

الباب الثالث

مبادئ الديناميكا الحرارية

Principles of Thermodynamics

مقدمة

تعتمد جميع الكائنات الحية في بقائها حية على الطاقه وتوجد الطاقه فى صور عديده ابتداء من الطاقه الموجوده فى ذرات الماده نفسها وحتى الطاقه التى تشعها الشمس وفيما بينهم نجد لدينا مصادر عديده على سبيل المثال الطاقه الكيماويه للوقود وطاقه الوضع للكميات الكبيره للماء المتبخر بواسطة أشعة الشمس والمهم ان توجد الوسيله التى تؤدى إلى الانتفاع بالطاقه من مصدرها لخدمة البشريه فمثلا يتم تحويل طاقه الوضع للكميات الضخمه من الماء الى طاقه كهربيه بوضع توربينات مائيه فى طريق انحدارها من الجبال إلى البحار مثلا . كذلك يمكن استخدام طاقه احتراق الفحم لانتاج البخار الذى يستخدم بدوره لتوليد الطاقه الكهربيه بواسطة التوربينات البخاريه كما يستخدم طاقه احتراق الوقود البترول فى آلات الاحتراق الداخلى لتسخين الهواء حتى يتمدد ويدفع المكبس لينتج طاقه ميكانيكيه .

[ونجد أن علم الديناميكا الحرارية هو العلم الذى يقوم بدراسة العلاقه بين الحراره والشغل وخواص النظم . كما يهتم بالوسائل اللازمه لتحويل الطاقه الحراريه من مصادرها المتاحة إلى الشغل الميكانيكى]. ويطلق اسم الآله الحراريه Heat Engine على النظام الذى يعمل فى دورة لينتج شغل من مصدر حراري .

ويجب ان نقوم بتعريف للمفاهيم المستخدمه عند دراسة الديناميكا الحراريه كما يلي:-

١- الحراره Heat

هى احدى صور الطاقه ويمكن ان تنتقل من جسم الى آخر ذو درجة حراره أقل.

٢- النظام System

يعرف النظام بأنه مجموعه من الماده له حدود معرفه وهى ليست من الضروري أن تكون حدودا غير مرنه ويمكن أن يكون النظام :-

- نظام مغلق Closed System :- على سبيل المثال المائع فى اسطوانة آلة تردديه خلال شوط التمدد يمكن ان يعرف على انه نظام وحدوده جدران الاسطوانه وهو نظام مغلق حيث لا يوجد انتقال للكتله عبر الحدود المعرفه .

- نظام مفتوح Open system :- على سبيل المثال المائع فى توربين يمكن أن يعرف على انه نظام حدوده تتضمن التوربين وبداية ماسورة الدخول والخروج الا أن انتقال المائع خلال التوربين اى انتقال كتلة يجعله نظاما مفتوحا . والنظام له ضغط يمكن تعريفه بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحات من الحدود المحيطة بالنظام .

كما أن للنظام حجم نوعى وهو الحجم الذى يشغله وحدة الكتلة من النظام .

-٢ الشغل Work:

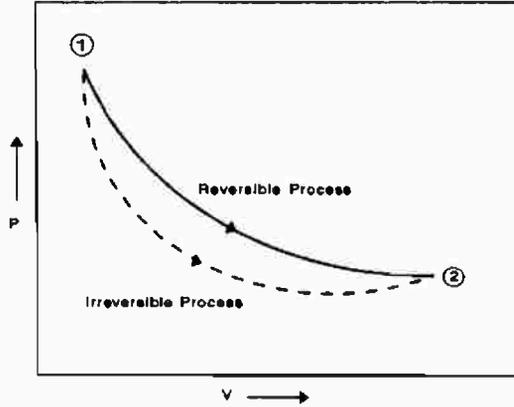
يعرف الشغل بأنه حاصل ضرب القوة \times المسافة التى تتحركها فى اتجاه القوة وعندما تتحرك حدود نظام مغلقة للخارج فى اتجاه القوة المسلطة عليها يقال أن النظام بذل شغلا على ما يحيط به أما اذا تحركت حدود النظام للداخل فيقال أنه بذل شغل على النظام .

وكل من الشغل والحرارة طاقة يمكن ان تنتقل ويجب الا يحدث خطأ بين مفهومها وبين مفهوم الطاقة الداخلى لنظام . فعلى سبيل المثال اذا وجد اسطوانة تحتوى على غاز تحت ضاغط ومعزولة عازلا جيدا وتم تحريك الضاغط للداخل فان درجة حرارة وضغط الغاز سترتفع ولما كان الاسطوانة معزولة جيدا فهذا يعنى عدم تسرب كمية من الحرارة منها او اليها وتكون نتيجة الشغل الذى يبذل على الغاز هو ازدياد الطاقة الداخلى للنظام . ومن جهة اخرى نفترض أنه لدينا وعاء صلب يحتوى على غاز وتم تسخينه فان حدود النظام صلبة ولا تتحرك وبالتالي لا يستطيع الغاز أن يتمدد ويبذل شغلا نتيجة الحرارة المضافة اليه ولكن نجد ان درجة الحرارة ترتفع وتزداد الطاقة الداخلى للنظام وبالتالي يتضح أن الطاقة الداخلى يمكن ان تزداد بقيحة اضافة شغل او اضافة حرارة .

-٤ مائع الشغل The Working Fluid:

من الوجهة العلمية نجد أن المادة الموجودة داخل حدود أى نظام قد تكون سائل او بخار أو غاز ويطلق عليها اسم مائع الشغل The Working Fluid وفى لحظة ما يمكن تعريف حالة المائع بمعرفة خواصه الترموديناميكىة والتى تتضمن :-

درجة الحرارة (T) ، الحجم النوعى (v) ، الطاقة الداخلى النوعية (u) والانتالبي النوعى (h) ، الانتروپى النوعى (s) ولقد وجد انه لموائع الشغل النقيه مجرد معرفة خاصيتين له يمكن معرفة حالة المائع تماما (State) ويمكن تحديده على خريطة توضح العلاقة بين تلك الخاصيتين بنقطه مثل خرائط p.v التى توضح العلاقة بين الضغط والحجم النوعى .



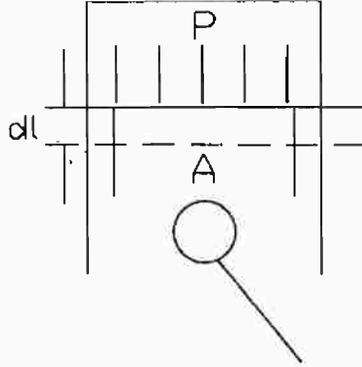
شكل (١-٢) الاجراءات الانعكاسيه والغير انعكاسيه

لقد تم ايضاح انه بمعرفة خاصيتين لمائع الشغل يمكن تحديد حالته بنقطة علي الخريطه التي تمثل العلاقه بين هاتين الخاصيتين واذا حدث تغيير لحاله المائع فيمكن تحديد حالته الجديده بنقطة جديده واذا كانت النقطه الاولى هي رقم 1 فيمكن تسمية النقطه الثانيه برقم 2 . وعندما يكون من الممكن تحديد جميع النقطه الواقعه بين النقطتين 1 ، 2 فان هذا التعبير من الحاله (1) الي الحاله (2) اجراء Process كما هو مبين بالشكل (١-٢) وبالتالي يكون الاجراء انعكاسي وعادة يتم تمثيله على الخريطه بخط متصل . وعلميا عندما يحدث اجراء على مائع ولا يمكن تحديد النقطه الوسيطة بين حالته الابتدائيه والنهائيه فنقول ان الاجراء غير انعكاسي Irreversible ويرسم الخط بين الحالتين مقطع وليس متصلا .

ويمكن تعريف الانعكاسيه كما يلي :-

عندما يتم اجراء انعكاسي فانه يمكن اعاده المائع ومايحيط به الي حالتهم الاصليه . ويتضمن الاجراء الانعكاسي عدم وجود احتكاك .

٦- الشغل الانعكاسي Reversible Work



شكل (٢-٣) حركة الكباس داخل الاسطوانة

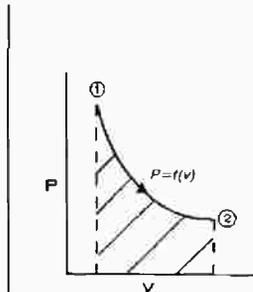
الاسطوانة المقابلة تحتوى على مانع مثالي ولا يوجد احتكاك فى النظام وضغط ودرجة حرارة المائع منتظمة فى اجزائه . افترض ان مساحة مقطع الكباس "A" وضغط المائع "p". افترض ان القوة المحيطة على الكباس هي "p A". افترض ان الكباس تحرك تحت قوة المائع للخارج مسافة صغيرة "dL". كما هو مبين فى شكل (٢-٣) وبالتالي فان الشغل المبذول بواسطة المائع على الكباس هو حاصل ضرب قوة المائع فى المساحة التي تحركها الكباس أى أن :

$$\text{Work done} = (pA) \times dL = pdV \quad (3-1)$$

حيث ان "dV" ازدياد صغير فى حجم المائع وعندما تكون كمية المائع وحدة كتلة فان "V" تصبح الحجم النوعى v ، dV تصبح dv . وبالتالي فان عند حدوث انعكاس من الحالة 1 الى الحالة 2 ، يمكن حساب الشغل من المعادلة :

$$\text{Work} = \int pdv \quad (3-2)$$

وبالتالى عندما يتم تمثيل التغير من الحالة ١ الى الحالة ٢ ، لاجراء انعكاسي على خريطة (p-v) كما فى الشكل (٢-٣) فان المساحة المظلمة تمثل الشغل المبذول بواسطة المائع .

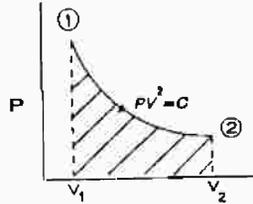


شكل (٣-٣) تمدد الغاز داخل الاسطوانة

مثال رقم ١ :-

مائع عند ضغط ٢ بار وذو حجم نوعي ٠.١٨ م^٣/كجم موجود في أسطوانة وزاء كباس وتمدد انعكاسيا الى ضغط مقداره ٠.٣ بار. تبعا للمعادلة $(p = c/v^2)$ حيث c ثابت). احسب الشغل المبذول بواسطة المائع علي الكباس؟

الحل



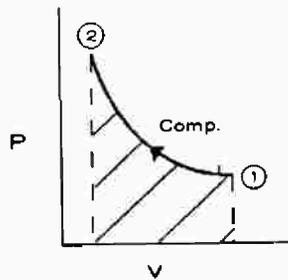
الشكل السابق يوضح الاجراء المذكور والمساحة المظلمة تمثل الشغل المبذول. ولما كانت العلاقة بين الضغط والحجم معلومة فيمكن حساب الشغل كما يلي :-

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} c/v^2 dv = c [-1/v]_{v_1}^{v_2}$$

$$c = p_1 v_1^2 = (3) (10^5) (0.18)^2 = 9720 \text{ Pa (m}^3/\text{kg)}^2$$

$$v_2 = (c/p_2)^{0.5} = 0.402 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\therefore W = 9720 [(1/0.18) - 1/0.402)] = 29840 \text{ joule/kg} \\ = 29.840 \text{ kJ/kg}$$

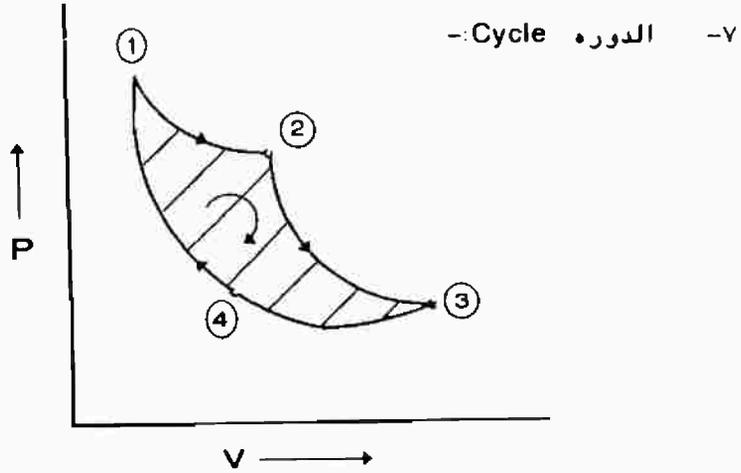


شكل (٢-٤) انضغاط الغاز داخل الاسطوانة

عندما يتم إجراء بحيث يتم ضغط المائع انعكاسيا من الحالة (1) إلى الحالة (2) فإن الشغل هنا يكون قد بذل على المائع وعند تمثيل الإجراء على خريطة $(p-v)$ كما في الشكل (٣-٤) فإن الشغل المبذول على المائع تمثله المساحة المظلمة وعند معرفة العلاقة بين الضغط والحجم يمكن حساب هذا الشغل وسنجد أن قيمته ذات إشارة سالبة حيث تعني تلك الإشارة أن الشغل مبذول على المائع.

$$\text{Work done} = \int p dv$$

وكقاعده عندما يتم توضيح الإجراء على خريطة $p-v$ فإذا كان اتجاه خط الإجراء من اليسار إلى اليمين فإن الشغل موجب مبذول بواسطة المائع وإذا كان اتجاه خط الإجراء من اليمين إلى اليسار فإن الشغل سالب مبذول على المائع .

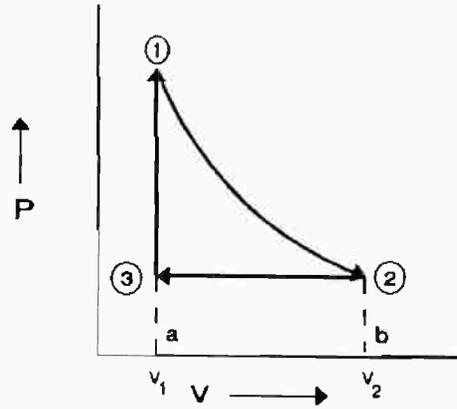


شكل (٣-٥) تمثيل الدورة على خرائط الـ P-v

عندما يتم عمل عدة إجراءات متتالية على مائع وفي الإجراء النهائي يعود المائع إلى حالته الأصلية فإنه يكون قد تم إجراء دورة وعندما تكون إجراءات الدورة انعكاسية فإن الدورة أيضا تكون انعكاسية. ويمكن تمثيل الدورة أيضا على خريطة $(p-v)$ وتأخذ شكلا مغلقا حيث المساحة داخله تمثل الشغل المبذول بواسطة المائع أو عليه وعندما يتم إجراء الدورة ويتم وصف إجراءاتها في ترتيب مماثل لاتجاه دوران عقارب الساعة فإن الشغل الصافي للدورة يكون مبذولا بواسطة المائع أي موجب القيمة والعكس صحيح (شكل ٣ - ٥).

مثال رقم ٢ :

اسطوانه تحتوى على ١ كجم من مائع عند ضغط ابتدائى قدره ٢٠ بار . سمح للمائع بالتمدد انعكاسيا وراء ضاغط تبعا للمعادله $(pv^2 = c)$ حتى تضاعف الحجم بعد ذلك تم تبريد المائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت حتى وصل الضاغط الى موضعه الاصلى ، تم اضافة كمية من الحرارة للمائع مع تثبيت الضاغط فى مكانه فازداد الضغط حتى القيمه الاصليه ٢٠ بار . احسب الشغل الصافى المبذول بواسطة المائع اذا علمت ان الحجم الابتدائى هو ٠.٥ م^٣.



الحل

الشكل السابق يوضح الدوره المذكوره

$$p_1 v_1^2 = p_2 v_2^2$$

$$\therefore p_2 = p_1 (v_1 / v_2)^2$$

$$= (20) (1/2)^2 = 5 \text{ bar}$$

الشغل المبذول من الحاله (1) الى الحاله (2) W_{1-2} تمثله المساحه a b 2 1

$$W_{1-2} = \int \frac{C}{v^2} dv \quad c = p_1 v_1^2 = (20) (10^5) (0.05)^2$$

$$\therefore W_{1-2} = 20 \times 10^5 \times (0.05)^2 [1/0.05 - 1/0.1] = 50000 \text{ N.m}$$

الشغل المبذول من الحالة (2) الى الحالة (3) W_{2-3} تمثله المساحة 3a b 2

$$\therefore W_{2-3} = \int P dv \quad P = \text{Constant} = P_2 = P_3 = 5 \text{ bar}$$

$$W_{2-3} = P_2 (V_3 - V_2) = (5) (10^5) [0.05 - 0.1] = 25000 \text{ N.m}$$

الشغل المبذول من الحالة (3) الى الحالة (1) قيمته صفر حيث لم يتحرك الضاغط

$$W_{3-1} = \int p dv$$

$$dv = 0 \quad \therefore W_{3-1} = 0$$

صافى الشغل تمثله المساحة 1 , 2 , 3

$$W = 50000 - 25000 + 0 = 25000$$

القانون الاول للديناميكا الحرارية

اوضح العلماء فى اوائل القرن التاسع عشر مفهوم الطاقه وأنها لاتخلق من عدم ولاتفنى وهى الاساس المعروف ببقاء الطاقه . والقانون الاول للديناميكا الحرارية ماهو الا الصيغ لهذا المفهوم العام مع توضيح العلاقه بين الطاقه الحراريه والطاقه الميكانيكيه ولذلك نجد ان هذا القانون يصاغ كمايلي :-

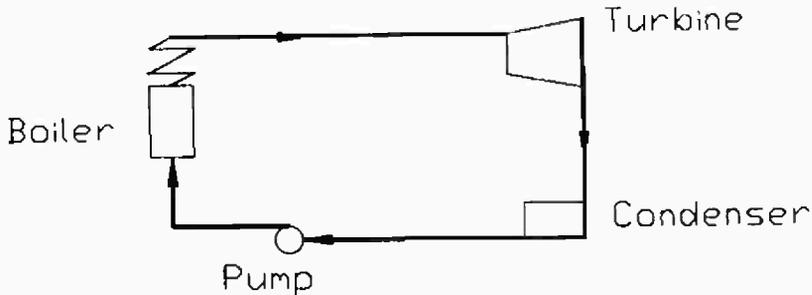
(عندما يخضع نظام لدورة ديناميكيه حراريه فان صافى الطاقه الحراريه المضافه للنظام من الجو المحيط به يساوى صافى الشغل المبذول بالنظام على الجو المحيط به) وبالتالي يمكن التعبير عنه رياضيا كما يلي :-

$$\sum dQ = \sum dW$$

حيث علامة Σ تعبر عن المجموع فى دورة كامله

مثال رقم ٣ :-

ينتج توربين بخارى ١٠٠٠ كيلووات . كمية الحراره المضافه للبخار فى الغلاية ٢٨٠٠ كيلوجول/كجم. كمية الحراره المطروده الى مياه التبريد فى المكثف هى ٢١٠٠ كيلوجول/كجم. والشغل اللازم لمضخة اعاده المياه المتكثفه الى الغلايه هـ كيلوات احسب معدل انسياب البخار فى تلك الدوره بوحدات كجم/ث. والشكل التالى يوضح الدوره المذكوره.



$$\sum dQ = 2800 - 2100 = 700 \text{ k J/kg}$$

نفترض ان معدل سريان البخار هو m كجم/ثانيه

$$\therefore \Sigma dQ = 700 \text{ m kJ/s}$$

$$\Sigma dW = 1000 - 5 = 995 \text{ kW} = 995 \text{ kJ/s}$$

وبتطبيق القانون الأول ينتج ان -

$$\Sigma dQ = \Sigma dW$$

$$700 \text{ m} = 995$$

$$m = 1.421 \text{ kg/s}$$

أي ان معدل انسياب البخار ١.٤٢١ كجم/ث.

معادلة عدم السريان The non flow equation

عندما نقوم باجراء على نظام حيث يتغير من الحالة ١ الى الحالة ٢ وتزداد طاقته الداخليه (U) فانه يتم التعبير عن القانون الأول للديناميكا الحرارية بان الزيادة في الطاقة الداخليه للنظام هي الفرق بين صافي كمية الحرارة المضافه للنظام وصافي الشغل الناتج أي ان :-

$$U_2 - U_1 = dQ - dw \quad (3-3)$$

ويمكن الوصول الى المعادله التاليه والتي تعرف بمعادلة عدم السريان :-

$$dQ = dU + dW \quad (3-4)$$

مثال رقم ٤ :-

في شوط الانضغاط لآلة احتراق داخلي وجد ان كمية الحرارة المطروده لماء التبريد هي ٤٥ كيلوجول/كجم والشغل المبذول مقداره ٩٠ كيلوجول/كجم. احسب التغير في الطاقة الداخليه النوعيه لمائع الشغل وحدد ما اذا كان التغير فقد أو اكتساب ؟

الحل

$$Q = -45 \text{ kJ/kg} \quad \text{الاشارة سالبه لانها حراره مطروده}$$

$$W = -90 \text{ kJ/kg} \quad \text{الاشارة سالبه لانه شغل مبذول على النظام}$$

باستخدام المعادلة التالية :

$$dQ = du + dw$$

$$Q = (u_2 - u_1) + W$$

$$-45 = (u_2 - u_1) - 90$$

ازدياد في الطاقة الداخليه

$$u_2 - u_1 = -45 + 90 = 45 \text{ kJ/kg}$$

معادلة السريان المستقر The steady flow equation

سبق ان ذكرنا ان المائع له طاقة داخلية ترجع لخواصه الترموديناميكية إلا ان المائع اذا تحرك بسرعه "C" وكان على ارتفاع من سطح الارض أو خط مرجع "Z" فان ١ كجم مائع يحتوى بالاضافه الى طاقته النرجيه الداخليه (u) على طاقة حركيه (C²/ 2) وطاقة وضع Zg . كما يحتوى على طاقة الضغط pv فاذا فرض ان المائع يتحرك بين نقطتين (١) ، (٢) ونفترض أنه يضاف إليه حرارة عند النقطه (١) وينتج شغل عند النقطه (٢) فان مجموع الطاقة في النظام لكل ١ كجم عند اية نقطه ثابت ، وعندما ينساب المائع بمعدل انسياب كتله ثابتة فانه يقال ان الانسياب مستقر وعندئذ يمكن الحصول على المعادلة التاليه :-

$$u_1 + (C_1^2/ 2) + Z_1g + p_1v_1 + Q_1 = u_2 + (C_2^2/ 2) + Z_2g + p_2v_2 + Q_2 \quad (3-5)$$

وفى مسائل وتعارين الديناميكا الحرارية يمكن اهمال التغيير فى طاقه الوضع وبالتالي يمكن رفع القيمه Zg من المعادلة السابقه كما أن مجموع الطاقه الداخليه u + طاقة الضغط pv تعرف بالانثالبي h وبالتالي يمكن الحصول على المعادلة التاليه والتي تستخدم فى حالة السريان المستقر فى حسابات الديناميكا الحرارية

$$h_1 + C_1^2/ 2 + Q = h_2 + C_2^2/ 2 + W \quad (3-6)$$

وتسمى معادلة سريان الطاقه المستقر Bernoulli's Equation مع ملاحظة ان الانثالبي هو

$$h = u + pv \quad (3-7)$$

وان معدل سريان الكتله هو

$$m = CA/v = \rho CA \quad (3-8)$$

مثال رقم ٥ :-

فى اسطوانة محرك هواء وجد ان الهواء المضغوط له طاقة داخلية نوعيه مقدارها ٤٢٠ كيلوجول/كيلوجرام عند بداية التمدد ، ٢٠٠ كيلوجول/كيلوجرام بعد نهاية التمدد .
احسب كمية الحرارة المنسأبه من أو الى الاسطوانة اذا علمت ان الشغل المبذول بواسطة الهواء خلال التمدد هو ١٠٠ كيلوجول/كجم.

الحلــــــــــــــــ

باستخدام المعادله التالیه :

$$Q = (u_2 - u_1) + W \quad (3-9)$$

$$\therefore Q = (200 - 420) + 100 \\ = -120 \text{ kJ/kg}$$

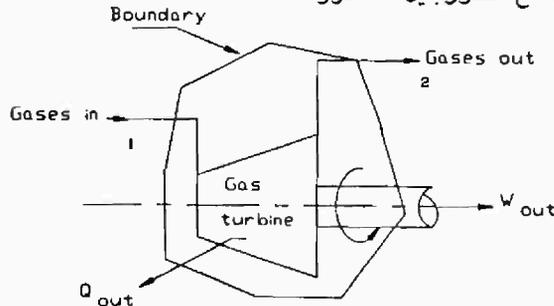
∴ تم طرد كمية حرارة من الهواء مقدارها ١٢٠ كيلوجول/كجم (حيث الاشارة سالبه) .

مثال رقم ٦ :

تنسأب الغازات خلال توربين غازى بمعدل ١٧ كجم/ث وتنطلق قدرة من التوربين مقدارها ١٤٠٠٠ كيلوات. قيمة الانثالپى للغازات عند دخولها وخروجها من التوربين هى ١٢٠٠ ك جول/كجم ، ٣٦٠ ك جول/كجم على التوالى . وسرعة دخول الغازات وخروجها هى ٦٠م/ث ، ١٥٠م/ث على التوالى . احسب معدل طرد الحرارة من التوربين .

أوجد ايضا مساحة مأسورة الدخول اذا علمت ان الحجم النوعى للغازات عند الدخول هى ٠٠٥ م^٣/كجم.

الشكل الآتى يوضح التوربين المذكور:-



الحلـ

نستخدم معادلة سريان الطاقة المستقر التالي :-

$$h_1 + C_1^2 / 2 + Q = h_2 + C_2^2 / 2 + W \quad (3-10)$$

يمكن حساب الطاقة الكينتيكية عند الدخول

$$\begin{aligned} C_1^2 / 2 &= (60)^2 / 2 \quad (\text{m/s})^2 (\text{kg/kg}) \\ &= 180 \text{ J/kg} = 1,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

وبالتالي نجد ان الطاقة الكينتيكية عند الخروج $C_2^2 / 2 = 11.25 \text{ kJ/kg}$.

ويمكن حساب الشغل بقسمة الطاقة علي معدل انسياب الكتله

$$W = 14000 \quad + \quad 17 = 823.5 \text{ kJ/kg}$$

والآن بالتعويض في المعادله (٣-١٠) نجد ان:-

$$1200 + 1.8 + Q = 360 + 11.25 + 823.5$$

$$Q = -7.02 \quad \text{kJ/kg}$$

الاشاره السالبه تعني ان الحرارة مطروده ويمكن بضربها في (m) الحصول

على معدل طرد الحرارة أى أن

$$Q = 7.02 \times 17 = 119.3 \text{ kwatt.}$$

وللحصول على مساحة ماسورة الدخول تستخدم المعادله التاليه :

$$m = CA/v$$

اى ان مساحة مقطع ماسورة الدخول هي

$$A = (v) (m) / C$$

$$A = (17 \times 0.5) / 60 = 0.142 \text{ m}^2$$

مثال رقم ٧ :

ينساب هواء انسيابا مستقرا بمعدل ٤ ر. كجم/ث خلال ضاغط هواء ويدخل

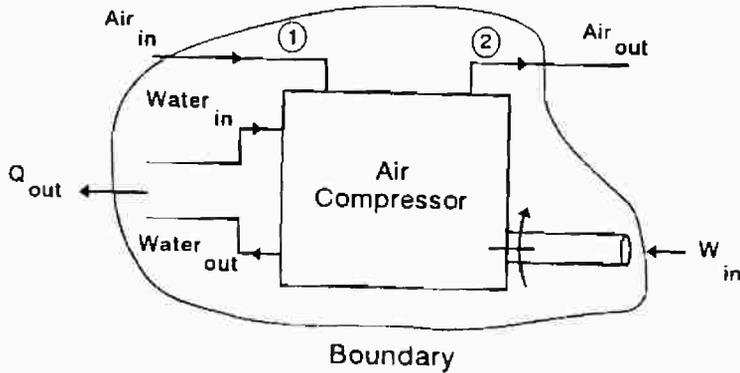
بسرعه ٦م/ث وضغط ١ بار وحجم نوعى ٨٥ ر. م^٣/كجم ويترك الضاغط بسرعه

٤٥ ر/م^٣ وضغط (٦ر٩) بار وحجم نوعى ١٦ ر. م^٣/كجم. والطاقة الداخليه النوعيه

- للهواء عند تركه الضاغط تزيد ٨٨ ك جول/كجم عن قيمتها عند دخول الضاغط .
- يحيط اسطوانة الضاغط غلاف به ماء التبريد يمتص الحرارة من الهواء بمعدل ٥٩ كيلوجول/ثانيه . احسب قدره اللازمه لإدارة الضاغط ومساحة مقطع ماسورة الدخول والخروج .

الحل

يلاحظ أنه يمكن كتابة معادلة السريان بدون احتواء للرمز Z والرسم التخطيطي التالي يوضح الاجراء :-



من معادلة السريان المستقر

$$u_1 + p_1 v_1 + C_1^2 / 2 + Q = u_2 + p_2 v_2 + C_2^2 / 2 + W$$

$$W = (u_1 - u_2) + (p_1 v_1 - p_2 v_2) + \left[\frac{(C_1^2 - C_2^2)}{2} \right] + Q$$

$$W = -[88 \times 1000] + [(1) (10^5) (0.85) - (6.9) (10^5) \times (0.16)]$$

$$+ \left[\frac{(6^2 - 4.5^2)}{2} \right] - [(59/0.4) 1000] = - 260892.13 \quad \text{J/kg}$$

$$= -260.9 \quad \text{kJ/kg}$$

لاحظ ان كمية الحرارة مفقوده ولذا عوض عنها بإشارة سالبه وتم قسمتها على معدل سريان الكتله لتصبح كمية حرارة/كجم وإشارة الشغل سالبه لانه بذل على المائع .

القدرة اللازمه لإدارة الضاغط :

$$\text{Power} = 260.9 \times 0.4 = 104.4 \text{ kJ/s} = 104.4 \text{ kW}$$

مساحة مقطع ماسورة الدخول (A_1):

$$m = C_1 A_1 / v_1$$

$$A_1 = \frac{m \cdot v_1}{C_1} = \frac{0.4 \times 0.85}{6} = 0.057 \text{ m}^2$$

مساحة مقطع ماسورة الخروج (A_2):

$$m = C_2 A_2 / v_2$$

$$A_2 = \frac{m \cdot v_2}{C_2} = \frac{0.4 \times 0.16}{4.5} = 0.014 \text{ m}^2$$

الغاز التام The perfect gas

الغاز التام هو غاز مثالي ينطبق عليه القانون العام للغازات تماما حيث عمليا لا يوجد غاز يتبع هذا القانون تماما ولكن الكثير من الغازات تقترب من هذا القانون والقانون العام للغازات يكتب بالصيغه التاليه :

$$PV = mRT \quad (3.11)$$

حيث P ضغط الغاز ، V حجم الغاز ، m كتلة الغاز ، T درجة حرارة الغاز المطلقة ، R فيعرف بالثابت النوعى للغاز . ويلاحظ ان تلك المعادله تجمع خواص الغاز المختلفه عند حالة state معينه .

والشابت النوعي للغاز R وحداته كيلوجول/كجم كلفن وهو يساوي حاصل قسمة الثابت العام للغازات على الوزن الجزيئي للغاز (الكتلة المولية) والثابت العام للغازات يرمز له بالرمز R_0 وهو قيمة ثابتة لجميع الغازات الا انه يتوقف على الوحدات المعبره عنه ونجد ان قيمته في وحدات S.I هي :-

$$R_0 = 8.3144 \text{ kJ/kg mol.K}$$

مثال رقم ٨ :

وعاء ذو حجم ٢ م^٣ يحتوي غاز النيتروجين عند ضغط ١٢.١ بار ودرجة حرارة ١٥°م. تم اضافة ٢ ر. كجم غاز نيتروجين للوعاء ، احسب الضغط الجديد في الوعاء عندما تعود درجة حرارة الوعاء الى الدرجة الاصليه . الكتلة المولية لغاز النيتروجين هي ٢٨ كجم/كيلومول.

الحل _____

يمكن حساب R للنيتروجين حيث :-

$$R = R_0/M = 8.3144/28 = 0.2969 \text{ kJ/kg K}$$

من المعادله العامه للغازات يمكن معرفة كتلة النيتروجين حيث :

$$P_1 V_1 = m_1 R T_1$$

$$(1.013 \times 10^5) (0.2) = m_1 (0.2969) (1000) (15 + 273)$$

$$\therefore m_1 = 0.237 \text{ kg}$$

بعد اضافة النيتروجين تصبح الكتله النهائيه m_2

$$\therefore m_2 = 0.237 + 0.2 = 0.437 \text{ kg.}$$

بتطبيق المعادله العامه للغازات يمكن حساب الضغط النهائى للنيتروجين كما يلى :-

$$P_2 V_2 = m_2 R T_2$$

$$(P_2 \times 10^5) (0.2) = (0.437) (0.2969) (1000) (15 + 273)$$

$$P_2 = 1.868 \text{ bar}$$

الحرارة النوعية للغازات Specific heat of gases

يوجد لكل غاز قيمتان للحرارة النوعية احدهما تعرف بالحرارة النوعية تحت ضغط ثابت c_p والاخرى تعرف بالحرارة النوعية تحت حجم ثابت c_v .

وبالتالى عند تسخين غاز ما من درجة حرارة T_1 الى درجة حرارة T_2 فان كمية الحرارة التي تنساب اليه فى اجراء انعكاسى تحت ضغط ثابت هي :-

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) \quad (3-12)$$

وفى حالة اجراء انعكاسى تحت حجم ثابت هي :-

$$Q = m c_v (T_2 - T_1) \quad (3-13)$$

قانون جول Joule's Law :-

يقرر قانون جول ان الطاقه الداخليه لغاز (U) دالة لدرجة الحرارة المطلقه للغاز ولتقدير تلك الداله نعتبر انه تم تسخين اكجم غاز تحت حجم ثابت وبالتالي يمكن تطبيق معادله عدم السريان والتعويض عن dW بالقيمه صفر نظرا لثبات الحجم أى أن

$$(dW = \text{Zero})$$

$$dQ = dU + dW$$

$$dQ = dU$$

وسبق ان اوضحنا انه عند تسخين الغاز تحت حجم ثابت فان

$$Q = m c_v (T_2 - T_1)$$

لذلك فان :-

$$dQ = dU = m c_v dt \quad (3-14)$$

وباجراء التكامل فانه

$$U = m c_v T + K \quad (3-15)$$

حيث K ثابت التكامل ولكن من قانون جول الطاقه الداخليه دالة للحراره المطلقه أى ان العلاقه بينهما خطيه وعندما تمر بنقطه أصل (صفر ، صفر) فان K تصبح قيمتها صفر ولقد اعتبر ان قيمة U صفر عند درجة حرارة الصفر المطلق ولذا فالمعادله الأخيره (3-15) تصبح :-

$$U = m c_v T \quad (3-16)$$

وبالتالى فالتغير فى الطاقة الداخليه تحسب كما يلى :-

$$U_2 - U_1 = m c_v (T_2 - T_1) \quad (3-17)$$

العلاقة بين قيمتى الحرارة النوعيه لغاز :-

عند تسخين ١ كجم غاز من درجة حرارة T_1 الى درجة حرارة T_2 تحت ضغط

ثابت فان كمية العواره المنسابه الى الغاز هى :-

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) \quad (3-18)$$

وبتطبيق معادلة عدم السريان نجد أن :-

$$Q = (U_2 - U_1) + W \quad (3-19)$$

وسبق ان اوضحنا ان :-

$$(U_2 - U_1) = m c_v (T_2 - T_1) \quad (3-20)$$

ويمكن حساب الشغل عند ضغط ثابت كما يلى :-

$$W = p (V_2 - V_1) \quad (3-21)$$

$$= mR (T_2 - T_1) \quad (3-22)$$

مما سبق نجد ان :

$$m c_p (T_2 - T_1) = m c_v (T_2 - T_1) + mR (T_2 - T_1) \quad (3-23)$$

وبالتالى فان :

$$c_p = c_v + R \quad (3-24)$$

or

$$R = c_p - c_v \quad (3-25)$$

الانتالبي للغاز التام :-

سبق أن عرفنا ان الانتالبي هو مجموع الطاقه الداخليه وطاقه الضغط أى

ان :-

$$H = U + PV \quad (3-26)$$

$$= m c_v T + mRT$$

$$= mT (c_v + R)$$

$$c_p = c_v + R \quad \text{ولكن :}$$

لذلك فان :

$$H = m c_p T \quad (3-27)$$

النسبة بين الحرارتين النوعيتين للغاز :-
يطلق على النسبة بين الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت والحرارة النوعية

تحت حجم ثابت الرمز جاما γ أى أن

$$\gamma = c_p / c_v \quad (3-28)$$

ويمكن الوصول الى المعادلات التالية :

$$c_v = R / (\gamma - 1) \quad (3-29)$$

$$c_p = \gamma R / (\gamma - 1) \quad (3-30)$$

مثال رقم ٩ :

وجد ان ٠.١ كجم غاز تام معين تشغل حجم مقداره ٠.٢ م^٣ عند ضغط ٧ بار ودرجة حرارة ١٢١ م^٥. احسب الكتل المولية للغاز .
اذا تعدد الغاز الى ضغط ١ "بار" وحجم ٠.٢ م^٣ . احسب درجة الحرارة النهائية .

الحل

باستخدام المعادله العامه للغازات والتطبيق فى الظروف الابتدائيه يمكن حساب قيمة الثابت النوعى للغاز (R) كما يلى مع ملاحظة أن :

$$T_1 = 131 + 273 = 404 \text{ K}$$

$$P_1 V_1 = m R T_1$$

$$R = P_1 V_1 / m T_1$$

$$R = (7 \times 10^5 \times 0.003) + (0.01 \times 404) = 520 \text{ J/kg.K}$$

وباستخدام المعادله التاليه يمكن حساب الكتل المولية للغاز M

$$R = R_0 / M$$

$$M = R_0 / R$$

$$\therefore M = 8314 + 520 = 16 \text{ kg/kg mol}$$

بالتطبيق فى المعادله العامه للغازات فى الظروف النهائيه يمكن حساب درجة الحرارة النهائيه كما يلى :-

$$P_2 V_2 = m R T_2$$

$$T_2 = P_2 V_2 / m R$$

$$\begin{aligned} \therefore T_2 &= (1 \times 10^5 \times 0.02) + (0.01 \times 520) = 384.5 \text{ K} \\ &= 384.5 - 273 = 111.5 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

مثال رقم ١٠ :

غاز تام معين حرارته النوعيه كما يلي :

$$c_p = 0.846 \text{ kJ/kg K}$$

$$c_v = 0.657 \text{ kJ/kg K}$$

احسب الثابت النوعى للغاز والكتله المولييه للغاز

الحلــــــــــــــــ

$$R = c_p - c_v = 0.189 \text{ kJ/kg K}$$

$$R = R_0 / M$$

$$\therefore M = R_0 / R = 8.314 / 0.189 = 44 \text{ kg/k mol}$$

مثال رقم ١١ :

غاز تام له كتله مولييه ٢٦ كجم/ك مول وقيمة $\gamma = 1.26$ احسب الحراره المطروده لكل ١ كجم غاز اذا :-

أ- الغاز موجود فى وعاء صلب عند ضغط ٢ (بار) ودرجة حرارة 210°C وتم تبريده حتى ضغط 10^5 بار .

ب- دخل الغاز ماسورة على درجة حرارة 280°C وينساب مستقرا الى الطرف الاخر للأنبوبية حيث درجة حرارته 20°C . مع اهمال التغير فى السرعه عند الدخول والخروج .

الحلــــــــــــــــ

$$R = R_0 / M = 0.3198 \text{ kJ/kg K}$$

$$c_v = R / (\gamma - 1) = 1.229 \text{ kJ/kg K}$$

$$c_p = \gamma R / (\gamma - 1) = 1.548 \text{ kJ/kg K}$$

أ- يمكن حساب درجة الحرارة النهائية بالتطبيق في المعادلة العامة للغازات عند الحالة الابتدائية ثم عند الحالة النهائية مع ملاحظة ان الحجم ثابت :-

$$p_1 v_1 = mRT_1 \quad p_2 v_2 = mRT_2 \quad \therefore p_2 / p_1 = T_2 / T_1$$

$$\therefore T_2 = 294 \text{ K}$$

∴ الحرارة المطروحة من كل ١ كجم غاز يتم حسابها كما يلي :-

$$Q = mc_v (T_2 - T_1)$$

$$= (1) (1.229) (294 - 488) = -361 \text{ kJ/kg}$$

الإشارة سالبة لان الحرارة مطروحة

ب- بتطبيق معادلة السريان

$$h_1 + C_1^2 / 2 + Q = h_2 + C_2^2 / 2 + W$$

وبإهمال السرعات ، وعدم وجود شغل ينتج ان :

$$h_1 + Q = h_2$$

$$\therefore Q = h_2 - h_1 \quad \therefore h = c_p T$$

$$\therefore Q = c_p (T_2 - T_1) = -403 \text{ kJ/ kg}$$

الاجراءات الانعكاسيه Reversible processes

١- الاجراء تحت حجم ثابت :-

$$Q = (u_2 - u_1) + W \quad \text{من معادلة عدم الانسياب}$$

وبالتعويض عن الشغل بصفر حيث لا يوجد شغل لعدم تغير الحجم عند ثبات الحجم

$$\therefore Q = U_2 - U_1 \quad (3-31)$$

٢- الاجراء تحت ضغط ثابت :-

$$Q = (U_2 - U_1) + W \quad \text{من معادلة عدم السريان}$$

$$W = p (v_2 - v_1) \quad \text{ومن معادلة حساب الشغل}$$

$$\therefore Q = (U_2 - U_1) + p (v_2 - v_1)$$

عند ثبات الضغط

$$Q = h_2 - h_1 \quad (3-32)$$

٢- الاجراء عند درجة حرارة ثابتة .

من معادلة عدم السريان

$$Q = (U_2 - U_1) + W$$

عند ثبات درجة الحرارة لا يوجد تغير في الطاقة الداخليه

$$\therefore Q = W = \int p dv \quad (3-33)$$

من المعادله العامه للغازات مع ثبوت درجة الحرارة يمكن اجراء التكامل والوصول الي :

$$W = pv \ln (v_2 / v_1) \text{ or } W = mRT \ln (v_2 / v_1) \quad (3-34)$$

ويمكن بالتعويض عن v_2 / v_1 بالقيمه p_1 / p_2

٤- الاجراء الادياباتيكى عند عدم السريان

يعرف الاجراء الادياباتيكى بانه الاجراء الذى يتم عندما يكون النظام معزولا عزلا جيدا وبالتالي لا تتسرب أية كمية حرارة من والى النظام .

ومن معادلة عدم السريان بالتعويض عن Q بالصفر ينتج ان :-

$$Q = (U_2 - U_1) + W \quad (3-35)$$

تحت الظروف الادياباتيكيه

$$W = U_1 - U_2 \quad (3-36)$$

ويمكن رياضيا الوصول إلى المعادله التاليه اذا علمنا ان معادله الاجراء هى :

$$pv^\gamma = \text{Constant}$$

$$W = (p_1 v_1 - p_2 v_2) / (\gamma - 1) \quad (3-37)$$

كما يمكن الحصول على الصيغه التاليه :-

$$T_1 / T_2 = (p_1 / p_2)^{(\gamma - 1) / \gamma} \quad (3-38)$$

٥- الاجراء البولتروبي :-

لقد وجد عمليا ان العديد من الاجراءات تقترب من اجراء انعكاسى تبعا

للمعادله ($pv^n = C$) حيث n رقم ثابت بخلاف رقم γ المشار اليها من

قبل فى الإجراء الادياباتيكى ويمكن الحصول على المعادله التاليه لحساب

الشغل فى حالة الإجراء الانعكاسى البولتروبي :-

$$W = (p_1 v_1 - p_2 v_2) / (n - 1) \quad (3-39)$$

ويمكن الوصول للعلاقة :

$$T_1/T_2 = (p_1/p_2)^{(n-1)/n} \quad (3-40)$$

ويجب ملاحظة انه في هذا الاجراء قد يضاف طاقة الى النظام او قد يفقد طاقة من النظام ولذلك فانه يمكن الوصول الى المعادله التاليه :-

$$Q = [(\gamma - n) / (\gamma - 1)] W \quad (3-41)$$

وهي توضح العلاقه بين الشغل والطاقته وقيمة γ و n والشغل يكون موجبا اذا كان الاجراء تمدد وعندئذ قد تكون قيمة n اكبر من γ وبالتالي فالجانب الايمن من المعادله تصبح قيمته سالبه اي ان قيمة Q سالبه وهذا يعني ان النظام فقد طاقة اما في حالة ان تكون قيمة n اصغر من γ وبالتالي فالجانب الايمن من المعادله تصبح قيمته موجبيه اي ان قيمة Q موجبيه وهذا يعني ان النظام اكتسب طاقته . ويمكن الوصول الى عكس هذا الاستنتاج في حالة مايكون الاجراء انضغاط وبالتالي قيمة الشغل سالبه .

الإجراءات اللانعكاسيه Irreversible processes

سبق تعريف اللانعكاسيه وهي عادة ماتتم في حالة التمدد الحر Free Expansion وفيها نجد ان الطاقه الداخليه لاتتغير عند ما يتم اجراء عزل جيد للنظام وان درجة الحرارة في النهايه تكون مماثله للبدايه الا اننا يمكن ان نطلق عليه اجراء ايزوثيرمالي الا انه عند تطبيق القانون العام للغازات فنجد ان $P_1 V_1 = P_2 V_2$.

كذلك نجد مثال آخر لاجراء اللانعكاسيه وهي ماتعرف بالـ Throttling وفيها لاتتغير الانتالبي عند اجراء عزل النظام عزلا حراريا جيدا ولذلك تكون درجة الحرارة في النهايه مماثله للبدايه للغازات التامه .

الاجراءات الانسيابيه اللانعكاسيه :-

بالرغم من أنه عادة ماتكون الإجراءات الانسيابيه من الوجهه العمليه اجراءات لانعكاسيه الا انه احيانا مايكون مناسباً افتراضها انعكاسيه ويمكن من

معادلة سريان الطاقة المستقر الوصول للمعادله التاليه لحساب الشغل فى حالة اجراء انسيابى انعكاسى ادياباتيكى .

$$W = (h_1 - h_2) + [(C_1^2 - C_2^2) / 2] \quad (3-42)$$

امثله حسابيه

مثال رقم ١٢ :

كمية من الهواء مقدارها ٥ ر. كجم سخنت عند ضغط ثابت مقداره ٢ بار حتى اصبح الحجم ٦٥٨ ر.م^٣. احسب كمية الحرارة المضافه والشغل المبذول مع العلم بأن درجة الحرارة فى البدايه ١٣٠ م^٥.

الحلــــــــــــــــ

$$T_2 = p_2 v_2 / m R = 2 \times 10^5 \times 0.0658 / (0.05 \times 0.287 \times 10^3)$$

$$= 917 \text{ K}$$

كمية الحرارة المضافه تحت ضغط ثابت نتجت من المعادله

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = 0.05 \times 1.005 (917 - 403)$$

$$= 25.83 \text{ kJ}$$

الشغل المبذول يحسب كمايلى :-

$$W = p (v_2 - v_1)$$

$$= m R (T_2 - T_1) = 0.05 \times 0.287 \times 514 = 7.38 \text{ kJ}$$

مثال رقم ١٣ :-

كمية من النيتروجين كتلتها ١ كجم (الكتله الموليه ٢٨ كجم/كيلو مول) ضغطت انعكاسيا ايزوثرماليا من ضغط مقداره ١ ر.١ بار ودرجة حرارة ٢٠ م^٥ الى ضغط ٤٢ بار بفرض ان النيتروجين غاز تام احسب الشغل المبذول والحراره المنسابه اثناء الاجراء .

الحلــــــــــــــــ

$$R = R_0 / M = 8314 / 28 = 0.297 \text{ kJ/kg K}$$

$$W = RT \ln (p_1 / p_2) = -124 \text{ kJ/kg}$$

الحرارة المناسبة تحسب كمايلي :-

$$Q = W = -124 \text{ kJ/kg}$$

مثال رقم ١٤ :-

هواء عند ضغط ١.٠٢ بار ودرجة حرارة ٢٢°م يشغل اسطوانة حجمها ١٥.٠ ر.م. تم ضغطها انعكاسيا اديباتيكا بواسطة ضاغط حتي ضغط ٦.٨ بار. احسب درجة الحرارة والحجم في النهاية والشغل المبذول وكتلة الهواء . .

الحل

$$T_1/T_2 = (p_1/p_2)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

$$\therefore T_2 = 507.5 \text{ K}$$

$$\therefore T_2 = 507.5 - 273 = 234.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$$v_2 = 0.00388 \text{ m}^3$$

$$W = U_1 - U_2 = c_v (T_1 - T_2) = -152.8 \text{ kJ/kg}$$

$$m = p_1 v_1 / RT = 0.0181 \text{ kg}$$

مثال رقم ١٥ :-

ضغط ١ كجم من غاز تام من ضغط ١ بار ودرجة حراره ٢٧°م الي ضغط ٦.٨ بار تبعا للمعادله $pV^{1.3} = \text{cons.}$ احسب كمية الحرارة المناسبة من أو إلى جدران الاسطوانة في الحالات الآتية :-

أ- الغاز ايثان $c_p = 2.10 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$, $m = 30 \text{ kg/ K mol}$

ب- الغاز أرجون $c_p = 0.52 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$, $m = 40 \text{ kg/ K mol}$

الحل

$$T_1/T_2 = (p_1/p_2)^{(n-1)/n}$$

$$\therefore T_2 = 453.6 \text{ K}$$

أ- فى حالة الايثان :- $R = 8.314/30 = 0.277 \text{ kJ/kg K}$

$R = c_p - c_v$

$\therefore c_v = 1.823 \text{ kJ/kg K}$

$\therefore \gamma = c_p/c_v = 1.152$

$W = R (T_1 - T_2)/(n-1) = -141.8 \text{ kJ/kg}$

$Q = [(\gamma - n)/(\gamma - 1)]W = +138.1 \text{ kJ/kg}$

ب- فى حالة الأرجون :

$R = 8.314/40 = 0.208 \text{ kJ/kg K}$

$R = c_p - c_v \therefore c_v = 0.312 \text{ kJ/kg K}$

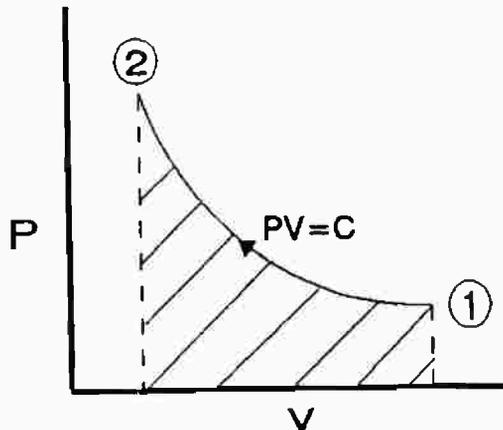
$\gamma = c_p/c_v = 1.667$

$W = R (T_1 - T_2)/(n-1) = -106.5 \text{ kJ/kg}$

$Q = [(\gamma - n)/(\gamma - 1)]W = -58.6 \text{ kJ/kg}$

مثال رقم ١٦ :-

ضغط ١ كجم من النيتروجين (الكتلة المولية ٢٨ كجم/ك مول) انعكاسيا مع ثبوت درجة الحرارة من ١٠.١ "بار" ، ٢٠.٠ م^٣ الى ٤.٢ "بار"
احسب الشغل المبذول والحرارة المناسبة اثناء الاجراء . افترض ان غاز النيتروجين غاز تام .



الحل

يتم حساب R للنيتروجين كما يلي:

$$R = R_0 / M = 8.314 / 28 = 0.297 \text{ kJ/kg}$$

الشكل السابق يوضح الاجراء ونلاحظ أن اتجاهه من اليمين الى اليسار لذلك فان الشغل المبذول سالب حيث ان الشغل مبذول على الغاز ويمكن حسابه من المعادله التاليه :

$$W = RT \ln (p_1 / p_2)$$

$$= 0.297 \times 293 \times \ln \frac{1.01}{4.2}$$

$$= -124 \text{ kJ/kg}$$

ولما كان الاجراء تحت درجة حرارة ثابتة $\therefore W = Q$

اي ان الحرارة تم طردها $Q = -124 \text{ kJ/kg}$

مثال رقم ١٧ :-

كمية من الهواء عند ضغط ١.٢ بار ، درجة حرارة ٢٢°م تشغل اسطوانه وله حجم ابتدائي ٠.١٥ م^٣ تم ضغط الهواء انعكاسيا وادياباتيكيا بواسطة ضاغط الى ضغط ٦.٨ بار احسب درجة الحرارة النهائيه ، الحجم النهائى ، الشغل المبذول على الهواء فى الاسطوانه .

الحل

من المعادله

$$T_1 / T_2 = (p_1 / p_2)^{(\gamma-1) / \gamma}$$

يمكن حساب درجة الحرارة النهائيه (T₂)

$$\therefore T_2 = 507.5 \text{ K}$$

ومن المعادله

$$(p_1 / p_2) = (v_2 / v_1)$$

يمكن حساب الحجم النهائى (v₂)

$$\therefore v_2 = 0.00388 \text{ m}^3$$

ويمكن حساب الشغل المبذول من المعادلة :

$$W = (p_1 v_1 - p_2 v_2) / (\gamma - 1) = 2.77 \text{ kJ}$$

مثال رقم ١٨ :



في الشكل السابق يحتوي الوعاء A على كمية من الهواء تحت ضغط ٢٠ "بار" وحجم ١ م^٣ وفتح الصمام (x) وتمدد الهواء لشغل الحيز في الوعائين A, B إذا كان الوعاء (B) له نفس حجم الوعاء (A) ١ م^٣ احسب الضغط النهائي للهواء ؟

الحلــــــــــــــــ

عندما يتمدد الغاز التام تمدد حر فان درجة الحرارة الابتدائية $T_1 =$ درجة الحرارة النهائية T_2 ولذلك بتطبيق العلاقة

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

 يتم حساب الحجم النهائي (v_2)

$$v_2 = v_A + v_B = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3$$

$$\therefore p_2 = p_1 v_1 / v_2 = 10 \text{ bar}$$

مثال رقم ١٩ :

توربين غازي يستقبل الغازات من غرفة احتراق عند ضغط ٧ "بار" ودرجة حراره ٦٥٠ م^٥ وبسرعة ٩ متر/ث. الغازات تترك التوربين عند ضغط ١ بار وبسرعة ٤٥ م/ث. افترض ان التمدد ادياباتيكي انعكاسي . احسب الشغل المبذول لكل ١ كجم غاز . اعتبر ان قيمة $\gamma = ١.٣٣٣$ ، $c_p = ١.١١$ ك جول/كجم كلفن .

الحلــــــــــــــــ

وباستخدام معادلة الانسياب لاجراء ادياباتيكي

$$W = (h_1 - h_2) + [(C_1^2 - C_2^2) / 2]$$

وبالتعويض عن h من المعادله

$$h = c_p T$$

نحصل على

$$W = c_p (T_1 - T_2) + [(C_1^2 - C_2^2) / 2]$$

يتم حساب T_2 من المعادلة

$$T_1 / T_2 = (P_1 / P_2)^{\gamma - 1 / \gamma}$$

$$\therefore T_2 = 567 \text{ K} \quad \text{فنجد ان}$$

\therefore بالتعويض في معادلة الشغل نجد ان

$$W = 394.2 \text{ kJ/kg}$$

مثال رقم ٢٠ :-

خزان هواء حجمه ٣م^٦ وضغطه ١٥ بار ودرجة حرارته ٤٠٥°م فتح صمام التحكم وسمح لجزء من الهواء للأنتسياب الى الجو الخارجى . ثم قفل الصمام حيث انخفض الضغط الى ١٢ بار . احسب كمية الهواء المتسربه من الخزان .

الحلــــــــــــــــ

يمكن حساب كتلة الهواء فى البدايه m من المعادله العامه للغازات كمايلى:

$$m = pv/RT = 100 \text{ kg}$$

بفرض ان العمليه تحت اجراء ادياباتيكى يمكن الحصول على درجة الحراره النهائيه T من المعادله :

$$(T/T') = (P/P')^{(\gamma - 1) / \gamma}$$

$$\therefore T' = 294.2 \text{ K}$$

\therefore يمكن حساب كتلة الهواء المتبقيه (m') من المعادله العامه للغازات كمايلى :

$$m' = pv/RT' = 85.3 \text{ kg}$$

$$\therefore m = 100 - 85.3 = 14.7 \text{ kg}$$

مسائل بمائة

أولاً : تعاريف على مقدمة الديناميكا الحرارية حساب الشغل

١- تحتوي أسطوانة على مائع تحت مكبس عند ضغط ١٠ بار إذا علمت ان الحجم الابتدائي لهذا المائع ٥.٠ م^٣ . احسب الشغل المبذول بواسطة المائع عند تمدده انعكاسيا في الحالات الآتية :-

- أ- عند ضغط ثابت الى حجم نهائي ٢.٠ م^٣
- ب- تبعا لعلاقة خطيه الي حجم نهائي ٢.٠ م^٣ وضغط نهائي ٢ بار
- ج- تبعا للمعادله $(PV^{1.2} = \text{Constant})$ إلي حجم نهائي ١.٠ م^٣
- د- تبعا للمعادله $(PV^{1.2} = \text{Constant})$ الي حجم نهائي ٠.٦ م^٣
- هـ- تبعا للمعادله $[p = (A/V^2) - (B/V)]$ الي حجم نهائي ١.٠ م^٣ وضغط نهائي ١ بار مع العلم ان A , B ثوابت .
وضع جميع الاجراءات برسم تخطيطي بين الضغط والحجم.

[الاجابه :- أ (١٥.٠٠٠) ، ب (٩.٠٠٠) ، جـ (٢٤٦٥٧) ، د (٧٦٢٩) ، هـ (١٩٢.٦) نيوتن. متر].

٢- مائع كتلته ١ كجم تم ضغطه انعكاسيا تبعا للمعادله $(pv = 0.25)$ حيث "p" الضغط معبرا عنه بوحدات "بار" و "v" هي الحجم النوعي معبرا عنها بوحدات م^٣/كجم. الحجم النهائي مساويا ١/٤ الحجم الابتدائي . المطلوب : حساب الشغل المبذول على المائع مع توضيح الاجراء برسم تخطيطي للعلاقة بين الضغط والحجم [الاجابه : ٢٦٥٧ نيوتن. متر].

٣- تحتوي اسطوانه على ٥.٠ م^٣ غاز تحت مكبس عند ضغط ١٠ بار تمدد هذا الغاز انعكاسيا تبعا للمعادله $P.V^{1.2} = \text{Constant}$ حتي وصل الحجم ٠.٨ م^٣ احسب الشغل المبذول بواسطة الغاز مع توضيح الاجراء برسم تخطيطي يبين العلاقة بين الضغط والحجم [الاجابه : ١٥٤٧٦ نيوتن. متر]

٤- تمدد ١ كجم مائع انعكاسيا تبعا لعلاقة خطيه من ضغط ٤ر٢ "بار" الى ١ر٤ "بار" وكان الحجم الابتدائي ٤.٠٠م^٣ والحجم النهائي ٢.٠٠م^٣. بعد ذلك تم تبريد المائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت. وفي النهاية تم ضغطه انعكاسيا تبعا للمعادله $pV = \text{Constant}$ حتي وصل الى نقطة البدايه حيث الضغط ٤ر٢ "بار" والحجم ٤.٠٠م^٣. احسب الشغل المبذول في كل اجراء محدد اذا كان الشغل مبذول بواسطة المائع أو عليه. احسب الشغل الصافي للدوره. وضع الاجراءات المختلفه على رسم تخطيطي يوضح العلاقه بين الضغط والحجم.

[الاجابه : ٤٤٨. ، -١١٢. ، -١٨٤٦. ، ١٥١٤ نيوتن.متر]

٥- مائع حجمه ٠.٩م^٣ وضغطه ٧ر.٠ بار تم ضغطه انعكاسيا الى ضغط ٢ر٥ بار تبعا للمعادله $PV^n = \text{Constant}$. ثم سخن الغاز انعكاسيا تحت حجم ثابت حتي ضغط ٤ "بار" وكان الحجم النوعي عندئذ ٥ر.٠م^٣/كجم. تم اعاده المائع إلى حالته الاصليه بتمده انعكاسيا تبعا للمعادله $(pV^2 = \text{Constant})$. احسب كتله هذا المائع، وقيمة "n" في الاجراء الاول، والشغل الصافي الذي بذل بواسطة المائع أو عليه في تلك الدوره. ارسم رسم تخطيطي للدوره يوضح العلاقه بين الضغط والحجم.

[الاجابه : ٧٥٢.٠ر كجم، ١ر٨٤، ٨٥٤ نيوتن.متر]

٦- سخن مائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت ١ر.٥ "بار" حتي اصبح حجمه النوعي ١ر.٠م^٣/كجم. عندئذ ضغط انعكاسيا تبعا للمعادله $(pV = \text{Constant})$ حتي صار الضغط ٤ر٢ بار، ثم سمح له بالتعدد انعكاسيا تبعا للمعادله $(pV^{1.3} = \text{Constant})$. وفي النهايه تم تسخينه تحت حجم ثابت ليعود الي حالته الاصليه. ولقد وجد ان الشغل المبذول في الاجراء عند ثبات الضغط ٥١٥ نيوتن.متر وكتله المائع ٢ر.٠كجم. احسب الشغل الصافي المبذول بواسطة المائع أو عليه في تلك الدوره ارسم رسم تخطيطي يوضح العلاقه بين الضغط والحجم.

[الاجابه: -٤٢٢ نيوتن.متر].

ثانياً : تعاريف على الإجراءات الانعكاسيه والانعكاسيه

- ١- وعاء صلب يحتوى على ١ كجم هواء عند ضغط ٨ر٤ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م . تم تسخين الوعاء حتى ارتفعت درجة الحرارة الى ٢٠°م . احسب الضغط النهائي فى الوعاء وكمية الحرارة المضافه اثناء عملية الاجراء .
[الاجابه : ٢٧ر٥ "بار" ، ٢٥٩٠ كيلوجول/كجم].
- ٢- تمدد الاكسجين (الكتله الموليه ٢٢ كجم/ك.مول) انعكاسيا فى اسطوانة خلف مكبس مع ثبات الضغط ومقداره ٢ "بار" . الحجم الابتدائي ١.٠ م^٣ وأصبح فى النهايه ٢.٠ م^٣ . درجة الحرارة الابتدائيه ١٧°م . احسب الشغل المبذول بواسطة الاكسجين وكمية الحرارة من او إلى جدران الاسطوانه اثناء عملية التمدد. افترض ان الاكسجين غاز تام وله $c_p = ٩١٧$. كيلوجول/كجم كلفن .
[الاجابه : ٦ كيلوجول ، ٢١١٦ كيلوجول]
- ٣- غاز تام حجمه ٥.٠ م^٣ . متر مكعب عند ضغط ٢٣ر٦ "بار" ينخفض ضغطه الي ٥.٠ م^٣ "بار" فى اجراء انعكاسى مع ثبوت درجة الحرارة . احسب كمية الحرارة المنسابه من او الي الغاز .
[الاجابه : ٤٤ر٥٦ كيلوجول]
- ٤- تم ضغط ١ كجم من الهواء انعكاسيا وتحت درجة حرارة ثابتة مقدارها ٢٠°م من ضغط ١ "بار" . احسب الشغل المبذول على الهواء وكمية الحرارة المنسابه من او الي الهواء .
[الاجابه : ٩٦ر١٢٩ كيلوجول/كجم ، - ٩٦ر١٢٩ كيلوجول/كجم].
- ٥- كمية هواء كتلتها ١ كجم عند ضغط ١ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م . ضغطت انعكاسيا وادياياتيكيا حتى ضغط ٤ "بار" . احسب درجة الحرارة النهائيه والشغل المبذول على الهواء .
[الاجابه : ١٥٥°م ، ١٠.٠٥ كيلوجول/كجم]

٦- تمدد النيتروجين (الكتله الموليه ٢٨ كجم/ك مول) انعكاسيا في اسطوانه معزوله حراريا تماما من ضغط ٣ر٥ بار ، درجة حرارة ٢٠٠م الى حجم ٩ر٠م^٣ اذا علمت ان الحجم الابتدائي ٣ر٠م^٣ . احسب الشغل المبذول اثناء عملية التمدد . افترض ان غاز النيتروجين غاز تام وله $c_p = ٧٤١$ ر . كيلوجول/كجم كلفن .
[الاجابه : ٩٣١ كيلوجول]

٧- ضغط غاز تام معين انعكاسيا من ضغط ١ بار ، ١٧م الى ضغط ٥ بار في اسطوانه معزوله حراريا تماما . درجة الحراره النهائيه ٧٧م . الشغل المبذول على الغاز اثناء الانضغاط ٤٥ك . جول/كجم . احسب قيمة γ ، c_p ، R والوزن الجزئي النسبي للغاز .
[الاجابه : ١ر١٢٢ ، ٧٥ ، كيلوجول/كجم كلفن ، ٠٩٩ ر . كيلوجول/كجم كلفن، ٨٤]

٨- كمية هواء مقدارها ١ كيلو جرام عند ضغط ١ر٠٢ بار ودرجة حرارة ٢٠م تم ضغطها انعكاسيا تبعا للمعادله ($pv^{1.3} = \text{constant}$) الى ضغط ٥ر٥ بار . احسب الشغل المبذول على الهواء وكمية الحراره المنسابه من او الي جدران الاسطوانه اثناء الانضغاط .
[الاجابه : ١٢٢ر٥ كيلوجول/كجم ، ٢٢ر٢٨ كيلوجول/كجم]

٩- ضغط غاز الاكسجين (الكتله الموليه ٢٢ كجم/ك.مول) انعكاسيا وبولي تروبيكالي في اسطوانه من ١ر٠٥ بار ، ١٥م الى ٤ر٢ بار بطريقه ما بحيث يتم طرد ٢/١ الشغل المضاف علي صورة حراره الي جدران الاسطوانه احسب درجة الحراره النهائيه للاكسجين بفرض ان الاكسجين غاز تام وله $c_p = ٦٤٩$ ر . كيلو جول/كجم كلفن .
[الاجابه : ١١٢م]

١٠- كمية من غاز ثاني اكسيد الكربون مقدارها ٥ر٠ كجم (الكتله الموليه ٤٤ كجم/ك.مول) تشغل حجم ٠٣ ز . متر مكعب عند ضغط ١ر٠٢٥ بار . تم ضغطها انعكاسيا حتي ضغط ٦ر١٥ بار . احسب درجة الحراره النهائيه ، الشغل المبذول على الغاز ، كمية الحراره المنسابه من او الي جدران الاسطوانه .

- أ- عندما يتم الأجراء تبعا للمعادله $(pv^{1.4} = \text{constant})$.
 ب- عندما يتم الأجراء مع ثبوت درجة الحرارة .
 ج- عندما يتم الأجراء فى اسطوانة معزوله حراريا تماما .
 افرض ان غاز ثاني اكسيد الكربون غاز تام واعتبر $\gamma = 1.3$.
 [الاجابه: 270°م ، 138 ره كيلوجول ، 1713 كيلوجول ، 526°م ،
 51 ره كيلوجول ، 51 ره كيلوجول ، 219°م ، 25 ره كيلوجول ، صفر
 كيلوجول]

١١- هواء عند ضغط 6.9 بار ، درجة حرارة 260°م تم خنقه لضغط 5 ره بار قبل تمده خلال فوهة خرطوم الى ضغط 1 بار افترض ان الهواء ينساب انعكاسيا انسيابياً مستقر خلال فوهة الخرطوم ولايحدث طرد للحراره . احسب سرعة الهواء عند خروجه من فوهة الخرطوم عندما تكون سرعة دخوله 100 متر/ثانيه .
 [الاجابه: 637 متر/ثانيه]

١٢- هواء عند درجة حرارة 40°م يدخل غرفة خلط بمعدل 225 كجم/ساعه حيث يتم خلطه مع هواء درجة حرارته 15°م بمعدل 54 كجم/ساعه . احسب درجة حرارة الهواء عند تركه غرفة الخلط . افرض ظروف انسياب مستقر . افرض ان كمية الحراره المفقوده يمكن اهمالها .
 [الاجابه: 224°م]

١٣- تحتوي اسطوانة صلبه علي غاز الهليوم (الكتله المولييه 4 كجم/ك.مول) عند ضغط 5 بار ودرجة حرارة 15°م . تم توصيل الاسطوانه مع مصادر ضخ للهليوم عند ضغط 10 بار ودرجة حرارة 15°م وتم قفل الصمام الموصل بالاسطوانه عندما ارتفع الضغط بالاسطوانه الي 8 بار . احسب درجة الحراره النهائيه للهليوم فى الاسطوانه بفرض ان كمية الحراره المنتقله خلال اجراء العمليه صغير ويمكن اهماله . قيمه C_v للهليوم 2.12 كيلوجول/كجم كلفن .
 [الاجابه: 615°م]

١٤- يحتوي خزان هواء علي ١٠ كيلوجرام من الهواء عند ضغط ٧ بار^٢ به صمام فتح خطأ وتم قفله ثانيه في خلال ثواني الا ان الضغط انخفض الي ٦ بار^٢ . احسب كتلة الهواء التي هربت من الخزان مع توضيح أى فروض تأخذها واحسب ايضا ضغط الهواء فى الخزان بعد ان يمر بعض الوقت بعد قفل الصمام لكي تكون درجة حرارة الهواء قد عادت إلي درجة الحرارة الاصلية .
[الاجابه: ١ر.٤ كجم ، ٦ر٢٧ بار^٢]

١٥- اسطوانه رأسيه مساحه مقطعيها ٦٤٥٠ مم^٢ مفتوحه من أحد طرفيها للجو ومتصله من الطرف الاخر عن طريق ماسورة وصمام بخزان هواء كبير تم تشبييت مكبس بالاسطوانه لا احتكاك له يزن ١٠٠ نيوتن وكان الحجم الابتدائي للأسطوانه صفر . تم فتح الصمام وسمح للهواء بالمرور ببطء من الخزان الكبير إلي الاسطوانه حتي تحرك المكبس ببطء مسافة ٦ م . وعندئذ قفل المكبس . اذا كانت درجة حرارة الهواء فى الاسطوانه ٢٠°م عند نهاية العمليه ودرجة الحرارة للهواء فى الخزان الكبير ثابتة عند ٩٠°م احسب :-

- أ- ضغط الهواء فى الاسطوانه اثناء العمليه .
 - ب- الشغل المبذول بالهواء فى الاسطوانه .
 - ج- الشغل المبذول علي المكبس .
 - د- الحرارة المنتقله من او الي الهواء فى الاسطوانه اثناء العمليه .
- اعتبر ضغط الهواء الجوى ١ر.١٢ بار^٢
[الاجابه: ١ر٦٨ بار^٢ ، ٤٥٢ جول ، ٦٠ جول ، -٢١٠ جول]

ثالثاً : تعاريف علي القانون الاول للديناميكا الحراريه

- ١- يقوم مكبس هواء بعملية الضغط مع ثبوت الطاقة الداخليه ، ويتم طرد ٥٠ كيلو جول إلي ماء التبريد لكل ١ كجم هواء . احسب الشغل اللازم لشروط الانضغاط لكل رطل من الهواء [الاجابه : ٥٠ كيلو جول/كجم].
- ٢- وجد ان الشغل المبذول في شوط الانضغاط على الغاز بواسطة مكبس ٧٠ كيلوجول/كجم وكمية الحرارة المطروده الي ماء التبريد ٤٢ كيلوجول/كجم . احسب التغير في الطاقة الداخليه وحدد اذا كان حدث اكتساب أو فقد فيها .
[الاجابه : تم اكتساب ٢٨ كيلوجول/كجم].

٢- كتلة من غاز لها طاقة داخلية ١٥٠٠ كيلوجول موجودة في اسطوانة معزولة تماما حراريا تمدد الغاز خلف مكبس حتي اصبحت طاقته الداخلية ١٤٠٠ كيلوجول احسب الشغل المبذول بواسطة الغاز .

اذا علمت ان التمدد تم تبعا للمعادلة ($pV^2 = \text{constant}$) وان الضغط الابتدائي للغاز ٢٨ "بار" والحجم الابتدائي للغاز ٠.٦ م^٣ ، احسب الضغط والحجم في نهاية الاجراء .

[الاجابه : ١٠٠٠ كيلوجول ، ٤٦٠ بار ، ٠.١٤٨ م^٣]

٤- وجد ان الغازات في اسطوانة آلة احتراق داخلها لها طاقة داخلية ٨٠٠ كيلوجول/كجم وحجم نوعي ٠.٦ م^٣/كجم عند بداية التمدد . افترض ان التمدد انعكاسيا تبعا للمعادلة $pV^{1.5}$ من ضغط ٥٥ "بار" الي ١٠.٤ "بار" الطاقة الداخلية بعد التمدد ٢٢٠ كيلوجول/كجم . احسب كمية الحرارة المطروقة/كجم غازات الي ماء تبريد الاسطوانة اثناء شوط التمدد .

[الاجابه : ١٠.٤٢ كيلوجول/كجم]

٥- محرك بخاري يدخله البخار بمعدل ١٢٥ كجم/ثانية وينتج ٥٠٠ كيلوات . كمية الحرارة المفقودة بين جداره يمكن اهمالها .

أ- احسب التغير في الانثاليبي النوعي عبر المحرك عند اهمال سرعة دخول وخروج البخار وكذلك الفرق في الارتفاع عند الدخول والخروج .

ب- احسب التغير في الانثاليبي النوعي عبر المحرك عندما يكون سرعة دخول البخار ٦٠ متر/ث و سرعة خروجه ٢٦٠ م/ث ومستوي ماسورة الدخول اعلي من ماسورة العادم ٢ متر .

[الاجابه : ٢٧٠.٤ كيلوجول/كجم ، ٤٢٢.٤ كيلوجول/كجم]

٦- يدخل البخار بانسياب مستقر الي مكثف وقيمة الانثاليبي له ٢٢٠٠ كيلوجول/كجم وسرعته ٢٥٠ م/ث . بعد تكثيفه يخرج وقيمة الانثاليبي له ١٦٠ كيلوجول/كجم وسرعته ٧٠ م/ث .

احسب كمية الحرارة المنتقلة الي ماء التبريد لكل كجم بخار مكثف .

[الاجابه : ٢١٩٨.٨ كيلوجول/كجم]

٧- محرك بخاري يعمل تحت ظروف الانسياب المستقر يدخله البخار بالحاله التاليه : الضغط ١٢٨ "بار" - الحجم النوعي ٠.١٤٢ م^٣/كجم - الطاقة

الداخليه ٢٥٩. كيلوجول/كجم - السرعة ٢٠ م/ث . ويخرج البخار من المحرك بحاله التاليه : الضغط ٣٥ ر. بار - الحجم النوعي ٤٣٧ م^٣/كجم الطاقه الداخليه ٢٢٦. كيلوجول/كجم - السرعة ٩٠ م/ث . تفقد الحراره للجو المحيط بمعدل ٢٥ ر. كيلوجول/ث ، ومعدل انسياب البخار ٢٨ ر. كجم/ث . احسب القدره المتحصل عليها من المحرك . [الاجابه : ١.٢٩٨ كيلوات] .

- ٨- تعتبر فوهة فم الخرطوم وسيله لزيادة سرعة تيار لمانع ينساب مستقرا . ولقد وجد ان قيمة الانتالبي لمانع عند دخوله فوهة فم الخرطوم ٢٠٢٥ كيلوجول/كجم والسرعه ٦٠ متر/ث . ولقد وجد ان الانتالبي للمانع عند خروجه ٢٧٩٠ كيلوجول/كجم . فوهة فم الخرطوم أفقيه والحراره المفقوده منه يمكن اهمالها أ- اوجد سرعة خروج المانع . ب- اذا كانت مساحة الدخول ١ م^٢ والحجم النوعي للمانع عند الدخول ١٩ م^٣/كجم . احسب معدل انسياب المانع . ج- اذا كان الحجم النوعي للمانع عند الخروج ٥ م^٣/كجم . احسب مساحة الخروج . [الاجابه : ٦٨٨٢ م/ث ، ٢١٦٦ كجم/ث ، ٢٢٠ م^٢]

رابعاً : تعاريف علي Working Fluid

- استخدم القيم التاليه للهواء :-
- الثابت العام النوعي للهواء $R = 287$ كيلوجول/كجم كلفن
 - الحراره النوعيه تحت ضغط ثابت " c_p " ١٠٠٥ كيلوجول/كجم كلفن
 - الحراره النوعيه تحت حجم ثابت " c_v " ٧١٨ كيلوجول/كجم كلفن
- النسبه بين الحراره النوعيه تحت ضغط ثابت وتحت حجم ثابت $\gamma = 1.4$ وللغازات التامه الاخرى يتم حساب تلك القيم باستخدام المعلومات المعطاه في التمرين .
- ١- الوزن الجزيئي النسبي لغاز ثاني اكسيد الكربون ٤٤ ، وجد في احدي التجارب أن قيمة γ له ١.٢ . افرض ان غاز ثاني اكسيد الكربون غاز تام ، احسب الثابت العام النوعي للغاز R والحراره النوعيه تحت ضغط ثابت وتحت حجم ثابت . [الاجابه : ١٨٩ ر. ، ٦٢٠ ر. ، ٨١٩ ر. كيلوجول/كجم كلفن ، ٢٨٠ م^٣].

٢- أحسب الطاقة الداخلية والانتالبي لـ ١ كجم هواء يشعُر ٤ ر.م. $^{\circ}\text{C}$ عند ٢٠ "بار" إذا علمت ان الطاقة الداخلية ازدادت ١٢٠ كيلوجول/كجم بازدياد ضغط الهواء إلي ٥٠ بار ، أحسب الحجم الجديد الذي يشغله ١ كجم من الهواء .

[الاجابه : ٢٥٠.١٠٦ كيلوجول/كجم ، ٢٥٠.١٧ كيلوجول/كجم، ٢٩٦ ر.م. $^{\circ}\text{C}$].

٣- وعاء من الصلب سعته ٤ ر.م. $^{\circ}\text{C}$ مخزن به غاز الاكسجين عند ضغط ٢٠٠ "بار" ودرجة حرارة 20°C . بفرض ان الاكسجين غاز تام . أحسب كتلة الاكسجين المخزنه في الوعاء اذا علمت ان الوعاء مزود بصمام امان ضد ارتفاع الضغط حيث ينصهر الصمام عندما ترتفع درجة الحرارة . احسب درجة الحرارة التي يجب ان ينصهر عندها الصمام حتي يحد من ارتفاع الضغط في الوعاء الي ٢٤٠ "بار" . الكتلة المولية للاكسجين هي ٣٢ كجم/كيلومول .

[الاجابه: ٩٥١ ر.م. $^{\circ}\text{C}$ ، ٧٨٦ ر.م. $^{\circ}\text{C}$].

٤- عند تسخين غاز تام معين تحت ضغط ثابت من درجة حرارة 15°C الي درجة حرارة 95°C فانه يحتاج الي كمية حرارة مقدارها ١١٢٦ كيلوجول/كجم. وعند تسخين نفس الغاز تحت حجم ثابت من والي نفس درجات الحرارة المذكوره فانه يحتاج الي كمية حرارة مقدارها ٨٠٨ كيلوجول/كجم. احسب كل من c_p ، c_v ، γ ، R ، الوزن الجزيئي النسبي للغاز .

[الاجابه: ١٤١٢ كيلوجول/كجم كلفن ، ١٠٠١ كيلوجول/كجم كلفن ، ١.٤٠٦ ، ٠.٤١ ، ١.٤٠٦ ، ٢٠.٢٨].

٥- مكبس هواء يدخله الهواء عند ضغط ١ "بار" ويتركه عند ضغط ٥ "بار" ودرجة حرارة الهواء عند دخوله الي المكبس 15°C وحجم الهواء عند بداية الانضغاط ٣ امثال حجمه عند نهاية الانضغاط . احسب درجة حرارة الهواء عند خروجه من المكبس ومقدار الزيادة في الطاقة الداخليه لكل ١ كجم هواء .

[الاجابه: ٢٠.٧ م ، ١٢٧.٨٦ كيلوجول/كجم].

٦- تم ضغط كمية غاز تام معين من حالة ابتدائيه حيث حجمه ٨٥ ر.م. $^{\circ}\text{C}$ وضغطه ١ بار الي حالة نهائيه حيث حجمه ٢٤ ر.م. $^{\circ}\text{C}$ وضغطه ٣٨ "بار" الحرارة النوعيه تحت حجم ثابت ٧٢٤ ر. كيلوجول/كجم كلفن ، الحرارة النوعيه

تحت ضغط ثابت ١ر.٢ كيلوجول/كجم كلفن . لوحظ ارتفاع في درجة الحرارة مقدار ١٤٦ كلفن . احسب الثابت العام النوعي للغاز "R" ، كتلة الغاز الموجوده ، مقدار الزيادة في الطاقة الداخليه للغاز .
[الاجابه: ٢٩٦ر. كيلوجول/كجم كلفن ، ٧٩ر. كجم ، ٨٢١٦ر كيلوجول].

الدورات الحرارية والقانون الثاني للديناميكا الحرارية

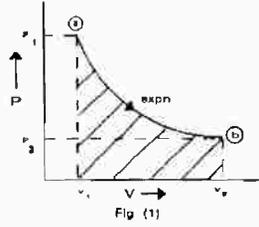
يبين القانون الأول أن الحرارة والشغل صورتان من صور الطاقة يمكن تحويل كل منهما إلى الأخرى كما حدد طريقة ربطهما ببعض عن طريق عامل كمي (المكافئ الميكانيكي للحرارة) . وأمكنا القانون الأول من تعريف الطاقة المخزنه كما أوضح العلاقة بين الشغل والحراره والتغير فى الطاقة الداخلية للمجموعة . ولكن لم يضع القانون الأول أى حدود لإمكانية تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى . فالشغل يمكن أن يتحول تماماً إلى طاقة والعكس . ولكن فى الآلات الحرارية نجد أن جزءاً فقط من الطاقة الحرارية المضافة يمكن أن يتحول إلى شغل ميكانيكى مفيد بينما يخرج جزء آخر كبير من هذه الطاقة من الآله الحراريه مفقوداً فى صورة دخان عادم أو بخار ثانوى أى أن المحتوى الحرارى لماده الشغل (بخار أو غاز) لايمكن الاستفادة منها تماماً بدون فاقد وذلك لأن مادة الشغل تخرج من الآله على درجة حراره أعلى من درجة حراره الوسط الجوى المحيط بحيث أننا نجد أن هناك فرقاً كبيراً بين درجة حرارة العوادم الخارجة ودرجة حراره الصفر المطلق أى أن هناك فرق فى المحتوى الحرارى كان يمكن استغلاله فى عمليات تحول الطاقة ولكن هذا الجزء من الطاقة لا زال مهدراً وبالتالي تكون الاستفادة غير كاملة . ولدراسه القانون الثانى لايد من التعرف أولاً على كيفية عمل الآله الحراريه وعلى التعرف على الإجراءات العكسية والغير عكسية ومنها يمكن التوصل إلى صيغ مختلفه للتعبير عن القانون الثانى للديناميكا الحرارية .

الآله الحرارية Heat Engine

هى إداة تعمل على تحويل الحراره إلى شغل خارجى وتتكون الآله الحراريه عادة من اسطوانه معزولة الجوانب (ماعداء قاعدة الاسطوانه) لها مكبس حر الحركة ويتحرك بدون إحتكاك ويوجد بداخل الاسطوانه ماده تسمى ماده التشغيل Working Substance وماده التشغيل يمكنها أن تمتص (تكتسب) أو تطرد كمية من الحرارة وتقوم بعمل شغل (مكتسب أو مبدول) وذلك بتمدها أو بانضغاطها أى بتغيير حجمها .

والموائع وعلى الأخص الغازات مثل الهواء أو البخار أو موائع التبريد (فريون ، أمونيا ، ركلين..الخ) من أفضل المواد التى تستخدم كماده تشغيل حيث أن التغير فى حجمها يكون أكبر من المواد الصلبة والسائلة ، واستجابتها لتغير حجمها عند التأثير عليها بقوى خارجية يكون سريعاً .

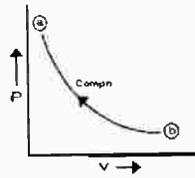
وعند عمل الآله الحرارية فإن درجة حرارة ماده التشغيل او الشغل (الغاز) تتراوح بين درجة حراره قصوى يصل إليها الغاز عند تلامسه بمصدر حرارى ساخن Source وبين درجة حراره صفرى تكون هى درجة حراره مكثف بارد (مصعب أو بالوعه حرارية) Sink .



شكل (٦-٢) تمدد غاز داخل الاسطوانة

وكما عرفنا سابقاً فإن الشغل الذى يبذله الغاز عند تعديده من النقطة a حيث الحجم V_1 والضغط P_1 إلى النقطة b حيث الحجم V_2 والضغط P_2 يعطى بالمعادلة

$$W (\text{exp. a - b}) = \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (3-43)$$



شكل (٧-٢) انضغاط غاز داخل الاسطوانة

وقيمة هذا الشغل يساوي المساحة تحت المنحنى شكل (٦-٢) ولكى يمكننا تكرار نفس هذه العملية لكى نحصل على نفس قيمة شغل التمدد W فلا بد من رجوع الغاز إلى حالته الأولى حيث الضغط P_1 والحجم V_1 (شكل ٧-٢) أى أنه لابد من ضغط الغاز وبهذا فإن الغاز يكون قد قام بعمل دورة حرارية فى عملية ضغط الغاز فلا بد بالطبع من بذل شغل على الغاز من أى مصدر خارجى وتكون قيمة هذا الشغل

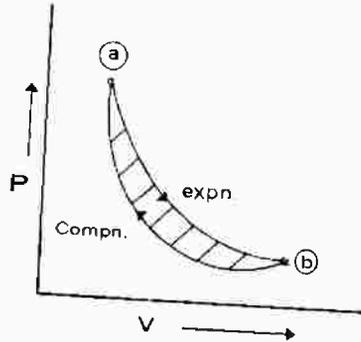
$$W (\text{comp b - a}) = \int_{v_2}^{v_1} p dv = - \int_{v_1}^{v_2} p dv \quad (3-44)$$

وحيث أن الشغل هو دالة للعملية الديناميكية الحرارية أى يتوقف على المسار بين نقطتى البداية والنهاية فإن قيمتى $W_{b-a} \text{ comp}$ & $W_{a-b} \text{ exp}$ سوف تعتمد على مسار كل من عمليتى التمدد والضغط (حيث أن الشغل يساوى المساحة تحت المنحنى والمسار) ويكون الشغل الكلى الناتج من دورة واحدة مساويه لـ :

$$W_c = W \text{ exp } (a - b) - W \text{ comp } (b - a) \quad (3-45)$$

فإذا انطبق منحنى التمدد على منحنى الضغط فإن الشغل الكلى الناتج أو الذى يمكن الحصول عليه من الدورة يكون مساوياً صفر . أى أن :

$$W_c = 0, \quad W \text{ exp } (a - b) = W \text{ comp } (b - a) \quad (3-46)$$



شكل (٨-٣) دورة لتمدد وانضغاط الغاز

أما إذا كان منحنى التمدد أعلى منحنى الانضغاط (شكل ٨-٣) فإن الشغل الكلى الناتج من الدورة يكون مقداراً موجباً ويكون مساوياً للمساحة بين المنحنيين وحيث أن الغاز يصل فى نهاية الدورة إلى حالته الأصلية $(P, v, t)_0$ فإن التغير فى درجة حرارته = صفر وبالتالي يكون التغير فى طاقته الداخلية مساوياً صفر $U = 0$ وطبقاً للقانون الأول للديناميكا الحرارية فإن صافى الشغل W_c الناتج عن الدورة هو

$$W_c = Q_1 - Q_2, \quad W_c = \Delta Q$$

أى أن الشغل الناتج من الدورة يكون مساوياً لكمية الحرارة المعطاه لماده الشغل (الغاز) مطروحاً منها كمية الحرارة المفقودة من مادة الشغل (الغاز) بمعنى أن جزء

من الحرارة المعطاه للغاز يتحول إلى شغل والباقي يفقد.
وتعرف الكفاءة الحرارية للألة أو الجودة الحرارية بالتالى :
الجوده الحراريه = $\frac{\text{الشغل المبذول}}{\text{كمية الحرارة المعطاه}}$ أى أن :

$$\eta = \frac{W_c}{Q_1} \quad (3-47)$$

حيث Q_1 هى كمية الحرارة التى امتصها الغاز من المصدر الساخن ، W_c هو الشغل الخارجى الذى بذله الغاز

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (3-48)$$

وفى معادلة الجوده الحراريه يجب أن تكون وحدات W_c هى نفس وحدات Q_1

العمليات القابلة للعكس والغير قابله للعكس Reversible and Irreversible Processes

إن مفهوم قابلية العكس أو عدم قابلية العكس للعمليات المختلفه من أهم مفاهيم الديناميكا الحرارية . فإن أكبر مطامع المهندسين المشتغلين بعلوم الطاقة هو إمكانية تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى بدون أن يفقد جزء منها إلى الوسط المحيط . فإذا أجريت عملية فى اتجاه معين من a إلى b ثم أجريت فى الاتجاه العكسى من b إلى a وعادت مادة الشغل إلى حالتها الإبتدائية من حيث الضغط ودرجة الحرارة دون أن يحدث للوسط المحيط أى تغيرات فيقال أن هذه العملية قابلة للعكس Reversible فمثلاً إذا أجريت عملية فى اتجاه معين من a إلى b وامتصت كمية من الحرارة Q من الوسط الخارجى فإن تنفيذ إجراء العملية فى الاتجاه العكسى من b إلى a يجب على مادة الشغل أن تطرد نفس كمية الحرارة Q إلى الوسط الخارجى أو إذا بذلت مادة الشغل شغلاً موجباً خلال حركتها من a إلى b فيجب عند إجراء العملية فى الاتجاه العكسى من b إلى a أن يبذل عليها نفس مقدار الشغل حتى تعود إلى حالتها الأصلية .

فحركة بندول الساعه مثلاً تعتبر من الناحية النظرية عملية عكسية فبعد مدة زمنية معينه من حركة البندول فانه يعود إلى وضعه الإبتدائى (حاله الأصلية) بدون أن تحدث تغيرات معينه فى الوسط المحيط .

ولنأخذ مثال آخر للعمليات العكسية :

عند ضغط مائع التبريد المستخدم فى وحدات التبريد (فريون أو أمونيا أو ركلين) من ضغط منخفض إلى ضغط مرتفع فإن شغلاً من الخارج يتم بذله لتحريك الضاغط. فإذا تم الانتهاء من ضغط المائع وأريد إرجاع الاجراء وعكسه بحيث يتم عمل نفس المقدار من الشغل المبذول إلى الوسط المحيط فإنه يمكن أن يقال أن المائع مر بدورة عكسية .

ولكن هذا غير واقعى ولايحدث فى الحياه العملية حيث إن جزءاً من الطاقة يفقد بالاحتكاك ويحد من جعل الاجراء عكسياً تماماً. وبرغم أن الإجراء العكسي صعب التوصل اليه عملياً إلا أن المهندسين يعتبرونه الإجراء المثالى (المعيارى) ويحاولون أن يجعلوا من كل اجراءات تحويل الطاقة اجراءات عكسية بقدر ما أمكن ذلك عملياً. لذلك تكون العملية غير قابلة للعكس عندما تجرى فى إتجاه معين a إلى b ثم تجرى فى إتجاه العكسي من b إلى a فلا تعود مادة الشغل إلى حالتها الاصلية أو أن يحدث تغيرات للوسط المحيط ومن أمثله العمليات الغير قابلة للعكس :

١- الإحتكاك : فمثلاً عند توقف قطار أو سيارة فإن طاقة الحركة للقطار تتحول إلى طاقة حرارية فى جهاز الفرملة مما يرفع من درجة حراره الفرامل ومن غير المعقول طبعاً أن يمكن للقطار أن يتحرك مرة ثانية عند تبريد الفرامل فالاحتكاك الذي حدث يعتبر طاقة مفقودة غيرت من الوسط المحيط.

٢- إنتقال الحرارة من جسم لآخر عند وجود فرق فى درجات الحراره بينهما فبعد الوصول إلى حاله الاتزان الحرارى فإنه يصعب إنتقال الحراره فى الاتجاه العكسي لأن اتجاه الانتقال الحرارى محدد باتجاه واحد وكذلك الحال فى حالة اتزان الضغوط أو التركيزات .

٣- التمدد الحر : فإذا تمدد غاز مثلاً داخل أسطوانه فيكون هذا الاجراء غير انعكاسى بسبب وجود إحتكاك بين المكبس والاسطوانه أو لسبب إثارة الغاز داخل الأسطوانه وبالتالي تبقى بالمجموعه كمية من الطاقة أكبر .

٤- عمليات الخلط : تتم عمليات الخلط للسوائل والعجائن مثلاً بإضافة شغل ميكانيكى من الخارج مما يؤدى إلى تسخين المخلوط ورفع الطاقة الداخلية له ولكن لايمكن تخزين الطاقة المضافة (الشغل الميكانيكى) داخل المخلوط إلى وقت آخر لحين استخدامه لشغل يمكن طرده من مجموعه السائل لذلك يطلق على الشغل المضاف شغل موزع أو متفرق وتطبق عليه المعادله التالية :

$$W_{12} = U_2 - U_1 = W_{add} \quad (3-49)$$

ويمكن أن يطلق عليها شغل إحتكاكي أو طاقة إحتكاكية . وعموماً يمكن أن يقال إنه إذا تم الإجراء ببطء quasi - static وبدون احتكاك فإنه يمكن أن يكون اجراء عكسياً أما اذا تم بسرعه Non quasi-static فإنه يكون اجراء لاعكسياً.

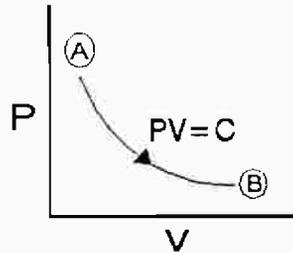
والدورة الحرارية التي تتكون منها كل الاجراءات أو العمليات الديناميكية الحرارية القابلة للعكس تسمى دورة قابلة للعكس انعكاسيه اما الدورة الحرارية التي تكون فيها بعض أو كل العمليات الديناميكية الحرارية غير قابلة للعكس فهي دورة غير قابلة للعكس والجودة الحرارية للدورة الانعكاسية تمثل اقصى درجة كفاءة يمكن الحصول عليها اذا ما قورنت بالدورات الحقيقية.

دورة كارنوت المثالية Ideal Carnot Cycle

تعتبر دورة كارنوت مثالا هاما لكل الدورات الحرارية الأخرى . وهي تعتبر دورة مثالية ولكن خيالية لايمكن تحقيقها عملياً ولكن تعتبر النتائج المستخلصة منها ذات أهمية كبرى لكل الدورات الحرارية . ويمكن اجراء دورة كارنوت بواسطة غاز مثالي بواسطة أربعة اجراءات عكسية هي:

- ١- إجراء تمدد ذو درجة حرارة ثابتة Isothermal Expansion
- ٢- إجراء تمدد أديباتيكي (بدون فقد أو اكتساب حراره) Adiabatic Expansion
- ٣- إجراء انضغاط ذو درجة حرارة ثابتة Isothermal Compression
- ٤- إجراء انضغاط أديباتيكي Adiabatic Compression

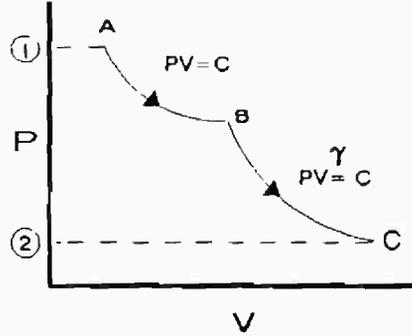
ويوضح الشكل (٢-٩) مسار دورة كارنوت على خريطة الضغط والحجم P-V Diagram وتتم الدورة بين كل من النقاط A , B , C , D حيث تحدث لها الإجراءات التالية :-



شكل (٢-٩) تمدد الغاز

١- يوجد الغاز داخل أسطوانة متصله بمصدر حراري لانتهائي درجة حرارته T_1 وضغطه P_A وحجمه V_A وينتج عن ذلك أن الغاز يتمدد تحت ظروف أيزوسيرماليه (ثبوت درجة الحرارةه إلى P_B, V_B) تحت نفس درجة الحرارة إلى أن يصل إلى الحالة B وتكون كمية الحرارة المضافة = الشغل الذي يبذله الغاز

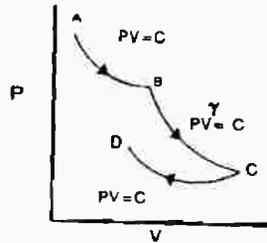
$$Q_1 = W_1 = P_1 V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (3-50)$$



شكل (١٠-٢) اجرائي تمدد الغاز

٢- عندما يصل الغاز إلى الحالة B يتم ايقاف إضافة الطاقه الحرارية من المصدر الحراري وتعزل أسطوانة الغاز تماماً عن الجو المحيط بها. ويترك الغاز ليتمدد أديباتيكيا إلى أن يصل إلى الحالة رقم 2 (شكل ١٠-٢) وينخفض درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 ويزيد الحجم إلى V_C وينخفض الضغط إلى P_C وخلال هذا التغير يكون الغاز قد بذل شغلاً موجباً.

$$Q_2 = W_2 = P_2 V_2 \cdot \ln \frac{V_D}{V_C} = m \cdot R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{V_D}{V_C} \quad (3-51)$$

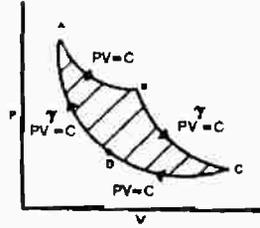


شكل (١١-٢) اجراءات تمدد وانضغاط الغاز

٣- عندما يصل الغاز إلى الحالة C يتم توصيل الأسطوانة مع مستودع حراري لانهاشي بارد درجة حرارته T_2 ثم يضغط الغاز أيزوسيرماليا عند درجة حرارة T_2 وتكون كمية الشغل المبذولة W_2 مساوية لكمية الحرارة المطرودة من الغاز إلى المستودع الحراري اللانهاشي (شكل ١١-٣)

$$Q_2 = W_2 = mR T_2 \ln \frac{V_D}{V_C} \quad (3-52)$$

ويقل حجم الغاز إلى V_D ويرتفع الضغط إلى P_D .



شكل (١٢-٣) الدورة الكاملة

٤- عندما تصل حاله الغاز إلى الحالة D تفصل الاسطوانة عن المستودع الحراري اللانهاشي البارد ثم تعزل تماماً ويستمر ضغط الغاز أديباتيكيا إلى أن يقل حجم الغاز ويصل إلى الحجم الابتدائي V_A وترتفع درجة الحرارة من T_2 إلى T_1 والضغط من P_D إلى P_A وبذلك تتم الدورة ويصل الغاز إلى حالته الابتدائية. (شكل ١٢-٣)

الجودة الحرارية لدورة كارنوت :

حيث أن الطاقة الداخلية للغاز المثالي تعتمد فقط على درجة الحرارة فإننا نجد أن الطاقة الداخلية (U) للغاز في بداية دورة كارنوت تتساوى مع الطاقة الداخلية له في نهاية الدورة وبالتالي فإن $(\Delta U = 0)$. وطبقاً لذلك فإن معادلة القانون الأول للديناميكا الحرارية تؤدي إلى

$$Q_1 = W + Q_2$$

ويكون صافى الطاقة الحرارية المضافة Q أثناء الدورة هو عبارة عن المجموع الجبرى لكل من :-

- الطاقة الحرارية Q_1 المضافة أثناء الإجراء الأول :

$$Q_1 > 0$$

- الطاقة الحرارية Q_2 المطروقة أثناء الإجراء الثالث

$$Q_2 < 0$$

وبالتالى تكون نسبة Q (مع مراعاة الإشارات) :

$$Q = Q_1 + Q_2$$

وكذلك قيمة الشغل لها :

$$W = Q_1 + Q_2$$

وحيث أن الجودة الحرارية لجميع الآلات الحرارية تعرف على أنها ناتج قسمه الطاقة المستفاد (ويقصد بها هنا فى هذه الحالة الشغل W) على الطاقة الحرارية المضافة (هنا كمية الحرارة Q_1) والتي يكتسبها المائع عند درجة الحرارة المرتفعه أى أن :-

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (3-53)$$

وحيث أن :

$$W = Q_1 + Q_2$$

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$$

وبالتعبير عن Q_1 ، Q_2 بالمعادلات المحددة لقيمة كل منها نجد أن :-

$$\eta = \frac{mRT_1 \ln \frac{V_B}{V_A} + mRT_2 \ln \frac{V_D}{V_C}}{mRT_1 \ln (V_B/V_A)} \quad (3.54)$$

وحيث أن التغير من B إلى C ومن D إلى A يتم خلال الدورة أديباتيكيا

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_C}{V_B}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_D}{V_A}$$

ومن هذه العلاقة نستخلص أن :

$$\frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A}$$

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D} \quad \text{أى أن}$$

وبالتعويض عن قيمة الحجم فى معادلة (٣-٥٤)

$$\eta = \frac{mRT_1 \ln \frac{V_B}{V_A} + mRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}}{mRT_1 \ln (V_B/V_A)} \quad (3-55)$$

وبعد الاختصار نجد ان معادلة الكفاءة الحرارية تؤدي الى

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3-56)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3-57)$$

ومن هنا يتضح لنا أن :-

١- الجودة الحرارية لدورة كارنوت المثالية العكسية تعتمد على درجتى الحراره فقط T_1, T_2 والتي تعمل بينهما الدورة .

٢- وتزداد قيمة η كلما زاد الفرق بين درجات الحرارة ($T_1 - T_2$) وكلما انخفضت درجة الحرارة T_2 .

٣- يمثل معامل الجودة الحرارية لدورة كارنوت اكبر قيمة لجميع الآلات الحرارية الأخرى فإذا امكنا التوصل الى أن تكون $T_2 = 0$ (درجة حرارة الصفر المطلقة)

فإنه يمكننا تخيليا الوصول بقيمة $\eta = 1$ وبالتالي يمكننا تحويل كل الطاقة الحرارية الى شغل ميكانيكي ولكن هذا غير ممكن عملياً فى الحقيقه .

قاعدة هامة

بينما يمكن تحويل الطاقة الميكانيكية دائماً بالكامل إلى طاقة حرارية فإن التحويل الكامل لكل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية من خلال دورة حرارية أى بواسطة اله حرارية مستمرة غير ممكن حتى تحت أحسن الظروف المثالية

منطوق القانون الثانى للديناميكا الحرارية :

ومما سبق يمكن التعبير عن منطوق القانون الثانى للديناميكا الحرارية بأحد الصيغ الآتية :

- ١- ليس من المعقول أن تصمم آلة حرارية تعمل فى دورة ولاتنتج أى أثر غير استخلاص الطاقة الحرارية من خزان كبير وتحويلها كلها الى شغل مساو لها.
- ٢- لايمكن نقل الحرارة من جسم ذو درجة حرارة منخفضة إلى آخر ذو درجة حرارة مرتفعة إلا باستخدام شغل خارجى .
- ٣- يستحيل على أى جهاز يعمل طبقا لدورة أن ينتج ضغطا مع تبادل الحرارة مع أجسام عند درجة حرارة متساوية .

وهذا القانون ليس استنتاجا من القانون الأول حيث أن القانون الأول ينفى استحداث أو إفناء الطاقة فى حين أن القانون الثانى يحدد احتمالات استخدام الطاقة فى صور معينة . فإنه من المعلوم إمكانية تحويل جميع الطاقة الميكانيكية (الشغل) إلى طاقة حرارية بدون أى حدود ولكنه لايمكن تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل بدون طرد جزء من هذه الطاقة الحرارية إلى مايحيط بالمجموعه .

قيمة القانون الثانى :

- ١- تعيين أقصى قيمة للجودة الحرارية لآلة حرارية تعمل تحت ظروف معينة .
- ٢- تعيين أقصى قيمة لمعامل أداء ثلاجة أو وحدة تبريد .
- ٣- احتمالات حدوث أى إجراء .
- ٤- تحديد الاتجاه الذى يمكن أن يتخذه أى إجراء .
- ٥- تعريف مقياس لدرجة الحرارة لايعتمد على الخواص الطبيعية لأى مادة .
- ٦- تحديد العلاقات بين الخواص الطبيعية للمواد .

مثال :-

- استخدم واحد كجم هواء لتشغيل دورة كارنوت فإذا كان الضغط الإبتدائى للهواء ١٦ بار ودرجة حرارته 27°C وبعد التمدد الأيزوسير مالى انخفض الضغط إلى ٨ بار (نقطة B) وكان اقل قيمة ضغط فى الدورة = ١.٦ بار احسب كل من :-
- ١- الضغوط والحجوم السائدة عند كل من النقاط الأربعة للدورة (A - D) .
 - ٢- كميات الحرارة المضافة والمطروده Q_2, Q_1 .
 - ٣- معامل الأداء الحرارى للدورة أو الجودة الحرارية للدورة .

الحل

المعطيات : $P_A = 16 \text{ bar} = 16 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$t_A = 527^\circ\text{C} = 800 \text{ K}$

$P_B = 8 \text{ bar} = 8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $P_C = 1.6 \text{ bar} = 1.6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$R = 287 \text{ Nm / kg.K} = 0.287 \text{ kJ / kg.K}$, $\gamma = 1.4$

$$V_A = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \times 800}{16 \times 10^5} \frac{\text{N.m. K.m}^2}{\text{kg. KN.}}$$

$$= 0.1435 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_B = \frac{V_A \cdot P_A}{P_B} = 0.1435 \times \frac{16}{8} = \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{kg.bar}}$$

$$= 0.287 \text{ m}^3/\text{kg}$$

من النقطة B الى النقطة C يتم التمدد أديباتيكيا

$$\frac{T_B}{T_C} = \left(\frac{P_B}{P_C} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{T_B}{T_C} = \left(\frac{P_B}{P_C} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{8}{1.6} \right)^{0.286} = 1.583$$

$$T_C = \frac{T_B}{1.583} = \frac{800}{1.583} = 505 \text{ K}$$

وبالتالى فإن الحجم عند الحالة C:

$$V_2 = \frac{RT_C}{P_C} = \frac{287 \times 505}{16 \times 10^5} \frac{\text{N.m. K.m}^2}{\text{kg.KN}}$$

$$= 0.0906 \text{ m}^3/\text{kg}$$

عند النقطة D نجد أن الإجراء من D إلى A أديباتيكية

$$\left(\frac{P_A}{P_D}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{T_A}{T_D}$$

$$\frac{P_A}{P_D} = \left(\frac{T_A}{T_D}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{P_A}{P_D} = \left(\frac{800}{505}\right)^{\frac{1.4}{0.4}} = 5, \quad P_D = \frac{16'}{5'} = 3.2 \text{ bar}$$

وكذلك يمكن إيجاد الحجم عند النقطة D كالآتي :

$$V_D V_D = \frac{V_c \cdot P_c}{P_D} = \frac{0.9006 \times 1.6}{3.2} \frac{\text{m}^3 \cdot \text{bar}}{\text{kg} \cdot \text{bar}}$$

$$= 0.0453 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

كمية الحرارة المضافة Q_1 عند A يتم إضافتها في دورة كارنوت عند درجة حراره

$$T_1 = T_A \text{ ثابتة}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_1 &= W_1 = RT_1 \ln(P_A/P_B) \\ &= 0.287 \times 800 \times \ln(16/8) \text{ kJ/kg} \\ &= 159.1 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

(إشارة الحراره موجبه ∴ حراره مكتسبه)

كمية الحراره المطروده Q_2 عند 2 يتم طردها عند درجة حراره ثابتة $T_2 = T_C$

$$\begin{aligned} \therefore Q_2 &= W_2 = RT_2 \ln(P_c/P_D) \\ &= 0.287 \times 505 \ln(1.6/3.2) \\ &= -100.4 \text{ kJoule/kg} \end{aligned}$$

الإشارة هنا سالبه ∴ حراره مفقوده

∴ الشغل المستفاد في الدورة هو الجمع الجبري لـ : $W_C = Q_1 + Q_2$

(ومع الاحتفاظ بالإشارات)

$$= 159.1 - 100.4 = + 58.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\therefore \eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{58.7}{159.1} = 0.369$$

$$= 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{100.4}{159.1} = 0.369$$

$$\text{or } \eta_c = 1 - \frac{T_0}{T_1}$$

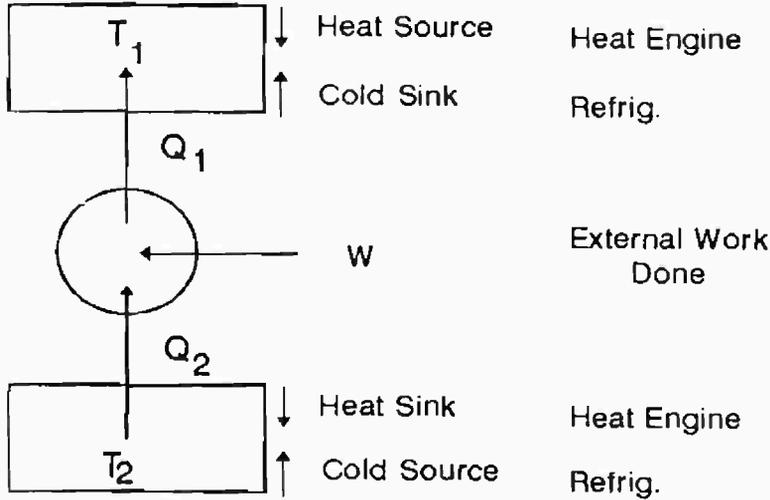
$$= 1 - \frac{505}{800} = 0.369$$

دورة آلة التبريد والمضخة الحرارية

إذا اعتبرنا غرفة التبريد الخاصة بحفظ الأغذية انها مجموعته ثرموديناميكية درجة حرارتها أقل من درجة حرارة الوسط المحيط بالمجموعة وللمحافظة على درجة الحرارة المنخفضة داخل الحجرة (المجموعه الثرموديناميكية) فإنه يجب باستمرار امتصاص الحرارة من المادة الغذائية الموجودة داخل الغرفة ثم طرد هذه الحرارة الي الوسط المحيط عند درجة حراره هي اعلى دائماً من درجة حراره الغرفة .

وبدلاً من اكتساب شغل في حالة آلة المضخة الحرارية فإنه يلزم في آلة التبريد بذل شغل ميكانيكي W من خارج المجموعه الثرموديناميكية لنزع كمية حراره Q_2 من غرفه التبريد والتي تمتص من خزان حراري ذو درجة حراره منخفضه T_2 وطردها Q_1 الي خزان حراري اخر ذو درجة حراره مرتفعه T_1 (الوسط المحيط) وطبقاً لهذا المبدأ بنيت نظرية عمل الثلاجة المنزلية وكذلك ثلاجات الحفظ بالتبريد والتجميد.

ويبين الشكل التالى (شكل ٢-١٣) رسماً تخطيطياً لأجراء آلة التبريد:



شكل (٢-١٣) رسم تخطيطى لدورتى التبريد ومضخة الحرارة

ومن الشكل السابق نستنتج أن كمية الحرارة المضافة الي المجموعة من غرفه التبريد أو من الوسط المحيط بها تزيد من المحتوي الحراري لمادة الشغل العاملة في آلة التبريد (مانع التبريد) في صورة Q_2 ويمكن الرمز الي كمية الحرارة Q_2 ايضاً على انها كمية البرودة المتولدة وتصبح Q_2 هنا هي القدرة التبريدية وعادة ما يستخدم الفريون او الامونيا كمانع تبريد. بعد اضافة الشغل الميكانيكى الخارجى W الى مانع التبريد فإن المانع يطرد كمية حراره Q_1 الى الوسط المحيط .

وطبقاً للقانون الأول للديناميكا الحرارية فإن :

$$\text{Energy}_{in} = \text{Energy}_{out}$$

$$Q_2 + W = Q_1 \quad (3-58)$$

أى أن مجموع كل من الحرارة المضافة والشغل الميكانيكى المضاف يساوى كمية الحرارة المطروقة في الدورة الحرارية .

ويعرف معامل الأداء بالنسبة للتلاجه أو وحدة التبريد بأنه النسبة بين كمية الحرارة المزاله وكمية الشغل اللازم إضافته.

$$\therefore \text{Coefficient of Performance} = \text{C.O.P}$$

$$\text{C.O.P} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_2/Q_1}{1 - (Q_2/Q_1)} \quad (3-59)$$

ويعرف معامل الاداء بالنسبه لمضخة الحرارة بأنه النسبه بين كمية الحرارة المضافه وكمية الشغل اللازم لذلك :

$$\text{C.O.P} = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{1}{1 - (Q_2/Q_1)} \quad (3-60)$$

ويلاحظ أن معامل الاداء لمضخة حرارة هو مقلوب الجودة الحراريه لآلة حرارية مناظرة أى أنه يكون دائما أكبر من الواحد الصحيح.

الأنتروبيا أو قصور الطاقه : Entropy

وجدنا من دورة كارنوت النظرية ذات الاجراءات المعكوسه أنه يمكن التعبير عن الجودة الحرارية كالاتى :-

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3-61)$$

حيث أن :

Q_2 = كمية الطاقه الحراريه المطروده من الدوره عند درجة حرارة T_2

Q_1 = كمية الطاقه الحراريه المضافه فى الدوره عند درجة حرارة T_1

وعلى ذلك نجد أن :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (3-62)$$

or

$$\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1} \quad (3-63)$$

وبما ان قيمة Q_1 تكون سالبه حيث أنها ممتصه من الجو المحيط ، قيمة Q_2 تكون موجبة حيث أنها مطروده إلى المحيط الخارجى .

$$\therefore \frac{Q_2}{T_2} = - \frac{Q_1}{T_1} \quad (3-64)$$

$$\therefore \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = \Sigma \frac{Q}{T} = 0 \quad (3-65)$$

ويمكن اثبات هذه النتيجة لأى دورة معكوسه وذلك بتقسيم الدوره المعكوسه إلى عدد كثير من دورات كارنوت النظرية بواسطة منحنيات شبه متلاصقه، كمية الحرارة المتبادله فيها مقسومه على درجة الحرارة المطلقه مساويه للصفر. فإذا جمعنا هذه الطاقه فى النهايه بالتكامل حول حدود الدوره نحصل على الاتى:

$$\sum \frac{dQ}{T} = 0$$

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

ويسمى خارج القسمة $ds = \frac{dQ}{T}$ لاي اجراء معكوس بالانتروبيا أو قصور الطاقة في هذا الاجراء Entropy .

فإذا فرض أنه يوجد لدينا دورة غير معكوسه Irreversible كما هي الحالة في الدورات الحقيقيه ، فيكون :

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3-66)$$

وذلك لأن الجودة الحرارية النظرية لدورة كارنوت تكون أكبر من أى جودة حرارية لدورة أخرى حقيقيه تعمل بين حدى درجات الحرارة T_1 و T_2 .

$$\therefore \frac{Q_2}{Q_1} > \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{or} \quad \frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1}$$

أو باستخدام الاشارة الجبرية الصحيحه للطاقة المضافه Q_1

$$\therefore \frac{Q_2}{T_2} > - \frac{Q_1}{T_1} \quad (3-67)$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} > 0 \quad (3-68)$$

$$\sum \frac{Q}{T} > 0 \quad (3-69)$$

$$\text{or} \quad \sum \frac{dQ}{T} > 0 \quad (3-70)$$

لذلك نجد أن قيمة التغير في الإنتروبيا

$$ds = \sum \frac{dQ}{T} > 0 \quad (3-71)$$

وعلى ذلك يمكن تلخيص نتيجة القانون الثاني للديناميكا الحرارية بأن :

للإجراء المعكوس $ds = 0$

للإجراء الغير معكوس (الحقيقي) $ds > 0$

ضواغط الغازات GAS COMPRESSORS

الغازات المضغوطة لها استخدامات كثيرة فى عمليات تصنيع الاغذية والالبان. فمثلا ضاغط الغازات يمثل جزء مهم من وحدة التبريد الصناعى بالضغط حيث يستخدم الضاغط فى ضغط الغاز (النشادر او الفريون ١٢ أو الركلين ٠٠٠) لرفع درجة حرارة تكثيفه . ويستخدم كذلك الهواء المضغوط فى عملية تجفيف اللين مثلا بطريقة الرش . وهناك نوعان من ضواغط الغازات :

١- ضواغط تردديه : Reciprocating Compressors

وهى تتكون من اسطوانه بها مكبس (ضاغط) يتحرك داخلها بواسطة طاقة خارجية (موتور كهربائى مثلا) . ويدخل الغاز الاسطوانه فى عملية السحب عن طريق صمام السحب او الدخول ويقوم الضاغط بضغط الغاز الى الضغط المطلوب حيث يخرج الغاز المضغوط عن طريق صمام الخروج . واذا كان دخول الغاز من جهة واحدة من الضاغط (البستم) يسمى الضاغط مفرد التأثير Single acting واذا كان دخول الغاز من جهة بحيث يقوم الضاغط بضغط الغاز من الجهة الاخرى بالتناوب يسمى الضاغط ثنائى التأثير Double acting . وفى العمليات الصناعيه التى تستخدم ضغوطا مرتفعا نوعا ما، يضغط الغاز فى اسطوانة الضغط المنخفض Low Pressure Cylinder ويستقبل الغاز المضغوط فى خزان يبرد من الخارج بواسطة ماء Intercooler وتقوم اسطوانة الضغط المرتفع High Pressure Cylinder بسحب الغاز من الخزان لتعيد ضغطه الى ضغط مرتفع . ويسمى الضاغط فى هذه الحالة بالضاغط متعدد المراحل Multi-Stage Compressor .

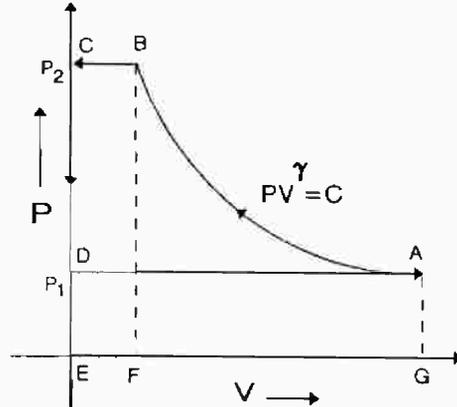
٢- الضواغط الدورانيه Rotary Compressors

والنوع الشائع الاستعمال منها هى الضواغط الطاردة المركزيه Centrifugal Compressors وتتكون هذه الضواغط من قرص مروحة مقسم الى ريش منحنيه بطريقة معينه ، ويتحرك القرص Impeller داخل غلاف خارجى يسمى Diffuser وفائدته تحويل الطاقة الناتجة عن السرعه العاليه للغاز (قوة الطرد المركزيه) الى طاقة ضغط . والضواغط الطاردة المركزيه تدور على سرعات مرتفعه اعلى بكثير من الضواغط التردديه .

وهذه عادة ما تستخدم فى ضغط كميات كبيره من الغاز تحت ضغوط بسيطه ويمكن زياده الضغط الناتج بتعدد مراحل الانضغاط واستخدام مبردات متوسطه

ومراوح الغازات ما هى الا ضواغط طاردة مركزية تعمل على ضغوط منخفضة (اقل من واحد رطل قوه على البوصه المربعه) وسوف يجىء ذكرها فيما بعد .

الدوره النموذجيه او النظرية لضاغط ذو مرحله واحده :



شكل (٢-١٤) الدوره النموذجية لضاغط ذو مرحله واحده

وتتكون الدوره من :

- ١- سحب كمية من الغاز داخل اسطوانة الضاغط تحت ضغط ثابت P_1 تمثل بالاجراء DA .
- ٢- ضغط الغاز ادياباتيكيًا من حالة A الى الحاله B أى رفع الضغط الى P_2 ، ويتبع هذا الاجراء القانون :

$$Pv^\gamma = C$$

- ٢- طرد الغاز المضغوط الى خزان الاستقبال تحت ضغط ثابت P_2 ويمثلها الاجراء BC
- ٤- انخفاض فى الضغط من P_2 الى P_1 وبعدها تبدأ دورة جديدة بسحب كمية اخرى من الغاز .

بالاشارة الى الرسم البيانى للدوره شكل(٢-١٤)، يكون الشغل اللازم لضغط الغاز لكل دوره كما يأتى :

$$\begin{aligned} \text{Work needed} &= \text{Area ABCD} \\ &= \text{ABFG} + \text{BCEF} - \text{ADEG} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Work needed} &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma - 1} + P_2 V_2 - P_1 V_1 \\ &= \frac{\gamma P_2 V_2 - \gamma P_1 V_1}{\gamma - 1} \end{aligned}$$

$$W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1 V_1 \left[\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} - 1 \right]$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad \text{ولكن}$$

$$\therefore \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{-1}{\gamma}}$$

$$\therefore W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (3-72)$$

مثال :

ضاغط هواء ترددي مفرد التأثير ذو اسطوانة واحدة قطرها ١٥سم وطول مشوار مكبس الضاغط ٢٤سم. استخدم لضغط كمية من الهواء أدبياتيكية من ضغط مطلق مقداره واحد بار ودرجة حرارة ١٧°م إلى ضغط مطلق مقداره ٦ بار. احسب القدرة الحصانية النظرية اللازمة لتشغيل الضاغط إذا كان عدد لفات عمود الإدارة الرئيسي ١٠٠ لفة/دقيقة.

احسب كذلك كمية الهواء المضغوط في الدقيقة .

$$\gamma = 1.4, \quad R = 287 \text{ Nm/kg. K}$$

الحل :

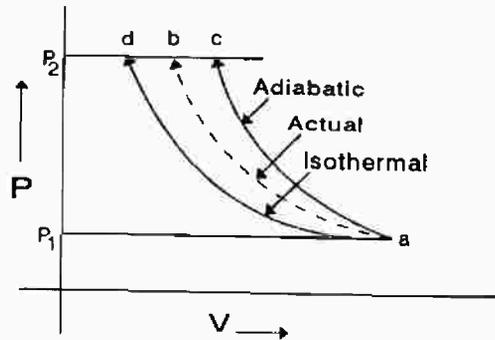
$$\text{Work } W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{\pi}{4} D^2 L \\
 &= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{15}{100}\right)^2 \times \left(\frac{24}{100}\right) = 0.00424 \text{ m}^3 \\
 W &= \frac{1.4}{1.4-1} (1 \times 0.00424) \times 10^4 \left[\left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1}} - 1 \right] \\
 &= \frac{1.4}{0.4} \times 1 \times 0.00424 \times 10^4 [6^{0.4} - 1] \\
 &= 148.4 [(6)^{0.286} - 1] \\
 &= 148.4 [1.6 - 1] \\
 W &= 89 \text{ kg.m/rev.} \\
 \text{H.P.} &= \frac{W.n}{\text{const.}} = \frac{89 \times 100}{4500} \\
 \text{HP} &= 1.98 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

ومن القانون العام للغازات

$$\begin{aligned}
 P_1 V_1 &= m.R.T_1 \\
 \therefore m &= \frac{(1 \times 10^5)(0.00424) \times \text{r.p.m}}{(287)(273+17)} \\
 \therefore m &= \frac{424}{(287)(290)} \times 100 \text{ kg/min.} \\
 m &= 0.51 \text{ kg/min}
 \end{aligned}$$

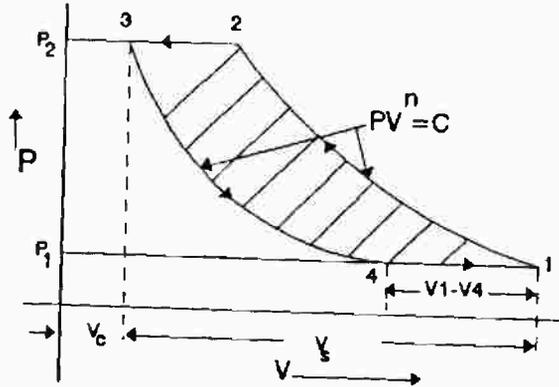
شكل الضاغط :



شكل (٢-١٥) إجراءات إنضغاط الغاز في دورة الضاغط

كما هو موضح في شكل (٢-١٥) يمثل المنحني $a-b$ اجراء الضغط لكمية من غاز من ضغط P_1 الى P_2 ويعتمد نوع الاجراء ab على كمية الحرارة المزالة من الغاز اثناء اجراء الانضغاط بدون تبادل حرارى كالاجراء $a-c$ كان هذا الاجراء اديباتيكيًا واذا ازيلت كمية من الحرارة من الغاز اثناء هذا الانضغاط بحيث تظل درجة الغاز ثابتة كان الاجراء ايزوسيرمالي كما في الاجراء $a-d$. ولكن في الواقع يتم اجراء الضغط طبقا للاجراء العام $PV^n=C$ ثابت، ويمثله المنحني $a-b$ ولما كان اجراء ثبوت درجة الحرارة هو اقل اجراءات الانضغاط المذكورة الذى يستلزم شغلا لذلك تعتبر الدورة التى يتم فيها الانضغاط بثبوت درجة الحرارة دورة مثاليه .

حجم الخلوص وجودة الامتلاء الظاهريه :



شكل (٢-١٦) حجم الخلوص فى دورة الضماغط

افترض فى جميع ماسبق ذكره ان ضماغط الغاز ذو مرحلة واحدة وبدون حيز خلوص ولكن فى الضواغط الحقيقيه لا بد من ترك حيز خلوص يسمح بتركيب الصمامات وحتى يمكن تفادى اصطدام المكبس بغطاء الاسطوانه (شكل ٢-١٦). وعلى ذلك فانه يتبقى فى الاسطوانه بعد ضغط الغاز كمية من الغاز المضغوط تشغل حيز الخلوص عند الحالة 3. وعندما يعكس المكبس حركته تتمدد هذه الكمية طبقا للاجراء 3-4 حتى اذا ما وصل ضغط الغاز داخل الاسطوانه الى ضغط السحب P_1 يفتح صمام السحب ويدخل الغاز الجديد وبذلك لايشغل جميع حجم الشوط اى انه تقل كمية الغاز التى تدخل الى الضماغط اثناء شوط السحب ونتيجة لذلك يقل شغل الدورة ويصبح :

$$W = \frac{n}{n-1} P_1 (V_1 - V_4) \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\} \quad (3-73)$$

وذلك بفرض ان أس منحنى الانضغاط والتمدد يكون واحداً.

ويسمى الحجم $(V_1 - V_4)$ بالحجم الفعال للشوط ويؤدي وجود حيز الخلوص الى تقليل كمية الهواء المسلمه ويترتب على ذلك ان يلزم زيادة الشغل المطلوب لادارة الضاغط او استخدام ضاغط ذو سعة اكبر حتى تعطى كمية الهواء المضغوطه نظريا بضاغط بدون حيز خلوص.

وتسمى النسبه بين الحجم الفعال للشوط الى حجم الشوط جودة الامتلاء الظاهريه اى ان:-

$$\text{Apparant Volumetric Efficiency} \quad (\eta_{\text{vol.ap}})$$

$$\eta_{\text{vol.ap}} = \frac{V_1 - V_4}{V_{st}} \quad (3-74)$$

وجودة الامتلاء الظاهريه ليست مقياسا لكتلة الغاز الفعليه المضغوطه حيث انها لاتدخل فى الاعتبار اختلاف ظروف الغاز عند نهاية شوط التمدد عن ظروف الغاز عند الدخول الى الضاغط - وكذلك ماقد يتسرب من غاز اثناء التمدد والانضغاط داخل الضاغط وعلى ذلك تعرف جودة الامتلاء الفعليه بأنها تساوى

$$\text{Actual Volumetric Efficiency} \quad (\eta_{\text{vol.ac.}})$$

$$\eta_{\text{vol.ac.}} = \frac{\text{Mass of actual compressed Volume}}{\text{Mass of swept volume at inlet conditions}} \quad (3-75)$$

وفى الضواغط التى يمكن اهمال تسرب الغاز منها وبفرض أن ضغط السحب يساوى الضغط عند نهاية شوط التمدد 3-4 فانه :-

$$\eta_{\text{vol.ac.}} = \eta_{\text{vol.ap.}} \frac{T_0}{T_1} \quad (3-76)$$

حيث T_0 = درجة حرارة الغاز عند المدخل (تعتبر عادة ٢٠°م او ٦٨°ف).