محاضرات فى

الحرارة ومبادئ الديناميكا الحرارية

الفرقة الأولى

تربية ابتدائى علوم (لائحة جديدة)

2024

القائم بالتدريس

د/ عبدالرازق عبدالنعيم محمود

أستاذ مساعد – قسم الفيزياء

الباب الأول

مقدمة 3

ما هي الحرارة: 4

التأثيرات الحرارية 4

درجة الحرارة 5

قياس درجة الحرارة 6

تدريج درجات الحرارة 6

الترمومترات الحرارية وأنواعها: 15

الترمومتر البلاتينى: 15

ترمومتر الأزدواج الحرارى: 18

تمرين 20

مقدمة

تعتبر الحرارة احد مصادر الطاقة الرئيسية التي بدأ علماء الفيزياء في دراسة وفهم قوانينها لاهميتها ولتطبيقاتها الواسعة على حياتنا، فلو نظرنا من حولنا لوجدنا أن الحرارة هي اساس الطاقة في كل شيء فعلى سبيل المثال الثلاجة المنزلية ومكيفات الهواء ما هي الا تطبيقات على الفيزياء الحرارية وكذلك المحركات البخارية والمحركات الحديثة تعتمد على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكيا حيث أن حرق الوقود يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة الغاز الذي يضغط على مكبس المحرك الذي يؤدي حركة ميكانيكية اساسها ارتفاع في درجة الحرارة وهذه المحركات هي اساس فكرة عمل السيارات والطائرات بمختلف انواعها، كذلك مثالاً آخر وهو الكهرباء فهي تصلنا من محطات التوليد التي تقوم بحرق الفحم أو الوقود الذي يحرك التوربينات التي تولد الطاقة الكهربية وهناك الامثلة الكثيرة الأخرى.

سنقوم بدراسة علم الفيزياء الحرارية والذي يسمى علم الثيرموديناميكا thermodynamicsوهذا العلم هو علم تجريبي يهتم بدراسة الظواهر المتعلقة بتبادل الطاقة الحرارية بين الأجسام عند درجات حرارة مختلفة .عند دراسة علم الميكانيكا فى السنوات السابقة ركزنا على دراسة الكميات الفيزيائية مثل الكتلة massوالقوة force والطاقة energy حيث كانت تلك الكميات الفيزيائية هي الاساسات الرئيسية لذلك العلم، ولكن في دراستنا للحرارة فإننا نحتاج إلى مفاهيم أخرى هي درجة الحرارة temperature والتبادل الحراري heat والطاقة الداخلية internal energy. لذلك سنتناول خلال هذا المقرر بدراسة تلك المفاهيم وتوضيحها وشرح كل الأمور العلمية المتعلقة بها وسيشمل ذلك الآتى :

ما هي الحرارة:

إن جزيئات المادة تكون في حركة مستمرة في الغازات مثلا تتحرك الجزيئات في جميع الجهات حركة عشوائية غير منتظمة ومقدار سرعة أي جزيء واتجاهها يتغيران عندما يتصادم هذا الجزء بآخر. في المواد الصلبة تكون حركة جزيئاتها حركة تذبذبية حول موضع اتزانها.

في الحالة السائلة تكون حركة الجزيئات وسطا بين حركة الجزيئات في المواد الغازية والصلبة أي أن في جميع حالات المواد تكون الجزيئات في حركة وهذا يعنى أن يكون لكل جزيء طاقة حركية " ويجب ملاحظة أننا نقصد بطاقة الحركة للجزيء هي الطاقة الحركية المتوسطة لجزيئات المادة " وعلى ذلك يحتوى كل جسم على كمية من الطاقة الحركية لجزيئات مادته وهذه تعادل ما يحتويه من كمية حرارة هذا يعنى أن الحرارة ما هي إلا طاقة الحركة لجزيئات المادة هي الطاقة التي يسبب انتقالها إحساس بالحرارة أو البرودة.

التأثيرات الحرارية

1. تأثيرات فسيولوجية: مثل الإحساس بالدفء وتنبيه الدورة الدموية والحروق.
2. تأثيرات كيميائية: مثل التفاعلات الكيميائية الناتجة عن تسخين كاتحاد الكبريت مع الحديد بالتسخين وينتج كبريتوز الحديد.
3. تأثيرات فيزيائية :التمدد – تغير الحالة من الصلابة إلى السيولة ومن السيولة إلى الغازية - زيادة المقاومة الكهربائية – زيادة ضغط بخار الماء – توليد القوة الدافعة الكهربائية عند تسخين نقطة اتصال مدنين مختلفين.

درجة الحرارة

إذا لمسنا جسما ساخنا فإننا نشعر بما عندنا من احساسات بشعور معين نفرض إننا قسمنا هذا الجسم الى أجزاء ولمسنا أجزاءه كل على حده فنجد إننا نحس بنفس الشعور كما في الحالة الأولى.

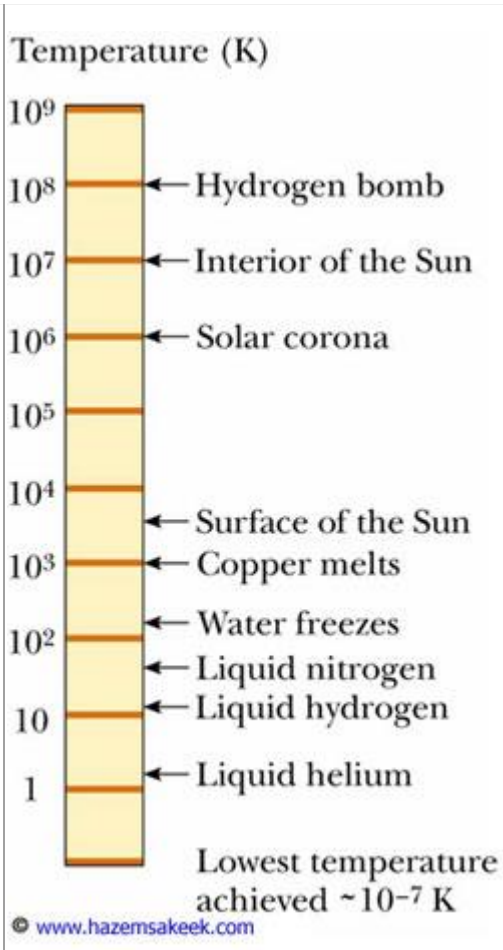
وأصبح من أن حاسة اللمس لا تدلنا على كمية الحرارة في الجسم ولكنها تدلنا على صفة معينة ثابتة من خواص الحرارة وهى التي لا تتغير عند تقسيم أي جسم إلى أجزاء صغيرة هذه الخاصية سوف نعرفها بأنها درجة الحرارة.

إن الذي لا يتغير في الجسم عند تقسيمه إلى أجزاء هو من الواضح طاقة حركة جزيئاته وعلى ذلك فان درجة الحرارة هي معيارا أو مقياسا لهذه الطاقة الحركية المتوسطة لجزيئات المادة.

درجات الحرارة

تعرف درجة حرارة جسم ما على انها مقياس للطاقة الداخلية للمادة عند تلك الدرجة.

تتراوح درجات الحرارة في هذا الكون الفسيح بين الاف الملايين كلفن إلى ما يقارب الصفر كلفن ، علماً بأن اقل درجة حرارة وصل الانسان اكثر قليلا من الصفر المطلق (كما في الشكل المقابل) ولاحدود لأعلى درجة سجلت حتى الان فتصل درجة حرارة الانشطار النووي للهيلوم إلى 100 مليون كلفن .



الشكل المقابل نلاحظ درجات حرارة بمقياس
كلفن لأجسام مختلفة مثل درجة حرارة باطن
الشمس التي تصل إلى 10^7K ودرجة حرارة
الهيليوم السائل التي تقدر بـ.4K

قياس درجة الحرارة

إن حاسة اللمس تمكننا من التفرقة بين الأجسام الساخنة والباردة إلا أن قدرتها في ذلك تكون محدودة فضلا عن أنها تتعرض للخطأ في بعض الأحيان مثلا إذا لمسنا في يوم بارد قطعة من المعدن وأخرى من الخشب نجد أن الأولى ابرد من الثانية ولو أنهما من الواضح لهما نفس درجة الحرارة ولكن هذا يرجع إلى أن معامل التوصيل الحراري للمعدن اكبر بكثير من الخشب.

ولما كانت التجارب العملية تستند إلى دقة القياس كان لنا من أجهزة أكثر حساسة وأوسع مدى لتقدير درجة الحرارة وهذه الأجهزة تسمى بالترمومترات أو مقاييس درجة الحرارة.

تدريج درجات الحرارة

عندما تتغير حالة المادة المتبلورة من الصلابة إلى السيولة أو من السيولة إلى الغازية فان هذا التغير يحدث عند درجات حرارة ثابتة- يمكن أن تعتبر نقطا ثابتة في تدريج درجات الحرارة- باستخدام أي تدريج حراري. وأهم هذه النقط نقطتان هما نقطة التجمد (أو درجة تجمد الماء) ونقطة غليان الماء المقطر تحت ضغط 76 سم \ زئبق (أو درجة غليان الماء تحت ضغط 76 سم\ زئبق)

ولنفرض ان قيمة الخاصية الطبيعية مقاسة فى كل مرة من هاتين النقطة هى x_0 فى درجة التجمد x_n فى درجة الغليان حيث n = عدد الأقسام المتساوية فى التدريج الحرارى بين النقطتين الثابتتين فيكون التغير فى الخاصية الطبيعية لكل قسم من التدريج (اى لكل درجة) هو:

$$\frac{x_n - x_0}{n}$$

وفى التقسيم المئوي يكون: (n = 100)

وفى التقسيم الفهرنيتى يكون: (n = 180)

وفى التقسيم الريومورى يكون: (n = 80)

ويتبين من ذلك أن تحديد قيمة (n) فيه شيء من الاختيار إلا أن التدريج المئوي n=100 هو الأكثر استعمالا باستخدام التدريج المئوي

بفرض أن x_t هى قيمة الخاصية الفيزيائية عند درجة t فيكون التغير في الخاصية الطبيعية المناظرة لدرجة واحدة مئوية هو:-

$$\frac{x_t - x_0}{t} = \frac{x_{100} - x_0}{100}$$

وبالتالى يكون:

$$x_t = x_0 + \left(\frac{x_{100} - x_0}{100} \right) t$$

$$= x_0 \left(1 + \frac{x_{100} - x_0}{100 x_0} \right) t$$

$$= x_0(1+\alpha t)$$

حيث أن:

$$\alpha = \frac{x_{100} - x_0}{100 x_0}$$

α هو معامل زيادة الخاصية الفيزيائية بأرتفاع درجة الحرارة أى أن زيادة الطول أو الحجم أو المقاومة. وقد تختلف درجة الحرارة التى نحصل عليها بهذة الكيفية طبقا لقياس الكمية الخاصية.

هذا الاختلاف غير مرغوب فية ولذا يلزم أن نجرى عملية معايرة للتصحيح وقد اتفق على جعل الترمومتر غاز الايدروجين ذو الحجم الثابت ترمومترا قياسيا.

أذا فرض أن معامل زيادة الضغط مع درجة الحرارة هو α وأن الضغط فى درجة الصفر هو p_0 وأن الضغط فى درجة t هو p_t فأن:

$$p_t = p_0(1+\alpha t)$$

$$P_t = p_0 \alpha (\frac{1}{\alpha} + t)$$

$$p_t = p_0 \alpha T$$

حيث :

$$T = \frac{1}{\alpha} + t$$

تسمى درجة الحرارة المطلقة ويكون صفر هذا التدريج عند:

$$\frac{1}{\alpha} + t = 0$$

ويكون:

$$t = 0 - 273$$

وقد أكتشف كلفن تدريجا مبنيا على اعتبارات ديناميكية حرارية يتفق مع التدريج الغازي المطلق .

الثيرمومتر ومقياس درجات الحرارة Thermometer and temperature scale

الثيرموميتر thermometer هو أداة تستخدم لقياس درجات الحرارة، والثيرمومتر يعمل من خلال تغير في أحد الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة، مثل خاصية تمدد الاجسام مع زيادة درجة الحرارة وتغير الضغط أو مقاومة السلك الكهربي بتغير درجات الحرارة. وفيما يلي نذكر الأنواع المختلفة للثرمومتر.

Physical property الكمية الفيزيائية	Material المادة	Type of thermometer نوع الثيرمومتر
Change in length	Mercury or Alcohol	(1) Liquid thermometer
Change in pressure	Hydrogen	(2) Gas Thermometer
Change in resistance	Platinum	(3) Resistance thermometer
Change in electric potential	Chromel and Alumel	(4) Thermocouple thermometer
Change in radiation colour	Pyrometer	(5) Radiation Thermometer
Change in susceptibility		(6) Magnetic thermometer

من الجدول السابق نجد أنه من الممكن تصميم عدة أنواع من مقاييس درجات الحرارة بالاعتماد على تغير الخصائص الفيزيائية بتغير درجة الحرارة. ولعمل ذلك

يمكن أن يكون هناك تدريج محدد لقياس درجة الحرارة، حيث أن كل خاصية فيزيائية مما سبق تتغير بعلاقة محددة مع تغير درجة الحرارة فمثلاً في النوع الأول من مقياس درجة الحرارة الثيرمومتر الزئبقي تتمدد فيه مادة الزئبق بزيادة درجة الحرارة فيمكن عمل علاقة بين مقدار التمدد ودرجة الحرارة. ولهذا كان لابد من إيجاد مقياس أو تدريج يعبر عن درجة الحرارة بغض النظر عن تغير الخاصية الفيزيائية ومن هذه التدريجات المقياس المئوي أو مقياس الفهرنهايت أو المقياس المطلق.

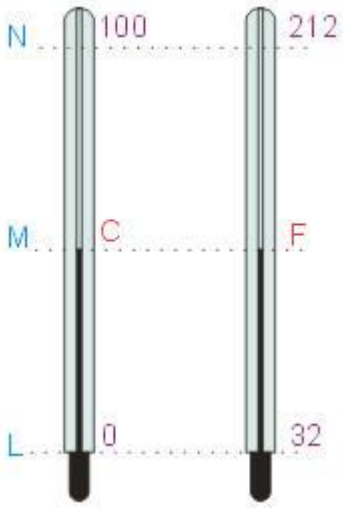
المقياس المئوي scale Celsius

تعتمد فكرة المقياس المئوي على وجود نقطتين لا تتغير فيهما درجة الحرارة مع تزويد المادة بحرارة وعلى هذا الاساس اعتمد العالم Celsius في ابتكاره للتدريج المئوي حيث انه من الملاحظ عملياً ثبوت درجة حرارة الماء عند نقطة الغليان أي عندما يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية أو العكس وكذلك تثبت فيها درجة حرارة الماء عند تحوله إلى ثلج وهي درجة الانصهار أي من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة أو العكس، فاطلق سيليزس على درجة الانصهار بالقيمة صفرا وعلى نقطة الغليان القيمة 100 وتم تقسيم التدريج إلى 100 كل جزء يساوي درجة، ولذلك سمي بالتدريج المئوي ويسمى ايضا بتدريج سيليزس. وتبلغ درجة حرارة الانسان على هذا التدريج $^{o}C37$.

شكل يوضح ثيرمومتر زئبقي، نتيجة للتمدد الطولي يتغير مستوى ارتفاع الزئبق من 0 عند درجة التجمد إلى 100 عند درجة الغليان

المقياس الفهرنهايتي scale Fahrenheit

يعتمد هذا التدريج لقياس درجة الحرارة على نفس المبدأ السابق للتدريج المئوي أي على نقطة تحول الماء إلى الحالة الغازية او الصلبة، ولكن اعتبر فهرنهايت درجة الانصهار هي درجة 32 بدلاً من الصفر، ودرجة الغليان للماء وهي درجة 212 بدلاً من 100.



ولتوضيح العلاقة بين التدريج المئوي والتدريج الفهرنهايتي استعن بالشكل التالي:

$$\frac{ML}{NL}=\frac{C-0}{100-0}=\frac{F-32}{212-32}$$

$$\therefore \frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$$

$$F=\frac{9}{5}C+32$$

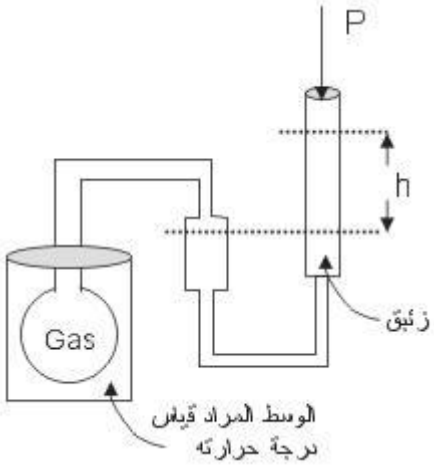
إذا للتحويل من درجة حرارة بمقياس فهرنهايت إلى مقدارها بالمقياس المئوي أو العكس نستخدم المعادلتين التاليتين:

$$T(\text{in °F})=32+\frac{9}{5}T(\text{in °C})$$

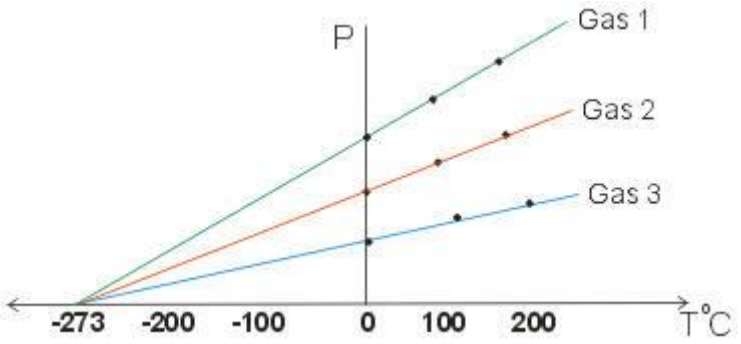
$$T(\text{in °C})=\frac{5}{9}[T(\text{in °F})-32]$$

المقياس المطلق scale Kelvin

مما سبق نجد أن كلا التدريجين اعتمدا على نوع مادة السائل وهو الماء حيث تم اعتبار نقطة الانصهار ونقطة الغليان كأساس للتدريج، وحيث أن هاتين النقطتين تعتمدان على الضغط وعدد من العوامل الأخرى، لذا فإننا بحاجة إلى تدريج مطلق لا يعتمد على طبيعة المادة وهذا ما قام به العالم كلفن Kelvin في تحديد تدريج مطلق لدرجة الحرارة.



قام العالم كلفن باستخدام الثيرمومتر المعتمد على التغير في الضغط thermometer Gas ودرس العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة، وذلك لأكثر من غاز ووجد أن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وأن الضغط يصبح صفر نظرياً (أي عند مد المنحنيات كما في الشكل على استقامتها) عند درجة حرارة وقدرها -273. وقد تم اعتبار هذه الدرجة هي الصفر المطلق وأنها لا تتغير بتغير نوع الغاز وعليه تم معايرة باقي التدريجات الأخرى بالنسبة للصفر المطلق.

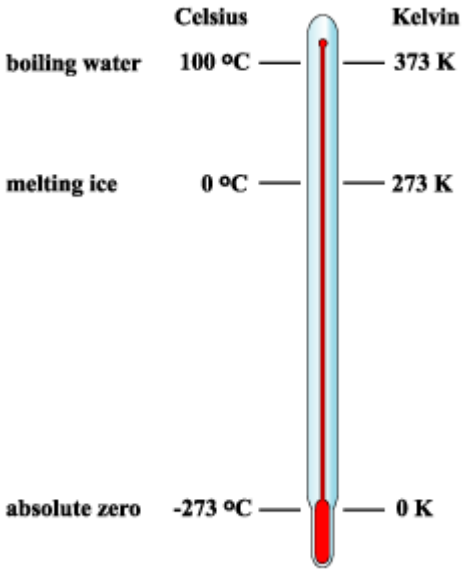


اوضحت النتاشج العملية إنه بالرغم من اختلاف نوع الغاز فإن جميع الغازات يقل ضغطها بنقصان درجة الحرارة وعند مد المنحنيات على استقامتها تلتقي كلها عند درجة حرارة -273 درجة مئوية ليكون عندها القيمة النظرية للضغط يساوي صفراً

إعتبر العالم كلفن نقطة تلاشي الضغط للغازات عند -273.15 درجة مئوية بأنها نقطة مرجعية لتدريج جديد لا يعتمد على نوع المادة المستخدمة (مثل الماء) في تصميم التدريج واعتبرت هذه النقطة هي الصفر المطلق والتي تساوي بتدريج سيليزس (التدريج المئوي) -273.15 وسمي هذا التدريج بالتدريج المطلق absolute scale.

وعليه فإن العلاقة بين التدريج المئوي والتدريج المطلق هي:

$$T(\text{in } °\text{C}) = T(\text{in } °\text{K}) - 273.15$$



الجـــدول التـــالي يوضـــح مقارنـــة لمختلـــف التـــدريجات المســـتخدمة فهرنهايت و سيليزس و كلفن

Comparison of Temperature Scales			
Kelvin	Celsius	Fahrenheit	Set Points
373	100	212	water boils
310	37	98.6	body temperature
273	0	32	water freezes
0	-273	-460	absolute zero

العلاقة بين التدريجات المختلفة لقياس درجات الحرارة

Temperature Conversion Formulas		
Example	Formula	Conversion
$21^oC = 294$ K	K = C + 273	Celsius to Kelvin
313 K = 40 ^oC	C = K - 273	Kelvin to Celsius
89 $^oF = 31.7$ ^oC	C = (F - 32) x 5/9	Fahrenheit to Celsius
50 $^oC = 122$ ^oF	F = (C x 9/5) + 32	Celsius to Fahrenheit

الترمومترات الحرارية وأنواعها:

يتوقف عمل الترمومترات بجميع أنواعها وأشكالها على أستخدام خاصية فيزيائية من خواص المادة على أن تتغير تغيرا تدريجيا مع درجة الحرارة ومن هذه الخواص:

1. -خاصية التمدد الحجمى للسوائل
2. خاصية تمدد الأجسام الصلبة
3. خاصية التمدد الحجمى للغازات
4. خاصية تغير المقاومه الكهربية لبعض المواد كالبلاتين
5. خاصية التيارات الكهروحرارية كما بالأزدواج الحرارى

سوف نستعرض فقط الترمومتر البلاتينى حيث تم التعرف من قبل عن الأنواع الأخرى من الترمومترات فى الاعوام السابقة

الترمومتر البلاتينى:

نظرية عمل الترمومتر البلاتينى هو ان المقاومة الكهربية لسلك البلاتين تزيد بزيادة درجة حرارة السلك أى ان هناك علاقة تربط بين درجة الحرارة ومقاومة السلك فبالتالى بقياس مقاومة سلك البلاتين للترمومتر يمكن معرف درجة الحرارة الموضوع بها الترمومتر. تتغير المقاومة مع درجة الحرارة وفقا للمعادلة

$$R_t = R_0(1+\alpha t)$$

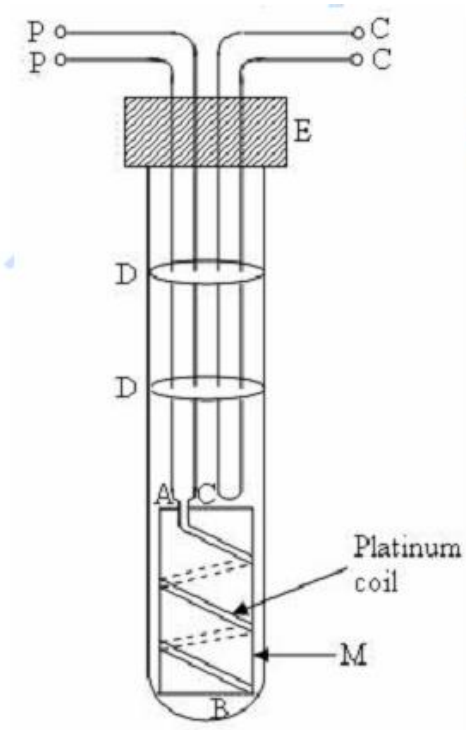
حيث α هو معامل زيادة المقاومه

التركيب: وهو يتكون من سلك بلاتيني رقيق ملفوف حول اسطوانة مصنوعة من الميكا محتواة على أنبوب من الزجاج الصلب. تتصل نهايتا السلك بجهاز حساس لقياس المقاومة عادة تكون احدى القناطر التى تستخدم فى قياس المقاومة

Platinum Resistance thermometer consists of a fine platinum wire (platinum coil) wound in a non-inductive way on a mica frame M (as shown in Figure). The ends of this wire are soldered (ملحوم) to points A and C from which two thick leads

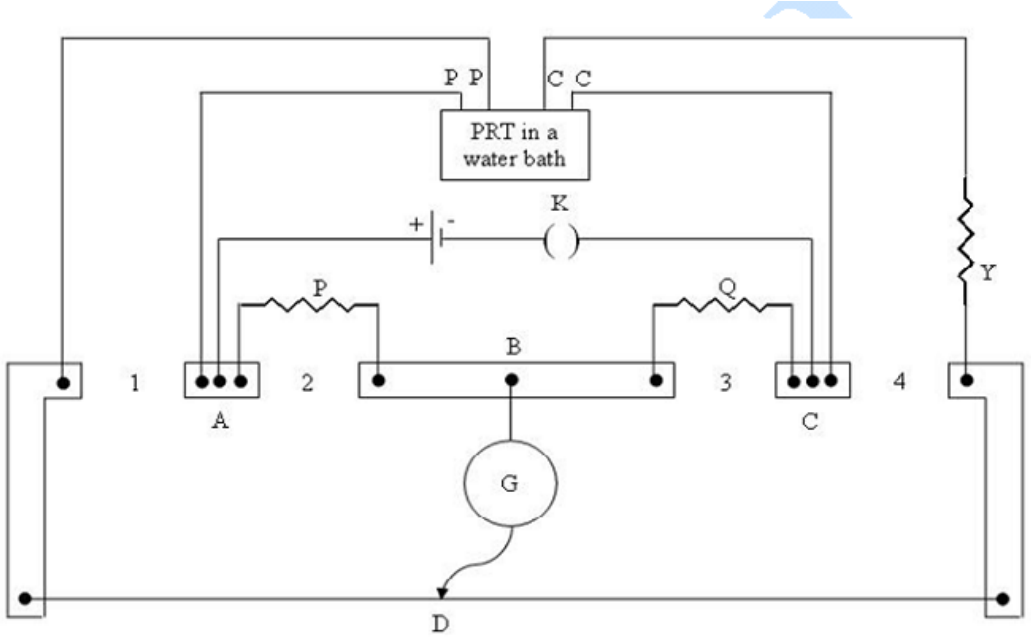
run along the length of the glass tube (that encloses the set up) and are connected to two terminals (P, P) fixed on the cap of the tube..

Also, by the side of these leads, another set of leads run parallel and are connected to the terminals (C, C) fixed on the cap of the tube. These are called compensating leads and are joined together inside the glass tube. The compensating leads and the platinum wire are separated from each other by mica or porcelain separators (D, D). The electrical resistance of the (P, P) leads is same as that of the (C, C) leads.



الترمومتر البلاتينى

وتحدد قيمة المقاومة بأستخدام قنطرة هويستون أو كارى فوستر كما بالشكل



$$R_1 = R_0(1+\alpha T_1)$$

$$R_2 = R_0(1+\alpha T_2)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(1+\alpha T_2)}{(1+\alpha T_1)}$$

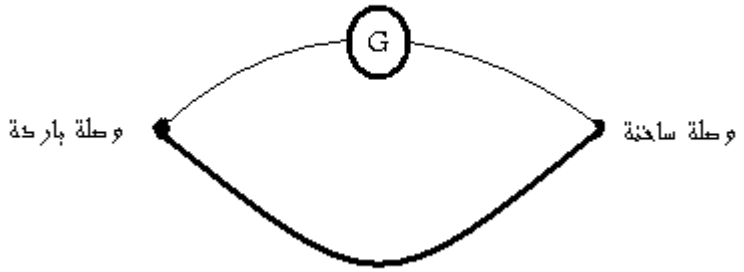
$$R_2(1+\alpha T_1) = R_1(1+\alpha T_2)$$

$$(R_2 - R_1) = \alpha(T_2 R_1 - T_1 R_2)$$

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_1)}{(T_2 R_1 - T_1 R_2)}$$

ترمومتر الأزدواج الحرارى:

نظرية العمل: وجد العالم سيبك عام 1821 انه عندما يتصل فلزان مختلفان كالنحاس و الحديد مثلا ليكونا ازدواجا حراريا كما موضح بالشكل تتولد قوة دافعة كهربية عندما ترتفع درجة حرارة احدى الوصلتين بالنسبة للاخرى وتتوقف شدة التيار الناشئ على الفرق فى درجة الحرارة بين الوصلتين وتعرف هذه الظاهرة بالخصية الكهروحرارية



عند وضع الوصلة الباردة فى جليد مجروش لحفظ درجة حرارتها عند الصفر المئوى ويوضع الوصلة الاخرى فى اى وسط ساخن ينحرف الجلفانومتر انحرافا يتناسب طرديا مع درجة الحرارة المئوية للوصلة الساخنة بشرط ان يكون الارتفاع فى الدرجة كبير

ويمكن هنا ايضا معايرة الجلفانومتر ليعطى درجات حرارة مباشرة وذلك بوضع الوصلة الساخنة فى ماء مغلى حرارته 100 درجة مئوية وبتقسيم مقدرار الأنحراف اى مائة قسم يعبر كل قسم عن درجة واحدة مئوية

ونظرا لشدة حساسية هذا الترمومتر يستخدم عادة لقياس التغيرات الصغيرة فى درجة الحرارة كما أن لصغر سعته الحرارية أى السعة الحرارية للوصلة الكهربية لا يؤثر وضع الترمومتر فى الوسط المختبر على درجة حرارته خاصة أن الوسط له سعة حرارية صغيرة

تمـرين: مـا هـي درجـة الحـرارة التـي عنـدها يتسـاوى التـدريج المئـوي والتـدريج الفهرنـهايتي.

مسائل محلوله

Example

An object has a temperature of 50°F. What is its temperature in degrees Celsius and in kelvins?

Solution Substituting $T_F = 50°F$ into Equation 19.5, we get

$$T_C = \tfrac{5}{9}(T_F - 32) = \tfrac{5}{9}(50 - 32) = 10°C$$

From Equation 19.4, we find that

$$T = T_C + 273.15 = 283.15\ K$$

Example

A pan of water is heated from 25°C to 80°C. What is the *change* in its temperature on the kelvin scale and on the Fahrenheit scale?

Solution we see that the change in temperature on the Celsius scale equals the change on the kelvin scale. Therefore,

$$\Delta T = \Delta T_C = 80 - 25 = 55\ C° = 55\ K$$

From Equation 19.5, we find that the change in temperature on the Fahrenheit scale is greater than the change on the Celsius scale by the factor 9/5. That is,

$$\Delta T_F = \tfrac{9}{5}\,\Delta T_C = \tfrac{9}{5}(80 - 25) = 99\ F°$$

تمرين

: ترمومتر بلاتينى مقاومته عند نقطة انصهار الجليد هو 6.5 أوم وعند درجة غليان الماء 11.5 أوم أوجد درجة الحرارة عندما تكون المقاومه 14 أوم ثم أحسب أيضا مقاومة الترمومتر عن درجة حرارة 60 درجة مئوية

الحل

$$t = \left(\frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{14 - 6.5}{11.5 - 6.5} \right) \times 100$$
$$= 150$$

$$R_t = R_0 + \left(\frac{R_{100} - R_0}{100} \right) t$$
$$= 6.5 + \left(\frac{11.5 - 6.5}{100} \right) \times 6$$
$$= 9.5 \ o\text{hom}$$

تمارين

1. أذا كان طول عمود الزئبق فى ساق ترمومتر عند درجة تجمد الماء وغليانه على الترتيب هما 15 و 25 سم أحسب درجة الحرارة التى يكون عندها طول العمود مساويا 22 سم

2. ترمومتر بلاتينى مقاومته عند درجة الصفر المئوى ودرجة غليان الماء على الترتيب 200 و 400 أوم أحسب درجة الحرارة التى تجعل مقاومته 300 أوم

3. ترمومتر بلاتينى مقاومته300 أوم عندما يكون فى حالة أتزان حرارى مع جسم اخر حرارته 1000 درجة مئويه ما هى مقاومته اذا لامس جسم درجة حرارته 200 درجة مئويه

البا ب الثانى

التمدد الحراري

Thermal Expansion

مقدمة : 22

أولا :-تمدد الأجسام الصلبة 23

معامل التمدد السطحى: 25

تطبيقات على تمدد الأجسام الصلبة: 29

ثانيـــا : تمدد السوائل: 31

ثالثا: تمدد الغازات 36

القانون العام الغازات: 40

تطبيقات آخرى على تمدد الأجسام الصلبة 42

أمثلة محلولة ومسائل 43

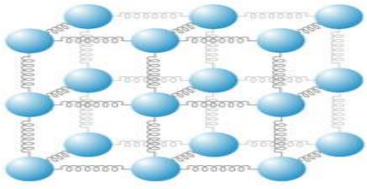
البا ب الثانى

التمدد الحراري Thermal Expansion

مقدمة :

عند رفع درجة حرارة المادة سواء أن كانت صلبة أو سائلة أو غازية تزداد طاقة جزيئاتها وبالتالي تزداد أهتزازتها حول موضع سكونها (أنظر شكل 1). وهذا يؤدى الى زيادة متوسط المسافة بين كل جزئ والجزيئات المجاورة . أى أن السائل أو الجامد يتمدد عند رفع درجة حرارته وبالرغم من وجود بعض الأستثنئات الواضحة من هذه القاعدة فمثلا الماء ينكمش عند رفع درجة حرارته فى المدى 1: 4 درجات مئوية

إن التمدد الحراري thermal expansion للاجسام هو نتيجة عن للتغير الذي يحدث للمسافات الفاصلة بين جزيئات وذرات المادة .ولفهم أدق لما ذكرناه لننظر إلى الشكل الموضح أدناه حيث يعبر عن التركيب البلوري لمادة في الحالة الصلبة والتي تحتوي على مصفوفة مرتبة من الذرات المترابطة مع بعضها البعض بفعل القوى الكهربية (الزنبرك في الشكل يمثل القوى الكهربية).

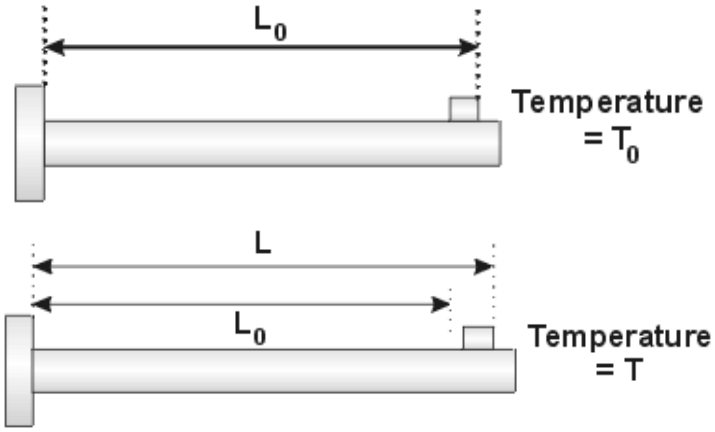


يمثل الشكل بلورة لمادة صلبة والزنبرك بين الذرات يمثل القوى الكهربية التي تربط الذرات بعضها ببعض.

تتمدد جميع الغازات عند رفع درجة حرارتها ومن المعروف ان احجامها تتوقف على الضغط فأنة من الضرورى أخذ فى الاعتبار الضغط فمثلا يجب حفظ الضغط عند دراسة زيادة الحجم بأرتفاع درجة الحرارة. وأيضا يجب أن نثبت الحجم عند دراسة تأثير درجة الحرارة على تغيير الضغط.

أولا :-تمدد الأجسام الصلبة.

بفرض قضيب من مادة صلبة من النحاس مثلا طولة عند درجة الصفر يساوى L_0 المئوى: برفع درجة حرارة القضيب مقدار ∇T درجة مئوية يكون الزيادة فى الطول تتناسب طرديا مع كلا من الطول الأصلى L_0 و مقدار الزيادة فى درجة حرارتة ∇T عندئذ :



$$\Delta L \alpha L_o$$
$$\Delta L \alpha \Delta T$$
$$\Delta L \alpha \Delta T\, L_o$$
$$\Delta L = \sigma \Delta T\, L_o$$

حيث مقدار ثابت يتوقف على نوع مادة الجسم وبسمى معامل التمدد الطولى وبالتالى يكون:

$$\sigma = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T}$$

وطبقا للمعادة السابقة يمكن أن نعرف معامل التمدد الطولى للمادة linear expansion

بأنه : الزيادة الحادثة لوحدة الأطوال من المادة برفع درجة حرارتها درجة واحدة مئوية. وتكون الوحدات طبقا للمعادة السابقة هى : / درجة مئوية.

ويمكن أن نستنبط قانون معامل التمدد الطولى بطريقة أخرى:

بفرض أن L_0 L_1 L_2 هى أطوال قضيب معدنى عند درجات الحرارة الصفر و T_1 , T_2 وأن معامل زيادة الطول برفع درجة الحرارة (معامل التمدد الطولى) ثابت ولـه نفس القيمة بين درجات الحرارة T_1 , T_2 وبتطبيق المعادلة 1 (أنظر الباب الأول):

$$L_1 = L_0(1+\sigma T_1) \qquad (3)$$

$$L_2 = L_0(1+\sigma T_2) \qquad (4)$$

بقسمة المعادلتين :

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1+\sigma T_2}{1+\sigma T_1}$$

$$\frac{L_2}{L_1} = (1+\sigma T_2)(1+\sigma T_1)^{-1} \qquad (5)$$

و حيث أن :

$$(1+\sigma T_1)^{-1} = 1-\sigma T_1 + \sigma^2 T^2_1 - \sigma^3 T^3_1 + ... + ...$$

يمكن أهمال الحدود التى تشمل على σ^2 و σ^3 لصغرها ولذا تصبح المعادلة 5 :

$$L_2 = L_1(1+\sigma T_2)(1-\sigma T_1)$$

حيث أيضا أهمل الحد الأخير الذى يشمل على σ^2

$$L_2 = L_1[1+\sigma(T_2 - T_1)]$$

$$\frac{L_2}{L_1} - 1 = \sigma(T_2 - T_1)$$

$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} = \sigma(T_2 - T_1)$$

وبالتالى يكون معامل التمدد الطولى:

$$\sigma = \frac{(L_2 - L_1)}{L_1(T_2 - T_1)} \qquad (6)$$

كما يوجد معامل تمدد طولى كذلك يوجد كمعامل للتمدد السطحى والحجمى بالرغم من صغر قيمة معامل التمدد الطولى للمواد ألا أنه هام جدا فى التطبيقات الصناعية من ناحية تصميم السكك الحديدية.

معامل التمدد السطحى:

يعرف معامل التمدد السطحى للمادة β **بالزيادة فى المساحة لوحدة المساحات نتيجة رفع درجة حرارة المادة درجة واحدة مئوية .**

نفرض لدينا لوحا معدنيا مربع الشكل مساحتة عند درجة الصفر المئوى هى L_0^2 **فبرفع درجة حرارته سوف يتمدد فى جميع الأتجاهات وبالتالى تزداد مساحته . فاذا كانت الزيادة فى درجة الحرارة تساوى** T_1 **درجة مئوية فأن طول كلا من جانبى اللوح يصبح:**

$$L = L_0(1+\sigma T_1)$$

وبالتالى تصبح مساحته:

$$L^2 = L_0{}^2(1+\sigma T_1)^2$$
$$L^2 = L_0{}^2(1+2\sigma T_1+\sigma^2 T_1)$$
$$L^2 = L_0(1+2\sigma T)$$

وذلك بأهمال الحد الأخير لصغره تصبح المعادلة الأخيرة فى الصورة الآتيه:

$$S = S_0(1+\beta T_1)$$

حيث S_0 ترمز للمساحة عند درجة الصفر المئوى و S المساحة عند درجة T_1 وبمقارنة معادلة التمدد الطولى والسطحى نجد أن:

$$\beta = 2\sigma$$

أى أن معامل التمدد السطحى يساوى ضعف قيمة معامل التمدد الطولى

وبنفس الطريقة يمكن أثبات أن معامل التمدد الحجمى Φ لجسم صلب يساوى ثلاث أضعاف قيمة معامل التمدد الطولى :

$$\Phi = 3\sigma$$

ويمكن أثبات أن:

$$\Phi = \frac{V - V_0}{V_0 T_1} \qquad (7)$$

حبث V_0 يرمز للحجم عند درجة الصفر المئوى و V يرمز للحجم عند درجة T_1 بالأضافة الى ما سبق من تأثير رفع درجة الحرارة فى الخواص الفيزيائية من تغيير طول ومساحة وحجم سوف نلقى الضوء على تغيير كثافة المواد وكذلك المرونة نتيجة التأثير الحرارى:

مثـــال: لوح مستطيل من النحاس أبعاده 60mm×80×100 ارتفعت درجة حرارته مـــن 300 الى 500k. أحصل على معدل قيمة معامل التمدد الطولي للنحاس لهذا المدى مـــن درجـــات الحرارة. من الشكل، ثم احسب الحجم الجديد للنحاس، ثم احسب الزيادة في الحجـــم واحســـب معامل التمدد الحجمي من العلاقة $\Delta v = \gamma v_0 \Delta\theta$.

متوسط التمددية الخطية $\simeq \frac{1}{2}(16.7 + 18.3)10^{-6}\,k$

باستعمال العلاقة

$\Delta\ell = \alpha\ell_0\Delta\theta$ وبالنسبة للجانب 100mm

$$\Delta\ell = (1.75\times10^{-5}k^{-1})(100mm)(200k)$$

$$= 0.35\ mm.$$

للجانب 80 mm $\Delta\ell = 0.28\ mm$

للجانب 60 mm $\Delta\ell = 0.21\ mm$

والحجم الجديد $v_1 = (100.35)\ (80.28\ mm)\ (60.21\ mm)$

$$= 485058\ mm^3$$

الحجم الاصلي $v_0 = 480000\ mm^3$

$$\Delta V = 5058\ mm^3$$

$$\gamma = \frac{\Delta V}{v_0\Delta\theta} = \frac{5058mm^3}{(48000mm^3)(200k)} = 5.27\times10^{-5}k^{-1}$$

٤

وهذا يساوي تقريباً (3α) حيث أن $3\alpha = 5.25\times10^{-5}k^{-1}$ وهذا يعتبر تقريب، وإن معامل التمدد الحجمي يستعمل عند التعامل مع السوائل والغازات.

أ- الكثافة:Density :

من المعروف لدينا أن الكثافة هى كتلة وحدة الحجوم من المادة أى أن الكثافة لمادة فى درجة الصفر المئوى هى:

$$\rho_0 = \frac{M}{V_0}$$

وبرفع درجة حرارة تلك المادة الى T_1 فتكون الكثافة

$$\rho = \frac{M}{V}$$

وبالتالى

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{V}{V_0}$$

وبالتعويض عن :

$$V = V_0(1+\Phi T_1)$$

$$\rho_0 = \rho(1+\Phi T_1)$$

ويمكن كتابة كثافة مادة فى درجتين مختلفتين T_2 , T_1 كالآتـــى:

$$\rho_0 = \rho\left[(1+\Phi(T_2 - T_1)\right]$$

ب- المرونة:

أثبتت التجارب العملية أن مرونة الأجسام تتغير بأرتفاع درجة حرارتها. فقد وجد أن معامل ينج للمادة تقل قيمته قليلا بأرتفاع درجة الحرارة وبزيادة درجة حرارة الجسم الصلب كثيرا وجد أن معامل ينج ينقص قيمته حتى ينعدم عند نقطة أنصهار المادة.

ولفهم تأثير درجة الحرارة على مرونة الأجسام بصورة رياضية نفرض أن لدينا قضيبا معدنيا ساخنا طوله L_2 عند درجة حرارة T_2ونفرض أن ثبتنا طرفى هذا القضيب الساخن وتركناه يبرد حتى تصل درجة حرارته الى درجة حرارة الغرفة T_1 سيكون للقضيب البارد شد . أذا أنه لم يكن مثبتا عند طرفيه لتقلص طوله الى L_1(أنظر المعادلة 5)

$$L_2 - L_1 = \sigma L_1 (T_2 - T_1) \qquad (8)$$

حيث σ ترمز لمعامل التمدد الطولى . تثبيت القضيب وهو ساخن ثم برودته بعد ذلك الى درجة حرارة الغرفة يولد حالة من الشد تعادل القوة التى تكفى لشد القضيب وزيادة طوله من L_1 الى L_2 ومن تعريف معامل ينج الذى يعبر عن مرونة الأجسام :

$$Y = \frac{Stress}{Strain}$$

$$Y = \frac{F / A}{(L_2 - L_1) / L_1}$$

وبالتعويض من المعادلة 8:

$$Y = \frac{F}{A} \frac{1}{\sigma (T_2 - T_1)}$$

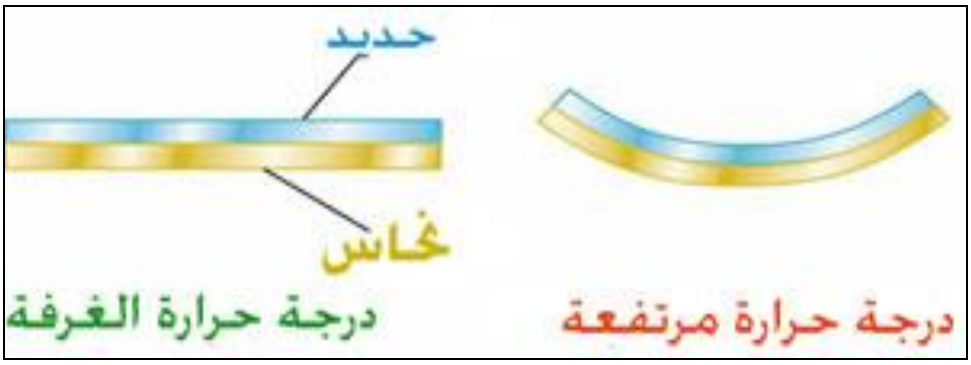
هذه المعادلة توضح تأثير درجة الحرارة على معامل المرونة. حيث أنه واضح بزيادة درجة الحرارة تقل المرونة.

تطبيقات على تمدد الأجسام الصلبة:

a) المزدوج المعدنى:

يتكون المزدوج المعدنى من شريحتين A , B ملتصقتين من معدنيين مختلفين فى قيمة معامل التمدد . نفرض ان معامل التمدد الشريحة A اكبر من المعدن B عندما ترتفع درجة الحرارة يكون تمدد A اكبر من ونتيجة لذلك نشاهد ان

المزدوج ينثنى بحيث مكونا قوس . وتستخدم هذه الخاصية فى اغراض كثيرة فى الحياه العملية (منظم لدرجة الحرارة فى المكواة)



b) بندول هاريسون المتوازن:

$$t_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L_1}{g}}$$

حيث g عجلة الجاذبية الارضية وأذا رفعت درجة الحرارة لتصبح T_2 فأن الزمن يتغير ويصبح t_2 وذلك لتغيير طول البندول الى L_2

$$t_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L_2}{g}}$$

بقسمة المعادلتين نحصل على:

$$\frac{t_2}{t_2} = \sqrt{\frac{L_1(1+\sigma(T_2 - T_1)}{L_1}}$$

$$= \left(1+\frac{1}{2}\sigma\Delta T\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1 + \frac{1}{2}\sigma\Delta T$$

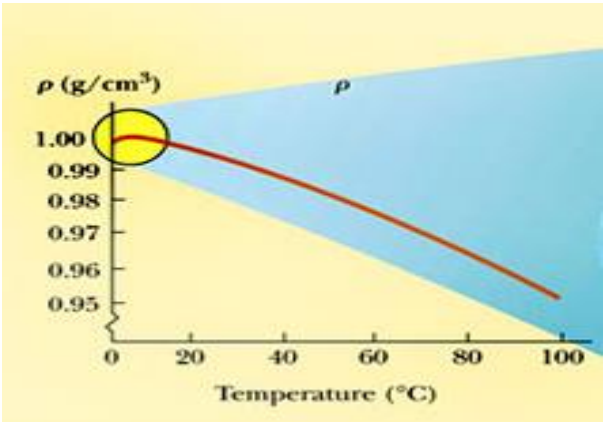
$$\frac{t_2 - t_1}{t_1} = \frac{1}{2}\sigma\Delta T$$

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{2}\sigma\Delta T$$

المعادلة الأخيـرة توضح أن التعير فى درجة الحرارة يسبب تعيرا فى زمن ذبذية البندول وبالتالى يتعير توقيت الساعة. أبنكر هارسون طريقة للتغلب على هذة المشكلة وذلك بعمل بندول الساعة من معدنين مختلفين بحيث يكون تمدد المعدن الأول الى أسفل وتمدد المعدن الثانى الى أعلى ويظل طول البندول ثابت.

ثانيـــا : تمدد السوائل:

السوائل تتمدد ويزداد حجمها بزيادة درجة الحرارة، ويكون معامل تمددها الحجمي كبير بالمقارنة بالمواد الصلبة .الماء يشذ عن باقي السوائل حيث ان كثافة الماء تزداد بزيادة درجة الحرارة من 0 إلى 4 درجة مئوية وينكمش الماء وإذا ازدادت درجة الحرارة أكثر من 4 درجات مئوية فإن الماء يتمدد بزيادة درجة الحرارة وتتناقص كثافته. تكون كثافة الماء اكبر ما يمكن عند درجة حرارة 4 درجة مئوية (أنظر الشكل)



السوائل تأخذ شكل الأناء الذى تحوية ولذا عندما نتكلم عن تمدد السوائل لابد أن نأخذ فى الأعتبار تمدد الأناء وما نشاهدة من تمدد للسائل ليس فى الحقيقة تمدد تمدد السائل فقط انما هو بين التمدد الحقيقى للسائل وتمدد الأناء. أى أن للسائل تمدد حقيقى وتمدد ظاهرى:

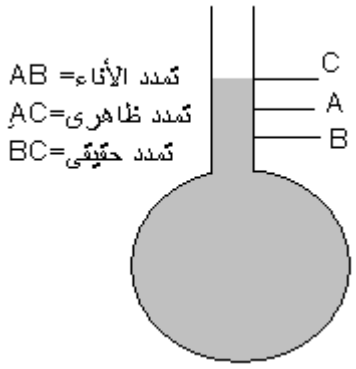
التمدد الحقيقى = التمدد الظاهرى +تمدد الأناء

$$\phi_r = \phi_a + \phi_c$$

التمدد الحقيقى للسائل : هو الزيادة الفعلية فى حجم وحدة الحجوم من السائل أذا رفعت درجة حرارتة درجة واحدة مئوية

التمدد الظاهرى للسائل : هو الزيادة الظاهرية فى حجم وحدة الحجوم من السائل أذا رفعت درجة حرارتة درجة واحدة مئوية

ولتوضيح العلاقة بين التمدد الظاهرى والتمدد الحقيقى أنظر الشكل الموضح أدناه :



نفرض ان لدينا وعاء زجاجى كما بالشكل يحتوى على كمية من السائل حتى التدريج A عند درجة الصفر المئوى وعند رفع درجة حرارة السائل الى T:

نفرض أن تمدد الوعاء والسائل قد حدث على حدة أى أن الوعاء تمدد أولا ثم أعقبة تمدد السائل بعد ذلك يكون حجم الوعاء عند درجة :T

$$= V_0\left(1 + \phi_c T\right)$$

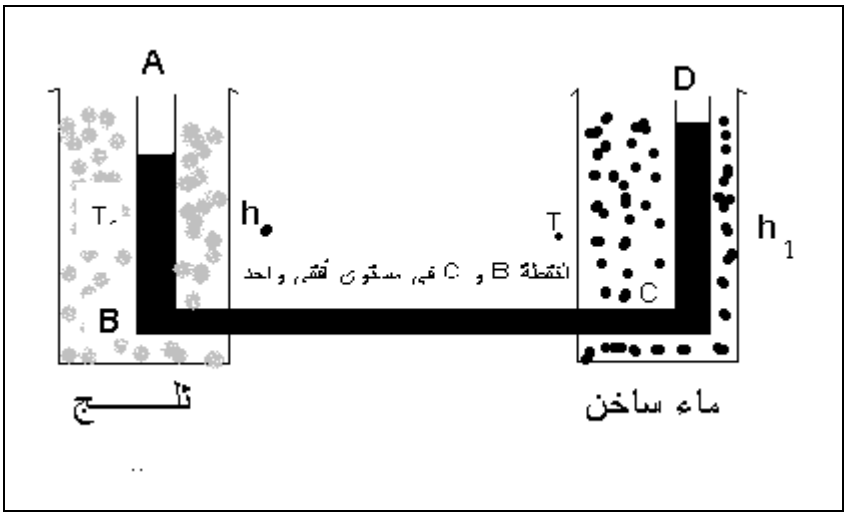
حيث هو معامل التمدد الحجمى للأناء . وحيث أن السائل لم يتمدد بعد فأن مستواه عند العلامه B وأذا بدأ السائل فى التمدد فأن حجمه يزيد حتى التدريج C وسيكون حجم التمدد من B الى C هو مقدار التمدد الحقيقى للسائل ومن ناحية أخرى لو أهملنا تمدد الوعاء يكون الفرق بين سطحى السائل عند A , C يكون هو التمدد الظاهرى أى أن :

تمدد الأناء +التمدد الظاهرى =التمدد الحقيقى

قياس معامل التمدد الحجمى لسائل:

دون الحاجة الى أخذ فى الاعتبار تمدد الوعاء الذى يحوى السائل ابتكر دوينج دبتى طريقة بسيطة لقياس معامل التمدد الحجمى لسائل ويتكون الجهاز المستخدم كما

بالشكل من أنبوبتين رأسيتين AB BC متصلتين بأنبوبة أفقية ذات مقطع صغيرBC وتحاط الانبوبةAB بجليد منصهر أما الأنبوبةCD تحاط بحمام مائى يمكن تسخينه الى درجات حرارة مختلفة



نفرض ان درجة حرارة الحما المائى هى T ودرجة حرارة الجليد المنصهر هى T_0 وعندما يثبت سطح السائل فى الانبوبتين فأن ضغط السائل عند النقطة B يساوى ضغط السائل عند النقطة C و حيث أن $T>T_0$ فأن كثافة السائل فى CD تكون أقل

من قيمتها فىAB وينتج من ذلك أن أرتفاع السائل CD فى يصبح أكبر من مثيلة فيِAB وبالتالى يكون:

$$P_C = P_B$$
$$p + h_0 \rho_0 g = P + h_1 \rho g$$

من المعادلة السابقة يتضح أن:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{h_1}{h_0}$$

ومن المعادلة التى توضح العلاقة بين كثافتى السائل عند درجتى حرارة مختلفتين:

$$\rho_0 = \rho\left[(1 + \Phi(T - T_0)\right]$$

بالتعويض نصل الى:

$$\frac{h_1}{h_0} = \left[(1 + \Phi(T - T_0)\right]$$

ومنها :

$$\frac{h_1 - h_0}{h_0} = \left[\Phi(T - T_0)\right]$$

أى أن:

$$\frac{h_1 - h_0}{h_0\left(T - T_0\right)} = \Phi$$

ثالثا: تمدد الغازات :

جميع الغازات تتمدد عند تسخينها ورفع درجة حرارتها , وحيث أن الأحجام تتوقف على الضغط فأنه من الضرورى حفظ الضغط عند دراسة زيادة الحجم مع درجة الحرارة. وايضا من ناحية أخرى أذا كان الهدف دراسة زيادة الضغط مع درجة الحرارة فأنه يثبت الحجم.

تنقسم الغازات الى نوعين:

- **ـغازات مثالية ولها قوانين خاصة بها**
- **غازات حقيقية والتى لا تنطبق عليها قوانين الغازات المثالية**

سلوك الغاز الحقيقى يقترب من سلوك الغاز المثالى عندما ينقص الضغط الى قيمة صغيرة جدا أو ترتفع درجة الحرارة الى قيم كبيرة أو كليهما معا

وعند دراسة سلوك الغاز يجب أخذ فى الأعتبار الحجم والضغط ودرجة الحرارة

قوانين الغاز المثالى:

هي مجموعة من القوانين التي تصف العلاقة بين حرارة وضغط وحجم الغازات . هذه القوانين استنتجت في أواخر عصر النهضة وبدايات القرن التاسع عشر.

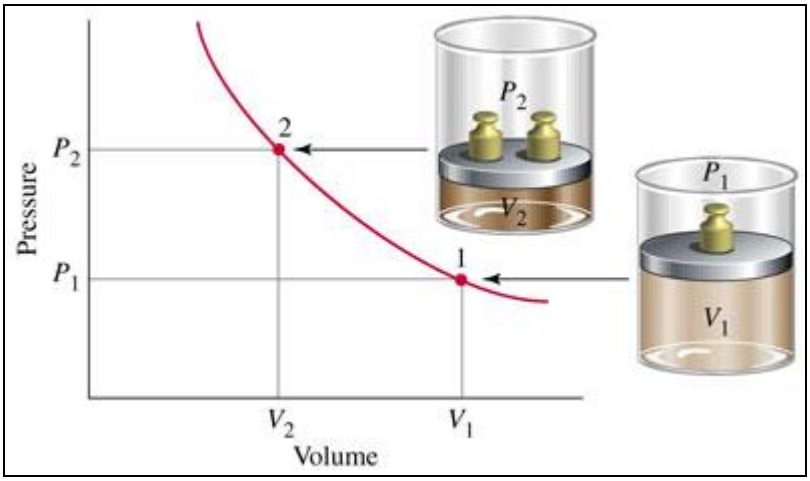
لا شك أن الغاز المثالي لا وجود له في الطبيعة ولكن في علم الفيزياء يتم وضع مثل هذه الفروض لتسهيل دراسة تأثير المتغيرات الفيزيائية في حالة ظروف مثالية لتسهيل المعادلات الرياضية والوصول إلى علاقات رياضية تحكم تصرف الغاز المثالي ثم يتم مقارنتها مع الغاز الحقيقي. والمتغيرات الفيزيائية هنا هي درجة

الحرارة والحجم والضغط، ولدراسة العلاقة بين هذه المتغيرات على الغاز المثالي سنقوم بتثبيت متغير واحد ودراسة العلاقة بين المتغيرين الآخرين، وهذا ما قام به العالمان بويل Boyle وتشارل Charle.

1-قانون بويل(1662، مختص بالضغط والحجم):

ينص قانون بويل على أن حجم كمية معينة من غاز يتناسب عكسيا مع ضغطه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة أى أن

Boyle's Law :When gas is kept at constant temperature its pressure is inversely proportional to the volume.



$$V\alpha\frac{1}{P}$$

$$PV = cons\tan$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

2-قانون شارل:

"عند ثبوت الضغط يتغير حجم كمية من غاز ما بصورة طردية مع درجة الحرارة المطلقة" أى ان تتمدد جميع الغازات بنسبة واحدة للزيادة المتساوية فى درجة

Charle's Law

When the pressure of the gas kept constant the volume directly proportional to the temperature

الحرارة . وقد وجد أن الغاز يتمدد بمقدار 273/1 من حجمه الأصلى فى درجة الصفر المئوى لكل أرتفاع فى درجة الحرارة قدره واحد درجة مئوية .ويمكن التعبير على هذة الحالة :

$$V = V_0(1 + \Phi T)$$

حيث Φ معامل زيادة الحجم عند ثبوت الضغط (التمدد الحجمى عند ضغط ثابت)

3-قانون الضغط:

عند ثبوت الحجم يزداد وينقص ضغط أى كمية من الغاز بمقدار 273/1 من قيمة ضغطه فى درجة الصفر المئوى وذلك عند أرتفاع درجة حرارته أو أنخفاضها بدرجة واحدة مئوية ,

$$P = P_0(1 + \beta T)$$

حيث أن β هو معامل زيادة الضغط عند ثبوت الحجم.

أثبات أن معامل زيادة الضغط عند ثبوت الحجم يساوى معامل زيادة االحجم عند ثبوت االضغط:

*** ضرب المعادلة التى تمثل معامل زيادة الحجم فى P_0 وضرب المعادلة التى تمثل معامل زيادة الضغط فى V_0 فبنتج الآتـــــى:**

$$P_0V = P_0V_0(1+\Phi T)$$

$$V_0P = V_0P_0(1+\beta T)$$

بقسمة المعادلتين :

$$\frac{P_0V}{PV_0} = \frac{(1+\Phi T}{(1+\beta T)})$$

من قانون بويل : $V_0 = \frac{C}{P_0}$ $\qquad V = \frac{C}{P}$

بالتعويض عن V و V_0

يكون:

$$\frac{P_0^{\,2}}{P^2} = \frac{(1+\Phi T}{(1+\beta T)})$$

ولكن: $P = P_0(1+\beta T)$

$$\frac{P_0^{\,2}}{P_0^{\,2}(1+\beta T)^2} = \frac{(1+\Phi T}{(1+\beta T)})$$

أى أن :

$$(1+\beta T)(1+\Phi T) = 1$$

وبأهمال المقدار $\beta\phi T^2$ لصغرقيمته ومع أهمال الأشارة ينتج أن :

$$\boxed{\beta = \phi}$$

القانون العام الغازات:

Ideal Gas Equation

الغاز المثالي هو الغاز الذي تنطبق عليه الشروط التالية:

(1) حجم جزيئات الغاز مهمل بالنسبة للوعاء الذي يحتويه.

(2) القوة المتبادلة بين الجزيئات مهملة ايضا والتصادمات بين جزيئات الغاز تصادمات مرنة.

(3) حركة الجزيئات حركة عشوائية.

تتحقق هذه الشروط للغاز الموجود عند درجات الحرارة العادية والضغط المنخفض، لذا يمكن اعتبار الغاز الموجود في الغرفة غازاً مثالياً. الغاز المثالي يخضع للمعادلة التالية يمكن كتابة قانون بويل على الصورة :

PV = RT Ideal Gas Equation

-قانون أفوجادر

هو قانون من قوانين الغازات سمى باسم العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو والذي استنتج القانون في عام.1811 عمل أميديو أفوجادرو على ايجاد العلاقة بين حجم وكمية معينة من الغاز تحت ضغط ودرجة حرارة ثابتين ومن خلال ابحاثه استنتج الأتي:

- **تحتوي احجام متساوية من غازات مختلفة عند نفس درجة الحرارة والضغط على عدد متساو من الجزيئات. إذن يكون عدد الجزيئات في حجم معين من الغاز مستقلا عن حجم أو كتلة جزيئات الغاز ويساوى 6.023×10^{23} ويسمى عدد أفوجادرو**
- **أذا أخذنا من كل غاز كتلة جرام جزيئى فأنه حجم الجرام الجزيئى فى معدل الضغط ودرجة الحرارة هى كمية واحدة لجميع الغازات = 22.4 لتر**

كمثال، يحتوي حجمين متساويين لذرتي الهيدروجين والنيتروجين على نفس عدد الجزيئات طالما كان لهم نفس الحرارة والضغط وملاحظة تصرفات الغازات المثالية عليهم.

في التطبيق العملي، يكون القانون تقريبيا فقط، إلا انه يوجد اتفاق على اعتبار هذا التقريب مفيدا.

الصيغة الرياضية للقانون هى:

$$\frac{V}{m} = R$$

حيث:

- **V:حجم الغاز.**
- **m: كمية المادة للغاز.**
- **R : ثابت الغاز.**

من أهم نتائج قانون أفوجادرو هي أن ثابت الغازات العام له نفس القيمة لكل الغازات. وبالتالي فإن الثابت يساوي:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2} = constant$$

حيث:

- **p: ضغط الغاز.**
- **T: حرارة الغاز.**

تطبيقات آخرى على تمدد الأجسام الصلبة

1- **يراعى تمدد القضبان فى مد قضبان السكك الحديدية فتترك فواصل بينهما بتمددها حتى لا يحدث تقوس للخط الحديدى عند ارتفاع درجة الحرارة. وعيب هذه الفواصل هو احداث ارتجاج بالقاطرات ويفضل الآن الاستغناء عن هذه الفواصل والعنايه بتثبيت قطبى السكة الحديد تثبيتا قويا. اذ أن تثبيت القضبان على الأرض بصورة جيدة يمنع تقوص هذه القضبان بالرغم مما قد ينشأ من قوى التمدد.**

2- **يستفاد من قوة الانكماش الشديدة فى تطويق العجلات الخشبية بأطواق حديدية وتستعمل نفس الفكرة فى تطويق عجلات عربات السكة الحديدية بأطواق منالفولاذ.**

3- تراعى أيضا خاصية التمدد فى عمل الكبارى فتجعل أطراف الكبارى غير مثبتة وتسند على عجل يسمح بتمددها دون أن تقتله العائق الذى ترتكز عليه.

4- يراعى التمدد أيضا فى المبانى الكبيرة والمنشات المدنية فتترك فواصل تسمح بالتمدد.

5- تصنع الأوانى الزجاجية التى تستعمل لتسخين السوائل من جدران رقيقة فتتحمل الحرارة وذلك لأن الزجاج ردئ التوصيل للحرارة فاذا استعمل وعاء زجاجى سميك فان الأجزاء المعرضة للهب تسخن وتتمدد قبل أن تصل الحرارة للأجزاء الداخلية زبذلك يتمدد السطح الخارجى بينما يبقى الداخل كما هو فينكسر الاناء. تستخدم أيضا لهذه الأغراض أنواع معينة من الزجاجيات تكون متميزة بمعامل تمدد ضئيل جدا مثل زجاج السيليكا والبيركس.

6- فى بعض الأجهزة الزجاجية يحتاج الأمر الى لحم أسلاك بها, لذا فان السلك الذى يلحم فى الزجاج بحيث أن يكون معامل تمدده مساويا لمعامل تمدد الزجاج حتى يظل الالتحام جيدا فى درجات الحرارة المختافة ويستعمل كثيرا فى هذه الأغراض مادة البلاتين. وقد أستعيض عنه حاليا بسبيكة أرخص مكونة من النيكل والصلب.

أمثلة محلولة ومسائل

مثال(1):

يظهر طول قضيب بأنه 50سم فى درجة الصفر المئوى, ما هو الطول الحقيقى للقضيب فى درجة 20م اذا كان معامل التمدد الطولى لمادة القضيب 0.000012/درجة مئوية

الحل

$$L = L_0(1+\sigma T_1)$$

=50(1+0.000012×20)

=50.01 cm

مثال(2):

صفيحة من الصلب طولها 80 سم وعرضها 50 سم فى 10 درجة مئوية احسب مساحتها فى 100 درجة مئوية علما بأن معامل التمدد الطولى للصلب= 0.000011 /درجة مئوية

الحل

معامل التمدد السطحى = ضعف معامل التمدد الطولى

$$\beta = 2o$$

=2×0.000011 =0.000022

$$S_2 = S_1\left(1+\beta(T_2 - T_1\right)$$

= (80×50){1+0.000022×(100-10)}

=4000{1+0.00198}

=4007.92 cm^2

مثال(3):

بندول ثوان يتركب من كرة صغيرة من البلاتين متصلة فى نهاية قضيب رفيع من النحاس الصفر, فاذا كان البندول يضرب الثوانى مضبوطة فى درجة الصفر . فما مقدار ما يؤخره فى اسبوع كامل بفرض أن متوسط درجة الحرارة كان 10 درجة مئوية علما بأن معامل تمدد النحاس الأصفر= 1.9×10^{-5} /درجة كئوية

الحل

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{2} o \Delta T$$

= ½ ×1.9×10^{-5} {7×24×60×60}×10

=57.5 sec

مثال 4

سلك من الصلب قطره 2 مم مثبت وهو فى درجة 20 درجة مئوية بين نقطتين المسافة بينهما 3 متر فما مقدار الشد الذى يقع علية السلك علما بأن:

معامل ينج لمادة السلك =2.1 ×10^{12}

معامل التمدد الطولى لمادة السلك = 0.000011 /درجة

الحل

$$Y = \frac{F}{A} \frac{1}{\sigma(T_2 - T_1)}$$

قم بالتعويض على القيم المعلومة لتحصل على

$$F = 14.507 \times 10^6 dyne$$

مثال 5

فى تجربة دوينج ويبتى كان أرتفاع العمود البارد هو 60 سم فى درجة 4 مئوية وأرتفاع العمود الساخن هو 60.5 سم فى درجة 95 درجة مئوية فما قيمة معامل التمدد الحجمى للسائل

الحل

$$\frac{h_1 - h_0}{h_0\left(T - T_0\right)} = \Phi$$

بالتعويض يمكن الحصول على المطلوب ويساوى 0.000092 /درجة مئوية