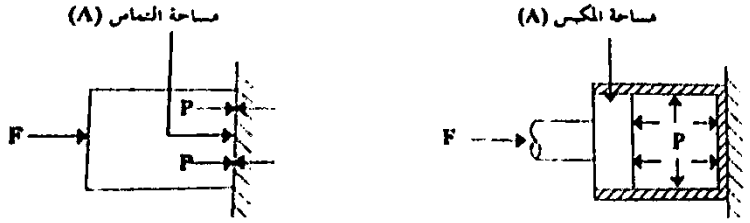
المركز البحثي	مركز بحوث المواد النانوية
القسم	قسم التطبيقات النانوية
المادة باللغة الانجليزية	Thermodynamics
المادة باللغة العربية	الثرموديناميك
المرحلة الدراسية	الثانية
اسم التدريسي	عمر صلاح الدين شوقي
عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية	Pressure and Temperature
عنوان المحاضرة باللغة العربية	الضغط ودرجة الحرارة
رقم المحاضرة	الثانية
المصادر والمراجع	Craig Bohren & Bruce Albrecht Atmospheric Thermodynamics (الطبعة الثانية، ٢٠٢٣

المفهوم الميكانيكي للضغط Mechanical Concept of Pressure

الضغط هو القوة المسلطة عمودياً على وحدة السطوح ويرمز له P، فعند تسليط قوة مقدارها F على جسم صلب موضوع على جدار مساحة تماسه A فسيكون هنالك ضغط مسلط عمودياً على سطح التماس مقداره) P = F/A وسينتقل باتجاه القوة المسلطة، واذا سلطت قوة مقدارها F على مكبس مساحة مقطعه A فسيكون هنالك ضغط مسلط على المائع مقداره(P = F/A) وسينتقل الى جميع الاتجاهات في الاسطوانة كعملية نفخ كرة مطاطية حيث تنتفخ في جميع الاتجاهات، كذلك عندما يملأ اطار سيارة بالهواء فسيولد الهواء المضغوط دفعاً او قوة على السطح الداخلي للإطار بسبب اصطدام جزيئات الهواء على السطح.



الضغط العمودي على وحدة السطوح

للضغط المسلط على المواد اهمية كبيرة حيث ان درجة حرارة الانصهار للمواد الصلبة ونقطة غليان السوائل والحجم المشغول بالغازات والابخرة ومعظم خواص المواد تعتمد على الضغط المسلط عليها.

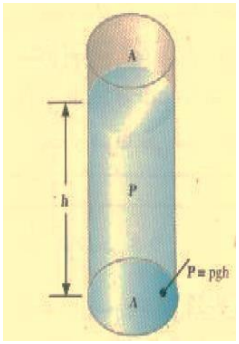
الضغط الذي يسببه عمق المائع Pressure Caused by the Depth of the Fluid:

لحساب الضغط الذي يسببه عمق المائع نفترض وجود خزان غير محاط بالهواء)اي ان الضغط لا يؤثر عليه(يحتوي على مائع كثافته ρ، فلو اخذنا مقطعاً طولياً لهذا المائع ارتفاعه h

ومساحة مقطعه A فستكون كتلة هذا المقطع ($m = V\rho$) وحجمه ($V = A\ h$) اما الضغط فيحسب كالآتي:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m\,g}{A} = \frac{\rho\,A\,h\,g}{A} = \rho\,g\,h$$

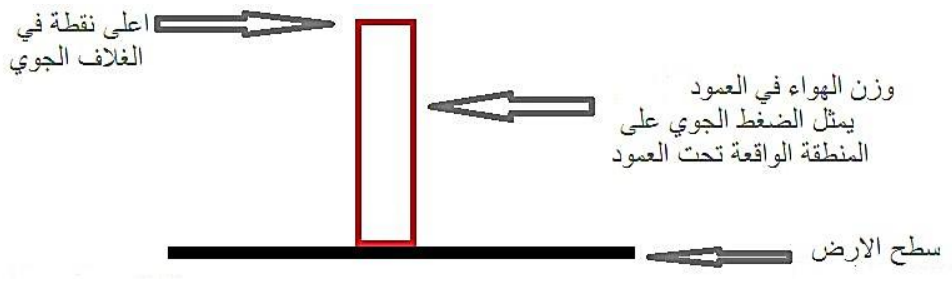
$$= \frac{Kg}{m^3}\,\frac{m}{S^2}\,m = \frac{N}{m^2} = Pa$$



ضغط عمود المائع

الضغط الجوي :

ان الهواء الجوي المحيط بالكرة الارضيه الى عدة كيلومترات فوق سطحها يولد ضغطاً على سطحها نتيجة لوزنه فوق هذا السطح ويسمى بالضغط الجوي (P_{atm})، ويعرف بأنه الضغط الذي يولده عمود من الهواء طوله مساوٍ لارتفاع الغلاف الجوي فوق سطح الارض، قيمته عند سطح البحر ($١٠١٣٢٥\ N/m^{٢}$) ولا يشعر الانسان به لتساوي ضغطه مع الضغط الجوي، تنخفض هذه القيمة كلما انخفض ارتفاع الضغط الجوي فمثلاً عند قمة جبل ايفرست)اعلى قمة جبل في العالم(تكون ($40000\ N/m^4$) وتنعدم قيمته في الفراغ المحيط بالكرة الارضية.

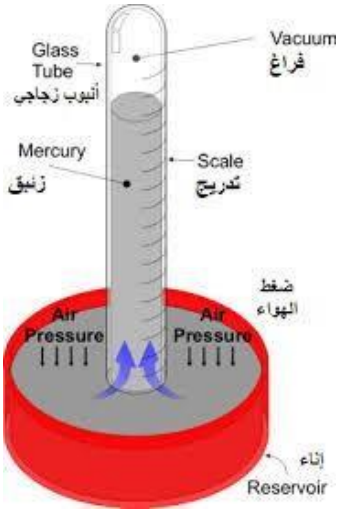


الضغط الجوي

ان المناطق ذات الضغط الجوي المنخفض لها كتلة غلاف جوي أقل، بينما المناطق ذات الضغط الجوي المرتفع لها كتلة غلاف جوي أكثر من غيرها. كلما زاد الارتفاع عن سطح البحر قَلَّ الضغط الجوي، والعكس صحيح. يتكون الضغط الجوي المنخفض عندما ترتفع درجة الحرارة إذ يؤدي هذا إلى تسارع جزيئات الهواء وابتعادها عن بعضها، ويتكون الضغط الجوي المرتفع عندما تنخفض درجة الحرارة، إذ يؤدي ذلك إلى بطء جزيئات الهواء واقترابها من بعضها.

(البارومیتر)مقیاس الضغط الجوي Barometer:

بدأت فكرة اكتشاف الضغط الجوي في احدى مقاطعات ايطاليا حيث كان في قصر امير المقاطعة بئر عليه مضخة ماصة تسقي حديقة القصر، وفي احد ايام الصيف لم تستطع المضخة رفع الماء من البئر، فاستدعي لذلك العالم الايطالي غاليلو)وهو استاذ العالم تورشيلي ومن علماء الفيزياء والفلك المشهورين(للتحري عن السبب، وعندما فحص غاليلو المضخة وجدها بحالة جيدة، لذا عزى سبب عدم ارتفاع الماء الى انخفاض مستواه في البئر لدرجة لم يستطع معها الضغط الجوي على رفع الماء الى مستوى الحديقة، مما دفع تورشيلي الى اختراع البارومیتر عام ١٦٤٣ وكان جهاز توريشيلي يتكون من انبوب زجاجي طويل وضعه مقلوباً)وهو مملوء بالزئبق(في كوب من الزئبق فانخفض عمود الزئبق في الأنبوب، وأصبحت قمته على ارتفاع (٧٦ cm فوق سطح الزئبق الذي في الكوب، وظل الزئبق ثابتا في الأنبوب نتيجة لضغط الهواء على سطح السائل في الكوب، وبذلك أثبت توريشيلي أن الضغط الجوي يعادل تقريبا وزن عمود من الزئبق طوله ٧٦ سم.



مقياس الضغط الجوي

اي ان مبدأ عمله هو انه اذا كان الانبوب مفتوحاً من الاعلى فسيكون سطح السائل في الخزان والانبوب متساوي لتساوي الضغط الجوي، اما اذا كان الانبوب مغلق ومفرغ من الهواء من الاعلى فسوف يرتفع السائل داخل الانبوب بمقدار h مساوياً للضغط الجوي، ويسمى الفراغ الحاصل في الانبوب فوق سطح السائل بفراغ تورشيلي. ان قيمة h تعتمد على نوعية السائل فإذا كان زئبق كثافته $13600\ Kg/m^3$ فتكون قيمته:

$$h = \frac{P_{atm}}{\rho\, g} = \frac{101.3 \times 10^3}{13600 \times 9.81} = 0.76\ mHg$$

القيمة الثابتة للضغط الجوي تساوي ($101.3\ KN/m^2$ وكثافة الماء $10^3\ Kg/m^3$) فيكون:

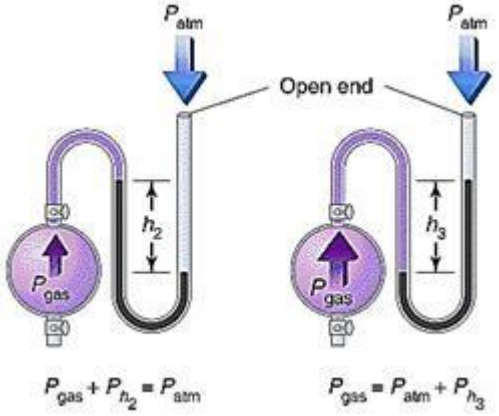
$$h = \frac{101.3 \times 10^3}{10^3 \times 9.81} = 10.326\ mH_2O$$

يمكن ملاحظة ان عموداً من الماء ارتفاعه ١٠.٣٢٦ متر يكون طويلاً جداً للأغراض القياسية وعرضة للكسر اثناء حمله واستعماله، وهذا ما دفع تورشيلي الى استعمال الزئبق بدلاً عن الماء حيث انه اكثف من الماء بـ ١٣.٦(مرة لذلك فإن عمود الزئبق يساوي) $\frac{1}{13.6}$ (من ارتفاع عمود الماء اي انه يساوي) ٠.٧٦ m(وهذا الارتفاع معقولاً، وبما ان الرمز الكيميائي للزئبق هو) Hg لذلك فإن ارتفاع البارومیتر الزئبقي يساوي 760mm. وعملياً يزداد الارتفاع البارومتري بزيادة الضغط والعكس بالعكس، ويتغير مقدار الضغط من مكان الى آخر حسب ارتفاع المكان عن مستوى سطح البحر، كما يتغير في المكان الواحد ايضاً من وقت لآخر نتيجة تأثره بسرعة الريح ودرجة الحرارة والرطوبة، لذلك صُنعت انواع مختلفة من البارومترات لقياس الضغط الجوي منها الزئبقي والمعدني والمعدني المسجل وفورتن.

المانومتر Manometer

جهاز يستعمل في قياس ضغط الماء أوالغاز أو البخار ويتكون من أنبوب على شكل الحرف (U) مفتوح من احد نهايتيه الى الغلاف الجوي ويتصل من الطرف الاخر بالوعاء الحاوي على المائع المطلوب قياس ضغطه ويحتوي الأنبوب على سائل يكون عادة الزئبق الذي يملأ قاع الأنبوب ويرتفع قليلاً داخل ذراعي الأنبوب حيث يتم تعريض السائل لضغط المائع داخل إحدى الذراعين وإلى الضغط الجوي في الذراع الأخرى.

فإذا كان ضغط المائع غاز مثلاً أكبر من الضغط الجوي يرتفع السائل داخل الذراع المعرضة للهواء ويقاس الفرق بين الارتفاعين لإيجاد ضغط السائل ويساوي هذا الضغط ناتج ضرب الفرق بين الارتفاعين في الثقل النوعي للسائل ويكون ضغط الغاز مساوي اً لحاصل جمع ضغط السائل والضغط الجوي ان نقطة الصفر في المانومترات هي الضغط الجوي P_{atm} فيكون الضغط المطلق في الوعاء مساوي اً او اكبر او اصغر من الضغط الجوي.



المانومتر

الضغط المقاس هو ضغط اي مائع نسبة الى الضغط الجوي اما الضغط المطلق فإنه حاصل جمع الضغط المقاس مع الضغط الجوي، فعندما يتساوى مستوى السائل المستخدم في طرفي الانبوب بسبب تأثير الضغط الجوي على الطرفين حيث يتساوى الضغط الجوي مع الضغط المطلق) $P_{abs} = P_{atm}$(فإن الضغط المقاس Gauge Pressure سيساوي صفر ٠ = P_g.

وعندما يكون ($P_{atm} > P_{abs}$) فسيرتفع مستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار h+ او (P_g) الذي يمثل مقياس الضغط الموجب فيكون $P_g = P_{abs} - P_{atm} > 0$.

اما عندما يكون ($P_{atm} > P_{abs}$) اي ضغط تخلخلي فسينخفض مستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار h-(او) P_g-(الذي يمثل مقياس الضغط السالب او مقياس التفريغ $P_g = (P_{abs} - P_{atm}) < 0$

امثلة:

١- اذا كان الضغط المقاس بالمانومتر) ١٢٧ kPa وكان قياس الضغط الجوي 740mm فكم سيكون الضغط المطلق؟

$١٣٦٠٠ \times ٩.٨١ \times ٠.٧٤ = ٩٨.٧٢٧٨٤$ kPa

$P_{abs} = P_{atm} + P_g \therefore ٩٨.٧٢٧٨٤ +$

$١٢٧ = ٢٢٥.٧٢٨$ kPa

٢- اسُتخدم مانومتر زئبقي لقياس ضغط غاز معين، فكان قياس عمود الزئبق تخلخلي مساوياً لـ ٦٦٠ مم (وكانت قيمة الضغط الجوي) ٧٤٠مم (فما قيمة الضغط المطلق؟

$P_{abs} = P_{atm} - P_g$

$(١٣٦٠٠ \times ٩.٨١ \times ٠.٦٦) - (١٣٦٠٠ \times ٩.٨١ \times ٤٧.٠) = ١٠.٦٧٣$ kPa

٣- عند قياس ضغط غاز باستخدام مانومتر مائي كان ارتفاع عمود الماء) mmH_2O ١٥٠(وقيمة الضغط الجوي) ٧٤٠ mmHg(احسب قيمة الضغط المطلق.

$150 \div 13.6 = 11.03$ $mmH_2O \longrightarrow$ $mmHg = \frac{1}{13.6}$ mmHg

$P_{abs} = P_{atm} + P_g \therefore$

$(١٣٦٠٠ \times ٩.٨١ \times ٠.٤٧) - (١٠٠٠ \times ٩.٨١ \times ٠.٥١) = ٩٧.٢٥٦$ kPa

٤- عند قياس ضغط غاز بواسطة مانومتر كان ارتفاع عمود المائع) ٥٥ cm(ووزنه النوعي ٠.٨٥(وكانت قيمة الضغط الجوي) ٩٦ kPa(فما قيمة الضغط المطلق؟

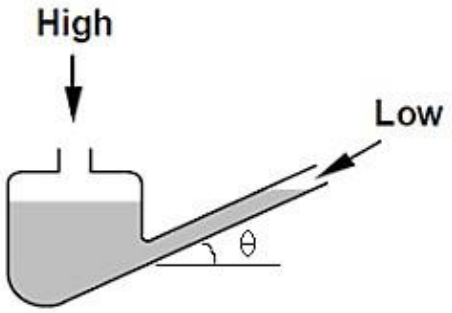
$١٠٠٠ \times ٠.٨٥ \times (Kg/m^3) ٩.٨١ \times (m/sec^2) ٠.٥٥ =) ٤.٥٨٦$ m) kPa

$P_{abs} = P_{atm} - P_g \therefore ٩١.٤١٤ =$ kPa

الوزن النوعي او الكثافة النسبية لمادة معينة هي صفة فيزيائية تعبر عن العلاقة بين كتلتها الحجمية والكتلة الحجمية للماء المقطر.

المانومتر المائل The Inclined Manometer

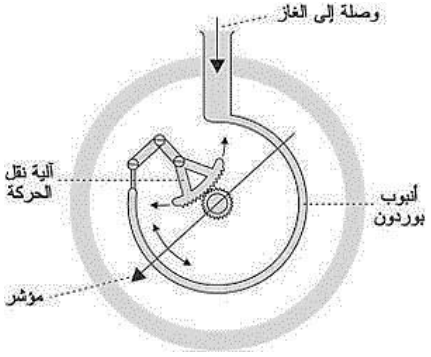
جهاز يستعمل لقياس فروق الضغط الصغيرة، حيث يستعمل الماء بدلاً من الزئبق لكثافته الواطئة ولأنه يعطي دقة في القياسات، كذلك يستعمل زيت البارافين الذي وزنه النوعي (٠.٨) تقريباً في هذا الجهاز ومنه يمكن الحصول على تغير اكبر في المستوى مما لو استُعمل الماء فضلاً عن ان تبخره اقل من الماء. يميل انبوب المانومتر عن المستوى الافقي بزاوية معينة θ كما مبين في الشكل.



المانومتر المائل

مقياس بوردن The Bourdon Gauge

جهاز يقيس الضغوط الكبيرة كضغط اطارات السيارات والمراجل البخارية والضغوط التي تزيد عن 0.12 MPa



مقياس بوردن

ان جميع الاجهزة التي مرت هي مقاييس لقياس الضغوط المستقرة مثل ضغوط البخار في المحركات والتوربينات او في الاسطوانات التي تحتوي على هواء مضغوط، اما تغيرات الضغوط السريعة كما في اسطوانة محرك فيمكن استعمال النوع الميكانيكي لتسجيل الضغط على مخطط بياني بسرعة ثابتة يسمى بجهاز التأشير Indicator.

درجة الحرارة Temperature

هي خاصية من خواص النظام تصف برودة او سخونة النظام بالنسبة للمحيط، وتعد من اهم الخواص الثرموديناميكية المرتبطة بحواس الانسان، فمفهوم الحرارة او البرودة ينشأ من الاحساس الذي يشعر به الانسان عند ملامسته لمختلف الاشياء لذلك يمكن استعمال اليد لتحديد سخونة او برودة الاجسام، فمثلاً عند لمس قطعة معدنية ساخنة فإن نهايات الاعصاب عند مكان اللمس ستحس بالسخونة وينتقل ذلك الاحساس الى العقل الذي يفسر ان ذلك الجسم الملموس ساخن، اما عند لمس قطعة من الجليد فيمكن الاستنتاج انه بارد والسبب في الاستنتاج يعود الى ان الجسم الساخن يعطي حرارة لليد عند اللمس بينما الجليد يمتص الحرارة من اليد. ولا توجد حاجة في بعض الاحيان للمس الحقيقي للإقرار بأن بعض الاماكن حارة او باردة فمثلاً عند الخروج من غرفة والدخول في غرفة اخرى يمكن الشعور ببرودة او سخونة الغرفة، لذلك فإن الحرارة او البرودة هي عبارة عن شيء يمكن الاحساس به مباشرة، والخاصية التي تجعلنا نشعر بحرارة الجسم او برودته تسمى درجة الحرارة.

ان الحرارة هي شكل من اشكال الطاقة تنتقل من جسم الى آخر بسبب الفرق بين درجة حرارتيهما، فإذا تلامس جسمان ولم يحدث تبادل حراري بينهما فإنهما في حالة توازن حراري اما اذا كانا مختلفين في درجة الحرارة فبعد فترة زمنية مناسبة سيصلان الى حالة التوازن الحراري عندما يتوقف انتقال الحرارة بينهما)الطاقة الحرارية المنتقلة بينهما تساوي صفر(وهذا يعني ان لهما خاصية مشتركة وهي درجة الحرارة حيث تكون متساوية لكليهما، أي انها الخاصية التي تحدد فيما اذا كان النظام متوازناً حرارياً مع نظام او اكثر مجاور له. من هذا يتضح ان الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري مفاهيم مرتبطة مع بعضها ارتباطاً وثيقاً.

مقاييس درجة الحرارة Scales of Temperature:

ان حاسة اللمس عاجزة عن تقدير درجة برودة او سخونة الاجسام تقديراً رقمياً وتتحسس فقط ضمن مدى محدد جداً من درجات الحرارة فلا يتحمل الانسان لمس الاجسام الساخنة او الباردة جداً كذلك فإن حاسة اللمس كثيراً ما تعطي انطباع اً غير صحيح عن درجة سخونة الاجسام، لذلك كان من الضروري اللجوء الى طريقة علمية ودقيقة في قياس درجة الحرارة، فقد صُممت مقاييس لدرجة الحرارة تسمى بالمحارير Thermometers تحتوي على مواد تتمدد او تتقلص تبعاً للتغير في درجة الحرارة او البرودة.

ان هذه المقاييس تعتمد على نقطتي انجماد الماء المقطر وغليانه عند الضغط الجوي القياسي فبزيادة الضغط تزداد درجة الحرارة عند الغليان وتنخفض قليلاً عند الانجماد، وتقسم المسافة بين النقطتين الثابتتين على عدد معين من الاقسام ويسمى كل قسم درجة.

تقسم مقاييس درجة الحرارة على الانواع الآتية:

١- المقياس النسبي Relative Temperature Scale

أ- المقياس السيليزي Celsius Scale:

هو المقياس المئوي نفسه Centigrade Scale)°C(وسمي)سيليزيوس(نسبة الى مخترعه العالم السويدي)اندريه سيليزيوس(عام ١٧٤٢. وقد اسُتعملت كلمة سيليزيوس بدلاً عن مئوي عالمياً منذ العام ١٩٤٨ ويستعمل هذا المقياس مع النظام العلمي للوحدات، ورمز درجة الحرارة على هذا المقياس t ووحدتها °C، وحسب هذا النظام تكون درجة انجماد الماء) 0°C ودرجة غليانه) 100°C.

ب- المقياس الفهرنهايتي Fahrenheit Scale:

سمي بإسم مخترعه)دانيل جابرييل فهرنهايت(ويستعمل هذا المقياس في البلدان الناطقة باللغة الانكليزية، وحسب هذا النظام تكون درجة انجماد الماء النقي) °F 32 والغليان °F 212.

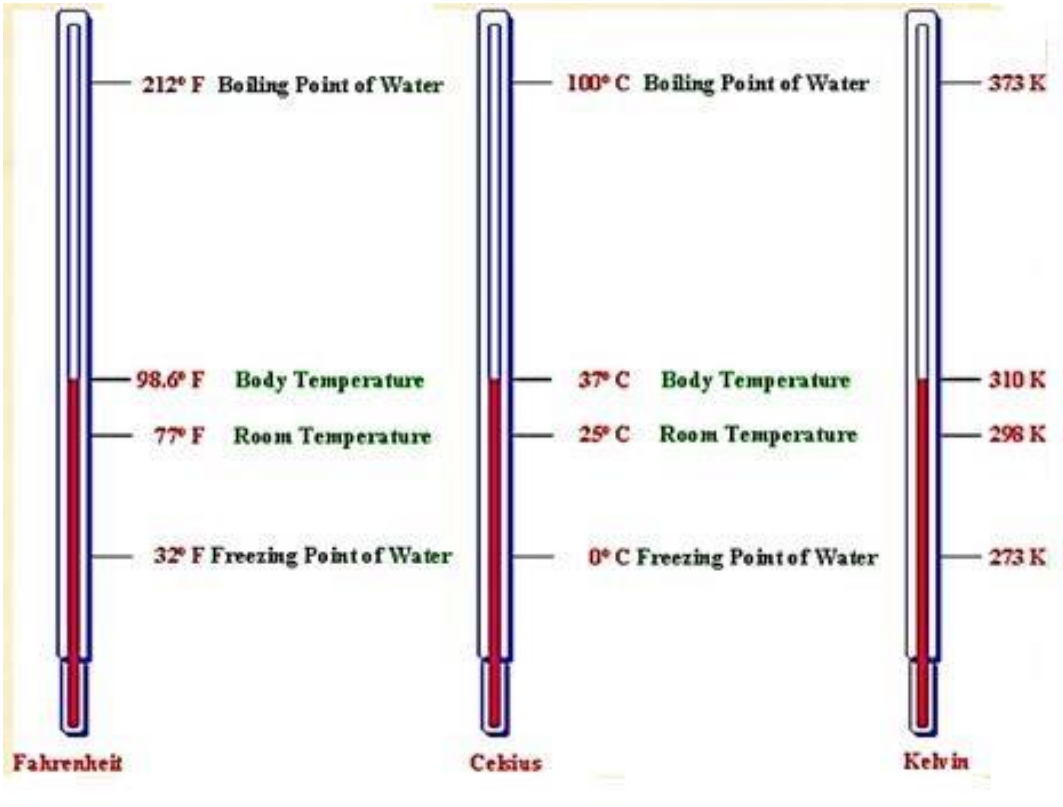
يقسم المقياس المئوي الى ١٠٠ درجة والفهرنهايتي الى ١٨٠ درجة.

2- مقياس درجة الحرارة المطلقة Absolute Temperature Scale

في عام ١٩٥٤ تم الاتفاق دولياً على استعمال المقياس المطلق الذي يعتمد على الدرجة التيعندها تتلاشى تماماً كمية الطاقة المخزونة داخل الجسم، ويستعمل هذا المقياس في الحسابات الثرموديناميكية ويشمل:

أ- مقياس كلفن Kelvin Scale

سمي بهذا الاسم نسبة الى مخترعه العالم البريطاني)لورد كلفن(في العام ١٨٥١ ورمز درجة الحرارة على هذا المقياس T ووحدته K يناظر المقياس المئوي حيث ان درجة الصفر المطلق تساوي) °C ٢٧٣.١٦-، عندئذٍ يكون الصفر المطلق لدرجة الحرارة هو درجة حرارة الغاز المثالي التي تفقد الجزيئات عندها جميع طاقتها الداخلية، وعلى هذا المقياس تكون درجة انجماد الماء) K ٢٧٣.١٦(ويمكن اعتبارها) K ٢٧٣(، وفي الحسابات الثرموديناميكية يجب ان تكون درجة الحرارة مطلقة بالكلفن.



مقاييس درجة الحرارة

ب - مقياس رنكن Rankine Scale

يستعمل في الدول الناطقة باللغة الانكليزية، ورمز وحدة درجة الحراة على هذا المقياس °R ويناظر المقياس الفهرنهايتي، ودرجة انجماد الماء على هذا المقياس) ٤٩٢ °R.

❖ **امثلة :**

- قوة مقدارها) ٧٥٠٠ N سلطت تسليطاً متساوياً على مكبس قطره ١٠٠ mm، ما مقدار الضغط على المكبس بوحدات kN/m^2؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{F}{\pi (\frac{D}{2})^2} = \frac{7500 \times 4}{3.14 \times 0.01} = 955.414 \frac{kN}{m^2}$$

- زيت وزنه النوعي ٨.٠ موضوع في اناء الى عمق مقداره ٢ m، احسب ضغط المقياس بوحدات kN/m^2.

$$P = \rho g h = 0.8 \times 1000 \times 9.81 \times 2 = 15.696 \frac{kN}{m^2}$$

- كانت قراءة البارومتر والتي سجلت) 765 mmHg، حولها الى وحدات MN/m^2.

$$P = \rho g h = 13600 \times 9.81 \times 0.765 = 0.102 \frac{MN}{m^2}$$

- اذا كان الضغط المقاس لمائع داخل وعاء بواسطة مانومتر زئبقي يساوي) 260 mmHg وكانت قراءة البارومتر) 758 mmHg، اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدة (MN/m^2).

$$P_{abs} = P_{atm} - P_g = \rho g h$$
$$\therefore P_{abs} = (13600 \times 9.81 \times 0.758) - (13600 \times 9.81 \times 0.26)$$
$$P_{abs} = 0.066 \frac{MN}{m^2}$$

)

- مانومتر مائي يبين ان الضغط في وعاء ما يساوي) 400 mm(تحت الضغط الجوي، فإذا كان الضغط الجوي) 763 mmHg(، جد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات)KN/m^2.

$$P_g = \rho g h = 1000 \times 9.81 \times 0.4 = 3.924 \frac{KN}{m^2}$$
$$P_{atm} = 13600 \times 9.81 \times 0.763 = 101.796 \frac{KN}{m^2}$$
$$P_{abs} = P_{atm} - P_g = 101.796 - 3.924 = 97.872 \frac{KN}{m^2}$$

- سجل مقياس بوردن ضغطاً مقداره)$1.75\ MN/m^2$(وكان الارتفاع الذي سجله البارومتر)757 mmHg(، اوجد الضغط المطلق.

$$P_{atm} = \rho g h = 13600 \times 9.81 \times 0.757 = 0.1 \frac{MN}{m^2}$$
$$P_{abs} = P_{atm} + P_g = 0.1 + 1.75 = 1.85 \frac{MN}{m^2}$$

- احسب الضغط المطلق بوحدات Pa اذا علمت ان مقدار الضغط التخلخلي المقاس في مبخر (284 mmHg) وقيمة الضغط الجوي (742 mm Hg).

$$P_{abs} = \rho\, g\, h = P_{atm} - P_g$$

$$P_{abs} = 13600 \times 9.81\,(0.742 - 0.284) = 61104.528\ Pa$$

- جد ارتفاع عمود الماء وعمود الزئبق المكافئ للضغط الجوي العياري ($101325\ \mathrm{N/m^2}$).

$$P = \rho\, g\, h \quad \rightarrow \quad h = \frac{P}{\rho\, g}$$

$$h_{H_2O} = \frac{101325}{1000 \times 9.81} = 10.328\ mH_2O$$

$$h_{Hg} = \frac{101325}{13600 \times 9.81} = 0.76\ mHg$$

- احسب الضغط المكافئ لعمود من الزئبق عندما يكون ارتفاعه:

$$P = \rho\, g\, h$$

$$P_1 = 13600 \times 9.81 \times 0.76 = 101$$

$$P_2 = 13600 \times 9.81 \times 0.75 = 100$$

$$P_3 = 13600 \times 9.81 \times 0.001 = 0.\ 133$$

- احسب ارتفاع عمود كل من الزئبق والماء والكحول اذا كان قياس الضغط (200 Pa) ($\boldsymbol{\rho}_{\mathrm{alc}} = 800\ \mathrm{kg/m^3}$).

$$P = \rho\, g\, h \quad \rightarrow \quad h = \frac{P}{\rho\, g}$$

$$h_1 = \frac{200}{13600 \times 9.81} = 1.5\ mmHg$$

$$h_2 = \frac{200}{1000 \times 9.81} = 20.387\ mH_2O$$

$$h_3 = \frac{200}{800 \times 9.81} = 25.484\ mm_{alc}$$

بواسطة المانومتر، علماً ان)

- اذا كان قياس جهاز بوردن للضغط مساوياً لـ (1.75 MPa) ومقدار الضغط الجوي يساوي (757 mmHg) احسب الضغط المطلق بوحدات (MPa) و (mmHg).

$$P = \rho\, g\, h = 13600 \times 9.81 \times 0.757 = 0.1\ MPa$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g = 0.1 + 1.75 = 1.85\ \frac{MN}{m^2}$$

$$h = \frac{1.85 \times 10^6}{13600 \times 9.81} = 13866.4\ mmHg$$

- اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس قطره (24 cm) عليه ثقل مقدار كتلته مع المكبس تساوي 2 Kg وكان قياس الضغط الجوي 750 mmHg، احسب الضغط المقاس والمطلق بوحدات Pa، bar، mmHg.

$$P_g = \frac{F}{A} = \frac{m\,g}{\pi\,r^2} = \frac{2\times9.81\times4}{3.14\times(0.24)^2} = 434\,Pa = 0.004\,bar$$

$$h_{Hg} = \frac{434}{13600\times9.81} = 3.253\,mmHg$$

$$P_{abs} = P_{atm} - P_g = 13600\times9.81\times(0.75-0.003253) = 99628\,Pa = 0.996\,bar$$

$$h_{Hg} = \frac{99628}{13600\times9.81} = 0.746\,mmHg$$

- اسطوانة فيها غاز ربط عليها مانومتر زئبقي فكانت قراءته:
أ) 100 cmHg ب) 10 cmHg
وكانت قراءة البارومتر في الحالتين) 1.01 bar(احسب الضغط المطلق للغاز في الحالتين بوحدات) KN/m^2(،)bar(.

$$P_g = \rho\,h\,g = 13600\times0.15\times9.81 = 133.416\frac{KN}{m^2}$$

$$P_{abs} = P_g + P_{atm} = 133.416 + 101 = 234.416\frac{KN}{m^2} = 2.34416\,bar$$

$$P_g = \rho\,h\,g = 13600\times0.1\times9.81 = 13.3416\frac{KN}{m^2}$$

$$P_{abs} = P_{atm} - P_g = 101 - 13.3416 = 87.6584\frac{KN}{m^2} = 0.8765\,bar$$

- اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس مساحة مقطعه العرضي) 0.04_2 m وكتلته 60 Kg وكانت قيمة الضغط الجوي) 0.97 bar احسب الضغط المطلق للغاز.

$$P_g = \frac{F}{A} = \frac{m\,g}{A} = \frac{60\times9.81}{0.04} = 0.147\,bar$$

$$P_{abs} = P_{atm} - P_g = 0.97 - 0.147 = 0.823\,bar$$