الفيزياء

للصف الثانى الثانوى - الفصل الدراسى الأول 2025 - 2026

الفيزيـــاء

للصـف الثـــانى الثـــانوى - الفصـل الدراسـى الأول 2025 - 2026

إعـــــداد

أ. د. مصطفى كمال محمد يوسف
أ. د. محمد سامح سعيد
د. مصطفى محمد السيد محمد
أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

لجنة التعديل

أ. يسرى فؤاد سويرس
أ. مجدي فتحي
أ. سعيد محمد علي
أ. أيمن شوقي
أ. محمد سيد محمد

شارك فى التعديل والتطوير

إدارة المحتوى التعليمى بشركة GPS للطبع والنشر والتوزيع

مستشار مادة العلوم

د. عزيزة رجب خليفة

إشراف عام

د. أكرم حسن محمد
مساعد الوزير لشئون المناهج التعليمية
والمشرف على الإدارة المركزية لتطوير المناهج

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفنى

مقدمة

يمثل هذا الكتاب دعامة من دعائم المنهج المطور فى الفيزياء للصف الثانى الثانوى، إلى جانب الأنشطة والتدريبات، الأمر الذى يعمل على تحقيق أهداف عملية تطوير المناهج لمواجهة تحديات القرن الحادى والعشرين، والذى واكبت بدايته ثورة متسارعة فى المعلومات وتكنولوچيا الاتصالات.

ويهدف المنهج إلى تحقيق التوجهات التالية:

- التبصير بالعلاقة بين العلم والتكنولوچيا فى مجال الفيزياء وانعكاساتها على التنمية.

- التركيز على ممارسة الطلاب للتصرف الواعى والفعال حيال استخدام المخرجات التكنولوچية.

- اكتساب الطلاب منهجية التفكير العلمى، ومن ثم يتاح لهم الانتقال إلى التعلم الذاتى الممتزج بالمتعة والتشويق.

- اعتماد الطلاب على الاستكشاف فى التوصل إلى المعلومات، واكتساب المزيد من الخبرات.

- توفير الفرص لممارسة مهام المواطنة من خلال أساليب التعلم الذاتى، والعمل بروح الفريق للتفاوض والإقناع وتقبل آراء الآخرين وعدم التعصب ونبذ التطرف.

- اكتساب الطلاب المهارات الحياتية، عن طريق زيادة الاهتمام بالجانب العملى والتطبيقى.

- تنمية الاتجاهات البيئية الإيجابية نحو استخدام الموارد البيئية، والحفاظ على التوازن البيئى محليًا وعالميًا.

ويحتوى هذا الكتاب على مجموعة من الوحدات المتكاملة تحقق الأهداف المرجوة من دراسة كل منها، وهى :

(١) الكميات الفيزيائية ووحدات القياس.

(٢) الحركة الخطية.

(٣) خواص المادة.

(٤) الحرارة.

نسأل الله عزّوجلّ أن تعم الفائدة من هذا الكتاب، وندعوه سبحانه أن يكون ذلك لبنة من اللبنات التى نضعها فى محراب حب الوطن والانتماء إليه.والله من وراء القصد، وهو يهدى إلى سواء السبيل.

المؤلفون

المحتويات

الصفحة

الوحدة الأولى

الكميات الفيزيائية ووحدات القياس

الفصل الأول: القياس الفيزيائى. 6

الوحدة الثانية

الحركة الخطية

الفصل الثانى: الحركة فى خط مستقيم. 25

الفصل الثالث: القوة والحركة. 37

الوحدة الثالثة

خواص المادة

الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة. 47

الفصل الخامس: خواص الموائع الساكنة. 61

الوحدة الرابعة

الحرارة

الفصل السادس: قوانين الغازات. 80

الوحـــدة

الأولى

الكميات الفيزيائية ووحدات القياس

الفصل الأول: القياس الفيزيائى

الفصـــل

الأول

القيـاس الفيـزيائى

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادراً على أن:

١- تفرق بين الكميات الفيزيائية الأساسية والمشتقة.

٢- تحدد الكميات الفيزيائية الأساسية فى النظام الدولى ووحدات قياسها.

٣- تسمى أدوات قياس الطول والكتلة والزمن.

٤- تستنتج معادلة أبعاد الكميات الفيزيائية.

٥- تستنتج وحدات النظام الدولى لكميات فيزيائية مشتقة.

٦- تستخدم معادلة الأبعاد فى إثبات صحة القوانين الفيزيائية.

٧- تذكر مصادر الخطأ فى القياس.

مصطلحات الفصل

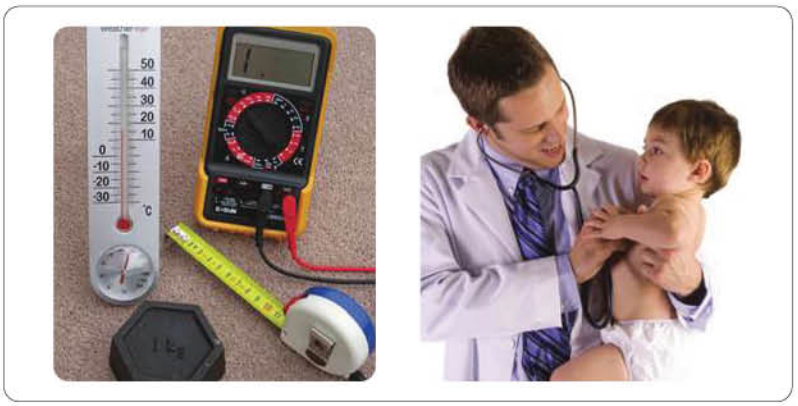
- الكمية الفيزيائية Physical Quantity
- وحدة القياس Measuring Unit

مقدمة

تهتم العلوم الطبيعية بدراسة الظواهر التى تحدث فى الكون، فتصف هذه الظواهر وتحاول تفسيرها وتخضعها للتجربة بهدف الاستفادة منها فى خدمة الإنسان، ولا يمكن أن يكون وصف هذه الظواهر دقيقًا دون إجراء عمليات قياس دقيقة للكميات الفيزيائية المختلفة.

مفهوم القياس الفيزيائى

وصف درجة حرارة شخص بأنها مرتفعة يكون غير دقيق علميًا، والأفضل أن يقال مثلاً أن درجة حرارته 40 درجة سيلزيوس (40°C)، فالقياسات تحول مشاهداتنا إلى مقادير كمية يمكن التعبير عنها بواسطة الأرقام.



شكل (1)

القياسات المختلفة فى الحياة اليومية

ما المقصود بالقياس ؟

القياس : هو عملية مقارنة كمية مجهولة بكمية أخرى من نوعها (تسمى وحدة القياس) لمعرفة عدد مرات احتواء الأولى على الثانية، ولعملية القياس ثلاثة عناصر رئيسة هى:

1. الكميات الفيزيائية(المراد قياسها).
2. أدوات القياس اللازمة.
3. وحدات القياس المستخدمة (الوحدات المعيارية).

وسنتناول بالتفصيل كل عنصر من هذه العناصر.

إن الكميات التى نتعامل معها مثل الكتلة والزمن والطول والحجم وغيرها تسمى كميات فيزيائية، ونحن نحتاج إلى قياسها بدقة فى حياتنا اليومية.

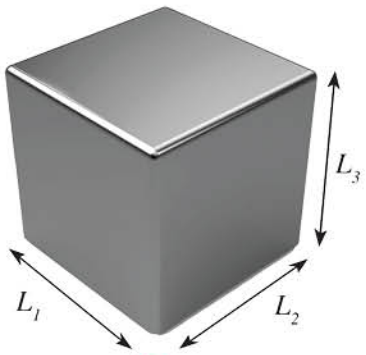
ويمكن تصنيف الكميات الفيزيائية إلى :

(أ) **كمية فيزيائية أساسية :** هى كمية فيزيائية لا تُعرف بدلالة كميات فيزيائية أخرى.

من أمثلتها: الطول، الزمن، الكتلة.

(ب) **كمية فيزيائية مشتقة :** هى كمية فيزيائية تُعرف بدلالة الكميات الفيزيائية الأساسية.

من أمثلتها : الحجم، السرعة، العجلة.



شكل (2)
متوازى مستطيلات

فنجد على سبيل المثال أن :

حجم متوازى المستطيلات = الطول × العرض × الارتفاع

$$V_{ol} = L_1 \times L_2 \times L_3$$

أى أن الحجم مشتق من الطول.

ويوجد فى العالم عدة أنظمة لتحديد الكميات الفيزيائية الأساسية ووحدات قياسها ومنها :

	وحدات القياس		
الكمية الأساسية	النظام الفرنسى (نظام جاوس) (C.G.S)	النظام البريطانى (F.P.S)	النظام المترى (M.K.S)
الطول	سنتيمتر	قدم	متر
الكتلة	جرام	باوند	كيلوجرام
الزمن	ثانية	ثانية	ثانية

التكامل مع الرياضيات

دائمًا ما يتم التعبير عن الكميات الفيزيائية وعلاقتها ببعضها البعض بالمعادلات الرياضية، وهذه المعادلات الرياضية هى صورة مختصرة لتوصيف فيزيائى، ويكون لكل معادلة فيزيائية مدلول معين، وهذا المدلول هو ما نسميه المعنى الفيزيائى.

النظام الدولى للوحدات International System of Units (SI)

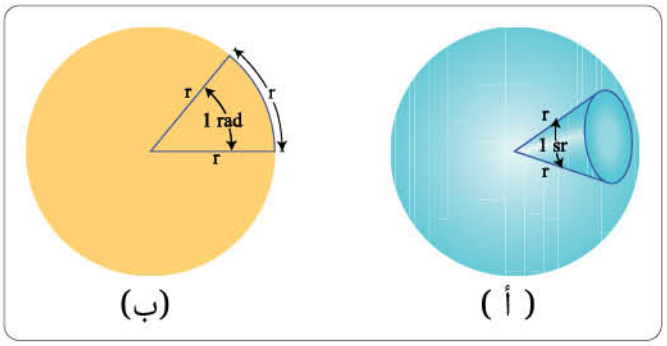
ويسمى أيضًا النظام المترى المعاصر، وقد تم الاتفاق فى المؤتمر العالمى للمقاييس والموازين الحادى عشر الذى عقد عام 1960 على إضافة أربع وحدات للنظام المترى السابق، وبذلك أصبح على الصورة التالية :

مسلسل	الكمية الفيزيائية		الوحدة فى النظام الدولى	
١	الطول	(L)	المتر	Meter (m)
٢	الكتلة	(M)	كيلوجرام	Kilogram (kg)
٣	الزمن	(t)	ثانية	Second (s)
٤	شدة التيار الكهربى	(I)	أمبير	Ampere (A)
٥	درجة الحرارة المطلقة	(T)	كلفن	Kelvin (K)
٦	كمية المادة	(n)	مول	Mole (mol)
٧	شدة الإضاءة	(I_v)	الكانديلا	Candela (cd)

وقد أضيفت وحدتان إضافيتان وهما :

- راديان Radian لقياس الزاوية المسطحة.
- استرديان Steradian لقياس الزاوية المجسمة.

هذا وقد تم استخدام النظام الدولى فى جميع المجالات العلمية المختلفة فى كافة أنحاء العالم.



شكل (3)
(أ) الزاوية المجسمة
(ب) الزاوية المسطحة

علماء أفادوا البشرية :

وليام طومسون (لورد كلفن) : عالم بريطانى يعد أحد أبرز العلماء الذين طوروا النظام المترى وقد قام بتعيين درجة الصفر المطلق على مقياس «كلفن» لدرجات الحرارة بدقة تامة، ووجد أنها تساوى (–273 °C).

أحمد زويل : عالم مصرى حصل على جائزة نوبل عام 1999 م حيث استخدم الليزر فى دراسة التفاعلات الكيميائية بين الجزيئات والتى تحدث فى فترة زمنية تقاس بالفيمتوثانية (10^{-15} s).

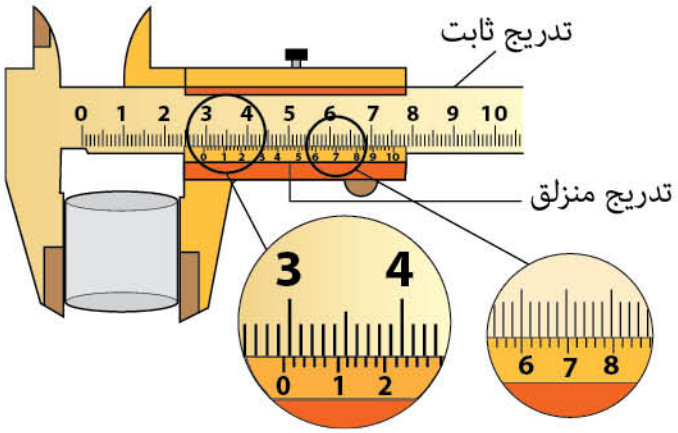
أدوات القياس Measurement Tools

اتخذ الإنسان فى الماضى من أجزاء جسمه ومن الظواهر الطبيعية وسائل للقياس، فاتخذ الذراع وكف اليد والقدم وغيرها كمقاييس للطول، واستفاد من شروق الشمس وغروبها ودورة القمر فى استنباط مقياس للزمن. ونشأت نظم مختلفة للقياس، وتنوعت وتعددت فى كل دولة، ولقد تطورت أدوات القياس تطورًا هائلاً فى إطار التطور الصناعى الضخم، وبذلك ساعدت الإنسان على وصف الظواهر بدقة والتوصل إلى حقائق الأشياء.

الكمية	بعض أدوات القياس قديمًا وحديثًا			
الطول	الشريط المترى	المسطرة	القدمة ذات الورنية	الميكرومتر
الكتلة	ميزان رومانى	الميزان ذو الكفتين	الميزان ذو الكفة الواحدة (بعد معايرته)	ميزان رقمى (بعد معايرته)
الزمن	الساعة الرملية	ساعة البندول	ساعة الإيقاف	ساعة رقمية

تجربة عملية لقياس الأطوال باستخدام القدمة ذات الورنية

التركيب:



شكل (4)
القدمة ذات الورنية

تتكون القدمة ذات الورنية من تدريج منزلق (ورنية) يتحرك بمحاذاة تدريج آخر ثابت، ويقسم تدريج الورنية إلى عدة أقسام قيمة كل قسم أصغر قليلًا من قيمة القسم على التدريج الثابت.

حيث إن: القسم الواحد على التدريج الثابت = 1 mm، (الوحدة mm تعنى ملليمتر)، بينما القسم الواحد على التدريج المنزلق = 0.9 mm، وبالتالى فإن القسم على التدريج المنزلق (الورنية) يقل بمقدار 0.1 mm عن نظيره الثابت، ولذلك تحسب قراءة الورنية بضرب عدد الأقسام فى (0.1 mm).

خطوات العمل:

1. يوضع الجسم بين فكى القدمة، ويضغط عليه ضغطًا خفيفًا.
2. نقرأ التدريج الرئيسى الذى يسبق صفر الورنية، وليكن 29 mm
3. نبحث عن الخط بالورنية الذى ينطبق على قسم من أقسام التدريج الثابت، وليكن الخط السادس؛ لذلك نضيف (6 × 0.1 = 0.6 mm) إلى القراءة السابقة، فيصبح الطول المقاس :

$$29\ mm + 0.6\ mm = 29.6\ mm$$

4. يفضل تكرار القياس عدة مرات وحساب متوسط القيم المقاسة، وذلك لتحقيق الدقة فى القياس.

الوحدات المعيارية Standard Units

بدون استخدام وحدات القياس يصبح الكثير من المهام التى نقوم بها فى حياتنا اليومية عديمة المعنى، فعندما نقول إن كتلة جسم ما تساوى (5) دون أن نذكر وحدة قياس الكتلة المستخدمة فإن ذلك يجعلنا نتساءل: هل وحدة القياس هى الجرام، أم الكيلوجرام أم الطن...؟ ولكننا عندما نقول: إن الكتلة تساوى (5 kg) نكون قد أوضحنا الكمية إيضاحًا تامًا.

ولقد حاول العلماء البحث عن التعريف الأكثر دقة لكل من الوحدات المعيارية مثل الطول والكتلة والزمن، وإليك بعض هذه التعريفات.

معيار الطول (المتر)

يعتبر الفرنسيون أول من استخدم المتر كوحدة عيارية لقياس الطول.

وقد تغير تعريف المتر بحثًا عن التعريف الأكثر دقة.

المتر العيارى : عبارة عن المسافة بين علامتين محفورتين عند نهايتى ساق من سبيكة من (البلاتين - الإيريديوم) محفوظة عند درجة الصفر سيلزيوس فى المكتب الدولى للموازين والمقاييس بالقرب من باريس.

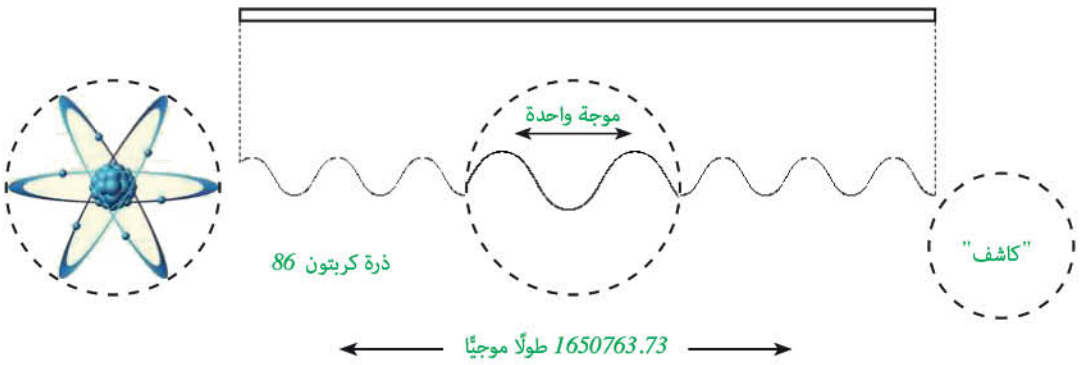
شكل (5)

المتر العيارى

معلومة إثرائية

فى عام 1960 م اتفق العلماء فى المؤتمر الدولى للموازيين والمقاييس على إمكانية استبدال المتر العيارى السابق بأحد الثوابت الذرية وفقًا للتعريف الآتى :

المتر العيارى : يساوى عددًا معلومًا (1650763.73) من الأطوال الموجية للضوء الأحمر - البرتقالى المنبعث فى الفراغ من ذرات نظير عنصر الكربتون ذى الكتلة الذرية 86 فى أنبوبة تفريغ كهربائى بها غاز الكربتون.



شكل (6)

المتر معرفًا بدلالة الأطوال الموجية للضوء الأحمر البرتقالى لذرة الكربتون 86

أفكار لتنشيط الإبداع

باستخدام شبكة المعلومات، ابحث فى إجابة الأسئلة التالية:

- كيف يمكنك قياس بُعد القمر عن الأرض؟
- كيف يمكنك قياس طول محيط الكرة الأرضية؟

معيار الكتلة (الكيلوجرام)

الكيلوجرام العيارى : عبارة عن كتلة أسطوانة من سبيكة (البلاتين -الإيريديوم) ذات الأبعاد المحددة محفوظة عند درجة صفر سيلزيوس فى المكتب الدولى للمقاييس والموازين بالقرب من باريس.

شكل (7)
الكيلوجرام العيارى

معيار الزمن (الثانية)

الثانية : هى وحدة قياس الزمن، ولقد تم تحديدها فى العصور القديمة، فقد كان الليل والنهار واليوم وسيلة ممتازة للعثور على مقياس ثابت وسهل لوحدة الزمن، حيث إن :

اليوم = 24 ساعة = 24 × 60 دقيقة = 24 × 60 × 60 ثانية = 86400 ثانية

وبناءً على ما سبق يمكن تعريف الثانية على أنها تساوى $\frac{1}{86400}$ من اليوم الشمسى المتوسط.

ولقد اقترح العلماء استخدام الساعات الذرية مثل ساعة السيزيوم لقياس الزمن، وهى غاية فى الدقة.

ويساعد استخدام الساعات الذرية ذات الدقة المتناهية فى دراسة عدد كبير من المسائل ذات الأهمية العلمية والعملية مثل تحديد مدة دوران الأرض حول نفسها (زمن اليوم) إلى جانب مراجعات لتحسين الملاحة الجوية والأرضية، وتدقيق رحلات سفن الفضاء لاكتشاف الكون وغيرها.

معلومة إثرائية

توصل العلماء إلى التعريف الآتى للثانية باستخدام ساعة السيزيوم :

الثانية العيارية : تعادل الفترة الزمنية اللازمة لينبعث من ذرة السيزيوم ذى الكتلة الذرية 133 عدد من الموجات(يساوى 9192631700 موجة).

شكل (8)
ساعة السيزيوم الذرية

تنمية التفكير الناقد

- لماذا لا يستخدم طول مماثل للمتر العيارى من الزجاج لنحتفظ به كوحدة عيارية لقياس الطول ؟
- لماذا فى رأيك اختار العلماء المتر العيارى الذرى وفضلوه على المتر العيارى الدولى ؟
- لماذا يبحث العلماء عن المعيار الأكثر دقة لقياس الكمية الفيزيائية ؟

صيغة الأبعاد Dimensional Formula

اصطلح العلماء على تعريف محدد لكل كمية فيزيائية يتم الاتفاق عليه عالميًا.

فمثلًا : تُعرف السرعة بأنها (معدل تغير المسافة بالنسبة للزمن) أى تساوى $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$

وهذا التعريف متفق عليه فى جميع أنحاء العالم.

ويمكن التعبير عن كل كمية فيزيائية بصورة رمزية ، فمثلاً:

- نرمز للطول Length بالرمز «L» .
- نرمز للكتلة Mass بالرمز «M».
- نرمز للزمن Time بالرمز «T».

وعندما نعبر عن تعريف الكمية الفيزيائية بدلالة الرموز السابقة نحصل على ما يسمى «صيغة أبعاد» الكمية الفيزيائية، فمثلًا :

السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{الطول}}{\text{الزمن}}$

$$[v] = \frac{[\text{Distance}]}{[\text{Time}]} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

وبذلك يمكن التعبير عن معظم الكميات الفيزيائية المشتقة بدلالة أبعاد الكميات الفيزيائية الأساسية، وهى الطول والكتلة والزمن مرفوع كل منها «لأس» معين ويكتب التعبير الناتج على الصورة الآتية:

$$[A] = L^{\pm a}\, M^{\pm b}\, T^{\pm c}$$

حيث A الكمية الفيزيائية ، و a,b,c هى أسس الأبعاد T و M و L على الترتيب.

وحدة قياس الكمية الفيزيائية : نحصل على وحدة القياس بالتعبير عن صيغة الأبعاد بالوحدات المناسبة.
فعلى سبيل المثال تقاس السرعة بوحدة : متر / ثانية (m/s).

مثـال

أوجد صيغة أبعاد العجلة وكذلك وحدة قياسها، إذا علمت أن العجلة تعرف بأنها (معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن).

الحـل

$$\text{العجلة} = \frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}}$$

$$[a] = \frac{[\text{Velocity}]}{[\text{Time}]} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$$

أما وحدة قياس العجلة فتكون (m/s^2)

صيغة أبعاد بعض الكميات الفيزيائية :

الكميات الفيزيائية	علاقتها مع الكميات الأخرى	صيغة الأبعاد	وحدة القياس
المساحة (A)	الطول × العرض	$L \times L = L^2$	m^2
الحجم (V_{ol})	الطول × العرض × الارتفاع	$L \times L \times L = L^3$	m^3
الكثافة (ρ)	$\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$	$\frac{M}{L^3} = ML^{-3}$	kg/m^3
السرعة (v)	$\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$	$\frac{L}{T} = LT^{-1}$	m/s
العجلة (a)	$\frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}}$	$\frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$	m/s^2
القوة (F)	الكتلة × العجلة	$M \times LT^{-2} = MLT^{-2}$	N (نيوتن)
الضغط (P)	$\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$	$\frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$	Pa (باسكال)
الشغل (W)	القوة × الإزاحة	$MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$	J (جول)

انتبه

- عند جمع أو طرح كميتين فيزيائيتين يجب أن تكونا من نفس النوع، أى لهما نفس صيغة الأبعاد فلا يمكن جمع كتلة 2 kg مع مسافة 2 m
- إذا كانت وحدة القياس مختلفة لكميتين من نفس النوع فيجب أن نحول وحدة قياس إحداهما إلى وحدة قياس الأخرى لكى يمكن جمع أو طرح الكميتين مع بعضهما.

$$1\ m + 170\ cm = 100\ cm + 170\ cm = 270\ cm$$

- يمكن ضرب وقسمة الكميات الفيزيائية التى ليس لها نفس صيغة الأبعاد، وفى هذه الحالة نحصل على كمية فيزيائية جديدة، فعند قسمة المسافة على الزمن تنتج السرعة.

أهمية معادلات الأبعاد : يمكن استخدام معادلة الأبعاد فى اختبار صحة القوانين، حيث يجب أن يكون أبعاد كل من طرفى المعادلة متماثلة، وهذا ما يسمى(تحقيق تجانس الأبعاد للمعادلة).

مثـال ١

تحقق من إمكانية صحة العلاقة :

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ الكتلة × مربع السرعة، إذا علمت أن صيغة أبعاد الطاقة = ML^2T^{-2}

الحـل

صيغة أبعاد الطرف الأيمن هى ML^2T^{-2}

صيغة أبعاد الطرف الأيسر :

من المعلوم أن الكسر $\frac{1}{2}$ ليس له وحدة قياس. $M(L/T)^2 = ML^2T^{-2}$

وهى نفس صيغة أبعاد الطرف الأيمن، ونستنتج من ذلك أن العلاقة يمكن أن تكون صحيحة.

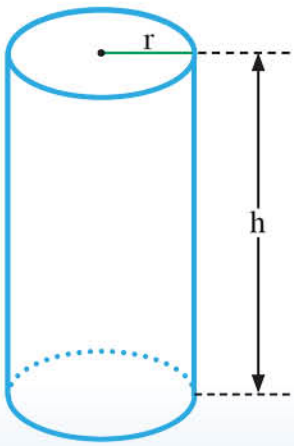
ملحوظة : لا يمكن إثبات صحة القيم العددية الموجودة بالعلاقة باستخدام صيغ الأبعاد.

مثـال ٢

اقترح أحدهم أن حجم الأسطوانة يتعين من العلاقة $V_{ol} = \pi rh$

حيث (r) نصف قطر قاعدة الأسطوانة، (h) ارتفاع الأسطوانة.

استخدم صيغ الأبعاد لكى تتحقق من إمكانية صحة هذه المعادلة.



الحـل

تكتب المعادلة $V_{ol} = \pi rh$ (ويلاحظ أن π ثابت ليس له وحدات)

صيغة أبعاد الطرف الأيسر (حجم) L^3

صيغة أبعاد الطرف الأيمن (طول × طول) L^2

النتيجة: أبعاد طرفى المعادلة غير متطابقة.

الاستنتاج: المعادلة خطأ.

لاحظ أن: وجود نفس صيغة الأبعاد على طرفى المعادلة لا يضمن صحتها، ولكن اختلافها على طرفى المعادلة يؤكد خطأها.

مضاعفات وكسور الوحدات فى النظام العالمى

فى عملية القياس توصف الكمية الفيزيائية عادةً برقم عددى ووحدة قياس، فمثلًا المسافة بين النجوم كبيرة جدًا وتقدر بحوالى(100,000,000,000,000,000 m)، أما المسافة بين الذرات فى الجوامد فتقدر بحوالى (0.000000001 m) لا شك أننا نجد صعوبة كبيرة فى قراءة هذه الأرقام، لذلك يفضل التعبير عن هذه الأرقام وكتابتها باستخدام الرقم 10 مرفوعًا لأس معين، وبهذه الطريقة يمكن كتابة المسافة بين النجوم على الصورة (1×10^{17}m) والمسافة بين الذرات فى الجوامد على الصورة (1×10^{-9}m) وتسمى هذه الطريقة فى التعبير عن الكميات الفيزيائية بالصيغة المعيارية لكتابة الأعداد، وسمى المعامل $10^{\pm x}$ بأسماء محددة تم الاتفاق عليها بين العلماء وهى موضحة بالجدول التالى :

المعامل	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}
المسمى	نانو	ميكرو	مللى	سنتى	كيلو	ميجا	جيجا
الرمز	n	μ	m	c	k	M	G

مثـال

تيار كهربائى شدته 7 مللى أمبير (7 mA)، عبر عن شدة هذا التيار بوحدة الميكروأمبير (μA).

الحـل

من الجدول السابق نجد أن :

$1\ mA = 10^{-3}\ A$

$1\ \mu A = 10^{-6}\ A$

بقسمة العلاقتين السابقتين ينتج أن :

$$\frac{1\ mA}{1\ \mu A} = 10^{3}$$

أى أن :

$1\ mA = 10^{3}\ \mu A$

وبضرب الطرفين فى (7) نجد أن : $7\ mA = 7\times10^{3}\ \mu A$

معنى هذا أن : 7 مللى أمبير = 7000 ميكروأمبير.

خطأ القياس Measurement Error

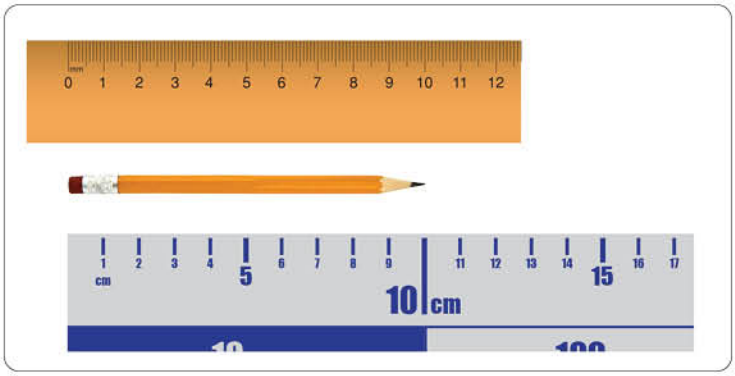
اهتم الإنسان عبر تاريخه بتحسين طرق القياس وتطوير أجهزته نظرًا للارتباط الواضح بين دقة عملية القياس والتقدم العلمى والتكنولوجى، ولا يمكن أن تتم عملية قياس بدقة (100%)، ولكن لابد من وجود نسبة ولو بسيطة من الخطأ، فعند قياس طول غرفة مثلًا فإننا نجد أن هناك اختلافًا بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية، وقد يكون هذا الاختلاف طفيفًا أو كبيرًا حسب دقة القياس.

تدريب

طلب معلم من 5 طلاب قياس طول قلم رصاص، وكانت النتائج على النحو التالى :

الطالب	الأول	الثانى	الثالث	الرابع	الخامس
نتيجة القياس	10.1 cm	10.0 cm	9.8 cm	10.0 cm	10.2 cm

- ماذا تستنتج من الجدول السابق؟
- اذكر الأسباب المحتملة التى نتجت عنها الأخطاء فى القياس ؟
- ما المسطرة الأدق فى قياس طول القلم الرصاص؟ ولماذا ؟



(أ) مسطرة مدرجة 1 مم.

(ب) مسطرة مدرجة 1 سم.

شكل (9)

مصادر الخطأ فى القياس

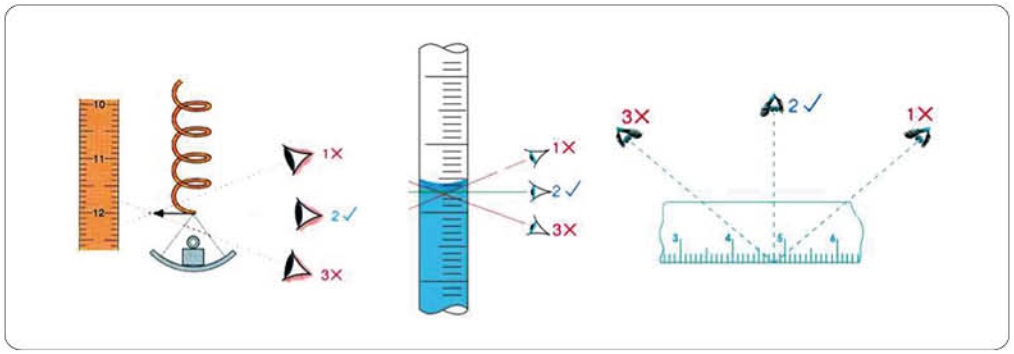
تتعدد مصادر الخطأ عند قياس الكميات الفيزيائية المختلفة، ومن هذه المصادر :

1. **اختيار أداة قياس غير مناسبة :** من الأخطاء الشائعة اختيار أداة غير مناسبة للقياس، فمثلًا استخدام الميزان المعتاد بدلًا من الميزان الحساس لقياس كتلة خاتم ذهبى يؤدى إلى حدوث خطأ أكبر فى القياس.
2. **وجود عيب فى أداة القياس :** قد يوجد عيب أو أكثر فى أداة القياس، ومن أمثلة تلك العيوب فى جهاز الأميتر على سبيل المثال:
   * أن يكون الجهاز قديمًا والمغناطيس بداخله أصبح ضعيفًا.
   * ابتعاد مؤشر مقياس الأميتر عن صفر التدريج عند قطع التيار كما بالشكل.

شكل (10)
جهاز أميتر قديم

③ **إجراء القياس بطريقة خطأ :** كثيرًا ما تنتج الأخطاء من المستجدين والأشخاص غير المدربين على إجراء القياس بدقة، ومن هذه الأخطاء :

* عدم معرفة استخدام الأجهزة متعددة التدريج مثل الملتيمتر.
* النظر إلى المؤشر أو التدريج بزاوية بدلاً من أن يكون خط الرؤية عموديًا على قسم التدريج الذى يحدد قراءة الأداة.



شكل (11)
خط الرؤية عمودى على أداة القياس

شكل (12)
ميزان حساس داخل صندوق زجاجى

④ **عوامل بيئية :** مثل درجات الحرارة أو الرطوبة أو التيارات الهوائية، فعند قياس كتلة جسم صغير باستخدام ميزان حساس قد تؤدى التيارات الهوائية إلى حدوث خطأ فى عملية القياس؛ ولتجنب هذا الخطأ يوضع الميزان الحساس داخل صندوق زجاجى.

يمكننا التمييز بين نوعين من القياس، هما :

① **القياس المباشر :** يتم فيه استخدام أداة واحدة للقياس؛ فمثلاً يمكن قياس كثافة سائل باستخدام أداة قياس واحدة تُعرف بـ "الهيدروميتر".

② **القياس غير المباشر :** يتم فيه استخدام أكثر من أداة قياس، فيمكن قياس الكثافة عن طريق قياس الكتلة بالميزان وقياس الحجم بالمخبار المدرج، ثم حساب الكثافة بقسمة الكتلة على الحجم.

شكل (13)
قياس الكثافة باستخدام الهيدروميتر

شكل (14)
قياس الكثافة باستخدام الميزان والمخبار المدرج

وجه المقارنة	القياس المباشر	القياس غير المباشر
عدد عمليات القياس	يتم فيه إجراء عملية قياس واحدة	يتم فيه إجراء أكثر من عملية قياس
العمليات الحسابية	لا يتم التعويض فى علاقة رياضية	يتم التعويض فى علاقة رياضية لحساب الكمية
الأخطاء فى القياس	يكون هناك خطأ واحد فى عملية القياس	يكون هناك عدة أخطاء فى عملية القياس، لذا يحدث ما يعرف بتراكم للخطأ
أمثلة	قياس الحجم باستخدام المخبار المدرج	قياس الحجم بضرب الطول فى العرض فى الارتفاع

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الأساسية

- القياس : هو عملية مقارنة كمية مجهولة بكمية أخرى من نوعها لمعرفة عدد مرات احتواء الأولى على الثانية.
- الكميات الفيزيائية الأساسية : هى الكميات الفيزيائية التى لا تُعرف بدلالة كميات فيزيائية أخرى.
- الكميات الفيزيائية المشتقة : هى الكميات الفيزيائية التى تُعرف بدلالة الكميات الفيزيائية الأساسية.
- تستخدم صيغة الأبعاد فى اختبار صحة القوانين، حيث إن وجود نفس صيغة الأبعاد على طرفى المعادلة لا يضمن صحتها ولكن اختلافها يؤكد خطأها.
- مصادر الخطأ فى القياس:

(1) اختيار أداة قياس غير مناسبة.

(2) وجود عيب فى أداة القياس.

(3) إجراء القياس بطريقة خطأ.

(4) عوامل بيئية مثل درجة الحرارة، الرطوبة، التيارات الهوائية.

- أنواع القياس :

(1) القياس المباشر : يتم فيه إجراء عملية قياس واحدة ولا يتم فيه التعويض فى علاقة رياضية.

(2) القياس غير المباشر : يتم فيه إجراء أكثر من عملية قياس ويتم فيه التعويض فى علاقة رياضية لحساب الكمية.

أسئلة وتمارين

أولاً: أكمل الجدول التالى

الكمية الفيزيائية	وحدة القياس	صيغة الأبعاد
السرعة	.....	.....
.....	m/s^2	.....
.....	.....	MLT^{-2}
الكثافة	.....	.....

ثانيًا: اختر الإجابة الصحيحة

1. الكمية المشتقة فيما يلى هى .....

أ الطول　ب الكتلة　جـ الزمن　د السرعة

2. فى النظام الدولى يتخذ الأمبير وحدة أساسية لقياس .....

أ شدة التيار الكهربى　ب الشحنة الكهربية

جـ الطول　د شدة الإضاءة

3. معادلة أبعاد العجلة هى .....

أ $L^2 T^{-1}$　ب LT^{-2}　جـ LT^{-1}　د LT

ثالثًا: أسئلة المقال

1. ما الفرق بين الكمية الفيزيائية الأساسية والكمية الفيزيائية المشتقة؟
2. عرف كلًا من: معيار الطول، معيار الكتلة، معيار الزمن.
3. لماذا لا يستخدم طول مماثل للمتر العيارى من الزجاج لنحتفظ به كوحدة عيارية لقياس الطول؟
4. إذا علمت أن الشغل = $\frac{1}{2} mv^2$ ، استنتج صيغة أبعاد الشغل.
5. اكتب صيغة أبعاد كل من: القوة - الشغل - الضغط (يساوى القوة على المساحة).
6. فى امتحان مادة الفيزياء ، كتب طالب المعادلة التالية :

(السرعة بوحدة m/s) = (العجلة بوحدة m/s^2) × (الزمن بوحدة s)

استخدم صيغة الأبعاد لإثبات صحة هذه العلاقة.

7. وضع أينشتاين معادلته الشهيرة $E = mc^2$ حيث (c) سرعة الضوء و (m) الكتلة، استخدم هذه المعادلة لاستنتاج وحدات النظام الدولى SI للمقدار (E).

8. مستعينًا بصيغة الأبعاد للكميات الفيزيائية، تحقق من إمكانية صحة العلاقة:

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث : (P) الضغط الكلى عند نقطة فى باطن سائل، (P_a) الضغط الجوى، (ρ) كثافة السائل، (g) عجلة الجاذبية الأرضية، (h) عمق النقطة.

9. اذكر الاحتياطات الواجب مراعاتها عند استخدام المسطرة المترية لقياس طول جسم ما.

رابعًا : تمارين

1. اكتب القراءة الآتية مستخدمًا الصيغة المعيارية فى كتابة الأعداد:

(أ) كتلة الفيل تعادل 5000 kg $(5 \times 10^3\ kg)$

(ب) سرعة الضوء فى الفراغ تساوى تقريبًا $c = 300000000\ m/s$ $(3 \times 10^8\ m/s)$

(جـ) نصف قطر الكرة الأرضية = 6000000 m $(6 \times 10^6\ m)$

(د) نصف قطر ذرة الهيدروچين = 0.00000000005 m $(5 \times 10^{-11}\ m)$

2. عبر عن المقادير التالية حسب الوحدة الموضحة أمام كل منها مستخدمًا الصيغة المعيارية فى كتابة الأعداد :

(أ) 1 mg بالكيلوجرام. $(1 \times 10^{-6}\ kg)$

(ب) 3×10^{-9} s بالملى ثانية. $(3 \times 10^{-6}\ ms)$

(جـ) 88 km بالمتر. $(8.8 \times 10^4\ m)$

3. إذا كان قطر شعرة رأس الإنسان فى حدود 0.05 mm، فاحسب هذا القطر بالمتر. $(5 \times 10^{-5}\ m)$

4. نصف قطر كوكب زحل يساوى 5.85×10^7m وكتلته 5.68×10^{26} kg :

(أ) احسب كثافة مادة الكوكب بوحدة g/cm^3 $(0.677\ g/cm^3)$

(ب) احسب مساحة سطح الكوكب بوحدة m^2 $(4.3 \times 10^{16}\ m^2)$

الوحـــدة

الثانية

الحركة الخطية

- **الفصل الثانى :** الحركـــة فى خط مستقيم
- **الفصل الثالث :** القـــوة والحركة

الفصـــل

الثانى

الحركـــة فى خط مستقيم

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن:

١- تضع تعريفًا لمفهوم الحركة فى خط مستقيم.

٢- تشرح أنواع الحركة.

٣- ترسم وتفسر الأشكال البيانية التى توضح العلاقة بين الإزاحة والزمن - السرعة والزمن.

٤- تفرق بين أنواع السرعات المختلفة وتقارن بينها.

٥- تتعرف مفهوم العجلة وأنواعها.

٦- تستقصى وتفسر وتحلل الأشكال البيانية المختلفة والمتعلقة بالحركة الخطية.

مصطلحات الفصل

- الحركة	Motion
- السرعة العددية	Speed
- السرعة المتجهة	Velocity
- العجلة	Acceleration

مقدمة

إذا تأملنا الأجسام من حولنا، فسنجد أن بعضها ثابت وبعضها متحرك ومن الضرورى ونحن نتابع حركة الأجسام المختلفة أن نفهم ونصف تلك الحركة، ففى حالة غياب طرق لوصف الحركة وتحليلها يتحول السفر بواسطة السفن، والقطارات، والطائرات إلى فوضى فالأزمنة والسرعات هى التى تحدد جداول مواعيد انطلاق ووصول وسائل النقل على اختلافها، وبناءً على ما سبق نحاول فى هذا الفصل التعرف على مفهوم الحركة والكميات الفيزيائية اللازمة لوصفها.

شكل (1)

ما تأثير دراسة الحركة على وسائل النقل المختلفة؟

الحركة Motion

يوضح الشكل المقابل شريطًا سينمائيًا يحدد مواضع فأر خلال فترات زمنية متساوية، هل الفأر متحرك أم ساكن ؟

شكل (2)

الحركة : هى التغير الحادث فى موضع الجسم بمرور الزمن بالنسبة لموضع جسم آخر، فعندما يتغير موضع جسم خلال فترة من الزمن يكون الجسم قد تحرك، وإذا كانت الحركة فى اتجاه واحد، أى تأخذ مسارًا مستقيمًا سميت الحركة عندئذ بالحركة فى خط مستقيم وهى تمثل أبسط أنواع الحركة.

شكل (3)

حركة القطار تُعد مثالاً للحركة فى خط مستقيم ففى كثير من المناطق لا تغير قضبان السكة الحديد اتجاهها لمسافات طويلة

أنواع الحركة

يمكن تصنيف الحركة إلى نوعين رئيسيين، هما: الحركة الانتقالية، والحركة الدورية.

شكل (4)
الحركة الانتقالية

شكل (5)
الحركة الدورية

① **الحركة الانتقالية :** هى حركة تتميز بوجود نقطة بداية ونقطة نهاية، **مثل :** الحركة فى خط مستقيم وحركة المقذوفات وحركة وسائل المواصلات.

② **الحركة الدورية :** هى حركة تكرر نفسها على فترات زمنية متساوية، **مثل :** الحركة فى دائرة والحركة الاهتزازية.

تنمية عمليات العلم

صنف حركة الأجسام التالية إلى انتقالية ودورية:

- حركة بندول الساعة.
- حركة المقذوفات.
- حركة القطارات.
- حركة فرع الشوكة الرنانة.

استهدافًا لتكامل المعرفة بين المواد الدراسية، تركز الدراسة فى هذه الوحدة من مادة الفيزياء على المفاهيم الفيزيائية المتعلقة بالقوة والحركة، وما يرتبط بهما من تطبيقات حياتية، لتفسح المجال لدراسة الإثبات الرياضى للقوانين والتطبيقات الحسابية بمادتى الرياضيات وتطبيقات الرياضيات.

السرعة Velocity

تتحرك الأجسام من حولنا فنصف بعضها بأنه بطىء وبعضها الآخر بأنه سريع، إلا أن هذه الأوصاف لا تكون دقيقة من الناحية العلمية، فلوصف حركة جسم لابد من تقديرها بصورة كمية، من خلال مفهوم «السرعة».

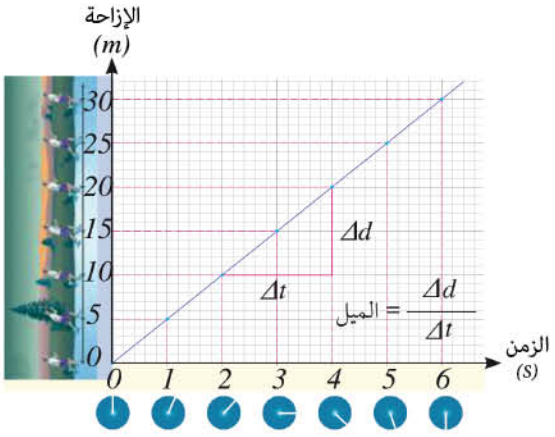
السرعة : هى الإزاحة التى يقطعها الجسم فى الثانية الواحدة، أو هى المعدل الزمنى للتغير فى الإزاحة، وتقاس السرعة بوحدة متر / ثانية (m/s) أو كيلومتر / ساعة (km /h).

تمثيل العلاقة بين الإزاحة والزمن بيانيًا :

راقب جسمًا متحركًا، وسجل إزاحته مع الزمن.

يمكن تمثيل العلاقة بين الإزاحة (على المحور الرأسى) والزمن (على المحور الأفقى) على النحو التالى :

- ارسم خطًا رأسيًا لأحد اللحظات على محور الزمن.
- ارسم خطًا أفقيًا للإزاحة المقابلة على محور الإزاحة.
- حدد نقطة تقاطع الخط الرأسى مع الخط الأفقى.
- كرر الخطوات السابقة مع باقى نقاط الزمن والإزاحة.
- ارسم أفضل خط مستقيم يمر بنقاط التقاطع.
- حدد السرعة بحساب ميل الخط المستقيم (slope).



شكل (6)

أنواع السرعة

1 السرعة العددية والسرعة المتجهة Speed & Velocity

عندما تركب السيارة يمكنك أن تلاحظ وجود عداد أمام السائق يتحرك مؤشره يمينًا ويسارًا، ويحدد هذا العداد مقدار سرعة السيارة (مثلًا 80 km/h) ولا يفيدنا بأى شىء فى تحديد اتجاه حركتها، ويسمى هذا المقدار بالسرعة العددية (Speed).

شكل (7)

هل يقيس عداد السيارة سرعة عددية أم متجهة؟ ولماذا؟

وعندما نقول إن سيارة تسير بسرعة 80 km/h، يُعد هذا وصفًا ناقصًا إذ لم نعلم فى أى اتجاه تسير السيارة. وحتى يتم وصف سرعة السيارة وصفًا كاملًا، علينا أن نحدد اتجاه حركتها، كأن نقول إن السيارة المذكورة تسير بسرعة 80 km/h نحو الشرق، وتسمى السرعة فى هذه الحالة بالسرعة المتجهة (Velocity).

وجه المقارنة	السرعة العددية (Speed)	السرعة المتجهة (Velocity)
التعريف	هى المسافة التى يقطعها الجسم فى وحدة الزمن.	هى الإزاحة التى يقطعها الجسم فى وحدة الزمن .
نوع الكمية	قياسية : تحدد بالمقدار فقط.	متجهة : تحدد بالمقدار والاتجاه.
الإشارة	دائمًا تكون موجبة.	تكون موجبة إذا تحرك الجسم فى اتجاه معين وسالبة إذا تحرك فى عكس هذا الاتجاه.

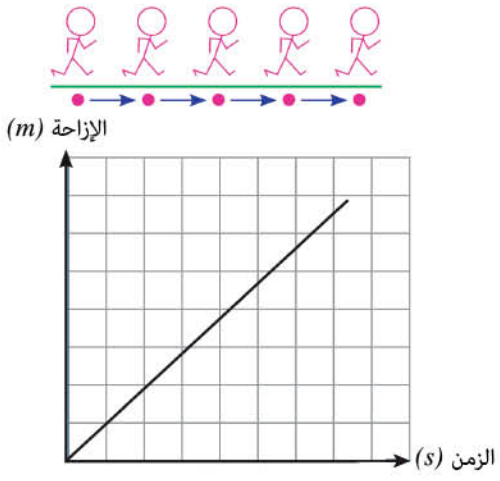
وتجدر الإشارة إلى أن مصطلح «السرعة» الذى سيتم استخدامه فيما يلى (من نصوص ومسائل) يقصد به السرعة المتجهة، وليس السرعة العددية وذلك لأن السرعة المتجهة هى التى تصف حركة الجسم وصفًا تامًا.

② السرعة المنتظمة والسرعة المتغيرة Uniform Velocity & Variable Velocity

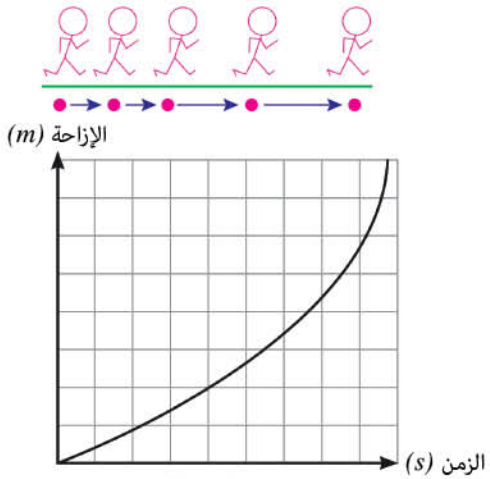
عندما يتحرك عداء بسرعة منتظمة فإن الإزاحة بين المواقع تكون متساوية فى الأزمنة المتساوية، أما إذا تحرك بسرعة غير منتظمة فإن الإزاحة بين المواقع تكون غير متساوية فى الأزمنة المتساوية.

السرعة المنتظمة : هى السرعة التى يقطع فيها الجسم إزاحات متساوية فى أزمنة متساوية، ويكون الجسم متحركًا بسرعة مقدارها ثابت وفى خط مستقيم (اتجاه ثابت).

السرعة المتغيرة : هى السرعة التى يقطع فيها الجسم إزاحات غير متساوية فى أزمنة متساوية، وتكون السرعة متغيرة فى المقدار أو الاتجاه.



شكل (8)
الحركة بسرعة منتظمة



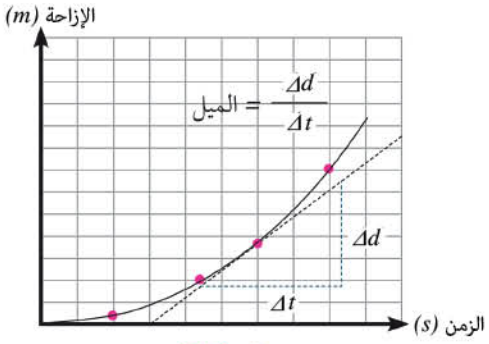
شكل (9)
الحركة بسرعة متغيرة

③ السرعة اللحظية والسرعة المتوسطة Instantaneous Velocity & Average Velocity

إذا تأملنا حركة سيارة على طريق فإننا نلاحظ أن سرعتها ليست ثابتة، ولكنها تتغير بحسب أحوال الطريق، فهى تتزايد حينًا، وتتناقص حينًا آخر ، ولا تبقى ثابتة القيمة، ولفهم حركة هذه السيارة لابد أن نميز بين سرعتها اللحظية وسرعتها المتوسطة.

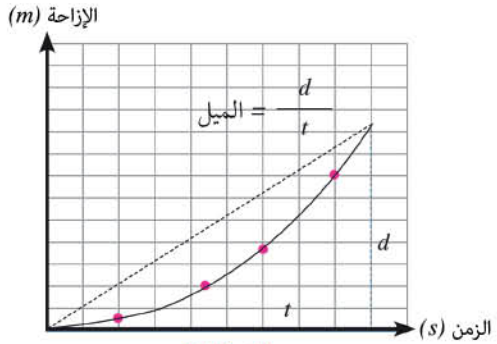
السرعة اللحظية (v) : هى سرعة الجسم عند لحظة معينة، ويمكن الاستدلال على قيمتها من قراءة مؤشر عداد سرعة السيارة فى لحظة ما، ولتعيين سرعة السيارة عند لحظة ما يتم رسم مماس للمنحنى عند النقطة التى تقابل هذه اللحظة ويكون ميل المماس هو سرعة السيارة اللحظية.

السرعة المتوسطة ($\bar{v}$) : هى الإزاحة من نقطة البداية إلى نقطة النهاية مقسومة على الزمن الكلى، ويمكن تعيين السرعة المتوسطة عن طريق إيجاد ميل الخط الواصل بين نقطة بداية الحركة ونقطة نهايتها.



شكل (10)

السرعة اللحظية (v) = ميل المماس للمنحنى عند لحظة معينة



شكل (11)

السرعة المتوسطة ($\bar{v}$) = الإزاحة الكلية (d) / الزمن الكلى (t) (1)

العجلة Acceleration

ناقشنا فيما سبق مفهوم السرعة المتغيرة (المقدار أو الاتجاه أو الاثنين معًا)، وتسمى الحركة التى يحدث فيها تغير فى السرعة بمرور الزمن **بالحركة المعجلة**، وتسمى الكمية الفيزيائية التى تعبر عن التغير فى السرعة بالنسبة إلى الزمن **بالعجلة (a)**.

فى بداية الحركة تتزايد السرعة

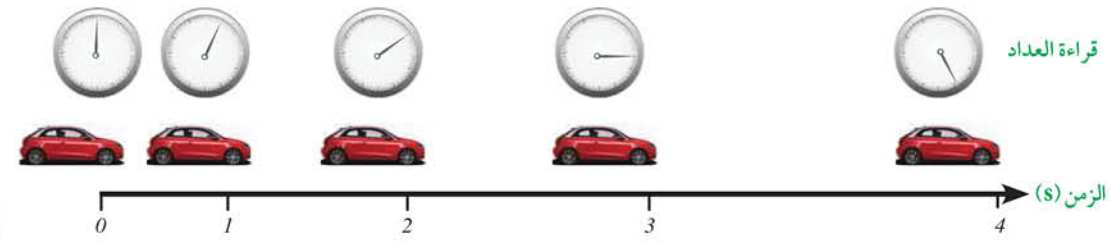
فى المنحنيات يتغير اتجاه السرعة

فى نهاية الحركة تتناقص السرعة

شكل (12)

يستخدم مصطلح العجلة لوصف كيفية تغير السرعة خلال الزمن

وللتعرف على مفهوم العجلة ادرس مخطط الحركة التالى الذى يوضح قراءة عداد السرعة لسيارة تنطلق من السكون لتزداد سرعتها فى أثناء سيرها على طريق مستقيم.



شكل (13)

هل تعلم؟

يمكن تحويل قراءة عداد السيارة من وحدة km/h إلى وحدة m/s كالآتى :

$$1\ km/h = \frac{1\ km}{h} = \frac{1000\ m}{60 \times 60\ s} = \frac{5}{18}\ m/s$$

ومن خلال دراسة هذا المخطط يمكن رصد العلاقة بين السرعة بوحدة (m/s) والزمن بوحدة (s) فى الجدول التالى :

الزمن (s)	0	1	2	3	4
السرعة (m/s)	0	5	10	15	20

ومن الجدول يمكن التوصل إلى أن سرعة السيارة تزداد بمعدل ثابت، حيث تزداد كل ثانية بمقدار (5 m/s) ويعبر هذا المقدار عن العجلة، والتى تحسب من العلاقة :

$$\text{العجلة} = \frac{\text{التغير فى السرعة}}{\text{زمن التغير}} = \frac{\text{السرعة النهائية - السرعة الابتدائية}}{\text{الزمن النهائى - الزمن الابتدائى}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad (2)$$

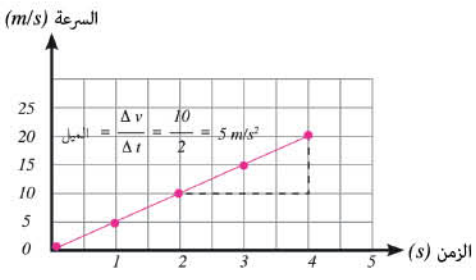
وبتطبيق هذه العلاقة على المثال السابق تحسب العجلة على النحو التالى :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10 - 5}{2 - 1} = 5\ m/s^2$$

العجلة : هى التغير فى سرعة الجسم خلال وحدة الزمن، أى هى المعدل الزمنى للتغير فى السرعة، وتقاس العجلة بوحدة متر / ثانية^2 (m/s^2) أو كيلومتر / ساعة^2 (km/h^2).

تمثيل العلاقة بين السرعة والزمن بيانيًا :

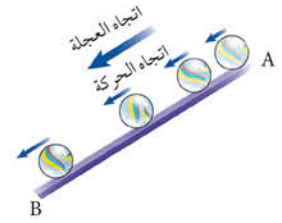
يعبر الرسم البيانى (السرعة - الزمن) عن حركة السيارة فى مخطط الحركة السابق، ويمكنك أن تلاحظ أن الرسم البيانى عبارة عن خط مستقيم، وهذا يعنى أن سرعة السيارة تتزايد بمعدل منتظم، ويمكن إيجاد العجلة بحساب ميل الخط المستقيم.



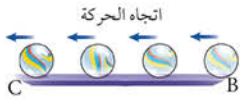
شكل (14)

أنواع العجلة

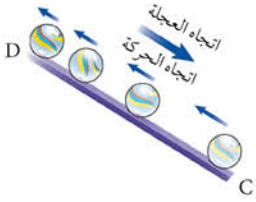
إذا اعتبرنا أن اتجاه سرعة الجسم هو الاتجاه الموجب فقد يتحرك هذا الجسم بعجلة موجبة (تكون السرعة تزايدية) أو عجلة سالبة (تكون السرعة تناقصية) أو عجلة تساوى صفرًا، وللتعرف على أنواع العجلة ادرس مخطط الحركة التالى الذى يوضح حركة كرة صغيرة على سطح أملس متغير الميل.



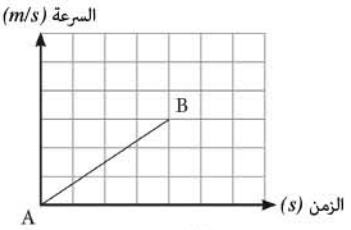
عندما تهبط الكرة المستوى المائل تزداد سرعتها بمرور الزمن، وبالتالى تكون العجلة موجبة



عندما تتحرك الكرة على مستوى أفقى أملس فإن سرعتها لا تتغير، وبالتالى تكون العجلة تساوى صفرًا

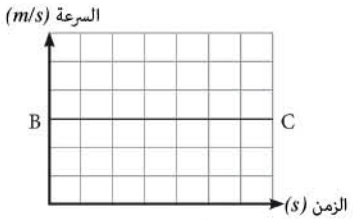


عندما تصعد الكرة على المستوى المائل تقل سرعتها بمرور الزمن، وبالتالى تكون العجلة سالبة



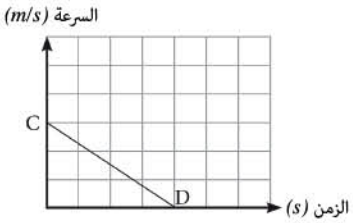
عجلة موجبة

شكل (15)



عجلة صفرية

شكل (16)



عجلة سالبة

شكل (17)

تطبيقات حياتية

يوجد داخل كل سيارة ثلاث أدوات يمكن بواسطتها التحكم فى مقدار السرعة واتجاهها هى : دواسة البنزين لزيادة السرعة، ودواسة الفرامل لتقليل السرعة، وعجلة القيادة لتغيير اتجاه الحركة.

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الحركة : هى التغير الحادث فى موضع الجسم بمرور الزمن بالنسبة لموضع جسم آخر.
- الحركة الانتقالية : حركة تتميز بوجود نقطة بداية ونقطة نهاية.
- الحركة الدورية : حركة تكرر نفسها على فترات زمنية متساوية.
- السرعة : هى الإزاحة التى يقطعها الجسم فى الثانية الواحدة.
- السرعة المنتظمة : السرعة التى يقطع فيها الجسم إزاحات متساوية فى أزمنة متساوية.
- السرعة المتغيرة : السرعة التى يقطع فيها الجسم إزاحات غير متساوية فى أزمنة متساوية.
- العجلة : التغير فى سرعة الجسم خلال وحدة الزمن.

ثانيًا: القوانين والعلاقات الهامة

- السرعة (v) :

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

- السرعة المتوسطة ($\bar{v}$) :

$$\bar{v} = \frac{\text{الإزاحة الكلية (d)}}{\text{الزمن الكلى (t)}}$$

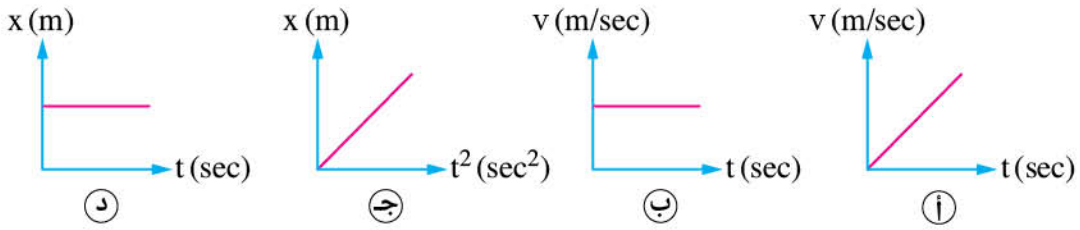
- العجلة (a) :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

أسئلة وتمارين

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة

1. الشكل البيانى الذى يمثل جسمًا يتحرك بسرعة منتظمة .....



2. يتحرك الجسم بعجلة منتظمة عندما .....

أ يقطع مسافات متساوية فى أزمنة متساوية

ب تتناقص سرعته بمقادير متساوية فى أزمنة متساوية

جـ تزداد سرعته بمقادير متساوية فى أزمنة غير متساوية

د تكون القوة المحصلة المؤثرة على الجسم صفرًا

3. معادلة أبعاد العجلة .....

أ LT^{-1} ب LT^{-2}

جـ $L^{-1}T^{-2}$ د $L^{-2}T^{-2}$

4. عندما يكون التغير فى سرعة جسم صفرًا، .....

أ تكون عجلة حركته موجبة ب تكون عجلة حركته سالبة

جـ تكون عجلة حركته صفرًا د يكون الجسم ساكنًا

5. إذا كان اتجاهى السرعة والعجلة سالبين، .....

أ تزداد سرعة الجسم ب تتناقص سرعة الجسم

جـ يتحرك الجسم بسرعة ثابتة د يتوقف الجسم عن الحركة

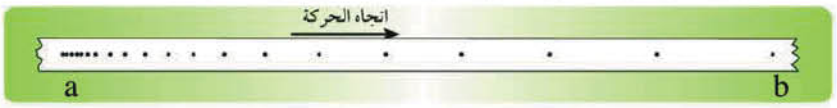
6. عندما يكون اتجاه العجلة عكس اتجاه السرعة .....

أ تزداد سرعة الجسم بمعدل غير ثابت ب تزداد سرعة الجسم بمعدل ثابت

جـ تظل سرعة الجسم ثابتة د تتناقص سرعة الجسم

ثانيًا: أسئلة المقال

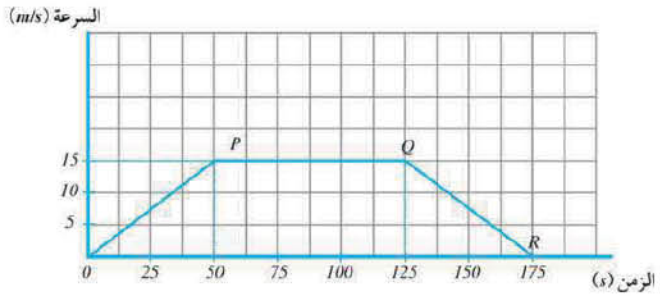
1. قام طالب بإجراء تجربة لدراسة الحركة باستخدام عربة ميكانيكية وجرس توقيت، حيث حدد موقع العربة كل ثانية على شريط ورقى فحصل على الشريط المبين فى الشكل :



(أ) صف حركة العربة.

(ب) احسب السرعة المتوسطة إذا كانت الإزاحة المقطوعة من (a) إلى (b) تساوى 190 m

2. الشكل البيانى المقابل يوضح رحلة قامت بها سيارة، لاحظ الشكل، ثم أجب عن الأسئلة التالية :



(أ) ما أكبر سرعة وصلت لها السيارة ؟

(ب) صف حركة السيارة فى الجزء PQ

(جـ) صف حركة السيارة فى الجزء QR

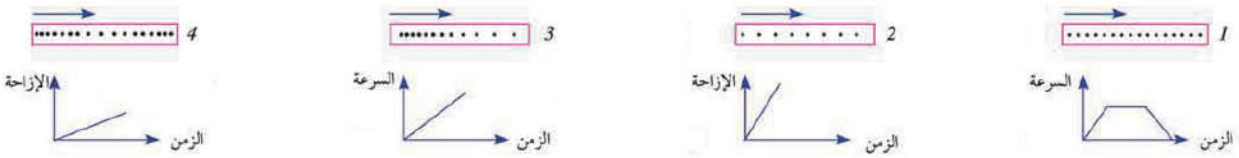
(د) عند أى من النقاط P أو Q أو R تمثل أول المرحلة التى استخدمت فيها الفرامل ؟

(هـ) احسب المسافة الكلية المقطوعة خلال الرحلة.

3. تتدحرج الكرة عند دفعها ، ثم تتباطأ وتتوقف، هل لسرعة الكرة وعجلتها الإشارة نفسها؟ ولماذا؟

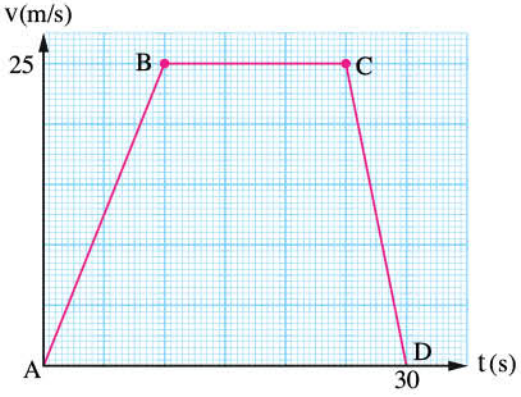
4. إذا كانت عجلة الجسم تساوى صفرًا، فهل هذا يعنى أن سرعته تساوى صفرًا ؟ أعط مثالاً.

5. وفق كل نموذج نقطى يصف حركة جسم مع الرسم البيانى الذى يصف نفس الحركة :



(د) (جـ) (ب) (أ)

6. تحركت سيارة فى خط مستقيم، وسجلت سرعتها خلال 30 ثانية، ثم مثلت بيانيًا فى الشكل المقابل، قم بالمشاركة مع زميل لك بتحليل الشكل البيانى الذى يمثل حركة السيارة واستخلاص المعلومات اللازمة لإكمال الجدول التالى :



مراحل حركة السيارة	المرحلة AB	المرحلة BC	المرحلة CD
السرعة الابتدائية v_i			
السرعة النهائية v_f			
التغير فى سرعة السيارة Δv			
زمن المرحلة t			
قيمة العجلة a			
وصف الحركة أثناء المرحلة			

ثالثًا: التمارين

احسب السرعة المتوسطة بوحدة (km/h) لمتسابق قطع مسافة (4000 m) خلال (30 min)، ثم احسب المسافة التى يقطعها بعد (45 min) من بدء السباق بالسرعة المتوسطة نفسها. (8 km/h ، 6000 m)

الفصـــل

الثالث

القــوة والحركة

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن:

١- تتعرف مفهوم القوة.
٢- تتعرف قانون نيوتن الأول.
٣- تفسر ظاهرة القصور الذاتى.
٤- تتعرف مفهوم كمية التحرك.
٥- تطبق العلاقة بين القوة والكتلة والعجلة.
٦- تفسر بعض الظواهر الحياتية باستخدام قانون نيوتن الثانى.
٧- تفسر ظاهرة الفعل ورد الفعل.

مصطلحات الفصل

- القوة	Force
- القصور الذاتى	Inertia
- كمية التحرك	Momentum
- كتلة	Mass
- الفعل	Action
- رد الفعل	Reaction

مقـــدمة

تناولنا فيما سبق وصف الحركة بدراسة مفاهيم السرعة والعجلة دون التعرض لمسببات حركة الأجسام، وسنتعرض فى هذا الفصل لكيفية تولد العجلة نتيجة للقوة، وخلال ذلك سنناقش قوانين نيوتن الثلاثة للحركة، وهى قوانين ذات أهمية أساسية فى الفيزياء.

القوة Force

شكل (1)

ما سبب حركة عربة الأطفال ؟

القوة كلمة شائعة الاستخدام فى حياتنا اليومية، فقوتك العضلية تساعدك على شد الأشياء، وقوة محرك السيارة تساعد على بدء الحركة وقوة الفرامل تساعد على إيقافها.

وتُعرف القوة بأنها : مؤثر خارجى يؤثر على الجسم، فيغير أو يحاول التغيير من حالته أو اتجاهه، وتقاس القوة باستخدام الميزان الزنبركى، ووحدة قياسها هى النيوتن (N).

علماء أفادوا البشرية :

على الرغم من أن الكثير من الفلاسفة القدامى قد حاولوا شرح وتفسير أسباب حركة الأجسام وكيفية حركتها إلا أنه لم يتم وضع نظرية منظمة للحركة قبل القرن السابع عشر ويعود الفضل الأعظم فى هذا الشأن إلى إنجازات عالمين عظيمين هما جاليليو ونيوتن.

قانون نيوتن الأول Newton's First Law

لعلك عدت يومًا إلى بيتك بعد غياب طويل ونظرت حولك وقلت بارتياح : كل شىء بقى على حاله، هل فكرت يومًا أن هذه العبارة تنطوى على أحد أهم القوانين الطبيعية ؟

ومن المعروف أيضًا أنه إذا دفع جسم على الأرض فإنه ينزلق عليها مسافة معينة ثم يتباطأ إلى أن يقف وقد

أعتقد القدماء أن طبيعة المادة هى السكون، بمعنى أن حركة أى شىء تؤول للسكون، إلا أن التجارب العلمية أظهرت أن ذلك يعود لوجود قوى احتكاك تقاوم الجسم المنزلق، وتعمل على إبطائه حتى يقف، ولو لم تكن هذه القوى موجودة لتابع الجسم سيره باستمرار دون توقف ويطلق على ما تقدم اسم قانون نيوتن الأول للحركة.

قانون نيوتن الأول للحركة : يظل الجسم على حالته من سكون أو متحركًا بسرعة منتظمة فى خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة محصلة تغير من حالته.

والصيغة الرياضية للقانون : $\Sigma F = 0$ (1)

والمقدار ΣF هو القوة المحصلة إذا قد يؤثر على الجسم أكثر من قوة، ولكن يلغى تأثير بعضها بعض وعندئذٍ يقال إن القوة المحصلة تساوى صفرًا.

شكل (2)
قانون نيوتن الأول

ونستنتج من قانون نيوتن الأول أنه عندما تكون القوة المؤثرة على الجسم تساوى صفرًا ($F = 0$) فإن العجلة تساوى صفرًا ($a = 0$) فلا تتغير سرعة الجسم سواء كان ساكنًا أو متحركًا، كما نستنتج أننا نحتاج قوة لتحريك الأجسام الساكنة أو إيقاف المتحركة، ولكننا لا نحتاج قوة لجعلها تستمر فى حركتها بسرعة ثابتة.

ويرتبط قانون نيوتن الأول بمفهوم القصور الذاتى ارتباطًا وثيقًا لذا يسمى بقانون القصور الذاتى.

القصور الذاتى : هو ميل الجسم الساكن إلى البقاء فى حالة السكون، وميل الجسم المتحرك للاستمرار فى الحركة بسرعته الأصلية فى خط مستقيم أى أن الأجسام تقاوم تغيير حالتها من سكون أو حركة.

ومن الملاحظ أن إمكانية إيقاف الأجسام التى تتحرك تحت تأثير القصور الذاتى تتوقف على كتلة هذه الأجسام وسرعتها، حيث إنه :

- يصعب إيقاف شاحنة كبيرة بينما يسهل إيقاف دراجة صغيرة بفرض أنهما يتحركان بنفس السرعة.
- يصعب إيقاف السيارة إذا كانت سرعتها كبيرة بينما يسهل إيقافها إذا كانت سرعتها صغيرة.

من الملاحظتين السابقتين يتضح أن السرعة والكتلة مرتبطتان معًا فى كمية فيزيائية مهمة، وهى ما تعرف باسم كمية التحرك.

كمية التحرك = الكتلة × السرعة
$P = mv$ (2)

وهى كمية متجهة، ووحدة قياسها
kg.m/s

قانون نيوتن الثانى Newton's Second Law

عرفنا من قانون نيوتن الأول أن الجسم الذى لا تؤثر عليه قوة لا يتحرك بعجلة، وهذا بلا شك يقودنا إلى أن الجسم الذى تؤثر عليه قوة خارجية محصلة ($\Sigma F \neq 0$) تتغير سرعته ويكتسب عجلة ($a \neq 0$)، ولقد حدد نيوتن العوامل التى تتوقف عليها هذه العجلة من خلال قانونه الثانى.

قانون نيوتن الثانى للحركة : القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوى المعدل الزمنى للتغير فى كمية تحرك هذا الجسم.

ومن قانون نيوتن الثانى :

$$F = \frac{\Delta mv}{\Delta t} = \frac{mv_f - mv_i}{\Delta t}$$

$$F = m\frac{v_f - v_i}{\Delta t} = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\boxed{F = ma} \quad (3) \longrightarrow a = \frac{F}{m}$$

مما سبق يمكن التوصل إلى أن العجلة تتناسب طرديًا مع القوة المؤثرة على الجسم، وعكسيًا مع كتلته.

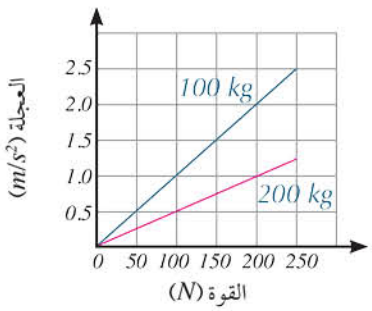
شكل (3)
زيادة العجلة بزيادة القوة

شكل (4)
نقص العجلة بزيادة الكتلة

وبناءً على ذلك يمكن صياغة قانون نيوتن الثانى على النحو التالى :

صيغة أخرى لقانون نيوتن الثانى للحركة: إذا أثرت قوة محصلة على جسم اكسبته عجلة تتناسب طرديًا مع القوة المؤثرة على الجسم وعكسيًا مع كتلته والصيغة الرياضية للقانون : $F = ma$ أو $a = \frac{F}{m}$

وبرسم العلاقة البيانية بين العجلة التى يتحرك بها الجسم والقوة المؤثرة عليه نجد أن العجلة التى يتحرك بها الجسم تزداد بزيادة القوة، كما أن الجسم ذا الكتلة الأقل (مثلًا : 100 kg) يتحرك بعجلة أكبر من الجسم ذى الكتلة الأكبر (200 kg) إذا أثرت عليهما نفس القوة، وفى ضوء قانون نيوتن الثانى يمكن إعادة تعريف وحدة النيوتن (N) من خلال هذا القانون،



شكل (5)
علاقة بيانية بين القوة والعجلة مع اختلاف الكتل

النيوتن : هو مقدار القوة التى إذا أثرت على جسم كتلته 1 kg اكسبته عجلة مقدارها $1\ m/s^2$ أى أن 1 نيوتن = $1\ kg.m/s^2$

تنمية التفكير الناقد

تؤثر قوة مقدارها 1 N فى مكعب خشبى فتكسبه عجلة معلومة، عندما تؤثر القوة نفسها فى مكعب آخر فتكسبه عجلة أكبر بثلاثة أمثال، فماذا تستنتج حول كتلة كل من هذين المكعبين؟

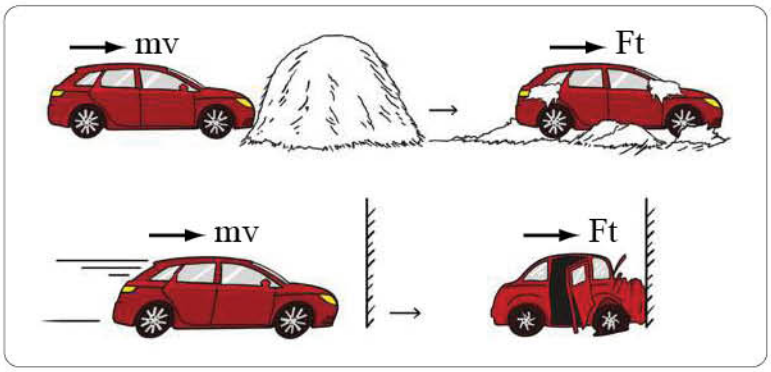
(العلاقة بين الكتلة والعجلة)

تطبيقات حياتية

من دراسة العلاقة :

$$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (4)$$

يمكن أن نتوصل إلى أن القوة المؤثرة على الجسم تزداد بزيادة الكتلة، والتغير فى السرعة، وتقل بزيادة زمن التأثير، فى ضوء ما سبق فسر الظواهر الحياتية التالية :

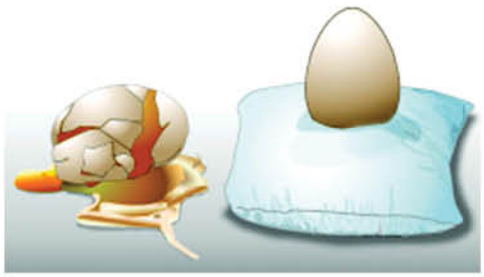


لو حدث التغير لكمية التحرك فى فترة زمنية أطول، لكان تأثير قوة التصادم أقل

لو حدث تغير لكمية التحرك فى فترة زمنية قصيرة، لكان تأثير قوة التصادم أكبر

شكل (6)

* اصطدام سيارة بحائط يكون أكثر تدميرًا من اصطدامها بكومة من القش.
* إذا سقط شخص من مكان مرتفع فى الماء فإنه لا يتأذى بينما إذا سقط على الأرض فإنه قد يتأذى.
* تزداد حدة الإصابة بزيادة الارتفاع الذى يسقط منه الشخص.
* إذا سقطت بيضة على وسادة فإنها لا تنكسر بينما تنكسر إذا سقطت على الأرض.



شكل (7)

* اصطدام شاحنة كبيرة بحائط يكون أكثر تدميرًا من اصطدام شاحنة صغيرة.
* تستخدم الوسائد الهوائية فى السيارات لحماية السائق عند حدوث تصادم.

شكل (8)
إذا قمت بنفخ بالون بالهواء ثم تركت الهواء ليندفع منه، ماذا يحدث للبالون؟

شكل (9)
إذا جلست على كرسى متحرك (له عجلات) ثم قمت بدفع الحائط الذى أمامك برجليك، ماذا يحدث لك؟

شكل (10)
عند خروج القذيفة من البندقية، ماذا يحدث للبندقية؟

لقد وجد (نيوتن) تفسيرًا لكل الظواهر السابقة من خلال قانونه الثالث الذى يبحث فى طبيعة القوى التى تؤثر على الأجسام، والتى تتواجد بشكل أزواج متساوية فى المقدار ومتعاكسة فى الاتجاه.

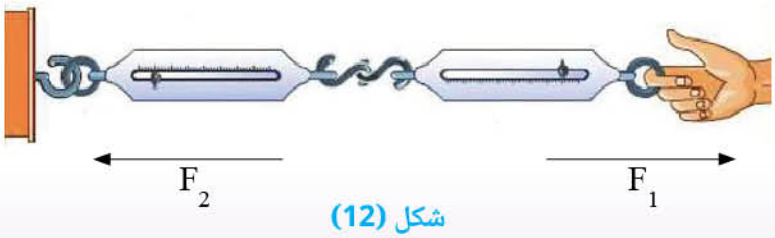
ركن التفكير

عندما تصطدم شاحنة كبيرة بسيارة صغيرة على أى الجسمين تكون قوة التصادم أكبر ؟

شكل (11)
قوة الفعل تساوى قوة رد الفعل فى المقدار وتضادها فى الاتجاه

قانون نيوتن الثالث للحركة: عندما يؤثر جسم على جسم آخر بقوة فإن الجسم الثانى يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية لها فى المقدار ومضادة لها فى الاتجاه، أى أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه.

والصيغة الرياضية للقانون هى : $F_1 = -F_2$ (5)



شكل (12)
تتساوى قراءة الميزان الزنبركى الأول مع قراءة الميزان الزنبركى الثانى

ويتضمن القانون الثالث ما يأتى :

- لا توجد فى الكون قوة مفردة؛ لذلك فإن قوة الفعل ورد الفعل ينشأن معًا ويختفيان معًا.
- للفعل ورد الفعل طبيعة واحدة، فإذا كان الفعل قوة جاذبية فإن رد الفعل يكون قوة جاذبية أيضًا.
- لا يمكن القول بأن محصلة الفعل ورد الفعل تساوى صفرًا؛ لأنهما يؤثران على جسمين مختلفين.

تطبيقات علمية

تعتمد فكرة عمل الصاروخ على قانون نيوتن الثالث، حيث تندفع كتلة ضخمة من الغازات المشتعلة من أسفل الصاروخ فيكون رد فعل الصاروخ الاندفاع إلى أعلى.

تلخيص

أولاً : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- القوة : مؤثر خارجى يؤثر على الجسم فيغير أو يحاول التغيير من حالته أو اتجاهه.
- قانون نيوتن الأول : يظل الجسم على حالته من سكون أو متحركًا بسرعة منتظمة فى خط مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة محصلة تغير من حالته.
- القصور الذاتى : ميل الجسم الساكن إلى البقاء فى حالة السكون وميل الجسم المتحرك للاستمرار فى الحركة بسرعته الأصلية فى خط مستقيم.
- كمية التحرك : كمية فيزيائية تساوى حاصل ضرب كتلة الجسم فى سرعته.
- قانون نيوتن الثانى : القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوى المعدل الزمنى للتغير فى كمية تحرك هذا الجسم.
- قانون نيوتن الثالث : لكل فعل رد فعل مساوى له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه.

ثانيًا : القوانين والعلاقات الهامة

- قانون نيوتن الأول : $\Sigma F = 0$
- كمية التحرك (P) : $P = mv$
- قانون نيوتن الثانى : $F = ma$
- قانون نيوتن الثالث : $F_1 = -F_2$

أسئلة وتمارين

أولًا : اختر الإجابة الصحيحة

1. تسير دراجة بسرعة ثابتة فى خط مستقيم فى اتجاه الشرق، عندما تكون القوة المحصلة على الدراجة .....

(أ) صفرًا
(ب) سالبة
(جـ) موجبة
(د) فى اتجاه الشرق

2. عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة على سيارة متحركة صفرًا، .....

(أ) تتحرك السيارة بعجلة موجبة
(ب) تتحرك السيارة بعجلة سالبة
(جـ) تتحرك السيارة بسرعة منتظمة
(د) تتوقف السيارة

3. نعبر عن قانون نيوتن الثالث بالعلاقة الرياضية .....

(أ) $\Sigma F = 0$
(ب) $\Sigma F \neq 0$
(جـ) $F = ma$
(د) $F_1 = -F_2$

ثانيًا : أسئلة المقال

1. إذا تحرك قطار فجأة للأمام، فما الاتجاه الذى ستتحرك فيه حقيبة صغيرة موضوعة أسفل أحد المقاعد؟
2. يمكن القول بأن القانون الأول للحركة هو حالة خاصة من القانون الثانى، وضح ذلك.
3. قذف رائد فضاء جسمًا صغيرًا فى اتجاه معين، ماذا يحدث لهذا الرائد؟ وفى ضوء ذلك اقترح طريقة لتتمكن المركبة الفضائية من تغيير اتجاهها خارج الغلاف الجوى.

الوحـــدة

الثالثة

خواص المادة

- **الفصل الرابع :** خواص الموائع المتحركة
- **الفصل الخامس :** خواص الموائع الساكنة

الفصل

الرابع

خواص الموائع المتحركة

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن:

١- تتعرف المقصود بالمائع.

٢- تتعرف الكثافة وبعض تطبيقاتها الطبية.

٣- تتعرف بعض خواص الموائع المتحركة.

٤- تقارن بين السريان الطبقى والسريان المضطرب.

٥- تتعرف شروط السريان الهادئ.

٦- تبين العلاقة بين معدل السريان ومعادلة الاستمرارية فى السريان الهادئ.

٧- تدرك معنى اللزوجة للموائع وتفسرها.

٨- تثبت رياضيًا معامل اللزوجة.

٩- تناقش بعض تطبيقات خاصية اللزوجة.

مصطلحات الفصل

- المائع Fluid
- الكثافة Density
- الكثافةالنسبية Relative Density
- السريان الطبقى Laminar Flow
- السريان المضطرب Turbulent Flow
- السريان الهادئ Steady Flow
- اللزوجة Viscosity

مقـــدمة

الموائع : هـى المـواد التـى تتميـز بقدرتها علـى الانسـياب، وبالتالى تشـتمل الموائـع على المـواد السـائلة والغازية. فى حيـن أن الغازات تتميـز عـن السـوائل فـى قابليتهـا بسـهولة للانضغـاط، بينمـا تقـاوم السـوائل أى ضغـط عليهـا تقريبًـا، وعلـى ذلـك تتميـز السـوائل بالحركـة الانسـيابية غيـر القابلـة للانضغـاط Incompressible كما أن للسـوائل حجـم معيـن فـى حين أن الغازات تشـغل أى حيز توجد فيه .

الكثافة Density

هى خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ، وتعرف بكتلة وحدة الحجوم، ووحدتها فى النظام الدولى هى kg/m^3

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}} \qquad (1)$$

يُعزى التغير فى الكثافة من مادة لأخرى لما يلى :

(1) الاختلاف فى الكتلة الذرية أو الجزيئية للمادة.

(2) الاختلاف فى المسافات 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.

المادة	الكثافة kg/m^3	المادة	الكثافة kg/m^3
الجوامد :		الكيروسين	820
ألومنيوم	2700	الزئبق	13600
النحاس الأصفر	8600	الجليسرين	1260
النحاس الأحمر	8890	الماء	1000
الزجاج العادى	2600		
الذهب	19300	**الغازات :**	
الجليد (الثلج)	910	الهواء	1.29
الحديد	7900	غاز النشادر	0.76
الرصاص	11400	ثانى أكسيد الكربون	1.96
البلاتين	21400	أول أكسيد الكربون	1.25
الصلب	7830	الهيليوم	0.18
السكر	1600	الهيدروچين	0.090
الشمع	1800	النيتروچين	1.25
السوائل :		الأكسچين	1.43
الكحول الإيثيلى	790		
البنزين	900		
الدم	1040		
الجازولين	690		

ويطلق على نسبة كثافة مادة ما إلى كثافة الماء عند 4°C اسم الكثافة النسبية للمادة.

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة عند درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء عند } 4^\circ C} \qquad (2)$$

حيث إن كثافة الماء عند 4°C تساوى $1000\ kg/m^3$

وبصفة عامة :

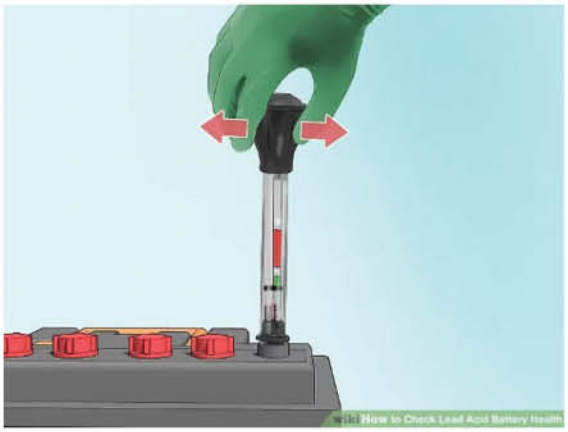
$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة عند درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء عند } 4^\circ C}$$

ونظرًا لأن **الكثافة النسبية لمادة** هى نسبة بين كميتين متماثلتين لهذا لا يكون للكثافة النسبية للمادة وحدات قياس.

تطبيقات الكثافة

قياس الكثافة له أهمية كبرى فى المجالات العلمية والعملية، حيث تعتبر من إحدى التقنيات التحليلية.

1 قياس كثافة المحلول الإلكتروليتى ببطارية السيارة يستخدم للاستدلال على مقدار شحن البطارية، فعندما تفرغ الشحنة الكهربية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتى (حمض كبريتيك مخفف) نتيجة استهلاك حمض الكبريتيك فى تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات الرصاص، وعند إعادة شحن البطارية تتحرر أيونات الكبريتات من ألواح الرصاص وتعود للمحلول مرة أخرى، فتزداد كثافة المحلول الإلكتروليتى وبذلك يمكن من قياس الكثافة الاستدلال على مدى شحن البطارية.

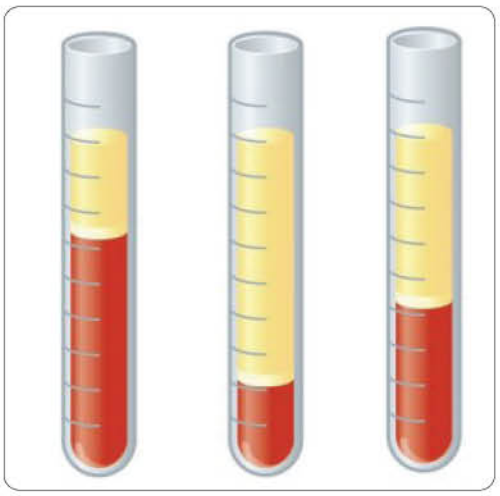


شكل (1)
قياس كثافة المحلول الإلكتروليتى ببطارية السيارة

2 تستخدم أيضًا تطبيقات الكثافة فى العلوم الطبية لقياس كثافة الدم والبول.

فكثافة الدم وهو فى الحالة الطبيعية ما بين $1040\ kg/m^3$ إلى $1060\ kg/m^3$، 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 هى $1020\ kg/m^3$، وبعض الأمراض تؤدى إلى زيادة إفراز الأملاح، هذا يؤدى إلى زيادة مقابلة فى كثافة البول.



شكل (2)
قياس كثافة الدم

تنمية التفكير الناقد

الذهب من أكثر المعادن كثافةً على وجه الأرض، والذهب الخالص، المعروف عادةً بذهب عيار 24 قيراطًا تبلغ كثافته حوالى $19.32\ g/cm^3$ وللذهب سبائك أخرى مثل عيار 18 قيراطًا وتبلغ كثافته حوالى $15.45\ g/cm^3$، وعيار 14 قيراطًا الذى تبلغ كثافته حوالى $13.1\ g/cm^3$

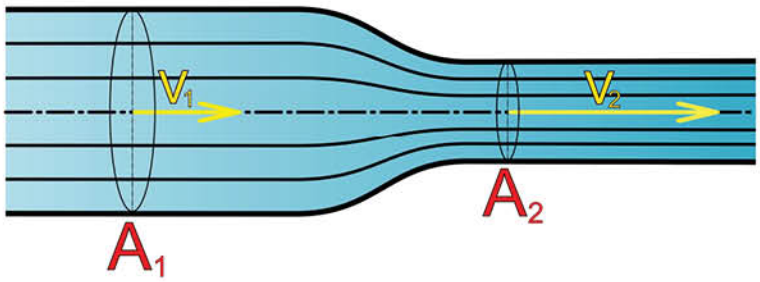
- ما الذى يجعل سبائك الذهب تختلف فى كثافتها ؟
- كيف تتعرف على عيار الذهب فى قطعة من المجوهرات ؟

سريان الموائع

يمكن أن يصنف سريان الموائع إلى سريان طبقى Laminar Flow وسريان مضطرب Turbulent Flow.

أولًا السريان الطبقى Laminar Flow

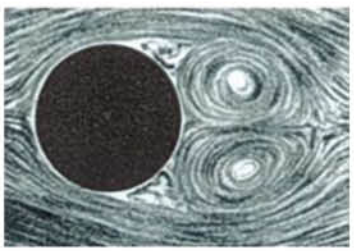
عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة فى نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى **سريانًا طبقيًا Laminar Flow**، وفى هذا النوع من الانسياب كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مسارًا متصلاً يسمى **خط الانسياب Streamline**، وعلى هذا الأساس يمكننا تصور سريان السائل فى أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما فى الشكل (3) وأهم ما يميز خطوط الانسياب فى هذا النوع من السريان أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأى نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة، ويسمى عدد خطوط الانسياب التى تمر عموديًا بوحدة المساحات عند نقطة معينة بكثافة خطوط الانسياب، وتحدد سرعة سريان السائل عند تلك النقطة، ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب عند السرعات الكبيرة للسائل وتتباعد عند السرعات المنخفضة.



شكل (3)
خطوط الانسياب Streamlines

ثانيًا السريان المضطرب Turbulent Flow

إذا زادت سرعة انسياب السائل عن حد معين يكون **السريان مضطرب Turbulent Flow** ويتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices شكل (4)، ويحدث نفس الشئ بالنسبة للغازات أيضًا، فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير أو من ضغط عالٍ إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية شكل (5).



شكل (4)
الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو حركة جسم فيه بسرعة

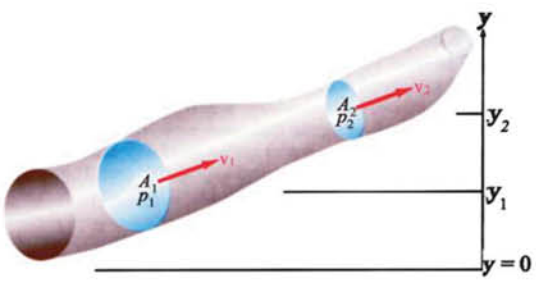
شكل (5)
يتحول الدخان من حركة انسيابية إلى حركة مضطربة

قد يكون السريان الطبقى سريانًا هادئًا Steady Flow عندما تكون سرعة السائل عند كل نقطة فى مساره ثابتة بمرور الزمن.

معدل السريان ومعادلة الاستمرارية

عند دراسة السريان الهادئ نتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث :

1. يملأ السائل الأنبوبة تمامًا.
2. كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، أى أن معدل سريان السائل ثابت على طول مساره، حيث إن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.
3. سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة لا تتغير مع الزمن، والعلاقة التى تربط معدل سريان السائل بسرعته ومساحة مقطع الأنبوبة فى تلك الحالة تسمى معادلة الاستمرارية Continuity Equation ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (6)، 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 $Q_v = A_1 v_1$ حيث v_1 سرعة السائل عند المقطع A_1، كما تكون كتلة السائل المنساب فى وحدة الزمن والذى كثافته ρ (أى معدل الانسياب الكتلى) هى $Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1$ وبالمثل يكون معدل الانسياب الكتلى خلال المساحة A_2 هو $\rho Q_v = \rho A_2 v_2$ ونظرًا لأن معدل الانسياب الكتلى ثابت فى حالة السريان الهادئ، فإن :



شكل (6)
نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

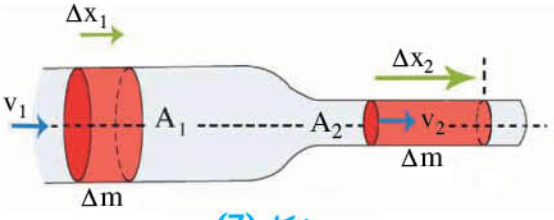
$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \qquad (3)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

وهذه هى معادلة الاستمرارية، أى أن

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \qquad (4)$$

ومن هذه العلاقة (4) نتبين أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيًا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة، فالسائل ينساب ببطء شديد فى الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة (A_1)، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون مساحة مقطعها صغيرة (A_2) شكل (7)، ولفهم معادلة الاستمرارية أكثر نتصور أن لدينا سائلًا، ونعتبر كتلة صغيرة منه Δm، هذه الكتلة $\Delta m = \rho \Delta V_{ol}$ ولأن ($\Delta V_{ol} = A_1 \Delta x_1$) حيث Δx_1 هى المسافة التى يتحركها السائل فى زمن Δt وحيث إن $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$، فإن $\Delta V_{ol} = A_1 v_1 \Delta t$



شكل (7)
أساس معادلة الأستمرارية

لابد أن ينتقل نفس هذا الحجم فى الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أى أن :

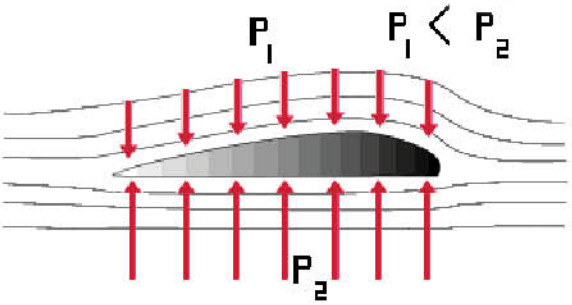
$$A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

وينبغى التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل انسياب حجمى Q_v ووحدته (m^3/s) أو معدل انسياب كتلى Q_m ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت عند أى مساحة مقطع، وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة Conservation of Mass والذى يؤدى إلى معادلة الاستمرارية.

معلومة إثرائية

يصف مبدأ برنولى العلاقة بين ضغط المائع وسرعة تدفقه، حيث ينص على أن ضغط المائع يقل عندما تزيد السرعة. يُصمم جناح الطائرة ليكون منحنى عند سطحه العلوى ومستقيمًا عند سطحه السفلى مما يجعل الهواء ينساب على السطح العلوى بسرعة أكبر من انسيابه على السطح السفلى للجناح، فيكون ضغط الهواء عند السطح العلوى للجناح (P_1) أقل من ضغط الهواء عند السطح السفلى له (P_2)، وينتج عن فرق الضغط هذا قوة رفع الطائرة لأعلى.



شكل (8)
القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

مثال ١

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

(أ) سرعة الماء فى الجزء الضيق.

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التى تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$).

الحل

(أ) نعلم أن $A_1 v_1 = A_2 v_2$

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

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

(ب) معدل السريان الحجمى يتعين من العلاقة :

$$Q_v = A_1 v_1 \text{ أو } A_2 v_2$$

$$= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4$$

$$= 3.14 \times 10^{-5}\ m^3/s$$

وبذلك يكون الحجم المنساب فى دقيقة هو :

$$\acute{V}_{ol} = Q_v \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5}\ m^3$$

معدل السريان الكتلى (كثافة الماء $= 1000\ kg/m^3$)

$$Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2}\ kg/s$$

الكتلة المنسابة فى دقيقة :

$$\acute{M} = 3.14 \times 10^{-2} \times 60 = 1.884\ kg$$

مثال ٢

تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم فى الأورطى (نصف قطره $= 0.7\ cm$) لشخص بالغ هى $0.33\ m/s$، 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

* مساحة مقطع الأورطى :

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2\ m^2$$

* مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين :

$$A_2 = \pi r_2^2 \times 30$$

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

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

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

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

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى $0.044\ m/s$، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية بطيئة جدًا ، الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسچين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة ، فضلاً عن تزويدها بالمواد الغذائية.

أفكار لتنشيط الإبداع

باستخدام شبكة المعلومات، إبحث عن إجابة للأسئلة الآتية:

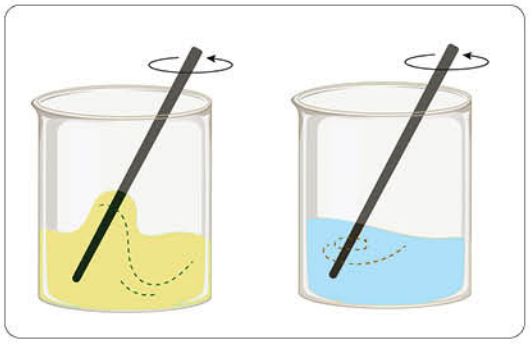
- كيف يمكن أن تستخدم دراسة سريان الموائع فى تصميم شبكات الأنابيب وأنظمة توزيع المياه والرى بالتنقيط؟

اللزوجة Viscosity

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

(1) نعلق قمعين متماثلين كلًا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأسًا فارغة، نصب فى أحد القمعين حجمًا معينًا من الكحول، ونصب فى الآخر حجمًا مماثلًا من الجليسرين، ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين. نجد أن سرعة انسياب الكحول أكبر من سرعة انسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى تكون قابلية الكحول للانسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.

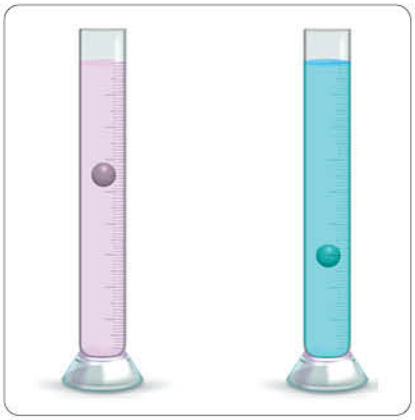
(2) نأخذ كأسين متماثلين يحتوى إحداهما على حجم معين من الماء، وتحتوى الأخرى على حجم مساوٍ من العسل، نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج، ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل، ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :



شكل (9)
تتحرك الساق الزجاجية فى الماء بسهولة أكبر من حركتها فى العسل

(أ) تتحرك الساق فى الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاج أقل من مقاومة العسل لها.

(ب) تتوقف حركة العسل بعد إخراج الساق بفترة وجيزة فى حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.



شكل (10)
حركة الكرة فى الماء أسرع من حركتها فى الجليسرين

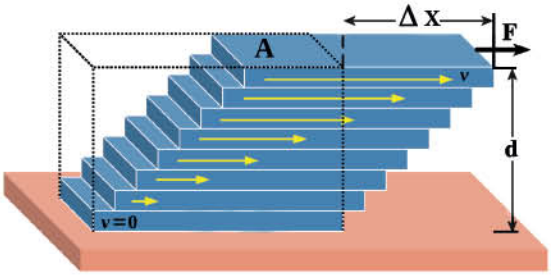
3 نأخذ مخبارين متماثلين طويلين، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثانى حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلاً) ونلقى إحداهما برفق فى الماء ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار، ونلقى الأخرى برفق فى الجليسرين، ونعين الزمن الذى تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذى تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذى 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 يلى :

1 بعض السوائل كالماء، والكحول ذات لزوجة صغيرة فتكون قابليتها للانسياب أو الحركة كبيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها صغيرة.

2 بعض السوائل كالعسل والجليسرين ذات لزوجة عالية فتكون قابليتها للانسياب أو الحركة صغيرة فى حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة.



شكل (11)

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور كمية من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v شكل (11)، طبقة السائل الملامسة للوح الساكن تكون ساكنة بينما تتحرك طبقة السائل الملامسة للوح المتحرك بنفس سرعته وهى v، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v بحيث تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، وحيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التى تعلوها، ويرجع هذا الاختلاف النسبى فى السرعة إلى ما يلى :

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

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الاحتكاك 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، و**اللزوجة** هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

معامل اللزوجة

بالرجوع إلى الشكل (11) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك فى السائل بسرعة ثابتة، فلابد من وجود قوة مماسية (F) مساوية لقوى اللزوجة، هذه القوة تتناسب طرديًا مع كل من السرعة(v) ، ومساحة اللوح المتحرك (A)، وتتناسب عكسيًا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين (d)

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

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \qquad (5)$$

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

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \qquad (6)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : يعادل القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، التى ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة، ويعتمد معامل اللزوجة لسائل نقى على نوعه ودرجة حرارته، ووحدته kg/m.s أو $N.s/m^2$

تطبيقات لخاصية اللزوجة

للّزوجة تطبيقات كثيرة منها :

1 التزييت والتشحيم :

ينبغى تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدى عملية التشحيم إلى :

(أ) نقص كمية الحرارة المتولدة أثناء الاحتكاك.

(ب) حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت باستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء فى عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيدًا عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها، لذلك كان من الطبيعى 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 فى عملية التزييت.

② المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى، فإن الشغل الكلى الذى تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله، وأيضًا ضد قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والأرض، وفى السرعات الصغيرة نسبيًا أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناتجة عن لزوجة الهواء تتناسب طرديًا 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.

③ فى الطب :

لقياس سرعة ترسيب الدم :

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

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

أفكار لتنشيط الإبداع

تصور أنك مهندس فى مجال صناعة السيارات، ما العوامل التى تعتمد عليها لتحديد النوع المناسب للزيوت المستخدمة فى محرك السيارة؟

وماذا يمكن أن يحدث إذا لم تُستخدم الزيوت ذات اللزوجة المناسبة؟

تلخيص

أولاً : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الكثافة (ρ) : هى كتلة وحدة الحجوم من المادة ووحدتها (kg/m^3).
- المائع : كل مادة قابلة للانسياب ولا تتخذ شكلًا محددًا بذاته.
- السريان الهادئ فى الأنابيب يتطلب أن :

(أ) يملأ السائل الأنبوبة تمامًا.

(ب) تكون كمية السائل التى تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن.

(جـ) تكون سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة لا تتغير مع الزمن.

- اللزوجة : الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.
- معامل اللزوجة : يعادل القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات والتى ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة، وحدة معامل اللزوجة $kg.m^{-1}.s^{-1}$

ثانيًا : القوانين والعلاقات الهامة

- الكثافة (ρ) :

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

- حجم السائل الذى يسرى فى أنبوبة أسطوانية خلال فترة زمنية معينة (t) :

$$V_{ol} = Q_v t = Avt = \pi r^2 vt$$

- كتلة السائل الذى يسرى فى أنبوبة أسطوانية خلال فترة زمنية معينة (t) :

$$M = Q_m t = Q_v \rho t = Av\rho t = \pi r^2 v\rho t$$

- معادلة الاستمرارية هى : $A_1 v_1 = A_2 v_2$
- معامل اللزوجة لمائع (η_{vs}) يتعين من العلاقة : $\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$

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 : عرّف كلًا مما يأتى

1. الكثافة
2. المائع
3. اللزوجة
4. معامل اللزوجة

ثانيًا : أسئلة المقال

1. اثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيًا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.
2. اشرح ظاهرة اللزوجة.
3. اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

ثالثًا : التمارين

1. يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002\ m^3/s$، احسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها $1\ cm^2$ (20 m/s)
2. يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s، احسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s (0.4 cm)
3. 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)
4. مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة A تساوى $10\ cm^2$ وعند نقطة أخرى B تساوى $2\ cm^2$ فإذا كانت سرعة الماء عند A تساوى 12 m/s احسب سرعته عند B (60 m/s)
5. مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4}\ m^2$، وكانت سرعة الماء 2 m/s، عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى الطابق العلوى $2 \times 10^{-4}\ m^2$، احسب سرعة انسياب الماء فى الطابق العلوى. (4 m/s)

الفصـــل

الخامس

خواص الموائع الساكنـــة

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- تقيس الضغط عند نقطة فى باطن سائل.

٢- تعين الكثافة النسبية للزيت بطريقة عملية.

٣- تقيس الضغط الجوى بطريقة عملية.

٤- تتعرف وحدات قياس الضغط الجوى.

٥- تقارن بين البارومتر البسيط والمانومتر.

٦- تناقش بعض تطبيقات الضغط.

٧- تحل بعض المسائل المرتبطة بالكثافة والضغط.

٨- توضح قاعدة " باسكال" وتطبقها على المكبس الهيدروليكى.

مصطلحات الفصل

- الضغط Pressure
- الضغط الجوى Atmosheric Pressure
- قاعدة باسكال Pascal's Principle

مقـــدمة

بعد أن درسنا حركة الموائع وطبيعة سريانها، حان الآن دور دراسة الموائع الساكنة، والتى نركز فيها على مفهوم الضغط، وكيف أن للسائل ضغطاً عند كل نقطة فى باطنه، كما نتعرف تطبيقات هذه المفاهيم.

الضغط Pressure

يُعرف الضغط عند نقطة : بالقوة المتوسطة المؤثرة عموديًا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة.

لذلك إذا أثرت قوة (F) عموديًا على سطح مساحته (A)، فإن الضغط (P) المؤثر على هذا السطح يتعين من العلاقة :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

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

معلومة إثرائية

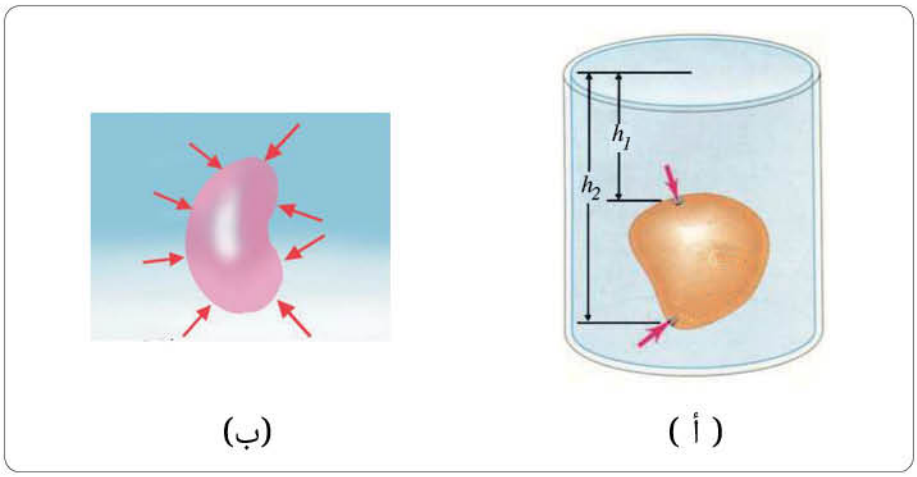
ضغط قدم الفيل أم قدم الإنسان ؟

لأن الضغط هو القوة على وحدة المساحة، فإن الضغط نتيجة كعب مدبب قد يكون أكبر من الضغط الذى يؤثر به قدم الفيل على الأرض، لأن مساحة الكعب المدبب صغيرة للغاية شكل (1).

شكل (1)
مفهوم الضغط

الضغط عند نقطة فى 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.

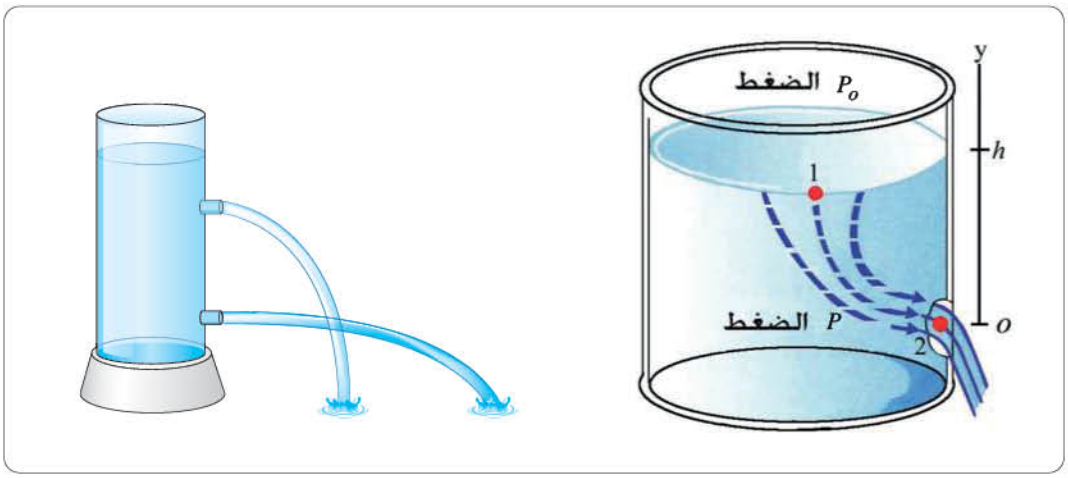


شكل (2)

(أ) الضغط داخل سائل

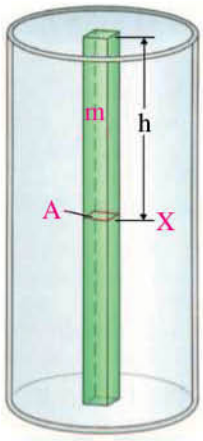
(ب) القوة الناشئة عن الضغط داخل سائل تكون عمودية على أى سطح

وعند أى نقطة فى باطن سائل، يمكن أن يؤثر الضغط فى أى 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، أى أن السائل الذى كان يشغل مكان الجسم تؤثر عليه قوتان وزنه لأسفل والقوة الناشئة عن ضغط السائل المحيط به، وكلما زاد عمق السائل زاد الضغط شكل (3).



شكل (3)

كلما زاد عمق السائل زاد الضغط



شكل (4)
حساب ضغط عمود من السائل

ولحساب الضغط (P) نفترض وجود لوح أفقى (X) مساحته A (m^2) على عمق h (m) تحت سطح سائل كثافته ρ(kg/m^3) كما فى الشكل (4)، ويعمل هذا اللوح كقاعدة لعمود من السائل. القوة التى يؤثر بها عمود السائل على اللوح تساوى وزن عمود السائل الذى ارتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A). ولأن السائل غير قابل للانضغاط Incompressible، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل تساوى وزن عمـود السائـل، وحيث إن حجم عمود السائل يساوى Ah، وكتلة عمود السائل تساوى Ahρ، فإن وزن السائل F_g نيوتن يتعين من العلاقة :

$$F_g = Ah\rho g$$

حيث g (m/s^2) هى عجلة الجاذبية،

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

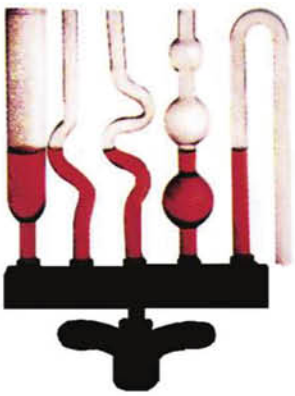
$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\rho g}{A}$$

$$\therefore P = h\rho g \ (N/m^2) \qquad (2)$$

وهذه هى قيمة الضغط الذى يؤثر به السائل وحده عند نقطة فى باطنه على عمق h،

وإذا أخـذنا فى الاعتبـار أن سطـح السائـل الخالـص يتعـرض للضغط الجوى P_a فإن الضغط الكلى عند نقطة فى باطن السائل تتعين من العلاقة :

$$P = P_a + h\rho g \qquad (3)$$



شكل (5)
يرتفع الماء إلى نفس المستوى فى الأوانى المستطرقة

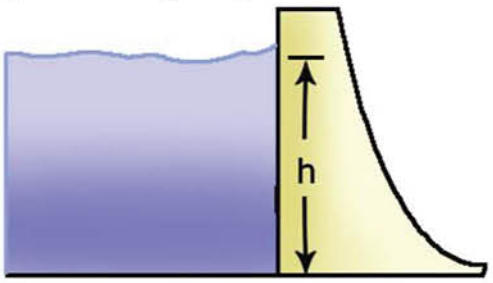
وتوضـح المشاهـدات أن ضغـط السـائل P عنـد نقطة فى باطنه يزداد بزيادة عمق هذه النقطة (h) تحت سطح نفس السائل كما يزداد الضغط بزيادة كثافة السائل عند نفس العمق.

ومن هذه العلاقة يمكن أن نتبين ما يلى :

1. جميـع النقـط التـى تقـع فى مستـوى أفقـى واحـد فى باطن السائل يكون لها نفس الضغط.
2. السائل الذى يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأوانى المستطرقة) Connecting Vessels يرتفع فى هذه الأجزاء بنفس المقدار، بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الإناء فى مستوى أفقى، شكل (5).

ولهذا فإن مستوى سطح البحر واحد لكل البحار المتصلة ببعضها.

③ يصمم السد بحيث يزداد سُمك السد عند قاعدته ليتحمل الضغط المتزايد مع زيادة العمق شكل (6).



شكل (6)
قواعد السدود أكثر سُمكًا لتتحمل الضغط عند عمق

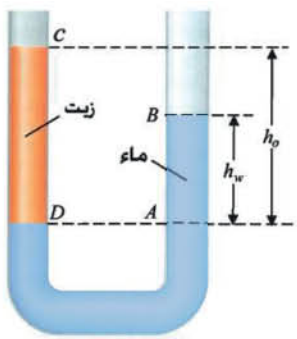
④ يلبس الغواص بدلة الغطس وخوذة تحميه من الضغط فى الأعماق الكبيرة وفى الأعماق القليلة يلجأ إلى نفخ الهواء فى جيوبه الأنفية لمعادلة الضغط الخارجى شكل (7) وفى الأعماق الكبيرة فإن بدلة الغطس تنفخ بالهواء وتحمى الخوذة رأس الغواص من الضغط الشديد شكل (8).

شكل (7)
الغوص على أعماق قريبة من السطح

شكل (8)
الغوص على أعماق كبيرة (500 متر)

اتزان السوائل فى 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 ويكون هناك مستوى فاصل بين الاثنين هو AD، وليكن ارتفاع الزيت فوق السطح الفاصل AD بين الماء والزيت هو h_o، وليكن ارتفاع الماء فى الفرع الأيمن فوق المستوى AD هو h_w شكل (9).



شكل (9)
اتزان السوائل فى الأنبوبة ذات الشعبتين

ونظرًا 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 :

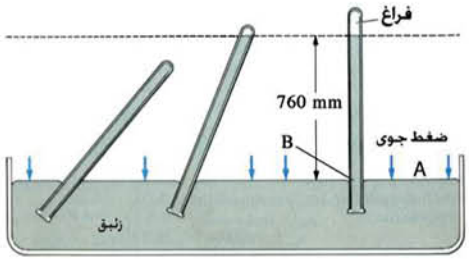
$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \qquad (4)$$

وبقياس h_w ، h_o يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت عمليًا.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن تعيين كثافة الزيت.

الضغط الجوى Atmospheric Pressure

لقياس الضغط الجوى قام تورشيلى Torcelli باختراع البارومتر الزئبقى، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالى متر، وملأها تمامًا بالزئبق، ثم نكسها فى حوض به زئبق، فلاحظ أن سطح الزئبق فى الأنبوبة قد انخفض إلى مستوى معين بحيث كان الارتفاع العمودى له 0.76 m تقريبًا.



شكل (10)
ارتفاع الزئبق فى المانومتر لا يتأثر بميل البارومتر

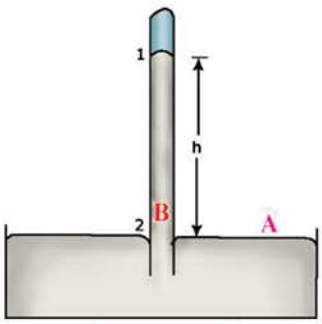
وبديهى أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق فى الأنبوبة يكون مفرغًا (إلا من قليل من بخار الزئبق الذى يمكن إهمال ضغطه) ، ويسمى هذا الحيز باسم فراغ تورشيلى.

ويتضح من الشكل (10) أن الارتفاع الرأسى لعمود الزئبق h داخل الأنبوبة فوق مستوى السطح الخالص للزئبق فى الحوض يظل ثابتًا، سواء كانت الأنبوبة فى وضع رأسى أو فى وضع مائل.

وإذا أخذنا النقطتين A ، B فى مستوى أفقى واحد شكل (11)، بحيث تكون النقطة A خارج الأنبوبة عند سطح الزئبق فى الحوض والنقطة B داخلها فإن :

الضغط عند B = الضغط عند A وبذلك يكون :

$$P_a = \rho g h \qquad (5)$$



شكل (11)
البارومتر البسيط

معنى هذا أن الضغط الجوى يكافىء الضغط الناشىء عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه (حوالى 0.76 m) ومساحة مقطعه واحد متر مربع (عند صفر درجة سيلزيوس).

- الضغط الجوى المعتاد هو ضغط الهواء مقاسًا عند سطح البحر فى درجة الصفر المئوى، ويساوى 0.76 m Hg، ويعرف معدل الضغط ودرجة الحرارة STP بأنه الضغط الذى يساوى 0.76 m Hg عند درجة حرارة 0°C ، ويتكرر هذا المصطلح كثيرًا عند معالجة قوانين الغازات.

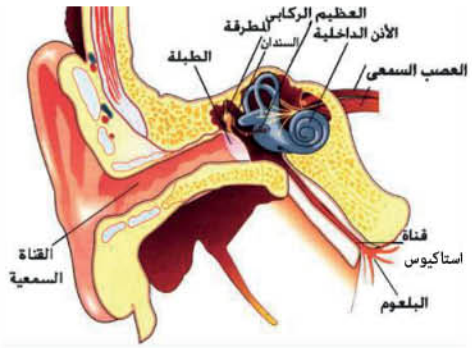
ونظرًا لأن كثافة الزئبق عند 0°C تساوى 13595 kg/m^3 وعجلة الجاذبية الأرضية 9.8 m/s^2 فإن الضغط الجوى المعتاد :

$$P_a = 1\text{atm} = 0.76 \times 13595 \times 9.8$$

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

معلومة إثرائية

ماذا يحدث فى الأذن عند الارتفاع عن سطح الأرض؟
الضغط الجوى هو وزن عمود الهواء فوق سطح الأرض المؤثر على وحدة المساحات فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قلّ ارتفاع هذا العمود وبالتالى قلّ الضغط، و على جانبى طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى بالجسم. لذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر فى طبلة الأذن، إذ أن الضغط الداخلى يدفعها قليلًا للخارج، ويمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكيوس Eustachion Tube، وذلك بالبلع أو مضغ اللبان لتخفيض الضغط على الطبلة شكل (12).



شكل (12)
نموذج للأذن

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).

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

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

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

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013$ Bar

هذا فضلًا عن قياس الضغط الجوى بوحدة ملليمتر زئبق وتسمى أيضًا تور Torr

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

ولذلك يكون الضغط الجوى المعتاد :

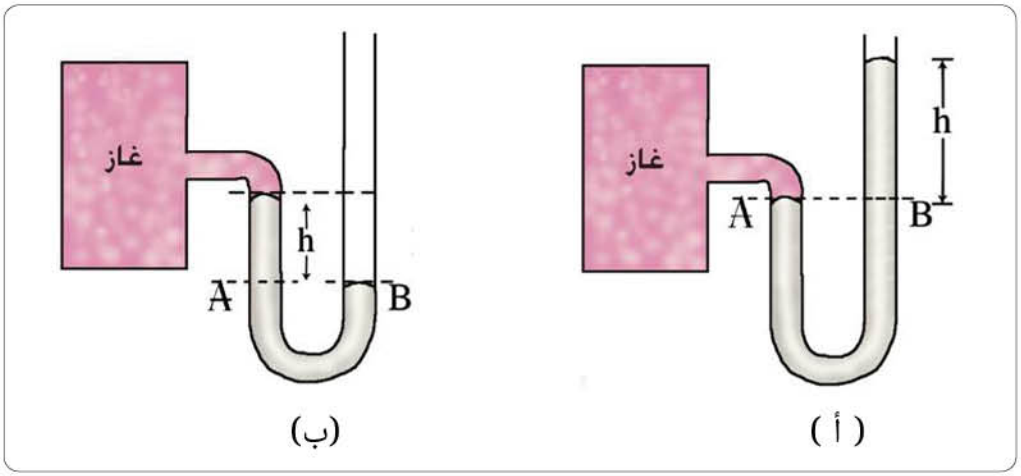
$$P_a \text{ (1atm)} = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg} = 0.76 \text{ m Hg} = 1.013 \text{ Bar}$$

تنمية التفكير الناقد

الضغط الجوى المعتاد يعادل نحو $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ، أى أكثر من 10 طن على المتر المربع.
لماذا لا نشعر بتأثير مثل هذا الضغط الهائل على أجسامنا ؟

المانومتر

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



شكل (13)

المانومتر

(أ) عندما يكون ضغط الغاز أكبر من الضغط الجوى

(ب) عندما يكون ضغط الغاز أقل من الضغط الجوى

وإذا أخذنا النقطتين A ، B فى مستوى أفقى واحد فى نفس السائل شكل (13 أ) يكون :

الضغط عند A = الضغط عند B

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P ضغط الغاز المحبوس فى المستودع أكبر من P_a الضغط الجوى، ρgh تمثل ضغط السائل فى الفرع الخالص للمانومتر فوق النقطة B ، وهو فرق الضغط بين P_a ، P

وفى حالة إذا كان ضغط الغاز P أقل من الضغط الجوى شكل (13 ب) فإن : $P = P_a - \rho gh$

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

وفى كثير من التطبيقات العلمية لا يكون ضروريًا قياس ضغط الغاز فى المستودع، وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أى :

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh \quad (6)$$

من هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل ρ فى المانومتر، وفرق الارتفاع h بين سطحى السائل فى شعبيته، وكذلك عجلة الجاذبية g حساب فرق الضغط ΔP وأيضًا يمكن حساب ضغط الغاز بمعرفة الضغط الجوى.

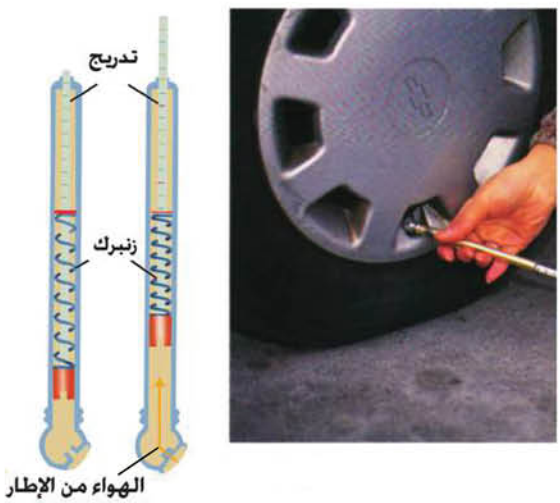
تطبيقات على الضغط

1 الدم سائل لزج، يُضخ من خلال نظام مُعقد من الشرايين والأوردة، بواسطة تأثير عضلى للقلب.
وانسياب الدم خلال الجسم - عادةً - ما يكون انسيابًا هادئًا.
أما إذا كان معدل انسياب الدم مضطربًا فإنه يكون مصحوبًا بضجيج، ويعتبر هذا الشخص مريضًا ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها على الشريان، وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم، حيث توجد - عادةً - 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

2 يمتلئ إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالى، فتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن، أما إذا كان الإطار ممتلئًا 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 (14).



شكل (14)
قياس ضغط هواء فى إطار سيارة

تنمية التفكير الناقد

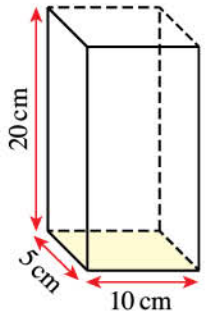
ضغط السوائل ومجال الطب والصحة العامة :

1. عند قياس ضغط الدم ، لماذا نضع كيس الهواء لجهاز الضغط حول العضد والذراع فى وضع مريح فى مستوى القلب ؟
2. لماذا يزيد الجلوس لفترات طويلة من خطر الإصابة بجلطات الساق ؟ ما النصائح التى تقدمها للوقاية منها ؟

مثـال ١

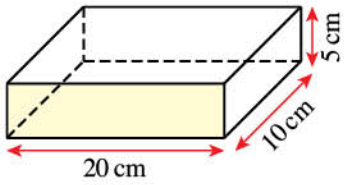
متوازى مستطيلات صلب أبعاده (5 cm × 10 cm × 20 cm) كثافة مادته $5000\ kg/m^3$ وضع على سطح مستوى أفقى، احسب أقصى وأقل ضغط له. (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m/s^2$)

الحـل



* لحساب أقصى ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأقل، وهو الوجه الذى أبعاده (5 cm × 10 cm)

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



* لحساب أقل ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأكبر، وهو الوجه الذى أبعاده (10 cm × 20 cm)

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

مثـال ٢

أوجد الضغط الكلى وكذلك القوى الضاغطة الكلية المؤثرة على قاع حوض به ماء مالح كثافته $1030\ kg/m^3$ إذا كانت مساحة قاعدة الحوض $1000\ cm^2$ وارتفاع الماء به واحد متر، وكان سطح الماء فى الحوض معرضًا للهواء الجوى، وعجلة الجاذبية $10\ m/s^2$ والضغط الجوى $1.013 \times 10^5\ N/m^2$

الحـل

* الضغط الكلى :

$$P = P_a + \rho gh$$
$$= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1$$
$$= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5\ N/m^2$$

* القوة الضاغطة الكلية :

$$F = P \times A = 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4}$$
$$= 1.116 \times 10^4\ N$$

مثـال ٣

استُخدم مانومتر زئبقى لقياس ضغط غاز داخل مستودع، فكان سطح الزئبق فى الفرع الخالص أعلى من سطحه بالفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36 cm

ما قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات :

(أ) cm Hg　　(ب) atm　　(جـ) N/m^2

(علماً بأن : الضغط الجوى $0.76\ m\ Hg = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$)

الحـل

(أ) بوحدة cm Hg :

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

(ب) بوحدة atm :

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

(جـ) بوحدة N/m^2 :

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

مثـال ٤

أنبوبة على هيئة حرف U مساحة مقطع فرعها الضيق $1\ cm^2$ ومساحة مقطع فرعها الواسع $2\ cm^2$ مُلئت جزئيًا بالماء (كثافته $1000\ kg/m^3$)، ثم صُب فيها كمية من الزيت (كثافته $800\ kg/m^3$) فى الفرع الضيق حتى أصبح طول عمود الزيت 5 cm، احسب ارتفاع سطح الماء فوق مستوى السطح الفاصل بين الماء والزيت.

الحـل

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

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

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

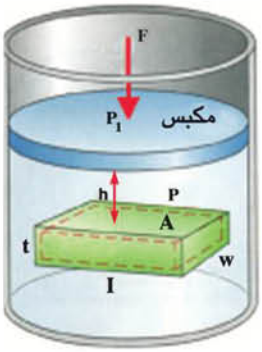
قاعدة باسكال Pascal's Principle

إذا أخذنا أحد السوائل فى إناء زجاجى كالمبين بالشكل (15) مزود بمكبس فى أعلاه، يكون الضغط عند نقطة مثل A فى باطنه على عمق h هو $P = P_1 + h\rho g$ حيث P_1 الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرةً) وينتج عن الضغط الجوى والضغط الناشئ عن وزن المكبس أو قوة المكبس.

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

ويصبح الضغط عند هذه النقطة $P = P_1 + h\rho g + \Delta P$

فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء.



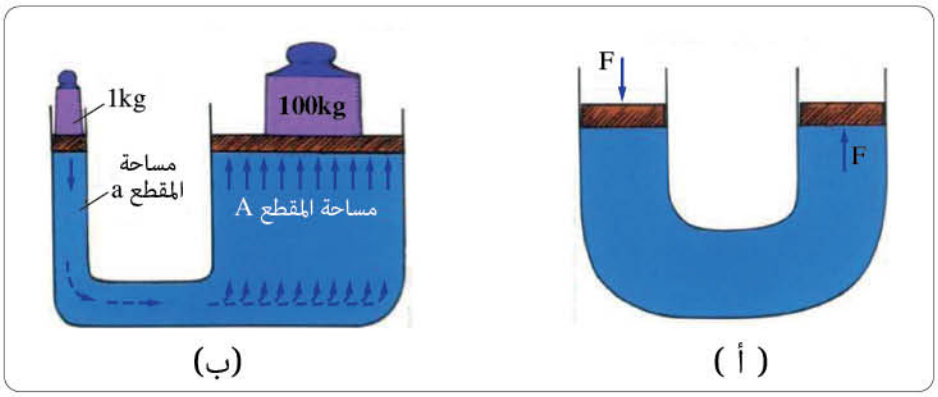
شكل (15)
زيادة الثقل على المكبس تزيد الضغط فى السائل

ولقد قام العالم الفرنسى باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلى :

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

تطبيق على قاعدة باسكال : المكبس الهيدروليكى Hydraulic press

توجد عدة تطبيقات تعتمد على قاعدة باسكال ومنها المكبس الهيدروليكى وفرامل السيارات، يتركب المكبس الهيدروليكى كما فى الشكل (16) من المكبس الصغير ومساحة مقطعه (a) والمكبس الكبير ومساحة مقطعه (A) ويمتلئ الحيز بين المكبسين بسائل مناسب.



شكل (16)
المكبس الهيدروليكى
(أ) قوة على الجانب الأيسر من السائل تنتقل إلى الجانب الأيمن
(ب) ثقل 1 kg على الجانب الأيسر يولد قوة تتزن مع 100 kg على الجانب الأيمن إذا كانت نسبة المساحتين A : a هى 1:100

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

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

وإذا فرضنا أن القوة المؤثرة على المكبس الصغير (f) والقوة المؤثرة على المكبس الكبير (F)، ونظرًا لأن الضغط المؤثر على المكبسين له نفس القيمة عند الاتزان فى مستوى أفقى واحد فإن :

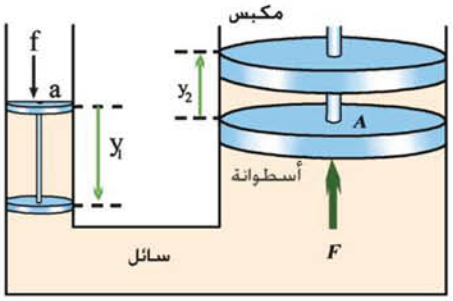
$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{A}{a} f \qquad (7)$$

ومن العلاقة السابقة يتضح أنه عندما تؤثر قوة (f) على المكبس الصغير تتولد على المكبس الكبير قوة أكبر هى القوة (F).

والفائدة الآلية Mechanical Advantage للمكبس الهيدروليكى ويرمز لها بالرمز η هى :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \qquad (8)$$



شكل (17)
الفائدة الآلية

أى أن الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكى تتعين بنسبة مساحة مقطع المكبس الكبير إلى مساحة مقطع المكبس الصغير، وبالرجوع إلى الشكل (17) يتضح أنه :

إذا حُرك المكبس الصغير إلى أسفل مسافة رأسية y_1 تحت تأثير f فإن المكبس الكبير يتحرك إلى أعلى مسافة رأسية y_2 تحت تأثير F

وحيث إن الشغل المبذول على أى من المكبسين = القوة المؤثرة عليه × إزاحته

وتبعًا لقانون بقاء الطاقة وبفرض أن المكبس مثالى وكفاءته (100 %) يكون الشغل المبذول واحدًا فى الحالتين :

$$f\, y_1 = F\, y_2$$

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

$$F = \frac{y_1}{y_2} f \qquad (9)$$

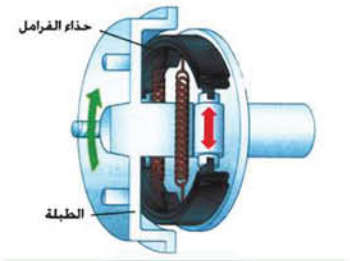
وهذا يدل على أن الفائدة الآلية للمكبس يمكن أيضًا التعبير عنها بالنسبة $\frac{y_1}{y_2}$

معلومة إثرائية

تطبيقات على قاعدة باسكال :

1) تستخدم الفرملة الهيدروليكية Hydraulic Brake للسيارة قاعدة باسكال، حيث يستخدم نظام الفرملة سائلًا وسيطًا Brake Fluid، وعند الضغط على دواسة الفرملة بقوة بسيطة ومسافة كبيرة نسبيًا ، تنشأ قوة كبيرة على المكبس فى أسطوانة الفرملة العمومية Master Brake Cylinder

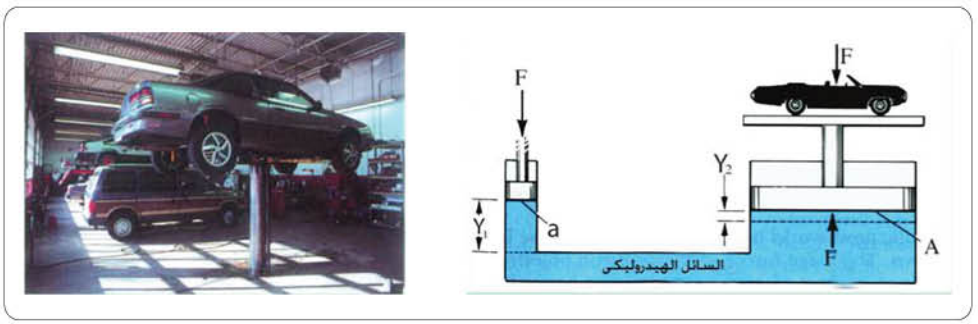
وينتقل هذا الضغط إلى السائل، ومن ثم إلى باقى خط الفرملة، ثم إلى مكابس أسطوانات فرملة العجل Wheel Cylinder إلى الخارج، ومن ثم على حذاء الفرملة Brake Shoes ، ثم إلى جسم الفرملة Brake Drum، فتنشأ قوة احتكاك كبيرة توقف العجلة وبالتالى السيارة، ويسمى هذا النوع من الفرامل Drum Brake وهى الفرملة الخلفية شكل (18) أما فى حالة الفرملة الأمامية والتى تستخدم نظام القرص Disk Brake شكل (19) فإن القوى الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل Brake Pads، وينشأ عن ذلك احتكاك يوقف العجلة، ويلاحظ أن المسافة التى يتحركها حذاء الفرملة فى الحالتين صغيرة لأن القوة كبيرة.



شكل (18)
الفرامل الخلفية

شكل (19)
الفرامل الأمامية

2) فى تطبيق آخر لقاعدة باسكال تستخدم الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Lift سائلًا لرفع السيارة فى محطات البنزين شكل (20).



شكل (20)
الرافعة الهيدروليكية

3) الحفار الهيدروليكى Caterpillar يعتمد على قاعدة باسكال شكل (21)

شكل (21)
الحفار الهيدروليكى

مثـال

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

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير. (ب) الفائدة الآلية للمكبس.

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير لأعلى بمقدار $1\ cm$

الحـل

القوة المؤثرة على المكبس الكبير :

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

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

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير :

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

(ب) الفائدة الآلية للمكبس :

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

(جـ) المسافة التى يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار $1\ cm$:

$$f.\ y_1 = F.\ y_2$$

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

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الضغط عند نقطة (P) : القوة المؤثرة عموديًا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة ، ووحدة قياسه (N/m^2)
- جميع النقط التى فى مستوى أفقى واحد فى باطن 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 يكافىء الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه حوالى 0.76 m ومساحة مقطعه واحد متر مربع عند درجة 0°C

  ووحدات قياسه : باسكال (N/m^2) أو بار (Bar) أو تور mm Hg (Torr)
- المانومتر : جهاز يستخدم لقياس الفرق بين ضغط غاز محبوس 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.

ثانيًا: القوانين والعلاقات الهامة

- الضغط (P) : $P = \frac{F}{A}$
- الضغط عند نقطة فى باطن سائل كثافته ρ معرض للهواء على عمق h من سطحه :

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى ، g عجلة الجاذبية الأرضية.

- اتزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين : $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$

المكبس الهيدروليكى : $\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$

حيث f القوة المؤثرة على المكبس الصغير الذى مساحة مقطعه a ، F القوة المؤثرة على المكبس الكبير الذى مساحة مقطعه A

- الفائدة الآلية للمكبس : $\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$
- لتعيين المسافة التى يتحركها المكبس الكبير y_2 بدلالة المسافة التى يتحركها المكبس الصغير y_1 :

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

أسئلة وتمارين

أولاً : اختر الإجابة الصحيحة

1. العامل الذى لا يؤثر على الضغط الواقع على قاع إناء به سائل هو .....

(أ) ارتفاع السائل فى الإناء (ب) كثافة السائل

(جـ) مساحة قاعدة الإناء (د) الضغط الجوى

2. أى العوامل الآتية لا تؤثر على ارتفاع عمود الزئبق فى البارومتر؟

(أ) كثافة الزئبق (ب) مساحة مقطع الأنبوبة

(جـ) الضغط الجوى (د) درجة حرارة الزئبق

3. يعتمد ضغط المياه الموجود عند قاع بحيرة السد العالى والمؤثر على جسم السد على .....

(أ) مساحة سطح البحيرة (ب) طول جسم السد

(جـ) عمق المياه (د) سُمك حائط السد

4. إذا كانت النسبة بين نصفى قطر المكبسين الأسطوانيين فى المكبس المائى هى $\frac{2}{9}$ تكون النسبة بين القوتين على المكبسين تساوى .....

(أ) $\frac{2}{9}$ (ب) $\frac{9}{2}$

(جـ) $\frac{81}{4}$ (د) $\frac{4}{81}$

ثانيًا : عرّف كلًا مما يأتى

1. الضغط عند نقطة.
2. قاعدة باسكال.

ثالثًا : أسئلة المقال

1. اثبت أن الضغط P عند أى نقطة فى باطن سائل على عمق h يتعين من العلاقة :

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى ، ρ كثافة السائل ، g عجلة الجاذبية الأرضية.

2. صف المانومتر واشرح طريقة عمله فى قياس ضغط غاز فى مستودع.
3. ما العوامل التى تحدد نوع السائل المستخدم فى المانومتر لقياس فرق الضغط بين الضغط فى مستودع غاز والضغط الجوى ؟
4. ما المقصود بقاعدة باسكال ؟ اشرح أحد تطبيقاتها.

رابعًا : تمارين

1. إذا كان الضغط على قاعدة إناء أسطوانى به زيت هو $1.5 \times 10^4\ N/m^2$، احسب القوة الكلية المؤثرة على قاعدة الإناء إذا كان قطر القاعدة 8 m $(7.54 \times 10^5\ N)$

2. مطلوب لإطار سيارة فرق ضغط قدره $3.039 \times 10^5\ N/m^2$، فإذا كان الضغط الجوى $1.013 \times 10^5\ N/m^2$، فأوجد الضغط المطلوب داخل إطار السيارة بوحدة atm (4 atm)

3. حوض أسماك مساحة قاعدته $1000\ cm^2$ وكان الحوض يحتوى على ماء وزنه 4000 N، احسب ضغط الماء عند قاع الحوض. $(4 \times 10^4\ N/m^2)$

4. المكبسان الصغير والكبير فى مكبس هيدروليكى قطرهما 2 cm ، 24 cm على الترتيب تولدت قوة مقدارها 2000 N على المكبس الكبير، احسب القوة المؤثرة على المكبس الصغير، وكذلك الفائدة الآلية للمكبس. (13.9 N، 144)

5. إذا كان الضغط الجوى عند سطح الماء فى بحيرة هو 1 atm، ما عمق البحيرة إذا كان الضغط عند قاعها 3 atm ؟

(علمًا بأن : كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$ وعجلة الجاذبية = $9.8\ m/s^2$) (20.673 m)

6. يحمل رجل بارومتر زئبقى قراءته عند الطابق الأرضى لمبنى 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 $13600\ kg/m^3$ وعجلة الجاذبية = $9.8\ m/s^2$ $(1.258\ kg/m^3)$

7. مانومتر يحتوى على زئبق يتصل بمستودع به غاز محبوس، فإذا كان سطح الزئبق فى الفرع الخالص أعلى من سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع بمقدار 25 cm ، احسب فرق الضغط وكذلك الضغط المطلق للهواء المحبوس مقدرًا بوحدة N/m^2

(علمًا بأن : الضغط الجوى يعادل $1.013 \times 10^5\ N/m^2$ وعجلة الجاذبية الأرضية = $9.8\ m/s^2$ وكثافة الزئبق = $13600\ kg/m^3$)

$(0.3332 \times 10^5\ N/m^2\ ،\ 1.3462 \times 10^5\ N/m^2)$

الوحـــدة

الرابعة

الحـــــرارة

الفصل السادس : قوانين الغازات

الفصـــل

السادس

قوانيـن الغازات

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- تتعرف المقصود بالحركة البراونية وتفسرها.

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

٣- تبين أثر الحرارة فى حجم الغاز عند ثبوت ضغطه.

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

٥- توضح أثر الحرارة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه.

٦- تثبت العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط).

٧- تستنتج الصفر كلفن من قانون شارل.

٨- تستنتج الصفر المطلق من تجربة چولى.

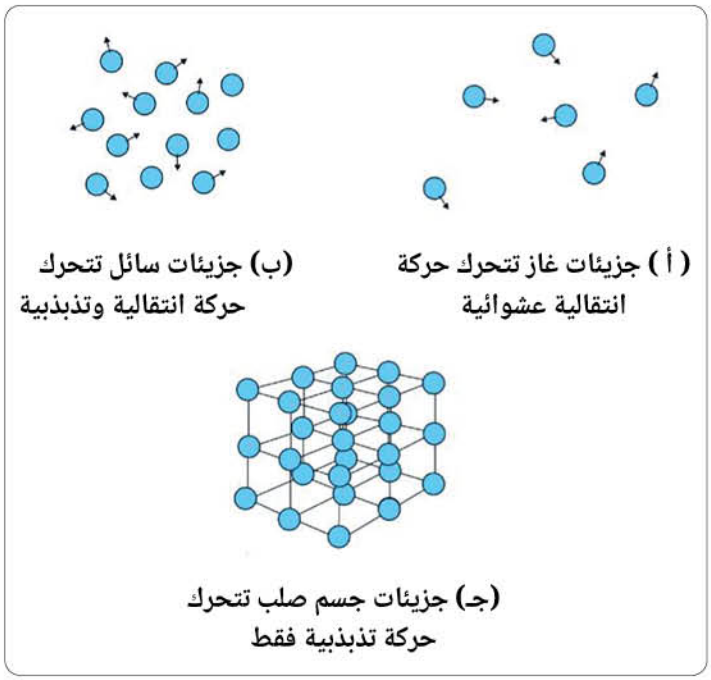
٩- تستنتج القانون العام للغازات وتحل مسائل عليه.

مصطلحات الفصل

- الحركة البراونية Brownian Motion
- قانون بويل Boyle's Law
- قانون شارل Charles's Law
- قانون چاى لوساك Gay - Lussac's Law
- الصفر المطلق Absolute Zero
- القانون العام للغازات General Gas Law

مقـــدمة

تتحرك جزيئات أى مادة حركة مستمرة، ويختلف نوع الحركة باختلاف حالة المادة، كما هو مبين بالشكل (1).



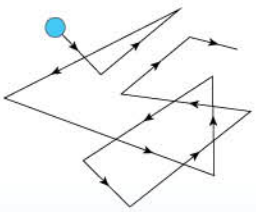
شكل (1)

الجزيئات فى حالات المادة الثلاث

الحركة البراونية

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

إذا فحصنا دخانًا متصاعدًا 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 أسكتلندى أول من اكتشف عام 1827م أن حبوب اللقاح المعلقة فى الماء تكون دائمًا فى حركة عشوائية.



شكل (2)

الحركة البراونية

تفسير الحركة البراونية

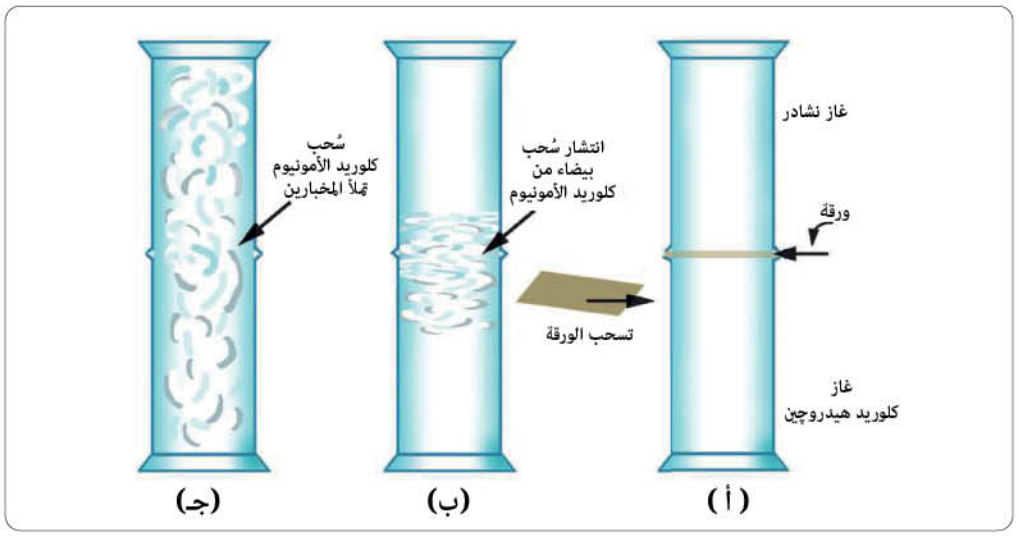
تتحرك جزيئات الهواء (أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفى جميع الاتجاهات بطريقة عشوائية، وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان، وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون فى لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك فى اتجاه معين لمسافة قصيرة، والسبب فى ذلك أن جزيئات الغاز - بعكس المواد الصلبة - حرة الحركة، ودائمة التصادم، فتغير اتجاهها عشوائيًا بفعل الحرارة شكل (2)،

ويمكن أن نستخلص من ذلك ما يلى :

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

ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلى :

إذا أخذنا مخبارًا مليئًا بغاز النشادر (NH_3) ونكسناه فوق مخبار آخر ملىء بغاز كلوريد الهيدروچين (HCl) شكل (3) عندئذ سنشاهد تكوّن سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم (NH_4Cl) تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز المخبارين.



شكل (3)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين - 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 المخبار العلوى، كما تنتشر جزيئات النشادر- رغم كونه أقل كثافة إلى أسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبار السفلى.

ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبيًا تعرف بالمسافات الجزيئية، ويفسر هذا قابلية الغازات للانضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبيًا بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

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

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

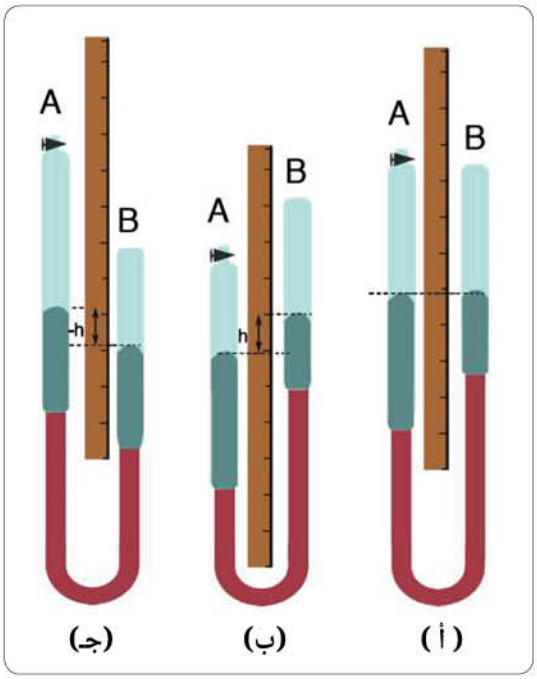
- العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته(قانون بويل).
- العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه(قانون شارل).
- العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون چاى لوساك).

وسنتناول فيما يلى دراسة كل من العلاقات الثلاث.

أولًا 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 فى الشكل (4)، ويتكون من أنبوبة زجاجية (A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدريجها من أعلى تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط، وتحتوى الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

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



شكل (4)
جهاز بويل

وتتبع الخطوات الآتية:

1. نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) عند منتصفها شكل (4 أ)،

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

(2) نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكون $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن P_1 يساوى الضغط الجوى P_a cm Hg الذى نعينه بواسطة البارومتر.

(3) 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 (4 ب).

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

(5) 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 هو $P_4 = P_a - h$، حيث h فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين شكل (4 جـ).

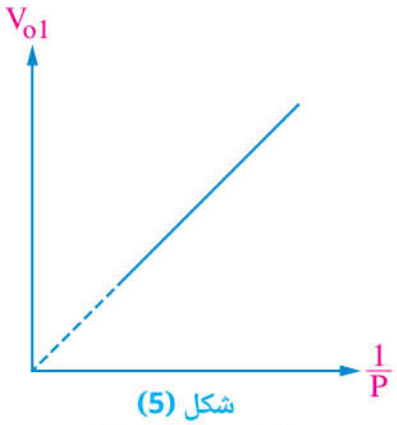
(6) نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد P_5، $(V_{ol})_5$ بنفس الكيفية.

(7) نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز V_{ol} ممثلاً على المحور الرأسى ومقلوب الضغط $(\frac{1}{P})$ ممثلاً على المحور الأفقى فنحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (5)، ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن :

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

ومن هذه العلاقة نستنتج أن :

حجم كمية معينة من غاز يتناسب تناسبًا عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته ، وهذا هو نص قانون بويل.



شكل (5)
العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط عند ثبوت درجة الحرارة

ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون $V_{o1} = \frac{const}{P}$ أى أن :

$$PV_{o1} = const \quad (1)$$

ويمكن أن نعبر عن قانون بويل كالتالى :

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب PV_{o1} لكمية معينة من غاز مقدارًا ثابتًا.

ثانيًا أثر الحرارة فى حجم الغاز عند ثبوت ضغطه

نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة.

ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهى تحت ضغط ثابت بمقادير مختلفة، أم بمقادير متساوية؟

شكل (6)
أثر الحرارة فى حجم الغاز مع ثبوت الضغط

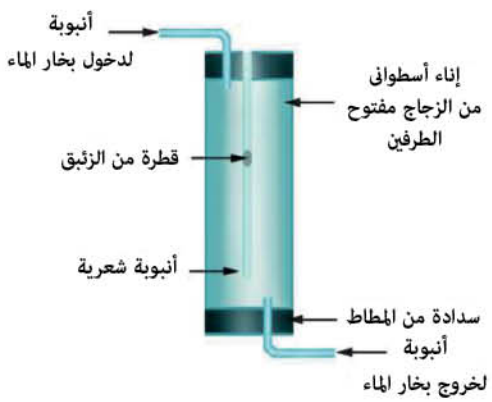
لإدراك ذلك نجرى التجربة الآتية:

1. نأخذ دورقين متساويين فى الحجم تمامًا وفوهة كل منهما مسدودة بسدادة تنفذ منه أنبوبة زجاجية منثنية على زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2 cm أو 3 cm، وليكن أحدهما مملوءًا بالأكسچين والآخر مملوءًا بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون ثم اغمرهما فى حوض به ماء كما فى شكل (6).
2. أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التى يتحركها خيط الزئبق فى كل منهما، نلاحظ أن خيطى 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 الحجمى لها واحدًا.

معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت : هو مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز وهى فى درجة 0^oC إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتًا ويرمز لها بالرمز (α_v).

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

لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (7)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30 cm وقطرها حوالى 1 mm مقفلة 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:

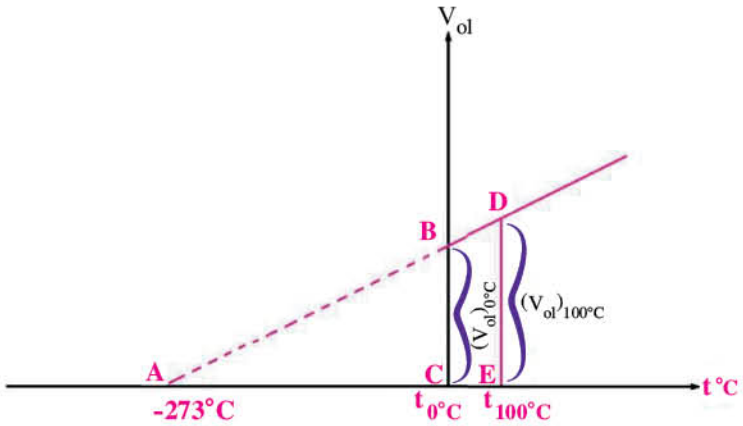


شكل (7)
جهاز شارل

1. يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملأ الغلاف بجليد مجروش أخذ فى الانصهار ويترك فترة مناسبة حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى 0^oC
2. يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياسًا لحجمه $(V_{o1})_{0^oC}$ نظرًا لأن الأنبوبة منتظمة المقطع.

③ يفرغ الغلاف من الجليد والماء، ثم يمرر بخار ماء فى الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس 100°C ويقاس طول عمود الهواء المحبوس ، ويتخذ مقياسًا لحجمه وليكن $(V_{o1})_{100°C}$.

④ ترسم علاقة بين الحجم V_{o1} ودرجة الحرارة شكل (8) نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم وإذا مددنا هذا الخط فإنه يقطع المحور الأفقى عند قيمة –273°C



شكل (8)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

⑤ يعين معامل التمدد الحجمى للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة:

$$\alpha_V = \frac{(V_{o1})_{100°C} - (V_{o1})_{0°C}}{(V_{o1})_{0°C} \times 100°C} \qquad (2)$$

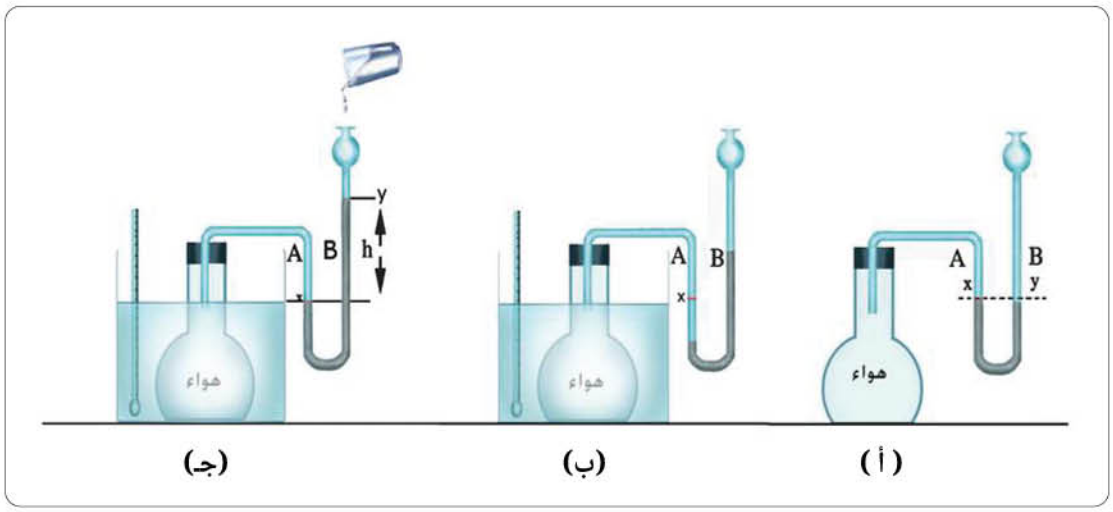
- وقد وجد عمليًا أن معامل التمدد الحجمى للهواء α_V عند ثبوت الضغط يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة مئوية، ونظرًا لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمى للغازات المختلفة نفس القيمة، هذه النتيجة صاغها شارل كما يلى :

قانون شارل :

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

ثالثًا أثر الحرارة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه

1 لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه ، نأخذ دورقًا زجاجيًا مسدودًا بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (B) ، (A) كالمبينة فى شكل (9) نلاحظ أن الأنبوبة تحتوى على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه فى الشعبتين (B) ، (A) فى مستوى أفقى واحد عند (x) ، (y) لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس فى الدورق مساويًا للضغط الجوى ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1\,^{\circ}C$ شكل (9 أ)



شكل (9)

أثر الحرارة على الضغط عند ثبوت الحجم

2 نغمر الدورق فى حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2\,^{\circ}C$ نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ فى الانخفاض فى الشعبة (A) ، بينما يرتفع فى الشعبة (B) شكل (9 ب).

3 نصب زئبقًا فى القمع حتى يعود سطح الزئبق فى الشعبة (A) إلى العلامة (x) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس فى الدورق وهو فى $(t_2\,^{\circ}C)$ مع حجمه وهو فى $(t_1\,^{\circ}C)$.

4 نلاحظ أن سطح الزئبق فى الشعبة (B) يعلو عن سطحه فى (A) بمقدار معين وليكن h (cm) مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد ازداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1\,^{\circ}C$ إلى $t_2\,^{\circ}C$ بمقدار يساوى h (cm Hg) شكل (9 جـ).

5 وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مختلف فى كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة فى ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نتبين ما يلى :

(أ) عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بارتفاع درجة الحرارة.

(ب) عند ثبوت الحجم ، تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقادير متساوية.

معامل الزيادة فى الضغط : هو مقدار الزيادة فى وحدة الضغط المقاسة عند درجة $0^{\circ}C$ إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

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

وجد عمليًا أن الزيادة فى ضغط كمية من الغاز عند ثبوت الحجم تتناسب طرديًا مع الضغط الأصلى $P_{0°C}$ المقاس عند درجة 0°C، وكذلك مع مقدار الارتفاع فى درجة حرارته $\Delta t°C$، ويعبر عن هذا كما يلى :

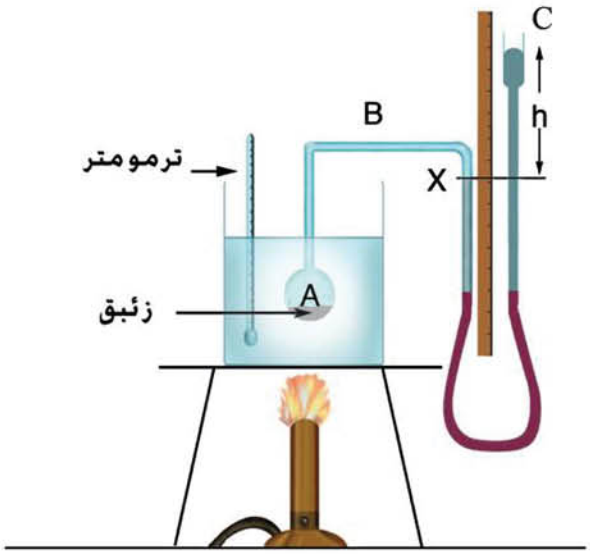
حيث β_P مقدار ثابت وهو معامل زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.

$$\Delta P \propto P_{0°C}\, \Delta t$$

$$\Delta P = \beta_P\, P_{0°C}\, \Delta t$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_{0°C}\, \Delta t} \qquad (3)$$

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز چولى الموضح فى الشكل (10)، ويتركب من مستودع كروى (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 أنبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعًا ما وهى الأنبوبة (C) والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.



شكل (10)
جهاز چولى

وتتبع خطوات العمل الآتية :

1. نعين الضغط الجوى وقت التجربة باستخدام البارومتر.
2. ندخل فى المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقًا ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتًا فى جميع درجات الحرارة (حيث أن : معامل التمدد الحجمى للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج).

③ نغمر المستودع (A) فى كأس به ماء ثم نصب زئبقًا فى الفرع الخالص (C) حتى يرتفع سطحه فى الفرع الآخر إلى علامة معينة (X).

④ نسخن الماء فى الكأس حتى يغلى وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع.

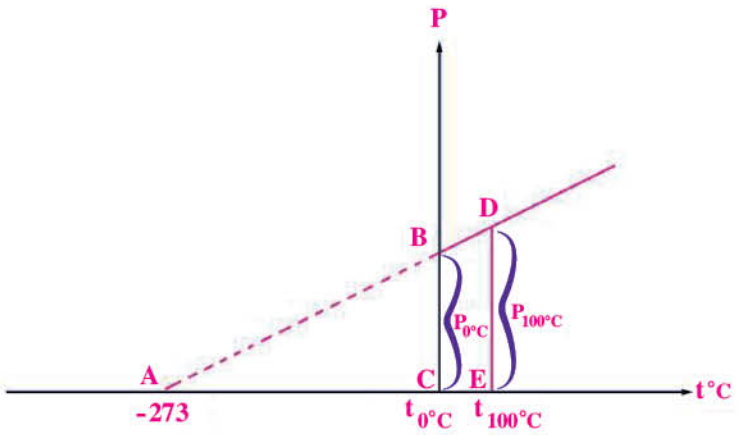
⑤ نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X) ثم نقيس الفرق فى الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين وليكن (h) ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P) وهو يساوى الضغط الجوى (cm Hg) مضافًا إليه الفرق فى الارتفاع (h).

⑥ نحرك الفرع (C) إلى أسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتنخفض درجة حرارته إلى حوالى 90°C، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X) ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس فى هذه الحالة.

⑦ نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفى كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

⑧ نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقى والضغط ممثلاً على المحور الرأسى نجد أن العلاقة خط مستقيم، ثم نحسب معامل الزيادة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة :

$$\beta_P = \frac{P_{100°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times 100} \qquad (4)$$



شكل (11)

قانون الضغط

علاقة الضغط بدرجة الحرارة عند ثبوت الحجم

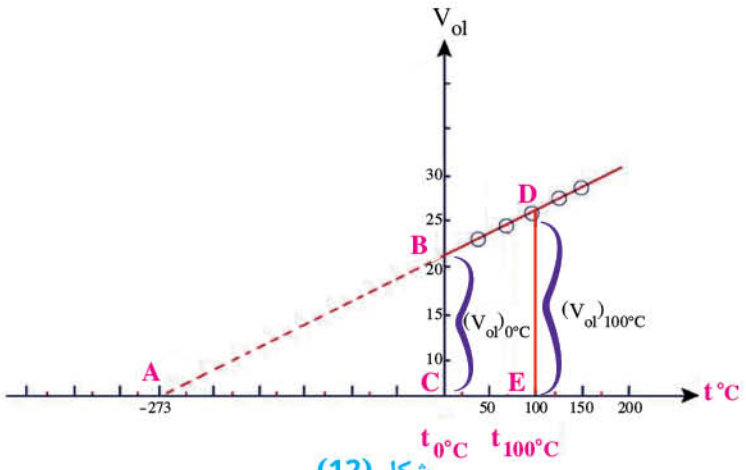
وقد وجد عمليًا أن معامل زيادة ضغط الهواء عند ثبوت حجمه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ، ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى ما يلى :

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

الصفر المطلق (صفر كلڤن)

من العلاقة البيانية فى الشكل (12) بين الحجم ممثلاً على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سيلزيوس ممثلة على المحور الأفقى، نحصل على خط مستقيم ، عندما نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند (–273°C)

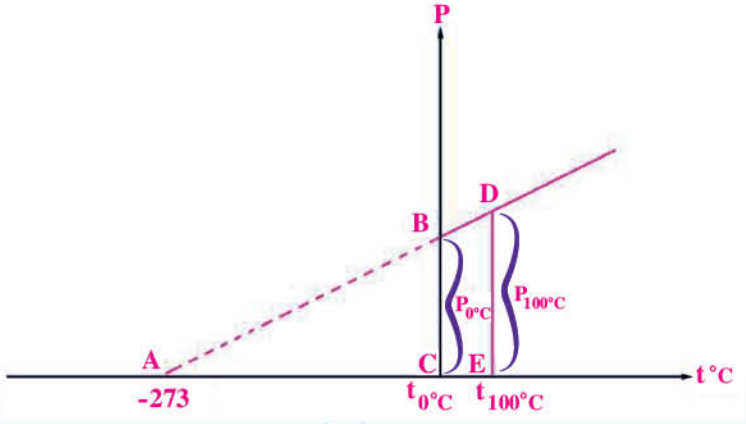


شكل (12)

استنتاج الصفر كلڤن من قانون شارل

- كما يمكن الاستعانة بالنتائج التى حصلنا عليها فى تجربة جهاز چولى وتمثيل هذه النتائج بيانيًا ، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سيلزيوس على المحور الأفقى، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما فى الشكل (13)،

وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر عند (–273°C)



شكل (13)

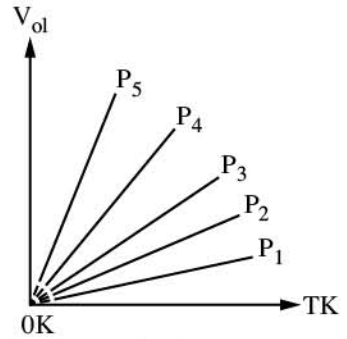
استنتاج الصفر المطلق من تجربة چولى

من الشكلين (12) و (13) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظريًا هى $-273°C$ ، هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلڤن، وهى درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم الغاز المثالى عند ثبوت الضغط أو ضغط الغاز المثالى عند ثبوت الحجم ، ودرجة الحرارة على مقياس كلڤن قيمة موجبة دائمًا بينما درجة سيلزيوس °C تتدرج بين الموجب والسالب.

تغير حجم الغاز وضغطه بتغيير درجة الحرارة المطلقة

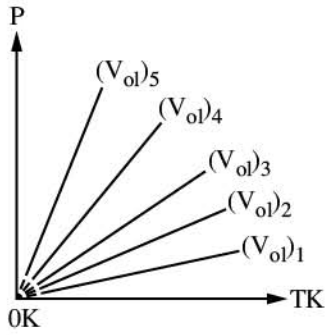
يمكن إعادة رسم شكلى (12) ، (13) بحيث يكون المحور الأفقى هو درجة الحرارة المطلقة، فيكون لدينا شكل (14) وشكل (15)، يلاحظ أنه عند درجة الصفر كلڤن فإن الحجم $V_{ol} = 0$ والضغط $P = 0$،

ولكن فى الواقع فإنه مع التبريد الشديد لا تظل المادة بحالتها الغازية، بل تتحول إلى سائل وأحيانًا صلب، ومن ثم لا تخضع لقوانين الغازات، ولذلك فإن تعريف الغاز المثالى هو الغاز الذى يتلاشى حجمه عند ثبوت الضغط أو ضغطه عند ثبوت الحجم عند درجة الصفر المطلق.



شكل (14)

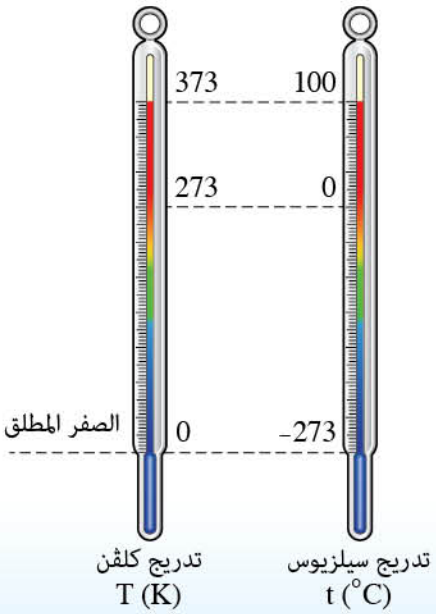
علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت



شكل (15)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عند حجم ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدريج سيلزيوس وتدريج كلڤن نأخذ فى الاعتبار ما يلى :



0 K تقابل (-273°C)

273 K تقابل 0°C

373 K تقابل 100°C

أى أن:

$$T(K) = 273 + t\,(°C) \quad (5)$$

صور أخرى لقانونى شارل والضغط

① يمكن الاستعانة بالشكل (8) فى الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل، من تشابه المثلثين ABC ، ADE حيث :

$BC = (V_{ol})_1$

$DE = (V_{ol})_2$

$AC = T_1$

$AE = T_2$

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

أى أن : $\frac{V_{ol}}{T} = const$

وبذلك يكون : $V_{ol} \propto T$

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته على تدريج كلفن، وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

② وبالاستعانة بالشكل (11) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (7)$$

أى أن : $\frac{P}{T} = const$

وبذلك يكون : $P \propto T$

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته على تدريج كلفن، وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

القانون العام للغازات

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

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات لكمية معينة من الغاز كما يلى :

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 : $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$

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

أى أن : $\therefore \frac{PV_{ol}}{T} = const$

ولمقارنة تلك المتغيرات لكمية من الغاز :

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

معلومة إثرائية

بصفة عامة فإن القانون العام للغازات :

$$PV_{ol} = nRT \quad (9)$$

حيث : (n) عدد مولات كمية الغاز، (P) ضغط كمية الغاز، (V_{ol}) حجم كمية الغاز، (T) درجة حرارة الغاز على تدريج كلفن، (R) الثابت العام للغازات ويساوى 8.31 J/mol.K

المول : هو كمية من المادة لها كتلة بالجرام تعادل الكتلة الجزيئية لها، **فمثلًا :**

كتلة المول من الأكسجين (O_2) تساوى 32 g، ومن النيتروجين (N_2) تساوى 28 g، ومن ثانى أكسيد الكربون (CO_2) تساوى 44 g

تنمية التفكير الناقد

يرتفع البالون المملوء بغاز الهيليوم إلى أعلى إذا تُرك حرًا،

ماذا يحدث لحجم البالون كلما ارتفع فى السماء؟

وما تفسيرك فى ضوء دراستك لسلوك الغازات؟

مثال ١

إذا كان حجم كمية معينة من غاز فى درجة صفر سيلزيوس 450 cm^3، فما حجمها فى 91°C بفرض أن ضغطها يظل ثابتًا ؟

الحل

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

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

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

مثـال ٢

سُخن نصف لتر من الهيدروچين من 10°C إلى 293°C، فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابتًا ؟

الحـل

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

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

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

مثـال ٣

إذا كان ضغط كمية من غاز عند 26°C هو 59.8 cm Hg، فما ضغطها عند 130°C مع العلم بأنها ثابتة الحجم ؟

الحـل

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

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

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

مثـال ٤

مقدار من غاز يشغل حجمًا قدره 380 cm^3 فى درجة 27°C وتحت ضغط 60 cm Hg، فكم يكون حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة (STP) ؟

الحـل

(STP) معناه أنه مقدار الغاز تحت ضغط 76 cm Hg وفى درجة حرارة 0°C أو 273 K

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

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

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

مثـال ٥

كمية من غاز النيتروچين حجمها 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليها 12 cm Hg، وكمية من غاز الأكسچين حجمها 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليها 50 cm Hg وضعا فى إناء مقفل سعته 5 liters، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

الحـل

كل من الغازين يشغل بهذا الخلط سعة الإناء أى 5 liters، لإيجاد ضغط غاز النيتروچين بعد الخلط يطبق القانون :

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

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

$$P_1 = 36 \text{ cm Hg}$$

لإيجاد ضغط غاز الأكسچين نطبق العلاقة :

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

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

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

أولًا: التعاريف والمفاهيم الأساسية

- جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى 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 الأصلى عند $0^{o}C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة.

  أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز طرديًا مع درجة الحرارة المطلقة تحت ضغط ثابت.
- قانون الضغط (چاى لوساك) : عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلى عند $0^{o}C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره درجة واحدة.

  أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز طرديًا 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 كلڤن، وهو مقدار ثابت لجميع الغازات.
- درجة الحرارة المطلقة (على مقياس كلڤن)، تساوى درجة الحرارة على تدريج سيلزيوس مضافًا إليها 273

ثانيًا: القوانين والعلاقات الهامة

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

- قانون بويل : $(PV_{ol} = const)$ عند ثبوت درجة الحرارة.
- قانون شارل : $(\frac{V_{ol}}{T} = const)$ عند ثبوت الضغط.
- قانون الضغوط : $(\frac{P}{T} = const)$ عند ثبوت الحجم.
- القانون العام للغازات : $\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$
- معامل زيادة الحجم بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الضغط : $\alpha_v = \frac{V_{t^oC} - V_{0^oC}}{V_{0^oC} \times \Delta t^oC} = \frac{1}{273} K^{-1}$
- معامل زيادة الضغط بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم : $\beta_P = \frac{P_{t^oC} - P_{0^oC}}{P_{0^oC} \times \Delta t^oC} = \frac{1}{273} K^{-1}$

أسئلة وتمارين

أولاً: أكمل

أى العبارات تكمل الجمل التالية لها :

(أ) يزيد بمقدار صغير.
(ب) يقل بمقدار صغير.
(جـ) يظل ثابتًا.
(د) يتضاعف.
(هـ) ينقص إلى النصف.

1. إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة ، فإن الحجم .....
2. إذا كان ضغط الغاز ثابتًا وقلت درجة حرارته على تدريج كلفن إلى النصف ، فإن حجمه .....

ثانيًا: اختر الإجابة الصحيحة

1. فيما يلى بعض العبارات التى سجلها طالب لما يحدث عند زيادة درجة حرارة إطار سيارة مملوء بالهواء :

(I) زيادة ضغط الهواء داخل الإطار

(II) زيادة حجم الهواء داخل الإطار

(III) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة الملاصقة للطريق

أى هذه العبارات يتفق مع ما درسته ؟

ⓐ العبارات كلها صحيحة
ⓑ العبارتان (I) ، (II) صحيحتان
ⓒ العبارتان (I) ، (III) صحيحتان
ⓓ العبارة (III) فقط صحيحة

2. درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس كلفن لدرجات الحرارة تساوى تقريبًا .....

ⓐ 310 K
ⓑ 37 K
ⓒ 100 K
ⓓ 373 K

3. يتناسب حجم كمية محددة من غاز .....

ⓐ عكسيًا مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه
ⓑ عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته
ⓒ طرديًا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته
ⓓ طرديًا مع درجة حرارته عند تغير الضغط

4. ضغط كمية من الغاز عند 10°C يتضاعف إذا تم تسخين كمية الغاز تحت حجم ثابت إلى .....

ⓐ 20°C
ⓑ 80°C
ⓒ 410°C
ⓓ 293°C

5. إذا انضغط مقدار من غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلى عند ثبوت درجة الحرارة فإن .....

أ كتلة الغاز ستتضاعف
ب كثافة الغاز تنقص إلى نصف قيمتها
جـ ضغط الغاز سيصل إلى النصف
د ضغط الغاز سيتضاعف

ثالثًا: أسئلة المقال

1. كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمى لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط ؟
2. صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وإنه ثابت لجميع الغازات.
3. كيف تحقق قانون بويل عمليًا؟
4. كيف تبين بالتجربة أن ضغط كمية من الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم ؟
5. كيف تعين الصفر كلفن؟
6. اشرح معنى الصفر كلفن، وما العلاقة بين درجة الحرارة على تدريج كلفن ودرجة الحرارة على تدريج سيلزيوس ؟
7. استنبط القانون العام للغازات.

رابعًا: تمارين

1. لتر من غاز فى 10°C رفعت درجة حرارته وهو ثابت الضغط، فأوجد حجمه عند 293°C (2 Liter)
2. إناء مقفل به هواء فى درجة 0°C برد إلى (–91°C) فصار الضغط به 40 cm Hg، فكم يكون ضغط الهواء عند 0°C ؟ (60 cm Hg)
3. كمية من الأكسچين تشغل فى 91°C وتحت ضغط 84 cm Hg حجمًا مقداره $760\ cm^3$، فكم يكون حجمها فى درجة 0°C وتحت ضغط 76 cm Hg (فى معدل الضغط ودرجة الحرارة STP) ؟ ($630\ cm^3$)
4. دورق به هواء سخن من 15°C إلى 87°C، فكم نسبة حجم ما خرج منه من الهواء إلى ما كان موجودًا به ؟ (25%)
5. إطار سيارة به هواء ضغطه 1.5 atm فى يوم كانت درجة حرارته (-3°C)، احسب ضغط الهواء فى الإطار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 51°C بفرض ثبوت الحجم. (1.8 atm)
6. فقاعة من الهواء على عمق 10.13 m تحت سطح ماء عذب حجمها $28\ cm^3$، احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرةً بفرض أن درجة حرارة الماء عند العمق المشار إليه هى 7°C ودرجة الحرارة عند السطح 27°C (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m.s^{-2}$ والضغط الجوى $1.013\times10^5\ N/m^2$ وكثافة الماء $1000\ kg/m^3$). ($60\ cm^3$)