الباب الثالث

الشـــغل

الشغل :

التعبير عن الشغل في الديناميكا الحرارية يعني تبادل الطاقة بين مجموعة وبين ما يحيط بها . فمثلاً إذا كان لدينا غاز ساخن موضوع في أسطوانة ضـ.يقة تحـ.ت تأثير ضغط منتظم، فإن الحركة الانتقالية للمكبس نتيجة تمدد الغاز ينشأ عنها شغل خارجي يظهر على هيئة حركة المنطقة المحيطة به، وهذا الشغل يـ.سمى بالـ.شغل الخارجي .

وإذا كان الشغل المبذول بواسطة جزء واحد من مجموعة على جزء آخر مـ.ن نفس المجموعة؛ فهذا الشغل المبذول يسمى الشغل الداخلي . ومثل ذلك التفاعل بين الجزيئات أو الالكترونات .

ومن الأمثلة السابقة يتضح أن الشغل يكون أحياناً ميكانيكيـ.ا، أو كهربائيـ.ا، أو مغناطيسيا أو يكون في صور أخرى مختلفة . وسوف ندرس الشغل الميكانيكي فقط الذي يمكن التعبير عنه بحاصل ضرب القوة في الإزاحة ممثلاً بالمعادلة:

$$W = \int F \cos \theta \, ds$$

وفي معظم الحالات التطبيقية يكون الشغل مرتبطاً بتغير الحجم ، لذلك يمكننـ.ا وضع العلامة السابقة في صور مختلفة ومألوفة لنا . ونفرض أنه لدينا مجموعة ذو شكل لا على التعيين كما في الشكل التالي، ثـ.م أثرنـ.ا عليهـ.ا بـ.ضغط خـ.ارجي هيدروأستاتيكي P_e فتغير حدود المجموعة نتيجة الضغط الخارجي الممـ.ثلة بالخط المستمر إلى الحدود الممثلة بالخـ.ط غير المستـ.مر ، وكانت القوة الخارجيـ.ة dF المؤثرة على جـ.زء من السطح dA حيث : $dF = P_e \, dA$

وإذا تحرك الجزء إلى الخارج مسافة dS ، فإن الشغل المبـ.ذول ضـ.د القـ.وة الخارجية يكون : $Pe \, dA \, dS = dF \, dS = dW$.

وإذا تكلمنا حول حدود السطح فإن الشغل : $dW = P_e A\, dS$

حيث A مساحة السطح الكلية . ولكن AdS يمثل الزيادة في حجم المجموعة dV ؛ لذا فالشغل الخارجي يكون : $dW = P_e\, dV$.

وفي هذه المعادلة dV تمثل التغير في حجم المجموعة، وأن P_e هو الضغط الخارجي . وفي النظام المتري تكون وحدات الشغل هي الجول عندما يكون الضغط P_e بوحدات نيوتن /م^2 والحجم بالمتر المكعب .

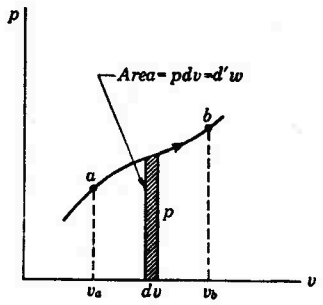
وإذا كانت العملية عكسية فمن التعريف تكون المجموعة المحدودة في حالة اتزان، ويصبح الضغط الخارجي P_e مساويا للضغط الداخلي P . وتحت هذه الشروط يمكننا إحلال P بدلاً من Pe ، كما يمكننا التعبير عن p بدلالة V و T ، وتصبح معادلة الحالة للمجموعة : $dW = pdV$.

ولقد كتبنا d'W في المعادلة السابقة بدلاً من dW بغرض التوضيح؛ بأن هذه الكمية ليست الكمية التفاضلية بالضبط " إلى حد بعيد يكون d'W يمثل كمية الشغل الصغيرة ، وليست تفاضل دالة الشغل W لحالة المجموعة.

والشغل d'W يكون موجبا عندما يكون الشغل المبذول بواسطة المجموعة على ما يحيط بها. وفي مثل هذه الحالة حجم المجموعة يزداد، وأن dV موجب . وعندما يبذل شغل على المجموعة فإن الحجم يتناقص، وإن d'W, dV يكونا سالبين .

وإذا قسمنا طرف المعادلة على كل من الكتلة m ، أو عدد الجزيئات n للمجموعة ، فإن الطرف الأيسر يصبح الشغل المبذول لوحدة الكتل ويرمز له d'W، والطرف الأيمن يصبح حاصل ضرب الضغط في التغيير في الحجم النوعي pdv ، لذا فالمعادلة تصبح : $p'w = pdv$.

وأي عملية عكسية يمكن تمثيلها بواسطة خط في المستوى p-v ، هذا الخط هو مسقط على المستوى p-v للخط الذي يمثل العملية على السطح p-v-T وأن الشغل d'W (لوحدة الكتل أو لكل مول) المبذول في حالة تغير حجم نوعي صغير dv يمكن تمثيله بيانيا بالمساحة الرأسية الضيقة، أو المظللة في الشكل التالي :



المساحة التي تمثل الشغل في المستوىp-v

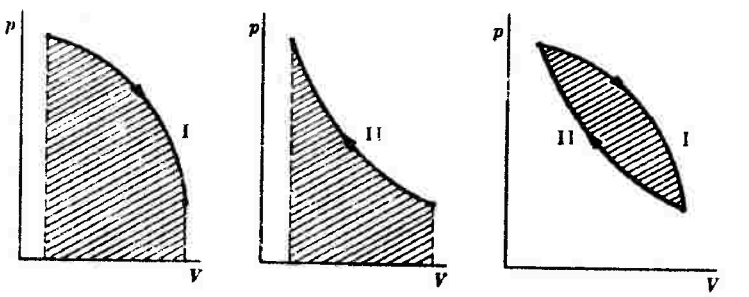
ونجد أن الشغل الكلي المبذول W عندما يزداد الحجم زيادة محدودة (طفيف.ة) من الحالة a إلى الحالة b يكون كما يلي :

$$W = \int_{v_a}^{v_b} pdv$$

وهذا يتناسب مع المساحة المحدودة بالمنحنى الذي يمث.ل العملي.ة، ومح.ور الحجم، والخطان العموديان عند النقطتين va و vb . ويكون الشغل موجبا إذا كانت العملية في الاتجاه الموضح، أي من الحالة a إلى الحالة b . وإذا كانت العملية في الاتجاه المضاد، فإن الشغل المبذول على المجموعة يكون سالباً .

كما أن العمليات الدورية Cyclic processes تلعب دوراً مهما في الـ.ديناميكا الحرارية ؛ فالعمليات الدورية هي: العملية الت.ي يح.دث فيه.ا تغي.رات معين.ة للمجموعة ثم تعود لحالتها الأصلية .

وهذه العلمية ممثلة في المستوىp-v في الشكل التالي لتمدد وانضغاط غ.از . والشغل النهائي المبذول بواسطة المجموعة يتناسب مع المساحة المحدودة بواس.طة المنحنى المغلق الذي يمثل العملية الدورية .



(a) الشغل الموجب أثناء التمدد

(b) الشغل السالب أثناء الانضغاط

(c) الشغل النهائي

إيجاد الشغل للعمليات الثلاث لغاز مثالي :

١ – الشغل للعمليات الأيزوثيرمالية W_T (عند ثبوت درجة الحرارة T) :

الشغل W_T يكون ممثلا بالمساحة المظللة في الشكل التالي والرمز T يدل على أن الشغل قد تم عند ثبوت درجة الحرارة حيث :

$$W_T = \int_{v_a}^{v_b} pdv$$

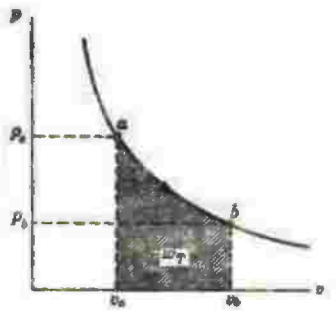
وفي حالة الغاز المثالي مثلاً ، تكون معادلة الحالة هي :

$$pv = RT$$

$$p = \frac{RT}{v}$$

وبالتعويض نحصل على:

$$W_T = \int_{v_a}^{v_b} \frac{RT}{v} dv = RT \ln \frac{v_b}{v_a}$$



الشغل في العملية الأيزوثيرمالية

ويمكن وضع المعادلة السابقة في صورة أخرى حيث T ثابتة فإن:

$$p_a v_a = p_b v_b = RT$$

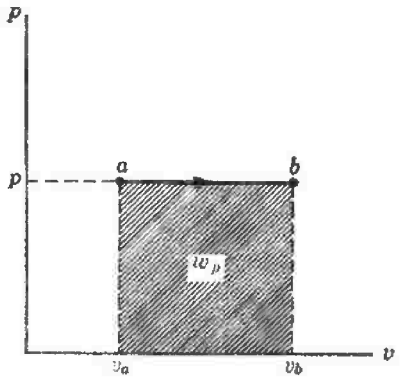
وبالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على:

$$W_T = p_a v_a \ln \frac{v_b}{v_a} = RT \ln \frac{p_a}{p_b},$$

٢ – الشغل للعملية ثابتة الحجم (عند ثبوت الحجم النوعي v) وبما أن الحجم النوعي ثابت في هذه العملية لذا فالشغل المبذول $w_v = 0$ (لأن $dv = 0$) .

٣ – الشغل في العملية ثابتة الضغط :

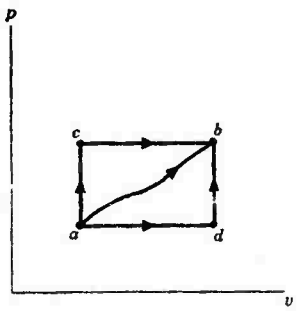
الشغل في العملية التي يكون فيها الضغط ثابت w_p . لذا فالـ.شغل w_p يمثـ.ل بالمساحة المظللة، كما في الشكل التالي :



$$w_p = p \int_{va}^{vb} dv = p(v_b - v_a),$$

٣-٢ – اعتماد الشغل على المسار :

الشغل المبذول بواسطة المجموعة لتنتقل من الحالة الابتدائيـ.ة a إلـ.ى الحالـ.ة النهائية b له ثلاثة مسارات: الأول: هو acb ، والثاني: هو adb ، والأوسط ab ، والشكل التالي يوضح تلك المسارات . كما أن قيمة الشغل المبذول تختلف باختلاف المسار .



والشغل النهائي W يساوى الشغل في الحالة الابتدائية (a) مضافاً إليه الـ.شغل الواقع على المجموعة؛ لكي تنتقل من الحالة a إلى الحالة b .

وهذا بالطبع يعتمد اعتماداً كلي على المسار الذي تسلكه المجموعة . ولذا تتوقع القيمة العددية للشغل المبذول بواسطة المجموعـ.ة علـ.ى المـ.سار الـ.ذي تـ.سلكه المجموعة؛ ونتيجة لذلك فالشغل ليس من خصائص المجموعة .

الأســـــــــــئلة

1 – أدخل بخار تحت ضغط ثابت 20 ضغط جوي إلى أسطوانة آلة بخارية، طول الحركة النظامية 60cm ، وقطر الأسطوانة 20cm ، احسب الشغل المبذول بواسطة البخار لكل حركة بالجول .

٢ – عند تحويل كيلو جرام من الماء إلى بخار تحت ضغط جوي يشغل حجم يساوي $1.67\ m^3$. احسب الشغل المبذول ضد الضغط الجوي .

٣ – خمسة كيلو جرام من الأوكسجين تشغل حجم مقداره $10\ m^3$ عند درجة حرارة $300°K$. أوجد الشغل اللازم لخفض الحجم إلى $5m^3$.

(a) عند ضغط ثابت.

(b) عند درجة حرارة ثابتة.

(c) ماذا تكون درجة الحرارة في نهاية العملية (a) ؟

(d) ماذا يكون الضغط في نهاية العملية (b) ؟

(e) وضح كل من العمليتين في المستوى $p - v$.

٤ – غاز مثالي عند درجة حرارة T_1 وضغط P_1 تمدد عكسيا ضد مكبس؛ فأصبح حجمه ضعف حجمه الأصلي، وكانت درجة حرارة الغاز تتغير أثناء التمدد بحيث إن عند كل لحظة تكون العلاقة $p = KV$ صحيحة ، حيث k ثابتة .

(a) ارسم رسما تخطيطيا للعملية في المستوى p-v .

(b) أوجد الشغل المبذول بواسطة الغاز بدلالة P_1 و T_1 و R و n .

٥ – غاز مثالي تحت ضغط P_1 وحجم V_1 سخن تحت حجم ثابت إلى أن تضاعف الضغط ، ثم سمح له بالتمدد حراريا إلى أن انخفض الضغط إلى قيمته الأصلية ، ثم وضع تحت ضغط ثابت إلى أن عاد الحجم لقيمته الأصلية :

(a) ارسم العملية في المستوى $p - v$ والمستوى $P - T$.

(b) احسب الشغل الكلي المبذول في العملية، إذا كانت: $n=2$ Kgm moles

6 – احسب الشغل المبذول بواسطة الغاز المتمدد في الطرف الأيسر للأنبوبة حرف U ، علما بأن العملية عكسية . اشرح لماذا الشغل لا يساوي الـ.شغل الـ.لازم لرفع مركز الثقل للزئبق ؟

٧ – إذا كانت معادلة الحالة لكلاوسيوس هي :

$$P\,(v-b)\,RT$$

(a) احسب معامل التمدد الحجم والانضغاطي لمادة تخضع لهذه المعادلة .

(b) وضح أنه إذا كانت $a = 0$ ؛ فالكميات المناظرة لغاز فان درفال تـ.ؤول إلى التعبيرات المشتقة في (a) .

٨ – إذا كانت معادلة الحالة لديترك هي :

$$P\,(v-b)\,\mathrm{Exp}\,(\frac{a}{v}RT) = RT$$

حيث a و b ثوابت تختلف باختلاف الغازات:

(a) باستخدام العلاقة الدورية المعطاة بالمعادلة. أوجد معامل التمدد الحجـ.م لمادة تخضع لهذه المعادلة .

(b) عند درجات الحرارة المرتفعة، والحجوم النوعية الكبيرة جميع الغازات تقترب من الغاز المثالي . برهن على أن معادلة ديترك والتعبير عن β المستخرج من (a) كلاهما يؤلان للغاز المثالي عند القيم الكبيرة لكل من T و v .

٩ – أوجد معامل التمدد الحجمي والاذ.ضغاطي بدلالـ.ة الكثافـ.ة ρ والتفاضـ.لات الجزئية لها .

١٠ – أسطوانة بها مكبس تحتوي على $1\ m^3$ من سائل تحت ضغط 1 atm ودرجة حرارة 300°K . ازداد الضغط عكسيا إلى 100 atm عند درجـ.ة حـ.رارة ثابتة . أوجد الشغل المبذول على المجموعة .

(a) إذا كان السائل غاز مثالي .

(b) إذا كان سائل معامل انضغاطه مساويا لمعامل اذ.ضغاط المـ.اء تقريبـ.ا ويساوي $5 \times 10^{-10}\ (n/m^2)^{-1}$.

(c) أوجد التعبير في الحجم لكل سائل .

١١ – احسب الشغل المبذول أثناء انضغاط واحد لتـ.ر (يـ.ساوي 10^{-3} m^3) مـ.ن الزئبق عند درجة حرارة ثابتة 0°C من 1 atm إلى 4000 atm .

(a) بفرض أن K ثابتة وتساوي قيمتها عند الضغط الجوي .

(b) إذا أخذنا في الاعتبار تغير K بالضغط .

(c) حقق الغرض القائل بأن الحجم يمكن اعتباره ثابتا، وذلك بحساب نـ.سبة التغير في الحجم .

١٢ – إذا سخن الزئبق دون أن يتمدد . ما مقدار الارتفاع في درجة الحرارة الذي يحدث ضغطاً مساويا 4000 atm ؟ الحسابات التقريبية كافية ولكن وضحها بعناية .

* * *