الباب الثالث

مبادئ الديناميكا الحرارية

Principles of Thermodynamics

مقدمه :

تعتمد جميع الكائنات الحيه فى بقائها حيه 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 وطاقة الوضع للكميات الكبيره للماء المتبخر بواسطة أشعة الشمس والمهم ان توجد الوسيله التى تؤدى إلى الانتفاع بالطاقه من مصدرها لخدمة البشريه فمثلا يتم تحويل طاقة الوضع للكميات الضخمه من الماء الى طاقة كهربيه بوضع توربينات مائيه فى طريق انحدارها من الجبال إلى البحار مثلا . كذلك يمكن استخدام طاقة احتراق الفحم لانتاج البخار الذى يستخدم بدوره لتوليد الطاقه الكهربيه بواسطة التوربينات البخاريه كما يستخدم طاقة احتراق الوقود البترول فى آلات الاحتراق الداخلى لتسخين الهواء حتى يتمدد ويدفع المكبس لينتج طاقة ميكانيكيه .

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

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

١- **الحراره Heat**

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

٢- **النظام System**

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

- **نظام مغلق Closed System** :- على سبيل المثال المائع فى اسطوانة آلة ترددیه خلال شوط التمدد يمكن ان يعرف علي انه نظام وحدوده جدران الاسطوانه وهو نظام مغلق حيث لايوجد انتقال للكتله عبر الحدود المعروفه.

obeikandl.com

- نظام مفتوح Open system:- على سبيل المثال المائع فى توربين يمكنان 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 القوه الواقعه علي وحدة المساحات من الحدود المحيطه بالنظام .

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

٣- الشغل Work:

يعرف الشغل بانه حاصل ضرب القوه × المسافه التى تتحركها فى اتجاه القوه وعندما تتحرك حدود نظام مغلق للخارج فى اتجاه القوه المسلطه عليها يقال أن النظام بذل شغلا على ما يحيط به أما اذا تحركت حدود النظام للداخل فيقال أنه بذل شغل على النظام .

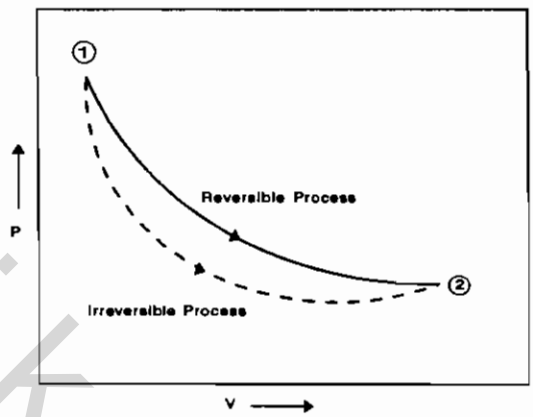
وكل من الشغل والحراره طاقة يمكن ان تنتقل ويجب الايحدث خطأ بين مفهومها وبين مفهوم الطاقه الداخليه لنظام . فعلي سبيل المثال اذا وجد أسطوانه تحتوى علي غاز تحت ضاغط ومعزوله عزلا جيدا وتم تحريك الضاغط للداخل فان درجة حرارة وضغط الغاز سترتفع ولما كان الاسطوانه معزوله جيدا فهذا يعني عدم تسرب كمية من الحراره منها او اليها وتكون نتيجة الشغل الذي يبذل علي الغاز هو ازدياد الطاقه الداخليه للنظام. ومن جهه اخرى نفترض أنه لدينا وعاء صلب يحتوى على غاز وتم تسخينه فان حدود النظام صلبه ولاتتحرك وبالتالى لايستطيع الغاز أن يتمدد ويبذل شغلا نتيجة الحراره المضافه اليه ولكن نجد ان درجة الحراره ترتفع وتزداد الطاقه الداخليه للنظام وبالتالى يتضح أن الطاقه الداخليه يمكن ان تزداد بقيحة اضافة شغل او اضافة حرارة .

٤- مائع الشغل The Working Fluid:

من الوجهه العلميه نجد أن الماده الموجوده داخل حدود أى نظام قد تكون سائل او بخار أو غاز ويطلق عليها اسم مائع الشغل The Working Fluidوفى لحظة ما يمكن تعريف حالة المائع بمعرفة خواصه الثرموديناميكيه والتى تتضمن :-

درجة الحراره (T) ، الحجم النوعى (v) ، الطاقه الداخليه النوعيه (u) والانثالبى النوعى (h) ، الانتروبى النوعي (s) ولقد وجد انه لموائع الشغل النقيه مجرد معرفة خاصيتين له يمكن معرفة حالة المائع تماما (State) ويمكن تحديده على خريطة توضح العلاقه بين تلك الخاصيتين بنقطه مثل خرائط p.v التى توضح العلاقه بين الضغط والحجم النوعى .

٥- الانعكاسيه Reversibility:



شكل (٣-١) الاجراءات الانعكاسيه والغير إنعكاسيه

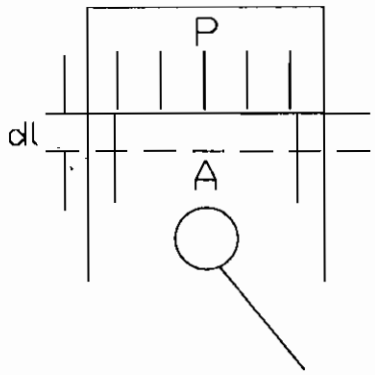
لقد تم ايضاح انه بمعرفة خاصيتين لمائع الشغل يمكن تحديد حالته بنقطة علي الخريطه التي تمثل العلاقه بين هاتين الخاصيتين واذا حدث تغيير لحالة المائع فيمكن تحديد حالته الجديده بنقطة جديده واذا كانت النقطه الاولى هى رقم 1 فيمكن تسمية النقطه الثانيه برقم 2 . وعندما يكون من الممكن تحديد جميع النقط الواقعه بين النقطتين 2 ، 1 فان هذا التعبير من الحاله (1) الى الحاله (2) اجراء Process كما هو مبين بالشكل (٣-١) وبالتالى يكون الاجرآء انعكاسى وعادة يتم تمثيله على الخريطه بخط متصل. وعلميا عندما يحدث اجراء على مائع ولايمكن تحديد النقط الوسيطه بين حالته الابتدائيه والنهائيه فنقول ان الاجراء غير انعكاسى Irreversible ويرسم الخط بين الحالتين مقطع وليس متصلا .

ويمكن تعريف الانعكاسيه كما يلى :-

عندما يتم اجراء انعكاسى فانه يمكن اعادة المائع ومايحيط به الى حالتهم الاصليه. ويتضمن الاجراء الانعكاسى عدم وجود احتكاك .

obeikandi.com

٦- الشغل الانعكاسى Reversible Work



شكل (٣-٢) حركة الكباس داخل الاسطوانه

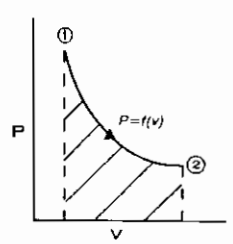
الاسطوانه المقابله تحتوى على مائع مثالى ولايوجد احتكاك فى النظام وضغط ودرجة حرارة المائع منتظمه فى اجزائه . افترض ان مساحة مقطع الكباس "A" وضغط المائع "p" . افترض ان القوه المحيطه على الكباس هى "p A". افترض ان الكباس تحرك تحت قوة المائع للخارج مسافة صغيره "dL". كما هو مبين فى شكل (٣-٢) وبالتالى فان الشغل المبذول بواسطة المائع على الكباس هو حاصل ضرب قوة المائع فى المساحه التي تحركها الكباس أى أن :

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

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

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

وبالتالى عندما يتم تمثيل التغير من الحاله ١الى الحاله ٢، لاجراء انعكاسى على خريطة(p-v) كما فى الشكل (٣-٣) فان المساحه المظلله تمثل الشغل المبذول بواسطة المائع.

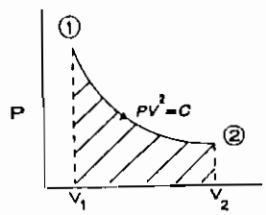


شكل (٣-٣) تمدد الغاز داخل الاسطوانه

مثال رقم ١ :-

مائع عند ضغط ٣ بار وذو حجم نوعى ١٨ر٠م^3/كجم موجود فى اسطوانه وزاء كباس وتمدد انعكاسيا الى ضغط مقداره ٦ر٠"بار" تبعا للمعادله ($p = c/v^2$) حيث c (ثابت) .احسب الشغل المبذول بواسطة المائع علي الكباس؟

الحـــــل



الشكل السابق يوضح الاجراء المذكور والمساحه المظلله تمثل الشغل المبذول. ولما كانت العلاقه بين الضغط والحجم معلومه فيمكن حســـاب الشغل كما يلى :-

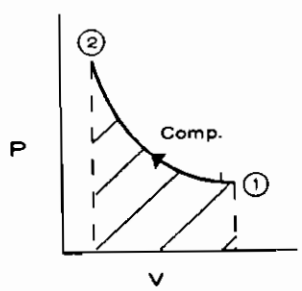
$$w = \int_{v_1}^{v_2} pdv = \int_{v_1}^{v_2} c/v^2 \; dv = c\,[-1/v]_{v_1}^{v_2}$$

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

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

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

$$= 29.840 \text{ kj/kg}$$



شكل (٣-٤) انضغاط الغاز داخل الاسطوانه

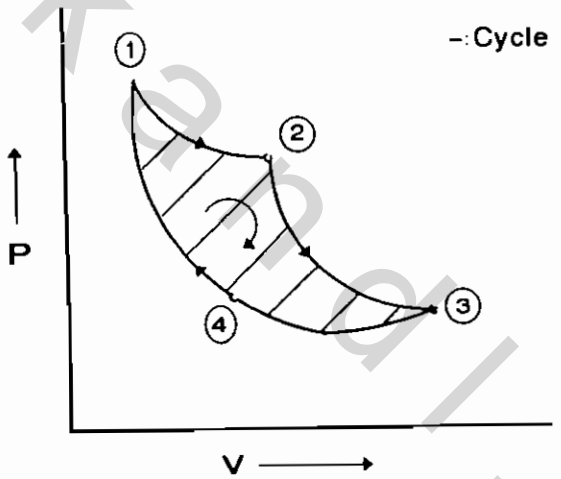
obeikandl.com

عندما يتم اجراء بحيث يتم ضغط المائع انعكاسيا من الحاله (1) الى الحالـــــه (2) فان الشغل هنا يكون قد بذل على المائع وعند تمثيل الاجراء على خريطـــة (p-v) كـمـا في الشكل (٣-٤) فـان الشـغل المبـذول على المائع تمثله المساحـــــه المظلله وعند معرفة العلاقه بين الضغط والحجم يمكن حساب هذا الشغل وسنجد ان قيمته ذات اشاره سالبه حيث تعنـى تلك الاشاره ان الشغل مبذول علي المائع.

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

وكقاعده عندما يتم توضيح الاجراء على خريطة p-v فاذا كان اتجاه خط الاجراء من اليسار إلى اليمين فان الشغل موجب مبذول بواسطة المائع واذا كان اتجاه خط الاجراء من اليمين الى اليسار فان الشغل سالب مبذول علي المائع .

٧- الدوره Cycle:-

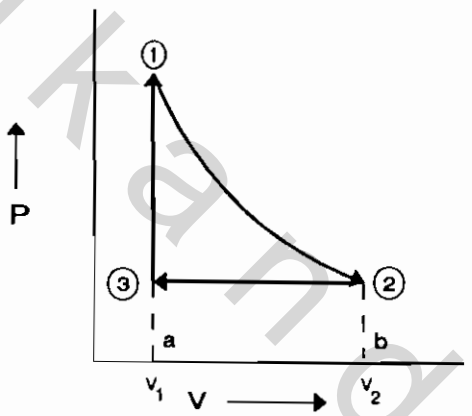


شكل (٣-٥) تمثيل الدورة على خرائط الـ P-V

عندما يتم عمل عدة اجراءات متتاليه على مائع وفى الاجراء النهائي يعود المائع الى حالتـه الاصليـه فـانه يكون قـد تم اجـراء "دورة" وعندمـا تكون اجراءات الدوره انعكاسية فان الدوره ايضا تكون انعكاسيه. ويمكن تمثيل الدوره ايضا علي خريطة (p-v) وتأخذ شكلا مغلقا حيث المساحه داخله تمثل الشـغل المبـذول بواسطة المائع أو عليـه وعندمـا يتم اجـراء الدوره ويتم وصف اجرائها فى ترتيب مماثل لاتجاه دوران عقارب الساعه فان الشغـــل الصافي للدوره يكون مبذولا بواسطة المائع اي موجب القيمه والعكـــس 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 ($pv^2 = c$) حتي تضاعف الحجم بعد ذلك تم تبريد المائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت حتي وصل الضاغط الى موضعه الاصلي ، تم اضافة كمية من الحراره للمائع مع تثبيت الضاغط فى مكانه فازداد الضغط حتى القيمه الأصليه ٢٠ "بار" . احسب الشغل الصافى المبذول بواسطة المائع اذا علمت ان الحجم الابتدائى هو ٠.٠٥ م^3.



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.

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

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

obeikandl.com

الشغل المبذول من الحاله (2) الى الحاله (3) W_{2-3} تمثله المساحه 3a b 2

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

$$W_{2-3} = p_2 (v_3 - v_2) = (5)\ (10^5)\ [0.05 - 0.1] = 25000 \text{ N.m}$$

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

$$W_{3-1} = \int pdv$$

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

صافى الشغل تمثله المساحه 3 , 2 , 1

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

obeikandl.com

القانون الاول للديناميكا الحراريه

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

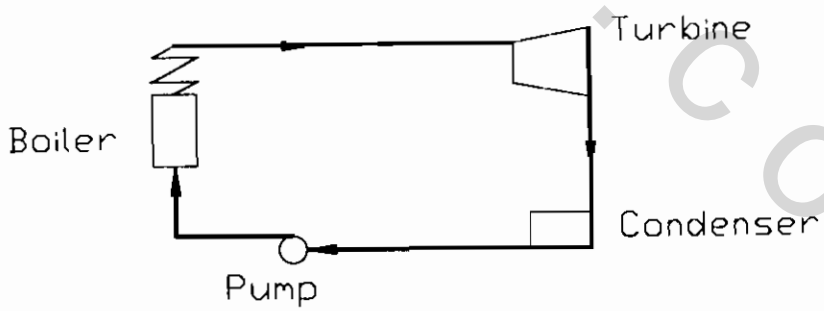
(عندما يخضع نظام لدورة ديناميكيه حراريه فان صافى الطاقه الحراريه المضافه للنظام من الجو المحيط به يساوى صافى الشغل المبذول بالنظام على الجو المحيط به) وبالتالى يمكن التعبير عنه رياضيا كما يلى :-

$$\Sigma dQ = \Sigma dW$$

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 اعادة المياه المتكثفه الى الغلايه ٥ كيلووات احسب معدل انسياب البخار فى تلك الدوره بوحدات كجم/ث. والشكل التالى يوضح الدوره المذكوره.



$\Sigma dQ = 2800 - 2100 = 700$ k J/kg

نفترض ان معدل سريان البخار هو m كجم/ثانيه

obeikandi.com

$$\therefore \Sigma dQ = 700\ m\ kJ/s$$
$$\Sigma dW = 1000 - 5 = 995kW = 995kJ/s$$

وبتطبيق القانون الاول ينتج ان :-

$$\Sigma dQ = \Sigma dW$$
$$700\ m = 995$$
$$m = 1.421\ kg/s$$

اى ان معدل انسياب البخار ١٫٤٢١ كجم/ث.

معادلة عدم السريان The non flow equation

عندما نقوم باجراء على نظام حيث يتغير من الحاله ١ الى الحاله ٢ وتزداد طاقته الداخليه (U) فانه يتم التعبير عن القانون الأول للديناميكا الحراريه بان الزياده فى الطاقه الداخليه للنظام هى الفرق بين صافى كمية الحراره المضافه للنظام وصافى الشغل الناتج أى ان :-

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

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

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

مثال رقم ٤:-

فى شوط الانضغاط لآلة احتراق داخلى وجد ان كمية الحراره المطروده لماء التبريد هى ٤٥ كيلوجول/كجم والشغل المبذول مقداره ٩٠ كيلوجول/كجم. احسب التغير فى الطاقه الداخليه النوعيه لمائع الشغل وحدد ما اذا كان التغير فقد أو اكتساب ؟

الحل

$Q = -45\ kJ/kg$ الاشاره سالبه لانها حراره مطروده

$W = -90\ kJ/kg$ الاشاره سالبه لأنه شغل مبذول على النظام

obeikandl.com

باستخدام المعادله التاليه :

$$dQ = du + dw$$
$$Q = (u2 - u1) + W$$
$$-45 = (u_2 - u_1) - 90$$

ازدياد فى الطاقه الداخليه

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

معادلة السريان المستقر The steady flow equation

سبق ان ذكرنا ان المائع له طاقه داخليه ترجع لخواصه الثرموديناميكيه إلا ان المائع اذا تحرك بسرعه "C" وكان على ارتفاع من سطح الارض أوخط مرجع "Z" فان ١ كجم مائع يحتوى بالاضافه الى طاقته النرعيه الداخليه (u) على طاقة حركيه ($C^2/2$) 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 الطاقه فى النظام لكل ١ كجم عند اية نقطه ثابت ، وعندما ينساب المائع بمعدل انسياب كتله ثابته فانه يقال ان الانسياب مستقر وعندئذ يمكن الحصول على المعادله التاليه :-

$$u_1 + (C_1^2/2) + Z_1 g + p_1 v_1 + Q_1 = u_2 + (C_2^2/2) + Z_2 g + p_2 v_2 + Q_2 \quad (3\text{-}5)$$

وفى مسائل وتمارين الديناميكا الحراريه يمكن اهمال التغير فى طاقه الوضع وبالتالى يمكن رفع القيمه Zg من المعادلة السابقه كما أن مجموع الطاقه الداخليه u + طاقة الضغط pv تعرف بالانثالبى h وبالتالى يمكن الحصول على المعادله التاليه والتى تستخدم فى حالة السريان المستقر فى حسابات الديناميكا الحراريه

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

وتسمى معادلة سريان الطاقه المستقر Bernoulli's Equation

مع ملاحظة ان الانثالبى هو

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

وان معدل سريان الكتله هو

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

obeikandi.com

مثال رقم ٥ :-

فى اسطوانة محرك هواء وجد ان الهواء المضغوط له طاقه داخليه نوعيه مقدارها ٤٢٠ كيلوجول/كيلوجرام عند بداية التمدد ، ٢٠٠ كيلوجول/كيلوجرام بعد نهاية التمدد .

احسب كمية الحراره المنسابه من أو الى الاسطوانه اذا علمت ان الشغل المبذول بواسطة الهواء خلال التمدد هو ١٠٠ كيلوجول/كجم.

الحل

باستخدام المعادله التاليه :

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

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

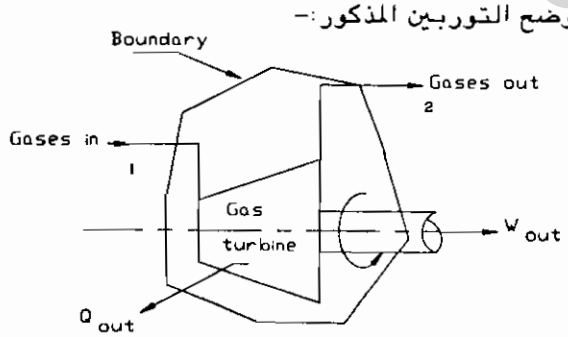
∴ تم طرد كمية حرارة من الهواء مقدارها ١٢٠ كيلوجول/كجم (حيث الاشاره سالبه) .

مثال رقم ٦ :

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

أوجد ايضا مساحة ماسورة الدخول اذا علمت ان الحجم النوعى للغازات عند الدخول هى ٥ر. م٣/كجم.

الشكل الآتي يوضح التوربين المذكور:-



obeikandi.com

الحلـــ

نستخدم معادلة سريان الطاقه المستقر التاليه :-

$$h_1 + C_1^2/2 + Q = h_2 + C_2^2/2 + W \qquad (3\text{-}10)$$

يمكن حساب الطاقه الكينتيكيه عند الدخول

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

وبالتالى نجد ان الطاقه الكينتيكيه عند الخروج $C_2^2/2 = 11.25$ kJ/kg.

ويمكن حساب الشغل بقسمة الطاقه علي معدل انسياب الكتله

$$W = 14000 \ + \ 17 = 823.5\ kJ/kg$$

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

$$1200 + 1.8 + Q = 360 + 11.25 + 823.5$$
$$Q = -7.02 \quad kJ/kg$$

الاشاره السالبه تعني ان الحراره مطروده ويمكن بضربها فى (m) الحصول على معدل طرد الحراره أى أن

$$Q = 7.02 \times 17 = 119.3\ kwatt.$$

وللحصول على مساحة ماسورة الدخول تستخدم المعادله التاليه :

$$m = CA/v$$

اى ان مساحة مقطع ماسورة الدخول هى

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

$$A = (17 \times 0.5\ ) + 60 = 0.142\ m^2$$

مثال رقم ٧ :

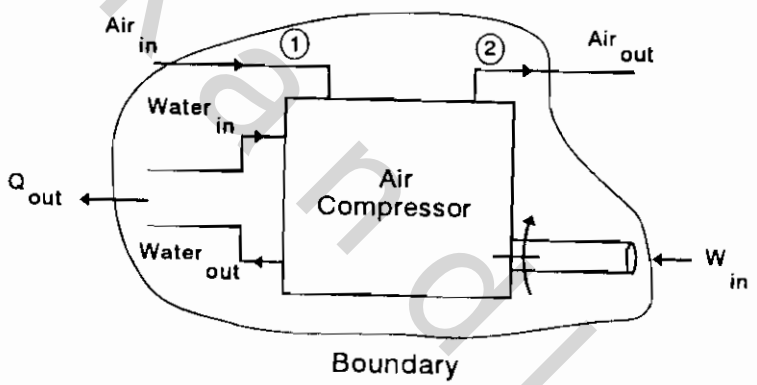
ينساب هواء انسيابا مستقرا بمعدل ٤ر. كجم/ث خلال ضاغط هواء ويدخل بسرعه ٦م/ث وضغط ١ بار وحجم نوعى ٨٥ر. م^3/كجم ويترك الضاغط بسرعة ٤ر٥ م/ث وضغط (٦ر٩) بار وحجم نوعى ١٦ر.م^3/كجم. والطاقه الداخليه النوعيه

obeikandl.com

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

الحل

يلاحظ أنه يمكن كتابة معادلة السريان بدون احتواء للرمز Z والرسم التخطيطى التالى يوضح الاجراء :-



من معادلة السريان المستقر

$$u_1 + p_1v_1 + C_1^2/2 + Q = u_2 + p_2v_2 + C_2^2/2 + W$$

$$W = (u_1 - u_2) + (p_1v_1 - p_2v_2) + \left[\frac{(C_1^2 - C_2^2)}{2}\right] + Q$$

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

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

$$= -260.9 \quad kJ/kg$$

obeikandi.com

لاحظ ان كمية الحراره مفقوده ولذا عوض عنها باشارة سالبه وتم قسمتها على معدل سريان الكتله لتصبح كمية حرارة/كجم واشارة الشغل سالبه لانه بذل علي المائع .

القدرة اللازمه لادارة الضاغط :

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

مساحة مقطع ماسورة الدخول (A_1):

$$m = C_1 A_1 / v_1$$

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

مساحة مقطع ماسورة الخروج (A_2) :

$$m = C_2 A_2 / v_2$$

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

الغاز التام The perfect gas

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

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

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

obeikandl.com

والثابت النوعي للغاز R وحداته كيلوجول/كجم كلفن وهو يساوى حاصل قسمة الثابت العام للغازات على الوزن الجزئي للغاز (الكتله المولیه) والثابت العام للغازات يرمز له بالرمز R_0 وهو قيمة ثابته لجميع الغازات الا انه يتوقف علي الوحدات المعبره عنه ونجد ان قيمته في وحدات S.I هي :-

$$R_0 = 8.3144 \quad kJ/kg\ mol.K$$

مثال رقم ٨ :

وعاء ذو حجم ٢ر. م^3 يحتوى غاز النيتروجين عند ضغط ١٣ .ر١ بار ودرجة حرارة ١٥^{5}م. تم اضافة ٢ر. كجم غاز نيتروجين للوعاء . احسب الضغط الجديد فى الوعاء عندما تعود درجة حرارة الوعاء الى الدرجة الاصليه . الكتله المولیه لغاز النيتروجين هى ٢٨ كجم/كيلومول.

الحل

يمكن حساب R للنتروجين حيث :-

$$R = R_0/M = 8.3144/28 = 0.2969 \quad kJ/kg\ K$$

من المعادله العامه للغازات يمكن معرفة كتلة النيتروجين حيث :

$$P_1V_1 = m_1RT_1$$

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

$$\therefore \quad m_1 = 0.237\ kg$$

بعد اضافة النيتروجين تصبح الكتله النهائيه m_2

$$\therefore \quad m_2 = 0.237 + 0.2 = 0.437\ kg.$$

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

$$P_2V_2 = m_2\ R\ T_2$$

$$(P_2 \times 10^5)\ (0.2) = (0.437)\ (O.2969)\ (1000)\ (15 + 273)$$

$$P_2 = 1.868 \quad bar$$

obeikandl.com

الحراره النوعيه للغازات Specific heat of gases

يوجد لكل غاز قيمتان للحراره النوعيه احدهما تعرف بالحراره النوعيه تحت ضغط ثابت c_p والاخري تعرف بالحراره النوعيه تحت حجم ثابت c_v.

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

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}12)$$

وفى حالة اجراء انعكاسى تحت حجم ثابت هى :-

$$Q = m c_v (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}13)$$

قانون جول Joul's Law:-

يقرر قانون جول ان الطاقه الداخليه لغاز (U) دالة لدرجة الحراره المطلقه للغاز ولتقدير تلك الداله نعتبر انه تم تسخين ١كجم غاز تحت حجم ثابت وبالتالى يمكن تطبيق معادلة عدم السريان والتعويض عن dW بالقيمه صفر نظرا لثبات الحجم أى أن

$$(dW = Zero)$$

$$dQ = dU + dW$$

$$dQ = dU$$

وسبق ان اوضحنا انه عند تسخين الغاز تحت حجم ثابت فان

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

لذلك فان :-

$$dQ = dU = m c_v dt \qquad (3\text{-}14)$$

وباجراء التكامل فانه

$$U = m c_v T + K \qquad (3\text{-}15)$$

حيث K ثابت التكامل ولكن من قانون جول الطاقه الداخليه دالة للحراره المطلقه أى ان العلاقه بينهما خطيه وعندما تمر بنقطة 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 :-

$$U = m c_v T \qquad (3\text{-}16)$$

obeikandi.com

وبالتالى فالتغير فى الطاقه الداخليه تحسب كما يلى :-

$$U_2 - U_1 = m\, c_v\, (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}17)$$

العلاقه بين قيمتى الحراره النوعيه لغاز :-

عند تسخين ١ كجم غاز من درجة حرارة T_1 الى درجة حرارة T_2 تحت ضغط ثابت فان كمية الحراره المنسابه الى الغاز هى :-

$$Q = m\, c_p\, (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}18)$$

وبتطبيق معادلة عدم السريان نجد أن :-

$$Q = (U_2 - U_1) + W \qquad (3\text{-}19)$$

وسبق ان اوضحنا ان :-

$$(U_2 - U_1) = m\, c_v\, (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}20)$$

ويمكن حساب الشغل عند ضغط ثابت كما يلى :-

$$W = p\, (V_2 - V_1) \qquad (3\text{-}21)$$

$$= mR\, (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}22)$$

مما سبق نجد ان :

$$m\, c_p\, (T_2 - T_1) = m\, c_v\, (T_2 - T_1) + mR\, (T_2 - T_1) \qquad (3\text{-}23)$$

وبالتالى فان :

$$c_p = c_v + R \qquad (3\text{-}24)$$

or

$$R = c_p - c_v \qquad (3\text{-}25)$$

الانثالبى للغاز التام :-

سبق أن عرفنا ان الانثالبي هو مجموع الطاقه الداخليه وطاقة الضغط أى ان:-

$$H = U + PV \qquad (3\text{-}26)$$

$$= m\, c_v T + mRT$$

$$= mT\, (c_v + R)$$

ولكن :

$$c_p = c_v + R$$

لذلك فان :

$$H = m\, c_p T \qquad (3\text{-}27)$$

obeikandl.com

النسبه بين الحرارتين النوعيتين لغاز :-

يطلق على النسبه بين الحراره النوعيه تحت ضغط ثابت والحراره النوعيه تحت حجم ثابت الرمز جاما " γ " أى أن

$$\gamma = c_p / c_v \qquad (3\text{-}28)$$

ويمكن الوصول الى المعادلات التاليه :

$$c_v = R/(\gamma - 1) \qquad (3\text{-}29)$$

$$c_p = \gamma R/(\gamma - 1) \qquad (3\text{-}30)$$

مثال رقم ٩ :

وجد ان ٠,١ كجم غاز تام معين تشغل حجم مقداره ٠,٠٣ م^3 عند ضغط ٧ بار ودرجة حرارة ١٣١$^\circ$م. احسب الكتله المولیه للغاز.
اذا تمدد الغاز الى ضغط ١ "بار" وحجم ٠,٠٢ م٣ . احسب درجة الحراره النهائيه .

الحل

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

$$T_1 = 131 + 273 = 404\ K$$

$$P_1 V_1 = mRT_1$$

$$R = P_1 V_1 / m T_1$$

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

وباستخدام المعادله التاليه يمكن حساب الكتله المولیه للغاز M

$$R = R_o / M$$

$$M = R_o / R$$

$$\therefore\ M = 8314 \div 520 = 16\ kg/kg\ mol$$

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

obeikandi.com

$$P_2V_2 = mR\,T_2$$
$$T_2 = P_2V_2/mR$$

$$\therefore\ T_2 = (1 \times 10^5 \times 0.02) + (0.01 \times 520) = 384.5\ K$$
$$= 384.5 - 273 = 111.5\ ^oC$$

مثال رقم ١٠ :

غاز تام معين حرارته النوعيه كما يلى :

$c_p = 0.846$ kJ/kg K

$c_v = 0.657$ kJ/kg K

احسب الثابت النوعى للغاز والكتله المولية للغاز

الحل

$$R = c_p - c_v = 0.189\ kJ/kg\ K$$
$$R = R_o/M$$
$$\therefore\ M = R_o/R = 8.314/0.189 = 44\ kg/k\ mol$$

مثال رقم ١١ :

غاز تام له كتله موليه ٢٦ كجم/ك مول وقيمة γ = ١ر٢٦ احسب الحراره المطروده لكل ١ كجم غاز اذا :-

أ- الغاز موجود فى وعاء صلب عند ضغط ٣ (بار) ودرجة حرارة ٣١٥°م وتم تبريده حتى ضغط ١ر٥ بار .

ب- دخل الغاز ماسورة على درجة حرارة ٢٨٠°م وينساب مستقرا الى الطرف الآخر للأنبوبة حيث درجة حرارته ٢٠°م . مع اهمال التغير فى السرعه عند الدخول والخروج.

الحل

$$R = R_o/M = 0.3198\ kJ/kg\ K$$
$$c_v = R/(\gamma - 1) = 1.229\ kJ/kg\ K$$
$$c_p = \gamma R/(\gamma - 1) = 1.548\ kJ/kg\ K$$

obeikandi.com

أ- يمكن حساب درجة الحراره النهائيه بالتطبيق فى المعادله العامه للغازات عند الحاله الابتدائيه ثم عند الحاله النهائيه مع ملاحظة ان الحجم ثابت :-

$$p_1v_1 = mRT_1 \quad p_2v_2 = mRT_2 \quad \therefore p_2/p_1 = T_2/T_1$$

$$\therefore T_2 = 294\ K$$

∴ الحراره المطروده من كل ١ كجم غاز يتم حسابها كما يلى :-

$$Q = mc_v\ (T2 - T1)$$

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

الاشاره سالبه لان الحراره مطروده

ب- بتطبيق معادلة السريان

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

وباهمال السرعات ، وعدم وجود شغل ينتج ان :

$$h_1 + Q = h_2$$

$$\therefore Q = h_2 - h_1 \qquad \therefore h = c_pT$$

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

الاجراءات الانعكاسيه Reversible processes

١- الاجراء تحت حجم ثابت :-

من معادلة عدم الانسياب $Q = (u_2 - u_1) + W$

وبالتعويض عن الشغل بصفر حيث لايوجد شغل لعدم تغير الحجم عند ثبات الحجم

$$\therefore Q = U_2 - U_1 \qquad (3\text{-}31)$$

٢- الاجراء تحت ضغط ثابت :-

من معادلة عدم السريان $Q = (U_2 - U_1) + W$

ومن معادلة حساب الشغل $W = p\ (v_2 - v_1)$

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

عند ثبات الضغط

$$Q = h_2 - h_1 \qquad (3\text{-}32)$$

obeikandl.com

٣- الاجراء عند درجة حرارة ثابته .

من معادلة عدم السريان

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

عند ثبات درجة الحراره لايوجد تغير في الطاقه الداخليه

$$\therefore Q = W = \int pdv \qquad (3\text{-}33)$$

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

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

ويمكن بالتعويض عن v_2 / v_1 بالقيمه p_1 / p_2

٤- الاجراء الأدياباتيكى عند عدم السريان

يعرف الاجراء الادياباتيكي بأنه الاجراء الذى يتم عندما يكون النظام معزولا عزلا جيدا وبالتالى لاتتسرب أية كمية حرارة من والى النظام .

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

$$Q = (U_2 - U_1) + W \qquad (3\text{-}35)$$

تحت الظروف الادياباتيكيه

$$W = U_1 - U_2 \qquad (3\text{-}36)$$

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

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

$$W = (p_1 v_1 - p_2 v_2) / (\gamma - 1) \qquad (3\text{-}37)$$

كما يمكن الحصول على الصيغه التاليه :-

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

٥- الاجراء البولتروبى :-

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 الادياباتيكي ويمكن الحصول على المعادله التاليه لحساب الشغل فى حالة الإجراء الانعكاسى البولتروبى:-

obeikandi.com

$$W = (p_1v_1 - p_2v_2) / (n-1) \qquad (3\text{-}39)$$

ويمكن الوصول للعلاقه :

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

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

$$Q = [(\gamma - n) / (\gamma - 1)] W \qquad (3\text{-}41)$$

وهى توضح العلاقه بين الشغل والطاقه وقيمة γ ،"n" والشغل يكون موجبا اذا كان الاجراء تمدد وعندئذ قد تكون قيمة n أكبر من γ وبالتالى فالجانب الايمن من المعادله تصبح قيمته سالبه اي ان قيمة Q سالبه وهذا يعنى ان النظام فقد طاقة اما فى حالة ان تكون قيمة 'n' أصغر من γ وبالتالى فالجانب الايمن من المعادله تصبح قيمته موجبه أي ان قيمة Q موجبه وهذا يعني ان النظام اكتسب طاقه . ويمكن الوصول الى عكس هذا الاستنتاج فى حالة مايكون الاجراء انضغاط وبالتالى قيمة الشغل سالبه .

الإجراءات اللانعكاسيه Irreversible processes

سبق تعريف اللانعكاسيه وهى عادة ماتتم فى حالة التمدد الحر Free Expansion وفيها نجد ان الطاقه الداخليه لاتتغير عند مايتم اجراء عزل جيد للنظام وان درجة الحراره فى النهايه تكون مماثله للبدايه الا اننا يمكن ان نطلق عليه اجراء ايزوثرمالى الا انه عند تطبيق القانون العام للغازات فنجد ان $P_1V_1 = P_2V_2$.

كذلك نجد مثال آخر لاجراء اللانعكاسيه وهى ماتعرف بالـ Throtlling وفيها لاتتغير الانثالبى عند اجراء عزل النظام عزلا حراريا جيدا ولذلك تكون درجة الحراره 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 مناسبا افتراضها انعكاسية ويمكن من

معادلة سريان الطاقه المستقر الوصول للمعادله التاليه لحساب الشغل فى حالة اجراء انسيابى انعكاسى اديباتيكى.

$$W = (h_1 - h_2) + [(C_1^2 - C_2^2)/2] \qquad (3\text{-}42)$$

امثله حسابيه

مثال رقم ١٢ :

كمية من الهواء مقدارها ٠٫٥ كجم سخنت عند ضغط ثابت مقداره ٢ "بار" حتي اصبح الحجم ٠٫٠٦٥٨ م^3. احسب كمية الحراره المضافه والشغل المبذول مع العلم بأن درجة الحراره فى البدايه ١٣٠°م.

الحل

$$T_2 = p_2 v_{2/mR} = 2 \times 10^5 \times 0.0658 / (0.05 \times 0.287 \times 10^3)$$
$$= 917\ K$$

كمية الحراره المضافه تحت ضغط ثابت نتجت من المعادله

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = 0.05 \times 1.005 (917 - 403)$$
$$= 25.83\ kJ$$

الشغل المبذول يحسب كمايلى :-

$$W = p (v_2 - v_1)$$
$$= mR (T_2 - T_1) = 0.05 \times 0.287 \times 514 = 7.38\ kJ$$

مثال رقم ١٣ :-

كمية من النيتروجين كتلتها ١ كجم (الكتله الموليه ٢٨ كجم/كيلو مول) ضغطت انعكاسيا ايزوثرماليا من ضغط مقداره ٠٫١ "بار" ودرجة حرارة ٢٠°م الى ضغط ٤٫٢ "بار" بفرض ان النيتروجين غاز تام احسب الشغل المبذول والحراره المنسابه اثناء الاجراء .

الحل

$$R = R_o/M = 8314/28 = 0.297\ \ kJ/kg\ K$$
$$W = RT \ln (p_1/p_2) = -124\ \ kJ/kg$$

obeikandi.com

الحراره المنسابه تحسب كمايلى :-

$$Q = W = -124 \ kJ/kg$$

مثال رقم ١٤ :-

هواء عند ضغط ١ر٠٢ "بار" ودرجة حرارة ٢٢°م يشغل اسطوانه حجمها ١٥ر٠م٣ تم ضغطها انعكاسيا اديباتيكا بواسطة ضاغط حتي ضغط ٦ر٨ "بار". احسب درجة الحراره والحجم فى النهايه والشغل المبذول وكتلة الهواء . .

الحل

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

$$\therefore T_2 = 507.5 \ K$$

$$\therefore T_2 = 507.5 - 273 = 234.5 \ ^oC$$

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$$v_2 = 0.00388 \ m^3$$

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

$$m = p_1 v_1 / RT = 0.0181 \ kg$$

مثال رقم ١٥ :-

ضغط ١ كجم من غاز تام من ضغط ١ر١ بار ودرجة حراره ٢٧°م الي ضغط ٦ر٦ بار تبعا للمعادله $pV^{1.3} = cons.$. احسب كمية الحراره المنسابه من أو إلي جدران الإسطوانه فى الحالات الآتيه :-

أ- الغاز ايثان $c_p = 2.10 \ kJ/kg.^oC, \ m = 30 \ kg/K \ mol$

ب- الغاز ارجون $c_p = 0.52 \ kJ/kg.^oC, \ m = 40 \ kg/K \ mol$

الحل

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

$$\therefore T_2 = 453.6 \ K$$

obeikandl.com

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

$R = c_p - c_v$

$\therefore c_v = 1.823$ 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 :

$R = 8.314/40 = 0.208$ kJ/kg K

$R = c_p - c_v \quad \therefore c_v = 0.312$ kJ/kg K

$\gamma = c_p / c_v = 1.667$

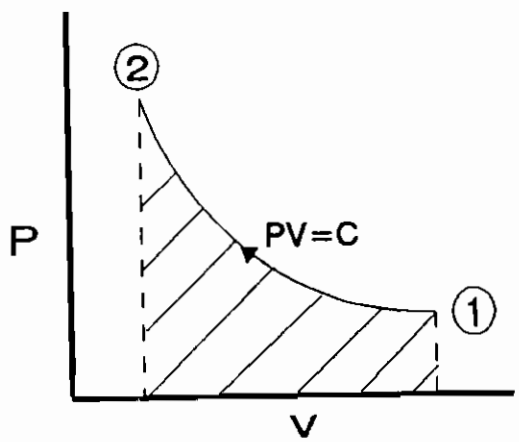
$W = R(T_1 - T_2)/(n-1) = -106.5$ kJ/kg

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

مثال رقم ١٦ :-

ضغط ١ كجم من النيتروجين (الكتله المولیه ٢٨ كجم/ك مول) انعكاسيا مع ثبوت درجة الحراره من ١ر١ "بار" ، ٢٠°م الى ٢ر٤ "بار"

احسب الشغل المبذول والحراره المنسابه اثناء الأجراء. افترض ان غاز النيتروجين غاز تام .



الحلـــــــ

يتم حساب R للنيتروجين كما يلى:

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

الشكل السابق يوضح الاجراء ونـلاحظ أن اتجاهه من اليـمين الى اليسار لذلك فان الشغل المبذول سالـــب 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 ثابته $\therefore W = Q$

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

مثال رقم ١٧ :-

كمية من الهواء عند ضغط ١ر٠٢ "بار" ، درجة حرارة ٢٢°م تشغل اسطوانه وله حجم ابتدائى ١٥ر٠م^3 تم ضغط الهواء انعكاسيا واديابا تيكيا بواسطة ضاغط الى ضغط ٨ر٦ " بار" احسب درجة الحراره النهائيه ، الحجم النهائي ، الشغل المبذول على الهواء فى الاسطوانه .

الحلـــــــ

من المعادله

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

يمكن حساب درجة الحراره النهائيه (T_2)

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

ومن المعادله

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

يمكن حساب الحجم النهائي (v_2)

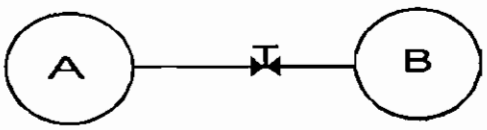
$$\therefore v_2 = 0.00388 \text{ m}^3$$

obeikandi.com

ويمكن حساب الشغل المبذول من المعادله :

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

مثال رقم ١٨ :



فى الشكل السابق يحتوى الوعاء Aعلى كمية من الهواء تحت ضغط ٢٠ "بار" وحجم ١م^3 وفتح الصمام (×) وتمدد الهواءلشغل الحيز فى الوعائين A,B اذا كان الوعاء (B) له نفس حجم الوعاء (A) ١م^{3}احسب الضغط النهائي للهواء ؟

الحلـــــــ

عندما يتمدد الغاز التام تمدد حر فان درجة الحراره الابتدائيه T_1 = درجة الحراره النهائيه T_2 ولذلك بتطبيق العلاقه $p_1 v_1 = p_2 v_2$

يتم حساب الحجم النهائي (v_2)

$$v_2 = vA + vB = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3$$

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

مثال رقم ١٩ :

توربين غازى يستقبل الغازات من غرفة احتراق عند ضغط ٧ "بار" ودرجة حراره ٦٥٠°م وبسرعة ٩ متر/ث. الغازات تترك التوربين عند ضغط ١ بار وبسرعة ٤٥م/ث. افترض ان التمدد اديباتيكي انعكاسى . احسب الشغل المبذول لكل ١ كجم غاز . اعتبر ان قيمة γ = ١ر٣٣٣ ، c_p = ١ر١١ ك جول/كجم كلفن .

الحلـــــــ

وباستخدام معادلة الانسياب لاجراء اديباتيكى

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

وبالتعويض عن h من المعادله

$$h = c_p T$$

obeikandl.com

نحصل علي

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

يتم حساب T_2 من المعادله

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

فنجد ان $\therefore T_2 = 567$ K

∴ بالتعويض في معادلة الشغل نجد ان

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

مثال رقم ٢٠ :-

خزان هواء حجمه ٣م٦ وضغطه ١٥ "بار" ودرجة حرارته ٥ر٤٠°م فتح صمام التحكم وسمح لجزء من الهواء للأنسياب الى الجو الخارجى. ثم قفل الصمام حيث انخفض الضغط الى ١٢ بار. احسب كمية الهواء المتسربه من الخزان .

الحل

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

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

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

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

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

∴ يمكن حساب كتلة الهواء المتبقيه (m') من المعادله العامه للغازات كمايلي :

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

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

obeikandi.com

مسائل عامة

أولاً : تمارين على مقدمة الديناميكا الحراريه
حساب الشغل

١- تحتوي اسطوانة على مائع تحت مكبس عند ضغط ١٠ بار اذا علمت ان الحجم الابتدائي لهذا المائع ٠٫٥ م^3. احسب الشغل المبذول بواسطة المائع عند تمدده انعكاسيا فى الحالات الاتيه :-

أ- عند ضغط ثابت الى حجم نهائي ٢ م^3

ب- تبعا لعلاقة خطيه الي حجم نهائي ٢ م^3 وضغط نهائي ٢ بار

ج- تبعا للمعادله ($PV^{1.2}$ = Constant) إلي حجم نهائي ١ م^3

د- تبعا للمعادلة ($PV^{1.2}$ = Constant) الى حجم نهائي ٠٫٦ م^3

هـ- تبعا للمعادله $[p = (A/V^2) - (B/V)]$ الى حجم نهائي ١ م^3 وضغط نهائي ١ بار مع العلم ان A , B ثوابت .
وضح جميع الاجراءات برسم تخطيطي بين الضغط والحجم.

[**الاجابه** :- أ (١٥٠٠٠٠) ، ب (٩٠٠٠٠) ، جـ (٣٤٦٥٧) ، د (٧٦٣٩) ، 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" هى الحجم النوعى معبرا عنها بوحدات م^3/كجم. الحجم النهائي مساويا ١/٤ الحجم الابتدائي .
المطلوب : حساب الشغل المبذول على المائع مع توضيح الاجراء برسم تخطيطي للعلاقه بين الضغط والحجم [**الاجابه** : ٣٦٥٧ نيوتن.متر].

٣- تحتوي اسطوانه على ٠٫٥ م^3 غاز تحت مكبس عند ضغط ٦٫٩ "بار" تمدد هذا الغاز انعكاسيا تبعا للمعادله $P.V^{1.2}$ = Constant حتي وصل الحجم ٠٫٨ م^3 احسب الشغل المبذول بواسطة الغاز مع توضيح الاجراء برسم تخطيطي يبين العلاقه بين الضغط والحجم [**الاجابه** : ١٥٤٧٦ نيوتن.متر]

obeikandi.com

٤- تمدد ١ كجم مائع انعكاسيا تبعا لعلاقة خطيه من ضغط ٢ر٤ "بار" الى ١ر٤ "بار" وكان الحجم الابتدائي ٠٠٤ر٠م^{٣} والحجم النهائي ٠٠٢ر٠م^{٣}. بعد ذلك تم تبريد المائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت. وفي النهايه تم ضغطه انعكاسيا تبعا للمعادله pV=Constant حتي وصل الى نقطة البدايه حيث الضغط ٢ر٤ "بار" والحجم ٠٠٤ر٠م^{٣} . احسب الشغل المبذول في كل اجراء محددا اذا كان الشغل مبذول بواسطة المائع أو عليه . احسب الشغل الصافي للدوره . وضح الاجراءات المختلفه على رسم تخطيطي يوضح العلاقه بين الضغط والحجم .

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

٥- مائع حجمه ٩٠ر٠م^{٣} وضغطه ٧ر٠ بار تم ضغطه انعكاسيا الى ضغط ٣ر٥ بار تبعا للمعادله PV^n = Constant . ثم سخن الغاز انعكاسيا تحت حجم ثابت حتي ضغط ٤ "بار" وكان الحجم النوعي عندئذ ٥ر٠م^{٣}/كجم. تم اعادة المائع إلي حالته الاصليه بتمدده انعكاسيا تبعا للمعادله (pV^2 = Constant) .
احسب كتلة 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** : ٧٥٣٠ركجم ، ١ر٨٤ ، ٨٥٤ نيوتن.متر]

٦- سخن مائع انعكاسيا تحت ضغط ثابت ٥٠ر١ "بار" حتي اصبح حجمه النوعي ١ر٠م^{٣}/كجم. عندئذ ضغط انعكاسيا تبعا للمعادله (pV = Constant) حتي صار الضغط ٢ر٤ بار ، ثم سمح له بالتمدد انعكاسيا تبعا للمعادله ($pV^{1.3}$=Constant) ، وفي النهايه تم تسخينه تحت حجم ثابت ليعود الي حالته الاصليه. ولقد وجد ان الشغل المبذول فى الاجراء عند ثبات الضغط ٥١٥ نيوتن.متر وكتلة المائع ٢ر٠كجم.
احسب الشغل الصافي المبذول بواسطة المائع أو عليه في تلك الدوره ارسم رسم تخطيطي يوضح العلاقه بين الضغط والحجم.

[**الاجابه**: -٤٢٢ نيوتن.متر].

obeikandl.com

ثانياً : تمارين على الإجراءات الانعكاسيه واللانعكاسيه

١- وعاء صلب يحتوى على ١ كجم هواء عند ضغط ٤ر٨ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م. تم تسخين الوعاء حتى ارتفعت درجة الحراره الى ٢٠٠°م. احسب الضغط النهائي فى الوعاء وكمية الحراره المضافه اثناء عملية الاجراء .
[**الاجابه** : ٥ر٢٧ "بار" ، ٩ر٢٥ كيلوجول/كجم].

٢- تمدد الاكسجين (الكتله الموليه ٣٢ كجم/ك.مول) انعكاسيا فى اسطوانة خلف مكبس مع ثبات الضغط ومقداره ٢ "بار" . الحجم الابتدائي ١ر٠م^3 وأصبح فى النهايه ٢ر٠م^3. درجة الحراره الابتدائيه ١٧°م. احسب الشغل المبذول بواسطة الاكسجين وكمية الحراره من او إلى جدران الاسطوانه اثناء عملية التمدد. افترض ان الاكسجين غاز تام وله c_p = ٩١٧ر٠ كيلوجول/كجم كلفن .
[**الاجابه** : ٦ كيلوجول ، ١٦ر٢١ كيلوجول]

٣- غاز تام حجمه ٥ر٠ متر مكعب عند ضغط ٦ر٣ "بار" ينخفض ضغطه الي ١ر٠٥ "بار" في اجراء انعكاسى مع ثبوت درجة الحراره . احسب كمية الحراره المنسابه من او الي الغاز .
[**الاجابه** : ٤٤ر٥٦ كيلوجول]

٤- تم ضغط ١ كجم من الهواء انعكاسيا وتحت درجة حرارة ثابته مقدارها ٣٠°م من ضغط ١ "بار" . احسب الشغل المبذول على الهواء وكمية الحراره المنسابه من او الي الهواء .
[**الاجابه** : ٩٦ر١٣٩ كيلوجول/كجم ، - ٩٦ر١٣٩ كيلوجول/كجم].

٥- كمية هواء كتلتها ١ كجم عند ضغط ١ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م. ضغطت انعكاسيا واديابا تيكيا حتى ضغط ٤ "بار". احسب درجة الحراره النهائيه والشغل المبذول على الهواء .
[**الاجابه** : ١٥٥°م ، ٥ر١٠٠ كيلوجول/كجم]

obeikandl.com

٦- تمدد النيتروجين (الكتله المولیه ٢٨ كجم/ك مول) انعكاسيا في اسطوانه معزوله حراريا تماما من ضغط ٣ر٥ "بار" ، درجة حرارة ٢٠٠°م الى حجم ٠ر٠٩م^3 اذا علمت ان الحجم الابتدائي ٠ر٠٣م^3 . احسب الشغل المبذول اثناء عملية التمدد . افترض ان غاز النيتروجين غاز تام وله c_p = ٧٤١ر٠ كيلوجول/كجم كلفن.

[**الاجابه** : ٣١ر٩ كيلوجول]

٧- ضغط غاز تام معين انعكاسيا من ضغط ١ "بار" ، ١٧°م الي ضغط ٥ "بار" في اسطوانه معزوله حراريا تماما . درجة الحراره النهائيه ٧٧°م. الشغل المبذول على الغاز اثناء الانضغاط ٤٥ك. جول/كجم. احسب قيمة γ ، c_v ، R والوزن الجزئي النسبي للغاز .

[**الاجابه:** ١ر١٣٢ ، ٧٥ر٠كيلوجول/كجم كلفن ، ٩٩ر٠ كيلوجول/كجم كلفن،٨٤]

٨- كمية هواء مقدارها ١ كيلو جرام عند ضغط ٢ر١ بار ودرجة حرارة ٢٠°م تم ضغطها انعكاسيا تبعا للمعادله ($pv^{1.3}$ = constant) الى ضغط ٥ر٥ "بار" . احسب الشغل المبذول على الهواء وكمية الحراره المنسابه من او الي جدران الاسطوانه اثناء الانضغاط.

[**الاجابه:** ٥ر١٣٣ كيلوجول/كجم ، ٣٨ر٣٣ كيلوجول/كجم]

٩- ضغط غاز الاكسجين (الكتله المولیه ٣٢ كجم/ك.مول) انعكاسيا وبولي تروبيكالى فى اسطوانه من ٥ر٠١ "بار" ، ١٥°م الي ٤ر٢ "بار" بطريقة ما بحيث يتم طرد ٣/١ الشغل المضاف علي صورة حرارة الي جدران الاسطوانه احسب درجة الحراره النهائيه للأكسجين بفرض ان الاكسجين غاز تام وله c_v = ٦٤٩ر٠ كيلو جول/كجم كلفن.

[**الاجابه:** ١١٣°م]

١٠- كمية من غازثاني اكسيد الكربون مقدارها ٥ر٠ كجم (الكتله المولیه ٤٤ كجم/ك.مول) تشغل حجم ٣ر٠ متر مكعب عند ضغط ٢٥ر١ "بار". تم ضغطها انعكاسيا حتي ضغط ١٥ر٦ "بار". احسب درجة الحراره النهائيه ، الشغل المبذول على الغاز ، كمية الحراره المنسابه من او الي جدران الاسطوانه .

أ- عندما يتم الأجراء تبعا للمعادله ($pv^{1.4}$ = constant) .
ب- عندما يتم الأجراء مع ثبوت درجة الحراره.
ج- عندما يتم الأجراء في اسطوانة معزوله حراريا تماما .
افرض ان غاز ثاني اكسيد الكربون غاز تام واعتبر ٧ = ٣ر١.

[**الاجابه:** ٢٧٠°م ، ١٣٨ر٥ كيلوجول ، ٧١٣ر١ كيلوجول ، ٦ر٥٢°م ، ٥١ر٥كيلوجول ، -٥١ر٥ كيلوجول ، ٢١٩°م ، ٢٥ر٥ كيلوجول ، صفر كيلوجول]

١١- هواء عند ضغط ٩ر٦ "بار" ، درجة حرارة ٢٦٠°م تم خنقه لضغط ٥ر٥ "بار" قبل تمدده خلال فوهة خرطوم الى ضغط ١ر١ "بار" افترض ان الهواء ينساب انعكاسيا انسياباً مستقر خلال فوهة الخرطوم ولايحدث طرد للحراره . احسب سرعة الهواء عند خروجه من فوهة الخرطوم عندما تكون سرعة دخوله ١٠٠متر/ثانيه .
[**الاجابه:** ٦٣٧ متر/ثانيه]

١٢- هواء عند درجة حرارة ٤٠°م يدخل غرفة خلط بمعدل ٢٢٥ كجم/ساعه حيث يتم خلطه مع هواء درجة حرارته ١٥°م بمعدل ٥٤٠ كجم/ساعه . احسب درجة حرارة الهواء عند تركه غرفة الخلط . افرض ظروف انسياب مستقر . افرض ان كمية الحراره المفقوده يمكن اهمالها .

[**الاجابه:** ٤ر٢٢°م]

١٣- تحتوي اسطوانة صلبه علي غاز الهليوم (الكتله الموليه ٤ كجم/ك.مول) عند ضغط ٥ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م. تم توصيل الاسطوانه مع مصادر ضخ للهليوم عند ضغط ١٠ "بار" ودرجة حرارة ١٥°م وتم قفل الصمام الموصل بالاسطوانه عندما ارتفع الضغط بالأسطوانه الي ٨ "بار" . احسب درجة الحراره النهائيه للهليوم فى الاسطوانه بفرض ان كمية الحراره المنتقله خلال اجراء العمليه صغير ويمكن اهماله . قيمة c_v للهليوم ٣ر١٢ كيلوجول/كجم كلفن .

[**الاجابه:** ٥ر٦١°م]

١٤- يحتوي خزان هواء علي ١٠ كيلوجرام من الهواء عند ضغط ٧ "بار" به صمام فتح خطأ وتم قفله ثانيه في خلال ثواني الا ان الضغط انخفض الي ٦ "بار" . 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 لكى تكون درجة حرارة الهواء قد عادت إلي درجة الحراره الاصليه .
[**الاجابه:** ٤٠ر١ كجم ، ٢٧ر٦ "بار"]

١٥- اسطوانه رأسيه مساحة مقطعها ٦٤٥٠ مم^{٢} مفتوحه من أحد طرفيها للجو ومتصله من الطرف الاخر عن طريق ماسورة وصمام بخزان هواء كبير تم تثبيت 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 ٦٠ر م وعندئذ قفل المحبس. اذا كانت درجة حرارة الهواء فى الاسطوانه ٢٠$^{\circ}$م عند نهاية العمليه ودرجة الحراره للهواء في الخزان الكبير ثابته عند ٩٠$^{\circ}$م احسب :-

أ- ضغط الهواء فى الاسطوانه اثناء العمليه.
ب- الشغل المبذول بالهواء في الاسطوانه.
ج- الشغل المبذول علي المكبس.
د- الحراره المنتقله من او الي الهواء في الاسطوانه اثناء العمليه .
اعتبر ضغط الهواء الجوى ١٣ر١ "بار"
[**الاجابه:** ٦٨ر١ "بار" ، ٤٥٢ جول ، ٦٠ جول ، -٢١٠ جول]

ثالثاً : تمارين علي القانون الاول للديناميكا الحراريه

١- يقوم مكبس هواء بعملية الضغط مع ثبوت الطاقه الداخليه ، ويتم طرد ٥٠ كيلو جول إلي ماء التبريد لكل ١ كجم هواء. احسب الشغل اللازم لشوط 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 الحراره المطروده الي ماء التبريد ٤٢ كيلوجول/كجم. احسب التغير في الطاقه الداخليه وحدد اذا كان حدث اكتساب أو فقد فيها .
[**الاجابه** : تم اكتساب ٢٨ كيلوجول/كجم].

٣- كتلة من غاز لها طاقه داخليه ١٥٠٠ كيلوجول موجوده في أسطوانه معزوله تماما حراريا تمدد الغاز خلف مكبس حتي اصبحت طاقته الداخليه ١٤٠٠ كيلوجول احسب الشغل المبذول بواسط الغاز .

اذا علمت ان التمدد تم تبعا للمعادله (pV^2 = constant) وان الضغط الابتدائي للغاز ٢٨ "بار" والحجم الابتدائي للغاز ٠٫٠٦ م^3 ، احسب الضغط والحجم في نهاية الاجراء.

[**الاجابه** : ١٠٠٠ كيلوجول ، ٤٫٦٠ بار ، ٠٫١٤٨ م^3]

٤- وجد ان الغازات في اسطوانة آلة احتراق داخلى لها طاقه داخليه ٨٠٠ كيلوجول/كجم وحجم نوعي ٠٫٠٦ م^3/كجم عند بداية التمدد . افترض ان التمدد انعكاسيا تبعا للمعادله $pV^{1.5}$ من ضغط ٥٥ "بار" الي ١٫٠٤ "بار" الطاقه الداخليه بعد التمدد ٢٣٠ كيلوجول/كجم. احسب كمية الحراره المطروده/كجم غازات الي ماء تبريد الاسطوانه اثناء شوط التمدد .

[**الاجابه**: ١٠٤٫٢ كيلوجول/كجم]

٥- محرك بخاري يدخله البخار بمعدل ١٫٢٥ كجم/ثانيه وينتج ٥٠٠ كيلووات. كمية الحراره المفقوده بين جداره يمكن اهمالها.

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

ب- احسب التغير في الانثالبي النوعي عبر المحرك عندما يكون سرعة دخول البخار ٦٠ متر/ث وسرعة خروجه ٣٦٠م/ث ومستوي ماسورة الدخول أعلي من ماسورة العادم ٣ متر .

[**الاجابه** : ٢٧٠٫٤ كيلوجول/كجم ، ٤٣٣٫٤ كيلوجول/كجم]

٦- يدخل البخار بانسياب مستقر الي مكثف وقيمة الانثالبي له ٢٣٠٠ كيلوجول/كجم وسرعته ٢٥٠م/ث ، بعد تكثيفه يخرج وقيمة الانثالبي له ١٦٠ كيلوجول/كجم وسرعته ٧٠م/ث.

احسب كمية الحراره المنتقله الي ماء التبريد لكل كجم بخار مكثف .

[**الاجابه**: ٢١٩٨٫٨ كيلو جول/كجم]

٧- محرك بخاري يعمل تحت ظروف الانسياب المستقر يدخله البخار بالحاله التاليه: الضغط ١٢٫٨ "بار" - الحجم النوعي ٠٫١٤٢ م^3/كجم - الطاقه

openkanal.com

الداخليه ٢٥٩٠ كيلوجول/كجم - السرعه ٣٠ م/ث . ويخرج البخار من المحرك بالحاله التاليه : الضغط ٣٥ر. "بار" - الحجم النوعي ٣٧ر٤ م^{3}/كجم الطاقه الداخليه ٢٣٦٠ كيلوجول/كجم - السرعه ٩٠ م/ث .
تفقد الحراره للجو المحيط بمعدل ٢٥ر. كيلوجول/ث ، ومعدل انسياب البخار ٣٨ر. كجم/ث . احسب القدره المتحصل عليها من المحرك .
[**الاجابه** : ٩٨ر١٠٢ كيلووات].

٨- تعتبر فوهة فم الخرطوم وسيله لزيادة سرعة تيار لمائع ينساب مستقرا . ولقد وجد ان قيمة الانثالبي لمائع عند دخوله فوهة فم الخرطوم ٣٠٢٥ كيلوجول/كجم والسرعه ٦٠ متر/ث . ولقد وجد ان الانثالبي للمائع عند خروجه ٢٧٩٠ كيلوجول/كجم.
فوهة فم الخرطوم أفقيه والحراره المفقوده منه يمكن اهمالها
أ- اوجد سرعة خروج المائع.
ب- اذا كانت مساحة الدخول ١ر. م^{2} والحجم النوعي للمائع عند الدخول ١٩رم^{3}/كجم. احسب معدل انسياب المائع .
ج- اذا كان الحجم النوعي للمائع عند الخروج ٥ر.م^{3}/كجم . احسب مساحة الخروج .
[**الاجابه** : ٢ر٦٨٨ م/ث ، ٦ر٢١ كجم/ث ، ٠٢٣٠رم^{2}]

رابعاً : تمارين علي Working Fluid

استخدم القيم التاليه للهواء :-
- الثابت العام النوعي للهواء "R" ٢٨٧ر. كيلوجول/كجم كلفن
- الحراره النوعيه تحت ضغط ثابت "c_p" ١ر٠٠٥ كيلوجول/كجم كلفن
- الحراره النوعيه تحت حجم ثابت "c_v" ٧١٨ر. كيلوجول/كجم كلفن

النسبه بين الحراره النوعيه تحت ضغط ثابت وتحت حجم ثابت " γ " ١ر٤ وللغازات التامه الاخري 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 ١ر٣. افرض ان غاز ثاني اكسيد الكربون غاز "تام" ، احسب الثابت العام النوعي للغاز "R" والحراره النوعيه تحت ضغط ثابت وتحت حجم ثابت . [**الاجابه** : ١٨٩ر. ، ٦٣٠ر. ، ٨١٩ر. كيلوجول/كجم كلفن ، ٢٨٠ر.م^{3}].

obeikandl.com

٢- احسب الطاقه الداخليه والانثالبى لـ ١كجم هواء يشغل ٠,٤ م^3 عند ٢٠ "بار" اذا علمت ان الطاقه الداخليه ازدادت ١٢٠ كيلوجول/١كجم بازدياد ضغط الهواء إلي ٥٠ بار ، احسب الحجم الجديد الذي يشغله ١ كجم من الهواء.

[**الاجابه** :١٠٦ر٢٥٠ كيلوجول/كجم ، ١٧ر٣٥٠ كيلوجول/كجم، ٢٩٦ر٠ م^3].

٣- وعاء من الصلب سعته ٠,٤ م^3 مخزن به غاز الاكسجين عند ضغط ٢٠٠ "بار" ودرجة حراره ٢٠ ^{o}م . بفرض ان الاكسجين غاز تام . احسب كتلة الاكسجين المخزنه في الوعاء اذا علمت ان الوعاء مزود بصمام امان ضد ارتفاع الضغط حيث ينصهر الصمام عندما ترتفع درجة الحرارة . احسب درجة الحراره التي يجب ان ينصهر عندها الصمام حتي يحد من ارتفاع الضغط في الوعاء الي ٢٤٠ "بار" .الكتلة المولية للأكسجين هي ٣٢ كجم/كيلومول.

[**الاجابه**: ٥١ر٩م^3 ، ٦ر٧٨ ^{o}م].

٤- عند تسخين غاز تام معين تحت ضغط ثابت من درجة حرارة ١٥ ^{o}م الي درجة حرارة ٩٥ ^{o}م فانه يحتاج الي كمية حرارة مقدارها ١١٣٦ كيلوجول/كجم. وعند تسخين نفس الغاز تحت حجم ثابت من والي نفس درجات الحراره المذكوره فانه يحتاج الي كمية حرارة مقدارها ٨.٨ كيلوجول/كجم. احسب كلامن c_p ، c_v ، γ ، R ، الوزن الجزيئي النسبي للغاز.

[**الاجابه**: ١٢ر١٤ كيلوجول/كجم كلفن ، ١ر١٠ كيلوجول/كجم كلفن ، ٤٠٦ر١ ، ١ر٤ ، كيلو جول/كجم كلفن ، ٢٨٠ ، ٢].

٥- مكبس هواء يدخله الهواء عند ضغط ١ "بار" ويتركه عند ضغط ٥ "بار" ودرجة حرارة الهواء عند دخوله الي المكبس ١٥ ^{o}م وحجم الهواء عند بداية الانضغاط ٣ امثال حجمه عند نهاية الانضغاط . احسب درجة حرارة الهواء عند خروجه من المكبس ومقدار الزياده في الطاقه الداخليه لكل ١ كجم هواء.

[**الاجابه**: ٢٠٧ ^{o}م ، ٨٦ر١٣٧ كيلوجول/كجم].

٦- تم ضغط كمية غاز تام معين من حالة ابتدائيه حيث حجمه ٠,٨٥ م^3 وضغطه ١ بار الي حالة نهائيه حيث حجمه ٠,٣٤ م^3 وضغطه ٣ر٩ "بار" الحرارة النوعيه تحت حجم ثابت ٧٢٤ر٠ كيلوجول/كجم كلفن ، الحراره النوعيه

تحت ضغط ثابت ١٫٢ر كيلوجول/كجم كلفن . لوحظ ارتفاع في درجة الحراره مقداره ١٤٦ كلفن . أحسب الثابت العام النوعي للغاز "R" ، كتلة الغاز الموجوده ، مقدار الزياده في الطاقه الداخليه للغاز .

[**الاجابه**: ٢٩٦ر. كيلوجول/كجم كلفن ، ٠٫٧٩ر كجم ، ٨ر٣١٦ كيلوجول].

obeikandl.com

الدورات الحرارية والقانون الثانى 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 (المكافىء الميكانيكى للحراره) . وأمكننا 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 لازال مهدراً وبالتالى تكون الاستفادة غير كاملة .

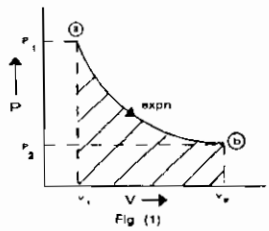
ولدراسه القانون الثانى لابد من التعرف أولاً على كيفية عمل الآله الحراريه وعلى التعرف على الإجراءات العكسية والغير عكسية ومنها يمكن التوصل إلى صيغ مختلفه للتعبير عن القانون الثانى للديناميكا الحرارية.

الآله الحرارية Heat Engine

هى إداة تعمل على تحويل الحراره إلى شغل خارجى وتتكون الآله الحراريه عادة من اسطوانه معزولة الجوانب (ماعدا قاعدة الأسطوانه) لها مكبس حر الحركة ويتحرك بدون إحتكاك ويوجد بداخل الأسطوانه مادة تسمى ماده التشغيل Working Substance ومادة التشغيل يمكنها أن تمتص (تكتسب) أو تطرد كمية من الحرارة وتقوم بعمل شغل (مكتسب أو مبذول) وذلك بتمددها 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 كمادة تشغيل حيث أن التغير فى حجمها يكون أكبر من المواد الصلبة والسائلة ، واستجابتها لتغير حجمها عندِ التأثير عليها بقوى خارجية يكون سريعاً.

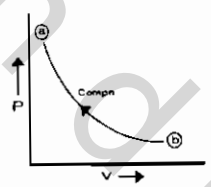
وعند عمل الآله الحرارية فإن درجة حرارة مادة التشغيل او الشغل (الغاز) تتراوح بين درجة حراره قصوى يصل إليها الغاز عند تلامسه بمصدر حرارى ساخن Source وبين درجة حراره صغرى تكون هى درجة حراره مكثف بارد (مصب أو بالوعه حرارية) Sink .



شكل (٣-٦) تمدد غاز داخل الاسطوانه

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

$$W\ (\text{exp. a - b}) = \int_{v1}^{v2} pdv \qquad (3\text{-}43)$$



شكل (٣-٧) انضغاط غاز داخل الاسطوانه

وقيمة هذا الشغل يساوي المساحة تحت المنحنى شكل (٣-٦) ولكى يمكننا تكرار نفس هذه العملية لكى نحصل على نفس قيمة شغل التمدد W فلابد من رجوع الغاز إلى حالته الأولى حيث الضغط P_1 والحجم V_1 (شكل ٣-٧) أى أنه لابد من ضغط الغاز وبهذا فإن الغاز يكون قد قام بعمل دورة حرارية فى عملية ضغط الغاز فلابد بالطبع من بذل شغل على الغاز من أى مصدر خارجى وتكون قيمة هذا الشغل

$$W\ (\text{comp b - a}) = \int_{v2}^{v1} pdv = -\int_{v1}^{v2} pdv \qquad (3\text{-}44)$$

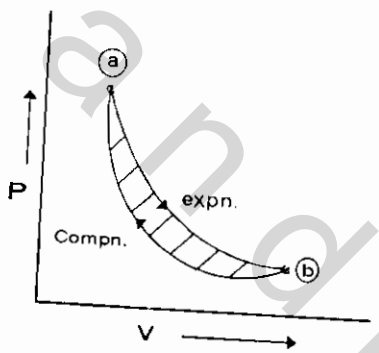
obeikandl.com

وحيث أن الشغل هو داله للعملية الديناميكية الحرارية أى يتوقف على المسار بين نقطتى البداية والنهاية فإن قيمتى Wb-a comp & Wa-b exp سوف تعتمد على مسار كل من عمليتى التمدد والضغط (حيث أن الشغل يساوى المساحه تحت المنحنى والمسار)
ويكون الشغل الكلى الناتج من دورة واحدة مساويه لـ :

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

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

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



شكل (٣-٨) دورة لتمدد وانضغاط الغاز

أما إذا كان منحنى التمدد أعلى منحنى الانضغاط (شكل ٣-٨) فإن الشغل الكلى الناتج من الدورة يكون مقداراً موجباً ويكون مساوياً للمساحه بين المنحنيين
وحيث أن الغاز يصل فى نهاية الدورة إلى حالته الأصلية $(P,v,t)_0$ فإن التغير فى درجة حرارته = صفر وبالتالى يكون التغير فى طاقته الداخلية مساوياً صفر $U = O$ Δ وطبقاً للقانون الأول للديناميكا الحرارية فإن صافى الشغل Wc الناتج عن الدورة هو $Wc = Q1 - Q2 , Wc = \Delta Q$

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

من الحراره المعطاه للغاز يتحول إلى شغل والباقى يفقد.
وتعرف الكفاءه الحراريه للآله أو الجودة الحراريه بالتالى :

الجوده الحراريه = $\frac{\text{الشغل المبذول}}{\text{كمية الحراره المعطاه}}$ أى أن :

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

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

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

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 المختلفة 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 فمثلا 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 منb إلى a يجب على مادة الشغل أن تطرد نفس كمية الحراره Q إلى الوسط الخارجى أو اذا بذلت مادة الشغل شغلاً موجباً خلال حركتها من a إلى b فيجب عند اجراء 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 الإبتدائي (حالته الأصلية) بدون أن تحدث تغيرات معينه فى الوسط المحيط .

obeikandl.com

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 الاجراء 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 إلاتجاه العكسي من b إلى a فلاتعود مادة الشغل إلى حالتها الأصلية 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 وبالتالى تبقى بالمجموعه كمية من الطاقة أكبر .

٤- عمليات الخلط : تتم عمليات الخلط للسوائل والعجائن مثلاً باضافة 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 المعادلة التالية :

obeikandi.com

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

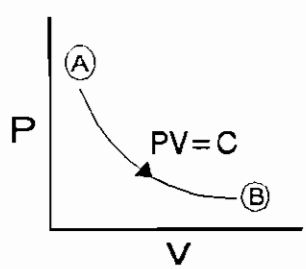
ويمكن أن يطلق عليها شغل إحتكاكي أو طاقة إحتكاكية .
وعموماً يمكن أن يقال إنه إذا تم الإجراء ببطء quasi - static وبدون احتكاك فإنه يمكن أن يكون اجراء عكسياً أما اذا تم بسرعه Non quasi-static فإنه يكون اجراء لاعكسياً.
والدورة الحرارية التى تتكون منها كل الاجراءات أو العمليات الديناميكية الحرارية القابلة للعكس تسمى دورة قابلة للعكس انعكاسيه اما الدورة الحرارية التى تكون فيها بعض أو كل العمليات الديناميكية الحرارية غير قابلة للعكس فهي دورة غير قابلة للعكس والجودة الحرارية للدورة الانعكاسية تمثل اقصي درجة كفاءة يمكن الحصول عليها اذا ما قورنت بالدورات الحقيقية.

دورة كارنوت المثالية Ideal Carnot Cycle

تعتبر دورة كارنوت مثالا هاماً لكل الدورات الحرارية الأخرى . وهى تعتبر دورة مثالية ولكن خيالية لايمكن تحقيقها عملياً ولكن تعتبر النتائج المستخلصه منها ذات أهمية كبرى لكل الدورات الحرارية .
ويمكن اجراء دورة كارنوت بواسطة غاز مثالى بواسطة أربعة اجراءات عكسية هي:

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

ويوضح الشكل (٣-٩) 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 :-

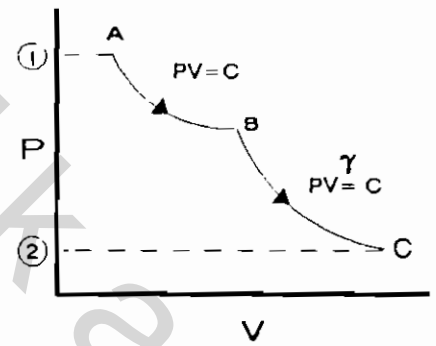


شكل (٣-٩) تمدد الغاز

openkandil.com

١- يوجد الغاز داخل أسطوانه متصله بمصدر حرارى لانهائي درجة حرارته T_1 ضغطه P_A وحجمه V_Aوينتج عن ذلك أن الغاز يتمدد تحت ظروف أيزوسيرماليه (ثبوت درجة الحراره إلى P_B ، V_B) تحت نفس درجة الحرارة إلى أن يصل إلى الحالة B وتكون كمية الحرارة المضافة = الشغل الذي بذله الغاز

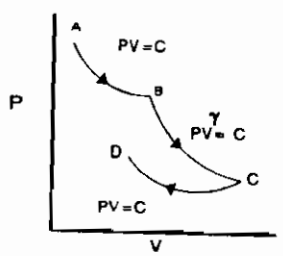
$$Q_1 = W_1 = P_1V_1 . \ln \frac{V_2}{V_1} = m.R.T_1 .\ln \frac{V_B}{V_A} \qquad (3\text{-}50)$$



شكل (٣-١٠) اجرائى تمدد الغاز

٢- عندما يصل الغاز إلى الحالة B يتم ايقاف إضافة الطاقه الحرارية من المصدر الحرارى وتعزل أسطوانه الغاز تماماً عن الجو المحيط بها.
ويترك الغاز ليتمدد أديباتيكيا إلى أن يصل إلى الحالة رقم 2 (شكل ٣-١٠) 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.

$$Q_2 = W_2 = P_2V_2 . \ln \frac{V_D}{V_C} = m.R.T_2 \ln \frac{V_D}{V_C} \qquad (3\text{-}51)$$



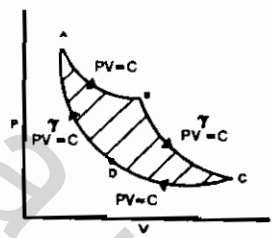
شكل (٣-١١) اجراءات تمدد وانضغاط الغاز

obeikandi.com

٣- عندما يصل الغاز إلى الحالة C يتم توصيل الأسطوانه مع مستودع حرارى لانهائي 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 Q_2 إلى المستودع الحرارى اللانهائي (شكل ٣-١١)

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

ويقل حجم الغاز إلى V_D ويرتفع الضغط إلى P_D.



شكل (٣-١٢) الدورة الكاملة

٤- عندما تصل حاله الغاز إلى الحالة D تفصل الاسطوانه عن المستودع الحرارى اللانهائي 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 الإبتدائية.(شكل ٣-١٢)

الجودة الحرارية لدورة كارنوت :

حيث أن الطاقة الداخلية للغاز المثالى تعتمد فقط على درجة الحرارة فإننا نجد أن الطاقة الداخلية (U) للغاز فى بداية دورة كارنوت تتساوى مع الطاقة الداخلية له فى نهاية الدورة وبالتالى فإن ($\Delta U = 0$). وطبقاً لذلك فإن معادلة القانون الأول للديناميكا الحرارية تؤدى 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 :

$$Q_1 > O$$

- الطاقة الحرارية Q_2 المطرودة أثناء الإجراء الثالث

$$Q_2 < O$$

وبالتالى تكون نسبة Q (مع مراعاه 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 المستفادة (ويقصد بها هنا فى هذه الحالة الشغل W) علي الطاقة الحرارية المضافة (هنا كمية الحرارة Q_1) والتى يكتسبها المائع عند درجة الحرارة المرتفعه أى أن :-

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

وحيث أن :

$$W = Q_1 + Q_2$$

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

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

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

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

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

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

obeikandl.com

ومن هذه العلاقة نستخلص أن :

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

أى أن

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

وبالتعويض عن قيمة الحجوم فى معادلة (٣-٥٤)

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

وبعد الاختصار نجد ان معادلة الكفاءة الحرارية تؤدى الى

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

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

ومن هنا يتضح لنا أن :-

١- الجودة الحرارية لدورة كارنوت المثالية العكسية تعتمد على درجتى الحراره فقط T_1، T_2 والتى 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 امكننا التوصل الى أن تكون $T_2 = 0$ (درجة حرارة الصفر المطلقة) فإنه يمكننا تخيليا الوصول بقيمة $\eta = 1$ وبالتالى 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

obeikandi.com

منطوق القانون الثانى للديناميكا الحراريه :

ومما سبق يمكن التعبير عن منطوق القانون الثانى للديناميكا الحراريه بأحد الصيغ الآتيه :

١- ليس من المعقول أن تصمم آلة حراريه تعمل فى دورة ولاتنتج أى أثر غير استخلاص الطاقه الحراريه من خزان كبير وتحويلها كلها الى شغل مساو لها.
٢- لايمكن نقل الحراره من جسم ذو درجة حرارة منخفضه إلى أخر ذو درجة حراره مرتفعه إلا بإستخدام شغل خارجى .
٣- يستحيل على أى جهاز يعمل طبقا لدورة أن ينتج ضغطا مع تبادل الحراره مع أجسام عند درجة حرارة متساويه.

وهذا القانون ليس استنتاجا من القانون الأول حيث أن القانون الأول ينفى استحداث أو إفناء الطاقه فى حين أن القانون الثانى يحدد احتمالات استخدام الطاقه فى صور معينه . فإنه من المعلوم إمكانية تحويل جميع الطاقه الميكانيكيه (الشغل) إلى طاقه حراريه بدون أى حدود ولكنه لايمكن تحويل الطاقه الحراريه إلى شغل بدون طرد جزء من هذه الطاقه الحراريه إلى مايحيط بالمجموعه.

قيمة القانون الثانى :

١- تعيين أقصى قيمة للجودة الحراريه لآلة حراريه تعمل تحت ظروف معينه.
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 الحراره لايعتمد على الخواص الطبيعيه لأى مادة.
٦- تحديد العلاقات بين الخواص الطبيعيه للمواد.

مثال :-

استخدم واحد كجم هواء لتشغيل دورة كارنوت فإذا كان الضغط الإبتدائى للهواء ١٦ بار ودرجة حرارته ٥٢٧°م 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 الأربعه للدورة (A - D) .
٢- كميات الحراره المضافة والمطروده Q_1 , Q_2 .
٣- معامل الأداء الحرارى للدورة أو الجودة الحراريه للدورة.

الحـــــل

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

$t_A = 527\ ^oC = 800\ K$

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

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

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

$$= 0.1435\ m^3/kg$$

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

$$= 0.287\ m^3/kg$$

من النقطة B الى النقطة C يتم التمدد أديباتيكيا

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

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

$$T_c = \frac{T_B}{1.583} = \frac{800}{1.583} = 505\ K$$

وبالتالى فإن الحجم عند الحاله ٢:

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

$$= 0.0906\ m^3/kg$$

obeikandl.com

عند النقطة D نجد أن الإجراء من D إلى A أديباتيكيا

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

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

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

وكذلك يمكن ايجاد الحجم عند النقطة D كالاتى :

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

$$= 0.0453 \quad m^3/kg.$$

كمية الحرارة المضافة Q_1 عند A يتم إضافتها فى دورة كارنوت عند درجة حراره ثابتة $T_1 = T_A$

$$\therefore \quad Q_1 = W_1 = RT_1 \ln (P_A/P_B)$$

$$= 0.287 \times 800 \times \ln (16/8) \quad kJ/kg$$

$$= 159.1 \quad kJ/kg$$

(اشارة الحراره موجبه ∴ حراره مكتسبه)

كمية الحراره المطروده Q_2 عند ٢ يتم طردها عند درجة حراره ثابته $T_2 = T_C$

$$\therefore \quad Q_2 = W_2 = RT_2 \ln (Pc/P_D)$$

$$= 0.287 \times 505 \ln (1.6/3.2)$$

$$= -100.4 \quad kjoule/kg$$

الاشارة هنا سالبه ∴ حراره مفقوده

∴ الشغل المستفاد فى الدورة هو الجمع الجبرى لـ : $W_c = Q_1 + Q_2$

(ومع الاحتفاظ بالاشارات)

$$= 159.1 - 100.4 = + 58.7 \quad kJ/kg$$

obeikandl.com

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

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

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

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

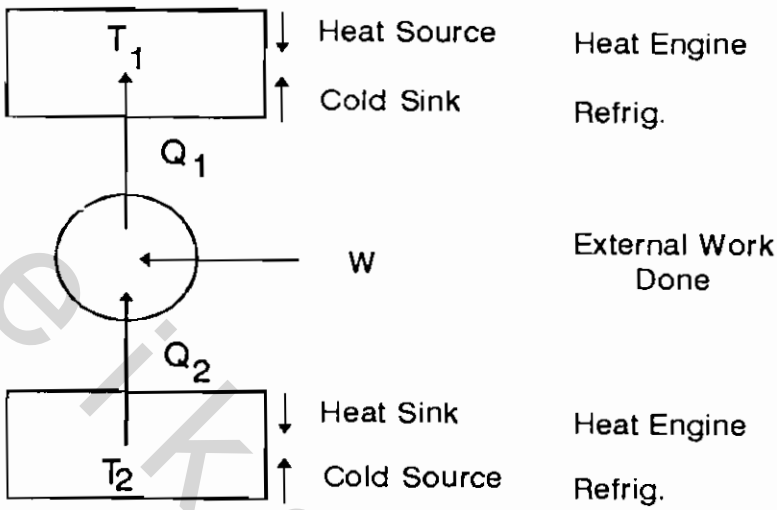
دورة آله التبريد والمضخة الحرارية

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

وبدلاً من اكتساب شغل فى حالة آله المضخه الحراريه فإنه يلزم فى آله 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 حرارى اخر ذو درجة حراره مرتفعه T_1 (الوسط المحيط) وطبقاً لهذا المبدأ بنيت نظرية عمل الثلاجة المنزلية وكذلك ثلاجات الحفظ بالتبريد والتجميد.

obeikandl.com

ويبين الشكل التالى (شكل ٣-١٣) رسماً تخطيطياً لآجراء آله التبريد:



شكل (٣-١٣) رسم تخطيطى لدورتى التبريد ومضخة الحرارة

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

وطبقاً للقانون الأول للديناميكا الحراريه فإن :

$$Energy_{in} = Energy_{out}$$

$$Q_2 + W = Q_1 \qquad (3\text{-}58)$$

أى أن مجموع كل من الحراره المضافة والشغل الميكانيكى المضاف يساوى كمية الحراره المطرودة فى الدورة الحرارية .

ويعرف معامل الأداء بالنسبه للثلاجه أو وحدة التبريد بأنه النسبه بين كمية الحراره المزاله وكمية الشغل اللازم إضافته.

$\therefore$ Coefficient of Performance = C.O.P

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

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

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

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

obeikandl.com

الأنتروبيا أو قصور الطاقه : Entropy

وجدنا من دورة كارنوت النظريه ذات الاجراءات المعكوسه أنه يمكن التعبير عن الجودة الحراريه كالآتى :-

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

حيث أن :

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

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

وعلى ذلك نجد أن :

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

or

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

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

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

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

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

obeikandl.com

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

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

ويسمى خارج القسمه $ds = \frac{dQ}{T}$ لأى اجراء معكوس بالأنتروبيا أو قصور الطاقه فى هذا الاجراء Entropy.

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

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

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

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

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

أو باستخدام الاشارة الجبرية الصحيحه للطاقه المضافه Q_1

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

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} > O \qquad (3\text{-}68)$$

$$\sum \frac{Q}{T} > O \qquad (3\text{-}69)$$

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

obeikandl.com

لذلك نجد أن قيمة التغير فى الأنتروبيا

$$ds = \sum \frac{dQ}{T} > O \qquad (3\text{-}71)$$

وعلى ذلك يمكن تلخيص نتيجة القانون الثانى للديناميكا الحراريه بأن :

للاجراء المعكوس $ds = O$

للاجراء الغير معكوس (الحقيقى) $ds > O$

obeikandl.com

ضواغط الغازات GAS COMPRESSORS

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

١- ضواغط ترددیه : 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 التأثيرDouble acting . وفى العمليات الصناعيه التى تستخدم ضغوطا مرتفعه 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 الحاله بالضاغط متعدد المراحل Multi-Stage Compressor .

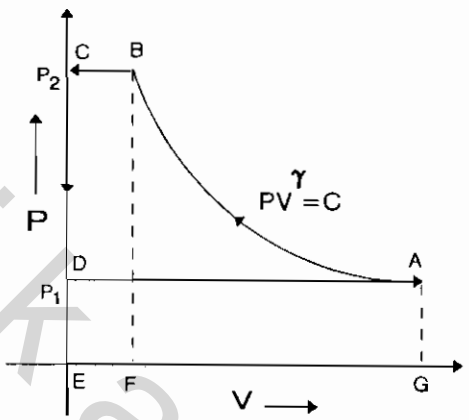
٢- الضواغط الدورانيه Rotary Compressors

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 العالية للغاز (قوة الطرد المركزيه) الى طاقة ضغط . والضواغط الطاردة المركزيه تدور على سرعات مرتفعة اعلى بكثير من الضواغط الترددیه .

وهذه عادة ما تستخدم فى ضغط كميات كبيرة من الغاز تحت ضغوط متوسطة ويمكن زيادة الضغط الناتج بتعدد مراحل الانضغاط واستخدام مبردات متوسطة

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

الدوره النموذجيه او النظريه لضاغط ذو مرحلة واحده :



شكل (٣-١٤) الدورة النموذجية لضاغط ذى مرحله واحدة

وتتكون الدورة من :

١- سحب كمية من الغاز داخل اسطوانة الضاغط تحت ضغط ثابت P_1 تمثل بالاجراء DA .

٢- ضغط الغاز اديابَاتيكيا من حالة A الى الحاله B أى رفع الضغط الى P_2 ، ويتبع هذا الاجراء القانون :

$$Pv^{\gamma} = C$$

٣- 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 للدورة شكل(٣-١٤)، يكون الشغل اللازم لضغط الغاز لكل دورة كما يأتى :

Work needed = Area ABCD
= ABFG + BCEF - ADEG

obeikandl.com

$$\text{Work needed} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma - 1} + P_2V_2 - P_1V_1$$

$$= \frac{\gamma P_2V_2 - \gamma P_1V_1}{\gamma - 1}$$

$$W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1V_1 \left[\frac{P_2V_2}{P_1V_1} - 1 \right]$$

ولكن $P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$

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

$$\therefore \quad W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \qquad (3\text{-}72)$$

مثال :

ضاغط هواء ترددى مفرد التأثير ذو اسطوانه واحدة قطرها ١٥سم وطول مشوار مكبس الضاغط ٢٤سم. استخدم لضغط كمية من الهواء أديباتيكيا من ضغط مطلق مقداره واحد بار ودرجة حرارة ١٧°م إلى ضغط مطلق مقدارة ٦ بار. احسب القدرة الحصانيه النظريه اللازمه لتشغيل الضاغط إذا كان عدد لفات عمود الادارة الرئيسى ١٠٠ لفه/دقيقه.

احسب كذلك كمية الهواء المضغوطه فى الدقيقه .

$\gamma = 1.4$, $R = 287$ Nm/kg. K

الحل :

$$\text{Work} \quad W = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

obeikandl.com

$$V_1 = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{15}{100}\right)^2 \times \left(\frac{24}{100}\right) = 0.00424 \ m^3$$

$$W = \frac{1.4}{1.4-1} (1 \times 0.00424) \times 10^4 \left[\left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right]$$

$$= \frac{1.4}{0.4} \times 1 \times 0.00424 \times 10^4 \left[6^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1\right]$$

$$= 148.4 \left[(6)^{0.286} - 1\right]$$

$$= 148.4 \ [1.6 - 1]$$

$$W = 89 \ \text{kg.m/rev.}$$

$$H.P. = \frac{W.n}{\text{const.}} = \frac{89 \times 100}{4500}$$

$$H.P = 1.98 \ \text{hp}$$

ومن القانون العام للغازات

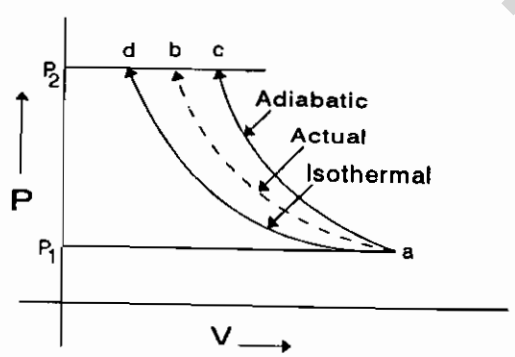
$$P_1V_1 = m.R.T_1$$

$$\therefore m = \frac{(1 \times 10^5)(0.00424) \times r.p.m}{(287)(273+17)}$$

$$\therefore m = \frac{424}{(287)(290)} \times 100 \ \text{kg/min.}$$

$$m = 0.51 \ \text{kg/min}$$

شغل الضاغط :

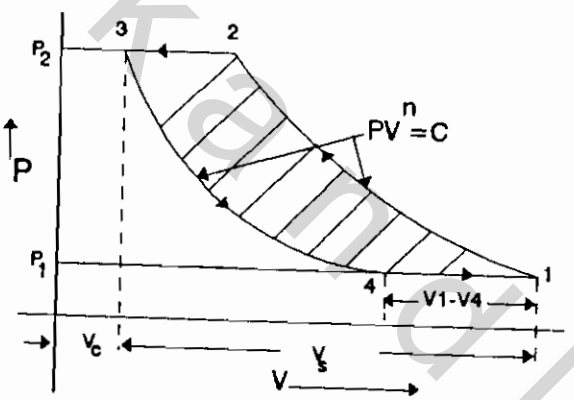


شكل (٣-١٥) اجراءات إنضغاط الغاز فى دورة الضاغط

openkandil.com

كما هو موضح فى شكل (٣-١٥) يمثل المنحنى a-b اجراء الضغط لكمية من غاز من ضغط P_1 الى P_2 ويعتمد نوع الاجراء abعلى كمية الحرارة المزالة من الغاز اثناء اجراء الانضغاط بدون تبادل حرارى كالاجراء a-c كان هذا الاجراء اديباتيكيا واذا ازيلت كمية من الحرارة من الغاز اثناء هذا الانضغاط بحيث تظل درجة الغاز ثابته كان الاجراء ايزوسيرمالى كما فى الاجراء a-d. ولكن فى الواقع يتم اجراء الضغط طبقا للاجراء العام $PV^n=C$ ثابت ، ويمثله المنحنى 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 (٣-١٦) حجم الخلوص فى دورة الضاغط

افترض فى جميع ماسبق ذكره ان ضاغط الغاز ذو مرحلة واحدة وبدون حيز خلوص ولكن فى الضواغط الحقيقيه لابد من ترك حيز خلوص يسمح بتركيب الصمامات وحتى يمكن تفادى اصطدام المكبس بغطاء الاسطوانه (شكل ٣-١٦). 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 الكميه 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 الضاغط اثناء شوط السحب ونتيجة لذلك يقل شغل الدورة ويصبح :

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

وذلك بفرض ان أس منحنى الانضغاط والتمدد يكون واحدا.

ويسمى الحجم $(V_1 - V_4)$ بالحجم الفعال للشوط ويؤدى 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:-

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

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

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

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

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

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

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

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

obeikan.com