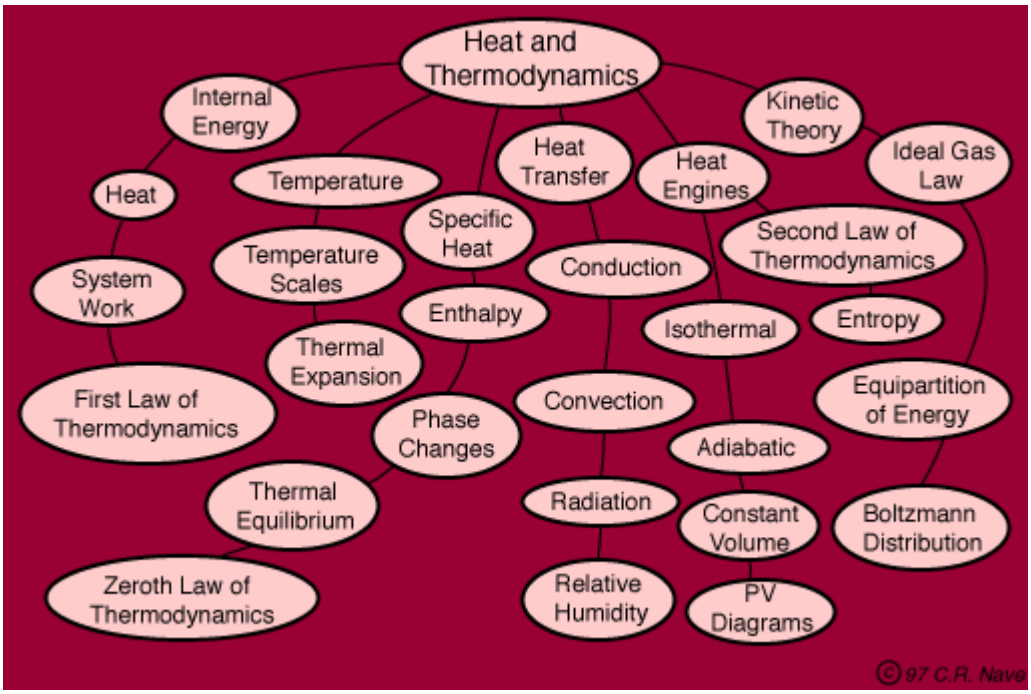
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

وَمَا يَسْتَوِي الْأَعْمَىٰ وَالْبَصِيرُ **(19)** وَلَا الظُّلُمَاتُ وَلَا النُّورُ **(20)** وَلَا الظِّلُّ وَلَا الْحَرُورُ **(21)**

(سورة فاطر)

مقرر الحرارة والديناميكا الحرارية

Heat and Thermodynamics



المخطط يبين مفردات المقرر على الموقع التالي:

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/heacon.html#heacon

Heat motion = Thermodynamics

مفهوم درجة الحرارة

محتوى المحاضرة:

- المنظور الجديد لدرجة الحرارة
- الديناميكا الحرارية كموضوع جديد
- المفهوم الأساسي لدرجة الحرارة والقانون الصفر
- قياس درجة الحرارة
- التمدد الحراري

1. المنظور الحديد لدرجة الحرارة :

درجة الحرارة إحدى المتغيرات (المتحولات)الهامة في دراسة الطاقة الحرارية والديناميكا الحرارية، وهي إحدى الوحدات الدولية السبع في الفيزياء وتقاس بالكلفين (Kelvin) ،يمكن لدرجة حرارة الأجسام أن تتزايد بدون حدود إلا أنها لا تستطيع أن تتناقص بدون حدود،فحدها الأدنى درجة الصفر المطلق على مقياس كلفن ،باعتبار أن الصفر المطلق يساوي إلى (-273.16) درجة مئوية تحت الصفر.وسوف تتضح خصوصية استخدام الكلفن كسُلم لقياس درجة الحرارة عند استعراض القانون الثالث في الديناميكا الحرارية ،حيث أن الكلفن ارتبط بحركة جزيئات المادة وطاقتها الحرارية من جهة ،وبمفهوم بداية التمدد الكوني منذ حوالي 10-20 بليون سنة حيث كانت درجة حرارة الكون (10^{39}K) ،بدأ عندها الكون بالتمدد (ضمن نظرية الانفجار الأعظم) وبدأت درجة الحرارة بالانخفاض إلى أن وصلت حاليا في بعض الأماكن من هذا الكون الواسع إلى -270 درجة مئوية (3K) ، والفيزيائيون يعتبرون أن وصول الكون إلى درجة صفر كلفن هو توقف لحركات الجزيئات والذرات في الكون ،لكن الخلاف بينهم حول مصير هذا الكون هل سيتجمد؟؟؟ أم سيعود ليتقلص من جديد ؟؟؟؟

وما يشغل البشرية هو استمرار الحياة على كوكبهم الأرض (المنظور العلمي لا الديني)، فالأرض بعد أن تبردت بحاجة إلى نجم عملاق كالشمس ليرفع من درجتها ويحافظ على الكائنات

الحية التي تعيش عليها ،وإلا فهي تسير مع الكون إلى أخفض درجة حرارة ،وإذا انخفضت الحرارة قليلا عما هي عليه ألان فان الكائنات الحية سوف تتجمد كما حصل في العصر الجيولوجي الجليدي ،وإذا ارتفعت قليلا فان أجسامها سوف تتبخر وتصبح الحياة مستحيلة ،وهكذا كانت الحرارة عبر العصور الجيولوجية تتأرجح مابين درجة الجليد وأخفض منها بكثير ودرجة النار وأعلى منها بكثير(والله سبحانه وتعالى يفعل ما يريد).

يحاول الفيزيائيون الوصول إلى درجة الصفر المطلق أو الاقتراب منه في المختبرات العلمية مثلما يحاولون الوصول إلى تسريع الجسيمات المادية لتصل إلى سرعة الضوء ،ولكنهم لم يصلوا حتى ألان ،فأسرع إلكترون تم تسريعه حتى ألان وصل إلى سرعة تقارب 0.9999999994c من سرعة الضوء ،وأخفض درجة حرارة تم التوصل إليها (K 2×10^{-8}) ،وتشير النظريات إلى صعوبة بالغة في الوصول إلى الصفر المطلق نظرا لصعوبة وصف الحالة ، وفي عام 2000م نشرت أحدى المؤسسات العلمية الأمريكية أنها توصلت إلى تسريع احد الجسيمات إلى سرعة الضوء ولكن تفاصيل ذلك بقي في طي الكتمان لأن النظرية النسبية لاينشتاين سو تنهار ،وينهار معها كم هائل من العلم الحديث.

المخطط التالي (1) يبين المجال الحراري المعروف على سلم كلفن من أعلى الدرجات إلى أخفضها.

درجة حرارة الكون لحظة الانفجار الكوني **K**

الشكل (1): مخطط يبين المجال الحراري المعروف على سلم كلفن من أعلى الدرجات إلى أخفضها.

2. الديناميكا الحرارية كموضوع جديد :

لكي نفهم حركية الحرارة لنعد قليلا إلى قوانين نيوتن في الميكانيكا والتي تخص القوى الخارجية المؤثرة على الجمل الميكانيكية والتي من خلالها نعرف الطاقة الكلية الميكانيكية للجسم المدروس فالعبارات التي مرت معنا في الميكانيكا مثل محصلة القوى – الطاقة الحركية – السرعة – التسارع – قانون نيوتن الأول والثاني والثالث.....الخ، تتعلق بمعرفتنا بالقوى الخارجية المؤثرة على الجسم ،أما الديناميكا الحرارية فتتعامل مع الطاقة الداخلية التي يمتلكها الجسم المدروس وهي محكومة بجملة من القوانين أساسها مفهوم درجة الحرارة ،وهذا المفهوم يحتاج إلى وسائل قياس مضمونة ومتطورة.

ومن العبارات التي ستمر معنا في الديناميكا الحرارية درجة الحرارة – الحرارة – الطاقة الداخلية – الانتروبية – القانون الصفر – القانون الأول – القانون الثاني – القانون الثالث .....الخ.

ودرجة الحرارة تعتبر العبارة الأساسية في الديناميكا الحرارية (حركية الحرارة) وقد تآلفنا معها من خلال إحساسنا بالبارد والساخن ،ولكن هذا الإحساس كثيرا ما يخطئ ويعطي معلومات ليست دقيقة ،وبسبب الأهمية الخاصة لدرجة الحرارة في الديناميكا الحرارية فمن الأفضل دراستها وتطوير مفهومها دون الاعتماد على آية طريقة تعتمد على الإحساس البشري (انظر المخطط على الشكل 1).

3. المفهوم الأساسي لدرجة الحرارة والقانون الصفر (the zeroth law):

من المعلوم أن خواص العديد من الأجسام تتبدل عندما يتغير الوسط المحيط بها حراريا،فعند نقل جسم من الثلاجة إلى فرن أو العكس فانه سوف يستجيب لتلك التغيرات ،وأسلاك الكهرباء المشدودة في الشتاء والمنحنية في فصل الصيف هو دليل لاستجابة الأجسام للمحيط الحراري .

إن الاعتماد على خاصية تمدد الأجسام وتقلصها واستعمال واحدة من تلك الميزات كأساس لصناعة جهاز يساعدنا على ترسيخ فكرة أو مفهوم درجة الحرارة كان وما زال الركن الأساس في ترسيخ مفهوم درجة الحرارة.

نستطيع الآن استخدام جهاز الكتروني حساس جدا يعطينا أقل تغير في درجة الحرارة ،ولكن التفكير هنا لا ينصب على ذلك بل ينصب على كيفية معايرة هذا الجهاز لكي تدل أرقامه المعروضة على الشاشة على أرقام مفهومة بالنسبة لنا وتدل على درجة الحرارة وفق التعريف الذي سيعطى لها.

في البداية سنسمي الجهاز الذي تزداد أرقامه في الجو الساخن وتتناقص في الجو البارد بالمنظار الحراري، وفي المثال التالي سوف نستخدم الجهاز كمنظار وبعد ذلك سيتم الاعتماد عليه كمقياس لدرجة الحرارة. المثال:

في الشكل (2) لدينا صندوق معزول تماما عن العالم الخارجي مؤلف من حجرتين بينهما حاجز وفي الحجرة الأولى جسم A على تماس مع المنظار الحراري ،وفي الحجرة الثانية جسم B لوحده،نلاحظ في الحجرة الأولى أن أرقام المنظار تتحرك صعودا أو هبوطا حتى تثبت عند رقم ما بحيث لن يحصل بعد ذلك أي تغيير ، فما الذي حصل؟؟؟؟

نقول عن هذه الحالة أنه حصل توازن حراري بين الجسمين A والمنظار الحراري. ننقل المنظار الى الحجرة الثانية ونضعه على تماس مع الجسم B ولنفرض أنه بعد التوازن الحراري أعطى نفس الرقم السابق مع الجسم A ،وأخيرا لنأخذ الجسمين A,B ونضعهما على تماس مع بعضهما البعض وذالك بإزالة الحاجز من الصندوق المعزول حراريا ، فهل يمكن أن نجدهما في توازن حراري مع بعضهما البعض؟؟؟؟؟

والجواب على هذا السؤال الذي يبدو واضحا هو في الحقيقة ليس واضحا، والوضوح لا يتحقق إلا بالتجربة.فإذا كان لدينا قطعتان من الحديد كل واحدة منهما تجذب قطعة ثالثة من الحديد ، وهنا يمكن أو لايمكن أن يجذب أحدهما الآخر.

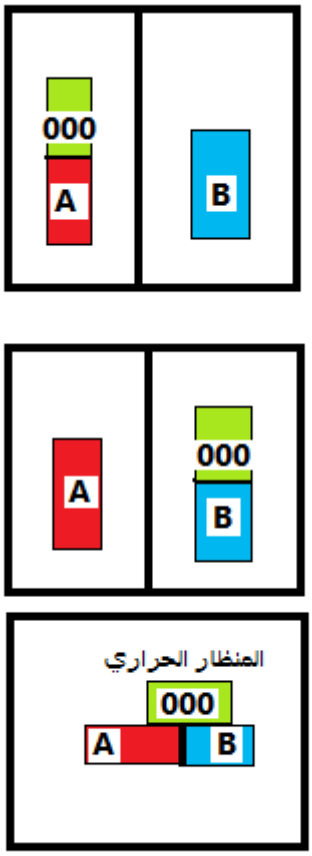
إن التجربة السابقة تصوغ لنا ما يسمى بالقانون الصفر (zeroth law) في الديناميكا الحرارية ونصه على الشكل التالي:

إذا كان الجسمان B,A كل على حده في حالة توازن مع حسم ثالث فهما في حالة توازن مع بعضهما البعض.

أو بصياغة أخرى:

كل جسم يمتلك خاصة تسمى درجة الحرارة، فعندما نجد جسمين في حالة توازن حراري فان درجة حرارتهما متساويتين. واعتمادا على هذه الخاصية نستطيع ألان تحويل المنظار الحراري إلى مقياس لدرجة الحرارة (ترمومتر thermometer) شريطة أن تعطي قراءاته مدلول فيزيائي ،وذلك من خلال معايرته وفق تجربة محددة.

يستعمل القانون الصفر الآن في المختبرات(المعامل) ،فإذا أردنا معرفة أن سائلين لهما نفس الدرجة فإننا نقوم بقياس درجة حرارة السائل الأول بالمقياس الحراري ثم القياس للسائل الثاني والاستنتاج فيما إذا كان السائلين لهما نفس الدرجة أم لا دون الحاجة إلى وضع السائلين على تماس مع بعضهما البعض والانتظار حتى يتم التوازن الحراري أو فيما إذا كان أي منهما في حالة عدم توازن حراري مع الآخر.



الشكل (2):شكل تخطيطي لتوضيح خاصية درجة الحرارة

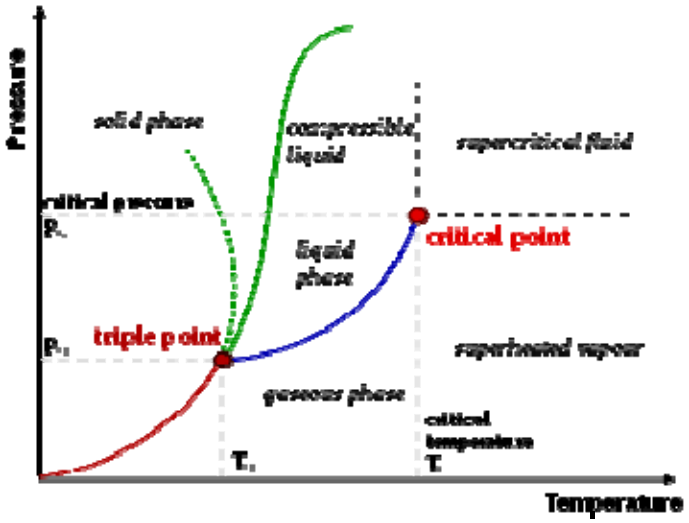
إن القانون الصفر الذي يبدو منطقيا بعد تفكير طويل بزغ إلى النور عام 1930م وبعد فترة طويلة من اكتشاف القانون الأول والثاني في الديناميكا الحرارية ولذلك سمي بالقانون الصفر لأنه أعطى درجة الحرارة مفهومها المرتبط مع القانون الأول والثاني.

4. قياس درجة الحرارة:

من أجل تحويل المنظار الحراري إلى مقياس حراري لابد من استخدام القانون الصفر وأخذ نقاط معيارية ثابتة ،فمثلا نقطتا التجمد والغليان للماء نقطتان معياريتان مهمتان جدا وثابتتان على الدوام عند سطح البحر ويمكن الاستفادة منهما من أجل تدريج أي مقياس حراري رقميا سوا ء كان مقياس سوائل (زئبق ، كحول ....) أو الكتروني .

وفي عام 1967م تم الاتفاق دوليا اعتماد النقطة الثلاثية للماء وهي تواجد الماء في أطواره الثلاثة الشكل (3)(غاز – سائل – صلب) وقد أخذت هذه النقطة الرقم 273.16 K أي T_3 = 273.16 K حيث أن الرقم ثلاثة يعني النقطة الثلاثية وهي تساوي إلى درجة تجمد الماء وقيمتها الرقمية على السلم المئوي الصفر المئوي (0^0 C).

يجب الانتباه أن درجة الحرارة تحقق مفهوم التساوي ، ولكنها لاتحقق مفهوم الجمع ،بحيث أننا لو مزجنا عدة أجسام ذات درجات حرارة مختلفة فان درجة الحرارة النهائية للمزيج لا تساوي مجموع درجات الحرارة لتلك الأجسام ،أي أن درجة الحرارة ليست جمعية بل تعتمد على القانون الصفر (التوازن الحراري). في حين أن الأطوال والكتل تخضع للقانون الجمعي. ودرجة الحرارة تعتمد على التعيين بواسطة المقياس الحراري وهذا التعيين أتفق أن يكون رقميا بالاعتماد على القانون الصفر. وبالتالي نحن بحاجة لاعتماد سلم رقمي يعبر عن درجة الحرارة برقم يخضع لذلك السلم ،وهناك العديد من مقاييس درجة الحرارة المستعملة أهمها المقياس المئوي والفهرنهايت والكلفن .....الخ (Celsius,Fahrenhiet,Kelvin.....etc) ،ومقدار التدريجة الواحدة لكل من المقياس المئوي والكلفن متساويتان ،في



الشكل (3): الأطوار الثلاثة للماء في حال توازن والنقطة الثلاثية للماء

حين أنها مختلفة على سلم الفهرنهايت ، أما تقسيم المسافة بين نقطة التجمد والغليان للماء على المقاييس السابقة الذكر فتتم وفقا للقانون الصفر على النحو التالي :

1) السلم المئوي: تقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين (التجمد والغليان)الى مائة قسم (تدريجة) متساو تسمى النقطة الاولى صفر درجة مئوي والثانية مائة درجة مئوية ، وسمي هذا السلم بسلم سيلزيوس Celsius نسبة الى العالم الذي ابتكر هذا السلم عام 1742م ،فدرجة تجمد الماء هي $0\ ^0C$ ،ودرجة غليانه $100\ ^0C$.أنظر الشكل (4).
2) السلم المطلق: تقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين الى مائة قسم متساو،تأخذ النقطة الأولى (التجمد)الرقم 273.16K ،وتأخذ النقطة الثانية (غليان الماء) الرقم 373.16K ، يدعى السلم بسلم كلفن أو السلم المطلق ،وبالتالي فان الصفر المطلق يقابل الرقم $-273.16\ ^0C$ على سلم سيلزيوس . والصفرالمطلق يتم الوصول اليه (نظريا)عندما يتلاشى حجم الغاز أي يصل حجم الغاز الى الصفر عند ضغط ثابت. أنظر الشكل (4).
3) السلم الفهرنهايتي: تقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين الى 180 قسما متساويا،تعطى النقطى الاولى (التجمد للماء) الرقم $32\ ^0F$ ،وتعطى النقطة الثانية الرقم $212\ ^0F$(نقطة غليان الماء. يعود هذا السلم الى العالم Fahrenheit عام 1709م ويستعمل في أمريكا وبريطانيا.أنظر الشكل (5).
4) هناك مقاييس مختلفة كلها يعتمد على الأطوار الثلاثة للمادة (غاز – سائل – صلب) وتنوعت هذه المقاييس وتعددت كثيرا وذلك حسب الغرض منها والمجال الحراري المدروس ففي الدرجات العالية لا يصلح مقياس الكحول مثلا لأنه يتبخر وفي الدرجات تحت الصفر لا يصلح مقياس الزئبق لأنه يتجمد ، وهكذا فان الحاجة لمجال حراري ما جعل العلماء يبتكرون جهازا يتوافق مع ذلك المجال والمقاييس التالية تستعمل في أغراض متعددة وحسب مقدرتها على إعطاء القانون الصفر حقه (المقاييس الغازية للدرجات المنخفضة – المقاييس السائلة – المقاييس الصلبة – المقاييس ثنائية المعدن – المقاييس ذات المقاومة المتغيرة باستخدام جسر قنطرة واطسطن – مقاييس الازدواج الحراري من اجل الدرجات العالي....الخ).

والعلاقة بين السلم (scale) المئوي والكلفن الشكل (4) كما في العلاقة التالية:

$$T_c = T_k - 273.16$$

$$\text{Or} \quad T_k = T_c + 273.17 \qquad (1)$$

حيث T_c درجة الحرارة على السلم المئوي ، T_k درجة الحرارة على السلم المطلق

أما العلاقة بين مقياس الفهرنهايت والمئوي الشكل (5) فهي كما في العلاقة التالية:

$$T_F = \frac{9}{5}T_c + 32 \qquad (2)$$

$$or$$

$$\frac{T_c}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_k - 273}{100} \qquad (3)$$

العلاقة (3) العلاقة العامة بين السلالم الثلاث السابقات الذكر. انظر الشكل (6+7) للمقارنة بين المقاييس الثلاثة.

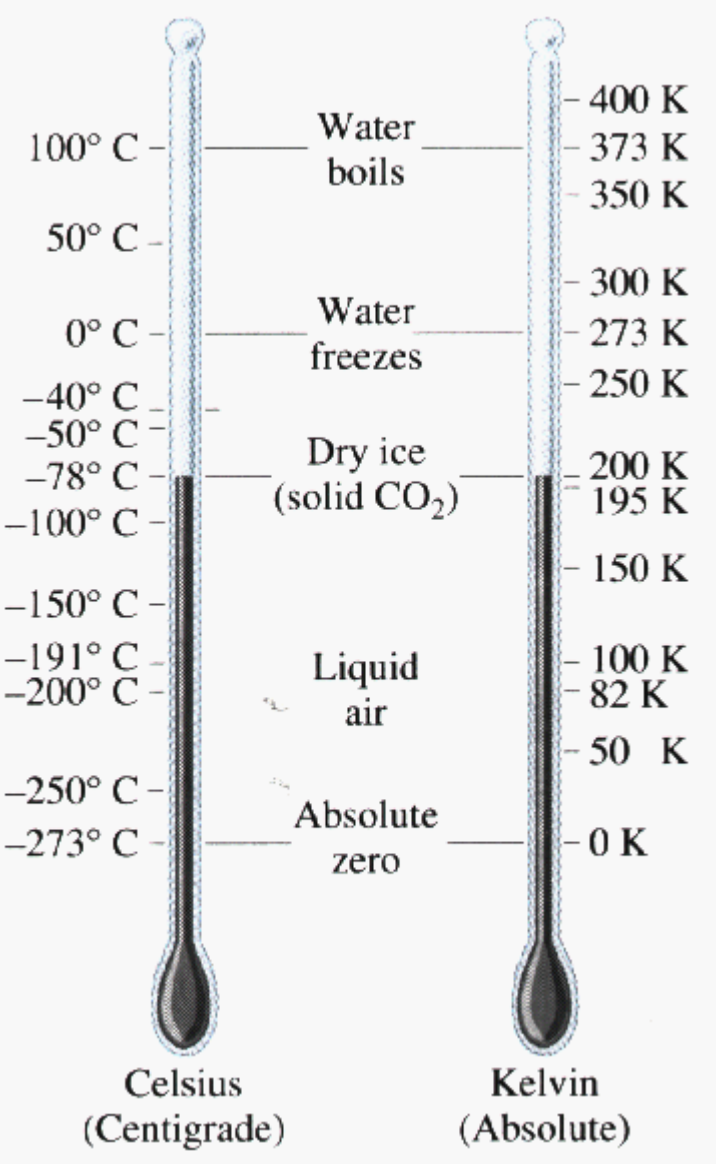
الجدول التالي يبين بعض الدرجات على السلالم الثلاثة:

Some baseline temperatures in the three temperature scales:

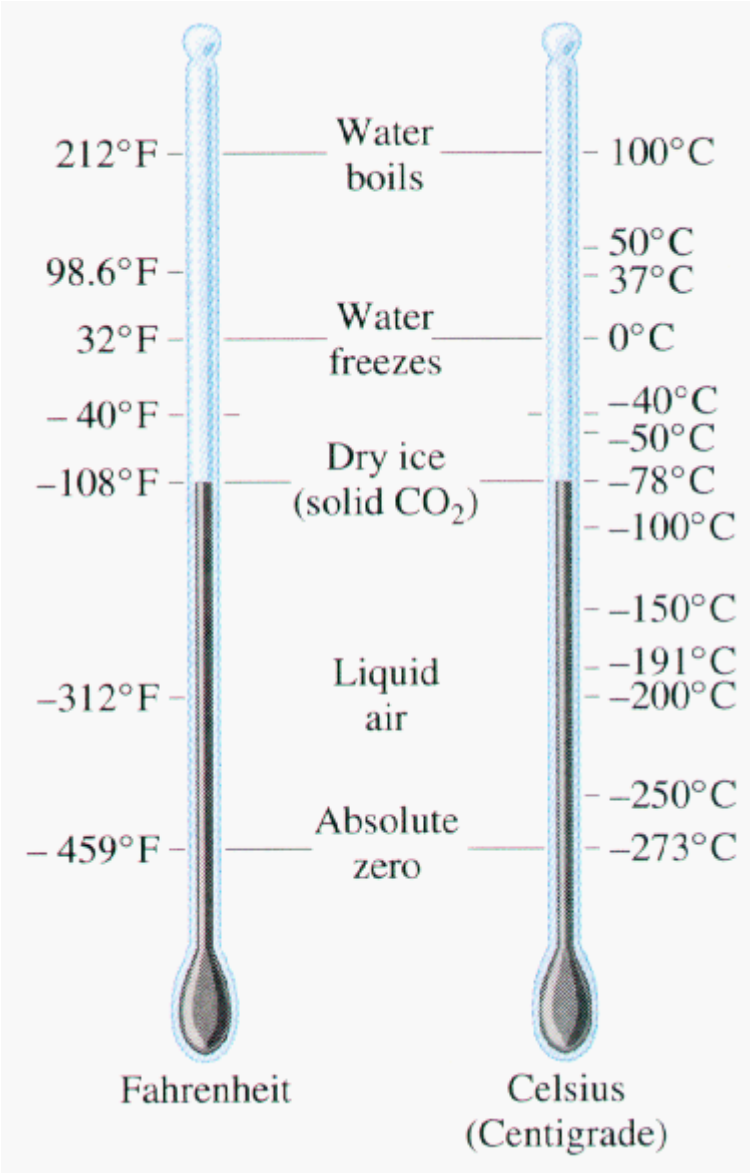
temperature	kelvin	degree Celsius	degree Fahrenheit
symbol	**K**	**°C**	**°F**
boiling point of water	373.15	100.	212.
melting point of ice	273.15	0.	32.
absolute zero	0.	-273.15	-459.67

Common temperature comparisons:

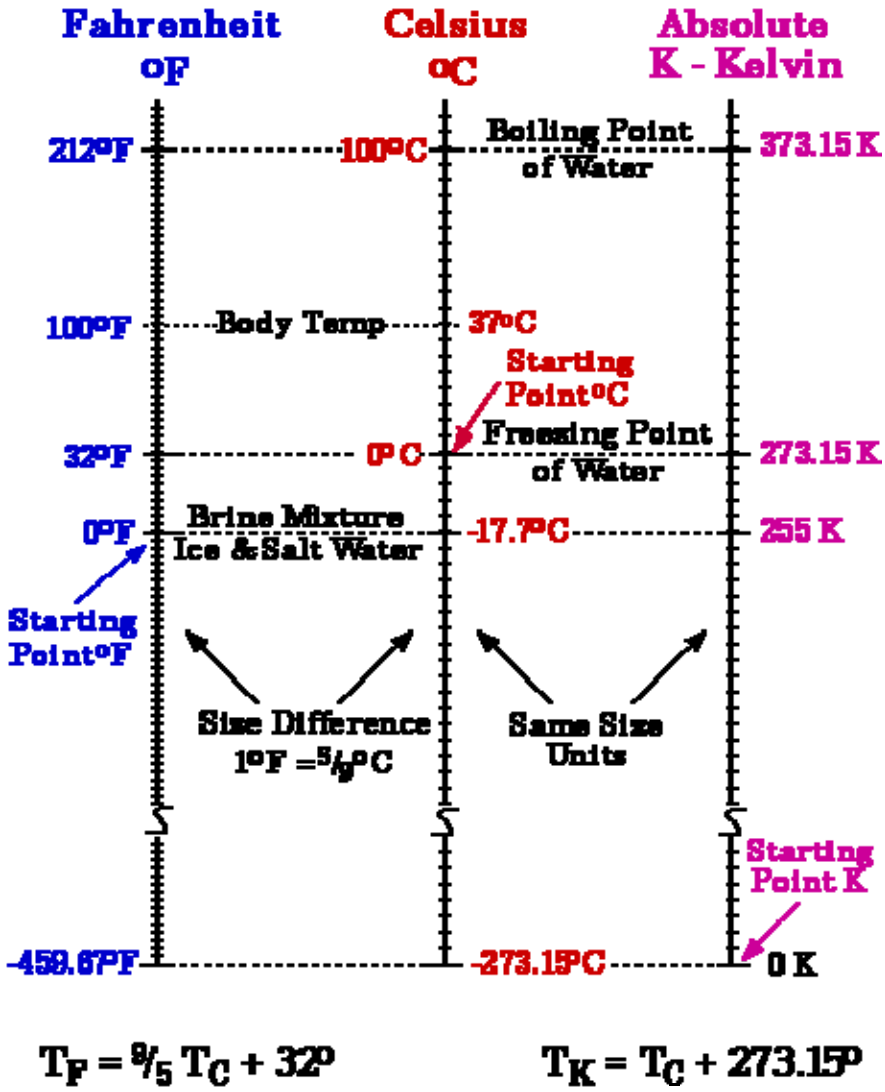
temperature	degree Celsius	degree Fahrenheit
symbol	**°C**	**°F**
boiling point of water	100.	212.
average human body temperature	37.	98.6
average room temperature	20. to 25.	68. to 77.
melting point of ice	0.	32.



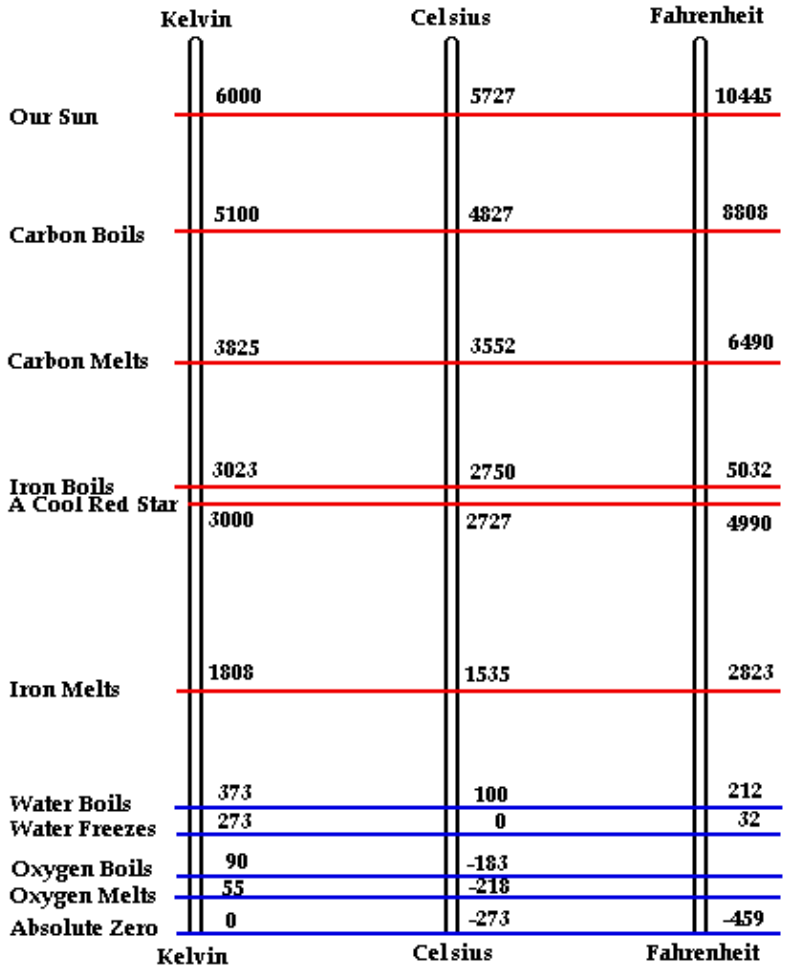
الشكل (4) : مقياسي درجة الحرارة على سلم المئوي والكلفن



الشكل(5) : مقياسي درجة الحرارة على السلم المئوي والفهرنهايتي



الشكل (6) : شكل مقارنة بين المقاييس الثلاثة



الشكل (7): درجات الحرارة على السلالم الثلاثة لمواد مختلفة.

5. التمدد الحراري:

من المعلوم أن جميع الأجسام تتمدد بالحرارة وتتقلص بالبرودة (فيما عدى حالة شذوذ الماء التي تترافق بتقلص من الدرجة صفر مئوي حتى 4+ مئوي ثم يبدأ بعد ذلك بالتمدد) ، وقياس درجة الحرارة يعتمد على التمدد والتقلص ، ولكن تمدد الأجسام الصلبة يختلف قليلا عنه في السوائل والغازات من وجهة النظر الفيزيائية ،فالغازات والسوائل تتمدد بزيادة المسافة بين الذرات مع ازدياد طاقتها الحركية ،بينما تمدد الأجسام الصلبة يعتمد على طاقة الارتباط بين الذرات ،وتلعب ذبذبة الذرات للشبكة البلورية للجسم الصلب دورا مهما في عملية التمدد (راجع فيزياء الجوامد) ،وتلعب الطاقة الداخلية للجملة هذا الدور المهم في ابتعاد أو اقتراب الذرات من بعضها البعض اعتمادا على طاقة الوضع بين كل ذرتين متجاورتين .

والديناميكا الحرارية تعالج المسالة من وجهة نظر إحصائية دون الدخول في تعقيدات فيزياء الجوامد وميكانيكا الكم وتهتم بالفعل النهائي ،وهو الزيادة في الطول أو الحجم لجسم المدروس ،ففي حال تمدد الأسلاك، يؤخذ الطول الابتدائي L_0 الموافق لدرجة الحرارة الابتدائية T_0، ثم الطول بعد الزيادة L الموافق لدرجة الحرارة T ، فتكون الزيادة النسبية في الطول متناسبة مع درجة الحرارة تجريبيا ،ويمثل ميل الخط معامل يسمى معامل التمدد الخطي ونرمز له بالرمز إلفا (α) وتصبح العلاقة الرياضية التجريبية بالشكل:

$$\frac{L-L_0}{L_0}=\frac{\Delta L}{L_0}=\alpha(T-T_0)=\alpha\,\Delta T \qquad (4)$$

حيث إلفا معامل التمدد الطولي وهو ثابت لنفس المادة ويساوي الزيادة التي تطرأ على وحدة الطول عند تسخينها درجة مئوية واحدة .

وبإعادة ترتيب العلاقة (4) نجد أ، الطول الجديد بعد الزيادة يساوي إلى:

$$\frac{L-L_0}{L_0}=\alpha\,\Delta T \Rightarrow$$

$$L-L_0=\alpha L_0\Delta T \Rightarrow$$

$$L=L_0(1+\alpha\,\Delta T) \qquad (5)$$

وبدراسة مشابهة نجد علاقة الزيادة في السطح (Δ S)والحجم (Δ V)،وكذلك عامل التمدد السطحي α σ=2 ،وعامل التمدد ألحجمي α β=3 وفق العلاقات التالية :

$$\frac{\Delta S}{S}=\sigma\,\Delta T \Rightarrow S=S_0(1+\sigma\,\Delta T)$$

$$\frac{\Delta V}{V}=\beta\,\Delta T \Rightarrow V=V_0(1+\beta\,\Delta T) \qquad (6)$$

يلزمنا في المحاضرات القادمة معامل التمدد ألحجمي وهو الزيادة في وحد الحجم عندما تسخن درجة مئوية واحدة وفي حال التغيرات الصغيرة جدا، تؤخذ المعادلة بشكلها التفاضلي (وليس تزايد) ونحصل من العلاقة (6) على معامل التمدد ألحجمي بشكله التفاضلي من العلاقة التالية:

$$\beta=\frac{1}{V}\frac{dV}{dT} \qquad (7)$$

وهذه العلاقة سوف نستخدمها في معادلة الحالة لتمدد الغاز الكامل .

وبالنسبة للتمدد الحراري للسوائل فهو تمدد حجمي ،وبما أن السوائل توجد في أواني فيجب الأخذ بعين الاعتبار تمدد السائل وتمد الإناء الذي يحويه وقد درست هذه المواضيع في المرحلة الثانوية (راجع كتب الثانوية).

أسئلة: