الفصل الاول

مقدمة عامة

1-1 الثرموداينمك أو الديناميكا الحرارية (Thermodynamic)

ظهر علم الثرموداينمك في أواخر القرن الثامن عشر وهو أحد فروع الميكانيك الإحصائي.

فالثرموداينمك هو علم تجريبي يهتم بدراسة كل ما هو متعلق بدرجة الحرارة والطاقة الحرارية وتحولها الى انواع اخرى من الطاقات مثل الطاقة الميكانيكية للاستفادة منها في عمل المحركات.

ويهتم بكل الظواهر التي تظهر أو تتعلق بهذه الطاقة مثل عمليات انتقال الحرارة من جسم لآخر أو كيفية تخزين هذه الطاقة أو توليدها. يقوم علم الثرموداينمك على أربعة قوانين كبرى وهي القانون الصفري (أو القانون الرابع (والقانون الأول والقانون الثاني والقانون الثالث. ويدرس هذا العلم تحول الطاقة الحرارية إلى عمل ميكانيكي، واستنادا إلى ذلك وضعت الأسس النظرية لعمل الآلات الحرارية كما ساعد ذلك على اختراع الآلة البخارية ومحرك البنزين وطرق رفع كفاءتهم، كما يدرس الثرموداينمك العلاقة بين الحرارة والتفاعل الكيميائي وتطبيقاته.

وأخيرا علاقة الحرارة بالكهرباء حيث تساعدنا على توليد الطاقة الكهربائية من عدة وسائل مثل محطات تعمل بالفحم أو بالقوى المائية أو النووية. كل تلك التقنيات تعتمد على تطوير علم الثرموداينمك او الديناميكا الحرارية لغرض رفع كفاءتها.

لقد ساهم في تطور هذا العلم عدة علماء ابرزهم رودولف كلوسيوس ووليام طومسون وهرمان فون هلمهولتز، جوزيه كيبس ، وسادي كارنو ، ووليم رانكين وغيرهم.

ينقسم هذا العلم الى دراستين:

1- وجهة النظر العينية المجردة **Macroscopic View Point**

تتضمن دراسة وتحليل خواص النظام كالضغط P والحجم V ودرجة الحرارة T والطاقة الداخلية U اللزوجة η ومعامل الانكسار n وغيرها من المقاييس، والتي هي خواص يمكن قياسها لتعطي وصفاً بصرياً يمكن ان يرى بالعين المجردة وتتميز هذه الدراسة بما يلي:

1- لا تشتمل على أي افتراضات خاصة بتركيب المادة.
2- غالبا ما تكون مقدره بأحداثيات محسوسة.
3- يمكن قياس الخواص بسهولة.

2- وجهة النظر المجهرية **Microscopic View Point**

وهي وجهة نظر الوصف الاحصائي الذي يتعامل مع الجزيئات. فلو تصورنا نظام يتكون من عدد N من الجزيئات وكل جزيئة تتواجد في عدة حالات طاقاتها هي E, E2, 1E3 فالمسألة الاساسية هي ايجاد عدد الجزيئات في كل حالة من حالات الطاقة عند الوصول الى حالة الاتزان.

وتمتاز هذه الدراسة بما يلي:
1- الافتراضات الموضوعة تأخذ بنظر الاعتبار تركيب المادة مثل وجود الجزيئات.
2- وجود كميات عددية كبيرة من الجزيئات.
3- لا يمكن قياس هذه الكميات مباشرة.

2-1 بعض المصطلحات الثرموداينميكية

النظام(:**System**)هو كمية ثابتة ومحددة من المادة يراد دراسة سلوكها. وقد يكون النظام حقيقي او مثالي. الحقيقي هو كمية من المادة كغاز محصور بمكبس داخل اسطوانة. اما المثالي فهو نظام نظري لتسهيل المسائل الثرموديناميكة، وهو غير موجود في الطبيعة، أي نظام افتراضي.

- النظام الحقيقي (**Real system**)

هو النظام الذي يستخدم في التجربة أو لأي غرض عملي ومن الممكن أن يكون مادة صلبة أو سائلة أو غازية كسائل في المحرار والغاز في الأسطوانة والكرة الأرضية وغلافها الجوي وباختصار أي مادة في الكون هي نظام حقيقي ومن مواصفات النظام أن يكون متوازن حراريا.

- النظام المثالي (**Ideal system**)

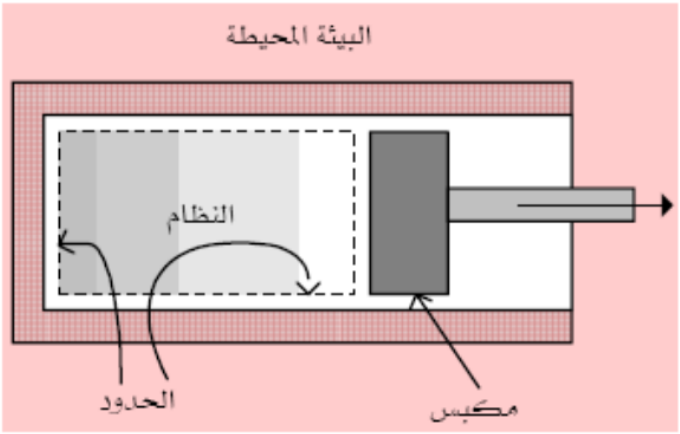
هو النظام الذي لا وجود له أي أنه نظام نظري نتخيله لغرض تسهيل المسائل الثرموداينميكية مثل الغاز المثالي.

-الوسط المحيط ((**Surrounding**هو كل ما هو خارج النظام او يحيط به وله تأثير مباشر او غير مباشر على النظام ويتبادل معه الطاقة.

حدود النظام ((**System Boundary**هو سطح مغلق يحدد النظام وقد تكون حقيقية اي مادة ملموسة كالسطح الداخلي للمنطاد الذي يحوي بداخله غاز مضغوط ولا يشترط أن تكون الحدود ثابتة فقد تكون متغيرة فالحجم قد يتمدد أو يتقلص إذا تغيرت درجة الحرارة أو الضغط، ومن الممكن أن تكون الحدود خيالية غير مادية كتلك التي تحدد جزأ من مائع (غاز او سائل) يتدفق في انبوب او مثل حدود الدخان.

الكون ((**Universe**هو مجموع النظام والوسط المحيط.

والشكل (1-1) يوضح مخطط للنظام والمحيط والكون.



الشكل (1-1): مخطط للنظام والمحيط.

- الجدار الاديباتيكي -: **Adiabatic Wall** وهو الجدار الذي لا يسمح بمرور الحرارة خلاله .

- الجدار الدايثيرمي **Diathermal Wall** :-وهو الجدار الذي يسمح بمرو الحرارة من خلاله.

- الاتصال الحراري :- **Thermal Contact** وهو يكون بين جسمين إذا كان من الممكن أن يتبادلا الطاقة الحرارية بدون بذل شغل.

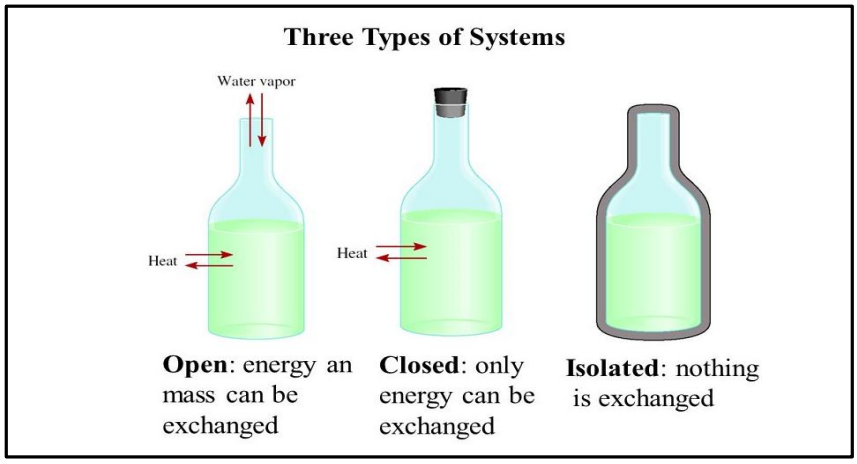
3-1 انواع الانظمة الثرموداينميكية

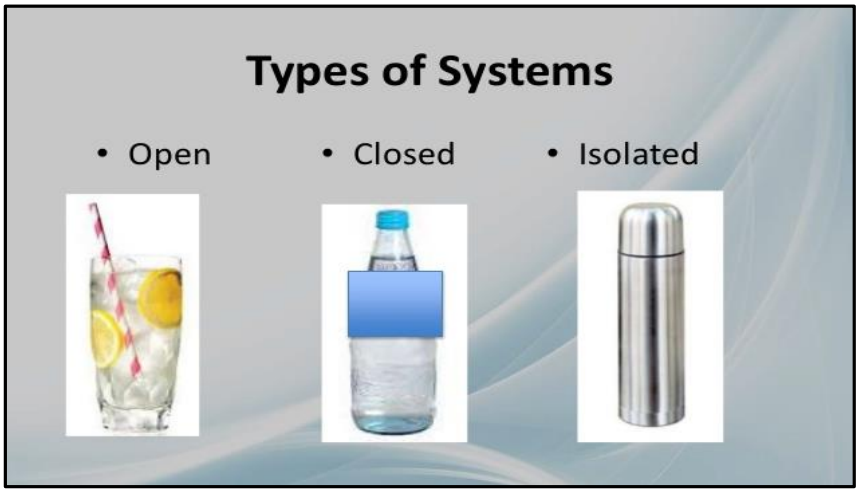
1- النظام المفتوح **Open System** : - هو النظام الذي يسمح بتبادل الطاقة والمادة بينه وبين المحيط. مثال على ذلك اناء يحوي على سائل حيث أن الحرارة يمكن أن تنتقل من وإلى النظام بسهولة، وكذلك بالإمكان أن يتبادل ما بداخله من مادة بينه وبين المحيط.

2- النظام المغلق - **Closed System:** هو النظام الذي يسمح بتبادل الطاقة بينه وبين المحيط ولكن لا يسمح بتبادل المادة ومثال على ذلك أناء مغلق يحتوي على سائل.

3- النظام المعزول **Isolated System** :- هو النظام الذي لا يسمح بتبادل الطاقة والمادة بينه وبين المحيط مثال على ذلك وعاء (الترمس) المغلقة حيث يكون الحاجز ما بين محتويات القنينة والمحيط من النوع الأديباتيكي .

والانواع الثلاثة موضحة في الشكل (1-2)





ويمكن تقسيم النظام حسب عدد الانظمة الى:

1- نظام بسيط يتكون من نظام واحد.

2- نظام مركب يتكون من نظامين او اكثر.

4-1 انواع الاتزان

1- الاتزان الميكانيكي **Mechanical Equilibrium** :- وفيه تكون محصلة القوى الداخلية لهذا النظام تساوي صفر.

2- الاتزان الكيميائي **Chemical Equilibrium** :- وفيه النظام لا يميل الى اجراء تغيير تلقائي في التركيب الداخلي مثل تفاعل كيميائي او انتقال مادة من جزء من النظام الى جزء اخر.

3- الاتزان الحراري **Thermal Equilibrium** :- وهو يحدث بين جسمين إذا كان بينهما اتصال حراري وكذلك يكون صافي التبادل الحراري بينهما يساوي صفر.

4- الاتزان الثرموداينميكي **Thermodynamic Equilibrium**:- ويعني تحقيق انواع الاتزان الثلاثة اعلاه ويمكن وصفه بواسطة الاحداثيات الثرموداينميكية (P,V, T) .

5-1 الاحداثيات الثرموداينميكية **Thermodynamic Coordinates**

خواص او احداثيات النظام هي الضغط (P) والحجم (V) ودرجة الحرارة (T).

اهم صفة بين الاحداثيات الثلاثة هو ان كل احداثي منهم هو دالة للاحداثيين الاخرين اي ان:

$P=f(V,T)$ $V=f(P,T)$ $T=f(P,V)$

يمكن تصنيف خواص النظام إلى صنفين:

1- الخواص المستقلة **Independent properties**

هي الخواص اللازمة لتعيين حالة النظام وعددها يعتمد على طبيعة النظام، فالنظام البسيط يحتاج إلى خاصيتين مستقلتين لتحديده ويزداد عدد الخواص اللازمة لتحديد حالة النظام كلما زادت درجة تعقيده. ويتم اختيار الخواص المستقلة التي يسهل قياسها وتلائم الغرض من استخدام ذلك النظام.

2- الخواص التابعة **Dependent Properties**

هي الخواص التي يتم تحديد قيمها من خلال الخواص المستقلة. فمثلا لو تم قياس خاصيتين مثل الضغط والحجم وتطلب الأمر تحديد درجة الحرارة فمن الممكن تحديدها بدلالة الضغط والحجم.

6-1 العملية الثرموداينميكية **Thermodynamic Process**

هو انتقال النظام من حالة اتزان ابتدائي (P_i،T_i , V_i) إلى حالة اتزان نهائي (T_f, V_f , P_f) نتيجة تغير واحد او اكثر من الاحداثيات الثرموداينميكية, اي تصاحب هذه العملية تغير بخواص النظام. ومن الممكن عند اجراء عملية ثرموداينميكية تثبيت خاصية واحدة أو أكثر من خواص النظام وترك بقية الخواص تتغير لتأخذ قيم جديدة.

7-1 انواع العمليات الثرموداينميكية

هنالك عدة انواع من العمليات الثرموداينميكية والتي تتخذ مسارات محددة حيث ان :

المسار **Path :-** هو رسم العملية الثرموداينميكية على الاحداثيات الثرموداينميكية .

واهم هذه العمليات الثرموداينميكية هي:

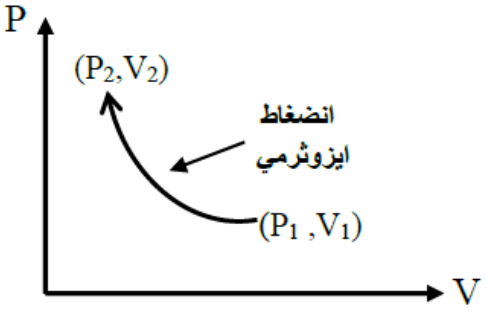
1- العملية الايزوثرمية **Isothermal Process**

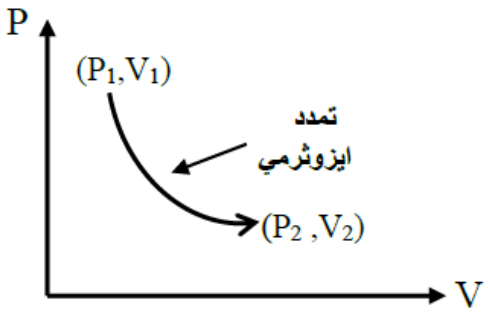
هي العملية التي تحدث تحت درجة حرارة (T) ثابتة اي ان:

$$T_1 = T_2 \quad \text{and} \quad \Delta T = T_2 - T_1 = 0$$

في مثل هذه العمليات يجب أن يكون غلاف النظام موصل جيد للحرارة بحيث يسمح بخروج أو دخول الحرارة من وإلى النظام عندما يحصل نقصان أو زيادة في درجة حرارة النظام خلال حدوث العملية. ومن مميزات هذه العمليات انها تحدث ببطء.

اتجاه الاسهم تدلل على كون العملية هي تمدد او انضغاط (تقلص) ففي العملية الايزوثرمية فأن اتجاه السهم الى الاسفل يعني تمدد كون ان الحجم يزداد اما اتجاه السهم الى الاعلى يعني انضغاط كون ان الحجم يقل.





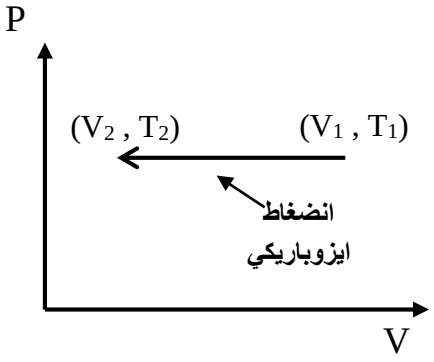
2- العمليه الايزوباريكيه **Isobaric Process**

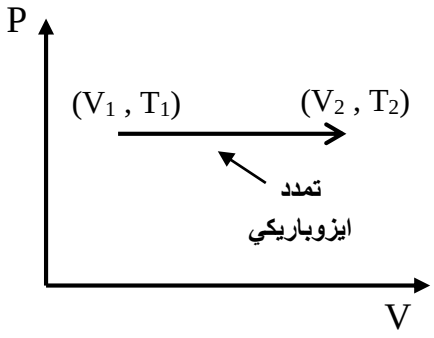
هي العملية التي تحدث تحت ضغط (P) ثابت اي ان:

$$P_1 = P_2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 0$$

عندما يكون اتجاه السهم الى اليمين يعني تمدد كون ان الحجم يزداد اما اذا كان الى اليسار يعني انضغاط كون ان الحجم يقل





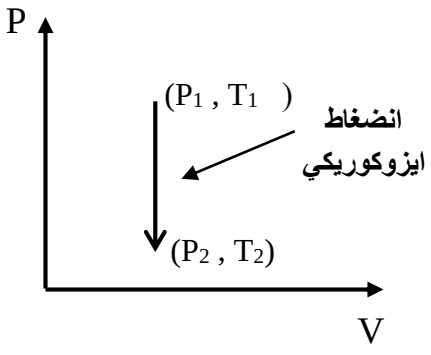
3- العملية الايزوكوريكية **Isochoric Process**

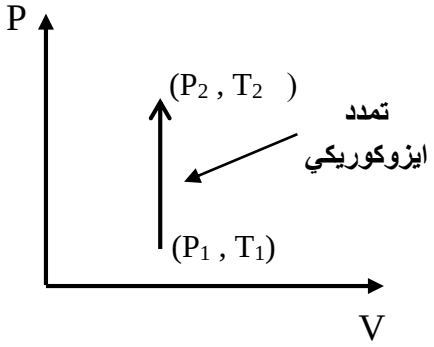
هي العملية التي تحدث تحت حجم (V) ثابت اي ان:

$$V_1 = V_2$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 0$$

عندما يكون اتجاه السهم الى الاعلى يعني تمدد كون ان الضغط يزداد اما اذا كان الى الاسفل يعني انضغاط كون ان الضغط يقل.



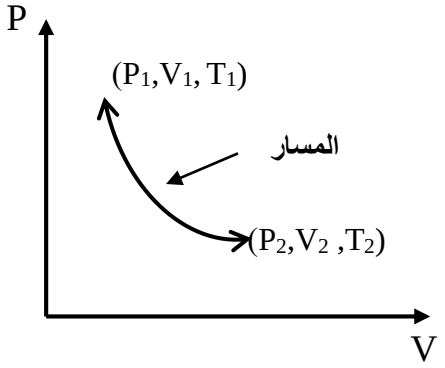


4- العملية الاديباتيكية **Adiabatic Process**

هي العملية التي تحدث بتغير الحجم والضغط ودرجة الحرارة عند ثبوت كمية الحرارة ((Q اي ان:

$$dQ = 0$$

وتتم في نظام معزول أي لا يوجد انتقال حرارة من أو إلى النظام أو أن العملية تحدث بسرعة بحيث لا يتسنى للنظام الوقت الكافي لتسرب الحرارة منه او إليه، مثل الانفجار المفاجئ للإطارات والتخلخل والتضاغط المصاحب لموجات الصوت عند مرورها خلال الهواء.



5- العملية الكوازيستاتيكية Quasi Static Process

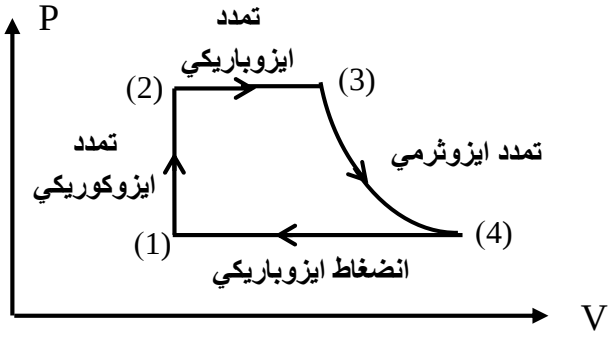
هي عملية شبه مستقرة (متزنة)، فاذا كان هناك نظام متزن وتغير واحد او اكثر من الاحداثيات الثرموداينميكية فان النظام يصبح غير متزن ولكن اذا كان هذا التغير قليل جدا فيمكن اعتبار النظام لا يزال متزنا.

6- العمليات الدورية Cyclic Process

هي مرور النظام بعدة عمليات ثم يعود إلى حالته الابتدائية وتتكرر هذه العملية دوريا. وفي هكذا عمليات يمتص النظام حرارة في كل دورة وينجز شغلا على المحيط ويزداد الشغل بزيادة عدد الدورات. مثال على هذه العمليات دورة كارنو ومن تطبيقاتها الآلات البخارية.

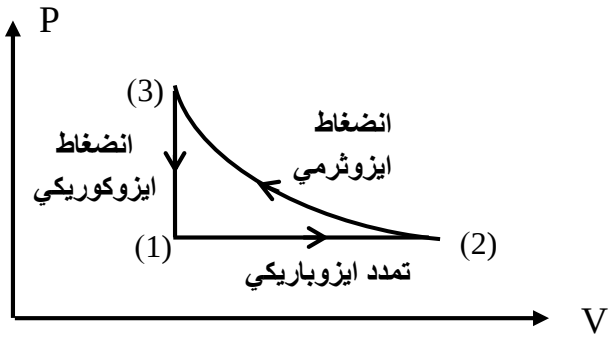
مثال (1): ارسم دورة حرارية تتكون من العمليات التالية:

1- تمدد ايزوكوريكي 2- تمدد ايزوباريكي 3- تمدد ايزوثرمي 4- انضغاط ايزوباريكي



مثال (2): ارسم دورة حرارية تتكون من العمليات التالية:

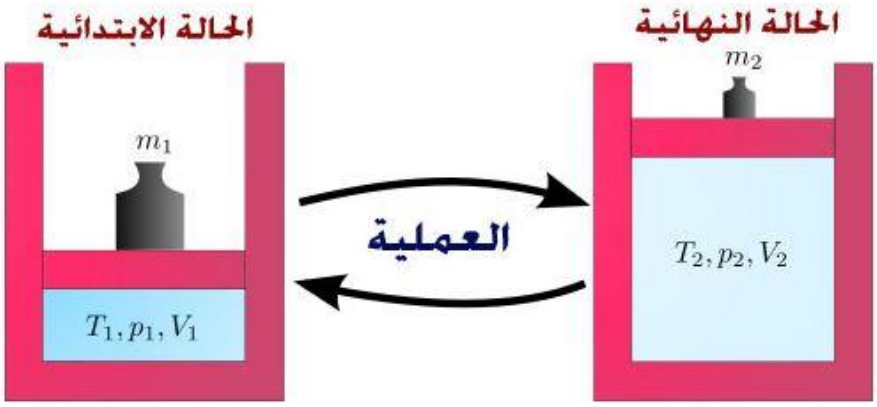
1- تمدد ايزوباريكي 2- انضغاط ايزوثرمي 3- تقلص او انضغاط ايزوكوريكي



7- العملية الانعكاسية او العكوسة Reversible Process

هي العملية التي تكون فيها الإحداثيات الثرموداينميكية متجانسة عند إجراء العملية فهي العملية التي يمكن بعد إتمام انجازها إعادة النظام إلى نفس الشروط التي كان عليها قبل إجراء العملية دون ترك أي إثر على المحيط، أوهي العمليات التي تحدث باتجاهين متعاكسين سالكة الطريق نفسه دون تغيير في المؤثرات الخارجية.

بعبارة أخرى: يتعرض النظام في العملية العكوسة إلى عملية يمكن ان تعود بالمادة إلى شروطها الابتدائية على نفس المسار على مخطط الضغط والحجم PV diagram، وكل نقطة على هذا المسار تكون في حالة اتزان. العملية التي لا تحقق هذه المتطلبات تعتبر عملية غير عكوسة. الشكل ادناه يمثل عملية أديباتيكية عكوسة يمكن تغير حالة المادة من حالة ابتدائية الى حالة نهائية من خلال عملية وعكسها بدون تبادل الحرارة مع الوسط المحيط.



تتميز العملية العكوسة بالصفات التالية:

1- يمكن عكسها في اية لحظة.

2- يكون فيها النظام في درجة حرارة وضغط متوازن.

3- تتم العملية بصورة متناهية في البطء.

4- لا يرافق العملية تبديد بالطاقة (بسبب الاحتكاك أو اللزوجة أو المقاومة).

5- يتم الحصول فيها على اقصى شغل.

- أي إذا العملية الثرموديناميكية تتم مع بقاء النظام في حالة متزنة.

هنالك عمليات عديدة يمكن إجراؤها بشكل معكوس يقترب ولكن لا يصل إلى مثالية العمليات العكسية تماما. مثال على ذلك:

1- الجليد ينصهر إذا امتص كمية معينة من الحرارة ويتحول إلى ماء و الماء الناتج يمكن تحويله إلى جليد اذا سحبت منه نفس الكمية من الحرارة.

2- كل التغيرات الاديباتيكية والايزوثرمية التي تنجز بصورة متناهية في البطء.

3- شحن بعض أنواع المتسعات وتفريغها

4- شحن بعض أنواع الخلايا الكهربائية و تفريغها.

5- حركة البندول الحر في غرفة مفرغة من الهواء و معلق بنقطة ارتكاز خالية من الاحتكاك.

8- العملية الغير عكوسة **Irreversible Process**

هي العملية التي تكون فيها الإحداثيات الثرموداينميكية غير متجانسة عند إجراء العملية. هي العمليات التي تحدث باتجاه واحد ولا يمكن عكسها من دون ترك متغيرات دائمة على المحيط.

إن كافة العمليات الطبيعية والتي تجري ذاتيا هي عمليات لا عكسية مثل انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد وهبوب الريح من المناطق ذات الضغط العالي إلى المناطق ذات الضغط الاقل.

وتتميز بما يلي:

1- عدم امكانية عكس العملية.

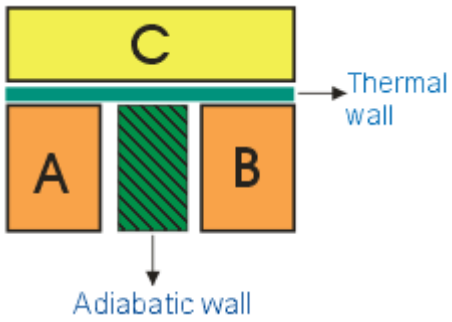
2 - تمر من الحالة الابتدائية الى النهائية في خطوة واحدة, اي انها تتم بسرعة كبيرة.

8-1 التمدد الحر Free Expansion

يمكن توضيح التمدد الحر كما يلي، فإذا تصورنا انه لدينا وعاء بجدران صلبة ومغطاة بعازل حراري، ولنفترض أننا قسمنا الوعاء الى قسمين بحاجز رقيق، بحيث ان أحد القسمين يحتوي غازاً والآخر مفرغ من أي مادة. ثم لنفترض ان الحاجز الرقيق انكسر في هذه الحالة يبدأ الغاز بالتدفق من أحد القسمين إلى الآخر ويحدث له ما يسمى بالتمدد الحر. وحيث ان الوعاء معزول حرارياً فإن هذه العملية هي أدياباتيكية، وبذلك فإن (dQ = 0).

1-9القانون الصفري للثرموداينمك The Zero Law of Thermodynamics

وينص هذا القانون على انه إذا وجد نظامين A وB معزولين اديباتيكيا وكلاً منهما في حالة اتزان حراري مع نظام ثالث C فإن ذلك يؤدي إلى أن النظامين يكونان في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض. وهو موضح في الشكل (1-3). ويعتبر هذا القانون الاساس للثرموداينمك المستخدم لقياس الحرارة.



الشكل (1-3) مخطط للقانون الصفري للثرموداينمك

10-1 انواع المقاييس الحرارية

يمكن تعريف درجة الحرارة وكمية الحرارة بما يلي:

درجة الحرارة -**Temperature:** هي مقدار سخونة او برودة الجسم .

كمية الحرارة **Heat**:- هي الطاقة الحرارية الموجودة في الجسم .

تقاس درجة الحرارة بوحدات قياس مُختلفة، وتُعتبر وحدات القياس الكلفن، والسيلسيوس، والفهرنهايت أكثرها استخداماً، بحيث أنّ الكلفن يستند إلى مفهوم الصفر المطلق، ويُستخدم لقياس درجات الحرارة العلميّة، أمّا السيلسيوس فيقيس درجات الحرارة العلميّة والاستهلاكيّة، ويُستخدم في جميع أنحاء العالم، بينما يقتصر استخدام الفهرنهايت على الولايات المتحدة الأمريكيّة وبعض الدول الأخرى.

وتعرف كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة اثناء عملية التحول باسم الحرارة الكامنة وتعتمد بشكل مباشر على نوعية المادة وحالتها الابتدائية والنهائية.

1- المقياس المئوي **Celsius scale**

يعتمد هذا التدريج لقياس درجة الحرارة على نقطة تحول الماء من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة وهي درجة الانصهار وهي درجة الصفر، ونقطة التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وهي درجة الغليان للماء وهي درجة 100. ورمز هذه الوحدة هي ^oC

2- المقياس الفهرنهايتي **Fahrenheit scale**

يعتمد هذا التدريج لقياس درجة الحرارة على نقطة تحول الماء أيضا ولكن تم اعتبار درجة الانصهار هي درجة 32 بدلاً من الصفر، ودرجة الغليان للماء وهي درجة 212 بدلاً من 100. ورمز هذه الوحدة هي F^o

وتستخدم العلاقة التالية لغرض التحويل بين الوحدتين المئوية والفهرنهايتية.

$$T(F^o) = \frac{9}{5}T(C) + 32$$

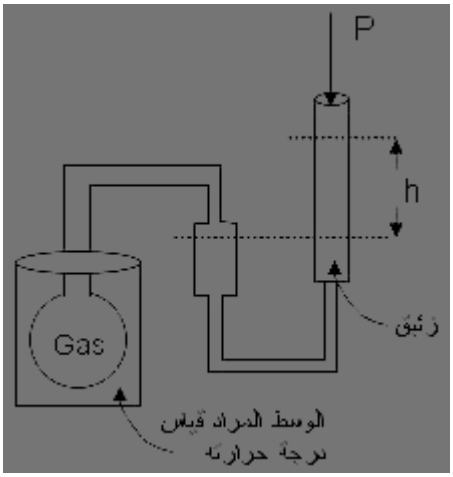
او :

$$T(C) = \frac{5}{9}(T(F^o) - 32)$$

3- المقياس المطلق **Kelvin Scale**

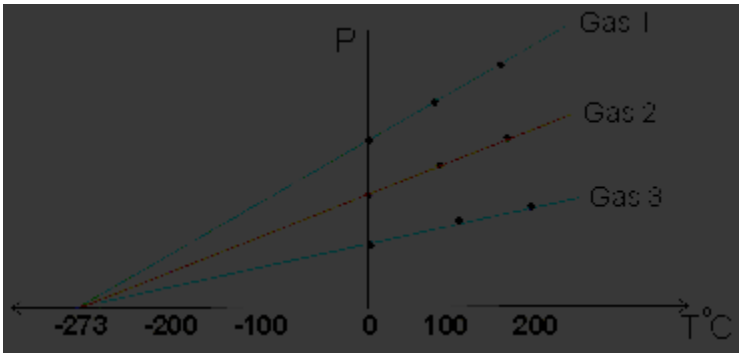
مما سبق نجد أن كلا التدريجين اعتمدا على نوع مادة السائل وهو الماء حيث تم اعتبار نقطة الانصهار ونقطة الغليان كأساس للتدريج، وحيث أن هاتين النقطتين تعتمدان على الضغط وعدد من العوامل الأخرى لذا فإننا بحاجة إلى تدريج مطلق لا يعتمد على طبيعة المادة وهذا ما قام به العالم كلفن في تحديد تدريج مطلق لدرجة الحرارة.

قام العالم كلفن باستخدام الثيرمومتر المعتمد على التغير في الضغط Gas thermometer الموضح في الشكل (1-4).



الشكل (1-4) الثيرمومتر المعتمد على الضغط

ودرس العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وذلك لأكثر من غاز ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر نظرياً (أي عند مد المنحنيات كما في الشكل (1-5) على استقامتها) عند درجة حرارة وقدرها - 273 مئوية. وقد تم اعتبار هذه الدرجة هي الصفر المطلق وأنها لا تتغير بتغير نوع الغاز وعليه تم معايرة باقي التدريجات الأخرى بالنسبة للصفر المطلق. ووحدة قياسه تسمى كلفن ((Kº

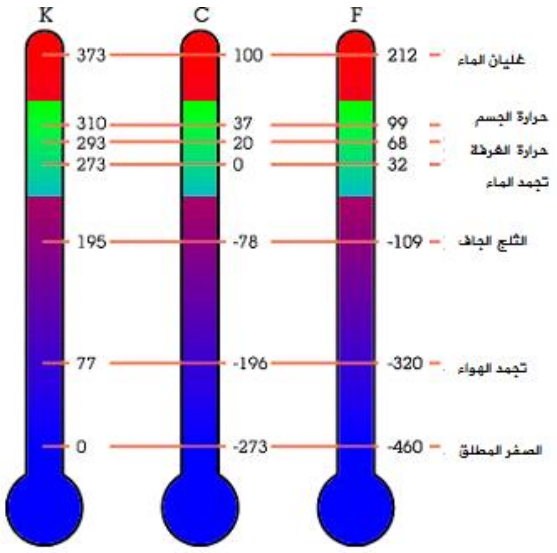


الشكل (1-5): نقصان الضغط بنقصان درجة الحرارة الى ان يصبح صفر نظرياً بدرجة -273.16

وعليه فإن العلاقة بين التدريج المئوي والتدريج المطلق هي:

$$T(^oC) + 273 \; T(K^o) =$$

والشكل (1-6) يوضح العلاقة بين التدريج المئوي والتدريج الفهرنهايتي والكلفن:



الشكل (1-6) الفرق بين التدريجات المئوية والفهرنهايتية والكلفن

(Pressure unit)

1 atm = 1.01325 bar

1 bar = 10^5 N/m^2 = 10^5 Pascal (1Pa = 1 N/ m^2)

1 atm = 101325 Pascal

1 atm = 1.01325× 10^6 dyne /cm^2

1 atm = 76 cm Hg or (cm. of mercury)

1 atm = 760 mm Hg or (mm. of mercury)

1 atm =760 torr

(Energy Unit)

1J = 1 kg m^2 s^{-2} = 1 Nm

1 N = 1 kg m s^{-2}

1 N = 10^5 dyne

1 J = 10^7 erg

1 erg = 1 dyne cm

1 cal = 4.186 J = 4.2 J

1 eV = 1.602 ×10^{-19} J

1 L = 1000 mL