الفصل الثالث

3. الضغط

3. 1. مقدمة

يمكن أن نعيد الضغط لغاز أو سائل في وعاء مغلق إلى القوة التي تمتلكها جزيئات هذا الغاز أو السائل داخل الوعاء في حركتها بجميع الاتجاهات واصطدامها المرن بجدران الوعاء.

لفهم هذه الفكرة نأخذ سائل في حالة التوازن الشكل (3.1) فإذا افترضنا أن الجزئيات في الوعاء لها شكل كروي تقريباً، وحركتها ضعيفة قلنا أن السائل أو الغاز متوازن، فإذا زودنا الوعاء بقليل من الحرارة، فإن الجزيئات تمتصها، مما يعطي ضغطاً من داخل الجزيئة إلى سطحها الخارجي عمودياً على السطح وفي كل نقطة منه، الشكل (3.1) مما يدفع السائل أو الغاز إلى الحركة.

سنحاول في المثال التالي إيجاد عدد المولات في عينة مغلقة.

الشكل (3.1)

<u>**مثال:**</u>

لدينا وعاء مغلق يحتوي على *2 kg* من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. ما هو عدد جزيئات هذا الغاز في الوعاء المغلق.

الحل: علمنا سابقاً أن كتلة جزيئة CO_2 تساوي *44.0 g*، فيكون عدد المولات في *2 kg* مساوياً:

$$n = \frac{2000g}{44.0g.mole^{-1}} = 45.5 \ \ moles$$

وبما أن المول يحتوي على N_A جزيء، فيكون لدينا عدد الجزيئات في الوعاء مساوياً:

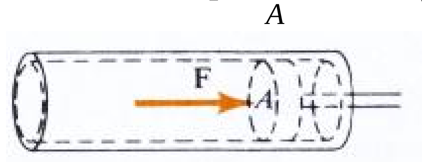
$$N = nN_A = \left(45.5mols\right)\left(6.02\times10^{23} \ molecules.mole^{-1}\right)$$

$$= 2.74\times10^{25} \ molexules$$

يقدر الضغط بالجملة الدولية Nm^{-2} وبالجملة السغثية بـــ$dyn\ cm^{-2}$

لكي نحصل على الضغط P في نقطة ما نعتبر (كما قلنا سابقاً) أن الجزيئة (أو الذرة) ذات سطح كروي ولها نصف قطر صغير، إن الضغط الذي يطبقه غاز على السطح الداخلي لوعاء يمكن تعريفه أيضاً وفق القانون السابق بالعلاقة $P = \frac{F}{A}$، الشكل (3.2) يبين أن الغاز الموجود في أسطوانة تحتوي على مكبس والغاز مضغوط بواسطته، فإذا كان سطح المكبس (A) فإن قيمة القوة F المطبقة من الغاز على سطح المكبس تسمى بالضغط وتساوي:

$$P = \frac{F}{A} \qquad \textbf{(3.1)}$$



الشكل (3.2)

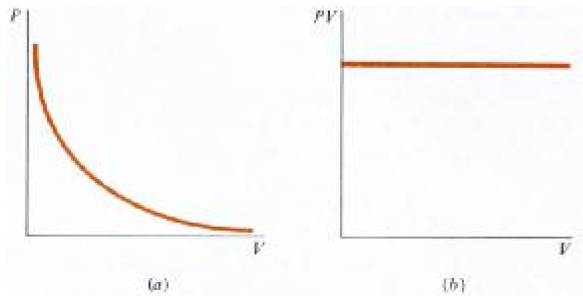
3. 2. قوانين الغازات المثالية

لنفترض أنه لدينا كمية من الغاز في وعاء، وهذا الغاز يمكننا تغيير درجة حرارته Tc وكذلك حجمه V، سنجد في هذه الحالة أنه من أجل أي غاز وعند كثافات غازية منخفضة أن الضغط P سيرتبط بدرجة الحرارة Tc وكذلك الحجم V، هذا يعني أننا نستطيع ربط درجة حرارة الغاز مع حجمه وضغطه شرط أن تكون كثافة الغاز منخفضة.

حاول العالم بويل (*1627-1691*) الربط بين الضغط P والحجم لغاز مثالي مع تثبيت درجة الحرارة فوجد أن:

$$PV=constant$$

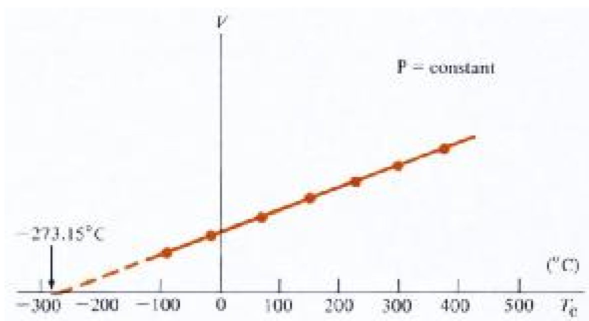
تبقى هذه المعادلة صحيحة بشرط عدم تغيير درجة الحرارة بقيمة كبيرة.



الشكل (3.3)

أي أن بتغيير درجة الحرارة في مجال معين تبقى العلاقة السابقة محققة.

إن عمل بديل يمكن تمثيله بالشكل (3.3)، حاول جاك شارك (*1740-1823*) دراسة تغير الحجم مع درجة الحرارة تحت تأثير ضغط ثابت ومثّل نتائجه بالشكل (3.4)



الشكل (3.4)

إن تمديد المستقيم في الشكل (3.4) بطريقة استقرائية قد أوصلنا إلى تقاطع هذا المستقيم مع محور درجة الحرارة دعيت هذه النقطة بدرجة حرارة الصفر المطلق وتساوي بالنسبة لسلم سلزيوس الدرجة *-273°c* ونظرياً عند

درجة الحرارة هذه يكون حجم الغاز مساوياً إلى الصفر. استفاد العالم كالفن من هذه النتيجة ووضع سلمه الحراري الذي فيه درجة الصفر تساوي $-273^{o}c$ بالنسبة لسلم سلزيوس ولخص قانونه على الشكل:

$$T_k = T_c + 273.15$$

أما شارل فوضع قانونه على الشكل:

$$\frac{V}{T} = \text{constant}$$

يمكن دمج قانوني بويل وشارل في علاقة واحدة هي:

$$\frac{PV}{T} = \text{constant}$$

وذلك لأن تثبيت T يعطينا $\text{PV} = \text{constant}$، وتثبيت الضغط P يوصلنا إلى العلاقة $\frac{V}{T} = \text{constant}$. لنبين من أجل غاز معين إذا ضاعفنا عدد جزيئات الغاز فإن الضغط مقسماً على درجة الحرارة يبقى ثابتاً لذلك نكتب أن:

$$PV = nRT$$

حيث R يمثل ثابتة الغاز العام، n عدد المولات

$$R = 8.314\ Jmole^{-1}k^{-1}$$
$$= 0.08207\ litre\ atm\ mole^{-1}k^{-1}$$
$$1\ litre = 10^{-3}m^3 = 10^3 cm^3$$

أما الشروط القياسية للغازات فهي: $P= 1\ atm$ ، $T_c=0^{o}c$

<u>مثال:</u>

ما هو حجم واحد مول من غاز مثالي في الشروط القياسية.

<u>الحل:</u> باستخدام معادلة درجة حرارة كالفن:

$$T_k = T_c + 273.15 = 0 + 273.15 = 273.15k^{o}$$

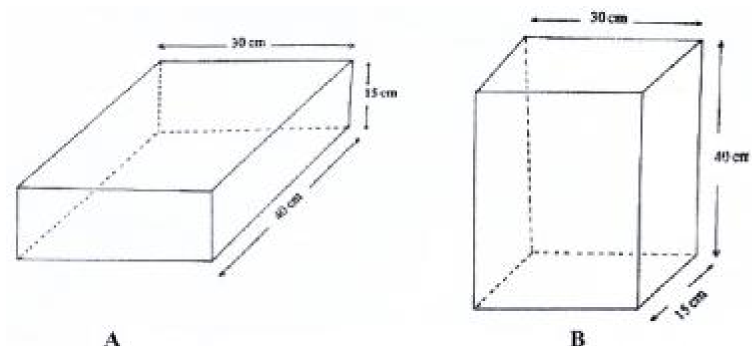
أما حجم الغاز المثالي فيعطى بالعلاقة:

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1\ mole}{1\ atm}(0.08207)(273.15k^{\circ})$$
$$= 22.4\ litres$$

أي أن المول الواحد من الغاز المثالي يشغل حجماً قدره *22.4 litres* عندما يكون في الشروط القياسية من الضغط ودرجة الحرارة.

مثال (1)

صندوق معدني على شكل متوازي المستطيلات كتلته (*26 Kg*)، فإذا كان طوله(*40 cm*) وعرضه (*30 cm*)، وارتفاعه (*15 cm*)، أوجد ضغط الصندوق على سطح الأرض في الوضعين اللذين في الشكلين (*1,A*) و(*1,B*)



الشكل (3.5)

مساحة السطح الذي يؤثر عليه وزن الصندوق في الشكل (*1,A*) هو:

$$A = (30.10^{-2}m)(40.10^{-2}m) = (12).10^{-2}m^2$$

وحيث أن القوة العمودية المؤثرة على هذا السطر هي وزن الصندوق:

$$F' = mg$$
$$= (26\ kg)(9.8\ m/s^2) = 254.8\ N$$

وباستخدام المعادلة (3.1) نجد:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{254.8\ N}{12.10^{-2}\ m^2} = 2.12.10^3\ \ N\ /\ m^2$$

وفي الشكل (*1,B*) تكون مساحة السطح الذي يؤثر عليه وزن الصندوق هي:

$$A = \left(15.10^{-2}\ m\right)\left(30.10^{-2}\ m\right) = 4.5\times10^{-2}\ m^2$$

والقوة المؤثرة على هذه المساحة هي وزن الصندوق، أي أن:

$$F = mg$$

$$= \left(26\ kg\right)\left(9.8\ m\ /\ s^2\right) = 254.8\ N$$

أي نفس مقدار القوة في الحالة الأولى، باستخدام المعادلة (*1-1*):

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{254.8\ \mathrm{N}}{\left(4.5\times10^{-2}\ \mathrm{m}^2\right)} = 8.49.10^3\ \ \left(\mathrm{N/m}^2\right)$$

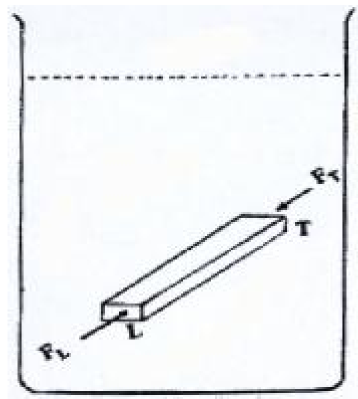
لاحظ أن الضغط في الحالة الثانية أكبر من الضغط في الحالة الأولى، وذلك لأن نفس القوة تؤثر على مساحة أصغر.

3. 3. الضغط في الموائع

نلاحظ من خلال تجاربنا أننا نستطيع أن نؤثر بقوة على سطح الجسم الصلب في أي اتجاه، ولكن في حالة الموائع، فإن القوة لابد أن تؤثر عمودياً على السطح في حالة التوازن، فلو افترضنا أن هناك قوة تؤثر بشكل مواز لسطح السائل، فإن السائل سيتحرك في اتجاه القوة، وهذا يعود لخاصية ميوعة السائل، والخاصية الأخرى للسائل هي أن الضغط متساو عند جميع نقاطه، عندما نهمل وزن السائل (غياب الجاذبية الأرضية)، ولتوضيح هذه الخاصية، نتخيل أننا اقتطعنا حجماً على شكل متوازي المستطيلات، من السائل الساكن

كما في الشكل (3.6).

وبما أن متوازي المستطيلات في حاله سكون، فهذا يعني أن جميع القوى المؤثرة عليه في حالة توازن، ولأن القوة لا تؤثر إلا عمودياً على السطح، فإن القوة المؤثرة على السطح (L)، تساوي القوة المؤثرة على السطح المقابل له (T)



الشكل (3.6)

وبالتالي نستطيع أن نكتب:

$$F_L = F_T$$

وإذا رمزنا للضغط على السطح L بـــP_L والضغط على السطح T بـــP_T فإن:

$$P_L = \frac{F_L}{L} \quad , \quad P_T = \frac{F_T}{T}$$

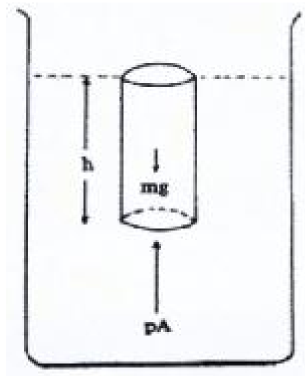
وبما أن مساحة السطحين L وT متساوية فإن:

$$P_L = P_T$$

أي أن الضغط عند السطح L تساوي الضغط عند السطح T، وهذا منطبق على أي نقطتين في السائل الساكن.

الآن لو أخذنا بعين الاعتبار، وزن السائل أي وجود الجاذبية الأرضية.

فإذا أفرغنا اسطوانة طولها (L)، ومساحة مقطعها (A) من السائل كما في الشكل (3.7) وكان سطحها العلوي في مستوى سطح السائل.



الشكل (3.7)

هذه الأسطوانة في حالة توازن، نتيجة تأثير قوتين متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه الشاقولي، هما وزن الاسطوانة (mg) إلى الأسفل، وقوة رد الفعل العمودية على القاعدة A ومقدارها P_A:

$$P_A = mg \qquad \text{أو} \qquad P_A - mg = 0$$

ومن علاقة الكثافة $r = \dfrac{m}{V}$ نجد:

$$m = rV$$

حيث m كتلة الاسطوانة وρ كثافة السائل، وV حجم اسطوانة السائل.

$$P = r g \ \frac{V}{A}$$

ولكن $\dfrac{V}{A}$ يساوي ارتفاع الاسطوانة (L)، وبالتعويض نجد:

$$P = r gL \qquad \textbf{(3.2)}$$

أي أن ضغط السائل عند أي نقطة يساوي كثافة السائل مضروباً بتسارع الجاذبية الأرضية مضروباً ببعد النقطة عن سطح السائل.

ولإيجاد الفرق في الضغط بين نقطتين في سائل، نفترض وجود نقطتين A وB على الارتفاعين L_A وL_B على التوالي، كما في الشكل (3.8) ومن المعادلة (3.1) يكون الضغط عند النقطة A:

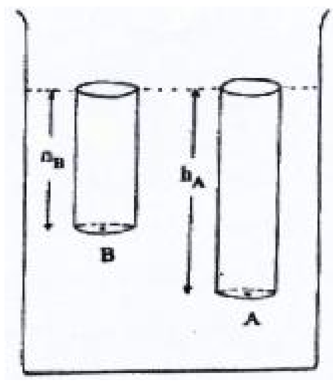
$$P_A = r\,gL_A$$

والضغط عند النقطة B:

$$P_B = r\,gL_B$$

وبأخذ فرق الضغط بين النقطتين:

$$P_A - P_B = r\,g\left(L_A - L_B\right) \qquad \textbf{(3.3)}$$



الشكل (3.8)

مثال (*2*):

أوجد ضغط الماء عند نقطة على عمق *20m* تحت سطح البحر، بفرض أن كثافة ماء البحر تساوي $(1.03.10^3)\ Kg/m^3$

الحل :

باستخدام المعادلة (3.2) نجد:

$$P = r\,gh$$

$$P = \left(1.03.10^3\right)\left(9.8\right)\left(20\right) = 2.02.10^5\ \ N/m^2$$

3. 4. الضغط الجوي

الكرة الأرضية هي الكوكب الذي نعيش على سطحه، سواء منه اليابس أو الماء، وما يحيط به من هواء، وهنالك ضغط لا يمكن أن نتجاهله، وهو ضغط الهواء الجوي، ويمكن تعريف الضغط الجوي، بأنه وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات، ويمتد طوله من الأرض - عند مستوى سطح البحر - إلى طبقة الأوزون.

ولقد استطاع العالم الفيزيائي الإيطالي تورشيللي، من أن يجد وزن عمود الهواء، وذلك بملء أنبوبة ارتفاعها أكثر من 10 أمتار بالماء، ثم وضع الطرف المفتوح في حوض كبير به ماء، فوجد أن الماء في الأنبوبة يهبط إلى ارتفاع $10\ m$ فوق سطح الماء الذي في الحوض كما في الشكل (3.9).

أي أن عمود الماء أصبح متوازناً تحت تأثير قوتين، هما قوة وزنه وضغط الهواء الجوي عليه، وبالتالي فإن قيمة ضغط الهواء الجوي يعادل وزن عمود الماء الذي يؤثر على وحدة المساحة، وباستخدام المعادلة:

$$P = r\,gh$$

نجد أن:

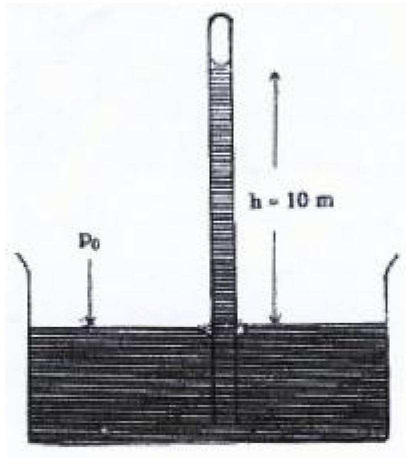
$$P_0 = r\,gh$$

حيث (P_0) ضغط الهواء الجوى، و(ρ) كثافة الماء، و(g) تسارع الجاذبية الأرضية، و(h) ارتفاع الماء في الأنبوبة. ولأن كثافة الزئبق أكبر بكثير من كثافة الماء، فإنه من الملائم استخدام الزئبق بدلاً من الماء، ووجد أن ارتفاع الزئبق عند مستوى سطح البحر، وعند درجة الحرارة $(0°C)$ يساوي $(76\ cm)$، فإذا عوضنا في المعادلة السابقة عن كثافة الزئبق وعن ارتفاعه في الأنبوبة فإننا نجد أن:

$$P_0 = \left(13.6.10^3 Kg\ /\ m^3\right)\left(9.8\ m\ /\ s^2\right)\left(76.10^{-2}\mathrm{m}\right) = 1.013.10^5\ N\ /\ m^2$$

وقد أخذ العلماء هذا الضغط ليكون "ضغط جوي واحد" أو باختصار (*1 atm*)، أي أن ضغط جوي واحد، يعادل ضغط عمود من الزئبق طوله (*76 cm*)، أو

$$(1\ atm) = 76\ cm\ \ Hg = 1.013.10^5\ N\ /\ m^2$$



الشكل (3.9)

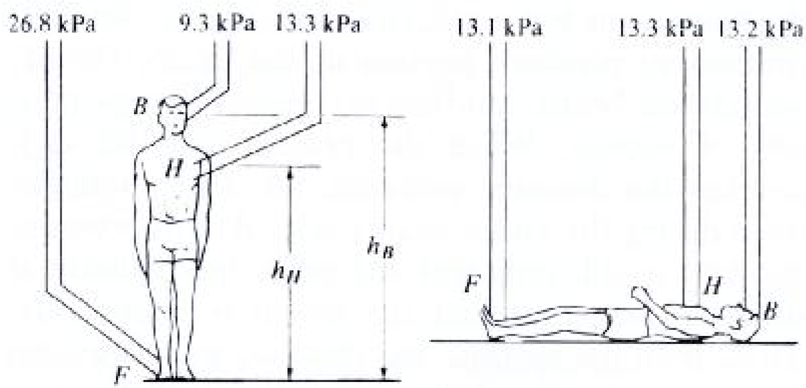
3. 5. ضغط الدم

إن ضربات القلب منتظمة ومستمرة، عددها في الرجل البالغ السليم *72* ضربة في الدقيقة الواحدة، وهذا العدد يختلف بحسب العمر والجنس والتعب والحالة الصحية .... الخ.

إن القلب يعمل نصف الوقت، ويستريح نصف الوقت في كل ضربة واحدة، فهو لا يتعب، ويعمل كمضخة ماصة تمتص الدم من الأوردة إلى الأذينين، أثناء الاسترخاء، وضاغطة تدفع الدم في الشرايين بواسطة البطينين، وبالتالي يكون الضغط في الشريان عالياً، وهو في المتوسط حوالي (*100 mm Hg*)، ولأن القلب ينقبض وينبسط (ينبض)، فإن الضغط يتراوح بين المستوى الانقباضي، وهو حوالي (*120 mm Hg*)، وهذه أعلى قيمة، وبين المستوى الانبساطي، وهو حوالي (*80 mm Hg*) وهذه أدنى قيمة، وهذان

الضغطان يتغيران مع تقدم الإنسان في السن.

ولقياس ضغط الدم، فإن الطبيب يستخدم المانومتر الطبي وهو عبارة عن مانومتر زئبقي مزود بأنبوبة مطاطية بها صمام للتحكم في دخول وخروج الهواء ومنفاخ هوائي وهذه الأنبوبة متصلة بحزام ضاغط أو كم فابل للنفخ، يوضع حول العضد على نفس مستوى القلب، في البداية ينفخ الحزام ثم يراقب الضغط الذي يؤثر به الحزام على الذراع وعند دفع الهواء في الحزام حتى يزيد ضغطه عن ذروة الضغط في شريان الذراع، يتوقف نتيجة لذلك جريان الدم في الذراع، ثم يخفض الضغط داخل الحزام تدريجياً، وذلك بفتح الصمام والسماح للهواء أن يتسرب منه وبواسطة السماعة الطبية يستمع الطبيب إلى رجوع النبضة للشريان وأول صوت يسمع للنبضة عندما يكون الضغط في الحزام مساوياً للضغط الشرياني وعندها يأخذ الطبيب قراءة المانومتر ويكون مقدار الضغط في هذه الحالة هو مقدار الضغط الانقباضي، يستمر الطبيب في فتح الصمام، لتخفيض الضغط في الحزام والاستماع لصوت النبضان وأول ما يختفي صوت النبض في الشريان، يأخذ قراءة المانومتر، وتكون هذه القراءة هي مقدار ضغط الدم الانبساطي، ويكتبان على الشكل *120/80*.



الشكل (3.10)

معلوم أن القلب يؤمن بحركته النبضية الضغط الذي يدفع الدم لكي يسري في الأوعية الدموية المختلفة – طبعاً يختلف هذا الضغط حسب وضعية الشخص إن كان واقفاً أو مستلقياً.

الشكل (3.10) يبين شخصاً واقفاً ثم مستلقياً – في حالة التمدد نرى أن ضغط الدم عند قدميه وقلبه وعند رأسه متساوياً أما بالنسبة لحالة الوقوف فالضغط في الرأس وعند القلب والقدمين يكون مختلفاً. يكون الفرق في الضغط عائداً إلى لزوجة الدم وما يحتويه من مكونات يمكن أن تختلف من شخص لآخر، وكذلك لفرق الارتفاع بين الرأس والقدمين، ولحساب الضغط نستخدم معادلة برنولي:

$$P + r\,gh + 1/2\,rV^{2} = \text{constant} \ \ (\text{ثابـــت})$$

لدراسة الحالة السابقة نعتبر أن سرعة جريان الدم في الشرايين صغيرة وبالتالي يكون الحد $1/2\,rV^{2}$ مهمل. نربط الضغط بين الرأس والقلب والقدمين بالعلاقة:

$$P_F = P_H + r\,gh_H = P_B + r\,gh_B$$

حيث: P_B: الضغط عند الدماغ

P_H: الضغط عند القلب

P_F: الضغط عند القدمين

ρ: كثافة الدم = $1.0595\times10^{3}\ Kg.m^{-3}$

h_H: ارتفاع القلب عند البالغين = $1.3\ m$

h_B: ارتفاع الدماغ عند البالغين = $1.7\ m$

$$P_F - P_H = r\,gh_H = \left(1.0595\times10^{3} Kg\ /\ m^{3}\right)\left(9.8\ m\ /\ s^{2}\right)\left(1.3\text{m}\right)$$
$$= 1.35\times10^{3}\ \text{Pascal}$$

وبحساب مشابه نحصل على قيمة الضغط عند الدماغ ويساوي $P_B = 0.93\times10^{4}\ Pascal$، هذا المثال يشرح لنا كيف نجد الضغط العلوي والسفلي في جسم الإنسان.

تأثير التسارع على حركة الدم

في هذه الحالة يمكن الاستفادة من معادلة برنولي بعد إضافة التسارع إلى حد الجاذبية ($g+a$) لتأخذ الشكل:

$$P_B + r\,(g + a)\,h_B = P_H + r\,(g + a)\,h_H$$

أو تكتب بالشكل:

$$P_B = P_H + r\,(g + a)(h_B - h_H)$$

تبين هذه المعادلة أن ضغط الدم عند الرأس يتناقص بشدة عند زيادة التسارع وهذا ما يظهر عند ملاحين الطائرات الحربية السريعة كما أن شيئاً من هذا الشعور ينتابنا عند ركوبنا الطائرة ولحظة إقلاعها.

3. 6. وحدات قياس الضغط

وجدنا سابقاً أن الضغط هو نسبة القوه المؤثرة عمودياً على السطح، وبالتالي فإن واحدات قياس الضغط تساوي واحدات قياس القوة مقسمة على واحدات مساحة، ففي الجملة السغثية تكون واحدة الضغط dyn/cm^2 وفي الجملة الدولية N/m^2 وتسمى هذه الواحدة بالباسكال ويرمز لها بالرمز (Pa).

$$1\ Pa = N\ /\ m^2$$

رأينا أيضاً أن ضغط جوي واحد ($1\ atm$) يساوي ($1.013.10^5\ N/m^2$) أو يعادل ($75\ cm\ Hg$). هنالك واحدات أخرى للضغط تستخدم لأغراض مختلفة من العلوم، فعلماء الأرصاد الجوية يستخدمون وحدة البار(bar)، وهي تعادل مليون دينة\سنتمتر مربع (dyn/cm^2) أي أن:

$$1\ \mathrm{bar} = 10^6\ \ \mathrm{dyn\ /\ cm^2}$$

أما الأطباء فيستخدمون واحدة الملليمتر الزئبقي ($mm\ Hg$)، وهي مقدار الضغط اللازم لرفع عمود من الزئبق طوله ($1\ mm$)، ويسمى ($l\ mm\ Hg$) بالتور ($Torr$) أي أن:

$$1\ \text{Torr} = 1\ mm\ \ Hg$$

وهنالك واحدات أخرى شائعة، وهي السنتمتر المائي ($cm\ H_2O$)، وهي مقدار الضغط اللازم لرفع عمود من الماء طوله سنتمتر واحد ($1\ cm$).

3. 7. الضغط القياسي

عندما يكون سطح السائل معرضاً للهواء مباشرة، فإن الضغط الكلي، أو الضغط المطلق عند نقطة على عمق h من سطح السائل يساوي مجموع الضغط الجوي وضغط عمود السائل، أي أن:

$$P = P_0 + r\,gh$$

أو

$$P - P_0 = r\,gh$$

حيث (P) الضغط المطلق.

يعرف الفرق بين الضغط المطلق (P)، وضغط الهواء الجوى (P_0) بأنه الضغط القياسي، ويرمز له بالرمز (P_G)، أي أن:

$$P_G = P - P_0 = r\,gh$$

وكثيراً ما نستخدم الضغط القياسي بدلاً من الضغط الكلي في التطبيقات العلمية والطبية، ولقد صممت معظم أجهزة قياس الضغط لتعطي الضغط القياسي.

مثال (3):

أوجد الضغط القياسي والضغط المطلق عند قاع إناء مملوء بزيت الزيتون حتى ارتفاع ($24.5\ cm$)، إذا كانت كثافة الزيت ($0.87.10^3\ Kg/m^3$)

الحل :

يؤثر في قاع الإناء ضغطان: الضغط الجوي وضغط ارتفاع الزيت، وكما ذكرنا، فإن الضغط القياسي (P_G) هو ضغط وزن الزيت على القاع أي أن:

$$P_G = r\,gh$$

حيث (ρ) كثافة الزيت و(h) ارتفاع الزيت في الإناء

$$P_G = \left(0.87.10^3 Kg / m^3\right)\left(9.8\ m / s^2\right)\left(24.5.10^{-2} m\right)$$
$$= 2.09.10^3\ N / m^2$$

ولحساب الضغط المطلق، الذي هو الضغط الكلي الواقع على قاع الإناء، نجد مجموع ضغط الهواء الجوي والضغط القياسي، أي أن

$$P = P_0 + r gh$$
$$= \left(1.013.10^5\ N / m^2\right) + \left(2.09.10^3\ N / m^2\right)$$
$$= 1.0339.10^5\ N / m^2$$

3. 8. الضغط السالب

عرفنا حتى الآن أن الضغط القياسي يكون كمية موجبة، ولكن إذا قل الضغط المطلق عن الضغط الجوي فإن الضغط القياسي يصبح سالباً.

ولتوضيح مفهوم الضغط القياسي السالب نأخذ ثلاث زجاجات متشابهة، كما في الشكل (3.11)، كلاً منها مملوءة جزئياً بسائل، ومغلقة بإحكام بسدادة، ومثبت بكل سدادة أنبوبة يكون حرفها العلوي مفتوحاً للهواء الجوي.

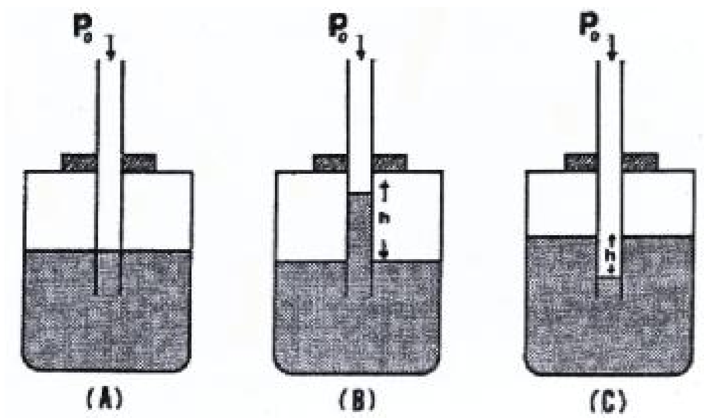
فإذا كان الضغط في الزجاجة يساوي الضغط الجوي، فإن مستوى سطح السائل في الزجاجة وفي الأنبوبة يكون متساوياً كما في الشكل (3.11). أما إذا كان الضغط في الزجاجة أكبر من الضغط الجوي، فإن السائل في الأنبوبة سيرتفع عن مستوى سطح السائل في الزجاجة كما في الشكل (3.11).

في الشكل (3.11) نلاحظ أن مستوى سطح السائل في الأنبوبة منخفض عن سطح السائل في الزجاجة، وهو دليل على أن الضغط الكلي داخل الزجاجة أقل من الضغط الجوي.

في الحالة (A) يكون الضغط القياسي يساوي صفراً، لأن ($h=0$)، وفي الحالة (B) يكون الضغط القياسي يساوي ($+\rho gh$)، لأن ($h>0$)، أما في الحالة

(c) فإن الضغط القياسي يساوي ($-\rho gh$) لأن ($h<0$)، ولهذا السبب سمي هذا الضغط بالضغط السالب، لأنه يقل عن ضغط الهواء الجوي بمقدار (ρgh).

وبفضل هذا الضغط السالب فإننا نتنفس بسهولة، فخلال عملية التنفس تعمل عضلات الجهاز التنفسي على انضغاط وامتداد الرئتين، وهذا يسبب في زيادة ونقصان الضغط في الحجيرات الهوائية فخلال عملية الشهيق يصبح الضغط سالباً (تقريباً $-1\ mm\ Hg$)، وهذا يسبب في اندفاع الهواء داخل الرئتين، وخلال عملية الزفير يرتفع الضغط داخل الحجيرات الهوائية إلى ($+1\ mm\ Hg$) تقريباً، وهذا يجعل الهواء يندفع إلى الخارج خلال الجهاز التنفسي.



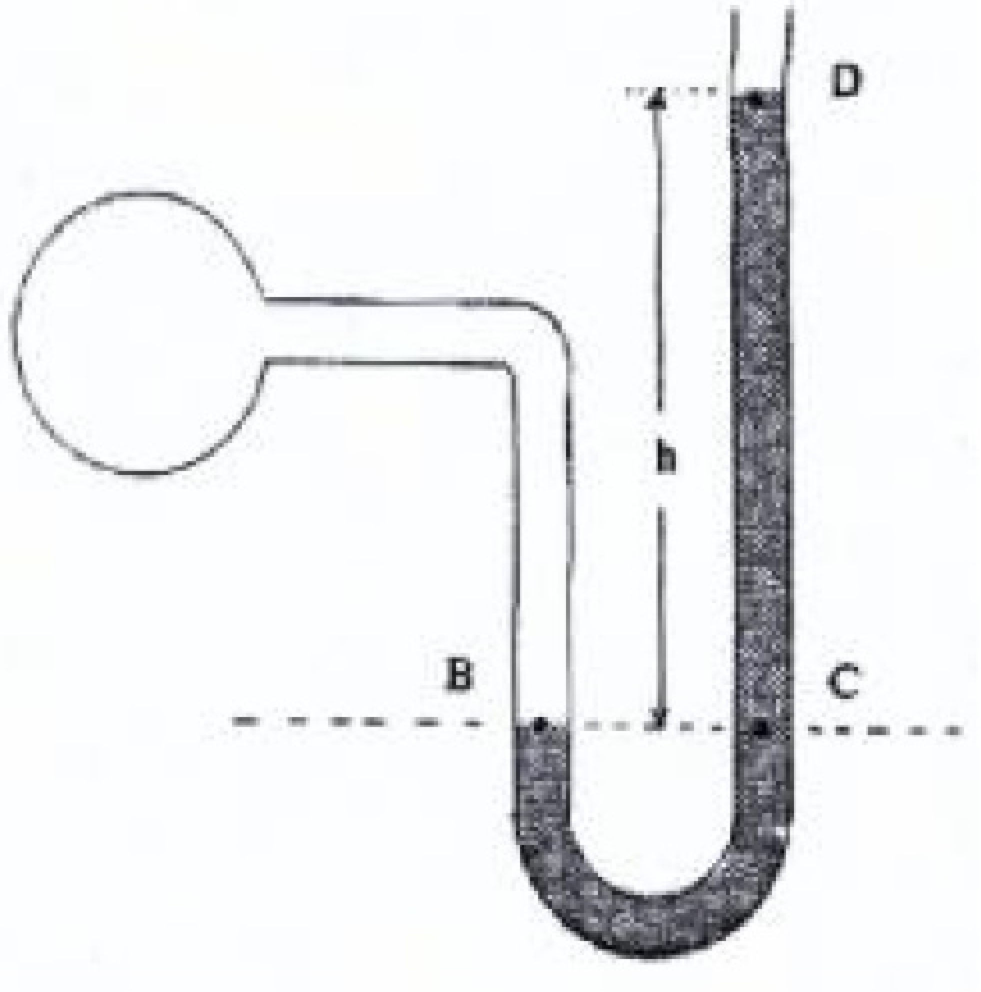
الشكل (3.11)

3. 9. أجهزة قياس الضغط

1. البارومتر (مقياس الضغط)

يعد الهواء المحيط بنا مائعاً هاماً جداً، إذ إن ضغطه ذو أهمية كبيرة، ومعرفة هذا الضغط الجوي بدقة، من الأشياء التي تساعدنا على التنبؤ بالطقس الجوي. والبارومتر عبارة عن أنبوبة طولها متر تقريباً، مسدودة من أحد

ماءً كما في الشكل (3.13)، يوصل أحد طرفيها بالغاز المراد معرفة ضغطه القياسي ويترك الطرف الآخر مفتوحاً للهواء الجوي.



الشكل (3.13)