CHAPTER 17

الفيزياء الحرارية (Thermal Physics)

تنقسم طاقةالأجسام إلى عدة أنواع منها الميكانيكية والحرارية والنووية وغيرها.

تنتج الطاقة الحرارية لمنظومة ما عن الحركة العشوائية للذرات والجزيئات فيها،

كلما زادت هذه السرعة كلما كانت طاقتها الحرارية أكبر ويسخن الجسم أكثر.

فالسخونة هي معيار لهذه الطاقة التي نسميها حرارة

الفيزياء الحرارية هي دراسة

- ❖ درجة الحرارة
- ❖ الحرارة
- ❖ كيف تؤثر هذه على المادة

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

الفيزياء الحرارية

تهتم الفيزياء الحرارية بمفاهيم تحويل الطاقة بين النظام وبيئته والتغيرات في درجات الحرارة الناتجة

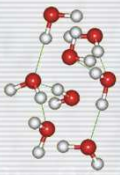
تاريخياً ، كان تطور الديناميكا الحرارية موازياً لتطور النظرية الذرية

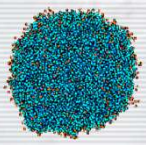
تهتم بالتحولات الفيزيائية والكيميائية للمادة بجميع أشكالها: الصلبة والسائلة والغازية

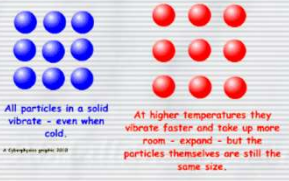
والطاقة الحرارية هي جزء من الطاقة الداخلية (internal energy) للجزيئات المكونة للمادة

وتعرف الطاقة الداخلية للمادة بأنها: "مجموع أنواع الطاقة التي تمتلكها الذرات والجزيئات المكونة

للمادة مثل الطاقة الحركية وطاقة الوضع والطاقة الكيميائية والطاقة الكهربائية"

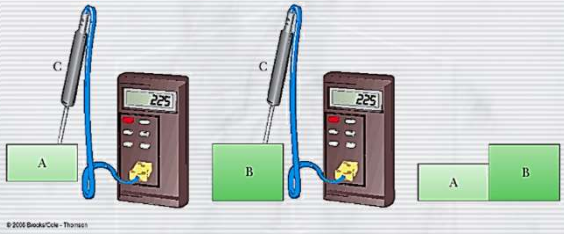






105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

القانون الصفري في علم الديناميكا الحرارية
Zeroth Law of Thermodynamics



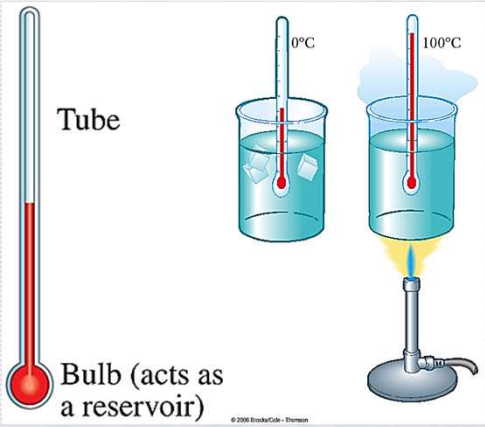
إذا كان الجسمان A و B بشكل منفصل في توازن حراري مع كائن ثالث C ، فإن A و B في حالة توازن حراري (thermal equilibrium) مع بعضهما البعض اي أن لهما درجة الحرارة نفسها.

يسمح هذا القانون بتعريف درجة الحرارة

درجة الحرارة هي الخاصية التي تحدد ما إذا كان جسم ما في حالة توازن حراري مع أشياء أخرى

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

مقاييس درجة الحرارة
Temperature Scales



مقياس الحرارة الزئبقي مثال على مقياس الحرارة الشائع

يرتفع مستوى الزئبق بسبب التمدد الحراري

يمكن تحديد درجة الحرارة بارتفاع عمود الزئبق

يمكن معايرة موازين الحرارة عن طريق وضعها في اتصال حراري مع بيئة تظل في درجة حرارة ثابتة

- يمكن أن تكون البيئة خليطًا من الثلج والماء في توازن حراري
- كما يشيع استخدام الماء والبخار في التوازن الحراري

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

مقاييس درجة الحرارة
Temperature Scales

Celsius Scale

- Temperature of an ice-water mixture is defined as 0° C
  - This is the *freezing point* of water
- Temperature of a water-steam mixture is defined as 100° C
  - This is the *boiling point* of water
- Distance between these points is divided into 100 segments or degrees

Fahrenheit Scales

- Most common scale used in the US
- Temperature of the freezing point is 32°
- Temperature of the boiling point is 212°
- 180 divisions between the points

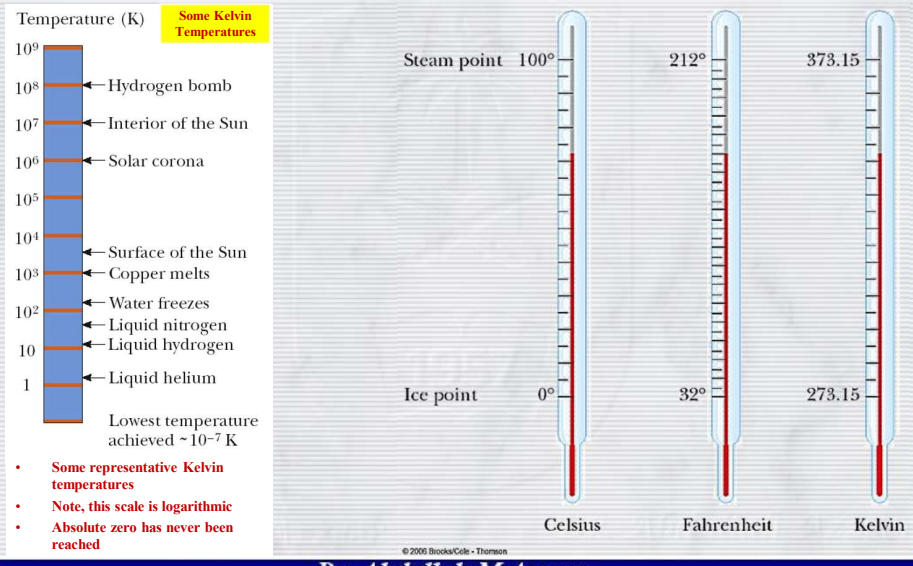
مقاييس درجة الحرارة
Temperature Scales

Kelvin Scale

- When the pressure of a gas goes to zero, its temperature is –273.15° C
- This temperature is called *absolute zero*
- This is the zero point of the Kelvin scale
  - –273.15° C = 0 K
- To convert: $T_C = T_K - 273.15$
  - The size of the degree in the Kelvin scale is the same as the size of a Celsius degree

مقاييس درجة الحرارة
Temperature Scales

Comparing Temperature Scales



105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 7

Converting Among Temperature Scales
التحويل بين مقاييس درجة الحرارة

$$T_C = T_K - 273$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

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

$$\Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C$$

- Where T_C , T_F , T is the temperature in Celsius (centigrade), Fahrenheit and Kelvin, respectively
- Kelvin is the proper SI unit

مثال:

إذا كانت درجة حرارة الغرفة (77° F) ، ما هي الدرجة بالتدريج المئوي؟

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) = \frac{5}{9}(77 - 32) = 25°\ C$$

ما هي درجة الحرارة على التدريج الفهرنهايتي في يوم تكون فيه درجة حرارة الطقس -10° C؟

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = \frac{9}{5} \times (-10) + 32 = 14°\ C$$

إذا كانت درجة الحرارة على التدريج المئوي -70° C ، فما هي الدرجة على التدريج المطلق؟

$$T_K = T_C + 273 = -70 + 273 = 203°\ K$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer

CHAPTER 18

(Thermal Concepts) مفاهيم حرارية

تعريف الحرارة:

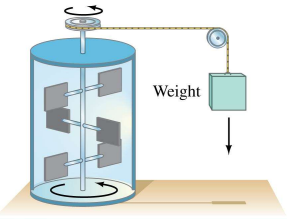
هي شكل من أشكال الطاقة وأنها عبارة عن "الطاقة الحركية الكلية" الموجودة في جزيئات المادة

,أنها تنتقل تلقائيا من الجسم الساخن الى الجسم الأقل سخونة حت يصل الجسمان الى "توازن حراري"

أي يصلا الى درجة الحرارة نفسها.

لقد أثبتت التجارب أن هناك تناسب طرديا بين "الشغل المبذول" وكمية الحرارة الناتجة عنها

The experiment below found the mechanical equivalent of heat by using the falling weight to heat the water:



فإذا كان الشغل المبذول هو (W) [مقاسا بالجول] و كانت الحرارة المتولدة هي (Q) [مقاسه بالسعر] فإن $W \equiv JQ$

حيث J كمية ثابتة يطلق عليها اسم "مكافئ جول" او المكافئ الميكانيكي للحرارة

ويعرف بأنه عدد وحدات الطاقة الميكانيكية اللازمة لإنتاج واحدة طاقة حرارية

- Calorie
  - An historical unit, before the connection between thermodynamics and mechanics was recognized
  - A *calorie* is the amount of energy necessary to raise the temperature of 1 g of water from 14.5° C to 15.5° C .
    - A Calorie (food calorie) is 1000 cal

لقد وجد تجريبيا أن:

J = 4.186 J/cal

أي أن :

1 cal = 4.186 J

و

1 kcal = 4186 J

Heat Capacity السعة الحرارية

السعة الحرارية Heat Capacity

هي كمية الحرارة اللازمة (ΔQ) لرفع درجة حرارة الجسم بمقدار درجة واحدة أي أن:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad J/K$$

حيث ΔT تمثل مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم

Specific Heat الحرارة النوعية

$M_{oil} = M_{water}$

Heat both

Same heat quantity

بعد مرور فترة زمنية
الارتفاع في درجة حرارة الماء أقل كثيرا
من الارتفاع في درجة حرارة الزيت

للماء سعة حرارية أعلى من السعة
الحرارية لكمية مساوية من الزيت

الحرارة النوعية للمادة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوغرام واحد من المادة بمقدار درجة واحدة

$$c = \frac{\Delta Q}{m\,\Delta T}$$

حيث ΔT هي الارتفاع في درجة حرارة جسم كتلته m

وحدة الحرارة النوعية هي : $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$

$$\because\ C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{and } c = \frac{\Delta Q}{m\,\Delta T} \quad \rightarrow \quad \therefore\ C = c\,m$$

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T \qquad \text{or} \qquad \Delta Q = C \cdot \Delta T$$

الحرارة النوعية ، c ، هي سمة من سمات المواد. بعض القيم في الجدول التالي :

TABLE 14–1 Specific Heats
(at 1 atm constant pressure and 20°C unless otherwise stated)

Substance	Specific Heat, c: J/kg · C°	Specific Heat, c: kcal/kg · C° (= cal/g · C°)
Aluminum	900	0.22
Alcohol (ethyl)	2400	0.58
Copper	390	0.093
Glass	840	0.20
Iron or steel	450	0.11
Lead	130	0.031
Marble	860	0.21
Mercury	140	0.033
Silver	230	0.056
Wood	1700	0.4
Water		
Ice (−5°C)	2100	0.50
Liquid (15°C)	4186	1.00
Steam (110°C)	2010	0.48
Human body (average)	3470	0.83
Protein	1700	0.4

أمثلة:

ما هي الحرارة اللازمة لتسخين 20 g من الماء من 30 °C إلى 90 °C ؟

$c_{water} = 1\ cal/g\ C°$

$\Delta Q = m \times c \times \Delta T = 20 \times 1 \times 60 = 1200\ cal$

$$= 1200\ cal \times 4.186 \frac{J}{cal} = 5032\ J$$

طفل كتلته 30 kg ودرجة حرارته 39 °C كم هي الحرارة اللازم إزالتها من جسم الطفل لتصبح درجة حرارته 37 °C علماً بأن السعة الحرارية النوعية لجسم الإنسان 3470 J/kg.°K

$c_{humane} = 3470\ J/kg.°K$

$\Delta Q = m \times c \times \Delta T = 30 \times 3470 \times (37-39) = -2.1\ J$

الحرارة والحرارة النوعية

$$\Delta Q = m\, c\, \Delta T$$

- ΔT هي دائمًا درجة الحرارة النهائية مطروحًا منها درجة الحرارة الأولية
- عندما تزداد درجة الحرارة ، تعتبر ΔT و ΔQ موجبة وتتدفق الطاقة إلى النظام
- عندما تنخفض درجة الحرارة ، تعتبر ΔT و ΔQ سالبة وتتدفق الطاقة خارج النظام

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر
Latent Heat of Melting & Vaporization

عندما تتغير حالة المادة من الصلبة إلى السائلة أو من السائلة إلى الغازية فإن ذلك يتم بعد تزويد المادة بطاقة حرارية كافية لتغير حالتها والذي يحصل مع ثبات درجة الحرارة. ولحساب مقدار الحرارة (Q) لإجراء التحول المطلوب لكتلة من المادة m نستخدم العلاقات التالية:

أولاً

الحرارة اللازمة لتحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (أو العكس) :

$$\Delta Q = mL_f$$

حيث L_f الحرارة الكامنة للانصهار ووحدتها J/kg أو cal/g

ثانياً

الحرارة اللازمة لتحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (أو العكس) :

$$\Delta Q = mL_v$$

حيث L_f الحرارة الكامنة للتبخر ووحدتها J/kg أو cal/g

الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر
Latent Heat of Melting & Vaporization

مثال:

وعاء يحتوي على كتلة من الماء مقدارها 0.25 kg بدرجة حرارة 20 °C يوضع الوعاء في مجمدة (Freezer) احسب الحرارة اللازم إزالتها من الماء كي يتحول إلى ثلج بدرجة 0 °C إذا علمت أن الحرارة الكامنة لانصهار الماء هي 334 kJ/kg والسعة الحرا رية النوعية للماء هي 4.2 kJ/kg

$$\Delta Q = mc\left(T_f - T_i\right) + \left(-mL_f\right)$$

$$= 025\times4.2\times10^3(0-20)+(-0.25\times334\times10^3)$$

$$= -1.05\times10^5\ \text{J}$$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 15

التمدد الحراري
Thermal Expansion

1- التمدد الطولي Linear Expansion

- إن التمدد الحراري لشيء ما هو نتيجة للتغيير في متوسط الفصل بين ذراته أو جزيئاته
- في درجات الحرارة العادية ، تهتز الجزيئات بسعة صغيرة
- مع زيادة درجة الحرارة ، تزداد السعة
- يؤدي هذا إلى زيادة متوسط المسافة بين كل جزيء والجزيات المجاورة أي أن الصلب أو السائل يتمدد عند رفع درجة حرارته

للتغيرات الصغيرة في درجة الحرارة

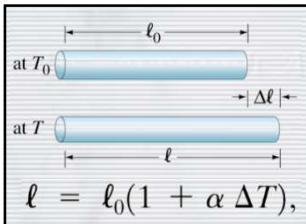
$$\Delta L = \alpha\, L_o\, \Delta T \text{ or } \Delta L = \alpha\, L_o\left(T - T_o\right)$$

حيث α معامل التمدد الحراري الطولي ويعرف بأنه الزيادة في الطول لوحدة الأطوال من المادة نتيجة لتغير درجة الحرارة درجة واحدة.

ووحدته $^{\circ}K^{-1}$ أو $^{\circ}C^{-1}$

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

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer



$$\ell = \ell_0(1 + \alpha\,\Delta T),$$

مثال:

قضيب من النحاس طوله 1 m ما مقدار الزيادة في طوله عند ارتفاع درجة حرارته بمقدار 50 درجة عن درجة حرارة الغرفة علماً بأن معامل التمدد الطولي للنحاس يساوي $1.9\times10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$

$$\Delta L=\alpha L_0\Delta T$$
$$=(1.9\times10^{-5})\times1\times50=0.00095\ m=0.95\ mm$$

سخن قضيب من الحديد الصلب طوله 10 m عند درجة حرارة 5 °C الي درجة حرارة 30 °C ، احسب القوة اللازمة لإستطالة هذا القضيب بنفس الكمية التي تمدد بها عند تسخينه اذا كانت مساحة مقطعه 200 cm² ومعاملي التمدد الطولي ويونج له هما α = 1.2×10⁻⁵ /°C, Y= 2×10¹¹ N/m² علي التوالي

L_0=10 m ; α= 1.2×10^{-5} /°C ; ΔT = 30-5 = 25 °C

$\Delta L = \alpha L_0\,\Delta T = (1.2\times10^{-5})(10)(25)= 3\times10^{-3}$ m = 3 mm

A=200 cm^2

$$Y=\frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

$$F=\frac{YA\Delta L}{L_0}=\frac{(2\times10^{11})(200\times10^{-4})(3\times10^{-3})}{10}=1.2\times10^{6}\ N$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 17

التمدد الحجمي Volume Expansion

عندما يتم تسخين الأشياء عادة ما يتمدد. ويرجع ذلك إلى زيادة حركة الجزيئات في درجات الحرارة المرتفعة ففي التمدد الحجمي يكون على ثلاثة أبعاد

$$\Delta V=\gamma V_0\,\Delta T$$

حيث γ معامل التمدد الحراري الحجمي ويعرف بأنه التغير النسبي في الحجم لكل درجة.
ووحدته $^\circ C^{-1}$ أو $^\circ K^{-1}$
ويلاحظ أنه للمواد الصلبة تكون $\gamma = 3\alpha$

مثال:

كرة من الألمونيوم حجمها 113 mm^3 عند درجة الحرارة 100 °C فماهو حجمها عند درجة 0 °C إذا كان معامل التمدد الحجمي للألومنيوم $7.2\times10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$

$$\Delta V=\gamma V_0\,\Delta T=7.2\times10^{-5}\times113\times100\cong0.81\ mm^3$$

بما ان الحجم عند درجة 0 °C هو أقل عما هو عليه في درجة 100 °C لذا يكون الحجم عند درجة 0 °C هو:

$$V_0 = 113 - 0.8 = 112.2\ mm^3$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 18

سخن كأس زجاجي حجمه $250\ cm^3$ ومملؤ كاملا بالماء من درجة حرارة $20\ °C$ الى درجة حرارة $60\ °C$ ،
إحسب حجم الماء الفائض نتيجة تسخين الكأس والماء ، علما بأن التمدد الحجمي للزجاج يساوي $0.09\times10^{-4}\ /°C$ وللماء يساوي $2.1\times10^{-4}\ /°C$

$\gamma_g=0.09\times10^{-4}\ /°C;\ \gamma_w=2.1\times10^{-4}\ /°C;\ V_g=V_w=250\ cm^3;\ \Delta T=40°C$

الزيادة فى سعة الكأس نتيجة التسخين:

$\Delta V_g=\gamma_g V_g \Delta T=(0.09\times10^{-4}\ /°C)(250\ cm^3)(40°C)=0.09\ cm^3$

الزيادة فى حجم الماء نتيجة التسخين:

$\Delta V_w=\gamma_w V_w \Delta T=(2.1\times10^{-4}\ /°C)(250\ cm^3)(40°C)=2.1\ cm^3$

وبالتالي يكون حجم الماء الفائض نتيجة تسخين الكأس والماء:

$\Delta V_w - \Delta V_g = 2.0\ cm^3$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 19

التمدد الحراري
Thermal Expansion

Coefficients of Expansion, near 20°C

Material	Coefficient of Linear Expansion, $\alpha\ (C°)^{-1}$	Coefficient of Volume Expansion, $\gamma\ (C°)^{-1}$
Solids		
Aluminum	25×10^{-6}	75×10^{-6}
Brass	19×10^{-6}	56×10^{-6}
Copper	17×10^{-6}	50×10^{-6}
Gold	14×10^{-6}	42×10^{-6}
Iron or steel	12×10^{-6}	35×10^{-6}
Lead	29×10^{-6}	87×10^{-6}
Glass (Pyrex®)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
Glass (ordinary)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
Quartz	0.4×10^{-6}	1×10^{-6}
Concrete and brick	$\approx12\times10^{-6}$	$\approx36\times10^{-6}$
Marble	$1.4–3.5\times10^{-6}$	$4–10\times10^{-6}$
Liquids		
Gasoline		950×10^{-6}
Mercury		180×10^{-6}
Ethyl alcohol		1100×10^{-6}
Glycerin		500×10^{-6}
Water		210×10^{-6}
Gases		
Air (and most other gases at atmospheric pressure)		3400×10^{-6}

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

بعض التطبيقات على تمدد الأجسام الجامدة:

إن لخاصية تمدد الأجسام الجامدة بتأثير الحرارة وانكماشها عندما تبرد تطبيقات هامة في الصناعة والمنشآت المختلفة. ومن ذلك ما يلي :

1- عند مد قضبان السكك الحديدية تترك مسافات صغيرة بين طرفي كل قضيبين متجاورين كي تسمح بتمدد القضبان في فصل الصيف.

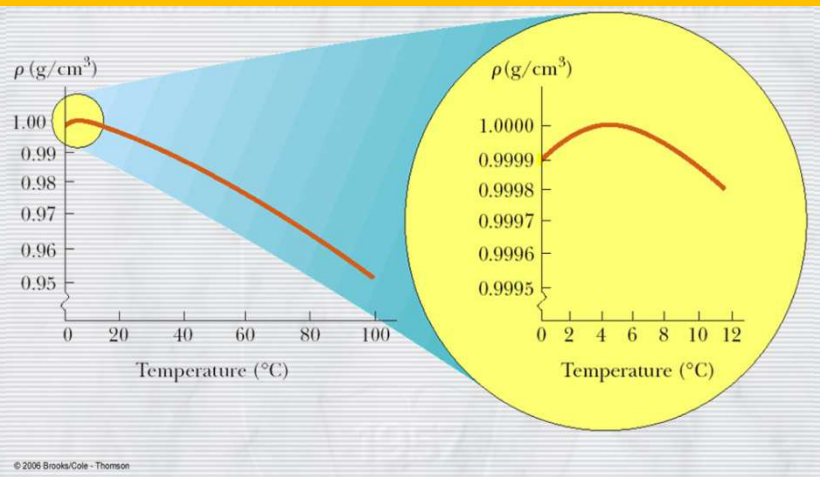
2- تمد أسلاك الكهرباء على الأعمدة بحيث تكون مرتخية قليلاً حتى لا تؤثر على الأعمدة أو تنقطع عندما ينكمش طولها في فصل الشتاء.

3- عند إقامة الجسور الفولاذية الطويلة يراعى ترك مسافات صغيرة بين أطراف الجسور والدعامات التي ترتكز عليها وتكون إحدى نهايتي الجسر محمولة على عجلات تسمح للفولاذ بالتمدد.

4- وفي البناء يراعى أن يكون معامل تمدد الحديد مساوياً لمعامل تمدد المزيج المكون من الأسمنت والرمل والحجر وإلا تفتت الأسمنت بسبب التمدد والانكماش .

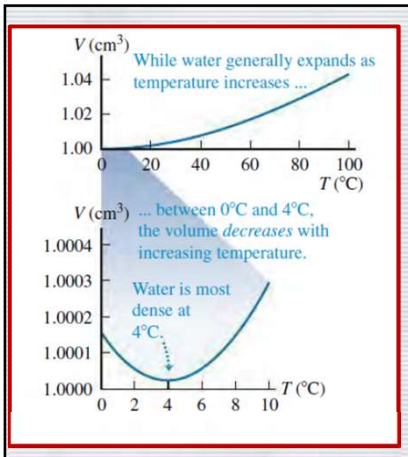
5- صناعة الترموستات (الازدواج المعدني) وهو عبارة عن قضيبين مختلفين في النوع متلاصقين يختلف الواحد منها عن الآخر بمعامل تمدده ، فعندما يسخن الازدواج المعدني يتمدد أحد القضيبين أكثر من الآخر فينحني القضيب ، لذلك يستخدم الترموستات (الازدواج المعدني) في الكهرباء مثلاً في وصل التيار الكهربائي أو قطعة.

Unusual Behavior of Water



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

- كلما زادت درجة حرارة الماء من صفر درجة مئوية إلى 4 درجات مئوية ، تنكمش وتزداد كثافتها
- فوق 4 درجة مئوية ، يظهر الماء التمدد المتوقع مع زيادة درجة الحرارة
- كثافة الماء القصوى $1000\ kg/m^3$ عند 4 درجات مئوية



بصفة عامة تتمدد السوائل ويزداد حجمها بزيادة درجة الحرارة، ويكون معامل تمددها الحجمي اكبر بعشرة مرات للمواد الصلبة .غير أن المدهش في الماء أن هذه الخاصية تتوقف عندما تصل درجة حرارة الماء إلى (4°C). إذا قمنا بتبريد الماء أكثر فإن حجمه بدلا من أن ينكمش يتمدد وتقل كثافته تبعا لذلك. حتى أنه حين يتجمد (أي تصبح درجة حرارته 0 °C) فإن كثافته تكون قد انخفضت بمقدار (10%) عنها عند درجة حرارة (4°C) كما هو موضح بالشكل.

وهذا يفسر لماذا تنفجر أنابيب المياه عند التجمد. ولماذا يطفو الجليد على سطح الماء ولا تتجمد البحيرات من الأسفل إلى الأعلى. أنها لخاصية فريدة تعكس بعض تجليات الله سبحانه وتعالى الذي حفظ للكائنات البحرية في المناطق المتجمدة حقها في الحياة.

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer