

الوحدة الثانية

الموائع



الفصل الثالث: خواص الموائع الساكنة

الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة



خواص الموائع

الوحدة الثانية



الفصل الثالث: خواص الموائع الساكنة

الموائع

الوحدة الثانية

خواص الموائع الساكنة

الفصل الثالث

المقدمة:

إن الموائع هي المواد التي تتميز بقدرتها على الإنسياب، وبالتالي تشتمل الموائع على المواد السائلة والغازية. في حين أن الغازات تتميز عن السوائل في قابليتها بسهولة للإنضغاط، بينما تقاوم السوائل أى ضغط عليها تقريباً، وعلى ذلك تتميز السوائل بالحركة الإنسيابية غير القابلة للإنضغاط *Incompressible*. كما أن للسوائل حجم معين في حين أن الغازات تشغل أى حيز توجد فيه.

الكثافة *Density*:

هي خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ وتعرف بكتلة وحدة الحجم، ووحدتها في النظام الدولي هي kg/m^3 .

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

(3-1)

يعزى التغير في الكثافة من عنصر لآخر لما يلي:

١- التغير في الوزن الذرى.

٢- الاختلاف في المسافة البينية بين الذرات أو الجزيئات.

وقد سبق لنا معرفة أن الأجسام ذات الكثافة الصغيرة تطفو فوق السوائل ذات الكثافة الأكبر.

ويوضح الجدول التالى أمثلة لكثافة بعض المواد الشائعة.

الكثافة kg/m ³	المادة	الكثافة kg/m ³	المادة
820	الكبروسين	2700	الجرامد
13600	الزئبق	8600	الومنيوم
1260	الجليمرين	8890	النحاس الأصفر
1000	الماء	2600	النحاس الأحمر
		19300	الزجاج العادي
	الغازات	910	الذهب
1.29	الهواء	7900	الجليد (الثلج)
0.76	غاز النشادر	11400	الحديد
1.96	ثاني أكسيد الكربون	21400	الرصاص
1.25	أول أكسيد الكربون	7830	البلاتين
0.18	الهليوم	1600	الصلب
0.090	الهيدروجين	1800	السكر
1.25	النيتروجين		الشمع
1.43	الأكسجين		
		790	السوائل
		900	الكحول الإيثيلي
		1040	البنزين
		690	الدم
			الجازولين

ويطلق على نسبة كثافة مادة ما إلى كثافة الماء في نفس درجة الحرارة اسم الكثافة النسبية للمادة.

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء في نفس درجة الحرارة}} \quad (2-3)$$

وبصفة عامة:

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء في نفس درجة الحرارة}}$$

ونظراً لأن الكثافة النسبية لمادة هي نسبة بين كميتين متماثلين لهذا لا يكون للكثافة النسبية للمادة وحدات قياس.

تطبيقات الكثافة:

١- قياس الكثافة له أهمية كبرى، حيث تعتبر من إحدى التقنيات التحليلية، حيث إنها تستخدم في قياس كثافة المحلول الإلكتروليتي ببطارية السيارة. فعندما تفرغ الشحنة الكهربائية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتي (حمض كبريتيك مخفف) نتيجة استهلاك حمض الكبريتيك في تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات الرصاص، وعند إعادة شحن البطارية تتحرر أيونات الكبريتات من ألواح الرصاص وتعود للمحلول مرة أخرى، فتزداد الكثافة وبذلك يمكن من قياس الكثافة الاستدلال على مدى شحن البطارية.

٢- تستخدم أيضاً تطبيقات الكثافة فى العلوم الطبية لقياس كثافة الدم والبول.

فكثافة الدم وهو فى الحالة الطبيعية ما بين 1040kg/m^3 إلى 1060kg/m^3 ، فإذا زادت كثافته دل ذلك على أن تركيز خلايا الدم زاد، وإذا نقص عن ذلك دل ذلك على نقص تركيز خلايا الدم وهذا يشير إلى مرض فقر الدم (الأنيميا).

والكثافة المعتادة للبول هي 1020kg/m^3 وبعض الأمراض تؤدي إلى زيادة إفراز الأملاح، هذا يؤدي إلى زيادة مقابلة فى كثافة البول.

الضغط Pressure

يعرف الضغط عند نقطة: بالقوة المتوسطة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة. لذلك إذا أثرت قوة (F) عموديا على سطح مساحته (A) فإن الضغط (P) المؤثر على هذا السطح يتعين من العلاقة:

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

(3-3)

ونظرا لأن القوة (F) مقدرة بالنيوتن والمساحة (A) مقدرة بالمتر المربع، فإن الوحدة التى يقاس بها الضغط هي نيوتن / متر مربع (N/m^2).

معلومة إثرائية



ضغط قدم الفيل أم قدم الإنسان؟

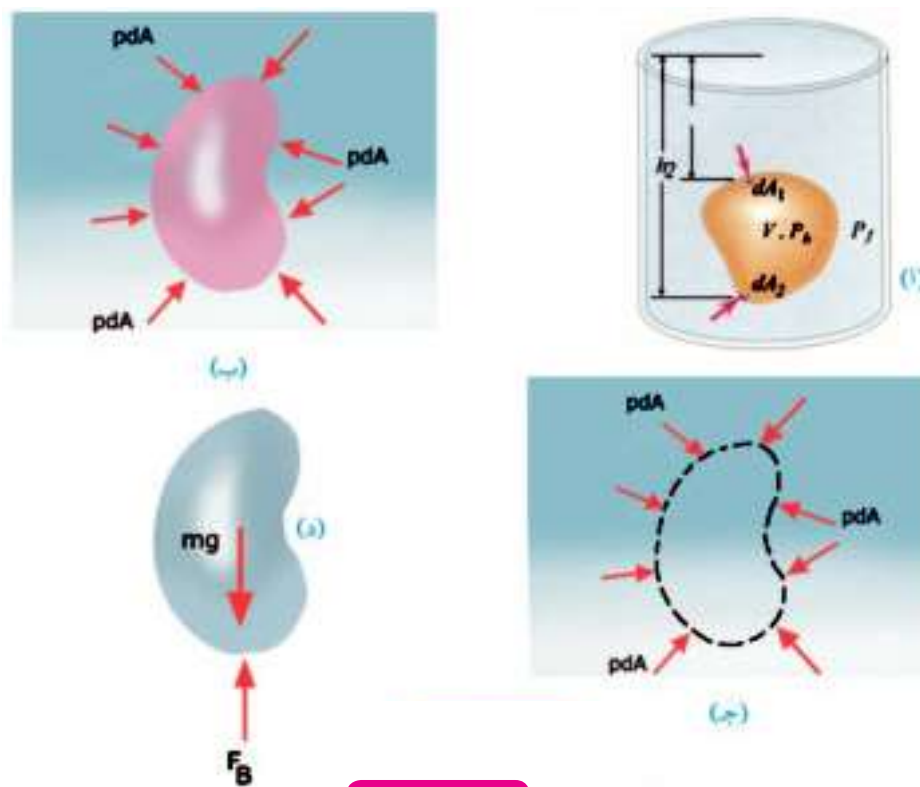
لأن الضغط هو القوة على وحدة المساحة. فإن الضغط نتيجة كعب مدبب أكبر من الضغط الذى يؤثر به قدم الفيل على الأرض، لأن مساحة الكعب المدبب صغيرة للغاية (شكل ٣-١).

شكل (٣-١)

مفهوم الضغط

الضغط عند نقطة في باطن سائل وقياسه:

إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم تركتها، ستجد أن قطعة الفلين ترتفع إلى سطح الماء مرة ثانية، وهذا يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلى أعلى، هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء على هذه القطعة.

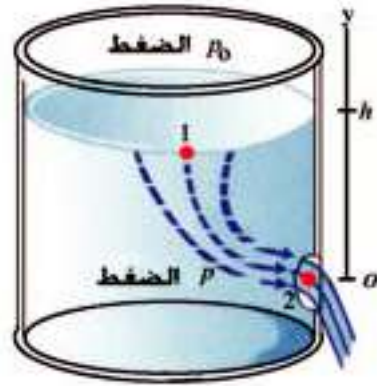
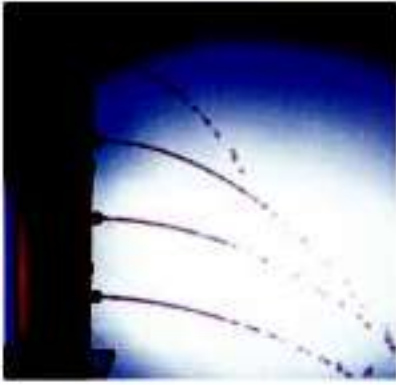


شكل (٣ - ٢)

الضغط داخل سائل

القوة الناشئة عن الضغط داخل سائل تكون عمودية على أي سطح

وعند أي نقطة في باطن سائل، يمكن أن يؤثر الضغط في أي اتجاه، واتجاه القوة الناشئة عن الضغط على سطح معين تكون عمودية على السطح. ويكون الضغط على جسم ما هو نفسه الضغط على حجم من السائل لو لم يوضع الجسم مكانه. أي أن السائل الذي كان يشغل مكان الجسم تؤثر عليه قوتان، وزنه لأسفل والقوة الناشئة عن ضغط السائل المحيط به، وكلما زاد عمق السائل زاد الضغط (شكل ٣-٣).

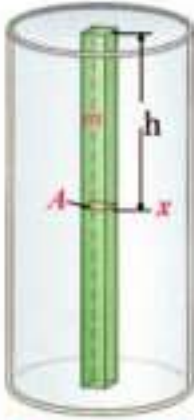


شكل (٣ - ٣)

كلما زاد عمق السائل زاد الضغط

ولحساب الضغط (P) نفترض وجود لوح أفقي مساحته $(A)m^2$ على عمق $(h)m$ تحت سطح سائل

كثافته $\rho (kg/m^3)$ كما في الشكل (٣-٤)، ويعمل هذا اللوح كقاعدة لعمود من السائل.



شكل (٤ - ٣)

حساب ضغط عمود من السائل

يمكننا أن ندرك أن القوة التي يؤثر بها السائل على اللوح (X) تساوي وزن عمود من السائل إرتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A)، لأن السائل غير قابل للانضغاط Incompressible، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد أن تتزن مع وزن عمود السائل الذي إرتفاعه (h). وحيث أن حجم هذا السائل يساوي Ah ، وكتلة السائل تساوي Ahp ، فإن وزن السائل F_g نيوتن يتعين من العلاقة.

$$F_g = Ahpg$$

حيث $g(m/s^2)$ هي عجلة الجاذبية:

عندئذ يتعين ضغط السائل P على اللوح (X) من العلاقة:

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

$$\therefore P = hpg \text{ N/m}^2$$

(٣ - ٤)

وهذه هي قيمة الضغط الذي يؤثر به السائل وحده عند نقطة في باطنه على عمق h .

وإذا أخذنا في الاعتبار أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوي، P_a فإن الضغط الكلي عند نقطة في باطن سائل تتعين من العلاقة:

$$P = P_a + h\rho g$$

(3-5)

وتوضح المشاهدات أن ضغط السائل P عند نقطة في باطنه يزداد بزيادة عمق هذه النقطة (h) تحت سطح نفس السائل كما يزداد الضغط بزيادة كثافة السائل عند نفس العمق.

ومن هذه العلاقة يمكن أن نتبين ما يلي:

١- جميع النقط التي تقع في مستوى أفقي واحد في باطن

السائل يكون لها نفس الضغط.

٢- السائل الذي يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأواني المستطرقة)

Connecting Vessels يرتفع في هذه الأجزاء بنفس المقدار، بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الإناء في

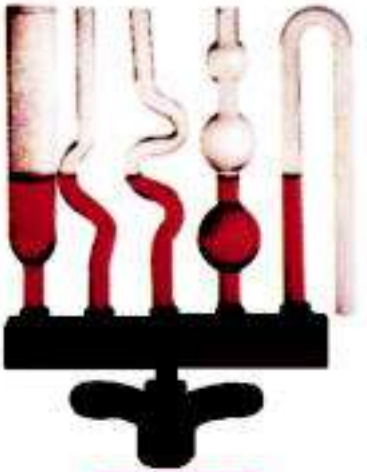
مستوي أفقي، (شكل ٣-٥).

ولهذا فإن مستوي سطح البحر واحد لكل البحار المتصلة

ببعضها.

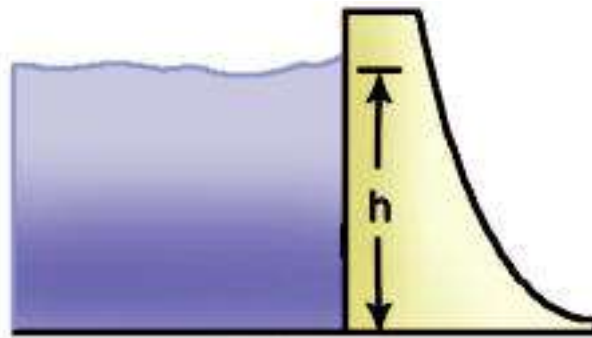
٣- يصمم السد بحيث يزداد سمك السد عند قاعدته ليتحمل

الضغط المتزايد مع زيادة العمق (شكل ٣-٦).



شكل (٣-٥)

يرتفع الماء إلى نفس المستوى في
الأواني المستطرقة



شكل (٣-٦)

قواعد السدود أكثر سمكا لتتحمل الضغط عند عمق

اتزان السوائل في أنبوبة ذات شعبتين،

لنأخذ أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوى على كمية مناسبة من الماء. نضيف كمية من الزيت فى أحد فرعى الأنبوبة، وليكن الفرع الأيسر، حتى يصل سطح الزيت إلى مستوى معين عند C، مع ملاحظة أن الماء والزيت لا يمتزجان بل ويكون هناك مستوى فاصل بين الإثنين هو AD، وليكن ارتفاع الزيت h_o فوق السطح الفاصل AD بين الماء والزيت، وليكن ارتفاع الماء فى الفرع الأيمن فوق المستوى AD هو h_w (شكل ٣-٧).

ونظرا لأن الضغط عند A = الضغط عند D

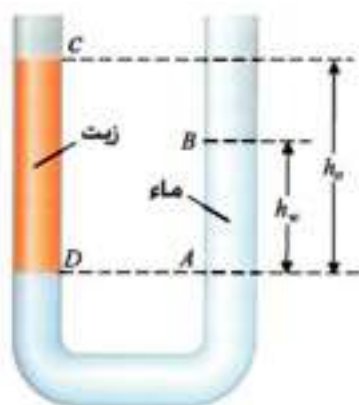
$$\therefore P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

حيث P_a الضغط الجوى، ρ_o كثافة الزيت، ρ_w كثافة الماء.

$$h_o \rho_o = h_w \rho_w$$

والعلاقة السابقة يمكن اختصارها على النحو التالى:

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \quad (3-6)$$



شكل (٣ - ٧)

اتزان السوائل فى الأنبوبة ذات

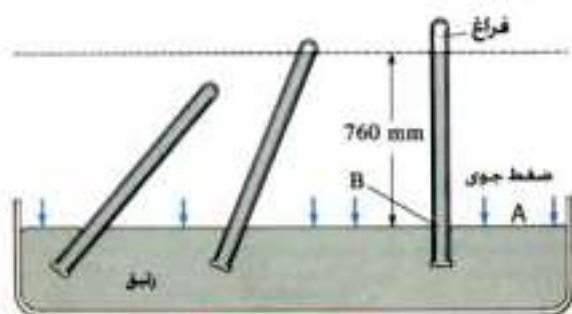
الشعبتين

وبقياس h_o ، h_w يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت عمليا.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن معرفة كثافة الزيت.

الضغط الجوى Atmospheric Pressure:

لقياس الضغط الجوى قام تورشيللى Torcelli باختراع البارومتر الزئبقي، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالى متر، وملاها تماما بالزئبق، ثم نكسها فى حوض به زئبق. فلاحظ أن سطح الزئبق فى الأنبوبة قد انخفض إلى مستوى معين بحيث كان الارتفاع العمودى له 0.76m تقريبا. وبديهي أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق فى الأنبوبة يكون مفرغا (إلا من قليل من بخار الزئبق الذى يمكن إهمال ضغطه)، ويسمى هذا الحيز باسم فراغ تورشيللى.



شكل (٣ - ٨)

ارتفاع الزئبق في المانومتر لا يتأثر بميل البارومتر

ويتضح من الشكل (٣-٨) أن الارتفاع الرأسى لعمود الزئبق h داخل الأنبوبة فوق مستوى السطح الخالص للزئبق فى الحوض يظل ثابتاً، سواء كانت الأنبوبة فى وضع رأسي أو فى وضع مائل.

وإذا أخذنا النقطتين A ، B فى مستوى أفقى واحد (شكل ٣-٩)، بحيث تكون النقطة A خارج الأنبوبة عند سطح الزئبق فى الحوض والنقطة B داخلها فإن:

$$\text{الضغط عند } B = \text{الضغط عند } A$$

وبذلك يكون:

$$P_a = \rho gh$$

(٣-٧)

معنى هذا أن الضغط الجوى يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه (حوالى 0.76m) ومساحة مقطعه واحد متر مربع (عند صفر درجة سليوس).

- **الضغط الجوى المعتاد** هو ضغط الهواء مقاساً عند سطح البحر، ويساوى 0.76m Hg . ويعرف معدل الضغط ودرجة الحرارة

S.T.P بأنه الضغط الذى يساوى 0.76m Hg عند درجة حرارة 0°C ، ويتكرر هذا المصطلح كثيراً عند معالجة قوانين الغازات.

ونظراً لأن كثافة الزئبق عند 0°C تساوى 13595kg/m^3 وعجلة الجاذبية الأرضية 9.8m/s^2 فإن الضغط الجوى المعتاد:

$$\begin{aligned} P_a &= 1 \text{ Atm} = 0.76 \times 13595 \times 9.81 \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

معلومة إثرائية

ماذا يحدث فى الأذن عند الإرتفاع عن سطح الأرض؟



شكل (٣ - ١٠)

نموذج للأذن

الضغط الجوى هو وزن عمود الهواء فوق سطح الأرض لوحده المساحات. فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قل ارتفاع هذا العمود وبالتالي الضغط. وعند طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى للجسم. لذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر فى طبلة الأذن، إذا أن الضغط الداخلى يدفعها قليلاً للخارج، ويمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكايوس Eustachian Tube بالبلع ومضغ اللبان لتخفيض الضغط على الطبلة (شكل ٣-١٠)

الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى:

يتضح من العلاقة السابقة أن الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى فى النظام الدولى هى نفسها وحدات الضغط وهى N/m^2 .

ولقد اتخذت وحدة «باسكال» لتكافىء (N/m^2) .

$$1 \text{ Pascal} = 1 N/m^2$$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ Pascal}$

كما اتخذت وحدة أكبر هى «بار» لتكافىء $1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pascal} (10^5 N/m^2)$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 \text{ Bar}$

هذا فضلاً عن قياس الضغط الجوى بوحدة المليمتر زئبق وتسمى أيضاً تور Torr

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

ولذلك يكون الضغط الجوى المعتاد:

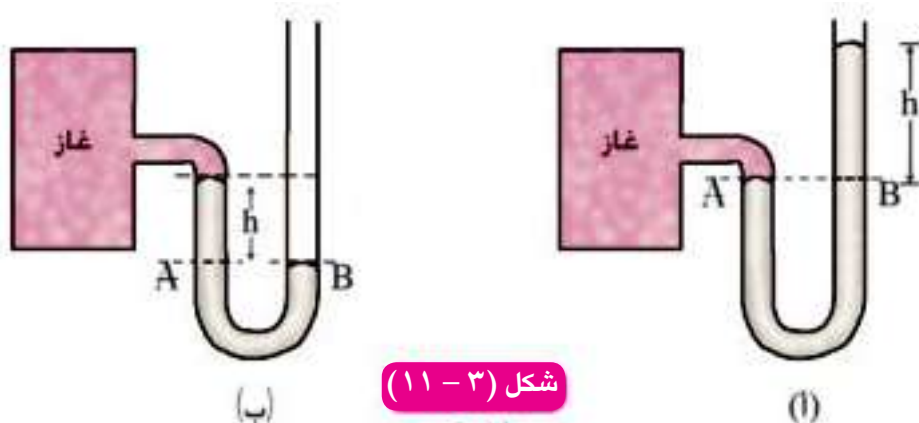
$$P_a (1 \text{ Atm}) = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg} = 0.76 \text{ m Hg} = 1.013 \text{ Bar}$$

المانومتر:

المانومتر Manometer عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوي على كمية سائل مناسب كثافته معروفة، تتصل إحدى الشعبتين بمستودع الغاز المراد قياس ضغطه، ونتيجة لذلك قد يرتفع سطح السائل في المانومتر في إحدى الشعبتين وينخفض في الأخرى.

وإذا أخذنا النقطتين A, B في مستوى أفقى واحد في نفس السائل (شكل ٣-١١) يكون:

$$P = P_a + \rho gh \quad \text{الضغط عند B} = \text{الضغط عند A}$$



شكل (٣-١١)

المانومتر

(أ) عندما يكون ضغط الغاز أكبر من الضغط الجوى.

(ب) عندما يكون ضغط الغاز أقل من الضغط الجوى.

حيث P ضغط الغاز المحبوس في المستودع أكبر من P_a الضغط الجوى، ρgh تمثل ضغط السائل في الفرع الخالص للمانومتر فوق النقطة B، وهو فرق الضغط بين P_a ، P . وفي حالة إذا كان ضغط الغاز P أقل من الضغط الجوى (شكل ٣-١١ ب) فإن: $P = P_a - \rho gh$

حيث يكون سطح السائل في الفرع الخالص للمانومتر أدنى من سطح السائل في الفرع المتصل بالمستودع.

وفي كثير من التطبيقات العلمية لا يكون ضروريا قياس ضغط الغاز في المستودع وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أى:

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh$$

(3-8)

من هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل ρ في المانومتر، وفرق الارتفاع h بين سطحي السائل في شعبتيه، وكذلك عجلة الجاذبية g حساب فرق الضغط ΔP . وأيضا يمكن حساب ضغط الغاز بمعرفة الضغط الجوى.

تطبيقات على الضغط:

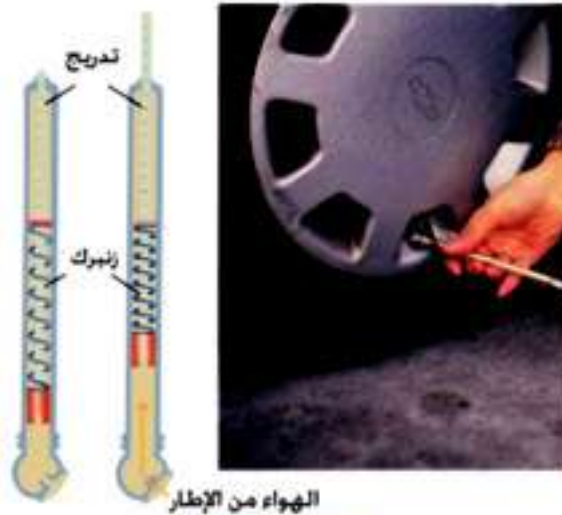
١- الدم سائل لزج، يُضخ من خلال نظام معقد من الشرايين والأوردة، بواسطة تأثير عضلي للقلب. وإنسياب الدم خلال الجسم - عادة - ما يكون انسياباً هادئاً.

أما إذا كان معدل انسياب الدم مضطرباً فإنه يكون مصحوباً بضجيج، ويعتبر هذا الشخص مريضاً. ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها على الشريان، وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم، حيث توجد - عادة - قيمتان للضغط:

الضغط الانقباضى Systolic Pressure وفيه يكون ضغط الدم بالشريان فى أقصى قيمة له، ويحدث عندما تتقلص عضلة القلب، ويندفع الدم من البطين الأيسر Left Ventricle إلى الأورطى (الأبهر) Aorta، ومن هناك إلى الشرايين.

والضغط الانبساطى Diastolic Pressure وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلى أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب. وفى الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الانقباضى 120 Torr والضغط الانبساطى 80 Torr

٢- يمتلئ إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالى، فتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن، أما إذا كان الإطار ممتلئاً تحت ضغط منخفض فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق تزداد، ويؤدى ذلك إلى زيادة الاحتكاك وسخونة الإطار، ويمكن قياس ضغط الهواء فى الإطار بمقياس ضغط الهواء (شكل ٣-١٢).



شكل (٣-١٢)

قياس ضغط هواء فى إطار سيارة

أمثلة:

١- متوازي مستطيلات صلب أبعاده $(5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm})$ كثافة مادته 5000 kg/m^3 وضع على سطح مستوى أفقي. إحسب أقصى وأقل ضغط له.
(اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية 10 m/s^2)

الحل:

(أ) لحساب أقصى ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذي المساحة الأقل، وهو الوجه الذي أبعاده $(5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm})$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}} = 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

(ب) لحساب أقل ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذي المساحة الأكبر، وهو الوجه الذي أبعاده $(10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm})$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}} = 2500 \text{ N/m}^2$$

٢- أوجد الضغط الكلي وكذلك القوى الضاغطة الكلية المؤثرة على قاع حوض به ماء مالح كثافته 1030 kg/m^3 إذا كانت مساحة مقطع الحوض 1000 cm^2 وارتفاع الماء به واحد متر، وكان سطح الماء في الحوض معرضاً للهواء الجوي، وعجلة الجاذبية 10 m/s^2 والضغط الجوي $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

الحل:

(أ) الضغط الكلي:

$$\begin{aligned} P &= P_a + \rho g h \\ &= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1 \\ &= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

(ب) القوة الضاغطة الكلية:

$$\begin{aligned} F &= P \times A = 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4} \\ &= 1.116 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

٣- استخدم مانومتر زئبقى لقياس ضغط غاز داخل مستودع، فكان سطح الزئبق فى الفرع الخالص أعلى من سطحه بالفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36cm
ما قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات (أ) cmHg (ب) Atm (ج) N/m²
علما بأن الضغط الجوى $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 0.76 \text{ m.Hg}$

الحل:

(أ) بوحدات cmHg:

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112 \text{ cm Hg}$$

(ب) بوحدات (Atm):

$$P = \frac{(P \text{ cm Hg})}{76} = \frac{112}{76} = 1.474 \text{ Atm}$$

(ج) بوحدات N/m²:

$$P = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 = 1.493 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

٤ - أنبوبة على هيئة حرف U مساحة مقطع فرعها الضيق 1cm² ومساحة مقطع فرعها الواسع 2cm² ملئت جزئياً بالماء (كثافته 1000 kg/m³)، ثم صب فيها كمية من الزيت (كثافته 800 kg/m³) من الفرع الضيق حتى أصبح طول عمود الزيت 5 cm احسب ارتفاع سطح الماء فوق السطح الفاصل بين الماء والزيت.

الحل:

$$\therefore P = \rho_o g h_o = \rho_w g h_w$$

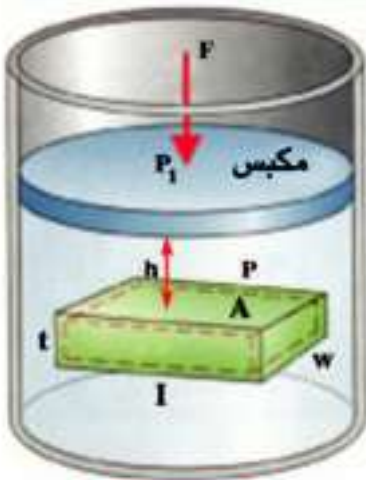
$$\therefore \rho_o h_o = \rho_w h_w$$

$$h_w = \frac{\rho_o h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4 \text{ cm}$$

ملحوظة:

نصف قطر الأنبوبة (أو مساحتها مقطوعها) لا يؤثر إطلاقاً على ارتفاع كل من السائلين فى فرع الأنبوبة، من ذلك يتضح أن مستوى السائل فى الإناء لا يتأثر بشكل الإناء.

قاعدة باسكال Pascal's Principle



شكل (٣-١٣)

زيادة الثقل على المكبس تزيد
الضغط في السائل

إذا أخذنا أحد السوائل في إناء زجاجي كالمبين بالشكل (٣-١٣) مزود بمكبس في أعلاه، يكون الضغط عند نقطة مثل A في باطنه على عمق h هو $P = P_1 + hpg$ ، حيث P_1 الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرة). وينتج عن الضغط الجوي والضغط الناشئ عن وزن المكبس أو قوة المكبس.

وإذا زدنا الضغط على المكبس بمقدار ΔP وذلك بوضع ثقل إضافي على المكبس - نلاحظ عدم تحرك المكبس إلى الداخل لعدم قابلية السائل للانضغاط. لكن الضغط عند سطح السائل تحت المكبس مباشرة سيزداد بدوره بمقدار ΔP ، وسيزداد الضغط عند نقطة A التي تقع على عمق h تحت هذا السطح بدوره بمقدار ΔP ،

ويصبح الضغط عند هذه النقطة $P = P_1 + hpg + \Delta P$

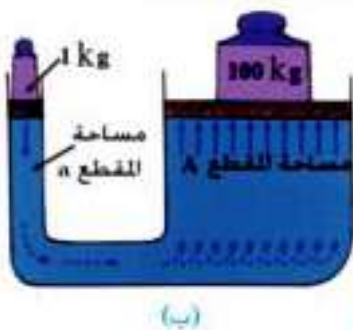
فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء.

ولقد قام العالم الفرنسي باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلي:

«عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس في إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدار الإناء المحتوى على السائل». ويعرف هذا بمبدأ باسكال أو قاعدة باسكال.

تطبيق على قاعدة باسكال: المكبس الهيدروليكي Hydraulic Press

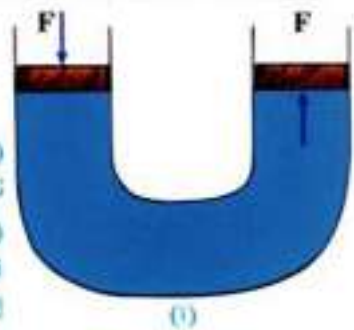
توجد عدة تطبيقات تعتمد على قاعدة باسكال ومنها المكبس الهيدروليكي وفرامل السيارات. يتركب المكبس الهيدروليكي كما في الشكل (٣-١٤) من المكبس الصغير ومساحة مقطعه (a) والمكبس الكبير ومساحة مقطعه (A) ويمتليء الحيز بين المكبس بسائل مناسب.



(ب)

شكل (٣-١٤)

المكبس الهيدروليكي
(١) قوة على الجانب الأيسر من السائل تنقل إلى الجانب الأيمن.
(ب) ثقل 1 kg على الجانب الأيسر يولد قوة تزن مع 100 kg على الجانب الأيمن إذا كانت نسبة المساحتين A, a هي 1:100



(١)

فاذا تأثر المكبس الصغير بضغط P ، يتأثر السائل بدوره بنفس الضغط.

وينتقل هذا الضغط P بتمامه خلال السائل إلى السطح السفلي للمكبس الكبير.

وأذا فرضنا أن القوة المؤثرة على المكبس الصغير (f) والقوة المؤثرة على المكبس الكبير (F) ، ونظراً

لأن الضغط المؤثر على المكبس له نفس القيمة عند الإتزان في مستوى أفقى واحد فإن:

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

$$F = \frac{A}{a} f \quad (3-9)$$

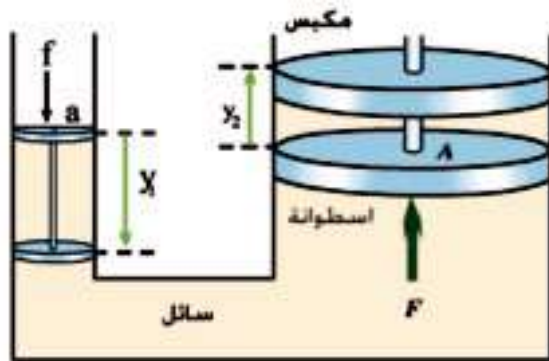
ومن العلاقة السابقة يتضح أنه عندما تؤثر قوة (f) على المكبس الصغير تتولد على المكبس الكبير قوة

أكبر هي القوة (F). والفائدة الآلية Mechanical Advantage للمكبس الهيدروليكي ويرمز لها بالرمز η هي:

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \quad (3-10)$$

أى أن الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي تتعين بنسبة مساحة المكبس الكبير إلى مساحة المكبس

الصغير.



شكل (٣ - ١٥)

الفائدة الآلية

وبالرجوع إلى الشكل (٣-١٥) يتضح أنه:

إذا حرك المكبس الصغير إلى أسفل مسافة y_1

تحت تأثير f فإن المكبس الكبير يتحرك إلى أعلى مسافة

y_2 تحت تأثير F . وتبعاً لقانون بقاء الطاقة يكون الشغل

المبدول واحداً في الحالتين، وبفرض أن المكبس مثالي

وكفاءته (100%).

$$f y_1 = F y_2$$

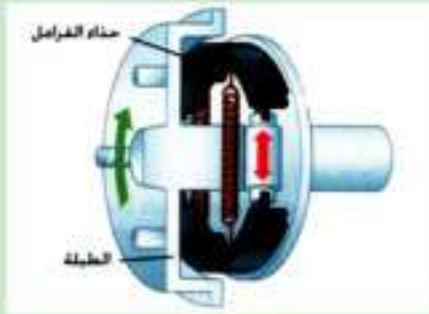
$$\frac{f}{F} = \frac{y_2}{y_1}$$

$$F = \frac{y_1}{y_2} f \quad (3-11)$$

وهذا يدل على أن الفائدة الآلية للمكبس يمكن أيضاً التعبير عنها بالنسبة $\frac{y_1}{y_2}$

معلومة إشرائية

تطبيقات على قاعدة باسكال



شكل (٣-١٦)

الفرامل الخلفية

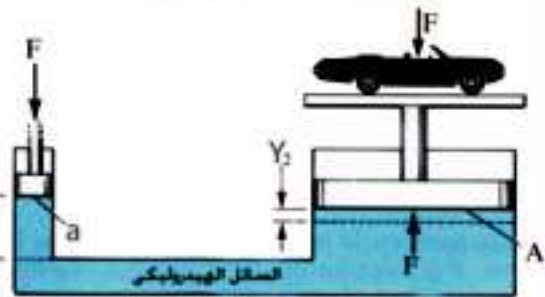


شكل (٣-١٧)

الفرامل الأمامية

١- تستخدم الفرملة الهيدروليكية Hydraulic Brake للسيارة قاعدة باسكال، حيث يستخدم نظام الفرملة سائلاً وسيطاً Brake Fluid. وعند الضغط على دواسة الفرملة بقوة بسيطة ولمسافة كبيرة نسبياً، تنشأ قوة كبيرة على المكبس في اسطوانة الفرملة العمومية Master Brake Cylinder. وينتقل هذا الضغط إلى السائل، ومن ثم إلى باقي خط الفرملة، ثم إلى مكابس اسطوانات فرملة العجل Wheel Cylinder إلى الخارج، ومن ثم على حذاء الفرملة Brake Shoes، ثم إلى جسم الفرملة Brake Drum. فتنشأ قوة احتكاك كبيرة توقف العجلة وبالتالي السيارة، ويسمى هذا النوع من الفرامل Drum Brake وهي الفرملة الخلفية (شكل ٤-١٦). أما في حالة الفرملة الأمامية والتي تستخدم نظام القرص Disk Brake (شكل ٤-١٧) فإن القوى الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل Brake Pads، وينشأ عن ذلك احتكاك يوقف العجلة. ويلاحظ أن المسافة التي يتحركها حذاء الفرملة في الحالتين صغيرة لأن القوة كبيرة.

٢- في تطبيق آخر لقاعدة باسكال يستخدم الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Lift سائلاً لرفع السيارة في محطات البنزين (شكل ٤-١٨).



شكل (٣-١٨)

الرافعة الهيدروليكية



شكل (٣ - ١٩)

الحفار الهيدروليكي

٣- الحفار الهيدروليكي Caterpillar يعتمد على قاعدة باسكال (شكل ٤-١٩)

٤- يلبس الغواص بدلة الغطس. وخوذة تحميه من الضغط في الأعماق الكبيرة. وفي الأعماق القليلة يلجأ إلى نفخ الهواء في جيوبه الأنفية لمعادلة الضغط الخارجي (شكل ٤-٢٠). وفي الأعماق الكبيرة فإن بدلة الغطس تنفخ بالهواء وتحمي الخوذة رأس الغواص من الضغط الشديد (شكل ٤-٢١).



شكل (٣ - ٢١)

الغواص على أعماق كبيرة (٥٠٠ متر)



شكل (٣ - ٢٠)

الغواص على أعماق قريبة من السطح

مثال:

مكبس مائي مساحة مقطع مكبسه الصغير 10cm^2 تؤثر عليه قوة 100N ومساحة مقطع مكبسه الكبير 800cm^2 فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية 10m/s^2 احسب:

- أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.
- الفائدة الآلية للمكبس.
- المسافة التي يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm .

الحل:

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8 \times 10^3 \text{ N}$$

القوة المؤثرة على المكبس الكبير

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{8 \times 10^3}{10} = 800 \text{ kg}$$

(ب) الفائدة الآلية للمكبس.

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(ج) المسافة التي يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm.

$$f y_1 = F y_2$$

$$y_1 = \frac{8000 \times 1}{100} = 80 \text{ cm}$$

تلخيص

أولاً: التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- الكثافة (ρ): هي كتلة وحدة الحجم من المادة ووحدتها (kg/m^3).
- الضغط عند نقطة (P):
- القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة (N/m^2).
- جميع النقط التي في مستوى أفقى واحد في سائل ساكن يكون لها نفس الضغط.
- الضغط الجوى المعتاد: هو الضغط الناشئ عن وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحات عند نقطة معينة عند سطح البحر. وهو يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه حوالى 0.76m ومساحة مقطعه واحد متر مربع عند درجة 0°C .
- وحداته باسكال (N/m^2) أو بار (Bar) 10^5 N/m^2 أو (Torr) mm Hg
- المانومتر: جهاز يستخدم لقياس الفرق بين ضغط غاز محبوس فى إناء والضغط الجوى.
- قاعدة باسكال:
- عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوى على السائل.

ثانياً: القوانين والعلاقات الهامة:

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}}$$

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

$$\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = (\rho) \text{ الكثافة}$$

$$\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} = (P) \text{ الضغط}$$

- الضغط عند نقطة فى باطن سائل كثافته ρ معرض للهواء على h عمق من سطحه.

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى، g عجلة الجاذبية الارضية.

● إلتزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$.

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad \text{المكبس الهيدروليكي}$$

حيث f القوة المؤثرة على المكبس الصغير الذى مساحته مقطعه a ، F القوة المؤثرة على المكبس

الكبير الذى مساحته مقطعه A

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \quad \text{● الفائدة الآلية}$$

● لتعيين المسافة التى يتحركها المكبس الكبير y_2 بدلالة المسافة التى يتحركها المكبس الصغير y_1

نستخدم العلاقة: $f y_1 = F y_2$

أسئلة وتمارين

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة:

١- العوامل التالية تؤثر على الضغط الواقع على قاع إناء ماعدا

- (أ) عمق السائل في الإناء. (ب) كثافة السائل.
(ج) عجلة الجاذبية الأرضية (د) الضغط الجوي.
(هـ) مساحة قاعدة الإناء

٢- أى العوامل الآتية لا تؤثر على إرتفاع عمود الزئبق فى البارومتر:

- (أ) كثافة الزئبق (ب) مساحة سطح الأنبوبة.
(ج) الضغط الجوى (د) عجلة الجاذبية الأرضية.
(هـ) درجة حرارة الزئبق.

٣- يعتمد ضغط المياه الموجود عند قاع بحيره السد العالى المؤثر على جسم السد على:

- (أ) مساحة سطح المياه (ب) طول السد.
(ج) عمق المياه (د) سمك حائط السد.
(هـ) كثافة مادة الحائط.

٤- إذا كانت النسبة بين نصفى قطر المكبسین الأسطوانیین فى المكبس المائى هى 9:2 تكون النسبة

بين القوتين على المكبسین تساوى:

- (أ) 9:2 (ب) 2:9.
(ج) 4:18 (د) 81:4.
(هـ) 4:81.

- ٥- إذا كان الضغط الجوى عند سطح ماء فى بحيرة هو 1 Atm ، ما عمق البحيرة إذا كان الضغط عند قاعها 3 Atm ؟ علما بأن كثافة الماء 1000 kg/m^3 وأن الضغط الجوى يعادل $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ وعجلة الجاذبية 9.8 m/s^2 (20.673 m)
- ٦- يحمل رجل بارومتر زئبقى قراءته عند الطابق الأرضى 76 cm Hg وعند الطابق العلوى 74.15 cm Hg فإذا كان ارتفاع المبنى 200 m، فاحسب متوسط كثافة الهواء بين هذين الطابقين إذا علمت أن كثافة الزئبق 13600 kg/m^3 علما بأن عجلة الجاذبية 9.8 m/s^2 (1.258 kg/m^3)
- ٧- مانومتر يحتوى على زئبق يتصل بمستودع به غاز محبوس. فإذا كان فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين 25cm فأحسب فرق الضغط وكذلك الضغط المطلق للهواء المحبوس مقدراً بوحدة N/m^2 ، علما بأن الضغط الجوى يعادل $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ وعجلة الجاذبية الأرضية 9.8 m/s^2 وكثافة الزئبق 13600 kg/m^3 ($0.3332 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ، $1.3462 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

خواص الموائع

الوحدة الثانية



الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة

الفصل الرابع

خواص الموائع المتحركة

المقدمة:

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة *Hydrodynamics*.

ينبغي أن نميز بين نوعين من سريان الموائع، السريان الهادئ، والسريان المضطرب.

السريان الهادئ *Steady Flow*

عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة في نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى سرياناً طبقياً أو سرياناً إنسيابياً. والسريان الطبقي *Laminar Flow* أو (الانسيابي) يسمى السريان الهادئ *Streamline Flow* أو *Steady Flow* المستقر، ويتميز هذا النوع من الانسياب بأن كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مساراً متصلاً يسمى خط الأنسياب *Streamline*. وعلى هذا الأساس يمكننا تصور سريان السائل في أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب *Streamlines*، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما في الشكل (٤-١)، وأهم ما يميز خطوط الانسياب أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأي نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة. ويحدد عدد خطوط الانسياب التي تمر عمودياً بوحدة المساحات عند نقطة معينة (كثافة خطوط الانسياب) سرعة سريان السائل عند تلك النقطة. ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب في السرعات الكبيرة وتتباعد في السرعات المنخفضة.



شكل (٤ - ١)

خطوط الانسياب *Streamlines*

شروط السريان الهادئ :

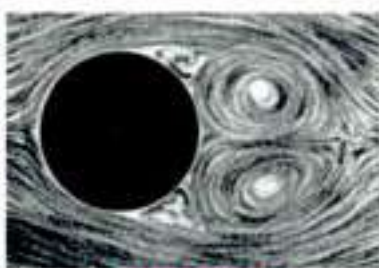
- ١- أن يكون معدل سريان السائل ثابتاً على طول مساره لأن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.
- ٢- في السريان الهادئ Steady Flow لا تتوقف سرعة السائل عند كل نقطة على الزمن.
- ٣- السريان غير دوار Irrotational أى أنه لا توجد دوامات Vortex Flow.
- ٤- لا توجد قوى احتكاك بين طبقات السائل Nonviscous.

السريان المضطرب :



شكل (٣ - ٤)

يتحول الدخان من حركة
انسيابية إلى حركة مضطربة



شكل (٤ - ٢)

الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو
حركة جسم فيه بسرعة

وإذا زادت سرعة انسياب السائل عن حد معين يتحول السريان الهادئ إلى سريان مضطرب Turbulent Flow ويتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices (شكل ٢-٤). ويحدث نفس الشيء بالنسبة للغازات أيضاً. فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير ومن ضغط عال إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية (شكل ٣-٤).

معدل السريان ومعادلة الاستمرارية :

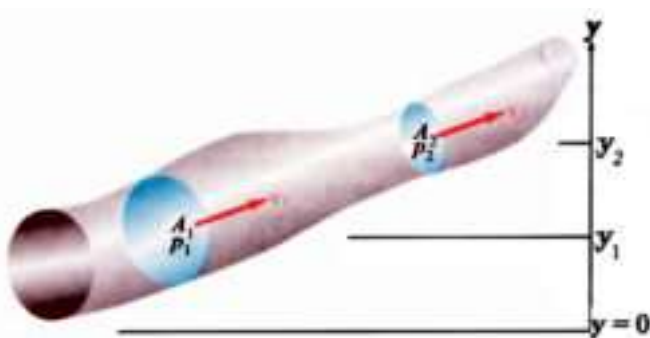
سنقتصر هنا على دراسة السريان الهادئ الذى يمكن وصفه كما يلي :

تتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث :

١- يملأ السائل الأنبوبة تماماً.

٢- تكون كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، نظراً لأن السائل غير قابل للانضغاط.

٣- لا تتغير سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة مع الزمن. وتوجد علاقة تربط معدل سريان السائل بسرعه ومساحة مقطع الأنبوبة، وتسمى هذه العلاقة معادلة الاستمرارية Continuity Equation. ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (٤-٤)، مساحة مقطع المستوى الأول A_1 ومساحة مقطع المستوى الثانى A_2 ، ويكون حجم السائل المنساب خلال المساحة A_1 فى وحدة الزمن (معدل الانسياب الحجمى) هو $Q_v = A_1 v_1$



شكل (٤ - ٤)

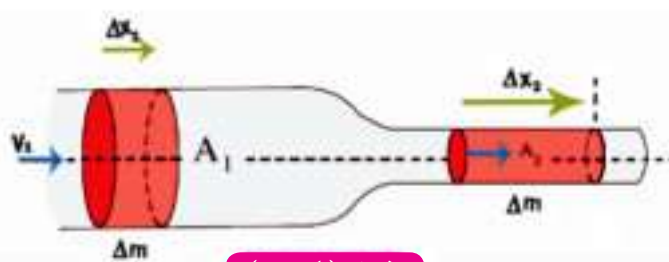
نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (4-1)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (4-2)$$

ومن هذه العلاقة (4-2) نتبين أن سرعة السائل عند أي نقطة في الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة. فالسائل ينساب ببطء شديد في الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة



شكل (٥ - ٤)

أساس معادلة الاستمرارية

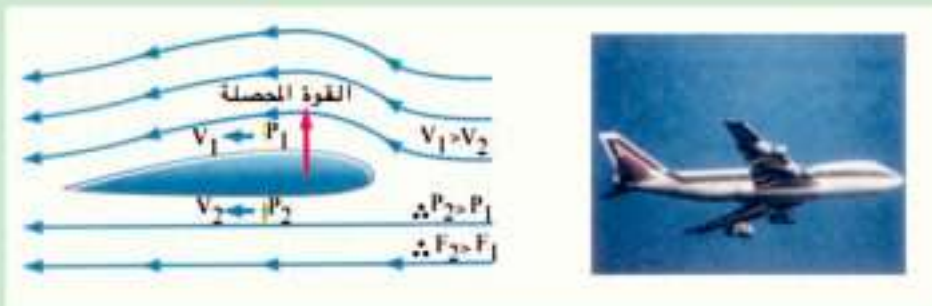
(A₁) ، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون مساحة مقطعها صغيرة (A₂) (شكل ٤-٥).
ولفهم معادلة الاستمرارية أكثر نتصور أن لدينا سائلاً، ونعتبر كتلة صغيرة منه Δm ، هذه الكتلة هي Δm = ρΔV_{ال} حيث (A₁Δx₁ = ρΔV_{ال}) بينما Δx₁ هي المسافة التي يتحركها السائل في زمن Δt أي Δx₁ = v₁Δt ، وبذلك يكون ، لابد أن ينتقل

نفس هذا الحجم في الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أي أن ΔV_{ال} = ΔV_{ال} = A₂v₂Δt ، ومن ثم ينبغي التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل انسياب حجمي Q_v ووحدته (m³/s) أو معدل انسياب كتلي Q_m ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت عند أي مساحة مقطع. وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة Conservation of Mass والذي يؤدي إلى معادلة الاستمرارية.

معلومة إثرائية

لماذا تطير الطائرة ولا تسقط ؟

حركة الطائرة تؤدي إلى تكون منطقة فوق الجناحين يكون فيها الضغط أقل مما هو تحت الجناحين فتنشأ قوة دفع لأعلى تتزن مع وزن الطائرة (شكل ٥-٧) . وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة برنولي *Bernoulli's effect*



(ب) توجد منطقة خلخلة في الضغط فوق الجناح



(ج) القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

شكل (٤ - ٧)

كيف تطير الطائرة

أمثلة:

١- تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 cm منزلا وسرعة سريان الماء بها 0.1 m/s، ثم يصبح قطرها 1 cm احسب:

(أ) سرعة الماء في الجزء الضيق.

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التي تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت

كثافة الماء = 1000 kg/m^3)

الحل :

(أ) نعلم أن $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\pi (0.01\text{m})^2 (0.1 \text{ m/s}) = \pi (0.005\text{m})^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0.1}{\pi \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.4 \text{ m/s}$$

(ب) معدل الحجم المنساب يتعين من العلاقة :

$$\begin{aligned} Q_v &= A_1 v_1 = A_2 v_2 \\ &= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4 \\ &= 3.14 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

وبذلك يكون الحجم المنساب في دقيقة هو :

$$\dot{V}_m = Q_v \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{min}$$

معدل الكتلة المنسابة (كثافة الماء = 1000 kg/m^3)

$$\begin{aligned} \rho Q_v &= \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \\ &= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

الكتلة المنسابة في دقيقة :

$$M' = 3.14 \times 10^{-2} \times 10^3 \times 60 = 1.884 \text{ kg/min}$$

٢- تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم في الأورطى لشخص بالغ نصف قطره = 0.7 cm هي

0.33 m/s، ومن الأورطى يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية (نصف قطر كل منها 0.35 cm) فإذا

كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.

الحل:

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 \text{ m}^2 \quad \text{مساحة مقطع الأورطي}$$

$$A_2 = \pi r_2^2 \times 30 \quad \text{مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين}$$

$$= \pi (0.0035)^2 \times 30 \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi (0.007)^2 (0.33) = \pi (0.0035)^2 (30) v_2$$

$$v_2 = \frac{4 \times 0.33}{30} = 0.044 \text{ m/s}$$

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى 0.044 m/s ، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية بطيئة جداً ، الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسجين وثنانى أكسيد الكربون فى الأنسجة ، فضلاً عن تزويدها بالمواد الغذائية. وهنا تتجلى قدرة الله الخالق . «سبحانه وتعالى عما يشركون» صدق الله العظيم.

اللزوجة Viscosity :

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

- ١- نعلق قمعين متماثلين كلا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأساً فارغة، نصب فى أحد القمعين حجماً معيناً من الكحول، ونصب فى الآخر حجماً مماثلاً من الجليسرين. ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين.
- نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من سرعة إنسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى، تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.
- ٢- نأخذ كأسين متماثلين يحتوى أحدهما على حجم معين من الماء، وتحتوى الأخرى على حجم مساوٍ من العسل. نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج. ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل. ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :

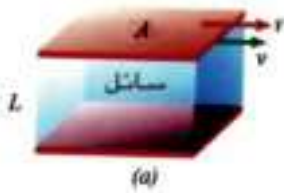
أ - تتحرك الساق في الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاجة أقل من مقاومة العسل لها.

ب - تتوقف حركة العسل بعد إخراج الساق بفترة وجيزة في حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.

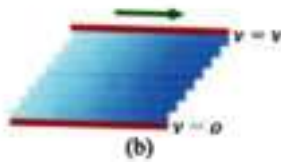
٣- نأخذ مخبرين متماثلين طويلين ، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثاني حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلاً) ونلقى إحداها برفق في الماء، ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار. ونلقى الأخرى برفق في الجليسرين، ونعين الزمن الذي تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذي تستغرقه كرة مماثلة لتصل إلى قاع المخبار خلال الجليسرين، مما يدل على أن الجليسرين يقاوم حركة الكرة بمقدار أكبر من مقاومة الماء لها.

ومما سبق يمكن استخلاص ما يلي :



(أ) قوة تؤثر على الطبقة العليا للسائل



(ب) طبقات السائل تنزلق بالنسبة لبعضها

شكل (٤ - ٦)

الاحتكاك بين طبقات السائل

١- بعض السوائل كالماء، والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة في حين أن مقاومتها لحركة الجسم فيها صغيرة وهي ذات لزوجة صغيرة.

٢- بعض السوائل كالعسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة في حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة وهي ذات لزوجة عالية.

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور كمية من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v (شكل ٥-٦). طبقة السائل الملاصق للوح الساكن يكون ساكناً بينما يتحرك طبقة السائل الملاصق للوح

المتحرك بنفس سرعته وهي v ، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، حيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التي تعلوها، ويرجع هذا الاختلاف النسبي في السرعة إلى ما يلي :

(أ) توجد قوى احتكاك بين السطح المستوي للوح السفلى وطبقة السائل الملاصقة له. وتعزى هذه القوى إلى التلاصق بين جزيئات سطح المستوى الصلب وجزيئات السائل المجاور لها مباشرة، فتمسك بها وتعوق إنسيابها، فتبدو هذه الطبقة ساكنة عديمة الحركة، ولنفس السبب تتحرك الطبقة العليا للسائل بنفس سرعة اللوح العلوى.

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الإحتكاك بين كل طبقة من طبقات السائل والطبقة التى تعلوها، فتعوق انزلاق بعضها فوق بعض، مما ينشأ عنه فرق نسبى فى السرعة بين كل طبقة والتى تعلوها، ويسمى هذا النوع منه السريان السريان الطبقي Laminar Flow أو السريان اللزج Viscous Flow. واللزوجة هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

معامل اللزوجة :

بالرجوع إلى الشكل (٤-٦) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك بسرعة ثابتة، فلا بد من وجود قوة مماسية (F). هذه القوة تتناسب طرديا مع كل من السرعة (v) ومساحة اللوح المتحرك (A) وتتناسب عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين (d)

$$F \propto \frac{Av}{d}$$

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \quad (4-3)$$

حيث η_{vs} (إيتا) ثابت التناسب ويعرف بمعامل اللزوجة.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \quad (4-4)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة. ووحده kg/ms أو N s/m^2

تطبيقات لخاصية اللزوجة :

للزوجة تطبيقات كثيرة منها :

أ - التزييت والتشحيم :

ينبغي تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدي عملية التشحيم إلى :

١- نقص كمية الحرارة المتولدة أثناء الاحتكاك.

٢- حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت باستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء في عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيداً عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها. لذلك كان من الطبيعي أن نستخدم سوائل تتميز بقدرتها على الالتصاق بأجزاء الآلة وعدم انسيابها بسرعة رغم الحركة الدائبة لتلك الأجزاء، ومن هنا كانت ضرورة استخدام مواد ذات لزوجة كبيرة في عملية التزييت.

(ب) المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى، فإن الشغل الكلي الذي تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله، وأيضاً ضد قوة الإحتكاك بين إطارات السيارة والأرض. وفي السرعات الصغيرة نسبياً أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناجمة عن لزوجة الهواء تتناسب طردياً مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله. وعندما تزداد سرعة السيارة عن حد معين فإن مقاومة الهواء لا تتناسب مع سرعتها فقط وإنما مع مربع السرعة. ويعنى هذا أن استهلاك الوقود يزداد معدله مع زيادة السرعة عن هذا الحد المذكور، ولذلك يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير استهلاك الوقود .

(ح) فى الطب :

لقياس سرعة ترسيب الدم

من المعلوم أنه عند سقوط كرة سقوطاً حراً رأسياً فى سائل فإنها تتأثر بثلاث قوى وهى: وزنها لأسفل، وقوة دفع السائل لها لأعلى، وقوة الإحتكاك بينها وبين السائل لأعلى نتيجة لزوجة السائل. وبحساب محصلة القوى وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

ويمكن استخدام ذلك في الطب بأخذ عينة من الدم وقياس سرعة ترسيبها. وبذلك يمكن للطبيب معرفة إذا كان حجم كرات الدم طبيعياً أم لا. فعلى سبيل المثال، في حالة الإصابة بالحمى الروماتزمية فإنه يحدث زيادة في سرعة ترسيب الدم. وذلك نتيجة لالتصاق كرات الدم الحمراء ببعضها، فيزداد حجمها ونصف قطرها، وبالتالي تزداد سرعة الترسيب. أما في حالة الإصابة بالأنيميا فتقل سرعة الترسيب عن المعدل الطبيعي حيث يحدث تكسير لكرات الدم الحمراء فيقل حجمها ونصف قطرها.

تلخيص

أولاً : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- المائع، كل مادة قابلة للإنسياب ولا تتخذ شكلاً محدداً بذاته.
- الانسياب المستقر في الأنابيب يتطلب:
- (أ) يملأ السائل الأنبوبة تماماً.
- (ب) تكون كمية السائل التي تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التي تخرج منها عند الطرف الآخر في نفس الزمن.
- اللزوجة : هي الخاصية التي تتسبب في وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.
- معامل اللزوجة : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات ينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة. وحدة معامل اللزوجة $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$

ثانياً : القوانين والعلاقات الهامة :

- حجم السائل المناسب بسرعة v خلال المساحة A في وحدة الزمن $Q = Av$
- معادلة الاستمرارية هي : $A_1 v_1 = A_2 v_2$
- معامل اللزوجة لمائع $(\eta_{\text{نس}}$) يتعين من العلاقة $\eta_{\text{نس}} = \frac{F d}{A v}$
- حيث F القوة المماسية بين طبقتين من السائل A مساحة الطبقة المتحركة، v سرعة الطبقة المتحركة، d المسافة الفاصلة بين الطبقتين الساكنة والمتحركة.

أسئلة وتمارين

أولاً - عرف كلاً مما يأتي :

- ١- المائع ٢- اللزوجة ٣- معامل اللزوجة

ثانياً - أسئلة المقال :

١- أثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

٢- اشرح ظاهرة اللزوجة.

٣- اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

ثالثاً - التمارين :

١- يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ أحسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها 1 cm^2 (20 m/s)

٢- يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s أحسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s (0.4 cm)

٣- شريان رئيسى يتشعب إلى 80 شعيرة نصف قطر كل منها 0.1 mm فإذا كان نصف قطر الشريان 0.035 cm وسرعة سريان الدم به 0.044 m/s احسب سرعة تدفق الدم فى كل شعيرة دموية (0.0067 m/s)

٤- مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة مثل A تساوى 10 cm^2 وعند نقطة أخرى مثل B تساوى 2 cm^2 فإذا كانت سرعة الماء عند A تساوى 12 m/s أحسب سرعته عند B (60 m/s)

٥- مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ، وكانت سرعة الماء 2 m/s عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى النهاية $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ أحسب سرعة إنسياب الماء فى الطابق العلوى. (4 m/s)

الوحدة الثالثة

الحرارة

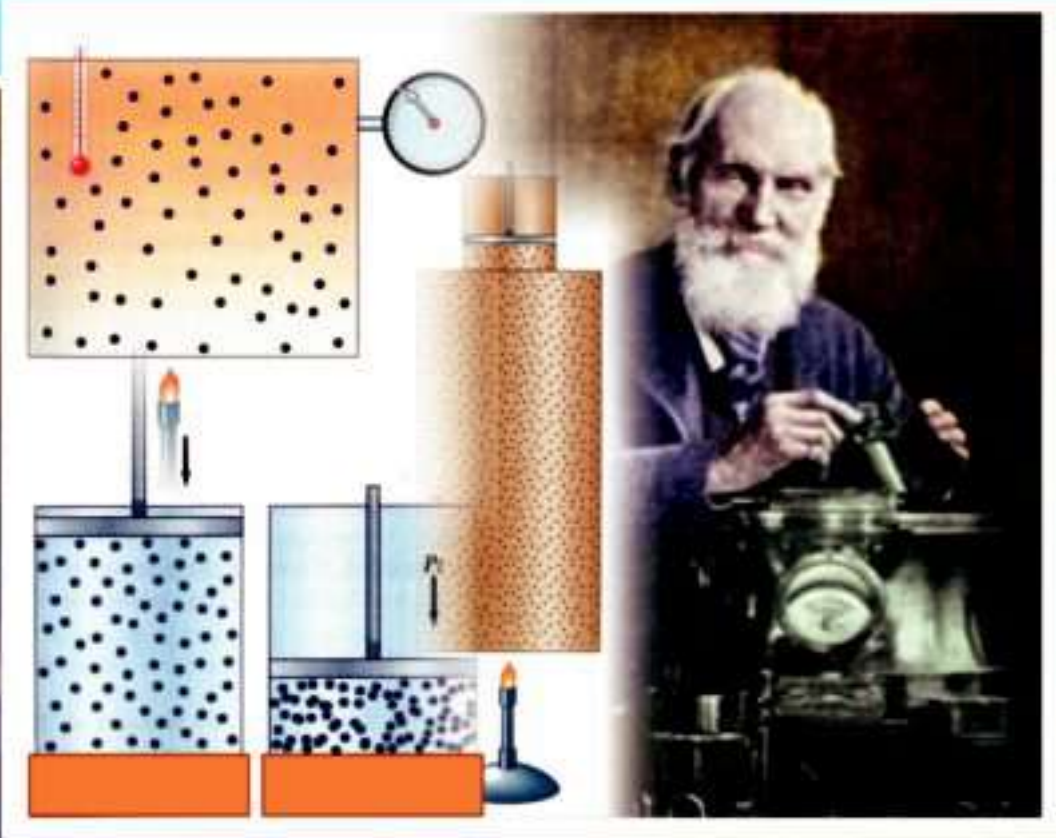


الفصل الخامس: قوانين الغازات



الحرارة

الوحدة الثالثة



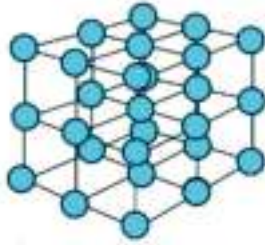
الفصل الخامس: قوانين الغازات

قوانين الغازات

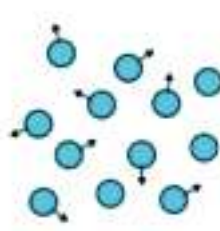
الفصل الخامس

مقدمة :

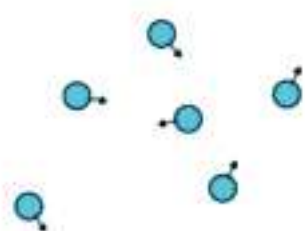
يمكن إدراك أن جزيئات الغاز في حالة حركة عشوائية مستمرة من خلال دراسة الحركة البراونية كما يلي :



ج - جزيئات جسم صلب
تتحرك حركة تذبذبية فقط



ب - جزيئات سائل تتحرك
حركة انتقالية وتذبذبية



أ - جزيئات غاز تتحرك حركة
انتقالية عشوائية

شكل (٥ - ١)

الحركة البراونية

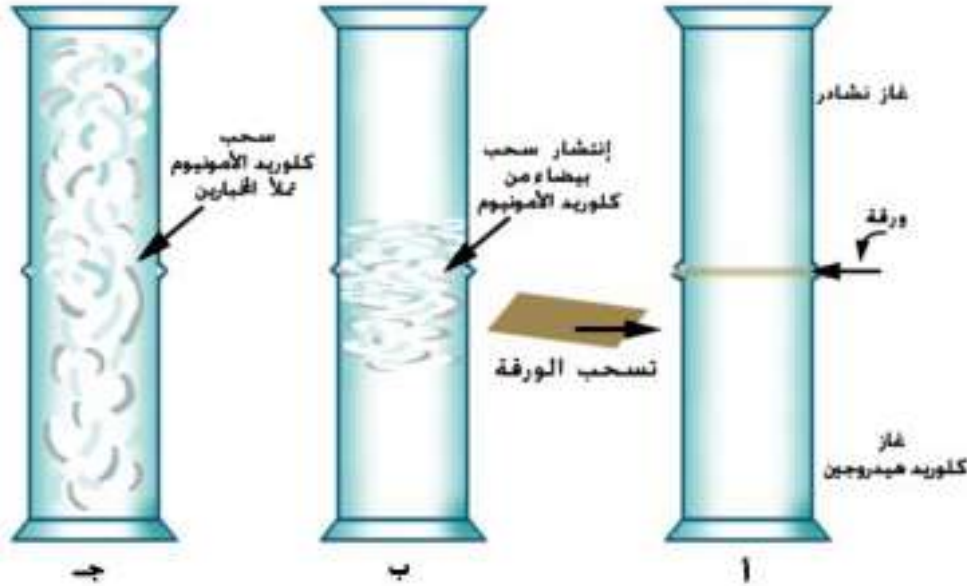
إذا فحصنا دخاناً متصاعداً من شمعة بواسطة الميكروسكوب لوجدنا دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك هنا وهناك حركات عشوائية، وحركة دقائق الكربون هذه تعرف بالحركة البراونية، إذ كان براون Brown عالم نبات اسكتلندي أول من اكتشف عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء تكون دائماً في حركة عشوائية.

تفسير الحركة البراونية :

تتحرك جزيئات الهواء (أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفي جميع الإتجاهات بطريقة عشوائية. وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان. وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون في لحظة معينة اكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك في اتجاه معين لمسافة قصيرة. والسبب في ذلك ان جزيئات الغاز - بعكس المواد الصلبة - حرة الحركة ، ودائمة التصادم ، فتغير اتجاهها عشوائياً بفعل الحرارة (شكل ٥-١)

ويمكن أن نستخلص من ذلك مايلي :

جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة، وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتوئها.



شكل (٥ - ٢)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

-ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلي:
إذا أخذنا مخبراً مليئاً بغاز النشادر ونكسناه فوق مخبر آخر مليء بغاز كلوريد الهيدروجين (شكل ٥-٢)، عندئذ سنشاهد تكون سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز المخبرين. يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين - رغم كونه أكبر كثافة - تنتشر إلى أعلى متخللة مسافات فاصلة بين جزيئات غاز النشادر، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبر العلوى . كما تنتشر جزيئات النشادر- رغم كونه أقل كثافة إلى أسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبر السفلى.
ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبياً تعرف بالمسافات الجزيئية. ويؤكد هذا قابلية الغازات للانضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبياً بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

قوانين الغازات:

أصبح من المؤكد أن التجارب التي تجرى لقياس التمدد الحراري لغاز ما معقدة لأن حجم الغاز يمكن أن يتغير بتغير كل من الضغط أو درجة الحرارة أو كليهما، مثل هذه الصعوبة لا تظهر في حالة الجوامد أو السوائل لأن قابليتها للانضغاط صغيرة جداً ويمكن إهمالها.

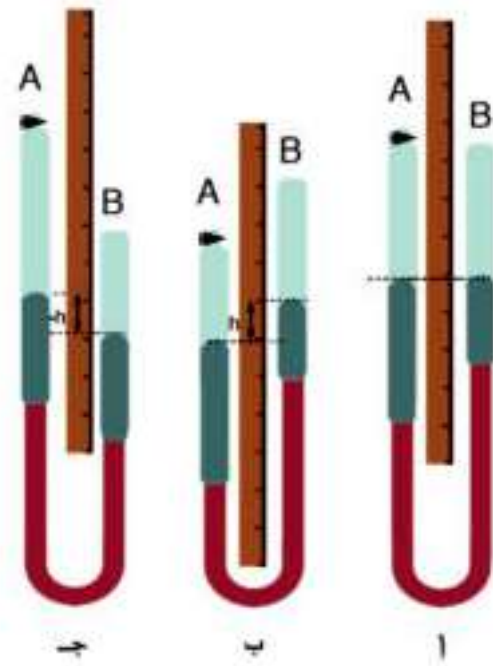
ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما، ينبغي أن نأخذ في الاعتبار وجود ثلاثة متغيرات هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة. لذلك توجد ثلاث تجارب منفصلة، كل منها تستخدم لدراسة العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث هذه التجارب هي :

١ - العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

٢ - العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

٣ - العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون جولي).

وسنتناول فيمايلي دراسة كل من العلاقات الثلاث.



شكل (٥ - ٣)

جهاز بويل

أولاً: العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل):

- لدراسة العلاقة بين حجم مقدار معين من الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته، يستخدم الجهاز الموضح في الشكل (٥ - ٣) ويتكون من أنبوبة زجاجية (A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدرجها من أعلى تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط، وتحتوي الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

ويحمل الأنبوبتين قائم رأسي مثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة يمكن بواسطتها جعل القائم رأسياً تماماً . والأنبوبة (B) قابلة للحركة على طول القائم الرأسى إلى أعلى أو إلى أسفل ويمكن تثبيتها فى أى موضع.

وتتبع الخطوات الآتية:

١ - نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق في الأنبوبة (A) عند منتصفها (شكل ٥ - ٣ أ)

ونظرًا لأن الأنبوبتين مفتوحتان يكون سطحا الزئبق فيهما في مستوى أفقى واحد.

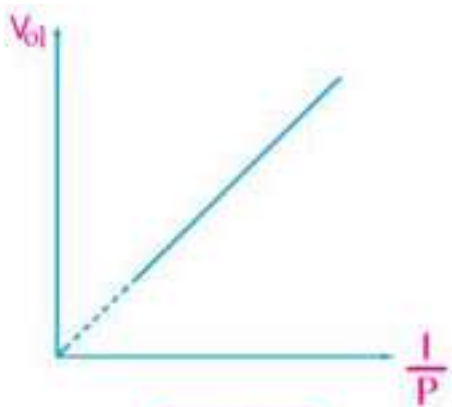
٢ - نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكون $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن P_1 يساوى الضغط الجوى P_a cmHg الذى نعيّنه بواسطة البارومتر.

٣ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة (عدة سنتيمترات)، وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ ، ونقيس فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين وليكن h . وعندئذ يكون ضغط الهواء المحبوس هو $P_2 = P_a + h$ (شكل ٥ - ٣ ب).

٤ - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة أخرى ونعين P_3 ، $(V_{ol})_3$ بنفس الكيفية.

٥ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (B) أقل من سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) بعدة سنتيمترات وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه $P_4 = P_a - h$ ، حيث h فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين (شكل ٥ - ٣ ج)

٦ - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد P_5 ، $(V_{ol})_5$ بنفس الكيفية.



شكل (٥ - ٤)

العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط

٧- نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز V_{ol} ممثلًا على المحور الرأسى ومقلوب الضغط $(\frac{1}{P})$ ممثلًا على المحور الأفقى نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ - ٤)

ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن:

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

ومن هذه العلاقة يكون :

حجم مقدار معين من غاز يتناسب تناسبًا عكسيًا مع ضغطه

عند ثبوت درجة حرارته وهذا هو نص قانون بويل

ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون $V_{01} = \frac{\text{const}}{P}$ أى أن:

$$P V_{01} = \text{const} \quad (5-1)$$

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب $P V_{01}$ لكمية معينة من غاز مقداراً ثابتاً.

أثر الحرارة في حجم الغاز عند ثبوت ضغطه:



شكل (٥ - ٥)

أثر الحرارة في حجم الغاز مع ثبوت الضغط

نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة. ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهي تحت ضغط ثابت بمقادير مختلفة، أم بمقادير متساوية؟ لإدراك ذلك نجرى التجربة الآتية:

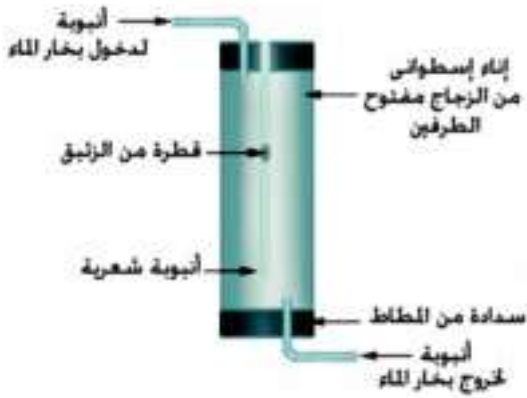
١- نأخذ دورقين متساويين في الحجم تماماً وفوهة كل منهما مسدودة بسدادة تنفذ منه أنبوبة زجاجية منثنية على زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2cm أو 3cm ، وليكن أحدهما مملوئاً بالأكسجين والآخر مملوئاً بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون ثم اغمرهما في حوض به ماء كما في شكل (٥ - ٥).

٢- أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التي يتحركها خيط الزئبق في كل منهما.

نلاحظ أن خيطي الزئبق يتحركان مسافتين متساويتين مما يدل على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار مع ثبوت ضغطها ومن ثم نتوقع أن يكون معامل التمدد الحجمي لها واحداً. معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت:

« هو مقدار الزيادة في وحدة الحجوم من الغاز وهي في درجة 0°C إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتاً » ويرمز لها بالرمز (α_v)

ثانياً: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل):

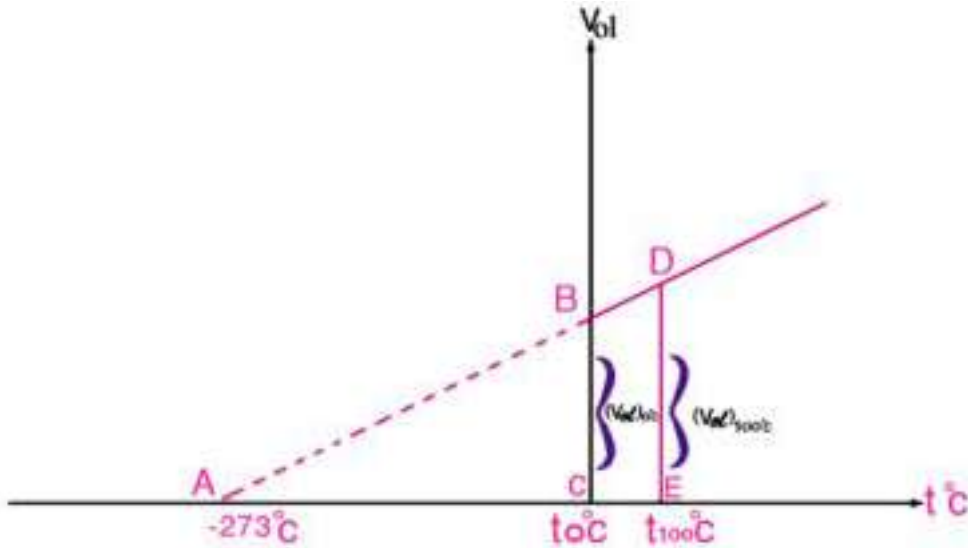


شكل (٥ - ٦)

جهاز شارل

لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (٥ - ٦)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30cm وقطرها حوالي 1mm مغلقة من أحد طرفيها. بها قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة، والأنبوبة مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء أسطوانى من الزجاج وتتبع الخطوات الآتية:

١ - يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملاً الغلاف بجليد مجروش أخذ في الانصهار ويترك فترة مناسبة حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى 0°C .



شكل (٥ - ٦ ب)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

٢ - يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياساً لحجمه $(V_0)_{0^{\circ}\text{C}}$ نظراً لأن الأنبوبة منتظمة المقطع.

٣ - يفرغ الغلاف من الجليد والماء ، ثم يمرر بخار ماء في الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس 100°C ويقاس طول عمود الهواء المحبوس ، ويتخذ مقياساً لحجمه وليكن $(V_{01})_{100^{\circ}\text{C}}$

٤ - ترسم علاقة بين الحجم V_{01} ودرجة الحرارة (شكل ٥ - ٦ ب) نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم وإذا مددنا هذا الخط ، فإنه يقطع المحور الأفقي عند قيمة -273°C

٥ - يعين معامل التمدد الحجمي للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة:

$$\alpha_V = \frac{(V_{01})_{100^{\circ}\text{C}} - (V_{01})_{0^{\circ}\text{C}}}{(V_{01})_{0^{\circ}\text{C}} \times 100^{\circ}\text{C}} \quad (5-2)$$

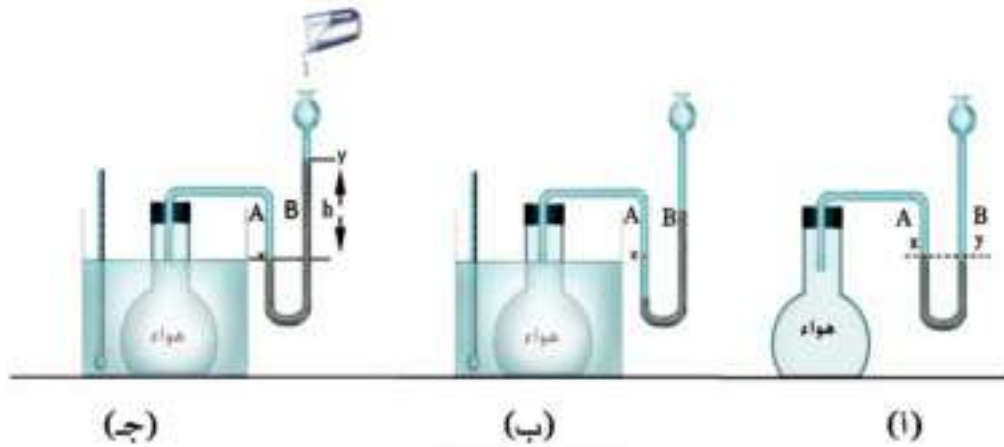
وقد وجد عملياً أن معامل التمدد الحجمي للهواء α_V يساوي $\frac{1}{273}$ لكل درجة ، ونظراً لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمي للغازات المختلفة نفس القيمة . هذه النتيجة صاغها شارل كما يلي:

قانون شارل

عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمها الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ولا تختلف هذه القيمة من غاز لآخر.

أثر الحرارة في ضغط الغاز عند ثبوت حجمه:

١ - لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه ، نأخذ دورقاً زجاجياً مسدوداً بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (B) ، (A) كالمبينة في شكل (٥ - ٧) نلاحظ أن الأنبوبة تحتوي على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه في الشعبتين (B) ، (A) في مستوى أفقي واحد عند (X) ، (Y) لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس في الدورق مساوياً للضغط الجوي ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1^{\circ}\text{C}$ شكل (٥ - ١٧)



شكل (٥ - ٧)

اثر الحرارة علي الضغط عند ثبوت الحجم.

- ٢ - نغمر الدورق في حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2^{\circ}\text{C}$ نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ في الانخفاض في الشعبة (A)، بينما يرتفع في الشعبة (B) (شكل ٥ - ٧ ب)
 - ٣ - نصب زئبقاً في القمع حتى يعود سطح الزئبق في الشعبة (A) إلى العلامة (X) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس في الدورق وهو في $(t_2^{\circ}\text{C})$ مع حجمه وهو في $(t_1^{\circ}\text{C})$
 - ٤ - نلاحظ أن سطح الزئبق في الشعبة (B) يعلو عن سطحه في (A) بمقدار معين وليكن $h(\text{cm})$ مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد ازداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1^{\circ}\text{C}$ إلى $t_2^{\circ}\text{C}$ بمقدار يساوي $h(\text{cm Hg})$ (شكل ٥ - ٧ ج).
 - ٥ - وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مختلف في كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة في ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نتبين مايلي:
 - ١ - عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بارتفاع درجة الحرارة.
 - ٢ - عند ثبوت الحجم تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقادير متساوية.
- معامل الزيادة في الضغط هو مقدار الزيادة في وحدة الضغط المقاسة عند درجة 0°C إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

ثالثاً : العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط)

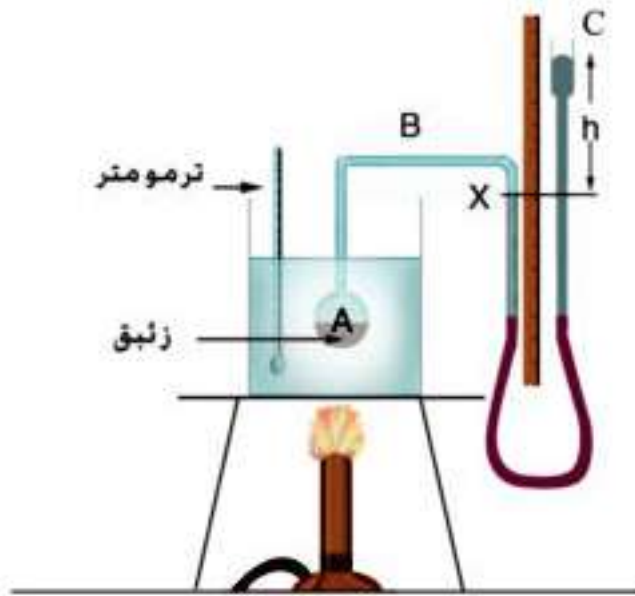
وجد عملياً أن الزيادة في ضغط الغاز تتناسب طردياً مع الضغط الأصلي المقاس عند درجة (°C) P_0 و0°C وكذلك مع الارتفاع في درجة حرارته Δt °C . ويعبر عن هذا كمايلي :

$$\Delta P \propto P_0 \Delta t$$

$$\Delta P = \beta_P P_0 \Delta t$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_0 \Delta t} \quad (5-3)$$

حيث β_P مقدار ثابت وهو زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.



شكل (٨ - ٥)

جهاز جولي

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز جولي الموضح في الشكل (٨-٥)، ويتركب من مستودع كروي (A) من الزجاج رقيق الجدران، يتصل بأنبوبة شعرية (B) طويلة ومنثنية على شكل زاويتين قائمتين ، وهو مثبت على لوحة رأسية مثبتة بدورها على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة. ويتصل طرف الأنبوبة الشعرية (B) بواسطة انبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعاً ما

وهي الأنبوبة (C) والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.

وتتبع خطوات العمل الآتية :

١ - نعين الضغط الجوي وقت التجربة باستخدام البارومتر.

٢ - ندخل في المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقاً ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتاً في جميع درجات الحرارة (حيث أن معامل التمدد الحجمي للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمي للزجاج).

٣ - نغمر المستودع (A) في كأس به ماء ثم نصب زئبقاً في الفرع الخالص (C) حتى يرتفع سطحه في الفرع الآخر إلى علامة معينة (X)

٤ - نسخن الماء في الكأس حتى يغلي وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق في الفرع المتصل بالمستودع.

٥ - نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق في الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X) ثم نقيس الفرق في الارتفاع بين سطحي الزئبق في الفرعين وليكن (h) ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P) وهو يساوي الضغط الجوي (cm Hg) مضافاً إليه الفرق في الارتفاع (h)

٦ - نحرك الفرع (C) إلى أسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتتخفض درجة حرارته إلى حوالي 90°C ، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق في الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X) ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحي الزئبق في الفرعين ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس في هذه الحالة.

٧ - نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفي كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

٨ - نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقي والضغط ممثلاً على المحور الرأسى نجد أن العلاقة خط مستقيم، ثم نحسب معامل الزيادة في ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة :

$$\beta_P = \frac{P_{100^{\circ}\text{C}} - P_{0^{\circ}\text{C}}}{P_{0^{\circ}\text{C}} \times 100} \quad (5-4)$$

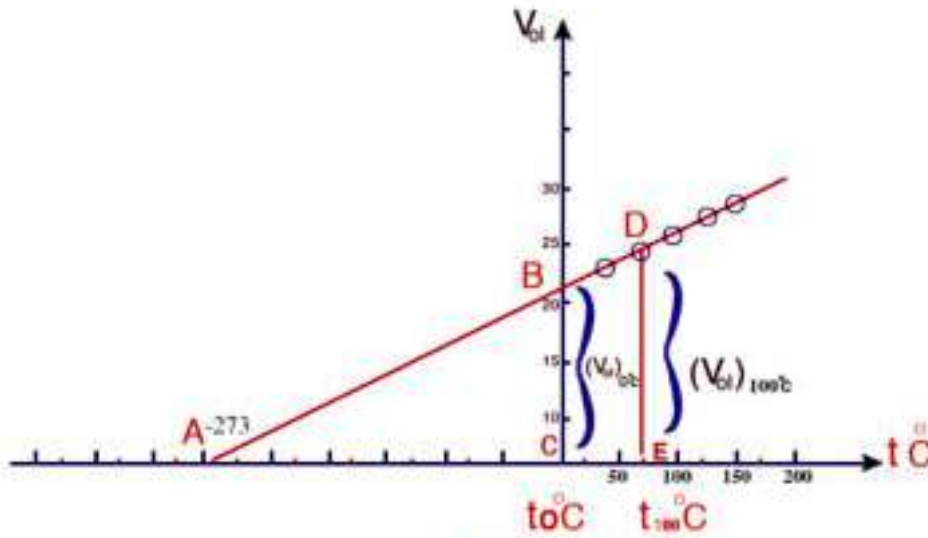
وقد وجد عملياً أن معامل زيادة ضغط الهواء عند ثبوت حجمه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى مايلي :

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه في صفر سلفيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . وهذا هو قانون الضغط.

الصفر المطلق (صفر كلفن):

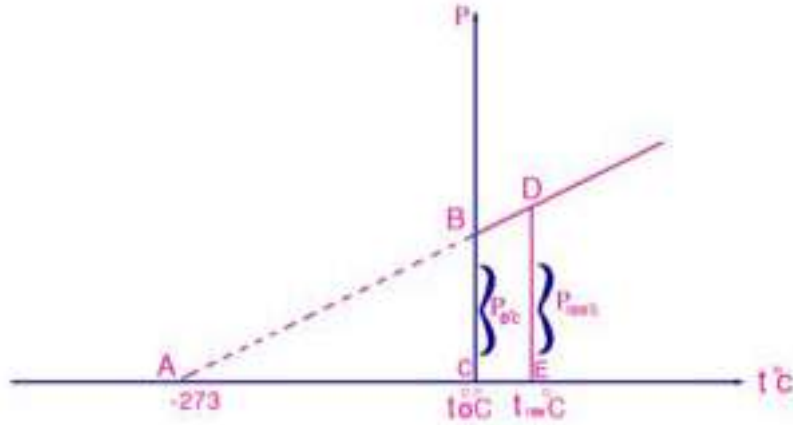
باستخدام الجهاز المبين بشكل (٥ - ٧) لقياس حجم الهواء المحبوس في درجات حرارة مختلفة. يمكننا رسم علاقة بيانية بين الحجم ممثلاً على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سلفيوس ممثلة على المحور الأفقى، نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ - ٩) نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد أنه يقطع محور درجات الحرارة عند (-273°C)



شكل (٥ - ٩)

استنتاج الصفر كلفن من قانون شارل

كما يمكن الاستعانة بالنتائج التي حصلنا عليها في تجربة جهاز جولى وتمثيل هذه النتائج بيانياً ، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس على المحور الأفقى ، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما في الشكل (٥ - ١٠) وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر (-273°C)



شكل (٥ - ١٠)

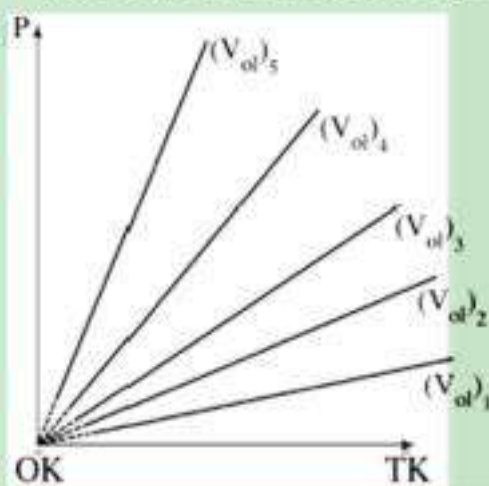
استنتاج الصفر المطلق من تجربة جولى

من الشكلين (٥ - ٩) و (٥ - ١٠) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظرياً هي -273°C هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلفن وهي درجة الحرارة التي ينعدم عندها حجم وضغط الغاز المثالى ، ودرجة الحرارة على مقياس كلفن قيمة موجبة دائماً بينما درجة سلزيوس $^{\circ}\text{C}$ تتدرج بين الموجب والسالب.

معلومة إثرائية

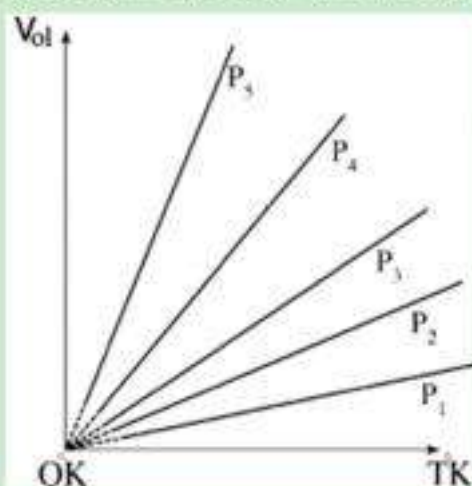
الصفر المطلق

يمكن إعادة رسم شكل (٥ - ٩ ، ٥ - ١٠) بحيث يكون المحور الأفقى هو درجة الحرارة المطلقة. فيكون لدينا شكل (٥ - ١١) و شكل (٥ - ١٢)، يلاحظ أنه عند درجة الصفر كلفن فإن الحجم $V_{ol} = 0$ والضغط $P = 0$ ، ولكن في الواقع فإنه مع التبريد الشديد لا تظل المادة بحالتها الغازية، بل تتحول إلى سائل وأحيانا صلب، ومن ثم لا تخضع لقوانين الغازات. ولذلك فإن تعريف الغاز المثالي هو الغاز الذى يتلشى حجمه وضغطه عند درجة الصفر المطلق. ويلاحظ أننا أهملنا القوى بين الجزيئات وحجم تلك الجزيئات بالنسبة للإناء في استنتاج قوانين الغاز المثالي وهو ما يسمى بالغاز الكامل.



(شكل ١٢ - ٥)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عند حجم ثابت



(شكل ١١ - ٥)

علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدرج سيلزيوس وتدرج كلفن نأخذ في الاعتبار ما يلي،

0°K تقابل -273°C

273°K يقابل 0°C

373°K تقابل 100°C

$$T(^{\circ}\text{K}) = 273 + t(^{\circ}\text{C})$$

(5-5)

أي أن،

صور أخرى لقانوني شارل وجولي (الضغط):

١- يمكن الاستعانة بالشكل (٥ - ٩) في الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل. من تشابه المثلثين

ABC ، ADE حيث :

$$BC = (V_{ol})_1$$

$$DE = (V_{ol})_2$$

$$AC = T_1$$

$$AE = T_2$$

$$V_{ol} \propto T$$

$$\frac{V_{ol}}{T} = \text{const}$$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \quad (5-6)$$

وبذلك يكون

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته على تدرج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

٢- وبالاستعانة بالشكل (٥ - ١٠) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (5-7)$$

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$

أى أن

$$P \propto T$$

وبذلك يكون:

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته على تدرج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

القانون العام للغازات:

ذكرنا فيما سبق أن سلوك غاز ما يمكن وصفه بمتغيرات ثلاثة هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة، والعلاقة التي تربط بين المتغيرات الثلاثة هي القانون العام للغازات.

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات كما يلي:

من قانون بويل $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

من قانون شارل $V_{ol} \propto T$ عند ثبوت الضغط

من ذلك نتبين أن: $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

ومن هذه العلاقة: $V_{ol} = \text{const} \times \frac{T}{P}$

أي أن: $\therefore \frac{P V_{ol}}{T} = \text{Const}$

$$\boxed{\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}} \quad (5-8)$$

وهذا هو القانون العام للغازات

أمثلة:

١- إذا كان حجم غاز في درجة صفر سلفيوس 450 cm^3 فما حجمه في 91°C بفرض أن ضغطه يظل

ثابتاً؟

الحل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273 + 91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600 \text{ cm}^3$$

٢- سخن نصف لتر من الهيدروجين من 10°C إلى 293°C فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابت؟

الحل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ liter}$$

٣- إذا كان ضغط غاز 26°C هو 59.8 cmHg فما ضغطه عند 130°C مع العلم بأنه ثابت الحجم؟

الحل:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6 \text{ cmHg}$$

٤- مقدار من غاز يشعل في درجة 27°C وتحت ضغط 60 cmHg حجما قدره 380 cm^3 فكم يكون

حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة (S.T.P)؟

الحل:

(S.T.P) معناه أنه تحت ضغط 76 cmHg وفي درجة حرارة 0°C أو 273 K

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \times 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60 \times 380 \times 273}{76 \times 300} = 273 \text{ cm}^3$$

٥- مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 cmHg ومقدار من غاز الأكسجين حجمه 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 50 cmHg وضعا في إناء مقفل سعته 5 liters، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

الحل:

كل من الغازين يشغل بهذا الخلط سعة الإناء أى 5 liters

لإيجاد ضغط غاز النيتروجين بعد الخلط يطبق القانون:

$$P V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1$$

$$\therefore 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36 \text{ cmHg}$$

لإيجاد ضغط غاز الأكسجين نطبق العلاقة

$$P V_{ol} = P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 \text{ cm Hg}$$

وبما أن ضغط مخلوط غازين يساوى مجموع الضغطين الجزئيين لهما فإن ضغط مخلوط الغازين

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 \text{ cm Hg}$$

تلخيص:

(١) التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- جزيئات الغاز في حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذي يحتويها.
- توجد مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية.
- قانون بويل: عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبًا عكسيًا مع ضغطها.
- قانون شارل: عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة. أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- قانون الضغط (جولي): عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة. أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- معامل زيادة الضغط بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم = معامل زيادة الحجم بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط = $\frac{1}{273}$ لكل الغازات

- درجة الحرارة المطلقة (على مقياس كلفن) = درجة الحرارة على تدرج سلزيوس مضافاً إليها 273

٢- القوانين الهامة:

إذا كان V_{01} حجم كمية معينة من غاز ، P ضغطها T درجة حرارتها على مقياس كلفن فإن:

- قانون بويل $PV_{01} = \text{const}$ عند ثبوت درجة الحرارة.

- قانون شارل $\frac{V_{01}}{T} = \text{const}$ عند ثبوت الضغط

- قانون الضغوط $\frac{P}{T} = \text{const}$ عند ثبوت الحجم.

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1(V_{01})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{01})_2}{T_2} = \text{const} \text{ أي أن}$$

- معامل ازدياد الحجم بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

$$\alpha_v = \frac{V_{t^\circ\text{C}} - V_{0^\circ\text{C}}}{V_{0^\circ\text{C}} \times \Delta t_{^\circ\text{C}}} = \frac{1}{273} \text{ لكل درجة}$$

- معامل ازدياد الضغط بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

$$\beta_p = \frac{P_{t^\circ\text{C}} - P_{0^\circ\text{C}}}{P_{0^\circ\text{C}} \times \Delta t_{^\circ\text{C}}} = \frac{1}{273} \text{ لكل درجة}$$

أسئلة ومناقشة

أولاً: أكمّل:

أي العبارات تكمل الجمل التالية لها:

- (أ) يزيد بمقدار صغير. (ب) يقل بمقدار صغير. (ج) يقل ثابتاً.
(د) يتضاعف. (هـ) ينقص إلى النصف.

- ١- إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة فإن الحجم
٢- إذا انتقل بارومتر من مستوى سطح البحر إلى أعلى جبل فإن ارتفاع الزئبق في البارومتر
٣- إذا كان ضغط الغاز ثابتاً وقلت درجة حرارته على تدرج مغلقة إلى النصف فإن حجمه

ثانياً: نظير الإجابة الصحيحة

١- زيادة درجة حرارة إطار السيارة يؤدي إلى:

(أ) زيادة ضغط الهواء داخل الإطار

(ب) زيادة حجم الهواء داخل الإطار

(ج) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة اللاصقة للطرز

أكثر الأطراف المناسب فيما يلي للإجابة

(أ) (١، ٢، ٣) صحيحة (ب) (١، ٢) صحيحة (ج) (١، ٣) صحيحة

(د) (٣) فقط صحيحة (هـ) (١) فقط صحيحة

٢- درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس مغلقة لدرجات الحرارة تساوي تقريباً:

(أ) 0 K (ب) 37 K (ج) 100 K (د) 373 K (هـ) 110 K

٣- يتناسب حجم كمية محددة من غاز ما:

(أ) عكسياً مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه

(ب) عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(ج) طردياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته

(د) طردياً مع درجة حرارته عند تغير الضغط

(هـ) عكسياً مع ضغطه عند تغير درجة حرارته

٤- ضغط الغاز عند 11°C يتضاعف إذا تم تسخين الغاز تحت حجم ثابت إلى:

(أ) 20°C (ب) 80°C (ج) 160°C (د) 293°C (هـ) 410°C

٥- إذا انضغط غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلي فإن:

- (أ) درجة حرارة الغاز ستتضاعف.
 (ب) درجة حرارة الغاز ستتناقص إلى نصف قيمتها.
 (ج) ضغط الغاز سيصل إلى النصف.
 (د) سرعة الجزيئات تتضاعف.
 (هـ) ضغط الغاز سيتضاعف.

ثالثاً: أسئلة المقال:

- ١- كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمي لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط؟
- ٢- صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وأنه ثابت لجميع الغازات.
- ٣- كيف تحقق قانون بويل عملياً؟
- ٤- كيف تبين بالتجربة أن ضغط الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم؟
- ٥- كيف تعين صفر كلفن؟
- ٦- اشرح معنى صفر كلفن ودرجة الحرارة على تدريج كلفن.
- ٧- استنبط القانون العام للغازات

رابعاً: تمارين

- ١- لتر غاز في 10°C رفعت درجة حرارته وهو ثابت الضغط إلى 293°C فأوجد حجمه.
(2 Liter)
- ٢- إناء مقل به هواء في درجة 0°C برد إلى (91°C) فصار الضغط به 40cmHg فكم يكون ضغط الهواء عند 0°C
(60cm Hg)
- ٣- كمية من الأكسجين تشغل في 91°C وتحت ضغط 84cmHg 760 cm^3 فكم يكون حجمها في درجة 0°C وتحت ضغط 76 cm Hg (في معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P)
 630 cm^3
- ٤- ورق به هواء سخن من 15°C إلى 87°C فكم نسبة حجم ما خرج منه من الهواء إلى ما كان موجود به؟
(25%)
- ٥- إطار سيارة به هواء ضغطه 1.5Atm في يوم كانت درجة حرارته (-3°C) احسب ضغط الهواء في الإطار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 51°C بفرض ثبوت الحجم
(1.8 Atm)
- ٦- فقاعة من الهواء على عمق 10.13m تحت سطح ماء عذب حجمها 28cm^3 احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرة بفرض أن درجة حرارة الماء عند العمق المشار إليه هي 7°C ودرجة الحرارة عند السطح 27°C (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية 10ms^{-2} والضغط الجوي $1.013 \times 10^5 \text{N/m}^2$ وكثافة الماء 1000kg/m^3).
(60cm³)