الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

الترموديناميك الهندسي

الدكتور المهندس مفيد العفيف

٢٠١٧ - ٢٠١٨

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدمة	II
مقدمة الى ديناميك الحرارة	X
الرموز والوحدات المستخدمة	XI

1. الفصل الأول

الوحدات والتعاريف (1-25)

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

2. الفصل الثاني

الضغط ودرجة الحرارة (26 -44)

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

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

الفصل الثالث

الطاقة (45- 71)

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

4. الفصل الرابع

خواص الغ . . . ازات (72-84)

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

4.7- العلاقة بين الحرارتين النوعيتين 81
امثلة محلولة 82

5. الفصل الخامس

القانون الاول لديناميك الحرارة (85-159)

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

6. الفصل السادس

الانظمة المفتوحة (160-216)

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

9. الفصل التاسع

الانتروبي (277-324)

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

10. الفصل العاشر

الخلائط الغازية (325-370)

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

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

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الثرموديناميكس) الذ ر ال ذي ي شمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي ،ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي يهمنا في الهندس . . . . . .ة الحرار ي . . . . . .ة لاذ . . . . . .ه يه . . . . . .تم 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 الغازي ة او البخارية .... الخ ،وكذلك انتقال الحرارة بوساطة أجه زة التكيي ف بأس تعمال الطاق ة 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 بخ ار الم اء) ، أو س ائلاً 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 الحـ رارة ، 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 تحوي ل الطاق ة المتنقلة .
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبين استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق .

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات تولي د الطاق ة ،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 . وف ي منت صف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحراري ة ،وق د أسهم الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو، كيلفن،كلوزيوس وغي رهم ، ومنذ الق رن الماضي توسع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف .

الرموز والوحدات المستخدمة

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

* (System International) (SI)

(English) (British units) (Bu)

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

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

7. الفصل السابع

القانون الثاني لديناميك الحرارة (217-239)

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

8. الفصل الثامن

دورات القدرة (240-276)

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

بعض الرموز اليونانية :

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

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الثرموديناميكس) الذ ر ال ذي ي شمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي ،ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي يهمنا في الهندس . . . . . ة الحراري . . . . . ة لان . . . . . ه يه . . . . . .تم 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 الغازي ة او البخارية .... الخ ،وكذلك انتقال الحرارة بوساطة أجه زة التكيي ف بأس تعمال الطاق ة 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 بخ ار الم اء) ، أو س ائلاً 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 الح رارة ، 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 تحوي ل الطاق ة المتنقلة .
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبين استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق .

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات تولي د الطاق ة ،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 . وف ي منت صف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحراري ة ،وق د أسهم الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو، كيلفن،كلوزيوس وغي رهم ، ومن ذ القر ن 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 ما يختلف معناها الاصطلاحي عن معناها اللغوي العام، ومن هنا سميت بالمصطلحات. اما الرموز فإن لكل علم مجموعة من الرموز تستعمل للدلالة على كميات او متغيرات او خواص (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 القيمة العددية لهذا البعد. فمثلاً الزمن هو البعد اما الثانية او الدقيقة او الساعة فهي الوحدة. وجدول رقم (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	الوات	W	J/s
الشغل	W	الجول	J	N.m
الحرارة	Q	الجول	J	N.m

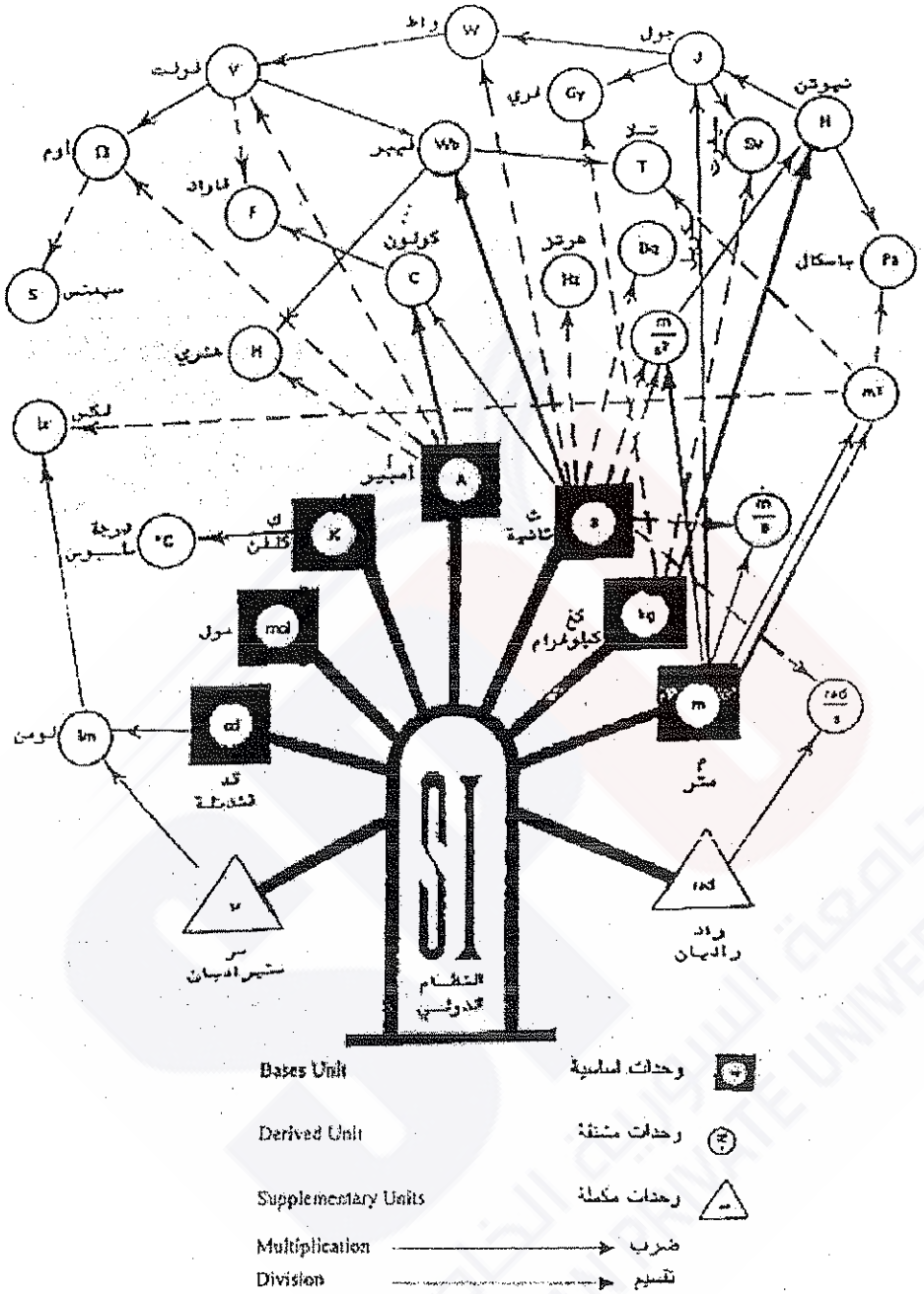
(1.2)- النظام العالمي للوحدات International System of Units

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 بكونه نظاماً

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

جدول (1.2) الوحدات الاساسية والمساعدة

	Quantity الكمية	الرمز	Units			
			SI		English	
A	**الوحدات الاساسية**					
1.	Length الطول	L	meter	m	foot	ft
2.	Mass الكتلة	m	Kilogram	kg	Slug or pound	Lbm
3.	Time الزمن	t	second	S	second	sec.
4.	Electric current التيار الكهربائي	I	ampere	A	Ampere	A
5.	Absolute Temperature درجة الحرارة المطلقة	T	Kelvin	K	RanKine	°R
6.	Amount of substance كمية المادة			kg-mole	Pound-mole	Lbm-mole
7.	Luminous intensity شـ . . دة الاضـ . . اءة (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



تتتج 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 المتقطع. 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 محلولة

(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 → PSI = Lb_f / in^2
2- h.p → kW = kN . m/s
3- KW → h.p
4- ρHg → Lb_m / in^3
5- kW h → kJ
6- kW h → kcal

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

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

$$3-k\ W = kN.\frac{m}{s} = \frac{1}{4.448.10^{-3}}\,Lb_f \times \frac{1}{12\times0.0254}\,ft/s = \frac{1000}{4.448}\,Lb_f \times \frac{1}{0.3048}\,ft$$

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

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

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

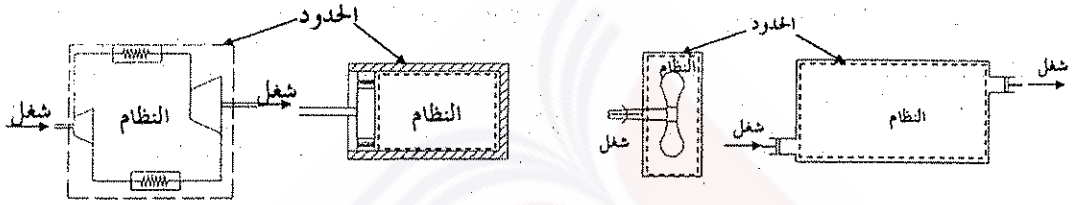
$$5-kWh = \frac{kJ}{s} \times h = \frac{kJ}{s} \times 3600S = 3600\,kJ$$

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

(1.3)- تعاريف ومفاهيم اساسية Fundamental Concepts & Definitions

(1.3.1)- النظام الثرموديناميكي Thermodynamic System

هو كمية محدودة وثابتة من المادة داخل حيز محدود محاط ة بغ لاف (envelope)، يـ راد دراسة سلوكها. قد يكون النظام حقيقي او مثالي. الحقيقي هو كمية من المادة كغاز مح صور بمك بس داخل اسطوانة. اما الثاني فهو نظام نظري لتسهيل المسائل الثرموديناميكة، وهو غي ر موج ود ف ي الطبيعة، أي نظام افتراضي.



شكل (1.3)- النظام

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

وكل ما يقع خارج حدود النظام هو المحيط (Surroundings) له تأثير مباشـ ر ف ي سـ لوك النظام، لانه يتبادل الطاقة معه، وبالتالي قد يتأثر بالتغيرات الحاصلة داخل النظام. ربما يشكل المحـ يط نفسه نظاماً آخر.

لحدود النظام خواص معينة تسمح او لا تسمح بتبادل الطاقة او المادة مع المحـ يط او الوسـ ط المحيط (Surroundings) وهو الحيز المحيط بالنظام والذي يتأثر بالتغيرات التي تتم داخل النظـ ام. 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 يـ سمى 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.

(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 يكون (D) تمثل قطر الدائرة فان المساحة (A) تساوي :

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

(1.3.3)- الحجم (Volume)

حجم الجسم (او المادة) هو مقدار مايشغله من حيز ويساوي حاصل ضرب مساحته في ارتفاعه. وحدة الحجم هي (m^3) او اللتر ($1\ Liter = 1dm^3 = 10^{-3}\ m^3$). وتظهر أهميته مثلاً عند 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:

$$V = A \times L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.2)$$
$$= m^2 \times m = m^3$$

عندما تتمدد المادة يزداد حجمها، وعندما تتضغط يقل حجمها. اما الحجم النوعي (Specific Volume) فهو حجم وحدة الكتلة (m) رمزه (υ) ويساوي :

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

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 والضغط. تسمى أحياناً بالكثافة، يرمز لها بالحرف اليوناني رو (ρ) وحدتها (kg/m^3). هي مقلوب الحجم النوعي، وتساوي:

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

وأن الحجم النوعي والكثافة غير مستقلتين عن بعضهما لان الواحدة مقلوب الاخرى، لذا فأن الكثافة ليست بخاصية. ان كثافة الماء ($1000kg/m^3$) والزئبق ($13600kg/m^3$). وفي 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 في وحدة زمن. فأذا كان (L) يمثل الطول بوحدات المتر (m) و (t) تمثل الزمن بوحدات الثانية (s) فستكون السرعة (C) تساوي:

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

2. **السرعة المتغيرة:** وهي تنشأ عندما تكون حالة الجسم متغيرة من لحظة الى أخرى، 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:

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

or

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

وتعجيل الجسم اما منتظماً عندما يكون التغير في سرعة الجسم منتظماً، واما متغيراً عندما يكون التغير في سرعة الجسم غير منتظم وفي الحالة الاخيرة يقاس متوسط قيمته، وهو كذلك أما موجب القيمة فيزيد سرعة الجسم المتحرك (تسارع) ويسمى بالتعجيل الموجب، واما سالب القيمة فتنقص سرعته ويسمى التباطؤ.

(1.3.7)- القوة Force

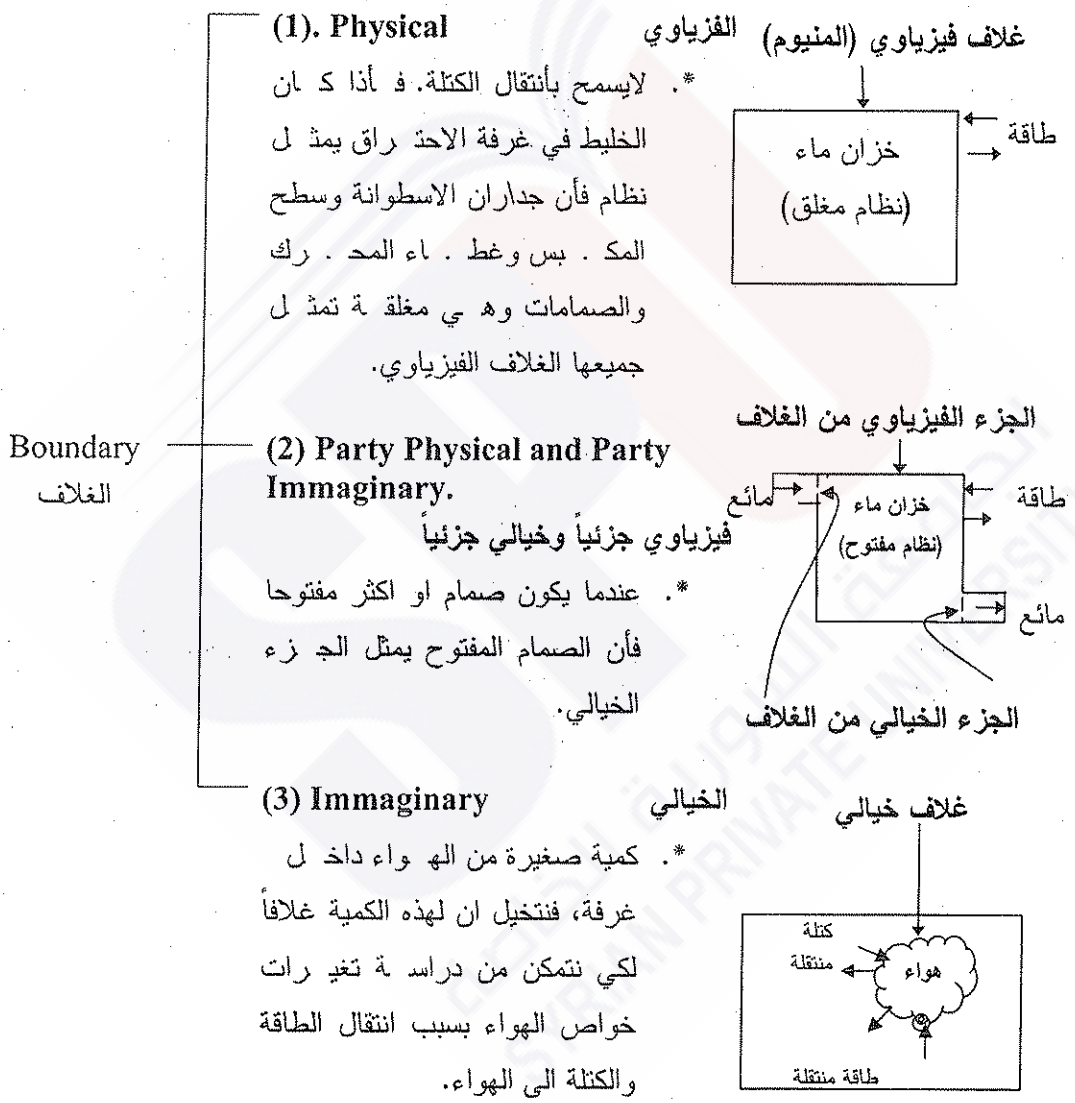
ان العلاقة بين القوة والحركة مبنية على قوانين الحركة الثلاث التي وضعت من قبل اسحق نيوتن. ينص القانون الاول على مايلي ((يستمر الجسم في حالة السكون او الحركة المنتظمة على خط مستقيم الا اذا اجبر على تغيير تلك الحالة بفعل قوة خارجية)).

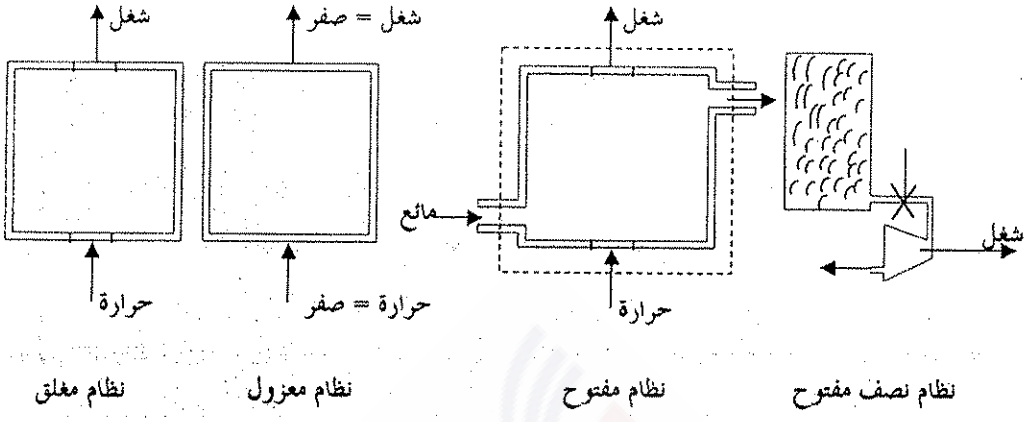
فمثلاً، ان سيارة واقفة على طريق افقي سوف تستمر باقية في حالة الوقوف مالم تؤثر عليها قوة خارجية. ولو أن السيارة كانت تتحرك فبأستخدام المكابح ستتباطأ السيارة وتتوقف. فمن قانون نيوتن الاول يمكن تعريف القوة كاتالي:

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 خلال المخطط التالي:





شكل (1.4)- انواع الانظمة

ب- النظام المعزول Isolated System

لا تسمح حدوده بأنتقال المادة او الطاقة، أي يبقى مجموع الطاقة فيه ثابتاً، لكونه لا يتأثر بالوسط المحيط. مثال الترمس الموضوع بداخله ماء بارد او ساخن.

ج- النظام المفتوح Open System

هو النظام الذي تسمح حدوده بأنتقال المادة والطاقة (شغل او حرارة) بعملية جريانية. يسمى 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 الحرارية 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 ومعقدة، وقد يمكن تجزئتها ومن ثم جمع أجزاء المنظومة المجزأة. مثال ذلك محطة القدرة الكهربائية المغلقة التي

((القوة هي أي شئ يسبب تحريك جسم من السكون، او يوقف جسما عن الحركة، او يعجل 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 هذا الجسم (m) تساوي:

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

أن محاولة جسم للمحافظة على حالة السكون أو الحركة المنتظمة تدعى القصور الذاتي (Inertia). وقد وجد بأن هذه الخاصية تعتمد على كتلة الجسم. الوحدة الدولية (SI) للكتلة هي الكيلو غرام (kg)، معرفة بأنها كتلة اسطوانية مصنوعة من البلاتين والايريديوم (aridum–Platinum) محفوظة في (Severs) في فرنسا.

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

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

(1.3.9)- التعجيل الارضي Acceleration du to gravity

هو المثال الثابت للتعجيل الثابت، رمزه (g). يعبر عن قوة تجاذب بين الارض والجسم. قيمته 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 القطبين. لكن قيمته تنخفض كثيراً كلما ابتعدنا عن مركز الارض حتى تنعدم تماما في الفضاء.

عندما يسقط جسم من ارتفاع معين، يجذب نحو مركز الارض بقوة الجاذبية (Force Gravity). وتبدأ سرعته من السكون ثم تتزايد بتعجيل منتظم يساوي ($9.81m/s^2$).يسمى

بالتعجيل الارضي. قيمته لا تتوقف على كتلة او حجم الجسم شرط اهمال تأثير قوة أحتك اك الهـ واء بالجسم أثناء سقوطه.

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

$$W = m \times g \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.9)$$

(1.3.10)- الوزن Weight

اذا وضع جسم ما على سطح معين فأن الضغط الذي يسلطه هو دالة الوزن. وإذا سقط جسم فأن قوة جذب نحو الارض دالة لوزنه. فالوزن هو التعبير عن قوة جذب الارض للجسم، هذه القوة تعمـ ل شاقولياً الى الاسفل باتجاه مركز الارض وبما ان قوة الجذب او التعجيل الرضـ ي (g) تتغيـ ر كلمـ ا ابتعدنا عن مركز الارض لذا فأن وزن جسم الانسان ينعدم في الفضاء لانعدام الجاذبية، عليه فأن قـ وة جذب الارض للجسم (F) او وزن الجسم (W) يساوي:

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

لايمكن عد الوزن وحدة اساسية لعدم وجود قيمة ثابتة له. لنأخذ مثلاً رجل الفضاء، كتلته علـ ى 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 ممـ ا هـ ي فارغة. ولايقاف سيارة الحمل التجارية يتطلب قوة كبح اكبر من سيارة صغيرة تسير بنفس الـ سرعة. يقال للسيارة (الاثقل) بأنها ذات كمية حركة او زخم اكبر من تلك الاخف.

يعتمد الزخم على الكتلة والسرعة. لذلك فإن جسمين لهما نفس الكتلة ولكنهمـ ا يتحركـ ان بـ سرعتين مختلفتين سيظهران زخمين مختلفين. يقاس زخم الجسم بحاصل ضرب كتلته في سرعته، أي:

$$Mometum = m \times C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.11)$$

(1.3.12)- تغير الزخم-قانون نيوتن الثاني للحركة

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

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

ومعدل تغير الزخم يساوي:

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

وحساب قانون نويتن الثاني فإن:

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

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

$$\therefore F \propto ma \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.15)$$

يمكن تعريف وحدة الـ (F) بانها القوة المطلوبة لاعطاء وحدة الكتلة وحدة التعجيل. تدعى الوحدة الدولية (SI) للقوة نيوتن(N). وتعرف بأنها القوة المطلوبة لاعطاء كتلة مقدارها (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، تعجيلاً (a) بالـ (m/s^2). فأن:

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

أمثلة محلولة

(1.1)

أوجد مساحة سطح اعلى المكبس الي قطره (0.67mm)

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

(1.2)

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

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

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

(1.3)

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

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

(1.4)

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

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

(1.5)

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

$$F = m \times a = 0.04 \times 0.2 = 0.008N$$

(1.6)

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

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

(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.

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

(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.

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

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

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

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

(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

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

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

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

التحليل البصري (الماكروسكوبي) هو تحليل خواص النظام كالضغط والحجم ودرجة الحرارة والتي هي خواص يمكن قياسها لتعطي وصفاً بصرياً. لنأخذ مثلاً محتويات اسطوانة محرك احتراق 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 كيمياوية توصف مكونات النظام.

2- الضغط: ضغط الغاز بعد الاحتراق كبير جداً ثم ينخفض في نهاية شوط العادم. يمكن قياس التغيرات في الضغط بوساطة المانوميترات في المختبر.

3- الحجم: يتغير حجم الغاز تبعاً لتغير موضع المكبس داخل الاسطوانة. يمكن قياس التغير الحجمي 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. اما التحليل المجهري فهو تحليل سلوك ذرات وجزيئات المادة كتحليل الانشطار الذري لليورانيوم، لذا 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 يتميز 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 المائع في حالة معينة، 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 معرفة ما لا يقل عن خاصيتين تسمى بالاحداثيات الثرموديناميكية، يعبر عنها بقاعدة الخاصيتين (Two Property Rule). لذا يمكن ايجاد قيمة 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) ثابتة 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 الانظمة المفتوحة هناك الخاصية 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 الضغط تبعا لتغير الاثقال، لذلك فالضغط يعد خاصية مستقلة، واذا أضيفت حرارة الى غاز موجود في خزان فستزداد درجة حرارته، لذلك تكون درجة الحرارة خاصية مستقلة (Independent) أذا الخواص المستقلة يمكن قياسها كالـ .(T,P)، اما الخواص التابعة فيمكن حسابها بدلالة الـ .(T,P).

---

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

(2) من الناحية الرياضية فإن (dP) هو مشتق تام (بالنسبة للخاصية) او مشتق صحيح او كامل (Exact or Perfect Differential).

1.5.2 الخواص المركزة والشاملة Intensive & Extensive Properties

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

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

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

والحجم النوعي هو مقلوب الكثافة، أي:

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

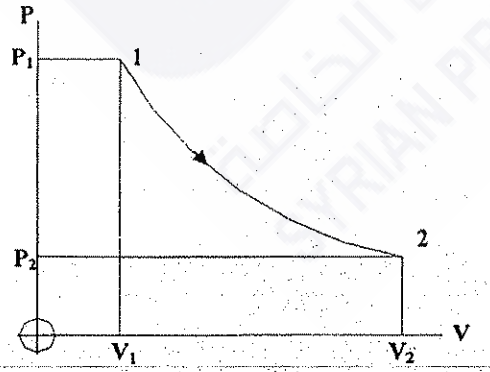
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{V/m} = \frac{1}{\upsilon} \quad .....(1.19)$$

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

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

(1.6)- مخطط الحالة State Diagram

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



شكل (1.5)- مخطط الضغط-الحجم

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

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

خواص النظام كال . (P، V، T) تعتمد على الحالة الابتدائية والنهائية، لذلك تسمى بدالة الحالة. ولو كان التغير في هذه الخواص صغيراً جداً، لكنه محسوس، أي يحتوي على عدد كاف من الجزيئات، لذلك يعد دالة حقيقية. تمثل رياضياً بتفاضل تام او مضبوط (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 تام لدالة الحالة $\left(\int_{V_1}^{V_2} dV\right)$ 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 ليس من خواص النظام، لذلك يعتمدان على المسار، يمثل رياضياً بتفاضل غير تام، او غير مضبوط او ناقص (Inexact Differential)، أي (dQ، dW)، لأن الشغل او الحرارة هما نشاط خارجي او اجراء يؤدي الى تغيير طاقة الجسم.

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

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

(1.8)- التوازن الثرموديناميكي Thermodynamic Equilibrium

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

أ- عند إختلاف درجة الحرارة فستنتقل الحرارة تلقائياً من الموقع الاعلى الى الادنى حتى تتـ ساوى 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:

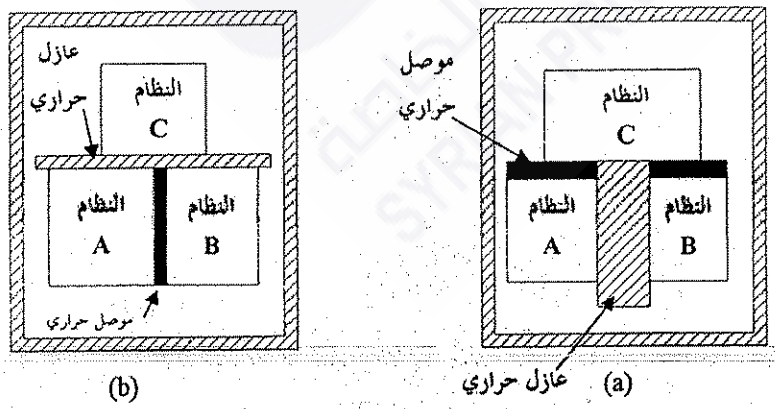
1- عزل النظام عن المحيط بحيث لا تنتقل حرارة او شغل عبر حدوده.

2- تساوي الضغط ودرجة الحرارة في كافة اجزاء النظام.

سوف نفترض في هذا الكتاب بأن النظام في حالة توازن عند بداية ونهاي ـة الاج ـراء، وبهـ ذا نستطيع تحديد الحالة الابتدائية والنهائية للخاصيتين. ومجمل القول فإن النظام يكون في حالـ ـة اتـ ـزان ثرموديناميكي عندما تكون خواصه ثابتة.

نفترض وجود ثلاثة انظمة (A) و (B) و (C) محاطة بجدار عازل (اديباتي) كما في الـ شكل (1.6). إن الشكل (1.6-a) يبين انه اذا كان (A) و (B) في حالة اتزان، فأن (C) سيكون في حالـ ـة اتزان مع (A) و (B) لوجود جدار موصل للحرارة. اما الشكل (1.6-b) فيبين انـ ـه اذا كـ ـان (A) و (B) في حالة إتزان مع (C) لوجود جدار اديباتي، فسيكون (A) و (B) في حالة إتزان مع بعـ ـضهما لوجود جدار موصل للحرارة.

هذه الحقيقة اكدها (ر.هـ .. فولر) وسماها بالقانون الـ صفري (The Zeroth Law) للـ ديناميكا الحرارية الذي ينص على انه: "إذا كان نظامان في حالة إتزان مع نظام ثالث، فسيكون النظامين فـ ـي 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.

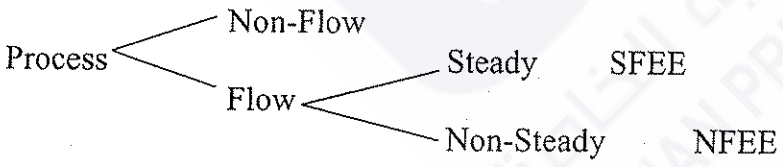
تتغير حالة النظام في العمليات الثرموديناميكية التي يمكن تصنيفها كما يأتي:-

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

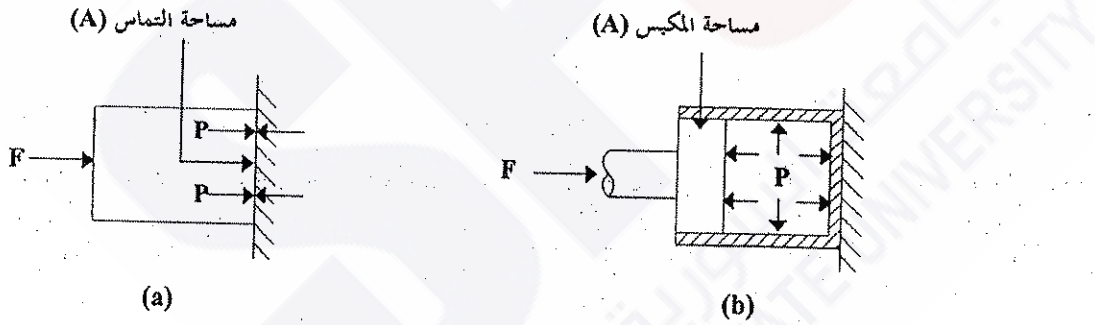
(2.1)- المفهوم الميكانيكي للضغط
Mechanical Concept of Pressure

إن درجة حرارة الانصهار للمواد الصلبة، ونقطة الغليان للسوائل، والحجم المشغول بالغازات 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 سيكون 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 المربعة (m^2)، عندئذٍ سيكون الضغط (P) بالـ (N/m^2) وهي وحدة اساسية للضغط في نظام (SI) وتسمى بالباسكال (Pa) وكان باسكال (Pascal) اول من اهتم بقوانين الضغط.

ولكون وحدة الباسكال صغيرة جداً، فتستعمل في الحياة العملية وحدات مضاعفة اكبر من الباسكال، كالكيلو باسكال (kPa) والميكا باسكال (MPa)، والعلاقة بينهم هي:-

$$\mathbf{MPa\ (MN/m^2) = 10^3\ kPa\ (kN/m^2)}$$

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

$= 1 N/mm^2$

وكذلك تستعمل وحدات البار (bar) والهيكتوبار:

$\mathbf{hectobar = 10^2\ bar}$

$= 10^4$ kPa

$= 10^7$ Pa

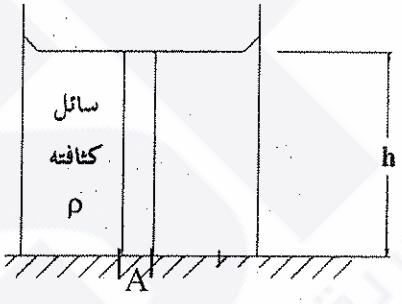
ان (البار)* هو الضغط الذي يسببه عمود من الزئبق ارتفاعه (750mm)، وفي الوحدات البريطانية تكون القوة بالباوند (Lb) والمساحة بالانج المربع (in^2)، عليه تكون وحدة الضغط (Lb/in^2) ويسمى (PSI)، علاقته مع الـ (atm.) هي:

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

(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 مائع كثافته (ρ) ثابتة فلو اخذنا مقطعاً طولياً لهذا المائع ارتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A)، كما في شكل (2.2)، فستكون كتلة هذا المقطع ($m=\rho V$)، وحجمه ($V=A \times h$)، عندئذ سيكون الضغط:



شكل (2.2)- ضغط الموائع

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

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

(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.

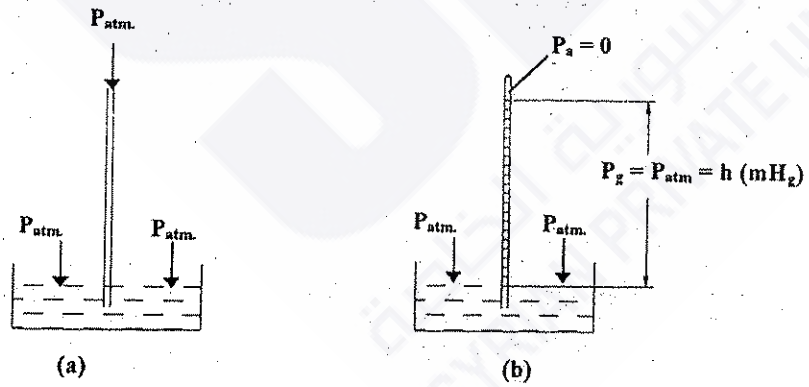
الكرة الارضية محاطة بالهواء الجوي يمتد الى عدة كيلومترات فوق سطحها. هذا الهواء يولد ضغطاً على سطح الارض نتيجة لوزنه فوق هذا السطح يسمى بالضغط الجوي ورمزه (Patm.). ولما كان الضغط يساوي القوة على وحدة المساحة، فسيكون الضغط على متر مربع واحد من سطح الارض يساوي وزن عمود الهواء فوقها مفترضاً بذلك احتواءه 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 مساوٍ لأرتفاع الغلاف 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 فمثلاً قيمته عند قمة جبل ايفرست، وهي اعلى قمة جبلية في العالم، تكون ($40\ KN/m^2$) وتنعدم قيمته في الفراغ المحيط بالكرة الارضية. يكون الضغط الجوي القياسي (standard):

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

(2.4)- مقياس الضغط الجوي او البارومیتر The Barometer

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



شكل (2.3)- مبدأ تورشيلي في تصميم البارومیتر

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 دفعت العالم تورشيلي (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 الخزان والانبوب متساوياً 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 مساوية لقيمة الضغط الجوي (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 $13600kg/m^3$) فيكون:

$$h = \frac{Patm.}{\rho g} = \frac{101.3\times10^3}{13600\times9.81} = 0.76\,mHg$$

القيمة الثابتة للضغط الجوي تساوي ($101.3kN/m^2$).وإذا كان ماء(كثافته $10^3 Kg/m^3$) فإن:

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{101.3\times10^3}{10^3\times9.81} = 10.326\,m\,H_2O$$

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، عندئذٍ سيكون ارتفاع البارومیتر الزئبقي (760 mmHg). وفي الحسابات الثرموديناميكية يكون الضغط بوحدات (Pa) ومضاعفاته. فإذا كان الارتفاع البارومتري (h=mm) عندئذٍ سيكون الضغط:-

$$P = \rho gh = 13600\times9.81\times\frac{h}{10^3} = 133.4\,h\,(N/m^2)$$
$$= 133.4\times10^{-3}\,h\,(kN/m^2)$$
$$= 133.4\times10^{-6}\,h\,(MN/m^2)$$
$$= 133.4\times10^{-5}\,h\,(bar)$$

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 المكان الواحد ايضاً من وقت لآخر نتيجة تأثره بسرعة الريح، ودرجة الحرارة، ومقدار الرطوبة في الجو. لذلك صنعت البارومترات لقياس الضغط الجوي منها الزئبقي، والمعدني، والمعدني المسجل، وفورتن.

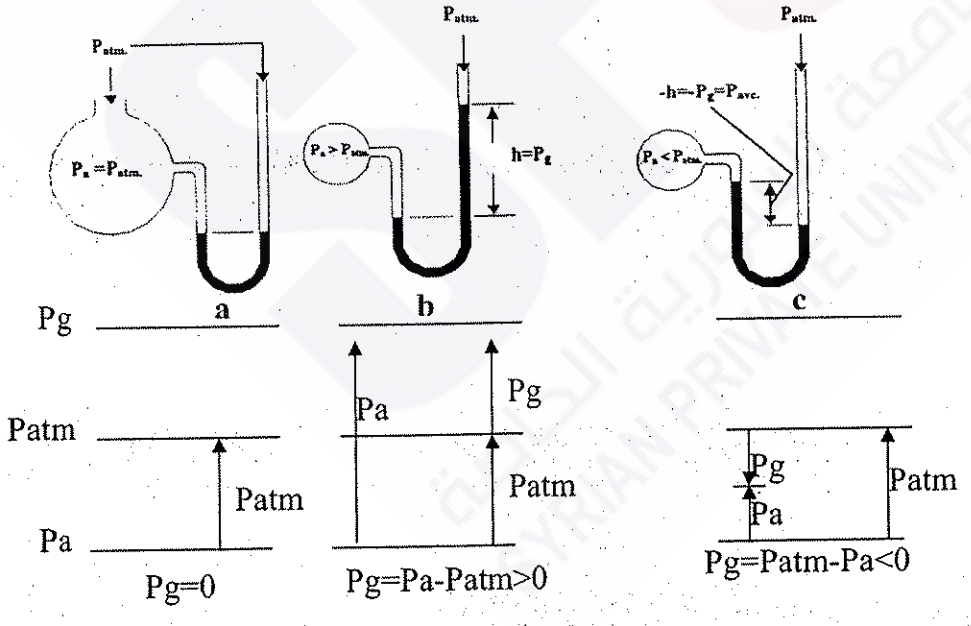
(2.5)- المانومتر The Manometer

عبارة عن انبوب على شكل حرف (U) مفتوح الى الضغط الجوي عند احد جوانبه، ويتصل عند الطرف الآخر بالوعاء المطلوب قياس ضغطه الحقيقي او الضغط المطلق (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 يعطي دقة في القياسات كالمانومتر المائل (Inclined Manometer).

عندما تكون الضغوط مطلقة، لا داعي لذكر كلمة مطلق، وعليه فإن (250kPa) تعني (250 kPa. Pa).

ان نقطة الصفر في المانوميترات هي الضغط الجوي (Patm.)، عليه يمكن ان يكون الضغط 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:

$$Pg = 0 \qquad \ldots\ldots (2.2)$$

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:

$$Pg = Pa - Patm. > 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

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:

$$Pg = Patm. - Pa < 0 \qquad \ldots\ldots\ldots (2.4)$$

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

امثلة محلولة:

1- اذا كان ضغط المقياس (127kPa) وكان البارومیتر یقیس قیمة الضغط الجوي وتساوي (740 mmHg) فیکون الضغط المطلق:

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

2- عند قیاس ضغط غاز بمانومیتر زئبقي. کان عمود الزئبق بین قیاس تخلخلي مقداره (660 mmHg) وکانت قیمة الضغط الجوي التي یقیسها البارومیتر (740 mmHg) فیکون الضغط المطلق:

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

3- عند قیاس ضغط غاز بمانومیتر مائي کان عمود الماء بین مقیاس الضغط مقداره (150mm H_2O)، وکانت قیمة الضغط الجوي التي یقیسها البارومیتر (740mm Hg)، فیکون الضغط المطلق:

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

4- عند قیاس ضغط غاز في خزان بمانومیتر یحتوي على مائع وزنه النوعي (0.85). کان ارتفاع عمود المائع (55cm)، وکانت قیمة الضغط الجوي (96kPa) فیکون الضغط المطلق:

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

(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 صفرًا 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 الدولي 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:

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

مثال (2.5)

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

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

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

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

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.

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

إن جميع الاجهزة التي مرت هي مقاييس لقياس الضغوط المستقرة مثل ضغوط البخار في المحركات والتوربينات او في الاسطوانات التي تحتوي على هواء مضغوط. اما تغيرات الضغوط 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 فيتم بوساطة مقياس بوردن.

(2.8)- درجة الحرارة Temperature

تعد درجة الحرارة من اهم الخواص الثرموديناميكية المرتبطة بحواس الانسان، أي ان مفهوم 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 ذلك الجسم الملموس 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 اليد. 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 الالم ايضاً. وقد فسر ذلك على ان

الاجسام الصغيرة الشبيهة بالسهام تنتقل من الجليد الى اليد وبذلك تصبح اليد باردة ويصحب ذلك شعور بالالم.

ولا توجد حاجة في بعض الاحيان للمس الحقيقي لكي نقرر ان بعض الاماكن حارة او باردة. فعند خروجنا من غرفة ودخولنا الى اخرى يمكن ان نشعر ببرودة او سخونة الغرفة، او عندما نخرج من مبنى الى الهواء الطلق. وكذلك بحرارة الصيف لذلك نبحث عن الضلال لنتخلص من حرارة الشمس المباشرة.

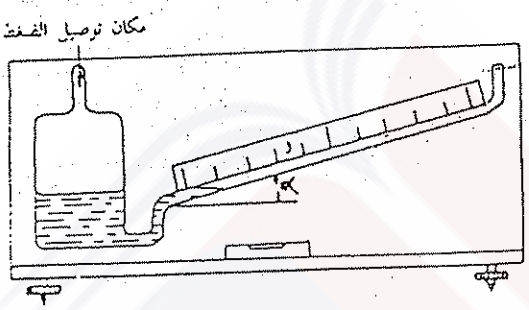
لذلك فإن الحرارة او البرودة هي عبارة عن شئ يمكن الاحساس به مباشرةً، فالخاصية التي تجعلنا نشعر بحرارة الجسم او برودته تسمى (درجة الحرارة).

اذن درجة الحرارة هي خاصية من خواص النظام تصف برودة او سخونة النظام بالنسبة للمحيط.

(2.6)- المانوميتر المائل The Inclined Manometer

يستعمل لقياس فروق الضغط الصغيرة جداً مثلاً الى حد ($50mm\ H_2O$) والمبين في شكل (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:

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

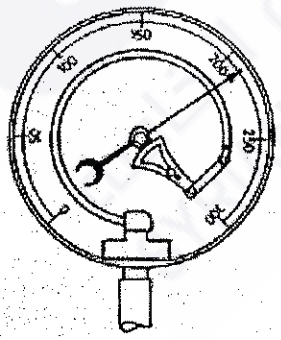


شكل (2.5)- المانوميتر المائل

يستعمل الماء او زيت البارافين الذي له وزن نوعي (0.8) تقريباً. ومنه فاننا نحصل على 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 البارومترات والمانومترات كما سبق ذكرها. وكذلك مقياس بوردن الموضح في شكل (2.6)



شكل (2.6)- مقياس بوردن

(2)-مقياس درجة الحرارة المطلقة

Absolute Temperature Scale

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

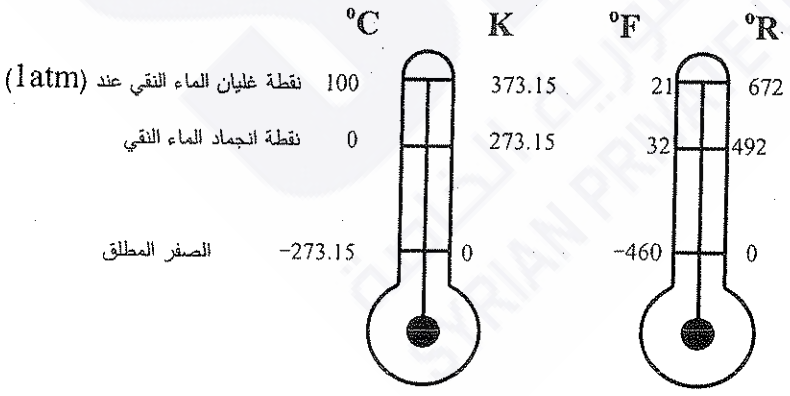
أ- **مقياس كلفن Kelvin Scale**

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

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

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

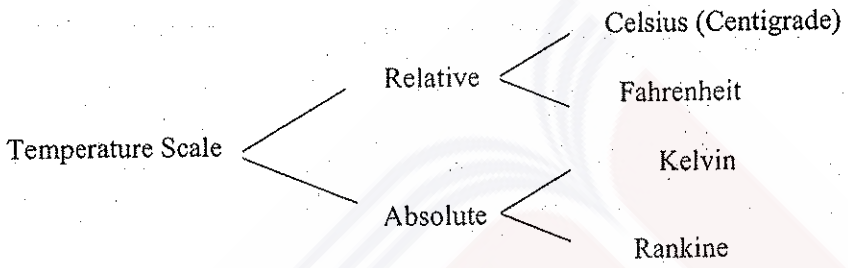
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (t_2 + 273) - (t_1 + 273) = t_2 - t_1 = \Delta t \qquad \ldots. (2.7)$$



شكل (2.7)- مقاييس درجة الحرارة

ب- مقياس رنكن Rankine Scale

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



علاقة الرنكن بالكلفن والفهرنهايت موضحة في المعادلات التالية:-

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

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

مثال (2.6)

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

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

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

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

امثلة محلولة:

(2.7)

قوة مقدارها (7500N) سلطت تسليطاً متساوياً على مكبس قطره (100mm)، ما مقدار الضغط على المكبس بوحدات (kN/m^2)؟

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

(2.8)

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

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

(2.9)

كانت قراءة البارومتر والتي سجلت (765mmHg). حول هذه القراءة الى وحدات (MN/m^2).

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

(2.10)

رفع الضغط داخل وعاء بوساطة مانومتر زئبقي عند ضغط معين. كان الفرق في ارتفاع مستوى الزئبق في المانومتر (260 mmHg) فوق الضغط الجوي. وكانت قراءة البارومتر (758 mmHg). اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات (MN/m^2)، (bar).

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

(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).

$$Pa = Patm. - Pg = 13600 \times 9.81 \times 0.763 - 1000 \times 9.81 \times 0.4$$
$$= 97872.41 N/m^2$$
$$= 97.87\ kN/m^2$$

(2.12)

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

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

(2.13)

كان مقدار الضغط التخلخلي في مبخر (284 mmHg)، فإذا علمت ان الضغط الجوي (742 mmHg). احسب الضغط المطلق بوحدات (Pa).

$$Pa = Patm. - Pg$$
$$= 13600 \times 9.81\ (0.742 - 0.284)$$
$$= 61104.53\ Pa$$

(2.14)

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

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

$$h_2 Hg = \frac{\rho_{1w} \times h_{1w}}{\rho_2 Hg} = \frac{1000 \times 10.329}{13600} = 0.76\ m\ Hg$$

(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 مانومیتر استعمل فيه كل من سائل الزئبق، الماء، الكحول، سائل. اذا كان (ρ_{Hg}=13600kg/m^3)، (ρ_w = 1000 kg/m^3)، ($\rho_{alc.}$ = 800 kg/m^3).

$$h = \frac{P}{\rho \times g} = \frac{200}{13600 \times 9.81} = 1.5\ mmHg$$
$$= \frac{200}{1000 \times 9.81} = 20.4\ mm\ W$$
$$= \frac{200}{800 \times 9.81} = 25.5\ mm\ Alc$$

(2.17)

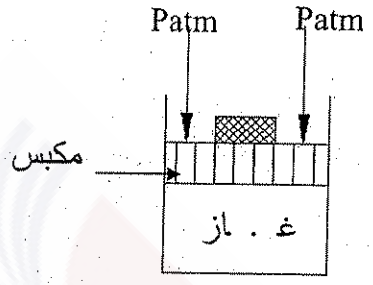
مقياس بوردن يقيس ضغط مقداره (1.75 MPa). فإذا كان الضغط الجوي (757 mmHg)، احسب الضغط المطلق بوحدات (MPa)، (mmHg).

$$Pa = Patm. + Pg = 1.75 + 13600 \times 9.81 \times 0.757$$
$$= 1.851\ MPa$$

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

(2.18)

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



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

$$= 0.434\ kPa$$

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

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

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

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

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

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

(2.19)

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

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

-أ

$$Pa = Patm. + Pg = 1.01 \times 10^5 + 13600 \times 0.15 \times 9.81$$

$$= 121012.4\ Pa$$

$$= 121.0124\ kPa = 1.21\ bar$$

-ب

$$Pa = Patm. - Pg = 1.01 \times 10^5 - 13600 \times 0.1 \times 9.81$$

$$= 87658.4\ Pa$$

$$= 87.6524\ kPa$$

$$= 0.876584\ bar$$

(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: ($\rho a=1.225\ kg/m^3$).

$$P = \rho\, g\, \Delta h = 13600 \times 9.81 \times (0.74 - 0.59) \times 10^{-3}$$
$$= 20.013\ kPa$$

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

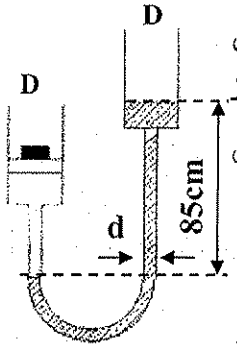
(2.21)

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

$$Pa = Patm. + Pg = Patm. + \frac{F}{A} = Patm. + \frac{m \times g}{A}$$
$$= 0.97\ bar + \frac{60\ kg \times 9.81\ m/s^2}{0.04m^2}\left(\frac{1N}{1kg.m/s^2}\right)\left(\frac{1\ bar}{10^5\ Pa}\right)$$
$$= 1.117\ bar$$

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 مفه وم الطاقة.

يمكن تعريف الطاقة بأنها القدرة على إنجاز شغل، رمزها (E). اما الشغل فهو نتيجة لحرك ة قوة ما مسافة معينة، يحتوي الوقود على طاقة كامنة بصيغة كيمياوية، فعند حرقه في المحرك تتح ول هذه الطاقة الى طاقة ميكانيكية تحرك السيارة، ومنه فأن شغلاً قد حصل لأن قوة يج ري تحريكه ا 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 وح دة ص غيرة 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

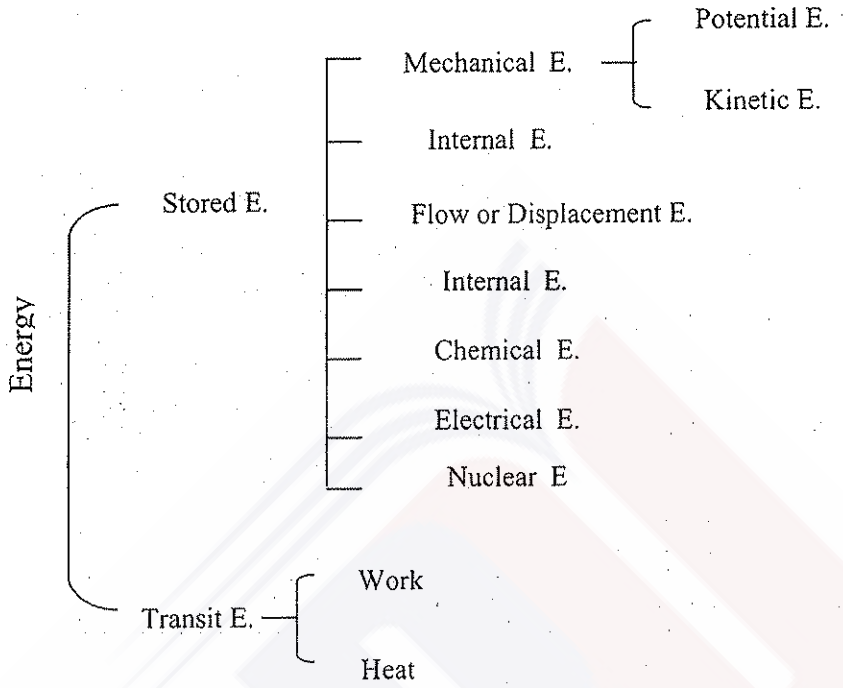
ج .- امواج البحر

د- مساقط المياه

ه .- 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 الجاذبية الارضي للكتلة يساوي ($F= m\times g$) حيث (g) تمثل التعجيل الارضي، فإذا تحركت هذه القوة (او الوزن) خلال مسافة شاقولية مقدارها (Z)، فإن الطاقة الكامنة تساوي:

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

اما التغير في الطاقة الكامنة:

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

والطاقة الكامنة النوعية تساوي:

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

ليس للطاقة الكامنة اهمية كبيرة، حيث يكون التغير صغيراً جداً يقترب من الصفر في معظ م 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 والـ ضواغط .... الخ. وعندما تكون (C) السرعة، (t) الزمن، (m) الكتلة، (a) تعجيل الكتل ة، ف ستكون الق وة الخارجية الكلية المؤثرة في الجسم في الاتجاه الموازي لأزاحته (dL) يساوي:

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

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

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

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

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

اما التغير في الطاقة الحركية فيساوي:

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

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

اما الطاقة الحركية النوعية فتساوي:

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

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

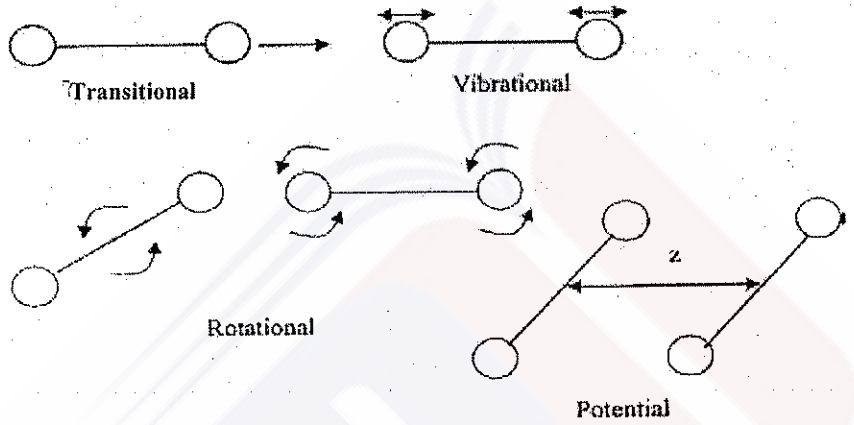
$$\frac{kJ}{kg} = 10^3\frac{J}{kg} = 10^3\frac{N.m}{kg} = 10^3\frac{kg\times\frac{m}{s^2}\times m}{kg} = 10^3\frac{m^2}{s^2} \quad \text{.....(3.9)}$$

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

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

جـ .- الطاقة الداخلية Internal Energy

تتألف المادة من الذرات والجزيئات. فعند التسخين ستحصل المادة على طاقة حركية بسبب حركة الجزيئات الانتقالية (Transition)، الاهتزازية (Vibration)، والدورانية (Rotation)، وكذلك ستحصل المادة على طاقة كامنة بسبب قوة التجاذب الموجودة بين الجزيئات، كما في شكل (3.1).



شكل (3.1)- حركة الجزيئات داخل المادة

إذن كل الطاقات التي تمتلكها المادة والمخزونة فيها تسمى بالطاقة الداخلية، يرمز لها (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 الماء الى بخار فإن درجة الحرارة ستبقى ثابتة في حين تزداد الطاقة الداخلية وتنفصل الجزيئات ليتحول الماء الى بخار. وهذه الحالة تنطبق على تحويل الصلب الى سائل كما سيتوضح في الفقرة (4.1)، انظر شكل (4.2).

لا يمكن تحديد قيمة الطاقة الداخلية على اساس مطلق، بل تمثل بمقدار التغير أي ($\Delta U_{12}=U_2-U_1$). فعند تسخين النظام ترتفع درجة حرارته وتزداد حركة الجزيئات والذرات وبالتالي تزداد الطاقة الداخلية، والعكس صحيح، فعندما تكون الجزيئات والذرات في حالة سكون فتكون الطاقة الداخلية صفراً. أي ان الطاقة الداخلية دالة لدرجة الحرارة كما سيتوضح فيما بعد.

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

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

أ. طاقة او شغل أزاحي.

ب. طاقة أو شغل جرياني (تدفقي).

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

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

(3.2.2)- الطاقة المنتقلة او العابرة Transit Energy

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

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

(3.3)- حفظ الطاقة The Conservation of Energy

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

1- المحطة الشمسية شكل (3.2-a) Solar Power Plant

2- محطة ديزل شكل (3.2-b) Diesel Engine Power Plant

3- المحطة الغازية شكل (3.3-a) Gas Turbine Power Plant

4- المحطة البخارية شكل (3.3-b) Steam Power Plant

5- المحطة النووية الغازية شكل (3.4-a) Nuclear Gas Turbine Power Plant

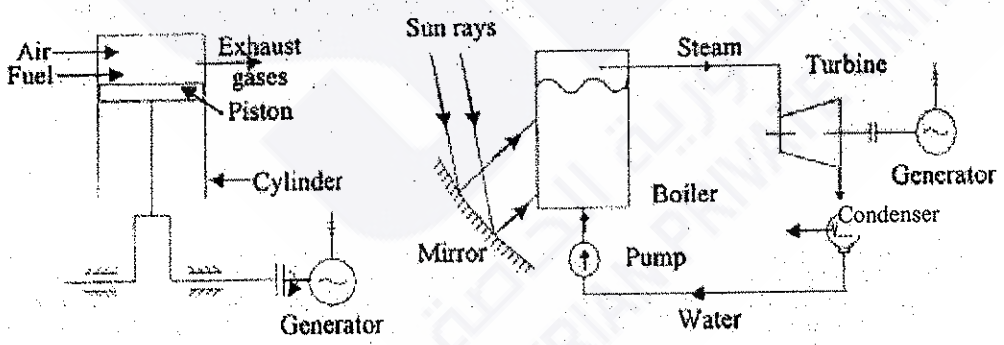
6- المحطة الهيدروليكية شكل (3.4-b) Hydraulic Power Plant

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

1- محطة ديزل

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

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

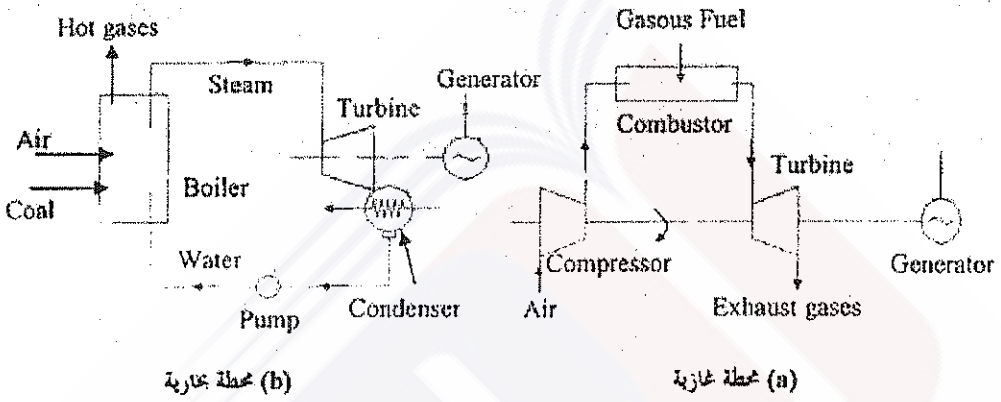


(b) محطة ديزل (a) محطة شمسية

شكل (3.2)- محطة توليد الطاقة

2- المحطة الغازية

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

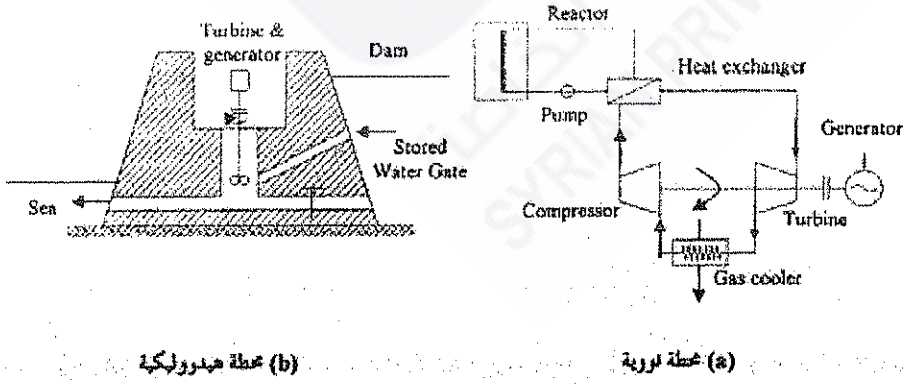


شكل (3.3) – محطة توليد الطاقة

3- المحطة البخارية

عند حرق الوقود (سولار او فحم)، تعمل الحرارة في المرجل (Boiler) على توليد البخار. 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 ← طاقة كهربائية.



شكل (3.4) – محطة توليد الطاقة

4- المحطة النووية الغازية

يضغط الغاز خلال الضاغط (Compressor)، ثم يسخن في المبادل الحراري بواسطة الحرارة المتولدة في المفاعل (Reactor)، والمنتقلة من المفاعل الى المبادل الحراري بواسطة مادة ناقلة للحرارة، عندما تتمدد الغازات الساخنة خلال التوربين، جزء من الطاقة المخزونة في الغازات 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

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

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

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

وعندما يكون النظام معزول (Isolated) فأن:

$$E_{system} = Constant$$

(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 انها مادة تخزن وتنساب من الاجسام الحارة الى الباردة. لكن هذه النظرية فندت واصبحت في الوقت الحاضر غير مقبولة لأنه برهن وأثبت عملياً وعلمياً ان الحرارة (1) تتكون بالاحتكاك و (2) تنساب حتى من 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 بالآخر فوجد ظهور الحرارة نتيجة الاحتاك ما بين هذين الجسمين الباردين. وقام العالم نفسه بأخذ قطعتين من الثلج ووضع احدى القطعتين فوق الاخرى وبدأ عملية المسح ببعضهما البعض فأذ صهرت القطعتين

وكونا ماءً وبهذا الدليل اثبت ان الحرارة تتكون بالاحتكاك ما بين جزيئات المادة لأن هذه الجزيئات 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 خلال التجارب اعلاه تبين ان هناك تكافؤ متيناً بين الحرارة الناتجة والشغل المبذول، هذا التكافؤ اوجده الدكتور جيمس بريسكو جول (1818 – 1889) وهو عالم فيزياوي انكليزي من خلال بحثه التأريخي في مؤتمر الرابطة البريطانية في كورك عام (1843)، إذ قام بحساب القيمة العددية الثابتة للعلاقة بين الحرارة والشغل الميكانيكي والتي تساوي (J=4.186 kJ/kcal) وتسمى بمكافئ جول، أي ان (W/Q=J) عندما يكون الشغل (W) بوحدات الجول (J) والحرارة (Q) بوحدات (Kcal). وفي نظام الوحدات العالمي (SI) فإن وحدات الحرارة نفس وحدات الشغل وهي الجول (J) ويساوي (J=N.m)، لذا فإن 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 ذلك بالمطر في البحيرة، فالمطر هو الحرارة والشغل، وماء المطر في البحيرة يشبه الطاقة المخزونة. نستنتج من ذلك ان الحرارة او الشغل هما طاقة منتقلة عبر حدود النظام، أي انها ظاهرة وقتية تلاحظ عند حدود النظام، وتتوقف عندما يتوقف الانتقال.

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

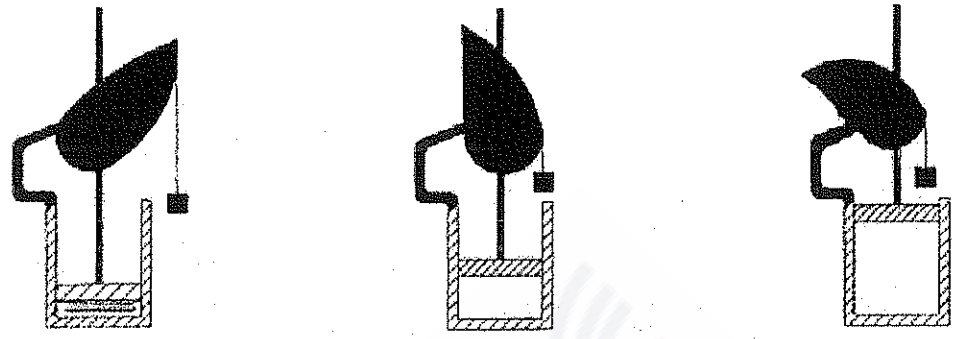
(3.4.3)- اشارة ووحدات الحرارة والشغل Sign. of Heat & Work

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

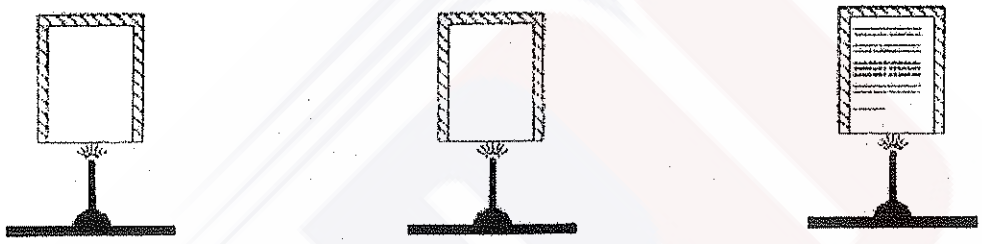
شكل (3.6)- رمز و اشارة الحرارة والشغل

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

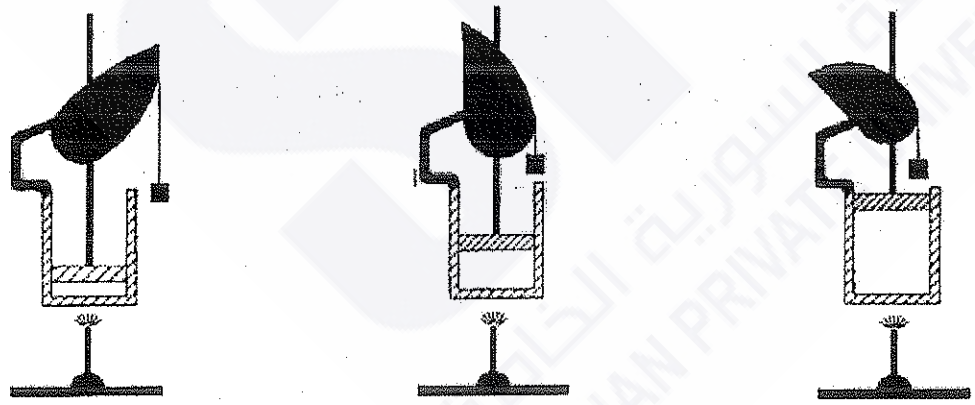
ولكي نميز بين الحرارة والشغل ننظر الى شكل (3.7)، فأن (أ) يوضح ان المائع يتمدد اديباتياً، بتخفيض الوزن وينجز شغلاً، بينما يظل المائع قريباً من حالة الاتزان. وفي (ب) تنتقل حرارة بدون شغل، وفي (جـ) تنتقل حرارة فيتمدد المائع وينجز شغلاً.



(أ) شغل أدياباتي



(ب) حرارة بدون شغل

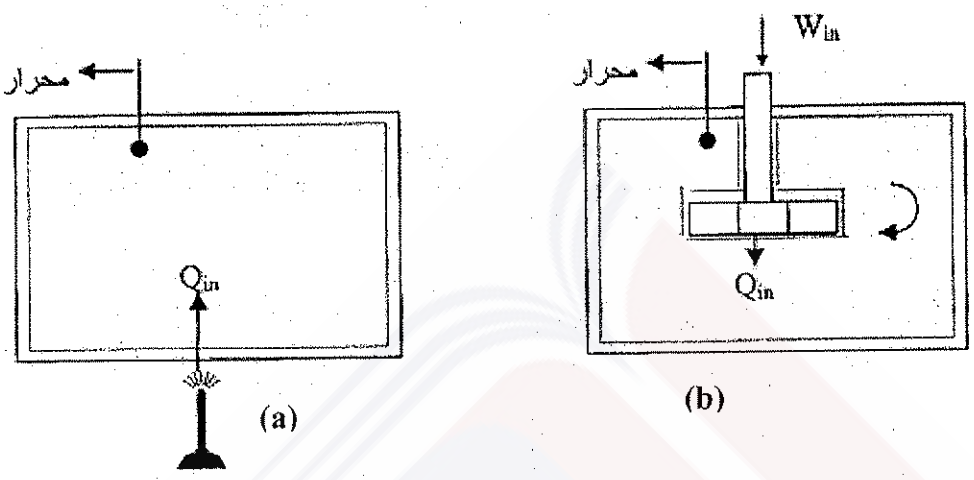


(جـ) شغل وحرارة

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 الحدود



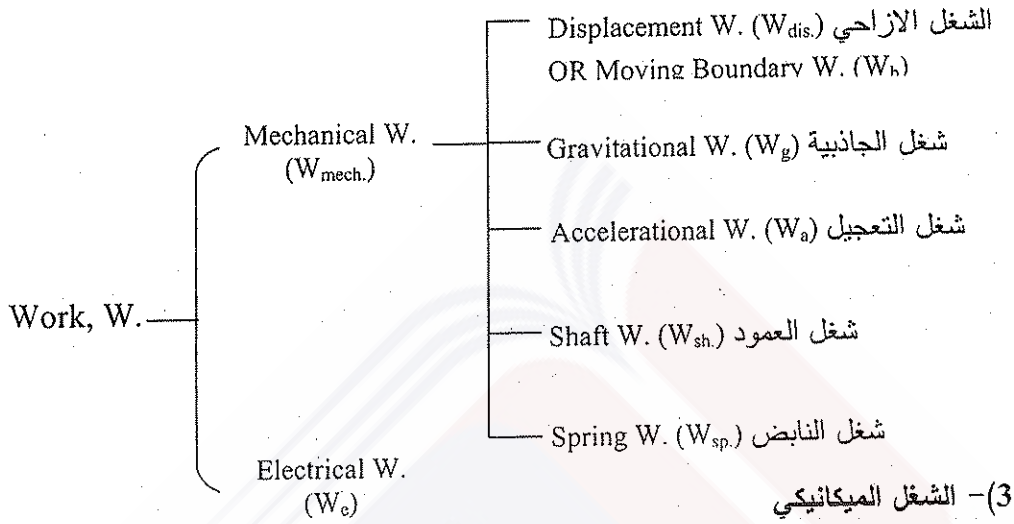
شكل (3.8)– الشغل والحرارة شكلان متبادلان من اشكال الطاقة

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

يمكن التعبير عن الحرارة بوحدات الشغل التي هي الجول (J) ويعرف بأنه مقدار الشغل 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).

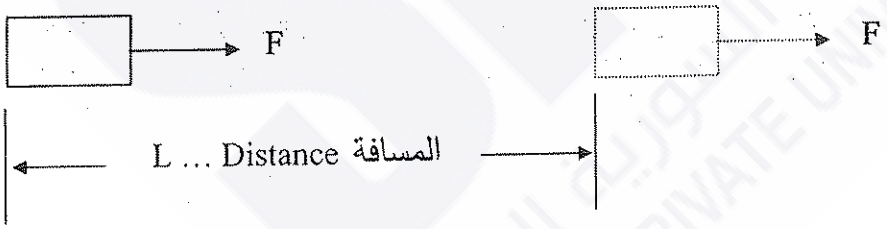
(3.5)- اشكال الشغل Forms of Work

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 على الجذب الارضي للكتلة (أي وزنها) هو شعور بوجود قوة. وعند بذل طاقة لضغط نابض باليد سيولد شعوراً بوجود مقاومة. فالشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة.



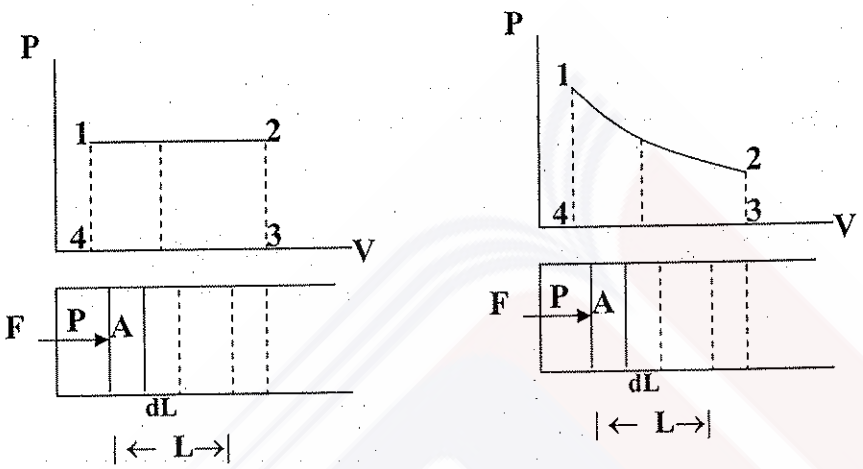
شكل (3.9)-اذا لم تكن حركة، لم يكن شغلاً

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

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

(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

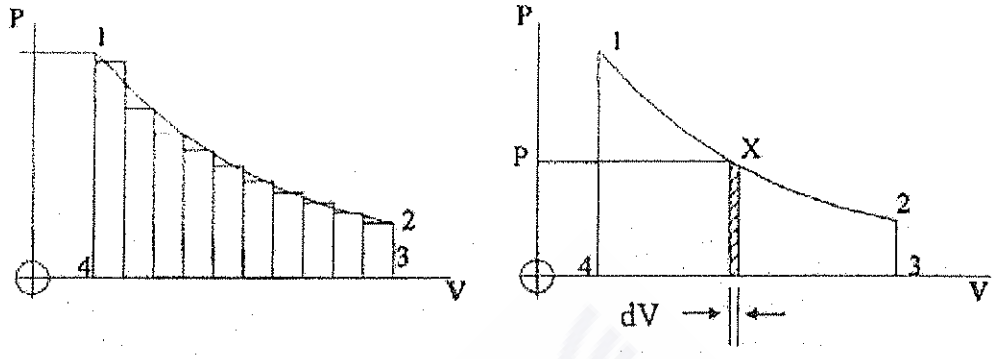
الشغل الازاحي في اجراءات عدم التدفق هو الشغل المبذول بوساطة قوة مؤثرة على مكبس نزيحه من مكان لآخر لنفترض وجود كمية من غاز حجمه (V) وضغطه (P) في اسطوانة محكمة يتحرك بداخلها مكبس مساحة مقطعه العرضي (A) عديم التسرب والاحتكاك، تؤثر فيه قوة (F) تزيحه من الحالة (1) الى الحالة (2) كما في شكل (3.10). عندما نفترض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

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

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

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

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



(b) (a)

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 كل 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 جزئي او صغير للحجم، اما الضغط فلصغره يعد ثابتاً، لذلك سيكون للشغل الجزئي (dW) مساوٍ للمساحة الجزئية للمستطيل الصغير التي تمثل بتفاضل ناقص (Inexact Differential). أي ان :

$dW = P\,dV =$ المساحة الجزئية

ومجموع المساحات الجزئية تمثل المساحة الكلية المكافئة للشغل الكلي أي قيمة المساحة بحسابات التكامل. فعند تكامل المعادلة المذكورة آنفاً يصبح:

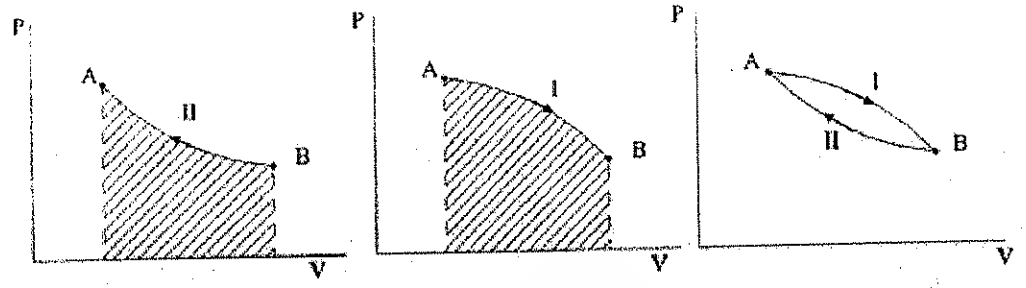
$$\int dW = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \sum P\,dV \quad \text{.....(3.16)}$$

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

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

(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



(a) شغل التمدد والإنضغاط (b) صافي الشغل

شكل (3.12)- الشغل الصافي عند مرور النظام بدوره

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

يمكن القول ان $\left(\int_1^2 dV=\Delta V_{12}=V_2-V_1\right)$، ولكن من الخطأ القول 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 يظهر بين الحالتين الابتدائية والنهائية، أي خلال المسار، لذا فالشغل (او الحرارة) دالة للمسار تمثل بتفاضل غير تام* $\left(\int_1^2 dW = W_{12}(\text{or}W)\right)$ ، $\left(\int_1^2 dQ=Q_{12}(\text{or}Q)\right)$ اما خواص النظام فهما دالة الحالة تمثل بتفاضل تام مثلاً (dP، dV، dT، .... الخ).

هذه المناقشة نستطيع ان نفهمها عندما نتصور راكب دراجة ينتقل من النقطة (1) بارتفاع (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 للنظام لأن التغير في الارتفاع (Z_2-Z_1) مستقل عن الطريق الذي يسلكه راكب الدراجة، أي الاجراء من (1) الى (2). إن

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

الشغل الذي يقوم به راكب الدراجة غير مستقل عن الاجراء لانه يعتمد على طول او قصر الطريق 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 هذه الحالة على الحرارة بوصفها طاقة منتقلة.

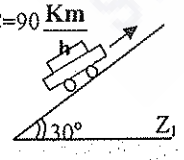
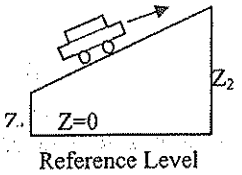
(3.5.4)- القدرة الميكانيكية Mechanical Power

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 بالقدرة الحصانية (HP). ان التسمية واط نسبة الى جيمس واط (1736-1814) مخترع الماكنة البخارية.

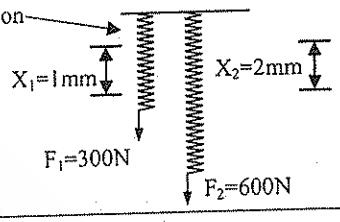
3.5.5 اشكال الشغل الميكانيكي Mechanical Forms of Work

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

جدول (3.1) اشكال الشغل الميكانيكي

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

3- Accelerational W. شغل التعجيل	إذا كان (C) السرعة، (L) الازاحة او المسافة، (t) الزمن، فسيكون: $F = ma = m\frac{dc}{dt} \quad (\because a = \frac{dc}{dt})$ $dL = Cdt \quad (\because c = \frac{dL}{dt})$ $W_a = \int_1^2 FdL = \int_1^2 (m\frac{dc}{dt}).(Cdt) = m\int_1^2 cdc$ $= \frac{1}{2} m (c_2^2 - c_1^2)$ $= \frac{1}{2} \times 900\,kg . \left[\left(\frac{80000m}{3600} \right)^2 - 0^2 \right] \left(\frac{kJ/kg}{1000m^2/s^2} \right)$ $= 222.2\,kJ$ $\dot{W}_a = \frac{Wa}{\Delta t} = \frac{222.2}{20s} = 11.1\,kW$ M=900kg $0\frac{Km}{h} \rightarrow 80\frac{Km}{h}$ $\Delta t = 208$
4- Shaft W. شغل العمود	$F = \frac{T}{r} \quad (\because T = F.r)$ $L = 2\pi rN$ $W_{sh.} = F \times L = \frac{T}{r}(2\pi rN) = 2\pi NT\,(kJ)$ $\dot{W}_{sh.} = 2\pi NT =$ $= 2\pi (4000\frac{1}{min})(200\,N.m)(\frac{1min}{60s})(\frac{1kJ}{1000N.m})$ $= 83.7\,kW$ N=4000rpm T=200 N.M F r W=2πNT sh. N

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 الـ شغلورمزها (Q) واذا كانت لكل (1kg) من المادة فرمزها (q).

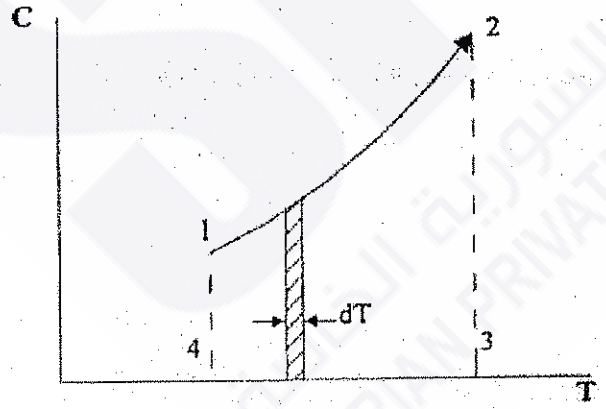
يحصل النظام على حرارة بواسطة التسخين المباشر، الاحتك اك الميك انيكي، م رور التي ار الكهربائي، التفاعل الكمياوي.

(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:

$$C = \phi (T)$$

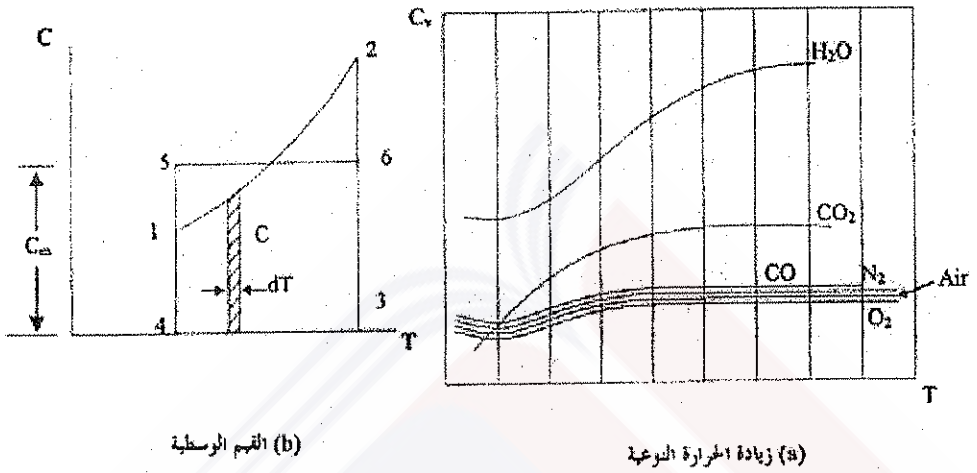
فعندما تنتقل الحرارة فأن الحرارة النوعية ستكون قيمتها ثابتة وستتغير بتغير المواد، أي انه عند تسخين مواد مختلفة لنفس درجات الحرارة فإن الحرارة اللازمة تختلف بالمقدار من مادة لأخرى، وهذا يرجع الى ان كل مادة لها خاصية حرارية معينة تسمى الحرارة النوعية كذلك فـ إن الـ شكل (3.13) يبين انه عند تسخين مادة معينة فأن الحرارة اللازمة تختلف من درجة حرارة الـ ى اخ رى. فم ثلاً 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 لرفع درجة حرارته من (3000K) الى (3500K)، كما في 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 تعيين القيمة الوسطية او المعدل (Cm) لمدى درجات حرارة من (T1) الى (T2)، واعتبار هذا المعدل 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 من خلال ثوابت بعض القيم لبعض الغازات التي سترد في جدول لاحق.

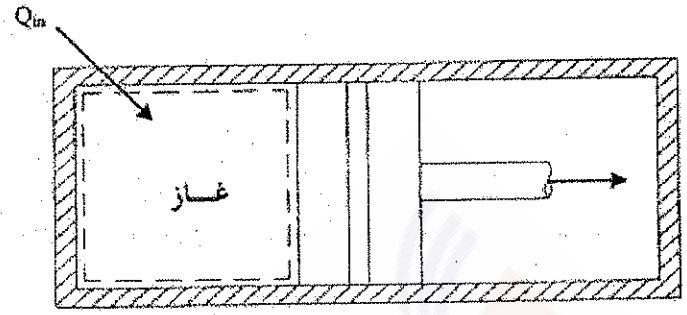
عند تسخين غاز موجود في اسطوانة مغلقة بمكبس كما في شكل (3.15)، فإن كمية الحرارة تعتمد على ما يحدث للمكبس، فعند تثبيت المكبس سوف يسخن الغاز بحجم ثابت. وإذا تحرك المكبس وأنجز شغلاً فسيكون بسبب تسخين الغاز تحت ضغط ثابت (وزن المكبس)، لذلك هناك نوعان تاليان للحرارة النوعية للغاز:

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

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

$$Cv = \phi(T)$$

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



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 واحدة، شرط ثبوت الضغط. رمزها (Cp). كذلك فإن تغيرها يعتمد على (T) أي ان:

$$Cp = \phi\,(T)$$

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

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

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

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 مثلاً هي نفسها 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 درجة حرارة الماء اذا افترضت عدم تبادل اية حرارة مع المحيط. علماً بأن الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K).

$$PE = Q$$
$$m\,g\,z = m\,c\,\Delta T$$

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

(3.2)

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

$$0.8\,PE = Q$$
$$0.8 \times m\,g\,z = m\,c\,\Delta T$$

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

(3.3)

مسخنة ماء كهربائية قدرتها (1200W) تسخن ماء كتلته (3kg) من درجة حرارة (20°C) الى (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).

$$PE = m\,g\,\Delta Z = 7$$

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

(3.5)

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

$$PE = W = m\,g\,z = 585 \times 9.81 \times 32 = 183.6\ J$$

(3.6)

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

$$PE = W = m\,g\,z = 210 \times 9.81 \times 24.5 = 50.5\ J$$

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

(3.7)

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

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

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

(3.8)

مول . .د ت . .وربيني بخ . .اري يذ . .تج (750kW) عند . .دما يت . .دفق البخ . .ار بمعد . .دل (2.250 . 10^3 kg/h). احسب الشغل المنجز لكل (1Kg) من البخار.

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

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

(3.9)

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

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

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

(3.10)

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

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

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

(3.11)

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

$$PE = F \times z = mgz = 1 \times 9.81 \times 1200 = 11.772\,kJ$$

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

(3.12)

(1kg) بخ .ار يذ .ساب م .ن فوه .ة ب .وق ب .سرعة (300m/s). اوج .د الطاق .ة الحركي .ة بوحدات (kcal).

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

(3.13)

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

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

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

(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).

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

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

(3.15)

احـ .سب مق .دار الـ .شغل الـ .لازم بوحـ .دات (kJ) الـ .لازم لمـ .لأ بـ .البالون هـ .واء حجمـ .ه ($0.568\ m^3$) عند ضغط مقداره (0.75 mmHg). واحسب مقدار الشغل بوحدات (Lb_f . ft).

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

(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 الموجـ ود اسـ فل 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 عنـ د 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) الى (100°C) فكم هي قدرة المسخن، اذا اريد ان لا تتجاوز فترة التسخين ربع ساعة، علماً انه توجد خلال هذه الفترة خسائر حرارية من الماء الى المحيط مقدارها (45kJ) علماً ان الحرارة النوعية للماء (4.2 kJ/kg.K).

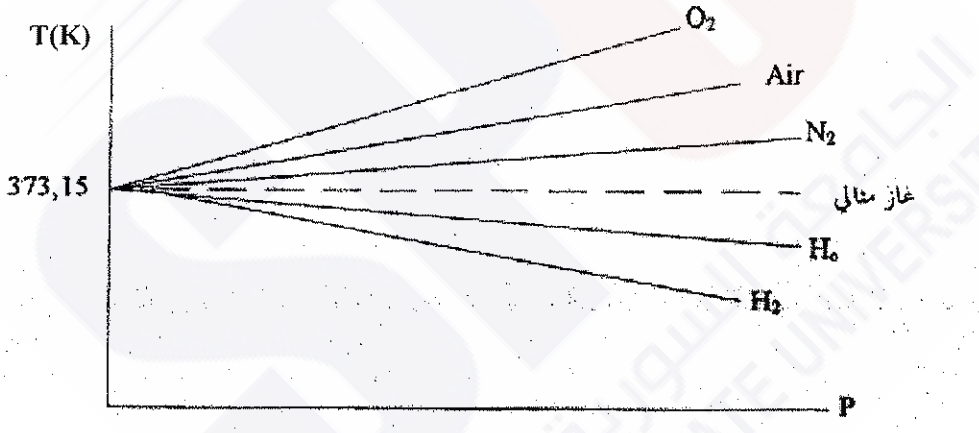
ج: (0.89 kW).

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).



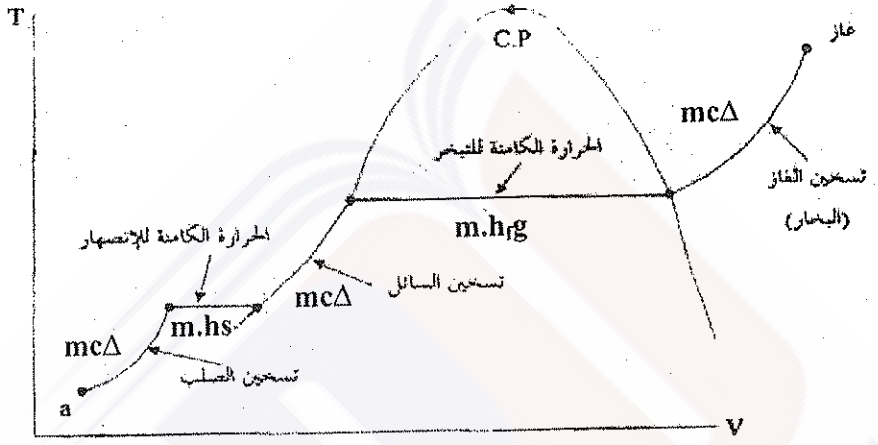
شكل(4.1)- تشابه سلوك الغازات الحقيقية والمثالية

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 حين ان الغاز الحقيقي يمكن ان يتحول الى بخار او سائل او صلب، كلما انخفض ضغطه ودرجة حرارته كثيراً عن النقطة الحرجة (C.P) أي نقطة التحول من الحالة الغازية الى سائلة 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 يكون صغيراً جداً يمكن اهماله في الحسابات العامة.

مثال (4.1)

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

الحرارة النوعية للجليد	= 2.1 kJ/kg.K
الحرارة الكامنة لأنصهار الجليد	$=(h_sL)^*$ 336 kJ/kg
الحرارة النوعية للبخار	= 1.95 kJ/kg.K
الحرارة الكامنة للتبخر	$=(h_fg)^*$ 2256 kJ/kg

الحرارة النوعية للماء = 4.2 kJ/kg.K

. . . . . .

* ان الـ (hsL). تعني الحرارة الكامنة للانصهار (Latent Heat of Liquidization) وان الـ (s) تعني (Solid) والـ (L). تعني (liquid).
* ان الـ (h_fg). تعني الحرارة الكامنة للتبخر (Latent Heat of Evaporation) وان الـ (f) تعني (fluid) والـ (g). تعني (Gas) هذه القيم تستخرج من جداول البخار.

$$Q_T = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{45} + Q_{56}$$
$$= 20\times2.1\times[0-(-10)]+20.336+20\times4.2\times(100-0)+20.2256+20\times1.95\times(120-100)$$
$$= 420 + 6720 + 8400 + 45120 + 780 = 62220\ J$$

الحرارة الكامنة للانصهار Latent Heat of Liquidization

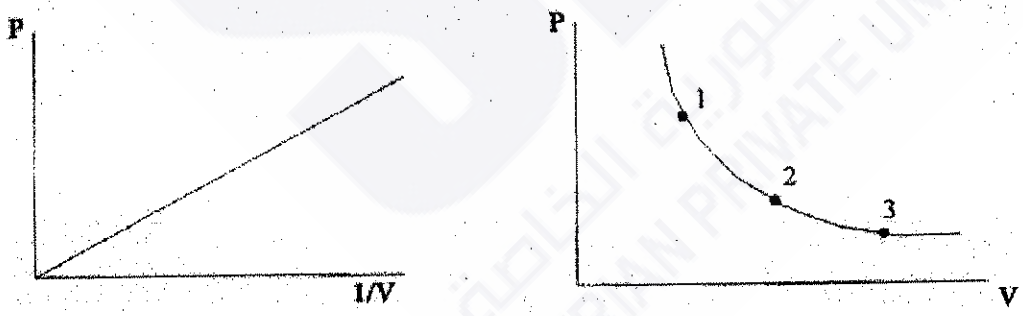
هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل (1kg) من المادة الصلبة الى سائلة بثبوت درجة الحرارة وحدتها (kJ/kg).ورمزها (h_sL) . (1kg)

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 تغير في الضغط والحجم يمثل بمنحني على مخطط (P-V) شكل (4.3-a). كما لوحظ ان حاصل ضرب الضغط والحجم لأي نقطة على المنحني سوف يكون عدد ما متساوياً او ثابتاً (Const.). فإذا أخذنا النقاط (1، 2، 3) على المنحني فسيكون:



(b) علاقة طردية (a) علاقة عسكية

شكل (4.3)- قانون بويل

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = PV = Const. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.1)$$

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

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

4.3 قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة

Charle's Law and Absoulte Temperature

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

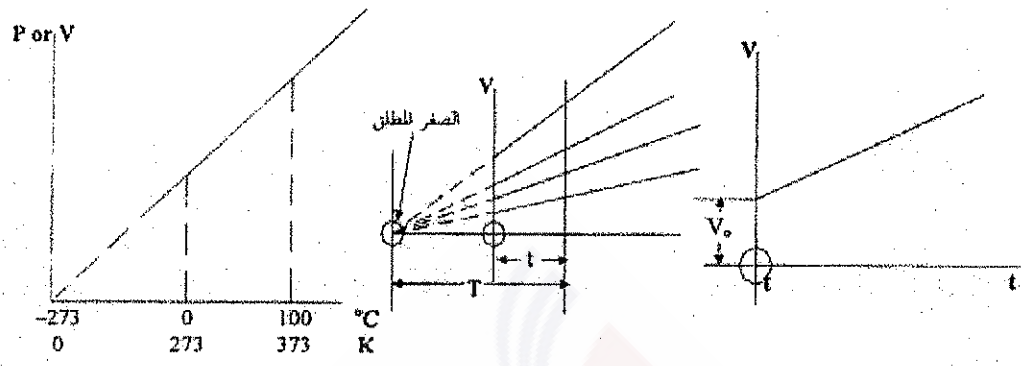
$$V = C\,t + V_o \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

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

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

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

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



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

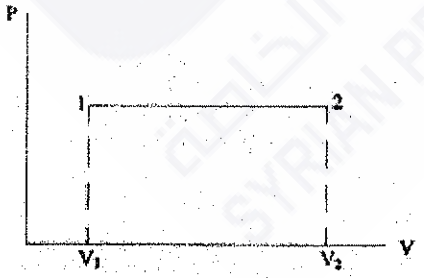
شكل(4.4)- قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة

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

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

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

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 فرد سياً آخر وهو جوزيف كاي - لوساك (1778-1850)، قد اكتشف هذا الاكتشاف نفسه وفي الفترة الزمنية نفسها تقريباً ولكن بثبوت الحجم، حيث وضع القانون التالي:



شكل(4.5)- قانون شارل

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

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

(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 فـ إن 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:

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

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 رقم (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

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

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

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

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

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

والحجم الجديد عن تسخين الغاز يساوي:

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

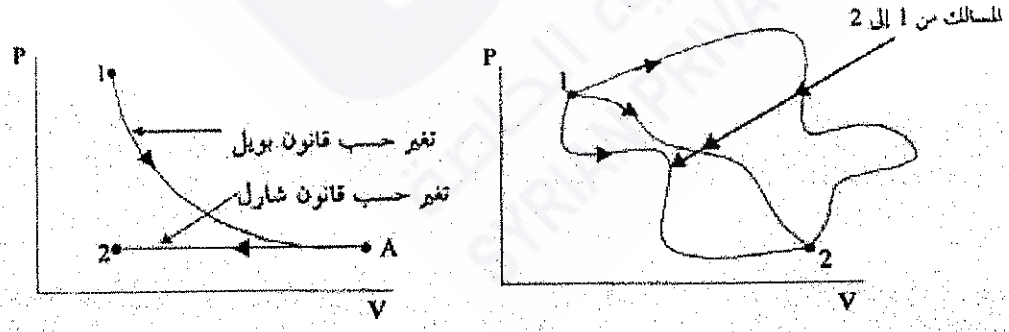
اما الحجم الجديد عند تبريد الغاز فيساوي:

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

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

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

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



(a) من 1 إلى 2 عند الأنواع من المسالك (b) تطبيق قانوني بويل وشارل

شكل(4.6)- اشتقاق المعادلة العامة للغاز المثالي

ولكن يجب ان نختار مسلكاً يستند الى قانوني بويل وشارل كما في شكل (4.6-b). نفترض 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). اما المرحلتان فهما:-

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

$$P_1V_1 = P_A V_A = P_2V_A$$

$$V_A = \frac{P_1 V_1}{P_2} \qquad \text{.....(4.13)}$$

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

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

$$\therefore V_A = \frac{V_2 T_1}{T_2} \qquad \text{.....(4.14)}$$

وبتعويض المعادلة (4.14) بـ (4.13) يكون:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{V_2 T_1}{T_2} \qquad \text{..... (4.15)}$$

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

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

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

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

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

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

اما بالنسبة لكتلة (m) من الغاز فيكون:

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

هذه المعادلة تسمى بالمعادلة العامة او القانون العام للغازات او معادلة الحالة. وفيها يجب استعمال الضغوط المطلقة ودرجة الحرارة المطلقة.

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

يشي، بير ثيلوت، ومعادلة فان دير والز. هذه المعادلات تبين ان هناك قوانيناً غير قوانين الغاز المثالي. ولكن بعد تبسيط كل هذه المعادلات تتحول الى معادلة الحالة للغاز المثالي. فمثلاً بالنسبة لمعادلة فان دير والز:

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

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

$$(P+O)(v-O)=RT$$
$$Pv=RT \quad \text{.....(4.21)}$$

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

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

(4.6)- الانثالبي Enthalpy

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

$$h=\mu+Pv \quad \text{.....(4.23)}$$

وبصورة تفاضلية يكون:

$$dh=d\mu+dPv$$
$$=d\mu+dPv+vdP$$

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

$$dh=d\mu+Pdv$$

وبتكامل المعادلة يكون:

$$\int dh=\int d\mu+\int Pdv$$

وبالتالي فأن:

$$\Delta h=\Delta\mu+P\Delta v \quad \text{.....(4.24)}$$

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

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

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

or

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

or

$$d\,\mu = Cv\,d\,T$$

بتكامل المعادلة ينتج:

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

وعندما يكون الاجراء متناهي الصغر بثبوت الضغط فإن:

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

or

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

or

$$dh = Cp\,dT$$

وبتكامل المعادلة ينتج:

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

اما العلاقة بين الحرارتين النوعيتين فتشتق كما يأتي:

$$h = \mu + Pv$$

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

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

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

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 محلولة

(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).

$$1-P_2=\frac{P_1V_1}{V_2}=\frac{1\times0.9}{0.3}=3\,bar$$

$$2\text{-}P_2=\frac{P_1V_1}{V_2}\times\frac{T_2}{T_1}=\frac{1\times0.9}{0.3}\times\frac{1.2}{1}=3.6\,bar$$

(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.

$$V_2=\frac{P_1}{P_2}\times\frac{T_2}{T_1}\times V_1=\frac{140}{700}\times\frac{333}{298}\times0.1=0.0223\,m^3$$

(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.

$$m=\frac{PV}{RT}=\frac{350\times0.03}{0.29\times308}=0.118\,kg$$

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

(4.5)

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

$$V=\frac{mTR}{P}=\frac{4.2\times365\times0.189}{12\times100}=0.2414\,m^3$$

(4.6)

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

$$\rho=\frac{P}{TR}=\frac{15.5\times10^2}{683\times0.26}=8.728\,kg/m^3$$

(4.7)

وعاء حجمه ($0.2m^3$) يحتوي على نيتروجين عند ضغط (1.013bar) ودرجة حرارة (15°C). تم ضخ (0.2kg) من النتروجين بواسطة مضخة خاصة الى الخزان. احسب الضغط الجديد للغاز عند درجة حرارة الخزان الى درجة حرارته الابتدائية. اعتبر النتروجين غاز مثالي، علماً أن: $R = 296.9\ J/kg\ .\ K$

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{1.013 \times 10^2 \times 0.2}{0.2969 \times 288} = 0.237\ kg$$

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

$$P_2 = \frac{m R T_2}{V_2} = \frac{0.437 \times 0.2969 \times 288}{0.2} = 1.87\ bar$$

(4.8)

(0.01Kg) من غاز مثالي يشغل حجم مقداره ($0.003m^3$) عند ضغط (7bar) ودرجة حرارة (131°C). عندما سمح للغاز بالتمدد الى ضغط (1bar) اصبح حجمه النهائي ($0.02m^3$). إحسب درجة حرارة الغاز النهائية.

$$R = \frac{P_1 V_1}{m T_1} = \frac{7 \times 10^2 \times 0.003}{0.01 \times 404} = 0.52 kJ/kg.K$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{m R} = \frac{100 \times 0.02}{0.01 \times 0.52} = 384.5\ K = 111.52^\circ C$$

(4.9)

قنينة حديدية حجمها (12L) تحتوي على (CO_2) بدرجة حرارة (20°C) وضغط (73.5 bar). احسب كتلة (CO_2) علماً أن: $R_{CO2} = 0.189\ kJ/kg\ .\ K$

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{73.5 \times 10^2 \times 0.012}{0.189 \times 293} = 1.593\ kg$$

مسائ ل

(4.1)

نظام معزول حرارياً يتكون من جزئين (a و b) بينهما حاجز ذو عازل حراري يحتويان على الغ از نف . . سه، حج . . م الج . . زء (a) (10L) ودرج . . ة حرارت . . ه (100°C) وضـ . . غطه (10 bar) وحجم الجزء (b) (20L) ودرجة حرارته (20°C) وضغطه (5 bar). فإذا أزيل الحـ اجز 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) قـ راءة المـ انوميتر بوحـ دات (mmHg). (2) إذا أضيف للغاز حرارة مقدارها (15kJ) كم ستصبح قراءة المانوميتر بوحدات (mmHg) ايضاً. علمـ اً 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) وكتلتـ ه (1.5kg) وغاز النتروجين (N_2) في الحيز (B) وكتلته (5.2 kg) ولكلا الحيزين القـ راءات المبينـ ة بالشكل. فإذا رفع العازل الحراري بين الحيزين وترك النظام الى ان إتزن حرارياً بحيـ ث اصـ بحت درجة الحرارة في الحيز (A) والحيز (B) (60.19°C). جد الحرارة النوعية بثبوت الـ ضغط (Cp) لغاز الاوكـ سجين والنـ ايتروجين علمـ اً ان (قـ راءة البـ اروميتر (760mmHg) وكثافـ ة الزئبـ ق (13600 kg/m$_3$)، ($Cv\ N_2 = 0.744$ kJ/kg.K). أهمل حجم العازل الحراري