الفصل الخامس

الشغل

يعرف الشغل في الثرموداينمك على انه تبادل الطاقة الحرارية بين النظام ومحيطه فالشغل في الميكانيك الكلاسيكي:

$$W = \int F.ds$$

F هي قوة خارجية تؤثر على الجسم وتحركه ازاحة اما s

اما في الثرموداينمك F تكون على نوعين:

- خارجية اذا كانت مسلطة من قبل المحيط على النظام (شغل خارجي، ve−)

- داخلية اذا كانت مسلطة من قبل اجزاء النظام على الاجزاء الاخرى منه (شغل داخلي، ve+)

الشغل المنجز من قبل اجزاء النظام دائما يكون موجب اما الشغل المنجز من قبل المحيط يكون سالب، هذا يفيدنا في معرفة نوع الشغل من خلال الاشارة.

توجد عدة قوانين لمعرفة الشغل ولكنها مشتقة من

$W = \int F.ds$ حيث تعتمد على نوع العملية التي تجري على النظام.

- <u>العملية الثرموداينميكية:</u>

هي عملية تغير النظام من حالة الى اخرى مثل رفع درجة حرارة النظام مثلا. وفي حالة تواجد النظام في حالة توازن ثرموداينميكي فيمكن تغير تلك الحالة عن طريق

تغير احدى خاصيات النظام او عدد منها مثل درجة الحرارة ، الضغط ، الحجم وغيرها وتسمى العملية باسم تلك العمليات التي تكون شبة مستقرة وتحدث ببطئ ويطلق عليها:

- العمليات العكوسة

هي العملية التي يتحول بها النظام من حالة الى حالة اخرى في ما لا نهايه من حالات التوازن اي ان النظام اثناء عملية التحول يكون متوازن ثرموداينميكيا ولا يحصل اي تبدد للطاقة باي شكل من الاشكال.

- العمليات الغير عكوسة

العملية التي يتحول بها النظام من حالة الى اخرى مع حصول تبدد بالطاقة والنظام يكون في البداية متزن وفي النهاية متزن وفي اثناء سير العملية فهو غير متزن وهذه العملية تحدث فقط باتجاه واحد ولا يمكن عكسها واذا حصل ذلك فانه يترك تغيرات دائمة في النظام.

- العملية الايزوثرمية

العملية تتم دون اي تغير في درجة حرارة النظام اي ان غلاف او حدود النظام تكون موصلة جيدة للحرارة بحيث يسمح للحرارة بالدخول والخروج فيها اذا تغيرت درجة حرارة النظام($dT=0$ اي ان T ثابت). وهي على نوعين:

1 –عملية ايزوثرمية بضغط ثابت $dP=0$ و $dT=0$

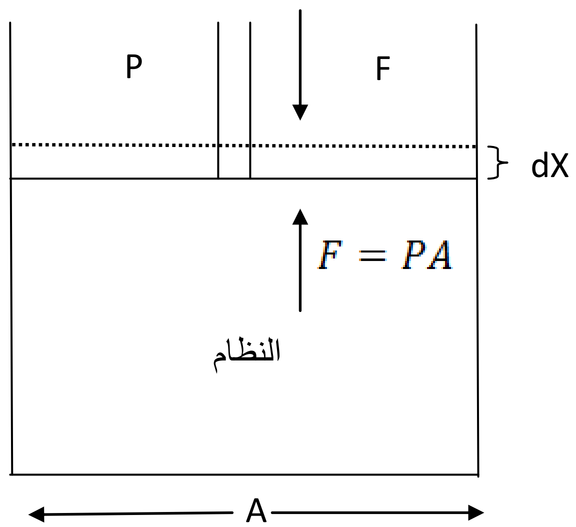
2 –عملية ايزوثرمية بحجم ثابت $dV=0$ و $dT=0$

- حساب الشغل في الثرموداينمك:

نفرض ان لدينا نظام داخل اسطوانة في اعلاها مكبس متحرك مساحة قاعدة الاسطوانة A و تساوي مساحة قاعدة المكبس.

عند حدوث عملية تمدد عكوسة فان المكبس سوف يتحرك مسافة اي ترفع الى الاعلى بمقدار ds بسبب القوة التي تولد مقدار من ضغط الغاز.

$$F = PA$$



الشغل المنجز من قبل النظام على المكبس هو:

$$\partial W = F.ds = PA.ds$$

$$Ads = dV$$

$$\partial W = PdV$$

الشغل النهائي

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$$P = F(V)$$

$$W = PdV$$

وتحدد الدالة من معادلة الحالة للنظام ونوع العملية الثرموداينميكية

$$\mathrm{PV} = \mathrm{nRT}$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

اذا كان ضغط النظام اعظم من ضغط الوسط المحيط فان عملية التمدد تصبح غير عكوسة.

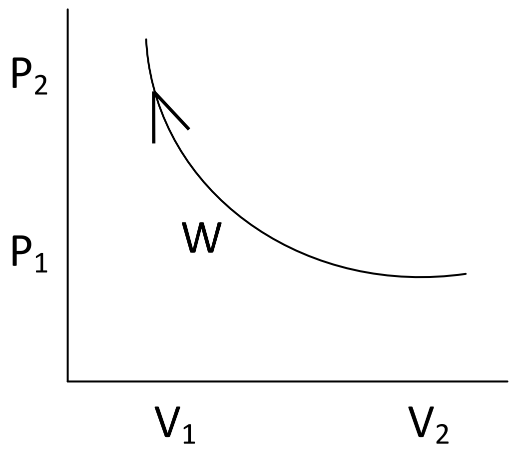
ان اعظم شغل نحصل عليه عندما تكون العملية عكوسة

(تمدد) $W < PdV$

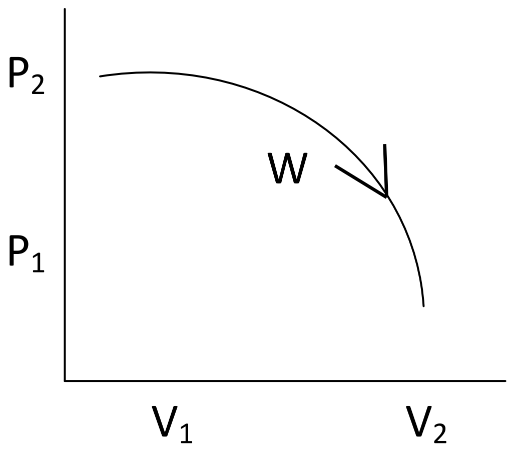
(تقلص) $W > PdV$

- حل معادلة الشغل:

لحل المعادلة: اذا كانت P ثابت فان $w=P(V_2-V_1)$ ولكن اذا كان $P=P(V)$ فان الوضع يختلف فلقد وجد انه عندما يتغير حجم اي نظام فان ضغطه يتغير ايضا ففي كل لحظه توجد قيمة انية للضغط والحجم ومن ثم يكون مخطط P-V كالتالي:



حالة كبس

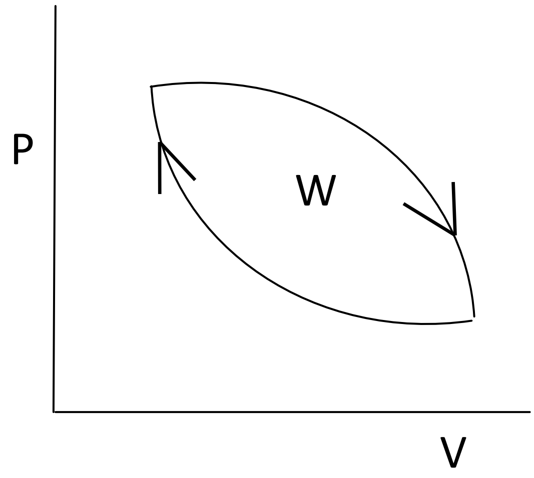


حالة تمدد

الشغل في كلا الحالتين هو $W = \int PdV$ وتمثل المساحة تحت المنحني

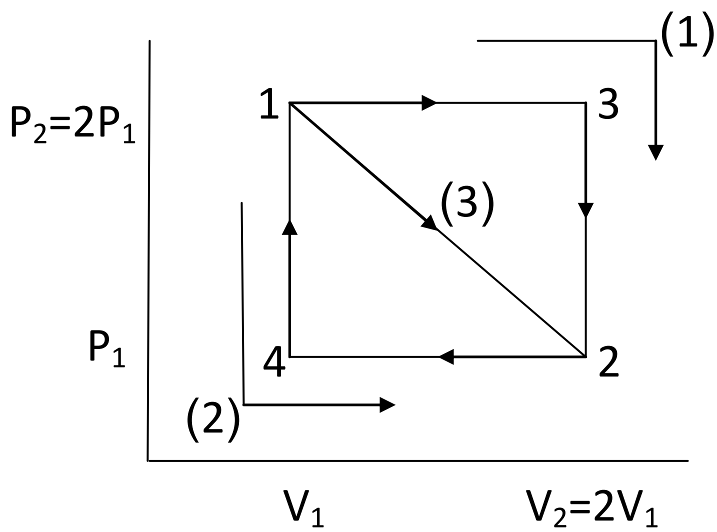
W_1 = قيمة موجبة و W_2 = قيمة سالبة.

الشغل النهائي خلال الدورة اي عند رجوع الغاز الى وضعه الطبيعي هو الفرق بين $W_1 - W_2$ اي المسار ليس بالضرورة يكون منحني بل يختلف حسب نوع العملية التي تجري على النظام. ولقد وجد ان الشغل يختلف باختلاف شكل المسار ولا يعتمد على القيمة النهائية والابتدائية لكل من P و V و T.



- <u>اعتماد الشغل على مسار العملية:</u>

مثال: نظام متزن حجمه V_1 وضغطه P_1 تحول الى حالة اتزان جديدة بعمليات ثرموداينمكية كما في الشكل حيث ان $V_2=2V_1$ و $P_2=2P_1$ اوجد الشغل المنجز خلال العمليات الثلاث بطريقة المساحة.



المسار الاول 2−3−1 ويتكون من عمليتين 3−1 و 2−3.

3−1 بضغط ثابت

المساحة هي $W = P_2(V_2 - V_1)$

$$W = 2P_1V_1$$

3−2 بحجم ثابت

المساحة $W = 0$

صافي الشغل 3−1 و 2−3

$$W_1 = 2P_1V_1$$

المسار الثاني 2−4−1 ويتكون من عمليتين 4−1 و 2−4.

4−1 بحجم ثابت

المساحة $W = 0$

2−4 بضغط ثابت

المساحة هي $W = P_1(V_2 - V_1)$

$$W = P_1V_1$$

صافي الشغل $W = P_1V_1$

المسار الثالث 2−1 المساحة هي المنطقة تحت المنحني، للسهولة نقرب المنحني الى خط الوسط.

$$W_1 = P_1(V_2 - V_1) = P_1V_1$$

$$W_2 = \frac{1}{2}(V_2 - V_1)(P_2 - P_1) = \frac{1}{2}P_1V_1$$

$$W = P_1V_1 + \frac{1}{2}P_1V_1 = \frac{3}{2}P_1V_1$$

من خلال الحل نجد ان الشغل غير متساوي في المسارات الثلاث بالرغم من تشابه الحالة الابتدائية والحالة النهائية للنظام في كل المسارات اي ان الشغل لا يعتمد على الحالة الابتدائية والنهائية للنظام بل يعتمد على المسار الذي يتحول به النظام من حالة الى اخرى.

– <u>الشغل في العمليات الثرموداينمكية للغاز المثالي</u>:

1– عملية عكوسة ايزوثرمية T= ثابت

$$W \int PdV$$

$$PV = nRT$$

اذا n=1

$$P = \frac{RT}{V}$$

او

$$V = \frac{RT}{P}$$

$$W = \int \frac{RT}{V} dV = RT ln \frac{V_2}{V_1} = RT ln \frac{P_1}{P_2}$$

2 -عملية عكوسة ايزوثرمية بضغط ثابت P = ثابت و T = ثابت

$$W = \int PdV = P(V_2 - V_1)$$

3- عملية عكوسة ايزوثرمية بحجم ثابت V = ثابت و T = ثابت

$$W = \int PdV = 0$$

4- عملية التمدد الحر:

السماح للنظام للتمدد من دون اي مؤثر خارجي اي ان القوة الخارجية تساوي صفر.

نظام موضوع في وعاء مجزء الى جزئين بينهما حاجز عند وضع الحاجز ينتشر الغاز اي يتمدد وهنا سوف ينجز شغل بسبب القوة الموجودة بين الجزيئات. والشغل المنجز هو شغل داخلي اي بين اجزاء النظام. العملية تتم بسرعة فهي عملية عكوسة لذلك:

$$W = \int F_{ex} . ds$$

$$F_{ex} = 0$$

لذلك

$$W = 0$$

اما بالنسبة للنظام اذا غاز مثالي $W = 0$ اما اذا غاز حقيقي $W = \int \frac{a}{V^2} dV$

(الرجوع الى معادلة فاندرفالز).

- معاملات التمدد الحجمي و الانكباس:

يعرف معامل التمدد الحجمي β على انه التغير في الحجم لوحدة الحجوم من النظام على التغير في درجة الحرارة بثبوت الضغط.

$$\bar{\beta} = \left.\frac{V_2 - V_1}{V(T_2 - T_1)}\right)_P = \left.\frac{\Delta V}{V \Delta T}\right)_P$$

القيمة الحقيقية الى معامل التمدد الحجمي هي:

$$\beta = \lim_{\Delta T \to 0} \left.\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}\right)_P$$

$$\beta = \left.\frac{1}{V}\frac{dV}{dT}\right)_P$$

تحدد β للنظام من معادلة الحالة له للغاز المثالي:

$$PV = nRT$$

$$n = 1$$

$$PV = RT$$

$$V = \frac{RT}{P}, \quad \left.\frac{dV}{dT}\right)_P = \frac{R}{P}$$

$$\beta = \frac{1}{V}\frac{R}{P} = \frac{R}{RT} = \frac{1}{T}$$

يعرف معامل الانكباس α بانه سالب التغير بالحجم لوحدة الحجوم على التغير بالضغط بثبوت درجة الحرارة.

$$\bar{\alpha} = -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}\Big)_T$$

$$\alpha = \lim_{\Delta P \to 0} -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta P}\Big)_T$$

$$\alpha = -\frac{1}{V}\frac{dV}{dP}\Big)_T$$

α للغاز المثالي:

$$PV = RT$$

$$V = \frac{RT}{P}$$

$$\frac{dV}{dP}\Big)_T = -\frac{RT}{P}$$

$$\alpha = -\frac{1}{V} \times -\frac{RT}{P} = \frac{RT}{PVP} = \frac{1}{P}$$

وضعت الاشارة السالبة لان $V_1 > V_2$

– الشغل بدلالة معامل التمدد الحجمي ومعامل الانكباس:

$$W = \int PdV$$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial P}\Big)_T \partial P + \frac{\partial V}{\partial T}\Big)_P \partial T$$

ومن تعريف كل من معامل التمدد الحجمي ومعامل الانكباس

$$dV = \beta V dT - \alpha V dP$$

يكون الشغل:

$$\partial W = \int \beta P V dT - \int \alpha P V dP$$

في حالة الغاز المثالي يكون الشغل:

$$\partial W = \int \frac{1}{T} P V dT - \int \frac{1}{P} P V dP$$

$$= \int R dT - \int V dP$$

اذا كانت العملية ايزوثرمية يكون الشغل كالتالي:

$$\partial W = -\int V dP = -\int \frac{RT}{P} dP$$

$$\partial W = -RT ln \frac{P_2}{P_1}$$

او

$$\partial W = RT ln \frac{P_1}{P_2}$$

اذا كانت العملية ايزوبارية (الضغط ثابت) يكون الشغل كالتالي:

$$\partial W = \int R dT = R(T_2 - T_1)$$

اذا كانت العملية ايزومترية (الحجم ثابت) يكون الشغل كالتالي:

$$\partial W = 0$$

– الشغل للمواد الصلبة والسائلة:

للمواد الصلبة والسائلة ايضا يوجد شغل منجز من قبل جزيئاته ولكن هنا الحالة تختلف حيث يكون الحجم تقريبا ثابت ولان التغير بالحجم يكون قليل جدا وغير محسوس بالنسبة للمواد الصلبة واكثر قليلا بالنسبة للسوائل ويمكن اعتباره ثابت ايضا ومن ثم ممكن ايجاد الشغل باستخدام معامل التمدد الحجمي ومعامل الانكباس.

$$\partial W = \int \beta PVdT - \int \alpha PVdP$$

β و α و V ثوابت

$$\partial W = \beta V_o \int PdT - \alpha V_o \int PdP$$

اذا كانت العملية ايزوثرمية

$$W = \alpha V_o \frac{P_1^2 - P_2^2}{2}$$

اذا كانت العملية ايزوبارية

$$W = \beta V_o P(T_2 - T_1)$$

– معادلة الحالة للمواد الغير غازية:

للسوائل في درجات الحرارة العالية حجمها يتغير بوضوح لذا يجب كتابة الحجم بدلالة المتغيرات T, P اي يجب ان تكون هنالك معادلة حالة لها.

$$dV = \beta V dT - \alpha V dP$$

في الحالة الابتدائية يكون الحجم ثابت تقريبا وهذا يعني:

$$V = V_o$$

$$T = T_o$$

$$P = P_0$$

$$dV = \beta V_o dT - \alpha V_o dP$$

بعد تغير الحجم $(V \leftarrow V_o)$ يعني من الحالة الابتدائية الى الحالة النهائية تكون المعادلة اعلاه كالتالي:

$$\int_{V_o}^{V} dV = \beta V_o \int_{T_o}^{T} dT - \alpha V_o \int_{P_o}^{P} dP$$

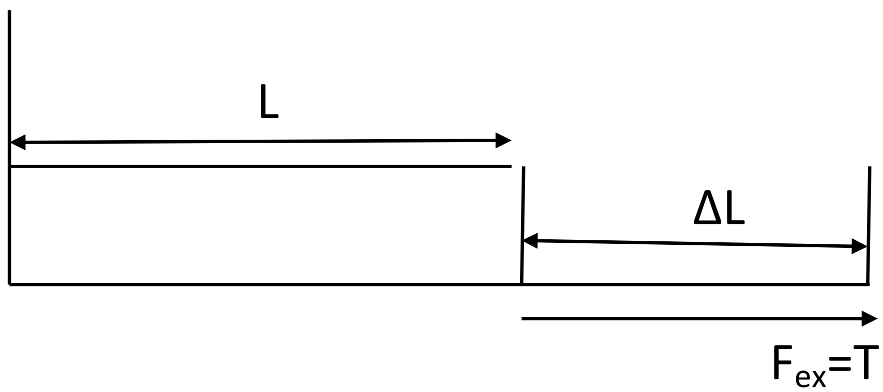
$$V - V_o = \beta V_o (T - T_o) - \alpha V_o (P - P_o)$$

$$V = V_o [1 + \beta (T - T_o) - \alpha (P - P_o)]$$

وللتاكد من صحة الحل أوجدت معادلة الحالة للغاز المثالي باستخدام نفس الطريقة فوجدت انها $PV = nRT$. اي ان الطريقة اعلاه صحيحة والمعادلة التي تم التوصل اليها هي معادلة الحالة للمواد الصلبة والسائلة والتي حجمها يتغير تغير واضح في درجات الحرارة العالية.

ممكن حساب الشغل الخارجي اي الشغل الناتج من قبل قوة خارجية تؤثر على مواد صلبة او سائلة وتغير من طولها L او حجمها V والعملية تتم ببطء شديد اي انها عملية عكوسة.

- تغير طول سلك (او اي مادة) بتاثير قوة خارجية. القوة ممكن ان تكون قوة شد T بحيث يستطيل السلك او قوة كبس بحيث يقلل من طول السلك.



$$W = -\int F_{ex} \, . \, dX = \int_{L_i}^{L_f} T dL$$

$$W = -T(L_f - L_i)$$

- تغير المساحة السطحية لفقاعة سائل

$$W = -\int S . dA = -S(A_2 - A_1)$$

حيث S قوة الشد السطحي و A هي المساحة.

وهناك امثلة اخرى مثل تغير مغناطيسية المادة بفعل تسليط مجال مغناطيسي.

كل الامثلة اعلاه ممكن رجوع المادة الى حالتها الابتدائية اذا كانت العملية تتمدد ببطء اي عمليات شبة مستقرة عكوسة.

- <u>التفاضل التام والغير تام:</u>

ممكن معرفة الدالة اذا كانت تعتمد على مسار العملية او لا وذلك من معرفة تفاضلها اذا كان تام او غير تام.

الدالة التي تعتمد على المسار يكون تفاضلها غير تام وتسمى ليست دالة للحالة (اي لا يمكن وصف النظام بها وصف دقيق ويوضع قبلها (∂).

اما الدالة التي لا تعتمد على المسار يكون تفاضلها تام وتسمى بدالة حالة ويوضع قبلها (∂).

ويمكن اثبات ذلك رياضيا:

$$Z = Z(x, y)$$

$$dZ = \left.\frac{\partial Z}{\partial x}\right)_y dx + \left.\frac{\partial Z}{\partial y}\right)_x dy$$

$$M = \left.\frac{\partial Z}{\partial x}\right)_y \qquad , \qquad N = \left.\frac{\partial Z}{\partial y}\right)_x$$

$$\frac{dM}{dy} \qquad \text{and} \qquad \frac{dN}{dx}$$

اما

$$\frac{dM}{dy} = \frac{dN}{dx}$$

هذا يعني (تفاضل تام) دالة حالة لا تعتمد على مسار العملية.

او

$$\frac{dM}{dy} \neq \frac{dN}{dx}$$

مثال(1): بين ان الحجم للغاز المثالي هو دالة حالة.

الجواب:

$$PV = nRT$$

هذا يعني ان معادلة الحجم للغاز المثالي كالتالي:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = V(P,T)$$

$$dV = \left.\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP + \left.\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT$$

$$\left.\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = M = -\frac{nRT}{P^2}$$

$$\left.\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = N = \frac{nR}{P}$$

$$\frac{dM}{dT} = -\frac{nR}{P^2} \qquad \frac{dN}{dP} = -\frac{nR}{P^2}$$

اذن

$$\frac{dM}{dT} = \frac{dN}{dP}$$

يعني ذلك ان التفاضل تام ولا يعتمد على المسار(دالة حالة).

مثال(1): بين ان الشغل للغاز المثالي هو ليس دالة حالة.

الجواب:

$$W = \int PdV$$

$$W = \int P[\left.\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP + \left.\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT]$$

$$W = \int P[-\frac{nRT}{P^2} dP + \frac{nR}{P} dT]$$

$$= \int -\frac{nRT}{P} dP + \int \mathrm{nRdT}$$

$$M = -\frac{nRT}{P} \qquad \text{and} \qquad N = nR$$

$$\frac{dM}{dT} = -\frac{nR}{P} \qquad \text{and} \qquad \frac{dN}{dP} = 0$$

$$\frac{dM}{dT} \neq \frac{dN}{dP}$$

اذن الشغل ليس دالة للحالة اي يعتمد على المسار.