الفصل السابع

درجة الحرارة

Temperature

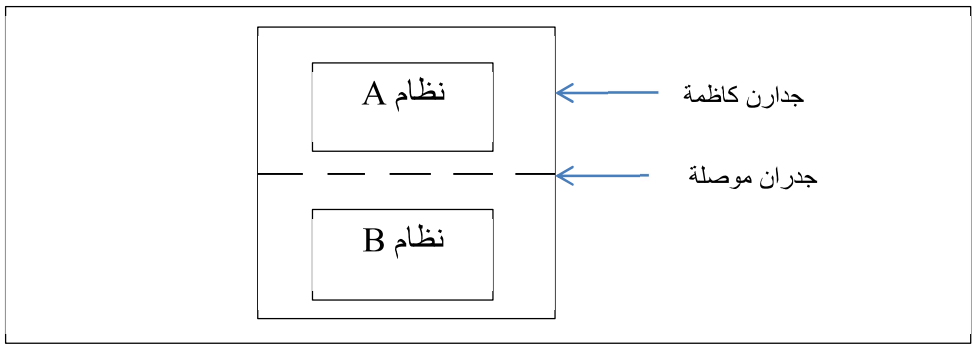
7-1 الحرارة *Heat*

هي شكل من أشكال الطاقة التي ترافق حركة الجزئيات أو الذرات أو أي جسيم أخر يدخل في تركيب المادة (النواة أو مكوناتها) ويمكن الحصول على درجة الحرارة أما بطرق فيزياوية مثلالاحتكاك أو تهيج جزئيات المادة، أو بطرق كيميائية مثل الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية والاحتراق والتفاعلات النووية وغيرها. والحرارة طاقة قابلة للانتقال بطرق مختلفة مثل الاشعاع أو الحمل أو التوصيل ولايمكن للحرارة أن تنتقل بين جسمين الا في حالة أختلاف درجة حرارتيهما.

7-2 الاتزان الحراري *Thermal equilibrium*

يكون النظام في حالة أتزان حراري إذا كانت جميع خواصه ثابتة لا تتغير ما دام الوسط الخارجي المحيط به لا يتغير أيضا.

لنفرض لدينا نظامين مختلفين A وB كل منهما على حدة في حالة اتزان حراري ثم جعلا في وضع تماس حراري بواسطة جدران موصلة أي تسمح بمرور الحرارة من نظام إلى نظام الأخر وعزلاً عن الوسط المحيط بهما بواسطة جدران عازلة للحرارة أو ماتسمى بالجدران الكاظمة (Adiabatic walls) كما في الشكل (1) فما الذي يحدث ؟



شكل (1)

إذا كان النظامان ليسا في حالة توازن متبادل بالأصل فالذي يحدث هو أن تتغير خواصهما بالتدريج حتى يصلا إلى حالة التوازن المتبادل. وحالما يتم هذا التوازن لا يحدث تغيير يذكر في تلك الخواص طالما تبقى الظروف الخارجية بدون تغيير وعندها يقال أن النظاميين في حالة توازن حراري.

ومن الممكن تعريف خاصية جديدة نستدل بواسطتها على حدوث التوازن الحراري بين نظامين أو أكثر وهذه الخاصية هي درجة الحرارة وتعررف كالاتي : يمتلك نظامان درجتي حرارة متساويتين عندما يكونان في وضع تماس حراري إذا لم تتغير خواصهما. وبعبارة أخرى يحدث التوازن الحراري بين نظامين في حالة تماس حراري عندما تكون درجتا حرارتيهما متساويتين.

3-7 درجة الحرارة *Temperature*

هي كمية فيزيائية عيانية تعتبر مقياس لدرجة سخونة الجسم. جرت العادة على قياس مقدار السخونة في جسم بتحديد درجة حرارته بواسطة موازين وأدوات معدة خصيصا لهذا الغرض تستند لظواهر فيزيائية معروفة كاستطالة أو تقلص المعادن أو تغير مقاومتها الكهربائية، أو تغير حجم مائع أو تغير لون مادة، وغير ذلك.

أن بناء أي مقياس لدرجة الحرارة يعتمد على عدة عوامل تعتمد على الاختبارات التالية:

١- أختبار المادة الحرارية المناسبة.

٢- أختيار الصفة المحرارية المناسبة لتلك المادة.

٣- أفتراض أن الصفة المحرارية المختارة تتغير مع درجة الحرارة.

٤- أختيار المقدار المناسب لدرجة الحرارة التي يراد قياسها بأستمرار.

ومن أشهر موازين الحرارة أنبوب شعري يحوي كمية معينة من الزئبق تتمدد أو تتقلص مع تغير درجة حرارتها، إذا بقيت مساحة مقطع الانبوب ثابتة خلال ذلك بصنعه من مادة لا تتأثر بسهولة بالحرارة، عندئذ يصير ارتفاع الزئبق في الانبوب متناسبا مع درجة حرارته. وتتم معايرة هذا الميزان بوضعه في مزيج من الماء والجليد تحت ضغط جوي واحد ويحدد مكان الزئبق، ثم يغمس الميزان في ماء مغلي ويحدد ارتفاع الزئبق هناك، ثم تدرج المسافة بين النقطتين بشكل متساو لتدريجات معينة. ونظرا لتعدد هذه التدريجات فإن هناك عدة أنظمة لتقدير درجة الحرارة.

ونظرا لتعدد هذه التدريجات فإن هناك عدة أنظمة لتقدير درجة الحرارة. ففي **النظام المئوي** (Celsius) المستخدم في معظم الدول العالم، تعتبر نقطة تجمد الماء عند الدرجة (0 °C) ودرجة غليانه عند (100 °C) وقسمت المسافة بالتساوي.

أما في **النظام الفهرنهايت** (Fahrenheit) فتعتبر درجة تجمد الماء مساوية الى (32 °F) ودرجة غليانه (212 °F). ويرتبط التدريجان ببعضهما بالعلاقة:

$$\mathrm{F} = \frac{9}{5}\,C + 32$$

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

أما في نظام الوحدات الدولي او المقياس كلفن (Kelvin) (المقياس المطلق) فتعطى القيمة 273.16 لتتناسب مع انجماد الماء و 373.15 لتتناسب مع غليان الماء

$$K = 273.16 + C$$

$$C = K - 273.16$$

وللتحويل من المطلق الى الفهرنهايتي وبالعكس نتع التالي:

$$F = \frac{9}{5}\,(K - 273) + 32$$

$$K = \frac{5}{9}\,(F - 32) + 273$$

ويمكن الربط بين التدريجات المختلفة في كل من النظام المئوي والفهرنهايتي والدولي بسهولة بتذكر درجة غليان الماء وتجمده في كل منهما. وكما في الشكل (2)

الشكل (2)

مثال 1-7

في أحد الايام عندما وصلت درجة الحرارة الى (50 ˚F)، ما مقدار درجة الحرارة على التدريج السيليزي وتدريج كلفن؟

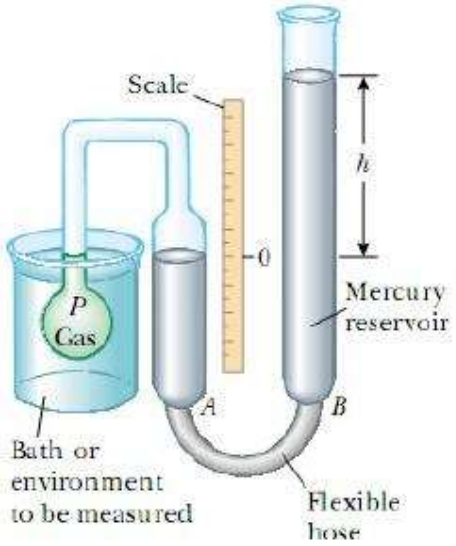
الحل:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32) = \frac{5}{9}(50 - 32) = 10\ ^{\circ}C$$

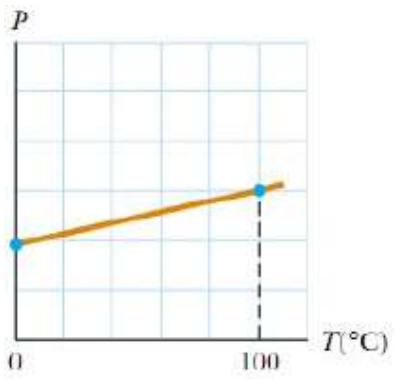
$$K = \frac{5}{9}\ (F - 32) + 273 = K = C + 273 = 10 + 273 = 283\ K$$

7-4 المحرار الغازي ذو الحجم الثابت والتدريج المطلق لدرجة الحرارة The constant-volume gas thermometer and the absolute temperature scale

من أحد أنواع المحارير الغازية هو محرار الغاز ذو الحجم الثابت والموضح بالشكل (3). الكمية الفيزيائية التي تتغير مع درجة الحرارة هو تغير الضغط عند ثبوت حجم الغاز. أول ما تم أختراع هذا المحرار تم معايرته بأستخدام الثلج وبخار الماء كنقاط ثابتة درجة الحرارة على النحو التالي، تم غمر دورق الغاز في حوض من الثلج والماء، ومن ثم تم ضبط ارتفاع مستودع الزئبق B برفعه وخفضه حتى استقر مستوى الزئبق في العمود A عند النقطة صفر على التدريج الموضح في الشكل (3). الارتفاع h يمثل الفرق بين مستوى الزئبق في المستودع B والعمود A، وهذا يشير الى الضغط في الدورق عند درجة حرارة (0 ˚C). في المرحلة الثانية تم غمر الدورق في ماء يغلي، وتم اخذ قراءة المستودع B وبنفس الطريقة تم ضبط ارتفاع المستودع B حتى أصبح مستوى الزئبق في العمود A عند النقطة صفر على التدريج.، وهذا يضمن أن حجم الغاز في الدورق لم يتغير عندما كان مغمورا في حوض الماء و الثلج. إعادة ضبط ارتفاع المستودع B أعطانا قيمة ضغط الغاز عند درجة حرارة (100 ˚C). برسم قيمتي الضغط عند درجتي الحرارة نحصل على الشكل (4) الخط الواصل بين النقطتين يستخدم كمنحنى معايرة لأي درجة حرارة غير معروفة. فإذا ما أردنا أن نقيس درجة حرارة مادة ما، نقوم بوضع دورق الغاز في حالة اتزان حراري مع المادة ومن ثم إعادة ضبط ارتفاع المستودع B حتى يصل أرتفاع الزئبق في العمود A إلى القيمة صفر على التدريج. ارتفاع عمود الزئبق يشير إلى ضغط الغاز في الدورق، وإذا ما عرفنا قيمة الضغط نستخدم المنحنى في الشكل (4) للحصول على درجة الحرارة للمادة.



شكل (3): محرار الغاز ذو الجم الثابت يقيس الضغط للغاز المحصور في الدورق المغمور في الحوض. يتم الحفاظ على حجم الغاز في الدورق ثابتا عن طريق التحكم بأرتفاع المستودع B ليكن مستوى الزئبق في العمود A ثابتا.



شكل (4): منحني نموذجي لعلاقة الضغط مع درجة الحرارة في المحرار الغاز ذو الحجم الثابت. بين نقطتين تمثلان مرجعية معروفة (نقطة الثلج وبخار الماء).

7-5 المحارير العلمية

من المحارير العلمية الرئيسية المستعملة في المختبرات :

7-5-1 محرار مقاومة البلاتين

إن محرار مقاومة البلاتين يعتمد على تغير مقاومة هذا العنصر بتغير درجة الحرارة وذلك بموجب المعادلة التالية:

$$R_\theta = R_0(I + A\theta + B\theta^2)$$

حيث أن R_θ تمثل مقاومة البلاتين في الدرجة الحرارية θ ، R_0 هي مقاومتة في درجة الصفر المئوي. A و B هي ثوابت.

وتصح هذه المعادلة لمدى واسع من درجات الحرارة أعلى من الصفر المئوي ومن المواد المستعملة لتثبيت بعض النقاط الحرارية في محرار مقاومة البلاتين هي الماء بأستعمال نقطة أنجماده وعليانه ثم درجة غليان الكبريت أو درجة أنصهار الزنك. محرار مقاومة البلاتين ليس حساساً جدا في درجات حرارية أعلى من درجة أنصهار الذهب أي في حدود الألف درجة مئوية. أما في درجات الحرارة الاوطأ من الصفر المئوي فتصبح العلاقة بين مقاومة البلاتين ودرجة الحرارة بموجب المعادلة التالية:

$$R_\theta = R_0[I + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3$$

ويمكن أعتماد هذه المعادلة الى درجات حرارية تقرب من درجة غليان الاوكسجين ويمكننا القول أن مدى الدرجات الحرارية التي يمكن استعمال محرار مقاومة البلاتين فيه ليعطي قراءات دقيقة هو (200 -←1000+) درجة مئوية.

7-5-2 المزدوج الحراري

أذا ربطنا سلكين معدنيين مع بعضهما كما في الشكل (5) وسخنا إحدى نهايتهما الى درجة حرارية T وحفظنا النهاية الأخرى بدرجة حرارة T_0 تتولد قوة دافعة كهربائية ويمر تيار كهربائي في الدائرة المغلقة المتكونة من السلكين وتستخدم القوة الدافعة الكهربائية في قياس الفرق بين الدرجتين الحراريتين T و T_0 ونسمى السلكين بعد ربطهما كما في الشكل (5) بالمزدوج الحراري.

شكل (5): المزدوج الحراري

7-5-3 محارير السائل في زجاج

تعتمد هذه المحارير على تغير طول عمود السائل في أنبوب زجاجي مع تغير درجة الحرارة وأكثر هذه المحارير أستعمالا هو محرار الزئبق في الزجاج حيث يكون الجزء من أنبوب الزجاج الذي لا يحتوي على زئبق مفرغ من الهواء ومحارير من هالنوع لا تستعمل عادة في قراءة درجات حرارية اعلى من 100 درجة مئوية.

أما المحارير المستعملة لقراءات أعلى من درجة (100 °C) فإن أنبوب الزجاج فيها يملأ بغاز النتيروجين وبضغط مناسب وتدرج محارير الزئبق في الزجاج عادة بوضع المحرار في الثلج وفي الظروف القياسية حيث يؤشر موقع نهاية عمود الزئبق ثم في الماء المغلي في الظروف القياسية كذلك يؤشر موقع نهاية عمود الزئبق ثم تقسم المسافة بين التأشيرين المئوية وكما في الشكل (6). ويمكن تدريج محرار الزئبق في الزجاج ليقرأ درجات حرارية اعلى من (100 °C) وأقل من الصفر المئوي ولكن القراءات في هذا المدى من الدرجات لا تكون خالية من الخطأ بسبب انحراف العلاقة بين طول مود الزئبق ودرجة الحراة عن كونها خطية مضافا غلى ذلك تمدد وتقلص الزجاج ويصل الخطأ في قراءة درجات الحرارة الواطئة تصل الى 39°C الى 0.4 °C وفي درجات الحرارة العالية يصل الى مايقارب (200°C) يكون الخطأ مابين (0.1°C)

و($1.1^{\circ}C$) ويزداد الخطأ في القراءة بارتفاع درجة الحرارة ومن العوامل الاخرى التي تضاف إلى الخطأ في القراءة تحدب نهاية عمود الزئبق، عدم أنتظام فتحة الانبوب الزجاجي الشعري، حساسية المحرار لتغير الضغط، تغير حجم الاناء الذي يحوي الزئبق بمرور الزمن وبعد استعماله لفترات طويلة في قياس درجات الحرارة العالية.

ويتميز هذا المحرار بصغر سعته الحرارية مما يجعله مناسبا للاستعمال في حالات كثيرة كما أن درجات الحرارة تقرأ بطريقة مباشرة. من أنواع محارير السوائل في الزجاج الاخرى محرار الكحول في الزجاج الذي يستعمل في قراءة الدرجات الحرارية الاعتيادية حيث تمتاز برخصها إذ ان الكحول أرخص من الزئبق ولأجل سهولة قراءة طول عمود الكحول في أنبوب الزجاج يلون بلون مناسب ومن أنواع الكحول المستعملة في درجات الحرارة الواطئة (حيث يصعب أستعمال الزئبق) الكحول الاثيلي الذي يتجمد بدرجة ($114.9^{\circ}C$-) وكحول أن-بنتين (n-pentane) الذي يتجمد بدرجة -) ($131.5^{\circ}C$ ولهذه الانواع من الكحول معاملات تمدد أكبر بكثير من الزئبق.

7-5-4 محارير ضغط البخار

أن محارير ضغط البخار كما يدل عليها اسمها هي محارير تعتمد في بنائها على ضغط بخار بعض السوائل وتصلح هذه المحارير لقياس درجات حرارية واطئة جدا حيث تفشل الانواع الاخرى في قياسها ومن السوائل المستعملة الهيدروجين السائل، ويمكن أستعمال هذا النوع من المحارير لقراءة درجات حرارية تتروح بين ($33^{\circ}K$) و ($13.8^{\circ}K$).

7-5-5 محارير الكاربون وأشباه الموصلات

تمتاز بعض أشباه الموصلات بأزدياد توصيلها الكهربائي عند أرتفاع درجة حرارتها ، ويمكن الاستفادة من هذه العلاقة في قياس درجات حرارية واطئة ومن المواد المستخدمة في صنع محارير أشباه الموصلات الجرمانيوم مضاف اليه كمية قليلة جدا من عنصر الانديوم وكذلك الارسنك الذي يصلح لقراءة درجات حرارية تتروح بين درجة واحدة مطلقة وخمس درجات مطلقة وبحساسية عالية لا تزيد نسبة الخطأ فيها على أكثر من 0.001 درجة مطلقة، ومن المواد الاخرى المستعملة في هذه المحارير عنصر الكاربون ويصلح لقراءة درجات حرارية تتروح بين درجة حرارية مطلقة واحدة وعشرين درجة حرارية مطلقة وبخطأ يصل إلى 0.1 درجة مطلقة.

7-5-6 قياس درجات حرارية أقل من الدرجة المطلقة الواحدة

يمكن قياس درجات حرارية أقل من الدرجة الحرارية المطلقة الواحدة باستعمال بعض الاملاح المسماة البارامغناطيسية حيث أن الممانعة المغناطيسية لمثل هذه الاملاح تتغير مع درجة الحرارة أستناداً الى قوانين معروفة.

7-5-7 بايروميترات الاشعاع

أن المحارير المصنعة لقياس درجات الحرارة العالية جدا تسمى البايروميترات وبصورة خاصة البايروميترات التي تعتمد على قياس الاشعة المنبعثة من الاجسام الحارة فعند أرتفاع درجة حرارة جسم ما إلى درجة حرارة معينة يصبح لونه أحمر أذا استمرت درجة الحرارة بالارتفاع يصبح لونه أصفر وفي الدرجات الحرارية العالية جداً يصبح لونه أبيض وتغير لون الجسم بإرتفاع درجة الحرارة دلالة على تغير شده أشعاعه ونوعيته وتبنى البايروميترات أستنادا على فكرة اعتماد نوعية الاشعاع الصادر من الجسم الحار وشدته على درجة حرارة هذا الجسم وهنالك نوعين من البايروميترات هي بايروميترات الاشعة الكلية والبايروميترات البصرية.

7-6 طرق أنتقال الحرارة

تنتقل الحرارة من جسم الى أخر أو في نفس الجسم بثلاث طرق مختلفة : التوصيل (conduction) والحمل (convection) و الاشعاع (radiation). وفي كل الاحوال لا تنتقل الحرارة من منظومة للوسط المحيط بها إذا كانت لهما نفس درجة الحرارة.

(a) التوصيل :

إذا وضعنا ملعقة معدنية في كوب شاي ساخن فإن يدها تسخن بعد فترة قصيرة مما يعني أن الحرارة انتشرت من أسفلها الى اعلاها بدون أن تتحرك جزئياتها من مكانها. نسمي هذا النوع من أنتقال الحرارة التوصيل. وتحدث هذه الظاهرة عندما يكون هناك فرق في درجة الحرارة بين طرفي الملعقة. ولمعرفة سبب ذلك ننظر للتركيب الذري للمادة فنلاحظ أن الذرات تهتز بسعة صغيرة حول وضع اتزانها في الجسمز فإذا تعرض جزء منه لمصدر حراري فإن سعة أهتزازات الذرات هناك تزداد فتصطدم بالذرات المجاورة لتزيد سعة هذ الاخيرة، وهكذا الى أن تصل الاهتزازت لذرات الطرف البعيد من الجسم فتصير سعة حركتها كبيرة مما يعني ان طاقتها الحركية قد زادت، أي ان درجة حرارتا ارتفعت.

ويعتمد أنتقال الحرارة في الاجسام على نوعية مادة الجسم وخواصه اذ تنتقل الحرارة بسهولة في قطعة حديد بينما يمكن امساك طرف قطعة خشب بالقرب من نار لفترة طويلة دون أن يسخن طرفها البعيد. فالمعادن نواقل جيدة للحرارة ينما يعتبر الخشب والزجاج والفلين والغازات رديئة أو عازلة.

(b) الحمل :

يعني الحمل أنتقال الحرارة من موقع الى أخر بواسطة الحركة الفعلية للمادة الساخنة مثال ذلك سخان الهواء الحار، التسخين بالماء الحار وأنسياب الدم في الجسم ويكون الحمل أضطراريا إذا أجبرت المادة الساخنة على الحركة كأستعمال المروحة

في نقل الهواء الحار أو المضخة لضخ الماء الحار في الانابيب. أمل الحمل الناتج عن أنتقال المادة الساخنة بسبب أختلاف الكثافة فيسمى بالحمل الطبيعي.

إذا سخنا وعاء فإن درجة حرارة طبقاته السفلى ترتفع بسرعة فتزداد الطاقة الحركية للجزئيات هناك وتتباعد عن بعضها وتقل كثافة السائل مما يؤدي لارتفاع هذه الطبقات للاعلى وتحل محلها طبقات السائل الباردة التي كانت فوقها لتتكرر العملية بهذا الشكل ويسخن السائل كله، تسمى طريقة انتشار الحرارة بهذا الشكل **الحمل المحايد** (neutral convection). أما اذا قمنا بتحريك السائل وأجبار الطبقات السفلى على الانتقال نحو الاعلى (كاستخدام ملعقة لتحريك السائل في الوعاء أو مروحة كهربائية لتحريك الهواء في غرفة) فإننا نسمي هذه الطريقة **الحمل القسري** (forced convection)

(C) الإشعاع

إذا قربنا أيدينا من مصباح كهربائي متوهج أو من مكواة كهربائية ساخنة شعرنا بالدفء مع العلم أن الحرارة لم تنتقل الى ايدينا بالحمل أو التوصيل، وكذلك لو عرضنا أجسامنا لأشعة الشمس المباشرة لشعرنا بالدفء علما أن الحرارة لم تصل إلى اجسامنا عن طريق التوصيل أو الحمل ولا يوجد وسط معين بنقل الحرارة من الشمس حيث أن الفضاء بين الشمس والارض هو فراغ تام والذي يحدث هو أن الطاقة الحرارية تنبعث من الاجسام الحارة مثل المصباح و المكواة الساخنة أو من الشمس بشكل موجات كهرومغناطيسية تغطي مدى واسع من أطوال الموجات وأنتقال هذه الموجات هو مايسمى بالاشعاع وعند اصطدام الاشعة بالاجسام الاخرى تمتص هذه الاجسام قسم منها وتتحول الى شكل أخر من أشكال الطاقة والتي تأخذ أعتياديا شكل الحرارة وهكذا تنبعث أولا الموجات من الاجسام الحارة أي عملية تحول جزء من طاقته الحرارية إلى أشعاع حيث ينتقل الاشعاع في الوسط الفاصل بين الاجسام الى الاجسام الاخرى وأخيرا تمتص من قبل هذه الاجسام حيث يتحول مرة أخرى إلى حرارة.

7-7 قانون نيوتن للتبريد Newtons law of cooling

ينص قانون نيوتن للتبريد على أن مجموع ما يفقده الجسم بدرجة حرارة T من حرارة في الثانية الواحدة وبكل الطرق الى المحيط بدرجة حرارة T_0 تتناسب مع $(T - T_0)$ ويصح نفس القانون إذا كان الجسم بدرجة حرارة T اوطأ من درجة حرارة T_0 لمحيطه وفي هذه الحالة تتناسب الحرارة التي يكتسبها الجسم في الثانية الواحدة مع $(T_0 - T)$ ويجب التأكيد أن هذا القانون إنما هو قانون تقريبي فقط.