

## الفصل الثاني - الضغط ودرجة الحرارة

### (2.1) - المفهوم الميكانيكي للضغط

#### Mechanical Concept of Pressure

إن درجة حرارة الانصهار للمواد الصلبة، ونقطة الغليان للسوائل، والحجم الم شغول بالغازات والابخرة، ومعظم خواص المواد تعتمد على الضغط المسلط عليها. وعندما يملأ اطار سيارة بالهواء، فيولد الهواء المضغوط دفعا أو قوة على السطح الداخلي للأطار بسبب اصطدام جزيئات الهواء على السطح. لذلك يعرف الضغط بأنه القوة المسلطة عمودياً على وحدة السطوح، رمزه (P).

عند تسليط قوة مقدارها (F) على جسم صلب، كما في شكل (2.1-a) موضوع على جدار مساحة تماسه (A)، عندئذ سيكون هنالك ضغط مسلط عمودياً على سطح التماس مقداره  $(P = F/A)$  وسينتقل باتجاه القوة المسلطة.

وإذا سلطت قوة (F) على مكبس مساحة مقطعه (A)، كما في شكل (2.1-b) عندئذ س يكون هنالك ضغط مسلط على المائع مقداره  $(P = F/A)$  وسينتقل الى جميع الاتجاهات في الاسطوانة،



شكل (2.1) - الضغط العمودي على وحدة السطوح

كعملية نفخ كرة مطاطية حيث تنتفخ في جميع الاتجاهات.

وإذا كانت القوة (F) بالنيوتن (N) والمساحة (A) بالأمتار المربعة ( $m^2$ )، عندئذ يكون الضغط (P) بالـ  $(N/m^2)$  وهي وحدة أساسية للضغط في نظام (SI) وتسمى بالباسكال (Pa) وكان باسكال (Pascal) أول من اهتم بقوانين الضغط.

ولكون وحدة الباسكال صغيرة جداً، فتستعمل في الحياة العملية وحدات مضاعفة أكبر من

الباسكال، كالكيلو باسكال (kPa) والميكا باسكال (MPa)، والعلاقة بينهم هي:-

$$MPa (MN/m^2) = 10^3 kPa (kN/m^2)$$

$$= 10^6 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$= 1 \text{ N/mm}^2$$

وكذلك تستعمل وحدات البار (bar) والهيكتوبار:

$$\text{hectobar} = 10^2 \text{ bar}$$

$$= 10^4 \text{ kPa}$$

$$= 10^7 \text{ Pa}$$

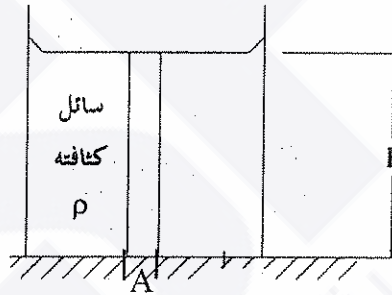
ان (البار)\* هو الضغط الذي يسببه عمود من الزئبق ارتفاعه (750mm)، وفي الوحدات البريطانية تكون القوة بالباوند (Lb) والمساحة بالانج المربع ( $\text{in}^2$ )، عليه تكون وحدة الضغط ( $\text{Lb/in}^2$ ) ويسمى (PSI)، علاقته مع الـ (atm.) هي:

$$1 \text{ atm.} = 14.7 \text{ PSI} \left( \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} \right)$$

(2.2) - الضغط الذي يسببه عمق المائع

### Pressure due to a head of fluid

نفترض وجود خزان غير محاط بالهواء، أي ان الضغط الجوي لا يؤثر عليه، يحتوي على مائع كثافته ( $\rho$ ) ثابتة فلو اخذنا مقطعاً طويلاً لهذا المائع ارتفاعه ( $h$ ) ومساحة مقطعه ( $A$ )، كما في شكل (2.2)، فستكون كتلة هذا المقطع ( $m = \rho V$ )، وحجمه ( $V = A \times h$ )، عندئذ سيكون الضغط:



شكل (2.2) - ضغط الموائع

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{A} = \frac{\rho \times A \times h \times g}{A} = \rho \times g \times h \dots\dots\dots (2.1)$$

$$= \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{m} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

(2.3) - الضغط الجوي Atmospheric Pressure

\* ان البار (bar) لا ينتمي الى اسرة الوحدات (SI)، ومع ذلك يستعمل كثيراً في التطبيقات الصناعية وفي الحسابات المختلفة شرط تحويله الى الوحدات المناسبة.

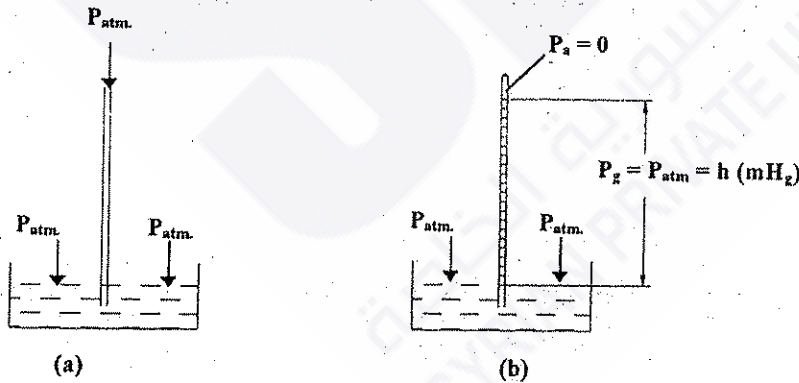
الكرة الارضية محاطة بالهواء الجوي يمتد الى عدة كيلومترات فوق سطحها. هذا الهواء يولد ضغطاً على سطح الارض نتيجة لوزنه فوق هذا السطح يسمى بالضغط الجوي ورمزه ( $P_{atm}$ ). ولما كان الضغط يساوي القوة على وحدة المساحة، فسيكون الضغط على متر مربع واحد من سطح الارض يساوي وزن عمود الهواء فوقها مفترضاً بذلك احتواءه مثلاً في انبوب مقطعه متر مربع واحد وطوله يساوي ارتفاع الغلاف الجوي فوق الارض.

اذن الضغط الجوي هو الضغط الذي يولده عمود من الهواء طوله مساوٍ لأرتفاع الغلاف الجوي فوق الارض. قيمته عند مستوى سطح البحر ( $101.325 \text{ kN/m}^2$ )، ومع ذلك لا يشعر الانسان به لتساوي ضغطه مع الضغط الجوي. هذه القيمة تنخفض كلما انخفض ارتفاع الغلاف الجوي فمثلاً قيمته عند قمة جبل ايفرست، وهي اعلى قمة جبلية في العالم، تكون ( $40 \text{ KN/m}^2$ ) وتستخدم قيمته في الفراغ المحيط بالكرة الارضية. يكون الضغط الجوي القياسي (standard):

$$\begin{aligned} P_{atm} &= 760 \text{ mmHg} \\ &= 14.7 \text{ Lb/in}^2 \\ &= 1.013 \text{ bar} \\ &= 1.01325 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

#### (2.4) - مقياس الضغط الجوي او الباروميتر The Barometer

لقد بدأت فكرة اكتشاف الضغط الجوي في احدى مقاطعات ايطاليا، حيث كان في قصر اميرر المقاطعة بئر عليه مضخة ماصة تسقي حديقة القصر. وفي احد ايام الصيف لم تستطع المضخة رفع الماء من البئر، فأستدعي لذلك العالم الايطالي غاليليو (1638) (وهو استاذ العالم تورشيلي ومن علماء الفلك والفيزياء المشهورين)، للتحري عن السبب، وعندما قام غاليليو بفحص المضخة وجدها بدالة



شكل (2.3) - مبدأ تورشيلي في تصميم الباروميتر

جيدة، لذا عزى سبب عدم ارتفاع الماء الى انخفاض مستواه في البئر لدرجة لم يستطع معها الضغط الجوي على رفع الماء الى مستوى الحديقة. هذه الحادثة دفعت العالم تورشيلي (1644 - 1608) باختراع الباروميتر الذي يعتمد المبدأ التالي:-

الشكل (2.3) يبين خزاناً يحتوي على سائل، مغمور فيه انبوب ذو مقطع لا يسمح بوجود تأثير شعري ناتج عن التوتر السطحي.

فإذا كان الأنبوب مفتوحاً من الأعلى فسيكون سطح السائل في الخزان والانبوب متساويين لتساوي الضغط الجوي ( $P_{atm}$ ) كما في شكل (2.3-a). أما إذا كان الأنبوب مغلق ومفرغ من الهواء من الأعلى فسوف يرتفع السائل داخل الأنبوب بمقدار ( $h$ ) قيمتها مساوية لقيمة الضغط الجوي ( $P_{atm}$ )، كما في شكل (2.3-b) أما الفراغ الذي يحصل في الأنبوب فوق سطح السائل فيسمى بفراغ تورشيلي. إن قيمة ( $h$ ) تعتمد على نوعية السائل، فإذا كان زيتياً (كثافته  $13600 \text{ kg/m}^3$ ) فيكون:

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

القيمة الثابتة للضغط الجوي تساوي ( $101.3 \text{ kN/m}^2$ ). وإذا كان ماء (كثافته  $10^3 \text{ Kg/m}^3$ ) فإن:

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{101.3 \times 10^3}{10^3 \times 9.81} = 10.326 \text{ m H}_2\text{O}$$

إن عموداً من الماء ارتفاعه ( $10.326 \text{ m}$ ) يكون طويلاً جداً للأغراض القياسية وعرضه للكسر أثناء حمله أو استعماله، لذا فكر تورشيلي باستعمال الزئبق لأنه اثنى من الماء بـ (13.6) مرة ومنه فإن عمود الزئبق سيكون ( $\frac{1}{13.6}$ ) مرة بارتفاع عمود الماء، أي:

$$h = \frac{10.326}{13.6} = 0.76 \text{ m}$$

هذا الارتفاع معقولاً، وبما أنه ( $\text{Hg}$ ) هو الرمز الكيميائي للزئبق، عندئذ يكون ارتفاع الباروميتر الزئبقي ( $760 \text{ mmHg}$ ). وفي الحسابات الترموديناميكية يكون الضغط بوحدة دات ( $\text{Pa}$ ) ومضاعفاته. فإذا كان الارتفاع البارومتري ( $h = \text{mm}$ ) عندئذ سيكون الضغط:-

$$\begin{aligned} P &= \rho g h = 13600 \times 9.81 \times \frac{h}{10^3} = 133.4 h \text{ (N/m}^2\text{)} \\ &= 133.4 \times 10^{-3} h \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ &= 133.4 \times 10^{-6} h \text{ (MN/m}^2\text{)} \\ &= 133.4 \times 10^{-5} h \text{ (bar)} \end{aligned}$$

وعملياً سيزداد الارتفاع البارومتري بزيادة الضغط والعكس بالعكس. يتغير مقدار الضغط من مكان إلى آخر حسب إرتفاع المكان عن مستوى سطح البحر، كما يتغير الضغط في المكان الواحد أيضاً من وقت لآخر نتيجة تأثره بسرعة الرياح، ودرجة الحرارة، ومقدار الرطوبة في الجو. لذلك صنعت الباروميترات لقياس الضغط الجوي منها الزئبقي، والمعدني، والمعدني المسجل، وفورتن.

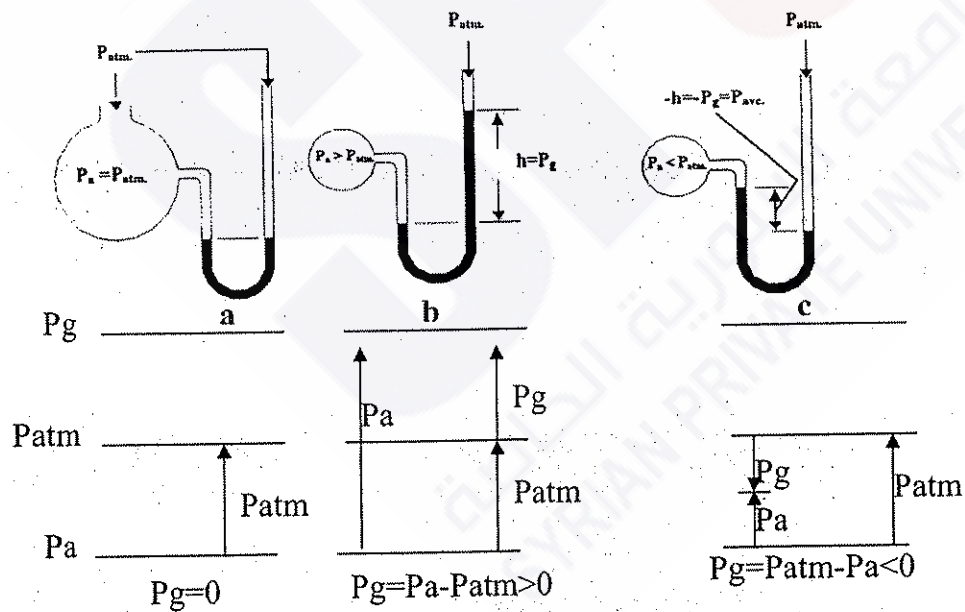
### (2.5) - المانوميتر The Manometer

عبارة عن أنبوب على شكل حرف (U) مفتوح إلى الضغط الجوي عند أحد جوانبه، ويتم وصله عند الطرف الآخر بالوعاء المراد قياس ضغطه الحقيقي أي أو الضغط المطلق. (Absolute Press., Pa)

من الشائع استعمال الزئبق في الأنبوب، لكون الضغط الجوي غالباً ما يقاس بارتفاع عمود من الزئبق. وعندما يكون الضغط الجوي قليلاً (لحد 50mm) فيستعمل الماء لكثافته الواطئة ولأنه يعطي دقة في القياسات كالمانوميتر المائل (Inclined Manometer).

عندما تكون الضغوط مطلقة، لا داعي لذكر كلمة مطلق، وعليه فإن (250kPa) تعني (250 kPa, Pa).

إن نقطة الصفر في المانوميترات هي الضغط الجوي ( $P_{atm}$ )، عليه يمكن أن يكون الضغط المطلق للوعاء يساوي أو أكبر أو أصغر من الضغط الجوي، وكما موضح في أدناه.



شكل (2.4) - مبادئ عمل الباروميتر

1- عندما يكون ( $P_a = P_{atm.}$ ) كما في شكل (2.4-a) فيتساوى مستوى السائل في طرفي الأنبوب بسبب تأثير الضغط الجوي على الطرفين وسيكون الـ ضغط المقاس ( $P_g$ ) (Gauge Pressure) يساوي صفراً، أي ان:

$$P_g = 0 \quad \dots\dots (2.2)$$

2- عندما يكون ( $P_a > P_{atm.}$ ) كما في شكل (2.4-b) فسيرتفع مستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار ( $+h$ ) او ( $P_g$ ) الذي يمثل مقياس الضغط الموجب. كما هي الحال في المراجع للبخارية وسيكون:

$$P_g = P_a - P_{atm.} > 0 \quad \dots\dots (2.3)$$

3- عندما يكون ( $P_a < P_{atm.}$ ) كما في شكل (2.4-c)، أي ضغط تخلخ، في سينخفض مستوى السائل في الطرف الايمن للأنبوب بمقدار ( $-h$ ) او ( $-P_g$ ) او ( $P_{vac.}$ ) الذي يمثل مقياس الـ ضغط السالب او مقياس التفريغ او التخلخل (Gauge Vacuum) كما هو الحال في المكثفات البخارية وسيكون:

$$P_g = P_{atm.} - P_a < 0 \quad \dots\dots (2.4)$$

وعند حساب قيمة الضغط المطلق ( $P_a$ ) يجب ان تكون وحدات الضغط المقاس ( $P_g$ ) والضغط الجوي ( $P_{atm.}$ ) موحدة، وهذا ما سنوضحه في الامثلة الآتية:

امثلة محلولة:

1- اذا كان ضغط المقياس (127kPa) وكان الباروميتر يقيس قيمة الضغط الجوي وتساوي (740 mmHg) فيكون الضغط المطلق:

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm.} + P_g \\ &= (13600 \times 9.81 \times 0.74) \times 10^{-3} + 127 = 225.728 \text{ kPa} \end{aligned}$$

2- عند قياس ضغط غاز بمانوميتر زئبقي. كان عمود الزئبق بين قياسي من قياسي تخط في مقاداره (660 mmHg) وكانت قيمة الضغط الجوي التي يقيسها الباروميتر (740 mmHg) فيكون الضغط المطلق:

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm.} - P_g \\ &= (13600 \times 9.81 \times 0.74 - 13600 \times 9.81 \times 0.66) \times 10^{-3} = 10.673 \text{ kPa} \end{aligned}$$

3- عند قياس ضغط غاز بمانوميتر مائي كان عمود الماء بين قياسي من قياسي الضغط مقاداره (150mm H<sub>2</sub>O)، وكانت قيمة الضغط الجوي التي يقيسها الباروميتر (740mm Hg)، فيكون الضغط المطلق:

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm} + P_g \\ &= (13600 \times 9.81 \times 0.74 + 1000 \times 9.81 \times 0.15) \times 10^{-3} = 100.2 \text{ kPa} \end{aligned}$$

4- عند قياس ضغط غاز في خزان بمانوميتر يحتوي على مائع وزنه النوعي (0.85). كان ارتفاع عمود المائع (55cm)، وكانت قيمة الضغط الجوي (96kPa) فيكون الضغط المطلق:

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm} + P_g \\ &= 96\text{kPa} + 0.85 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.55 \text{ m} \times \frac{1\text{kPa}}{10^3 \text{ Pa}} \\ &= 100.6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

## (2.8.1) - الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري

إذا تلامس جسمان أو أكثر ولا يحدث تبادل حراري بينهما فأنهما يكونان في حالة توازن حراري وتكون لهما درجة حرارة واحدة. وإذا تلامس جسمان تختلف درجة حرارتهما فبعد فترة زمنية مناسبة، فإن هذه الأجسام ستصل إلى حالة التوازن الحراري عندما يتوقف انتقال الحرارة بينهما، إن توقف انتقال الحرارة يعني ظهور خاصية مشتركة هي درجة الحرارة. لذا يمكن تعريف درجة الحرارة بأنها تلك الخاصية التي تعين فيما إذا كان النظام متوازناً حرارياً مع نظام أو أكثر مجاور له.

من ذلك يتضح أن الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري مفاهيم مرتبطة مع بعضها ارتباطاً وثيقاً. فالحرارة شكل من أشكال الطاقة تنتقل من جسم لآخر بسبب الفرق بين درجة حرارة الجسمين. أما إذا تساوت درجة حرارة الجسمين فإن ذلك يعني أن الطاقة الحرارية المنتقلة تساوي صفرًا وأن الجسمين في حالة توازن حراري.

## (2.8.2) - مقاييس درجة الحرارة Scales of Temperature

إن حاسة اللمس عاجزة عن تقدير درجة برودة أو سخونة الجسم تقديراً رقمياً إلى جانب ذلك فإن حاسة اللمس تتحسس فقط ضمن مدى محدد جداً من درجات الحرارة. فلا يتحمل الإنسان لمس الأجسام الساخنة جداً أو الباردة جداً، فضلاً عن ذلك فإن حاسة اللمس كثيراً ما تعطي انطباعاً غير صحيح عن درجة سخونة الأجسام.

فمثلاً عند لمس جسمين في فصل الشتاء أحدهما معدني والآخر خشبي فإن الجسم الأول يبدو عند اللمس أبرد من الجسم الثاني على الرغم من تساوي درجة حرارتهما والسبب يعود إلى كون الجسم المعدني موصل جيد للحرارة يسمح بانتقال الحرارة بينما الجسم الثاني عازل لا يسمح بانتقال الحرارة.

مثال آخر، عند وضع إحدى اليدين في سائل ساخن والآخرى في سائل بارد ثم رفع اليدين معاً وغمسهما في سائل دافئ فإن اليد الأولى ستشعر أن الماء بارد، بينما اليد الثانية ستشعر أن الماء نفسه ساخن.

عليه كان من الضروري الاستغناء عن الطريقة البدائية في تقدير الحرارة واللجوء إلى طريقة علمية ودقيقة في قياس درجة الحرارة. لذلك صممت مقاييس لدرجة الحرارة تسمى بالمحارير (Thermometers)، تحتوي على مواد تتمدد أو تنقلص تبعاً للتغير في الحرارة أو البرودة. هذه المقاييس تعتمد على نقطتي إنجماد الماء النقي كيميائياً وغليانه عند الضغط الجوي القياسي (760 mmHg)، إذ أنه بزيادة الضغط فإن درجة الحرارة تزداد عند الغليان وتخفض فلا يزال عند الإنجماد. وتقسّم المسافة بين النقطتين الثابتتين على عدد معين من الأقسام ويسمى كل قسم درجة.



تقسم مقاييس درجة الحرارة على الانواع الآتية:

1- المقياس النسبي (Relative Temperature Scale). ويشمل

أ- مقياس سيلزيوس (Celsius Scale)

هو المقياس المئوي نفسه (Centigrade Scale) ( $^{\circ}\text{C}$ )، سمي بسيلزيوس عام (1742) نسبة إلى مخترعه العالم السويدي اندريه سيلزيوس (1701 - 1744). قرر المؤتمر التاسع للأوزان والقياسات المنعقد عام (1948) استعمال كلمة سيلزيوس بدل مئوي عالمياً تكون فيه درجة انجماد الماء النقي ( $0^{\circ}\text{C}$ ) والغليان ( $100^{\circ}\text{C}$ ). هذا المقياس يستعمل مع النظام العالمي للوحدات. رمز درجة الحرارة على هذا المقياس ( $t^{\circ}\text{C}$ ) أو ( $t$ ). ووحدتها ( $^{\circ}\text{C}$ ).

ب- المقياس الفهرنهايتي (Fahrenheit Scale)

سمي باسم مخترعه دانييل جابرييل فهرنهايت (1686 - 1736) يستعمل في البلدان الناطقة بالانكليزية. تكون فيه درجة انجماد الماء النقي ( $32^{\circ}\text{F}$ ) والغليان ( $212^{\circ}\text{F}$ ). رمز درجة الحرارة ( $t^{\circ}\text{F}$ ) ووحدته ( $^{\circ}\text{F}$ ).

يقسم المقياس المئوي على (100) درجة والفهرنهايتي الى (180) درجة، بذلك تصبح الدرجة على المقياس المئوي  $\left(\frac{9}{5}\right)$  من الدرجة على المقياس الفهرنهايتي. اما العلاقة بين الدرجة المئوية ( $t^{\circ}\text{C}$ ) والفهرنهايتية ( $t^{\circ}\text{F}$ ) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t^{\circ}\text{C} + 32 = 1.8 t^{\circ}\text{C} + 32 (^{\circ}\text{F}) \dots (2.5)$$

مثال (2.5)

1- حول ( $50^{\circ}\text{C}$ ) من المقياس المئوي الى الفهرنهايتي:

$$t^{\circ}\text{F} = 1.8 t^{\circ}\text{C} + 32 = 1.8 \times 50 + 32 = 122^{\circ}\text{F}$$

2- حول ( $176^{\circ}\text{F}$ ) من المقياس الفهرنهايتي الى المئوي:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} = \frac{176 - 32}{1.8} = 80^{\circ}\text{C}$$

ان المقياس الفهرنهايتي لدرجة الحرارة قد زال استعماله والمقياس المئوي (سـ) يلزيوس) لازال واسع الاستعمال، الا ان ما يعول عليه الآن هو المقياس المطلق (كلفن) لدرجات الحرارة.

الذي يقيس الضغوط الكبيرة كضغط اطارات السيارات والمراجل البخارية وال ضغوط التي تزيد على (0.12 MPa)، وقياس ضغط المقياس (Pg) لذلك تجب زيادة ال ضغط الجوي (Patm.) لأيجاد الضغط المطلق (Pa).

إن 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 ال ضغوط السريعة، كما في اسطوانة محرك فيمكن استعمال النوع الميكانيكي لتسجيل الضغط على مخطط بياني بسرعة ثابتة يسمى بجهاز التأشير (Indicator)، الذي هو مؤشر، اما مقياس الضغط فيتم بوساطة مقياس بوردين.

### (2.8) - درجة الحرارة Temperature

تعد درجة الحرارة من اهم الخواص الترموديناميكية المرتبطة بحواس الانسان، أي ان مفهوم الحرارة او البرودة ينشأ من الاحساس الذي نشعر به عند تلامس مختلف الاشياء. لذلك يمكن استعمال اليد لتحديد سخونة او برودة الاجسام. فمثلاً حين نلمس قطعة معدنية ساخنة فإن نهايات الاعصاب عند مكان اللمس ستحس بالسخونة وينتقل ذلك الاحساس الى العقل الذي يفسر ان ذلك الجسم الساخن وساخن.

اما اذا تم لمس قطعة من الجليد فيمكن الاستنتاج دون عناء انه بارد، والسبب في هذا الاستنتاج يعود الى ان الجسم الساخن يعطي حرارة لليد عند اللمس بينما قطعة الجليد تمتص الحرارة من اليد. لقد قيل في موضوع تغير ظاهرة البرودة ان الجليد يحتوي على سهام صغيرة، فاذا وضعت يدك على قطعة من الجليد مثلاً، فإنك لن تشعر بالبرودة فحسب ولكن ببعض الألم ايضاً. وقد فسر ذلك على ان

الاجسام الصغيرة الشبيهة بالسهام تنتقل من الجليد الى اليد وبذلك تصيح اليد باردة ويصحب ذلك شعور بالألم.

ولا توجد حاجة في بعض الاحيان لللمس الحقيقي لكي نقرر ان بعض الاماكن حارة او باردة. فعند خروجنا من غرفة ودخولنا الى اخرى يمكن ان نشعر ببرودة او سخونة الغرفة، او عندما نخرج من مبنى الى الهواء الطلق. وكذلك بحرارة الصيف لذلك نبحث عن الضلال لتخلص من حرارة الشمس المباشرة.

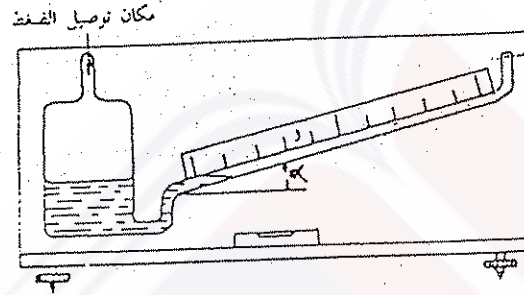
لذلك فإن الحرارة او البرودة هي عبارة عن شئ يمكن الاحساس به مباشرة، فالخاصية التي تجعلنا نشعر بحرارة الجسم او برودته تسمى (درجة الحرارة).

اذن درجة الحرارة هي خاصية من خواص النظام تصف برودة او سخونة النظام بالذات نسبة للمحيط.

## (2.6) - المانوميتر المائل The Inclined Manometer

يستعمل لقياس فروق الضغط الصغيرة جداً مثلاً إلى حد (50mm H<sub>2</sub>O) والمبين في شكل (2.5). إن زاوية ميل انبوب المانوميتر المائل عن المستوى الأفقي ( $\alpha$ ) مساوية لقيمة معينة. فإذا كان (30mm)، وكان ( $\alpha=10^\circ$ ) فإن طول المقياس على طول الأنبوب المائل:

$$\frac{30}{\sin 10^\circ} = \frac{30}{0.1737} = 173\text{mm}$$

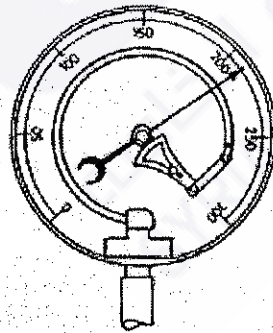


شكل (2.5) - المانوميتر المائل

يستعمل الماء أو زيت البارافين الذي له وزن نوعي (0.8) تقريباً. ومنه فإننا نصل على تغيير أكبر في المستوى مما لو استعملنا الماء، فضلاً عن أن معدل تبخره أقل من الماء.

## (2.7) - مقياس بوردين The Bourdon Gauge

إن أجهزة قياس الضغط هي الباروميترات والمانوميترات كما سبق ذكرها. وكذلك مقياس بوردين الموضح في شكل (2.6)



شكل (2.6) - مقياس بوردين

## (2)-مقياس درجة الحرارة المطلقة

### Absolute Temperature Scale

في عام (1954) تم الاتفاق دولياً على استعمال المقياس المطلق الذي يعتمد على الدرجة التي عندها تتلاشى تماماً كمية الطاقة المخزونة داخل الجسم. يستعمل هذا المقياس في الحسابات الترموديناميكية ويشمل:-

### أ- مقياس كلفن Kelvin Scale

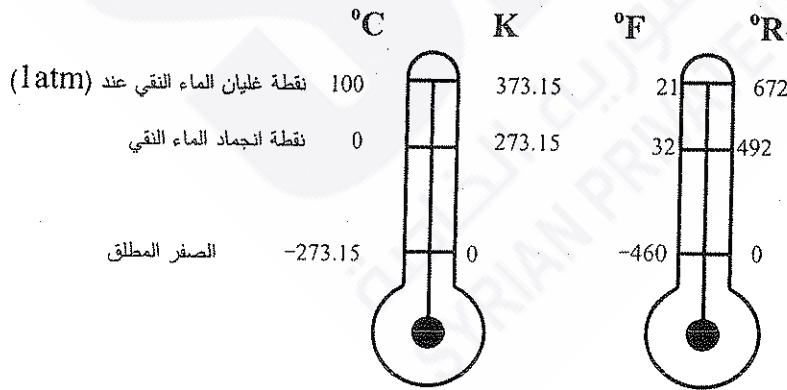
سمي بكلفن عام (1851) نسبةً إلى مخترعه العالم البريطاني لورد كلفن (1824 - 1907). رمز درجة الحرارة على هذا المقياس (TK) أو (T) ووحدته كلفن (K) يناظر المقياس المئوي وتكون درجة الصفر المطلق تساوي ( $-273.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) على المقياس المئوي، عندئذ يكون الصفر المطلق لدرجة الحرارة هو درجة الحرارة للغاز المثالي التي تفقد الجزيئات عندها جميع طاقتها الداخلية. درجة انجماد الماء (273.16 K) ويمكن اعتبارها (273 K). وفي الحسابات الترموديناميكية كما ذكرنا فإن درجة الحرارة يجب أن تكون مطلقة وبالكلفن، أي:

$$T_K = t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273 \quad (\text{K}) \quad \text{or} \quad T = t + 273 \quad [\text{K}] \quad \dots\dots (2.6)$$

ويلاحظ أن فرق درجات الحرارة المطلقة يساوي فرق درجات الحرارة المئوية المناظرة لها، أي

أي ( $\Delta T = \Delta t$ ) كما موضح في أدناه:

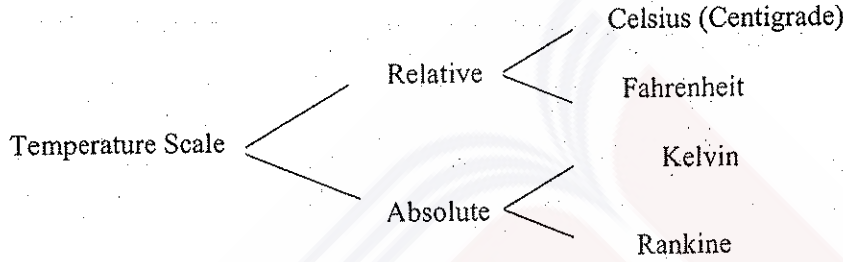
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (t_2 + 273) - (t_1 + 273) = t_2 - t_1 = \Delta t \quad \dots\dots (2.7)$$



شكل (2.7)- مقاييس درجة الحرارة

## ب- مقياس رنكن Rankine Scale

يستعمل في الدول الناطقة باللغة الانكليزية، رمز درجة الحرارة على هذا المقياس ( $T^{\circ}R$ ) ووحدتها ( $^{\circ}R$ ). يناظر المقياس الفهرنهايتي، وتكون درجة الصفر المطلق تساوي ( $-459.67^{\circ}F$ ) يمكن اعتبارها ( $460^{\circ}F$ ) على المقياس الفهرنهايتي. درجة إنجماد الماء ( $492^{\circ}R$ ). المقاييس النسبية والمطلقة موضحة في شكل (2.7) والتي يمكن تلخيصها بحسب المخطط الآتي:



علاقة الرنكن بالكلفن والفهرنهايت موضحة في المعادلات التالية:-

$$T^{\circ}R = 1.8 TK = t^{\circ}F + 460 \quad \dots\dots (2.8)$$

تكتب قراءة مقياس درجة الحرارة ( $^{\circ}R$ ,  $^{\circ}F$ ,  $K$ ,  $^{\circ}C$ ) بحسب المقياس المستعمل او ( $deg. R$ ,  $deg. F$ ,  $K$ ,  $deg. C$ ).

مثال (2.6)

حول ( $-1^{\circ}C$ ) من المقياس المئوي الى الفهرنهايتي، رنكن وكلفن.

$$t^{\circ}F = 1.8 t^{\circ}C + 32 = 1.8 \cdot (-1) + 32 = 30.2^{\circ}F$$

$$T^{\circ}R = t^{\circ}F + 460 = 30.2 + 460 = 490.2^{\circ}R$$

$$TK = t^{\circ}C + 273 = -1 + 273 = 272 K$$

امثلة محلولة:

(2.7)

قوة مقدارها (7500N) سلطت تسليطاً متساوياً على مكبس قطره (100mm)، ما مقدار الضغط على المكبس بوحدات (kN/m<sup>2</sup>)؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{7500}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = \frac{7500 \times 4}{\pi \times (0.1)^2} = 956 \text{ kN/m}^2 \quad (2.8)$$

زيت وزنه النوعي (0.8) موضوع في اناء الى عمق مقداره (2m)، احسب ضغط المقياس بوحدات (kN/m<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned} P &= \rho g h \\ &= 0.8 \times 9.81 \times 2 \\ &= 15.7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

كانت قراءة البارومتر والتي سجلت (765mmHg). حول هذه القراءة الى وحدات (MN/m<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned} P &= \rho g h = 13600 \times 9.81 \times 0.765 \\ &= 102063.24 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.102 \text{ MN/m}^2 \end{aligned} \quad (2.10)$$

رفع الضغط داخل وعاء بوساطة مانومتر زئبقي عند ضغط معين. كان الفرق في ارتفاع مستوى الزئبق في المانومتر (260 mmHg) فوق الضغط الجوي. وكانت قراءة البارومتر (758 mmHg). اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات (MN/m<sup>2</sup>)، (bar).

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm} + P_g = 13600 \times 9.81 \times 0.758 + 13600 \times 9.81 \times 0.26 \\ &= 135817.48 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.1358 \text{ MN/m}^2 \\ &= 1.358 \text{ bar} \end{aligned}$$

(2.11)

مانوميتر مائي يبين ان الضغط في وعاء ما يساوي (400mm) تحت الضغط الجوي. اذا كان الضغط الجوي (763 mmHg). اوجد الضغط المطلق في الوعاء بوحدات (kN/m<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned} Pa &= Patm. - Pg = 13600 \times 9.81 \times 0.763 - 1000 \times 9.81 \times 0.4 \\ &= 97872.41 \text{ N/m}^2 \\ &= 97.87 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(2.12)

مقياس بوردن للضغط يسجل ضغطاً مقداره (1.75 MN/m<sup>2</sup>) للمقياس. إذا كان الارتفاع الباروميتر (757 mmHg). اوجد الضغط المطلق.

$$\begin{aligned} Pa &= Patm. + Pg \\ &= 13600 \times 9.81 \times 0.757 \times 10^{-6} + 1.75 \\ &= 1.851 \text{ MN/m}^2 \end{aligned}$$

(2.13)

كان مقدار الضغط التخلفي في مبخر (284 mmHg)، فإذا علمت ان الضغط الجوي (742 mmHg). احسب الضغط المطلق بوحدات (Pa).

$$\begin{aligned} Pa &= Patm. - Pg \\ &= 13600 \times 9.81 (0.742 - 0.284) \\ &= 61104.53 \text{ Pa} \end{aligned}$$

(2.14)

اوجد ارتفاع عمود الماء وعمود الزئبق المكافئ للضغط الجوي العياري (101325N/m<sup>2</sup>).

$$\begin{aligned} h_{1w} &= \frac{P}{\rho_w \times g} = \frac{101325}{1000 \times 9.81} = 10.329 \text{ m H}_2\text{O} \\ h_2 \text{Hg} &= \frac{\rho_{1w} \times h_{1w}}{\rho_2 \text{Hg}} = \frac{1000 \times 10.329}{13600} = 0.76 \text{ m Hg} \end{aligned}$$

(2.15)

احسب الضغط المكافئ لعمود من الزيتيق عندما يكون ارتفاعه: 760mm، 750mm، 1mm.

$$\begin{aligned} P &= \rho gh = 13600 \times 9.81 \times 0.76 = 101.396 \text{ kPa} \\ &= 13600 \times 9.81 \times 0.75 = 100 \text{ kPa} \\ &= 13600 \times 9.81 \times 0.001 = 0.133 \text{ kPa} \end{aligned}$$

(2.16)

إذا اردنا قياس فرق الضغط مقداره (200 Pa) بواسطة مانوميتر استعمل فيه ك سائل الزيتيق،  
الماء، الكحول، سب ارتفاع عمود السائل. إذا كان  $(\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg/m}^3)$ ،  
 $(\rho_{alc.} = 800 \text{ kg/m}^3)$ ،  $(\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3)$ .

$$\begin{aligned} h &= \frac{P}{\rho \times g} = \frac{200}{13600 \times 9.81} = 1.5 \text{ mmHg} \\ &= \frac{200}{1000 \times 9.81} = 20.4 \text{ mm W} \\ &= \frac{200}{800 \times 9.81} = 25.5 \text{ mm Alc} \end{aligned}$$

(2.17)

مقياس بوردين يقيس ضغط مقداره (1.75 MPa). فإذا كان الضغط الجوي (757 mmHg)،  
احسب الضغط المطلق بوحدات (MPa)، (mmHg).

$$\begin{aligned} P_a &= P_{atm.} + P_g = 1.75 + 13600 \times 9.81 \times 0.757 \\ &= 1.851 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$h = \frac{1.851 \times 10^6}{13600 \times 9.81} = 13.874 \text{ mHg} = 13874 \text{ mmHg}$$



(2.18)

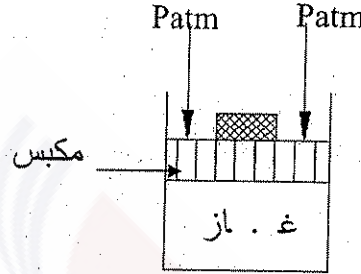
اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس قطره (24cm) عليه ثقل (كتلة المكبس + كتلة الثقل) تساوي (2kg). تم قياس الضغط الجوي بوساطة باروميتر زئبقي، وك ان ارتفاع الزئبق (750mmHg). احسب الضغط المطلق والمطلق بوحدات: mmHg, PSI, bar, kPa.

$$P_g = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = \frac{2 \times 9.81 \times 4}{3.14 \times (0.24)^2} = 434 \text{ Pa}$$

$$= 0.434 \text{ kPa}$$

$$= 0.434 \times 10^{-2} \text{ bar}$$

$$= 0.434 \times 10^{-2} \times 14.7 = 0.063 \text{ PSI}$$



$$h_{\text{Hg}} = \frac{P_g}{\rho_{\text{Hg}} \times g} = \frac{434}{13600 \times 9.81} = 3.253 \text{ mmHg}$$

$$P_a = P_{\text{atm.}} + P_g = 13600 \times 9.81 \times 0.75 + 434 = 100496 \text{ Pa}$$

$$= 100.496 \text{ kPa} = 1.00496 \text{ bar}$$

$$h_{\text{Hg}} = \frac{P_{\text{abs.}}}{\rho_{\text{Hg}} \times g} = \frac{100496}{13600 \times 9.81} = 0.7532 \text{ mmHg}$$

(2.19)

اسطوانة فيها غاز ربط عليها مانوميتر زئبقي فإذا كان (أ) قراءة المانوميتر (15 cm Hg)، (ب) قراءة المانوميتر بضغط تخلخل مقداره (10 cm Hg) وكانت قراءة الباروميتر في الحالتين (1.01 bar). احسب الضغط المطلق للغاز في الحالتين بوحدات

(1) kN/m<sup>2</sup> (2) bar

-1

$$P_a = P_{\text{atm.}} + P_g = 1.01 \times 10^5 + 13600 \times 0.15 \times 9.81$$

$$= 121012.4 \text{ Pa}$$

$$= 121.0124 \text{ kPa} = 1.21 \text{ bar}$$

-ب-

$$P_a = P_{\text{atm.}} - P_g = 1.01 \times 10^5 - 13600 \times 0.1 \times 9.81$$

$$= 87658.4 \text{ Pa}$$

$$= 87.6524 \text{ kPa}$$

$$= 0.876584 \text{ bar}$$

(42)

(2.20)

إذا كانت قراءة باروميتر زئبقي عند قاعدة جبل (740 mmHg). وفي قمة الجبل تكون قراءة نفس الباروميتر (590 mmHg). إحسب إرتفاع الجبل. علماً بأن:  $\rho_a = 1.225 \text{ kg/m}^3$ .

$$P = \rho g \Delta h = 13600 \times 9.81 \times (0.74 - 0.59) \times 10^{-3}$$

$$= 20.013 \text{ kPa}$$

$$h = \frac{P}{\rho_a \times g} = \frac{20.013 \times 10^3}{1.225 \times 9.81} = 1665 \text{ m}$$

(2.21)

اسطوانة فيها غاز مغلقة بمكبس مساحة مقطعه العرضي  $(0.04 \text{ m}^2)$  وكتلته (60kg). وكانت قيمة الضغط الجوي (0.97 bar). احسب الضغط المطلق للغاز.

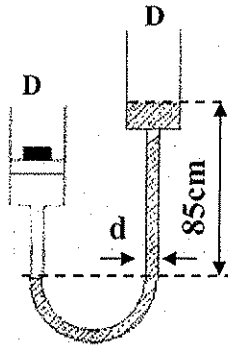
$$P_a = P_{atm.} + P_g = P_{atm.} + \frac{F}{A} = P_{atm.} + \frac{m \times g}{A}$$

$$= 0.97 \text{ bar} + \frac{60 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2}{0.04 \text{ m}^2} \left( \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \left( \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \text{ Pa}} \right)$$

$$= 1.117 \text{ bar}$$

مسائل

(2.1)



في النظام الموضح في الشكل، يوجد غاز فوقه مكبس حر الحركة عليه  
ثقل. احسب وزن المكبس والثقل مجتمعين اذا كان الضغط في حالة ساكنة  
واحسب كذلك الضغط المطلق والضغط المقاس للغاز إذا علمت ان الضغط  
الجوي هو (1.01 bar) وكثافة الزيت . . . . .  
(13.6 g/cm<sup>3</sup>). اهمل وزن الغاز، ان (D=20 cm) (d=2 cm).  
ج: (3560.87 N)

(2.2)

وضع مقياس ضغط متخلخل (فاكيوم) عند دخول الغاز الى ضاغط وكانت قراءته (0.5 bar).  
وكانت قراءة مقياس الضغط عند الخروج من الضاغط (0.8 MPa). احسب الضغط المطلق للغاز  
عند الدخول والخروج من الضاغط، اذا كان الضغط الجوي (760 mmHg) وكثافة الزيت  
(13600 kg/m<sup>3</sup>). إذا وضع مانوميتر زيتي على شكل (U) بين الدخول والخروج. احسب فرق  
ارتفاع الزيت بين ساقي المانوميتر.  
ج: (0.64 cm Hg, 901.3 kPa, 51.3 kPa)