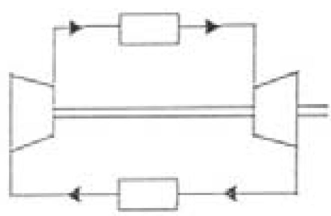
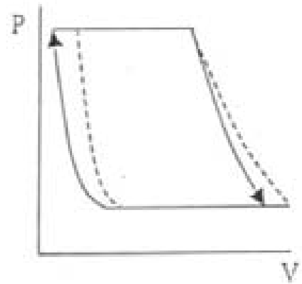
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة المكائن والمعدات

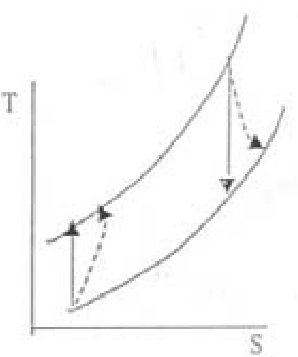
أساسيات داينمك الحرارة

بوحدات (SI)

مبادئ – تطبيقات – مسائل







(307) مسألة محلولة وأجوبة (151) مسألة.

تأليف

الدكتور رحيم جوي محي
أستاذ مساعد
رئيس فرع هندسة السيارات

الطبعة الأولى
2003

بسم ا   الرحمن الرحيم

(يرفَعِ الله الذِين آمنوا مِنكُم والذِين أُوتوا الْعِلْم درجاتٍ والله ِبما تعملُونَ خبِير)

صدق ا   العظيم

(سورةالمجادلة الآية:**11**)

بسم ا الرحمن الرحيم

الحمد رب العالمين،الحمد الذي له الحمد كله،وله الفضل كله،وله الخلق والامر كله،الحمـد الذي أنزل كتابه المبين،هداية للعالمين ونوراً للمؤمنين ،الحمد الذي علم بالقلم،علم الانسان مـالم يعلم،وصلاة ا وسلامه على من لارسول من بعده محمد بن عبد ا (ص) الرسول الامين الذي بعثـه ا بالحق وعلى آله وصحبه ومن سار على نهجه.

وبعد ، فقد وفقنا في إنجاز هذا الكتاب الموسوم "أساسيات داينميك الحرارة" لتلبية حاجات طلبـة كليات الهندسة لانه يتماشى مع مفردات المنهج المقررة لمتطلبات الدراسة الهندسية وبالأخص الهندسة الميكانيكية.

إن المصادر باللغة الانكليزية التي تعد لطلبتنا لغة يصعب اتقانها من دون ممارسة ولفترة طويلة ،بعض هذه المصادر ليست مؤلفة لتناسب مفردات المناهج المقررة حتى لو ترجمت إلى اللغة العربية، لذلك نرى من الضروري تأليف كتب منهجية تتناسب مع المفردات لزيادة قابلية استيعاب الطلبة للمادة العلمية واختصار الوقت والجهد المطلوب لذلك ،مع بقاء الكتب الاجنبية مصادر مساعدة .

من هنا جاء هذا الكتاب ليسهم في حركة نقل العلوم الهندسية بلغتنا الحبيبـة وليهـيء لطلبتنـا الاعزاء مادة غزيرة سهلة القراءة والفهم عن أساسيات علم داينميك الحـرارة فـي عـرض مبـسط وواضح.

يتضمن الكتاب (10) فصول بحسب المنهج المقرر وتشمل المواضيع التالية :

الوحدات والتعاريف الأساسية ،الضغط ودرجة الحرارة، الطاقة ، خواص الغـازات ، القـانون الاول لداينميك الحرارة ، الانظمة المفتوحة ، القانون الثـاني لـداينميك الحـرارة ، دورات القـدرة ،الانتروبي والخلائط الغازية،إن هذه الفصول دعمت بـ (307) مـسألة محلولـة وبوحـدات (S1)، لتوضيح المواضيع النظرية وكيفية استعمال (257) معادلة رياضية ، لكي يتمرس الطالب ذهنياً علـى كيفية حل هذه المسائل، كما يحتوي على اجوبة (151) مسألة وردت في امتحانات السنوات الماضـية لتغطي الجوانب كافة المتعلقة بالمواضيع المنهجية المقررة يستحسن ان يحلها الطالب بنفسه كي تكـون عوناً له في تعرف طبيعة هذه المواضيع وفهمها من خلال الممارسة والتدريب.

وأود هنا ان اتقدم بجزيل شكري وتقديري وامتناني لكل من أبدى ملاحظاته على هـذا الكتـاب وأخص بالذكر الاساتذة الاجلاء :

1. أ.د. مهندس منذر اسماعيل علي الدروبي ، رئيس قسم الهندسـة الميكانيكية،كليـة الهندسـة – جامعة بغداد – مقيم علمي .
2. العميد أ.م.د. مهندس قتيبة جميل مهدي الخشالي، معاون عميد كلية الهندسة العـسكرية، مقـيم علمي .

3. أ.م.د.ناهي ابراهيم العبيدي ، رئيس قسم اللغة العربية في كلية التربية- ابن رشد ،جامعة بغداد – مقيم لغوي .

كانت لملاحظات الاساتذة الأفاضل أثراً كبيراً في إغناء الكتاب وأود هنا أن اثبت وبفخر واعتزاز كبير بعض ملاحظاتهم حول الكتاب :

1. تم العرض بأسلوب جيد .
2. المصادر العلمية كافية .
3. الكتاب جيد ، يصلح للتدريس ، خاصة وانه مكتوب بلغة سلسة مفهومة ، ويحوي امثلة عديدة جداً مما يجعله ذا فائدة كبيرة .
4. ان الكتاب يصلح ككتاب منهجي شرط اجراء التصحيحات المقترحة* التي أود أن يأخذها المؤلف بنظر الاعتبار ،ولو تم ذلك فإن الكتاب يصبح كتاباً قيماً فعلاً صالحاً ككتاب مقرر .
5. جزا ا المؤلف كل خير وسدد خطاه لخدمة العلم ومريديه .

لقد جاء تأليف هذا الكتاب بناء على توصية مجلس قسم هندسية المكائن والمعدات المقترنة بمصادقة السيد رئيس الجامعة بكتابه المرقم 18 هـ مك /239/3 في 20 /4 /1999 . وبعد إنجازه وتقييمه الإيجابي ،حصلت موافقة وزارة الثقافة والاعلام / الرقابة / المسودات ، على طبعه برقم الإجازة 847 النافذة بتاريخ 2000/10/11 . واعتبر ضمن الكتب المنهجية التي ستوزع على الطلبة حسب مذكرة رئيس قسم هندسة المكائن والمعدات الموجهة إلى اللجنة الجامعية للشؤون العلمية بتاريخ 2000/10/16 . وتقرر اعتماده كتاباً " منهجياً " لموضوع ديناميك الحرارة بناء على توصية اللجنة الجامعية للشؤون العلمية والامر الجامعي المرقم ت م/ 609 في 2000/10/30 .

وفي الختام نعتذر عن كل هفوة ، ونرحب بأي نقد بناء أو مقترح او ملاحظة تسهم في إغناء هذا الكتاب الذي أمل ان يعود بفائدة كبيرة على الطالب عند دراسته للتطبيقات الهندسية .

وآخر دعوانا أن الحمد رب العالمين ، وا ولي التوفيق .

أ.م.د. رحيم جوي محي
رئيس فرع هندسة السيارات
قسم هندسة المكائن والمعدات
الجامعة التكنولوجية
أيلول-2003

---

* وبعد اجراء التصحيحات المقترحة أضيفت الملاحظة التالية:
يعتبر الكتاب وافي لمتطلبات منهج ديناميك الحرارة ،ولامانع من اعتماده.

المحتويات

الموضوع	الصفحة

المقدمة........ II
مقدمة الى ديناميك الحرارة........ X
الرموز والوحدات المستخدمة........ XI

1. الفصل الأول

الوحدات والتعاريف (1-25)

1.1- الابعاد والوحدات والرموز........ 1
1.2- النظام العالمي للوحدات........ 1
امثلة محلولة 9
1.3- تعاريف ومفاهيم أساسية 10
امثلة محلولة 18
1.4- التحليل البصري والتحليل المجهري........ 20
1.5- الخواص الثرموديناميكية........ 21
1.5.1- الخواص المستقلة وغير المستقلة 21
1.5.2- الخواص المركزة والشاملة 21
1.6- مخطط الحالة........ 22
1.7- دالة الحالة ودالة المسار 23
1.8- التوازن الثرموديناميكي........ 23
1.9- العملية والاجراء........ 25

2. الفصل الثاني

الضغط ودرجة الحرارة (26 - 44)

2.1- المفهوم الميكانيكي للضغط........ 26
2.2- الضغط الذي يسببه عمق المائع 27
2.3- الضغط الجوي 27
2.4- مقياس الضغط الجوي والباروميتر........ 28
2.5- المانوميتر 30
امثلة محلولة 32
2.6- المانوميتر المائل........ 33
2.7- مقياس بوردن 33
2.8- درجة الحرارة........ 34

2.8.1- الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري 35
2.8.2- مقاييس درجات الحرارة.. 35
امثلة ومسائل محلولة 39

الفصل الثالث

الطاقة (45- 71)

3.1- الطاقة 45
3.2- مصادر واشكال الطاقة 45
3.2.1- الطاقة المخزونة.. 46
3.2.2- الطاقة المنتقلة اوالعابرة 49
3.3- حفظ الطاقة.. 49
3.4- الشغل والحرارة 52
3.4.1 – خلفية تأريخية 52
3.4.2- العلاقة بين الحرارة والشغل 53
3.4.3- اشارة ووحدات الحرارة والشغل... 54
3.5- اشكال الشغل 57
3.5.1- الشغل الديناميكي 57
3.5.2- الشغل الازاحي.. 58
3.5.3- الشغل الصافي 59
3.5.4- القدرة الميكانيكية 61
3.5.5- اشكال الشغل الميكانيكي 61
3.6- المفهوم الثرموديناميكي للحرارة.. 63
3.7- الحرارة النوعية 64
امثلة محلولة ومسائل.. 67

4. الفصل الرابع

خواص الغـــــازات (72-84)

4.1- الغازات الحقيقية والمثالية.. 72
4.2- قانون بويل... 74
4.3- قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة.. 75
4.4- المحرار او المقياس الغازي ذو الضغط او الحجم الثابت...................... 77
4.5- المعادلة العامة للغاز المثالي 78
4.6- الانثالبي... 80

4.7- العلاقة بين الحرارتين النوعيتين 81
امثلة محاولة 82

5. الفصل الخامس

القانون الاول لديناميك الحرارة (85-159)

5.1- القانون الاول لديناميك الحرارة 85
5.2- تجربة جول 85
5.3- صيغ القانون الاول 86
5.4- معادلة الطاقة 88
5.5- العمليات شبه الساكنة 89
5.6- نتائج القانون الاول 90
5.7- الطاقة الداخلية او قانون جول 91
امثلة محاولة 92
5.8- الاجراءات اللاجريانية (الانظمة المغلقة) 98
5.9- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المغلقة 99
5.9.1- عملية ثبوت الحجم 99
5.9.2- عملية ثبوت الضغط 100
5.9.3- عملية ثبوت درجة الحرارة 101
5.9.4- العملية الادياباتية 101
5.9.5- العملية البولتروبية 106
امثلة محاولة 111

6. الفصل السادس

الانظمة المفتوحة (160-216)

6.1- الانظمة المفتوحة 160
6.2- الشغل الصافي 160
6.2.1- شغل عمود الادارة 161
6.2.2- شغل أو طاقة الجريان 161
6.3- معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة 163
6.4- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المفتوحة 165
6.4.1- المرجل والمكثفات البخارية 165
6.4.2- الضاغط والتوربين 167
6.4.3- تسلسل العمليات في الضاغط والتوربين 168

6.4.4- التوربينات الغازية 172
6.4.5- المنفث (البوق) والناشر (المبدد) 173
6.4.6- محرك الطائرة الدفعي (النفاث) 175
6.4.7- معادلة الاستمرارية 179
6.4.8- انواع اخرى في الانظمة المفتوحة 179
امثلة محلولة 185

7. الفصل السابع

القانون الثاني لديناميك الحرارة (217-239)

7.1- الاحتكاك 217
2.7-الانعكاسية او الاجراء الانعكاسي 218
7.3- الاجراء الانعكاسي 219
7.4- انواع الاجراءات اللاانعكاسية 221
7.5- المحرك الحراري 222
7.6- كفاءة نظام تحويل الطاقة او كفاءة المحرك الحرارية 224
7.7- المحرك الحراري المعكوس (المضخة الحرارية) 225
7.8- معامل الأداء 226
7.9- القانون الثاني لديناميك الحرارة 227
7.10- صيغ القانون الثاني 229
7.11- تكافؤ (تماثل) نصي كلفن بلانك وكلوزيوس 230
امثلة محلولة ومسائل 232

8. الفصل الثامن

دورات القدرة (240-276)

8.1- دورة الغاز المثالي 240
8.2- مبادئ كارنو 240
8.3- دورة كارنو 242
8.4- الكفاءة الحرارية 243
8.5- دورة كارنو المعكوسة 245
8.6- دورة كارنو والمقياس المطلق لدرجة الحرارة 246
امثلة محلولة 247

9. الفصل التاسع

الانتروبي (277-324)

9.1- الانتروبي 277
9.2- مخطط درجة الحرارة – الانتروبي (T-S) 277
9.3- الانتروبي دالة الحالة 280
9.4-متباينة كلوزيوس 281
9.5- تغير الانتروبي في العملية الادياباتية والانثرومليه الانعكاسية واللاانعكاسية 283
9.6- الكفاءة الايزنتروبية 284
امثلة محلولة 287
9.7- تغير الانتروبي في العمليات الانعكاسية 294
9.8- دورة كارنو على مخطط (T-S) 299
امثلة محلولة ومسائل 300

10. الفصل العاشر

الخلائـــط الغازيـــــــة (325-370)

10.1- العناصر والمركبات والخلائط 325
10.2- الذرة والكتلة الذرية النسبية (الوزن الذري) 325
10.3 الكتلة الجزيئية والكتلة الجزيئية النسبية (الوزن الجزيئي) 325
10.4- الجزيء الغرامي او المول 326
10.5- فرضية وعدد افوكادرو 327
10.6- الخلائط الغازية 327
10.7- خواص الخلائط الغازية 328
10.8- ضغط الخليط والضغوط الجزيئية 328
10.9- الجزيء الغرامي او (المولي) للخليط 329
10.10- الحجم المولي وثابت الغاز العام 330
10.11- النسبة الجزيئية الغرامية (النسبة المولية) 331
10.12-معدل الكتلة الجزيئية النسبية (الكتلة المولية) للخليط 333
10.13- التحليل الحجمي والوزني 333
امثلة محلولة 334
10.14- الطاقة الداخلية ،الانثالي،الحرارة النوعية والانتروبي للخليط 335
10.15- الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية (الحرارة النوعية المولية) 336

10.16- معدل الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية للخليط الغازي 337
10.17- تغير الانتروبي نتيجة خلط الغازات المثالية 338
10.18- خلائط الغازات المثالية ذات درجات حرارة وضغوط مختلفة............................... 339
امثلة محلولة ومسائل.. 340
المراجع.. 371

Introduction to Thermodynamics مقدمة إلى ديناميك الحرارة

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الثرموديناMكس) الثـر الـذي يـشمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي ،ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي يهمنا في الهندسـة الحراريـة لانـة يهـتم بما يأتي :

1. دراسة الطاقة (الحرارة والشغل) وتحولاتهما من شكل لآخر،أي التحول المتبادل بين الطاقة الحرارية والميكانيكية الذي يحدث مثلاً في المحركات الحرارية ، التوربينات الغازيـة او البخارية .... الخ ،وكذلك انتقال الحرارة بوساطة أجهـزة التكييـف بأسـتعمال الطاقـة الميكانيكية.
2. دراسة التغيرات في خواص او سلوك المائع (Fluid) عندما ينضغط أو يتمدد ، يسخن أو يبرد . وقد يكون المائع غازاً (مثل الهواء) أو بخاراً (مثل بخـار المـاء) ، أو سـائلاً أو خليطاً من هذه المواد شريطة أن لاتتفاعل مع بعضها كيميائياً .
3. دراسة العلاقة بين تغير خواص المائع وكميات الشغل والحرارة المسببة لهذا التغير .

يستند هذا العلم الى أربعة مبادئ أو قوانين أساسية وجدت بالتجربة وليس بالاشتقاق الرياضي ، هذه القوانين هي :

1. القانون الصفري : وهو قانون التوازن الحراري الذي بموجبه يتم تعريف درجة الحـرارة ، سمي بالصفري لان صياغته جاءت بعد صياغة القانون الاول .
2. القانون الاول : وهو صيغة خاصة من صيغ قانون حفظ الطاقة .
3. القانون الثاني : يحدد اتجاه سير العمليات ، أي اتجاه انتقال الطاقة ونسبة تحويـل الطاقـة المتنقلة .
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبين استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق .

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات توليـد الطاقـة ،المحركات الترددية والنفاثة والصواريخ، التوربينات الغازية والبخارية، مراجل البخار ، الضواغط ، اجهزة التكييف وغيرها . هنا اصبح من الضروري للمهندس الميكانيكي أن يلم بقوانين هذا العلم ويتفهم أسسه .

لقد كان تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة معروفاً منذ القرن الثامن عشر . وفـي منتـصف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحراريـة ،وقـد أسهم الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو، كيلفن،كلوزيوس وغيـرهم ، ومنـذ القـرن الماضي توسع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف .

الرموز والوحدات المستخدمة

الرمز	الكمية		الوحدة*	
			SI	BU
A	Area	المساحة	m^2	ft^2
a	Acceleration	التعجيل	m/s^2	ft/sec.^{2}
C	Velocity	السرعة	m/s	ft/sec.
C	Specific heat	الحرارة النوعية	J/kg.k	Btu/lbm.
D	Diameter	القطر	m	ft
E	Energy	الطاقة	J=N.m	Ft.lb,Btu
F	Force	القوة	N=kg.m/s^2	Lb_{f}=slug.ft/sec^2
g	Local acceleration of grafity	التعجيل الارضي	m/s^2	ft/sec^2
H	Enthalby	الانثالبي	kJ	Btu
h	Specific enthalby	الانثالبي النوعي	kJ/kg	Btu/lbm
J	Mechanical equivalent of heat	المكافئ الميكانيكي للحرارة	kcal=427kg.m	778,2ft.lbf/Btu
M	Molecular weight	الكتلة الجزيئية	kg/kg.mol	Lbm/lbm.mole
m	Mass	الكتلة	kg	Slug,lbm
$\dot{m}$	Mass flow rate	معدل التدفق الكتلي	kg/s	Slug/sec,lbm/sec.
N	Mole	الجزئي		
n	Polytropic index	الاس البولتروبي		
P	Pressure	الضغط	Pa = N/m^2	Lb_f/in^2=psi
P	Power	القدرة	W = J/s	Ft.lb/s,h.p
Q	Heat	الحرارة	kJ	Btu
$\dot{Q}$	Heat rate	معدل الحرارة	kJ/s = kW	Btu/sec.
q	Heat per unit	الحرارة لكل وحدة كتلة	kJ/kg	Btu/Lbm

* يرمز للنظام العالمي للوحدات ب(SI) (System International) اما النظام البريطاني للوحدات فرمزه (Bu) (British units) او (English) كما سيرد تفاصيله لاحقا.

R	Gas Constant	ثابت الغاز	kJ/.kg.K	Btu/ Lb. F
$\overline{R}$	Universal Gas Constant	الثابت العام للغازات	8.314kJ/kmol.K	1545 ft.lbf/mole.R
S	Entropy	الانتروبي	kJ / K	Btu /F
s	Specific Entropy	الانتروبي النوعي	kJ / kg . k	Btu/Lbm.ft
T	Absolute Temperature	درجة الحرارة المطلقة	K	F
T	Torque	العزم	N.m	Lbf . Ft
U	Internal Energy	الطاقة الداخلية	kJ	Btu
u	Specific Internal E .	الطاقة الداخلية النوعية	kJ / kg	Btu / Lbm
V	Volume	الحجم	m^3, Liter	Ft^3
W	Work	الشغل	J= N.m	Ft . Lb
$\dot{W}$	Work Rate	معدل الشغل	kJ/s =kW	Lbf . Ft/s
w	Work per Unit mass	الشغل لكل وحدة كتلة	kJ/kg	Btu / Lbm
X	Displacement.	ازاحة عامة	m	Ft
Z	Hight	الارتفاع	m	Ft

بعض الرموز اليونانية :

الرمز		الرمز	
α	Alpha	ø	Function , ph
β	Beta	π	النسبة الثابتة (باي)
γ	Gamma, Ratio of Specific heat	d	Differential,(derivative) تفاضل (مشتق)
Δ	Delta فرق محدد	θ	Theta
η	Efficiency , Etta الكفاءة	$\int$	Integration تكامل
ρ	Density , Rho الكثافة	Σ	Sigma , Summation جمع

مقدمة إلى ديناميك الحرارة Introduction to Thermodynamics

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الخرارة (الثرموديناماكس) الثـر الـذي يـشمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي ،ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي يهمنا في الهندسـ ـ ـ ـ ـ ـ ــة الحراريـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ــة لانـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ــه يهـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ــتم بما يأتي :

1. دراسة الطاقة (الحرارة والشغل) وتحولاتهما من شكل لآخر،أي التحول المتبادل بين الطاقة الحرارية والميكانيكية الذي يحدث مثلاً في المحركات الحرارية ، التوربينات الغازيـة او البخارية .... الخ ،وكذلك انتقال الحرارة بوساطة أجهـزة التكييـف بأسـتعمال الطاقـة الميكانيكية.
2. دراسة التغيرات في خواص او سلوك المائع (Fluid) عندما ينضغط أو يتمدد ، يسخن أو يبرد . وقد يكون المائع غازاً (مثل الهواء) أو بخاراً (مثل بخـار المـاء) ، أو سـائلاً أو خليطاً من هذه المواد شريطة أن لاتتفاعل مع بعضها كيميائياً .
3. دراسة العلاقة بين تغير خواص المائع وكميات الشغل والحرارة المسببة لهذا التغير .

يستند هذا العلم الى أربعة مبادئ أو قوانين أساسية وجدت بالتجربة وليس بالاشتقاق الرياضي ، هذه القوانين هي :

1. القانون الصفري : وهو قانون التوازن الحراري الذي بموجبه يتم تعريف درجة الحـرارة ، سمي بالصفري لان صياغته جاءت بعد صياغة القانون الاول .
2. القانون الاول : وهو صيغة خاصة من صيغ قانون حفظ الطاقة .
3. القانون الثاني : يحدد اتجاه سير العمليات ، أي اتجاه انتقال الطاقة ونسبة تحويـل الطاقـة المتنقلة .
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبين استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق .

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات توليـد الطاقـة ،المحركات الترددية والنفاثة والصواريخ، التوربينات الغازية والبخارية، مراجل البخار ، الضواغط ، اجهزة التكييف وغيرها . هنا اصبح من الضروري للمهندس الميكانيكي أن يلم بقوانين هذا العلم ويتفهم أسسه .

لقد كان تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة معروفاً منذ القرن الثامن عشر . وفـي منتـصف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحراريـة ،وقـد أسهم الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو، كيلفن،كلوزيوس وغيـرهم ، ومنـذ القـرن الماضي توسع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف .

الفصل الأول – الوحدات والتعاريف

(1.1) - الابعاد والوحدات والرموز Dimensions, Units & Symbols

لكل علم مصطلحات تعبر عن المعاني الدقيقة المختلفة التي تختص به. وهذه الالفاظ كثيراً مـا يختلف معناها الاصطلاحي عن معناها اللغوي العام، ومن هنا سميت بالمصطلحات. اما الرموز فـأن لكل علم مجموعة من الرموز تستعمل للدلالة على كميات او متغيرات او خـواص (Properties) او وحدات (Units) مختلفة. وقد بات كثير من هذه الرموز العلمية شائعاً ومشتركاً بين مختلف اللغات في الدول المتقدمة، بحيث اتخذ صفة عالمية تستلزم الأبقاء عليه وعدم ترجمته.

يمكن ملاحظة الابعاد او الكميات الطبيعية او المقادير الفيزياوية. اما الوحدة فأنها تحدد القيمـة العددية لهذا البعد. فمثلاً الزمن هو البعد اما الثانية او الدقيقة او الساعة فهي الوحـدة. وجـدول رقـم (1.1) يوضح هذه الابعاد ووحداتها في النظام العالمي للوحدات.

جدول (1.1) الابعاد والوحدات والرموز

الابعاد (الكميات الفيزياوية)		الوحدة		التعبير في SI
الاسم	الحرف الرمزي	الاسم	الحرف الرمزي	
الزمن	t	الثانية	s	s
الحجم	V	اللتر	L	10^{-3} m^3
الكتلة	m	الكيلوغرام	kg	kg
القوة	F	النيوتن	N	$kg.m/s^2$
الضغط	P	الباسكال	Pa	N/m^2
الطاقة	E	الجول	J	N.m
القدرة	P	الواط	W	J/s
الشغل	W	الجول	J	N.m
الحرارة	Q	الجول	J	N.m

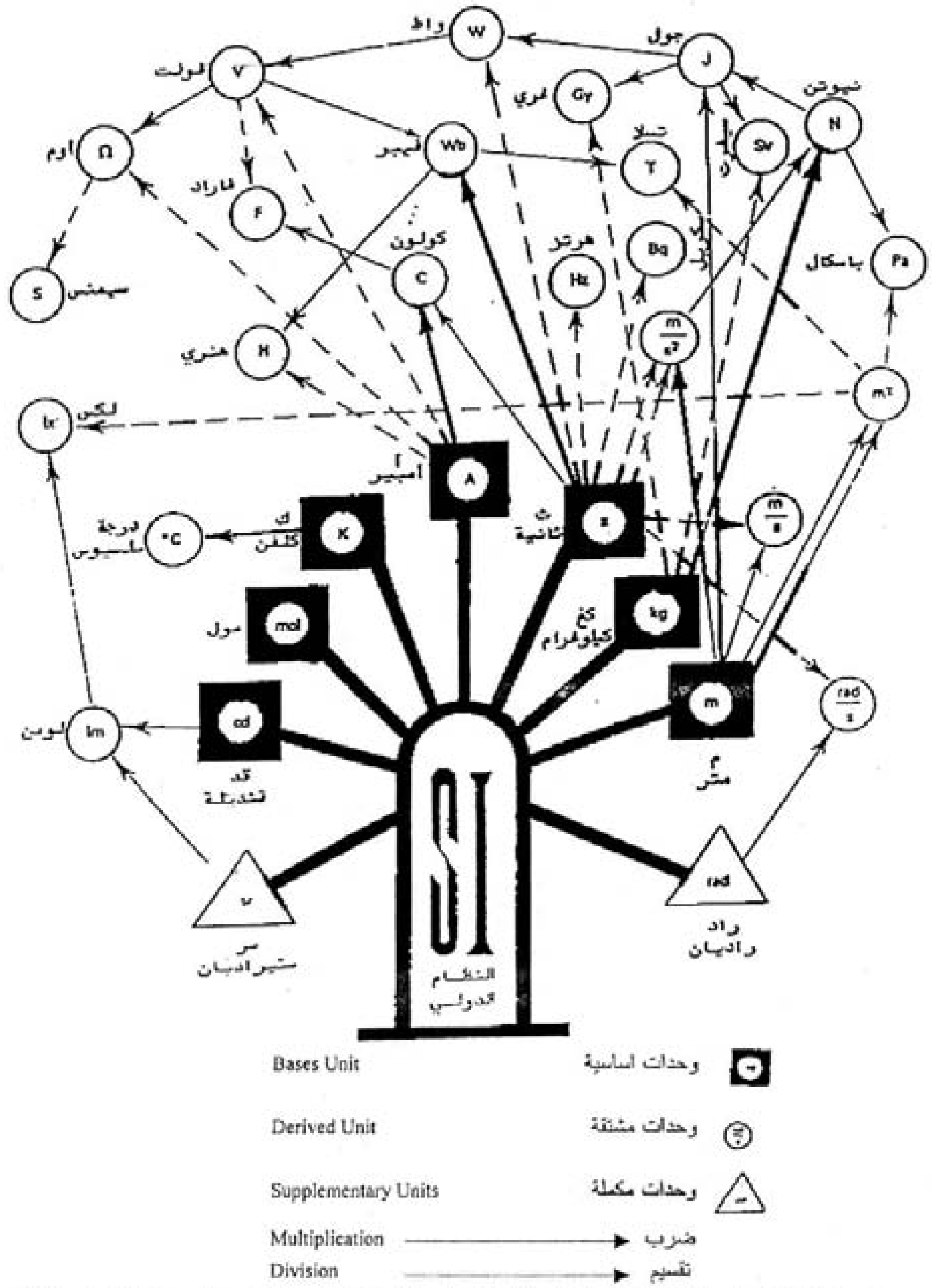
(1.2) - النظام العالمي للوحدات International System of Units

في عام (1960) أقر المؤتمر العام الحادي عشر للمعايير والاوزان استعمال هذا النظام. بعدئذٍ نال تباعاً إعتراف جميع الهيئات الدولية واكثرية دول العالم. ان الحاجة الى لغة عالمية للوحدات جعلت المنظمة العالمية للقياسات توصي بأستعمال هذا النظام الذي يرمز له بـ (SI). يتصف بكونـه نظـام

وحدات منسجماً. النظام المنسجم هو الذي يكون حاصل ضرب او قسمة وحدات أي كميتين فيه يمثـل وحدة الكمية الناتجة. فمثلاً المتر وحدة الطول والمتر المربع وحدة المساحة .... الخ. هذا النظام يسمى ايضاً بالنظام المتري الهندسي.

جدول (1.2) الوحدات الاساسية والمساعدة

	Quantity الكمية	**الرمز**	**Units**			
			SI		**English**	
A	**الوحدات الاساسية**					
1.	Length الطول	L	meter	m	foot	ft
2.	Mass الكتلة	m	Kilogram	kg	Slug or pound	Lbm
3.	Time الزمن	t	second	S	second	sec.
4.	Electric current التيار الكهربائي	I	ampere	A	Ampere	A
5.	Absolute Temperature درجة الحرارة المطلقة	T	Kelvin	K	RanKine	°R
6.	Amount of substance كمية المادة			kg-mole	Pound-mole	Lbm-mole
7.	Luminous intensity شـ ـ ـدة الاضـ ـ ـاءة (او الوميض)		candela	Cd	Candela	Cd
B	**الوحدات المساعدة**					
1.	Plane angle الزاوية المستوية		radian	Rad	Radian	Rad
2.	Solid angle الزاوية المجسمة		steradian	Sr	Steradian	Sr



تنتج الوحدة المشتقة من الوحدات الواقعة في بداية الاسهم الواردة الى الوحدة المشتقة المعنية. وذلك بضرب الوحدات الواقعة في بداية الاسهم المتصلة، وتقسيم الناتج على الوحدات الواقعة في بداية السهم المتقطعة. مثلا: 1 واط =1 جول/ ثانية

شكل (1.1)- شجرة الوحدات

يتكون النظام من (7) وحدات اساسية ووحدتين مكملة او مساعدة والموضحة في جدول رقـم (1.2). ومن مميزات هذا النظام انه يمكن اشتقاق وحدات أخرى تسمى بالوحدات المشتقة او المركبة، تشتق من الوحدات الاساسية نحتاج اليها في العلوم الهندسية، وذلك من خلال عمليات ضرب او قسمة للوحدات الاساسية، وكما موضح في شجرة الوحدات، شكل رقم (1.1)، او جدول رقم (1.3).

فمثلاً وحدة القوة هي النيوتن (N) الذي يعرف بأنه القوة التي تعجل كتلة كيلو غـرام واحـد (kg) متراً واحداً لكل مربع ثانية (m/s^2). فتصبح وحدة القـوة ($N = kg.m/s^2$)، ووحـدة الـشغل (N.m) ... الخ. وقد تختصر الوحدات المشتقة بمـصطلح بـسيط، فمـثلاً وحـدة الـشغل الجـول (J = N.m)، ووحدة القدرة الواط (W = J/s) ووحدة الضغط الباسكال ($Pa = N/m^2$) .... الخ.

وهناك نظام آخر للوحدات قليل الاستعمال هو النظام البريطـاني (British Units). فمـثلاً وحدة الكتلة في هذا النظام (Pound – mass) ورمزها (Lbm) يقابله في نظام (SI) الكيلـو غـرام الكتلي (Kilogram – mass)، ورمزه (kg.m). اما وحدة القوة في النظام البريطاني هـو الباونـد الثقلي (Pound – Force) ورمزه (Lbf). يقابله في نظام (SI) النيوتن (N) ووحدات اخرى، كمـا في جدول (1.3).

ان وحدة الكميات في نظام (SI) يقابلها وحدة كميات في النظام البريطاني، كما توضح جداول (1.2)، (1.3) الذي يبين وحدات بعض الكميات في النظامين. وجدول (1.4) يبين بعـض الوحـدات البريطانية. كما يمكن تحويل هذه الوحدات من نظام لآخر بموجب معامل التحويل المبينة فـي جـدول (1.5)، أو بموجب الحسابات للأمثلة التي سترد لاحقاً.

جدول رقم (1.3) الوحدات المشتقة

Quantity الكمية	الرمز	Dimensions	Units	
			SI	English
Area المساحة	A	L^2	m^2	ft^2
Volume الحجم	V	L^3	m^3	ft^3
Velocity السرعة	C	L/t	m/s	ft/sec.
Acceleration التعجيل	a	L/t^2	m/s^2	ft/sec^2
Angular Velocity السرعة الزاوية	ω	t^{-1}	s^{-1}	sec^{-1}
Force القوة	F	$m.L/t^2$	$kg.m/s^2$ = N (newton)	$slug.ft/sec^2$ = Lb (pound)
Density الكثافة	ρ	m/L^3	kg/m^3	$Slug/ft^3$
Specific weight الوزن النوعي		m/L^2t^2	N/m^3	Lb/ft^3
Frequency التردد	f	t^{-1}	s^{-1}	Sec^{-1}
Pressure الضغط	P	m/Lt^2	N/m^2 = Pa (pascal)	Lb/ft^2
Energy, Work, Torque الطاقة، الشغل، العزم	E W T	mL^2/t^2	N.m = J (Joule)	Ft.Lb
Heat rate, Power معدل الحرارة، القدرة	$\dot{Q}$	mL^2/t^3	J/s = W (watt)	Btu/sec.
Mass Flux تدفق كتلي	$\dot{m}$	m/t	kg/s	Slug/sec.
Flow rate معدل التدفق	$\dot{V}$	L^3/t	m^3/s	$Ft^3/sec.$
Specific heat الحرارة النوعية	C	$L^2/t^2.T$	J/kg.K	Btu/slug.°R

جدول (1.4) بعض الوحدات البريطانية

الوحدة	الرمز	الوحدة	الرمز
قدرة حصانية Horse-Power	h.p	British-Thermal Unit وحدة حرارية بريطانية	Btu
الانج - عقدة Inch	in	سعرة Calorie	Cal
ميل ارضي Mile Statute	mi	القدم Foot	Ft
ميل بحري - عقدة Mile Nautical	nmi	Foot-Pound	Ft.P
اونس Ounce	oz	قامة Fatham	Fath

وحدات اخرى:

Barel برميل نفط امريكي يعادل (159 L).

Bushel مكيال سعته (35 L).

Carat قيراط.

Chaldron مكيال انكليزي يعادل (36.4 L).

Cord مقياس حجمي للخشب يعادل ($128\ ft^3$).

Grain حبة (قمح).

PecK مكيال سعته (9.092 L).

$PoundaL\ (PdL) = Lb.ft/s^2$

جدول (1.5) معامل التحويل

Quantity	Units		to Convert from		Conversion
	English (E.)	SI	E. to SI	SI to E	
			multiply by		
Area	in^2 ft^2 acre	cm^2 m^2 ha	6,452 0,093 0,405	0,1550 10,76 2,471	m^2 =1550 in^2 = 10.76 ft^2 = 1.2 yd^2 = $2.471.10^{-4}$ acres = 10^{-4} ha
Length	In Ft Mile	cm m km	2,54 0,305 1,609	0,394 3,281 0,622	m =$1.05.10^{-6}$ سنة ضوئية = $5.4.10^{-4}$ nmi = 1.1 yd = 0.55 fath yd = 3 ft nmi = 1.85 km
Volume	in^3 ft^3 US gallon =	cm^3 m^3 m^3 L	16.387 0.028 0.004 3.785	0.061 35.32 264.2 0,264	m^3 = 10^3 L=10^6 cm^3 = 1.31 yd^3 = 4 barely L =10^3 cm^3=dcm^3 Br.gal. = 4.546 L
Mass	Lbm Slug	kg kg	0.454 14.59	2,205 0,069	kg = 35.274 Ounce = 10^{-3} طن متري Lbm = 16 Ounce Carat = 1/24 kg Grain = 0.065 g
Force	Lbf Kip(10^3Lb)	N N	4,448 4448	0,225	N = 10^5 Dyn = 3.6 Ounce
Density الكتلية	slug/ft^3	kg/m^3	515,4	$1,94.10^{-3}$	kg/m^3 =0.001 g/cm^3
Density الثقيلة	Lbf/ft^3	N/m^3		0.064	= 0.063 Lbm/ft^3 = 0.008 Lbm/US gal.
WorK, Energy, Heat	ft.Lb_f BTU BTU therm	J kJ kWh kWh	1.356 1.054 0.0003 29.3	0.738 0.948 3413 0.034	J = 0.239 Cal. = 10^7 dyn.cm = 10^7 Eng. = 0.102 kg.m therm = 10 Btu = 105.5 MJ Btu = 0.252kcaL Lb_f.ft = 0.138 kg.m
Power	h.p	kw	0.746	1.341	W = 0.239 cal/s
Heat Rate	ft. Lbf/sec. BTU/hour	W W	1.356 0.293	0.738 3.414	= 0,057 BTU/min. metric h.p. = 0,736 kw 1Tref = 3kW=12000 BTU
Flow Rate	ft^3/sec =	m^3/s L/s	0.028 28.32	35.32 0.035	
Pressure	Lb_f/in^2 Lb_f/ft^2 Foot of H_2O Inches of Hg	kPa kPa kPa kPa	6.895 0.048 2.983 3.374	0.145 20.89 0.335 0.296	kPa = 10.2 cm H_2O = 4.015 in H_2O = 0.75 cm Hg = 0.01 atm. = 10^{-2} bar

Quantity	Units		to Convert from		Conversion
	English (E.)	SI	E. to SI	SI to E	
			multiply by		
					= 7.5 torr Pa = 10 dyn/cm^2 atm. = 76 cm Hg = 1034 cm H_2O torr = mm Hg = 1/760 atm. kg/cm^2 = 98100 Pa ≅ 0.1 MN/m^2
Velocity	ft/sec. Mile/hr =	m/s m/s km/hr	0.305 0.447 1.609	3.281 2.237 0.622	m/s = 3.6 km/h = $6.2.10^{-4}$ mi/s = 1.944 nmi
Acceleration	ft/sec^2.	m/s^2	0.305	3.281	
Temperature	°F °F	°C K	**0.55 (°F-32)** **0.55 (°F-460)**	**1.8°C-32** **1.8K-460**	
Torque	Lb_f.ft Lb_f.in	N.m N.m	1.356 0.113	0.738 8.85	
Viscosity, Kinematic, Viscosity	$Lb_f.sec/ft^2$ Ft^2/sec.	$N.s/m^2$ m^2/s	47.88 0.093	0.021 10.76	
C	Btu/Lbm.R	kJ/kg.K			Btu/Lbm.R=4.2 kJ/kg.K
μ	Btu/Lbm	kJ/kg			Btu/Lbm=2.326 kJ/kg
υ	m^3/kg	Ft3/slug			$m^3/kg=515.384\ ft^3/slug$

امثلة محاولة

(1.1)

اذا علمت ان:-

$1Lb_f = 4.448N = 4.448\times10^{-3}kN$, 1 in (إنج) = 2.54 cm = 0.0254m

h.p = 550 Lb_f .ft/s, 1 Lbm = 0.454 kg, 1 bar = 10^5 N/m^2

1kW =kJ / s = kN.m/s, ,1 ft (قدم) = 12 in

حول:-

1- bar $\rightarrow$ PSI = Lb_f / in^2
2- h.p $\rightarrow$ kW = kN . m/s
3- KW $\rightarrow$ h.p
4- ρHg $\rightarrow$ Lb_m / in^3
5- kW h $\rightarrow$ kJ
6- kW h $\rightarrow$ kcal

$$1-1\,\text{bar} = 10^5\,\frac{N}{m^2} = 10^5 \times \frac{\frac{1}{4.448}\,Lb_f}{\left(\frac{1}{0.0254}\right)^2 in^2} = 10^5 \times \frac{0.225\,Lb_f}{1550\,in^2} = 14.5\,Lb_f/in^2$$

$$2-h.p = 550\times Lb_f \times \frac{ft}{s} = 550\times 4.448\times 10^{-3}\,kN\times 12\times 0.0254\,\frac{m}{s} = 0.74\,kN\,.\frac{m}{s}$$

$$3-k\,W = kN\,.\frac{m}{s} = \frac{1}{4.448\,.\,10^{-3}}\,Lb_f \times \frac{1}{12\times 0.0254}\,ft/s = \frac{1000}{4.448}\,Lb_f \times \frac{1}{0.3048}\,ft$$

$$= 737.5\,Lb_f \times \frac{ft}{s}$$

$$4-\rho_{Hg} = 13600\,\frac{kg}{m^3} = 13600\times\frac{1}{0.454}\,Lb_m \times \frac{1}{\left(\frac{1}{0.0254}\right)^3 in^3}$$

$$= 13600\times 2.2\,Lb_m \times \frac{1}{61023.744\,in^3} = 0.49\,Lb_m/in^3$$

$$5-kWh = \frac{kJ}{s}\times h = \frac{kJ}{s}\times 3600S = 3600\,kJ$$

$$6-kWh = 3600\,kJ = 3600\times\frac{1}{4.1868} = 859.845\,kcal$$

(1.3)- تعاريف ومفاهيم اساسية Fundamental Concepts & Definitions

(1.3.1)- النظام الثرموديناميكي Thermodynamic System

هو كمية محدودة وثابتة من المادة داخل حيز محدود محاطـة بغـلاف (envelope)، يـراد دراسة سلوكها. قد يكون النظام حقيقي او مثالي. الحقيقي هو كمية من المادة كغاز محـصور بمكـبس داخل اسطوانة. اما الثاني فهو نظام نظري لتسهيل المسائل الثرموديناميكية، وهو غيـر موجـود فـي الطبيعة، أي نظام افتراضي.

شكل (1.3)- النظام

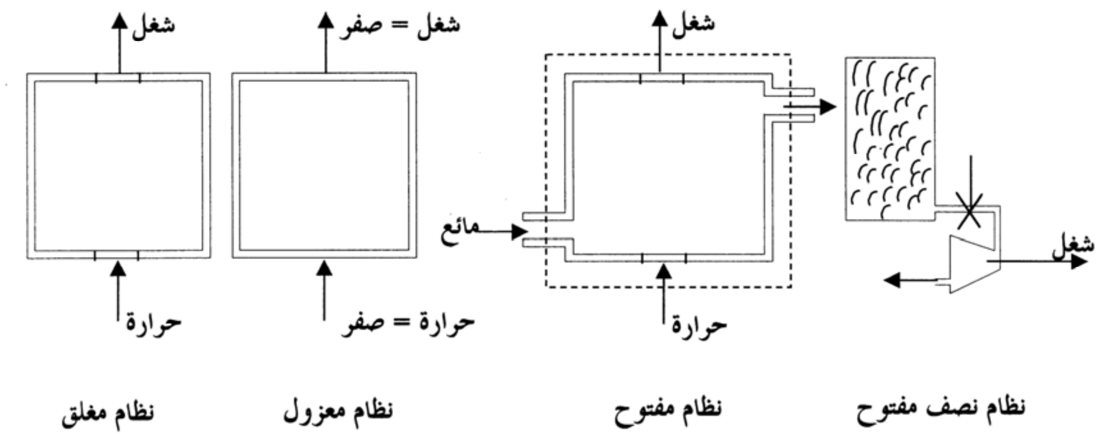
يحاط النظام بحدود (Boundary)، قد تكون حقيقية ثابتة كجدران الاسطوانة والمكبس، كمـا في الشكل (1.3). او قد تكون الحدود وهمية متغيرة كالدخان المتحرك في الجو، او انضغاط او تمـدد كمية من الغاز، حيث ينتقل الشغل والحرارة عبر الحدود.

وكل ما يقع خارج حدود النظام هو المحيط (Surroundings) له تأثير مباشـر فـي سـلوك النظام، لانه يتبادل الطاقة معه، وبالتالي قد يتأثر بالتغيرات الحاصلة داخل النظام. ربما يشكل المحـيط نفسه نظاماً آخر.

لحدود النظام خواص معينة تسمح او لا تسمح بتبادل الطاقة او المادة مع المحـيط او الوسـط المحيط (Surroundings) وهو الحيز المحيط بالنظام والذي يتأثر بالتغيرات التي تتم داخل النظـام. لذلك وكما مبين في الشكل (1.4) تصنف الانظمة الى الانواع الآتية:

أ- النظام المغلق (غير معزول) Closed System

هو النظام الذي لا تسمح حدوده بأنتقال المادة داخل النظام، أي تبقى الكتلة ثابتة، لذلك يـسمى بنظام الكتلة المحددة. ولكن يتم انتقال الطاقة (شغل او حرارة) عبر الحدود فقط، كغاز محصور بمكبس داخل اسطوانة. او كالمرجل البخاري في اثناء فترة بداية التشغيل للحصول على ضغط معين للبخار.



شكل (1.4)- انواع الانظمة

ب- النظام المعزول Isolated System

لا تسمح حدوده بأنتقال المادة او الطاقة، أي يبقى مجموع الطاقة فيه ثابتـاً، لكونـه لا يتـأثر بالوسط المحيط. مثال الترمس الموضوع بداخله ماء بارد او ساخن.

جـ- النظام المفتوح Open System

هو النظام الذي تسمح حدوده بأنتقال المادة والطاقة (شغل او حرارة) بعملية جريانية. يـسمى بنظام الحجم المحدد، كالماء في المرجل حيث يمتص حرارة ويفقد جزء من كتلته خلال التبخر. خليط الغازات في اسطوانة محرك احتراق داخلي يتخلص من الحرارة والغازات من خلال العادم. ان المادة يمكن ان تدخل او تخرج من خلال فتحات، اما الطاقة فتنتقل عبر الحدود.

اذا كانت الكتلة بوحدة الزمن الداخلة والخارجة متساوية فإنها تبقى ثابتة وتسمى بعملية الجريان المستقر كما في التوربين او ضاغط الهواء.

د- انظمة اخرى

وهناك انظمة اخرى كالنظام الاديباتي الذي تنتقل فيه الكتلة والطاقة ما عدا الطاقة الحراريـة تكون قيمتها صفر مثل التوربين البخاري المعزول التام. وهناك انظمة نصف مفتوحة تسمح بدخول او خروج الكتلة فقط مثل قنينة الغاز.

في بعض الاحيان تكون المنظومة مغلقة في لحظة معينة ومفتوحة في لحظة اخرى. مثال ذلك اسطوانة محرك احتراق داخلي. تكون المنظومة الكلية (Total System) عادةً كبيرة ومعقـدة، وقـد يمكن تجزئتها ومن ثم جمع أجزاء المنظومة المجزأة. مثال ذلك محطة القدرة الكهربائية المغلقة التـي

يمكن دراسة اجزائها (المرجل، المبادل الحراري، التوربين، المضخات ... الخ) كمنظومات مفتوحـة، أي ان المائع يدخل ويخرج من كل واحدة من هذه المنظومات المصغرة المفتوحة.

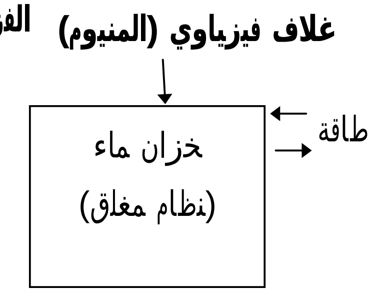
هـ - غلاف النظام الثرموديناميكي.

يمكن فهم الغلاف المحيط بالنظام الثرموديناميكي من خلا ل المخطط التالي:

Boundary
الغلاف

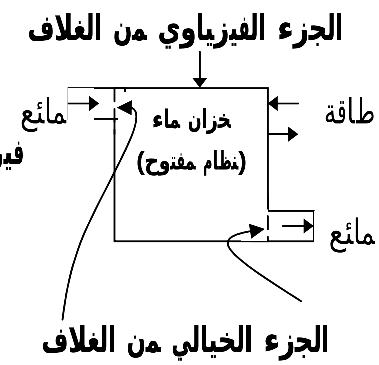
(1). Physical **الفزياوي**

*. لايسمح بأنتقال الكتلة. فـأذا كـان الخليط في غرفة الاحتـراق يمثـل نظام فأن جد\ران الاسطوانة وسطح المكـبس وغطـاء المحـرك والصمامات وهـي مغلقـة تمثـل جميعها الغلاف الفيزياوي.



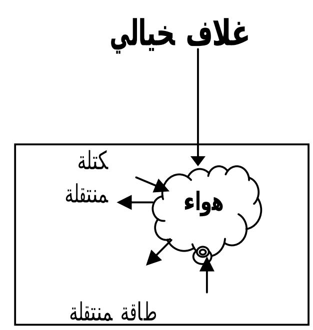
(2) Party Physical and Party Immaginary.
فيزياوي جزئياً وخيالي جزئياً

*. عندما يكون صمام او اكثر مفتوحا فأن الصمام المفتوح يمثل الجـزء الخيالي.



(3) Immaginary **الخيالي**

*. كمية صغيرة من الهـواء داخـل غرفة، فنتخيل ان لهذه الكمية غلافاً لكي نتمكن من دراسـة تغيـرات خواص الهواء بسبب انتقال الطاقة والكتلة الى الهواء.



(1.3.2)- المساحة Area

أن مساحة الجسم هي الجزء المكشوف منها، وتحسب بحاصل ضرب الطول في العرض. وحدة المساحة (m^2)وفي حالة السطوح الدائرية كمساحة سطح المكبس ، وعندما يكـون (D) تمثـل قطـر الدائرة فان المساحة (A) تساوي :

$$\mathbf{A = \frac{\pi \times D^2}{4}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.1)}$$

(1.3.3)- الحجم (Volume)

حجم الجسم (او المادة) هو مقدار مايشغله من حيز ويساوي حاصـل ضـرب مـساحته فـي ارتفاعه. وحدة الحجم هي (m^3) او اللتر ($1\ \text{Liter} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\ \text{m}^3$). وتظهر أهميته مثلاً عنـد قياس إزاحة المكبس داخل اسطوانة المحرك، أو بمعنى اخر عند قياس الحيز الذي يشغله المكبس أثناء تحركه خلال احد الاشواط داخل الاسطوانة. فأذا كان (L) تمثل طول الشوط وأنـ(A) المساحة، فأن الحجم (V) يساوي:

$$\mathbf{V = A \times L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.2)}$$

$$\mathbf{= m^2 \times m = m^3}$$

عندما تتمـدد المـادة يـزداد حجمهـا، وعنـدما تنـضغط يقـل حجمهـا. امـا الحجـم النـوعي (Specific Volume) فهو حجم وحدة الكتلة (m) رمزه (υ) ويساوي :

$$\upsilon = \mathbf{\frac{V}{m}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.3)}$$

اما الثقل او الوزن النوعي (Specific Gravity) فهو النسبة بين كثافة المادة الى كثافة الماء.

(1.3.4)- الكثافة الكتلية Mass Density.

هي كتلة وحدة الحجوم. تبقى ثابتة عندج ثبوت درجة الحرارة والـضغط. تـسمى أختـصاراً بالكثافة، يرمز لها بالحرف اليوناني رو (ρ) وحدتها (kg/m^3). هي مقلوب الحجم النوعي، وتساوي:

$$\rho = \mathbf{\frac{m}{V} = \frac{1}{\upsilon}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.4)}$$

وأن الحجم النوعي والكثافة غير مستقلتين عن بعضهما لان الواحدة مقلوب الاخرى، لـذا فـأن الكثافـة ليـست بخاصـية. ان كثافـة المـاء ($1000kg/m^3$) والزئبـق ($13600kg/m^3$). وفـي الثرموداينمكس يستعمل الحجم بدلا من الكثافة.

(1.3.5) - السرعة Velocity

هي معدل حركة جسم في خط مستقيم، وهي نوعان:

1. **السرعة المنتظمة** : وهي معدل حركة الجسم في خط مستقيم بحيث يثبت مقدارها في كل وحدة زمنية. ويمكن تقديرها بالمسافة التي يقطعها الجسم بحركة منتظمة في خط مستقيم فـي وحـدة زمن. فأذا كان (L) يمثل الطول بوحدات المتر (m) و (t) تمثل الـزمن بوحـدات الثانيـة (s) فستكون السرعة (C) تساوي:

$$\mathbf{C = \frac{L}{t} \left(\frac{m}{s}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5)}$$

2. **السرعة المتغيرة**: وهي تنشأ عندما تكون حالة الجسم متغيرة من لحظـة الـى أخـرى، أي ان المسافة التي يقطعها الجسم في أي وحدة زمنية لاتساوي نفس المسافة التي يقطعها الجسم في أي وحدة زمنية اخرى. لهذا يحسب غالباً متوسط سرعة الجسم.

(1.3.6) - التعجيل Acceleration

وهو معدل تغير السرعة (C) في وحدة الزمن. رمزه (a) ووحدته (m/s^2) ويساوي:

$$\mathbf{a = \frac{C}{t} = \frac{\frac{L}{t}}{t} = \frac{L}{t^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.6)}$$

or

$$\mathbf{a_{aver} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{t} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.7)}$$

وتعجيل الجسم اما منتظماً عندما يكون التغير في سرعة الجسم منتظماً، واما متغيراً عندما يكون التغير في سرعة الجسم غير منتظم وفي الحالة الاخيرة يقاس متوسط قيمته، وهو كذلك أمـا موجـب القيمة فيزيد سرعة الجسم المتحرك (تسارع) ويسمى بالتعجيل الموجب، واما سـالب القيمـة فتـنقص سرعته ويسمى التباطؤ.

(1.3.7) - القوة Force

ان العلاقة بين القوة والحركة مبنية على قوانين الحركة الثلاث التي وضعت من قبـل اسـحق نيوتن. ينص القانون الاول على مايلي ((يستمر الجسم في حالة السكون او الحركة المنتظمة على خـط مستقيم الا اذا اجبر على تغيير تلك الحالة بفعل قوة خارجية)).

فمثلا، ان سيارة واقفة على طريق افقي سوف تستمر باقية في حالة الوقوف مالم تؤثر عليها قوة خارجية. ولو أن السيارة كانت تتحرك فبأستخدام المكابح ستتباطأ السيارة وتتوقف. فمن قانون نيـوتن الاول يمكن تعريف القوة كالتالي:

((القوة هي أي شئ يسبب تحريك جسم من السكون، او يوقف جسما عن الحركة، او يعجـل او يبطأ او يحرف الجسم عن المسار المستقيم ويجعله يتحرك بمسار منحني)). ومن انواعها هي:

(1). قوى الشد مثل القوى التي تجذب طرفي قضيب من الحديد.

(2). قوى الضغط مثل التي تتولد على المكبس عند احتراق الوقود.

(3). قوى الجاذبية الناتجة من جذب الارض للجسم.

(4). قوة الاحتكاك، وهي القوة التي تقاوم الحركة بين جسمين متلاصقين . رمز القوة (F).

(1.3.8)- الكتلة Mass

هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة او عدد الجزيئات. رمزها (m) و وحدتها (kg). قيمتها لا تتغير بتغير المكان. فكتلة جسم الانسان ثابتة عند مستوى سطح البحر او في الاعماق او على قمة جبل او في الفضاء. وهي تقاس عادة لجسم معين بمدى تأثير قوة ما فيه حين يكون حر الحركة، فاذا أثرت قوة (F) على جسم ما بحيث يبدأ من السكون ليتحرك بتعجيل منتظم (a) فإن كتلة هـذا الجـسم (m) تساوي:

$$\mathbf{m} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{a}} \Rightarrow \frac{\mathbf{N}}{\mathbf{m/s^2}} = \frac{\mathbf{kg.m/s^2}}{\mathbf{m/s^2}} = \mathbf{kg} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.8)}$$

أن محاولة جسم للمحافظة على حالة السكون أو الحركة المنتظمـة تـدعى القـصور الـذاتي (Inertia). وقد وجد بأن هذه الخاصية تعتمد على كتلة الجسم. الوحدة الدولية (SI) للكتلة هي الكيلـو غرام (kg)، معرفة بأنها كتلة اسطوانية مصنوعة من البلاتين والايريـديوم (aridum–Platinum) محفوظة في (Severs) في فرنسا.

والوحدة الكبرى للكتلة هي الميكاكرام (Megagramme) (Mg) وتسميه بعض الدول بـالطن المتري والطن (tonne) (t) ويساوي:

$1Mg=1t=10^3\ kg=10^6g$

(1.3.9)- التعجيل الارضي Acceleration du to gravity

هو المثال الثابت للتعجيل الثابت، رمزه (g). يعبر عن قوة تجاذب بين الارض والجسم. قيمتـه ثابتة عند مستوى سطح البحر وتبلغ ($9.88m/s^2$). ويكون الفرق عند الانتقال من منطقة خط الاستواء الى القطب (5%) أي ($9.78m/s^2$) عند خط الاستواء و($9.832m/s^2$).عند القطبـين. لكـن قيمتـه تنخفض كثيراً كلما ابتعدنا عن مركز الارض حتى تنعدم تماما في الفضاء.

عندما يـسقط جـسم مـن ارتفـاع معـين، يجـذب نحـو مركـز الارض بقـوة الجاذبيـة (Force Gravity). وتبدأ سرعته من السكون ثم تتزايد بتعجيل منتظم يـساوي ($9.81m/s^2$).يـسمى

بالتعجيل الارضي. قيمته لا تتوقف على كتلة او حجم الجسم شرط اهمال تأثير قوة أحتكـاك الهـواء بالجسم أثناء سقوطه.

لقد اثبت اسحق نيوتن في قانونه الثالث بأن قوة الجاذبية للجسم أي وزنه (W) تتناسب مع كتلة الجسم (m)، وعليه يكون:

$$\mathbf{W = m \times g \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.9)}$$

(1.3.10) - الوزن Weight

اذا وضع جسم ما على سطح معين فأن الضغط الذي يسلطه هو دالة الوزن. وإذا سقط جسم فأن قوة جذب نحو الارض دالة لوزنه. فالوزن هو التعبير عن قوة جذب الارض للجسم، هذه القوة تعمـل شاقولياً الى الاسفل باتجاه مركز الارض وبما ان قوة الجذب او التعجيل الرضـي (g) تتغيـر كلمـا ابتعدنا عن مركز الارض لذا فأن وزن جسم الانسان ينعدم في الفضاء لانعدام الجاذبية، عليه فأن قـوة جذب الارض للجسم (F) او وزن الجسم (W) يساوي:

$$\mathbf{F = W = m \times g \Rightarrow kg \times m/s^2 = N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.10)}$$

لايمكن عد الوزن وحدة اساسية لعدم وجود قيمة ثابتة له. لنأخذ مثلاً رجل الفضاء، كتلته علـى الارض (80kg) ووزنه يساوي (80×9.81=784.8N). وكتلته في الفضاء (80kg) لكنه سيكون في حالة فقدان الوزن لانعدام الجاذبية الارضية.

(1.3.11) - الزخم Momentum

سيارة تجارية ثقيلة تحتاج الى قوة دفع لتبدأ الحركة عندما تكون محملة بالكامل اكبر ممـا هـي فارغة. ولايقاف سيارة الحمل التجارية يتطلب قوة كبح اكبر من سيارة صغيرة تسير بنفس الـسرعة. يقال للسيارة (الاثقل) بأنها ذات كمية حركة او زخم اكبر من تلك الاخف.

يعتمد الزخم على الكتلة والسرعة. لذلك فإن جسمين لهما نفس الكتلة ولكنهمـا يتحركـان بـسرعتين مختلفتين سيظهران زخمين مختلفين. يقاس زخم الجسم بحاصل ضرب كتلته في سرعته، أي:

$$\mathbf{Mometum = m \times C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.11)}$$

(1.3.12) - تغير الزخم - قانون نيوتن الثاني للحركة

ينص قانون نيوتن الثاني على ان ((يتناسب زخم الجسم طردياً مع القوة المؤثرة)). فاذا أثرت قوة (F) على جسم كتلته (m) لمدة (t) وغيرت سرعتها من (C_1) الى (C_2) فان تغير الزخم يساوي:

$$\mathbf{\Delta Momentum = m(C_2 - C_1) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.12)}$$

ومعدل تغير الزخم يساوي:

$$\Delta \mathbf{Momentum} = \frac{\mathbf{m(C_2 - C_1)}}{\mathbf{t}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.13)}$$

وحساب قانون نويتن الثاني فإن:

$$\mathbf{F} \propto \frac{\mathbf{m(C_2 - C_1)}}{\mathbf{t}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.14)}$$

$$\because \text{Acceleration } \mathbf{(a)} = \frac{\mathbf{C_2 - C_1}}{\mathbf{t}}$$

$$\therefore \mathbf{F} \propto \mathbf{ma} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.15)}$$

يمكن تعريف وحدة الـ(F) بانها القوة المطلوبة لاعطاء وحدة الكتلة وحـدة التعجيـل. تـدعى الوحدة الدولية (SI) للقوة نيوتن(N). وتعرف بأنها القوة المطلوبة لاعطـاء كتلـة مقـدارها (1kg) تعجيلاً مقداره ($1m/s^2$) لذلك:

$1N=1kg \times 1m/s^2$

فأذا كانت (F) هي القوة، بالنيوتن، المطلوبة لاعطاء جسم كتلته (m)، بالكيلوغرام، تعجـيلاً(a) بالـ(m/s^2) فأن:

$$\mathbf{F = m \times a} \qquad \left(\mathbf{kg} \times \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s^2}} = \mathbf{N}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \mathbf{(1.16)}$$

أمثلة محاولة

(1.1)

أوجد مساحة سطح اعلى المكبس الي قطره (0.67mm)

$$\mathbf{A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times (6.7)^2}{4} = 35.2\,cm^2}$$

(1.2)

مكبس قطره (67mm) وطول شوطه (90mm) اوجد الحجم الذي يزيحه اثناء الشوط.

$$\mathbf{A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times (6.7)^2}{4} = 35.2\,cm^2}$$

$$\mathbf{V = A \times L = 35.2 \times 9 = 316.8cm^3}$$

(1.3)

أوجد متوسط سرعة المكبس (Sp)، اذا كان طول الشوط (200mm) ويؤدي (30) شوطا في الثانية.

$$\mathbf{Sp = \frac{L}{t} = \frac{0.2 \times 30}{1} = 6\,m/s}$$

(1.4)

أثرت قوة ما على جسم في حالة سكون فأصبحت سرعته (3000m/min) بعد (5) ثواني مـن بـدء الحركة. أحسب متوسط التعجيل.

$$\mathbf{a = \frac{C}{t} = \frac{3000/60}{5} = 10\,m/s^2}$$

(1.5)

أحسب القوة بالنيوتن اللازمة لإنتاج تعجيل ($0.2\ m/s^2$) لكتلة (0.04kg).

$$\mathbf{F = m \times a = 0.04 \times 0.2 = 0.008N}$$

(1.6)

أحسب كتلة جسم وزنه (180N) عندما يكون التعجيل الارضي ($9.81\ m/s^2$)

$$\mathbf{m = \frac{W}{g} = \frac{180}{9.81} = 18.35\,kg}$$

(1.7)

وجد عملياً ان مقدار الجاذبية على سطح القمر يساوي ($\frac{1}{6}$) قيمته على سطح. ما هـو وزن شـخص كتلته (60kg) على سطح القمر.

$$\mathbf{W = m \times g_{moon} = 60 \times \frac{9.81}{6} = 98\,N}$$

(1.8)

سيارة كتلتها (2t) تسير بسرعة (72km/h). أحسب زخم السيارة.

$$\mathbf{Mometum = m \times C = 2 \times 10^3 \times \frac{72 \times 10^3}{3600} = 40000 kg.\frac{m}{s}}$$

(1.9)

عربة كتلتها (2) طن. تتعجل بانتظام من (27km/h) الى (72km/h) فـي (20s). احـسب القـوة المطلوبة (قوة الجذب). والشغل الكلي المنجز. ومعدل القدرة المتولدة في انتاج هذا التعجيل.

$$\mathbf{F = m \times a = m \times \frac{C_2 - C_1}{t} = 2000 \times \frac{\frac{72 \times 10^3}{3600} - \frac{27 \times 10^3}{3600}}{20} = 2000 \times \frac{20 - 7.5}{20} = 1.250 kN}$$

المسافة المقطوعة $\mathbf{(L) = \left(\frac{C_1 + C_2}{2}\right) \times t = \left(\frac{7.5 + 20}{2}\right) \times 20 = 275 m}$

$$\mathbf{W = F \times L = 1.25 \times 275 = 343.75 kJ}$$

$$\mathbf{P = \frac{W}{t} = \frac{343.75}{20} = 17.187 kW}$$

(1.10)

عربة كتلتها (1500kg) تسير بسرعة (90km/h). اريد ختبار المكابح. وقد سلطت الكـوابح لانتـاج اقصى كبح. معامل الاحتكاك بين الاطارات والطريق هو (0.8). أحسب :

(1) قوة الكبح المسلطة (2) التباطؤ المنتج (3) كفاءة الكبح (4) الزمن المستغرق للتوقف.

(1) $\mathbf{F = \mu W = \mu \times m \times g}$

$\mathbf{= 0.8 \times 1500 \times 9.81 = 11.772 kN}$

(2) $\mathbf{a = \frac{F}{m}}$ لأن $\mathbf{(F = ma)}$

$\mathbf{= \frac{11772}{1500} = 7.848 m/s^2}$

(3) $\mathbf{\eta = \frac{a}{g} \times 100 = \frac{7.848}{9.81} \times 100 = 80\%}$

(4) $\mathbf{C_1 = \frac{90 \times 1000}{3600} = 25 m/s}$

$\mathbf{C_2 = 0}$ لأن السيارة توقفت

$\mathbf{a = -7.484 m/s^2}$ التعجيل

$\mathbf{F = \not{m}.a = \frac{\not{m}(C_2 - C_1)}{t}}$

$\mathbf{\therefore \ t = \frac{C_2 - C_1}{a} = \frac{0 - 25}{-7.848} = 3.185 s}$

(1.4) - التحليل البصري والتحليل المجهري Macroscopic & Microscopic Analysis

التحليل البصري (الماكروسكوبي) هو تحليل خواص النظام كالضغط والحجم ودرجة الحـرارة والتي هي خواص يمكن قياسها لتعطي وصفاً بصرياً. لنأخذ مثلاً محتويات اسطوانة محـرك احتـراق داخلي كنظام، فانها تتحدد بأربعة مقادير او احداثيات او خواص هي:

1- التركيب: التحليل الكيمياوي يبين ان الخليط قبل الاحتراق هو عبارة عن هواء ووقود بنسب معينة. وبعد الاحتراق سيتحول الى غاز العادم. إن الخليط وغاز العادم هي مركبات كيمياويـة توصـف مكونات النظام.

2- الضغط: ضغط الغاز بعد الاحتراق كبير جداً ثم ينخفض في نهاية شـوط العـادم. يمكـن قيـاس التغيرات في الضغط بوساطة المانوميترات في المختبر.

3- الحجم: يتغير حجم الغاز تبعاً لتغير موضع المكبس داخل الاسطوانة. يمكن قياس التغير الحجمـي بوساطة جهاز يربط مع المكبس.

4- درجة الحرارة: لا يمكن بدونها تكوين فكرة واضحة عن عمل المحرك، يمكن قياسها بسهولة كبقية الخواص المذكورة آنفاً.

يتضح ان هذا التحليل يتميز بـ :

أ- لا يتضمن فرضيات خاصة بتركيب المادة.

ب- يحتاج الى بضع خواص يمكن تقديرها بالحواس او قياسها مباشرةً.

يستعمل التحليل البصري من قبل المهندس لدراسة المكائن الحرارية والثرموداينميك الهندسي. امـا التحليل المجهري فهو تحليل سلوك ذرات وجزيئات المادة كتحليل الانشطار الذري لليورانيـوم، لـذا يستعمل في بعض دراسات الفيزياء النووية. بحسب مفهوم الثرموديناميك الاحصائي فان النظام يتكون من عدد لا يحصى من الجزيئات وفي حالة تفاعل وتصادم وتجاذب وتنافر. لذا فأن هذا التحليل يتميـز بـ :

أ- وضع فرضيات خاصة بتركيب المادة، افتراض وجود الجزيئات.

ب- وصف كميات كثيرة من الجزيئات لا يمكن تقديرها بالحواس او قياسها مباشرةً.

(1.5)- الخواص الثرموديناميكية Thermodynamic Properties

تتعين حالة النظام من خلال خواصه التي تتميز بما يأتي:-

1- يمكن قياس بعضها، أي يجب ان تكون لها قيمة عددية عندما يكون المـائع فـي حالـة معينـة، كالضغط (P) والحجم (V) ودرجة الحرارة (T). ويمكن حساب البعض الآخر رياضياً[1].

2- قيمة الخاصية مستقلة عن الاجراء للوصول الى الحالة، أي تعتمد على الحالة الابتدائية والنهائية.

إن تحديد الحالة الجديدة يتطلب معرفـة مـا لا يقـل عـن خاصـيتين تـسمى بالاحـداثيات الثرموديناميكية، يعبر عنها بقاعدة الخاصيتين (Two Property Rule). لذا يمكن ايجـاد قيمـة أي احداثي (خاصية) بدلالة الاحداثيين الآخرين، فمثلاً ان العلاقة [$V = \varnothing (P, T)$] تعني ان قيمة الحجم تعتمد على قيمة المتغيرين المستقلين (P، T) في آن واحد، فإذا تغير الـ (P) وبقيت الـ (T) ثابتـة عندئذٍ سيتغير الحجم. ولكن قيمة (P) لا يشترط ان تعتمد على قيمة (T). فإذا كان (dP)[2] تمثل تغير متناهي الصغر في الضغط، فإن التغير الكلي بين الحالتين (1) و (2) هو:

$$\int_1^2 dP = P_2 - P_1 \quad .... (1.17)$$

في الانظمة المغلقة هناك الخاصية الثرموديناميكية وفي الانظمـة المفتوحـة هنـاك الخاصـية الثرموديناميكية فضلاً عن الخاصية الميكانيكية.

1.5.1 الخواص المستقلة وغير المستقلة Independent & dependent Properties

أذا كانت اسطوانة تحتوي غاز مغلقة بمكبس حر الحركة فوقه، فسيتغير الـضغط تبعـا لتغيـر الاثقال، لذلك فالضغط يعد خاصية مستقلة، واذا أضيفت حرارة الى غاز موجود في خـزان فـستزداد درجة حرارته، لذلك تكون درجة الحرارة خاصية مستقلة (Independent) أذا الخـواص المـستقلة يمكن قياسها كالـ(T,P)، اما الخواص التابعة فيمكن حسابها بدلالة الـ(T,P).

---

(1) هناك خواص ثرموديناميكية اخرى سيرد ذكرها لاحقاً كالانثـالبي (H) والطاقـة الداخليـة (U) والانتروبي (S)، ناتجة عن القانون الاول والثاني. هذه الخواص تابعة، غير مستقلة، غير مركزة، غير شاملة، تحسب رياضياً، لا نه لا يمكن مراقبتها مباشرةً بالحواس كالضغط والحجم النـوعي ودرجة الحرارة، ومع ذلك فإنها خواص اساسية لهيكل الثرموديناميكس.

(2) من الناحية الرياضية فإن (dP) هو مشتق تام (بالنسبة للخاصية) او مـشتق صـحيح او كامـل (Exact or Perfect Differential).

1.5.2 الخواص المركزة والشاملة Intensive & Extensive Properties

إذا اخذنا نظاماً في حالة توازن وقسمناه على قسمين متساويين في الكتلة، فإن بعض الصفات تبقى ثابتة لكل نصف من هذا النظام كالضغط ودرجة الحرارة والكثافة هذه الخواص تدعى بالضمنية او المركزة او المؤكدة (Intensive) وهي لا تعتمد على كتلة النظام.

اما الخواص التي تتنصف كالحجم والطول والمساحة والوزن والطاقة الداخلية، فإنها تدعى بالخواص غير الضمنية او غير المركزة، او غير المؤكدة او الشاملة (Extensive) وهي تعتمد على كتلة النظام.

وإذا قسمت الخواص الشاملة على الكتلة او على عدد مولات النظام، فتسمى بالقيمة النوعية لتلك الخاصية. وسيرمز للخواص الشاملة بالحروف الكبيرة، وللقيم النوعية المناظرة لها بحروف صغيرة. فإذا رمز للحجم الكلي للنظام بالحرف (V) فان الحجم النوعي يرمز له بالحرف (v)، ولو كانت كتلة النظام هي (m) فإن:

$$\nu = \frac{V}{m} \quad ......(1.18)$$

والحجم النوعي هو مقلوب الكثافة، أي:

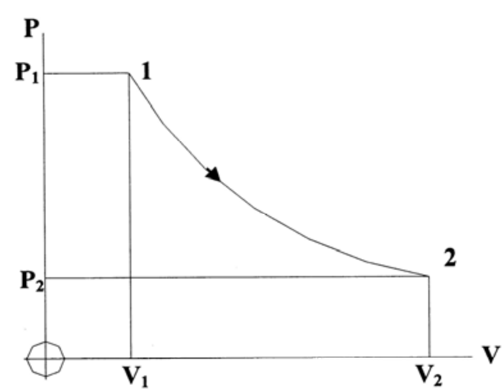
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{V/m} = \frac{1}{\upsilon} \quad ....(1.19)$$

ولما كانت كثافة مادة في حالة معينة لا تعتمد على مقدار الكتلة المأخوذة بالحسبان فان الكثافة مقدار مركز، ولذلك فالحجم النوعي مقدار مركز ايضاً.

وعند قسمة الخاصية الشاملة كالوزن (F) على شاملة اخرى كالمساحة (A)، فسينتج الضغط $\left(P=\frac{F}{A}\right)$ الذي هو خاصية مركزة.

(1.6) - مخطط الحالة State Diagram

مخطط الحالة يبين الحالة الشاملة للنظام عند تغير بعض خواصه، فمثلاً مخطط حالة الضغط – الحجم الموضح في شكل رقم (1.5).



شكل (1.5) - مخطط الضغط - الحجم

حيث يمثل الضغط المحور الصادي والحجم المحور السيني. ويمكن رسم القيم المقابلـة لهـاتين الخاصيتين على المخطط. أغلب المخططات تتكون من بعدين ومن هنا وبتطبيق قاعـدة الخاصـيتين. وقوانين وجداول الخواص التي سندرسها لاحقاً يمكن حساب قيم الخواص الاخرى.

(1.7)- دالة الحالة ودالة المسار State, Path Function

خواص النظام كالـ (P، V، T) تعتمد على الحالة الابتدائية والنهائية، لذلك تسمى بدالة الحالة. ولو كان التغير في هذه الخواص صغيراً جداً، لكنه محسوس، أي يحتـوي علـى عـدد كـاف مـن الجزيئـات، لـذلك يعـد دالـة حقيقيـة. تمثـل رياضـياً بتفاضـل تـام او مـضبوط (Exact Differential) أي (dP، dV، dT)، يعبر عنها على مخطط الحالة بدوال نقطية.

فإذا تغير الحجم (V) تغيراً متناهياً في الصغر فيعبر عنه بتفاضل تام لدالة الحالة (V) ويكتب (dV). وان تكامل تفاضل تـام لدالـة الحالـة $\left(\int_{V_1}^{V_2} dV\right)$ يعطي الفرق بين قيمتي هذه الخاصية، أي:

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = \Delta V = V_2 - V_1 \quad \text{..........(1.20)}$$

اما انتقال الشغل (W) او الحرارة (Q)، حتى لو كان كميات متناهية الصغر، فهما لـيس مـن خواص النظام، لذلك يعتمدان على المسار، يمثل رياضياً بتفاضل غير تام، او غير مضبوط او نـاقص (Inexact Differential)، أي (dQ، dW)، لأن الشغل او الحرارة هما نشاط خـارجي او اجـراء يؤدي الى تغيير طاقة الجسم.

لذا فان (dQ) او (dW) تمثل كمية متناهية في الصغر للحرارة والشغل وان التكامل لا يعطـي الفرق بين قيمتين ولكن يعطي كمية محدودة، أي:

$$\int_1^2 dQ = Q_{12} \text{ OR } Q \qquad , \qquad \int_1^2 dW = W_{12} \text{ OR } W \text{ .... (1.21)}$$

(1.8)- التوازن الثرموديناميكي Thermodynamic Equilibrium

اذا كانت خواص نظام معزل مختلفة كالضغط ودرجة الحرارة والكثافة فانها ستتغير مع الـزمن وخلال هذه الفترة سنلاحظ الآتي:-

أ- عند إختلاف درجة الحرارة فستنتقل الحرارة تلقائياً من الموقع الاعلى الى الادنى حتى تتـساوى درجة حرارة النظام أي يتزن حرارياً.

ب- عند إختلاف الضغط، تتولد حركة وتيارات تنقل المادة من الجزء الاكثف الى الجزء الاقل كثافة، حتى تصبح الكثافة منتظمة وبالتالي يتزن النظام ميكانيكياً.

إذن حالة التوازن تتحقق عندما يكون:

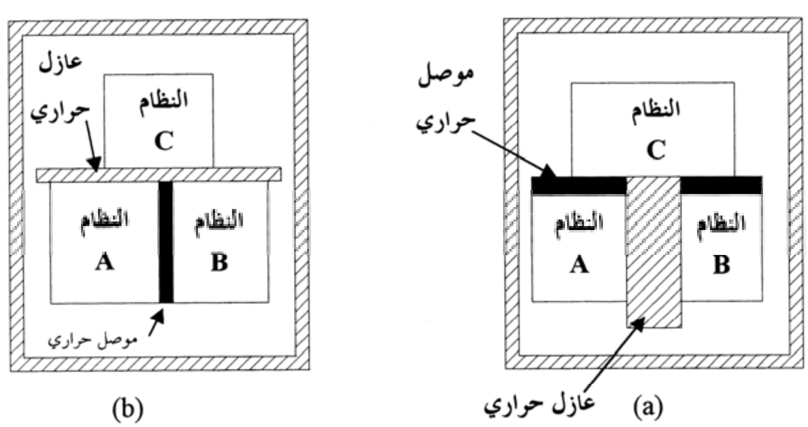
1- عزل النظام عن المحيط بحيث لا تنتقل حرارة او شغل عبر حدوده.

2- تساوي الضغط ودرجة الحرارة في كافة اجزاء النظام.

سوف نفترض في هذا الكتاب بأن النظام في حالة توازن عند بداية ونهايـة الاجـراء، وبهـذا نستطيع تحديد الحالة الابتدائية والنهائية للخاصيتين. ومجمل القول فإن النظام يكون في حالـة اتـزان ثرموديناميكي عندما تكون خواصه ثابتة.

نفترض وجود ثلاثة انظمة (A) و (B) و (C) محاطة بجدار عازل (ادياباتي) كما في الـشكل (1.6). إن الشكل (1.6-a) يبين انه اذا كان (A) و (B) في حالة اتزان، فأن (C) سيكون في حالـة اتزان مع (A) و (B) لوجود جدار موصل للحرارة. اما الشكل (1.6-b) فيبين انـه اذا كـان (A) و (B) في حالة إتزان مع (C) لوجود جدار اديباتي، فسيكون (A) و (B) في حالة إتزان مع بعـضهما لوجود جدار موصل للحرارة.

هذه الحقيقة اكدها (ر.هـ. فولر) وسماها بالقانون الـصفري (The Zeroth Law) للـديناميكا الحرارية الذي ينص على انه: "إذا كان نظامان في حالة إتزان مع نظام ثالث، فسيكون النظامين فـي حالة إتزان مع بعضهما".



شكل (1.6)- القانون الصفري

(1.9)- العملية والاجراء Process

يتحول النظام من حالة توازن الى حالة توازن اخرى عندما تتغير خواصه في اجراء معين. فلو إزداد الضغط المسلط على غاز، فسيتغير الحجم والكثافة ودرجة الحرارة .... الخ.

من الممكن ان تتغير خواص النظام مع بقاء خاصية او اكثر ثابتة. فمثلاً عند ثبوت درجة الحرارة فيسمى الاجراء الايزوثرملي، كالاسطوانة التي تسمح حدودها بأنتقال الحرارة، وعند ثبوت كمية الحرارة فيسمى الاجراء اديباتي، مثل انفجار مفاجئ لعجلة الدراجة الهوائية او اثناء شوط القدرة في اسطوانة محرك احتراق داخلي.

وعند عودة النظام الى حالته الاصلية، أي ان جميع خواصه في بداية ونهاية الاجراءات متساوية، فانه يكون قد مر بدورة التي هي مجموعة اجراءات، كدورة كارنو التي سيرد ذكرها فيما بعد، دورة محركات الاحتراق الداخلي او المحركات البخارية.

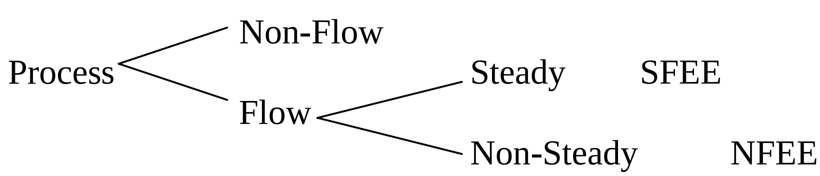
تتغير حالة النظام في العمليات الثرموديناميكية التي يمكن تصنيفها كما يأتي:-

1- الاجراءات اللاجريانية (Non Flow) او الساكنة التي تكون في الانظمة المغلقة والتي لا تتغير فيها الكتلة او الطاقة الحركية والكامنة.

2- الاجراءات الجريانية (Flow) او التدفقية التي تكون في الانظمة المفتوحة والتي تتغير فيها الطاقة الحركية والكامنة وتقسم الى:

أ- التدفق المستقر (Steady Flow)، لا تتغير فيه معدل جريان الكتلة.

ب- التدفق غير المستقر (Non Steady Flow)، تتغير فيه معدل جريان الكتلة. عموما يوضح المخطط التالي تصنيف العمليات:



الفصل الثاني – الضغط ودرجة الحرارة

(2.1)- المفهوم الميكانيكي للضغط

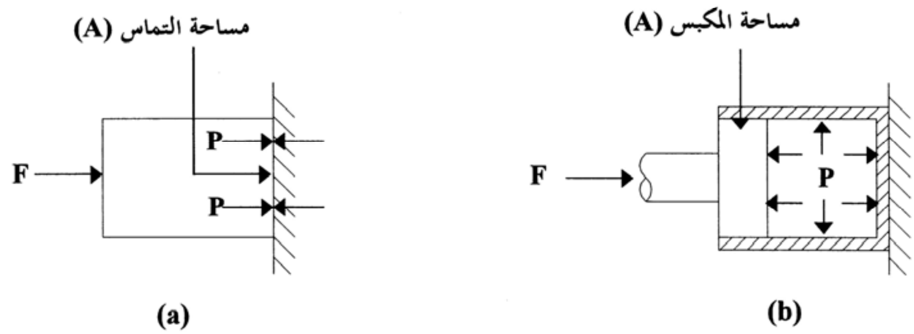
Mechanical Concept of Pressure

إن درجة حرارة الانصهار للمواد الصلبة، ونقطة الغليان للسوائل، والحجم المـشغول بالغـازات والابخرة، ومعظم خواص المواد تعتمد على الضغط المسلط عليها.

وعندما يملأ اطار سيارة بالهواء، فيولد الهواء المضغوط دفعاً او قوة على السطح الداخلي للأطار بسبب اصطدام جزيئات الهواء على السطح. لذلك يعرف الضغط بأنه القوة المسلطة عمودياً على وحدة السطوح، رمزه (P).

عند تسليط قوة مقدارها (F) على جسم صلب، كما في شكل (2.1-a) موضوع على جدار مساحة تماسه (A)، عندئذ سيكون هنالك ضغط مسلط عمودياً على سطح التماس مقداره (P = F/A) وسينتقل بأتجاه القوة المسلطة.

واذا سلطت قوة (F) على مكبس مساحة مقطعه (A)، كما في شكل (2.1-b) عندئذ سـيكون هنالك ضغط مسلط على المائع مقداره (P = F/A) وسينتقل الى جميع الاتجاهات في الاسطوانة،



شكل (2.1)- الضغط العمودي على وحدة السطوح

كعملية نفخ كرة مطاطية حيث تنتفخ في جميع الاتجاهات.

واذا كانت القوة (F) بالنيوتن (N) والمساحة (A) بالأمتار المربعـة (m^2)، عندئـذٍ سـيكون الضغط (P) بالـ (N/m^2) وهي وحدة اساسية للضغط في نظام (SI) وتسمى بالباسكال (Pa) وكـان باسكال (Pascal) اول من اهتم بقوانين الضغط.

ولكون وحدة الباسكال صغيرة جداً، فتستعمل في الحياة العملية وحدات مـضاعفة اكبـر مـن الباسكال، كالكيلو باسكال (kPa) والميكا باسكال (MPa)، والعلاقة بينهم هي:-

MPa (MN/m^2) = 10^3 kPa (kN/m^2)

$$= 10^6 \text{ Pa } (N/m^2)$$
$$= 1 N/mm^2$$

وكذلك تستعمل وحدات البار (bar) والهيكتوبار:

$$\text{hectobar} = 10^2 \text{ bar}$$
$$= 10^4 \text{ kPa}$$
$$= 10^7 \text{ Pa}$$

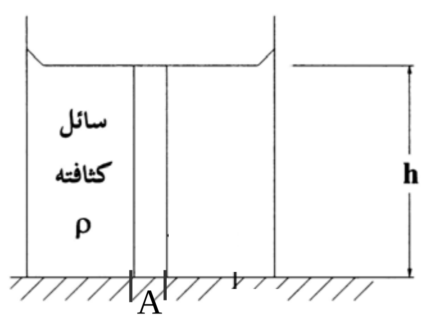
ان (البار)* هو الضغط الذي يسببه عمود من الزئبق ارتفاعـه (750mm)، وفـي الوحـدات البريطانية تكون القوة بالباوند (Lb) والمساحة بالانج المربع (in^2)، عليـه تكـون وحـدة الـضغط (Lb/in^2) ويسمى (PSI)، علاقته مع الـ (atm.) هي:

$$1\text{atm.} = 14.7 \text{ PSI} \left(\frac{Lb}{in^2}\right)$$

(2.2)- الضغط الذي يسببه عمق المائع

Pressure due to a head of fluid

نفترض وجود خزان غير محاط بالهواء، أي ان الضغط الجوي لا يؤثر عليه، يحتوي على مـائع كثافته (ρ) ثابتة فلو اخذنا مقطعاً طولياً لهذا المائع ارتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A)، كما في شـكل (2.2)، فستكون كتلة هذا المقطع ($m=\rho V$)، وحجمه ($V=A \times h$)، عندئذ سيكون الضغط:



شكل (2.2)- ضغط الموائع

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{A} = \frac{\rho \times A \times h \times g}{A} = \rho \times g \times h \quad .... (2.1)$$

$$= \frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s^2} \times m = \frac{N}{m^2} = Pa$$

(2.3)- الضغط الجوي Atmospheric Pressure

---

* ان البار (bar) لا ينتمي الى اسرة الوحدات (SI)، ومع ذلك يستعمل كثيراً في التطبيقات الصناعية وفي الحسابات المختلفة شرط تحويله الى الوحدات المناسبة.

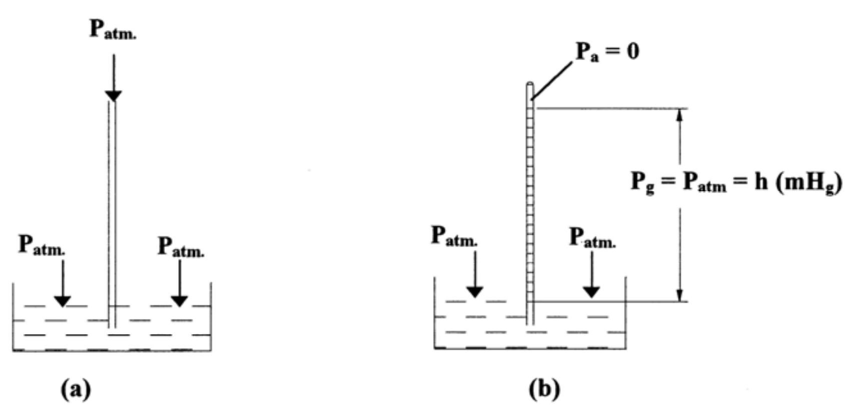
الكرة الارضية محاطة بالهواء الجوي يمتد الى عدة كيلومترات فوق سطحها. هذا الهواء يولد ضغطاً على سطح الارض نتيجة لوزنه فوق هذا السطح يسمى بالضغط الجـوي ورمـزه (Patm.). ولما كان الضغط يساوي القوة على وحدة المساحة، فسيكون الضغط على متر مربع واحد من سـطح الارض يساوي وزن عمود الهواء فوقها مفترضاً بذلك احتواءه مثلاً في انبوب مقطعه متر مربع واحد وطوله يساوي ارتفاع الغلاف الجوي فوق الارض.

اذن الضغط الجوي هو الضغط الذي يولده عمود من الهواء طوله مـساوٍ لأرتفـاع الغـلاف الجوي فوق الارض. قيمته عند مستوى سطح البحر ($101.325\ kN/m^2$)، ومع ذلك لا يشعر الانسان به لتساوي ضغطه مع الضغط الجوي. هذه القيمة تنخفض كلما انخفض ارتفاع الغلاف الجوي فمـثلاً قيمته عند قمة جبل ايفرست، وهي اعلى قمة جبلية في العالم، تكون ($40\ KN/m^2$) وتنعدم قيمته فـي الفراغ المحيط بالكرة الارضية. يكون الضغط الجوي القياسي (standard):

Patm. = 760 mmHg
= $14.7\ Lb/in^2$
= 1.013 bar
= $1.01325\ kg/cm^2$

(2.4)- مقياس الضغط الجوي او البارومتر The Barometer

لقد بدأت فكرة اكتشاف الضغط الجوي في احدى مقاطعات ايطاليا، حيث كان في قصر اميـر المقاطعة بئر عليه مضخة ماصة تسقي حديقة القصر. وفي احد ايام الصيف لم تستطع المضخة رفـع الماء من البئر، فأستدعي لذاك العالم الايطالي غاليلو (1638) (وهو استاذ العالم تورشيلي ومن علماء الفلك والفيزياء المشهورين)، للتحري عن السبب، وعندما قام غاليلو بفحص المضخة وجدها بحـالة



شكل (2.3)- مبدأ تورشيلي في تصميم البارومتر

جيدة، لذا عزى سبب عدم ارتفاع الماء الى انخفاض مستواه في البئر لدرجة لم يستطع معها الضغط الجوي على رفع الماء الى مستوى الحديقة. هذه الحادثة دفعـت العـالم تورشـيلي (1644 – 1608) باختراع الباروميتر الذي يعتمد المبدأ التالي:-

الشكل (2.3) يبين خزاناً يحتوي على سائل، مغمور فيه انبوب ذو مقطع لا يسمح بوجود تأثير شعري ناتج عن توتر السطح.

فاذا كان الانبوب مفتوحاً من الاعلى فسيكون سطح السائل في الخـزان والانبـوب متـساوياً لتساوي الضغط الجوي (Patm.) كما في شكل (2.3-a). اما اذا كان الانبوب مغلق ومفرغ من الهواء من الاعلى فسوف يرتفع السائل داخل الانبوب بمقدار (h) قيمتها مـساوية لقيمـة الـضغط الجـوي (Patm.)، كما في شكل (2.3-b) اما الفراغ الذي يحصل في الانبوب فوق سطح السائل فيسمى بفراغ تورشيلي. إن قيمة (h) تعتمد على نوعية السائل، فإذا كان زئبقاً (كثافته $\mathbf{13600kg/m^3}$) فيكون:

$$\mathbf{h=\frac{Patm.}{\rho g}=\frac{101.3\times 10^3}{13600\times 9.81}=0.76\,mHg}$$

القيمة الثابتة للضغط الجوي تسـاوي ($\mathbf{101.3kN/m^2}$).وإذا كـان مـاء(كثافته $\mathbf{10^3\,Kg/m^3}$) فإن:

$$\mathbf{h=\frac{P}{\rho g}=\frac{101.3\times 10^3}{10^3\times 9.81}=10.326\,m\,H_2O}$$

إن عمودا من الماء ارتفاعه (10.326m) يكون طويلاً جداً للأغراض القياسية وعرضة للكسر اثناء حمله او استعماله، لذا فكر تورشيلي باستعمال الزئبق لانه اكثف من الماء بـ (13.6) مرة ومنه فان عمود الزئبق سيكون $\left(\frac{1}{13.6}\right)$ مرة بارتفاع عمود الماء، أي:

$$\mathbf{h=\frac{10.326}{13.6}=0.76\,m}$$

هذا الارتفاع معقولاً، وبما انه (Hg) هو الرمز الكيمياوي للزئبق، عندئـذٍ سـيكون ارتفـاع الباروميتر الزئبقي (760 mmHg). وفي الحسابات الثرموديناميكية يكون الـضغط بوحـدات (Pa) ومضاعفاته. فإذا كان الارتفاع البارومتري (h=mm) عندئذٍ سيكون الضغط:-

$$\mathbf{P=\rho gh=13600\times 9.81\times\frac{h}{10^3}=133.4\,h\,(N/m^2)}$$
$$\mathbf{=133.4\times 10^{-3}\,h\,(kN/m^2)}$$
$$\mathbf{=133.4\times 10^{-6}\,h\,(MN/m^2)}$$
$$\mathbf{=133.4\times 10^{-5}\,h\,(bar)}$$

وعملياً سيزداد الارتفاع البارومتري بزيادة الضغط والعكس بالعكس. يتغير مقدار الضغط من مكان الى آخر حسب إرتفاع المكان عن مستوى سطح البحر، كما يتغير الضغط في المكـان الواحـد ايضاً من وقت لآخر نتيجة تأثره بسرعة الريح، ودرجة الحرارة، ومقدار الرطوبة في الجـو. لـذلك صنعت البارومترات لقياس الضغط الجوي منها الزئبقي، والمعدني، والمعدني المسجل، وفورتن.

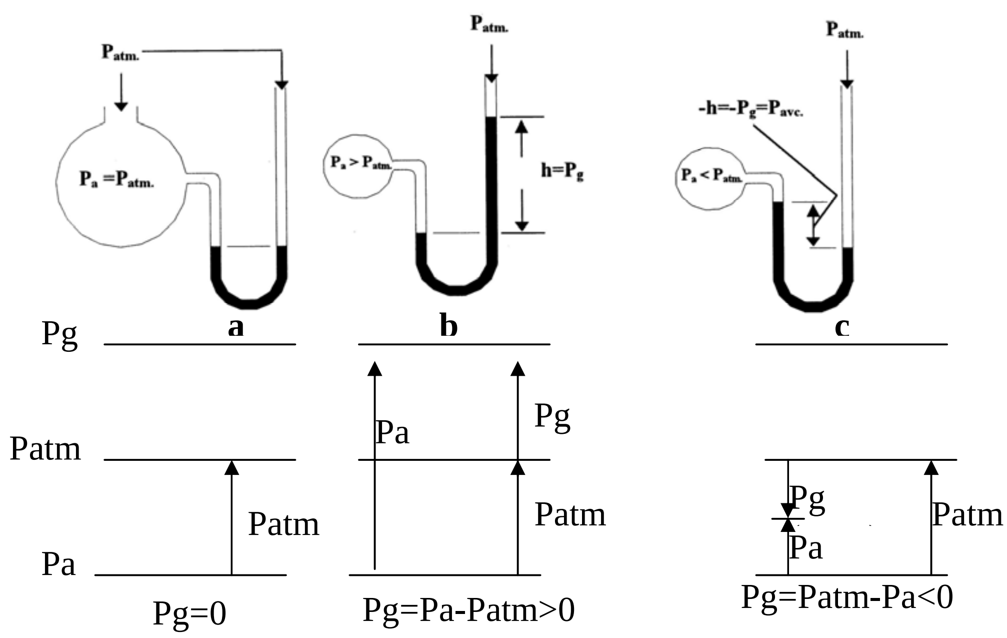
(2.5)- المانوميتر The Manometer

عبارة عن انبوب على شكل حرف (U) مفتوح الى الضغط الجوي عند احد جوانبه، ويتـصل عنـد الطـرف الآخـر بالوعـاء المطلـوب قيـاس ضـغطه الحقيقـي او الـضغط المطلـق (Absolute Press.. Pa).

من الشائع استعمال الزئبق في الانبوب، لكون الضغط الجوي غالباً ما يقاس بأرتفاع عمود من الزئبق. وعندما يكون الضغط الجوي قليلاً (لحد 50mm) فيستعمل الماء لكثافته الواطئة ولأنه يعطـي دقة في القياسات كالمانوميتر المائل (Inclined Manometer).

عندما تكون الضغوط مطلقة، لا داعي لذكر كلمة مطلـق، وعليـه فـإن (250kPa) تعنـي (250 kPa. Pa).

ان نقطة الصفر في المانوميترات هي الضغط الجوي (Patm.)، عليه يمكن ان يكون الـضغط المطلق للوعاء يساوي او اكبر او اصغر من الضغط الجوي، وكما موضح في ادناه.



شكل (2.4)- مبادئ عمل البارومتر

1- عندما يكون (Pa = Patm.) كما في شكل (2.4-a) فيتساوى مستوى السائل في طرفي الانبـوب بسبب تأثير الضغط الجوي على الطرفين وسيكون الـضغط المقـاس (Gauge Pressure. Pg) يساوي صفراً، أي ان:

Pg = 0 …… (2.2)

2- عندما يكون (Pa > Patm.) كما في شكل (2.4-b) فسيرتفع مستوى السائل في الطرف الايمـن للأنبوب بمقدار (+h) او (Pg) الذي يمثل مقياس الضغط الموجب. كما هي الحال فـي المراجـل البخارية وسيكون:

Pg = Pa – Patm. > 0 …….. (2.3)

3- عندما يكون (Pa < Patm.) كما في شكل (2.4-c)، أي ضغط تخلخلـي، فـسينخفض مـستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار (-h) او (-Pg) او (Pvac.) الذي يمثل مقياس الـضغط السالب او مقياس التفريغ او التخلخل (Gauge Vacuum) كما هو الحال في المكثفات البخاريـة وسيكون:

Pg = Patm. – Pa < 0 …….. (2.4)

وعند حساب قيمة الضغط المطلق (Pa) يجب ان تكون وحدات الضغط المقاس (Pg) والضغط الجوي (Patm.) موحدة، وهذا ما سنوضحه في الامثلة الآتية:

امثلة محاولة:

1- اذا كان ضغط المقياس (127kPa) وكان الباروميتر يقـيس قيمـة الـضغط الجـوي وتـساوي (740 mmHg) فيكون الضغط المطلق:

$$Pa = Patm. + Pg$$
$$= (13600 \times 9.81 \times 0.74) \times 10^{-3} + 127 = 225.728 \text{ kPa}$$

2- عند قياس ضغط غاز بمانوميتر زئبقي. كـان عمـود الزئبـق يبـين قيـاس تخلخلـي مقـداره (660 mmHg) وكانت قيمة الضغط الجوي التي يقيسها البـاروميتر (740 mmHg) فيكـون الضغط المطلق:

$$Pa = Patm. - Pg$$
$$= (13600 \times 9.81 \times 0.74 - 13600 \times 9.81 \times 0.66) \times 10^{-3} = 10.673 \text{ kpa}$$

3- عند قياس ضغط غاز بمانوميتر مـائي كـان عمـود المـاء يبـين مقيـاس الـضغط مقـداره (150mm H_2O)، وكانت قيمة الضغط الجوي التي يقيسها الباروميتر (740mm Hg)، فيكـون الضغط المطلق:

$$Pa = Patm + Pg$$
$$=(13600 \times 9.81 \times 0.74 + 1000 \times 9.81 \times 0.15) \times 10^{-3} = 100.2 \text{ kPa}$$

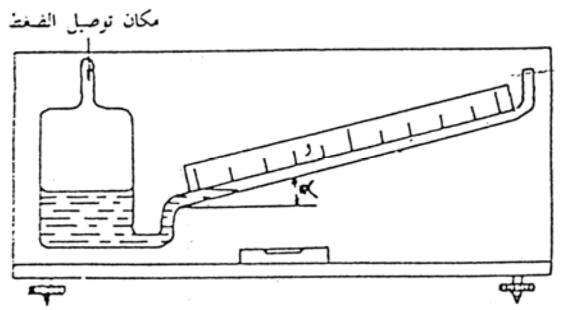
4- عند قياس ضغط غاز في خزان بمانوميتر يحتوي على مائع وزنه النوعي (0.85). كان ارتفـاع عمود المائع (55cm)، وكانت قيمة الضغط الجوي (96kPa) فيكون الضغط المطلق:

$$Pa = Patm + Pg$$
$$= 96\text{kPa} + 0.85 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.55\,\text{m} \times \frac{1\text{kPa}}{10^3\,\text{Pa}}$$
$$= 100.6\,\text{kPa}$$

(2.6)- المانوميتر المائل The Inclined Manometer

يستعمل لقياس فروق الضغط الصغيرة جداً مثلاً الى حد ($50mm\ H_2O$) والمبين فـي شـكل (2.5). إن زاوية ميل انبوب المانوميتر المائل عن المستوى الافقي (α) مساوية لقيمة معينة. فإذا كان (30mm)، وكان ($\alpha=10^\circ$) فان طول المقياس على طول الانبوب المائل:

$$\frac{30}{\sin 10^\circ} = \frac{30}{0.1737} = 173mm$$

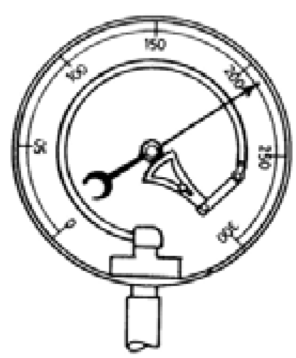


شكل (2.5)- المانوميتر المائل

يستعمل الماء او زيت البارافين الذي له وزن نوعي (0.8) تقريباً. ومنه فاننا نحـصل علـى تغير اكبر في المستوى مما لو استعملنا الماء، فضلاً عن ان معدل تبخره اقل من الماء.

(2.7)- مقياس بوردن The Bourdon Gauge

إن اجهزة قياس الضغط هي الباروميترات والمانوميترات كما سبق ذكرها. وكـذلك مقيـاس بوردن الموضح في شكل (2.6)



شكل (2.6)- مقياس بوردن

الذي يقيس الضغوط الكبيرة كضغط اطارات السيارات والمراجل البخارية والـضغوط التـي تزيد على (0.12 MPa)، ويقيس ضغط المقياس (Pg) لذلك تجب زيادة الـضغط الجـوي (Patm.) لأيجاد الضغط المطلق (Pa).

إن جميع الاجهزة التي مرت هي مقاييس لقياس الضغوط المستقرة مثل ضغوط البخـار فـي المحركات والتوربينات او في الاسطوانات التي تحتوي على هواء مضغوط. اما تغيـرات الـضغوط السريعة، كما في اسطوانة محرك فيمكن استعمال النوع الميكانيكي لتسجيل الضغط على مخطط بياني بسرعة ثابتة يسمى بجهاز التأشير (Indicator)، الذي هو مؤشر، اما مقياس الضغط فيـتم بوسـاطة مقياس بوردن.

(2.8)- درجة الحرارة Temperature

تعد درجة الحرارة من اهم الخواص الثرموديناميكية المرتبطة بحواس الانسان، أي ان مفهـوم الحرارة او البرودة ينشأ من الاحساس الذي نشعر به عند تلامس مختلف الاشياء. لذلك يمكن استعمال اليد لتحديد سخونة او برودة الاجسام. فمثلاً حين نلمس قطعة معدنية ساخنة فإن نهايات الاعصاب عند مكان اللمس ستحس بالسخونة وينتقل ذلك الاحساس الى العقل الذي يفسر ان ذلـك الجـسم الملمـوس ساخن.

اما اذا تم لمس قطعة من الجليد فيمكن الاستنتاج دون عناء انه بارد، والسبب في هذا الاستنتاج يعود الى ان الجسم الساخن يعطي حرارة لليد عند اللمس بينما قطعة الجليد تمتص الحرارة من اليـد. لقد قيل في موضوع تغير ظاهرة البرودة ان الجليد يحتوي على سهام صغيرة، فإذا وضعت يدك على قطعة من الجليد مثلاً، فإنك لن تشعر بالبرودة فحسب ولكن ببعض الالام ايضاً. وقد فسر ذلك على ان

الاجسام الصغيرة الشبيهة بالسهام تنتقل من الجليد الى اليد وبذلك تصبح اليد باردة ويـصحب ذلك شعور بالالام.

ولا توجد حاجة في بعض الاحيان للمس الحقيقي لكي نقرر ان بعض الاماكن حارة او بـاردة. فعند خروجنا من غرفة ودخولنا الى اخرى يمكن ان نشعر ببرودة او سخونة الغرفة، او عندما نخـرج من مبنى الى الهواء الطلق. وكذلك بحرارة الصيف لذلك نبحث عن الظلال لنـتخلص مـن حـرارة الشمس المباشرة.

لذلك فإن الحرارة او البرودة هي عبارة عن شئ يمكن الاحساس به مباشرةً، فالخاصية التـي تجعلنا نشعر بحرارة الجسم او برودته تسمى (درجة الحرارة).

اذن درجة الحرارة هي خاصية من خواص النظام تصف برودة او سـخونة النظـام بالنـسبة للمحيط.

(2.8.1)- الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري

إذا تلامس جسمان او اكثر ولا يحدث تبادل حراري بينهما فأنهما يكونان في حالة توازن حراري وتكون لهما درجة حرارة واحدة. وإذا تلامس جسمان تختلف درجة حرارتهما فبعد فترة زمنية مناسبة، فإن هذه الاجسام ستصل الى حالة التوازن الحراري عندما يتوقف إنتقال الحرارة بينهما، إن توقف انتقال الحرارة يعني ظهور خاصية مشتركة هي درجة الحرارة.

لذا يمكن تعريف درجة الحرارة بأنها تلك الخاصية التي تعين فيما اذا كان النظام متوازنا حرارياً مع نظام او اكثر مجاور له.

من ذلك يتضح ان الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري مفاهيم مرتبطة مع بعضها إرتباطاً وثيقاً. فالحرارة شكل من اشكال الطاقة تنتقل من جسم لآخر بسبب الفرق بين درجة حرارة الجسمين. اما إذا تساوت درجة حرارة الجسمين فإن ذلك يعني ان الطاقة الحرارية المنتقلة تساوي صفرا وأن الجسمين في حالة توازن حراري.

(2.8.2)- مقاييس درجة الحرارة Scales of Temperature

إن حاسة اللمس عاجزة عن تقدير درجة برودة او سخونة الجسم تقديراً رقمياً الى جانب ذلك فإن حاسة اللمس تتحسس فقط ضمن مدى محدد جداً من درجات الحرارة. فلا يتحمل الانسان لمس الاجسام الساخنة جداً او الباردة جداً، فضلاً عن ذلك فإن حاسة اللمس كثيراً ما تعطي انطباعاً غير صحيح عن درجة سخونة الاجسام.

فمثلاً عند لمس جسمين في فصل الشتاء احدهما معدني والآخر خشبي فإن الجسم الاول يبدوعند اللمس ابرد من الجسم الثاني على الرغم من تساوي درجة حرارتهما والسبب يعود الى كون الجسم المعدني موصل جيد للحرارة يسمح بأنتقال الحرارة بينما الجسم الثاني عازل لا يسمح بانتقال الحرارة.

مثال آخر، عند وضع احدى اليدين في سائل ساخن والاخرى في سائل بارد ثم رفع اليدين معاً وغمسهما في سائل دافئ فان اليد الاولى ستشعر ان الماء بارد، بينما اليد الثانية ستشعر ان الماء نفسه ساخن.

عليه كان من الضروري الاستغناء عن الطريقة البدائية في تقدير الحرارة واللجوء الى طريقة علمية ودقيقة في قياس درجة الحرارة. لذلك صممت مقاييس لدرجة الحرارة تسمى بالمحارير (Thermometers)، تحتوي على مواد تتمدد او تتقلص تبعاً للتغير في الحرارة او البرودة. هذه المقاييس تعتمد على نقطتي إنجماد الماء النقي كيمياوياً وغليانه عند الضغط الجوي القياسي (760 mmHg)، إذ انه بزيادة الضغط فإن درجة الحرارة تزداد عند الغليان وتنخفض قليلاً عند الانجماد. وتقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين على عدد معين من الاقسام ويسمى كل قسم درجة.

تقسم مقاييس درجة الحرارة على الانواع الآتية:

1- المقياس النسبي (Relative Temperature Scale). ويشمل

أ- مقياس سلزيوس (Celsius Scale)

هو المقياس المئوي نفسه (Centigrade Scale) (°C)، سمي بسلزيوس عام (1742) نسبةً الى مخترعه العالم السويدي اندريه سلزيوس (1701 – 1744). قرر المؤتمر التاسع للأوزان والقياسات المنعقد عام (1948) استعمال كلمة سيلزيوس بدل مئوي عالمياً تكون فيه درجة انجماد الماء النقي (0°C) والغليان (100°C). هذا المقياس يستعمل مع النظام العالمي للوحدات. رمز درجة الحرارة على هذا المقياس (t°C) او (t). ووحدتها (°C).

ب- المقياس الفهرنهايتي (Fahrenheit Scale)

سمي باسم مخترعه دانيل جابرييل فهرنهايت (1686 – 1736) يستعمل في البلدان الناطقة بالانكليزية. تكون فيه درجة انجماد الماء النقي (32 °F) والغليان (212°F). رمز درجة الحرارة (t°F) وحدته (°F).

يقسم المقياس المئوي على (100) درجة والفهرنهايتي الى (180) درجة، بذلك تصبح الدرجة على المقياس المئوي $\left(\frac{9}{5}\right)$ من الدرجة على المقياس الفهرنهايتي. اما العلاقة بين الدرجة المئوية (t°C) والفهرنهايتية (t°F) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\mathbf{t\ ^{\circ}F = \frac{9}{5}t\ ^{\circ}C + 32 = 1.8\,t\,(^{o}C) + 32\,(^{o}F)\ .....\ (2.5)}$$

مثال (2.5)

1- حول (50°C) من المقياس المئوي الى الفهرنهايتي:

$$\mathbf{t\ ^{\circ}F = 1.8\ t\ ^{\circ}C + 32 = 1.8\times50 + 32 = 122\ ^{\circ}F}$$

2- حوّل (176 °F) من المقياس الفهرنهايتي الى المئوي:

$$\mathbf{t\ ^{\circ}C = \frac{t\ ^{\circ}F - 32}{1.8} = \frac{176 - 32}{1.8} = 80^{\circ}C}$$

ان المقياس الفهرنهايتي لدرجة الحرارة قد زال استعماله والمقياس المئوي (سيلزيوس) لازال واسع الاستعمال، الا ان ما يعول عليه الآن هو المقياس المطلق (كلفن) لدرجات الحرارة.

(2)- مقياس درجة الحرارة المطلقة

Absolute Temperature Scale

في عام (1954) تم الاتفاق دولياً على استعمال المقياس المطلق الذي يعتمد على الدرجة التي عندها تتلاشى تماماً كمية الطاقة المخزونة داخل الجسم. يستعمل هذا المقياس في الحسابات الثرموديناميكية ويشمل:-

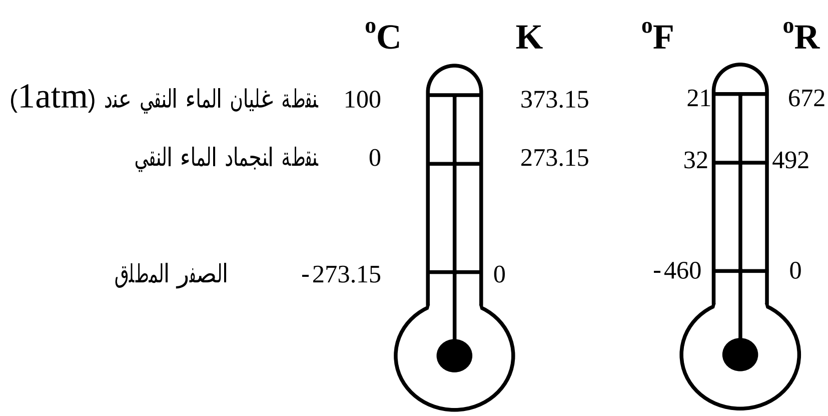
أ- مقياس كلفن Kelvin Scale

سمي بكلفن عام (1851) نسبةً الى مخترعه العالم البريطاني لورد كلفن (1824 – 1907). رمز درجة الحرارة على هذا المقياس (TK) او (T) ووحدته كلفن (K) يناظر المقياس المئوي وتكون درجة الصفر المطلق تساوي (-273.16 °C) على المقياس المئوي، عندئذٍ يكون الصفر المطلق لدرجة الحرارة هو درجة الحرارة للغاز المثالي التي تفقد الجزيئات عندها جميع طاقتها الداخلية. درجة انجماد الماء (273.16 K) ويمكن اعتبارها (273 K). وفي الحسابات الثرموديناميكية كما ذكرنا فإن درجة الحرارة يجب ان تكون مطلقة وبالكلفن، أي:

$$T_K = t\,°C + 273 \quad (K) \quad \text{or} \quad T = t + 273\ [K] \qquad \ldots\ldots (2.6)$$

ويلاحظ ان فرق درجات الحرارة المطلقة يساوي فرق درجات الحرارة المئوية المناظرة لها، أي ($\Delta T = \Delta t$) كما موضح في ادناه:

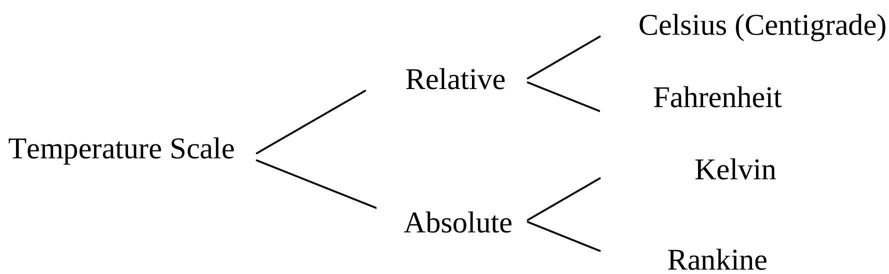
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (t_2 + 273) - (t_1 + 273) = t_2 - t_1 = \Delta t \qquad \ldots. (2.7)$$



شكل (2.7)- مقاييس درجة الحرارة

ب- مقياس رنكن Rankine Scale

يستعمل في الدول الناطقة باللغة الانكليزية، رمز درجة الحرارة على هذا المقياس (T°R) ووحدتها (°R). يناظر المقياس الفهرنهايتي، وتكون درجة الصفر المطلق تساوي (-459.67 °F) يمكن إعتبارها (460 °F) على المقياس الفهرنهايتي. درجة إنجماد الماء (492 °R). المقاييس النسبية والمطلقة موضحة في شكل (2.7) والتي يمكن تلخيصها بحسب المخطط الآتي:



علاقة الرنكن بالكلفن والفهرنهايت موضحة في المعادلات التالية:-

$$T°R = 1.8\,TK = t\,°F + 460 \qquad \ldots\ldots (2.8)$$

تكتب قراءة مقياس درجة الحرارة (°C، K، °F، °R) بحسب المقياس المستعمل او (deg. C، K، deg. F، deg. R).

مثال (2.6)

حوّل (-1°C) من المقياس المئوي الى الفهرنهايتي، رنكن وكلفن.

$$t\,°F = 1.8\,t\,°C + 32 = 1.8 \cdot (-1) + 32 = 30.2\ (°F)$$

$$T\,°R = t\,°F + 460 = 30.2 + 460 = 490.2\ °R$$

$$TK = t\,°C + 273 = -1 + 273 = 272\ K$$

امثلة محاولة:

(2.7)

قوة مقدارها (7500N) سلطت تسليطاً متساوياً على مكبس قطـره (100mm)، مـا مقـدار الضغط على المكبس بوحدات (kN/m^2)؟

$$\mathbf{P = \frac{F}{A} = \frac{7500}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = \frac{7500 \times 4}{\pi \times (0.1)^2} = 956\, kN/m^2}$$

(2.8)

زيت وزنه النوعي (0.8) موضوع في اناء الى عمق مقداره (2m)، احسب ضغط المقيـاس بوحدات (kN/m^2).

$$\mathbf{P = \rho g h}$$
$$\mathbf{= 0.8 \times 9.81 \times 2}$$
$$\mathbf{= 15.7\ kN/m^2}$$

(2.9)

كانت قراءة البارومتر والتي سجلت (765mmHg). حـول هـذه القـراءة الـى وحـدات (MN/m^2).

$$\mathbf{P = \rho\ g\ h = 13600 \times 9.81 \times 0.765}$$
$$\mathbf{= 102063.24\ N/m^2}$$
$$\mathbf{= 0.102\ MN/m^2}$$

(2.10)

رفع الضغط داخل وعاء بوساطة مانومتر زئبقي عند ضغط معين. كان الفـرق فـي ارتفـاع مستوى الزئبق في المانومتر (260 mmHg) فوق الـضغط الجـوي. وكانـت قـراءة البـاروميتر (758 mmHg). اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات (MN/m^2)، (bar).

$$\mathbf{Pa = Patm. + Pg = 13600 \times 9.81 \times 0.758 + 13600 \times 9.81 \times 0.26}$$
$$\mathbf{= 135817.48\ N/m^2}$$
$$\mathbf{= 0.1358\ MN/m^2}$$
$$\mathbf{= 1.358\ bar}$$

(2.11)

مانوميتر مائي يبين ان الضغط في وعاء ما يساوي (400mm) تحت الضغط الجوي. اذا كان الضغط الجوي (763 mmHg). اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات (kN/m^2).

Pa = Patm. – Pg = 13600 × 9.81 × 0.763 – 1000 × 9.81 × 0.4
= 97872.41N/m^2
= 97.87 kN/m^2

(2.12)

مقياس بوردن للضغط يسجل ضغطاً مقداره ($1.75\ \ MN/m^2$) للمقياس. إذا كـان الارتفـاع الباروميتري (757 mmHg). اوجد الضغط المطلق.

Pa. = Patm. + Pg
= 13600 × 9.81 × 0.757 × 10^{-6}+ 1.75
= 1.851 MN/m^2

(2.13)

كان مقدار الضغط التخلخلي في مبخر (284 mmHg)، فـإذا علمـت ان الـضغط الجـوي (742 mmHg). احسب الضغط المطلق بوحدات (Pa).

Pa = Patm. – Pg
= 13600 × 9.81 (0.742 – 0.284)
= 61104.53 Pa

(2.14)

اوجد إرتفاع عمود الماء وعمود الزئبق المكافئ للضغط الجوي العياري ($101325N/m^2$).

$$\mathbf{h_{1w} = \frac{P}{\rho w \times g} = \frac{101325}{1000 \times 9.81} = 10.329\,m\,H_2O}$$

$$\mathbf{h_2Hg = \frac{\rho_{1w} \times h_{1w}}{\rho_2 Hg} = \frac{1000 \times 10.329}{13600} = 0.76\,m\,Hg}$$

(2.15)

احسب الضغط المكافئ لعمود من الزئبق عندما يكون ارتفاعه: 760mm، 750mm، 1mm.

$P = \rho gh = 13600 \times 9.81 \times 0.76 = 101.396$ kPa

$= 13600 \times 9.81 \times 0.75 = 100$ kPa

$= 13600 \times 9.81 \times 0.001 = 0.133$ kPa

(2.16)

اذا اردنا قياس فرق الضغط مقداره (200 Pa) بوساطة مانوميتر استعمل فيـه كـسائل الزئبـق، المـــاء، الكحــول. احـــسب ارتفـــاع عمـــود الـــسائل. اذا كـــان (ρ_{Hg}=13600kg/m^3)، (ρ_w = 1000 kg/m^3)، ($\rho_{alc.}$ = 800 kg/m^3).

$$\mathbf{h = \frac{P}{\rho \times g} = \frac{200}{13600 \times 9.81} = 1.5\,mmHg}$$

$$\mathbf{= \frac{200}{1000 \times 9.81} = 20.4\,mm\ W}$$

$$\mathbf{= \frac{200}{800 \times 9.81} = 25.5\,mm\ Alc}$$

(2.17)

مقياس بوردن يقيس ضغط مقداره (1.75 MPa). فإذا كان الضغط الجوي (757 mmHg)، احسب الضغط المطلق بوحدات (MPa)، (mmHg).

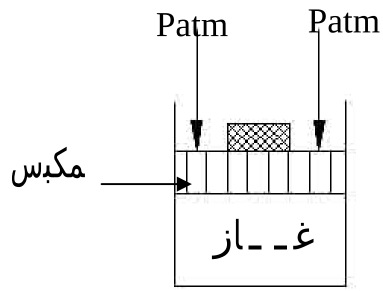
$Pa = Patm. + Pg = 1.75 + 13600 \times 9.81 \times 0.757$

$= 1.851$ MPa

$$\mathbf{h = \frac{1.851 \times 10^6}{13600 \times 9.81} = 13.874\,mHg = 13874\,mmHg}$$

(2.18)

اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس قطره (24cm) عليه ثقل (كتلة المكبس + كتلة الثقل) تساوي (2kg). تم قياس الضغط الجوي بوساطة باروميتر زئبقي، وكـان ارتفـاع الزئبـق (750mmHg). احسب الضغط المقاس والمطلق بوحدات: kPa، bar، PSI، mmHg.



$$Pg = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = \frac{2 \times 9.81 \times 4}{3.14 \times (0.24)^2} = 434 \text{ Pa}$$

$$= 0.434 \text{ kPa}$$

$$= 0.434 \times 10^{-2} \text{ bar}$$

$$= 0.434 \times 10^{-2} \times 14.7 = 0.063 \text{ PSI}$$

$$h_{Hg} = \frac{P_g}{P_{Hg} \times g} = \frac{434}{13600 \times 9.81} = 3.253 \text{mmHg}$$

$$P_a = P_{atm.} + P_g = 13600 \times 9.81 \times 0.75 + 434 = 100496 \text{ Pa}$$

$$= 100.496 \text{ kPa} = 1.00496 \text{ bar}$$

$$h_{Hg} = \frac{P_{abs.}}{\rho_{Hg} \times g} = \frac{100496}{13600 \times 9.81} = 0.7532 \text{ mmHg}$$

(2.19)

اسطوانة فيها غاز ربط عليها مانوميتر زئبقي فإذا كان (أ) قراءة المـانوميتر (15 cm Hg)، (ب) قراة المانوميتر بضغط تخلخل مقداره (10 cm Hg) وكانت قراءة الباروميتر في الحالتين (1.01 bar). إحسب الضغط المطلق للغاز في الحالتين بوحدات

(1) kN/m^2 (2) bar.

1-

Pa= Patm. + Pg = 1.01 × 10^5 + 13600 × 0.15 × 9.81

= 121012.4 Pa

= 121.0124 kPa = 1.21 bar

ب-

Pa = Patm. – Pg = 1.01 × 10^5 – 13600 × 0.1 × 9.81

= 87658.4 Pa

= 87.6524 kPa

= 0.876584 bar

(2.20)

إذا كانت قراءة باروميتر زئبقي عند قاعدة جبل (740 mmHg). وفي قمة الجبل تكون قراءة نفس الباروميتر (590 mmHg). إحسب إرتفاع الجبل. علماً بأن: ($\rho a=1.225\ kg/m^3$).

$$\mathbf{P = \rho\, g\, \Delta h = 13600 \times 9.81 \times (0.74 - 0.59) \times 10^{-3}}$$

$$\mathbf{= 20.013\ kPa}$$

$$\mathbf{h = \frac{p}{\rho_a \times g} = \frac{20.013 \times 10^3}{1.225 \times 9.81} = 1665m}$$

(2.21)

اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس مساحة مقطعه العرضي ($0.04m^2$) وكتلته (60kg). وكانت قيمة الضغط الجوي (0.97 bar). احسب الضغط المطلق للغاز.

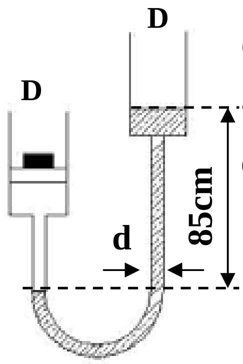
$$\mathbf{Pa = Patm. + Pg = Patm. + \frac{F}{A} = Patm. + \frac{m \times g}{A}}$$

$$\mathbf{= 0.97\, bar + \frac{60\, kg \times 9.81\, m/s^2}{0.04 m^2}\left(\frac{1N}{1kg\, .\, m/s^2}\right)\left(\frac{1\, bar}{10^5\, Pa}\right)}$$

$$\mathbf{= 1.117\, bar}$$

مسائل

(2.1)



في النظام الموضح في الشكل، يوجد غاز فوقه مكبس حر الحركة عليـه ثقل. احسب وزن المكبس والثقل مجتمعين اذا كان النظـام فـي حالـة سـكون واحسب كذلك الضغط المطلق والضغط المقاس للغـاز إذا علمـت ان الـضغط الجـــــــــوي (1.01bar) وكثافـــــــــة الزئبـــــــــق ($13.6\ g/cm^3$). اهمل وزن الغاز، ان (D=20 cm) (d=2 cm).

ج: (3560.87 N)

(2.2)

وضع مقياس ضغط متخلخل (فاكيوم) عند دخول الغاز الى ضاغط وكانت قراءته (0.5 bar). وكانت قراءة مقياس الضغط عند الخروج من الضاغط (0.8 MPa). إحسب الضغط المطلـق للغـاز عند الدخول والخروج من الـضاغط، اذا كـان الـضغط الجـوي(760 mmHg) وكثافـة الزئبـق ($13600\ \ kg/m^3$). إذا وضع مانوميتر زئبقي على شكل (U) بين الدخول والخروج. احـسب فـرق إرتفاع الزئبق بين ساقي المانوميتر.

ج: (51.3 kPa، 901.3 kPa، 0.64 cm Hg).

الفصل الثالث – الطاقة

(3.1)- الطاقة Energy

يهتم علماء الديناميكا الحرارية بالطاقة وتحولاتها من شكل لآخر. هذه التحولات تنظم بضوابط معينة هي قوانين الديناميكا الحرارية. فالطاقة تساعد في صياغة القانون الاول الذي يعبر عن مفهـوم الطاقة.

يمكن تعريف الطاقة بأنها القدرة على إنجاز شغل، رمزها (E). اما الشغل فهو نتيجة لحركـة قوة ما مسافة معينة، يحتوي الوقود على طاقة كامنة بصيغة كيمياوية، فعند حرقه في المحرك تتحـول هذه الطاقة الى طاقة ميكانيكية تحرك السيارة، ومنه فأن شغلاً قد حصل لأن قوة يجـري تحريكهـا بمسافة معينة نتيجة لحرق الوقود تؤدي الى زيادة درجة الحرارة والطاقة الداخلية للمائع

إن وحدات الطاقة هي (القوة × المسافة) أي (N.m) وهو الجول (J) ولأنه وحـدة صـغيرة فيستعمل الكيلو جول (kJ) الذي يساوي (10^3 J).

(3.2)- مصادر واشكال الطاقة Sources & Forms of Energy

1- مصادر ذات كميات محدودة وتشمل الوقود (العادي، الفحم، النووي).

2- مصادر ذات كميات غير محدودة لتوليد القدرة الكهربائية مثلاً وتشمل:

أ. الطاقة الشمسية

ب- المد والجزر

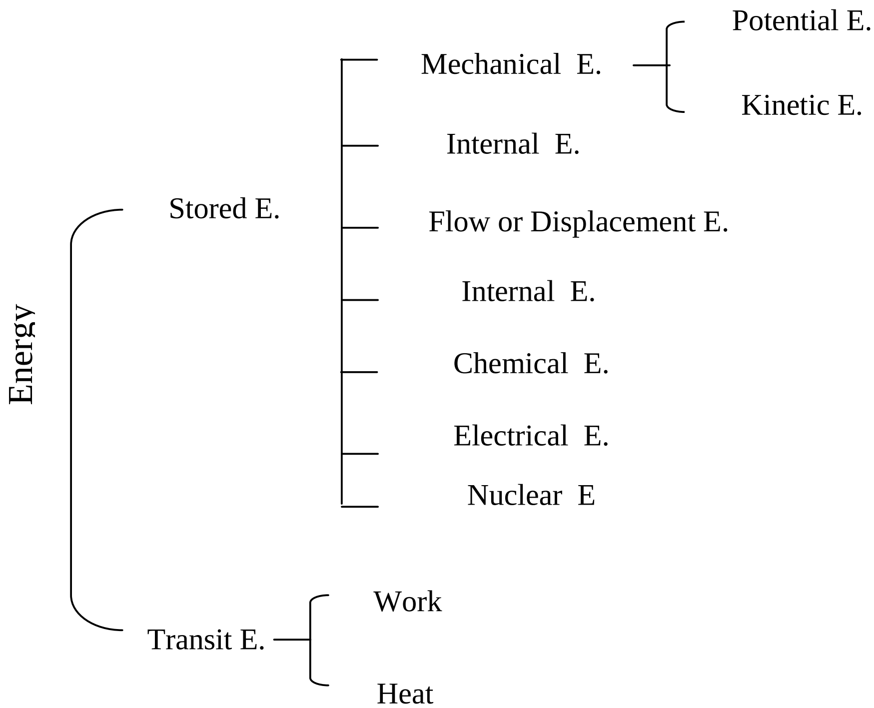
جـ- امواج البحر

د- مساقط المياه

هـ- طاقة الرياح

و – الحرارة المخزونة تحت الارض.

اما اشكال الطاقة فموضحة في المخطط التالي:-



(3.2.1)- الطاقة المخزونة Stored Energy

هي الاشكال المختلفة لطاقة المائع موجودة ضمن المائع نفسه، وتشمل:

أ- الطاقة الكامنة Potential Energy

تسمى ايضاً بطاقة الوضع، رمزها (PE)، تتوقف على وزن الجسم وارتفاعه بالنسبة لمنسوب ثابت كطاقة المياه المحجوزة على منسوب معين وراء احد السدود أي انها الطاقة التي يكتسبها الجسم او المائع (النظام) عندما يكون على ارتفاع مقداره (Z) بالنسبة لسطح الارض. إن قوة الجذب الارضي للكتلة يساوي ($F= m\times g$) حيث (g) تمثل التعجيل الارضي، فإذا تحركت هذه القوة (او الوزن) خلال مسافة شاقولية مقدارها (Z)، فإن الطاقة الكامنة تساوي:

$$PE = F \times Z = m\times g\times z \qquad \ldots\ldots (3.1)$$

اما التغير في الطاقة الكامنة:

$$\Delta PE = mg\times \Delta Z \qquad \ldots\ldots\ldots (3.2)$$

والطاقة الكامنة النوعية تساوي:

$$PE = g \times Z \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

ليس للطاقة الكامنة اهمية كبيرة، حيث يكون التغير صغيراً جداً يقترب من الصفر في معظـم المحركات الحرارية.

ب- الطاقة الحركية Kinetic Energy

رمزها (KE). هي طاقة الجسم او المائع، أي طاقة النظام، تتوقف على وزن الجسم وسرعته اذا كان في حالة حركة او عند تبطيئه. يكون حدها الاقصى عندما يبطئ الجسم الى السكون. يمكن ان تكون ذات اهمية كبيرة في بعض الانظمة مثل المحركات النفاثة، توربينات البخار والغاز والـضواغط .... الخ. وعندما تكون (C) السرعة، (t) الزمن، (m) الكتلة، (a) تعجيل الكتلـة، فـستكون القـوة الخارجية الكلية المؤثرة في الجسم في الاتجاه الموازي لأزاحته (dL) يساوي:

$$F = m.a = m\frac{dc}{dt} \quad \text{.............}(3.4)$$

وسيكون الشغل الكلي المبذول او الطاقة الكلية بوساطة الجسم ضد هذه القوة لتقليل السرعة من (C) الى الصفر يساوي:

$$W_t = \int F dL \quad \text{.........}(3.5)$$

$$= \int m\frac{dc}{dt}.dL = \int m\frac{dc}{dt}.dc = \int mcdc$$

$$= \int \frac{m}{2} d(c)^2 = m\left[\frac{c^2}{2}\right]_o^c = \Delta\frac{mc^2}{2}$$

اما التغير في الطاقة الحركية فيساوي:

$$\therefore KE = \frac{mc^2}{2} \quad \text{...........}(3.6)$$

$$\Delta KE = \frac{m\Delta c^2}{2} \quad \text{..........}(3.7)$$

اما الطاقة الحركية النوعية فتساوي:

$$\Delta KE = \frac{\Delta c^2}{2} \quad \text{..........}(3.8)$$

ونتعرف على وحدات (KE) من خلال التحويل التالي للوحدات:

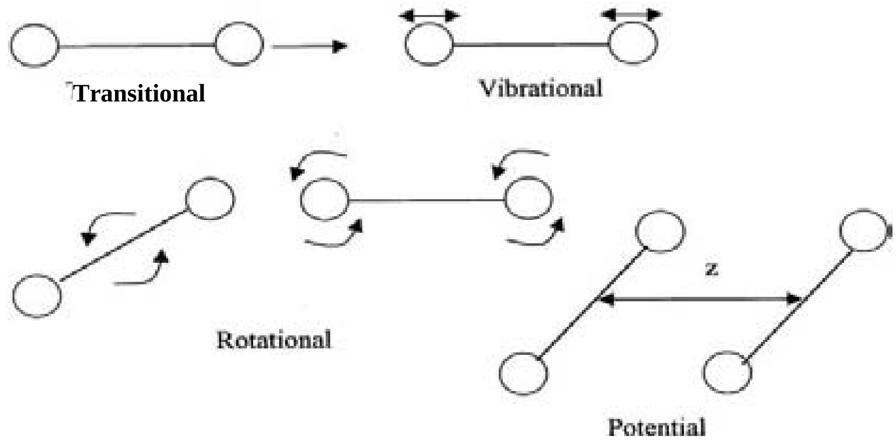
$$\frac{kJ}{kg} = 10^3\frac{J}{kg} = 10^3\frac{N.m}{kg} = 10^3\frac{kg\times\frac{m}{s^2}\times m}{kg} = 10^3\frac{m^2}{s^2} \quad \text{.........}(3.9)$$

فإذا اريد ان تكون الـ (KE) بوحدات (kJ/kg) فتصبح المعادلة (3.8) كالتالي:

$$\Delta KE = \frac{\Delta c^2}{2} = \frac{m^2/s^2}{2}.\frac{kJ/kg}{10^3\ m^2/s^2} = \frac{\Delta c^2}{2\times 10^3}\ (kJ/kg) \text{..........}(3.10)$$

جـ - الطاقة الداخلية Internal Energy

تتألف المادة من الذرات والجزيئات. فعند التسخين ستحصل المادة على طاقة حركيـة بـسبب حركة الجزيئات الانتقاليـة (Transition)، الاهتزازيـة (Vibration)، والدورانيـة (Rotation)، وكذلك ستحصل المادة على طاقة كامنة بسبب قوة التجاذب الموجودة بين الجزيئات، كما فـي شـكل (3.1).



شكل (3.1)- حركة الجزيئات داخل المادة

إذن كل الطاقات التي تمتلكها المادة والمخزونة فيها تسمى بالطاقة الداخلية، يرمـز لهـا (U) والنوعية (μ). في الغازات تتحرك الجزيئات والذرات بحرية اكبر مما هو عليه في المواد الصلبة، لذا سيولد ارتطامها وحركتها ضغطاً على الجدار. لذا فإن الطاقة الداخلية دالة لحركة الجزيئات والذرات، وبالتالي فهي خاصية من خواص المادة تعين بدلالة أي خاصيتين مستقلتين مثل (P، T).

إن زيادة الطاقة الداخلية لا يؤدي دائماً الى زيادة درجة الحرارة، فمثلاً عند تغير المـاء الـى بخار فإن درجة الحرارة ستبقى ثابتة في حين تزداد الطاقة الداخلية وتنفصل الجزيئات ليتحول المـاء الى بخار. وهذه الحالة تنطبق على تحويل الصلب الى سائل كما سيتوضح في الفقـرة (4.1)، انظـر شكل (4.2).

لا يمكن تحديد قيمة الطاقة الداخلية علـى اسـاس مطلـق، بـل تمثـل بمقـدار التغيـر أي ($\Delta U_{12}=U_2-U_1$). فعند تسخين النظام ترتفع درجة حرارته وتزداد حركة الجزيئات والذرات وبالتالي تزداد الطاقة الداخلية، والعكس صحيح، فعندما تكون الجزيئات والذرات في حالة سكون فتكون الطاقة الداخلية صفراً. أي ان الطاقة الداخلية دالة لدرجة الحرارة كما سيتوضح فيما بعد.

د- الطاقة الازاحية او التدفقية (طاقة الجريان) Flow or Displacement Energy

هي الطاقة الناتجة بسب أزاحة او جريان (تدفق) المائع سواء كان غازاً أو سائلاً. تكون على شكل نوعين:

أ. طاقة او شغل أزاحي.

ب. طاقة أو شغل جرياني (تدفقي).

أن الشغل الازاحي هو الشغل المبذول بواسطة قوة مؤثرة على مكبس تزيحه من مكان لآخر منجزا بذلك شغلا ازاحياً. ابسط مثال على ذلك هو مايحدث في اسطوانة محرك. فبعد احتراق الوقود داخل الاسطوانة تتولد طاقة. فتمدد الغازات التي تدفع (او تزيح) المكبس من نقطة لاخرى منجزا بذلك شغلا خارجيا موجبا. وعند انضغاط الغازات يحتاج المكبس شغلا داخليا سالبا ليزاح ايضا من نقطة لاخرى. فأذا كان (P) تمثل الضغط المؤثر الثابت (وزن المكبس مثلا). وان (V_1) الحجم الابتدائي للغاز، (V_2) الحجم النهائي. فأن الشغل المنجز من قبل الغاز (W) والذي يزيح المكبس من نقطة (V_1) الى نقطة (V_2) سيكون :

$$W_{12} = P\Delta V_{12} = P(V_2 - V_1)$$

(3.2.2)- الطاقة المنتقلة او العابرة Transit Energy

يمكن تشبيه هذه الطاقة بالمطر، فعندما يهطل المطر على بحيرة يتحول هذا المطر الى ماء اضافي ضمن البحيرة، ولا يسمى عندئذٍ مطراً، فالماء ضمن البحيرة يشبه الطاقة المخزونة، بينما المطر يشبه الشغل او الحرارة. فبعد انتقال الشغل او الحرارة الى النظام يتحولان الى طاقة مخزونة. لذلك من الخطأ ان يقال ان النظام يحتوي على كمية حرارة، وإنما يقال انه يحتوي على طاقة مخزونة، ينتهي وجودهما كشغل او حرارة ويتحولان الى زيادة في الطاقة الداخلية والحركية والكامنة.

اذا كانت كمية الحرارة المنتقلة الى النظام اكبر من الشغل الخارج فستزداد الطاقة المخزونة في النظام والعكس صحيح. يتبين من المناقشة ان الطاقة المنتقلة تشمل الشغل والحرارة.

(3.3)- حفظ الطاقة The Conservation of Energy

ينص قانون حفظ الطاقة على ان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من شكل الى آخر. ابسط مثال لتوضيح هذا المفهوم هو محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تحول الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية ثم الى شغل يقوم بتدوير المولدة الكهربائية (Electrical generator). أي ان هذا الشغل قد تحول الى طاقة كهربائية ترسل الى المستهلك لأستعمالها في اجهزة مختلفة لأنتاج الحرارة او الضوء او القوة. وبالتأكيد لا تتحول كل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية بسبب تسرب الطاقة او المفقودات الحرارية، والامثلة على محطات توليد الطاقة هي:

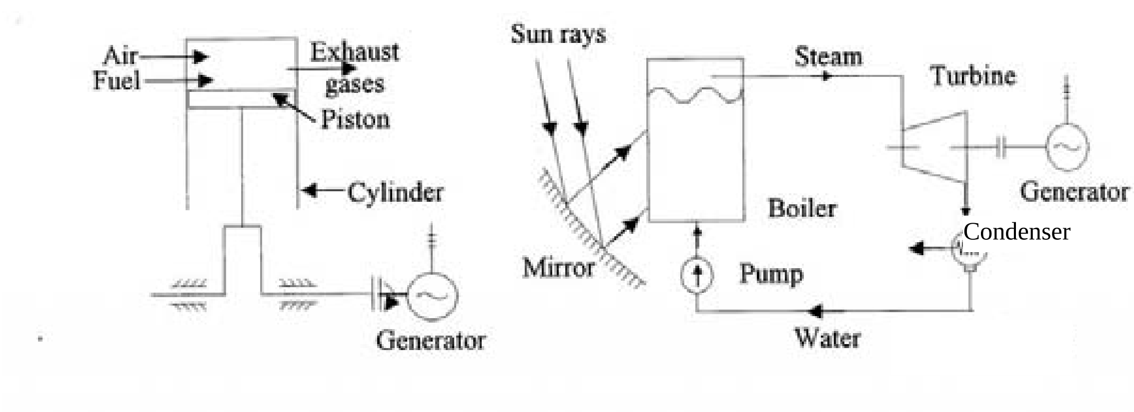
1- المحطة الشمسية شكل (3.2-a) Solar Power Plant
2- محطة ديزل شكل (3.2-b) Diesel Engine Power Plant
3- المحطة الغازية شكل (3.3-a) Gas Turbine Power Plant
4- المحطة البخارية شكل (3.3-b) Steam Power Plant
5- المحطة النووية الغازية شكل (3.4-a) Nuclear Gas Turbine Power Plant
6- المحطة الهيدروليكية شكل (3.4-b) Hydraulic Power Plant

وغيرها من محطات تحويل الطاقة. وسنسلط الضوء على بعض من هذه المحطات.

1- محطة ديزل

بعد حرق الوقود داخل محرك ديزل، تتحول الطاقة الكيمياوية الموجودة في الوقود الى طاقة حرارية، نواتج الاحتراق (Product of Combustion) تتمدد ويتحرك المكبس حركة ترددية (Reciprocating) ثم تتحول الى حركة دورانية (Rotary) بوساطة آلية المرفق وذراع التوصيل (Crank Connecting rod mechanism) يستغلها المولد لأنتاج الطاقة الكهربائية. أي ان:

الطاقة الكيميائية ← محرك ديزل ← طاقة ميكانيكية ← المولد ← طاقة كهربائية



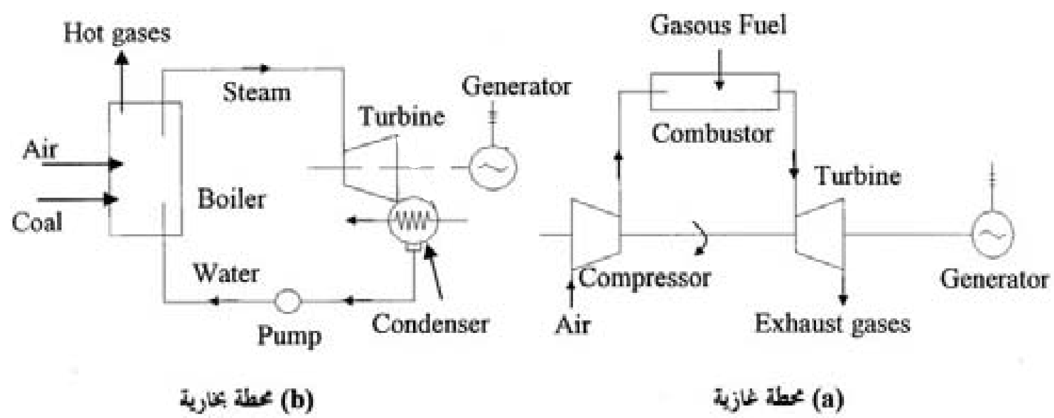
(b) محطة ديزل

(a) محطة شمسية

شكل (3.2)– محطة توليد الطاقة

2- المحطة الغازية

يضغط الهواء خلال الضاغط (Compressor). نواتج الاحتراق الناتجة في غرفة الاحتـراق (Combustor) تتمدد خلال التوربين (Turbine) وتعطي الشغل اللازم لأدارة المولد الكهربائي.

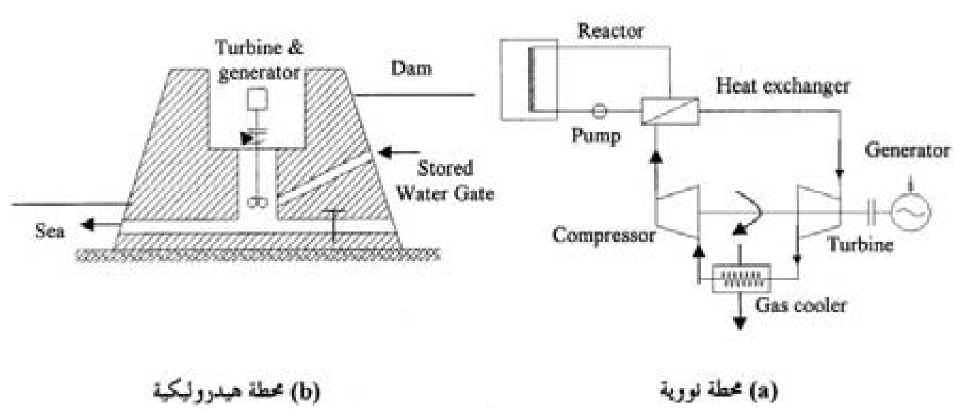


شكل (3.3) – محطة توليد الطاقة

3- المحطة البخارية

عند حرق الوقود (سولار او فحم)، تعمل الحرارة في المرجل (Boiler) على توليد البخـار. عندما يتمدد البخار خلال التوربين فان جزء من الطاقة الحرارية المخزونة في البخار تتحول الى طاقة ميكانيكية، يستخدمها المولد لأنتاج الطاقة الكهربائية. أي ان:

الطاقة الكيميائية ← المرجل ← طاقة حرارية ← التوربين ← طاقة ميكانيكية ← المولد ← طاقـة كهربائية.



شكل (3.4) – محطة توليد الطاقة

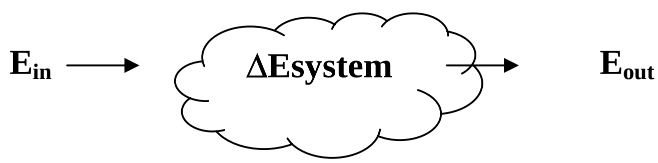
4- المحطة النووية الغازية

يضغط الغاز خلال الضاغط (Compressor)، ثم يسخن في المبـادل الحـراري بواسـطة الحرارة المتولدة في المفاعل (Reactor)، والمنتقلة من المفاعل الى المبادل الحراري بواسـطة مـادة ناقلة للحرارة، عندما تتمدد الغازات الساخنة خلال التوربين، جزء من الطاقة المخزونة فـي الغـازات تتحول الى شغل يعمل على إدارة المولد الكهربائي، أي ان:

اليورانيوم ← المفاعل ← طاقة حرارية ← مبادل حراري ← طاقة حرارية

طاقة كهربائية → المولد → طاقة ميكانيكية → توربين

وخلاصة القول إذا كانت محطات تحويل الطاقة انظمة ثرموديناميكية فسيكون مجموع الطاقة الداخلة الى النظام ($\sum E_{in}$) تساوي مجموع الطاقة الخارجة ($\sum E_{out}$) وتغير الطاقة داخل النظام **ΔEsystem** كما في شكل (3.5)، أي:



شكل (3.5)- طاقة النظام

$$\sum \mathbf{E_{in}} = \sum_{out} + \Delta\sum \mathbf{E_{system}} \qquad \text{……. (3.11)}$$

وعندما تكون حالة النظام مستقرة أي ($\Delta\sum E_{system} = 0$) فسيكون:

$$\sum \mathbf{E_{in}} = \sum \mathbf{E_{out}} = \sum \mathbf{E_{constant}}$$

وعندما يكون النظام معزول (Isolated) فأن:

$$\mathbf{E_{system} = Constant}$$

(3.4)- الشغل والحرارة Work and Heat

(3.4.1)- خلفية تأريخية Historical Background

ظهرت نظرية في القرن الثامن عشر تعد الحرارة احد انواع الموائع أي انهـا مـادة تخـزن وتنساب من الاجسام الحارة الى الباردة. لكن هذه النظرية فندت واصبحت في الوقت الحاضـر غيـر مقبولة لأنه برهن وأثبت عملياً وعلمياً ان الحرارة (1) تتكون بالاحتكاك و (2) تنـساب حتـى مـن الاجسام الباردة و (3) تنتقل من الاجسام الحارة الى الباردة تلقائياً.

لقد قام العالم السير همفري ديفي بتقريب جسمين باردين من بعضهما ثم مسح احدهما بـالآخر فوجد ظهور الحرارة نتيجة الاحتكاك ما بين هذين الجسمين الباردين. وقام العالم نفسه بأخذ قطعتين من الثلج ووضع احدى القطعتين فوق الاخرى وبدأ عملية المسح ببعضهما البعض فأنـصهرت القطعتـين

وكونا ماءً وبهذا الدليل اثبت ان الحرارة تتكون بالاحتكاك ما بين جزيئات المادة لأن هـذه الجزيئـات تكون في حالة حركة دائمية لذلك تنساب حتى من الاجسام الباردة.

اما العالم كونت رمفورد الذي اكد عام (1798) ان الحرارة تتولد بالاحتكاك من خلال إرتفاع درجة حرارة رايش النحاس الاصفر في عملية تجويف ماسورة مدفع.

يقصد بالاحتكاك الشغل المبذول والمسؤول عن انسياب الحرارة، لذلك ومن خـلال التجـارب اعلاه تبين ان هناك تكافؤً متيناً بين الحرارة الناتجة والشغل المبذول، هذا التكافؤ اوجده الدكتور جيمس بريسكو جول (1818 – 1889) وهو عالم فيزياوي انكليزي من خلال بحثه التـأريخي فـي مـؤتمر الرابطة البريطانية في كورك عام (1843)، إذ قام بحساب القيمة العددية الثابتة للعلاقة بين الحـرارة والشغل الميكانيكي والتي تساوي (J=4.186 kJ/kcal) وتـسمى بمكـافئ جـول، أي ان (W/Q=J) عندما يكون الشغل (W) بوحدات الجول (J) والحرارة (Q) بوحدات (Kcal). وفي نظام الوحـدات العالمي (SI) فإن وحدات الحرارة نفس وحدات الشغل وهي الجول (J) ويساوي (J=N.m)، لذا فـإن قيمة المكافئ ليس ضرورياً في المعادلات، فبقيت قيمته التأريخية فقط.

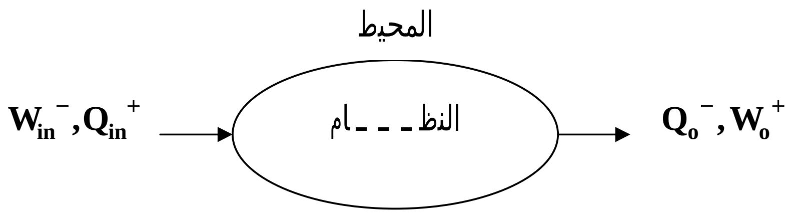
(3.4.2)- العلاقة بين الحرارة والشغل Relationship between Heat & Work

عند إنتقال الحرارة او الشغل الى النظام يتحولان الى طاقة مخزونة بعد دخولهما الى النظام لا يمكن تمييزهما او فصلهما عن الطاقة التي يمتلكها النظام. يمكن تشبيه ذلـك بـالمطر فـي البحيـرة، فالمطر هو الحرارة والشغل، وماء المطر في البحيرة يشبه الطاقة المخزونة. نـستنتج مـن ذلـك ان الحرارة او الشغل هما طاقة منتقلة عبر حدود النظام، أي انها ظاهرة وقتية تلاحظ عند حدود النظـام، وتتوقف عندما يتوقف الانتقال.

إذن الشغل والحرارة هما شكل من اشكال الطاقة، كمية منتقلة وليس خاصية، لذلك فهما دالـة للمسار، أي لا يعتمدان فقط على الحالة الابتدائية والنهائية بل ايضاً على الحالات البينية (الوسـطية)، أي على المسار.

(3.4.3)- اشارة ووحدات الحرارة والشغل Sign. of Heat & Work

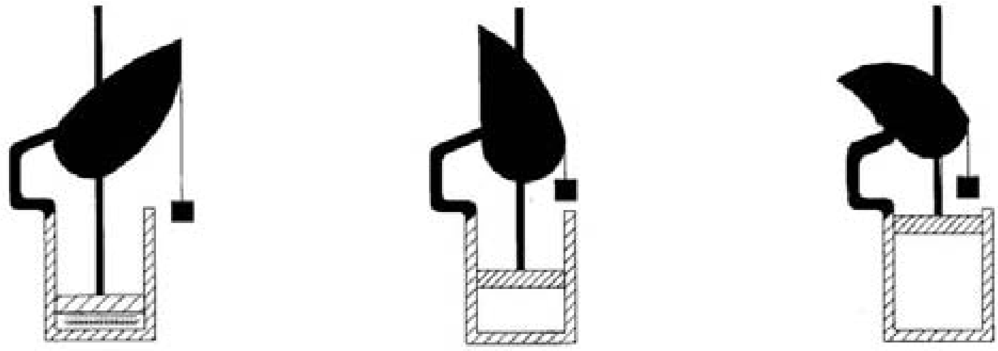
رمز الشغل (W) والنوعي (w) الذي يساوي (w=W/m)، ورمز الحرارة (Q) والحرارة لكل (1Kg) بالرمز (q) والتي تساوي (q=Q/m). ويقال عن الشغل المنتقل من النظام الى المحيط بالشغل الخارجي (External Work) ورمزه (W_{out}) واشارته موجبة. وعن الشغل المنتقل من المحيط الى النظام بالشغل الداخلي (Internal Work) ورمزه (W_{in}) وإشارته سالبة. اما الحرارة المنتقلة فأشارتها عكس إشارة الشغل، وكما مبين في شكل (3.6).



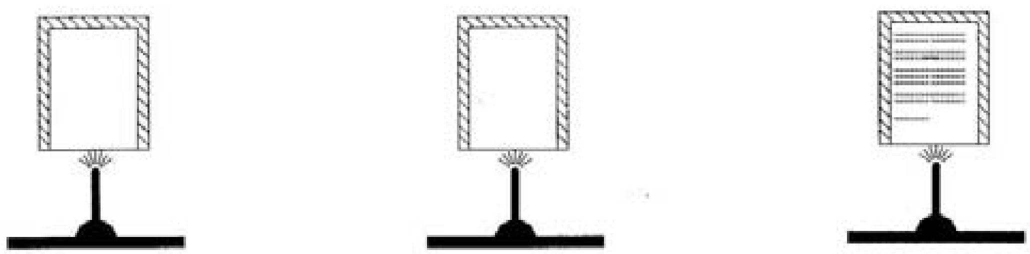
شكل (3.6)- رمز و اشارة الحرارة والشغل

وللأشارة الى معدل إنجاز الشغل نضع نقطة فوق الرمز (W) ويساوي الشغل المنجز لكل وحدة زمنية، أي $\left(\dot{W} = W/t \text{ "KW"}\right)$ وللأشارة الى معدل إنتقال الحرارة، نضع نقطة فوق الرمز **(Q)** ويساوي الحرارة المنتقلة لكل وحدة زمنية، أي $\left(\dot{Q} = Q/t \text{ "KW"}\right)$.

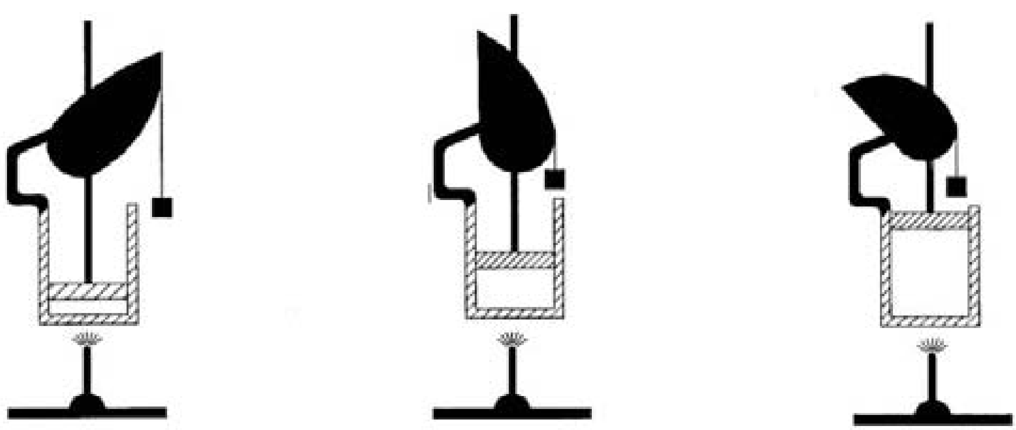
ولكي نميز بين الحرارة والشغل ننظر الى شكل (3.7)، فأن (أ) يوضح ان المائع يتمدد ادياباتياً، بتخفيض الوزن وينجز شغلاً، بينما يظل المائع قريباً من حالة الاتزان. وفي (ب) تنتقل حرارة بدون شغل، وفي (جـ) تنتقل حرارة فيتمدد المائع وينجز شغلاً.



(أ) شغل أدياباتي



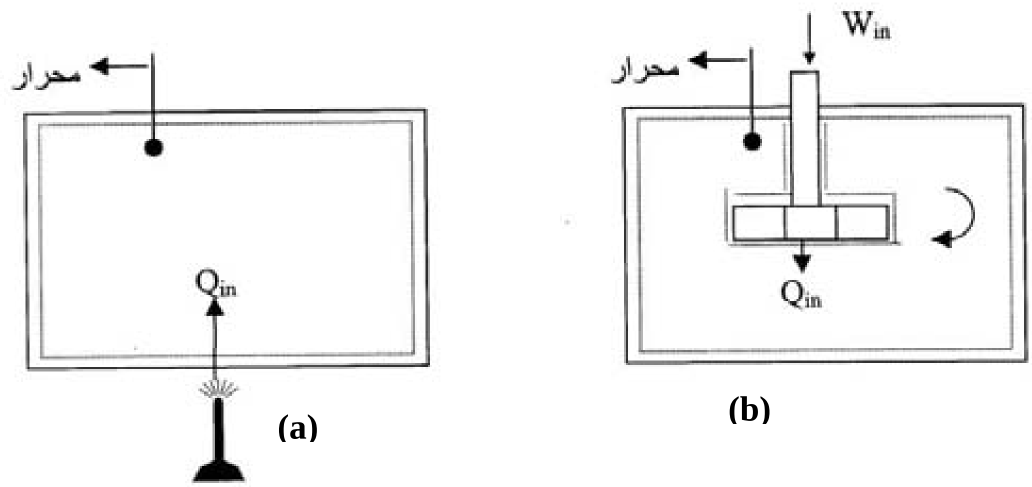
(ب) حرارة بدون شغل



(جـ) شغل وحرارة

شكل (3.7)– التمييز بين الحرارة والشغل

ومن الممكن ان نطرح السؤال التالي: ماذا يحدث للحرارة بعد انتقالها ؟
فيكون الجواب على ذلك هو بما ان النظام لا يستطيع خزن الطاقة على شكل حرارة، فبعبور الحـدود



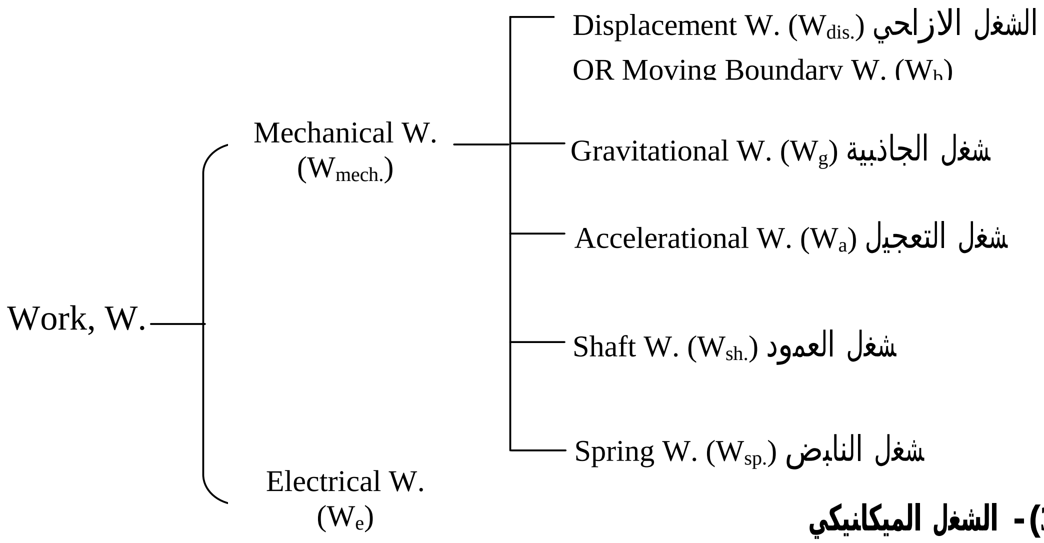
شكل (3.8)– الشغل والحرارة شكلان متبادلان من اشكال الطاقة

تتحول الطاقة الحرارية الى شكل آخر من اشكال الطاقة والذي يمكن ان يحتفظ به النظـام، ويحـدث تحويل مماثل عند إنتقال طاقة الشغل، كما في شكل (3.8) الذي يوضح بان الماء الموجود في خـزان ترتفع درجة حرارته بنفس المقدار سواء عن طريق التسخين (a) او عن طريق الاحتكاك (b) لـذلك فأن الحرارة والشغل هما شكلان متبادلان من اشكال الطاقة.

يمكن التعبير عن الحرارة بوحدات الشغل التي هي الجول (J) ويعرف بأنـه مقـدار الـشغل المنجز بوساطة قوة مقدارها نيوتن واحد (N) عندما تتحرك هذه القوة مسافة متراً واحداً (m) بالاتجاه الذي تعمل فيه تلك القوة، أي ان: (J=N.m).

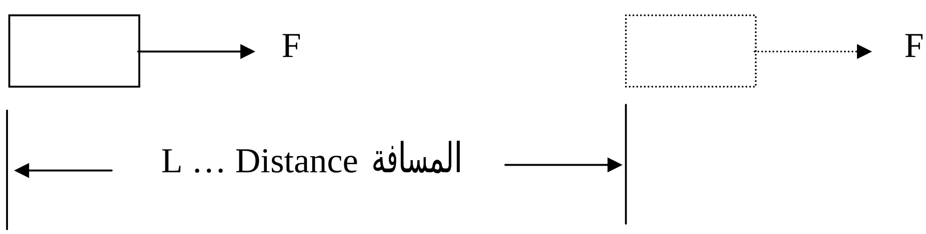
(3.5) - اشكال الشغل Forms of Work

يمكن ان يكون الشغل بأشكال مختلفة موضحة في المخطط الآتي:



(3.5.1) - الشغل الميكانيكي

يعتمد على مبدأ، إذا لم تكن حركة، لم يكن شغل. الشغل الميكانيكي هو الطاقة المبذولة للتغلب على قوة ما او مقاومة. فمثلاً عند بذل طاقة لرفع كتلة، فإن الاحساس العضلي للتغلب علـى الجـذب الارضي للكتلة (أي وزنها) هو شعور بوجود قوة. وعند بذل طاقة لضغط نابض باليد سيولد شـعوراً بوجود مقاومة. فالشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة.



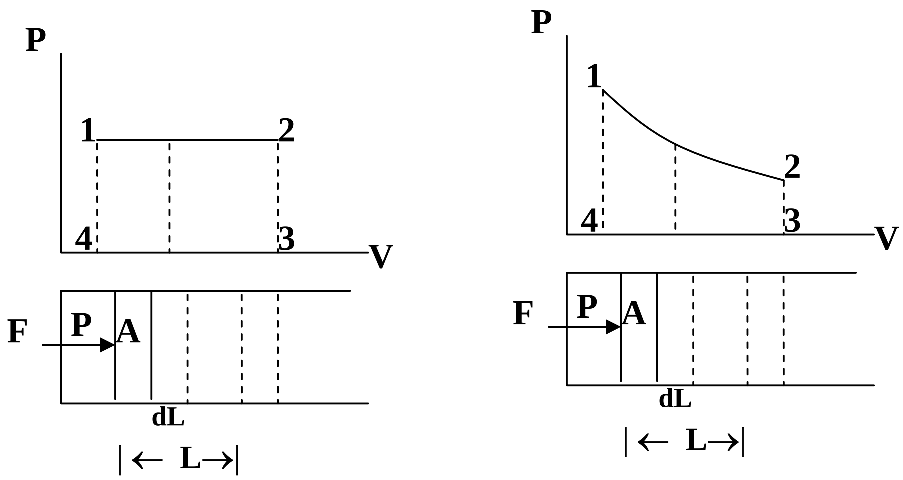
شكل (3.9) - اذا لم تكن حركة، لم يكن شغلاً

لذا يمكن تعريف الشغل، وكما موضح في الشكل (3.9) بانه حاصل ضرب القـوة (F) فـي المسافة (L). أي:

$$\mathbf{W_{mech.} = F \,.\, L = \int_1^2 F dL \quad .... \; (3.12)}$$

(3.5.2)- الشغل الازاحي Displacement Work

ان الشغل شيء يظهر عند الحدود عندما تتغير حالة النظام بسبب تحرك جزء من الحدود تحت تأثير القوة وكما هو الحال في الميكانيك نقول ان الشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة، فإذا تعرض جزء من الحدود الى الإزاحة تحت تأثير الضغط فان هذا هو الشغل الازاحي.



شكل (3.10)- المساحة تمثل الشغل

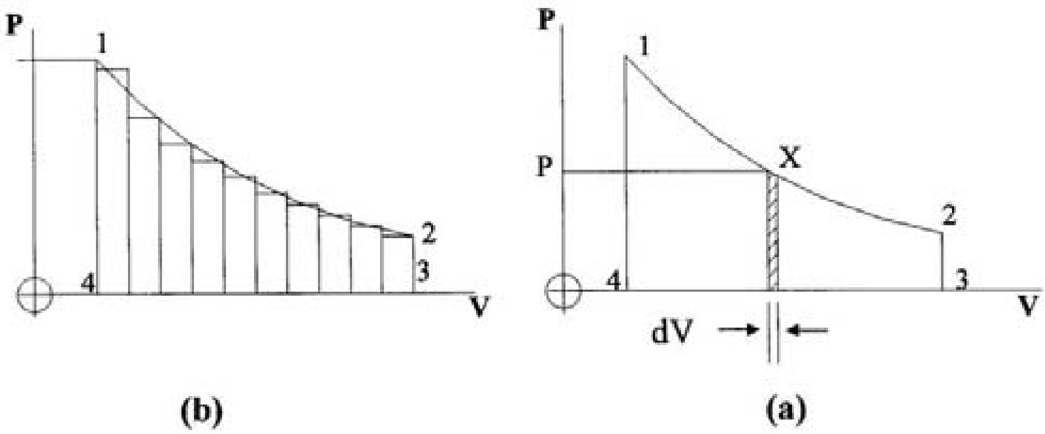
الشغل الازاحي في اجراءات عدم التدفق هو الشغل المبذول بوساطة قوة مؤثرة على مكبس نزيحه من مكان لآخر لنفترض وجود كمية من غاز حجمه (V) وضغطه (P) في اسطوانة محكمة يتحرك بداخلها مكبس مساحة مقطعه العرضي (A) عديم التسرب والاحتكاك، تؤثر فيه قوة (F) تزيحه من الحالة (1) الى الحالة (2) كما في شكل (3.10). عندما نفترض ان (P) تبقى ثابتة اثناء تحرك متناهي الصغر للمكبس لمسافة (dL) فان:

$$dW = F \,.\, dL = PA\, dL = P\, dV \quad .... (3.13)$$

أي القوة × المسافة التي تقطعها القوة في نفس إتجاهها. هذا تغير متناهي الصغر. فالشغل الازاحي نوجده بوساطة جمع التزايدات أي:

$$\int dW = \int P\, dV \quad .... (3.14)$$

$$W_{dis.} = P\Delta V = \text{area } 1234 \quad .... (3.15)$$



شكل (3.11)- الشغل هو مجموع المساحات الجزئية

عندما يكون الأجراء على شكل منحني على مخطط (P-V) ولأيجاد المساحة التي تمثل الشغل المنتقل، نقسم المساحة تحت المنحني على مستطيلات صغيرة كما في الشكل (3.11-b)، مساحة كـل مستطيل تمثل الشغل الجزئي ومجموع المساحات الجزئية يساوي المساحة الكلية المكافئة للشغل الكلي. فلو اخذنا نقطة (X) على منحني التمدد، كما في الشكل (3.11-a)، فإن هذه النقطة تمثل تغير جزئـي او صغير للحجم، اما الضغط فلصغره يعد ثابتاً، لذلك سيكون للشغل الجزئي (dW) مـساوٍ للمـساحة الجزئية للمستطيل الصغير التي تمثل بتفاضل ناقص (Inexact Differential). أي ان :

dW = P dV = المساحة الجزئية

ومجموع المساحات الجزئية تمثل المساحة الكلية المكافئة للشغل الكلـي أي قيمـة المـساحة بحسابات التكامل. فعند تكامل المعادلة المذكورة آنفاً يصبح:

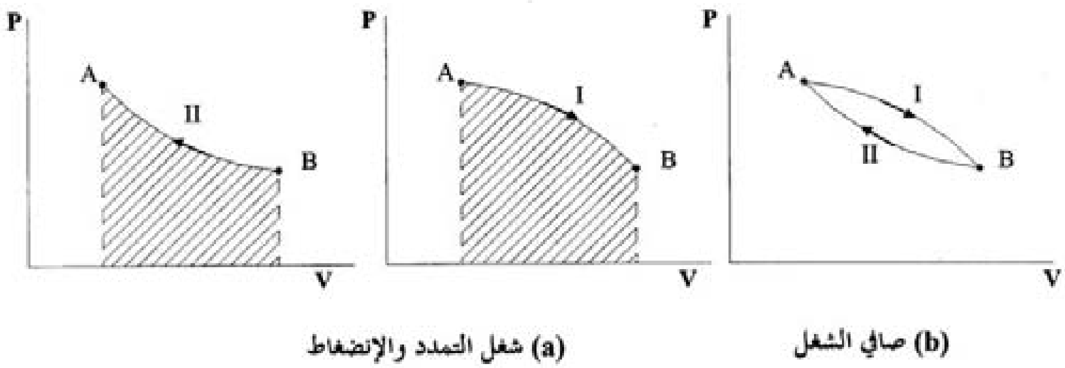
$$\int dW = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \sum P\,dV \quad ....(3.16)$$

$$\therefore W = P\,\Delta V12 = \text{area } 1234 \quad .... (3.17)$$

$$= W_{Friction} + W_{atm} + W_{crank} = \int_{1}^{2} (Friction + P_{atm} A + F_{crank})\,dL \quad ..... (3.18)$$

(3.5.3)- الشغل الصافي Net Work

إن حالة الانضغاط هي عكس حالة التمدد من حيث الاتجاه على مخطط (P-V). وان المناقشة المذكورة آنفاً تنطبق على الحالتين ماعدا اعتبار مساحة التمدد كقيمة موجبة



شكل (3.12)- الشغل الصافي عند مرور النظام بدوره

ومساحة الانضغاط كقيمة سالبة. فالشكل (3.12-a) يبين حالة التمدد من (A) الى (B) عبـر المـسار (I). والانضغاط من (B) الى (A) عبر المسار (II). فبرغم ان التغير فـي الخـواص (ΔP، ΔV) خلال المسارين متشابه، إلا ان الشغل مختلف، وهذا موضح بالمساحة المظللة. اما المـساحة المغلقـة ($A \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow II$—$A$) فتمثل الشغل المنجز او الصافي في الدورة، كما في الشكل (3.12-b)، الذي يوضح ان النظام يمر بدوره. ويرمز لتكامل المقدار بـ ($\oint$)، إذ تعود خواص النظـام الـى حالتهـا الاصلية، أي ان ($\oint dT=0$ ، $\oint dV=0$ ، $\oint dP=0$). ولكن الشغل المنجز الذي يمثل المساحة المغلقة في شكل (3.12-b) لا يساوي صفراً، أي ان($\oint dW \neq 0$) .

يمكن القول ان $\left(\int_1^2 dV = \Delta V_{12} = V_2 - V_1\right)$، ولكن مـن الخطـأ القـول ان $\left(\int_1^2 dW = \Delta W_{12} = W_2 - W_1\right)$ لأن الشغل لا يظهر عند الحالتين الابتدائية والنهائية، كما في خواص النظام، وإنما يظهـر بـين الحـالتين الابتدائية والنهائية، أي خلال المسار، لذا فالشغل (او الحرارة) دالة للمسار تمثل بتفاضل غيـر تـام* $\left(\int_1^2 dQ = Q_{12}\ (or Q)\right)$ ، $\left(\int_1^2 dW = W_{12} (or W)\right)$ اما خواص النظام فهما دالة الحالة تمثل بتفاضل تـام مثلاً (dP، dV، dT، .... الخ).

هذه المناقشة نستطيع ان نفهمها عندما نتصور راكب دراجة ينتقل من النقطـة (1) بارتفـاع (Z_1,m) فوق سطح البحر الى النقطة (2) على رابية ارتفاعها (Z_2,m) فوق سطح البحر. فإذا اعتبرنا راكب الدراجة بأنه النظام، يمكن إعتبار إرتفاعه فوق سطح البحر خاصية للنظـام لأن التغيـر فـي الارتفاع (Z_2-Z_1) مستقل عن الطريق الذي يسلكه راكب الدراجة، أي الاجراء من (1) الـى (2). إن

---

* dW,dQ مشتقتيين غير صحيحتين (تفاضل غير تام او ناقص)

الشغل الذي يقوم به راكب الدراجة غير مستقل عن الاجراء لانه يعتمد على طول او قـصر الطريـق وكذلك فيما إذا كانت الرياح مرافقة له او معاكسة.
ومن ذلك نرى انه بالرغم من ان الشغل المبذول كمية قابلة للقياس الا انه ليس بخاصية وتنطبق هـذه الحالة على الحرارة بوصفها طاقة منتقلة.

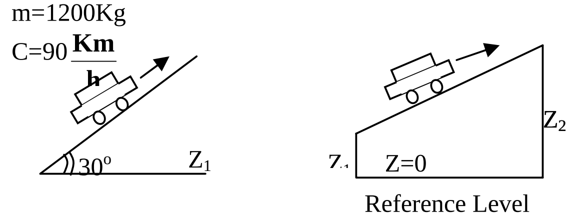
(3.5.4)- القدرة الميكانيكية Mechanical Power

هي المعدل الزمني لأنجاز شغل، أي ($P=\frac{W}{t}$) بوحدات الواط (W) او (KW) او (MW).
الواط هو شغل منجز (J) لكل ثانية (s)، أي ($W=\frac{J}{s}$). وهو بديل للوحدة القديمة المسماة بالقـدرة الحصانية (HP). ان التسمية واط نسبة الى جيمس واط (1736-1814) مخترع الماكنة البخارية.

3.5.5 اشكال الشغل الميكلنيكي Mechanical Forms of Work

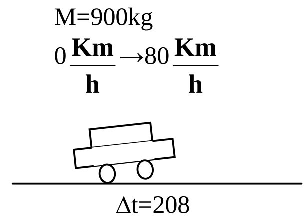
يعد الشغل الازاحي من اهم انواع الشغل الميكانيكي في دراسة الثرموديناميكا الحرارية، ومـع ذلك لابد من ان نتعرف على بقية اشكال الشغل الميكانيكي والموضحة في جدول (3.1).

جدول (3.1) اشكال الشغل الميكانيكي

Work	المعادلات والامثلة
1- Displacement W. الشغل الازاحي	$W_{dis.} = \int FdL = \int PadL = \int PdV = P\Delta V_{12}$
2- Gravitational W. شغل الجاذبية	$\dot{W}_g = \sum_1^2 FdZ = \sum_1^2 mgdz = mg\Delta Z$ $\dot{W}_g = mg\frac{\Delta Z}{\Delta t} = mg.C_{vertical}$ $= 1200Kg \times 9.81\frac{m}{s^2} \times 90\frac{Km}{h} \times \sin 30$ $\times\left(\frac{m/s}{3.6Km/h}\right)\times\left(\frac{KJ/Kg}{10^3 m^2/s^2}\right) = 147 KW$ 

<table>
<tr>
<td>3- Acceleration W.
شغل التعجيل</td>
<td>

إذا كان (C) السرعة، (L) الازاحـة او المـسافة، (t) الـزمن، فسيكون:



$$F = ma = m\frac{dc}{dt} \quad (\because a = \frac{dc}{dt})$$

$$dL = Cdt \qquad (\because c = \frac{dL}{dt})$$

$$W_a = \int_1^2 FdL = \int_1^2 (m\frac{dc}{dt}).(Cdt) = m\int_1^2 cdc$$

$$= \frac{1}{2}m(c_2^2 - c_1^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 900\,kg . \left[\left(\frac{80000m}{3600}\right)^2 - 0^2\right]\left(\frac{kJ/kg}{1000m^2/s^2}\right)$$

$$= 222.2\,kJ$$

$$\dot{W}_a = \frac{Wa}{\Delta t} = \frac{222.2}{20s} = 11.1\,kW$$

</td>
</tr>
<tr>
<td>4- Shaft W.
شغل العمود</td>
<td>

$$F = \frac{T}{r} \quad (\because T = F.r)$$

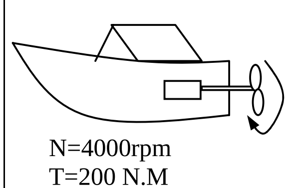
$$L = 2\pi rN$$

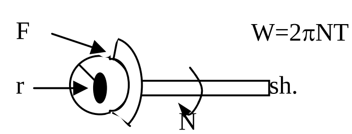
$$W_{sh.} = F \times L = \frac{T}{r}(2\pi rN) = 2\pi NT\,(kJ)$$

$$\dot{W}_{sh.} = 2\pi NT =$$

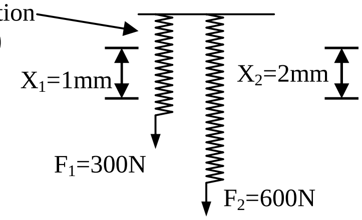
$$= 2\pi(4000\frac{1}{min})(200\,N.m)(\frac{1min}{60s})(\frac{1kJ}{1000N.m})$$

$$= 83.7\,kW$$





</td>
</tr>
</table>

5- Spring W. شغل النابض	K … Spring Constant $\left(\frac{KN}{m}\right)$ X … Displacement F =K . X $W_{sp.} = \frac{1}{2} k \left(X_2^2 - X_1^2\right)$ 

(3.6) - المفهوم الثرموديناميكي للحرارة Thermodynamic Concept of Heat

هي نوع من انواع الطاقة تنتقل من جسم الى اخر او تتدفق من الجزيئات الأكثر نشاطا الى الجزيئات الاقل نشاطاً بسبب الفرق بدرجات الحرارة.

يتوقف انتقال الحرارة عندما يتوقف الإجراء، فأذا تلامس جسمان أحدهما ساخن والآخر بارد ستنتقل الحراة من الجسم الساخن الى الجسم البارد عبد الحدود ويستمر هذا الانتقال حتى تحصل حالة الاتزان الحراري أي تساوي درجة حرارة الجسمين وبذلك يتوقف انتقال الحرارة بتوقف الاجراء.

تنتج الطاقة الحرارية من حركة الجزيئات الصغيرة المكونة للمادة، اذ أن هذه الجزيئات في حركة دائمة في مختلف الاتجاهات داخل المادة، سواء كانت المادة غازية ام سائلة ام صلبة، وتصعب ملاحظة حركة هذه الجزيئات حتى ولو استخدم في ذلك ادق مجهر معروف واذا اكتسب جسم حرارة ما فأن هذا يعني تزود جزيئاته بطاقة تعمل على زيادة سرعتها، فتزداد تبعا لذلك درجة حرارته وعلى هذا اذا اكتسبت محتويات اسطوانة محرك كمية من الحرارة فانها تزداد سخونة لزيادة سرعة تحرك جزيئاتها، وعلى هذا الاساس إذا قربنا محرارا منها فإنه يسجل ارتفاعا في درجة حرارتها، وبمعنى آخر فأن ارتفاع درجة حرارة جسم ما يعني ازدياد سرعة تحرك جزيئاته.

وبينما تحتفظ المواد الصلبة باشكالها الخارجية فان من خواص الغازات أنها مائعة تتخذ شكل الاوعية التي تحتويها، وتطرق جزيئاتها الدائمة الحركة بسرعة عالية جدران تلك الاوعية بقوة معينة يمكن قياسها وتسمى ضغط الغاز. واذا اكتسب الغاز حرارة ازدات سرعة جزيئاته فترتفع درجة حرارته، فاذا كان الحيز الذي يحتويه محدودا، كوعاء مغلق مثلا، فان هذه الحرارة تزيد من شدة طرق جزيئات الغاز على جدران الوعاء نتيجة لازدياد سرعة تحركاتها فيزداد لذلك ضغط الغاز.

وهذا هو مايحدث عند احتراق الوقود في اسطوانة محرك مثلاً، لان احتراق الوقود يعطي كمية من الحرارة للغازات الموجودة حينئذٍ في الحيز المحدود المسمى غرفة الاحتراق، وبذلك ترتفع درجة حرارة هذه الغازات ويزداد ضغطها الذي يؤثر بدوره في الجدران المحيطة به. ولما كان السطح

العلوي للمكبس هو أحد تلك الجدران، كما انه الوحيد القابل للتحرك فانه يندفع الى الاسفل منتجا شغلاً ميكانيكيا.

ان الحرارة ليست خاصية للنظام، لانها ليست مادة يمكن ان تخزن كما تصور الباحثون الاوائل. وحداتها نفس وحدات الشغل وهي الجول (J) ومشتقاته واشارتها عكس اشارة الـشغلورمزها (Q) واذا كانت لكل (1kg) من المادة فرمزها (q).

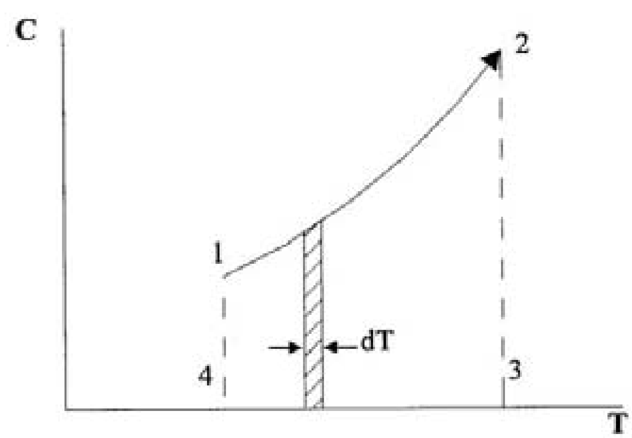
يحصل النظام على حرارة بواسطة التسخين المباشر، الاحتكـاك الميكـانيكي، مـرور التيـار الكهربائي، التفاعل الكمياوي.

(3.7)- الحرارة النوعية The Specific Heat Capacity

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو غرام واحد (1kg) من المادة درجة واحدة*. رمزها (C)، وحداتها (kJ/kg.K). إن الحرارة النوعية دالة لدرجة الحرارة فقط، أي تخضع للعلاقة:

$$C = \phi\ (T)$$

فعندما تنتقل الحرارة فأن الحرارة النوعية ستكون قيمتها ثابتة وستتغير بتغير المواد، أي انه عند تسخين مواد مختلفة لنفس درجات الحرارة فإن الحرارة اللازمة تختلف بالمقدار من مادة لأخرى، وهذا يرجع الى ان كل مادة لها خاصية حرارية معينة تسمى الحرارة النوعية كذلك فـإن الـشكل (3.13) يبين انه عند تسخين مادة معينة فأن الحرارة اللازمة تختلف من درجة حرارة الـى اخـرى. فمـثلاً الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كمية معينة من الهواء من (300K) الى (800K) سيكون مختلفاً

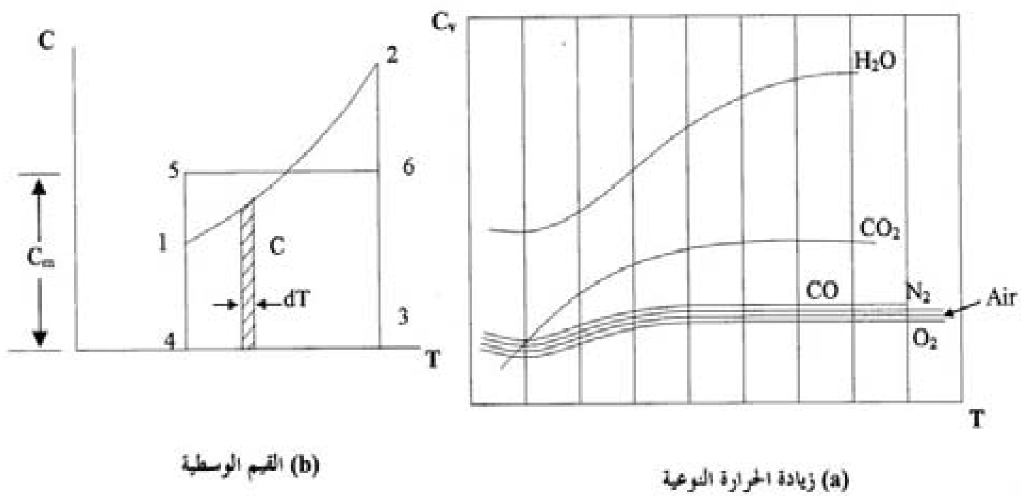


شكل (3.13)- تغير الحرارة النوعية بتغير درجة الحرارة

---

* في الواقع ان تعريف الحرارة النوعية هنا يثير بعض المشاكل، حيث ان للغازات حرارتين نوعيتين كما سيرد لاحقاً، اذن هنا التعريف يشمل المواد غير الغازية.

عن الحرارة اللازمة لرفـع درجـة حرارتـه مـن (3000K) الـى (3500K)، كمـا فـي شكل (3.14-a). فبرغم ان الـ (ΔT) ثابت الا ان (Q) متغيرة وبالتالي فإن (C) متغيرة ايضاً.



شكل (3.14)- زيادة الحرارة النوعية بزيادة درجة الحرارة

وعلى هذا الاساس سيكون للمادة عدد لا نهائي من قيم الحرارة النوعية، وفي هذه الحالة يجب تعيـين القيمة الوسطية او المعدل (Cm) لمدى درجات حرارة من (T1) الى (T2)، واعتبار هـذا المعـدل كقيمة ثابتة، كما موضح في شكل (3.14-b) حيث ان المساحة (1234) مساوية للمساحة (3456).

إن هذا المعدل هو قيمة ثابتة تؤخذ بالحسبان في الحسابات الثرموديناميكية، كما سنلاحظ مـن خـلال ثوابت بعض القيم لبعض الغازات التي سترد في جدول لاحق.

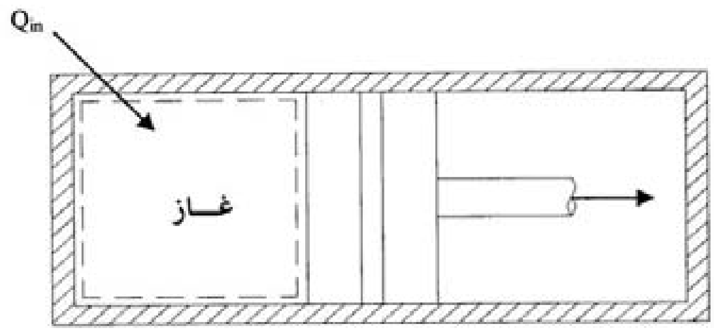
عند تسخين غاز موجود في اسطوانة مغلقة بمكبس كما في شكل (3.15)، فإن كميـة الحـرارة تعتمد على ما يحدث للمكبس، فعند تثبيت المكبس سوف يسخن الغاز بحجم ثابت. وإذا تحرك المكـبس وأنجز شغلاً فسيكون بسبب تسخين الغاز تحت ضغط ثابت (وزن المكبس)، لذلك هناك نوعان تاليـان للحرارة النوعية للغاز:

1- الحرارة النوعية عند ثبوت الحجم The Specific Heat at Constant Volume

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (1kg) من الغاز درجة واحدة، شـرط ثبـوت الحجـم. رمزها (Cv)، تغيرها يعتمد على (T)، أي ان:

$$\mathbf{Cv = \phi\,(T)}$$

$$\mathbf{Cv = \left(\frac{\partial \mu}{\partial T}\right)_v \quad OR \quad (du)_v = Cv\,(dT)_v \quad .... (3.19)}$$



شكل (3.15)- تسخين الغاز بثبوت الحجم او الضغط

2- الحرارة النوعية بثبوت الضغط The Specific Heat at Constant Pressure

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (1kg) من الغاز درجة واحـدة، شـرط ثبـوت الضغط. رمزها (Cp). كذلك فإن تغيرها يعتمد على (T) أي ان:

$$\mathbf{Cp = \phi\ (T)}$$

$$^{*}\mathbf{Cp = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p^{*} \quad OR \quad dh)_p^{*} = Cp\ (dT)_p \quad ....(3.20)}$$

تعد نسبة (Cp)الى (Cv) نسبة مهمة في علم ديناميك الحرارة يرمز لها بـ (γ)

$$\mathbf{\gamma = \frac{Cp}{Cv} \quad ....(3.21)}$$

اما الفرق بين (Cp) و (Cv) للغازات كبيراً لا يمكن اهماله، ولكن يكون صغيراً بالنسبة للمواد الصلبة والسائلة بسبب معامل التمدد البطيء، لذاك يقال ان الحرارة النوعية للماء مـثلاً هـي نفـسها بثبوت الحجم او الضغط وتساوي:

$$\mathbf{Cw = 4.2\ kJ / kg\ .\ K}$$

امثلة محاولة:

(3.1)

* أن (h) رمز للانثالبي الذي سيرد ذكره فيما بعد

يسقط ماء في شلال من إرتفاع (50m) فتتحول جميع طاقته الى حرارة. احسب الارتفاع في درجـة حرارة الماء اذا افترضت عدم تبادل اية حرارة مع المحيط. علمـاً بـأن الحـرارة النوعيـة للمـاء (4.2 kJ/kg.K).

PE = Q

m g z = m c ΔT

$$\Delta T = \frac{g \times z}{c} = \frac{9.81 \times 50}{4.2 \times 10^3} = 0.117K$$

(3.2)

يسقط ماء من شلال على إرتفاع (100m). عند اصطدام الماء مع الارض مع بعضه تتحـول طاقتـه الى طاقة ينتقل (80%) منها الى الماء والباقي يذهب الى المحيط. احسب الارتفاع بدرجـة الحـرارة علماً بأن الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg. K).

0.8 PE = Q

0.8×m g z = m c ΔT

$$\Delta T = \frac{0.8 \times 9.81 \times 100}{4.2 \times 10^3} = 0.187K$$

(3.3)

مسخنة ماء كهربائية قدرتها (1200W) تسخن ماء كتلته (3kg) من درجـة حـرارة (20°C) الـى (100°C). ما هو الوقت اللازم لذلك، علماً بأن (Cw = 4.2 kJ / kg.K)، ولا يوجد فقد للحرارة.

$$time = \frac{W}{P} = \frac{m\,c\,\Delta T}{P} = \frac{3 \times 4.2 \times (100 - 20)}{1.2} = 840s$$

(3.4)

يسقط ماء من ارتفاع (1200m) الى إرتفاع (520m). احسب كمية الماء الساقط، إذا علمت ان مقدار الفقد لطاقة الوضع هو (7kJ).

PE = m g Δ Z = 7

$$m = \frac{7}{g\,\Delta Z} = \frac{7}{9.81\,(1200 - 520) \times 10^{-3}} = 1.05kg$$

(3.5)

مصعد كتلته (585 kg) إرتفع مسافة (32m). احسب الشغل المنجز.

PE = W = m g z = 585 × 9.81 × 32 = 183.6 J

(3.6)

رفعت كتلة (210kg) مسافة (24.5m) في (1min.) و (34s) احسب القدرة اللازمة.

PE = W = m g z = 210 × 9.81 × 24.5 = 50.5 J

$$P = \frac{W}{t} = \frac{50 \times 5}{94} = 0.537\ W$$

(3.7)

نظام يتألف من خلية شمسية تنتج (1050 kWh) في الشهر. ومعدل الانتاج يساوي (15%) من قدرة المنظومة. احسب معدل القدرة.

$$P = \frac{\dot{W}}{t} = \frac{1050}{30 \times 24} = 1.458\ kW$$

$$\therefore P = \frac{1.458}{0.15} = 9.72\ kW$$

(3.8)

مولـــد تـــوربيني بخـــاري ينـــتج (750kW) عنـــدما يتـــدفق البخـــار بمعـــدل ($2.250\ .\ 10^3$ kg/h). احسب الشغل المنجز لكل (1Kg) من البخار.

$$\dot{m}_s = \frac{2.250 \times 10^3}{3600} = 0.625\ kg/s$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_s} = \frac{750}{0.625} = 1200\ J/kg$$

(3.9)

القدرة اللازمة لطائرة تطير بسرعة (545 km/h) هي (1800kW). احسب متوسط قـوة المقاومـة بوحدات (N).

$$\dot{W} = F \times a$$

$$F = \frac{\dot{W}}{a} = \frac{P}{a} = \frac{1800 \times 1000}{\frac{545 \times 1000}{3600}} = 11.89N$$

(3.10)

سيارة قدرة محركها (23kW) وتسير بسرعة (64 km/h) اذا اهملت الخسائر. إحسب قوة المقاومـة التي تتعرض لها السيارة بسبب الاحتكاك مع الهواء والارض.

$$\mathbf{P = \frac{W}{t} = \frac{F \times a}{t} = F \times C}$$

$$\mathbf{F = \frac{P}{C} = \frac{23 \times 3600}{64 \times 1000} = 1.29\,kN \quad \left(\frac{kJ}{s} \times s \times \frac{1}{m}\right) = \frac{kN\,.\,m}{s} \times s \times \frac{1}{m} = kN}$$

(3.11)

ما هي الطاقة الكامنة بوحدات (kcal)، (kWh) لكتلة من الماء مقدارها (1kg) موضوعة على إرتفاع (1200m).

PE = F × z = mgz = 1 × 9.81 × 1200 = 11.772 kJ

$$\mathbf{= \frac{11.772}{4.1868} = 2.812\,kcal = \frac{11.772}{3600} = 0.0033\,kWh}$$

(3.12)

(1kg) بخـار ينـساب مـن فوهـة بـوق بـسرعة (300m/s). اوجـد الطاقـة الحركيـة بوحدات (kcal).

$$\mathbf{KE = \frac{mc^2}{2} = \frac{1 \times 300^2}{2} = 45\,kJ = \frac{45}{4.1868} = 10.748\,kcal}$$

(3.13)

مسخن كهربائي قدرته (0.08 MW) كفاءته في التسخين (85%). احسب الارتفاع في درجة حـرارة الماء، إذا علمت ان كمية الماء المار (63 kg/min.).

$$\mathbf{\eta = \frac{Q}{P} \Rightarrow Q = \eta P \Rightarrow mc\Delta T = \eta P}$$

$$\mathbf{\Delta T = \frac{\eta P}{mc} = \frac{0.85 \times 0.08 \times 10^3}{4.2 \times 63 \times 60} = 4.3 \times 10^{-3}\,K}$$

(3.14)

يتحول (82%) من الطاقة الكامنة الى حركية لمائع حجمه (30L) وسرعته (496 m/min.). احسب مقدار طاقة الوضع. علماً ان كثافة الماء (10^3 kg/m^3).

$$\mathbf{0.82\,PE = KE = \frac{mc^2}{2} = \frac{30 \times \left(\frac{396}{60}\right)^2}{2000}}$$

$$\mathbf{PE = \frac{2050.13}{1640} = 1.25\,kg}$$

(3.15)

احسب مقدار الشغل اللازم بوحدات (kJ) اللازم لملأ بالون هواء حجمه ($0.568\ m^3$) عند ضغط مقداره (0.75 mmHg). واحسب مقدار الشغل بوحدات (Lb_f . ft).

$$W_{Flow} = P\,\Delta V = 0.75 \times 13600 \times 9.81 \times (0.568)$$
$$= 56.8\ kJ$$
$$= 41800\ Lb_f\ .\ ft$$

(3.16)

ما السرعة التي يجب ان تكتسبها كتلة قدرها (1kg) حتى تكتسب طاقة حركية مقدارها (100J).

$$KE = \frac{mC^2}{2}$$

$$100 = \frac{1 \times C^2}{2}$$

$$C = 14.14\ m/s$$

(3.17)

ينساب ماء من فوق شلال ارتفاعه (100m). افترض عدم حدوث تبادل في الطاقة بين الماء والوسط الخارجي. احسب لكل (1kg):

أ- الطاقة الكامنة للماء عند قمة الشلال بالنسبة الى قاعدته.

ب- الطاقة الحركية للماء قبل ان يصطدم مباشرةً بالقاع.

جـ- ما التغير الذي يحدث في حالة الماء بعد دخول هذه الكمية من الماء في النهر الموجود اسفل الشلال.

a- $PE = mgz = 1 \times 9.81 \times 100 = 981\ J/kg$

b- $KE = PE = 981\ J/kg$

c- $\Delta U = \Delta KE = 981\ J/kg = m\,c\,\Delta T$

$$\Delta T = \frac{\Delta U}{mc} = \frac{981}{4186} = 0.234K$$

(3.18)

سيارة سرعتها (50 km/h). وكانت المقاومة ضد حركة السيارة (900N). اوجد قدرة المحرك عند هذه السرعة، واهمل بقية الخسائر.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times a}{t} = \frac{900 \times 50 \times 10^3 \times 10^{-3}}{3600} = 12.5\ kW$$

(3.19)

الى أي ارتفاع يجب ان ترفع كتلة مقدارها (1kg) حتى تصبح طاقتها الوضعية (1000J).

$$PE = m\,g\,z$$
$$1000 = 1 \times 9.81 \times z$$
$$z = 101.9\ m$$

مسائل

كمية من الماء كتلتها (2kg) اردنا تسخينها بوساطة مسخن كهربائي من درجة حرارة (10°C) الـى (100°C) فكم هي قدرة المسخن، اذا اريد ان لا تتجاوز فترة التسخين ربع ساعة، علماً انـه توجـد خلال هذه الفترة خسائر حرارية من الماء الى المحيط مقدارها (45kJ) علماً ان الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K).

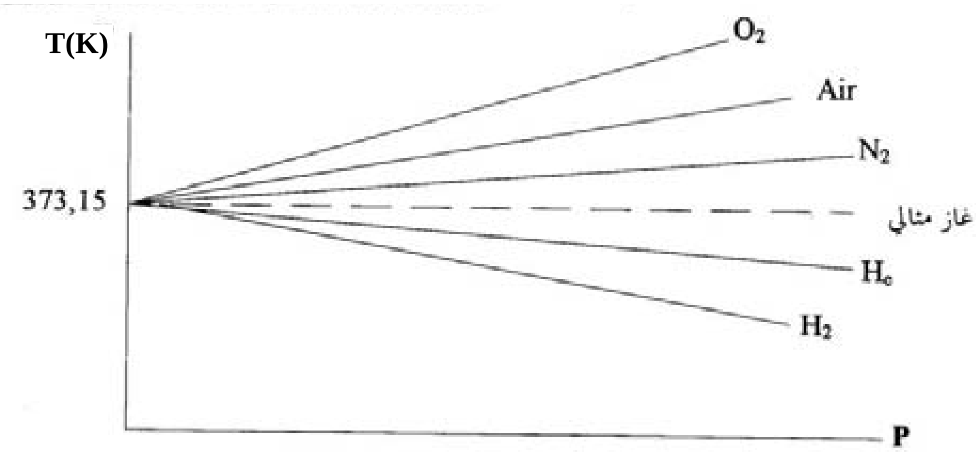
ج: (0.89 kW).

الفصل الرابع- خواص الغازات

(4.1)- الغازات المثالية والحقيقية[*] Real or Ideal and Perfect Gases

إن الغاز المثالي هو غاز تخيلي غير موجود في الطبيعـة، لـذا فهـو حالـة مثاليـة يخـضع للأفتراضات الآتية:

1- يخضع لقوانين بويل وشارل وغايلوساك. إن هذه القوانين تنطبـق علـى الغـازات المثاليـة والحقيقية، لأن لهما السلوك نفسه تقريباً وخصوصاً عند الضغوط المنخفضة ودرجات الحرارة العالية. فسلوك الكثير من الغازات الحقيقية (الدائمية) (Permanent Gas) مثل الاوكـسجين والهواء والنتروجين والهيدروجين ... الخ، تشبه سلوك الغاز التالي بحسب ما موضـح فـي الشكل (4.1)، الذي يبين ان سلوك الغازات الحقيقية والمثالية تكون متطابقة عنـد الـضغوط المنخفضة ودرجات الحرارة العالية (373.15K).



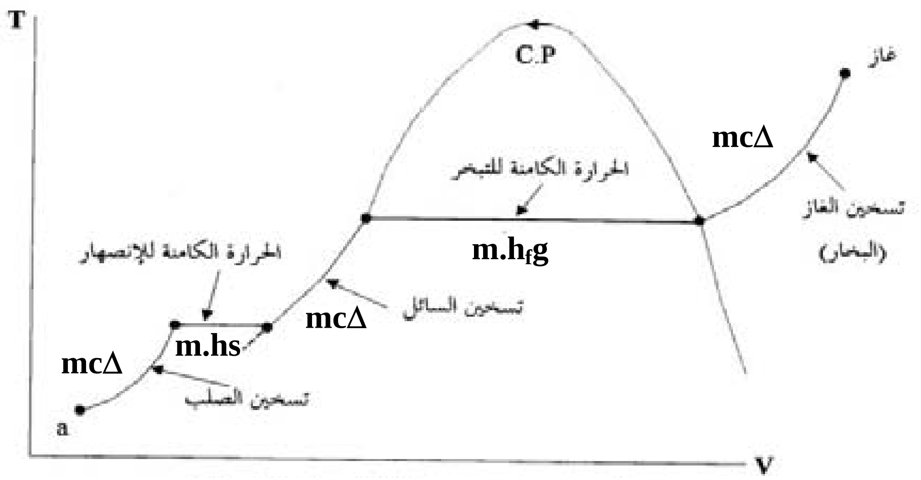
شكل(4.1)- تشابه سلوك الغازات الحقيقية والمثالية

2- له حرارة نوعية ثابتة (C = Const.). في حين ان الحرارة النوعية للغـاز الحقيقـي تكـون متغيرة بتغير درجة الحرارة، أي $C = \varnothing (T)$.

----

[*] ان الغازات الحقيقية هي الغازات العادية او الدائمة كالاوكسجين والهيدروجين والنتروجين وغيرهـا. اما الغازات المثالية والتي تسمى ايضاً بالغازات الكاملة (Perfect or Ideal Gases) فهي الغازات المثالية الافتراضية.

3- يبقى في حالته الغازية تحت جميع الظروف حتى عند درجة حرارة الصفر المطلق. في حـين ان الغاز الحقيقي يمكن ان يتحول الى بخار او سائل او صلب، كلما انخفض ضغطه ودرجـة حرارته كثيراً عن النقطة الحرجة (C.P) أي نقطة التحول من الحالة الغازيـة الـى الـسائلة وبالعكس ووصول درجة حرارته الى الصفر المطلق (a)، كما في شكل (4.2) الذي يبين انه عند تبريد الغاز (البخار) يتحول الى سائل، وعند تبريد السائل يتحول الى صلب (النقطة a)، والعكس صحيح ايضاً.



شكل(4.2)- تغير الحالة الغاز(البخار) الحقيقي

ومع ذلك نقول عند تطبيق قوانين الغازات المثالية على الغازات الحقيقية فأن الفرق في النتائج يكـون صغيراً جداً يمكن اهماله في الحسابات العامة.

مثال (4.1)

احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل (20kg) من الجليد وهو بدرجة (-10°C) الى بخار مـاء وهو في درجة (120°C). علماً أن:-

الحرارة النوعية للجليد = 2.1 kJ/kg.K

الحرارة الكامنة لأنصهار الجليد (h_sL)* = 336 kJ/kg

الحرارة النوعية للبخار = 1.95 kJ/kg.K

الحرارة الكامنة للتبخر (h_fg)* = 2256 kJ/kg

الحرارة النوعية للماء = 4.2 kJ/kg.K

----

* ان الـ(hsL) تعني الحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of Liquidization) وان الـ (s) تعني (Solid) والـ(L) تعني (liquid).

* ان الـ(h_fg) تعني الحرارة الكامنة للتبخر (Latent Heat of Evaporation) وان الـ (f) تعني (fluid) والـ(g) تعني (Gas) هذه القيم تستخرج من جداول البخار.

$$Q_T = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{45} + Q_{56}$$

$$= 20\times2.1\times[0-(-10)]+20.336+20\times4.2\times(100-0)+20.2256+20\times1.95\times(120-100)$$

$$= 420 + 6720 + 8400 + 45120 + 780 = 62220 \text{ J}$$

الحرارة الكامنة للأنصهار Latent Heat of Liquidization

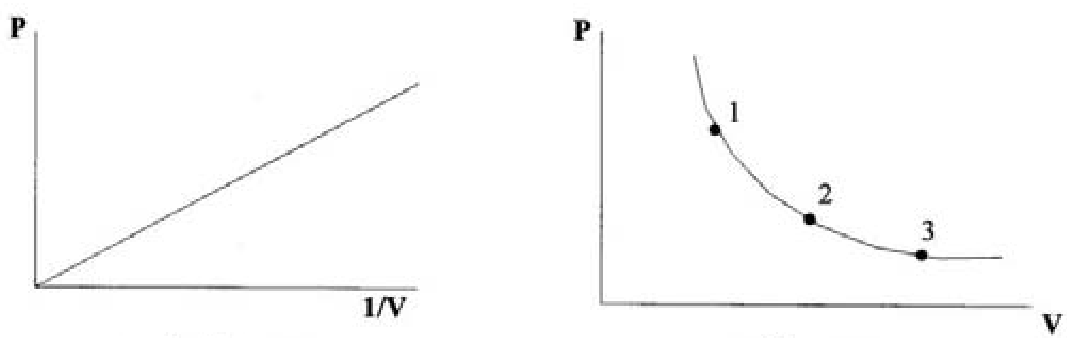
هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل (1kg) من المادة الصلبة الى سائلة بثبوت درجة الحرارة وحـدتها (kJ/kg). ورمزها (h_sL) . (1kg)

الحرارة الكامنة للتبخر Latent Heat of Evaporation

هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل (1kg) من سائل الى بخار بثبوت درجة الحرارة وحدتها (kJ/kg) ورمزها (h_fg)

(4.2) - قانون بويل Boyle's Law

من خلال تجربة على غاز محصور في اسطوانة كتلته ودرجة حرارته ثابتة، لوحظ تغيـر فـي الضغط والحجم يمثل بمنحني على مخطط (P-V) شكل (4.3-a). كما لـوحظ ان حاصـل ضـرب الضغط والحجم لأي نقطة على المنحني سوف يكون عدد ما متساوياً او ثابتاً (Const.). فـإذا أخـذنا النقاط (1، 2، 3) على المنحني فسيكون:



(b) علاقة طردية

(a) علاقة عسكية

شكل (4.3)– قانون بويل

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = PV = \text{Const.} \qquad \text{………… (4.1)}$$

هذه التجربة قام بها العالم الانكليزي روبرت بويل (1627-91) وتوصل الى نص قانونه المشهور عام (1660): ضغط كمية معينة من غاز تتناسب عكسياً مع حجمه شرط ثبوت درجة الحرارة. وفي الحقيقة اكتشف هذا القانون شخص آخر وهو العالم الفرنسي آدم ماريوت الذي كان يعمل مستقلاً بالوقت نفسه عن العالم الانكليزي.

واذا رسمنا مخطط (P . 1/V) كما في الشكل (4.3-b) فان العلاقة ستمثل بخط مستقيم يمر من نقطة الاصل وبميل ثابت (Const.).

4.3 قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة

Charle's Law and Absoulte Temperature

من خلال تجربة على غاز محصور في اسطوانة كتلته وضغطه ثابت، لوحظ تغير في الحجم ودرجة الحرارة يمثل بخط مستقيم على مخطط (V-t) المبين في شكل (4.4-a). فإذا كان (V) يمثل الحجم، (t) درجة الحرارة، (C) الميل وهو قيمة ثابتة، (Vo) الحجم عند الصفر المئوي، فسيعبر عن هذه التجربة رياضياً كما يأتي:

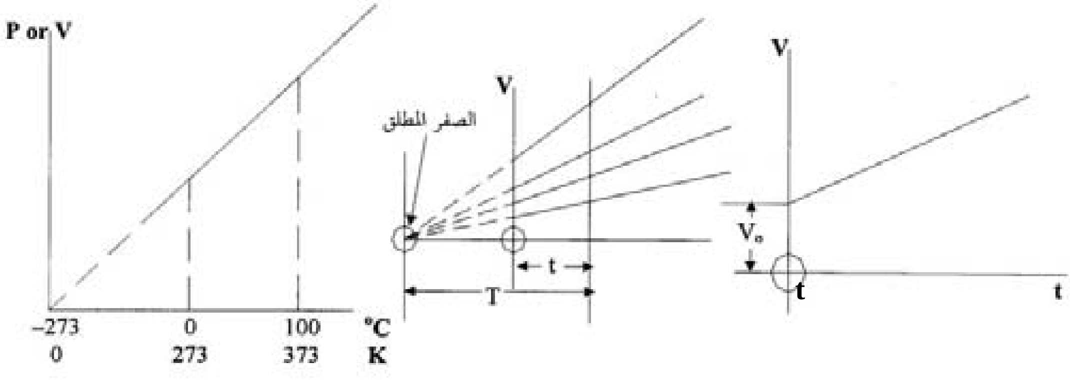
$$V = C\,t + V_o \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

كما لوحظ ان امتداد الخط المستقيم يلتقي عند نقطة جديدة على محور السينات وعندها يصبح القانون:

$$V = C\,T \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.3)$$

وعند اجراء التجربة على غازات مختلفة فسيكون هناك عدة خطوط مستقيمة تلتقي جميعها عند النقطة الجديدة نفسها على محور السينات، كما في شكل (4.4-b). هذه النقطة تمثل الصفر المطلق الذي قيمته (-273°C)، كما في شكل (4.4-c) لذلك ظهر المقياس الجديد لدرجة الحرارة يسمى بدرجة الحرارة المطلقة رمزه (T) ووحدته كلفن (K). إن (T) هي درجة الحرارة المسجلة من نقطة الاصل الجديدة و (t) تمثل قراءة المحرار، لذلك فإن:

$$T = t + 273 \qquad \ldots\ldots (4.4)$$



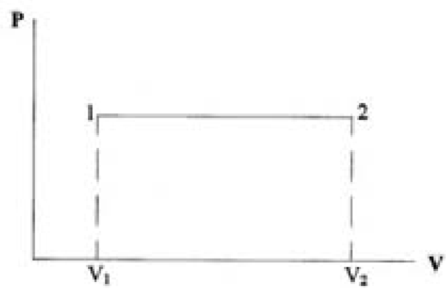
شكل(4.4)- قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة

ولوحظ ان جميع الحجوم اصبحت صفراً عند الصفر المطلق، هذا بالنسبة للغاز المثالي لأنه يبقى في حالته الغازية حتى عند درجات الحرارة الواطئة، في حين ان الغازات الحقيقية تتحول في هذه الدرجة الى سائل ثم صلب، شكل (4.2). يمكن ان نلخص ما ورد آنفاً بما يأتي:

حجم كمية معينة من غاز تتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة شرط ثبوت الضغط. فإذا تغير الغاز من الحالة (1) الى (2) كما في شكل (4.5) فسيكون:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V}{T} = \text{Const}. \qquad .... (4.5)$$

هذه الحقيقة توصل اليها الفرنسي جاكيوس آي. سي. شارل (1746-1823) حيث اكتشف ثابت معامل التمدد للغازات الذي قاده الى هذا القانون الذي سمي بأسمه. ومن الجدير بالملاحظة ان فرنسياً آخر وهو جوزيف كاي – لوساك (1778-1850)، قد اكتشف هذا الاكتشاف نفسه وفي الفترة الزمنية نفسها تقريباً ولكن بثبوت الحجم، حيث وضع القانون التالي:



شكل(4.5)- قانون شارل

ضغط كمية معينة من غاز تتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة شرط ثبوت الحجم. أي ان:

$$\frac{P}{T} = \text{Const}. \qquad .... (4.6)$$

(4.4)- المحرار او المقياس الغازي ذو الضغط او الحجم الثابت

يزداد ضغط الغاز (او حجمه) بمقادير متساوية لمقادير متساوية من درجات الحرارة. ماذا يقصد بذلك. اذا سخن غاز مثالي بثبوت الضغط (او ثبوت الحجم) من نقطة الانجماد الى نقطة الغليان فـإن درجة واحدة على المقياس المئوي ستمثل بـ (1/100) من تغير الحجم او الضغط.

وهكذا يمكن استعمال المقياس الغازي ذو الضغط (او الحجم) الثابت كمقياس لدرجة الحرارة. إن قوانين ثبوت الضغط اكتشفها شارل وقوانين ثبوت الحجم اكتشفها غايلو ساك. نوضح ما يأتي:

V = Const. قانون غايلوساك	**P = Const. قانون شارل**
$P = P_o \cdot \frac{T}{T_o}$ $= P_o \cdot \frac{t+273}{273}$ $= P_o \cdot \left(\frac{1}{273}t + 1\right)$ $= P_o \cdot (\beta t + 1)$	$V = V_o \cdot \frac{T}{T_o} \quad ......(4.7)$ $= V_o \cdot \frac{t+273}{273}$ $= V_o \cdot \left(\frac{1}{273}t + 1\right)$ $= V_o \cdot (\alpha t + 1) \quad .....(4.8)$

إن الاشارة (^{o}) تعني القيمة عند (0°C). وان (β) تمثل معامل الزيادة في الضغط، (α) معامل الزيادة في الحجم. وتبين ان (β) و (α) ثابتة ومتساوية لجميع الغازات كما موضحة في جدول رقـم (4.1) وهي تساوي (1/273). من المعادلات اعلاه تبين انه عند ضغط (او حجم) ثابت فإن حجم (او ضغط) الغاز يتغير بنسبة (1/273) عندما تزداد درجة حرارته درجة واحدة.

جدول (4.1) معامل تمدد الغازات لكل درجة مئوية

β	α	**الغاز**
0.00367	0.00367	الهواء
0.00366	0.00366	الهيدروجين
0.00367	0.00367	الاوكسجين
0.00367	0.00367	النتروجين
0.00373	0.00374	ثاني اوكسيد الكاربون

لذلك يمكن استعمال أي قانون من هذين القانونين لعمل محرار غازي سواء بضغط (او بحجم) ثابت.

إن الغاز المثالي يبقى غازياً تحت جميع الظروف. وقد وجد ان حجمه يكون صفراً عند الصفر المطلق (t=-273) أي:

$$V_o = [1 - \alpha\,(t_o - t)] = \left[1 - \frac{1}{273}(0 - (273)\right] \quad ......(4.9)$$

$$= 1 - \left(+\frac{273}{273}\right) = 1 - 1 = 0 \quad ....(4.10)$$

والحجم الجديد عن تسخين الغاز يساوي:

$$V_1 = V_o[1 + \alpha\,(t_1 + t_0)] \quad ......(4.11)$$

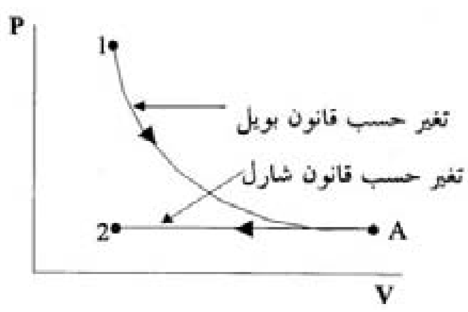
اما الحجم الجديد عند تبريد الغاز فيساوي:

$$V_2 = V_o[1 - \alpha\,(t_0 - t_1)] \quad ......(4.12)$$

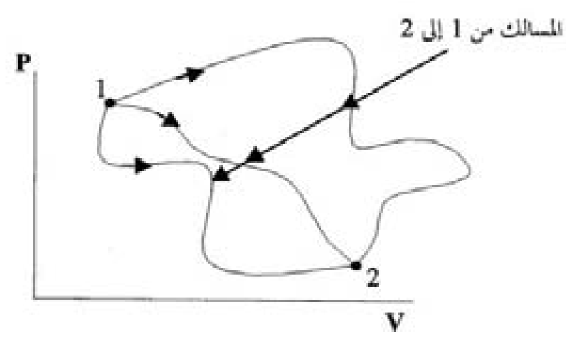
(4.5)- المعادلة العامة للغاز المثالي The General Equation of Perfect Gas

تسمى ايضاً بمعادلة الحالة (Equation of State). قد تتعرض كتلة معينة من غاز الى تغير في الضغط والحجم ودرجة الحرارة في وقت واحد. لذلك لا يمكن تطبيق قانون بويل الذي يشترط ثبوت درجة الحرارة، ولا قانون شارل الذي يشترط ثبوت الضغط. عندئذٍ نحتاج الى قانون او معادلة جديدة تربط العلاقة بين هذه المتغيرات.

فعندما تتغير حالة الغاز من (1) الى (2) كما في شكل (4.6-a) يتبين ان هناك عدداً لا نهائياً من المسالك يربط بين الحالتين.



(b) تطبيق قانوني بويل وشارل



(a) من 1 إلى 2 عدد لانهائي من المسالك

شكل(4.6)- اشتقاق المعادلة العامة للغاز المثالي

ولكن يجب ان نختار مسلكاً يستند الى قانوني بويل وشارل كما في شكل (4.6-b). نفتـرض ان خواص الحالة الابتدائية لكتلة معينة من غاز (P_1، V_1، T_1) والحالة النهائية (P_2، V_2، T_2) وحصول التغير من (1) الى (2) يكون على مرحلتين متعاقبتين بينهما حالة متوسط مثل (A). امـا المرحلتـان فهما:-

1- تغير الحالة من (1) الى (A) بثبوت درجة الحرارة. عندئذٍ بموجب قانون بويل يكون:

$$P_1V_1 = P_A V_A = P_2V_A$$

$$V_A = \frac{P_1V_1}{P_2} \quad ....(4.13)$$

2- تغير الحالة من (A) الى (2) بثبوت الضغط. عندئذٍ بموجب قانون شارل يكون:-

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_A}{T_1}$$

$$\therefore V_A = \frac{V_2T_1}{T_2} \quad ....(4.14)$$

وبتعويض المعادلة (4.14) بـ (4.13) يكون:

$$\frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{V_2T_1}{T_2} \quad .... (4.15)$$

وبأعادة ترتيب هذه المعادلة وعند وجود تغيرات اخرى لنفس كتلة الغاز مثل (3، 4، ... الخ) فيكون:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \frac{PV}{T} = Const \quad .....(4.16)$$

وعندما يكون (ν) تمثل حجم (1Kg) من الغاز، أي الحجم النوعي عندئذٍ يكون:

$$\frac{P\nu}{T} = Const. \quad .... (4.17)$$

يرمز لهذا الثابت (.Const) بالرمز (R) ونسميه ثابت الغاز الذي يختلف من غاز لآخر عليه يكون:

$$\frac{P\nu}{T} = R \quad .... (4.18)$$

اما بالنسبة لكتلة (m) من الغاز فيكون:

$$PV = m R T \quad .... (4.19)$$

هذه المعادلة تسمى بالمعادلة العامة او القانون العام للغازات او معادلة الحالـة. وفيهـا يجـب استعمال الضغوط المطلقة ودرجة الحرارة المطلقة.

إن قوانين الغازات ليست سهلة تماماً كما اوضح كل من قانوني بويل وشارل للغازات المثاليـة. وللغازات الحقيقية معادلات حالة اكثر تعقيداً من المعادلة المذكورة آنفاً كمعادلة بيتي – بركمان، ديتـر

يشي، بير ثيلوت، ومعادلة فان دير والز. هذه المعادلات تبين ان هناك قوانينـاً غيـر قـوانين الغـاز المثالي. ولكن بعد تبسيط كل هذه المعادلات تتحول الى معادلة الحالة للغاز المثـالي. فمـثلاً بالنـسبة لمعادلة فان دير والز:

$$\left(P + \frac{a}{\nu^2}\right)(\nu - b) = RT \quad \text{..........} (4.20)$$

وعند (a) و (b) تساوي صفراً فتصبح المعادلة:

$$(P + O)\ (\nu - O) = RT$$

$$P\nu = RT \qquad \text{..........} (4.21)$$

إن (R) هو ثابت الغاز كما اشرنا (Gas Constant) ويسمى ايضاً بالثابت المميز للغاز، قيمته تختلف باختلاف الغازات. وعندما تكون (mkg) فستكون وحدات (R) كالتالي:

$$R = \frac{PV}{mT} = \frac{kN}{m^2} \times m^3 \times \frac{1}{kg} \times \frac{1}{K} = \frac{kN\,.\,m}{Kg\,.\,K} = kJ/kg.K \quad \text{.........} (4.22)$$

(4.6)- الانثالبي Enthalpy

كان يدعى بالحرارة الكلية، أستبدلت تسميته بالمحتوى الحراري او الطاقة المحملة او الانثـالبي. ان الطاقة الداخلية (μ) والضغط والحجم الذي يكون حاصل ضربهما الشغل (Pν) هي مـن خـواص المادة، وعند جمع هذه الخواص تظهر خاصية جديدة تسمى بالانثالبي رمزه (H) ووحدتـه (kJ)امـا. الانثالبي النوعي فرمزه (h) بوحدات (kJ/kg) عليه يكون:

$$h = \mu + P\nu \qquad \text{............} (4.23)$$

وبصورة تفاضلية يكون:

$$dh = d\mu + dP\nu$$
$$= d\mu + dP\nu + \nu dP$$

وعندما يكون (P = Const.) فإن (dP = 0) وبالتالي يكون:

$$dh = d\mu + Pd\nu$$

وبتكامل المعادلة يكون:

$$\int dh = \int d\mu + \int Pd\nu$$

وبالتالي فأن:

$$\Delta h = \Delta\mu + P\Delta\nu \qquad \text{...........} (4.24)$$

(4.7) - العلاقة بين الحرارتين النوعيتين Relationship between the Specific Heats

للغاز المثالي حرارتان نوعيتان هما بثبوت الحجم ورمزها (Cv) وبثبـوت الـضغط ورمزهـا (Cp). فعندما يكون الاجراء متناهي الصغر بثبوت الحجم فأن:

$$\mathbf{Cv} = \left(\frac{\partial \mu}{\partial \mathbf{T}}\right)_{\upsilon} \qquad \text{..........} \mathbf{(4.25)}$$

or

$$(\mathbf{d}\,\mu)_{\nu} = \mathbf{Cv}\ (\mathbf{dT})_{\nu}$$

or

$$\mathbf{d}\,\mu = \mathbf{Cv}\ \mathbf{d}\ \mathbf{T}$$

بتكامل المعادلة ينتج:

$$\Delta\,\mu = \mathbf{Cv}\ \Delta\ \mathbf{T} \qquad \text{..........} \mathbf{(4.26)}$$

وعندما يكون الاجراء متناهي الصغر بثبوت الضغط فإن:

$$\mathbf{Cp} = \left(\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{T}}\right)_{\mathbf{p}} \qquad \text{..........} \mathbf{(4.27)}$$

or

$$(\mathbf{dh})_{\mathbf{p}} = \mathbf{Cp}\ (\mathbf{dT})_{\mathbf{p}}$$

or

$$\mathbf{dh} = \mathbf{Cp}\ \mathbf{dT}$$

وبتكامل المعادلة ينتج:

$$\Delta\mathbf{h} = \mathbf{Cp}\ \Delta\mathbf{T} \qquad \text{..........} \mathbf{(4.28)}$$

اما العلاقة بين الحرارتين النوعيتين فتشتق كما يأتي:

$$\mathbf{h} = \mu + \mathbf{P}\nu$$

$$\Delta\ \mathbf{h} = \Delta\ \mu + \mathbf{P}\ \Delta\ \nu$$

$$\mathbf{Cp}\ \Delta\mathbf{T} = \mathbf{Cv}\ \Delta\ \mathbf{T} + \mathbf{R}\ \Delta\mathbf{T}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{Cp} - \mathbf{Cv} \qquad \text{.............} \mathbf{(4.29)}$$

بما ان (R) كمية موجبة، لذا يجب ان تكون $Cp > Cv$ دائماً، أي عندما تتغير الـ (Cp) والـ (Cv) بتغير درجة الحرارة يبقى الفرق بينهما ثابتاً.

امثلة محاولة

(4.2)

غاز حجمه ($0.9\ m^3$) وضغطه ($1\ bar$) ضغط ايزوثرملياً الى ($0.3m^3$) احسب (1) الضغط النهائي (2) لو زدنا درجة الحرارة، كم يصبح ضغط الغاز إذا كانت الزيادة بمقدار (1.2/1).

$$\mathbf{1 - P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1 \times 0.9}{0.3} = 3\,bar}$$

$$\mathbf{2\text{ - }P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} \times \frac{T_2}{T_1} = \frac{1 \times 0.9}{0.3} \times \frac{1.2}{1} = 3.6\,bar}$$

(4.3)

غاز ضغطه ($40kN/m^2$) وحجمه ($0.1m^3$) ودرجة حرارته (25°C) على التوالي. ضغط الغاز الى ($700kN/m^2$) ودرجة حرارة (60°C)، احسب الحجم الجديد.

$$\mathbf{V_2 = \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} \times V_1 = \frac{140}{700} \times \frac{333}{298} \times 0.1 = 0.0223\,m^3}$$

(4.4)

غاز ضغطه ($350kN/m^2$) وحجمه ($0.03m^3$) ودرجة حرارته (35°C) ارتفع ضغطه بثبوت الحجم الى ($1.05\ MN/m^2$). احسب درجة الحرارة الجديدة، إذا كان:

R = 0.29 kJ/kg . K

واحسب ايضاً كتلة الغاز.

$$\mathbf{m = \frac{PV}{RT} = \frac{350 \times 0.03}{0.29 \times 308} = 0.118\,kg}$$

$$\mathbf{T_2 = T_1 \times \frac{P_2}{P_1} = 308\frac{1.05}{0.35} = 924\,K = 651\ ^\circ C}$$

(4.5)

(4.2kg) من غاز (CO_2) ضغطه (12bar) ودرجة حرارته (92°C) فإذا كان R = 0.189 kJ/kg . K. احسب حجم (CO_2).

$$\mathbf{V = \frac{mTR}{P} = \frac{4.2 \times 365 \times 0.189}{12 \times 100} = 0.2414\,m^3}$$

(4.6)

اوكسجين ضغطه (15.5 bar) ودرجة حرارته (410°C) وكان R=0.26 kJ/kg.K. احسب الكثافة.

$$\rho = \mathbf{\frac{P}{TR} = \frac{15.5 \times 10^2}{683 \times 0.26} = 8.728\,kg/m^3}$$

(4.7)

وعاء حجمه ($0.2m^3$) يحتوي على نيتروجين عند ضغط (1.013bar) ودرجة حرارة (15°C). تـم ضخ (0.2kg) من النتروجين بواسطة مخضة خاصة الى الخزان. احسب الضغط الجديد للغـاز عنـد رجــوع الخــزان الــى درجــة حرارتــه الابتدائيــة. اعتبــر النتــروجين غــاز مثــالي، علماً أن: R = 296.9 J/kg . K

$$\mathbf{m_1 = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{1.013\times 10^2 \times 0.2}{0.2969\times 288} = 0.237\,kg}$$

$m_2 = m_1 + 0.2 = 0.337 + 0.2 = 0.437$ kg

$$\mathbf{P_2 = \frac{mRT_2}{V_2} = \frac{0.437\times 0.2969\times 288}{0.2} = 1.87\,bar}$$

(4.8)

(0.01Kg) من غاز مثالي يشغل حجم مقداره ($0.003m^3$) عنـد ضـغط (7bar) ودرجـة حـرارة (131°C). عندما سمح للغاز بالتمدد الى ضغط (1bar) اصبح حجمه النهـائي ($0.02m^3$). إحـسب درجة حرارة الغاز النهائية.

$$\mathbf{R = \frac{P_1V_1}{mT_1} = \frac{7\times 10^2 \times 0.003}{0.01\times 404} = 0.52kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{T_2 = \frac{P_2V_2}{mR} = \frac{100\times 0.02}{0.01\times 0.52} = 384.5\,K = 111.52^\circ C}$$

(4.9)

قنينة حديدية حجمها (12L) تحتوي على (CO_2) بدرجـة حـرارة (20°C) وضـغط (73.5 bar). احسب كتلة (CO_2) علماً أن: R_{CO2} = 0.189 kJ/kg . K

$$\mathbf{m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{73.5\times 10^2 \times 0.012}{0.189\times 293} = 1.593\,kg}$$

مسائـل

(4.1)

نظام معزول حرارياً يتكون من جزئين (a و b) بينهما حاجز ذو عازل حراري يحتويان على الغـاز نفـــسه، حجـــم الجـــزء (a) (10L) ودرجـــة حرارتـــه (100°C) وضـــغطه (10 bar) وحجم الجزء (b) (20L) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (5 bar). فإذا أزيل الحـاجز بين الجزئين بحيث تساوي الضغط في جميع اجزائه. أوجد الضغط النهائي وأهمل حجم الحاجز. علماً أن: R=0.25 kJ/kg.K.

ج: (6.658 bar)

(4.2)

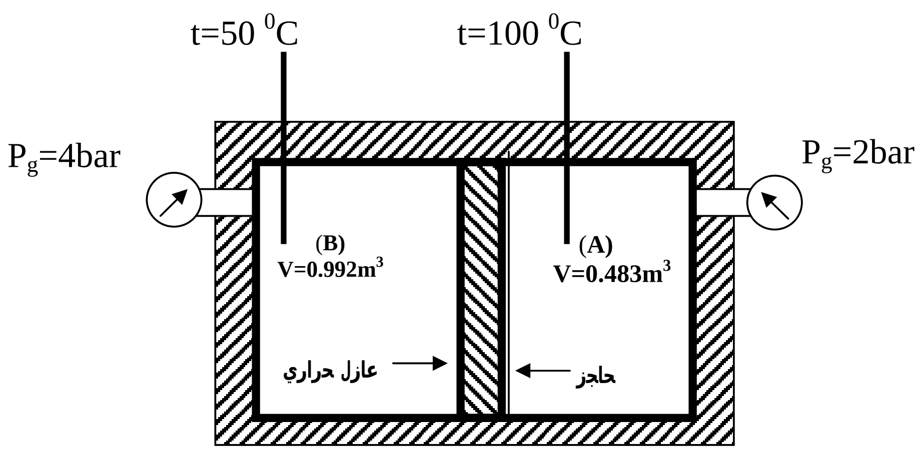
خزان مغلق. حجمه ($0.5m^3$) يحتوي على غاز كتلته (0.75kg) ودرجة حرارته (25°C). فإذا كانت قراءة الباروميتر هي (1bar). اوجد ما يلي: (1) قـراءة المـانوميتر بوحـدات (mmHg). (2) إذا أضيف للغاز حرارة مقدارها (15kJ) كم ستصبح قراءة المانوميتر بوحدات (mmHg) ايضاً. علمـاً بأن:

$$Cp = 1.005 \text{ kJ/kg.K. } Cv = 0.717 \text{ kJ/kg.K. } \rho Hg = 13600 \text{ kg/m}^3$$

ج: (305 mmHg. 215 mmHg)

(4.3)

النظام المبين في الشكل المعزول حرارياً ويحوي على غاز الاوكسجين (O_2) في الحيز (A) وكتلتـه (1.5kg) وغاز النتروجين (N_2) في الحيز (B) وكتلته (5.2 kg) ولكلا الحيزين القـراءات المبينـة بالشكل. فإذا رفع العازل الحراري بين الحيزين وترك النظام الى ان إتزن حرارياً بحيـث اصـبحت درجة الحرارة في الحيز (A) والحيز (B) (60.19°C). جد الحرارة النوعية بثبوت الـضغط (Cp) لغاز الاوكـسجين والنـايتروجين علمـاً ان (قـراءة البـاروميتر (760mmHg) وكثافـة الزئبـق ($13600 kg/m_3$)، ($Cv\ N_2 = 0.744$ kJ/kg.K). أهمل حجم العازل الحراري



الفصل الخامس – القانون الأول لديناميك الحرارة

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

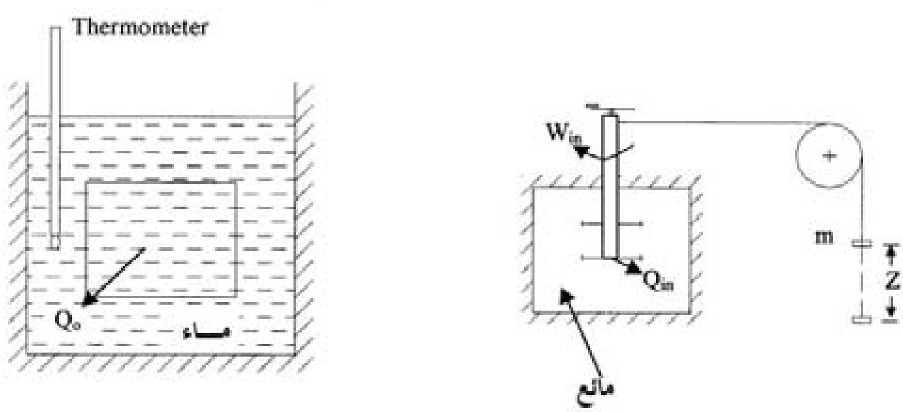
من القوانين المهمة التي يعتمد عليها هيكل ديناميك الحرارة هو القانون الأول، الذي وجد من خلال تجربة الانسان وخبرته، يتناول كل أشكال الطاقة في الطبيعة، كالطاقة المنتقلة بشكليها الحرارة والشغل، والطاقة المخزونة بكل أشكالها. هو صيغة من صيغ قانون حفظ الطاقة، الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، فمتى ما اختفى شكل من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

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

(5.2)- تجربة جول Joule's Experiment

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

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



شكل (5.1)- تجربة جول

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

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

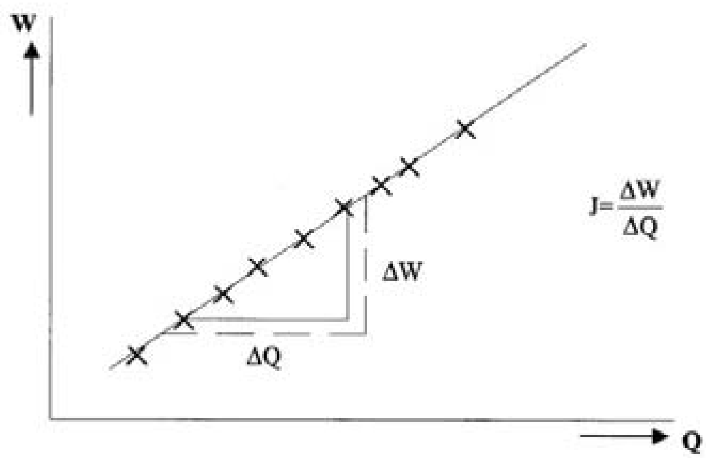
$\mathbf{Q_{out} \propto W_{in}}$

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

وبصورة عامة للأنظمة المغلقة عندما تمر بدوره فإن:

$$\oint \mathbf{dQ} = \oint \mathbf{dW} \;\Rightarrow\; \sum \mathbf{Q} = \sum \mathbf{W} \qquad \mathbf{......(5.1)}$$

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



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

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

(5.3)- صيغ القانون الاول The First Law Statement

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

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

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

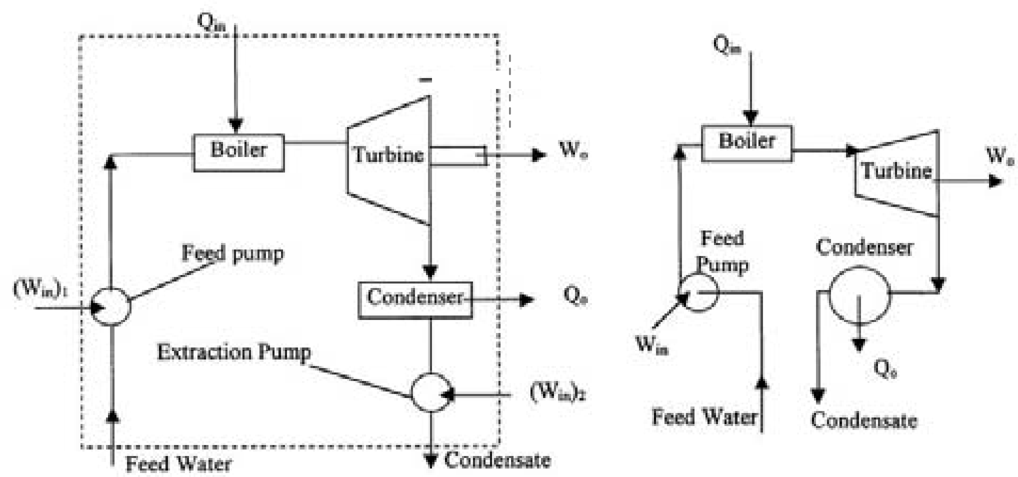
ب- الحرارة هي احدى صور الطاقة. من الممكن الحصول عليها من الشغل الميكانيكي او تحويلهـا اليه. أي ($Q \Leftrightarrow W$).

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

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

ابسط مثال لهذه الحالة هو المحطة البخارية لتوليد الطاقة، وكما فـي شـكل (5.3) حيـث ان المضخة تحتاج شغل (W_{in}).

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



$\Sigma Q = \Sigma W$

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

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

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

$\Sigma Q = \Sigma W$

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

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

شكل (5.3)- محطة بخارية – تطبيقات القانون الاول

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

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

ان:

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

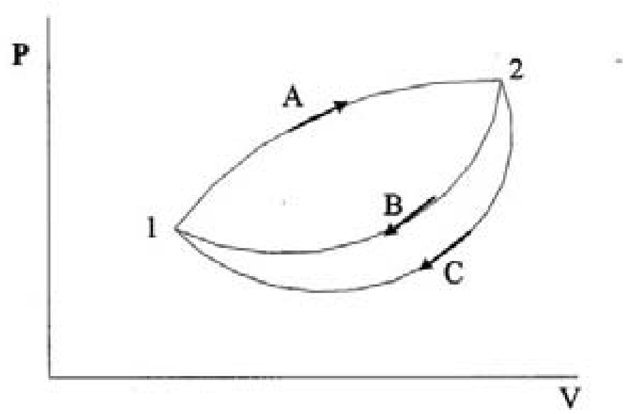
اذا ظهرت ماكنة تعطي شغل من لا شئ او تعطي شغل اكثر من الحرارة فتسمى بالماكنـة ذات الحركة الابدية او السرمدية من النوع الاول المستحيلة الصنع، لأنها تتعارض مع القـانون الاول. لـذلك ظهرت الصيغة التالية للقانون الاول:

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

(5.4) - معادلة الطاقة Energy Equation

هي التعبير الرياضي عن القانون الاول، معادلة مهمة جداً تستعمل بـصورة عامـة فـي جميـع العمليات الثرموديناميكية التي تمر بجزء من دوره (عملية ساكنة). فإذا تغيرت خواص النظام من خـلال تحركه او تغير موضعه، فستظهر خاصية جديدة للنظام على شكل طاقـة مخزونـة (Stored Energy) كميتها ثابتة يرمز لها بالرمز (ΔE_{se}).

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



شكل (5.4)- مسارات العودة ثابتة

استناداً الى القانون الاول في الاجراءات الدورية فإن:

$$\Sigma Q = \Sigma W$$

وبالنسبة للعملية الدورية 1A2B1 فإن:

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

وبالنسبة للعملية الدورية 1A2C1 فإن:

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

بطرح (1) من (2) ينتج:

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

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

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

$$Q - W = \Delta E_{se} \qquad \text{………… (5.5)}$$

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

$$Q - W = \Delta E_{se} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \qquad \text{……….. (5.6)}$$

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

$$Q - W = \Delta U \qquad \text{………. (5.7)}$$

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

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

$$dQ - dW = dU \qquad \text{……… (5.8)}$$

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

$$Q = W \qquad \text{………. (5.9)}$$

(5.5)- العمليات شبه الساكنة

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

إن تكامل تفاضل الخاصية يعطي فرقاً محدداً بين قيمتين للخاصـية يمثـل بتعـابير تامـة او مضبوطة (Exact) مثلاً:

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

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

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

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

$$dQ - dW = dU$$

وعند تكامل هذه المعادلة نحصل على معادلة الطاقة، أي:

$$\int dQ - \int dW = \int dU$$

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

إن كمية الحرارة او الشغل من القيم الرئيسة التي نحتاج لمعرفتها في تصميم بعض المعـدات، مثـل المبـادلات الحراريـة (Heat Exchangers)، المبخـرات (Evaporators)، الـضواغط (Compressors)، التوربينات (Turbines) والمحركات (Engines) وغيرها.

(5.6)- نتائج القانون الاول

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

$$dQ - dW = dU$$

$$\int dQ - \int dW = \int dU$$

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

أي انه عند إنتقال الحرارة والشغل عبر حدود نظام مغلق فـي اجـراء غيـر دوري فتظهـر خاصـية تـسمى بالطاقـة الداخليـة. تـسمى هـذه المعادلـة بمعادلـة الطاقـة عديمـة التـدفق (Non-Flow Energy Equation).

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

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

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

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

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

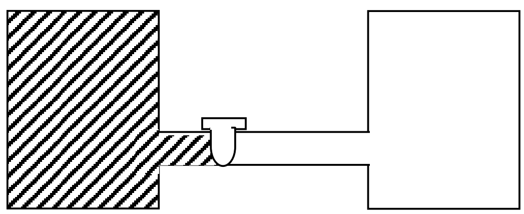
2- تقاس درجة حرارة الغاز.

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

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

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

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



شكل (5.5)-تجربة جول الطاقة الداخلية

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

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

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

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

وبصيغة تكاملية يكون:

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

نستنتج من ذلك انه عندما يكون المائع غازاً كاملاً فإن الطاقة الداخلية تابعة لدرجـة الحـرارة فقط.

امثلة محاولة

(5.1)

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

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

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

(5.2)

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

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

(5.3)

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

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 290\left(\frac{3\times 0.1}{1\times 0.1}\right) = 870\ K$$

$$W = P(V_2 - V_1) = 150(0.3 - 0.1) = 30\ kJ/kg$$

$$T_3 = \frac{P_3}{P_2}\cdot T_2 = \frac{2P_1}{P_1}T_2 = 2\times 870 = 1740\ K$$

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

(5.4)

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

$$\oint Q = \oint W$$

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

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

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

(5.5)

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

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

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

(5.6)

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

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

(5.7)

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

$$Q - W = \Delta U$$

$$-1055 - W = 210 \Rightarrow \therefore W = -1265 \text{ kJ}$$

(5.8)

في نظام مغلق يتم تبريد (0.5kg) من بخار الماء تحـت ضـغط ثابـت مـن حجـم ($3m^3$) الـى ($0.028 m^3$). لو كان الانتقال بالطاقة في اثناء الاجـراء بمقـدار (900kJ) علـى شـكل حـرارة و (81.6kJ) على شكل شغل. اوجد الضغط بوحدات الـ (bar) واحسب التغيـر بالطاقـة الداخليـة النوعية.

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

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

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

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

(5.9)

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

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

(5.10)

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

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

(5.11)

اسطوانة تحتوي على غاز مغلق بمكبس لا إحتكاكي وزنه يحدث ضغط مقداره (3 bar). عندما يبرد الغاز يقل حجمه من ($0.1 \ m^3$) الى ($0.03 \ m^3$) وتزداد طاقته الداخلية من (4.18 kJ) الى (16.72 kJ). احسب الشغل والحرارة المنتقلتين.

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

(5.12)

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

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

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

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

مسائل

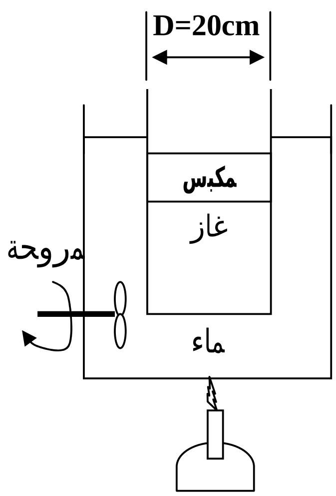
(5.1)

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

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

ج: (7.57 ، 12.57 kJ)

(5.2)



غاز كتلته (0.5kg) موجود في اسطوانة عمودية فوقه مكبس عديم الاحتكاك كتلته (1kg). الاسطوانة موضوعة في خزان ماء كما موضح في الـشكل. السخان يعطي قدرة حرارية للماء بمعدل (1kW) ومروحة تحريـك المـاء تعمل بقدرة مقدارها (0.1kW). الحرارة المطروحة من الماء للجو تـساوي (10%) من الطاقة المضافة. ما هي الزيادة في الطاقة الداخلية للمـاء بعـد تشغيل السخان والمروحة لمـدة (20 min.) واذا ارتفـع المكـبس خلالهـا (20cm) وإزدادت الطاقة الداخلية للغاز بمقدار (10kJ). علمـاً أن قـراءة البارومتر (1.01 bar).

ج: (1177.364 kJ)

(5.3)

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

ج: (-120kJ)

(5.4)

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

ج: (6.553 kg/hr)

(5.5)

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

Cp = 1.04 kJ/kg . K γ **= 1.4**

ج: (-12.06 kJ ،$0.0213\ m^3$)

(5.6)

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

ج: (68.05 kJ ،8.55 kJ)

(5.7)

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

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

ج: (2.316 bar ،402.18 K)

(5.8)

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

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

ج: (861.6 kJ ،1723.2 kJ)

(5.9)

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

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

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

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

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

(5.10)

نظام مغلق يحتوي على (0.2kg) من غاز مثالي. ضغط بولتروبياً الـى (100°C) واضـيف اثنـاء الانضغاط شغلاً مقداره (19.7kJ). وطرحت حرارة مقدارها (5.3kJ). فإذا كانـت (γ=1.4) اوجـد قيمة (R).

ج: (0.295 kJ/kg.K)

(5.8)- الاجراءات اللاجريانية (الانظمة المغلقة)

Non-Flow Processes (Closed System)

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

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

إن معادلة الطاقة في هذه العملية هي:

$$\mathbf{Q - W = \Delta U}$$

وبالنسبة لـ (1kg) من غاز فإن:

$$\mathbf{q - w = \Delta\mu} \qquad \text{........ (5.15)}$$

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

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

2- إنتقال الحرارة يساوي صفراً.

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

إن أغلب الاجراءات اللاجريانية العملية تقترب من احد هذه الاجراءات. ويعالج كـل اجـراء على فرض ان المائع اما ان يكون بخاراً او غازاً كاملاً. وبالنسبة للبخـار يجـب اسـتعمال جـداول الخواص، ومع ذلك تؤجل دراسته الى المرحلة الثانية. اما بالنسبة للغـاز الكامـل فيمكننـا التحليـل باستعمال العلاقات الجبرية، وسنستعمل الهواء كمثال على الغاز الكامل مع استعمال الثوابت الآتية:

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

ان اجراءات المائع في النظام المغلـق تـسمى اجـراءات عديمـة التـدفق او لا جريانيـة (Non-Flow Processes). طبق القانون الاول على إجراءات الانظمة المغلقة، ثم طبقت النتائج بعد ذلك على الانظمة المفتوحة التي سيرد ذكرها لاحقاً.

(5.9)- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المغلقة

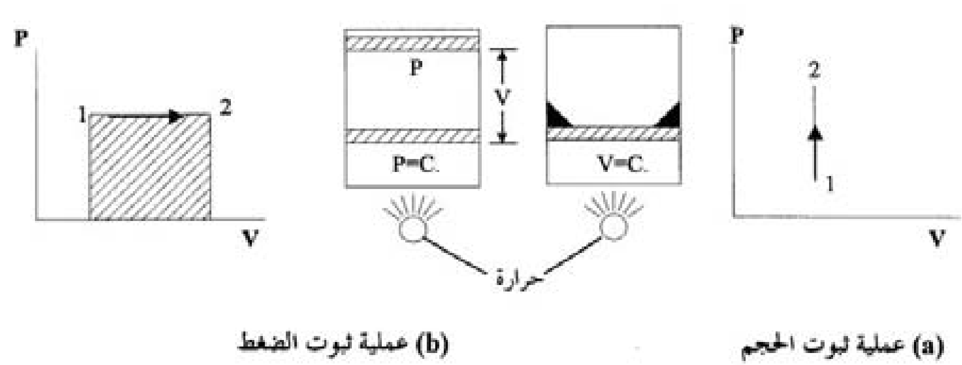
Application of the First Law of Thermodynamics on the Closed System

تتغير حالة الغاز الموجود في نظام مغلق في عمليات تعتبـر حـالات خاصـة للأجـراءات اللاجريانية وهذه العمليات بالنسبة لوحدة كتلة من غاز مثالي هي:

(5.9.1)- عملية ثبوت الحجم Constant Volume Process

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

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



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

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

أ- معادلة الحالة:

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

ب- الشغل الازاحي:

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

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

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

د- عند تطبيق القانون الاول:

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

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

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

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

(5.9.2)- عملية ثبوت الضغط Constant Pressure Process

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

أ- معادلة الحالة:

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

ب- الشغل الازاحي:

$$w_{12} = \int_1^2 P d\nu = P(\nu_2 - \nu_1) = R(T_2 - T_1) \ (\text{kJ/kg}) \quad ....(5.19)$$

ج- عند تطبيق القانون الاول:

1- كمية الحرارة (q)

$$q = \Delta\mu + w$$
$$= Cv\,(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1)$$
$$= Cp\,(T_2 - T_1) \quad ....\ (5.20)$$

2- التغير في الانثالبي (Δh)

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

وعندما يكون الضغط ثابت تصبح:

$$= d\,\mu + d\,P\,\nu$$
$$= d\,(\mu + P\nu)$$
$$\therefore dq = dh$$

وبصيغة تكاملية يكون:

$$q = \Delta h$$
$$\therefore\ q = \Delta h = Cp\,\Delta T \quad ....\ (5.22)$$

أي ان الحرارة المضافة اثناء اجراء ثبوت الضغط تساوي الزيادة في الانثـالبي. ومـن هـذه المعادلة نتعرف على الـ (Cp)

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

3-ثابت الغاز (R)

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

(5.9.3)- عملية ثبوت درجة الحرارة Constant Temperature Process

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

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

أ- معادلة الحالة: $P\nu = Const.$

ب- الشغل الازاحي:

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

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

$$Or \; = P_1\nu_1 Ln\frac{\nu_2}{\nu_1} ....(5.25)$$

$$w = \int Pdv = \int RT\frac{d\nu}{\nu} = RTLn\frac{\nu_2}{\nu_1} \quad = P_1\nu_1 Ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$$

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

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

د- عند تطبيق القانون الاول:

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

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

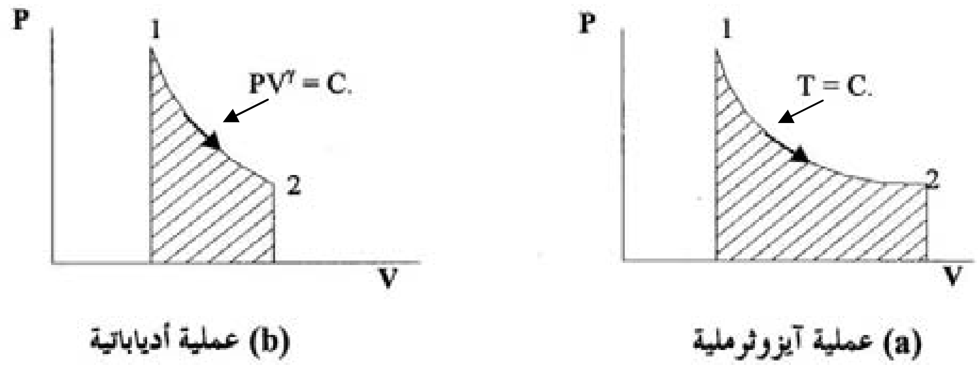
(5.9.4)- العملية الادياباتية Adiabatic Process

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

هذه الحالة غير موجودة فعلاً ولكن عندما يحدث الاجراء سريعاً لا يوجد وقت كافٍ للتبـادل الحراري بين الغاز والمحيط عبر جدران الاسطوانة. وكمثال على ذلك هو عملية الانضغاط والتمـدد في محرك الاحتراق الداخلي التي يمكن اعتبارها تقريباً عملية اديباتية، ففي خـلال الفتـرة الزمنيـة

القصيرة التي تتم فيها هذه العمليات يمكن إهمال التبادل الحراري بين الغاز والمحيط بـسبب سـرعة المحرك العالية، أي (q=0).

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



شكل (5.7)- تغير حالة الغاز حالة آيزوثروملية أو ادياباتيا

أ- **الاس الادياباتي كاما (γ) ويساوي:**

$$\gamma = Cp / Cv$$

اما الـ (Cv، Cp) فتشتق كما يلي:

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

وكذلك:

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

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

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

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

جدول (5.1) صفات الغازات الحقيقية

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

مركبات الهواء:

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

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

N_2 ... نيتروجين جوي.

ب- التغير في الطاقة الداخلية النوعية:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

حيث ان * (Ln) هو اللوغاريتم الطبيعي.

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

$$\mathrm{Ln}\, y = x$$
$$\therefore y = e^x$$

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

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

$$q - w = \Delta\mu$$
$$-w = \Delta\mu$$
$$-\int_1^2 Pdv = \int_1^2 CvdT$$
$$-RT\int_1^2 \frac{d\nu}{\nu} = Cv\int_1^2 dt$$

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

Ln = 2. 3 log

والقسمة على (T) ينتج:

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

$$X^a = y$$

$$LnX^a = Lny$$

$$aLnX = Lny$$

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

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

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

$$\because \frac{v_1}{v_2} = \frac{P_2T_1}{P_1T_2}$$

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

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

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

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

نعوض (5.33) بـ (5.32) ينتج:

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

ومن هذه المعادلة نوجد العلاقة الآتية:

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

يرمز للثابت بـ (Const.) او (C.).

هـ - الشغل الازاحي

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

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

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

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

و- عند تطبيق القانون الاول:

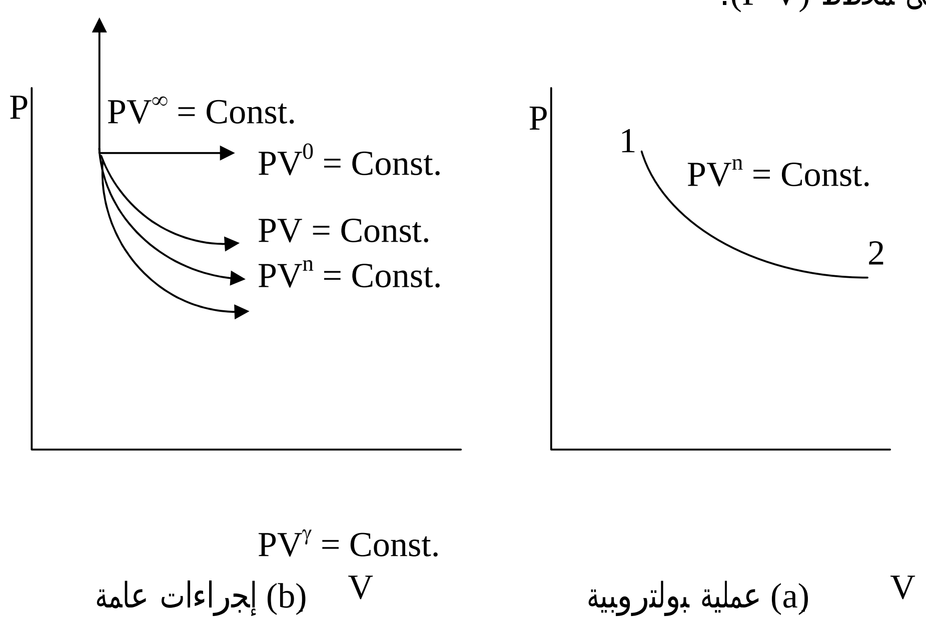
$$q - w = \Delta\mu$$

$$-w = \Delta\mu$$

$$-\frac{P_1\nu_1 - P_2\nu_2}{\gamma - 1} = Cv\left(T_2 - T_1\right) \qquad ....(5.38)$$

(5.9.5)- العملية البولتروبية Polytropic Process

تسمى ايضاً بالأجراء العام او متعدد الانحناء او المناخي، يحدث عندما تكون خواص النظـام كالضغط والحجم ودرجة الحرارة متغيرة. يمثل بمنحني على مخطط (P-v)، كما في شـكل (5.8-a). هو إجراء يقع بين الاجرائين الايزوثرملي والادياباتي، إذ ان منحني الاجراء الايزوثرملي يقـع فـوق منحني الاجراء الادياباتي والبولتروبي بينهما في حالة التمدد، كما في شكل (5.8-b). اما فـي حالـة الانضغاط فيكون العكس. إن خطوط ومنحنيات اجراءات التمدد في شكل (5.8-b) عكـس اجـراءات الانضغاط على مخطط (P-V).



إجراءات عامة (b) عملية بولتروبية (a)

شكل (5.8)- منحنيات الاجراءات العامة

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

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

$$\mathbf{PV^0 = Const. \qquad \therefore\ P = Const.}$$

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

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

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

$$\mathbf{PV = Const.}$$

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

$$\mathbf{PV^{\gamma} = Const.}$$

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

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

$$\mathbf{P\nu^n = Const.} \qquad \dots\dots\dots (5.39)$$

فإذا علمت خمسة خواص فستكون المعادلة العامة هي:

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

وعند عدم معرفة خمسة خواص فستكون المعادلة العامة:

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

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

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

د- الشغل الازاحي:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

من المعادلة المذكورة آنفاً نستنتج ما يأتي:

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

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

اذن العملية الحقيقية هي العملية الواقعة بين الاجرائين الايزوثرملي والاديباتي.

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

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

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

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

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

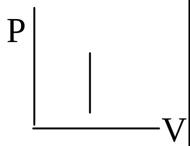
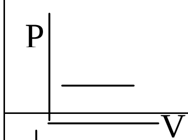
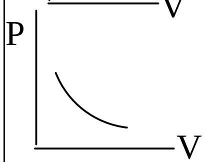
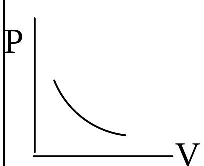
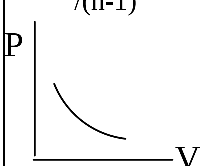
يتبين ان الحرارة النوعية تساوي:

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

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

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

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

ت	الاجراء	معادلة الحرارة	الشغل الازاحي w	التغير في الطاقة الداخلية $(\Delta\mu)$	عند تطبيق القانون الاول $w^{=0}$	الاشكال
.1	ثبوت الحجم	$\frac{P}{T} = C.$	0	$Cv(T_2\text{-}T_1)$	$q - w^{=0} = \Delta\mu$	
.2	ثبوت الضغط	$\frac{\nu}{T} = C.$	$P\Delta V = R\Delta T$	$Cv(T_2\text{-}T_1)$	$q = \Delta\mu + w$ $= (\mu_2 + P_2\nu_2) - (\mu_1 + P_1\nu_1)$ $q = \Delta h_{12} = Cp\Delta T$	$R = Cp - Cv$ 
.3	الايزوثرملي	$P\nu = C.$	$P_1\nu_1 Ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$ $RT_1 Ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$	0	$q = w + \Delta\mu^{=0}$	
.4	الادياباتي	$P\nu^{\gamma} = C.$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\gamma-1}$ $= \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$\frac{P_1\nu_1 - P_2\nu_2}{\gamma - 1}$ $\frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$	$Cv\ (T_2\text{-}T_1)$	$q^{=0} - w = \Delta\mu$	$\gamma = Cp/Cv$, $Cv = R/\gamma\text{-}1$ **$Cp = R\gamma/\gamma\text{-}1$** 
.5	البولتروبي	تستبدل (γ) بـ (n) $\frac{P\nu}{T} = C.$		$Cv\ (T_2\text{-}T_1)$	$q = \Delta\mu + w$ $= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.w$	$Cn = Cv(\gamma\text{-}n)/(n\text{-}1)$ 

امثلة محاولة

(5.13)

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

1- ΔU للأجرائين الاوليين.

2- الحرارة المنتقلة في الاجراء الاخير.

3- الشغل في الاجراء الثاني.

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

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

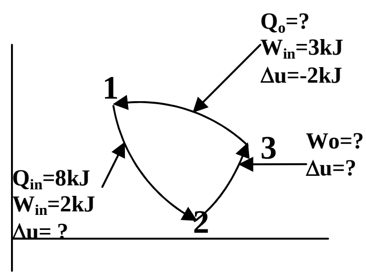
$$\oint dQ = \oint dW$$

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

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

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

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



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

تنخفض

(5.14)

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

Cv = 0.715 kJ/kg. K ، Cp = 1.005 kJ/kg.K

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

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{275 \times 0.85}{0.29 \times 288} = 2.8\ kg$$

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

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

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

$$\Delta h = Cp\,(T_2 - T_1) = 1.005(288 - 273) = 15.075\ kJ/kg$$

(5.15)

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

R = 0.29 kJ/kg.K ، Cv = 0.715 kJ/kg.K

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

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

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

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

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

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

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

(5.16)

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

Cv = 0.72 kJ/kg.K ، R = 0.29 kJ/kg.K

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

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

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

(5.17)

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

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

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{200 \times 0.9}{0.29 \times 293} = 2.11\,kg$$

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

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

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

(5.18)

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

R = 0.29 kJ/kg.K ،Cv = 1.005 kJ/kg.K

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{275 \times 0.09}{0.29 \times 458} = 0.186\,kg$$

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

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

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

(5.19)

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

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

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

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

(5.20)

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

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

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

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

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

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

(5.21)

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

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

R = 0.26 kJ/kg.K ،Cp = 1.005 kJ/kg.K

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{400 \times 3}{0.26 \times 287} = 16.08\ \text{kg}$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} = \frac{2 \times 400 \times 3}{0.26 \times 287} = 30.66\ \text{kg}$$

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

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

$$C_v = C_p - R = 1.005 - 0.26 = 0.745\ \text{kJ/kg.K}$$

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

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

(5.22)

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

Cp = 0.88 kJ/kg.K ،Cv = 0.67 kJ/kg.K

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

$$P_1 \nu_1 = RT_1$$
$$\upsilon_1 = (Cp - Cv)\frac{T_1}{P_1}$$
$$= \frac{(0.88 - 0.67)358}{1400} = 0.0537\,\frac{m^3}{kg}$$
$$V_1 = \nu_1 \times m = 0.0537\times2.7 = 0.145 m^3$$
$$V_2 = \frac{P_1 T_2}{P_2 T} \times V_1 = \frac{1400\times333\times0.145}{700\times358}$$
$$= 0.27\,m^3$$

(5.23)

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

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

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

(5.24)

غاز ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (15°C) وكثافته (1.855 kg/m^3). احسب قيمـة (R). عنـد تسخين (0.9 kg) من هذا الغاز من درجة حرارة (15°C) الـى (250°C) بـضغط ثابـت، كانـت الحرارة المطلوبة (175 kJ). احسب (Cp) و (Cv). واحسب مقدار التغيـر فـي الطاقـة الداخليـة والشغل المنتقل.

$$R = \frac{PV}{mT} = \frac{100 \times 1}{1.875 \times 278}$$

$$= 0.185\ kJ/kg.K$$

$$Cp = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{175}{0.9(250 - 15)}$$

$$= 0.828\ kJ/kg\ .\ K$$

$$Cv = Cp - R$$

$$= 0.828 - 0.185$$

$$= 0.643\ kJ/kg.K$$

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

$$= 0.9 \times 0.643\ (250 - 15)$$

$$= 136\ kJ$$

$$W = Q - \Delta U$$

$$= 175 - 136$$

$$= 39\ kJ$$

(5.25)

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

Cp = 1 kJ/kg.K ، R = 0.287 kJ/kg.K

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

وزن المكبس ثابت، فالعملية تمت بثبوت الضغط

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

$V_1=A\times L_1$

$=0.007854\times0.15=0.00118m^3$

$V_2=A\times L_2$

$=0.007854\times0.3=0.00236\ m^3$

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

Pabs = Patm + Pg

$$=1.013\times10^5+\frac{15}{0.007854}$$

$$=1.03\,bar$$

$$m=\frac{PV}{RT}=\frac{1.032\times10^2\times0.00118}{0.287\times288.5}$$

$$=0.00147\,kg$$

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

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

Q = m Cp (T2 – T1)

= 0.00147 × 1 × (577 – 288.15)

= 0.425 kJ

W = P (V2 – V1)

$=1.032\times10^2\ (0.00236–0.06118)$

= 0.122kJ

$\Delta U = Q - W$

= 0.424 – 0.122

= 0.3021 kJ

(5.26)

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

$$R=\frac{PV}{mT}=\frac{0.101325\times10^3\ \times1}{1.429\times273}$$

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

$$m_1=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{3.1\times10^3\times300\times10^{-3}}{0.26\times291}$$

$$=12.3\,kg$$

$$m_2=\frac{P_2V_2}{RT_2}=\frac{1.7\times10^3\times300\times10^{-3}}{0.26\times288}$$

$$=6.8\,kg$$

12.3 – 6.8 = 5.5 kg

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

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

= 5.5 . 0.65 (291 – 288)

= 10.725 kJ

(5.27)

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

إحسب الحرارة والشغل المنتقلين إذا كان:

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

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

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

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

(a)

$$\nu_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.0658}{0.05}$$

$$= 1.316\, m^3/kg$$

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

$$w = P\Delta\nu = P\,(\nu_2 - \nu_1)$$
$$= 200\,(1.316 - 0.8856)$$
$$= 86.08\ kJ/kg$$

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

(b)

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

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

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

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

(5.28)

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

أ- تبريد بضغط ثابت يتبعه تسخين تحت حجم ثابت.

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

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

(1)

$$V_{2.} = V_1 \cdot \frac{P_1}{P_2} = 23.7 \times \frac{1}{5} = 4.74\,L$$

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

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

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

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

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

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

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

(2)

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

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

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

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

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

$$\sum\mu = 24.27 - 24.27 = 0$$

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

(5.29)

مائع موجود في اسطوانة مغلقة بمكبس متحرك عديم الاحتكـاك. أضـيفت اليـه حـرارة مقـدارها (1023.67 kJ/kg). وتمـدد بـضغط ثابـت مقـداره (1.0133 bar) وتغيـر حجمـه مـن ($0.00104\ m^3/kg$) الى ($1.67\ m^3/kg$). احسب: $\Delta\mu$، Δh.

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

(5.30)

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

Cp=0.287 kJ/kg.K

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

(5.31)

هواء درجة حرارته (20°C) وضغطه (1 bar) وحجمه ($0.02m^3$). سـخن بثبـوت الحجـم الـى (5 bar). وبعدها برد بثبوت الضغط الى ان عاد الى حرارته الابتدائيـة. احـسب صـافي الـشغل والحرارة علماً ان:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp =1.01 kJ/kg.K

$$Cv = Cp - R$$
$$= 1.01 - 0.287$$
$$= 0.723 kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{100 \times 0.02}{0.287 \times 298}$$
$$= 0.0238\,kg$$
$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2}{P_1}$$
$$= 293\frac{5}{1} = 1465\,K$$
$$Q_{12} = m\,Cv\,(T_2 - T_1)$$
$$= 0.0238 \times 0.723 \times (1465 - 293)$$
$$= 19.9\,kJ$$

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

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

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

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

(5.32)

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

$$P_2 = P_1\frac{V_1}{V_2}$$
$$= 100 \times \frac{0.056}{0.007} = 800\,kN/m^2$$
$$W.D = P_1V_1 Ln\frac{V_1}{V_2}$$
$$= 100 \times 0.056\,Ln\frac{0.007}{0.056} = -11.65\,kJ$$

(5.33)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، Cv=0.72 kJ/kg.K

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

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

$$= -184.1 \; kJ$$

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

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

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

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

$$\sum W = -184.1 + 0 = -184.1\,kJ$$

$$\sum Q = -184.1 + (-302.4) = -486.5\,kJ$$

(5.34)

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

Cp=1.01 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

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

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

$$= 114\,kJ$$

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

$$= 286.5\,K$$

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

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

$$= -289.37\,kJ$$

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

$$= -175.4\,kJ$$

(5.35)

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

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

(5.36)

غاز ضغطه (1.4 MN/m^2) ودرجة حرارته (360°C) تمـدد ادياباتيـاً الـى ان اصـبح ضـغطه (100kN/m^2) وسخن بضغط ثابت حتى عاد الـى درجـة حرارتـه الابتدائيـة واصـبح ضـغطه (200kN/m^2). وضغط ايزوثرملياً حتى عاد الى ضغطه الابتدائي. ارسم الاجراءات علـى مخطـط (P-v) واحسب (أ) قيمة الاس الادياباتي (γ) (ب) التغير في الطاقة الداخلية في اثناء التمدد الادياباتي. علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K

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

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

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

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

$$\therefore \gamma = 1.425$$

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

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

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

(5.37)

هواء درجة حرارته (300 K) وضغطه (1 bar). يضغط ادياباتياً الى ضـعف ضـغطه الابتـدائي بوساطة ضاغط يستهلك قدرة مقدارها (200W). إحسب حجم الهواء الخارج من الضاغط في الثانيـة واحسب درجة حرارته. علماً أن:

(γ=1.4) .

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

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

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

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

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

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

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

(5.38)

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

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

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

$$\gamma = 1.4$$

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

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

$$T_2 = \Delta T + T_1$$

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

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

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

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

(5.39)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp=1.005 kJ/kg.K

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

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 830\left(\frac{422}{811}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 80.3\,kPa$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = \frac{0.225\times0.287\times422}{80.3} = 0.33\,m^3$$

$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = \frac{0.225\times0.287\times(811-422)}{1.4-1} = 62.799\,kJ$$

(5.40)

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

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

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

$$\frac{\gamma-1}{\gamma} = \frac{Ln\frac{T_2}{T_1}}{Ln\frac{P_2}{P_1}} = \frac{Ln\frac{1}{1.5}}{Ln\frac{1}{5}} = 0.252$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma-1} = \frac{0.3\times1.336}{0.336} = 1.193\,kJ/kg.K$$

$$\gamma = \frac{1}{1-0.252} = 1.336$$

(5.41)

كمية من غاز (N_2) كتلتها (0.2kg) ودرجة حرارتها (15°C) ضغطت ادياباتياً حتى اصبح حجمهـا ربع ما كان عليه في البداية واصبحت درجة حرارتها (237°C). وكـان الـشغل المنتقـل (33kJ). احسب (γ) و (R).

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

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

$$\gamma = 1.412$$

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

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

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

(5.42)

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

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

$$\gamma = Cp / Cv$$

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

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

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

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

$$= \frac{700 \times 0.015 - 140 \times 0.048}{1.39 - 1} = 9.69\,kJ$$

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

(5.43)

غاز حجمه ($0.3\ m^3$) وضغطه ($100\ kN/m^2$) ودرجة حرارته ($20°C$) ضـغط ايزوثرمليـا الـى ($500\ \ kN/m^2$). وتمدد ادياباتياً الى حجمه الاصلي. احسب (ا) الحرارة المنتقلة في اثناء الانـضغاط، (ب) التغير في الطاقة الداخلية (جـ) كتلة الغاز.

Cp = 1 kJ/kg.K ، γ = 1.4

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

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

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

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

(أ) ايزوثرملياً

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

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

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

(ب) ادياباتياً

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

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

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

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

$$= -35.5\ kJ$$

(5.44)

كمية من غاز ضغطه (5bar) ودرجة حرارته (20°C). تمدد ايزوثرمياً من ($0.3m^3$) الـى ضـغط مقداره (1bar). فإذا كانت (γ=1.4) و (Cp = 1 kJ/kg.K). احسب:
(أ) كتلة الغاز (ب) الشغل المنجز (جـ) حجم الغاز.

$$R = \frac{Cp(\gamma - 1)}{\gamma}$$
$$= \frac{1(1.4 - 1)}{1.4} = 0.286\ kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$
$$= \frac{500 \times 0.3}{0.286 \times 293} = 1.79 kg$$

$$W_{12} = mRT\, Ln\frac{P_1}{P_2}$$
$$W_{12} = 1.79 \times 0.286 \times 293\, Ln\frac{5}{1}$$
$$= 241.41\ kJ$$
$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{5 \times 0.3}{1} = 1.5\ m^3$$

(5.45)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، γ=1.4

$$W = P_1 V_1 Ln\frac{V_2}{V_1}$$
$$= 138 \times 0.056\, Ln\frac{0.014}{0.056} = 10.7\ kJ$$
$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$$
$$= 138 \times \left(\frac{0.056}{0.014}\right)^{1.4} = 9.64\ bar$$

$$W = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{138 \times 0.056 \times 964 \times 0.014}{1.4 - 1}$$
$$= -14.42\ kJ$$

(5.46)

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

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

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

(1)

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

(2)

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

(5.47)

غاز مثالي كتلته (0.45kg) تمدد اديباباتياً الى ان اصبح ضغطه نصف ما كان عليه في البداية وانجـز شغلاً مقداره (27kJ) وانخفضت درجة حرارته من (220°C) الـى (130°C). احـسب قيمـة (γ) وكذلك (R).

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

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

$$\gamma=1.41$$

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

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

(5.48)

هواء تمدد اديباباتياً في نظام مغلق عند ضغط (6 bar) الى (1.48 bar). ثم ترك الى ان عادت درجة حرارتـه الـى مـا كانـت عليـه فـي البدايـة بثبـوت الحجـم فـأرتفع ضـغطه الـى (2.21 bar). اوجد قيمة (R). علماً أن:

Cp=1.005 kJ/kg.K

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

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

من (1) و (2) ينتج:

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

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

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

$$R=Cp-Cv$$

$$=1.005-0.68$$

$$=0.325\,\mathrm{kJ/kg.K}$$

(5.49)

غاز حجمه ($0.12m^3$) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (1.0133 bar). ضـغط ادياباتيـاً الـى ($0.024m^3$). احسب (أ) كتلة الغاز (ب) الضغط ودرجة الحرارة عند نهاية الانـضغاط، (ج) الـشغل المنتقل. علماً أن:

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

$$R = Cp - Cv$$
$$= 1.005 - 0.715 = 0.287 kJ/kg.K$$
$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{101.33 \times 0.12}{0.287 \times 293} = 0.144\,kg$$
$$\gamma = Cp/Cv = 1.4$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = 1.0133 \times \left(\frac{0.12}{0.024}\right)^{1.4}$$
$$= 9.64\,bar$$

$$T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1}$$
$$= \frac{293 \times 964 \times 0.024}{101.33 \times 0.12}$$
$$= 557.7\,K$$
$$W = \frac{101.33 \times 0.12 - 964 \times 0.024}{1.4 - 1}$$
$$= -85.283\,kJ$$

(5.50)

غـاز كتلتـه (1.8 kg) وضـغطه (2 bar) ودرجـة حرارتـه (27°C). ضـغط ادياباتيـاً الـى (3.5 bar). احسب (1) الحجم الابتدائي والنهائي (2) درجة الحرارة النهائية (3) الـشغل والحـرارة المنتقلين (4) مقدار التغير في الطاقة الداخلية. علماً أن:

R = 0.3 kJ/kg.K . γ = 1.4

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{1.8 \times 0.3 \times 300}{200}$$
$$= 0.81\,m^3$$
$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0.81 \times \left(\frac{2}{3.5}\right)^{\frac{1}{1.4}}$$
$$= 0.543\,m^3$$
$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 200 \times \left(\frac{0.81}{0.543}\right)^{1.4-1}$$
$$= 352\,K$$

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

(5.51)

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

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

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

$$\because T_1 = T_3$$

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

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

$$\gamma = 1.37$$

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

$$= 0.97 kJ/kg.K$$

(5.52)

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

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

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

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

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

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

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

(5.53)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp = 1.005 kJ/kg.K

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

$$= 0.839\ \text{bar}$$

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

$$= 0.0631\ m^3$$

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

$$= 0.324\ m^3$$

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

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

$$= 62.9\ kJ$$

(5.54)

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

Cp=1.005 kJ/kg.K ، Cv=0.718 kJ/kg.K

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

$$= 334.5\ K$$

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

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

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

$$= -1.0377$$

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

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

$$P_2 = 3.389\ \text{bar}$$

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

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

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

$$= 0.06\ m^3$$

(5.55)

هواء ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (300 K) يضغط في ضاغط ادياباتياً الى (2 bar) ويـستهلك في ذلك قدرة (200 W) احسب حجم الهواء الخارج بالـ (m^3/s)، علماً أن: γ=**1.4**

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\gamma-1} = 300\times\left(\frac{2}{1}\right)^{0.4}$$
$$= 365.7\,K$$
$$W = \frac{mR\Delta T}{\gamma - 1}$$
$$200 = \frac{mR(365.7-300)}{0.4}$$

$$mR = 1.2177$$
$$V = \frac{mRT}{P} = \frac{1.2177\times 365.7}{200}$$
$$= 0.0022\frac{m^3}{s}$$

(5.56)

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

$$1\rightarrow 2:$$
$$T_2 = \Delta T_{12} + T_1 = 222 + 288$$
$$= 510\,K$$
$$-W_{12} = -\Delta U_{12} = -mCv(T_2 - T_1)$$
$$Cv = \frac{-W}{m(T_1 - T_2)} = \frac{-33}{0.2(15-237)}$$
$$= 0.74\,kJ/kg.K$$
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{288}{510} = \left(\frac{1}{4}\right)^{\gamma-1}$$
$$\Rightarrow \gamma = 1.41$$
$$R = \frac{W_{12}(\gamma-1)}{m(T_1-T_2)} = \frac{-33(1.41-1)}{0.2(15-237)}$$
$$= 0.304\,kJ/kg.K$$

$$Cp = R + Cv = 0.304 + 0.74$$
$$= 1.044\,kJ/kg.K$$
$$2\rightarrow 3:$$
$$Q_{23} = mCp(T_3 - T_2)$$
$$= 0.2\times 1.044\,(15 - 237)$$
$$= -46.356\,kJ$$
$$\Delta U_{23} = mCv(T_3 - T_2)$$
$$= 0.2\times 0.74\,(15 - 273)$$
$$= -32.856\,kJ$$
$$W_{23} = -(\Delta U_{23} - Q_{23})$$
$$= -[-32.856 - (-46.356)]$$
$$= -(-32.856 + 46.356)$$
$$= -13.5\,kJ$$

(5.57)

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

$\gamma=1.4$

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

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

(5.58)

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

$\gamma=1.4$ ، $Cv = 0.72\ kJ/kg.K$

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

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

(5.59)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، Cv=0.718 kJ/kg.K

(1)

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

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

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

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

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

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

$$= -103\ kJ$$

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

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

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

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

$$= 77\ kJ$$

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

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

(2)

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

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

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

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

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

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

$$= -115\ kJ$$

وبطريقة اخرى:

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

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

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

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

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

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

$$= 115\ kJ = -W$$

(5.60)

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

γ**=1.4**

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

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

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

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

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

$$\Delta U = -W$$

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

$$Q = \Delta U + W$$

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

(5.61)

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

(1) تسخين بثبوت الحجم ثم تبريد بثبوت الضغط.

(2) انضغاط ايزوثرملي

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

(أ) الشغل والحرارة المنتقلين

(ب) التغير في الطاقة الداخلية

(ج) التغير في الانثالبي،

علماً أن:

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

(1)

$1\rightarrow2$

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

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

$$= \frac{100\times10.7}{0.083\times288} = 44.76\,kg$$

$$T_2 = \frac{P_2V_2}{mR}$$

$$= \frac{500\times10.7}{44.7\times0.083} = 1440\,K$$

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

$$= 44.76\times0.21\,(1440 - 288)$$

$$= 10847.1\,kJ$$

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

$$= 44.76\times0.293\,(1440 - 288)$$

$$= 15108.1\,kJ$$

$2\rightarrow3$

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

$$= \frac{44.76\times0.083\times288}{500} = 2.14\,m^3$$

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

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

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

$$= 44.76\times0.293\,(288 - 1440)$$

$$= -15134.34\,kJ$$

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

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

$$= -10854.34\,kJ$$

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

$$= -15134.34\,kJ$$

(2)

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

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

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

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

$$= 44.76\times0.083\times288\,Ln\frac{1}{5}$$

$$= -1722\,kJ$$

(3)

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

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

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

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

$$P_2 = 9.436\,bar$$

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

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

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

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

$$= 3350.8\,kJ$$

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

$$= -2401.6\,kJ$$

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

$$= -3350.8\,kJ$$

(5.62)

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

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

(5.63)

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

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

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

(5.64)

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

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

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

$$n = 1.302$$

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

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

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

$$Q = -1.3\ kJ$$

(5.65)

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

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

(5.66)

غاز كتلته (0.675 kg) وضغطه ($1.4\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (280°C) تمدد حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C$) حتى اصبح حجمه اربعة اضعاف حجمه الابتدائي. احسب (1) الحجم الابتدائي والنهائي (ب) الضغط النهائي (ج) درجة الحرارة النهائية. علماً أن:

R=0.278 kJ/kg.K

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

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

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

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

(5.67)

هواء كتلته (0.25 kg) ضغطه ($140\ kN/m^2$) وحجمه ($0.15\ m^3$) ضغط الى ($4MN/m^2$) حسب القانون ($PV^{1.25}=C$). احسب (1) التغير في الطاقة الداخلية (ب) الشغل المنتقل (ج) الحرارة المنتقلة. علماً أن:

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

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

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

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 292.7\left(\frac{1.4\times 10^3}{140}\right)^{\frac{0.25}{1.25}} = 463.9\,K$$

$$\Delta U = mCv\Delta T = 0.25\times 0.718\,(463.9 - 292.7) = 30.73\,kJ$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{0.25\times 0.287(292.7 - 463.9)}{1.25 - 1} = -49.1\,kJ$$

$$Q = \Delta U + W = 30.73 - 49.1 = -18.37\,kJ$$

(5.68)

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

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

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

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

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

$$= 140.778\, kJ$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 33 - 140.778$$

$$= -107.778\, KJ$$

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

$$= -143.7\, kJ$$

(5.69)

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

$$\Delta U = Q - W$$

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

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

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

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

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

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

$$n = 1.494$$

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

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

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

$$Cp = R + Cv$$

$$= 0.13 + 0.166$$

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

(5.70)

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

R=0.287 kJ/kg.K ، γ=1.4

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

$$\text{Ln}\,0.05 = n\,\text{Ln}\,0.1$$

$$n = 1.3$$

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

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

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

$$= \frac{140\times 12\times 10^{-3} - 2800\times 1.2\times 10^{-3}}{1.3-1}$$

$$= -5.6\,kJ$$

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

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

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

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

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

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

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

$$= -1.4$$

OR

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

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

$$\Delta U = Q - W$$

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

(5.71)

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

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

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

$$n = 1.26$$

(5.72)

غاز داخل اسطوانة مجهزة بمكبس عـديم الاحتكـاك والتـسرب. حجمـه ($0.0135m^3$) وضـغطه (27 bar) ودرجة حرارته (215°C). تمدد حسب العلاقـة ($Pv^{1.29}$=C). كـان الـشغل المنتقـل (49 kJ) والحرارة المنتقلة (11.9 kJ). احسب (أ) درجة الحرارة النهائية (ب) γ (ج) R (د) كتلـة الغاز، علماً أن:

Cp=1.03 kJ/kg.K

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

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

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

$$49 = \frac{2700\times 0.0135\left(1-\frac{T_2}{488}\right)}{1.29-1}$$

$$T_2 = 298\,K$$

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

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

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

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

$$= \frac{2700\times 0.0135}{488} = 0.0746\,kJ/K$$

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

$$\gamma = 1.38$$

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

$$R = Cp - Cv$$

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

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

(5.73)

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

Cv = 0.715 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

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

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{103.5\times 0.085}{0.287\times 311} = 0.0985\,K$$

$$\Delta U = mCv\Delta T = 0.0985\times 0.715\,(458 - 311) = 10.35\,kJ$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{0.0985\times 0.287\,(311-458)}{1.3-1} = -13.85\,kJ$$

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

(5.74)

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

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

R=0.285 kJ/kg.K ، Cv=0.72 kJ/kg.K

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

$$= 0.0147\,m^3$$

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

$$= \frac{10^3(120\times0.1 - 1200\times0.0147)}{0.2}$$

$$= 28.2\,kJ$$

$$T_2 = \frac{P_2V_2T_1}{P_1V_1} = \frac{1200\times0.0147\times298}{120\times0.01}$$

$$= 438\,K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{120\times0.1}{0.285\times298} = 0.141\,kg$$

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

$$= 0.141\times0.72(438-298)$$

$$= 14.2\,kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

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

(5.75)

(1kg) من غاز مثالي ضـغطه (1.1 bar) ودرجـة حرارتـه (27°C) يـضغط حـسب العلاقـة ($PV^{1.3}=C_1$) الى (6.6 bar). احسب الحرارة المنتقلة عندما يكون:

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

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

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

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

(أ) ايثان

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

$$= 0.277 kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R$$

$$= 1.75 - 0.277$$

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

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

$$= 1.188$$

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

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

$$= -141.3\,kJ/kg$$

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

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

$$= 84.5\,kJ/kg$$

(ب) آركون

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

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

$$= 0.307 kJ/kg.K$$

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

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

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

$$= -106.5\,kJ/kg$$

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

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

(5.76)

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

Cp=1.005 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

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

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

$$n=1.319$$

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

$$=\frac{900\times 0.008\times 394}{95\times 0.045}=678.6\,K$$

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

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

$$m=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{95\times 0.045}{0.287\times 394}=0.0378\,kg$$

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

$$=0.0378\times 0.718\,(678.6-394)$$

$$=7.73\,kJ$$

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

$$=\frac{95\times 0.045-900\times 0.008}{1.319-1}$$

$$=-9.695kJ$$

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

$$=-1.971\,kJ$$

(5.77)

هـواء دخـل اسـطوانة محـرك ديـزل درجـة حرارتـه (49°C) وحجمـه ($0.28\ m^3$) وضـغطه ($110 kN/m^2$)، ونسبة الانضغاط (15/1). يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.27}=C.$). احسب:
(1) الضغط ودرجة الحرارة في نهاية الانضغاط. (2) الشغل والحرارة المنتقلين علما أن:

Cp=1.0 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = 110\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27}$$
$$= 31.163\, kN/m^2$$
$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 322\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27-1}$$
$$= 668.96\, K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{110\times 0.28}{0.29\times 322} = 0.33\, kg$$
$$R = Cp - Cv = 1 - 0.71$$
$$= 0.29\, kJ/kg.K$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$
$$= \frac{0.33\times 0.29\,(49 - 395.96)}{1.27 - 1}$$
$$= -122.92\, kJ$$
$$\gamma = Cp/Cv = 1/0.71 = 1.41$$
$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} = -122.92\frac{1.41 - 1.27}{1.41 - 1}$$
$$= -41.973\, kJ$$

(5.78)

هواء كتلته (1 kg) ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (20°C) ضغط الى (1/4) حجمـه الابتـدائي. إحسب حالة الهواء النهائية من ضغط وحجم ودرجة حرارة إذا تـم الانـضغاط (أ) ايزوثرمـي (ب) بولتروبي وان (n=1.25). علماً أن:

Cp=1 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

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

(أ)

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$$
$$= \frac{1\times 0.29\times 293}{100} = 0.85\, m^3$$
$$V_2 = \frac{V_1}{4} = \frac{0.85}{4} = 0.2124\, m^3$$
$$P_2 = \frac{mRT_2}{V_2}$$
$$= \frac{1\times 0.29\times 293}{0.2124} = 400 kN/m^2$$

(ب)

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 293(4)^{\frac{1}{1.25-1}} = 414.427\, K$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$
$$= 100(4)^{1.25} = 565.7\, kN/m^2$$
$$V_2 = V_1\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 0.8497\left(\frac{293}{414.43}\right)^{\frac{1}{0.25}} = 0.2123\, m^3$$

(5.79)

(0.8 kg) من اوكسجين تحت ضغط ($1000\ kN/m^2$) وحجم ($0.06\ m^3$). بعد القيام بأجراء معـين اصـبح ضـغطه ($305\ kN/m^2$) وحجمـه ($0.14\ m^3$). فـإذا كانـت Cv=0.65 kJ/kg.K، R=0.26 kJ/kg.K. احسب (أ) نوعية الاجراء (ب) الشغل والحرارة المنتقلة. (ج) كيـف سـيكون نوعية الاجراء لو اصبح الضغط ($305\ kN/m^2$) والحجم ($0.197 m^3$) بـدلاً مـن القـيم المـذكورة واحسب الشغل والحرارة المنتقلين.

بما ان الاجراء غير معلوم، فنحسب n

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

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

$$\Rightarrow n=1.4$$

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

$$=1.4=n$$

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

$$=\frac{1000\times 0.06-305\times 0.14}{1.4-1}$$

$$=43.25\,kJ$$

$$Q_{12}=0$$

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

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

$$\Rightarrow n=1$$

∴ الاجراء ايزوثرملي:

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

$$=\frac{1000\times 0.06}{0.8\times 0.26}$$

$$=288.46\,K$$

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

$$=mRT_1 Ln\frac{V_{2'}}{V_2}$$

$$=0.8\times 0.26\times 288\,Ln\frac{0.197}{0.06}$$

$$=71.33\,kJ$$

(5.80)

غـاز ضـغطه ($1MN/m^2$) وحجمـه ($0.003\ m^3$) تمـدد حـسب العلاقـة ($PV^{1.3}=C.$) الـى ($0.1MN/m^2$). احسب الحرارة المنتقلة والحرارة النوعية العامة، علماً أن:

γ=1.4 ، Cv=0.718 kJ/kg.K

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

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

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

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

(5.81)

اسطوانة عمودية طويلة قطرهـا ($600\ mm$) تحتـوي علـى ($0.085\ m^3$) مـن الهـواء ضـغط ($1MN/m^2$) والهواء محصور في الاسطوانة بمكبس عديم الاحتكاك كتلتـه ($90kg$) عنـد انفلاتـه يتحرك المكبس عمودياً الى الاعلى، احسب سرعته عند إرتفاعه مسافة ($1.2m$) وضغط الهـواء فـي الاسطوانة. يتمدد الهواء حسب العلاقة ($PV^{1.35}=C.$). وان سرعة الهواء يمكن اهمالهـا. والـضغط الجوي فوق المكبس هو ($0.103\ MN/m^2$).

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

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

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

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

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

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

$$= 0.1049\,MJ$$

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

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

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

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

$$= 0.0343\,MJ$$

$$\frac{mc^2}{2} = \left(0.1049 - 0.0343 - \frac{1060}{10^6}\right)10^6\ J$$

$$= 69540\,J$$

$$\therefore C = \sqrt{\frac{2.69540}{90}}$$

$$= \sqrt{1545} = 39.3\,m/s$$

(5.82)

اسطوانة تحتوي على ($0.085\ m^3$) من غاز ضغطه (1.032 bar) ودرجة حرارته (38°C)، يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.3}=C$.) الى (5.5 bar). أوجد الطاقة الحرارية المنتقلة، علماً أن:

Cv=0.75 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

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

$$= 311\left(\frac{5.5}{1.032}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} = 458\ K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{103.5\times 0.085}{0.287\times 311}$$

$$= 0.0985\ kg$$

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

$$= 0.0985\times 0.715\,(458 - 311)$$

$$= 10.35\ kJ$$

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

$$= \frac{0.0985\times 0.287\,(311 - 458)}{1.3 - 1}$$

$$= -13.85\ kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 10.35 + (-13.85)$$

$$= -3.5\ kJ$$

(5.83)

غاز كتلته (0.013 kg) موجود داخل اسطوانة نسبة إنضغاطها (14/1) ودرجة حرارتهـا (100°C) عندما تكون العملية بولتروبية وتخضع للقانون ($PV^{1.3}=C$.). احسب الحرارة المنتقلة. علماً أن:

R=0.28 kJ/kg.K ، Cp=0.72 kJ/kg.K

$$Cv = Cp - R = 0.72 - 0.28$$

$$= 0.44\ kJ/kg.K$$

$$\gamma = Cp/Cv = 0.72/0.44 = 1.636$$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 373(14)^{0.3}$$

$$= 823.28\ K$$

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

$$= \frac{0.013\times 0.28\,(373 - 823.28)}{1.3 - 1}$$

$$= -5.463\ kJ$$

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

$$= (-5.463)\times\frac{1.636 - 1.3}{1.636 - 1}$$

$$= -2.886\ kJ$$

(5.84)

غاز حجمه ($0.14m^3$) وضغطه (1.38 bar) ودرجة حرارته (38°C) يضغط بولتروبيـاً وحـسب العلاقة ($PV^{1.35}=C.$) الى (8.7bar). احسب (1) الحرارة والشغل المنتقلين (2) التغير فـي الطاقـة الداخلية. علماً أن:

$\gamma=1.4$ ، $R=0.264$ kJ/kg.K

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.14\left(\frac{138}{870}\right)^{\frac{1}{1.35}}$$

$$= 0.0358\,m^3$$

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

$$= \frac{138\times 0.14 - 870\times 0.0358}{1.35-1}$$

$$= -33.788\,kJ$$

$$Q_{12} = W_{12}\times\frac{\gamma - n}{\gamma - 1}$$

$$= 33.788\,\frac{1.4-1.35}{1.4-1}$$

$$= -4.223\,kJ$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= -4.223 + 33.788$$

$$= 29.564\,kJ$$

(5.85)

اسطوانة تحتوي على (0.07 kg) من مائع ضغطه (1 bar) وحجمه ($0.06\ m^3$) وطاقة داخلية نوعية (200 kJ/kg). ضغط حسب العلاقة ($PV^n=C.$) حتى اصبح ضـغطه (9 bar) وحجمـه ($0.0111\ m^3$) وطاقة داخلية نوعية (370 kJ/kg). احسب الشغل والحرارة المنتقلين؟

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

$$Ln\frac{1}{9} = n\,Ln\left(\frac{0.0111}{0.06}\right)$$

$$n = 1.302$$

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

$$= \frac{100\times 0.06 - 900\times 0.011}{1.302 - 1}$$

$$= -13.2\,kJ$$

$$\Delta U = m\Delta\mu$$

$$= 0.07(370-200)$$

$$= 11.9\,kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$= 11.9 + (-13.2)$$

$$= -1.3\,kJ$$

(5.86)

في الاجراء الادياباتي، اثبت ان ($\gamma = \frac{Cp}{Cv}$).

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

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

$$= \frac{Cp - Cv + Cv}{Cv}$$

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

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

$$-w = \Delta\mu$$

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

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

(5.87)

في اجراء اديباتي. اذا كان ($H_2 - H_1 = \gamma U$). اثبت ان (Cp=Cp)

$$H_2 - H_1 = \gamma U$$

$$(U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) = \frac{Cp}{Cv} mCv(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U + mR(T_2 - T_1) = mCp(T_2 - T_1)$$

$$mCv\Delta T + mR\Delta T = mCp\Delta T$$

$$Cv + Cp - Cv = Cp$$

$$\therefore Cp = Cp$$

(5.88)

في اجراء اديباتي. اثبت ان (R=Cp-Cv)

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

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

$$= Cv(\frac{Cp - Cv}{Cv})$$

$$R = Cp - Cv$$

$$Q - W = \Delta U$$

$$-W = \Delta U$$

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

$$\frac{mR\Delta T}{\gamma - 1} = mCv\Delta T$$

مسائل

(5.11)

هواء كتلته (1 kg) موجود تحت ضغط (1 bar) ودرجة حرارة (20°C) ضغط الغاز الى ($\frac{1}{4}$) حجمه الابتدائي. احسب حالة الهواء النهائية من ضغط وحجم ودرجة حرارة إذا تم الانضغاط في اجـراء (أ) ايزوثرملي (ب) بولتروبي وبقيمة بولتروبية مقدارها (1.25). في أي اجراء سيكون للشغل اقل قيمـة. قارن ذلك مع الرسم على مخطط (P-V). علماً أن:

Cp=1 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

ج:(**0.85 m^2 ، 0.2124 m^3 ، 4 bar ، -117.8 kJ ، 5.657 bar ، 414.36 K ، -140.78 kJ**)

(5.12)

كمية من غاز كتلته (1 kg) وحجمه (0.1 m^3) في نظا مغلق. تمدد بتسخينه تحت ضغط ثابت حتـى ازدادت درجة حرارته بمقدار (50°C) وتضاعف حجمه. وكانت قراءة المانومتر المربوط في النظـام (20 cmHg). وفي اثناء الاجراء كانت قراءة الباروميتر (1.01 bar). احسب مقـدار التغيـر فـي الانثالبي لهذا الاجراء والشغل المنجز. علماً أن:

δHg = 13600 kg/m^3 ، Cv=0.7 kJ/kg.K

ج:(37 kJ ، 12.77 kJ)

(5.13)

اسطوانة محرك ديزل. ضغطها (0.95 bar) وحجمها (14L) ودرجة حرارتهـا (100°C). النـسبة الحجمية للأنضغاط ($\frac{14}{1}$). احسب:

(1) الشغل المنجز (2) التغير في الطاقة الداخلية (3) الحـرارة المنتقلـة، اثنـاء عمليـة انـضغاط بولتروبية، علماً أن:

n=1.3 ، Cp=0.72 kJ/kg.K ، R=0.28 kJ/kg.K

ج: (-5.352 kJ ، 2.516 kJ ، -2.818 kJ)

(5.14)

هواء ضغطه (1.2 bar) ودرجة حرارته ((20°C) سخن بثبوت الـضغط بحيـث اصـبح حجمـه ($0.4\ m^3$). ثم تمدد ادياباتياً الى ان اصبحت درجة حرارته ((35°C). وكان الـشغل المنتقـل فـي الاجرائين متساوي فإذا علمت أن: Cv=0.717 kJ/kg.K ، Cp=1.005 kJ/kg.K.

احسب: (1) حجم الغاز في البداية (2) كمية الحرارة المنتقلة للأجراءين (3) التغير في الطاقة الداخلية للأجراءين.

ج: ($0.368\ m^3$ ، 13.2 kJ ، 9.42 kJ ، -3.77 kJ)

(5.15)

هواء كتلته (0.2 kg) وضغطه (1.5 bar) ودرجة حرارته ((17°C). ضـغط بولتروبيـاً وحـسب العلاقة ($PV^{1.25}$=C.) الى ان اصبح ضغطه ضعف ما كان عليه في البداية. بعد ذلك تمدد في إجـراء ايزوثرملي الى ان اصبح حجمه ($0.13\ m^3$). احسب (1) درجة الحرارة بعد الانـضغاط (2) الـشغل والحرارة المنتقلين عند الانضغاط (3) ضغط الغاز بعد التمدد (4) الحـرارة المنتقلـة عنـد التمـدد واتجاهها. علماً أن:

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

ج: (331 K ، -9.9 kJ ، -3.71 kJ ، 1.47 bar ، 13.64 kJ)

(5.16)

غاز كتلته (0.5 kg) موجود في نظام مغلق. تمدد ادياباتياً مـن ضـغط (5 bar) ودرجـة حـرارة (100°C) الى ضغط (1.89 bar)، بحيث اصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البدايـة، ثـم تمـدد ايزوثرملياً الى (1 bar). فأذا كانت (Cv=0.71 kJ/kg.K). ارسـم الاجـراءات علـى مخططـي (P-V) و (T-S) واحسب (1) حجم الغاز في بداية ونهاية الاجراء الادياباتي (2) الشغل والحـرارة المنتقلين في الاجراءين (3) التغير في الطاقة الداخلية للأجراءين.

ج: ($0.107\ m^3$ ، $0.213\ m^3$ ، 32.57 kJ ، 25.63 kJ ، -32.33 kJ ، 0)

(5.17)

غاز حجمه ($0.03\ m^3$) وضغطه (1 bar) ودرجة حرارته (15°C) يضغط ادياباتياً الى $\left(\frac{1}{4}\right)$ حجمـه الاول. ثم يبرد بثبوت الضغط الى ان تعود درجة حرارته (15°C). ثم يتمدد في اجراء اديباتي الـى ضغط (1 bar). فإذا علمت ان (γ=1.4). ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) درجة الحرارة والحجم في نهاية التمدد (2) صافي الشغل المنتقل في الاجراءات.

ج: (165.4 K ، $0.01723\ m^3$ ، -4.75 kJ)

(5.18)

اسطوانة تحتوي على غاز ضغطه (1 bar) ودرجة حرارته ((27°C):

(أ) اثناء العملية A تضاف حرارة بثبوت الحجم حتى يتضاعف الضغط وبعد ذلـك يتمـدد بثبـوت الضغط حتى يصبح الحجم (3) اضعافه.

(ب) في اثناء العملية B نفس الغاز وبالحالة نفسها يتمدد بثبوت الضغط حتـى يـصبح الحجـم (3) اضعاف، بعد ذلك تضاف حرارة بثبوت الحجم حتى يلتقي مع الحالة النهائية للعمليـة A. احـسب للكيلوغرام الواحد ولكلا العمليتين: (1) صافي الحرارة (2) صافي الشغل (3) التغير في الطاقـة الداخليه. علماً أن:

Cv = 0.744 kJ/kg.K ، R = 0.297 kJ/kg.K

ج:

(1472.4kJ/kg، 356.4kJ/kg، 1116kJ/kg، 1294.2kJ/k.g, 178.2kJ/kg ، 1116 kJ/kg)

(5.19)

هواء كتلته (0.5 kg) وضغطه (1.2 bar) وحجمه ($0.4\ m^3$). يضغط ايزوثرملياً، ثم يضغط ادياباتياً بحيث تصبح درجة حرارته (200°C). احسب حجم الهواء في نهاية كل من الاجراءين اذا كان الشغل في الاجرائين متساوي. علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K

ج: ($0.06\ m^3$ ، $0.142\ m^3$)

(5.20)

غاز حجمه ($0.3m^3$) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (1bar). أضيفت اليه كمية مـن الحـرارة بثبوت الحجم الى ان اصبحت درجة حرارته (100°C). ثم طرحت حرارة بثبوت الـضغط مقـدارها نصف الطاقة الحرارية التي اضيفت في الاجراء الاول. فاذا علمت ان (γ=1.4). وضح الاجـراءات على مخططي (P-V) و (T-S). واحسب درجة الحرارة والحجم النهائي للغاز ومقدار الشغل المنتقـل خلال كل إجراء.

ج: (-29.37 kJ ، $0.277\ m^3$ ، 344.3 K)

(5.21)

(1kg) من الهواء داخل اسطوانة ضغطه ودرجة حرارته (1 bar) و (15°C) على التوالي. يـضغط ديباباتياً الى $(\frac{1}{4})$ حجمه الاول. فإذا كان الانضغاط (1) إنعكاسـياً وفـق العلاقـة $(PV^{\gamma}=C_1)$ (2) لا انعكاسياً بحيث اصبحت درجة الحرارة النهائية في هذه الحالة اكبر بمقدار (6.6°C) عن الحالـة (1). اوجد التغير في مقدار الشغل المنتقل والانتروبي في الحالتين. علماً أن:

γ=1.4 ، R=0.29 kJ/kg.K

ج: (0.0095 kJ/K ، -159.3 kJ ، -154.5 kJ)

(5.22)

(0.5 kg) من غاز ضغطه (1.5 bar) وحجمه (280L). ضُغط بولتروبياً الـى ان اصـبح حجمـه (100L) تبعاً للعلاقة $(PV^{1.2}=C.)$ واعيد الى حجمه الابتدائي بإجراء ايزوثرملي. ارسم الاجـراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحسب:

(1) الضغط ودرجة الحرارة في نهاية كل إجراء (2) الشغل المنتقل والحرارة المنتقلـة خـلال كـل اجراء. علماً أن:

Cv = 0.724 kJ/kg.K ، Cp = 1.02 kJ/kg.K

ج: (54.99 kJ ، -57.054 kJ ، 1.84 bar ، 360.88 K ، 5.16 bar)

(5.23)

هواء بداخل اسطوانة. النسبة الحجمية $(\frac{17}{1})$. يضغط بظروف متشابهة في حـالتين: (1) ايزوثرمليـاً. (2) بولتروبياً وفق القانون $(PV^{1.3}=C.)$ احسب النسبة بين الحالتين لكل من الشغل والحرارة المنتقلين والضغط النهائي.

ج: (0.425 ، 10.85 ، 0.634)

(5.24)

اوكسجين حجمه (2L) وضغطه (2 bar) ودرجة حرارته (40°C) تمدد فـي نظـام مغلـق بثبـوت الضغط الى ان اصبح حجمه ضعف حجمه الابتدائي. ضغط ايزوثرملياً الـى ان عـاد الـى حجمـه الابتدائي. ثم تمدد مرة اخرى بولتروبياً وفق القانون $(PV^{1.3}=C.)$ بحيث اصبح حجمه ضعف حجمـه الابتدائي ثانية. ارسم الاجراءات على مخططي (P-V) و (T-S) واحـسب (1) الـشغل والحـرارة المنتقلين (2) مقدار التغير في الطاقة الداخلية لكل إجراء. علماً أن:

Cv = 0.62 kJ/kg.K ، Cp = 0.92 kJ/kg.K

ج:

(0.4 kJ ، 0.482 kJ ، 1.44 kJ ، -0.534 kJ ، 0.0945 kJ ، 1.04 kJ ، 0 ، -0.389 kJ).

(5.25)

كتلة من الهواء موجودة في نظام مغلق تمددت بشكل لحظي (يمكن اعتباره ادياباتياً) من ضغط مقداره (6 bar) الى (1.48 bar). ثم ترك الى ان عادت درجة حرارته الى ما كانت عليه في البداية بثبـوت حجمه فارتفع ضغطه نتيجة لذلك الى (2.21 bar). اوجد قيمة (R) وارسم مخطط (P-V) علماً أن:

Cp = 1.005 kJ/kg.K

ج: (0.287 kJ/kg.K)

(5.26)

هواء موجود في نظام مغلق نسبته الحجمية (17). يضغط مـن نقطـة واحـدة فـي إجـرائين الاول ايزوثرملي والثاني بولتروبي يخضع للعلاقة ($PV^{1.3}=C.$). احسب النـسبة بـين الـشغل لكـل مـن الاجرائين وكذلك النسبة بين الضغط النهائي لكل من الاجراءين.

ج: (0.634 ، 0.425)

(5.27)

غاز في نظام مغلق يتمدد ايزوثرملياً الى $\left(\frac{1}{6}\right)$ من ضغطه الابتدائي ومن نفس النقطة يتمـدد ادياباتيـاً حسب العلاقة ($PV^{1.36}=C.$) الى $\left(\frac{1}{6}\right)$ من ضغطه الابتدائي ايـضاً. احـسب النـسبة بـين الـشغل الايزوثرملي والشغل الادياباتي.

ج: (1.72)

(5.28)

اسطوانة مغلقة بمكبس تحتوي على غاز مثالي تمدد فـي ظـروف متـشابهة فـي اجـراءين الاول ايزوثرملي والثاني بولتروبي يخضع للعلاقة ($PV^{1.3}=C.$). وكانت النسبة بين الحجم الابتدائي والحجم النهائي$\left(\frac{1}{17}\right)$. احسب النسبة بين الحرارة المنتقلة لكل من الاجراءين. علماً أن:

γ **= 1.4 ، R = 0.293 kJ/kg.K**

ج: (5.97)

(5.29)

غاز في نظام مغلق حجمه ($0.106 m^3$) ودرجة حرارته (100°C) تمدد ادياباتياً بحيث اصبح ضغطه $\left(\frac{1}{3}\right)$ ما كان عليه في البداية. واصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البداية. ثم تمدد ايزوثرملياً بحيث كان الشغل المنجز في الاجراءين متساوي. احسب حجم الغاز في نهاية الاجراء الايزوثرملي.

ج: ($0.5 m^3$)

(5.30)

غاز نتروجين موجود في نظام مغلق تحت ضـغط مقـداره (100bar) ودرجـة حـرارة مقـدارها (600°C). ويـشغل حجمـاً مقـداره (1.31 L). تمـدد بولتروبيـاً وأنـتج شـغلاً مقـداره (28.65kJ). فإذا علمت ان الاس البولتروبي (n=1.3) اوجد درجة الحرارة والضغط والحجـم فـي نهاية الاجراء.

ج: (46 L ، 0.978 bar ، 27°C)

(5.31)

هواء ضغطه (1.02 bar) ودرجة حرارته (268 °C). ضغط ايزوثرملياً، ثم ضغط ادياباتياً الـى ان اصبح ضغطه (51 bar) وحجمه ($0.032\ m^3$) ودرجة حرارته (1000°C). ارسم الاجراءات علـى مخطط (P-V) واحسب: (1) حجم الهواء قبل وبعد الانضغاط الايزوثرمالـي. (2) صـافي الحـرارة والشغل المنتقلين، علماً أن:

R = 0.287 kJ/kg.K ، γ =1.4

ج: (0.681 m^3 ، 0.272 m^3 ، -63.72 kJ ، -157.5 kJ)

(5.32)

اسطوانة حجمها (300 L) تحتوي على اوكسجين ضغطه ($3.1\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (18°C). فتح الصمام واستعمل قسم من الغاز فأصبح ضغط الاوكسجين المتبقي في الاسطوانة ($1.7\ MN/m^2$) ودرجة حرارته (15°C). بعد إعادة إغلاق الصمام إنتقلت حرارة بثبوت الحجم بحيث عاد الاوكسجين المتبقي الى درجة حرارته الابتدائية. فإذا علمت ان (γ=1.4)، (Cp=0.91 kJ/kg.K) للأوكـسجين. احسب:

(أ) كتلة الاوكسجين المستعمل (ب) مقدار الحرارة المنتقلة خلال جدران الاسطوانة الى الاوكـسجين بعد غلاق الصمام (ج) ضغط الاوكسجين النهائي.

ج: (5.5 kg ، 10.725 kJ ، $1.72\ MN/m^2$)

(5.33)

غاز في نظام مغلق كتلته (0.75 kg) وضغطه (1 bar) ودرجة حرارتـه (20°C) ضـغط بـإجراء ايزوثرملي الى ان اصبح حجمه نصف حجمه الابتدائي وبعد ذلك ضغط بـإجراء بـولتروبي حـسب العلاقة ($PV^{1.3}$=C.) الى ان اصبح حجمه ربع حجمه الابتدائي. ارسم الاجراءين علـى مخطـط (P-V)، إذا علمت أن: (Cv=0.718 kJ/kg.K) و (Cp=1 kJ/kg.K). احسب ما يلي:

أ- الحجم والضغط ودرجة الحرارة في نهاية كل إجراء.

ب- الشغل والحرارة المتبادلة بين النظام والمحيط في كل إجراء.

جـ- التغير في الطاقة الداخلية لكل إجراء.

ج:

(0.6197m^3 ،0.3098m3 ،0.1549m3 ،2bar ،5bar ،360.7K، -43 kJ ،47.73 kJ ،11.3 kJ ،36.46 kJ)

(5.34)

غاز مثالي موجود في نظام مغلق يمر في الاجراءات التالية:

(1) اضافة حرارة بثبوت الحجم ليرتفع ضغطه من (2 bar) الى (7 bar).

(2) تمدد ادياباتي.

(3) إنضغاط ايزوثرملي ليعود الغاز الى حالته الابتدائية.

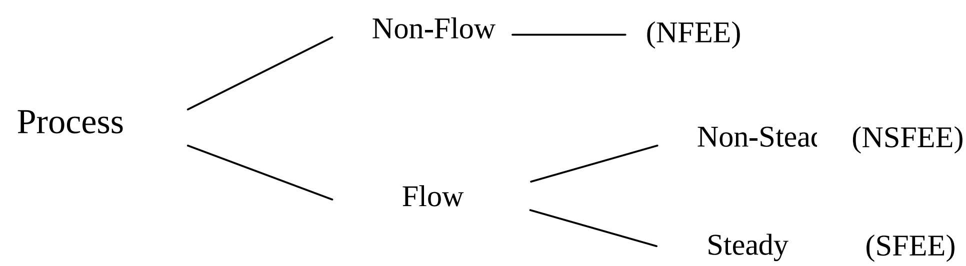
فإذا كان (Q_o) تمثل الحرارة المطروحة في الاجراء الايزوثرمالـي، وكانـت (Q_{in}) تمثـل الحـرارة المضافة في اجراء ثبوت الحجم. احسب قيمة $\left(\frac{Q_o}{Q_{in}}\right)$ وارسم الاجراءات على مخطط (P-V).

ج: (0.5).

الفصل السادس – الأنظمة المفتوحة

(6.1)- الانظمة المفتوحة The Open Systems

ان الاجراءات في الانظمة تخضع للمخطط التالي:



سبق ان تمت مناقشة اجراءات عدم التدفق (Non-Flow) او الانظمة المغلقة ورمز معادلـة الطاقة فيها (NFEE). وفي هذا الفصل سـنناقش اجـراءات التـدفق (Flow Process) والانظمـة المفتوحة، والتي من الممكن ان تكون تدفقاً غير منتظم (Non-Steady)، او تدفقاً منتظماً (Steady). يرمز لمعادلة الطاقة في التدفق المنتظم بـ (SFEE)، ويتميز بما يأتي:

1- يكون معدل التدفق الكتلي($\dot{m}$) ثابتاً ومتساوياً عند المدخل والمخرج.

2- تدفق المائع وانتقال الحرارة والشغل يكون بمعدل زمني منتظم.

3- لا تتغير خواص المائع عند اية نقطة في النظام عند تغير الزمن.

4- عند اية نقطة في النظام يكون للمائع خاصية ثرموديناميكية كالـ (P، T، v) وخاصية ميكانيكيـة حيث تشمل سرعة المائع وارتفاعه فوق خط قاعدة معين. قد تتغير هاتان الخاصيتان، وقد تؤثران فـي الشغل والحرارة المنتقلين عبر الحدود.

ومن الامثلة على الانظمة المفتوحة، تمدد غاز عبر فوهة، بخار يتدفق عبر تـوربين، المـاء الداخل الى مرجل والذي يتركه كبخار، غاز يضغط في ضاغط ... الخ.

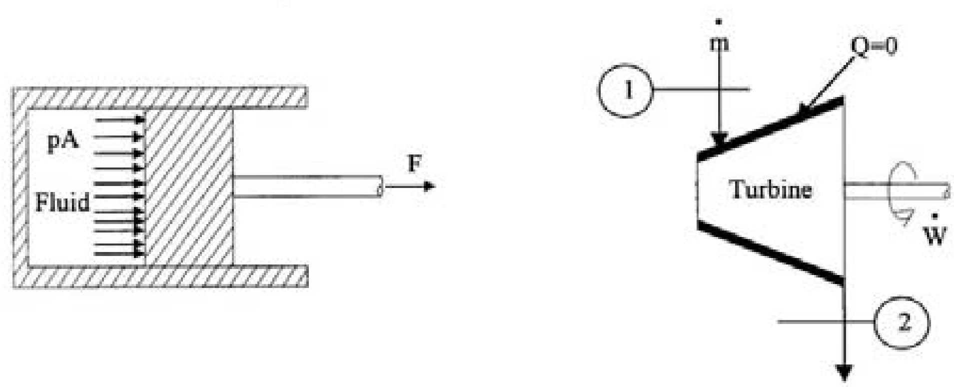
إن شكل (6.3-b) الذي سيرد ذكره فيما بعد، يوضح تدفق المائع في الانظمة المفتوحة.

(6.2)- الشغل الصافي Net Work

في الانظمة المفتوحة هناك نوعان من الشغل هما شـغل عمـود الادارة وشـغل الجريـان، موضحان في الفقرات الآتية:

(6.2.1)- شغل عمود الادارة Shaft Work

رمزه (Ws). ربما يتبادر الى الاذهان ان الشغل (W) في معادلة الطاقة هـو مجـرد شـغل العمود (Ws). الا ان ذلك غير صحيح. فمصطلح شغل العمود يستعمل للدلالة على الشغل الخـارجي المنتقل من او الى النظام (External Work Done) في اثناء جريان المائع خلال جهاز ما والـذي ينقل بوساطة عمود يبرز من الجهاز، شكل (6.1)، يتحرك دورانياً، كما في الشكل (6.1-a) او ترددياً، كما في الشكل (6.1-b).



(b) ترددي

(a) دوراني

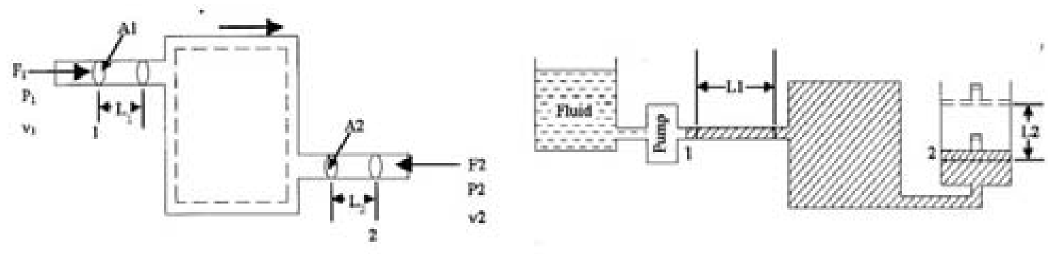
شكل (6.1)- شغل العمود (W_s)

(6.2.2)- شغل او طاقة الجريان Flow Work

هي الطاقة او الشغل الناتج بسبب جريان المائع. إن أي حجم من مائع يدخل او يخرج مـن او الى النظام يجب ان يزيح حجماً مساوياً له ليتسنى له الدخول او الخروج. عندئذٍ يكون الجريان مستقراً والكتلة المزيحة يجب ان تنجز شغلاً على الكتلة المزاحة، يسمى بـشغل الجريـان (Flow Work)، رمزه (W_{Flow}).

نفترض ان المائع يتدفق بأنتظام ضمن نظام مفتوح، كما في شـكل (6.2-a)، حيـث يـدخل ويخرج بنفس المعدل **($\dot{m}$)**. وان شروط المائع عند الدخول (P_1) تمثل الـضغط،**($\dot{V}_1$)** حجـم المـائع المتدفق في الثانية الواحدة. وشروطه عند الخروج **($\dot{V}_2, P_2$)**

وعندما يجري المائع من (1) الى (2) يكون على شكل اسطوانة مساحة مقطعها (A)، تتقلص او تتمدد تبعاً لتغير مساحة المقطع ودرجة الحرارة والضغط. إن اسطوانة المائع ستكون على طول المسار تحت تأثير قوتين او نوعين من الشغل الجرياني هما:-



(a) شغل جريان

(b) شغل إزاحي

شكل (6.2)- انواع الشغل

1- الشغل الداخل $(W_{Flow})_{in}$: هو القوة المؤثرة في اسطوانة المائع بأتجاه الجريان. أي الشغل اللازم لدفع كيلو غرام واحد من المائع في الثانية الواحدة **($\dot{m}$)** الى داخل النظام لمسافة (L_1) ويساوي:

$$(W_{Flow})_{in} = F_1L_1 = P_1A_1L_1 = P_1\dot{V}_1 = P_1\nu_1\dot{m} \qquad .... (6.1)$$

واذا كانت (ν) تمثل الحجم النوعي فسيكون الشغل النوعي، أي لكل (1kg/s) يساوي:

$$(w_{Flow})_{in} = P_1\nu_1 \qquad .... (6.2)$$

2- الشغل الخارج $(W_{Flow})_{out}$: هو القوة المؤثرة بالاتجاه المعاكس لجريان اسطوانة المائع (F_2). أي الشغل اللازم لدفع كيلو غرام واحد من المائع في الثانية الواحدة **($\dot{m}$)** الى خارج النظام لمسافة L_2 ويساوي:

$$(W_{Flow})_{out} = F_2L_2 = P_2A_2L_2 = P_2\dot{V}_2 = P_2\nu_2\dot{m} \qquad .... (6.3)$$

والشغل النوعي يكون:

$$(w_{Flow})_{out} = P_2\nu_2 \qquad .... (6.4)$$

وعليه فأن مقدار التغير في طاقة او شغل الجريان النوعي يساوي:-

$$\Delta w_{Flow} = (w_{Flow})_{out} - (w_{Flow})_{in} \qquad .... (6.5)$$

$$\Delta w_{Flow} = P_2\nu_2 - P_2\nu_2 = \Delta P\nu \qquad .... (6.6)$$

وهكذا سيكون الشغل النوعي (w) في معادلة الطاقة هو المجموع الجبري للشغل المنتقـل، أي الشغل النوعي الصافي (w_{net}) ويساوي:

$$w_{net} = ws + \Delta w_{Flow} = ws + \Delta P\nu \qquad \text{.......... (6.7)}$$

or

$$W_{net} = Ws + \Delta PV \qquad \text{........... (6.8)}$$

اما الشغل الازاحي فهو الشغل الناتج بسبب إزاحة المائع والكتلة المزيحة تنجز شـغلاً علـى الكتلة المزاحة، كما في شكل (6.2-b) لتزيح مكبساً من موقع لآخر، الشغل الازاحي ورمزه (Wdis.) يستخرج بالطريقة المذكورة آنفاً.

$$\Delta w_{net} = \Delta w_{Disp.} = P_2\nu_2 - P_1\nu_2 = \Delta P\nu \qquad \text{.......... (6.9)}$$

or

$$W_{net} = \Delta PV \qquad \text{.......... (6.10)}$$

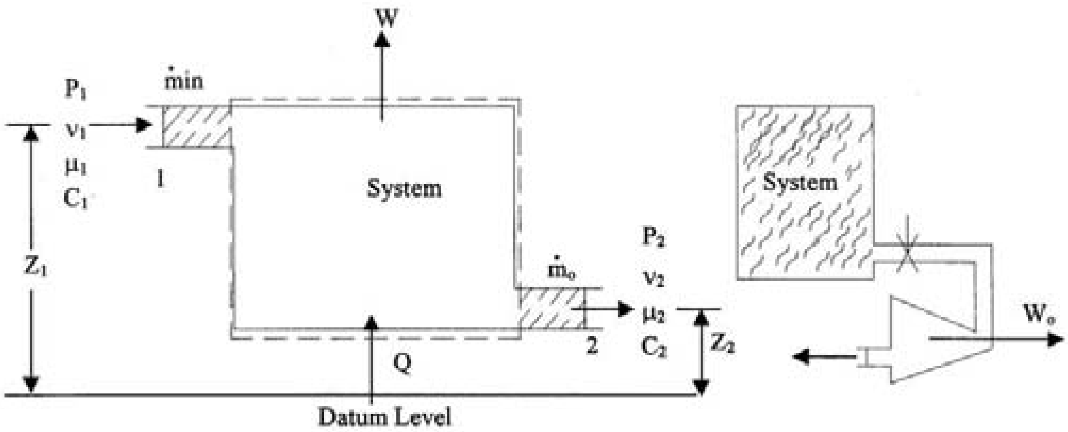
(6.3)- معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة Energy Equation for Open System

تنتقل الطاقة في هذه الانظمة بأشكالها المختلفة وكذلك الكتلة عبر الحدود. فإذا كانت الخـواص والكتلة متغيـرة أي ($\dot{m}_{in} \neq \dot{m}_{out}$) فتـسمى المعـادلة بمعادلـة الطاقـة للجريـان غيـر المـستقر (Unsteady Flow Energy Equation). يرمز لها إختصاراً (USFEE). إن هـذا النـوع مـن الجريان لا يهمنا كثيراً، شكل (6.3-a).

اما النوع الآخر والمهم من الجريان هو الجريان المستقر (Steady Flow)، والذي يـصادفنا في التطبيقات الهندسية حيث تدخل وتخرج الكتلة بنفس المعدل، وكذلك الطاقة تنتقل بشكل مستقر، لذلك تسمى معادلة الطاقة بمعادلة الطاقة للجريان المستقر (Steady Flow Energy Equation) يرمز لها إختصاراً بـ (SFEE)، شكل (6.3-b).

إن الجريان المستقر يعني ان خواص المائع المتدفق في أي مقطع في النظام يجـب ان تكـون ثابتة ولا تتغير مع تغير الزمن. أي ان:

1. كتلة المائع المتدفق في وحدة الزمن ($\dot{m}$) ومعدل التدفق (Flow Rate) عبر أي مقطع في النظـام ثابتة.
2. إنتقال الشغل او الحرارة يجب ان يتم بمعدل زمني منتظم، أي ان معدل الانتقال يكون ثابتاً كما في المحركات البخارية والتوربينات والثلاجات والضواغط وغيرها.



(b) جريان مستقر　　　　　　(a) جريان غير مستقر

شكل (6.3)- جريان الموائع

نفترض وجود نظام مفتوح، شكل (6.3-b) يجري خلاله المائع شروطه عند الدخول (P_1، ν_1، μ_1، C_1) وعند الخروج (P_2، ν_2، μ_2، C_2). إن الطاقة الكلية للنظام ولكل (1kg) تشمل:

1- طاقة او شغل الجريان ($P\nu$).

2- الطاقة الداخلية (μ).

3- الطاقة الحركية $\left(\frac{C^2}{2}\right)$.

4- الطاقة الكامنة (gz).

فلو اضيفت كمية من الحرارة (q) الى النظام فسيتحول جزء منها الى شغل والجزء الآخر الى التغير في الطاقة الكلية. وإستناداً الى قانون حفظ الطاقة فإن:

الطاقة الخارجة (E_{out}) = الطاقة الداخلة (E_{in})

او الطاقة الكلية النهائية + شغل العمود (ws) = الطاقة الكلية الابتدائية + q

$$\mathbf{q + P_1\nu_1 + \mu_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1 = w_s + P_2\nu_2 + \mu_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2}$$

$$\mathbf{q = (\mu_2 - \mu_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g\Delta z_{12} + \Delta P\nu + w_s}$$

$$\mathbf{q = \Delta\mu + \Delta KE + \Delta PE + \Delta P\nu + w_s}$$

هذه المعادلة عامة. فإذا كان النظام مغلق وبإهمال الطاقتين الحركية والكامنة فينتج معادلة رمزها (NFEE) وتعبيرها الرياضي:

$$\mathbf{q - (\Delta P\nu + w_s) = \Delta\mu} \quad \text{............ (6.11)}$$

$$\therefore\ \mathbf{q - w_{net} = \Delta\mu} \quad \text{............ (6.12)}$$

وإذا كان النظام مفتوح فينتج معادلة رمزها (SFEE) وتعبيرها الرياضي:

$$q - w_s = \Delta\mu + \Delta P\nu = \Delta(\mu + P\nu) \quad \text{..........} (6.13)$$

$$\therefore\ q - w_s = \Delta h \quad \text{...........} (6.14)$$

إن معادلات الـ (NFEE) والـ (SFEE) تدعى احياناً بمعادلة الطاقة البسيطة.

إن الـشغل والحـرارة همـا طاقـة وحـداتهما جـول (J). امـا معـدل الـشغل $(\dot{W})$ او الحرارة $(\dot{Q})$ المنتقلين فهما قدرة وحداتهما الـواط $(W = \frac{J}{s})$. فبعـد ايجـاد (w_s) او (q) بحـسب المعادلات المذكورة آنفاً فتحسب القدرة كالتالي:

$$\dot{W} = \dot{m} \,.\, w_s \quad \text{.........} (6.15)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \,.\, q \quad \text{...........} (6.16)$$

حيث ان $(\dot{m})$ تمثل معدل تدفق المائع بوحدات (kg/s) . ويمكن كتابة (w_s) بدون ذكـر (s) أي (w) فقط.

(6.4)- تطبيقات القانون الاول على الانظمة المفتوحة

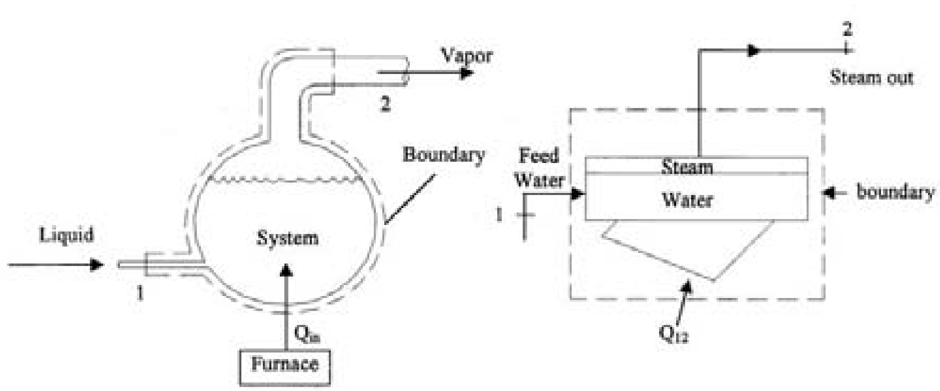
Application of the First Law of Thermodynamics on the Open System

إن عمليات التدفق التي تنطبق عليها معادلة الطاقة للأنظمة المفتوحـة (Energy Equation for Open System) تكون على نوعين: الاول ويسمى بعملية التدفق غيـر المـستقر (Unsteady Flow Process) والثاني وهو المهم ويسمى بعمليات التدفق المستقر (Steady Flow Process).

وهناك امثلة كثيرة على عمليات التدفق المستقر مثل: المرجل، المكثف، الضاغط، التـوربين، المنفث، صمام الخانق ... الخ. وسنتناول هذه العمليات بشكل تفصيلي وكما يأتي:

(6.4.1)- المرجل والمكثفات البخارية Boiler & Steam Condenser

يتم في المرجل البخاري تحويل الماء الى بخار بدرجة حرارة وضغط مـرتفعين. ولغـرض المحافظة على مستوى الماء في المرجل تجهز مضخة التغذية ماء بمعدل زمني يساوي المعدل الزمني لتدفق البخار من المرجل، شكل (6.4). ويجب تجهيز الفرق بالطاقة الحرارية بمعدل زمني منتظم لكي



شكل (6.4)- المرجل

يستمر إنتاج البخار بهذا المعدل وبضغط منتظم. تحت هذه الشروط تثبت خواص المائع في أي مقطـع ضمن النظام بالنسبة للزمن. إن إجراءات التدفق في المرجل والمكثف الذي سنتحدث عنه لاحقاً تتميـز بما يلي:

1- الفرق بين سرعتي الدخول والخروج للمائع صغير، لذا يمكن اهمال الطاقة الحركية.

2- سرعة المائع داخل النظام اصغر من سرعته عند المدخل والمخرج، لـذا يهمـل تـأثير إحتكـاك اللزوجة.

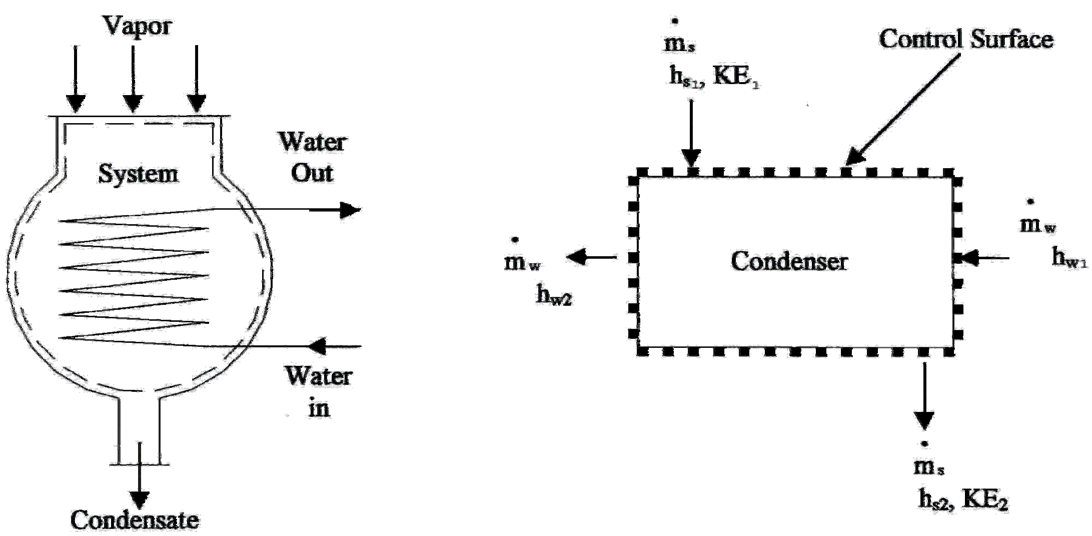
3- عند إفتراض عدم وجود إحتكاك، فسيكون الضغط ثابت عبر كامل الجهاز.

4- الارتفاعات الرأسية لفتحة الدخول والخروج متقاربة فتهمل الطاقة الكامنة. عليه تـصبح معادلـة الطاقة كما يأتي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}_s(h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp\ (T_2 - T_1) \qquad \text{.............(6.17)}$$

أن الحرارة المضافة الى المرجل $(\dot{Q}_{in})$ والناتجة من حرق الوقود أكبر مـن الحـرارة التـي تحول الماء الى البخار $(\dot{Q}_{12})$ لذا فإن كفاءة المرجل الحرارية تعرف بالمعادلة الآتية:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m}_s(h_2 - h_1)}{\dot{m}_f\ .LCV} \qquad \text{.............(6.18)}$$



شكل (6.5)- المكثف

حيث ان $(\dot{m}_s)$ كتلة البخار المتدفق بالـ (kg/s) ، $(\dot{m}_f)$ كتلة الوقـود المحترقـة بالـ ـ (kg/s)، (LCV) القيمة الحرارية للوقود بالـ (kJ/kg) .

اما المكثفات البخارية فمبدأ عملها عكس عمل المرجل البخاري. ففي المرجل البخـاري كمـا اوضحنا هناك طاقة حرارية تجهز لتحويل السائل الى بخار. اما المكثف فيقوم بمهمة إنتـزاع الطاقـة

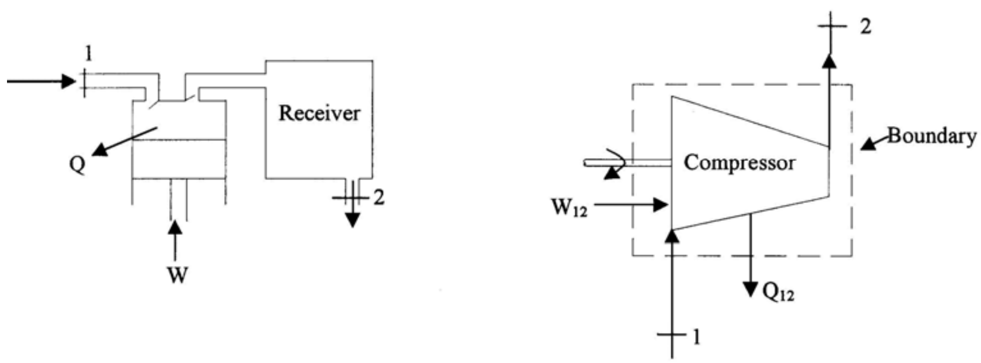
الحرارية من البخار لتحويله الى سائل. وفي حالة الاستقرار تكون كمية السائل المكثف التـي تـدعى بناتج التكثيف، شكل (6.5) والخارجة من المكثف مساوية لكتلة البخار الداخلة اليه. فعند إهمال الشغل والطاقة الحركية والكامنة فسينتج من معادلة الطاقة ان معدل الحرارة التي ينتزعها ماء التبريد تكـافئ النقصان في الانثالبي الكلي للمادة الشغالة، أي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}_w (h_2 - h_1) = \dot{m}_w . Cp_w (T_2 - T_1) \qquad .... (6.19)$$

وبما أن $h_1 > h_2$، لذا تكون إشارة الحرارة سالبة، أي مفقودة.

(6.4.2)- الضاغط والتوربين Compressor & Turbine

يستعمل الضاغط جزءاً من الشغل المجهز من مصدر خارجي لرفع ضغط الغازات. اما الجزء

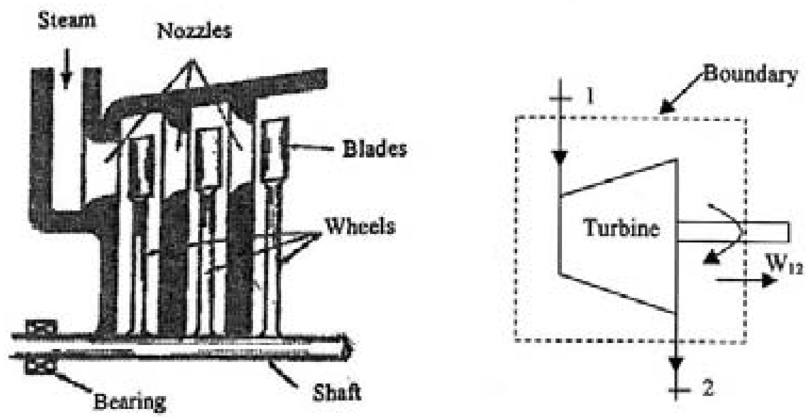


شكل (6.6)- الضاغط

الآخر فيتحول الى حرارة تنتقل الى الوسط المحيط كما موضح في شكل (6.6).

ان التوربين البخاري او الغازي مثل المحرك الترددي تتحول فيه بعض طاقة المائع الى شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. الا انه في حين يتم تمدد المائع في المحرك الترددي في نظام مغلـق لا جرياني، فإنه في التوربين يكون كنظام مفتوح ذي الجريان المستقر.

عمل التوربين عكس عمل الضاغط حيث يتدفق المائع ويتمدد سريعاً في التوربين مسبباً دوران الزعانف وتدوير عمود التوربين الذي يستغل لتدوير حمل خارجي كمولدة كهربائية مثلاً شكل (6.7).



شكل (6.7)- التوربين

إن إجراءات التدفق في الضاغط والتوربين تتميز بما يأتي:

1- سرعة تدفق المائع وعدم توفر الوقت الكافي للتبادل الحراري، مما يجعل الاجراء ادياباتياً، أي ان (Q=0).

2- عدم وجود فرق كبير بين سرعتي الدخول والخروج للمائع فتهمل الطاقة الحركية.

3- تقارب الارتفاعات الرأسية لفتحتي الدخول والخروج لذا تهمل الطاقة الكامنة. عليه تصبح معادلة الطاقة كما يأتي:

$$-\dot{W}_s = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}\,(h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp.(T_1 - T_2) \qquad ....(6.20)$$

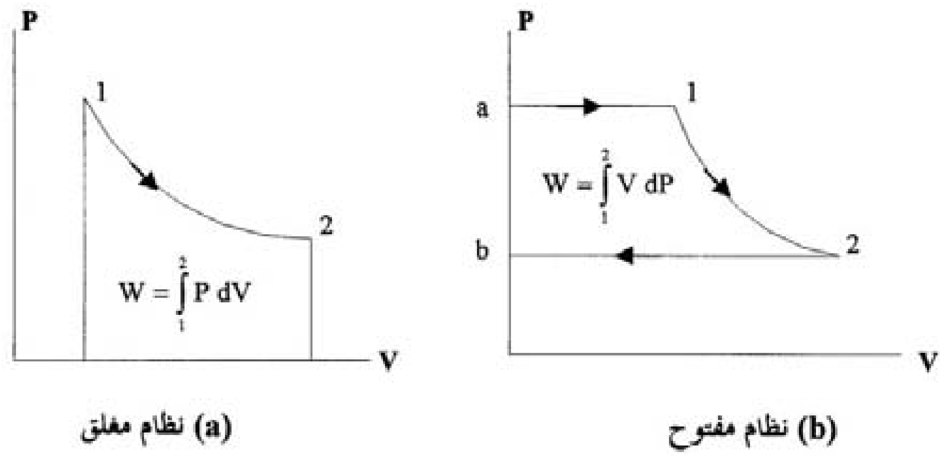
إن الـ $(\dot{W}_s)$ يمثل معدل شغل العمود المنتقل عبر حدود النظام.

(6.4.3)- تسلسل العمليات في الضاغط والتوربين

Theoretical Sequence of Processes

عند دراستنا للشغل الازاحي في الانظمة المغلقة، اتضح لنا ان المساحة الموجودة تحت منحني الاجراء على مخطط (P-v) يمثل الشغل المنتقل، كما في الشكل (6.8-a). وحسابه يخضع للمعادلة التكاملية لتفاضل دالة الحالة (dv)، أي:

$$w = \int_1^2 P\,dv$$



شكل (6.8)– الشغل الإزاحي في الأنظمة

اما بالنسبة للأنظمة المفتوحة فإن الشغل يمثل المساحة المحصورة بتسلسل العمليات التي يكون جزء منها جرياني من (a) الى (1) او من (2) الى (b)، والجزء الاخر لا جرياني من (1) الـى (2) كما في شكل (6.8-b). وحسابات الشغل يخضع للمعادلة التكاملية لتفاضل دالة الحالة (dP)، أي:

$$w_T = \int_1^2 dP\nu = Pd\nu + \nu dP \qquad \text{..........(6.21)}$$

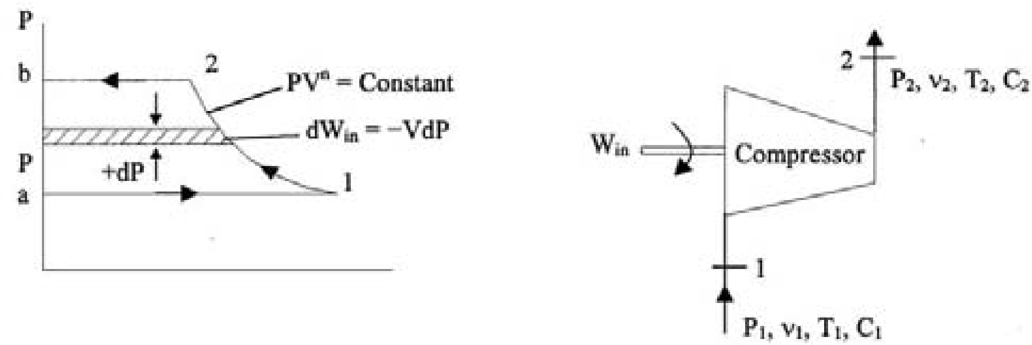
يتكون التسلسل النظري للعمليات في الضاغط من (3) عمليات، كما في شكل (6.9) نوجزهـا كما يأتي:

1- عملية سحب من (a) الى (1) بثبوت الضغط، حيث يتدفق الغاز الى الضاغط والذي يمكن تصوره عبارة عن مكبس واسطوانة. وبما ان (Va=0) فسيكون:

$$w_{ai} = P\Delta\nu = P_1(\nu_1 - \nu_a) = P_1\nu_1 \qquad \text{..........(6.22)}$$

2- إنضغاط اديباتي من (1) الى (2) ويكون:

$$q^{=0} - w = \Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$$
$$w = \mu_1 - \mu_2 \qquad \text{............(6.23)}$$



شكل (6.9)- التسلسل النظري للعمليات في الضاغط

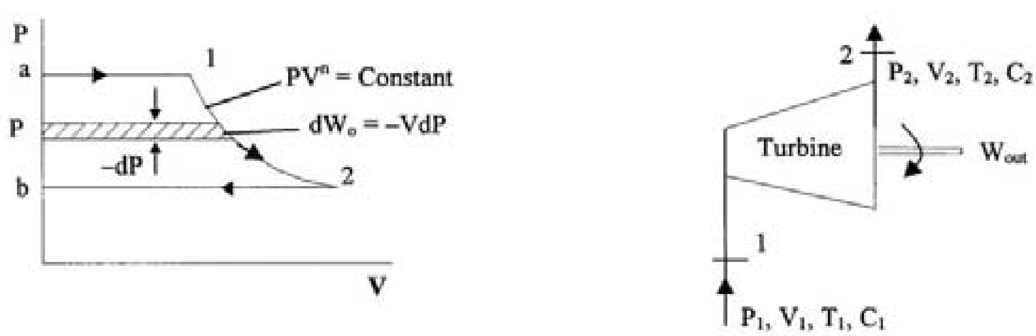
3- عملية دفع من (2) الى (b) بثبوت الضغط، حيث يندفع الغاز الـى الخـارج. وبمـا إن (V_b=0) فسيكون:

$$w_{2b} = P\Delta v = P_2 (v_b - v_2) = - P_2 v_2 \qquad \text{......... (6.24)}$$

والشغل الكلي المنتقل هو مجموع الشغل المنتقل خلال العمليات الثلاث، أي:

$$\begin{aligned} w_T &= P_1 v_1 + (\mu_1 - \mu_2) + (-P_2 v_2) \\ &= (P_1 v_1 + \mu_1) - (P_2 v_2 + \mu_2) \\ &= h_1 - h_2 \qquad \text{......... (6.25)} \end{aligned}$$

إن عمليات الضاغط عكس التوربين، كما موضحة في الشكل (6.10).



شكل (6.10)- التسلسل النظري للعمليات في التوربين

إشتقاق معادلة الشغل في الانظمة المفتوحة (ضاغط)

1- Adiabatic Process

$$w_{12} = -\int_1^2 \nu dP \qquad \text{..........} (6.26)$$

$$\because P\nu^{\gamma} = C. \qquad \therefore \nu = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$= -\int_1^2 \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}} . dP = -\int_1^2 C^{\frac{1}{\gamma}} . P^{-\frac{1}{\gamma}} . dP$$

$$= -C^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{P^{-\frac{1}{\gamma}+1}}{-\frac{1}{\gamma}+1}\right]_{P_1}^{P_2} = -\left(P\nu^{\gamma}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2}$$

$$= -\left[\frac{P^{\frac{1}{\gamma}} . P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} . \nu^{\gamma.\frac{1}{\gamma}}}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2} = -\left[\frac{P . \nu}{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]_{P_1}^{P_2}$$

$$= -\frac{\gamma(P_2\nu_2 - P_1\nu_1)}{\gamma-1} = -\frac{\gamma R(T_2 - T_1)}{\gamma-1} \qquad \text{..........} (6.27)$$

2- Isothermal Process

$$w_{12} = -\int_1^2 \nu dP \qquad \text{.........} (6.28)$$

$$\because P\nu = C. \qquad \therefore \nu = \frac{C}{P}$$

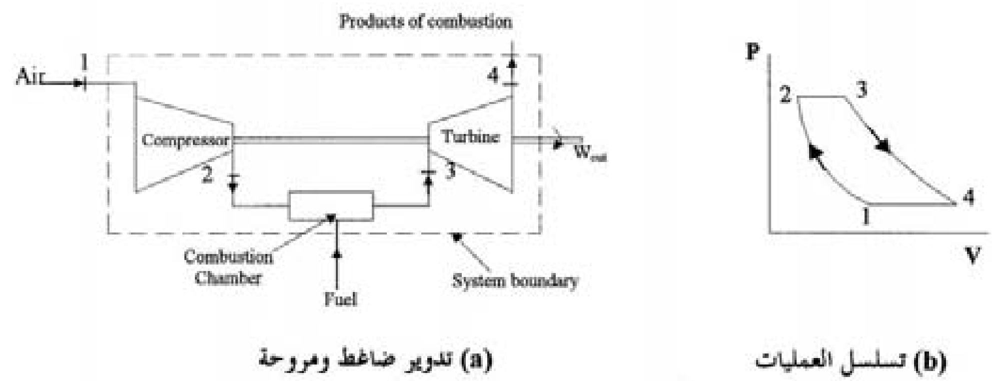
$$= -\int_1^2 C\frac{dP}{P} = -C\,Ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= -P\nu\,Ln\frac{P_2}{P_1} = -RT\,Ln\frac{P_2}{P_1} \qquad \text{............} (6.29)$$

(6.4.4)- التوربينات الغازية Gas Turbines

تتميز التوربينات الغازية ببساطتها في التركيب، واستعمالها انواع رخيصة من الوقود وعـدم حاجتها الى ماء تبريد. لذا تستخدم في محطات توليد الطاقة، القاطرات، السفن، السيارات، ومنظومات دفع للطائرات المتوسطة السرعة والطائرات العمودية.

في الطائرات يقوم التوربين بتشغيل ضاغط الهواء ويستخدم بقية القـدرة فـي إدارة مروحـة



شكل (6.11)- التوربين الغازي في طائرة

الطائرة الدفعية، لذا يسمى هذا المحرك بالمحرك المروحي التوربيني، حيث يركب التوربين والضاغط على نفس عمود تدوير المروحة، كما في شكل (6.11-a). اما تسلسل العمليات لدورة الهواء المثاليـة والموضحة في شكل (6.11-b) تكون كما يأتي:

1-يضغط الهواء ادياباتياً في الضاغط (2→1).

2- تضاف حرارة (3→2) بثبوت الضغط.

3-يتمدد الهواء ادياباتياً في التوربين (4→3)، فيقوم بتشغيل الضاغط وإنتاج قدرة فائضة (W_{out}).

4-طرد حرارة بثبوت الضغط (1→4) حتى يعود الهواء الى حالته الاصلية. والمثال التالي يوضـح المناقشة المذكورة آنفاً.

مثال (6.1)

هواء ضغطه (101 kPa) ودرجة حرارته (27°C). يضغط اديباباتياً في ضاغط بحيث تكون نسبة الضغط (5/1)، ثم يكتسب حرارة في مبادل حراري بثبوت الضغط بحيث تصبح درجة حرارته (1050°C) ثم يدخل الهواء الى توربين ليتمدد ويقوم بتشغيل الضاغط مع انتاج طاقة فائضة ويعود الى ضغطه الابتدائي. اوجد لكل (1kg) من الهواء: (أ) الشغل الصافي. (ب) كفاءة المنظومة. علماً أن: **Cp=1,004 kJ/kg.K ، γ=1,4**

-إستناداً الى شكل (6.11) فسيكون:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300\,(5)^{\frac{0.4}{1.4}} = 475.4\,K$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1323\left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 835.4\,K$$

$$w_T = C_p\,(T_3 - T_4) = 1.004\,(1323-835.4) = 489.67\ kJ/kg$$

$$w_c = C_p\,(T_1 - T_2) = 1.004\,(300-475.4) = -175.92\ kJ/kg$$

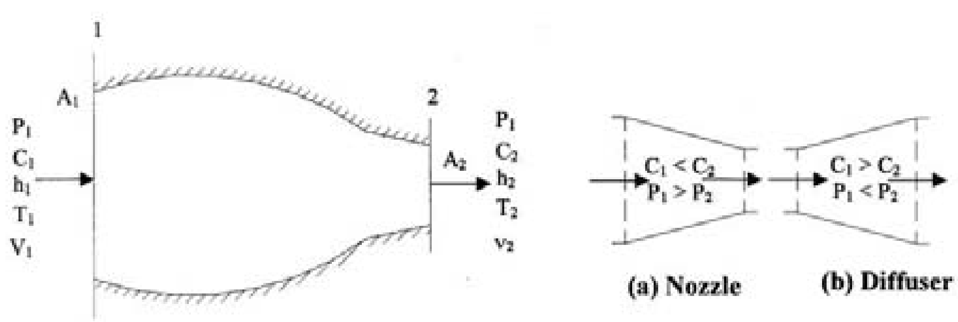
$$w_{net} = w_T + w_c = 489.67 + (-175.92) = 313.75\ kJ/kg$$

$$q_{in} = C_p\,(T_3 - T_2) = 1.004\,(1323-475.37) = 851.17\,kJ/kg$$

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{313.75}{851.17} = 0.369$$

6.4.5 المنفث (البوق) والناشر (المبدد) Nozzle & Diffuser

هي عبارة عن انابيب دائرية مساحة مقطعي الدخول والخروج فيها متغيرة. فالمنفث، شكل (6.12-a)، مصمم بحيث ينتج عنه انخفاض الضغط من المدخل الى المخرج مما يؤدي الى تسارع تدفق المائع. اما الناشر، شكل (6.12-b)، عكس المنفث، فهو مصمم بحيث ينتج عنه إزدياد الضغط من المدخل الى المخرج، مما يؤدي الى إنخفاض سرعة التدفق، أي الحصول على اقصى قيمة للضغط



شكل (6.3)- المنافث أو النوزلات (البوق)

على حساب انخفاض السرعة. وللمنافث اهمية كبيرة في توليد قوة دفع لمآخذ الطـائرات والمركبـات والصواريخ وكذلك في تشغيل التوربينات البخارية، فمثلاً البخار الخارج من المرجل بسرعة صـغيرة تزداد سرعته بتدفقه خلال المنفث قبل إصطدامه بريش التوربين، وهذا يعني ان فترة تواجد المائع في المنفث قصيرة، لذا لا يتوفر الوقت الكافي للتبادل الحراري بين النظام والمحيط، لـذلك يعـد التمـدد ادياباتي، أي (q=0). لا يحتوي المنفث على أجزاء متحركة فلا يحصل إنتقـال شـغل، أي (w=0). والاختلاف بين الارتفاعات الرأسية صغيرة، أي ($\Delta PE=0$). اما السرعة الابتدائية (C_1) يمكن إهمالها لكونها صغيرة مقارنةً بالسرعة النهائية (C_2). لذا تصبح معادلة الطاقة للمنفث او الناشر كما يأتي:

$$\mathbf{0 = \Delta h_{12} + \Delta KE_{12}} \qquad \textbf{.........(6.30)}$$

$$\mathbf{= \Delta h_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}}$$

$$\mathbf{\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12}} \qquad \textbf{..........(6.31)}$$

وكما مر بنا سابقاً عند دراستنا للطاقة الحركية فإن $\mathbf{(kJ/kg = 10^3 m^2/s^2)}$ وإذا كانـت الـ (Δh) بوحدات (kJ/kg) فستكون المعادلة (6.31) كالتالي:

$$\mathbf{C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2kJ/kg \,.\, \frac{10^3 m^2/s^2}{kJ/kg} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2 \times 10^3 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$\mathbf{\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2 \times 10^3 \Delta h_{12}} \qquad \textbf{..........(6.32)}$$

وبالتالي فإن السرعة (C) ستكون بوحدات $\mathbf{(\frac{m}{s})}$.

مثال (6.2)

1- هواء درجة حرارته (35°C) يدخل منفث بسرعة (0.7m/s) ويخرج بدرجة حـرارة (10°C). احسب سرعة الخروج، إذا كان Cp = 1.005 kJ / kg . K

$$\mathbf{\Delta h_{12} = C_p (T_2 - T_1) = 1.005\,(10 - 35) = -25.125 \frac{kJ}{kg}}$$

$t_1=35^oC$

$t_2=10^oC$

$C_2=?$

$C_1=0.7m/s$

$$\mathbf{C_2 = \sqrt{C_1^2 - 2000\Delta h_{12}}}$$

$$\mathbf{= \sqrt{(0.7)^2 - 2000 \times (-25.125)} = \sqrt{0.49 + (50250)}}$$

$$\mathbf{= 224.166 \frac{m}{s}}$$

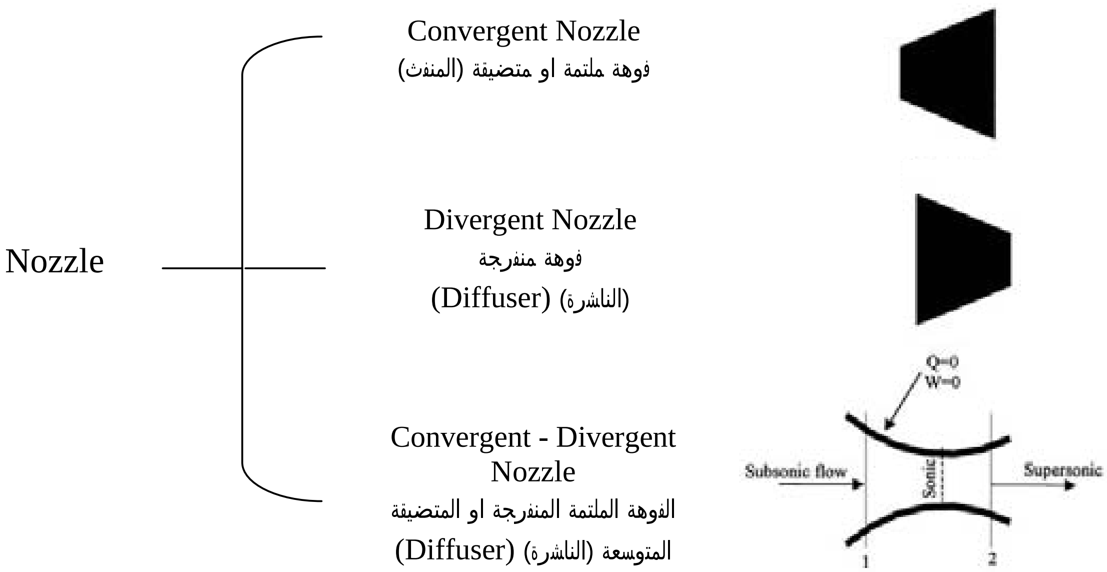
2- عند إفتراض ان السرعة الابتدائية صفر في السؤال السابق. احسب السرعة النهائية.

$$\mathbf{C_2 = \sqrt{0 - 2000\Delta h_{12}} = \sqrt{0 - 2000(-25.125)} =}$$

$$\mathbf{= \sqrt{50250} = 224.165 \frac{m}{s}}$$

بالنسبة للغازات الحقيقية والابخرة، لا يمكن تطبيق قوانين الغاز المثالي، ويـتم حـساب (Δh) بالرجوع الى جداول الخواص. اما بالنسبة للغازات المثالية فإن التمدد في المنفث اديابـاتي، يخـضع للعلاقة ($PV^{\gamma} = C.$).

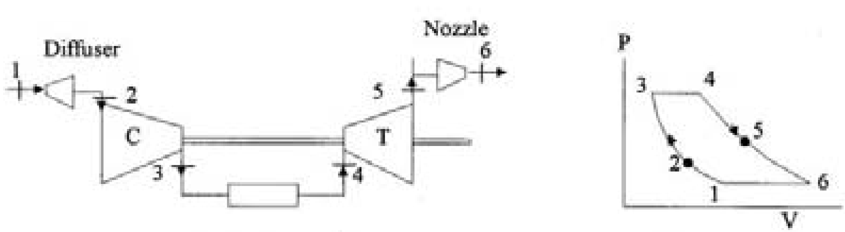
والمخطط التالي يبين الانواع المختلفة للمنافث والناشرات



(6.4.6)- محرك الطائرة الدفعي (النفاث) Air Craft Propulsion

في الطائرات ذات السرعات العالية، التـي تزيـد سـرعتها علـى (800Km/h)، تـستخدم المحركات التوربينية الدفعية للحصول على قوة الدفع تسمى بالمحركات النفاثة الموضحة اجزاءها فـي الشكل (6.13-a). وتسلسل عملياتها موضحة في شكل (6.13-b)، وهي كالتالي:

1- يدخل الهواء الناشرة بسرعة عالية. تتحول الطاقة الحركية للهواء الى محتوى حراري يؤدي الـى زيادة في الضغط ($2\rightarrow1$). يضاف الى ضغط الضاغط ($3\rightarrow2$) فـي عمليـة إنـضغاط تـسمى الاجـراء



(a) أجزاء المحرك النفاث
(b) تسلسل العمليات

شكل (6.13)- المحرك التوربيني الدفعي(النفاث)

2- يحترق الوقود في غرف الاحتراق بثبوت الضغط ($P_3=P_4$) حيث يزداد حجم الغازات ($3\rightarrow4$).

3- تتمدد الغازات في التوربين فيقوم بتشغيل الضاغط فقط ($4\rightarrow5$). اما الطاقة المتبقية لهذه الغازات فتتمدد في المنفث ($5\rightarrow6$) وتخرج بسرعة عالية جداً مسببة قوة دفع محورية تعمـل علـى دفـع الطائرة. إن الاجراء ($4\rightarrow5\rightarrow6$) ادياباتياً. إن قوة الدفع تستلم من المنفث نفسه، فيقال ان الطائرة ذات دفع نفاث.

التحليل المذكور آنفاً مثالي، يستعمل فيه الغاز المثالي ويهمل التغير فـي الحـرارة النوعيـة والتغير في الكتلة خلال الاحتراق. وفي التحليل لا يوجد فرق إذا كانت الطائرة تتحرك خلال الهـواء الساكن بسرعة (200m/s) او المحرك ثابت ويدخل اليه الهواء بسرعة (200m/s) كحركة نسبية.

إن الهواء يدخل الناشرة ويخرج من المنفث بسرعة عالية جداً. اما الهواء الخارج من الناشـرة والداخل الى المنفث فسرعته منخفضة يمكن إهمالها لتسهيل الحسابات. لذا فإن الفـرق بـين (C_6) و (C_1)، شكل (6.13-a)، سيتحول الى قوة دفع للطائرة (F). فإذا كان (a) تمثل التعجيل فسيكون:

$$\mathbf{a = \frac{C_6 - C_1}{t}} \qquad ....(6.33)$$

$$\mathbf{F = m\,.\,a = \frac{m}{t}(C_6 - C_1) = \dot{m}\,(C_6 - C_1)} \qquad ....(6.34)$$

هذه المعادلة تطبق عندما يكون التمدد كامل. والمثال التالي يوضح المناقشة المذكورة آنفاً.

مثال (6.3)

طائرة تطير بسرعة (800Km/h). يدخل الهـواء الناشـرة بدرجـة حـرارة (-24,6°C) وضـغط (46.6kPa). ثم يضغط ادياباتياً في ضاغط الى (280kPa). بعد ذلك يدخل مبادل حراري ليكتـسب حرارة بثبوت الضغط ولتصبح درجة حرارته (1090°C). ثم يتمدد ادياباتياً في توربين فيقوم بتشغيل الضاغط. ويدخل الى منفث ليتمدد ويعود الى ضغطه الابتدائي. كان التمدد والانضغاط في المنظومـة ادياباتياً. اهمل سرعة الهواء عند مخرج الناشرة ومدخل المنفث. اهمل طاقة الوضع في المنظومة. فإذا كان معدل جريان الهواء (95 kg/s). احسب:

(1) سرعة الهواء عند الخروج من المنفث. (2) قوة الدفع. علماً بأن:

Cp = 1.004 kJ/kg.K

$\gamma = 1.4$

انظر شكل (6.13)

$$C_1^2 = \frac{800 \times 100}{3600} = 222.2\ \text{m/s}$$

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

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{(222{,}2)^2}{2000 \times 1.004}$$

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

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

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 46.6\left(\frac{273}{248.6}\right)^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$= 64.8\ \text{kPa}$$

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

$$= 414.94\ \text{K}$$

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

$$= 1.004\,(414.94 - 273) = 142.36\ \frac{kJ}{kg}$$

$$w_T = Cp\,(T_4 - T_5) \Rightarrow 142.36$$

$$= 1.004\,(1336 - T_5)$$

$$T_5 = 1221.36\ \text{K}$$

$$P_5 = P_4\left(\frac{T_5}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 280\left(\frac{1221{,}36}{1336}\right)^{\frac{1.4}{0.4}}$$

$$= 190.64\ \text{kPa}$$

$$T_6 = T_5\left(\frac{P_1}{P_5}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 1221.36\left(\frac{46.6}{190.64}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$= 816.52\ \text{K}$$

$$C_6 = \sqrt{2000\,Cp\,(T_6 - T_5)}$$

$$= \sqrt{2000 \times 1.004\,(816.52 - 1221.36)}$$

$$= 901.6\ \text{m/s}$$

الفرق بين (C_6، C_1) يتحول الى قوة دفع، أي:

$$F = \dot{m}\,(C_6 - C_1)$$

$$= 95\,(901.6 - 222.2) = 64.54\ \text{N}$$

مثال (6.4)

طائرة تطير بسرعة (200 m/s). يدخل الهواء الناشرة بدرجة حـرارة (-33°C) ومـساحة مقطـع الدخول ($0.6m^2$). يضغط الهواء ادياباتياً في ضاغط الى (9) اضعاف ضغطه الاخير. ثم يدخل الـى غرفة الاحتراق ويتمدد في توربين، ثم يتمدد في منفث ليخرج بدرجة حـرارة (558K) مـن فوهـة مساحة مقطعها ($0.4m^3$) ليعود الى ضغطه الابتدائي. فإذا كان الانـضغاط والتمـدد فـي المحـرك (المنظومة) ادياباتياً. اهمل الطاقة الكامنة واحسب:

(1) كتلة الهواء المتدفقة (2) شغل التوربين (3) قوة الدفع (4) كفاءة المنظومة الحرارية.

Cp = 1.004 kJ/kg.K

γ = 1.4

الاستعانة بشكل (6.13)

$$\dot{m}_1 = \rho_1 A_1 C_1 = \frac{P_1}{RT_1} \times A_1 C_1$$

$$= \frac{50}{0.287 \times 240} \times 0.6 \times 200$$

$$= 87.11 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_6 = 87.11 = \frac{P_6}{RT_6} \times A_6 C_6$$

$$= \frac{50}{0.287 \times 558} \times 0.4 \times C_6$$

$$C_6 = 697.5\ m/s$$

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{200^2}{2008} = 19.9$$

$$t_2 = \Delta t_{12} + t = 19.9 + (-33)$$

$$= -13^\circ C \Rightarrow T_2 = 260\,K$$

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

$$= 260(9)^{0.286} = 487\,K$$

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

$$= 1.004\,(487 - 260) = 227.9 \frac{kJ}{kg}$$

الفرق بين C_6, C_1 يتحول الى قوة دفع، أي:

$$F = \dot{m}\,(C_6 - C_1) = 87.11\,(697.5 - 200)$$

$$= 43.3\,N$$

$$P = \frac{a}{t} = F.C$$

$$P = 43.3 \times 200 = 8.66 \times 10^6\ W$$

$$\dot{Q}_{16} = \dot{W}_{16} + \dot{m}\left[Cp(T_6 - T_1) + \frac{C_6^2 - C_1^2}{2000} \right]$$

$$= 87.11\left[1.004(558 - 240) + \frac{697.5^2 - 200^2}{2000} \right]$$

$$= 4.8 \times 10^4\,kW$$

$$\eta_{th} = \frac{8.66 \times 10^3}{4.8 \times 10^4} = 18\%$$

(6.4.7)- معادلة الاستمرارية Continuity Equation

تستخدم بكثرة في مجالات تدفق الموائع، تعبر عن مبدأ حفظ الكتلة في التدفق المنتظم، وهي مبنية على اساس ان كتلة المائع المتدفق عبر أي مقطع خلال زمن معلوم لا تتغير، إذ انها مبنية على الافتراضات الآتية:

1- تبقى خواص المائع ثابتة عند المدخل، وفي أي نقطة داخل النظام، وعند المخرج بسبب انتقال الحرارة والشغل عبر الحدود بمعدل ثابت.

2- تساوي معدل التدفق الكتلي $(\dot{m})$ (Mass Flow Rate) عند الدخول والخروج إشارة الى شكل (6.12). فإن $(\dot{m})$ بوحدات (kg/s) تكون ثابتة عبر أي مقطع في المنفث. فإذا كان (A) تمثل مساحة المقطع $(A = \frac{\pi D^2}{4})$ بالـ (m^2) ، وان (D) قطر الفوهة بالـ (m)، و (C) السرعة بوحدات (m/s) و (ρ) كثافة المائع بالـ (kg/m^3) فسيكون:

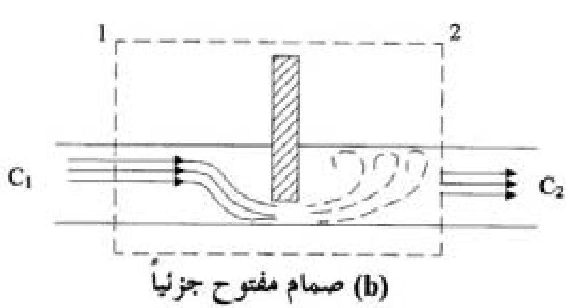
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = Const. \qquad .... (6.35)$$

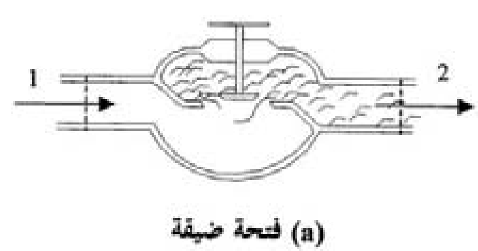
$$A_1C_1\rho_1 = A_2C_2\rho_2 = AC\rho = Const \qquad .... (6.36)$$

(6.4.8)- انواع اخرى في الانظمة المفتوحة

1- صمام الخانق (الخنق) Throttle Valve (Throttling)

عند جريان مائع خلال فتحة ضيقة، كما في شكل (6.15-a) او خلال صمام مفتوح جزئياً، كما في الشكل (6.15-b)، عندئذٍ يقال بأن المائع قد خنق، لذلك سوف ينقص ضغطه، وبسبب احتكاك المائع مع حافة ممر العبور تتولد حرارة، لكن هذه الحرارة صغيرة يمكن إهمالها بسبب التدفق السريع للمائع، وخلال مسافة قصيرة بحيث لا يكون هناك وقت كاف ولا مساحة كافية لأنتقال الحرارة، لذلك يعد الخنق اجراء ادياباتياً، أي (q=0). وبسبب عدم وجود اجزاء متحركة فإن التمدد سيتم من دون مقاومة لذلك فان (w=0). وكذلك فإن الفرق بين (C_1) و (C_2) صغيراً خاصةً إذا كان المقطعين





شكل (6.15)- صمام الخانق

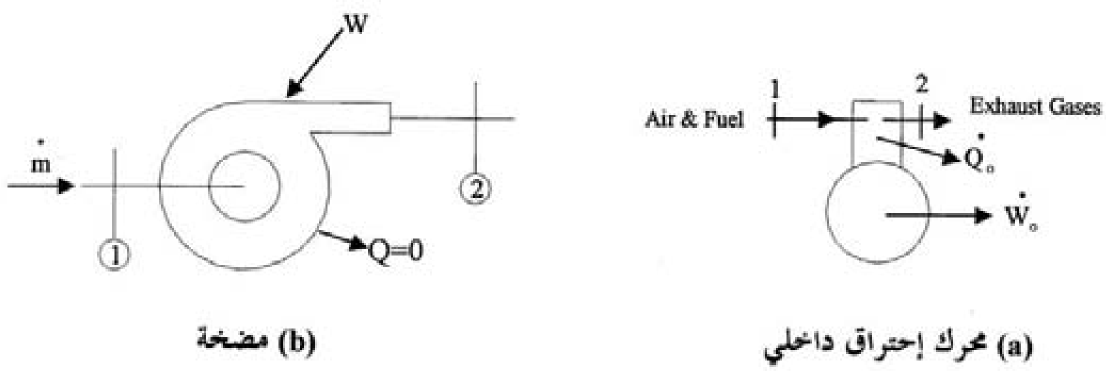
متساويا المساحة، لذلك تهمـل الطاقـة الحركيـة، طالمـا ان الـسرعة البالغـة (30 m/s) تكـافئ (0.5 kJ/kg) مقارنةً بقيمة المحتوى الحراري ذي القيمة (2500 kJ/kg) اذا كان المائع هو البخـار مثلاً. وعليه فإن معادلة الطاقة:

$$h_1 = h_2 \qquad \text{.......... (6.37)}$$

بالنسبة للغاز المثالي يكون المحتوى الحراري (h=CpT)، وبما ان (Cp=Const.)، عليه فلن يكون هنالك تغير في درجات الحرارة عند خنق الغاز المثالي. اما عند خنق غاز حقيقي فسيكون هناك بصورة عامة هبوط في درجة الحرارة.

2- محرك الاحتراق الداخلي Internal Combustion Engine

يقوم بإنتاج شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. أي ان جزء من الطاقة الكيميائية للوقود يتحول الى شغل ميكانيكي. ان محرك الاحتراق الداخلي آلـة ذات دورة مفتوحـة (Open Circuit)، وذات جريان شبه مستقر (quasi-steady Flow) لكن يعامل كآلة ذات جريـان مـستقر (Steady Flow) لانه معظم المحركات متعددة الاسطوانات ، وان نبضات الجريان تخمد خلال شوط السحب بواسـطة مرشحات الهواء (Air Filters) وخلال شوط العادم بواسطة مخمدات الصوت (Silencers).



شكل (6.16)- محرك و مضخة

محرك الاحتراق الداخلي يقوم بأنتاج شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. أي ان جـزء مـن الطاقة الكيميائية للوقود يتحول الى شغل ميكانيكي. وكما في شكل (6.16-a) وجزء يطرد الى الوسـط المحيط للمحرك على هيئة حرارة والباقي يعمل على زيادة الانثالبي الكلي للمادة الشغالة، أي ان:

$$\dot{Q}_F = \dot{Q}_{in} = \dot{W}_o + \dot{Q}_o + \Delta H \qquad \text{........ (6.38)}$$

وتصبح معادلة الطاقة:

$$\dot{Q}_{in} - (\dot{W}_o + \dot{Q}_o) = \Delta H \qquad \text{.......... (6.39)}$$

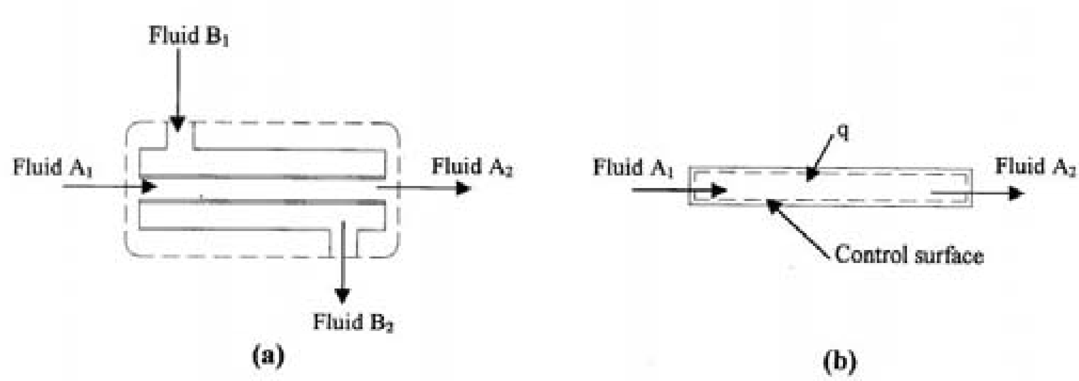
3- المضخة Pump

تقوم بزيادة ضغط السوائل، شكل (6.16-b)، أي ان معدل الشغل الذي تأخذه المضخة يساوي الزيادة الكلية لأنثالبي المادة الشغالة. وتكون معادلة الطاقة:

$$\dot{W} = \Delta\dot{H} \qquad \text{........ (6.40)}$$

4- المبادل الحراري Heat Exchanger

هي انظمة مفتوحة ذات جريان مستقر يتم فيها التبادل الحراري بين مادتي عمـل (A) و (B) كما في الشكل (6.17). يمكن ان تكون من نوع واحد او مختلفة. التبادل يحـدث بتمـاس مباشـر أي بثبوت الضغط، او بتماس غير مباشر أي بضغط مختلف. وبإهمال الشغل والطاقة الحركية والكامنـة تصبح معادلة الطاقة لكل مادة عمل:



شكل (6.17)- مبادل حراري

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

فبالنسبة للمادة (A) يكون:

$$(Q_{12})_A = (\Delta H_{12})_A$$

وبالنسبة للمادة (B) يكون:

$$(Q_{12})_B = (\Delta H_{12})_B$$

ولأن الحرارة المتبادلة بين (A) و (B) متساوية. والاشارة (-) تعني ان احـدها مفقـودة والاخـرى مكتسبة فسيكون:

$$(Q_{12})_A = -(Q_{12})_B$$

$$m_A C_A (T_2 - T_1) = m_B C_B (T_1 - T_2) \qquad \text{………. (6.41)}$$

مثال (6.5)

مبادل حراري يستعمل لتبريد الماء بوساطة الهواء. يدخل الهـواء للمبـادل بدرجـة (25°C) ويخرج بدرجة (40°C). الماء يدخل بدرجة (80°C) ويخرج بدرجة (40°C). فإذا كانت:

Cw = 4.2 kJ/kg.K

Cpa = 1.005 kJ/kg.K

اوجد النسبة بين كتلتي الهواء والماء.

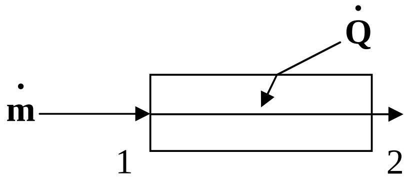
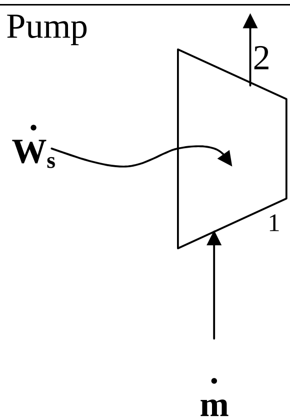
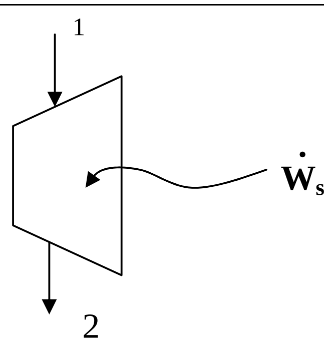
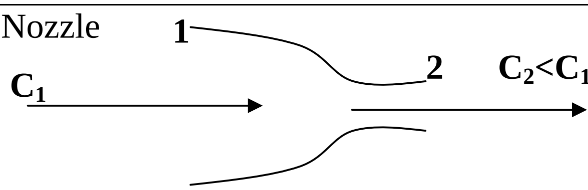
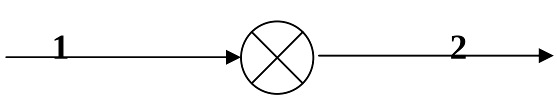
$$\frac{m_a}{m_w} = \frac{C_w\,(T_1 - T_2)_w}{C_{Pa}\,(T_2 - T_1)_a} = \frac{4.2\,(80 - 40)}{1.005\,(40 - 25)} = 11.14$$

إن تطبيقات القانون الاول للثرموديناميكا على الانظمة المغلقة والانظمة المفتوحة موضحة في جدول رقم (6.2).

خلاصة الانظمة المفتوحة Summary of Open Systems

من خلال ما ورد يمكن تلخيص العمليات الخاصة بالانظمة المفتوحة وحسب ما موضـح فـي جدول رقم (6.1)، كماويمكن تلخيص الانظمة المغلقة والمفتوحة وحسب ماموضح فـي جـدول رقـم (6.2).

جدول (6.1) العمليات في الانظمة المفتوحة

System	Energy
1. Boiler 	$\dot{Q} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$ $\eta_b = \dfrac{\dot{m}_s(h_2 - h_1)}{\dot{m}_f \, . CV}$
2. Compressor or Pump 	$-\dot{W} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$
3. Turbine 	$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2)$
4. Nozzle 	$O = \Delta h_{12} + \dfrac{C_2^2 - C_1^2}{2}$ $C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12}$
5. Throttle Valve 	$h_2 = h_1$

جدول (6.2) خلاصة الانظمة المغلقة والمفتوحة

Process $PV^n=C$ الحالة	W الشغل		Q الحرارة	
	Closed = $P dv$	Open = $-\int v dP$	Closed=W+ΔU	Open=W+ΔH
V = C. n = ∞ $\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2}{T_1}$	Zero	$=-v(P_2-P_1)$ $= v(P_1-P_2)$ $= R(T_1-T_2)$	=Cv dt	=Cv dt
p = C. n = 0 $\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1}$	= R (T2-T1) = P (V2-V1)	Zero	= Cp dt	= Cp dt
T = C. n = 1 $\frac{P_2}{P_1}=\frac{V_1}{V_2}$	$=P_1V_1Ln\frac{V_2}{V_1}$ $=RT_1Ln\frac{V_2}{V_1}$	$=P_1V_1Ln\frac{V_2}{V_1}$ $=RT_1Ln\frac{V_2}{V_1}$	Q=W	Q=W
$S=C., n=\gamma=\frac{Cp}{Cv}$ $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$= -\Delta U$ $=Cv(T_1-T_2)$	$= -\Delta H$ $=Cp(T_1-T_2)$	Zero	Zero
$PV^n=C.$ $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$	$=\frac{R}{n-1}(T_1-T_2)$ $=\frac{P_1V_1-P_2V_2}{n-1}$	$=\frac{nR}{n-1}(T_1-T_2)$ $=\frac{n(P_1V_1-P_2V_2)}{n-1}$	$=Cv\frac{n-\gamma}{n-1}dt$ $=Cn\,dt$	$=Cv\frac{n-\gamma}{n-1}dt$ $=Cn\,dt$

امثلة محاولة

(6.6)

يهبط سائق بسيارة كتلتها (1350 kg) من سطح تل. ويشاهد عند القاعدة ضوءاً احمر يجب ان يتوقف عنده. وعندما بدء السائق في الضغط على الفرامل كانت السيارة تتحرك بـسرعة قـدرها (28m/s). وكان على إرتفاع رأسي قدره (30m) فوق قاعدة التل. ما هي الطاقة التي تتبدد كحرارة في الفرامـل بفرض إهمال تأثير الرياح وعوامل الاحتكاك المختلفة على العملية. (اعتبر السيارة كنظام)

$$\mathbf{Q = \Delta KE + \Delta PE}$$

$$\mathbf{= m\left[\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g\,(z_2 - z_1)\right] = 1350 \times \left[\left(\frac{0^2 - 28^2}{2}\right) + 9.81\,(0 - 30)\right]}$$

$$\mathbf{= -926367\ \ J = -926.367\,kJ}$$

الحرارة خارجة من النظام (-)

(6.7)

غاز يجري في انبوب إرتفاعه (60.96m) فوق سطح البحر بسرعة (6.096 m/s) ودرجة حـرارة (148.9°C). احسب الطاقة الكلية للغاز واعتبر ان الصفر المئوي هي درجة الحرارة الاسـاس فـي قياس الطاقة. وان: Cv=0.6741 kJ/kg.K

$$\mathbf{Q = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE = mCv\Delta T + \frac{mC^2}{2} + mgz}$$

$$\mathbf{= 1 \times 0.6741\,(148 - 0) + \frac{1 \times (6.096)^2}{2} + 1 \times 9.81 \times 60.96 = 100.99\,kJ/kg}$$

(6.8)

مروحة في غرفة مغلقة طاقتها الحركية (678kJ). قطع تجهيز القدرة عنها ووصلت تدريجياً الى حالة السكون. إذا علمت ان الفقدان الحراري من جدران الغرفة في اثناء التباطؤ يقدر بـ (50kJ). احسب التغير في الطاقة الداخلية لمحتويات الغرفة.

$$\mathbf{Q - W = \Delta U_{12} + \Delta KE + \Delta PE}$$

$$\mathbf{-50 = \Delta U_{12} + (0 - 678)}$$

$$\mathbf{\Delta U_{12} = 628\ kJ}$$

(6.9)

مروحة في غرفة مغلقة تدور بسرعة (1164m/s) قطع عنها تجهيز القدرة ووصلت تدريجياً الى حالة السكون. إذا علمت ان الفقد الحراري من جدران الغرفة في اثناء التباطؤ (50kJ/kg). اوجد التغير في الطاقة الداخلية النوعية لمحتويات الغرفة.

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

$$\mathbf{q_{12} = \Delta\mu_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}}$$

$$\mathbf{-50 = \Delta\mu_{12} + \frac{0 - (1164)^2}{2000}}$$

$$\mathbf{\Delta\mu_{12} = 628\,kJ/kg}$$

(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).

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

$$\Delta KE_{12} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{(91)^2 - (15)^2}{2000} = 4.028\frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta PE_{12} = \frac{g(z_2 - z_1)}{1000} = \frac{9.81(3.35 - 58)}{1000} = -0.54\frac{kJ}{kg}$$

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

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

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

$$\mathbf{\dot{W} = \dot{m}\,.\,\omega_{12} = 1 \times 16.955 = 16.955\frac{kJ}{s} = 1017.3\,kJ/min.}$$

(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).

$$\mathbf{h_1 = \mu_1 + P_1 v_1 = 2400 + 600 \times 0.3 = 2580 kJ/kg}$$

$$\mathbf{h_2 = \mu_2 + P_2 v_2 = 1800 + 160 \times 0.9 = 1944 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\Delta h = h_2 - h_1 = 1944 - 2580 = -636 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\Delta KE = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} = \frac{80^2 - 250^2}{2000} = -28.05 kJ/kg}$$

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

$$\mathbf{\Delta PE = \frac{g(z_2 - z_1)}{1000} = \frac{9.81(z_2 - 15 - z_1)}{1000} = -0 = -0.147 kJ/kg}$$

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

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

$$\mathbf{= -(-636) - (-28.05) - (-0.147) + \left(-\frac{120}{415}\right) = 637.53 kJ/kg}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \dot{m}\,.\,w = 4.5 \times 637.53 = 2868.887 kW}$$

(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).

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

$$= 673 kJ/kg$$

$$\Delta KE = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2} = \frac{300^2 - 150^2}{2 \times 10^3}$$

$$= 33.75\,kJ/kg$$

$$w = \Delta h + \Delta KE - q$$

$$= 673 + 33.75 - 30 = 676.75\,KJ/Kg$$

$$\dot{W} = w\,.\,\dot{m} = 676.75 \times 4$$

$$= 2707\,kW$$

(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 حـــرارة مقـــدارها (250°C) وانثـــالبي نـــوعي (2958kJ/kg) وطاقـــة داخليـــة نوعيـــة (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:

Cw=4.1868 kJ/kg.K ، Cp$_{air}$=1.005 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_w \,.\, Cp_w \,.\, \Delta T$$
$$= 10.4 \times 4.187 \times (15 - 7)$$
$$= 348.5\ kJ/min$$
$$\dot{W}_{12} = \dot{Q} \,.\, \eta_{motor} =$$
$$= 18 \times 0.84 \times 60$$
$$= 907\ kJ/min$$
$$m_1 = \frac{P_1V_1}{RT_1} \quad , \ m_2 = \frac{P_2V_2}{RT_2}$$

$$\dot{m}_a = \frac{1}{5}(m_2 - m_1) = \frac{1}{5}\left(\frac{P_2V_2}{RT_2} - \frac{P_1V_1}{RT_1}\right)$$
$$= \frac{V}{5R}\left(\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1}\right) = \frac{1.2}{5 \times 0.287}\left(\frac{1270}{522} - \frac{330}{285}\right)$$
$$= 2.4 \frac{kg}{min}$$
$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta\dot{H} = \dot{m}_a Cp_a (t_2 - t_1)$$
$$-348.3 - (-907) = 2.4 \times 1.005\,(t_1 - 34)$$
$$t_2 = 271.5^\circ C$$

(6.21)

يتدفق هواء الى ضاغط بمعدل (0.4 kg/s) بسرعة (6m/s) وبضغط (1 bar) وبحجم نوعي (0.85 m³/kg). وعند الخروج تكون سرعته (4.5 m/s) وضغطه (4.9 bar) وبحجم نوعي (0.16 m³/kg). الطاقة الداخلية النوعية الخارجة اكبر من الداخلة بـ (88 kJ/kg). الحرارة الخارجة مع مياه التبريد (59 kJ/s). احسب القدرة المطلوبة لتشغيل الضاغط بالـ (kW). اهمل طاقة الوضع. احسب مساحة انبوب الدخول والخروج.

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

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

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

$$w = -[\Delta h + \Delta KE - q]$$
$$= -[81.4 + (-0.00787 - 147.5)]$$
$$w = -228.9 \text{kJ/kg}$$
$$\dot{W} = m \times w = 0.4 \times 223.9$$
$$= 91.56 \text{ kW}$$
$$A_1 = \frac{\dot{m} \times \nu_1}{C_1} = \frac{0.4 \times 0.85}{6} = 0.057 \text{ m}^2$$
$$A_2 = \frac{\dot{m} \times \nu_2}{C_2} = \frac{0.4 \times 0.16}{4.5} = 0.014 \text{ m}^2$$

(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 عند (1 bar) ودرجة حرارة (20°C). أوجد درجة حرارة الهواء الخارج من الضاغط علماً أن: **Cp=1.005 kJ/kg.K**

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

طريقة ثانية

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{mCp} = \frac{60 \times 0.6}{0.5 \times 1} = 72$$
$$T_2 = 72 + 20 = 92^\circ C$$

(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.

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

$$= \frac{9\times 10^{-3}\times 50\times 100}{0.287\times 293}$$

$$= 0.535\,Kg/s$$

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

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

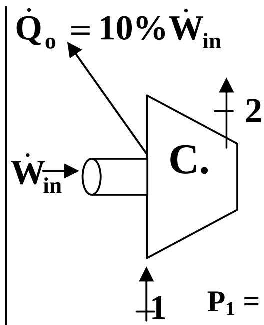
$$= \frac{5\times 10^{-4}\times 120\times 10^{3}}{0.535\times 0.287}$$

$$= 390.8K$$

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

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

$$0.1\dot{W} - \dot{W} = 0.535\left[1.004\ \ (390.8 - 293)\ \ +\ \ \frac{120^2 - 50^2}{2\times 10^3}\right]$$



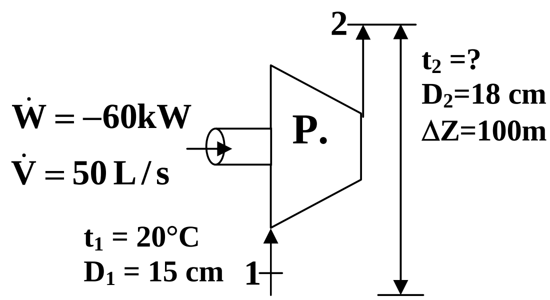
P_2 = 1 MPa
C_2 = 120 m/s
A_2 = 5 cm^2

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

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

(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**



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

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

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

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

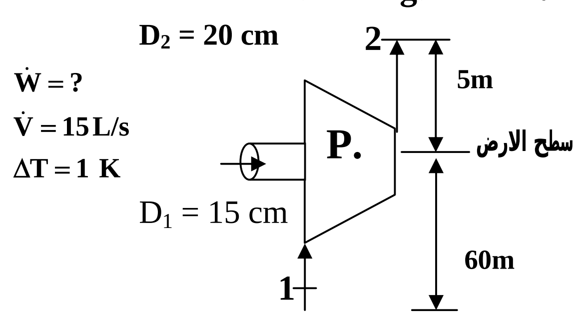
$$-\dot{W} = \dot{m}\left[Cv(T_2 - T_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000} + \frac{g\Delta Z}{1000}\right]$$

$$-(-60) = 50\left[4.2(T_2 - 293) + \frac{1.96^2 - 2.83^2}{2000} + \frac{9.81\times 100}{1000}\right]$$

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

(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**



$$\dot{m} = \delta_w.\dot{V} = 10^3\,\frac{kg}{m^3}\times 0.015\frac{m^3}{s} = 15\frac{kg}{s}$$

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

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

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

$$\dot{W} = 15\left[4.2\times 1 + \frac{(0.48)^2 - (0.85)^2}{2000} + \frac{9.81\times 65}{1000}\right]$$

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

(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%).

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

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

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

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

(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).

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

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

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

(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.

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

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

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

(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 (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).

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

$$= 567K$$

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

$$= 1.11\,(567 - 923)$$

$$= -395.16\,kJ/kg$$

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

$$= 0.972\,kJ/kg$$

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

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

$$= 394.2\,kJ/kg$$

(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 .

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

$$= 166\,K$$

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

$$= -509\,kJ/kg$$

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

$$= 14.95\,kJ/kg$$

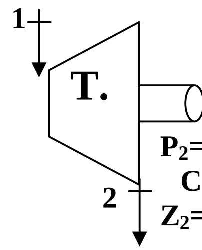
$$\Delta PE = g(z_2 - z_1) = 9.81(6-10)\times\frac{1}{1000}$$

$$= -0.04\,kJ/kg$$

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

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

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 ($0.045m^3$)، الحجـم النوعي ($0.02491\ m^3/kg$)، الانثالبي النوعي (3582.3 kJ/kg). وعند الخروج كان مساحة مقطـع الانبوب ($0.31\ m^2$). الحجم النوعي ($1.694\ m^3/kg$)، الانثالبي النوعي (2675.5 kJ/kg). احـسب الشغل المنجز بالـ (MW).

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

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

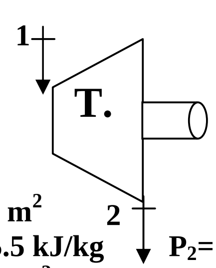
$$-\dot{W} = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\right]$$

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

$$= -26800\,kW$$

$$W = 26.8\,MW$$

A_1=0.045 m^2
h_1=3582.3 kJ/kg
ν_1=0.02491 m^3/kg
P_1=15MPa
t_1=600°C



A_2=0.31 m^2
h_1=2675.5 kJ/kg
ν_2=1.694 m^3/kg
P_2=100kPa

(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.

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

$$= 88.3 kg/s$$

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

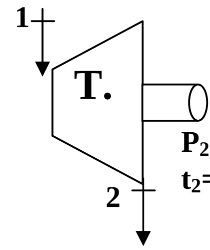
$$C_2 = \frac{\dot{m}_2}{\delta_2 A_2} = \frac{88.3}{\frac{1}{0.634} \times \left(\frac{\pi \times 0.6^2}{4}\right)}$$

$$= 196.1 m/s$$

$D_1 = 15$ cm $P_1 = 20MPa$

$C_1 = 90$ m/s $t_1 = 600^oC$

$\nu_1 = 0.018 m^3/kg$



$D_2 = 60$ cm $P_2 = 300kPa$

$\nu_2 = 0.634$ $t_2 = 15^oC$

(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

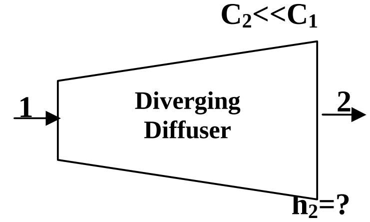
$t_1 = 10°C$

$C_1 = 200$ m/s

$A_1 = 0.4 m^2$

$h_1 = 283.14$ kJ/kg

$C_2 << C_1$



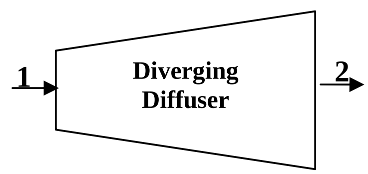
(6.39)

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

Cp=1.01 kJ/kg.K ، R=0.287 kJ/kg.K

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

$C_2 << C_1$



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

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

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

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

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

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

$$= 378.7\,K$$

(6.40)

مائع يتدفق اديباتياً في نـوزل. عنـد الـدخول فـإن الانثـالبي النـوعي (2.94kJ/kg)، الـسرعة (55m/s)، الحجـم النـوعي ($0.195m^3/kg$). عنـد الخـروج فـإن الانثـالبي النـوعي (2.79kJ/kg) والحجم النوعي ($0.354m^3/kg$). أهمل الطاقة الكامنة وكانـه معـدل تـدفق المـائع (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 ($1.25 m^3/kg$) على التوالي. احسب مساحة مقطع المنفث عند الخروج، إذا كان التدفق ادياباتي.

$$C_2 = \sqrt{2 \times 10^3 (h_1 - h_2)}$$

$$= \sqrt{2000(2800 - 2250)}$$

$$= 1050 m/s$$

$$m = \frac{A_2 C_2}{\nu_2}$$

$$A_2 = \frac{m \nu_2}{C_2} = \frac{14 \times 1.25}{1050}$$

$$= 0.0166 \, m^2$$

(6.42)

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

$$A_1 = \frac{\dot{m}a \times \nu_1}{C_1} = \frac{1.3 \times 0.0997}{508} = 0.000255 \, m^2$$

$$A_2 = \frac{\dot{m}a \times \nu_2}{C_2} = \frac{1.3 \times 0.2}{820} = 0.000317 \, m^2$$

(6.43)

هواء ضغطه ($140 kN/m^2$) 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

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

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

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

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

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

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

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

(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 انثـالبي نـوعي مقـداره (5000kJ/kg) ومعدل سريانه (40kg/s). الهواء الداخل الى الضاغط له انثـالبي نـوعي مقـداره (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%)، مـا هـي نـسبة 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 صـافي 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.

$$C_1 = \frac{800 \times 1000}{3600} = 222.2\,m/s$$

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

$$\Delta t_{12} = \frac{C_1^2}{2000\,Cp} = \frac{(222.2)^2}{2000 \times 1.004}$$

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

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

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

$$= 64.8kPa$$

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

$$= 414.94\,K$$

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

$$= 1.004(414.94 - 273)$$

$$= 142.36\,K$$

$$= 142.30\,kJ/kg$$

$$\dot{W}_T = w_T \times \dot{m} = 142.36 \times 95$$

$$= 13524.2\,kW$$

(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

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

$$= 400\,K$$

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

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

$$= 543\,K$$

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

$$= 153kJ/kg$$

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

$$= 288\,kJ/kg$$

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

$$= 135\,kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{135}{1.005 \times 390} = 0.343$$

(6.52)

هواء درجة حرارته (25°C) وضغطه (101kPa) يضغط انعكاسياً في ضاغط الى (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)

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

$$= 538\,K$$

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

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

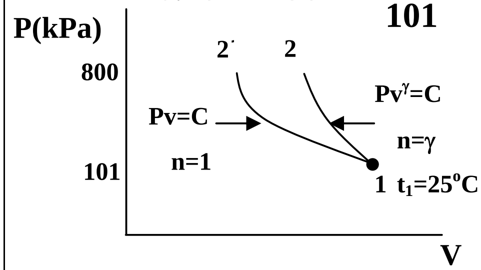
$$= -241.1\,kJ/kg$$

(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). احسب 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 **(Cv=0.717 kJ/kg.K ، γ=.14)** احسب:

(1) التغير في درجة حرارة الهواء.

(2) التغير في كثافة الهواء.

ج: (3.147 kg/m^3 ، -15.25 K)

(6.6)

ضـاغط يـدخل اليـه الهـواء بمعـدل تـدفق (165kg/h) وبـضغط (1bar) حجـم نـوعي (0.9m^3/kg) وسـرعة (60m/s) ويخـرج منـه بـضغط (8bar) وحجـم نـوعي (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 ، $\gamma=1.333$

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 ـ (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 اديباتياً الى الضغط الاديباتي. 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 ـ (kg/s). اهمـل التغيـر بالطاقة الحركية وطاقة الوضع. ارسم الدورة على مخططي (P-v) و (T-s)، علماً أن:

Cp=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: (146.7 kJ/kg ، 715.5 m/s)

(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 اديباتياً 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 اديباتيـاً 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 مقداره (5bar) يكمل الغاز التمدد في بوق الى ضغط مقداره (1bar). فإذا كان التمدد في التوربين والبوق 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 الابتدائية 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 تصبح درجة حرارته (1050°C). يتمدد الهواء في توربين ادياباتياً الى ضغطه الابتدائي. التوربين يقوم بتشغيل 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 ادياباتياً الى 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 النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K) وان درجة حرارة الماء المار بالمبادل الحراري تزداد بمقدار (20°C). جد كمية الماء المطلوبة بوحدات (kg/s). علماً أن:

(γ=1.4) ، (R=0.287 kJ/kg.K)

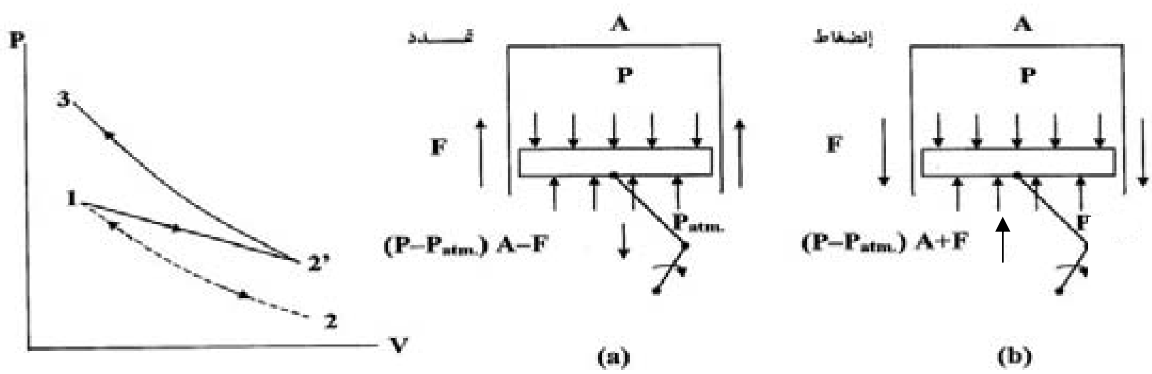
ج: (38 kg/s)

(7.1)- الاحتكاك Friction

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

1. الاحتكاك الميكانيكي Mechanical Friction

هو الاحتكاك الخارجي الموجود بين المكبس وجدران الاسطوانة. وجوده يعني تحول جزء من الطاقة الحركية للمكبس إلى حرارة مفقودة تتسرب إلى المحيط لا يمكن ارجاعها. فلو فرضنا 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 عن 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 المساحة تحت منحني التمدد والانضغاط ($2 \longrightarrow 1$) متساوية، أي أن الشغل متساوي. وبوجود الاحتكاك، فان المساحة تحت

منحني الانضغاط (3 ⟵ 2) أكبر من التمدد (2 ⟵ 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 ليـصبح الـضغط ودرجة الحرارة متساوياً في جميع النقاط.

العملية الانعكاسية مثالية افتراضية، أي لا توجد في العمليات الطبيعية أو الدورات الحقيقيـة. ولكـن 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 وفـرق 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.

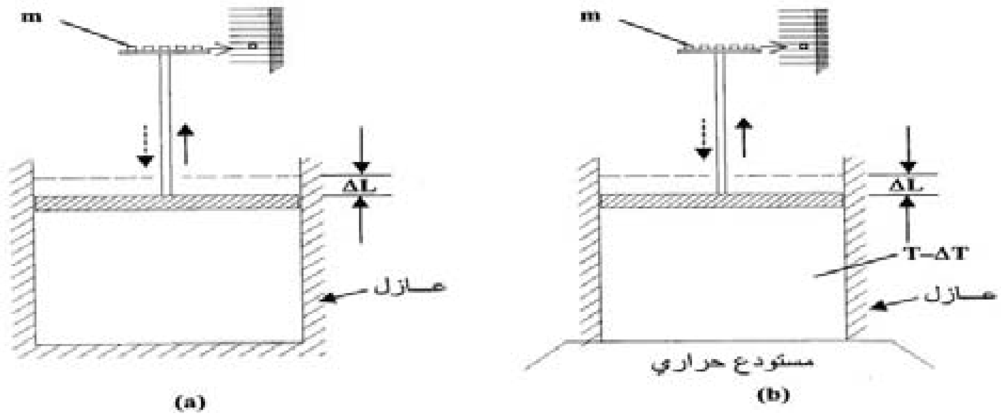
تعتبر العمليات الانعكاسية ذات اهمية نظرية كبيرة في حسابات اقصى قيمة للشغل المنجز واقـل قيمة للشغل المطلوب وبالتالي تعطي اعلى كفاءة عند معرفة خواص النظام.

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

(7.3)- الاجراء الانعكاسي Irreversible Process

هي العملية التي تحدث بإتجاه واحد ولا يمكن عكسها. أي لا يمكن أن يعود النظـام إلـى حالتـه 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

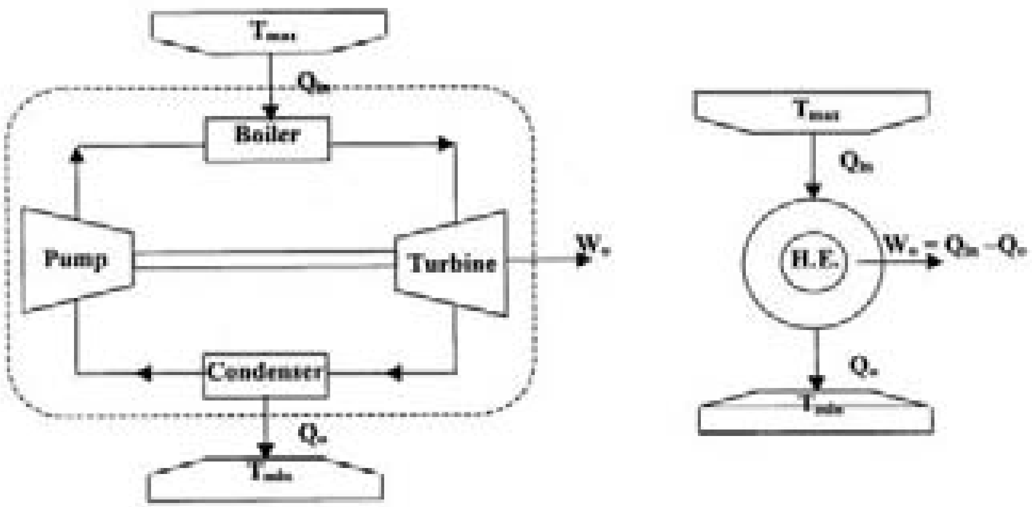
يمكن فهم الاجراءات اللاانعكاسية من خلال المخطط التالي:

الإجراءات اللانعكاسية

- 1- التلقائية
  - 1- لايمكن عكس اتجاهها كالعمليات الطبيعية مثل:
    - 1-حركة الانهار والشلالات نحو الانخفاض
    - 2-حركة الرياح نحو مناطق الضغط المنخفض
    - 3- الزمن، المطر
  - 2- يمكن عكس اتجاهها 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).



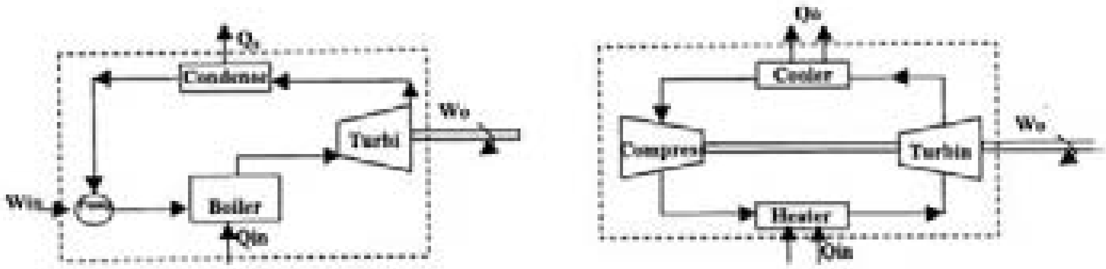
شكل (7.3)- المحرك الحراري

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:

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

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:

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

$$\mathbf{Q = W}$$

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

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

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

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

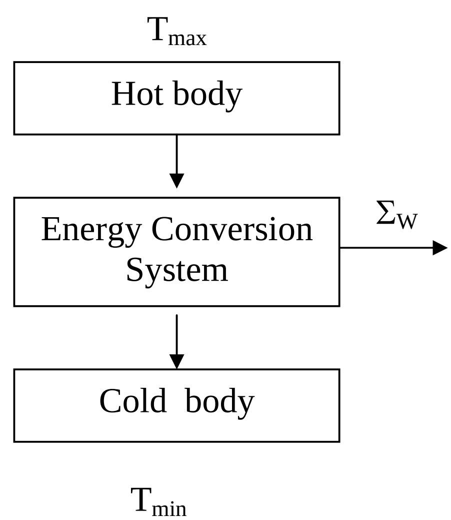
Efficiency of Energy Conversion System or Engine Thermal Efficiency

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

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

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:

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



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.

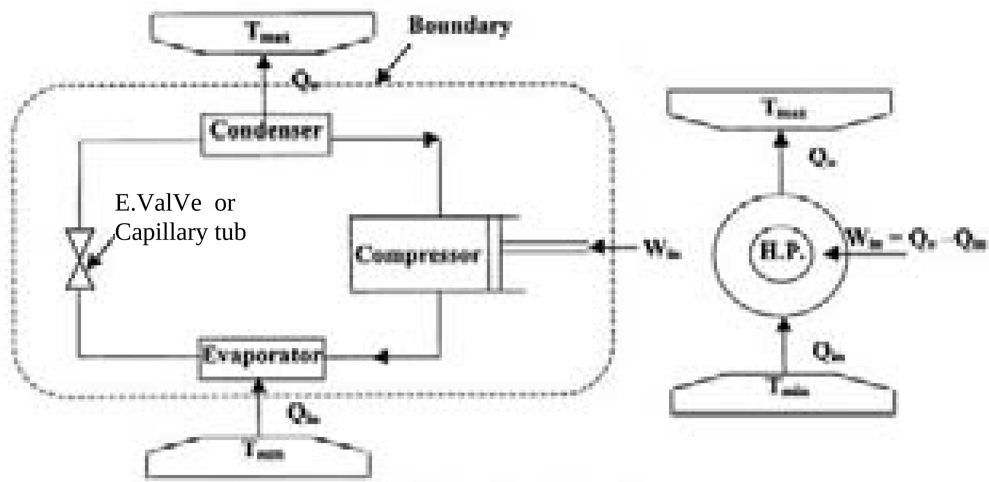
وإذا كانت($\dot{m}_f$)تمثل كتلة الوقود المستهلكة بوحدات (kg/s) وإن (LCV) القيمة الحراريـة للوقـود بوحدات (kJ/kg). وأن ($\dot{W}_o$) بوحدات (kW) فإن:

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

(7.7)- المحرك الحراري المعكوس (المضخة الحرارية)

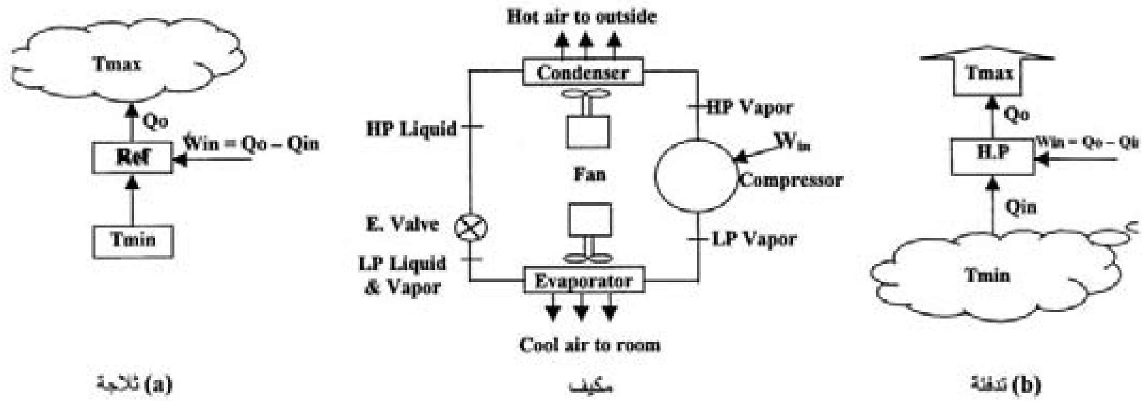
Reversed Heat Engine (Heat pump)

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 خـارجي (W_{in})، لـذلك 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 كجهـاز تدفئـة 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) وكلاوزيوس (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 **$(\eta \neq I), (Q \neq W), (W_o = Q_{in} - Q_o)$**

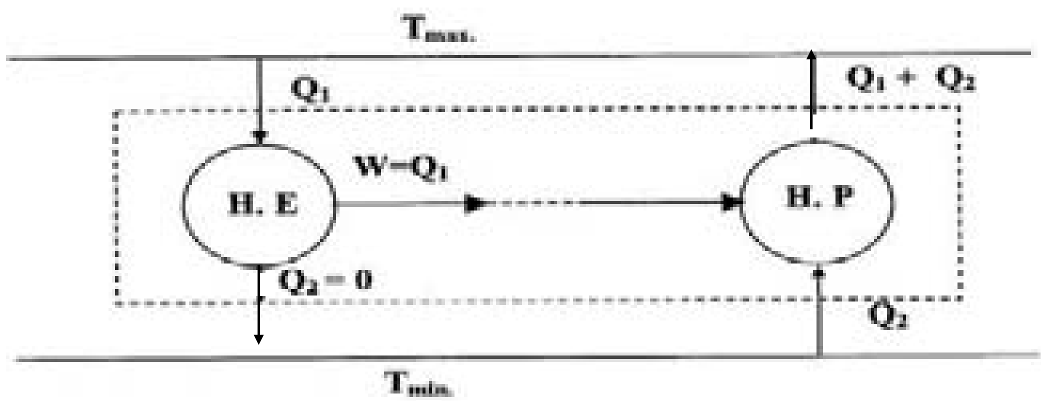
3. صيغة كلاوزيوس

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 :

$$W = Q1 \ldots\ldots (7.11)$$

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

$$W = Q_O - Q_2 \ldots\ldots (7.12)$$

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

$$Q_1 = Q_O - Q_2$$

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

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^oc) ويخرج بدرجة حرارة (28c). أوجد (أ)كفاءة المحطة البخارية(ب)كمية ماء التبريد اللازمة في الساعة علما بأن: **Cw=4.2 kJ/kg.K.**

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

$$= \frac{200.10^3}{\frac{70.10^3}{3600} \times 041000} = 0.25$$

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

$$= 70 \times 10^3 \times 41000 - 200 \times 10^3$$

$$= 215 \times 10^7 \, kJ/h$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_O}{C_W \times \Delta T_{12}} = \frac{215 \times 10^7}{4.2 \times (28 - 20)}$$

$$= 642 \times 10^6 \, kg/h$$

(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.

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

$$= 0.2 \times \frac{20.4}{3600} \times 43 \times 10^3 = 48.73kW$$

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

$$= \frac{20.4}{60} \times 43 - 48.733 \times \frac{60}{1000} = 11.7MJ/min$$

(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.

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}} \Rightarrow \dot{Q}_{in} = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{500 \times 3600}{0.28} = 6 \times 43 \times 10^6 \, MJ/h$$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{in}}{L.C.V} = \frac{6 \times 43 \times 10^6}{29.5} = 217917 kg/h$$

(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.

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

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times L.C.V} = \frac{4.1}{0.846\times 28} = 0.173$$

(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.

$$\mathbf{\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f \times CV = 20.4\times 43 = 877.2MJ/h = 243.7kW}$$

$$\mathbf{\dot{W} = \eta.\dot{Q}_{in} = 0.2\times 877.2 = 175.44MJ/h = 48.7kW}$$

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

(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.

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

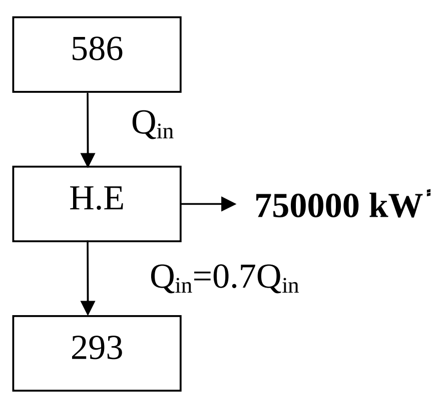
$$\mathbf{\eta_{Act} = 0.6\times 0.5 = 0.3}$$

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

$$\mathbf{\dot{Q}_O = 0.7\times 25\times10^5 = 175\times10^4\,kW}$$

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

$$\mathbf{\Delta T = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}\times C_w} = \frac{25\times10^5}{165\times10^3\times 4.2} = 2.54K}$$



(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`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°c). الماكنة (B) تكون في اتصال مع مصب بارد عند درجة حرارة (4.4°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°C) (الخزان البارد). البناية عنـد درجـة حـرارة (27°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.

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

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

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

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

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

$$\mathbf{= 2.23 - 1 = 1.23}$$

(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).

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

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

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

$$\mathbf{\dot{Q}_O = \dot{W} + \dot{Q}_{in}}$$

$$\mathbf{= 351.4 + 1230 = 1.582KW}$$

(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.

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

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

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

$$\mathbf{= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times \frac{T_3}{T_4 - T_3}}$$

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 ($26^{o}c$). درجة الحرارة الدنيا لكل من المحرك والمضخة ($10^{o}c$). المصدر الحراري للمحرك درجة حرارته ($527^{o}c$). 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 ($671^{o}c$) ويطرد حرارة إلى مصدر حرارته ($60\ ^{o}c$). تقوم بتشغيل ثلاجة تعمل للمحافظة على حيـز درجة حرارته ($-6.7\ ^{o}c$). فإذا كانت كمية الحرارة المطلوب طردها (Q_B) إلى محيط درجة حرارتـه ($32.2^{o}c$). 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 ($2\ ^{o}c$) و($87\ ^{o}c$) يدخل ماء إلى المـصدر البـارد بدرجة ($7\ ^{o}c$) ويخرج بدرجة ($4\ ^{o}c$) وبمعدل جريان (5500kg/hr). يسخن الهواء بوساطة المـصدر الحراري الساخن من ($10\ ^{o}c$) إلى ($20\ ^{o}C$) بثبوت الضغط. احسب:

(1)كمية الهواء المستخدم للتدفئة.

(2)حجم الهواء عند درجة ($20\ ^{o}C$)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 ($20\ ^oc$) ، ($0\ ^oc$) 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 ($25\ ^oc$) 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: ($49.09\ ^oc$)

(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 الغـاز إلـى حالته الأصلية، وهذا يسمح بتكرار العملية.

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

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

طريقة أخرى لحساب الشغل الصافي للدورة بتقدير المساحة الصافية للرسـم البيـاني (P-V).

التحليل العام للدورة يتم باستعمال قوانين الغاز،فإذا كانت (Q_o) تمثل الحرارة الخارجة من النظـام 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 يمكـن أن تدخل حرارة أثناء الدورة بأجراء واحد أو بإجرائين. كما وإن حرارة الدخول أكبر مـن الخـروج 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 كـارنو، اوتو، ديزل، ديوال، اتكنسون، سترلنك، اريكسون، ودورة جول ...الخ. وسنركز في دراسـتنا علـى 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 كفـاءة المحرك وتطويره. عمله هذا فاق اسلافه الذين عملوا في هذا المجال . وفـي بحثـه المنـشور عـام (1824) ابتكر كارنو دورة مثاليةمبنية على مبادئ القانون الاول ليعمل بموجبها محرك حراري، وقـد سماها باسمه (دورة كارنو)، التي تعد الخطوة الاولى التي أدت إلى ظهور القانون الثاني للثرموديناميك

بعد (25) سنة على يد العالمين كلاوزيوس 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.

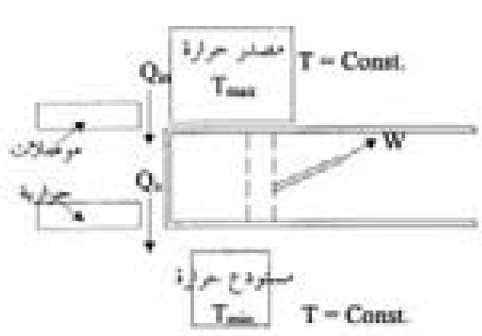
لقد صور كارنو تدفق الحرارة خلال المحرك من درجتي حرارة عالية إلى أخرى أقل بـصورة تشابه تدفق الماء في ريش التوربين من مستوى مرتفع إلى مستوى أخر منخفض. إن كمية الماء التـي تدخل التوربين خلال فترة زمنية معينة وتخرج منها تنتج شغلا بنفس الوقت. فأعتقـد كـارنو أن مـا يحدث في المحرك الحراري يشابه ذلك، وإن كمية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

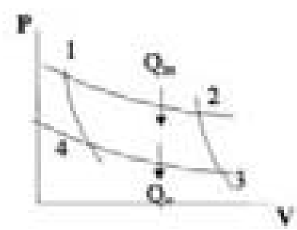
(8.3)- دورة كارنو The Carnot Cycle

يعتبر محرك كارنو أحد المحركات الحرارية التي تقوم بتحويل الحرارة إلى شغل، الذي يمكـن أن يكون عبارة عن اسطوانة محرك يتحرك فيها مكبس عديم الوزن والاحتكاك ويحتوي علـى مـائع 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 الـشكل (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.

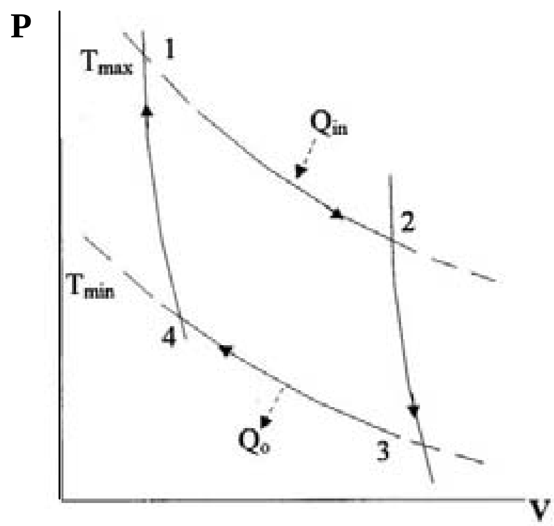
(2) (2 → 3) عند إزالة موصل الحرارة تستمر مادة التشغيل بالتمدد ادياباتيا، بسبب ضغطها ودرجة حرارتها المرتفعتين، منتجا شغل.

(3) (3 → 4) يعاد الموصل الحراري بين المحرك والمستودع الحراري، فـستتدفق الحـرارة إلـى المستودع الآخر (يتحرك المكبس إلى اليسار) وتنضغط مادة التشغيل ايزوثرمليا.

(4) (4 → 1) عند إزالة موصل الحرارة تستمر مادة التشغيل بالانضغاط ادياباتيا وتعود إلى حالتهـا الاصلية، وبذلك تكتمل الدورة. إن الدورة على مخطط (P-V) هي مـساحة محـددة بـين منحنيـين 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 ⟶1) تتمدد المادة الشغالة آيزوثرمليا بعد استلامها حرارة (Q_{in}) من مصدر درجة حرارتـه مرتفعة (Tmax). ويكون :

$$Q_{in} = P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1} = mRT_1 \ln\frac{V_2}{V_1} \quad \text{.................................}(8.2)$$

(2) (3⟶ 2) تستمر المادة الشغالة بالتمدد إدياباتيا ويكون:

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

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

$$Q_O = P_3V_3 \ln\frac{V_3}{V_4} = mRT_3 \ln\frac{V_3}{V_4} \quad \text{................................}(8.4)$$

(4)1⟶ 4:تستمر المادة الشغالة بالانضغاط إدياباتيا ويكون:

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

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 الطاقة (كدورة كارنو) فإن الحرارة (Q) هي دالة لدرجة الحرارة (T)، وتصبح معادلة الكفاءة:

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

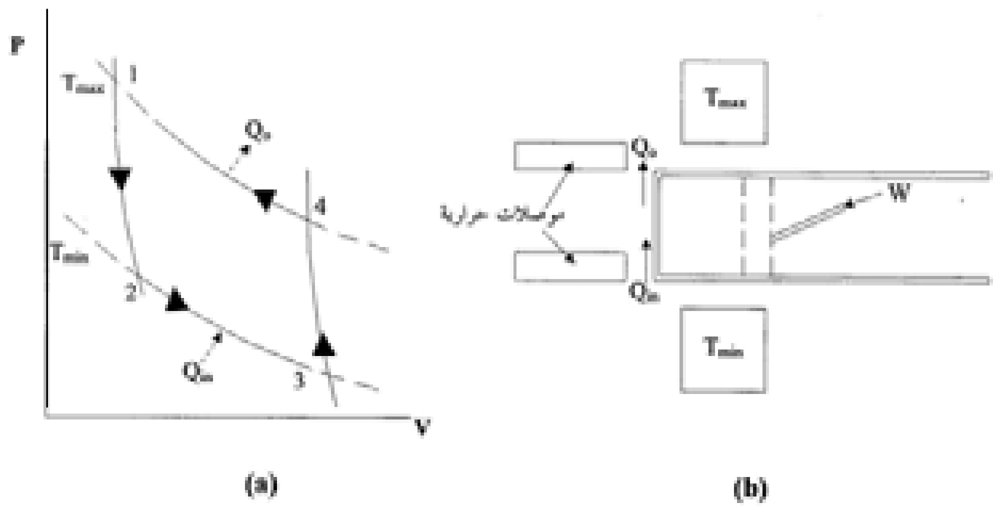
وهذه الكفاءة تعتبر أعلى كفاءة يمكن الحصول عليها لمدى درجات الحرارة (T_{min}) و (T_{max})، أما النسب الحجمية التي وردت في المعادلات فإنها متساوية في الإجراءين الايزوثرملي والادياباتي. لكن النسبة الحجمية الكلية للدورة فتساوي:

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

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

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

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

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 تعتمـد على خواص المائع، فبالنسبة لدورة كارنو فقط أن:

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

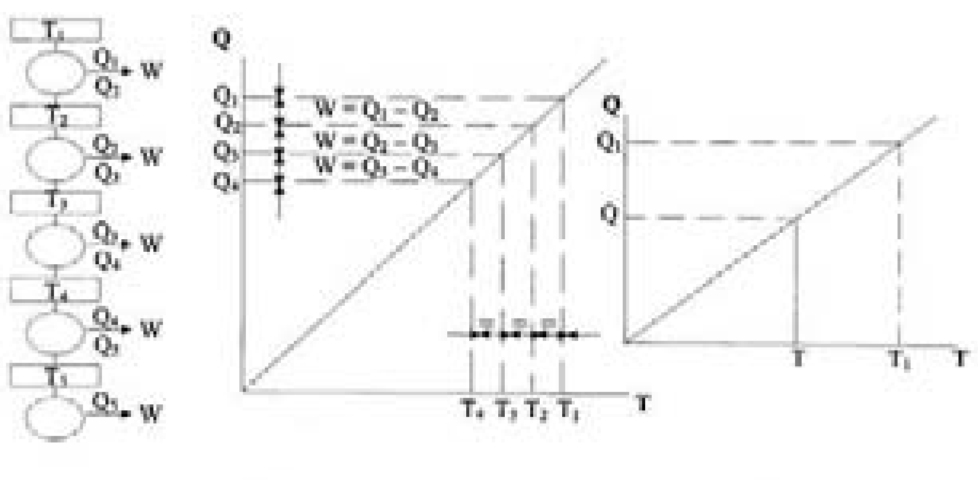
$$\therefore T_{min} = \frac{Q_O}{Q_{in}} . T_{max} \text{......................................(8.14)}$$

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).



(b) (a)

شكل (8.4) - دورة كارنو والمقياس المطلق

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

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

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^oC) 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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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

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

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

(8.3)

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

R=0.287 kJ/kg . K , γ =1.4

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

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

(8.4)

غاز مثالي يمر بدورة حرارية تضمن الاجراءات التالية: إنضغاط آيزوثرمالـي مـن درجـة حـرارة (25°C) 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°C) 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

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

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

(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

$$V_2 = V_1 . \frac{T_2}{T_1} = 10^{-3} \times \frac{473}{288}$$

$$= 1.64 \times 10^{-3} m^3$$

$$V_3 = V_2 .(\frac{T_3}{T_2})^{\frac{1}{\gamma - 1}}$$

$$= 1.64 \times 10^{-3} (\frac{373}{473})^{\frac{1}{0.4}}$$

$$= 2.973 \times 10^{-3} m^3$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{500 \times 0.001}{0.287 \times 288}$$

$$= 0.006 kg$$

$$Cv = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{0.287}{0.4}$$

$$= 0.718 kJ/kg.K$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.287 \times 1.4}{0.4}$$

$$= 1.005 kJ/kg.K$$

$$Q_{12} = mCp\Delta T$$

$$= 0.006 \times 1.005(473 - 288)$$

$$= 1.12 kJ$$

$$Q_{\circ 34} = mCv\Delta T$$

$$= 0.006 \times 0.718(373 - 288)$$

$$= 0.366 kJ$$

$$Q_{41} = mRT \ln\frac{V_4}{V_1}$$

$$= 0.006 \times 0.287 \times 288 . \ln\frac{2.973}{1}$$

$$= 0.523 kJ$$

$$Wnet = Q_{12} + O + (-Q_{34}) + (-Q_{41})$$

$$= 1138 - 374 - 552$$

$$= 0.212 kJ$$

$$\eta = \frac{W}{Qin} = \frac{0.212}{1.12} = 0.189$$

(8.8)

اسطوانة مزودة بمكبس عديم التسرب والاحتكاك تحتوي على هـواء ضـغطه (0.97bar) ودرجـة حرارته (60°C). ضغط حسب العلاقة ($PV^{\gamma} = C_{\circ}$) إلى ($\frac{1}{18}$) من الحجم الابتدائي. يسخن بثبـوت الحجم وارتفعت درجة الحرارة إلى (1220°C). 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.

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = 1.1\left(\frac{0.07}{0.01}\right)^{1.4}$$

$$= 16.8\text{bar}$$

$$P_3 = P_2\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{\gamma} = 16.8\left(\frac{0.01}{0.07}\right)^{1.25}$$

$$= 1.47\text{bar}$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$

$$= \frac{110\times 0.07 - 1680\times 0.01}{1.4-1}$$

$$= -22.8\text{kJ}$$

$$W_{23} = \frac{P_2V_2 - P_3V_3}{n-1}$$

$$= \frac{1680\times 0.01 - 147\times 0.07}{1.25-1}$$

$$= 26\text{kJ}$$

$$\sum Q = \sum W$$

$$Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = W_{12} + W_{23} + W_{31}$$

$$O + Q_{23} + (-4.22) = -22.8 + 26 + 0$$

$$Q_{23} = 7.42\text{kJ}$$

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12}$$

$$= 0 - (-22.8) = 22.8\text{kJ}$$

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - W_{23}$$

$$= 7.42 - 26 = --18.58\text{kJ}$$

$$\Delta U_{31} = Q_{31} - W_{31}$$

$$= -4.22 - 0 = -4.22\text{kJ}$$

(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.

$$V_1 = V_4 = \frac{mRT_1}{P_1}, V_3 = V_2 = \frac{mRT_3}{P_3}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = \frac{\frac{mRT_1}{P_1}}{\frac{mRT_3}{P_3}}$$

$$= \frac{P_3 T_1}{P_1 T_3} = \frac{0.5 \times 1000}{3 \times 300} = 0.55$$

$$Q_{12} = W_{12} = mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.5 \times 4.124 \times 100 \times \ln \frac{1}{0.55}$$

$$= 1212 kJ$$

$$Q_{34} = W_{34} = mRT_3 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$= 0.5 \times 4.124 \times 300 \ln 0.55$$

$$= -363.6 kJ$$

$$W_{net} = W_{12} + W_{34}$$

$$= 1212 + (-363.6)$$

$$= 848.4 kJ$$

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

$$= 1 - \frac{300}{1000} = 0.7$$

(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. γ=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:

$\gamma = 1.399$

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 295(16)^{1.399-1} = 891.8K$$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Qo}{Qin}$$

$$1 - \frac{295}{891.8} = 1 - \frac{Qo}{53}$$

$$Q_o = 17.53kJ$$

$$W = Q_{in} - Q_o = 53 - 17.53 = 35.65kJ$$

(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.

$$\eta a = \frac{(T_{max} + \Delta T) - T_{min}}{(T_{max} + \Delta T)} = \frac{T_{max} - T_{min} + \Delta T}{T_{max} + \Delta T} ....(a)$$

لنفرض أن T_{max} تم تثبيتها والـ T_{min} تم تخفيضها بمقدار ΔT.

$$\eta b = \frac{T_{max} - (T_{min} - \Delta T)}{T_{max}} = \frac{(T_{max} - T_{min} + \Delta T)}{(T_{max})} = ...(b)$$

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 ($1000^{o}C$) 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).

(a) $$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max_1}}$$

$$0.4 = 1 - \frac{280}{T_{max_1}}$$

$$T_{max_1} = 466.6K$$

$$0.5 = 1 - \frac{280}{T_{max_2}}$$

$$T_{max_2} = 560K$$

$$\Delta T = T_{max_2} - T_{max_1}$$

$$= 560 - 466.6 = 93.4K$$

(b) $$\Delta T = T_{max_1} - T_{min}$$

$$= 466.6 - 280 = 186.66K$$

(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.

$$\eta_{HE} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}}$$

$$1 - \frac{33}{1200} = 1 - \frac{30}{Q_{in}}$$

$$Q_{in} = 117.6 kJ$$

$$W = Q_{in} - Q_o = 117.6 - 30 = 87.6 kJ$$

$$(COP)_{HP} = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

$$= \frac{270}{87.6} = \frac{T_{min}}{306 - T_{min}}$$

$$T_{min} = 2.31K$$

(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 والادياباتي.

(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 مقـداره (750kJ). احـسب الحـرارة 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.

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{300}{550} = 0.455$$

$$Q_{in} = \frac{W_{net}}{\eta} = \frac{750}{0.455} = 1648kJ$$

$$Q_o = W_{net} - Q_{in} = 750 - 1648 = -898kJ$$

$$Qin = \frac{W_{net}}{\eta} = \frac{750}{0.35} = 2143kJ$$

$$Qo = W_{net} - Q_{in} = 750 - 2143$$

$$= -1393kJ$$

بالنسبة لمحرك كارنو الانعكاسي

(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^oC). 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 ($360\ ^oC$) على التوالي. تمدد ادياباتيا حتى ضغط ($100MN/m^2$).ثم سخن بثبوت الحجم حتى رجعت درجة حرارته إلى (360^oC)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 الادياباـاتي. (3)إذا كانـت قيمـة (Cp=1.005kJ/kg. K) اثبت أن الحرارة المتبادلة مع المحيط الخارجي خلال الدورة تساوي صافي الشغل المتبادل، أي $\left(\oint dQ = \oint dW\right)$

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 ادياباتيـا 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 ($60\ ^oC$) إلى ($\frac{1}{18}$)من الحجم الابتدائي.أضيفت حرارة للهواء بثبوت الضغط فارتفعـت درجة حرارته إلى ($1220\ ^oC$). ثم تمدد الهواء ادياباتيا إلى الحجم الابتدائي، وعاد إلى حالته الاصلية بتبريده عند ثبوت الحجم. فإذا كـان: $\gamma=1.4$, $Cp=1.005kJ/kg.\ K$. 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: (56bar, 2.87bar, 1060K, 2280K, 985K, 758kJ/kg)

(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=1.005kJ/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: (1.356, -325kJ/kg, -234.5kJ/kg, 234.5kJ/kg)

(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=0.278kJ/kg. K**

ج: (12.12, -2.5kJ/kg, 1.917bar, 11.12)

(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 ($-60^{o}C$) وتطرح الحرارة إلى الجو المحيط بدرجة حـرارة ($30^{o}C$). 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 ($0^{o}C$) ويبقى عندها ، ويتم طرح الحرارة إلى المحـيط عنـد درجـة حـرارة ($27^{o}C$). الشغل اللازم للماكنة الحرارية المعكوسة يأتي من ماكنة حرارية مثالية تأخذ الحـرارة مـن مصدر درجة حرارته ($227^{o}C$) 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, γ =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, γ=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 الايزوثرمالـي (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 الادياباتي (1.5 bar). احسب:

(1)معامل الاداء. (2)أقل قيمة للضغط. (3)التغير في الانتروبي النوعي للاجراء الاخير. علما أن:

R=0.278kJ/kg. K, γ=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 (C_p=1.005kJ/kg. K)، (γ=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 درجتـي الحـرارة (1200^oC) و(50^oC) يـضاف لهـا حـرارة بمعـدل ($1000kJ/s$). 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 المثاليـة بين نفس درجتي الحرارة ، ومعامل اداء الماكنة الحراريةالمعكوسة (80%) مـن معامـل اداء دورة كارنو المعكوسة بين نفس درجتي الحرارة، احسب كمية الحرارة التي تطرحهـا كـلا مـن الماكنـة 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 عنـد درجة حرارة مقدارها (20^oC). نسبة الانضغاط الايزوثرمـي ($\frac{5}{1}$) فـإذا علمـت أن (γ=1.4) وأن (Cp=1.005kJ/kg. K). احسب ما يأتي:

(1)نسبة الانضغاط الادياباتية. (2)الحرارة والشغل النوعيين المنتقلين في كل اجـراء مـن اجـراءات 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 حـرارة الجـو كانت عند (5^oC -). المضخة تطرد حرارة قيمتها(2400kJ/min). احسب الطاقة الـلازم 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)

(8.31)

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). اثبـت 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 محـرك 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 وهـي كلمـة يونانية الأصل ، تعني الأنعطاف أو التحول أو الأختلاج، يرمز لها بالرمز (S). أول مـن اسـتعملها العالم الألماني رودولف كلوزيوس في منتصف القرن التاسع عشر.

الانتروبي كخاصية يتصرف كأي خاصية أخرى مثل (P, T, U, H...الخ). والتكامل الدوري لهـذه 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 المطلقـة، 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.

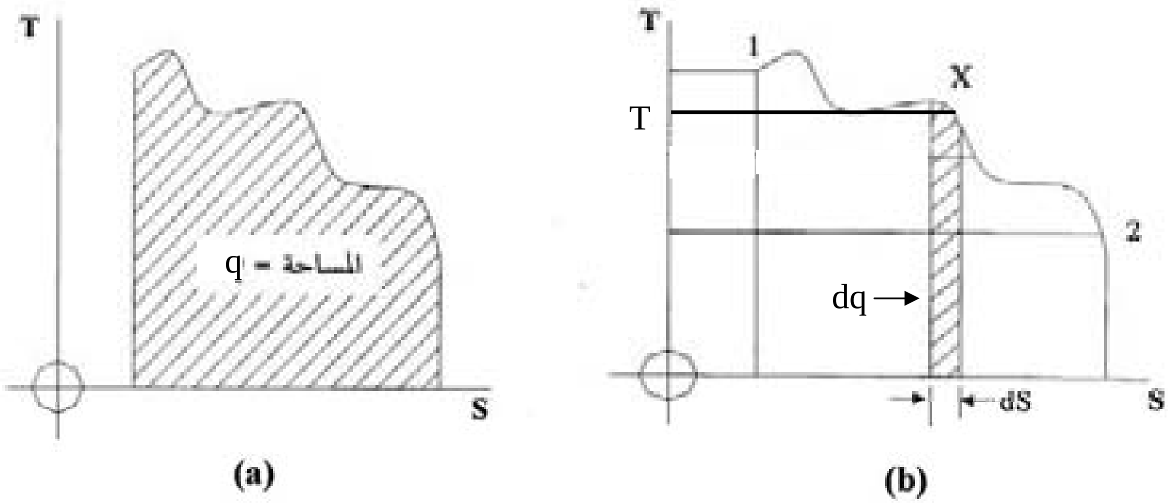
إن الطاقة الداخلية هي نتيجة من نتائج القانون الأول، وأن الانتروبي هي نتيجة من نتائج القانون الثاني، لذلك يعتبر الثرموديناميكس علم الطاقة والانتروبي.

إذن الانتروبي خاصية ثرموديناميكية يعبر عنها كتابع للخواص الثرموديناميكية الاخـرى التـي 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 علـى المحـور الـسيني 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 الإنعكاسـية علـى المخطط (P-V) تمثل الشغل المنتقل خلال العملية. وبطريقة مشابهة فإن المساحات الموجـودة تحـت منحني العملية الإنعكاسية على المخطط (T–S) تمثل الحرارة المنتقلة خلال العملية، وهـي المنطقـة المظللة في الشكل (9.1-a).



شكل (9.1)- الانتروبي ومخطط (T-S)

لنأخذ الشكل (9.1 -b) ، 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 التغيـر فـي 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:

$$\mathbf{dS = \frac{dq}{T}}$$

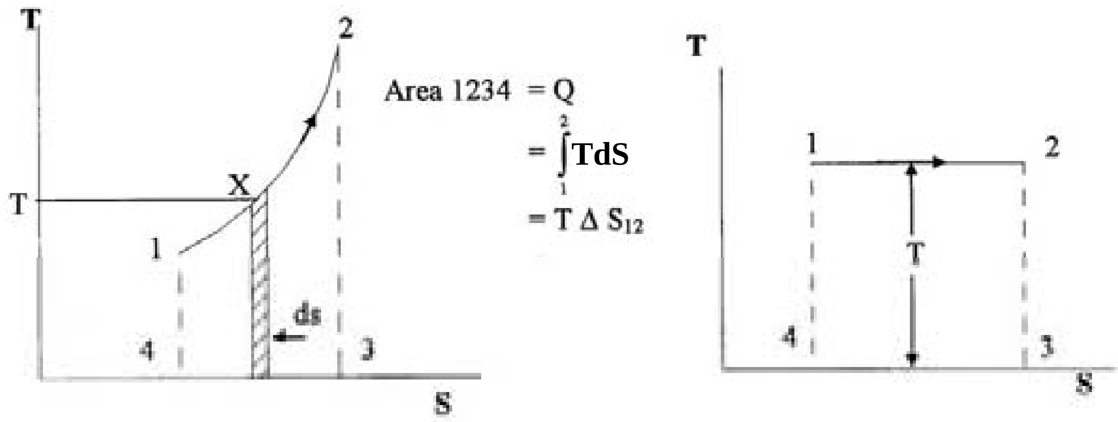
$$\mathbf{\int dS = \int \frac{dq}{T}} \text{................................}\mathbf{(9.3)}$$

$$\mathbf{\therefore \Delta S = \int \frac{dq}{T}} \text{............................}\mathbf{(9.4)}$$

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 والعكـس صـحيح. إن وحـدات 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:

$$\mathbf{\int dq = T\int_{s_1}^{s_2} dS = \sum TdS = 1234} \quad \textbf{المساحة الكلية} \mathbf{........(9.8)}$$

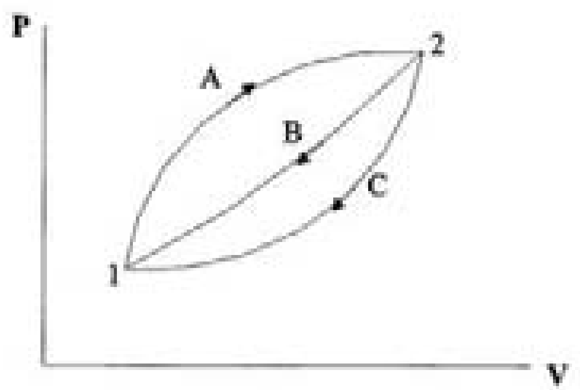
$$\mathbf{\therefore q = T\Delta S_{12} = T(S_2 - S_1) = area1234..................(9.9)}$$

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:

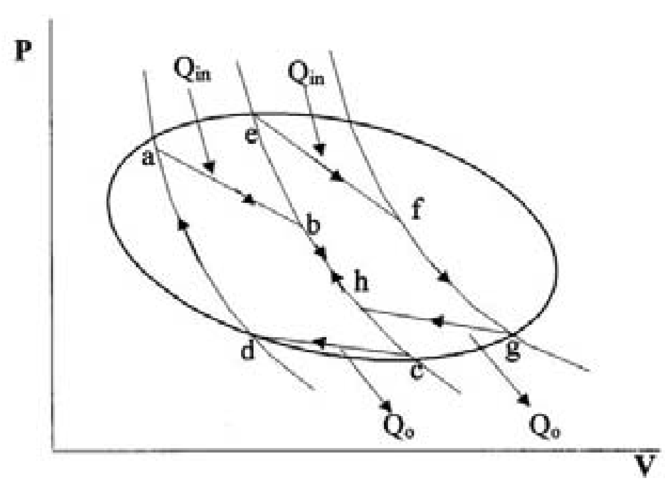
$$\eta_C = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{Q_o}{Q_{in}} \Rightarrow \frac{T_{min}}{T_{max}} = \frac{Q_o}{Q_{in}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} = \frac{Q_o}{T_{min}}$$

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 :

$$\frac{Q_{in}}{T_{max}} < -\frac{Q_o}{T_{min}} \Rightarrow \frac{Q_{in}}{T_{max}} + \frac{Q_o}{T_{min}} < 0$$

$$\therefore \sum \frac{dQ}{T} < 0 ....OR......... \oint \frac{dQ}{T} < 0 ....(9.14)$$

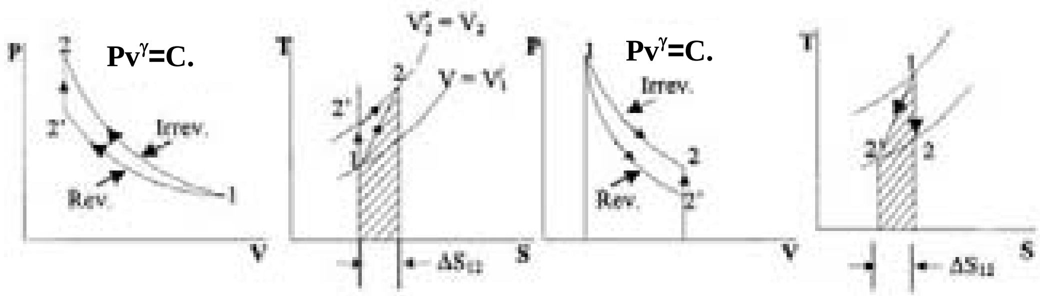
المعادلة الاخيرة تستعمل في أية دورة لا إنعكاسية (كدورة كـارنو مـثلا). فلـو قـسمنا دورة اختيارية لا إنعكاسية إلى دورات صغيرة فسيكون لأية دورة صغيرة $(\sum \frac{dQ}{T} < 0)$ وللدورة الكاملة $(\oint \frac{dQ}{T} < 0)$. هذه المعادلة استخلصها العالم كلوزيوس والتي تعتبر الصيغة الرياضية للقانون الثـاني لأية 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:

$$\oint \frac{dq}{T} \le 0 ....(9.15)$$

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.



(a) إنضغاط (b) تمدد

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.

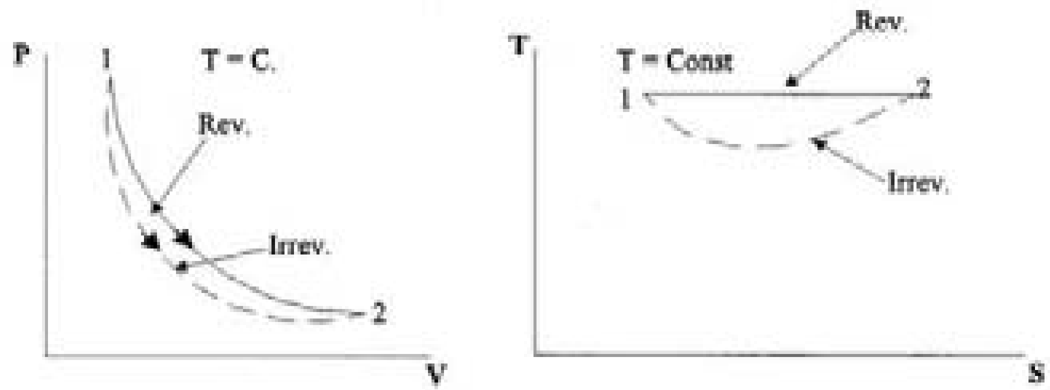
(2) ($1 \rightarrow 2$): عملية لا إنعكاسية، هي العملية الحقيقية أوالفعلية، يحدث فيها زيادة في الأنتروبي، يكون فيها الشغل المنتقل أكبر مقارنة بالأنعكاسية. عليه سيكون التغير في الأنتروبي للعملية الآدياباتيـة اللاإنعكاسية كما يأتي:

Δs_{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

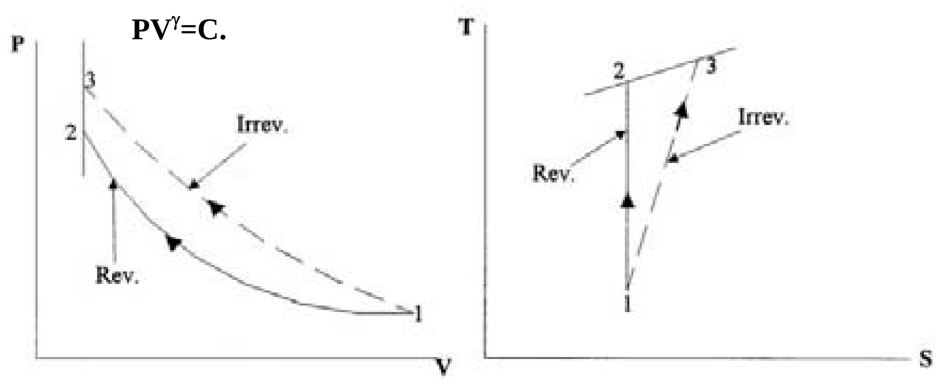
في نظام مغلق من (1) إلى (2) كما في شكل (9.6) فسيكون الشغل المنتقل ممثلا بالمساحة أقل مقارنة بالأجراء الإنعكاسي. وسيزداد الأنتروبي خلال التمدد اللاإنعكاسي. من هنا ظهر النص الثاني للقانون الثاني :

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 على مقدار هذين التأثيرين، أي اللاإنعكاسية وطرح الحرارة. فإذا كان التغير بسبب اللاإنعكاسية فيمثل 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 الأحتكاك والخسائر الأخرى. لا يتغير فيها الأنتروبي أي ($\Delta s=0$)، لذلك تسمى بالأجراءات الآيزنتروبية.كما يوضحه منحني ($2 \leftarrow 1$) 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 الإدياباتية اللاإنعكاسية فهي اجراءات حقيقية يتغير فيها الأنتروبي بسبب وجـود الأحتكاك وخسائر حرارية أخرى كما يوضحه منحني (3 ← 1) في شكل (9.7)، حيث الشغل فـي هذا الاجراء حقيقي (.Wact). ويرمز له أيضا (Wa) أي شغل حقيقي.

تكون الاجراءات إدياباتية في الانظمة المغلقة والمفتوحة، فمعادلة الطاقة في الانظمةالمغلقة تساوي:

$$\overset{=0}{q} - w = \Delta\mu = Cv(T_2 - T_1)$$

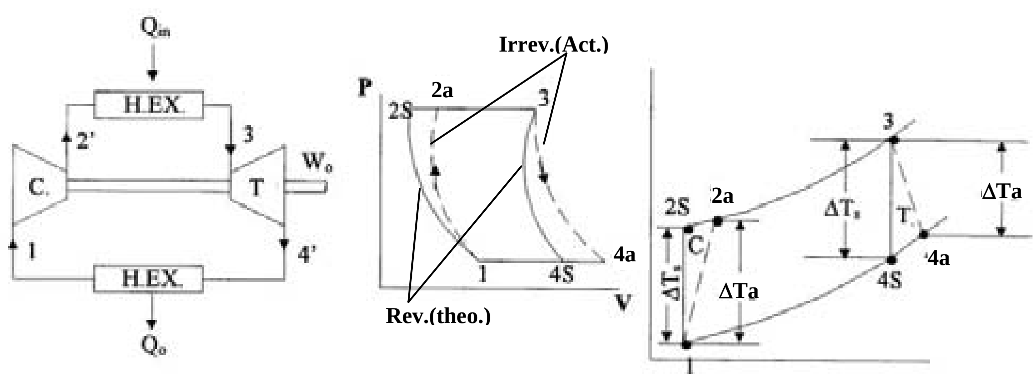
$$w = -Cv(T_2 - T_1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9.16)$$

أما معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة فتساوي:

$$\overset{=0}{q} - w = \Delta h = Cp(T_2 - T_1)$$

$$w = -Cp(T_2 - T_1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9.17)$$

نعود الان لموضوع الكفاءة الآيزونتروبية. فمن خلال المناقشة اعلاه يتضح أن هناك اجـراءات مثالية آيزونتروبية (إنعكاسية) واجراءات حقيقية (لاإنعكاسية)، تقارن هذه الاجراءات بنـسبة تعـرف بالكفاءة الآيزونتروبية أو الإدياباتية التي يرمز لها (η_{is}) أو (η) والتي تعرف بأنها كفـاءة الانظمـة الحرارية التي تبين الخسائر الحرارية في الاجراءات اللاإنعكاسية بسبب الاحتكـاك، ولمعرفـة تـأثير الاحتكاك نقوم بالحساب كما لو كان الاجراء إنعكاسيا (آيزنتروبياً)*. ثم نضرب النتيجة بكفاءة الاجراء (الكفاءة الآيزنتروبية)، لكي نحصل على تقرير أكثر واقعية. وأن قيمة كفـاءة الاجـراء تحـدد مـن تجارب نقوم بها على أنظمة مماثلة.



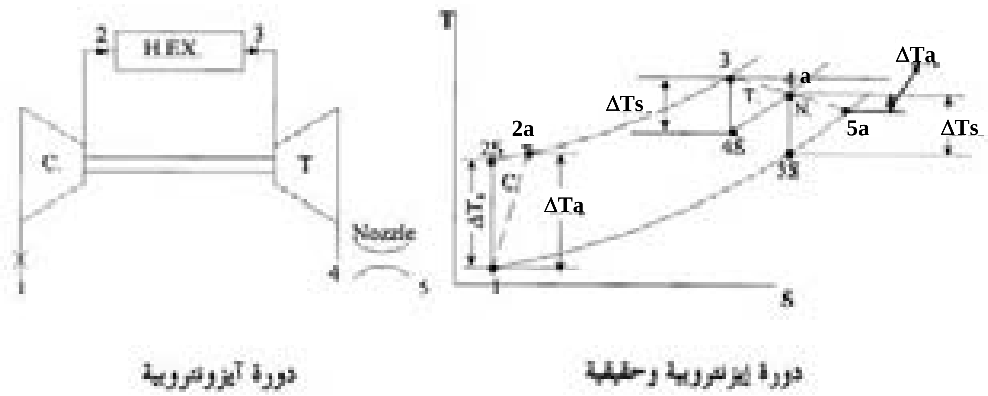
دورة آيزونتروبية　　　　دورة إيزنتروبية وحقيقية

شكل (9.8)– الكفاءة الآيزنتروبية لمحطة توربينية غازية

---

* سوف نشير إلى قيمة الاجراء الآيزنتروبي بالحرف (s) أما الاجراء الحقيقي فرمزه (a). كمـا فـي 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 الـ شكلين (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($837\ ^oC$) تمدد فنفث ادياباتيا إلى (1.035 bar). فإذا كانت الكفاءة الايزنتروبية لمنفث (90%). احسب التغير الحقيقي لدرجة الحرارة.اعتبر (γ =1.4).

انظر شكل (9.9).

$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1110 \times (\frac{1.035}{4.14})^{0.286} = 747K$$

$$\eta_{IS} = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_s} = \frac{\Delta T_a}{T_{2S} - T_1}$$

$$\Delta T_a = 0.9 \times (1110 - 747) = 3267K$$

(9.2)

(1kg/s) من الهواء درجة حرارته (15^oC) وضغطه (1bar) يـضغط ادياباتيـا إلـى (125^oC) 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)

$$\Delta T_a = t_2 - t_1 = 125 - 15 = 110^\circ C$$

$$w = \Delta h = Cp\Delta T = 1.005 \times 110$$

$$= 110.5 kJ/kg$$

$$T_{2S} = T_1 (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288(\frac{2.38}{1})^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$= 370K$$

$$\Delta T_s = T_{2s} - T_1 = 370 - 288 = 82^\circ C$$

$$\eta_{is} = \frac{\Delta T_s}{\Delta T_a} = \frac{82}{110} = 0.745$$

(9.3)

إذا كانت القدرة اللازمة لضغط المائع هي (6.83kW) وكانت القدرة الايزنتروبية لضغط المائع هـي (5.4 kW). احسب الكفاءة الايزنتروبية.

$$\eta_{(is)} = \frac{\dot{w}_s}{\dot{w}_a} = \frac{5.4}{6.83} = 0.79$$

(9.4)

هواء ضغطه (1.01352 bar) ودرجة حرارته (15 °C) ضغط في ضاغطة إلى (4.14bar). يمـر إلى مبادل حراري ليخرج منه بدرجة حرارة (760°C) 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:

γ =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

$$T_{2S}=T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=288\times(6)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$=481K$$

$$\eta_{is}=\frac{\Delta T_s}{\Delta T_a}\Rightarrow 0.85=\frac{481-288}{T_2-288}$$

$$T_2=515K$$

$$T_{4S}=T_3(\frac{P_4}{P_3})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=1000\times(\frac{1}{6})^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$=599K$$

$$\eta_{isT}=\frac{\Delta T_a}{\Delta T_s}\Rightarrow 0.9=\frac{1000-T_4}{1000-599}$$

$$T_4=639K$$

$$w_C=-Cp(T_1-T_1)=-1.005\times(515-288)$$

$$=-288\,kJ/kg$$

$$w_T=-Cp(T_4-T_3)=-1.005\times(639-1000)$$

$$=363\,kJ/kg$$

$$w_{net}=w_C+w_T=-288+363$$

$$=135\,kJ/kg$$

$$q_{23}=Cp(T_3-T_2)=1.005\times(1000-515)$$

$$=487\,kJ/kg$$

$$\eta_{cycle}=\frac{w_{net}}{q_{23}}=\frac{135}{487}=0.277$$

$$kJ/kg=\frac{kJ/s}{kg/s}=kW/kg.s$$

$$kW..per...kg/s$$

(9.6)

محطة توربينية غازية مثالية، يدخل الهواء للضاغطة عند (1bar) و(15^oC) وبضغط عنـد (6bar). وكانت درجة الحـرارة عنـد الـدخول إلـى التـوربين (650^oC). المـانع هـواء. وأن $\gamma=1.4$ ، Cp=1.005 kJ/kg.K، نسبة الضغط لكل مـن الـضاغط والتـوربين ($\frac{6}{1}$). كفـاءة الانـضغاط الايزنتروبية (0.88). كفاءة التمدد الايزنتروبية (0.9). احسب لكل (1kg):

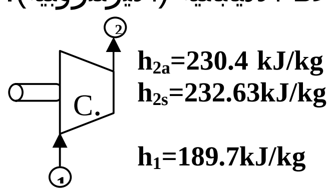
(أ)شغل الضاغط والتوربين (ب)الحرارة المنتقلة (ج)الكفاءة الحرارية.

$$T_{2S}=T_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=288\left(\frac{6}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=481K$$
$$\eta_{isC}=\frac{\Delta T_s}{\Delta T_a}\Rightarrow 0.88=\frac{481-288}{T_2-288}$$
$$T_2=507$$
$$T_{4S}=T_3\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}=923\left(\frac{1}{6}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$
$$=552$$
$$\eta_{isT}=\frac{\Delta T_a}{\Delta T_s}\Rightarrow 0.9=\frac{923-T_4}{923-552}$$
$$T_4=589K$$

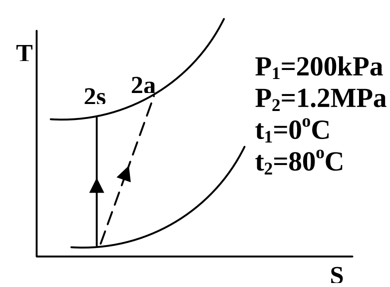
$$w_C=Cp(T_2-T_1)=1.005\times(219)$$
$$=220\ kJ/kg$$
$$w_T=Cp(T_4-T_3)=1.005\times 334$$
$$=336\ kJ/kg$$
$$q_{in}=Cp(T_3-T_2)=1.005\times 416$$
$$=418\ kJ/kg$$
$$q_o=Cp(T_4-T_1)=1.005\times 301$$
$$=303\ kJ/kg$$
$$w_{net}=w_C+w_T=-220+336$$
$$=116\ kJ/kg$$
$$\eta=\frac{w_{net}}{q_{in}}=\frac{116}{418}=0.277$$

(9.7)

($90kg/h$) من مائع يتـدفق بـشكل مـستقر فـي ضـاغط. الأنثـالبي النـوعي عنـد الـدخول ($189.7kJ/kg$). الانثالبي النوعي عند الأنضغاط الاديباباتي ($223.63kJ/kg$) وعنـد الأنـضغاط الحقيقي ($230.4kJ/kg$). احسب كفاءة الضاغط الاديباباتية (الايزنتروبية).



$$\dot{W}_{12}=\dot{m}(h_1-h_{2a})$$
$$=\frac{90}{3600}(189.7-230.4)$$
$$=-1.02kW$$
$$\dot{W}_{12S}=\dot{m}(h_1-h_{2s})$$
$$=\frac{90}{3600}(189.7-223.63)=-0.85kW$$



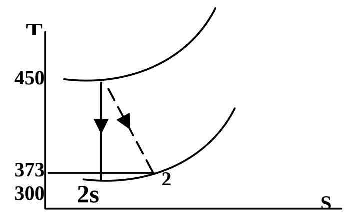
$$\eta_{is(c)}=\frac{\dot{W}_{12S}}{\dot{W}_{12a}}=\frac{-0.85}{-1.02}=0.833$$

(9.8)

هيليوم درجة حرارته (450 K) وضغطه (300kPa). تمدد اديباتيا في نوزل معزول إلى (180 kPa). احسب السرعة المثالية (اقصى سرعة). وإذا كان التمدد الحقيقي إلى (373 K). احسب : (1)السرعة الحقيقية،(2)الكفاءة الايزنتروبية (الاديباتية) 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

$$C_{2a} = \sqrt{2Cp(T_1 - T_2)}$$

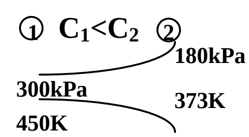
$$= \left[2 \times 5.19(450 - 373) \times 10^3\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 894 m/s$$

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 اديباتيا 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.

$$T_{2S} = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 310(12)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 630.96K$$

$$T_{4S} = T_3\left(\frac{P_4}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1566\left(\frac{1}{12}\right)^{0.286}$$

$$= 769.4K$$

$$w_{12S} = Cp(T_1 - T_{2S})$$

$$= 1.004(310 - 630.96)$$

$$= -322.3kJ/kg$$

$$w_{34S} = Cp(T_3 - T_{4S})$$

$$= 1.004(1566 - 769.4)$$

$$= 799.8kJ/kg$$

$$w_{net} = w_{34S} + (w_{12S})$$

$$= 796.1 + (-320.5)$$

$$= 475.6kJ/kg$$

$$q_{2S3} = Cp(T_3 - T_{2S})$$

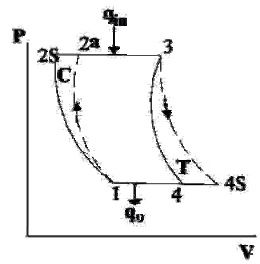
$$= 1.004(1566 - 630.96)$$

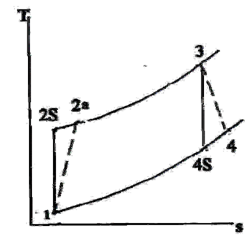
$$= -938.8kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{2S3}} = \frac{475.6}{938.8} = 0.506$$

$$\eta_C = \frac{T_{2S} - T_1}{T_{2a} - T_1}$$

$$\Rightarrow 0.84 = \frac{630.96 - 310}{T_{2a} - 310}$$





$$T_{2a} = 692.1K$$

$$q_{23} = Cp(T_3 - T_{2a})$$

$$= 1.004(1566 - 292.1)$$

$$= 877.4kJ/kg$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \frac{281.7}{877.4} = 0.32$$

$$\eta_c = \frac{w_{12S}}{w_{12a}} \Rightarrow w_{12act} = \frac{-321}{0.84}$$

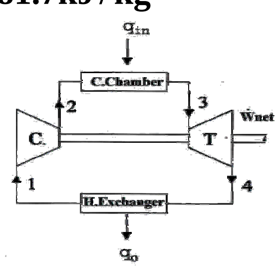
$$= -383.7kJ/kg$$

$$\eta_T = \frac{w_{34a}}{w_{34s}} \Rightarrow w_{34a} = 0.87 \times 764.8$$

$$= -665.4kJ/kg$$

$$\eta_{net} = w_{34act} + w_{12act} = 665.4 + (-383.7)$$

$$= 281.7kJ/kg$$



(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:

γ =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)

عاز 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:

γ=1.4 ،Cp=1.005 kJ/kg.K

شكل(9.8)

$$R = \frac{P_1}{\rho T} = \frac{93}{1.3 \times 288}$$

$$= 0.248kJ/kg.K$$

$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma - 1} = \frac{0.248 \times 1.38}{1.38 - 1}$$

$$= 0.902kJ/kg.K$$

$$T_{2S} = T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288(\frac{200}{93})^{\frac{1.38-1}{1.38}}$$

$$= 353K$$

$$\eta_{(is)c} = \frac{\Delta Ts}{\Delta Ta} = \frac{T_{2S} - T_1}{\Delta Ta}$$

$$\Delta Ta = \frac{T_{2S} - T_1}{0.82} = \frac{353 - 288}{0.82}$$

$$= 79.3K$$

$$\dot{W}c = \dot{m}Cp\Delta Ta$$

$$= 0.17 \times 0.902 \times 79.3$$

$$= 12.16kW$$

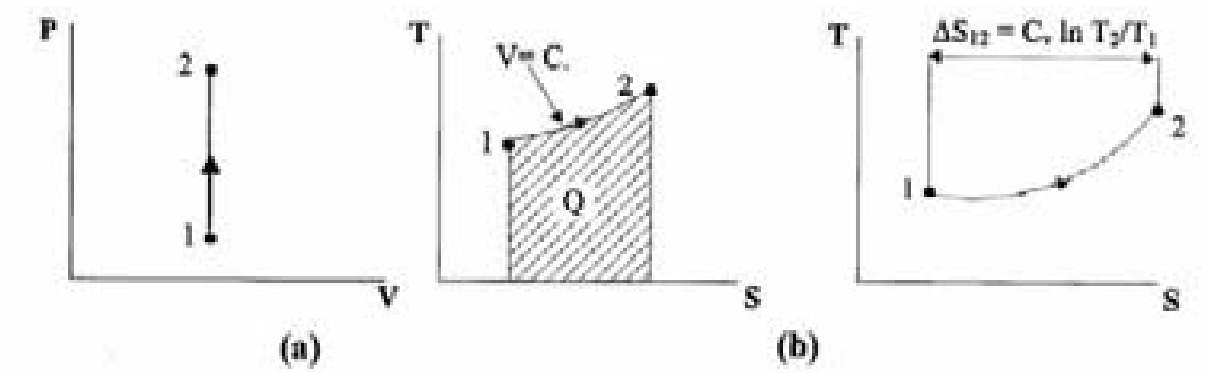
(9.7)- تغير الانتروبي في العمليات الانعكاسية

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:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{CvdT}{T} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} \text{ ....(9.22)}$$

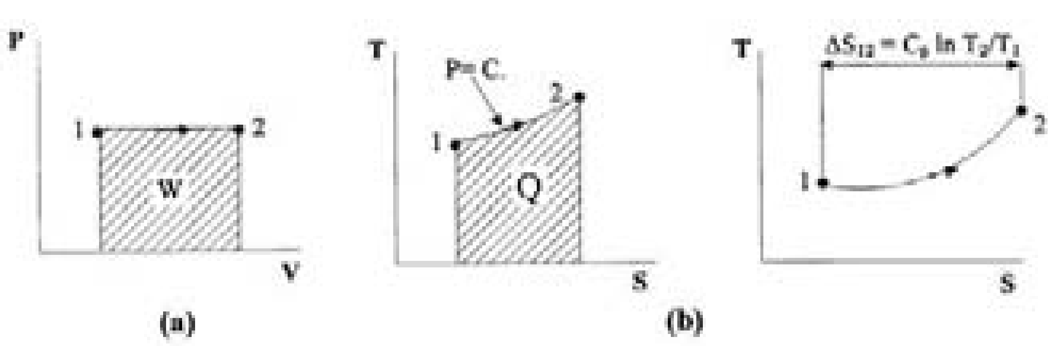


شكل (9.10) تغير الإنتروبي بثبوت الحجم

(2)عملية ثبوت الضغط Iso-baric process

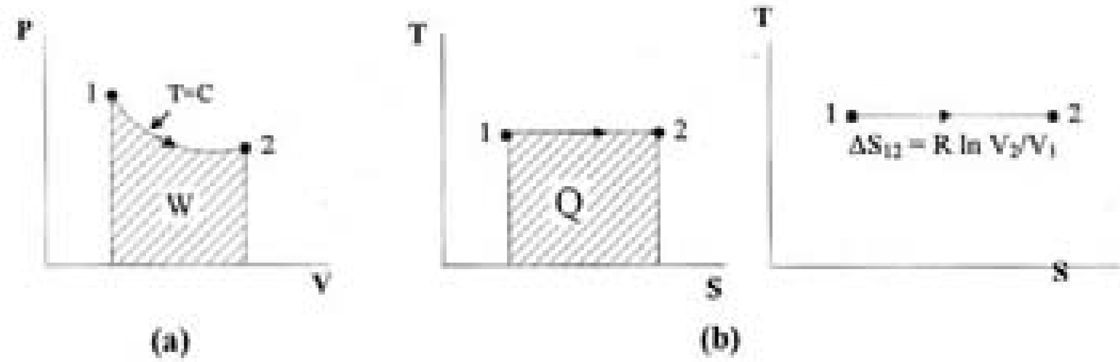
لتكن العملية بحيث يبقى الضغط ثابتاً، كما في الشكل (9.11) الذي يوضح مسار العمليـة. فـسيكون التغير في الانتروبي هو:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{CpdT}{T} = Cp \ln \frac{T_2}{T_1} \text{ ....(9.22)}$$



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:

$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 \frac{P d\nu}{T} = \int_1^2 \frac{RT d\nu}{\nu T}$$

$$\because P = \frac{RT}{\nu}$$

$$\therefore \Delta s_{12} = R\int_1^2 \frac{d\nu}{\nu} = R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} \text{............................(9.24)}$$

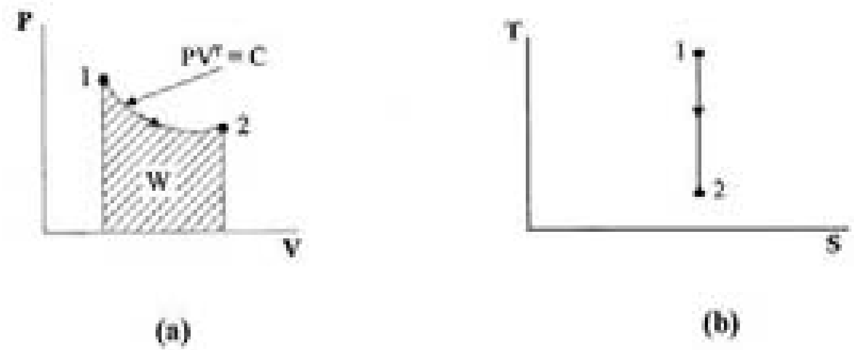
OR :

$$\Delta s_{12} = \frac{q}{T} = \frac{RT \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}}{T} = R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} \text{................9.25)}$$

(4) العملية الإدياباتية 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. لذاك يكون:

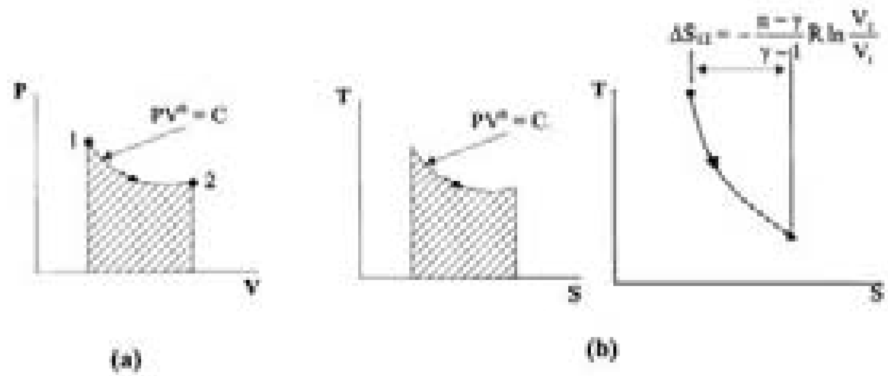
$$\Delta s_{12} = \int_1^2 \frac{dq}{T} = O \text{..................................(9.26)}$$



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

$$\int \frac{dq}{T} = \int \frac{du}{T} + \int \frac{pd\nu}{T} = \int \frac{du}{T} + \int \frac{RTd\nu}{\nu T}$$

$$\Delta s_{12} = \int \frac{CvdT}{T} + R\int \frac{d\nu}{V}$$

$$= Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.27)$$

اضافة واستنادا إلى المعادلة (9.27) التغير في الانتروبي في الاجـراء البـولتروبي يمكـن اشـتقاق معادلات أخرى للتغير في الانتروبي وبالطرق الاتية:

الطريقة الاولى	الطريقة الثانية
$\because \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $\because R = Cp - Cv$ $\therefore \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} (Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} - Cv \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv (\ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv \ln \frac{T_2 \nu_1}{T_1 \nu_2}$ $= Cp \ln \frac{\nu_2}{\nu_1} + Cv \ln \frac{P_2}{P_1}$ ....(9.28)	$\because \Delta s_{12} = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $\because Cv = Cp - R$ $\therefore \Delta s_{12} = (Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{T_2}{T_1}) + R \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R (\ln \frac{T_2}{T_1} - \ln \frac{\nu_2}{\nu_1})$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{T_2 \nu_1}{T_1 \nu_2}$ $= Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$ ....

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:

$$\because \frac{T_2}{T_1} = (\frac{\nu_1}{\nu_2})^{n-1} = (\frac{p_2}{p_1})^{\frac{n-1}{n}}$$

$$(\frac{T_2}{T_1})^{\frac{1}{n-1}} = (\frac{\nu_1}{\nu_2}) = (\frac{p_2}{p_1})^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = (\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{n-1}} = (\frac{P_1}{P_2})^{\frac{1}{n}} ....(9.30)$$

الطريقة الثانية	الطريقة الاولى
$\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$ $= Cv(\gamma - n)\ln(\frac{p_1}{p_2})^{\frac{1}{n}}$ $= Cv\frac{\gamma - n}{n}\ln\frac{p_1}{p_2}$....................	$\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$ $= Cv(\gamma - n)\ln(\frac{T_1}{T_2})^{\frac{1}{n-1}}$ $= Cv\frac{\gamma - n}{n-1}\ln\frac{T_1}{T_2}$.....................(9.31)

ويمكن تلخيص اجراءات التغير في الانتروبي من خلال المخطط التالي

- الاجراءات
  - الانعكاسية
    - الاديباباتية — الانتروبي ثابت. $\Delta s=C$
    - غيرالاديباباتية
      - يمر بدورة. $\Delta s=C$
      - يمر بجزء من دورة — يتغير الانتروبي
  - اللاانعكاسية
    - الاديباباتية والايزوثرملية — يتغير الانتروبي بسبب الاحتكاك
    - غيرالاديباباتية — يتغير الانتروبي بسبب انتقال الحرارة + بسبب الاحتكاك. اي:

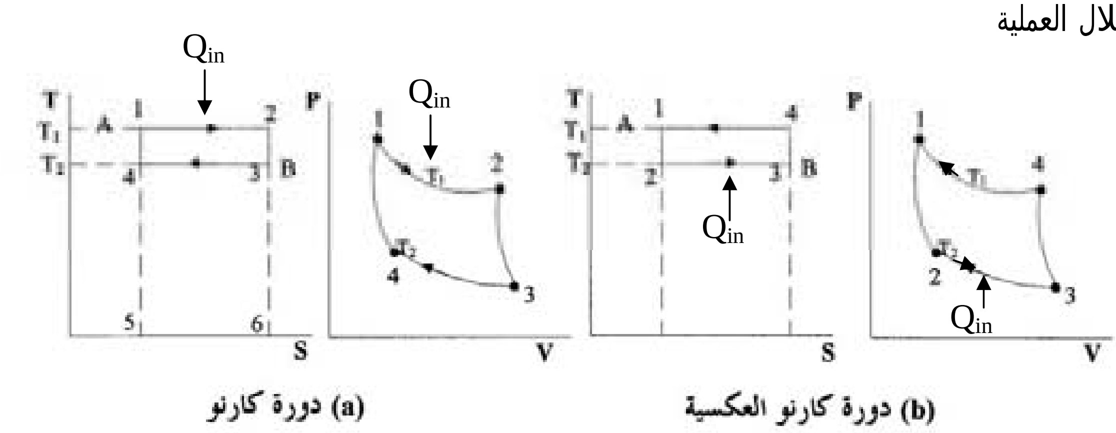
$$\Delta s_{12} = (\Delta s_{12})_{\text{heat transfer}} + (\Delta s_{12})_{IRR}$$

$$= \int_1^2 \frac{dq}{T} + (\Delta s_{12})_{IRR}$$

$$\Delta s_{12} > \int_1^2 \frac{dq}{T} ....(9.32)$$

(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 اسـطوانة مـن ضـغط (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 علـى هواء والاخر مفرغ تماما. احسب التغير في الانتروبي لكل (1kg) من الهواء في المنظومة في حالـة 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 ضـغط (1bar) ودرجـة حـرارة (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) ودرجـة حرارتـه (15^oC).ضـغط آيزوثرمليـا إلـى (4.2 bar) . اوجد التغير فـي الانتروبـي والـشغل المنتقـل إذا كانـت الكتلـة الموليـة للغـاز (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 موضـوعة داخـل خـزان بدرجة حرارة (300K) حيث يتم تبادل الحرارة بين الهواء والخـزان. عنـد انتقـال شـغل مقـداره (10kJ) على الهواء يتغير ضـغطه مـن (1bar) ودرجـة حـرارة (300 K) إلـى (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

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{105 \times 0.02}{0.287 \times 288} = 0.0254 kg$$

$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1}) = 288(\frac{4.2}{1.05}) = 1152 K$$

$$\begin{aligned} Q_{12} - W_{12} &= \Delta U_{12} \\ &= mCv(T_2 - T_1) \\ &= 0.0254 \times 0.718 \times (1152 - 288) \\ &= 15.75 kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{23} &= mCp(T_3 - T_2) \\ &= 0.0254 \times 1.005(288 - 1152) \\ &= -22.05 kJ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{31} &= Q_{12} + Q_{23} = 15.75 - 22.05 \\ &= -6.3 kJ = Qo \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{31} &= mCp \ln \frac{T_3}{T_1} - mR \ln \frac{P_2}{P_1} \\ &= -0.0254 \times 0.287 \times \ln \frac{4.2}{1.05} \\ &= -0.01 kJ/K \end{aligned}$$

(9.18)

ضغط ودرجة حرارة (1kg) من الهواء داخل اسطوانة (1bar) و (15^oC) يضغط ادياباتيا 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

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{105 \times 0.02}{0.287 \times 288} = 0.0254kg$$

$$T_2 = T_1(\frac{P_2}{P_1}) = 288(\frac{4.2}{1.05}) = 1152K$$

$$Q_{12} = mCv(T_2 - T_1)$$
$$= 0.0254 \times 0.718(1152 - 288)$$
$$= 15.75kJ$$

$$Q_{23} = mCp(T_3 - T_2)$$
$$= 0.0254 \times 1.005(288 - 115.2)$$
$$= -22.05kJ$$

$$\sum Q = Q_{12} + Q_{23}$$
$$= 15.75 - 22.05 = -6.3kJ$$

$$\Delta S_{12} = mCv \ln \frac{T_2}{T_1}$$
$$= 0.0254.0.718 \ln \frac{1152}{288}$$
$$= 0.0253kJ/kg$$

$$\Delta S_{23} = mCp \ln \frac{T_3}{T_2}$$
$$= 0.0254 \times 1.005 \ln \frac{288}{115}$$
$$= 0.0354kJ/kg$$

$$\Delta S_{31} = 0.0354 - 0.0253 = 0.0101kJ/K.$$

(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

$$R = Cp - Cv = 1.041 - 0.743 = 0.298kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT} = \frac{140 \times 0.14}{0.298 \times 298} = 0.221kg$$

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.14\left(\frac{140}{1400}\right)^{\frac{1}{1.25}} = 0.022m^3$$

$$\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{V_2}{V_1} + Cv\ln\frac{P_2}{P_1} = 1.041\ln\frac{0.0222}{0.14} + 0.743\ln\frac{1400}{140} = -0.205kJ/kg.K$$

$$\Delta S_{12} = m\Delta s_{12} = 0.221 \times (-0.205) = -0.0453kJ/K$$

$$W_{12} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{140 \times 0.14 - 1400 \times 0.0222}{1.25 - 1} = -46.0kJ$$

$$Q_{12} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}.W_{12} = \frac{1.4 - 1.25}{1.4 - 1} \times (-46) = -17.25kJ$$

يستخرج Δs_{12} بالمعادلات التالية ايضا:

$$(1)\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{p_2}{p_1} = -0.205kJ/kg.K$$

$$(2)\Delta s_{12} = Cv\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{\nu_2}{\nu_1} = -0.205kJ/kg.K$$

$$(3)\Delta s_{12} = Cv(\gamma - n)\ln\frac{\nu_2}{\nu_1} = -0.205kJ/kg.K$$

$$(4)\Delta s_{12} = Cv\left(\frac{\gamma - n}{n-1}\right)\ln\frac{T_1}{T_2} = -0.205kJ/kg.K$$

$$(5)\Delta s_{12} = Cv\left(\frac{\gamma - n}{n}\right)\ln\frac{P_1}{P_2} = -0.205kJ/kg.K$$

(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

$$\mathbf{m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{103 \times 0.056}{0.287} = 0.0647kg}$$

$$\mathbf{T_2 = \frac{P_2T_1}{P_1} = \frac{1.72 \times (311)}{1.03} = 520K}$$

$$\mathbf{\Delta U_{12} = mCv(T_2 - T_1) = 0.0647 \times 0.718 \times 209 = 9.7kJ = Q_{12}}$$

$$\mathbf{T_3 = \frac{V_3T_2}{V_2} = \frac{0.126 \times 520}{0.056} = 1170K}$$

$$\mathbf{Q_{23} = mCp(T_3 - T_2) = 0.0647 \times 1.005(650) = 42.23kJ}$$

$$W_{23} = P(V_3 - V_2) = 172(0.126 - 0.056) = 12.05kJ$$

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - W_{23} = 42.23 - 12.05 = 30.18klJ$$

$$\sum U = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} = 9.7 + 30.18 = 39.88kJ$$

$$\Delta S_{12} = mCv\ln\frac{T_2}{T_1} = 0.0647 \times 0.718\ln\frac{520}{311} = 0.0238kJ/K$$

$$\Delta S_{23} = mCp\ln\frac{T_3}{T_2} = 0.0647 \times 1.005\ln\frac{1170}{520} = 0.0527kJ/K$$

$$\sum \Delta S = \Delta S_{12} + \Delta S_{23} = 0.0238 + 0.0527 = 0.0765kJ/K$$

(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

$$q_{12} = q_o = RT_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.287 \times 560 \ln\frac{1}{2}$$

$$= -11.4 kJ/kg$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} = 2$$

$$T_3 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 560(2)^{0.287} = 683.2K$$

$$q_{23} = q_{in}$$

$$= 1 \times (683.2 - 560)$$

$$= 123.2 kJ/kg$$

$$\eta_{cycle} = 1 - \frac{q_o}{q_{in}} = 1 - \frac{111.4}{123.2} \times 0.1$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{560}{683.2} = 0.18$$

$$\Delta s_{12} = R \ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$= 0.287 \ln\frac{1}{2} = -0.199 kJ/kg.K$$

$$\Delta s_{12} = Cp \ln\frac{T_3}{T_2}$$

$$= 1 \times \left(\frac{683.2}{560}\right) = 0.198 kJ/kg.K$$

$$\Delta s_{31} = O$$

(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

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$$

$$= \frac{1.5 \times 0.296 \times 280}{100} = 1.24m^3$$

$$T_2 = T_1(\frac{V_1}{V_2})^{n-1} = 280(\frac{1.24}{0.2076})^{1.3-1}$$

$$= 479.1K$$

$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$

$$= \frac{1.5 \times 0.296(-199)}{1.3 - 1}$$

$$= -295kJ$$

$$Cv = Cp - R = 1.035 - 0.296$$

$$= 0.739kJ/kg.K$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = 1.4$$

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1}W$$

$$= \frac{1.4 - 1.3}{1.4 - 1} \times (-295) = -73.75kJ$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{-73.75}{280}$$

$$= -0.26kJ/K$$

(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 إلى (6bar) وبرد بضغط ثابت.ثم تمدد بولنروبيا وبقيمة (n=1.15) بحيث عاد إلى حالته الاصلية. احسب(1) الحرارة المنتقلة بثبوت الضغط(2) التغير في الانتروبي لكل أجراء (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

$$R = Cp - Cv = 1.006 - 0.717$$
$$= 0.289 kJ/kg.K$$
$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.3 \times 0.289 \times 308}{350}$$
$$= 0.0763 m^3$$
$$T_2 = T_1 (\frac{P_2}{P_1}) = 308 \frac{700}{350} = 616K$$
$$\Delta s_{12} = Cv \ln \frac{P_2}{P_1} = 0.717 \ln \frac{700}{350}$$
$$= 0.496 kJ/kg.K \Rightarrow \Delta s_{12}.m$$
$$= 0.496.03 = 1.488 kJ/kg.K$$

ونحسب Δs_{12} بالمعادلات الآتية ايضاً:

$$(1) \Delta s = Cv \ln \frac{T_2}{T_1}$$
$$(2) \Delta s = Cp \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2} = 616 \frac{0.2289}{0.0763} = 1848K$$
$$\Delta s_{23} = Cp \ln \frac{V_3}{V_2}$$
$$= 1.006 \ln \frac{0.2289}{0.0763}$$
$$= 1.1066 kJ/kg.K$$
$$\Delta S_{23} = \Delta S_{23} \times m = 1.1066 \times 0.3$$
$$= 0.332 kJ/kg.K$$

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

$$R = Cp - Cv = 1.041 - 0.743$$
$$= 0.298kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{140 \times 0.14}{0.298 \times 298}$$
$$= 0.221kg$$

$$V_2 = V_1(\frac{P_1}{P_2})^{\frac{1}{n}}$$

$$= 0.14(\frac{140}{1400})^{\frac{1}{1.25}} = 0.022m^3$$

$$\Delta s_{12} = Cp\ln\frac{V_2}{V_1} + Cv\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= 1.041\ln\frac{0.0222}{0.14} + 0.743\ln\frac{1400}{140}$$
$$= -0.205kJ/kg.K$$

$$\Delta S_{12} = \Delta s \times m = -0.205 \times 0.221$$
$$= -0.0453kg.K$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1}$$
$$= \frac{140 \times 0.14 - 1400 \times 0.0222}{1.25 - 1}$$
$$= -46kJ$$

$$\gamma = Cp/Cv = \frac{1.041}{0.743} = 1.4$$

$$Q = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} \times W = \frac{1.4 - 1.25}{1.4 - 1} \times (-46)$$
$$= -17.25kJ$$

$$T_2 = T_1(\frac{V_1}{V_2})^{n-1} = 298(6.3)^{1.25-1} = 472k$$

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^oC) 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°C). يضغط آيزوثرمليا إلى (27.59 bar). ثم يضغط بولتروبيا وفق القانون ($PV^{1.3}=C$) إلى نفس الضغط.قارن بين الحالتين بالنسبة إلى: (1) الشغل والحرارة المنتقلين (2) درجة الحرارة النهائية (3) الطاقة الداخلية والانتروبي لكل (1kg) من الهواء.
علما أن:

γ=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)

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$= 288\left(\frac{27.59}{1}\right)^{\frac{0.3}{1.3}} = 619.2K$$

$$\Delta U = Cv(T_2 - T_1) = \frac{R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1)$$

$$= \frac{0.287}{0.402}(619.2 - 288) = 237.61 kJ/kg$$

$$\Delta s = Cv \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{\gamma}{\gamma - 1} R \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{1.4}{0.4} .0.287 \ln \frac{619.2}{288} - 0.287 \ln \frac{27.59}{1}$$

$$= -0.186 kJ/kg.K$$

$$w = \frac{P_1\nu_1 - P_2\nu_2}{n - 1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n - 1}$$

$$= \frac{0.287(-331.2)}{1.3 - 1}$$

$$= -316.84 kJ/kg$$

$$q = w + \Delta u = -316.84 + 237.61$$

$$= -79.23 kJ/kg$$

(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 (γ= 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^oC) 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.

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} 313(17)^{0.4}$$
$$= 972K$$
$$T_3 = T_2\left(\frac{V_3}{V_2}\right) = 972(2)$$
$$= 1944K$$
$$Cp = \frac{R\gamma}{\gamma-1} = \frac{0.287\times 1.4}{0.4}$$
$$= 1.004kJ/kg.K$$
$$q_{23} = P_2(\nu_3 - \nu_2) + (\mu_3 - \mu_2)$$
$$= h_3 - h_2 = Cp(T_3 - T_2)$$
$$= 1.004(1944 - 972)$$
$$= 975.9kJ/kg = q_{in}$$
$$Cv = \frac{R}{\gamma-1} = \frac{0.287}{0.4} = 0.717kJ/kg.K$$
$$q_{41} = w_{41} + (\mu_1 - \mu_4)$$
$$= Cv(T_1 - T_4)$$
$$= 0.717(313 - 826)$$
$$= -367.8kJ/kg$$

$$W_{net} = q_{in} + q_o$$
$$= 975.9 + (-367.8)$$
$$= 608.1kJ/kg$$
$$\eta = \frac{W_{net}}{q_{in}} = \frac{608.1}{975.9} = 0.623$$
$$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{313}{1944} = 0.84$$
$$\Delta s_{23} = Cp\ln\frac{T_3}{T_2}$$
$$= 1.004\ln\frac{1944}{972} = 0.696kJ/kg.K$$
$$\Delta s_{23} = \Delta s_{41}$$
$$= -0.696kJ/kg.K$$

مسائل

(9.1)

غاز كتلته (1kg) تمدد في اجراء إدياباتي حيث انخفضت درجة حرارته من ($240\ ^oC$) إلى (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 الاولى عند ثبوت الضغط. ارسم 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) ثم يتمدد في اجراء ثبوت درجة الحرارة إلى حجم ($0.2\ m^3$).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 الاصلية. 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) الشغل الناتج عن 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:

.**($R=0.287 kJ/kg.K$, 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 ($0.12 m^3$). ضغط إدياباتيا إلى ($0.09 m^3$). 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 ($0.12 m^3$) ودرجة حرارته(15^oC) سخن بثبوت الحجم. ثم تمدد آيزوثرمليا إلى أن رجع إلى ضغطه الاول وأصبح حجمه ($0.5 m^3$). 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 الانتروبـي (3) صـافي الـشغل (4) الحرارة المضافة.

ج:($98.2kJ$, $49.08kJ$, $0.002kJ/K$, $0.62bar$, $1.4m^3$)

(9.9)

(1kg) هواء ضغطه (1bar) ودرجة حرارته (300K) ضغط في اجراء آيزوثرمـاي حتـى اصـبح ضغطه خمسة اضعاف الضغط الابتدائي. اضيفت إليه حرارو بثبوت الحجم. ثم اضيفت إليـه حـرارة بثبوت الضغط قيمتها نصف تلك الحرارة المضافة بثبوت الحجم. بعد ذلك تمدد الهواء إدياباتيـا حتـى 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 مقـداره (5bar) ودرجـة حـرارة مقدارها (100^oC) إلى ضغط مقداره (1.89bar) واصبح حجمه ضعف ما كان عليه في البداية. ثـم تمدد الغاز آيزوثرمليا إإلى ضغط مقداره (1bar). فإذا كان ($Cv=0.71kJ/kg.K$).ارسم الاجـراءات على مخططي (P-V) و(T-S)واحسب:

(1) حجم الغاز الابتدائي والنهائي للأجراء الإدياباتي. (2) الشغل والحرارة المنتقلين للاجـرائين (3) التغير في الطاقة الداخلية للاجرائين (4) كثافة الغاز(5) التغير في الانتروبي للاجرائين.

ج:

($0.09kJ/K$, $4.72kg/m^3$, $-32.3kJ$, $25.55kJ$, $32.33kJ$, $0.212m^3$, $0.106m^3$)

(9.11)

غاز مثالي فيه حالتين معلومتين (1) و(2) حيـث 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 إديابـاتي يتبعـه تبريد بثبوت الحجم. ارسم المسارات المبينة في (أ ، ب، ج) بين (1) و (2) علـى مخططـي (P-V) و(T-S) ثم احسب لكل المسارات (1) الشغل والحرارة المنتقلـة (2) التغيـر فـي الطاقـة الداخليـة 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°C) على التوالي .ضغط إدياباتيا إلى ($\frac{1}{18}$) من حجمـه الاصلي. اضيفت حرارة بثبوت الحجم مساوية للحرارة التي اضيفت بثبوت الضغط. ثم تمـدد الهـواء إديباباتيا 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 °C) 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) Cp ، Cv (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 °C). ضـغط حـسب العلاقـة (**$PV^\gamma = C.$**) 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 حجمـه 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, 0.214m³, 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) كجزيئة (O_2, H_2, N_2, CO, CO_2, H_2O, CH_4....الخ). وجزيئة بعض العناصر تحتوي على ذرة واحدة كالـ (S, C).

أن (H_2O, CO_2, CO)تعني جزيئة واحدة. وإن ($2H_2O$) تعني جزيئتين من الماء. 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) والاوكسجين (O_2). أن هذين الغازين من المستحيل الحصول عليهما في حالتهما الحرة على شكل ذرات مفردة وإنما 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 يساوي الوزن الجزيئي. أما إذا كان الجزيء الواحد للعنصر يحتوي على ذرتين كالـ (N_2, H_2, O_2) فإن الوزن الجزيئي يساوي ضعف الوزن الذري. أما الجزيء الواحد للمركب فإن وزنه الجزيئي يساوي مجموع الاوزان الذرية للمكونات. فالوزن الجزيئي لـ (CH_4) مثلا هو (12.1 +4.1=16). ولـ (CO_2) هو (12.1 +16.1=44)...

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) المساوية للكتلة المولية. فإذا كان الـ (m) بالـ (kg)، عندئذ يسمى المول بالكيلومول (kmol). عليه يكون :

$$\mathbf{N = \frac{m}{M}\left[\frac{kg}{kg/kmol} = kmol\right]}\text{.........................}\mathbf{(10.1)}$$

وهكذا فإن:

1 kmole O_2=32 kg O_2	1 kmole N_2=28 kg N_2
1 kmole H_2=2 kg H_2	1 kmole CO_2=44 kg CO_2
1 kmole C=12 kg C	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 ⟶ 1 Vol CO_2

1 kmol C + 1 kmol O_2 ⟶ 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:

$$\frac{Vi}{Ni}=\frac{V_T}{N_T}\Rightarrow\frac{Vi}{V_T}=\frac{N_i}{N_T}.................(10.2)$$

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 :

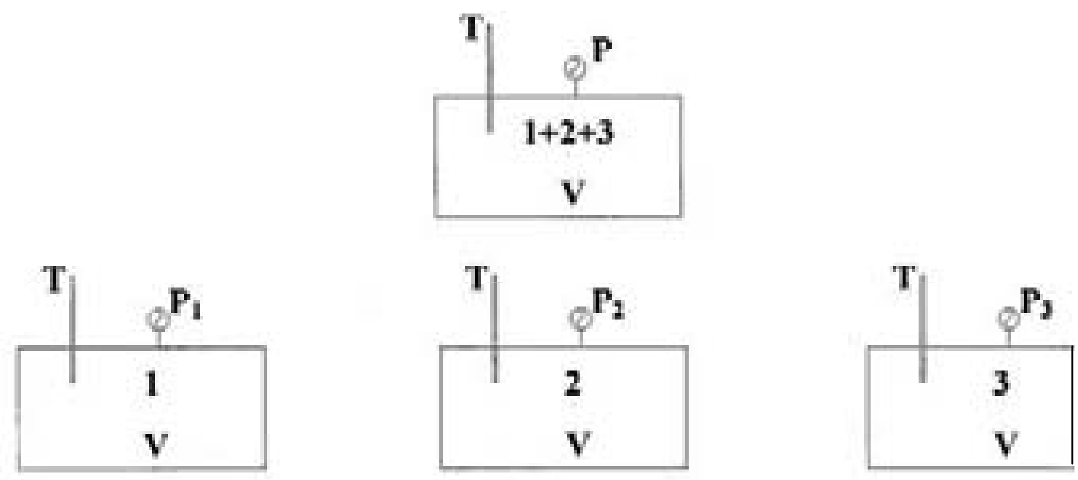
(1)ضغط الخليط والضغوط الجزئية للمكونات.

(2)الطاقة الداخلية، الانتالبي، 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 (1, 2, 3, …) 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:

$$\mathbf{P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots(10.3)}$$

$$\mathbf{m_T = m_1 + m_2 + m_3 + \ldots\ldots(10.4)}$$

$$\mathbf{W_1 = \frac{m_1}{m_T}, W_2 = \frac{m_2}{m_T}, W_3 = \frac{m_3}{m_T} \ldots\ldots(10.5)}$$

$$\mathbf{W_1 + W_2 + W_3 = 1}$$

وإذا كان (R_T) تمثل ثابت الغاز للخليط واستنادا إلى المعادلة السابقة فإن:

$$\mathbf{\frac{m_T R_T T}{V} = \frac{m_1 R_1 T}{V} + \frac{m_2 R_2 T}{V} + \frac{m_3 R_3 T}{V}}$$

$$\mathbf{m_T R_T = m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3}$$

$$\mathbf{R_T = \frac{m_1 R_1 + m_2 R_2 + m_3 R_3}{m_T} = W_1 R_1 + W_2 R_2 + W_3 R_3 \ldots\ldots(10.6)}$$

(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

$$N = \frac{m}{M}, R = \frac{\bar{R}}{M} \ldots\ldots(10.7)$$

$$PV = mRT = NMRT = NM.\frac{\bar{R}}{M}.T = N\bar{R}T \ldots\ldots(10.8)$$

$$\because P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$\frac{N_T \bar{R} T}{V} = \frac{N_1 \bar{R} T}{V} = \frac{N_2 \bar{R} T}{V} = \frac{N_3 \bar{R} T}{V}$$

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 \ldots\ldots(10.9)$$

(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:

$$V = \frac{N\bar{R}T}{P}$$

$$\frac{V}{N} = \frac{\bar{R}T}{P}$$

$$V_{mol} = \frac{\bar{R}T}{P} = \frac{M\bar{R}T}{P} = \frac{8.314 \times 273.15}{101.325} = 22.4 m^3/kmol$$

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

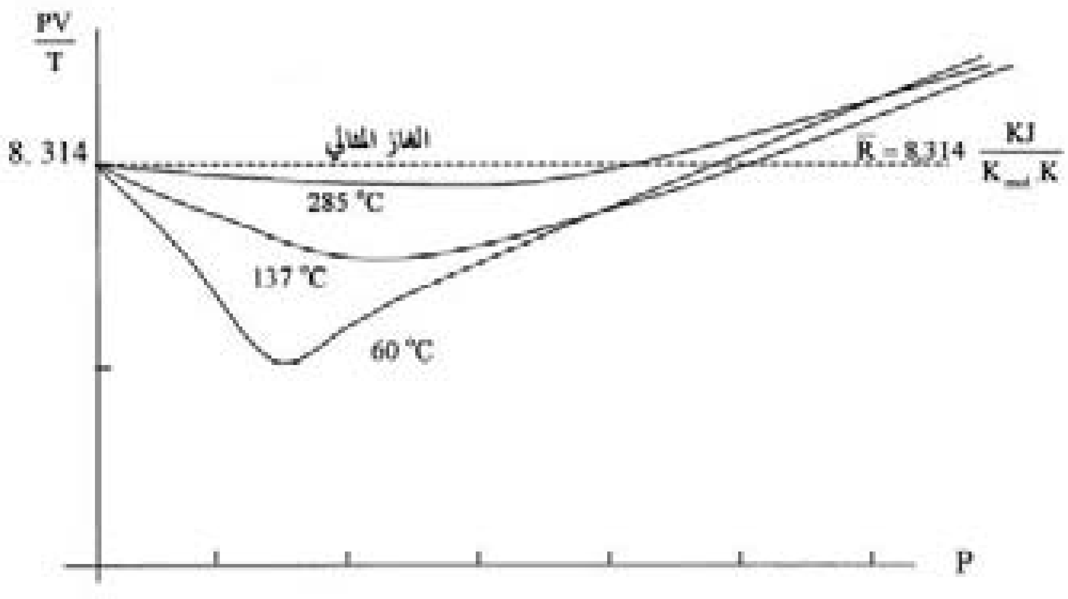
$$\frac{M_1R_1T}{P} = \frac{M_2R_2T}{P} = \frac{M_3R_3T}{P} = \frac{MRT}{P}$$

$$M_1R_1 = M_2R_2 = M_3R_3 = MR = \bar{R} = 8.314 kJ/kmol.K ....(10.11)$$

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 ($\frac{pv}{T}$).

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 ($\frac{pv}{T}$) 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:

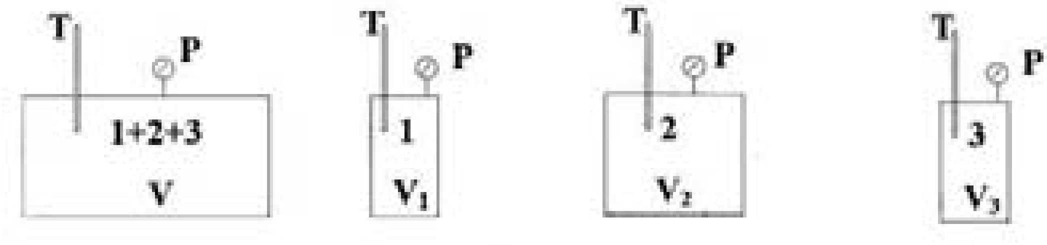
$$\frac{\mathbf{pv}}{\mathbf{T}} = \overline{\mathbf{R}} = 8.314 \text{ kJ/kmol.K}$$

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) بحيـ ث يكـ ون الضغط ودرجة قبل وبعد الفصل متساوي. بعد الفصل بالنسبة للغاز الاول يكون:

$$P_1V_1 = N_1\bar{R}T \Rightarrow \frac{V_1}{N_1} = \frac{\bar{R}T}{P} \Rightarrow \therefore X_1 = \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_T}{N_T} \qquad (10.12)$$

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:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (10.13)$$

بالنسبة للغاز الاول قبل الفصل: $P_1V_T = N_1\bar{R}T$

وبعد الفصل: $P_TV_1 = N_1\bar{R}T$

$$\therefore X_1 = \frac{V_1}{VT} = \frac{P_1}{P_T} \qquad (10.14)$$

وهكذا بالنسبة لبقية الغازات. وبتعويض المعادلة (10.12) بـ (10.14) وعلى افتراض أن (i) رمز لأي غاز فسيكون:

$$X_i = \frac{Vi}{V_T} = \frac{Ni}{N_T} = \frac{Pi}{P_T} \qquad (10.15)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

(10.12)- معدل الكتلة الجزيئية النسبية (الكتلة المولية) للخليط الغازي

Average Relative Molecular Mass of a Gas Mixture

$$\mathbf{M_T = \frac{m_T}{N_T} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{N_T} = \frac{M_1N_1 + M_2N_2 + M_3N_3}{N_T}}$$

$$\mathbf{= M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 = \sum M_iX_i \ ....(10.16)}$$

$$\mathbf{W_i = \frac{mi}{m_T} = \frac{M_iN_i}{M_TN_T} = \frac{M_i.X_iN_T}{M_T.N_T} = \frac{M_iX_i}{\sum M_iX_I} \ ....(10.17)}$$

The Density of Gas Mixture كثافة الخليط

$$\rho_T = \mathbf{\frac{M_T}{V_{mol}}\left[\frac{kg}{kmol} \times \frac{kmol}{m^3} = \frac{kg}{m^3}\right]}$$

(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:

$$\mathbf{W_i = \frac{mi}{m_T}, \quad \Rightarrow \quad W_1 + W_2 + W_3 = 1}$$

(2) التحليل الحجمي الذي بحسب 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 $(75\%\ N_2)$ ، $(23\%O_2)$. 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.

$$M_T = \frac{m_T}{N_T} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{N_T} = \frac{M_1N_1 + M_2N_2 + M_3N_3}{N_T}$$

$$M = \frac{28 \times 78.05 + 32 \times 21 + 39.9 \times 0.95}{78.05 + 21 + 0.95} = 28.95kg/kmol$$

(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:

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 \quad ......(10.19)$$

$$\mu_T m_T = \mu_1 m_1 + \mu_2 m_2 + \mu_3 m_3$$

$$\mu_T = \frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2 + \mu_3 m_3}{m_T} = W_1\mu_1 + W_2\mu_2 + W_3\mu_3 \quad ....(10.20)$$

ولإيجاد (CvT) للخليط نقول، بما أن $(\mu = \mathbf{CvT})$ فسيكون $(\mathbf{Cv} = \frac{\mu}{T})$

وعند قسمة طرفي المعادلة (10.20) على (T) ينتج:

$$\frac{\mu_T}{T} = W_1\frac{\mu_1}{T} + W_2\frac{\mu_2}{T} + W_3\frac{\mu_3}{T}$$

$$\mathbf{Cv = W_1Cv_1 + W_2Cv_2 + WCv_2 + W_3Cv_3} \quad ......(10.21)$$

وبالنسبة لانثالبي الخليط فسيكون

$$\mathbf{H_T = H_1 + H_2 + H_3} \quad ......(10.22)$$

$$\mathbf{h_T m_T = h_1 m_1 + h_2 m_2 + h_3 m_3}$$

$$\mathbf{h_T = \frac{h_1 m_1 + h_2 m_2 + h_3 m_3}{m_T} = W_1 h_1 + W_2 h_2 + W_3 h_3} \quad ......(10.23)$$

ولإيجاد (Cp_T) لخليط نقول، بما أن (h = CpT) فسيكون $(\mathbf{Cp} = \frac{h}{T})$ ، وعند قسمة طرفي المعادلة (10.23) على (T) ينتج:

$$\frac{h_T}{T_T} = W_1\frac{h_1}{T} + W_2\frac{h_2}{T} + W_3\frac{h_3}{T}$$

$$\mathbf{CP_T = W_1CP_1 + W_2CP_2 + W_3CP_3} \quad ......(10.24)$$

وبالنسبة لأنتروبي الخليط فإن:

$$s_T = s_1 + s_2 + s_3 \text{..} (10.25)$$

$$s_T m_T = s_1 m_1 + s_2 m_2 + s_3 m_3$$

$$s_T = \frac{s_1 m_1 + s_2 m_2 + s_3 m_3}{m_T} = W_1 s_1 + W_2 s_2 + W_3 s_3 \text{........} (10.26)$$

وبصورة عامة، وقبل تطبيق قوانين الغاز المثالي على الخليط الغازي ، فإن مـن الـضروري تحديد الثوابت (Cp , Cv , γ , R , M) للخليط. عندئذ يمكن معالجة الخليط كغـاز واحـد لـه هـذه الثوابت. وكمثال على ذلك فإن قيمة (R) للهواء هي (0.287kJ/kg.K) لكن هذه القيمة هي بالحقيقـة القيمة المتوسطة للخليط الذي يحتوي بصورة رئيسية على الاوكـسجين والنتـروجين وغيرهـا مـن 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 فوحـداتها (kJ/kmol.K). فإذا كان (c) تمثل حرارة نوعية ، و (C) حرارة نوعية جزيئية غرامية، والعلاقـة بينهما هي (M =C/c)، وعليه يكون.

$$Mcv = Cv$$

$$Mcp = Cp$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{8.314 + Cv}{Cv} \text{..................} (10.27)$$

or

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{Cp}{Cp - 8.314} \text{..................} (10.28)$$

$$\because \mathbf{cp - cv = R}$$

ضرب الطرفين بـ M

$$Mcp - Mcv = MR = \overline{R} = 8.314$$

$$Cp - Cv = 8.314 \text{......................} (10.29)$$

(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:

$$\mathbf{N_T Cv_T = N_1 Cv_1 + N_2 Cv_2 + N_3 Cv_3 = \sum NiCvi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\mathbf{(10.30)}$$

$$\mathbf{Cv_T = \frac{\sum NiCvi}{N_T} = \sum \frac{Ni}{N_T} Cvi = \sum XiCvi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\mathbf{(10.31)}$$

وبنفس الطريقة يمكننا إيجاد معدل الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية عند ثبوت الضغط وكالاتي:

$$\mathbf{N_T CP_T = N_1 CP_1 + N_2 CP_2 + N_3 CP_3 = \sum NiCpi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\mathbf{(10.32)}$$

$$\mathbf{Cp_T = \frac{\sum NiCpi}{N_T} = \sum \frac{Ni}{N_T} .Cpi = \sum XiCpi} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\mathbf{(10.33)}$$

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

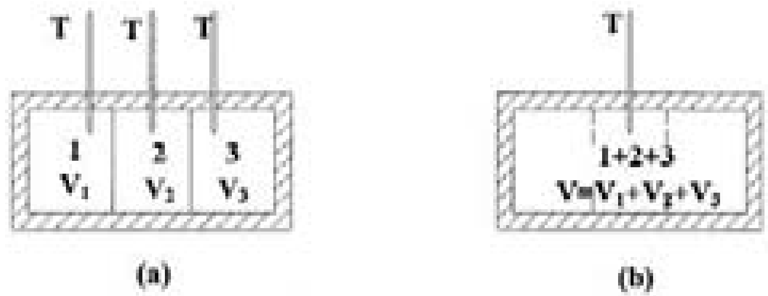
خلط الغازات يعتبر عملية تلقائية لاإنعكاسية، لأنه ليس بالامكان فصل الغازات عن بعضها، لذا يصبح انتروبي الخليط أكبر من مجموع انتروبي الغازات، أي يحصل إزدياد بالانتروبي، كما فـي العمليـات الثرموديناميكية اللاإنعكاسية.

نفرض أن لدينا غازات (... ,3, 2, 1) منفصلة بحواجز عن بعضها موجوده في خزان معـزول ذات ضغط (P) ودرجة حرارة ثابت. كما في الشكل (10.4).

شكل (10.4) - الخلاط الادياباتي للغازات (P,T= Const,)

عند رفع الحواجز ستختلط الغازات إدياباتيا ولكن يبقى الضغط ودرجة الحرارة ثابت. وسـيتمدد كـل غاز بشكل حر حتى يملء الفراغ بأجمعه بحيث ينخفض ضغطه من ضغط كلي (P) إلـى جزئـي $(P_1, P_2, P_3, \ldots)$.

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:

$$\Delta Si = Cv \ln\frac{T}{Ti} + R\ln\frac{V}{Vi} = Cp\ln\frac{T}{Ti} - R\ln\frac{P}{Pi} \quad ....(10.34)$$

$$\because T = Ti$$

$$\therefore \Delta si = R\ln\frac{V}{Vi} = R\ln\frac{P}{Pi} \quad ....(10.35)$$

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:

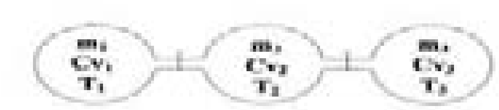
$$\Delta s = Cv\ln\frac{T}{Ti} + R\ln\frac{v}{vi} \quad ....(10.36)$$

$$= \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} R\ln\frac{v}{vi} \quad ....(10.37)$$

$$= Cv\frac{n-\gamma}{n-1}\ln\frac{T}{Ti} \quad ....(10.38)$$

(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:

$$T_T = \frac{m_1Cv_1T_1 + m_2Cv_2T_2 + m_3Cv_3T_3}{m_TCv_T}$$

$$= \frac{W_1Cv_1T_1 + W_2Cv_2T_2 + W_3Cv_3T_3}{Cv_T} \quad \text{.................................(10.39)}$$

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.

$$t_T = \frac{m_wC_wt_w + m_sC_st_s + m_aC_at_a}{m_wC_w + m_sC_s + m_aC_a}$$

$$19.24 = \frac{0.8\times4.2\times15 + 0.25\times0.23\times15 + 0.2\times Ca\times100}{0.8\times4.2 + 0.25\times0.234 + 0.2Ca}$$

$$Ca = 0.88kJ/kg.K$$

(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.

$$t_T = \frac{m_1c_1t_1 + m_2c_2t_2}{m_1c_1 + m_2c_2} = \frac{160\times c\times150 + 90\times c\times98.4}{160\times c + 90\times c} = 131.424^\circ C$$

(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).

$$m_{NH_3} = \frac{PV}{RT} = \frac{100 \times 0.55}{\frac{8.314}{17} \times 288} = 390kg$$

(10.9)

قنينة من الحديد حجمها الداخلي يساوي (15 litter)، فيها غاز ثاني أوكسيد الكاربون تحـت ضـغط (110 bar) ودرجة حرارة (18°C). احسب (أ)الكتلة. (ب)الحجم المولي. (ج)كثافة الغـاز. (د)عـدد المولات. علما أن:

M_{CO_2} =44Kg/kmol, R =0.185 kJ/kg.K

$$\mathbf{R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{44} = 0.185kJ/kg.K}$$

$$\mathbf{m = \frac{PV}{RT} = \frac{110\times10^2\times0.015}{0.185\times291} = 3.064kJ}$$

$$V_{mol} = \frac{\overline{R}T}{P} = \frac{8.314\times291}{110\times10^2} = 0.22m^3/kmol$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{3.064}{0.015} = 204.27kg/m^3$$

$$N = \frac{V}{V_{mol}} = \frac{0.015}{0.22} = 0.0682kmol$$

(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°C).

$$\mathbf{N_{H2} = \frac{mH_2}{MH_2} = \frac{1}{2} = 0.5}$$

$$\mathbf{N_{O2} = \frac{mo_2}{Mo_2} = \frac{mo_2}{32}}$$

$$\mathbf{\frac{NH_2}{N_{O2}} = \frac{2}{1} = \frac{0.5}{\frac{mo_2}{32}}}$$

$$\mathbf{mo_2 = \frac{32\times0.5}{2} = 8}$$

$$\mathbf{N_T = No_2 + NH_2 = 0.5 + \frac{8}{32} = 0.75}$$

$$\mathbf{V = \frac{N\overline{R}T}{P} = \frac{0.75\times8.314\times288}{100} = 17.96m^3}$$

(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)

$$R_{CO} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{12+16} = 0.297kJ/kg.K$$

$$R_{H_2} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{2} = 4.157kJ/kg.K$$

$$R = \frac{\sum miRi}{\sum mi} = \frac{1\times 0.297 + 0.8\times 4.157}{1+0.8}$$

$$= 2.015kJ/kg.K$$

$$C_P = \frac{\sum miCpi}{\sum mi} = \frac{1\times 1.042 + 0.8\times 14.31}{1+0.8}$$

$$= 6.938kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R = 6.938 - 2.015$$

$$= 4.923kJ/kg.K$$

(2)

$$V = \frac{mRT}{P} = \frac{1.8\times 2.015\times 291}{200}$$

$$= 5.277m^3$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{5.277}{1.8} = 2.931m^3/kg$$

$$Nco = \frac{m}{M} = \frac{1}{28} = 0.0357Mol$$

$$NH_2 = \frac{m}{M} = \frac{0.8}{2} = 0.4Mol$$

$$N = \sum Ni = 0.0357 + 0.4$$

$$= 0.4357Mol$$

$$Pco = P\frac{Nco}{N} = 200.\frac{0.0347}{0.4357} = 16.4kPa$$

$$PH_2 = P\frac{NH_2}{N} = 200\frac{0.4}{0.4357} = 183.6kPa$$

(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 ($416kN/m^2$) ، ($60\,^oC$)، ($1\ kmol$) 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

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$No_2 = \frac{8}{32} = 0.25kmol$$

$$NN_2 = \frac{7}{28} = 0.25kmol$$

$$Nco_2 = \frac{mco_2}{44} = kmol$$

$$N_T = No_2 + N_{N2} + Nco_2$$

$$1kmol = 0.25 + 0.25 + \frac{mco_2}{44}$$

$$mco_2 = 22kg$$

$$Nco_2 = \frac{22}{44} = 0.5kmol$$

$$(2)Po_2 = p\frac{No_2}{N} = 416\frac{0.25}{1} = 104kN/m^2$$

$$PN_2 = P\frac{NN_2}{N} = 416\frac{0.25}{1} = 104kN/m^2$$

$$Pco_2 = P\frac{Nco_2}{N} = 416\frac{0.5}{1} = 208kN/m^2$$

$$(3)V = \frac{N\overline{R}T}{P} = \frac{1.8 \times 314 \times 333}{416}$$

$$= 6.7m^3$$

$$m = mo_2 + mH_2 + mco_2$$

$$= 8 + 7 + 22 = 37kg$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{37}{6.7} = 5.5kg/m^3$$

$$(4)V = Vo_2 = V_{N2} = Vco_2$$

$$= 6.7m^3$$

$$P = \frac{N\overline{R}T}{V} = \frac{1 \times 8.314 \times 501}{6.7}$$

$$= 625.9kN/m^3$$

طريقة اخرى لاستخراج (P)

$$P_2 = \frac{mRT_2}{V} = \frac{37 \times 0.225 \times 501}{6.7}$$

$$= 625.9kN/m^2$$

(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)

$$Mi = \frac{mi}{Ni} \Rightarrow mi = NiMi$$

$$m_{He} = 2 \times 10^{-3} \times 4 = 0.008\,kg$$

$$m_{N_2} = 8.53 \times 10^{-3} \times 28 = 0.239\,kg$$

$$m_{co} = 4 \times 10^{-3} \times 28 = 0.112\,kg$$

$$m_{O_2} = 1.47 \times 10^{-3} .32 = 0.047\,kg$$

$$Cp = \frac{\sum miCpi}{\sum mi}$$
$$= \frac{0.008\times2.22+0.239\times1.046+0.112\times1.047+0.0047\times0.92}{0.008+0.239+0.112+0.047}$$
$$= 1.053\,kJ/kg.K$$

$$Cv = Cp - R = 1.053 - 0.327$$
$$= 0.726\,kJ/kg.K$$

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.053}{0.726} = 1.45$$

(10.14)

خزان يحتوي على خليط مكوناته الحجمية ($80\%\ H_2$)، ($20\%\ CO$). اريد إضافة كمية مـن (CO) ليكون الخليط مكون من ($50\%\ H_2$) و ($50\%\ CO$).احسب لكل (mol) كتلة الخليـط وكتلـة (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 عنـد ضـغط ($1\ bar$) ودرجة حرارة (15^oC). التحليل الحجمي للهواء هو ($21\%\ O_2$)، ($79\%\ N_2$). احسب للخلـيط (1) كتل (CO_2) و(O_2) و(N_2) والكتلة الكلية. (2) Rm ,Mm (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 لكـل ($1kmol$) 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؟

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O2} = \frac{4}{32} = 0.125 kg/kmol$$

$$N_{CO} = \frac{7}{28} = 0.250 kg/kmol$$

$$N = 0.125 + 0.250 = 0.375 kg/kmol$$

$$P_1 = \frac{N\bar{R}T_1}{V} = \frac{0.375 \times 8.314 \times 288}{0.3}$$

$$= 29.93 bar$$

$$P_2 = P_1(\frac{T_2}{T_1}) = 29.93(\frac{313}{288})$$

$$= 32.53 bar$$

$$\mathbf{\frac{Vi}{VT} = \frac{Ni}{NT}}$$

$$\mathbf{\frac{V_{O2}}{V} = \frac{0.125}{0.375} = 0.333}$$

$$\mathbf{\frac{V_{CO}}{V} = \frac{0.25}{0.375} = 0.667}$$

$$\mathbf{M = \sum \frac{Vi}{V} Mi = 0.333 \times 32 + 0.667 \times 28}$$

$$\mathbf{= 29.33 kg/kmol}$$

or

$$\mathbf{M = \frac{m}{N} = \frac{7+4}{0.375} = 29.33}$$

$$\mathbf{R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{29.33} = 0.283 kJ/kg.K}$$

(10.20)

التحليل الحجمي لأحد الغازات النفطية كما يلي: ($12\%\ H_2$)، ($29\%\ CO$)، ($3\%CH_4$)، ($4\%\ CO_2$)، ($52\%\ N2$). 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**

$$Cp = \sum \frac{Vi}{V}.Cpi$$

$$= 0.12 \times 28.89 + 0.29 \times 29.27 + 0.03 \times 35.8 + 0.04 \times 37.22 + 0.52 \times 29.14$$

$$= 29.676 kJ / kmol$$

$$Cv = Cp - R = 29.676 - 8.314 = 21.362 kJ / kmol.K$$

$$M = \sum \frac{Vi}{V}.Mi = 0.29 \times 28 + 0.12 \times 2 + 0.03 \times 16 + 0.044 + 0.52 \times 28 = 25.2 kg / kmol$$

$$cp = \frac{Cp}{M} = \frac{29.676}{25.2} = 1.178 kJ / kg.k, \quad cv = \frac{Cv}{M} = \frac{21.362}{25.2} = 0.847 kJ / kg.k$$

(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 المطلوب سحبها وكمية (CO) المطلوب اضافتها. اعتبر أن ($P,V,T=C.$).

الحل:

في المعادلة ($Pv=N\bar{R}T$)، بما أن ($P,V,T,\bar{R}=C.$) فيكون $N = C$. أي ان (N) المسحوبة من الخليط = (N) من CO المضافة. واذا كان بالنسبة للخليط ($N=1$) فيكون عدد الجزيئات المسحوبة (Nd).

اذن (N) لـ (H_2) المسحوبة من الخليط = $0.8Nd$

(N) لـ (H_2) المتبقية = $NH2 = 0.8-0.8Nd$

$$\frac{NH_2}{N} = 0.5 = \frac{NH_2}{1} = \frac{0.8 - 0.8Nd}{1} \Rightarrow Nd = 0.375$$

اذن كتلة الخليط المسحوبة =

$$md = Nd.\frac{Vco}{V}.Mco + Nd.\frac{VH_2}{V}.MH_2$$

$$= 0.375 \times 0.2 \times 28 + 0.375 \times 0.8 \times 2 = 2.7kg$$

اذن كتلةCO المضافة = $0.375 \times 28 = 10.5kg$

(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:

$.M\ CH_4=16\ ,\ M\ H_2=2$

$$\dot{V}H_2 = 0.12\times 0.5 = 0.06m^3/s$$

$$\dot{V}CH_4 = 0.6\times 0.5 = 0.3m^3/s$$

$$\dot{m}_{CH4} = \frac{PV}{RT} = \frac{150\times 0.3}{\frac{8.314}{16}\times 305} = 0.284kg/s$$

$$\dot{m}_{M2} = \frac{PV}{RT} = \frac{150\times 0.06}{\frac{8.314}{2}\times 305} = 0.0071kg/s$$

$$m_{O2} = 0.2839\times 1.5 + 0.0071\times 10 = 0.4968kg/s$$

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$N_{O2} = \frac{0.4968}{32} = 0.0155$$

$$N_{N2} = \frac{0.4968}{32}\times\frac{79}{21} = 0.0584$$

$$N = \sum Ni = 0.0739$$

$$\dot{V} = \frac{N\bar{R}T}{P} = \frac{0.0739\times 8.314\times 3.0}{150} = 1.27m^3/s$$

(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).

$$mi = Ni.Mi$$

$$m_{N2} = 0.78\times 21 = 21.8kg$$

$$m_{CO2} = 0.12\times 44 = 5.28kg$$

$$m_{O2} = 0.1\times 32 = 3.2kg$$

$$m_T = 30.32kg$$

$$Wi = \frac{mi}{m_T}$$

$$W_{N2} = \frac{21.84}{30.32} = 0.71$$

$$W_{CO2} = \frac{5.28}{30.32} = 0.174$$

$$W_{O2} = \frac{3.2}{30.32} = 0.105$$

$$M = \frac{m}{N} = \frac{30.32}{1} = 30.32$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{30.32} = 0.274kJ/kg.K$$

$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{m}{v}RT \Rightarrow P = \rho RT$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{100}{0.274\times 823} = 0.443\,kg/m^3$$

(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 :

$\bar{R}$=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.

$$R = \frac{\bar{R}}{M}$$

$$R_{O2} = \frac{8.314}{32} = 0.26 kJ/kg.K$$

$$R_{N2} = \frac{8.314}{28} = 0.297 kJ/kg.K$$

$$PV = mRT$$

$$P \times 0.21 = m_{O2} \times 0.26 \times T$$

$$P \times 0.79 = m_{N2} \times 0.297 \times T$$

$$\frac{m_{O2}}{m_{N2}} = \frac{0.21}{0.79} \times \frac{0.297}{0.26} = \frac{1}{3.29}$$

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:

$MO_2=32, M\ H_2=2, M\ CO=28.$

$$\frac{V_{O_2}}{V}=\frac{N_{O_2}}{N}=\frac{2}{2+5+3}=0.2$$

$$\frac{V_{H_2}}{V}=\frac{V_{H_2}}{N}=\frac{5}{10}=0.5$$

$$\frac{Vco}{V}=\frac{Vco}{N}=\frac{3}{10}=0.3$$

$$M=\frac{V_{O_2}}{V}M_{O_2}+\frac{V_{H_2}}{V}M_{H_2}+\frac{Vco}{V}M_{CO}$$

$$=0.2\times 32+0.5\times 2+0.3\times 28$$

$$=15.8kg/kmol$$

$$R=\frac{\overline{R}}{M}=\frac{8.314}{15.8}$$

$$=0.526kJ/kg.K$$

$$P_{O_2}=P\frac{N_{O_2}}{N}$$

$$=24\times 0.2=4.8bar$$

$$P_{H_2}=P\frac{N_{N_2}}{N}=24\times 0.5=12bar$$

$$P_{CO}=P\frac{Nco}{V}=24\times 0.3=7.2bar$$

$$Wi=\frac{MiXi}{\sum MiXi}$$

$$W_{O_2}=\frac{32.0.2}{32\times 0.2+2.0\times 5+28\times 0.3}$$

$$=40.5\%$$

$$W_{H_2}=\frac{2\times 0.5}{32\times 0.2+2\times 0.5+28\times 0.3}$$

$$=6.3\%$$

$$W_{CO}=\frac{28\times 0.3}{32\times 0.2+2\times 0.5+28\times 0.3}$$

$$=53.1\%$$

(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^oC)، التحليـل الـوزني للخلـيط (20% CO)، (5% H_2)، (25% CO_2)، (50% O_2). 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 $T' = T = 90+273 = 363\ K$

وضغط الخليط سيكون بعد الخلط $P = P' = 7bar\ ,\ PO_2 = PN_2$

$$P = P_{O2} + P_{N2} = 3.5 + 3.5 = 7bar$$

$$V_{O_2} = V_{N_2} = 0.7m^3$$

$$R_{O_2} = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{32} = 0.26kJ/kg.K$$

$$R_{N_2} = \frac{R}{M} = \frac{8.314}{28} = 0.297kJ/kg.K$$

$$m_{O_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{350 \times 1.4}{0.26 \times 363} = 5.2kg$$

$$m_{N_2} = \frac{PV}{R} = \frac{350 \times 1.4}{0.297 \times 363} = 4.55kg$$

$$\Delta S = m_{O_2} R_{O_2} \ln\frac{P}{P_{O_2}} + m_{N_2} R_{N_2} \ln\frac{P}{P_{N_2}}$$

$$= (5.2 \times 0.26 + 4.55 \times 0.297)\ln\frac{7}{3.5}$$

$$= 1.87kJ/kg$$

(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**

$$N = \sum Ni = 16 + 4 = 20 Moles$$

$$V_{mol} = \frac{\overline{R}T}{P} = \frac{8.314 \times 313}{300}$$

$$= 8.674 m^3 / kmol$$

$$V = V_{mol}.N = 8.674 \times 20 \times 10^{-3}$$

$$= 0.173 m^3$$

$$m_{N2} = 28 \times 16 \times 10^{-3} = 0.448 kg$$

$$m_{O2} = 32 \times 4 \times 10^{-3} = 0.128 kg$$

$$m_T = 0.448 + 0.128 = 0.57 kg$$

$$R = \frac{PV}{m_T} = \frac{300 \times 0.173}{0.576 \times 313}$$

$$= 0.2887 kJ/kg.K$$

$$T_2 = T_1 (\frac{V_1}{V_2})^{n-1} = 313 (\frac{4}{1})^{0.2}$$

$$= 413 K$$

$$\mathbf{W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{0.576 \times 0.2887(313 - 413}{1.2 - 1}}$$

$$\mathbf{= -83.1456 kJ}$$

$$\mathbf{Cp = \frac{\sum miCpi}{\sum mi} = \frac{mN_2CpN_2 + mO_2CpO_2}{mN_2 + mO_2}}$$

$$\mathbf{= \frac{0.448 \times 1.046 + 0.128 \times 0.92}{3.576}}$$

$$\mathbf{= 1.018 kJ / kg.K}$$

$$\mathbf{Cv = Cp - R = 1.018 - 0.2887}$$

$$\mathbf{= 0.73 kJ / kg.K}$$

$$\mathbf{\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.018}{0.73} = 1.396}$$

$$\mathbf{\Delta S_{12} = mCv \frac{n - \gamma}{n - 1} ln \frac{T_2}{T_1}}$$

$$\mathbf{= 0.576 \times 0.7293 (\frac{1.2 - 1.396}{1.2 - 1}) ln \frac{413}{313}}$$

$$\mathbf{= -0.114 kJ / K}$$

(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 واختلاط 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.

$$R_{O_2} = \frac{\bar{R}}{M_{O_2}} = \frac{8.314}{32}$$

$$= 0.26kJ/kg.K$$

$$Cvo_2 = Cpo_2 - Ro_2 = 0.656 - 0.26$$

$$= 0.396kJ/kg.K$$

$$Rco_2 = \frac{\bar{R}}{Mco_2} = \frac{8.314}{44}$$

$$= 0.189kJ/kg.K$$

$$Cvco_2 = Cp_{co2} - Rco_2 = 0.643 - 0.189$$

$$= 0.454kJ/kg.K$$

$$No_2 = \frac{PV}{RT} = \frac{700 \times 1.4}{8.314 \times 423} = 0.279kmol$$

$$Nco_2 = \frac{PV}{RT} = \frac{200 \times 1.4}{8.314 \times 288} = 0.117kmol$$

$$mo_2 = MN = 32 \times 0.279 = 8.928kg$$

$$m_{CO2} = MN = 44 \times 0.117 = 5.148kg$$

$$Q - W = \Delta U = 0$$

$$Um = Ua + Ub$$

$$T_m(m_a C_{va} + m_b Cv_b) = m_a Cv_a T_a + m_b Cv_b T$$

$$tm = \frac{m_a Cv_a T_a + m_b Cv_b T_b}{m_a Cv_a + m_b Cv_b}$$

$$= \frac{8.928 \times 0.396 \times 423 + 5.148 \times 0.454 \times 288}{8.928 \times 0.396 + 5.148 \times 0.454}$$

$$= \frac{2168.6}{5.873} = 369K$$

$$N_T = 0.279 + 0.117 = 0.396kmol$$

$$Pm = \frac{N_T \bar{R} T}{V} = \frac{0.396 \times 8.314 \times 369}{100 \times 2.8}$$

$$= 4.04bar$$

(a)

$$\Delta Si = mi(Cvi \ln\frac{Tm}{Ti} + Ri \ln\frac{Vm}{Vi})$$

$$= 8.928(0.396 \ln\frac{369}{423} + 0.26 \ln\frac{2.8}{1.4})$$

$$= 1.126kJ/kg$$

(b)

$$\Delta Si = mi(Cvi \ln\frac{Tm}{Ti} + Ri \ln\frac{Vm}{Vi})$$

$$= 5.148(0.454 \ln\frac{369}{288} + 0.189 \ln\frac{2.8}{1.4})$$

$$= 1.1254kJ/K$$

$$\Delta S = \Delta S_a + \Delta S_b$$

$$= 1.126 + 1.254 = 2.4kJ/K$$

(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}

$$N_{CH_4}=1, \qquad No_2=3$$

$$\frac{N_{N2}}{N_{O_2}}=\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}}=\frac{0.79}{0.21}=\frac{N_{N2}}{3}$$

$$N_{N_2}=3\times\frac{79}{21}=11.286$$

عدد جزيئات الخليط $N_T=11.286+1+3=15.286$

$$Cp_m=\sum\frac{Ni}{N}.Cpi$$

$$=\frac{1}{15.286}\times 35.797+\frac{3}{15.286}\times 129.341$$

$$+\frac{11.286}{15.286}\times 29.14$$

$$=29.624kJ/kmol.K$$

$$Cv=Cp-\overline{R}=29.624-8.314$$

$$=21.31KJ/Kmol.k$$

$$M_T=\sum\frac{Ni}{N}.Mi$$

$$=\frac{1\times16}{15.286}+\frac{3\times32}{15.286}+\frac{11.286\times28}{15.286}=28$$

$$cp=\frac{Cp}{M}=\frac{29.624}{28}=1.058kJ/kg.K$$

$$cv=\frac{Cv}{M}=\frac{21.31}{28}=0.761kJ/kg.K$$

$$R=\frac{\overline{R}}{M}=\frac{8314.4}{28}=296.94kJ/kg.K$$

$$\gamma=\frac{Cp}{Cv}=\frac{1.058}{0.761}=1.39$$

$$P_2=P_1(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma}=1.(5)^{1.39}=9.4bar$$

$$T_2=T_1(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma-1}$$

$$=368(5)^{0.39}=689K=416^oC$$

$$\Delta s_{12}=s_2-s_1=0$$

$$\Delta\mu_{12}=\mu_2-\mu_1=Cv(T_2-T_1)$$

$$=0.761(415-95)=241kJ/kg$$

$$q_{12}-w_{12}=\Delta\mu_{12}=\mu_2-\mu_1-W_{12}$$

$$-w_{12}=\mu_2-\mu_1$$

$$w_{12}=\mu_1-\mu_2=-241kJ/kg$$

(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.

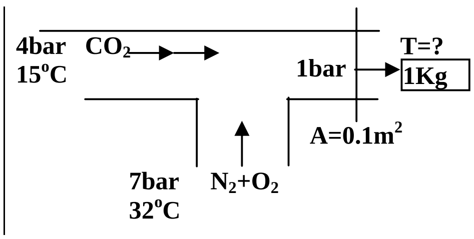
(2)الزيادة في الانتروبي النوعي.

(3)معدل الجريان الحجمي للخليط إذا كان جريان (CO) بمعدل (1 kg/min).

(4)سرعة جريان الخليط إذا كانت مساحة أنبوب الجريان بعد الخلط (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:-

$0.233O_2$, $0.767\ N_2$

$$m_{O2} = 0.233 \times 0.75 = 0.175kg$$

$$m_{N2} = 0.767O0.75 = 0.575g$$

الطاقة الداخلة = الطاقة الخارجة

$$(\sum mihi)_{in} = (\sum mihi)_{out}$$

$$\Rightarrow 0.175 \times 0.9182 \times 305 + 0.575 \times 1.05 \times 305$$

$$+ 0.25 \times 1.041 \times 288$$

$$= T(0.175 \times 0.9182 + 0 \times 575 \times 1.04$$

$$+ 0.25 \times 1.041)$$

$$306.351 = 1.0189T$$

$$\therefore T = 300.7K$$

	$\frac{Pi}{P} = \frac{Ni}{N}$	$\frac{Ni}{N}$	$N = \frac{m}{M}$	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:

$$m = 0.175, T_1 = 305K$$

$$T_2 = 300 \times 7K, P_1 = 7 \times 0.21$$

$$= 1.47bar, P_2 = 0.156bar$$

$$\therefore \Delta S_{o2} = m(Cv\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{V_2}{V_1})$$

$$= m(Cp\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{P_1}{P_2})$$

$$= 0.175(0.9182\ln\frac{300.7}{305} + \frac{8.314}{32}\ln\frac{1.47}{0.156})$$

$$= 0.1kJ/K$$

ب-بالنسبة للنتروجين:-

$$m = 0.598, T_1 = 305K$$

$$T_2 = 300.7K, P_2 = 7 \times 0.79 = 5.53bar,$$

$$P_1 = 0.588bar$$

$$\therefore \Delta S_{N_2} = m(Cp\ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{P_2}{P_1})$$

$$= 0.598(1.04\ln\frac{300.7}{305} + \frac{8.314}{28}\ln\frac{5.53}{0.588})$$

$$= 1.66kJ/K$$

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)

$$\frac{m_{CO}}{m_T} = \frac{1}{4} \Rightarrow 1kg(CO)$$

$$= 4kg(mixture)$$

∴ 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:-

$$m_{O_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{700 \times 0 \times 3 \times 0.21}{\frac{8.314}{32} \times 305}$$

$$= 0.5565kg$$

$$m_{N_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{700 \times 0.3 \times 0.79}{\frac{8.314}{28} \times 305}$$

$$= 1.8318kg$$

الاوكسجين في الخزان الثاني:-

$$m_{O_2} = \frac{Pv}{RT} = \frac{100 \times 0.03}{\frac{8.314}{32} \times 288}$$

$$= 08419kg$$

$$U_1 = U_2 = [(mo_2)_1 T_1 + (mo_2)_2 T_2] Cvo_2 + m_{N2} Cv_{N2} T_1$$

$$= (0.5565 \times 305 + 0.8419 \times 228) \times 0.6586 + 1.8318 \times 0.7436 \times 305$$

$$= 686.923kJ = U_2$$

$$U_2 = (mo_2 Cvo_2 + m_{N2} Cv_{N2})T$$

$$T = \frac{686.923}{(0.5565 + 0.8419)0.586 + 1.8318 \times 0.71 \times 36}$$

$$= 300.9K$$

$$Po_2 = \frac{mo_2 Ro_2 T}{Vo_2} = \frac{(0.5565 + 0.8419)}{0.33} \times \frac{8314.4}{32} \times 30 = 3.313bar$$

$$P_{N2} = \frac{1.8318 \times 8314.4}{28.0.33} \times 300.9$$

$$= 8.273bar$$

التحليل الحجمي:-

$$Ni = \frac{mi}{Mi}$$

$$No_2 = \frac{1.3984}{32} = 0.0427$$

$$N_{N2} = \frac{1.8318}{28} = 0.0654$$

$$N_T = 0.10912$$

$$\frac{Vo_2}{V} = \frac{No_2}{N} = \frac{0.0437}{0.10912} \times 100 = 40.1\%$$

$$\frac{VN_2}{V} = \frac{NN_2}{N} = \frac{0.0654}{0.10912} = 59.9\%$$

$$Cv_m = \sum \frac{mi}{m} Cvi$$

$$= \frac{(1.3984 \times 0.6586 + 1.8318 \times 0.743)}{3.2303}$$

$$= 0.7068kJ/kg.K$$

$$Cp_m = \sum \frac{mi}{m} Cpi$$

$$= \frac{(1.3984 \times 0.9182 + 1.8318 \times 1.04)}{(1.3984 + 1.8318)}$$

$$= 0.9873kJ/kg.K$$

$$R_m = Cp - Cv = 0.2805$$

$$M = \frac{\bar{R}}{R} = \frac{8314.4}{280.5} = 29.64$$

$$\gamma = Cp/Cv = 1.3969$$

تكملة

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:

$$mo_2 = 0.8419kg \times T_1 = 288K \times T_2$$

$$= 300.9K$$

$$V_1 = 0.03m^3, V_2 = 0.33m^3$$

$$\Delta S_2 = 0.8419(0.6586 \ln \frac{300.9}{288}$$

$$+ \frac{8.314}{32} \ln \frac{0.33}{0.03})$$

$$= 0.075kJ/K$$

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:-

$$\Delta H = mCp\Delta T$$

$$= 3.23 \times 0.9873(10 - 27.7)$$

$$= -56.4kJ$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta U}{m} = \frac{-40.4}{3.23} = -12.5kJ$$

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{m} = \frac{-56.4}{3.23} = -17.45kJ$$

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^{o}C). 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^{o}C) 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:(-0.557KJ, 0.983KJ/kg.K, 1.311KJ/kg.K, 15.05moles, 0.66kg)

(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:(1.36, 0.707kJ/kg.K, 0.074kJ/K, 42.5kJ, $300\,^oC$, 10bar,$0.06m^3$)

(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 (R_m). (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°C) وبعد التمدد (300°C).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:(0.159 ,0.649 ,0.146 ,0.046 ,0.15bar ,0.7bar ,0.1bar ,0.05bar ,612.9kJ/kg ,-0.0985kJ/kg.K)

(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°C). 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:(0.312bar ,0.299bar ,1.989bar ,-345kJ/kg ,-0.685kJ/kg.K)

(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 الإديباباتي 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 خصاف، الجامعة التكنولوجية، بغداد، 1981.

(6)الحرارة والثرموداينميك، تأليف د. سمير خضر، آمنة أحمد رمزي، جامعة بغداد، كلية العلوم، 1978.

(7)الثرموديناميكس، تأليف فرانسيس وستون سيرس، ترجمة د.طاهر مجيد الشربتي، د. رضا 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 سالم رضوان، دار ماكجرو-هيل للنشر، 1981.