

### 3-1-5- التمدد الحراري Thermal expansion:

تتمدد أكثرية المواد عند تسخينها وتقلص عند تبريدها غير أنه كل مادة لها درجة معينة من التمدد أو التقلص تختلف عن مادة أخرى .

دللت التجارب أن تغير الطول  $\Delta L$  عند أكثرية الأجسام الصلبة وبتقريب جيد يتناسب طردياً مع تغير درجة الحرارة  $\Delta T$  حيث  $\Delta L \sim \Delta T$  أضف لذلك فإن تغير الطول يتناسب أيضاً مع الطول الأولي (البدايي) للجسم المدروس  $L_0$  .

هذا يعني أنه عند زيادة درجة حرارة منالقصبيين حديد لهما طولان مختلفان 2m و 4m فإن القضيب الأطول سيزداد طوله بمقدار الضعف ويمكن كتابة قانون تغير الطول على الشكل التالي :

$\Delta L =$

حيث  $\alpha$ : معامل التناسب ويسمى معامل التمدد الطولي للمادة المدروسة ويقاس بوحدة  $(c^\circ)^{-1}$ .

يبين الجدول (3-1-1) قيم معاملات التمدد الطولي  $\alpha$  والحجمي  $\beta$  للعديد من المواد عند درجة حرارة  $20^\circ C$  مضروب بالمعامل  $(10^{-6})$  وواحدتها  $(c^\circ)^{-1}$ .

الجدول (1-1-3) معامل التمدد الطولي  $\alpha$  والحجمي  $\beta$  لمواد مختلفة عند الدرجة (20°C) مضروباً بـ  $10^{-6}$  ووحداتها  $(\text{C}^\circ)^{-1}$

معامل التمدد الحجمي $\beta$	معامل التمدد الطولي $\alpha$	المادة
<b>الأجسام الصلبة</b>		
75	25	ألومنيوم
56	19	نحاس أصفر
35	12	حديد وفولاذ
87	29	رصاص
9	3	زجاج البيوكس
27	9	زجاج عادي
1	0,4	الكوارتز
≈36	≈12	البيتون
<b>السوائل</b>		
950		البنزين
180		زئبق
1100		الكحول الايثلي
500		الجليسرين
210		الماء
<b>الغازات</b>		
3400		الهواء وأكثرية الغازات عند الضغط الجوي النظامي

يختلف معامل التمدد الطولي  $\alpha$  في بعض المواد البلورية في اتجاهات مختلفة من البلورة.

ونلاحظ أن معامل التمدد الطولي  $\alpha$  يتغير قليلاً بتغير درجة الحرارة ولهذا فإن موازين الحرارة لا تعطي نتائج متساوية عند تصنيعها من مواد مختلفة غير أنه إذا كان مجال تغير درجة الحرارة ليس كبيراً جداً فإن هذا التغير يمكن إهماله.

### مثال (3-1-2) :

إذا أردنا إلباس قضيب من الحديد اسطواني الشكل بحلقة حديدية أيضاً وبصورة مترابطة فإذا كان قطر القضيب عند درجة الحرارة  $20^\circ\text{C}$  يساوي  $6,453\text{ cm}$  أما القطر الداخلي للحلقة فهو  $6,420\text{ cm}$ . ما هي درجة الحرارة التي يجب إعطاؤها للحلقة حتى نتمكن من إدخال القضيب فيها؟

**الحل:**

يجب زيادة القطر الداخلي للحلقة من  $6,420\text{ cm}$  حتى  $6,453\text{ cm}$  وبما أن قطر الحلقة سيزداد خطياً بزيادة درجة الحرارة وباستخدام العلاقة:

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{\alpha L_0}$$

$$\Delta T = \frac{6,453 - 6,420}{21 \times 10^{-6} \times 6,420} = 430^\circ$$

وهذا يعني أنه يجب تسخين الحلقة إلى درجة الحرارة  $450^\circ\text{C}$ .

إنّ تغير حجم المواد بتغير درجة الحرارة يعين بعلاقة مشابهة للعلاقة (3-1-1) كما يلي:

$\Delta V$

حيث  $\Delta T$ : تغير درجة الحرارة،  $V_0$ : الحجم الأولي (البدايي) للجسم المدروس،  $\Delta V$ : تغير الحجم،  $\beta$ : معامل التمدد الحجمي ويقاس بـ  $(\text{C}^0)^{-1}$  أعطي بعض قيمها في الجدول (3-1-1).

نلاحظ أنه في الأجسام الصلبة يكون معامل التمدد الحجمي  $3\alpha \approx \beta$  وهذه العلاقة تصبح غير محققة إذا كان الجسم الصلب غير متمائل المناحي.

كما نلاحظ أنه في حالة السوائل والغازات لامتغنى لمعامل التمدد الطولي.

تتحقق العلاقتان (3-1-1) و (3-1-2) وبدقة فقط عندما  $\Delta L$  و  $\Delta V$  صغيرة بالنسبة لـ  $L_0$  و  $V_0$ ، وتخص هذه الخاصية السوائل والغازات حيث أن قيم  $\beta$  للسوائل والغازات كبيرة جداً أضف إلى ذلك ان قيمة  $\beta$  تتغير بصورة كبيرة بتغير درجة الحرارة لذلك في حالة الغازات يجب استخدام علاقة أكثر دقة سنعود إليها لاحقاً.

### مثال (3-1-3) :

تبلغ سعة خزان بنزين السيارة 70L عند درجة الحرارة  $20^\circ\text{C}$  وضعت السيارة تحت الشمس فسخن الخزان إلى درجة  $50^\circ\text{C}$  احسب كمية البنزين التي ستتسرب من الخزان؟

الحل :

$$\beta = 950 \times 10^{-6} (\text{c}^\circ)^{-1}$$

$$\Delta T = 30^\circ\text{C}$$

$$V_0 = 70 \text{ L}$$

$$\Delta V = ?$$

من العلاقة رقم (3-1-2) :

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

$$\Delta V = 950 \times 10^{-6} \times 70 \times 30$$

$$\Delta V = 2 \text{ L} \quad \text{للبنزين}$$

وينفس الوقت فإن حجم الخزان سيزداد أيضاً ويمكن اعتبار الخزان كالغشاء يتمدد حجماً :

$$\beta = 3\alpha$$

$$\beta = 3 \times 12 \times 10^{-6} = 36 \times 10^{-6} (\text{C}^\circ)^{-1}$$

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \quad \text{للخزان}$$

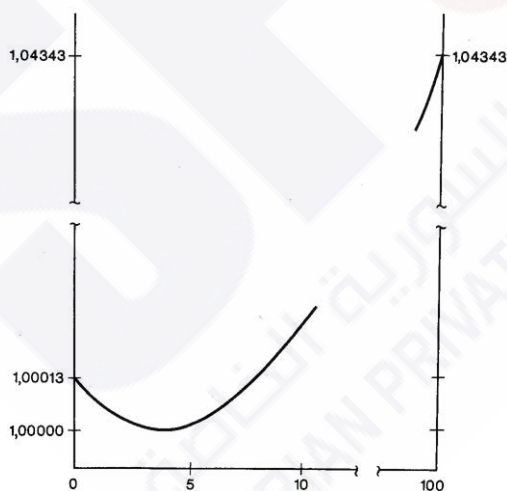
$$\Delta V = 36 \times 10^{-6} \times 70 \times 30$$

$$\Delta V = 0,075 \text{ L}$$

نلاحظ أن هذا الحجم صغير نسبياً بالنسبة لحجم البنزين لذلك يمكن إهماله واعتبار أن 2L من البنزين سينسكب من الخزان.

### 3-1-6- شذوذ الماء :The unusual behavior of water

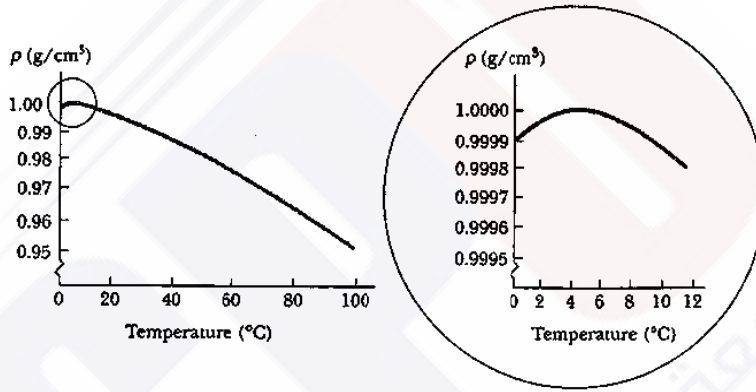
عند ازدياد درجة حرارة المواد فإنها تتمدد بصورة متماثلة، إلا أن الماء يسلك سلوكاً شاذاً. فإذا سخنا الماء عند درجة حرارة  $0^\circ\text{C}$  فإن حجمه سيقبل بالتدريج حتى تصبح درجة الحرارة  $4^\circ\text{C}$  وعند درجات الحرارة الأعلى من  $4^\circ\text{C}$  فإن الماء سيسلك سلوكاً طبيعياً، أي سيتمدد بزيادة درجة الحرارة. انظر الشكل (4-1-3).



الشكل (4-1-3) تابعة حجم 1,00000kg من الماء لدرجة الحرارة حيث يقدر الحجم بـ  $\text{m}^3$



على هذه الصورة فإن الماء يمتلك أكبر كثافة عند درجة الحرارة  $4^{\circ}\text{C}$  ولذلك فإن الجليد في البحيرات يطفو في البداية على سطح الماء، وعندما يبرد الماء إلى درجة حرارة أقل من  $4^{\circ}\text{C}$  فإن الماء الأبرد أي (ذي الكثافة الأقل) يرتفع إلى الأعلى (أو يبقى مكانه) ، أما الماء الأكثر كثافة (ذي درجة الحرارة  $4^{\circ}\text{C}$ ) يتوضع في الأسفل، لذلك يتجمد الماء الأبرد على سطح البركة أولاً لأنه يصل إلى درجة حرارة أقل من الصفر بصورة أسرع، ويبين الشكل (3-1-5) تغير كثافة الماء بتغير درجة الحرارة.



الشكل (3-1-5) تابعة كثافة الماء لدرجة الحرارة تكون الكثافة عظمى عند درجة حرارة  $4^{\circ}\text{C}$

### 3-1-7- كيف يمكن تفسير التمدد الحراري من وجهة النظر الميكروسكوبية :

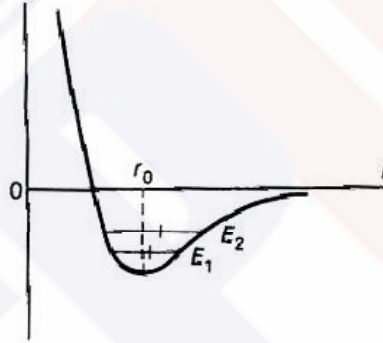
#### The microscopic description of thermal expansion:

لنفرض أن الذرات في الجسم الصلب تتحرك بصورة دائمة لإتمام اهتزازها حول وضع توازنها ولنفرض أيضاً أنه عند زيادة درجة الحرارة فإن طاقتها الحركية الوسطى ستزداد كما سنرى في الفقرات التالية ....

هل هذا يعني أنه عند زيادة درجة الحرارة فإن المسافة بين الذرات ستزداد أيضاً؟

تبين تجريبياً أنه عند زيادة درجة حرارة القضيب الصلب فإن طوله سيزداد ولذلك يمكن أن نستنتج أن المسافة الوسطى بين الذرات ستزداد أيضاً ولفهم ذلك ندرس منحنى الطاقة الكمونية كما في الشكل (6-1-3).

يبين الشكل (6-1-3) الذي يصف تابعة طاقة التفاعل الكمونية بين ذرتين كتابع للمسافة فيما بينهما وسنعتبر أنه عندما تكون  $r$  كبيرة فإن الطاقة الكمونية تسعى للصفر وعندما تقل  $r$  فالطاقة الكمونية ستقل أيضاً، وهذا يدل على وجود قوى تجاذب و عندما تصبح  $r$  أقل من  $r_0$  وضع التوازن) فإن منحنى الطاقة الكمونية يزداد إلى الأعلى وهذا يدل على وجود قوى تدافع.



الشكل (6-1-2) تابعة الطاقة الكمونية للمسافة بين الذرات  $r$

من أجل الذرات الواقعة في شبكة بلورية صلبة

تمثل الخطوط الأفقية على الشكل قيم الطاقة  $E_1$  و  $E_2$  عند درجتى حرارة مختلفتين  $t_1$  و  $t_2$  حيث  $t_2 > t_1$  أما الخطوط القصيرة على السويتين  $E_1$  و  $E_2$  فتتطابق وضع الذرات الوسطى عند درجات الحرارة المذكورة ، وبما أن منحنى الطاقة الكموني ليس متماثلاً فعند درجات أعلى تكون القيمة الوسطى للمسافة بين الذرات أكبر وهذا ما يبينه الشكل (6-1-3).

وعلى هذه الصورة فإن التمدد الحراري مرتبط بعدم تماثل منحنى الطاقة الكموني ولو كان منحنى الطاقة الكموني متماثلاً لما كان هناك تمدداً حرارياً على الإطلاق.



### 3-1-8- Thermal stress الجهد الحراري

تثبت في كثير من الحالات القضبان المصنعة من أي من المواد بصورة جيدة من نهايتها بحيث تصبح عملية التمدد و التقلص غير ممكنة .

إذا تغيرت في تلك الحالات درجة الحرارة ينشأ عند ذلك جهود تقلص أو تمدد والتي تسمى في كثير من الأحيان بالجهود الحرارية .

يمكن أن تحسب قيم هذه الجهود إذا استخدمنا معادلة معامل المرونة ( معامل يونغ ) , ومن أجل حساب الجهود الداخلية لنتصور أن العملية تتم على مرحلتين :

أ- يتمدد القضيب أو يتقلص بمقدار  $\Delta L$  وفق العلاقة  $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ .

ب- بعد التمدد من الضروري تطبيق قوة من أجل تقليص أو تمديد الحديد أي من أجل إعادة القضيب إلى طوله الأصلي.

هذه القوة  $F$  يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية:

$$\Delta L = \frac{1}{E}$$

حيث أن:

$A$ : مساحة الاتصال ,  $E$ : معامل يونغ ( معامل المرونة ) للمادة المدروسة .

و من أجل حساب الجهد الداخلي  $\frac{F}{A}$  نعوض العلاقة (3-1-3) في (3-1-1) :

$$\alpha L_0 \Delta T =$$



### مثال (3-1-4) :

كثلتان من البيتون طولهما 10m متوضعتان بصورة متراسة على بعضهما بعضاً بحيث لا يوجد فراغات من أجل التمدد والتقلص.

إذا وضعت هاتان الكثلتان على هذه الصورة المذكورة (بصورة متراسة) عند حرارة 10°C المطلوب :

1- أحسب قوة الانضغاط عندما ترتفع درجة الحرارة حتى 40°C.

2- إذا كانت مساحة الاتصال بين الكتلتين تساوي 0,20 m<sup>2</sup>. هل يتحمل البيتون مثل هذه الحمولة أم أنه سينهار؟

علماً أن : معامل يونغ للبيتون  $E = 20 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ .

حد المتانة للبيتون عند التمدد  $2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .

وعند التقلص والانضغاط  $20 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .

وعند الانزياح  $2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ .

**الحل :**

من العلاقة رقم (3-1-4) نحسب قيمة F :

$$F = 12 \times 10^{-6} \times 30 \times 20 \times 10^9 \times 0.2 = 1.4 \times 10^6 \text{ N}$$

$$\text{الجهد} = \frac{F}{A}$$

نلاحظ أن هذه القيمة قريبة جداً من حد متانة البيتون عند انضغاطه وتزيد عن متانة البيتون عند التمدد والانزياح وبما أن الكتل البيتونية غير موضوعة بشكل متوازي لذلك سيكون هناك جهد انزياحي ولذلك هناك احتمال كبير أن تنهار هذه الكتلة البيتونية.

### 3-1-9- قوانين الغازات والحرارة المطلقة :

#### The gas laws and absolute temperature:

لا تصلح المعادلة (3-1-2)  $\Delta V = \beta V_0 \cdot \Delta T$  السابقة الذكر لوصف تمدد الغازات لأن الغازات يمكن أن تتمدد بسرعة كبيرة, أضف إلى ذلك إن الغازات تتمدد حتى امتلاء الوعاء الذي يحويها.

يمكن في الحقيقة استخدام المعادلة (3-1-2) فقط عندما يكون ضغط الغاز ثابتاً.

إن حجم الغاز يتعلق بضغطه ودرجة حرارته لذلك من الضروري إيجاد علاقة بين الحجم والضغط ودرجة الحرارة وكتلة الغاز, وتسمى مثل هذه العلاقة (بمعادلة الحالة).

إذا تغيرت حالة الجملة فيجب أن ننتظر حتى يتساوى الضغط ودرجة الحرارة أي حتى يصبح الضغط ودرجة الحرارة متساوية وثابتة في كافة نقاط الجملة.

على هذه الصورة سندرس الغاز فقط في حالة توازن.

تتحقق النتائج المحصول عليها وبدقة في حالة الغازات ذات الكثافة المنخفضة (الضغط غير عالٍ حوالي 1 atm) والواقع بعيداً عن نقطة الغليان.

تبين تجريبياً أنه من أجل كمية غاز معينة تتحقق بصورة تقريبية العلاقة التي تنص على: (عند درجة حرارة ثابتة فإن حجم الغاز يتناسب عكساً مع الضغط المطبق عليه)

على سبيل المثال: إذا ازداد ضغط الغاز بمرتين فإن حجمه سيقبل إلى نصف حجمه الأولي, تعرف هذه العلاقة بقانون بويل و ماريوت ويمكن كتابة قانون بويل بالشكل التالي:

P. V :

وهذا يعني أنه عند درجة حرارة ثابتة إذا تغير الضغط أو الحجم أو أي منهما فإن جداءهما P.V يبقى ثابتاً.

غير أن درجة الحرارة تؤثر أيضاً على حجم الغاز ولكن العلاقة الكمية بين V و T لم تكتشف إلا بعد مائة عام من اكتشاف بويل لقانونه.

وجد العالم الفرنسي جاك شارل (1746-1823) أنه إذا كان الضغط غير كبير وبقي ثابتاً فإن الحجم يزداد مع زيادة درجة الحرارة بصورة تقريباً خطية كما هو موضح بالشكل (3-1-7) غير أنه عند درجات منخفضة تصبح كل الغازات سائلة , على سبيل المثال يصبح الأوكسجين سائلاً عند درجة الحرارة ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) ولذلك فالمنحني على الشكل (3-1-7) لا يمكن تمديده عند نقطتي الانصهار والغليان مع أن هذا المنحني هو خط مستقيم وبتمديده حتى درجة الحرارة الأخفض بخطوط متقطعة حتى يلتقي مع محور السينات عند درجة الحرارة ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). يمكن رسم هذا المنحني لأي من الغازات وفي كل الحالات فإن متابعة الخط المستقيم سيقطع خط الحجم الصفري محور السينات وذلك عند درجة الحرارة (-) ( $273^{\circ}\text{C}$ ) ومن هنا يمكن أن نحصل على استنتاج انه إذا تمكنا من تبريد الغاز حتى درجة الحرارة ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) فإن حجمه سيساوي الصفر وعند درجات حرارة أخفض من ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) سيمتلك الغاز حجماً سالباً (وهذا يفقد معناه الفيزيائي) وهنا أعطي الاقتراح أن درجة الحرارة (-) ( $273^{\circ}\text{C}$ ) هي أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها.