محاضرات في

الحرارة والثرموداينمك

لطلبة المرحلة الثالثة في قسم الفيزياء

إعداد

الدكتور عدي عطا حمادي

قسم الفيزياء – كلية التربية – الجامعة العراقية

بغداد – العراق

٢٠١٧/٢٠١٦

الفهرست

الجزء الأول – الحرارة

مفاهيم أساسية في الحرارة، درجة الحرارة، أسس قياس درجة الحرارة، مقاييس درجة الحرارة، التحويل من مقياس لآخر، المحارير، الثيرمومتر ومقياس درجات الحرارة، تدرج المحارير، المحرار الغازي ذو الحجم الثابت، محرار المزدوج الحراري، محرار المقاومة الكهربائية، تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة، التمدد الحراري، تمدد الأجسام الصلبة، التمدد الطولي، التمدد السطحي، التمدد الحجمي، تمدد السوائل، تمدد الغازات، السعة الحرارية، مفهوم كمية الحرارة، المكافىء الميكانيكي للحرارة، معدلات تجهيز الطاقة، السعة الحرارية والسعة الحرارية النوعية، طرائق قياس السعة الحرارية النوعية، الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة، الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة، طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد الصلبة، طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد السائلة، الحرارة الكامنة،

الجزء الثاني – الثرموداينمك

مفاهيم أساسية في الثرموداينمك، الحرارة والطاقة الداخلية، الطاقة والشغل، تعريف علم الثرموداينمك، النظام وحدوده، النظام، الحدود، النظام الحقيقي، النظام المثالي، المحيط والكون، النظام المغلق، النظام المفتوح، النظام المعزول، الجدار الأديباتيكي، الجدار الداياثرمي، الاتزان الحراري، خواص النظام، الخواص المركزة، الخواص الشاملة، الخواص التابعة، حالة النظام، العمليات الثرموديناميكية، العملية الأديباتيكية، العملية الأيزوثرمية، العملية الأيزوبارية

الجزء الثالث – نظريات رياضية مفيدة

مقدمة، العلاقة بين المشتقات الجزئية، شروط دالة الحالة، التمددية والانضغاطية، الشغل المنجز خلال عمليات مختلفة، اعتماد الشغل على المسار، الشغل في عملية تغير الحجم، حساب الشغل في عملية منعكسة منتهية، حساب $\int PdV$ لبعض العمليات المنعكسة، أشكال أخرى للشغل، الشغل المعتمد على المسار المتبع

الجزء الرابع – معادلات الحالة

مقدمة، الغاز المثالي، معادلة الحالة للغاز المثالي، أسطح الضغط والحجم ودرجة الحرارة، قانون بويل، قانون شارل، الثابت العام للغازات، اشتقاق معادلة الغاز المثالي، الغاز الحقيقي، معادلة الحالة للغاز الحقيقي، أسطح PVT للغاز الحقيقي، معادلات الغاز الحقيقي، معادلة أونس، معادلة فان دير فالز، تصحيح الضغط، تصحيح الحجم، مناقشة معادلة فان دير فالز، الطريقة العامة لإيجاد الثوابت الحرجة، المعامل الحرج، النظرية الحركية للغازات

الجزء الخامس – القانون الأول في الثرموداينمك

مقدمة، تجارب جول، القانون الأول في الثرموداينمك، تطبيقات على القانون الأول، العملية الأدياباتيكية، العملية تحت حجم ثابت، التمدد الحر، العملية عند درجة حرارة ثابتة، الصيغة التفاضلية للقانون الأول، الانثالبي، معنى الانثالبي، التمدد الحر للغاز، العلاقة بين الطاقة الداخلية والانثالبي، السعة الحرارية، العلاقة بين C_p و C_V للغاز المثالي، النسبة بين C_p و C_V للغاز المثالي، تعيين قيمة النسبة (γ)، طريقة كليمنت-ديزورمز، طريقة ريجهارد، تعديلات رنكل، الطريقة الصوتية، العمليات العكسية الأديباتيكية للغازات المثالية، ميل المنحنيات الأيزوثرمية والأديباتيكية، الشغل المبذول خلال العملية الأيزوثرمية، الشغل المبذول خلال العملية الأديباتيكية، اشتقاق معادلة الشغل المبذول خلال العملية الأديباتيكية

الجزء السادس – القانون الثاني في الثرموداينمك

المقدمة، القانون الثاني في الثرموداينمك، نص القانون الثاني، المحرك الحراري، دورة المحركات الحرارية، كفاءة المحرك، الثلاجة، المضخة الحرارية، دورة كارنو، دورة كارنو العكسية، دورة كارنو والمقياس المطلق لدرجة الحرارة، المقارنة بين كفاءة دورة كارنو وكفاءة دورة تتم بعض العمليات فيها بصورة غير معكوسة

الجزء السابع - الإنتروبي

المقدمة، تعريف الإنتروبي، التعريف الرياضي للإنتروبي، الإنتروبي لغاز مثالي، متباينة كلاوسيوس، تغير الإنتروبي في نظام معزول، مخططات الإنتروبي-درجة الحرارة، مبدأ زيادة الإنتروبي، حساب التغير بالإنتروبي للمواد النقية، دالة هلمهولتز ودالة جبز، علاقات ماكسويل، علاقة كلاوسيوس-كلابيرون، اشتقاق علاقة كلاوسيوس-كلابيرون، تأثير جول، تأثير جول-ثومسون

الجزء الثامن – انتقال الحرارة

آليات انتقال الطاقة في العمليات الحرارية، التوصيل الحراري، العزل الحراري للمنازل، الحمل الحراري، الإشعاع

المصادر

- الديناميكا الحرارية ـ نضال محمد الرشيدات ـ جامعة اليرموك الأردنية.
- الثرموداينمك، سامي مظلوم صالح، وأمجد عبد الرزاق، وعبد المطلب إبراهيم أحمد.
- الديناميكية الحرارية، محمد أحمد سعد الله ونوئيل يوسف قمبر، الجامعة التكنولوجية.

- Physics for Scientists and Engineers 6th edition by Serway
- Fundamentals of Engineering Thermodynamics, by Michael J. Moran and Howard N. Shapiro, 2006.
- Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition, by Yunus A. Çengel and Michael A. Boles.
- Thermodynamics & Kinetics, Lecture notes, MIT Open Course Ware (http://ocw.mit.edu), 2008.
- Concepts in Thermal Physics, by Stephen J. Blundell and Katherine M. Blundell, 2006.
- Theory and Problems of Thermodynamics for Engineers, Schaum's Series, by Merle C. Potter and Craig W. Somerton, 1993.

الجزء الأول –الحرارة

١ – مفاهيم أساسية في الحرارة

درجة الحرارة، أسس قياس درجة الحرارة، مقاييس درجة الحرارة، التحويل من مقياس لآخر

٢ – المحارير

الثيرمومتر ومقياس درجات الحرارة، تدرج المحارير، المحرار الغازي ذو الحجم الثابت، محرار المزدوج الحراري، محرار المقاومة الكهربائية

٣ – تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة

التمدد الحراري، تمدد الأجسام الصلبة، التمدد الطولي، التمدد السطحي، التمدد الحجمي، تمدد السوائل، تمدد الغازات

٤ – السعة الحرارية

مفهوم كمية الحرارة، المكافىء الميكانيكي للحرارة، معدلات تجهيز الطاقة، السعة الحرارية والسعة الحرارية النوعية، طرائق قياس السعة الحرارية النوعية، الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة، الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة، طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد الصلبة، طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد السائلة، الحرارة الكامنة،

١ – مفاهيم أساسية في الحرارة

درجة الحرارة Temperature

يعد مفهوم درجة الحرارة من المفاهيم الأساسية في الفيزياء، شأنه شأن المفاهيم الأساسية الأخرى كالقوى مثلاً. وعلى الرغم من ان الجميع يملك فكرة واضحة أو تصوراً معيناً عن معنى هذا المفهوم وذلك بدلالة أحاسيسه، إلا ان مفهوم درجة الحرارة ليس سهل التعريف والتحديد بدقة.

ومن المفاهيم البسيطة والأولية هو ان درجة الحرارة هي ذلك الشيء المسؤول عن إحساسنا بالسخونة والبرودة. وتُعدُّ حاسة اللمس ابسط طريقة لتميز سخونة وبرودة الأجسام، إذ نستطيع القول ان الجسم X أشدُّ سخونة من الجسم Y ، والجسم Y أشدُّ أو اقلُّ سخونة من الجسم Z وهكذا نستطيع التعبير عن مفهوم درجة الحرارة.

ومن أجل فهم أكثر لمعنى درجة الحرارة، دعنا نأخذ جسماً معيناً وليكن X ذا درجة حرارة معينة T_1 ، كأن يكون بارداً عند لمسه باليد، وجسماً ثانياً مماثلاً للأول تماماً وليكن Y وذا درجة حرارة معينة T_2 ، كأن يكون ساخناً عند لمسه باليد. فإذا وُضع الجسمان في حالة اتصال حراري، فإن الجسم الساخن يبرد، أي تنخفض درجة حرارته بينما يسخن الجسم البارد أي ترتفع درجة حرارته، وبعد مرور فترة كافية من الزمن فإن كل من الجسمين X و Y سيؤلان إلى الدرجة الحرارية نفسها، وعندها يمكن القول بأن الجسمين أصبحا في حالة توازن حراري. ويمكن توضيح ذلك بافتراضنا ان هناك شيء ما، نسميه الحرارة Heat (وهي نوع من أنواع الطاقة) قد تنساب من الجسم الساخن إلى داخل الجسم البارد. وهذا المثال مشابه إلى ربط وعاءين يحتويان على الماء بمستويات مختلفة، بأنبوب، إذ نجد أن الماء سينساب خلال الأنبوب من الوعاء الذي يحتوي على سائل ذات مستوى أعلى إلى الوعاء الحاوي على السائل بمستوى أقل.

ومن هذا يتضح لنا بأن درجة حرارة الجسم (أو النظام) تأخذ القيمة نفسها التي تؤول إليها قيم درجات الحرارة المختلفة لتلك الأجسام (أو الأنظمة)، إذا وضعت هذه الأجسام (أو الأنظمة) سوية وباتصال حراري مباشر. ان هذا الشرح أو التفسير يتطابق مع فكرة ان درجة الحرارة هي مقياس لسخونة أو برودة الأجسام (أو الأنظمة)، فضلاً عن انه يقود أيضاً إلى معنى أساس آخر لدرجة الحرارة وهو أنها خاصية ما للمادة تؤول إلى نفس قيمتها في مواد أخرى عندما توضع هذه المواد في حالة اتصال حراري ويتحقق التوازن الحراري.

فضلاً عما تقدم فإنه يمكن اعتبار درجة الحرارة كمقياس للنشاط الحراري لذرات أو جزيئات المادة. وتعرّف على أنها مقياس للطاقة الحركية (أو الاهتزازية) لذرات أو جزيئات المادة. ويعبّر عن درجة الحرارة بالدرجة السليزية (أو المئوية) ^oC أو بالدرجة الفهرنهايتية ^oF أو بالدرجة الكلفنية (أو المطلقة) K

أسئلة للتفكير

(1) هل من الممكن أن يكون هناك جسمين في حالة اتزان حراري إذا لم يكونوا في حالة اتصال مع بعضهما البعض؟ اشرح ذلك.

(2) ألقيت قطعة من النحاس في دورق به ماء. إذا كانت درجة حرارة الماء تزداد، ماذا يحدث لدرجة حرارة النحاس.؟ تحت هذه الظروف هل الماء والنحاس في حالة اتزان حراري؟

(3) المطاط له متوسط معامل تمدد طولي سالب. ماذا يحدث لحجم قطعة من المطاط عندما تسخن قليلاً؟

(4) اشرح لماذا عمود الزئبق في الترمومتر ينخفض قليلا في البداية ثم بعد ذلك يرتفع عندما يوضع الترمومتر في حوض ماء ساخن؟

(5) لماذا يجب أن تستخدم حشوة الأسنان لها نفس معامل التمدد للأسنان؟ ماذا يحدث لو كان معامل التمدد لهما غير متساوي؟

تجنب خطأ شائع

الحرارة ودرجة الحرارة والطاقة الداخلية مختلفين

عندما تقرأ الجريدة أو تستمع إلى الراديو، كن حذراً لاستخدام التعابير غير الصحيحة والتي تشمل كلمة الحرارة، وفكر في الكلمة المناسبة التي يجب أن تستخدم بدل كلمة الحرارة. فعلى سبيل المثال، نسمع كثيراً "عندما توقفت السيارة، فإن كمية كبيرة من الحرارة تولدت بواسطة الاحتكاك"، ومثل ذلك، "الحرارة في يوم صيف ساخن...".

أسس قياس درجة الحرارة

تعتمد الخواص الفيزيائية للمادة على درجة الحرارة، وتتغير هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة. ومن هذه الخواص حجم المادة ومقاومة السلك الكهربائية وطول القضيب المعدني وضغط الغاز المحفوظ تحت حجم ثابت وحجم الغاز المحفوظ تحت ضغط ثابت ولون سلك التسخين في المصباح الكهربائي، وغيرها. لقد استعان العلماء على العلاقة بين أي من هذه الخواص الفيزيائية ودرجة الحرارة في بناء مقياس مناسب لدرجة الحرارة (محرار). ان بناء أي مقياس لدرجة الحرارة يعتمد أساسا على الاختيارات الآتية :

١- اختيار المادة المحرارية المناسبة.

٢- اختيار الصفة المحرارية المناسبة لتلك المادة.

٣- اختيار المدى المناسب لدرجات الحرارة التي يراد قياسها.

٤- الافتراض بأن الصفة المحرارية المختارة تتغير باستمرار مع تغير درجة الحرارة.

ان استحضار النقاط الآنفة الذكر مهم جداً عند بناء أي مقياس لدرجات الحرارة. فيمكن ان تكون صفة محرارية مناسبة لمدى معين من درجة الحرارة دون غيرها.

فلو فرضنا ان العلاقة بين الخاصية الفيزيائية المحرارية المختارة X ، ودرجة الحرارة المطلقة T يمكن كتابتها بالعلاقة الخطية الآتية:

$$T = aX \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

١. إذ ان a تمثل كمية ثابتة، بالا مكان تحديد قيمتها عند القيام ببناء أي محرار لقياس درجة الحرارة. ان المعادلة (١) تشير إلى نقطتين مهمتين هما:

١- ان الفروق المتساوية في درجة حرارة المادة ينتج عنها تغيرات متساوية المقدار في قيمة الخاصية الفيزيائية المحرارية المختارة X .

٢- ان النسبة بين أية درجتين حراريتين تساوي النسبة بين قيمتي الخاصية الفيزيائية عند تلكما الدرجتين الحراريتين، وبتعبير آخر فإن

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{X_1}{X_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ ان X_1 و X_2 تمثلان مقدار خاصية المادة الفيزيائية عند الدرجتين T_1 و T_2 على التعاقب. أما قيمة الثابت a فإنها تملك نفس القيمة عند T_1 و T_2 ، ولذلك فإنها لا تظهر في المعادلة (٢).

ان استخدام العلاقات السابقة يحتم علينا ملاحظة النقاط المهمة الآتية:

١- ان قيم درجات الحرارة المتأتية من اختيارنا لمقياس معين يعتمد على مادة معينة وخاصية محرارية معينة ليس بالضرورة ان تكون متطابقة مع قيم درجات الحرارة المتأتية من مقياس آخر يعتمد على مادة أخرى وخاصية محرارية أخرى.

٢- إذا حدث تطابق بين قيم درجات الحرارة المتأتية من مقياسين مختلفين في مدى معين من درجات الحرارة فإنه ليس من الضروري ان يحدث التطابق في مدى آخر لدرجات الحرارة.

٣- ان العلاقة الخطية في (٢) لا تصح لجميع مديات درجات الحرارة، وهذا يعني ان قيمة الثابت a لا تكون نفسها عند جميع درجات الحرارة.

ويمكن إعادة كتابة المعادلة (٢) على النحو الآتي:

$$T_1 = T_2 \frac{X_1}{X_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

فإذا فرضنا ان قيمة خاصية المادة X_2 عند النقطة الثلاثية للماء T_2 والمساوية إلى K 273.16 فإن المعادلة (٣) يمكن تبسيطها إلى الصيغة الآتية:

$$T_1 = 273.16 \frac{X_1}{X_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

ان العلاقة الأخيرة يمكن تعميمها على أي نوع من المحارير يراد استخدامه، وكما يأتي:

للمحارير السائلة $$T(L) = 273.16 \frac{L}{L_O}$$

للمحارير الغازية ذات الحجم الثابت $$T(P) = 273.16 \frac{P}{P_O}$$

للمحارير الغازية ذات الضغط الثابت $$T(V) = 273.16 \frac{V}{V_O}$$

$$T(R) = 273.16 \frac{R}{R_O}$$ ولمحارير المقاومة الكهربائية

$$T(\varepsilon) = 273.16 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_O}$$ ولمحارير المزدوجات الحرارية

وهكذا لأي نوع من المحارير.

حيث ان L_O , P_O , V_O , R_O , ε_O تمثل قيم الخاصية المعنية عند درجة الحرارة 273.16 K

يعتمد قياس درجات الحرارة الواطئة عادة على استخدام أحد أنواع محارير المقاومة، والذي غالباً ما يتم اختيار نوع معين منها لمدى معين من درجات الحرارة، الواطئة، لأنه لايوجد محرار مقاومة واحد يكون استخدامه كفوءاً لجميع الحرارة الواقعة بين 1K إلى درجة حرارة الغرفة 300K. فيستخدم محرار مقاومة البلاتين في مدى درجات الحرارة 200K− إلى 1000K ويستخدم محرار مقاومة شبه الموصل لمدى درجة الحرارة بين 2K إلى 20K . كذلك يستخدم محرار مقاومة الكاربون في مديات مختلفة لدرجات، مثلاً بين 0.1K إلى 20K . أما لدرجات الحرارة الأقل من 1K فغالباً ماتستخدم صفة التأثيرية المغناطيسية لأحد الأملاح البارامغناطيسية كمحرار لدرجة الحرارة. أما القوة الدافعة الكهربائية لمعظم المعادن فإنها تصبح قليلة جداً لأجل استخدامها في المزدوجات الحرارية ولا توفر دقة عالية في القياس. وتعتمد كفاءتها على نوع المزدوج الحراري ومدى درجات الحرارة الذي يستخدم فيه محرار المزدوج الحراري. أما لدرجات الحرارة الأعلى من 100K فغالباً ما يستخدم المحرار البارومتري (Pyrometer) .

مقاييس درجة الحرارة

قبل البدء بشرح عملية بناء المحارير يجب تعيين مقياس درجة الحرارة المناسب وتعيين الطريقة المناسبة لتدرج هذا المحرار. وبصورة عامة هناك ثلاثة مقاييس رئيسة لدرجة الحرارة، وهي كما يأتي:

١- المقياس السليزي The Celsius (Centigrade) Scale (^oC)

٢- المقياس الفهرنهايتي The Fahrenheit Scale (^oF)

٣- المقياس الكلفني The Kelvin Scale (K)

المقياس السيليزي The Celsius (Centigrade) Scale (^oC)

يتم تدريج هذا المقياس وذلك بتعريف نقطة انجماد الماء على أنها تساوي صفر درجة سليزية، 0^oC تحت الضغط الجوي الاعتيادي، ونقطة الغليان على أنها تساوي 100^oC تحت الضغط الجوي الاعتيادي، والطريقة المستخدمة لتدريج المحرار الزئبقي وفق هذا المقياس هي بوضع المحرار الزئبقي في خليط الثلج والماء وتركه مدة كافية حتى يستقر مستوى الزئبق. ويؤشر مستوى الزئبق على انه 0^oC ثم يهيئ خليط البخار والماء ويوضع المحرار داخله فيرتفع مستوى الزئبق ويستقر عند مستوى معين، يؤشر هذا المستوى على انه ١٠٠^oC ثم تقسم المسافة بين العلامتين 0^oC و 100^oC إلى ١٠٠ جزء متساوٍ كل جزء سيمثل تغيراً في درجة الحرارة مقداره درجة سليزية واحدة 1^oC . ويمكن توسيع مدى المحرار المذكور وذلك بإضافة المسافات نفسها قبل النقطة 0^oC من اجل الحصول على الدرجات الحرارية الأقل من 0^oC، وبعد النقطة 100^oC للحصول على الدرجات الحرارية الواقعة بعد 100^oC.

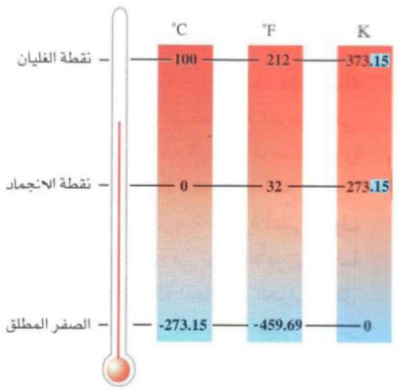
المقياس الفهرنهايتي The Fahrenheit Scale (^{o}F)

يعد المقياس الفهرنهايتي من مقاييس درجة الحرارة المعروفة. ان مسافة درجة الحرارة الفهرنهايتية على المقياس تساوي ($\frac{5}{9}$) مسافة درجة الحرارة السليزية. ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي ٣٢ درجة فهرنهايتية ($32^{o}F$)، ودرجة غليان الماء تساوي $212^{o}F$. وتقسم المسافة بين النقطتين إلى ١٨٠ جزءاً متساوياً. وان طريقة تدريجه هي طريقة تدرج المقياس السليزي نفسها.

المقياس الكلفني The Kelvin Scale (K)

يعد المقياس الكلفني المقياس العلمي الأساس لدرجة الحرارة والذي على أساسه يتم تعريف المقياس السليزي. يشبة المقياس الكلفني في تقسيماته المقياس السليزي، ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي ٢٧٣,١٥ درجة كلفنيه، وغالباً ما تأخذ على أنها مساوية الى 273 K ، أما درجة حرارة غليان الماء فإنها تساوي 373.15 K درجة كلفنية تحت الضغط الجوي الاعتيادي.

ومن هذا يتبين ان المسافة بين النقطتين مقسمة إلى ١٠٠ جزء متساو، كما هي الحالة في المقياس السليزي، فضلاً عن ان تساوي الدرجة الكلفنية مع الدرجة السليزية. يوضح الشكل (١) هذه المقاييس الثلاثة والدرجات الحرارية المهمة فيها:



الشكل (١) يمثل تخطيطاً مبسطاً للمقاييس الثلاثة

من بين كل هذه التدريجات التي تحدثنا عنها من قبل، تدريج كلفن هو الوحيد الذي يعتمد على قيمة فعلية لدرجة الحرارة صفر. أما التدريج السيليزي والفهرنهايتي يعتمدان على قيمة اختيارية للصفر ترتبط بمادة معينة هي الماء والموجود فقط على الأرض. لهذا، إذا قابلت معادلة تتضمن درجة الحرارة T فيها أو تتضمن النسبة بين درجات الحرارة، فانه عليك أن تحول كل درجات الحرارة إلى تدريج كلفن. وإذا كانت المعادلة تتضمن التغير في درجة الحرارة ΔT، فان استخدام التدريج السيليزي سوف يعطيك نتيجة صحيحة، كما هو موضح في المعادلة 3.19، ولكن من الأفضل أن تقوم بتحويل درجة الحرارة إلى تدريج كلفن على كل الأحوال.

سؤال للتفكير 2.19

افترض الأزواج التالية من المواد. أي من هذه الأزواج يمثل مادتين، واحدة درجة حرارتها أكثر بمرتين من الأخرى؟ (a) ماء يغلي عند 100°C، وكوب من الزجاج به ماء عند 50°C (b) ماء يغلي عند 100°C، وكحول الميثان متجمد عن درجة حرارة 50°C- (c) قطعة مكعبة من الثلج عند درجة حرارة 20°C-، ولهب عند درجة حرارة 233°C (d) لا يوجد أي زوج من المواد درجة حرارته ضعف درجة حرارة الأخر.

التحويل من مقياس لآخر

يمكن تحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر النسبة الاتية:

$$\frac{^{o}C-0}{100}=\frac{K-273}{100}=\frac{^{o}F-32}{180}$$

١- من المقياس السليزي إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في المعادلات الآتية:

$$^{o}\mathrm{F}=\frac{9}{5}\,^{o}\mathrm{C}+32 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

أو

$$^{o}\mathrm{C}=\frac{5}{9}(\,^{o}\mathrm{F}-32) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

٢- من المقياس السليزي إلى المقياس الكلفني وبالعكس كما في المعادلات الآتية:

$$\mathrm{K}=\,^{o}\mathrm{C}+273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

أو

$$^{o}\mathrm{C}=\mathrm{K}-273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

٣- من المقياس الكلفني إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في العادلات الآتية:

$$^{o}\mathrm{F}=\frac{9}{5}(\mathrm{K}-273)+32 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

أو

$$\mathrm{K}=\frac{5}{9}(\,^{o}\mathrm{F}-32)+273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

مثال 1.19 تحويل درجات الحرارة

في احد الأيام عندما وصلت درجة الحرارة إلى 50°F، ما مقدار درجة الحرارة على التدريج السيليزي وتدريج كلفن؟

الحل: بالتعويض في المعادلة 2.19، نحصل على

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

من المعادلة 1.19، نحصل على

$$T = T_C + 273.15 = 10^\circ C + 237.15$$
$$= 283K$$

مثال 2.19 تسخين وعاء به ماء

وعاء به ماء سخن من درجة حرارة 25°C إلى 80°C، ما هو مقدار التغير في درجة الحرارة على تدريج كلفن وعلى التدريج الفاهرنهيتي؟

الحل: من المعادلة 3.19، نرى إن التغير في درجات الحرارة على التدريج السيليزي يساوي التغير في درجات الحرارة على تدريج كلفن وعليه

$$\Delta T = \Delta T_C = 80^\circ C - 25^\circ C = 55^\circ C = 55K$$

من المعادلة 3.19، نحصل على

$$\Delta T_F = \frac{5}{9}\Delta T_C = \frac{5}{9}(55^\circ C) = 99^\circ F$$

(1) في ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت، كان الضغط 0.980atm عند درجة حرارة 20.0°C. (a) ما هي قيمة الضغط عند 45.0°C؟ (b) ما هي درجة الحرارة إذا كان الضغط يساوي 0.500atm؟

(2) سائل النيتروجين درجة غليانه -195.81°C عند الضغط الجوي. عبر عن هذه الدرجة (a) بمقياس فهرنهايت و (b) بمقياس كلفن.

Answer: (a) -320°F (b) 77.3K

(3) حول درجات الحرارة التالية بالمقياس السيليزي ومقياس كلفن: (a) درجة حرارة الإنسان الطبيعية، 98.6°F، (b) درجة الحرارة في يوم بارد -5.00°F.

(4) فرق درجة الحرارة بين داخل محرك السيارة وخارجه هو 540°C. عبر عن الفرق في درجات الحرارة بـــ (a) مقياس فهرنهايت و (b) مقياس كلفن.

Answer: (a) 810°F (b) 450K

٢ – المحارير

الثيرمومتر ومقياس درجات الحرارة Thermometer and temperature Scale

الثيرموميتر هو أداة تستخدم لقياس درجات الحرارة، والثيرمومتر يعمل من خلال تغير احد الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة مثل خاصية تمدد الاجسام مع زيادة درجة الحرارة وتغير الضغط أو مقاومة السلك الكهربي بتغير درجات الحرارة. وفيما يلي نذكر الأنواع المختلفة للثرمومتر

Physical property	Material	Type of thermometer
Change in length	Mercury or Alcohol	(1) Liquid thermometer
Change in pressure	Hydrogen	(2) Gas Thermometer
Change in resistance	Platinum	(3) Resistance thermometer
Change in electric potential	Chromel and Alumel	(4) Thermocouple thermometer
Change in radiation colour	Pyrometer	(5) Radiation Thermometer
Change in susceptibility		(6) Magnetic thermometer

من الجدول السابق نجد أنه يمكن تصميم عدة أنواع من مقاييس درجات الحرارة بالاعتماد على تغير الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة. ولعمل ذلك يمكن أن يكون هناك تدريج محدد لقياس درجة الحرارة حيث أن كل خاصية فيزيائية مما سبق تتغير بعلاقة محددة مع تغير درجة الحرارة وبالتالي يكون في النوع الأول من مقياس درجة الحرارة حيث تتمدد مادة الزئبق بزيادة درجة الحرارة أو ازدياد الضغط أو المقاومة بزيادة درجة الحرارة كما في النوعين الثاني والثالث في الجدول أعلاه، ولهذا لابد من إيجاد مقياس أو تدريج يعبر عن درجة الحرارة بغض النظر عن تغير الخاصية الفيزيائية ممن هذه التدريجات المقياس المئوي أو مقياس الفهرنهايت أو المقياس المطلق.

تدرج المحارير Calibration of Thermometers

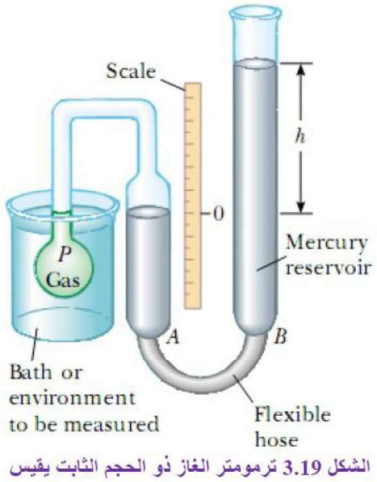
ان عملية تدرج المحارير تعني تعيين قيمة الثابت (a) لأي نوع منها. وهذه العملية تتطلب اختيار نقطة أساس (قياسية) ثابتة لدرجة الحرارة، وتم الاتفاق على اختيار النقطة الثلاثية للماء لهذا الغرض. وتعرف النقطة الثلاثية للماء على أنها: درجة الحرارة التي يتواجد عندها الجليد (صلب) والماء (سائل) والبخار (غاز) معاً في آن واحد وفي حالة توازن حراري تحت ضغط ثابت يعادل (4.6 mm Hg). وقد اتفق على ان تكون درجة الحرارة (273.16K) هي الدرجة الحرارية التي تمثل النقطة الثلاثية للماء.

ويجب ملاحظة ان قراءة جميع أنواع المحارير لدرجة الحرارة عند النقطة الثلاثية للماء يجب ان تكون نفسها.

المحرار الغازي ذو الحجم الثابت The Constant Volume Gas Thermometer

يتكون المحرار الغازي ذو الحجم الثابت من وعاء زجاجي او معدني يسمى أحيانا بـ (البصلة). يتصل بأنبوبة زجاجية – يمكن ان تكون أنبوبة شعرية – إلى المانومتر (مقياس زئبقي). تحتوي البصلة على الغاز أو الهواء، توضع البصلة في وعاء خارجي يمثل الوسط أو المحيط المراد قياس درجة حرارته، انظر الشكل (٢). يتم استخدام هذا المحرار وذلك بجعل مستوى الزئبق في جهتي المانومتر متساوية ويتم تأثيرها بين النقطتين. وفي هذه الحالة سيكون الضغط المسلط على الغاز المحصور في البصلة مساوياً للضغط الجوي. ثم نغمر البصلة في المحيط المراد قياس درجة حرارته. فإذا كان المحيط

ساخناً أدى إلى تمدد الغاز المحصور في البصلة، الذي سيقوم بدفع الزئبق مؤدياً إلى انخفاض مستواه في الجهة اليسرى من المانومتر، وبالعكس إذا كان الوسط بارداً أدى إلى تقلص الغاز في البصلة والى ارتفاع مستوى الزئبق في الجهة اليسرى من المانومتر. وبعد حصول التوازن الحراري يرتفع أو ينخفض مستوى الزئبق (وذلك بخفض أو رفع الجهة اليمنى من المانومتر) إلى أن يصل مستوى الزئبق في الجهة اليسرى إلى نقطة المؤشرة قبل غمر البصلة في المحيط. تسجل قراءة (ارتفاع) مستوى الزئبق في الجهة اليمنى من المانومتر. ويقصد بالارتفاع هنا الفرق بين مستويات الزئبق في جهتي المانومتر ولتكن (h).



الشكل 3.19 ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت يقيس الضغط للغاز المحصور في الدورق المغمور في الحوض. يتم الحفاظ على حجم الغاز في الدورق ثابتاً عن طريق التحكم في ارتفاع المستودع B ليكون مستوى الزئبق في العمود A ثابتاً.

الشكل (٢) المحرار الغازي ذو الحجم الثابت

ان الضغط المسلط على الغاز في هذه الحالة سيكون مساوياً الى الضغط الجوي زائداً ضغط عمود الزئبق والذي يساوي $\rho g h$ ، حيث ان ρ تمثل كثافة الزئبق و g التعجيل الأرضي.

هناك أسباب تؤدي إلى عدم دقة قراءة درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار ومن أهمها:

١- تمدد أو تقلص البصلة الذي يسبب تغير في حجم الغاز المحصور بداخلها. إذ غالباً ما يتم إهمال هذا التغير من حجم الغاز أو البصلة.

٢- الاختلاف الحاصل بين درجتي حرارة الغاز المحصور في البصلة والغاز المحصور في الأنبوبة الموصلة إلى المانومتر.

ولأجل إيجاد قيمة درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار تستخدم المعادلة الآتية:

$$T(P) = 273.16 \frac{P}{P_O}$$

وتكون القراءة بالدرجة الكلفنية، كما ان الحجم (V) يبقى ثابتاً.

وقد وجد عملياً بان المحارير الغازية المختلفة التي تستخدم غازات مختلفة تسجل قراءات مختلفة للدرجة الحرارية نفسها ويستثنى من هذه، الحالة التي يصبح فيها الضغط P_o مساوياً أو مقارباً للصفر.

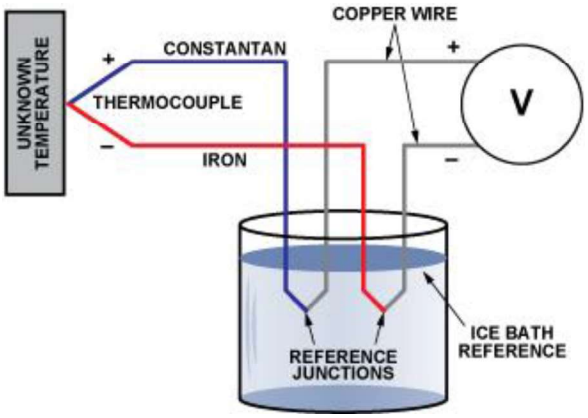
محرار المزدوج الحراري The Thermocouple Thermometer

يتكون محرار المزدوج الحراري من سلكين مصنوعين من مادتين مختلفتين كالنحاس والكونستنتات أو النحاس والحديد أو البلاتين والروديوم وغيرها. يتصل السلكان اتصالاً جيداً في نهايتهما فقط انظر الشكل (٣). ان أساس عمل هذا المحرار يعتمد على توليد القوة الدافعة الكهربائية نتيجة لاختلاف درجتي حرارة النهايتين المتصلتين. ان قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تعتمد على عدة عوامل منها:

١- مقدار الفرق بين درجتي حرارة نهايتي المزدوج الحراري.

٢- نوع المواد المصنوع منها المزدوج الحراري.

يتم تدريج محرار المزدوج الحراري بوضع إحدى نقطتي الاتصال في خليط الجليد والماء وتبقى ثابتة ثم تغير درجة حرارة النقطة الثانية وتقرأ قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند كل درجة حرارة بوساطة المجهاد (الفولتميتر). ان العلاقة بين قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ودرجة الحرارة علاقة غير خطية، وبرسم قيم القوة الدافعة الكهربائية ضد درجة الحرارة يمكن الحصول على منحني تدرج المزدوج الحراري. كما ويمكن عمل جدول بتلك القيم.



الشكل (٣) محرار المزدوج الحراري

ومن مميزات محرار المزدوج الحراري ما يأتي:

١- سرعة وصوله الى حالة التوازن الحراري مع الجسم المراد قياس درجة حرارته وذلك لانخفاض سعته الحرارية.

٢- المدى الواسع لدرجات الحرارة التي يمكن قياسها (من $-250^{o}C$ إلى حوالي $1500^{o}C$) بشرط استخدام المواد المناسبة لكل مدى.

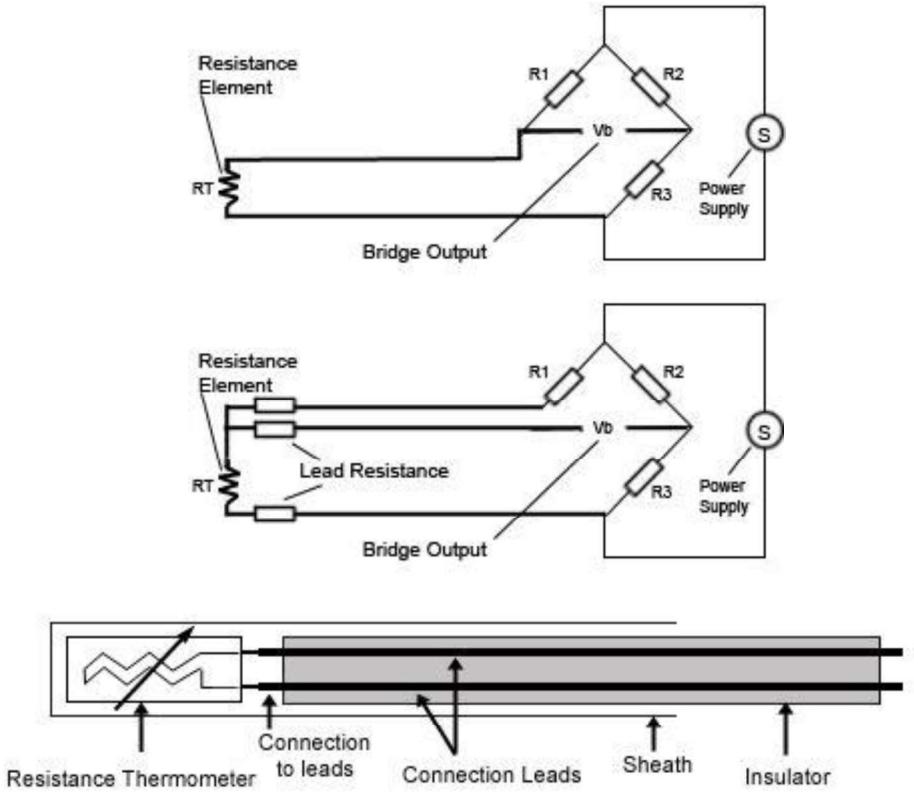
٣- صغر حجمة ودقته العالية نسبياً.

٤- يستخدم كثيراً في الصناعة وفي المجالات التي تتطلب تحديد موضعي(نقطي) لدرجة الحرارة وتعاني تغيراً سريعاً في درجات الحرارة.

محرار المقاومة الكهربائية The Electrical Thermometer

يتكون محرار المقاومة الكهربائية من سلك من مادة البلاتين ملفوف بصورة مزدوجة حول مادة عازلة كهربائياً، يوضع في أنبوبة مصنعة من مادة جيدة التوصيل الحراري كالفضة أو النحاس للمحافظة عليه من التأثيرات الخارجية. أما محرار

المقاومة الكهربائية المستخدم لأغراض العرض المختبري فيتكون من سلك من النحاس ملفوف حول مادة عازلة من المايكا موضوع داخل انبوبة اختبار مملؤة بمادة الزيت، ويستخدم هذا النموذج لأغراض تدريب الطلبة على كيفية تدريج محرار المقاومة. تستخدم مقاومة السلك الكهربائية كخاصية محرارية يتم قياسها والاستدلال بها على درجة الحرارة. وقد وجد ان العلاقة بين المقاومة الكهربائية للسلك المعدني ودرجة الحرارة علاقة غير خطية في مديات درجات الحرارة المختلفة. لأجل قياس قيمة المقاومة يربط طرفا السلك إلى قنطرة وتستون، إذ تربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (٤).



الشكل (٤) محرار المقاومة الكهربائية (ثنائي الأسلاك، ثلاثي الأسلاك، التصميم النموذجي)

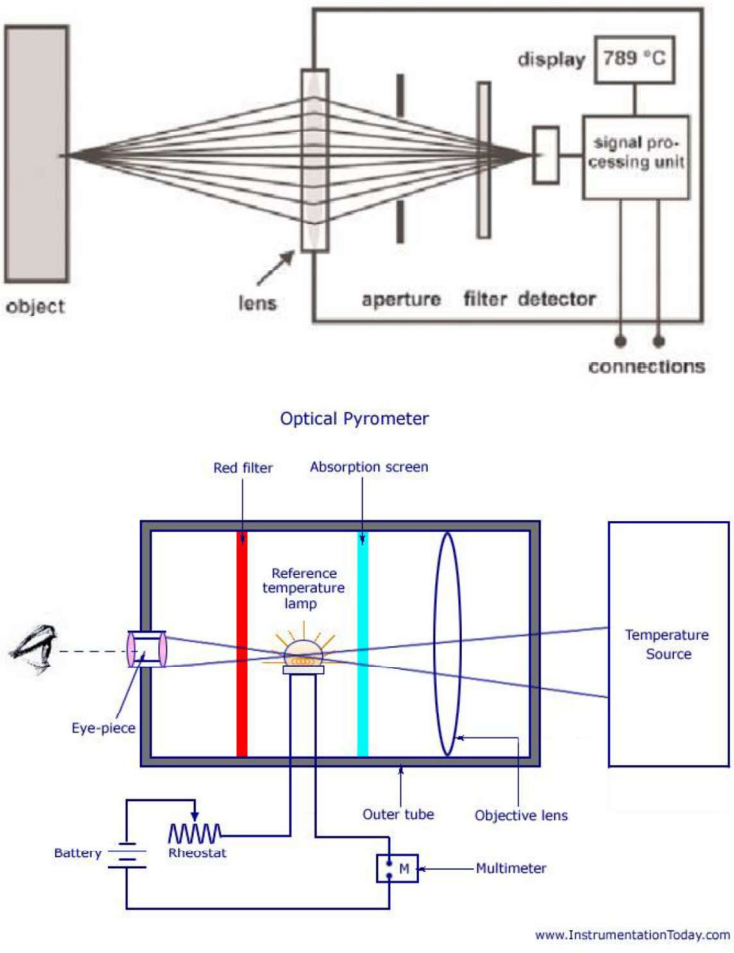
تختار المقاومتان A و B متساويتين ويجرى تغيير قيمة المقاومة S حتى تصل الدائرة الكهربائية إلى حالة الاتزان (قراءة الكفانومتر تؤشر صفر)، وعندها تكون قيمة المقاومة S مساوية إلى قيمة مقاومة المحرار R . وتستخدم قيمة R لأجل الحصول على درجة الحرارة. ان استخدام قنطرة وتستون يفيد في تعيين قيمة مقاومة المحرار بدقة عالية والتي بدورها تؤدي إلى تحديد دقيق لدرجة الحرارة. يستخدم هذا النوع من المحارير في درجات الحرارة الواطئة. ومن مميزات محرار المقاومة ما يأتي:

١- يستخدم لمديات واسعة من درجات الحرارة (من $-200^{o}C$ إلى أكثر من $1000^{o}C$).

٢- دقيق جداً، ويفيد في التغيرات البطيئة لدرجات الحرارة.

ولكنه لا يكون كفوءاً في قياس تغيرات درجات الحرارة السريعة، وذلك لحاجته إلى وقت كاف للوصول إلى حالة التوازن الحراري، بسبب سعته الحرارية العالية (حرارته النوعية كبيرة).

البابرومتر: جهاز يستخدم لقياس درجات الحرارة العالية. لأنه لا يكون على اتصال بالجسم المراد قياس درجة حرارته كما في الأجهزة التي تم وصفها. والتقنية المستخدمة هي تحليل الضوء المرئي القادم من المادة إذ أن لون وشدة الضوء، ذا علاقة بقيمة درجة الحرارة. يمر تيار في فتيل المصباح حتى يتوهج، بعدها يوضع مرشح بين المراقب والجسم، مثلاً فرن، مطلوب قياس درجة حرارته يرتب التيار حتى ينخفض الفتيل مع ملاحظة ارضية الجسم المطلوب قياس درجة حرارته، عندئذٍ يتم قياس التيار في الفتيل ويتم حساب درجة الحرارة.



مخطط توضيحي لتصميم البايرومتر

٣- تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة

تكون الذرات والجزيئات المكونة للمادة في حالة تذبذب مستمر حول مواقع استقرارها، إذ تتحرك ذهاباً وإيابا فتتجاذب أو تتنافر فيما بينها بصورة مستمرة. ان الطاقة الكلية لهذه الذرات أو الجزيئات تسمى بالطاقة الداخلية Internal Energy . تمثل الطاقة الداخلية جميع أنواع الطاقات التي تملكها الذرات أو الجزيئات المكونة للمادة، كالطاقة الحركية والدورانية والكيميائية والنووية وغيرها.

إن عملية رفع درجة حرارة المادة يعني تزويدها بالطاقة الحرارية، اما عملية خفض درجة الحرارة المادة فتعني سحب مقدار من الطاقة الحرارية. ان كمية الطاقة التي يجب تجهيزها أو سحبها من المادة تعتمد على عدة عوامل منها:

١- كتلة المادة.

٢- مقدار الارتفاع أو الانخفاض (مقدار التغير) في درجة حرارة المادة.

٣- الحرارة النوعية للمادة.

أما في عمليات الغليان والانصهار والتسامي التي تمر بها المواد، فان كمية من الطاقة الحرارية سوف تمتص من دون ان تسبب أية زيادة في درجة حرارة المادة. وفي حالة عمليات التكاثف والانجماد فان مقداراً من الطاقة الحرارية سوف يتحرر مع بقاء درجة حرارة المادة ثابتة.

ومن خلال دراسة عمليات التسخين والتبريد والعمليات التي تمر بها المادة كالغليان والانصهار والتكاثف والتسامي والانجماد يمكن استنتاج بعض النقاط المهمة:

١- تقوم الطاقة الحرارية المزودة للمادة بزيادة الطاقة الحركية أو الاهتزازية لذرات أو جزيئات المادة مما يؤدي الى رفع درجة حرارتها، والعكس صحيح. مع ملاحظة ان المادة تبقى محافظة على حالتها سوءا كانت صلبة أم سائلة أم غازية.

٢- ان امتصاص أو تحرير الطاقة الحرارية خلال عمليات الغليان والانصهار والتسامي والتكاثف والانجماد لا يؤدي الى زيادة أو خفض درجة حرارة المادة، بل ان درجة الحرارة تبقى ثابتة طيلة فترة عملية التحول في حالة المادة. ان الطاقة الحرارية التي تمتصها المادة تستخدم في تلين أو تكسر الأواصر التي تربط بين ذرات أو جزيئات المادة. ويحدث العكس عند تكوين وبناء هذه الأواصر.

وما يخص درجة الحرارة هو الطاقة الحركية (الاهتزازية) للذرات أو الجزيئات والتي تعتمد بصورة مباشرة على درجة حرارة المادة. فعند تلامس مادتين متشابهتين ولكنهما مختلفتان في درجة حرارتيهما، فان ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة العالية تفقد كمية من طاقتها إذ تكتسبها ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة الأوطأ، أي ان المادة الأولى تبرد والثانية تسخن. ان الطاقة التي تنتقل من الجسم ذي درجة الحرارة العالية (طاقة اهتزاز ذراته اكبر) إلى الجسم ذي درجة الحرارة المنخفضة (طاقة اهتزاز ذراته أقل) نتيجة لفرق درجتي حرارتيهما تسمى بالطاقة الحرارية. ان انسياب الطاقة الحرارية بين المادتين يستمر إلى ان تصبح درجتا حرارة المادتين متساويتين. وبتعبير آخر إلى ان يتساوى معدل الطاقة الاهتزازية لذرات أو جزيئات المادتين.

التمدد الحراري **Thermal Expansion**

ان تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الأخرى للمادة ومن ابرز هذه التغيرات هو تغير أبعاد المادة أو تغير حالتها. ان رفع درجة حرارة المادة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها أو جزيئاتها وعندها تزداد سعة اهتزاز تلك الجسيمات، وهذا معناه زيادة معدل أو متوسط المسافة بين الذرات أو الجزيئات، أي ان جميع أبعاد المادة سوف تتغير،

تزداد بارتفاع درجة حرارتهما وتنكمش بانخفاض درجة حرارتها (عدا بعض الاستثناءات مثل الماء الذي يتقلص حجمه عند رفع درجة حرارته من 0^oC إلى 4^oC). وتسمى ظاهرة تغير أبعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدد الحراري. ولأجل تفادي المشاكل التي يسببها التمدد الحراري تترك فواصل بين قضبان السكك الحديدية وخرسانة الطرق السريعة.

تمدد الأجسام الصلبة

التمدد الطولي (Linear expansion α)

ان التغير الذي يحصل في أي بعد من أبعاد المادة الصلبة كالطول والعرض والارتفاع نتيجة لتغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد الطولي. وقد ثبت عملياً ان الزيادة الحاصلة في طول المادة الصلبة (ΔL) والناتجة عن زيادة درجة حرارة المادة (ΔT) يتناسب طردياً مع كل من طول المادة (L_o) ومقدار التغير في درجة حرارتها (ΔT)، أي ان

$$\Delta L \propto L_o \Delta T$$

$$\Delta L = \alpha\ L_o \Delta T \qquad \text{..... (11)}$$

إذ ان (α) تمثل ثابت التناسب وتسمى بمعامل التمدد الحراري الطولي. يعرف معامل التمدد الطولي (α) : على انه الزيادة في طول المادة لوحدة الأطوال نتيجة لتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارية واحدة. ويمكن أعادة كتابة المعادلة (١١) بالصيغة الآتية:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_o}{\Delta T}$$

وبما ان $\Delta L = L - L_o$

فان الطول الجديد (L) عند أية درجة حرارية (T) يساوي

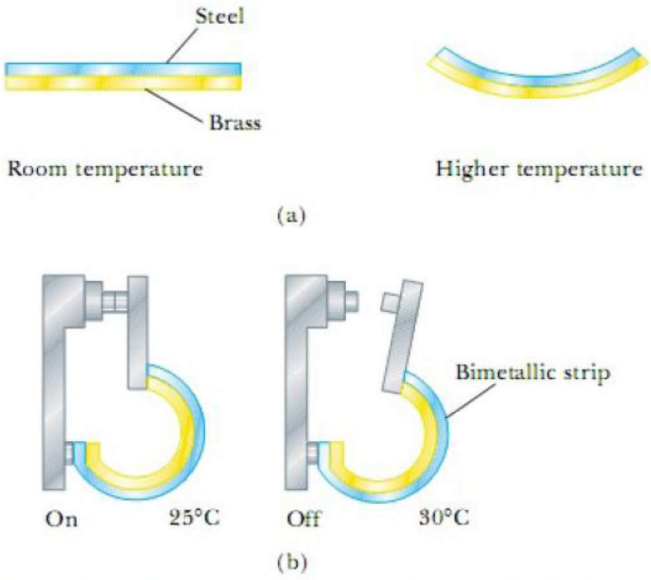
$$L = L_o (1 + \alpha\ \Delta T) \qquad \text{..... (12)}$$

ان وحدة معامل التمدد الطولي هي مقلوب درجة الحرارة، أي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$ وذلك نتيجة لاختصار وحدات الطول مع بعضها.

ان قيمة معامل التمدد الطولي تعتمد على نوع المادة المستخدمة، وان قيمتها ليست ثابتة تماماً، ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة. ان قيم (α) التي نجدها في الجدول (٢) تمثل معدل القيم لمدى معين من درجات الحرارة، أو تمثل قيمة واحدة عند درجة حرارية معينة. وللأغراض العملية الاعتيادية يمكن اعتبار قيمة (α) ثابتة لمدى محدود من درجات الحرارة للمواد التي لا تعاني تغيراً في الطور ضمن ذلك المدى.

الجدول (٢) معامل التمدد الطولي لبعض المواد

Material	Linear Expansion Coefficient ($x10^{-6}/°C$)	Material	Linear Expansion Coefficient ($x10^{-6}/°C$)
Copper	17	Pyrex	3.2
Aluminum	23	Diamond	0.50
Silver	20	Hard rubber	80
Iron	12	Concrete	7–12
Bronze	19	Lead	29
Glass	6–9	Ice	51
Steel	12		



الشكل 9.19 يوضح (a) شريحة ذات معدنين تنحني عندما تتغير درجة الحرارة نتيجة لاختلاف معامل التمدد لهما. (b) شريحة ذات معدنين تستخدم في المنظم الحراري لفتح الدائرة الكهربية أو إغلاقها.

أسئلة للتفكير

(3) المطاط له متوسط معامل تمدد طولي سالب. ماذا يحدث لحجم قطعة من المطاط عندما تسخن قليلاً؟

(4) اشرح لماذا عمود الزئبق في الترمومتر ينخفض قليلا في البداية ثم بعد ذلك يرتفع عندما يوضع الترمومتر في حوض ماء ساخن؟

(6) وضعت علامات على شريط حديدي لتشير إلى الطول عندما كانت درجة حرارة الغرفة 22oC. هل القياسات باستخدام الشريط الحديدي في يوم درجة حرارته 27oC تكون أطول، أو اقصر، أو مضبوطة؟ وضح إجابتك.

التمدد السطحي (β Surface Expansion)

ان تغير مساحة السطوح مع تغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد السطحي أو تمدد المساحة. ويعرف معامل التمدد السطحي (β) على انه مقدار الزيادة في المساحة لوحدة المساحة عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة. ان قيمة (β) تعطى بالمعادلة الآتية:

$$\beta = \frac{\Delta A / A_o}{\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

ويمكن التعبير عن تغير المساحة مع تغير درجة حرارتها بالمعادلة الآتية:

$$A = A_o (1+\beta \Delta T) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

حيث تمثل A_o و A المساحة الأصلية والمساحة الجديدة عند درجتا الحرارة T_o و T على التعاقب، ان وحدة β هي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$ ، وذلك لاختصار وحدتي المساحة. ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد السطحي يساوي تقريباً ضعف معامل التمدد الطولي للمادة نفسها أي ان:

$$\beta \cong 2\,\alpha \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

ويكون مقدار التغير في وحدة الطول الناتج عن تأثير تغير درجة حرارة المادة متساوياً في جميع الاتجاهات في المادة بشرط ان تكون المادة الصلبة متجانسة الخواص، أي يكون لها الخواص نفسها في جميع الاتجاهات. وهذا يعني ان المسافة بين أية نقطتين في المادة تتغير بالمقدار نفسه لمقدار التغير في درجة الحرارة نفسها.

التمدد الحجمي (γ Volume Expansion)

ان حجم المادة يتغير اذا تغيرت درجة حرارة المادة بنفس طريقتي التمدد الطولي والتمدد السطحي ويعرف معامل التمدد الحجمي (γ) على انه التغير النسبي في حجم المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها درجة واحدة. ان معامل التمدد الحجمي يعطى بالمعادلة الآتية:

$$\gamma = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

ان حجم المادة الجديد V يمكن الحصول عليه من المعادلة الاتية:

$$V = V_o (1+\gamma \Delta T) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

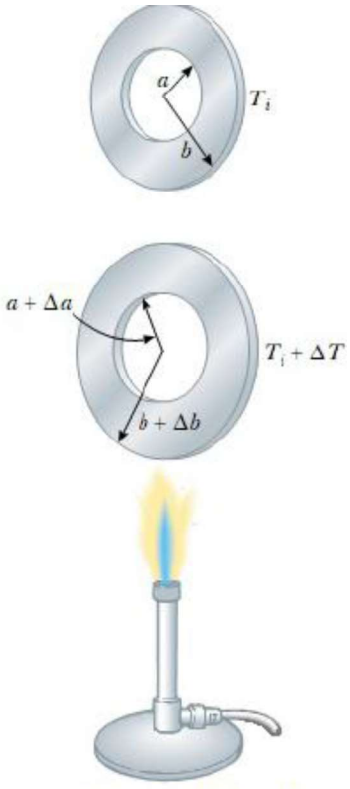
ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد الحجمي (γ) يساوي تقريباً ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي (α) ، للمادة نفسها أي ان

$$\gamma \cong 3\,\alpha \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

ويعود ذلك إلى ان الجسم المتجانس يتمدد في أبعاده الثلاثة بالمقادير نفسها أي انه يتمدد باتجاه الطول والعرض والارتفاع. ومن المعروف انه لا توجد جداول لقيم معاملات تمدد الأجسام الصلبة السطحية والحجمية وذلك لأنه يمكن إيجاد قيمها مباشرة من قيم معاملات التمدد الطولية للمادة نفسها. يبين الجدول (٣) قيم معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل المعروفة

الجدول (٣) معامل التمدد الحجمي لبعض السوائل

Material	Volume Expansion Coefficient ($x10^{-4}/°C$)
Ice	0.5
Water	2.1
Mercury	1.8
Ethylene alcohol	11
Glycerin	5.1
Glass	0.2
Pyrex	0.09



الشكل 8.19 التمدد الحراري متجانس في الحلقة المعدنية. عند زيادة درجة الحرارة فان كل أبعاد الحلقة تزداد.

أسئلة للتفكير

(5) لماذا يجب أن تستخدم حشوة الأسنان لها نفس معامل التمدد للأسنان؟ ماذا يحدث لو كان معامل التمدد لهما غير متساوي؟

(15) حلقة معدنية وكرة معدنية كما في الشكل Q19.18 عند درجة حرارة الغرفة، الكرة بالكاد تستطيع أن تمر عبر الحلقة. بعد تسخين الكرة، فإنها لا يمكن أن تمر عبر هذه الحلقة. اشرح ذلك. ماذا لو؟ كانت سخنت الحلقة في حين تركت الكرة عند درجة حرارة الغرفة، هل يمكن للكرة أن تعبر من خلال الحلقة؟

Figure Q19.18

تمدد السوائل **Expansion of Liquids**

من المعروف ان السوائل (الموائع بصورة عامة) لا تمتلك شكلاً محدداً ولذلك فان التمدد الحراري المهم فيها هو تمددها الحجمي، حيث يتغير حجم السائل عندما تتغير درجة حرارته. ان معامل التمدد الحجمي للسائل ψ يساوي

$$\psi = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

إذ ان V_o تمثل حجم السائل الأصلي و ΔV تمثل مقدار التغير في حجم السائل الناتج عن تغير في درجة حرارته مقداره ΔT . ان قيمة ψ لا تتأثر كثيراً بتغير درجة الحرارة.

يزداد حجم السوائل بصورة عامة إذا ارتفعت درجة حرارتها، ويشذ عن هذه القاعدة بعض السوائل مثل الماء الذي يقل حجمه (ينكمش) إذا ارتفعت درجة حرارته من 0^oC إلى 4^oC. أما بعد هذه الدرجة الحرارية فان الماء يسلك سلوكاً طبيعياً كبقية السوائل، أي يزداد حجمة بزيادة درجة حرارته.

تمدد الغازات **φ Expansion of Gases**

يتغير حجم الغاز تغيراً كبيراً إذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه، ان قيمة معامل التمدد الحجمي للغازات تكاد تكون ثابتة تقريباً. ان قيمة معامل التمدد الحجمي لغاز الهيدروجين تساوي (3.66×10^{-3}) لكل درجة حرارية، ويزيد قليلاً عن هذه القيمة لبقية الغازات. ويمكن الحصول على معامل التمدد الحجمي للغاز (φ) من المعادلة الآتية:

$$\varphi = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T}$$

إذ ان V_o تمثل حجم كتلة معينة من غاز عند درجة حرارة 0^oC . ان الإشارة إلى حجم الغاز عند درجة حرارة 0^oC ضروري جداً لان معامل التمدد الحجمي للغاز كبير جداً. إذا كان V_1 و V_2 تمثلان حجم الغاز عند درجتي الحرارة T_1 و T_2 على الترتيب، فانه لا يصح تطبيق المعادلة الآتية:

لا تصح $$V_2 = V_1 \left[1 + \varphi (T_2 - T_1) \right]$$

بل يجب ان يشار إلى ان القيم V_1 و V_2 نسبة إلى الحجم V_o عند درجة حرارة 0^oC ، وكما يأتي:

$$V_2 = V_o \ (1 + \varphi T_2)$$

$$V_1 = V_o \ (1 + \varphi T_1)$$

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية نحصل على المعادلة الاتية:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1 + \varphi T_2}{1 + \varphi T_1}$$

وقد وجد عملياً ان معامل التمدد الحجمي للغاز يكافيء تقريباً (1/273). وهو ما يعرف بقانون جارلس الذي ينص على: ان حجم كتلة معينة من غاز محفوظ تحت ضغط ثابت، يزداد بنسبة ثابتة تعادل (1/273) من حجمة عند درجة حرارة 0^oC لكل زيادة في درجة حرارته مقدارها درجة حرارية واحدة

ان هذا القانون يعني ان حجم الغاز سيصبح صفراً عند درجة حرارة -٢٧٣^oC . إلا ان جميع الغازات تتحول إلى الحالة السائلة لها قبل الوصول إلى درجة حرارة حرارة -٢٧٣^oC (أي درجة حرارة الصفر المطلق). وهذا يعني ان قانون جارلس لا يصح تطبيقه عند درجات الحرارة الواطئة.

مسائل وتمارين

(2) سائل النيتروجين درجة غليانه -195.81^oC عند الضغط الجوي. عبر عن هذه الدرجة (a) بمقياس فهرنهايت و (b) بمقياس كلفن.

Answer: (a) -320^oF (b) 77.3K

(3) حول درجات الحرارة التالية بالمقياس السيليزي ومقياس كلفن: (a) درجة حرارة الإنسان الطبيعية، 98.6^oF، (b) درجة الحرارة في يوم بارد -5.00^oF.

(4) فرق درجة الحرارة بين داخل محرك السيارة وخارجه هو 540^oC. عبر عن الفرق في درجات الحرارة بـــ (a) مقياس فهرنهايت و (b) مقياس كلفن.

Answer: (a) 810^oF (b) 450K

(5) درجة انصهار الذهب هي $1064^{o}C$، ودرجة غليانه $2660^{o}C$، (a) عبر عن هاتين الدرجتين بمقياس كلفن، (b) احسب الفرق بين درجتي الحرارة على مقياس كلفن والمقياس السيليزي.

Answer: (a) 1337K, 2993K (b) $1596^{o}C=1596K$

4.19 التمدد الحراري في المواد الصلبة والسائلة

استعن بالجدول 1.19 لحل هذه مسائل هذا القسم.

(6) خط تلفون من النحاس لا يوجد به أي قطع بين قطبين المسافة بينهما قطع بين قطبين المسافة بينهما 35m في احد أيام فصل الشتاء عندما كانت درجة الحرارة $-20^{o}C$. كم سوف يصبح طول السلك في يوم حار درجة حرارته $35^{o}C$.

Answer: (a) 327cm

(7) تم تصميم قطعة من الكونكريت الإسمنتي لاستخدامها في احد الطرق السريعة بطول 25.0m عند درجة حرارة $10^{o}C$. ما هو اقل مسافة فاصلة يجب على المهندسين أن يتركوها بين قطع الكونكريت إذا علمت إن درجة الحرارة ممكن أن ترتفع إلى $50^{o}C$؟

(8) تم صناعة إطار نظارة شمسية من البلاستيك. عند درجة حرارة $20.0^{o}C$، الإطار يحتوي شكل دائري بنصف قطر 2.20cm. إلى أي درجة حرارة يمكن للإطار أن يسخن إذا كان نصف قطر العدسة 2.21cm التي سوف تثبت في الإطار. إذا علمت إن معامل التمدد الطولي لمادة البلاستيك هي $1.3x10^{-4}(^{o}C)^{-1}$.

Answer: $55.0^{o}C$

(9) عنصر أساسي في تركيب جهاز الليزر مصنوع من ساق من الزجاج طوله 30.0cm وقطره 1.50cm. إذا ارتفعت درجة حرارة الساق بمقدار $65.0^{o}C$، (a) ما هو مقدار الزيادة في طول الساق، (b) والزيادة في القطر، و(c) والزيادة في الحجم؟ افترض إن معامل التمدد الطولي للزجاج يساوي $9.00x10^{-6}(^{o}C)^{-1}$.

Answer: (a) 0.176mm (b) 8.78μm (c) $0.0930cm^{3}$

(10) حلقة من النحاس قطرها 10.00cm عند درجة حرارة $20.0^{o}C$ تم تسخينها لتدخل في ساق من الألومنيوم قطره 10.01cm عند درجة حرارة $20.0^{o}C$. افترض إن معامل التمدد الطولي ثابت، (a) ما هي درجة الحرارة اللازمة لفصلهما؟ هل هذا ممكن؟ (b) ماذا لو كان قطر ساق الألومنيوم 20.02cm.

Answer: (a) $-179^{o}C$ (وهذا ممكن) (b) $-376^{o}C$ (وهذا غير ممكن لأنه اقل من الصفر المطلق)

(11) عند درجة حرارة $20.0^{o}C$ حلقة من الألومنيوم قطرها الداخلي 5.0000cm وساق من النحاس قطره 5.050cm. (a) إذا تم تسخين الحلقة فقط، ما هي درجة الحرارة اللازمة لكي يمكن إدخال الحلقة في الساق؟ (b) ماذا لو إن كلاهما تم تسخينه ما هي درجة الحرارة اللازمة لكي يمكن سحب الحلقة من الساق؟ هل من الممكن أن تنجح هذه الطريقة؟

(12) تم صب جدار إسمنتي في يوم درجة حرارته $20.0^{o}C$ وفي مثل هذه الظروف لا يمكن تحريك طرفي الجدار. (a) ما هو مقدار الإجهاد على الاسمنت في يوم حار درجة حرارته $50.0^{o}C$؟ (b) هل يتهشم الجدار الإسمنتي؟ اعتبر إن معامل ينج Young's modulus للاسمنت هو $7.00x10^{9}N/m^{2}$ وشدة الانضغاط هي $2.00x10^{9}N/m^{2}$.

(13) اسطوانة ألمونيوم مجوفة عمقها 20.0cm سعتها 2.000L عند درجة حرارة $20.0^{o}C$. تم ملؤها بالكامل بزيت التربنتين ثم سخنت تدريجيا إلى درجة حرارة $80.0^{o}C$. () كم مقدار زيت التربنتين سوف ينسكب من الاسطوانة؟ () إذا تم تبريد الاسطوانة إلى $20.0^{o}C$، كم سوف ينخفض سطح زيت التربنتين في الاسطوانة.

Answer: (a) -99.4 cm^{3} (b) 0.943 cm

(14) ساق من الحديد يتعرض لقوة سحب مقدارها 500N. إذا كانت مساحة مقطعه $2.00cm^{2}$؟ اوجد مقدار التغير في درجة الحرارة اللازمة لتعمل نفس تأثير قوة السحب على ساق الحديد. استخدم الجدول 1.12 والجدول 1.19.

Answer: (a) $1.14^{o}C$

أمثلة

مثال (١)

حول الدرجات الحرارية الآتية إلى ما يقابلها:

١- $70^{\circ}C$ إلى قيمتها الفهرنهايتية والكلفنية.

٢- $150K$ إلى قيمتها السليزية والفهرنهايتية.

الحل

أولا: باستخدام المعادلة الآتية:

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

نحصل على

$$^{o}F = \frac{9}{5}70 + 32$$

$$= 158\ ^{o}F$$

وباستخدام المعادلة الآتية:

$$K = {}^{\circ}C + 273$$

نحصل على

$$= 70 + 273 = 343\ K$$

ثانياً: باستخدام المعادلة الآتية:

$$^{\circ}C = K - 273$$

نحصل على

$$^{o}C = 150 - 273 = -123\ ^{o}C$$

وباستخدام المعادلة الآتية:

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

نحصل على

$$^{o}F = \frac{9}{5}(-123) + 32 = -221.4 + 32$$

$$^{o}F = -189.4\ ^{o}F$$

مثال (٢)

جد قيمة درجة الحرارة التي تتساوى عندها الدرجة السليزية مع الدرجة الفهرنهايتية.

الحل

باستخدام المعادلة الاتية :

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

وبما ان $(^{o}F = {}^{o}C)$ فان :

$$9\ ^{o}F = 5\ ^{o}F - 160$$

$$9\ ^{o}F - 5\ ^{o}F = -160$$

$$4\ ^{o}F = -160$$

$$^{o}F = \frac{-160}{4}$$

$$^{o}F = {}^{o}C = -40$$

وعليه فان درجتي حرارة $(-40\ ^{o}C)$ و $(-40\ ^{o}F)$ متكافئتان.

مثال (٣)

يمكن التعبير عن العلاقة بين الدرجة السليزية والدرجة الفهرنهايتية كما في المعادلة الآتية

$$^{o}C = a\ ^{o}F + b$$

جد قيم الثوابت a و b .

الحل

درجة حرارة انجماد الماء تحت الظروف الاعتيادية تساوي ٠°C وتساوي 32°F .

درجة حرارة غليان الماء تحت الظروف الاعتيادية تساوي ١٠٠°C وتساوي 212°F

بما ان

$$^{o}C = a\ ^{o}F + b$$

حيث ان a و b كميتان ثابتتان يراد تحديد قيمتهما.

نعوض عن درجة انجماد وغليان الماء في المعادلة أعلاه فنحصل على:

$0 = 32\,a + b$ ..... (1) درجة انجماد الماء

$100 = 212\,a + b$ ..... (2) درجة غليان الماء

بطرح المعادلة (١) من المعادلة (٢) نحصل على

$$100 = 180\ a$$

$$a = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}$$

وبالتعويض عن قيمة a في المعادلة (١) نحصل على قيمة b

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

وبالتعويض عن قيم كل من a و b في المعادلة العامة نحصل على

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

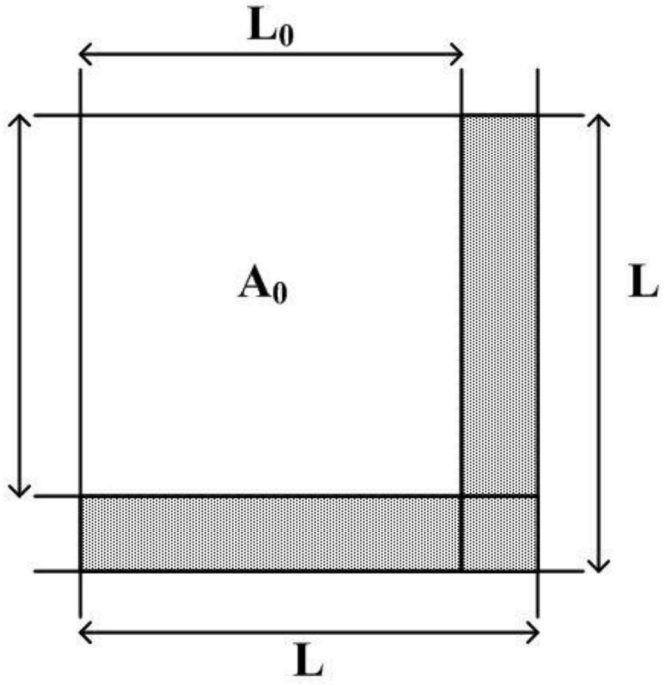
$$^{o}C = \frac{5}{9}(^{o}F - 32)$$

مثال (٤)

برهن على ان معامل التمدد السطحي (β) يساوي تقريباً ضعف معامل التمدد الطولي (α).

الحل

نأخذ قطعة معدنية مربعة الشكل طول ضلعها (L_o)، كما هو موضح في الشكل التالي



مساحة المربع A_O تساوي L_O^2 مساحة المربع $(A_O) = L_O^2$

ان ارتفاع في درجة حرارة القطعة المعدنية مقدارة ΔT يؤدي إلى تغير الطول من L_O إلى L ان قيمة L تعطى بالمعادلة الاتية :

$$L = L_O(1+\alpha\Delta T)$$

فإذا كانت المادة متجانسة فان المساحة سوف تتغير من A_O إلى A عندما تتغير درجة حرارة المادة بمقدار ΔT أي ان المساحة الجديدة تكون مساوية إلى :

$$A = L^2$$

$$A = L_O^{\,2}(1+\alpha\Delta T)^2$$

يمكن تبسيط المعادلة أعلاه إلى الصيغة الاتية :

$$A = L_O^{\,2}\left[1+2\alpha\Delta T+\alpha^2(\Delta T)^2\right]$$

وعند مقارنة قيم الحدين الثاني والثالث نجد ان قيمة الحد الثالث $\left[\alpha^2(\Delta T)^2\right]$ تكون صغيرة جداً عند مقارنتها بقيمة الحد $(2\alpha\Delta T)$ وعلية يمكن إهمال هذا الحد

وهكذا يمكن كتابة المعادلة أعلاه كما يأتي :

$$A = A_O(1+2\alpha\Delta T)$$

وعند مقارنة هذه المعادلة بالمعادلة

$$A = A_O(1+\beta\Delta T)$$

نجد ان

$$\beta \cong 2\alpha$$

وبالطريقة نفسها يمكن ان نبرهن على ان معامل التمدد الحجمي (γ) يساوي تقريباً ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي (α) ، أي $(\gamma \cong 3\,\alpha)$

مثال (٥)

جد مقدار التغير في طول قضيب من النحاس طوله 0.08 m إذا تغيرت درجة حرارته من 15°C إلى 35°C. علماً ان قيمة معامل التمدد الطولي للنحاس يساوي $17 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$.

الحل

بما ان $L_o = 0.8\,m$

$$\Delta T = 35 - 15 = 20\ ^\circ C$$

$$\alpha = 17 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$$

$$\Delta L = L - L_o = \alpha\, L_o\, \Delta T = 17 \times 10^{-6}\ ^oC^{-1} \times 0.8\ m \times 20\ ^oC$$

$$\Delta L = 272 \times 10^{-6}\ m = 0.272\ mm$$

مثال (٦)

جد مقدار التغير في طول قطعة نحاس على شكل قضيب طولها 2.5 m إذا ارتفعت درجة حرارتها من $15^{o}C$ الى $25^{o}C$. إذا علمت ان معامل التمدد الطولي لمادة النحاس تساوي $17 \times 10^{-6}\ C^{-1}$.

الحل

بما ان $L_o = 2.5\ m$

$$\Delta T = 25 - 15 = 10\ ^{o}C$$

$$\alpha = 17 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$$

$$\Delta L = \alpha\ L_o\ \Delta T = 17\ x\ 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}\ x\ 2.5\ m\ x\ 10^{o}C$$

مقدار الزيادة في الطول $\Delta L = 425\ x\ 10^{-6}\ m = 0.425\ mm$

مثال (٧)

جد مقدار التمدد الطولي لسطح من الخرسانة طوله 20 m عندما تغيرت درجة حرارة الجو من $0^{o}F$ الى $113^{o}F$. علماً ان قيمة معامل التمدد الطولي للخرسانة تساوي $12 \times 10^{-6}\ C^{-1}$.

الحل : يجب تحويل الدرجات الفهرنهايتية إلى درجات سليزية، واستخدام المعادلة الآتية:

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

$$^{o}C = \frac{5}{9}\ (\ 0 - 32\ )$$

$$^{o}C = -17.77\ ^{o}C = T_1$$

وكذلك

$$^{o}C = \frac{5}{9}\ (\ 113 - 32\ )$$

$$^{o}C = 45\ ^{o}C = T_2$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 45 - (-17.77) = 62.77\ ^{o}C$$

$$\Delta L = \alpha\ L_o\ \Delta T$$

$$= 12 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1} \times 20\ m \times 62.77\ ^{o}C$$

$$= 1.5064 \times 10^{-2}\ m = 1.5064\ cm$$

مثال (٨)

جد كمية الماء التي ستنسكب من وعاء زجاجي سعته $250\ cm^3$ مملوء تماماً بالماء إذا تغيرت درجة حرارته من 25^oC الى 65^oC . علماً بان قيمة معامل التمدد الحجمي للماء $2.1 \times 10^{-4}\ ^oC^{-1}$ وللزجاج $0.09 \times 10^{-4}\ ^oC^{-1}$.

الحل

عندما تتغير درجة الحرارة من 25^oC الى 65^oC فان كلا من الوعاء الزجاجي والماء سوف يتمددان. ان مقدار الماء الذي ينسكب سيكون مساوياً الى الفرق بين حجمي الماء والوعاء الزجاجي الذي يحتويه.

التغير في درجة الحرارة

$$\Delta T = 65\ ^oC - 25\ ^oC = 40\ ^oC$$

أما التغير في حجم الوعاء الزجاجي فانه يساوي:

$$\Delta V_g = \gamma_g V_o \Delta T$$

$$= 0.09\ x\ 10^{-4}\ ^oC^{-1}\ x\ 250\ cm^3\ x\ 40\ ^oC = 0.09\ cm^3$$

التغير في حجم الماء ΔV_w سيكون مساوياً الى :

$$\Delta V_w = \gamma_w V_o \Delta T$$

$$= 2.1\ x\ 10^{-4}\ ^oC^{-1}\ x\ 250\ cm^3\ x\ 40\ ^oC = 2.1\ cm^3$$

وعليه فان حجم الماء المسكوب سيكون مساوياً الى:

$$\Delta V_w - \Delta V_g = 2.1 - 0.09 = 2.01 cm^3$$

مثال (٩)

حول الدرجات الحرارية السليزية الآتية إلى الدرجات الفهرنهايتية.

$$20\ ^oC\ ,\ 75\ ^oC\ ,\ 115\ ^oC$$

مثال (١٠)

حول الدرجات الحرارية الفهرنهايتية الآتية إلى الدرجات السليزية والكلفنية.

$$0\ ^oF\ ,\ 40\ ^oF\ ,\ 200\ ^oF$$

مثال (١١)

حول الدرجات الحرارية الكلفنية الآتية إلى الدرجات السليزية و الفهرنهايتية.

$$10\,K\ ,\ 300\,K\ ,\ 500\,K$$

مثال (١٢)

قضيب معدني طوله 1.5 m ومساحة مقطعة العرضي $2\ cm^2$ ، وضع احد طرفية في ماء مغلي ووضع الطرف الآخر في خليط الثلج والماء. جد كمية الحرارة المنتقلة خلال القضيب خلال زمن مقدارة 10 min ؟ علماً بان الموصلية الحرارية تساوي $0.2\ cal/cm.s.^oC$.

الحل

بالتعويض في المعادلة الآتية

$$Q = K_L A t \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

$$Q = 0.2\ cal/cm.s.^oC \times 2\ cm \times 10 \times 60\ s \frac{(100^oC - 0^oC)}{150\ cm}$$

$$Q = 160\ cal$$

مثال (١٣)

جد مقدار الميل الحراري خلال القضيب المعدني في المثال السابق ؟

الحل

يمكن إيجاد الانحدار الحراري من المعادلة الآتية:

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_2 - T_1}{L} = \frac{0^oC - 100^oC}{150m}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{0^oC - 100^oC}{150\ cm} = -0.666\ ^oC/cm$$

الإشارة السالبة تعني ان درجة الحرارة تقل كلما ازدادت المسافة.

مثال (١٤)

جسم كروي ممتلىء اسود نصف قطرة 5 cm ودرجة حرارته 100^oC وضع في صندوق مفرغ من الهواء ودرجة حرارة جدرانه 75^oC . جد المعدل الذي يجب ان تزود به الطاقة للجسم الكروي بحيث يبقى محافظاً على درجة حرارته.

الحل

كمية الطاقة الحرارية التي يشعها الجسم الكروي خلال الثانية الواحدة تساوي W_1

إذ ان

$$W_1 = A R_1$$

$$W_1 = A \sigma T_1^4$$

إذ ان A تمثل مساحة الكرة والمساوية الى

$$A = 4 \pi r^2$$

$$A = 4\pi 5^2 = 100\pi \,cm^2$$

$$T_1 = 100 + 273 = 373\,K$$

$$T_2 = 75 + 273 = 348\,K$$

$$W_1 = 100\pi\sigma(373)^4 \quad watt$$

أما كمية الطاقة التي يمتصها الجسم الكروي والمشعة من قبل الصندوق خلال الثانية الواحدة تساوي W_2،

إذ ان:

$$W_2 = A R_2$$

$$W_2 = A\sigma T_2^4$$

$$W_2 = 100\pi\sigma(348)^4 \quad watt$$

ان معدل الطاقة الحرارية التي يزود بها الجسم الكروي تكون مساوية الى الفرق بين W_1 و W_2 . أي ان

$$W_1 - W_2 = 100\pi\sigma\left[(373)^4 - (348)^4\right]$$

$$= 100 \text{ x } 3.14 \text{ x } 5.57 \text{ x } 10^{-8} \ (4.6906 \text{ x } 10^9)$$

$$= 8.20 \text{ x } 10^4 \text{ J/sec}$$

مثال (١٥)

محرار مقاومة يملك مقاومة مقدارها ٨٩,٢٥ أوم عندما وضع في نهايته في النقطة الثلاثية للماء جد قيمة درجة الحرارة إذا وضعت نهايته في محيط وكانت قيمة مقاومتة تساوي ٩٧,٥٦ أوم.

مثال (١٦)

قضيب طولة 2.5 m تمدد طولياً بمقدار 1.25 mm عندما تغيرت درجة حرارته من 10^oC إلى 75^oC . جد قيمة معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب.

مثال (١٧)

جد طول الفاصلة التي يجب تركها بين قضبان السلك الحديدي التي طولها 12 m وتم تثبيتها عند درجة حرارة 0^oC ، من اجل تفادي اعوجاج السلك الحديد إذا ارتفعت درجة الحرارة خلال فصل الصيف إلى 48^oC علماً. ان قيمة معامل التمدد الطولي للحديد تساوي $12 \text{ x } 10^{-6} \ C^{-1}$.

مثال (١٨)

شباك زجاجي إبعاده مساوية إلى 30 cm x 40 cm عند درجة حرارة 15^oC. جد مقدار الزيادة في مساحة الشباك إذا ارتفعت درجة حرارة الشباك إلى 35^oC . علماً ان قيمة معامل التمدد الطولي للزجاج $9 \text{ x } 10^{-6} \ C^{-1}$.

مثال (١٩)

ثقب دائري في صفيحة من الألمنيوم قطره 2.45 cm عند درجة حرارة $0^{o}C$. جد قطر الثقب إذا ارتفعت درجة حرارة صفيحة الألمنيوم إلى $100^{o}C$. علماً ان قيمة معامل التمدد الطولي للألمنيوم $23 \times 10^{-6}\ C^{-1}$.

مثال (٢٠)

تم تغليف خزان للماء الساخن بمادة عازلة سمكها 2.5 cm وتوصيلتها الحرارية $5x10^{-4}$ cal/cm.s.°C، فإذا كانت درجتا حرارة سطحي المادة العازلة مساويتين الى $60^{o}C$ و $20^{o}C$. جد كمية الحرارة التي يفقدها الخزان لكل متر مربع خلال الساعة الواحدة.

مثال (٢١)

قضيب من النحاس طولة 25 cm ومساحة مقطعة العرضي $25\ cm^2$ وضع احد طرفية في حجرة بخار الماء ووضع الآخر في خليط الثلج والماء. فإذا كان القضيب مغلفا بعازل بحيث يمكن إهمال الحرارة المتسربة. جد كتلة الثلج التي ستنصهر في زمن مقدارة 10 min .

الحل

كمية التيار الحراري خلال القضيب المعدني تعطى بالمعادلة الآتية

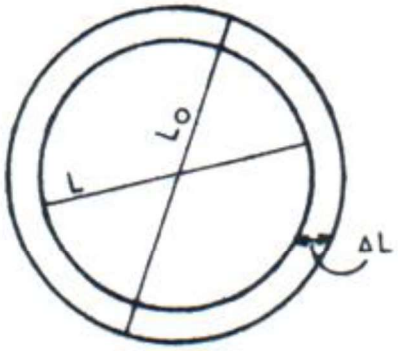
$$H = - K_L A \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

أو

$$^{o}C = \frac{5}{9}(^{o}F - 32) \qquad \text{..... (6)}$$

مثال (٢٢)

سدادة معدنية قطرها 5cm عند درجة حرارة $30^{o}C$ ، جد قيمة الدرجة الحرارية التي عندها سيتم سد فتحة ذات قطر ثابت قيمته 4.09 cm ؟ علماً بان معامل التمدد الطولي للمعدن يساوي $11 \times 10^{-6}\ C^{-1}$. انظر الشكل التالي.



الحل

L يمثل هنا القطر ويساوي 5 cm

L_o يمثل القطر عند الدرجة الحرارية الجديدة ويساوي 4.09 cm

$$\Delta L = L - L_o = \alpha L_o \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{L - L_o}{\alpha L_o \Delta T} = \frac{5\,cm - 4.09\,cm}{11\,x\,10^{-6}\,K^{-1}\,x\,5\,cm}$$

$$= \frac{0.01\,cm}{55\,x\,10^{-6}\,K^{-1}\,cm} = 18.2K$$

$$\Delta T = T_1 - T_o$$

$$T = T_1 - \Delta T = 30 - 18.2$$

كما ويمكن إيجاد التيار الحراري خلال القضيب في الحالة الثانية

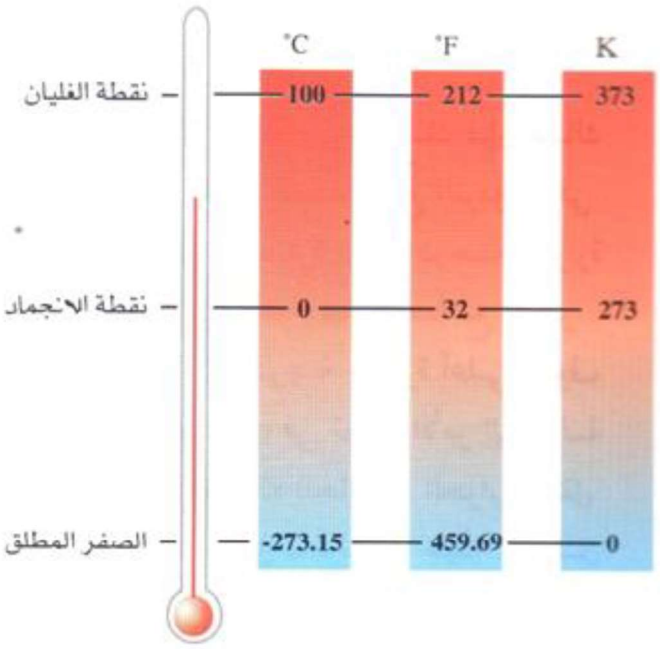
$$H = \frac{dQ}{dt} = -K_L A \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

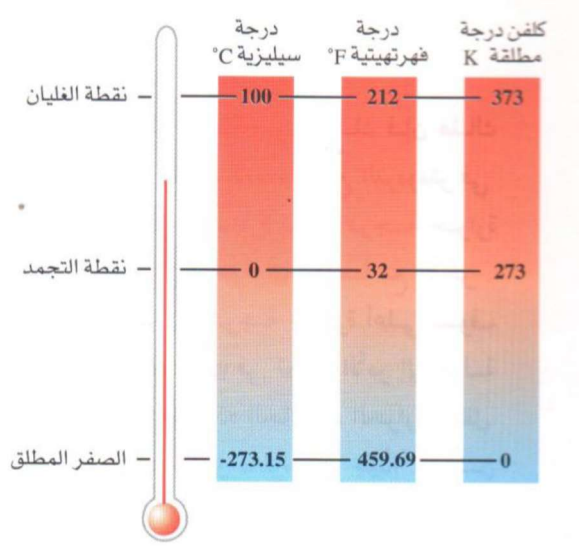
$$H = 0.2\ cal/cm.sec.^{o}C\ x\ 2\ cm\ \frac{(100^{o}C - 0^{o}C)}{150\ cm}$$

$$H = -0.27\ cal/sec$$

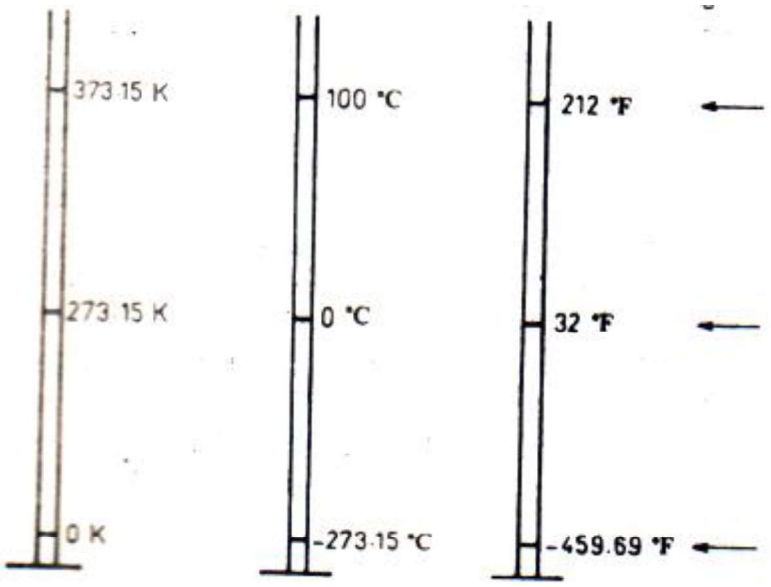
إن استخدام سوائل الغازات تحت الضغط الجوي الاعتيادي يضمن تبريد درجة حرارة غليان السائل المستخدم.

وتم تعريف الدرجة الكلفنية والتي تمثل وحدة قياس درجة الحرارة الثرموديناميكية على أنها تمثل الكسر (١/٢٧٣,١٥) من درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء (The Triple Point of Water) والمساوية تقريباً إلى ($0.01^{o}C$).





شكل 1–10 :
يمكن استخدام نقطتى غليان وتجمد لإيضاح العلاقة المتبادلة بين ة درجة الحرارة المعتادة الثلاثة .



٤ – السعة الحرارية

مفهوم كمية الحرارة

كمية الحرارة هي آلية لانتقال الطاقة يتم التحكم بها من خلال الفرق في درجات الحرارة بين منطقتين في الفضاء (أو المكان).

كمية الحرارة Quantity Heat(Q)

باستخدام قانون حفظ الطاقة يمكن تحديد كمية الحرارة (Q) التي تكتسبها أو تفقدها المادة وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

وهناك بعض النقاط المهمة التي يجب مراعاتها عند القيام بعملية حساب كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة من قبل المادة في الحالات الآتية.

الحالة الأولى: حالة تغير درجة حرارة المادة

ان كمية الحرارة (Q) التي تكتسبها المادة أو تفقدها خلال عمليات التسخين أو التبريد لغرض رفع أو خفض درجة حرارتها فقط من دون حصول عملية تغير في حالة المادة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mC\,\Delta T \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ ان:

m تمثل كتلة المادة ، C تمثل الحرارة النوعية للمادة ، ΔT مقدار التغير في درجة حرارتها

الحالة الثانية: حالة تغير حالة المادة

ان كمية الحرارة (Q) التي يجب تزويدها للمادة خلال عمليات تحول حالة المادة كالغليان أو الانصهار أو التسامي أو الانجماد أو التكاثف من دون ان تسبب زيادة أو نقصان في درجة حرارة المادة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mL \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ ان: L تمثل الحرارة الكامنة للانصهار أو الانجماد أو التكاثف أو التسامي.

الحالة الثالثة: حالة تغير طبيعة أو تركيب المادة

وتشمل هذه الحالة حالات التغير المغناطيسية أو الكهربائية أو تغيرات تركيب المادة والتي تحدث عند تغير درجة حرارة المادة.

تجنب خطأ شائع

الطاقة الداخلية، والطاقة الحرارية، وطاقة الربط

عندما نقرأ في كت بالفيزياء، سوف ترى بعض المصطلحات مثل الطاقة الحرارية وطاقة الربط. فالطاقة الحرارية يمكن تفسيرها على أنها جزء من الطاقة الداخلية المصاحبة للحركة العشوائية للجزيئات، ولهذا فإنها مرتبطة بدرجة الحرارة. أما طاقة الربط فهي طاقة الوضع المتبادلة بين الجزيئات، ولذا فإن

الطاقة الداخلية = الطاقة الحرارية + طاقة الربط

وبالرغم من أن هذا التفصيل مدرج هنا للتوضيح بغض النظر عن الكتب الأخرى، إلا أننا لن نستخدم هذين المصطلحين لعدم الحاجة إليهما.

المكافىء الميكانيكي للحرارة (J) Mechanical Equivalent Heat

الحرارة هي شكل من إشكال الطاقة وتقاس بوحدة السعرة (calori) أو الكيلو سعرة (kcalori). ويمكن تحويل الحرارة الى شغل ميكانيكي وبالعكس ومن تطبيقات تحويل الحرارة الى شغل الماكنة البخارية. ان عامل التحول بين الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية يسمى بالمكافىء الميكانيكي (J). ومن التجارب المشهورة في قياس هذه الكمية تجربة العالم جول الذي أوجد العلاقة بين الشغل (W) والطاقة الحرارية (Q) وحسب المعادلة الآتية:

$$W = J\,Q \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أي أن الطاقة الميكانيكية يمكن ان تتحول الى طاقة حرارية وبالعكس وان أفضل قيمة لمكافىء التحول (J) هي

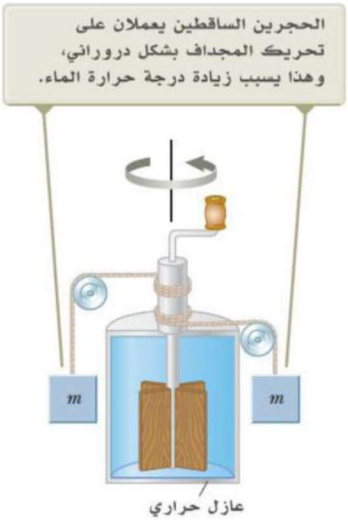
1cal = 4.186 J

1kcal = 4186 J

يوضح الشكل 1.20 مخططا للتجربة الشهيرة التي قام بها العالم جول. ويتكون النظام من قطعتين من الحجر تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية وماء في وعاء معزول حراريا. الشغل المبذول على الماء ناتج عن دوران عجلة المجداف والتي يتم تحريكها بواسطة الحجرين عند سقوطهما بسرعة ثابتة. فاذا كانت الطاقة المتحولة في التروس والطاقة المتسربة من جدران الوعاء مهملة، فان النقصان في طاقة الوضع للنظام عند سقوط الحجران يساوي الشغل المبذول بواسطة المجداف على الماء وبالتالي يعادل الزيادة في الطاقة الداخلية للماء. فاذا كان الحجرين يسقطان مسافة مقدارها h فان النقصان في طاقة الوضع يساوي $2mgh$، حيث ان m هي كتلة الحجر وهذه الطاقة هي المسؤولة عن ارتفاع درجة حرارة الماء. وبتغيير ظروف التجربة وجد العالم جول ان النقصان في الطاقة الميكانيكية يتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلة الماء في الوعاء والتغير في درجة حرارة الماء. وقد وجد ان ثابت التناسب يساوي تقريبا 4.18 J/g.°C. وبالتالي فان 4.18 J هي مقدار الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1g من الماء بمقدار 1°C. وبإجراء المزيد من التجارب بدقة اكثر فقد وجد ان ثابت التناسب يساوي 4.186 J/g.°C عندما ازدادت درجة حرارة الماء من 14.5°C إلى 15.5°C. مما يعني ان

$$1\ \text{cal} = 4.186\ \text{J} \qquad (20.1)$$

هذا التساوي –لأسباب تاريخية فقط– يعرف بالمكافئ الميكانيكي للحرارة *mechanical equivalent of heat*. والاسم الاكثر ملائمة هو التكافؤ بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الداخلية، ولكن الاسم التاريخي أصبح أكثر انتشارا وتداولا في الوسط العلمي، بالرغم من الاستخدام الخاطئ لكلمة حرارة heat.



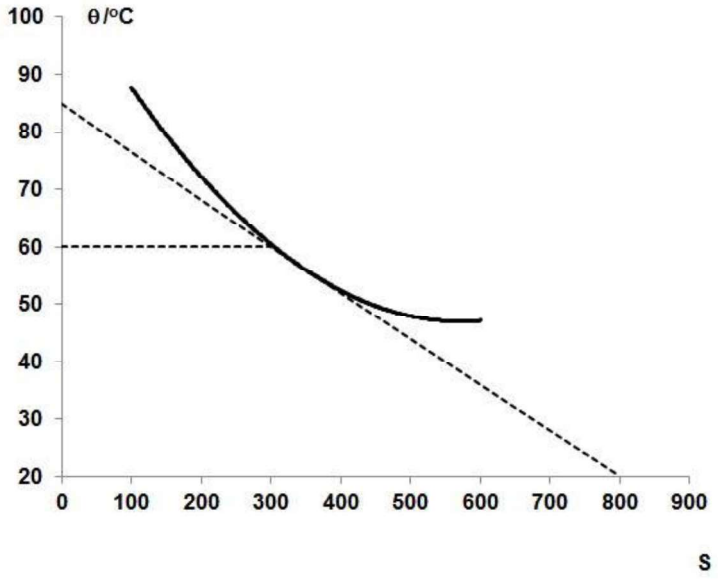
الشكل 1.20 تجربة جول لتعيين
المكافئ الميكانيكي للحرارة

<u>معدلات تجهيز الطاقة</u>: إذا تم تجهيز طاقة بمقدار ΔQ والتغير المقابل بدرجة الحرارة $\Delta\theta$ لزمن قدره Δt لذلك يعاد كتابة العلاقة لتجهيز الحرارة $\Delta Q=mc\Delta\theta$ كما في الشكل ادناه

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = cm\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ معدل ارتفاع الطاقة و $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ معدل ارتفاع درجة الحرارة، وربما في بعض الحالات انخفاض درجة الحرارة.

وللتغير اللحظي $\frac{dQ}{dt} = cm\frac{d\theta}{dt}$. هذه العلاقة، بواسطتها يمكن ايجاد القيمة اللحظية لتغير درجة الحرارة وتجهيز الطاقة، فمثلاً لو سخن جسم معروف السعة الحرارية النوعية ثم برد يمكن رسم منحني التبريد كما في الشكل حيث يوضح منحني التبريد



نفرض ان السعة الحرارية للجسم هي $1400Jk^{-1}$ ولمعدل فقدان الطاقة عند درجة حرارة $60°C$. نرسم خط من 60 ونرسم المماس للمنحني وميل المماس

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{-65}{7805} = -8.33\times10^{-2}ks^{-1}$$

ولحساب $\frac{dQ}{dt}$

$$\frac{dQ}{dt} = (1400Jk^{-1})(-8.3\times10^{-2}ks^{-1})$$

$$= -117\ Js^{-1}$$

الاشارة السالبة تدل على أن الجسم يفقد حرارة

مثال: نعود الى مثال الغلاية، فإذا استعملت لغلي كمية من الماء وبعدها قطع عنها التيار الكهربائي بعد أن وصل الى درجة (99°C) وسمح له بأن يبرد ووجد أن درجة الحرارة تنخفض بمعدل 4k لكل 5 دقائق. ما معدل فقدان الطاقة؟

مجموع السعة الحرارية (h.c) والتي هي C للغلاية والمحتويات

مجموع السعة الحرارية (C) للغلاية والمحتويات هي:-

$$C=530Jk^{-1} + (1.7kg \times 4200Jk^{-1}\ kg)$$

$$= 7670\ Jk^{-1}$$

$$\frac{dQ}{dt} = mc\ \frac{d\theta}{dt} = (7670Jk^{-1})\left(\frac{4k}{300s}\right)$$

C

$$= 102\ w$$

إن اغلب المواد الصلبة لها سعة حرارية نوعية بالمدى 100 الى $1000Jk^{-1}kg^{-1}$. ولكن لأغلب السوائل الشائعة تكون بحدود $200Jk^{-1}kg^{-1}$. ولكن بالنسبة للماء ($4200Jk^{-1}kg^{-1}$) وتعتبر عالية، اما بالنسبة للغازات فإن السعة الحرارية النوعية تتغير بشدة حسب نوع الغاز. فمثلاً للهواء قيمتها $1000Jk^{-1}kg^{-1}$.

إن القيمة العالية للسعة الحرارية النوعية لمادة شائعة مثل الماء له تأثيرات مهمة يومياً. وبنظرة عامة فإن المسطحات المائية مثل الأنهار والبحار والبحيرات ترتفع درجة حرارتها وتنخفض ببطئ كبير مقارنة بالتراب، لذلك فإن درجات الحرارة على الارض تعتمد بشكل جزئي على ما يحيطها هل هو يابسة أم ماء؟

السعة الحرارية والسعة الحرارية النوعية

عندما تضاف طاقة إلى النظام ولا يكون هناك تغير في الطاقة الحركية أو في طاقة الوضع للنظام، فان درجة حرارة النظام في العادة تزداد. (مع استثناء لهذه الجملة في حالة تعرض النظام لتغير في الحالة – والتي تعرف باسم انتقال الطور – كما سيتم مناقشتها في الجزء القادم) اذا احتوى النظام على عينة من مادة، فإننا نجد ان كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة محددة من المادة تختلف عن مادة اخرى. على سبيل المثال، كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من الماء بمقدار 1°C هي 4.186 J، ولكن كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من النحاس تساوي 387 J فقط. في المناقشة التالية، سوف نستخدم الحرارة كمثال على انتقال الطاقة، ولكن عليك ان تتذكر ان درجة حرارة النظام يمكن ان تتغير باي طريقة لانتقال الطاقة. السعة الحرارية Heat Capacity والتي يرمز لها بالرمز C لعينة ما تعرف على انها كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة العينة بمقدار 1°C. من هذا التعريف، نلاحظ أنه إذا احدثت طاقة مقدارها Q تغير مقداره ΔT في درجة حرارة العينة، فان

$$Q = C\,\Delta T \qquad (20.2)$$

السعة الحرارية النوعية specific heat والتي يرمز لها بالرمز c للمادة هي السعة الحرارية لكل وحدة كتل. ولهذا إذا انتقلت طاقة مقدارها Q إلى عينة مادة كتلتها m وتغيرت درجة حرارتها بمقدار ΔT، فان الحرارة النوعية للعينة تكون

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (20.3) \qquad \textbf{Specific heat}$$

طرائق قياس السعة الحرارية النوعية Methods to Measure Specific Heat Capacity

هناك عدة طرق لقياس الحرارة النوعية والتي تختلف فيما بينها باختلاف مديات درجات الحرارة الواطئة أو العالية جداً ومن هذه الطرق ما يأتي:

١ ـ الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة

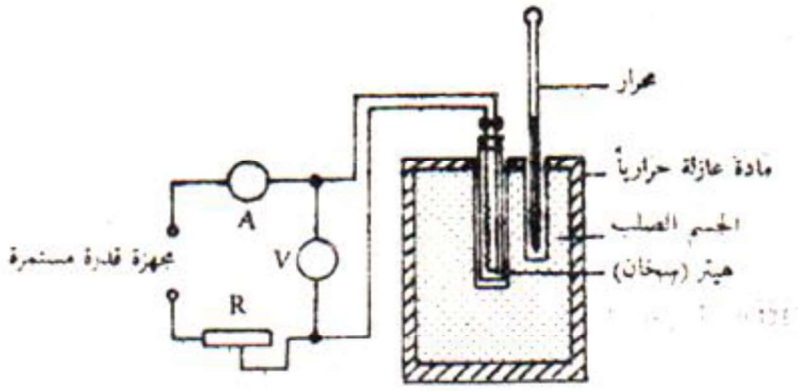
تستخدم هذه الطريقة لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة الجيدة التوصيل للحرارة كالنحاس والألمنيوم. إذ تؤخذ قطعة منتظمة الشكل تحتوي على ثقب يثبت فيه سخان كهربائي (هيتر) ومجس حراري (ثرموميتر). تقاس كتلة المادة ودرجة حرارتها الابتدائية، ثم تحاط القطعة المعدنية بمادة عازلة كالصوف الطبيعي أو الاصطناعي أو البولستيرين ويمرر خلال السخان تيار كهربائي (I) مناسب وتحسب مدة مرور التيار باستخدام ساعة توقيت وتسجل ايضاً قراءات الفولتميتر (V) والأميتر (I). عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار مناسب عشر درجات مثلاً يوقف مرور التيار وساعة التوقيت في الوقت نفسه وتسجل أعلى قراءة يصلها المحرار. فإذا فرضنا ان الطاقة الحرارية المتسربة الى المحيط تساوي صفراً، فان

الطاقة الكهربائية التي يزود بها السخان = الطاقة الحرارية التي تزود بها القطعة المعدنية

$$m C (T_2 - T_1) = V\,I\,t$$

$$C = \frac{V\,I\,t}{m (T_2 - T_1)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

فإذا كانت قيمة التيار بالأمبير والفولتية بالفولت والزمن بالثانية ودرجة الحرارة بالدرجة الكلفنية والكتلة بالغرام فان وحدة الحرارة النوعية هي الجول لكل غرام لكل درجة كلفنية. الشكل (١) يوضح الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة.



الشكل (١) يوضح الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة

٢- الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة

وهي تشبه الى حد كبير طريقة قياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة حيث يستخدم وعاء معدني كمسعر حراري يوضع فيه السائل والسخان الكهربائي والمجس الحراري ، يحرك السائل باستمرار خلال فترة مرور التيار الكهربائي. حيث يتم إيجاد قيم كتلة السائل (m) وكتلة المسعر (m_c) ودرجة الحرارة الابتدائية (T_1) والنهائية (T_2) وقيم الفولتية (V) والتيار (I) والزمن (t). وهنا يجب ان تكون قيمة الحرارة النوعية للمسعر والمحرك معلومة، ويمكن استخدام المعادلة الآتية:

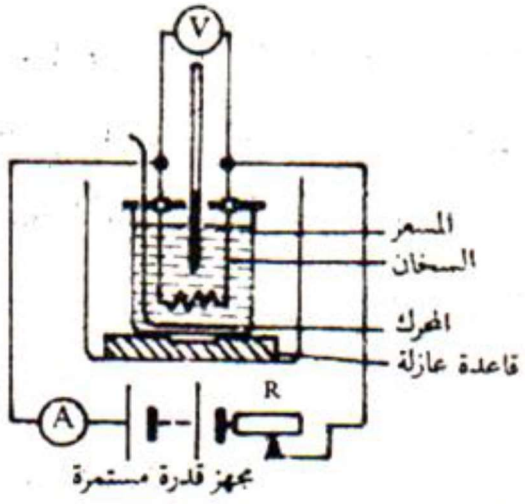
الطاقة التي يزود بها السخان = الطاقة التي اكتسبها السائل + الطاقة التي اكتسبها المسعر والمحرك

$$mC(T_2 - T_1) + m_cC_c(T_2 - T_1) = V\,I\,t$$

$$mC(T_2 - T_1) = V\,I\,t - m_cC_c(T_2 - T_1)$$

$$C = \frac{V\,I\,t - m_cC_c(T_2 - T_1)}{m(T_2 - T_1)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

والشكل (٢) يوضح الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة.



الشكل (٢) يوضح الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة

٣- طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد الصلبة

في هذه الطريقة يتم إيجاد كتلة الجسم الصلب المراد إيجاد حرارته النوعية، ثم يعلق بخيط ويوضع في ماء يغلي لمدة معينة (عشر دقائق مثلاً)، إذ تصبح درجة حرارته (T_3) مساوية الى (100^oC)، وبعدها ينقل بسرعة الى مسعر حراري كتلة (m_c) يحتوي على كمية من الماء كتلة (m_w) ودرجة حرارتهما (T_1)، يحرك الماء ونسجل اعلى درجة حرارة يصلها المحرار (T_2). عند فرض ان الجسم الصلب لم يفقد حرارة خلال نقلة الى المسعر فان

{كمية الحرارة التي فقدها الجسم الصلب خلال انخفاض درجة حرارته من T_3 إلى T_2} = {كمية الحرارة التي اكتسبها الماء خلال رفع درجة حرارته من T_1 الى T_2} + {كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر الحراري خلال رفع حرارته من T_1 الى T_2}

فإذا كانت الحرارة النوعية للجسم الصلب تساوي (C) والحرارة النوعية للماء (C_w) والحرارة النوعية للمسعر (C_C) فانه يمكن الحصول على المعادلة الآتية

$$mC\,(T_3 - T_2) = m_w C_w (T_2 - T_1) + m_c C_c (T_2 - T_1)$$

$$mC\,(T_3 - T_2) = (m_w C_w + m_c C_c)(T_2 - T_1)$$

$$C = \frac{(m_w C_w + m_c C_c)(T_2 - T_1)}{m\,(T_3 - T_2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

٤- طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد السائلة

وهي مشابهة الى الطريقة السابقة (٣) حيث يتم اختيار الجسم الصلب بحيث تكون قيمة حرارته النوعية معروفة، وتستخدم المعادلات السابقة نفسها لإيجاد الحرارة النوعية للسائل.

وهناك طرق اخرى لقياس الحرارة النوعية للمواد مثل طريقة الجريان المستمر والطريقة الميكانيكية وطريقة التبريد. والجدول (١) يبين قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المعروفة في درجة حرارة الغرفة

الجدول (١) قيم الحرارة النوعية لبعض المواد في درجة الحرارة الاعتيادية

Material	Specific Heat ($x10^2$ J/kg.K)	Specific Heat (cal/g.k)
Copper	3.9	0.093
Aluminum	9.1	0.21
Glass	6.7	0.1-0.2
Iron	4.7	0.11
Mercury	1.4	0.033
Lead	1.3	0.031
Water	42	1.000
Ice	21	0.50
Paraffin	21	0.51
Wood	17	0.42
Gold	1.3	0.030
Silver	2.3	0.056
Water vapor	20	0.48
Zinc	3.9	0.092

مثال 2.20 تبريد قطعة معدنية ساخنة

قطعة معدنية كتلتها 0.050-kg سخن لدرجة حرارة 200°C ومن ثم أسقط في مسعر حراري يحتوي على 0.400-kg من الماء درجة حرارته الابتدائية 20°C. درجة حرارة الاتزان الحراري النهائية للنظام اصبحت 22.4°C احسب الحرارة النوعية للمعدن.

الحل:

تصور للمسألة: تخيل ان العملية تحدث في نظام معزول كما في الشكل 2.20. تغادر الطاقة القطعة المعدنية الساخنة وتنتقل إلى الماء البارد، وبالتالي تبرد القطعة المعدنية ويسخن الماء. ومرة اخرى يصبحا عند نفس درجة الحرارة وتتوقف عملية انتقال الطاقة.

التصنيف: سوف نستخدم المعادلة التي تم التوصل لها في هذا الجزء، وبالتالي فإننا نصنف هذا المثال كمسألة تعويض في المعادلة 20.4. وبالتالي باستخدام معادلة 4.20 لحساب كل طرف في المعادلة 5.20.

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

بالحل بالنسبة لـ c_x

$$c_x = \frac{m_w c_w (T_f - T_w)}{mx(T_x - T_f)}$$

بالتعويض عن القيم العددية في المعادلة نحصل على:

$$c_x = \frac{(0.400kg)(4186J/kg.^\circ C)(22.4^\circ C - 20.0^\circ C)}{(0.0500kg)(200.0^\circ C - 22.4^\circ C)}$$

$$= 453J/kg.^\circ C$$

القطعة المعدنية في الأغلب هي حديد وذلك بمقارنة هذه النتيجة مع الجدول 1.20. درجة حرارة القطعة المعدنية في البداية كانت اعلى من نقطة التبخر للماء. وبالتالي لا بد وان بعض الماء قد تبخر عندما اسقطت القطعة المعدنية في الماء. نحن افترضنا ان النظام معزول وهذا البخار لا يمكن ان يتسرب للخارج. ولان درجة حرارة الاتزان النهائية اقل من نقطة تبخر الماء، فان البخار سوف يتكثف ويعود للماء.

ماذا لو؟ افترض إنك تقوم بتجربة في مختبر مستخدما نفس الطريقة لتعيين الحرارة النوعية لعينة وترغب في تقليل مقدار الشك في النتيجة النهائية لـ c_x. من البيانات المتوفرة في المثال، ما هو العامل الذي يكون تغيره هو الاكثر فعالية في تقليل مقدار الشك؟

الاجابة: أكبر نسبة شك في التجربة مرتبطا بالفرق الصغير في درجة الحرارة الماء المساوي لـ 2.4°C. على سبيل المثال باستخدام قواعد تحديد نسبة الشك الموضحة في الملحق B.8، فان مقدار شك يعادل 0.1°C في كل من T_f و T_w يؤدي إلى 8% شك في الفرق بين درجتي الحرارة. ولكي يكون فرق درجات الحرارة كبيرا علينا ان نقلل مقدار كمية الماء المستخدمة في التجربة.

مثال 3.20 وقت ممتع مع رجل الكاوبوي

أطلق رجل كاوبوي رصاصة من الفضة من بندقية بسرعة 200 m/s على جدار من خشب الصنوبر. افترض ان كل الطاقة الداخلية التي تولدت بالتصادم بقيت مع الرصاصة. ما هو مقدار التغير في درجة حرارة الرصاصة؟

الحل:

تصور للمسألة: تخيل من خبرة مشابهة انه يمكن ان تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة داخلية عندما يتوقف جسم متحرك. على سبيل المثال، كما سبق وان ذكر في الجزء 1.20 عندما يصبح المسمار ساخنا بعد طرقه عدة مرات بواسطة مطرقة.

التصنيف: سنعتبر الرصاصة نظام معزولا. لا يوجد أي شغل مبذول على النظام لان القوة المؤثرة على الجدار الخشبي لا تؤدي الى ازاحة له. وكذلك لا يوجد أي شغل يبذل بواسطة الجدار على الرصاصة، والطاقة الحركية تتحول إلى طاقة داخلية.

التحليل: باستخدام معادلة حفظ الطاقة المعادلة 2.8 ووضعها في الصورة المناسبة لحالة الرصاصة فان

$$(1) \quad \Delta K + \Delta E_{int} = 0$$

التغير في الطاقة الداخلية للرصاصة مرتبط بالتغير في درجة الحرارة

$$(2) \quad \Delta E_{int} = mc\Delta T$$

بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلة (2)

$$(0 + ½\, mv^2 + mc\Delta T = 0$$

بحل المعادلة بالنسبة لـ ΔT والتعويض عن الحرارة النوعية للفضة بـ c=234 J/kg.ºC (انظر الجدول 1.20) نحصل على:

$$\Delta T = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mc} = \frac{v^2}{2c} = \frac{(200m/s)^2}{2(234J/kg.^\circ C)} = 85.5^\circ C \qquad (3)$$

لاحظ ان النتيجة لا تعتمد على كتلة الرصاصة.

ماذا لو؟ افترض ان رجل الكاوبوي لم يعد يمتلك رصاصات الفضة واستبدلها برصاصة من الرصاص وأطلقها على الجدار بنفس السرعة. هل التغير في درجة حرارة الرصاصة سوف يكون أكبر او أصغر ؟

الاجابة: من الجدول 1.20 يتضح لنا ان الحرارة النوعية للرصاص هي 128 J/kg.ºC، أي اصغر من الحرارة النوعية للفضة. ولهذا فان مقدار الطاقة المتحولة سوف ترفع درجة حرارة الرصاص لدرجة حرارة اعلى من الفضة وستكون درجة حرارة الرصاص أكبر من الفضة. في المعادلة (3) عوض بالقيمة الجديدة للحرارة النوعية.

$$\Delta T = \frac{v^2}{2c} = \frac{(200m/s)^2}{2(128J/kg.^\circ C)} = 156^\circ C$$

لا يوجد داعي لان تكون كتلة رصاصة الفضة ورصاصة الرصاص متساويتين لتعيين التغير في درجة الحرارة. المطلوب الوحيد هو ان يكون لهما نفس السرعة.

3.20 الحرارة الكامنة Latent Heat

من الأجزاء السابقة لاحظنا ان المادة تتعرض لتغير في درجة الحرارة عندما تنتقل إليها طاقة من المحيط. ولكن في بعض الحالات فان انتقال الطاقة لا يؤدي إلى تغير في درجة الحرارة. هذه الحالة تحدث عندما يكون هناك تغير في الخواص الفيزيائية للمادة من حالة إلى أخرى والتي تعرف بتغير طور المادة. التغييرين في الطور الاكثر شيوعا هما تغير المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الذوبان) ومن الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (الغليان) والتغير الثاني يتضمن التغير في التركيب البلوري للحالة الصلبة. في كل هذه الحالات من تغير طور المادة يكون التغير الطاقة الداخلية للنظام ولا يطرأ تغير في درجة الحرارة. الزيادة في الطاقة الداخلية في حالة الغليان على سبيل المثال تتمثل في تكسير الروابط بين الجزيئات وفي الحالة السائلة يسمح تكسر الروابط للجزيئات ان تتحرك بعيدا عن بعضها البعض وتتحول إلى الحالة الغازية، مع زيادة في مقدار طاقة وضع الجزيئات.

كما هو متوقع فان المواد المختلفة تستجيب بشكل مختلف عند اكتساب او فقد طاقة من حيث تغير الطور لها لان ترتيب الجزيئات الداخلية مختلف. كذلك مقدار الطاقة المنتقلة خلال طور التحول يعتمد على كمية المادة المستخدمة. (اذبة مكعب من الثلج يتطلب طاقة أقل بالمقارنة مع اذابة بركة من الثلج). عندما نناقش طورين للمادة، سوف نستخدم مصطلح الطور الأعلى للمادة لنشير بذلك إلى المادة التي تمتلك درجة حرارة اعلى. على سبيل المثال، اذا ناقشنا طوري الماء والثلج، فان الماء مادة الطور الاعلى، في حين ان البخار هو المادة ذات الطور الأعلى في مناقشة البخار والماء. افترض

نظام يحتوي على مادة في طورين في حالة اتزان حراري مثل الماء والثلج. الكمية الابتدائية للطور الاعلى هي الماء في النظام ونرمز لها بـ m_i. الان تخيل ان طاقة مقدارها Q تدخل إلى النظام. ونتيجة لذلك، فان درجة كمية الماء النهائية سوف تكون m_f نتيجة لذوبان بعض الثلج. لهذا فان مقدار الثلج المذاب سوف يساوي المقدار الجديد للماء، $\Delta m = m_f - m_i$. ونعرف الحرارة الكامنة *latent heat* لهذا التغير في الطور على انه

$$L \equiv \frac{Q}{\Delta m} \qquad (20.6)$$

هذا المعامل يسمى الحرارة الكامنة latent heat (او بمعنى اخر الحرارة المختبئة hidden heat) لان هذه الاضافة او الازالة للطاقة لا تعمل على تغيير درجة حرارة النظام. قيمة L للمادة تعتمد على طبيعة التغير في الطور كذلك ايضا على خواص المادة. اذا كانت كل كمية الطور الاقل للمادة تتعرض لتغير في الطور، فان التغير في الكتلة للطور الأعلى Δm يساوي الكتلة الابتدائية للطور الادني. على سبيل المثال، اذا كانت كتلة مكعب من الثلج على صفيحة هي m تذوب بالكامل، فان التغير في كتلة الماء هي $m_f - 0 = m$، وهي كتلة الماء الجديدة وكذلك تساوي الكتلة الابتدائية لمكعب الثلج.

الجدول 2.20 الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر

Substance	Melting Point (°C)	Latent Heat of Fusion (J/kg)	Boiling Point (°C)	Latent Heat of Vaporization (J/kg)
Helium	−269.65	5.23×10^3	−268.93	2.09×10^4
Oxygen	−218.79	1.38×10^4	−182.97	2.13×10^5
Nitrogen	−209.97	2.55×10^4	−195.81	2.01×10^5
Ethyl alcohol	−114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Water	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Sulfur	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Lead	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminum	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Silver	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Gold	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Copper	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

من تعريف الحرارة الكامنة latent heat، ومرة اخرى باختيار الحرارة على انها عملية تحول للطاقة. فان الطاقة اللازمة لتغير طور المادة النقية يعطى على النحو التالي:

الطاقة المتحولة للمادة خلال عملية تغير الطور

$$Q = L\Delta m \qquad (20.7)$$

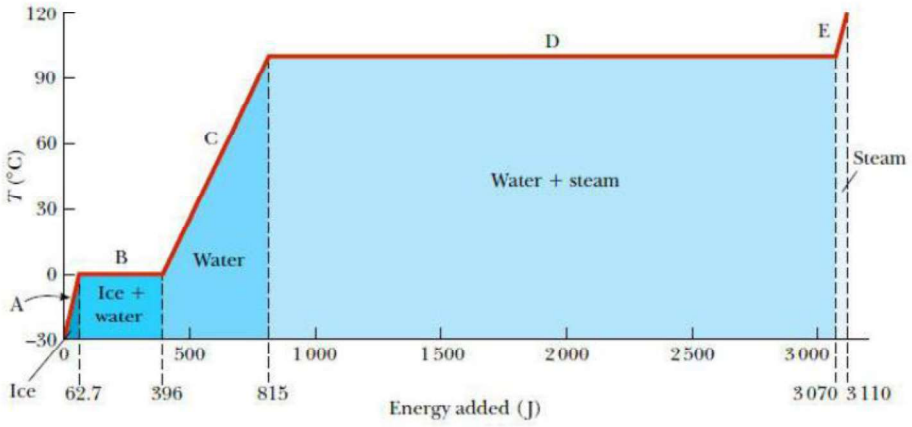
حيث أن Δm هي التغير في كتلة المادة ذات الطور الأعلى.

الحرارة الكامنة للانصهار *latent heat of fusion* ويرمز لها بـ L_f هي مصطلح يستخدم في حالة تغير الطور من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (وهي تشير إلى عملية الذوبان)، والحرارة الكامنة للتبخر *Latent heat of vaporization* والتي يرمز لها بـ L_v هي مصطلح يستخدم في حالة تغير الطور من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (حيث ان السائل يتبخر). الحرارة الكامنة لمختلف المواد تتغير بشكل كبير كما هو موضح في الجدول 2.20. عندما تدخل طاقة إلى النظام يحدث ذوبان او تبخر، كمية المادة في حالة الطور الأعلى تزداد، وبالتالي فان Δm تكون موجبة وكذلك Q موجبة، وهذا متفق مع اصطلاح الاشارة المستخدم. عندما تفقد المادة طاقة يحدث تجمد او تكثف فان كمية المادة في حالة الطور الاعلى سوف تقل، وبالتالي فان Δm سوف تكون سالبة وكذلك Q ايضا سالبة، وهذا مرة اخرى متفق مع اصطلاح الاشارة. تذكر ان Δm في المعادلة 7.20 دائما تشير إلى التغير في كتلة المادة ذات الطور الأعلى.

لفهم دور الحرارة الكامنة في تغيرات الطور، افترض الطاقة اللازمة لتحويل مكعب من الثلج كتلته 1.00-g عند درجة حرارة 30.0°C- إلى بخار عند درجة حرارة 120.0°C. الشكل 3.20 يوضح النتائج العملية التي تم الحصول عليها عند اضافة الطاقة بشكل تدريجي للثلج. النتائج هنا موضحة في مخطط بياني يربط العلاقة بين درجة حرارة الثلج مع الطاقة المضافة للنظام. لنقوم الان بفحص كل جزء من المنحنى الاحمر والمقسم إلى اجزاء من A إلى E.

الجزء A. على هذا المقطع من المنحنى، درجة حرارة الثلج تتغير من 30.0°C- إلى 0°C. المعادلة 4.20 تشير إلى ان درجة الحرارة تتغير خطيا مع الطاقة المضافة، لذا فان النتائج العملية ظهرت على شكل خط مستقيم على المنحنى. ولان الحرارة النوعية للثلج تساوي 2090 J.kg.°C، يمكن حساب مقدار الطاقة المضافة باستخدام المعادلة 4.20:

$$Q = m_i\, c_i\, \Delta T = (1.00\times10^{-3}\ \text{kg})(2090\ \text{J/kg.°C})(30.0°\text{C}) = 62.7\ \text{J}$$



الجزء B. عندما تصل درجة حرارة الثلج إلى 0.0°C، يبقى خليط الماء والثلج عند هذه الدرجة حتى اثناء اضافة المزيد من الطاقة حتى يذوب كل الثلج. الطاقة اللازمة لاذابة 1.00 g من الثلج عند درجة حرارة 0.0°C تحسب من المعادلة 7.20.

$$Q = L_f \Delta m_w = (3.33\times10^5 \text{ J/kg})(1.00\times10^{-3} \text{ kg}) = 333 \text{ J}$$

عند هذه النقطة انتقلنا إلى الطاقة 396 J وهي حاصل جمع كلا من 333J + 62.7 J والموضحة على المنحنى في الشكل 3.20.

الجزء C. بين درجتي الحرارة 0.0°C و 100.0°C لا يحدث شيء غريب هنا فلا يوجد تغير في الطور وبالتالي فان كل الطاقة المضافة للماء تستخدم في زيادة درجة حرارته. كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة الحرارة من 0.0°C إلى 100.0°C هي

$$Q = m_w c_w \Delta T = (1.00\times10^{-3} \text{ kg})(4.19\times10^3 \text{ J/kg.°C})(100.0°\text{C}) = 419 \text{ J}$$

الجزء D. عند درجة حرارة 100°C يحدث تغير في الطور ويتحول الماء عند 100°C إلى بخار عند 100°C. وكما في خليط الماء والثلج في الجزء B، فان خليط الماء والبخار يبقى عند درجة حرارة 100.0°C حتى مع زيادة طاقة للنظام ويستمر هذا حتى يتحول كل الماء إلى بخار. الطاقة اللازمة لتحويل 1.00 g من الماء إلى بخار عند درجة حرارة 100°C هي

$$Q = L_v \Delta m_s = L_v m_s = (2.26\times10^6 \text{ J/kg})(1.00\times10^{-3} \text{ kg}) = 2.26\times10^3 \text{ J}$$

الجزء E. على هذا المقطع من المنحنى، كما في الجزئين A و C، لا يحدث تغير في الطور ولهذا فان كل الطاقة المضافة تستخدم لزيادة درجة حرارة البخار. الطاقة التي يجب ان تضاف لرفع درجة حرارة البخار من 100.0°C إلى 120.0°C هي

$$Q = m_s c_s \Delta T = (1.00\times10^{-3} \text{ kg})(2.01\times10^3 \text{ J/kg.°C})(20.0°\text{C}) = 40.2 \text{ J}$$

مقدار الطاقة الكلية التي يجب ان تضاف إلى 1 g من الثلج عند درجة حرارة -30.0°C لتحوله إلى بخار عند درجة حرارة 120.0°C هي عبارة عن حاصل جمع كل النتائج التي حصلنا عليها من الاجزاء الخمسة على المنحنى، والتي تساوي 3.11×10^3 J من الطاقة.

لاحظ من الشكل3.20 ان كمية الطاقة اللازمة لتبخير الماء وتحويله إلى بخار كبيرة نسبيا. تخيل العملية العكسية، مع تحول كمية كبيرة من الطاقة وتحررها عند تكثف البخار وتحوله لماء. ولهذا السبب عندما يتعرض الجلد لبخار ماء عند درجة حرارة 100°C يحدث حرق ضرره اكبر بكثير من تعرض الجلد لماء عند درجة حرارة 100°C. كمية كبيرة من

الطاقة تدخل إلى الجلد من البخار ويبقى البخار عند درجة حرارة 100°C، اما الماء فان درجة حرارته على الفور تبدأ في النقصان كلما تسربت الطاقة من الماء إلى الجلد.

تماما في اذا تم الاحتفاظ بالماء مستقرا وعاء نظيف جدا فانه من الممكن ان تنخفض درجة حرارته لاقل من 0°C بدون ان يتجمد إلى ثلج. هذه الظاهرة تعرف باسم التبريد الفائق supercooling لان الماء يحتاج لحدوث اضطراب حتى تتحرك جزيئاته بعيدا عن بعضها البعض وتبدأ بتشكيل تراكيب ثلج كبيرة تجعل كثافة الثلج اقل من كثافة الماء كما تم مناقشته في الجزء 4.19. واذا حدث اضطراب للماء فائق البرودة فانه يتجمد فجأة. حيث يصبح النظام في وضع ترابط لجزيئات الثلج يكون منخفض الطاقة وتتحرر الطاقة يسبب ارتفاع في درجة الحرارة مرة اخرى إلى 0°C.

تتكون قفازات التدفئة من محلول استيتات الصوديوم في حافظة بلاستيكية مغلقة. المحلول في الحافظة في حالة استقرار فائق البرودة. عند الضغط على القرص في الحافظة البلاستيكية يتجمد السائل وترتفع درجة الحرارة، مثل الماء فائق البرودة. في هذه الحالة نقطة تجمد السائل اعلى من درجة حرارة الجسم، وبالتالي يكون ملمس الحافظة البلاستيكية دافئ. ولاعادة استخدام قفازات التدفئة فانه يجب تسخين الحافظة البلاستيكية لاسالة المادة الصلبة. وعندما تبرد، فانها تصبح اقل من نقطة التجمد في حالة البرودة الفائقة.

كذلك من الممكن ايضا ان نوجد تسخين فائق superheating. على سبيل المثال الماء النظيف في وعاء نظيف جدا موضوع في فرن ميكروويف يمكن ان ترتفع درجة حرارته لاكثر من 100°C بدون ان يغلي لان تكون فقاعات البخار في الماء تتطلب وجود خدوش في الوعاء او بعض الشوائب في الماء لتكون بمثابة مواقع تكون هذه الفقاعات. عندما نخرج الوعاء من فرن الميكروويف يكون الماء فائق الحرارة ويمكن هنا ان تحدث فقاعات انفجارية ويخرج الماء من الوعاء بقوة.

سؤال للتفكير 2.20

افترض ان نفس عملية اضافة الطاقة لمكعب الثلج اجريت كما تم مناقشتها اعلاه، ولكن قمنا برسم العلاقة بين الطاقة الداخلية للنظام كدالة في الطاقة المضافة للنظام. كيف سيكون شكل المنحنى؟

مثال 4.20 تبريد البخار

ما هي كلته بخار درجة حرارته الابتدائية 130°C اللازمة لتدفئة 200 g من الماء في وعاء من الزجاج كتلته 100-g من 20.0°C إلى 50.0°C؟

الحل:

تصور للمسألة: تخيل اننا وضعنا الماء والبخار مع بعضهما البعض في وعاء معزول. النظام سوف يصل لحالة مستقرة من الماء عند درجة حرارة نهائية تساوي 50.0°C.

التصنيف: بالاعتماد على المفاهيم المعروفة لمثل هذه الحالة، فإننا نصنف هذه المسألة على انها مسألة مسعر حراري يتضمن تغير في حالة المادة.

التحليل: بكتابة المعادلة 5.20 لوصف عملية المسعر الحراري:

$$(1) \qquad Q_{cold} = -Q_{hot}$$

يتعرض البخار إلى ثلاثة عمليات: العملية الاولى انخفاض درجة حرارته إلى 100°C ومن ثم يتكثف ليتحول إلى ماء سائل، وبعدها تنخفض درجة حرارة الماء لتصل إلى 50.0°C. قم بحساب الطاقة المتحولة في العملية الاولى باستخدام كتلة مجهولة m_s للبخار.

$$Q_1 = m_s\, c_s\, \Delta T_s$$

وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في العملية الثانية:

$$Q_2 = L_v\, \Delta m_s = L_v\,(0 - m_s) = -m_s\, L_v$$

وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في العملية الثالثة:

$$Q_3 = m_s\, c_w\, \Delta T_{\text{hot water}}$$

بجمع الطاقة المتحولة في العمليات الثلاثة:

$$(2) \qquad Q_{hot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_s(c_s\, \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{\text{hot water}})$$

الماء والزجاج عند درجة حرارة ابتدائية 20.0°C يتعرضا فقط لعملية واحدة وهي زيادة درجة الحرارة إلى 50.0°C. وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في هذه العملية:

$$(3) \qquad Q_{cold} = m_w\, c_w\, \Delta_{T\text{cold water}} + m_g\, c_g\, \Delta T_{\text{glass}}$$

بالتعويض في العادلة (1) من المعادلتين (2) و(3):

$$m_w\, c_w\, \Delta_{T\text{cold water}} + m_g\, c_g\, \Delta T_{\text{glass}} = -\, m_s(c_s\, \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{\text{hot water}})$$

بحل هذه المعادلة لإيجاد قيمة m_s:

$$m_s = \frac{m_w c_w \Delta T_{cold water} + m_g c_g \Delta T_{glass}}{c_s \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{hot water}}$$

$$m_s = \frac{(0.200kg)(4186J/kg.^\circ C)(50.0^\circ C - 20.0^\circ C) + (0.100kg)(837J/kg.^\circ C)(50.0^\circ C - 20.0^\circ C)}{(2010J/kg.^\circ C)(100.0^\circ C - 130.0^\circ C) - (2.26\times 10^6 J/kg) + (4186J/kg.^\circ C)(50.0^\circ C - 100.0^\circ C)}$$

$$m_s = 1.09\times 10^{-2}\ \text{kg} = 10.9\ \text{g}$$

ماذا لو؟ ماذا إذا كانت الحالة النهائية للنظام هي ماء عند درجة حرارة 100°C؟ هل يتطلب ذلك كمية أكبر او اقل من البخار؟ ما هي التغيرات التي سوف تطرأ على الحل اعلاه؟

الاجابة: سوف يتطلب ذلك بخار أكثر لرفع درجة حرارة الماء والزجاج إلى 100°C بدلا من 50.0°C. وسيكون هناك تغيرين اساسيين في الحل اعلاه. التغير الأول، لن يكون هناك الحد Q_3 للبخار لان الماء الذي سيتكثف من البخار لن يبرد لدرجة حرارة اقل من 100°C. التغير الثاني في Q_{cold} فان درجة الحرارة سوف تكون 80.0°C بدلا من 30.0°C. وكتمرين قم بإثبات ان كمية البخار اللازمة هي 31.8 g.

اسئلة موضوعية Objective Questions

(1) ما مقدار الزمن اللازم لإذابة قطعة من الثلج كتلتها 1.00 kg ودرجة حرارتها 20.0°C- بواسطة سخان قدرته 1000 W، افترض ان كل الطاقة المتولدة من السخان تمتص بواسطة قطعة الثلج؟ (a) 4.18 s (b) 41.8 s (c) 5.55 min (d) 6.25 min (e) 38.4 min.

(2) قطعة من النحاس كتلتها 100-g درجة حرارتها الابتدائية 95.0°C، اسقطت في ماء كتلته 200 g في وعاء من الالومنيوم كتلته 280-g، درجة حرارة الماء والوعاء 15.0°C. ما هي درجة الحرارة النهائية للنظام؟ السعة الحرارية للنحاس هي 0.092 cal/g.°C، والسعة الحرارية للألومنيوم هي 0.215 cal/g.°C. (a) 16°C (b) 18°C (c) 24°C (d) 24°C (e) ليس أي من هذه الاجابات صحيحا

(3) الحرارة النوعية لمادة A أكبر من الحرارة النوعية لمادة B. كلا من A و B عند نفس درجة الحرارة الابتدائية اضيفت لهما نفس الكمية من الطاقة. افترض انه لم يحدث ذوبان او تبخر، أي من التالي تستطيع ان تستنتج عن درجة الحرارة النهائية T_A للمادة A ودرجة الحرارة النهائية T_B للمادة B؟ (a) $T_A > T_B$ (b) $T_A < T_B$ (c) $T_A = T_B$ (d) بحاجة لمعلومات اكثر.

(4) اضيفت كمية من الطاقة إلى ثلج، فارتفعت درجة حرارته من 10°C- إلى 5°C-. كمية أكبر من الطاقة اضيفت الى نفس الكتلة من الماء، فارتفعت درجة حرارة الماء من 15°C إلى 20°C. من هذه النتائج، ماذا تستنتج؟ (a) التغلب على الحرارة الكامنة لانصهار الثلج يتطلب ادخال طاقة. (b) الحرارة الكامنة لانصهار الثلج يعطي النظام نفس مقدار الطاقة. (c) الحرارة النوعية للثلج اقل من الحرارة النوعية للماء. (d) الحرارة النوعية للثلج أكبر من الحرارة النوعية للماء. (e) معلومات أكثر مطلوبة لاستنباط أي نتيجة.

(5) ما هو مقدار الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 5.00 kg من الرصاص من 20.0°C إلى نقطة غليانه 327°C؟ والحرارة النوعية للرصاص هي 128. J/kg.°C (a) 4.04×10^5 J (b) 1.07×10^5 J (c) 8.15×10^4 J (d) 2.13×10^5 J (e) 1.96×10^5 J

(6) كحول الايثيل له نصف السعة الحرارية للماء تقريبا. افترض كميات متساوية من الطاقة انتقلت بواسطة الحرارة إلى عينتين متساويتين من الماء والكحول في وعائين منفصلين معزولين. ارتفعت درجة حرارة الماء بمقدار 25°C. ما هو مقدار ارتفاع درجة الحرارة في الكحول؟ (a) سوف يرتفع بمقدار 12°C. (b) سوف ترتفع بمقدار 25°C. (c) سوف ترتفع بمقدار 50°C. (d) انه يعتمد على معدل انتقال الطاقة. (e) لن ترتفع درجة الحرارة.

(7) افترض انك تقيس الحرارة النوعية لعينة من المعدن الساخن باستخدام مسعر حراري به ماء. لان المسعر ليس معزولا تماما فان بعض الطاقة تنتقل بواسطة الحرارة بين محتويات المسعر والغرفة. لتعيين نتائج دقيقة لمقدار الحرارة النوعية، فانك عليك ان تستخدم ماء درجة حرارته الابتدائية؟ (a) اقل بقليل من درجة حرارة الغرفة (b) نفس درجة حرارة الغرفة (c) اكثر بقليل من درجة حرارة الغرفة (d) أي درجة حرارة ترغب لان درجة الحرارة الابتدائية لا تؤثر

(8) البريليوم له نصف السعة الحرارية للماء تقريبا. رتب كميات الطاقة اللازمة لأحداث التغيرات التالية من الاعلى إلى الأقل. في ترتيبك دون الحالات التي يكون فيها تساوي. (a) رفع درجة حرارة 1 kg من الماء من 20°C إلى 26°C (b) رفع درجة حرارة 2 kg من الماء من 20°C إلى 23°C (c) رفع درجة حرارة الماء من 2 kg من الماء من 1°C إلى 4°C (d) رفع درجة حرارة الماء من 2 kg من البريليوم من 1°C- إلى 2°C (e) رفع درجة حرارة 2 kg من الماء من 1°C- إلى 2°C.

(9) يقوم شخص برج قنينة معزولة ومغلقة بإحكام تحتوي على قهوة لمدة بضع دقائق. (i) ما هو التغير في درجة حرارة الغرفة؟ (a) نقصان كبير (b) نقصان طفيف (c) لا تتغير (d) زيادة طفيفة (e) زيادة كبيرة (ii) ما مقدار التغير في الطاقة الداخلية للقهوة؟ اختر من الخيارات السابقة.

(10) اداة قاسية غير قابلة للاحتراق تستخدم لتحريك المواد المشتعلة في فرن. لضمان السلامة فان هذه الاداة يجب ان تصنع من مادة لها (a) حرارة نوعية عالية وموصلية حرارية عالية، (b) حرارة نوعية منخفضة وموصلية حرارية منخفضة، (c) حرارة نوعية منخفضة وموصلية حرارية عالية، (d) حرارة نوعية عالية وموصلية حرارية منخفضة؟

أسئلة نظرية Conceptual Questions

(1) مخزن تحت الارض لتخزين الفواكه والخضروات. في الشتاء لماذا يقوم المسؤولين عن المخزن بوضع براميل مياه مفتوحة بجوار المنتجات؟

(2) عند تعرض طقس دافئ عادة لصقيع قاسي، يرش المزارعون على اشجار الفواكه ماء حتى تتكون عليها طبقة من الثلج. لماذا تعتبر هذه الطبقة مهمة؟

(3) ما هو الخطأ في العبارة التالية: بالنظر لأي جسمين، فان الجسم الذي درجة حرارته اعلى يحتوي على حرارة أكثر.

(4) لماذا يستطيع أي شخص ازالة غشاء من الألومنيوم الجاف من الفرن في حين يحرق نفسه إذا كان الغشاء مبلل؟

(7) في صباح يوم حار. قمت بشراء عصير لرحلة ووضعته في السيارة في داخل حقيبة بها ثلج. (a) إذا قمت بتغطية الحقيبة بغطاء. هل بقيامك بذلك تساعد على الحفاظ على محتويات الحقيبة باردة او إنك تقوم بتدفئتها؟ اشرح اجابتك. (b) اقترحت عليك اختك ان تقوم بتغطيتها بغطاء صوف حتى تحافظ على برودتها في يوم حار مثل حقيبة الثلج. اشرح استجابتك لها.

(8) تريد ان تلتقط قدر طهي من الفرن لديك كفتين من القطن. لكي تحمل القدر بدون ما تشعر بالحرارة هل عليك ان تبللهما بماء بارد او تحافظ عليهما جافتين؟

(11) قمت بدلك كفة يدك على سطح معدني لمدة 30 ثانية. ثم ضع كفة يدك الأخرى على جزء من السطح المعدني غير الجزء الذي دلكت به كفك ومن ثم ضعها على الجزء دلكته. ستشعر بان السطح المعدني المستخدم لحك يدك أكثر دفئا.

مسائل

الجزء 20.2 الحرارة النوعية والمسعر الحراري

2. اعلى شلال في العالم هو شلال Aslto Angel في فنزويلا. يبلغ ارتفاع اعلى نقطة فيه 807 m. اذا كانت درجة حرارة الماء عند تلك النقطة هي 15.0ºC، ما هي اعلى درجة حرارة للماء عند اسفل الشلال؟ افترض ان كل الطاقة الحركية للماء تستغل في رفع درجة الحرارة.

3. خليط من ماء كتلته 0.250 kg عند درجة حرارة 20.0ºC، و كتلة من الالومنيوم مقدارها 0.400 kg عند 26.0ºC وقطعة من النحاس كتلتها 0.100 kg عند درجة حرارة 100ºC في وعاء معزول وصلت لدرجة الاتزان الحراري. اهمل الطاقة المنتقلة من او الى الوعاء. ما هي درجة حرارة الخليط النهائية؟

4. في تجربة جول في الشكل 20.1. كتلة كل بلوك هي 1.50 kg، وكتلة الماء في الخزان المعزول هي 200 g. ما مقدار الارتفاع في درجة حرارة الماء بعد سقوط الكتلتين مسافة 3.00 m؟

5. ما مقدار كتلة الماء عند درجة حرارة 25.0ºC اللازم استخدامها مع 1.85-kg من الالومنيوم عند درجة حرارة 150ºC ليصلا إلى الاتزان الحراري عند درجة حرارة مقدارها 65.0ºC؟ افترض ان أي كمية من الماء تتحول إلى بخار تتكثف.

6. ساق من الفضة درجة حرارته ترتفع بمقدار 10.0ºC عندما يمتص كمية من الطاقة الحرارية مقدارها 1.23 kJ. كتلة ساق الفضة هي 525 g. أوجد الحرارة النوعية للفضة من هذه البيانات.

7. في الأماكن الباردة كالنرويج وشمال الولايات المتحدة، تبنى المنازل بنوافذ كبيرة مواجهة لأشعة الشمس. تمتص اشعة الشمس طوال اليوم بواسطة ارضية المنزل، والجدران الداخلية، والاثاث مما يرتفع درجة حرارتها إلى 38.0ºC. إذا كان المنزل معزول بشكل جيد يمكنك اعتبار ان المنزل يفقد حرارة بمعدل مستقر وهو 6000 W في اليوم عندما تكون درجة الحرارة الخارجية 4.0ºC. ويفرض عدم استخدام نظام للتدفئة. بين الساعة 5:00 p.m. و 7.00 p.m.، تنخفض درجة حرارة المنزل ونحتاج إلى كتلة حرارية كافية لمنع درجة الحرارة من ان تنخفض كثيرا. الكتلة الحرارية يمكن ان تكون كمية كبيرة من الحجارة (حرارته النوعية 850 J/kg.ºC) توضع في الأرضية والجدران الخارجية. ما هي كتلة الحجر اللازمة لمنع الحرارة من ان تنخفض اقل من 18.0ºC خلال الليل؟

8. كأس من الألومنيوم كتلته 200 g يحتوي على 800 g من الماء في حالة اتزان حراري عند درجة حرارة 80.0ºC. تم تبريد الكأس والماء بشكل منتظم بحيث كان معدل انخفاض درجة الحرارة 1.50ºC في كل دقيقة. ما هو معدل فقد الطاقة بواسطة الحرارة؟ عبر عن اجابتك بوحدة الوات.

9. قطعة حديدية كتلتها 1.50-kg عند درجة حرارة 600ºC اسقطت في وعاء به 20.0 kg ماء درجة حرارة الماء 25.0ºC. ما هي درجة الحرارة النهائية للماء وقطعة الحديد؟ اهمل السعة الحرارية للواعاء وافترض ان كمية الماء التي تتبخر مهملة.

11. Q|C مسعر من الالومنيوم كتلته 100 g يحتوي على 250 g من الماء. الماء والمسعر في اتزان حراري عند درجة حرارة 10.0ºC. وضعت قطعتين من المعدن في الماء. أحد القطعتين من النحاس كتلتها 50.0-g ودرجة حرارتها

80.0ºC. والقطعة الأخرى كتلتها 70.0 g ودرجة حرارتها 100ºC. استقر كامل النظام عند درجة حرارة نهائية هي 20.0ºC. (a) أوجد الحرارة النوعية للقطعتين. (b) باستخدام البيانات في الجدول 20.1 هل تستطيع ان تتعرف على مادة القطعتين؟ ما هي؟ (c) اشرح اجابتك للجزء (b).

12. Q|C قطعة نقدية من النحاس كتلتها 3.00-g عند درجة حرارة 25.0ºC اسقطت على الارض من ارتفاع 50.0 m. (a) افترض ان 60.0% من التغير في طاقة الوضع تتحول إلى زيادة الطاقة الداخلية لقطعة النقود، اوجد درجة حرارة القطعة النقدية النهائية. (b) ماذا لو؟ هل تعتمد النتيجة على كتلة النقود؟ اشرح.

13. وعاءين معزولين حراريا متصلين بواسطة انبوبة مزودة بصمام مغلق كما في الشكل P20.13. أحد الوعاءين حجمه 16.8 L يحتوي اكسجين عند درجة حرارة 300 K وضغط 1.75 atm. الوعاء الأخر حجمه 22.4 L ويحتوي اكسجين عند درجة حرارة 450 K وضغط 2.25 atm. عندما فتح الصمام، اختلط الغازين واصبحت درجة الحرارة والضغط منتظمين خلال الوعاءين. (a) ما هي درجة الحرارة النهائية؟ (b) ما هو الضغط النهائي؟

الجزء 20.3 الحرارة الكامنة

14. ما هو مقدار الطاقة اللازمة لتغير 40.0-g من الثلج من درجة حرارة 10.0ºC- إلى بخار عند درجة حرارة 110ºC؟

15. مكعب من الثلج كتلته 75.0-g عند درجة حرارة 0oC موضوعة في 825 g من الماء عند درجة حرارة 25.0oC. ما هي درجة الحرارة النهائية للخليط؟

16. اطلقت رصاصة من الرصاص كتلتها 3.00-g عند درجة حرارة 30.0ºC بسرعة 240 m/s في كتلة كبيرة من الثلج عند 0ºC، حيث اصبحت الرصاصة في كتلة الثلج. ما هي كمية الثلج التي ستذوب؟

17. اضيف بخار ماء عند درجة حرارة 100ºC إلى ثلج عند درجة حرارة 0ºC. (a) اوجد كمية الثلج التي ستذوب ومقدار درجة الحرارة النهائية عندما كانت كتلة البخار هي 10.0 g وكتلة الثلج هي 50.0 g. (b) ماذا لو؟ قم بإعادة الحسابات اذا كانت كتلة البخار 1.00 g وكتلة الثلج هي 50.0 g.

18. كتلة من النحاس مقدارها 1.00-kg عند درجة حرارة 20.0ºC اسقطت في وعاء كبير فيه نيتروجين سائل عند درجة حرارة 77.3 K. كم كيلو جرام من النيتروجين يتبخر خلال الوقت الذي تصل إليه درجة حرارة النحاس لـ 77.3 K. (السعة الحرارية للنحاس هي 0.0920 cal/g.ºC، والحرارة الكامنة لتبخر النيتروجين هي 48.0 cal/g).

19. يوجد 250 g من الثلج في وعاء معزول عند درجة حرارة 0ºC اضيف له 600 g من الماء درجة حرارته 18.0ºC. (a) ما هي درجة الحرارة النهائية للنظام؟ (b) ما هو مقدار الثلج المتبقي عندما يصل النظام للاتزان الحراري؟

20. Q|C سيارة كتلتها 1500 kg، وكتلة قطع فرامل الالومنيوم هي 6.00 kg. (a) افترض ان كل الطاقة الميكانيكية تتحول إلى طاقة داخلية عندما تتوقف السيارة بواسطة الفرامل مع افتراض ان الطاقة لا تفقد بواسطة الفرامل على شكل حرارة. درجة حرارة الفرامل الابتدائية هي 20.0ºC. كم مرة تتوقف السيارة من سرعة 25.0 m/s قبل ان يبدأ الفرامل بالذوبان؟ (b) حدد العوامل التي اهملت في الجزء (a) المهمة للحصول على تقدير لاهتراء الفرامل.