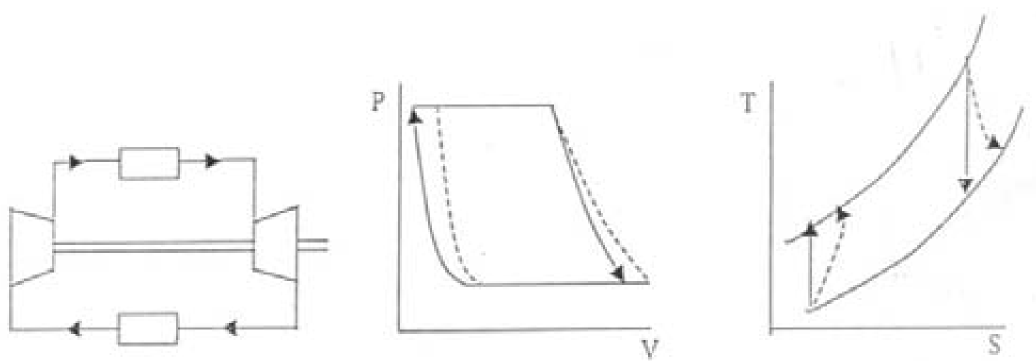
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة المكائن والمعدات

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 الْعِلْمَ 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،الحمد الذي أنزل كتابه المبين،هداية للعالمين ونوراً للمؤمنين ،الحمد الذي علم بالقلم،علم الانسان مالم يعلم،وصلاة ا وسلامه على من لارسول من بعده محمد بن عبد ا (ص) الرسول الامين الذي بعثه ا بالحق وعلى آله وصحبه ومن سار على نهجه.

وبعد ، فقد وفقنا في إنجاز هذا الكتاب الموسوم "أساسيات داينميك الحرارة" لتلبية حاجات طلبة 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 الحبيبة وليهيء لطلبتنا الاعزاء مادة غزيرة سهلة القراءة والفهم عن أساسيات علم داينميك الحرارة في عرض مبسط وواضح.

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

الوحدات والتعاريف الأساسية ،الضغط ودرجة الحرارة، الطاقة ، خواص الغازات ، القانون الاول لداينميك الحرارة ، الانظمة المفتوحة ، القانون الثاني لداينميك الحرارة ، دورات القدرة ،الانتروبي والخلائط الغازية،إن هذه الفصول دعمت بـ (307) مسألة محلولة وبوحدات (S1)، لتوضيح المواضيع النظرية وكيفية استعمال (257) معادلة رياضية ، لكي يتمرس الطالب ذهنياً على كيفية حل هذه المسائل، كما يحتوي على اجوبة (151) مسألة وردت في امتحانات السنوات الماضية لتغطي الجوانب كافة المتعلقة بالمواضيع المنهجية المقررة يستحسن ان يحلها الطالب بنفسه كي تكون 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 هذا الكتاب وأخص بالذكر الاساتذة الاجلاء :

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

الفصل الثالث

الطاقة (45- 71)

4. الفصل الرابع

خواص الغـــــازات (72-84)

5. الفصل الخامس

القانون الاول لديناميك الحرارة (85-159)

6. الفصل السادس

الانظمة المفتوحة (160-216)

7. الفصل السابع

القانون الثاني لديناميك الحرارة (217-239)

8. الفصل الثامن

دورات القدرة (240-276)

9. الفصل التاسع

الانتروبي (277-324)

10. الفصل العاشر

الخلائـــط الغازيـــــــة (325-370)

Introduction to Thermodynamics مقدمة إلى ديناميك الحرارة

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 ـــة الحراريـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـــة لانـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـ ـــه 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 .

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	المكافئالميكانيكي 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**	∫	Integration **تكامل**
ρ	Density , Rho **الكثافة**	Σ	Sigma , Summation **جمع**

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الثرموديناماكس) 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 .

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

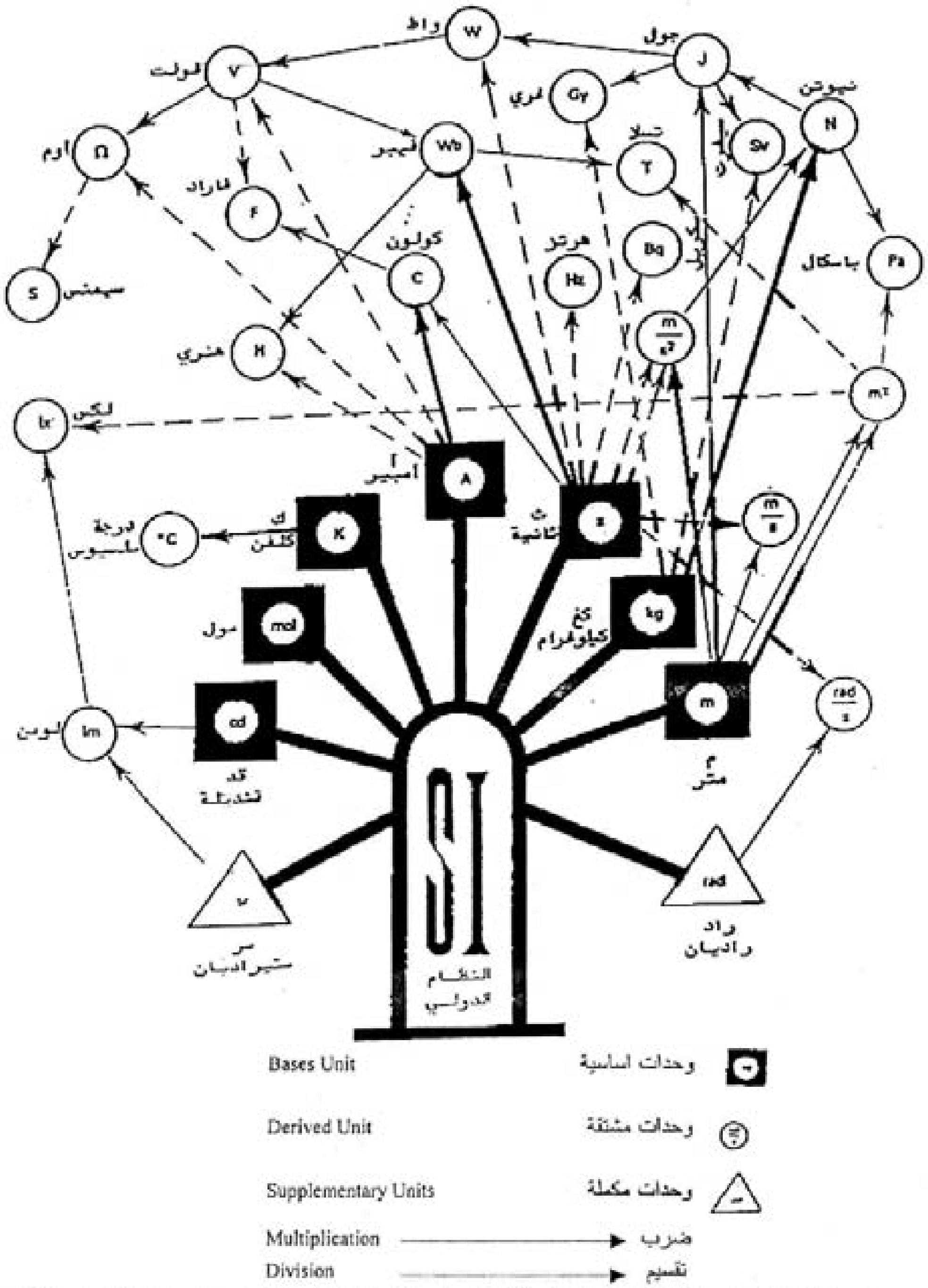
(1.2) - النظام العالمي للوحدات International System of Units

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 شـــدة الاضـــاءة (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 رقم (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 غرام واحد (kg) متراً واحداً لكل مربع ثانية (m/s^2). فتصبح وحدة القوة ($N = kg.m/s^2$)، ووحدة الشغل (N.m) ... الخ. وقد تختصر الوحدات المشتقة بمصطلح بسيط، فمثلاً وحدة الشغل الجول (J = N.m)، ووحدة القدرة الوات (W = J/s) ووحدة الضغط الباسكال ($Pa = N/m^2$) .... الخ.

وهناك نظام آخر للوحدات قليل الاستعمال هو النظام البريطاني (British Units). فمثلاً وحدة الكتلة في هذا النظام (Pound – mass) ورمزها (Lbm) يقابله في نظام (SI) الكيلو غرام الكتلي (Kilogram – mass)، ورمزه (kg.m). اما وحدة القوة في النظام البريطاني هو الباوند الثقلي (Pound – Force) ورمزه (Lbf). يقابله في نظام (SI) النيوتن (N) ووحدات اخرى، كما 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 بعض الوحدات البريطانية. كما يمكن تحويل هذه الوحدات من نظام لآخر بموجب معامل التحويل المبينة في جدول (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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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

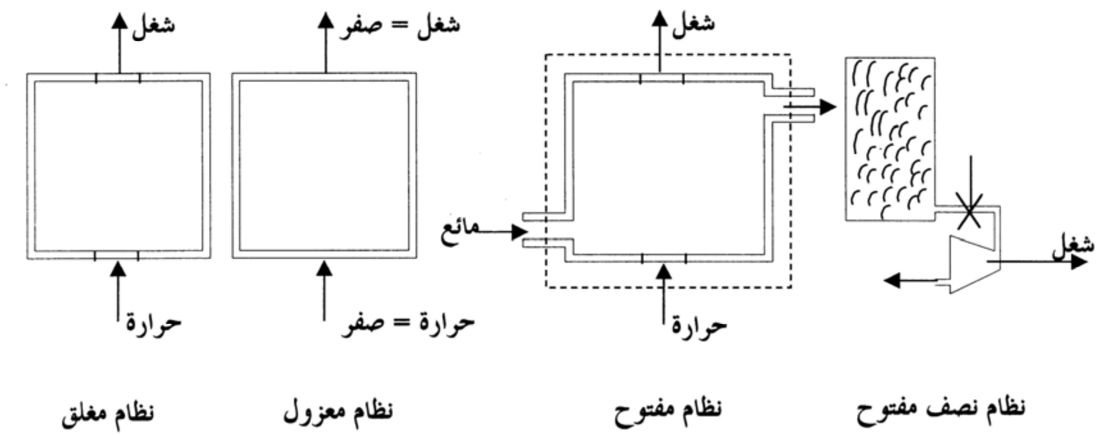
يحاط النظام بحدود (Boundary)، قد تكون حقيقية ثابتة كجدران الاسطوانة والمكبس، كمـا في الشكل (1.3). او قد تكون الحدود وهمية متغيرة كالدخان المتحرك في الجو، او انضغاط او تمـدد كمية من الغاز، حيث ينتقل الشغل والحرارة عبر الحدود.

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 مفتوحة، أي ان المائع يدخل ويخرج من كل واحدة من هذه المنظومات المصغرة المفتوحة.

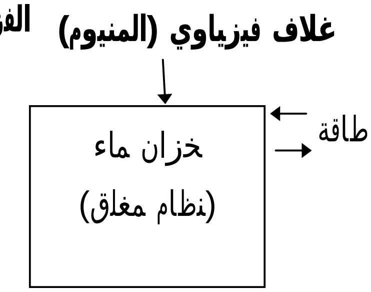
هـ - غلاف النظام الثرموديناميكي.

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

Boundary
الغلاف

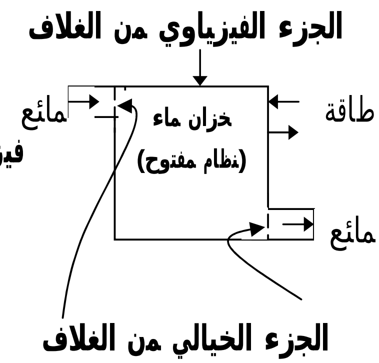
(1). Physical **الفزياوي**

*. لايسمح بأنتقال الكتلة. فأذا كان الخليط في غرفة الاحتراق يمثل نظام فأن جدران الاسطوانة وسطح المكبس وغطاء المحرك والصمامات وهي مغلقة تمثل جميعها الغلاف الفيزياوي.



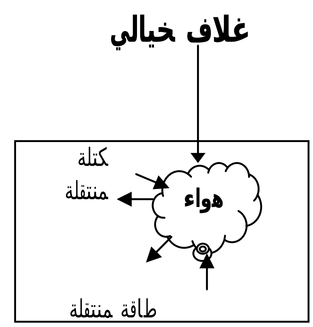
(2) Party Physical and Party Immaginary.
فيزياوي جزئياً وخيالي جزئياً

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



(3) Immaginary **الخيالي**

*. كمية صغيرة من الهواء داخل غرفة، فنتخيل ان لهذه الكمية غلافاً لكي نتمكن من دراسة تغيرات 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 ($1\ Liter = 1dm^3 = 10^{-3}\ m^3$). 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 وأن (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:

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

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:

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

or

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

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:

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

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:

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

(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:

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

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:

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

(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:

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

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.

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

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

(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 من بدء 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 هو وزن شخص 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.

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

(1.9)

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

$$F = m \times a = m \times \frac{C_2 - C_1}{t} = 2000 \times \frac{\frac{72\times10^3}{3600} - \frac{27\times10^3}{3600}}{20} = 2000 \times \frac{20 - 7.5}{20} = 1.250kN$$

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

$$W = F \times L = 1.25 \times 275 = 343.75kJ$$

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

(1.10)

عربة كتلتها (1500kg) تسير بسرعة (90km/h). اريد ختبار المكابح. وقد سلطت الكوابح لانتاج 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) $F = \mu W = \mu \times m \times g$

$= 0.8 \times 1500 \times 9.81 = 11.772kN$

(2) $a = \frac{F}{m}$ لأن $(F = ma)$

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

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

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

$C_2 = 0$ لأن السيارة توقفت

$a = -7.484m/s^2$ التعجيل

$$F = m.a = \frac{m(C_2 - C_1)}{t}$$

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

(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 تبقـى ثابتة لكل نصف من هذا النظام كالضغط ودرجة الحرارة والكثافة هـذه الخـواص تـدعى بالـضمنية او المركزة او المؤكدة (Intensive) وهي لا تعتمد على كتلة النظام.

اما الخواص التي تتنصف كالحجم والطول والمساحة والوزن والطاقـة الداخليـة، فإنهـا تـدعى 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 النوعيـة لتلـك الخاصية. وسيرمز للخواص الشاملة بالحروف الكبيرة، وللقيم النوعية المناظرة لها بحروف صغيرة. فـإذا رمز للحجم الكلي للنظام بالحرف (V) فان الحجم النوعي يرمز له بالحرف (ν)، ولو كانت كتلة النظـام هي (m) فإن:

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

والحجم النوعي هو مقلوب الكثافة، أي:

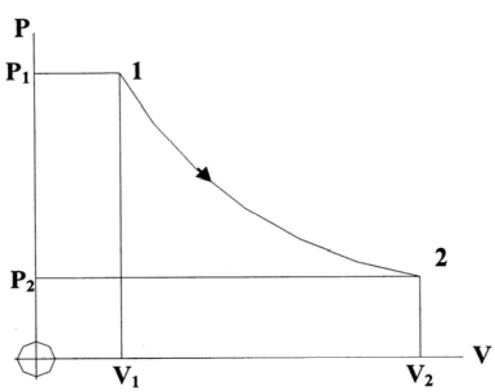
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{V/m} = \frac{1}{\upsilon} \quad ....(1.19)$$

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

وعند قسمة الخاصية الشاملة كالوزن (F) على شاملة اخرى كالمساحة (A)، فـسينتج الـضغط $\left(P=\frac{F}{A}\right)$ 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:

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

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:

$$\int_{1}^{2} dQ = Q_{12} \text{ OR } Q \quad ، \quad \int_{1}^{2} dW = W_{12} \text{ OR } W \; .... (1.21)$$

(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:

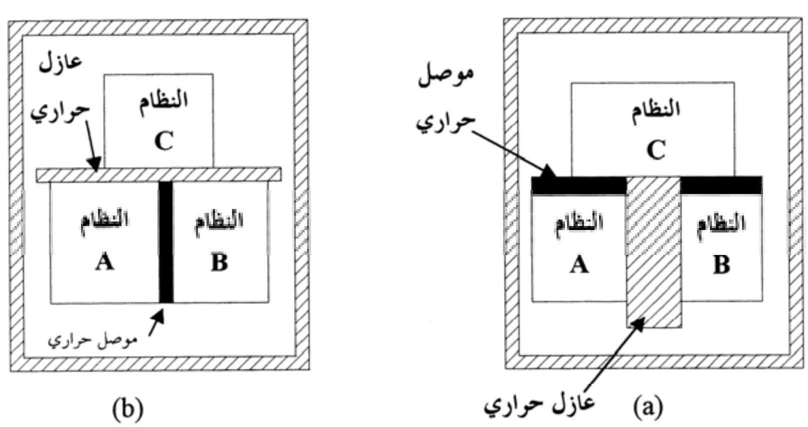
1- عزل النظام عن المحيط بحيث لا تنتقل حرارة او شغل عبر حدوده.

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.

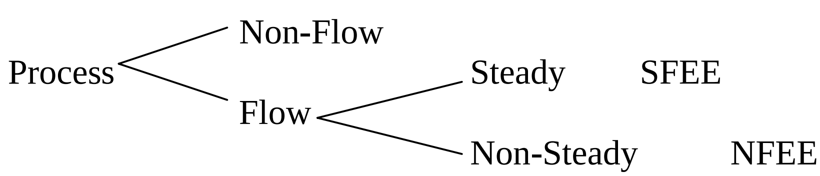
تتغير حالة النظام في العمليات الثرموديناميكية التي يمكن تصنيفها كما يأتي:-

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

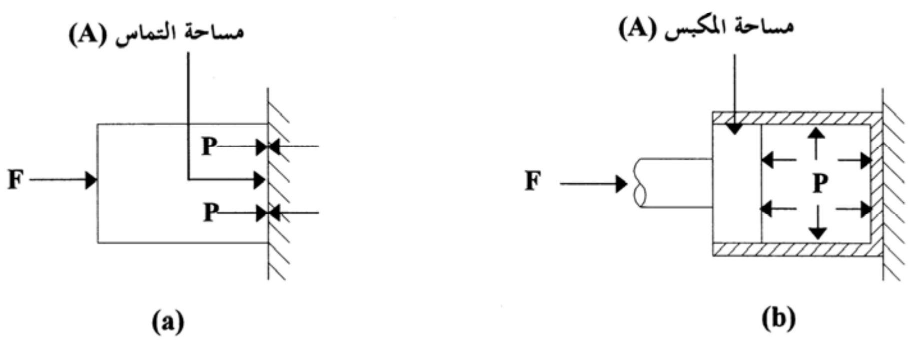
Mechanical Concept of Pressure

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)

$= 10^6$ **Pa** (N/m^2)
$= 1 N/mm^2$

وكذلك تستعمل وحدات البار (bar) والهيكتوبار:

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

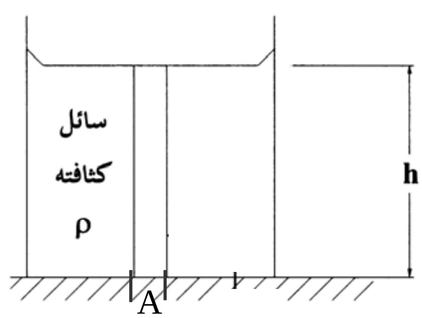
ان (البار)* هو الضغط الذي يسببه عمود من الزئبق ارتفاعـه (750mm)، وفـي الوحـدات البريطانية تكون القوة بالباوند (Lb) والمساحة بالانج المربع (in^2)، عليـه تكـون وحـدة الـضغط (Lb/in^2) ويسمى (PSI)، علاقته مع الـ (.atm) هي:

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

(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.

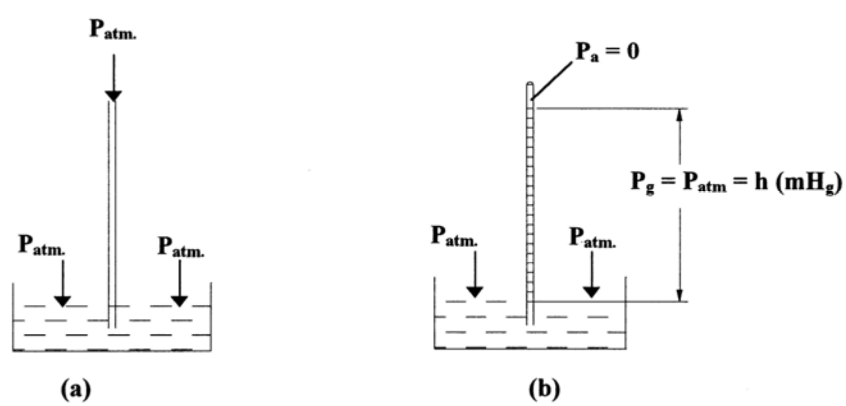
الكرة الارضية محاطة بالهواء الجوي يمتد الى عدة كيلومترات فوق سطحها. هذا الهواء يولد ضغطاً على سطح الارض نتيجة لوزنه فوق هذا السطح يسمى بالضغط الجـوي ورمـزه (Patm.). ولما كان الضغط يساوي القوة على وحدة المساحة، فسيكون الضغط على متر مربع واحد من سـطح الارض يساوي وزن عمود الهواء فوقها مفترضاً بذلك احتواءه 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/in²
= 1.013 bar
= 1.01325 kg/cm²

(2.4)- مقياس الضغط الجوي او الباروميتر 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 الباروميتر

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 البارومیتر 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 $13600 kg/m^3$) فيكون:

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

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

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

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:

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

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

$$P = \rho g h = 13600\times 9.81\times \frac{h}{10^3} = 133.4\, h\, (N/m^2)$$

$$= 133.4\times 10^{-3}\, h\, (kN/m^2)$$

$$= 133.4\times 10^{-6}\, h\, (MN/m^2)$$

$$= 133.4\times 10^{-5}\, h\, (bar)$$

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 الباروميترات لقياس الضغط الجوي منها الزئبقي، والمعدني، والمعدني المسجل، وفورتن.

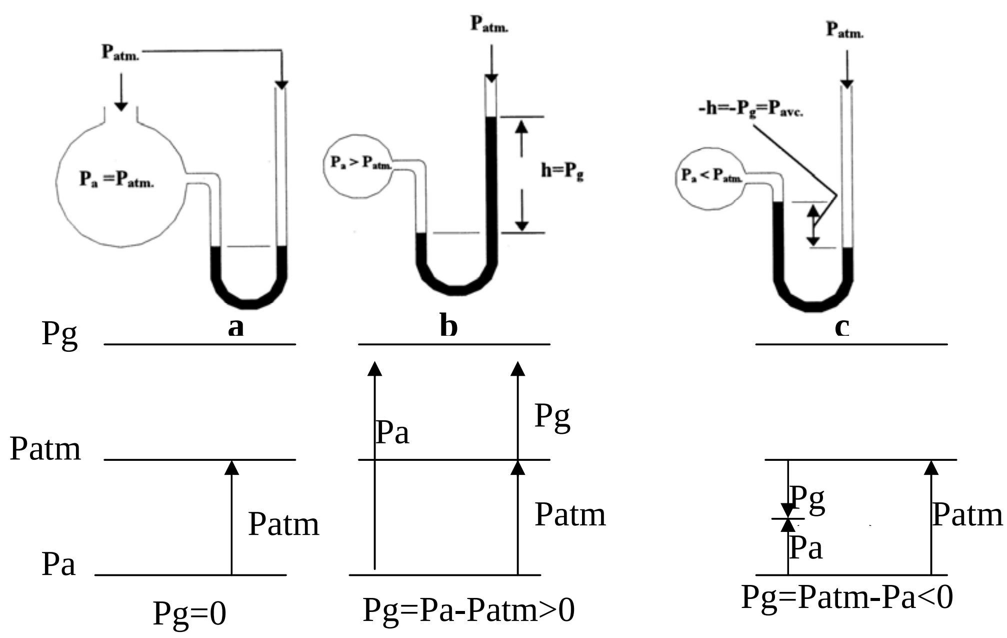
(2.5)- المانوميتر The Manometer

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 الانبوب بسبب تأثير الضغط الجوي على الطرفين وسيكون الضغط المقاس (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 الايمن للأنبوب بمقدار (+h) او (Pg) الذي يمثل مقياس الضغط الموجب. كما هي الحال في المراجل البخارية وسيكون:

Pg = Pa – Patm. > 0 …….. (2.3)

3- عندما يكون (Pa < Patm.) كما في شكل (2.4-c)، أي ضغط تخلخلي، فسينخفض مستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار (-h) او (-Pg) او (Pvac.) الذي يمثل مقياس الضغط السالب او مقياس التفريغ او التخلخل (Gauge Vacuum) كما هو الحال في المكثفات البخارية 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

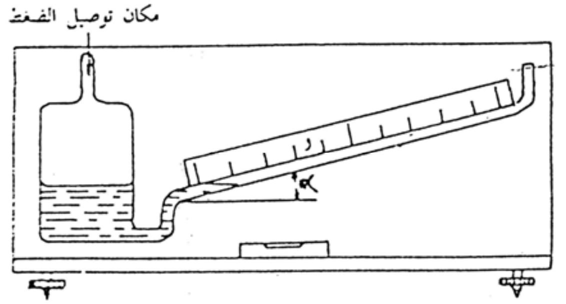
$$= 96\text{kPa} + 0.85 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.55\,\text{m} \times \frac{1\text{kPa}}{10^3\,\text{Pa}}$$

$$= 100.6\,\text{kPa}$$

(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 ($\alpha=10°$) فان طول المقياس على طول الانبوب المائل:

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

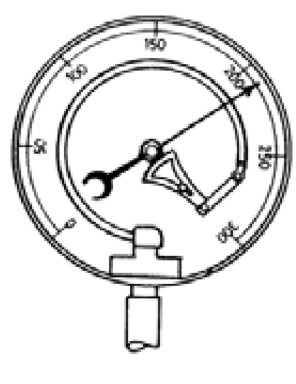


شكل (2.5)- المانوميتر المائل

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 الضلال 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:

$$\mathbf{t\ ^{\circ}F = 1.8\ t\ ^{\circ}C + 32 = 1.8\times 50 + 32 = 122\ ^{\circ}F}$$

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 التـي عندها تتلاشى تماماً كمية الطاقة المخزونة داخل الجـسم. يـستعمل هـذا المقيـاس فـي الحـسابات الثرموديناميكية ويشمل:-

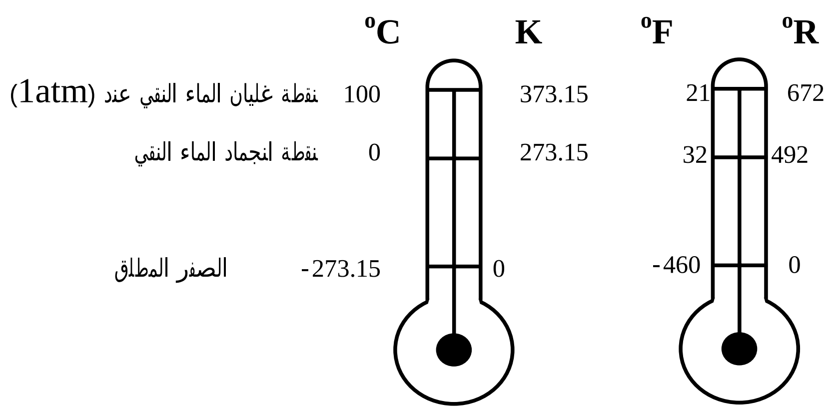
أ- مقياس كلفن Kelvin Scale

سمي بكلفن عام (1851) نسبةً الى مخترعه العالم البريطاني لورد كلفـن (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 يكـون الـصفر المطلـق 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 لهـا، أي ($\Delta T = \Delta t$) كما موضح في ادناه:

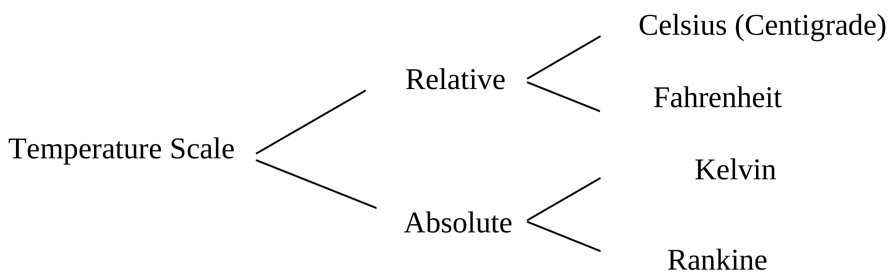
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (t_2 + 273) - (t_1 + 273) = t_2 - t_1 = \Delta t \qquad \ldots. (2.7)$$



شكل (2.7)- مقاييس درجة الحرارة

ب- مقياس رنكن Rankine Scale

يستعمل في الدول الناطقة باللغة الانكليزية، رمز درجة الحرارة على هـذا المقيـاس (T°R) ووحدتها (°R). يناظر المقياس الفهرنهايتي، وتكون درجة الصفر المطلـق تـساوي (-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 درجـة الحـرارة (°C، K، °F، °R) بحـسب المقيـاس المـستعمل او (deg. C، K، deg. F، deg. R).

مثال (2.6)

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

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

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

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

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).

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

(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 ($101325N/m^2$).

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

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

(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 فيه كسائل الزئبق، الماء، الكحول. احسب ارتفاع عمود السائل. اذا كان (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).

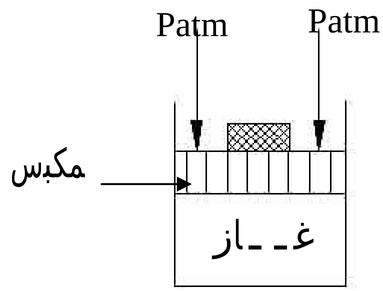
$Pa = Patm. + Pg = 1.75 + 13600 \times 9.81 \times 0.757$

$= 1.851$ 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.



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

$$= 0.434\ kPa$$

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

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

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

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

$$= 100.496\ kPa = 1.00496\ bar$$

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

(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.

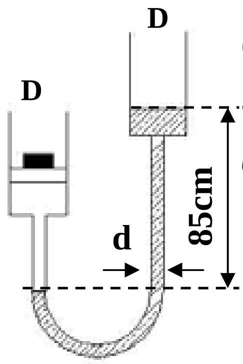
$$\mathbf{Pa = Patm. + Pg = Patm. + \frac{F}{A} = Patm. + \frac{m \times g}{A}}$$

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

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

مسائل

(2.1)



في النظام الموضح في الشكل، يوجد غاز فوقه مكبس حر الحركة عليه ثقل. احسب وزن المكبس والثقل مجتمعين اذا كان النظام في حالة سكون واحسب كذلك الضغط المطلق والضغط المقاس للغاز إذا علمت ان الضغط الجوي (1.01bar) وكثافة الزئبق ($13.6\ g/cm^3$). 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 المطلق للغاز عند الدخول والخروج من الضاغط، اذا كان الضغط الجوي(760 mmHg) وكثافة الزئبق ($13600\ kg/m^3$). إذا وضع مانوميتر زئبقي على شكل (U) بين الدخول والخروج. احسب فرق 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

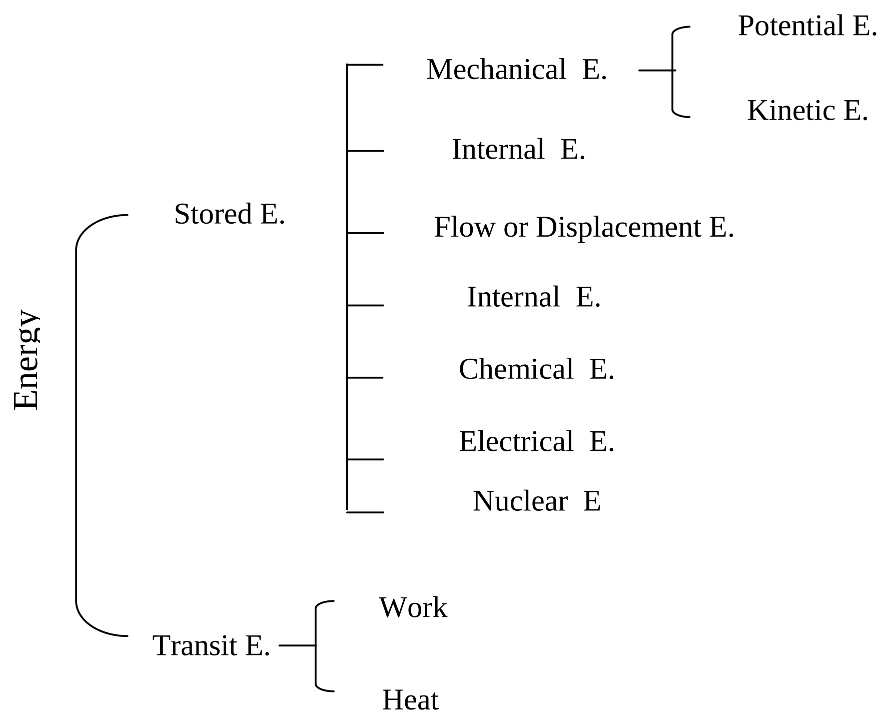
جـ- امواج البحر

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:

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

والطاقة الكامنة النوعية تساوي:

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

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:

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

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

$$W_t = \int FdL \quad ....(3.5)$$

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

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

اما التغير في الطاقة الحركية فيساوي:

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

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

اما الطاقة الحركية النوعية فتساوي:

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

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

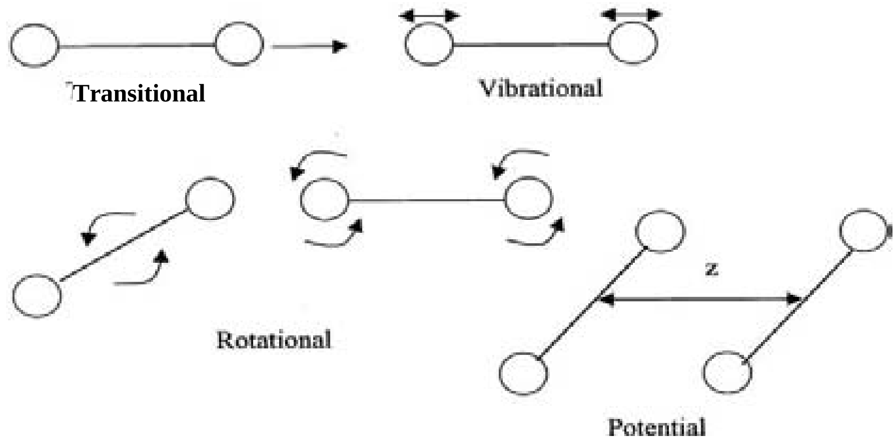
$$\frac{kJ}{kg} = 10^3\frac{J}{kg} = 10^3\frac{N.m}{kg} = 10^3\frac{kg\times\frac{m}{s^2}\times m}{kg} = 10^3\frac{m^2}{s^2} \quad ....(3.9)$$

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

$$\Delta KE = \frac{\Delta c^2}{2} = \frac{m^2/s^2}{2}.\frac{kJ/kg}{10^3\,m^2/s^2} = \frac{\Delta c^2}{2\times10^3}\ (kJ/kg) \quad ....(3.10)$$

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 بسبب 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

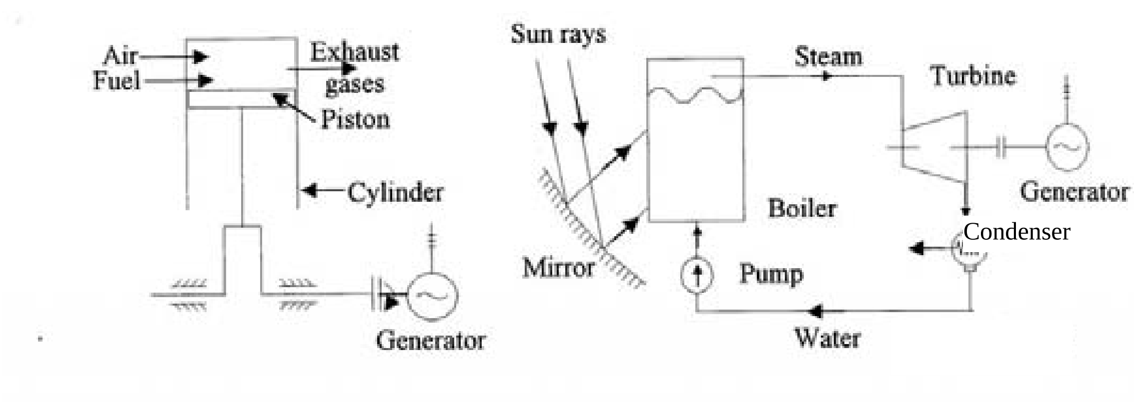
6- المحطة الهيدروليكية شكل (3.4-b) Hydraulic Power Plant

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 طاقـة حرارية، نواتج الاحتراق (Product of Combustion) تتمدد ويتحـرك المكـبس حركـة ترددية (Reciprocating) ثم تتحول الى حركة دورانية (Rotary) بوساطة آلية المرفـق وذراع التوصـيل (Crank Connecting rod mechanism) يستغلها المولد لأنتاج الطاقة الكهربائية. أي ان:

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

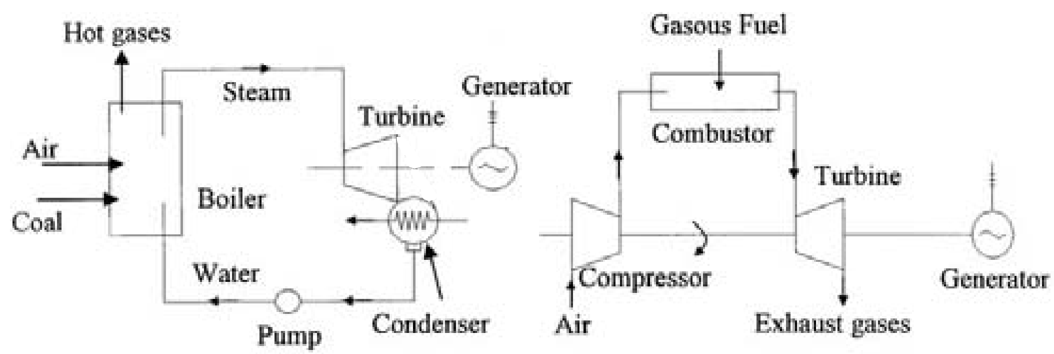


(b) محطة ديزل   (a) محطة شمسية

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.



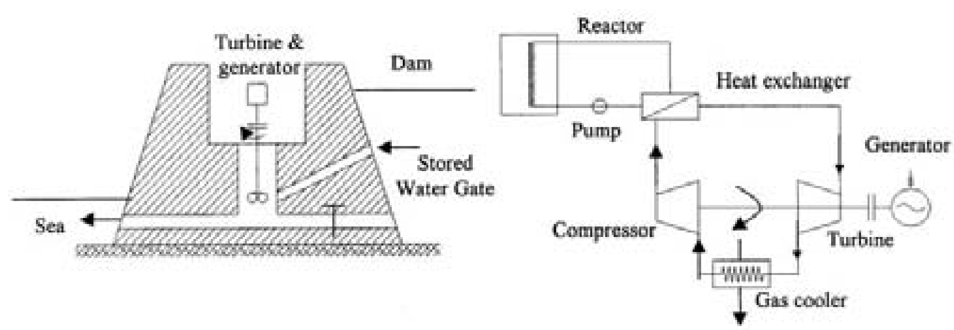
(b) محطة بخارية (a) محطة غازية

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.



(b) محطة هيدروليكية (a) محطة نووية

شكل (3.4) – محطة توليد الطاقة

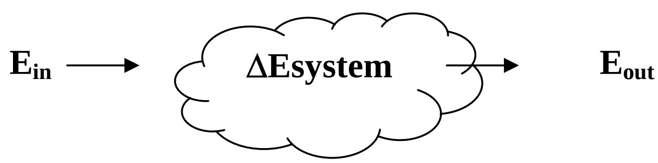
4- المحطة النووية الغازية

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.

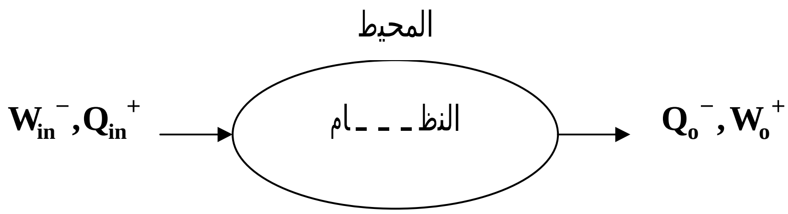
(3.4.2)- العلاقة بين الحرارة والشغل Relationship between Heat & Work

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

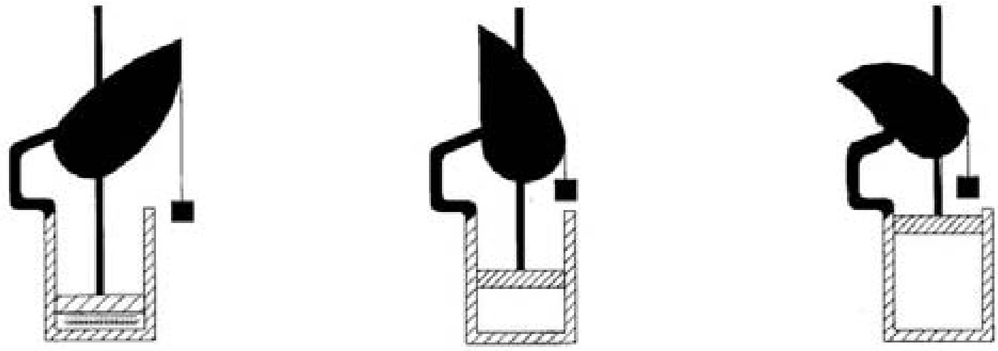
رمز الشغل (W) والنوعي (w) الذي يساوي (w=W/m)، ورمز الحـرارة (Q) والحـرارة لكل (1Kg) بالرمز (q) والتي تساوي (q=Q/m). ويقال عن الشغل المنتقل من النظام الى المحـيط بالشغل الخارجي (External Work) ورمزه (W_{out}) واشارته موجبة. وعن الـشغل المنتقـل مـن المحيط الى النظام بالشغل الداخلي (Internal Work) ورمزه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



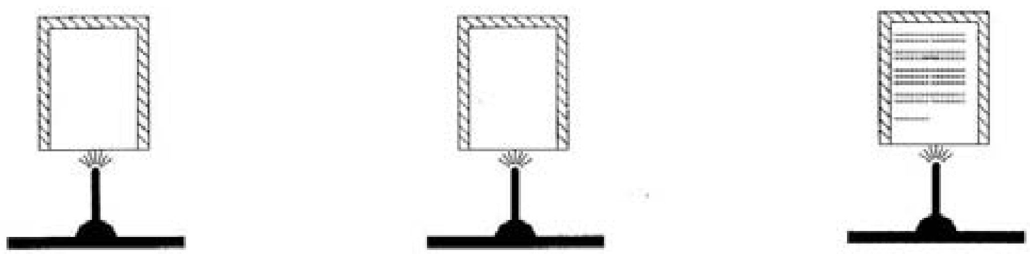
شكل (3.6)- رمز و اشارة الحرارة والشغل

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

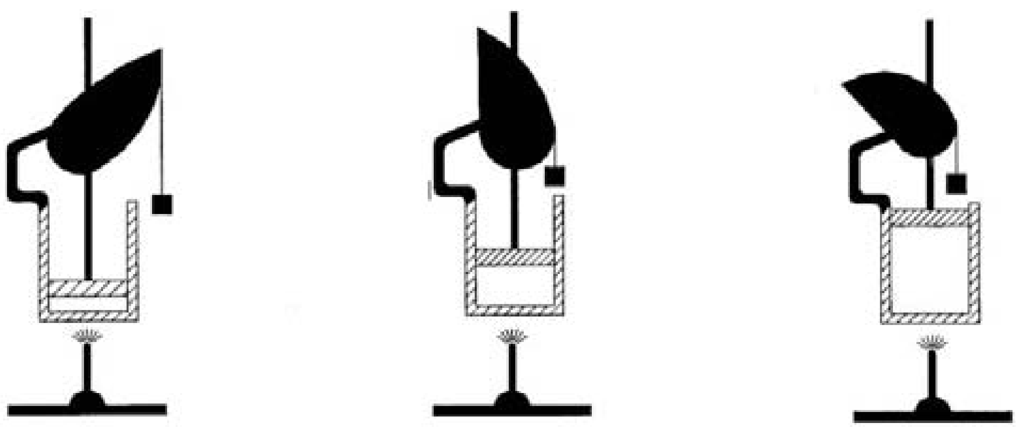
ولكي نميز بين الحرارة والشغل ننظر الى شكل (3.7)، فـأن (أ) يوضـح ان المـائع يتمـدد اديباباتياً، بتخفيض الوزن وينجز شغلاً، بينما يظل المائع قريباً من حالة الاتزان. وفي (ب) تنتقل حرارة بدون شغل، وفي (جـ) تنتقل حرارة فيتمدد المائع وينجز شغلاً.



(أ) شغل أدياباتي



(ب) حرارة بدون شغل

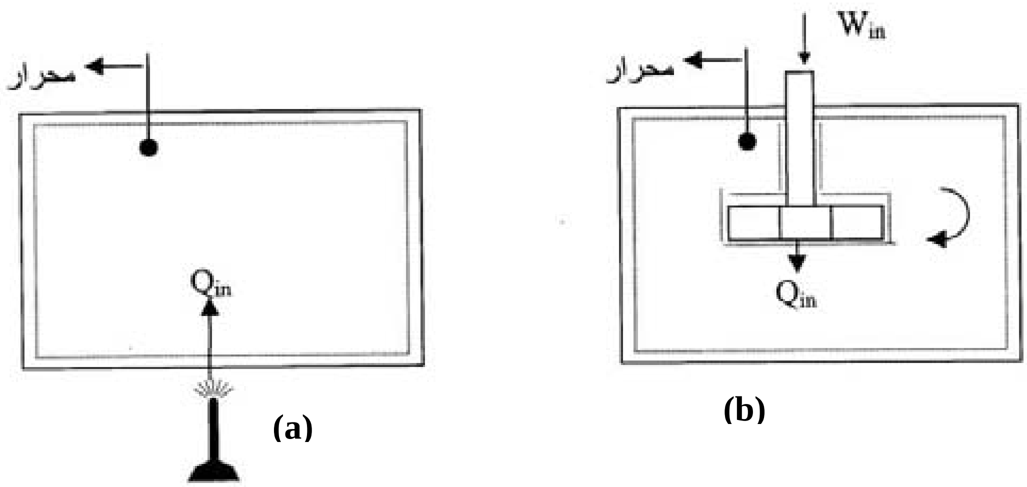


(جـ) شغل وحرارة

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



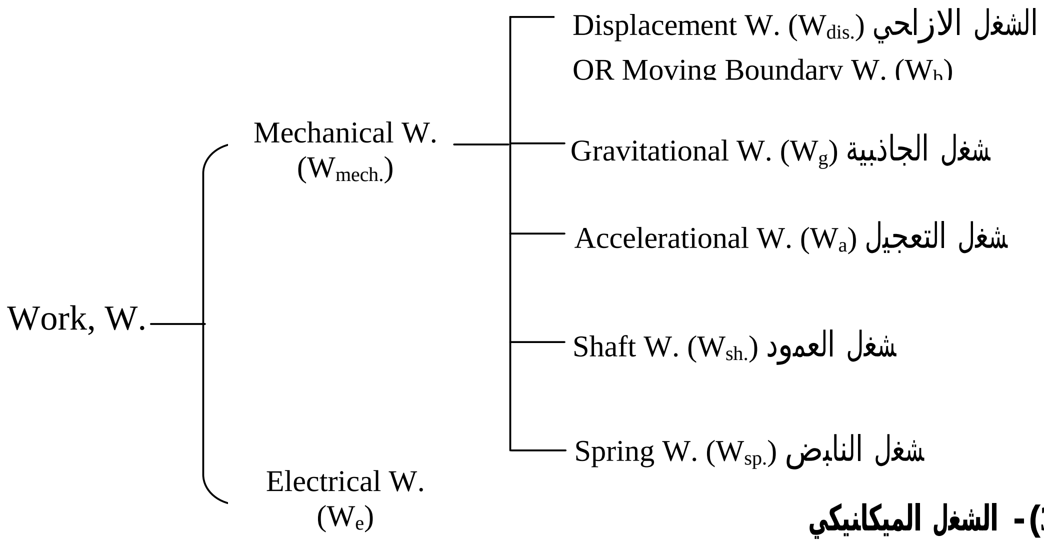
شكل (3.8)– الشغل والحرارة شكلان متبادلان من اشكال الطاقة

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).

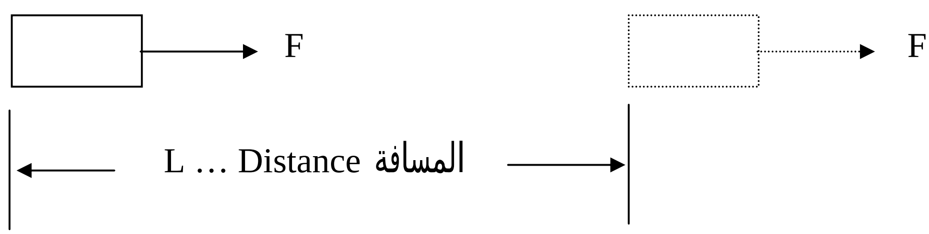
(3.5)- اشكال الشغل Forms of Work

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.



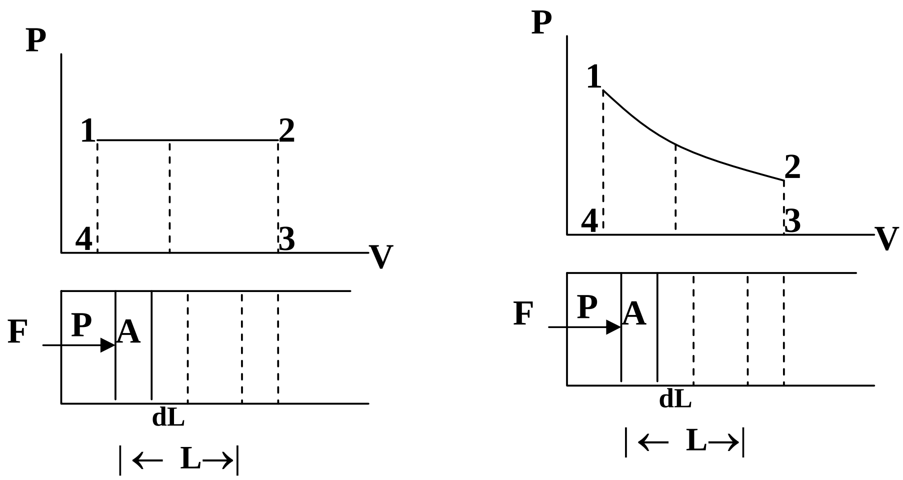
شكل (3.9)- اذا لم تكن حركة، لم يكن شغلاً

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

$$W_{mech.} = F \cdot L = \int_1^2 F dL \qquad \text{...........} \quad (3.12)$$

(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

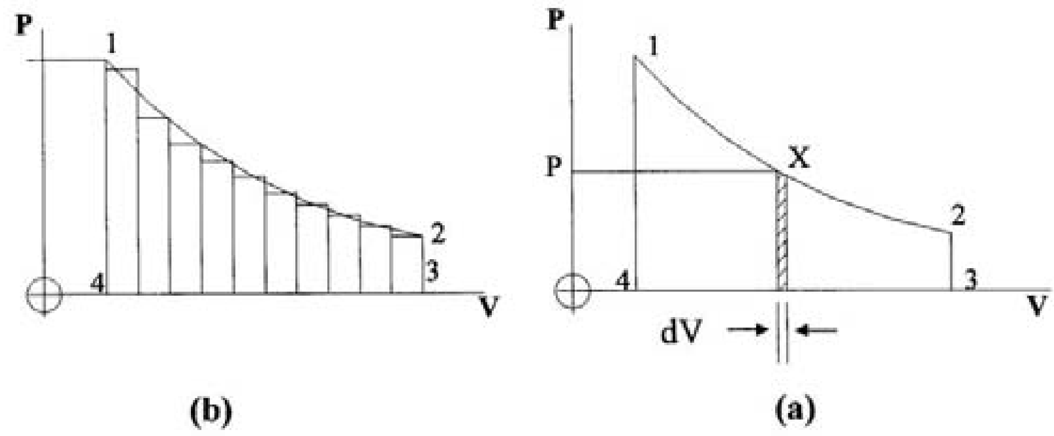
الشغل الازاحي في اجراءات عدم التدفق هو الشغل المبذول بوساطة قوة مؤثرة على مكبس نزيحه من مكان لآخر لنفترض وجود كمية من غاز حجمه (V) وضغطه (P) في اسطوانة محكمة يتحرك بداخلها مكبس مساحة مقطعه العرضي (A) عديم التسرب والاحتكاك، تؤثر فيه قوة (F) تزيحه من الحالة (1) الى الحالة (2) كما في شكل (3.10). عندما نفترض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

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

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

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

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



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:

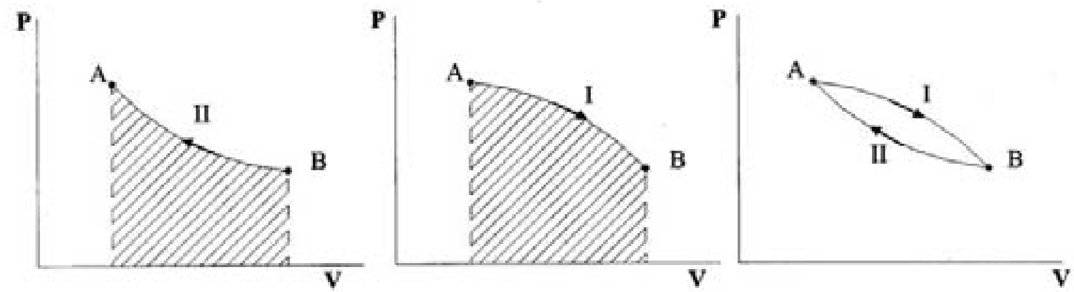
$$\int dW = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \sum P\,dV \quad ....(3.16)$$

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

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

(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→I→B→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* $\left(\int_1^2 dQ=Q_{12}\ (orQ)\right)$ ، $\left(\int_1^2 dW=W_{12}(orW)\right)$ 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.

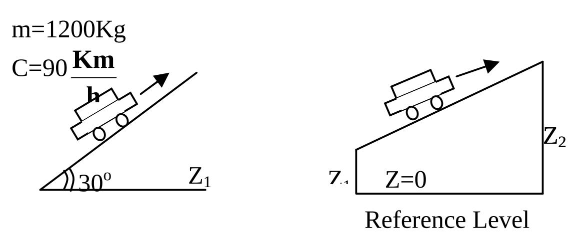
(3.5.4) - القدرة الميكانيكية Mechanical Power

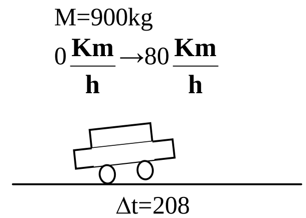
هي المعدل الزمني لأنجاز شغل، أي ($P=\frac{w}{t}$) بوحدات الواط (W) او (KW) او (MW).
الواط هو شغل منجز (J) لكل ثانية (s)، أي ($W=\frac{J}{s}$). وهو بديل للوحدة القديمة المسماة بالقـدرة الحصانية (HP). ان التسمية واط نسبة الى جيمس واط (1736-1814) مخترع الماكنة البخارية.

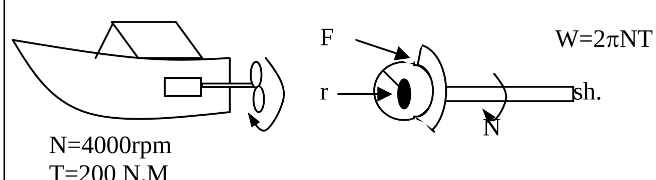
3.5.5 اشكال الشغل الميكانيكي Mechanical Forms of Work

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).

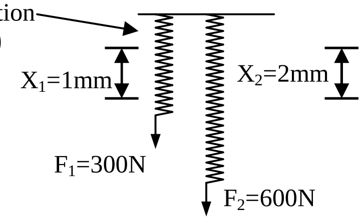
جدول (3.1) اشكال الشغل الميكانيكي

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	$\dot{W}_g = \sum_1^2 FdZ = \sum_1^2 mgdz = mg\Delta Z$ $\dot{W}_g = mg\frac{\Delta Z}{\Delta t} = mg\,.\,C_{vertical}$ $= 1200Kg \times 9.81\frac{m}{s^2} \times 90\frac{Km}{h} \times \sin 30$ $\times\left(\frac{m/s}{3.6Km/h}\right)\times\left(\frac{KJ/Kg}{10^3 m^2/s^2}\right) = 147KW$ 

<table>
<tr>
<td>3- Accelerational W.
شغل التعجيل</td>
<td>إذا كان (C) السرعة، (L) الازاحة او المسافة، (t) الزمن، 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 $W_{sp.} = \frac{1}{2} k \, (X_2^2 \quad X_1^2)$ 

(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).

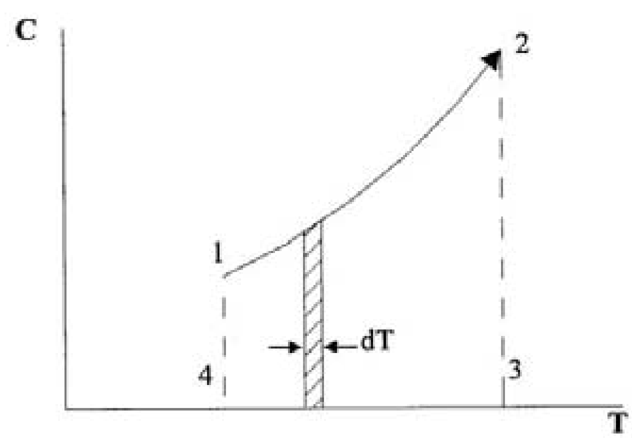
يحصل النظام على حرارة بواسطة التسخين المباشر، الاحتكـاك الميكـانيكي، مـرور التيـار الكهربائي، التفاعل الكمياوي.

(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

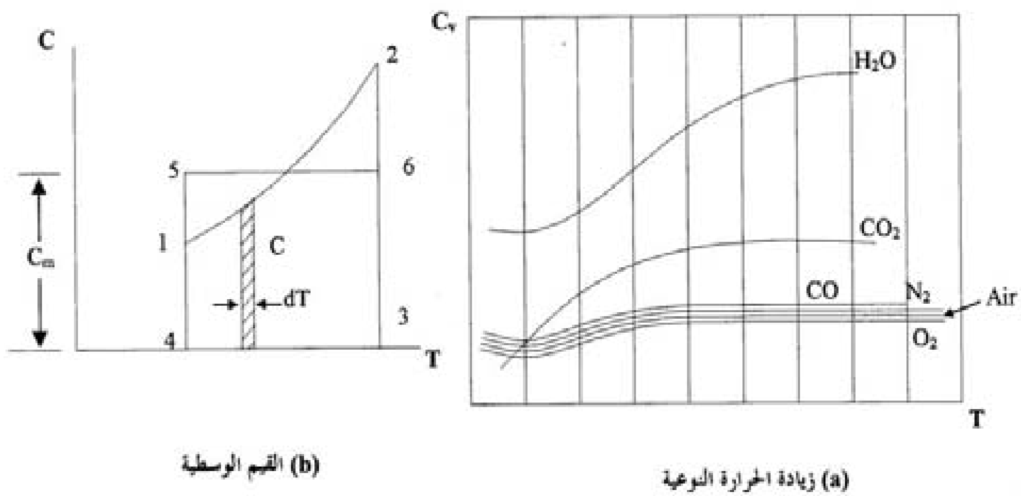


شكل (3.13)- تغير الحرارة النوعية بتغير درجة الحرارة

---

* 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.

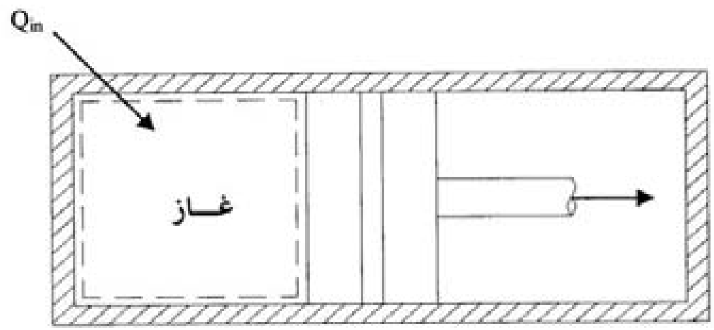
عند تسخين غاز موجود في اسطوانة مغلقة بمكبس كما في شكل (3.15)، فإن كميـة الحـرارة تعتمد على ما يحدث للمكبس، فعند تثبيت المكبس سوف يسخن الغاز بحجم ثابت. وإذا تحرك المكـبس وأنجز شغلاً فسيكون بسبب تسخين الغاز تحت ضغط ثابت (وزن المكبس)، لذلك هناك نوعان تاليـان للحرارة النوعية للغاز:

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:

Cp = ϕ (T)

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

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

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

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

Cw = 4.2 kJ / kg . K

امثلة محلولة:

(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

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

(3.7)

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

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

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

(3.8)

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

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

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

(3.9)

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

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

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

(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.

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

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

(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).

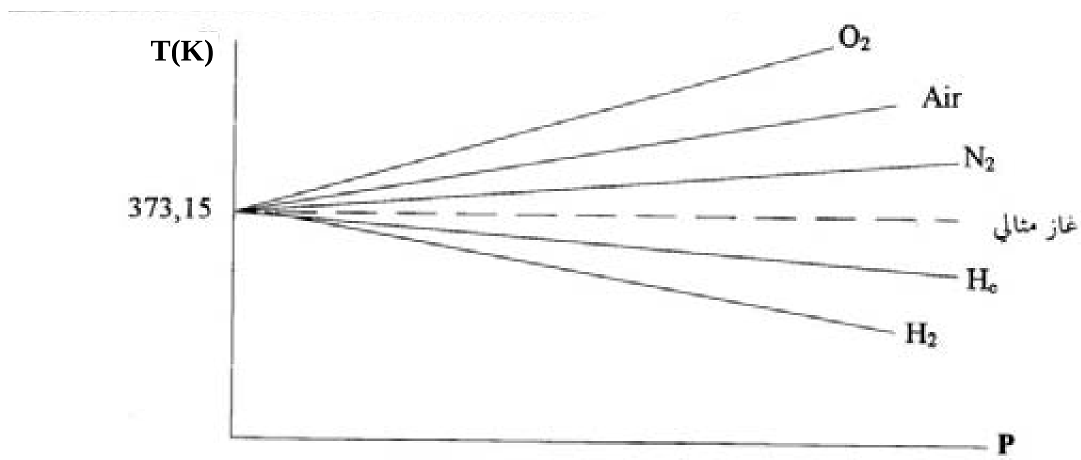
ج: (0.89 kW).

الفصل الرابع- خواص الغازات

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

إن الغاز المثالي هو غاز تخيلي غير موجود في الطبيعة، لذا فهو حالة مثالية يخضع للأفتراضات الآتية:

1- يخضع لقوانين بويل وشارل وغايلوساك. إن هذه القوانين تنطبق على الغازات المثالية والحقيقية، لأن لهما السلوك نفسه تقريباً وخصوصاً عند الضغوط المنخفضة ودرجات الحرارة العالية. فسلوك الكثير من الغازات الحقيقية (الدائمية) (Permanent Gas) مثل الاوكسجين والهواء والنتروجين والهيدروجين ... الخ، تشبه سلوك الغاز التالي بحسب ما موضح في الشكل (4.1)، الذي يبين ان سلوك الغازات الحقيقية والمثالية تكون متطابقة عند الضغوط المنخفضة ودرجات الحرارة العالية (373.15K).



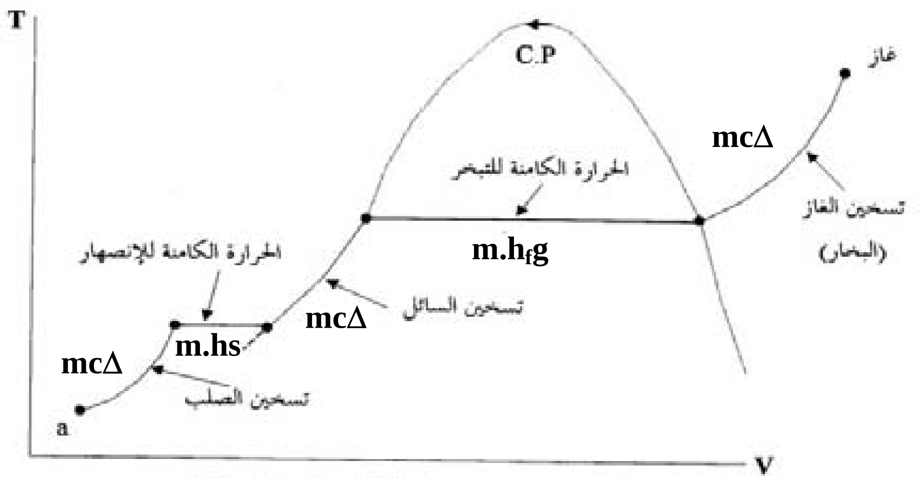
شكل(4.1)- تشابه سلوك الغازات الحقيقية والمثالية

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

----

* ان الغازات الحقيقية هي الغازات العادية او الدائمة كالاوكسجين والهيدروجين والنتروجين وغيرها. 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.

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

$= 20×2.1× [0–(-10)]+20.336+20×4.2× (100-0)+20.2256+20×1.95× (120-100)$

$= 420 + 6720 + 8400 + 45120 + 780 = 62220$ J

الحرارة الكامنة للأنصهار Latent Heat of Liquidization

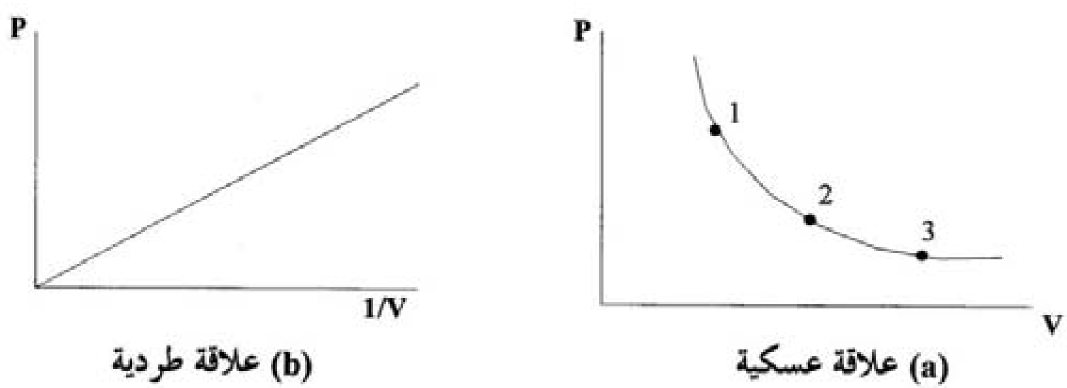
هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل (1kg) من المادة الصلبة الى سائلة بثبوت درجة الحرارة وحـدتها (kJ/kg).ورمزها (h_sL) . (1kg)

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:



شكل (4.3)– قانون بويل

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

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 درجـة الحـرارة. وفـي الحقيقة اكتشف هذا القانون شخص آخر وهو العالم الفرنسي آدم ماريوت الذي كـان يعمـل مـستقلاً 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 الحجـم ودرجة الحرارة يمثل بخط مستقيم على مخطط (V-t) المبين في شكل (4.4-a). فإذا كان (V) يمثـل الحجم، (t) درجة الحرارة، (C) الميل وهو قيمة ثابتة، (Vo) الحجم عند الصفر المئوي، فسيعبر عن هذه التجربة رياضياً كما يأتي:

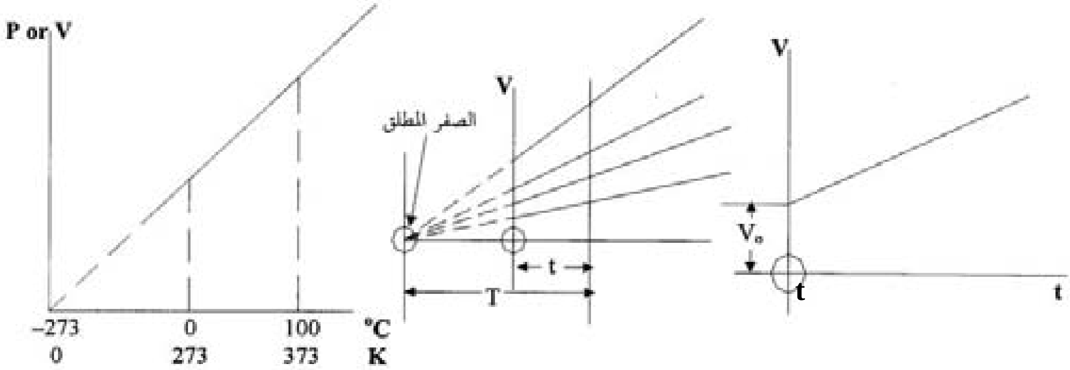
$$V = C\,t + V_o \qquad \text{............ (4.2)}$$

كما لوحظ ان امتداد الخط المستقيم يلتقي عند نقطة جديدة على محور السينات وعنـدها يـصبح القانون:

$$V = C\,T \qquad \text{........... (4.3)}$$

وعند اجراء التجربة على غازات مختلفة فسيكون هناك عدة خطوط مستقيمة تلتقي جميعها عنـد النقطة الجديدة نفسها على محور السينات، كما في شكل (4.4-b). هذه النقطة تمثل الـصفر المطلـق 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:

$$T = t + 273 \qquad \text{..... (4.4)}$$



(c) قيمة الصفر المطلق (b) الصفر المطلق (a) علاقة طردية

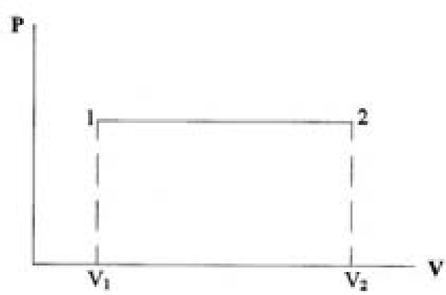
شكل(4.4)- قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة

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:

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

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:

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

(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
$P = P_o \cdot \frac{T}{T_o}$ $= P_o \cdot \frac{t+273}{273}$ $= P_o \cdot \left(\frac{1}{273} t + 1\right)$ $= P_o \cdot (\beta t + 1)$	$V = V_o \cdot \frac{T}{T_o}$ ...... (4.7) $= V_o \cdot \frac{t+273}{273}$ $= V_o \cdot \left(\frac{1}{273} t + 1\right)$ $= V_o \cdot (\alpha t + 1)$ ..... (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 بحجـم) ثابت.

إن الغاز المثالي يبقى غازياً تحت جميع الظروف. وقد وجد ان حجمه يكون صفراً عند الـصفر 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:

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

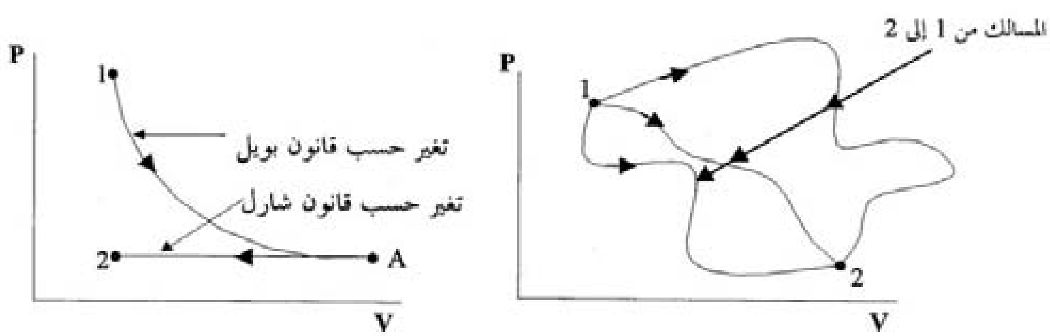
اما الحجم الجديد عند تبريد الغاز فيساوي:

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

(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 تغيـر في الضغط والحجم ودرجة الحرارة في وقت واحد. لذلك لا يمكن تطبيق قانون بويل الـذي يـشترط ثبوت درجة الحرارة، ولا قانون شارل الذي يشترط ثبوت الضغط. عندئذٍ نحتاج الى قانون او معادلـة 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 نهائيـاً 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:

$$P_1V_1 = P_A V_A = P_2V_A$$

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

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

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

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

وبتعويض المعادلة (4.14) بـ (4.13) يكون:

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

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

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

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

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

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

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

اما بالنسبة لكتلة (m) من الغاز فيكون:

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

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:

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

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

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

$$P\nu = RT \quad .... (4.21)$$

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:

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

(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:

$$h = \mu + P\nu \quad .... (4.23)$$

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:

$$\Delta h = \Delta\mu + P\Delta\nu \quad .... (4.24)$$

(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:

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

or

$$(d\mu)_v = Cv\,(dT)_v$$

or

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

بتكامل المعادلة ينتج:

$$\Delta \mu = Cv\,\Delta T \quad .... (4.26)$$

وعندما يكون الاجراء متناهي الصغر بثبوت الضغط فإن:

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

or

$$(dh)_p = Cp\,(dT)_p$$

or

$$dh = Cp\,dT$$

وبتكامل المعادلة ينتج:

$$\Delta h = Cp\,\Delta T \quad .... (4.28)$$

اما العلاقة بين الحرارتين النوعيتين فتشتق كما يأتي:

$$h = \mu + Pv$$

$$\Delta h = \Delta \mu + P\,\Delta v$$

$$Cp\,\Delta T = Cv\,\Delta T + R\,\Delta T$$

$$R = Cp - Cv \quad .... (4.29)$$

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) مـــن غـــاز (CO_2) ضـــغطه (12bar) ودرجـــة حرارتـــه (92°C) فـــإذا كـــان 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

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

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

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

(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.

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

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

(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

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

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) ودرجــــة حرارتـــه (100°C) وضــــغطه (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)

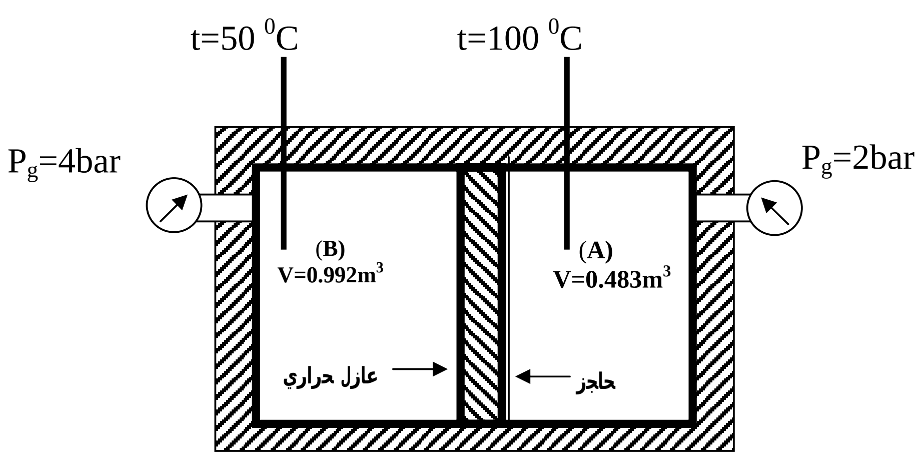
خزان مغلق. حجمه ($0.5m^3$) يحتوي على غاز كتلته (0.75kg) ودرجة حرارته (25°C). فإذا كانت قراءة الباروميتر هي (1bar). اوجد ما يلي: (1) قـراءة المـانوميتر بوحـدات (mmHg). (2) إذا أضيف للغاز حرارة مقدارها (15kJ) كم ستصبح قراءة المانوميتر بوحدات (mmHg) ايضاً. علمـاً بأن:

$Cp = 1.005$ kJ/kg.K. $Cv = 0.717$ kJ/kg.K. $\rho Hg = 13600$ 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

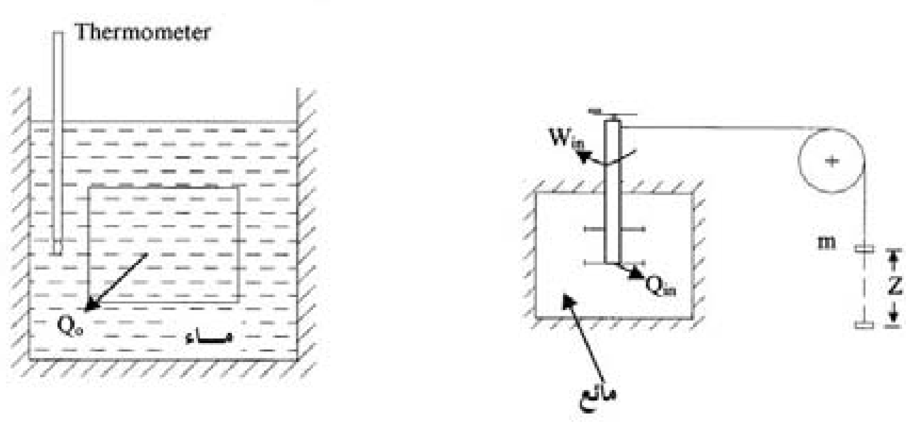
من القوانين المهمة التي يعتمد عليها هيكل ديناميك الحرارة هو القانون الأول، الذي وجد من خلال تجربة الانسان وخبرته، يتناول كل أشكال الطاقة في الطبيعة، كالطاقة المنتقلة بشكليها الحرارة والشغل، والطاقة المخزونة بكل أشكالها. هو صيغة من صيغ قانون حفظ الطاقة، الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، فمتى ما اختفى شكل من 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:

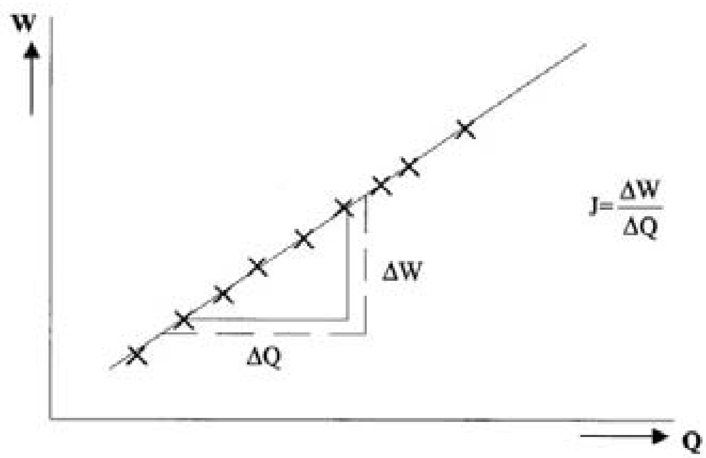
$\mathbf{Q_{out} \propto W_{in}}$

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

وبصورة عامة للأنظمة المغلقة عندما تمر بدوره فإن:

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

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).

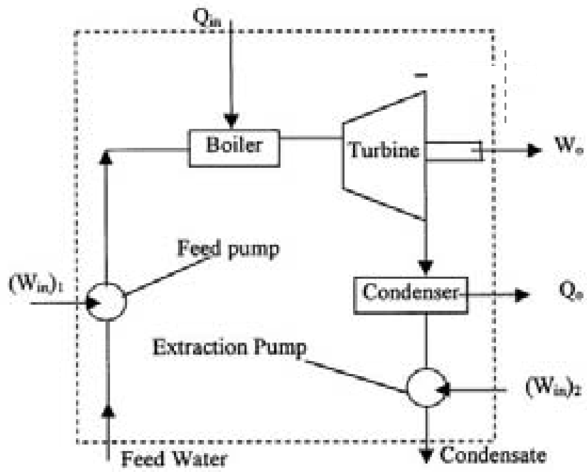
ب- الحرارة هي احدى صور الطاقة. من الممكن الحصول عليها من الشغل الميكانيكي او تحويلهـا اليه. أي $(Q \Leftrightarrow W)$.

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:

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

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

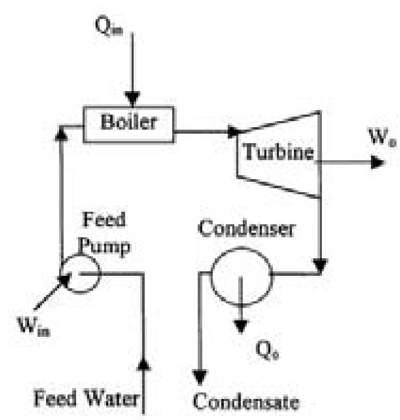


$\Sigma Q = \Sigma W$

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

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

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



$\Sigma Q = \Sigma W$

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

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

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:

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

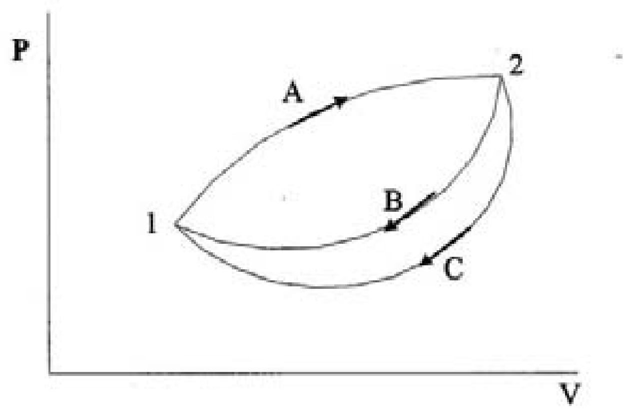
اذا ظهرت ماكنة تعطي شغل من لا شئ او تعطي شغل اكثر من الحرارة فتسمى بالماكنـة ذات الحركة الابدية او السرمدية من النوع الاول المستحيلة الصنع، لأنها تتعارض مع القـانون الاول. لـذلك ظهرت الصيغة التالية للقانون الاول:

"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:

$$(Q_{12})_A + (Q_{21})_B = (W_{12})_A + (W_{21})_B \qquad \dots (1)$$

وبالنسبة للعملية الدورية 1A2C1 فإن:

$$\pm (Q_{12})_A \pm (Q_{21})_C = \pm (W_{12})_A \pm (W_{21})_C \qquad \dots (2)$$

بطرح (1) من (2) ينتج:

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

$$\therefore (W_{21})_B - (W_{21})_B = (Q_{21})_C - (W_{21})_C \qquad \dots (5.4)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(5.5)- العمليات شبه الساكنة

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

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

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

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

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

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:

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

$$\therefore \; Q - W = \Delta U \qquad ....(5.12)$$

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:

$$dQ - dW = dU$$

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

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

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.

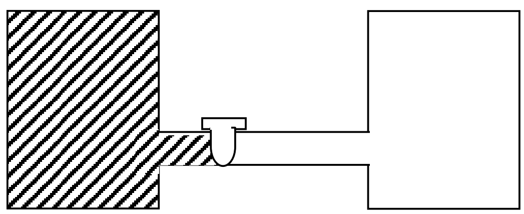
3- يسمح للغاز بالتمدد الادياباتي عن طريق فتح الصمام بحيث يملأ الغاز الحوض المفرغ.

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 (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.

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

$$= 870\ K$$

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

$$= 150(0.3 - 0.1)$$

$$= 30\ kJ/kg$$

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

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

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

(5.4)

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

$$\sum Q = \sum W$$

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

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

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

(5.5)

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

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

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

(5.6)

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

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

(5.7)

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

$$Q - W = \Delta U$$

$$-1055 - W = 210 \Rightarrow \therefore\ W = -1265\ kJ$$

(5.8)

في نظام مغلق يتم تبريد (0.5kg) من بخار الماء تحـت ضـغط ثابـت مـن حجـم ($3m^3$) الـى ($0.028m^3$). 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.

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

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

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

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

(5.9)

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

$$\mathbf{q = \Delta \mu = 180 - 120 = 60 kJ/kg}$$

$$\mathbf{Q = m \times q = 2 \times 60 = 120\ kJ}$$

(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.

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

(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.

$$\mathbf{W = P\Delta V = 300\ (0.03 - 0.1) = -21\ kJ}$$

$$\mathbf{Q = \Delta U + W = (16.72 - 4.18) + (-21) = -8.46\ kJ}$$

(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**

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

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

مسائل

(5.1)

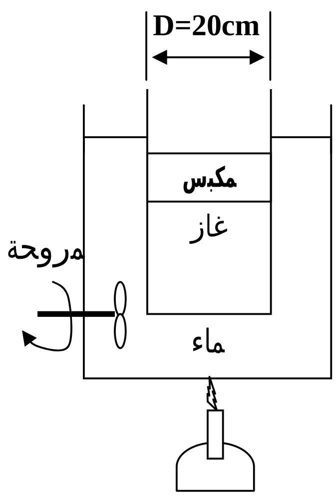
غاز يتمدد عند ثبوت الضغط حيث ينجز في اثناء ذلك شغلاً مقداره (5kJ). فإذا علمت ان (γ=1.66). احسب:

(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 حرارة (150°C). وبذل شغل على الغاز في اثناء الانضغاط مقداره (27.8 kJ). احسب كمية الحرارة المنتقلة اثناء الانضغاط واتجاهها وكذلك احسب حجم الغاز النهائي. علماً بأن:

Cp = 1.04 kJ/kg . K **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 بموجب العلاقة (P = a + bV) حيث ان (b ،a) ثوابت. وتغيرت الطاقة الداخلية للمنظومة خلال الاجراء حسب العلاقة (U = 34 + 3.15 PV) حيث (U ≡ kJ)، ($P \equiv kN/m^2$) ، ($V \equiv m^3$). إذا كان الضغط والحجم في بداية الاجراء (170 kPa)، ($0.03\ m^3$) وفي نهاية الاجراء (400 kPa)، ($0.06\ m^3$) على التوالي. ارسم الاجراء على مخطط (P-V) واحسب قيمة واتجاه كل من الحرارة والشغل خلال الاجراء.

ج: (68.05 kJ ،8.55 kJ)

(5.7)

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

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

ج: (2.316 bar ،402.18 K)

(5.8)

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

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

ج: (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:

$$Q - W = \Delta U$$

وبالنسبة لـ (1kg) من غاز فإن:

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

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

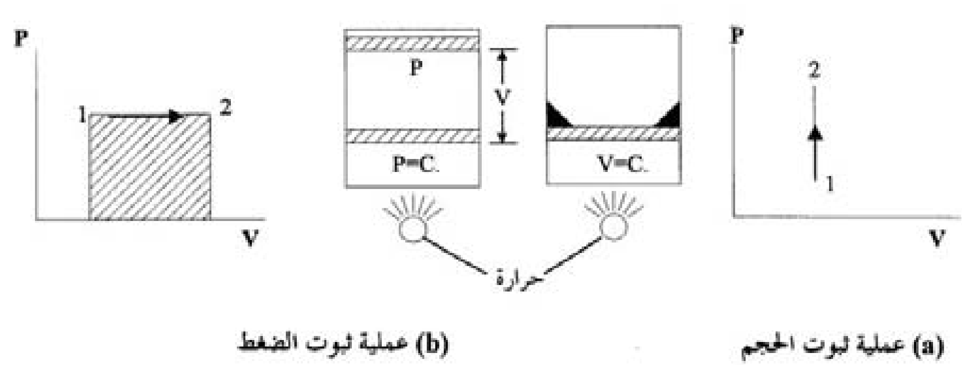
Application of the First Law of Thermodynamics on the Closed System

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:



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:

$$w_{12} = \int_1^2 P d\nu = P(\nu_2 - \nu_1) = R(T_2 - T_1) \; (kJ/kg) \quad \text{........} (5.19)$$

ج- عند تطبيق القانون الاول:

1- كمية الحرارة (q)

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

2- التغير في الانثالبي (Δh)

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

وعندما يكون الضغط ثابت تصبح:

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

وبصيغة تكاملية يكون:

$$q = \Delta h$$

$$\therefore\ q = \Delta h = Cp\,\Delta T \qquad \text{........} (5.22)$$

أي ان الحرارة المضافة اثناء اجراء ثبوت الضغط تساوي الزيادة في الانثـالبي. ومـن هـذه المعادلة نتعرف على الـ (Cp)

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

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:

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

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

$$Or \;= P_1\nu_1 Ln\frac{\nu_2}{\nu_1} ....(5.25)$$

$$w = \int Pdv = \int RT\frac{d\nu}{\nu} = RTLn\frac{\nu_2}{\nu_1} \;\; = P_1\nu_1Ln\frac{\nu_2}{\nu_1}$$

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

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

د- عند تطبيق القانون الاول:

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

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

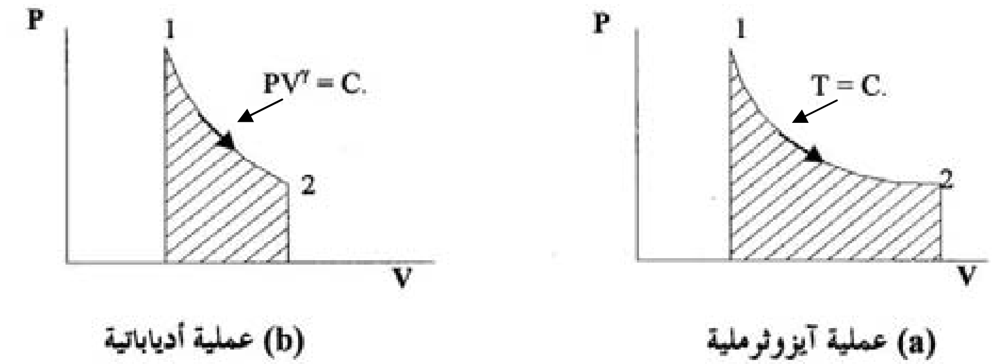
(5.9.4)- العملية الادياباتية Adiabatic Process

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 ادياباتية، 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 آيزوثروملبا أو اديابانيا

أ- **الاس الادياباتي كاما (γ) ويساوي:**

$$\gamma = Cp / Cv$$

اما الـ (Cv، Cp) فتشتق كما يلي:

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

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

وكذلك:

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

حيث ان *(Ln) هو اللوغاريتم الطبيعي.

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

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

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:

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

$$\mathbf{q - w = \Delta\mu}$$
$$\mathbf{- w = \Delta\mu}$$
$$\mathbf{- \int_1^2 Pdv = \int_1^2 CvdT}$$
$$\mathbf{- RT\int_1^2 \frac{d\nu}{\nu} = Cv\int_1^2 dt}$$

---

* 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:

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

$$X^a = y$$

$$LnX^a = Lny$$

$$aLnX = Lny$$

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

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

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

$$\because \frac{v_1}{v_2} = \frac{P_2T_1}{P_1T_2}$$

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

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

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

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

نعوض (5.33) بـ (5.32) ينتج:

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

ومن هذه المعادلة نوجد العلاقة الآتية:

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

يرمز للثابت بـ (Const.) او (C.).

هـ - الشغل الازاحي

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

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

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

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

و- عند تطبيق القانون الاول:

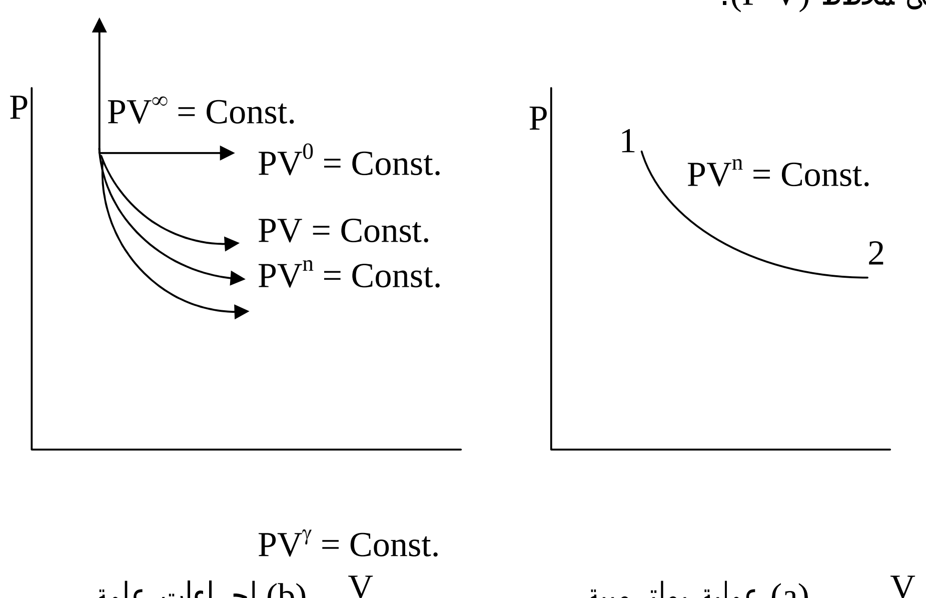
$$q-w=\Delta\mu$$

$$-w=\Delta\mu$$

$$-\frac{P_1\nu_1-P_2\nu_2}{\gamma-1}=Cv\left(T_2-T_1\right) \qquad ....(5.38)$$

(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).



(b) إجراءات عامة　　　(a) عملية بولتروبية

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 (1 ، γ) 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=∞) 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=γ) 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:

$$\mathbf{P\nu^n = Const.} \qquad \text{.........} \ (5.39)$$

فإذا علمت خمسة خواص فستكون المعادلة العامة هي:

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

وعند عدم معرفة خمسة خواص فستكون المعادلة العامة:

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

ج- التغير في الطاقة الداخلية:

$$\mathbf{\Delta\mu = Cv\int_1^2 dT = Cv\,(T_2 - T_1)} \qquad (kJ/kg) \qquad \text{........} \ (5.42)$$

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:

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

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

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

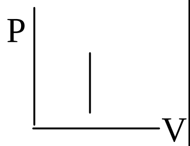
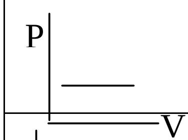
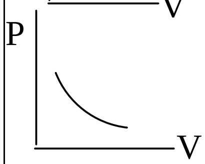
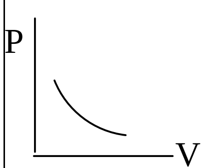
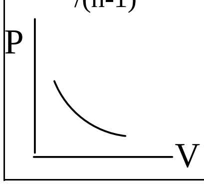
يتبين ان الحرارة النوعية تساوي:

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

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

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

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

ت	الاجراء	معادلة الحرارة	الشغل الازاحي w	التغير في الطاقة الداخلية ($\Delta\mu$)	عند تطبيق القانون الاول $w^{=0}$	الاشكال
1.	ثبوت الحجم	$\frac{P}{T}=C.$	0	$Cv(T_2-T_1)$	$q-w^{=0}=\Delta\mu$	
2.	ثبوت الضغط	$\frac{\nu}{T}=C.$	$P\Delta V=R\Delta T$	$Cv(T_2-T_1)$	$q=\Delta\mu+w$ $=(\mu_2+P_2\nu_2)-(\mu_1+P_1\nu_1)$ $q=\Delta h_{12}=Cp\Delta T$	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	$P\nu^{\gamma}=C.$ $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{\gamma-1}$ $=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$\frac{P_1\nu_1-P_2\nu_2}{\gamma-1}$ $\frac{R(T_1-T_2)}{\gamma-1}$	$Cv\ (T_2-T_1)$	$q^{=0}-w=\Delta\mu$	$\gamma=Cp/Cv$, $Cv=R/\gamma-1$ **$Cp=R\gamma/\gamma-1$** 
5.	البولتروبي	تستبدل (γ) بـ (n) $\frac{P\nu}{T}=C.$		$Cv\ (T_2-T_1)$	$q=\Delta\mu+w$ $=\frac{\gamma-n}{\gamma-1}.w$	$Cn=Cv(\gamma-n)/(n-1)$ 

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.

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

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

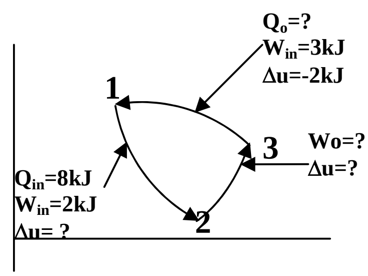
$$\oint dQ = \oint dW$$

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

$$= 1.005(288 - 273)$$

$$= 15.075\ kJ/kg$$

(5.15)

هواء كتلته (5 kg) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (3 bar). زود بحرارة بحجم ثابـت مقـدارها (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) تعنـي ايجاد قيم T_2، V_2، P_2.

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

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

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

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

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

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

(5.16)

غاز كتلته (2kg) وحجمه ($0.7m^3$) ودرجة حرارته (15°C) سخن بثبوت الحجم بحيـث اصـبحت 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

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{200 \times 0.9}{0.29 \times 293} = 2.11\,kg$$

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

$$V_2 = \frac{V_1T_2}{T_1} = \frac{0.9 \times 453}{293} = 1.39\,m^3$$

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

(5.18)

غاز ضغطه ($275\ kN/m^2$) وحجمه ($0.09\ m^3$) ودرجة حرارته (18.5°C). تغيرت حالته 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

$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{275 \times 0.09}{0.29 \times 458} = 0.186\,kg$$

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

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

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

(5.19)

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

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

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

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

(5.20)

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

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

$$\mathbf{Q = m\,Cp\,\Delta T}$$

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

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

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

(5.21)

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

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

R = 0.26 kJ/kg.K ،Cp = 1.005 kJ/kg.K

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

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

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

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

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

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

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

(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

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

$$P_1\nu_1 = RT_1$$
$$\upsilon_1 = (Cp - Cv)\frac{T_1}{P_1}$$
$$= \frac{(0.88 - 0.67)358}{1400} = 0.0537\,\frac{m^3}{kg}$$
$$V_1 = \nu_1 \times m = 0.0537\times2.7 = 0.145m^3$$
$$V_2 = \frac{P_1T_2}{P_2T}\times V_1 = \frac{1400\times333\times0.145}{700\times358}$$
$$= 0.27\,m^3$$

(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

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

$V_1 = A \times L_1$

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

$V_2 = A \times L_2$

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

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

$$Pabs = Patm + Pg$$

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

$$= 1.03\ bar$$

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

$$= 0.00147\ kg$$

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

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

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

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

$= 0.425\ kJ$

$W = P\ (V2 - V1)$

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

$= 0.122 kJ$

$\Delta U = Q - W$

$= 0.424 - 0.122$

$= 0.3021\ kJ$

(5.26)

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

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

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

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

$$= 12.3\ kg$$

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

$$= 6.8\ kg$$

$12.3 - 6.8 = 5.5\ kg$

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

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

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

$= 10.725\ kJ$

(5.27)

(0.05 kg) من مائع ضـغطه (2 bar) وحجمـه (0.8856 m^3/kg) تمـدد بـضغط ثابـت الـى ($0.0658\ m^3$).

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). يطاب 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

$\Delta\mu_{23} = q_{in} = Cv\,\Delta T$
$= 0.21\,(289-578)$
$= 4.855$ 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)

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

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

$q_o = \Delta h = Cp\,\Delta T$
$= 0.293(289-1445)$
$= -33.87$ 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). وتمــدد بــضغط ثابــت مقــداره (1.0133 bar) وتغيــر حجمــه مــن ($0.00104\ m^3/kg$) الى ($1.67\ m^3/kg$). احسب: $\Delta\mu$، Δh.

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

(5.30)

هواء كتلته (1kg) ودرجة حرارته (290K) موجود داخل اسطوانة يتحرك بداخلها 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

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

(5.31)

هواء درجة حرارته (20°C) وضغطه (1 bar) وحجمه ($0.02m^3$). 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

$$Cv = Cp - R = 1.01 - 0.287 = 0.723 kJ/kg.K$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{100 \times 0.02}{0.287 \times 298} = 0.0238\, kg$$

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2}{P_1} = 293 \frac{5}{1} = 1465\, K$$

$$Q_{12} = m\, Cv\, (T_2 - T_1) = 0.0238 \times 0.723 \times (1465 - 293) = 19.9\, kJ$$

$$V_3 = V_2 \cdot \frac{T_1}{T_2} = 0.02 \times \frac{293}{1405} = 0.004\, m^3$$

$$W_{23} = P_3 (V_3 - V_2) = 500(0.004 - 0.02) = -8\, kJ$$

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

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

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

(5.32)

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

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = 100 \times \frac{0.056}{0.007} = 800\, kN/m^2$$

$$W.D = P_1 V_1 Ln \frac{V_1}{V_2} = 100 \times 0.056\, Ln \frac{0.007}{0.056} = -11.65\, kJ$$

(5.33)

هواء كتلته (1kg) محصور في اسطوانة ضغطه (2 bar) ودرجة حرارته (427°C) ضغط ايزوثرمليا 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 ايزوثرمليا 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) .

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

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

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

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

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

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

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

(5.38)

اسطوانة مغلقة بمكبس تحتوي على غاز 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).

$$T_2 = \Delta T + T_1$$

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

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

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

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

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

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

$$\gamma = 1.4$$

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

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

(5.39)

هواء كتلته (0.225kg) بضغط مقداره (8.3bar) ودرجة حرارة (538°C) تمدد 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

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

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$

$$P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 830\left(\frac{422}{811}\right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} = 80.3\,kPa$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P_2} = \frac{0.225\times 0.287\times 422}{80.3} = 0.33\,m^3$$

$$W_{12} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = \frac{0.225\times 0.287\times(811 - 422)}{1.4 - 1} = 62.799\,kJ$$

(5.40)

تمدد غاز مثالي 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).

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

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

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{Ln\frac{T_2}{T_1}}{Ln\frac{P_2}{P_1}} = \frac{Ln\frac{1}{1.5}}{Ln\frac{1}{5}} = 0.252$$

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

$$\gamma = \frac{1}{1 - 0.252} = 1.336$$

(5.41)

كمية من غاز (N_2) كتلتها (0.2kg) ودرجة حرارتها (15°C) ضغطت 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

(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

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

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

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

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

$$= -35.5\,kJ$$

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

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

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

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

(5.44)

كمية من غاز ضغطه (5bar) ودرجة حرارته (20°C). تمدد ايزوثرملياً 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.

$$R = \frac{Cp(\gamma - 1)}{\gamma}$$
$$= \frac{1(1.4 - 1)}{1.4} = 0.286\ kJ/kg.K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1}$$
$$= \frac{500 \times 0.3}{0.286 \times 293} = 1.79kg$$

$$W_{12} = mRT\,Ln\frac{P_1}{P_2}$$
$$W_{12} = 1.79 \times 0.286 \times 293\,Ln\frac{5}{1}$$
$$= 241.41\ kJ$$
$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{5 \times 0.3}{1} = 1.5\ m^3$$

(5.45)

هواء حجمه ($0.056m^3$) وضغطه (1.38 bar). ضغط ايزوثرملياً الى ($0.014m^3$). 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

$$W = P_1V_1Ln\frac{V_2}{V_1}$$
$$= 138 \times 0.056\,Ln\frac{0.014}{0.056} = 10.7\ kJ$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$$
$$= 138 \times \left(\frac{0.056}{0.014}\right)^{1.4} = 9.64\ bar$$

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$
$$= \frac{138 \times 0.056 \times 964 \times 0.014}{1.4 - 1}$$
$$= -14.42\ kJ$$

(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)

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

(5.47)

غاز مثالي كتلته (0.45kg) تمدد ادياباتياً 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 ادياباتياً 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

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

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

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 ادياباتياً 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 ادياباتياً 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 الى درجة حرارة (149°C). احسب الضغط والحجم النهائي والشغل المنتقل. علماً أن:

R=0.287 kJ/kg.K ، Cp = 1.005 kJ/kg.K

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

$$= 0.839\,\text{bar}$$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.255\times0.287\times811}{8.3\times10^2}$$

$$= 0.0631\,m^3$$

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

$$= 0.324\,m^3$$

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

$$= 0.225\times0.718(811 - 422)$$

$$= 62.9\,kJ$$

(5.54)

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

Cp=1.005 kJ/kg.K ، Cv=0.718 kJ/kg.K

$$T_1 = \frac{P_1V_1}{mR} = \frac{120\times0.4}{0.5\times0.287}$$

$$= 334.5\,K$$

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

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

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

$$= -1.0377$$

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

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

$$P_2 = 3.389\ \text{bar}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{1.2\times0.4}{3.389} = 0.141\ m^3$$

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

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

$$= 0.06\ m^3$$

(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 ايزوثرمليا الى ($600kN/m^2$). ثم تمدد ادياباتياً الى حجمه الاول. احسب الحرارة المنتقلة والتغير في الطاقة الداخلية للأجراء الاخير. علماً أن:

γ=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 الاديباباتي (ب) التغير في الطاقة الداخلية. علماً أن:

γ=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 حـسب العلاقـة ($PV^{1.4}=C$) حتـى 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 ($PV^{1.35}=C$) الـى 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 بولتروبيــاً بحيــث اصــبح ضــغطه (9 bar) وحجمــه ($0.0111\ m^3$) والطاقــة الداخليــة (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 ($0.015 \quad m^3$) 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 (1) Cv ، (2) Cp

$$\Delta U = Q - W$$

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

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

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

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

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

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

$$n = 1.494$$

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

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

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

$$Cp = R + Cv$$

$$= 0.13 + 0.166$$

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

(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

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

$$\text{Ln }0.05 = n\,\text{Ln }0.1$$

$$n = 1.3$$

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

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

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

$$= \frac{140\times 12\times 10^{-3} - 2800\times 1.2\times 10^{-3}}{1.3-1}$$

$$= -5.6\text{ kJ}$$

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

$$= 0.718\text{ kJ/kg.K}$$

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

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

$$= -0.2393\text{kJ/kg.K}$$

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

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

$$= -1.4$$

OR

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

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

$$\Delta U = Q - W$$

$$= -1.4 - (-5.6) = 4.2\text{ kJ}$$

(5.71)

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

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

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

$$n = 1.26$$

(5.72)

غاز داخل اسطوانة مجهزة بمكبس عـديم الاحتكـاك والتـسرب. حجمـه ($0.0135 m^3$) 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

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

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

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

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

$$T_2=298\,K$$

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

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

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

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

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

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

$$\gamma=1.38$$

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

$$R=Cp-Cv$$

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

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

(5.73)

غاز ضغطه (1.032 bar) وحجمه ($0.085\ m^3$) ودرجة حرارته (38°C). ضغط 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

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

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

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

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

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

(5.74)

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

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

R=0.285 kJ/kg.K ، Cv=0.72 kJ/kg.K

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

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

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

$$= 14.2\,kJ$$

$$Q = \Delta U + W$$

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

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

$$= 0.0147\,m^3$$

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

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

$$= 28.2\,kJ$$

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

$$= 438\,K$$

(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

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

$$\mathrm{Ln}(9)=n\,\mathrm{Ln}\,(5.6)$$

$$n=1.319$$

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

$$=\frac{900\times 0.008\times 394}{95\times 0.045}=678.6\,K$$

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

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

$$m=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{95\times 0.045}{0.287\times 394}=0.0378\,kg$$

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

$$=0.0378\times 0.718\,(678.6-394)$$

$$=7.73\,kJ$$

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

$$=\frac{95\times 0.045-900\times 0.008}{1.319-1}$$

$$=-9.695 kJ$$

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

$$=-1.971\,kJ$$

(5.77)

هـواء دخـل اسـطوانة محـرك ديـزل درجـة حرارتـه (49°C) وحجمـه ($0.28\ m^3$) وضـغطه ($110kN/m^2$)، ونسبة الانضغاط (15/1). يضغط حسب العلاقة ($PV^{1.27}=C.$). احسب:
(1) الضغط ودرجة الحرارة في نهاية الانضغاط. (2) الشغل والحرارة المنتقلين علما أن:

Cp=1.0 kJ/kg.K ، Cv=0.71 kJ/kg.K

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = 110\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27}$$
$$= 31.163\,kN/m^2$$
$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} = 322\left(\frac{15}{1}\right)^{1.27-1}$$
$$= 668.96\,K$$
$$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{110\times0.28}{0.29\times322} = 0.33\,kg$$
$$R = Cp - Cv = 1 - 0.71$$
$$= 0.29\,kJ/kg.K$$

$$W = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n-1}$$
$$= \frac{0.33\times0.29\,(49 - 395.96)}{1.27 - 1}$$
$$= -122.92\,kJ$$
$$\gamma = Cp/Cv = 1/0.71 = 1.41$$
$$Q = W\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} = -122.92\frac{1.41-1.27}{1.41-1}$$
$$= -41.973\,kJ$$

(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)

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$$
$$= \frac{1\times0.29\times293}{100} = 0.85\,m^3$$
$$V_2 = \frac{V_1}{4} = \frac{0.85}{4} = 0.2124\,m^3$$
$$P_2 = \frac{mRT_2}{V_2}$$
$$= \frac{1\times0.29\times293}{0.2124} = 400kN/m^2$$

(ب)

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 293(4)^{\frac{1}{1.25-1}} = 414.427\,K$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$
$$= 100(4)^{1.25} = 565.7\,kN/m^2$$
$$V_2 = V_1\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$$
$$= 0.8497\left(\frac{293}{414.43}\right)^{\frac{1}{0.25}} = 0.2123\,m^3$$

(5.79)

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

بما ان الاجراء غير معلوم، فنحسب n

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

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

$$\Rightarrow n=1.4$$

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

$$=1.4=n$$

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

$$=\frac{1000\times 0.06 - 305\times 0.14}{1.4 - 1}$$

$$=43.25\,kJ$$

$$Q_{12}=0$$

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

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

$$\Rightarrow n=1$$

∴ 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:

$\gamma=1.4$ ، $Cv=0.718\ kJ/kg.K$

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

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

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

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

(5.81)

اسطوانة عمودية طويلة 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 حرارتها ($100°C$) 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:

$\delta Hg = 13600\ kg/m^3$ ، Cv=0.7 kJ/kg.K

ج:(37 kJ ، 12.77 kJ)

(5.13)

اسطوانة محرك ديزل. ضغطها (0.95 bar) وحجمها (14L) ودرجة 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 ادياباتياً الى $\left(\frac{1}{4}\right)$ 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 $\left(\frac{17}{1}\right)$. 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 ($0.106m^3$) 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 ضغط مقداره (100bar) ودرجة حرارة مقدارها (600°C). ويشغل حجماً مقداره (1.31 L). تمدد بولتروبياً وأنتج شغلاً مقداره (28.65kJ). فإذا علمت ان الاس البولتروبي (n=1.3) اوجد درجة الحرارة والضغط والحجم في نهاية الاجراء.

ج: (27°C ، 0.978 bar ، 46 L)

(5.31)

هواء ضغطه (1.02 bar) ودرجة حرارته (268 °C). ضغط ايزوثرملياً، ثم ضغط ادياباتياً الى ان اصبح ضغطه (51 bar) وحجمه ($0.032\ m^3$) ودرجة حرارته (1000°C). ارسم الاجراءات على مخطط (P-V) واحسب: (1) حجم الهواء قبل وبعد الانضغاط الايزوثرملي. (2) صافي الحرارة والشغل المنتقلين، علماً أن:

R = 0.287 kJ/kg.K ، 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) للأوكسجين. احسب:

(أ) كتلة الاوكسجين المستعمل (ب) مقدار الحرارة المنتقلة خلال جدران الاسطوانة الى الاوكسجين بعد غلق 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 حرارته (20°C) ضغط بإجراء ايزوثرملي الى ان اصبح حجمه نصف حجمه الابتدائي وبعد ذلك ضغط بإجراء بولتروبي حسب العلاقة ($PV^{1.3}$=C.) الى ان اصبح حجمه ربع حجمه الابتدائي. ارسم الاجراءين على مخطط (P-V)، إذا علمت أن: (Cv=0.718 kJ/kg.K) و (Cp=1 kJ/kg.K). احسب ما يلي:

أ- الحجم والضغط ودرجة الحرارة في نهاية كل إجراء.

ب- الشغل والحرارة المتبادلة بين النظام والمحيط في كل إجراء.

جـ - التغير في الطاقة الداخلية لكل إجراء.

ج:

($0.6197m^3$، 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.

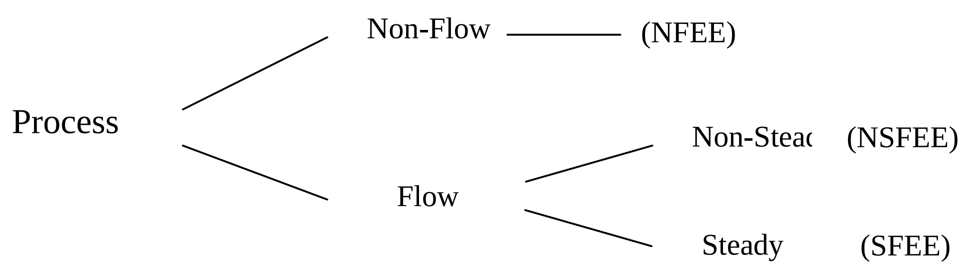
فإذا كان (Q_o) تمثل الحرارة المطروحة في الاجراء الايزوثرملـي، وكانـت (Q_{in}) تمثـل الحـرارة المضافة في اجراء ثبوت الحجم. احسب قيمة $\left(\frac{Q_o}{Q_{in}}\right)$ وارسم الاجراءات على مخطط (P-V).

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 معادلة الطاقة فيها (NFEE). وفي هذا الفصل سنناقش اجراءات التدفق (Flow Process) والانظمة المفتوحة، والتي من الممكن ان تكون تدفقاً غير منتظم (Non-Steady)، او تدفقاً منتظماً (Steady). يرمز لمعادلة الطاقة في التدفق المنتظم بـ (SFEE)، ويتميز بما يأتي:

1- يكون معدل التدفق الكتلي($\dot{m}$) ثابتاً ومتساوياً عند المدخل والمخرج.

2- تدفق المائع وانتقال الحرارة والشغل يكون بمعدل زمني منتظم.

3- لا تتغير خواص المائع عند اية نقطة في النظام عند تغير الزمن.

4- عند اية نقطة في النظام يكون للمائع خاصية ثرموديناميكية كالـ (P، T، v) وخاصية ميكانيكية حيث تشمل سرعة المائع وارتفاعه فوق خط قاعدة معين. قد تتغير هاتان الخاصيتان، وقد تؤثران في الشغل والحرارة المنتقلين عبر الحدود.

ومن الامثلة على الانظمة المفتوحة، تمدد غاز عبر فوهة، بخار يتدفق عبر توربين، الماء الداخل الى مرجل والذي يتركه كبخار، غاز يضغط في ضاغط ... الخ.

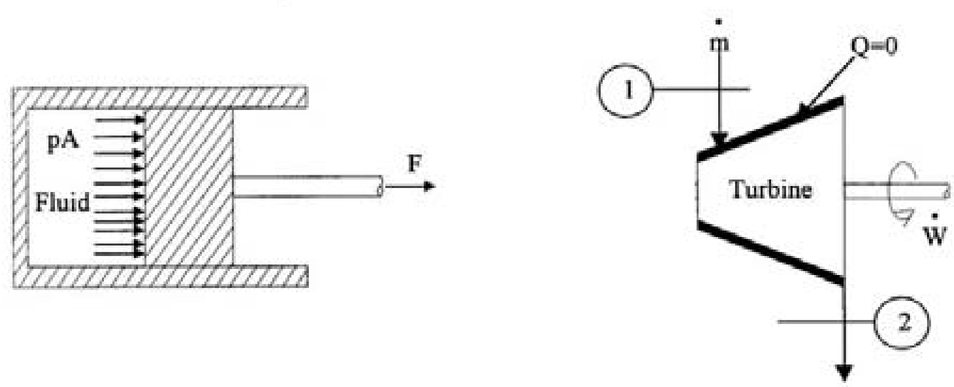
إن شكل (6.3-b) الذي سيرد ذكره فيما بعد، يوضح تدفق المائع في الانظمة المفتوحة.

(6.2) - الشغل الصافي Net Work

في الانظمة المفتوحة هناك نوعان من الشغل هما شغل عمود الادارة وشغل الجريان، موضحان في الفقرات الآتية:

(6.2.1)- شغل عمود الادارة Shaft Work

رمزه (Ws). ربما يتبادر الى الاذهان ان الشغل (W) في معادلة الطاقة 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

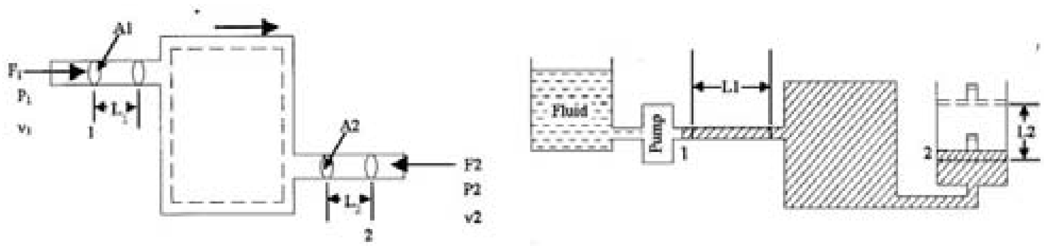
شكل (6.1)- شغل العمود (W_s)

(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 علـى طـول 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 الـلازم 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 لمـسافة 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:

$$\mathbf{w_{net} = ws + \Delta w_{Flow} = ws + \Delta P\nu} \qquad \text{.......... (6.7)}$$

or

$$\mathbf{W_{net} = Ws + \Delta PV} \qquad \text{........... (6.8)}$$

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.

$$\mathbf{\Delta w_{net} = \Delta w_{Disp.} = P_2\nu_2 - P_1\nu_2 = \Delta P\nu} \qquad \text{.......... (6.9)}$$

or

$$\mathbf{W_{net} = \Delta PV} \qquad \text{.......... (6.10)}$$

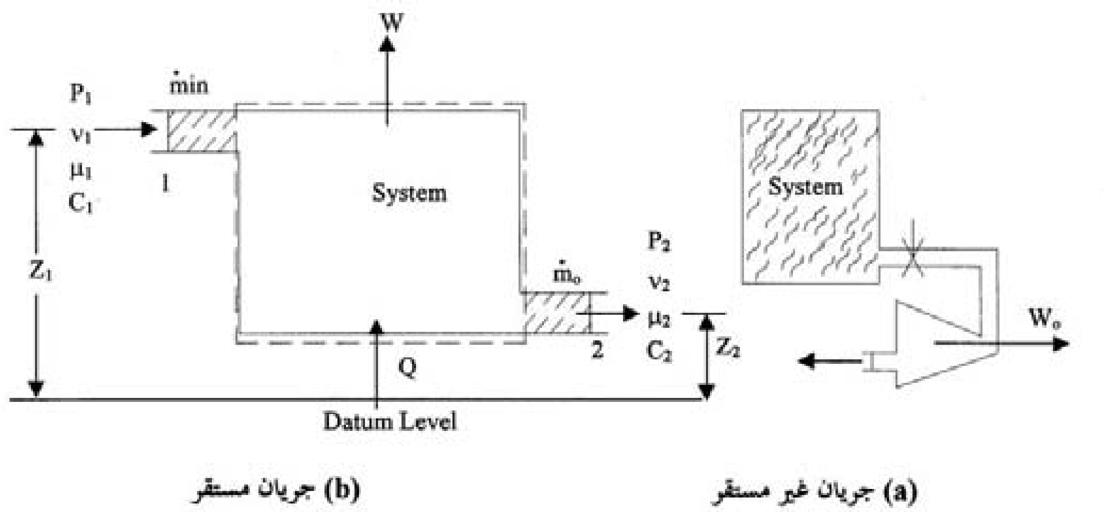
(6.3)- معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة Energy Equation for Open System

تنتقل الطاقة في هذه الانظمة بأشكالها المختلفة وكذلك الكتلة عبر الحدود. فإذا كانت الخـواص والكتلة متغيـرة أي ($\mathbf{\dot{m}_{in} \neq \dot{m}_{out}}$) 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 ($\mathbf{\dot{m}}$) 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.



شكل (6.3)- جريان الموائع

نفترض وجود نظام مفتوح، شكل (6.3-b) يجري خلالـه المـائع شـروطه عنـد الـدخول (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 فينـتج معادلـة رمزهـا (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:

$$q - w_s = \Delta\mu + \Delta P\nu = \Delta(\mu + P\nu) \quad .... (6.13)$$

$$\therefore\ q - w_s = \Delta h \quad .... (6.14)$$

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:

$$\dot{W} = \dot{m}\,.\,w_s \quad .... (6.15)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}\,.\,q \quad .... (6.16)$$

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

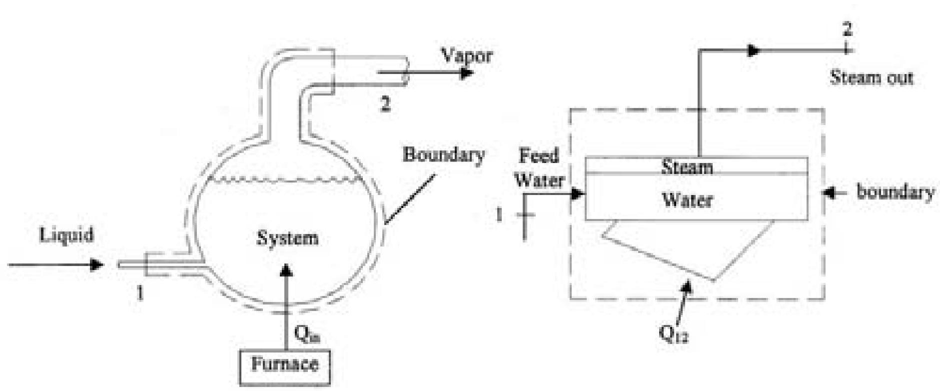
Application of the First Law of Thermodynamics on the Open System

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.

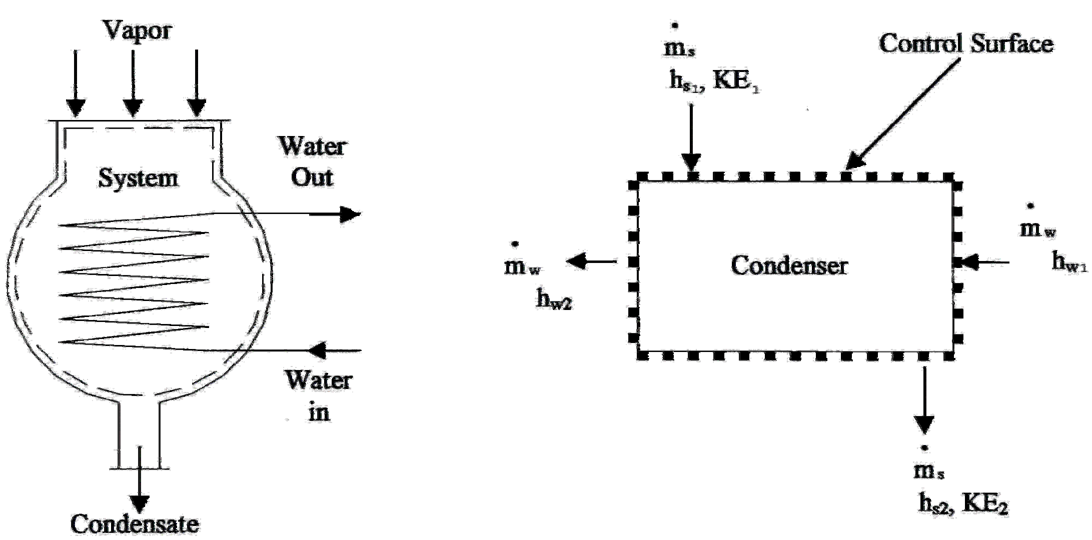
3- عند إفتراض عدم وجود إحتكاك، فسيكون الضغط ثابت عبر كامل الجهاز.

4- الارتفاعات الرأسية لفتحة الدخول والخروج متقاربة فتهمل الطاقة الكامنة. عليه تـصبح معادلـة الطاقة كما يأتي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta \dot{H}_{12} = \dot{m}_s (h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp\ (T_2 - T_1) \qquad ....(6.17)$$

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:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m}_s (h_2 - h_1)}{\dot{m}_f\ .LCV} \qquad ....(6.18)$$



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

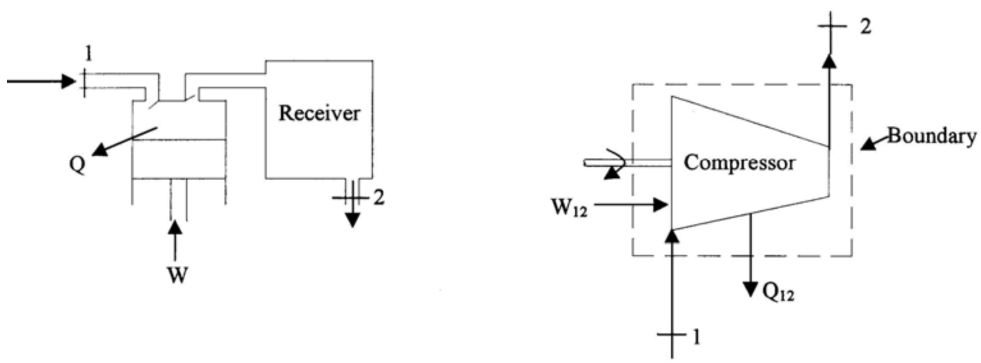
الحرارية من البخار لتحويله الى سائل. وفي حالة الاستقرار تكون كمية السائل المكثف التي تدعى بناتج التكثيف، شكل (6.5) والخارجة من المكثف مساوية لكتلة البخار الداخلة اليه. فعند إهمال الشغل والطاقة الحركية والكامنة فسينتج من معادلة الطاقة ان معدل الحرارة التي ينتزعها ماء التبريد تكافئ النقصان في الانثالبي الكلي للمادة الشغالة، أي:

$$\dot{Q}_{12} = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}_w(h_2 - h_1) = \dot{m}_w . Cp_w (T_2 - T_1) \qquad ....(6.19)$$

وبما أن $h_1 > h_2$، لذا تكون إشارة الحرارة سالبة، أي مفقودة.

(6.4.2)- الضاغط والتوربين Compressor & Turbine

يستعمل الضاغط جزءاً من الشغل المجهز من مصدر خارجي لرفع ضغط الغازات. اما الجزء

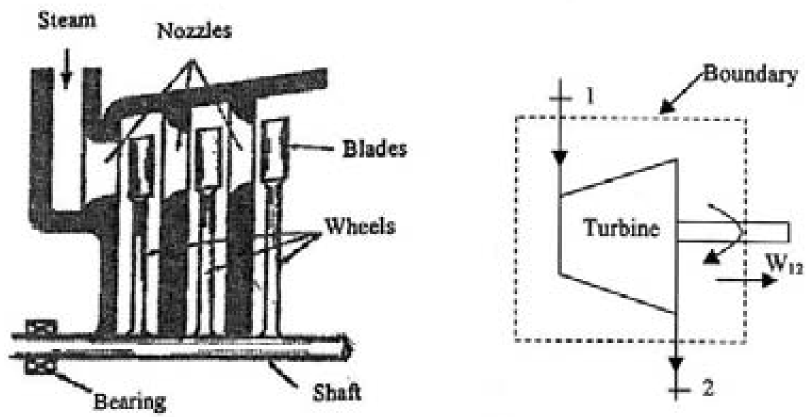


شكل (6.6)- الضاغط

الآخر فيتحول الى حرارة تنتقل الى الوسط المحيط كما موضح في شكل (6.6).

ان التوربين البخاري او الغازي مثل المحرك الترددي تتحول فيه بعض طاقة المائع الى شغل ميكانيكي موجب بصفة دائمة. الا انه في حين يتم تمدد المائع في المحرك الترددي في نظام مغلق لا جرياني، فإنه في التوربين يكون كنظام مفتوح ذي الجريان المستقر.

عمل التوربين عكس عمل الضاغط حيث يتدفق المائع ويتمدد سريعاً في التوربين مسبباً دوران الزعانف وتدوير عمود التوربين الذي يستغل لتدوير حمل خارجي كمولدة كهربائية مثلاً شكل (6.7).



شكل (6.7)- التوربين

إن إجراءات التدفق في الضاغط والتوربين تتميز بما يأتي:

1- سرعة تدفق المائع وعدم توفر الوقت الكافي للتبادل الحراري، مما يجعل الاجراء 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 معادلـة الطاقة كما يأتي:

$$-\dot{W}_s = \Delta\dot{H}_{12} = \dot{m}\,(h_2 - h_1) = \dot{m}.Cp.(T_1 - T_2) \qquad \text{.......}\,(6.20)$$

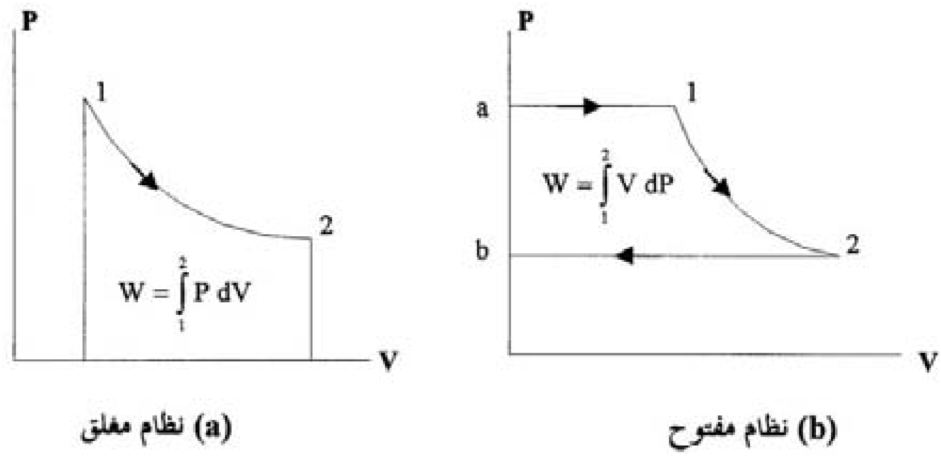
إن الـ $(\dot{W}_s)$ يمثل معدل شغل العمود المنتقل عبر حدود النظام.

(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 يخـضع للمعادلـة 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:

$$\mathbf{w_T = \int_1^2 dP\nu = Pd\nu + \nu dP} \qquad \text{..........(6.21)}$$

يتكون التسلسل النظري للعمليات في الضاغط من (3) عمليات، كما في شكل (6.9) نوجزهـا كما يأتي:

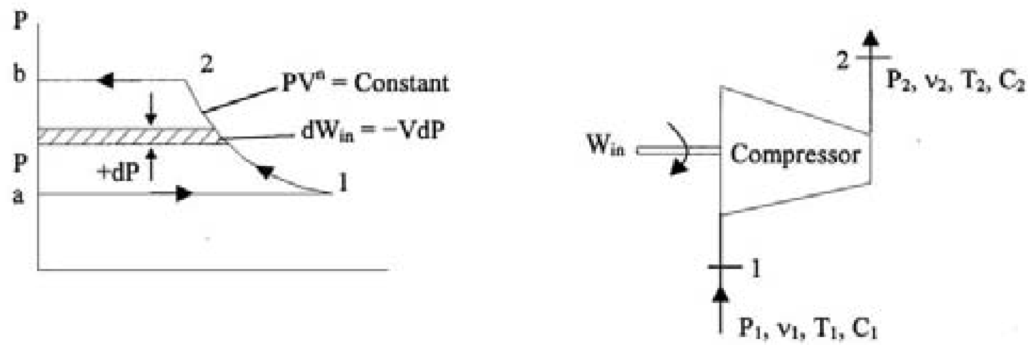
1- عملية سحب من (a) الى (1) بثبوت الضغط، حيث يتدفق الغاز الى الضاغط والذي يمكن تصوره عبارة عن مكبس واسطوانة. وبما ان (Va=0) فسيكون:

$$\mathbf{w_{ai} = P\Delta\nu = P_1(\nu_1 - \nu_a) = P_1\nu_1} \qquad \text{..........(6.22)}$$

2- إنضغاط اديباتي من (1) الى (2) ويكون:

$$\mathbf{q^{=0} - w = \Delta\mu = \mu_2 - \mu_1}$$

$$\mathbf{w = \mu_1 - \mu_2} \qquad \text{............(6.23)}$$



شكل (6.9)- التسلسل النظري للعمليات في الضاغط

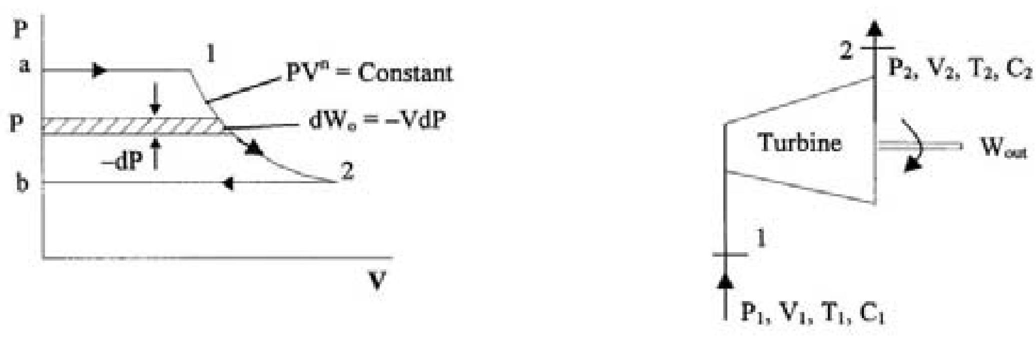
3- عملية دفع من (2) الى (b) بثبوت الضغط، حيث يندفع الغاز الـى الخـارج. وبمـا إن $(V_b=0)$ فسيكون:

$$\mathbf{w_{2b} = P\Delta\nu = P_2\,(\nu_b - \nu_2) = -\,P_2\,\nu_2} \qquad \text{.........} \ \mathbf{(6.24)}$$

والشغل الكلي المنتقل هو مجموع الشغل المنتقل خلال العمليات الثلاث، أي:

$$\begin{aligned} \mathbf{w_T} &= \mathbf{P_1\nu_1 + (\mu_1 - \mu_2) + (-P_2\,\nu_2)} \\ &= \mathbf{(P_1\nu_1 + \mu_1) - (P_2\nu_2 + \mu_2)} \\ &= \mathbf{h_1 - h_2} \qquad \text{.........} \ \mathbf{(6.25)} \end{aligned}$$

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

$$w_{12} = -\int_1^2 \nu dP \qquad \text{.........(6.28)}$$

$$\because P\nu = C. \qquad \therefore \nu = \frac{C}{P}$$

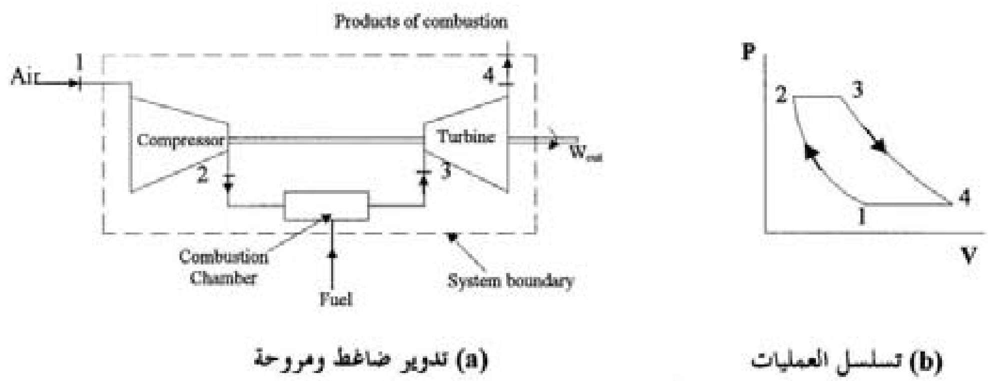
$$= -\int_1^2 C\frac{dP}{P} = -C \, Ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= -P\nu \, Ln \frac{P_2}{P_1} = -RT \, Ln \frac{P_2}{P_1} \qquad \text{............(6.29)}$$

(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 ($2 \rightarrow 1$).

2- تضاف حرارة ($3 \rightarrow 2$) بثبوت الضغط.

3-يتمدد الهواء ادياباتياً في التوربين ($4 \rightarrow 3$)، فيقوم بتشغيل الضاغط وإنتاج قدرة فائضة (W_{out}).

4-طرد حرارة بثبوت الضغط ($1 \rightarrow 4$) حتى يعود الهواء الى حالته الاصلية. والمثال التالي يوضـح المناقشة المذكورة آنفاً.

مثال (6.1)

هواء ضغطه (101 kPa) ودرجة حرارته (27°C). يضغط ادياباتياً في ضاغط بحيث تكـون نـسبة الضغط (5/1)، ثم يكتسب حرارة في مبادل حراري بثبوت الضغط بحيث تـصبح درجـة حرارتـه (1050°C) ثم يدخل الهواء الى توربين ليتمدد ويقوم بتشغيل الضاغط مع انتاج طاقة فائضة ويعـود الى ضغطه الابتدائي. اوجد لكل (1kg) من الهواء: (أ) الشغل الصافي. (ب) كفاءة المنظومة. علمـاً أن: **Cp=1,004 kJ/kg.K ، γ=1,4**

-إستناداً الى شكل (6.11) فسيكون:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300\,(5)^{\frac{0.4}{1.4}} = 475.4\,K$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1323\left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 835.4\,K$$

$$w_T = C_p\,(T_3 - T_4) = 1.004\,(1323-835.4) = 489.67\ kJ/kg$$

$$w_c = C_p\,(T_1 - T_2) = 1.004\,(300-475.4) = -175.92\ kJ/kg$$

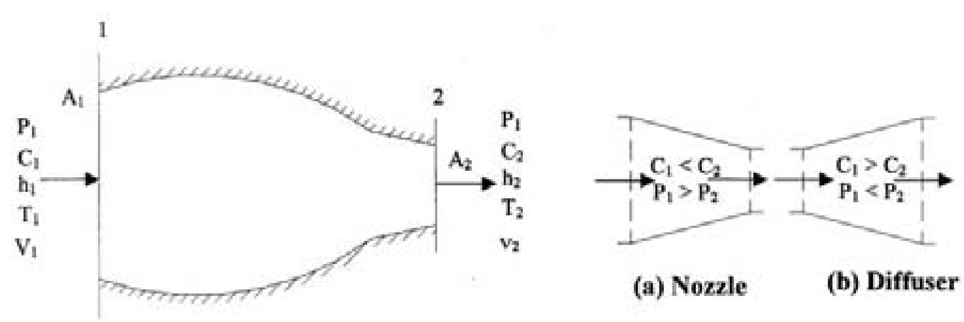
$$w_{net} = w_T + w_c = 489.67 + (-175.92) = 313.75\ kJ/kg$$

$$q_{in} = C_p\,(T_3 - T_2) = 1.004\,(1323-475.37) = 851.17\,kJ/kg$$

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{313.75}{851.17} = 0.369$$

6.4.5 المنفث (البوق) والناشر (المبدد) Nozzle & Diffuser

هي عبارة عن انابيب دائرية مساحة مقطعي الدخول والخروج فيها متغيرة. فالمنفـث، شـكل (6.12-a)، مصمم بحيث ينتج عنه انخفاض الضغط من المدخل الى المخرج مما يؤدي الـى تـسارع تدفق المائع. اما الناشر، شكل (6.12-b)، عكس المنفث، فهو مصمم بحيث ينتج عنه إزدياد الـضغط 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:

$$\mathbf{0 = \Delta h_{12} + \Delta KE_{12}} \qquad \text{.........} \mathbf{(6.30)}$$

$$\mathbf{= \Delta h_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}}$$

$$\mathbf{\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12}} \qquad \text{..........} \mathbf{(6.31)}$$

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:

$$\mathbf{C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2kJ/kg \,.\, \frac{10^3 m^2/s^2}{kJ/kg} \Rightarrow \frac{m^2}{s^2} - 2 \times 10^3 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$\mathbf{\therefore C_2^2 = C_1^2 - 2 \times 10^3 \Delta h_{12}} \qquad \text{..........} \mathbf{(6.32)}$$

وبالتالي فإن السرعة (C) ستكون بوحدات $\mathbf{(\frac{m}{s})}$.

مثال (6.2)

1- هواء درجة حرارته ($35°C$) يدخل منفث بسرعة ($0.7 m/s$) 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.

$$\mathbf{C_2 = \sqrt{0 - 2000\Delta h_{12}} = \sqrt{0 - 2000(-25.125)} =}$$

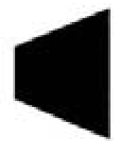
$$\mathbf{= \sqrt{50250} = 224.165 \frac{m}{s}}$$

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 ادياباـاتي، يخـضع للعلاقة $(\mathbf{PV^{\gamma} = C.})$.

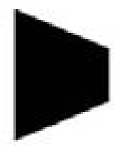
والمخطط التالي يبين الانواع المختلفة للمنافث والناشرات

Nozzle

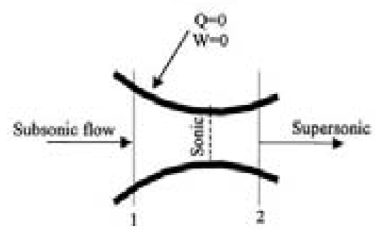
Convergent Nozzle
فوهة ملتمة او متضيقة (المنفث)



Divergent Nozzle
فوهة منفرجة
(الناشرة) (Diffuser)



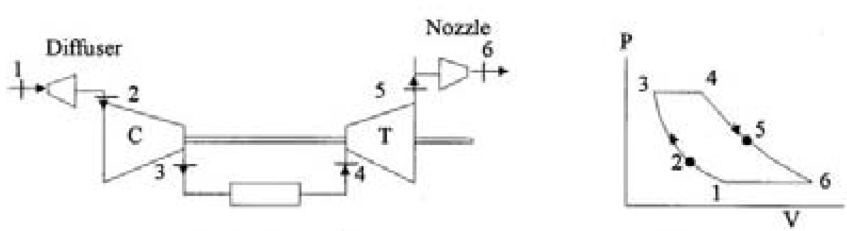
Convergent - Divergent Nozzle
الفوهة الملتمة المنفرجة او المتضيقة المتوسعة (الناشرة) (Diffuser)



(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 $(2 \rightarrow 1)$. يضاف الى ضغط الضاغط $(3 \rightarrow 2)$ 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

γ **= 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 اديباباتياً 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) اديباباتياً. 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، وهـي مبنية على اساس ان كتلة المائع المتدفق عبر أي مقطع خلال زمن معلوم لا تتغير، إذ انها مبنية علـى الافتراضات الآتية:

1- تبقى خواص المائع ثابتة عند المدخل، وفي أي نقطة داخل النظام، وعند المخرج بـسبب انتقـال الحرارة والشغل عبر الحدود بمعدل ثابت.

2- تساوي معدل التدفق الكتلي $(\dot{m})$ (Mass Flow Rate) عند الدخول والخروج إشارة الى شـكل (6.12). فإن $(\dot{m})$ بوحدات (kg/s) تكون ثابتة عبر أي مقطع في المنفث. فإذا كـان (A) تمثـل مساحة المقطع $(A=\frac{\pi D^2}{4})$ بالـ (m^2) ، وان (D) قطر الفوهـة بالـ (m)، و (C) الـسرعة بوحدات (m/s) و (ρ) كثافة المائع بالـ (kg/m^3) فسيكون:

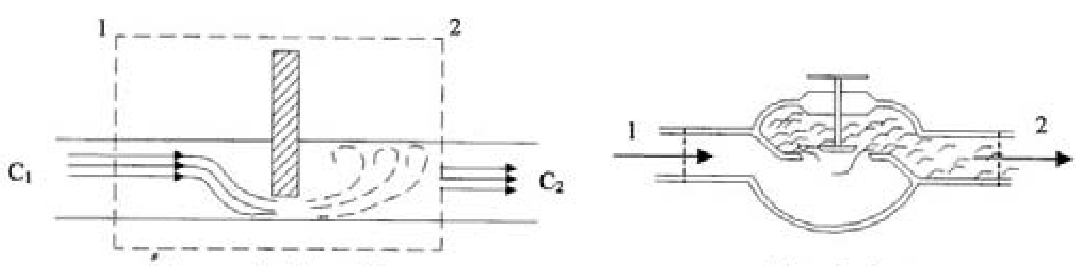
$$\dot{m}_1=\dot{m}_2=\text{Const.} \qquad \text{.........(6.35)}$$

$$A_1C_1\rho_1=A_2C_2\rho_2=AC\rho=\text{Const} \qquad \text{...........(6.36)}$$

(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 مفتـوح جزئيـاً، 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، لـذلك يعد الخنق اجراء ادياباتياً، أي (q=0). وبسبب عدم وجود اجزاء متحركة فإن التمدد سـيتم مـن دون مقاومة لذلك فان (w=0). وكذلك فإن الفرق بين (C_1) و (C_2) صغيراً خاصةً إذا كان المقطعين



(b) صمام مفتوح جزئياً (a) فتحة ضيقة

شكل (6.15)- صمام الخانق

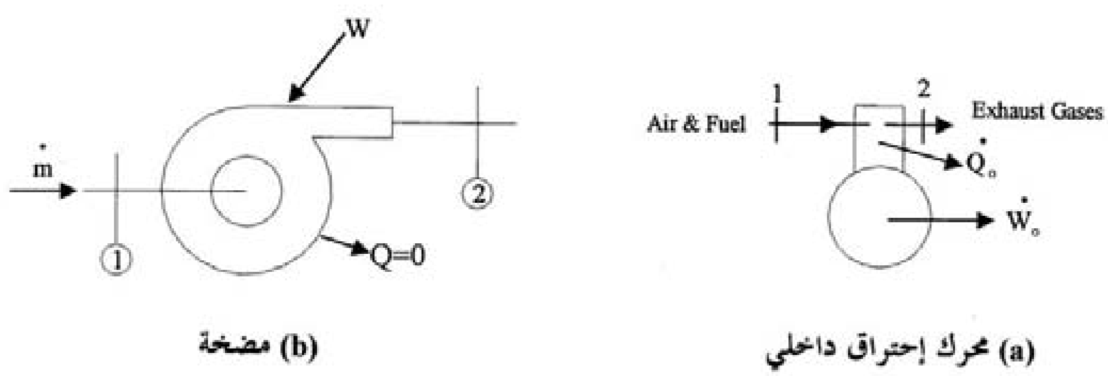
متساويا المساحة، لذلك تهمـل الطاقـة الحركيـة، طالمـا ان الـسرعة البالغـة (30 m/s) تكـافئ (0.5 kJ/kg) مقارنةً بقيمة المحتوى الحراري ذي القيمة (2500 kJ/kg) اذا كان المائع هو البخـار مثلاً. وعليه فإن معادلة الطاقة:

$$h_1 = h_2 \qquad \text{..........} (6.37)$$

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:

$$\dot{Q}_{in} - (\dot{W}_o + \dot{Q}_o) = \Delta H \qquad \text{..........} (6.39)$$

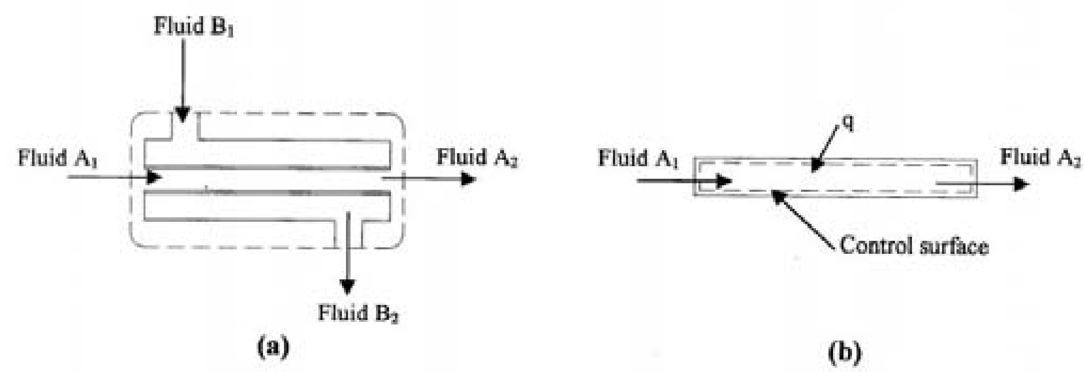
3- المضخة Pump

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.

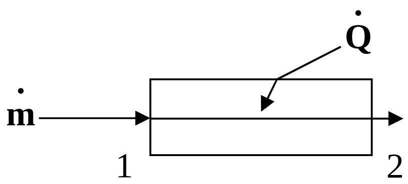
$$\frac{m_a}{m_w} = \frac{C_w \, (T_1 - T_2)_w}{C_{Pa} \, (T_2 - T_1)_a} = \frac{4.2\,(80 - 40)}{1.005\,(40 - 25)} = 11.14$$

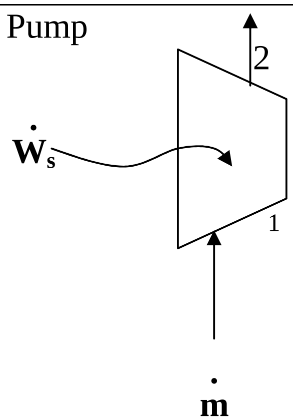
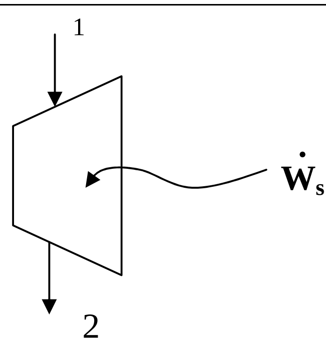
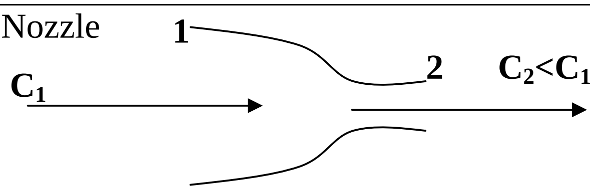
إن تطبيقات القانون الاول للثرموديناميكا على الانظمة المغلقة والانظمة المفتوحة موضحة في جدول رقم (6.2).

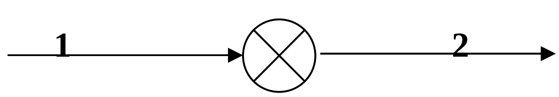
خلاصة الانظمة المفتوحة Summary of Open Systems

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

<table>
<tr><th>System</th><th>Energy</th></tr>
<tr><td>1. Boiler

</td><td>$\dot{Q} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

$\eta_b = \dfrac{\dot{m}_s(h_2 - h_1)}{\dot{m}_f\ .CV}$</td></tr>
<tr><td>2. Compressor or Pump

</td><td>$-\dot{W} = \Delta\dot{H} = \dot{m}(h_2 - h_1)$</td></tr>
<tr><td>3. Turbine

</td><td>$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2)$</td></tr>
<tr><td>4. Nozzle

</td><td>$O = \Delta h_{12} + \dfrac{C_2^2 - C_1^2}{2}$

$C_2^2 = C_1^2 - 2\Delta h_{12}$</td></tr>
<tr><td>5. Throttle Valve

</td><td>$h_2 = h_1$</td></tr>
</table>

جدول (6.2) خلاصة الانظمة المغلقة والمفتوحة

Process $PV^n=C$ الحالة	W الشغل		Q الحرارة	
	Closed = Pdν	Open = $-\int \nu dP$	Closed=W+ΔU	Open=W+ΔH
V = C.∴ n = ∞ $\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2}{T_1}$	Zero	$=-\nu(P_2-P_1)$ $=\nu(P_1-P_2)$ $=R(T_1-T_2)$	=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
$S=C.,n=\gamma=\frac{Cp}{Cv}$ $\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	= - ΔU $=Cv(T_1-T_2)$	= - ΔH $=Cp(T_1-T_2)$	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 بـ ـسرعة قـ ـدرها (28m/s). وكان على إرتفاع رأسي قدره (30m) فوق قاعدة التل. ما هي الطاقة التي تتبدد كحرارة في الفرامـ ـل بفرض إهمال تأثير الرياح وعوامل الاحتكاك المختلفة على العملية. (اعتبر السيارة كنظام)

$$\mathbf{Q = \Delta KE + \Delta PE}$$

$$\mathbf{= m\left[\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g\,(z_2 - z_1)\right] = 1350 \times \left[\left(\frac{0^2 - 28^2}{2}\right) + 9.81\,(0 - 30)\right]}$$

$$\mathbf{= \text{-}926367\ \ J = \text{-}926.367\,kJ}$$

الحرارة خارجة من النظام (-)

(6.7)

غاز يجري في انبوب إرتفاعه (60.96m) فوق سطح البحر بسرعة (6.096 m/s) ودرجة حـ ـرارة (148.9°C). احسب الطاقة الكلية للغاز واعتبر ان الصفر المئوي هي درجة الحرارة الاسـ ـاس فـ ـي 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.

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

$$\mathbf{q_{12} = \Delta\mu_{12} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2000}}$$

$$\mathbf{-50 = \Delta\mu_{12} + \frac{0 - (1164)^2}{2000}}$$

$$\mathbf{\Delta\mu_{12} = 628\,kJ/kg}$$