الفصل الخامس

5. الحرارة

مقدمة:

إن دراسة الحرارة والخواص الحرارية للمادة تعني دراسة الطاقة للمواد واستعمالاتها. يمكن تفسير الظاهرة الحرارية ابتداء من جزيئات المادة وذلك وفقاً للمبدأ التالي وهو أن درجة حرارة المادة يمكن اعتبارها أساساً لقياس الطاقة الحركية لجزيئاتها.

سنلقي الضوء في بداية هذا الفصل على بعض التعاريف والمفاهيم الخاصة التي تخص الحرارة كالطاقة الداخلية وكمية الحرارة ثم التعريف بالسلالم الحرارية المستخدمة وأنواعها.

يلعب مفهوم الحرارة دوراً هاماً في الفيزياء وكذلك في علوم الحياة، إن مفهوم الحرارة مرتبط بمتوسط الطاقة الحركية للذرات والجزيئات المكونة للجملة وسيفيدنا ذلك في حساب الكتلة الجزيئية للجملة المدروسة.

إن دراسة الحرارة والخواص الحرارية للمادة تعني دراسة:

5. 1. مفهوم درجة الحرارة

درجة الحرارة هي العدد الذي يدل على مقدار سخونة الجسم أو برودته مقاساً ب أي مقياس اختياري لدرجات الحرارة، ومن ثم فإن درجة الحرارة لأي جسم ما هي إلا مقياساً للطاقة الداخلية النوعية لهذا الجسم بمعنى أن الجسم الذي لجزيئاته طاقة داخلية نوعية كبيرة تكون درجة حرارته مرتفعة.

5. 2. الطاقة الداخلية النوعية (U) للجسم

هي متوسط الطاقة الداخلية للجزيئات التي تتضمنها واحدة الكتل.

5. 3. الطاقة الداخلية للجسم

تتكون المادة مهما كان شكلها، صلبة أو سائلة أو غازية من ذرات، وهذه الذرات دائمة الحركة في جميع الاتجاهات ومجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة يسمى بالطاقة الداخلية للجسم.

5. 4. كمية الحرارة (الحرارة)

الحرارة شكل من أشكال الطاقة، ويمكن اعتبارها الطاقة الداخلية في الحالة الانتقالية للجسم، فعند تماس جسمين أحدهما ساخن والآخر بارد، فإن الجسم البارد ترتفع درجة حرارته، والجسم الساخن تنخفض درجة حرارته، فهذا يدل على أنه حصل تبادل بالطاقة الداخلية بين الجسيمين، ويتوقف هذا التبادل الحراري عندما تتساوى درجة حرارة الجسمين، بمعنى أنه عندما يتلامس جسيمان، فإن الطاقة الداخلية تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، بغض النظر عن أي الجسمين يمتلك طاقة داخلية أكبر من الآخر، تقاس كمية الحرارة في الجملة الدولية كالطاقة بالجول، وتقاس بوحدات حرارية أخرى تسمى الحريرة، وتعرف الحريرة بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء النقي درجة مئوية واحدة.

السعة الحرارية

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة واحدة (كلفن)، وتقدر بوحدة جول/درجة (J/K^0).

5. 5. مقياس درجة الحرارة

لصنع مقياس لدرجة الحرارة، يلزم اختيار خاصية من الخواص الفيزيائية، التي تتغير بتغير درجات الحرارة، مثل تمدد السوائل أو الغازات أو تغير مقاومة سلك البلاتين، أو غير ذلك. ويلزم أيضاً اختيار عدداً من درجات الحرارة الثابتة، مثل درجة انصهار الجليد، ودرجة غليان الماء ودرجة غليان الكبريت، ودرجات انصهار بعض المعادن النقية.

5. 6. سلالم درجات الحرارة

في هذا السلالم النقطتان الثابتتان هما درجة انصهار الجليد، وهي النقطة السفلى (0^oC)، ودرجة غليان الماء في الضغط الجوي العادي، وهي النقطة العليا وأعطيت القيمة 100^oC، وقسم التدريج بين هاتين النقطتين إلى 100 قسم متساوٍ، وأطلق على كل منها درجة مئوية (درجة سلزيوس C^o)، ويرمز لدرجة الحرارة المقاسة على هذا السلم بالرمز t_c، ويسمى هذا السلم أحياناً بسلم سلزيوس نسبة إلى الفلكي السويسري الذي ابتكر هذا المقياس سنة 1742م.

5. 7. سلم فهرنهايت

لقد أدخل هذا السلم سنة 1709م، وهو يرجع إلى الفيلسوف الألماني الحامل لهذا الاسم، وفي هذا المقياس النقطة الثابتة الصغرى هي درجة انصهار الجليد، وأعطيت القيمة ($32\ F^o$)، والنقطة الثابتة العظمى هي درجة غليان الماء في الضغط الجوي العادي، وأعطيت القيمة ($212\ F^o$)، أي أن عدد أقسام التدريج 180 قسماً متساوياً أطلق على كل منها درجة فهرنهايت، ويرمز لدرجة الحرارة بالرمز t_F.

5. 8. السلم المطلق

يعرف الصفر المطلق، بأنه درجة الحرارة التي يتلاشى عندها حجم الغاز، نظرياً مع ثبوت الضغط، وهذه الدرجة على السلم المئوي هي (273.15 مْ) والعلاقة بين مقياس كلفن، والسلم المئوي يمكن أن تكتب كالتالي:

$$T_K = t_0 + 273.15K^o \qquad (\mathbf{5.1})$$

حيث T_K درجة الحرارة على مقياس كلفن، وT_C درجة الحرارة على المقياس المئوي.

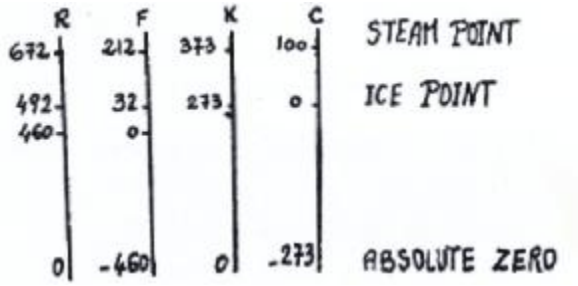
من هذه العلاقة نجد أن صفر السلم المطلق يقع أسفل صفر السلم المئوي بمقدار (273.15^o)، ويقسم السلمان بنفس الكيفية وقد ثبت حديثاً أن النقطة الثلاثية للماء (الدرجة التي يجتمع فيها الجليد والماء وبخار الماء في حالة اتزان)، وهي ($0.01\ C^o$) أدق وأثبت من درجة حرارة انصهار الجليد، وقد اختيرت النقطة الثلاثية للماء النقطة الثابتة الوحيدة على السلم المطلق المئوي الذي يسمى سلم كلفن، وعلى ذلك فإن وحدة درجة الحرارة على مقياس الديناميكا الحرارية (مقياس كلفن) تساوي $1/273.15$ من درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء على نفس المقياس ويرمز لها بالرمز (K).

أما صفر السلم المطلق فيقع على سلم فهرنهايت عند ($-459.67\ F^o$)، وتعرف درجة الحرارة المطلقة الفهرنهايتية بالمعادلة:

$$T_R = t_0 + 459.67^o R \qquad (\mathbf{5.2})$$

ويسمى هذا السلم بسلم رانكين، نسبة إلى علاقة العالم رانكين ويقسم سلم رانكين بنفس الكيفية التي يقسم بها السلم الفهرنهايتي، وتكون العلاقة بين سلم رانكين وسلم كلفن كالآتي:

$$T_R = \frac{9}{5} T_K \qquad (\mathbf{5.3})$$

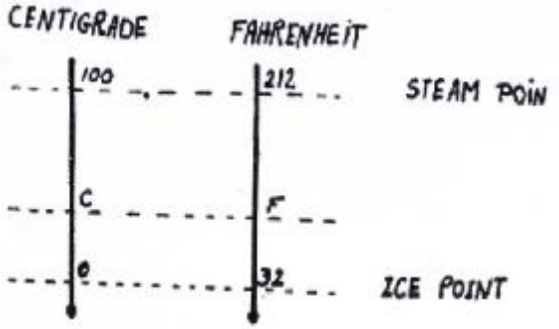


الشكل (5.1)

5. 9. العلاقة بين سلالم درجات الحرارة

نفرض أن درجة حرارة جسم ما، مقاساً على السلمين المئوي والفهرنهيتي، الشكل (5.2)، هي (F, C) على الترتيب، فتكون التدريجات بين سطح الزئبق والنقطة السفلى $(C\text{-}0)$ و$(F, 32)$ على الترتيب، وتكون النسبة بين أي تدريج والتدريج الأساسي المقابل له ثابتة أي أن:

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



الشكل (5.2)

مثال (1)

حول درجات الحرارة التالية من الفهرنهايت إلى الدرجة المئوية:

أ) $97.8\ F^o$ ب) $0\ F^o$ جـ) $-34\ F^o$

الحل:

أ)
$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32)$$
$$t_C = \frac{5}{9}(97.8 - 32)$$
$$t_C = 36.55\ \ C^o$$

ب)
$$t_C = \frac{5}{9}(0 - 32) = -17.78\ \ C^o$$

جـ)
$$t_C = \frac{5}{9}(.34 - 32) = -36.66\ \ C^o$$

مثال (2)

حول درجات الحرارة التالية من التدريج المئوي إلى التدريج الفهرنهايتي:

أ) $30\ C^o$ ب) $-4\ C^o$ جـ) $-243\ C^o$

الحل:

أ)
$$t_F = \frac{9}{5}t_C + 32$$
$$t_F = \frac{9}{5}(30) + 32$$
$$= 86\ F^o$$

ب)
$$t_F = \frac{9}{5}(-4) + 32$$
$$= 24.8\ F^o$$

جـ)
$$t_F = \frac{9}{5}(-234) + 32$$
$$= -405.4\ F^o$$

مثال (3)

حول درجات الحرارة التالية إلى سلم كلفن:

أ) $26\ C^o$ ب) $-53\ C^o$ ج) $60\ C^o$

الحل:

أ)
$$t_K = t_C + 273.15$$
$$t_K = 26 + 273.15$$
$$t_K = 299.15\ \ \mathrm{K}^o$$

ب)
$$t_K = -53 + 273.15$$
$$t_K = 220.15\ \ \mathrm{K}^o$$

ج)
$$t_K = 60 + 273.15$$
$$t_K = 355.15\ \ \mathrm{K}^o$$

5. 10. التعبير الرياضي للسلم الحراري

إذا رمزنا إلى أي خاصة من الخواص الطبيعية التي تتغير بتغير درجة الحرارة بالرمز (X)، وكانت (x_0, x_{100}, x_1)، تمثل قيم هذه الخاصية عند النقطة الثابتة الصغرى، الخاصية والنقطة الثابتة العظمى، والدرجة المجهولة (t) على الترتيب، فإن قيمة التغير في المناظر لدرجة واحدة لكل من تدريجي سلسيوس وكلفن هو:

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

$$t = \frac{x_t - x_0}{x_{100} - x_0}.100C^o$$

وبالمثل بالنسبة للسلم الفهرنهيتي فإن:

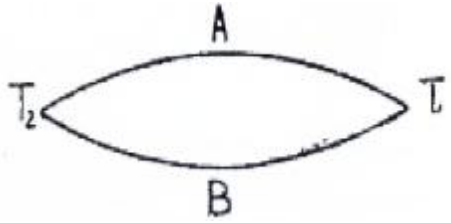
$$\frac{x_t - x_{32}}{t - 32} = \frac{x_{212} - x_{32}}{180}$$

$$t = \frac{x_t - x_{32}}{x_{212} - x_{32}}.180 + 32F^o$$

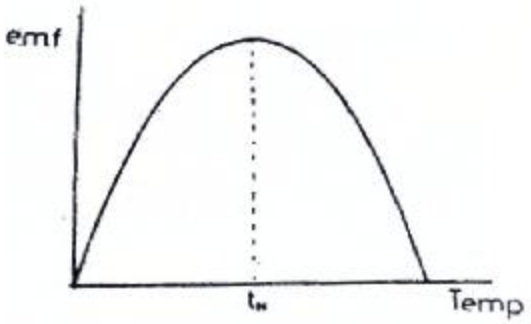
وحيث أن الخواص الفيزيائية لا تتغير جميعها بنفس الكيفية، ولا بنفس المعدل، فإن لكل خاصية سلماً حرارياً خاصاً بها، أي أن درجة حرارة جسم ما مقاساً على سلم خاصية معينة، تختلف عن درجة حرارة الجسم نفسه لو قيست على سلم خاصية أخرى.

5. 11. ميزان الازدواج الحراري

اكتشف سيبك في عام 1821م التأثير الكهرحراري وذلك بتوصيل سلكين من معدنين مختلفين مع بعضهما عند نهايتهما فإذا كانت إحدى النهايتين ساخنة، والأخرى باردة الشكل (5.3) فإن قوة محركة كهربائية تتكون في هذه الدارة، وينشأ عنها مرور تيار كهربائي في الدارة، ولقد وجد أن القوة المحركة الكهربائية المتولدة، والتيار الكهربائي المار يعتمدان على كل من طبيعة المعدنين المستخدمين وعلى الفرق بين درجتي حرارة النهايتين، ويمكن قياس القوة المحركة الكهربائية الناتجة بقطع أحد السلكين، وتوصيله بمقياس فولط مناسب، ولقياس درجة الحرارة بهذا الميزان، يدرج الميزان أولاً بوضع إحدى النهايتين في جليد مجروش قبيل الذوبان، ووضع النهاية الأخرى في درجات حرارة معلومة، يرسم المنحني الشكل (5.4) بين القوة المحركة الكهربائية، وبين درجة الحرارة المقابلة لها. توضع النهاية الساخنة بعد ذلك في الجسم المراد إيجاد درجة حرارته، وتقاس القوة المحركة الكهربائية الناتجة، ومن المنحني البياني يمكن إيجاد درجة الحرارة المطلوبة.



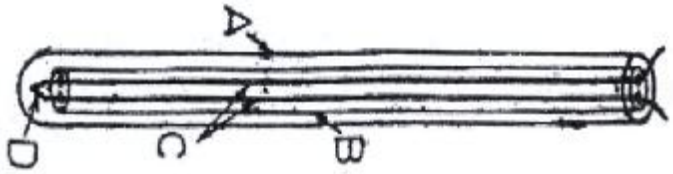
الشكل (5.3)



الشكل (5.4)

ودرجة الحرارة التي تكون عندها القوة المحركة الكهربائية أكبر ما يمكن، تسمى بدرجة التعادل، ويجب أن يختار الازدواج الحراري بحيث تكون درجة تعادله أكبر من الدرجة المطلوب قياسها.

يعزل السلكان (*C*) كما في الشكل (5.5) عن بعضهما بإمرار كل منهما في ثقب أسطواني في أنبوبة حرارية (*B*) من الخزف، ويغلف الجميع بأنبوبة حرارية أخرى (*A*) من نفس المادة، وذلك لحماية الازدواج من الغازات الفعالة، أو الأبخرة المعدنية التي قد توجد داخل الفرن المراد قياس درجة حرارته، (*D*) هو التصاق النهايتين للازدواج، ويبرز خارج الأنبوبة (*B*) بحوالي (*0.5 cm*).



الشكل (5.5)

لقياس درجات الحرارة حتى ($300\ C^o$) يستخدم ازدواج حراري مكون من سلكين، أحدهما من النحاس، أو الحديد والآخر من الكونستنتان (الكونستنتان عبارة عن سبيكة من النحاس والنيكل)، يعطى مثل هذا الازدواج حوالي *5*

ميكرو فولت لكل فرق في درجة الحرارة قدرها ($1\ C^o$) بين النهايتين. تحسب درجة حرارة النهاية الساخنة (t)، باستخدام العلاقة التالية:

$$e = at + bt^2 + ct^3 \qquad (5.4)$$

حيث (a ,b ,c) ثوابت يمكن تعيينها بقياس القوة المحركة الكهربائية، عند وضع النهاية الساخنة في ثلاث درجات حرارة معلومة $100C^o$ و$200C^o$ و$300C^o$، على التوالي، فتكون دقة القياس في المدى المذكور هي $0.2C^o$ كما يمكن استخدام نفس الازدواج في المدى من $-190C^o$ إلى $0C^o$، بنفس المعادلة، ولكن بثوابت جديدة يمكن تعيينها باستخدام درجات حرارة منخفضة معلومة، ولا يحسن استخدام هذا الازدواج في درجات حرارة أعلى من $330C^o$ حيث يتأكسد النحاس في هذه الحالة، وتتغير أبعاد الأسلاك مما يترتب عليه خطأ، وباستخدام أسلاك غليظة من الحديد والكونستنتان أمكن استخدام الازدواج الحراري للأغراض الصناعية لقياس درجات حرارة تقرب من $750C^o$، ولقياس درجات حرارة تصل إلى $1100C^o$ يمكن استخدام ازدواج حراري مكون من سلكين أحدهما من سبيكة من النيكل والكروم والآخر من سبيكة من النيكل والألمنيوم، ولدرجات حرارة تصل إلى $1500C^o$ يستخدم سلكان أحدهما من البلاتين والآخر من سبيكة من البلاتين والروديوم، وتستخدم المعادلة:

$$e = at + bt + ct^2 \qquad (5.5)$$

في المدى من $630C^o$ إلى $1063C^o$. (a ,b ,c)، ثوابت يمكن تعيينها بتعيين (e) في درجات انصهار الأنتميون والفضة والذهب، يكون الازدواج في هذه الحالة ازدواجاً عيارياً، الجدول (5.1).

يسمى المقدار التفاضلي $\frac{de}{dt}$ الاستطاعة الكهروحرارية. وهى تساوي صفراً عند درجة التعادل.

الجدول (5.1)

درجة الحرارة (مْ)	النحاس والكنستنتان (مللي فولت)	نيكل كروم نيكل ألمنيوم (مللي فولت)	بلاتين بلاتين وروديوم (مللي فولت)
100	4	4.1	0.64
200	9	8.1	1.44
300	15	12.2	2.32
400	-	16.3	3.25
600	-	24.9	5.22
800	-	33.3	7.33
1000	-	41.3	9.57
1500	-	-	15.50

بالنسبة للازدواج المستخدم في صناعة الحديد والصلب، فإنه يغلف بطبقة رقيقة من السيليكا، ويصنع بحيث يمكن أخذ القراءة به لمدة بضع ثوان ثم يسحب مباشرة من الفرن فمثلاً إذا كان قطر السلك في الازدواج هو (*1.3mm*)، وسمك غلاف السيليكا عليه (*0.5 mm*) فإن زمن القراءة لا يزيد عن ثلاث ثوان، ويجب أن يستبدل الغلاف بغلاف جديد بعد كل قراءة، وأن يستبدل الازدواج نفسه بازدواج جديد بعد كل *12* قراءة.

5. 11. 1. المعادن والسبائك المستخدمة في الإزدواجات الحرارية

عند الالتصاق البارد يمر التيار الكهربائي في دائرة الازدواج من أحد السلكين إلى السلك الآخر، وقد اصطلح على اعتبار السلك الذي يمر منه التيار موجب والذي يمر إليه التيار سالباً، وهناك مجموعتان من الأسلاك الشائع استخدامها لهذا الغرض هما مجموعة المعادن الثمينة ومجموعة معادن الأساس

والجدولين الجدول (5.1) والجدول (5.2) يبينان أنواع المجموعتين ومدى درجات الحرارة المستخدمة من أجل كل نوع.

الجدول (5.2)

مجموعة المعادن الثمينة *Precious Croup*

أقصى درجة حرارة	السلك السالب	السلك الموجب
1400^oC	بلاتين	سبيكة من: بلاتين 90% روديوم 10%
1400^oC	بلاتين	سبيكة من: بلاتين 87% روديوم 13%
1700^oC	سبيكة من: بلاتين 80% روديوم 20%	سبيكة من: بلاتين 95% روديوم 5%
1900^oC	سبيكة من: بلاتين 60% روديوم 40%	سبيكة من: بلاتين 80% روديوم 20%

مجموعة معادن الأساس

أقصى درجة حرارة	السلك السالب	السلك الموجب
400^oC	كنستنتان سبيكة من: بلاتين 87% روديوم 13%	نحاس أحمر *Copper*
850^oC	كنستنتان	حديد
1100^oC	*Alumel* (لومل) سبيكة من: نيكل 94% الومنيوم 2% سيليكون 4% منجنيز 4%	*Chromel* (كرومل) سبيكة من: نيكل 90% كروم 10%

مثال

وضع الالتصاق الساخن لإزدواج حراري من الحديد والكونستنتان في درجة مجهولة والبارد في الدرجة $20C^o$ وقيست القوة المحركة الكهربائية المتولدة فوجد أنها ($-4.09\ mV$) أوجد الدرجة المجهولة.

الحل

من جدول المعايرة للازدواج المستخدم نجد أن:

القوة المحركة الكهربائية (E^2) المتولدة عندما يكون الساخن في الدرجة ($20C^o$) والبارد في الدرجة ($0C^o$) هي ($1.019\ mV$)

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = 4.09 + 1.019 = 5.109\text{mV}$$

وهذه هي القوة المحركة الكهربائية المقابلة للملحم الساخن في الدرجة المجهولة والبارد في درجة الصفر ومن الجدول نجد أن درجة الحرارة المقابلة هي $97C^o$.

5. 12. الترمومترات الغازية

تمتاز هذه الموازين الحرارية بالميزات التالية:

1- تعد الغازات مثالية فهي لا تتحول إلى سائل بسهولة.

2- يمكن الحصول على الغازات في درجة عالية من النقاوة.

3- للغازات معامل تمدد أكبر بكثير من معامل تمدد الزئبق وعلى ذلك فموازين الحرارة الغازية ذات حساسية عالية.

4- الغازات النقية لها معامل تمدد منتظم وعلى ذلك فهي تتمدد بنفس المعدل في جميع درجات الحرارة بخلاف الزئبق.

5- تعتبر موازين الحرارة الغازية عيارية وتستخدم لمعايرة الموازين الحرارية الأخرى.

6- لها مدى واسع حيث يمكن استخدامها بين $2500\text{-}265C^{o}$ بما أن حجم وضغط كمية معينة من الغاز تتغيران بتغير درجة الحرارة فعلى ذلك يوجد نوعان من الموازين الغازية.

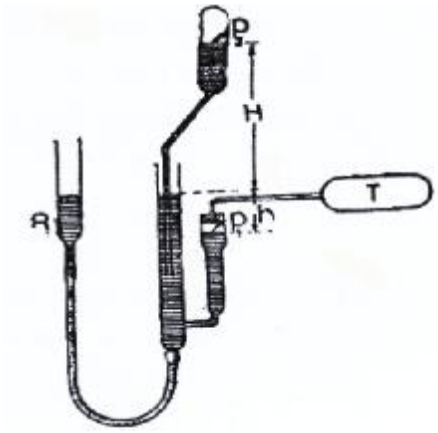
أ- موازين حرارية يثبت فيها حجم الغاز

ب-موازين حرارية يثبت فيها الضغط

5. 13. ميزان الحرارة الغازي ذو الحجم الثابت

يتركب الميزان الغازي العياري الشكل (5.6)، من المستودع (T) الذي يملأ بالغاز النقي الجاف، يتصل المستودع بأنبوبة شعرية، تنتهي في الطرف المغلق لمانومتر زئبقي. يتصل المانومتر بمستودع (R)، به زئبق عن طريق أنبوبة مرنة، بحيث يمكن رفع المستودع أو خفضه، ينكسر في الطرف المفتوح من المانومتر أنبوبة بارومترية لقياس الضغط الجوي.

نضع (T) في جليد مجروش، ونرفع المستودع (R)، أو نخفضه حتى يلامس سطح الزئبق السن العاجي (P_1)، ونرفع الأنبوبة البارومترية ونخفضها حتى يلامس سطح الزئبق السن العاجي (P_2).



الشكل (5.6)

ضغط الغاز (P_0) = الضغط الجوي + الفرق بين ارتفاعي الزئبق في المانومتر. أي أن :

$$P_0 = h_0 + H$$

نضع (T) في بخار الماء الذي يغلي في الضغط الجوي العادي، ونكرر العملية السابقة حتى يلامس سطح الزئبق السنين (P_1, P_2) مرة أخرى لكي يظل حجم الغاز ثابتاً في كل حالة.

$$P_{100} = h_{100} + H$$

وأخيراً نضع (T) في الجسم المراد قياس درجة حرارته، ويضبط الترمومتر كما سبق

$$P_t = h_t + H$$

وباستخدام العلاقة الرياضية:

$$t = \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0}.100C^o \qquad (5.6)$$

5. 14. الكتل الجزيئية

إن الطاقة الحركية لجزيئة تتبع كتلتها، أيضاً الطاقة الحركية لمجموعة جزيئات تتبع الكتلة الجزيئية لمجموعها، ونتيجة لذلك نقول ان الحرارة والضغط لمجموعة جزيئات تتبع كل من هذه الجزيئات المدروسة.

لنأخذ عينة صغيرة من غاز نقي تحتوي على عدد من الذرات كغاز الهيليوم (He)، أو بخار الآرغون (Ar) مثلاً تلك الغازات تكون وحيدة الذرة. أما الغازات ثنائية الذرة فتكون كالأكسجين O_2 الآزوت N_2 أما العديدة الذرة فتذكر على سبيل المثال النشادر NH_3.

إن كتل الذرات أو الجزيئات الغازية يمكن حسابها باعتماد ذرة الكربون ^{12}C التي تحتوي على $6n+6p$ في نواتها أي 12 مكوّن عنصري (U) والذي

بدوره يساوي:

$$1(U) = 1.660.10^{-27} Kg$$

هذا صحيح بالنسبة للكربون ^{12}C، وبما أن الكربون الطبيعي يحتوي على نسبة ضئيلة من التغير ^{13}C أي بزيادة نترون واحد في النواة فيصبح لدينا متوسط الكتلة العنصرية للكربون الطبيعي مساوياً $12.011U$ وفق هذه الفأرة يمكن أن نحسب الكتلة الجزيئية لغاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2.

مثال:

أوجد الكتلة الجزيئية لغاز ثاني أوكسيد الكربون، وكذلك لغاز الهيدروجين، علماً بأن كتل الذرات $H=1.008U$، $O=15.999U$، $C=12.011U$.

الحل: كتلة جزئية CO_2

$$\begin{aligned} M(CO_2) &= M(C) + 2M(O) \\ &= 12.011\ U + 2(15.999\ U) \\ &= 44.009\ U \end{aligned}$$

$$M(H_2) = 2M(H) = 2(1.008\ U) = 2.016\ U$$

مثال:

لدينا وعاء يحتوي على $2\ kg$ من غاز CO_2 ما هو عدد جزيئات CO_2 الموجودة في هذا الوعاء.

الحل: شاهدنا سابقاً أن الكتلة الجزيئية لغاز CO_2 يساوي إلى 44.009 وبذلك يكون عددي جزيئات غاز CO_2 يساوي:

$$n = \frac{2000g}{44.009.mole^{-1}} = 45.5 moles$$

مسائل الفصل الخامس

1- عرف ما يلي:

أ) الطاقة الداخلية ب) درجة الحرارة ج) كمية الحرارة

2- اشرح كيف يمكن صنع مقياس ترمومتري - ثم اشرح نوعين من التداريج لهذا المقياس.

3- اشرح موضحاً بالرسم الترمومتري الغازي ذو الحجم الثابت

4- اشرح موضحاً بالرسم الترمومتر البلاتيني

5- ما هو الازدواج الحراري - وكيف يمكن استخدامه كمقياس ترمومتري وما هي أهم مميزاته.

6- عدد مميزات الترمومترات الغازية.

7- حول درجات الحرارة التالية إلى سلم كلفن

أ) $(-60F^o)$ ب) $(220F^o)$ ج) $(-20F^o)$

8- حول درجات الحرارة التالية من الفهرنهايت إلى الدرجة المئوية

أ) $(90F^o)$ ب) $(10F^o)$ ج) $(-50F^o)$

9- حول درجات الحرارة التالية من التدريج المئوي إلى التدرج الفهرنهايتي

أ) $(20C^o)$ ب) $(-6C^o)$ ج) $(-200C^o)$

10- إذا كانت درجة الحرارة التي ينصهر عندها الذهب هي $1064C^o$ ودرجة غليانه $3080C^o$ حول هذه الدرجات المئوية إلى الفهرنهايت

11- إذا كان طولا عمود الزئبق في ساق ترمومتر عند درجة تجمد الماء ودرجة غليانه على الترتيب هما *15 cm* و*25 cm* احسب درجة الحرارة التي يكون فيها طول العمود *22 cm*

12- ما هي درجة الحرارة التي يكون لمقياس سلسيوس وفهرنهايت عندها القيمة العددية نفسها.

13- حول كلاً مما يلي إلى سلم فهرنهايت ورانكين

أ) $(30C^o)$ ب) $(5C^o)$ جـ) $(-20C^o)$