(6.10)

مائع يمر في نظام مفتوح كتلته (1kg/s) وبسريان مستقر. الانثالبي النوعي والسرعة والارتفاع عند دخول المائع الى النظام تساوي (232 kJ/kg)، (91 m/s)، (58m) على التوالي. وعند خروجه من النظام تساوي (230kJ/kg)، (15m/s)، (3.35m). فإذا كانت الحرارة المستلمة من قبل النظام هي (10 kJ/s). احسب الشغل المنجز بالـ (kJ/min).

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 232 - 230 = 2\frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta KE_{12} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{(91)^2 - (15)^2}{2000}$$

$$= 4.028\frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta PE_{12} = \frac{g(z_2 - z_1)}{1000}$$

$$= \frac{9.81(3.35 - 58)}{1000} = -0.54\frac{kJ}{kg}$$

$$\mathbf{q_{12} - w_{12} = \Delta h_{12} + \Delta KE_{12} + \Delta PE_{12}}$$

$$\mathbf{-10 - w_{12} = 2 + 4.028 + (-0.54)}$$

$$\mathbf{w_{12} = 16.955\frac{kJ}{kg}}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \dot{m}\,.\,\omega_{12} = 1 \times 16.955 = 16.955\frac{kJ}{s}}$$

$$\mathbf{= 1017.3\,kJ/min\,.}$$

(6.11)

(4.5 kg/s) من مائع يتدفق في نظام مفتوح. خواص المائع عند الدخول هي: الضغط المطلق (6 bar)، السرعة (250m/s)، الحجم النوعي (0.3 m^3/kg)، الطاقة الداخلية النوعية (2400 kJ/kg). يترك المائع النظام المفتوح بمستوى (15m) اوطأ من المستوى الذي دخل فيه وبالصفات التالية: الضغط المطلق (1.6bar)، السرعة (80m/s)، الحجم النوعي (0.9 m^3/kg)، الطاقة الداخلية النوعية (1800 kJ/kg). وخلال مرور المائع في النظام فقد حرارة الى المحيط الخارجي بمقدار (120 kW). احسب الشغل المنجز بالـ (kW).

$$\mathbf{h_1 = \mu_1 + P_1\nu_1 = 2400 + 600 \times 0.3}$$

$$\mathbf{= 2580 kJ/kg}$$

$$\mathbf{h_2 = \mu_2 + P_2\nu_2 = 1800 + 160 \times 0.9}$$

$$\mathbf{= 1944 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\Delta h = h_2 - h_1 = 1944 - 2580}$$

$$\mathbf{= -636 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{80^2 - 250^2}{2000}}$$

$$\mathbf{= -28.05 kJ/kg}$$

$$\mathbf{z_2 = z_1 - 15}$$

$$\mathbf{\Delta PE = \frac{g(z_2 - z_1)}{1000}}$$

$$\mathbf{= \frac{9.81(z_2 - 15 - z_1)}{1000} = -0}$$

$$\mathbf{= -0.147 kJ/kg}$$

$$\mathbf{-w = \Delta h + \Delta KE + \Delta PE - q_{12}}$$

$$\mathbf{w = -\Delta h - \Delta KE - \Delta PE + q_{12}}$$

$$\mathbf{= -(-636) - (-28.05) - (-0.147) + \left(-\frac{120}{415}\right)}$$

$$\mathbf{= 637.53 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \dot{m}\,.\,w = 4.5 \times 637.53}$$

$$\mathbf{= 2868.887 kW}$$

(6.12)

مـائع يتـدفق فـي نظـام مفتـوح، الحـرارة والـضغط والـسرعة عنـد الـدخول (0°C)، (140 kN/m^2)، (900m/s). السرعة عند الخروج (300m/s). إفترض ان التدفق ادياباتي. اهمـل طاقة الوضع واحسب الزيادة في درجة الحرارة والضغط والطاقة الداخلية النوعية. علماً أن: **γ=1.4** ، **R=0.289 kJ/kg.K**

$$\Delta KE = -\Delta h = -Cp(T_2 - T_1)$$
$$= \frac{R\gamma}{\gamma - 1}(T_1 - T_2)$$
$$\frac{300^2 - 900^2}{2000} = \frac{0.289 \times 1.4}{1.4 - 1}(273 - T_2)$$
$$T_2 = 629\,K$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 140\left(\frac{629}{273}\right)^{\frac{1.4}{0.4}}$$
$$= 2590\,\frac{kN}{m^2}$$
$$\Delta\mu_{12} = Cv\,(T_2 - T_1)$$
$$= 0.717 \times 356$$
$$= 255\,kJ/kg$$

(6.13)

مائع يتدفق بمعدل (4 kg/s) عند الدخول يكون ضغطه (620 kN/m^2) وسرعته (300m/s) وطاقته الداخليـة (2100 kJ/kg) وحجمـه النـوعي (0.37 m^3/kg). وعنـد الخـروج يكـون ضـغطه (130 kN/m^2) وسـرعته (150 m/s) وطاقتـه الداخليـة (1500 kJ/kg) وحجمـه النـوعي (1.2 m^3/kg). في اثناء المرور يفقد المائع (30 kJ/kg) من الحرارة الى المحـيط. اهمـل التغيـر بالطاقة الكامنة واحسب القدرة بالـ (kW).

$$\Delta h = (\mu_1 - \mu_2) + (P_1\nu_1 - P_2\nu_2) = (2100 - 1500) + (620 \times 0.37 - 130 \times 1.2)$$
$$= 673kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2} = \frac{300^2 - 150^2}{2 \times 10^3}$$
$$= 33.75\,kJ/kg$$

$$w = \Delta h + \Delta KE - q$$
$$= 673 + 33.75 - 30 = 676.75\,KJ/Kg$$
$$\dot{W} = w\,.\,\dot{m} = 676.75 \times 4$$
$$= 2707\,kW$$

(6.14)

مرجل بخاري يستهلك فحم بمعدل (3000 kg/h) لتوليد البخار بأنثالبي نـوعي (2700 kJ/kg) مـن ماء التغذية ذي الانثالبي النوعي (280 kJ/kg) فإذا علمت ان احتـراق (1kg) مـن الوقـود يولـد (28000 kJ/kg) يستخدم منها (80%) فقط بصورة نافعة لتوليد البخار. احسب معدل توليد البخار.

$$\eta_b = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m}_s \,.\, q_{12}}{\dot{m}_f \,.\, LCV} = \frac{\dot{m}_s (h_2 - h_1)}{\dot{m}_f \,.\, LCV}$$

$$\dot{m}_s = \frac{\eta_b \,.\, \dot{m}_f \,.\, LCV}{h_2 - h_1} = \frac{0.8 \times 3000 \times 28000}{2700 - 280} = 27768.6\ kg/h$$

(6.15)

بخار يتدفق من مرجل تحت ضغط مقداره (20 bar) ودرجة حـرارة مقـدارها (400°C) وانثـالبي نوعي (3248kJ/kg) وطاقة داخلية نوعية (2946kJ/kg). يتمدد الى ضغط مقداره (6bar) ودرجة حــرارة مقــدارها (250°C) وانثــالبي نــوعي (2958kJ/kg) وطاقــة داخليــة نوعيــة (2722 kJ/kg). احسب ما يأتي:

(أ) ماذا ستكون قيمة الشغل النوعي اذا حصل التمدد في نظام عبارة عن اسـطوانة ومكـبس علـى إفتراض عدم وجود ضياع في الطاقة الحرارية.

(ب) اذا حدث التمدد في توربين وعلى إفتراض عدم وجود خسائر حرارية ايضاً.

(ج) اذا حصل التمدد في بوق (منفث)، وبأهمال السرعة الابتدائية . احسب السرعة النهائية.

(a) $w_{12} = -\Delta\mu_{12} = \mu_1 - \mu_2 = 2946 - 2722 = 224\ kJ/kg$

(b) $w_{12} = -\Delta h_{12} = h_1 - h_2 = 3248 - 2958 = 290\ kJ/kg$

(c) $C_2 = \sqrt{2000 \times \Delta h} = \sqrt{2000 \times 290} = 761.6\ m/s$

(6.16)

مرجل بخاري يعمل بضغط ثابت مقداره (15 bar). معدل تدفق المائع (1000 kg/h). عند الـدخول كان الانثالبي (165 kJ/kg) والسرعة (13 m/s). وعند الخـروج كـان الانثـالبي (2200 kJ/kg) والسرعة (33 m/s). انبوب الخروج اعلى من الدخوب بمقدار (16m). وان (65%) مـن الطاقـة الحراريـة المجهـزة للمرجـل تـستعمل لتبخيـر المـائع. إذا كانـت القيمـة الحراريـة للوقـود (32000 kJ/kg). اوجد معدل استهلاك الوقود المستعمل.

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 2200 - 165 = $$
$$= 2035 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{32^2 - 13^2}{2000}$$
$$= 0.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta PE = g\,\Delta Z = 9.81 \times 16 \times 10^{-3}$$
$$= 0.157 \text{ kJ/kg}$$

$$q = \Delta h + \Delta KE + \Delta PE$$
$$= 2035 + 0.43 + 0.157$$
$$= 2035.6 \text{ kJ/kg}$$

$$0.65Q = \dot{m}\,.\,q = 1000 \times 205.6$$

$$Q = \frac{2.056 \times 10^6}{0.65} = 3.13 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{m}_f = \frac{Q}{CV} = \frac{3.13 \times 10^6}{32000} = 97.86 \text{ kJ/h}$$

(6.17)

ماء يدخل مرجل بأنثالبي نوعي (112 kJ/kg) وبمعـدل (5.5 kg/s) ويكتـسب حـرارة مقـدارها (3500 kJ/kg) ويتحول الى بخار حيـث يتمـدد ادياباتيـاً فـي تـوربين بخـاري مولـداً قـدرة (5900 kW). اهمل التغير في طاقة الوضع والحركية واحسب انثالبي البخار الداخل والخـارج مـن التوربين.

$$h_2 = q_{12} + h_1 = 3500 + 112$$
$$= 3612 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = \dot{m}h_2 = 5.5 \times 3612 = 19866 \text{ kW}$$
$$-W_{23} = \Delta H_{23} = H_3 - H_2$$

$$W_{23} = H_2 - H_3$$
$$5900 = (19866 - H_3)$$
$$H_3 = 13966 \text{ kJ}$$

(6.18)

مائع يتدفق الى داخل مكثف بخاري بمعدل (35 kg/min) وبأنثالبي نوعي (2200 kJ/kg) ويخـرج بأنثالبي نوعي (255 kJ/kg). ماء تبريد المكثف يتدفق بمعـدل (730 kg/min) وتـزداد الانثـالبي النوعي للماء بمقدار (92 kJ/kg). احسب الحرارة المنتقلة الى المحيط.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \Delta h_c = 35(255 - 2200)$$
$$= -68075\ \text{kJ/min}$$
$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w \Delta h_w = 730 \times 92$$
$$= 67160\ \text{kJ/min}$$

$$\dot{Q}_o = 68075 - 67160 = 915\ \text{kJ/min}$$

(6.19)

بخار يدخل المكثف بتدفق مستقر بأنثالبي نوعي (2400 kJ/kg) وبسرعة (366 m/s) ويغادر البخار المكثف بأنثالبي نوعي (162 kJ/kg) وبسرعة (6 m/s). اوجد الحرارة المنتقلة الى مياه التبريد لكـل (1 kg) من البخار المكثف.

$$q_{12} = (h_2 - h_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}$$
$$= (162 - 2400) + \frac{6^2 - 366^2}{2000} = -2305\ \text{kJ/kg}$$

(6.20)

هواء يمر خلال صندوق حجمه ($1.2\ m^3$) ويدخل الى ضاغط ترددي بدرجة حرارة (15°C) وضغط (3.3 bar). يشتغل الضاغط بواسطة محرك كهربائي قدرته (18 kW) يحتاج منها للتـشغل (84%) وخلال (5 min.) تكون درجة الحرارة والضغط عند الخروج (49°C) و (12.7 bar). يمر الهـواء على مبرد مائي بدرجة حرارة دخـول المـاء اليـه (7°C) وخروجـه (15°C)، ويتـدفق بمعـدل (10.4 kg/min). فإذا كانت درجة حرارة الهواء عند الدخول للمبرد (34°C). احسب درجة حرارة الهواء عند الخروج. علماً أن:

C_w=4.1868 kJ/kg.K ، Cp_{air}=1.005 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_w \cdot Cp_w \cdot \Delta T$$
$$= 10.4 \times 4.187 \times (15 - 7)$$
$$= 348.5\ \text{kJ/min}$$
$$\dot{W}_{12} = \dot{Q} \cdot \eta_{motor} =$$
$$= 18 \times 0.84 \times 60$$
$$= 907\ \text{kJ/min}$$
$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} \quad , \ m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2}$$

$$\dot{m}_a = \frac{1}{5}(m_2 - m_1) = \frac{1}{5}\left(\frac{P_2 V_2}{R T_2} - \frac{P_1 V_1}{R T_1}\right)$$
$$= \frac{V}{5R}\left(\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1}\right) = \frac{1.2}{5 \times 0.287}\left(\frac{1270}{522} - \frac{330}{285}\right)$$
$$= 2.4 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$
$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta \dot{H} = \dot{m}_a Cp_a (t_2 - t_1)$$
$$-348.3 - (-907) = 2.4 \times 1.005\,(t_1 - 34)$$
$$t_2 = 271.5^\circ C$$

(6.21)

يتدفق هواء الى ضاغط بمعدل (0.4 kg/s) بـسرعة (6m/s) وبـضغط (1 bar) وبحجـم نـوعي (0.85 m^3/kg). وعند الخروج تكون سرعته (4.5 m/s) وضغطه (4.9 bar) وبحجم نوعي (0.16 m^3/kg). الطاقة الداخلية النوعية الخارجة اكبر من الداخلة بـ (88 kJ/kg). الحرارة الخارجة مـع مياه التبريد (59 kJ/s). احسب القدرة المطلوبة لتشغيل الضاغط بالـ (kW). اهمل طاقـة الوضـع. احسب مساحة انبوب الدخول والخروج.

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (\mu_2 + P_2\nu_2) - (\mu_1 + P_1\nu_1)$$
$$= \Delta\mu_{12} + (P_2\nu_2 - P_1\nu_1)$$
$$= 88 + (490\times0.16 - 100\times0.85)$$
$$= 81.4\ kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{4.5^2 - 6^2}{2000}$$
$$= -0.00787 kJ/kg$$

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{59}{0.4} = 147.5\ kJ/kg$$

$$w = -[\Delta h + \Delta KE - q]$$
$$= -[81.4 + (-0.00787 - 147.5)]$$
$$w = -228.9 kJ/kg$$
$$\dot{W} = m \times w = 0.4 \times 223.9$$
$$= 91.56\ kW$$
$$A_1 = \frac{\dot{m}\times\nu_1}{C_1} = \frac{0.4\times0.85}{6} = 0.057\ m^2$$
$$A_2 = \frac{\dot{m}\times\nu_2}{C_2} = \frac{0.4\times0.16}{4.5} = 0.014\ m^2$$

(6.22)

ماء يستخدم لتبريد ضاغط يضغط هواء بمعدل (0.5 kg/s). يجهز الضاغط بقدرة مقدارها (60kW). (30%) من هذه القدرة تفقد مع مياه التبريد، و (60%) تذهب لضغط الهواء الذي دخل الضاغط عنـد (1 bar) ودرجة حرارة (20°C). أوجد درجة حرارة الهـواء الخـارج مـن الـضاغط علمـاً أن:
Cp=1.005 kJ/kg.K

$$\dot{Q} = 60 \times 0.3 = 18\ kW$$
$$\dot{W} = 60 \times 0.6 = 36\ kW$$
$$Q - W = \Delta H = mCp(T_2 - T_1)$$
$$-18 - (-36) = 0.5 \times 1.005\,(T_2 - 293)$$
$$T_2 = 365K = 92^\circ C$$

طريقة ثانية

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{mCp} = \frac{60\times0.6}{0.5\times1} = 72$$
$$T_2 = 72 + 20 = 92^\circ C$$

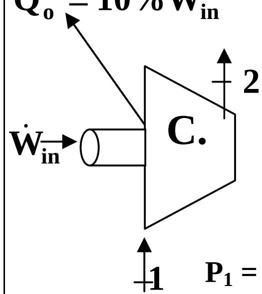
(6.23)

هواء ضغطه (100 kPa) ودرجة حرارته (20°C) يتدفق بشكل منتظم في ضـاغط حيـث يـدخل بسرعة (50 m/s) من خلال انبوب مساحة مقطعه ($90cm^2$) ويخرج الهواء من الـضاغط بـضغط (1 MPa) وسرعة (120 m/s) ومساحة مقطع انبوب الخروج ($5cm^2$). الحـرارة المنتقلـة مـن الضاغط هي (10%) من الشغل اللازم لأدارة الضاغط. احسب الشغل الـلازم بوحـدات (kW)، إذا كان:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp=1.004 kJ/kg.K

اهمل الطاقة الكامنة. انثالبي الخروج اكبر من الدخول بمقدار.

$\dot{Q}_o = 10\% \dot{W}_{in}$



$P_2 = 1$ MPa
$C_2 = 120$ m/s
$A_2 = 5$ cm^2

$P_1 = 100$ kPa
$t_1 = 20$°C
$C_1 = 50$ m/s
$A_1 = 90$ cm^2

$$\dot{m}_{in} = \frac{A_1 C_1}{\nu_1} = \frac{A_1 C_1 P_1}{R T_1}$$

$$= \frac{9\times10^{-3}\times50\times100}{0.287\times293}$$

$$= 0.535\,\mathrm{Kg/s}$$

$$\dot{m}_{in} = 0.535 = \dot{m}_o = \frac{A_2 C_2 P_2}{R T_2}$$

$$T_2 = \frac{A_2 C_2 P_2}{\dot{m}_o R}$$

$$= \frac{5\times10^{-4}\times120\times10^3}{0.535\times0.287}$$

$$= 390.8\mathrm{K}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta H + \Delta KE$$

$$= \dot{m}\left[Cp\left(T_2 - T_1\right) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\right]$$

$$0.1\dot{W} - \dot{W} = 0.535\left[1.004\ \ (390.8 - 293)\ \ +\ \ \frac{120^2 - 50^2}{2\times10^3}\right]$$

$$\dot{W} = \frac{0.535}{0.9}\left[98.2 + 5.95\right] = -62\,\mathrm{kW}$$

(6.24)

ماء يتدفق بشكل منتظم في مضخة بمعدل (50 liter/s). يدخل بدرجة حرارة (20°C) مـن خـلال انبوب قطره (15cm). ويخرج من انبوب قطره (18cm). انبوب الخروج اعلى من الدخول بمقـدار (100m). كان الشغل اللازم لأدارة المضخة (60kW). فإذا كان التدفق اديابـاتي، احـسب درجـة حرارة خروج الماء؟ **Cw=4.2 kJ/kg.K**

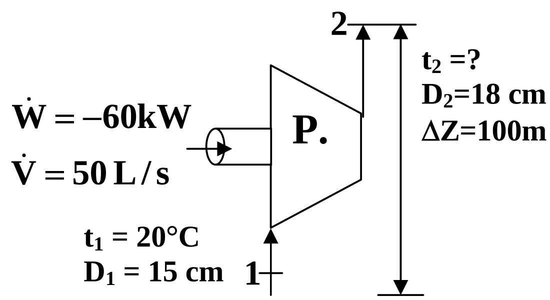
$$\dot{m}=\frac{AC}{\nu}\Rightarrow \dot{m}\nu=AC\Rightarrow \dot{V}=AC$$

$$C_1=\frac{\dot{V}_1}{A_1}=\frac{50\frac{L}{s}\cdot\frac{1m}{1000L}}{\frac{\pi.0,15^2}{4}}=2,83\,\frac{m}{s}$$

$$C_2=\frac{\dot{V}_2}{A_2}=\frac{50.10^{-3}}{\frac{\pi.0,18^2}{4}}=1,96\,\frac{m}{s}$$

$$\dot{m}=\frac{\dot{V}}{\nu}=\delta.\dot{V}=10^3.50.10^{-3}=50\frac{kg}{s}$$

$$-\dot{W}=\dot{m}\left[Cv(T_2-T_1)+\frac{C_2^2-C_1^2}{2000}+\frac{g\Delta Z}{1000}\right]$$



$$-(-60)=50\left[4.2(T_2-293)+\frac{1.96^2-2.83^2}{2000}+\frac{9.81\times100}{1000}\right]$$

$$T_2=293.05\,K=20,05^\circ C$$

(6.25)

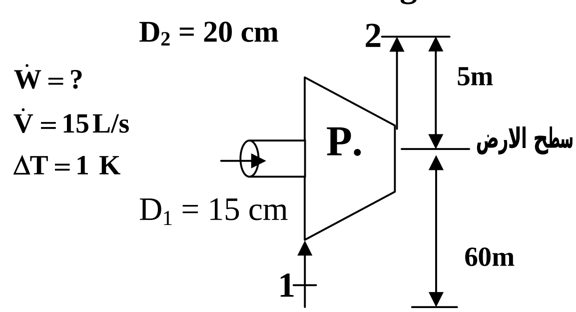
مضخة تسحب ماء من تحت الارض بعمق (60cm) وبمعدل (15 L/s) من خلال انبوب دخول قطره (15cm). ويخرج الماء من انبوب قطره (20cm) على إرتفاع (5m) فوق سطح الارض. كان الفرق بدرجة حرارة الخروج والدخول (1°C). فاذا كان التدفق ادياباتيـاً. احـسب الـشغل الـلازم لأدارة المضخة. **Cw=4.2 kJ/kg.K**

$$\dot{m}=\delta_w.\dot{V}=10^3\,\frac{kg}{m^3}\times0.015\frac{m^3}{s}=15\frac{kg}{s}$$

$$C_1=\frac{\dot{m}}{\delta A_1}=\frac{15}{10^3\times\frac{\pi\times(0.15)^2}{4}}=0.85\frac{m}{s}$$

$$C_2=\frac{\dot{m}}{\delta A_2}=\frac{15}{10^3\times\frac{\pi\times(0.2)^2}{4}}=0.48\frac{m}{s}$$

$$\dot{W}_{sh.in}=\dot{m}\left[C_w\Delta T+\frac{C_2^2-C_1^2}{2000}+\frac{g(Z_2-Z_1)}{1000}\right]$$



$$\dot{W}=15\left[4.2\times1+\frac{(0.48)^2-(0.85)^2}{2000}+\frac{9.81\times65}{1000}\right]$$

$$=15(4.2+(-0.246)+0.638)=68.88kW$$

(6.26)

مـائع يتـدفق فـي ضـاغط بمعـدل (45 kg/min). انثـالبي الـدخول (46 kJ/kg) والخـروج (175 kJ/kg). يفقد الضاغط حرارة الى المحيط بمعدل (105 kJ/min). احسب القـدرة المطلوبـة لتشغيل الضاغط، علماً أن الكفاءة الميكانيكية عند نقل القدرة الى الضاغط (مـن محـرك مـا) هـي (85%).

$$\dot{q} - \dot{w} = \dot{m}\,\Delta h$$

$$\left(-\frac{105}{60}\right) - \dot{W} = \frac{45}{60}(175 - 46)$$

$$\dot{W} = -98.5\,\text{kW}$$

$$P = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{98.5}{0.85} = 115.9\,\text{kW}$$

(6.27)

هواء يدخل ضاغط بضغط قدره (1 bar) ويتركه بضغط قدره (2.1 bar) واثناء مرور الهـواء فـي الـضاغط تـزداد طاقتـه الداخليـة النوعيـة بمقـدار (56 kJ/kg) ويقـل الحجـم النـوعي مـن ($0.825\ m^3/kg$) الى ($0.5\ m^3/kg$). على فرض ان التدفق ادياباتي. اهمل الطاقة الحركية والكامنـة واحسب القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط عندما يكون معدل تدفق الهواء (135 kg/min).

$$w_{12} = -(h_2 - h_1) = -\left[(\mu_2 + P_2\nu_2) - (\mu_1 + P_1\nu_1)\right] = -\left[(\mu_2 - \mu_1) + (P_2\nu_2 - P_1\nu_1)\right]$$

$$= -\left[(\Delta\mu_{12}) + (P_2\nu_2 - P_1\nu_1)\right] = -\left[56 + (210 \times 0.5 - 100 \times 0.825)\right] = -785\text{kJ/kg}$$

$$\dot{W} = \dot{m}\,.\,w_{12} = \frac{135}{60} \times (-78.5) = 176.7\,\text{kW}$$

(6.28)

(45kg/min) من مائع تتدفق خلال توربين. انثالبي المائع الخارج تنخفض بمقـدار (580 kJ/kg). ويفقد التوربين حرارة الى المحيط بمعدل (2100 kJ/min). اوجد القدرة الناتجة من التوربين واهمـل الطاقة الحركية والوضع.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta H = \dot{m}\Delta h$$

$$(-2100) - \dot{W} = 45(-580) = -24000$$

$$\dot{W} = 400\,\text{kW}$$

(6.29)

بخار يدخل توربين بأنثالبي (3080kJ/kg) وطاقة حركية مهملة يتمدد البخار وينتج التـوربين شـغل يقوم بتدوير مولد. عند الخروج كان الانثالبي (2260 kJ/kg) والسرعة (140 m/s). وكانت كفـاءة المولد (0.92). احسب القدرة التي يولدها التوربين بالـ ـ (kW)، إذا كـان معـدل تـدفق البخـار (12.5 kg/s).

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 2260 - 3080 = -820 kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{140^2 - 0}{2000}$$

$$= 9.81 kJ/kg$$

$$-w = \Delta h + \Delta KE = -820 + 9.81$$

$$= -810.2 kJ/kg$$

$$w = 810.2 \times 0.92 = 745 kJ/kg$$

$$\dot{W} = \dot{m} \times w = 12.5 \times 745 =$$

$$= 9312.5\, kW$$

(6.30)

مائع يتدفق خلال توربين بمعدل (45kg/min). الانثالبي عند الدخول (2480 kJ/kg) وعند الخروج (1900kJ/kg). ويفقد التوربين الى المحيط حرارة بمعدل (2100kJ/min). اهمل التغير في الطاقـة الحركية والكامنة، واحسب القدرة المتولدة من التوربين بوحدة (kW).

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 1900 - 2480$$

$$= -580 kJ/kg$$

$$w = -(\Delta h - q) = -\left[(-580) - \left(-\frac{2100}{60}\right)\right]$$

$$w = 545 kJ/kg$$

$$\dot{W} = \dot{m} \times w = \frac{45}{60} \times 545$$

$$= 408.75\, kW$$

(6.31)

بخار يدخل توربين بسرعة (16m/s) وبأنثالبي نوعي (2990kJ/kg) ويغادر البخار التوربين بسرعة (37m/s). وبأنثالبي نـوعي (2530kJ/kg) وكانـت الحـرارة المفقـودة الـى الوسـط المحـيط (25kJ/kg) ومعدل سريان البخار (324000kg/h). اوجد الشغل الخارج مـن التـوربين بوحـدة (kW).

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 2530 - 2990$$
$$= -460 kJ/kg$$
$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{37^2 - 16^2}{2000}$$
$$= -1.11 kJ/kg$$

$$w = -(\Delta h + \Delta KE - q)$$
$$w = -[(-460) + (-0.11) - (-25)]$$
$$= 435.11 kJ/kg$$
$$\dot{W} = \dot{m} \times w = \frac{324000}{3600} \times 435.11$$
$$= 39159.9\, kW$$

(6.32)

بخار يتدفق خلال مرحلة توربين بمعدل (4500 kg/hr). سرعة الدخول والخروج للبخار (15 m/s) و (180 m/s) علـى التـوالي. يفقـد التـوربين حـرارة الـى المحـيط بمعـدل (23 kJ/kg). كان النقص في الانثالبي النوعي مقداره (420 kJ/kg). احسب القدرة المولدة بوحدات (kW).

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{180^2 - 15^2}{2000}$$
$$= 16.09 kJ/kg$$
$$w = -[\Delta h + \Delta KE - q]$$
$$= -[(-420) + 16.09 - (-23)]$$

$$w = 381\, KJ/Kg$$
$$\dot{W} = \dot{m} \times w = \frac{4500}{3600} \times 381$$
$$= 476.14\, kW$$

(6.33)

(17kg/s) من غاز يتدفق خلال توربين غازي وينتج خلال ذلك قدرة مقدارها (14000kW). انثالبي الدخول والخروج (1200kJ/kg)، (360kJ/kg) على التوالي. سرعة الدخول والخروج (60m/s) و (150m/s) على التوالي. احسب الحرارة المتدفقة من التوربين بالـ (kW). وأحسب مساحة مقطـع انبوب الدخول إذا كان حجم الغاز النوعي ($0.5m^3/kg$).

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 360 - 1200 = -840 kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{150^2 - 60^2}{2000} = 9.45 kJ/kg$$

$$q = \Delta h + \Delta KE + w = -840 + 9.45 + \frac{14000}{17}$$

$$q = -7.02 kJ/kg$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \times q = 17 \times (-7.02) = -119.3\, kW$$

$$A_1 = \frac{m.\nu_1}{C_1} = \frac{17 \times 0.5}{60} = 0.142\, m^2$$

(6.34)

غاز يدخل الى توربين بضغط (7bar) ودرجة حرارة (650°C) وسرعة (9m/s) ويخـرج بـضغط (1bar) وسرعة (45m/s). افترض ان التمدد ادياباتيـاً وان (γ=1.333) و (Cp=1.11 kJ/kg.K). احسب الشغل لكل (1 kg).

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 923 \left(\frac{1}{7}\right)^{\frac{1.333}{1.333-1}}$$

$$= 567 K$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = Cp(T_2 - T_1)$$

$$= 1.11 (567 - 923)$$

$$= -395.16 kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{45^2 - 9^2}{2000}$$

$$= 0.972 kJ/kg$$

$$w = -(\Delta h + \Delta KE)$$

$$= -[(-39.16) + 0.972]$$

$$= 394.2 kJ/kg$$

(6.35)

هواء ضغطه (2MPa) ودرجة حرارته (400°C). يدخل في توربين بسرعة (50m/s) خلال انبوب على إرتفاع (10m)، ثم يخرج بضغط (15kPa) وبسرعة (180m/s) خلال انبـوب علـى إرتفـاع (6m). فإذا كان التدفق ادياباتياً وكان شغل التوربين (5Mw). احسب كتلة الهواء المتدفقـة بوحـدات **.(kg/s)**

Cp=1.004 kJ/kg.K ، γ=1.4 .

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 673\left(\frac{0.015}{2}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 166\,K$$

$$\Delta h = Cp(T_2 - T_1) = 1.004(166 - 673)$$

$$= -509 kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{(180)^2 - (50)^2}{2000}$$

$$= 14.95 kJ/kg$$

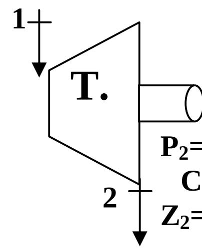
$$\Delta PE = g(z_2 - z_1) = 9.81(6-10)\times\frac{1}{1000}$$

$$= -0.04 kJ/kg$$

$$w_o = -(\Delta h + \Delta KE + \Delta PE)$$

$$= -(-509 + 14.95 - 0.04) = 494.1 kJ/kg$$

P_1=2MPa
t_1=400°C
C_1=50 m/s
Z_1=10m



P_2=15kPa
C_2=180 m/s
Z_2=6m

$$\frac{1 kJ/kg}{1000\, m2/s^2}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{w} = \frac{5000}{494.1} = 10.12\,Kg/s$$

(6.36)

(30kg/s) من مائع يتمدد في توربين. عند الدخول كان مساحة مقطع الانبوب (0.045m³)، الحجـم النوعي (0.02491 m³/kg)، الانثالبي النوعي (3582.3 kJ/kg). وعند الخروج كان مساحة مقطـع الانبوب (0.31 m²). الحجم النوعي (1.694 m³/kg)، الانثالبي النوعي (2675.5 kJ/kg). احـسب الشغل المنجز بالـ (MW).

$$C_1 = \frac{\dot{m}\nu_1}{A_1} = \frac{30\times 0.2491}{0.045} = 16.6 m/s$$

$$C_2 = \frac{\dot{m}\nu_2}{A_2} = \frac{30\times 1.694}{0.31} = 163.9 m/s$$

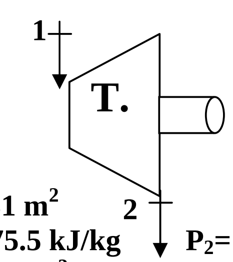
$$-\dot{W} = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\right]$$

$$= 30\left[(2675.5 - 3582.3 + \frac{(163.9^2 - 16.6^2)\frac{m^2}{s^2}}{2\left(\frac{1 kg.m}{N.s^2}\times 10^3\,\frac{N.m}{kJ}\right)}\right]$$

$$= -26800\,kW$$

$$W = 26.8\,MW$$

A_1=0.045 m² **P_1=15MPa**
h_1=3582.3 kJ/kg **t_1=600°C**
ν_1=0.02491 m³/kg



A_2=0.31 m²
h_1=2675.5 kJ/kg **P_2=100kPa**
ν_2=1.694 m³/kg

(6.37)

مائع يتدفق بشكل منتظم في توربين. عند الدخول كان قطر الانبـوب (15cm)، الـسرعة (90m/s)، الحجم النوعي ($0.018 m^3/kg$). وعند الخروج كـان قطـر الانبـوب (60cm)، الحجـم النـوعي ($0.634\ m^3/kg$)، احسب سرعة الخروج.

$$\dot{m}_1 = \delta_1 A_1 C_1 = \frac{1}{0.018} \times \frac{\pi \times 0.15^2}{4} \times 90$$

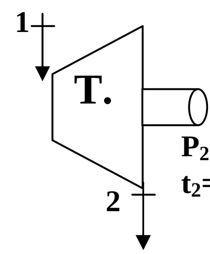
$$= 88.3 kg/s$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 88.3 kg/s$$

$$C_2 = \frac{\dot{m}_2}{\delta_2 A_2} = \frac{88.3}{\frac{1}{0.634} \times \left(\frac{\pi \times 0.6^2}{4}\right)}$$

$$= 196.1 m/s$$

$D_1 = 15$ cm P_1=20MPa
$C_1 = 90$ m/s $t_1=600^oC$
$\nu_1 = 0.018\ m^3/kg$



$D_2 = 60$ cm
$\nu_2 = 0.634$
P_2=300kPa
$t_2=15^oC$

(6.38)

هوا ضغطه (80kPa) ودرجة حرارته (10°C) والانثالبي النـوعي لـه (283.14kJ/kg). يتـدفق ادياباتياً بشكل منتظم في ناشرة مساحة مقطع انبوب الدخول فيها ($0.4m^2$). اهمل الـسرعة النهائيـة والطاقة الكامنة واحسب انثالبي الخروج بالـ(kW).

R=0.287 kJ/kg.K

$$\delta_1 = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{80}{0.287 \times 283} = 0.985 kg/m^3$$

$$\dot{m} = \delta C_1 A_1 = 0.985 \times 200 \times 0.4$$

$$= 78.8 kg/s$$

$$O = h_2 - h_1 + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}$$

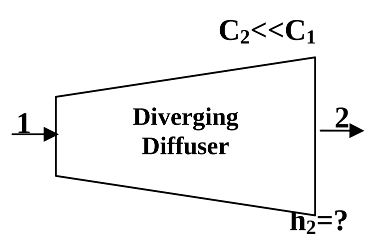
$$h_2 = h_1 - \left(\frac{-C_1^2}{2000}\right) = 283.14 + \frac{40000}{2000}$$

$$= 303.14 kJ/kg$$

$$\dot{H}_2 = h_2 \times \dot{m} = 303.14 \times 78.8$$

$$= 23887.4 kW$$

$P_1 = 80$ kPa
$t_1 = 10°C$
$C_1 = 200$ m/s
$A_1 = 0.4\ m^2$
$h_1 = 283.14$ kJ/kg



(6.39)

(3kg/s) من هواء ضغطه (300kPa) ودرجة حرارته (100°C)، يتدفق ادياباتياً وبشكل مستقر في ناشرة مساحة مقطع انبوب الدخول فيها ($0.01m^2$). اهمل السرعة النهائية والطاقة الكامنة واحسب درجة حرارة الخروج، واعتبر ان:

Cp=1.01 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$\delta_1 = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{300}{0.287 \times 373} = 2.803 kg/m^3$$

$$C_1 = \frac{\dot{m}}{\delta_1 A_1} = \frac{3}{2.803 \times 0.01} = 107 m/s$$

$$O = (h_2 - h_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}$$

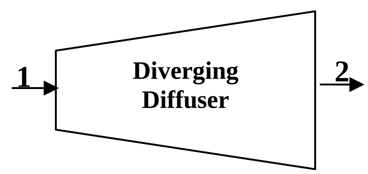
$$= Cp(T_2 - T_1) + \left(\frac{-C_1^2}{2000}\right)$$

$$T_2 = \frac{C_1^2}{2000Cp} + T_1 = \frac{107^2}{2000 \times 0.01} + 373$$

$$= 378.7\,K$$

$P_1 = 300$ kPa
$t_1 = 100°C$
$A_1 = 0.01\ m^2$

$C_2 << C_1$



$$\frac{1\,kJ/kg}{10^3 m^2/s^2}$$

(6.40)

مائع يتدفق ادياباتياً في نوزل. عند الدخول فإن الانثالبي النوعي (2.94kJ/kg)، السرعة (55m/s)، الحجم النوعي ($0.195m^3/kg$). عند الخروج فإن الانثالبي النوعي (2.79kJ/kg) والحجم النوعي ($0.354m^3/kg$). أهمل الطاقة الكامنة وكانه معدل تدفق المائع (1.5kg/s). احسب:

(أ) سرعة الخروج من النوزل. (ب) مساحة مقطع الدخول والخروج بالـ (cm^2).

$$\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 2.79 - 2.94$$

$$= -0.15 kJ/kg$$

$$q_{12} = \Delta h_{12} + \Delta KE$$

$$O = -0.15 + \frac{C_2^2 - 55^2}{2000}$$

$$C_2 = 545\ m/s$$

$$A_1 = \frac{\dot{m} \times \nu_1}{C_1} = \frac{1.5 \times 0.195 \times 10^4}{55}$$

$$= 53\ cm^2$$

$$A_2 = \frac{\dot{m} \times \nu_2}{C_2} = \frac{1.5 \times 0.354 \times 10^4}{545}$$

$$= 9.75\ cm^2$$

(6.41)

منفث (نوزل) افقي الوضع يتدفق فيه مائع بمعدل (14kg/s) بسرعة واطئة يمكن إهمالهـا. انثـالبي الـدخول (2800kJ/kg). الانثـالبي النـوعي والحجـم للمـائع عنـد الخـروج (2250kJ/kg) و ($1.25m^3/kg$) على التوالي. احسب مساحة مقطع المنفث عند الخروج، إذا كان التدفق ادياباتي.

$$C_2 = \sqrt{2\times10^3(h_1 - h_2)}$$
$$= \sqrt{2000(2800 - 2250)}$$
$$= 1050 m/s$$
$$m = \frac{A_2 C_2}{\nu_2}$$

$$A_2 = \frac{m\nu_2}{C_2} = \frac{14\times1.25}{1050}$$
$$= 0.0166\, m^2$$

(6.42)

هواء يجري في منفث يتدفق بمقدار (1.3kg/s). عند الدخول تكـون الـسرعة (508m/s) والحجـم النـوعي ($0.0997m^3/kg$). وعنـد الخـروج تكـون الـسرعة (820m/s) والحجـم النـوعي ($0.2\ m^3/kg$). احسب مقطعي الدخول والخروج.

$$A_1 = \frac{\dot{m}a\times\nu_1}{C_1} = \frac{1.3\times0.0997}{508} = 0.000255\, m^2$$

$$A_2 = \frac{\dot{m}a\times\nu_2}{C_2} = \frac{1.3\times0.2}{820} = 0.000317\, m^2$$

(6.43)

هواء ضغطه ($140kN/m^2$) ودرجة حرارته (0°C) يتدفق ادياباتياً في ناشرة (انبوب متباعد) بسرعة (900m/s). ما الزيادات بالضغط ودرجة الحرارة والطاقة الداخلية لكل (1kg)عندما تقل السرعة الى (30 m/s). علماً أن:

Cp = 1.006 kJ/kg.K ، Cv = 0.717 kJ/kg.K

$$O = \Delta h + \Delta KE = Cp(T_1 - T_2) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$$

$$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = Cp(T_1 - T_2)$$

$$\frac{300^2 - 900^2}{2000} = 1.006(273 - T_2)$$

$$T_2 = 629\, K \Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = 629 - 273 = 356\, K$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 140\left(\frac{629}{273}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 2590kN/m^2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 2590 - 140 = 2450\, kN/m^2$$

$$\Delta U = Cv(T_2 - T_1) = 0.717(629 - 273) = 255\, kJ/kg$$

(6.44)

هواء يجري خلال بوق (منفث) بمعدل (1000kg/h). الضغط والسرعة في بداية البوق هما (10bar) و (70m/s)، وفي نهاية البوق اصبح الضغط (1bar) والسرعة (550m/s). احسب التغير في الانثالبي والتغير في درجة الحرارة، علماً أن:

Cp=1.004 kJ/kg.K

$$\Delta\dot{H} = -\Delta KE = -\left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}\right).\dot{m} =$$

$$= -\frac{550^2 - 70^2}{2000} \times \frac{1000}{3600}$$

$$= -41.333\, kW$$

$$\Delta H = m\, Cp\, \Delta T_{12}$$

$$-41.333 = \frac{1000}{3600} \times 1.004 \times \Delta T_{12}$$

$$\Delta T_{12} = -148.2\, K$$

(6.45)

ماء درجة حرارته (70°C) يدخل في مبادل حراري ويخرج بدرجة حرارة (50°C). فإذا كان معدل تدفق الماء (0.25kg/s) والحرارة النوعية للماء (4.2kJ/kg.K) وتتم هذه العملية بإمرار هواء درجة حرارته عند دخوله المبادل الحراري (10°C) وعند خروجه (28°C) ومعدل تدفق الهواء (1kg/s). احسب الحرارة النوعية للهواء إذا علمت ان (20%) من الحرارة التي يفقدها الماء تذهب للمحيط.

$$0.8\,\dot{Q}_w = \dot{Q}_a$$

$$0.8\,\dot{m}_w\,.\,Cw\,.\,\Delta T_w = \dot{m}_a\,.\,C_a\,\Delta T_a$$

$$0.8 \times (0.25) \times 4.2 \times (50 - 70) = 1 \times C_a \times (28 - 10)$$

$$Ca = -\,0.933\, kJ/kg.K$$

(6.46)

يتدفق مائع في انبوب خانق من خلال صمام مغلق جزئياً فينخفض ضغطه من (10bar) الى (1bar). الحجم النوعي للمائع قبل الخنق ($0.3m^3/kg$) وبعده ($1.8m^3/kg$). اوجد التغير في الطاقة الداخلية النوعية للمائع.

$$h_1 = h_2$$

$$h_1 = \mu_1 + P_1\nu_1$$

$$h_2 = \mu_2 + P_2\nu_2$$

$$\mu_2 - \mu_1 = (h_2 - h_1) - (P_2\nu_2 - P_1\nu_1)$$

$$= 0 - (100 \times 1.8 - 10 \times 0.3)$$

$$= 120\ kJ/kg$$

(6.47)

غاز درجة حرارته (30°C) يمر خلال صمام خنق حيث ينخفض ضغطه من (7bar) الى (1bar) ويزداد حجمه النوعي من ($0.12m^3/kg$) الى ($0.96m^3/kg$). فإذا علمت ان Cv=0.72 kJ/kg.K. احسب درجة حرارة الغاز بعد الخنق.

$$h_2 = h_1$$

$$\mu_2 + P_2\nu_2 = \mu_1 + P_1\nu_1$$

$$\mu_2 - \mu_1 = P_1\nu_1 - P_2\nu_2$$

$$Cv\,(T2 - T1) = P_1\nu_1 - P_2\nu_2$$

$$0.7\,(T_2 - 30) = 700 \times 0.12 - 100 \times 0.96$$

$$T_2 = 286\ K$$

(6.48)

توربين غازي يقوم بتشغيل ضاغط هوائي. الغاز الداخل الى التوربين له انثالبي نوعي مقداره (5000kJ/kg) ومعدل سريانه (40kg/s). الهواء الداخل الى الضاغط له انثالبي نوعي مقداره (50kJ/kg) ومعدل سريانه (20kg/h)، وانثالبي الخروج للهواء (1500kJ/kg). احسب انثالبي الغاز الخارج من التوربين. وإذا اريد زيادة معدل السريان لهواء الضاغط بنسبة (20%)، ما هي نسبة التغير في انثالبي الغاز الخارج من التوربين. افترض التدفق ادياباتي واهمل الطاقة الحركية والكامنة.

(1)

$$\dot{W}_C = \dot{W}_T$$

$$\dot{m}(h_1 - h_2) = \dot{m}_T(h_1 - h_2)$$

$$\frac{20}{3600}(50 - 1500) = 40(5000 - h_2)$$

$$h_2 = 5000.2\,kJ/kg$$

$$H_2 = \dot{m}.h_2 = 40 \times 5000.2$$

$$= 200008.1\,kW$$

(2)

$$\dot{m}_c = 20 + 0.2 \times 20 = 24\,kg/h$$

$$\dot{W}_C = \dot{W}_T$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_c(h_1 - h_2) = \dot{m}_T(h_1 - h_2)$$

$$\frac{24}{3600}(50 - 1500) = 40(5000 - h_2)$$

$$h_2 = 5000.24\,kJ/kg$$

$$\dot{H}_2 = \dot{m}h_2 = 40 \times 5000.24$$

$$= 200\,009.6\,kW$$

$$200009.6 - 200008.1 = 1.5\,kW$$

(6.49)

محطة توربينية غازية تعمل بدورة مفتوحة. نسبة الضغط (1:4) ومدى درجات حرارة من (18.3°C) الى (704°C). احسب كفاءة المحطة وكذلك احسب معدل تدفق الهواء اللازم للحصول على صافي الشغل من التوربين مقداره (375 kW)، علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 291.3\,(4)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 432\,K$$

$$T_4 = T_3\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 977\,(4)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 657\,K$$

$$q_{in} = Cp(T_3 - T_2) = 1.005(977 - 432)$$

$$= 548\,kJ/kg$$

$$q_o = Cp(T_4 - T_1) = 1.005(657 - 291.3)$$

$$= 367\,kJ/kg$$

$$w = q_{in} - q_o = 548 - 367 = 181\,kJ/kg$$

$$\eta = \frac{W}{q_{in}} = \frac{181}{548} = 0.328$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{W}}{w} = \frac{375}{181} = 2.07\,kg/s$$

(6.50)

طائرة تطير بسرعة (800 Km/h). يدخل الهواء الناشرة (البوق) بدرجة حرارة (-24.6°C) وضغط (46.6 kPa). فيتمدد ادياباتياً ويدخل الى ضاغط، حيث يضغط ادياباتياً الى (280kPa). ثـم يتمـدد ادياباتياً في تـوربين يقـوم بتـشغيل الـضاغط ، فـإذا كـان معـدل تـدفق الهـواء (95 kg/s)، Cp=1.004kJ/kg.K ، γ=1.4. احسب القدرة التي يولدها التوربين بالـ (kW). واهمـل سـرعة الهواء عند مخرج الناشرة وطاقة الوضع.

$$C_1 = \frac{800\times1000}{3600} = 222.2\,m/s$$

$$C_1^2 = 2000\Delta h_{12} = 2000\,Cp\,\Delta t_{12}$$

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{(222.2)^2}{2000\times1.004}$$

$$= 24.6^\circ C = t_2 - t_1$$

$$t_2 = \Delta t_{12} + t_1 = 24.6 + (-24.6) = 0^\circ C$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 46.6\left(\frac{273}{248.6}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}}$$

$$= 64.8kPa$$

$$T_3 = T_2\left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 273\left(\frac{280}{64.8}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$= 414.94\,K$$

$$w_C = w_T = Cp(T_3 - T_2)$$

$$= 1.004(414.94 - 273)$$

$$= 142.36\,K$$

$$= 142.30\,kJ/kg$$

$$\dot{W}_T = w_T \times \dot{m} = 142.36\times95$$

$$= 13524.2\,kW$$

(6.51)

محطة توربينية غازية تتكون من ضاغط وغرفة إحتراق وتوربين، حيث يقوم التوربين بتشغيل الضاغط وتوفير الشغل. نسبة الضغط لكل من الضاغط والتوربين هي $\left(\frac{4.4}{1}\right)$ كانت درجة الحرارة عند مدخل الضاغط (15°C) وارتفاع درجة الحرارة في غرفة الاحتراق هو (390°C). وعلى فرض ان الانضغاط والتمدد ادياباتي، والاحتراق يتم عند ثبوت الضغط. اوجد (1) الشغل الصافي لكل (1kg) (2) الكفاءة الحرارية للمحطة. المادة الشغالة هي الهواء. اهمل الطاقتين الكامنة والحركية، علماً ان:

Cp=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288(4.4)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 400\,K$$

$$T_3 = T_2 + \Delta T = 440 + 390 = 830\,K$$

$$T_4 = T_3\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 830\left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 543\,K$$

$$W_c = Cp(T_2 - T_1) = 1.005(440 - 288)$$

$$= 153kJ/kg$$

$$W_T = Cp(T_3 - T_4) = 1.005(830 - 543)$$

$$= 288\,kJ/kg$$

$$W_{net} = W_T - W_C = 288 - 153$$

$$= 135\,kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{135}{1.005\times390} = 0.343$$

(6.52)

هواء درجة حرارته (25°C) وضغطه (101kPa) يضغط انعكاسياً في ضـاغط الـى (800kPa). افترض ثبوت الحرارة النوعية واهمل التغير بالطاقة الحركية والكامنة واحسب درجة الحرارة النهائية والشغل النوعي عندما يكون الانضغاط (1) ايزنتروبي (2) ايزوثرملي، إذا كان

R=0.287 kJ/kg.K ، γ=1.4

(1)

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 298\left(\frac{800}{101}\right)^{0.286}$$

$$= 538\,K$$

$$w_{12} = -\frac{\gamma R(T_2 - T_1)}{\gamma - 1}$$

$$= -\frac{1.4 \times 0.287\,(538 - 298)}{0.4}$$

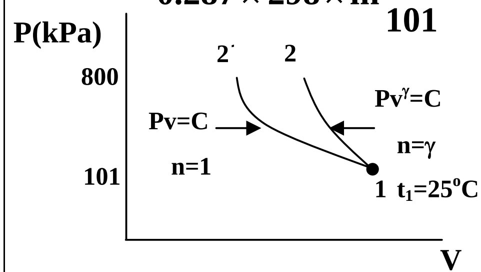
$$= -241.1\,kJ/kg$$

(2)

$$T_2 = T_1 = 298\,K$$

$$w_{12'} = RT\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= -0.287 \times 298 \times \ln\frac{800}{101}$$



$$\therefore w_{12} = -177\,kJ/kg$$

(6.53)

هيدروجين درجة حرارته (30°C) وضغطه (200kPa) يضغط بولتروبياً الى (900kPa). احـسب درجة الحرارة النهائية والشغل النوعي. اعتبر **n=1.25 ، R=4.124kJ/kg.K**

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 303\left(\frac{900}{200}\right)^{\frac{1.25-1}{1.25}} = 409.3\,K$$

$$w_{12} = -\frac{nR(T_2 - T_1)}{n - 1}$$

$$= -\frac{1.25 \times 4.124\,(409.3 - 303)}{1.25 - 1}$$

$$= -2193\,kJ/kg$$

مسائل

(6.1)

هواء يمر خلال ضاغط يتدفق بسرعة (50kg/h) حيث يضغط من (1bar) الى (8bar). يدخل الهواء الى الضاغط بسرعة (9m/s) ويخرج منه بسرعة (2m/s). كثافة الهواء عند الـدخول ($1.3kg/m^3$) وعند الخروج (6kg/m3)، القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط (2.5kW). اوجد الارتفاع فـي درجـات حرارة الهواء عندما يكون (1) الحرارة المفقودة أي المنتقلة من الضاغط الى المحـيط (30 kg/min) (2) الاجراء ادياباتي.

ج: (181.2 K ، 145.5 K)

(6.2)

ضاغط يجهز الهواء المضغوط بمعدل (138kg/h) ويحتاج في ذلك الى قدرة مقـدارها (11.5kW). يبرد الضاغط بواسطة الماء الذي يغادر الضاغط حاملاً معه طاقة حراريـة مقـدارها (35kJ) لكـل كيلوغرام من الماء. الهواء يدخل الى الضاغط بضغط (1bar) وبـسرعة (65m/s) وبحجـم نـوعي ($0.92m^3/kg$) وبطاقة داخلية نوعية (237kJ/kg) ويخرج منه بضغط (7.5bar) وبسرعة (15m/s) وبحجم نوعي ($0.182m^3/kg$) وبطاقة داخلية نوعية (437kJ/kg). احسب معدل تدفق ماء التبريـد اللازم.

ج: (0.063 kg/s)

(6.3)

ضاغط يستلم الهواء من الجو المحيط والذي ضغطه (1bar) ودرجـة حرارتـه (300K) وسـرعته (20m/s) ويخرج منه الهواء بضغط (4bar) ودرجة حرارة (480K) وسرعة (100m/s). الحرارة النوعية للهواء (Cp=1.005kJ/kg.K) ومعدل جريان الهواء (900kg/min). فما هي القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط إذا علمت ان الحرارة المفقودة من الضاغط تعادل (10%) من الشغل الداخل.

ج: (2532.3 kW)

(6.4)

يدخل هواء بوق (منفث) بضغط مقداره (5bar) ودرجة حرارة مقدارها (35°C) وسرعة (0.7m/s) ويغادر بضغط مقداره (1bar) ودرجة حرارة (10°C). فاذا كانت (γ=1.4)والحرارة النوعية مقدارها (Cv=0.718 kJ/kg.K). احسب (1) سرعة الهواء عند الخروج من البوق (2) كثافة الهـواء عنـد الدخول والخروج من البوق.

ج: ($1.23\ kg/m^3$ ، $5.65\ kg/m^3$ ، 224.16 m/s)

(6.5)

هواء يمر خلال بوق (منفث) حيث يدخله بضغط (4bar) ودرجة حرارة (30°C) وسـرعة (2m/s) ويغادر بضغط (1.2bar) وسرعة (175m/s). فإذا علمـت ان **(γ=.14 ، Cv=0.717 kJ/kg.K)**

احسب:

(1) التغير في درجة حرارة الهواء.

(2) التغير في كثافة الهواء.

ج: (-15.25 K ، 3.147 kg/m^3)

(6.6)

ضـاغط يـدخل اليــه الهــواء بمعــدل تــدفق (165kg/h) وبــضغط (1bar) حجــم نــوعي (0.9m^3/kg) وســرعة (60m/s) ويخــرج منــه بــضغط (8bar) وحجــم نــوعي (0.18m^3/kg) وبسرعة (12m/s). فإذا كانـت الزيـادة فـي الطاقـة الداخليـة النوعيـة للهـواء (200kJ/kg) والقدرة اللازمة لتشغيل الضاغط (14kW). أوجد الطاقة الحرارية المنتقلة من الضاغط في الساعة.

ج: (-8774.7 kJ/h)

(6.7)

توربين بخاري يمر خلاله (100kg/min) من البخار الذي يدخل بسرعة (50m/s) وبأرتفـاع (6m) وبأنثالبي نوعي (3138kJ/kg) ويغـادر بـسرعة (200m/s) وبأرتفـاع (3m) وبانثـالبي نـوعي (2562kJ/kg). فإذا كانت الحرارة المفقودة الى المحيط (5.7kJ/kg). اوجد القـدرة الناتجـة مـن التوربين.

ج:(919.3 kW)

(6.8)

هواء يمر خلال توربين غازي بمعدل (0.8kg/s) حيث يدخل بـسرعة (50m/s) وبدرجـة حـرارة (900°C) ويخرج بسرعة (100m/s) وبدرجة حرارة (250°C). فإذا كانت الحرارة المفقـودة الـى المحيط (120 kJ/kg). احسب القدرة التي يولدها التوربين. علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K

ج: (423.6 kW)

(6.9)

ضاغط يستلم الهواء بدرجة حرارة (34°C) يعمل بمحرك كهربائي قدرته (18kW). يستلم الـضاغط (84%) من هذه القدرة. الهواء الخارج من الضاغط يذهب الى خزان حجمه ($1.2m^3$). تـم تـشغيل الضاغط لفترة (5) دقائق ارتفع الضغط ودرجة الحرارة في الخزان مـن (33 bar) و (15°C) الـى (12.7 bar) و (49°C). الضاغط يتم تبريده بالماء الذي يمر بكتلة (10.4kg/min) وترتفع درجـة حرارته من (7°C) الى (15°C). الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K). احـسب درجـة حـرارة الهواء الخارج من الضاغط.

ج: (271.17°C)

(6.10)

هواء يدخل الى ضاغط بسرعة (3600m/min) وبأنثالبي نوعي مقداره (325kJ/kg). ولفـرض ان يكون معدل تدفق الهواء بمقدار (140kg/h) يلزم لتشغيل الضاغط قـدرة مقـدارها (720kJ/min). ضغط الهواء عند خروجه من الضاغط (8 bar) وبحجم نوعي ($0.18m^3/kg$) وطاقة داخلية نوعيـة (440 kJ/kg) وبسرعة (15 m/s). يبرد الضاغط بالماء بحيث ان (90%) مـن الطاقـة الحراريـة المنتقلة تذهب الى الماء الذي يتدفق بمعدل (1.429kg/min). فإذا علمت ان حرارة المـاء النوعيـة مقدارها (4.2kJ/kg.K) مع إهمال التغير في الطاقة الكامنة. احسب مقدار ارتفاع درجة حرارة الماء.

ج: (18 K)

(6.11)

توربين غازي يدخله الغاز بضغط مقداره (7bar) ودرجة حرارة مقدارها (650°C) وسرعة مقدارها (9m/s). ويترك التوربين بضغط مقداره (1bar) ودرجة حرارة (294.65°C) وسـرعة (45m/s). إفترض ان التمدد ادياباتي واهمل التغير في طاقة الوضع واحسب مقدار الشغل لكل (1 kg). علماً أن:

Cv=0.834 kJ/kg.K ، γ=1.333

ج: (394.18 kJ/kg)

(6.12)

يتمدد غاز ادياباتي في توربين بمعدل (20kg/s) وتنخفض درجة حرارته الى (400°C)، ثـم يتمـدد ادياباتياً في بوق الى ان تصبح درجة حرارته (80°C). فإذا كانت درجة حـرارة الغـاز الابتدائيـة (800°C) و (Cp=0.97kJ/kg.K). أهمل التغير في الطاقة الحركية وطاقة الوضع للتوربين وطاقـة الوضع والسرعة الابتدائية للبوق. أوجد (أ) القدرة الناتجة من التوربين (ب) سرعة الغاز عند مخـرج البوق.

ج: (7760 kW ، 787.9 m/s)

(6.13)

القدرة اللازمة لتشغيل ضاغط (12kW) لكي يكون معدل تدفق الهواء (2.4kg/min). يدخل الهـواء بضغط ($100kN/m^2$) وحجم نوعي ($0.9m^3/kg$) وسرعة (3600m/min) وارتفاع (8m). ويخرج منه بضغط (8bar) وحجم نوعي ($0.18m^3/kg$) وسرعة (15m/s) وارتفاع (4m). الفرق في الطاقة الداخلية النوعية (299kJ/kg). يبرد الضاغط بالماء حيث تنتقل (80%) من طاقته الحرارية الى الماء الذي ترتفع درجة حرارته بمقدار (20K). أوجد كتلة ماء التبريد في الساعة الواحـدة إذا علمـت ان حرارته النوعية (4.2 kJ/kg.K).

ج: (70.3 kg/h)

(6.14)

بخار يتدفق خلال توربين بمعدل (4500kg/h). عند الدخول تكـون الـسرعة (15m/s) والـضغط (6bar) والحجم النوعي ($0.82m^3/kg$) والطاقة الداخلية النوعية (172kJ/kg). وعند الخروج تكون السرعة (180m/s) والضغط (1bar) والحجم النـوعي ($0.8m^3/kg$) والطاقـة الداخليـة النوعيـة (164kJ/kg). يفقد التوربين حرارة الى المحيط بمعدل (10%) من الشغل الخارج. احـسب القـدرة الناتجة من التوربين بالـ (kW)، مع إهمال طاقة الوضع.

ج: (458.75 kW)

(6.15)

توربين بخاري يعقبه مكثف يبرد بالماء. يدخل البخـار الـى التـوربين بمعـدل (5kg/s) وانثـالبي (2800kJ/kg) وسرعة (20m/s) ويخرج من التوربين بسرعة (25m/s). بعد تكثفه يخـرج كمـاء بأنثالبي (120kJ/kg) وسرعة ضئيلة. الحرارة المطروحة من المكثف بمعـدل (7000kW) ومعـدل قدرة التوربين (6300kW). إرسم مخطط المنظومة واحسب:

(1) الحرارة المتسربة من التوربين (من الجدران) (2) أنثالبي البخار بعد خروجه من التوربين وقبـل دخوله المكثف (3) كمية الماء اللازم لتبريد المكثف إذا كانت درجة حرارته عند الـدخول والخـروج (15°C ، 10°C) على التوالي. والحرارة النوعية للماء هي (4.2 kJ/kg.K).

ج: (101 kW ، 1520 kJ/kg ، 333.3 kg/s)

(6.16)

منظومة حرارية يمر فيها هواء بمعدل (60kg/min)، واثناء المرور يجهز بقدرة (300W). ضـغط الغاز عند الدخول والخروج (1bar)، درجة حرارة الهواء عند الدخول والخروج (40°C) ، (25°C) على التوالي. احسب مقدار التغير في الانثالبي والطاقة الحركية. علماً إن الاجراء ادياباتي.

ج: (265.34 kJ/kg ، 0.0153 kJ/kg)

(6.17)

هواء يدخل الى ضاغطة هوائية بضغط (1bar) وحجـم نـوعي ($0.86m^3/kg$) ويخـرج بـضغط (7 bar) وحجم نوعي ($0.17m^3/kg$) وبكتلة (4.5kg/min). وكانت الطاقة الداخلية عنـد الـدخول والخروج تساوي (28kJ/kg)، (110kJ/kg) على التوالي. انتقال الحرارة من الضاغطة الى المحيط الخارجي يساوي (76kJ/kg) من الهواء. اهمل التغير بالطاقة الحركية والكامنة واحسب مقدار القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط بالـ (kW).

ج: (-14.3 kW)

(6.18)

معدل جريان الهواء في توربين هو (10kg/s) حيث يدخل الى التـوربين بـضغط (5bar) ودرجـة حرارة (900K). ويتمدد ادياباتياً الى ضغط (1bar) ودرجة حرارة (T_2). إذا كانت سرعة الـدخول ضئيلة وسرعة الخروج (100m/s). احسب قدرة التـوربين بالـ (kW) علمـاً أن: Cv=0.718 kJ/kg.K ، Cp=1.005 kJ/kg.K واحسب مساحة مقطع انبوب الخروج.

ج: (3284 kW ، $0.172\ m^3$)

(6.19)

يمر هواء خلال مبادل حراري حيث ترتفع درجة حرارته من (15°C) الى (800°C) وكانت سرعته عند الدخول والخروج (30m/s). بعدها يدخل الهواء الى بوق (نوزل) حيث يتمدد ادياباتياً حتى تصبح درجة حرارته (500°C). اذا كان معدل الجريان (2kg/s) احسب: (أ) معدل الحرارة المنتقلـة الـى الهواء خلال المبادل الحراري (ب) معدل القدرة الناتجة من التوربين (جـ) سرعة الهواء عند خروجه من البوق.

ج: (1577.85 kJ ، 298.8 kW ، 553 m/s)

(6.20)

الانثـالبي النـوعي لمـاء (389.6kJ/kg) وحرارتـه (93°C)، يـضخ بتـدفق مـستقر بمعـدل (182 kg/min). وكان محرك المضخة ينجز شغلاً مقداره (1.5kW). يمر المـاء خـلال مبـادل حراري ويفقد حرارة بمعدل (42204kJ/min)، ثم يصل الى خزان ثاني على ارتفاع (15m) فـوق الخزان الاول. احسب (أ) الانثالبي النهائي بالـ (kW) واهمل الطاقة الحركية. (ب) درجة الحـرارة النهائية علماً أن الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K).

ج: (479.5 kW ، 38°C)

(6.21)

يـدخل هـواء الـى ضـاغط حيـث يـضغط ادياباتيـاً مـن (0.095MPa) و (290K) الـى (0.38MPa). بعد ذلك يسخن في مبادل حراري الى (1200K) بثبوت الضغط. ثم يـدخل تـوربين حيث يتمدد ادياباتياً الى الضغط الادياباتي. ثم يبرد في مبادل حراري حيث يعود الى وضعه الابتدائي. إذا كان التوربين يشغل الضاغط مع طاقة فائضة مقـدارها (40000kW). احـسب الطاقـة الكليـة للتوربين بالـ (MW). واحسب معدل جريان الهواء داخل المنظومة بالـ (kg/s). اهمـل التغيـر بالطاقة الحركية وطاقة الوضع. ارسم الدورة على مخططي (P-v) و (T-s)، علماً أن:

C_p=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4

ج: (62.42 MW ، 158.4 kg/s)

(6.22)

هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته (300K). ضغط ادياباتياً في ضاغط الى (4bar) حيث يـدخل الى مبادل حراري ليكتسب حرارة بثبوت الضغط واصبحت درجة حرارته (1000K). وبعد ذلك تمدد ادياباتياً خلال توربين. وكان الشغل المنجز خلال التوربين يساوي الشغل المبذول للـضاغط. يخـرج الهواء من التوربين بسرعة ضئيلة يمكن اهمالها ليدخل الى بوق (منفث) ويتمدد ليعود الـى ضـغطه الابتدائي. احسب لكل (1kg):

(1) شغل التوربين (2) سرعة الهواء عند الخروج من المنفث، اهمـل طاقـة الوضـع فـي جميـع المنظومة. علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K ، Cv=0.712 kJ/kg.K

ج: (715.5 m/s ، 146.7 kJ/kg)

(6.23)

توربين غازي يقوم بتشغيل ضاغط هوائي وإنتاج طاقة فائضة. الضاغط يحتاج الى (70%) من شغل التوربين. الغاز يدخل الى التوربين بأنثالبي نوعي (900kJ/kg) وبمعدل جريان (10kg/s). الهـواء يدخل الى الضاغط بانثالبي نوعي (40kJ/kg) ويخرج منه بانثـالبي نـوعي (500kJ/kg) وبمعـدل جريان (8kg/s). وفي حالة زيادة معدل جريان الهواء في الضاغط بنسبة (20%). احـسب انثـالبي الغاز الخارج من التوربين قبل وبعد الزيادة على إفتراض ان الاجراءات ادياباتية واهمل التغيـر فـي الطاقة الكامنة والحركية للهواء والغاز.

ج: (374.3 kJ/kg ، 269.143 kJ/kg)

(6.24)

يتدفق هواء بمعدل (0.4kg/s) الى ضاغط بسرعة (360m/min) وضغط (1bar) وحجـم نـوعي (0.8m^3/kg). ويخـــرج الهـــواء مـــن الـــضاغط بـــسرعة (270m/min) وضـــغط (6.9bar) وحجم نوعي (0.16m^3/kg). الطاقة الداخلية النوعية الخارجة اكبـر مـن الداخلـة بـــ (88kJ/kg). الحرارة المفقودة من الضاغط تعادل (57%) من الشغل المضاف. احسب:

(أ) القدرة المطلوبة لتشغيل الضاغط بوحدات (kW). اهمل طاقة الوضع (ب) اذا كان تبريد الضاغط يتم بواسطة الماء ودرجة حرارة الماء الداخل (20°C) والخارج (27°C). فما هي كتلة تـدفق المـاء بوحدات (kg/s) إذا كانت الحرارة النوعية للماء (4.2kJ/kg.K).

ج: (28.8 kW ، 0.558 kg/s)

(6.25)

هواء ضغطه ودرجة حرارته ($0.1MN/m^2$) و ($15°C$) على التوالي. يـضغط ادياباتيـاً بوسـاطة ضاغط الى ($0.5MN/m^2$). يدخل الى غرفة احتراق ليخرج بدرجة حرارة ($900°C$)، والاحتراق يتم عند ضغط ثابت. يتمدد الهواء ادياباتياً الى ضغطه الابتدائي بتوربين حيث يقـوم بتـشغيل الـضاغط وكذلك يوفر طاقة فائضة (شغل اضافي). اهمل التغيرات في الطاقة الكامنة والحركية واحسب الـشغل الصافي وكفاءة المنظومة الحرارية. علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4

ج: (265 kJ/kg ، 36.8%)

(6.24)

ضاغط يحتاج (12kW) عندما يجهز هواء بمعدل (140kg/h)، حيث يدخل الهـواء الـى الـضاغط بضغط (1bar) وحجم نوعي ($0.9m^3/kg$)، وسرعة (60m/s). ويخرج منه بضغط (8bar) وحجـم نوعي ($0.18m^3/kg$) وسرعة (15m/s). ارتفعت طاقته الداخلية النوعية بمقدار (205kJ/kg). ويتم تبريد الضاغط بواسطة ماء بحيث ان (80%) من الطاقة الحرارية المنتقلة تذهب الى المـاء لترتفـع درجة حرارته بمقدار (20K). فإذا كانت الحرارة النوعية للماء (4.2kJ/kg.K). أوجـد كتلـة مـاء التبريد اللازمة بالساعة. اهمل الطاقة الكامنة.

ج: (69 kg/hr)

(6.27)

هواء درجة حرارته ($15°C$) وضغطه ($0.1MN/m^2$) يـضغط ادياباتيـاً بواسـطة ضـاغط الـى ($0.44MN/m^2$). ثم يدخل الهواء الى مبادل حراري ليسخن بثبوت الضغط ويصبح الفـرق بدرجـة حرارته ($390°C$)، ثم يدخل الهواء الى توربين فيتمدد الى ضغطه الابتدائي ويقوم بتشغيل الـضاغط مع إنتاج طاقة فائضة مقدارها (36000kW). ثم يدخل الهواء في مبادل حراري ليبرد بثبوت الضغط ويعود الى حالتـه الاصـلية. فـإذا اهملـت التغيـرات فـي الطاقـة الكامنـة والحركيـة. وكـان (Cp=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4). احسب:

(1) صافي الشغل لكل (1kg) (2) الكفاءة الحرارية للدورة (3) معدل جريان الهواء المتـدفق داخـل المنظومة بالـ (kg/s) (4) القدرة الكلية للتوربين بالـ (MW).

ج: (135 kJ/kg ، 0.345 ، 265.34 kg/s ، 76.53 Mw)

(6.28)

طائرة نفاثة على ارتفاع عالي، يدخل الهواء الضاغط بدرجة حـرارة (-24.6°C) وضـغط مقـداره (46.6kPa). ويترك الضاغط بضغط مقداره (280kPa). وتضاف حرارة بثبـوت الـضغط بحيـث تصبح درجة حرارته (800°C). يتمدد الهواء بعد ذلك في توربين يستخدم فقط لأدارة الضاغط. وبعد ذلك يتمدد الهواء في بوق (منفث) الى ضغطه الابتدائي. فإذا علمت ان معدل تدفق الهواء (95 kg/s) وان (Cp=1.005 kJ/kg.K ، γ=1.4). وعلى افتراض ان اجراءات التمـدد والانـضغاط للهـواء ادياباتية. احسب:

(1) القدرة التي يولدها التوربين بوحدات (kW) (2) بأهمال سرعة الدخول للبوق، احسب الـسرعة النهائية للهواء عند خروجه من البوق.

ج: (15867.95 kW ، 725.644 m/s)

(6.29)

غاز يتدفق في نظام مفتوح عبارة عن انبوب طويل موضوع بشكل افقي (مدخل النظام ومخرجه بنفس الارتفاع)، بمعدل (0.75kg/s). الضغط ودرجة الحرارة عنـد الـدخول ($2MN/m^2$) و (120°C). وعند الخروج ($1.45MN/m^2$) و (6.6°C). مساحة مقطع الـدخول والخـروج ($78.5cm^2$). فـإذا علمت ان (Cv=0.709kJ/kg.K) و (R=0.165 kJ/kg.K). احسب:

(1) الفرق في الطاقة الحركية للغاز (2) معدل الحرارة المنتقلة بوحدات (kW).

ج: (-0.018 kJ/kg ، -74.3 kW)

(6.30)

هواء يخرج من مبادل حراري بضغط (0.1MPa) ودرجة حرارة (-15°C) ليـدخل الـى ضـاغط ليضغط ادياباتياً الى (0.4MPa). ثم يمر بمبادل حراري ليكتسب حرارة بثبـوت الـضغط ويخـرج بدرجة حرارة (800°C). اهمل الطاقة الكامنة والحركية واحسب:

(1) مقدار الشغل النوعي المضاف للضاغط (2) كمية الحرارة للكيلو غرام المـضاف فـي المبـادل الحراري بعد الضاغط. علماً أن: γ=1.4 ، R=0.287 kJ/kg.K

ج: (126.63 kJ/kg ، 692.45 kJ/kg)

(6.31)

غاز يدخل توربين عند ضغط مقداره (10bar) ودرجة حرارة (1000°C) يتمدد الى ضغط مقـداره (5bar) يكمل الغاز التمدد في بوق الى ضغط مقداره (1bar). فإذا كان التمدد في التـوربين والبـوق أدياباتياً وان (γ=1.4) و (Cv=0.72 kJ/kg.K). إحسب:

(1) الشغل النوعي الناتج في التوربين (2) السرعة النهائية في البوق، إذا اعتبرنا السرعة الابتدائيـة صفراً. اهمل التغير في طاقة الوضع والكامنة.

ج: (230.8 kJ/kg ، 881.12 m/s)

(6.32)

هواء ضغطه (101kPa) ودرجة حرارته (27°C). يضغط ادياباتياً في ضاغط بحيث يصبح ضغطه (5) امثال ضغطه الابتدائي ثم يكتسب حرارة في مبادل حراري بثبوت الضغط بحيث تـصبح درجـة حرارته (1050°C). يتمدد الهواء في توربين ادياباتياً الى ضغطه الابتدائي. التوربين يقـوم بتـشغيل الضاغط مع إنتاج طاقة فائضة. اوجد لكل (1kg) من الهواء:

(أ) صافي الشغل (ب) كفاءة المنظومة

علماً أن: γ=1.4 ، Cp=1.004 kJ/kg.K

ج: (313.75 kJ/kg ، 0.369)

(6.33)

هواء يدخل توربين بضغط مقداره (6bar) ودرجة حرارة مقدارها (600°C) ويتمدد ادياباتيـاً الـى ضغط مقداره (1bar) وينتج قدرة مقدارها ($\dot{W}$=5000kJ/s). بعد ذلك يبرد الهواء بواسطة الماء عن طريق مبادل حراري الى ان تصبح درجة حرارته (27°C). فإذا علمت بأن الحرارة النوعيـة للمـاء (4.2 kJ/kg.K) وان درجة حرارة الماء المار بالمبادل الحراري تزداد بمقدار (20°C). جـد كميـة الماء المطلوبة بوحدات (kg/s). علماً أن:

(γ=1.4) ، (R=0.287 kJ/kg.K)

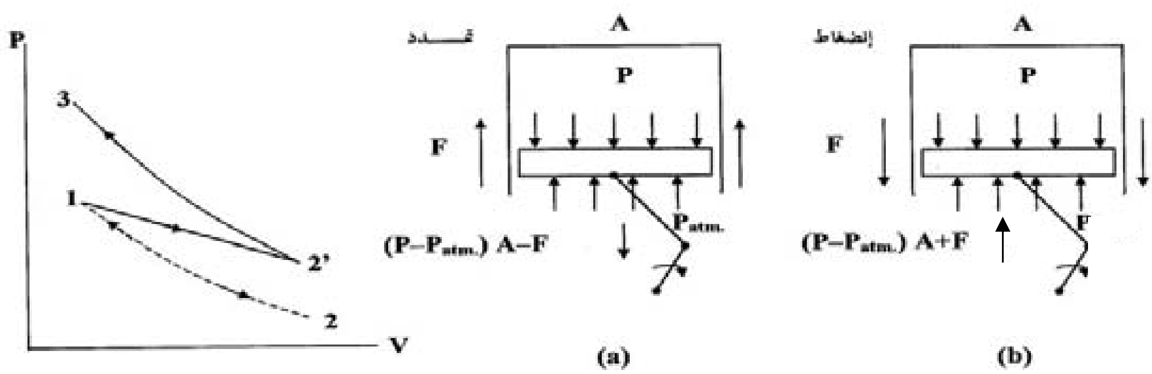
ج: (38 kg/s)

(7.1)- الاحتكاك Friction

لغرض توضيح العمليات الانعكاسية لابد من تسليط الضوء على الظواهر المـؤثرة علـى هـذه العمليات كالاحتكاك. فعندما نفترض وجود غاز محصور في اسطوانة معزولة مغلقة بمكبس متحـرك فسيكون هناك نوعان من الاحتكاك الميكانيكي والمائعي.

1. الاحتكاك الميكانيكي Mechanical Friction

هو الاحتكاك الخارجي الموجود بين المكبس وجدران الاسطوانة. وجوده يعني تحول جـزء مـن الطاقة الحركية للمكبس إلى حرارة مفقودة تتسرب إلى المحيط لا يمكن ارجاعها. فلو فرضـنا أن (P) في شكل (7.1) تمثل ضغط الغاز الداخلي، (P_{atm}) الضغط الجوي، (F) قوة الاحتكاك المعاكس لحركة المكبس، (A) مساحة مقطع المكبس.



شكل (7.1)- تأثير الاحتكاك الميكانيكي

فإذا تمدد الغاز، شكل (7.1.a) أو ضغط، كما في شكل (7.1.B) فيمكن معرفة الشغل الناتج عـن طريق معرفة القوى المؤثرة في المكابس. وهي:

1. PA ....القوة الناتجة من ضغط الغاز.
2. P_{atm} A ...القوة الناتجة من الضغط الجوي.
3. F...قوة الاحتكاك المعاكسة لحركة المكبس.

ان مخطط (P-V)، شكل (7.1)، يبين تأثير الاحتكاك، فالشكل يبين ان المـساحة تحـت منحنـي التمدد والانضغاط ($2 \longrightarrow 1$) متساوية، أي أن الشغل متساوي. وبوجود الاحتكاك، فان المساحة تحـت

منحني الانضغاط ($3 \longrightarrow 2$) أكبر من التمدد ($2 \longrightarrow 1$)، كما ان الشغل الداخل أكبر مـن الخـارج. وهذا موضح في الجدول التالي ايضا.

اثناء التمدد - شكل(a)	اثناء الانضغاط - شكل (b)	القوة والشغل
$(P-P_{atm})\,A-F$	$(P-P_{atm})\,A+F$	(1)محصلة القوى المؤثرة على المكبس.
$dw_0=[(P-P_{atm})A-F]dL$	$dw_{in}=[(P-P_{atm})A+F]dL$	(2)الشغل لمسافة (dL)

$$\therefore\ dw_{in}>dw_o$$

هذا يعني ان هناك حرارة انتقلت إلى المحيط لا يمكن اعادتها. فاذا اردنا ارجاع الغاز إلى حالتـه الاصلية فسنحتاج إلى شغل اضافي نأخذه من المحيط. فسيعود النظام ولكن لا يعود المحيط إلى حالتـه الاصلية.

2. الاحتكاك المائعي Fluid Friction

هو الاحتكاك الداخلي الموجود بين ذرات المائع بسبب اللزوجة أو الحركة الاضرابية او الدوامية، او الاحتكاك بين ذرات المائع والاسطح الداخلية في اثناء وجود او سريان المائع في نظام معين.

(7.2)- الانعكاسية أو الاجراء الانعكاسي

Reversibility or Reversible Process

هي العملية التي يعود فيها النظام إلى حالته الاصلية. فإذا اجري اجراء ما على النظام، ثم اوقـف هذا الاجراء وعكس اتجاهه بحيث عادت كميات الشغل والحرارة إلى النظام والمحيط كل إلى مصدره الاصلي. فان هذا الاجراء انعكاسي.

فمثلا نتصور تمدد المائع ادياباتيا في توربين، ثم يضغط في ضاغط، فإذا تم ذلك بحيـث يعـود المائع إلى حالته الميكانيكية والثرموديناميكية الاصلية، وبحيث يكون الشغل الناتج عن التـوربين كافيـا لتشغيل الضاغط؛ عندئذ يكون التمدد في التوربين محققا لفكرة الاجراء الانعكاسي. وبنفس الطريقـة مـن التمدد نظريا أن يعاد المائع المار في منفث إلى حالته الابتدائية اذا حررناه في ناشر من دون تـأثير فـي المحيط.

ان معظم العمليات الحقيقية تتم داخل نظام يتألف من مكبس واسطوانة، كمكائن الاحتـراق الـداخلي الترددية، الضواغط الغازية ... الخ. ولغرض التبسيط نفترض ان العمليات فيها انعكاسـية. التـي يمكـن

الحصول عليها بدفع المكبس ببطء جداً لتجنب الاضطراب وكي يكون هناك وقت كافٍ ليصبح الضغط ودرجة الحرارة متساوياً في جميع النقاط.

العملية الانعكاسية مثالية افتراضية، أي لا توجد في العمليات الطبيعية أو الدورات الحقيقية. ولكن يمكن التقرب من هذه العمليات عند توفر الشروط الافتراضية التالية:

1. **أن تكون العملية بطيئة. وهذا يؤدي إلى:**
   أ. انعدام الاحتكاك الميكانيكي والمائعي.
   ب. تساوي القوى المؤثرة على المكبس.
   جـ. انعدام الفقدان الحراري.
2. **ان تكون العملية متزنة حراريا. وهذا يؤدي إلى:**
   أ. تساوي ضغط ودرجة حرار النظام والمحيط.
   ب. انتقال الشغل والحرارة من وإلى النظام متساوي في الاتجاهين.

فمثلا في عملية تمدد الغاز ضمن اسطوانة مجهزة بمكبس، يوجد مقدار قليل من الاحتكاك وفرق قليل في ضغط ودرجة حرارة النظام والمحيط بحيث يمكن اهمالها. أي أن المكبس في هذه الحالة يكون عديم الوزن والاحتكاك والتسرب. وبالتالي يمكن حساب الشغل على اساس أن التمدد انعكاسي.

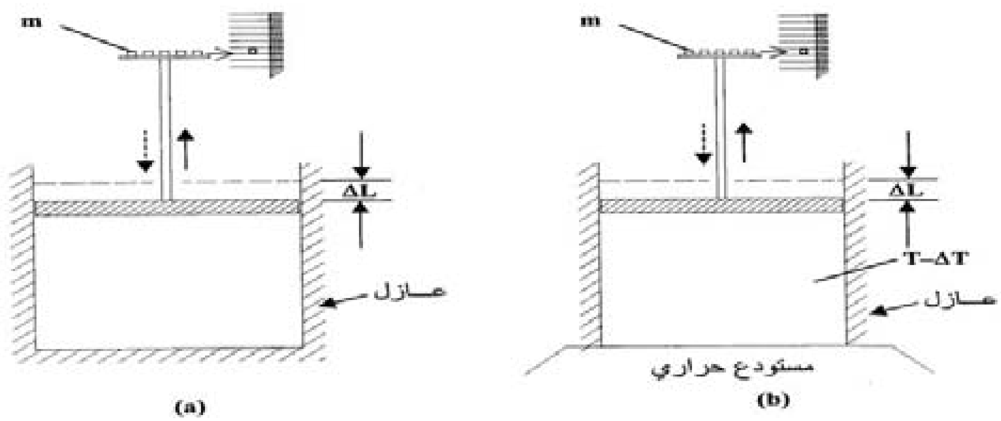
تعتبر العمليات الانعكاسية ذات اهمية نظرية كبيرة في حسابات اقصى قيمة للشغل المنجز واقل قيمة للشغل المطلوب وبالتالي تعطي اعلى كفاءة عند معرفة خواص النظام.

وخلاصة القول نقول، إذا مر النظام بسلسلة من حالات التوازن اثناء الاجراء يمكن ايضا تحديد الحالات المتوسطة على المخطط وبالتالي يمكن رسم مسار (Path) الاجراء عبر هذه النقاط. هذا هو الاجراء الانعكاسي عديم الاحتكاك.

(7.3)- الاجراء الانعكاسي Irreversible Process

هي العملية التي تحدث بإتجاه واحد ولا يمكن عكسها. أي لا يمكن أن يعود النظام إلى حالته الاصلية تلقائيا أو دون تأثير خارجي، بسبب وجود الاحتكاك وانعدام الاتزان الحراري.

ولمناقشة هذه العملية نفترض وجود اسطوانة معزولة تحتوي على غاز مغلق بمكبس معزول فوقه اثقال، شكل (7.2.a). ونفترض ايضا أن المكبس يلتصق كثيراً بجدران الاسطوانة.



شكل (7.2)- الانعكاسية واللاانعكاسية

عند إزالة ثقل من هذه الاثقال فسيتحرك المكبس مسافة (ΔL) حاملا معه بقية الاثقال. أي أن النظام ينجز شغلا على الخليط. وأثناء هذه العملية يتسارع المكبس في البداية ثم يتباطأ تدريجيا حتى يصل إلى الحالة النهائية. وقد يتذبذب المكبس بين الحالتين ولكن هذه الحركة التذبذبية تخمد بالتدريج نتيجة للاحتكاك الميكانيكي والمائعي.

هذه التأثيرات تمنع وصول المكبس إلى الارتفاع الذي يمكن الوصول إليه في غيابها، لـذلك يقـل الشغل المنجز. هذه العملية لا انعكاسية لأنها مصحوبة بمفقودات حرارية جـراء الاحتكـاك. وتبقـى العملية لا انعكاسية حتى في حالة انعدام الاحتكاك الميكانيكي وبقاء الاحتكاك المائعي. وبمـا أن هـذه الظواهر موجودة دائما لذا فأن الاجراءات الحقيقية لا يمكن أن تكون انعكاسية.

وعند مناقشة العملية الايزوثرملية، نفترض وضع نفس النظام متلامسا مع مستودع حراري عنـد درجة حرارة (T) كما في شكل (7.2.b). المستودع يمكنه امتصاص أو اعطاء كميات غير محددة من الحرارة دون أن تتغير درجة حرارته كالجو والمحيطات (المحيط)، فستنتقل الحرارة من النظـام إلـى المحيط وبالعكس. تنتقل الحرارة لا انعكاسيا عندما يكون الفرق في .درجة الحرارة محـددا.ويـصبح انعكاسيا عندما يكون الفرق في درجة الحرارة متناهيا في الصغر.

نعود إلى شكل (7-2-b). عند إزالة وزن محدد(m) من فوق المكبس عديم الاحتكاك سـتنخفض درجة الحرارة من (T) إلى (T-ΔT). أي أن الحرارة تنتقل بمعدل محدود من المستودع إلى النظـام. وهذه عملية لا انعكاسية . أما إذا كان الثقل المزاح متناه في الصغر، فأن الانخفاض في درجة الحرارة سيكون متناهياً في الصغر، ايضا وستنتقل الحرارة انعكاسيا.

وعموما، إذا دفع المكبس إلى الاسفل بسرعة كبيرة، فإن قيمة الضغط ودرجة الحـرارة والكثافـة للنقاط الواقعة تحت المكبس مباشرة ستكون أكبر مما هي عليه في النقاط الاخرى، أي أن قيم الخواص غير متساوية على الاجراء الذي يمثل على المخطط بنقاط تصل بين الحالتين الابتدائية والنهائية، ليدل ذلك على أن النقاط المتوسطة غير معنية، هذا هو مفهوم اللاانعكاسية.

(7.4)- انواع الاجراءات اللاانعكاسية

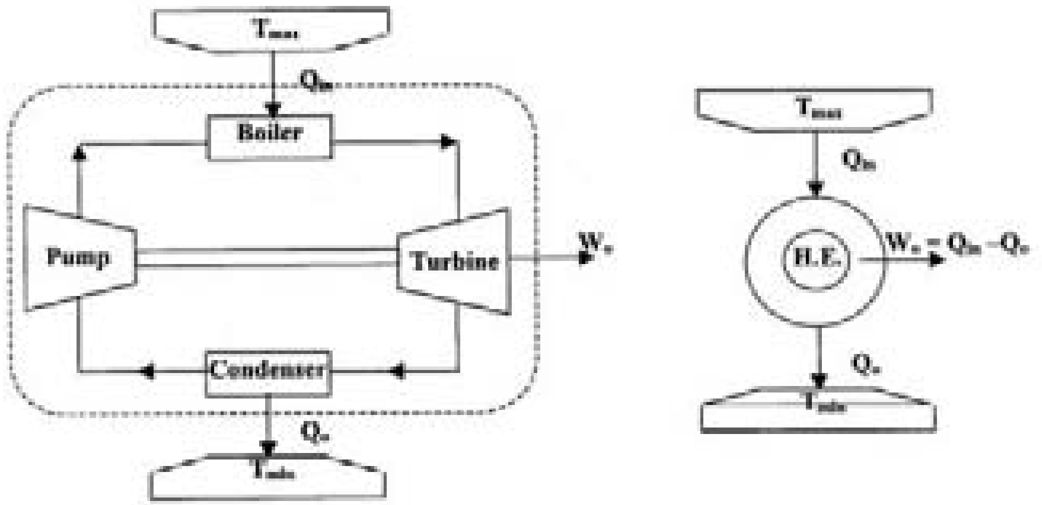
يمكن فهم الاجراءات اللاانعكاسية من خلال المخطط التالي:

الإجراءات اللانعكاسية

- 1- التلقائية
  - 1- لايمكن عكس اتجاها كالعمليات الطبيعية مثل:
    - 1- حركة الانهار والشلالات نحو الانخفاض
    - 2- حركة الرياح نحو مناطق الضغط المنخفض
    - 3- الزمن، المطر
  - 2- يمكن عكس اتجاها بمساعدة خارجية
    - 1- انتقال الحرارة من الجسم الساخن الى البارد
    - 2- تحول الشغل الى حرارة
    - 3- خلط الغازات والسوائل
    - 4- تعدد الغازات
    - 5- سقوط الاجيام
- 2- القسرية التي تحتاج الى شغل
  - 1- انتقال الحرارة من الجسم البارد الى الساخن
  - 2- تحول الحرارة الى شغل
  - 3- فصل الخلائط عن بعضها
  - 4- ضغط الغاز من ضغط منخفض الى ضغط اعلى
  - 5- رفع الماء والاجسام من مستوى منخفض الى مستوى اعلى

(7.5)- المحرك الحراري The Heat Engine

هو نظام ثرموديناميكي يعمل بين مصدرين حراريين في عملية دورية، يستلم حرارة (Q_{in}) مـن مصدر حار(T_{max}) ويحول جزء منها إلى شغل (W_0) والجزء الآخر (Q_0) يطرد إلى مـصدر بـارد (T_{min})، كما الشكل (7.3).



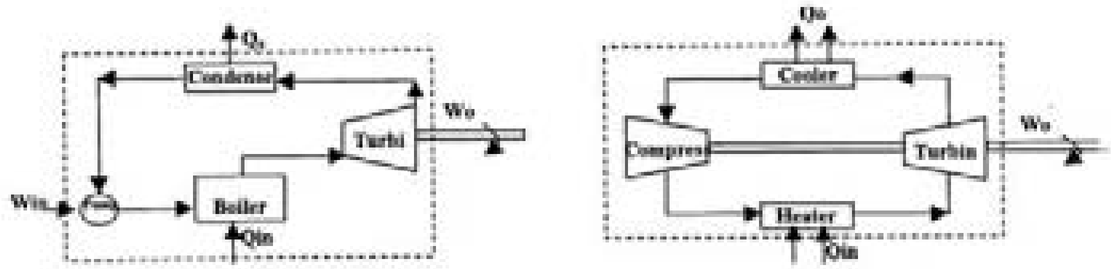
شكل (7.3)- المحرك الحراري

يعد المحرك الحراري المثالي عديم الاحتكاك، يكون المائع فيه غازا مثاليا لكي يخضع لقوانين الغازات المثالية. ويستعمل للمقارنة مع المحركات الحقيقية.

المحرك الحراري ورمزه (HE) يمكن أن يكون بسيطا أو عبارة عن محطـة مغلقـة لتوليـد القـدرة الكهربائية. فالمحرك الحراري البسيط يتألف من اسطوانة بداخلها هواء مغلقة بمكـبس. فعنـد انتقـال الحرارة إلى النظام ترتفع درجة حرارة الهواء فيتمدد ويزداد حجمه فينتج شغلا يساوي:

$$\mathbf{W_O = Q_{in} - Q_O} \quad \mathbf{\ldots\ldots(7.1)}$$

أما المحرك الحراري الذي يمثل محطة مغلقة لتوليد القدرة الكهربائية فيمكن أن يكون محطة بخاريـة، شكل (7.4-a) أو محطة غازية، شكل (7.4-b)، وغيرها من المحطات. إن كل جزء من هذه المحطـة يمكن تحليله وفق عمليات التدفق المستقر. وعند اعتبارها ككل يمكن عدها محركا حراريـا. وتسلـسل العمليات في المحطة البخارية هو كالتالي:



محطة بخارية (a) محطة غازية (b)

شكل (7.4)- تطبيقات المحرك الحراري

1. تنتقل الحرارة (Q_{in}) إلى الماء في المرجل فيتحول إلى بخار بدرجة حرارة وضغط عاليين.
2. يتمدد البخار في التوربين فينتج شغل في عمود الدوران (W_{out}).
3. يتكثف البخار في المكثف بعد انتقال حرارة (Q_{out}) إلى المحيط فيتحول إلأى ماء بدرجة حـرارة واطئة.
4. تحتاج المضخة إلى شغل (W_{in}) لتضخ الماء ثانية إلى المرجل وبذلك تكتمل الدورة، وتعود المادة الشغالة إلى حالتها الاصلية، وبالتالي لا يحصل أي تغيير في الطاقة المخزونة، أي أن ($\Delta E_{se}=0$) وتصبح معادلة الطاقة كالتالي:

$$\mathbf{Q - W = \Delta E_{se}} \text{..} \mathbf{(7.2)}$$

$$\mathbf{Q = W}$$

$$\mathbf{\sum Q = \sum W}$$

$$\mathbf{Q_{in} + (-Q_O) = W_O + (-W_{in})}$$

$$\mathbf{Q_{in} - Q_O = W_O - W_{in} = W_{net}} \text{......................} \mathbf{(7.3)}$$

لا تعتبر محركات الاحتراق الداخلي، محرك حراري، للأسباب التالية:

1. تدفق الخليط عبر حدود النظام.
2. حدوث الاحتراق داخليا.
3. تدفق العادم والحرارة المفقودة وجزء من الشغل عبر حدود النظام.

ولكن من الشائع تسمية جميع المحركات الثرموديناميكية بالمحركات الحرارية.

(7.6) - كفاءة نظام تحويل الطاقة أو كفاءة المحرك الحرارية

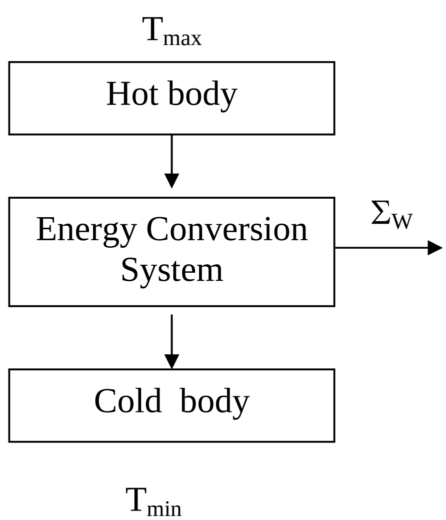
Efficiency of Energy Conversion System or Engine Thermal Efficiency

عند مرور نظام مغلق بدورة فيصبح القانون **الاول** ($\oint dQ = \oint dW$) **وإذا كانت** (Q_{in}) حرارة داخلة* و(W_{in}) الشغل الصافي، فيصبح القانون الاول

$$W_{net} = Q_{in} - Q_O \text{ ....(7.4)}$$

وكما مر بنا سابقا فإن النظام الذي يعمل في دورة وينتج شغلا صافيا عند تزويده بـالحرارة ويـسمى بالمحرك الحراري (Heat Engine) ، شكل (7.5). ويعبر عن حسن إداء المحرك وفعاليته في تحويل الحرارة إلى شغل بالمردود الحراري أو الكفاءة الحرارية بالرمز(η_{th}). وكلما زادت نـسبة الحـرارة المتحولة إلى شغل كلما كان المحرك أفضل. وإن معادلة كفاءة دورة المحرك الحراري هي:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_O}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_O}{Q_{in}} \text{ ....(7.5)}$$



شكل (7.5)- تحويل الطاقة في النظام

يتضح من المعادلة (7.5) أن مقدارا من الحرارة يلزم طرده لكي يعود النظام إلى حالته الاصلية. وإن الكفاءة تكون واحدا أو (100%) عندما تكون (Q_o=o)، وبما أن (Q_o) لهـا قيمـة محـددة، إذن الكفاءة لابد أن تكون أقل من (100%).

---

* يعبر عن الشغل الصافي بـ (W_{net})، والشغل المنجز (W_{done})، والشغل الخارج بـ (W_o)، هـذه المصطلحات لها نفس المعنى.

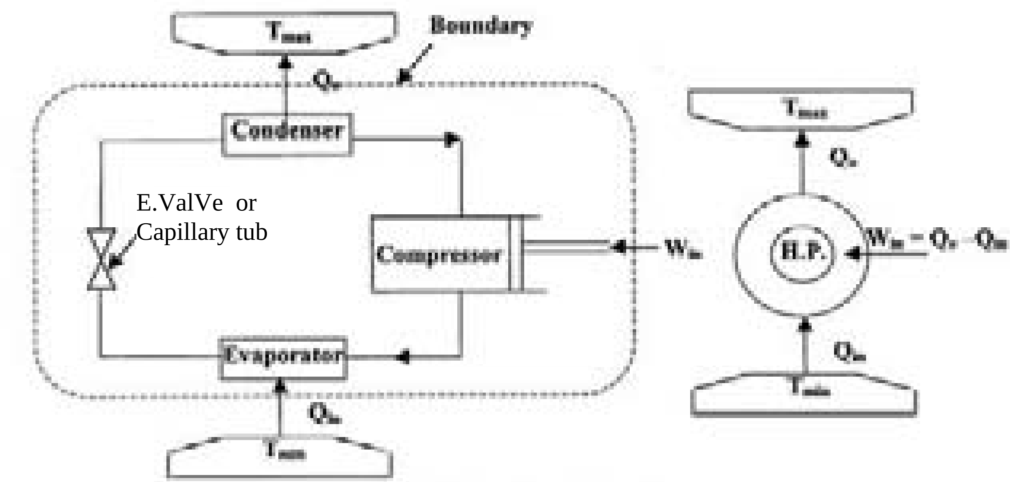
وإذا كانت($\dot{m}_f$)تمثل كتلة الوقود المستهلكة بوحدات (kg/s) وإن (LCV) القيمة الحرارية للوقود بوحدات (kJ/kg). وأن ($\dot{W}_o$) بوحدات (kW) فإن:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_O}{\dot{m}_f \times LCV} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7.6)$$

(7.7)- المحرك الحراري المعكوس (المضخة الحرارية)

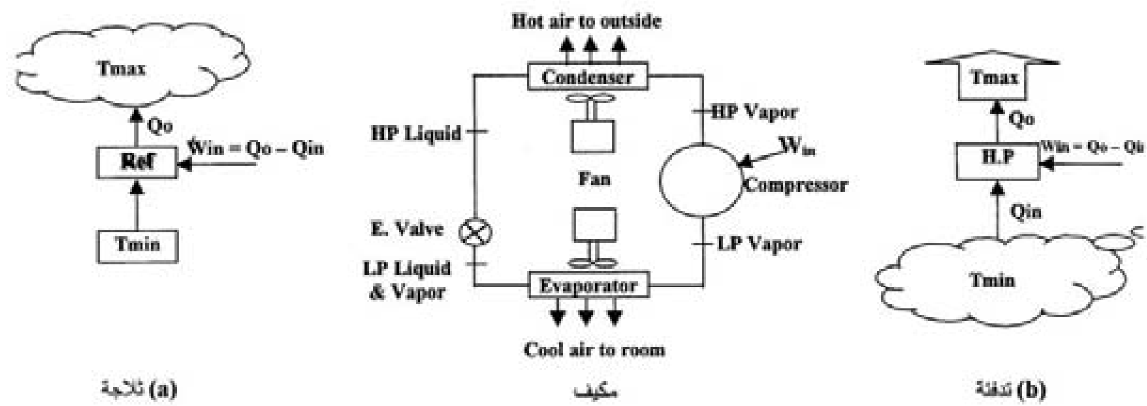
Reversed Heat Engine (Heat pump)

هو نظام ثرموديناميكي يعمل بين مصدرين حراريين في عملية دورية. ينقل حرارة (Q_{in}) من مصدر بارد (T_{mim})، ويطرد حرارة (Q_O)إلى مصدر حار (T_{max}) بمساعدة شغل خارجي (W_{in})، لذلك فهي عكس المحرك الحراري، كما في شكل (7.6).



شكل (7.6)- المضخة الحرارية

تستخدم المضخة الحرارية كجهاز تبريد (Refrigerator) يقوم بنقل حرارة من حيز بارد إلة حيز حار كما في الثلاجة أو المكيف، شكل(7.7-a). كما يمكن استعمال المضخة الحرارية كجهاز تدفئة منزل مثلا، حيث يقوم بنقل الحرارة إلى نظام درجة حرارته عالية (T_{max}) من مصدر درجة حرارته منخفضة، كما في شكل (7.7-b).



شكل (7.7)- تطبيقات المضخة الحرارية

(7.8)- معامل الاداء Coefficient of Performance

يعبر عن حسن اداء المضخة الحرارية بمعامل الاداء (C.O.P) تتوقـف قيمتهـا بحـسب اسـتعمال المضخة. فإذا استعملت كجهاز تدفئة، فيكون الغرض الاساس منها نقل كمية الحـرارة إلـى الغرفـة المدفأة (Qo) بوساطة المضخة ويكون معامل ادائها:

$$(COP)_{H.P}=\frac{Q_O}{W_{in}}=\frac{Q_O}{Q_O-Q_{in}}\quad\text{..............................}(7.7)$$

أما اذا استخدمت كجهاز تبريد فإن الغرض الاساس منها هو كمية الحرارة التي تطرد من الغرفة المبردة بوساطة جهاز التبريد (Q_{in}) وتطرح إلى المحيط الخارجي. تسمى بمعامـل الاداء أو عامـل احداث البرودة. أي:

$$(COP)_{Ref}=\frac{Q_{in}}{W_{in}}=\frac{Q_{in}}{Q_O-Q_{in}}\quad\text{..............................}(7.8)$$

بما أن المضخة الحرارية عكس المحرك الحراري، لذلك يكون:

$$\eta_{HE}=\frac{1}{COP}\quad\text{...............}(7.9)$$

وكذلك فإن:

$$(COP)_{H.P}=\frac{Q_O}{W_{in}}=\frac{Q_{in}+W_{in}}{W_{in}}=\frac{Q_{in}}{W_{in}}+\frac{W_{in}}{W_{in}}$$
$$=(COP)_{Ref}+1\quad\text{..........................}(7.10)$$

(7.9) - القانون الثاني لديناميك الحرارة

The second Law of Thermodynamics

من خلال دراستنا للقانون الاول تبين أنه يستند على قانون حفظ الطاقة. أي أنه عندما يختفي شكل من اشكال الطاقة ظهر بشكل آخر. أي إن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتغير من شكل إلى آخر. فالشغل او الحرارة شكل من اشكال الطاقة يتحول كل منها كليا إلى الاخـر وبنـسبة (100%) وفـي الاتجاهين. يتضح أن القانون الاول أهمل ما يلي:

1. اتجاه سير (flow) تحولات الحرارة والشغل.
2. حدود مقدار التحويل.

من هنا اصبح القانون الاول عاجزا عن الاجابة على الاسئلة الاتية:

1. لماذا تسير بعض العمليات باتجاه معين وليس باتجاه معاكس؟
2. لماذا لا يمكن تحويل كل الحرارة إلى شغل، بينما يمكن تحويل كل الشغل إلى حرارة؟

هذه الاسئلة يجيب عليها القانون الثاني. وقبل صياغة هذا القانون لابد من دراسة الظواهر الاتية:

1. تحويل الشغل إلى حرارة.

أ. عرف منذ القدم إن الشغل يتحول كليا إلى حرارة، فكان الإنسان يحصل على النار بالاحتكاك . وحين تحك قطعتين من الحجر تحت الماء يتحول الشغل المبذول في الاحتكاك إلـى طاقـة داخلية تؤدي إلى رفع درجة حرارة الحجر وبالتالي الماء. القانون الاول لا يمانع عكس هـذه العملية ولكن عمليا لا تتحقق.

ب. يمكن ايقاف دولاب طائر (Fly Wheel) بوساطة احتكاك حامليه. نتيجة للاحتكـاك ترتفـع درجة حرارة الدولاب وتزداد طاقته الداخلية بمقدار مساوي لطاقه حركة الدولاب الطائر. لا يمكن عكس هذه العملية، لأنه لا يمكن أن تنخفض درجة حرارة الدولاب وحامليه ويـستأنف الدولاب الدوران بطاقة حركته الاصلية.

جـ. عندما تتوقف سيارة بسبب تطبيق المكابح على عجلاتها فإن درجة حرارة هذه المكابح ترتفع وبالتالي تزداد طاقتها الداخلية بسبب امتصاصها لطاقة السيارة الحركية. تتم هذه العملية فـي إطار القانون الاول. كما أن القانون الاول لا يمانع ايضا في عكس هذه العملية، أي أن تبـرد المكابح الحارة وتتحول طاقتها الداخلية إلى طاقة حركية للسيارة. ولكن عمليا لا تتحقق هـذه العملية.

د. عند بذل شغل على جسم موجود فوق سطح خشن، فستتولد حرارة، لا يمكن لهذه الحرارة أن تنتقل تلقائيا إلى الجسم ثانية وترجعه إلى مكانه الاصلي، أي لا يمكن أن تتحول الحرارة إلى شغل.

هـ. تصرف السيارة البنزين لصعود مرتفع معين، ولا يمكن أن يسترجع خزان البنزين فيها لما صرف من البنزين عند عملية نزول ذلك المرتفع.

2. تحويل الحرارة إلى شغل

لا يمكن أن تتحول الحرارة كليا إلى شغل، كما سنلاحظ في المحركات الحرارية. وهذا مؤشر للسؤال المتعلق بحدود مقدار التحويل الذي يجيب عليه القانون الثاني.

3. انتقال الحرارة

لا يجيب القانون الاول على السؤال التالي: هل تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى البارد أم العكس؟ عمليا تنتقل الحرارة تلقائيا فقط من الجسم الساخن إلى البارد ويستمر الانتقال حتى حصول الاتزان الحراري. أما تغيير اتجاه حركة الحرارة فيحتاج إلى شغل خارجي. وكما موضح في الامثلة الاتية:

أ. كتلتان ساخنة وباردة تلامستا في نظام معزول فستنتقل حرارة من الكتلة الساخنة إلى الباردة تلقائيا وتصبح للكتلتين درجة حرارة واحدة. القانون الاول لا يمانع عكس العملية ولكن عمليا تحتاج إلى شغل خارجي، لأنه لا يمكن أن تنتقل حرارة من الكتلة الباردة تلقائيا وصولا لحرارة الكتلة الساخنة.

ب. قدح الشاي الساخن يبرد بواسطة انتقال الحرارة إلى محيطه البارد ولا يمكن أن يسخن القدح بانتقال الحرارة إليه من محيطه البارد.

4. تمدد الغازات وخلطها

أ. عند تمدد غاز مثالي بشكل حر خلال فتحة ضيقة إلى وعاء مفرغ فسينخفض ضغطه النهائي ويزداد حجمه عند ثبوت درجة الحرارة. لا يمكن عكس هذه العملية من دون شغل خارجي لأنه لا يمكن أن يندفع الغاز خلال الفتحة الضيقة ويضغط نفسه في وعائه الاصلي.

ب. التمدد الحاصل نتيجة احتراق الخليط بسبب إدخال الشرارة الكهربائية، كما في محرك بترولي، لا يمكن عكس هذه العملية.

جـ. لا يمكن أن تعود الغازات بعد خلطها إلى حالتها الاصلية تلقائيا.

يلاحظ من المناقشة اعلاه إنه من المستحيل أن تكون بعض عمليات التحويل في الاتجاهين وبشكل كلي، برغم أن ذلك يتفق مع القانون الاول وإن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة، لذلك يجب أن تكون هناك اسس اخرى أو قانون آخر يتحكم باتجاه ونسبة التحويل. وهذا هو القانون الثاني الذي يعبر عن حقيقة ما يلي:

(1). لا يمكن تحويل كل الحرارة المعطاة لمحرك إلى شغل، فلابد لقسم من الحرارة أن يطرح، وهذا يمثل ضياع في الطاقة.

(2). إن الشغل أكثر اهمية من الحرارة. إذ لا يمكن تحويل كل الحرارة إلى شغل بينما يمكن تحويل كل الشغل إلى حرارة.

وكما في حالة القانون الاول، نطبق القانون الثاني على الانظمة المغلقة ثم نستخرج استنتاجات للأنظمة المفتوحة.

تم التوصل إلى القانون الثاني من التجارب والحياة العملية. ويعود فضل اكتشافه إلى العالم الفرنسي كارنو (Sadi Carnot) الذي صاغ جوهرة عندما نشر ابحاثه عام (1824)، والتي سبقت ابحاث جول (Games Prescott Joule)بأكثر من (20)سنة، وبعد ذلك وضعت صيغ أخرى لهذا القانون من قبل العالم كلفن بلانك (Kelvin-Plank) وكلوزيوس (Clausius).

وكما مر بنا سابقا، فإن المحرك الذي ينتج شغلا من لا شيء يسمى بالمحرك دائم الحركة من النوع الاول، يؤكد القانون الاول استحالة انشاء مثل هذا المحرك. وقد أدخل العالم اوستولد (W. Ostwald) مفهوم المحرك دائم الحركة من النوع الثاني. وهي الآلة التي تحول كل الحرارة إلى شغل، إذ أن القانون الثاني يؤكد استحالة انشاء مثل هذه الآلة.

(7.10) - صيغ القانون الثاني The Second Law Statements

هناك مسائل تعالج موضوع مقدار ما يتحول من الحرارة التي نحصل عليها عادة من احتراق الوقود إلى شغل بواسطة محرك حراري، أو مقدار الشغل اللازم لسحب كمية من الحرارة من جسم في براد. إن هذه المسائل تتعلق بكفاءة أو معامل اداء النظام، ويمكن حلها بواسطة القانون الثاني الذي يعتمد الصيغ التالية:

1. صيغة كارنو

بالنسبة لمحرك حراري ينتج شغل عندما يكون فرق حراري بين مصدرين حراريين.

2. صيغة كلفن - بلانك

يستحيل انشاء محرك حراري يستلم حرارة من مصدر حار ويحولها كلها إلى شغل، ما لم يطرد جزء من الحرارة إلى مصدر بارد.

أي أن $(\eta \neq I), (Q \neq W), (W_o = Q_{in} - Q_o)$

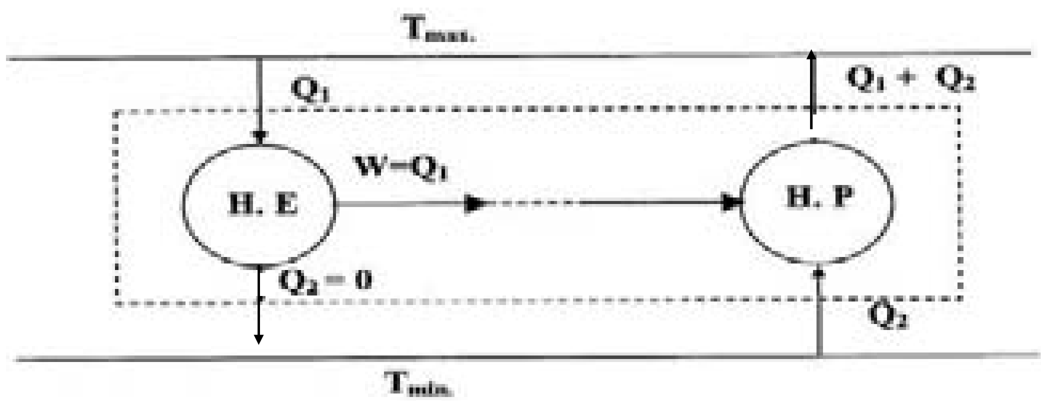
3. صيغة كلاوزيوس

يستحيل انشاء مضخة حرارية تنقل حرارة من مصدر بارد إلى مصدر حـار باسـتمرار دون أن تحتاج إلى شغل خارجي.

(7.11) - تكافؤ (تماثل) نصي كلفن بلانك وكلاوزيوس

إن نص كلفن بلانك يعني أنه لا يمكن حدوث عملية تكون نتيجتها الوحيـدة امتـصاص حـرارة وتحويلها كلها إلى شغل.

أما نص كلاوزيوس فيعني إنه لا يمكن حدوث عملية تكون نتيجتها الوحيـدة امتـصاص حـرارة وطردها دون شغل. يظهر النصين وكأنهما مختلفين. ولكن في الواقع إنهما متماثلين، بمعنى إن مخالفة احدهما يؤدي إلى مخالفة الآخر.



شكل (7.8)- تكافؤ نصي بلانك وكلاوزيوس

استنادا إلى شكل (7.8). نفترض أن المحرك الحراري يمتص حرارة فقط (Q_1)، أي يتنـاقض نـص كلفن بلانك، فستتحول الحرارة إلى شغل يشغل المضخة الحرارية، أي :

W = Q1...(7.11)

وستقوم المضخة الحرارية بنقل حرارة (Q_2) من الـ (T_{min}) وتطرد حـرارة (Q_O) إلـى الـ (T_{max})، فيكون شغل المضخة:

$$\mathbf{W = Q_O - Q_2 \text{ ....} (7.12)}$$

وإذا اعتبرنا المحرك الحراري والمضخة الحرارية كنظام واحد فسينتج بعد تعـويض المعـادلتين اعلاه ما يأتي:

$$\mathbf{Q_1 = Q_O - Q_2}$$

$$\mathbf{Q_O = Q_1 + Q_2} \quad \mathbf{(7.13)}$$

أي إن المضخة الحرارية ستنقل حرارة (Q2) من مصدر بارد (T_{min}) إلى مصدر حـار (T_{max}) دون أن تحتاج إلى شغل خارجي وهذا يناقض نص كلوزيوس. وعليه فإن مخالفـة الـنص الاول أدت إلى مخالفة النص الثاني.

امثلة محاولة

(7.1)

في محطة بخارية قدرتها (200 MW)، يتم حرق نفط ثقيل بمعدل (70ton/h) قيمته الحرارية (41000kJ/kg). فإذا علمت أن ماء التبريد في المكثف يدخل بدرجة حرارة ($20^{o}c$) ويخرج بدرجة حرارة (28c). أوجد (أ)كفاءة المحطة البخارية(ب)كمية ماء التبريد اللازمة في الساعة علما بأن: **.Cw=4.2 kJ/kg.K**

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_O}{C_W \times \Delta T_{12}} = \frac{215\times10^7}{4.2\times(28-20)}$$

$$= 642\times10^6\,\mathrm{kg/h}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}f \times LCV}$$

$$= \frac{200.10^3}{\frac{70.10^3}{3600}\times041000} = 0.25$$

$$\dot{Q}_O = \dot{Q}_{in} - \dot{W} = \dot{m}_f \times LCV - \dot{W}$$

$$= 70\times10^3\times41000 - 200\times10^3$$

$$= 215\times10^7\,\mathrm{kJ/h}$$

(7.2)

محرك بنزين يستهلك (20.4kg/h) من الوقود ذو قيمة حرارية مقدارها (43MJ/kg). فإذا كانت كفاءة المحرك (20%). احسب قدرة المحرك وكمية الحرارة المطرودة في الدقيقة.

$$\dot{W}_{12} = \eta\times\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f \times LCV$$

$$= 0.2\times\frac{20.4}{3600}\times43\times10^3 = 48.73\mathrm{kW}$$

$$\dot{Q}_O = \dot{Q}_{in} - \dot{W}_{12} = \dot{m}_f \times LCV - \dot{W}_{12}$$

$$= \frac{20.4}{60}\times43 - 48.733\times\frac{60}{1000} = 11.7\,\mathrm{MJ/min}$$

(7.3)

محطة لتوليد القدرة الكهربائية تنتج (500MW). وتبين أن هذا يمثل (28%) من الطاقة المزودة للمحطة بحرق الفحم في المرجل ويحرر الفحم المستخدم طاقة مقدارها (29.5MJ/kg). احسب كتلة الفحم التي تحرقها المحطة في ساعة واحدة.

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}} \Rightarrow \dot{Q}_{in} = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{500\times3600}{0.28} = 6\times43\times10^6\,\mathrm{MJ/h}$$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{in}}{L.C.V} = \frac{6\times43\times10^6}{29.5} = 217917\,\mathrm{kg/h}$$

(7.4)

محطة بخارية تستعمل (3.045 t/h) من الفحم. يدخل البخار إلى التوربين لينتج (4.1MW). إذا كانت القيمة الحرارية للفحم (28MJ/kg). احسب الكفاءة الحرارية للمحطة.

$$\dot{m}_f = \frac{3.045\times10^3}{3600} = 0.846\,\mathrm{kg/s}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times L.C.V} = \frac{4.1}{0.846\times28} = 0.173$$

(7.5)

محرك يستعمل (20.4kg/h) من الوقود الذي قيمته الحرارية (43MJ/kg). إذا كانت كفاءة المحـرك (20%). احسب قدرة المحرك والحرارة المطرودة في الدقيقة.

$$\mathbf{\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f \times CV = 20.4\times43 = 877.2MJ/h = 243.7kW}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \eta.\dot{Q}_{in} = 0.2\times877.2 = 175.44MJ/h = 48.7kW}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_O = \dot{Q}_{in} - \dot{W} = 243.7 - 48.7 = 195KW = 11698kJ/min}$$

(7.6)

محطة نووية للطاقة تتألف من محرك حراري يستلم الحرارة من مفاعل درجة حرارته (313^oC) ويطرح الحرارة الى نهر درجة حرارة الماء فيه (20^oc). هذه المحطة تنتج (750000kW). كفـاءة المحطة الحقيقية (60%) من الكفاءة المثالية. ترمي المحطة في النهر (70%) من الحرارة التي ينتجها المفاعل. فإذا كان معـدل تـدفق المـاء فـي النهـر ($165m^3/s$)، وإن الحـرارة النوعيـة للمـاء (4.2kJ/kg.K). احسب مقدار الارتفاع في درجة حرارة ماء النهر.

$$\mathbf{\eta_{the} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{293}{586} = 0.5}$$

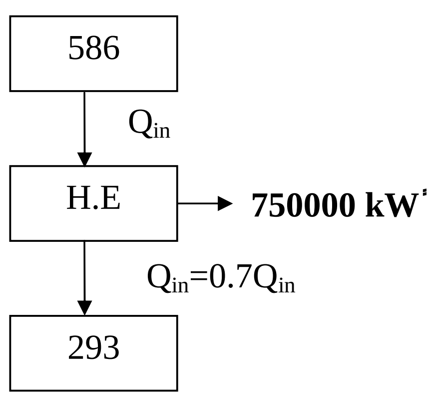
$$\mathbf{\eta_{Act} = 0.6\times0.5 = 0.3}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_{in} = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{750000}{0.3} = 25\times10^5\,kW}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_O = 0.7\times25\times10^5 = 175\times10^4\,kW}$$

$$\mathbf{\dot{m}_w = 165\times10^3\,Kg/s}$$

$$\mathbf{\Delta T = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}\times C_w} = \frac{25\times10^5}{165\times10^3\times4.2} = 2.54K}$$



(7.7)

تنتقل حرارة من خزان ماء في براد في درجة (0^oC) إلى مـستودع بـه مـاء يغلـي بدرجـة (100^oC)بوساطة آلة قابلة للعكس (مضخة حرارية). احسب الحرارة لمسحوبة من البراد. إذا كانـت الحرارة المنتقلة إلى المستودع (2254kJ)؟.

$$\mathbf{COP)_{HP} = \frac{Q_O}{W} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}}$$

$$\mathbf{= \frac{2254}{W} = 1 - \frac{273}{373}}$$

$$\mathbf{W = 604kJ}$$

$$\mathbf{Q_{in} = Q_O - W}$$

$$\mathbf{= 2254 - 604 = 1650kJ}$$

(7.8)

ماكنتان حراريتان (A) و (B) مربوطتان على التوالي . الماكنة (A) تستلم حرارة عنـد درجـة حرارة ($627^\circ C$) وتطرح الحرارة إلى مستودع درجة حرارته (T). الماكنة الثانية تـستلم الحـرارة المطروحة من الماكنة (A) وتطرح الحرارة إلى مستودع بارد درجة حرارته (27c). اوجـد درجـة الحرارة (T) بـ (c) عندما (أ)الشغل الناتج من كلا الماكنتان متساوي (ب)الكفاءة الحرارية متـساوية لكلا الماكنتين.

$$\mathbf{(A)When: W_A = W_B}$$

$$\mathbf{Q_{inA} - Q_{oA} = Q_{inB} - Q_{oB}}$$

$$\mathbf{Q_{inA} - Q_{oA} = Q_{oA} - Q_{oB}}$$

$$\mathbf{Q_{inA} - Q_{oB} = Q_{oA} + Q_{oA} = 2Q_{oA}}$$

$$\mathbf{(627 + 273) + (27 + 273) = 2T}$$

$$\mathbf{T = 600K}$$

$$\mathbf{(B)When: -\eta_A - \eta_B}$$

$$\mathbf{\frac{T_{max}}{T_{max} - T_{min})A} = \frac{T_{max}}{T_{max} - T_{min})B}}$$

$$\mathbf{\frac{900}{900 - T} = \frac{T}{T - 300}}$$

$$\mathbf{T = 519.6K}$$

(7.9)

ماكنتان حراريتان (A) و (B) مربوطتان على التوالي . الماكنة (A) تطرح الحرارة مباشرة إلى (B) . وتستقبل الماكنة (A) حرارة مقدارها (200kJ) من منبع حراري درجـو حرارتـه (421^{o}c). الماكنة (B) تكون في اتصال مع مصب بارد عند درجة حرارة (4.4^{o}c). الشغل الخارج من الماكنـة (A) ضعف الشغل الخارج من الماكنة (B). الماكنتان تعملان على دورة لها اقصى كفـاءة ممكنـة. اوجد (1)درجة الحرارة المشتركة بين الماكنتين. (2)الكفاءة الحراريـة لكـل ماكنـة. (3)الحـرارة المطرودة إلى مصب البارد.

$$\mathbf{W_A = 2W_B}$$
$$\mathbf{Q_{inA} - Q_{oA} = 2(Q_{inB} - Q_{oB})}$$
$$\mathbf{Q_{inA} - Q_{oA} = 2(Q_{O1} - Q_{oB})}$$
$$\mathbf{T_{max} - T_m = 2(T_m - T_{min})}$$
$$\mathbf{T_m = 416k}$$
$$\mathbf{\eta_A = 1 - \frac{T_m}{T_{max}} = 1 - \frac{416}{694} = 0.4}$$

$$\mathbf{\eta_B = 1 - \frac{T_{min}}{T_m} = 1 - \frac{277.4}{416} = 0.33}$$
$$\mathbf{W_A = \eta_A . Q_{inA} = 0.4 \times 200 = 80kJ}$$
$$\mathbf{Q_{oA} = Q_{inA} - W_A = 200 - 80 = 120kJ}$$
$$\mathbf{W_B = \frac{W_1}{2} = \frac{80}{2} = 40kJ}$$
$$\mathbf{Q_{oB} = Q_{inB} - W_B}$$
$$\mathbf{= Q_{oA} - W_B = 120 - 40 = 80kJ}$$

(7.10)

مضخة حراريـة تـستخدم لأغـراض التدفئـة. درجـة حـرارة الهـواء الخـارجي (-8^{o}C) (الخزان البارد). البناية عنـد درجـة حـرارة (27^{o}c)(الخـزان الـساخن). تحتـاج البنايـة إلـى (200.000kJ/hr). احسب: (أ)كمية الحرارة المسحوبة مـن المحـيط الخـارجي بوحـدات (kJ/hr) (ب)مقدار القدرة الداخلة إلى المضخة بوحدات (kW).

$$\mathbf{COP = \frac{T_{max}}{T_{max} - T_{min}}}$$
$$\mathbf{= \frac{300}{300 - 265} = 8.57}$$
$$\mathbf{8.57 = \frac{Q_O}{W_{in}} = \frac{200000}{W_{in}}}$$

$$W_{in} = 23337.2kJ/h$$
$$Q_{in} = Q_O - W_{in}$$
$$Q_{in} = 176662.8kJ/h$$
$$= 49.073kW$$

(7.11)

(أ)ماكنة حرارية تعمل بين مستودعين حار وبارد وكانت قدرة الخروج والحـرارة المستخلـصة مـن الماكنة هي (57kJ) ، (70kJ) على التوالي. اوجد الكفاءة.

(ب)لو تم عكس الماكنة الحرارية في الفرع (أ) لتعمل كمضخة حرارية كجهاز تـسخين بـين نفـس المستودعين. احسب معامل الاداء (COP) للمضخة الحرارية وكذلك الشغل الذي يلزم تجهيزه إذا كان انتقال الحرارة التي تصل إلى المستودع الحار بمقدار (8 kW).

(ج)إذا اعتبرت الماكنة المعكوسة للفرع (ب)كثلاجة فما هو معامل ادائها.

$$\mathbf{Q_{in} = W + Q_O = 57 + 70 = 127kJ}$$

$$\text{أ} - \eta = \frac{\mathbf{W}}{\mathbf{Q_{in}}} = \frac{\mathbf{57}}{\mathbf{127}} = \mathbf{45\%}$$

$$\text{ب} - \mathbf{(COP)_{H.P}} = \frac{\mathbf{1}}{\zeta} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{0.45}} = \mathbf{2.23}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \frac{\dot{Q}_o}{(COP)_{HP}} = \frac{8}{2.23} = 3.6kW}$$

$$\text{ج} - \mathbf{(COP)_{ref} = (COP)_{HP} - 1 = 2.23 - 1 = 1.23}$$

(7.12)

يراد حفظ مجمدة عند درجة حرارة مقدارها (38K) في يوم صيفي عندما تكون درجة حرارة المحيط (306K). مقدار الحرارة المطروحة من المجمدة بمعدل (1230W) . احسب كمية الحرارة المطروحة إلى الجو المحيط بالـ (kW).

$$\mathbf{(COP)_{ref} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}}$$

$$\mathbf{\frac{1230}{\dot{W}} = \frac{238}{306 - 238}}$$

$$\mathbf{\dot{W} = 351.4W}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_O = \dot{W} + \dot{Q}_{in} = 351.4 + 1230 = 1.582KW}$$

(7.13)

محرك حراري يستعمل في تشغيل براد. المحرك يستلم حـرارة (Q_1) عنـد درجـة حـرارة (T_1). ويطرح حرارة (Q_2) عند (T_2). يسحب المبرد حرارة مقدارها (Q3) من مستودع درجـة حرارتـه (T_3) ويطرح (Q_4) عند درجة حرارة (T_4). اوجد النسبة بين ($\frac{Q_3}{Q_1}$) بدلالة درجة حرارة مستودعات المحرك والبراد.

$$\mathbf{W_{HE} = W_{HP}}$$

$$\eta_{HE} \times \mathbf{Q_1} = \frac{\mathbf{Q_3}}{\mathbf{(COP)_{HP}}}$$

$$\frac{\mathbf{Q_3}}{\mathbf{Q_1}} = \eta_{HE} \times \mathbf{(COP)_{HP}} = \frac{\mathbf{T_1 - T_2}}{\mathbf{T_1}} \times \frac{\mathbf{T_3}}{\mathbf{T_4 - T_3}}$$

مسائل

(7.1)

مضخة حرارية تعمل بواسطة محرك كهربائي في تدفئة بناية. معامل الاداء للمضخة الحرارية هو (2.4). الطاقة الحرارية المجهزة إلى البناية تساوي (120000kJ/h). احسب القدرة الكهربائية اللازمة إذا علمت إن كفاءة المحرك الكهربائي هي (0.9).

ج: (15.4kW)

(7.2)

محرك حراري يعمل بين خزانين (944K) و(333K) وكفاءة المحرك تعادل (50%) من الكفاءة المثالية. يستعمل المحرك لتشغيل مضخة حرارية تعمل بين المحيط الخارجي ($6.7^{o}c$ -) وغرفة مدفأه ($32.2^{o}c$) ومعامل اداء المضخة (50%) من معامل الاداء المثالي. احسب نسبة الحرارة المضافة للماكنة الحرارية إلى الحرارة المجهزة للغرفة المدفأه.

ج: (0.8)

(7.3)

ماكنة حرارية يضاف لها حرارة مقداره (40000kJ/kg) وتطرح حرارة مقدارها (26000kJ/kg). كفاءة هذه الماكنة (60%) من أعلى كفاءة مثالية ممكنة لها. فإذا علمت إن أوطأ درجة حرارة تصلها الماكنة هي ($80^{o}c$). احسب اعلى درجة حرارة تصلها الماكنة الحرارية.

ج: (844K)

(7.4)

جهزت حرارة مقدارها (1450kJ) خلال فترة زمنية مقدارها (43) ثانية عند درجة حرارة ($820^{o}c$) لمحرك كفائته (80%) من الكفاءة المثالية. يطرح المحرك حرارة إلى مستودع درجة حرارته ($40^{0}c$). اوجد (1)الحرارة المطروحة إلى المستودع. (2)القدرة الناتجة بوحدات (kW).

ج: (621.76kJ , 19.26kW)

(7.5)

محرك حراري يعمل لتشغيل مضخة حرارية تقوم بتدفئة غرفة بحيث تحافظ على درجة حـرارة مقدارها (26^oc). درجة الحرارة الدنيا لكل من المحرك والمضخة (10^oc). المصدر الحراري للمحرك درجة حرارته (527^oc). إن كلا من المحرك والمضخة غير مثاليين. وإن كفـاءة المحـرك تـساوي (70%) من الكفاءة المثالية. ومعامل اداء المضخة يساوي (90%) من معامل الاداء المثـالي. ارسـم مخطط للمصادر الحرارية لكل من المحرك والمضخة واحسب النسبة بين الطاقة الحرارية المطروحـة إلى الغرفة والطاقة الحرارية التي يجهز بها المحرك الحراري.

ج: (7.57)

(7.6)

ماكنة حرارية كفائتها (50%) من الكفاءة المثالية، تستلم حرارة قيمتها (Q_A) مـن مـصدر حرارتـه (671^oc) ويطرد حرارة إلى مصدر حرارته ($60\ ^oc$). تقوم بتشغيل ثلاجة تعمل للمحافظة على حيـز درجة حرارته ($-6.7\,^oc$). فإذا كانت كمية الحرارة المطلوب طردها (Q_B) إلى محيط درجة حرارتـه (32.2^oc). وإن معامل اداء الثلاجة يساوي (50%) من معامل الاداء المثالي. احـسب النـسبة بـين $(\frac{Q_A}{Q_B})$.

ج: (0.8)

(7.7)

مضخة حرارية تستخدم لتدفئة بناية تعمل بين ($2\ ^oc$) و($87\ ^oc$) يدخل ماء إلى المـصدر البـارد بدرجة ($7\,^oc$) ويخرج بدرجة ($4\,^oc$) وبمعدل جريان (5500kg/hr). يسخن الهواء بوساطة المـصدر الحراري الساخن من ($10\,^oc$) إلى ($20\,^oC$) بثبوت الضغط. احسب:

(1)كمية الهواء المستخدم للتدفئة.

(2)حجم الهواء عند درجة ($20\,^oC$)و (1bar).

(3)القدرة اللازمة لتشغيل المضخة الحرارية. علما بأن :

$R=0.295\ kJ/kg.\ K\ ,\ \gamma=1.4\ ,\ \ Cw=4.2kJ/kg.\ K$

ج: (5.95kW, 2.109m^3/S, 2.44kg/s)

(7.8)

تستعمل مضخة حرارية لتدفئة منزل في الشتاء حيث درجتي الحرارة داخل وخارج المنزل ($20\ ^{o}c$) ، ($0\ ^{o}c$) على التوالي. إذا كانت كمية الحرارة المطلوبة للتدفئة (48000kJ/hr). احسب اقل قدرة تلـزم لتشغيل المضخة الحرارية.

ج: (0.91kW)

(7.9)

استعملت مكيفة هواء (ماكنة ثلاجة) انعكاسية لتبريد منزل صيفا حيث كانت درجـة حـرارة المنـزل ($25\ ^{o}c$) وكانت كمية الحرارة المطلوب سحبها من المنزل تتناسب مع الفرق بـين درجتـي الحـرارة خارج وداخل المنزل حيث تساوي (2400kJ/hr.K) (كيلو جول في الساعة لكل درجة حرارة فـرق بين الداخل والخارج). احسب درجة الحرارة خارج المنزل إذا كانت القدرة المطلوبة لتشغيل المكيـف (1kW).

ج: ($49.09\ ^{o}c$)

(7.10)

ماكنة حرارية تستلم (1000kJ) من الطاقة الحرارية من مصدر حراري. (60%) من الشغل النـاتج يستغل في تشغيل ماكنة حرارية معكوسة تعمل كدورة تبريد والفائض يستغل كشغل ميكـانيكي، فـإذا كانت كفاءة الماكنة الحرارية (40%) ومعامل اداء دورة التبريد (2.4) احسب:

(1)الحرارة المطروحة من الماكنة الحرارية.

(2)الحرارة الممتصة في دورة التبريد.

(3)الحرارة المطروحة من دورة التبريد.

ج: (816kJ, 576kJ, 600kJ)

الفصل الثامن – دورات القدرة

(8.1) - دورة الغاز المثالي Ideal Gas Cycle

الدورة هي مجموعة عن متتالية من الإجراءات (processes) تحدث بحيث يعود الغاز إلى حالته الأصلية، وهذا يسمح بتكرار العملية.

وخلال بعض إجراءات الدورة، يمكن أن ينتقل شغل أو حرارة من أو إلى النظام، لذلك وحسب القانون الاول يكون $\left(\oint \mathbf{dQ} = \oint \mathbf{dW}\right)$.

هذه إحدى الطرائق التي يمكن بها احتساب الشغل الصافي $(\oint \mathbf{W})$.

طريقة أخرى لحساب الشغل الصافي للدورة بتقدير المساحة الصافية للرسم البياني (P-V).

التحليل العام للدورة يتم باستعمال قوانين الغاز،فإذا كانت (Q_o) تمثل الحرارة الخارجة من النظام وإن (Q_{in}) تمثل الحرارة الداخلة فإن كفاءة الدورة الحرارية تحسب بالمعادلة التالية:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_O}{Q_{in}} \quad \text{...(8.1)}$$

تحدث الدورة عندما يتحقق القانون الأول والثاني، وكذلك يجب توفر بعض الشروط منها أن عدد الإجراءات ثلاثة على الأقل. ويكون دخول وخروج حرارة في أجراء واحد على الأقل. أي انه يمكن أن تدخل حرارة أثناء الدورة بأجراء واحد أو بإجرائين. كما وإن حرارة الدخول أكبر من الخروج بفرق الشغل الصافي. وإن الخواص الكيميائية للمائع ثابته لا تتغير. وبواسطة الدورات الحرارية يمكن تحليل عمل المحركات الحرارية وتقييم كفائتها الحرارية، ومن الدورات الحرارية هي: دورة كارنو، اوتو، ديزل، ديوال، اتكنسون، سترلنك، اريكسون، ودورة جول ...الخ. وسنركز في دراستنا على دورة كارنو، أما بقية الدورات فسندرسها في السنوات القادمة.

أن دورات الغاز اعلاه (عدا دورة كارنو) هي محاولات قد تمت لتطبيق هذه الدورات في مكائن حقيقية وبدرجات متفاوتة من النجاح.

(8.2) - مبادئ كارنو Carnot Principle

كان المهندس الفرنسي كارنو (Sadi Carnot) من أوائل المهندسين الذين درسوا مبادئ القانون الثاني للثرموديناميك.ويعد أول من قدم مفهوم الدورة الثرموديناميكية وأول من تطرق لتحسين كفاءة المحرك وتطويره. عمله هذا فاق اسلافه الذين عملوا في هذا المجال . وفي بحثه المنشور عام (1824) ابتكر كارنو دورة مثاليةمبنية على مبادئ القانون الاول ليعمل بموجبها محرك حراري، وقد سماها باسمه (دورة كارنو)، التي تعد الخطوة الاولى التي أدت إلى ظهور القانون الثاني للثرموديناميك

بعد (25) سنة على يد العالمين كلوزيوس وكلفن. إن هذه الدورة كما أوضحها كارنو في بحثه المنشور تستند على المبادئ التالية:

(1)المحرك الانعكاسي

يتألف المحرك من اسطوانة يتحرك فيها مكبس عديم الوزن والاحتكـاك، إجراءاتـه انعكاسـية (Reversible ProCess) تحتوي الاسطوانة على مائع تبقى درجة حرارته ثابتـة عنـدما يـستلم أو يطرد حرارة. لذا تعتبر دورة كارنو نظرية ومثالية.

(2)إجراءات انتقال الحرارة

تجهز الحرارة من مصدر درجة حرارته مرتفعة وتطرد إلى مستودع درجة حرارته منخفـضة في إجراءات ايزوثرملية (Iosthermal Process). تعطي الدورة الحد الأقصى الممكن للشغل عندما تعمل بين درجتي حرارة ثابتتين.

(3) كفاءة المحرك

لا يمكن أن يكون أي محرك أكفأ من المحرك الانعكاسي الذي يعمل بين نفس الخزانين. لـدورة كارنو أعلى كفاءة حرارية ممكنة ضمن مدى درجات الحرارة، والسبب كون الإجراءات انعكاسية.

(4)علاقة الكفاءة بالمائع

كفاءة جميع المحركات الانعكاسية متساوي عندما تعمل بين نفس درجتي الحرارة بغض النظـر عن نوع المائع. لذا فإن معادلة الكفاءة (التي سيرد ذكرها فيما بعد) تنطبق على المائع سواء كان غازا أم بخارا.

(5)الصفر المطلق

إن أقل درجة حرارة تكون عندما تصبح كمية الحرارة المطرودة (Q_o) تساوي صفرا وتـسمى هذه الدرجة درجة حرارة الصفر المطلق.

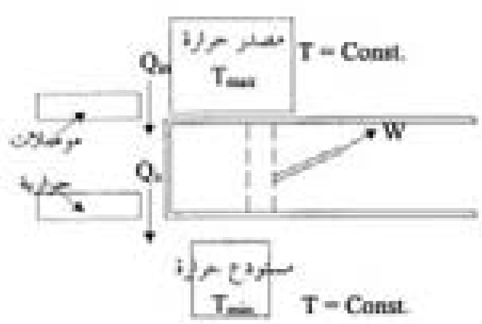
لقد صور كارنو تدفق الحرارة خلال المحرك من درجتي حرارة عالية إلى أخرى أقل بـصورة تشابه تدفق الماء في ريش التوربين من مستوى مرتفع إلى مستوى أخر منخفض. إن كمية الماء التـي تدخل التوربين خلال فترة زمنية معينة وتخرج منها تنتج شغلا بنفس الوقت. فأعتقـد كـارنو أن مـا يحدث في المحرك الحراري يشابه ذلك، وإن كمية الحرارة التي تدخل المحرك خل فترة زمنية وتخرج منه تنتج شغلا.

نحن نعرف الآن بأن هذه الفكرة خاطئة، وإن الحرارة الخارجة أقل من الداخلة بمقدار ما تحول منها إلى شغل ميكانيكي. وبالرغم من فكرته الخاطئة فقد تمكن كارنو من الوصول إلى قانون الكفـاءة العظمى لمحرك حراري يعمل بين درجتين معينتين للحرارة.

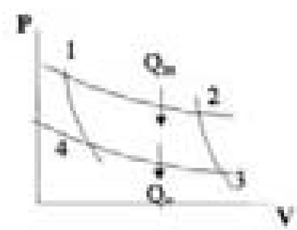
(8.3) - دورة كارنو The Carnot Cycle

يعتبر محرك كارنو أحد المحركات الحرارية التي تقوم بتحويل الحرارة إلى شغل، الذي يمكن أن يكون عبارة عن اسطوانة محرك يتحرك فيها مكبس عديم الوزن والاحتكاك ويحتوي على مائع مثالي يعمل بين مصدر حار ومستودع بارد، كما في شكل (8.1-a).

تتكون الدورة من أربعة عمليات انعكاسية موضحة على مخطط (P-V) في الشكل (8.1-b). إن هذه الاشكال توضح تسلسل العمليات وكالاتي:



(a) محرك



(b) عمليات الدورة

شكل (8.1) - دورة كارنو

(1) (1 ⟶ 2) يربط موصل الحرارة بين المصدر الحراري والمحرك، فستتدفق الحرارة إلى المحرك وتتمدد مادة التشغيل ايزوثرمليا (يتحرك المكبس إلى الخارج) منتجا شغل.

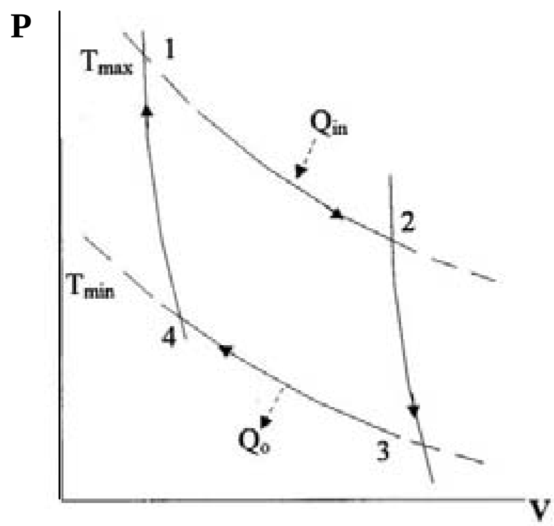
(2) (2 ⟶ 3) عند إزالة موصل الحرارة تستمر مادة التشغيل بالتمدد ادياباتيا، بسبب ضغطها ودرجة حرارتها المرتفعتين، منتجا شغل.

(3) (3 ⟶ 4) يعاد الموصل الحراري بين المحرك والمستودع الحراري، فستتدفق الحرارة إلى المستودع الآخر (يتحرك المكبس إلى اليسار) وتنضغط مادة التشغيل ايزوثرمليا.

(4) (4 ⟶ 1) عند إزالة موصل الحرارة تستمر مادة التشغيل بالانضغاط ادياباتيا وتعود إلى حالتها الاصلية، وبذلك تكتمل الدورة. إن الدورة على مخطط (P-V) هي مساحة محددة بين منحنيين آيزوثرمليين ومنحنيين إدياباتيين كما في شكل (8 .1-b).

(8.4)- الكفاءة الحرارية Thermal Efficiency

أشار كارنو إلى أن الكفاءة الحرارية لدورته تعطي أقصى قيمة لها، ولا تعتمد على طبيعة المادة الشغالة، ولكن نفترضها مبدئيا كغاز مثالي. إن أبسط مثال لهذه الدورة كما مبين في شكل (8.2) فإن



شكل (8.2) محرك كارنو الحراري

الدورة تتكون من الاجراءات الانعكاسية الاربعة التالية:

(1) (2 $\longrightarrow$ 1) تتمدد المادة الشغالة آيزوثرمليا بعد استلامها حرارة (Q_{in}) من مصدر درجة حرارتـه مرتفعة (Tmax). ويكون :

$$Q_{in} = P_1 V_1 \ln\frac{V_2}{V_1} = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} \qquad \text{.................................(8.2)}$$

(2) (3 $\longrightarrow$ 2) تستمر المادة الشغالة بالتمدد إدياباتيا ويكون:

$$\frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{\gamma-1} \qquad \text{...(8.3)}$$

(3) (4 $\longrightarrow$ 3) تضغط المادة الشغالة آيزوثرمليا بعد طردها حرارة (Qo) إلى مستودع درجة حرارته منخفضة (Tmin). ويكون:

$$Q_O = P_3 V_3 \ln\frac{V_3}{V_4} = mRT_3 \ln\frac{V_3}{V_4} \qquad \text{................................(8.4)}$$

(4)1 $\longrightarrow$ 4:تستمر المادة الشغالة بالانضغاط إدياباتيا ويكون:

$$\frac{T_1}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{\gamma-1} \qquad \text{...(8.5)}$$

فبما أن ($T_1=T_2$)، ($T_3=T_4$) وعند تعويض معادلة (8.3) بـ (8.5) ينتج

$$\frac{V_4}{V_1}=\frac{V_3}{V_2}\text{............ OR ......}\frac{V_2}{V_1}=\frac{V_3}{V_4}\text{......................(8.6)}$$

وعليه ستكون معادلة الشغل الصافي والكفاءة لدورة كارنو كالتالي:

$$W_{net}=Q_{in}-Q_O=mRT_1\ln\frac{V_2}{V_1}-mRT_3\ln\frac{V_3}{V_4}$$

$$=mR\ln\frac{V_2}{V_1}(T_1-T_3)\text{........(8.7)}$$

$$\eta_C=\frac{W_{net}}{Q_{in}}=\frac{mR\ln\frac{V_2}{V_1}\left(T_1-T_3\right)}{mRT_1\ln\frac{V_2}{V_1}}=\frac{T_1-T_3}{T_1}=1-\frac{T_3}{T_1}$$

$$=1-\frac{T_{min}}{T_{max}}=1-\frac{Q_O}{Q_{in}}\text{.........(8.8)}$$

يقصد بـ (W_o) هو (W_{ent})أو المجموع الجبري للشغل المنتقل ($\sum W$).

إن المعادلة الاخيرة تخص دورة كارنو فقط، أي إنه في النظام المثالي لتحويل الطاقـة (كـ دورة كارنو) فإن الحرارة (Q) هي دالة لدرجة الحرارة (T)، وتصبح معادلة الكفاءة:

$$\eta_c=1-\frac{Q_O}{Q_{in}}=1-\frac{T_{min}}{T_{max}}\text{............................(8.9)}$$

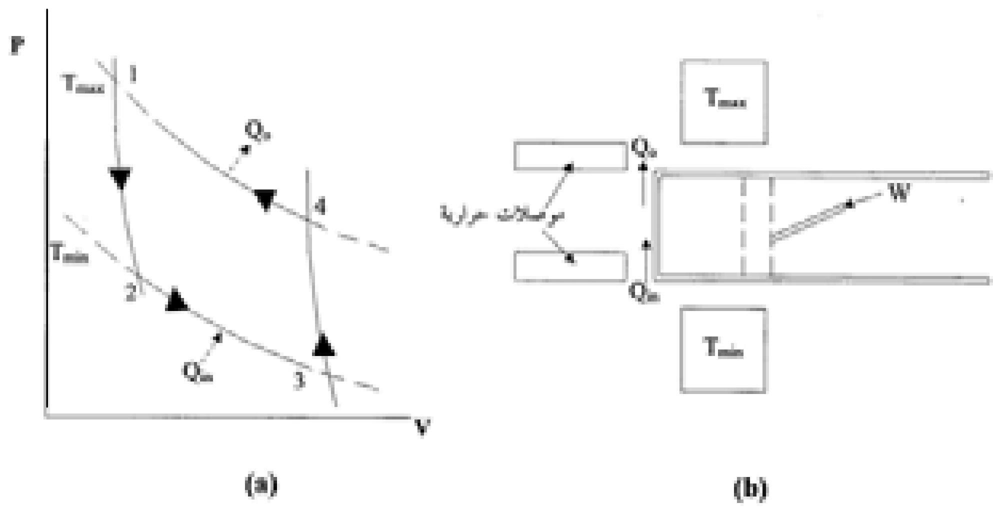
وهذه الكفاءة تعتبر أعلى كفاءة يمكن الحصول عليها لمدى درجات الحرارة (T_{min}) و (T_{max})، أما النسب الحجمية التي وردت في المعادلات فإنها متساوية في الإجراءين الايزوثرملي والادياب ـاتي. لكن النسبة الحجمية الكلية للدورة فتساوي:

$$\frac{V_2}{V_1}\cdot\frac{V_3}{V_2}=\frac{V_3}{V_1}\text{.......................................(8.10)}$$

ومن الجدير بالملاحظة أن دورة كارنو لا يمكن تنفيذها في المحركات لصعوبتها العمليـة، لأن ذلك يتطلب إنشاء محرك يتحرك فيه مكبس ببطء شديد في أثناء الإجراء الايزوثرملي، بينما يتحـرك بسرعة كبيرة جدا أثناء الإجراء الاديباتي. لكن تبقى هذه الدورة مهمة لأنها الأساس في تقييم الكفـاءة ومعامل الأداء، حيث أن معظم المكائن لها كفاءة حرارية أقل كثيرا من كفاءة كارنو، لذلك فإن فكـرة الانعكاسية تعود إلى كارنو.

(8.5) - دورة كارنو المعكوسة The Reversed Carnot Cycle

هي مضخة كارنو الحرارية، مثالية انعكاسيه، يمكن أن تكون عبارة عن اسطوانة يتحرك فيهـا مكبس عديم الوزن والاحتكاك



شكل(8.3) - دورة كارنو المعكوسة

وتحتوي على مائع مثالي يسحب حرارة (Q_{in}) من مصدر بارد ويطردها (Q_o) إلى مصدر حار بمساعدة شغل خارجي (W_{in})، كما موضح في شكل (8.3-b). تتكون الدورة من أربعـة إجـراءات اتجاهها عكس اتجاه عقرب الساعة وكما موضح على مخطط (P-V) شكل (8.3-a).

إن أحد أسباب عكس المحرك الحراري، شكل (8.3-b) هو لإبقاء مـستودع درجـة الحـرارة الواطئة بدرجة حرارة أوطأ من المحيط كما في أجهزة التثليج (Refrigerator). أو لإبقـاء مـستودع درجة الحرارة المرتفعة بدرجة حرارة أعلى من المحيط، كما في تدفئة المنازل أو البنايات. لذلك يسمى معكوس المحرك الحراري لهذه الظروف من الاستخدام بالمضخة الحراريـة(Heat Pump)، معامـل أدائها كجهاز تدفئة أو كجهاز تبريد يعرف بالمعادلات آلاتية:

$$(COP)_{HP} = \frac{Q_O}{W_{in}} = \frac{Q_O}{Q_O - Q_{in}} = \frac{T_{max}}{T_{max} - T_{min}} \text{ ....(8.11)}$$

$$(COP)_{ref} = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{Q_O}{Q_O - Q_{in}} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \text{ ....(8.12)}$$

حيث ان (HP)هو مختصر لمضخة حرارية و(ref) هومختصر لاجهزة التثليج.

(8.6)- دورة كارنو والمقياس المطلق لدرجة الحرارة

The Carnot Cycle and The Absolute Temperature

من المبادئ التي توصل إليها كارنو أن كفاءة كارنو تعتمد على درجات الحرارة فقط ولا تعتمد على خواص المائع، فبالنسبة لدورة كارنو فقط أن:

$$\eta_c = 1 - \frac{Q_O}{Q_{in}} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \quad \text{..............................(8.13)}$$

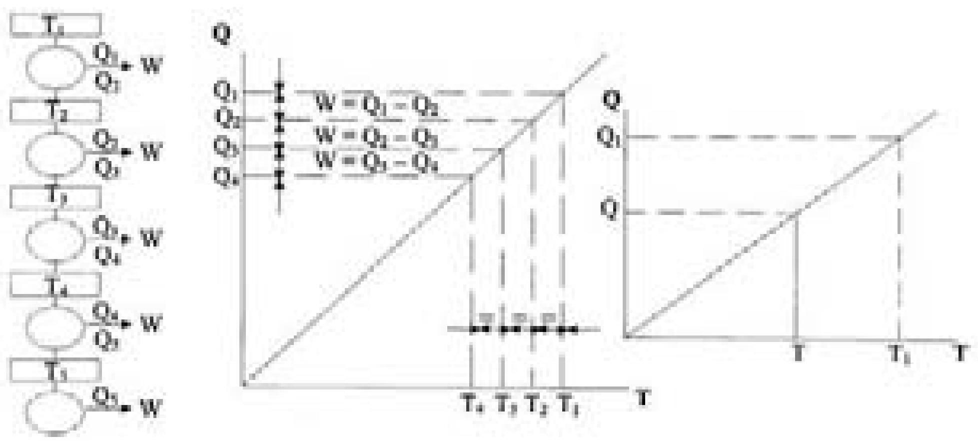
$$\therefore T_{min} = \frac{Q_O}{Q_{in}} . T_{max} \quad \text{.......................................(8.14)}$$

من هذه المعادلة يتضح ما يلي:

(1)إن الـ (T_{min}) هو مقياساً ثرموديناميكياً تمثل فيه الـ (T_{max}) درجة الحرارة الثابتة و (Q_o, Q_{in}) الحرارة المنتقلة.

(2)هذا المقياس مستقل تماما عن خواص المائع وهو نتيجة من نتائج القانون الثاني.

(3)عندما تكون $(Q_o=o)$ فيصبح المقياس $(T_{min}=o)$ ويسمى بالصفر المطلق كما في شكل (8.4-a).



شكل (8.4) - دورة كارنو والمقياس المطلق

ونفترض وجود عدد من المحركات الانعكاسية مربوطة على التوالي كما فـي شـكل (8.4-b) فسيكون:

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = Q_{in} - \cancel{Q_\circ}^{=0} \quad \text{...................(8.15)}$$

هذا يعني بالنسبة للمحرك الاخيـر سـيكون $(Q_o=0)$ وبالتـالي $(T_{min}=0)$ وسـتكون كفاءتـه (100%) لكونه يحول كل الـ (Q_5) إلى شغل وهذا مستحيل حسب القانون الثاني. لذلك فمن المستحيل الوصول إلى درجة حرارة الصفر المطلق. وإن المقياس (T_{min}) ينتهي قبل الوصـول إلـى الـصفر المطلق بمسافة صغيرة جدا.

امثلة محاولة

(8.1)

غاز كتلته (4kg) وضغطه (2bar) ودرجة حرارته ($27^{o}C$) سخن بثبوت الحجم إلى (6bar). ثم برد بثبوت الضغط. ثم تمدد بولتروبيا بحيث عاد إلى حالته الاصلية.

احسب:

(1) الحرارة بثبوت الضغط. (2)صافي الشغل. علما أن:

n=1.15, Cp=1.55kJ/kg. K, Cv=1.25kJ/kg. K

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 300\left(\frac{6}{2}\right) = 900K$$

$$T_3 = T_1\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 300\left(\frac{6}{2}\right)^{\frac{1.15-1}{1.15}} = 346K$$

$$Q_{23} = mCp(T_3 - T_2) = 4 \times 1.55(346 - 900) = -3434.8kJ$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{4 \times 0.3 \times 300}{200} = 1.8m^3 = V_2$$

$$V_3 = V_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 1.8 \times \frac{346.2}{900} = 0.69m^3$$

$$W_{23} = P(V_3 - V_2) = 600(0.69 - 1.8) = -666kJ$$

$$W_{31} = \frac{mR(T_3 - T_1)}{n-1} = \frac{4 \times 0.3(346 - 300)}{1.15 - 1} = 368kJ$$

$$W_T = 0 + (-666) + 368 = -298kJ$$

(8.2)

هواء ضغطه (20bar) تمدد آيزوثرمليا. ثم طرحت منه حرارة بثبوت الحجم وأصبحت درجة حرارته (20^oC) وضغطه (1bar). ثم ضغط ادياباتيا وعاد إلى حالته الابتدائية. احسب لكـل (1kg) صـافي الحرارة والشغل للدورة ، علما أن:

Cp=1.005kJ/kg. K, R=0.287kJ/kg. K

$$\gamma = \frac{C_p}{C_p - R} = \frac{1.005}{1.005 - 0.287}$$
$$= 1.399$$
$$T_1 = T_3(\frac{P_1}{P_3})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293(\frac{20}{1})^{\frac{1.399-1}{1.399}}$$
$$= 688.1K$$
$$\therefore P_2 = T_2\frac{P_3}{T_3} = 688.1(\frac{1}{293})$$
$$= 2.35bar$$
$$q_{12} = W_{12} = RT_1 \ln\frac{P_1}{P_2}$$
$$= 0.287 \times 688.1 \ln\frac{20}{2.35}$$
$$= 423kJ/kg$$

$$q_{23} = Cv(T_3 - T_2)$$
$$= (Cp - R)(T_3 - T_2)$$
$$= 0.718(293 - 688)$$
$$= -2840kJ/kg$$
$$w_{31} = -\Delta u_{31}$$
$$= -Cv(T_{1-}T_3)$$
$$= -[0.718 - (688.1 - 293)]$$
$$= -284kJ/kg$$

(8.3)

(1kg) من الهواء بدرجة (37^oC) وضغط (2bar). ضغط آيزوثرمليا إلى (5bar). وسـخن بحجـم ثابت. ثم تمدد ادياباتيا وعاد إلى حالته الاصليه. احسب أعلى ضغط في الدورة وأعلى درجة حـرارة. علما بأن:

R=0.287 kJ/kg . K , γ =1.4

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{1 \times 0.287 \times 310}{200}$$
$$= 0.445m^3$$
$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{200 \times 0.445}{500}$$
$$= 0.178m^3 = V_3$$

$$P_3 = P_1(\frac{V_1}{V_3})^{\gamma} = 200(\frac{0.445}{0.178})^{1.4}$$
$$= 721.35kN/m^2$$
$$T_3 = \frac{P_3T_2}{P_2} = \frac{721.35 \times 310}{500}$$
$$= 447.3K$$

(8.4)

غاز مثالي يمر بدورة حرارية تضمن الاجراءات التالية: إنضغاط آيزوثرمالـي مـن درجـة حـرارة (25^oC) إلى ($\frac{1}{7}$) من حجمه الابتدائي. (ب) إما إضافة حرارة بثبوت الحجم أو إضافة حرارة بثبـوت الضغط. (ج) تمدد إدياباتي انعكاسي إلى حالته الابتدائية. احسب درجة الحرارة القصوى في كل حالـة والنسب بين ($\frac{W_{net}}{Q_{in}}$). علما بأن: **$\gamma = 1.4$**

(1)

$$T_3 = T_1 (\frac{V_1}{V_3})^{\gamma - 1} = 298(7)^{1.4-1}$$

$$= 649.016K$$

$$W_{12} = mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}, W_{23} = 0$$

$$W_{31} = \frac{mR}{\gamma - 1}(T_3 - T_1)$$

$$Q_{in} = mCv(T_3 - T_2)$$

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

$$\frac{Wnet}{Qin} = \frac{mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + O + \frac{mR}{\gamma - 1}(T_3 - T_1)}{\frac{mR}{\gamma - 1}(T_3 - T_2)}$$

$$= \frac{298 \ln \frac{1}{7} + \frac{1}{0.4}(649 - 298)}{\frac{1}{0.4}(649 - 298)}$$

$$= 0.339$$

(2)

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} = 7$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{P_2}{P_1} = (\frac{V_1}{V_3})^{\gamma} = 7$$

$$\frac{V_1}{V_3} = 7^{\frac{1}{\gamma}} = 4$$

$$T_3 = T_1 (\frac{V_1}{V_3})^{\gamma - 1} = 298(4)^{0.4}$$

$$= 519.9K$$

$$\frac{Wnet}{Qin} = \frac{W_{12} + W_{23} + W_{31}}{Q_{23}}$$

$$= \frac{mRT \ln \frac{V_2}{V_1} + mR(T_3 - T_2) + \frac{mR}{\gamma - 1}(T_3 - T_2)}{mR \frac{\gamma}{\gamma - 1}(T_3 - T_2)}$$

$$= 0.253$$

(8.5)

اسطوانة تحتوي على غاز يضغط بحجم ثابت من (300K) و(0.2MPa) إلى (800K). وبعد ذلـك يسخن آيزوثرمليا إلى (0.2MPa). ثم يبرد تحت ضغط ثابت ليعود إلى حالته الابتدائية. احسب كفاءة الدورة **(γ=1.4).**

$$= \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = 3.5R, Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = 2.5R$$

$$= mCp(T_3 - T_1) = 1750mR$$

$$= mCv(T_2 - T_1) + mRT_2 \ln \frac{P_2}{P_3}$$

$$= 2032.66mR$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}} = 1 - \frac{1750mR}{2034.66mR}$$

$$= 0.14$$

(8.6)

غاز مثالي كتلته (1kg) وضغطه (1bar) ودرجة حرارته (37^oC) ضغط آيزوثرمليا إلـى ($\frac{1}{8}$) مـن حجمه الابتدائي. ثم سخن بثبوت الضغط. ثن تمدد ادياباتيا بحيث يعود إلى حالته الابتدائية. احسب:

(1)أعلى حجم وضغط ودرجة حرارة في الدورة. (2)الحرارة المنتقلة في كل اجراء. (3)صافي الشغل في الدورة. علما أن:

Cp=1.25kJ/kg. K, Cv=0.75kJ/kg. K

$$\mathbf{R = Cp - Cv = 1.25 - 0.75}$$
$$\mathbf{= 0.5kJ/kg.K}$$
$$\mathbf{Q_{12} = W_{12} = mR\ln\frac{V_2}{V_1}}$$
$$\mathbf{= 1 \times 0.5 \times \ln\frac{\frac{1}{8}V_1}{V_1}}$$
$$\mathbf{= -322.313kJ}$$
$$\mathbf{\gamma = Cp/Cv = 1.25/0.75}$$
$$\mathbf{= 1.666}$$
$$\mathbf{V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{1 \times 0.5 \times 310}{100}}$$
$$\mathbf{= 1.55m^3}$$
$$\mathbf{P_2 = \frac{mRT_2}{V_2} = \frac{1 \times 0.5 \times 310}{\frac{1}{8} \times 1.55}}$$
$$\mathbf{= 800kN/m^2}$$
$$\mathbf{T_3 = T_1(\frac{P_3}{P_1})^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 310(\frac{800}{100})^{\frac{1.66-1}{1.66}}}$$
$$\mathbf{= 712K}$$

$$\mathbf{Q_{23} = mCp(T_3 - T_2)}$$
$$\mathbf{= 1 \times 1.25(712 - 310)}$$
$$\mathbf{= 502.5kJ}$$
$$\mathbf{V_3 = \frac{V_2T_3}{T_2} = \frac{\frac{1}{8}V_1 \times T_3}{T_2}}$$
$$\mathbf{= \frac{\frac{1}{8} \times 1.55 \times 712}{310}}$$
$$\mathbf{= 0.445m^3}$$
$$\mathbf{W_{23} = P_2(V_3 - V_2)}$$
$$\mathbf{= 800(0.445 - 0.193)}$$
$$\mathbf{= 201kJ}$$
$$\mathbf{\Delta U_{23} = Q_{23} - W_{23}}$$
$$\mathbf{= 502.5 - 201 = 301.5kJ}$$
$$\mathbf{W_{31} = -\Delta U_{31}}$$
$$\mathbf{= -mCv(T_1 - T_3)}$$
$$\mathbf{= -1 \times 0.75(310 - 712)}$$
$$\mathbf{= 301.5kJ}$$
$$\mathbf{\sum W = -322313 + 201 + 30}$$
$$\mathbf{= 1802kJ}$$

(8.7)

لتر من الهواء درجة حرارته (15^oC) وضغطه ($5bar$) سخن بثبوت الضغط إلى (200^oC). ثم تمدد ادياباتيا إلى (100^oC). بعد ذلك برد الهواء بحجم ثابت إلى (15^oC). ثم ضغط آيزوثرمليا حتى عـاد إلى حالته الاصلية. فإذا كانت جميع الاجراءات انعكاسية. احسب:

(1) الشغل الصافي. (2) كفاءة الدورة، علما أن:

R=0.287kJ/kg. K, γ=1.4

$$V_2 = V_1 . \frac{T_2}{T_1} = 10^{-3} \times \frac{473}{288}$$

$$= 1.64 \times 10^{-3} m^3$$

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

$$= 1.64 \times 10^{-3} (\frac{373}{473})^{\frac{1}{0.4}}$$

$$= 2.973 \times 10^{-3} m^3$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{500 \times 0.001}{0.287 \times 288}$$

$$= 0.006kg$$

$$Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.287}{0.4}$$

$$= 0.718kJ/kg.K$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.287 \times 1.4}{0.4}$$

$$= 1.005kJ/kg.K$$

$$Q_{12} = mCp\Delta T$$

$$= 0.006 \times 1.005(473 - 288)$$

$$= 1.12kJ$$

$$Q_{\circ 34} = mCv\Delta T$$

$$= 0.006 \times 0.718(373 - 288)$$

$$= 0.366kJ$$

$$Q_{41} = mRT \ln \frac{V_4}{V_1}$$

$$= 0.006 \times 0.287 \times 288. \ln \frac{2.973}{1}$$

$$= 0.523kJ$$

$$Wnet = Q_{12} + O + (-Q_{34}) + (-Q_{41})$$

$$= 1138 - 374 - 552$$

$$= 0.212kJ$$

$$\eta = \frac{W}{Qin} = \frac{0.212}{1.12} = 0.189$$

(8.8)

اسطوانة مزودة بمكبس عديم التسرب والاحتكاك تحتوي على هـواء ضـغطه (0.97bar) ودرجـة حرارته (60^oC). ضغط حسب العلاقة ($PV^\gamma = C_\circ$) إلى ($\frac{1}{18}$) من الحجم الابتدائي. يسخن بثبـوت الحجم وارتفعت درجة الحرارة إلى (1220^oC). ثم تمدد حسب العلاقـة ($PV^\gamma = C_\circ$)إلـى الحجـم الابتدائي. ثم برد الهواء بثبوت الحجم وعاد إلى حالته الأصلية. احسب درجة الحرارة والضغط عنـد النقاط الأساسية للدورة وصافي شغل الدورة. علما أن:

Cp=1.005kJ/kg. K, γ=1.4

$$P_2 = P_1(\frac{V_1}{V_2})^\gamma = 0.97.(18)^{1.4}$$

$$= 56bar = P_3$$

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

$$= 333 \times (18)^{0.4} = 1060K$$

$$T_3 = T_2 + \Delta T$$

$$= 1060 + 1220 = 2280K$$

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$= \frac{2280}{1060} = 2.15$$

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{18}{2.15} = 8.35$$

$$P_4 = P_3(\frac{V_3}{V_4})^\gamma = 56(\frac{1}{2.15})^{1.4}$$

$$= 2.87bar$$

$$T_4 = T_1(\frac{P_4}{P_1}) = 333(\frac{2.87}{0.97})$$

$$= 985K$$

$$Cv = \frac{Cp}{\gamma} = \frac{1.005}{1.4}$$

$$= 0.718kJ/kg.K$$

$$q_{in} = Cp\Delta T = 1.005 \times 1220$$

$$= 1226kJ/kg$$

$$q_o = Cv\Delta T = 0.718 \times 652$$

$$= 468kJ/kg$$

$$w_{net} = q_{in} - q_o = 1226 - 468$$

$$= 758kJ/kg$$

(8.9)

مائع كتلته (0.09kg) موجود في اسطوانة مجهزة بمكبس عديم الاحتكاك. ضغط المـائع (1.1 bar) وحجمه ($0.07m^3$). ضغط ادياباتيا انعكاسيا إلى ($0.01m^3$). ثـم تمـدد انعكاسـيا حـسب العلاقـة ($PV^{1.25}$ =C.) إلى الحجم الابتدائي. وبعد ذلك برد المائع بثبـوت الحجـم وطـردت منـه حـرارة (-4.22kJ) حيث عاد إلى حالته الأصلية. احسب:

(أ)الشغل المنتقل. (ب)الحرارة المنتقلة. (ج)التغير في الطاقة الداخلية.

$$\mathbf{P_2 = P_1(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma} = 1.1(\frac{0.07}{0.01})^{1.4}}$$

$$\mathbf{= 16.8bar}$$

$$\mathbf{P_3 = P_2(\frac{V_3}{V_2})^{\gamma} = 16.8(\frac{0.01}{0.07})^{1.25}}$$

$$\mathbf{= 1.47bar}$$

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

$$\mathbf{= \frac{110 \times 0.07 - 1680 \times 0.01}{1.4 - 1}}$$

$$\mathbf{= -22.8kJ}$$

$$\mathbf{W_{23} = \frac{P_2V_2 - P_3V_3}{n - 1}}$$

$$\mathbf{= \frac{1680 \times 0.01 - 147 \times 0.07}{1.25 - 1}}$$

$$\mathbf{= 26kJ}$$

$$\mathbf{\sum Q = \sum W}$$

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

$$\mathbf{O + Q_{23} + (-4.22) = -22.8 + 26 + 0}$$

$$\mathbf{Q_{23} = 7.42kJ}$$

$$\mathbf{\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12}}$$

$$\mathbf{= 0 - (-22.8) = 22.8kJ}$$

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

$$\mathbf{= 7.42 - 26 = - - 18.58kJ}$$

$$\mathbf{\Delta U_{31} = Q_{31} - W_{31}}$$

$$\mathbf{= -4.22 - 0 = -4.22kJ}$$

(8.10)

(0.5kg) هيدروجين ضغطه (3MPa) ودرجة حرارته (1000K). يتمدد ايزوثرمليا. ثم تطرد منـه حرارة بثبوت الحجم ويصبح ضغطه (0.5MPa)ودرجة حرارته (300K). ثم تضاف إليـه حـرارة بثبـوت الحجـم ليعـود إلـى حالتـه الابتدائيـة. اعتبـر أن:R =4.124 kJ/kg.K واحـسب:

(1)الشغل الصافي للدوره. (2)كفاءة الدورة.

$$V_1 = V_4 = \frac{mRT_1}{P_1}, V_3 = V_2 = \frac{mRT_3}{P_3}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = \frac{\frac{mRT_1}{P_1}}{\frac{mRT_3}{P_3}}$$

$$= \frac{P_3T_1}{P_1T_3} = \frac{0.5 \times 1000}{3 \times 300} = 0.55$$

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

$$= 0.5 \times 4.124 \times 100 \times \ln\frac{1}{0.55}$$

$$= 1212kJ$$

$$Q_{34} = W_{34} = mRT_3 \ln\frac{V_4}{V_3}$$

$$= 0.5 \times 4.124 \times 300 \ln 0.55$$

$$= -363.6kJ$$

$$W_{net} = W_{12} + W_{34}$$

$$= 1212 + (-363.6)$$

$$= 848.4kJ$$

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

$$= 1 - \frac{300}{1000} = 0.7$$

(8.11)

(1kg) من الهواء ضغطه ($1.73MN/m^2$) ودرجة حرارته(175^oC) تمـدد ايزوثرمليـا إلـى (3) أضعاف حجمه الابتدائي. ثم تمدد ادياباتيا إلى (6) أضعاف حجمه الابتدائي. ثـم ضـغط ايزوثرمليـا وبعدها ضغط ادياباتيا حيث عاد إلى حالته الاصلية. ارسم الدورة واحسب (أ)الضغط والحجم ودرجـة الحرارة في اركان الدورة. (ب)الكفاءة الحرارية للدورة. (ج)الشغل المنجز. علما أن:

$R = 0.29kJ/kg.\ K.\ \gamma = 1.4$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{1 \times 0.29 \times 448}{1730}$$

$$= 0.075m^3$$

$$V_2 = 3V_1 = 3 \times 0.075$$

$$= 0.225m^3$$

$$V_3 = 6V_1 = 6 \times 0.075$$

$$= 0.45m^3$$

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = 1730 \times \frac{1}{3}$$

$$= 576.7kN/m^2$$

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

$$= 448(\frac{0.225}{0.45})^{1.4-1} = 340K$$

$$P_3 = P_2 (\frac{V_2}{V_3})^{\gamma} = 576.7(\frac{1}{2})^{1.4}$$

$$= 219kN/m^2$$

$$\frac{T_1}{T_4} = \frac{T_2}{T_3} = (\frac{V_4}{V_1})^{\gamma - 1}$$

$$= (\frac{V_3}{V_2})^{\gamma - 1}$$

$$\therefore \frac{V_4}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = 2$$

$$V_4 = 2V_1 = 2 \times 0.075$$

$$= 0.15m^3$$

$$P_4 = P_3 \frac{V_3}{V_2} = 219 \frac{0.45}{0.15}$$

$$= 657kN/m^2$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{340}{448}$$

$$= 0.24$$

$$W = mR \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2)$$

$$= 1 \times 0.29 \times \ln 3 (448 - 340)$$

$$= 34.4kJ$$

(8.12)

هواء ضغطه (51bar) وحجمه($0.032m^3$) ودرجة حرارته (1000^oC) يمر بالاجراءات الاربعة التالية: (1)تمدد ايزوثرملي إلى (0.08m3) بعد اضافة حرارة. (2) تمدد ادياباتي إلـى (268^oC). (3)انـضغاط ايزوثرملي بعد طرد حرارة. (4)انضغاط ادياباتي وعودة الهواء إلى حالتـه الاصـلية. فـإذا علمـت أن (γ=1.4)، (R=0.287kJ/kg.K). احسب صافي الحرارة وصافي الشغل.

$$m = \frac{Pv}{RT}$$

$$= \frac{5100 \times 0.032}{0.287 \times 1273} = 0.457kg$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$$= \frac{51 \times 0.032}{0.08}$$

$$= 20.4bar$$

$$P_3 = P_2 (\frac{T_3}{T_2})^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$= 20.4(\frac{541}{1273})^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$= 1.02bar$$

$$V_4 = V_1 (\frac{T_1}{T_4})^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$= 0.032(\frac{1273}{541})^{\frac{1}{0.4}} = 0.256m^3$$

$$P_4 = P_1 (\frac{T_4}{T_1})^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$= 51(\frac{541}{1273})^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$= 2.55bar$$

$$Q_{in} = mRT_2 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 0.457 \times 0.287 \times 1273 \ln \frac{51}{20.4}$$

$$= 152.9kJ$$

$$Q_o = mRT_3 \ln \frac{P_4}{P_3}$$

$$= 0.457 \times 0.287 \times 541 \ln \frac{2.55}{1.02}$$

$$= 63.45kJ$$

$$\sum Q = Qin - Qo$$

$$= 152.9 - 63.45$$

$$= 89.45kJ$$

$$Q_{12} = W_{12} = 152.9kJ$$

$$Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.287}{1.4 - 1}$$

$$= 0.718kJ / kg.K$$

$$W_{23} = (U_2 - U_3)$$

$$= mCv(T_2 - T_3)$$

$$= 0.457 \times 0.718(1273 - 541)$$

$$= 240kJ$$

$$Q_{34} = W_{34} = -63.45kJ$$

$$W_{41} = -\Delta U_{41}$$

$$= mCv(T_4 - T_1)$$

$$= 0.457 \times 0.718(541 - 1273)$$

$$= -240.2kJ$$

$$\sum W = 152.9 + 240.2 - 63.45 - 240.2$$

$$= 89.45kJ$$

امثلة محاولة حول دورة كارنو

(8.13)

إذا كانت درجة الحرارة العليا في دورة كارنو (400^oC). وكانت كفـاءة الـدورة (55%) ونـسبة الانضغاط في الاجراءات الايزوثرملية تساوي (2.8) وإن (γ=1.4). احـسب (a) درجـة الحـرارة الصغرى في الدورة. (b) نسبة الانضغاط الاديباباتية. (C) نسبة الانضغاط الكلية.

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{min}} \Rightarrow 0.55 = 1 - \frac{T_{min}}{673}$$

$$T_{min} = 303K$$

$$\frac{V_3}{V_2} = (\frac{T_2}{T_3})^{\frac{1}{\gamma-1}} = (\frac{673}{303})^{\frac{1}{1.4-1}} = 7.1$$

$$\frac{V_3}{V_1} = (\frac{V_3}{V_2}.\frac{V_2}{V_1}) = 7.1 \times 2.8 = 19.9$$

(8.14)

محرك حراري يعمل على دورة كارنو بين درجتي حرارة (700K) و(300K). يستخدم هواء ضغطه الابتدائي (6.5 bar)، والحجم في نهاية التمدد الايزوثرملي هو ضعف حجمه الابتدائي. احسب الـشغل الصافي للدورة لكل (1 kg). علما أن:

R =0.287kJ/kg. K

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{300}{700} = 0.57$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 \times 700}{650} = 0.3 / m^3$$

$$v_2 = 2v_1 = 2 \times 0.31 = 0.62m^3$$

$$q_{12} = w_{12} = P_1V_1 \ln\frac{v_2}{v_1} = 650 \times 0.31 \ln 2 = 139.66kJ$$

$$w_{net} = \eta_c \times q_{in} = 0.57 \times 139.66 = 79.6kJ / kg$$

(8.15)

دورة كارنو تستخدم النتروجين كمائع تشغيل. الحرارة المجهزة (53kJ) نسبة التمدد الاديابـاتي $(\frac{1}{16})$.
حرارة المصب (295K). احسب (W, Q_o). علما أن:

$\gamma = 1.399$

$$T_2 = T_1 (\frac{V_2}{V_1})^{\gamma-1} = 295(16)^{1.399-1} = 891.8K$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Qo}{Qin}$$

$$1 - \frac{295}{891.8} = 1 - \frac{Qo}{53}$$

$$Q_o = 17.53kJ$$

$$W = Q_{in} - Q_o = 53 - 17.53 = 35.65kJ$$

(8.16)

محرك يعمل على دورة كارنو بـين درجتـي (260^oC) و (15^oC). وكانـت الحـرارة المجهـزة (88kJ/s). اوجد قدرة المحرك بالـ (kW) واحسب الحرارة المطرودة.

$$\eta_c = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{288}{533} = 0.46$$

$$W = Q_{in} \times \eta_c = 88 \times 0.46 = 40.4kW$$

$$Q_o = Q_{in} - W = 88 - 40.4 = 47.6kW$$

(8.17)

دورة كارنو تستخدم الهواء كمادة تشغيل. ضغطه (15bar) وحجمه ($0.075m^3/kg$) في بداية التمـدد الادياباتي. تكتسب الدورة (20kJ/kg) من الطاقة الحرارية. درجة حرارة المصب (7^oC). احـسب:
(أ)كفاءة الدورة. (ب)الشغل المنتقل لكل (1kg). (ج)الحجم الابتدائي. علما أن

R =0.29kJ/kg. K

$$Tmax = T_2 \frac{P_2 \nu_2}{R} = \frac{1500 \times 0.075}{0.29} = 388K$$

$$qin = RTmax \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$$

$$20 = 0.29 \times 388 \times \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$$

$$\ln \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{20}{0.29 \times 388} = 1.18$$

$$\nu_1 = 0.063m^3/kg$$

$$\eta_c = 1 - \frac{Tmin}{Tmax} = 1 - \frac{280}{388} = 0.28$$

$$w = \eta \times q_{in} = 0.28.20 = 5.6kJ/kg$$

(8.18)

محرك كارنو يمتص (418kJ) من مستودع درجة حرارته (400K). في كل دورة يطـرد (334kJ) للمستودع الواطئ الدرجة. احسب (أ) حرارة المستودع الواطئ الدرجة. (ب)كفاءة المحرك الحراري.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}} = 1 - \frac{334}{418} = 0.2$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

$$0.2 = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{T_{min}}{400} \Rightarrow T_{min} = 320K$$

(8.19)

غاز كتلته (0.23kg)مر بدورة كارنو تعمل بـين درجـات الحـرارة (300^oC) و (50^oC). نـسبة الانضغاط في الاجراءات الايروزملية (2.5). احسب (1)الكفاءة الحرارية للدورة. (2)الشغل المنجـز والحرارة المنتقلة. علما بأن: R =0.28kJ/kg. K

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{323}{573} = 0.437$$

$$W = mR\ln\frac{V_2}{V_1}(T_{max} - T_{min})$$

$$= 0.23 \times 0.28 \ln 2.5(250) = 14.75kJ$$

$$Q_{in} = \frac{W}{\eta} = \frac{14.75}{0.437} = 33.8kJ$$

$$Q_o = Q_{in} - W = 33.8 - 14.8 = 19kJ$$

(8.20)

كفاءة دورة كارنو الحرارية (40%) وتستقبل حرارة مقدارها (400kJ/h) من خزان حراري درجـة حرارته عالية. وتطرح حرارة لمصب حراري درجة حرارته (25^oC). ماهي القدرة الناتجة؟ وما هي درجة حرارة المنبع الحراري؟

$$W = \eta \times Q_{in} = 0.4 \times \frac{400}{3600} = 0.044kW$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \Rightarrow 0.4 = 1 - \frac{298}{T_{max}}$$

$$\therefore T_{max} = 496.6K$$

(8.21)

ماكنة حرارية تعمل وفقا لدورة كارنو بين درجتي الحرارة (T_{max}) و(T_{min})، من الممكن زيادة كفائتها أما بزيادة درجة حرارة المصدر (sourCe) أو بتخفيض درجة حرارة المصب (Sink). حدد أيهمـا أكثر تأثيرا.

$$\eta = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}}$$

لنفرض أن T_{min} تم تثبيتها والـ T_{max} تم زيادتها بمقدار ΔT.

$$\eta a = \frac{(T_{max} + \Delta T) - T_{min}}{(T_{max} + \Delta T)} = \frac{T_{max} - T_{min} + \Delta T}{T_{max} + \Delta T} \text{............(a)}$$

لنفرض أن T_{max} تم تثبيتها والـ T_{min} تم تخفيضها بمقدار ΔT.

$$\eta b = \frac{T_{max} - (T_{min} - \Delta T)}{T_{max}} = \frac{(T_{max} - T_{min} + \Delta T)}{(T_{max})} = \text{............(b)}$$

وبمقارنة (a) و (b) حيث نفس البسط ولكن المقام في (a) أكبر من (b) لذا فإن:

$$\eta b > \eta a$$

لذا فبانخفاض درجة حرارة المصب يعطي كفاءة أكبر من حالة زيادة درجة حـرارة المـصدر بنفس المقدار ΔT.

(8.22)

ادعى احد المخترعين إنه قد صمم محرك حراري يعمل بين درجتي حرارة (450K) ، (300K) على التوالي، بحيث ينتج شغلا مقداره (450J) لكل (1000^oC) من الحرارة المستمدة من الخزان الساخن. هل هذا الادعاء معقولا.

$$\eta_{HE} = \frac{W}{Qin} = \frac{450}{1000} = 0.45$$

$$\eta_{HE} = 1 - \frac{Tmin}{Tmax} = 1 - \frac{300}{450} = 0.33$$

بما أن كفاءة المحرك المصمم أكبر من (0.33)، لذا فإن الادعاء مستحيل.

(8.23)

الحرارة الواطئة في محرك كارنو (280K) وكفائته (40%). اريد زيادة هذه الكفـاءة إلـى (50%). (أ) ما عدد درجات الحرارة التي يجب أن يزدادها المستودع العالي الدرجة إذا بقيت حرارة المستودع الواطئ ثابتة. (ب)ما عدد درجات الحرارة التي يجب أن ينقصها المستودع الواطئ الدرجة إذا بقيـت حرارة المستودع العالي ثابتة على (466.66K).

$$\text{(a)}\quad \eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max_1}}$$

$$0.4 = 1 - \frac{280}{T_{max_1}}$$

$$T_{max_1} = 466.6K$$

$$0.5 = 1 - \frac{280}{T_{max_2}}$$

$$T_{max_2} = 560K$$

$$\Delta T = T_{max_2} - T_{max_1}$$

$$= 560 - 466.6 = 93.4K$$

$$\text{(b)}\quad \Delta T = T_{max_1} - T_{min}$$

$$= 466.6 - 280 = 186.66K$$

(8.24)

إذا كان معامل الاداء لثلاجة يساوي نصف معامل اداء ثلاجة كارنو التي تعمل بين مستودعين درجـة حرارتهما (200K.400K) وتمتص (600J) حرارة من المستودع الواطئ الدرجة. احـسب مقـدار الحرارة المطرودة إلى المستودع العالي الدرجة.

$$(COP)_{ref} = \frac{Q_{in}}{Q_o - Q_{in}} = 0.5\frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

$$= \frac{600}{Qo - 600} = 0.5\frac{200}{400 - 200}$$

$$Qo = 1800kJ$$

(8.25)

دورة كارنو معكوسة تعمل كثلاجة بحيث كانت الطاقة الميكانيكية المطلوبة لتشغيل الثلاجة تؤخذ مـن ماكنة حرارية مثالية تعمل أيضا وفق دورة كارنو. إذا كان المـصدر الحـراري للمحـرك (557^oC) والمصب (15^oC). احسب النسبة بين الحرارة المضافة للمحرك الحراري إلـى الحـرارة المـضافة للثلاجة.

$$\eta_{HE} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{15}{273} = 0.661$$

$$W_{HE} = \eta_{HE} \times Q_{in_1} = 0.661 Q_{in_1} = W_{ref}$$

$$(COP)_{HP} = (COP)_{ref} + 1$$

$$\frac{1}{\eta_{HE}} = \frac{(Q_{in})_{ref}}{W_{ref}} + 1$$

$$\frac{1}{0.661} = \frac{Q_{in_2}}{0.661 \times Q_{in_1}} + 1$$

$$\frac{Q_{in_1}}{Q_{in_2}} = 3.1$$

(8.26)

محرك كارنو يعمل بين درجتي حرارة (927^oC) و(33^oC) على التوالي، تطرح حرارة ($30kJ$) إلى المصب. هذا المحرك يقوم بتشغيل مضخة حرارية تطرح ($270kJ$) حرارة من المستودع ذو درجـة الحرارة الواطئة إلى المحيط عند (33^oC). اوجد درجة الحرارة الواطئة لمستودع المضخة الحرارية.

$$\eta_{HE} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}}$$

$$1 - \frac{33}{1200} = 1 - \frac{30}{Q_{in}}$$

$$Q_{in} = 117.6kJ$$

$$W = Q_{in} - Q_o = 117.6 - 30 = 87.6kJ$$

$$(COP)_{HP} = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

$$= \frac{270}{87.6} = \frac{T_{min}}{306 - T_{min}}$$

$$T_{min} = 2.31K$$

(8.27)

أدعى أحد المخترعين إنه استطاع أن يطور محرك حراري لينتج شغلا مقـداره (450kW)، عنـدما يستهلك (0.015kg/s) من الوقود الذي قيمته الحرارية (43000kJ/kg). وأدعى بأن هـذا المحـرك يتمكن من تشغيل ثلاجة تحافظ على درجة حرارة قيمتها (220K). وتطرد حرارة إلى المحيط مقدارها (306K). في أثناء احتراق الوقود فإنه يعطي درجة حرارة قيمتها (830K). بين فيما إذا كان ادعـاء هذا المخترع صحيحا أم لا.

$$(COP)_C = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

$$= \frac{220}{306 - 220} = 2.6$$

$$(\dot{W})_{HEC} = \eta_C \times \dot{Q}in$$

$$= 0.735 \times 645 = 474.4kW$$

$$(\dot{Q}_o)_{HE} = (\dot{Q}_{in})_{ref}$$

$$= \dot{Q}_{in\,HE} - \dot{W}_{HE}$$

$$= 645 - 474.07$$

$$= 170.9kW$$

$$(COP)_{ref} = \frac{(Q_{in})ref}{\dot{W}}$$

$$= \frac{170.9}{474.07} = 0.361$$

$$\because (COP)_C > (COP)_{ref}$$

اذن لا يمكن تحقيق ادعاء المخترع

بالنسبة للمحرك والثلاجة اذا كان.

$$\eta_c > \eta_{HE}, (COP)_{ref} < (COP)ref$$

فسيكون الادعاء صحيح.

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{220}{830} = 0.735$$

$$\eta_{HE} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}f.LCV}$$

$$= \frac{450}{0.015 \times 43000} = \frac{450}{645} = 0.698$$

اذن بالنسبة لـ(HE) فالادعاء صحيح لانه

$$\eta_c > \eta_{HE}$$

(8.28)

ثلاجة تعمل وفق معكوس دورة كارنو. قدرة الدخول (5kW). اوجد مقدار الحرارة المستخلصة مـن الحيز البارد بوحـدات (kJ/min). علمـا أن درجـات الحـرارة العليـا والـدنيا هـي ($38\ ^oC$) ، ($15\ ^oC$)على التوالي.

$$(COP)_{ref} = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

$$= \frac{\dot{Q}_{in}}{5 \times 60} = \frac{288}{311 - 255}$$

$$\dot{Q}_{in} = 3756.52 kJ/min$$

(8.29)

محرك كارنو كفائته الحرارية (25%). يعكس المحرك ليعمل كمضخة حرارية تمتص (200kJ) مـن الحرارة عند (5^oC). احسب:

(أ)معامل الاداء للمضخة الحرارية. (ب)الشغل اللازم للمضخة. (ج)التغيـر فـي الانتروبيـا لعمليـة امتصاص الحرارة.

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 0.25 \Rightarrow \frac{T_{min}}{T_{max}} = 0.75$$

$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}} = \frac{1}{\frac{T_{max}}{T_{min}} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0.75} - 1} = 3$$

$$W_{in} = \frac{200}{3} = 66.66 kJ$$

$$\Delta s = \frac{Q}{T_{min}} = \frac{200}{278} = 0.72 kJ/kg$$

(8.30)

إذا كانت الكفاءة الحرارية لمحرك مثالي يعمل على دورة كارنو هي (20%). احسب مقـدار معامـل الاداء إذا عكس المحرك ليكون: (أ)مضخة حرارية تستعمل في الشتاء لتدفئة غرفة. (ب)ثلاجة لتبريـد المأكولات.

(a)

$$(COP)_{HP} = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{0.20} = 5$$

(b)

$$(COP)_{HP} = (COP)_{ref} + 1$$

$$5 = (COP)_{ref} + 1$$

$$(COP)_{ref} = 5 - 1 = 4$$

(8.31)

إذا كانت نسبة تمدد الحجم الكلي في دورة كارنو هي (15) وإذا كان حدا درجة حرارة الدورة هما (260^oC) و ($21\,^oC$). احسب:

(أ) نسبة الحجم للاجراءين الايزوثرملي والاديباباتي.

(ب) الكفاءة الحرارية للدورة. علما أن: $\gamma = 1.4$

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_3}{V_1}\cdot\frac{V_1}{V_4}$$

$$= 15.\frac{1}{4.42} = 3.39$$

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{294}{533} = 0.45$$

$$\frac{T_1}{T_4} = \frac{T_2}{T_3} = (\frac{V_4}{V_1})^{\gamma-1} = (\frac{V_3}{V_2})^{\gamma-1}$$

$$\therefore \frac{V_4}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = (\frac{T_1}{T_4})^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$= (\frac{533}{294})^{\frac{1}{1.4-1}} = 4.42$$

(8.32)

محرك حراري كفائته (35%) يستقبل حرارة من منبع حراري درجة حرارته (550K) ويطرد حرارة إلى مصب بارد درجة حرارته (300K) وينجز شغلا صافيا مقداره (750kJ). احسب الحرارة المنتقلة إلى المصب البارد. وإذا كان هذا المحرك هو محرك كارنو الانعكاسي. احسب:

(1)الكفاءة الحرارية. (2)الحرارة المنتقلة من المنبع الحراري. (3)الحرارة المنتقلة إلى المصب البارد.

$$Qin = \frac{W_{net}}{\eta} = \frac{750}{0.35} = 2143kJ$$

$$Qo = W_{net} - Q_{in} = 750 - 2143$$

$$= -1393kJ$$

بالنسبة لمحرك كارنو الانعكاسي

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{300}{550} = 0.455$$

$$Q_{in} = \frac{W_{net}}{\eta} = \frac{750}{0.455} = 1648kJ$$

$$Q_o = W_{net} - Q_{in} = 750 - 1648 = -898kJ$$

(8.33)

غاز يمر بالعمليات التالية: (أ)تسخين انعكاسيا بحجم ثابت حتى أصـبح ضـغطه ($\frac{6}{5}$) مـن ضـغطه الاصلي. (ب)تسخين انعكاسيا بضغط ثابت حتى أصبح حجمه ($\frac{5}{4}$) من حجمه الاصلي. (جـ ـ)تبريـد انعكاسيا بحجم ثابت حتى وصل إلى ضغطه الابتدائي (د) تبريد انعكاسيا بضغط ثابت حتى وصل الى حالته الابتدائية . احسب نسبة كفاءة هذه الدورة إلى كفاءة دورة كارنو التي تعمل بين نفـس درجـات الحرارة. علما أن:

Cp=0.293kJ/kg. K , Cv=0.209kJ/kg. K

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1}) = \frac{6}{5}T_1$$

$$q_{12} = Cv\Delta T = 0.209(\frac{6}{5}T_1 - T_1)$$

$$= 0.042T_1$$

$$T_3 = T_2(\frac{V_3}{V_2}) = \frac{6}{5}T_1(\frac{\frac{5}{4}V_1}{V_1}) = \frac{3}{2}T_1$$

$$q_{23} = Cp\Delta T = 0.293(\frac{3T_1}{10})$$

$$= 0.088T_1$$

$$T_4 = T_3(\frac{P_4}{P_3}) = \frac{3}{2}T_1(\frac{P_1}{\frac{5}{4}T_1}) = \frac{5}{4}T_1$$

$$q_{34} = Cv\Delta T = 0.209(\frac{5}{4}T_1 - \frac{3}{2}T)_1$$

$$= -0.05T_1$$

$$q_{41} = Cv\Delta T = 0.293(T_1 - \frac{5}{4}T_1)$$

$$= -0.07T_1$$

$$q_{in} = q_{12} + q_{23} = 0.13T_1$$

$$q_o = q_{34} + q_{41} = 0.12T_1$$

$$w = q_{in} - q_o = 0.01T_1$$

$$\eta = \frac{w}{q_{in}} = \frac{0.01T_1}{0.13T_1} = 0.077$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_1}{T_3} = \frac{T_1}{\frac{3}{2}T_1}$$

$$= 1 - 0.66 = 0.34$$

$$\frac{0.077}{0.34} = 0.226$$

مسائل

(8.1)

هواء محصور في اسطوانة مغلقة ضغطه (1.01bar) ودرجة حرارتـه (20°C). النـسبة الحجميـة ($\frac{18}{1}$). ضغط ادياباتيا. ثم اضيفت إليه حرارة بثبوت الحجم. واضيف نفس المقدار من الحرارة بثبـوت الضغط ثم تمدد ادياباتيا. برد الهواء بثبوت الحجم وعاد إلى حالته الاصلية فإذا كان أقصى ضغط فـي الدورة (69bar) و (γ =1.4) . احسب صافي الشغل وصافي الحرارة لكل (1kg) هواء.

ج: (166.3kJ/kg   144.6kJ/kg)

(8.2)

نظام مغلق يحتوي على (1kg)من الهواء. ضغط الهواء ايزوثرمليا إلى أن تضاعف ضغطه. ثم تبـع ذلك انضغاط ادياباتي حتى تضاعفت درجة حرارته المطلقة بحيث بلغت (600K). اوجـد الاجـراء اللازم لإرجاع المنظومة إلى حالتها الابتدائية لإكمال الدورة وأحسب صافي الشغل للدورة. علما أن:

R =0.287kJ/kg. K

ج: (1.285 , 32.58kJ)

(8.3)

غاز مثالي موجود في نظام مغلق تضاف إليه حرارة بثبوت الحجم بحيث يرتفع ضغطه من (10bar) إلى (35bar). بعد ذلك يتمدد الغاز ادياباتيا . ثم يضغط ايزوثرمليا ليعود إلى حالته الابتدائية. ارسـم الإجراءات على مخططي (P-V)و (T-S). احسب الكفاءة، علما أن جميع الإجراءات انعكاسية.

ج:(50%)

(8.4)

ضغط ودرجة حرارة غاز مثالي ($1.4MN/m^2$) و (360 °C) على التوالي. تمدد ادياباتيا حتى ضغط ($100MN/m^2$).ثم سخن بثبوت الحجم حتى رجعت درجة حرارته إلى (360°C)وأصـبح ضـغطه ($220kN/m^2$). بعد ذلك ضغط الغاز بثبوت درجة الحرارة حتى رجع إلى حالته الابتدائيـة. ارسـم الاجراءات على مخطـط (P-V). وإذا كانـت كتلـة الغـاز (0.23kg). احـسب : (1)قيمـة الاس الادياباتي.γ (2)التغير في الطاقة الداخلية للمنظومة خلال الاجـراء الاديابـاتي. (3)إذا كانـت قيمـة (Cp=1.005kJ/kg. K) اثبت أن الحرارة المتبادلة مع المحيط الخارجي خلال الدورة تساوي صافي الشغل المتبادل، أي $\left(\oint \mathbf{dQ} = \oint \mathbf{dW}\right)$

ج: (1.427   -55.9kJ,   -24.12kJ,)

(8.5)

هواء في نظام مغلق درجة حرارته (15^oC). ضغط ادياباتيا وفق العلاقة ($PV^{1.4}=C$) إلى ($\frac{1}{12}$) مـن حجمه الابتدائي. ثم اضيفت إليه حرارة بثبوت الضغط حتى اصبحت درجة حرارته (1100^oC). ثـم تمدد ادياباتيا إلى حجمه الابتدائي. ثم برد الهواء بثبوت الحجم حتى عاد إلى حالته الابتدائية. احـسب لكل (1kg) ما يأتي: (1)صافي الحرارة. (2)صافي الشغل. علما أن:

R=0.287kJ/kg. K

ج: (346.7kJ/kg , 346.6kJ/kg)

(8.6)

(1kg) من الهواء يتمدد في اجراء ايزوثرملي عند درجة حرارة (230^oC) من ($3.45kN/m^2$) إلـى ($2MN/m^2$). وبعد ذلك يتمدد ادياباتيا إلى ($140kN/m^2$) ودرجة حرارة (235K) ثم يبـرد الهـواء بثبوت الضغط. وبعد ذلـك يـضغط الهـواء اديباتيـا ليعـود إلـى حالتـه الاصـلية. فـإذا كـان ($Cp=1.006kJ/kg.K$). احسب (1)الشغل الادياباتي. (2)صافي الحرارة. (3)الشغل والطاقة الداخلية في الاجراءين الثاني والرابع. ارسم الاجراءات على مخطط (P-V).

ج: (192.3kJ, 44.3kJ, -192.3kJ)

(8.7)

(1kg) من الهواء ضغطه الابتدائي($219kN/m^2$) ودرجة حرارتـه (67^oC) ضـغط فـي إجـراء ايزوثرملي إلى ($\frac{1}{3}$) حجمه الابتدائي. ثم ضغط في اجراء ادياباتي إلى ($\frac{1}{6}$) حجمه الابتدائي وأصبحت درجة حرارته (175^oC). ثم تمدد في اجراء ايزوثرملي. وعاد إلـى حالتـه الاصـلية فـي التمـدد الادياباتي. ارسم الدورة على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب: (1)الضغط والحجم ودرجة الحرارة في كل زاوية من الدورة. (2)الكفاءة الحرارية للدورة. (3)الشغل المنجز في الدورة. علما أن:

R=0.29kJ/kg. K , γ =1.4

ج:(657kPa, 1733kPa, 577.6kPa, 24.1%, 34.4kJ)

(8.8)

اسطوانة مزودة بمكبس عديم التسرب والاحتكاك ، تحتـوي علـى هـواء ، يـضغط ادياباتيـا مـن (0.97bar)و ($60 \quad ^oC$) إلى ($\frac{1}{18}$)من الحجم الابتدائي.أضيفت حرارة للهواء بثبوت الضغط فارتفعـت درجة حرارته إلى ($1220 \quad ^oC$). ثم تمدد الهواء ادياباتيا إلى الحجم الابتدائي، وعاد إلى حالته الاصلية بتبريده عند ثبوت الحجم. فإذا كـان: $\gamma = 1.4$, $Cp = 1.005 kJ/kg.\ K$. احـسب درجـة الحـرارة والضغط عند النقاط الاساسية للدورة وكذلك احسب صافي شغل الدورة لكل (1kg). ارسم الدورة على مخططي (P-V) و (T-S).

ج: (758kJ/kg, 985K, 2280K, 1060K, 2.87bar, 56bar)

(8.9)

غاز في نظام مغلق. كانت قراءة المانوميتر المربوط في النظام (74.2CmHg). وكانت قراءة الضغط الجوي (1.01bar) ودرجة حرارته (360^oC) ضغط الغاز ايزوثرمليا بحيث أصبح حجمه ($\frac{1}{7}$) مـن حجمه الابتدائي. تمدد ادياباتيا إلى حجمه الابتدائي وأصبح ضغطه (100kPa). ثم سخن الغاز بثبوت الحجم وعاد إلى حالته الاصلية. فإذا كان ($Cp = 1.005 kJ/kg.K$). ارسم الاجراءات علـى مخطـط (P-V) واحسب لكل (1kg): (1)قيمة الاس الادياباتي (γ). (2)الحـرارة المنتقلـة والـشغل النتقـل ايزوثرمليا. (3)الشغل النتقل والتغير في الطاقة الداخلية ادياباتيا. (4)الحرارة المنتقلة والتغير في الطاقة الداخلية في إجراء ثبوت الحجم.

ج: (234.5kJ/kg, -234.5kJ/kg, -325kJ/kg, 1.356)

(8.10)

نظام يعمل على دورة كارنو المعكوسة كمضخة حرارية تأخذ الطاقة الحرارية مـن حيـز ذو درجـة حرارة مقدارها (5^oC)ويطرحها إلى حيز ذو درجة حرارة مقدارها (30^oC). فإذا كـان التغيـر فـي الانتروبي النوعي في اجراء الانضغاط الايزوثرملي (0.1kJ/kg.K -) وأقل ضغط في الدورة مقداره (1bar). ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب : (1)معامل الاداء للنظام. (2)الـشغل النوعي الذي يجب إضافته للنظام. (3) اعلى ضغط في الدورة (4) إذا عمل النظام بين نفس درجتـي الحرارة كجهاز تبريد فماذا سيكون معامل الاداء. علما أن:

$\gamma = 1.4$, $R = 0.278 kJ/kg.\ K$

ج: (11.12, 1.917bar, -2.5kJ/kg, 12.12)

(8.11)

محطة لتوليد الطاقة الكهربائية تعمل على دورة كارنو تطرح الحرارة إلى نهر درجة حرارة الماء فيه (15^oC)، كم يجب أن تكون درجة الحرارة القصوى التي تطرحها مادة العمل في المحطة لتكون كفاءة المحطة (40%) وإذا كان المطلوب انتاج قدرة (20MW)، ما هي كمية الحرارة المضافة المطروحة في وحدة الزمن.

ج: (480K, 50000kW, 30000kW)

(8.12)

ماكنة حرارية تعمل على دورة كارنو تشغل ماكنة حرارية معكوسة تعمل على دورة كارنو المعكوسة. الماكنة الحرارية تأخذ الحرارة من مصدر حرارته (600^oC) ودرجة حرارة المحيط (10^oC). الماكنة الحرارية المعكوسة تعمل للمحافظة على درجة حرارة حيز مقدارها (20^oC -). فإذا كانت كمية الحرارة المتسربة للحيز المراد تبريده هي (1000kJ). ارسم رسما تخطيطيا للمجموعة. ووضح الدورات الحرارية للماكنة الحرارية والماكنة الحرارية المعكوسة على مخططي (P-V) و(T-S). واحسب (1)مقدار الحرارة المضافة والمطروحة وصافي الشغل المنتقل في الماكنة الحرارية. (2)مقدار التغير في الانتروبي في الاجراءات الايزوثرملية للماكنة الحرارية. (3)إذا كانت الحرارة تضاف عن طريق مرجل في الماكنة الحرارية. احسب مقدار التغير في الانثالبي لمادة العمل مع اهمال التغير في الطاقة الحركية وطاقة الوضع.

ج:(56.88kJ, 118.58kJ, 0.2009kJ/K, -0.2009kJ/K, 175.46kJ)

(8.13)

ماكنة حرارية تقوم بتشغيل ثلاجة يعملان وفقا لدورة كارنو ودورة كارنو المعكوسة، وبين مصدرين حراريين درجة حرارتهما ($662^oC,12^oC$). فإذا كانت الحرارة المضافة للماكنة الحرارية (127kJ).احسب الحرارة المضافة للثلاجة وارسم رسما تخطيطيا لربط الماكينتين مع المصدرين الحراريين. احسب التغير في الانتروبي للإجراءات الايزوثرملية.

ج: (38.7kJ, 0.135kJ/K, -0.135kJ/K)

(8.14)

ثلاجة معامل ادائها (3) تعمل بوساطة محرك حراري يعمل على دورة كارنو ويكتسب حرارة مقدارها (Q_1) من مصدر درجة حرارته (T_1) ويطرد حرارة مقدارها (Q_2) إلى مصدر درجة حرارته (T_2). الثلاجة تمتص حرارة مقدارها (Q_4) من مصدر درجة حرارته (T_4) ويطرد حرارة (Q_3) إلى مصدر آخر درجة حرارته (T_3). اوجد قيمة الحرارة التي تمتصها الثلاجة إذا كانت قيمة الحـرارة المـضافة إلى المحرك (72kJ).

ج: (75.6kJ)

(8.15)

ماكنتان حراريتان معكوستان تعملان على دورة كارنو المعكوسة موضـوعتان علـى التـوالي. يـتم بواساطتهما تبريد منطقة درجة حرارتها (-60^oC) وتطرح الحرارة إلى الجو المحيط بدرجة حـرارة (30^oC). فإذا كان معامل الاداء للماكنتين متساو وكانت الحرارة المسحوبة من المنطقـة التـي يـراد تبريدها (120kJ) في الدقيقة الواحدة. اوجد لهاتين الماكنتين (1)درجة الحرارة المشتركة. (2)معامـل الاداء لكل ماكنة. (3)القدرة اللازمة لتشغيل كل ماكنة بوحدات (kW).

ج: (254K, 5.195, 0.385kW, 0.46kW)

(8.16)

معمل لصنع الثلج يعمل على دورة كارنو المعكوسة ينتج (20) طن من الثلج يوميا. يتحول الماء إلـى ثلج في درجة حرارة (0^oC) ويبقى عندها ، ويتم طرح الحرارة إلى المحـيط عنـد درجـة حـرارة (27^oC). الشغل اللازم للماكنة الحرارية المعكوسة يأتي من ماكنة حرارية مثالية تأخذ الحـرارة مـن مصدر درجة حرارته (227^oC) وتبقى درجة الحرارة في مصدر ثابتة بواسطة حرق وقـود قيمتـه الحرارية (45000kJ/kg) وتطرح الحرارة منها إلى المحيط. احسب القـدرة الناتجـة فـي الماكنـة الحرارية وكمية الوقود اللازم حرقها في الساعة إذا علمت إن الحرارة اللازم أخذها من الماء لتجميده هي (335kJ/kg).

ج: (7.67kW , 1.534kg/h)

(8.17)

اوجد الشغل النوعي المبذول من قبل محرك حراري يعمل على دورة كارنو لكي يشغل جهـاز تدفئـة يعمل على دورة كارنو العكسية ليحافظ على غرفة مدفأه بدرجة حرارة (30^oC) بعد أن يطرح إليهـا ($30.3kJ/kg$) من الحرارة. إن درجة الحرارة في نهاية التمدد الايزوثرملي (5^oC). وإذا كـان أقـل ضغط في الدورة هو ($1\ bar$). احسب أعلى ضغط. علما أن :

$R=0.278kJ/kg.\ K,\ \gamma=1.4$

ج: ($1.917bar\ ,\ 2.5kJ/kg$)

(8.18)

غاز في نظام مغلق ضغطه ($0.97bar$) ودرجة حرارته (50^oC). ضغط ادياباتيا إلى أن أصبح حجمه ($\frac{1}{5}$) حجمه الابتدائي.ثم أضيفت إليه حرارة ($930kJ/kg$) بثبوت الحجم. واعيد بعد ذلك إلـى حجمـه الابتدائي بتمدد ادياباتي.ثم اعيد إلى حالته الابتدائية بتبريده بثبوت الحجم. فإذا علمت أن:

$Cv=0.717kJ/kg.\ K,\ \gamma=1.4$.

ارسم الدورة على مخططي ($P-V$) و ($T-S$) واحسب (1)كفاءة الدورة. (2)قارن هذه الكفاءة مع كفاءة كارنو لنفس حدود درجات الحرارة. (3)صافي الشغل النوعي للدورة بوحدات (kJ/kg).

ج:($0.831,0.475$ $\ 441.4kJ/kg$)

(8.19)

جهاز تدفئة يعمل على دورة كارنو المعكوسة. كان التغير في الانتروبي النوعي للتمدد الايزوثرملـي ($0.1kJ/kg.K$). الجهاز يستلم حرارة من مصدر درجة حرارته ($4\ ^oC$). ويطرح حـرارة مقـدارها ($30.2\ kJ/kg$). كان الضغط في نهاية التمدد الاديباتي ($1.5\ bar$). احسب:

(1)معامل الاداء. (2)أقل قيمة للضغط. (3)التغير في الانترةوبي النوعي للاجراء الاخير. علما أن:

$R=0.278kJ/kg.\ K,\ \gamma=1.4$

ج: ($1.05bar,12.08$ $\ ,\ -0.1kJ/kg$)

(8.20)

دورة كارنو المعكوسة تعمل بين مصدرين حراريين درجة حرارتهما (50^oC) و (10^oC). كانت قدرة الضاغط ($10kW$). احسب الحرارة المسحوبة والمضافة في الدورة. واحسب معامـل الأداء للماكنـة كثلاجة أو كجهاز تدفئة.

ج:($80.75kW,\ \ 70.75kW,\ \ 8.075,\ \ 7.075$)

(8.21)

محرك حراري يعمل على دورة كارنو بين مصدرين حراريين (1727^oC) و(27^oC) يكتسب حـرارة مقدارها (200kJ/kg) ويستخدم الهواء كمائع تشغيل . في بداية الانضغاط الايزوثرملي كان الـضغط (1 bar) فإذا علمت أن (γ =1.4) ، (Cp=1.006kJ/kg. K). احسب:

(1)أقصى قيمة للضغط بالـ (MN/m^2). (2)لنسبة الحجمية في أجراء الانضغاط الادياباتي والنـسبة الكلية. (3)الحرارة المطرودة في الدورة لكل (1kg) هواء.

ج: ($108.4MN/m^2$, 114.75, 162.6, 30kJ/kg)

(8.22)

قام أحد الاشخاص بفحص ماكنة حرارية تعمل بين خزان حراري بدرجة حـرارة(1000^oC) والجـو الخارجي (27^oC). وأدعى أن قدرة الماكنة (5kW) عندما كانت الحرارة المجهـزة (21600kJ/hr). اثبت أن الادعاء غير ممكن.

ج:(70% , 83%)

(8.23)

استخدمت مضخة حرارية للحفاظ على درجة حرارة قاعة عند (25^oC) علما أن درجة حرارة الجـو كانت عند (5^oC -). المضخة تطرد حرارة قيمتها (2400kJ/min). احسب الطاقة اللازم تجهيزهـا للمضخة الحرارية إذا علمت أن الـ (COP) للمضخة هو (25%) من الـ (COP) لمضخة حرارية تعمل على دورة كارنو وبين نفس حدود درجات الحرارة.

ج: (16.11kW)

(8.24)

محركان حراريان مثاليان يعملان على التوالي وفقا لدورة كارنو بين مـصدرين (600^oC) و(20^oC). وكانت كفاءة المحركين متساوية.وكان المحرك الاول يطرد حرارة مقدارها (800kJ) إلـى المحـرك الثاني. احسب (1) درجة الحرارة المشتركة بين المحركين. (2)الكفاءة الحرارية للمحركين. (3)الشغل المنجز لكل محرك.

ج:(505.75K, 0.42, 579.3kJ, 336kJ)

(8.25)

دورة كارنو لها كفاءة حرارية (50%) وأدنـى درجـة حـرارة مقـدارها (17^oC)، أدنـى ضـغط (1.04 bar) وأعلى ضغط (62.4 bar). وعلى افتراض أن الهواء مادة العمـل فـي الـدورة ولـه ($Cp=1.005kJ/kg.\ K$)، ($\gamma=1.4$). ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب: (1)درجة الحرارة القصوى في الدورة. (2)نسبة الشغل المضاف إلى الدورة إلى الشغل المنتج من الدورة.

ج: (580K, 0.712)

(8.26)

ماكنة حرارية تعمل بين درجتي الحرارة (800^oC) و (50^oC). تدير ماكنة حرارية معكوسة تستعمل للمحافظة على حيز بدرجة حرارة (-10^oC) وذلك بطرح الحرارة التي تـسحبها إلـى حيـز درجـة حرارته (50^oC). الحرارة المضافة للماكنة الحرارية مقدارها (80kJ). (أ)إذا كانت الماكنة الحراريـة تعمل على دورة كارنو والماكنة الحرارية المعكوسة تعمل على دورة كارنو المعكوسة. ارسم الدورتين على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب مقدار الحرارة التي تسحبها الماكنة الحراريـة المعكوسـة . (ب)إذا كانت الماكنة الحرارية تعمل على دورة كفائتها (50%) من كفائـة دورة كـارنو، والماكنـة الحرارية المعكوسة تعمل على دورة معامل ادائها (60%) من معامل اداء دورة كـارنو المعكوسـة. احسب مقدار الحرارة التي تسحبها الماكنة الحرارية المعكوسة في هذه الحالة.

ج: (245.1kJ, 73.53kJ)

(8.27)

ماكنة حرارية تعمل على دورة كارنو يضاف لها حرارة مقدارها (1000kJ) عنـد درجـة حـرارة مقدارها (400^oC) وتطرح الحرارة لخزان درجة حرارته (20^oC). الماكنة الحرارية تشغل مـضخة حرارية ومولد كهربائي. المضخة الحرارية تعمل على دورة كارنو المعكوسة تسحب الحـرارة مـن مصدر درجة حرارته(20^oC) وتطرح حرارة مقدارها (600kJ) إلى مصدر درجة حرارته (50^oC). اوجد نسبة الشغل المضاف للمضخة الحرارية إلى الشغل المضاف للمولد الكهربائي.

ج: (0.11)

(8.28)

ماكنة حرارية تعمل بين درجتي الحرارة (1200^oC) و(50^oC) يضاف لها حرارة بمعدل ($1000kJ/s$). جميع الشغل الناتج في الماكنة الحرارية يستغل في تشغيل ماكنة حرارية معكوسة تعمل بين درجتي (28^oC) و(5^oC -).فإذا كانت كفاءة الماكنة الحرارية (60%) من كفاءة كارنو المثالية بين نفس درجتي الحرارة ، ومعامل اداء الماكنة الحراريةالمعكوسة (80%) من معامل اداء دورة كارنو المعكوسة بين نفس درجتي الحرارة، احسب كمية الحرارة التي تطرحها كلا من الماكنة الحرارية والماكنة الحرارية المعكوسة.

ج:(531.6kW, 3417.82kW)

(8.29)

هواء يمر بدورة كارنو يضاف له حرارة عند درجة حرارة مقدارها (800^oC) ويطرح الحرارة عند درجة حرارة مقدارها (20^oC). نسبة الانضغاط الايزوثرمالي ($\frac{5}{1}$) فإذا علمت أن ($\gamma=1.4$) وأن ($Cp=1.005kJ/kg.\ K$). احسب ما يأتي:

(1)نسبة الانضغاط الاديباباتية. (2)الحرارة والشغل النوعيين المنتقلين في كل اجراء من اجراءات الدورة.

ج:(1.6807, 559.65kJ/kg, -135.3kJ/kg, -559.65kJ/kg)

(8.30)

استعملت مضخة حرارية للحفاظ على درجة حرارة قاعة عند (25^oC) علما أن درجة حرارة الجو كانت عند (5^oC -). المضخة تطرد حرارة قيمتها($2400kJ/min$). احسب الطاقة اللازم تجهيزها للمضخة الحرارية إذا علمت أن الـ (COP) للمضخة هو (25%) من الـ (COP) لمضخة حرارية تعمل على دورة كارنو وبين نفس حدود درجات الحرارة.

ج: (16.11kW)

(8.31)

قام أحد الاشخاص بفحص ماكنة حرارية تعمل بين خزان حراري بدرجة (1000^oC) والجو الخارجي ($27\ ^oC$). وأدعى أن قدرة الماكنة ($5kW$) عندما كانت الحرارة المجهزة ($21600kJ/hr$). اثبت أن الادعاء غير ممكن.

ج: (70%, 83%)

(8.32)

(أ)أدعى مخترعان، الاول أن بإمكان تصنيع ماكنة حرارية (A) تعمل بين درجتي حـرارة مقـدارها (600^oC) و(50^oC) بحيث يضاف لها (1500kJ) من الحرارة لتنتج شغلا مقداره (1000kJ). بينمـا أدعى الآخر أنه يستطيع انتاج نفس الكمية من الشغل من ماكنة حرارية (B) تعمل بين درجتي الحرارة (750^oC) و(50^oC) إذا أضيفت لها حرارة مقدارها (1600kJ). أي الادعائين يمكن التطبيق ولماذا؟

(ب)الشغل الناتج من الماكنة الحرارية في الفرع (أ) يستغل في تشغيل دورة تبريد للحفاظ على درجـة حرارة مستودع بطاطا عند (5^oC) بحيث تطرح حرارة للمحيط مقدارها (5200kJ) عند (35^oC). جد نسبة معامل اداء دورة التبريد هذه لمعامل اداء دورة التبريد المثالية بين نفس درجتي الحرارة.

(ج:0.666, 0.63, 0.625, 0.684, 0.453)

(8.33)

اسطوانة معزولة مغلقة بمكبس لا احتكاكي تعمل على دورة كارنو. فيها هواء ضغطه ودرجة حرارته في بداية الانضغاط الادياباتي (100kPa) و(25^oC) على التوالي. وبعد أن ضـغط الهـواء ادياباتيـا يصبح ضغطه (1MPa)، فإذا كانت الحرارة المضافة للاسطوانة خلال الدورة (150kJ/kg)، احسب لكل (1 kg):

(1) الحرارة المنتقلة في الاسطوانة.(2) الشغل الصافي للدورة.(3) كفاءة الدورة.

علما بأن

(R=0.287kJ/kg. K)، (γ=1.4)

ج:(-77.7kJ/kg, 72.3kJ/kg, 48.2%)

(8.34)

في فصل الشتاء كانت درجة حرارة الهواء الخارجي (4^oC -)، اريد تدفئة بنايـة بواسـطة مـضخة حرارية معامل ادائها (3.7) بحيث تجعل درجة حرارة البناية (21^oC). فإذا كانت الحـرارة المنتقلـة إلىالبناية (75kJ/h)، اوجد الحرارة المنتقلة من المحيط الخارجي . وإذا عملت المـضخة الحراريـة على دورة كارنو المعكوسة ، جد معامل الاداء والشغل اللازم لتشغيل المضخة في هذه الحالة.

ج: (11.76 , 6.378kJ/h)

الفصل التاسع – الأنتروبي

(9.1)- الأنتروبي Entropy

العمليات الحقيقية هي الأجراءات اللاإنعكاسية التي يرافقها خسائر حرارية. فعند تشغيل محرك حراري مثلا تظهر خسائر حرارية. من هنا ظهرت خاصية ثرموديناميكية جديدة تعبر عن مقدار هذه الخسائر، لذلك تعتبر هذه الخاصية مقياس للأجراءات اللاإنعكاسية ، تسمى بـ الأنتروبي وهي كلمة يونانية الأصل ، تعني الأنعطاف أو التحول أو الأختلاج، يرمز لها بالرمز (S). أول من استعملها العالم الألماني رودولف كلوزيوس في منتصف القرن التاسع عشر.

الانتروبي كخاصية يتصرف كأي خاصية أخرى مثل (P, T, U, H...الخ). والتكامل الدوري لهذه الخواص يساوي صفرا عندما يمر النظام بدورة إنعكاسية فقط ويعود إلى حالته الاصلية. أي:

$$\oint dp=0 \ , \ \oint dT=0 \ , \ \oint dV=0 \ , \ \oint dH=0 \ , \ \oint dS=0$$

وفي الحسابات الثرموديناميكية يحسب الـ ($\Delta S, \Delta H , \Delta U$) ولا يمكن حساب القيمة المطلقة، أي (S , H , U). كما ويمكن حساب (ΔU) في الأجراءات الانعكاسية واللاإنعكاسية من خلال معرفة مقدار الشغل والحرارة المنتقلتين، إلا أنه لا يمكن حساب (ΔS) إلا في العمليات اللاإنعكاسية والعمليات الانعكاسية غير الاديباباتيه التي تمر بجزء من دوره، أي من معرفة الحرارة المنتقلة إنعكاسيا.

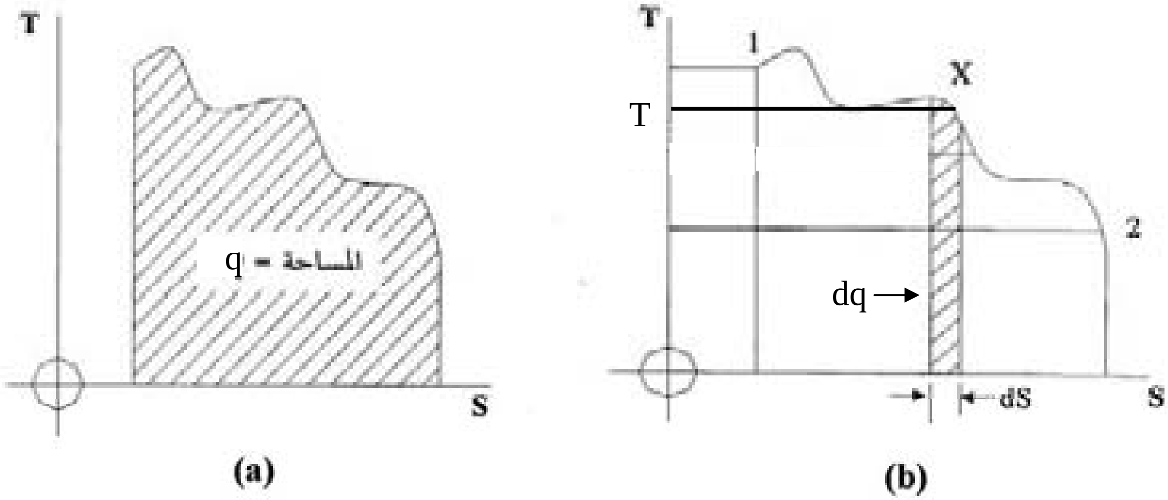
إن الطاقة الداخلية هي نتيجة من نتائج القانون الأول، وأن الانتروبي هي نتيجة من نتائج القانون الثاني، لذلك يعتبر الثرموديناميكس علم الطاقة والانتروبي.

إذن الانتروبي خاصية ثرموديناميكية يعبر عنها كتابع للخواص الثرموديناميكية الاخرى التي يمكن قياسها بالتجربة في حالة الأجراءات الحقيقية.

(9.2)- مخطط درجة الحرارة –الانتروبي Temperature – Entropy Diagram (T–S)

إذا فرضنا أن الانتروبي (S) تعبر عن خاصية اختيارية للمائع يرسم على المحور السيني ودرجة الحرارة (T) على المحور الصادي، فيسمى هذا المخطط (T–S)، ومن المفيد جدا عند تحليلنا لمميزات دورات المحركات أن نرسم الدورة على هذا المخطط.

من خلال دراستنا للشغل لاحظنا أن المساحات الموجودة تحت منحني العملية الإنعكاسية على المخطط (P-V) تمثل الشغل المنتقل خلال العملية. وبطريقة مشابهة فإن المساحات الموجودة تحت منحني العملية الإنعكاسية على المخطط (T–S) تمثل الحرارة المنتقلة خلال العملية، وهي المنطقة المظللة في الشكل (9.1-a).



شكل (9.1)- الانتروبي ومخطط (T-S)

لنأخذ الشكل (b- 9.1) ، ونفترض حدوث عملية إنعكاسية تتغير فيها الحالة من (1) إلى (2) . ثم نأخذ نقطة (X) على هذا المنحني. إن احداثيي هذه النقطة هما (T) و (S) . ولنجعل التغير في الحالة يحدث من هذه النقطة ويكون تغيرا صغيرا في (S) يساوي (dS)، عندئذ يكون:

(1)الحرارة المنتقلة إنعكاسيا (dq)= المساحة الممثلة بهذا التغير الصغير = (Tds) تقريبا.

(2)الحرارة المنتقلة إنعكاسيا من (1) إلى(2) (q)= مجموع المساحات تحت المنحني من (1) إلى (2).

كما في الشكل (9.1-a). أي أن:

$$\mathbf{q = \sum_{S_1}^{S_2} TdS = \int_{S_1}^{S_2} TdS} \text{..............................}\mathbf{(9.1)}$$

بتفاضل المعادلة ينتج:

$$\mathbf{dq = TdS} \text{..............................}\mathbf{(9.2)}$$

بتكامل المعادلة ينتج:

$$\mathbf{dS = \frac{dq}{T}}$$

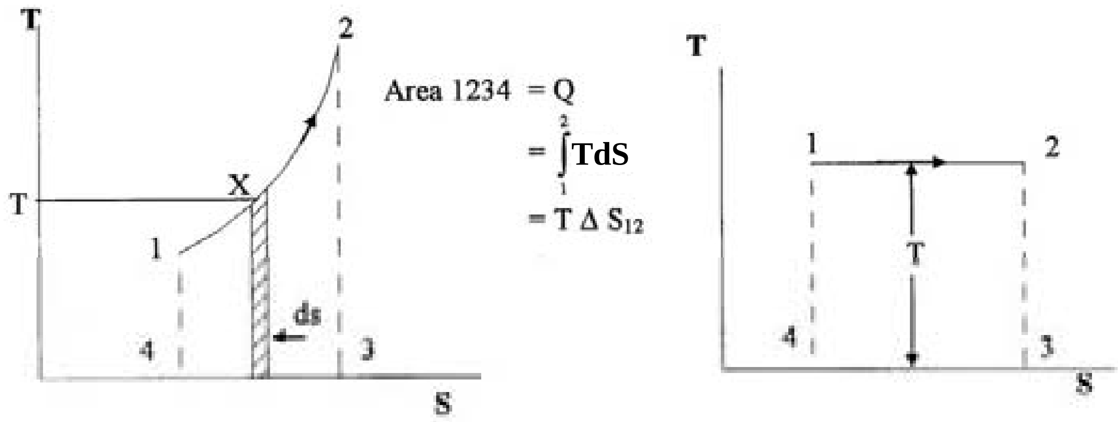
$$\mathbf{\int dS = \int \frac{dq}{T}} \text{..............................}\mathbf{(9.3)}$$

$$\mathbf{\therefore \Delta S = \int \frac{dq}{T}} \text{..........................}\mathbf{(9.4)}$$

هذه هي معادلة التغير في الانتروبي، التي تعتبر إحدى نتائج القانون الثاني، التي توضح (dq) و (dS) لهما نفس الإشارة، أي إذا كانت (q) موجبة فيزداد الانتروبي والعكس صحيح. إن وحدات الانتروبي (kJ/K) ، أما الانتروبي النوعي الذي يرمز له (s) فوحداته (kJ/kg.K).

عند تسخين الغاز سيتعرض للحالتين التاليتين:

(1)عندما يكون التسخين آيزوثرمليا، سيتمدد الغاز وتتغير الانتروبي من(S_1) إلـى (S_2)، كمـا فـي الشكل (9.2-a) وستصبح :



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

شكل (9.2)- تغير الانتروبي

الحرارة المنتقلة ممثلة بالمساحة (4 3 2 1) على مخطط (T-S) أي:

$$\mathbf{dq = TdS \Rightarrow \int_1^2 dq = T\int_1^2 dS.........................(9.5)}$$

$$\mathbf{\therefore\ q = T\Delta S_{12} = area1234........................(9.6)}$$

(2)عندما يتمدد الغاز بثبوت الضغط أو الحجم، كما في شكل (9.2-b) فلفرض إيجاد المـساحة التـي تمثل الحرارة المنتقلة على مخطط (T-S)، نفترض نقطة (x) على منحني الإنضغاط (2 ⟵1). هـذه النقطة تمثل تغير جزئي أو صغير للأنتروبي (ds). أما درجة الحرارة (T) فلصغرها تعتبـر ثابتـة. لذلك ستكون الحرارة الجزئية (dq) مساوية للمساحة الجزئية التي تمثل تفاضل ناقص، أي:

dq = TdS = المساحة الجزئية ……………………(9.7)

ومجموع المساحات الجزئية تمثل المساحة الكلية المكافئة للحرارة الكليـة، أي قيمـة المـساحة بحسابات التكامل، فعند تكامل المعادلة المذكورة آنفا ينتج:

$$\mathbf{\int dq = T\int_{s_1}^{s_2} dS = \sum TdS = 1234}$$ **المساحة الكلية……..(9.8)**

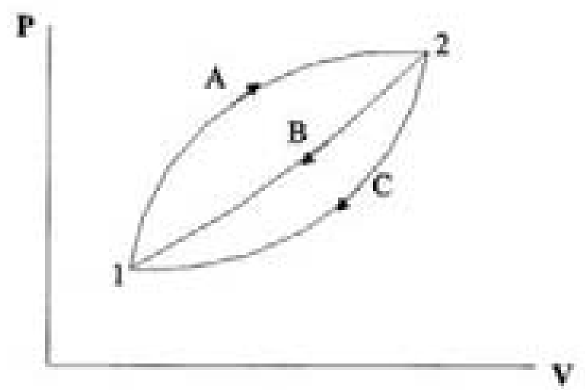
$$\mathbf{\therefore\ q = T\Delta S_{12} = T(S_2 - S_1) = area1234..................(9.9)}$$

إن حالة الإنضغاط عكس التمدد من حيث الإتجاه على مخطـط (T-S). وأن المناقـشة اعـلاه تنطبق على الحالتين، ماعدا اعتبار مساحة التمدد كقيمة موجبة ومساحة الإنضغاط كقيمة سالبة.

(9.3)- الانتروبي دالة الحالة

لا يعتمد الانتروبي على المسار أو على كيفية حدوث التغيير، وإنما يعتمد على الحالتين الابتدائية والنهائية، لذلك يجب أن يكون خاصية. أي أنه لا يتغير مهما أختلفت مسالك أو طـرق العـودة بـين الحالتين بالنسبة للعملية الإنعكاسية.

نفترض أن المنحني (A) في شكل (9.3) يمثل عملية إنعكاسية من (1) إلى (2). والمنحني (B) يمثل عملية إنعكاسية من (2) إلى (1).



شكل (9.3)– مسارات تغير الانتروبي

إن العلاقة ($\oint \frac{dq}{T} = 0$) هي التكامل الدوري أو التفاضل الكلي التام (Perfect Differential). هـذا التكامل الدوري عبارة عن مجموعة تكاملين، أي:

$$\oint_R \frac{dq}{T} = \int_1^2 \left(\frac{dq}{T}\right)_A + \int_2^1 \left(\frac{dq}{T}\right)_B = 0$$

$$\therefore \int_1^2 \left(\frac{dq}{T}\right)_A = -\int_2^1 \left(\frac{dq}{T}\right)_B \quad \text{..............................(9.10)}$$

وعندما يكون المنحني (C) يمثل أيضا عملية إنعكاسية من (2) إلى (1)، فيكون:

$$\int_1^2 \left(\frac{dq}{T}\right)_A = -\int_2^1 \left(\frac{dq}{T}\right)_C \quad \text{.........................(9.11)}$$

وبتعويض المعادلة (9.10) بالمعادلة (9.11) ينتج:

$$\int_2^1 \left(\frac{dq}{T}\right)_B = \int_2^1 \left(\frac{dq}{T}\right)_C \quad \text{..........................(9.12)}$$

يتضح أن مسالك العودة سواء عن طريق (B) أو (C) متساوية. لذلك لا يتغير المقدار ($\int \frac{dq}{T}$) مهما تغيرت مسالك العودة. أي أنه يعتمد على الحالة الأبتدائية والنهائية. هذا المقدار هو الانتروبـي، لذا فالأنتروبي دالة الحالة.

(9.4)- خـواص الـدورات الانعكاسـية واللاإنعكاسـية والـصيغة الرياضـية للقـانون الثـاني (متباينة أو لا متساوية كلوزيوس) Clausius Inequality .

قدم كلوزيوس (R. Clausius) وهو عالم ألماني نظريته التي تعتمد على دورة كارنو:

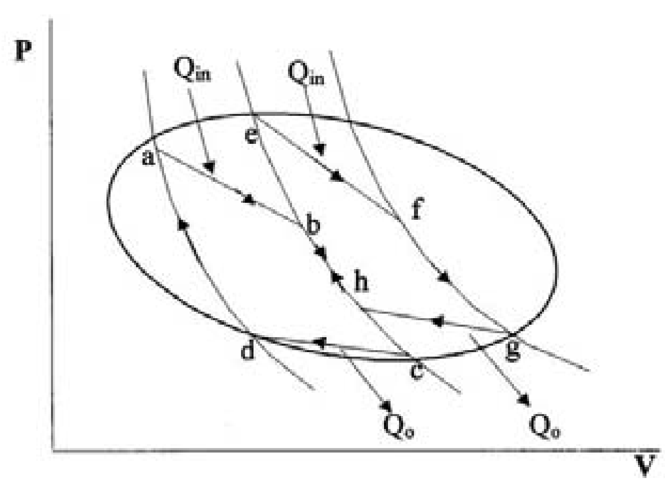
$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}} \Rightarrow \frac{T_{min}}{T_{max}} = \frac{Q_o}{Q_{in}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} = \frac{Q_o}{T_{min}}$$

ولأن إشارة (Q_o) سالبة فسيكون

$$\frac{Q_{in}}{T_{max}} = -\frac{Q_o}{T_{min}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} + \frac{Q_o}{T_{min}} = 0$$

$$\therefore \sum \frac{dQ}{T} = 0....OR....\oint \frac{dQ}{T} = 0..............(9.13)$$

المعادلة الأخيرة تستخدم في أي دورة إنعكاسية (كدورة كارنو مثلا). فلو قسمنا دورة إنعكاسـية إلى دورات كارنو الصغيرة، كما في شكل (9.4). فبالنسبة لدورة (abcd) أو دورة (efgh)



شكل (9.4) – دورات كارنو الصغيرة

أو أي دورة صغيرة أخرى سيكون ($\sum \frac{dQ}{T} = O$) وللدورة الكاملة سـيكون ($\oint \frac{dQ}{T} = O$).

تنطبق هذه المعادلة على جميع المكائن الحرارية الإنعكاسية. حيث تمثل ($\oint$) إلى التكامل الكلـي او التام أو الدوري أو المغلق (أي التكامل وفق خط مغلق أو دورة). هـذه المعادلـة استخلـصها العـالم

كلوزيوس عام (1854) والتي تعتبر الصيغة الرياضية للقانون الثاني لأية دورة إنعكاسـية. وتـسمى بتكامل كلوزيوس الأول.

أما بالنسبة إلى دورة كارنو اللاإنعكاسية، وعلى أساس مبـادئ كـارنو، فـأن كفـاءة كـارنو اللاإنعكاسية $\eta_C(IRR)$ أصغر من الانعكاسية $\eta_C(IRV)$. أي أن:

$$\eta_C(IRR) < \eta_C(REV) \Rightarrow 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} < 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} < \frac{Q_o}{T_{min}}$$

ولأن اشارة (Q_o) سالبة، فسيكون :

$$\frac{Q_{in}}{T_{max}} < -\frac{Q_o}{T_{min}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} + \frac{Q_o}{T_{min}} < 0$$

$$\therefore \sum \frac{dQ}{T} < 0 \text{........OR.........} \oint \frac{dQ}{T} < 0 \text{ ....(9.14)}$$

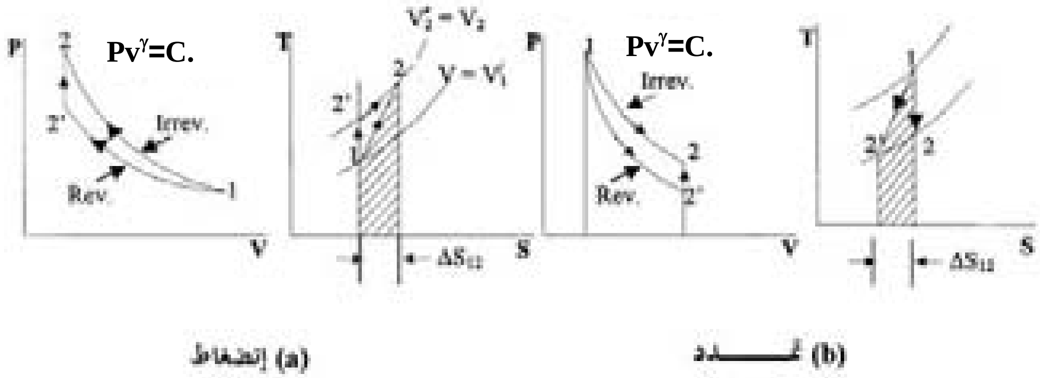
المعادلة الاخيرة تستعمل في أية دورة لا إنعكاسية (كدورة كـارنو مـثلا). فلـو قـسمنا دورة اختيارية لا إنعكاسية إلى دورات صغيرة فسيكون لأية دورة صغيرة $(\sum \frac{dQ}{T} < 0)$ وللدورة الكاملة $(\oint \frac{dQ}{T} < 0)$. هذه المعادلة استخلصها العالم كلوزيوس والتي تعتبر الصيغة الرياضية للقانون الثـاني لأية دورة لا إنعكاسية، وتسمى بتكامل كلوزيوس الثاني. وعند دمج تكامل كلوزيوس الأول والثـاني ينتج الصيغة الرياضية الشاملة للقانون الثاني أو متباينة كلوزيوس والتي يعبر عنها:

$$\oint \frac{dq}{T} \le 0 \text{...(9.15)}$$

هذه المتباينة مهمة لغرض تحليل محطة توربينية بخارية مثلا، لأنهـا تطبـق فـي الـدورات الإنعكاسية واللاإنعكاسية للمحرك الحراري والمضخة الحراريـة. أمـا العلاقـة $(\oint \frac{dQ}{T} > 0)$ فهـي مستحيلة لأن ذلك يتناقض مع المتباينة أو القانون الثاني.

(9.5)- تغير الانتروبي في العملية الإدياباتية والآيروثرملية الإنعكاسية واللاإنعكاسية.

(1) تغير الانتروبي في العملية الإدياباتية الإنعكاسية واللاإنعكاسية.



شكل (9.5)- التغير الإدياباتي للأنتروبي الإنعكاسي واللاآإنعكاسي

ان الشكل (9.5) يبين عملية إدياباتية تشمل أنضغاط، شكل (9.5-a) وتمـدد، شـكل (9.5-b)، وإن مسار العمليتين موضح كما يأتي:

(1) ($1 \rightarrow \mathbf{2'}$): عملية إنعكاسية، تتم بدون حدوث أي تغير في الأنتروبي، لذلك تسمى بالآيزنتروبي، تخضع للعلاقة ($Pv^{\gamma}=C_1$)، يكون فيها الشغل المنتقل قليلا.

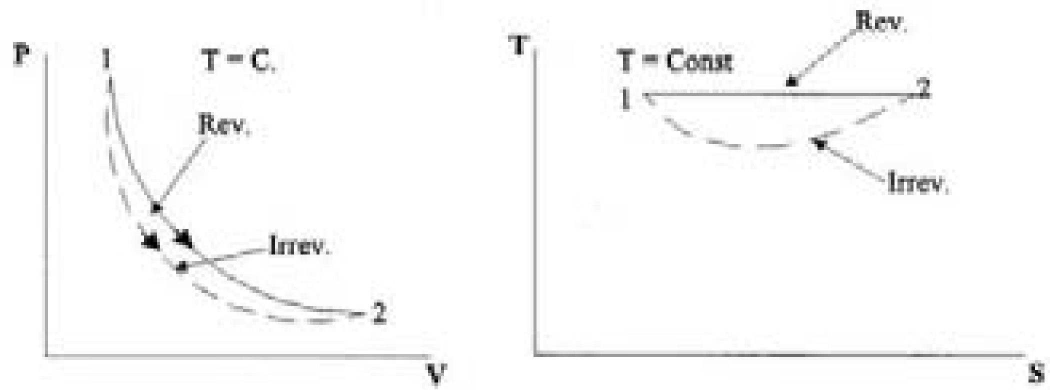
(2) ($1 \rightarrow 2$): عملية لا إنعكاسية، هي العملية الحقيقية أوالفعلية، يحدث فيها زيادة في الأنتروبي، يكون فيها الشغل المنتقل أكبر مقارنة بالأنعكاسية. عليه سيكون التغير في الأنتروبي للعملية الآدياباتيـة اللاإنعكاسية كما يأتي:

$\Delta s_{12}=$ ($1 \rightarrow \mathbf{2'}$) أدياباتي إنعكاسي+ ($\mathbf{2'} \rightarrow 2$) تسخين بثبوت الحجم

$$\mathbf{0 + CvLn\frac{T_2}{T_{2'}} = \Delta s_{22'}}$$

(2) تغير الأنتروبي في العملية الآيزوثرملية الأنعكاسية واللاإنعكاسية:

تمثل هذه العمليات على مخطط (T-S) بخطوط أفقية فعندما يضغط غاز مثالي أو يتمـدد لا إنعكاسـيا آيزوثرمليا.



شكل (9.6)-التغير الآيزوثرملي للأنتروبي الإنعكاسي واللاإنعكاسي

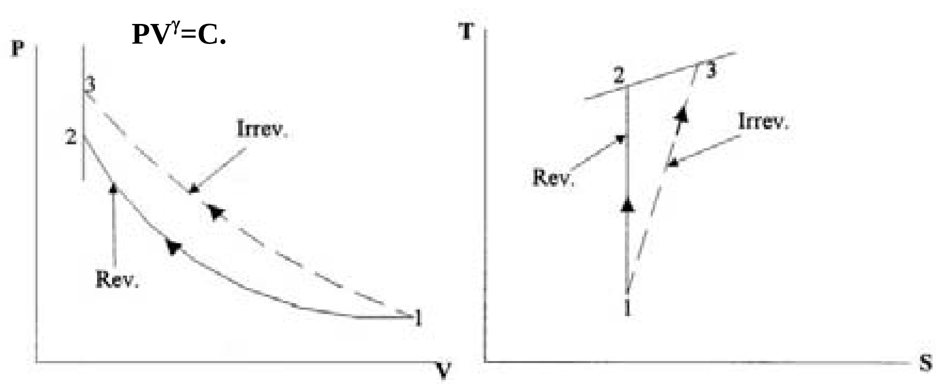
في نظام مغلق من (1) إلى (2) كما في شكل (9.6) فسيكون الشغل المنتقل ممثلا بالمساحة أقل مقارنة بالأجراء الإنعكاسي. وسيزداد الأنتروبي خلال التمدد اللاإنعكاسي. من هنا ظهر النص الثـاني للقانون الثاني :

كلما ازدادت اللاإنعكاسية ازداد الأنتروبي والعكس صحيح.

وبصورة عامة فبوجود اللاإنعكاسية يزداد أنتروبي النظام. ولكن إذا حدث في الوقت نفسه طرح حرارة من النظام، فيسبب ذلك نقص الأنتروبي. لذلك قد ينقص أو يزداد انتروبي النظام اعتمادا علـى مقدار هذين التأثيرين، أي اللاإنعكاسية وطرح الحرارة. فإذا كان التغير بـسبب اللاإنعكاسـية فيمثـل بمنحنيات متقطعة، لأن المساحة الموجودة تحت المنحني لا تمثل الحرارة المنتقلة.

(9.6)- الكفاءة الآيزنتروبية Isentropic Efficiency

إن الأجراءات الإدياباتية الإنعكاسية هي اجراءات نظرية مثالية خالية من الأحتكـاك والخـسائر الأخرى. لا يتغير فيها الأنتروبي أي ($\Delta s=0$)، لذلك تسمى بالأجراءات الآيزنتروبية.كمـا يوضـحه منحني ($2 \rightarrow 1$) في الشكل (9.7)، حيث يكون الشغل :



شكل(9.7) –الأنتروبي والأجراء الآيزنتروبي

في هذا الأجراء نظري(.Wtheo) ويرمز له أيضا (Ws) أي الشغل الآيزنتروبي.

أما الأجراءات الإدايباتية اللاإنعكاسية فهي اجراءات حقيقية يتغير فيها الأنتروبي بسبب وجود الأحتكاك وخسائر حرارية أخرى كما يوضحه منحني (3 → 1) في شكل (9.7)، حيث الشغل في هذا الاجراء حقيقي (.Wact). ويرمز له أيضا (Wa) أي شغل حقيقي.

تكون الاجراءات إدياباتية في الانظمة المغلقة والمفتوحة، فمعادلة الطاقة في الانظمةالمغلقة تساوي:

$$\overset{=0}{\cancel{q}} - w = \Delta\mu = Cv(T_2 - T_1)$$

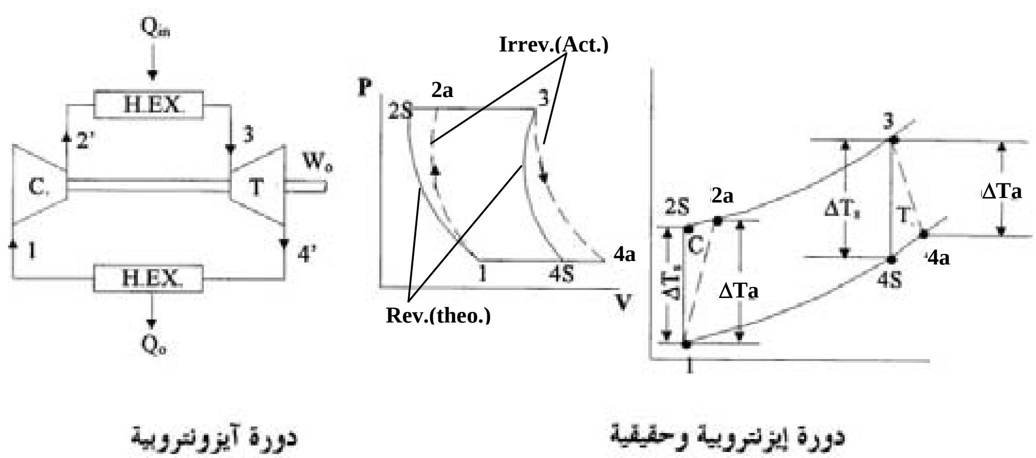
$$w = -Cv(T_2 - T_1) \text{ .... } (9.16)$$

أما معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة فتساوي:

$$\overset{=0}{\cancel{q}} - w = \Delta h = Cp(T_2 - T_1)$$

$$w = -Cp(T_2 - T_1) \text{ .... } (9.17)$$

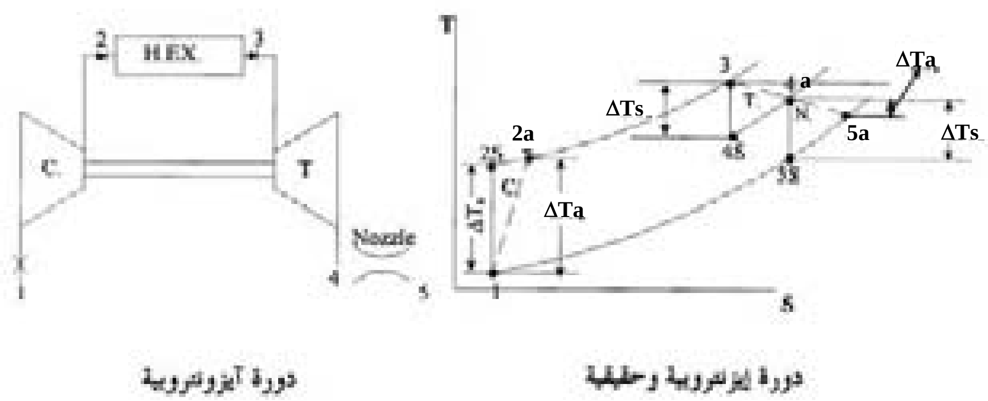
نعود الان لموضوع الكفاءة الآيزونتروبية. فمن خلال المناقشة اعلاه يتضح أن هناك اجراءات مثالية آيزونتروبية (إنعكاسية) واجراءات حقيقية (لاإنعكاسية)، تقارن هذه الاجراءات بنسبة تعرف بالكفاءة الآيزونتروبية أو الإدياباتية التي يرمز لها (η_{is}) أو (η) والتي تعرف بأنها كفاءة الانظمة الحرارية التي تبين الخسائر الحرارية في الاجراءات اللاإنعكاسية بسبب الاحتكاك، ولمعرفة تأثير الاحتكاك نقوم بالحساب كما لو كان الاجراء إنعكاسيا (آيزنتروبياً)*. ثم نضرب النتيجة بكفاءة الاجراء (الكفاءة الآيزنتروبية)، لكي نحصل على تقرير أكثر واقعية. وأن قيمة كفاءة الاجراء تحدد من تجارب نقوم بها على أنظمة مماثلة.



شكل (9.8)– الكفاءة الآيزنتروبية لمحطة توربينية غازية

* سوف نشير إلى قيمة الاجراء الآيزنتروبي بالحرف (s) أما الاجراء الحقيقي فرمزه (a). كما في شكلي (9.8) و (9.9).

لذا تعد هذه الكفاءات كعوامل تصحيحية تجريبية اعتمدت على مقارنة الاجراء الحقيقي بالاجراء النظري(الايزنتروبي). لذا يمكن تسميتها بالكفاءة الايزنتروبية. هذه الاجراءات موضحة في الـشكلين (9.8) و (9.9).



شكل (9.9)– الكفاءة الآيزنتروبية لمحرك توربيني نفاث

لذلك وبسبب وجود الاحتكاك في الاجراءات الحقيقية، وعلى أساس أن المائع غاز مثالي، ستكون معادلتي الكفاءة الايزنتروبية لبعض الانظمة المفتوحة كالاتي:

(1) المنفث:

$$\eta_N = \frac{\frac{(C_2)^2 a}{2}}{\frac{(C_2)^2 s}{2}} = \frac{(C_2)^2 a}{(C_2)^2 s} = \frac{\Delta h_a}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} \quad \text{...} (9.18)$$

(2) الناشرة:

$$\eta_D = \frac{P_{2a} - P_1}{P_{2S} - P_1} \quad \text{...} (9.19)$$

(3) التوربين:

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{\Delta h_a}{\Delta h_s} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} \quad \text{...} (9.20)$$

(4) الضاغط:

$$\eta_C = \frac{w_s}{w_a} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_a} = \frac{\Delta T_s}{\Delta T_a} \quad \text{...} (9.21)$$

أمثلة محاولة على الكفاءة الايزنتروبية

(9.1)

هواء ضغطه (4.14 bar) ودرجة حرارته($837\ ^{o}C$) تمدد فنفث ادياباتيا إلى (1.035 bar). فإذا كانت الكفاءة الايزنتروبية لمنفث (90%). احسب التغير الحقيقي لدرجة الحرارة.اعتبر ($\gamma = 1.4$).

انظر شكل (9.9).

$$\mathbf{T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1110 \times (\frac{1.035}{4.14})^{0.286} = 747K}$$

$$\mathbf{\eta_{IS} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_a}{T_{2S} - T_1}}$$

$$\mathbf{\Delta T_a = 0.9 \times (1110 - 747) = 3267K}$$

(9.2)

(1kg/s) من الهواء درجة حرارته ($15^{o}C$) وضغطه (1bar) يـضغط ادياباتيـا إلـى ($125^{o}C$) و (2.38 bar) على التوالي.احسب الشغل المنتقل لكل (1kg) والكفاءة الايزنتروبية.علما أن

γ=1.4 ،Cp=1.005 kJ/kg.K

انظر شكل(9.8)

$$\mathbf{\Delta T_a = t_2 - t_1 = 125 - 15 = 110^{\circ} C}$$

$$\mathbf{w = \Delta h = Cp\Delta T = 1.005 \times 110}$$

$$\mathbf{= 110.5 kJ/kg}$$

$$\mathbf{T_{2S} = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288(\frac{2.38}{1})^{\frac{0.4}{1.4}}}$$

$$\mathbf{= 370K}$$

$$\mathbf{\Delta T_s = T_{2s} - T_1 = 370 - 288 = 82^{\circ} C}$$

$$\mathbf{\eta_{is} = \frac{\Delta T_s}{\Delta T_a} = \frac{82}{110} = 0.745}$$

(9.3)

إذا كانت القدرة اللازمة لضغط المائع هي (6.83kW) وكانت القدرة الايزنتروبية لضغط المائع هـي (5.4 kW). احسب الكفاءة الايزنتروبية.

$$\mathbf{\eta_{(is)} = \frac{\dot{w}_s}{\dot{w}_a} = \frac{5.4}{6.83} = 0.79}$$

(9.4)

هواء ضغطه (1.01352 bar) ودرجة حرارته ($15\ ^oC$) ضغط في ضاغطة إلى (4.14bar). يمـر إلى مبادل حراري ليخرج منه بدرجة حرارة (760^oC) وليدخل إلى التوربين. ويكون نـاتج الـشغل الخارجي من التوربين كافيا لتشغيل الضاغط. وبعد خروج الهواء من التوربين يتمدد في متفـث إلـى درجة حرارة ايزنتروبية مقدارها (722K) ويعود إلى ضغطه الأبتدائي، الكفاءة الايزنتروبية لكل مـن الضاغط والتوربين والمنفث هي (0.85) ، (0.80) ، (0.90) على التوالي. احسب:

(1)التغير الايزنتروبي لدرجة حرارة التوربين (2)التغير الفعلي لدرجة حرارة المنفث علما بأن:

$\gamma = 1.4$ ، $Cp = 1.005$ kJ/kg.K

استنادا إلى الشكل (9.9)

$$T_{2S} = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288\left(\frac{4.14}{1.013}\right)^{0.286}$$
$$= 430K$$
$$\Delta T_s = T_{2s} - T_1 = 430 - 288$$
$$= 142K$$
$$w_S = C_P \Delta Ts = 1.005 \times 142$$
$$= 143KJ/Kg$$
$$\eta_{isc} = \frac{w_s}{w_a} \Rightarrow w_{ac} = \frac{143}{0.85}$$
$$= 168\ kJ/kg$$
$$w_{ac} = w_{at}$$
$$168 = Cp(T_3 - T_4) = 1.005(1033 - T_4)$$
$$T_4 = 866K$$

$$\eta_{ist} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} = \frac{T_3 - T_4}{\Delta T_s}$$
$$\Delta T_{st} = \frac{T_3 - T_4}{\eta_{ist}} = \frac{1033 - 866}{0.8}$$
$$= 208.75K$$
$$\eta_{isN} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_a}{T_4 - T_{5S}} = \frac{\Delta T_a}{866 - 722}$$
$$\Delta T_{aN} = 144 \times 0.9 = 129.6K$$

(9.5)

محطة توربينية غازية مغلقة على أساس دورة جول او برايتون، كما في شكل (9.8). أقصى وادنى درجة حرارة في الدورة (1000K) و(288K) على التوالي. نسبة الضغط($\frac{P_2}{P_1}=6$). الكفاءة الايزنتروبية للضاغط والتوربين (85%), (90%) على التوالي.

احسب كفاءة الدورة؟ علما أن:

$\gamma=1.4$ ،$Cp=1.005\ kJ/kg.K$

$$T_{2S}=T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=288\times(6)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=481K$$

$$\eta_{is}=\frac{\Delta T_s}{\Delta T_a}\Rightarrow 0.85=\frac{481-288}{T_2-288}$$

$$T_2=515K$$

$$T_{4S}=T_3\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=1000\times\left(\frac{1}{6}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=599K$$

$$\eta_{isT}=\frac{\Delta T_a}{\Delta T_s}\Rightarrow 0.9=\frac{1000-T_4}{1000-599}$$

$$T_4=639K$$

$$w_C=-Cp(T_1-T_1)=-1.005\times(515-288)$$
$$=-288kJ/kg$$

$$w_T=-Cp(T_4-T_3)=-1.005\times(639-1000)$$
$$=363kJ/kg$$

$$w_{net}=w_C+w_T=-288+363$$
$$=135kJ/kg$$

$$q_{23}=Cp(T_3-T_2)=1.005\times(1000-515)$$
$$=487kJ/kg$$

$$\eta_{cycle}=\frac{w_{net}}{q_{23}}=\frac{135}{487}=0.277$$

$$kJ/kg=\frac{kJ/s}{kg/s}=kW/kg.s$$

$$kW..per...kg/s$$

(9.6)

محطة توربينية غازية مثالية، يدخل الهواء للضاغطة عند (1bar) و(15^oC) وبضغط عند (6bar). وكانت درجة الحرارة عند الدخول إلى التوربين (650^oC). المائع هواء. وأن $\gamma=1.4$ ، $Cp=1.005\ kJ/kg.K$، نسبة الضغط لكل من الضاغط والتوربين ($\frac{6}{1}$). كفاءة الانضغاط الايزنتروبية (0.88). كفاءة التمدد الايزنتروبية (0.9). احسب لكل (1kg):

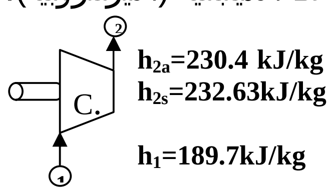
(أ)شغل الضاغط والتوربين (ب)الحرارة المنتقلة (ج)الكفاءة الحرارية.

$$T_{2S}=T_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=288\left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=481K$$
$$\eta_{isC}=\frac{\Delta T_s}{\Delta T_a}\Rightarrow 0.88=\frac{481-288}{T_2-288}$$
$$T_2=507$$
$$T_{4S}=T_3\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=923\left(\frac{1}{6}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=552$$
$$\eta_{isT}=\frac{\Delta T_a}{\Delta T_s}\Rightarrow 0.9=\frac{923-T_4}{923-552}$$
$$T_4=589K$$

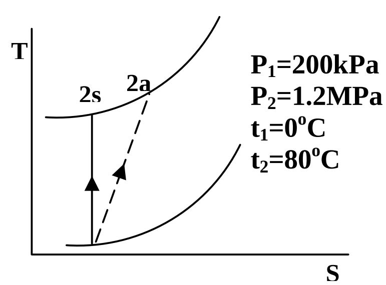
$$w_C=Cp(T_2-T_1)=1.005\times(219)$$
$$=220\ kJ/kg$$
$$w_T=Cp(T_4-T_3)=1.005\times 334$$
$$=336\ kJ/kg$$
$$q_{in}=Cp(T_3-T_2)=1.005\times 416$$
$$=418\ kJ/kg$$
$$q_o=Cp(T_4-T_1)=1.005\times 301$$
$$=303\ kJ/kg$$
$$w_{net}=w_C+w_T=-220+336$$
$$=116\ kJ/kg$$
$$\eta=\frac{w_{net}}{q_{in}}=\frac{116}{418}=0.277$$

(9.7)

($90kg/h$) من مائع يتدفق بشكل مستقر في ضاغط. الأنثالبي النوعي عند الدخول ($189.7kJ/kg$). الانثالبي النوعي عند الأنضغاط الادياباتي ($223.63kJ/kg$) وعند الأنضغاط الحقيقي ($230.4kJ/kg$). احسب كفاءة الضاغط الادياباتية (الايزنتروبية).



$$\dot{W}_{12}=\dot{m}(h_1-h_{2a})$$
$$=\frac{90}{3600}(189.7-230.4)$$
$$=-1.02kW$$
$$\dot{W}_{12S}=\dot{m}(h_1-h_{2s})$$
$$=\frac{90}{3600}(189.7-223.63)=-0.85kW$$



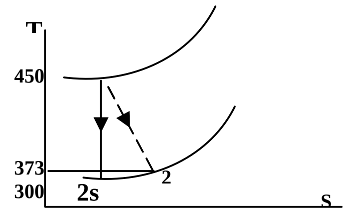
$$\eta_{is(c)}=\frac{\dot{W}_{12S}}{\dot{W}_{12a}}=\frac{-0.85}{-1.02}=0.833$$

(9.8)

هيلويم درجة حرارته (450 K) وضغطه (300kPa). تمـدد ادياباتيـا فـي نـوزل معـزول إلـى (180 kPa). احسب السرعة المثالية (اقصى سرعة). وإذا كان التمدد الحقيقي إلى (373 K). احسب : (1)السرعة الحقيقية،(2)الكفاءة الايزنتروبية (الادياباتية) للنوزل، (3)التغير الكلي للانتروبي النوعي علما ان:

$$Cp = 5.19 kJ/kg.K \quad , \quad R = 2.078 kJ/kg.K$$

$$\gamma = 1.667$$



$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 450\left(\frac{180}{300}\right)^{\frac{1.667-1}{1.667}}$$

$$= 367K$$

$$C_{2S} = \sqrt{2Cp(T_1 - T_{2S})}$$

$$= \left[2 \times 5.19(450 - 367)10^3\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 928 m/s$$

المثاليـــــة

$$C_{2a} = \sqrt{2Cp(T_1 - T_2)}$$

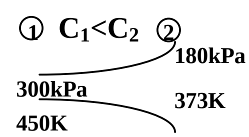
$$= \left[2 \times 5.19(450 - 373) \times 10^3\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 894 m/s$$

الحقيقيـــــة

$$\eta_{is} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

$$= \frac{Cp(T_1 - T_{2a})}{Cp(T_1 - T_{2S})} = \frac{450 - 373}{450 - 367} = 0.93$$



$$\Delta s_{12} = S_2 - S_1$$

$$= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= 5.19 \ln \frac{373}{450} - 2.078 \ln \frac{180}{300}$$

$$= 0.088 kJ/kg.K$$

$$kJ = 10^3 J = 10^3 .N.m$$

$$= 10^3 kg.m/s^2 .m$$

$$= 10^3 kg.m^2/s^2$$

$$kJ/kg = \frac{10^3 .kg.m^2/s^2}{kg}$$

$$= 10^3 m^2/s^2$$

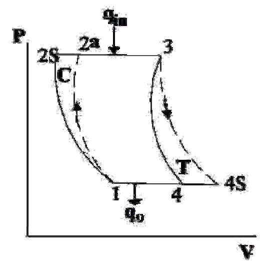
(9.9)

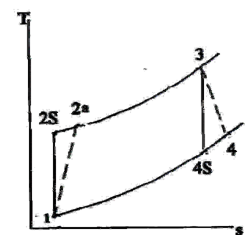
هواء درجة حرارته (37°C) وضغطه (101 kPa) يضغط ادياباتياً في ضاغطة بحيث يصبح ضغطه (12) مرة اكثر من الضغط الأبتدائي. تضاف حرارة بثبـوت الـضغط وتـصبح درجـة الحـرارة (1566.1K). يتمدد الهواء ادياباتيا في توربين ليعود إلى ضغطه الأبتدائي. ثم تطرد حرارة بثبـوت الضغط ليعود إلى حالته الاصلية. فإذا كان $\gamma = 1.4$، Cp=1.004kJ/kg.K. احسب:

(1)صافي الشغل ، (2)كفاءة الدورة

وإذا كانت الكفاءة الأدياباتية (الايزنتروبية) للضاغط (84%) وللتوربين (87%) .

احسب (1)صافي الشغل الحقيقي ، (2)كفاءة الدورة الحقيقية.





$$T_{2S} = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 310(12)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 630.96K$$

$$T_{4S} = T_3\left(\frac{P_4}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1566\left(\frac{1}{12}\right)^{0.286}$$

$$= 769.4K$$

$$w_{12S} = Cp(T_1 - T_{2S})$$

$$= 1.004(310 - 630.96)$$

$$= -322.3kJ/kg$$

$$w_{34S} = Cp(T_3 - T_{4S})$$

$$= 1.004(1566 - 769.4)$$

$$= 799.8kJ/kg$$

$$w_{net} = w_{34S} + (w_{12S})$$

$$= 796.1 + (-320.5)$$

$$= 475.6kJ/kg$$

$$q_{2S3} = Cp(T_3 - T_{2S})$$

$$= 1.004(1566 - 630.96)$$

$$= -938.8kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{2S3}} = \frac{475.6}{938.8} = 0.506$$

$$\eta_C = \frac{T_{2S} - T_1}{T_{2a} - T_1}$$

$$\Rightarrow 0.84 = \frac{630.96 - 310}{T_{2a} - 310}$$

$$T_{2a} = 692.1K$$

$$q_{23} = Cp(T_3 - T_{2a})$$

$$= 1.004(1566 - 292.1)$$

$$= 877.4kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \frac{281.7}{877.4} = 0.32$$

$$\eta_c = \frac{w_{12S}}{w_{12a}} \Rightarrow w_{12act} = \frac{-321}{0.84}$$

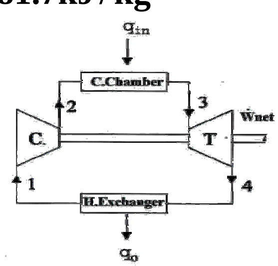
$$= -383.7kJ/kg$$

$$\eta_T = \frac{w_{34a}}{w_{34s}} \Rightarrow w_{34a} = 0.87 \times 764.8$$

$$= -665.4kJ/kg$$

$$\eta_{net} = w_{34act} + w_{12act} = 665.4 + (-383.7)$$

$$= 281.7kJ/kg$$



(9.10)

هواء ضغطه ($100kN/m^2$) ودرجة حرارته (20^oC). يضغط فيه هواء ادياباتيا بمعـدل ($10kg/s$) وبنسبة ($\frac{5}{1}$). الكفاءة الايزنتروبية (0.85). احسب:

(أ)درجة الحرارة والضغط النهائي (ب)الطاقة المطلوبة لتشغيل الضاغط بالـ (kW)علما أن:

$\gamma = 1.4$ ،$Cp = 1.005$ kJ/kg.K

شكل (9.8)

$$T_{2S} = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293(5)^{\frac{0.4}{1.4}} = 464K$$

$$\eta_{is} = \frac{\Delta Ts}{\Delta Ta} = \frac{T_{2'} - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$0.85 = \frac{464 - 293}{T_2 - 293}$$

$$T_2 = 494K$$

$$P_2 = 5P_1 = 5.100 = 500kN/m^2$$

$$\dot{W}_c = \dot{m}Cp(T_1 - T_2)$$

$$= 10 \times 1.005(293 - 494) = -2020kW$$

(9.11)

غاز ضغطه ($93kN/m^2$)ودرة حرارته (15^oC)، كثافته ($1.3kg/m^3$)يضغط ادياباتيا في ضـاغطة إلى ($200kN/m^2$). الكتلة المتدفقة (0.17 kg/s). الكفاءة الايزنتروبية للضاغط (82%).

احسب القدرة المطلوبة لتشغيل الضاغط. علما ان:

$\gamma = 1.4$ ،$Cp = 1.005$ kJ/kg.K

شكل(9.8)

$$R = \frac{P_1}{\rho T} = \frac{93}{1.3 \times 288}$$

$$= 0.248 kJ/kg.K$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.248 \times 1.38}{1.38 - 1}$$

$$= 0.902 kJ/kg.K$$

$$T_{2S} = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288(\frac{200}{93})^{\frac{1.38-1}{1.38}}$$

$$= 353K$$

$$\eta_{(is)c} = \frac{\Delta Ts}{\Delta Ta} = \frac{T_{2S} - T_1}{\Delta Ta}$$

$$\Delta Ta = \frac{T_{2S} - T_1}{0.82} = \frac{353 - 288}{0.82}$$

$$= 79.3K$$

$$\dot{W}c = \dot{m}Cp\Delta Ta$$

$$= 0.17 \times 0.902 \times 79.3$$

$$= 12.16kW$$

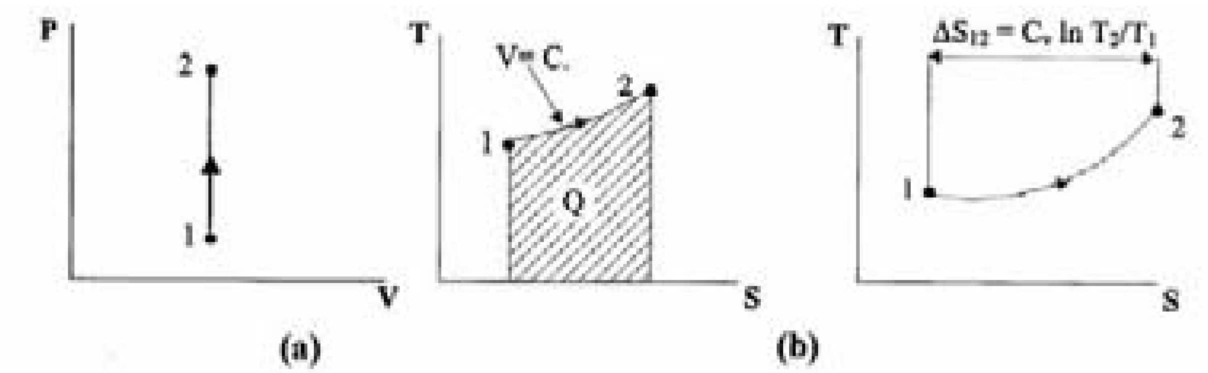
(9.7)- تغير الانتروبي في العمليات الانعكاسية

نفترض وجود نظام مغلق يحتوي على وحدة كتلة من غاز مثالي داخل اسـطوانة عديمـة الاحتكـاك والتسرب. ويتعرض الغاز لعملية انعكاسية من الحالة (1)الى الحالة (2) الموضـحة علـى مخططـي (P-V) شكل (a) و(T-S) شكل (b) في الاشكال ادناه، فسيتغير الانتروبي حسب العمليات التالية:-

(1)عملية ثبوت الحجم Iso-choric process

عندما تكون العملية بحيث يبقى الحجم ثابتاً، كما في شكل (9.10) الذي يوضح مسار العملية. فسيكون التغير في الانتروبي حسب المعادلة الاتية:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{CvdT}{T} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} \text{ ....(9.22)}$$

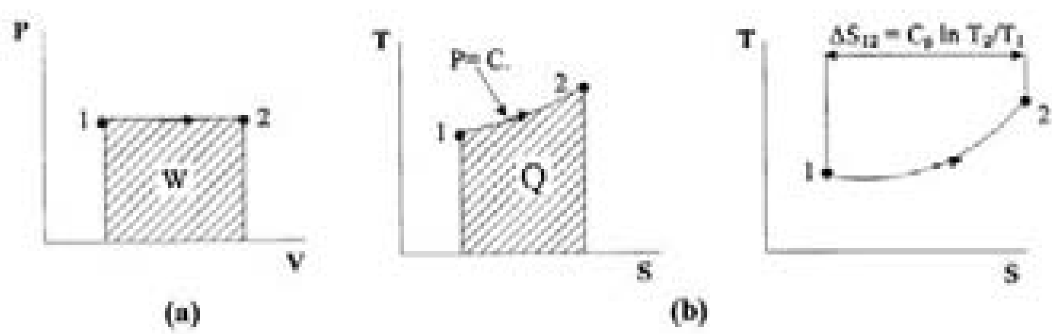


شكل (9.10) تغير الإنتروبي بثبوت الحجم

(2)عملية ثبوت الضغط Iso-baric process

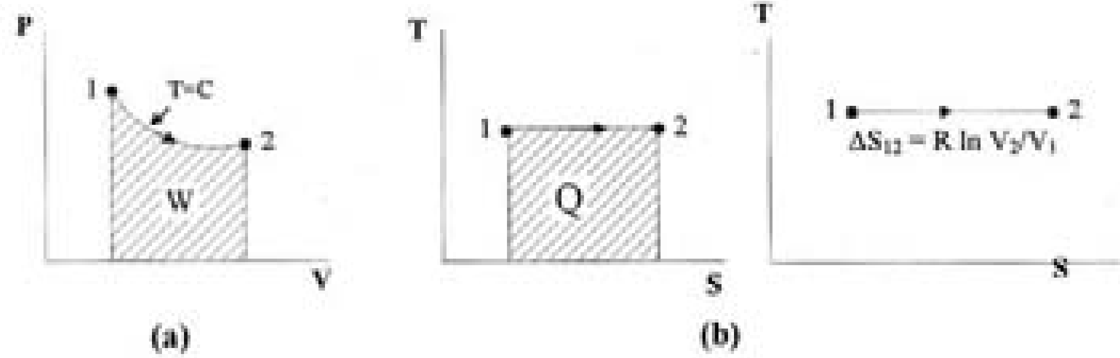
لتكن العملية بحيث يبقى الضغط ثابتاً، كما في الشكل (9.11) الذي يوضح مسار العمليـة. فـسيكون التغير في الانتروبي هو:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{CpdT}{T} = Cp \ln \frac{T_2}{T_1} \text{ ....(9.22)}$$



شكل (9.11) -تغير الانتروبي بثبوت الضغط

(3)العملية الايزوثرملية Isothermal Process لتكن العملية بطريقة ما بحيث تبقى درجة الحرارة ثابتة، كما في شكل (9.12).



شكل (9.12)- تغير الانتروبي في الاجراء الايزوثرملي

خلال هذه العملية سيكون انتقال الحرارة مساوٍ لأنتقال الشغل، وسيكون التغير في الأنتروبي هو:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{Pd\nu}{T} = \int_1^2 \frac{RTd\nu}{\nu T}$$

$$\because P = \frac{RT}{\nu}$$

$$\therefore \Delta s_{12} = R\int_1^2 \frac{d\nu}{\nu} = R\ln\frac{\nu_2}{\nu_1} \text{............................(9.24)}$$

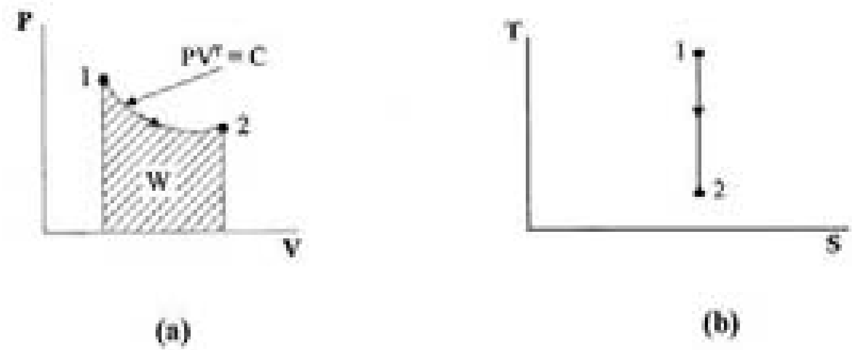
OR :

$$\Delta s_{12} = \frac{q}{T} = \frac{RT\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}}{T} = R\ln\frac{\nu_2}{\nu_1} \text{................9.25)}$$

(4) العملية الإديابانية Adiabatic Process

هي العملية الإنعكاسية التي يكون فيها انتقال الحرارة من المحيط أو إليه تساوي صفراً. ومسار العملية موضح في شكل (9.13) ، ولذلك تسمى بالعملية الايزونتروبية، والاس (γ) يـسمى الاس الاديابـاتي الانعكاسي أوالايزنتروبي. لذلك يكون:

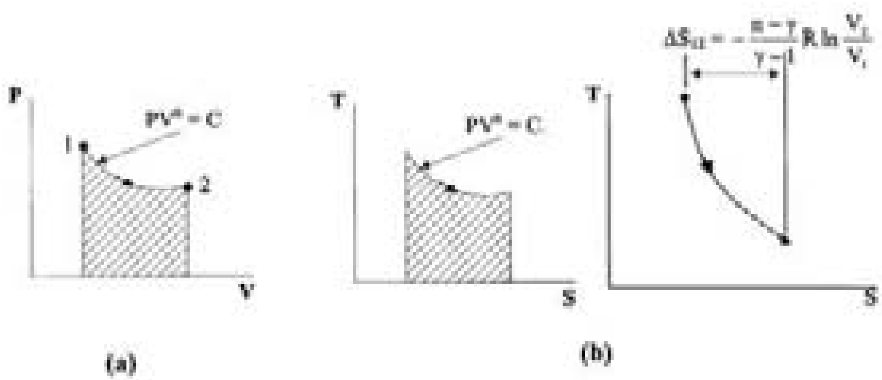
$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = O \text{..................................(9.26)}$$



شكل (9.13) -تغير الانتروبي في الاجراء الادياباتي

(5) العملية البولتروبية Polytropic Process

عند حدوث عملية انعكاسية بحيث لا تبقى أية خواص ثابتة، أي تغير في الـضغط والحجـم ودرجـة الحرارة، كما في الشكل (9.14).



شكل (9.14)-تغير الانتروبي في الاجراء البولتروبي

هذا الاجراء تكون الحرارة المنتقلة مساوية لمجموع التغير في الطاقة الداخلية زائد الشغل المنتقل. أي أن التغير في الانتروبي يساوي:

$$\mathbf{dq = du + dw}$$

ولأن: $\mathbf{P = \dfrac{RT}{V}}$ فيكون

$$\int \frac{dq}{T} = \int \frac{du}{T} + \int \frac{pd\nu}{T} = \int \frac{du}{T} + \int \frac{RTd\nu}{\nu T}$$

$$\Delta s_{12} = \int \frac{CvdT}{T} + R \int \frac{d\nu}{V}$$

$$= Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} \quad \text{....................................(9.27)}$$

اضافة واستنادا إلى المعادلة (9.27) التغير في الانتروبي في الاجـراء البـولتروبي يمكـن اشـتقاق معادلات أخرى للتغير في الانتروبي وبالطرق الاتية:

الطريقة الثانية	الطريقة الاولى
$\because \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $\because Cv = Cp - R$ $\therefore \Delta s_{12} = (Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{T_2}{T_1}) + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R(\ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{T_2 \nu_1}{T_1 \nu_2}$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$	$\because \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $\because R = Cp - Cv$ $\therefore \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} (Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} - Cv \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv(\ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv \ln \frac{T_2 \nu_1}{T_1 \nu_2}$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv \ln \frac{P_2}{P_1}$ ....(9.28)

ويمكن ايضا اشتقاق معادلة التغير في الانتروبي استنادا إلى معادلـة كميـة الحـرارة فـي الاجـراء البولتروبي (5.46)وكالآتي:

بتكامل الطرفين والقسمة على (T)

وبما ان : $\frac{p}{T} = \frac{R}{\nu}$

$$q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.dw$$

$$\int \frac{dq}{T} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.\int \frac{p d\nu}{T}$$

$$\Delta s_{12} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.R \int \frac{d\nu}{\nu}$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.R.\ln \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.Cv(\gamma - 1) \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$$

$$\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n) \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} \text{...............................(9.29)}$$

اضافة واستنادا إلى المعادلة (9.29) للتغير في الانتروبي يمكن اشتقاق معـادلات أخـرى وبـالطرق الآتية:

$$\because \frac{T_2}{T_1} = (\frac{\nu_1}{\nu_2})^{n-1} = (\frac{p_2}{p_1})^{\frac{n-1}{n}}$$

$$(\frac{T_2}{T_1})^{\frac{1}{n-1}} = (\frac{\nu_1}{\nu_2}) = (\frac{p_2}{p_1})^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{n-1}} = (\frac{P_1}{P_2})^{\frac{1}{n}} \text{..............................(9.30)}$$

الطريقة الاولى	الطريقة الثانية
$\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$	$\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$
$= Cv(\gamma - n)\ln(\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{n-1}}$	$= Cv(\gamma - n)\ln(\frac{p_1}{p_2})^{\frac{1}{n}}$
$= Cv\frac{\gamma - n}{n-1}\ln\frac{T_1}{T_2}$ ....(9.31)	$= Cv\frac{\gamma - n}{n}\ln\frac{p_1}{p_2}$ ....

ويمكن تلخيص اجراءات التغير في الانتروبي من خلال المخطط التالي

- الاجراءات
  - الانعكاسية
    - الادياباتية — الانتروبي ثابت.Δs=C
    - غيرالادياباتية
      - يمر بدورة.Δs=C
      - يمر بجزء من دورة — يتغير الانتروبي
  - اللاانعكاسية
    - الادياباتية والايزوثرملية — يتغير الانتروبي بسبب الاحتكاك
    - غيرالادياباتية — يتغير الانتروبي بسبب انتقال الحرارة + بسبب الاحتكاك. اي:

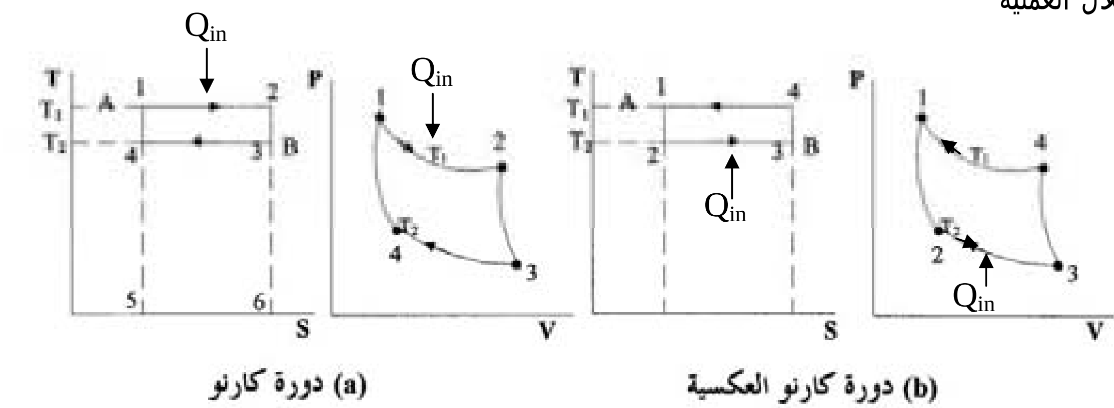
$$\Delta s_{12} = (\Delta s_{12})_{\text{heat transfer}} + (\Delta s_{12})_{IRR}$$

$$= \int_1^2 \frac{dq}{T} + (\Delta s_{12})_{IRR}$$

$$\Delta s_{12} > \int_1^2 \frac{dq}{T} \text{.......................................(9.32)}$$

(9.8)- دورة كارنو على المخطط (T-S)

يبين الشكل (9.15-a) دورة كارنو على مخططي (P-V) و(T-S). وفيها تستلم الحرارة من المـصدر خلال العملية



شكل(9.15)- دورة كارنو على مخططي (P-V) و(T-S)

(1→2) وتمثل المساحة (5→6→2→1) هذه الحرارة. وتطرح الحرارة إلـى المـستودع خـلال العملية (4→3) وتمثل المساحة (6→5→4→3) هذه الحرارة. والفرق بين هاتين المساحتين أي المساحة (4→3→2→1) تمثل شغل الدورة. لذلك يمكن اشتقاق معادلة الكفاءة الحرارية لـدورة كارنو باستعمال مخطط (T-S) وكما يلي:

$$\eta_{c.th} = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{area(1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4)}{area(1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 6 \Rightarrow 5)}$$

$$= \frac{(T_{max} - T_{min})(S_2 - S_1)}{T_{max}(S_2 - S_1)} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \quad ....(9.33)$$

هذه المعادلة نفس معادلة كفاءة كارنو التي مرت بنا سابقا. أما الشكل (9.15-b) فيوضح دورة كـارنو العكسية على مخططي (P-V) و(T-S). وبطريقة مشابهة يكون:

$$C.O.P = \frac{T_{min}(S_4 - S_1)}{(T_{max} - T_{min})(S_4 - S_1)}$$

$$= \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad ....(9.34)$$

أمثلة محاولة:

(9.12)

احسب مقدار التغير في الانتروبي لـ (1kg) من الهواء يتمدد بولتروبيا في اسطوانة من ضغط (6.3 bar) ودرجة حرارة (550^oC) إلى ضغط (1.05bar) علما أن (n =1.3).

$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n}{n-1}} = 823(\frac{1.05}{6.3})^{\frac{1.3}{1.3-1}} = 545K$$

$$\Delta s_{12} = R \ln \frac{P_1}{P_2} - Cp \ln \frac{T_1}{T_2} = 0.287 \ln \frac{6.3}{1.05} - 1.005 \ln \frac{823}{545} = 0.1 kJ / kg.K$$

(9.13)

وعائين متساويين الحجمين معزولان تصلان بانبوب يحتوي على صمام، احد الوعائين يحتوي على هواء والاخر مفرغ تماما. احسب التغير في الانتروبي لكل (1kg) من الهواء في المنظومة في حالة فتح الصمام بين الوعائين بحيث أن الهواء يشغل كلا الخزانين.

العملية ايزوثرملية عليه يكون:

$$\Delta s_{12} = R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} = 0.287 \ln \frac{2\nu_1}{\nu_1} = 0.199 kJ / kg.K$$

(9.14)

(0.5kg) من الهواء في منظومة مؤلفة من اسطوانة ومكبس عند ضغط (1bar) ودرجة حرارة (270 K). ضغط الهواء ايزوثرمليا وكان الشغل المنتقل (63.9 kJ). احسب:

(أ)الضغط النهائي (ب)مقدار التغير في الانتروبي. علما أن :

R= 0.287 kJ/kg.K

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

$$-63.9 = 0.5 \times 0.287 \times 270. \ln \frac{1}{P_2}$$

$$P_2 = 5.2 bar$$

$$\Delta S_{12} = mR \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 0.5 \times 0.287 \times \ln \frac{1}{5.2}$$

$$= -0.237 kJ / K$$

(9.15)

غاز حجمه ($0.03m^3$) وضغطه ($1.05bar$) ودرجة حرارته (15^oC).ضغط آيزوثرمليا إلى ($4.2\ \ bar$) . اوجد التغير في الانتروبي والشغل المنتقل إذا كانت الكتلة المولية للغاز ($28\ kg/kmoL$).

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{28} = 0.297kJ/kg.K$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{105.0.03}{0.297.288} = 0.036kg$$

$$\Delta S_{12} = -mR\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= -0.0368 \times 0.29\ln\frac{4.2}{1.05}$$

$$= -0.01516kJ/kg$$

$$Q_{12} = T\Delta S_{12}$$

$$= 288(-0.01516) = -4.37kJ$$

$$W_{12} = Q_{12} = -4.37kJ$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = 0.007m^3$$

$$W = mRT\ln\frac{V_2}{V_1} = -4.37kJ$$

$$\Delta S_{12} = \frac{Q_{12}}{T}$$

$$= \frac{-4.37}{288} = -0.01516kJ/kg$$

(9.16)

اسطوانة تحتوي على ($1kg$) من الهواء يتحرك بداخلها مكبس. المنظومة موضوعة داخل خزان بدرجة حرارة ($300K$) حيث يتم تبادل الحرارة بين الهواء والخزان. عند انتقال شغل مقداره ($10kJ$) على الهواء يتغير ضغطه من ($1bar$) ودرجة حرارة ($300\ K$) إلى ($2.5\ bar$) و ($310\ K$). احسب:

(1)تغير الانتروبي للهواء (2)تغير الانتروبي للخزان (3) كمية الحرارة المنتقلة من الهواء. علما أن :

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

$$\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= 1.005\ln\frac{310}{300} - R\ln\frac{2.5}{1}$$

$$= -0.2$$

$$= -0.23kJ/kg.K$$

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

$$= 1 \times 0.718(310 - 300) = 718kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 7.18 + (-10) = -2.82kJ$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{2.82}{300} = 0.0094kJ/K$$ للخزان

(9.17)

غاز في نظام مغلق حجمه ($0.02m^3$) ودرجة حرارته (15^oC) وضغطه (1.05 bar). اضيفت إليـه حرارة بثبوت الحجم حتى وصل ضغطه (4.2 bar) ثم اضيفت إليه حرارة بثبـوت الـضغط حتـى اصبحت درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الابتدائية.احسب:

(1)صافي الحرارة (2)الفرق في الانتروبي. علما أن:

R=0.287 kJ/kg.K , Cv=0.718 kJ/kg.K

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{105 \times 0.02}{0.287 \times 288} = 0.0254kg$$

$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1}) = 288(\frac{4.2}{1.05}) = 1152K$$

$$\begin{aligned} Q_{12} - W_{12} &= \Delta U_{12} \\ &= mCv(T_2 - T_1) \\ &= 0.0254 \times 0.718 \times (1152 - 288) \\ &= 15.75kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{23} &= mCp(T_3 - T_2) \\ &= 0.0254 \times 1.005(288 - 1152) \\ &= -22.05kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{31} &= Q_{12} + Q_{23} = 15.75 - 22.05 \\ &= -6.3kJ = Qo \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{31} &= mCp \ln \frac{T_3}{T_1} - mR \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= -0.0254 \times 0.287 \times \ln \frac{4.2}{1.05} \\ &= -0.01kJ/K \end{aligned}$$

(9.18)

ضغط ودرجة حرارة (1kg) من الهواء داخل اسطوانة (1bar) و (15^oC) يضغط اديباباتيا إلى ربـع حجمة الأول. (أ)كان الانضغاط انعكاسيا وفـق القـانون($PV^{1.4} = C$).(ب)إذا كـان الانـضغاط لا إنعكاسيا بحيث اصبحت درجة الحرارة أكبر مما في الحالة الأولى في (أ) بـ (6.6^oC). قارن الـشغل والتغير في الانتروبي في الحالتين. علما أن:

R=0.29 kJ/kg.K

لاانعكاسي

$$1 \Rightarrow 2$$

$$T_2 = 501.1 + 6.6 = 507.7K$$

$$w = -\Delta u_{12} = -Cv(T_2 - T_1)$$
$$= -\frac{R(T_2 - T_1)}{\gamma - 1}$$
$$= -\frac{0.29(507.7 - 288)}{1.4 - 1}$$
$$= -157.6kJ/kg$$

$$\Delta s_{2'2} = Cv \ln\frac{T_2}{T_{2'}} = \frac{R}{\gamma - 1}\ln\frac{T_2}{T_{2'}}$$
$$= 0.0093kJ/kg.K$$

انعكاسي

$$\mathbf{1 \Rightarrow 2'}$$

$$\mathbf{T_{2'} = T_1(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma-1}}$$
$$\mathbf{= 288(\frac{1}{4})^{\gamma-1} = 501.1K}$$

$$\mathbf{w' = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma-1}}$$
$$\mathbf{= \frac{-0.287(501.1 - 288)}{1.4 - 1}}$$
$$\mathbf{= -152.9kJ/kg}$$

$$\mathbf{\Delta S_{12'} = 0}$$

(9.19)

هواء درجة حرارته (15^oC) وضغطه ($1.05\ bar$) وحجمه ($0.02m^3$) يسخن بثبوت الحجـم حتـى يصل ضغطه ($4.2\ bar$). ثم يبرد بضغط ثابت وصولا لدرجة الحرارة الابتدائية. احسب (1)الحرارة المنتقلة من الهواء(2)صافي التغير في الانتروبي. علما أن :

R=0.287kJ/kg.K

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{105 \times 0.02}{0.287 \times 288} = 0.0254kg$$

$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1}) = 288(\frac{4.2}{1.05}) = 1152K$$

$$\begin{aligned} Q_{12} &= mCv(T_2 - T_1) \\ &= 0.0254 \times 0.718(1152 - 288) \\ &= 15.75kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{23} &= mCp(T_3 - T_2) \\ &= 0.0254 \times 1.005(288 - 115.2) \\ &= -22.05kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q &= Q_{12} + Q_{23} \\ &= 15.75 - 22.05 = -6.3kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{12} &= mCv \ln \frac{T_2}{T_1} \\ &= 0.0254.0.718 \ln \frac{1152}{288} \\ &= 0.0253kJ/kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{23} &= mCp \ln \frac{T_3}{T_2} \\ &= 0.0254 \times 1.005 \ln \frac{288}{115} \\ &= 0.0354kJ/kg \end{aligned}$$

$$\Delta S_{31} = 0.0354 - 0.0253 = 0.0101kJ/K.$$

(9.20)

غـاز ضـغطه ($140\ kN/m^2$) وحجمـه ($0.14m^3$) ودرجـة حرارتـه (25^oC) . يـضغط إلـى ($1.4kN/m^2$) وفق القانون (.$PV^{1.25} = C$). احسب : (1)التغيـر فـي الانتروبـي(2)الحـرارة المنتقلة.علما أن:

Cp=1.041kJ/kg.K ,Cv=0.743kJ/kg.K

$$R = Cp - Cv = 1.041 - 0.743$$
$$= 0.298kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT} = \frac{140 \times 0.14}{0.298 \times 298}$$
$$= 0.221kg$$
$$V_2 = V_1(\frac{P_1}{P_2})^{\frac{1}{n}} = 0.14(\frac{140}{1400})^{\frac{1}{1.25}}$$
$$= 0.022m^3$$
$$\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{V_2}{V_1} + Cv\ln\frac{P_2}{P_1}$$
$$= 1.041\ln\frac{0.0222}{0.14} + 0.743\ln\frac{1400}{140}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$\Delta S_{12} = m\Delta s_{12} = 0.221 \times (-0.205)$$
$$= -0.0453kJ/K$$
$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$
$$= \frac{140 \times 0.14 - 1400 \times 0.0222}{1.25 - 1}$$
$$= -46.0kJ$$
$$Q_{12} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.W_{12}$$
$$= \frac{1.4 - 1.25}{1.4 - 1} \times (-46) = -17.25kJ$$

يستخرج Δs_{12} بالمعادلات التالية ايضا:

$$(1)\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{p_2}{p_1}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$(2)\Delta s_{12} = Cv\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$(3)\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$(4)\Delta s_{12} = Cv(\frac{\gamma - n}{n-1})\ln\frac{T_1}{T_2}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$(5)\Delta s_{12} = Cv(\frac{\gamma - n}{n})\ln\frac{P_1}{P_2}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$

(9.21)

غاز Co_2 كتلته (0.5kg) وضغطه (1 bar) وحجمه($0.3m^3$) يضغط آيزنتروبيـا إلـى ($\frac{1}{4}$)حجمـه الأول. ثم يبرد بثبوت الضغط إلى أن يعود إلى درجة حرارته الابتدائيـة. فـإذا كانـت (γ=1.306)، (R=0.189 kJ/kg.K).احسب الحجم النهائية والتغير في الانتروبي.

$$\Delta s_{12} = O$$

$$T_1 = \frac{P_1V_1}{mR} = \frac{100 \times 0.3}{0.5 \times 0.189}$$

$$= 317.46K$$

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

$$= 317.46(\frac{V_1}{0.25V_1})^{0.306} = 485.2K$$

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

$$= 100(\frac{V_1}{0.25V_1})^{1.306} = 611.35kN/m^2$$

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

$$= \frac{0.5 \times 0.189 \times 317.46}{611.35}$$

$$= 0.05m^3$$

$$\Delta S_{23} = mCp\ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$= m\frac{R\gamma}{\gamma-1}\ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$= 0.5\frac{0.189 \times 1.366}{1.306-1} \times \ln\frac{317.46}{485.2}$$

$$= 0.171kJ/kg$$

(9.22)

هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته(20^oC) وحجمه ($0.02m^3$). سخن الهواء بثبوت الحجـم إلـى (5bar). وبعدها برد يثبوت الضغط إلى أن عاد إلى درجة حرارته الابتدائية. احسب صافي التغيـر في الانتروبي. علما أن :

Cp=1.01kJ/kg.K , R=0.287kJ/kg.K

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

$$= \frac{100 \times 0.02}{0.287 \times 293} = 0.0238kg$$

$$Cv = Cp - R$$

$$= 1.01 - 0.287 = 0.723kJ/kg.K$$

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1}) = 293(\frac{5}{1}) = 1465K$$

$$\Delta S_{12} = mCv\ln\frac{P_2}{P_1} = 0.0238 \times 0.723\ln\frac{5}{1}$$

$$= 0.0277kJ/K$$

$$\Delta S_{23} = mCp\ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$= 0.0238 \times 1.01\ln\frac{293}{1465}$$

$$= -0.0387kJ/K$$

$$\Delta S_{31} = \Delta S_{12} + \Delta S_{23}$$

$$= 0.0277 - 0.0387$$

$$= -0.011kJ/K$$

(9.23)

غاز مثالي حجمه ($0.056m^3$) ودرجة حرارته (38^oC) وضغطه (1.03 bar) سخن بثبـوت الحجـم إلى (1.72bar). ثم سخن بثبوت الضغط إلى (0.126m3). أوجد لكل اجراء (أ) الحـرارة والـشغل المنتقل (ب) صافي التغير في الطاقة الداخلية (ج) مجموع التغير في الانتروبي. علما أن:

R=0.287kJ/kg.K , Cv=0.718 kJ/kg.K

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

$$\mathbf{= \frac{103 \times 0.056}{0.287} = 0.0647kg}$$

$$\mathbf{T_2 = \frac{P_2T_1}{P_1}}$$

$$\mathbf{= \frac{1.72 \times (311)}{1.03} = 520K}$$

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

$$\mathbf{= 0.0647 \times 0.718 \times 209}$$

$$\mathbf{= 9.7kJ = Q_{12}}$$

$$\mathbf{T_3 = \frac{V_3T_2}{V_2}}$$

$$\mathbf{= \frac{0.126 \times 520}{0.056} = 1170K}$$

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

$$\mathbf{= 0.0647 \times 1.005(650)}$$

$$\mathbf{= 42.23kJ}$$

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

$$= 172(0.126 - 0.056)$$

$$= 12.05kJ$$

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

$$= 42.23 - 12.05$$

$$= 30.18klJ$$

$$\sum U = \Delta U_{12} + \Delta U_{23}$$

$$= 9.7 + 30.18 = 39.88kJ$$

$$\Delta S_{12} = mCv\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$= 0.0647 \times 0.718\ln\frac{520}{311}$$

$$= 0.0238kJ/K$$

$$\Delta S_{23} = mCp\ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$= 0.0647 \times 1.005\ln\frac{1170}{520}$$

$$= 0.0527kJ/K$$

$$\sum \Delta S = \Delta S_{12} + \Delta S_{23}$$

$$= 0.0238 + 0.0527$$

$$= 0.0765kJ/K$$

(9.24)

غاز مثالي درجة حرارته(T_1) سخن بثبوت الضغط إلى (T_2). ثم تمـدد إنعكاسـيا حـسب القـانون ($Pv^n=C$) إلى درجة حرارة ($T1$). ما هي قيمة (n) عندما يكـون التغيـر فـي الانتروبـي خـلال الاجرائين متساوي (بدلالة الحرارة النوعية):

$$\Delta S_{12} = \Delta S_{23}$$

$$mCp\ln\frac{T_2}{T_1} = mCv(\frac{n-\gamma}{n-1})\ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$mCp\ln\frac{T_2}{T_1} = mCv(\frac{\gamma-n}{n-1})\ln\frac{T_2}{T_1}$$

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

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

$$n = \frac{2\gamma}{\gamma+1} = \frac{2\frac{Cp}{Cv}}{\frac{Cp}{Cv}+1} = \frac{2\frac{Cp}{Cv}}{\frac{Cp+Cv}{Cv}} = \frac{2Cp}{Cp+Cv}$$

(9.25)

هواء كتلته (0.5kg) يمر بدورة كارنو. درجـة الحـرارة الـصغرى والقـصوى فيهـا (20^oC) و ($400\,^oC$) على التوالي. فإذا كان التغير في الانتروبي في أجراء التمدد الايروثرملي (0.1 kJ/K).

احسب(أ) الكفاءة الحرارية للدورة (ب)الشغل الناتج (ج) نسبة الانضغاط الايروثرملي، علما أن:

R=0.287 kJ/kg.K

$$\eta = -1\frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{293}{673} = 0.565$$

$$\Delta S_{12} = mR\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$\ln\frac{V_2}{V_1} = \frac{\Delta s_{12}}{mR} = \frac{0.1}{0.5\times0.287} = 0.697$$

$$\frac{V_2}{V_1} = e^{0.697} = 2$$

$$W_T = mR\ln\frac{V_2}{V_1}(T_1 - T_3)$$

$$= 0.5\times0.287\times0.697(673-293)$$

$$= 38.6kJ$$

طريقة اخرى لايجاد W_T

$$Q_{in} = mRT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.5\times0.287\times673\times0.697 = 67.3kg$$

$$W_T = \eta.Q_{in} = 0.565\times67.3 = 38kg$$

(9.26)

دورة تتكون من (3) اجراءات (1)انضغاط آيروثرملي من (560K) إلى ($\frac{1}{2}$) من الحجم الابتـدائي. (2) ثبوت الضغط (3) تمدد إدياباتي. احسب كفاءة الدورة وقارنها مع كفاءة دورة كارنو التي تعمـل بين نفس درجات الحرارة العليا والصغرى ، كذلك احسب التغير في الانتروبي في كل من الاجراءات الثلاث، علما أن:

Cp=1 kJ/kg.K , R=0.287 kJ/kg.K , γ=1.4

$$\mathbf{q_{12} = q_o = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\mathbf{= 0.287 \times 560 \ln \frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{= -11.4 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} = 2}$$

$$\mathbf{T_3 = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$\mathbf{= 560(2)^{0.287} = 683.2K}$$

$$\mathbf{q_{23} = q_{in}}$$

$$\mathbf{= 1 \times (683.2 - 560)}$$

$$\mathbf{= 123.2 kJ/kg}$$

$$\eta_{cycle} = 1 - \frac{q_o}{q_{in}} = 1 - \frac{111.4}{123.2} \times 0.1$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{560}{683.2} = 0.18$$

$$\Delta s_{12} = R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.287 \ln \frac{1}{2} = -0.199 kJ/kg.K$$

$$\Delta s_{12} = Cp \ln \frac{T_3}{T_2}$$

$$= 1 \times (\frac{683.2}{560}) = 0.198 kJ/kg.K$$

$$\Delta s_{31} = O$$

(9.27)

غاز كتلته (1.2kg) وضغطه (2bar) وحجمه ($0.5m^3$).ضغط الغازبولتروبيا حسب القانون ($PV^{1.3} = C.$) حتى اصبح ضغطه (28bar). بعد ذلك تمدد الغاز آيروثرمليا إلى أن رجع إلى حجمه الاول. ثم انتقلت كمية الحرارة من الغاز بثبوت الحجم بحيث رجع إلى حالته الابتدائية.

احسب: (أ)نسبة الانضغاط في الاجراء البولتروبي (ب)التغير في الانتروبي للأجراء البولتروبي (ج)الكفاءة الحرارية للدورة. علما أن:

$\gamma = 1.4$, $R = 0.288\ kJ/kg.K$

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{28}{2}\right)^{\frac{1}{1.3}} = 7.62$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{28}{2}\right)^{\frac{0.3}{1.3}} = 1.838$$

$$\Delta S_{12} = mCv\left(\frac{n-\gamma}{n-1}\right)\ln\frac{T_2}{T_1}$$

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

$$= \frac{1.2\times 0.288\times(1.3-1.4)}{(1.4-1)(1.3-1)}\times \ln 1.838$$

$$= -0.175 kJ/K$$

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

$$= 0.5\times\left(\frac{2}{28}\right)^{\frac{1}{1.4}} = 0.07m^3$$

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

$$= \frac{200\times 0.5 - 2800\times 0.07}{1.3-1}$$

$$= -279kJ = Q_O$$

$$T_2 = \frac{P_2V_2}{mR}$$

$$= \frac{2800\times 0.07}{1.2\times 0.288} = 531.5K$$

$$W_{23} = Q_{23}$$

$$= mRT_2\ln\frac{V_3}{V_2} = mRT_2\ln\frac{V_1}{V_2}$$

$$= 1.2\times 0.288\times 531.5\times \ln\frac{0.5}{0.07}$$

$$= 373.06kJ$$

$$Q_{in} = 373.06kJ$$

$$\eta = \frac{Qin - Qo}{Qin}$$

$$= \frac{373.06-279}{373.06} = 0.2.5$$

(9.28)

قطعة من الحديد كتلتها (2kg) ودرجة حرارتها (100^oC) وحرارتهـا النوعيـة (0.465kJ/kg.K). وضعت مع قطعة مـن النحـاس كتلتهـا (1kg) ودرجـة حرارتهـا (30^oC) وحرارتهـا النوعيـة (0.388kJ/kg.K) بداخل صندوق معزول حراريا. احسب درجة الحرارة المـشتركة والتغيـر فـي الانتروبي لكل منهما وللنظام ككل.

$$t_m = \frac{m_1C_1t_1 + m_2C_2t_2}{m_1C_1 + m_2C_2} = 35.2K$$

$$\Delta S_{Fe} = mC\ln\frac{Tm}{T_1} = -0.053kJ/K$$

$$\Delta S_{Cu} = mCv\ln\frac{Tm}{T_2} = 0.059kJ/K$$

$$\Delta S_T = -0.053 + 0.059 = 0.006kJ/K$$

(9.29)

غاز ضغطه ($700\ kN/m^2$) وحجمه ($0.014m^3$) ودرجة حرارته ($150\ ^oC$) تمدد آيزوثرمليـا إلـى ($0.0844m^3$). احسب التغير في الانتروبي.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{W}{T} = \frac{P_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1}}{T}$$

$$= \frac{700 \times 0.014}{423}\ln\frac{0.084}{0.014} = 0.0416kJ/K$$

(9.30)

(1.5kg) من غاز مثالي ضغطه (1bar) يضغط بولتروبيا إنعكاسيا حتـى يـصبح حجمـه النهـائي ($0.2076m^3$). فإذا كانت درجة الحرارة الابتدائية (7^oC) والاس البولثروبي (1.3). احسب:

(1)الحرارة المنتقلة (2)التغير في الانتروبي. علما أن

Cp=1.035 kJ/kg.K , R=0.2966 kJ/kg.K

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$$

$$= \frac{1.5 \times 0.296 \times 280}{100} = 1.24m^3$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 280\left(\frac{1.24}{0.2076}\right)^{1.3-1}$$

$$= 479.1K$$

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

$$= \frac{1.5 \times 0.296(-199)}{1.3-1}$$

$$= -295kJ$$

$$Cv = Cp - R = 1.035 - 0.296$$

$$= 0.739kJ/kg.K$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = 1.4$$

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

$$= \frac{1.4 - 1.3}{1.4 - 1} \times (-295) = -73.75kJ$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{-73.75}{280}$$

$$= -0.26kJ/K$$

(9.31)

خزان يحتوي على (0.05 kg) من غاز (Co) ضغطه (0.95 bar) ودرجة حرارته (30^oC).اضيفت حرارة إلى الغاز حتى اصبح ضغطه (1.3 bar). احسب:

(أ)الحرارة المنتقلة (ب)مقدار التغير في الانتروبي. علما أن **Cv=o.74 kJ/kg.K**

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1}) = 303(\frac{1.3}{0.95}) = 414K$$

$$Q_{12} = mCv\Delta T_{12}$$

$$= 0.05 \times 0.74(414 - 303) = 4.1kJ$$

$$\Delta S_{12} = mCv \ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$= 0.05 \times 0.74 \times \ln\frac{414}{303}$$

$$= 0.011kJ/K$$

(9.32)

غاز كتلته (4kg) ضغطه (2bar) ودرجة حرارته (27^oC) .سخن بحجم ثابت إلـى (6bar) وبـرد بضغط ثابت.ثم تمدد بولتروبيا وبقيمة (n=1.15) بحيث عاد إلى حالته الاصلية. احسب(1) الحـرارة المنتقلة بثبوت الضغط(2) التغير في الانتروبي لكل أجزاء (3) معامل الاداء للدورة في حالة استعمالها كمضخة حرارية للتبريد اوالتدفئة(4) كفاءة الدورة. علما بأن:

Cp =1.55 kJ/kg.K ، Cv =1.25kJ/kg.K

$$T_2 = T_{1(}(\frac{P_2}{P_1}) = 300(\frac{6}{2}) = 900K$$

$$T_3 = T_1(\frac{P_3}{P_1})^{\frac{n}{n-1}} = 300(\frac{600}{200})^{\frac{1.15}{0.15}} = 346.2K$$

$$Q_O = Q_{23} = mCp\Delta T$$

$$= 4 \times 1.55(346.2 - 900) = -3433.4kJ$$

$$\Delta S_{12} = mCv \ln\frac{T_2}{T_1} = 4 \times 1.25 \ln\frac{900}{300}$$

$$= 5.5kJ/K$$

$$\Delta S_{23} = mCp \ln\frac{T_3}{T_2} = 4 \times 1.55 \ln\frac{346.2}{900}$$

$$= -6kJ/K$$

$$\gamma = Cp/Cv = 1.55/1.25 = 1.24$$

$$\Delta S_{31} = mCv\frac{n-\gamma}{n-1}\ln\frac{T_1}{T_3}$$

$$= 4 \times 1.25(-0.6)\ln\frac{300}{346.2}$$

$$= 0.43kJ/K$$

$$Q_{12} = mCv\Delta T = 4 \times 1.25(900 - 300)$$

$$= 3000kJ$$

$$Q_{23} = mCp\Delta T = 4 \times 1.55(346 - 900)$$

$$= -3433.5kJ$$

$$Q_{31} = mCv\frac{n-\gamma}{n-1}(T_1 - T_3)$$

$$= 4 \times 1.25(-0.6)(-46.2) = 138.6kJ$$

$$Q_{in} = Q_{12} + Q_{31} = 3138.6kJ$$

$$COP_{ref} = \frac{Q_{in}}{Q_o - Q_{in}} = \frac{3138.66}{3433.5 - 3138.66} = 1$$

$$COP_{HP} = COP_{ref} + 1$$

$$= 10.65 + 1 = 11.65$$

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

$$= 1 - \frac{293}{673} = 0.565$$

(9.33)

هواء كتلته (0.3 kg) وضغطه($350kN/m^2$) ودرجة حرارته (35^oC) يتسلم حرارة بثبـون الحجـم حتى يصبح ضغطه ($700kN/m^2$). ومن ثم يستلم حرارة بثبـوت الـضغط حتـى يـصبح حجمـه ($0.2289m^3$). احسب التغير في الانتروبي في أثناء كل من الاجرائين. علما أن:

Cp =1.006kJ/kg.K ، Cv =0.717kJ/kg.K

$$R = Cp - Cv = 1.006 - 0.717$$

$$= 0.289kJ/kg.K$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.3 \times 0.289 \times 308}{350}$$

$$= 0.0763m^3$$

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1}) = 308\frac{700}{350} = 616K$$

$$\Delta s_{12} = Cv \ln\frac{P_2}{P_1} = 0.717 \ln\frac{700}{350}$$

$$= 0.496kJ/kg.K \Rightarrow \Delta s_{12}.m$$

$$= 0.496.03 = 1.488kJ/kg.K$$

ونحسب Δs_{12} بالمعادلات الآتية ايضاً:

$$(1)\Delta s = Cv \ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$(2)\Delta s = Cp \ln\frac{T_2}{T_1} - R \ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$T_3 = T_2\frac{V_3}{V_2} = 616\frac{0.2289}{0.0763} = 1848K$$

$$\Delta s_{23} = Cp \ln\frac{V_3}{V_2}$$

$$= 1.006 \ln\frac{0.2289}{0.0763}$$

$$= 1.1066kJ/kg.K$$

$$\Delta S_{23} = \Delta S_{23} \times m = 1.1066 \times 0.3$$

$$= 0.332kJ/kg.K$$

ونحسب Δs_{23} بالمعادلات الآتية ايضاً:

$$(1)\Delta s_{23} = Cp \ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$(2)\Delta s_{23} = Cp \ln\frac{T_3}{T_2} + R \ln\frac{V_3}{V_2}$$

(9.34)

غاز ضغطه ($140kN/m^2$) وحجمه ($0.14m^3$) ودرجة حرارته (25^oC).ضغط إلى ($1.4MN/m^2$) حسب العلاقة ($PV^{1.25}=C.$). احسب (أ)التغير في الانتروبي(ب)التغير التقريبي في الانتروبي الحاصل من تقسيم الحرارة المنتقلة من الغاز على معدل درجة الحرارة المطلقة أثناء الانضغاط، علما أن:

Cp=1.041 kJ/kg.K ، Cv=o.743 kJ/kg.K

$$R = Cp - Cv = 1.041 - 0.743$$
$$= 0.298kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{140 \times 0.14}{0.298 \times 298}$$
$$= 0.221kg$$
$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}$$
$$= 0.14\left(\frac{140}{1400}\right)^{\frac{1}{1.25}} = 0.022m^3$$
$$\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{V_2}{V_1} + Cv\ln\frac{P_2}{P_1}$$
$$= 1.041\ln\frac{0.0222}{0.14} + 0.743\ln\frac{1400}{140}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$
$$\Delta S_{12} = \Delta s \times m = -0.205 \times 0.221$$
$$= -0.0453kg.K$$
$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$
$$= \frac{140 \times 0.14 - 1400 \times 0.0222}{1.25 - 1}$$
$$= -46kJ$$
$$\gamma = Cp/Cv = \frac{1.041}{0.743} = 1.4$$
$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times W = \frac{1.4 - 1.25}{1.4 - 1} \times (-46)$$
$$= -17.25kJ$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 298(6.3)^{1.25-1} = 472k$$

معدل الدرجة
$$\frac{472 + 298}{2} = 385K$$

التغير التقريبي في الانتروبي:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = -\frac{17.25}{385} = -0.0448kJ/K$$

يمكن حساب (Δs)بالمعادلات التالية:

$$(1)\Delta s = Cp\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$
$$(2)\Delta s = Cv\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{V_2}{V_1}$$
$$(3)\Delta s = Cv(\gamma - n)\ln\frac{V_2}{V_1}$$
$$(4)\Delta s = Cv\frac{\gamma - n}{n-1}\ln\frac{T_1}{T_2}$$
$$(5)\Delta s = Cv\frac{\gamma - n}{n}\ln\frac{p_1}{p_2}$$

كلها تعطي نفس النتيجة أي:

$$\Delta s = -0.205kJ/kg.K$$

(9.35)

غاز مثالي سخن بثبوت الضغط، ثم تمددإنعكاسيا حسب العلاقة ($PV^n=C$) إلى أن عاد إلـى درجـة حرارته الابتدائية. فإذا كان في التغير الانتروبي في الاجرائين متساوي. وكانت قيمة ($\gamma=1.4$) احسب قيمة (n).

$$\Delta S_{12} = \Delta S_{23}$$

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

$$\frac{n-\gamma}{n-1} = \frac{Cp\ln\frac{T_2}{T_1}}{Cv\ln\frac{T_1}{T_2}} = \frac{-Cp\ln\frac{T_1}{T_2}}{Cv\ln\frac{T_1}{T_2}} = -\gamma$$

$$\frac{n-1.4}{n-1} = -1.4$$

$$n = 1.17$$

(9.36)

(1kg) من غاز درجة حرارته (27°C) يسخن بثبوت الضغط حتى يتضاعف حجمـه. ثـم يـضغط آيزوثرمليا إلى الانتروبيا الاصلية. ثم يتمـددبولتروبيا بحـسب العلاقـة ($PV^{1.2}=C$) إلـى الحجـم الابتدائي.ثم يبرد بثبوت الحجم ليعود إلى حالته الابتدائية. احسب (1)الحرارة والـشغل المنتقلـين.(2) التغير في الطاقة الداخلية والانتروبيا. علما أن :

R =0.029 kJ/kg.K ،Cp = 0.532 kJ/kg.K

$1 \Rightarrow 2$

$$T_2 = T_1(\frac{V_2}{V_1}) = 300 \times 2$$
$$= 600K$$
$$Q_{12} = mCp(T_2 - T_1)$$
$$= 1 \times 0.532 \times 300 = 159.6kJ$$
$$W_{12} = mR\Delta T_{12}$$
$$= 1 \times 0.029 \times 300 = 37.2kJ$$
$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12}$$
$$= 159.6 - 37.2 = 122.4kJ$$
$$\Delta S_{12} = mCp\ln\frac{T_2}{T_1}$$
$$= 1 \times 0.532\ln\frac{600}{300} = 0.369kJ/K$$

$2 \Rightarrow 3$

$$\Delta S_{23} = -\Delta S_{12} = -0.369kJ/K$$
$$Q_{23} = T_2\Delta S_{23}$$
$$= 600 \times (-0.369)$$
$$= -221.4kJ = W_{23}$$

$3 \Rightarrow 4$

$$Q_{23} = mRT_2\ln\frac{V_3}{V_2}$$
$$221.4 = 1 \times 0.029 \times 600\ln\frac{V_3}{V_2}$$
$$\therefore \frac{V_3}{V_2} = 19.5$$

$$Cn = Cv\frac{n-\gamma}{n-1} = 0.503\frac{1.2-1.06}{1.2-1}$$
$$= -0.2015kJ/kg.K$$
$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{V_2}{V_3}$$
$$= \frac{V_1}{2V_1} \times 19.5 = 9.75$$
$$T_4 = T_3(\frac{V_3}{V_4})^{n-1}$$
$$= 600(\frac{1}{9.75})^{1.2-1} = 380.7K$$
$$Q_{34} = mCn\Delta T_{34}$$
$$= 44.2kJ$$
$$\Delta S_{34} = mCn\ln\frac{T_4}{T_3}$$
$$= 0.109kJ/K$$
$$\Delta U_{34} = mCv\Delta T_{34}$$
$$= -88.5kJ$$
$$W_{34} = Q_{34} - \Delta U_{34}$$
$$= 132.7kJ$$

$4 \Rightarrow 1$

$$Q_{41} = mCv\Delta T_{41}$$
$$= -32.5kJ$$
$$\Delta U_{41} = Q_{41}$$
$$= -32.5kJ$$
$$\Delta S_{41} = -\Delta S_{34}$$
$$= -0.109kJ/K$$

(9.37)

هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته (15^oC). يضغط آيزوثرمليا إلى (27.59 bar). ثـم يـضغط بولتروبيا وفق القانون ($PV^{1.3}=C$.) إلى نفس الضغط.قارن بين الحالتين بالنـسبة إلـى: (1) الـشغل والحرارة المنتقلين (2) درجة الحرارة النهائية (3) الطاقة الداخلية والانتروبي لكل (1kg) من الهواء. علما أن:

$\gamma=1.4$ ، R = 0.287 kJ/kg.K

(A)

$$\nu_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287\times 288}{100}$$

$$= 0.827 m^3/kg$$

$$\nu_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{0.287\times 288}{100}$$

$$= 0.030 m^3/kg$$

$$q = w = RT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.287\times 288\ln\frac{0.030}{0.827}$$

$$= -263.47 kJ/kg$$

$$\Delta s = R\ln\frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$= 0.287\ln\frac{0.03}{0.827} + 0$$

$$= -0.915 kJ/kg.K$$

(B)

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

$$= 288(\frac{27.59}{1})^{\frac{0.3}{1.3}} = 619.2K$$

$$\Delta U = Cv(T_2 - T_1) = \frac{R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1)$$

$$= \frac{0.287}{0.402}(619.2 - 288) = 237.61 kJ/kg$$

$$\Delta s = Cv\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - 1}R\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{1.4}{0.4}.0.287\ln\frac{619.2}{288} - 0.287\ln\frac{27.59}{1}$$

$$= -0.186 kJ/kg.K$$

$$w = \frac{P_1\nu_1 - P_2\nu_2}{n-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{0.287(-331.2)}{1.3 - 1}$$

$$= -316.84 kJ/kg$$

$$q = w + \Delta u = -316.84 + 237.61$$

$$= -79.23 kJ/kg$$

(9.38)

هواء ضغطه (110kPa) ودرجة حرارته (50^oC). يضغط إدياباتيا إلى (1/8)حجمه الابتـدائي. ثـم تضاف إليه حرارة بثبوت الحجم لتصبح درجة حرارته ($900\ ^oC$). ثم يتمـدد إدياباتيـا إلـى حجمـه الابتدائي.ثم تطرح منه حرارة بثبوت الحجـم ليعـود إلـى حالتـه الاصـلية.فـإذا كـان ($\gamma= 1.4$) و(Cv=0.718 kJ/kg.K).احسب:

(1)كفاءة الدورة وقارنها مع كفاءة كارنو إذا كانت تعمل بين المصدرين الحراريين نفسهما.

(2)تغير الانتروبي عند انتقال الحرارة.

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

$$= 323(8)^{0.4} = 743K$$

$$T_4 = T_3(\frac{V_3}{V_4})^{\gamma-1} = 1173(\frac{1}{8})^{0.4} = 511K$$

$$q_{23} - w_{23} = \mu_3 - \mu_2$$

$$= Cv(T_3 - T_{2)})$$

$$= 308.7kJ/kg$$

$$q_{41} = Cv(T_1 - T_4)$$

$$= 0.718(323 - 511) = -135kJ/kg$$

$$w_{net} = q_{in} + q_o = 308.7 + (-135)$$

$$= 173.7kJ/kg$$

$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{in}} = \frac{173.7}{308.7} = 0.563$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{323}{1173} = 0.725$$

$$\Delta s_{23} = Cv\ln\frac{T_3}{T_2} = 0.718\ln\frac{1173}{743}$$

$$= 0.328kJ/kg.K$$

$$\Delta s_{41} = Cv\ln\frac{T_1}{T_4} = 0.718\ln\frac{323}{511}$$

$$= 0.329kJ/kg.K$$

(9.39)

هواء درجة حرارته ($40^{o}C$) يضغط إدياباتيا إلى ($\frac{1}{17}$) من حجمه الاصلي.تضاف إليه حرارة بثبـوت الضغط حتى يتضاعف حجمه. ثم يتمدد إدياباتيا حتى تصبح درجة حرارته (826K) ويعود إلى حجمه الابتـدائي. ثـم تطـرد منـه حـرارة ليعـود إلـى حالتـه الاصـلية. فـإذا كـان(γ =1.4) ، (R =0.287 kJ/kg.K).احسب:

(1)الشغل الصافي.

(2) كفاءة الدورة وقارنها مع كفاءة دورة كارنو عندما تعمل بين المصدرين نفسيهما.

(3) التغير قي الانتروبي في أثناء انتقال الحرارة.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} 313(17)^{0.4}$$
$$= 972K$$
$$T_3 = T_2 \left(\frac{V_3}{V_2}\right) = 972(2)$$
$$= 1944K$$
$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.287 \times 1.4}{0.4}$$
$$= 1.004 kJ/kg.K$$
$$q_{23} = P_2(\nu_3 - \nu_2) + (\mu_3 - \mu_2)$$
$$= h_3 - h_2 = Cp(T_3 - T_2)$$
$$= 1.004(1944 - 972)$$
$$= 975.9 kJ/kg = q_{in}$$
$$Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.287}{0.4} = 0.717 kJ/kg.K$$
$$q_{41} = w_{41} + (\mu_1 - \mu_4)$$
$$= Cv(T_1 - T_4)$$
$$= 0.717(313 - 826)$$
$$= -367.8 kJ/kg$$

$$W_{net} = q_{in} + q_o$$
$$= 975.9 + (-367.8)$$
$$= 608.1 kJ/kg$$
$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{in}} = \frac{608.1}{975.9} = 0.623$$
$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{313}{1944} = 0.84$$
$$\Delta s_{23} = Cp \ln \frac{T_3}{T_2}$$
$$= 1.004 \ln \frac{1944}{972} = 0.696 kJ/kg.K$$
$$\Delta s_{23} = \Delta s_{41}$$
$$= -0.696 kJ/kg.K$$

مسائل

(9.1)

غاز كتلته (1kg) تمدد في اجراء إدياباتي حيث انخفـضت درجـة حرارتـه مـن ($240\ ^oC$) إلـى (115^oC) بينما أصبح حجمه ضعف حجمه الابتدائي وتم انجاز شغل مقداره (90kJ). بعد ذلك سخن الغاز بثبوت الحجم إلى ضغطه الابتدائي. ثم أعيد إلى حالته الاولـى عنـد ثبـوت الـضغط. ارسـم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب لكل أجراء:

(1) الحرارة والشغل المنتقلين.(2) التغير قي الطاقة الداخلية . (3)التغير في الانتروبي.

ج:

(-0.7kJ/K, 0.7kJ/K, -369.36, -90kJ, -148.77kJ, -518.13kJ, 459.36kJ)

(9.2)

غاز كتلته (0.3kg) وحجمه ($0.24m^3$) ودرجة حرارته (22^oC). تم تبريده بثبوت الضغط. ثم يسخن بثبوت الحجم إلى ضغط (2 bar) ثـم يتمـدد فـي اجـراء ثبـوت درجـة الحـرارة إلـى حجـم ($0.2\ m^3$).ثم يتمدد إدياباتيا إلى حالته الاولى مكملا الدورة. فإذا علمت أن: (Cv =0.63 kJ/kg.K) ، (Cp = 0.82 kJ/kg.K). ارسم هذه الدورة على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) الحرارة المنتقلة في كل اجراء (2) الكفاءة الحرارية للدورة(3) تغير الانتروبي في كل اجراء.

ج:

(0.0162kJ/K, 0.0985kJ/K, -0.1148kJ/K, 0.066, 8.56kJ, 40.5kJ, -45.86kJ)

(9.3)

هواء كتلته (0.3 kg) وضغطه (1 bar) ودرجة حرارته ($40\ ^oC$). يضغط آيزوثرمليا إلى ربع حجمه الاول. ثم يسخن بثبوت الضغط. ثم يتمدد بولتروبيا حسب العلاقة ($PV^{1.35}=C_1$) إلى حالته الاصـلية. فإذا كان :($R=0.287kJ/kg.K$, γ =1.4) ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب (1) حجم الغاز في بداية التمدد البولتروبي (2) التغير للأنتروبي في كل اجراء (3) الـشغل النـاتج عـن الدورة (4) كفاءة الدورة.

ج:

(30%, 7.588kJ, 0.01136kJ/K, 0.108kJ/K, -0.11936kJ/K, 0.0965m^3)

(9.4)

اضيفت حرارة بثبوت الضغط إلى ($2\ kg$) من الهواء حتى اصبح حجمه (3) مرات حجمه الاول. بعد ذلك يضغط بثبوت درجة الحرارة حتى يعود الى حجمه الاول. ثم يبرد بثبوت الحجم حتى يعود إلى حالته الاولى. ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب التغير في الانتروبي لكل اجراء وصافي التغير في الانتروبي

علما بأن:

($R=0.287kJ/kg.K$, γ $=1.4$).

ج:(0, $-1.575kJ/K$, $-0.63kJ/K$,$2.208kJ/K$)

(9.5)

هواء يمر في دورة كارنو تعمل بين درجتي حرارة (25^oC) و($500\ ^oC$) نسبة الانضغاط الكلية في الدورة (15).

احسب (1) التغير في الانتروبي النوعي لاجراء اضافة الحرارة. (2)كفاءة الدورة.

ج: (0.614, $0.091kJ/kg.K$)

(9.6)

غاز كتلته ($0.2\ kg$) وضغطه ($27\ ^oC$) وحجمه ($0.12m^3$). ضغط إدياباتيا إلى ($0.09m^3$). ثم ضغط آيزوثرمليا. ثم تخرج منه حرارة بثبوت الحجم. ثم يتمدد آيزوثرمليا إلى حالته الاصلية. ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب (1) الحرارة المنتقلة في كل اجراء (2) معامل الاداء للدورة في حالة عملها للتبريد (3) تغير الانتروبي في كل اجراء.

علما أن:

($Cp = 0.82\ kJ/kg.K$)، ($Cv =0.63\ kJ/kg.K$).

ج:

($0.014kJ/K$, $-0.011kJ/K$, $-0.0032kJ/K$, $20,4.22kJ$, $-3.41kJ$, $-1.036kJ$)

(9.7)

اوكسجين كتلته ($0.2kg$) وحجمه ($0.12m^3$) ودرجة حرارته(15^oC) سخن بثبوت الحجم. ثم تمدد آيزوثرمليا إلى أن رجع إلى ضغطه الاول وأصبح حجمه ($0.5m^3$). فإذا كانت ($Cp=0.91kJ/kg.K$,$Cv=0.65kJ/kg.K$) ارسم الاجرائين على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب كل منهما:

(1) الحرارة المنتقلة (2) الشغل المنتقل (3)التغير في الطاقة الداخلية (4) التغير في الانتروبي.

ج:

($0.309kJ/K$, $0.7855kJ/K$, $118.56kJ$, $89.05kJ$, $89.05kJ$, $118.56kJ$)

(9.8)

(1kg) هواء في دورة كارنو تعمل بين درجتي الحرارة (327^oC) و(27^oC). اعلى ضغط في الدورة (7 bar) واقل ضغط (0.35 bar). ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب:
(1) الضغط والحجم في نهاية كل اجراء(2) صافي التغير في الانتروبي (3) صافي الشغل (4) الحرارة المضافة.

ج:($1.4m^3$, 0.62bar, 0.002kJ/K, 49.08kJ, 98.2kJ)

(9.9)

(1kg) هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته (300K) ضغط في اجراء آيزوثرمالي حتى اصبح ضغطه خمسة اضعاف الضغط الابتدائي. اضيفت إليه حرارو بثبوت الحجم. ثم اضيفت إليه حرارة بثبوت الضغط قيمتها نصف تلك الحرارة المضافة بثبوت الحجم. بعد ذلك تمدد الهواء إدياباتيا حتى رجع إلى حالته الابتدائية. ارسم الدورة على مخططي (P-V) و(T-S) واحسب:
(1) صافي الشغل في الدورة (2) الحرارة المضافة (3) كفاءة الدورة (4) اعلى درجة في الدورة (5) التغير في الانتروبي في جميع الاجراءات.

(9.10)

نصف كيلو غرام من غاز في نظام مغلق تمدد إدياباتيا من ضغط مقداره (5bar) ودرجة حرارة مقدارها (100^oC) إلى ضغط مقداره (1.89bar) واصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البداية. ثم تمدد الغاز آيزوثرمليا إإلى ضغط مقداره (1bar). فإذا كان (Cv=0.71kJ/kg.K).ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و(T-S)واحسب:
(1) حجم الغاز الابتدائي والنهائي للأجراء الإدياباتي. (2) الشغل والحرارة المنتقلين للاجرائين (3) التغير في الطاقة الداخلية للاجرائين (4) كثافة الغاز(5) التغير في الانتروبي للاجرائين.

ج:

($0.106m^3$, $0.212m^3$, 32.33kJ, 25.55kJ, -32.3kJ, $4.72kg/m^3$, 0.09kJ/K)

(9.11)

غاز مثالي فيه حالتين معلومتين (1) و(2) حيث أن (P_1=1 bar)، ($t_1=15^oC$)، ($V_2=2.15m^3$) ، ($V_1=10.7m^3$)، (P_2=5 bar)، ($t_2=15^oC$). للوصول من (1) إلى (2) يمكن اتباع الطرق التالية:(أ) تسخين بثبوت الحجم ثم تبريد بثبوت الضغط (ب) انضغاط آيزوثرملي (ج) انضغاط إدياباتي يتبعه تبريد بثبوت الحجم. ارسم المسارات المبينة في (أ ، ب، ج) بين (1) و (2) على مخططي (P-V) و(T-S) ثم احسب لكل المسارات (1) الشغل والحرارة المنتقلة (2) التغير في الطاقة الداخلية والانثالبي (3) التغير في الانتروبي.

(9.12)

غاز مثالي درجة حرارته (T_1) سخن بثبوت الضغط إلى (T_2). ثم تمـدد إنعكاسـيا حـسب القـانون ($PV^n=C_1$) حتى اصبحت درجة حرارته (T_3) مساوية إلى (T_1). احسب قيمة (n) إذا كانـت قيمـة التغير في الانتروبي للاجراءين متساوية . علما أن (γ =1.67). ارسم الاجـراءين علـى مخططـي (P-V) و(T-S).

ج: (1.25)

(9.13)

هواء ضغطه ودرجة حرارنه (1 bar) و(20^oC) على التوالي .ضغط إدياباتيا إلى ($\frac{1}{18}$) من حجمـه الاصلي. اضيفت حرارة بثبوت الحجم مساوية للحرارة التي اضيفت بثبوت الضغط. ثم تمـدد الهـواء إدياباتيا إلى حجمه الابتدائي وعاد إلى حالته الابتدائية بعد أن طرد ($\frac{1}{3}$) الحرارة التي دخلت الـدورة. إذا كان اقصى ضغط في الدورة (69 bar). ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و(T-S)واحسب: (أ) الشغل المنجز في الدورة (ب) كفاءة الدورة وقارنها مع كفاءة دورة كارنو عندما تعمل بين نفـس حدود درجات الحرارة. (ج) تغير الانتروبي في اجراءات اضافة الحرارة. علما ان:

(R=0.287kJ/kg.K)

ج: (0.116kJ/kg.K, 0.135kJ/kg.K, 76.7%, 67%, 183.8kJ/kg)

(9.14)

غاز مثالي كتلته (0.5 kg) ودرجة حرارته (120 ^oC) وضغطه (0.37 Mpa) تم تسخين الغاز بثبوت الحجم حتى اصبح ضغطه (1.48 MPa). ثم تمدد إدياباتيا وحسب العلاقة ($PV^{1.25}=C$.) إلى الضغط الابتدائي. ثم برد بثبوت الضغط حتى عاد إلى حالته الابتدائية.احسب:

(1) Cv ، Cp (2) الشغل الناتج في الدورة (3) التغير في الانتروبي لكل اجراء. ارسم الدورة على مخططي (P-V) و (T-S) علما أن :

(R=0.1883kJ/kg.K)

ج: (-0.5kJ/K, 0.5kJ/K, 66.7kJ, 0.752, 0.94)

(9.15)

هواء حجمه ($0.2m^3$) وضـغطه (5 bar) ودرجـة حرارتـه (30 ^oC). ضـغط حـسب العلاقـة ($\mathbf{PV^{\gamma} = C.}$) إلى نصف حجمه الابتدائي. ثم برد بثبوت الحجم إلى ضغطه الابتـدائي. ثـن سـخن بثبوت الصغط إلى حجمه الابتدائي. ارسم الدورة على مخطط (P-V) و (T-S)، واحسب :

(1) صافي الشغل المنتقل والحرارة المنتقلة (2) لجميع الاجراءات ، احسب التغير بالطاقة الداخليـة والتغير بالانتروبي. علما أن:

R = 0.287kJ/kg.K , Cp = 1.005kJ/kg.K

ج:(0.32kJ/K, 0.228kJ/K, 125.08kJ, -205kJ, 79.7kJ, -30kJ, -29.7kJ)

(9.16)

هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته (0^oC) سخن بثبوت الضغط إلى أن اصبحت درجـة حرارتـه (25^oC).ضغط الهواء بعد ذلك آيزوثرمليا إلى ضغط مقداره (15bar).ارسم الاجراءات على مخطـط (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) تغير الانتروبي النوعي في كل اجراء . (2) الحرارة والشغل للكيلو غرام الواحد في كل اجراء. علما أن

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

ج:

(-232.4kJ/kg, 25.125kJ/kg, 7.2kJ/kg, -0.78kJ/kg.K, 0.088kJ/kg.K)

(9.17)

غاز ضغطه (1.1bar) ودرجـة حرارتـه (100^oC) وحجمـه (280L) . ضـغط تبعـا للعلاقـة ($Pv^{1.28}$=C.) إلـى ($\frac{1}{14}$) مـن حجمــه الابتـدائي. فـإذا كـان (Cp=1kJ/kg.K) ، (Cv =0.71kJ/kg.K).احسب:

(1) الضغط النهائي (2) الشغل والحرارة المنتقلين (3) التغير في الانتروبي.

ج:(-0.07kJ/K , -38kJ, -120.4kJ, 3224kPa)

(9.18)

غاز ضغطه(101bar) ودرجة حرارته (36^oC) يضغط إدياباتيا في ضاغط إلى (4) أمثـال ضـغطه الابتدائي. تطرح حرارة في مبادل حراري بثبوت الضغط وتصبح حرارته (401K). يتمـدد الغـاز إدياباتيا في صمام خنق إلى ضغطه الابتدائي، ثم تضاف حرارة في مبادل حراري ليعود الغـاز إلـى حالته الابتدائية. فإذا كان (γ =1.4) ، (Cp =1.004kJ/kg.K).احسب :

(1)الحرارة المضافة والمطروحة لكل كيلو غرام من الغاز. (2)صافي الشغل المضاف لكل كيلو غرام من الغاز. (3)التغير في الانتروبي النوعي في المبادلات الحرارية.

ج: (0.14, -151.5, -60, 40.16)

(9.19)

خزان مغلق يحوي على (0.5kg) من خليط من الغازات كتلته المولية (M=28.5kg/kmoL) تحـت ضغط مقداره (2bar). اضيفت للخليط حرارة مقدارها (220kJ) فأرتفع ضغطه إلـى (6bar). فـإذا علمت بأن (γ =1.39) للخليط ، ارسم الاجراء على مخطط (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) درجة الحرارة الابتدائية والنهائية للخليط. (2)حجم الخزان. (3)التغيـر فـي الانتروبـي خـلال الاجراء.علما بأن:

R = 0.292 kJ/kg.K

ج: (0.41kJ/K, 0.214m^3, 881.19K, 293.73K)

الفصل العاشر – الخلائط الغازية

(10.1)- العناصر والمركبات والخلائط Element, Compound and Mixture

تتكون المواد من اتحاد مواد أخرى تسمى بالمركبات بواسطة عمليات كيمياوية. وهناك بعض المواد لا يمكن الحصول عليها بوساطة اتحاد مواد أخرى ولكنها موجودة في الطبيعة بشكل مستقل لا يمكن تجزئتها إلى مواد أخرى. عددها يتجاوز المائة تسمى بالعناصر التي تعتبر اساس المادة ، يمكن أن يكون العنصر صلبا مثل (S ,C) ، أو سائلا كالـ (Hg)، أو غازيا كالـ (N,H,O).

والمركبات هي مواد تتكون من عنصرين أو أكثر . العنصر في المركب يفقد هويته الاصلية وبالتالي فإن خصائص المركب تختلف عن الخصائص الاصلية للعناصر التي يتكون منها، ومنه فإن الماء هو مركب يكون سائلا في حالته الطبيعية. أما مكونات الماء فهما عنصري الهيدروجين والاوكسجين وهما غازات في الحالة الطبيعية.

أما الخلائط فهي مواد تتكون من عناصر أو مركبات أو كليهما معا. ولا يتكون من جراء ذلك مركب جديد، وعليه فالهواء يعد خليطا من الغازات كالاوكسجين والنتروجين وغازات خاملة وبخار ماء.

(10.2)- الذرة والكتلة الذرية النسبية (الوزن الذري)

The Atomic and Relative Atomic Mass (Atomic Weight)

تتكون المادة من جسيمات متناهية الصغر تدعى بالذرات خواصها ووزنها يختلف من عنصر لآخر، يمكن أن يتكون العنصر من ذرة واحدة كالـ (S,C)، أو من ذرتين متشابهتين ومتساويتين بالوزن كالـ (N_2 ,H_2, O_2) تسمى بثنائية الذرة (Diatomic) ويمكن أن تتكون بعض المركبات من ذرتين كالـ (CO)، أو من ثلاث ذرات كالـ (H_2O,CO_2) وتسمى ثلاثية الذرة (Triatomic) أو متعددة الذرات كالـ (CH_4)ويسمى (polyatomic).

اما الوزن الذري هو وزن الذرة. أن أخف جميع العناصر هو الهيدروجين فقد تم اعتبار وزنه الذري (1)، أما بقية العناصر فقد تم مقارنتها كتليا مع الهيدروجين، فوجد أن ذرة الاوكسجين تزن (16) مرة بقدر كتلة ذرة الهيدروجين لذا فإن الوزن الذري للأوكسجين (16) وللكربون (12)…. الخ.

لقد تم الاقتراح أخيرا أن يسمى الوزن الذري بالكتلة الذرية النسبية.

(10.3)- الكتلة الجزيئية والكتلة الجزيئية النسبية (الوزن الجزيئي)

The Molecule and Relative Molecular Mass (Molecular Wright)

إن العناصر والمركبات التي تحتوي على اكثر من ذرة تسمى بالجزيئة (Molecule) كجزيئـة (O_2, H_2, N_2, CO, CO_2, H_2O, CH_4....الخ). وجزيئة بعض العناصر تحتوي على ذرة واحـدة كالـ (S, C).

أن (H_2O, CO_2, CO)تعني جزيئة واحدة. وإن ($2H_2O$) تعنـي جـزيئتين مـن المـاء. وإن ($4CO_2$) تعني أربع جزيئات من ثاني أوكسيد الكاربون.

من المعادلة ($H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$) نلاحظ ان الهيدروجين يكتب (H_2) والاوكـسجين (O_2). أن هذين الغازين من المستحيل الحصول عليهما في حالتهما الحرة على شـكل ذرات مفـردة وإنمـا يظهران على شكل جزيئة.

تسمى كتلة الجزيئة بالوزن الجزيئي، واقترح تسميتها أخيرا بالكتلة الجزيئية النسبية، رمزها(M) سنسميها من الان فصاعدا بالكتلة المولية (Molecular Mass).

إذا كان الجزيء الواحد للعنصر يحتوي على ذرة واحدة فقط كالـ (S, C) فإن الوزن الذري يـساوي الوزن الجزيئي. أما إذا كان الجزيء الواحد للعنصر يحتوي على ذرتين كالـ (N_2, H_2, O_2) فـإن الوزن الجزيئي يساوي ضعف الوزن الذري. أما الجزيء الواحد للمركب فإن وزنه الجزيئي يـساوي مجموع الاوزان الذرية للمكونات. فالوزن الجزيئي لـ (CH_4) مثلا هـو (16=4.1+ 12.1). ولـ (CO_2) هو (44=12.1 +16.1)...

جدول (10.1)-الاوزان الذرية والجزيئية

الوزن	العناصر والمركبات						
الذري	O=16	H=1	N=14	C=12	S=32		
الجزيئ النسبي(M) (kg/kmol)	O_2=32	H_2=2	N_2=28			CO=28	H_2O=18

إن الاوزان الذرية والجزيئية لبعض العناصر والمركبات موضحة في جدول (10.1). كما اسلفنا فإن الوزن (أو الكتلة) الجزيئي النسبي نعبر عنه بالكتلة المولية (M).

(10.4)- الجزيء الغرامي أو المول (N) The Mole

إن عدد الجزيئات الغرامية أو الجزيء الغرامي أو المول هو كتلة المادة (m) المـساوية للكتلـة المولية. فإذا كان الـ (m) بالـ (kg)، عندئذ يسمى المول بالكيلومول (kmol). عليه يكون :

$$\mathbf{N = \frac{m}{M}\left[\frac{kg}{kg/kmol} = kmol\right] ....(10.1)}$$

وهكذا فإن:

$1\ kmole\ O_2=32\ kg\ O_2$ $\qquad$ $1\ kmole\ N_2=28\ kg\ N_2$
$1\ kmole\ H_2=2\ kg\ H_2$ $\qquad$ $1\ kmole\ CO_2=44\ kg\ CO_2$
$1\ kmole\ C=12\ kg\ C$ $\qquad$ $1\ kmole\ H_2O=18\ kg\ H_2O$

(10.5) - فرضية وعدد افوكادرو Avocadro's Hypothesis and Number

عند الظروف القياسية (S .T .P) ، أي عند ضغط (1.01325 bar) ودرجة حرارة (0^oC) فإن ($32kgO_2$) أو ($2kg\ H_2$) أو ($28kg\ N_2$) أو (1kmol) من أي غاز سيحتوي على (6.03010^{26}) جزيئة، وهذا هو عدد افوكادرو الذي يشغل حجما مقداره ($22.41m^3/kmol$)، أي أن حجم مول واحد من أي غاز مثالي متساوي عند نفس الظروف ودرجة الحرارة. من هنا ظهرت فرضـية افوكـادرو وهذا نصها:

(عند.S. T.P) فإن الحجوم المتساوية لغازات مختلفة تحتوي على العدد نفسه مـن الجزيئـات. أي:

$$1\ Vol\ C + 1\ Vol\ O_2 \longrightarrow 1\ Vol\ CO_2$$
$$1\ kmol\ C + 1\ kmol\ O_2 \longrightarrow 1\ kmol\ CO_2$$

أي أنه إذا كان عدد الجزيئات في غاز معين ضعف ما في غاز آخر فسيكون حجمه ضعف حجم الغاز الآخر، لأن عدد الجزيئات متساوي لجميع الغازات عند (S.T.P.) تبين المعادلات المذكورة أنفـا مايلي:

حجم ومول المتفاعلات (N_i،V_i) يساوي حجم ومول النواتج (V_T ,N_T)، وسيتم اثبـات ذلـك لاحقـا، وبالتالي فسيكون:

$$\frac{Vi}{Ni}=\frac{V_T}{N_T}\Rightarrow\frac{Vi}{V_T}=\frac{N_i}{N_T}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10.2)$$

حيث ان (i) هو رمز لاي غاز في الخليط (T)

(10.6) - الخلائط الغازية Gaseous Mixtures

الخليط هو نظام ثرموديناميكي يتألف من عدة غازات متجانسة تعامل كمادة واحدة، شرط وجود الافتراضات الاتية:

(1)اختفاء الخواص الفردية للغازات، بحيث يظهر الخليط وكأنه مؤلف من مادة واحدة.

(2)عدم حدوث تفاعل كيمياوي أو تكاثف أو تبخر للغازات المكونة للخليط.

ومن الامثلة على الخلائط الغازية الهواء الجاف (Dry Air) الخالي من بخـار المـاء والـذي يحتوي على الاوكسجين، النتروجين، ثاني أوكسيد الكاربون، الآركون، الكربتون، النيون والهليوم كلها غازات مقاربة في صفاتها للغاز المثالي. لهذا يعتبر الهواء كغاز مثالي يتألف من مـادة واحـدة، لأن تركيبه ثابت بصورة كاملة، كتلته المولية (MO_2=28.97) ومن الامثلة الاخرى على الخلائط الغازية

الخارجة من المراجل، المحركات النفاثة، التوربينات الغازية، وكذلك الغازات العاملة فـي محركـات الاحتراق الداخلي عند الانضغاط والتمدد والعادم. ومن الضروري حساب خـواص الخلـيط بمعرفـة تركيبه وخواص الغازات المكونة له.

(10.7)- خواص الخلائط الغازية Properties of Ideal Gaseous Mixture

قام العالم دالتون بعدة تجارب على الخلائط الغازية فوضع قانونـا باسـمه (Dalton’s Law)، وهذا نصه:

(يعتبر كل غاز فراغا بالنسبة لأي غاز آخر يختلط معه).

وقام العالم جبس فيما بعد بتطوير قانون دالتون وصياغة قانون جديد سمي بقانون جبس دالتـون (Gibbs-Dalton's Law). الذي يشمل ثلاث قواعد عامة للخليط الغازي تتعلق بـ :

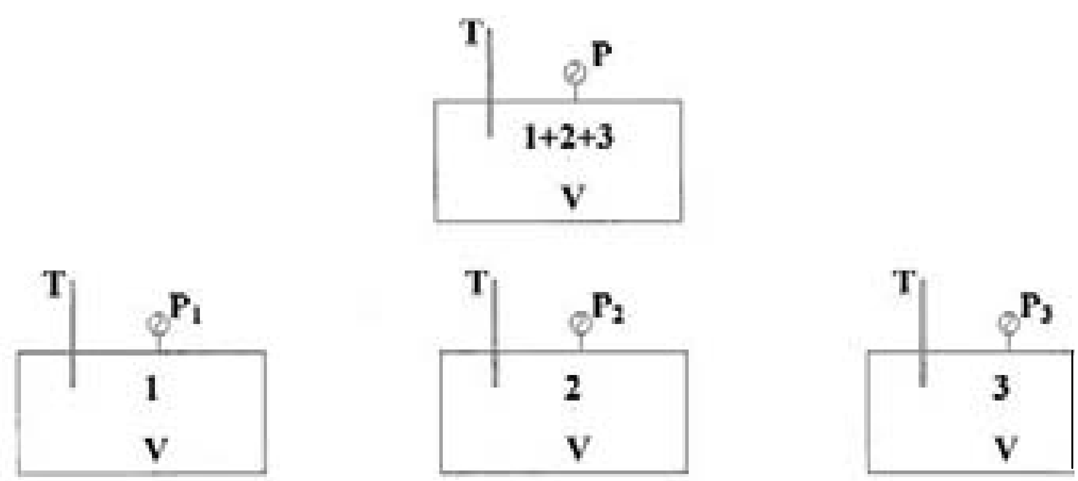
(1)ضغط الخليط والضغوط الجزئية للمكونات.

(2)الطاقة الداخلية، الانثالبي، الحرارة النوعية.

(3)الانتروبي.

ويمكن صياغة هذه القواعد بمعادلات جبرية وقوانين رياضية، وكما سنلاحظ خلال المناقـشات الواردة في أدناه:

(10.8)- ضغط الخليط والضغوط الجزئية Mixture & Partial Pressure



شكل(10.1)- خلط الغازات (V,T=Const.)

نفرض أن خليطا غازيا يتكون من الغازات المثالية (... ,3 ,2 ,1) ذو حجم ثابت ودرجة حرارة ثابتة، كما في الشكل (10.1)

فستكون خواص هذه الغازات كما يلي:

(1) انعدام التجاذب بين الجزيئات لأنها غازات مثالية.

(2) سيكون كل غاز مستقلا عن الاخر لأن درجة الحرارة ثابتة.

(3) سيسلط كل غاز ضغطا يتناسب مع عدد مولاته، كما لو كان وحده متواجدا في النظـام، يـسمى بالضغط الجزئي للغاز (Partial Pressure). لذلك صاغ دالتـون قـانون الـضغط الجزئـي (Dalton’s Law of Partial Pressure) التالي:

الضغط الكلي للخليط (P_T) يساوي مجموع الضغوط الجزئية لمكوناته بثبوت الحجـم ودرجـة الحرارة. فإذا كان (.. 1, 2, 3,) مكونات الخليط، وأن(W) تمثل النسبة الكتلية(Mass Ratio) للغاز في الخليط والتي تستخدم في التحليلات الوزنية. وأن (m_T)هي كتلة الخليط، فسيكون:

$$\mathbf{P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \text{..............................}(10.3)}$$

$$\mathbf{m_T = m_1 + m_2 + m_3 + \text{............................}(10.4)}$$

$$\mathbf{W_1 = \frac{m_1}{m_T}, W_2 = \frac{m_2}{m_T}, W_3 = \frac{m_3}{m_T} \text{...............}(10.5)}$$

$$\mathbf{W_1 + W_2 + W_3 = 1}$$

وإذا كان (R_T) تمثل ثابت الغاز للخليط واستنادا إلى المعادلة السابقة فإن:

$$\mathbf{\frac{m_T R_T T}{V} = \frac{m_1 R_1 T}{V} + \frac{m_2 R_2 T}{V} + \frac{m_3 R_3 T}{V}}$$

$$\mathbf{m_T R_T = m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3}$$

$$\mathbf{R_T = \frac{m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3}{m_T} = W_1 R_1 + W_2 R_2 + W_3 R_3 \text{...................}(10.6)}$$

(10.9)- الجزيئ الغرامي أو (المولي) للخليط (N_T)

إذا كان (M) تمثل الكتلة المولية و($\bar{R}$) تمثل ثابت الغاز العام وقيمته (8.314 kJ/kmol.K) فسيكون

$$N = \frac{m}{M}, R = \frac{\bar{R}}{M} \text{...}(10.7)$$

$$PV = mRT = NMRT = NM.\frac{\bar{R}}{M}.T = N\bar{R}T \text{...............}(10.8)$$

$$\because P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$\frac{N_T \bar{R} T}{V} = \frac{N_1 \bar{R} T}{V} = \frac{N_2 \bar{R} T}{V} = \frac{N_3 \bar{R} T}{V}$$

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 \text{..}(10.9)$$

(10.10)- الحجم المولي (Vmol) وثابت الغاز العام ($\bar{R}$)

Molar Volume & Universal Gas Constant

الحجم الجزيئي الغرامي أو الحجم المولي هو الحجم الذي يشغله الـ (kmol). وهو قيمـة ثابتـة لأي غاز عند (S. T. P.) تشتق كما يأتي:

$$\mathbf{V = \frac{N\bar{R}T}{P}}$$

$$\mathbf{\frac{V}{N} = \frac{\bar{R}T}{P}}$$

$$\mathbf{V_{mol} = \frac{\bar{R}T}{P} = \frac{M\bar{R}T}{P} = \frac{8.314 \times 273.15}{101.325} = 22.4 m^3 / kmol}$$

مما تقدم يتبين أنه عند (S. T. P.) فإن جميع الغازات تشغل حيزا مقداره ($22.4\ m^3$/kmol). أي أن:

V mol 1 =Vmol 2=Vmol 3= Vmol

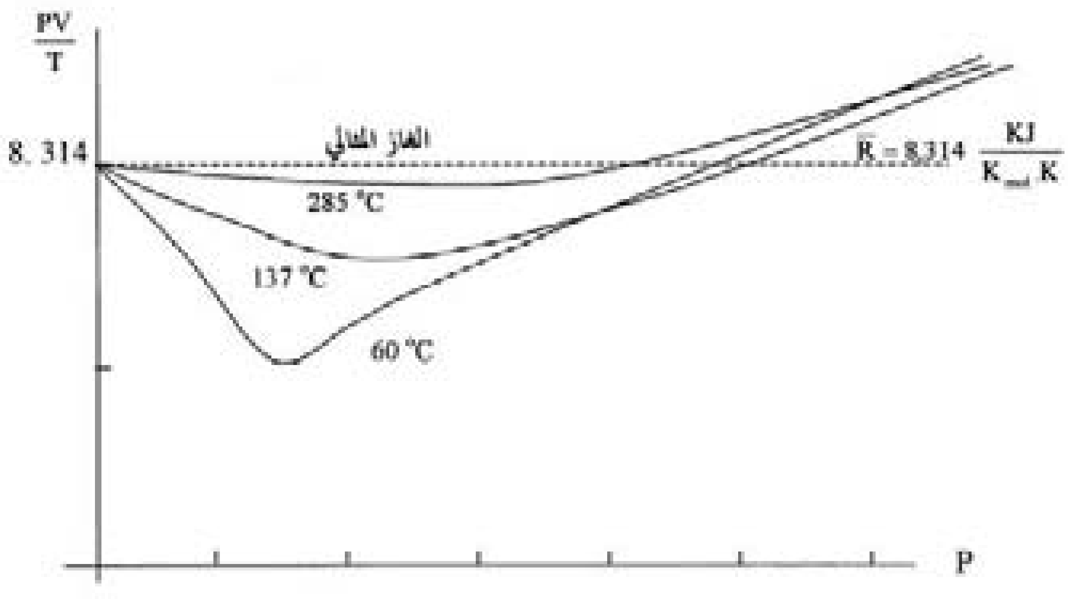
$$\frac{M_1R_1T}{P} = \frac{M_2R_2T}{P} = \frac{M_3R_3T}{P} = \frac{MRT}{P}$$

$$M_1R_1 = M_2R_2 = M_3R_3 = MR = \bar{R} = 8.314 kJ / kmol.K ....(10.11)$$

هذه القيمة ثابتة لجميع الغازات والخلائط عند (S. T. P.).

نعود إلى موضوع الثابت العام للغازات. إن معادلة الحالة لمادة ما هي العلاقة بين ضغطها (P) وحجمها النوعي(v) ودرجة حرارتها(T) . ولكل مادة متجانسة (صلبة ، سائلة ، غازية) معادلة حالة، لكننا سنكتفي بذكر معادلة الحالة للغازات المثالية والحقيقية ونصها ($\mathbf{\frac{pv}{T}}$).

عندما نأخذ مثلا غاز (CO_2)، سنلاحظ أن جميع المنحنيات تتلاقى في نقطة واحدة على محـور الصادات مهما اختلفت درجات الحرارة عند الضغوط المنخفضة . كما موضح في الشكل (10.2). أي أن المقدار ($\mathbf{\frac{pv}{T}}$) لا يعتمد على T.



شكل (10.2)- الثابت العام للغازات

كذلك بالنسبة للغازات الاخرى. أي أن هذه النقطة مشتركة لجميع الغازات وتسمى بالثابت العـام للغازات. فإذا كان (P) تمثـل الـضغط بوحـدات (Pa) ، (v) الحجـم النـوعي المـولي بوحـدات (m^3/kmol.K) فسيكون:

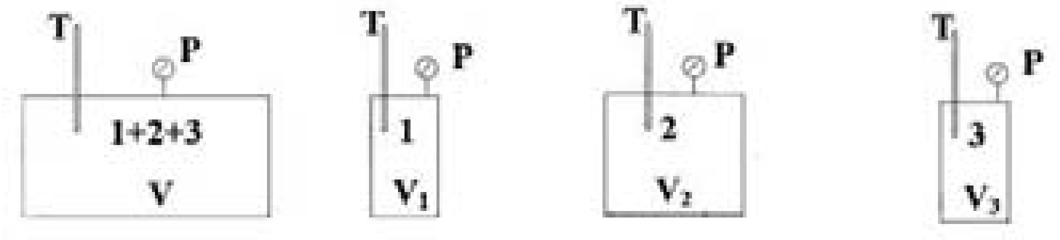
$$\frac{\mathbf{pv}}{\mathbf{T}}=\overline{\mathbf{R}} = 8.314 \text{ kJ/kmol.K}$$

أما بالنسبة للغازات المثالية فتنطبق جميع المنحنيات الموجودة في شكل (10.2) وتصبح خطـا افقيا تلتقي عند النقطة (8.314) والتي تمثل ($\overline{\mathbf{R}}$).

(10.11)- النسبة الجزيئية الغرامية (النسبة المولية) Mole Ratio or Mole Fraction

هي النسبة المولية أو الحجمية في الخليط. رمزها (X). تستخدم في التحليلات الحجمية والمولية والضغوط. ولغرض اشتقاق هذه المعادلة، نفترض وجود خزان يحتوي على غـازات (1,2 ,3 ,...) ، ضغطه ودرجة حرارته ثابتة، كما في الشكل (10.3). فسيكون:

$$\mathbf{P_T V_T = N_T \overline{R} T \Rightarrow \frac{V_T}{N_T} = \frac{\overline{R} T}{P}}$$



شكل (10.3)- فصل الغازات المكونة للخليط (P,T=Const.)

واذا أمكن فصل هذه الغازات ووضعها في حيز منفصل، كما في شكل (10.3) بحيـث يكـون الضغط ودرجة قبل وبعد الفصل متساوي. بعد الفصل بالنسبة للغاز الاول يكون:

$$\mathbf{P_1V_1 = N_1\bar{R}T \Rightarrow \frac{V_1}{N_1} = \frac{\bar{R}T}{P} \Rightarrow \therefore X_1 = \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_T}{N_T}} \text{..............................} \mathbf{(10.12)}$$

وهكذا بالنسبة لبقية الغازات. يلاحظ من خلال الشكل أن كل غاز بعد الفصل يشغل حجما يختلف عن الحجم الاخر. وحسب قانون اماجات (Amagat's Law) فسيكون:

$$\mathbf{V_T = V_1 + V_2 + V_3} \text{..} \mathbf{(10.13)}$$

$\mathbf{P_1V_T = N_1\bar{R}T}$ بالنسبة للغاز الاول قبل الفصل:

$\mathbf{P_TV_1 = N_1\bar{R}T}$ وبعد الفصل:

$$\mathbf{\therefore X_1 = \frac{V_1}{VT} = \frac{P_1}{P_T}} \text{..} \mathbf{(10.14)}$$

وهكذا بالنسبة لبقية الغازات. وبتعويض المعادلة (10.12) بـ (10.14) وعلى افتراض أن (i) رمز لأي غاز فسيكون:

$$\mathbf{X_i = \frac{Vi}{V_T} = \frac{Ni}{N_T} = \frac{Pi}{P_T}} \text{..................................} \mathbf{(10.15)}$$

$$\mathbf{X_1 + X_2 + X_3 = 1}$$

(10.12)- معدل الكتلة الجزيئية النسبية (الكتلة المولية) للخليط الغازي

Average Relative Molecular Mass of a Gas Mixture

$$\mathbf{M_T = \frac{m_T}{N_T} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{N_T} = \frac{M_1N_1 + M_2N_2 + M_3N_3}{N_T}}$$

$$\mathbf{= M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 = \sum M_iX_i}\text{.....................}\mathbf{(10.16)}$$

$$\mathbf{W_i = \frac{mi}{m_T} = \frac{M_iN_i}{M_TN_T} = \frac{M_i.X_iN_T}{M_T.N_T} = \frac{M_iX_i}{\sum M_iX_I}}\text{............}\mathbf{(10.17)}$$

The Density of Gas Mixture كثافة الخليط

$$\rho_T = \frac{\mathbf{M_T}}{\mathbf{V_{mol}}}\left[\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{kmol}} \times \frac{\mathbf{kmol}}{\mathbf{m^3}} = \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{m^3}}\right]$$

(10.13)- التحليل الحجمي والوزني Volumetric and Weight Analysis

ان مناقشة التحليل تشمل فقط الخلائط الغازية، كالهواء الجاف الخالي من بخار الماء والذي يتكون من الاوكسجين والنتروجين الجوي. أن النتروجين الجوي يشمل النتروجين، ثـاني أوكـسيد الكـاربون، الاركون، الكربتون، النيون والهيليوم. لذلك يمكن أن يقال ان الهـواء الجـاف يتكـون مـن (21%) اوكسجين و (79%) نتروجين جوي. هذه العناصر هي التي يجري عليها التحليل الوزني والحجمـي.

فإذا كان (i) تمثل غاز معين فسيكون:

(1) التحليل الوزني الذي يحسب بالمعادلة الاتية:

$$\mathbf{W_i = \frac{mi}{m_T}, \quad \Rightarrow \qquad W_1 + W_2 + W_3 = 1}$$

(2) التحليل الحجمي الذي يحسب كما يلي:

$$\mathbf{X_i = \frac{V_i}{V_T} = \frac{N_i}{N_T}, \Rightarrow \quad X_1 + X_2 + X_3 = 1}$$

(3) تحويل التحليل الحجمي إلى وزني حسب المعادلة التالية:

$$\mathbf{Wi = \frac{Mi.Xi}{\sum Mi.Xi}}$$

إن المعادلات سبق وإن مرت علينا في مناقشات سابقة.

مثال (10.1)

خليط يتكون من (H_2=5kg) ، (O_2=3kg)،(CO_2=7kg) احسب التحليل الوزني.

$$\mathbf{W_I = \frac{mi}{m_T}}$$

$$\mathbf{W_{H_2} = \frac{5}{15} = 0.333, \quad W_{O_2} = \frac{3}{15} = 0.2, \quad W_{CO_2} = \frac{7}{15} = 0.467}$$

مثال(10.2)

التحليل الوزني (النسب الوزنية) للهواء (N_2 75%) ، ($23\%O_2$) . ما هو التحليل الحجمي للمكونات، إذا كان (MO_2=32) ، (MN_2=28).

$$\mathbf{N_i = \frac{mi}{Mi} \Rightarrow N_{N2} = \frac{0.75}{28} = 0.02696}$$

$$\mathbf{N_{O2} = \frac{0.23}{32} = 0.00723}$$

$$\mathbf{NT = 0.03419}$$

$$\mathbf{X_i = \frac{Ni}{N_T} \Rightarrow \quad X_{N2} = \frac{0.02696}{0.03419} = 0.7809}$$

$$\mathbf{X_{O2} = \frac{0.00723}{0.03419} = 0.2115}$$

مثال (10.3)

التحليل الحجمي (النسب الحجمية) للهواء ($0.79N_2$) ، ($0.21O_2$). ما هي التحليل الوزني (النسب الكتلية) للمكونات ، إذا كان (MO_2=32) ، (MN_2=28)

$$\mathbf{Wi = \frac{mi}{m_t} = \frac{MiXi}{\sum MiXi} \Rightarrow \quad W_{N2} = \frac{28 \times 0.79}{28 \times 0.79 + 32 \times 0.21} = 0.767}$$

$$\mathbf{W_{O2} = \frac{32 \times 0.21}{28 \times 0.79 + 32 \times 0.21} = 0.233}$$

مثال (10.4)

التحلي الحجمي للهواء ($78,05\%N_2$) ، ($21\%O_2$) ، (0.95% غازات خاملة) فإذا كان (MN_2=28) ، (MO_2=32) ، (M=39.9 للغازات الخاملة). اوجد الكتلة المولية للهواء.

$$M_T = \frac{m_T}{N_T} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{N_T} = \frac{M_1N_1 + M_2N_2 + M_3N_3}{N_T}$$

$$M = \frac{28 \times 78.05 + 32 \times 21 + 39.9 \times 0.95}{78.05 + 21 + 0.95} = 28.95 kg/kmol$$

(10.14)- الطاقة الداخلية، الانثالبي، الحرارة النوعية والانتروبي للخليط

Internal Energy, Enthalpy, Specific Heat and Entropy of Mixture

استنادا إلى قانون جبس دالتون ، فإن أية خاصية شـاملة (Extensive Properties) لخلـيط الغازات تساوي إلى مجموع المساهمات الفردية لكل غاز من الغازات المكونة للخليط عندما يشغل كل منهما بمفرده حجم الخليط نفسه ويكون بنفس درجة حرارته.

فمثلا طاقة النظام تتألف من طاقة أجزاءه المركبة لذلك فإن مجموع الطاقات الجزئية للغـازات يساوي طاقة الخليط، لذلك ينص قانون جبس دالتون على ما ياتي:

الطاقة الداخلية، الانثالبي، الانتروبي للخليط يساوي مجموع الطاقة الداخلية، الانثالبي، الانتروبي لمكوناته عند ثبوت الحجم ودرجة الحرارة.

فإذا كان (S, H, U) هو الطاقة الداخلية، الانثالبي والانتروبي على التوالي ، فبالنـسبة للطاقـة الداخلية للخليط سيكون:

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.19)$$

$$\mu_T m_T = \mu_1 m_1 + \mu_2 m_2 + \mu_3 m_3$$

$$\mu_T = \frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2 + \mu_3 m_3}{m_T} = W_1\mu_1 + W_2\mu_2 + W_3\mu_3 \ldots (10.20)$$

ولإيجاد (CvT) للخليط نقول، بما أن $(\mu = \mathbf{CvT})$ فسيكون $(\mathbf{Cv} = \dfrac{\mu}{\mathbf{T}})$

وعند قسمة طرفي المعادلة (10.20) على (T) ينتج:

$$\frac{\mu_T}{T} = W_1\frac{\mu_1}{T} + W_2\frac{\mu_2}{T} + W_3\frac{\mu_3}{T}$$

$$\mathbf{Cv = W_1Cv_1 + W_2Cv_2 + WCv_2 + W_3Cv_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.21)}$$

وبالنسبة لانثالبي الخليط فسيكون

$$\mathbf{H_T = H_1 + H_2 + H_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.22)}$$

$$\mathbf{h_T m_T = h_1 m_1 + h_2 m_2 + h_3 m_3}$$

$$\mathbf{h_T = \frac{h_1 m_1 + h_2 m_2 + h_3 m_3}{m_T} = W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.23)}$$

ولإيجاد (Cp_T) لخليط نقول، بما أن $(h = CpT)$ فسيكون $(\mathbf{Cp} = \dfrac{\mathbf{h}}{\mathbf{T}})$ ، وعند قسمة طرفي المعادلة (10.23) على (T) ينتج:

$$\mathbf{\frac{h_T}{T_T} = W_1\frac{h_1}{T} + W_2\frac{h_2}{T} + W_3\frac{h_3}{T}}$$

$$\mathbf{CP_T = W_1CP_1 + W_2CP_2 + W_3CP_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.24)}$$

وبالنسبة لأنتروبي الخليط فإن:

$$s_T = s_1 + s_2 + s_3 \ldots\ldots (10.25)$$

$$s_T m_T = s_1 m_1 + s_2 m_2 + s_3 m_3$$

$$s_T = \frac{s_1 m_1 + s_2 m_2 + s_3 m_3}{m_T} = W_1 s_1 + W_2 s_2 + W_3 s_3 \ldots\ldots (10.26)$$

وبصورة عامة، وقبل تطبيق قوانين الغاز المثالي على الخليط الغازي ، فإن من الضروري تحديد الثوابت (Cp , Cv , γ , R , M) للخليط. عندئذ يمكن معالجة الخليط كغاز واحد له هذه الثوابت. وكمثال على ذلك فإن قيمة (R) للهواء هي (0.287kJ/kg.K) لكن هذه القيمة هي بالحقيقة القيمة المتوسطة للخليط الذي يحتوي بصورة رئيسية على الاوكسجين والنتروجين وغيرها من الغازات.

(10.15)- الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية (الحرارة النوعية المولية)

Mollar Heat Capacity

تعريفها نفس تعريف الحرارة النوعية ما عدا استبدال الـ (kg) بالـ (kmol). لذا فوحداتها (kJ/kmol.K). فإذا كان (c) تمثل حرارة نوعية ، و (C) حرارة نوعية جزيئية غرامية، والعلاقة بينهما هي (M =C/c)، وعليه يكون.

$$Mcv = Cv$$

$$Mcp = Cp$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{8.314 + Cv}{Cv} \ldots\ldots (10.27)$$

or

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{Cp}{Cp - 8.314} \ldots\ldots (10.28)$$

$$\because \mathbf{cp - cv = R}$$

ضرب الطرفين بـ M

$$Mcp - Mcv = MR = \overline{R} = 8.314$$

$$Cp - Cv = 8.314 \ldots\ldots (10.29)$$

(10.16)- معدل الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية للخليط الغازي

Average Molar Heat Capacity of Gas Mixture

إذا كانت (N_T) تمثل مجموع عدد الجزيئات الغرامية في الخليط، وإن ($Cv_{av.}$) تمثل معدل الحرارة النوعية الجزيئية، وإن ($N_1,N_2\ ,N_3,\ldots.$) هي عدد الجزيئات الغرامية لكل غاز في الخليط، وإن ($Cv_1,\ Cv_2,\ Cv_3,\ \ldots.$) هي الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية بثبوت الحجم لكل غاز في الخليط. إن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (N) جزيئات غرامية من الغاز درجة حرارة واحدة بثبوت الحجم هي (NCv)، ومنه فبالنسبة لخليط:

$$\mathbf{N_T Cv_T = N_1 Cv_1 + N_2 Cv_2 + N_3 Cv_3 = \sum NiCvi}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ \mathbf{(10.30)}$$

$$\mathbf{Cv_T = \frac{\sum NiCvi}{N_T} = \sum \frac{Ni}{N_T} Cvi = \sum XiCvi}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ \mathbf{(10.31)}$$

وبنفس الطريقة يمكننا إيجاد معدل الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية عند ثبوت الضغط وكالاتي:

$$\mathbf{N_T CP_T = N_1 CP_1 + N_2 CP_2 + N_3 CP_3 = \sum NiCpi}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ \mathbf{(10.32)}$$

$$\mathbf{Cp_T = \frac{\sum NiCpi}{N_T} = \sum \frac{Ni}{N_T} .Cpi = \sum XiCpi}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ \mathbf{(10.33)}$$

والمثال التالي يوضح موضوع الحرارة النوعية المولية:

مثال (10.5)

التحليل الحجمي لخليط ($29\%\ CO$)، ($12\%H_2$)، ($3\%CH_4$) ، ($4\%CO_2$)، ($52\%N_2$).

احسب للخليط القيم التالية:

cv , Cv, cp, Cp علما أن:

	CO	H_2	CH_4	CO_2	N_2
M	**28**	**2**	**16**	**44**	**28**
CP	**29.27**	**28.89**	**35.8**	**37.22**	**29.14**

$$Cp_T = \sum Xi.Cpi$$
$$= 0.29 \times 29.27 + 0.12 \times 28.89 + 0.03 \times 35.8 + 0.04 \times 37.22 + 0.52 \times 29.14$$
$$= 29.676 kJ/kg.K$$
$$Cv_T = Cp_T - \overline{R} = 29.676 - 8.314 = 21.362 kJ/kmol.K$$
$$M_T = \sum MiXi$$
$$= 28 \times 0.29 + 2 \times 0.12 + 16 \times 0.03 + 44 \times 0.04 + 28 \times 0.52$$
$$= 25.2 kg/kmol$$
$$cp_T = \frac{Cp_T}{M_T} = \frac{29.676}{25.2} = 1.178 kJ/kg.K$$
$$cv_T = \frac{Cp_T}{M_T} = \frac{21.362}{25.2} = 0.847 kJ/kg.K$$

(10.17) تغير الانتروبي نتيجة خلط الغازات المثالية

Entorpy Change Due to Mixing of Perfect Gases

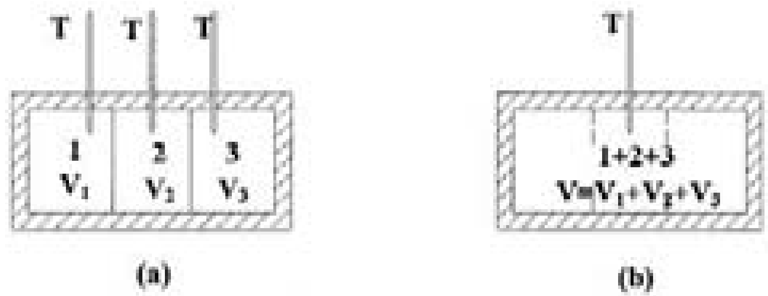
خلط الغازات يعتبر عملية تلقائية لاإنعكاسية، لأنه ليس بالامكان فصل الغازات عن بعضها، لذا يصبح انتروبي الخليط أكبر من مجموع انتروبي الغازات، أي يحصل إزدياد بالانتروبي، كما في العمليات الثرموديناميكية اللاإنعكاسية.

نفرض أن لدينا غازات (1, 2, 3, ...) منفصلة بحواجز عن بعضها موجوده في خزان معزول ذات ضغط (P) ودرجة حرارة ثابت. كما في الشكل (10.4).

شكل (10.4) - الخلط الادياباتي للغازات (P,T= Const,)

عند رفع الحواجز ستختلط الغازات إدياباتيا ولكن يبقى الضغط ودرجة الحرارة ثابت. وسيتمدد كل غاز بشكل حر حتى يملء الفراغ بأجمعه بحيث ينخفض ضغطه من ضغط كلي (P) إلى جزئي ($P_1, P_2, P_3, \ldots$).

تتم العملية دون تبادل حراري أو شغل مع المحيط الخارجي، أي (Q,W= O). وعند تطبيق القـانون الاول للحرارة على هذا النظام المغلق والمعزول فسيكون (Δ U= O)، وبالتالي ستكون درجة الحرارة ثابتة خلال عملية الخلط، كما في الشكل (10.5).



شكل (10.5)- ثبوت درجة الحرارة أثناء الخلط الادياباتي

لذا فإن قيمة كل من الطاقة الداخلية والانثالبي للغازات قبل الخلط هي نفسها بعـد الخلـط. وسـيكون مجموع تغير انتروبي الغازات نتيجة عملية الخلط الآيزوثرملية-الإدياباتية هي حسب المعادلات الاتية:

$$\Delta Si = Cv\ln\frac{T}{Ti} + R\ln\frac{V}{Vi} = Cp\ln\frac{T}{Ti} - R\ln\frac{P}{Pi} \text{..........................} (10.34)$$

$$\because T = Ti$$

$$\therefore \Delta si = R\ln\frac{V}{Vi} = R\ln\frac{P}{Pi} \text{..} (10.35)$$

أما بالنسبة للخليط فإن : $\Delta s = \sum \Delta si > 0$

وبما أن (V > Vi)، لذا فإن تغير الانتروبي في المعادلة أعلاه موجب دائما. أي أن عملية الخلط تؤدي إلى زيادة في الانتروبي دائما. أما إذا كانت اجراءات الخلط بولتروبية فنطبق المعادلة الاتية:

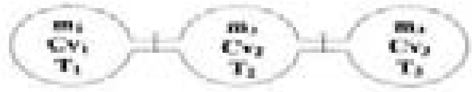
$$\Delta s = Cv\ln\frac{T}{Ti} + R\ln\frac{v}{vi} \text{....................................} (10.36)$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} R\ln\frac{v}{vi} \text{...} (10.37)$$

$$= Cv\frac{n - \gamma}{n - 1}\ln\frac{T}{Ti} \text{...} (10.38)$$

(10.18) خلائط الغازات المثالية ذات درجات حرارة وضغوط مختلفة

Mixture of Perfect Gases at Different Initial Pressures and Temperatures



شكل (10.6)- درجة الحرارة المشتركة للخليط

نفترض وجود ثلاثة اسطوانات معزولة تحتوي كل منها على غاز مثالي مختلف عن الغازات الاخرى من حيث الكتلة والضغط والحجم ودرجة الحرارة، تتصل هذه الاسطوانات بصمامات، كما في الـشكل (10.6).

إذا فتحت الصمامات ستختلط الغازات. إن درجة حرارة وضغط الخليط يأخذان قيمة وسـطية تحـدد بالمعادلة الآتية:

$$T_T = \frac{m_1Cv_1T_1 + m_2Cv_2T_2 + m_3Cv_3T_3}{m_TCv_T}$$

$$= \frac{W_1Cv_1T_1 + W_2Cv_2T_2 + W_3Cv_3T_3}{Cv_T} \quad ....(10.39)$$

امثلة محاولة

(10.6)

مسعر معزول حراريا فيه ماء كتلته (800g) ودرجة حرارته (15^oC). الماء موضوع داخل وعاء من الفضة كتلته (250g). الحرارة النوعية للفضة(0.234 kJ/kg.K). رمينا داخل الماء في المسعر قطعة من الألمنيوم كتلتها (200g) ودرجة حرارتها (100^oC). وبعد تعادل الحرارة كانت درجـة حـرارة الخليط (19.24^oC). فإذا علمت أن درجة الحرارة النوعية للماء (4.2kJ/kg.K). احـسب الحـرارة النوعية للألمنيوم.

$$t_T = \frac{m_wC_wt_w + m_sC_st_s + m_aC_at_a}{m_wC_w + m_sC_s + m_aC_a}$$

$$19.24 = \frac{0.8 \times 4.2 \times 15 + 0.25 \times 0.23 \times 15 + 0.2 \times Ca \times 100}{0.8 \times 4.2 + 0.25 \times 0.234 + 0.2Ca}$$

$$Ca = 0.88 kJ/kg.K$$

(10.7)

خلط (160L) ماء بدرجة حرارة (160^oC) مع (90L) ماء بدرجة حرارة (98.4^oC). ما هي درجة حرارة الخليط إذا أهملنا فقدان الحرارة إلى المحيط، وحسبنا أن الحرارة النوعية للماء ثابتة.

$$t_T = \frac{m_1c_1t_1 + m_2c_2t_2}{m_1c_1 + m_2c_2} = \frac{160 \times c \times 150 + 90 \times c \times 98.4}{160 \times c + 90 \times c} = 131.424^\circ C$$

(10.8)

من المعلوم إن الامونيا تصبح سامة إذا كانت نسبتها حجميا (0.55). احسب كتلة الامونيا المتسربة من ضاغط في حيز حجمه ($100m^3$) لكي يصبح الحيـز سـاما. الـضغط (1bar)، درجـة الحـرارة ($15\,^oC$)، الكتلة الجزيئية للأمونيا (17).

$$\mathbf{m_{NH_3}} = \frac{\mathbf{PV}}{\mathbf{RT}} = \frac{\mathbf{100 \times 0.55}}{\frac{\mathbf{8.314}}{\mathbf{17}} \times \mathbf{288}} = \mathbf{390kg}$$

(10.9)

قنينة من الحديد حجمها الداخلي يساوي (15 litter)، فيها غاز ثاني أوكسيد الكاربون تحـت ضـغط (110 bar) ودرجة حرارة (18^oC). احسب (أ)الكتلة. (ب)الحجم المولي. (ج)كثافة الغـاز. (د)عـدد المولات. علما أن:

MCO_2 =44Kg/kmol, R =0.185 kJ/kg.K

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{44} = 0.185kJ/kg.K$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{110\times10^2\times0.015}{0.185\times291} = 3.064kJ$$

$$V_{mol} = \frac{\bar{R}T}{P} = \frac{8.314\times291}{110\times10^2} = 0.22m^3/kmol$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{3.064}{0.015} = 204.27kg/m^3$$

$$N = \frac{V}{V_{mol}} = \frac{0.015}{0.22} = 0.0682kmol$$

(10.10)

(1kg) من (H_2)، المطلوب إضافة كمية من (O_2) إليه لكي تكون نـسبة حجـم الهيـدروجين إلـى الاوكسجين ($\frac{2}{1}$). احسب حجم الوعاء إذا كان الضغط الكلي (1 bar) ودرجة الحرارة (15^oC).

$$N_{H2} = \frac{mH_2}{MH_2} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$N_{O2} = \frac{mo_2}{Mo_2} = \frac{mo_2}{32}$$

$$\frac{NH_2}{N_{O2}} = \frac{2}{1} = \frac{0.5}{\frac{mo_2}{32}}$$

$$mo_2 = \frac{32\times0.5}{2} = 8$$

$$N_T = No_2 + NH_2 = 0.5 + \frac{8}{32} = 0.75$$

$$V = \frac{N\bar{R}T}{P} = \frac{0.75\times8.314\times288}{100} = 17.96m^3$$

(10.11)

خزان يحتوي على خليط من (CO_2 =1 kg)، (H_2 =0.8 kg) عند ضغط ($200kN/m^2$) ودرجـة حرارة ($18\,^oC$) فإذا اعتبرت CO ، H_2 غازات مثالية وكانت:

$Cp\ H_2$ =14.31 kJ/kg.K ، Cp_{CO} =1.042 kJ/kg.K

احسب:

(أ) Cv , Cp , R للخليط ، (ب) الحجم والحجم النوعي للخليط، (ج) الـضغط الجزئـي لمكونـات الخليط.

(1)

$$R_{CO} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{12+16} = 0.297 kJ/kg.K$$

$$R_{H_2} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{2} = 4.157 kJ/kg.K$$

$$R = \frac{\sum miRi}{\sum mi} = \frac{1\times 0.297 + 0.8 \times 4.157}{1+0.8}$$

$$= 2.015 kJ/kg.K$$

$$C_P = \frac{\sum miCpi}{\sum mi} = \frac{1\times 1.042 + 0.8 \times 14.31}{1+0.8}$$

$$= 6.938 kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R = 6.938 - 2.015$$

$$= 4.923 kJ/kg.K$$

(2)

$$V = \frac{mRT}{P} = \frac{1.8\times 2.015 \times 291}{200}$$

$$= 5.277 m^3$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{5.277}{1.8} = 2.931 m^3/kg$$

$$Nco = \frac{m}{M} = \frac{1}{28} = 0.0357 Mol$$

$$NH_2 = \frac{m}{M} = \frac{0.8}{2} = 0.4 Mol$$

$$N = \sum Ni = 0.0357 + 0.4$$

$$= 0.4357 Mol$$

$$Pco = P\frac{Nco}{N} = 200.\frac{0.0347}{0.4357} = 16.4 kPa$$

$$PH_2 = P\frac{NH_2}{N} = 200\frac{0.4}{0.4357} = 183.6 kPa$$

(10.12)

خليط غازي في إناء مغلق متكون من ($8\ kg\ O_2$)، ($7\ kg\ N_2$)، ($m\ kg\ CO_2$). الـضغط ودرجـة الحرارة ومجموع المولات لخليط هي ($416 kN/m^2$) ، ($60\,^oC$)، ($1\ kmol$) على التوالي احسب:

(أ) الكتلـة (m) لغـازCO_2. (ب) الـضغط الجزئـي لمكونـات الخلـيط. (ج) كثافـة الخلـيط.

(د) الضغط الكلي والحجم في الإناء عندما ترتفع درجة حرارة الخليط إلى (228^oC). علما أن :

M O_2 =32, M N_2 = 28, M CO_2 = 44

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$No_2 = \frac{8}{32} = 0.25kmol$$

$$NN_2 = \frac{7}{28} = 0.25kmol$$

$$Nco_2 = \frac{mco_2}{44} = kmol$$

$$N_T = No_2 + N_{N2} + Nco_2$$

$$1kmol = 0.25 + 0.25 + \frac{mco_2}{44}$$

$$mco_2 = 22kg$$

$$Nco_2 = \frac{22}{44} = 0.5kmol$$

$$(2)Po_2 = p\frac{No_2}{N} = 416\frac{0.25}{1} = 104kN/m^2$$

$$PN_2 = P\frac{NN_2}{N} = 416\frac{0.25}{1} = 104kN/m^2$$

$$Pco_2 = P\frac{Nco_2}{N} = 416\frac{0.5}{1} = 208kN/m^2$$

$$(3)V = \frac{N\overline{R}T}{P} = \frac{1.8\times314\times333}{416}$$

$$= 6.7m^3$$

$$m = mo_2 + mH_2 + mco_2$$

$$= 8 + 7 + 22 = 37kg$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{37}{6.7} = 5.5kg/m^3$$

$$(4)V = Vo_2 = V_{N2} = Vco_2$$

$$= 6.7m^3$$

$$P = \frac{N\overline{R}T}{V} = \frac{1\times8.314\times501}{6.7}$$

$$= 625.9kN/m^3$$

طريقة اخرى لاستخراج (P)

$$P_2 = \frac{mRT_2}{V} = \frac{37\times0.225\times501}{6.7}$$

$$= 625.9kN/m^2$$

(10.13)

خليط غازي متكون من (2 mol He)، (3 mol N_2)، (4 mol CO)، (7 mol Air).احسب:

(أ) ثابت الغاز للخليط (R). (ب) الحرارة النوعية (Cp) و(Cv) والنسبة بينهما (γ) للخليط. على اعتبار أن الهواء يتكون من الاوكسجين والنيتروجين فقط وبالنسب التالية (N_2 =79%) ، (O_2 =21%)، علما أن :

	He	N_2	CO	O_2
Cp (kJ/kg.K)	2.22	1.046	1.046	0.92
Cv (kJ/kg.K)	0.17	0.754	0.754	0.67
M (kg/kmol)	4	28	28	32

$$N_{N2} = 3 + 7 \times 0.79 = 8.53 Mol$$

$$No_2 = 7 \times 0.21 = 1.47 Mol$$

$$N = NH_e + N_{N2} + Nco + N_{air}$$
$$= 2 + 3 + 4 + 7 = 16 Mol$$

or

$$N = NH_e + N_{N2} + Nco + No_2$$
$$= 2 + 8.53 + 4 + 1.47 = 16 Mol$$

$$XH_e = \frac{NH_e}{N} = \frac{2}{16} = 0.125$$

$$XN_2 = \frac{N_{N_2}}{N} = \frac{8.53}{16} = 0.533$$

$$Xco = \frac{Nco}{N} = \frac{4}{16} = 0.25$$

$$Xo_2 = \frac{No_2}{N} = \frac{1.47}{16} = 0.092$$

$$M = XM_{He} + XM_{N_2} + XM_{co} + XM_{o_2}$$
$$= 0.125 \times 4 + 0.533 \times 28 + 0.25 \times 28$$
$$+ 0.092 \times 32 = 25.368 kg/kmol$$

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{25.368}$$
$$= 0.327 kJ/kg.K$$

(2)

$$Mi = \frac{mi}{Ni} \Rightarrow mi = NiMi$$

$$m_{He} = 2 \times 10^{-3} \times 4 = 0.008 kg$$

$$m_{N_2} = 8.53 \times 10^{-3} \times 28 = 0.239 kg$$

$$m_{co} = 4 \times 10^{-3} \times 28 = 0.112 kg$$

$$m_{O_2} = 1.47 \times 10^{-3} .32 = 0.047 kg$$

$$Cp = \frac{\sum miCpi}{\sum mi}$$
$$= \frac{0.008 \times 2.22 + 0.239 \times 1.046 + 0.112 \times 1.047 + 0.0047 \times 0.92}{0.008 + 0.239 + 0.112 + 0.047}$$
$$= 1.053 kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R = 1.053 - 0.327$$
$$= 0.726 kJ/kg.K$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.053}{0.726} = 1.45$$

(10.14)

خزان يحتوي على خليط مكوناته الحجمية ($80\%\ H_2$)، ($20\%\ CO$). اريد إضافة كمية من (CO) ليكون الخليط مكون من ($50\%\ H_2$) و ($50\%\ CO$).احسب لكل (mol) كتلة الخليط وكتلة (CO) المضافة. علما أن الضغط ودرجة الحرارة في الخزان ثابتة. وكان: $MH_2 = 2$، $MCO = 28$.

$$M_m = \sum \frac{Vi}{V}.M$$

$$= 0.8 \times 2 + 0.2 \times 28 = 7.2$$

$$N_m = \frac{mm}{Mm} = \frac{mm}{7.2}$$

$$N_{H_2} = N_m . \frac{V_{H_2}}{V_T} = \frac{mm}{7.2} \times 0.8$$

$$= \frac{mm}{9}$$

$N_{H_2} = 0.8 \times 1 = 0.8$ **الابتدائي**

$N_{H2} = 0.8 - \frac{mm}{9}$ **المتبقي**

لكن لـ (mol) الخليط هو ($50\%H$)،($50\%CO$)

$$0.8 - \frac{mm}{9} = 0.5$$

$$m_m = (0.8 - 0.5) \times 9 = 2.7kg$$

$$\frac{mm}{7.2} = \frac{mco}{28}$$

$$m_{co} = \frac{2.7 \times 28}{7.2} = 10.5kg$$

(10.15)

خليط يتكون من ($1\ kmol$) (CO_2) و($3.5\ kmol$) هواء. موجود في وعاء عند ضغط ($1\ bar$) ودرجة حرارة (15^oC). التحليل الحجمي للهواء هو ($21\%\ O_2$)، ($79\%\ N_2$). احسب للخليط (1) كتل (CO_2) و(O_2) و(N_2) والكتلة الكلية. (2) Mm ,Rm (3) النسبة المئوية للكربون في الخليط.

$$Ni = \frac{Vi}{V}.N$$

$$N_{o2} = 0.21 \times 3.5 = 0.735kmol$$

$$N_{N2} = 0.79 \times 3.5 = 2.765kmol$$

$$m = N.M$$

$$m_{co2} = 1.44 = 44kg$$

$$m_{o2} = 0.735 \times 32 = 23.55kg$$

$$m_{N2} = 2.765 \times 28 = 77.5kg$$

$$m_m = 23.55 + 77.5 = 145.05kg$$

ان ($M=12$) تعني ان هناك ($12kg$) من الكربون لكل ($1kmol$) من (CO).

$$\%C = \frac{12}{145.05} = 8.27\%$$

$$N_m = N_{co2} + N_{o2} + N_{N2} = 4.5kmol$$

$$M_m = \sum \frac{Ni}{N}.Mi$$

$$= \frac{1}{4.5} \times 44 + \frac{0.735}{4.5} \times 32 + \frac{2.765}{4.5} \times 28$$

$$= 32.2kg / kmol$$

(10.16)

التحليل الوزني للهواء ($23.14\%\ O_2$) و ($75.58\%\ N_2$) و ($1.28\%\ Ar$) و($0.05\%\ CO_2$)، اوجد الثابت العام للهواء ($\overline{R}$) و(M)، علما أن:

$MO_2 = 32$, $M\ N_2 = 28$, $M\ Ar = 40$, $M\ CO_2 = 44$.

$$Ri = \frac{\overline{R}}{Mi}$$

$$R_{O2} = \frac{8.314}{32} = 0.259\,kJ/kg.K$$

$$R_{N2} = \frac{8.314}{28} = 0.2468\,kJ/kg.K$$

$$R_{Ar} = \frac{8.314}{40} = 0.208\,kJ/kg.K$$

$$R_{co2} = \frac{8.314}{44} = 0.1889\,kJ/kg.K$$

$$PV = mRT = T\sum miRi$$

$$mR = \sum miRi$$

$$R = \sum \frac{mi}{m} Ri = 0.2314 \times 0.2598 + 0.7553 \times 0.296$$

$$+ 0.0128 \times 0.208 + 0.0005 \times 0.1889$$

$$= 0.287\,kJ/kg.K$$

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

$$M_{air} = \frac{\overline{R}}{R} = \frac{8.314}{0.2871} = 28.96\,kg/kmol$$

(10.17)

نفس السؤال اعلاه. احسب التحليل الحجمي والضغوط الجزئية عندما يكون الضغط الكلي ($1\ bar$).

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O2} = \frac{0.2314}{32} = 0.00723\,kg/kmol$$

$$N_{N2} = \frac{0.7553}{28} = 0.02696\,kg/kmol$$

$$N_{Ar} = \frac{0.0128}{40} = 0.0032\,kg/kmol$$

$$N_{co2} = \frac{0.0005}{44} = 0.00001\,kg/kmol$$

$$N = \sum Ni = 0.03452\,kg/kmol$$

$$\frac{Vi}{VT} = \frac{Ni}{NT} = \frac{Pi}{PT} = Xi$$

$$X_{o2} = \frac{0.00723}{0.03452} = 20.95\%$$

$$X_{N_2} = \frac{0.02696}{0.03452} = 78.09\%$$

$$X_{Ar} = \frac{0.00032}{0.03452} = 0.93\%$$

$$X_{CO_2} = \frac{0.00001}{0.03452} = 0.03\%$$

$$P_{o_2} = 0.2095 \times 1 = 0.2095\,bar$$

$$P_{N_2} = 0.7809 \times 1 = 0.7809\,bar$$

$$P_{Ar} = 0.0093 \times 1 = 0.0093\,bar$$

$$P_{CO_2} = 0.0003 \times 1 = 0.0003\,bar$$

(10.18)

خزان حجمه ($0.4m^3$) ودرجة حرارته (15^oC) يحتوي على ($0.45kg$ CO) و($1kg$ Air).

احسب الضغط الجزئي لهذه المحتويات والضغط فـي الخـزان، إن التحليـل الـوزني للهـواء هـو ($23.3\%O_2$)، (76.7% N_2). علما أن:

M CO=28 ,M N_2=28, M O_2=32.

$$m_{O_2} = \frac{23.3}{100} \times 1 = 0.233kg$$

$$m_{N_2} = \frac{76.7}{100} \times 1 = 0.767kg$$

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O_2} = \frac{0.233}{32} = 0.0073kmol$$

$$N_{N_2} = \frac{0.767}{28} = 0.0274kmol$$

$$N_{co} = \frac{0.45}{28} = 0.01kmol$$

$$Pi = \frac{N\bar{R}T}{V}$$

$$P_{o_2} = \frac{0.0073 \times 8.314 \times 288}{0.4}$$

$$= 43.59kN/m^2$$

$$P_{N_2} = \frac{0.0274 \times 8.314 \times 288}{0.4}$$

$$= 164kN/m^2$$

$$P_{CO} = \frac{0.0161 \times 8.314 \times 288}{0.4}$$

$$= 96.2kN/m^2$$

$$P = \sum Pi = 43.59 + 164 + 96.2$$

$$= 303.8kN/m^2$$

(10.19)

خزان حجمه ($0.3m^3$) ودرجة حرارته (15^oC) يحتوي على ($7kg\ CO$)، ($4kg\ O_2$). احسب ضغط الخليط؟ واحسب الضغط بعد رفع درجة الحرارة إلى (40^oC).واحـسب النـسب الحجميـة والكتلـة الجزيئية؟

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O2} = \frac{4}{32} = 0.125kg/kmol$$

$$N_{CO} = \frac{7}{28} = 0.250kg/kmol$$

$$N = 0.125 + 0.250 = 0.375kg/kmol$$

$$P_1 = \frac{N\bar{R}T_1}{V} = \frac{0.375 \times 8.314 \times 288}{0.3}$$

$$= 29.93bar$$

$$P_2 = P_1(\frac{T_2}{T_1}) = 29.93(\frac{313}{288})$$

$$= 32.53bar$$

$$\mathbf{\frac{Vi}{VT} = \frac{Ni}{NT}}$$

$$\mathbf{\frac{V_{O2}}{V} = \frac{0.125}{0.375} = 0.333}$$

$$\mathbf{\frac{V_{CO}}{V} = \frac{0.25}{0.375} = 0.667}$$

$$\mathbf{M = \sum \frac{Vi}{V} Mi = 0.333 \times 32 + 0.667 \times 28}$$

$$\mathbf{= 29.33kg/kmol}$$

or

$$\mathbf{M = \frac{m}{N} = \frac{7+4}{0.375} = 29.33}$$

$$\mathbf{R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{29.33} = 0.283kJ/kg.K}$$

(10.20)

التحليل الحجمـي لأحـد الغـازات النفطيـة كمـا يلـي: ($12\%\ H_2$)، (29% CO)، ($3\% CH_4$)، ($4\%\ CO_2$)، (52% N2). احسب:

(أ) الحرارة النوعية المولية للخليط (Cv,Cp). (ب) احسب الحرارة النوعية لخليط (cv ,cp) علما أن الحرارة النوعية المولية (Cp) للمكونات هي:

	H_2	CO	CH_4	N_2	CO_2
Cp (kJ/kg.K)	**28.89**	**29.27**	**35.8**	**29.13**	**37.22**

$$\mathbf{Cp = \sum \frac{Vi}{V}.Cpi}$$

$$\mathbf{= 0.12 \times 28.89 + 0.29 \times 29.27 + 0.03 \times 35.8 + 0.04 \times 37.22 + 0.52 \times 29.14}$$

$$\mathbf{= 29.676 kJ / kmol}$$

$$\mathbf{Cv = Cp - R = 29.676 - 8.314 = 21.362 kJ / kmol.K}$$

$$\mathbf{M = \sum \frac{Vi}{V}.Mi = 0.29 \times 28 + 0.12 \times 2 + 0.03 \times 16 + 0.044 + 0.52 \times 28 = 25.2 kg / kmol}$$

$$\mathbf{cp = \frac{Cp}{M} = \frac{29.676}{25.2} = 1.178 kJ / kg.k, \quad cv = \frac{Cv}{M} = \frac{21.362}{25.2} = 0.847 kJ / kg.k}$$

(10.21)

التحليل الحجمي لخليط هو ($80\%\ H_2$)، (20% CO) ، المطلوب جعل النسب الحجمية للخليط ($50\%\ H_2$)، (50% CO). احسب لكل (1 N) من الخليط، كمية الخليط المطلـوب سـحبها وكميـة (CO) المطلوب اضافتها. اعتبر أن (P,V,T=C.).

الحل:

في المعادلة ($Pv=N\bar{\mathbf{R}}T$)، بما أن ($P,V,T,\bar{\mathbf{R}}=C.$) فيكون N = C. أي ان (N) المـسحوبة مـن الخليط = (N) من CO المضافة. واذا كان بالنسبة للخليط (N=1) فيكون عدد الجزيئـات المـسحوبة (Nd).

اذن (N) لـ (H_2) المسحوبة من الخليط = 0.8Nd

(N) لـ (H_2) المتبقية = NH2 = 0.8-0.8Nd

$$\mathbf{\frac{NH_2}{N} = 0.5 = \frac{NH_2}{1} = \frac{0.8 - 0.8Nd}{1} \Rightarrow Nd = 0.375}$$

اذن كتلة الخليط المسحوبة =

$$\mathbf{md = Nd.\frac{Vco}{V}.Mco + Nd.\frac{VH_2}{V}.MH_2}$$

$$\mathbf{= 0.375 \times 0.2 \times 28 + 0.375 \times 0.8 \times 2 = 2.7kg}$$

اذن كتلةCO المضافة = **0.375×28=10.5kg**

(10.22)

غاز نفطي نسبه الحجمية ($12\%\ H_2$)، ($60\%\ CH_4$)، ($8\%\ CO_2$)، ($20\%\ N_2$) يدخل إلـى غرفـة احتراق مرجل بدرجة حرارة (32^oC) وضغط ($1.2\ bar$) وبمعدل ($0.5\ m^3/s$). إذا كان كل ($1\ kg$) من (H_2) يحتاج إلى ($10\ kg$) من (O_2) وكل ($1\ kg$) من (CH_4) يحتاج إلى ($1.5\ kg$) مـن (O_2). احسب معدل جريان الهواء اللازم للأحتراق بالـ (m^3/s) إذا كانت درجة حرارته($310\ \ K$) وضغطه ($1.5\ bar$)، علما أن:

.M CH_4=16 , M H_2=2

$$\dot{V}H_2 = 0.12 \times 0.5 = 0.06 m^3/s$$

$$\dot{V}CH_4 = 0.6 \times 0.5 = 0.3 m^3/s$$

$$\dot{m}_{CH4} = \frac{PV}{RT} = \frac{150 \times 0.3}{\frac{8.314}{16} \times 305} = 0.284 kg/s$$

$$\dot{m}_{M2} = \frac{PV}{RT} = \frac{150 \times 0.06}{\frac{8.314}{2} \times 305} = 0.0071 kg/s$$

$$m_{O2} = 0.2839 \times 1.5 + 0.0071 \times 10 = 0.4968 kg/s$$

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O2} = \frac{0.4968}{32} = 0.0155$$

$$N_{N2} = \frac{0.4968}{32} \times \frac{79}{21} = 0.0584$$

$$N = \sum Ni = 0.0739$$

$$\dot{V} = \frac{N\bar{R}T}{P} = \frac{0.0739 \times 8.314 \times 3.0}{150} = 1.27 m^3/s$$

(10.23)

التحليل الحجمي لغاز العادم ($78\%\ N_2$)، ($12\%\ CO_2$)، ($10\%\ O_2$). احسب التحليل الوزني والكتلة إذا كان الضغط ودرجة الحرارة ($1\ bar$)، (550^oC).

$$mi = Ni.Mi$$

$$m_{N2} = 0.78 \times 21 = 21.8 kg$$

$$m_{CO2} = 0.12 \times 44 = 5.28 kg$$

$$m_{O2} = 0.1 \times 32 = 3.2 kg$$

$$m_T = 30.32 kg$$

$$Wi = \frac{mi}{m_T}$$

$$W_{N2} = \frac{21.84}{30.32} = 0.71$$

$$W_{CO2} = \frac{5.28}{30.32} = 0.174$$

$$W_{O2} = \frac{3.2}{30.32} = 0.105$$

$$M = \frac{m}{N} = \frac{30.32}{1} = 30.32$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{30.32} = 0.274 kJ/kg.K$$

$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{m}{v}RT \Rightarrow P = \rho RT$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{100}{0.274 \times 823} = 0.443 kg/m^3$$

(10.24)

هـواء يتـألف مـن $(21\%\ O_2)$ و$(79\%\ N_2)$ حجمـا. احـسب كتلـة الهـواء، وقيمـة الثوابـت (γ, Cv, Cp, M, R) للهواء. إذا كان :

$\overline{R}$=8.314 kJ/kg.K,
MO_2=32, cv O_2=0.66 kJ/kg.K,
M N_2=28, cv N_2=0.735 kJ/kg.K.

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

$$R_{O2} = \frac{8.314}{32} = 0.26 kJ/kg.K$$

$$R_{N2} = \frac{8.314}{28} = 0.297 kJ/kg.K$$

$$PV = mRT$$

$$P \times 0.21 = m_{O2} \times 0.26 \times T$$

$$P \times 0.79 = m_{N2} \times 0.297 \times T$$

$$\frac{m_{O2}}{m_{N2}} = \frac{0.21}{0.79} \times \frac{0.297}{0.26} = \frac{1}{3.29}$$

OR

$$76.6\% N_2, 23.3\% O_2$$

$$R_T = \frac{23.3 \times 0.26 + 76.7 \times 0.297}{23.3 + 76.7}$$

$$= 0.287 kJ/kg.K$$

$$M_T = \frac{8.314}{0.287} = 29.0$$

$$cv_T = \frac{23.3 \times 0.66 + 76.6 \times 0.753}{100}$$

$$= 0.718 kJ/kg.K$$

$$cp_T = cv_T + R_T = 0.718 + 0.287$$

$$= 1.005 kJ/kg.K$$

$$\gamma_T = \frac{cp_T}{cv_T} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$

لا يمكن ان نعتبر ان الهواء هو غاز واحد بهذه الثوابت.

(10.25)

التحليل الحجمي لخليط هو ($80\%\ H_2$)، ($20\%\ O_2$). حجم الخليط في الإناء ($0.7m^3$) عنـد درجـة حرارة (38^oC) وضغط ($350kN/m^3$). احسب (أ) كتلـة (H_2) و(O_2) فـي الإنـاء. (ب) الطاقـة الحرارية المطلوبة لرفع درجة حرارة الخليط إلى ($393\ K$) عند ثبوت الضغط. علما أن:

Cp_{H2} =14.4 kJ/kg.K, Cv_{H2} =10.4 kJ/kg.K,
Cp_{O2} =0.92 kJ/kg.K, Cv_{O2}=0.67 kJ/kg.K.

(1)

$$\frac{m_{H2}}{m}=\frac{M_{H2}\cdot\frac{V_{H_2}}{V}}{\sum Mi\frac{Vi}{V}}$$

$$=\frac{2\times0.8}{2\times0.8+32\times0.2}=0.2$$

$$\frac{m_{O2}}{m}=\frac{M_{O2}\cdot\frac{V_{O_2}}{V}}{\sum Mi\frac{Vi}{V}}$$

$$=\frac{32\times0.8}{2\times0.8+32\times0.2}=0.8$$

$$Cp=\frac{\sum miCpi}{\sum mi}=\frac{m_{H_2}Cp_{H_2}+m_{O_2}Cp_{O_2}}{m}$$

$$=\frac{m_{H_2}Cp_{H_2}}{m}+\frac{m_{O_2}Cp_{O_2}}{m}$$

$$=\frac{m_{H_2}}{m}Cp_{H_2}+\frac{m_{O_2}}{m}Cp_{O_2}$$

$$=0.2\times14.4+0.8\times0.92$$

$$=3.616kJ/kg.K$$

$$Cv=\frac{m_{H_2}}{m}CvH_2+\frac{m_{O_2}}{m}Cv_{O_2}$$

$$=0.2\times10.4+0.8\times0.67$$

$$=2.616kJ/kg.K$$

$$R=Cp-Cv=3.616-2.616$$

$$=1kJ/kg.K$$

$$m=\frac{PV}{RT}=\frac{350\times0.7}{1.311}$$

$$=0.787kg$$

$$\frac{m_{H_2}}{m}=0.2\Rightarrow m_{H_2}=0.2.m$$

$$=0.2\times0.787$$

$$=0.157kg$$

$$\frac{m_{O_2}}{m}=0.8\Rightarrow m_{O_2}=0.8.m$$

$$=0.8\times0.787$$

$$=0.629kg$$

(2)

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

$$=0.787\times3.616\times(393-311)$$

$$=233.35kJ$$

(10.26)

خليط غازي متكون من ($2\ mol\ O_2$)، ($5\ mol\ H_2$)، ($3\ mol\ CO$)، ضغط ودرجة حرارة الخلـيط ($24\ bar$) و(17^oC) على التوالي. احسب:

(أ) التحليل الحجمي. (ب) التحليل الوزني. (ج) ثابت الخليط (R). (د) الضغط الجزئي. وأن:

$MO_2=32$, $M\ H_2=2$, $M\ CO=28$.

$$\frac{V_{O_2}}{V}=\frac{N_{O_2}}{N}=\frac{2}{2+5+3}=0.2$$

$$\frac{V_{H_2}}{V}=\frac{V_{H_2}}{N}=\frac{5}{10}=0.5$$

$$\frac{Vco}{V}=\frac{Vco}{N}=\frac{3}{10}=0.3$$

$$M=\frac{V_{O_2}}{V}M_{O_2}+\frac{V_{H_2}}{V}M_{H_2}+\frac{Vco}{V}M_{CO}$$
$$=0.2\times32+0.5\times2+0.3\times28$$
$$=15.8kg/kmol$$

$$R=\frac{\overline{R}}{M}=\frac{8.314}{15.8}$$
$$=0.526kJ/kg.K$$

$$P_{O_2}=P\frac{N_{O_2}}{N}$$
$$=24\times0.2=4.8bar$$

$$P_{H_2}=P\frac{N_{N_2}}{N}=24\times0.5=12bar$$

$$P_{CO}=P\frac{Nco}{V}=24\times0.3=7.2bar$$

$$Wi=\frac{MiXi}{\sum MiXi}$$

$$W_{O_2}=\frac{32.0.2}{32\times0.2+2.0\times5+28\times0.3}$$
$$=40.5\%$$

$$W_{H_2}=\frac{2\times0.5}{32\times0.2+2\times0.5+28\times0.3}$$
$$=6.3\%$$

$$W_{CO}=\frac{28\times0.3}{32\times0.2+2\times0.5+28\times0.3}$$
$$=53.1\%$$

(10.27)

خليط غازي يتكون مـن (He=2Moles)، (N_2=3Moles)، (CO=4Moles)، (Air=7 Moles).

احسب: (أ) التحليل الحجمي للخليط (ب) وحوله إلى التحليل الوزني. علما أن:

	He	N_2	CO	O_2
M(kg/kmol)	**4**	**28**	**28**	**32**

$$\frac{Ni}{N}=\frac{Vi}{V}$$

$$\frac{NH_e}{N}=\frac{NH_e}{V}=\frac{2}{2+3+4+7}=0.125$$

$$\frac{N_{N2}}{N}=\frac{VN_2}{V}=\frac{3}{16}=0.1875$$

$$\frac{N_{CO}}{N}=\frac{VN_2}{V}=\frac{4}{16}=0.25$$

$$\frac{N_{O2}}{N}=\frac{VO_2}{V}=\frac{7}{16}=0.437$$

$$mi=Mi.Ni$$

$$m_{He}=4.2\times10^{-3}=0.008kg$$

$$m_{N2}=28.3\times10^{-3}=0.084kg$$

$$m_{CO}=28.4\times10^{-3}=0.112kg$$

$$m_{O2}=32\times7\times10^{-3}=0.224kg$$

$$m=\sum mi=0.428kg$$

$$Wi=\frac{mi}{M_T}$$

$$W_{He}=\frac{0.008}{0.428}=1.87\%$$

بنفس الطريقة يكون:-

W_{N2} =19.626% , W_{CO} =26.17% ,
W_{O2} =52.336%

(10.28)

خليط ضغطه (1.5 bar) وكتلتـه (2 kg) ودرجـة حرارتـه (27°C)، التحليـل الـوزني للخـليط (20% CO)، (5% H2)، (25% CO2)، (50% O2). ثم ضغط الخليط إدياباتيا إلى نصف حجمـه الاول. احسب:

(أ) التحليل الحجمي لمكونات الخليط. (ب) الثابت الغازي للخليط. (ج) الضغط الجزئي للمكونات. (د) الضغط النهائي للخليط. علما أن:

	CO	H_2	CO_2	O_2
Cp(kJ/kg.K)	1.04	14.4	0.82	0.9
N	28	2	44	32

$$Wi=\frac{mi}{\sum mi}\Rightarrow m_1=Wi.\sum mi$$

$$m_{CO}=0.2\times 2=0.4kg$$

$$m_{H_2}=0.1kg,\ m_{CO_2}=0.5kg,$$

$$m_{O_2}=1kg$$

$$Mi=\frac{mi}{Ni}\Rightarrow Ni=\frac{mi}{Mi}$$

$$Nco=\frac{0.4}{28}=0.0143kmoles$$

$$N_{H2}=\frac{0.1}{2}=0.05kmoles$$

$$Nco_2=\frac{0.5}{44}=0.011364kmoles$$

$$No_2=\frac{1}{32}=0.03125kmoles$$

$$N=0.1060kmoles$$

$$\frac{Vco}{V}=\frac{Vco}{N}=\frac{0.0143}{0.1069}=0.134$$

$$\frac{V_{H_2}}{VT}=\frac{V_{H_2}}{N}=\frac{0.05}{0.1069}=0.468$$

$$\frac{Vco_2}{VT}=\frac{Nco_2}{NT}=\frac{0.011364}{0.1069}=0.1063$$

$$\frac{Vo_2}{VT}=\frac{No_2}{NT}=\frac{0.03125}{0.1069}=0.29233$$

$$M=\sum\frac{Vi}{V}Mi$$

$$=3.742+0.9354+4.6772+9.353$$

$$=18.704kg/kmol$$

$$R=\frac{\overline{R}}{M}=\frac{8.314}{18.704}=0.4445kJ/kg.k$$

$$Pi=\frac{Vi}{V}.P$$

$$Pco=0.134\times 150=20.046kN/m^2$$

$$P_{H2}=0.468\times 150=70.16kN/m^2$$

$$Pco_2=0.1063\times 150=15.945kN/m^2$$

$$Po_2=0.2923\times 150=43.85kN/m^2$$

$$Cp=\frac{\sum miCpi}{\sum mi}$$

$$=\frac{0.4\times 1.04+0.1\times 14.4+0.5\times 0.82+1\times 0.9}{2}$$

$$=1.583kJ/kg.k$$

$$Cv=Cp-R=1.583-0.4445$$

$$=1.1385kJ/kg.k$$

$$\gamma=\frac{Cp}{Cv}=\frac{1.583}{1.1385}=1.39$$

$$P_2=P_1(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma}\ =150(\frac{2}{1})^{1.39}=3.9323bar$$

(10.29)

خزانان حجم كل منهما ($0.7\ m^3$) يفصل بينهما حاجز. احدهما يحتوي على الاوكسجين والآخر علـى نتروجين، عند ضغط ($7\ bar$) ودرجة (90^oC) لكل منهما. بعد رفع الحاجز يختلط الغازان إديباباتيـا. ما هي حالة الغاز النهائية وكم هو التغير في الانتروبي؟

درجة حرارة الخليط ستكون $\mathbf{T'} =$ T = 90+273 = 363 K

وضغط الخليط سيكون بعد الخلط P = $\mathbf{P'}$ = 7bar , $PO_2 = PN_2$

$$\mathbf{P = P_{O2} + P_{N2} = 3.5 + 3.5 = 7bar}$$

$$\mathbf{V_{O_2} = V_{N_2} = 0.7m^3}$$

$$\mathbf{R_{O_2} = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{32} = 0.26kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{R_{N_2} = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{28} = 0.297kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{m_{O_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{350 \times 1.4}{0.26 \times 363} = 5.2kg}$$

$$\mathbf{m_{N_2} = \frac{PV}{R} = \frac{350 \times 1.4}{0.297 \times 363} = 4.55kg}$$

$$\mathbf{\Delta S = m_{O_2} R_{O_2} \ln\frac{P}{P_{O_2}} + m_{N_2} R_{N_2} \ln\frac{P}{P_{N_2}}}$$

$$\mathbf{= (5.2 \times 0.26 + 4.55 \times 0.297) \ln\frac{7}{3.5}}$$

$$\mathbf{= 1.87kJ/kg}$$

(10.30)

التحليل الحجمي لخليط ($12\%\ CO_2$)، ($11.5\%\ O_2$)، ($76.5\%\ N_2$). درجة حرارتـه (1000^oC).
يتمدد إنعكاسيا بنسبة حجمية ($\frac{7}{1}$) حسب العلاقة ($Pv^{1.25}C$). احسب لكل (1 kg):
(أ) الشغل والحرارة المنتقلين. (ب) مقدار التغير في الانتروبي. علما أن :

$Cp\ N_2=1.172$ kJ/kg.K ،$Cp\ O_2=1.088$ kJ/kg.K ،$Cp\ CO_2=1.235$ kJ/kg.K

$$m=\sum NiMi=Nco_2Mco_2+No_2Mo_2+N_{N2}M_{N2}$$

$$=0.12\times 44+0.115\times 32+0.765\times 28=30.36kg$$

$$Cp=\sum\frac{mi}{m_T}.Cpi=\frac{5.28}{30.36}\times 1.235+\frac{3.68}{30.36}\times 1.088+\frac{21.42}{30.36}\times 1.172=1.173kJ/kg.K$$

$$R=\sum\frac{mi}{m}.\frac{\overline{R}}{M}=\frac{5.28}{30.36}\times\frac{8.134}{44}+\frac{3.68}{30.36}\times\frac{8.134}{32}+\frac{21.42}{30.36}\times\frac{8.314}{28}=0.2739kJ/kg.K$$

$$Cv=Cp-R=1.173-0.2739=0.899kJ/kg.K$$

$$T_2=T_1(\frac{V_1}{V_2})^{n-1}=1273(\frac{1}{7})^{0.25}=783.2K$$

$$w_{12}=\frac{R(T_1-T_2)}{n-1}=\frac{0.2739(1273-783.2)}{1.25-1}=536.3kJ/kg.K$$

$$q_{12}=w_{12}+Cv(T_2-T_1)=536.3+0.899(783.2-1273)=96kJ/kg$$

(B)

$$\Delta s_{12}=Cv\ln\frac{T_2}{T_1}+R\ln\frac{V_2}{V_1}=0.899\ln\frac{783.2}{1273}+0.2739\ln\frac{7}{1}=0.0963kJ/kg.K$$

or

$$\Delta s_{12}=\frac{\gamma-n}{\gamma-1}R\ln\frac{V_2}{V_1}=\frac{1.305-1.25}{0.305}\times 0.2739\ln\frac{7}{1}=0.0961kJ/kg.K$$

(10.31)

خليط يتكون من (16 moles N_2)، (4 moles O_2) تحت ضغط مقداره (3 bar) ودرجـة حـرارة مقدارها (40^oC). ثم ضغط بولتروبيا وفق القانون ($PV^{1.2}C.$) بحيـث اصـبح حجمـه ($\frac{1}{4}$)حجمـه الاصلي. احسب:

(أ) حجم الغاز قبل الإنضغاط. (ب) الثابت الغازي للخليط. (ج) الشغل اللازم لضغط الغاز. (د) مقدار التغير في الانتروبي. علما أن:

	Cp (kJ/kg.K)	**M (kg/kmol)**
O_2	**0.92**	**32**
N_2	**28**	**1.046**

$$N=\sum Ni=16+4=20\text{Moles}$$

$$V_{mol}=\frac{\overline{R}T}{P}=\frac{8.314\times 313}{300}$$

$$=8.674m^3/kmol$$

$$V=V_{mol}.N=8.674\times 20\times 10^{-3}$$

$$=0.173m^3$$

$$m_{N2}=28\times 16\times 10^{-3}=0.448kg$$

$$m_{O2}=32\times 4\times 10^{-3}=0.128kg$$

$$m_T=0.448+0.128=0.57kg$$

$$R=\frac{PV}{m_T}=\frac{300\times 0.173}{0.576\times 313}$$

$$=0.2887kJ/kg.K$$

$$T_2=T_1(\frac{V_1}{V_2})^{n-1}=313(\frac{4}{1})^{0.2}$$

$$=413K$$

$$\mathbf{W=\frac{mR(T_1-T_2)}{n-1}=\frac{0.576\times 0.2887(313-413)}{1.2-1}}$$

$$\mathbf{=-83.1456kJ}$$

$$\mathbf{Cp=\frac{\sum miCpi}{\sum mi}=\frac{mN_2CpN_2+mO_2CpO_2}{mN_2+mO_2}}$$

$$\mathbf{=\frac{0.448\times 1.046+0.128\times 0.92}{3.576}}$$

$$\mathbf{=1.018kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{Cv=Cp-R=1.018-0.2887}$$

$$\mathbf{=0.73kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{\gamma=\frac{Cp}{Cv}=\frac{1.018}{0.73}=1.396}$$

$$\mathbf{\Delta S_{12}=mCv\frac{n-\gamma}{n-1}\ln\frac{T_2}{T_1}}$$

$$\mathbf{=0.576\times 0.7293(\frac{1.2-1.396}{1.2-1})\ln\frac{413}{313}}$$

$$\mathbf{=-0.114kJ/K}$$

(10.32)

خزانان حجم كل منهما ($1.4m^3$) يفـصل بينهمـا حـاجز أحـدهما يحتـوي علـى (O_2) بـضغط (7 bar)ودرجة حرارة (150^oC) والآخر يحتوي على (CO_2) بـضغط (2 bar) ودرجـة حـرارة (15^oC) . أزيل الحاجز واختلط الغازان إدياباتيا. أهمل حجم الحاجز واحسب:

1-درجة حرارة الخليط ،وضغطه؟

2-صافي التغير في الانتروبي؟ علما أن :

Cp_{O2}=0.656 kJ/kg.K , **M_{O2}=32 kg/kmol**

Cp_{CO2}=0.643 kJ/kg.K **M_{CO2}= 44 kg**/kmol.

$$R_{O_2} = \frac{\bar{R}}{M_{O_2}} = \frac{8.314}{32}$$

$$= 0.26 kJ/kg.K$$

$$Cvo_2 = Cpo_2 - Ro_2 = 0.656 - 0.26$$

$$= 0.396 kJ/kg.K$$

$$Rco_2 = \frac{\bar{R}}{Mco_2} = \frac{8.314}{44}$$

$$= 0.189 kJ/kg.K$$

$$Cvco_2 = Cp_{co2} - Rco_2 = 0.643 - 0.189$$

$$= 0.454 kJ/kg.K$$

$$No_2 = \frac{PV}{RT} = \frac{700\times 1.4}{8.314\times 423} = 0.279 kmol$$

$$Nco_2 = \frac{PV}{RT} = \frac{200\times 1.4}{8.314\times 288} = 0.117 kmol$$

$$mo_2 = MN = 32\times 0.279 = 8.928 kg$$

$$m_{CO2} = MN = 44\times 0.117 = 5.148 kg$$

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

$$Um = Ua + Ub$$

$$T_m(m_aC_{va} + m_bCv_b) = m_aCv_aT_a + m_bCv_bT$$

$$tm = \frac{m_aCv_aT_a + m_bCv_bT_b}{m_aCv_a + m_bCv_b}$$

$$= \frac{8.928\times 0.396\times 423 + 5.148\times 0.454\times 288}{8.928\times 0.396 + 5.148\times 0.454}$$

$$= \frac{2168.6}{5.873} = 369K$$

$$N_T = 0.279 + 0.117 = 0.396 kmol$$

$$Pm = \frac{N_T\bar{R}T}{V} = \frac{0.396\times 8.314\times 369}{100\times 2.8}$$

$$= 4.04 bar$$

(a)

$$\Delta Si = mi(Cvi\ln\frac{Tm}{Ti} + Ri\ln\frac{Vm}{Vi})$$

$$= 8.928(0.396\ln\frac{369}{423} + 0.26\ln\frac{2.8}{1.4})$$

$$= 1.126 kJ/kg$$

(b)

$$\Delta Si = mi(Cvi\ln\frac{Tm}{Ti} + Ri\ln\frac{Vm}{Vi})$$

$$= 5.148(0.454\ln\frac{369}{288} + 0.189\ln\frac{2.8}{1.4})$$

$$= 1.1254 kJ/K$$

$$\Delta S = \Delta S_a + \Delta S_b$$

$$= 1.126 + 1.254 = 2.4 kJ/K$$

(10.33)

خليط من الهواء وغاز الميثان بنسبة جزيئة من الميثان إلى (3) جزيئات من الاوكسجين. احسب γ, R, Cv, Cp, cv, cp للخليط. بفرض إن مكونـات الهـواء بنـسب حجميـة ($21\%\ O_2$)، ($79\%\ N_2$). إذا ضغط الخليط من (1bar)، (95^oC) إديباباتيا حتى خمس حجمـه. احـسب درجـة الحرارة والضغط الجزئي والشغل لكل (1kg) من الخليط واحسب التغير فـي الانتروبـي والطاقـة الداخلية النوعية للخليط. علما أن: $N_{CH4}=1$, $N_{O2}=3$

Cv	Cp	المكونات:
20.825	29.14	N_2
21.076	129.341	O_2
27.48	35.797	C_{H4}

$$N_{CH_4}=1, \qquad No_2=3$$

$$\frac{N_{N2}}{N_{O_2}}=\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}}=\frac{0.79}{0.21}=\frac{N_{N2}}{3}$$

$$N_{N_2}=3\times\frac{79}{21}=11.286$$

$N_T=11.286+1+3=15.286$ عدد جزيئات الخليط

$$Cp_m=\sum\frac{Ni}{N}.Cpi$$

$$=\frac{1}{15.286}\times 35.797+\frac{3}{15.286}\times 129.341$$

$$+\frac{11.286}{15.286}\times 29.14$$

$$=29.624\,kJ/kmol.K$$

$$Cv=Cp-\overline{R}=29.624-8.314$$

$$=21.31\,KJ/Kmol.k$$

$$M_T=\sum\frac{Ni}{N}.Mi$$

$$=\frac{1\times 16}{15.286}+\frac{3\times 32}{15.286}+\frac{11.286\times 28}{15.286}=28$$

$$cp=\frac{Cp}{M}=\frac{29.624}{28}=1.058\,kJ/kg.K$$

$$cv=\frac{Cv}{M}=\frac{21.31}{28}=0.761\,kJ/kg.K$$

$$R=\frac{\overline{R}}{M}=\frac{8314.4}{28}=296.94\,kJ/kg.K$$

$$\gamma=\frac{Cp}{Cv}=\frac{1.058}{0.761}=1.39$$

$$P_2=P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}=1.(5)^{1.39}=9.4\,bar$$

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

$$=368(5)^{0.39}=689K=416^oC$$

$$\Delta s_{12}=s_2-s_1=0$$

$$\Delta\mu_{12}=\mu_2-\mu_1=Cv(T_2-T_1)$$

$$=0.761(415-95)=241\,kJ/kg$$

$$q_{12}-w_{12}=\Delta\mu_{12}=\mu_2-\mu_1-W_{12}$$

$$-w_{12}=\mu_2-\mu_1$$

$$w_{12}=\mu_1-\mu_2=-241\,kJ/kg$$

(10.34)

هواء وأول أوكسيد الكربون يجريان في منظومة مفتوحة بنسب وزنية (3) هواء و(1) CO يجهـز CO بضغط (4bar) ودرجة حرارة (15^oC) ويجهز الهـواء المتكـون مـن (N_2) و(O_2) بـضغط (7 bar)ودرجة حرارة (32^oC). إذا كان الضغط (1 bar)، احسب:

(1)درجة حرارة الخليط والضغط الجزئي للمكونات.

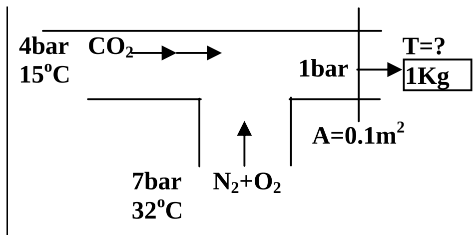
(2)الزيادة في الانتروبي النوعي.

(3)معدل الجريان الحجمي للخليط إذا كان جريان (CO) بمعدل (1 kg/min).

(4)سرعة جريان الخليط إذا كانت مساحة أنبوب الجريان بعد الخاط (0.1 m2). علما أن:

Cp O_2=0.9182 , Cp N_2=1.04, Cp CO=1.o41 kJ/kg.K

نأخذ (1kg) من الخليط الخارج:-



$$\frac{m_{air}}{m_{co}} = 3, \quad \frac{m_{co}}{m} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore m_{air} = 0.75kg$$

$$m_{co} = 0.25kg$$

اذن النسب الوزنية للهواء:-

$0.233O_2$, $0.767\ N_2$

$m_{O2}=0.233\times0.75=0.175kg$

$m_{N2}=0.767O0.75=0.575g$

الطاقة الداخلة = الطاقة الخارجة

$$(\sum mihi)_{in} = (\sum mihi)_{out}$$

$$\Rightarrow 0.175\times0.9182\times305+0.575\times1.05\times305$$
$$+0.25\times1.041\times288$$
$$= T(0.175\times0.9182+0\times575\times1.04$$
$$+0.25\times1.041)$$
$$306.351 = 1.0189T$$
$$\therefore T = 300.7K$$

	$\frac{Pi}{P}=\frac{Ni}{N}$	$\frac{Ni}{N}$	$N=\frac{m}{M}$	المكونات
P_{O2}	=0.156bar	0.1565	$\frac{0.175}{32}=0.00547$	O_2
P_{N2}	=0.588bar	0.588	$\frac{0.575}{28}=0.0205$	N_2
P_{CO}	=0.255bar	0.2556	$\frac{0.25}{28}=0.00893$	CO
			$N_T=0.03494$	

تغير الانتروبي:

$$\Delta s = \sum \Delta si$$

أ-بالنسبة للاوكسجين:

$$m = 0.175, T_1 = 305K$$
$$T_2 = 300\times7K, P_1 = 7\times0.21$$
$$= 1.47bar, P_2 = 0.156bar$$
$$\therefore \Delta S_{o2} = m(Cv\ln\frac{T_2}{T_1}+R\ln\frac{V_2}{V_1})$$
$$= m(Cp\ln\frac{T_2}{T_1}+R\ln\frac{P_1}{P_2})$$
$$= 0.175(0.9182\ln\frac{300.7}{305}+\frac{8.314}{32}\ln\frac{1.47}{0.156})$$
$$= 0.1kJ/K$$

ب-بالنسبة للنتروجين:-

$$m = 0.598, T_1 = 305K$$
$$T_2 = 300.7K, P_2 = 7\times0.79 = 5.53bar,$$
$$P_1 = 0.588bar$$
$$\therefore \Delta S_{N_2} = m(Cp\ln\frac{T_2}{T_1}+R\ln\frac{P_2}{P_1})$$
$$= 0.598(1.04\ln\frac{300.7}{305}+\frac{8.314}{28}\ln\frac{5.53}{0.588})$$
$$= 1.66kJ/K$$

ج-بالنسبة لـ CO:-

$$m = 0.25, T_1 = 288K$$
$$T_2 = 300.7K, P_1 = 4bar,$$
$$P_2 = 0.2556bar$$
$$\therefore \Delta s_{co} = m(Cp \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1})$$
$$= 0.25(1.041 \ln \frac{300.7}{305} + \frac{8.314}{28} \ln \frac{0.2556}{4}$$
$$= -0.2kJ/K$$
$$(\Delta S)total = \sum \Delta Si = 1.55kJ/K$$

(4)

$$\frac{m_{CO}}{m_T} = \frac{1}{4} \Rightarrow 1kg(CO)$$
$$= 4kg(mixture)$$

$\therefore$ عدد جزئيات الخليط =N=4×.03494

$$\dot{V} = \frac{NRT}{P}$$
$$= \frac{4 \times 0.03494 \times 8.314 \times 300.7}{100},$$
$$= 3.494m^3/min$$
$$\dot{V} = C.A$$
$$C = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{3.49m^3/min}{0.1m^2}$$
$$= 34.9m^3/min$$
$$= 0.58m/s$$

(10.35)

خزان حجمه ($0.3m^3$) ويحتوي على هواء، عند ($32\ ^oC$)،($7\ bar$) وخزان آخر حجمه ($0.03m3$) يتـصل بالاول بصمام ويحتوي على O_2 عند ($15\ ^oC$)،($21\ bar$) والمنظومة معزولة ، فتح الصمام بينهما.احـسب: (1)الضغط ودرجة الحرارة.(2) الضغط الجزئي للمكونات.(3) التحليل الحجمي للخليط.(4) قـيم γ, M, R, Cv, Cp. (5)الزيادة بالانتروبي النوعي.(6)التغير بالطاقة الداخلية النوعية والانثالبي النوعي إذا برد الخزان الى ($10\ ^oC$). افترض إن الهواء يتكون من نتروجين وأوكسجين بنسب حجمية ($0.79\ N_2$) ، ($0.21\ O_2$).

نأخذ الهواء في الخزان الاول:-

$$\mathbf{m_{O_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{700\times 0\times 3\times 0.21}{\frac{8.314}{32}\times 305}}$$

$$\mathbf{= 0.5565kg}$$

$$\mathbf{m_{N_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{700\times 0.3\times 0.79}{\frac{8.314}{28}\times 305}}$$

$$\mathbf{= 1.8318kg}$$

الاوكسجين في الخزان الثاني:-

$$m_{O_2} = \frac{Pv}{RT} = \frac{100\times 0.03}{\frac{8.314}{32}\times 288}$$

$$= 08419kg$$

$$U_1 = U_2 = \left[(mo_2)_1 T_1 + (mo_2)_2 T_2\right] Cvo_2$$

$$+ m_{N2} Cv_{N2} T_1$$

$$= (0.5565\times 305 + 0.8419\times 228)\times 0.6586$$

$$+ 1.8318\times 0.7436\times 305$$

$$= 686.923kJ = U_2$$

$$U_2 = (mo_2 Cvo_2 + m_{N2} Cv_{N2})T$$

$$T = \frac{686.923}{(0.5565 + 0.8419)0.586 + 1.8318\times 0.71\times 36}$$

$$= 300.9K$$

$$Po_2 = \frac{mo_2 Ro_2 T}{Vo_2} = \frac{(0.5565 + 0.8419)}{0.33}$$

$$\times \frac{8314.4}{32}\times 30 = 3.313bar$$

$$P_{N2} = \frac{1.8318\times 8314.4}{28.0.33}\times 300.9$$

$$= 8.273bar$$

التحليل الحجمي:-

$$\mathbf{Ni = \frac{mi}{Mi}}$$

$$\mathbf{No_2 = \frac{1.3984}{32} = 0.0427}$$

$$\mathbf{N_{N2} = \frac{1.8318}{28} = 0.0654}$$

$$\mathbf{N_T = 0.10912}$$

$$\mathbf{\frac{Vo_2}{V} = \frac{No_2}{N} = \frac{0.0437}{0.10912}\times 100 = 40.1\%}$$

$$\mathbf{\frac{VN_2}{V} = \frac{NN_2}{N} = \frac{0.0654}{0.10912} = 59.9\%}$$

$$\mathbf{Cv_m = \sum \frac{mi}{m} Cvi}$$

$$\mathbf{= \frac{(1.3984\times 0.6586 + 1.8318\times 0.743)}{3.2303}}$$

$$\mathbf{= 0.7068kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{Cp_m = \sum \frac{mi}{m} Cpi}$$

$$\mathbf{= \frac{(1.3984\times 0.9182 + 1.8318\times 1.04)}{(1.3984 + 1.8318)}}$$

$$\mathbf{= 0.9873kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{R_m = Cp - Cv = 0.2805}$$

$$\mathbf{M = \frac{\overline{R}}{R} = \frac{8314.4}{280.5} = 29.64}$$

$$\mathbf{\gamma = Cp/Cv = 1.3969}$$

تكملة

3-تغير انتروبي النتروجين في الخزان الاول:

$$m_{N2} = 1.8318Kg \times T_1 = 305K \times T_2$$
$$= 300.9K$$

$$V_1 = 0.3m^3, V_2 = 0.33m^3$$

$$\Delta S_3 = 1.8318(0.7436 \ln + \frac{300.9}{288}$$
$$+ \frac{8.314}{28} \ln \frac{0.33}{0.03}) = 1.342kJ/K$$

$$(\Delta S)total = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$
$$= 1.1426kJ/Kg$$

*تغير الطاقة الداخلية اذا برد الخزان الى 10^oC

$$\mathbf{U_2 - U_1 = mCv(T_2 - T_1)}$$
$$\mathbf{= (0.5565 + 0.8419 + 1.8318)}$$
$$\mathbf{\times 0.7068(10 - 27.7)}$$
$$\mathbf{= -40.4kJ}$$

*تغير الانثالبي:-

$$\Delta H = mCp\Delta T$$
$$= 3.23 \times 0.9873(10 - 27.7)$$
$$= -56.4kJ$$

$$\Delta \mu = \frac{\Delta U}{m} = \frac{-40.4}{3.23} = -12.5kJ$$

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{m} = \frac{-56.4}{3.23} = -17.45kJ$$

تغير الانتروبي:

1-تغير انتروبي الاوكسجين في الخزان الاول:

$$m_{o_2} = 0.5565Kg \times T_1 = 305K \times T_2$$
$$= 300.9K$$

$$V_1 = 0.3m^3, V_2 = 0.33m^3$$

$$\Delta S_i = m(Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1})$$

$$\Delta S_1 = 0.5565(0.6586 \ln \frac{300.9}{305}$$
$$+ \frac{8.314}{32} \ln \frac{0.33}{0.3})$$
$$= 0.009kJ/K$$

2-تغير انتروبي الاوكسجين في الخزان الصغير:

$$mo_2 = 0.8419kg \times T_1 = 288K \times T_2$$
$$= 300.9K$$

$$V_1 = 0.03m^3, V_2 = 0.33m^3$$

$$\Delta S_2 = 0.8419(0.6586 \ln \frac{300.9}{288}$$
$$+ \frac{8.314}{32} \ln \frac{0.33}{0.03})$$
$$= 0.075kJ/K$$

مسائل

(10.1)

خليط يتكون من ($5\ Moles\ O_2$) و ($10\ Moles\ N_2$) و($5\ Moles\ CO_2$). درجة حـرارة الخلـيط ($23\ ^oC$)وضغطه ($2\ bar$). وتم إضافة طاقة حرارية بضغط ثابت بحيث اصبح حجمه النهـائي(1.5) مرة بقدر حجمه الابتدائي. احسب:

(1)حجم الخليط النهائي. (2)الطاقة الحرارية الكلية المنتقلة . (3)التغير في الطاقة الداخلية، علما أن:

	O_2	N_2	CO_2
Cv (kJ/kg.K)	**0.65**	**0.727**	**0.639**
M (kg/kmol)	**32**	**28**	**44**

ج: ($0.246m^3$, 90.9kJ, 66.05kJ)

(10.2)

درجة حرارة وضغط خليط من الغازات ($150\ ^oC$) و($4\ bar$) على التوالي. التحليل الحجمـي لهـذه الغازات: ($81\%\ N_2$)، ($5\%\ O_2$) ، ($14\%\ CO_2$). احسب التحليل الوزني والضغط الجزئي لمكونات الخليط. وإذا تم تبريد ($2.3\ kg$) من الخليط تحت ضغط ثابت إلى درجـة حـرارة (15^oC). احـسب الحجم النهائي. علما أن:

MO_2=32 kg/kmol, M CO_2=44 kg/kmol, M N_2=28 kg/kmol

ج:($0.453m^3$,3.24bar,0.20bar,0.56bar,0.745,0.053,0.202)

(10.3)

خليط يتكون من ($30\%O_2$) والباقي نتروجين كنسبة حجم موجود في اسطوانة شاقولية فيهـا مكـبس عديم الاحتكاك. اضيفت إليه ($295kJ/kg$) من الحرارة بحيث اصبح حجمه ضعف حجمه الابتـدائي. فإذا علمت أن ضغط الخليط ودرجة حرارته في البداية كانت ($1.02\ bar$) و (20^oC) على التوالي وإن (MO_2=32kg/kmol, Cv N_2=0.754kJ/kg.K, MN_2=28kg/kmol).احسب: (1)الحـرارة النوعية بثبوت الحجم للأوكسجين. (2)الضغط الجزئي لكل من الأوكسجين والنتـروجين.(3)التحليـل الوزني للخليط.

ج:(0.645 kJ/kg.K, 0.306bar, 0.714bar, 32.9%, 67.1%)

(10.4)

خليط يتكون من غاز الهيليوم (He) والاركـون (Ar). كثافـة الخلـيط عنـد الظـروف القياسـية ($1.2Kg/m^3$).فإذا علمت بأن كتلة المول للهيليوم (4kg/kmol) وللاركون (40kg/kmol) جد لهـذا الخليط:

(1)الثابت الغازي (2)التحليل الحجمي (3)التحليل الوزني

ج:(94.56%, 5.43%, 0.365, 0.635, 0.309kJ/kg.K)

(10.5)

اسطوانة مجهزة بمكبس تحتوي على ($12mole\ H_2$) (Cv=14.3kJ/kg.K) تحـت ضـغط (1bar) ودرجة حرارة (15^oC). أضيف اليـه مـع تثبيـت المكـبس فـي موضـعه كميـة مـن (CO_2) (Cp=0.84kJ/kg.K). ووجد بعد الاضافة بـأن الـضغط أصـبح (2.45bar) ودرجـة الحـرارة ($40\ ^oC$). احسب:

(1)الكتلة وكمية المادة (عدد المولات) لـ (CO_2) المضاف. (2) الحرارة النوعية (Cp,Cv) للخليط.

(3) الشغل اللازم لضغط الخليط ادياباتياً الى نصف حجمه الاصلي.

ج:(0.66kg, 15.05moles, 1.311KJ/kg.K, 0.983KJ/kg.K, -0.557KJ)

(10.6)

اسطوانة فيها مكبس عديم الاحتكاك تحتـوي علـى ($3moles\ CO_2$) ($6mol\ N_2$) و($4\ moles\ O_2$) تحت ضغط مقداره (20 bar) ودرجة حرارة مقدارها ($300\ ^oC$) تمدد ايزوثرملياً الـى ان تـضاعف حجمه. احسب:

(1)الحجم والضغط ودرجة الحرارة النهائية للخليط.(2) الحرارة والشغل المنتقلين خلال الاجراء.

(3) التغير في الانتروبيي. (4)الحرارة النوعية بثبوت الحجم. (5)(γ) للخليط علماً ان:

	CO_2	O_2	N_2
Cp (kJ/kg.K)	0.85	0.97	1.039
M (kg/kmol)	44	32	28

ج:($0.06m^3$, 10bar, $300\ ^oC$, 42.5kJ, 0.074kJ/K, 0.707kJ/kg.K, 1.36)

(10.7)

خليط مكون من ($1\ kmol\ CO_2$)،($3.5\ kmol\ Air$). موجود في خزان ضـغطه ($1\ bar$) ودرجـة حرارة (15^oC). التحليل الحجمي للهواء ($21\%\ O_2$)، ($79\%\ N_2$). احسب للخليط:

(أ) كتل مكوناته والكتلة الكلية. (ب) النسبة الكتلية للكربون. (ج) الكتلة المولية للخليط.(د) ثابت الخليط (Rm). (هـ) الحجم النوعي للخليط.علما أن:

$M_c=12kg/kmol$, $MO_2=32kg/kmol$, $M\ N_2=28\ kmol$.

ج:($0.744m^3/kg$, $0.258kJ/kg.K$, $32.2kg/kmol$, 8.27%, $145.05kg$)

(10.8)

التحليل الحجمي لخليط غازات هو ($10\%\ CO_2$)، ($10\%\ O_2$)، ($80\%\ N_2$).درجة حرارة الخليط (1000^oC)تمدد الخليط حسب العلاقة ($PV^{1.25}=C$.) حتى اصبح حجمه (7) أمثال الحجم الابتدائي.احسب:

(1) التحليل الوزني للمكونات. (2) الشغل المنجز في الاجراء لكل ($1\ kg$) علما أن:

	CO_2	O_2	N_2
M (kg/kmol)	**44**	**32**	**28**

ج:($543kJ/kg$, 0.747, 0.107, 0.147)

(10.9)

خزان يحتوي على ($1\ kmol\ CO_2$)، ($0.735\ kmol\ O_2$)، ($2.765\ kmol$) ضغط الخزان ($1\ bar$) ودرجة حرارته (15^oC).احسب:

(1) كتلة N_2, O_2, CO_2 و كتلة الخليط.(2) النسبة الوزنية للكربون في الخليط.(3) الكتلة المولية (M) وثابت الغاز للخليط.(4) الحجم النوعي بالـ (m^3/kg).علما أن:

$MCO_2=44$, $MO_2=32$, $M\ N_2=28$

ج:($0.7435m^3/kg$, $0.2581kJ/kg.K$, 32.2,8.27%, $145.05kg$, $77.5kg$, $23.55kg$, $44kg$)

(10.10)

غاز يتكون من ($10\%\ H_2$)، ($15\%\ N_2$)، ($75\%\ C_4H_{10}$). إذا كانت كل جزيئة هيدروجين تحتـاج نصف جزيئة من الاوكسجين. وجزيئة البيوتان تحتاج (6.5) جزيئة أوكـسجين لأكمـال الاحتـراق. احسب:

(أ) معدل جريان الهواء اللازم للأحتراق ($1m^3/s$) إذا كان معدل جريان الغاز ($1m^3/s$) وكان ضغط ودرجة كل منهما ($1\ bar$) و (27^oC) ؟ إن نسبة الاوكسجين الوزنية في الهـواء (23.3%) والبـاقي نتروجين، علما أن:

	O_2	N_2	H_2	C
M (kg/kmol)	32	28	2	12

ج:($23.3m^3/s$)

(10.11)

غاز نفطي يجري بمعدل ($0.5\ m^3/s$) ودرجة حراره (27^oC) وكان تحليله الحجمي ($90\%\ C_3H_8$) ، ($10\%\ H_2$) حيث يختلط مع الهواء الذي درجة حرارتـه (45^oC) وتحليلـه الحجمـي ($79\%\ N_2$)، ($21\%\ O_2$). إذا كان كل ($1kg$) من البروبان يحتاج إلى ($5kg$) من (O_2). وكل ($1kg$) مـن (H_2) يحتاج ($10kg$) من (O_2). وكان ضغط المنظومة قبل وبعد الخلط ($1.1bar$). احسب:

(أ) معدل جريان الهواء بالـ (m^3/s).(ب) درجة حرارة الخليط ومعدل جريانه (m^3/s) عند الخـروج (قبل الاشتعال). (ج) التحليل الحجمي للخليط (قبل الاشتعال). علما أن:

	O_2	N_2	C_3H_8	H_2
Cp (kJ/kg.K)	0.92	1.04	1.69	14.3
M (kg/kmol)	32	28	44	2

ج:(76.432, 20.317, 2.926, 0.325, $16.235m^3/s$, 316.67K, $15.77m^3/s$)

(10.12)

خليط في نظام عبارة عن اسطوانة ومكبس يحوي الكيلو غـرام الواحـد علـى (4.95 Mole O_2) ، (23.2 Mole CO_2)، (1.65 Mole CO). تمدد الخليط داخل الاسطوانة من ضغط (54 bar) إلـى (1 bar). درجة حرارة الخليط قبل التمدد (1000^oC) وبعد التمدد (300^oC).اضيفت حـرارة خـلال التمدد تساوي (18%) من الشغل المنتج. احسب:

(1)التحليل الحجمي والوزني للخليط. (2) الضغط الجزئي لمكونات الخليط في نهايـة الاجـراء. (3) مقدار الشغل الناتج للكيلوغرام الواحد. (4) التغير في الانتروبي للكيلو غرام الواحد. علما أن:

	O_2	N_2	CO	CO_2
M (kg/kmol)	**32**	**28**	**28**	**44**
Cv (kJ/kg.K)	**0.659**	**0.744**	**0.745**	**0.657**

ج:(-0.0985kJ/kg.K, 612.9kJ/kg, 0.05bar, 0.1bar, 0.7bar, 0.15bar, 0.046, 0.146, 0.649, 0.159)

(10.13)

خليط في اسطوانة تحليله الحجمي (12% CO_2)،(11.5% O_2)،(76.5 % N_2) وتحت ضغط مقداره (2.6 bar) ودرجة حرارة مقدارها (510^oC). تم تبريده بثبوت الحجم إلى أن وصل ضغط الخليط إلى (1 bar). احسب:

(1)الضغط الجزئي لمكونات الخليط في بداية الاجراء. التحليل الوزني للخليط.

(2)مقدار الحرارة المطروحة أثناء الاجراء لكل كيلو غرام من الخليط.

(3)التغير في الانتروبي خلال هذا الاجراء لكل (1 kg) من الخليط. علما أن:

	CO_2	O_2	N_2
M (kg/kmol)	**44**	**32**	**28**
Cp (kJ/kg.K)	**0.846**	**0.918**	**1.04**

ج:(-0.685kJ/kg.K, -345kJ/kg, 1.989bar, 0.299bar, 0.312bar)

(10.14)

خليط تحليل الحجمي ($10\%\ CH_4$)،($19\%\ O_2$)،($71\%\ N_2$) موجود في نظام تحت ضـغط مقـداره ($1bar$) ودرجة حرارة (25^oC) وحجم ($0,2m^3$). ضغط إديباباتيا إلى ضغط مقدار ($7bar$). اوجـد (1)مقدار الشغل المضاف. (2) التحليل الوزني للخليط. علما أن:

	O_2	N_2	CH_4
Cp (kJ/kg.K)	**0.92**	**1.04**	**2.23**
M (kg/kmol)	**32**	**28**	**16**

ج:(0.721, 0.22, 0.05, -37.15kJ)

(10.15)

خليط تحليله الحجمي ($40\%\ CO_2$) ،($5\%\ O_2$)،($55\%\ N_2$) تحت ضغط مقـداره ($1bar$) ودرجـة حرارة مقدارها (25^oC)، يشغل حجم مقداره ($2m^3$).اوجد مايلي:

(1) كتل مكونات الخليط.(2) الاس الإدياباتي للخليط (γ). (3) التحليل الوزني للخليط. علما أن :

	CO_2	O_2	N_2
Cp (kJ/kg.K)	**0.846**	**0.92**	**0.743**
M (kg/kmol)	**44**	**32**	**28**

ج:(0.445kg, 0.046kg, 0.5kg, 1.428, 1.232kg, 0.128kg, 1.408kg)

References المراجع

(أ)- المراجع باللغة الإنكليزية

(1)Dwight, C. L and Harry, J.S. Thermodynamics.
California: books/cole Engineering Division.

(2)Eastop, T. D. and McConkey, A. Applied Thermodynamics Engineering Technologists.3rd ed. London:Longmans, 1978.

(3)Kett,P.W. motor Vehicle Scince. Part, London: Chapman and Hall, 1982.

(4)Mark,W.Z. and Ricgard, H.D. Heat and Thermodynamics.New York: McGraw-Hill, 1981.

(5)Mathur,M.L. and Shama, R.P. A course in Internal Combstion Engines. Fourth ed. Delhi: Dhanpat Rai & Sons, 1984.

(6)Rayner Joel, Basic Engineering Thermodynamics, 3rd ed. London: Longmans, 1976.

(7)Rogers & Mayhew. Engineering Thermodynamics, Work & Heat Transfer. 3rd ed. London: Longmans, 1983.

(8)Sen, S.P. Internal Combustion Engine (Theory and Practice),Second ed. Delhi: Khanna, 1984.

(9)Wallace, F.J. and Linning, W.A. Basic Engineering Therm0dynamics, Second ed. London: Pitman, 1977.

(10)William Z. Black & James G. Hartly, Thermodynamics, Harper & Row, New York, 1985.

(11)Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, Thermodynamics, Third Edittion, New York, McGraw-Hill, 1998.

(ب)- المراجع باللغة العربية

(1)ديناميات الحرارة للمهندسين، تأليف جسي.أس. دولتل، ترجمة د. صالح إسماعيل نجم وآخـرين، جامعة البصرة، 1988.

(2)الثرموديناميكا الهندسية، د. رمضان أحمد محمود، منشأة المعارف، إسـكندرية، الطبعـة الثالثـة، 1983.

(3)الحرارة التطبيقية للمهندسين، تأليف سنيدن وكير، ترجمة د. برهان محمود أحمد العلي وآخـرين، جامعة الموصل، 1992.

(4)ديناميكا الحرارة الميتالورجية. تأليف د. عارف أبو صفية، الجامعة التكنولوجية، بغداد، 1985.

(5)الحرارة التطبيقية ، تأليف تي. أج. توماس وأر. هنت، ترجمة د. فالح حسن خـصاف، الجامعـة التكنولوجية، بغداد، 1981.

(6)الحرارة والثرموداينميك، تأليف د. سمير خضر، آمنة أحمد رمزي، جامعة بغداد، كليـة العلـوم، 1978.

(7)الثرموديناميكس، تأليف فرانسيس وستون سيرس، ترجمة د.طـاهر مجيـد الـشربتي، د. رضـا جرجيس، جامعة البصرة، كلية التربية –قسم الفيزياء، 1980.

(8)الثرموديناميك، تأليف د. سامي مظلوم صالح وآخرين. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي-بغداد، 1978.

(9)الثرموديناميك والآلات الحرارية، د. مرتضى الكواكبي، جامعة حلب- كلية الهندسة، 1971.

(10)الثرموديناميكا الهندسية والنقل الحراري،تأليف فلاديمير ناشوكين، ترجمة د. محمد جواد المحمد، دار مير، موسكو، 1986.

(11)مبادئ ميكانيك الموائع، تأليف د. جميل الملائكة، جامعة بغداد، كلية الهندسة-بغداد، 1982.

(12)مبادئ الهندسة الحرارية والهيدروليكا، ، أ. تشيرنوف وآخرين، دارمير، 1980.

(13)مقدمة في ديناميك الحرارة الكيميائية، تأليف جي.ام.سمث واج. سي.فان نيس، ترجمة د. حسيب يحيى أحمد وآخرين. الجامعة التكنولوجية-بغداد، 1988.

(14)الديناميكا الحرارية، م.م. أيوت، سلسلة مختصرات سشوم دار ماكجرو-هيل للنشر،1980.

(15)مبادئ ديناميك الغازات، د. منذر إسماعيل، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، 1980.

(16)الحرارة والديناميكا الحرارية، تأليف مارك زيمانسكي، ترجمة د. محسن سـالم رضـوان، دار ماكجرو-هيل للنشر، 1981.