

### 3 Laws of Thermodynamics

There are four laws which relates the thermodynamics of substances.

#### 3.1 Zeroth Law of Thermodynamics

If an object with a higher temperature comes in contact with a lower temperature object, it will transfer heat to the lower temperature object. The objects will approach the same temperature, and in the absence of loss to other objects, they will maintain a single constant temperature. Therefore, thermal equilibrium is attained.

#### 3 قوانين الترموديناميك

توجد أربعة قوانين تتحكم بترموديناميكا المواد

#### 3.1 القانون الصفري للترموديناميكا:

إذا ما كان هناك جسم بدرجة حرارة أعلى على تماس مع جسم آخر أقل درجة حرارة فهو سيبعث حرارة الى الجسم الأقل درجة حرارة. الجسمان سيصلان الى درجة حرارة واحدة وبغياب ضياع الحرارة لجسم ثالث فسوف يحتفظان بنفس درجة الحرارة ويكون الاتزان الحراري قد تحقق.

The “zeroth law” states that if two systems are at the same time in thermal equilibrium with a third system, they are in thermal equilibrium with each other.

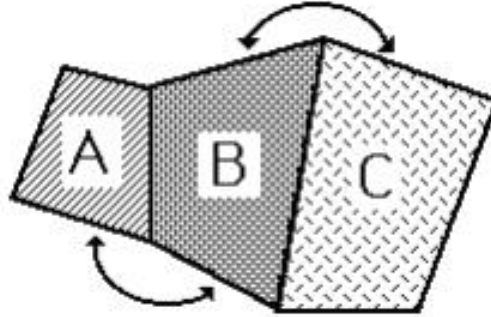


Figure 3.1: Analogy of the Zeroth Law of Thermodynamics.

ينص القانون الصفري للترموديناميك بأنه إذا كان نظامان في حالة إتزان حراري في نفس الوقت مع نظام ثالث فأنهما يكونان في إتزان حراري مع بعضهما.

If A and C are in thermal equilibrium with B, then A is in thermal equilibrium with B. Practically this means that all three are at the same temperature, and it forms the basis for comparison of temperatures.

The Zeroth Law states that:-

“two systems which are equal in temperature to a third system are equal in temperature to each other”.

### 3.1.1 Methods of Measuring Temperature

The Zeroth Law means that a thermometer can be used to assign a label to any system, the label being the value shown on the thermometer when it is thermal equilibrium with the system. We call the label "temperature". Temperature is a function of state which determines whether a system will be in equilibrium with another.

إذا كان A و C في حالة إتزان حراري مع B فإن هذا يعني إن الانظمة الثلاث في نفس درجة الحرارة وهذا بحد ذاته يشكل أساس المقارنة بين درجات الحرارة لهم. ينص قانون الثرموديناميك الصفري على «أذا كان هناك نظامان حراريان لهما نفس درجة حرارة نظام ثالث فإنهم يكونان متساويان بدرجة الحرارة»  
1.1.3 طرق قياس درجة الحرارة:

القانون الصفري يعني أن المحرار يمكن إستخدامه لتحديد درجة حرارة أي نظام حراري والقراءة تكون على المحرار عندما يكون في حالة إتزان حراري مع النظام. وتسمى هذه القراءة بدرجة الحرارة . درجة الحرارة هي دالة للحالة التي يكون فيها النظام في حالة إتزان حراري مع نظام آخر.

To put this into practice we need a thermometer, which is a device that has some easily measured property,  $X$ , that varies with temperature. This might be the length of the mercury column in a mercury-in-glass thermometer for instance, or the pressure of a constant volume gas thermometer. We then require easily reproduced calibration temperatures. For instance, the *Centigrade* temperature scale assigns temperatures of 0 and 100, to the temperature of ice in equilibrium with water (known as the ice point) and to the temperature of boiling water (the steam point). Letting the values of  $X$  at these two points be  $X_0$  and  $X_{100}$ , then the temperature in Centigrade,

ومن أجل وضع هذه الصيغة في حالة تطبيق لا بد من وجود المحرار. المحرار هو الاداة التي تستخدم في قياس الحرارة . والتي قد تمون عبارة عن طول عمود الزئبق في المحرار الزجاجي أو هو مقدار الضغط لمحرار الغاز ثابت الحجم. غالباً ما تحتاج هذه المحارير الى إعادة ضبط ومعايرة. على سبيل المثال المحرار المئوي يقسم المسافة بين درجة الصفر و المائة من درجة حرارة مزيج الماء مع الثلج والتي تعرف بدرجة الانجماد وبين درجة حرارة غليان الماء التي تعرف بدرجة الغليان. بجعل التدرجات بين الدرجتين الى مائة تدرجة تمثل كل منها درجة مئوية واحدة.

Therefore, measuring temperatures may be based on one of the following properties:-

- Expansion of materials due temperature variations, e.g. gas thermometer, liquid-in-glass thermometer, bi-metal strip.
- Electrical resistance of materials.
- Electro-motive force induced within a circuit made up of two dissimilar materials.
- Radiative properties of surfaces.

لذلك فقياس درجة الحرارة ممكن أن يعتمد على واحدة من الخواص التالية:

- تمدد مادة ما بسبب إختلاف درجة الحرارة مثال ذلك المحرار الزجاجي و محرار السائل في إنبوبة زجاجية و الشريحة ثنائية المعدن.
- المقاومة الكهربائية للمواد.
- القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في دائرة مصنوعة من مادتين غير متماثلتين.
- خاصية الاشعاع الحراري لبعض السطوح.

### 3.1.2 International Temperature Scale

This scale is used to calibrate temperature measuring devices. It consists of a number of fixed points of known temperature which can be reproduced accurately (Table 3.1).

#### 2.1.3. المقياس العالمي للحرارة:

هذا المقياس يستخدم لمعايرة أجهزة قياس الحرارة ويتكون من عدد من النقاط الثابتة المعروفة درجة حرارتها والتي يمكن إسترجاع درجة حرارتها بدقة. (الجدول 1.3) وحدات قياس درجة الحرارة الكلفن ( وحدة القياس العالمية) والتي تكون جزء من 1/ 273.16 من درجة الحرارة الثرموديناميكية للنقطة الثلاثية للماء. بصورة عامة تحويل الدرجات السيليزية الى كالفن

#### Units of Temperature

The Kelvin (SI units) is the fraction  $\frac{1}{273.16}$  of the thermodynamic temperature of the triple point of water. Generally, conversion of Celsius to Kelvin:  $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$

Fixed Point	Temperature (deg C)
Ice Point	0.01
Steam Point	100.00
Solidification of Antimony	630.74
Solidification of Gold	1064.43

**Table 3.1** Example of Thermodynamic fixed temperatures

## 3.2 First Law of Thermodynamics

The first law of thermodynamics is the application of the conservation of energy principle.

### 3.2.1 First Law of Thermodynamics Applied to closed Systems

consider a closed system where there is no flow into or out of the system, and the fluid mass remains constant. For such system, the first law statement is known as the Non-Flow Energy Equation, or NFEE abbreviated, it can be summerised as follows:

### 2.3 القانون الاول للترموديناميكا:

القانون الاول للترموديناميكا عبارة عن تطبيق لمبدأ قانون حفظ الطاقة تطبيق القانون الاول للترموديناميكا على الأنظمة المغلقة

تخيل نظام حراري لا يوجد فيه جريان داخل الى أو خارج من النظام وتبقى كتلة السائل ثابتة. لنظام كهذا تكون صيغة القانون الاول معرفة ب معادلة الطاقة لحالة اللاجريان أو إختصاراً NFEE ويمكن تلخيصها بالتالي:

القانون الاول يستفيد من مفهوم الطاقة الداخلية والحرارة والشغل

$$\Delta U = Q - W \quad (25)$$

The first law makes use of the key concepts of internal energy ( $\Delta U$ ), heat ( $Q$ ), and system work ( $W$ ).

#### 3.2.2 Internal Energy

Internal energy is defined as the energy associated with the random, disordered motion of molecules. It is separated in scale from the macroscopic ordered energy associated with moving objects; it refers to the invisible microscopic energy on the atomic and molecular scale. For example, a room temperature glass of water sitting on a table has no apparent energy, either potential or kinetic. But on the microscopic scale it is a seething mass of high speed molecules traveling at hundreds of meters per second. If the water were tossed across the room, this microscopic energy would not necessarily be changed when we superimpose an ordered large scale motion on the water as a whole.

#### 2.2.3 الطاقة الداخلية:

تعرف الطاقة الداخلية بأنها الطاقة المرتبطة بالحركات العشوائية غير النظامية للجزيئات. وتكون منفصلة عن الطاقة على المستوى الاكبر لحركة الجسم ككل. فهي ترجع الى الطاقة الميكروسكوبية غير المرئية لمستوى الذرات والجزيئات. مثال ذلك قدح ماء موضوع على منضدة في درجة حرارة الغرفة وليس له طاقة ظاهرة سواء على شكل طاقة حركية أو طاقة وضع. ولكن على المستوى المايكروسكوبي فهو عبارة عن كتلة من الجزيئات سريعة الحركة تنتقل بسرعة مئات الامتار بالثانية.

During a non flow process the change in internal energy is calculated assuming the closed's system volume remains constant, the following equation is used

$$\Delta U = m.C_v.\Delta T \quad (26)$$

خلال عملية عدم وجود جريان فإن التغير بالطاقة الداخلية يتم حسابة بفرض إن النظام مغلق حيث يبقى الحجم ثابت وعندها يمكن إستخدام المعادلة التالية:

حيث CV تمثل السعة الحرارية النوعية للمائع و فرق درجة الحرارة خلال العملية

Where  $C_v$  is the specific heat capacity of the fluid, and  $\Delta T$  is the temperature difference during the process

### 3.2.3 Specific Heat

Heat may be defined as energy in transit from a high temperature object to a lower temperature object. An object does not possess "heat"; the appropriate term for the microscopic energy in an object is internal energy. The internal energy may be increased by transferring energy to the object from a higher temperature (hotter) object – this is properly called heating.

#### 3.2.3 الحرارة النوعية:

الحرارة النوعية يمكن تعريفها على إنها الطاقة المنتقلة من الجسم الأكثر سخونة الى الجسم الاقل سخونة وهي عادة مرتبطة بالطاقة الداخلية. الطاقة الداخلية لجسم ما ممكن أن تزداد بانتقال الطاقة الى الجسم من جسم آخر أكثر سخونة وهذا ما ندعوه بالتسخين.

من أجل تسخين أو تبريد كمية معينة من الغاز في وقت محدد نستخدم المعادلة التالية:

In order to heat or cool a given quantity of a gas in a given time, the following equation is used:

$$\text{Quantity of Heat (Q)} = \text{mass(m)} \times \text{specific heat capacity (C)} \times \text{temperature difference}$$

Since this heat exchange may take place

إما تحت الضغط الثابت أو تحت الحجم الثابت كما في المعادلتين (27) و (28) أدناه.  
حيث  $C_p$  هي الحرارة النوعية تحت الضغط الثابت و  $C_v$  هي الحرارة النوعية تحت الحجم الثابت  
لاحظ الجدول رقم (2.3)

$$\text{Either at constant pressure: } Q = \dot{m} C_p (T_2 - T_1) \quad (27)$$

$$\text{Or at constant volume: } Q = \dot{m} C_v (T_2 - T_1) \quad (28)$$

Where:

$C_p$  specific heat at constant pressure (kJ/kg K), see Table 3.2

$C_v$  specific heat at constant volume (kJ/kg K), see Table 3.2

$$\text{Note that for a perfect gas } C_p = C_v + R \quad \text{and} \quad n = C_p / C_v \quad (29)$$

#### Specific Heat at Constant Volume $C_v$

Consider a closed system of unit mass, the first law of thermodynamics applied to this system is:-

$$q - w = du$$



الحرارة النوعية تحت الحجم الثابت:  
تخيل نظام مغلق لنظام كتلته وحدة الكتلة واحدة فإن القانون الاول للثرموديناميكا الذي ينطبق على هذا النظام هو:

If the volume is constant, then  $w = 0$ , it follows that  $q = du$

But  $q = C_v dT$

Hence  $du = C_v dT$

Or  $C_v = du/dT$

This is known as Joule's Law of internal energy which states that "the internal energy of a perfect gas depends upon its temperature only".

إذا كان الحجم ثابت فان  $W=0$  وبالتالي  $q=du$   
هذا القانون يعرف بقانون جول للطاقة الداخلية الذي ينص على إن الطاقة الداخلية لغاز مثالي تعتمد على درجة حرارته فقط

### Worked Example 3.1

A closed rigid container has a volume of  $1 \text{ m}^3$  and holds air at 345 kPa and  $20^\circ\text{C}$ . Heat is added until the temperature is  $327^\circ\text{C}$ . Determine the change in Internal Energy:-

- Using an average value of the specific heat.
- Taking into account the variation of specific heat with temperature.

### Solution:

$$a) \Delta U = mC_v \Delta T$$

$$C_v = \frac{764 + 718}{2} = 741 \text{ J / kgK}$$

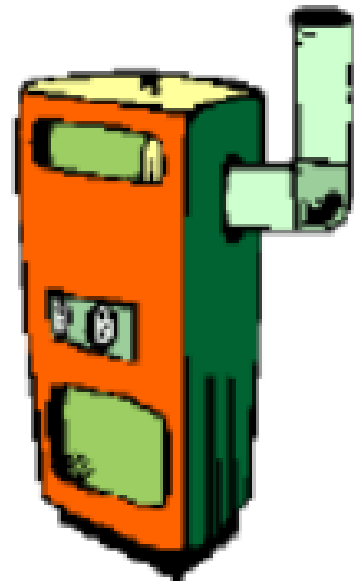
$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{345 \times 10^3 \times 1}{287 \times 293} = 4.1026 \text{ kg}$$

Therefore

$$\Delta U = 4.1026 \times 741 (327 - 20) = 932 \text{ kJ}$$

**Worked Example 3.8**

Air at  $27^{\circ}\text{C}$  receives heat at constant volume until its temperature reaches  $927^{\circ}\text{C}$ . Determine the heat added per kilogram? Assume for air  $C_v = 0.718 \text{ kJ/kgK}$ .

**Solution:**

Closed system for which the first law of Thermodynamics applies,

$$Q - W = \Delta U$$

$W = 0$  No work transfer at constant volume process.

$$\therefore Q = \Delta U$$

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

$$= 1 \times 0.718 (927 - 27)$$

$$= 646.2 \text{ kJ/kg}$$

hence  $Q = \Delta U = 646.2 \text{ kJ/kg}$ .

Note that the  $C_v$  used is an average value.