التالية من الدورة مبيّنة في الشكل (7 – 4) ، الآن يبّرد الغاز تحت ضغط ثابت ولذلك فإن الغاز ينكمش وعليه فإن (ΔV) سالب ولهذا السبب يبذل النظام شغلا سالبا يساوي ($-\Delta W_{CD}$) وهو يساوي المساحة تحت المنحني ، وحيث أن النظام يفقد حرارة في هذه الخطوة فإن ($\Delta Q = -\Delta Q_{CD}$) .



$$\Delta W = -\Delta W_{CD}, \Delta Q = -\Delta Q_{CD}$$

شكل (7 – 4) : تبريد الغاز ببطء عند ضغط ثابت

وفي النهاية تستكمل الدورة بالخطوة المبيّنة في الشكل (7 – 5) وهنا يسخّن الغاز مع حفظ الحجم ثابتا وعندئذ يزداد الضغط من (D) إلى (A) ولا يبذل النظام أي شغل في هذه العملية ولكن الحرارة تضاف إلى النظام وعليه فإن ($\Delta Q = \Delta Q_{DA}$) .

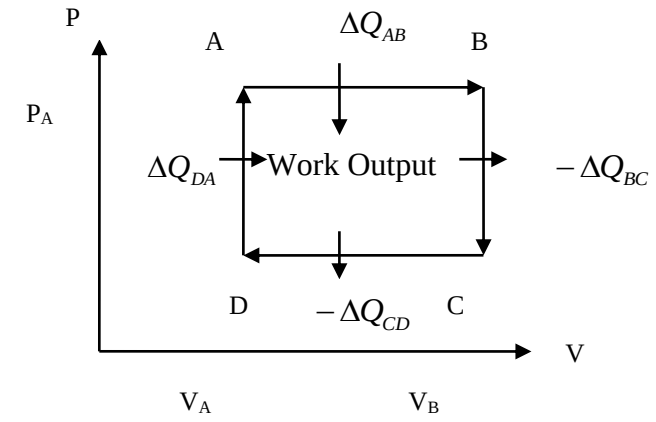


$$\Delta W = 0, \Delta Q = \Delta Q_{DA}$$

شكل (7 – 5) : تسخين الغاز ببطء عند حجم ثابت

الدورة الكاملة موضحة في الشكل (7- 6) حيث يلاحظ أن صافي الشغل المبذول بواسطة النظام هو ببساطة المساحة ($\Delta W_{AB} - \Delta W_{CD}$) وفي هذه الحالة وكما في جميع الحالات الأخرى فإن :

صافي الشغل المبذول أثناء الدورة الديناميكية الحرارية هو المساحة المحصورة داخل الدورة في الرسم البياني (P-V) الذي يمثلها .



شكل (7 – 6) : دورة ديناميكية حرارية بسيطة ، الشغل المبذول يساوي المساحة المحصورة داخل الدورة

مثال : ضُغِط غاز مثالي في إسطوانة ببطء شديد إلى ثلث حجمه الأصلي وأثناء هذه العملية ظلت درجة الحرارة ثابتة وكان الشغل المبذول في الإنضغاط هو ($45Joule$) ، إحسب :

1- مقدار التغيّر في الطاقة الداخلية للنظام ؟

2- كمية الحرارة التي إنتقلت إلى الغاز ؟

الحل :

1- بما أن درجة الحرارة للنظام بقيت ثابتة أثناء التغيّر فإن مقدار الطاقة الداخلية بقيت ثابتة أيضا :

$$\boxed{\Delta U = 0}$$

2- من قانون الديناميكا الحرارية الأول :

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \Rightarrow 0 = \Delta Q - \Delta W$$

$$\Delta Q = \Delta W \Rightarrow \Delta Q = \Delta W = 45Joule$$

مثال : في عملية معيّنة ، تم تزويد نظام بحرارة ($33.5kJ$) بينما كان يبذل شغلا مقداره ($6kJ$) ، ما مقدار التغيّر في الطاقة الداخلية للنظام أثناء هذه العملية ؟

الحل :

من المعادلة (7 – 1) :

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W ...(1-7)$$

$$\Delta U = 33.5 - 6 \boxed{\therefore \Delta U = 27.5kJ}$$