

كمية الحرارة ودرجة الحرارة

ما هي الحرارة؟ وما هي درجة الحرارة؟

عزيزي الطالب عرفت أن المادة تتكون من جزيئات وأن الجزيئات هي أصغر وحدات بناء المادة التي تبقى محتفظة بخواصها الفيزيائية ، كما عرفت أن جزيئات المادة في حركة مستمرة بالنسبة لبعضها البعض ، كما أنها تتحرك مع بعضها البعض في كتل ، والجزيئات لمادة ما لها كتلة معينة (ك) لأنها في حركة مستمرة فلها في كل لحظة سرعة معينة (ع) ولهذا يكون لكل جزيء طاقة حركة معينة في تلك اللحظة ($\frac{1}{2} ك ع^2$) .

والحرارة هي نوع من أنواع الطاقة ، تنجم عن حركة هذه الجزيئات واصطدامها بعضها ببعض وبجدران الوعاء الحاوي لها ، أن الطاقة الحرارية هي نتاج الطاقة الداخلية لجزيئات المادة .

أما درجة الحرارة فهي مقياس للطاقة الحركية لجزيئات المادة ، وهي تعتمد على سرعة هذه الجزيئات في حركتها ، فكلما زادت سرعة جزيئات المادة زادت درجة حرارتها ، ولهذا إذا كانت جزيئات مادة غازية وأخرى سائلة وثالثة صلبة في درجة حرارة واحدة فإن طاقة حركتها المتوسطة تكون واحدة بالرغم من اختلاف المسافات التي تفصل بين جزيئاتها ، ومن اختلاف عدد الاتجاهات التي تستطيع هذه الجزيئات أن تتحرك فيها .

فالحرارة شكل من أشكال الطاقة يمكن تحويلها إلى أشكال أخرى للطاقة ، كما يمكن تحويل الأشكال الأخرى للطاقة إلى حرارة وبما أنها شكل من أشكال الطاقة فيمكن إعطاؤها للأجسام التي تفتقرها أو امتصاصها وأخذها من الأجسام التي تحتجزها . أما مدى إحساسنا بالحرارة أو البرودة عند لمسنا للأشياء هو ما يعبر عنه بدرجة الحرارة . إذا درجة الحرارة هي المستوى الحراري للجسم .

١/ قياس درجة الحرارة :

هل تصلح حاسة اللمس لتحديد درجة حرارة جسم ما ؟
أنت تعلم أنه إذا اتصلت مادتان مختلفتا درجتي الحرارة فإن مقداراً من الطاقة الحرارية ينتقل من المادة ذات الدرجة الأعلى إلى المادة ذات الدرجة الأدنى حتى تتساوى درجتا حرارتهما . وإذا لمست جسماً معدنياً في يوم بارد فإنك تشعر أنه بارد ، أما إذا لمست

سطحاً خشبياً فإنك تشعر أنه أقل برودة من الجسم المعدني بالرغم من أنهما في درجة حرارة واحدة . كيف تفسر ذلك ؟

لعلك تعرف أن المعادن أجود توصيلاً للحرارة من الخشب ، إذا فالمعدن يبدو بارداً لأنه يوصل حرارة الأصابع بسرعة عند لمسه ، أما الخشب فإنه يبدو أقل برودة لأنه لا يوصل الحرارة بالسرعة نفسها التي يوصلها بها المعدن . ومن هنا كان الاعتماد على حاسة اللمس في قياس درجة الحرارة يوقع في الخطأ ، وكما أنك باللمس لن تستطيع تحديد مقدار درجة حرارة جسم ما فإنك أيضاً لن تستطيع لمس حديد مصهور أو ماء يغلي . لهذه الأسباب وغيرها نحتاج إلى أداة أو جهاز يدلنا على درجة حرارة الجسم ، وهذه ما يوفره الترمومتر ، ويمكننا أن نعرف درجة حرارة جسم ما بأنها : (عدد ، يبينه الترمومتر ، يدل على حالة الجسم من حيث السخونة أو البرودة عندما يصبح الترمومتر في نفس درجة حرارة الجسم) .

ودرجة الحرارة ما هي إلا كمية نسبية مثل الرمز ليس من السهل تعريفها تعريفاً محددًا والذي يهمنا كيف نقيسها .

٢ / الترمومترات : Thermometers

ما هو المبدأ الذي يتم على أساسه صنع الترمومترات ؟

هناك كثير من الخواص الفيزيائية التي تتغير بانتظام بتغير درجة الحرارة ، فمثلاً : حجم كمية معينة من سائل ، ضغط كمية معينة من غاز ثابت الحجم ، القوة المحركة الكهربائية عند نقطة اتصال معدنين مختلفين في دائرة كهربائية مغلقة .

اذكر بعض الصفات الفيزيائية الأخرى التي يمكن أن تتغير بانتظام بتغير درجة الحرارة ..

لو اخترنا إحدى هذه الصفات التي تتغير بانتظام بتغير درجة الحرارة لأمكننا أن نقيس درجة الحرارة بالعدد الذي يقيس هذه الصفة المتغيرة ومن هنا فإن تكوين الترمومتر يتحدد باختيار :

١ / مادة ترمومترية معينة .

٢ / صفة ترمومترية خاصة بهذه المادة تتغير دائماً بانتظام بتغير درجة الحرارة .

فمثلاً: يمكن أن تكون المادة الترمومترية سائلاً يتحرك في أنبوبة شعيرية ، أما الصفة الترمومترية فتكون حجم السائل الذي يتغير بتغير درجة الحرارة ، وهذا هو الترمومتر السائل .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

ويمكن أن تكون المادة الترمومترية كمية من غاز يحتويها إناء ثابت الحجم أما الصفة الترمومترية فتكون مقدار ضغط هذا الغاز الذي يتغير بتغير درجة الحرارة ، وهذه هو الترمومتر الغازي .

كما يمكن أن تكون المادة الترمومترية معدنين مختلفين متصلين عند نقطة ، بحيث يشكّلان جزءاً من دائرة كهربية فتكون الصفة الترمومترية هي مقدار تغير القوة المحركة الكهربائية في الدائرة بتغير درجة حرارة نقطة الاتصال ، وهذا هو الترمومتر الصلب . ولكن كيف تدل الترمومترات المختلفة على نفس درجة الحرارة عندما توضع في وسط واحد ؟.

٣/ التدرجات الحرارية : Temperature Scales

لكي تدل الترمومترات المختلفة على درجة حرارة واحدة عندما توضع في وسط واحد اتفق على اختيار أجسام تكون درجة حرارتها دائماً ثابتة (إذا كانت في ظروف واحدة) لتكون نقاط مقارنة لدرجات الحرارة المختلفة ، ومن هذه الأجسام :

□ الجليد الذي ينصهر تحت الضغط الجوي العياري (٧٦ سم زئبق) .

□ الماء الذي يغلي تحت الضغط الجوي العياري .

ثم يدرج الترمومتر بين هاتين الدرجتين المختارتين إلى عدد من الأقسام المناسبة وبذلك نحصل على ما يسمى بالتدرج الحراري ومن التدرجات الحرارية :

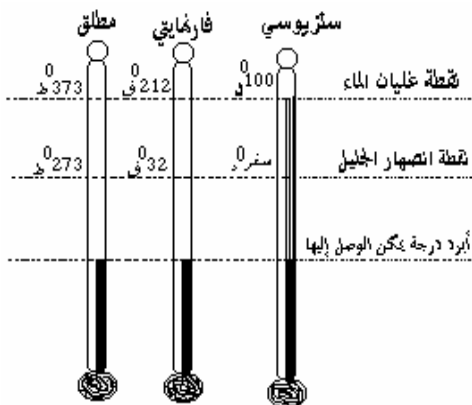
أ) التدرج المنوي أو السليزيوسي : Celsius Scale

وفيه تعتبر درجة انصهار الجليد صفرًا ودرجة غليان الماء ١٠٠ درجة (تحت الضغط الجوي العياري) ثم تقسم المسافة بينهما إلى ١٠٠ قسم يسمى كل منها درجة سليزيوسية ويرمز لها بالرمز (د) وهذا التدرج هو التدرج الدولي .

ب) التدرج الفارنهایتي : Fahrenheit Scale

وفيه تعتبر درجة انصهار الجليد ٣٢ درجة ، ودرجة غليان الماء ٢١٢ درجة ، وتقسم المسافة بينهما إلى ١٨٠ قسماً يدل كل منها على درجة فارنهایتية ويرمز لها بالرمز (ف) .

ج) التدرج المطلق أو مقياس كلفن : Absolute Scale



شكل (٢٥)

إن أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها من الناحيتين العملية والنظرية هي - 273° تقريباً ولقد اعتبر اللورد كلفن هذه الدرجة صفراً لمقياسه ، ولهذا تكون نقطة انصهار الجليد عليه 273° ط ونقطة غليان الماء 373° ط فتكون درجات الحرارة بين النقطتين الثابتتين هي :

$$100 = (373 - 273) \text{ وبذلك}$$

يتساوى مع التدرج السيليزيوسى ، وإذا رمزنا لعدد الدرجات المطلقة بالرمز (ط) ولعدد الدرجات السيليزيوسية بالرمز (د) فإن :

$$ط = د + 273 \text{ والشكل (٢٥) يوضح العلاقة التي تربط التدرجات}$$

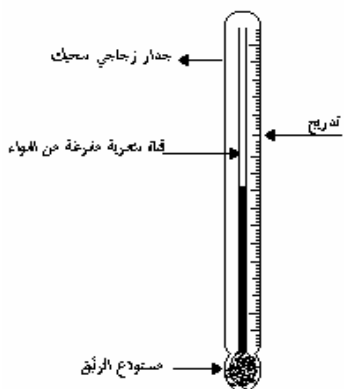
الثلاثة السابقة .

والآن بعد أن عرفنا التدرجات الحرارية ، ما هي الترمومترات التي تعرفها ؟ هل

يمكنك أن تقسمها إلى مجموعات ؟

٤/ أنواع الترمومترات :

أ) الترمومترات السائلة :



شكل (٢٦)

تكون مادتها الترمومترية سائلة كالزئبق أو الكحول وتعين لنا التغير في درجة الحرارة (Δ). بمقدار التغير في حجم السائل (Δ) حيث $\Delta \propto (\Delta)$.. ومن أشهر وأهم الترمومترات السائلة الترمومتر الزئبقي ويتركب كما في الشكل (٢٦) من مستودع زجاجي رقيق الجدران يتصل به قناة شعيرية مدرجة مفرغة من الهواء ويملاً المستودع وجزء من القناة الشعيرية بالزئبق الذي يعتبر أكثر السوائل شيوعاً في عمل الترمومترات (لماذا ؟) .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

وتستخدم طريقة التسخين والتبريد المتعاقبتين لماء المستودع وجزء من القناة بالزئبق ، وكلما كانت قناة الترمومتر ضيقة ومستودعه أكبر كلما كان أكثر حساسية لقياس درجة الحرارة (لماذا ؟) .

كما يراعى عند صناعته أن يكون جدار المستودع رقيقاً وجدار الأنبوبة الشعرية سميكاً ، وتحدد على ساق الترمومتر النقطتان الثابتتان (نقطة انصهار الجليد ونقطة غليان الماء) وبعدها يدرج بأحد التدرجات السابقة .

هل يستطيع هذا الترمومتر قياس درجة غليان الزئبق وهي (359°م) ؟ . هذا غير ممكن لأنه حتى قبل هذه الدرجة بكثير يكون قسم من الزئبق قد تبخر فتتقص كميته ويمتلئ الفراغ في الأنبوبة الشعرية ببخار الزئبق الذي يضغط على سطح الزئبق في القناة ويمنع انتظام تمدده ، كما أن عمود الزئبق في الأنبوبة الشعرية يتقطع إلى أجزاء ، فهو من الناحية العملية لا يستطيع أن يقيس أكثر من 325°م .

هل يمكن استخدام الترمومتر الزئبقي في تعيين درجة حرارة منخفضة (-100°م) مثلاً أنت تعلم أن الزئبق يتجمد في (-39°م) إذاً فهو لا يستطيع تعيين درجة منخفضة أقل من ذلك ، فكيف يمكن تعيين درجات الحرارة المنخفضة كثيراً ؟ إذا علمت أن درجة تجمد الكحول هي :

(-130°م) . فهل يصلح الترمومتر الكحولي لهذا الغرض ؟ ولماذا ؟ وإذا علمت أن درجة غليان الكحول هي (78°م) فهل يمكن لترمومتر كحولي أن يعين درجة غليان الماء ؟ ولماذا ؟

ب) الترمومترات الغازية :

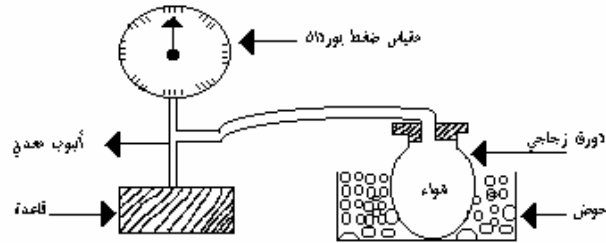
عزيزي الدارس هل يمكنك ذكر أهم عيوب الترمومترات السائلة ؟ من أبرز عيوب الترمومترات السائلة أنها لا تتفق في قراءة درجة حرارة سائل واحد إذا وضعاً فيه خاصة إذا احتويا على سائلين مختلفين ولكنها تتفق في قراءة درجة انصهار الجليد ودرجة غليان الماء وذلك بسبب اختلاف تمدد السائلين في درجات الحرارة المختلفة ومن هنا كانت الحاجة ماسة في القياسات الحرارية العملية الدقيقة إلى صنع ترمومترات تكون دلالتها واحدة لمن يستعملها في أي مكان وهذا ما أمكن توفيره بواسطة الترمومتر الغازي .

والآن كيف يمكنك بناء ترمومتر غازي بسيط .

تجربة :

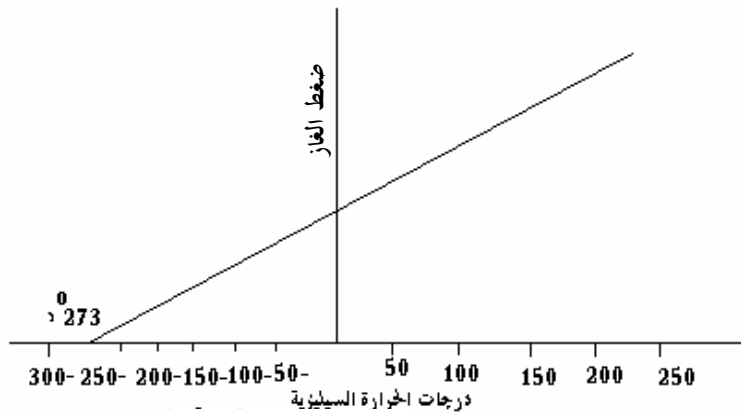
يمكن بناء ترمومتر غازي بسيط باستخدام مقياس ضغط بوردان
(Burdan Pressure Gauge) كما يلي :

□ صل دورقاً زجاجياً (سعة ١٠٠ سم^٣ مثلاً) إلى مقياس ضغط بوردان بواسطة أنبوية من المطاط كما في الشكل (٢٧) ، ثم سجل ضغط الهواء الذي في الدورق عند غمره في كل من ماء يغلي (١٠٠ م°) مخلوط من الماء والثلج (صفر م°) ، ومخلوط من الثلج الجاف والكحول الميثيلي (-٧٢ م°) .



شكل (٢٧)

□ أعمل رسماً بيانياً يوضح تغير ضغط الغاز بتغير درجة حرارته (حجم الغاز ثابت) . في أي درجة حرارة يكون ضغط الغاز صفراً ؟ استنتج ذلك من الخط البياني .



شكل (٢٨)

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

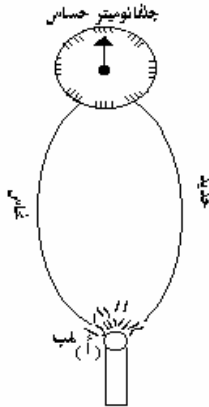
وإذا استخدمنا هذا الجهاز لإيجاد حرارة ماء دافئ مثلاً ثم قارنا درجة الحرارة التي حصلنا عليها (بالاستعانة بالخط البياني) مع درجة حرارة الماء المأخوذة بترموتر زئبقي فإننا نجد أنها متساويتين وبالتالي فإن هذا الجهاز يصلح لقياس درجة الحرارة، ومن الخط البياني تلاحظ أن درجة الحرارة التي يتلاشى عندها ضغط الغاز هي (-273°C) ، وتسمى هذه الدرجة الصفر المطلق:

Absolute Zero أي الصفر المطلق هو درجة الغاز عندما يتلاشى ضغطه أي يصبح ضغطه صفراً وهي درجة نظرية.

ج) الترمومترات الصلبة:

بالرغم من أن الترمومتر الغازي يقيس درجات الحرارة بدقة كبيرة، وأنه المرجع المستخدم لتدريج الترمومترات الأخرى، إلا أنه ليس من السهل حمله ونقله، ويتطلب مجهوداً في إعداده للعمل وحساب درجة الحرارة ومن هنا كانت الحاجة لصنع ترمومتر يسهل حمله ونقله وإعداده للعمل وأن يكون مدها الحراري مناسباً بحيث يتمكن من قياس درجات حرارة منخفضة جداً ومرتفعة جداً وهذا ما أمكن توفيره بالترمومترات الصلبة ومنها الترمومترات الكهربائية مثل ترمومتر الازدواج الحراري.

ترموتر الازدواج الحراري: Thermocouple Thermometer

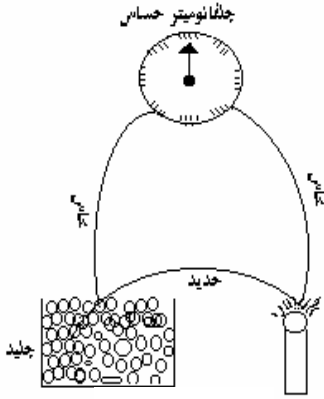


شكل (٢٩)

تجربة:

- خذ سلكين أحدهما من النحاس والآخر من الحديد ملحومين عند أحد طرفيهما كما في الشكل (٢٩) ثم صل طرفيهما الآخرين بجلفانوميتر حساس.
- سخن نقطة اتصال المعدنين (أ) إلى درجة معينة بلهب ولاحظ الجلفانوميتر، ثم ارفع حرارة نقطة الاتصال بزيادة التسخين ولاحظ مؤشر الجلفانوميتر. ماذا تستنتج؟.

□ أعمل نقطتي اتصال بين الحديد والنحاس كما في الشكل (٣٠) ثم سخن إحدى نقطتي الاتصال بلهب ولاحظ قراءة مؤشر الجلفانوميتر ثم برد نقطة الاتصال الثانية وذلك بوضعها في كأس به جليد مجروش ولاحظ قراءة الجلفانوميتر . ماذا تستنتج ؟



شكل (٣٠)

من التجربة السابقة يظهر لنا أنه إذا أخذنا سلكين من معدنين مختلفين ووصلنا هما عند طرفيهما بحيث تشكل دائرة كهربائية مغلقة ، وأدخلنا في الدائرة جهاز جلفانوميتر حساس أو ميللي أميتر ، ثم رفعنا درجة حرارة إحدى نقطتي الاتصال ، فإن تياراً كهربائياً يتولد في الدائرة ، تتوقف شدته على الفرق بين درجتي حرارة نقطتي الاتصال .

هل يمكن استخدام هذه الظاهرة لعمل ترمومتر لقياس درجة الحرارة ؟.

لاحظ أنه يمكن تدريج الجلفانوميتر ليعدل على درجات الحرارة مباشرة وذلك بوضع نقطة الاتصال (أ) في ماء يغلي ونقطة الاتصال (ب) في جليد آخذ في الانصهار وملاحظة مؤشر الجلفانوميتر لتحديد درجة (١٠٠°م) ، ثم توضع نقطة الاتصال (أ) في جليد آخذ في الانصهار لتحديد درجة (صفر°م) وبهذا نجعل هذا الجهاز البسيط ترمومتراً يسمى (ترمومتر المزدوجة الحرارية) . وفي العادة تدرج هذه الترمومترات بمقارنتها بالترمومتر الغازي ، ويصلح ترمومتر المزدوجة الحرارية لقياس درجات حرارة تتراوح بين (٢٠٠-°م) و (١٦٠٠°م) .

٥/ العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة :

ما العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة ؟

دعنا نجري بعض التجارب لاكتشاف التناسب بين كمية الحرارة وبين التغير في درجة

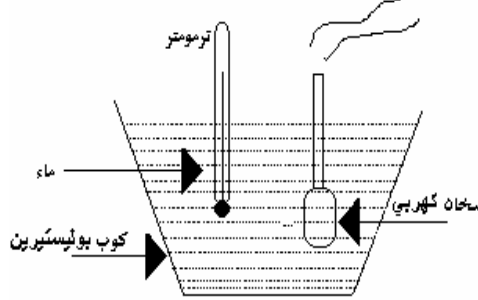
حرارة مادة سخنة والتغير في كتلة المادة المسخنة .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

نستخدم سخان كهربائي غاطس يعمل بتيار ٦ أو ١٢ أمبير ويمكن غمره في كوب مصنوع من البوليسترين وهو عازل ممتاز للحرارة ، ويولد السخان حرارة بمعدل ثابت ، أي أنه يعطي في دقيقة واحدة كمية من الحرارة تعادل نصف ما يعطيه في دقيقتين .

التجربة الأولى :

□ ضع كمية من الماء (١٥٠ جم مثلاً) في كوب من البوليسترين) وأغمر السخان



شكل (٣١)

الكهربائي في الماء الشكل (٣١) ثم اقرأ درجة حرارة الماء بواسطة ترمومتر لأقرب رقم عشري ثم شغل السخان لمدة ٣٠ ثانية مثلاً بالاستعانة بساعة إيقاف مع تحريك الماء بالسخان وقرأ أعلى درجة حرارة يسجلها الترمومتر ثم احسب الارتفاع في درجة حرارة الماء (دΔ) .

□ شغل السخان لمدة ٣٠ ثانية أخرى ثم احسب الارتفاع في درجة حرارة الماء عن الدرجة الأصلية ، كرر العمل عدة مرات وسجل النتائج في جدول .

□ إذا رسمنا خطأً بيانياً يوضح العلاقة بين الارتفاع في درجة حرارة الماء وكمية الحرارة المتولدة في كل ٣٠ ثانية نلاحظ أننا نحصل على خط مستقيم ، أي أن هناك تناسباً طردياً بين كمية الحرارة (ح) المعطاة إلى كمية معينة من الماء ، والتغير الحادث في درجة حرارته (دΔ) .

$$\text{أي أن : ح} \propto \Delta \text{ (١)}$$

حيث أن :

$\Delta \text{د} =$ التغير في درجة الحرارة (درجة حرارة الماء النهائية - درجة حرارة الماء الابتدائية)

$$\text{أي (د} - \text{د}_١ \text{)}$$

التجربة الثانية :

□ ضع في الكوب ١٠٠ جم من الماء البارد ثم شغل السخان الكهربائي وانتظر حتى ترتفع درجة حرارة الماء ٥°م مثلاً وأحسب الزمن اللازم لذلك (دΔ) باستخدام ساعة إيقاف.

□ أعد التجربة باستخدام ٢٠٠ جم من الماء وأحسب الزمن اللازم لرفع درجة حرارته ٥°م أيضاً . وإذا كررنا التجربة باستعمال ٣٠٠ جم ، ٤٠٠ جم من الماء وسجلنا النتائج في جدول فلاحظ أن هناك تناسباً طردياً بين كمية الحرارة (ح) اللازمة لرفع درجة حرارة الماء بمقدار معين من الدرجات وبين كتلة الماء (ك) .

$$\text{أي أن : ح } \propto \text{ك} \quad (٢)$$

$$\text{من العلاقتين (١) ، (٢) نستنتج أن } \text{ح} \propto \text{ك} \times \Delta \text{د}$$

$$\text{أي أن ح} = \text{مقدار ثابت} \times \text{ك} \times \Delta \text{د} \quad (٣)$$

٧/ وحدة كمية الحرارة :

لقد اتفق على اعتبار كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة سيليزيوسية واحدة (من ١٤,٥ - ١٥,٥ د) وحدة لكمية الحرارة وتسمى سعراً .
∴ السُّعْر هو كمية الحرارة اللازمة لرفع أو خفض درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة سيليزيوسية واحدة وبذلك تكون :

كمية الحرارة (ح) اللازمة لرفع درجة حرارة ١ جم من الماء درجة سيليزيوسية واحدة = ١ سعر .

كمية الحرارة (ح) اللازمة لرفع درجة حرارة ك جم من الماء درجة سيليزيوسية واحدة = ك سعر .

كمية الحرارة (ح) اللازمة لرفع درجة حرارة ك جم من الماء Δ د درجة سيليزيوسية = ك \times Δ د سعر

$$\boxed{\text{أي أن: } \frac{\text{ح}}{\text{سعر}} = \frac{\text{ك}}{\text{(جم)}} \times \frac{\Delta \text{د}}{\text{(درجة سيليزيوسية)}}$$

نلاحظ من هذه المعادلة أن قيمة المقدار الثابت في المعادلة (٣) تساوي الواحد الصحيح في حالة الماء .

ملاحظة = هناك وحدة أخرى تشتق من هذه الوحدة وهى الكيلو سعر والذي يساوي ١٠٠٠ سعر

٨/ السعة الحرارية: Thermal Capacity

تجربة :

□ خذ كميات متساوية من الحديد والرصاص والماء في درجة غليان الماء وأسقطها في ثلاث كؤوس تحوي كميات متساوية من الماء في درجة حرارة الغرفة ، قلب محتويات كل كأس جيداً وسجل درجة حرارة كل كأس بعد التقليل . ستجد أن درجة حرارة الكأس الذي أسقط فيه الماء الساخن قد ارتفعت ارتفاعاً كبيراً بالنسبة للكأسين الآخرين. من هذه التجربة نستنتج أن الماء عند تسخينه استوعب كمية حرارة أكثر من المادتين الأخريين بالرغم من أن المواد الثلاث سخنت لدرجة حرارة واحدة أي أن كمية الحرارة التي يكتسبها الماء أكبر من كمية الحرارة التي تكسبها كميات متساوية من الحديد والرصاص . وعليه يمكن تعريف السعة الحرارية لجسم ما بأنها : كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة الجسم 1°C .

ما هي العوامل التي تتحكم في مقدار السعة الحرارية لجسم ما ؟

العوامل هي :

١/ كتلة الجسم (ك) .

٢/ نوعية الجسم (الحرارة النوعية) .

وحدات قياس السعة الحرارية هي سعر/درجة مئوية أو جول/درجة مئوية .

وبمقارنة تعريفي السعر والسعة الحرارية يمكن استنتاج أن السعة الحرارية لواحد جرام من الماء تساوي واحد سعر/درجة مئوية أو $4,18$ جول/درجة مئوية . أما السعة الحرارية للجرام الواحد من المادة تعرف بالحرارة النوعية .

٦/ الحرارة النوعية :

الحرارة النوعية لمادة هي : كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة واحد جرام من المادة

1°C أما الوحدات التي تقاس بها الحرارة النوعية هي :

جول / جم . درجة مئوية

سعر / جم . درجة مئوية

ومن التعريف السابق للحرارة النوعية يمكن استنتاج الآتي :

١ جم من الماء لترتفع درجة حرارته 1°C تلزمه كمية حرارة قدرها (ن) سعر فرضاً .

١ جم من الماء لترتفع درجة حرارته 2°C تلزمه كمية حرارة قدرها (2N) سعر .

٢ جم من الماء لترتفع درجة حرارته 2°C تلزمه كمية حرارة قدرها (٤ ن) سعر .
 ك جم من الماء لترتفع درجة حرارته $د^{\circ}$ تلزمه كمية حرارة قدرها (ك \times د \times ن) سعر .
 ومن ذلك نصل إلى القانون العام لإيجاد أي كمية حرارة يفقدها أو يكسبها الجسم وهو :
كمية الحرارة = كتلة الجسم \times الفرق في درجات الحرارة \times حرارته النوعية .
 إذاً الحرارة النوعية تعتبر من العوامل الهامة في عمليات تقدير كميات الحرارة .
 ولتعيين الحرارة النوعية للمواد المختلفة هنالك عدة طرق أهمها طريقة الخلط
 .Method of Mixture

أ) تعيين الحرارة النوعية لجسم صلب بطريقة الخلط :

تتلخص هذه الطريقة في تسخين جسم إلى درجة حرارة معينة وإسقاطه في كمية معلومة من الماء ومعلومية درجة حرارة الماء الابتدائية والنهائية ودرجة حرارة الجسم وكتلته باستخدام القانون :

$$\text{الحرارة المكتسبة} = \text{الحرارة المفقودة}$$

يمكن تعيين الحرارة النوعية لمادة هذا الجسم :

خطوات التجربة :

١/ زن المسعر فارغاً .

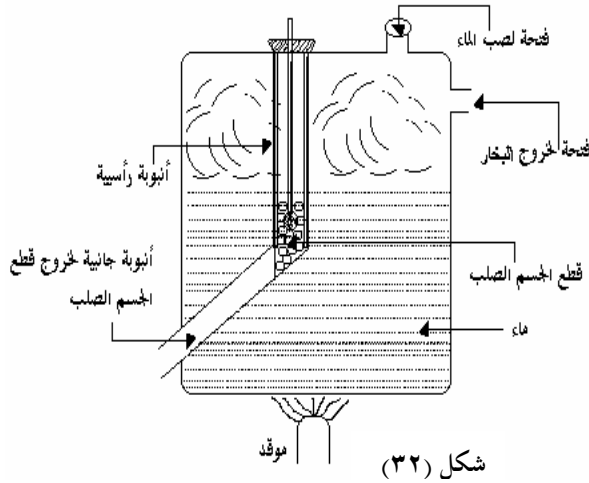
٢/ ضع فيه كمية من الماء وأعد وزنه .

٣/ عيّن درجة حرارة الماء الابتدائية .

٤/ سخن الجسم المراد تعيين حرارته النوعية (كرات الرصاص) بواسطة الجهاز (هيسوميتر) الموضح في الشكل (٣٢) لدرجة حرارة معلومة .

٥/ أسقط الجسم بسرعة في المسعر وقلب محتويات المسعر جيداً وسجل درجة حرارة الخليط النهائية .

٦/ زن المسعر ومحتوياته مرة أخرى وبذلك يمكننا تعيين الحرارة النوعية لمادة هذا الجسم .



الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

مثال (١) :

في تجربة مماثلة أخذت القراءات التالية :

المطلوب : حساب الحرارة النوعية (لخراطة النحاس)

$$\begin{aligned} \text{كتلة المسعر وما به من ماء} &= 100 \text{ جم} \\ \text{كتلة المسعر} &= 40 \text{ جم} \\ \text{درجة حرارة المسعر والماء الابتدائية} &= 25^\circ \text{م} \\ \text{درجة حرارة الخليط} &= 28^\circ \text{م} \\ \text{درجة حرارة خراطة النحاس قبل إسقاطها} &= 98^\circ \text{م} \\ \text{الانخفاض في درجة حرارة الجسم} &= 98 - 28 = 70^\circ \text{م} \\ \text{الارتفاع في درجة حرارة المسعر والماء} &= 28 - 25 = 3^\circ \\ \text{كتلة المسعر والماء والجسم} &= 250 \text{ جم} \\ \text{∴ كتلة الجسم (خراطة النحاس)} &= 150 \text{ جم} \\ \text{الحرارة النوعية لمادة المسعر} &= 0,1 \text{ سعر / جم درجة مئوية} \\ \text{كمية الحرارة المفقودة بواسطة الجسم} &= 150 \times 70 = 10500 \text{ ن سعر} \\ \text{كمية الحرارة المكتسبة بواسطة المسعر والماء} &= 192 = (3 \times 1 \times 60) + (3 \times 0,1 \times 40) = \end{aligned}$$

$$192 = 10500 \text{ ن} ∴$$

$$\text{∴ ن} = \frac{192}{10500} = 0,018 \text{ سعر/جم درجة مئوية}$$

مثال (٢) :

١٠٠ جم من الماء في درجة الغليان أسقطت في إناء كتلته ٨٠٠ جم في درجة حرارة ٢٠°م إذا كانت درجة حرارة الخليط ٥٠°م ، أحسب الحرارة النوعية لمعدن الإناء .

الحل :

$$\begin{aligned} \text{الحرارة المفقودة بواسطة الماء} &= 100 \times 1 \times 50 = 5000 \text{ سعر} \\ \text{الحرارة المكتسبة بواسطة الإناء} &= 800 \times 30 = 24000 \text{ ن سعر} \\ \text{∴ ن} &= \frac{5000}{24000} = 0,2 \end{aligned}$$

∴ الحرارة النوعية لمعدن هذا الإناء = ٠,٢ سعر / جم درجة مئوية .

ما هي مصادر الخطأ في هذه التجربة وكيف تتلافها؟

في مثل هذه التجربة يجب مراعاة ما يلي :

- ١/ اختيار مادة الجسم بحيث لا تتفاعل مع السائل .
- ٢/ اختيار المسعر من مادة لا تتفاعل مع السائل .
- ٣/ عدم قياس درجة حرارة الجسم إلا بعد التأكد من ثبوت درجة حرارته .
- ٤/ أن يتم نقل الجسم الساخن إلى المسعر بسرعة .

٩/ المكافئ المائي : Water Equivalent

يستخدم هذا المفهوم العلمي لتسهيل العمليات الحسابية في إيجاد كميات حرارية معينة

لمسعر ومحتوياته ولتوضيح ذلك :

٥٠ جم من الماء تلزمها كمية حرارة مقدارها ٥٠ سعر لرفع درجة حرارتها 1°C .

٥٠٠ جم من النحاس (ن للنحاس ٠,١) تلزمها (٥٠٠ × ٠,١) أيضاً ٥٠ سعراً لرفع درجة حرارتها 1°C .

من ذلك يتضح أن المسعر الذي كتلته ٥٠٠ جم من النحاس يكتسب ما تكتسبه ٥٠

جم من الماء لترتفع درجة حرارته واحد درجة مئوية أي أن المسعر يتكافأ حرارياً مع ٥٠ جم من الماء .

وبذا يعرف المكافئ المائي لجسم ما بأنه هو كتلة الماء الذي تكون سعته الحرارية مساوية

للسعة الحرارية للجسم ، ويكون عادة بالجرمات .

فإذا كانت كتلة الجسم (ك) جم وحرارته النوعية (ن) فإن المكافئ المائي لهذا

$$\text{الجسم} = (\text{ك} \times \text{ن}) \text{ جم}$$

مثال :

ألقيت قطعة معدنية كتلتها ١٠٠ جم ودرجة حرارتها 100°C في مسعر به ١٤٠ جم من

الماء في درجة 16°C فكانت درجة حرارة الخليط 26°C ، إذا كان المكافئ المائي للمسعر

٨ جرامات . أوجد الحرارة النوعية للمعدن .

الحل :

طالما إننا أعطينا المكافئ المائي المسعر فلا حاجة لنا بكتلة المسعر وحرارته النوعية .

أفرض أن الحرارة النوعية لمعدن القطعة = ن .

$$\therefore \text{الحرارة المفقودة بواسطة قطعة المعدن} = 100 \times \text{ن} \times 74 = 7400 \text{ ن سعر}$$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

$$\text{الحرارة المكتسبة بواسطة المسعر والماء} = (140 + 8) \times 1 \times 10 = 1480 \text{ سعر}$$

$$\text{الحرارة المفقودة} = \text{الحرارة المكتسبة}$$

$$1480 = 74 \times 100 \times n$$

$$n = \frac{1480}{7400} = 0,2$$

∴ الحرارة النوعية للمعدن = 0,2 سعر/جم . درجة مئوية .

أسئلة ومسابقات :

١/ علل لما يأتي :

أ/ لا يصلح الترمومتر الكحولي لقياس درجة غليان الماء .

ب/ ارتفاع درجة حرارة الأرض نهاراً أكبر من ارتفاع درجة حرارة ماء البحر .

ج/ عند قياس درجة حرارة سائل ما بالترموتر الزئبقي ننتظر قليلاً قبل قراءة الترمومتر .

٢/ ما الفرق بين السعة الحرارية والحرارة النوعية لجسم ما ؟ أيتها تأخذ قيمة ثابتة وأيتها تأخذ قيمة متغيرة ؟

٣/ أحسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ٥٠٠ جم من الحديد من درجة ١٥°م إلى درجة ٤٥°م ، ما قيمة السعة الحرارية لهذه الكتلة من الحديد إذا علمت أن الحرارة النوعية للحديد = ٠,١١ سعر / جم °م .

٤/ وضع ترمومتر مئوي وآخر فهر نهائي جنباً إلى جنب في وسط أريد معرفة درجة حرارته فكانت القراءة على المئوي ٣٥ درجة ، كم كانت القراءة على الفهرنهايتي ؟ وإذا كانت القراءة على الفهرنهايتي (-٤٠°) ، كم كانت القراءة على المئوي ؟

٥/ وضع ترمومتر مئوي وآخر فهر نهائي في سائل فكانت قراءتهما متساويتين ، كم كانت درجة الحرارة حينئذ ؟

٦/ قطعة من النحاس كتلتها ١٠٠ جم سخنت في ماء يغلي ثم أسقطت في مسعر نحاس كتلته ٨٠ جم ويحتوي على ٩٠ جم من زيت التربنتينا في درجة ١٠°م ، فإذا أصبحت درج درجة حرارة ٣٦°م ، أحسب الحرارة النوعية لزيت التربنتينا علماً بأن الحرارة النوعية للنحاس ٠,١ سعر / جم × °م .

٧/ وضعت ١٠٠ جم من الماء في ثلاجة ، فإذا كان معدل الانخفاض في درجة حرارة الماء في بداية التجمد = ٢°م / دقيقة ، ومعدل الانخفاض في درجة حرارة الماء عند نهاية التجمد = ٤,٤°م / دقيقة أحسب الحرارة الكامنة لانصهار الجليد إذا علمت أن الحرارة النوعية للجليد = ٠,٥ كيلو سعر / جم / °م وأن فترة التجمد استغرقت ٣٨ دقيقة .

٨/ أحسب كمية الحرارة المنطلقة في كل كيلو جرام من بخار الماء في درجة ١٠٠°م عند تحويله إلى ثلج في درجة الصفر المئوي . علماً بأن الحرارة الكامنة للتصعيد = ٤٠°م كيلو سعر / كجم . والحرارة الكامنة للانصهار للجليد = ٨٠ كيلو سعر / كجم .

٩/ أحسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل ٥ جم من الجليد درجة حرارته -١٠°م إلى بخار ماء درجة حرارته ١٠٠°م ، اعتبر الحرارة النوعية للجليد = ٠,٥ كيلو سعر / كجم × °م

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

والحرارة الكامنة لانصهار الجليد = ٨٠ كيلو سعر/ كجم ، والحرارة الكامنة لتصعيد الماء = ٣٧٠ كيلو سعر / كجم .

١٠ / أمرت كمية من بخار ماء الجاف الذي درجة حرارته ١٠٠ م في ٩٣,٤ جراماً في الماء موجودة في مسعر معدني سعته الحرارية ٥ سعرات ودرجته ٢٠ م ، فإذا ارتفعت درجة حرارة المسعر وما يحتويه من ماء إلى ٢٥ م ، أحسب كتلة البخار الذي تكثف في الماء بفرض أن الحرارة الكامنة لتصعيد الماء في الدرجة ١٠٠ م تساوي ٤٠ كيلو سعر / كيلو جرام .

تغير الحالة Change in State

١ / تمهيد :

أنت تعلم أن المواد توجد في إحدى ثلاث حالات ، جامدة أو مائعة أو بلازمية ، وأن الموائع إما أن تكون سائلة أو غازية وأن المادة إذا اكتسبت مقدراً من الطاقة الحرارية أدى ذلك إلى زيادة في طاقة حركة جزيئاتها وابتعاد هذه الجزيئات عن بعضها البعض مما يسبب تمدد المادة ورفع درجة حرارتها ولكن الطاقة الحرارية التي تكسبها المادة أو تفقدها قد تعمل على تغييرها من حالة إلى أخرى ، فالتلج يمكن أن يتحول إلى ماء (ينصهر) والماء إلى بخار (يتبخر أو يتصاعد) وذلك باكتساب مقدار مناسب من الطاقة الحرارية ، كما أن بخار الماء يمكن أن يتحول إلى ماء (يتكثف) والماء إلى ثلج (يتجمد) وذلك بفقد كمية مناسبة من الطاقة الحرارية، وهناك مواد كالبيود والزرنيخ والكافور والأمونيا يمكن أن تتحول بالحرارة من الحالة الجامدة إلى الحالة الغازية (تسامي) دون أن تمر بالحالة السائلة .

٢) درجة الانصهار والحرارة الكامنة للانصهار :

إذا وضعت كمية من الجليد المخروش الآخذ في الانصهار في كأس ، ثم وضعت الكأس في حوض به ماء دافئ وغمرت مستودع ترمومتر في الجليد فإنك ستلاحظ أن درجة حرارة الجليد وكذلك درجة حرارة الماء الناتج عن انصهاره هي صفر° م ، مع استمرار انصهار الجليد باكتساب كميات من الحرارة من الماء الدافئ ، تلاحظ ثبات قراءة الترمومتر عند درجة الصفر المئوي إلى أن يتم انصهار الجليد بكامله ثم تبدأ قراءة الترمومتر في الارتفاع . إن درجة الحرارة التي يبدأ عندها الجسم الجامد في الانصهار بحيث تكون درجة حرارته متساوية لدرجة حرارة السائل الناتج عن انصهاره تسمى (درجة أو نقطة الانصهار) ، إذن بالرغم من أن هناك كمية من الطاقة الحرارية يكتسبها الجليد خلال انصهاره فإنها لم تسبب ارتفاعاً في درجة حرارته فأين تذهب هذه الكمية من الطاقة الحرارية ؟ . إن جزيئات الماء في بلورة الثلج تكون مرتبطة مع بعضها بشكل يجعلها أكثر اقتراباً مما هي عليه في حالتها السائلة ، ولكنها تكون مرتبة على شكل هندسي يترك فجوات داخله ، ولإبعاد جزيئات بلورة الثلج عن بعضها وصهرها يجب بذل شغل عليها ، وهذا الشغل يتحول إلى طاقة وضع تكمن في الجزيئات مما يسبب زيادة الطاقة الكامنة لها أي أن الطاقة الحرارية التي يكتسبها الثلج خلال فترة انصهاره تتحول إلى طاقة كامنة للجزيئات ولهذا لا يحدث تغيير في قراءة الترمومتر خلال هذه الفترة .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

وقد وجد أن كل جرام من الجليد يحتاج إلى ٨٠ سعراً من الطاقة الحرارية (٤, ٣٣٤) جول حتى يتحول من جليد في درجة الصفر إلى ماء في الدرجة نفسها ، أي أن هذه الكمية من الطاقة الحرارية تمثل مقدار الشغل اللازم لإبعاد جزئيات جرام من الثلج عن بعضها حتى يتم الانصهار وتسمى (كمية الحرارة اللازمة لتحويل وحدة الكتل من المادة من الحالة الجامدة إلى الحالة السائلة - بدون تغيير في درجة حرارتها - الحرارة الكامنة لانصهار هذه المادة) ، ونرمز لها بالرمز (حص) .

وعندما يتجمد الماء تتحول الطاقة الكامنة في الجزئيات إلى طاقة حرارية ، فينتقل من كل جرام من الماء في درجة الصفر ٨٠ سعراً من الطاقة الحرارية عندما يتجمد إلى ثلج في الدرجة نفسها ، أي أن مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم عند انصهاره تساوي مقدار الطاقة الحرارية التي يطلقها أو يفقدها عند التجمد ، وعلى هذا الأساس يعلل ارتفاع درجة حرارة الجو عند هطول الثلج وانخفاضها عند انصهاره .

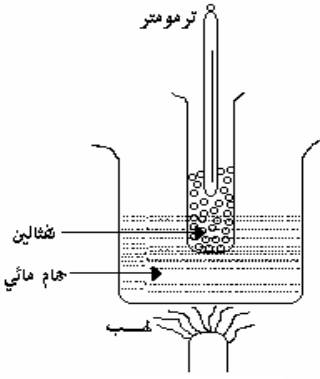
ويمكن تقسيم المواد من حيث انصهارها إلى قسمين :

أولاً : مواد يكون انصهارها فجائياً عند درجة حرارة معينة تسمى درجة الانصهار أو التجمد وجميع هذه المواد متبلرة مثل الثلج والنفثالين .

ثانياً : مواد يكون انصهارها تدريجياً وتمر فيها المادة في حالة بين الصلابة والسيولة مثل الزجاج والبلاستيك والكبريت غير المتبلر والمطاط .

٣/ تعيين درجة انصهار المادة من فتحي التبريد : (درجة الحرارة - الزمن) :

تجربة:



شكلاً (٣٣)

□ ضع كمية من النفثالين (أو شمع البرافين) في أنبوبة اختبار وثبتها رأسياً على حامل ثم سخنها بوساطة لهب هادئ أو ضعها في حمام مائي يسخن بالتدريج حتى ينصهر النفثالين ثم أغمر مستودع ترمومتر في سائل النفثالين كما في الشكل (٣٣) .

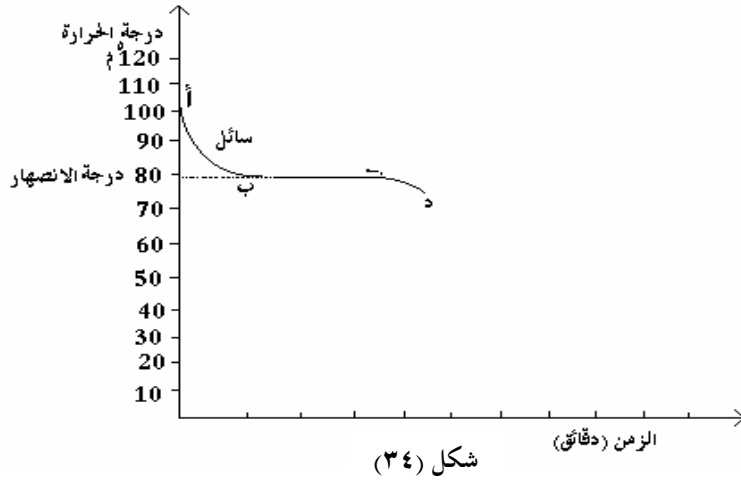
□ استمر في التسخين حتى ترتفع درجة حرارة النفثالين فوق درجة انصهاره بمقدار مناسب ، ثم ارفع اللهب واترك الأنبوبة لتبرد وسجل خلال ذلك حرارة

الترمومتر كل دقيقة باستخدام ساعة إيقاف . تلاحظ أن قراءة الترمومتر تبدأ في الانخفاض

ثم تثبت فترة من الزمن عند درجة حرارة معينة (هي درجة انصهار النفتالين) ، وبعد ذلك تعود درجة الحرارة إلى الانخفاض .

□ إذا رسمنا خطاً بيانياً يوضح تغير درجة الحرارة بالنسبة للزمن نحصل على خط بياني كالمبين في الشكل (٣٤) فتكون درجة انصهار النفتالين هي الدرجة المقابلة للجزء الأفقي من الخط البياني ، لاحظ أن الجزء (أ ب) من الخط البياني يمثل انخفاض درجة حرارة النفتالين مع الزمن وأن الجزء الأفقي (ب جـ) يمثل الزمن الذي يتم خلاله تجمد النفتالين دون أن تتغير درجة حرارته بالرغم من استمرار النفتالين في فقد كميات من الحرارة بالإشعاع خلال هذه الفترة .

وكمية الحرارة التي يفقدها كل جرام من النفتالين خلال هذه الفترة هي الحرارة الكامنة لانصهاره ، فكيف يمكن إيجادها من هذا المنحنى ؟



شكل (٣٤)

٤/ تعيين الحرارة الكامنة لانصهار الجليد :

تجربة :

- ١/ زن مسعراً فارغاً وضع فيه كمية من الماء ذات كتلة معلومة .
- ٢/ سخن الماء إلى ١٠ أو ١٥ درجة مئوية فوق درجة حرارة الغرفة .
- ٣/ سجل درجة حرارة الماء بعد عملية التسخين .
- ٤/ خذ قطعة صغيرة من الجليد وجففها بورق ترشيح وألقها فور تجفيفها في المسعر مع مراعاة عدم تناثر الماء خارج المسعر ، استمر في عملية إلقاء قطع الجليد مع تحريكها

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

بواسطة الترمومتر حتى تصل درجة حرارة الخليط إلى 10°م أو 15°م تحت درجة حرارة الوسط المحيط ، ومعلومية الحرارة النوعية لمعدن المسعر يمكن حساب الحرارة الكامنة لانصهار الجليد .

مثال:

في تجربة مشاهدة سجلت القراءات أدناه :

جد الحرارة الكامنة لانصهار الجليد .

درجة حرارة الغرفة = 20°م

كتلة المسعر = $51,6$ جم

كتلة المسعر والماء = $152,8$ جم

∴ كتلة الماء = $101,2$ جم

كتلة المسعر والماء والجليد = $183,2$ جم

كتلة الجليد = $30,4$ جم

درجة حرارة الماء الابتدائية = $33,1^{\circ}\text{م}$

درجة الحرارة النهائية = $8,2^{\circ}\text{م}$

الحل :

الحرارة المكتسبة :

(أ) بواسطة الجليد في انصهاره = كتلة الجليد × الحرارة الكامنة لانصهار الجليد = $30,4$ ل سعر .

(ب) بواسطة الجليد المنصهر إلى درجة $8,2^{\circ}\text{م}$ = الكتلة × الحرارة × الارتفاع في درجة الحرارة = $30,4 \times 1 \times 8,2 = 249$ سعر .

الحرارة المفقودة :

(أ) بواسطة المسعر = $51,6 \times 0,1 \times 24,9 = 128$ سعر .

(ب) بواسطة الماء = $101,2 \times 1 \times 24,9 = 2520$ سعر .

الحرارة المكتسبة = الحرارة المفقودة .

$2520 + 128 = 249 + 30,4$

∴ ل = 79 سعر / جم

∴ الحرارة الكامنة لانصهار الجليد تساوي 79 سعر/ جم

مصادر الخطأ في هذه التجربة وكيفية تلافيها :

- ١/ أن يكون المسعر المستخدم في هذه التجربة من مادة جيدة التوصيل للحرارة .
- ٢/ يجب تخفيف الجليد جيداً .
- ٣/ تبدأ التجربة بجعل درجة حرارة المسعر والماء قبل إلقاء الجليد أعلى في درجة حرارة الوسط المحيط بحوالي 10° أو 15° م على أن تكون درجة حرارة الخليط بعد إلقاء الجليد أقل من درجة الوسط المحيط بنفس المقدار حتى تتعادل كميتا الحرارة المكتسبة والمفقودة بالإشعاع .
- ٤/ يستحسن عدم استخدام محرك لتحريك الخليط ويمكن استعمال الترمومتر في إذابة الجليد لأن المحرك يفقد كمية من الحرارة .

٥/ الحرارة الكامنة للتصعيد :

عرفنا مما تقدم أن المادة لكي تتحول من حالة الصلابة إلى حالة السيولة تلزمها حرارة تختلف باختلاف المواد ، كذلك المواد عندما تتحول من حالة السيولة إلى حالة البخارية تلزمها كمية حرارة معينة .

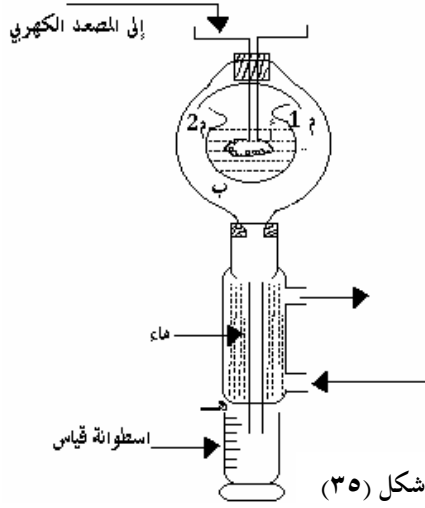
ويمكن ملاحظة ذلك عند مراقبة ماء يغلي ، وستجد أن درجة حرارة الماء لا ترتفع فوق درجة الغليان بالرغم من وجود المصدر الحراري . ويعزى ذلك إلى أن أي كمية حرارة يتعرض لها السائل بعد أن يصل درجة غليانه تذهب في تحويل السائل من حالة السيولة إلى حالة البخارية . وتعرف هذه الحرارة بالحرارة الكامنة للتصعيد والتي تعرف بأنها :

هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل ١ جم من المادة من حالة السيولة إلى حالة الغازية دون أن يكون هنالك تغيير في درجة الحرارة .

وبالتجارب وجد أن الكميات المتساوية من السوائل تلزمها كميات مختلفة من الحرارة لتحويلها إلى البخارية ، فمثلاً ١ جم من البترين تلزمه كمية حرارة قدرها ٩٣ سعراً لتحويله من بترين في درجة 80° م (درجة غليانه) إلى بخار بترين في نفس الدرجة ، كما أن ١ جم من الزئبق تلزمه كمية حرارة قدرها ٦٨ سعراً لتحويله من زئبق في درجة 357° م (درجة غليانه) إلى بخار زئبق في نفس درجة الحرارة .

٦/ تعيين الحرارة الكامنة للتصعيد بالطريقة الكهربائية :

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)



تجربة :

□ يوضع السائل المراد تعيين الحرارة الكامنة لتصعيده في التجويف (أ) في الشكل (٣٥)

□ يسخن السائل بواسطة ملف التسخين حتى يصل درجة غليانه ويخرج بخار السائل من التقيين ١م ، ٢م إلى الغرفة (ب) وبعد فترة وجيزة حرارة الغرفة (ب) مساوية لدرجة حرارة (أ) وعليه ذهبت في تحويل السائل إلى بخار .

□ انتظر لفترة من الزمن حتى يبدأ بخار السائل

بعد تكثيفه في الخروج في شكل نقط ومعدل منتظم من الفوهة (هـ) .

□ ضع تحت الفوهة أسطوانة قياس وابدأ في تسجيل الزمن ثم قس كلاً من فرق الجهد والتيار الكهربائي - بذلك يمكن جمع كمية من السائل في الأسطوانة . ومعلومية كتلة السائل الذي جمع في الأسطوانة والزمن الذي استغرق لجمعه وفرق الجهد والتيار يمكن حساب الحرارة الكامنة لتصعيد هذا السائل على النحو التالي :

أفرض أن كتلة السائل الذي جمع في الأسطوانة = ك جم .

الزمن اللازم لجمعه = ن ثانية .

فرق الجهد = ج فولت .

شدة التيار = ت أمبير .

كمية الحرارة المتولدة كهربياً = كمية الحرارة المفقودة = (ج ت ن) جول .

الحرارة المكتسبة = ك × ل (حيث ل هي الحرارة الكامنة لتصعيد السائل) .

∴ ج ت ن = ك ل

ل = $\frac{ج ت ن}{ك}$ جول

ويمكن تحويل الحرارة الكامنة لتصعيد هذا السائل بالسعر بالقسمة على ٤,١٨ .

تمديد الأجسام بالحرارة

١/ تمدد الأجسام الصلبة :

نشاط :

عزيزي الطالب عرفت فيما سبق أن الجسم إذا اكتسب مقدراً من الطاقة الحرارية ارتفعت درجة حرارته ، فهل للطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم تأثير فيزيائي آخر؟ ماذا يحدث لسلك مشدود إذا اكتسب مقدراً من الطاقة الحرارية ؟

يلاحظ الناس في البلاد التي تمد فيها أسلاك الهاتف على أعمدة ، أن هذه الأسلاك تكون مرتخية أيام الصيف ومشدودة أيام الشتاء . ومن الطبيعي أن تكون قد لاحظت كيف يرتفع سطح الزئبق في قناة الترمومتر عند وضعه في ماء ساخن وكيف ينخفض عند رفعه من هذا الماء الساخن .

من هذه المشاهدات وغيرها يمكننا أن نستنتج أن الأجسام سواء أكانت صلبة ، سائلة أم غازية تتمدد عند التسخين وتنكمش عندما تبرد ، إذن تعمل الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم على إحداث تمدد فيه بالإضافة لرفع درجة حرارته . ما السبب في ذلك ؟

إن الطاقة الحرارية التي يستمدها الجسم تزيد من طاقة حركة جزيئاته فترتفع درجة حرارته ، ونتيجة لذلك يتسع المدى الذي تتحرك فيه الجزيئات وبالتالي تزداد المسافات بينها ، وهذا يؤدي إلى التمدد ولما كانت قوى التجاذب بين جزيئات الأجسام الصلبة كبيرة جداً وأكبر بكثير من قوى التجاذب بين جزيئات السائل ، وقوى التجاذب بين جزيئات الغازات تكاد تكون معدومة ، فإنه يمكنك أن تعرف السبب في أن تمدد الأجسام الصلبة بالحرارة يكون صغيراً جداً وتمدد السوائل أكبر من تمدد الأجسام الصلبة بينما تمدد الغازات يكون كبيراً جداً.

وعندما تتغير درجة حرارة جسم صلب فإن أبعاده الهندسية (الطول ، العرض الارتفاع) تتغير أيضاً ، ولما كان طول الجسم الصلب يزداد عندما يسخن فإنه يكون له تمدد طولي كما يكون له تمدد سطحي بسبب زيادة مساحة السطح وتمدد حجمي بسبب زيادة الحجم .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

أ) معامل التمدد الطولي للأجسام الصلبة :

ولتسهيل حساب التمدد الطولي للأجسام الصلبة ، اتفق على تعريف ما يسمى (معامل التمدد الطولي) وهو مقدار الزيادة التي تطرأ على وحدة الأطوال من المادة عندما ترتفع درجة حرارتها درجة سلزيوسية واحدة اعتباراً من الصفر السلزيوسي .

نفرض أن ساقاً من مادة صلبة طولها الأصلي قبل التسخين (ل₁)م عند درجة (د₁)° س ، رفعت درجة حرارتها إلى (د₂)° س فأصبح طولها (ل₂)م فتكون :

$$\text{الزيادة في طول الساق} = (ل_2 - ل_1) م$$

$$\therefore \text{الزيادة في طول وحدة الأطوال من الساق} = \frac{ل_2 - ل_1}{ل_1}$$

$$\text{التغير في درجة حرارة الساق} = (د_2 - د_1) ° س .$$

∴ الزيادة في طول وحدة الأطوال من الساق لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره

$$\text{سلزيوسية واحدة} = \frac{ل_2 - ل_1}{(د_2 - د_1) ل_1} .$$

وهذا هو معامل التمدد الطولي لمادة الساق ويرمز له بالرمز (α)

$$(1) \quad \alpha = \frac{ل_2 - ل_1}{(د_2 - د_1) ل_1} \quad \therefore \text{و}$$

$$(2) \quad \text{ومن المعادلة أعلاه : } ل_2 - ل_1 = ل_1 \times \alpha \times (د_2 - د_1)$$

أي أن : الزيادة في الطول =

الطول الأصلي × معامل التمدد الطولي × التغير في درجة الحرارة

ومن المعادلة (2) نستنتج أن :

$$(3) \quad ل_2 = ل_1 [1 + \alpha (د_2 - د_1)]$$

عزيزي الطالب إن لمعرفة معاملات التمدد الطولي للأجسام الصلبة المختلفة أهمية كبرى

في عالم الصناعة وفي كثير من التطبيقات العملية في حياتنا .

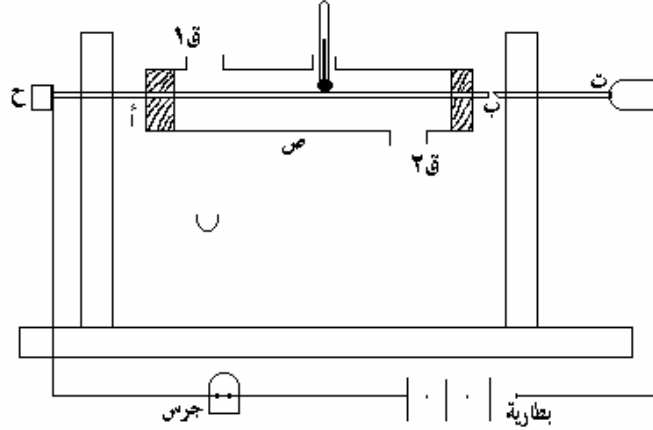
نشاط () :

والآن عزيزي الطالب كيف نقيس معامل التمدد الطولي لساق معدنية ؟

تجربة لتعيين معامل التمدد الطولي لساق معدنية :

□ خذ ساقاً معدنياً أ ب وأحسب طوله بواسطة المسطرة ، لاحظ أن يكون طول الساق مناسباً نظراً لأن المواد الصلبة يزداد طولها زيادة صغيرة جداً نتيجة للتمدد بالحرارة ، فليكن طوله ٦٠ سنتيمتراً . إجعل الساق يمر خلال قطعتين من المطاط أو الفلين مثبتتين في نهايتي أنبوب زجاجي (ص) ، ضع مقياس حرارة في الأنبوب بحيث يكون مستودعه عند منتصف الساق ، استخدم ميكرومتر (ت) لقياس الزيادة في طول الساق المعدني نتيجة للتمدد بالحرارة .

□ صل أحد طرفي أنبوبة مطاط بالفتحة (ف١) والطرف الآخر منها بالصنبور ثم أفتح ماء الصنبور ليمر الماء من الفتحة (ف١) ليخرج من الفتحة (ف٢) اجعل إمرار ماء الصنبور مستمراً لفترة مناسبة من الزمن حتى يكتسب الساق المعدني نفس درجة حرارة ماء الصنبور ، حرك الميكرومتر حتى يلامس طرف الساق ، يمكن معرفة ذلك بدقة عندما تسمع صوت الجرس الكهربائي الموصل في الدائرة الكهربائية التي تظهر في الرسم .



شكل (٣٦)

سجل قراءة مقياس الحرارة وأيضاً قراءة الميكرومتر بالمليمترات وأجزاء المليمترات ، حرك الميكرومتر حتى يتعد عن طرف الساق (ب) ليسمح له بالتمدد من هذا الطرف بينما المسامير المحوي (ح) يمنع الساق من التمدد من جهة (أ) .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

□ فرغ الماء من الأنبوب الزجاجي ثم وصل الفتحة (ف_١) مع إناء به ماء يغلي باستخدام أنبوبة مطاط فيدخل البخار من (ف_١) ويخرج من (ف_٢) ثم انتظر حتى يسجل مقياس الحرارة درجة حرارة ثابتة ويأخذ الساق نفس هذه الدرجة من الحرارة ، حرك الميكروميتر حتى يلامس الطرف (ب) من الساق وخذ درجة الحرارة وقراءة المايكروميتر ، الفرق بين قراءتي الميكروميتر يعطي تمدد الساق الطولي ، دوّن نتائج التجربة كما يلي :

درجة حرارة الساق الابتدائية = م_١ °

درجة حرارة الساق النهائية = م_٢ °

قراءة المايكروميتر الابتدائية = ق_١

قراءة المايكروميتر النهائية = ق_٢

الطول الأصلي للساق = ل سم

استخدم المعادلة الآتية لإيجاد معامل التمدد الطولي لمادة الساق المعدني

$$\text{معامل التمدد الطولي} = \frac{\text{الزيادة في الطول}}{\text{الطول الأصلي} \times \text{التغير في درجة الحرارة}}$$

$$\text{معامل التمدد الطولي} = \frac{ق_٢ - ق_١}{ل (م_٢ - م_١)}$$

إذا استخدم مقياس حرارة فهر نهائي بدلاً عن المقياس المتوي فإن معامل التمدد يكون مختلفاً وفي هذه الحالة يكون مساوياً $9/5$.
من معامل التمدد الطولي الناتج في حالة المقياس المتوي .

ب) معامل التمدد السطحي والتمدد الحجمي :

سبق أن ذكرنا أن يمكن ملاحظة ثلاثة أنواع من التمدد في الجسم الصلب وهي : التمدد الطولي ، والتمدد السطحي ، والتمدد الحجمي ، ولهذا يكون للجسم الصلب ثلاثة معاملات للتمدد هي : معامل التمدد الطولي ومعامل التمدد السطحي ، ومعامل التمدد الحجمي ، وكما عرفنا معامل التمدد الطولي بأنه مقدار الزيادة في طول وحدة الأطوال من الجسم عند رفع درجة حرارته درجة سلزبوسية واحدة اعتباراً من الصفر ، كذلك يمكننا تعريف معامل التمدد السطحي للجسم الصلب بأنه : مقدار الزيادة في مساحة وحدة

الفيزياء

المساحات من السطح عند ارتفاع درجة حرارتها درجة واحدة سلزيوسية اعتباراً من الصفر السلزيوسي . ويعرف معامل التمدد الحجمي للجسم الصلب بأنه : مقدار الزيادة في حجم وحدة الحجم من الجسم الصلب عند ارتفاع درجة حرارتها درجة واحدة اعتباراً من الصفر السلزيوسي . ويرمز لمعامل التمدد السطحي بالرمز (س) ولمعامل التمدد الحجمي بالرمز (جـ).

ويمكن إثبات أن : $\alpha = \frac{1}{\beta}$ و

$\beta = \frac{1}{\alpha}$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

أمثلة محلولة :

مثال (١) :

ساق من النحاس طولها ٣ م في درجة الصفر السليزيوسي ، كم يصبح طولها إذا سخنت إلى ١٠٠ م° علماً بأن (و) للنحاس = $0,000018 / م^{\circ}$ ؟ وما مقدار معامل التمدد الحجمي لمادة الساق؟

الحل :

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

∴ طول الساق في درجة ١٠٠ م° = $3 [1 + 0,000018 \times (100 - 0)]$.

$$3,00054 = 1,0018 \times 3 =$$
$$\alpha = 0,000054 / م^{\circ} = 0,000018 \times 3 = 3 = \alpha$$

مثال (٢) :

صفيحة معدنية مربعة الشكل طول ضلعها ١٠٠ سم في درجة الصفر السليزيوسي تحتوي على ثقب دائري في منتصفها قطره ٢٠ سم . في أي درجة حرارة يصبح طول ضلعها ١٠١ سم ؟ وكم يصبح قطر الثقب عند هذه الدرجة ؟
(و) مادة الصفيحة = $1,25 \times 10^{-5}$ لكل درجة سليزيوسية .

الحل :

الزيادة في طول ضلع الصفيحة = $101 - 100 = 1$ سم

∴ الزيادة في الطول = الطول الأصلي × معامل التمدد الطولي × فرق درجات الحرارة

$$1 = 100 \times 1,25 \times 10^{-5} \times \Delta t$$
$$\Delta t = \frac{1}{125} = 0,008$$

ومنه $\Delta t = 0,008$ م°

أما بالنسبة لقطر الثقب الدائري فإنه يتمدد كما لو كان مصمماً

∴ الزيادة في القطر = القطر الأصلي × معامل التمدد الطولي × فرق درجات الحرارة

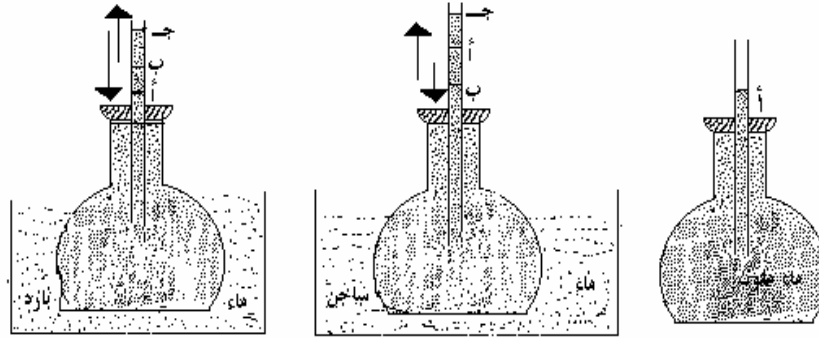
$$= 20 \times 1,25 \times 10^{-5} \times 0,008 = 0,0002$$

∴ يصبح القطر $20,0002$ سم

٢ / تمدد السوائل :

لعلك لاحظت عندما تضع إبريق الشاي وهو مملوء بالماء حتى حافته فوق لهب ، أن بعض الماء ينسكب منه قبل أن يصل الماء إلى درجة الغليان ، وإذا لاحظت سطح الماء في مبرد العربة (مشع الحرارة) Radiator عندما يكون المحرك ساخناً فإنك تجده عند حافة المبرد ، وإذا برد المحرك فإنك تلاحظ أن سطح الماء ينخفض . إن هاتين الملاحظتين تبينان أن الماء وبقيّة السوائل تتمدد بالحرارة وتنكمش عندما تبرد .

ويمكن توضيح تمدد السوائل باستخدام دورق مملوء بماء ملون ونسده بسداد تنفذ منه أنبوبة توصيل رفيعة بحيث يرتفع سطح الماء فيها قليلاً كما في الشكل (٣٧) .



شكل رقم (٣٧)

نفرض أن سطح الماء في الأنبوبة كان عند النقطة (أ) فإذا وضع الدورق في حوض به ماء ساخن تشاهد أولاً انخفاض سطح الماء في الأنبوبة قليلاً حتى نقطة (ب) لماذا ؟ ، ثم يبدأ سطح الماء في الارتفاع ويتعدى مستوى سطحه في الأنبوبة قبل التسخين إلى أن يصل أقصى ارتفاع عند (جـ)

من هنا ترى أن الماء يتمدد بالحرارة وأن تمدده (ب جـ) أكبر من تمدد الإناء الزجاجي الحاوي له (أ ب) ، أي أن تمدد السوائل أكبر من تمدد الأجسام الصلبة .

ولكن هل تتمدد المقادير المتساوية من السوائل المختلفة بمقدار واحد إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقدار واحد . فالسوائل المختلفة المتساوية في الحجم تتمدد بمقادير مختلفة إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

أ) التمدد الحقيقي والتمدد الظاهري للسائل :

إن السائل يأخذ شكل الإناء الذي يوضع فيه ولذا لا يكون للسائل طولاً أو مساحة سطح خاصة به ، ولكن يكون له حجم خاص ، وعلى ذلك لا يوجد للسائل سوى تمدد حجمي ، ولما كان لا بد من وضع السائل في إناء ما فإن كلاً من الإناء والسائل يتمدد عند التسخين ، أي أن حجم الإناء يزداد كما يزداد حجم السائل ، ولأن تمدد السائل يكون أكبر من تمدد الإناء فإن الذي نلاحظه بعد التسخين هو التمدد الظاهري للسائل وهو يقل دائماً عن التمدد الحقيقي للسائل بمقدار تمدد الإناء الحاوي للسائل .
أي أن :

الزيادة الظاهرية في حجم السائل = الزيادة الحقيقية في حجم السائل - الزيادة في حجم الإناء
ومن هنا نرى أنه يمكن ملاحظة معاملين من معاملات التمدد الحجمي لسائل :

أولاً : معامل التمدد الظاهري للسائل :

ويرمز له بالرمز (هـ) وهو : مقدار الزيادة الظاهرية التي تطرأ على حجم وحدة الحجم من السائل عندما ترتفع درجة حرارتها درجة سلزبوسية واحدة اعتباراً من الصفر أو هو الزيادة في حجم وحدة الحجم من السائل عندما ترتفع درجة حرارتها درجة سلزبوسية واحدة اعتباراً من الصفر بإهمال تمدد الإناء .

فإذا كانت (ح ١) تمثل الحجم الأصلي للسائل في درجة (١د) وكانت (ح ٢) تمثل الحجم الظاهري للسائل في درجة (٢د) ، فإن الزيادة الظاهرية في حجم السائل = (ح ٢ - ح ١) .

$$\frac{\text{ح ٢} - \text{ح ١}}{\text{ح ١}} = \text{الزيادة الظاهرية في حجم وحدة الحجم من السائل}$$

∴ الزيادة الظاهرية في حجم وحدة الحجم من السائل لكل ارتفاع في درجة الحرارة .

مقداره درجة واحدة سلزبوسية :

$$\boxed{\text{هـ} = \frac{\text{ح ٢} - \text{ح ١}}{\text{ح ١} (\text{٢د} - \text{١د})}}$$

أي أن معامل التمدد الظاهري لسائل = $\frac{\text{الزيادة الظاهرية في حجم السائل}}{\text{الحجم الأصلي للسائل} \times \text{فرق درجات الحرارة}}$

كما يمكننا أن نستنتج أن :

$$\text{ح ٢} = \text{ح ١} + \text{هـ} (\text{٢د} - \text{١د})$$

ثانياً : معامل التمدد الحقيقي للسائل :

ويرمز له بالرمز (ق) وهو مقدار الزيادة الحقيقية التي تطرأ على حجم وحدة الحجم من السائل عندما ترتفع درجة حرارته درجة سلزوسية واحدة اعتباراً من الصفر .
ويمكننا أن نستنتج كما سبق أن :

$$ق = \frac{ح_1 - ح_2}{ح_1 (د_1 - د_2)}$$

أي أن : معامل التمدد الحقيقي لسائل = $\frac{\text{الزيادة الحقيقية في حجم السائل}}{\text{الحجم الأصلي للسائل} \times \text{فرق درجات الحرارة}}$

$$\text{ومنه } ح_2 = ح_1 [1 + ق (د_1 - د_2)]$$

حيث (ح₁) الحجم الحقيقي للسائل في درجة (د₁) ، (ح₂) الحجم الحقيقي للسائل في درجة (د₂) .

ما هي العلاقة بين (ق) ، (هـ) ؟

وهل لكل منهما قيمة ثابتة للسائل الواحد ؟

أنت تعلم أن :

الزيادة الحقيقية في حجم السائل = الزيادة الظاهرية في حجم السائل + الزيادة في تمدد الإناء

$$\therefore ح_2 = ح_1 ق (د_1 - د_2) + ح_1 (د_1 - د_2) + ح_1 (د_1 - د_2) ق$$

حيث (ح₁) هو حجم كل من السائل والدورق في الدرجة (د₁) م ، (جـ) معامل

التمدد الحجمي لمادة الدورق .

$$\therefore ق = هـ + جـ$$

$$هـ = ق - جـ$$

ولماذا كانت (ق) مقداراً ثابتاً للسائل الواحد فإن قيمة (هـ) تتوقف على قيمة

(جـ) ، كما يتبين من العلاقة الأخيرة . وبما أن (جـ) تتوقف على نوع مادة الإناء الحاوي

للسائل ، فإن (هـ) لا يمكن أن تكون لها قيمة ثابتة للسائل الواحد بل تتوقف قيمتها على

نوع مادة الإناء الحاوي للسائل وإذا تغيرت (جـ) فإن (هـ) تتغير تبعاً لذلك بحيث تكون

قيمة (ق) ثابتة دائماً .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

مثال (١) :

إذا كان معامل التمدد الحقيقي للجلسرين السائل $0,000534$ فما معامل تمدده الظاهري في إناء من النحاس معامل تمدده الطولي $= 0,000018$ م° .

الحل :

$$\text{جـ) للنحاس } = 3 = 3 \times 0,000018 = 0,000054$$

$$\text{هـ} = \text{ق} - \text{جـ}$$

$$\text{هـ} = (\text{للسرين في إناء النحاس}) = 0,000054 - 0,000054 =$$

$$\underline{\underline{0,00048}}$$

مثال (٢) :

١٠٠ سم^٣ من الزئبق محفوظة في إناء من الزجاج في درجة ٢٥° د ، أحسب الفرق بين الحجم الحقيقي للزئبق والحجم الظاهري له إذا ارتفعت درجة حرارته إلى ٤٥° د ، (و) للزجاج = $0,00001$ (ق) للزئبق = $0,00018$

الحل :

$$\text{هـ} = \text{ق} - \text{جـ}$$

$$\text{هـ} = 0,00018 - 0,00001 \times 3 = 0,00015$$

$$\text{الحجم الحقيقي للزئبق في درجة } 45^\circ \text{ د} = \text{ق} = \text{ج} + 1 \text{ [(د) - (د)]}$$

$$= [20 \times 0,00018 + 1] 100 =$$

$$= 100,36 \text{ سم}^3$$

$$\text{الحجم الظاهري للزئبق في درجة } 45^\circ \text{ د} = \text{ق} = \text{هـ} + 1 \text{ [(د) - (د)]}$$

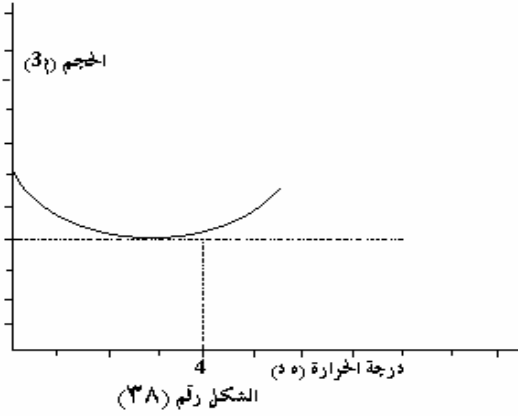
$$= [20 \times 0,00015 + 1] 100 =$$

$$= 100,30 \text{ سم}^3$$

∴ الفرق بين الحجمين الحقيقي والظاهري = $100,36 - 100,30 = 0,06$ سم^٣ وهو

يعادل تمدد الإناء .

٣ / شذوذ تمدد الماء :

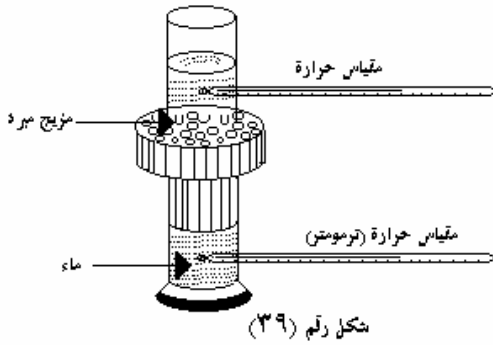


عرفنا أن السوائل تتمدد بالحرارة فيزداد حجمها ، وأن الزيادة في الحجم تتناسب طردياً مع الارتفاع في درجة حرارة السائل . ولكن الماء هو السائل الوحيد الذي يشذ عن هذه القاعدة وذلك بين درجتي (صفر[°]م ، ٤[°]م) فقط .

فإذا أخذنا كمية من الماء في درجة الصفر وبدأنا في رفع درجة حرارتها فإن حجمها يبدأ في التناقص (بدلاً من أن

يزيد كما في السوائل الأخرى) ويستمر هذا التناقص في الحجم إلى أن تصل درجة حرارة الماء ٤[°]م ، وبعد ذلك يبدأ حجم الماء في الزيادة بارتفاع درجة حرارته كما في السوائل الأخرى أي أن حجم كمية معينة من الماء يكون أقل ما يمكن عند درجة ٤[°]م . لاحظ الخط البياني في الشكل (٣٨) .

$$\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \text{ولما كانت الكثافة}$$



فإننا نستنتج أن كثافة الماء تكون أكبر ما يمكن عندما يكون حجمه أقل ما يمكن وذلك في درجة ٤[°]م حيث تبلغ كثافة الماء عند هذه الدرجة ١٠٠٠ كجم / م^٣ (١ جم / سم^٣) . أما كثافة الماء فوق درجة ٤[°]م ودونها فإنها تكون أقل من ١٠٠٠ كجم/م^٣ . ولعل شذوذ الماء هذا هو السبب في استمرار الحياة في مياه البحار ، إذ لولا ذلك لتجمدت مياه البحار كلها وماتت الحياة فيها ، ويمكن إثبات ذلك بتجربة عملية يستخدم فيها جهاز كالمبين في الشكل (٣٩) والمسمى جهاز (هوب) .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

تملاً الاسطوانة بالماء ، ونضع مخلوطاً مبرداً كالثلج وملح الطعام في الحوض ونراقب قراءتي الترمومترين ، فنلاحظ أن درجة حرارة الماء السفلي تنخفض بالتدريج بينما تبقى قراءة الترمومتر العلوي ثابتة تقريباً ، ويستمر هذا إلى أن تصبح درجة حرارة الماء السفلي $+ 4^{\circ}\text{C}$ وتثبت عندها ، وتبدأ قراءة الترمومتر العلوي في الهبوط إلى أن تصل إلى الصفر وعندها تبدأ طبقة رقيقة من الثلج بالتكوين على سطح الماء مع بقاء درجة حرارة الماء السفلي عند $+ 4^{\circ}\text{C}$.
يفسر ذلك بأن الماء الذي يبرد في بداية التجربة يقل حجمه فتزداد كثافته ويهبط إلى أسفل مسبباً انخفاض درجة حرارة الماء السفلي ، ويستمر ذلك إلى أن تصبح درجة حرارة الماء السفلي $+ 4^{\circ}\text{C}$ ، حيث تكون كثافة الماء أكبر ما يمكن وعندها يبدأ الماء البارد الذي تقل درجة حرارته عن $+ 4^{\circ}\text{C}$ بالصعود إلى أعلى ، أي أن حجمه يزيد فتقل كثافته ويرتفع إلى أعلى فتخفض درجة الماء العلوي حتى الصفر .

أسئلة وتمارين على تمدد السوائل والمواد الصلبة :

١/ علّل لما يأتي :

- أ/ يفضل استخدام زجاج البيركس العادي في صناعة الأواني الزجاجية المستخدمة في المختبرات .
- ب/ تثبت قضبان السكك الحديدية تثبيثاً متيناً في الأرض بدون ترك مسافات بينها إلا في نهاية الخط.
- ج/ للسوائل معامل تمدد حجمي أما الأجسام الصلبة فلها معامل تمدد حجمي واحد فقط .
- د/ شذوذ الماء في تمدده هو السبب في استمرار الحياة للكائنات البحرية الحية .
- ٢/ دورق مملوء بالماء في درجة الصفر ومسدود بسداد تفذ منه أنبوبة زجاجية رفيعة بحيث يرتفع فيها سطح الماء قليلاً ، صف ما يحدث لحجم الماء في الدورق عند وضعه في حوض به ماء درجة حرارته 10°C ، ارسم خطاً بيانياً يوضح العلاقة بين حجم الماء ودرجة حرارته خلال هذا المدى من درجات الحرارة .
- ٣/ إذا كان معامل التمدد الحقيقي للزئبق $0,00018$ ومعامل تمدده الظاهري في إناء من الزجاج $0,00156$ ، أحسب معامل التمدد الطولي للزجاج وإذا كان معامل التمدد الظاهري للجلسرين السائل في نفس الإناء $0,000516$ ، أحسب معامل التمدد الحقيقي للجلسرين .
- ٤/ إذا كان طول ساق من المعدن في درجة 200°C يساوي 100 سم ، في أية درجة حرارة يصبح طولها $99,4$ سم ، علماً بأن (و) لمادة الساق $0,00002 / ^{\circ}\text{C}$.
- ٥/ عرّف معامل التمدد الطولي لجسم صلب ثم أشرح تجربة عملية لإيجاد معامل التمدد الطولي لساق معدنية ، اذكر الاحتياطات الواجب اتخاذها عند التجربة .

تمدد الغاز : EXPANSION OF GASES

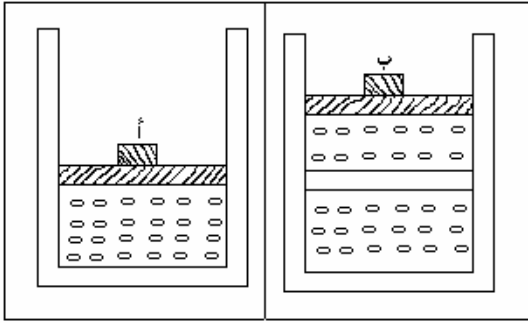
علمت أن حجوم الأجسام الجامدة والسوائل تتغير بتغير درجة حرارتها ولكنها لا تكاد تتأثر بتغير الضغط الواقع عليها .

أما حجم الغاز فيتأثر بعاملين هما درجة الحرارة ، الضغط الواقع عليه أي أن للغاز ثلاثة متغيرات تحدد حالته ، هي حجمه وضغطه ودرجة حرارته ، والعلاقة بين هذه المتغيرات تسمى (بمعادلة الحالة للغازات) وللوصول إلى هذه العلاقة سنبدأ أولاً بدراسة العلاقة بين كل عاملين منها عند ثبات العامل الثالث .

١ / أولاً : العلاقة بين حجم كمية معينة من غاز ودرجة حرارتها عند ثبات ضغطها أو ما يعرف بقانون شارل :

يتبين من نظرية الحركة للغازات إن الضغط الذي يحدثه الغاز على جدران الإناء الذي يحتويه يكون بسبب تصادم الجزيئات أثناء حركتها مع جدران الإناء ، كما أن متوسط طاقة حركة الجزيء ($\frac{1}{2}mv^2$) تتناسب طردياً مع درجة الحرارة .

ما الذي يحدث لجزيئات كمية معينة من غاز إذا سخنت تحت ضغط ثابت ؟



شكل رقم (٤٠)

في الشكل (٤٠) حبست كمية معينة من غاز في اسطوانة ذات مكبس عديم الاحتكاك عليه ثقل ليكون الضغط الواقع على الغاز ثابتاً طوال التجربة ، ولكي يستقر المكبس في وضع معين يجب أن يكون ضغط الغاز المحبوس مساوياً لضغط المكبس وما عليه ، وعند رفع درجة الحرارة يزداد

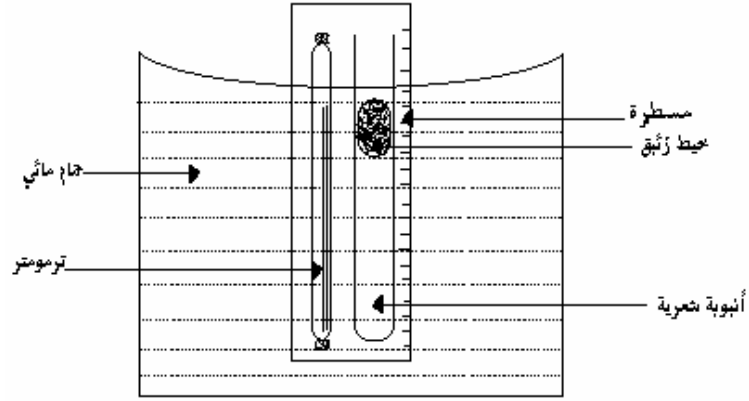
عدد تصادمات جزيئات الغاز مع الجدران والمكبس نظراً لزيادة طاقة حركة الجزيئات ولذلك يدفع المكبس للخارج إلى أن يستقر في وضع جديد محدثاً زيادة في حجم الغاز أي أن تسخين كمية معينة من غاز تحت ضغط ثابت بسبب زيادة في حجمها .

ما هي العلاقة بين حجم كمية معينة من غاز ودرجة حرارتها عند ثبات الضغط ؟

الفيزياء

يمكن إيجاد هذه العلاقة بحجز كتلة ثابتة من غاز ما في أنبوبة شعيرية منتظمة المقطع (حيث الحجم تتناسب مع الأطوال) بواسطة خيط دقيق من الزئبق ، فإذا وضعت الأنبوبة الشعيرية وفوهتها لأعلى (مثلاً) فإن الضغط الواقع على الغاز المحبوس عند استقرار خيط الزئبق = الضغط الجوي + الضغط الناتج عن خيط الزئبق ، وبظل الضغط ثابتاً طالماً بقي وضع الأنبوبة ثابتاً .

ضع الأنبوبة الشعيرية في حمام مائي يمكن تغيير درجة حرارته وعين حجم الغاز المحبوس في درجات حرارة مختلفة بقياس طول الغاز المحصور في الأنبوبة ، ثم ارسم خطاً بيانياً بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبات ضغطه ، بالاعتماد على النتائج تحصل على الخط البياني المبين بالشكل (٤١) وهو مستقيم مما يدل على انتظام تمدد الغازات .



شكل رقم (٤١)

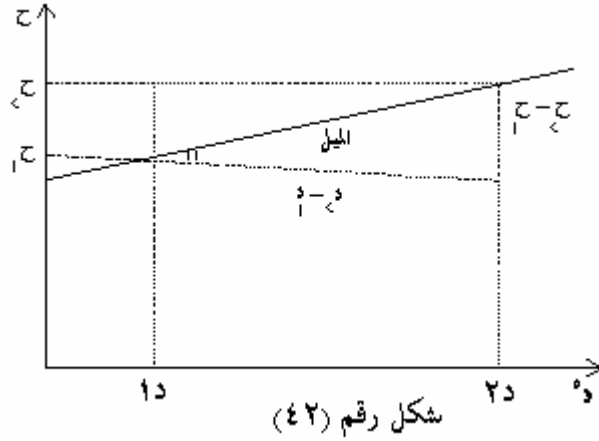
نلاحظ من الرسم البياني ما يلي :

١/ لا يندم حجم الغاز عند صفر^م وبعبارة أخرى لا يتناسب حجم طردياً مع درجة الحرارة .

$$\frac{C_1 - C_2}{(15 - 25)} = \text{ميل الخط المستقيم} \quad 2/$$

وهذا مقدار تمدد الغاز لكل درجة سلزيسية وهو مقدار ثابت .

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)



ونستنتج من ذلك أن حجماً معيناً من الغاز يتمدد بمقدار ثابت عندما ترتفع درجة حرارته درجة سلفيوسية واحدة . معامل التمدد الحجمي للغاز تحت ضغط ثابت هو مقدار وحدة الحجم من الغاز عندما ترتفع درجة حرارتها درجة سلفيوسية واحدة .
أي أن :

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1} = \text{معامل التمدد الحجمي للغاز تحت ضغط ثابت (جـ)}$$

$$\text{أي } V_2 = V_1(1 + \text{جـ})$$

حيث V_1 حجم الغاز في الدرجة D_1 ، V_2 حجم الغاز في الدرجة D_2 ، وقد وجد أن قيمة (جـ) ثابتة مهما كانت قيمة الضغط الواقع على الغاز طالما ظل ثابتاً أثناء التجربة كما أن قيمتها ثابتة لجميع أنواع الغازات .

$$\text{جـ} = \frac{1}{273} = 0,00366 / \text{درجة سلفيوسية}$$

$$\text{مقداراً ثابتاً} = \text{ميل الخط البياني} = \frac{C}{D}$$

ومنه $C \propto D$ (حيث T درجة الحرارة المطلقة) .

أي أن (حجم كتلة معينة من غاز يتناسب طردياً مع درجة حرارتها المطلقة عند ثبات ضغطها) ويمكن الوصول إلى النتيجة السابقة باستخدام العلاقة :

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{نجد أن} \quad \frac{1}{273} \quad \text{والتعويض عن قيمة جـ}$$

مثال :

أنبوبة شعرية من الزجاج أحد طرفيها مسدود وبها خيط من الزئبق يجس مقداراً من الهواء بداخلها ، غمرت في حوض به زيت درجة حرارته 27°C ، وكان حجم الهواء المحبوس 15 مم^3 ، ولما رفعت درجة حرارة الحوض إلى 127°C صار حجم الهواء المحبوس 20 مم^3 . أحسب معامل التمدد الحجمي للهواء تحت ضغط ثابت .

الحل :

الحالة الثانية	في الحالة الأولى
$V_2 = 20 \text{ مم}^3 = 20 \times 10^{-9} \text{ م}^3$	$V_1 = 15 \text{ مم}^3 = 15 \times 10^{-9} \text{ م}^3$
$T_2 = 127^\circ\text{C}$	$T_1 = 27^\circ\text{C}$

و بتطبيق العلاقة :

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

نجد أن :

$$\frac{(127 \times \text{جـ}) + 1}{(27 \times \text{جـ}) + 1} = \frac{10^{-9} \times 20}{10^{-9} \times 15}$$

إذن :

$$\frac{\text{جـ} + 127}{\text{جـ} + 27} = \frac{4}{3}$$

$$3(\text{جـ} + 127) = 4(\text{جـ} + 27)$$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

$$ج ٣ + ٣٨١ = ج ٤ + ١٠٨$$

$$ج ١ = ٢٧٣$$

$$\therefore ج = \frac{١}{٢٧٣} / ط$$

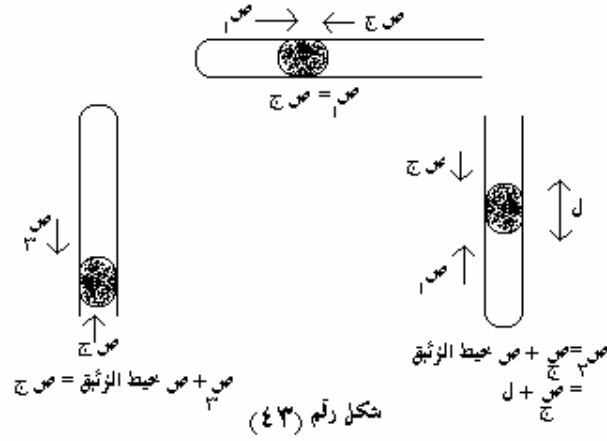
٢/ العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبات درجة حرارته :

لو وضعت كمية من غاز ما في إناء مقفل يمكن تغيير حجمه كأسطوانة ذات مكبس فإن عدداً كبيراً من التصادمات تحدثها جزئياته على جدران الإناء مسببة الضغط .

ترى ما الذي يحدث لضغط الغاز إذا ازدادت كتلة الغاز في الحيز نفسه عند ثبات درجة الحرارة؟ وهل يمكن تفسير ما يحدث عند نفخ إطار السيارة أو البالون؟ وهل يتغير ضغط كتلة ثابتة من غاز إذا تغير الحجم الذي تشغله عند ثبات درجة الحرارة؟ وما هي العلاقة بين حجم كمية معينة من غاز وضغطها عند ثبات درجة الحرارة؟

ولمعرفة هذه العلاقة خذ أنبوبة شعيرية كالتي استعملتها في التجربة السابقة وأدخل فيها خيطاً من الزئبق لتحصر بواسطته حجماً معيناً من الهواء داخل الأنبوبة ، ثم أجعل هذه الأنبوبة أفقية مرة ، ورأسية فوهتها إلى الأعلى مرة ثانية ، ورأسية وفوهتها إلى الأسفل مرة ثالثة وعين حجم الهواء المحصور في كل مرة (يتناسب حجم الهواء المحصور مع طول الجزء الذي يشغله من الأنبوبة ويحدده الخيط الزئبقي) .
عين كذلك ضغط الهواء المحصور في كل مرة وسجل نتائجك في جدول كالآتي :

وضع الأنبوبة	(ح) حجم الهواء	(ض) ضغط الهواء المحصور	ح × ض
١			
٢			
٣			



تلاحظ أن حجم الغاز (الهواء المحصور) يتناقص عندما يزداد الضغط المؤثر عليه (الذي يساوي ضغطه عند التوازن) ويزداد عندما ينقص الضغط المؤثر عليه، وأن حاصل الضرب (ح × ض) ثابت في جميع الحالات، أي أن :

$$ح_١ \times ض_١ = ح_٢ \times ض_٢ = ح_٣ \times ض_٣ = \text{مقدار ثابت}$$

ومن نستنتج أن : ح ∝ ض

أي أن حجم كتلة معينة من غاز ما يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبات درجة الحرارة وتعرف هذه العلاقة بقانون بويل .

٣/ معادلة الحالة للغازات:

إذا تغير كل من ضغط الغاز ودرجة حرارته فإن حجمه يتغير، ويمكن استنتاج العلاقة التي تربط الحجم والضغط ودرجة الحرارة كما يلي :

أنت تعلم من قانون بويل أن :

$$ح \propto \frac{1}{ض} \text{ عند ثبات درجة الحرارة}$$

كما تعلم من قانون شارل أن :

$$ح \propto ط \text{ عند ثبات الضغط}$$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

$$\therefore C \propto \frac{P}{V}$$

$$\therefore C \propto \frac{P}{V} \times \text{ثابت}$$

أو

$$\frac{C \propto V}{P} \text{ مقدار ثابت لنفس الكتلة من الغاز}$$

وإذا رمزنا للمقدار الثابت بالرمز (ث) فإن هذه المعادلة يمكن كتابتها على الشكل :

$$C \times V = \text{ث} \times P$$

وتسمى هذه العلاقة بمعادلة الحالة للغازات أو المعادلة العامة للغازات .
وإذا تغيرت درجة حرارة كمية من الغاز من P_1 إلى P_2 وبقي حجمه ثابتاً فإن ضغطه يتغير من V_1 إلى V_2 وبتطبيق معادلة الحالة للغازات :

$$\frac{C_1 V_1}{P_1} = \frac{C_2 V_2}{P_2}$$

نجد أن :

$$\frac{C_1 V_1}{P_1} = \frac{C_2 V_2}{P_2}$$

مثال :

اسطوانة تحتوي على ٣٠٠ سم^٣ من غاز تحت الضغط الجوي (١٠ نيوتن / م^٢) ، تحرك المكبس حتى أصبح الضغط ٨ × ١٠ نيوتن / م^٢ ، أحسب حجم الغاز بفرض أن درجة الحرارة ثابتة .

الفيزياء

الحل :

في الحالة الأولى	في الحالة الثانية
ح ₁ = ٣٠٠ سم ^٣	ح _٢ = ؟
ض _١ = ١٠ نيوتن / م ^٢	ض _٢ = ٨ × ١٠ نيوتن / م ^٢

و بتطبيق العلاقة ح_١ × ص_١ = ح_٢ × ص_٢

$$\text{نجد أن } ١٠ \times ٨ \times \text{ح}_٢ = ١٠ \times ١٠^{-٦} \times ٣٠٠ =$$

$$\therefore \text{ح}_٢ = \frac{١٠ \times ١٠^{-٦} \times ٣٠٠}{٨ \times ١٠} = ٣٧,٥ \text{ م}^{-٦} = \underline{\underline{٣٧,٥ \text{ سم}^{-٦}}}$$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

أسئلة وتمارين :

١/ اذكر العلاقة بين الزيادة في طول ساق معدنية وطولها الأصلي ثم استنتج العوامل التي تتوقف عليها هذه الزيادة .

٢/ إذا كان طول ساق من النحاس في درجة الصفر المئوي هو ٥٠ سم فأوجد درجة الحرارة التي يصبح فيها طول الساق ٥٠,٢٥٥ سم^٢ علماً بأن (و) للنحاس = ٠,٠٠٠٠١٧

٣/ إذا كان طول القضيب الواحد في قضبان السكك الحديدية ١٠ م ، وكانت المسافة المتروكة بين كل قضيبين ٠,٣٦ سم ، فأوجد درجة الحرارة التي يتلامس فيها القضيبان علماً بأن (و) للحديد = ٠,٠٠٠٠١٢ .

٤/ ١٠٠ سم^٣ من الزيتق محفوظة في إناء من الزجاج في درجة ٢٥° م ، أحسب الفرق بين الحجم الحقيقي للزيتق والحجم الظاهري له إذا ارتفعت درجة حرارته إلى ٤٥° م علماً بأن :
(و) للزجاج = ٠,٠٠٠٠٠١ ، (ق) للزيتق = ٠,٠٠٠٠١٨

٥/ أشرح العلاقة بين معامل التمدد الحقيقي للسائل ومعامل تمدده الظاهري ومعامل التمدد الحجمي للإناء .

٦/ علل لما يأتي :

ليس لمعامل التمدد الظاهري للسائل قيمة ثابتة .

٧/ كمية من غاز في درجة ٥٠° م حجمها ٥٠٠ سم^٣ أوجد حجمها في درجة (- ٥٠° م) مع ثبوت الضغط .

٨/ إذا كان حجم مقدار معين من الهواء ٢٤٠ سم^٣ وضغطه ٧٥ سم زئبق فماذا يكون حجمه إذا صار ضغطه ٢٢٥ سم زئبق ، علماً بأن درجة الحرارة ثابتة .

٩/ إذا كان حجم مقدار معين من غاز يساوي ٧٥٠ سم^٣ ودرجة حرارته ٣٩° م ، وتحت ضغط ٧٢ سم زئبق فما مقدار ضغطه إذا أصبح حجمه ٩٠٠ سم^٣ ودرجة حرارته ١٣° م .

١٠/ علل لما يأتي :

أ/ يسكب قلم الحبر جزءاً من حبره في الغطاء صيفاً .

ب/ يجب عدم ملء بالونات الطقس تماماً بغاز الهليوم .

ج/ قد ينفجر إطار السيارة عند توقفها المفاجئ وهي مسرعة .

الحرارة والشغل : Heat & work

١ / العلاقة بين الحرارة والشغل :

عزيزي الطالب أنت تعرف أن الحرارة صورة من صور الطاقة المتعددة ، وإنتاج الطاقة الحرارية يتم بطرق متعددة فيمكن إنتاجها من الطاقة الكيميائية بحرق الفحم أو تخفيف الحمض بالماء ، ومن الطاقة الكهربائية ومن الطاقة الميكانيكية عندما تبذل شغلاً في حرك قطعيتين من الحجر فإنهما يسخنا أو عندما تعمل شغلاً في ضغط الغاز كما في منفاخ الدراجة .

ويمكن تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل كما في الآلة البخارية أو آلة الاحتراق الداخلي حيث يحترق الوقود منتجاً الطاقة الحرارية التي تتحول إلى طاقة حركية تؤدي شغلاً ، ولقد أجرى (رمفورد Rum Ford) وهو مهندس أمريكي ، عدة تجارب كانت نتيجتها رفض نظرية السيل الحراري التي كانت تقول أن الحرارة عبارة عن مادة سيالة تتدفق من جسم لآخر وأثبت رمفورد أن الحرارة نوع من أنواع الطاقة التي تتولد بالاحتكاك .

وأخيراً ربط العالم (جيمس جول) بين مصادر الشغل والطاقة الحرارية بتجارب عملية كان الغرض منها إثبات أن كمية الحرارة الناتجة ببذل كمية واحدة من الشغل (الطاقة الميكانيكية) دائماً واحدة .

والعلم الذي يربط بين الحرارة والصور الأخرى للطاقة يسمى (الديناميكا الحرارية) وسوف نحاول أن نوضح العلاقة بين الحرارة والطاقة الميكانيكية .

٢ / قانون بقاء الطاقة :

ينص القانون على أن (مجموع الطاقة في نظام محكم يظل ثابتاً) فلو فرضنا وجود آلة مثالية ليس فيها احتكاك مطلقاً فإننا عندما نطابق الحقائق الميكانيكية البسيطة لأي نظام محكم فإننا نجد أن :

$$\text{الطاقة المستنفذة ببذل مجهود} = \text{الشغل المبذول لرفع الحمل أو لتحريك الأجزاء} + \text{الشغل المبذول ضد الاحتكاك} .$$

الوحدة الأولى: (خواص المادة - الحرارة)

والشغل المبذول ضد الاحتكاك يولد حرارة والشغل المبذول لرفع الحمل يمد الحمل بطاقة وضع وعند ذلك تكتب المعادلة :

$$\text{الطاقة المستنفذة ببذل جهد} = \text{طاقة الوضع الميكانيكية التي يستمددها الحمل} + \text{الطاقة الحرارية الناتجة بالاحتكاك}$$

وهذا يعني أن الحرارة المتولدة تكافئ تماماً الشغل الميكانيكي المستنفذ في إنتاجها .

٣/ القانون الأول في الديناميكا الحرارية :

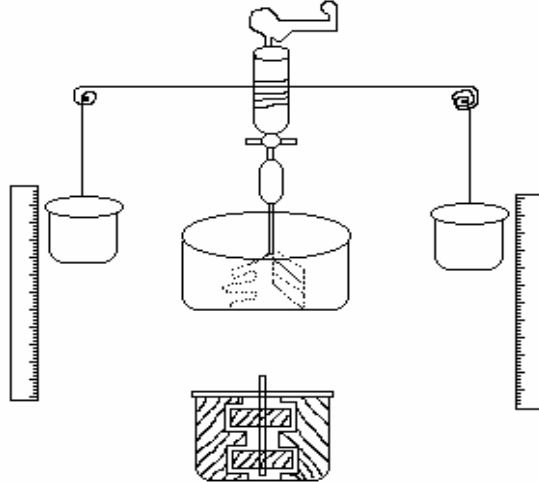
عندما يتحول الشغل الميكانيكي بكامله إلى حرارة فإن كل وحدة من وحدات الشغل تتحول إلى كمية محددة من وحدات الحرارة ، فإذا تحول (ش) من وحدات الشغل إلى (ح) من وحدات الطاقة الحرارية فإن :

$$\text{ش} = \text{ح} \times \text{ي}$$

حيث (ي) مقدار ثابت يسمى المكافئ الميكانيكي للحرارة وهو يساوي ٤,١٨ جول لأن واحد سعر من الحرارة يكافئ أو يعمل شغلاً قدره ٤,١٨ جول والعكس صحيح .

٤/ تعيين المكافئ الميكانيكي للحرارة بطريقة ميكانيكية:

قام جول بتجربة عملية الغرض منها معرفة مقدار الشغل اللازم لتوليد كمية من الحرارة قدرها سعراً واحداً .



تعيين المكافئ الميكانيكي للحرارة بطريقة ميكانيكية

شكل رقم (٤٤)

استخدم جول الجهاز الموضح بالشكل (٤٤) ويتركب من مسعر يحوي ماء ومزود بدالات متصلة بمحور يمكنه الدوران بواسطة سقوط كتلتين مربوطتين بخيط ملفوف حول اسطوانة جوفاء متصلة بالمحور والمسعر كما هو موضح بالشكل السفلي مزودة بصفائح تعمل كحواجز تسمح بمرور البدالات بينها وهذه الحواجز لمنع حركة الماء الدورانية لأنه سيكتسب بذلك طاقة حركة عندما تتحرك البدالات وتعمل شغلاً ضد مقاومة الماء والاسطوانة الجوفاء لا تكون مرتبطة بالمحور عندما يراد رفع الثقلين لأعلى بواسطةها ولكن فقط تكون مرتبطة بالمحور عند سقوط الكتلتين .

خطوات العمل :

وضع جول كمية معلومة الكتلة من الماء في المسعر المعلوم مكافئه المائي ، وقيست درجة حرارتها بواسطة ترمومتر ينفذ من غطاء المسعر ورفعت الأثقال لأعلى وربط المحور ثم أسقطت الأثقال لتقدير البدالات خلال الماء بالمسعر وكرر هذه لعدة مرات فارتفعت درجة حرارة المسعر ، وتقاس المسافة التي يتحركها الثقل أثناء سقوطه في كل مرة .

أفرض أن كل ثقل كانت كتلته (ك) جم ويسقط مسافة (ف) سم في كل مرة وسمح له بالسقوط (ن) مرة .

∴ طاقة الوضع المفقودة في كل مرة = (٢ ك ف) جم . سم
 وكل طاقة الوضع المفقودة = (٢ ك ف ن) جم . سم .
 وكانت كتلة الماء + المكافئ المائي للمسعر = (و) جم .
 والارتفاع في كمية الحرارة المتولدة = ح سعر .

يمكن القول أن اختفاء (٢ ك ف ن) جم . سم من الطاقة أنتج مقداراً من الطاقة الحرارية قدره .

ح سعراً ولذلك فإن : السعر يمكن الحصول عليه من $\frac{٢ ك ف ن}{ح}$ جم . سم من الطاقة

و كانت نتيجة هذه التجربة أن :

١ سعر حصل عليه ببذل مقدار ثابت من الشغل هو $٤,١٨ \times ١٠^٧$ أرج = $٤,١٨$ جول.
 وفي المعادلات يسمى هذا الثابت (ي) وبذلك نجد أن :

$$ح = \frac{ط}{ي} أي ط = ح \times ي$$

حيث ح ، ط كميتان متكافئتان في الحرارة والطاقة الميكانيكية .