المركز البحثي	مركز بحوث المواد النانوية
القسم	قسم التطبيقات النانوية
المادة باللغة الانجليزية	Thermodynamics
المادة باللغة العربية	الثرموديناميك
المرحلة الدراسية	الثانية
اسم التدريسي	عمر صلاح الدين شوقي
عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية	Thermal Expansion
عنوان المحاضرة باللغة العربية	التمدد الحراري
رقم المحاضرة	الرابعة
المصادر والمراجع	Hummel, R.E. (2011). Thermal Expansion. In: Electronic Properties of Materials. .New York, NY ،Springer

التمدد الحراري Thermal Expansion

١- تمدد الاجسام الصلبة

تقسم المواد الصلبة الى نوعين:

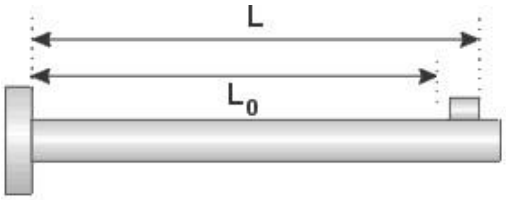
- **المواد الصلبة الايزوتروبية)موحدة الخواص:(** وتعرف بأنها المواد التي تكون خواصها الفيزيائية مثل التمدد الحراري والتوصيلية الكهربائية والحرارية نفسها وبكافة الاتجاهات، وبذلك تحافظ على شكلها الطبيعي على الرغم من الزيادة التي طرأت عليها، ومن امثلة هذه المواد المعادن بشكل عام.
- **المواد الصلبة غير المتناظرة)غير موحدة الخواص:(** وهي تلك المواد التي يزداد حجمها عند التسخين بشكل مختلف في الاتجاهات المختلفة، فالبلورات هي احد انواع هذه المواد.

وقد وجد تجريبياً عند تسخين البلورة المكعبة ان الزاوية بين أي من وجهيها لم تعد زاوية قائمة.

تشمل انواع التمدد الحراري ما يأتي:

أ التمدد الحراري الطولي:

عند امتصاص الاجسام للطاقة الحرارية فإن تغيرات عديدة تحدث لخواصها الفيزيائية فلو تعرض قضيب معدني للتسخين فإن ارتفاع درجة الحرارة هذا سيؤدي الى تمدده وذلك بزيادة طوله كما في الشكل) ٢-١٣(، فالتمدد الطولي هو التغير الحاصل في ابعاد المادة نتيجة لزيادة درجة الحرارة.



التمدد الطولي للمادة

ان الفرق في طول القضيب ΔL ناتج من اكتساب ذرات القضيب المعدني للحرارة والذي يؤدي الى زيادة الطاقة التذبذبية للذرات وبالتالي تغير مواضع اتزانها وينتج عن ذلك تغير شكله، ويعتمد مقدار التغير في الطول على طبيعة المادة ويتناسب طردياً مع درجة الحرارة T كما مبين في العلاقة الآتية:

$$\Delta L = \alpha\, {}_oL\, \Delta T$$

$$= {}_oL - L\,\alpha\,({}_oT - T)\,{}_oL$$

$${}_oL = L + \alpha {}_oL = L\,({}_oT - T)\,{}_oL\,[1 + \alpha \text{or} \qquad [({}_oT - T)$$

$${}_oL = L \quad (1 + \alpha\, \Delta\, (T$$

حيث تمثل α معامل التمدد الطولي للمادة وهو مقدار الزيادة الحاصلة في طول المادة لوحدة الطول نتيجة زيادة درجة الحرارة درجة حرارية واحدة ويعتمد على نوعية المادة المستخدمة ووحدته مقلوب وحدة درجة الحرارة) $^{-1}C^{-1}$، ^{-1}F، K .

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_\circ \Delta T}$$

ب التمدد الحراري السطحي:

هو التغير في مساحة سطح المادة A نتيجة التغير في درجة الحرارة. اما معامل التمدد السطحي فهو مقدار الزيادة في مساحة المادة لوحدة المساحة نتيجة زيادة درجة حرارتها درجة حرارية واحدة ووحدته مقلوب وحدة درجة الحرارة) $^{-1}C^{-1}$، ^{-1}F، K.

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_\circ \Delta T}$$

يكون مقدار التغير في وحدة الطول الناتج عن تأثير درجة الحرارة متساوياً في جميع الاتجاهات بشرط ان تكون المادة الصلبة متجانسة الخواص. يمكن اثبات ان ($\gamma = ٢\alpha$ وذلك اذا فرضنا ان سطح المادة على شكل متوازي مستطيلات فيكون:

$$A = L_١ L_٢$$

$$\frac{dA}{dT} = L_1 \frac{dL_2}{dT} + L_2 \frac{dL_1}{dT}$$

$$\gamma = \frac{1}{A}\frac{dA}{dT} = \frac{1}{L_2}\frac{dL_2}{dT} + \frac{1}{L_1}\frac{dL_1}{dT}$$

وبما ان كل حد من الطرف الايمن للمعادلة اعلاه يساوي α لذلك فإن ($\gamma = \alpha^2$.

ج(التمدد الحراري الحجمي:

هو التغير في حجم المادة V اذا تغيرت درجة الحرارة بنفس طريقتي التمدد الطولي والسطحي.
اما بالنسبة لمعامل التمدد الحجمي فهو مقدار الزيادة الحاصلة في حجم المادة الصلبة نتيجة زيادة درجة حرارتها درجة حرارية واحدة ووحدته مقلوب وحدة درجة الحرارة) (C^{-1}, F^{-1}, K^{-1}).

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_{\circ}\Delta T}$$

وكذلك فإن ($\beta = \alpha^{3}$) ويمكن اثبات ذلك اذا افترضنا ان المادة عبارة صندوق ثلاثي الابعاد، ومن هذا نجد ان ($\gamma = \frac{2}{3}\beta$).

من المعادلات اعلاه يتبين ان معاملات التمدد الحراري للمواد لا تعتمد على الضغط وانما تعتمد على درجة الحرارة فقط.

٢- <u>تمدد الموائع</u>

ان الموائع بصورة عامة لا تمتلك شكلاً محدداً لذلك فإن التمدد الحراري المهم هو التمدد الحجمي حيث يتغير حجم السائل عندما تتغير درجة حرارته بحيث يزداد حجم السائل بصورة عامة اذا ارتفعت درجة حرارته، ويشذ الماء عن هذه الحالة)وهذه الخاصية مهمة جداً في البحار والمحيطات للحفاظ على البيئة المائية(حيث يقل حجمه وتزداد كثافته عندما تصبح درجة حرارته) 4°C(، اما عندما تقل درجة حرارته عن هذه الدرجة فإن حجمه يزداد وتقل كثافته، لذلك فإن الماء)بهذه الدرجة الحرارية(يصعد الى الاعلى ويطفو فيعمل كعازل حراري للماء الذي تحته، فلو تقلص الماء بتجمده كما هو الحال للمواد الاخرى في الطبيعة فإن الجليد سوف يغطس وتتجمد مياه القعر ايضاً وبذلك تمتلئ البحار والمحيطات بالجليد من القعر حتى السطح مما يؤدي الى موت الاسماك والكائنات المائية الاخرى.

$$\delta = \frac{\Delta V}{V_{\circ}\Delta T}$$

يتغير حجم الغازات تغيراً كبيراً اذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه.

<u>Thermal Transfer: الانتقال الحراري</u>

تنتقل الحرارة بإحدى الاليات الثلاث)طريقة التوصيل، طريقة الحمل، طريقة الاشعاع(.

١- <u>انتقال الحرارة بالتوصيل:</u>

ان انتقال الحرارة بين الاجسام يعني انتقال الطاقة الحرارية من الجزء الساخن الى الجزء البارد.
ان الحركة الاهتزازية لجسيمات المادة تمثل معظم الطاقة الحرارية في المادة، وان جسيمات الجزء الساخن تكون ذات سعة اهتزازية اكبر من جسيمات الجسم البارد ونتيجة لتصادم الجسيمات مع الجسيمات المجاورة لها تنقل اليها جزءً من الطاقة الحرارية وعندها يتوقف انتقال الحرارة. تنتقل الحرارة في الاجسام الصلبة بالتوصيل عن طريق التصادمات الجزيئية. تتميز المعادن بكونها جيدة التوصيل الحراري وبصورة عامة فإن الموصلات الكهربائية الجيدة تكون موصلات حرارية جيدة لأن الكترونات التكافؤ تتحرك بحرية تامة تقريباً حاملة معها الحرارة الى اجزاء المعدن المختلفة.

٢- انتقال الحرارة بالحمل:

يعرف الحمل على انه طريقة انتقال الحرارة من مكان الى آخر خلال الموائع وذلك بحركة جزيئات مادة الوسط نفسها من مكان الى آخر على عكس حركة جزيئات المادة الصلبة خلال عملية التوصيل الحراري والتي لا تتضمن حركة الجزيئات من مكان آخر اذ تنتقل الحرارة من جزيء الى آخر بالتصادم. ومن امثلة انتقال الحرارة بالحمل تدفئة الغرف في الشتاء، فند تشغيل المدفئة تمتص جزيئات الهواء كمية من الحرارة من الجزء الساخن فيتمدد الهواء فتقل كثافته فينتقل الى جهة اخرى لتمتزج جزيئاته مع جزيئات الهواء الاقل طاقة حرارية فتكسبها كمية الحرارة التي امتصتها. ان انتقال المادة من المنطقة ذات الدرجة الحرارة العالية الى المنطقة ذات الدرجة الحرارة الواطئة يولد تياراً يسمى)تيار الحمل الحراري H(وهو كمية الحرارة dQ المنتقلة لمقطع في المادة خلال فترة زمنيةdt .

$(H = dQ / dt \quad (J / sec) \text{ or } (cal / sec$

ويكون على نوعين اعتماداً على الطريقة التي يتولد بها:

تيار الحمل الطبيعي: اذا كان ناتجاً عن تغير كثافة الوسط.

تيار الحمل الاضطراري: اذا كان ناتجاً عن تأثير اصطناعي كاستخدام المروحة او المضخة.

وجد عملياً ان التيار الحراري H يتناسب طردياً مع كلٍ من مساحة المقطع العرضي A والميل الحراري) dT/dx(:

$$H = K_L A \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{dQ}{dt} = K_L A \frac{dT}{dx}$$

$$dQ\, dx = K_L A\, dt\, dT$$

$$\int_0^Q dQ \int_0^L dx = A K \int_0^t dt \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$Q L = A K_L (T_2 - T_1) t$$

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

حيث ان k_L هو معامل التوصيل الحراري ووحدته)) J/(sec m K)(او)) W/(m K.

تعد طريقة الحمل من الطرق الفعالة لانتقال الحرارة وتشكيل تيارات الحمل الهوائية في المناطق الساحلية والجبلية وعند خط الاستواء والقطبين وفي المناطق المدارية.

انتقال الحرارة بالإشعاع:

الاشعاع هو الانبعاث المتواصل للطاقة بين الاجسام، فهو طاقة تنبعث من الاجسام الساخنة وتنتقل بسرعة الضوء فينعكس جزء من الطاقة ويمتص الجزء الآخر من قبل الاجسام التي تسقط عليها،

وان امتصاص الاشعة الكهرومغناطيسية يؤدي الى تحويلها الى طاقة حرارية فترتفع درجة حرارة الجسم.

تعتمد كل من القابلية الاشعاعية والقابلية الامتصاصية على طبيعة الجسم وعلى طول الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة، ويطلق على الجسم الذي يمتص جميع الاشعاع الساقط عليه بالجسم الاسود، ويعد الجسم الاسود مشع جيد للحرارة مثلما هو موصل جيد للحرارة واشعاعيته اكبر من انعكاسية الاجسام العادية، وبصورة عامة تكون الاجسام ذات الامتصاصية الحرارية الجيدة مشعات حرارية جيدة.

ان كمية الاشعاع الحراري R التي تنبعث من وحدة المساحة من سطح اسود في الثانية الواحدة تعطى بالعلاقة الآتية والتي تسمى بقانون ستيفان – بولتزمان:

$$\sigma\ T^{4} = R$$

حيث تمثل T درجة حرارة الجسم المشع بالدرجات الكلفنية و σ تمثل كمية ثابتة تساوي 5.5×10^{-8} $J/m^{2}\ sec\ k^{4}$ اما كمية الحرارة المنبعثة ΔQ من الجسم الساخن الى الاجسام الاقل درجة حرارية