الفصل الخامس – القانون الأول لديناميك الحرارة

(5.1)- القانون الأول لديناميك الحرارة The First Law of Thermodynamics

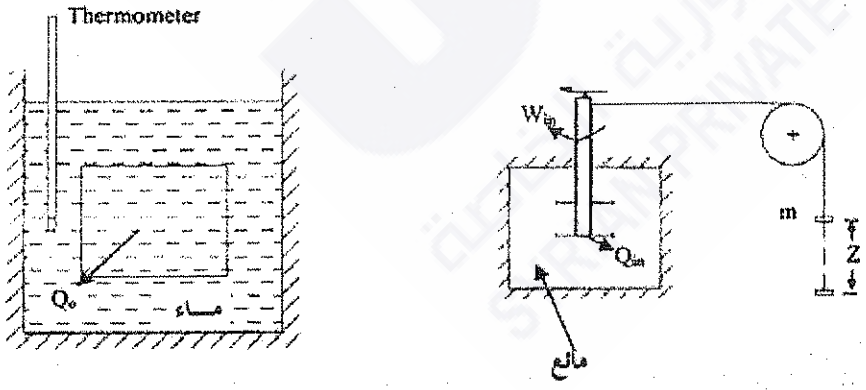
من القوانين المهمة التي يعتمد عليها هيكل ديناميك الحرارة هو القانون الأول، الذي وجد من خلال تجربة الانسان وخبرته، يتناول كل أشكال الطاقة في الطبيعة، كالطاقة المنتقلة بشكليها الحرارة والشغل، والطاقة المخزونة بكل أشكالها. هو صيغة من صيغ قانون حفظ الطاقة، الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، فمتى ما اختفى شكل من أشكال الطاقة ظهر بشكل آخر. بوساطته نحسب كميات الشغل والحرارة المنتقلة عبر حدود النظام عندما تحدث تغيرات معينة في الحالة، مثلاً الشغل الناتج من تمدد بخار في توربين، الشغل اللازم لضغط هواء في ضاغط، او الحرارة اللازمة لتوليد بخار عند ضغط معين داخل المرجل.

لقد اهمل القانون الاول نسبة التحول والاتجاه، إذ اوضح انه يمكن تحويل الشغل كلياً الى حرارة بالاحتكاك ولكن من المستحيل تحويل الحرارة كلياً الى شغل، كما سنلاحظ عند دراستنا للدورات الحرارية.

(5.2)- تجربة جول Joule's Experiment

من التجارب التي اقرت هذا القانون هي تجربة جول لأيجاد العلاقة الكمية بين الحرارة والشغل، والتي تلخص كما يأتي:

يتكون الجهاز كما في شكل (5.1) من وعاء مغلق معزول يحتوي على مائع. فإذا هبط الوزن (m) مسافة (Z) فأن شغلاً ما (W_{in}) سوف ينجز على المائع يحسب بحسب العلاقة (mgz)، فسترتفع



شكل (5.1)- تجربة جول

درجة حرارة المائع. ابعدت المادة العازلة ووضع الوعاء في حوض ماء، فعادت درجة حرارة المائع

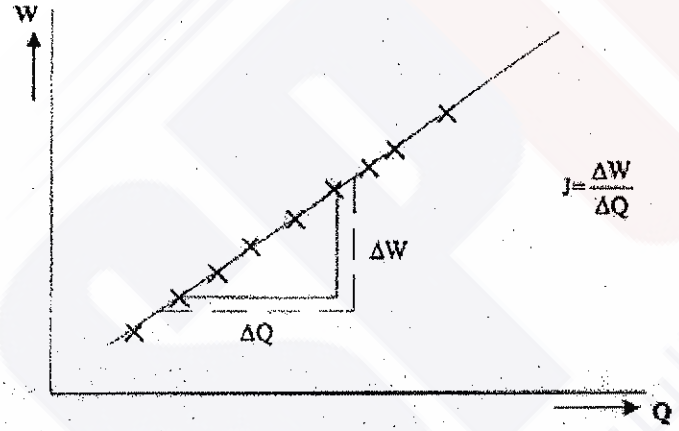
الى قيمتها الاصلية بعد إنتقال كمية من الحرارة (Q_{out}) من المائع الى الماء تحسب من خلال مقدار إرتفاع درجة حرارة الماء. بذلك يكون النظام قد مر بدوره. اكتشف جول ان الشغل (W_{in}) يتناسب مع كمية الحرارة (Q_{out})، أي:

$$Q_{out} \alpha W_{in}$$
$$Q_{out} = W_{in}$$ وللوحدات نفسها.

وبصورة عامة للأنظمة المغلقة عندما تمر بدوره فإن:

$$\oint dQ = \oint dW \Rightarrow \sum Q = \sum W \quad .....(5.1)$$

تمثل المعادلتان المذكورة انفاً التعبير الرياضي للقانون الاول لنظام مغلق يمر بدوره.



شكل (5.2)- العلاقة بين الشغل والحرارة (مكافئ جول J)

ولوحظ ان العلاقة بين (W) و (Q) طردية بحسب الشكل (5.2). حيث تمثل (J) قيمة ثابتة تسمى بمكافئ جول وتساوي (4.2kJ/kcal) عندما يكون الشغل بوحدات الجول والحرارة بوحدات (kcal)، كما كان سابقاً.

(5.3)- صيغ القانون الاول The First Law Statement

ان النتائج التي توصل اليها جول اوضحت العلاقة بين الحرارة والشغل في الانظمة المغلقة يعبر عنها بالصيغ التالية:

عندما يمر النظام بدوره أي يعود الى حالته الابتدائية بعد مروره بسلسلة من الاجراءات فإن:

أ- تتحول الحرارة كلياً الى شغل. فلنفس الوحدات يعبر عنها رياضياً بـ . (Q=W).

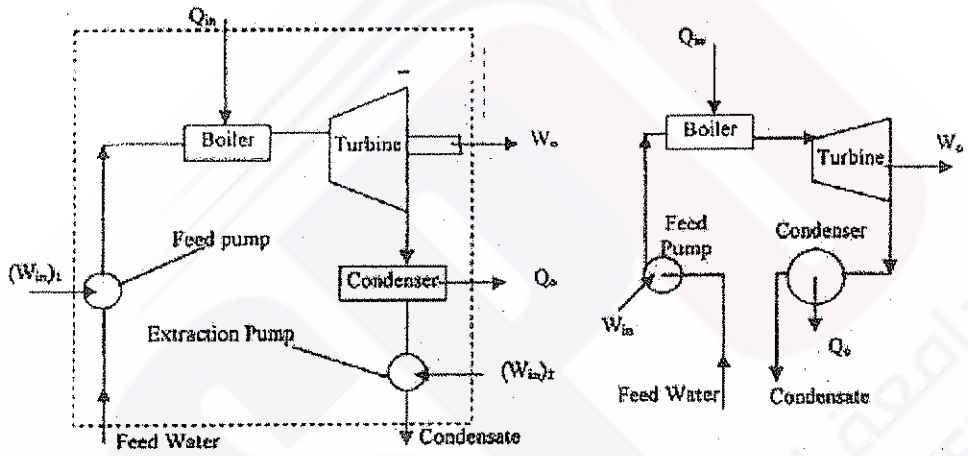
ب- الحرارة هي احدى صور الطاقة. من الممكن الحصول عليها من الشغل الميكانيكي او تحويلها اليه. أي ($Q \Leftrightarrow W$).

جـ .- التكامل الدوري للحرارة تتناسب طردياً مع التكامل الدوري للشغل او المجموع الجبري للحرارة يساوي المجموع الجبري للشغل. أي انه عندما يمر أي نظام مغلق بدوره فإن الشغل الصافي المنتقل الى المحيط يتناسب مع الحرارة الصافية المأخوذة من المحيط. أي:

$$\oint dQ = \oint dW \Rightarrow \sum Q = \sum W \qquad \ldots\ldots (5.2)$$

ابسط مثال لهذه الحالة هو المحطة البخارية لتوليد الطاقة، وكما في شكل (5.3) حيث ان المضخة تحتاج شغل (W_{in}).

لتدفع الماء الى المرجل الذي يحتاج الى حرارة (Q_{in}) ليتبخر الماء ويتمدد في التوربين الذي يعطي شغلاً



$\Sigma Q = \Sigma W$

$(Q_{in}) + (-Q_o) = W_o + (-W_{in}) = W_o - W_{in}$

$Q_{in} - Q_o = W_o - [(W_{in})_1 + (W_{in})_2]$

$Q_{in} - Q_o = W_o - W_{in}$

$\Sigma Q = \Sigma W$

$(Q_{in}) + (-Q_o) = W_o + (-W_{in})$

$Q_{in} - Q_o = W_o - W_{in}$

شكل (5.3)- محطة بخارية - تطبيقات القانون الاول

(W_{out}) لتدوير مولد كهربائي مثلاً. وفي المكثف تطرد حرارة (Q_o) ليتكثف البخار وتدفعه المضخة ثانية الى المرجل وهكذا. فإذا اعتبرنا هذه الاجراءات دورة فستكون صيغة القانون الاول كما يأتي:

$$\Sigma Q = \Sigma W$$
$$Q_{in} + (-Q_o) = W_o + (-W_{in})$$
$$Q_{in} - Q_o = W_o - W_{in} \qquad \ldots\ldots\ldots (5.3)$$

ان:

$$W_{in} = (W_p)_1 + (W_p)_2$$

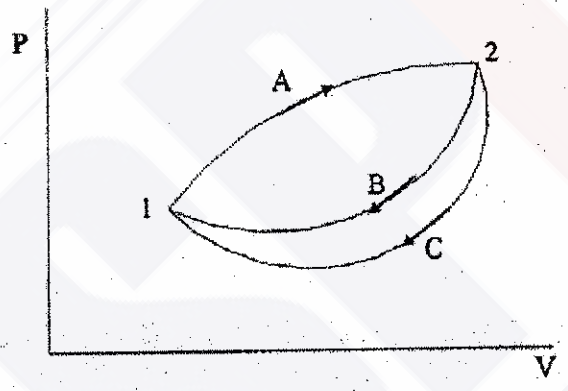
اذا ظهرت ماكنة تعطي شغل من لا شئ او تعطي شغل اكثر من الحرارة فتسمى بالماكنة ذات الحركة الابدية او السرمدية من النوع الاول المستحيلة الصنع، لأنها تتعارض مع القانون الاول. لذلك ظهرت الصيغة التالية للقانون الاول:

"لا وجود لماكنة ذات حركة ابدية من النوع الاول".

(5.4)- معادلة الطاقة Energy Equation

هي التعبير الرياضي عن القانون الاول، معادلة مهمة جداً تستعمل بصورة عامة في جميع العمليات الثرموديناميكية التي تمر بجزء من دوره (عملية ساكنة). فإذا تغيرت خواص النظام من خلال تحركه او تغير موضعه، فستظهر خاصية جديدة للنظام على شكل طاقة مخزونة (Stored Energy) كميتها ثابتة يرمز لها بالرمز (ΔE_{se}).

ولغرض توضيح ذلك نفترض وجود نظام تتغير حالته من (1) الى (2) عبر المسار (A)، ثم يعود الى حالته الاصلية من (2) الى (1) عبر المسار (B) او (C). وكما في شكل (5.4).



شكل (5.4)- مسارات العودة ثابتة

استناداً الى القانون الاول في الاجراءات الدورية فإن:

$$\Sigma Q = \Sigma W$$

وبالنسبة للعملية الدورية 1A2B1 فإن:

$$(Q_{12})_A + (Q_{21})_B = (W_{12})_A + (W_{21})_B \quad \ldots (1)$$

وبالنسبة للعملية الدورية 1A2C1 فإن:

$$\pm (Q_{12})_A \pm (Q_{21})_C = \pm (W_{12})_A \pm (W_{21})_C \quad \ldots (2)$$

بطرح (1) من (2) ينتج:

$$(Q_{21})_B - (Q_{21})_C = (W_{21})_B - (W_{21})_C$$

$$\therefore (W_{21})_B - (W_{21})_B = (Q_{21})_C - (W_{21})_C \quad \ldots (5.4)$$

يتضح من خلال هذه المناقشة الرياضية ان القيمة (Q-W) ثابتة عبر مسارات العودة (B) او (C) او أي مسار آخر. اذن عندما تتغير حالة النظام من (1) الى (2) فإن (Q-W) تكون ثابتة عبر المسار (A) او أي مسار آخر، لأن طريق العودة ثابت مهما اختلفت المسارات. لذا فان القيمة الثابتة (Q-W) تمثل خاصية جديدة للنظام لا تتوقف على المسار وإنما على الحالة الابتدائية والنهائية، تعرف بالتغير في الطاقة المخزونة او الطاقة الكلية للنظام، يرمز لها بـ (ΔE_{se}) تتغير بتغير (Q-W)، أي ان:

$$Q - W = \Delta E_{se} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5.5)$$

لذا فإن القيمة الثابتة (Q-W) تمثل خاصية جديدة للنظام لا تتوقف على المسار وإنما على الحالة الابتدائية والنهائية، تعرف بالتغير في الطاقة المخزونة او الطاقة الكلية للنظام. يرمز لها بـ (ΔE_{se}) تتغير بتغير (Q-W) أي:

$$Q - W = \Delta E_{se} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \ldots\ldots\ldots (5.6)$$

يطلق على هذه المعادلة اسم المعادلة العامة للطاقة (The General Energy Equation). فإذا طبقت على الانظمة المغلقة التي تمر بجزء من دورة (أي العمليات الساكنة) فستهمل الطاقتين الحركية والكامنة وتصبح المعادلة العامة كالآتي:

$$Q - W = \Delta U \quad \ldots\ldots\ldots (5.7)$$

أي ان الحرارة الداخلة لا تتحول كلياً الى شغل، وانما يتحول جزء منها لزيادة الطاقة الداخلية للنظام. هذه المعادلة تسمى بمعادلة الطاقة اللاجريانية (Non-Flow Energy Equation) يرمز لها بـ (NFEE).

اما بالنسبة للعمليات شبه الساكنة فتصبح الـ (NFEE) كما يلي:

$$dQ - dW = dU \quad \ldots\ldots\ldots (5.8)$$

وعندما يمر النظام بدوره فإن $(\Delta U=0)$، لذا ستتحول الـ (NFEE) الى قانون جول، أي:

$$Q = W \quad \ldots\ldots\ldots (5.9)$$

(5.5)- العمليات شبه الساكنة

تمر الانظمة بجزء من دورة في عملية اما ان تكون ساكنة او شبه ساكنة. فالساكنة تكون محددة بين الحالتين الابتدائية والنهائية مثلاً (U، W، Q)، اما شبه الساكنة فيكون فيها تغير الحالة صغير جداً ويتم بغاية البطأ من دون ان يصاحبها ضياع في الطاقة يعبر عنها بصيغة تفاضلية مثلاً (dU، dW، dQ).

إن تكامل تفاضل الخاصية يعطي فرقاً محدداً بين قيمتين للخاصية يمثل بتعابير تامة او مضبوطة (Exact) مثلاً:

$$\int_{T_1}^{T_2} dT = T_2 - T_1 = \Delta T \quad \text{and} \quad \int_{U_1}^{U_2} dU = U_2 - U_1 = \Delta U \qquad \text{.....(5.10)}$$

اما تكامل تفاضل الكمية فيعطي كمية محددة للحرارة او الشغل يمثل بتعابير غير تامة او غير مضبوطة (Inexact)، فمثلاً:

$$\int dQ = Q \qquad \text{and} \quad \int dW = W \qquad \text{..... (5.11)}$$

تدل الاشارة (d) على الكميات المتناهية في الصغر. ففي العمليات التي يكون فيها تغير الحالة صغير جداً في الحرارة والشغل ولا يصاحبها ضياع، فتكتب المعادلة بصورة تفاضلية، أي:

$$dQ - dW = dU$$

وعند تكامل هذه المعادلة نحصل على معادلة الطاقة، أي:

$$\int dQ - \int dW = \int dU$$
$$\therefore Q - W = \Delta U \qquad \text{..... (5.12)}$$

إن كمية الحرارة او الشغل من القيم الرئيسة التي نحتاج لمعرفتها في تصميم بعض المعدات، مثل المبادلات الحرارية (Heat Exchangers)، المبخرات (Evaporators)، الضواغط (Compressors)، التوربينات (Turbines) والمحركات (Engines) وغيرها.

(5.6)- نتائج القانون الاول

1- توجد خاصية للنظام المغلق بحيث ان أي تغير في قيمتها يساوي للفرق بين الحرارة والشغل، اثناء أي تغير في الحالة، كما في الشكل (5.4) فإذا رمزنا للخاصية التي اكتشفت بـ (U) والتي تعبر عن الطاقة الداخلية للنظام فسيكون:

$$dQ - dW = dU$$
$$\int dQ - \int dW = \int dU$$
$$Q - W = \Delta U \qquad \text{or} \quad \Sigma (dQ - dW) = \Delta U \qquad \text{..... (5.13)}$$

أي انه عند إنتقال الحرارة والشغل عبر حدود نظام مغلق في اجراء غير دوري فتظهر خاصية تسمى بالطاقة الداخلية. تسمى هذه المعادلة بمعادلة الطاقة عديمة التدفق (Non-Flow Energy Equation).

2- الطاقة الداخلية لنظام مغلق تبقى ثابتة اذا كان النظام معزولاً عن محيطه، هذه النتيجة تسمى غالباً بقانون حفظ الطاقة.

3- إن آلة الحركة ذاتية الطاقة من النوع الاول مستحيلة. أي ان الآلة التي تنتج شغلاً بصورة مستمرة بدون ان تمتص طاقة من محيطها وتسمى آلة الحركة ذاتية الطاقة تكون مستحيلة الصنع.

(5.7)- الطاقة الداخلية او قانون جول Internal Energy or Joule's Law

الطاقة الداخلية للغاز المثالي تابع لدرجة الحرارة فقط، أي تخضع للعلاقة [$\mu = \varnothing (T)$]، وهذا ما حققه جول من خلال تجربته التالية، لذا تسمى هذه العلاقة بقانون جول. وسنشرح التجربة ونتائجها بالنقاط الآتية:-

1- يتألف الجهاز من حوضين يحتوي احدهما على الغاز المراد دراسة خواصه والثاني مفرغ بينهما صمام، كما في شكل (5.5).

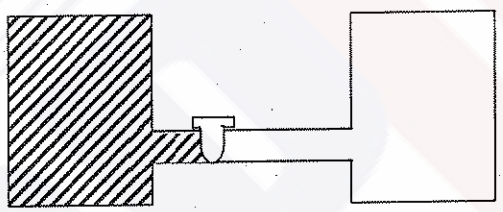
2- تقاس درجة حرارة الغاز.

3- يسمح للغاز بالتمدد الادياباتي عن طريق فتح الصمام بحيث يملأ الغاز الحوض المفرغ.

4- وعندما يحدث التوازن الجديد تقاس درجة الحرارة مرة ثانية.

5- وبما أن التمدد حر، إذن ($W = 0$)، والتمدد ادياباتي، إذن ($Q = 0$) لذا نستنتج من القانون الاول ان:

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



شكل (5.5)-تجربة جول الطاقة الداخلية

أي انه لا يحدث تغير في الطاقة الداخلية بين الحالتين (1) و (2) برغم تغير الضغط والحجم النوعي.

6- فإذا وجدنا انه لم يحدث أي تغير بدرجة الحرارة، يمكننا ان نستنتج ان الطاقة الداخلية تابعه لدرجة الحرارة فقط. أي انه بصرف النظر عما يحدث للضغط والحجم من تغيرات، تبقى الطاقة الداخلية ثابتة ما لم تتغير درجة الحرارة.

7- قام جول بتغطيس الحوضين في مستودع ماء، ثم قاس درجة حرارة الماء قبل التمدد وبعده، وعندما لم يلاحظ أي تغيير، استنتج ان درجة الحرارة لم تتغير ايضاً، مما مكنه من القول ان [$\mu = \varnothing (T)$] وتسمى هذه العلاقة بقانون جول. ومن تعريف الحرارة النوعية بثبوت الحجم لـ (1 kg) من غاز فإن:

$$d\mu = Cv\, dT$$

وبصيغة تكاملية يكون:

$$\Delta\mu = Cv\, \Delta T \qquad \text{..... (5.14)}$$

نستنتج من ذلك انه عندما يكون المائع غازاً كاملاً فإن الطاقة الداخلية تابعة لدرجة الحرارة فقط.

امثلة محلولة

(5.1)

(0.5kg) من مائع تمدد اديباتياً فأنتج شغلاً مقداره (43.5kJ). اوجد التغير في الطاقة الداخلية النوعية للمائع في اثناء الاجراء.

$$\Delta U = -W = -43.5\ kJ$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta U}{m} = \frac{43.5}{0.5} = -87\ kJ$$

(5.2)

خزان يحتوي على مائع يقلب بوساطة عجلة قلابة. الشغل المصروف لعجلة القلاب (5283 kJ/hr)، تنتقل الحرارة من الخزان بمعدل (1672 kJ/hr) معتبراً المنظومة هي الخزان والمائع. احسب التغير في الطاقة الداخلية للمنظومة خلال ساعة واحدة؟

$$\Delta U = Q - W = -1672 - (-5283) = 3611\ kJ/hr$$

(5.3)

مكبس متحرك موجود داخل اسطوانة مساحة مقطعها (0.1m2) فيها هواء محصور ضغطه (1.5bar) ودرجة حرارته (17°C). سخن الهواء وارتفع المكبس بعد ان اصطدم بمناطق الصدام. ثم سخن بعد ذلك الى ان اصبح ضغطه ضعف الضغط الابتدائي. فإذا اهملنا سمك المكبس. احسب درجة الحرارة النهائية والشغل المنتقل.

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 290\left(\frac{3\times 0.1}{1\times 0.1}\right)$$

$$= 870\ K$$

$$W = P(V_2 - V_1)$$

$$= 150(0.3 - 0.1)$$

$$= 30\ kJ/kg$$

$$T_3 = \frac{P_3}{P_2}.T_2$$

$$= \frac{2P_1}{P_1}T_2 = 2\times 870 = 1740\ K$$

$$\sum W = 30 + 0 = 30\ kJ$$

(5.4)

نظام مغلق تغيرت حالته من (1) الى (2). في اثناء ذلك استلم حرارة مقدارها (100kJ) واعطى شغل مقداره (150 kJ). عند إعادة النظام من (2) الى (1) بذل عليه شغل مقداره (80kJ). احسب الحرارة المنتقلة في اثناء الاجراء من (2) الى (1)؟ وبين إتجاهها؟

$$\sum Q = \sum W$$

$$Q_{12} + Q_{21} = W_{12} + W_{21}$$

$$100 + Q_{21} = 150 + (-80)$$

$$Q_{21} = -30\ kJ$$

(5.5)

إذا كان مقدار التغير في الطاقة الداخلية النوعية (250 kJ/kg)، عندما تنتقل (700kJ) حرارة من المحيط الى النظام مع إنتاج شغل مقداره (200kJ) احسب كتلة المائع الموجودة في النظام واهمل التغير في الطاقة الحركية والكامنة.

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12} = 700 - 200 = 500\ kJ$$

$$m = \frac{\Delta U_{12}}{\Delta \mu_{12}} = \frac{500}{250} = 2\ kg$$

(5.6)

مكبس يتحرك في اسطوانة تحتوي على غاز ضغطه ($690kN/m^2$) إزداد الحجم بثبوت الضغط من ($0.003m^3$) الى ($0.024m^3$) اوجد مقدار التغير بالطاقة الداخلية لمحتويات الاسطوانة إذا كانت تشع الى المحيط طاقة حرارية مقدارها (6 kJ).

$$\Delta U_{12} = Q - W = Q - P\Delta V_{12} = (-6) - [690\ (0.024 - 0.003)] = -20.49\ kJ$$

(5.7)

اسطوانة مغلقة بمكبس متحرك تحتوي على غاز، في اثناء اجراء معين يفقد الغاز (1055kJ) من الحرارة وتزداد طاقته الداخلية بمقدار (210kJ) احسب الشغل المنتقل وما هو اتجاهه. وهل الاجراء المذكور تمدد ام انضغط.

$$Q - W = \Delta U$$
$$-1055 - W = 210 \Rightarrow \therefore\ W = -1265\ kJ$$

(5.8)

في نظام مغلق يتم تبريد (0.5kg) من بخار الماء تحت ضغط ثابت من حجم ($3m^3$) الى ($0.028m^3$). لو كان الانتقال بالطاقة في اثناء الاجراء بمقدار (900kJ) على شكل حرارة و (81.6kJ) على شكل شغل. اوجد الضغط بوحدات الـ (bar) واحسب التغير بالطاقة الداخلية النوعية.

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12}$$
$$= (-900) - (-81.6)$$
$$= -818.4\ kJ$$

$$\Delta \mu_{12} = \frac{\Delta U_{12}}{m} = \frac{-818.4}{0.5}$$
$$= -1636.8\ kJ/kg$$

$$W_{12} = P\Delta V_{12}$$

$$P = \frac{W_{12}}{\Delta V_{12}} = \frac{-31.6}{0.028 - 3}$$
$$= 0.2746\ bar$$

(5.9)

(2 kg) من مائع في نظام مغلق يتعرض لعملية ثبوت الحجم تزداد خلاله الطاقة الداخلية النوعية م ن (120 kJ/kg) الى (180 kJ/kg). احسب كمية الحرارة بوحدات (kJ).

$$q = \Delta \mu = 180 - 120 = 60 kJ/kg$$
$$Q = m \times q = 2 \times 60 = 120 \text{ kJ}$$

(5.10)

كان مقدار الشغل المبذول على ضغط شحنه داخل اسطوانة محرك هو (75 kJ/kg) ومقدار الحـ رارة المطرودة الى المحيط (42 kJ/kg). اوجد مقدار التغير في الطاقة الداخلية.

$$\Delta \mu = Q - w = (-42) - (-75) = 33 \text{ kJ/kg}$$

(5.11)

اسطوانة تحتوي على غاز مغلق بمكبس لا إحتكاكي وزنه يحدث ضغط مقداره (3 bar). عندما يـ رد الغـ .از يقـ .ل حجمـ .ه مـ .ن ($0.1\ m^3$) الـ .ى ($0.03\ m^3$) وتـ .زداد طاقتـ .ه الداخليـ .ة مـ .ن (4.18 kJ) الى (16.72 kJ). احسب الشغل والحرارة المنتقلتين.

$$W = P\Delta V = 300\ (0.03 - 0.1) = -21 \text{ kJ}$$
$$Q = \Delta U + W = (16.72 - 4.18) + (-21) = -8.46 \text{ kJ}$$

(5.12)

خزان معزول مكون من جزئين يفصل بينهما حاجز. احدُ الجزئين بحجم ($2m^3$) يحوي هواء بـ ضغط (5 bar) ودرجة حرارة (300K) والجزء الثاني من الخزان بحجم ($5m^3$)، رفع الحاجز بين الجزئين وتمدد الهواء لملء الخزان بأكمله. اعتبر الهواء نظام حراري. احسب: (1) الشغل المنجز على الهواء. (2) الحرارة المنتقلة من النظام. (3) التغير في الطاقة الداخلية. (4) درجة الحرارة والضغط في نهاية الاجراء.

(1) $W = 0$ **(2)** $Q = 0$

(3) $\because T_1 = T_2 = 300 \quad \therefore \Delta T = 0 \quad \therefore Q - W = \Delta U = 0$

(4) $P_2 = \dfrac{P_1 V_1}{V_2} = \dfrac{5 \times 2}{7} = 1.43 \text{ bar}$

مسائل

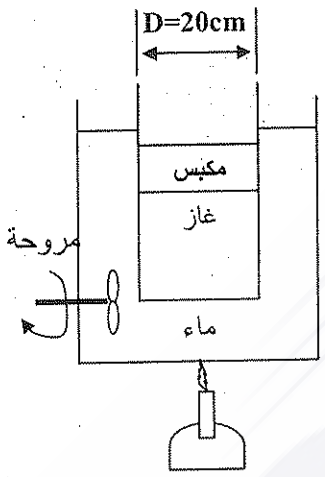
(5.1)

غاز يتمدد عند ثبوت الضغط حيث ينجز في اثناء ذلك شغلاً مقداره (5kJ). فإذا علمت ان (γ=1.66). احسب:

(1) كمية الحرارة المنتقلة في اثناء التمدد واتجاهها (2) التغير في الطاقة الداخلية للغاز.

ج: (12.57 kJ ، 7.57)

(5.2)



غاز كتلته (0.5kg) موجود في اسطوانة عمودية فوقه مكبس عديم الاحتكاك كتلته (1kg). الاسطوانة موضوعة في خزان ماء كما موضح في الشكل. السخان يعطي قدرة حرارية للماء بمعدل (1kW) ومروحة تحريك الماء تعمل بقدرة مقدارها (0.1kW). الحرارة المطروحة من الماء للجو تساوي (10%) من الطاقة المضافة. ما هي الزيادة في الطاقة الداخلية للماء بعد تشغيل السخان والمروحة لمدة (20 min.) واذا ارتفع المكبس خلالها (20cm) وإزدادت الطاقة الداخلية للغاز بمقدار (10kJ). علماً أن قراءة البارومتر (1.01 bar).

ج: (1177.364 kJ)

(5.3)

غاز يمر في دورة تتكون من (3) إجراءات: (1) إجراء يستلم فيه الغاز حرارة مقدارها (500kJ) ويعطي شغل مقداره (320kJ). (2) إجراء يستلم فيه الغاز شغل مقداره (140kJ) ويعطي حرارة مقدارها (200kJ). (3) إجراء اديباتي. جد التغير للطاقة الداخلية في الاجراء الاديباتي.

ج: (-120kJ)

(5.4)

ورشة تحتاج للتدفئة في الشتاء حيث تكون الخسائر الحرارية نحو المحيط (320 000 kJ/hr). القدرة اللازمة لتشغيل المكائن في الورشة (25kW). ويوجد كذلك (20) مصباحاً مضاءً قدرة كل منها (100W). احسب كتلة الوقود اللازم حرقه في الساعة للحفاظ على درجة الحرارة داخل الورشة ثابتة. إذا علمت ان (85%) من طاقة الوقود تدخل الورشة لتدفئتها. إن القيمة الحرارية للوقود المستعمل (40 MJ/kg).

ج: (6.553 kg/hr)

(5.5)

اسطوانة مزودة بمكبس فيها نتروجين بحجم ($0.1m^3$) ودرجة حرارة (25°C) وضغط (150 kPa). تحرك المكبس ضاغطاً النتروجين حتى وصل الضغط (1MPa) ودرجة حرارة (150°C). وبذل شغل على الغاز في اثناء الانضغاط مقداره (27.8 kJ). احسب كمية الحرارة المنتقلة اثناء الانضغاط واتجاهها وكذلك احسب حجم الغاز النهائي. علماً بأن:

Cp = 1.04 kJ/kg . K $\gamma = 1.4$

ج: ($0.0213\ m^3$، -12.06 kJ)

(5.6)

مائع في اسطوانة ومكبس تعرض لأجراء بدون إحتكاك، وقد تغير ضغطه وحجمه بموجب العلاقة ($P = a + bV$) حيث ان (a، b) ثوابت. وتغيرت الطاقة الداخلية للمنظومة خلال الاجراء حسب العلاقة ($U = 34 + 3.15\ PV$) حيث ($U \equiv kJ$)، ($P \equiv kN/m^2$) ، ($V \equiv m^3$). إذا كان الضغط والحجم في بداية الاجراء (170 kPa)، ($0.03\ m^3$) وفي نهاية الاجراء (400 kPa)، ($0.06\ m^3$) على التوالي. ارسم الاجراء على مخطط (P-V) واحسب قيمة واتجاه كل من الحرارة والشغل خلال الاجراء.

ج: (8.55 kJ، 68.05 kJ)

(5.7)

في نظام معزول حرارياً، ، يحتوي الحيز (a) والذي حجمه ($0.5m^3$) على هواء كتلته (0.5kg) وضغطه (1.35bar) ويحتوي الحيز (b) الذي حجمه ($0.25m^3$) على هواء كتلته (1kg) وضغطه (4.25 bar). فإذا رفع الحاجز (c) (اهمل حجم الحيز) وترك النظام الى ان يصل الى حالة الاستقرار. ماذا ستكون درجة حرارة الهواء النهائية والضغط النهائي في النظام، إذا علمت ان:

Cp = 1.005 kJ/kg . K . Cv = 0.717 kJ/kg .K

ج: (402.18 K، 2.316 bar)

(5.8)

هواء كتلته (2kg) في نظام مغلق. اضيفت اليه طاقة حرارية وانتج النظام شغلاً. فإذا كان الشغل الناتج يساوي نصف الطاقة الحرارية المضافة ودرجة حرارة الهواء في النظام ارتفعت في اثناء ذلك بمقدار (600K). أوجد مقدار الحرارة المضافة والشغل الناتج، علماً بأن:

Cp = 1.005 kJ/kg.K . Cv = 0.718 kJ/kg.K

ج: (1723.2 kJ، 861.6 kJ)

(5.9)

اسطوانة شاقولية تحتوي على (100g) هواء مغلقة بمكبس حر الحركة (بدون إحتكاك) على إرتفاع (50cm). كانت قراءة البارومتر (1 bar):

أ- اضيفت حرارة مقدارها (5.95kJ) وأصبحت درجة الحرارة (103°C) واصبح المكبس على وشك الحركة. احسب ضغط الهواء قبل إضافة الحرارة.

ب- اذا استمرينا في إضافة الحرارة الى ان يرتفع المكبس (50cm). احسب كمية الحرارة المضافة، الشغل المنتقل، الفرق في الطاقة الداخلية، الضغط المقاس للهواء. ارسم الإجراءات على مخطط (P-V)علماً بأن:

Cp = 1.005 kJ/kg.K . Cv = 0.717 kJ/kg.K

ج: (0.861 bar، 37.79 kJ، 10.829 kJ، 26.96 kJ)

(5.10)

نظام مغلق يحتوي على (0.2kg) من غاز مثالي. ضغط بولتروبياً الى (100°C) واضيف اثناء الانضغاط شغلاً مقداره (19.7kJ). وطرحت حرارة مقدارها (5.3kJ). فإذا كانت (γ=1.4) اوجد قيمة (R).

ج: (0.295 kJ/kg.K)

(5.8)- الاجراءات اللاجريانية (الانظمة المغلقة)

Non-Flow Processes (Closed System)

من الامثلة الواقعية التي توضح لنا إجراءات الأنظمة المغلقة هي العمليات التي تحدث في اسطوانة محرك الاحتراق الداخلي، فيدخل المائع الى داخل الاسطوانة يبقى فيها حبيساً لفترة يتم خلالها ضغط المائع بوساطة المكبس. وبعد ذلك تتولد الطاقة الحرارية فيتمدد المائع دافعاً المكبس فينجز شغلاً خارجياً.

لوحظ في اثناء ضغط المائع وتمدده تتحقق العملية اللاجريانية التي يمكن ان تكون فيها الحدود التي تفصل النظام المغلق عن محيطه ليست بالضرورة ثابتة، بل متغيرة عندما تتمدد او تتقلص لتستوعب التغيرات في حجم كمية المائع الثابتة.

إن معادلة الطاقة في هذه العملية هي:

$$Q - W = \Delta U$$

وبالنسبة لـ (1kg) من غاز فإن:

$$q - w = \Delta\mu \qquad \ldots\ldots\ldots (5.15)$$

هذه المعادلة التي سنعتمد عليها في اغلب الفصول القادمة تتغير بحسب نوعية الاجراءات التي تتميز بما يأتي:

1- بقاء الحجم او الضغط او درجة الحرارة ثابتة، مع إنتقال الحرارة عبر الحدود.

2- إنتقال الحرارة يساوي صفراً.

3- تغير الضغط والحجم، بحيث يكون خاضعاً للعلاقة ($Pv^n = C.$).

إن أغلب الاجراءات اللاجريانية العملية تقترب من احد هذه الاجراءات. ويعالج كل اجراء على فرض ان المائع اما ان يكون بخاراً او غازاً كاملاً. وبالنسبة للبخار يجب استعمال جداول الخواص، ومع ذلك تؤجل دراسته الى المرحلة الثانية. اما بالنسبة للغاز الكامل فيمكننا التحليل باستعمال العلاقات الجبرية، وسنستعمل الهواء كمثال على الغاز الكامل مع استعمال الثوابت الآتية:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cv=0.718 kJ/kg.K ، Cp = 1.005 kJ/kg.K

ان اجراءات المائع في النظام المغلق تسمى اجراءات عديمة التدفق او لا جريانية (Non-Flow Processes). طبق القانون الاول على إجراءات الانظمة المغلقة، ثم طبقت النتائج بعد ذلك على الانظمة المفتوحة التي سيرد ذكرها لاحقاً.

(5.9)- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المغلقة

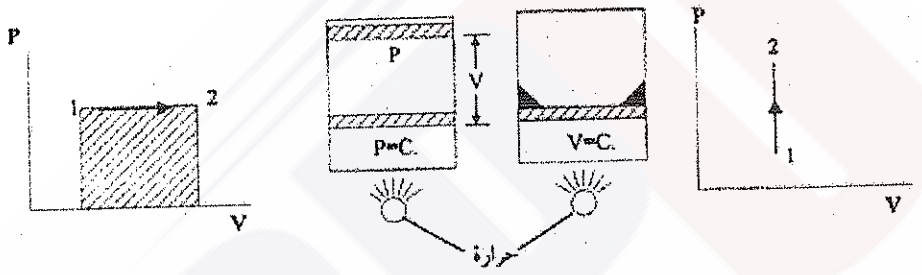
Application of the First Law of Thermodynamics on the Closed System

تتغير حالة الغاز الموجود في نظام مغلق في عمليات تعتبر حالات خاصة للأجراءات اللاجريانية وهذه العمليات بالنسبة لوحدة كتلة من غاز مثالي هي: .

(5.9.1)- عملية ثبوت الحجم Constant Volume Process

تسمى ايضاً بالأجراء الايزوميري او الايزوكوري (Iso-Choric) فبعد إنتقال الحرارة الى نظام مغلق متكون من وعاء معدني مملوء بغاز مثالي حرارته النوعية (Cv)، فسيكون مسار العملية من (1) الى (2) على مخطط (P-V) عبارة عن مستقيم عمودي كما في شكل (5.6-a).

وحيث ان حجم الوعاء ثابت فإن (V_1-V_2) وبالتالي فإن (dV=0)، لذا يكون:



(a) عملية ثبوت الحجم (b) عملية ثبوت الضغط

شكل (5.6)- تغير حالة الغازات بثبوت الحجم أو الضغط

أ- معادلة الحالة:

$$\frac{P}{T} = Const.$$

ب- الشغل الازاحي:

$$w_{12} = \int_1^2 P dv = 0 \qquad \text{.....(5.16)}$$

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

$$\Delta\mu = Cv\int_1^2 dT = Cv(T_2 - T_1) \qquad (kJ/kg) \qquad \text{.....(5.17)}$$

د- عند تطبيق القانون الاول:

$$q - w = \Delta\mu$$

$$q = \Delta\mu = Cv\,(T_2 - T_1) \qquad (kJ/kg) \qquad \text{.....(5.18)}$$

$$\therefore Cv = \frac{\Delta\mu}{\Delta T}$$

وهذه الحقيقة اوجدها جول وسماها قانوناً بأسمه، وذلك ان التغير في الطاقة الداخلية يتوقف على التغير بدرجات الحرارة عند ثبوت الحرارة النوعية.

(5.9.2)- عملية ثبوت الضغط Constant Pressure Process

تسمى ايضاً بالاجراء الايزوباري (Iso-baric). فبعد انتقال الحرارة الى نظام مغلق متكون من غاز مثالي حرارته النوعية (Cp) ويحتفظ بضغط ثابت، ويتحرك المكبس داخل اسطوانة رأسية. فسيكون مسار العملية من (1) الى (2) على مخطط (P-V) عبارة عن مستقيم افقي، كما في شكل (5.6-b). وحيث ان الضغط ثابت ($P_1=P_2$)، لذا سيكون:

أ- معادلة الحالة:

$$\frac{v}{T} = \text{Const.}$$

ب- الشغل الازاحي:

$$w_{12} = \int_1^2 P dv = P(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1) \ (kJ/kg) \quad \text{..... (5.19)}$$

ج- عند تطبيق القانون الاول:

1- كمية الحرارة (q)

$$\begin{aligned} q &= \Delta\mu + w \\ &= Cv\,(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) \\ &= Cp\,(T_2 - T_1) \end{aligned} \quad \text{..... (5.20)}$$

2- التغير في الانثالبي (Δh)

$$d\,q = d\,\mu + d\,w \quad \text{..... (5.21)}$$

وعندما يكون الضغط ثابت تصبح:

$$\begin{aligned} &= d\,\mu + d\,P\,v \\ &= d\,(\mu + Pv) \\ \therefore dq &= dh \end{aligned}$$

وبصيغة تكاملية يكون:

$$\begin{aligned} q &= \Delta h \\ \therefore\ q &= \Delta h = Cp\,\Delta T \end{aligned} \quad \text{..... (5.22)}$$

أي ان الحرارة المضافة اثناء اجراء ثبوت الضغط تساوي الزيادة في الانثالبي. ومن هذه المعادلة نتعرف على الـ (Cp).

$$Cp = \Delta h / \Delta T \quad \text{..... (5.23)}$$

3-ثابت الغاز (R)

$$\begin{aligned} q &= \Delta\mu + w \\ C_{p\Delta T} &= C_{v\Delta T} + R\Delta T \\ R &= C_p - C_v \end{aligned}$$

(5.9.3)- عملية ثبوت درجة الحرارة Constant Temperature Process

تسمى ايضاً بالاجراء الايزوثرملي (Isothermal). فبعد إنتقال الحرارة الى نظام مغلق متكون من غاز مثالي يحتفظ بدرجة حرارة ثابتة بواسطة حركة المكبس البطيئة جداً داخل الاسطوانة. وهكذا يكون هناك وقت كاف للحرارة بالسريان خلال جدران الاسطوانة وتنتشر في كل مكان بين الغاز. ولهذا السبب لا ينطبق هذا الاجراء على محركات الاحتراق الداخلي الحديثة، حيث ان سرعة هذه المحركات عالية جداً.

إن مسار العملية من (1) الى (2) على مخطط (P-V) عبارة عن منحني، كما موضح في شكل (5.7-a). وبما ان ($T_1=T_2$) فسيكون:

أ- معادلة الحالة: $Pv = Const.$

ب- الشغل الازاحي:

$$\because PV = mRT = C \quad or \quad P = \frac{C}{V} \quad \Rightarrow C = PV \quad .....(5.24)$$

$$w = \int PdV = \int_1^2 \frac{C}{V}dV = C\int_1^2 \frac{dV}{V} = CLn\frac{V_2}{V_1} = P_1V_1Ln\frac{V_2}{V_1} = RTLn\frac{V_2}{V_1}\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$Or = P_1v_1Ln\frac{v_2}{v_1} \quad .....(5.25)$$

$$w = \int Pdv = \int RT\frac{dv}{v} = RTLn\frac{v_2}{v_1} = P_1v_1Ln\frac{v_2}{v_1}$$

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

$$\Delta\mu = Cv\int_1^2 dT = 0$$

د- عند تطبيق القانون الاول:

$$q - w = \Delta\mu$$

$$\therefore q = w \quad .....(5.26)$$

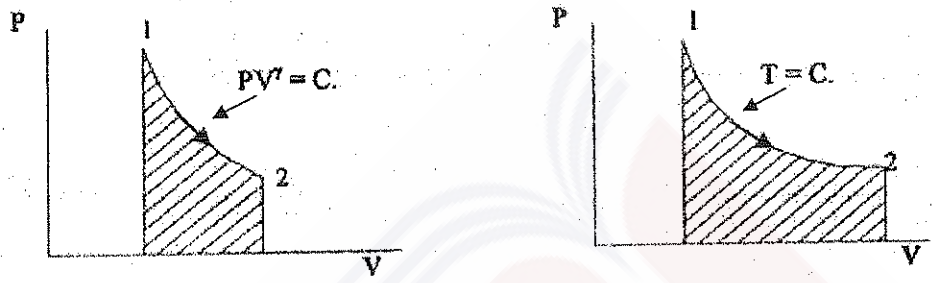
(5.9.4)- العملية الادياباتية Adiabatic Process

هي العملية التي تتغير فيها حالة الغاز دون تبادل حراري، وتتم في اسطوانة محرك معزولة، بحيث لا تنتقل حرارة خلال جدران الاسطوانة المعزولة والمجهزة بمكبس معزول لا إحتكاكي، بينما يتمدد الغاز ويقوم بعمل خارجي.

هذه الحالة غير موجودة فعلاً ولكن عندما يحدث الاجراء سريعاً لا يوجد وقت كاف للتبادل الحراري بين الغاز والمحيط عبر جدران الاسطوانة. وكمثال على ذلك هو عملية الانضغاط والتمدد في محرك الاحتراق الداخلي التي يمكن اعتبارها تقريباً عملية ادياباتية، ففي خلال الفترة الزمنية

القصيرة التي تتم فيها هذه العمليات يمكن إهمال التبادل الحراري بين الغاز والمحيط بـ سبب سـ رعة المحرك العالية، أي (q=0).

هذه العملية هي حالة خاصة من الاجراء العام، مسارها من (1) الى (2) على مخطط (P-V) عبارة عن منحني كما في شكل (5.7-b) لذلك سيكون:



(b) عملية أديباتية (a) عملية آيزوثرملية

شكل (5.7)- تغير حالة الغاز حالة آيزوثروموليا أو اديباتيا

أ- الاس الاديباتي كاما (γ) ويساوي:

$$\gamma = Cp / Cv$$

اما الـ . (Cp ،Cv) فتشتق كما يلي:

$$R = Cp - Cv = Cp - \frac{Cp}{\gamma} = \frac{Cp\gamma - Cp}{\gamma} = \frac{Cp(\gamma - 1)}{\gamma}$$

وكذلك:

$$\therefore Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} \quad \text{.....(5.27)}$$

$$R = Cp - Cv = \gamma\, Cv - Cv = Cv\,(\gamma - 1)$$

$$\therefore Cv = \frac{R}{\gamma - 1} \quad \text{.....(5.28)}$$

العلاقات المذكورة آنفاً تصح للغاز الحقيقي والمثالي. إن الثوابت المذكورة آنفاً وثوابت اخرى موضحة في جدول (5.1).

جدول (5.1) صفات الغازات الحقيقية

الغاز Gas	عدد الذرات في الجزيء N	الوزن الجزيئي M	الكثافة (S.T.P) ρ kg/m^3	kJ/kg.K			γ
				Cp	Cv	R	
Air	-	29	1.293	1.01	0.72	0.287	1.4
He	1	4	0.179	5.19	3.11	2.08	1.67
H2	2	2	0.09	14.20	10.08	4.12	1.41
N2	2	28	1.253	1.04	0.74	0.297	1.4
O2	2	32	1.430	0.92	0.66	0.260	1.4
CO	2	28	1.151	1.04	0.74	0.297	1.4
CO2	3	44	1.975	0.82	0.63	0.189	1.31
SO2	3	61	2.90	0.61	0.48	0.13	1.26
CH4	5	16	0.718	2.23	1.71	0.52	1.31
C2H6	8	30	1.358	1.75	1.47	0.277	1.19
نتروجين جوي		28.15		1.03	0.74	0.295	1.4

مركبات الهواء:

النسبة الحجمية: ($79\% N_2$)، ($21\% O_2$)

النسبة الوزنية: ($76.8\% N_2$)، ($23.2\% O_2$)

N_2 ... نيتروجين جوي.

ب- التغير في الطاقة الداخلية النوعية:

$$\Delta\mu = Cv \int dT = Cv\,(T_2 - T_1) \qquad \text{..... (5.29)}$$

ج- معادلة الحالة (المعادلة العامة) التي تعبر عن العلاقة بين (P) و (ν):

$$P\nu^{\gamma} = Const. \qquad \text{..... (5.30)}$$

د- المعادلة العامة التي تربط العلاقة بين (P، ν، T):

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad \text{.....(5.31)}$$

واذا كان المطلوب ايجاد قيمة الاس في المعادلة (5.31) فنستعين بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$y = x^a$$
$$\text{Ln } y = a \text{ Ln } x$$
$$\therefore a = \frac{\text{Ln } y}{\text{Ln } x}$$

$$\therefore \gamma - 1 = \frac{\text{Ln}\frac{T_2}{T_1}}{\text{Ln}\frac{v_2}{v_1}}$$

$$\therefore \frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{\text{Ln}\frac{T_2}{T_1}}{\text{Ln}\frac{P_2}{P_1}}$$

حيث ان * (Ln) هو اللوغاريتم الطبيعي.

اما اذا صادفنا في اثناء الحسابات العلاقة (Ln y = x) فنستعين بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{Ln } y = x$$
$$\therefore y = e^x$$

وبالنسبة لغاز مثالي ذي حرارة نوعية ثابتة يقع تحت تأثير عملية إنضغاط او تمدد اديباتي انعكاسي، فإن المعادلات في (ج) و (د) تشتق كما يأتي:

$$q - w = \Delta\mu$$
$$-w = \Delta\mu$$
$$-\int_1^2 P dv = \int_1^2 Cv dT$$
$$-RT\int_1^2 \frac{dv}{v} = Cv\int_1^2 dt$$

$$\because P = \frac{RT}{v}$$
$$\because R = Cv(\gamma - 1)$$

---

* يقصد بـ (Ln) لوغاريتمات طبيعية والتي اساسها (e). اما الـ (Log) فهي لوغاريتمات عشرية والتي اساسها (10) والعلاقة بينهما هي:

$$\text{Ln} = 2.3 \log$$

والقسمة على (T) ينتج:

$$-Cv(\gamma-1)\int_1^2\frac{d\nu}{\nu}=Cv\int_1^2\frac{dT}{T}$$

$$-(\gamma-1)Ln\frac{\nu_2}{\nu_1}=Ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$Ln\left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right)^{-(\gamma-1)}=Ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$\left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\gamma-1}=\frac{T_2}{T_1} \qquad \text{..... (5.32)}$$

$$X^a=y$$

$$LnX^a=Lny$$

$$aLnX=Lny$$

$$\because \frac{\nu_1}{\nu_2}=\frac{P_2T_1}{P_1T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1}\cdot\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1}\cdot\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad \text{..... (5.33)}$$

نعوض (5.33) بـ (5.32) ينتج:

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad \text{..... (5.34)}$$

ومن هذه المعادلة نوجد العلاقة الآتية:

$$P_1\nu_1^{\gamma}=P_2\nu_2^{\gamma}=P\nu^{\gamma}=Const. \qquad \text{..... (5.35)}$$

يرمز للثابت بـ (Const.) او (C.).

هـ .- الشغل الازاحي

$$\because PV^{\gamma} = C \Rightarrow P = CV^{-\gamma} \Rightarrow C = P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma} \qquad \text{.....(5.36)}$$

$$W = \int PdV = \int CV^{-\gamma}dV = C\left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right]_{V_1}^{V_2} = C\left(\frac{V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right) =$$

$$= \frac{P_2V_2^{\gamma}V_2^{-\gamma+1} - P_1V_1^{\gamma}V_1^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma-1}$$

و- عند تطبيق القانون الاول:

$$= \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma-1}\,(kJ/kg) \qquad \text{.....(5.37)}$$

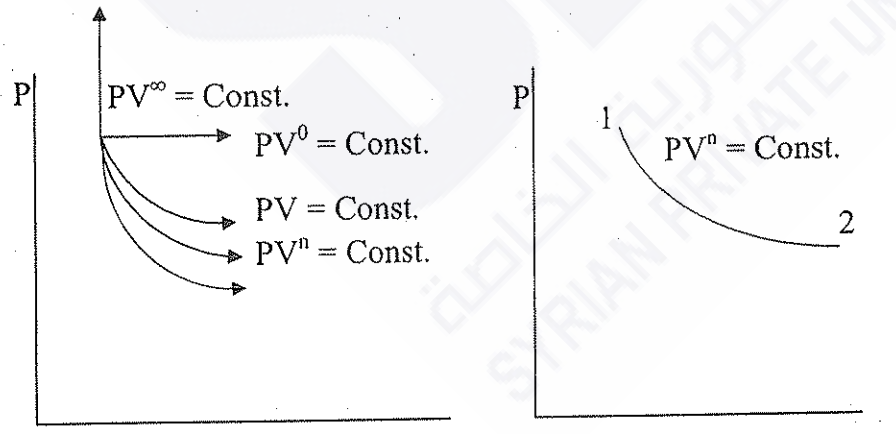
$$q - w = \Delta\mu$$

$$-w = \Delta\mu$$

$$-\frac{P_1v_1 - P_2v_2}{\gamma-1} = Cv(T_2 - T_1) \qquad \text{.....(5.38)}$$

(5.9.5)- العملية البولتروبية Polytropic Process

تسمى ايضاً بالأجراء العام او متعدد الانحناء او المناخي، يحدث عندما تكون خواص النظ ام كالضغط والحجم ودرجة الحرارة متغيرة. يمثل بمنحني على مخطط (P-v)، كما في ش كل (5.8-a). هو إجراء يقع بين الاجرائين الايزوثرملي والادياباتي، إذ ان منحني الاجراء الايزوثرملي يق ع ف وق منحني الاجراء الادياباتي والبولتروبي بينهما في حالة التمدد، كما في شكل (5.8-b). اما ف ي حال ة الانضغاط فيكون العكس. إن خطوط ومنحنيات اجراءات التمدد في شكل (5.8-b) عك س اج راءات الانضغاط على مخطط (P-V).



(a) عملية بولتروبية

(b) إجراءات عامة

شكل (5.8)- منحنيات الاجراءات العامة

أ- **الاس البولتروبي (n)**: يعتمد على ظروف الاسطوانة مثل خليط الغازات، نسبة الاضغاط ... الخ. قيمته عادةً تكون واقعة بين (1 ، γ) ولكن بشكل عام تتحدد قيمته بين ($0-\infty$). وإستناداً الى شكل (5.8-b) فإنه:

1. إذا كانت ($n=0$) فسيكون الاجراء ثبوت الضغط، أي:

$$PV^0 = Const. \qquad \therefore P = Const.$$

2. إذا كانت ($n=\infty$) فسيكون الأجراء ثبوت الحجم، أي:-

$$PV^\infty = Const. \Rightarrow P^{1/\infty}V = Const. \Rightarrow P^0V = Const. \quad \therefore V = Const.$$

3. اذا كانت ($n=1$) فسيكون الإجراء ايزوثرملي، أي:

$$PV = Const.$$

4. اذا كانت ($n=\gamma$) فسيكون الاجراء اديباتي، أي:

$$PV^\gamma = Const.$$

لذلك تعد الحالات المذكورة آنفاً حالات خاصة والبولتروبي هو الحالة العامة لتمدد المادة او إنضغاطها.

ب- القانون او المعادلة العامة الذي يربط بين الخاصيتين (ν. P) هو:

$$P\nu^n = Const. \qquad \ldots\ldots\ldots (5.39)$$

فإذا علمت خمسة خواص فستكون المعادلة العامة هي:

$$\frac{P_1\nu_1}{T_1} = \frac{P_2\nu_2}{T_2} = Const. \qquad \ldots\ldots\ldots (5.40)$$

وعند عدم معرفة خمسة خواص فستكون المعادلة العامة:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \qquad \ldots\ldots\ldots (5.41)$$

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

$$\Delta\mu = Cv\int_1^2 dT = Cv\,(T_2 - T_1) \qquad (kJ/kg) \qquad \ldots\ldots\ldots (5.42)$$

د- الشغل الازاحي:

$$\because PV^n = C \Rightarrow P = CV^{-n} \Rightarrow C = P_1V_1^n = P_2V_2^n \qquad \text{.....(5.43)}$$

$$W = \int PdV = \int CV^{-n}dV = C\left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1}\right]_{V_1}^{V_2}$$

$$= C\left(\frac{V_2^{-n+1} - V_1^{-n+1}}{-n+1}\right) = \frac{P_2V_2^nV_2^{-n+1} - P_1V_1^nV_1^{-n+1}}{-n+1}$$

$$= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1} \qquad \text{(kJ/kg)} \qquad \text{.....(5.44)}$$

هـ .- بتطبيق القانون الاول، يمكن اشتقاق الحرارة المنتقلة، وكالتالي:

$$q = \Delta\mu + w$$

$$= Cv(T_2 - T_1) + \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1} \qquad \because Cv = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$= \frac{R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) + \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$$

$$= \frac{R}{n-1}(T_2 - T_1) - \frac{R}{\gamma - 1}(T_1 - T_2)$$

$$= \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{\gamma - 1}\right)R(T_1 - T_2)$$

$$= \left[\frac{(\gamma - 1) - (n-1)}{(n-1)(\gamma - 1)}\right]R(T_1 - T_2)$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \cdot \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1} \qquad \text{.....(5.45)}$$

$$q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \cdot w \qquad \text{(kJ/kg)} \qquad \text{.....(5.45)}$$

من المعادلة المذكورة آنفاً نستنتج ما يأتي:

1- اذا كانت (n=γ) فتكون $\left(\frac{\gamma-\gamma}{\gamma-1} = 0\right)$ ويكون (q=0) فالاجراء اديباتي.

2- اذا كانت (n=1) فتكون $\left(\frac{\gamma-1}{\gamma-1} = 0\right)$ ويكون (q=w) فالاجراء ايزوثرملي.

اذن العملية الحقيقية هي العملية الواقعة بين الاجرائين الايزوثرملي والاديباتي.

و- الحرارة النوعية (Cn): إستناداً الى المعادلة (5.45) فيكون:

$$q = \frac{(\gamma - n)}{(\gamma - 1)} \cdot R \frac{(T_1 - T_2)}{(n - 1)} \qquad \because R = Cv\,(\gamma - 1)$$

$$= \frac{(\gamma - n)}{(\gamma - 1)} \cdot Cv\,(\gamma - 1) \frac{T_1 - T_2}{n - 1}$$

$$= Cv \frac{(\gamma - n)}{(n - 1)} (T_1 - T_2)$$

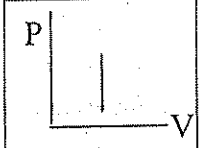
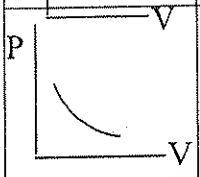
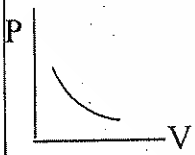
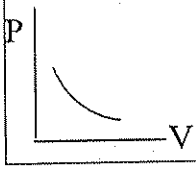
يتبين ان الحرارة النوعية تساوي:

$$q = Cn\,(T_1 - T_2) \qquad \text{.....(5.47)}$$

$$Cn = Cv \frac{(\gamma - n)}{(n - 1)} \qquad \text{.....(5.48)}$$

إن خلاصة ما ذكر في تطبيقات القانون الاول للمعادلات الخاصة بأجراءات الانظمة المغلقة، موضحة في جدول رقم (5.2).

جدول (5.2) "معادلات الاجراءات الديناميكية الحرارية للغاز المثالي"

ت	الاجراء	معادلة الحرارة	الشغل الازاحي w	التغير في الطاقة الداخلية ($\Delta\mu$)	عند تطبيق القانون الاول $w^{=0}$	الاشكال
.1	ثبوت الحجم	$\frac{P}{T}=C.$	0	$Cv(T_2-T_1)$	$q-w^{=0}=\Delta\mu$	
.2	ثبوت الضغط	$\frac{v}{T}=C.$	$P\Delta V=R\Delta T$	$Cv(T_2-T_1)$	$q=\Delta\mu+w$ $=(\mu_2+P_2v_2)-(\mu_1+P_1v_1)$ $q=\Delta h_{12}=Cp\Delta T$	$R=Cp-Cv$
.3	الايزوثرملي	$Pv=C.$	$P_1v_1Ln\frac{v_2}{v_1}$ $RT_1Ln\frac{v_2}{v_1}$	0	$q=w+\Delta\mu^{=0}$	
.4	الادياباتي	$Pv^{\gamma}=C.$ $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma-1}$ $=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$\frac{P_1v_1-P_2v_2}{\gamma-1}$ $\frac{R(T_1-T_2)}{\gamma-1}$	$Cv\ (T_2-T_1)$	$q^{=0}-w=\Delta\mu$	$\gamma=Cp/Cv$, $Cv=R/\gamma-1$ $Cp=R\gamma/\gamma-1$ 
.5	البولتروبي	تستبدل (γ) بـ (n) . $\frac{Pv}{T}=C.$		$Cv\ (T_2-T_1)$	$q=\Delta\mu+w$ $=\frac{\gamma-n}{\gamma-1}.w$	$Cn=Cv(\gamma-n)/(n-1)$ 

امثلة محلولة

(5.13)

نظام مغلق يمر بـ (3) اجراءات: (1) انتقال حرارة (8 kJ) الى النظام مع إنتاج شغل (2 kJ). (2) اجراء اديباتي. (3) بذل شغل على النظام مقداره (3kJ) بحيث إنخفضت الـ (ΔU) بمقدار (2 kJ). احسب:

1- ΔU للأجرائين الاوليين.

2- الحرارة المنتقلة في الاجراء الاخير.

3- الشغل في الاجراء الثاني.

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12} = 8\text{-}2 = 6\ kJ$$

$$Q_{31} = W_{31} + \Delta U_{31} = -3 + (-2) = -5\ kJ$$

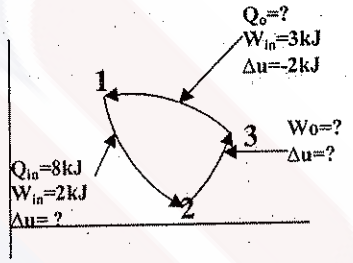
$$\oint dQ = \oint dW$$

$$\int_1^2 dQ + \int_2^3 dQ + \int_3^1 dQ = \int_1^2 dW + \int_2^3 dW + \int_3^1 dW$$

$$Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = W_{12} + W_{23} + W_{31}$$

$$8 + 0 + (-5) = 2 + W_{23} + (-3)$$

$$\therefore W_{23} = -4\ kJ$$



$$\Delta U_{23} = Q_{23} - W_{23} = 0\text{-}4 = -4\ kJ$$

تنخفض

(5.14)

اسطوانة سعتها ($0.85\ m^3$) تحتوي على غاز ضغطه ($275\ kN/m^2$) ودرجة حرارته (15°C). إذا اضيف (1.6kg) من الغاز نفسه الى الاسطوانة. ماذا سيصبح الضغط عندما تصبح درجة الحرارة (15°C) مرة اخرى ؟ إحسب كذلك المحتوى الحراري النوعي للغاز في الحالة الابتدائية والنهائية. فوق الصفر المئوي (0°C) والتي هي درجة الحرارة الاساسية التي تكون عندها الطاقة صفراً، استعمل:

$$Cv = 0.715\ kJ/kg.K \quad ، \quad Cp = 1.005\ kJ/kg.K$$

$$R = Cp - Cv = 1.005 - 0.715 = 0.29\ kJ/kg.K$$

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{275 \times 0.85}{0.29 \times 288} = 2.8\ kg$$

$$m_2 = 2.8 + 1.7 = 4.5\ kg$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{m_2 R T_2 / V_2}{m_1 R T_1 / V_1} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{m_2}{m_1}\right) = 275\frac{4.5}{2.8} = 442\ kN/m^2$$

$$\Delta h = Cp\,(T_2 - T_1)$$

$$= 1.005(288 - 273)$$

$$= 15.075\ kJ/kg$$

(5.15)

هواء كتلته (5 kg) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (3 bar). زود بحرارة بحجم ثابت مقدارها (500 kJ). (أ) كيف ستكون حالته النهائية بعد التسخين. (ب) ولو اردنا بعد ذلك ان نبرد الغاز بضغط ثابت لكي يرجع الى درجة حرارته الابتدائية فكم هي الحرارة والتي يجب ان نأخذها من الهواء. علماً بأن:

$R = 0.29\ kJ/kg.K$ ، $Cv = 0.715\ kJ/kg.K$

إن عبارة (كيف ستكون حالته النهائية) تعني ايجاد قيم T_2، V_2، P_2.

$$\Delta T = \frac{Q}{mCv} = \frac{500}{5 \times 0.715} = 139.86K$$

$$T_2 = \Delta T + T_1 = 139.86 + 20$$
$$= 159.86\ °C$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{5 \times 0.29 \times 293}{300} = 1.42\ m^3$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{300 \times 432.86}{293}$$
$$= 443.2\ kN/m^2$$

$$Cp = R + Cv = 0.29 + 0.715$$
$$= 1.005\ kJ/kg.K$$

$$Q_{23} = m\ Cp\ (T_3 - T_2)$$
$$= 5 \times 1.005\ (20 - 159.86)$$
$$= -\ 702.796\ kJ$$

(5.16)

غاز كتلته (2kg) وحجمه ($0.7m^3$) ودرجة حرارته (15°C) سخن بثبوت الحجم بحيث اصبحت درجة حرارته (135°C). احسب الحرارة المنتقلة الى الغاز والضغط النهائي. علماً أن:

$Cv = 0.72\ kJ/kg.K$ ، $R = 0.29\ kJ/kg.K$

$$Q = m\ Cv\ (T_2 - T_1) = 2 \times 0.72\ (135 - 15) = 172.8\ kJ$$

$$P_1 = \frac{mRT_1}{V_1} = \frac{2 \times 0.29 \times 288}{0.7} = 238.6\ kN/m^2$$

$$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} = 238.6 \frac{408}{288} = 338.1\ kN/m^2$$

(5.17)

غاز ضغطه (2bar) وحجمه ($0.9m^3$) ودرجة حرارته (30°C) زود بحرارة بضغط ثابت واصبحت درجة حرارته (180°C). احسب الحرارة والشغل المنتقلين علماً ان:

$R = 0.29\ kJ/kg.K$ ،$Cp = 1.005\ kJ / kg.K$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{200 \times 0.9}{0.29 \times 293} = 2.11\ kg$$

$$Q_{12} = m\ Cp\ \Delta T$$
$$= 2.11 \times 1.005\ (180\text{-}20)$$
$$= 339.29\ kJ$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{0.9 \times 453}{293} = 1.39\ m^3$$

$$W_{12} = P\ (V_2 - V_1)$$
$$= 2\ (1.39 - 0.9)$$
$$= 98.2\ kJ$$

(5.18)

غاز ضغطه ($275\ kN/m^2$) وحجمه ($0.09\ m^3$) ودرجة حرارته (18.5°C). تغيرت حالته بـ ضغط ثابت واصبحت درجة حرارته (15°C). إحسب الحرارة المنتقلة من الغاز والشغل المنجز في اثناء الاجراء. علماً ان:

$R = 0.29\ kJ/kg.K$ ،$Cv = 1.005\ kJ/kg.K$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{275 \times 0.09}{0.29 \times 458} = 0.186\ kg$$

$$Q = m\ Cp\ (T_2 - T_1)$$
$$= 0.186 \times 1.005\ (288 - 458)$$
$$= -31.78\ kJ$$

$$W = P(V_2 - V_1) = 275\ (0.0566 - 0.09)$$
$$= -9.19\ kJ$$

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 0.09 \frac{288}{458} = 0.0566\ m^3$$

(5.19)

مائع كتلته (2.25 kg) وحجمه ($0.1m^3$) وضغطه (7bar)، موضوع في اسطوانة فيها مكبس متحرك بحيث يبقى الضغط ثابتاً. بعد تسخينه يتمدد الى حجم ($0.2\ m^3$). فلو علمت ان الانثالبي النوعي للمائع عند البداية (210kJ/kg) والنهاية (280kJ/kg). احسب :

(أ) الحرارة المنتقلة. (ب) مقدار التغير في الطاقة الداخلية للمائع.

$$Q = \Delta H = m\ (h_2 - h_1)$$
$$= 2.25\ (280 - 210)$$
$$= 157.5\ kJ$$

$$\Delta U = Q - P\Delta V$$
$$= 157.5 - [700\ (0.2 - 0.1)]$$
$$= 87.5\ kJ$$

(5.20)

غاز يتمدد بثبوت الضغط وينجز شغلاً مقداره (5 kJ). فإذا كانت (γ =1.66).

احسب: (1) الحرارة المنتقلة (2) التغير في الطاقة الداخلية.

$$Q = m\,Cp\,\Delta T$$

$$= m\frac{R\gamma}{\gamma - 1}\Delta T = P\Delta V\frac{\gamma}{\gamma - 1} = W\frac{\gamma}{\gamma - 1}$$

$$\therefore Q = 5 \times \frac{1.66}{1.66 - 1} = 12.575\ kJ$$

$$\Delta U = Q - W = 12.575 - 5 = 7.575\ kJ$$

(5.21)

غاز موجود في خزان ضغطه ($0.4\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (14°C) وحجمه (3000L). اضيفت اليه كمية اخرى من نفس الغاز بحيث تضاعف ضغطه.

احسب: (أ) الكثافة (ب) الحرارة المنتقلة (ج) التغير في الطاقة الداخلية، علماً بأن:

$$R = 0.26\ kJ/kg.K\ ،Cp = 1.005\ kJ/kg.K$$

$$m_1 = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{400 \times 3}{0.26 \times 287} = 16.08\ kg$$

$$m_2 = \frac{P_2V_2}{RT_2} = \frac{2 \times 400 \times 3}{0.26 \times 287} = 30.66\ kg$$

$$\Delta m = m_2 - m_1$$
$$= 30.66 - 16.08$$
$$= 14.59\ kg$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{14.59}{3} = 4.86\ kg/m^3$$

$$Cv = Cp - R$$
$$= 1.005 - 0.26 = 0.745\ kJ/kg.K$$

$$Q_{12} = m\,Cv\,\Delta T$$
$$= 14.59 \times 0.745\ (28\text{-}14)$$
$$= 152.17\ kJ$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = 152.17\ kJ$$

(5.22)

وعاء للضغط، مربوط بصمام، بمستودع للغاز يحفظ فيه الغاز تحت ضغط ودرجة حرارة ثابتتين قيمتهما ($1.4\ MN/m^2$) و ($85°C$) على التوالي. وعاء الضغط كان مفرغاً في البداية. فتح الصمام لأتاحة المجال لكتلة من الغاز مقدارها ($2.7kg$) للمرور الى صمام الضغط ومن ثم اغلق الصمام واصبح كل من الضغط ودرجة حرارة الغاز في وعاء الضغط ($700kN/m^2$) و ($60°C$) على التوالي. احسب مقدار الحرارة المنتقلة الى الغاز في الوعاء او منه. احسب كذلك حجم وعاء الضغط وحجم الغاز قبل الانتقال. علماً أن:

$Cp = 0.88\ kJ/kg.K$ ،$Cv = 0.67\ kJ/kg.K$

$$q = \Delta\mu - w$$
$$= Cv\,(T_2 - T_1) - RT_1$$
$$= Cv\,(T_2 - T_1) - (Cp - Cv)\,T_1$$
$$= 0.67\times(333-358) - (0.88 - 0.67)\,358$$
$$= -91.93\ kJ/kg$$
$$Q = q \times m$$
$$= 91.93 \times 2.7$$
$$= 248.2\ kJ$$

$$P_1 v_1 = RT_1$$
$$\upsilon_1 = (Cp - Cv)\frac{T_1}{P_1}$$
$$= \frac{(0.88 - 0.67)358}{1400} = 0.0537\frac{m^3}{kg}$$
$$V_1 = v_1 \times m = 0.0537\times 2.7 = 0.145 m^3$$
$$V_2 = \frac{P_1 T_2}{P_2 T} \times V_1 = \frac{1400\times 333\times 0.145}{700\times 358}$$
$$= 0.27\ m^3$$

(5.23)

مائع ضغطه ($7\ bar$) وحجمه ($0.1\ m^3$) وكتلته ($2.25\ kg$) موضوع في اسطوانة مغلقة بمكبس يتحرك بحيث يبقى الضغط ثابتاً. يجهز بطاقة حرارية فيتمدد حتى ($0.2\ m^3$). فإذا كانت الانثالبي النوعي الابتدائي ($210\ kJ/kg$) والنهائي ($280\ kJ/kg$) اوجد: (أ) الحرارة المنتقلة (ب) التغير في الطاقة الداخلية.

$$Q = \Delta H = m\,(h_2 - h_1)$$
$$= 2.25\,(280 - 210)$$
$$= 157.5\ kJ$$

$$W = P\,(V_2 - V_1)$$
$$= 700\,(0.2 - 0.1)$$
$$= 70\ kJ$$
$$\Delta U = Q - W$$
$$= 157.5 - 70$$
$$= 87.5\ kJ$$

(5.24)

غاز ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (15°C) وكثافته ($1.855\ kg/m^3$). احسب قيمة (R). عند تسخين (0.9 kg) من هذا الغاز من درجة حرارة (15°C) الى (250°C) بضغط ثابت، كانت الحرارة المطلوبة (175 kJ). احسب (Cp) و (Cv). واحسب مقدار التغير في الطاقة الداخلية والشغل المنتقل.

$$R = \frac{PV}{mT} = \frac{100 \times 1}{1.875 \times 278}$$
$$= 0.185\ kJ/kg.K$$
$$Cp = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{175}{0.9(250 - 15)}$$
$$= 0.828\ kJ/kg\ .\ K$$
$$Cv = Cp - R$$
$$= 0.828 - 0.185$$
$$= 0.643\ kJ/kg.K$$

$$\Delta U = m\ Cv\ (T_2 - T_1)$$
$$= 0.9 \times 0.643\ (250 - 15)$$
$$= 136\ kJ$$
$$W = Q - \Delta U$$
$$= 175 - 136$$
$$= 39\ kJ$$

(5.25)

اسطوانة عديمة التوصيل الحراري قطرها (100mm) تحتوي على هواء درجة حرارته (15.5°C) مغلقة بمكبس عديم التوصيل الحراري وعديم الاحتكاك وزنه (15N). وكان المكبس على إرتفاع (150mm) من قاعدة الاسطوانة. عند تسخين الهواء ارتفع المكبس (150mm) اضافية فإذا كان الضغط الجوي (1.013 bar)، وكان

$Cp = 1\ kJ/kg.K$ ، $R = 0.287\ kJ/kg.K$

اوجد: (1) الحرارة المنتقلة (2) التغير بالطاقة الداخلية

وزن المكبس ثابت، فالعملية تمت بثبوت الضغط

$$A = \frac{\pi.D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.1)^2}{4} = 0.007854 m^2$$

$$V_1 = A \times L_1$$

$$= 0.007854 \times 0.15 = 0.00118 m^3$$

$$V_2 = A \times L_2$$

$$= 0.007854 \times 0.3 = 0.00236\ m^3$$

$$\because P_g = \frac{F}{A}$$

$$Pabs = Patm + Pg$$

$$= 1.013 \times 10^5 + \frac{15}{0.007854}$$

$$= 1.03\ bar$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{1.032 \times 10^2 \times 0.00118}{0.287 \times 288.5}$$

$$= 0.00147\ kg$$

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 288.15 \times \frac{0.0236}{0.00118} = 577\ K$$

$$Q = m\ Cp\ (T2 - T1)$$

$$= 0.00147 \times 1 \times (577 - 288.15)$$

$$= 0.425\ kJ$$

$$W = P\ (V2 - V1)$$

$$= 1.032 \times 10^2\ (0.00236 - 0.06118)$$

$$= 0.122 kJ$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 0.424 - 0.122$$

$$= 0.3021\ kJ$$

(5.26)

اسطوانة اوكسجين سعتها (300Litre) وتحتوي على الاوكسجين تحت ضغط ($3.1MN/m^2$) ودرجة حرارة (18°C). فتح الصمام واستعمل قسم من الغاز. إذا كان ضغط الاوكسجين الباقي في الاسطوانة ($1.7MN/m^2$) ودرجة حرارته (15°C). بعد إعادة إغلاق الصمام رجع الاوكسجين الباقي في الاسطوانة الى درجة حرارته الابتدائية. احسب الحرارة المنتقلة، إذا علمت ان كثافة الاوكسجين عند درجة (0°C) وضغط ($0.101325MN/m^2$) هي ($1.429kg/m^3$) وان $\gamma=1.4$.

$$R = \frac{PV}{mT} = \frac{0.101325 \times 10^3 \times 1}{1.429 \times 273}$$

$$= 0.26\ kJ/kg.K$$

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{3.1 \times 10^3 \times 300 \times 10^{-3}}{0.26 \times 291}$$

$$= 12.3\ kg$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{RT_2} = \frac{1.7 \times 10^3 \times 300 \times 10^{-3}}{0.26 \times 288}$$

$$= 6.8\ kg$$

$$12.3 - 6.8 = 5.5\ kg$$

$$Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.26}{0.4} = 0.65\ kJ/kg.K$$

$$Q = \Delta U = m\ Cv\ (T_2 - T_1)$$

$$= 5.5\ .\ 0.65\ (291 - 288)$$

$$= 10.725\ kJ$$

(5.27)

(0.05 kg) من مائع ضغطه (2 bar) وحجمه (0.8856 m^3/kg) تمدد بضغط ثابت الى (0.0658 m^3).

إحسب الحرارة والشغل المنتقلين إذا كان:

(أ) المائع بخار وحالته النهائية جاف مشبع حرارة البخار (300°C).

(ب) المائع هواء تصل درجة حرارته (130°C) علماً أن:

الانثالبي تحت ضغط (2 bar) هو (2707 kJ/kg.K).

الانثالبي بدرجة حرارة (300°C) هو (307 kJ/kg.K).

(a)

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.0658}{0.05}$$
$$= 1.316\ m^3/kg$$

$$Q_{in} = m\,(h_2 - h_1)$$
$$= 0.05\,(3072 - 2707)$$
$$= 18.25\ kJ$$

$$w = P\Delta v = P\,(v_2 - v_1)$$
$$= 200\,(1.316 - 0.8856)$$
$$= 86.08\ kJ/kg$$

$$W = m \times w = 0.05 \times 86.08$$
$$= 4.304\ kg$$

(b)

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{mR} = \frac{200 \times 0.0658}{0.05 \times 0.287}$$
$$= 917\ K$$

$$Q = m\,Cp\,\Delta T$$
$$= 0.05 \times 1.005\,(917 - 403)$$
$$= 25.83\ kJ$$

$$w = R\,(T_2 - T_1)$$
$$= 0.287\,(917 - 403)$$
$$= 147.52\ kJ/kg$$

$$W = m \times w$$
$$= 0.05 \times 147.52 = 7.38\ kJ$$

(5.28)

غاز مثالي موجود داخل اسطوانة مزودة بمكبس عديم الاحتكاك حجمه (23.7 L) ودرجة حرارته (16°C) وضغطه (1.013 bar). يطلب رفع ضغطه الى (5 bar) ودرجة حرارة (16°C) بأجرائين انعكاسيين مختلفين هما:

أ- تبريد بضغط ثابت يتبعه تسخين تحت حجم ثابت.

ب- تسخين تحت حجم ثابت يتبعه تبريد تحت ضغط ثابت. احسب لكل من الاجرائين (1) الحرارة والشغل المنتقلين (2) ΔU، ΔH، علماً ان:

$Cp = 0.293\ kJ/kg.K$ ، $Cv = 0.21\ kJ/kg.K$

(1)

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{P_1}{P_2} = 23.7 \times \frac{1}{5} = 4.74\ L$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 289\frac{4.74}{23.7} = 57.8\ K$$

$$q_o = \Delta h = Cp\Delta T$$
$$= 0.293\ (57.8 - 289)$$
$$= -6.774\ kJ/kg$$

$$\Delta\mu_{12} = \Delta h - P\Delta V$$
$$= -6.774 - \left[\left(101.3\frac{4.74 - 23.7}{1000}\right)\right]$$
$$= -4.855\ kJ/kg$$

$$\Delta\mu_{23} = q_{in} = Cv\ \Delta T$$
$$= 0.21\ (289\text{-}578)$$
$$= 4.855\ kJ/kg$$

$$\Sigma q = q_o + q_{in}$$
$$= -6.774 + 4.855$$
$$= -1.92\ kJ/kg$$

$$\Sigma\Delta\mu = \Delta\mu_{12} + \Delta\mu_{23}$$
$$= -4.855 + 4.855 = 0$$

$$w = q - \Delta\mu$$
$$= -1.919 - 0$$
$$= -1.919\ kJ/kg$$

(2)

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 289\left(\frac{5}{1}\right) = 1445\ K$$

$$q_{in} = \Delta\mu_{12} = Cv.\Delta T$$
$$= 0.21\ (1445 - 289)$$
$$= 24.3 kJ$$

$$q_o = \Delta h = Cp\ \Delta T$$
$$= 0.293(289\text{-}1445)$$
$$= -33.87\ kJ$$

$$\Sigma q = 24.27 - 33.871$$
$$= -9.611\ kJ$$

$$\Delta\mu_{23} = \Delta h - P\Delta V$$
$$= -33.871 - \left[500\frac{4.74 - 23.1}{1000}\right]$$
$$= 24.27\ KJ$$

$$\Sigma\mu = 24.27 - 24.27 = 0$$

$$w = q - \Delta\mu$$
$$= -9.611 - 0$$
$$= -9.601\ kJ$$

(5.29)

مائع موجود في اسطوانة مغلقة بمكبس متحرك عديم الاحتكاك. أضيفت اليه حرارة مقدارها (1023.67 kJ/kg). وتم التمدد بضغط ثابت مقداره (1.0133 bar) وتغير حجمه من (0.00104 m^3/kg) الى (1.67 m^3/kg). احسب: $\Delta\mu$، Δh.

$$\Delta\mu = q - w = q - P\Delta v$$
$$= 1023.67 - [101.33\,(1.67 - 0.00104)]$$
$$= 854.55\ kJ/kg$$
$$q = \Delta h = 1023.67\ kJ/kg$$

(5.30)

هواء كتلته (1kg) ودرجة حرارته (290K) موجود داخل اسطوانة يتحرك بداخلها مكبس. ضغط الهواء بعملية بطيئة عديمة الاحتكاك بحيث تغير حجمه النوعي من ($0.8m^3/kg$) الى ($0.2m^3/kg$) ودرجة حرارته النهائية (500K) وحسب العلاقة ($PV^{1.25}=0.75$)، حيث ان (P) بوحدات (bar) و (v) بوحدات (m^3/kg). احسب الشغل والحرارة المنتقلين، علماً أن:

$Cp=0.287\ kJ/kg.K$

$$W = m\int_{V_1}^{V_2} PdV = m\int_{V_1}^{V_2} C\frac{dV}{V^{\gamma}} = m\int_{V_1}^{V_2} C.V^{-\gamma}dV$$
$$= mc\left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right]_{0.8}^{0.2} = mc\left(\frac{V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right)$$
$$= 1\times 0.75\left(\frac{0.2^{-1.5+1} - 0.8^{-1.5+1}}{-1.5+1}\right)$$
$$= 0.75\left(\frac{0.2^{-0.5} - 0.8^{-0.5}}{-0.5}\right) = 0.75\left(\frac{-2}{\sqrt{0.2} - \sqrt{0.8}}\right)$$
$$= -2\times 0.75\left(\frac{1}{\sqrt{0.2}} - \frac{1}{\sqrt{0.8}}\right)$$
$$= -1.5\left(\frac{1}{0.447} - \frac{1}{0.894}\right) = -1.5(2.237 - 1.12)$$
$$= 1.5\times 1.12 = -1.68\ bar\,.\,m^3 = 168\ kJ$$
$$\Delta\mu = m\,Cv\,\Delta T = 1\times 0.718\,(580 - 290) = 208.2\ kJ$$
$$Q = \Delta U + W = 208.2 - 168 = 40.2\ kJ$$

(5.31)

هواء درجة حرارته (20°C) وضغطه (1 bar) وحجمه ($0.02m^3$). سخن بثبوت الحجم الى (5 bar). وبعدها برد بثبوت الضغط الى ان عاد الى حرارته الابتدائية. احسب صافي الشغل والحرارة علماً ان:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp =1.01 kJ/kg.K

$$Cv = Cp - R$$
$$= 1.01 - 0.287$$
$$= 0.723 kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{100 \times 0.02}{0.287 \times 298}$$
$$= 0.0238 kg$$
$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2}{P_1}$$
$$= 293 \frac{5}{1} = 1465 K$$
$$Q_{12} = m\, Cv\, (T_2 - T_1)$$
$$= 0.0238 \times 0.723 \times (1465 - 293)$$
$$= 19.9 kJ$$

$$V_3 = V_2 \cdot \frac{T_1}{T_2}$$
$$= 0.02 \times \frac{293}{1405} = 0.004 m^3$$
$$W_{23} = P_3 (V_3 - V_2)$$
$$= 500(0.004 - 0.02) = -8 kJ$$

$$Q_{23} = m\, Cp\, (T_3 - T_2)$$
$$= 0.0238 \times 1.01\, (20 - 1465)$$
$$= -34.7 kJ$$

$$\sum W = 0 + (-8) = -8 kJ$$

$$\sum Q = 20 + (-34.7) = -14.7 kJ$$

(5.32)

غاز ضغطه ($100\ kN/m^2$) وحجمه ($0.056m^3$) ضغط ايزوثرملياً الى حجم ($0.007m^3$). إحسب الضغط النهائي والشغل المنجز على الغاز ؟

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$$
$$= 100 \times \frac{0.056}{0.007} = 800 kN/m^2$$
$$W.D = P_1 V_1 Ln \frac{V_1}{V_2}$$
$$= 100 \times 0.056\, Ln \frac{0.007}{0.056} = -11.65 kJ$$

(5.33)

هواء كتلته (1kg) محصور في اسطوانة ضغطه (2 bar) ودرجة حرارته (427°C) ضغط ايزوثرملياً الى (5 bar). ثم برد بحجم ثابت الى ان عاد الى ضغطه الابتدائي. اوجد (1) الشغل المنجز في الاجرائين والشغل الكلي. (2) الحرارة المنتقلة والحرارة الكلية. علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cv=0.72 kJ/kg.K

$$Q_{12} = W_{12} = mRT_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 1 \times 0.287 \times 700 \ln \frac{2}{5}$$

$$= -184.1 \text{ kJ}$$

$$T_3 = \frac{P_3 T_2}{P_2}$$

$$= \frac{200 \times 700}{500} = 280 \text{ K}$$

$$Q_{23} = m\,Cv\,(T_3 - T_2)$$

$$= 1 \times 0.72\,(280 - 427) = -302.4 \text{ kJ}$$

$$\sum W = -184.1 + 0 = -184.1 \text{ kJ}$$

$$\sum Q = -184.1 + (-302.4) = -486.5 \text{ kJ}$$

(5.34)

اسطوانة فيها مكبس تحوي (1kg) من الهواء درجة حرارته (300°C). تمدد ايزوثرملياً الى ان تضاعف حجمه. ثم دفع المكبس الى الداخل بحيث بقي الضغط ثابتاً في اثناء العملية الى ان استرجع الهواء حجمه الاول. احسب الحرارة المنتقلة وصافي الحرارة، علماً أن:

Cp=1.01 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$Q_{12} = mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 1 \times 0.287 \times 573 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 114 \text{ kJ}$$

$$T_3 = T_2 \times \frac{V_3}{V_2} = 573 \times \frac{2V_1}{V_1}$$

$$= 286.5 \text{ K}$$

$$Q_{23} = mCv\,(T_3 - T_2)$$

$$= 1 \times 1.01\,(286.5 - 573)$$

$$= -289.37 \text{ kJ}$$

$$\sum Q = 114 + (-289.37)$$

$$= -175.4 \text{ kJ}$$

(5.35)

غاز ضغطه ($138\ kN/m^2$) وحجمه ($0.112\ m^3$). ضغط الى ($90\ kN/m^2$) اديابانياً حسب العلاقة ($PV^{1.4}=C.$). احسب الحجم الجديد؟

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0.112\left(\frac{138}{690}\right)^{\frac{1}{1.4}} = 0.0348\ m^3$$

(5.36)

غاز ضغطه ($1.4\ MN/m^2$) ودرجة حرارته ($360°C$) تمدد اديابانياً الى ان اصبح ضغطه ($100kN/m^2$) وسخن بضغط ثابت حتى عاد الى درجة حرارته الابتدائية واصبح ضغطه ($200kN/m^2$). وضغط ايزوثرملياً حتى عاد الى ضغطه الابتدائي. ارسم الاجراءات على مخطط (P-v) واحسب (أ) قيمة الاس الاديابات (γ) (ب) التغير في الطاقة الداخلية في اثناء التمدد الاديباتي. علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K

$$Cp = 1.005\ kJ/kg.K$$

$$\frac{P_1}{P_3} = \frac{V_3}{V_1} = \frac{1400}{220} = 6.36$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{\gamma}$$

$$\frac{1400}{100} = (6.36)^{\gamma} \Rightarrow Ln14 = \gamma\ Ln\ 6.36$$

$$\therefore \gamma = 1.425$$

$$Cv = \frac{Cp}{\gamma} = \frac{1.005}{1.425} = 0.705\ kJ/kg.K$$

$$T_2 = \frac{P_2}{P_3}T_3 = \frac{100}{220} \times 633 = 288\ K$$

$$\Delta U = U_2 - U_1$$
$$= m\ Cv\ (T_2-T_1)$$
$$= 0.23 \times 0.705\ (288-633)$$
$$= -55.9\ kJ$$

(5.37)

هواء درجة حرارته (300 K) وضغطه (1 bar). يضغط اديابانتياً الى ضعف ضغطه الابتدائي بوساطة ضاغط يستهلك قدرة مقدارها (200W). إحسب حجم الهواء الخارج من الضاغط في الثانية واحسب درجة حرارته. علماً أن:

$(\gamma=1.4)$.

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 300\left(\frac{2}{1}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 365.7\ K$$

$$W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{\gamma - 1}$$

$$mR = \frac{W(\gamma-1)}{T_2 - T_1}$$

$$= \frac{0.2\times 04}{65.7} = 1.2177\times 10^{-3}$$

$$\dot{V} = \frac{mRT}{P}$$

$$= \frac{0.0012\times 365.7}{200} = 0.0022\ m^3/s$$

(5.38)

اسطوانة مغلقة بمكبس تحتوي على غاز كتلته (0.45kg) وضغطه (6.7bar) ودرجة حرارة (185°C) تمدد الغاز اديابانتياً الى ان اصبح ضغطه ($138\ kN/m^2$) وانخفضت درجة حرارته بمقدار (165K). اثناء التمدد إنتقل شغل بوساطة المكبس مقداره (53 kJ). احسب (Cp) و (Cv).

$$T_2 = \Delta T + T_1$$

$$= (-165) + 458 = 293\ K$$

$$W_{12} = -\Delta U_{12} = -\ m\ Cv\ (T_2 - T_1)$$

$$53 = -\ 0.45\ Cv\ (293-458)$$

$$Cv = 0.714\ kJ/kg.K$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{458}{293} = \left(\frac{670}{138}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$Ln\ 1.565 = \frac{\gamma-1}{\gamma} Ln\ 1.58$$

$$\gamma = 1.4$$

$$Cp = Cv\,.\,\gamma = 0.74\times 1.4$$

$$= 0.999\ kJ/kg.K$$

(5.39)

هواء كتلته (0.225kg) بضغط مقداره (8.3bar) ودرجة حرارة (538°C) تمدد اديابانتياً إنعكاسياً الى درجة حرارة (149°C). اوجد الضغط والحجم والشغل المنتقل علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp=1.005 kJ/kg.K

$$Cv = Cp - R$$
$$= 1.005 - 0.287$$
$$= 0.718 kJ/kg.K$$
$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 830\left(\frac{422}{811}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}}$$
$$= 80.3 kPa$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = \frac{0.225 \times 0.287 \times 422}{80.3}$$
$$= 0.33 m^3$$
$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{0.225 \times 0.287 \times (811 - 422)}{1.4 - 1}$$
$$= 62.799 kJ$$

(5.40)

تمدد غاز مثالي اديابانتياً حتى اصبح ضغطه $\left(\frac{1}{5}\right)$ الضغط الابتدائي. درجة الحرارة الابتدائية هي (1.5) من درجة الحرارة النهائية. إذا كانت (R=0.3 kJ/kg.K). احسب (Cp) و (γ).

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$
$$Ln\frac{T_2}{T_1} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} Ln\frac{P_2}{P_1}$$
$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{Ln\frac{T_2}{T_1}}{Ln\frac{P_2}{P_1}} = \frac{Ln\frac{1}{1.5}}{Ln\frac{1}{5}} = 0.252$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{0.3 \times 1.336}{0.336} = 1.193 kJ/kg.K$$
$$\gamma = \frac{1}{1 - 0.252} = 1.336$$

(5.41)

كمية من غاز (N_2) كتلتها (0.2kg) ودرجة حرارتها (15°C) ضغطت اديابانياً حتى اصبح حجمها ربع ما كان عليه في البداية واصبحت درجة حرارتها (237°C). وكان الشغل المنتقل (33kJ). احسب (γ) و (R).

$$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{288}{510}=(0.25)^{\gamma-1}$$

$$\mathbf{Ln\,(0.5647)=(\gamma-1)\,Ln\,(0.25)}$$

$$\gamma=1.412$$

$$W_{12}=\frac{mR(T_1-T_2)}{\gamma-1}=$$

$$-33=\frac{0.2\times R\,(15-273)}{1.412-1}$$

$$R=0.2634\ kJ/kg.K$$

(5.42)

غاز يتمدد اديابانياً من ضغط ($700kN/m^2$) وحجم ($0.015\ m^3$) الى ($140\ kN/m^2$). احسب الحجم النهائي والشغل المنتقل والتغير في الطاقة الداخلية. علماً بأن:

$$Cp=1.046\ kJ/kg.K\ ،\ Cv=0.752\ kJ/kg.K$$

$$\gamma=Cp/Cv$$

$$=\frac{1.046}{0.752}=1.39$$

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

$$=0.015\left(\frac{700}{140}\right)^{\frac{1}{1.39}}=0.048\ m^3$$

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

$$=\frac{700\times0.015-140\times0.048}{1.39-1}=9.69\ kJ$$

$$\Delta U=-W=-9.69\ kJ$$

(5.43)

غاز حجمه ($0.3\ m^3$) وضغطه ($100\ kN/m^2$) ودرجة حرارته ($20°C$) ضغط ايزوثرمليا الى ($500\ kN/m^2$). وتمدد اديباتياً الى حجمه الاصلي. احسب (أ) الحرارة المنتقلة في اثناء الاضغاط، (ب) التغير في الطاقة الداخلية (جـ) كتلة الغاز.

$Cp = 1\ kJ/kg.K$ ، $\gamma = 1.4$

$$R = \frac{Cp(\gamma - 1)}{\gamma}$$

$$= \frac{1(1.4-1)}{1.4} = 0.286\ kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{100 \times 0.3}{0.286 \times 293} = 0.358\ kg$$

(أ) ايزوثرملياً

$$V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} = 0.3 \frac{100}{500} = 0.06\ m^3$$

$$Q = W = PVLn \frac{P_1}{P_2} =$$

$$= 100 \times 0.3\ Ln \frac{100}{500} = -48.3\ kJ$$

(ب) اديباتياً

$$P_3 = P_2 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^{\gamma} = 500 \times \left(\frac{0.06}{0.3} \right)^{1.4}$$

$$= 52.6\ kN/m^2$$

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

$$= \frac{-(500 \times 0.06 - 52.6 \times 0.3)}{1.4 - 1}$$

$$= -35.5\ kJ$$

(5.44)

كمية من غاز ضغطه (5bar) ودرجة حرارته (20°C). تمدد ايزوثرملياً من ($0.3m^3$) الى ضغط مقداره (1bar). فإذا كانت (γ=1.4) و (Cp = 1 kJ/kg.K). احسب:

(أ) كتلة الغاز (ب) الشغل المنجز (جـ) حجم الغاز.

$$R = \frac{Cp(\gamma - 1)}{\gamma}$$

$$= \frac{1(1.4-1)}{1.4} = 0.286\ kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{500 \times 0.3}{0.286 \times 293} = 1.79kg$$

$$W_{12} = mRT\ Ln\frac{P_1}{P_2}$$

$$W_{12} = 1.79 \times 0.286 \times 293\ Ln\frac{5}{1}$$

$$= 241.41\ kJ$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{5 \times 0.3}{1} = 1.5\ m^3$$

(5.45)

هواء حجمه ($0.056m^3$) وضغطه (1.38 bar). ضغط ايزوثرملياً الى ($0.014m^3$). اوجد الشغل المنتقل وقارنه مع الشغل في حالة كون الانضغاط ادياباتياً انعكاسيا خلال النسبة الحجمية نفسها. علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K ، γ=1.4

$$W = P_1 V_1 Ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$= 138 \times 0.056\ Ln\frac{0.014}{0.056} = 10.7\ kJ$$

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

$$= 138 \times \left(\frac{0.056}{0.014}\right)^{1.4} = 9.64\ bar$$

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

$$= \frac{138 \times 0.056 \times 964 \times 0.014}{1.4 - 1}$$

$$= -14.42\ kJ$$

(5.46)

هواء حجمه ($0.2m^3$) عند ضغط (5 bar) ودرجة حرارة (30°C) ضغط اديابانتياً في اسطوانة مغلقة الى حجم ($0.1m^3$)، ثم برد بثبوت الحجم الى ضغط (5 bar). ثم سخن بثبوت الضغط الى حجمه الابتدائي. احسب صافي:

(أ) الشغل والحرارة (ب) الطاقة الداخلية، علماً أن:

$R = 0.787\ kJ/kg.K\ .\ Cp = 1.005\ kJ/kg.K$

(1)

$$Cv = Cp - R$$
$$= 1.005 - 0287$$
$$= 0.718 kJ/kg.K$$
$$\gamma = Cp/Cv$$
$$= 1.005/0.718 = 1.399$$
$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$$
$$= 300\times\left(\frac{0.2}{0.1}\right)^{1.4} = 400\ K$$
$$m = \frac{PV_1}{RT_1}$$
$$= \frac{500\times 0.2}{0.787\times 300} = 1.15\ kg$$
$$W = -\Delta U = -mCv\Delta T$$
$$= -1.15\times 0.718\,(400-303)$$
$$= -80.1\ kJ$$

(2)

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$$
$$= 500\times\left(\frac{0.2}{0.1}\right)^{1.4} = 1320\ kN/m^2$$
$$T_3 = \frac{T_2P_3}{P_2}$$
$$= \frac{400\times 500}{1320} = 1055\ K$$
$$W_{31} = P(V_1 - V_3)$$
$$= 500(0.2-0.1) = 50\ kJ$$
$$Q_{23} = mv(T_3 - T_2)$$
$$= 1.15\times 0.718(151.5-400)$$
$$= -205kJ$$
$$Q_{31} = mCp\Delta T$$
$$= 1.15\times 1.005\,(151.2)$$
$$= 175kJ$$
$$W_T = (-80) + 0 + 50$$
$$= -30\ kJ$$
$$Q_T = 0 + (-205) + 175$$
$$= -30\ KJ$$
$$\Delta U_T = Q_T - W_T$$
$$= -30 - (-30) = 0\ kJ$$

(5.47)

غاز مثالي كتلته (0.45kg) تمدد اديابانتياً الى ان اصبح ضغطه نصف ما كان عليه في البداية وانجز شغلاً مقداره (27kJ) وانخفضت درجة حرارته من (220°C) الى (130°C). احسب قيمة (γ) وكذلك (R).

$$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{493}{403}=(2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\text{Ln } 1.223=\frac{\gamma-1}{\gamma}\text{Ln } 2$$

$$\gamma=1.41$$

$$R=\frac{W(\gamma-1)}{m(T_1-T_2)}$$

$$=\frac{27(1.41-1)}{0.45(220-130)}=0.273\ \text{kJ/kg.K}$$

(5.48)

هواء تمدد اديابانتياً في نظام مغلق عند ضغط (6 bar) الى (1.48 bar). ثم ترك الى ان عادت درجة حرارته الى ما كانت عليه في البداية بثبوت الحجم فأرتفع ضغطه الى (2.21 bar). اوجد قيمة (R). علماً أن:

$Cp=1.005\ \text{kJ/kg.K}$

من (1) و (2) ينتج:

$$1\rightarrow 2 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ....(1)$$

$$2\rightarrow 3 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1}=\frac{P_2}{P_3} \quad ....(2)$$

$$\gamma=\frac{\text{Ln } P_1-\text{Ln } P_2}{\text{Ln } P_1-\text{Ln } P_3}$$

$$=\frac{\text{Ln } 6-\text{Ln } 1.48}{\text{Ln } 6-\text{Ln } 2.21}=1.47$$

$$Cv=\frac{Cp}{\gamma}=\frac{1.005}{1.47}=0.68$$

$$R=Cp-Cv$$

$$=1.005-0.68$$

$$=0.325\ \text{kJ/kg.K}$$

(5.49)

غاز حجمه ($0.12m^3$) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (1.0133 bar). ضغط اديابائياً الى ($0.024m^3$). احسب (أ) كتلة الغاز (ب) الضغط ودرجة الحرارة عند نهاية الاضغاط، (ج) الشغل المنتقل. علماً أن:

$$Cp = 1.005\ kJ/kg.K \quad . \quad Cv = 0.718\ kJ/kg.K$$

$$R = Cp - Cv$$
$$= 1.005 - 0.715 = 0.287 kJ/kg.K$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{101.33 \times 0.12}{0.287 \times 293} = 0.144\ kg$$

$$\gamma = Cp/Cv = 1.4$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = 1.0133 \times \left(\frac{0.12}{0.024}\right)^{1.4}$$
$$= 9.64\ bar$$

$$T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1}$$
$$= \frac{293 \times 964 \times 0.024}{101.33 \times 0.12}$$
$$= 557.7\ K$$

$$W = \frac{101.33 \times 0.12 - 964 \times 0.024}{1.4 - 1}$$
$$= -85.283\ kJ$$

(5.50)

غاز كتلته (1.8 kg) وضغطه (2 bar) ودرجة حرارته (27°C). ضغط اديابائياً الى (3.5 bar). احسب (1) الحجم الابتدائي والنهائي (2) درجة الحرارة النهائية (3) الشغل والحرارة المنتقلين (4) مقدار التغير في الطاقة الداخلية. علماً أن:

$$R = 0.3\ kJ/kg.K \quad . \quad \gamma = 1.4$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{1.8 \times 0.3 \times 300}{200}$$
$$= 0.81\ m^3$$

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0.81 \times \left(\frac{2}{3.5}\right)^{\frac{1}{1.4}}$$
$$= 0.543\ m^3$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 200 \times \left(\frac{0.81}{0.543}\right)^{1.4-1}$$
$$= 352\ K$$

$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{1.8 \times 0.3 \times (200 - 352)}{1.4 - 1}$$
$$W_{12} = -70.2 kJ$$
$$-W_{12} = \Delta U_{12} = 70.2 kJ$$
$$\Delta U_{12} = -70.2 kJ$$

(5.51)

غاز في نظام مغلق ضغطه ($320\ kN/m^2$). برد بثبوت الحجم حتى اصبح ضغطه (2.4 bar). ثم ضغط اديابانتياً حتى اصبح ضغطه ($700\ kN/m^2$) وعاد الى درجة حرارته الابتدائية. فإذا كان ($R=0.262\ kJ/kg.K$). احسب قيمة الحرارة النوعية بثبوت الضغط.

$$1 \to 2 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad ....(1)$$

$$2 \to 3 \Rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{P_2}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ....(2)$$

$$\because T_1 = T_3$$

$$\therefore \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_2}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{2.4}{3.2} = \left(\frac{20.4}{7}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\gamma = 1.37$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.262 \times 1.37}{1.37 - 1}$$

$$= 0.97 kJ/kg.K$$

(5.52)

هواء درجة حرارته (44°C) ضغط اديابانتياً حسب العلاقة ($PV^{1.4}=C$.) الى حجم (450L). ثم برد بثبوت الضغط الى درجة حرارة (35°C). فإذا كان الشغل متساوٍ في الاجرائين احسب الحجم النهائي بالـ (m^3).

$$W_{12} = W_{23}$$

$$\frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = mR(T_3 - T_2)$$

$$\frac{44 - t_2}{0.4} = 35 - t_2$$

$$t_2 = 50^\circ C = 323\ K$$

$$V_3 = \frac{V_2}{T_2} \times T_3 = \frac{450}{323} \times 308$$

$$= 429L = 0.429\ m^3$$

(5.53)

هواء درجة حرارته (538°C) وضغطه (8.3 bar) وكتلته (0.225 kg). تمدد اديباتياً الى درجة حرارة (149°C). احسب الضغط والحجم النهائي والشغل المنتقل. علماً أن:

$R=0.287\ kJ/kg.K$ ، $Cp = 1.005\ kJ/kg.K$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 8.3\left(\frac{422}{811}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}}$$

$$= 0.839\ bar$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.255\times 0.287\times 811}{8.3\times 10^2}$$

$$= 0.0631\ m^3$$

$$V_2 = V_1\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 0.063\left(\frac{811}{422}\right)^{\frac{1}{1.4-1}}$$

$$= 0.324\ m^3$$

$$W = -\Delta U = mCv\,(T_1 - T_2)$$

$$= 0.225\times 0.718(811-422)$$

$$= 62.9\ kJ$$

(5.54)

(0.5 kg) هواء ضغطه (1.2 bar) وحجمه ($0.4\ m^3$). يضغط ايزوثرمياً، ثم يضغط اديباتياً الى (200°C). فإذا كان الشغل متساوٍ في الاجراءين، احسب الحجم في كلٍ من الاجراءين، علماً أن:

$Cp=1.005\ kJ/kg.K$ ، $Cv=0.718\ kJ/kg.K$

$$T_1 = \frac{P_1V_1}{mR} = \frac{120\times 0.4}{0.5\times 0.287}$$

$$= 334.5\ K$$

$$W_{12} = W_{23}$$

$$mRT_1\ Ln\frac{P_1}{P_2} = \frac{mR(T_2 - T_3)}{\gamma - 1}$$

$$Ln\frac{P_1}{P_2} = \frac{334.5-473}{(1-1.4)(334.5)}$$

$$= -1.0377$$

$$e^{Ln\frac{P_1}{P_2}} = e^{-1.0377}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 0.354 \Rightarrow \frac{1.2}{P_2} = 0.354$$

$$P_2 = 3.389\ bar$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{1.2\times 0.4}{3.389} = 0.141\ m^3$$

$$V_3 = V_2\left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$= 0.141\left(\frac{334.5}{473}\right)^{\frac{1}{1.399-1}}$$

$$= 0.06\ m^3$$

(5.55)

هواء ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (300 K) يضغط في ضاغط اديابانياً الى (2 bar) ويستهلك في ذلك قدرة (200 W) احسب حجم الهواء الخارج بالـ (m^3/s)، علماً أن: $\gamma=1.4$.

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1} = 300\times\left(\frac{2}{1}\right)^{0.4}$$
$$= 365.7\,K$$
$$W = \frac{mR\Delta T}{\gamma - 1}$$
$$200 = \frac{mR(365.7-300)}{0.4}$$
$$mR = 1.2177$$
$$V = \frac{mRT}{P} = \frac{1.2177\times 365.7}{200}$$
$$= 0.0022\frac{m^3}{s}$$

(5.56)

غاز مثالي كتلته (0.2 kg) ودرجة حرارته (15°C). ضغط اديابانياً الى (1/4) حجمه الابتدائي وإرتفعت درجة حرارته بمقدار (222K) وانجز شغلاً مقداره (33kJ). ثم برد الغاز بثبوت الضغط وعاد الى درجة حرارته الاصلية. أوجد (1) Cp . Cv (2) الشغل المنتقل.

$1 \rightarrow 2:$
$$T_2 = \Delta T_{12} + T_1 = 222 + 288$$
$$= 510\,K$$
$$-W_{12} = -\Delta U_{12} = -mCv(T_2 - T_1)$$
$$Cv = \frac{-W}{m(T_1 - T_2)} = \frac{-33}{0.2(15-237)}$$
$$= 0.74\,kJ/kg.K$$
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{288}{510} = \left(\frac{1}{4}\right)^{\gamma-1}$$
$$\Rightarrow \gamma = 1.41$$
$$R = \frac{W_{12}(\gamma-1)}{m(T_1-T_2)} = \frac{-33(1.41-1)}{0.2(15-237)}$$
$$= 0.304\,kJ/kg.K$$
$$Cp = R + Cv = 0.304 + 0.74$$
$$= 1.044\,kJ/kg.K$$
$2 \rightarrow 3:$
$$Q_{23} = mCp(T_3 - T_2)$$
$$= 0.2\times 1.044\,(15-237)$$
$$= -46.356\,kJ$$
$$\Delta U_{23} = mCv(T_3 - T_2)$$
$$= 0.2\times 0.74\,(15-273)$$
$$= -32.856\,kJ$$
$$W_{23} = -(\Delta U_{23} - Q_{23})$$
$$= -[-32.856 - (-46.356)]$$
$$= -(-32.856 + 46.356)$$
$$= -13.5\,kJ$$

(5.57)

غاز مثالي ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (27°C) وحجمه ($3.5m^3$) ضغط ايزوثرمليا الى ($600kN/m^2$). ثم تمدد اديابانتياً الى حجمه الاول. احسب الحرارة المنتقلة والتغير في الطاقة الداخلية للأجراء الاخير. علماً أن:

$\gamma=1.4$

$$Q_{12} = PVLn\frac{P_1}{P_2} = 100\times 0.5Ln\frac{100}{600}$$
$$= -89.6\,kJ$$
$$V_2 = V_1.\frac{P_1}{P_2} = 0.5\frac{100}{600}$$
$$= 0.083\,m^3$$
$$P_3 = P_2\left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma} = 600\left(\frac{0.083}{0.5}\right)^{1.4}$$
$$= 48.84\,kN/m^2$$

$$W_{23} = \frac{P_2V_2 - P_3V_3}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{600\times 0.083 - 48.84\times 0.5}{1.4-1}$$
$$= 63.95\,kJ$$
$$\Delta U_{23} = -W_{23} = -63.95\,kJ$$

(5.58)

غاز كتلته (3 kg) ودرجة حرارته (20°C) يضغط في نظام مغلق اديابانتياً وينتقل شغل مقداره (100kJ)، ثم يتمدد بثبوت الضغط وينتقل شغل مقداره (100 kJ). احسب درجة الحرارة بعد الانضغاط الاديابانتي (ب) التغير في الطاقة الداخلية. علماً أن:

$\gamma=1.4$ ، $Cv = 0.72\ kJ/kg.K$

$$R = Cv(\gamma - 1) = 0.72(1.4-1)$$
$$= 0.288kJ/kg.K$$
$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$
$$100 = \frac{3\times 0.288(293 - T_2)}{1.4-1}$$
$$T_2 = 339.4\,K$$
$$W_{23} = mR(T_3 - T_2)$$
$$100 = 3\times 0.288(T_3 - 339.4)$$
$$T_3 = 455\,K$$

$$\Delta U_{23} = mCv(T_3 - T_2)$$
$$= 3\times 0.72(455 - 339.3)$$
$$= 250\,kJ$$
$$Q_{23} = \Delta U_{23} + W_{23} = 250 + 100$$
$$= 350\,kJ$$

(5.59)

غاز حجمه ($0.336\ m^3$) وضغطه ($1.03\ bar$) ودرجة حرارته ($38\ °C$) ضغط انعكاسياً الى ($16.5\ bar$) حسب العلاقة ($Pv^{1.3}=C$). ومن النقطة الابتدائية نفسها ضغط انعكاسياً ادياباتياً الى الحجم النهائي نفسه. اوجد: (1) الحجم ودرجة الحرارة والشغل المنتقلين في الاجراء الاول (2) الضغط ودرجة الحرارة والشغل المنتقل في الاجراء الثاني. علماً ان:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cv=0.718 kJ/kg.K

(1)

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

$$= 0.336\left(\frac{1.03}{16.5}\right)^{\frac{1}{1.3}} = 0.0396\ m^3$$

$$T_2 = \frac{T_1 \times V_2 P_2}{P_1 V_1}$$

$$= \frac{311 \times 0.0396 \times 16.5}{0.336 \times 1.03} = 588\ K$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

$$= \frac{103 \times 0.336 - 1650 \times 0.0396}{1.3-1}$$

$$= -103\ kJ$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{103 \times 0.336}{0.287 \times 311} = 0.387\ kg$$

$$\Delta U_{12} = mCv(T_2 - T_1)$$

$$= 0.387 \times 0.718\,(588 - 311)$$

$$= 77\ kJ$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12}$$

$$= 77 + (-103) = -26\ kJ$$

(2)

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

$$= 103\left(\frac{0.336}{0.0396}\right)^{1.4} = 20.4\ bar$$

$$T_2 = \frac{T_1V_2P_2}{P_1V_1}$$

$$= \frac{311 \times 0.0396 \times 20.4}{103 \times 0.336} = 75\ K$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$

$$= \frac{103 \times 0.336 - 20.4 \times 0.0396}{1.4-1}$$

$$= -115\ kJ$$

وبطريقة اخرى:

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$= 311\left(\frac{0.336}{0.0396}\right) = 725\ K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{103 \times 0.336}{0.287 \times 311} = 0.387\ kg$$

$$\Delta U_{12} = mCv(T_2 - T_1)$$

$$= 0.387 \times 0.718\,(414)$$

$$= 115\ kJ = -W$$

(5.60)

هواء ضغطه ($1MN/m^2$) ودرجة حرارته (45°C) وحجمه ($0.3m^3$) تمدد الى ($1.2m^3$) حسب العلاقة ($PV^{1.25}=C.$). احسب (أ) الشغل المنجز (ب) التغير في الطاقة الداخلية (ج) الحرارة المنتقلة. علماً أن:

$\gamma=1.4$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.25}$$

$$= 1\times\left(\frac{0.3}{1.2}\right)^{1.25} = 0.177\ MN/m^2$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

$$= \frac{1\times 0.3 - 0.177\times 1.2}{1.25-1}$$

$$= \frac{0.088}{0.25} = 0.352\ MJ$$

$$\Delta U = -W$$

$$= \frac{-0.088}{0.4} = -0.22\ MJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= -0.22 + 0.352 = 0.132\ MJ$$

(5.61)

غاز ضغطه (1 bar) وحجمه ($10.7\ m^3$) ودرجة حرارته (15°C) تغيرت حالته بحيث اصبح في النهاية ضغطه (5 bar) ودرجة حرارته (15°C). وكان هذا التغير بالطرق التالية:-

(1) تسخين بثبوت الحجم ثم تبريد بثبوت الضغط.

(2) انضغاط ايزوثرملي

(3) انضغاط اديباتي يتبعه تبريد بثبوت الحجم. احسب لكل المسارات ما يلي:

(أ) الشغل والحرارة المنتقلين

(ب) التغير في الطاقة الداخلية

(ج) التغير في الانثالبي،

علماً أن:

$Cp = 0.293\ kJ/kg.K$ ، $Cv = 0.21\ kJ/kg.K$

(1)

1→2

$$R = Cp - Cv = 0.083\ kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{100 \times 10.7}{0.083 \times 288} = 44.76\ kg$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{mR}$$

$$= \frac{500 \times 10.7}{44.7 \times 0.083} = 1440\ K$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = mCv(T_2 - T_1)$$

$$= 44.76 \times 0.21\ (1440 - 288)$$

$$= 10847.1\ kJ$$

$$\Delta H_{12} = mCp(T_2 - T_1)$$

$$= 44.76 \times 0.293\ (1440 - 288)$$

$$= 15108.1\ kJ$$

2→3

$$V_3 = \frac{mRT_3}{P_3}$$

$$= \frac{44.76 \times 0.083 \times 288}{500} = 2.14\ m^3$$

$$W_{23} = P_2(V_3 - V_2)$$

$$= 500(2.14 - 10.7) = -4280\ kJ$$

$$Q_{23} = mCp(T_3 - T_2)$$

$$= 44.76 \times 0.293\ (288 - 1440)$$

$$= -15134.34\ kJ$$

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - W_{23}$$

$$= -15134 - (-4280)$$

$$= -10854.34\ kJ$$

$$\Delta H_{23} = mCp(T_3 - T_2) = Q_{23}$$

$$= -15134.34\ kJ$$

(2)

$$\Delta U_{12} = 0$$

$$\Delta H_{12} = 0$$

$$Q_{12} - W_{12} = 0$$

$$Q_{12} = W_{12} = mRT_1 Ln\frac{P_1}{P_2}$$

$$= 44.76 \times 0.083 \times 288\ Ln\frac{1}{5}$$

$$= -1722\ kJ$$

(3)

$$\gamma = Cp/Cv = 1.395$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{5}{P_2} = \left(\frac{1}{P_2}\right)^{0.283}$$

$$P_2 = 9.436\ bar$$

$$T_2 = T_3\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = 543.5\ K$$

$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = -2403$$

$$\Delta U_{12} = -W_{12} = 2403\ kJ$$

$$\Delta H_{12} = mCp(T_2 - T_1)$$

$$= 3350.8\ kJ$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = mCv(T_3 - T_2)$$

$$= -2401.6\ kJ$$

$$\Delta H_{23} = mCp(T_3 - T_2)$$

$$= -3350.8\ kJ$$

(5.62)

غاز ضغطه ($300\ kN/m^2$) ودرجة حرارته ($25°C$)، ضغط حسب العلاقة ($PV^{1.4}=C$) حتى اصبحت درجة حرارته ($180°C$). احسب الضغط الجديد.

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}} = 300\left(\frac{453}{298}\right)^{\frac{1.4}{0.4}} = 1299\ kN/m^2 = 1.299\ MN/m^2$$

(5.63)

غاز ضغطه ($2070\ kN/m^2$) وحجمه ($0.04\ m^3$) تمدد بولتروبياً حسب العلاقة ($PV^{1.35}=C$) الى ضغط ($207\ kN/m^2$). احسب الشغل المنجز.

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.014\left(\frac{2070}{207}\right)^{\frac{1}{1.35}} = 0.077\ m^3$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{2070\times 0.014 - 207\times 0.077}{1.35-1} = 37.3\ kJ$$

(5.64)

مائع ضغطه ($1\ bar$) وحجمه ($0.06\ m^3$) وكتلته ($0.07\ kg$) وطاقته الداخلية ($200\ kJ/kg$). ضغط بولتروبياً بحيث اصبح ضغطه ($9\ bar$) وحجمه ($0.0111\ m^3$) والطاقة الداخلية ($370\ kJ/kg$). احسب: (أ) الشغل المنتقل (ب) الحرارة المنتقلة.

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n \Rightarrow \left(\frac{9}{1}\right) = \left(\frac{0.06}{0.0111}\right)^n$$

$$Ln\ 9 = n\ Ln\ 5.4$$

$$n = 1.302$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{100\times 0.06 - 9\times 0.0111}{1.302-1} = -13.2\ kJ$$

$$Q - W = m\ (\mu_2 - \mu_1)$$

$$Q - (-13.2) = 0.07\ (370 - 200)$$

$$Q = -1.3\ kJ$$

(5.65)

غاز حجمه ($0.015\ m^3$) ودرجة حرارته ($28.5°C$). تمدد حسب القانون ($PV^{1.35}=C$) حتى اصبح حجمه ($0.09\ m^3$). احسب درجة الحرارة الجديدة.

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 558\left(\frac{0.015}{0.09}\right)^{1.35-1} = 298.4\ K = 25.4^\circ C$$

(5.66)

غاز كتلته ($0.675\ kg$) وضغطه ($1.4\ MN/m^2$) ودرجة حرارته ($280°C$) تمدد حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C$) حتى اصبح حجمه اربعة اضعاف حجمه الابتدائي. احسب (أ) الحجم الابتدائي والنهائي (ب) الضغط النهائي (ج) درجة الحرارة النهائية. علماً أن:

$R=0.278\ kJ/kg.K$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.675\times 0.287\times 553}{1.4\times 10^3} = 0.0675\ m^3$$

$$V_2 = 4V_1 = 4\times 0.0765 = 0.306\ m^3$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = 1.4\left(\frac{1}{4}\right)^{1.3} = 0.231\ MN/m^2 = 231\ kN/m^2$$

$$T_2 = \frac{P_2}{P_1}.\frac{V_2}{V_1}.T_1 = \frac{0.231}{1.4}\times 4\times 553 = 365\ K = 92^\circ C$$

(5.67)

هواء كتلته ($0.25\ kg$) ضغطه ($140\ kN/m^2$) وحجمه ($0.15\ m^3$) ضغط الى ($4MN/m^2$) حسب القانون ($PV^{1.25}=C$). احسب (أ) التغير في الطاقة الداخلية (ب) الشغل المنتقل (ج) الحرارة المنتقلة. علماً أن:

$Cv = 0.718\ kJ/kg.K$ ، $Cp = 1.005\ kJ/kg.K$

$R = Cp - Cv = 1.005 - 0.718 = 0.287\ kJ/kg.K$

$$T_1 = \frac{P_1V_1}{mR} = \frac{140\times 0.15}{0.25\times 0.287} = 292.7\ K$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 292.7\left(\frac{1.4\times 10^3}{140}\right)^{\frac{0.25}{1.25}}$$

$$= 463.9\ K$$

$$\Delta U = mCv\Delta T$$

$$= 0.25\times 0.718\,(463.9 - 292.7)$$

$$= 30.73\ kJ$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.25\times 0.287(292.7 - 463.9)}{1.25 - 1}$$

$$= -49.1\ kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 30.73 - 49.1 = -18.37\ kJ$$

(5.68)

اسطوانة تحتوي على (0.75 kg) من مائع ضغطه (7 bar) تمدد حسب القانون ($PV^{1.37}=C_1$) حتى (1.4 bar). فإذا كان حجمه الابتدائي (0.25 m^3/kg) وكانت الحرارة المنتقلة (33 kJ). احسب مقدار التغير بالطاقة الداخلية.

$$V_1 = \nu_1 .m = 0.25 \times 0.75 = 0.1875\ m^3$$

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.25\left(\frac{7}{1.4}\right)^{\frac{1}{1.37}} = 0.66\ m^3$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

$$= \frac{700 \times 0.1875 - 140 \times 0.66}{1.37 - 1}$$

$$= 140.778\ kJ$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 33 - 140.778$$

$$= -107.778\ KJ$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta U}{m} = \frac{-107.778}{0.75}$$

$$= -143.7\ kJ$$

(5.69)

غاز مثالي كتلته (2 kg) تمدد بولتروبياً الى (3) اضعاف حجمه الاصلي وانخفضت درجة حرارته من (300°C) الى (60°C) وانجز شغلاً مقداره (100 kJ) وكانت الحرارة المضافة (20 kJ). احسب Cp (2) ، Cv (1)

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 20 - 100 = -80\ kJ$$

$$Cv = \frac{\Delta U}{m(T_2 - T_1)} = \frac{-80}{2(333 - 573)}$$

$$= 0.166\ kJ/kg.K$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$$

$$\frac{573}{333} = \left(\frac{3V_1}{V_1}\right)^{n-1}$$

$$Ln1.72 = (n-1)Ln3$$

$$n = 1.494$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$100 = \frac{2R(573 - 333)}{1.494 - 1}$$

$$R = 0.103\ kJ/kg.K$$

$$Cp = R + Cv$$

$$= 0.13 + 0.166$$

$$= 0.27\ kJ/kg.K$$

(5.70)

غاز ضغطه (1.4 bar) وحجمه (12L) ودرجة حرارته الابتدائية (100°C). ضغط بولتروبياً بحيث اصبح ضغطه (28 bar) وحجمه (1.2 L). احسب (1) الاس البولتروبي (n) (2) درجة الحرارة في نهاية الاجراء (3) الشغل والحرارة المنتقلين (4) الفرق بالطاقة الداخلية بين النقطتين. علماً أن:

$R=0.287\ kJ/kg.K$ ، $\gamma=1.4$

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n \Rightarrow \frac{1.4}{28}=\left(\frac{1.2}{12}\right)^n$$

$$Ln\ 0.05 = n\ Ln\ 0.1$$

$$n = 1.3$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$$

$$= 373\left(\frac{12}{1.2}\right)^{1.3-1} = 744\ K$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

$$= \frac{140\times12\times10^{-3} - 2800\times1.2\times10^{-3}}{1.3-1}$$

$$= -5.6\ kJ$$

$$Cv = \frac{R}{\gamma-1} = \frac{0.287}{10.4-1}$$

$$= 0.718\ kJ/kg.K$$

$$Cn = Cv\left(\frac{n-\gamma}{n-1}\right)$$

$$= 0.718\left(\frac{1.3-1.4}{1.3-1}\right)$$

$$= -0.2393 kJ/kg.K$$

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

$$= 0.0157\times(-0.2393)(744-373)$$

$$= -1.4$$

OR

$$Q = W\frac{\gamma-n}{\gamma-1}$$

$$= -5.6\times\frac{1.4-1.3}{1.4-1} = -1.4\ kJ$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= -1.4 - (-5.6) = 4.2\ kJ$$

(5.71)

غاز مثالي حجمه (470L) ضغط بولتروبياً الى (200L)، ثم برد بثبوت الضغط الى (160L) حيث عاد الى درجة حرارته الابتدائية. احسب (n).

$$2 \rightarrow 3 \Rightarrow \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_3} = \frac{0.2}{0.16} = 1.25$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} \Rightarrow 1.25 = \left(\frac{470}{200}\right)^{n-1} \Rightarrow Ln\ 1.25 = (n-1)Ln\ 2.35$$

$$n = 1.26$$

(5.72)

غاز داخل اسطوانة مجهزة بمكبس عديم الاحتكاك والتسرب. حجمه ($0.0135m^3$) وضغطه (27 bar) ودرجة حرارته (215°C). تمدد حسب العلاقة ($Pv^{1.29}=C$). كان الشغل المنتقل (49 kJ) والحرارة المنتقلة (11.9 kJ). احسب (أ) درجة الحرارة النهائية (ب) γ (ج) R (د) كتلة الغاز، علماً أن:

$Cp=1.03\ kJ/kg.K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}\Rightarrow P_2V_2=P_1V_1\frac{T_2}{T_1}$$

$$W=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{n-1}=\frac{P_1V_1-P_1V_1\frac{T_2}{T_1}}{n-1}$$

$$W=\frac{P_1V_1\left(1-\frac{T_2}{T_1}\right)}{n-1}$$

$$49=\frac{2700\times0.0135\left(1-\frac{T_2}{488}\right)}{1.29-1}$$

$$T_2=298\,K$$

$$\Delta U=Q-W=11.9-49=-37.1\,kJ$$

$$mCv=\frac{\Delta U}{T_2-T_1}$$

$$=\frac{-37.1}{298-488}=\frac{37.1}{190}=\frac{mR}{\gamma-1}$$

$$mR=\frac{P_1V_1}{T_1}$$

$$=\frac{2700\times0.0135}{488}=0.0746\,kJ/K$$

$$\frac{37.1}{190}=\frac{0.0746}{\gamma-1}$$

$$\gamma=1.38$$

$$Cv=\frac{Cp}{\gamma}=\frac{103}{0.38}=0.747\,kJ/kg.K$$

$$R=Cp-Cv$$

$$=1.03-0.747=0.283\,kJ/kg.K$$

$$m=\frac{mR}{R}=\frac{0.0746}{0.283}=0.246\,kg$$

(5.73)

غاز ضغطه (1.032 bar) وحجمه ($0.085\ m^3$) ودرجة حرارته (38°C). ضغط حسب العلاقة ($Pv^{1.3}=C$) الى (5.5 bar). اوجد الحرارة المنتقلة، علماً أن:

$Cv=0.715\ kJ/kg.K$ ، $R=0.287\ kJ/kg.K$

$$T_2=T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}=311\left(\frac{5.5}{1.032}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}}=458\,K$$

$$m=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{103.5\times0.085}{0.287\times311}=0.0985\,K$$

$$\Delta U=mCv\Delta T=0.0985\times0.715\,(458-311)=10.35\,kJ$$

$$W=\frac{mR(T_1-T_2)}{n-1}=\frac{0.0985\times0.287\,(311-458)}{1.3-1}=-13.85\,kJ$$

$$Q=\Delta U+W=10.35+(-13.85)=-3.5\,kJ$$

(5.74)

غاز حجمه ($0.1m^3$) وضغطه ($120\ kN/m^2$) ودرجة حرارته ($25°C$) ضغط الى ($1.2MN/m^2$) حسب العلاقة ($PV^{1.2}=C_1$).

احسب: (أ) الشغل المنتقل (ب) التغير في الطاقة الداخلية (ج) الحرارة المنتقلة. علماً أن:

R=0.285 kJ/kg.K ، Cv=0.72 kJ/kg.K

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.1\left(\frac{120}{1200}\right)^{\frac{1}{1.2}}$$

$$= 0.0147\ m^3$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$

$$= \frac{10^3(120\times 0.1 - 1200\times 0.0147)}{0.2}$$

$$= 28.2\ kJ$$

$$T_2 = \frac{P_2V_2T_1}{P_1V_1} = \frac{1200\times 0.0147\times 298}{120\times 0.01}$$

$$= 438\ K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{120\times 0.1}{0.285\times 298} = 0.141\ kg$$

$$\Delta U = mCv(T_2 - T_1)$$

$$= 0.141\times 0.72(438 - 298)$$

$$= 14.2\ kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 14.2 - 28.2 = -14\ kJ$$

(5.75)

(1kg) من غاز مثالي ضغطه (1.1 bar) ودرجة حرارته (27°C) يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C_1$) الى (6.6 bar). احسب الحرارة المنتقلة عندما يكون:

(أ) الغاز إيثان (M=30) فإن Cp=1.75 kJ/kg.K

(ب) الغاز آركون (M=40) فإن: Cp=0.515 kJ/kg.K

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$= 300\left(\frac{6.6}{1.1}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} = 453.6\ K$$

(أ) ايثان

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{30}$$

$$= 0.277 kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R$$

$$= 1.75 - 0.277$$

$$= 1.473\ kJ/kg.K$$

$$\gamma = Cp/Cv = \frac{1.75}{1.473}$$

$$= 1.188$$

$$W = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.277(300-453.6)}{1.3-1}$$

$$= -141.3\ kJ/kg$$

$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$

$$= -141.8\frac{1.188-1.3}{1.188-1}$$

$$= 84.5 kJ/kg$$

(ب) آركون

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{40} = 0.208\ kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R = 0.515 - 0.208$$

$$= 0.307 kJ/kg.K$$

$$\gamma = Cp/Cv = \frac{0.515}{0.307} = 1.678$$

$$W = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.208(300-453.6)}{1.3-1}$$

$$= -106.5\ kJ/kg$$

$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$

$$= -106.58\frac{1.678-1.3}{1.678-1} = -59.4 kJ/kg$$

(5.76)

هواء في اسطوانة حجمه ا ($45000cm^3$) وضغطها (0.95 bar) ودرجة حرارته ا (121°C). ضغطت حسب العلاقة ($PV^n=C.$) الى (9bar) واصبح حجمها ($8000\ cm^3$). احسب (1) قيمة (n). (2) التغير في الطاقة الداخلية (3) الشغل والحرارة المنتقلة، علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n \Rightarrow \frac{9}{1}=\left(\frac{0.045}{0.008}\right)^n$$

$$Ln(9)=n\,Ln(5.6)$$

$$n=1.319$$

$$T_2=\frac{P_2V_2T_1}{P_1V_1}$$

$$=\frac{900\times0.008\times394}{95\times0.045}=678.6\,K$$

$$Cv=Cp-R=1.005-0.287$$

$$=0.718\,kJ/kg.K$$

$$m=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{95\times0.045}{0.287\times394}=0.0378\,kg$$

$$\Delta U=mCv(T_2-T_1)$$

$$=0.0378\times0.718\,(678.6-394)$$

$$=7.73\,kJ$$

$$W=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{n-1}$$

$$=\frac{95\times0.045-900\times0.008}{1.319-1}$$

$$=-9.695kJ$$

$$Q=\Delta U+W=7.73+(-9.695)$$

$$=-1.971\,kJ$$

(5.77)

هـ واء دخ ل اس طوانة مح رك دي زل درج ة حرارة ه (49°C) وحجم ه ($0.28\ m^3$) وض غطه ($110kN/m^2$)، ونسبة الانضغاط (15/1). يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.27}$=C.). احسب:

(1) الضغط ودرجة الحرارة في نهاية الانضغاط. (2) الشغل والحرارة المنتقلين علما أن:

Cp=1.0 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = 110\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27}$$
$$= 31.163\ kN/m^2$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 322\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27-1}$$
$$= 668.96\ K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{110\times 0.28}{0.29\times 322} = 0.33\ kg$$

$$R = Cp - Cv = 1 - 0.71$$
$$= 0.29\ kJ/kg.K$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$
$$= \frac{0.33\times 0.29\,(49 - 395.96)}{1.27 - 1}$$
$$= -122.92\ kJ$$

$$\gamma = Cp/Cv = 1/0.71 = 1.41$$

$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} = -122.92\frac{1.41 - 1.27}{1.41 - 1}$$
$$= -41.973\ kJ$$

(5.78)

هواء كتلته (1 kg) ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (20°C) ضغط الى (1/4) حجم ه الابت دائي. إحسب حالة الهواء النهائية من ضغط وحجم ودرجة حرارة إذا ت م الاض غاط (أ) ايزوثرمل ي (ب) بولتروبي وان (n=1.25). علماً أن:

Cp=1 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

$$R = Cp - Cv$$
$$= 1 - 0.71 = 0.29\ kJ/kg.K$$

(أ)

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$$
$$= \frac{1\times 0.29\times 293}{100} = 0.85\ m^3$$

$$V_2 = \frac{V_1}{4} = \frac{0.85}{4} = 0.2124\ m^3$$

$$P_2 = \frac{mRT_2}{V_2}$$
$$= \frac{1\times 0.29\times 293}{0.2124} = 400kN/m^2$$

(ب)

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 293(4)^{\frac{1}{1.25-1}} = 414.427\ K$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$
$$= 100(4)^{1.25} = 565.7\ kN/m^2$$

$$V_2 = V_1\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 0.8497\left(\frac{293}{414.43}\right)^{\frac{1}{0.25}} = 0.2123\ m^3$$

(5.79)

(0.8 kg) من اوكسجين تحت ضغط ($1000\ kN/m^2$) وحجم ($0.06\ m^3$). بعد القيام بأجراء معين اصبح ضغطه ($305\ kN/m^2$) وحجمه ($0.14\ m^3$). فإذا كانت $Cv=0.65\ kJ/kg.K$، $R=0.26\ kJ/kg.K$. احسب (أ) نوعية الاجراء (ب) الشغل والحرارة المنتقلة. (ج) كيف سيكون نوعية الاجراء لو اصبح الضغط ($305\ kN/m^2$) والحجم ($0.197m^3$) بدلاً من القيم المذكورة واحسب الشغل والحرارة المنتقلين.

بما ان الاجراء غير معلوم، فنحسب n

$$\frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$

$$\Rightarrow \frac{305}{1000}=\left(\frac{0.06}{0.14}\right)^n$$

$$\Rightarrow n=1.4$$

$$\gamma=\frac{R+Cv}{Cv}=\frac{0.26+0.65}{0.65}$$

$$=1.4=n$$

$$W_{12}=\frac{P_1V_1}{\gamma-1}$$

$$=\frac{1000\times0.06-305\times0.14}{1.4-1}$$

$$=43.25\,kJ$$

$$Q_{12}=0$$

$$\frac{P_2'}{P_1}=\left(\frac{V_1}{V_2'}\right)^n$$

$$\Rightarrow \frac{305}{1000}=\left(\frac{0.06}{0.197}\right)^n$$ ∴الاجراء ايزوثرملي:

$$\Rightarrow n=1$$

$$T_1=\frac{P_1V_1}{mR}$$

$$=\frac{1000\times0.06}{0.8\times0.26}$$

$$=288.46\,K$$

$$Q_{12'}=W_{12'}$$

$$=mRT_1Ln\frac{V_{2'}}{V_2}$$

$$=0.8\times0.26\times288\,Ln\frac{0.197}{0.06}$$

$$=71.33\,kJ$$

(5.80)

غاز ضغطه ($1MN/m^2$) وحجمه ($0.003\ m^3$) تمدد حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C.$) الى ($0.1MN/m^2$). احسب الحرارة المنتقلة والحرارة النوعية العامة، علماً أن:

$\gamma=1.4$ ، $Cv=0.718\ kJ/kg.K$

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.003\left(\frac{1}{0.1}\right)^{\frac{1}{1.3}} = 0.0176\ m^3$$

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times W = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n - 1}$$

$$= \frac{1.4 - 1.3}{1.4 - 1} \times \frac{1\times 0.003 - 0.1\times 0.0176}{1.3 - 1} = 1.03\ kJ$$

$$Cn = Cv\frac{(\gamma - n)}{(n - 1)} = 0.718\frac{1.4 - 1.3}{1.3 - 1} = 0.239\ kJ/kg.K$$

(5.81)

اسطوانة عمودية طويلة قطرها (600 mm) تحتوي على ($0.085\ m^3$) من الهواء ضغط ($1MN/m^2$) والهواء محصور في الاسطوانة بمكبس عديم الاحتكاك كتلته (90kg) عند انفلاته يتحرك المكبس عمودياً الى الاعلى، احسب سرعته عند إرتفاعه مسافة (1.2m) وضغط الهواء في الاسطوانة. يتمدد الهواء حسب العلاقة ($PV^{1.35}=C.$). وان سرعة الهواء يمكن اهمالها. والضغط الجوي فوق المكبس هو ($0.103\ MN/m^2$).

$$V_2 = A.L + V_1 = \frac{\pi.D^2}{4}.L + V_1$$

$$= \frac{\pi\times 0.6^2}{4}\times 1.2 + 0.085 = 0.424\ m^3$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.35} = 1\left(\frac{0.085}{0.424}\right)^{1.35}$$

$$= 0.114\ MN/m^2$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n - 1} =$$

$$= \frac{1\times 0.085 - 0.114\times 0.424}{1.35 - 1}$$

$$= 0.1049\ MJ$$

$$\Delta PE = mgz = 90\times 9.81\times 1.2 = 1060\ J$$

$$W = P_{atm}.V = P_{atm}.A.L$$

$$= P_{atm}.\frac{\pi.D^2}{4}.L$$

$$= 0.103\frac{\pi\times 0.6^2}{4}\times 1.2$$

$$= 0.0343\ MJ$$

$$\frac{mc^2}{2} = \left(0.1049 - 0.0343 - \frac{1060}{10^6}\right)10^6\ J$$

$$= 69540\ J$$

$$\therefore C = \sqrt{\frac{2.69540}{90}}$$

$$= \sqrt{1545} = 39.3\ m/s$$

(5.82)

اسطوانة تحتوي على ($0.085\ m^3$) من غاز ضغطه ($1.032\ bar$) ودرجة حرارته ($38°C$)، يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C$.) الى ($5.5\ bar$). أوجد الطاقة الحرارية المنتقلة، علماً أن:

Cv=0.75 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$= 311\left(\frac{5.5}{1.032}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} = 458\ K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{103.5\times 0.085}{0.287\times 311}$$

$$= 0.0985\ kg$$

$$\Delta U = mCv(T_2 - T_1)$$

$$= 0.0985\times 0.715\,(458 - 311)$$

$$= 10.35\ kJ$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.0985\times 0.287\,(311 - 458)}{1.3 - 1}$$

$$= -13.85\ kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 10.35 + (-13.85)$$

$$= -3.5\ kJ$$

(5.83)

غاز كتلته ($0.013\ kg$) موجود داخل اسطوانة نسبة إنضغاطها (14/1) ودرجة حرارته ($100°C$) عندما تكون العملية بولتروبية وتخضع للقانون ($PV^{1.3}=C$.). احسب الحرارة المنتقلة. علماً أن:

R=0.28 kJ/kg.K ، Cp=0.72 kJ/kg.K

$$Cv = Cp - R = 0.72 - 0.28$$

$$= 0.44\ kJ/kg.K$$

$$\gamma = Cp/Cv = 0.72/0.44 = 1.636$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 373(14)^{0.3}$$

$$= 823.28\ K$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.013\times 0.28\,(373 - 823.28)}{1.3 - 1}$$

$$= -5.463\ kJ$$

$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$

$$= (-5.463)\times\frac{1.636 - 1.3}{1.636 - 1}$$

$$= -2.886\ kJ$$

(5.84)

غاز حجمه ($0.14m^3$) وضغطه (1.38 bar) ودرجة حرارته (38°C) يضغط بولتروبياً وحسب العلاقة ($PV^{1.35}=C.$) الى (8.7bar). احسب (1) الحرارة والشغل المنتقلين (2) التغير في الطاقة الداخلية. علماً أن:

$\gamma=1.4$ ، $R=0.264$ kJ/kg.K

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.14\left(\frac{138}{870}\right)^{\frac{1}{1.35}}$$
$$= 0.0358\ m^3$$
$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$
$$= \frac{138\times 0.14 - 870\times 0.0358}{1.35-1}$$
$$= -33.788\ kJ$$

$$Q_{12} = W_{12}\times\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$
$$= 33.788\frac{1.4-1.35}{1.4-1}$$
$$= -4.223\ kJ$$
$$\Delta U = Q - W$$
$$= -4.223 + 33.788$$
$$= 29.564\ kJ$$

(5.85)

اسطوانة تحتوي على (0.07 kg) من مائع ضغطه (1 bar) وحجمه ($0.06\ m^3$) وطاقة داخلية نوعية (200 kJ/kg). ضغط حسب العلاقة ($PV^n=C.$) حتى اصبح ضغطه (9 bar) وحجمه ($0.0111\ m^3$) وطاقة داخلية نوعية (370 kJ/kg). احسب الشغل والحرارة المنتقلين؟

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n \Rightarrow \frac{1}{9} = \left(\frac{0.0111}{0.06}\right)^n$$
$$Ln\frac{1}{9} = n\,Ln\left(\frac{0.0111}{0.06}\right)$$
$$n = 1.302$$
$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$
$$= \frac{100\times 0.06 - 900\times 0.011}{1.302-1}$$
$$= -13.2\ kJ$$

$$\Delta U = m\Delta\mu$$
$$= 0.07(370-200)$$
$$= 11.9\ kJ$$
$$Q = \Delta U + W$$
$$= 11.9 + (-13.2)$$
$$= -1.3\ kJ$$

(5.86)

في الاجراء الادياباتي، اثبت ان ($\gamma = \frac{Cp}{Cv}$).

$$q - w = \Delta\mu$$
$$-w = \Delta\mu$$
$$\frac{R(T_2 - T_1)}{\gamma - 1} = Cv(T_2 - T_1)$$
$$\frac{R}{\gamma - 1} = Cv$$

$$\gamma - 1 = \frac{R}{Cv}$$
$$\gamma = \frac{R}{Cv} + 1 = \frac{Cp - Cv}{Cv} + 1$$
$$= \frac{Cp - Cv + Cv}{Cv}$$
$$\gamma = \frac{Cp}{Cv}$$

(5.87)

في اجراء اديباتي. اذا كان ($H_2 - H_1 = \gamma U$). اثبت ان (Cp=Cp)

$$H_2 - H_1 = \gamma U$$
$$(U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) = \frac{Cp}{Cv} mCv(T_2 - T_1)$$
$$\Delta U + mR(T_2 - T_1) = mCp(T_2 - T_1)$$
$$mCv\Delta T + mR\Delta T = mCp\Delta T$$
$$Cv + Cp - Cv = Cp$$
$$\therefore Cp = Cp$$

(5.88)

في اجراء اديباتي. اثبت ان (R=Cp-Cv)

$$Q - W = \Delta U$$
$$-W = \Delta U$$
$$\frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma - 1} = \Delta U$$
$$\frac{mR\Delta T}{\gamma - 1} = mCv\Delta T$$

$$R = Cv(\gamma - 1)$$
$$= Cv(\frac{Cp}{Cv} - 1)$$
$$= Cv(\frac{Cp - Cv}{Cv})$$
$$R = Cp - Cv$$

مسائل

(5.11)

هواء كتلته (1 kg) موجود تحت ضغط (1 bar) ودرجة حرارة (20°C) ضغط الغاز الى ($\frac{1}{4}$) حجمه الابتدائي. احسب حالة الهواء النهائية من ضغط وحجم ودرجة حرارة إذا تم الانضغاط في اجـ راء (أ) ايزوثرملي (ب) بولتروبي وبقيمة بولتروبية مقدارها (1.25). في أي اجراء سيكون للشغل اقل قيمـ ة. قارن ذلك مع الرسم على مخطط (P-V). علماً أن:

Cp=1 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

ج:(0.85 m^2 ، 0.2124 m^3 ، 4 bar ، -117.8 kJ ، 5.657 bar ، 414.36 K ، -140.78 kJ)

(5.12)

كمية من غاز كتلته (1 kg) وحجمه (0.1 m^3) في نظا مغلق. تمدد بتسخينه تحت ضغط ثابت حتـ ى ازدادت درجة حرارته بمقدار (50°C) وتضاعف حجمه. وكانت قراءة المانومتر المربوط في النظـ ام (20 cmHg). وفي اثناء الاجراء كانت قراءة البارومیتر (1.01 bar). احسب مقـ دار التغيـ ر فـ ي الانثالبي لهذا الاجراء والشغل المنجز. علماً أن:

$\delta Hg = 13600\ kg/m^3$ ، Cv=0.7 kJ/kg.K

ج:(37 kJ ، 12.77 kJ)

(5.13)

اسطوانة محرك ديزل. ضغطها (0.95 bar) وحجمها (14L) ودرجة حرارتهـ ا (100°C). النـ سبة الحجمية للأنضغاط ($\frac{14}{1}$). احسب:

(1) الشغل المنجز (2) التغير في الطاقة الداخلية (3) الحـ رارة المنتقلـ ة، اثنـ اء عمليـ ة انـ ضغاط بولتروبية، علماً أن:

n=1.3 ، Cp=0.72 kJ/kg.K ، R=0.28 kJ/kg.K

ج: (-5.352 kJ ، 2.516 kJ ، -2.818 kJ)

(5.14)

هواء ضغطه (1.2 bar) ودرجة حرارته ((20°C) سخن بثبوت الضغط بحيث اصبح حجمه ($0.4\ m^3$). ثم تمدد اديباتياً الى ان اصبحت درجة حرارته ((35°C). وكان الشغل المنتقل في الاجرائين متساوي فإذا علمت أن: $Cv=0.717\ kJ/kg.K$ ، $Cp=1.005\ kJ/kg.K$.

احسب: (1) حجم الغاز في البداية (2) كمية الحرارة المنتقلة للأجراءين (3) التغير في الطاقة الداخلية للأجراءين.

ج: ($0.368\ m^3$ ، 13.2 kJ ، 9.42 kJ ، -3.77 kJ)

(5.15)

هواء كتلته (0.2 kg) وضغطه (1.5 bar) ودرجة حرارته ((17°C). ضغط بولتروبياً وحسب العلاقة ($PV^{1.25}=C.$) الى ان اصبح ضغطه ضعف ما كان عليه في البداية. بعد ذلك تمدد في إجراء ايزوثرملي الى ان اصبح حجمه ($0.13\ m^3$). احسب (1) درجة الحرارة بعد الانضغاط (2) الشغل والحرارة المنتقلين عند الانضغاط (3) ضغط الغاز بعد التمدد (4) الحرارة المنتقلة عند التمدد واتجاهها. علماً أن:

$Cv = 0.717\ kJ/kg.K$ ، $Cp = 1.005\ kJ/kg.K$

ج: (13.64 kJ ، 1.47 bar ، -3.71 kJ ، -9.9 kJ ، 331 K)

(5.16)

غاز كتلته (0.5 kg) موجود في نظام مغلق. تمدد اديباتياً من ضغط (5 bar) ودرجة حرارة (100°C) الى ضغط (1.89 bar)، بحيث اصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البداية، ثم تمدد ايزوثرملياً الى (1 bar). فأذا كانت ($Cv=0.71\ kJ/kg.K$). ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب (1) حجم الغاز في بداية ونهاية الاجراء الاديباتي (2) الشغل والحرارة المنتقلين في الاجراءين (3) التغير في الطاقة الداخلية للأجراءين.

ج: ($0.107\ m^3$ ، $0.213\ m^3$ ، 32.57 kJ ، 25.63 kJ ، -32.33 kJ ، 0)

(5.17)

غاز حجمه ($0.03\ m^3$) وضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (15°C) يضغط اديباتياً الى $\left(\frac{1}{4}\right)$ حجمه الاول. ثم يبرد بثبوت الضغط الى ان تعود درجة حرارته (15°C). ثم يتمدد في اجراء اديباتي الى ضغط (1 bar). فإذا علمت ان ($\gamma=1.4$). ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب: (1) درجة الحرارة والحجم في نهاية التمدد (2) صافي الشغل المنتقل في الاجراءات.

ج: (165.4 K ، $0.01723\ m^3$ ، -4.75 kJ)

(5.18)

اسطوانة تحتوي على غاز ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته ((27°C):

(أ) اثناء العملية A تضاف حرارة بثبوت الحجم حتى يتضاعف الضغط وبعد ذلك يتمدد بثبوت الضغط حتى يصبح الحجم (3) اضعافه.

(ب) في اثناء العملية B نفس الغاز وبالحالة نفسها يتمدد بثبوت الضغط حتى يصبح الحجم (3) اضعاف، بعد ذلك تضاف حرارة بثبوت الحجم حتى يلتقي مع الحالة النهائية للعملية A. احسب للكيلوغرام الواحد ولكلا العمليتين: (1) صافي الحرارة (2) صافي الشغل (3) التغير في الطاقة الداخليه. علماً أن:

Cv = 0.744 kJ/kg.K ، R = 0.297 kJ/kg.K

ج:

(1116 kJ/kg ، 178.2kJ/kg, 1294.2kJ/k.g، 1116kJ/kg، 356.4kJ/kg، 1472.4kJ/kg)

(5.19)

هواء كتلته (0.5 kg) وضغطه (1.2 bar) وحجمه ($0.4\ m^3$). يضغط ايزوثرملياً، ثم يضغط اديباتياً بحيث تصبح درجة حرارته (200°C). احسب حجم الهواء في نهاية كل من الاجراءين اذا كان الشغل في الاجرائين متساوي. علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K

ج: ($0.06\ m^3$ ، $0.142\ m^3$)

(5.20)

غاز حجمه ($0.3m^3$) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (1bar). أضيفت اليه كمية من الحرارة بثبوت الحجم الى ان اصبحت درجة حرارته (100°C). ثم طرحت حرارة بثبوت الضغط مقدارها نصف الطاقة الحرارية التي اضيفت في الاجراء الاول. فاذا علمت ان (γ=1.4). وضح الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S). واحسب درجة الحرارة والحجم النهائي للغاز ومقدار الشغل المنتقل خلال كل إجراء.

ج: (344.3 K ، $0.277\ m^3$ ، -29.37 kJ)

(5.21)

(1kg) من الهواء داخل اسطوانة ضغطه ودرجة حرارته (1 bar) و (15°C) على التوالي. يضغط ادياباتياً الى $\left(\frac{1}{4}\right)$ حجمه الاول. فإذا كان الانضغاط (1) إنعكاسياً وفق العلاقة ($PV^{\gamma}=C_1$) (2) لا انعكاسياً بحيث اصبحت درجة الحرارة النهائية في هذه الحالة اكبر بمقدار (6.6°C) عن الحالة (1). اوجد التغير في مقدار الشغل المنتقل والانتروبي في الحالتين. علماً أن:

$\gamma=1.4$ ، $R=0.29$ kJ/kg.K

ج: (-154.5 kJ ، -159.3 kJ ، 0.0095 kJ/K)

(5.22)

(0.5 kg) من غاز ضغطه (1.5 bar) وحجمه (280L). ضُغط بولتروبياً الى ان اصبح حجمه (100L) تبعاً للعلاقة ($PV^{1.2}=C.$) واعيد الى حجمه الابتدائي بإجراء ايزوثرملي. ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) الضغط ودرجة الحرارة في نهاية كل إجراء (2) الشغل المنتقل والحرارة المنتقلة خلال كل اجراء. علماً أن:

Cv = 0.724 kJ/kg.K ، Cp = 1.02 kJ/kg.K

ج: (5.16 bar ، 360.88 K ، 1.84 bar ، -57.054 kJ ، 54.99 kJ)

(5.23)

هواء بداخل اسطوانة. النسبة الحجمية $\left(\frac{17}{1}\right)$. يضغط بظروف متشابهة في حالتين: (1) ايزوثرملياً. (2) بولتروبياً وفق القانون ($PV^{1.3}=C.$) احسب النسبة بين الحالتين لكل من الشغل والحرارة المنتقلين والضغط النهائي.

ج: (0.634 ، 10.85 ، 0.425)

(5.24)

اوكسجين حجمه (2L) وضغطه (2 bar) ودرجة حرارته (40°C) تمدد في نظام مغلق بثبوت الضغط الى ان اصبح حجمه ضعف حجمه الابتدائي. ضغط ايزوثرملياً الى ان عاد الى حجمه الابتدائي. ثم تمدد مرة اخرى بولتروبياً وفق القانون ($PV^{1.3}=C.$) بحيث اصبح حجمه ضعف حجمه الابتدائي ثانية. ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب (1) الشغل والحرارة المنتقلين (2) مقدار التغير في الطاقة الداخلية لكل إجراء. علماً أن:

Cv = 0.62 kJ/kg.K ، Cp = 0.92 kJ/kg.K

ج:

(0.4 kJ ، 0.482 kJ ، 1.44 kJ ، -0.534 kJ ، 0.0945 kJ ، 1.04 kJ ، 0 ، -0.389 kJ).

(5.25)

كتلة من الهواء موجودة في نظام مغلق تمددت بشكل لحظي (يمكن اعتباره اديباتياً) من ضغط مقداره (6 bar) الى (1.48 bar). ثم ترك الى ان عادت درجة حرارته الى ما كانت عليه في البداية بثبوت حجمه فارتفع ضغطه نتيجة لذلك الى (2.21 bar). اوجد قيمة (R) وارسم مخطط (P-V) علماً أن:

Cp = 1.005 kJ/kg.K

ج: (0.287 kJ/kg.K)

(5.26)

هواء موجود في نظام مغلق نسبته الحجمية (17). يضغط من نقطة واحدة في إجرائين الاول ايزوثرملي والثاني بولتروبي يخضع للعلاقة ($PV^{1.3}$=C.). احسب النسبة بين الشغل لكل من الاجرائين وكذلك النسبة بين الضغط النهائي لكل من الاجراءين.

ج: (0.634 ، 0.425)

(5.27)

غاز في نظام مغلق يتمدد ايزوثرملياً الى $\left(\frac{1}{6}\right)$ من ضغطه الابتدائي ومن نفس النقطة يتمدد اديباتياً حسب العلاقة ($PV^{1.36}$=C.) الى $\left(\frac{1}{6}\right)$ من ضغطه الابتدائي ايضاً. احسب النسبة بين الشغل الايزوثرملي والشغل الاديباتي.

ج: (1.72)

(5.28)

اسطوانة مغلقة بمكبس تحتوي على غاز مثالي تمدد في ظروف متشابهة في اجراءين الاول ايزوثرملي والثاني بولتروبي يخضع للعلاقة ($PV^{1.3}$=C.). وكانت النسبة بين الحجم الابتدائي والحجم النهائي$\left(\frac{1}{17}\right)$. احسب النسبة بين الحرارة المنتقلة لكل من الاجراءين. علماً أن:

$\gamma = 1.4$ ، $R = 0.293$ kJ/kg.K

ج: (5.97)

(5.29)

غاز في نظام مغلق حجمه ($0.106m^3$) ودرجة حرارته (100°C) تمدد اديباتياً بحيث اصبح ضغطه $\left(\frac{1}{3}\right)$ ما كان عليه في البداية. واصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البداية. ثم تمدد ايزوثرملياً بحيث كان الشغل المنجز في الاجراءين متساوي. احسب حجم الغاز في نهاية الاجراء الايزوثرملي.

ج: ($0.5\ m^3$)

(5.30)

غاز نتروجين موجود في نظام مغلق تحت ضغط مقداره (100bar) ودرجة حرارة مقدارها (600°C). ويشغل حجماً مقداره (1.31 L). تمدد بولتروبياً وأنتج شغلاً مقداره (28.65kJ). فإذا علمت ان الاس البولتروبي (n=1.3) اوجد درجة الحرارة والضغط والحجم في نهاية الاجراء.

ج: **(46 L ، 0.978 bar ، 27°C)**

(5.31)

هواء ضغطه (1.02 bar) ودرجة حرارته (268 °C). ضغط ايزوثرملياً، ثم ضغط اديباتياً الى ان اصبح ضغطه (51 bar) وحجمه ($0.032\ m^3$) ودرجة حرارته (1000°C). ارسم الاجراءات على مخطط (P-V) واحسب: (1) حجم الهواء قبل وبعد الانضغاط الايزوثرملي. (2) صافي الحرارة والشغل المنتقلين، علماً أن:

$R = 0.287\ kJ/kg.K$ ، $\gamma = 1.4$

ج: **($0.681\ m^3$ ، $0.272\ m^3$ ، -63.72 kJ ، -157.5 kJ)**

(5.32)

اسطوانة حجمها (300 L) تحتوي على اوكسجين ضغطه ($3.1\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (18°C). فتح الصمام واستعمل قسم من الغاز فأصبح ضغط الاوكسجين المتبقي في الاسطوانة ($1.7\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (15°C). بعد إعادة إغلاق الصمام إنتقلت حرارة بثبوت الحجم بحيث عاد الاوكسجين المتبقي الى درجة حرارته الابتدائية. فإذا علمت ان (γ=1.4)، (Cp=0.91 kJ/kg.K) للأوكسجين. احسب:

(أ) كتلة الاوكسجين المستعمل (ب) مقدار الحرارة المنتقلة خلال جدران الاسطوانة الى الاوكسجين بعد غلق الصمام (ج) ضغط الاوكسجين النهائي.

ج: **(1.72 MN/m^2 ، 10.725 kJ ، 5.5 kg)**

(5.33)

غاز في نظام مغلق كتلته (0.75 kg) وضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (20°C) ضغط بإجراء ايزوثرملي الى ان اصبح حجمه نصف حجمه الابتدائي وبعد ذلك ضغط بإجراء بولتروبي حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C$.) الى ان اصبح حجمه ربع حجمه الابتدائي. ارسم الاجراءين على مخطط (P-V)، إذا علمت أن: (Cv=0.718 kJ/kg.K) و (Cp=1 kJ/kg.K). احسب ما يلي:

أ- الحجم والضغط ودرجة الحرارة في نهاية كل إجراء.

ب- الشغل والحرارة المتبادلة بين النظام والمحيط في كل إجراء.

جـ- التغير في الطاقة الداخلية لكل إجراء.

ج:

(36.46 kJ، 11.3 kJ، 47.73 kJ، -43 kJ ،360.7K، 5bar، 2bar، 0.1549m3، 0.3098m3، $0.6197m^3$)

(5.34)

غاز مثالي موجود في نظام مغلق يمر في الاجراءات التالية:

(1) اضافة حرارة بثبوت الحجم ليرتفع ضغطه من (2 bar) الى (7 bar).

(2) تمدد اديباتي.

(3) إنضغاط ايزوثرملي ليعود الغاز الى حالته الابتدائية.

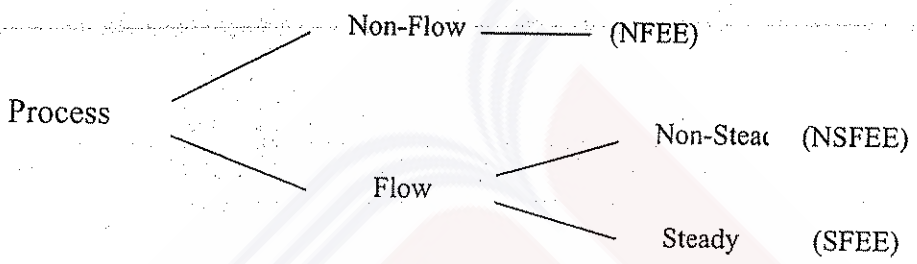
فإذا كان (Q_o) تمثل الحرارة المطروحة في الاجراء الايزوثرملي، وكانت (Q_{in}) تمثل الحرارة المضافة في اجراء ثبوت الحجم. احسب قيمة $\left(\frac{Q_o}{Q_{in}}\right)$ وارسم الاجراءات على مخطط (P-V).

ج: (0.5).

الفصل السادس – الأنظمة المفتوحة

(6.1)- الانظمة المفتوحة The Open Systems

ان الاجراءات في الانظمة تخضع للمخطط التالي:



سبق ان تمت مناقشة اجراءات عدم التدفق (Non-Flow) او الانظمة المغلقة ورمز معادلة الطاقة فيها (NFEE). وفي هذا الفصل سنناقش اجراءات التدفق (Flow Process) والانظمة المفتوحة، والتي من الممكن ان تكون تدفقاً غير منتظم (Non-Steady)، او تدفقاً منتظماً (Steady). يرمز لمعادلة الطاقة في التدفق المنتظم بـ (SFEE)، ويتميز بما يأتي:

1- يكون معدل التدفق الكتلي $(\dot{m})$ ثابتاً ومتساوياً عند المدخل والمخرج.

2- تدفق المائع وانتقال الحرارة والشغل يكون بمعدل زمني منتظم.

3- لا تتغير خواص المائع عند اية نقطة في النظام عند تغير الزمن.

4- عند اية نقطة في النظام يكون للمائع خاصية ثرموديناميكية كالـ (P، T، v) وخاصية ميكانيكية حيث تشمل سرعة المائع وارتفاعه فوق خط قاعدة معين. قد تتغير هاتان الخاصيتان، وقد تؤثران في الشغل والحرارة المنتقلين عبر الحدود.

ومن الامثلة على الانظمة المفتوحة، تمدد غاز عبر فوهة، بخار يتدفق عبر توربين، الماء الداخل الى مرجل والذي يتركه كبخار، غاز يضغط في ضاغط ... الخ.

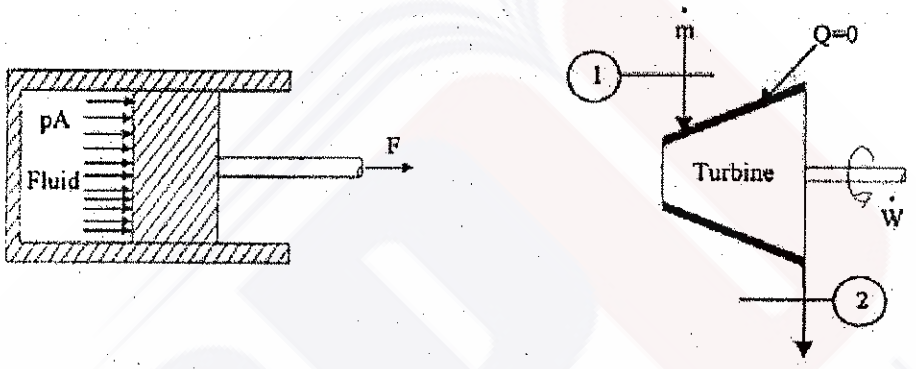
إن شكل (6.3-b) الذي سيرد ذكره فيما بعد، يوضح تدفق المائع في الانظمة المفتوحة.

(6.2)- الشغل الصافي Net Work

في الانظمة المفتوحة هناك نوعان من الشغل هما شغل عمود الادارة وشغل الجريان، موضحان في الفقرات الآتية:

(6.2.1)- شغل عمود الادارة Shaft Work

رمزه (Ws). ربما يتبادر الى الاذهان ان الشغل (W) في معادلة الطاقة هو مجرد شغل العمود (Ws). الا ان ذلك غير صحيح. فمصطلح شغل العمود يستعمل للدلالة على الشغل الخارجي المنتقل من او الى النظام (External Work Done) في اثناء جريان المائع خلال جهاز ما والذي ينقل بوساطة عمود يبرز من الجهاز، شكل (6.1)، يتحرك دورانياً، كما في الشكل (6.1-a) او ترددياً، كما في الشكل (6.1-b).



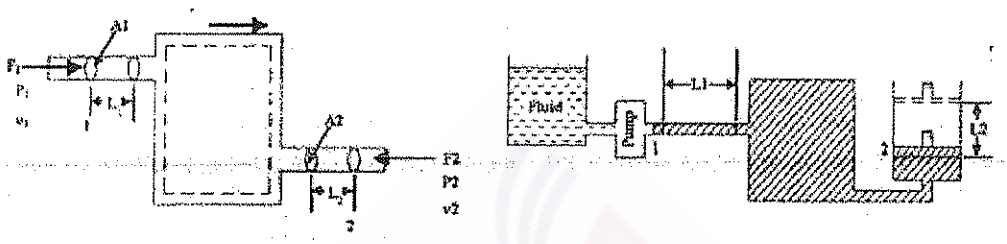
شكل (6.1)- شغل العمود (W_s)

(6.2.2)- شغل او طاقة الجريان Flow Work

هي الطاقة او الشغل الناتج بسبب جريان المائع. إن أي حجم من مائع يدخل او يخرج من او الى النظام يجب ان يزيح حجماً مساوياً له ليتسنى له الدخول او الخروج. عندئذٍ يكون الجريان مستقراً والكتلة المزيحة يجب ان تنجز شغلاً على الكتلة المزاحة، يسمى بشغل الجريان (Flow Work)، رمزه (W_{Flow}).

نفترض ان المائع يتدفق بأنتظام ضمن نظام مفتوح، كما في شكل (6.2-a)، حيث يدخل ويخرج بنفس المعدل $(\dot{m})$ وان شروط المائع عند الدخول (P_1) تمثل الضغط، ($\dot{V}_1$) حجم المائع المتدفق في الثانية الواحدة. وشروطه عند الخروج $(\dot{V}_2, P_2)$

وعندما يجري المائع من (1) الى (2) يكون على شكل اسطوانة مساحة مقطعها (A)، تتقلص او تتمدد تبعاً لتغير مساحة المقطع ودرجة الحرارة والضغط. إن اسطوانة المائع ستكون على طول المسار تحت تأثير قوتين او نوعين من الشغل الجريانى هما:-



(a) شغل جريان (b) شغل إزاحي

شكل (6.2)- انواع الشغل

1- الشغل الداخل $(W_{Flow})_{in}$: هو القوة المؤثرة في اسطوانة المائع بأتجاه الجريان. أي الشغل اللازم لدفع كيلو غرام واحد من المائع في الثانية الواحدة $(\dot{m})$الى داخل النظام لمسافة (L_1) ويساوي:

$$(W_{Flow})_{in} = F_1 L_1 = P_1 A_1 L_1 = P_1 \dot{V}_1 = P_1 v_1 \dot{m} \qquad \text{.....(6.1)}$$

واذا كانت (v) تمثل الحجم النوعي فسيكون الشغل النوعي، أي لكل (1kg/s) يساوي:

$$(w_{Flow})_{in} = P_1 v_1 \qquad \text{.....(6.2)}$$

2- الشغل الخارج $(W_{Flow})_{out}$: هو القوة المؤثرة بالاتجاه المعاكس لجريان اسطوانة المائع (F_2). أي الشغل اللازم لدفع كيلو غرام واحد من المائع في الثانية الواحدة $(\dot{m})$ الى خارج النظام لمسافة L_2 ويساوي:

$$(W_{Flow})_{out} = F_2 L_2 = P_2 A_2 L_2 = P_2 \dot{V}_2 = P_2 v_2 \dot{m} \qquad \text{.....(6.3)}$$

والشغل النوعي يكون:

$$(w_{Flow})_{out} = P_2 v_2 \qquad \text{.....(6.4)}$$

وعليه فأن مقدار التغير في طاقة او شغل الجريان النوعي يساوي:-

$$\Delta w_{Flow} = (w_{Flow})_{out} - (w_{Flow})_{in} \qquad \text{..... (6.5)}$$

$$\Delta w_{Flow} = P_2 v_2 - P_2 v_2 = \Delta P v \qquad \text{..... (6.6)}$$

وهكذا سيكون الشغل النوعي (w) في معادلة الطاقة هو المجموع الجبري للشغل المنتقل، أي الشغل النوعي الصافي (w_{net}) ويساوي:

$$w_{net} = ws + \Delta w_{Flow} = ws + \Delta P\nu \quad \text{..... (6.7)}$$

or

$$W_{net} = Ws + \Delta PV \quad \text{..... (6.8)}$$

اما الشغل الازاحي فهو الشغل الناتج بسبب إزاحة المائع والكتلة المزيحة تنجز شغلاً على الكتلة المزاحة، كما في شكل (6.2-b) لتزيح مكبساً من موقع لآخر، الشغل الازاحي ورمزه (Wdis.) يستخرج بالطريقة المذكورة آنفاً.

$$\Delta w_{net} = \Delta w_{Disp.} = P_2\nu_2 - P_1\nu_2 = \Delta P\nu \quad \text{..... (6.9)}$$

or

$$W_{net} = \Delta PV \quad \text{..... (6.10)}$$

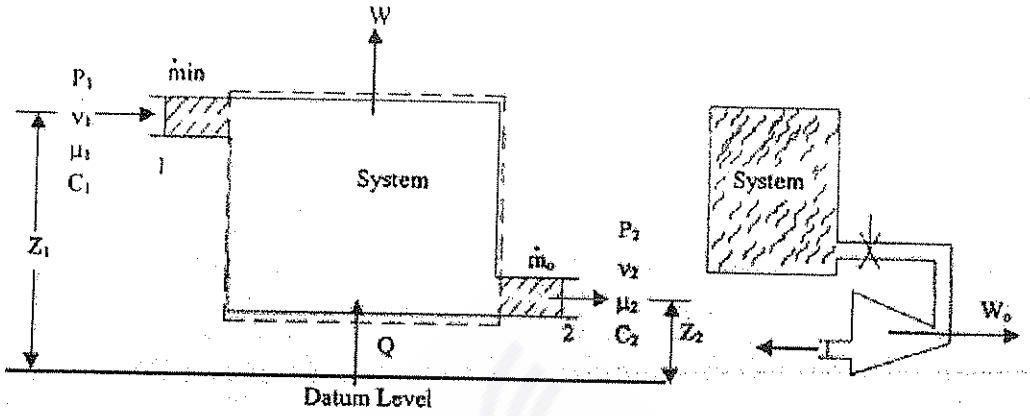
(6.3)- معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة Energy Equation for Open System

تنتقل الطاقة في هذه الانظمة بأشكالها المختلفة وكذلك الكتلة عبر الحدود. فإذا كانت الخواص والكتلة متغيرة أي ($\dot{m}_{in} \neq \dot{m}_{out}$) فتسمى المعادلة الطاقة للجريان غير المستقر (Unsteady Flow Energy Equation). يرمز لها إختصاراً (USFEE). إن هذا النوع من الجريان لا يهمنا كثيراً، شكل (6.3-a).

اما النوع الآخر والمهم من الجريان هو الجريان المستقر (Steady Flow)، والذي يصادفنا في التطبيقات الهندسية حيث تدخل وتخرج الكتلة بنفس المعدل، وكذلك الطاقة تنتقل بشكل مستقر، لذلك تسمى معادلة الطاقة بمعادلة الطاقة للجريان المستقر (Steady Flow Energy Equation) يرمز لها إختصاراً بـ (SFEE)، شكل (6.3-b).

إن الجريان المستقر يعني ان خواص المائع المتدفق في أي مقطع في النظام يجب ان تكون ثابتة ولا تتغير مع تغير الزمن. أي ان:

1. كتلة المائع المتدفق في وحدة الزمن ($\dot{m}$) ومعدل التدفق (Flow Rate) عبر أي مقطع في النظام ثابتة.
2. إنتقال الشغل او الحرارة يجب ان يتم بمعدل زمني منتظم، أي ان معدل الانتقال يكون ثابتاً كما في المحركات البخارية والتوربينات والثلاجات والضواغط وغيرها.



(a) جريان غير مستقر (b) جريان مستقر

شكل (6.3)- جريان الموائع

نفترض وجود نظام مفتوح، شكل (6.3-b) يجري خلاله المائع شد روطه عند الدخول $(P_1، v_1، \mu_1، C_1)$ وعند الخروج $(P_2، v_2، \mu_2، C_2)$. إن الطاقة الكلية للنظام ولكل $(1kg)$ تشمل:

1- طاقة او شغل الجريان (Pv).

2- الطاقة الداخلية (μ).

3- الطاقة الحركية $\left(\frac{C^2}{2}\right)$.

4- الطاقة الكامنة (gz).

فلو اضيفت كمية من الحرارة (q) الى النظام فسيتحول جزء منها الى شغل والجزء الآخر الى التغير في الطاقة الكلية. وإستناداً الى قانون حفظ الطاقة فإن:

الطاقة الخارجة (E_{out}) = الطاقة الداخلة (E_{in})

او الطاقة الكلية النهائية + شغل العمود (ws) = الطاقة الكلية الابتدائية + q

$$q + P_1v_1 + \mu_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1 = w_s + P_2v_2 + \mu_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2$$

$$q = (\mu_2 - \mu_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g\Delta z_{12} + \Delta Pv + w_s$$

$$q = \Delta\mu + \Delta KE + \Delta PE + \Delta Pv + w_s$$

هذه المعادلة عامة. فإذا كان النظام مغلق وبإهمال الطاقتين الحركية والكامنة فينتج معادلة رمزها (NFEE) وتعبيرها الرياضي:

$$q - (\Delta Pv + w_s) = \Delta\mu \quad \text{..... (6.11)}$$

$$\therefore\ q - w_{net} = \Delta\mu \quad \text{..... (6.12)}$$

وإذا كان النظام مفتوح فينتج معادلة رمزها (SFEE) وتعبيرها الرياضي:

$$q - w_s = \Delta\mu + \Delta P\nu = \Delta(\mu + P\nu) \quad \text{..... (6.13)}$$

$$\therefore q - w_s = \Delta h \quad \text{..... (6.14)}$$

إن معادلات الـ (NFEE) والـ (SFEE) تدعى احياناً بمعادلة الطاقة البسيطة.

إن الـ شغل والحـ رارة هما طاقـ ة وحـ داتهما جـ ول (J). امـ ا معـ دل الـ شغل($\dot{W}$) او الحرارة ($\dot{Q}$) المنتقلين فهما قدرة وحداتهما الـ واط ($W = \frac{J}{s}$) . فبعـ د ايجـ اد (w_s) او (q) بحـ سب المعادلات المذكورة آنفاً فتحسب القدرة كالتالي:

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot w_s \quad \text{.....(6.15)}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot q \quad \text{.....(6.16)}$$

حيث ان ($\dot{m}$) تمثل معدل تدفق المائع بوحدات (kg/s) . ويمكن كتابة (w_s) بدون ذكـ ر (s) أي (w) فقط.

(6.4)- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المفتوحة

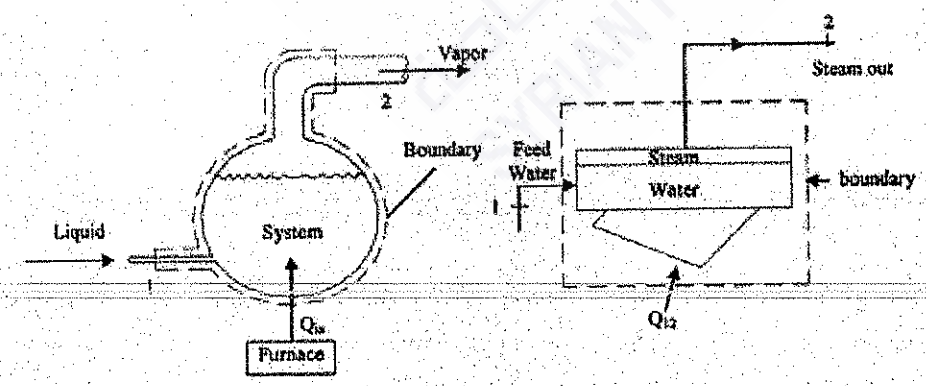
Application of the First Law of Thermodynamics on the Open System

إن عمليات التدفق التي تنطبق عليها معادلة الطاقة للأنظمة المفتوحـ ة (Energy Equation for Open System) تكون على نوعين: الاول ويسمى بعملية التدفق غيـ ر المـ ستقر (Unsteady Flow Process) والثاني وهو المهم ويسمى بعمليات التدفق المستقر (Steady Flow Process).

وهناك امثلة كثيرة على عمليات التدفق المستقر مثل: المرجل، المكثف، الضاغط، التـ وربين، المنفث، صمام الخانق ... الخ. وسنتناول هذه العمليات بشكل تفصيلي وكما يأتي:

(6.4.1)- المرجل والمكثفات البخارية Boiler & Steam Condenser

يتم في المرجل البخاري تحويل الماء الى بخار بدرجة حرارة وضغط مـ رتفعين. ولغـ رض المحافظة على مستوى الماء في المرجل تجهز مضخة التغذية ماءً بمعدل زمني يساوي المعدل الزمني لتدفق البخار من المرجل، شكل (6.4). ويجب تجهيز الفرق بالطاقة الحرارية بمعدل زمني منتظم لكي



شكل (6.4)- المرجل

يستمر إنتاج البخار بهذا المعدل وبضغط منتظم. تحت هذه الشروط تثبت خواص المائع في أي مقطع ضمن النظام بالنسبة للزمن. إن إجراءات التدفق في المرجل والمكثف الذي سنتحدث عنه لاحقاً تتميز بما يلي:

1- الفرق بين سرعتي الدخول والخروج للمائع صغير، لذا يمكن اهمال الطاقة الحركية.

2- سرعة المائع داخل النظام اصغر من سرعته عند المدخل والمخرج، لذا يهمل تأثير إحتكاك اللزوجة.

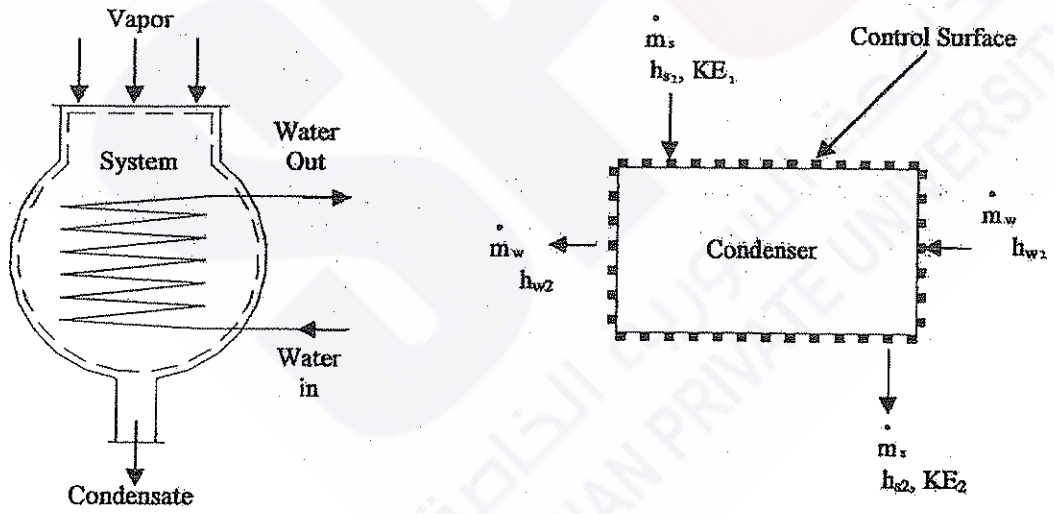
3- عند إفتراض عدم وجود إحتكاك، فسيكون الضغط ثابت عبر كامل الجهاز.

4- الارتفاعات الرأسية لفتحة الدخول والخروج متقاربة فتهمل الطاقة الكامنة. عليه تصبح معادلة الطاقة كما يأتي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta \dot{H}_{12} = \dot{m}_s (h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp\ (T_2 - T_1) \qquad \text{.....(6.17)}$$

أن الحرارة المضافة الى المرجل ($\dot{Q}_{in}$) والناتجة من حرق الوقود أكبر من الحرارة التي تحول الماء الى البخار ($\dot{Q}_{12}$) لذا فإن كفاءة المرجل الحرارية تعرف بالمعادلة الآتية:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m}_s (h_2 - h_1)}{\dot{m}_f . LCV} \qquad \text{.....(6.18)}$$



شكل (6.5)- المكثف

حيث ان ($\dot{m}_s$) كتلة البخار المتدفق بالـ (kg/s)، ($\dot{m}_f$) كتلة الوقود المحترقة بالـ (kg/s)، (LCV) القيمة الحرارية للوقود بالـ (kJ/kg).

اما المكثفات البخارية فمبدأ عملها عكس عمل المرجل البخاري. ففي المرجل البخاري كما اوضحنا هناك طاقة حرارية تجهز لتحويل السائل الى بخار. اما المكثف فيقوم بمهمة إنتزاع الطاقة

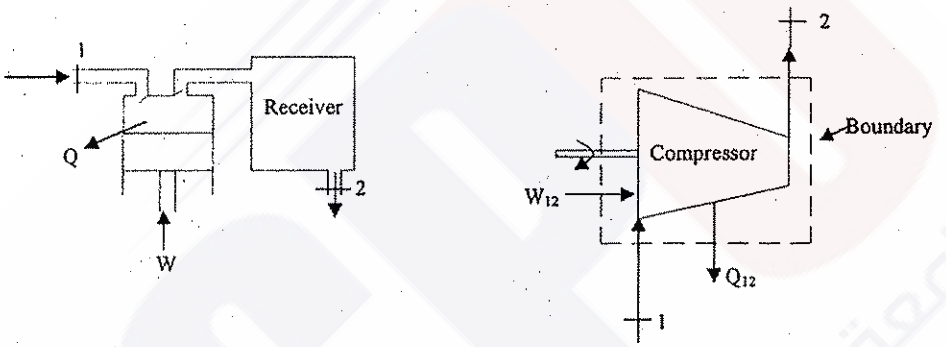
الحرارية من البخار لتحويله الى سائل. وفي حالة الاستقرار تكون كمية السائل المكثف التي تدعى بناتج التكثيف، شكل (6.5) والخارجة من المكثف مساوية لكتلة البخار الداخلة اليه. فعند إهمال الشغل والطاقة الحركية والكامنة فسينتج من معادلة الطاقة ان معدل الحرارة التي ينتزعها ماء التبريد تكافئ النقصان في الانثالبي الكلي للمادة الشغالة، أي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}_w(h_2 - h_1) = \dot{m}_w.Cp_w(T_2 - T_1) \qquad \text{.....(6.19)}$$

وبما أن $h_1 > h_2$، لذا تكون إشارة الحرارة سالبة، أي مفقودة.

(6.4.2)- الضاغط والتوربين Compressor & Turbine

يستعمل الضاغط جزءاً من الشغل المجهز من مصدر خارجي لرفع ضغط الغازات. اما الجزء

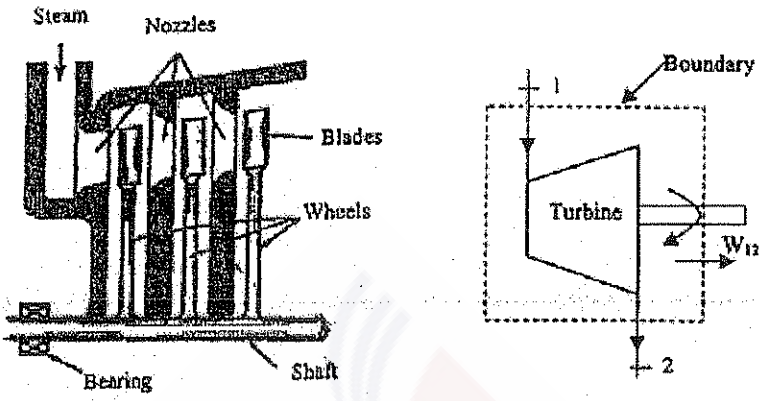


شكل (6.6)- الضاغط

الآخر فيتحول الى حرارة تنتقل الى الوسط المحيط كما موضح في شكل (6.6).

ان التوربين البخاري او الغازي مثل المحرك الترددي تتحول فيه بعض طاقة المائع الى شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. الا انه في حين يتم تمدد المائع في المحرك الترددي في نظام مغلق لا جرياني، فإنه في التوربين يكون كنظام مفتوح ذي الجريان المستقر.

عمل التوربين عكس عمل الضاغط حيث يتدفق المائع ويتمدد سريعاً في التوربين مسبباً دوران الزعانف وتدوير عمود التوربين الذي يستغل لتدوير حمل خارجي كمولدة كهربائية مثلاً شكل (6.7).



شكل (6.7)- التوربين

إن إجراءات التدفق في الضاغط والتوربين تتميز بما يأتي:

1- سرعة تدفق المائع وعدم توفر الوقت الكافي للتبادل الحراري، مما يجعل الاجراء اديباتياً، أي ان (Q=0).

2- عدم وجود فرق كبير بين سرعتي الدخول والخروج للمائع فتهمل الطاقة الحركية.

3- تقارب الارتفاعات الرأسية لفتحتي الدخول والخروج لذا تهمل الطاقة الكامنة. عليه تصبح معادلة الطاقة كما يأتي:

$$-\dot{W}_s = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}\,(h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp.(T_1 - T_2) \qquad .....(6.20)$$

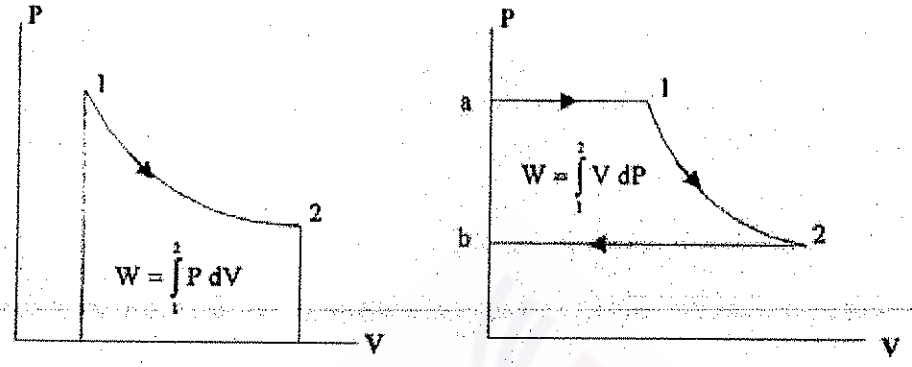
إن الـ $(\dot{W}_s)$ يمثل معدل شغل العمود المنتقل عبر حدود النظام.

(6.4.3)- تسلسل العمليات في الضاغط والتوربين

Theoretical Sequence of Processes

عند دراستنا للشغل الازاحي في الانظمة المغلقة، اتضح لنا ان المساحة الموجودة تحت منحني الاجراء على مخطط (P-v) يمثل الشغل المنتقل، كما في الشكل (6.8-a). وحسابه يخضع للمعادلة التكاملية لتفاضل دالة الحالة (dv)، أي:

$$w = \int_1^2 P\,dv$$



(a) نظام مغلق (b) نظام مفتوح

شكل (6.8)– الشغل الإزاحي في الأنظمة

اما بالنسبة للأنظمة المفتوحة فإن الشغل يمثل المساحة المحصورة بتسلسل العمليات التي يكون جزء منها جرياني من (a) الى (1) او من (2) الى (b)، والجزء الاخر لا جرياني من (1) الى (2) كما في شكل (6.8-b). وحسابات الشغل يخضع للمعادلة التكاملية لتفاضل دالة الحالة (dP)، أي:

$$w_T = \int_1^2 dP\nu = Pd\nu + \nu dP \qquad \text{.....(6.21)}$$

يتكون التسلسل النظري للعمليات في الضاغط من (3) عمليات، كما في شكل (6.9) نوجزها كما يأتي:

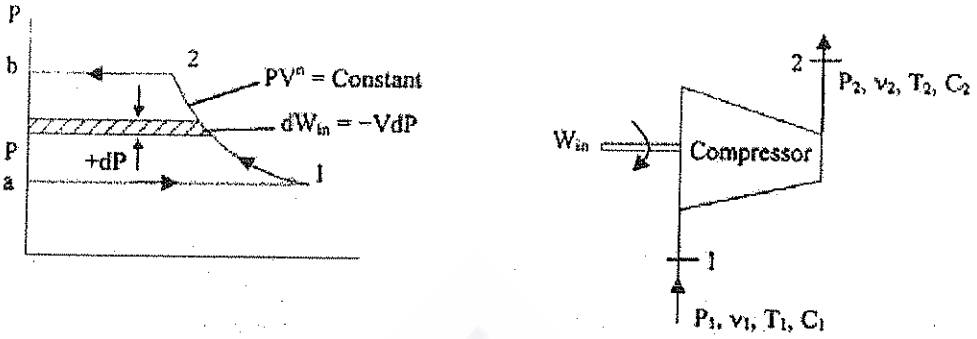
1- عملية سحب من (a) الى (1) بثبوت الضغط، حيث يتدفق الغاز الى الضاغط والذي يمكن تصوره عبارة عن مكبس واسطوانة. وبما ان (Va=0) فسيكون:

$$w_{ai} = P\Delta\nu = P_1(\nu_1 - \nu_a) = P_1\nu_1 \qquad \text{.....(6.22)}$$

2- إنضغاط اديباتي من (1) الى (2) ويكون:

$$q^{=0} - w = \Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$$

$$w = \mu_1 - \mu_2 \qquad \text{.....(6.23)}$$



شكل (6.9)- التسلسل النظري للعمليات في الضاغط

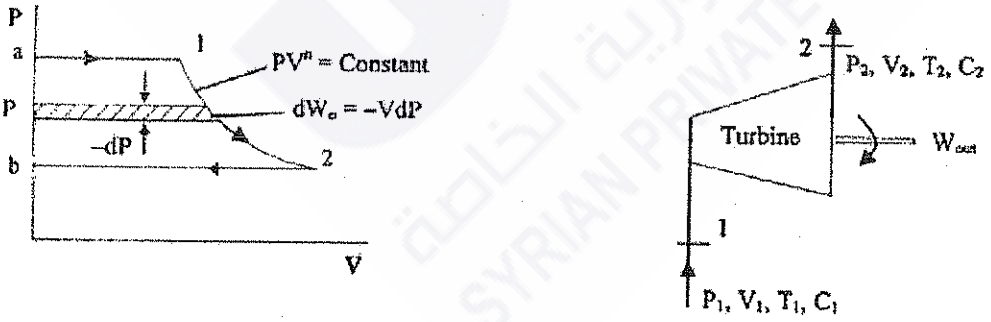
3- عملية دفع من (2) الى (b) بثبوت الضغط، حيث يندفع الغاز الى الخارج. وبما إن $(V_b=0)$ فسيكون:

$$w_{2b} = P\Delta v = P_2 (v_b - v_2) = - P_2 v_2 \qquad \ldots\ldots\ldots (6.24)$$

والشغل الكلي المنتقل هو مجموع الشغل المنتقل خلال العمليات الثلاث، أي:

$$\begin{aligned} w_T &= P_1 v_1 + (\mu_1 - \mu_2) + (-P_2 v_2) \\ &= (P_1 v_1 + \mu_1) - (P_2 v_2 + \mu_2) \\ &= h_1 - h_2 \qquad \ldots\ldots\ldots (6.25) \end{aligned}$$

إن عمليات الضاغط عكس التوربين، كما موضحة في الشكل (6.10).



شكل (6.10)- التسلسل النظري للعمليات في التوربين

إشتقاق معادلة الشغل في الانظمة المفتوحة (ضاغط)

1- Adiabatic Process

$$w_{12} = -\int_1^2 \nu dP \qquad \text{.....(6.26)}$$

$$= -\int_1^2 \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}} . dP = -\int_1^2 C^{\frac{1}{\gamma}} . P^{-\frac{1}{\gamma}} . dP \qquad \because P\nu^{\gamma} = C.$$

$$\therefore \nu = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$= -C^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{P^{-\frac{1}{\gamma}+1}}{-\frac{1}{\gamma}+1}\right]_{P_1}^{P_2} = -\left(P\nu^{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2}$$

$$= -\left[\frac{P^{\frac{1}{\gamma}} . P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} . \nu^{\gamma.\frac{1}{\gamma}}}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2} = -\left[\frac{P.\nu}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2}$$

$$= -\frac{\gamma(P_2\nu_2 - P_1\nu_1)}{\gamma-1} = -\frac{\gamma R(T_2 - T_1)}{\gamma-1} \qquad \text{.....(6.27)}$$

2- Isothermal Process

$$w_{12} = -\int_1^2 \nu dP \qquad \text{.....(6.28)}$$

$$\because P\nu = C.$$

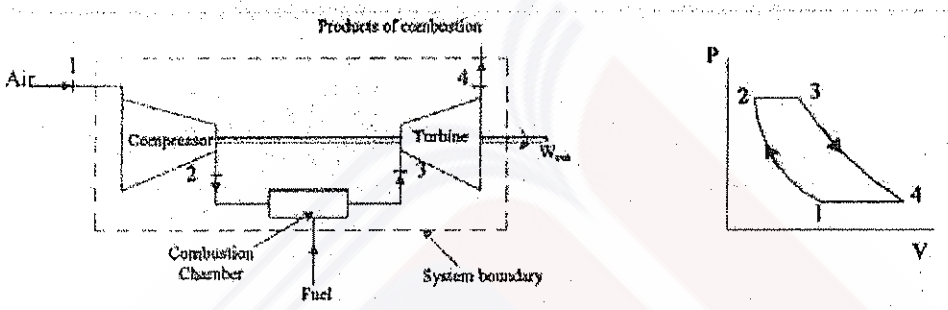
$$= -\int_1^2 C\frac{dP}{P} = -C\,Ln\frac{P_2}{P_1} \qquad \therefore \nu = \frac{C}{P}$$

$$= -P\nu\,Ln\frac{P_2}{P_1} = -RT\,Ln\frac{P_2}{P_1} \qquad \text{.....(6.29)}$$

(6.4.4)- التوربينات الغازية Gas Turbines

تتميز التوربينات الغازية ببساطتها في التركيب، واستعمالها انواع رخيصة من الوقود وعدم حاجتها الى ماء تبريد. لذا تستخدم في محطات توليد الطاقة، القاطرات، السفن، السيارات، ومنظومات دفع للطائرات المتوسطة السرعة والطائرات العمودية.

في الطائرات يقوم التوربين بتشغيل ضاغط الهواء ويستخدم بقية القدرة في إدارة مروحة



(a) تدوير ضاغط ومروحة (b) تسلسل العمليات

شكل (6.11)- التوربين الغازي في طائرة

الطائرة الدفعية، لذا يسمى هذا المحرك بالمحرك المروحي التوربيني، حيث يركب التوربين والضاغط على نفس عمود تدوير المروحة، كما في شكل (6.11-a). اما تسلسل العمليات لدورة الهواء المثالية والموضحة في شكل (6.11-b) تكون كما يأتي:

1-يضغط الهواء اديابانياً في الضاغط (2→1).

2- تضاف حرارة (3→2) بثبوت الضغط.

3-يتمدد الهواء اديابانياً في التوربين (4→3)، فيقوم بتشغيل الضاغط وإنتاج قدرة فائضة (W_{out}).

4-طرد حرارة بثبوت الضغط (1→4) حتى يعود الهواء الى حالته الاصلية. والمثال التالي يوضح المناقشة المذكورة آنفاً.

مثال (6.1)

هواء ضغطه (101 kPa) ودرجة حرارته (27°C). يضغط اديابانتياً في ضاغط بحيث تكون نسبة الضغط (5/1)، ثم يكتسب حرارة في مبادل حراري بثبوت الضغط بحيث تصبح درجة حرارته (1050°C) ثم يدخل الهواء الى توربين ليتمدد ويقوم بتشغيل الضاغط مع انتاج طاقة فائضة ويعود الى ضغطه الابتدائي. اوجد لكل (1kg) من الهواء: (أ) الشغل الصافي. (ب) كفاءة المنظومة. علماً أن: $\gamma=1,4$ ، $Cp=1,004\ kJ/kg.K$

-إستناداً الى شكل (6.11) فسيكون:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300\,(5)^{\frac{0.4}{1.4}} = 475.4\ K$$

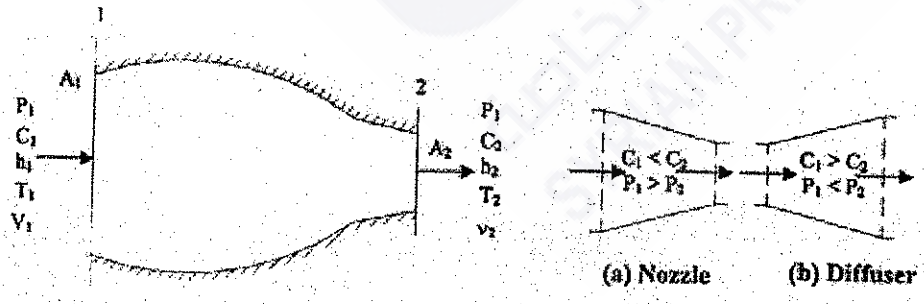
$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1323\left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 835.4\ K$$

$$w_T = C_p\,(T_3-T_4) = 1.004\,(1323-835.4)$$
$$= 489.67\ kJ/kg$$
$$w_c = C_p\,(T_1-T_2)$$
$$= 1.004\,(300-475.4) = -175.92\ kJ/kg$$
$$w_{net} = w_T + w_c$$
$$= 489.67 + (-175.92) = 313.75\ kJ/kg$$

$$q_{in} = C_p\,(T_3-T_2)$$
$$= 1.004\,(1323-475.37)$$
$$= 851.17 kJ/kg$$
$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{313.75}{851.17} = 0.369$$

6.4.5 المنفث (البوق) والناشر (المبدد) Nozzle & Diffuser

هي عبارة عن انابيب دائرية مساحة مقطعي الدخول والخروج فيها متغيرة. فالمنفث، شكل (6.12-a)، مصمم بحيث ينتج عنه انخفاض الضغط من المدخل الى المخرج مما يؤدي الى تسارع تدفق المائع. اما الناشر، شكل (6.12-b)، عكس المنفث، فهو مصمم بحيث ينتج عنه إزدياد الضغط من المدخل الى المخرج، مما يؤدي الى إنخفاض سرعة التدفق، أي الحصول على اقصى قيمة للضغط



شكل (6.3)- المنافث أو النوزلات (البوق)

على حساب انخفاض السرعة. وللمنافث اهمية كبيرة في توليد قوة دفع لمآخذ الطائرات والمركبات والصواريخ وكذلك في تشغيل التوربينات البخارية، فمثلاً البخار الخارج من المرجل بسرعة صغيرة تزداد سرعته بتدفقه خلال المنفث قبل إصطدامه بريش التوربين، وهذا يعني ان فترة تواجد المائع في المنفث قصيرة، لذا لا يتوفر الوقت الكافي للتبادل الحراري بين النظام والمحيط، لذلك يعد التمدد اديباتي، أي ($q=0$). لا يحتوي المنفث على أجزاء متحركة فلا يحصل إنتقال شغل، أي ($w=0$). والاختلاف بين الارتفاعات الرأسية صغيرة، أي ($\Delta PE=0$). اما السرعة الابتدائية (C_1) يمكن إهمالها لكونها صغيرة مقارنةً بالسرعة النهائية (C_2). لذا تصبح معادلة الطاقة للمنفث او الناشر كما يأتي:

$$0 = \Delta h_{12} + \Delta KE_{12} \qquad \text{.....(6.30)}$$

$$= \Delta h_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$$

$$\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12} \qquad \text{.....(6.31)}$$

وكما مر بنا سابقاً عند دراستنا للطاقة الحركية فإن $(kJ/kg = 10^3 m^2/s^2)$ وإذا كانت الـ (Δh) بوحدات (kJ/kg) فستكون المعادلة (6.31) كالتالي:

$$C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2kJ/kg \cdot \frac{10^3 m^2/s^2}{kJ/kg} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2\times 10^3 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2\times 10^3 \Delta h_{12} \qquad \text{.....(6.32)}$$

وبالتالي فإن السرعة (C) ستكون بوحدات $(\frac{m}{s})$.

مثال (6.2)

1- هواء درجة حرارته (35°C) يدخل منفث بسرعة (0.7m/s) ويخرج بدرجة حرارة (10°C). احسب سرعة الخروج، إذا كان $C_p = 1.005\ kJ/kg.K$

$$\Delta h_{12} = C_p(T_2 - T_1) = 1.005(10 - 35) = -25.125\frac{kJ}{kg}$$

t_1=35°C, t_2=10°C, C_1=0.7m/s, C_2=?

$$C_2 = \sqrt{C_1^2 - 2000\Delta h_{12}}$$

$$= \sqrt{(0.7)^2 - 2000\times(-25.125)} = \sqrt{0.49 + (50250)}$$

$$= 224.166\frac{m}{s}$$

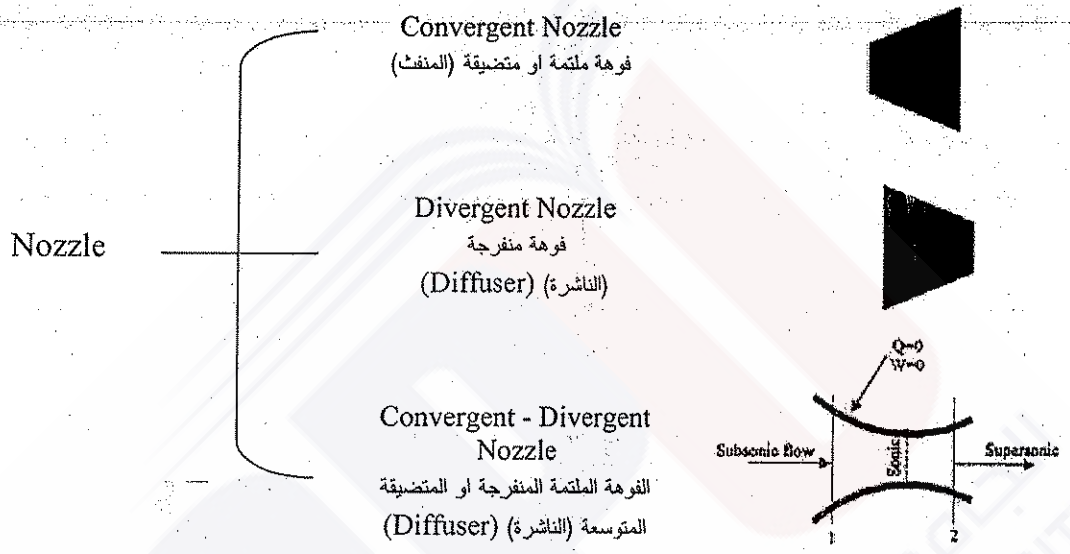
2- عند إفتراض ان السرعة الابتدائية صفر في السؤال السابق. احسب السرعة النهائية.

$$C_2 = \sqrt{0 - 2000\Delta h_{12}} = \sqrt{0 - 2000(-25.125)} =$$

$$= \sqrt{50250} = 224.165\frac{m}{s}$$

بالنسبة للغازات الحقيقية والابخرة، لا يمكن تطبيق قوانين الغاز المثالي، ويتم حساب (Δh) بالرجوع الى جداول الخواص. اما بالنسبة للغازات المثالية فإن التمدد في المنفث ادياباتي، يخضع للعلاقة ($PV^{\gamma} = C.$).

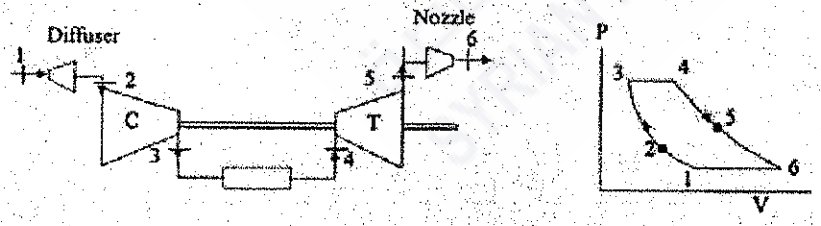
والمخطط التالي يبين الانواع المختلفة للمنافث والناشرات



(6.4.6)- محرك الطائرة الدفعي (النفاث) Air Craft Propulsion

في الطائرات ذات السرعات العالية، التي تزيد سرعتها على (800Km/h)، تستخدم المحركات التوربينية الدفعية للحصول على قوة الدفع تسمى بالمحركات النفاثة الموضحة اجزاءها في الشكل (6.13-a). وتسلسل عملياتها موضحة في شكل (6.13-b)، وهي كالتالي:

1- يدخل الهواء الناشرة بسرعة عالية. تتحول الطاقة الحركية للهواء الى محتوى حراري يؤدي الى زيادة في الضغط (2→1). يضاف الى ضغط الضاغط (3→2) في عملية إضغاط تسمى لاجراء



(a) أجزاء المحرك النفاث (b) تسلسل العمليات

شكل (6.13)- المحرك التوربيني الدفعي(النفاث)

2- يحترق الوقود في غرف الاحتراق بثبوت الضغط ($P_3=P_4$) حيث يزداد حجم الغازات (4→3).

3- تتمدد الغازات في التوربين فيقوم بتشغيل الضاغط فقط (5→4). اما الطاقة المتبقية لهذه الغازات فتتمدد في المنفث (6→5) وتخرج بسرعة عالية جداً مسببة قوة دفع محورية تعمل على دفع الطائرة. إن الاجراء (6→5→4) اديباتياً. إن قوة الدفع تستلم من المنفث نفسه، فيقال ان الطائرة ذات دفع نفاث.

التحليل المذكور آنفاً مثالي، يستعمل فيه الغاز المثالي ويهمل التغير في الحرارة النوعية والتغير في الكتلة خلال الاحتراق. وفي التحليل لا يوجد فرق إذا كانت الطائرة تتحرك خلال الهواء الساكن بسرعة (200m/s) او المحرك ثابت ويدخل اليه الهواء بسرعة (200m/s) كحركة نسبية.

إن الهواء يدخل الناشرة ويخرج من المنفث بسرعة عالية جداً. اما الهواء الخارج من الناشرة والداخل الى المنفث فسرعته منخفضة يمكن إهمالها لتسهيل الحسابات. لذا فإن الفرق بين (C_6) و (C_1)، شكل (6.13-a)، سيتحول الى قوة دفع للطائرة (F). فإذا كان (a) تمثل التعجيل فسيكون:

$$a = \frac{C_6 - C_1}{t} \qquad \text{.....(6.33)}$$

$$F = m \cdot a = \frac{m}{t}(C_6 - C_1) = \dot{m}(C_6 - C_1) \qquad \text{.....(6.34)}$$

هذه المعادلة تطبق عندما يكون التمدد كامل. والمثال التالي يوضح المناقشة المذكورة آنفاً.

مثال (6.3)

طائرة تطير بسرعة (800Km/h). يدخل الهواء الناشرة بدرجة حرارة (-24,6°C) وضغط (46.6kPa). ثم يضغط اديابانياً في ضاغط الى (280kPa). بعد ذلك يدخل مبادل حراري ليكتسب حرارة بثبوت الضغط ولتصبح درجة حرارته (1090°C). ثم يتمدد اديابانياً في توربين فيقوم بتشغيل الضاغط. ويدخل الى منفث ليتمدد ويعود الى ضغطه الابتدائي. كان التمدد والانضغاط في المنظومة اديابانياً. اهمل سرعة الهواء عند مخرج الناشرة ومدخل المنفث. اهمل طاقة الوضع في المنظومة. فإذا كان معدل جريان الهواء (95 kg/s). احسب:

(1) سرعة الهواء عند الخروج من المنفث. (2) قوة الدفع. علماً بأن:

$$Cp = 1.004\ kJ/kg.K$$
$$\gamma = 1.4$$

انظر شكل (6.13)

$$C_1^2 = \frac{800 \times 100}{3600} = 222.2\ m/s$$

$$C_1^2 = 2000\,\Delta h_{12} = 2000\,Cp\,\Delta t_{12}$$

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{(222,2)^2}{2000 \times 1.004}$$
$$= 24.6^\circ C = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \Delta t_{12} + t_1 = 24.6 + (-24.6) = 0^\circ C$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 46.6\left(\frac{273}{248.6}\right)^{\frac{1.4}{0.4}}$$
$$= 64.8\ kPa$$

$$T_3 = T_2\left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 273\left(\frac{280}{64.8}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$
$$= 414.94\ K$$

$$w_T = w_C = Cp\,(T_3 - T_2)$$
$$= 1.004\,(414.94 - 273) = 142.36\ \frac{kJ}{kg}$$

$$w_T = Cp\,(T_4 - T_5) \Rightarrow 142.36$$
$$= 1.004\,(1336 - T_5)$$
$$T_5 = 1221.36\ K$$

$$P_5 = P_4\left(\frac{T_5}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 280\left(\frac{1221,36}{1336}\right)^{\frac{1.4}{0.4}}$$
$$= 190.64\ kPa$$

$$T_6 = T_5\left(\frac{P_1}{P_5}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 1221.36\left(\frac{46.6}{190.64}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$
$$= 816.52\ K$$

$$C_6 = \sqrt{2000\,Cp\,(T_6 - T_5)}$$
$$= \sqrt{2000 \times 1.004\,(816.52 - 1221.36)}$$
$$= 901.6\ m/s$$

الفرق بين (C_6، C_1) يتحول الى قوة دفع، أي:

$$F = \dot{m}\,(C_6 - C_1)$$
$$= 95\,(901.6 - 222.2) = 64.54\ N$$

مثال (6.4)

طائرة تطير بسرعة (200 m/s). يدخل الهواء الناشرة بدرجة حـ رارة (-33°C) ومـ ساحة مقطـ ع الدخول ($0.6m^2$). يضغط الهواء اديابانياً في ضاغط الى (9) اضعاف ضغطه الاخير. ثم يدخل الـ ى غرفة الاحتراق ويتمدد في توربين، ثم يتمدد في منفث ليخرج بدرجة حـ رارة (558K) مـ ن فوهـ ة مساحة مقطعها ($0.4m^3$) ليعود الى ضغطه الابتدائي. فإذا كان الاد ضغاط والتمـ دد فـ ي المحـ رك (المنظومة) اديابانياً. اهمل الطاقة الكامنة واحسب:

(1) كتلة الهواء المتدفقة (2) شغل التوربين (3) قوة الدفع (4) كفاءة المنظومة الحرارية.

$Cp = 1.004\ kJ/kg.K$

$\gamma = 1.4$

الاستعانة بشكل (6.13)

$$\dot{m}_1 = \rho_1 A_1 C_1 = \frac{P_1}{RT_1} \times A_1 C_1$$

$$= \frac{50}{0.287 \times 240} \times 0.6 \times 200$$

$$= 87.11 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_6 = 87.11 = \frac{P_6}{RT_6} \times A_6 C_6$$

$$= \frac{50}{0.287 \times 558} \times 0.4 \times C_6$$

$$C_6 = 697.5\ m/s$$

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{200^2}{2008} = 19.9$$

$$t_2 = \Delta t_{12} + t = 19.9 + (-33)$$

$$= -13^\circ C \Rightarrow T_2 = 260\ K$$

$$T_3 = T_2 \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 260(9)^{0.286} = 487\ K$$

$$w_T = w_C = Cp\,(T_3 - T_2)$$

$$= 1.004\,(487 - 260) = 227.9 \frac{kJ}{kg}$$

الفرق بين C_6, C_1 يتحول الى قوة دفع، أي:

$$F = \dot{m}\,(C_6 - C_1) = 87.11\,(697.5 - 200)$$

$$= 43.3\ N$$

$$P = \frac{a}{t} = F.C$$

$$P = 43.3 \times 200 = 8.66 \times 10^6\ W$$

$$\dot{Q}_{16} = \dot{W}_{16} + \dot{m}\left[Cp(T_6 - T_1) + \frac{C_6^2 - C_1^2}{2000}\right]$$

$$= 87.11\left[1.004(558 - 240) + \frac{697.5^2 - 200^2}{2000}\right]$$

$$= 4.8 \times 10^4\ kW$$

$$\eta_{th} = \frac{8.66 \times 10^3}{4.8 \times 10^4} = 18\%$$

(6.4.7)- معادلة الاستمرارية Continuity Equation

تستخدم بكثرة في مجالات تدفق الموائع، تعبر عن مبدأ حفظ الكتلة في التدفق المنتظم، وهي مبنية على اساس ان كتلة المائع المتدفق عبر أي مقطع خلال زمن معلوم لا تتغير، إذ انها مبنية على الافتراضات الآتية:

1- تبقى خواص المائع ثابتة عند المدخل، وفي أي نقطة داخل النظام، وعند المخرج بسبب انتقال الحرارة والشغل عبر الحدود بمعدل ثابت.

2- تساوي معدل التدفق الكتلي $(\dot{m})$ (Mass Flow Rate) عند الدخول والخروج إشارة الى شكل (6.12). فإن $(\dot{m})$ بوحدات (kg/s) تكون ثابتة عبر أي مقطع في المنفث. فإذا كان (A) تمثل مساحة المقطع $(A = \frac{\pi D^2}{4})$ بالـ (m^2)، وان (D) قطر الفوهة بالـ (m)، و (C) السرعة بوحدات (m/s) و (ρ) كثافة المائع بالـ (kg/m^3) فسيكون:

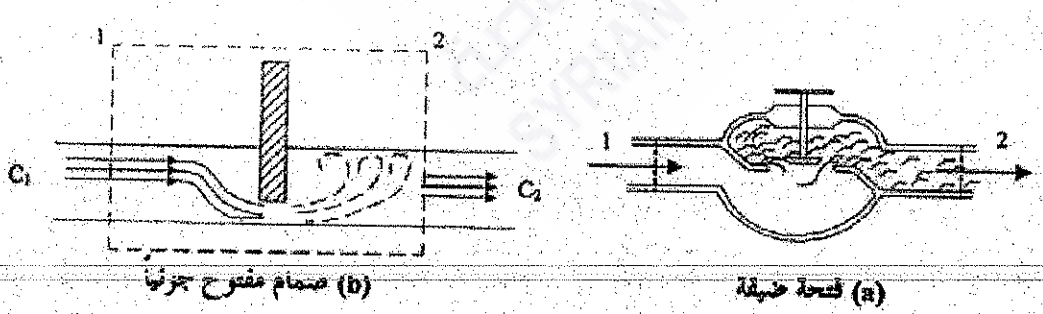
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = Const. \qquad .....(6.35)$$

$$A_1 C_1 \rho_1 = A_2 C_2 \rho_2 = AC\rho = Const \qquad .....(6.36)$$

(6.4.8)- انواع اخرى في الانظمة المفتوحة

1- صمام الخانق (الخنق) Throttle Valve (Throttling)

عند جريان مائع خلال فتحة ضيقة، كما في شكل (6.15-a) او خلال صمام مفتوح جزئياً، كما في الشكل (6.15-b)، عندئذٍ يقال بأن المائع قد خنق، لذلك سوف ينقص ضغطه، وبسبب احتكاك المائع مع حافة ممر العبور تتولد حرارة، لكن هذه الحرارة صغيرة يمكن إهمالها بسبب التدفق السريع للمائع، وخلال مسافة قصيرة بحيث لا يكون هناك وقت كاف ولا مساحة كافية لأنتقال الحرارة، لذلك يعد الخنق اجراءً اديباتياً، أي (q=0). وبسبب عدم وجود اجزاء متحركة فإن التمدد سيتم من دون مقاومة لذلك فان (w=0). وكذلك فإن الفرق بين (C_1) و (C_2) صغيراً خاصةً إذا كان المقطعين



(b) صمام مفتوح جزئياً (a) فتحة ضيقة

شكل (6.15)- صمام الخانق

متساويا المساحة، لذلك تهمل الطاقة الحركية، طالما ان السرعة البالغة (30 m/s) تكافئ (0.5 kJ/kg) مقارنةً بقيمة المحتوى الحراري ذي القيمة (2500 kJ/kg) اذا كان المائع هو البخار مثلاً. وعليه فإن معادلة الطاقة:

$$h_1 = h_2 \qquad \text{..... (6.37)}$$

بالنسبة للغاز المثالي يكون المحتوى الحراري (h=CpT)، وبما ان (Cp=Const.)، عليه فلن يكون هنالك تغير في درجات الحرارة عند خنق الغاز المثالي. اما عند خنق غاز حقيقي فسيكون هناك بصورة عامة هبوط في درجة الحرارة.

2- محرك الاحتراق الداخلي Internal Combustion Engine

يقوم بإنتاج شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. أي ان جزء من الطاقة الكيميائية للوقود يتحول الى شغل ميكانيكي. ان محرك الاحتراق الداخلي آلة ذات دورة مفتوحة (Open Circuit)، وذات جريان شبه مستقر (quasi-steady Flow) لكن يعامل كآلة ذات جريان مستقر (Steady Flow) لانه معظم المحركات متعددة الاسطوانات ، وان نبضات الجريان تخمد خلال شوط السحب بواسطة مرشحات الهواء (Air Filters) وخلال شوط العادم بواسطة مخمدات الصوت (Silencers).

(b) مضخة (a) محرك إحتراق داخلي

شكل (6.16)- محرك و مضخة

محرك الاحتراق الداخلي يقوم بأنتاج شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. أي ان جزء من الطاقة الكيميائية للوقود يتحول الى شغل ميكانيكي. وكما في شكل (6.16-a) وجزء يطرد الى الوسط المحيط للمحرك على هيئة حرارة والباقي يعمل على زيادة الانثالبي الكلي للمادة الشغالة، أي ان:

$$\dot{Q}_F = \dot{Q}_{in} = \dot{W}_o + \dot{Q}_o + \Delta H \qquad \text{..... (6.38)}$$

وتصبح معادلة الطاقة:

$$\dot{Q}_{in} - (\dot{W}_o + \dot{Q}_o) = \Delta H \qquad \text{..... (6.39)}$$

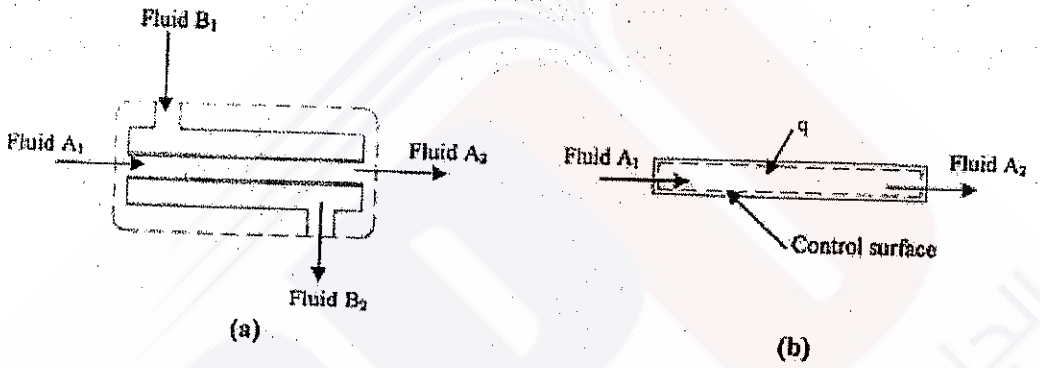
3- المضخة Pump

تقوم بزيادة ضغط السوائل، شكل (6.16-b)، أي ان معدل الشغل الذي تأخذه المضخة يساوي الزيادة الكلية لأنثالبي المادة الشغالة. وتكون معادلة الطاقة:

$$\dot{W} = \Delta \dot{H} \qquad \text{.....(6.40)}$$

4- المبادل الحراري Heat Exchanger

هي انظمة مفتوحة ذات جريان مستقر يتم فيها التبادل الحراري بين مادتي عمل (A) و (B) كما في الشكل (6.17). يمكن ان تكون من نوع واحد او مختلفة. التبادل يحدث بتماس مباشر أي بثبوت الضغط، او بتماس غير مباشر أي بضغط مختلف. وبإهمال الشغل والطاقة الحركية والكامنة تصبح معادلة الطاقة لكل مادة عمل:



شكل (6.17)- مبادل حراري

$$Q_{12} = \Delta H_{12}$$

فبالنسبة للمادة (A) يكون:

$$(Q_{12})_A = (\Delta H_{12})_A$$

وبالنسبة للمادة (B) يكون:

$$(Q_{12})_B = (\Delta H_{12})_B$$

ولأن الحرارة المتبادلة بين (A) و (B) متساوية. والاشارة (-) تعني ان احدهما مفقودة والاخرى مكتسبة فسيكون:

$$(Q_{12})_A = -(Q_{12})_B$$

$$m_A C_A (T_2 - T_1) = m_B C_B (T_1 - T_2) \qquad \text{.....(6.41)}$$

مثال (6.5)

مبادل حراري يستعمل لتبريد الماء بوساطة الهواء. يدخل الهواء للمبادل بدرجة (25°C) ويخرج بدرجة (40°C). الماء يدخل بدرجة (80°C) ويخرج بدرجة (40°C). فإذا كانت:

Cw = 4.2 kJ/kg.K
Cpa = 1.005 kJ/kg.K

اوجد النسبة بين كتلتي الهواء والماء.

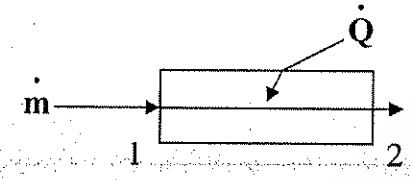
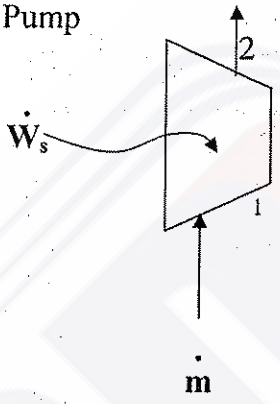
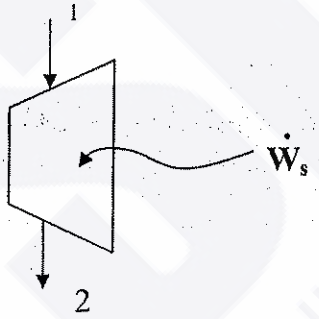
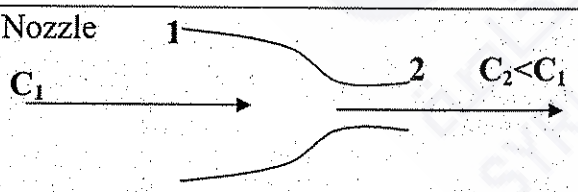
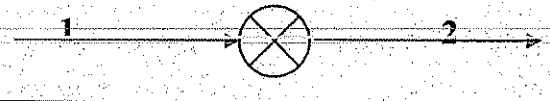
$$\frac{m_a}{m_w} = \frac{C_w (T_1 - T_2)_w}{C_{Pa} (T_2 - T_1)_a} = \frac{4.2 (80 - 40)}{1.005 (40 - 25)} = 11.14$$

إن تطبيقات القانون الاول للثرموديناميكا على الانظمة المغلقة والانظمة المفتوحة موضحة في جدول رقم (6.2).

خلاصة الانظمة المفتوحة Summary of Open Systems

من خلال ما ورد يمكن تلخيص العمليات الخاصة بالانظمة المفتوحة وحسب ما موضح في جدول رقم (6.1)، كماويمكن تلخيص الانظمة المغلقة والمفتوحة وحسب ماموضح في جدول رقم (6.2).

جدول (6.1) العمليات في الانظمة المفتوحة

System	Energy
1. Boiler 	$\dot{Q} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$ $\eta_b = \frac{\dot{m}_s(h_2 - h_1)}{\dot{m}_f \cdot CV}$
2. Compressor or Pump 	$-\dot{W} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$
3. Turbine 	$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2)$
4. Nozzle 	$O = \Delta h_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$ $C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12}$
5. Throttle Valve 	$h_2 = h_1$

جدول (6.2) خلاصة الانظمة المغلقة والمفتوحة

Process $PV^n=C$ الحالة	الشغل W		الحرارة Q	
	Closed = Pdv	Open = $-\int v dP$	Closed=W+ΔU	Open=W+ΔH
$V = C.\ n = \infty$ $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$	Zero	$=-v(P_2-P_1)$ $= v\ (P_1-P_2)$ $= R\ (T_1-T_2)$	$=Cv\ dt$	$=Cv\ dt$
$p = C.\ n = 0$ $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$= R\ (T2-T1)$ $= P\ (V2-V1)$	Zero	$= Cp\ dt$	$= Cp\ dt$
$T = C.\ n = 1$ $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$	$= P_1V_1 Ln \frac{V_2}{V_1}$ $= RT_1 Ln \frac{V_2}{V_1}$	$= P_1V_1 Ln \frac{V_2}{V_1}$ $= RT_1 Ln \frac{V_2}{V_1}$	Q=W	Q=W
$S = C.,\ n = \gamma = \frac{Cp}{Cv}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$= -\Delta U$ $=Cv\ (T_1-T_2)$	$= -\Delta H$ $=Cp\ (T_1-T_2)$	Zero	Zero
$PV^n = C.$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$	$= \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$ $= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$	$= \frac{nR}{n-1}(T_1 - T_2)$ $= \frac{n(P_1V_1 - P_2V_2)}{n-1}$	$= Cv\frac{n-\gamma}{n-1}dt$ $= Cn\ dt$	$= Cv\frac{n-\gamma}{n-1}dt$ $= Cn\ dt$

امثلة محلولة

(6.6)

يهبط سائق بسيارة كتلتها (1350 kg) من سطح تل. ويشاهد عند القاعدة ضوءاً احمر يجب ان يتوقف عنده. وعندما بدء السائق في الضغط على الفرامل كانت السيارة تتحرك بـ سرعة قـ درها (28m/s). وكان على إرتفاع رأسي قدره (30m) فوق قاعدة التل. ما هي الطاقة التي تتبدد كحرارة في الفرامـ ل بفرض إهمال تأثير الرياح وعوامل الاحتكاك المختلفة على العملية. (اعتبر السيارة كنظام)

$$Q = \Delta KE + \Delta PE$$

$$= m\left[\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right] = 1350 \times \left[\left(\frac{0^2 - 28^2}{2}\right) + 9.81(0 - 30)\right]$$

$$= -926367\ J = -926.367\ kJ$$

الحرارة خارجة من النظام (-)

(6.7)

غاز يجري في انبوب إرتفاعه (60.96m) فوق سطح البحر بسرعة (6.096 m/s) ودرجة حـ رارة (148.9°C). احسب الطاقة الكلية للغاز واعتبر ان الصفر المئوي هي درجة الحرارة الاسـ اس فـ ي قياس الطاقة. وان: Cv=0.6741 kJ/kg.K

$$Q = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE = mCv\Delta T + \frac{mC^2}{2} + mgz$$

$$= 1 \times 0.6741(148 - 0) + \frac{1 \times (6.096)^2}{2} + 1 \times 9.81 \times 60.96 = 100.99\ kJ/kg$$

(6.8)

مروحة في غرفة مغلقة طاقتها الحركية (678kJ). قطع تجهيز القدرة عنها ووصلت تدريجياً الى حالة السكون. إذا علمت ان الفقدان الحراري من جدران الغرفة في اثناء التباطؤ يقدر بـ (50kJ). احسب التغير في الطاقة الداخلية لمحتويات الغرفة.

$$Q - W = \Delta U_{12} + \Delta KE + \Delta PE$$

$$-50 = \Delta U_{12} + (0 - 678)$$

$$\Delta U_{12} = 628\ kJ$$

(6.9)

مروحة في غرفة مغلقة تدور بسرعة (1164m/s) قطع عنها تجهيز القدرة ووصلت تدريجياً الى حالة السكون. إذا علمت ان الفقد الحراري من جدران الغرفة في اثناء التباطؤ (50kJ/kg). اوجد التغير في الطاقة الداخلية النوعية لمحتويات الغرفة.

$$q_{12} - w_{12} = \Delta\mu_{12} + \Delta KE_{12} + \Delta PE_{12}$$

$$q_{12} = \Delta\mu_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}$$

$$-50 = \Delta\mu_{12} + \frac{0 - (1164)^2}{2000}$$

$$\Delta\mu_{12} = 628\ kJ/kg$$