

6 - المكافئ الميكانيكي للحرارة

The Mechanical Equivalent of Heat (J)

بما انه الحرارة هي شكل من اشكال الطاقة , اي ممكن تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية وبالعكس, ومن التطبيقات الماكينة البخارية . لقد قام العالم جول بسلسلة من التجارب لإيجاد العلاقة بين الحرارة والشغل . الشكل (1) توضيح لتجربة جول . والنظام تحت الدراسة هو الماء الموجود في وعاء معزول حراريا. في بداية التجربة تقاس درجة حرارة الماء الابتدائية ثم يسمح للكتل m بالسقوط بسرعة ثابتة اي تحت تأثير الجاذبية الارضية . ان سقوط الكتل الى الاسفل مسافة h يؤدي الى انجاز شغل ميكانيكي على الماء الموجود داخل الوعاء قدره $2mgh$ وهذه القيمة تساوي النقص في طاقة الوضع, حيث يؤدي سقوط الكتل الى تدوير المروحة المغمورة في الماء وهذا يؤدي الى احتكاك اجنحة المروحة مع الماء .بالإضافة الى تحريك الماء واصطدام جزيئاته مع بعضها البعض فترتفع حرارته. ان مقدار الشغل المبذول W يمكن حسابه من معرفة مقدار الثقل والمسافة التي يقطعها في سقوطه . اما الحرارة المتولدة Q من ذلك الشغل تحسب من معرفة التغير في درجة حرارة الماء و بتطبيق القانون $Q=mc\Delta T$ وعندما يعود النظام الى درجة حرارته الابتدائية يقال ان النظام قد مر خلال دورة كاملة. وعند مقارنة الشغل المنجز W بالحرارة المتولدة Q خلال دورة كاملة ولمقادير مختلفة من الشغل اي بتغير مقدار الكتل وجد ان العلاقة طردية وان ثابت التناسب يساوي $4.186J/cal$ او $4186 J/kcal$. اي ان الشغل والحرارة كميتان متكافئتان ويعبر عنهم بوحدة الجول او السعرة اي ان قانون جول يعطي العلاقة الكمية بين الشغل والحرارة اي عندما يستخدم كل الشغل لتوليد الحرارة او العكس وان العلاقة البسيطة بينهم هي

$$(1) \text{ --- } (Q \cdot J = W)$$

اي ان الطاقة الميكانيكية تتحول الى طاقة حرارية وبالعكس وان قيمة المكافئ الميكانيكي (J) للتحويل هي

$$1cal=4.186 J$$

$$1kcal=4186J$$

اي ان مقدار الطاقة الحرارية Q والتي تقاس بالسعرة الحرارية يمكن تحويلها الى وحدات الجول وذلك بمجرد ضربها بمكافئ جول



7 - قياس الحرارة النوعية

The Specific Heat Measurement

تستخدم العديد من الطرق لقياس الحرارة النوعية. تختلف هذه الطرق باختلاف درجات الحرارة, نجد ان طرق وتقنيات تستخدم في درجة حرارة الغرفة تختلف عن تلك الطرق المستخدمة في مديات درجات الحرارة الواطئة او العالية جدا وابطس هذه الطرق هي :

• الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة

تستخدم هذه الطريقة لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة الجيدة التوصيل للحرارة كالنحاس والالمنيوم. إذ تؤخذ قطعة منتظمة الشكل تحتوي على ثقب يثبت فيه سخان كهربائي (هيتز) 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:

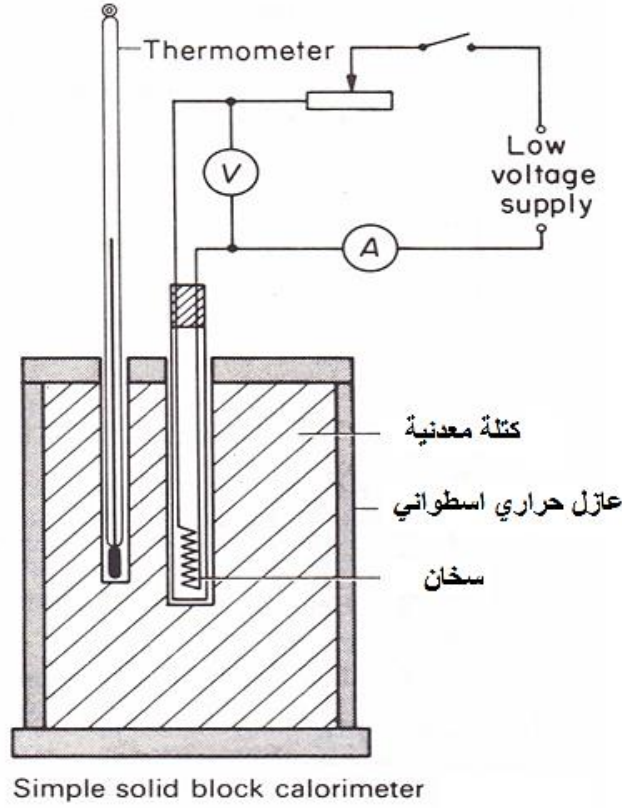
الطاقة الكهربائية التي يزود بها السخان = الطاقة الحرارية التي تزود بها القطعة المعدنية

$$m C \Delta T = VI t \quad \text{-----(1)}$$

$$m C (T_2 - T_1) = VI t \quad \text{-----(2)}$$

$$C = \frac{V I t}{m (T_2 - T_1)} \quad \text{-----(3)}$$

فإذا كانت قيمة التيار بالأمبير وفرق الجهد بالفولت والزمن بالثانية ودرجة الحرارة بالدرجة الكلفنية (k) والكتلة بالغرام (gm) فان وحدة الحرارة النوعية هي الجول لكل غرام لكل درجة كلفنية. الشكل (2) يوضح الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة.



الشكل (2): الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة

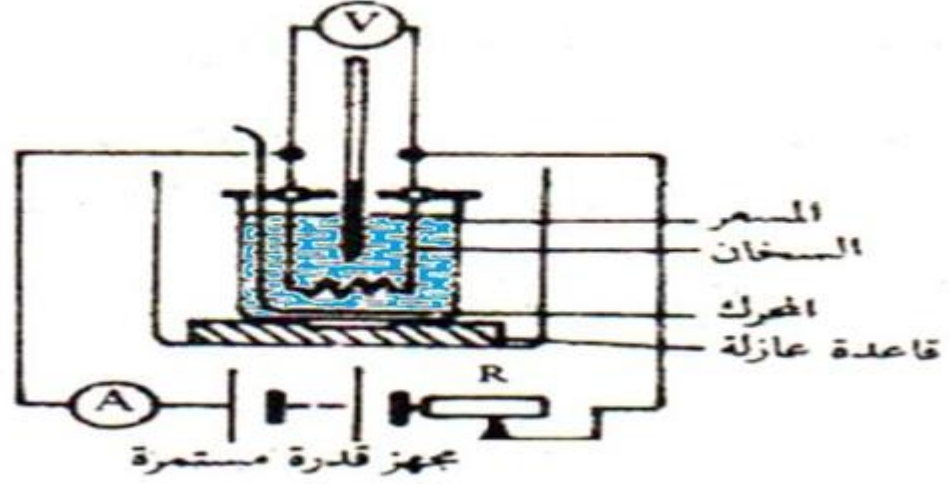
• الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة

ان الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة تشبه الى حد كبير قياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة , حيث يستخدم وعاء معدني كمسعر حراري يوضع فيه السائل والسخان الكهربائي والثرموميتر, يحرك فيه السائل باستمرار خلال فترة مرور التيار الكهربائي . اذ يتم ايجاد قيم كتلة السائل (m) وكتلة المسعر, والمحرك (m_c) ودرجة الحرارة الابتدائية والنهائية وقيم الفولتية (V) والتيار (I) والزمن (t). وهنا يجب ان تكون قيمة الحرارة النوعية للمسعر والمحرك معلومة , وباستخدام المعادلة :

الطاقة التي يزود بها السخان = الطاقة التي يكتسبها السائل + الطاقة التي يكتسبها المسعر

$$I V t = m C (T_2 - T_1) + m_c C_c (T_2 - T_1) \text{ -----(4)}$$

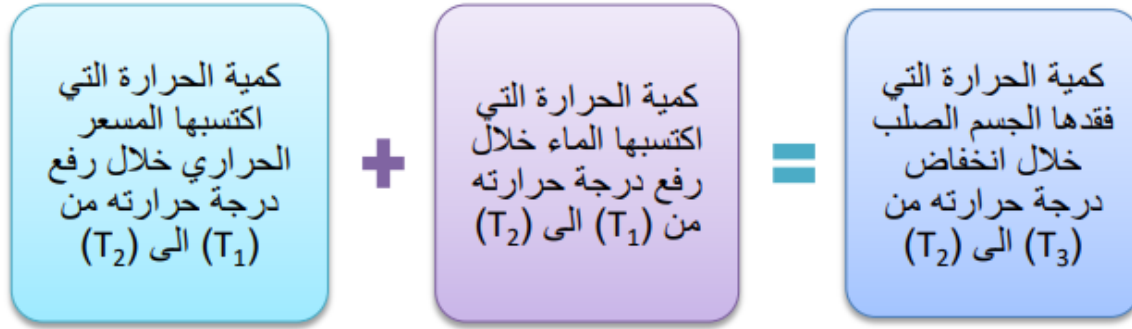
$$C = \frac{I V t - m_c C_c (T_2 - T_1)}{m (T_2 - T_1)} \text{ -----(5)}$$



الشكل (3) : الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة

• طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد الصلبة

في هذه الطريقة يتم تحديد كتلة الجسم الصلب المراد ايجاد حرارته النوعية , ثم يعلق ويوضع في ماء مغلي لمدة عشرة دقائق , اذ تصبح درجة حرارته (T₃) مساوية الى 100°C , ثم ينقل الجسم الى مسعر حراري (calorimeters) كتلته (m_c) يحتوي على كمية من الماء كتلته (m_w) ودرجة حرارتهما (T₁) يحرك الماء ويسجل اعلى درجة حرارة يصلها المحرار (T₂) . فاذا فرضنا ان كمية الحرارة التي يفقدها الجسم الصلب خلال نقله الى المسعر تساوي صفر فإن



فاذا كانت الحرارة النوعية للجسم الصلب تساوي (C) والحرارة النوعية للماء (C_w) والحرارة النوعية للمسعر (C_c) فإنه يمكن الحصول على الحرارة النوعية للجسم

$$m C (T_3 - T_2) = m_w C_w (T_2 - T_1) + m_c C_c (T_2 - T_1) \text{ -----(6)}$$

$$= (m_w C_w + m_c C_c) (T_2 - T_1)$$

$$C = \frac{(m_w C_w + m_c C_c) (T_2 - T_1)}{m (T_3 - T_2)} \text{ -----(7)}$$

مسائل

س1: إذا كان معدل انسياب سائل خلال مسعر الانسياب المستمر تساوي 15g/s, وان السخان الكهربائي يقوم بتزويد قدرة مقدارها 200 W . تحت هذه الظروف تم الحصول على فرق في درجة الحرارة مقدارها 3°C, ولأجل الحصول على نفس الفرق في درجات الحرارة تحت معدل انسياب مقداره 5g/s يجب تبديد قدره مقدارها 80 W . جد الحرارة النوعية للسائل ومعدل فقدان الحرارة إلى المحيط. افرض أن درجة حرارة المحيط هي نفسها في الحالتين.

$$1W = 1 J/s$$

$$200J/s = \text{الطاقة الكهربائية للحالة الاولى}$$

$$80 J/ s = \text{الطاقة الكهربائية للحالة الثانية}$$

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

كمية الحرارة المكتسبة السائل في الثانية الواحدة

$$Q = m C \Delta T$$

$$\Delta TC = \Delta TK = 3K$$

$$= 15 \text{ g/s } C \ 3K$$

نفرض معدل فقدان الحرارة الى المحيط خلال الثانية الواحدة = H

$$\therefore 200 \frac{J}{s} = 15 \times 10^{-3} \frac{Kg}{s} \times C \times 3K + H \text{ -----(1)}$$

$$80 \frac{J}{s} = 5 \times 10^{-3} \frac{Kg}{s} \times C \times 3K + H \text{ -----(2)}$$

بحل المعادلتين بالطرح ينتج

$$120 \frac{J}{s} = 30 \times 10^{-3} \frac{Kg.k}{s} \times C$$

$$C = 4 \times 10^3 \frac{J}{Kg.k}$$

للحصول على معدل الحرارة المفقودة الى المحيط نعوض عن قيمة الحرارة النوعية في المعادلة الاولى او الثانية

$$200 \frac{J}{s} = 15 \times 10^{-3} \frac{Kg}{s} \times 4 \times 10^3 \frac{J}{Kg.k} \times 3K + H$$

$$200 \frac{J}{s} = 180 \frac{J}{s} + H$$

$$H = 20 \frac{J}{s}$$

س2: سخنت قطعة من النحاس كتلتها 100 g إلى درجة حرارة 100°C, ونقلت إلى مسعر النحاس جيد العزل كتلته 50 g يحتوي على 200 g من الماء عند درجة حرارة 10°C. جد القيمة النهائية لدرجة حرارة الماء مع العلم إن الحرارة النوعية للنحاس تساوي 4×10^2 J/Kg.K وللماء تساوي 4.2×10^3 J/Kg.K. أهمل أي فقدان في درجة الحرارة إلى المحيط.

الحل :

الحل:- نفرض ان درجة الحرارة النهائية = T_2

مقدار التغير في درجة حرارة قطعة النحاس = $(100 - T_2) ^\circ\text{C}$

مقدار التغير في درجة حرارة الماء والمسعر = $(T_2 - 10) ^\circ\text{C}$

كمية الحرارة التي فقدتها قطعة النحاس $Q = m C \Delta T$

$$Q = (100 \times 10^{-3} \text{ Kg}) \times (4 \times 10^2 \text{ J/Kg.K}) \times (100 - T_2) = 40 (100 - T_2)$$

كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر النحاس $Q = m C \Delta T$

$$Q = (50 \times 10^{-3} \text{ Kg}) \times (4 \times 10^2 \text{ J/Kg.K}) \times (T_2 - 10) = 20 (T_2 - 10)$$

كمية الحرارة التي اكتسبها الماء $Q = m C \Delta T$

$$Q = (200 \times 10^{-3} \text{ Kg}) \times (4.2 \times 10^3 \text{ J/Kg.K}) \times (T_2 - 10) = 840 (T_2 - 10)$$

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

$$40 (100 - T_2) = 20 (T_2 - 10) + 840 (T_2 - 10)$$

$$4000 - 40 T_2 = (20 + 840) (T_2 - 10)$$

$$4000 - 40 T_2 = 860 T_2 - 8600 \implies 4000 + 8600 = 860 T_2 + 40 T_2$$

$$12600 = 900 T_2 \implies T_2 = 14 ^\circ\text{C}$$

