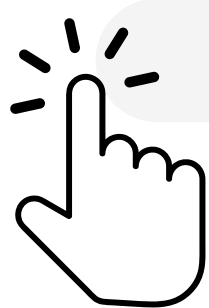


تم تحميل ورفع المادة على منصة



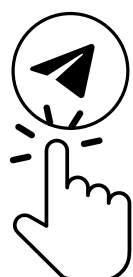
للتعودة الى الموقع اكتب في بحث جوجل



المعلم التعليمي



ALMUALM.COM



انظم الى قناة المنهج السوداني على التليجرام

T.ME/ALMANHJ_S



بسم الله الرحمن الرحيم

جمهورية السودان

وزارة التعليم و التربية الوطنية

المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

بخت الرضا



المرحلة الثانية

الفيزياء

الصَّف الثاني

إعداد لجنة بتكليف من المركز القومي للمناهج والبحث التربوي من الأساتذة:

أ. حبيب آدم حبيب أحمدية

المركز القومي للمناهج والبحث التربوي - قسم الفيزياء

أ.د. مبارك درار عبدالله يعقوب - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا - كلية العلوم

أ. آدم أحمد يعقوب الجليدي - معلم - ولاية الخرطوم.

د. سهام إسماعيل بشير عبدالله - معلم - ولاية الخرطوم

e 99 11 7 7 11 11

١٢٩٤٨٥٩٩١

الإشراف العام :

د. معاوية السرقشي - المدير العام
أ. حبيب آدم حبيب - نائب المدير العام
أ. الباقر رحمه البشير - الأمين العام
أ. أحمد حمد النيل - مدير إدارة المناهج

التصميم والإخراج الفني :

د. مجدي محجوب فتح الرحمن

الجمع بالحاسوب :

حافظ محمد إبراهيم

حقوق التأليف للمركز القومي للمناهج والبحث التربوي
- بخت الرضا، وحقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة
التعليم والتربية الوطنية ولا يجوز لأي جهة طباعة أو بيع
هذا الكتاب أو أي جزء منه و إلا تعرضت لطائلة القانون.

الطبعة الأولى ٢٠٢٦م

المحتويات

الصفحة	الموضوع
ج	المقدمة:
١	الوحدة الأولى: الميكانيكا
٢	الفصل الأول: الحركة الدورانية
٤	- وصف وخصائص الحركة الدورانية
٥	- متغيرات الحركة الدورانية
١٢	- عزم القوة
٣٠	الدفع والزخم
٣٣	- نظرية الدفع - الزخم
٤٢	- الدفع في الفضاء
٤٤	تقويم الفصل
٤٦	الفصل الثاني: الشغل والطاقة
٥٧	- نظريات الشغل - الطاقة
٦٠	- طاقة الوضع (الطاقة الكامنة)
٦٣	- طاقة مرونية
٦٤	تقويم الفصل
٦٧	الفصل الثاني الموائع
٦٨	- خصائص الموائع
٧٤	- الضغط في الموائع
٨٠	- قوانين الغازات
٨٧	- التمدد الحراري للمواد
٩٠	- البلازما
٩٦	- القوى في الموائع
٩٨	- النظرية الجزيئية للتوتر السطحي
١٠١	- التبخر والتكاثف
١٠٤	- الموائع الساكنة والموائع المتحركة
١٠٤	- قاعدة باسكال
١٠٨	- الطفو وقاعدة أرخميدس
١١٣	- الموائع المتحركة
١١٧	- قاعدة برنولي
١٢٢	- تطبيقات معادلة برنولي
١٢٦	- ملخص مراجعة الفصل
١٢٧	تقويم الفصل

١٢٩	الوحدة الثانية : الديناميكا الحرارية
١٣١	- الطاقة الحرارية
١٣٥	- الاتزان والقياس الحراري
١٣٧	- مقياس درجة الحرارة
١٣٩	- الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية
١٤٢	- طرق توصيل الحرارة
١٥٠	- التحريك الحراري
١٥٢	- القانون الأول للديناميكا الحرارية
١٥٤	- الأنثروبيا
١٥٧	- القانون الثاني للديناميكا الحرارية
١٥٨	- الحرارة الكامنة
١٦٢	- ملخص مراجعة الفصل
١٦٤	تقويم الفصل
١٦٨	الوحدة الثالثة : الاهتزازات والموجات
١٦٩	الفصل الأول : الخواص العامة للاهتزازة والموجة
١٧٠	- الحركة الدورية
١٧٥	- البندول البسيط
١٧٨	- الرنين
١٧٩	- الموجات الميكانيكية
١٨٤	- تمثيل الموجات
١٨٨	- سلوك الموجات
١٨٨	- انعكاس الموجات
١٩٠	- تراكب الموجات
١٩١	- تداخل الموجات
١٩٣	- ملخص مراجعة الوحدة
١٩٥	تقويم الفصل
٢٠٠	الفصل الثاني : موجات الصوت
٢٠١	- طبيعة اصدار الصوت
٢٠٥	- انعكاس الصوت
٢٠٦	- الكشف عن موجات الضغط
٢٠٨	- تأثير دوبلر
٢١٢	- تطبيقات حياتية لظاهرة دوبلر
٢١٩	- الرنين في الأوتار
٢٢١	- ملخص مراجعة الفصل
٢٢٤	تقويم الفصل

المقدمة

إنطلاقاً من رؤية قسم الفيزياء بالمركز القومي للمناهج والبحث التربوي التي تهدف إلى تطوير منهج الفيزياء للمرحلة الثانوية، في إطار خطة المركز القومي للمناهج لمواكبة التطورات التي أفرزها مجتمع المعرفة، والتي بموجبها تم تطوير وثيقة منهج الفيزياء ومصفوفة للمدى والتتابع تستوعب طبيعة التطورات الجديدة وتتسق مع المعايير والاتجاهات العالمية المعاصرة.

تم تقسيم محتوى هذا الكتاب إلى وحدات وفصول مترابطة تغطي الميكانيكا، والفيزياء الحرارية، وفيزياء الموجات والصوت. وتم التركيز في جميع أجزاء الكتاب على المفاهيم العلمية وحل المشكلات إبتكارياً، ومهارات التفكير العليا.

ويتسم تنظيم الوحدات والفصول بالعناصر الضرورية والمفيدة التالية:

- منظمات: في بداية كل وحدة لإستشارة حس الطالب والطالبة لبعض الجوانب المهمة في الموضوع قبل دراستها. ولقد أكدت البحوث أن هذه المنظمات يساعد المتعلم على معالجة المعلومات بدقة أكبر أثناء قراءتها.

- نتائج التعلم: تكتب كقائمة أهداف في بداية كل وحدة حتى يتعرف الطالب على ما ينبغي تعلمه في الوحدة. ويمكن للطالب أيضاً إستخدامها لمراجعة ما تعلمه.

- أمثلة محلولة وتجارب: صممت لمساعدة الطالب على فهم وتطبيق كل من المفاهيم النظرية والعملية لحل المشكلات.

- التقويم: توجد في نهاية كل وحدة في شكل أسئلة لتقويم الذات.

- ملخص مراجعة: تمد الطالب بملخص عن الوحدة.

وتم دمج مهارات التفكير في المحتوى من خلال العناصر التالية:

- التحديات، وأسئلة التقويم الذاتي وفكر، تعمل على إكساب الطالب والطالبة

مهارات التفكير النقدي بالتشجيع على تأمل ومعالجة وتطبيق ما تعلمه.

- التربية الوطنية: تتطلب أنشطتها من الطالب والطالبة بحث التحديات والمشاكل التي تواجه المجتمع وتطبيق مفاهيم الفيزياء في حلها، مثل الأنشطة الخاصة بمشكلات البيئة وغيرها.

وأخيراً ولغرض إتقان المفاهيم الفيزيائية وحل المسائل، وإمتلاك مهارات التفكير النقدي والإبداعى روعى في الكتاب بعض الجوانب المهمة التالية:

- التركيز على المفاهيم العامة وترك التفاصيل التي لا تصب مباشرة في الفهم العام للموضوع؛

- إضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة لتوضيح المفاهيم الفيزيائية

من الواقع سواء في النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق. على ان تبقى المعلومات الإثرائية غير ملزمة في الإمتحان ويكون دورها من قبيل التشويق العلمي؛

- العديد من الأمثلة المحلولة وأسئلة التقويم الذاتي والتمارين كلها تعمل على تقوية إدراك الطالب والطالبة بالمعنى الفيزيائي والفهم العميق للمفاهيم الأساسية؛

- ذيل الكتاب بملحق خاص بالرموز والأبعاد والوحدات والمصطلحات والثوابت الفيزيائية؛

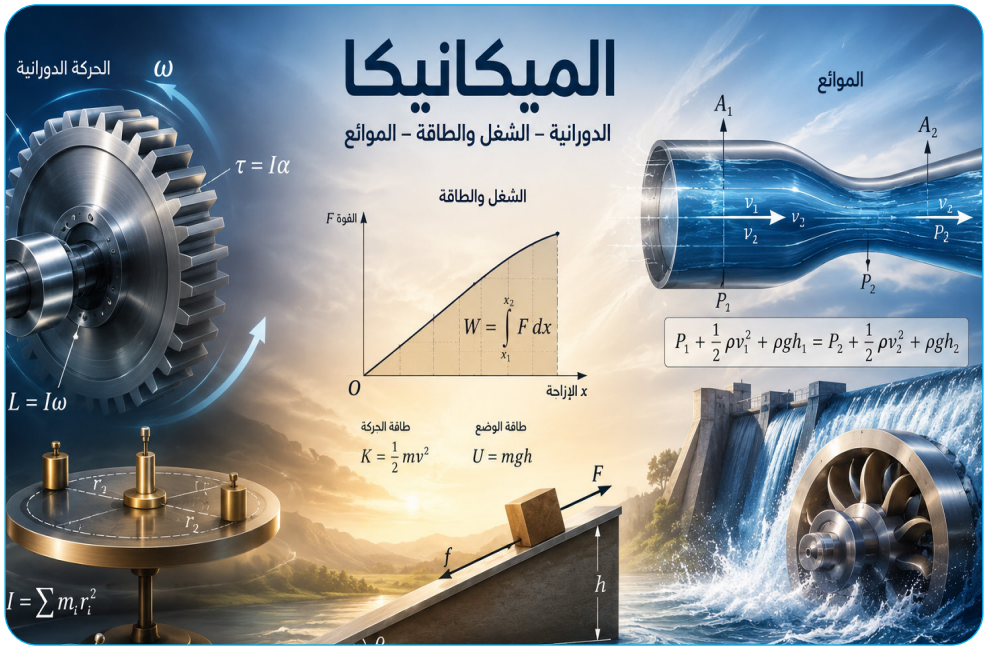
- أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية، وجميع الوحدات المستخدمة طبقاً للنظام الدولي.

وفي الختام نأمل ان يساعد هذا الكتاب على جعل دراسة الفيزياء تجربة ممتعة وإثرائية، ونرحب بالتعليقات البناءة من الطلاب والطالبات والمعلمين والقراء الآخرين حتى يمكن تطوير وتحسين الطباعات اللاحقة.

المولفون

الوحدة الأولى

الميكانيكا



الفصل الأول

الحركة الدورانية

ما الذي ستعلمه في هذا الفصل؟

الأهداف:

- بعد دراستك لهذا الفصل والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:
١. تعدد أنواع الحركة حسب طبيعة مسار الجسم أو طريقة حركته؛
 ٢. تصف الحركة الدورانية وتقيسها؛
 ٣. تصف الإزاحة الزاوية؛
 ٤. تحسب السرعة الزاوية والتسارع الزاوي؛
 ٥. تحل مسائل متنوعة مرتبطة بالحركة الدورانية؛
 ٦. تستكشف العوامل التي تؤثر في إستقرار جسم ما؛
 ٧. توضح المقصود بالعزم؛
 ٨. تحدد العوامل التي يعتمد عليها العزم؛
 ٩. توضح تطبيقات الحركة الدورانية وتوظيفها في الحياة اليومية؛
 ١٠. تشرح أهمية تأثير موقع مركز الكتلة في إستقرار الأجسام؛
 ١١. تستنتج شروط الاتزان.

الأهمية:

تعد الأساس لتصميم وتشغيل معظم الآلات والأجهزة الحديثة، كما أنها ترتبط بمفاهيم فيزيائية أساسية مثل عزم القوة، عزم القصور الذاتي، الطاقة الحركية والدورانية، الزخم الزاوي.

الفكرة العامة:

الجسم يدور حول محور معين بحيث تتحرك جميع نقاطه في مسارات دائرية حول المحور.

المفردات الجديدة:

الحركة الدورانية، الإزاحة الزاوية، السرعة الزاوية المتجهة، التسارع الزاوي، الراديان، العزم، مركز الكتلة، القوة الطاردة المركزية، قوة كوريوليس

(١) الحركة الدورانية

تمهيد:

نعلم أن الكون في حالة حركة دائبة ، فما من جسم ساكن في هذا الكون. فحركة الأجسام الكبيرة مثل الأرض والشمس والكواكب والنجوم ، لها مثل في أدق أجزاء المادة وهو الذرة ، فالعالم الذري يموج بالحركة هو الآخر ، وكثير من الظواهر مثل الكهرباء والضوء والحرارة ، أثبت العلم أنها صور مختلفة من صور الحركة .

إذن كيف تنشأ الحركة التي هي الحياة نفسها ؟ هذا السؤال كان موضوع الدراسة في فيزياء الصف الأول ثانوي. وعموماً تنشأ الحركة من تغيير المادة بصورها المختلفة ، مكانها أو موضعها في لحظات زمنية مختلفة . فالمادة والمكان والزمان هما عناصر الحركة ولا يمكن فصل هذه العناصر عن بعضها . والسكون الذي نلاحظه للأجسام ما هو إلا سكون نسبي، فثبات أو إتران المنشآت هو سكون نسبي بالنسبة للأرض التي هي في حالة حركة دورانية مستمرة حول نفسها.

الحركة : هي تغير مستمر في موضع الجسم بالنسبة إلى جسم آخر نفترضه ثابتاً.
أنواع الحركة : تقسم حسب طبيعة مسار الجسم أو طريقة حركته.

١ - الحركة الانتقالية: (Translational Motion)

هي الحركة التي ينتقل فيها الجسم من موضع إلى موضع آخر دون أن يدور حول نفسه مثل الحركة الخطية.

٢ - الحركة الدورانية (Rotational Motion) .

٣ - الحركة الدائرية (Circular Motion) .

٤ - الحركة الاهتزازية (Oscillatory Motion) .

٥ - الحركة الموجية (Wave Motion) .

الحركة الدائرية نوعان:

- حركة دائرية منتظمة.
- حركة دائرية غير منتظمة.

• الحركة الدائرية المنتظمة :

هي حركة الجسم على مسار دائري نصف قطره ثابت مثل حركة القمر الاصطناعي حول الأرض بسرعة ثابتة تقريباً. مع تغير اتجاه متجه السرعة باستمرار.

- مقدار سرعة الجسم ثابت.
- اتجاه سرعة الجسم متغير باستمرار.

• الحركة الدائرية غير المنتظمة :

هي حركة جسم على مسار دائري تتغير فيها مقدار السرعة الخطية ، أو السرعة الزاوية ، أو كلاهما مع الزمن ، ولذلك يتغير كل من مقدار واتجاه السرعة ، فيكون للجسم تسارع مركزي نحو مركز الأرض وتسارع مماسي يُغير مقدار السرعة.

- مقدار سرعة الجسم متغير.
- اتجاه سرعة الجسم متغير باستمرار.

وصف الحركة الدورانية:

إن حدوث الحركة الدورانية يُشترط بوجود محور للدوران داخل الجسم، كما في دوران الجسم الصلب.

عندما يتحرك جسم في مسار دائري علي محيط الدائرة تكون حركته حركة دائرية خطية لكن عند دوران الجسم حول محور الدوران تسمى حركته حركة دورانية مثل دوران اطارات السيارة - دوران قرص دائري - دوران الباب - وعند دوران الجسم تتغير الزاوية المركزية (θ) من الصفر الى (2π) خلال دورة كاملة . هل يمكن قياس الحركة الدورانية للأجسام وكيف؟ يمكن قياس هذه الحركة، فمثلاً عند أخذ قرص CD ووضع إشارتين إحداها على القرص والأخرى في المكان الذي نحدد منه نقطة البداية، ثم يُدور القرص إلى اليسار (عكس اتجاه حركة عقارب الساعة) وعندما تعود الإشارة إلى نقطة البداية يكون القرص قد أكمل دورة كاملة.

ما الفرق بين الحركة الدائرية والحركة الدورانية ؟

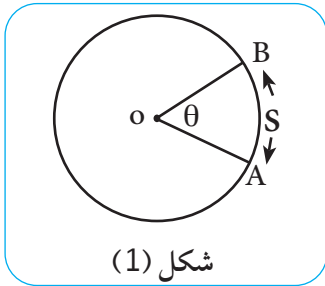
الحركة الدائرية: هي حركة الجسم على مسار دائري حول محور لا يمر في الجسم بالضرورة مثل دوران الإلكترون حول نواة الذرة.

الحركة الدورانية : هي حركة جسم جاسئ (صلب) حول محور ثابت ماراً بالجسم نفسه أو من إحدى نقاطه بحيث تتحرك جميع جزئيات الجسم في مسارات دائرية لتقطع الزوايا نفسها في الوقت نفسه. مثل دوران الأرض حول محورها.

الجسم الجاسئ : هو الجسم الذي لا يتغير شكله أو نمط توزيع كتلته أثناء دورانه بتأثير القوة والعزوم الخارجية عليه.

(٢) متغيرات الحركة الدورانية :

(A) الإزاحة الزاوية: **Angular Displacement** ($\Delta \theta$): هي التغير في الزاوية أثناء دوران الجسم حول محور ثابت بين نقطتين في فترة زمنية معينة .
تحسب من العلاقة :



$$\frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف قطر الدائرة}} = \text{الإزاحة الزاوية}$$

العلاقة بين الإزاحة الزاوية والإزاحة الخطية :

طول القوس s ، ونصف القطر r حيث:
طول القوس = الإزاحة الزاوية بالراديان $\times$ نصف قطر الدائرة .

$$s = r\theta \rightarrow \theta = \frac{s}{r}$$

- عندما يكمل الجسم دورة كاملة فإن المسافة المقطوعة = محيط الدائرة $2\pi r$

$$\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi$$

$s \equiv$ طول القوس المقابل للزاوية المزاحة يقاس بالمتر m .

$r \equiv$ نصف قطر المسار الدائري يقاس بالمتر m

$\theta \equiv$ الإزاحة الزاوية تقاس بوحدة الراديان rad

وحدة قياس الإزاحة الزاوية (θ ..تقرأ أثيتا): تقاس بالزاوية النصف قطرية (radian) .

• وحدة الراديان رمزها (rad) ، مقدارها تعادل $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة $(2\pi \text{ rad})$.

• راديان وهي الوحدة المستخدمة لقياس الزوايا في نظام التقدير الدائري .

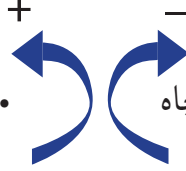
الزاوية النصف قطرية : هي الزاوية المركزية التي يكون طول القوس المقابل لها مساوياً لنصف قطر الدائرة .

مثال (١):

عجل نصف قطره 25 cm يدور حول محوره ملفوف حوله خيط أوجد الإزاحة الزاوية المطلوبة لإدارة العجل لإطلاق 50 cm من الخيط .

$$\theta = \frac{S}{r} \longrightarrow \theta = \frac{50}{25} \longrightarrow \theta = 2 \text{ rad}$$

قاعدة الإشارة :



- تكون الإشارة موجبة إذا كان اتجاه الدوران مع عقارب الساعة
- تكون الإشارة سالبة إذا كان اتجاه الدوران عكس الساعة

(B) السرعة الزاوية المتجهة (ω) : هي التغير في الإزاحة الزاوية خلال وحدة الزمن .

السرعة الزاوية المتجهة تساوي الإزاحة الزاوية مقسومة على الزمن الذي يتطلبه حدوث الدوران .

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$\omega \equiv$ السرعة الزاوية المتجهة تقاس بوحدة (rad / s) .

$\Delta\theta \equiv$ الإزاحة الزاوية تقاس بوحدة (rad) .

$\Delta t \equiv$ زمن حدوث الدوران يقاس بوحدة الثانية (s) .

• عند دوران الجسم بمعدل ثابت فإن سرعته الزاوية المتجهة تبقى ثابتة .

العلاقة بين السرعة الزاوية المتجهة و السرعة الخطية المتجهة :

$$v = r\omega$$

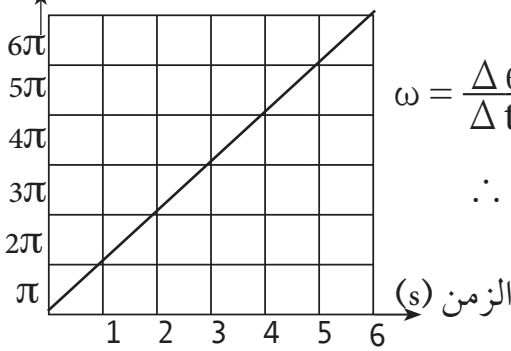
$v \equiv$ السرعة الخطية المتجهة تقاس بوحدة (m / s) .

$r \equiv$ نصف قطر الجسم الذي يدور يقاس بالمتر m

$\omega \equiv$ السرعة الزاوية المتجهة تقاس بوحدة (rad / s) .

إذا كانت السرعة الزاوية ثابتة (منتظمة) فإنه عند رسم العلاقة البيانية بين الإزاحة الزاوية والزمن تكون السرعة الزاوية تساوي ميل الخط المستقيم وتكون السرعة الزاوية المتجهة = السرعة الزاوية اللحظية المتجهة .

الإزاحة الزاوية (rad)



$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

$$\therefore \omega = \frac{5\pi - 0}{5 - 0} = \pi \text{ rad/s}$$

شكل (2)

أما إذا كانت السرعة الزاوية متغيرة فإنها **لاتساوي** ميل المماس للمنحنى بين الإزاحة الزاوية والزمن ، وفي هذه الحالة تكون السرعة الزاوية المتجهة لاتساوي السرعة الزاوية اللحظية المتجهة .

مثال (٢):

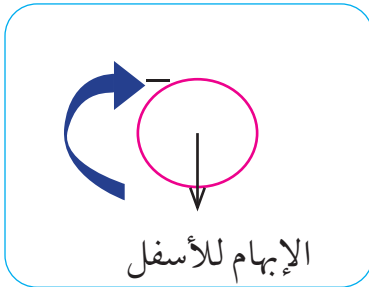
إذا علمت أن نصف قطر إطار 20cm وسرعته الخطية 20m/s أحسب السرعة الزاوية للإطار؟

$$\omega = \frac{v}{r} = 100 \text{ rad/s}$$

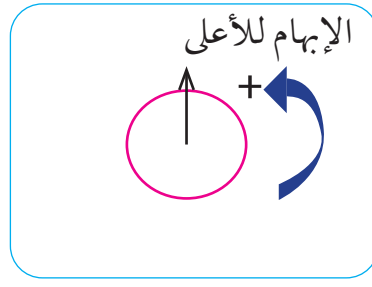
إثراء :

• جميع نقاط الأرض تدور بنفس الزاوية على الرغم من أن النقاط المختلفة على الأرض تقطع مسافات مختلفة في كل دورة، إلا أن هذه النقاط جميعها تدور خلال الزاوية .

اتجاه السرعة الزاوية: اتجاهها عمودي على مستوى دوران الجسم ويعين اتجاهها حسب قاعدة اليد اليمنى « نجعل الأصابع الأربعة لليد اليمنى تلف باتجاه دوران الجسم عندها سيشير الإبهام إلى اتجاه السرعة الزاوية ».



شكل (b-3)



شكل (a-3)

(C) التسارع الزاوي Angular Acceleration α ... يُقرأ ألفا) :

الحركة الدورانية التي تتغير فيها السرعة الزاوية بمرور الزمن مثل حركة عجلات السيارة والمكينات في المصانع والمراوح عند بداية تشغيلها أو عند إيقافها حيث تتغير سرعة الحركة الدورانية بالزيادة أو النقصان يسمى تسارع الحركة الدورانية في مثل هذه الحالة بالتسارع الزاوي .

تعريف التسارع الزاوي : هو التغير في السرعة الزاوية المتجهة خلال وحدة الزمن .
التسارع الزاوي يساوي التغير في السرعة الزاوية مقسوماً على الفترة الزمنية التي حدث خلالها التغير .

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

α التسارع الزاوي يقاس بوحدة : rad/s^2 .

$\Delta\omega$ السرعة الزاوية المتجهة تقاس بوحدة : rad/s .

Δt زمن حدوث الدوران يقاس بوحدة الثانية (s) .

تذكر :

» يكون التسارع الزاوي تسارعاً تزايدياً إذا كانت السرعة الزاوية النهائية أكبر من السرعة الزاوية الابتدائية .

» يكون التسارع الزاوي تسارعاً تناقصياً (تباطؤ) إذا كانت السرعة الزاوية النهائية أصغر من السرعة الزاوية الابتدائية .

العلاقة بين التسارع الزاوي والتسارع الخطي :

$$v = r\omega \rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{r\Delta\omega}{\Delta t} \therefore a = r\alpha$$

a التسارع الخطي يقاس بوحدة (m/s^2) .

مثال (3) : مروحة تدور بمعدل 900 rev/min

أ) أحسب السرعة الزاوية لأي نقطة على إحدى ريش المروحة :

$$\omega = \frac{N \times 2\pi}{t} = \frac{900 \times 2\pi}{60} = \frac{30\pi \text{ rad}}{\text{s}}$$

ب) أحسب السرعة المماسية لحافة الريشة إذا كان المسافة من المركز إلى الحافة 20cm :

$$v = \omega r = 30\pi (0.2) = 6\pi \text{ m/s}$$

معادلات الحركة الدورانية:

معادلات الحركة الدورانية هي معادلات متعلقة بالحركة الدورانية بتسارع منتظم والتي تربط بين الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية والتسارع الزاوي والتي تقابل معادلات الحركة في خط مستقيم حيث الإزاحة الخطية والسرعة الخطية و التسارع الخطي كالآتي:

1 - السرعة الزاوية :

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

وهي تقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم للسرعة :

$$v = v_0 + \alpha t$$

2- الإزاحة الزاوية:

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

وهي تقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم للمسافة :

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

3- السرعة الزاوية الخالية من الزمن :

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha t$$

تقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم للمسافة :

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

(D) التردد الزاوي :

تعريف التردد الزاوي : هو عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم في الثانية الواحدة .

$$f = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن الكلي}} \text{ rev/s} , \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{rev} = 2\pi \text{ rad})$$

$f \equiv$ التردد الزاوي يقاس بوحدة (دورة/ ثانية = rev/s) تسمى Hertz .

$\omega \equiv$ السرعة الزاوية المتجهة تقاس بوحدة : rad/s .

مثال (4) تدور عجلة بتسارع زاوي ثابت مقداره 3.5 rad/s^2 إذا علمت أن السرعة الزاوية للعجلة مقدارها 2 rad/s عند اللحظة الزمنية $t=0 \text{ s}$. أحسب:
أ- الزاوية بعد مرور ثانيتين من بدء الحركة :

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \Rightarrow \theta = (2)(2) + \frac{1}{2} (3.5)(4) \therefore \theta = 11 \text{ rad}$$

ب- السرعة الزاوية بعد ثانيتين من بدء الحركة :

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \therefore \omega = 2 + (3.5)(2) = 9 \text{ rads}$$

مثال (5) مروحة تدور بمعدل 180 دورة في الدقيقة .
أ- أحسب السرعة الزاوية للمروحة .
التردد الزاوي:

$$f = \frac{180}{60} = 3 \text{ rev/s}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(3) = 6\pi/\text{s} \quad \text{السرعة الزاوية :}$$

ب- إذا أوقفت المروحة بقطع التيار عنها فوصلت إلى حالة السكون بعد نصف دقيقة ، فما هو التباطؤ الزاوي للمروحة بفرض أنه منتظم ؟
لايجاد التباطؤ الزاوي :

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \rightarrow 6\pi + 30\alpha = 0 \therefore \alpha = \frac{-\pi}{5} \text{ rad/s}^2$$

الاشارة السالبة تدل على أن التسارع الزاوي تناقصي أي تباطؤ

ج- ما الزاوية التي دارتها المروحة من لحظة قطع التيار إلى لحظة وصولها للسكون ؟

ولإيجاد الزاوية (θ) التي تدورها المروحة قبل أن تتوقف نستخدم العلاقة :

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \Rightarrow 6\pi (30) + \frac{1}{2} \left(\frac{-\pi}{5} \right) (30)^2 = 90 \pi \text{ rad}$$

مثال (6) : تتحرك بكرة من السكون بتسارع ثابت 3 rad/s^2
أ- أحسب السرعة الزاوية بعد زمن مقداره 6 s من بدء الحركة .

الحل :

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad \omega = 0 + 3(6s) \therefore \omega = 18 \text{ rad/s} \text{ أ-}$$

ب- أحسب الإزاحة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال 6s من بدء الحركة.

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \rightarrow \theta = 0(6) + \frac{1}{2} (3) (6^2) = 54 \text{ rad}$$

ج- عدد الدورات خلال 6s .

$$\text{لأن الدورة الكاملة } 2\pi \therefore \text{عدد الدورات} = \frac{\text{الإزاحة الزاوية}}{2\pi} = \frac{54}{2\pi} = \frac{27}{\pi} \text{ دورة}$$

مثال (7): تدور عجلة بسرعة زاوية 1200 دورة في الدقيقة إذا كان نصف قطر العجلة 0.5m أحسب .

$$\text{أ- السرعة الزاوية.} \quad \omega = 2\pi f = 2\pi \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{زمن الدورات}} = 2\pi \frac{1200}{60} = 40 \text{ rad/s}$$

ب- السرعة الخطية لنقطة على حافة العجلة.

$$v = r\omega = 0.5 \times 40\pi = 20\pi \text{ m/s}$$

تقويم ذاتي:

1- مروحة نصف قطرها 1.2m دارت إزاحة زاوية مقدارها 6rad خلال ثانيتين أوجد لطرفها الخارجي

أ- السرعة الزاوية (3rad /s) .

ب- السرعة الخطية (3.6rad /s) .

ج- التسارع الزاوي (1.5rad /s²) .

2- تدور اسطوانة حول محورها بمعدل 1200rev /min . احسب:

$$\text{أ- التردد الزاوي : } f = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{زمن الدورات}} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ rad/s}$$

ب- السرعة الزاوية المتجهة (40rad /s) .

ج- مقدار الإزاحة الزاوية بعد 2.5s (100rad) .

عزم القوة :

من واقع خبراتنا في الحياة اليومية نستخدم القوى بشكل دائم: ندفع باباً لفتحه ، نرفع ثقلاً ، أو نحاول فك صامولة باستخدام مفتاح ربط. **تعريف عزم القوة :** مقياس لمقدرة القوة لإحداث الدوران، ومقدار العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها.

$$\tau = F \times r$$

ولأن القوة مقيسة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)

قدرة القوة على إحداث الدوران تتوقف على عاملين هما :

• مقدار القوة المؤثرة في الجسم .

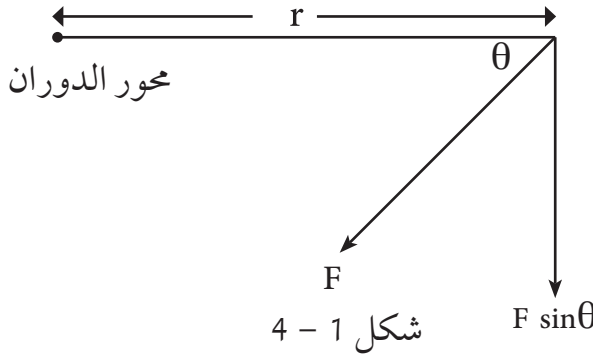
• بعد خط عمل القوة عن محور الدوران.

يزيد أثر القوة كلما ابتعدت نقطة تأثيرها عن محور الدوران

تعريف ذراع القوة : هي المسافة العمودية من محور الدوران إلى خط عمل القوة.

التحديد العام للعزم :

$$\tau = Fr \sin\theta$$



$\tau \equiv$ العزم وتنطق تاو

$F \sin\theta \equiv$ المركبة العمودية للقوة على ذراع القوة

$r \equiv$ طول ذراع القوة

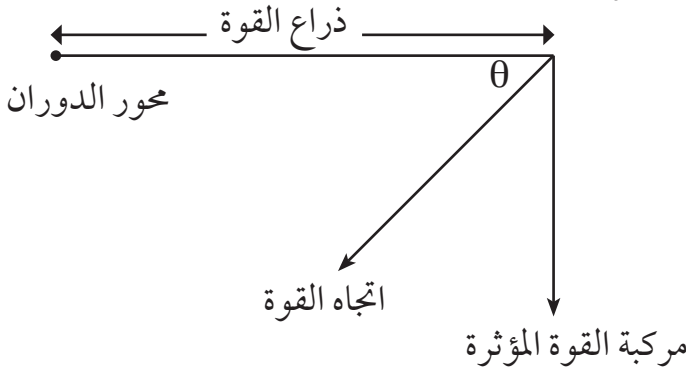
$\theta \equiv$ الزاوية بين اتجاه القوة وذراع القوة .

يقدر عزم القوة بوحدة (نيوتن.متر = N.m) وهي لاتساوي الجول كما

هو الحال في الشغل والطاقة كما نلاحظ لاحقاً في نفس هذه الوحدة ، وذلك لأن العزم كمية متجهة فهو إما أن يسبب دوران الجسم مع حركة عقارب الساعة وسوف نصطلح على كون هذا الاتجاه سالباً . أو ضد حركة عقارب الساعة وسوف نصطلح على كون هذا الاتجاه موجباً .

العوامل المؤثرة في العزم :

- أ- القوة المؤثرة .
- ب- ذراع القوة .
- ج- زاوية القوة .



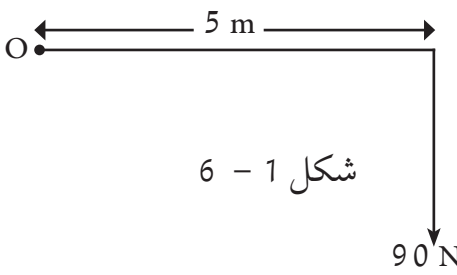
شكل 1 - 5

من التطبيقات على عزم القوة من حياتنا اليومية :

- فتح الابواب المثبتة بمفصلات .
- فك صواميل عجل السيارة وربطها .
- رافعات الاحمال .
- اجنحة المروحيات .
- يلعب عزم القوة دوراً هاماً في فهم العديد من الظواهر الفيزيائية :
- دوران الالكترون حول نواة الذرة .
- دوران الجزيئات حول محورها .
- سلوك الجسيمات الأولية في المجالات المغنطيسية .

مثال (8) :

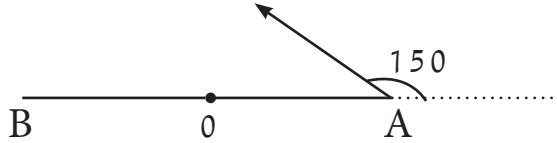
أحسب مقدار العزم الناتج عن القوة $F = 90 \text{ N}$ حول النقطة O كما في الشكل (6-1)



$$\tau = + F.d = + 90 \times 5 \\ = 450 \text{ Nm}$$

مثال (9):

AB قضيب طوله 3m قابل للدوران حول محور عمودي يمر بمنتصفه (O) أثرت في طرفه (A) قوة مقدارها 20N في الاتجاه المبين في الشكل ، أحسب عزم القوة مقداراً واتجهاً حول محور الدوران.

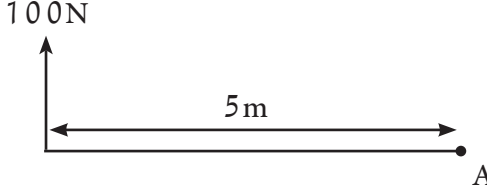


الحل:

$$\tau = F \times r \sin \theta = 20 \times 1.5 \times \sin 30 = 15 \text{ N.m}$$

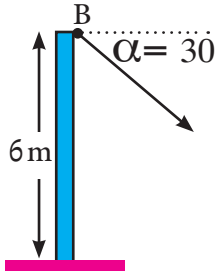
تقويم ذاتي :

- 1 - أحسب مقدار العزم الناتج عن القوة $F = 100 \text{ N}$ حول النقطة A كما هو مبين في الشكل :



($\tau = -500 \text{ N.m}$)

- 2 - أحسب مقدار عزم القوة $F = 20 \text{ KN}$ حول النقطة B كما هو مبين في الشكل :



($\tau = 60\sqrt{3} \text{ KN.m}$)

- 3 - أثرت قوة مقدارها 7 N عند نقطة تبعد عن محور الدوران مسافة 4 m جد مقدار العزم .

أ- إتجاه الدوران مع عقارب الساعة ($\tau = -28 \text{ N.m}$)

ب- إتجاه الدوران عكس عقارب الساعة ($\tau = 28 \text{ N.m}$)

- 4 - إذا علمت أن العزم المطلوب لتدوير جسم ما يساوي 180 N.m وكانت القوة المؤثرة 100 N فما مقدار ذراع القوة
(1.8 m)

محصلة العزوم (عزم مجموعة قوى) :

إذا كان هناك جسم تحت تأثير مجموعة من القوى ($F_1, F_2, F_3, \dots$) فإن قيمة عزم مجموعة القوى حول نقطة معينة (o) تساوي الجمع الجبري لقيم عزوم القوى المنفردة حول نفس النقطة أي أن:

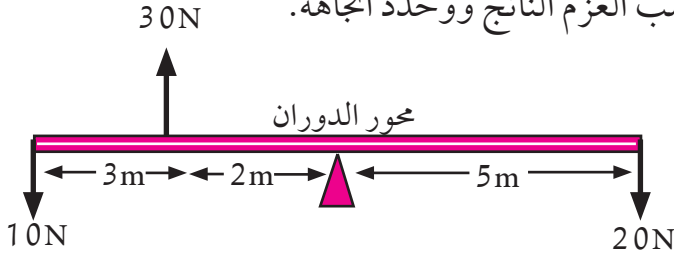
$$\Sigma \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots$$

إذا كان العزم المحصل موجباً فإن العزم يعمل على تدوير الجسم بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة وإذا كان العزم المحصل سالباً فإن العزم يعمل على تدوير

الجسم باتجاه حركة عقارب الساعة .

مثال (10):

- أحسب العزم الناتج ووحده اتجاهه .



الحل:

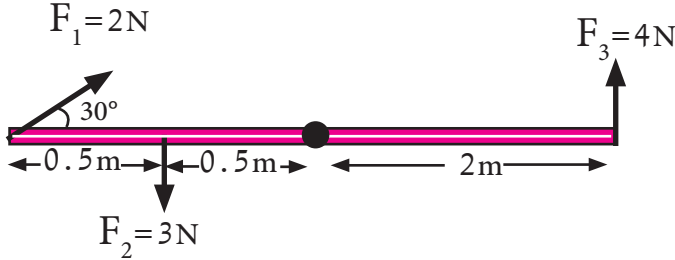
$$\Sigma \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$\tau = (10 \times 5) + (-30 \times 2) + (-20 \times 5) = -110 \text{ Nm}$$

إتجاهه في نفس اتجاه حركة عقارب الساعة

مثال (11):

في الشكل المجاور جد العزم المحصل حول المحور (0) بوحدة N.m :



$$\tau_1 = F_1 r_1 \sin \theta = (2)(1)(0.5) = 1 \text{ N.m}$$

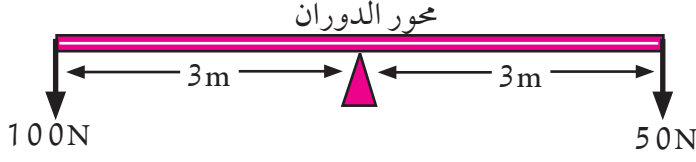
$$\tau_2 = F_2 r_2 \sin \theta = (3)(0.5)(1) = 1.5 \text{ N.m}$$

$$\tau_3 = F_3 r_3 \sin \theta = (4)(2)(1) = 8 \text{ N.m}$$

$$\Sigma \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 8 + 1.5 + 1 = 8.5 \text{ Nm}$$

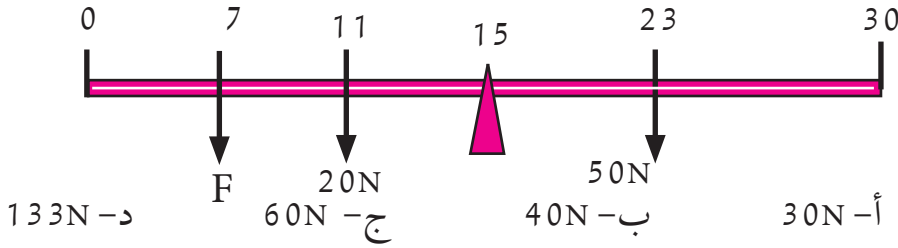
تقويم ذاتي :

1 - أحسب العزم الناتج و وحدد اتجاهه.



$$(\tau = 150 \text{ N.m})$$

2 - مسطرة طولها 30m في حالة إتزان عند المسافة 15m كما في الشكل أدناه تمت إضافة قوة مقدارها 50N عند المسافة 23m وقوة أخرى مقدارها 20N عند المسافة 11m ما هو مقدار القوة (F) الي يجب إضافتها عند المسافة 7m حتى يتم استعادة الاتزان .



عزم القصور الذاتي (Moment of inertia):

يعد مبدأ القصور الذاتي أحد المبادئ الأساسية في الفيزياء الكلاسيكية التي لا تزال تستخدم حتى اليوم لوصف حركة الأشياء وكيف تتأثر بالقوة المطبقة عليها.

مفهوم القصور الذاتي:

خاصية فيزيائية للأجسام تتمثل في مقاومتها لأي تغير في حالتها الحركية، سواء كانت في حالة سكون أو حركة منتظمة في خط مستقيم، ويزداد القصور الذاتي بزيادة كتلة الجسم.

قانون القصور الذاتي:

ينص قانون القصور الذاتي على أن الجسم الساكن يبقى ساكناً، والجسم المتحرك يبقى متحركاً بسرعة ثابتة، ما لم يتم تأثير قوة خارجية عليه.

خصائص القصور الذاتي:

- يعتمد على كتلة الجسم فكلما زادت الكتلة زاد القصور الذاتي للجسم.
- مقياس لمقاومة الجسم للتغير في حركته أو سكونه.
- لا يعتمد على سرعة الجسم

أمثلة على القصور الذاتي:

- عندما تتركب سيارة وتتوقف فجأة فإن جسمك يميل إلى الاستمرار في الحركة إلى الأمام.
- عندما تدير عجلة القيادة فإن العجلة تميل إلى الاستمرار في الدوران في الاتجاه السابق.

عزم القصور الذاتي:

هو مقياس لمقاومة الجسم الصلب لأي تغير في حالته الحركية الدورانية حول محور معين، ويعتمد على كتلة الجسم وكيفية توزيع هذه الكتلة بالنسبة إلى محور الدوران، فكلما ابتعدت الكتلة عن محور الدوران ازداد عزم القصور الذاتي.

1 - عزم القصور الذاتي الخطي (Linear Inertia): هو مقياس لمقاومة الجسم

للتغير في حركته الخطية ومن أهم مميزاته:

- يعتمد على كتلة الجسم.
- يلعب دوراً هاماً في حركة الأجسام الخطية.
- يؤثر على سرعة واتجاه حركة الأجسام الخطية.

2 - عزم القصور الذاتي الدوراني (Rotational Inertia) :

هو مقياس لمقاومة الجسم للتغير في حركته الدورانية حول محور دوران معين .
أي هو كمية فيزيائية تعبر عن قدرة الجسم على مقاومة التغير في سرعة واتجاه حركة الجسم الدورانية.

يمكن تعريف عزم القصور الذاتي الدوراني رياضياً بأنه ناتج كتلة الجسم مضروب بمربع المسافة من نقطة تم فيها التأثير عليه بقوة معينة ، بحيث كلما زاد القصور الذاتي للجسم ، زادت الحاجة إلى المزيد من العزم ليتم تغيير اتجاه حركته، أو إيقافه ، يتناسب عزم القصور الذاتي تناسباً طردياً مع سرعة الجسم وكتلة الجسم .
يمكن التعبير رياضياً عن عزم القصور الذاتي في أبسط صورة من خلال المعادلة التالية :

$$I = m \times r^2$$

$I \equiv$ عزم القصور الذاتي الخطي

$m \equiv$ كتلة الجسم

$r^2 \equiv$ مربع المسافة العمودية عن محور الدوران.

يقاس عزم القصور الذاتي بوحدة: **كيلوجرام . متر مربع (kg.m²)**.

يمكن حساب عزم القصور الذاتي لنظام مركب من خلال المعادلة التالية :

$$I = \sum m \times r^2$$

أي يمكننا الحصول على عزم القصور الذاتي لنظام مركب من خلال جمع عزوم القصور الذاتي لأنظمتها الفرعية المكونة له بشرط أن تتحرك جميعها حول نفس المحور، وقد تكون هذه الأنظمة الفرعية جسيمات أو جزيئات .

إن عزم القصور الذاتي يلعب في الحركة الدورانية الدور الذي تلعبه الكتلة في الحركة الانتقالية ، وهو كمية عددية لا تحتوي على اتجاه . ويقاس بوحدة (kg.m²) أو (g.cm²).

تعتمد قيمة عزم القصور الذاتي الدوراني على :

- كتلة الجسم .
- نمط توزيع الكتل حول محور الدوران .
- المسافة العمودية من المحور إلى مركز الكتلة .

مثال (13)

أسطوانة مصمته كتلتها 4Kg ونصف قطرها 50cm تدور حول محورها بسرعة زاوية 20 rad/s أحسب الطاقة الحركية الدورانية (عزم القصور الذاتي للأسطوانة : $I = \frac{1}{2} mr^2$).

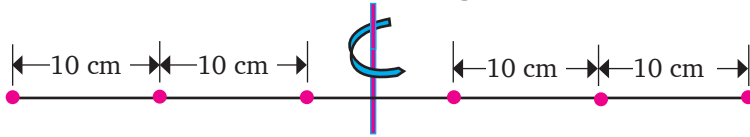
الحل :

$$I = \frac{1}{2} mr^2 = \frac{1}{2} (4)(0.5)^2 = 0.5 \text{ Kg m}^2$$

$$KE_{\text{دوران}} = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} (0.5)(20)^2 = 100 \text{ j}$$

تقويم ذاتي:

1 - ست حلقات معدنية صغيرة كتلة كل منها 20g موضوعة على قضيب مهمل الكتلة طوله 50cm بحيث كانت المسافة بين كل حلقة الأخرى 10cm . يدور القضيب حول محور يقع عند 25cm ، كما بالشكل المين .



أ - ماهو عزم القصور الذاتي للنظام
 ب - إذا أزيل الحلقتان الأقرب إلى المحور ، فما هو عزم القصور الذاتي للحلقات الأربع المتبقية ؟

ج - إذا كان النظام المكون من ستة حلقات يدور بسرعة 5rev/s فما هي الطاقة الحركية الدورانية ؟

2 - الطاقة الحركية الدورانية لجسم يدور تتناسب طردياً مع كل من :
 أ) كتلة وسرعة الجسم .
 ب) كتلة الجسم وسرعته الزاوية

(ج) عزم القصور الذاتي للجسم ومربع كتلته
(د) عزم القصور الذاتي للجسم ومربع سرعته الزاوية
تذكر:

تعتمد قيمة عزم القصور الذاتي الدوراني على :

- كتلة الجسم.
- نمط توزيع الكتلة حول محور الدوران .
- المسافة العمودية من المحور إلى مركز الكتلة.

معادلات عزم القصور الذاتي لبعض الأشكال الهندسية (الحفظ غير مطلوب):

1 - حلقة رقيقة أو أسطوانة مجوفة (محور الدوران يمر بالمركز عمودياً على مستواها).

$$I = mr^2$$



2 - عزم القصور الذاتي لكرة مصمته حول القطر :

$r \equiv$ طول نصف قطر الكرة .

$$I = \frac{2}{5} mr^2$$

$m \equiv$ كتلة الكرة .



3 - عزم القصور الذاتي لكرة مجوفة حول القطر :

$r \equiv$ طول نصف قطر الكرة .

$$I = \frac{2}{5} mr^2$$

$m \equiv$ كتلة الكرة .



4 - القصور الذاتي للأسطوانة المجوفة :

$$I = \frac{2}{5} m(R_1^2 + R_2^2)$$

$R_1 \equiv$ نصف القطر الداخلي للأسطوانة

$R_2 \equiv$ نصف القطر الخارجي للأسطوانة

$m \equiv$ كتلة الاسطوانة .

5 - عزم القصور الذاتي للمستطيل :

$$I = \frac{1}{12} m(L^2 + w^2)$$

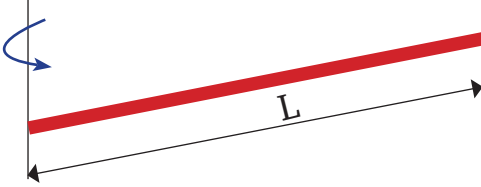
$L \equiv$ طول المستطيل

$w \equiv$ عرض المستطيل .

$m \equiv$ كتلة المستطيل .

عزم القصور الذاتي لقضيب منتظم:

$$I = \frac{1}{12} m \times L^2$$



$L \equiv$ طول القضيب .

$m \equiv$ كتلة القضيب

عزم القصور الذاتي للكرة

مثال (14) :

أحسب عزم القصور الذاتي لكرة مصمته تدور حول أحد أقطارها كتلتها 10Kg ونصف قطرها 50cm (للكرة المصمته $I = \frac{2}{5} mr^2$):

$$I = \frac{2}{5} mr^2 = \frac{2}{5} \times 10(0.5)^2 = 1 \text{Kg.m}^2$$

تقويم ذاتي :

1 - مسطرة طولها 1m وكتلتها 300g ما الفرق بين عزم القصور الذاتي حول محور عمودي عند الطرف وعزم القصور الذاتي حول محور عمودي عند المركز إذا علمت أن :

$$(I_{\text{عند المركز}} = \frac{1}{12} mL^2) \text{ و } (I_{\text{عند الطرف}} = \frac{1}{3} mL^2)$$

مثال (15)

قرص عزم قصوره الذاتي 2Kg.m^2 يدور حول محوره بزخم زاوي منتظم مقداره 50Kg.m/s^2 .

جد :

$$L = I.\omega \rightarrow \omega = \frac{L}{I} = \frac{50}{2} \therefore \omega = 25 \text{rad/s} \text{ - السرعة الزاوية :}$$

ب- طاقته الحركية الدورانية:

$$K_r = \frac{1}{2} I.\omega^2 \rightarrow K_r = \frac{1}{2} \times 2(25)^2 \therefore K_r = 625 \text{J}$$

الاتزان (Equilibrium):

في حال تأثير قوى خارجية في الجسم الصلب (محصلتها لاتساوي صفر بالضرورة)، سيتحرك هذا الجسم بتعجيل وذلك وفقاً لقانون نيوتن الثاني في الحركة ($a = \frac{F}{m}$). وعندما يكون مقدار محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم يساوي صفر ($\sum F = 0$) ، فإن هذا الجسم سوف يخضع للقانون الأول لنيوتن (قانون الاستمرارية) ففي هذه الحالة إما أن يكون الجسم **ساكناً** فيقال أن الجسم في حالة **إتزان سكوني** أو قد يكون **متحركاً** بسرعة ثابتة في خط مستقيم فيقال عندئذ أنه في حال **إتزان حركي** .

الاتزان الميكانيكي : هو الحالة التي يكون فيها الجسم متوازناً ، بحيث لا يتغير في حركته الانتقالية ولا الدورانية.

شروط الاتزان الميكانيكي :

لكي يتزن الجسم الصلب يجب أن تكون محصلة القوى الخارجية المؤثرة عليه مساوية للصفر، ولكن هذا الشرط لا يكفي لمنع الجسم الصلب من الدوران ، ولهذا يجب إضافة شرط آخر إذا أردنا للجسم الصلب أن يتزن تماماً وهو أن تكون محصلة عزوم القوى (العزوم الدورانية) بالنسبة لمحور الدوران صفراً .

رياضياً:

1 - أن يكون الجسم متزناً انتقالياً.

$$\sum F_x = 0 , \sum F_y = 0 , \sum F_z = 0$$

مثال: كتاب على طاولة :

قوة الوزن ($w = mg$).

رد الفعل العمودي من الطاولة (N).

$$N = w \rightarrow \sum F_y = 0$$

2 - أن يكون الجسم متزناً دورانياً

$$\sum \tau = 0$$

الاتزان الدوراني والانتقالي :

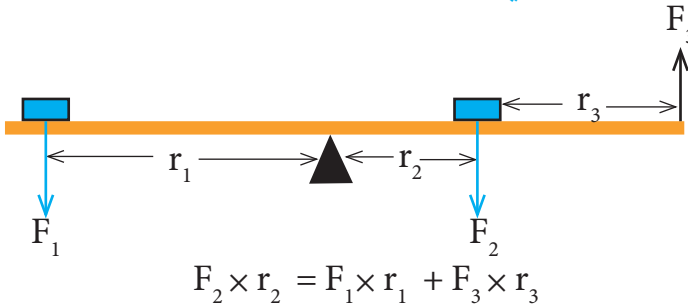
لكي يكون الجسم متزناً ، يجب أن يتحقق شرطان لإتزانه :

- شرط الاتزان الانتقالي : محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم تساوي صفر .
- شرط الاتزان الدوراني : محصلة العزوم الخارجية المؤثرة في الجسم حول محور معين تساوي صفر .

إذا كان الجسم في حالة إتزان انتقالي قد لا يكون بالضرورة أنه في حالة اتزان دوراني ، ولهذا السبب قد يبقى الجسم يدور حتى لو كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه صفراً . ومن ذلك نستنتج أن أي جسم في حالة إتزان سكوني (استاتيكي) يجب أن يكون **في حالة اتزان انتقالي واتزان دوراني في الوقت نفسه** .

يكون الجسم في حالة اتزان دوراني إذا تحقق مبدأ العزوم الذي ينص على :
مجموع العزوم في اتجاه عقارب الساعة = مجموع العزوم عكس اتجاه عقارب الساعة .

عندما تتوازن القوى المؤثرة على عارضة على جانبي محور ارتكاز يكون عزم الدوران الناتج على العارضة صفراً .
عارضة في حالة توازن دوراني :

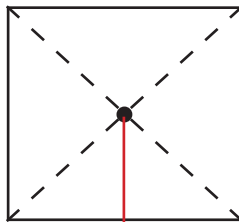


مركز الكتلة :

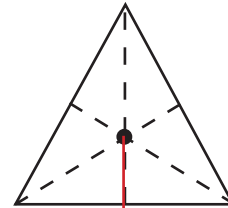
مركز الكتلة لجسم هو نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسم النقطي .

تحديد موقع مركز الكتلة لجسم ما :

الاتزان هو المفتاح لإيجاد مركز كتلة الجسم . تتزن المسطرة المترية عند منتصفها ، لذلك يكون هذا المكان هو الذي يجب أن يقع فيه مركز الكتلة .
1 - إذا كان الجسم منتظم المقطع والكثافة يكون مركز الكتلة في مركزه الهندسي .



مركز الكتلة



مركز الكتلة

2 - مركز الكتلة لبعض الاجسام يكون في الفراغ المحيط بالجسم كما في حالة .
• حلقة دائرية .

• مغنطيس على شكل حرف U .

خطوات تحديد موقع مركز الكتلة لجسم ما .

- نعلق الجسم من أي نقطة بحيث يتأرجح وعندما يتوقف من التأرجح نقوم برسم خط رأسي من نقطة التعليق .
- نقوم بتعليق الجسم من نقطة أخرى وندعه يتأرجح إلى أن يتوقف ثم نرسم خطأ رأسياً من نقطة التعليق الجديدة .
- نقطة تقاطع الخطين الرأسيين تمثل مركز الكتلة للجسم .

تذكر :

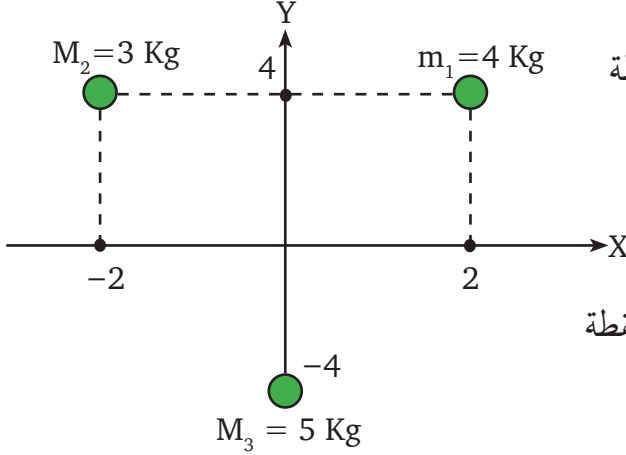
- مركز الكتلة لجسم صلب ثابت الكثافة يقع في منتصفه .
- كل الأجسام التي تتحرك حركة دورانية تدور حول محور يمر بمركز كتلتها

مركز الكتلة والاستقرار :

- يعد الجسم في حالة إستقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه .
- كلما كانت قاعدة الجسم عريضة كان الجسم أكثر استقراراً .
- إرتفاع مركز الكتلة مقارنة بقاعدة الاسناد يمكن أن يؤثر على استقرار الجسم .
- السيارة ذات الارتفاع الأكبر يكون مركز كتلتها مرتفعاً فتقلب .
- كلما كان مركز كتلة السيارة منخفضاً تكون السيارة أكثر استقراراً
- الانسان يكون أكثر استقراراً عند وقوفه مستوياً على قدميه .
- إذا كان مركز الكتلة خارج قاعدة الجسم ، كان الجسم غير مستقر والعكس صحيح .
- إذا كانت قاعدة الجسم المستقر ضيقه ومركز الكتلة فوق القاعدة فالجسم يكون مستقراً ولكن أي قوة صغيرة ستقلبه أو تعمل على تدويره .

مركز الكتلة لنظام يتألف من مجموعة من الجسيمات :

$$X_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$



جد :

أ- موقع مركز الكتلة من نقطة الأصل بالنسبة لمحور X .

ب- موقع مركز الكتلة من نقطة الأصل بالنسبة لمحور Y .

الحل :

أ- على محور X

$$X_{CM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$X_{CM} = \frac{4(2) + 3(-2) + 5(0)}{4 + 3 + 5} = \frac{1}{6} \text{ m}$$

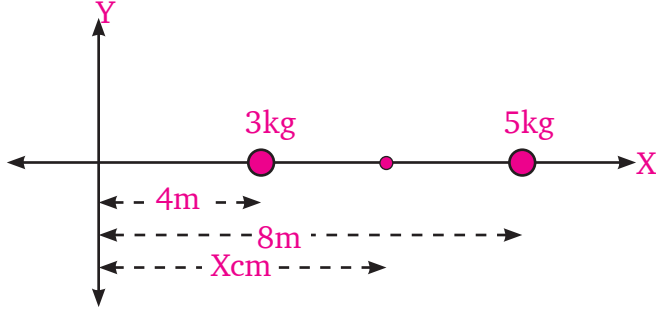
أ- على محور Y

$$Y_{CM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$Y_{CM} = \frac{4(4) + 3(4) + 5(-4)}{4 + 3 + 5} = \frac{2}{3} \text{ m}$$

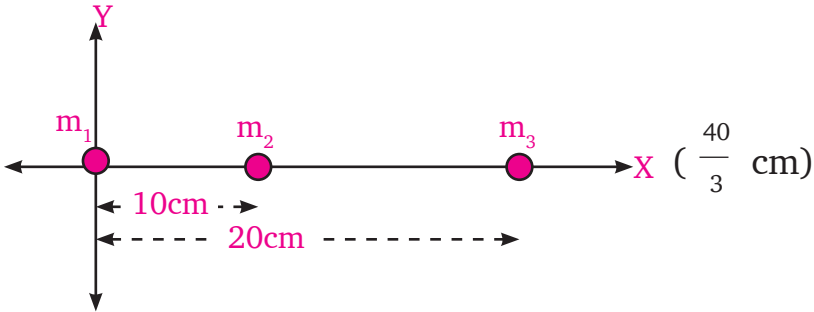
تقويم ذاتي:

1. كتلتان - 3Kg و 5kg تقعان على بعد 4m و 8m من نقطة الأصل على المحور السيني (محور X).
 أ) حدد موقع مركز الكتلتين النقطيتين (a) و (b) من نقطة الأصل.



- ب) حدد موقع مركز الكتلة من الكتلة 3Kg . $\left(\frac{3(0) + 5(4)}{3 + 5} = 2.5 \text{ m} \right)$

2. وضعت ثلاث كتل نقطية $m_1 = 1g$ و $m_2 = 2g$ و $m_3 = 3g$ على استقامة واحدة على المحور السيني (محور X) يفصل بينه مسافات متساوية وتساوي 10cm .
 - حدد موقع مركز نظام الكتل من نقطة الأصل.



تذكر:

شرطا الاتزان:

الشرط الأول: يجب أن يكون الجسم في حالة إتزان انتقالي أي أن مجموع القوى

المؤثرة على الجسم يساوي صفراً ($\sum F = 0$).

الشرط الثاني: يجب أن يكون الجسم في حالة إتزان دوراني أي أن مجموع العزوم

المؤثرة على الجسم يساوي صفراً. ($\sum \tau = 0$)

(٢) الدفع والزخم:

يُعد موضوع الدفع والزخم من المواضيع المهمة في علم الفيزياء ، حيث يُستخدم في تفسير العديد من الظواهر الطبيعية والحركية في حياتنا اليومية . يُعد فهم هذا الموضوع من الأساسيات التي يجب على الطالب إدراكها لفهم علم الحركة والقوى المؤثرة في الأجسام .

مفهوم الزخم (كمية الحركة): الزخم هو كمية فيزيائية تُعبر عن مدى صعوبة إيقاف جسم متحرك . بمعنى أنه مقدار الحركة التي يكتسبها الجسم نتيجة الدفع ، وهو كمية متجهه تأخذ دائماً اتجاه سرعة حركة الجسم ووحدته قياسها (Kg.m/s) ويتم حساب الزخم من خلال المعادلة التالية:

$$\text{الزخم} = \text{الكتلة} \times \text{السرعة}$$

عندما يتحرك جسم كتلته m بسرعة v فإنه يكتسب كمية حركة P تُعرف على النحو التالي:

$$P = mv$$

حيث P كمية متجهة تقاس بوحدته Kg. m /s .

ومن خلال المعادلة نلاحظ أن الزخم يتناسب طردياً مع سرعة الجسم وكتلته، فكلما زاد أحدهما أو كلاهما تزداد كمية الزخم ، وعلى سبيل المثال : الجسم ذو الكتلة الكبيرة يحقق زخم أكبر من الجسم ذو الكتلة الصغيرة .

يمكن صياغة قانون نيوتن الثاني ليشمل العلاقة بين القوة المؤثرة على جسم وكمية حركته :

$$F = m.a = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

أي أن معدل التغير الزمني في كمية الحركة لجسم يتناسب طردياً مع القوة المؤثرة عليه. إذا كانت $F = 0$ ، فهذا يعني أن P ثابت .

الزخم نوعان :

الزخم الخطي : والذي يفسر من خلال حركة الجسم الخطية ويحسب من المعادلة أعلاه.

الزخم الزاوي : والذي ينتج من خلال حركة الجسم بزاوية ما ويتم حسابه من خلال القانون أدناه:

الزخم الزاوي = عزم القصور الذاتي $\times$ السرعة الزاوية

مثال (1)

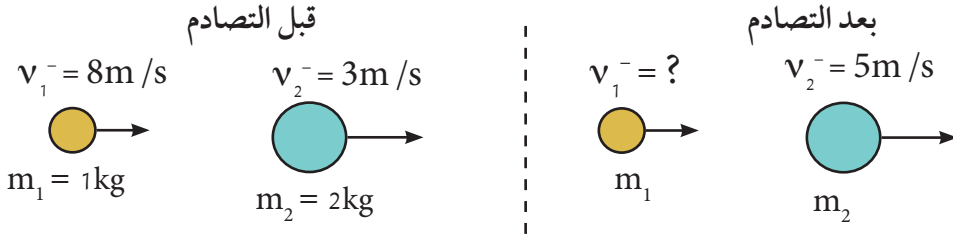
جسم كتلته 3Kg يتحرك في اتجاه محور X الموجب بسرعة 10m/s.
أ- أحسب زخم الجسم :

$$P = mv = 3 \times 10 = 30 \text{ Kg.m/s}$$

ب- ما هو اتجاه الزخم ؟ بنفس اتجاه محور X الموجب .

مثال (2):

الشكل المجاور يوضح كرتين ، قبل وبعد التصادم .
أحسب سرعة الكرة الأولى بعد التصادم .



$$\Sigma p_{\text{بعد}} = \Sigma p_{\text{قبل}}$$

الحل :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1^- + m_2 v_2^-$$

$$(1)(8) + (2)(3) = (1)v_1^- + (2)(5)$$

$$v_1^- = 4 \text{ m/s (بنفس اتجاهها الأصلي)}$$

الربط بين الطاقة الحركية والزخم:

$$KE = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow KE = \frac{1}{2} mv^2 \left(\frac{m}{m} \right) = \frac{1}{2} \frac{m^2 v^2}{m} = \frac{(mv)^2}{2m}$$

$$\therefore KE = \frac{p^2}{2m}$$

حيث : $P \equiv$ الزخم (كمية التحرك الخطية)

- إذا زادت سرعة جسم إلى الضعف فإن :
- كمية الحركة (الزخم) تزداد إلى الضعف .
- طاقة الحركة تزداد أربعة أضعاف .

مفهوم الدفع :

الدفع هو التأثير المتبادل بين جسمين بحيث ينتج عنه قوة كبيرة خلال فترة زمنية قصيرة جداً، ويساوي التغير في كمية حركة الأجسام المتصادمة ، ووحدة قياسه هي نفس وحدة قياس كمية الحركة .

$$I = \Delta P = F \cdot \Delta t$$

- هذا التغير يتم بشكل سريع من صفر إلى أعلى قيمة ثم يعود للصفر مرة أخرى .
تعتبر هذه القوة أكبر من أي قوة أخرى مؤثرة خلال التصادم . أمثلة :
- المطرقة والمسمار .
 - كرة التنس والمضرب .

إذا أثّرنا بقوة على جسم لمدة زمنية محددة فإننا نُحدث فيه دفْعاً . وكلما زادت القوة أوزاد الزمن الذي تؤثر به هذه القوة ، زاد الدفع الناتج .
يعتبر الدفع من الكميات الفيزيائية المتجهه والتي تقاس بوحدة (النيوتن . ثانية = N.S).

يصف مفهوم الدفع تأثير القوة المتبادلة بين جسمين أثناء تلامسهما . وفقاً لقانون نيوتن الثالث، يؤثر كل جسم في الآخر بقوة مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه، وتؤثر هاتان القوتان خلال الفترة الزمنية نفسها. لذلك يكون الدفع المتبادل بين الجسمين المتصادمين في نظام مغلق مساوياً في المقدار ومتعاكساً في الاتجاه، مما يؤدي إلى تغير كمية تحرك كل جسم بمقدار مساوٍ للتغير في كمية تحرك الجسم الآخر، ولكن في الاتجاه المعاكس .

وبما أن الدفع يساوي التغير في كمية التحرك، فإن التغير في كمية تحرك كل جسم أثناء التصادم يكون مساوياً في المقدار ومعاكس في الاتجاه للتغير في كمية تحرك الجسم الآخر .

نظرية الدفع الزخم :

إن العلاقة بين الدفع والزخم (كمية الحركة) تفسر على أن القوة المؤثرة بزم من معين على جسم تؤدي إلى اكسابه كمية حركية ، إن مقدار هذه الكمية تعتمد على مقدار قوة الدفع. لذلك فإن تغيير كمية الحركة يمكن أن يتحقق من خلال التغير في القوة المؤثرة، أي كلما كانت هناك قوة أكبر كان هناك تسارع أكبر حسب قانون نيون الثاني (قانون التعجيل).

«الزخم الكلي لمجموعة من الأجسام يبقى ثابتاً ما لم تؤثر فيها قوى خارجية». وهذا يُستخدم كثيراً في دراسة التصادمات بين الأجسام ، سواء كانت تصادمات مرنة أو غير مرنة .

التطبيقات العملية لنظرية الدفع :

- 1 - الرياضة : مثل رياضة الملاكمة ، حيث تعتمد على تأثير القوي خلال فترة قصيرة لإحداث دفع كبير.
- 2 - تصادم السيارات: دراسة أثر التصادم يعتمد على فهم الزخم وكيفية انتشاره بين الأجسام.
- 3 - إطلاق الصواريخ : تعتمد على دفع الغاز للخلف لينطلق الصاروخ للأمام . وأدناه تحليل معادلة دفع القوة والتي تساوي التغير في كمية الحركة :

$$\text{دفع القوة} = \text{القوة} \times \text{الزمن}$$

$$\Delta P = F \Delta t \quad \text{لكن} \quad F = m \cdot a \quad \therefore \Delta P = m \cdot a \cdot \Delta t$$

$$\alpha = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \quad \text{لكن} \quad \Delta P = m \left(\frac{v_f - v_i}{\Delta t} \right) \cdot \Delta t$$

$$\therefore \Delta P = m(v_f - v_i)$$

إن قوة الدفع = التغير في كمية الحركة

ونرى من المعادلة أعلاه أن الدفع يتناسب طردياً مع فرق السرعة في حالة ثبوت الكتلة ، وأن قوة الدفع يساوي التغير بالزخم (كمية الحركة) ولغرض تحقيق أثر فعال للقوة كما ذكرنا سابقاً لابد من تنفيذها في أقل فترة زمنية ممكنة .

مثال (3):

قوة مقدارها 20N أثرت أفقياً على جسم ساكن كتلته 4Kg لمدة ثانيتين . أوجد
أ- مقدار الدفع الناتج على الجسم.

$$I = F \cdot (\Delta t) = (20\text{N})(2\text{s}) = 40 \text{ N.s}$$

ب- الزخم الذي اكتسبه الجسم :

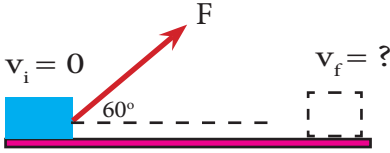
$$v_f = v_i + at \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{20}{4} = 5\text{m/s}^2 \quad \therefore v_f = 0 + 5(2) = 10\text{m/s}$$

$$\Delta P = P_f - P_i = m(v_f - 0) \rightarrow \Delta P = 4 \times (10 - 0) = 40 \text{ kg.m/s}$$

من أ و ب نستنتج أن الدفع = التغير في الزخم . $I = \Delta P = 40 \text{ kg.m/s}$

مثال (4) :

جسم ساكن كتلته 3 kg على سطح أفقي أملس، أثرت على الجسم قوة مقدارها 10N باتجاه يميل على الأفقي بزاوية 60° لمدة 6s أحسب :
أ- الدفع الحاصل على الجسم خلال هذه الفترة .



$$I = F \cdot (\Delta t) = (F \cos 60)(6)$$

$$I = (10 \times 0.5)(6) = 30 \text{ N.s}$$

ب- الزخم المكتسب :

$$v_f = v_i + at \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{F \cos 60}{3} = \frac{5}{3} \text{ m/s}^2$$

$$\therefore v_f = 0 + \frac{5}{3} (6) = 10 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = P_f - P_i = mv_f - m(0) = 3 \times 10 = 30 \text{ kg.m/s}$$

مثال (5) :

قام لاعب بضرب قرص هوكي ساكن كتلته 0.12Kg فأثر فيه بقوة ثابتة مقدارها 30N في زمن قدره 0.16s أحسب السرعة التي سيتجه بها القرص إلى الهدف .

$$F \times t = \Delta P \rightarrow F \times t = m (v_1 - v_2)$$

$$30 \times 0.16 = 0.12 (v_2 - 0) \rightarrow 4.8 = 0.12v_2$$

$$\therefore v_2 = 40 \text{ m/s}$$

مثال (6) :

أُستُخدمت قوة مقدارها 1200N لدفع ثقل بسرعة 6m/s وبزمن مقداره 0.5s أحسب كتلة الثقل .

الحل :

$$F \times t = mv \rightarrow m = \frac{F t}{v} = \frac{1200 \times 0.5}{6} = 100 \text{ kg}$$

تقويم ذاتي:

1 - أثرت قوة مقدارها 180N على كرة بولينج كتلتها 3Kg خلال فترة زمنية 0.4s. أحسب :

- أ- التغير الحاصل في زخم الكرة
ب- ما التغير الحاصل في سرعتها المتجهة:

الزخم والقصور الذاتي :

من الضروري جداً معرفة المفاهيم والعلاقة بين الزخم والقصور الذاتي ، وكما ذكرنا سابقاً أن مفهوم الزخم يتعلق بكمية الحركة التي يمتلكها الجسم نتيجة قوة الدفع التي يتعرض لها الجسم ، ويعتمد الزخم على وجود عامل السرعة في حسابه ومدى تأثير هذه السرعة المتغيرة في قيمة واتجاه زخم الجسم لها ويعبر القصور الذاتي في الحركات الخطية عن مقاومة الجسم للحركة أو ميل الجسم إلى البقاء في حالة السكون (قانون نيوتن الأول)، ما لم تؤثر عليه قوى خارجية تغير ذلك ويتوقف هذا على مقدار كتلة الجسم . وبالنسبة إلى الحركات الدائرية يستخدم مصطلح عزم القصور الذاتي بدلاً من القصور الذاتي ، وذلك لأن مقاومة الجسم للحركة لا تعتمد على الكتلة فقط وإنما على بعده العمودي عن محور الدوران ، ونرى ذلك في الحركات والفعاليات الرياضية ذات التحرك الزاوي والذي يمكن من خلاله تحديد كمية الحركة الزاوية للجسم، على سبيل المثال القلبات الهوائية في الجمناستيك . وكيف أن في الحركات الزاوية، يمكن زيادة الزخم الزاوي عن طريق تغيير محور دوران الجسم أو بتغيير شكله (تقريب أجزاء الجسم من محور الدوران) والعكس صحيح .

$$\text{عزم القصور الذاتي} = \text{الكتلة} \times \text{نق}^2 \dots\dots\dots I = mr^2$$

حفظ الزخم (حفظ كمية التحرك):

تعتبر قوانين حفظ الكتلة -الطاقة والزخم من المبادئ الأساسية للفيزياء وهما مفهومان فيزيائيان مختلفان، حيث يتعلق حفظ الزخم بالحركة والتصادم بين الأجسام، بينما يتعلق حفظ الكتلة-الطاقة بالطاقة الكلية للنظام، حيث يمكن للكتلة أن تتحول إلى طاقة والعكس. وأن من الخصائص المهمة لكلاهما هو أنها كميتان محفوظتان وثابتتان في النظام المغلق.

التصادم Collision:

هو تفاعل قصير جداً بين جسمين أو أكثر يتبادلان قوة داخلية خلال فترة زمنية ضئيلة، مما يؤدي إلى تغير في الزخم وقد يحدث تغير في الطاقة الحركية .

يتأثر التصادم الحاصل بين جسمين بـ .

- طبيعة الأجسام المتلامسة (مرنة أو عديمة المرونة) .
- كتل الأجسام المتصادمة .

من الأمثلة على التصادمات :

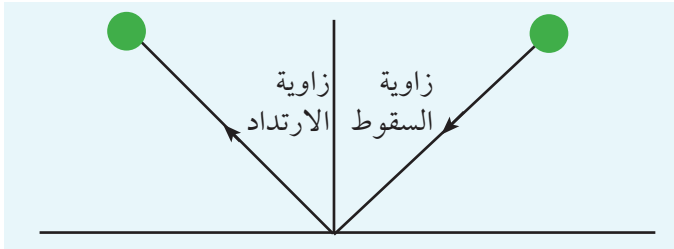
- تصادم السيارات في الحوادث المرورية .
- تصادم كرات البلياردو .
- تصادم جزيئات الهواء فيما بينها أو بجدار الوعاء .
- تصادم المذنبات والكويكبات في الفضاء .
- تصادم الالكترونات بذرات الموصل والتي تمثل مرور التيار الكهربائي .

خصائص التصادم :

- 1 - قوى التصادم داخلية (بين الأجسام المتصادمة) .
- 2 - القوى الخارجية (مثل الاحتكاك) مهملة خلال زمن التصادم القصير .
- 3 - حفظ الزخم (الزخم قبل التصادم = الزخم بعد التصادم) .
- 4 - الطاقة الحركية قد تحفظ أو لا تحفظ (حسب نوع التصادم) .

الارتداد Recoil:

إن مصطلح الارتداد يستخدم لوصف عودة جسم اصطدم بجسم آخر ثم ابتعد عنه بسرعة معينة إلى المسار الأصلي أو أي مسار آخر ، وقد وصلت الكثير من البحوث والدراسات إلى أن الأجسام العالية المرونة تكون زاوية ارتدادها مقاربة إلى زاوية سقوطها .



ظاهرة الارتداد من الظواهر الطبيعية التي تحدث في حياتنا كثيراً ومن الأمثلة عليها :

- الارتداد العكسي الذي يحدث لبعض الأسلحة عند إطلاق الرصاص .
 - عند القفز نقوم بدفع الأرض إلى الخلف فتندفع أجسامنا نحو الامام .
 - عند طرد الصاروخ للعازات نحو الخلف سيندفع الصاروخ نحو الأعلى .
- تعتمد ظاهرة الارتداد على قانون نيوتن الثالث (الفعل ورد الفعل) .
- حساب السرعة النهائية للأجسام المرتدة بافتراض أن الجسمين قبل التصادم كانا ساكنين :

$$P_{\text{الجسم الأول}} = -P_{\text{الجسم الثاني}} \rightarrow m_1 v_{1f} = m_2 v_{2f}$$

$$v_{1f} = - \frac{m_2}{m_1} v_{2f}$$

$$v_{2f} = - \frac{m_1}{m_2} v_{1f}$$

ويمكن التأكد من مقدار مرونة الجسم من خلال التعرف على قيمة معامل الارتداد (الاسترجاع) ، فهو مؤشر تتراوح قيمته بين (0) و (1) لقياس مدى أو درجة الحفاظ على الطاقة الحركية أثناء الاصطدام إذ كلما إقتربت قيمة الارتداد من الواحد الصحيح كلما كان الاصطدام أكثر مرونة ومؤشر إيجابي لحفظ الطاقة .

عندما تتصادم أجسام مرنة يكون معامل الارتداد أقرب إلى الواحد (1) .

$$e = \frac{\text{ارتفاع السقوط}}{\text{ارتفاع الارتداد}} \rightarrow \sqrt{\frac{h_f}{h_i}}$$

معامل الارتداد: هو مقياس لمدى ارتداد جسمين بعد التصادم .

$$e = \frac{v_{2f} - v_{1f}}{v_{1i} - v_{2i}}$$

$$\begin{aligned} v_{1i} &\equiv \text{سرعة الجسم الأول قبل التصادم} \\ v_{2i} &\equiv \text{سرعة الجسم الثاني قبل التصادم} \\ v_{1f} &\equiv \text{سرعة الجسم الأول بعد التصادم} \\ v_{2f} &\equiv \text{سرعة الجسم الثاني بعد التصادم} \end{aligned}$$

كلما قلت قيمة الارتداد أصبح الاصطدام غير مرن وبالتالي ينتج عن ذلك عدم حفظ أوفقدان بالطاقة ، ومن الأمثلة الشائعة ألعاب المضرب لتوضيح الارتداد. يمكن أن نلاحظ الارتداد في أنواع مختلفة من الفعاليات وعلى سبيل المثال في الضربة الأمامية لتنس الطاولة إذ تمثل قوة المضرب على الكرة القوة التطبيقية التي ينتج عنها حركة الكرة ومن ثم اصطدامها بسطح الطاولة أما عملية ارتداد الكرة فيحدث نتيجة رد الفعل الذي يسببه سطح الطاولة .

العوامل التي تؤثر على ارتداد الأجسام بعد الاصطدام :

- نوع السطح.
- كتلة الجسم .
- سرعة الجسم.
- اتجاه القوة المضادة (رد الفعل) .
- الاتصال بالسطح.

مثال :

تصطدم كرة تنس كتلتها 100g بجدار معين بسرعة 20m/s فإذا ارتدت بسرعة 15m/s أحسب معامل الارتداد .

الحل :

$$v_{1i} = 20 \quad , \quad v_{1f} = 15 \quad , \quad v_{2i} = 0 \quad , \quad v_{2f} = 0$$

$$e = \frac{v_{2f} - v_{1f}}{v_{1i} - v_{2i}} = \frac{0 - (-15)}{20 - 0} = \frac{15}{20} = 0.75$$

مثال :

كرة مطاطية تسقط من ارتفاع 2m وترتد إلى ارتفاع 1.5m أحسب معامل الارتداد.

$$e = \sqrt{\frac{h_f}{h_i}} = \sqrt{\frac{15}{20}} = \sqrt{0.75}$$

تقويم ذاتي :

- سيارة (a) تتحرك بسرعة 70 ميلاً في الساعة إصطدمت بمؤخرة سيارة أخرى (b) كانت تسير بسرعة 50 ميلاً في الساعة على طريق سريع . بعد التصادم أصبحت السيارة (b) تسير بسرعة 40 ميل في الساعة في نفس الاتجاه

بينما أصبحت السيارة (a) تسير بسرعة 60 ميل في الساعة ما هو معامل الارتداد بين السيارتين (e = 1)

تحليل التصادمات (التصادمات المرنة وعديمة المرونة) :

1 - التصادم المرن (Elastic Collision):

وفي هذا النوع من التصادم تحفظ الطاقة الحركية والزخم للأجسام المتصادمة، لا يلحق أي ضرر بالأجسام المتصادمة . فعندما تصادم كرتين كتليتهما m_1 ، m_2 تتحركان بسرعتين ابتدائيتين v_1 ، v_2 ، على الترتيب ، سوف نحصل على معادلتين الأولى **لقانون حفظ الزخم** ، والثانية **لقانون حفظ الطاقة الحركية** ، وكمثال على ذلك تصادم كرات لعبة البليارد مع بعضها وكذلك تصادم جزيئات الغاز بجدار الحاوية.

• مجموع كمية الحركة للجسمين قبل التصادم = مجموع كمية الحركة للجسمين بعد التصادم

بعد التصادم $[m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}]$ = قبل التصادم $[m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}]$
هذا يعني أن كمية الحركة التي يفقدها أحد الجسمين المتحركين نتيجة التصادم، سيكتسبها الجسم الآخر.

وبشكل عام : كمية الحركة الكلية لمنظومة ميكانيكية معزولة عن أي مؤثر خارجي لا تتغير.

• مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم = مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم

للمناقشة: هل يمكن لجسم أن يكون له زخم دون أن تكون له طاقة حركية؟

2 - التصادم غير المرن (Inelastic Collision):

• وخلال هذا التصادم يبقى الزخم محفوظ ولكن الطاقة الحركية غير محفوظة حيث يحدث فقدان في الطاقة الحركية بسبب التصادم ، وكمثال على ذلك تصادم كرة المطاط بالجدار حيث الطاقة الحركية للكرة المرتدة ستكون أقل من الطاقة الحركية للكرة المقذوفة على الجدار . ولذلك فإن قانون حفظ الزخم هو الوحيد الذي يمكن تطبيقه وكما يلي :

• مجموع كمية الحركة للجسمين قبل التصادم $\neq$ مجموع كمية الحركة

للجسمين بعد التصادم
 بعد التصادم $[m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}] =$ قبل التصادم $[m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}]$

• مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $\neq$ مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم

بعد التصادم $[m_1 v_{1f}^2 + m_2 v_{2f}^2] \neq$ قبل التصادم $[\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2]$

٣ - التصادم غير المرن التام (Perfect Inelastic Collision) ...

وخلال هذا التصادم يندمج الجسمان ليكونوا كتلة واحدة بعد التصادم ويكون الزخم محفوظ إلا أن الطاقة الحركية غير محفوظة ، وبذلك فإن قانون حفظ الزخم هو الوحيد الذي يمكن تطبيقه وكما يلي :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

حيث الكتلة الموحدة للجسمين بعد التصادم $(m_1 + m_2)$ تسير بسرعة موحدة نهائية (v_f) .

وكمثال على ذلك ، التصادم الذي يحصل بين النيازك والكواكب الكبيرة وكذلك التصادم بين كتلتين من العجين ، حيث في كلا المثالين السابقين تندمج الكتلتان بعد التصادم لتكون كتلة موحدة.

تذكر:

كمية الحركة تكون محفوظة في جميع التصادمات أما طاقة الحركة فعادة لا تكون محفوظة في التصادمات لأنها تتحول إلى شكل آخر من الطاقة ك:

- الطاقة الحرارية .
- الطاقة الصوتية .
- طاقة لتشويه الجسم .
- أما الطاقة الكلية فتبقى ثابتة.

مثال (7)

سيارة كتلتها 1500Kg تصطدم بجدار كما هو موضح بالشكل. السرعة الابتدائية للسيارة $v_1 = 4.5 \text{ m/s}$ باتجاه اليسار السرعة النهائية $v_f = 2.65 \text{ m/s}$ باتجاه



اليمين.

- أ- جد الدفع الناشئ عن التصادم
ب- إذا كان متوسط القوة المبذولة على السيارة هي $F = 2m \times 10^5 N$ جد زمن التصادم Δt .

الحل :

أ) نعتبر أن الاتجاه الموجب هو الاتجاه اليمين والسالب إلى اليسار

$$I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1$$

$$I = m(v_2 - v_1) = 1500 [2.5 - (-4.5)] = 10500 \text{ kg.m/s}$$

ب)

$$I = F \cdot \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{I}{F} = \frac{10500}{2 \times 10^5} = 52.5 \times 10^{-3} \text{ sec}$$

مثال :

عربة قطار كتلتها 2000kg تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة 2m/s
إصطدمت بها عربة أخرى كتلتها 3000Kg تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة 5m/s
وتحركتا معاً كجسم واحد ، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f^-$$

$$(2000)(2) + (3000)(5) = (2000 + 3000) v_f^-$$

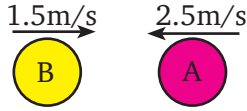
$$v_2^- = \frac{19000}{5000} = \frac{19}{5} = 3.8 \text{ m/s}$$

تقويم ذاتي :

1 - انسخ الجدول واختر الكلمات الصحيحة من كل زوج من الكلمات فيه.

نوع التصادم	التصادم المرن	التصادم غير المرن
كمية الحركة	محفوظة / غير محفوظة	محفوظة / غير محفوظة
طاقة الحركة	محفوظة / غير محفوظة	محفوظة / غير محفوظة
الطاقة الكلية	محفوظة / غير محفوظة	محفوظة / غير محفوظة

2 - الشكل المقابل لكرتين متماثلتين كتلة كل منهما 4Kg على وشك التصادم مباشرة وجهاً بوجه، بعد التصادم تترد الكرة (A) بسرعة 1.5m/s وترتد الكرة B بسرعة 2.5m/s .



- أ- أحسب كمية الحركة لكل كرة قبل التصادم.
- ب- أحسب كمية الحركة لكل كرة بعد التصادم.
- ج- هل كمية الحركة الكلية محفوظة في التصادم؟

3 - أكتب خصائص التصادم غير المرن :

- يحدث فيه فقد لطاقة الحركة .
- مجموع طاقة الحركة قبل التصادم **أكبر** من مجموع طاقة الحركة بعد التصادم .
- **مثال عليه :** عندما يكون الجسمان جسم واحد بعد التصادم .

الدفع في الفضاء Propulsion in Space

«لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه» .. إنه ببساطة قانون نيوتن الثالث للحركة ، و مايجري للصواريخ يعتمد أساساً على هذا المبدأ، فلنتخيل علبة مغلقة بإحكام ووسطها تنتج انفجاراً صغيراً يمكن لجدرانها الداخلية تحمله دون أن تنفجر الانفجار يتبعه موجة ضغط صغيرة تصطدم بالجدران الداخلية للعلبة ... لكن العلبة لن تتحرك لأن مقدار الضغط عند كل جانب يكون مساوياً للضغط في الجانب المقابل .. بعدها نحدث ثقباً في أحد الجوانب ، الذي سيحدث عندئذٍ مقداراً من الهواء المضغوط سيخرج من العلبة وبالتالي فإن جدار الجانب الذي فيه الثقب سيستقبل ضغطاً أقل من الجانب المقابل ، ما سينتج عنده حركة للعلبة في اتجاه الجدار المقابل للثقب.

ومنه فإنه من البديهي أن الصاروخ والقوة الدافعة له ستكون متعلقة بكمية الهواء الخارج وسرعة خروجه من عادم المحرك الدافع ...
يولد الصاروخ قوة دفع ذاتي عن طريق حرق الوقود وتحويله إلى غاز ساخن عن طريق محركات الصواريخ ، سيندفع هذا الغاز من مؤخرة المحرك مما يسمح للصاروخ بالتحرك للأمام بقوة الدفع .

ومن قانون حفظ الزخم الخطي:

$$\text{كمية التحرك قبل الانطلاق} = \text{كمية التحرك بعد الانطلاق}$$

التغير في كمية التحرك للصاروخ = التغير في كمية التحرك للغازات

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$\text{التغير في كمية دفع الصاروخ} \equiv m_1 \Delta v_1$$

$$\text{التغير في كمية دفع الغازات} \equiv m_2 \Delta v_2$$

عند التعويض في الحسابات نهمّل الإشارة السالبة

دفع الصاروخ = دفع الغازات

$$F.t = m_1 v_1 = m_2 v_2$$

يختلف الصاروخ عن المحرك النفاث ، فالمحرك النفاث يحتاج إلى أكسجين الهواء ليعمل ، أما المحرك الصاروخي فيحمل كل ما يحتاجه ، ولذلك يعمل في الفضاء حيث لا يوجد هواء .

تقويم الفصل :

- 1 - تدور اسطوانة حول محورها بمعدل 1200rev/min .
 - أ- التردد الزاوي : 20Hz =
 - ب- السرعة الزاوية المتجهة
 - ج- مقدار الزاوية المزاحة بعد 2.5s
 - 2 - يتناقص دوران مروحة من 480 rev/min إلى 60 rev/min خلال 4s أحسب :
 - أ- السرعة الزاوية الابتدائية
 - ب- السرعة الزاوية النهائية
 - ج- التسارع الزاوي
 - 3 - تدور عجلة بسرعة زاوية ابتدائية 10 rad/s وتسارع زاوي 2 rad/s² أحسب السرعة الزاوية بعد 5 ثواني من بدء الحركة .
 - 4 - عجلة نصف قطرها 40 cm تدور على محور ثابت وتزايد سرعتها بانتظام من السكون حتى تصل إلى 600 rev/min في زمن قدره 20s . جد :
 - أ- السرعة الزاوية : (20π rad/s)
 - ب- التعجيل الزاوي .
 - ج- التعجيل المماسي لنقطة على حافة العجلة .
- $$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta\tau} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{20\pi - 0}{20} = \pi \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} = 3.14 \text{ rad/s}^2$$
- $$a = r\alpha = 0.4 \times 3.14 = 1.256 \text{ m/s}^2$$
- 5 - بدأ محرك كهربائي دورانه من السكون وبعد مرور 10s بلغت سرعته 1200rev/min
 - أ- ما مقدار تعجيله الزاوي (4π rad/s²)
 - ب- الإزاحة الزاوية التي قطعها (200π rad)
 - 6 - أكمل :
 - 1 - قوة غير حقيقية تدفع الجسم خارج مساره الدائري .
 - 2 - القوة الطاردة المركزية تنتج عن للأجسام .

- 7 - تنقسم الأطر المرجعية إلى قسمين هما:
- أ- كما في حالة إطار يتحرك بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم .
- ب- كما في حالة إطار مرجعي دوراني .
- 8 - إذا تصادم جسمان متماثلان في الكتلة أحدهما ساكن و الآخر متحرك تصادماً عديم المرونة فأثبت أن طاقة الحركة للجسمين قبل التصادم تساوي ضعف طاقة الحركة للجسمين بعد التصادم .
- 9 - يتحرك جسم كتلته 4Kg على خط مستقيم بسرعة 10m/s اصطدم بجسم آخر كتلته 8Kg بسرعة 6m/s في نفس الاتجاه وأصبحت سرعة الجسم الصغير بعد التصادم 4m/s في نفس اتجاهه السابق عين سرعة الجسم الأكبر واتجاهه بعد التصادم .
- 10 - كرة كتلتها 1Kg تسير (في الاتجاه الموجب) بسرعة 12m/s، فاصطدمت بكرة أخرى كتلتها 2Kg تسير في الاتجاه المعاكس بسرعة 24m/s . إذا علمت أن سرعة الكرة (1Kg) بعد التصادم تساوي 36m/s في الاتجاه المعاكس لحركتها .
- أ- أحسب سرعة الكرة (2Kg) بعد التصادم ؟ .
- ب- حدد نوع التصادم ؟ .
- 11 - سيارة كتلتها 2000Kg و أخرى كتلتها 1000Kg تتحركان في اتجاهين متعاكسين بسرعة 40m /s فاصطدمتا والتصقتا معاً أحسب:
- أ- السرعة المشتركة للسيارتين .
- ب- ما نوع التصادم .
- ج- الطاقة الحركية المفقودة .

الوحدة الأولى

الفصل الثاني

الشغل والطاقة

- ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟
- بعد دراستك لهذا الفصل والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:
- تصف العلاقة بين الشغل والطاقة؛
- تستخدم المعادلات الرياضية لحساب الشغل، الطاقة الكامنة والطاقة الحركية؛
- تتعرف العلاقة بين الكميات الفيزيائية (القدرة السرعة، الشغل)؛
- تتعرف المفاهيم والعلاقات المرتبطة بمعادلات الشغل والطاقة؛
- تطبق العلاقات والمعادلات والقوانين المرتبطة بالشغل والطاقة؛
- توظف المفاهيم والمعادلات والعلاقات في تطبيقات علمية عملية متعلقة بالشغل والطاقة؛
- تبين المقصود من إمتلاك الجسم للطاقة؛
- تتعرف طاقة الحركة وطاقة الوضع؛
- تبين كيفية تخزين طاقة الوضع المرونية؛
- تحل مسائل بإستخدام قانون حفظ الطاقة.

الأهمية:

- الشغل والطاقة يفسران كيف ولماذا تتحرك الأجسام؛
- يدخلان في كل تطبيقات الحياة والتكنولوجيا؛
- يساعدان في حل المسائل بسهولة وفهم أعمق للفيزياء.

الفكرة العامة:

- الشغل يسبب تغير في الطاقة؛
- الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، بل تتحول من شكل إلى آخر؛
- كل الظواهر الحركية يمكن فهمها من خلال الشغل والطاقة.

المفردات الجديدة:

- الشغل - الطاقة - الطاقة الحركية - نظرية الشغل - الجول - القدرة - الواط - طاقة الحركة الدورانية - طاقة الوضع الجاذبة - طاقة الوضع المرونية - قانون حفظ الطاقة - الطاقة الميكانيكية.

نشاط تمهيدي:

السؤال: ما العوامل التي تؤثر في طاقة الأجسام الساقطة رأسياً ومقدرتها على انجاز شغل؟

الأدوات:

كرتين معدنيتين مختلفتين في الكتلة - مسطرة أو شريط قياس - رمل (ملاحظة الأثر)

خطوات التجربة :

تأثير الكتلة: أرفع الكرتين لإرتفاع ثابت ، اسقط الكرتين معاً في نفس الوقت على الرمل لاحظ الأثر (عمق الحفرة).

تأثير الإرتفاع : خذ كرة واحدة ، اسقطها من إرتفاعين مختلفين ثم قارن الأثر (عمق الحفرة).

الملاحظات :

تأثير الكتلة : الكرة الأثقل تعمل أثر أكبر .

تأثير الإرتفاع : الكرة الساقطة من إرتفاع أكبر تعمل أثر أكبر

الاستنتاج : يتأثر الشغل المنجز بالكتلة والإرتفاع وكذلك الطاقة .

درسنا في الصف الأول كيف ولماذا تتحرك الأجسام ، ووجدنا أنه عندما تؤثر محصلة قوى لا تساوي الصفر على جسم فإنه يتحرك بشكل أو بآخر. ونتساءل الآن ما الفائدة من حركة وتحريك الأجسام؟ ولماذا نشغل أنفسنا بهذه التفاصيل؟ تأتي الاجابة في شقين ؛ **أولهما** أن الإنسان بفضوله الدائم يسعى لتفسير الظواهر الطبيعية وأسبابها وما ينتج عنها. **وثانيهما** أن الإنسان يريد الاستفادة بما أنعم الله عز وجل عليه وسخره له، فهو يريد سيارة تنقله من مكان لآخر ، ومصابيح كهربائية لإنارة المدن والبيوت ، وغير ذلك . وبالطبع فإن كل هذا لن يتحقق ما لم نعرف كيف نتحكم بالأشياء ونستفيد من حركاتها ، سواء كانت إلكترونات صغيرة تعطينا إشارات كهربائية أو أجسام كونية تسبب دوران الأرض وتعاقب الليل والنهار.

توصف جميع أنواع الحركة بدلالة القوى المسببة لها ، ولكن مفهوم الشغل والطاقة اللذين نقدمهما في هذا الفصل يمكنهما تبسيط وصف الحركة تبسيطاً كبيراً ، وأحد أسباب ذلك أن الشغل والطاقة كميتان عدديتان (غير متجهتين) ولذلك فالتعامل معهما رياضياً أسهل بكثير من التعامل مع متجهات القوى.

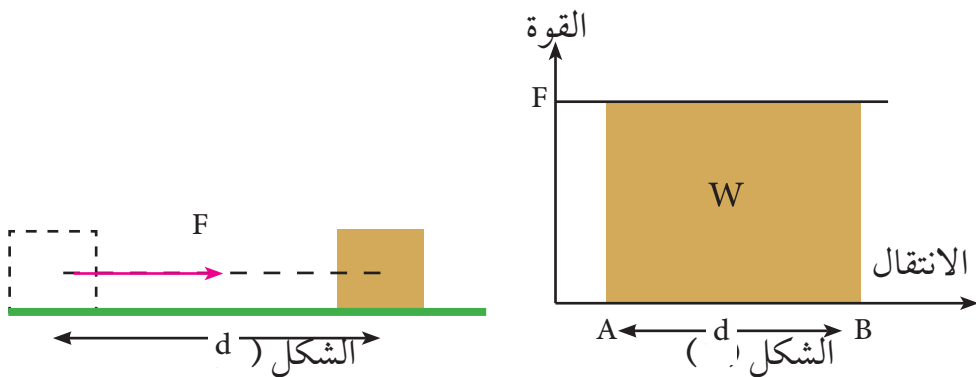
والأهم من ذلك سنرى أن للطاقة أشكالاً عديدة وأنها توجد في كل فروع الفيزياء . فمن المهم جداً أن نفهم بأنه لا يمكن عمل شغل ما لم تتوفر القوة ، كما ويمكن التحدث عن الشغل في الحياة اليومية عندما تكون جالس تكتب على الحاسب الآلي أو عندما تقوم بترتيب صناديق وهي في مكانها ، إن كل هذه الأمور تعتبر عمل بدني وإن العمل الميكانيكي فيها يساوي صفر ويعود سبب ذلك إلى عدم وجود انتقال في الحركة .

الشغل في علم الفيزياء : هو كمية الطاقة التي تنتقل من نظام إلى آخر بواسطة قوة تؤثر على جسم ويتحرك هذا الجسم في اتجاه القوة (أوجزء منه).

من الممكن أن ينعدم الشغل حتى في حالة وجود قوة مؤثرة ، مثل **القوى الطاردة المركزية** في الحركة الدورانية فهي لا تبذل شغلاً على الجسم لأن طاقة الحركة للجسم لا تتغير ، وكمثال آخر عند وجود كتاب موضوع على منضدة فالمنضدة لا تبذل شغل على الكتاب بالرغم من وجود قوة رد فعل مساوية لوزنه mg وفي اتجاه معاكس ، لأنه لم يتم نقل طاقة إلى الكتاب .

الشغل الذي تبذله قوة ثابتة : Work Done by a constant Force

إذا أثرت قوة F على جسم فحركته في اتجاه تأثيرها إزاحة معينة ولتكن d فإننا نقول أن القوة تبذل شغلاً لتحريك هذا الجسم لهذه الإزاحة المعينة .
يمثل الشكل (١) تغيرات القوة مع الإزاحة ، ونستنتج منه أن الشغل يمثل المساحة المحصورة تحت منحنى القوة بين نقطتي الانتقال .
وهذه نتيجة عامة حتى وإن لم تكن القوة موازية لخط الانتقال .



$$W = F \cdot d$$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة الثابتة المؤثرة في جسم في اتجاه حركته في إزاحة الجسم تحت تأثير هذه القوة .

وإذا قيست القوة بالنيوتن والمسافة بالمتر، فإن وحدة قياس الشغل في النظام الدولي للوحدات هي (N . m = نيوتن.متر) ويطلق على هذه الوحدة اسم جول Joule واختصاراً تكتب «J»، وذلك تخليداً للعالم الإنجليزي جيمس بريسكوت جول. وإذا كانت وحدة القوة بالداين ، ووحدة المسافة بالسنتيمتر، فإن وحدة الشغل هي الإرج ، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية أرجيون Ergon ، والتي تعني شغل . أما وحدة الداين Dyne فهي وحدة القوة في نظام وحدات (السم ، جم ، ثانية) ، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية Dynamics والتي تعني القوة .

علاقة الجول بالإرج :

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g.cm/s}^2$$

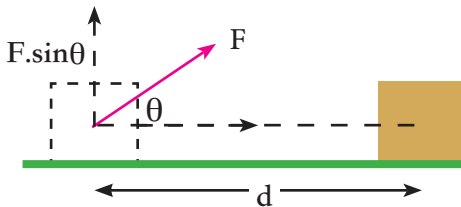
$$1 \text{ Newton (N)} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10^3 \text{ g} \times 10^2 \text{ cm} = 10^5 \text{ g.cm} = 10^5 \text{ dyne}$$

$$1J = 1 \text{ N} \times 1\text{m} = 10^5 \text{ dyne} \times 10^2 \text{ cm} = 10^7 \text{ dyne.cm} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1J = 1 \text{ N.m} = 1 \text{ kg.m}^2/\text{s}^2$$

تعريف الجول:

الجول هو الشغل الذي تبذله قوة مقدارها نيوتن واحد لإزاحة جسم مسافة متر واحد على استقامة خط عملها أو استقامة خط عمل أحد مركباتها. الشغل : هو كمية قياسية ناتجة عن حاصل ضرب قياسي لكميتين متجهتين (هما القوة والإزاحة) .



$$W = F.d \cos \theta$$

$F \equiv$ القوة المؤثرة على الجسم .

$d \equiv$ الإزاحة التي تحركها الجسم .

θ الزاوية المحصورة بين الإزاحة والقوة.

في هذه الحالة نلاحظ أن القوة لها مركبتين :

- مركبة رأسية وهي عمودية على اتجاه الإزاحة ، أي أن الشغل المبذول في هذا الاتجاه = صفر ، لأنه لا توجد إزاحة في هذا الاتجاه .

- مركبة أفقية وهي موازية لاتجاه الحركة (الإزاحة) لذلك فهي المسئولة عن بذل الشغل على الجسم

تذكر:

إن القيمة العددية للشغل المبذول بواسطة قوة ما تكون موجبة أو سالبة أو صفراً.

- إذا كانت القوة والإزاحة في نفس الاتجاه ، سيكون الشغل موجباً.
- إذا كانت القوة والإزاحة في اتجاهين متعاكسين ، سيكون الشغل سالباً.

حالات خاصة للزاوية (θ) بين «القوة المؤثرة» و «الإزاحة» :

- 1 - إذا كانت (أي القوة F باتجاه الإزاحة d) يكون الشغل: $w = F.d$.
فالشغل في هذه الحالة يكون أكبر ما يمكن.
• تعمل هذه القوة على تسارع حركة الجسم.

مثال (1):

تؤثر قوة مقدارها 20N أفقياً على جسم وتزيحه باتجاهها مسافة مقدارها 2m أحسب الشغل الذي تبذله هذه القوة .

$$W = F.d \cos \theta = (20)(2)(\cos 0) = 40J$$

- 2 - إذا كانت (القوة معاكسة للإزاحة) يكون الشغل سالباً ويعمل على إخماد حركة الجسم مثل :
• شغل قوة الاحتكاك .

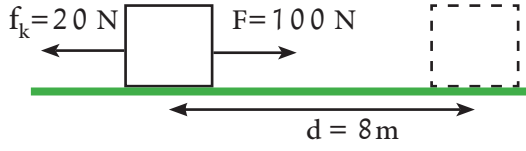
• شغل قوة الجاذبية الأرضية على جسم يتحرك لأعلى.

$$W = - F.d$$

ماذا يعني أن الشغل سالب ؟ يعني أن القوة المؤثرة تعمل على إبطاء حركة الجسم كما في حالة قوة الاحتكاك.

مثال (2) :

جسم يستقر على سطح أفقي خشن أثرت عليه قوة مقدارها 100N باتجاه أفقي فحركته مسافة 8m. إذا علمت أن مقاومة الاحتكاك تساوي 20N أحسب:
أ- الشغل الذي تبذله القوة المؤثرة F على الجسم.



الحل:

شغل القوة المؤثرة F :

$$W = F \cdot d \cos(0) = (100)(8) = 800 \text{ J}$$

ب- الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك:

$$W_{\text{احتكاك}} = F_k \cdot d \cos(180) = (20) \times (8) (-1) = -160 \text{ J}$$

ج- الشغل الكلي المبذول على الجسم:

$$W = W_F + W_f = (800) + (-160) = 640 \text{ J}$$

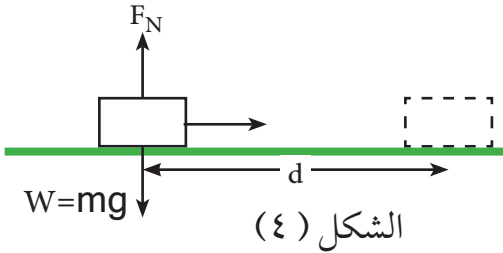
3 - إذا كانت (القوة متعامدة مع الإزاحة) يكون :

الشغل المبذول = صفر: وتبقى حركة الجسم كما هي عليه مثل:

• شغل قوة الوزن لجسم يتحرك أفقياً.

• شغل قوة التلامس العمودية لجسم يتحرك أفقياً.

لاحظ في الشكل (4) أن القوتين F_N والوزن W متعامدتان على اتجاه الإزاحة وبالتالي شغل كل منهما صفرًا.



$$W = W \cdot d \cos(90) = 0$$

$$W = F_N \cdot d \cos(90) = 0$$

الشكل (4)

متى يكون الشغل مساوياً للصفر؟ عندما تكون الإزاحة أو القوة تساوي صفرًا، أو عندما تكون الزاوية بين القوة ومتجه الإزاحة تساوي 90° .

مثال (3) :

رفع رجل صندوقاً كتلته 20Kg رأسياً لأعلى إزاحة مقدارها 1m
($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) أحسب :

أ- الشغل الذي بذله الرجل في رفع الصندوق .

$$W = w \cdot d \cos(180) = mgd = (20)(9.8)(-1) = -196 \text{ J}$$

ب- إذا تحرك الرجل (بعد رفع الصندوق) مسافة أفقية مقدارها 10m أحسب الشغل الذي بذله الرجل خلال هذه الإزاحة الأفقية.

$$W = mgd\cos(90) = (20)(9.8)(10)(0) = 0$$

لا يبذل الرجل شغلاً أثناء الحركة الأفقية لأن القوة التي يؤثر بها على الصندوق (الأعلى) تتعامد مع اتجاه الإزاحة.

تذكر: متى يكون الشغل مساوياً للصفر؟

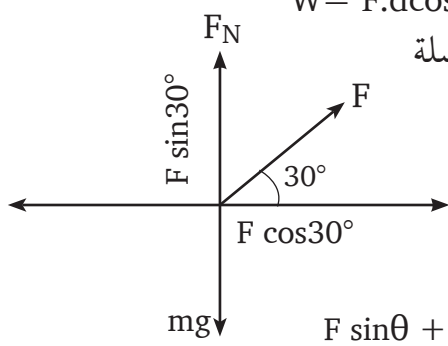
- عندما تكون الإزاحة تساوي صفراً
- أو عندما تكون القوة تساوي صفراً
- أو عندما تكون الزاوية بين متجه القوة ومتجه الإزاحة تساوي (90°) .

مثال (4)

طفل يسحب زلاجة كتلتها 6Kg مسافة 12m على سطح أفقي بسرعة ثابتة ، ماهو الشغل الذي يبذله الطفل لسحب الزلاجة إذا علمت أن معامل الاحتكاك $\mu = \sqrt{3}$ ، وأن الحبل الذي يستخدمه الطفل في السحب يعمل زاوية مقدارها 30° مع الأفقي .

الحل:

الشغل المبذول بواسطة الطفل يساوي $W = F \cdot d \cos \theta$ ولأن حركة الزلاجة بسرعة ثابتة فإن محصلة القوة عليها = صفر



$$F \cdot \cos \theta - f_k = 0$$

$$f_k = \mu F_N$$

$$F = \frac{f_k}{\cos \theta} = \frac{\mu F_N}{\cos \theta} \dots \dots \dots (1)$$

$$F \sin \theta + F_N - mg = 0 \rightarrow$$

$$F_N = mg - F \sin \theta \dots \dots \dots (2)$$

بالتعويض من (2) في (1)

$$F = \frac{\mu (mg - F \sin \theta)}{\cos \theta} = \frac{\sqrt{3} (60 - 0.5F)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \rightarrow F = 60 \text{ N}$$

الشغل الذي بذله الطفل :

$$W = F \cdot d \cos 30 = (60)(12)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 360\sqrt{3} \text{ N}$$

تقويم ذاتي:

1 - قوة مقدارها 80N تسحب جسماً على أرضية ملساء باتجاه 60° مع الأفق احسب الشغل الذي تبذله القوة عندما يتحرك الجسم مسافة 12m

2 - احسب مقدار الشغل المبذول على جسم وزنه (mg) :

أ- عند رفعه رأسياً لأعلى مسافة قدرها (h) وبسرعة ثابتة .

أ- عند خفضه لنفس المسافة (h) وبسرعة ثابتة أيضاً .

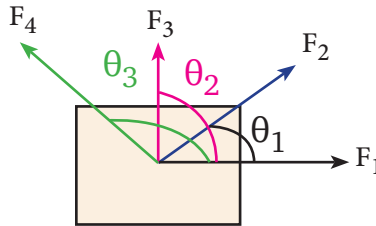
3 - دُفع جسم يستقر على سطح طاولة أفقي أملس بقوة مقدارها 10 N، إزاحة أفقية مقدارها 1.6m احسب مقدار شغل القوة في الحالتين الآتيتين:

أ- إذا كانت القوة في اتجاه الإزاحة نفسه .

ب- إذا كانت القوة تصنع زاوية 60° مع اتجاه الإزاحة .

الشغل الناتج من مجموعة قوى ثابتة :

عندما يكون الشغل ناتج من تأثير عدة قوى فيكون الشغل الكلي هو الجمع العددي للشغل المبذول من كل قوة منها ، أي يساوي حاصل ضرب كل قوة في الإزاحة أو يساوي مجموع القوى المؤثرة في الإزاحة الناتجة ويكتب رياضياً:

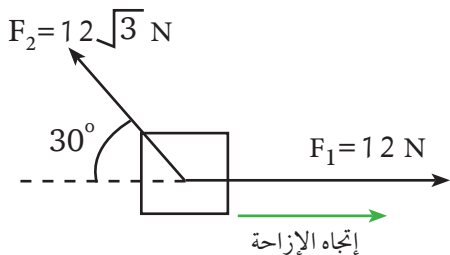


$$W_{\text{net}} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$$

$$W_{\text{net}} = F_1 \cdot d \cos\theta_1 + F_2 \cdot d \cos\theta_2 + F_3 \cdot d \cos\theta_3 + \dots$$

$$W_{\text{net}} = F_{\text{net}} \cdot d \rightarrow F_{\text{net}} = \text{محصلة القوى}$$

إذا كان الشغل الكلي المبذول على جسم موجباً فإن الجسم يتسارع ، أما إذا كان الشغل الكلي المبذول على جسم سالباً فإنه يتباطأ .



مثال (5)

الشكل لجسم أثرت عليه قوتان
فحركته أفقياً مسافة 4m
i. أحسب الشغل الذي تبذله كل قوة .

$$W_1 = F_1 \cdot d \cos \theta_1 = (12)(4) \cos 0 = (12)(4)(1) = 48J$$

$$W_2 = F_2 \cdot d \cos \theta_2 = (12\sqrt{3})(4) \cos(180-30) = (48\sqrt{3}) \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$\rightarrow W_2 = -72J$$

ii. أحسب الشغل الكلي .

$$W = W_1 + W_2 = (48) + (-72) = -24 J$$

تقويم ذاتي:

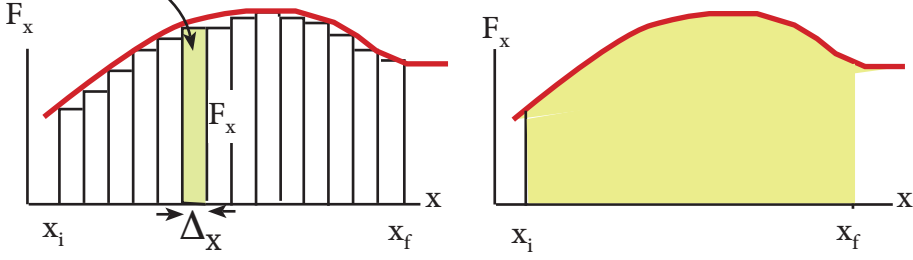
يساعد خالد والدته على ترتيب المنزل ، وفي أثناء ذلك يرفع صندوقاً عن سطح الأرض رأسياً إلى أعلى بسرعة ثابتة إلى ارتفاع 1.5m إذا علمت أن كتلة الصندوق 5Kg وتسارع السقوط الحر 10 m/s^2 تقريباً فاحسب :

- مقدار الشغل الذي يبذله خالد على الصندوق
- مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية على الصندوق
- مقدار الشغل الكلي المبذول على الصندوق
- مقدار الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية على الصندوق إذا سقط من الارتفاع نفسه نحو سطح الأرض

الشغل الذي تبذله قوة متغيرة :

افترضنا عند تعريف الشغل ($W = F \cdot d$) أن القوة F تبقى ثابتة بالقيمة والاتجاه خلال انتقال الجسم على طول المسافة d ، إلا أنه في كثير من الحالات لا يكون الأمر كذلك ، إذ يمكن أن تتغير القوة بقيمتها أو اتجاهها أو كلاهما . لذلك لحساب شغل قوة تتغير خلال انتقال الجسم من نقطة أولى A إلى نقطة ثانية B ، نجزم الطريق الذي يتحرك عليه الجسم إلى أجزاء Δd_1 ، Δd_2 ، Δd_3 وهكذا ، كما في الشكل (5) بحيث يمكن اعتبار القوة المؤثرة عليه خلال كل جزء ثابتة بالقيمة والاتجاه .

وعندئذ نكتب الشغل المبذول خلال كل جزء على النحو :



الشكل (5)

$$\Delta W_1 = F_1 \cdot \Delta d_1 \cos \theta_1$$

$$\Delta W_2 = F_2 \cdot \Delta d_2 \cos \theta_2$$

$$\Delta W_3 = F_3 \cdot \Delta d_3 \cos \theta_3$$

$$\Delta W_n = F_n \cdot \Delta d_n \cos \theta_n$$

يصبح الشغل الكلي مساوياً إلى:

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \sum_{i=1}^n W_i = \sum F_i \Delta d_i \cos \theta_i$$

القدرة:

تعرف القدرة (P) بأنها المعدل الزمني لتغير الشغل .
أي أن :

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

إذ أن التغير ΔW في الشغل، و Δt الزمن المستغرق .

تعتبر القدرة من الكميات الفيزيائية القياسية لأن الشغل والزمن كميتان فيزيائيتان قياسيتان، أي أن لا معنى للاتجاه في تحديد القدرة . **وتقاس القدرة في النظام الدولي (SI) بوحدات (Watt) إذ أن :**

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ J/s}$$

تعرف وحدة قياس القدرة (الواط) : **بأنها القدرة الناشئة عن انجاز شغل مقداره جول واحد خلال الثانية الواحدة** ، وفي النظام الانجليزي تقاس القدرة بوحدة الحصان (Horse Power = hp) إذ أن:

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ w}$$

وهناك علاقة مفيدة للقدرة يمكن استنتاجها بدلالة القوة والسرعة كما يلي :

لقد علمت بأن التغير في الشغل يعطى بالعلاقة:
 $\Delta W = (F \cdot \cos \theta)(\Delta d)$

لذلك فإن القدرة ستكون:

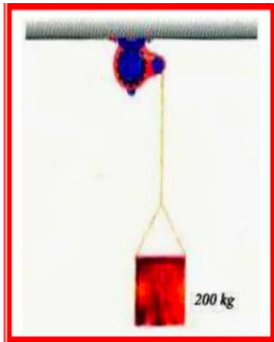
$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{(F \cdot \cos \theta)(\Delta d)}{\Delta t} = F \cdot \cos \theta \frac{\Delta d}{\Delta t} \rightarrow P = (F \cdot \cos \theta) v$$

عندما تكون السرعة بنفس إتجاه الإزاحة والقوة فإن $(\theta = 0)$ وعندها:

$$P = (F \cdot \cos \theta) v \therefore P = F \cdot v$$

وبالرغم من كون كلاً من السرعة والقوة تمثل كمية متجهه إلا أن القدرة تبقى كمية عددية .

مثال (6):



الشكل (5)

محرك كهربائي شكل (5) يستطيع رفع صندوق كتلته (200Kg) بسرعة ثابتة مقدارها (3 cm /s)
 أحسب قدرة المحرك بالحصان ؟

الحل

بما أن الزاوية بين قوة الشد في الحبل واتجاه حركة الصندوق = صفر ، والقوة تعادل وزن الصندوق

$$P = (F)(v) = mgv = (200)(10)(0.03) = 60w$$

$$60w \left(\frac{1hp}{746w} \right) = \frac{30}{373} hp \quad \text{القدرة بوحدات الحصان :}$$

حفظ الطاقة : أشكال الطاقة :

طاقة الحركة : Kinetic Energy

يقال أن للجسم طاقة عندما يكون قادراً على بذل شغل ، لذلك فإن ربط الطاقة بالشغل مازال مقيداً ، وهناك أنواع من الطاقة ولكننا نبدأ بمناقشة الطاقة الحركية. من الممكن لكرة أن تكسر نافذة عند اصطدامها بها



الشكل (6)

ومطرقة متحركة أن تدخل مسباراً في الخشب ، أنظر الشكل (6) وأيضاً حجر متحرك إلى أعلى أن يرتفع ضد قوة الجاذبية .

الطاقة الحركية: هي مقدار الشغل الذي يبذله الجسم بسبب حركته .

تعطى الطاقة الحركية بالعلاقة :

$$K.E = \frac{1}{2} mv^2$$

تعتمد الطاقة الحركية على :

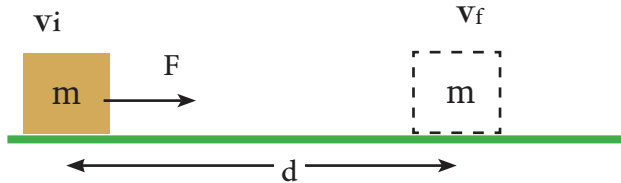
- 1 - كتلة الجسم : كلما زادت كتلة الجسم زادت طاقته الحركية (علاقة طردية).
- 2 - سرعة الجسم : كلما زادت سرعة الجسم زادت طاقته الحركية (علاقة طردية).

نظرية الشغل - الطاقة Work - Energy Theorem :

علاقة الشغل بالطاقة الحركية: مجموع الشغل المبذول يساوي التغير في الطاقة الحركية .

$$\sum W_i = \Delta K.E = K.E_f - K.E_i = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$$

أي أن الطاقة كمية **محفوظة** وأن الشغل المبذول تحول إلى طاقة حركية. نفترض أن قوة قدرها F أثرت أفقياً على جسم كتلته m موضوع على سطح أفقي أملس وحركه باتجاه الإزاحة d ، كما في الشكل أدناه فإنها تكسبه تعجلاً مقداره a .



$$W = F d$$

وحسب قانون نيوتن الثاني فإن القوة : $F = m a$

لذلك يكون الشغل : $W = F d = m a d$

من معادلات الحركة على خط مستقيم فإن :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad \rightarrow a.d = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2}$$

$$\therefore W = m \left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2} \right) = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = (K.E)_f - (K.E)_i$$

هذا يعني أن القوة أنجزت شغلاً لزيادة الكمية من قيمتها الأصلية

فكر:
أيها أكبر الطاقة الحركية لباخرة
تسير بسرعة بطيئة أم الطاقة
الحركية لإطلاق بندقية سريعة.

$(K.E)_i$ إلى قيمتها النهائية $(K.E)_f$ تمثل
الطاقة الحركية خاصة من خصائص
الجسم وذلك لأن مقدارها في أي لحظة
يعتمد فقط على كتلة الجسم وانطلاقه
في تلك اللحظة وهي لا تعتمد على
الاتجاه الذي يتحرك فيه الجسم أو

الطريقة التي يكتسب بها سرعته ، وهي كمية عديدة ليس لها اتجاه وموجبة
دائماً أو صفراً وتقاس بوحدات الشغل نفسها (وهي الجول) .

أما إذا كان السطح خشناً بحيث تعمل قوة الاحتكاك (F_k) على الجسم
فإن قانون نيوتن الثاني يصبح :

$$F - F_k = m a$$

$$W_{net} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 + F_k . d \rightarrow W_{net} + \Delta K.E + W_{fk}$$

أي أن الشغل الذي أنجزته القوة تحول إلى زيادة في الطاقة الحركية و
شغل ضد الاحتكاك حيث W_{fk} هو الشغل المنجز ضد قوة الاحتكاك.
مثال (7) :

أثرت قوة مقدارها 1.5N على عربة (لعبة) صغيرة ساكنة كتلتها 200g
فتحركت بتعجيل باتجاه القوة ، أحسب سرعة العربة بعد قطعها مسافة
60cm (أهمل قوة الاحتكاك) .

الحل :

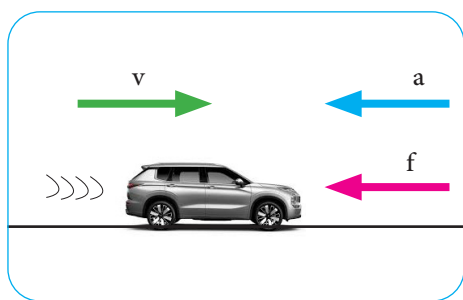
$$W = \Delta K.E = (K.E)_f - (K.E)_i$$

$$W = F.d = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$(1.5)(0.6) = \frac{1}{2} (0.2)v_f^2 - \frac{1}{2} (0.2)(0)^2$$

$$v_f^2 = \frac{(1.5)(0.6)}{0.1} \rightarrow v_f = 3 \text{ m/s}$$

مثال (8)



سيارة كتلتها 2000Kg ، تتحرك بسرعة مقدارها 20m/s على أرض مستوية . بدأت السيارة في التباطؤ في لحظة معينة ، فتوقفت بعد مسافة قدرها 100m .
أ- ما مقدار متوسط قوة الاحتكاك المؤثرة على السيارة .

الحل :

الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك = التغير في طاقة الحركة
ولكن السرعة النهائية تساوي صفر ، وبالتالي فإن القوة يمكن استنتاجها من العلاقة الآتية:

$$W = F.d = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \rightarrow F.(100) = (0) - \frac{1}{2}(2000)(20)^2$$

$$F.(100) = - (1000)(400) \therefore F = -4000N$$

ب- وإذا كان قوة الاحتكاك المؤثرة على السيارة ساوي 4000N ما مقدار سرعة السيارة بعد قطع مسافة مقدارها 50m ؟

الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك = التغير في طاقة الحركة

$$W = F.d = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$(-4000) \times (20) = \frac{1}{2} (2000)v_f^2 - \frac{1}{2} (2000)(20)^2$$

$$-80000 = 1000v_f^2 - 400000 \rightarrow v_f^2 = 320$$

$$v_f = 4\sqrt{10} \text{ m/s}$$

مثال (9)

أحد الطرق لتعيين طاقة الحركة للنيوترونات في المعجلات النووية هو حساب الزمن الذي يأخذه النيوترون عند مروره بين نقطتين ثابتتين ، ثم نقسم المسافة بين النقطتين على الزمن ، لنحصل على السرعة ومنها نحسب كمية طاقة الحركة المصاحبة لحركة النيوترون ، وبفرض أن المسافة التي يقطعها النيوترون تساوي 8.0m في زمن قدره $t = 160 \mu s$ ، فاحسب طاقة الحركة للنيوترون علماً بأن كتلته تساوي $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

الحل

سرعة الجسيم يمكن الحصول عليها كالآتي:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{8}{160 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^4 \text{ m/s}$$

وبالتالي طاقة الحركة تساوي:

$$K.E = \frac{1}{2} m.v^2 = \frac{1}{2} (1.67 \times 10^{-27}) (5 \times 10^4)^2 = 20.875 \times 10^{-19} \text{ J}$$

تقويم ذاتي:

- صندوق كتلته 6 Kg ، سُحب من السكون بقوة مقدارها 12 N على سطح أفقي أملس مسافة 3 m أحسب:

أ- الشغل الذي تبذله القوة في سحب الصندوق

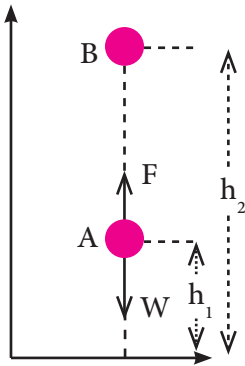
ب- سرعة الصندوق النهائية

ج- بافتراض أن السطح خشن و معامل الاحتكاك الحركي $\mu_k = 0.15$

أحسب سرعة الصندوق بعد سحبه مسافة الـ 3 m ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

طاقة الوضع (الطاقة الكامنة) Potential Energy

رأينا فيما سبق أن الأجسام يمكنها أن تبذل شغلا بسبب حركتها فيكون لديها طاقة حركة . ولكن هناك أجسام يمكنها أن تبذل شغلاً إما بسبب موضعها أو بسبب شكلها ، وعندئذ يقال أن مثل هذه الأجسام لها طاقة جهد أو طاقة وضع . لنبدأ دراستنا لطاقة الوضع بمناقشة الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب قوى الجاذبية .



$$P.E = U = mgh$$

لنفترض أننا رفعنا جسماً كتلته m من نقطة ارتفاعها h_i إلى نقطة ارتفاعها h_f فوق سطح الأرض كما في الشكل المقابل بحيث يتحرك الجسم بسرعة ثابتة وبالتالي تكون القوة التي نبذلها مساوية بالقيمة ومعاكسة بالاتجاه لوزن الجسم فيكون الشغل المبذول:

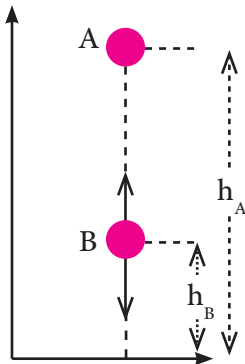
$$W_{AB} = \Delta P.E = mgh_f - mgh_i = mg(h_f - h_i) = mgh$$

فإذا وصل الجسم للنقطة B وتوقف هناك فإننا نتساءل أين ذهب شغلنا؟ وهل للجسم أي طاقة في ذلك الموضع؟ من الواضح أنه لا يملك طاقة حركة لأنه ساكن، لكنه يملك طاقة أخرى لأننا لو أفلتناه لتحرك للأسفل مكتسباً طاقة حركة تتزايد كلما كان ارتفاع النقطة التي وصل إليها أكبر. ولذلك نقول أن الشغل قد تحول لطاقة أعطيت للجسم وبقيت كامنة فيه. يطلق على هذه الطاقة اسم الطاقة الكامنة أو طاقة الوضع لأنها تعتمد على الارتفاع (أي الموضع) الذي وصل الجسم إليه **شغل قوة الجاذبية:**

$$W_g = mgh_i - mgh_f = U_i - U_f = -\Delta U$$

فشغل قوة الجاذبية عندما يتحرك جسم خاضع لها بين نقطتين يساوي سالب تغير طاقة وضعه بينهما (لأن تغير أي كمية يعني القيمة النهائية مطروحاً منها القيمة الابتدائية).

مثال (10)



كرة كتلتها 2Kg سقطت من ارتفاع 20m عن سطح الأرض، ($g=10m/s^2$) أحسب مايلي:
أ- طاقة وضع الكرة قبل أن تبدأ بالسقوط:

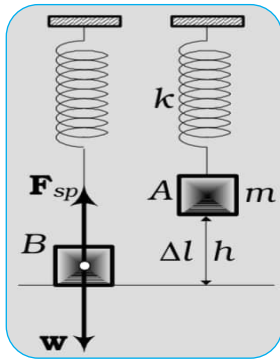
$$U_A = mgh = (2)(10)(20) = 400J$$

ب- طاقة وضع الكرة عند وصولها إلى ارتفاع 15m

$$U_B = mgh = (2)(10)(15) = 300J$$

ج- التغير في طاقة وضع الكرة.

$$\Delta U = U_A - U_B = 400 - 300 = 100J$$



الشكل (7)

شغل قوة الارجاع (restoring force) :

تعتبر قوة الارجاع من أشهر القوى المتغيرة التي نصادفها في الميكانيكا وأفضل مثال لها القوة التي يؤثر بها زنبرك (نابض) على جسم مربوط به ، كما في الشكل (7) ، عند شد الزنبرك بقوة خارجية F ، فإنها تتوقف نتيجة لوجود قوة داخلية في الزنبرك تسمى قوة الاسترجاع F_{sp} وعند الاتزان فإن مقدار قوة الاسترجاع يساوي مقدار القوة الخارجية ولكن تضادها في الاتجاه ، وتعتمد قوة

الاسترجاع على طبيعة السلك من خلال ثابت يسمى ثابت القوة أو ثابت المرونة (Force constant K) ، كما أنها تعتمد على إستطالة الزنبرك x أي أن :

$$F_{sp} = -Kx$$

ونلاحظ هنا أن القوة تزداد خطياً بزيادة الاستطالة ، كما في الشكل ولحساب الشغل المبذول بواسطة السلك فإننا نستخدم العلاقة :

$$W = \int_{x_i}^x F \cdot dx = \int_{x_i}^x Kx \cdot dx = \frac{1}{2} Kx^2 \rightarrow W = -\frac{1}{2} Kx^2$$

حيث حدود التكامل من $x_i = 0$ وحتى الإزاحة النهائية $x_f = x$.

مثال (11)

تم تعليق كتلة مقدارها $m = 6.4 \text{ Kg}$ رأسياً في سلك زنبركي ، فاستطال الزنبرك ليتزن عند استطالة بمقدار $x = 0.16 \text{ m}$ أوجد $g = 10 \text{ m/s}^2$ أ- الشغل المبذول على الكتلة بواسطة قوة جذب الأرض .

الحل :

عند الاتزان فإن محصلة القوة التي تعمل على الكتلة تساوي صفر

$$\Sigma F = mg - kx = 0 \rightarrow k = \frac{mg}{x} = \frac{(6.4 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)}{0.16 \text{ m}} = 400 \text{ N/m}$$

الشغل المبذول بالجاذبية الأرضية :

$$W_g = F \cdot x = mg \cdot x = (6.4 \text{ kg})(10)(0.16) = 10.24 \text{ J}$$

الشغل موجب لأن القوة والإزاحة في نفس الاتجاه .

ب- الشغل المبذول على الكتلة بواسطة قوة الاسترجاع في الزنبرك .

$$W = -\frac{1}{2} kx^2 - \frac{1}{2} (400)(0.16)^2 = -5.12J$$

الشغل سالب لأن القوة في عكس اتجاه الإزاحة

طاقة الوضع المرونية :

إذا كان لدينا جسم كتلته m مربوط بزنبك وأزحناه مسافة x عن وضع الاتزان، فإن الشغل الذي نقوم نحن به يساوي:

$$W = \frac{1}{2} kx^2$$

وإذا أبقينا الجسم عند ذلك الموضع فإننا نتسأل أين ذهب الشغل الذي قمنا به؟ والجواب أنه تخزن في النظام المؤلف من الجسم والزنبك على شكل طاقة كامنة أو طاقة وضع . وبالتالي فإننا نعرف طاقة وضع جسم مرتبط بالزنبك بالعلاقة :

$$U_{sp} = \frac{1}{2} kx^2$$

حيث x : مقدار بعد الجسم عن وضع الاتزان ، K يمثل ثابت الزنبك

مثال (12):

علّق جسم كتلته 5 Kg بنهاية زنبك طوله الطبيعي 15 cm فيصير طوله 17 cm عندما يتزن الجسم
أ- أحسب ثابت مرونة الزنبك .

$$k = \frac{mg}{\Delta l} = \frac{5 \times 9.8}{0.02} = 2450 \text{ N/m}$$

ب- ما طاقة وضع الجسم إذا أبعاد مسافة 5 cm عن وضع إتزانه ؟

$$U = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} (2450)(0.05)^2 = 3J$$

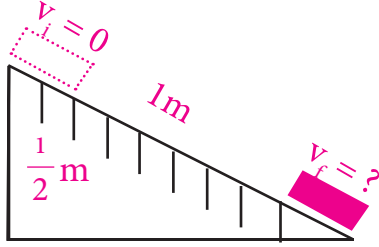
الطاقة الميكانيكية :

الطاقة هي قابلية الجسم على بذل الشغل وتوجد الطاقة بأشكال مختلفة منها الطاقة الميكانيكية والكهربائية والكيميائية والحرارية وغيرها .
أهم أشكال الطاقة هي الطاقة الميكانيكية وتوجد على أنماط مختلفة منها الطاقة الكامنة والحركية .

الطاقة الكامنة (U) : هي الطاقة التي يمتلكها الجسم نتيجة تغير موضعه داخل مجال الجاذبية ($U = m g h$) .

تقويم الفصل :

1 - ينزلق صندوق على سطح خشن على طول منحدر كما في الشكل أوجد السرعة النهائية حسب المعطيات التالية .



كتلة الصندوق $m = 3 \text{ Kg}$

قوة الاحتكاك $f_k = 5 \text{ N}$

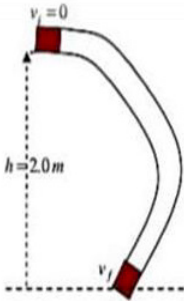
طول المنحدر 1 m

السرعة الابتدائية $v_i = 0$

المطلوب حساب السرعة النهائية v_f

2 - ينزلق صندوق داخل زلاقة ذات سطح أملس ($g = 9.8 \text{ /s}^2$)

أ- أوجد السرعة النهائية عند قاع الزلاقة ؟



ب- في حالة وجود قوة الاحتكاك

ما الشغل المبذول ضد قوى الاحتكاك

بافتراض كتلة الصندوق 20 kg والسرعة

النهائية 3 m/s ؟



3 - تمكن لاعب رفع الأثقال (رباع) من رفع

كتلة مقدارها 120 Kg وبزمن قدرة 3 s

لمسافة عمودية مقدارها 2 m أحسب القدرة

المبذولة لرفع هذه الكتلة. ($g = 10 \text{ /s}^2$)

.....

4 - أثرت قوة مقدارها 1.5 N على عربة صغيرة ساكنة كتلتها 200 g فتحركت

بتعجيل باتجاه القوة أحسب سرعة العربة بعد قطعها مسافة 30 cm مهملاً قوة

الاحتكاك .

5 - يبذل أحمد شغلاً مقداره 176 J لرفع نفسه مسافة 0.300 m . ما كتلة أحمد؟

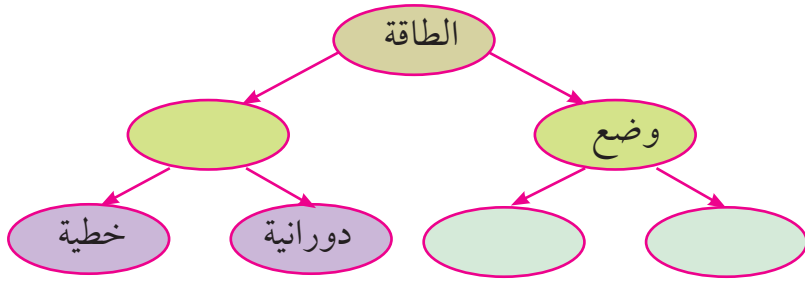
6 - سجل لاعب كتلته 84.0 Kg هدفاً، فقفز مسافة 1.20 m فوق سطح الأرض فرحاً. ما الشغل الذي بذله اللاعب؟

7 - يبلغ إرتفاع الطابق الثالث لمدرسة 8 m فوق مستوى الشارع. ما مقدار الشغل اللازم لنقل دولاب كتلته 120 Kg إلى الطابق الثالث؟

8 - خلال إعصار، سقط غصن شجرة كبيرة كتلته 20.0 Kg ومتوسط إرتفاعه عن سطح الأرض 13.3 m على سقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سطح الأرض. أحسب مقدار:

- الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف، وذلك بإهمال مقاومة الهواء.
- سرعة الغصن عندما يصل إلى السقف.

9 - أكمل خريطة المفاهيم بالمصطلحات: طاقة الوضع الجاذبية، طاقة الوضع المرونية، الطاقة الحركية.



10 - ارسم دائرة حول رقم الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فيما يلي:

• ما مقدار الطاقة اللازمة لرفع صندوق كتلته 4.5 Kg من الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض؟

- a. 9.0 J b. 11 J c. 66 J d. 49 J

• ما مقدار الشغل المبذول إذا أثرت قوة 10 N على جسم و حركته 5 m في نفس الاتجاه:

- a. 0 J b. 25 J c. 50 J d. 100 J

• إذا كانت القوة عمودية على الإزاحة، فإن الشغل:

- a. موجب b. سالب c. يساوي صفر d. لا يمكن تحديده

- أي مما يلي يمثل طاقة مخزنة في الجسم؟
 - a. الطاقة الحركية b. طاقة الوضع c. الشغل d. القدرة
- 5 - جسم ساكن، طاقته الحركية:
 - a. كبيرة b. صغيرة c. صفر d. لا نهائية
- الشغل يساوي صفر عندما:
 - a. القوة كبيرة b. الإزاحة كبيرة c. الزاوية 90 d. السرعة كبيرة
- أي مما يلي ليس وحدة طاقة؟
 - a. جول b. نيوتن.متر c. واط d. جول

الموائع

- ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

الأهداف:

بعد دراستك لهذا الفصل والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:

- تفسّر كيف تحدث الموائع الضغط؛
- تحسب ضغط الغاز وحجمه وعدد مولاته؛
- تقارن بين الغازات والبلازما؛
- توضح كيف تسبب قوى التماسك التوتر السطحي؛
- توضح كيف تسبب قوى التلاصق الخاصية الشعرية؛
- توظف مفهوم الكثافة وتطبيقاتها؛
- تتعرف الضغط الجوي ووحدات قياسه؛
- تبيّن تطبيقات الموائع الساكنة في حياتنا اليومية؛
- تتعرف تطبيقات قاعدة أرشميدس وقانون الطفو؛
- تعرف ما المقصود بانسياب الموائع؛
- تميز بين أنواع الانسيابات المختلفة للموائع؛
- تشتق معادلة الإستمرار؛
- توضح المقصود بالتدفق الحجمي للسائل؛
- تتعرف قاعدة برنولي؛
- تستنبط معادلة برنولي؛
- تطبق مبادئ برنولي في الحياة اليومية؛
- توظف مفاهيم الموائع المتحركة في الحياة اليومية.

الفكرة العامة:

تدرس الموائع سلوك السوائل والغازات اعتماداً على قدرتها على الانسياب وانتقال الضغط خلالها تحت تأثير القوى المختلفة.

الأهمية:

تمثل الموائع أساساً مهماً في الفيزياء والهندسة والطب والصناعة، لأن كثيراً من الظواهر الطبيعية والتطبيقات التقنية تعتمد على خواص السوائل والغازات وحركتها وسلوكها تحت تأثير القوى المختلفة.

المفردات الجديدة:

الموائع - الضغط - قاعدة باسكال - القانون العام للجزيئات - قانون الغاز المثالي - التمدد الحراري - البلازما - قوى التماسك - قوى التلاصق - التوتر السطحي - الخاصية الشعرية - الثقل النوعي - الكثافة - الانسياب - السرعة - الكثافة - اللزوجة، معدل التدفق - معادلة الإستمرارية - مبدأ برنولي، - معادلة تورشيلي.

(١) خصائص الموائع Fluid

مقدمة

من قطرة الماء التي تروي الزرع إلى الهواء الذي نستشقه . مروراً بالنفط الذي يعد شريان الاقتصاد لكثير من دول العالم ، تحيط بنا الموائع في كل تفاصيل حياتنا، تبدو هذه المواد بسيطة للوهلة الأولى ، لكنها تخفي عالماً معقداً من الخصائص الفيزيائية المدهشة التي تتحكم في سلوكها وتفاعلاتها .

فهم خصائص الموائع ليس معرفة نظرية فحسب بل هو أساس تقوم عليه صناعات عملاقة وتطبيقات هندسية وطبية غيرت وجه العالم . في ضوء خبراتك اليومية، قد لا يبدو أن هناك خصائص مشتركة بين الماء والهواء والنفط ، فإذا تأملت في الأمر جيداً وفكرت بطريقة أخرى فسوف تدرك أن لهما خصائص مشتركة؛ فكل من الماء والهواء والنفط يتدفقان وليس لأي منهما شكل محدد، على عكس المواد الصلبة. ولذرات المادة وجزيئاتها الغازية والسائلة حرية حركة كبيرة. في هذا الفصل سنستكشف حالات المادة ، ونتعلم المفاهيم التي توضح كيف تستجيب المادة لتغيرات الحرارة والضغط ، وكيف تتمكن الأنظمة الهيدروليكية مضاعفة القوى، وكيف تطفو السفن المعدنية الضخمة على سطح الماء. وستتعرف أيضاً بعض خصائص الموائع الأساسية، مثل الكثافة واللزوجة والتوتر السطحي . ونستعرض سلوكها في السكون والحركة . ثم نلقي الضوء على تطبيقاتها اليومية من محركات السيارات إلى محطات تحلية المياه . لنكتشف معاً كيف يشكل فهم خصائص الموائع مفتاحاً لفهم العديد من الظواهر الطبيعية والابتكارات التكنولوجية من حولنا.

تعريف المائع في الفيزياء:

في علم الفيزياء يُعرف المائع (Fluid): بأنه أي مادة تتشوه أو تنساب باستمرار عند تعرضها لإجهاد قص (shear Stress) ، حتى لو كانت القوة المؤثرة صغيرة جداً. بخلاف المواد الصلبة (Solids) التي تمتلك شكلاً وحجماً ثابتين ، فإن الموائع لا تحتفظ بشكل محدد ، بل تأخذ شكل الوعاء الذي يحتويها . السبب الجوهري وراء ذلك أن جزيئات المائع ليست ثابتة في أماكنها. وإنما تتحرك بحرية وتنزلق فوق بعضها البعض ، وهو ما يمنحها القدرة على الجريان (Flow).

ميكانيكا الموائع : هو العلم الذي يدرس كيفية تحرك السوائل والغازات والقوة المؤثرة عليها. ويعتمد أساساً على نفس المبادئ المستخدمة في ميكانيكا المواد الصلبة.

الخواص الطبيعية للموائع Properties of fluids:

تعرف الموائع بمجموعة من الخصائص الفيزيائية التي تحكم سلوكها وتحدد كيفية تفاعلها مع بيئتها . فهم هذه الخصائص هو حجر الزاوية في كل التطبيقات الهندسية والفيزيائية المتعلقة بالموائع ، من تصميم الطائرات إلى حساب تدفق السوائل في الأنابيب .

وأهم الخواص الفيزيائية للموائع هي :

1 - الكثافة Density كثافة المائع هي كتلة وحدة الحجم من المائع ، كثافة أى عنصر صغير من أى مادة، هي كتلة ذلك العنصر Δm ، مقسوما على حجمه Δv ، ويرمز للكثافة بالرمز ρ (roh) كثافة العنصر تكتب على الصور :

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta v}$$

وكثافة المادة لا تحمل خصائص إتجاهية، أى انها كمية قياسية. ولو ان كثافة الجسم متجانسة عند كل نقاطه، فإن كثافة الجسم تساوى كتلة الجسم الكلية مقسوما على حجمه الكلى، أى أن :

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta v} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{m}{v}$$

و وحدات الكثافة فى النظام الدولى هي Kg/m^3 ، أما فى المعامل البحثية فتستخدم وحدة g/cm^3 إن كثافة الماء عند درجة حرارة 4°C تساوي 1000Kg/m^3 . وللهواء عند درجة حرارة 20°C وضغط جوي عادي فإن الكثافة تساوي 1.2Kg/m^3 .
(كثافة بعض الموائع والمواد الشائعة الاستخدام فى جدول رقم (1))
ومن التطبيقات الأكثر أهمية :

معرفة كثافة الماء (1000Kg/m^3) مهمة فى تصميم السفن لضمان الطفو أو الإبحار بأمان فوق سطح الماء .

جدول رقم (1)

Substance	Density Kg/m ³
Gold	19.300
Mercury	13.600
Lead	11.300
Sliver	10.500
Iron	7860
Aluminum	2700
Whole blood(37°C)	1060
Seawater	1025
Freshwater	1000
Olive oil	920
Ice	917
Oxygen	1.43
Air	1.29

٢ - الوزن النوعي Specific weight:

الوزن النوعي لمائع هو النسبة بين وزن المائع وحجمه . ويرمز له بالرمز « ω »

$$\omega = \frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}} = \frac{w}{V} = \frac{m g}{V} = \left(\frac{m}{V}\right) \cdot g \rightarrow \omega = \rho \cdot g$$

حيث أن:

$\omega \equiv$ الوزن النوعي للمائع (N/m³)

$\rho \equiv$ كثافة المائع (kg/m³)

$g \equiv$ عجلة الجاذبية الأرضية (m/s²)

$m \equiv$ كتلة المائع (Kg)

$V \equiv$ الحجم النوعي للمائع (m³)

$$P_w = \frac{1mg}{cm^3} = 1000 kg/m^3 \quad \text{علمًا بأن كثافة الماء هي}$$

$$\omega_w = 1000 \times 9.8 = 9800 \frac{N}{m^3} \quad \text{الوزن النوعي للماء هو}$$

أهمية الوزن النوعي : يستخدم في حساب ضغط الموائع في التطبيقات الهيدروليكية مثل تصميم السدود والخزانات ، حيث يتحدد الضغط عند أعماق مختلفة بناءً على خاصية الوزن النوعي .

3 - الحجم النوعي (S) Specific Volume:

الحجم النوعي هو النسبة بين حجم المائع وكتلته أي أنه مقلوب كثافة المائع ووحداته ويستخدم الحجم النوعي في العموم في الغازات .

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots \frac{m^3}{kg}$$

أهمية الحجم النوعي : يستخدم في حساب حجم الهواء المضغوط في خزانات الغواصات أو الاطارات الهوائية .

4 - الثقل النوعي (S) Specific Gravity : يسمى في بعض الأحيان الكثافة النسبية .

تعريف الكثافة النسبية :

هي النسبة بين كثافة المائع وكثافة الماء النقي عند درجة الحرارة القياسية 4 درجة مئوية .

$$\frac{\text{الوزن النوعي للسائل}}{\text{الوزن النوعي للماء}} = \text{الكثافة النسبية لأي سائل}$$

$$\frac{\text{كثافة السائل}}{\text{كثافة الماء}} = \text{أو الكثافة النسبية لأي سائل}$$

$$S_L = \frac{\omega_L}{\omega_w} = \frac{\rho_L \times g}{\rho_w \times g} = \frac{\rho_L}{\rho_w}$$

ولأن الثقل النوعي نسبة بين وزنين نوعيين فلا وحدات قياس له .

ومن هنا يمكن إيجاد الوزن النوعي لأي سائل بمعرفة كثافته النسبية من المعادلة

$$\omega_L = S_L \times \omega_w \rightarrow \omega_L = S_L \times 1000 \times 9.8 \text{ N/m}^2$$

وكذلك يمكن إيجاد كثافة أي سائل من المعادلة التالية:

$$\omega_L = S_L \rho_w \rightarrow \omega_L = S_L \times 1000 \text{ Kg/m}^2$$

حيث أن :

$$S_L \equiv \text{الكثافة النسبية للسائل}$$

$$\omega_L \equiv \text{الوزن النوعي للسائل}$$

$$\rho_L \equiv \text{كثافة السائل}$$

$$\omega_w \equiv \text{الوزن النوعي للماء}$$

$$\rho_w \equiv \text{كثافة الماء}$$

تقويم ذاتي:

- لماذا يطفو الزيت فوق سطح الماء؟

العوامل المؤثرة على كثافة السوائل :

درجة الحرارة : ارتفاع درجة الحرارة يؤدي عادة إلى تمدد معظم الموائع وبالتالي انخفاض كثافتها. هذا واضح في ظاهرة صعود الهواء الساخن للأعلى ، وهي مبدأ عمل المناطيد الهوائية .

الضغط : تأثير الضغط على كثافة السوائل ضعيف جداً لأنها غير قابلة للانضغاط بينما في الغازات يؤثر الضغط بشكل كبير؛ فزيادة الضغط تجعل الجزيئات أقرب إلى بعضها ، ما يزيد الكثافة .

مثال (1)

أحسب الوزن النوعي والكثافة النسبية لسائل حجمة 1Lit ووزنه 7N
($g=10\text{m/s}^2$)

الحل

أ-الوزن النوعي (ω) :

$$V=1\text{Lit} = \frac{1}{1000} = 0.001\text{m}^3, w=7\text{N}$$

$$\omega_L = \frac{\text{الوزن (w)}}{\text{الحجم (v)}} = \frac{W}{V} = \frac{7}{0.001} = 7000\text{N/m}^3$$

ب- الكثافة النسبية للسائل (S_L)

$$\omega_L = \rho \cdot g \rightarrow \rho = \frac{W_L}{g} = \frac{7000}{10} = 700\text{kg/m}^3$$

$$S_L = \frac{\text{كثافة السائل}}{\text{كثافة الماء}} = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{700}{1000} = 0.7$$

ملاحظة : اللتر يعادل 1000cm^3 وبالتالي اللتر 0.001m^3

مثال (2)

أحسب الكثافة والوزن النوعي والوزن لسائل حجمه 1Lit وكثافته النسبية 0.7 .
($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) .

الحل

كثافة السائل (ρ_L) :

$$S_L = \frac{\text{كثافة السائل}}{\text{كثافة الماء}} \rightarrow \rho_L = S_L \times \rho_w$$

$$\rho_L = 0.7 \times 7000 = 700 \text{ kg/m}^3$$

الوزن النوعي (ω_L) :

$$\omega_L = \rho_L \times g = 700 \times 9.8 = 6860 \text{ N/m}^3$$

وزن السائل (W_L)

$$W_L = \frac{W_L}{V_L} \rightarrow W_L = \omega_L \times V_L = 6860 \times 0.001 = 6.86 \text{ N}$$

مثال (3)

أسطوانة قطرها الداخلي 2m ملئت بزيت كتلته 9504Kg إلى ارتفاع 3.5m
($\pi = \frac{22}{7}$) فاحسب كثافة الزيت :

$$V = \pi r^2 \cdot h = \frac{22}{7} (1)^2 (3.5) = 11 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{زيت}} = \frac{\text{كتلة الزيت}}{\text{حجم الزيت}} = \frac{m}{V} = \frac{9504}{11} = 8.64 \text{ kg/m}^3$$

تقويم ذاتي:

1 - إذا كانت كتلة لترين من زيت البرافين تساوي 1.6Kg وكانت كثافة الماء 1000 Kg/m^3 .

أوجد :

i- كثافة الزيت

ii- الثقل النوعي لزيت البرافين

الضغط : P pressure

عند وضع مكعباً من الثلج في كوب فارغ ستلاحظ أن مكعب الثلج له كتلة معينة وشكل محدد، ولا تعتمد هاتان الكميتان على حجم الكوب أو شكله. ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى الكتلة كما هي ، ولكن شكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محدداً ومستوياً، كما في الشكل (1). من ناحية ثانية عند تسخين الماء إلى درجة الغليان، سيتحول إلى الحالة الغازية في صورة بخار ماء، وينتشر ليملاً الغرفة ولن يكون له سطح محدد. وتشارك كل من السوائل والغازات في كونها موائع؛ حيث انها مواد تتدفق، وليس لها شكل محدد.

سنركز إهتمامنا في هذا الفصل لدراسة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزاً، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغط في الموائع:



لقد عملنا من قبل على تطبيق قانون حفظ الطاقة على الأجسام الصلبة، فهل يمكن تطبيق القانون على الموائع؟ يمكننا تعريف الشغل والطاقة باستخدام مفهوم الضغط، الذي يمثل القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح. وباعتبار الضغط قوة تؤثر في السطح فإن أي شئ يولد ضغطاً يكون قادراً على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

شكل (1): مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدد في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه يعرف الضغط على أنه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات. ويمكن التعبير عن الضغط بالعلاقة الرياضية التالية:

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

يتميز الضغط في الموائع الساكنة بأنه يتوزع بالتساوي في جميع الاتجاهات عند النقطة نفسها ويزداد مع زيادة العمق نتيجة لزيادة وزن المائع فوق تلك النقطة .

وحدات قياس الضغط:

1 - الباسكال Pascal: هي وحدة قياس الضغط بالنظام الدولي: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

2 - الضغط الجوي atmosphere: وهي تعادل وزن عمود هواء الغلاف الجوي من سطح البحر وحتى نهايته المؤثر على مساحة قدرها 1 m^2 .

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr} = 760 \text{ mmhg}$$

3 - تورر torr، وهو اسم مشتق من العالم Evangelista Torricelli مخترع البارومتر عام 1674 لقياس الضغط الجوي، وهو يعادل وزن عمود من الزئبق طوله واحد مللي متر، وعادة تستخدم هذه الوحدة في معامل الأبحاث العلمية، وتساوي:

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmhg}$$

4 - بار bar، وهو وحدة عادة تستخدم للتعبير عن الضغط في الانابيب مثل أنبوبة البوتجاز وأنبوبة الأكسجين وأنبوبة النيتروجين، ويساوي: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

5 - رطل - ثقل لكل بوصة مربعة (psi) pound-force per square inch، وهو وحدة قياس الضغط الإنجليزية، وتستخدم عادة مع ضغط إطارات السيارات ويساوي $1 \text{ Psi} = 6895 \text{ Pa}$.

مثال (٥)

يقف شخص وزنه 500 N على جليد لبركة متجمدة بحيث أن قدمية ملاصقة لمساحة من الجليد

i- ما الضغط المسلط على الجليد

ii- إذا علمت أن الجليد سوف ينهار عند ضغط مقداره 16000 Pa فكم هو وزن الشخص اللازم لحصول انهيار الجليد باعتبار نفس مساحة الاتصال السابقة؟

الحل:

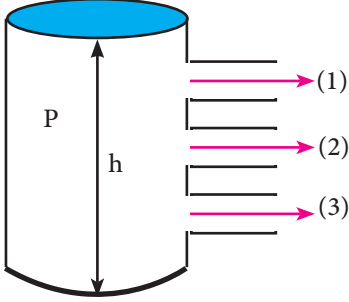
$$P = \frac{F}{A} = \frac{500}{0.05} = 10000 \text{ Pa} = 10 \text{ KPa}$$

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P.A = 16000 \times 0.05 = 800 \text{ N}$$

ضغط السائل:

إن للسائل ضغطاً يؤثر على كل نقطة من نقاط السائل ويعتمد هذا الضغط على عمق السائل فيزداد بازدياد العمق .

الضغط عند نقطة داخل سائل :



الشكل (2)

إذا كان لدينا وعاء به سائل وبه ثلاث فتحات لخروج السائل كما هو موضح بالشكل (2) فإنه من المعلوم أن سرعة اندفاع السائل من فتحة الاناء رقم (3) تكون أكبر من سرعة اندفاع السائل من الفتحة رقم (2) والفتحة رقم (1). بمعنى أنه كلما زاد العمق بين الفتحة التي يخرج منها السائل وسطح السائل كلما زاد معدل اندفاع السائل من الاناء .

لحساب ضغط السائل نفرض أن ارتفاع السائل في الاناء هو h ومساحة مقطع الإناء A وكثافة السائل ρ .

إذ يمكن حساب كتلة السائل الموجود في الاناء كالآتي:

$$V = Ah$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V \quad \therefore m = \rho Ah$$

وزن السائل (W) = كتلة السائل (m) × عجلة الجاذبية (g)

$$W = mg = \rho Ahg$$

ومن دراستنا السابقة قد عرفنا الضغط على أنه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات .

$$P = \frac{W}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} \quad \therefore P = \rho hg$$

من هذه المعادلة نستنتج :

- هناك ضغط لكل نقطة في السائل .
- يزداد الضغط مع زيادة البعد الرأسى عن سطح السائل .
- كل النقط التي تقع على مستوى أفقى واحد (النقط التي لها نفس الارتفاع)

تكون متساوية في الضغط .

• يعتمد الضغط على كثافة السائل .

بشكل عام يعطى ضغط نقطة داخل سائل بالعلاقة :

$$P = P_o + \rho gh$$

$$\text{الضغط الجوي النظامي} \equiv P_o$$

حساب الضغط الجوي :

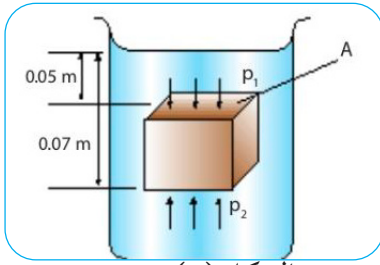
أحسب الضغط الجوي إذا علمت أن الضغط الجوي يساوي طول عمود من الزئبق مقداره 75cm حيث كثافة الزئبق 13600 kg/m^3 ؟

$$P = \rho gh = 13600 \times 9.8 \times 75 \times 10^{-2} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = P_o + \rho gh = 1 \times 10^5 \text{ Pa} + 1000 \times 10 \times 10 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

مثال (6)

غمر قالب مساحة مقطعه العرضي $A = 25 \text{ cm}^2$ في ماء كثافته 1000 kg/m^3 كما



الشكل (3)

هو مبين في الشكل (3). ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

أ- جد : الضغط P_1 نتيجة الماء الذي يعمل

على السطح العلوي. الشكل (3)

ب- أحسب : القوة التي يبذلها الماء على السطح العلوي والسفلي.

الحل

أ- الضغط الناتج عن الماء فقط : $P_1 = \rho gh_1 = 1000 \times 10 \times 0.05 = 500 \text{ Pa}$

• الضغط P_2 نتيجة الماء الذي يعمل على السطح السفلي .

$$P_2 = \rho gh_2 = 1000 \times 10 \times 0.07 = 700 \text{ Pa}$$

ب-

• القوة التي يبذلها الماء على السطح العلوي .

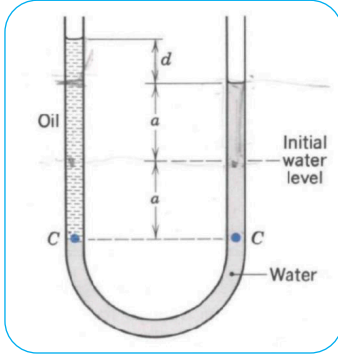
$$P_1 = \frac{F_1}{A} \rightarrow \therefore F_1 = p_1 A = 500 \times 25 \times 10^{-4} = 1.25 \text{ N}$$

• القوة التي يبذلها الماء على السطح السفلي .

$$P_2 = \frac{F_2}{A} \rightarrow \therefore F_2 = p_2 A = 700 \times 25 \times 10^{-4} = 1.75 \text{ N}$$

مثال (7)

أنبوبة على شكل حرف U طرفيها معرضتين للضغط الجوي وممتلئة جزئياً بالماء. صببنا في إحدى طرفيها زيت حتى وصل مستوى ارتفاع الزيت على مسافة $d=15\text{mm}$ ، أعلى من مستوى عمود الماء على الطرف الآخر الذي بدوره ارتفع مسافة $a=67.5\text{mm}$ من مستواه الأصلي كما في الشكل (4). أحسب كثافة الزيت، علماً بأن كثافة الماء تساوي $P_w=10^3\text{kg/m}^3$.



الشكل (4)

الحل:

بما أن مستوى الماء عند النقطة **c** في حالة اتزان، أي أن الضغط عندها متساوي، وبمراعاة أن المستوى الأصلي ارتفع في أحد العمودين مسافة قدرها **a** وبالتالي انخفض في الأنبوب الآخر نفس المسافة أيضاً وبالتالي يكون فرق الارتفاع للماء يساوي **2a** ولهذا نستطيع أن نحسب الضغط في كل من العمودين من المعادلة الآتية:

$$P_o + \rho_w g 2a = P_o + P_{oil} g(2a + d)$$

$$\rho_{oil} = \frac{\rho_w 2a}{2a + d} = \frac{1000 \times 135}{135 + 15} = \frac{1000 \times 135}{150} = 900 \text{ kg/m}^3$$

مثال (8)

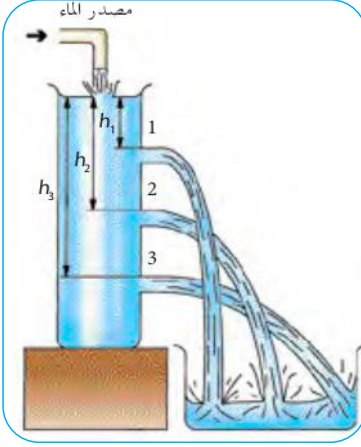
عمود من الماء بدون غطاء ارتفاعه 300cm أوجد قيمة الضغط الذي يحدثه هذا العمود على قعر الإناء مع العلم أن كثافة الماء تساوي 1000kg/m^3 .

الحل:

$$P = P_o + pgh = 1.013 \times 10^5 + 1000 \times 10 \times 3$$

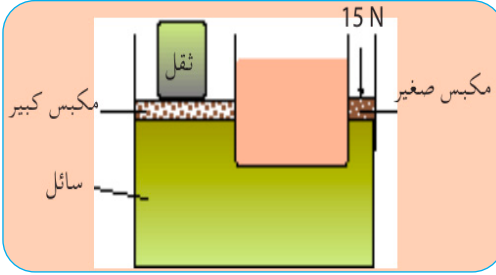
$$P = 1.013 \times 10^5 + 0.3 \times 10^5 = 1.313 \times 10^5 \text{ Pa}$$

تقويم ذاتي:



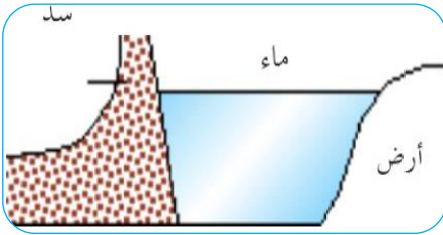
1 - لا يرتبط الضغط بالأجسام الصلبة والغازات فقط وإنما يوجد كذلك في السوائل ويرجع الضغط في السوائل إلى وزن السائل. افترض وجود إناء طويل للماء ذي أنابيب جانبية (رقم 1، رقم 2، رقم 3) مثبتة على ارتفاعات مختلفة كما في الشكل المقابل في أي الأنابيب يتدفق الماء لمسافة أبعد ولماذا؟

2 - سكان الطوابق العليا في المباني المرتفعة تشيع شكاوهم من انخفاض ضغط الماء لماذا؟



3 - يبين الرسم شكلاً مبسطاً لمكبس هيدروليكي. وتُبدل قوة مقدارها 15 N على المكبس الصغير ذي المساحة 0.025 m^2 فإذا كانت مساحة المكبس الكبير 0.5 m^2 أحسب:

- i- الضغط الذي يبذله المكبس الصغير على السائل.
- ii- الضغط الذي يبذله المكبس الكبير على السائل.
- iii- القوة التي يبذلها المكبس الكبير على الحمولة.



4 - يبين الرسم سداً تحت التصميم. لماذا يزداد سمك السد كلما إتجهنا إلى أسفل؟

قوانين الغازات The Gas Law

أولاً : العلاقة بين الضغط والحجم - قانون بويل (اعتماد حجم الغاز على الضغط)

قانون بويل : Boyle's Law

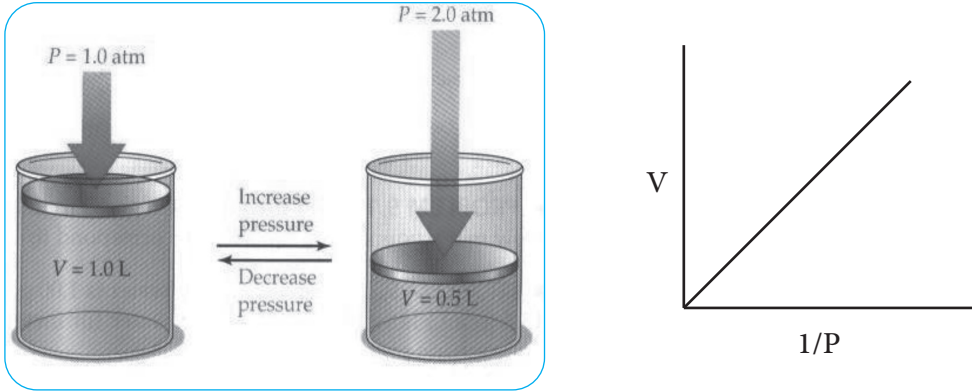
لاحظ العلماء عند القيام بدراسة الغازات والضغط ، وجود بعض العلاقات المثيرة للاهتمام، وكانت أولها قانون بويل، نسبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل ، أحد أشهر علماء القرن السابع عشر. ينص قانون بويل على أن: « حجم عينة محددة من الغاز يتناسب عكسياً مع الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة الحرارة». ويمكن التعبير عنه رياضياً كما يلي :

حسب القانون بثبوت درجة الحرارة

$$V \propto \frac{1}{P} \rightarrow V = \text{constant} \times \left(\frac{1}{P} \right) \rightarrow V \times P = \text{constant}$$

حيث V حجم الغاز، و P ضغط الغاز، و constant ثابت التناسب، تعتمد قيمته على كمية الغاز المستخدمة ودرجة الحرارة التي أجريت عندها التجربة .

بيانياً نرسم العلاقة بين الضغط مقابل الحجم ، رسم العلاقة بين $\left(\frac{1}{P} \right)$ على محور السينات والحجم V على محور الصادات



الشكل (٥)

ويسمى الغاز الذي يخضع لهذه العلاقة اسم الغاز المثالي (الكامل). وعندما يتحول الغاز بعملية ثبات درجة الحرارة (من شروط أولية) حالة محددة بالقيمتين الابتدائيتين (P_1, V_1) الى شروط نهائية حالة أخرى لها قيمتان جديدتان (P_2, V_2) ونظراً لثبات حاصل ضرب $(P \times V)$ فإنه يمكن كتابة قانون بويل على

الشكل التالي:

$$PV = \text{Constant} \quad \text{أو} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

مثال (9)

يبلغ ضغط كمية معينة من غاز في إناء حجمه 4L مقدار 2atm عند 0°C فكم يبلغ ضغط نفس الكمية عند نفس درجة الحرارة إذا وضعت في إناء حجمه 2L؟
الحل: بتطبيق قانون بويل:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = 2 \left(\frac{4}{2} \right) \therefore P_2 = 4 \text{ atm}$$

مثال (10)

2L من غاز الأكسجين (O_2) تحت ضغط 760mmHg أو وجد حجمه إذا زاد الضغط إلى 8atm عند ثبوت درجة الحرارة؟
الحل: بتطبيق قانون بويل

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} = 2 \left(\frac{1}{8} \right) \therefore V_2 = 0.25 \text{ L}$$

تقويم ذاتي :

- 1 - أسطوانة ذات مكبس متحرك تحتوي على 500 cm^3 من غاز الأكسجين تحت ضغط يساوي 60KPa فإذا حرك المكبس حتى أصبح حجم نفس الكتلة 300 cm^3 فاحسب الضغط النهائي داخل الأسطوانة؟
- 2 - عينة من غاز مثالي، فإذا كان حجمها 5L تحت ضغط قدره 15atm فاحسب حجم هذا الغاز إذا صار ضغطه 3atm باعتبار درجة الحرارة ثابتة.

ثانياً : العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة (قانون تشارلز-جي لوساك):

Charles – Gay Lussac's Law

تم إكتشاف العلاقة الثانية بعد 100 عام تقريباً من إكتشاف بويل على يد العالم جاك شارلز Jacques Charles. لاحظ العالم شارلز في أثناء تبريده للغاز ان حجمه يتقلص بمقدار من حجمه الأصلي عند إنخفاض درجة حرارته بمقدار درجة كلفن واحدة، أي أن العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شارلز ان يعرف ما إذا كانت هناك حدود لإنخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يستطع تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جداً كما يحدث في المختبرات

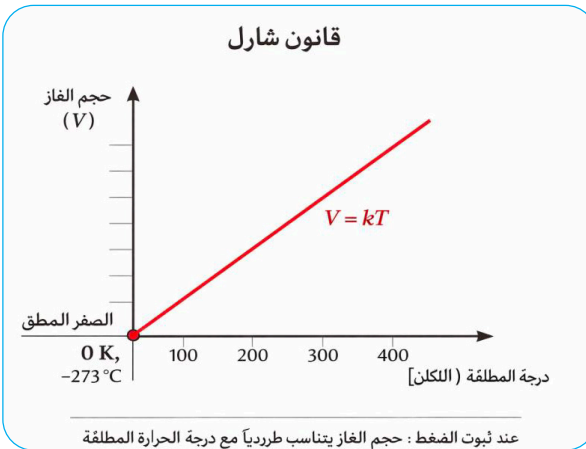
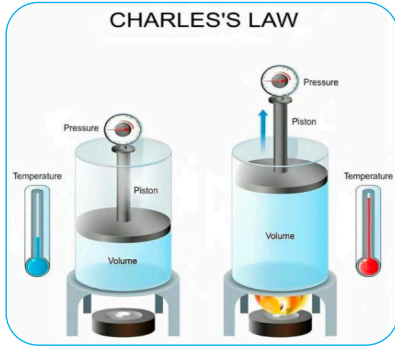
الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك انه إذا إنخفضت درجة الحرارة إلى C فإن حجم الغاز يصبح صفراً. وسميت هذه الدرجة بالصفر المطلق، وتمثل الصفر بمقياس كلفن الحراري. وتشير التجارب إلى أن:

«عند ثبوت الضغط فإن حجم عينة الغاز يتغير طردياً مع درجة حرارتها». وتعرف هذه النتيجة بقانون شارلز.

وهذا يعني أنه عند تسخين الغاز يتمدد (يزداد حجمه) وعند تبريده ينكمش (يقل حجمه).
الشكل (6)

الصيغة الرياضية للقانون :

$$V \propto T \rightarrow \frac{V}{T} = \text{constant} \therefore \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



وبرسم العلاقة بين حجم الغاز V ودرجة الحرارة المطلقة T نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل كما هو موضح بالشكل (شكل 7)

شكل (7)

تطبيق قانون شارل في الحياة الواقعية:

- في فصل الشتاء عندما يكون الطقس بارد ، تقل سعة الرئتين . وهذا يجعل أداء الرياضيين أكثر صعوبة في يوم شتوي شديد البرودة ، كما يجعل ممارسة الجري أكثر صعوبة .
- في الطقس البارد أو في بيئة باردة ، تنكمش بالونات الهليوم .

مثال (11)

يشغل غاز حجماً قدره 400cm^3 عند درجة حرارة 27°C وضغط 780 ملم زئبق. ماهو حجم الغاز باللترات عند درجة حرارة 87°C وضغطه 780 ملم زئبق ؟

الحل :

$$V_1 = 400\text{cm}^3, T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}^\circ, T_2 = 87 + 273 = 360 \text{ K}^\circ$$

عند ثبوت الضغط نطبق قانون شارلز:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = T_2 \times \frac{V_1}{T_1} = 360 \times \frac{400}{300} = 520\text{cm}^3 = 0.520 \text{ lit}$$

مثال (12)

عينه من الغاز حجمها الابتدائي 32 lit ودرجة حرارتها الابتدائية 67°C ما درجة حرارة الغاز عندما يكون حجمه 17 lit ؟

الحل

$$V_1 = 32 \text{ lit}, T_1 = 67 + 273 = 340 \text{ K}^\circ, V_2 = 17 \text{ lit}, T_2 = ?$$

عند ثبوت الضغط نطبق قانون شارلز:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow T_2 = V_2 \times \frac{T_1}{V_1} = 17 \times \frac{340}{32} = 177 \text{ K}^\circ$$

تقويم ذاتي :

1 - ما الحجم (V_2) لعينة من غاز حجمها الابتدائي ($V_1 = 600 \text{ cm}^3$) عند 27°C إذا سخنت إلى 627°C .

2 - لغاز النيون إذا علمت أن درجة الحرارة الابتدائية والنهائية هي 300K° و 400K° أوجد حجمه النهائي إذا علمت أن حجمه الابتدائي يعادل 2.5L

قانون أفوكادرو Avogadro's Law :

نلاحظ أنه كلما أضفنا مزيداً من الغاز للبالونات أو لإطارات السيارات فإنها تزداد أحجامها ، مما يدعونا للإستنتاج أن العوامل المؤثرة على حجم الغاز ليست فقط الضغط (قانون بويل) ودرجة الحرارة (قانون شارلز) بل كمية الغاز (n) أيضاً.

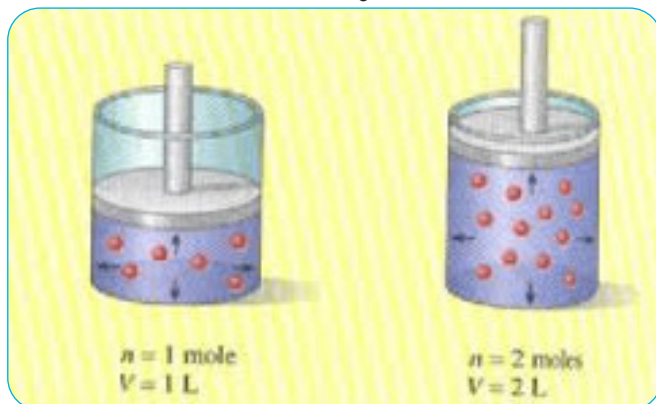
اقترح العالم أفوكادرو فرضية تنص على : « عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة تحتوي الحجوم المتساوية (V) من الغازات المختلفة على نفس العدد من

الجزئيات (N) أو الذرات «

$$V \propto n \rightarrow V = (\text{constant}) \cdot n \rightarrow \frac{V}{n} = \text{constant}$$

وهذا يعني أن مضاعفة عدد المولات يضاعف حجم الغاز عند نفس الظروف من الحرارة والضغط . وجد أفوكادرو أن المول الواحد لأي غاز أو بخار يحتوي على عدد ثابت من الجزئيات:

$$\text{عدد أفوكادرو} = 6.023 \times 10^{23}$$



شكل (8)

مثال (13)

يبلغ حجم مول واحد من غاز ما ($V_1 = 10 \text{ L}$) عند ضغط محدد ودرجة حرارة محددة ، فما حجم (V_2) عشر مولات ($n_2 = 10 \text{ moles}$) من هذا الغاز عند نفس الظروف؟

الحل

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \rightarrow V_2 = V_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \therefore V_2 = 10 \left(\frac{10}{1} \right) = 100 \text{ L}$$

قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

باستخدام النظرية الحركية الجزيئية تكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزئيات N . إفتراض أن حجم الغاز المثالي و درجة حرارته ثابتان، فإذا إزداد عدد الجزئيات يزداد عدد التصادمات التي تؤثر بها الجزئيات في الإناء؛ لذا يزداد الضغط، وفي المقابل إنتقاص بعض الجزئيات تقلل من عدد التصادمات؛ لذلك يقل الضغط، كما تستطيع إستنتاج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب طردياً مع N .

$$\frac{PV}{T} = kN$$

يسمى الثابت k بثابت بولتزمان، ويساوي $N \cdot 1.38 \times 10^{-23} \text{Pa.m}^3$ عدد الجزيئات هورقم كبير جداً، لذلك بدلاً من استخدام N يستخدم وحدة تسمى المول (mole)، وتختصر (mol) وتمثل في المعادلات بالحرف (n) ، والمول الواحد يساوي 6.0228×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو. إن استخدام المولات عوضاً عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R ، وقيمته تساوي $8.31 \text{Pa.m}^3/\text{mol.k}$

يمكن الآن بإعادة الترتيب، كتابة قانون الغاز المثالي بأكثر الصيغ شيوعاً:

وجدنا من قانون بويل أنه عند ثبات درجة الحرارة وعدد المولات إن: $V \propto \frac{1}{p}$

ومن قانون شارل أنه عند ثبات الضغط وعدد المولات إن: $V \propto T$

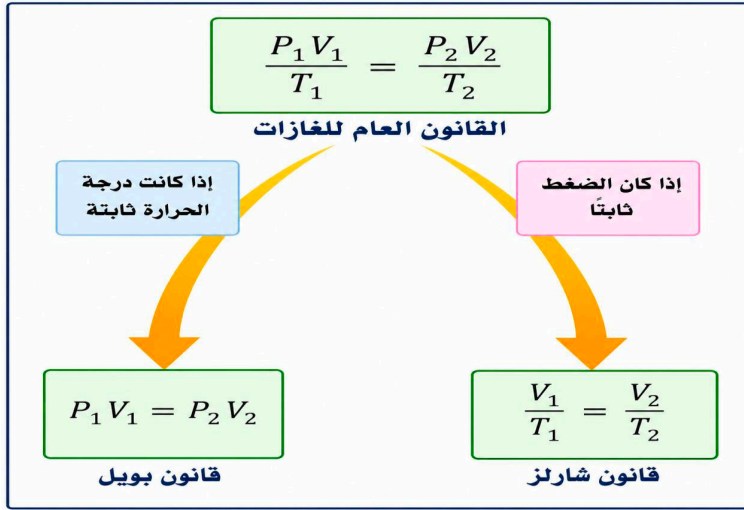
ومن قانون أفوكادرو عند ثبات الضغط ودرجة الحرارة إن: $V \propto n$ وبتطبيق قانون النسبة والتناسب في الرياضيات نجد أن:

$$V \propto n.T \cdot \frac{1}{p} \rightarrow V = \text{constant} \left(n.T \cdot \frac{1}{p} \right) \therefore P.V = n.R.T$$

حيث R يمثل ثابت التناسب يسمى بثابت الغازات العام وبالتالي نكون قد حصلنا على قانون الغازات العام:

$$P.V = n.R.T$$

تعرف الغازات التي تخضع لهذه العلاقة بالغازات المثالية، أما الغازات التي تنحرف عنها فتعرف بالغازات الحقيقية.



شكل (9): استخدام القانون العام للغازات لإشتقاق قانوني بويل وشارلز

هناك عدة نقاط مهمة يجب مراعاتها عند تطبيق هذا القانون وأهمها:

- 1 - أن قيمة درجة الحرارة T يجب أن تكون دائماً بالدرجة الكلفينية.
 - 2 - استخدام الوحدات المناسبة لمختلف الكميات المستخدمة.
- إذا طبقنا هذه العلاقة على نفس العينة من الغاز أي نفس عدد المولات تحت ظرفين مختلفين من الضغط والحجم ودرجة الحرارة فإنه يمكن الحصول على العلاقة التالية :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

بحيث إذا عرفنا قيم خمسة متغيرات منها، فإنه يمكن حساب المتغير السادس بسهولة.

مثال (14)

عينة من النيون تشغل حجماً قدره 10L عند 27°C تحت ضغط 1000 torr ما الحجم الذي تشغله عند الظروف القياسية (Standard Conditions) ؟

الحل

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \left(\frac{T_2}{P_2} \right) \left(\frac{P_1 V_1}{T_1} \right) = \left(\frac{273}{760} \right) \left(\frac{1000 \times 105}{300} \right) = \left(\frac{373 \times 35}{76} \right) L$$

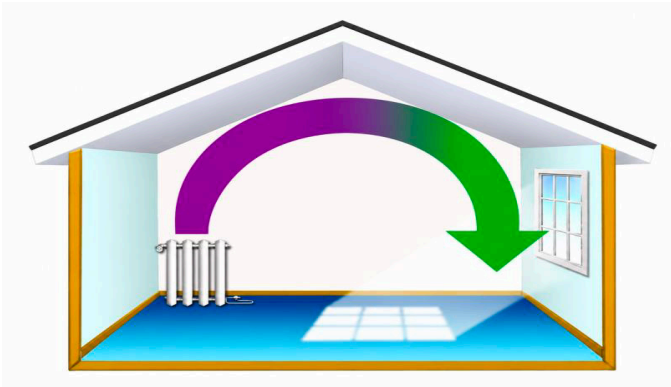
تقويم ذاتي:

- 1 - إذا علمت أن غازاً محصوراً في وعاء حجمه 2L أوجد مقدار حجمه النهائي إذا تغير ضغطه من 4Pa إلى 8Pa.
- 2 - غاز محصور في وعاء حجمه 4L ودرجة حرارته $300K^{\circ}$ كم يصبح مقدار حجمه إذا تغيرت درجة حرارته إلى $400K^{\circ}$.

التمدد الحراري للمواد Thermal expansion

من خلال تطبيق القانون العام للغازات، لعلك لاحظت أن الغازات تتمدد عند ارتفاع درجة حرارتها. فعندما تسخن المادة في حالاتها الصلبة والسائلة والغازية تصبح كثافتها أقل، وتتمدد لتملاً حيزاً أكبر. وتسمى هذه الخاصية التمدد الحراري، ولها تطبيقات مهمة في الحياة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عند ارتفاع درجة حرارة الهواء القريب والملامس لأرضية الغرفة، تقوم قوة الجاذبية بسحب الهواء البارد (الأكثر كثافة) والملامس لسقف الغرفة إلى أسفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر حرارة إلى أعلى. يسمى عملية دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل، الشكل (10). الذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. ويمكنك أيضاً مشاهدة تيارات الحمل في إناء ماء ساخن، دون درجة الغليان سنتناول ذلك في موضوع انتقال الحرارة بالوحدة الثانية؛ فعندما يسخن الإناء من القاع فإن الماء الأكثر برودة ذا الكثافة العالية يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يدفع إلى أعلى عن طريق تدفق الماء الأبرد من أعلى.



شكل (10): يرتفع الهواء الساخن الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأكبر كثافة

يحدث التمدد الحراري في معظم السوائل، ولا يوجد نموذج مثالي ينطبق عليها جميعاً، ولكن من المفيد أن نفكر في السائل كمسحوق ناعم لمادة صلبة، حيث تتحرك المجموعات المكونة من جسيمين أو ثلاثة جسيمات أو أكثر من ذلك معاً كما لو كانت قطعاً صغيرة جداً من المواد الصلبة. وعندما يسخن السائل، وتمدّد هذه المجموعات بفعل الحركة الجزيئية، تماماً كما تدفع الجسيمات في المواد الصلبة فيبتعد بعضها عن بعض في أجزاء متفرقة، كما تتزايد الفراغات بين المجموعات، وتمدّد السائل كله.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متساوية تتمدّد السوائل بصورة أكبر كثيراً من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدّد به الغازات.

إن تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الفيزيائية للمادة ومن أبرز هذه التغيرات هو تغير أبعاد المادة.

تسمى ظاهرة تغير أبعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدّد الحراري
Thermal expansion

عدا بعض الاستثناءات مثل الماء. ومن المعروف أن معظم المواد (الصلبة- السائلة- الغازية) تتمدّد عندما تزداد درجة حرارتها ، ويتوقف مقدار تمدد المادة بالتسخين على مقدار قوى التماسك بين جزيئاتها ، فالمادة الصلبة يكون مقدار تمددها بالتسخين صغيراً جداً نظراً لكبر قوى التماسك بين جزيئاتها .

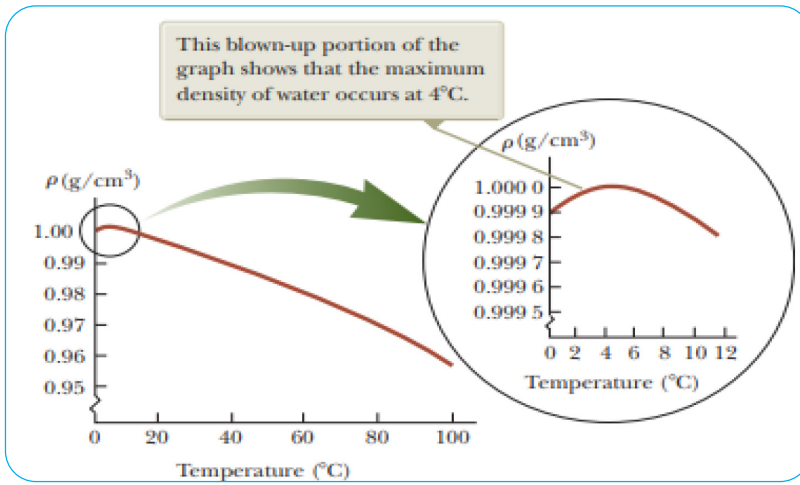
فكر:

لماذا يطفو الجليد؟

السلوك الشاذ للماء :

يزداد حجم السوائل بصفة عامة عند إرتفاع درجة الحرارة إلا أن الماء يشذ عن هذه القاعدة مع ارتفاع درجة الحرارة من 0°C إلى 4°C ينكمش حجم الماء وتزداد كثافته وتصل إلى أعظم قيمة وهي 1000kg/m^3 عند 4°C ، وعند درجة حرارة أعلى من 4°C يتمدّد الماء مع زيادة درجة الحرارة وتقل كثافته . ويمكن استخدام التمدد الحراري غير المعتاد للماء في تفسير تجمد مياه المستنقعات عند السطح وليس عند القاع ، فعندما تهبط درجة حرارة الجو من 7°C إلى 6°C يبرد الماء عند السطح ومن ثم يقل الحجم وهذا يعني أن الماء عند السطح أكبر كثافة من الماء الذي أسفله

نظراً لأنه لم يبرد ليقبل حجمه ، نتيجة لذلك يهبط الماء من السطح إلى أسفل ويرتفع الماء الدافئ من الأسفل إلى السطح ليبرد ، فعندما تكون درجة حرارة الجو بين 0°C و 4°C يتمدد الماء كلما قلت درجة حرارته ليصبح أقل كثافة من الماء الذي أسفله وبالتالي تتوقف عملية تبادل تيارات الماء . ومن الطبيعي أن يتجمد الماء عند السطح. فعندما يتجمد الماء يظل الجليد فوق السطح لأنه أقل كثافة من الماء ويتراكم الجليد على السطح بينما يظل الماء قرب القاع عند درجة حرارة 4°C . ولو لم يكن الأمر كذلك لما استطاعت الأسماك وغيرها من أشكال الحياة أن تعيش في البحار التي تتجمد مياهها في الشتاء.



شكل (11)

تمدد الاجسام الصلبة:

كما ذكرنا إن تمدد الاجسام الصلبة يكون صغيراً مقارنة مع السوائل والغازات ، فعند رفع درجة حرارة جسم تزداد طاقة حركة جزيئاته وبالتالي تزداد سعة إهتزازتها ونتيجة لهذه الزيادة في سعة اهتزاز الجزيئات سوف يزداد متوسط المسافة بين كل جزء والجزيئات المجاورة، أى ان الجسم سيتمدد عند رفع درجة حرارته . كتقريب بسيط ، هذه الظاهرة تلعب دوراً رئيسياً في العديد من التطبيقات الهندسية ، فعلى سبيل المثال يتم ترك فواصل للتمدد الحراري في المباني والجسور والسكك الحديدية والطرق السريعة . وإذا لم يتم فعل ذلك يمكن أن يتصدع المبنى أو تنهار الجسور وتلتوى السكك الحديدية بفعل التمدد الحراري للمواد.

البلازما:

إذا قمت بتسخين مادة صلبة فإنها تنصهر لتكون سائلاً. وعند إستمرارك في التسخين يتحول السائل إلى غاز، ما الذي يحدث إذا إستمرت في تسخين الغاز؟ تزداد التصادمات بين الجزيئات إلى درجة كبيرة يكفي لإنزع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شبه الغازية للإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتمثل البلازما حالة أخرى من حالات الموائع للمادة.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شائعة، رغم أن معظم المواد في الكون في حالة البلازما؛ فمعظم مكونات النجوم بلازما في درجات حرارة عالية جداً، كما أن أكثر المواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعالة النشطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما. ما البلازما؟

-البلازما (Plasma) هي إحدى حالات المادة الأساسية، وتعرف أحياناً بأنها الحالة الرابعة للمادة بعد: 1. الصلبة 2. السائلة 3. الغازية 4. البلازما -تشأ البلازما عندما يكتسب الغاز مقداراً كبيراً من الطاقة الحرارية أو الكهربائية، فتتحرر بعض إلكترونات الذرات من مداراتها، ويتحول الغاز إلى خليط من:

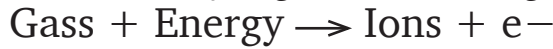
- أيونات موجبة

- إلكترونات حرة

- ذرات متعادلة

لذلك تكون البلازما وسطاً موصلًا للكهرباء ومتأثراً بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية.

ويمكن وصف عملية التاين بصورة مبسطة:

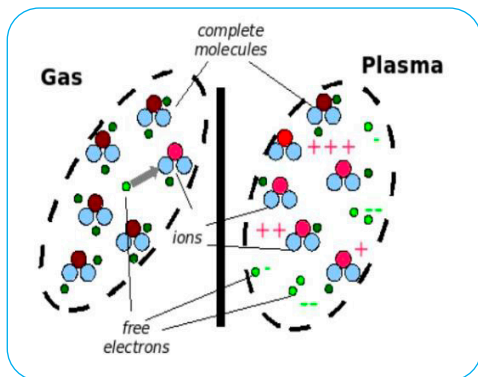


جدول (2): الفرق بين البلازما والحالات الأخرى للمادة

الخاصية	الصلب	السائل	الغاز	البلازم
شكل ثابت	نعم	لا	لا	لا
حجم ثابت	نعم	نعم	لا	لا
حرية حركة الجسيمات	ضعيفة	متوسطة	كبيرة	كبيرة جداً

التوصيل الكهربائي	ضعيف غالباً	ضعيف	ضعيف	ممتاز
التأثر بالمجالات المغناطيسية	محدود	محدود	ضعيف	قوي
وجود جسيمات مشحونة	لا	لا	نادراً	نعم

- عليه يمكن تمييز المادة بحالتها الغازية عنها بحالة البلازما بالشكل التالي:
الفرق بين الغاز والبلازما:



1. البلازما والغاز لهما حجم كأي غاز حقيقي.
2. درجة حرارة البلازما عالية مقارنة بدرجة حرارة الغاز.
3. البلازما كالغازات تخضع للقانون العام للغازات.
4. البلازما موصلة للكهربائية بينما الغازات رديئة التوصيل.

5. البلازما تؤثر وتتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية حيث لا ينفذ المجال المغناطيسي في البلازما إلا في حالة كون كثافة ودرجة الحرارة للبلازما قليلة، في حين ان الغازات لا تتأثر بالمجالات المغناطيسية بأي كثافة.
6. ان البلازما هي مادة دايا مغناطيسية أي أنها تولد مجالاً مغناطيسياً عندما يسלט عليها مجال مغناطيسي خارجي. مقدار المغناطيسية التي تولدها تعتمد على كثافتها ودرجة حرارة مكوناتها.

وجود البلازما في الطبيعة

يعد البلازما أكثر حالات المادة انتشاراً في الكون، من أمثلتها: البرق، سطح الشمس، النجوم، الشفق القطبي والرياح الشمسية. معظم المادة الكونية الموجودة في النجوم تكون في درجات حرارة عالية جداً، إلى الحد الذي تصبح فيه الطاقة الحركية لذرات المادة كافية لإحداث تأين لهذه الذرات عند عمليات التصادم المتكررة، بالإضافة إلى تجهيز طاقة حركية فائضة للأيونات تكفي للتغلب على التنافر الكهروستاتيكي بين الأيونات الموجبة مما يؤدي إلى حدوث تفاعلات اندماج نووي تقوم بدورها بتوليد كميات كبيرة جداً من الطاقة

وتعتبر هذه العملية هي الأساس في تولد الطاقة في الكون. أما على سطح الأرض فان عملية تأين جزيئات الهواء المحيط بالكرة الأرضية ناتج عن سقوط الاشعة فوق البنفسجية على الطبقة الهوائية المحيطة بالارض. وفي الحالات الاعتيادية يجب توفير درجات حرارة عالية لإحداث التأين لذا يتم انتاج البلازما بمختبرات خاصة . فطاقة التأين تكون بحدود بضع وحدات إلكترون فولت (eV) لذا يجب أن تكون درجة الحرارة كافية لإحداث التأين أي مساوية لجهد التأين لذا فان درجة حرارة العتبة تقع بين $10^3 - 10^5 K^\circ$ وقد تصل إلى عدة ملايين كلفن.

المصابيح الكهربائية المتفلورة والزنبقية أو الهالوجينية مثال على البلازما كغاز متأين لكنها تتضمن تأين جزئي لان البلازما هنا تتعرض لعملية تبريد مستمرة وسريعة من خلال اصطدام الإلكترونات والايونات بجدار المصباح البارد. أن وجود البلازما في درجات حرارة عالية يضع قيوداً على مسألة احتواء البلازما فلا يوجد وعاء مادي يحتمل درجة حرارة البلازما ، لكن تحفظ البلازما ضمن مجالات مغناطيسية بحيث لايسمح للبلازما أن تلامس الجدران المادية للوعاء.

أشكال البلازما:

بلازما تصدر عن أجهزة صناعية: -

- شاشات البلازما.
- مصابيح التألّق (الفلوريسن ذات الطاقة الضعيفة).
- عوادم الصواريخ.
- لحام القوس الكهربائي.
- مصابيح البلازما (كرة البلازما).
- حفر رقائق الحاسوب لإنتاج أشباه الموصلات.

بلازما طبيعية أرضية: -

- البرق وكرة البرق.
- طبقة الغلاف المتأين.
- الشفق القطبي.

بلازما طبيعية كونية فلكية وفضاء كوني: -

- النجوم.
- الرياح الشمسية.
- الفراغ المحيط بين النجوم والكواكب.
- حلقة أحد أقمار المشتري.
- الأقراص الناشئة من تكوين الأجسام النجمية الضخمة.

أهمية دراسة البلازما:

- لقد تم الاهتمام بحالة المادة الرابعة (البلازما) من قبل العديد من العلماء لأهميتها في الكثير من الدراسات والمجالات وتتضمن أهميتها في عدة اسباب :
- إن البلازما موصلاً جيداً للتيار الكهربائي ومصدراً للضوء.
- إن البلازما هي الحالة الأكثر سعة في عالم منظومتنا الشمسية عند درجات الحرارة العالية.
- تعد البلازما نظاماً ديناميكياً تتحكم به القوى الكهرومغناطيسية.
- تستخدم البلازما في التطبيقات الصناعية المتعددة.
- تعالج مشاكل تقنية مهمة مثل المشاكل التي تواجه بناء مفاعلات الاندماج النووي.

أنواع البلازما:

تصنف البلازما وفقاً للدرجات الحرارية إلى :

البلازما الباردة : Cold plasma

هي غالباً ما تكون متأينة جزئياً (ضعيفة التأين) تتراوح درجة حرارتها بين مئات إلى عدة الاف من الدرجات المئوية وبطاقة حركية مقدارها (1 eV) ويطلق عليها اسم التفريغ في الغازات وهي النوع المستخدم في أغلب البحوث العلمية.

البلازما الساخنة Hot plasma

هي بلازما تامة التأين وتعد الوسط الأساسي التي يمكن أن تحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي ومثال عليها بلازما ساخنة توصل إليها الإتحاد السوفيتي سابقاً في معجلات التوكماك (Tokomak) وتتراوح درجة حرارتها بين مئات الى عدة ملايين من الدرجات الحرارية، وبطاقة حركية بحدود (10 eV).

الخصائص العامة للبلازما:

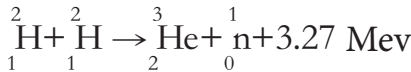
- البلازما على الأغلب تكون غير متجانسة (درجة الحرارة، التركيز، المجال المغناطيسي).
- البلازما غالبا ما تكون متباينة الخواص أي أن خواصها تعتمد على الاتجاه.
- البلازما مبددة أي أن الطاقة الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية ممكن أن تتحول الى حرارة.
- البلازما موصلة للكهربائية حيث يظهر حث فارادي عند تحرك البلازما.
- البلازما لزجة اي ان الطاقة الميكانيكية تتبدد إلى الحرارة وتظهر طبقات بين اطراف البلازما.
- البلازما موصلة للحرارة بحيث يمكن نقل الحرارة من خلال البلازما إلى جسم اخر.
- البلازما ذات نفاذية مغناطيسية ضعيفة لذلك البلازما تعمل على إضعاف المجال المغناطيسي.

بعض تطبيقات فيزياء البلازما:

مفاعلات الاندماج النووي Thermonuclear Function في تفاعلات الاندماج النووي تتحد نوى خفيفة (H ، He) لتكون نوى أثقل ينتج عنه تحرير أو اطلاق كميات كبيرة من الطاقة وذلك لأن مجموع كتل النوى الناتجة من التفاعل هو أقل من مجموع كتل النوى الداخلة في التفاعل لذلك فإن الفرق في الكتل سيظهر بشكل طاقة متحررة مقدارها ΔE .
وحسب معادلة انشتاين :

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

من الأمثلة على التفاعلات التي يمكن إستغلالها في إنتاج طاقة الاندماج النووي :



المولدات المغناطوهيدروديناميكية (MHD) (Magneto Hydrodynamic):

من التطبيقات المهمة لفيزياء البلازما هي إمكانية تحويل الطاقة الحرارية للبلازما بشكل مباشر الى طاقة كهربائية بواسطة مايسمى بالمولد المغناطوهيدروديناميكي .
إن هذا النوع من المولدات يعتمد على إمكانية استخدام مجالات مغناطيسية عمودية على اتجاه حركة البلازما لغرض إبطائها وتحويل طاقتها إلى طاقة كهربائية.

الدفع النفث بواسطة البلازما Plasma Jet Propulsion هنا مبدأ العمل معاكس لما في المولدات المغناطو هيدرو ديناميكي (MHD) أي تقوم بتحويل الكهربائية الى طاقة ميكانيكية وذلك باستخدام مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي يعملان باتجاهين متعاكسين على بعضهما.

في تطبيقات الليزر: ويتم استخدام مضخات البلازما والتي تستخدم في تكبير الموجات الكهرومغناطيسية والتي تستخدم في إنتاج الليزر.

كيف نحصل على بلازما ؟

نحصل على بلازما بالتأين ويتم كما يلي : للحصول على بلازما كثيفة تنتج من تصادم الألكترونات والايونات بالذرات المتعادلة والذرات المتعادلة فيما بينها . اما للحصول على بلازما متخلخلة أو قليلة التأين فيتم بواسطة ما يسمى التأين في المجالات الكهربائية أو التأين بالأشعاع ذات الطاقة الكافية للتأين .

ملاحظات

- عكس عملية التأين هي عملية إعادة الاتحاد Recombination . وتحصل فقط عند فقدان الطاقة من قبل الإلكترونات .
- أن مثال البلازما في الحالة الغازية هي طبقة الأيونوسفير وفي الحالة الصلبة هي أشباه الموصلات وفي الحالة السائلة هي المحاليل الإلكتروليتية .

خلاصة :

- البلازما غاز متأين يحتوي على جسيمات مشحونة .
- تعد الحالة الرابعة .
- تمتاز بالتوصيل الكهربائي والتأثر بالمجالات المغنطيسية .
- تشكل معظم المادة المرئية في الكون .
- لها تطبيقات واسعة في: الطب - الصناعة - الفضاء - الطاقة النووية .

(2) القوى في الموائع :

من الملاحظ حتى الآن، يتم التعامل مع السوائل باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جزيئاتها بحرية الحركة، والإنزلاق بعضها فوق بعض. تبين خصوصية الماء في تمدده بين درجتي حرارة 0°C و 4°C أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى قوى التماسك، تؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

فهناك نوعان مهمان من القوى التي تؤثر على جزيئات السوائل هما : قوى التماسك وقوى التلاصق حيث يصف التماسك قوة الترابط بين الجسيمات المتماثلة أما التلاصق فيصف قوى الترابط بين الجسيمات المختلفة .

قوى التماسك Cohesion : هي خاصية انجذاب جزيئات المائع إلى بعضها البعض وهي القوة المسببة للتوتر السطحي و اللزوجة. (اللزوجة = احتكاك داخلي بين جزيئات السائل يعمل على إبطاء تدفقه)

قوى التلاصق Adhesion : هي قوى تجاذب بين جزيئات مواد مختلفة . مما يسبب إلتصاق السوائل بالاسطح الصلبة

التوتر السطحي :

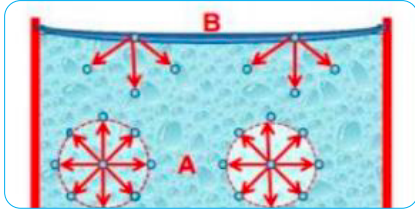
تتسأ ظاهرة التوتر السطحي من قوى التجاذب الموجودة بين الجزيئات والتي تؤثر على بعد صغير جداً وتسمى بقوى الجذب الجزيئية التي تعمل على تماسك جزيئات المادة مع بعضها البعض (هذه القوى تجعل السائل يعمل كغشاء مشدود يمكن أن يتحمل الضغط الواقع عليه ، مثلاً نجد بعوضة تقف على سطح قطرة سائل).

- التأثير الذي يجعل الطبقة السطحية لأي سائل تتصرف وكأنها ورقة مرنة .
- التأثير الذي يسمح للحشرات بالسير على الماء .
- المسبب أيضاً للخاصية الشعرية.

يمكن تعريف التوتر السطحي بأنه: خاصية ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة بسبب قوى التماسك بين جزيئات السائل .

تكون قوى الجذب الجزيئية في السوائل أقل منها بالمقارنة معها في الأجسام الصلبة، وهذا يفسر تغير شكل السائل بتغير شكل الاناء الذي يحويه .

ما السبب في أن المطر يسقط على هيئة قطرات وأن الزئبق يأخذ شكلاً كروياً عندما يسكب على أي سطح وان الصابون يزيل البقع من الملابس؟



شكل (12)

السبب هو ظاهرة التوتر السطحي وهو ذلك التأثير الذي يجعل الطبقة السطحية لأي سائل تتصرف كورقة مرنة . والذي يسمح للحشرات بالسير على الماء ، وطفو الأشياء المعدنية الصغيرة كالإبرة أو أجزاء ورق القصدير على سطح الماء.

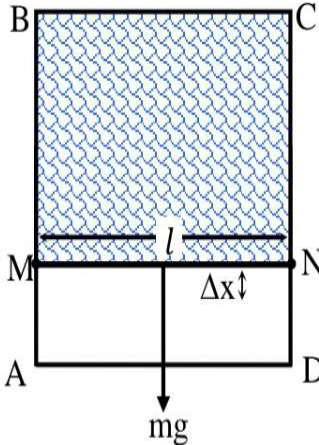
تعريف معامل التوتر السطحي : هو القوة المؤثرة عمودياً على وحدة الأطوال من سطح السائل .

$$\gamma = \frac{F}{L} \text{ (N/m)}$$

تعريف معامل الشد (التوتر) السطحي Coefficient of surface tension:

يعرف معامل التوتر السطحي لسائل بأنه القوة التي تؤثر في إتجاه عمودى على وحدة الأطوال من خط مستقيم يحتويه سطح السائل . ويرمز له بالرمز T و وحداته بالنظام الدولي للوحدات نيوتن / متر، وبالنظام العلمي داين / سم. ومعادلة أبعاده هي:

$$\gamma = \frac{\text{Force}}{\text{Length}} = \frac{MLT^{-2}}{L} = MT^{-2}$$



شكل (13)

نفرض أن لدينا سلكاً مكوناً للإطار ABCD كما في الشكل أدناه، وأن السلك MN ينزلق على الضلعين AB، CD. فإذا إنغمس هذا الإطار في محلول صابون مثلاً بحيث يتكون غشاء داخل الحيز MNCB، فتتكون قوة جذب نتيجة التوتر السطحي تعمل على تقلص وسحب السلك MN إلى الضلع BC . ولكي يظل السلك في مكانه، فلا بد وأن نؤثر على السلك بقوة F يمكن الحصول عليها من تعليق كتله خفيفه أى أن ($F = mg$) بحيث يحدث اتزان ، وفي هذه الحالة نجد أن:

$$F = mg = 2\gamma l$$

وذلك لأن الغشاء له وجهان l هي طول السلك MN .

مثال (15)

تكون غشاء من الصابون على إطار على شكل مربع طوله 8 سم حينما غمر في محلول من الصابون. فإذا كان الإطار معلقاً في كفة ميزان. وكانت الكتلة التي يجب وضعها في الكفة الأخرى كي تعادل الشد الناتج عن التوتر السطحي هي 0.4 جرام. أوجد الشد السطحي لمحلول الصابون.

الحل:

القوة المؤثرة على الإطار الناتجة عن الشد السطحي F هي:

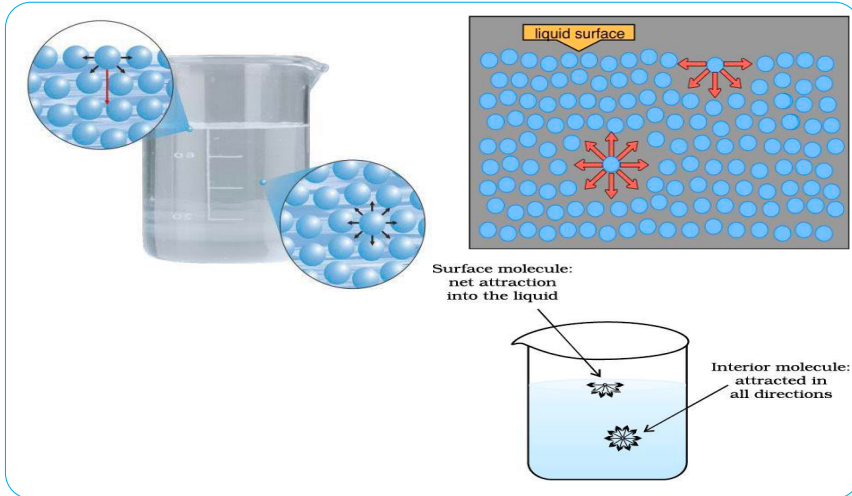
$$F = 2\gamma l \rightarrow \gamma = \frac{F}{2l} = \frac{mg}{2l} = \frac{0.4 \times 10}{2 \times 0.08} = 25 \text{ N/m}$$

النظرية الجزيئية للتوتر السطحي :

تفسر النظرية الجزيئية للتوتر السطحي سلوك السائل اعتماداً على حركة الجزيئات، وقوى التجاذب بينها وتوزيع القوى داخل السائل:

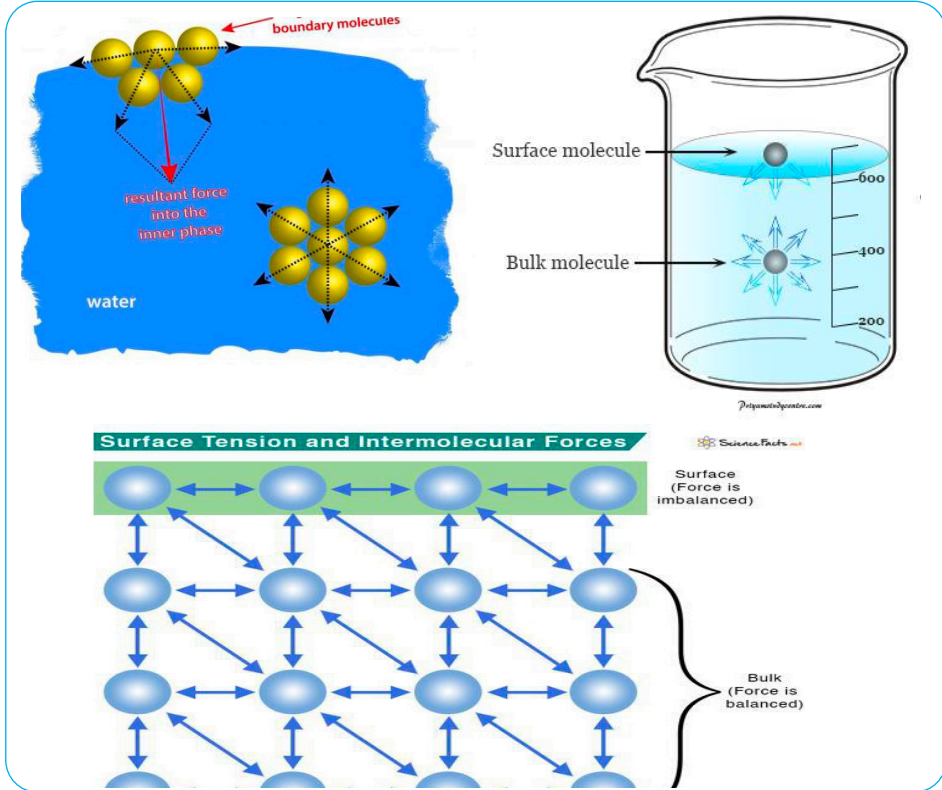
حركة الجزيئات - قوى التجاذب بينها - توزيع القوى داخل السائل وعند سطحه.

أولاً: حالة الجزيئات داخل السائل، تكون جزيئات السائل محاطة بجزيئات أخرى من جميع الاتجاهات، وخاضعة لقوى تجاذب متساوية تقريباً. لذلك تكون محصلة القوى المؤثرة على الجزيء مساوية تقريباً للصفر.



شكل (14): محصلة القوى المؤثرة على الجزيء تساوي صفر

ثانياً: حالة الجزيئات عند سطح السائل، الجزيئات الموجودة عند السطح تختلف عن الجزيئات الداخلية لعدم وجود جزيئات سائل فوق السطح (توجد جزيئات فقط أسفلها وعلى الحوانب). لذلك تصبح قوى التجاذب غير متزنة، ومحصلة القوى تتجه إلى داخل السائل.



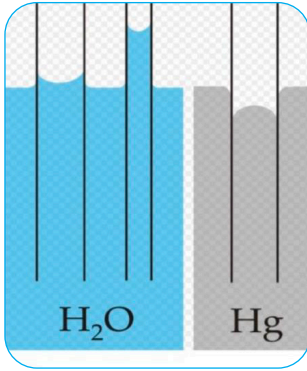
شكل (15): محصلة القوى تتجه إلى داخل السائل (قوى التجاذب غير متزنة)

نتيجة: بسبب إتجاه القوى إلى داخل السائل، وتكون محصلة هذه القوى عمودية على سطح السائل. يميل سطح السائل إلى الإنكماش ويحاول تقليل مساحة السطح لأقل قيمة ممكنة. ولهذا يتصرف السطح وكأنه غشاء مرن مشدود.

تقويم ذاتي :

- 1 - أذكر اسم نظرية لتفسير ظاهرة التوتر السطحي ؟
- 2 - إشرح باختصار مفهوم النظرية الجزيئية للتوتر السطحي ؟

الخاصية الشعرية Capillarity:



شكل (16)

هي خاصية فيزيائية ينتقل بها السائل من الأسفل إلى الأعلى ، في الأنابيب الشعرية كانتقال الماء من أسفل الشجرة (الجذور) إلى أعلاها الأوراق ، أو كارتفاع السائل عن طريق أنبوب شعري رفيع من الأسفل إلى الأعلى (دون التأثير عليه بقوة خارجية) عند وضعه في إناء كنتيجة لهذه الخاصية فإن المياه في النباتات تُسحب في المسامات الشعرية ذات الأقطار الصغيرة في إتجاه معاكس للجاذبية فوق مستوى المياه الجوفية لتشكل منطقة رطبة تسمى منطقة الشعيرات المائية.

وهو ما يحدث أيضاً في أنبوب زجاجي أو معدني ذو قطر صغير عند وضع إحدى طرفيه في وعاء ماء ويكون الطرف الآخر عمودياً ومفتوحاً على الضغط الجوي .

العوامل المؤثرة في الخاصية الشعرية :

• **قطر الأنبوب :** حيث كلما كان نصف القطر أصغر كان الارتفاع الشعري أكبر وهذا يفسر لماذا ترتفع السوائل في الأنابيب الدقيقة أكثر من الأنابيب ذات الأقطار الكبيرة .

- **قوى التلاصق :** قوى الجذب بين جزيئات السائل وجدار الأنبوب .
- **قوى التماسك :** قوى التجاذب بين جزيئات السائل نفسها .
- **التوتر السطحي :** القوة الناتجة عن جذب جزيئات السائل لبعضها البعض حيث تعطي السوائل صفة الأغشية

تطبيقات الخاصية الشعرية في الحياة اليومية:

- **الزراعة والري :** تساعد الخاصية الشعرية التربة على إمتصاص الماء ونقله إلى جذور النباتات .
- **الاقلام الحبرية :** يتم نقل الحبر من الخزان إلى رأس القلم باستخدام الخاصية الشعرية .
- **المناديل الورقية :** تعتمد قدرة المناديل الورقية على إمتصاص السوائل على الخاصية الشعرية مما يجعلها فعالة في التنظيف .
- **الصناعات الطبية:** تستخدم الخاصية الشعرية في تصميم معدات

الاختبار المختبرية التي تتعامل مع كميات صغيرة من السوائل ، مثل أنابيب التحليل الطبية.

التبخر و التكاثف:

تشكل المياه حوالي 70.8٪ من مساحة الكرة الأرضية ، متمثلة بالمحيطات والبحار، الأنهار الجارية والوديان ، البحيرات والمستنقعات والاهوار ، المياه المتجمدة والثلوج ، فضلاً عن المياه الجوفية ، تزود المياه الغلاف الجوي بالرطوبة الجوية التي تتراوح نسبتها من 0-4 ٪. ضمن ما يعرف بدورة الماء في الطبيعة أو الدورة الهيدرولوجية ، حيث تتعرض المياه والتربة إلى تأثير الإشعاع الشمسي ، فتتبخر المياه من جميع الأجسام الموجودة على سطح الأرض وتنطلق إلى الجو وفيه **تكاثف** وتتحول إلى صور من التساقط لتعود فتتحول تارة أخرى إلى مياه جارية فوق أو تحت الأرض . وبهذا فان هذه الدورة تتكامل بسلسلة مراحل هي :-

اولا :- التبخر.

التبخر :- وهو عملية انتقال جزيئات الماء من سطوح الماء أو التربة بالتبخر ومن النبات بالتتح ، أو من كليهما بشكل بخار إلى الهواء ، ويحدث عند تسخين الأجسام المكشوفة فتتحرك جزيئات الماء فيها وتتعلق بالهواء . وتتطلب عملية تبخر غرام واحد من الماء إلى حوالي 600 سعرة حرارية وتدعى بالحرارة الكامنة التي يحتفظ بها البخار ولها دور هام في توازن الطاقة على سطح الأرض ، كما ويسهم البخار بحد ذاته في تكوين الظواهر الطقسية والمناخية التي تحدث في الغلاف الجوي. تتباين قيم التبخر مكانياً وزمانياً في الغلاف الجوي بتأثير عدة عوامل أهمها :

1 - الإشعاع الشمسي: تنشط عمليات التبخر والتتح أثناء النهار وتضعف وتتلاشى عند الظلام وتتزايدان في المناطق التي تسقط عليها أشعة الشمس بشكل عمودي أو شبه عمودي ، وبهذا فان أكبر قيم التبخر تحدث فيما بين المدارين ، فيما تقل بالابتعاد عنها بالاتجاه نحو القطبين كما يشار إلى أن ثلث الطاقة التي يستلمها النبات تذهب إلى عملية التمثيل الضوئي ، فيما يذهب الثلثان الآخران لعملية التتح التي تزود الغلاف الجوي بقيم كبيرة من بخار الماء .

2 - الحرارة: ومع ارتفاع درجات الحرارة تزداد قيم التبخر ، فتزداد خلال الأشهر الحارة من السنة وتقل في الأشهر الباردة ، ويحدث مثل هذا التباين بين النهار والليل . كما وأن قابلية الهواء على حمل بخار الماء تزداد مع الزيادة في درجات الحرارة ، بل أن معدل الزيادة في الحمل أكثر من معدل الزيادة في الدرجات . وبهذا فان قابلية الهواء

على حمل بخار الماء تكون في النهار أكثر من الليل ، وفي الصيف أعلى من الشتاء ، وفي العروض الحارة اكبر من العروض المعتدلة وفي المعتدلة تزيد عن القطبية .

3- الرطوبة في الجو: إن الهواء المشبع ببخار الماء لا يستطيع حمل أية كمية إضافية من بخار الماء فتتوقف عملية التبخر عندما يكون الهواء المجاور مشبعاً بالرطوبة ، إلا إن قيم التبخر تزداد عندما يكون هناك نقص في رطوبة الهواء .

4 - ضغط بخار الماء: وتعتمد قيم التبخر أيضاً على مقدار الفرق في الضغط بين ضغط بخار الماء على السطوح المائية وداخل أوراق النبات من جهة ، وبين ضغطه في الهواء القريب من كل منهما ، فكلما كان الفارق كبير إزداد التبخر والعكس صحيح .

5 - حركة الهواء: ويعمل الهواء المتحرك على إزاحة جزيئات البخار من على السطوح المكشوفة سواء كانت مسطحات مائية أو يابسة أو نباتية ، فيسمح باستمرار وتزايد عملية التبخر .

6 - ملوحة المياه: إن سرعة تبخر المياه تتناسب عكسياً مع نسبة ملوحة المياه .
7 - خصائص التربة: وتتأثر عملية التبخر بخصائص التربة من حيث محتواها من الرطوبة ونسجتها وتركيبها ولونها ، فتتزايد عملية التبخر منها عندما يكون محتواها عالياً من الرطوبة ونسجتها ناعمة ولونها داكناً .

ثانياً: التكاثف:-

وهو تحول جزيئات بخار الماء المحمولة في الهواء من حالتها الغازية الى السائلة أو الصلبة ، أي من حالتها غير المرئية الى الحالة المرئية متخذة اشكالاً عدة منها : الندى، الضباب ، الغيوم ، الأمطار ، البرد ، الثلج ، الجليد . يحدث التحول الى ماء اذا حدث في درجة حرارة فوق الصفر المئوي ، وإلى ثلج اذا حدث دونه . ويتطلب التحول أو التكاثف توافر رطوبة كافية في الهواء ونوي للتكاثف وفي ظل درجات حرارة منخفضة .

تعد جزيئات الأملاح الذائبة اهم انواع نويات التكاثف ومصدرها المسطحات المائية البحرية حيث تدخل الى الغلاف الجوي من خلال حركة الأمواج البحرية الكبيرة ، وعند زيادة الرطوبة في الهواء تبدأ قطرات الماء بالتجمع حول جزيئات الملح هذه ، ثم تنمو وتكبر مكونة السحب وصوراً أخرى للتكاثف . وقد لوحظ ان وصول الرطوبة النسبية الى 71 ٪ يعد كافياً لبدء عملية التكاثف بوجود النويات التي تكثر في طبقة التروبوسفير أي قريباً من سطح الارض ، يتزود الغلاف الجوي بأنوية أخرى مثل الغبار ومن المواد العضوية المتطايرة ، ومواد أخرى تنشأ من عمليات الاحتراق وخاصة الوقود والعمليات الصناعية مختلفة .

وكلما كان حجم هذه النويات أكبر كلما حدثت عملية التكاثف بسرعة وبفعالية

أكبر. تتعدد أشكال التكاثف في الغلاف الجوي ، فمنها ما يتكون بالقرب من مستوى سطح البحر ومنها الضباب والندى والصقيع ، ومنها ما يتكون على ارتفاعات عالية ومنها السحب والتساقط ماءً أو ثلجاً أو برداً . وفيما يأتي تعريف بكل منها :

الضباب :- هو تكاثف بخار الماء في الطبقة الهوائية القريبة من سطح الأرض على شكل قطرات صغيرة تبقى عالقة في الجو متسببة في التقليل من مدى الرؤيا ، ومنه الكثيف ومنه الخفيف ، وغالباً ما يحدث في ساعات الصباح الأولى بعد ليل طويل وسماء صافية من هواء رطب قريب من سطح الأرض. وينتشر الضباب بزوال أسبابه ، وعموماً ينقشع مع ارتفاع درجات الحرارة واشتداد حركة الهواء .

الندى :- قطرات مائية تتجمع على السطوح المكشوفة للجو على سطح الأرض مباشرة أو تعلوها بقليل مثل أوراق النباتات والحشائش، إذ يتكاثف بخار الماء عليها لانخفاض درجات حرارة جزيئات بخار الماء الملامسة لسطوحها إلى ما دون نقطة نداها ، وتشبه ظروف تكوينها تكوين الضباب ، أي توافر هواء رطب وليل طويل وسماء صافية خالية من الغيوم ، مع فارق واحد هو أن يكون الهواء ساكناً ، فأذا تحرك تكون الضباب بدلاً من الندى.

الصقيع :- هو تحول بخار الماء من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة مباشرة وعلى شكل بلورات من الثلج المتجمد يحدث الصقيع إذا انخفضت درجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض إلى الصفر فيتجمد الماء القريب من سطوح النباتات أو قطرات الندى التي تعلوها أو كلاهما . ويحدث هذا بعد منتصف الليل شتاءً لفقد سطح الأرض كثيراً من حرارته . وللصقيع آثار ضارة بالنباتات وخاصة أشجار الفاكهة ، فتدعو الضرورة أحياناً إلى تكوين مداخن داخل الحقول ليلاً لتحرير الهواء ومنع حدوث الصقيع .

السحب :- هي طبقة من الهواء تحوي كثيراً من قطرات الماء أو بلورات ثلج أو جليد وربما من هذه جميعاً ، تتكون نتيجة صعود هواء رطب إلى طبقات الجو العليا حيث الحرارة منخفضة فيتكاثف البخار بوجود النوى المناسبة بهيئة سحب مائية في درجة حرارة ما فوق الصفر ، وإلى ثلج أو جليد دون ذلك ، تتحرك السحب بارتفاعات مختلفة منخفضة ومتوسطة وعالية ، وتتعدد أشكالها : شفافة وسميكة معتمة ، بهيئة قباب أو تلال أو هضاب وجبال، و تتغير هذه الأشكال والأحجام باستمرار تبعاً لحركة الكتل الهوائية التي تحملها.

(٣) الموائع الساكنة والموائع المتحركة

لقد تعلمت بأن الموائع تنتج ضغطاً، تعرف بالقوة المؤثرة في وحدة المساحة. وأيضاً تعلمت أن الضغط الذي تنتج عن الموائع يتغير، على سبيل المثال ينخفض الضغط الجوي كلما زاد صعدت إلى أعلى متسلقاً جبلاً أو بناية عالية. في هذا الفصل سنقوم بدراسة القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الموائع الساكنة (Fluids at Rest):

الموائع الساكنة (Hydrostatics) هى فرع من فروع الفيزياء يدرس سلوك السوائل وهى في حالة سكون. يهتم هذا الفرع بكيفية توزيع الضغط داخل السوائل والقوى المؤثرة عليها. في الموائع الساكنة نركز غالباً على السوائل لأنها تكون في حالة سكون أكثر وضوحاً. إذا قمنا بالغطس في حوض سباحة أو بركة ماء إلى عمق معين ستشعر بأن الضغط الواقع على جسمك وخاصة أذنيك لحساسيته لتغيرات الضغط، يزداد كلما غطست إلى أعماق كبيرة.

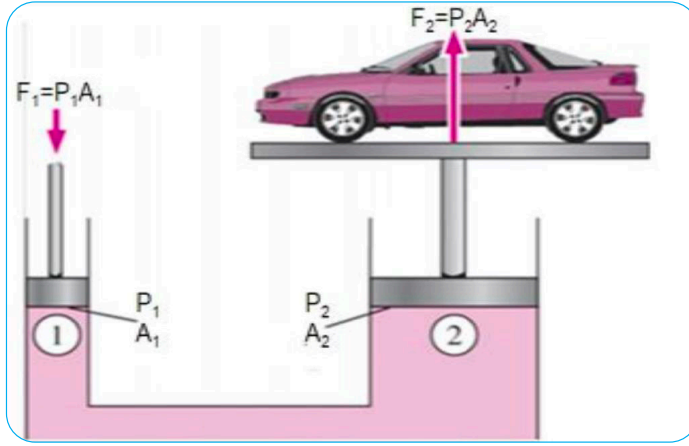
قاعدة باسكال (Pascal's Principle):

لاحظ العالم الفيزيائي الفرنسي بليز باسكال: أن الضغط في داخل مائع مثالي يزداد خطياً مع العمق، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحتوي المائع. واكتشف أيضاً أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع في داخل منطقة مغلقة (محصورة)، ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي وإلى جدران الوعاء الذي يحتويه، وتعرف هذه الحقيقة بمبدأ باسكال. ويظهر هذا المبدأ في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب إلى معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجاً من مقدمة الأنبوب.

وقد تم إستغلال هذه الخاصية في عمل الأجهزة التي تعمل بالضغط مثل الرافعات والمكابس الهيدروليكية، وذلك من أجل الحصول على قوة كبيرة باستخدام قوة صغيرة.

الشكل (17)، يوضح مكبساً بسيطاً، يتكون من أسطوانة صغيرة (المكبس الصغير) تتصل بأسطوانة كبيرة (المكبس الكبير). تملأ الأسطوانتان بسائل (غالباً ما يكون زيت) يثبت عليها مكبسان. فإذا فرضنا أن A_1 و A_2 تمثلان مساحتي

مقطع المكبس. فإذا لم تؤثر على المكبس أي قوة، فإن سطح السائل في الأنبوبين سيكون عند نفس الارتفاع (بشرط إهمال المكبس).



شكل (17): ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج كقوة مضاعفة في المكبس الكبير.

وعندما تؤثر قوة خارجية مقدارها F_1 على المكبس 1 فإن المكبس 2 سوف يدفع إلى الأعلى ما لم تؤثر عليه قوة مقدارها F_2 .

إن أية قوة مؤثرة على المكبس 1 يجب أن تعادل بقوة مساوية لها في التأثير في جميع السائل، لأن عدم تحقيق ذلك سيؤدي إلى إنسياب السائل. وهذا ما صاغه باسكال بالقاعدة الآتية:

«إذا تم تطبيق ضغط على سائل ساكن في وعاء مقل فإن هذا الضغط ينتقل بانتظام لجميع أجزاء السائل ويعمل في جميع الاتجاهات».

أي أن الضغط سيكون متساوياً في جميع نقاط السائل الساكنة. ويمكن إيجاد إيجاد قيمة القوة F_1 اللازمة للإتزان مع القوة F_2 ، وذلك بإيجاد الضغط الإضافي في السائل الناتج عن القوة F_1 على النحو التالي:

$$\Delta P = \frac{F_1}{A_1} \dots\dots\dots(1)$$

إن هذه الزيادة في الضغط ستنتقل إلى المكبس 2 أي أن:

$$\Delta P = \frac{F_2}{A_2} \dots\dots\dots(2)$$

وبمساواة المعادلتين (1) و (2) وترتيبهما:

$$\frac{F_1}{A_1} + \frac{F_2}{A_2} \dots\dots\dots(3)$$

من المعادلة (3) نحصل على:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \dots\dots\dots(4)$$

فإن القوة F_2 تكون أكبر بكثير من القوة F_1 بمقدار العامل $\frac{A_2}{A_1}$ وهو ما يسمى بمعامل **تضاعف القوة** (الاسطوانات الهيدروليكية)

مثال (16):

ترفع قوة مقدارها 30000N على ذراع رافعة هيدروليكية قطرها 40cm . ما القوة اللازم تطبيقها على الذراع الأخرى إذا كان قطرها 5cm وما الضغط هناك.

الحل: نستخدم العلاقة

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$
$$F_2 = \frac{\pi(0.025m)^2}{\pi(0.2m)^2} (30000N) = 468.75N$$

ويمكن إيجاد الضغط عن طريق

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{468.75N}{\pi(0.025m)^2} = 2.388 \times 10^5 Pa$$

أهم التطبيقات: الأنظمة الهيدروليكية مثل رافعات السيارات ، حيث تسمح قوة صغيرة تطبق على مكبس صغير برفع أحمال ثقيلة جدا عند الطرف الآخر بفضل انتقال الضغط بدون فقدان .

تطبيقات على قاعدة باسكال:

- الفرامل الهيدروليكية في السيارات .
- كراسي أطباء الأسنان.
- مكبس رفع السيارات (المكبس الهيدروليكي) .

مقياس الضغط Measurement of Pressure إن معظم مقاييس الضغط تستخدم الضغط الجوي كمستوى مرجعي وتقيس الفرق بين الضغط الفعلي (الحقيقي) والضغط الجوي. ويسمى هذا الفرق بمداول مقياس الضغط Pressure Gauge . ويصبح الضغط الحقيقي أو الضغط المطلق (absolute pressure) عند نقطة داخل

مائع تساوي مجموع الضغط الجوي مضاف إليه مدلول مقياس الضغط. إن مدلول مقياس الضغط يعطى إما فوق أو تحت الضغط الجوي ولهذا قد يكون موجب (إذا كان أعلى من الضغط الجوي) (أو سالب) إذا كان أقل من الضغط الجوي، أما الضغط المطلق فهو دائماً موجب.

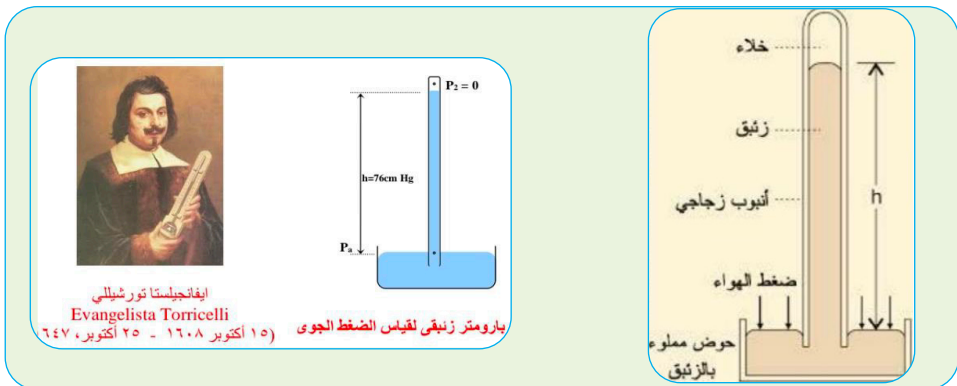
البارومتر Barometer

لو نظرنا إلى مقياس الضغط الزئبقي Mercury barometer فإنه يتكون من أنبوبة زجاجية طويلة مملأت بالزئبق (الأنبوبة مقفولة من طرف ومفتوحة من الطرف الآخر) وقُلبت الأنبوبة من طرفها المفتوح داخل وعاء من الزئبق كما في الشكل (18). الفراغ فوق عمود الزئبق لا يتأثر بالضغط الجوي.

ويحتوى فقط على بخار الزئبق والذي ضغطه P_2 وهذا قيمته عند درجات الحرارة العادية يمكن إهماله لصغره أى أن $P_2 = 0$ ولأن جميع جزيئات سطح الزئبق بما فى ذلك جزيئات الزئبق داخل الأنبوبة والتي تقع على نفس مستوى سطح الزئبق الخارجى، فإن الضغط P_a الذى يؤثر على سطح وعاء الزئبق هو نفسه الضغط P_1 الذى يؤثر على جزيئ الزئبق داخل الأنبوبة والتي تقع على نفس مستوى سطح الزئبق. وبالتالي فإن الضغط الخارجى على سطح الزئبق والناتج من ارتفاع عمود الهواء للغلاف الجوى P_a أى الضغط الجوى يساوى ضغط عمود الزئبق $P_1 = pgh$ حيث p هي كثافة الزئبق. أى ان الضغط الجوى يمكن التعبير عنه بالعلاقة:

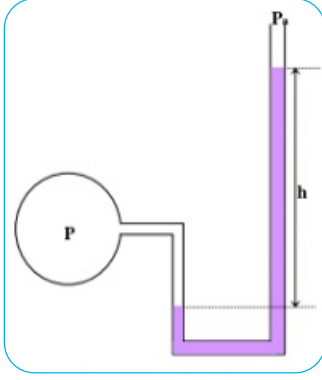
$$P_a = 1 \text{ atm} = pgh$$

علل: ينخفض الضغط الجوي كلما ارتفعنا عن مستوى سطح البحر؟ وذلك لأن كمية الهواء الموجودة فوق المرتفعات تكون أقل من كمية الهواء الموجودة فوق المنخفضات.



الشكل (18)

المانومتر:



الشكل (19)

يتكون المانومتر من أنبوبة على شكل حرف U كما في الشكل (19) غاز، والطرف الآخر حر، والأنبوبة مملوءة جزئياً بسائل كثافته ρ وبالتالي عند زيادة الضغط داخل المستودع فإنه يضغط على السائل ويزيحه بحيث يكون فرق ارتفاع السائل في طرفي الأنبوبة يساوي h . ومن ثم يكون الضغط داخل المستودع P يساوي مجموع الضغط الناتج من السائل ويساوي ρgh بالإضافة إلى الضغط الجوي أعلى الأنبوبة المفتوحة P_a ، أي أن:

$$P = P_a + \rho gh$$

$$P - P_a = \rho gh$$

ولهذا فإن الفرق $P - P_a$ يتناسب مع الفرق في ارتفاع السائل في الأنبوبة التي على شكل حرف U

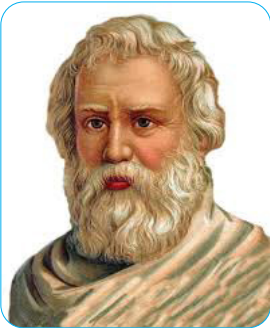
مثال (17):

إرتفاع عمود الزئبق في جهاز بارومتر $h = 740.0 \text{ mm}$ عند درجة حرارة $T = -5^\circ\text{C}$ ، وكانت كثافة الزئبق 13600 kg/m^3 ، وكانت عجلة الجاذبية الأرضية عند موضع البارومتر 10 m/s^2 ، احسب قيمة الضغط الجوي.

الحل:

$$P_a = \rho gh = 13600 \times 10 \times 0.74 = 100640 \text{ Pa}$$

الطفو وقاعدة أرخميدس:



بعض الأجسام تطفو فوق سطح الماء وبعضها يغوص فيه. كما أن بعض الأجسام التي تطفو على سطح الماء قد تغوص في الكحول وبعض الأجسام التي تغوص في الماء قد تطفو على سطح الجلوسين. وعليه فجميع الموائع خاصية الطفو. وهذه الخاصية تعني أن الموائع تؤثر على الأجسام الموجودة بها بقوة دفع إلى أعلى. وهذه القوة تختلف من مائع إلى آخر. وعلى هذا فإن الأجسام التي وزنها أقل من قوة دفع السائل تطفو فوق سطح السائل مثل الخشب. والأجسام التي لها وزن أكبر من قوة الدفع تغوص مثل الحديد في الماء.

مبدأ أرخميدس و الطفو :

تجربة أرخميدس :

الهدف من التجربة:

- دراسة القوى والتوازن في الموائع.

- تحقيق قاعدة أرخميدس.

نظرية التجربة:

عند تعليق جسم بميزان زنبركي فإن الجسم سوف يتوازن تحت تأثير قوتين:

$$1 - \text{قوة ثقله المتجهة للأسفل: } w = \rho g V$$

حيث ρ كثافة الجسم ، V حجم الجسم

2 - قوة شد الزنبرك T المتجهة نحو الأعلى. وهي القيمة التي يشير إليها الميزان وتساوي ثقل الجسم لأن:

$$w - T = 0 \Rightarrow w = T$$

وإذا غمرنا الجسم في سائل فإننا نلاحظ أن قراءة الميزان سوف تشير إلى قيمة أصغر من وزنه الحقيقي w_a وكأن الجسم خسر جزء من وزنه لذلك يسمى هذا الوزن بالوزن الظاهري ويرمز له الرمز w_l . وتفسير هذه الظاهرة هو أنه عند غمر الجسم في السائل فإن السائل سوف يؤثر على الجسم بقوة دفع B نحو الأعلى وبالتالي فإن الجسم سوف يتوازن تحت تأثير ثلاث قوى:

١- قوتين نحو الأعلى هما T و B

٢- قوة الثقل نحو الأسفل w بحيث :

$$w - T - B = 0 \Rightarrow T = w - B$$

فإذا علمنا أن T قراءة الميزان والتي رمزنا لها بـ w_l نجد أن الوزن الظاهري:

$$w_l = w - B$$

أي أن الوزن الظاهري يساوي الفرق بين الوزن الحقيقي (وزن الجسم في الهواء) وقوة الدفع B .

وأول من تحدث عن هذه الظاهرة هو العالم أرخميدس حيث عبر عنها بصيغة تسمى قاعدة أرخميدس وتنص على:

« كل جسم مغمور كلياً أو جزئياً في سائل يخضع إلى قوة دفع B من السائل متجهة لأعلى تسمى قوة الطفو وتساوي قيمتها وزن السائل الذي حل محله الجسم أي وزن السائل المزاح ».

$$B = \rho_l Vg$$

حيث: كثافة السائل: ρ_l ، حجم السائل المزاح ويساوي حجم الجزء المغمور في الماء: V

وبشكل عام عند غمر جسم في سائل يمكن ان نميز حالتين:

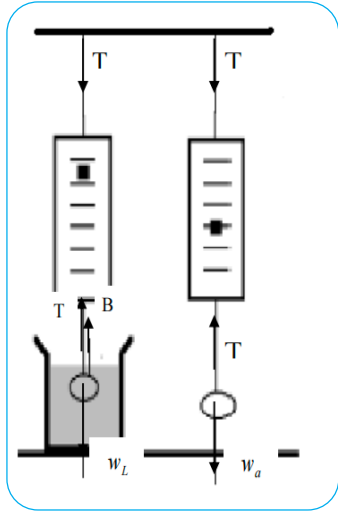
1- $\rho > \rho_l$ في هذه الحالة يكون وزن الجسم أكبر من قوة الطفو، وبالتالي فإن محصلة القوتين ستكون موجهة للأسفل وستكتسب الجسم تسارعاً موجهاً نحو الأسفل فينزل الجسم إلى القاع.

2- $\rho < \rho_l$ وهنا ستكون قوة الطفو أكبر من ثقل الجسم وستكون محصلة القوتين موجهة للأعلى وسيكتسب الجسم تسارعاً نحو الأعلى مما يؤدي إلى طفو الجسم على سطح السائل.

الأدوات: ميزان زنبركي - كرة من الحديد مثبتة في خطاف (أداة منحنية للتعليق أو الجذب) - قطعة خشبية - مخبار مدرج - وعاء مملوء بالماء.

الأدوات:

الخطوات:



1- نزن الكرة الحديدية بأن نعلقها في الهواء في

الميزان الزنبركي، ونجد وزنها في الهواء.

2- نغمر الكرة في السائل مع ملاحظة أن

يكون الجسم كاملاً مغموراً في الإناء ونزنه

وهو مغمور W_L

3- نحسب قوة B الدفع والتي تساوي الفرق

بين W_a و W_L .

4- نجتمع السائل المزاح في المخبار المدرج،

ونعين حجم السائل المزاح V .

5- نحسب كتلة السائل المزاح m وذلك بضرب الحجم في كثافة السائل

ومنها نحسب وزنه.

6- نقارن بين وزن السائل المزاح وقوة الدفع فإذا كانتا متساويتان فإن القاعدة

متحققة.

7- أوجد الوزن النوعي للجسم الصلب الذي ينغمر في الماء بإستخدام قوة

الدفع:

الوزن النوعي = وزن الجسم / وزن حجم مساو له من الماء (وزن الماء المزاح)

= وزن الجسم / قوة دفع الماء للجسم

8- نعيد الخطوات السابقة بإستخدام القطعة الخشبية، مع ملاحظة أن القطعة لن تكون مغمورة بالكامل في الماء حيث تكون طافية، مع مراعاة عدم ضغطها لتغوص أو رفعها بالميزان.

إذن من قانون أرخميدس:

نظرياً: قوة دفع الماء $B =$ وزن السائل المزاح mg

عملياً: قوة دفع المائع $B =$ وزن الجسم في الهواء $(w_a) -$ وزن الجسم في الماء (w_l)

إستنتاج قاعدة أرخميدس:

نفرض أن لدينا سائل كثافته ساكن في وعاء .

ونتخيل أسطوانة منتظمة من هذا السائل حجمها V ومساحة قاعدتها A وارتفاعها h

• القوة المؤثرة على الوجه العلوي تعطى بالعلاقة :

$$F_1 = P_1 A$$

• القوة المؤثرة على القاعدة السفلية تعطى بالعلاقة:

$$F_2 = P_2 A$$

في هذه الحالة فإن قوة الطفو F المؤثرة على الاسطوانة هي:

الشكل (20)

$$F = F_1 - F_2 = P_1 A - P_2 A = (P_1 - P_2) A$$

حيث أن فرق الضغط على الوجهين هو: $(P_1 - P_2) = \rho g$

$$\therefore F = \rho g h A = P g (Ah) = \rho g V = (V\rho) g = mg = W$$

(Ah) حجم الاسطوانة المغمورة .

قوة الطفو = وزن السائل المزاح .

تطبيقات عملية:

• السفن تطفو فوق سطح الماء .

• الغواصات تغوص في باطن الماء .

• المناطيد تطفو فوق الهواء .

مثال (18)

لوح من الخشب كثافته 600kg/m^3 ومساحة سطحه 6m^2 وحجمه 0.5m^3 يطفو على سطح الماء كما في الشكل المجاور ($g = 10\text{m/s}^2$):
- ماهو مقدار العمق h المغمور تحت سطح الماء؟

الحل

من قاعدة أرخميدس فإن :

قوة الطفو $F = \text{وزن الماء المزاح} = \text{وزن الجسم المغمور}$

وزن لوح الخشب :

$$W = \rho g V = 600 \times 10 \times 0.5 = 3000\text{N}$$

$$W_w = 300\text{ N} \quad \text{إذاً وزن الماء المزاح :}$$

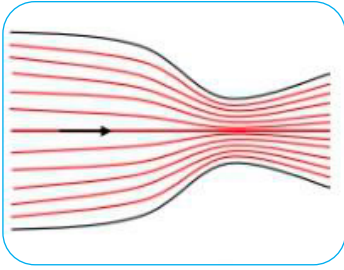
$$F = W \rightarrow \rho_w g V_w = \rho_w g A h$$

$$h = \frac{W}{\rho_w g A} = \frac{3000}{1000 \times 10 \times 6} = 0.05$$

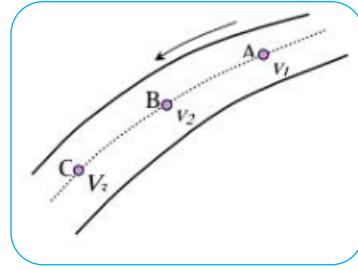
الموائع المتحركة Fluid Dynamics

انسياب الموائع Fluid flow

يتوقف انسياب السوائل خلال الأنابيب على سرعتها ، فإذا ظلت سرعة السائل ثابتة عند أى نقطة من مساره طوال مدة سريانه، فإن إنسياب السائل فى هذه الحالة يسمى إنسياباً ثابتاً أو منتظماً. فى هذه الحالة يتخذ كل جزء من السائل مساراً خاصاً يعرف بمسار الانسياب Stream line ، بالنسبة للمسار ABC شكل (21) قد تختلف السرعات v_1, v_2, v_3 عند A, B, C بعضاً عن بعض ولكنها تظل ثابتة. ويمثل شكل (22) عدد من مسارات الانسياب بالنسبة لأنبوبة تضيق عند وسطها، ويشاهد تراحمها عند الإختناق، ولا يمكن لجزء من السائل أن ينتقل من مسار إلى مسار آخر.



الشكل (22)



الشكل (21)

يقصد بانسياب الموائع حركة جزيئاتها أو بمعنى آخر وصف السرعة والضغط وغيرها من خواص المائع عند نقطة أثناء حركة المائع .

ويمكن التفريق بين انواع الانسياب في السوائل عن طريق تغير كل من **سرعة الانسياب** و**ضغط السائل** و**كثافة السائل** مع الزمن وكذلك عبر مسار الانسياب كالاتى:

انسياب منتظم وغير منتظم

الانسياب المنتظم Steady flow

عندما يكون كل من الضغط والكثافة وسرعة الانسياب ثابتة مع الزمن، حتى لو كانت تتغير من نقطة إلى أخرى ، فيسمى الانسياب بالانسياب المنتظم.

الانسياب الغير منتظم Non steady flow هو الانسياب الذى لا يتحقق فيه ان يكون كل من الضغط والكثافة وسرعة الانسياب ثابتة مع الزمن.

إنسياب قابل للانضغاط أو غير قابل للانضغاط

الإنسياب القابل للانضغاط **Compressible flow**: في هذا النوع من الإنسياب فإن كثافة المائع تتغير مع الزمن والموضع.

الإنسياب غير القابل للانضغاط **Incompressible flow**: في هذا النوع من الإنسياب فإن كثافة السائل ثابتة ولا تتغير لا مع الزمن ولا مع المكان، ومعظم السوائل غير قابلة للانضغاط.

إنسياب لزج أو غير لزج

الإنسياب اللزج **Viscous flow**: في هذا النوع من الإنسياب، يتم فقد جزء من طاقة الحركة على هيئة حرارة نتيجة اللزوجة (أى وجود قوة احتكاك بين طبقات السائل وبعضها).

الإنسياب غير اللزج **Non viscous flow**: في هذا النوع من الإنسياب لا يضيع جزء من الطاقة نتيجة قوة اللزوجة (أى قوى الاحتكاك بين طبقات السائل وبعضها).

إنسياب دورانى أو غير دورانى:

الإنسياب الدورانى **Rotational**: في هذا النوع من الإنسياب فإن كل عنصر من السائل يدور حول المحور المار خلال مركز كتلته.

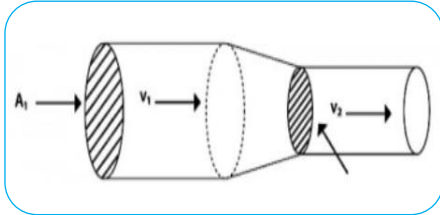
الإنسياب غير الدورانى **Irrotational**: في هذا النوع من الإنسياب لا يحدث دوران لأى كتلة من السائل حول محور مار بمركزها.

معادلة الاستمرارية Equation of Continuity

إذا إنساب سائل غير قابل للانضغاط من فتحة مساحة مقطعها **A** بسرعه **v** فإنه يمكن حساب الكميه المنسابه فى أى فتره زمنيه **t**.

المسافة التي يقطعها المائع إذا كانت سرعته **v** عند المساحة **A** خلال زمن

مقداره **t** هي: $L = vt$



الشكل (23)

- حجم السائل المار خلال المقطع **A** في الفترة الزمنية **t** ثانية ($v = AL$) في الشكل (23):

- كتلة السائل المار خلال المقطع **A1**

في الفترة الزمنية **t** ثانية $M_1 = \rho V_1 = \rho A_1 L_1 = \rho A_1 v_1 t$

كتلة السائل المار خلال المقطع A_2 في الفترة الزمنية نفسها .

$$M_2 = \rho V_2 = \rho A_2 L_2 = \rho A_2 v_2 t$$

من قانون حفظ الكتلة في ميكانيكا الموائع ($M_1 = M_2$) بالاضافة إلى أن السائل لا يقبل الانضغاط فإن كثافته لن تتغير بالضغط وبالتالي فإن:
كمية السائل التي تدخل المقطع A_1 تساوي كمية السائل التي تخرج عند المقطع A_2 أي أن:

$$M_1 = M_2 \rightarrow \rho A_1 v_1 t = \rho A_2 v_2 t$$

$$\therefore A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\rightarrow Av = Q$$

حيث Q كمية ثابتة وهي معدل التدفق الحجمي للسائل عبر الأنبوب ويطلق عليها أحياناً اسم « غزارة المائع » وتعرف هذه المعادلة بمعادلة الاستمرارية.

نص معادلة الاستمرارية :

« ناتج ضرب مساحة مقطع الأنبوب في سرعة المائع عند جميع النقاط على طول الأنبوب هو مقدار ثابت للمائع غير قابل للانضغاط »

معدل التدفق Rate of flow :

عندما يجري مائع في أنبوب ، فإننا نعبر عن حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه الجريان خلال وحدة الزمن بـ **معدل الجريان الحجمي** (التدفق الحجمي) Q .

$$Q = Av$$

تطبيقات معادلة الاستمرارية في حياتنا اليومية:

١ - شبكات المياه وأنظمة السباكة في المنازل:

تصميم الأنابيب والمواسير يعتمد على معادلة الاستمرارية لضمان تدفق المياه بكفاءة.

٢ - حركة الدم في الجسم:

في الدورة الدموية عندما تضيق الأوعية الدموية تزداد سرعة الدم ، وهذا مهم لفهم ضغط الدم .

٣ - الطائرات :

في الطائرة اختلاف سرعة الهواء فوق الجناح عنها تحت الجناح يساعد على توليد قوة الرفع .

٤- الأنهار والجداول :

عندما يمر النهر بمنطقة ضيقة تزداد سرعة الماء ، وعندما يتسع ، تقل السرعة .

٥- أجهزة الرش (العطور والمبيدات) :

تعتمد في عملها على زيادة سرعة انسياب الهواء عند فتحة ضيقة لسحب السائل وتحويله إلى رذاذ

٦- المحركات وأنظمة الوقود:

في محركات السيارات يتم التحكم في تدفق الهواء والوقود داخل الأنابيب لضمان الاحتراق الجيد.

مثال (19):

يدخل الماء إلى منزل خلال أنبوب نصف قطره دخوله 2cm وبسرعة 200cm/s ليصعد إلى الطابق الثاني بسرعة 300cm/s أحسب نصف قطر أنبوب الخروج.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow A = \pi r^2 \rightarrow r_1^2 v_1 = r_2^2 v_2$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{r_1^2 v_1}{v_2}} = \sqrt{\frac{(2)^2 (200)}{300}} = \sqrt{\frac{8}{3}} \text{ cm}$$

مثال (20)

يتدفق ماء خلال ماسورة قطر مقطعها في البداية 10cm و قطر مقطعها في نهاية الماسورة هو 15cm وسرعة الماء في بداية الماسورة هو 5m/s جد: -i سرعة الماء عند نهاية الماسورة.

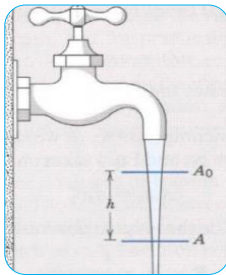
$$r_1^2 v_1 = r_2^2 v_2 \rightarrow v_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 v_1 = \left(\frac{0.05}{0.075}\right)^2 \times 5 = \frac{20}{5} \text{ m/s}$$

ب- التدفق الحجمي بوحدة /s Lit.

$$Q = A_1 v_1 = \pi (0.05)^2 (5) = 0.0125 \pi \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\therefore Q_{\text{بالتر}} = 0.0125 \pi \times 1000 = 12.5 \pi \text{ lit/s}$$

مثال (21):



الشكل يوضح إنسياب الماء من صنوبر مساحة المقطع $A_0 = 1.4 \text{ cm}^2$ ، وبعد انسياب الماء أصبح مساحة مقطع الماء $A_0 = 0.35 \text{ cm}^2$ ، والمسافة الرأسية بين المقطعين يساوي $h = 45 \text{ mm}$ ، احسب المعدل الذي ينساب به الماء من الصنوبر.

الحل:

من معادلة الاستمرارية نجد ان: $A_0 v_0 = A v$ وباعتبار ان كل عنصر من الماء يسقط سقوطاً حراً تحت تأثير الجاذبية الأرضية فإنه من معادلات الحركة نجد ان $v^2 = v_0^2 + 2gh$ وبالتعويض عن v من معادلة الاستمرارية حيث:

$$v^2 = \left(\frac{A_0 v_0}{A} \right)^2 \rightarrow v_0^2 \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 = v_0^2 + 2gh \rightarrow v_0^2 \left(\frac{A_0}{A} - 1 \right) = 2gh$$

بالتعويض عن قيم المساحات والإرتفاع h وعجلة الجاذبية الأرضية نحصل على قيمة سرعة الانسياب عند فوهة الصنبور:

$$v_0^2 \left(\frac{A_0}{A} - 1 \right) = 2gh \rightarrow v_0^2 \left(\frac{1.4^2}{0.35^2} - 1 \right) = 2(10)(0.45) \rightarrow v_0^2 = \frac{9}{3} = 3$$

ويتم حساب معدل انسياب الحجم من العلاقة

$$R = A_0 v_0 = (0.014)(\sqrt{3}) = 0.014\sqrt{3} \text{ m}^3/\text{s}$$

قاعدة برنولي Bernoulli's rule

- قاعدة بيرنولي تدرس العلاقة بين ضغط المائع وسرعة المائع وارتفاع المائع .
- تعتبر قاعدة بيرنولي تطبيق لمبدأ حفظ الطاقة على المائع المثالي.

لتطبيق قاعدة برنولي:

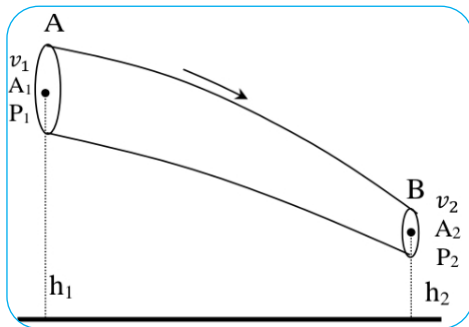
- يجب أن يكون التدفق الانسيابي ثابتاً (الطاقة الكلية تكون محفوظة في أي وقت أثناء الانسياب) .
- يجب أن يكون التدفق غير قابل للضغط ، حتى عندما يتغير الضغط ، يجب أن تظل الكثافة ثابتة على طول الخط الانسيابي .
- يجب أن يكون الاحتكاك بالقوى اللزجة ضئيلاً .
- باستخدام التدفق غير القابل للضغط ، سيكون لدينا أبسط شكل من قاعدة بيرنولي .

إشتقاق قاعدة بيرنولي:

نفرض أن سائل ينساب طبقاً من أنبوبة كما في الشكل (24) حيث أن :

سرعة السائل عند المقطع A_1 هي v_1 والضغط هو P_1

سرعة السائل عند المقطع A_2 هي v_2 والضغط هو P_2



الشكل (24)

حسب قانون حفظ الطاقة فإن:

معادلة حفظ الطاقة لهذا الوضع هي:

« الشغل المبذول على وحدة الحجم من السائل المناسب يساوي الزيادة في الطاقة الحركية لوحدة الحجم + الزيادة في طاقة الوضع لوحدة الحجم »

نص معادلة برنولي :

« إن مجموع الضغط والطاقة الحركية وطاقة الوضع لوحدة الحجم يساوي مقداراً ثابتاً عند جميع النقاط على طول مجرى المائع المثالي ».

يمكن التعبير عن قاعدة بيرنولي رياضياً على النحو الآتي :

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$$

نستنتج من قاعدة بيرنولي أنه إذا زادت سرعة المائع في نقطة ما فإن الضغط سيقبل في تلك النقطة ، لأن مجموع ما في المعادلة ثابت. « هو ما يعرف بمبدأ بيرنولي »
نفرض أن سائلاً يسرى سرياناً منتظماً كما هو مبين بالشكل (24) ، وأن هذا السائل غير قابل للانضغاط أي أن كثافته لن تتغير أثناء السريان.

نفرض أن الضغط عند المقطع A هو P_1 ومساحة المقطع A_1 وسرعة سريان السائل v_1 ، وأن هذه القيم عند B هي P_2 ، A_2 ، v_2 على الترتيب. ولنفرض أيضاً أن إرتفاع المقطع A عن أي مستوى أفقي هو h_1 ، وإرتفاع المقطع B عن نفس المستوى هو h_2 .

و لنحسب الآن طاقة هذه الكمية من السائل عند كل من المقطعين ، فالطاقة عند أي مقطع ناشئة عن ثلاث أشكال مختلفة:

1 . طاقة الوضع نتيجة لوجودها على إرتفاع h من المستوى الأفقي لوحدة الحجم.

$$P.E_{\text{لوحدة الحجم}} = \rho gh = \frac{mgh}{V} = mgh \times \frac{\rho}{m} \therefore P.E_{\text{لوحدة الحجم}} = \frac{mgh}{V}$$

2 . طاقة الحركة لوحدة الحجم

$$K.E_{\text{لوحدة الحجم}} = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} m v^2 \times \frac{\rho}{m} \therefore K.E_{\text{لوحدة الحجم}} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

3 . الشغل المبذول في دفع كمية السائل في منطقة ذات ضغط يساوي $W = PV$ والذي يمكن كتابته على الصورة:

$$W_{\text{لوحدة الحجم}} = P = \frac{W}{V} = \frac{PV}{V} \therefore W_{\text{لوحدة الحجم}} = PV$$

وبالتالى تكون الطاقة الكليه للسائل لوحدة الحجم عند المقطع A تساوى:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1$$

وبالمثل نجد أن الطاقة الكليه للسائل لوحدة الحجم عند المقطع (B) تساوى:

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

وحيث أننا افترضنا ان السائل خالٍ من الاحتكاك، اى لا يوجد فقد فى الطاقة اثناء انتقال السائل من مقطع لآخر، فإنه طبقا لقانون بقاء الطاقة يجب أن تتساوى المعادلتين، أي أن:

الصورة العامة لمعادلة بيرنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constant}$$

لحساب فرق الضغط بين عمقين :

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (h_2 - h_1)$$

$\rho \equiv$ كثافة المائع

$P_1 \equiv$ ضغط المائع عند الموقع الأول

$P_2 \equiv$ ضغط المائع عند الموقع الثاني

$g \equiv$ عجلة السقوط الحر

$v_1 \equiv$ سرعة المائع عند الموقع الأول

$v_2 \equiv$ سرعة المائع عند الموقع الثاني

$h_1 \equiv$ ارتفاع مركز الأنبوب في الموقع الأول عن المستوى المرجعي.

$h_2 \equiv$ ارتفاع مركز الأنبوب في الموقع الأول عن المستوى المرجعي.

حالات خاصة من معادلة برنولي:

1 - عندما يكون أنبوب الجريان أفقياً ($h_2 - h_1$) فإنه لا يوجد تغير في طاقة الوضع أثناء إنسياب السائل ، وبالتالي تصبح معادلة برنولي على النحو:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constant}$$

نلاحظ في هذه المعادلة أنه عند زيادة السرعة فإن الضغط ينقص .

2 - عندما يكون السائل في حالة سكون ، فإن الطاقة الحركية تساوي صفر ، وتكتب معادلة برنولي على الصورة :

$$P + \rho gh = \text{constant}$$

معادلة تورشيلي :

بمسافات المعادلتين في الحالتين الخاصتين أعلاه من قاعدة بيرنولي :

$$P + \rho gh = P + \frac{1}{2} \rho v^2 \rightarrow v^2 = 2gh \therefore v = \sqrt{2gh_2}$$

- هذه المعادلة تسمى معادلة تورشيلي

معادلة فرق الضغط في حال الأنبوب الأفقي :

ملاحظات مهمة:

- العلاقة بين الضغط وسرعة المائع علاقة عكسية فكلما زادت سرعة المائع يقل الضغط.
- العلاقة بين نصف قطر الأنبوب وسرعة المائع علاقة عكسية فكلما زاد نصف قطر أنبوب المائع قلت سرعة المائع.
- تنتقل الموائع من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض.

مثال (22)

يجري الماء في خرطوم أفقي بسرعة ($v_1 = 3 \text{ m/s}$) فإذا كان ضغط الماء في الخرطوم ($1.4 \times 10^5 \text{ Pa}$) وعند تقليل قطر الخرطوم هبط ضغط الماء ليصبح ($1.14 \times 10^5 \text{ Pa}$)
أحسب:

i. سرعة الماء عبر الجزء الضيق من الخرطوم.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$1.4 \times 10^5 = \frac{1}{2} (1000) (3)^2 + \frac{1}{2} (1000) v_2^2$$

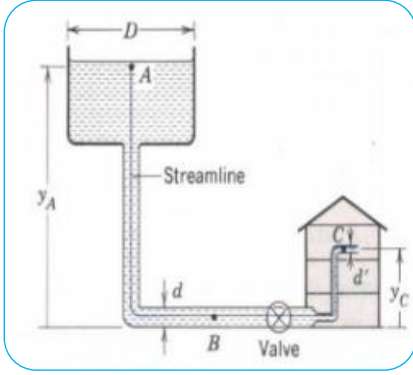
$$500 v_2^2 = 140000 + 4500 - 114000 = v_2^2 = \frac{30500}{500} = 61$$

$$v_2 = \sqrt{61} \text{ m/s}$$

ii. نسبة مساحة مقطع الجزء الضيق من الخرطوم إلى الجزء الأوسع.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{\sqrt{61}}$$

مثال (23)



خزان مياه على شكل اسطواني قطره 4m، وأعلى نقطه على ارتفاع 32m ، يغذي احد المنازل بالمياه بمعدل تدفق $Q = 0.00314 \text{ m}^3/\text{s}$ عبر انبوه أفقية قطرها 2.0cm، كما في الشكل، احسب الضغط الواقع على الانبوه الافقية عند نقطة B .

الحل:

$$A = \pi r^2$$

من معادلة الاستمرارية : $v_1 = v_A, v_2 = v_B$

$$Y_A = h_1 = 32 \text{ m}, Y_B = h_2 = 0$$

$$A_A v_A = A_B v_B = 0.00314 \text{ m}^3/\text{s}$$

بالتعويض في معادلة الاستمرارية يمكن حساب السرعات كالآتي :

$$v_A = \frac{0.00314}{3.14(2)^2} = 0.00025 \text{ m/s}$$

$$v_B = \frac{0.00314}{3.14(0.01)^2} = 10 \text{ m/s}$$

يمكن كتابة الضغط عند النقطة B من معادلة بيرنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P_1 = P_0 = \text{Atmospheric pressure}, P_2 = P_B$$

$$P_B = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 \approx P_0 + \rho g h_1 - \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P_0 + \rho g h_1 = 10^5 + 1000 \times 10 \times 32 = 420000$$

$$P_B = 420000 - 0.5(1000) \times 10^2 = 370000 \text{ N/m}^2$$

تقويم ذاتي:

- 1 - أنبوب ماء موضوع أفقياً على سطح الأرض ، سرعة انسياب الماء عند المقطع الأول 2 m/s وسرعة انسياب الماء عند المقطع الثاني 0.2 m/s ما الفرق في الضغط بين المقطعين بفرض أن الماء مائع مثالي. (كثافة الماء = 1000 kg/m^3).
- 2 - أكتب معادلة برنولي عند مقارنة موقعين على مجرى سائل ساكن ؟

3 - فسر ارتفاع كرة التنس في الهواء عند تسليط تيار هوائي فوقها كما في الشكل الآتي؟



تطبيقات معادلة برنولي:

معادلة برنولي لها الكثير من التطبيقات، فمثلاً يمكننا استخدامها لتفسير كيف تولد الطائرات قوة الرفع أو لحساب سرعة تدفق الموائع أو سبب اضطراب السفن إلى الهرب بعيداً عن بعضها البعض أثناء مرورها وغيرها من التطبيقات التي تصادفنا في حياتنا اليومية. ومن أشهر هذه التطبيقات:

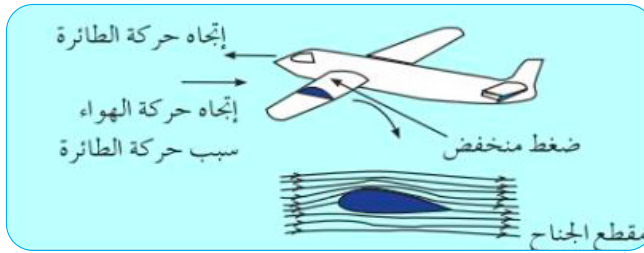
1 - قوة الرفع في الطيور:

تطير الطيور بفضل شكل أجنحتها المنحني الذي صممه الخالق بحيث تكون سرعة انسياب الهواء تحت الجناح أقل من سرعة إنسيابه فوق الجناح. وحسب مبدأ برنولي ؛ يكون ضغط الهواء تحت الجناح أكبر منه فوق الجناح ، هذا الفرق في الضغط يولد قوة رفع (Lift) تدفع الطائرة للأعلى ، مما يسمح له بالبقاء في الجو والطيران لمسافات طويلة وهو نفس المبدأ المطبق في أجنحة الطائرات .

2 - قوة الرفع في الطائرة :

- تعتبر الطائرات من أسرع وسائل النقل لأنها تنقل في سويقات معدودة إلى المكان الذي تقصده فعندما تقلع الطائرة فإنها تتحرك بسرعة من مدرج المطار لترتفع بعدها رويداً رويداً محلقة في الهواء بحملتها الضخمة.
- تعتبر القوة التي ترفع الطائرات إلى أعلى من أهم مكتشفات العلم ، حيث استفاد الإنسان من مخلوقات الله ، فصمم جناح الطائرة بشكل انسيابي يشبه جناح الطائر يعمل هذا الشكل على مساعدة الطائرة على الطيران لفترات طويلة.

- صممت أجنحة الطائرات بحيث تعمل الأجنحة في الهواء على رفع الطائرة ، ثم الطيران على ارتفاعات مختلفة لمسافات طويلة .
- يمكن تفسير كيف تولد اجنحة الطائرات قوة الرفع من خلال مبدأ برنولي للسوائل ؛ ففي حالة الطيران ينتقل الهواء المتدفق فوق جناح الطائرة بسرعة أكبر من المتدفق تحت الجناح ، ووفقاً لمبدأ برنولي هذا يتسبب في انشاء منطقة من الضغط المنخفض فوق سطح الجناح ومنطقة من الضغط المرتفع تحت الجناح وهذا الفرق في الضغط هو الذي يولد قوة رفع الطائرة . القاعدة التي تفسر وجود قوة الرفع الناتجة عن الفرق في الضغط ، استنتجها وصاغها العالم بيرنولي في العام 1737 م ، وتعرف الآن بقاعدة بيرنولي .



الشكل (25)

أي يمكننا تفسير سبب شكل الأجنحة وانحنائها لأعلى (طبقاً لنظرية بيرنولي 1737م) أن الهواء يمر بسرعة أعلى على السطح العلوي من السطح السفلي . يتم حساب الفرق في سرعة الهواء باستخدام مبدأ بيرنولي لإحداث فرق في الضغط .

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

قوة الرفع = مساحة الجناحين × فرق الضغط .

$$F_{\text{رفع}} = 2A_{\text{مساحة الجناح}} \times \Delta P$$

مثال (24)

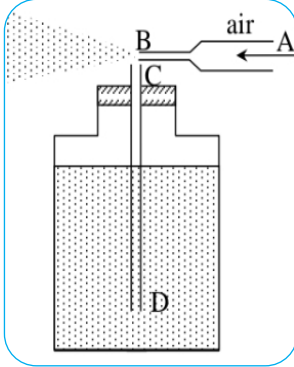
إذا علمت أن سرعة الهواء فوق جناح الطائرة 70m/s وتحت به بسرعة 60m/s فما هو الفرق في الضغط بين السطحين السفلي والعلوي ؟ علماً بأن كثافة الهواء 1.2 kg /m³ .

الحل :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) \rightarrow \frac{1}{2} (1.2) [(70)^2 - (60)^2]$$

$$\Delta P = 0.6(10)(130) = 780 \text{ Pa}$$

3 - البخاخ (المرذاذ) sprayer or atomizer



(الشكل (26)

يستخدم في بعض زجاجات العطور والمبيدات الحشرية وغيرها .

مبدأ عمل المرذاذ: يعتمد في عمله على اندفاع الهواء من أنبوب واسع إلى أنبوب ضيق ينتج عنه زيادة في السرعة ومن ثم انخفاض الضغط على سطح السائل فيندفع السائل على شكل رذاذ محمول.

إذا نفخ هواء في الأنبوب AB كما هو مبين في شكل (26) عند A والتي مقطعها عند B صغير، فإن سرعة

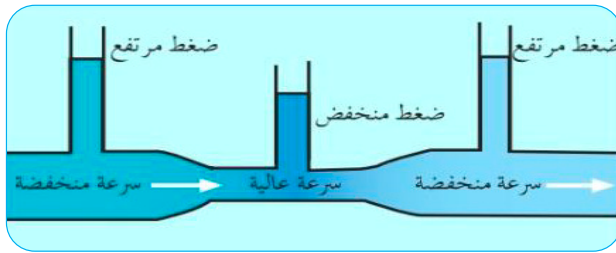
الهواء عند B تكون كبيرة ويكون الضغط منخفضاً، وعلى ذلك يرتفع السائل في الأنبوب CD ويتناثر عند المنطقة BC على شكل رذاذ.

4 - المازج في السيارة (الكربوريتر Carburettor):

مبدأ عمله : له نفس مبدأ عمل المرذاذ

5 - مقياس فينتوري:

تحتاج شركات المياه والغاز إلى قياس إستهلاك المشتركين وكذلك تتطلب بعض التجارب العملية قياس معدل سريان سائل أو غاز وتزودنا نظرية برنولي بوسيلة لقياس السريان وذلك بتحويل قياس الكميات من السوائل والغازات إلى قياس الضغوط. ولإجراء ذلك نحتاج أنبوبة أفقية ذات إحناق في شكل (27).



(الشكل (27)

تعريف: هو جهاز يستخدم لقياس سرعة سريان الموائع أو معدل التدفق داخل الأنابيب، ويعتمد على مبدأ برنولي ومعادلة الإستمرارية.

يستخدم مقياس فنتوري لحساب تدفق السائل .

نفترض أن ضغط السائل وسرعته قبل الاختناق هي: v_1, P_1 وعند الاختناق هي v_2, P_2 ، وأن مساحة المقطع قبل الاختناق A_1 وعنده A_2 ، ثم نطبق نظرية برنولي علماً بأن المقطعين في مستوى أفقى واحد.

$$\frac{mP_1}{\rho} + \frac{1}{2} mv_1^2 = \frac{mP_2}{\rho} + \frac{1}{2} mv_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

في الأنبوبة ذات الاختناق تزداد سرعة السائل ويقل ضغطه عند منطقة الاختناق نتيجة ثبات معدل السريان وفق معادلتى الاستمرارية وبرنولي.

ملخص مراجعة الوحدة :

خصائص الموائع:	
المفاهيم الرئيسة:	المفردة:
• من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق وعدم ثبات الشكل. • الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$ • يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي. $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ • يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو التالي: $PV = nRT$	• الموائع • الضغط • باسكال • القانون العام للغازات • قانون الغاز المثالي • التمدد الحراري • البلازما

القوى في الموائع:	
المفاهيم الرئيسة:	المفردة:
• قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، وينتج كل من التوتر السطحي واللزوجة عن قوى التماسك. • قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج الخاصية الشعرية عن قوى التلاصق.	• قوى التماسك • قوى التلاصق

الموائع الساكنة والموائع المتحركة:	
المفاهيم الرئيسة:	المفردة:
• ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتماداً على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1 A_1}{A_2}$ • يتناسب الضغط عند عمق معين طردياً مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho h g$ • قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح عن طريق جسم اعتماداً على مبدأ أرخميدس. $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} V g$ • ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلما إزدادت سرعته.	• مبدأ باسكال • قوة الطفو • مبدأ أرخميدس • مبدأ برنولي

تقويم الفصل :

- 1 - مطلوب من كل طالب عمل تقرير واحد عن إحدى النقاط التالية:
 - تطبيقات البلازما.
 - وحدات الضغط.
 - قاعدة أرخميدس وتطبيقاتها.
 - قاعدة باسكال وتطبيقاتها.
 - طرق قياس الضغط.
 - التوتر السطحي.
 - 2 - مطلوب من كل طالب تصميم خريطة ذهنية واحدة في إحدى النقاط التالية:
 - قوانين الغازات.
 - التبخر والعوامل التي تُحدث فيه تأثيراً.
 - التكاثف والعوامل التي تُحدث فيه تأثيراً.
 - 3 - اكتب المصطلح العلمي المناسب أمام كل عبارة من الآتي:
 - i- ظاهرة تحول المادة السائلة إلى مادة غازية
 - ii- عودة المادة الغازية إلى حالتها السائلة
 - 4 - اوجد الضغط المؤثر على جلد البالون اذا تم الضغط بقوة 2.5 N
 - i- باستخدام اصبعك حيث مساحته $A = 10^{-4}\text{ m}^2$.
 - ii- باستخدام ابرة حيث مساحتها $A = 2.5 \times 10^{-7}\text{ m}^2$.
 - 5 - احسب القوة التي تؤثر على يدك بواسطة الضغط الجوي، اذا كانت مساحة يدك تساوي $A = 0.08\text{ m} \times 0.1\text{ m}$
 - 6 - صندوق على شكل مكعب طول ضلعه 2 سم، تم غمره كلياً في الماء، بحيث كان الضغط على وجهه العلوي يساوي 105 Pa ، والضغط عند وجهه السفلي يساوي 106 Pa ، احسب كثافة السائل.
 - 7 - احسب الضغط الكلي الواقع على نقطة في قاع بحيرة عمقها 40m علماً بأن كثافة الماء 1000 kg/m^3 .
 - 8 - مليّ خزان شاحنة سعته 50.750L بالبنزين لينقله من مدينة بورتسودان نهراً حيث كانت درجة الحرارة 45°C ، إلى مدينة كسلا ليلاً حيث درجة الحرارة 25°C .
- a/ كم لتراً من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في كسلا؟

b/ ماذا حدث للبنزين؟

9 - ما مقدار الضغط الناتج من قوة مقدارها 800N تؤثر عمودياً على سطح مساحته 20m^2 ؟

10 - ما القوة التي يؤثر بها الهواء على سطح مكتب طوله 150cm وعرضه 80cm، عند مستوى سطح البحر علماً بأن الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يعادل $1 \times 10^5\text{pa}$ ؟

11 - لماذا يكون الحد القاطع للسكين رقيقاً؟

12 - وضعت عينة من غاز في إناء عند 27°C وكان الضغط 3atm أحسب ضغطه عند درجة حرارة 0°C

13 - إطار سيارة يحتوي على هواء ضغطه 3atm عند وبعد سير السيارة ارتفعت درجة حرارة الإطار إلى 54°C فكم سيكون ضغط الهواء داخل الإطار بافتراض ثبات الحجم؟

الوحدة الثانية

الديناميكا الحرارية

(الطاقة الحرارية - التحريك الحراري)



- ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة ؟

الأهداف:

- بعد دراستك لهذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:
- تصف الطاقة الحرارية
- تقارن بين طاقة الوضع والطاقة الحركية؛
- تميز بين علم الحرارة والديناميكا الحرارية؛
- تميز بين درجة الحرارة والطاقة الحرارية؛
- تبين مفهوم التدفق الحراري؛
- تتعرف تطبيقات التدفق الحراري؛
- تتعرف الحرارة النوعية؛
- تحسب الحرارة المنتقلة؛
- تعرف الحرارة الكامنة للإصهار؛
- تعرف الحرارة الكامنة للتبخير؛
- تتعرف القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية؛
- تطبق العلاقات والمعادلات والقوانين المتعلقة بالحرارة؛
- تميز بين الحرارة والشغل؛
- تعرف الإنتروبي.

المفردات:

- الطاقة الحرارية
- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة-الحمل
- حراري - مقاييس
- درجة الحرارة - التدفق
- حراري - الحرارة
- النوعية - القانون الأول
- الديناميكا الحرارية
- القانون الثاني للديناميكا
- الحرارية - درجة
- الإصهار - الحرارة
- الكامنة للإصهار
- والتصعيد - الإنتروبي.

الفكرة الرئيسة:

- يمكن تفسير سلوك الأنظمة الفيزيائية الكبيرة من خلال دراسة انتقال الطاقة الحرارية وتحولاتها وعلاقتها بالطاقة الداخلية للمادة.

الأهمية :

تمثل الطاقة الحرارية بعداً مهماً وضرورة حيوية للمخلوقات الحية، وحدوث التفاعلات الكيميائية، وعمل المحركات. وتسهم في مجالات عديدة منها: مجال توليد الطاقة، دراسة العلوم لأن كثيراً من خواص المواد تتغير معها، مجال الهندسة الجوية والفضائية، مجال الهندسة الطبية ومجال تخزين الطاقة مثل البطاريات.

نشاط إستقصائي:

- تزويد كوب عصير بطاقة حرارية عند الإمساك به بكلتا اليدين.

السؤال: ما الذي يحدث لدرجة حرارة العصير في الكوب عند حملها بيدك؟
ما تحتاجه : كوب وكمية من العصير.

الخطوات:

- اسكب العصير في الكوب؛
- سجل درجة حرارة العصير الابتدائية بوضع مقياس الحرارة في العصير دون ملاسة قاعدة وجوانب الكوب (لماذا)؛
- اخرج مقياس الحرارة من الكوب؛
- امسك الكوب بكلتا يديك؛
- دع زميلك يسجل درجة حرارة العصير النهائية كما في الخطوة الثالثة.

التحليل والإستنتاج:

- احسب التغير في درجة الحرارة .
- إذا كانت كمية العصير أكبر، هل يؤثر ذلك في تغير درجة الحرارة؟
- ما سبب تغير درجة الحرارة؟

درجة الحرارة والطاقة الحرارية

مقدمة: يعد علم الحرارة والديناميكا الحرارية من الركائز الأساسية في الفيزياء، إذ يهتمان بدراسة الطاقة وتحولاتها، وما يرتبط بها من ظواهر طبيعية تؤثر في حياتنا اليومية والتطبيقات التكنولوجية الحديثة وقد نشأ الإهتمام بهذا المجال من محاولة تفسير ظواهر بسيطة مثل تسخين الاجسام وانتقال الحرارة بينها، ليتطور لاحقاً إلى علم دقيق يفسر سلوك الأنظمة الفيزيائية بصورة شاملة. إذ يركز علم الحرارة على دراسة انتقال الحرارة بين الأجسام ووسائله المختلفة، مثل التوصيل والحمل والإشعاع، كما يهتم بوصف التوازن الحراري ومقياس درجة الحرارة. بينما الديناميكا الحرارية علم أوسع نطاقاً، يدرس العلاقة بين الحرارة والشغل والطاقة الداخلية، ويضع القوانين التي تحكم تحول الطاقة من صورة إلى أخرى داخل الأنظمة الفيزيائية.

بدأت هذه الدراسات التي تختص بتحويلات الحرارة إلى أشكال أخرى من أشكال الطاقة في القرن الثامن عشر عندما كان المهندسون يصنعون المحركات البخارية الأولى. إذ بدأ تطور الديناميكا الحرارية في عصر الثورة الصناعية في

بريطانيا في نهاية القرن الثامن عشر ، حيث تم اختراع المحركات الحرارية (هي محركات تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية).

ولكن كفاءتها كانت منخفضة مما دعا العلماء إلى أن يفكروا في فحص القوانين التي تحكم المحركات، وكانت هذه انطلاقة الأعمال المبتكرة في مجال الديناميكا الحرارية، واستمر التطوير إلى أن وصلنا لاختراع المحركات التي تستخدم حرارة الشمس وتحولها إلى طاقة حركية أو شغل ميكانيكي.

وعلى الرغم من أن دراسة الديناميكا الحرارية بدأت في القرن الثامن عشر، إلا أنه لم يتم الربط بين مفاهيم الديناميكا الحرارية وحركة الذرات والجزيئات في المواد الصلبة والسوائل والغازات حتى عام 1900 تقريباً. وبات فرعاً من فروع الفيزياء يدرس الطاقة الحرارية وتأثيراتها الحركية (التحريك الحراري)، كما سندرسه في موضوع الديناميكا الحرارية. فالديناميكا الحرارية هو علم يدرس سلوك الأنظمة التي تحتوى على عدد كبير من الجزيئات، ويركز على:

• الحرارة (Heat)

• درجة الحرارة (Temperature)

• الطاقة الداخلية (Internal Energy)

• الشغل (Work)

• الإنتروپيا (Entropy)

و تستخدم اليوم مفاهيم الديناميكا الحرارية على نطاق واسع في التطبيقات المختلفة، ويستخدم المهندسون قوانين الديناميكا الحرارية في تطوير أداء الثلاجات، ومحركات المركبات، والطائرات، وآلات أخرى.

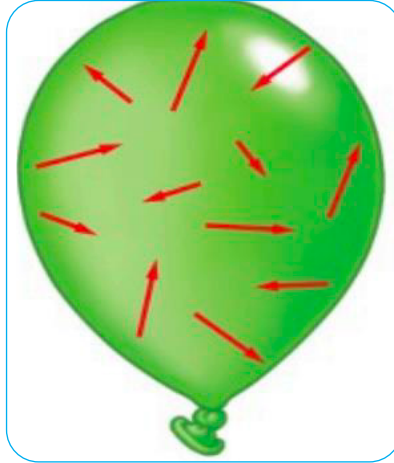
الطاقة الحرارية:

- ما معنى الطاقة الحرارية؟

لقد علمت سابقاً عندما تتصادم الأجسام مع بعضها تتبادل طاقتها الحركية، مثلاً في حالة بالون ممتلئ بغاز فإن جزيئات الغاز يتحرك حركة عشوائية ويضغط على جداران البالون. فكل جزيء من الجزيئات له طاقة وضع وله طاقة حركية. حاصل جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع لكل جزيء وضربها في عدد الجزيئات (N) يعرف الطاقة الحرارية (الطاقة الكلية للجزيئات). حيث يعرف متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز وهو

ناتج قسمة الطاقة الكلية على عدد الجزيئات.
كيف يسخن الأجسام؟

عندما نملأ بالوناً بغاز، يتمدد البالون بفعل تصادم جزيئات الغاز بجدار البالون، حيث يصطدم كل جزيء من الجزيئات الهائلة العدد بجدار البالون ثم يرتد ليصطدم بالجدار الآخر من البالون وهكذا دواليك، كما يبين الشكل (1)، وعندما نقوم بتعريض البالون لأشعة الشمس يزيد حجم البالون لماذا؟ لأن طاقة أشعة الشمس تجعل جزيئات الغاز تتحرك أسرع، فيصطدم بالجدار بمعدلات كبيرة. ويؤدي كل تصادم إلى عمل قوة أكبر على جدار البالون، فيتمدد المطاط، وبذلك يؤدي إلى تمدد البالون كلياً.



شكل (1) تصطدم جزيئات الغاز في البالون بالجدار المطاطي ويحدث تمدداً بالبالون أما إذا وضع البالون في مكان بارد ينكمش حجمها قليلاً لماذا؟ لأن إنخفاض درجة الحرارة يقلل من طاقة حركة جزيئات الغاز. وبالتالي فإن تصادمها لا تنقل زخماً كافياً لجعل البالون يتمدد. فينكمش البالون رغم إحتوائه على عدد الجزيئات نفسه.

الطاقة الحرارية الكلية للمادة الصلبة:

في حالة المادة الصلبة ذراتها لها طاقة حركية أيضاً، لكنها لا تتحرك بحرية مثل ذرات الغاز. لكن النموذج الذي يقوم عليه تصور التركيب الجزيئي للمادة الصلبة يكون برسم عدد من الذرات المرتبطة معاً بزنجبركات (نوابض) تسمح لها بالحركة في صورة إرتدادات مختلفة الشدة إلى الأمام وإلى الخلف.

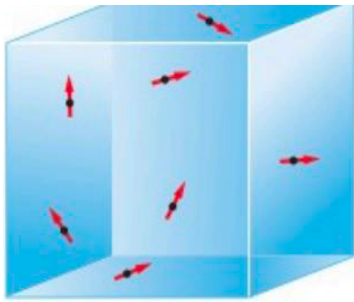
ويكون لكل ذرة بعض الطاقة الحركية، وطاقة الوضع من خلال الزنبركات المرتبطة معها. فتكون الطاقة الحرارية الكلية في المادة الصلبة متوسط طاقتي الحركة، والوضع لكل ذرة، مضروباً في عدد ذرات المادة الصلبة (N).

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة (Thermal energy and Temperature)

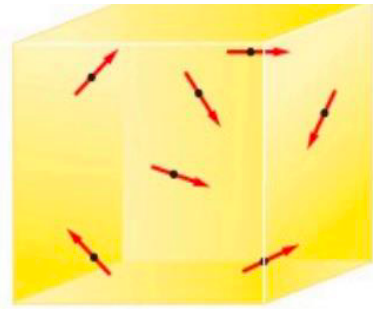
الجسم الساخن له طاقة حرارية أكبر من الجسم البارد المماثل له، كما مبين في الشكل (2)، بسبب أن الجزيئات في الجسم الساخن لها طاقة حرارية أكبر من الجزيئات في الجسم البارد. كل الجزيئات داخل الجسم ليست لها كمية الطاقة نفسها، وإنما تمتلك مدى واسع من القيم، وتمتلك جزيئات الجسم الساخن متوسط طاقة أكبر من متوسط طاقة جزيئات الجسم البارد.

فكر:

- لماذا تبقى البطاطا المشوية ساخنة مدة أطول من أي طعام آخر في الطبق؟



b - جسم بارد



شكل (2): a - جسم حار

درجة الحرارة:

الخلط بين درجة الحرارة والحرارة خلطاً شائعاً، فالمصطلحان ليس لهما نفس المعنى. عند التحدث عن درجة حرارة جسم ما نشير إلى درجة سخونته أو برودته، وعند التحدث عن الحرارة نشير إلى كمية الطاقة الحرارية التي تتدفق من جسم ساخن إلى جسم بارد.

تعتمد درجة الحرارة على متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الجسم فقط. ولأن درجة الحرارة تعتمد على متوسط طاقة حركة الجزيئات، فإنها لا تعتمد على عدد الذرات في الجسم. ولفهم ذلك تخيل نفسك تصب بعض القهوة

الساخن من الترمس إلى داخل فنجان القهوة، وأثناء القيام بذلك تسقط قطرة قهوة صغيرة على ذراعك. تكون هنا درجة حرارة قطرة القهوة هي نفسها درجة حرارة القهوة في الفنجان لأنهما من نفس الترمس، غير أن تأثير قطرة القهوة الساخن على ذراعك طفيفاً مقارنة بتأثير فنجان القهوة إذا صب كله على ذراعك. وبذلك يمكننا القول بأنه توجد طاقة داخلية في فنجان القهوة الساخن أكثر مما يوجد في قطرة القهوة الساخن.

درجة الحرارة هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات المادة.

ما الحرارة؟

الحرارة هي الطاقة الحرارية التي تنتقل من جسم أسخن إلى آخر أبرد. ووحدة قياس الطاقة هي الجول (J). وعند تسخين بعض الماء فنحن في الحقيقة نمده بطاقة.

وبناءً على قانون حفظ الطاقة فإن الحرارة التي نمد بها الماء لا تختفي، ولكنها في الحقيقة تتحول إلى نوع آخر من الطاقة. تنتقل في هذه الحالة الحرارة التي مد الماء بها إلى الطاقة الداخلية لجزيئات الماء، والتي تكون في صورتين: طاقة حركية، وطاقة كامنة. ومن ثم فإن الحرارة هي قياس للتغير في مجموع الطاقة الداخلية لجسم ما.

تسمى الطاقة الكلية للجزيئات بالطاقة الحرارية. ويرتبط متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز.

مصدر الحرارة:

ربما يتساءل البعض .. ما المصدر الرئيس للحرارة...؟ وربما يعلم الكثيرون الإجابة.

نعم المصدر الرئيس للحرارة هو الشمس ، حيث تنتج الحرارة عن طريق تفاعلات نووية داخلية (داخل الشمس) فتصل إلينا بإحدى طرق توصيل الحرارة ما يسمى بالإشعاع كما سنعرف لاحقاً، وبذلك تتوفر الحرارة اللازمة لاستمرار الحياة.

مصادر أخرى للحرارة:

- باطن الأرض: الحرارة الجوفية الناتجة من انصهار العناصر المعدنية وتحلل بقايا الحيوانات والنباتات.
- احتراق الوقود: حرق النفط، الفحم، الغاز.
- التفاعلات الكيميائية داخل جسم الإنسان : ما يسمى بعمليات الأيض وهو العملية التي يتحول فيها الطعام والشراب إلى الطاقة الحرارية التي يحتاج إليها الجسم.

تقويم ذاتي:

1. ما الفرق بين الحرارة ودرجة الحرارة؟
2. عرف الطاقة الحرارية؟

الاتزان والقياس الحراري:

- كيف تقيس درجة حرارة جسم المريض؟

عند ملامسة أنبوب المقياس الزجاجي البارد جسم المريض الدافئ، فإن الجزيئات المتحركة بسرعة كبيرة في جسم المريض تصطدم بالجزيئات المتحركة بسرعة أقل في الأنبوب الزجاجي، فتنتقل الطاقة من جسم المريض إلى الزجاج عن طريق عملية التوصيل الحراري، والتي تعني إنتقال الطاقة الحركية عندما تصادم الجزيئات. بمعنى أن الطاقة الحرارية للجزيئات المكونة لمقياس الحرارة تزداد، في الوقت الذي فيه تتناقص الطاقة الحرارية للجزيئات في جسم المريض.

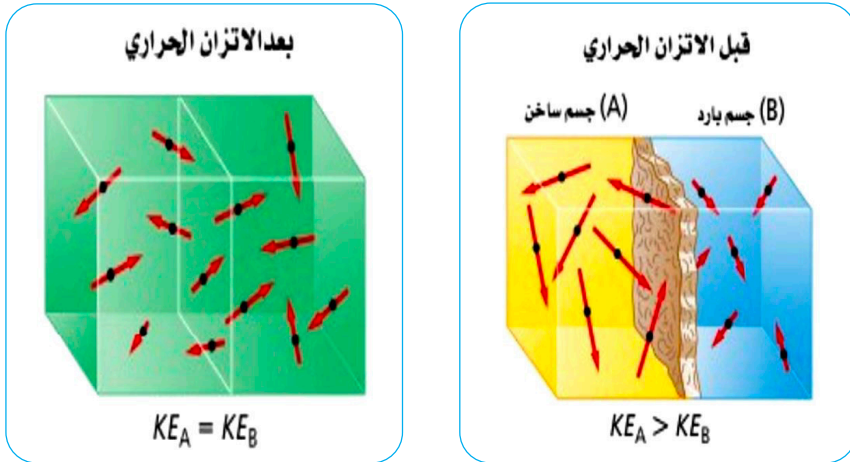
الاتزان الحراري:

عند اكتساب جزيئات الزجاج المزيد من الطاقة تبدأ في إستعادة جزء من هذه الطاقة إلى جزيئات جسم المريض. و يكون معدل إنتقال الطاقة من الزجاج إلى جسم المريض مساوياً لمعدل إنتقال الطاقة من جسم المريض إلى الزجاج عند اللحظة التي تتساوى فيها درجتا حرارة جسم المريض ومقياس الحرارة. وعندئذ يكون الجسم ومقياس الحرارة قد وصلا إلى **الاتزان الحراري**، بمعنى أن حالة الاتزان هي الحالة التي يصبح عندها معدل تدفق الطاقة بين جسمين متساوي، ويكون الجسمين في درجة الحرارة نفسها، كما يوضح الشكل (3). فهو مفهوم أساسي في الديناميكا الحرارية وهو الحالة التي تتساوى فيها درجات حرارة بين

نظامين مختلطين أو جسمين متلامسين أو أكثر ، مما يؤدي إلى توقف انتقال الحرارة. يرتكز هذا المفهوم على أحد قوانين الديناميكا الحرارية ويعرف بالقانون الصفري. ويعد الاتزان الحراري أساس لعمل الموازين الحرارية (الثيرمومترات).

بعض التطبيقات الحياتية على التوازن الحراري:

1. **ميزان الحرارة:** يستقر الزئبق عند درجة حرارة معينة تساوي درجة حرارة السائل الذي يقاس أو المريض الذي يراد قياس درجة حرارته.
2. **توازن الأرض والشمس:** الأرض تكتسب درجة حرارة من الشمس، وتشتع نفس الكمية للغلاف الجوي مما يبقيها في حالة توازن حراري.
3. **تبريد المحرك:** محرك السيارة يتوقف عند تسخين أجزائه ويصل لاتزان حراري بعد فترة من التشغيل.



شكل (3): تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعندما يحدث الاتزان يتساوى معدل إنتقال الطاقة بين الجسمين

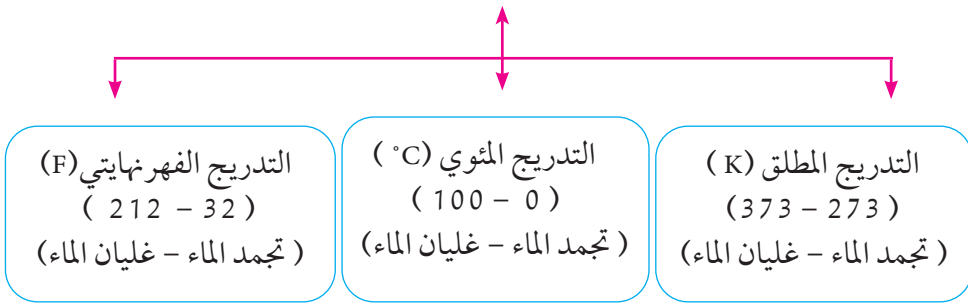
تقويم ذاتي:

1. ماذا نعني بالاتزان الحراري؟
2. ما العلاقة بين الاتزان الحراري وميزان الحرارة؟
3. ما القانون الفيزيائي الذي يفسر الاتزان الحراري؟

مقاييس درجة الحرارة:

تعتبر درجة الحرارة مسألة في غاية الأهمية لدراسة العلوم، فكثيراً من خواص المادة تتغير معها. ولكي ندرس كيفية تغير خواص المادة مع درجة الحرارة يجب أن نكون قادرين علي قياس درجة الحرارة بدقة. سندرس في هذه الوحدة بعض طرق قياس درجة الحرارة. الفكرة الرئيسة في جميع تلك الطرق هي إيجاد خاصية فيزيائية تتغير بانتظام مع درجة الحرارة، وربط التغيرات الثابتة في درجة الحرارة بالتغيرات الثابتة في الخاصية.

مقاييس درجة الحرارة



*)ولكن الفهرنهايت لا يعول عليه كثيراً)

الكلفن نسبة إلى العالم وليام تومسون واللقب كلفن نسبة إلى نهر كلفن حيث كانت جامعته التي يعمل بها.

من التخطيط أعلاه يتضح أن العلاقة بين التدرج والدرجة المئوية كالآتي:
$$K = C^{\circ} + 273$$

التدرج المئوي اخترعه العالم سليزيوس والطريف في الأمر أنه كان معكوساً في البداية حيث كان:
0 = درجة غليان الماء
100 = درجة تجمد الماء
تم قلب التدرج بعد وفاته ليصبح بالشكل المعروف.

تقويم ذاتي:

- قارن بين التدرج المطلق والتدرج المئوي:

وجه المقارنة	التدرج المطلق	التدرج المئوي
المدى		
تجمد الماء		
غليان الماء		

مثال 1:

حول 300K إلى الدرجة المئوية.

المعطيات:

الدرجة بالكلفن (300) K = الدرجة المئوي $^{\circ}\text{C}$ = ?

$$300 - 273 = 27^{\circ}\text{C}$$

مثال 2:

كم تساوي 100°C بالكلفن ..؟

المعطيات:

الدرجة المئوية (100°C) = الدرجة بالكلفن (k) = ?

الحل:

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$K = 100 + 273$$

$$K = 373$$

تقويم ذاتي:

1. حول 3 درجة مئوية إلى كلفن.

2. كم تساوي 40 كلفن بالدرجة المئوية؟

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية :

إذا وضع جسمين بدرجتى حرارة مختلفتين في اتصال حراري مع بعضهما البعض يحدث انتقالاً للطاقة. وهذه التي تنتقل بين الجسمين تسمى **الحرارة**. وتعرف الحرارة بأنها الطاقة التي تتدفق دائماً من الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأدنى حتى يصبح الجسمان عند نفس درجة الحرارة، ويقال عندئذ أن الأجسام في حالة **توازن حراري**. وأيضاً يعرف انتقال الحرارة من جسم إلى آخر نتيجة الفرق في درجة الحرارة في الثانية بالتدفق الحراري، وله دور أساسي في العمليات الهندسية والطبيعية. ويقاس بالجول لكل ثانية والتي تعادل الواط (W).

لا تنتقل الحرارة تلقائياً من الجسم الأبرد إلى الجسم الأسخن أبداً. ويستخدم الرمز Q لتمثيل كمية الحرارة، والذي له نفس وحدة أشكال الطاقة الأخرى، وهي الجول، فإذا كانت Q سالبة القيمة فذلك يعني أن الحرارة تنبعث من الجسم، أما إذا كانت Q موجبة القيمة فذلك يعني أن الجسم امتص حرارة.

التدفق الحراري هو :

معدل انتقال الحرارة عبر مادة أو بين نظامين بسبب فرق في درجة الحرارة

تطبيقات التدفق الحراري في الحياة :

1. العزل الحراري لاختيار مواد تمنع فقدان الحرارة مثل عزل الجدران أو الأنابيب.
 2. تصميم أفران تحتفظ بالحرارة بكفاءة عالية.
 3. يستخدم كأداة لقياس كمية الحرارة التي تنتقل من باطن الأرض إلى السطح واستغلالها كمصدر طاقة. وذلك بعدة استخدامات نختار منها:
- تحديد المناطق الغنية بالحرارة: إذا كان التدفق مرتفعاً تكون المنطقة مناسبة لمشاريع الطاقة الحرارية.
 - اختيار مواقع الحفر: يساعد في معرفة عمق الطبقات الساخنة، ويقلل من تكلفة الحفر العشوائي.
 - تصميم الأنظمة الحرارية: يستخدم في اختيار الأنابيب المناسبة لتحمل درجات الحرارة العالية.

ستتعلم في هذه الوحدة كيفية انتقال الحرارة بواسطة ثلاث عمليات مختلفة: التوصيل، الحمل، والإشعاع.

التوصيل الحراري: عند وضع سلك معدني في لهب فإن جزيئات الغاز الحارة في اللهب ستوصل الحرارة إلى السلك المعدني. ويصبح الطرف الآخر للسلك دافئاً أيضاً خلال فترة زمنية وجيزة. تم إيصال الحرارة لأن الجزيئات في السلك كانت تتلامس مع بعض.

التوصيل الحراري هو انتقال الطاقة الحرارية دون أي انسياب للوسط

آليات التوصيل الحراري، هما الاهتزازات الجزيئية، والإنتشار الحر للإلكترونات

تقويم ذاتي:

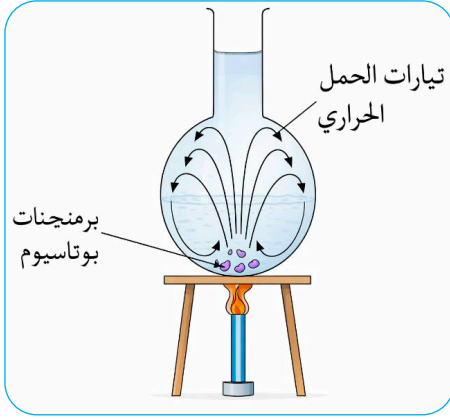
1. هل الحرارة المنقولة من نار المدفأة إلى شخص يقف أمامها مثال جيد لانتقال الحرارة عن طريق التوصيل؟
2. أذكر آليات توصيل الحرارة في الأجسام الصلبة.

الحمل الحراري: العملية الثانية لانتقال الحرارة هي الحمل الحراري، وتتضمن نقل الحرارة خلال أحد الموائع (سائل أو غاز) عن طريق الحركة الكلية للمائع نفسه. هل شاهدت دورق ماء عند لحظة الغليان؟

نشاط:

الأدوات: دورق ذي قاع مستدير، بلورات برمنجنات البوتاسيوم، موقد إشعال. الخطوات:

- أملأ الدورق بالماء، ثم ضع بعض بلورات برمنجنات البوتاسيوم بحرص عند قاع الدورق (الشكل 4).
- موقد إشعال ذا لهب صغير تحت الدورق.
- راقب البلورات.



شكل (4)

- ماذا تلاحظ؟

تلاحظ تيارات ماء أرجوانية اللون ترتفع رأسياً في مركز الدورق، ثم تهبط مرة أخرى بطول جوانبه (شكل 4). يمثل دوران تيارات الماء الأرجوانية في شكل (4) تياراً للحمل الحراري.

فعند تسخين الماء في قاع الدورق ذي القاع المستدير بفعل التوصيل يصعد إلى أعلى، وفي الوقت نفسه ينزل الماء الأبرد من أعلى الدورق نحو القاع. وتندفق الحرارة بين الماء الساخن الصاعد والماء البارد النازل. وتعرف حركة المائع في المادة السائلة أو الغازية التي تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة بالحمل الحراري. ويحدث الإضطراب الجوي بسبب الحمل الحراري للغازات الموجودة في الغلاف الجوي. وتعتبر العواصف الرعدية مثلاً على هذه الظاهرة.

تيار الحمل الحراري هو حركة المائع نتيجة تغير كثافات أجزاء المائع المختلفة

التقويم الذاتي:

1. هل الحرارة المنتقلة من مكواة ساخنة إلى شخص ممسك بها في وضع الكي لأسفل هي مثال جيد لانتقال الحرارة عن طريق الحمل الحراري؟
2. أذكر آلية انتقال الحرارة في الموائع.

الإشعاع الحراري: الطريقة الثالثة للانتقال الحراري، لا يحتاج الإشعاع الحراري على عكس التوصيل الحراري والحمل الحراري إلى مادة وسيطة لانتقال الحرارة، يمكن أن يحدث في الفراغ. فتصل على سبيل المثال، الحرارة من الشمس إلى الأرض بعملية الإشعاع الحراري. فالتوصيل الحراري أو الحمل الحراري ليس ممكناً بسبب

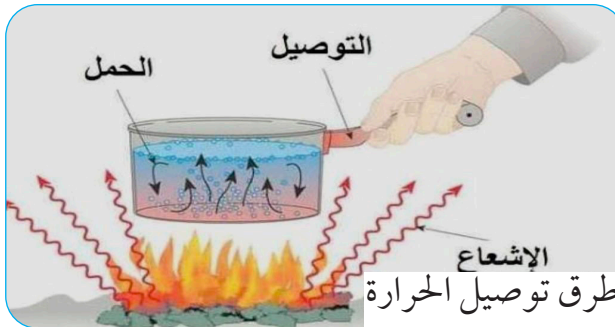
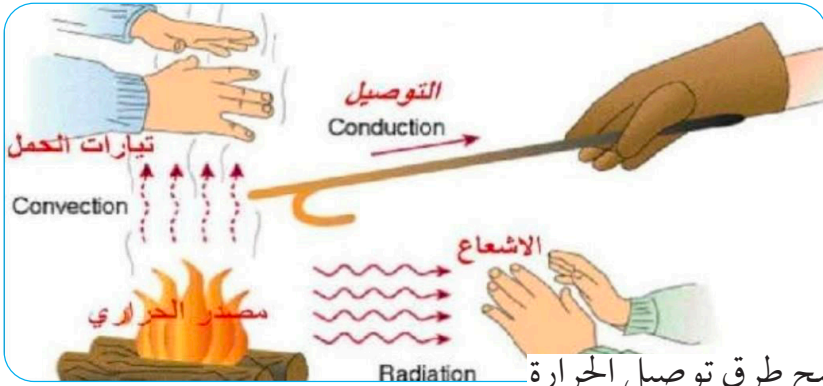
الفراغ بين الشمس والأرض.

الإشعاع هو الانبعاث المستمر للموجات دون الحمراء من أسطح جميع الأجسام، وينتقل خلال الفضاء من دون مساعدة وسط مادي

التقويم الذاتي

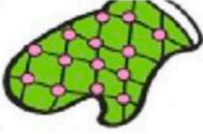
1. أذكر مثالين من الحياة اليومية لانتقال الحرارة بالإشعاع الحراري.
2. أذكر آلية انتقال الحرارة بالإشعاع الحراري.
3. أكمل خريطة المفاهيم التالية:

طرق توصيل الحرارة



فكر:

- لدينا ثلاث طرق لانتقال الحرارة من خبراتك السابقة أي منهم (التوصيل
- الأشعاع - الحمل)؟

ليس قفاز المطبخ عند إخراج الطعام من الفرن 	تسخين المارشملو على نار الفحم 	الشمس تعمل على تبخر الماء Evaporation 
الهواء الساخن يعمل على ملأ بالون المنطاد 	الحرارة من الطاولة تعمل على امتصاص الطاقة من مكعب الثلج 	الحرارة في حدوة الحصان تنتقل من الفرن 
وضع القدر على طباخ الطعام 	وعاء الطعام على الطاولة 	تسخين الماء على النار 
الشعور بحرارة الملعقة بعد وضعها داخل حساء الشوربة 	الحرارة المنقولة داخل فرن الميكرويف 	جهاز استشعار الحرارة بالأشعة تحت الحمراء 

الحرارة النوعية Specific Heat

من المفاهيم المهمة جداً عند دراسة الطاقة الحرارية ، كمية الحرارة . فما كمية الحرارة؟

هي مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها أو يفقدها الجسم. أي يمكن القول أنها التغير في مقدار الطاقة الحرارية. ويرمز لها بالرمز (Q) نسبة للكلمة الإنجليزية Quantity وتعني كمية، وتقاس بالجول أو السعر الحراري.

كما نجد أن لكل نوع من أنواع المادة كمية حرارة معينة تلزم لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة (1 كجم) منها درجة واحدة مئوية وهو ما يعرف بالحرارة النوعية للمادة.

الحرارة النوعية: هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كجم من المادة درجة واحدة مئوية، وهذه الكمية ثابتة لكل نوع من أنواع المادة ولكنها تختلف من مادة لأخرى. ويرمز لها بالرمز (C) وتأتي من اللفظ الإنجليزي Specific Heat وتعني حرارة نوعية. وتقاس بوحدات J/Kg.K في نظام الوحدات العالمي، ويبين الجدول التالي قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المعروفة، فعلى سبيل المثال، يجب نقل طاقة مقدارها 897 J إلى كتلة مقدارها 1 Kg من الألمونيوم لرفع درجة حرارتها 1K، لذا تكون الحرارة النوعية للألمونيوم 897 J/K .

الحرارة النوعية للمواد الشائعة			
المادة	الحرارة النوعية (J / kg. K)	المادة	الحرارة النوعية (J / kg. K)
الألمونيوم	897	الرصاص	130
النحاس الأمض	376	الميثانول	2450
الكربون	710	الفضة	235
النحاس	385	بخار الماء	2020
الزجاج	840	الماء	4180
الجليد	2060	الخارصين	388
الحديد	450		

وعندما تنتقل الحرارة إلى داخل جسم ما، فإن كلا من طاقته الحرارية ودرجة حرارته تزداد. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة على كتلة الجسم، ونوع مادته. وبذلك نجد أن كمية الحرارة تعتمد على:

1. كتلة الجسم (m) والرمز من الكلمة الإنجليزية (mass) وتعني كتلة .

2. نوع مادته (الحرارة النوعية للجسم c)

3. الفرق أو التغير في درجة الحرارة $(T_2 - T_1)$.

ومن الواضح أن العلاقة طردية بين كمية الحرارة وكل من كتلة الجسم والحرارة النوعية، وبالضرورة اكتساب كمية حرارة أو فقدانها يؤدي إلى زيادة أو نقصان في درجة الحرارة (T) أي يحدث فرق أو تغير في درجة الحرارة $(T_2 - T_1)$ أي (ΔT) يتناسب طردي أيضاً، وعليه نجد:

كمية الحرارة (Q) =

كتلة الجسم (m) الحرارة النوعية (c) × الفرق في درجة الحرارة $(T_2 - T_1)$

$$\Delta Q = m \times c \times (T_2 - T_1) \quad Q = m \times c \times T$$

بداية نضع الحرارة النوعية موضع القانون لإيجاد وحدة قياس الحرارة النوعية، كما تعلمت في الصف الأول.

$$c = \frac{Q}{m \times (T_2 - T_1)} \quad \text{وحدة قياس}$$

$$c = \frac{J}{Kg \cdot C^\circ} \quad \text{أو } J \backslash Kg \cdot C^\circ$$

كما نجد أنه إذا فقد جسم ملامس لجسم آخر كمية من الحرارة بالضرورة يكتسبها الجسم الآخر ونجد أنه وفق مفهوم التوازن فإن :

كمية الحرارة المفقودة بواسطة جسم = كمية الحرارة المكتسبة بواسطة جسم آخر

مثال (1):

أحسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 4 كجم من الماء من درجة حرارة $30^\circ C$ إلى $50^\circ C$ ، إذا علمت أن الحرارة النوعية للماء $4180 J / Kg \cdot C^\circ$.

المعطيات :

الكتلة $(m) = 4 Kg$ ، الفرق في درجة الحرارة (الزيادة في درجة الحرارة) $(\Delta T) = (T_2 - T_1) = 50 - 30 = 20$ ، الحرارة النوعية $c = 4180 J \backslash Kg \cdot C^\circ$

الحل:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$Q = 4 \times 4180 \times 20 = 33.4 \times 10^4 \text{ J}$$

مثال (2):

وضع جسم من النحاس كتلته 0.5kg ودرجة حرارته 100°C في ماء كتلته 1كجم ودرجة حرارته 20°C ، أحسب الدرجة النهائية للخليط...! إذا اعتبرنا أن الحرارة النوعية للنحاس $4000 \text{ J/kg} \cdot \text{C}$ والحرارة النوعية للماء $4200 \text{ J/Kg} \cdot \text{C}$

المعطيات:

كتلة النحاس $m = 0.5 \text{ kg}$ ، درجة حرارة النحاس: $(T_{\text{نحاس}}) = 100^\circ \text{C}$

الحرارة النوعية للنحاس $(c) = 4000 \text{ J/Kg} \cdot \text{C}$

كتلة الماء $(m) = 1 \text{ kg}$ ، درجة حرارة الماء $(T_{\text{ماء}}) = 20^\circ \text{C}$

الحرارة النوعية للماء $(c) = 4200 \text{ J/Kg} \cdot \text{C}$ درجة حرارة الخليط $(T) = ?$

الحل:

كمية الحرارة المفقودة بواسطة النحاس = كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الماء :

$$Q_{\text{نحاس}} = m c (T_2 - T_1) = 0.5 \times 4000 (100 - T) = 2000(100 - T)$$

$$Q_{\text{ماء}} = m c (T_2 - T_1) = 1 \times 4200 (T - 20) = 4200 (T - 20)$$

$$m c (T_2 - T_1)_{\text{نحاس}} = m c (T_2 - T_1)_{\text{ماء}} \quad \text{بما إن:}$$

$$2000 (100 - T) = 4200 (T - 20)$$

$$200000 - 2000 T = 4200 T - 84000$$

$$200000 + 84000 = 4200 T + 2000 T$$

$$284000 = 6200 T$$

$$T_{\text{الخليط}} = 284000 \div 6200 = 45.8^\circ \text{C}$$

مثال (3):

جد الحرارة النوعية للنحاس إذا ارتفعت 2000gm منه ، من درجة حرارة 20°C إلى درجة حرارة 100°C ، علماً بأنها اكتسبت كمية من الحرارة قدرها 640J

المعطيات:

$$\begin{aligned} 2000\text{gm} &= \frac{2000}{1000} = 2\text{kg} = \text{كتلة النحاس} \\ 640 &= \text{كمية الحرارة} \\ 100 - 20 &= 80 \quad \text{الفرق في درجة الحرارة:} \\ &\text{الحرارة النوعية} = ? \end{aligned}$$

الحل:

$$C = \frac{Q}{m (T_2 - T_1)} = \frac{640}{2 \times 80} = 4 \text{ J/Kg} \cdot \text{C}$$

هناك مفهوم حراري هو حرارة نوعية أيضاً ولكن لكتلة الجسم كلها ، ويسمى بالسعة الحرارية.

بالرجوع لمفهوم الحرارة النوعية يمكننا أن نعرف السعة الحرارية على النحو التالي:

السعة الحرارية : هي الحرارة النوعية لكل كتلة الجسم ، أي أنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم كله درجة واحدة مئوية ويرمز لها بالرمز (C) نسبة إلى الكلمة الإنجليزية (Capacity) وتعني سعة. وتعتمد على :

- كتلة الجسم.
- الحرارة النوعية لمادة الجسم.

وربما لاحظت التشابه الكبير بينها وبين كمية الحرارة لأنها بالضرورة هي كمية حرارة ، لكن الفرق يكمن في الفرق في درجة الحرارة ، حيث أن السعة الحرارية ترفع الجسم درجة واحدة مئوية. وعليه يمكن القول :

$$\begin{aligned} \text{السعة الحرارية} &= \text{كتلة الجسم} \times \text{الحرارة النوعية} \times \text{الفرق في درجة الحرارة} \\ \text{السعة الحرارية} &= \text{كتلة الجسم} \times \text{الحرارة النوعية} \times 1 \end{aligned}$$

$$\text{السعة الحرارية} = \text{كتلة الجسم} \times \text{الحرارة النوعية}$$

$$C = m \times c$$

ومن العلاقة أعلاه نجد أن السعة الحرارية = كمية الحرارة / الفرق في درجة الحرارة من هنا يمكن إيجاد وحدة قياس السعة الحرارية $J/^{\circ}C$

مثال 1 :

احسب السعة الحرارية لكتلة من الماء قدرها 10 Kg إذا علمت أن الحرارة النوعية للماء $4180\text{ J/kg}^{\circ}C$.

المعطيات:

كتلة الماء $= 10\text{ kg}$ ، الحرارة النوعية للماء $= 4180\text{ J/kg}^{\circ}C$.

الحل:

$$C = mc = 10 \times 4180 = 41800 = 418 \times 10^2\text{ J}^{\circ}$$

تذكر: بعض أهم المفاهيم الخاصة بالديناميكا الحرارية

المفهوم	التعريف الفيزيائي	ماذا يمثل؟	يعتمد على ماذا	وحدة القياس
الطاقة الحرارية	متوسط طاقتي الحركة، والوضع لكل ذرة مضروباً في عدد الذرات (N)	حالة داخلية للنظام	درجة الحرارة، كمية المادة، طبيعة المادة	جول (J)
الحرارة	كمية الطاقة الحرارية التي تنتقل بين نظامين بسبب فرق في درجة الحرارة	عملية إنتقال طاقة	فرق درجة الحرارة فقط	جول (J)
الطاقة الداخلية	مجموع كل الطاقات المجهرية داخل النظام (حركية + كامنة + تفاعلات)	خاصية شاملة للنظام	درجة الحرارة + الحالة الفيزيائية + التركيب	جول (J)
درجة الحرارة	مقياس لمتوسط الطاقة الحركية لجزيئات النظام	مقياس لشدة البرودة أو السخونة	متوسط الطاقة الحركية فقط	كلفن (K)
كمية الحرارة	مقدار الطاقة الحرارية المنتقلة فعلياً خلال عملية معينة	قيمة عددية للحرارة المنتقلة	فرق درجة الحرارة، الكتلة، الحرارة النوعية	جول (J)

(٢) التحريك الحراري

لقد ذكرنا أن الديناميكا الحرارية تدرس التأثيرات الحركية للطاقة الحرارية، والتي تسمى بالتحريك الحراري والذي من الواضح أنه يدل على تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية (Kinetic Energy).

مفهوم التحريك الحراري:

هو فرع من فروع الديناميكا الحرارية ويدرس العلاقة بين الطاقة الحرارية والشغل، يركز على كيفية تحويل الطاقة إلى شغل ميكانيكي، وهو أساس عمل المحركات، الثلاجات، محطات الطاقة.

ويحدث تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية عند إنتقال كمية من الحرارة إلى جسم ما، فتعمل على زيادة الطاقة الحركية للجزيئات وبالتالي زيادة الطاقة الداخلية الكلية للجسم.

فكما ذكرنا سابقاً أن هذه الطاقة الحركية تنتج من الحركة الإهتزازية لجزيئات المادة والتي تؤدي لاحتكاك الجزيئات مع بعضها البعض مما يؤدي لارتفاع في درجة حرارة الجسم. ولذلك كلما زاد متوسط الطاقة الحركية زادت درجة حرارة المادة. ونرمز لمتوسط الطاقة الحركية ($K.E_{avg}$) وبالطبع لدرجة الحرارة (T) وتقاس بالكلفن.

مما سبق، نجد أن، متوسط الطاقة الحركية للجزيئات يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة للجسم.

لعلك تذكر لماذا نتعامل مع الطاقة الحركية كمتوسط .
الآن أذكر السبب ..!

$$K.E_{avg} \propto T \text{ بالكلفن}$$
$$K.E_{avg} = \frac{3}{2} k_B T \text{ كلفن}$$

حيث k_B ثابت التناسب ويسمى بثابت بولتزمان
مثال:

أحسب متوسط الطاقة الحركية لجزئ غاز النيتروجين في غرفة درجة حرارتها 27°C ، علماً بأن ثابت بولتزمان 1.38×10^{-23} .

المعطيات:

$$T = 27^\circ\text{C} = 27 + 273 = 300\text{ K}$$

$$T(\text{بالكلفن}) = C^\circ + 273$$

$$T = 27 + 273 = 300\text{ K}$$

$$\text{ثابت بولتزمان} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\text{متوسط الطاقة الحركية} = (K.E_{avg}) = ?$$

الحل:

$$K.E_{avg} = \frac{3}{2} k_B T (\text{كلفن}) = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$$

وبالضرورة نجد أن كمية الحرارة المكتسبة تُحدث تغيير في الطاقة الحركية للجزيئات، حيث تعمل على زيادتها، والعكس بالعكس أي أن كمية الحرارة المفقودة تعمل على نقصان في الطاقة الحركية، ولأن الطاقة الحركية للجزيئات أحد مكونات الطاقة الداخلية الكلية، نجد أن تغييرها يكون مصحوباً بتغيير في الطاقة الداخلية الكلية (ΔU) والرمز (U) نسبة إلى الكلمة الألمانية (Untere Energie) وتعني الطاقة الموجودة في داخل الجزيئات.

ولكن هل تتحول الطاقة الحرارية كلها إلى تغيير في الطاقة الداخلية؟ سنجاوب على هذا السؤال من خلال إجراء التجربة التالية:

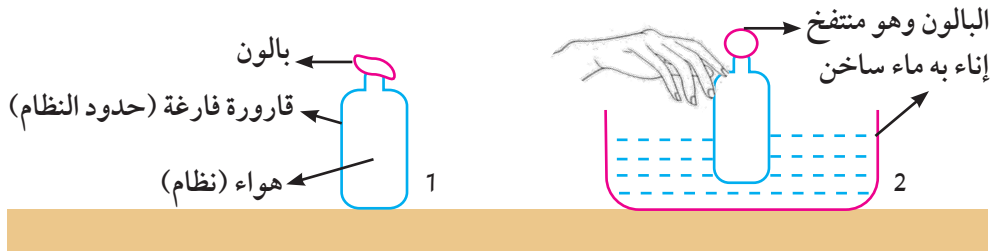
مكونات التجربة:

1. قارورة زجاجية أو بلاستيكية فارغة (ويسمى الهواء الذي بداخل القارورة النظام كما تسمى القارورة حدود النظام).
2. إناء به ماء ساخن (ويسمى الوسط الخارجي).
3. بالونة.

التجربة:

نصل فوهة القارورة مع فوهة البالونة، ثم نضع القارورة على الإناء الذي به ماء ساخن (المحيط الخارجي).

الملاحظة: إنتفاخ البالون.



تجربة توضح بقاء الطاقة وإثبات العلاقة: كمية الحرارة = التغيير في الطاقة الداخلية + الشغل الميكانيكي

الاستنتاج : إن كمية الحرارة التي انتقلت من الوسط المحيط (الماء الساخن) إلى الهواء بداخل القارورة أستنفذ جزء منها في زيادة الطاقة الداخلية (U) والجزء الثاني عمل على تمدد جزيئات الهواء (النظام)، ولما كانت حدود النظام (القارورة) غير قابلة للتمدد ، تمدد الهواء بداخل القارورة إلى أن وصل البالونة، فانتفخت .

وهذا التمدد أو الزيادة في الحجم يدل على وجود شغل ميكانيكي ، وعليه نجد أن كمية الحرارة أو الطاقة الحرارية المكتسبة لا تتحول كلها إلى تغيير في الطاقة الداخلية الكلية، بل يتحول جزء منها إلى شغل ميكانيكي (W) والرمز يأتي من الكلمة الإنجليزية (Work) وتعني شغل إذن:

كمية الحرارة = التغيير في الطاقة الداخلية + الشغل الميكانيكي . وهو ما يعبر عن القانون الأول للديناميكا الحرارية وهو بقاء الطاقة. وكحال أي تغيير نعبر عن التغيير بالرمز (Δ).

القانون الأول للديناميكا الحرارية:

إذا اكتسب الجسم كمية من الحرارة (Q) فإن جزء منها يعمل على زيادة الطاقة الداخلية (U) والآخر يتحول إلى شغل ميكانيكي (W) ولذلك يسمى بقانون بقاء الطاقة لأنه يدل على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ولكن تتحول من شكل لآخر وفق المعادلة :

$$\text{الطاقة الحرارية (Q) = التغيير في الطاقة الداخلية الكلية } \Delta U + \text{الشغل الميكانيكي (W)}$$

$$Q = \Delta U + W$$

حيث Q = الحرارة المنتقلة إلى الجسم .
 W = الشغل الذي يبذله جزيئات الجسم .
 ΔU = التغيير في الطاقة الداخلية الكلية للجسم

مثال:

يوجد غاز داخل أسطوانة إذا امتص الغاز كمية من الحرارة قدرها 500J ، عملت على تمدد الغاز، وبذلك عملت شغلاً قدره 200J ، احسب مقدار التغيير في الطاقة الداخلية للغاز.

المعطيات:

كمية الحرارة المكتسبة $500 \text{ J} = (Q)$ الشغل الميكانيكي $200 \text{ J} = (W)$
التغير في الطاقة الداخلية $(\Delta U) = ?$

الحل:

$$Q = + \Delta U + W$$

$$\Delta U = Q - W = 500 - 200 = 300 \text{ J}$$

لعلك من التجربة السابقة تعلمت أن هناك ما يسمى بنظام. ما المقصود بالنظام في الديناميكا الحرارية؟

تعريف النظام (System): جزء محدد من الكون نختاره للدراسة، وقد يكون: كمية من الغاز داخل وعاء - سائل في إناء - أو جسم صلب. أما باقي الكون الموجود خارج هذا الجزء فيعرف بالوسط المحيط (Surroundings).

أنواع الأنظمة في الديناميكا الحرارية:

1. **النظام المفتوح (open system):** يتبادل المادة والطاقة مع الوسط المحيط. مثال: إناء مفتوح به ماء يغلي أو كوب شاي مكشوف، جسم الإنسان. تنتقل فيه الحرارة والكتلة.

2. **النظام المغلق (Closed System):** يتبادل الطاقة فقط (حرارة أو شغل)، ولا يسمح بانتقال المادة. مثل سائل أو غاز في أسطوانة محكمة الإغلاق مثل حلة الضغط (البريستو).

3. **النظام المعزول (Isolated System):** لا يتبادل المادة ولا الطاقة مع الوسط المحيط.. مثل ترمس (مثالي)، الكون ككل تقريباً. أو كما في المفاعل النووي حيث يتم عزل تام لقضبان الوقود لمنع تسرب الإشعاعات الضارة للوسط المحيط.

أمثلة حياتية بسيطة:

- كوب شاي ساخن بدون غطاء (نظام مفتوح).
- زجاجة ماء مغلقة (نظام مغلق).
- ترمس جيد العزل (نظام معزول تقريباً).

الإنتروبيا :

قبل أن نتناول القانون الثاني للديناميكا الحرارية علينا ان نتعرف على مفهوم جديد يسمى الإنتروبي أو الإنتروبيا .
- ما الإنتروبيا ..؟

كلمة إنتروبي: كلمة أصلها يوناني وتعني تحول أو تغيير واستخدمت لقياس الطاقة الغير قابلة للاستخدام داخل الأنظمة الحرارية، مشابهة لكلمة (Energy).

تعتبر الإنتروبيا عن ميل الأنظمة الطبيعية نحو الفوضى أو العشوائية..
ولتوضيح الإنتروبيا إليك هذه الأمثلة:
مثال (1) :

تخيل أن لديك صندوقاً مقسماً نصفين ، أحدهما يحتوي على كرات حمراء والآخر يحتوي على كرات زرقاء، عندما تزيل الحاجز تبدأ الكرات بالاختلاط التلقائي ، هذا الاختلاط التلقائي يمثل الإنتروبيا .
مثال (2) :

إن وضعنا نقطة حبر على ماء فإن الحبر ينتشر تدريجياً في كل الماء (أي كل النظام) فجزئيات الحبر والماء يتحركان بشكل عشوائي حتى يصبح كل الماء متجانساً بما فيه من حبر وماء . هذه الحركة العشوائية للجزئيات هي الإنتروبيا.

ولذلك نجد أن الإنتروبيا تزيد كلما زادت حدود النظام حيث كلما زادت حدود النظام كلما أعطت فرصة أكبر للحركة العشوائية للجزئيات والعكس بالعكس. ويرمز للإنتروبي بالرمز (s) . هذه الحركة تصاحبها انتشار للطاقة الحركية وتغيير في الحجم والضغط ، حيث يزيد الحجم ويقل الضغط. ولذلك فإن :

الإنتروبيا هي كمية ثرموديناميكية تعبر عن عدد الطرق الممكنة لترتيب الجسيمات دون تغيير الحالة الكلية للنظام.

ويستخدم الإنتروبيا لتفسير ميل الأنظمة تلقائياً نحو الاضطراب وعدم النظام ولذلك يستخدم كمقياس للمعلومات عن الأنظمة. و امتدت استخداماته من الديناميكا الحرارية التقليدية إلى علوم الحاسوب والبيولوجيا ، وفي عامي 2025 م ، 2026 م كشفت الأبحاث الحديثة عن أدوار جديدة

للإنتروبيا في تقنيات الذكاء الاصطناعي والحوسبة الكمومية (نسبة لميكانيكا الكم) ستعرف عليها لاحقاً.
نجد أن إنتروبيا الكون تزداد في العمليات الطبيعية ، أي لا يمكن أن يكون الإنتروبيا أقل من الصفر، ونرمز للتغيير في الإنتروبيا بالرمز (Δs) .

حيث: $\Delta s \geq 0$ الكون

الموت الحراري للكون والإنتروبيا :

في إفتراض علمي نجد أن الإنتروبيا تصل إلى مالا نهاية عندما تنعدم الطاقة الحرارية اللازمة لأداء أى شغل فتتوقف كل العمليات الفيزيائية وتستهلك النجوم وقودها وتتجمد كل المجرات عند درجة حرارة تقارب الصفر المطلق هذا ما يسمى **بالموت الحراري**. حينها يتوسع الكون إلى الأبد . وهو فرضية علمية كما ذكرنا تصف المصير النهائي للكون.

العوامل التي تعمل على تغيير الإنتروبيا:

1. كمية الحرارة (علاقة طردية).
 2. درجة الحرارة (علاقة عكسية)، عند ثبات كمية الحرارة.
 3. حجم النظام (علاقة طردية) ، ضغط النظام (علاقة عكسية). نعلم أن الحجم والضغط متعاكسين.
 4. تحول المادة من حالة إلى أخرى. حيث تزيد كلما تحولت المادة إلى سيولة أو غازية وتقل كلما حدث العكس. **فمثلاً:**
 - بلورة صلبة يكون ترتيب الجزيئات فيها عالٍ وبالتالي إنتروبي منخفض.
 - غاز في وعاء ترتيب الجزيئات فيها منخفض وبالتالي إنتروبي عالٍ.
 5. زيادة عدد الجزيئات. علاقة طردية.
 6. اختلاط المواد مع بعضها. علاقة طردية.
- فكما ذكرنا أن العلاقة طردية بين الإنتروبيا وكمية الحرارة لأن حركة الجزيئات تزيد كلما أكتسب النظام كمية حرارة وبالتالي العشوائية تزيد، وعكسياً مع درجة الحرارة (T) (بالكلفن) عند ثبات كمية الحرارة. وعليه نجد أن:

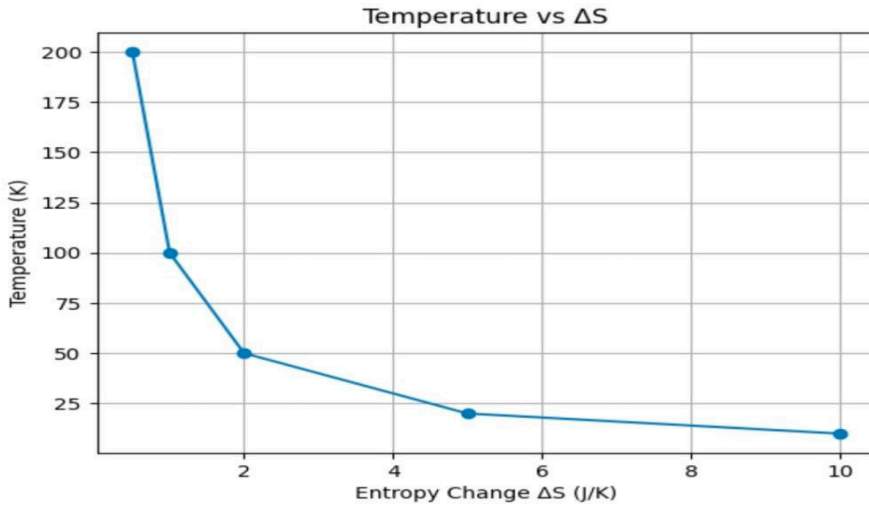
$$\Delta s = Q / T$$

التغيير في الإنتروبيا (Δs) = كمية الحرارة (Q) / درجة الحرارة (T)

ومن العلاقة نجد أن وحدة قياس الإنتروبيا هي جول / الكلفن (J/K).
جدول يوضح قيم الإنتروبيا و درجة الحرارة مع ثبوت كمية الحرارة لنظام ما
وقدرها (100 J):

$\Delta S = Q / T$	درجة الحرارة (T)
10 J/K	10 K
5 J/K	20 K
2 J/K	50 K
1 J/K	100 K
0.5 J/K	200 K

العلاقة عكسية: كل ما T زادت، ΔS قلت (مع Q ثابتة).



العلاقة البيانية بين الإنتروبيا ودرجة الحرارة (T-s) وفق الجدول أعلاه توضح العلاقة العكسية بين الإنتروبيا ودرجة الحرارة.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

ينص القانون على أن أى تغيير يحدث تلقائياً في نظام فيزيائي لا بد وأن يصحبه تغيير في مقدار الإنتروبيا.

وهذا التغيير يمكن أن يكون أحد العوامل المؤثرة على الإنتروبيا (كمية الحرارة، درجة الحرارة، حجم النظام ، إلخ). فكلما حدث تغيير في أحد العوامل يحدث تغيير في الإنتروبيا.

مثال 1:

جد التغيير في الإنتروبيا عند درجة حرارة 12°C إذا اكتسب الجسم كمية من الحرارة قدرها 6840J !

المعطيات :

$$\text{درجة الحرارة (T)} = 12^{\circ}\text{C} \quad \text{كمية الحرارة (Q)} = 6840\text{J}$$
$$\text{التغيير في الإنتروبيا } (\Delta s) = ?$$

الحل:

$$\Delta s = Q / T$$

$$\Delta s = 6840 / 12 = 570 \text{ J/T}$$

من المفاهيم المهمة جداً والمرتبطة بالحرارة ولها تطبيقات عملية وعلمية في حياتنا هو ما يسمى بالحرارة الكامنة. ولكن ما الحرارة الكامنة ؟ لنفهم ذلك علينا القيام بالنشاط التالي:

نشاط لتوضيح الحرارة الكامنة:

الأدوات :

- غلاية بها ماء (Boiler) .
- ثيرمو متر (Thermometer) .

خطوات ومشاهدات التجربة:

قم بتوصيل الغلاية بالكهرباء. يبدأ الماء بالتسخين . أدخل الترمومتر في الغلاية، نجد أن درجة الحرارة بدأت بالارتفاع في الثيرمو متر. حتى تصل إلى درجة حرارة الغليان ، ثم تثبت على ذلك - رغم اتصال الغلاية بالكهرباء (سبب وجود الحرارة) - يستمر الثبات في درجة الحرارة حتى يتحول كل الماء إلى غاز ، حينها يبدأ الثيرمو متر في الارتفاع .

السؤال ..! أين ذهبت الحرارة في فترة تحول الماء إلى غاز ..؟!
الإجابة هي الحرارة الكامنة نفسها حيث تستنفذ الحرارة في تحول الماء لبخار، ولا تسبب ارتفاع لدرجة الحرارة، ولذلك لا تظهر على الثرمومتر ولذلك سميت بالكامنة .

الحرارة الكامنة (Latent Heat) :

هي كمية الحرارة التي تستنفذ في تحويل 1 كجم من المادة من حالة إلى أخرى (من صلب إلى سائل ، ومن سائل إلى غاز) دون أن يظهر تغيير في درجة الحرارة لأنها تُستنفذ في تفكيك الروابط بين الجزيئات فيتحول الجسم من حالة إلى أخرى، ويرمز لها بالرمز (L) نسبة إلى الكلمة اللاتينية (Latens) وتعني كامن أو مختفي .
ويطبق هذا المفهوم تقريباً يومياً في عمل الطعام حيث نجد أن من يعد الطعام يقوم بتقليل الوقود بعد غليان سائل الطعام ..! تُرى ما السبب ؟ وما علاقة ذلك بالحرارة الكامنة ..؟!

السبب هو الحرارة الكامنة نفسها، حيث أن زيادة الوقود بعد الغليان تعمل على تبخير سائل الطعام مما يؤدي إلى احتراق الطعام ، حيث أنها لا تزيد درجة حرارة الطعام بل تظل كامنة وتعمل على تفكيك الروابط كما ذكرنا ، وبالتالي لا تسرع من عملية إنضاج الطعام. ولذلك نجد من يعدون الطعام يقومون بتقليل الوقود بعد الغليان، سوى كان عشب جاف أو فحم أم حطب أم غاز .

ولذلك جاءت فكرة حلة الضغط (البريستو) فعند تسخين الماء المغلق غلق محكم يولد بخاراً مضغوطاً وهذا التحول من سائل إلى بخار بالطبع عن طريق الحرارة الكامنة ، ولأن الحلة مغلقة غلق محكم لن يجد البخار فرصة للتصاعد فيتكثف ثم يعود بالحرارة الكامنة نفسها مرة أخرى لماء الطعام أي في درجة غليان ماء الطعام مما يزيد من درجة حرارته فيسرع من إنضاج الطعام، ولذلك تقلل من الوقت والجهد والوقود، مع الحفاظ على قيمة العناصر الغذائية والفيتامينات التي يمكن أن تنفذ أو تقل قيمتها عندما يطول وضعها على النار، كما نجد أن زيادة ضغط الطعام الناتج من البخار المضغوط بسبب الإغلاق المحكم للحلة يساعد في الإسراع بالإنضاج ولذلك سميت بحلة الضغط .

تطبيقات أخرى للحرارة الكامنة:

1. تخزين الحرارة في محطات الطاقة الحرارية الشمسية.
2. تنظيم درجات حرارة المباني التي تستخدم الجدران ذات التغيير الطوري

(وهو تغيير الخواص الفيزيائية إلى تغيير تام ، مثال لذلك تحول الماء إلى بخار).

3. تبريد المباني والأجهزة الإلكترونية وأنظمة التبريد مثل الثلاجات والمكيفات.

من تعريف الحرارة الكامنة ومقارنة بمعادلة كمية الحرارة نجد أن :
الحرارة الكامنة = كمية الحرارة ÷ كتلة الجسم أي أن وحدة قياسها جول / كجم
مثال (1) :

جد كمية الحرارة اللازمة لتبخير 5Kg من الماء عند درجة حرارة 100°C إذا علمت أن الحرارة الكامنة لتبخير الماء $106 \times 2.26 \text{ J/Kg}$

المعطيات :

كتلة الماء $(m) = 5 \text{ Kg}$
الحرارة الكامنة للتبخير الماء $(L) = 106 \times 2.26 \text{ J/Kg}$
كمية الحرارة اللازمة $Q = ?$

الحل :

$$Q = L m = 2.26 \times 10^6 \times 5 = 11.3 \times 10^6 \text{ J}$$

نستنتج أن مقدار الحرارة الكامنة للتبخير هو نفسه مقدار الحرارة الكامنة المفقودة للتكثيف.
• إذن ماذا عن علاقة الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة المفقودة للتجميد..؟

مثال (2) :

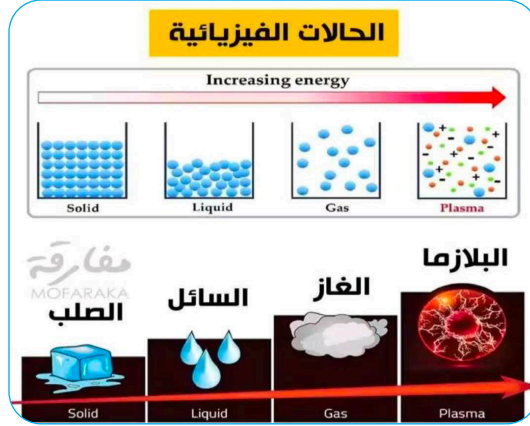
أحسب الحرارة الكامنة لتبخير 0.5Kg من الماء عند درجة حرارة 100°C علماً بأن كمية الحرارة اللازمة لذلك $106 \times 1.13 \text{ J}$
المعطيات: كتلة الماء $= 0.5 \text{ Kg}$ ، كمية الحرارة $= 106 \times 1.13 \text{ J}$ ، الحرارة الكامنة للتبخير $= ?$

الحل :

$$L = \frac{Q}{m} = \frac{10^6 \times 2.26}{0.5} = 2.26 \times 10^6 \text{ K/J}$$

تغير الحالة وقوانين الديناميكا الحرارية:

علمت سابقاً أن تغير حالات المادة أربع حالات (الصلبة ، السائلة ، الغازية ، البلازما) والتغير من الحالة الصلبة إلى السائلة، ومن السائلة إلى الغازية، ومن الغازية إلى البلازما يحدث نتيجة لاستخدام الطاقة الحرارية في تغير ترتيب الجزيئات، حيث نجد أن الجزيئات في الحالة الصلبة تكون أكثر ترتيباً من الحالة السائلة، والتي هي أكثر ترتيباً من الغازية. أنظر النموذج أدناه.



نموذج يوضح وضعية الجزيئات في حالات المادة (الصلبة ، السائلة ، الغازية والبلازما) وإتجاه زيادة الطاقة والإنتروبيا
فعند تسخين مادة مثل الجليد، فكما تعلمت سابقاً - عند دراسة القانون الأول - أن:

كمية الحرارة (Q) المكتسبة تساوي التغير في الطاقة الداخلية (ΔU) زائداً الشغل الميكانيكي (W)

- ماذا الذي يحدث ؟

في البداية تزداد الطاقة الداخلية بسبب زيادة الطاقة الحركية للجزيئات فترتفع درجة الحرارة وعندما تصل إلى درجة التحول من حالة إلى أخرى، حينها تكون الحرارة كامنة ولا يحدث زيادة في درجة الحرارة بل تستخدم في تفكيك الروابط بين الجزيئات فيتحول الجسم من حالة إلى أخرى .. وحينها يكون التغير في الطاقة الداخلية نتيجة التغير في طاقة الوضع وليس التغير في الطاقة الحركية ، وهذا هو السبب في عدم زيادة درجة الحرارة، وعندما يتم تبريد الماء أو البلازما يكون اتجاه العملية عكسي.

فسّر ..!

ما الذي يحدث عند تبريد الماء؟ وهل تعد هذه العملية
عكس تسخين الجليد؟ فسر ذلك

ولكن، ماذا عن الإنتروبيا أو القانون الثاني وحالات المادة؟
عندما نسخن الجليد يتحول من الحالة الصلبة إلى السائلة، نجد أن حركة
الجزيئات في الحالة السائلة أكثر عشوائية أو أكثر انتشاراً وبالتالي يزيد إنتشار الطاقة
وبالتالي الإنتروبيا يزداد، ويحدث نفس الشيء عندما يتم التحول من السائلة
إلى الغازية، ومن الغازية إلى البلازما، راجع النموذج أعلاه.

ملخص مراجعة الوحدة :

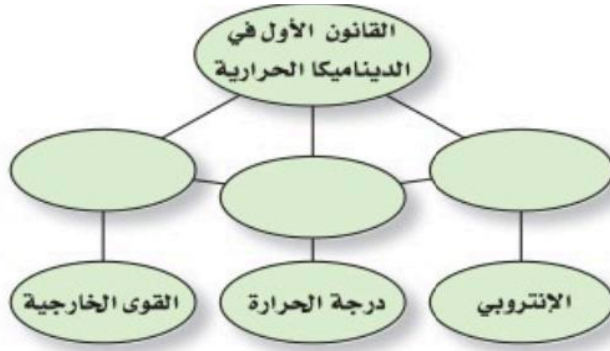
(1) درجة الحرارة والطاقة الحرارية	
المفاهيم الرئيسية	المفردات
• تتناسب درجة حرارة الغاز طردياً مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته. • الطاقة الحركية هي مقياس للحركة الداخلية لجزيئات الجسم. • يصل مقياس الحرارة إلى الاتزان الحراري مع الجسم الملامس له، ثم تشير خاصية للمقياس - تعتمد على الحرارة - إلى درجة الحرارة. • يستخدم مقياساً درجة الحرارة سلسيوس وكلفن في البحث العلمي. وكل تغير بمقدار 1K يساوي تغيراً بمقدار 1 ° C • لا يمكن إنتزاع أي طاقة حرارية من المادة عندما تكون درجة حرارتها صفراً مطلقاً. • الحرارة هي الطاقة المنتقلة بسبب إختلاف درجات الحرارة. $Q = mc\Delta t = mc(T_f - T_i)$ • الحرارة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1Kg من المادة بمقدار 1K. • يمكن أن تتدفق الحرارة في النظام المغلق والمعزول، وينتج عن ذلك تغير الطاقة الحرارية لأجزاء النظام، ولكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة ثابت $E_A = E_B -$.	• الطاقة الحرارية • التوصيل الحراري • الاتزان الحراري • الحرارة • الحمل الحراري • الإشعاع الحراري • الحرارة النوعية • الحرارة النوعية

(2) التحريك الحراري

المفاهيم الرئيسة	المفردات
• الحرارة الكامنة للإنصهار هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 Kg من المادة الصلبة إلى حالتها السائلة عند نقطة إنصهارها. $Q = m L_f$ • كمية الحرارة الكامنة للتبخير هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 Kg من المادة السائلة إلى حالتها الغازية عند نقطة غليانها. $Q = m L_v$ • إنتقال الحرارة خلال تغير حالة المادة لا يغير درجة حرارتها. • إن التغير في طاقة جسم ما هو مجموع الطاقة المضافة إليه مطروحاً منه الشغل الذي يبذله الجسم. $\Delta U = Q - W$ • تستخدم مضخة الحرارة والثلاجة الطاقة الميكانيكية لنقل الحرارة من الحيز الذي درجة حرارته أقل إلى الحيز الذي درجة حرارته أكبر. • الإنتروبي هو قياس للفوضى في النظام. $\Delta s = \frac{Q}{T}$ • يعرف التغير في الإنتروبي لجسم ما على أنه مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارته بالكلفن.	• الحرارة الكامنة للإنصهار • الحرارة الكامنة للتبخير • القانون الأول في الديناميكا الحرارية • الإنتروبي • القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

التقويم:

1. ما المقصود بالحرارة في الفيزياء؟
2. اكتب تعريفاً علمياً لكل من: الطاقة الحرارية، درجة الحرارة، الاتزان الحراري، السعة الحرارية.
3. ما العلاقة بين درجة الحرارة ومتوسط الطاقة الحركية للجزيئات؟
4. ما العلاقة بين الاتزان الحراري و ميزان الحرارة؟
5. علل لما يلي:
A/ الإناء الذي يستخدم في الطهي يكون لها سعة حرارية منخفضة.
B/ ترتفع درجة حرارة سطح البحر في يوم مشمس صافي أبطأ من درجة حرارة الأرض المجاورة.
6. اكتب العوامل التي تعتمد عليها كمية الحرارة.
7. اكتب 3 من تطبيقات الحرارة الكامنة في الحياة.
8. وضع جسم نحاسي كتلته 0.5 Kg ودرجة حرارته 150°C في وعاء يحتوي على ماء كتلته 1 Kg ودرجة حرارته 20°C إذا كانت الحرارة النوعية للنحاس 400°C وللماء 4200°C ، احسب درجة الحرارة النهائية للنظام.
9. قطعة معدنية سعتها الحرارية 900J وكتلتها 3Kg احسب الحرارة النوعية للمعدن.
10. تم تسخين 0.2Kg من الماء عند درجة الغليان حتى تحول بالكامل إلى بخار ، إذا كانت الحرارة الكامنة للتبخير للماء $2.26 \times 10^6 \text{ J / Kg}$ احسب كمية الحرارة اللازمة لاتمام العملية.
11. قطعة جليد كتلتها 0.5 Kg عند درجة 0°C ، تحولت بالكامل إلى ماء عند نفس الدرجة. إذا كانت الحرارة الكامنة لانصهار الجليد $3.34 \times 10^5 \text{ J / Kg}$ احسب كمية الحرارة اللازمة لاتمام العملية.
12. أكمل خريطة المفاهيم أدناه بإستخدام المصطلحات: الحرارة ، الشغل ، الطاقة الداخلية.



13. ارسم دائرة حول رقم الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فيما يلي:
أ- أى تحويلات درجة الحرارة الآتية غير صحيح:

a. $-273^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K}$

c. $298 \text{ K} = 571^{\circ}\text{C}$

b. $273^{\circ}\text{C} = 546 \text{ K}$

d. $88 = 185^{\circ}\text{C}$

ب - أي العبارات الآتية المتعلقة بالاتزان الحراري غير صحيح؟

a. عندما يكون جسمان في حالة إتزان فإن الإشعاع الحراري بين الجسمين يستمر في الحدوث.

b. يستخدم الاتزان الحراري في توليد الطاقة في المحرك الحراري

c. يستخدم مبدأ الاتزان الحراري في الحسابات المسعرية.

d. عندما لا يكون جسمان في حالة إتزان فإن الحرارة ستندفق من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد منه.

ج - ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتدفئة 363 ml من الماء في زجاجة أطفال من 24°C إلى 38°C

a. 21KJ

b. 121KJ

c. 36KJ

d. 820KJ

د. ما الإتجاه الصحيح لانتقال الحرارة؟

b. من الجسم الساخن إلى البارد

a. من الجسم البارد إلى الساخن

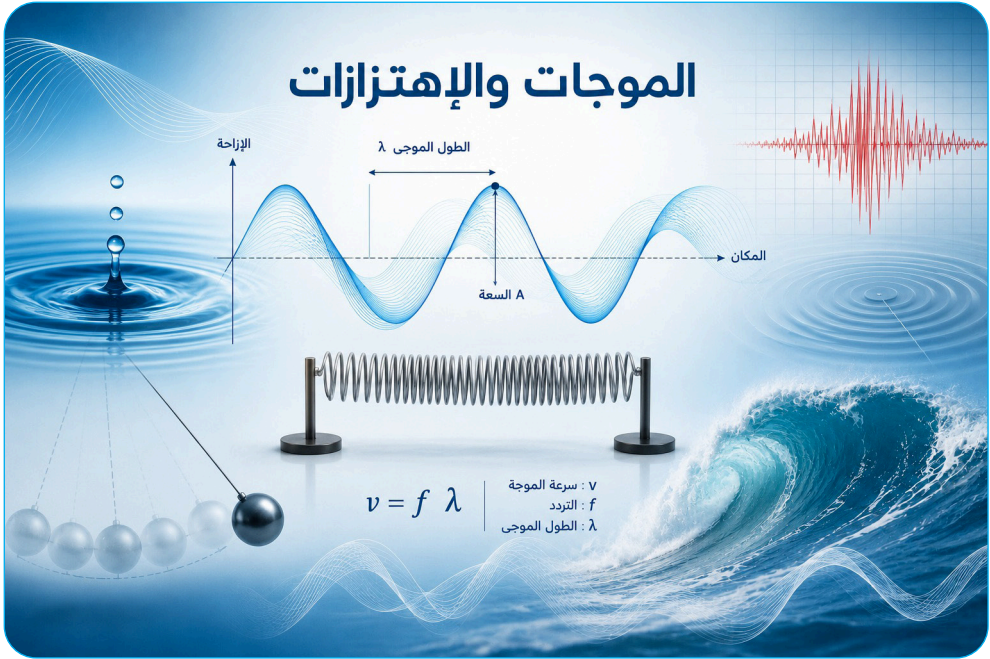
d. لا تعتمد على درجة الحرارة

c. من الجسم الأقل كثافة إلى الأعلى

- هـ . أي نوع من إنتقال الحرارة يحدث في السوائل والغازات؟
 ا. التوصيل b. الحمل c. الإشعاع d. التبخر
 و. وحدة معدل التدفق الحراري في النظام الدولي :
 ا. جول b. واط c. نيوتن d. كلفن
 ز. النظام في الديناميكا الحرارية هو:
 ا. كل ما هو موجود في الكون b. الجزء المحدد الذي ندرسه من الكون
 c. الطاقة فقط d. المادة فقط
 ح. النظام الذي يسمح بتبادل الطاقة فقط دون المادة، هو:
 ا. نظام مفتوح b. نظام مغلق c. نظام معزول d. نظام حراري
 ط. الحرارة هي:
 ا. طاقة مخزنة داخل الجسم b. طاقة تنتقل بسبب فرق درجات الحرارة
 c. كمية ثابتة داخل الجسم d. خاصية للمادة
 ك. القانون الأول للديناميكا الحرارية يعبر عن:
 ا. حفظ الطاقة b. زيادة الإنتروبيا c. إنتقال الحرارة d. التوازن الحراري
 ل. أي من التالي يعتبر وحدة لقياس الإنتروبيا:
 a. J b. K c. J /K d. N
 م . أي المعادلات تمثل القانون الاول للديناميكا الحرارية:
 a. $\Delta U = Q + W$ b. $\Delta U = Q - W$ c. $Q = W$ d. $\Delta U = W - Q$

الوحدة الثالثة

الاهتزازات والموجات



الفصل الأول

الخواص العامة للاهتزازة والموجة

- ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

الأهداف:

- بعد دراستك لهذا الفصل والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:
- تبين فهماً بأن الموجات تنقل الطاقة من دون نقل المادة؛
- تتوصل إلى خصائص الحركة الاهتزازية وربطها بالموجات؛
- تصف سلوك الموجات وأهميتها العملية؛
- تميز بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية؛
- تذكر خصائص وأنواع الحركة الموجية الميكانيكية؛
- تتعرف الحركة التوافقية البسيطة؛
- تبين أن حركة الزنبرك (النابض) والبندول البسيط حركة توافقية بسيطة؛
- تربط بين سرعة الموجة وطولها الموجي وترددها؛
- تطبق العلاقة بين سرعة الموجة، والتردد، الطول الموجي.

الفكرة العامة:

الموجات حركة اهتزازية تحمل طاقة وليس مادة.

المفردات الجديدة:

- الحركة الاهتزازية (الدورية) -
- الحركة التوافقية البسيطة - الزمن الدوري - سعة الاهتزازة -
- قانون هوك - البندول البسيط -
- الرنين - موجة منعكسة - مبدأ التراكب - التداخل - العقدة -
- البطن - الموجة المستقرة.

الأهمية:

إن فهم ومعرفة سلوك الموجات والاهتزازات، مسألة في غاية الأهمية. إذ يلعب دوراً رئيساً في فهم ظاهرة الرنين، وكيفية تصميم وبناء الجسور والمباني الآمنة، ومعرفة كيف تتم الاتصالات.

نشاط تمهيدي:

كيف تنقل الأمواج الطاقة ؟
يدخل الضوء إلى عينيك والصوت يضرب أذنيك، ما يتيح لك الاحساس
والشعور بالعالم من حولك.
الضوء والصوت موجات تنقل الطاقة من مكان إلى آخر. هل تحمل الأمواج
أي شيء آخر مع طاقتها ؟
هل تنقل الأمواج المادة ؟
في هذا النشاط التمهيدي، ستلاحظ طريقة واحدة يمكن للأمواج من خلاله
نقل الطاقة.

1. ضع كتابك المدرسي أو أي قطعة خشبية مثلاً، على سطح درجك. اجعل
أربع كرات (كرات تنس طاولة مثلاً) مصطفة على تجويف الكتاب أو
القطعة الخشبية بحيث تلامس الكرات بعضها البعض.
2. ثبت الكرات الثلاث الأولى في مكانها باستخدام ثلاثة أصابع من يد
واحدة.
3. استخدم يدك الأخرى للنقر على قطعة الكرة الأولى بالقلم مثلاً.
4. لاحظ سلوك الكرة الرابعة ؟
5. فكّر بشكل نقدي: اكتب فقرة تشرح كيف تفاعلت الكرة الرابعة مع
نقرة القلم.
6. ارسم مخططاً يوضح كيفية انتقال الطاقة عبر الكرات.

١. الحركة الدورية (Period Motion)

لعلك لاحظت تأرجح أرجوحة ذهاباً وإياباً، وأن كل تأرجح يتبع المسار
نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن، هذه الحركة
مثالاً على الحركة الاهتزازية.

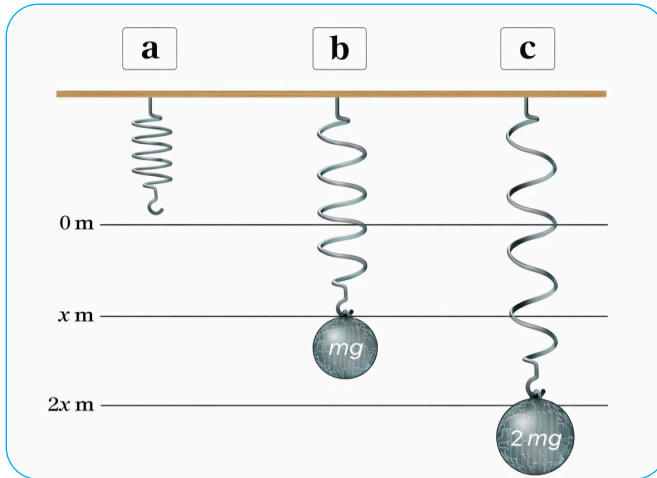
ومن الأمثلة على ذلك تذبذب جسم يتصل بزنبك (نابض) إلى أعلى وإلى
أسفل. هذه الحركات التي تتكرر بشكل دوري منتظم هي أمثلة على الحركة
الاهتزازية (الدورية).

وفي كل الأمثلة الواردة ذكرها، يكون للجسم موضع واحد، تكون عنده
القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفراً، ويكون الجسم في ذلك الموضع
في حالة اتزان. وعندما يتم سحب الجسم بعيداً عن موضع اتزانه تصبح

القوة المحصلة المؤثرة في النظام لا تساوي صفراً، وتعمل هذه القوة المحصلة على إعادة الجسم في اتجاه موضع الاتزان. وعندما تكون القوة المعيدة للجسم إلى موضع اتزانه في تناسب طردي مع إزاحة الجسم فإن الحركة التي تنتج عنه تعرف بـ حركة توافقية بسيطة.

توجد كميتان تصفان الحركة التوافقية البسيطة، هما: الزمن الدوري T ، وهو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم ليكمل دورة كاملة من الحركة ذهاباً وإياباً، وسعة الاهتزاز A ، وهي أقصى مسافة يقطعها الجسم في حركته مبتعداً عن موضع الاتزان.

الكتلة المعلقة بزنبك (The mass on a spring):



شكل (1): القوة التي يؤثر بها زنبك تتناسب طردياً مع الإزاحة الحادثة

- لنرى كيف يتفاعل الزنبك مع القوة التي تؤثر عليه ؟

يوضح الشكل (1-a) زنبكاً معلقاً دون أن يتصل أي شيء في نهايته. الزنبك في هذه الحالة لا يستطيل، لعدم وجود قوة خارجية تؤثر فيه. أما الشكل (1-b) يوضح زنبك يتصل في نهايته جسم وزنه 1 mg ، وقد استطال الزنبك إزاحة x ، حيث توازن قوة الزنبك المؤثرة إلى أعلى قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة إلى أسفل. الشكل (1-c) يوضح استطالة أو تمدد الزنبك نفسه بإزاحة مقدارها $2x$ ؛ وذلك بتعليق ضعف الوزن 2 mg في الشكل (1-b) في نهايته. وهو ما يتفق مع قانون هوك الذي ينص على أن القوة التي يؤثر بها زنبك تتناسب طردياً مع مقدار استطالته، والزنبك الذي ينطبق عليه

هذه الحالة يكون مرناً ويحقق قانون هوك، المعبر عنه بالعلاقة:

$$F = -kx \quad \text{قانون هوك :}$$

القوة التي يؤثر بها زنبرك تساوي حاصل ثابت الزنبرك في الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها الزنبرك عن موضع اتزانها. في هذه العلاقة:

K = ثابت الزنبرك الذي يعتمد على صلابة الزنبرك وخصائص أخرى له.
 X = إزاحة الزنبرك التي يستطيلها أو ينضغطها عن موضع اتزانها.

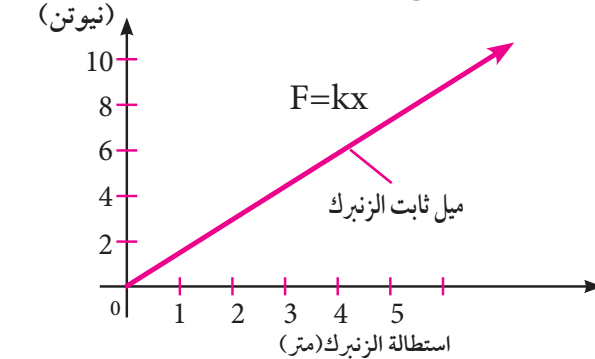
طاقة الوضع:

عندما يستطيل الزنبرك نتيجة التأثير عليه بقوة ما (تعليق جسم في نهايته)، سيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة واستطالة الزنبرك، كما هو مبين في الشكل (2)، حيث يمثل ميل الخط البياني ثابت الزنبرك، مقاساً بوحدة N/m . وتمثل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة الزنبرك، وهي تساوي طاقة الوضع المخزنة فيه نتيجة لهذا الشغل. وتمثل قاعدة المثلث الإزاحة X ، ارتفاع المثلث يمثل مقدار القوة والتي تساوي Kx وفقاً لقانون هوك؛ لذلك يكون التعبير عن طاقة الوضع المخزنة في الزنبرك بالمعادلة:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2} kx^2 \quad \text{طاقة الوضع في الزنبرك:}$$

أي بمعنى أن طاقة الوضع المخزنة في الزنبرك تساوي نصف حاصل ضرب ثابت الزنبرك في مربع إزاحته.

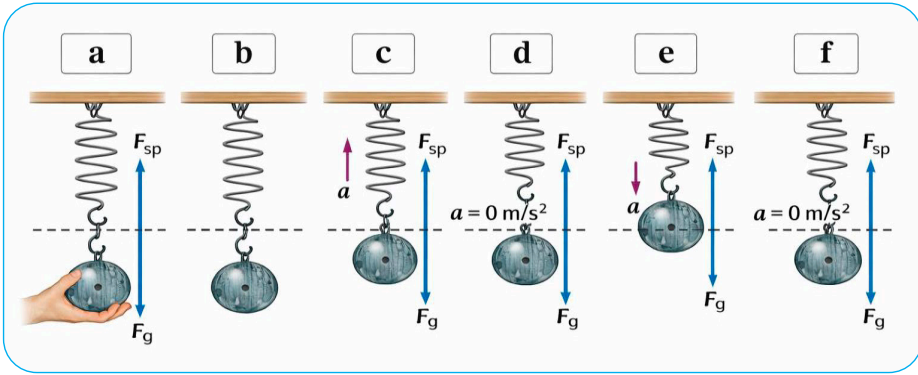
وتكون وحدة طاقة الوضع $N\ m$ أو جول J



شكل (2): تعيين ثابت الزنبرك من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة الزنبرك

القوة المحصلة والموضع:

عند تعليق كرة صغيرة بنهاية زنبرك، يستطيل الزنبرك حتى تُوازن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g الشكل (3-a) ويكون الجسم في هذه الحالة في موضع اتزان. إذا تم سحب الكرة الصغيرة المعلقة إلى أسفل الشكل (3-b) تزداد قوة الزنبرك، منتجة قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب عن طريق يدك، إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الكرة حرة فإنها تتسارع إلى أعلى، الشكل (3-c). وعند حركة الكرة إلى أعلى تتناقص استطالة الزنبرك، لذا تتناقص القوة المتجهة إلى أعلى.



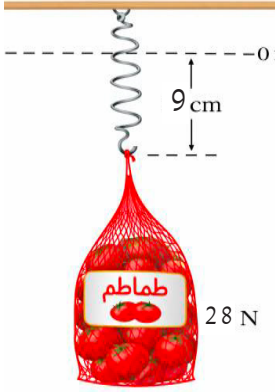
شكل (3): توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز كرة معلقة بزنبرك في الشكل (3-d) تتساوى قوة الزنبرك إلى أعلى مع وزن الكرة، وتصبح القوة المحصلة صفراً، فلا يتسارع النظام، وتستمر الكرة في حركتها إلى أعلى فوق موضع الاتزان. وفي الشكل (3-e) تكون القوة المحصلة عكس اتجاه إزاحة الكرة، وتتناسب طردياً معها، لذا تتحرك الكرة حركة توافقية بسيطة، وتعود إلى موضع اتزانها الشكل (3-f).

ثابت الزنبرك والطاقة المخزنة فيه:

مثال (1):

- علق بنهاية زنبرك طماطم وزنه 28 N ، فاستطال الزنبرك بإزاحة قدرها 9 cm . أحسب مقدار:
- ثابت الزنبرك.
 - طاقة الوضع المخزنة في الزنبرك والناجمة عن الاستطالة.

الحل:



المعلوم: $F = 28 \text{ N}$ ، $x = 9 \text{ cm}$

المجهول: $PE_{sp} = ?$ ، $K = ?$

i. استخدم $F = -Kx$ ، ثم جد قيمة K

تحذف الإشارة السالبة لأنها تعني أن القوة
قوة ارجاع فقط

بتعويض $x = 0.09 \text{ m}$ ، $F = 28 \text{ N}$

$$K = \frac{F}{x} = \frac{28 \text{ N}}{0.09 \text{ m}} = 311 \text{ N/m}$$

ii. بتعويض $x = 0.09 \text{ m}$ ، $K = 311 \text{ N/m}$

$$\begin{aligned} PE_{sp} &= \frac{1}{2} Kx^2 \\ &= \frac{1}{2} (311 \text{ N/m}) (0.09)^2 \\ &= 2.5 \text{ J} \end{aligned}$$

تقويم ذاتي:

1. علق أحد طرفي زنبرك بالسقف، وعلق الطرف الآخر بجسم كتلته 0.2 إذا كان ثابت الزنبرك 20 N/m . أحسب مقدار استطالة الزنبرك؟
2. ما مقدار طاقة الوضع المخزنة في زنبرك عند ضغطه بإزاحة مقدارها 8.25 cm ، علماً بأن ثابت الزنبرك يساوي 144 N/m ؟

إضاءة:

عندما تُحرر القوة الخارجية الكرة التي كانت تُمسكها، الشكل (3-c) تكون القوة المحصلة المؤثرة في الكرة والتسارع أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفراً. وعندما تمر الكرة بنقطة الاتزان كما في الشكل (3-d)، تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفراً، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا، لأن الكرة تحتاج إلى أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لابطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم ترتفع الكرة فوق موضع الاتزان. وعندما تصل الكرة أعلى نقطة في اهتزازته تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفراً، فتتحرك الكرة إلى أسفل ماراً بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، وتستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزاز T على مقدار كل من كتلة الجسم ومرونة الزنبرك.

تطبيقات حياتية:

تعد طاقة الوضع المخزنة (المرونية) عاملاً مهماً في تصميم السيارات الحديثة وصناعتها، ففي كل عام تختبر تصاميم جديدة للسيارات، لتحديد مدى قدرتها على تحمل الصدمات والاحتفاظ بهيكلها، ويعتمد ذلك على مقدار الطاقة الحركية للسيارة قبل التصادم والتي تتحول إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل بعد التصادم. وتحتوي معظم ماصات الصدمات على زنبركات خاصة (نوابض) تخزن الطاقة عندما تصدم السيارات حاجزاً بسرعات قليلة. وبعد توقف السيارة وانضغاط الزنبركات، فإنها تعود إلى مواضع اتزانها، وترتد السيارة عن الحاجز.

البندول البسيط Simple Pendulums:

يمكن لنا توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال حركة تأرجح البندول عندما تكون سعة الاهتزاز لكرة البندول بحدود 10 درجات. حيث يتكون البندول البسيط من جسم صلب كثافته عالية يسمى ثقل البندول، معلق بخيط طوله L .

نشاط (1):

الأدوات: جسم كتلته 100 جم، خيط رفيع، حامل.
خطوات العمل:

- انظر الرسم المبين بالشكل (4).
- اربط أحد طرفي الخيط بالجسم (100 جم) وطرفه الثاني بالحامل بحيث يظل الجسم معلقاً.
- ازح الجسم إلى اليمين قليلاً ثم اتركه.
- تأمل حركة الجسم ثم أجب عن الأسئلة التالية:
 1. في أي النقاط a, b, c تكون سرعة الجسم صفراً؟
 2. في أي النقاط تكون سرعة الجسم أكبر ما يمكن؟
 3. في المنطقة المحصورة بين a, b ما الذي يحدث لسرعة الجسم عندما يكون هابطاً؟
 4. في المنطقة المحصورة بين b, c ما الذي يحدث لسرعة الجسم عندما يكون صاعداً؟
 5. في المنطقة المحصورة بين b, c ما الذي يحدث لسرعة الجسم عندما يكون هابطاً؟

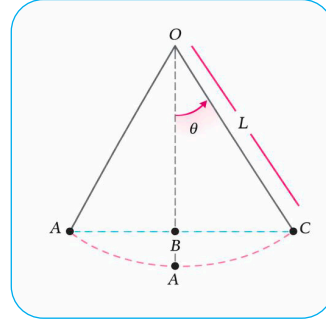
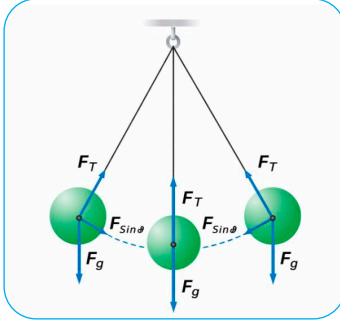
6. في المنطقة المحصورة بين a,b ما الذي يحدث لسرعة الجسم عندما يكون صاعداً؟

7. في أي النقاط يكون تسارع الجسم صفراً؟

8. في أي النقاط يكون تسارع الجسم أكبر ما يمكن وقيمته موجبة؟

9. في أي النقاط يكون تسارع الجسم أكبر ما يمكن وقيمته سالبة؟

10. ما نوع التناسب بين تسارع الجسم وبعده عن موضع السكون (b)؟



شكل (5): القوة المعيدة $F_g + F_t = F$

شكل (4)

من النشاط (1)، ومن خلال حركة البندول يتضح لنا أنه عند سحب ثقل البندول جانباً وتركه يتأرجح جيئةً وذهاباً، كما مبين في الشكل (5)، حيث يؤثر الحيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضاً في الثقل بقوة، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في الشكل (5). ففي الموضعين الأيمن والأيسر في الشكل (5) تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفراً. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة والتسارع صفراً، بينما السرعة المتجهة أكبر ما يمكن. يمكننا أن نلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة ارجاع، حيث تكون دائماً معاكسة لاتجاه ثقل البندول، وتعمل على ارجاع الثقل إلى موضع اتزانه. وعندما تكون زاوية انحراف الحيط صغيرة (أقل من 15 تقريباً)، فإن قوة الارجاع تتناسب طردياً مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذ حركة توافقية بسيطة. ويحسب الزمن الدوري للبندول باستخدام المعادلة التالية:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{الزمن الدوري للبندول:}$$

حيث:

l = طول خيط البندول

g = تسارع الجاذبية الأرضية

تذكر أن:

- الزمن الدوري للبندول البسيط يعتمد فقط على طول خيط البندول وتسارع الجاذبية الأرضية، ولا يعتمد على كتلة ثقل البندول أو سعة الاهتزازة.
- من التطبيقات المهمة على البندول استخدامه في حساب عجلة الجاذبية الأرضية (g)

مثال (2):

بندول طوله 18.5 cm ، له زمن دوري يساوي 0.61 s ، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g عند موقع البندول؟

الحل:

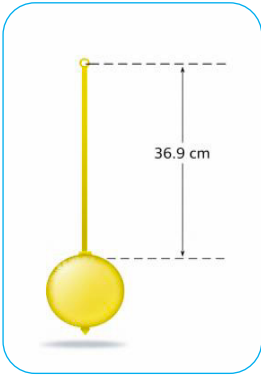
$$l = 18.5$$

$$g = ? \quad T = 0.61\text{ s}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = (2\pi)^2 \frac{l}{T^2}$$

$$\begin{aligned} g &= 4\pi^2 \frac{(0.185\text{ m})}{(0.61)^2} \\ &= 9.803 \\ &= 9.8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



تقويم ذاتي:

1. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6 \text{ m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s
2. الزمن الدوري لبندول طوله 0.7 m يساوي 1.8 s على سطح كوكب ما، فما مقدار g على هذا الكوكب.

الرنين Resonance

يحدث الرنين عند تأثير قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تزيد من سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساوية للزمن الدوري للذبذبة. ومن الأمثلة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف لتحرير عجلاتها من الطين عند الوحل فيه، والقفز المتواتر على لوح القفز أو الغوص. وقد ينتج عن السعة الكبيرة الناتجة عن الرنين شعور بالاجهاد. ويعتبر الرنين شكلاً مميزاً للحركة التوافقية البسيطة، إذ تؤدي زيادات بسيطة في مقدار القوة في أزمنة محددة في أثناء حركة الجسم إلى زيادة أكبر في الإزاحة. فالرنين الناتج عن حركة الرياح مثلاً بتوافقها مع تصميم دعائم الجسر قد يكون سبباً في انهياره.

تفكير ناقد:

- ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

ملخص للمراجعة

المفردات	المفاهيم الرئيسة
- الحركة الدورية - الحركة التوافقية البسيطة - الزمن الدوري - السعة - قانون هوك - البندول البسيط - الرنين	- الحركة الدورية هي أى حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي أزمنة متساوية. - تحدث الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في الجسم طردياً مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك. $F = -kx$ - تحتسب طاقة الوضع المخزنة في نابض يحقق قانون هوك بالمعادلة: $PE_{sp} = \frac{1}{2} Kx^2$ - يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بالمعادلة: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

(2) طبيعة الموجات:

عزيزتي الطالبة/ عزيزي الطالب، قد يكون لديك بعض الأفكار عن الموجات نتيجة المعاشية اليومية، وبخبراتك مع الماء في بركة ساكنة، أو حوض سباحة، أو في البحر.

الموجات في كل مكان من حولنا، الموجات المائية منظر مألوف على شواطئ البحار والأودية. وهي أحد الأنواع العديدة للحركة الموجية حولنا والتي تشمل الموجات الصوتية من الأجهزة الصوتية المختلفة، والموجات الضوئية من الشمس، والموجات اللاسلكية من أجهزة الإرسال التي تبث موجات ذات ترددات معينة مثل الإذاعة الوطنية - إذاعة ام درمان. وتحمل الموجات طاقة فتسبب على سبيل المثال الموجات الزلزالية الناتجة أثناء الزلازل في تدمير المباني وما يحيط بها، مثل ما حدث في القطر السوري، وفي تركيا خلال شهر فبراير 2023م، الذي وجد جهداً وتعاوناً إنسانياً كبيراً لتجاوز آثاره الكارثية. فكل من الجسيمات المادية والموجات تحمل طاقة، ولكن هناك اختلافاً مهماً بينهما في كيفية حمل الطاقة. مثلاً إذا قمت بقذف جسيم مادي (كرة على سبيل المثال) نحو زميلك، تنتقل الجسيم المادي من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهزّزت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. تعرف الموجة بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ

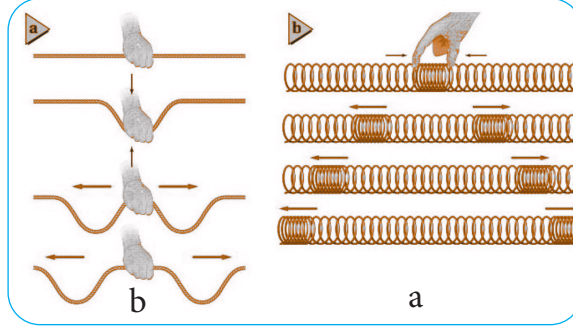
الموجات الميكانيكية (Mechanical Waves)

تعتبر موجات الصوت والموجات المائية والموجات التي تنتقل خلال حبل أو زنبرك أمثلة للموجات الميكانيكية. وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو الزنبركات.

الموجات المستعرضة:

يوضح الشكل (a - 6) اضطرابين يسميان نبضات موجية. والنبضة الموجية ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه تتولد موجة دورية. وعند ملاحظة الشكل (a - 6) نجد أن الحبل يتحرك رأسياً، في حين تنتقل النبضة أفقياً. وتسمى

الموجة التي لها هذا النمط من الحركة موجة مستعرضة. يمكن تعريف الموجة المستعرضة بأنها الموجة التي تتذبذب عمودياً على اتجاه انتشار الموجة.



شكل (6)

ينتج الاهتزازات السريعة باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين الشكل (a). بينما ينتج ضغط لفات زنبرك بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجات طولية في الاتجاهين الشكل (b).

الموجات الطولية:

يمكن توليد نبضات موجية في ملف زنبرك. فإذا قمت بضغط عدة ملفات من الزنبرك (نابض) بعضها إلى بعض بشكل متراص ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان - تتكون كل منهما من لفات متقاربة معاً - في اتجاهين متعاكسين، كما موضح في الشكل (b - 6)، وتسمى هذه الموجات الموجات الطولية.

الموجات الطولية، هي اضطراب ينتقل في اتجاه حركة الموجة نفسه، أي موازياً لها. ومثال على ذلك الموجات الصوتية.

قياس الموجة:

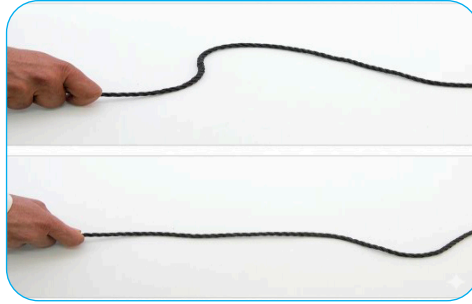
- كيف نقيس الموجة؟

توجد طرق عديدة لوصف وقياس الموجة، تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية إنتاجها أو توليدها، وتعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله.

(a) سرعة الموجة:

السرعة التي تتحرك بها الموجة، هي سرعة انتقال النبضة، المبينة في الشكل

(7). ويمكن إيجادها، أولاً بقياس ازاحة قمة الموجة Δd ثم قسمة الناتج على الفترة الزمنية Δt (كما في حالة حساب سرعة انتقال سيارة) لنجد السرعة: $v = \Delta d / \Delta t$ ويمكن أيضاً إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة ذاتها. تعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.



شكل (7): تم التقاط صورة قمتي الموجة بفارق زمني 0.25 s وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 1.0 m فكانت سرعة الموجة المتجهة $m 4.0$

(b) سعة الموجة:

أحضّر حبلاً، وثبت أحد أطرافه في جدار، ثم قم بتحريك الطرف الآخر لأعلى ولأسفل برفق، ثم بعنف مرة أخرى. كيف تختلف الاهتزازات أو الذبذبات المتولدة في الحالتين (حالة برفق، وحالة الهز بعنف)؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات البحر القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. وسعة الموجة هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها.

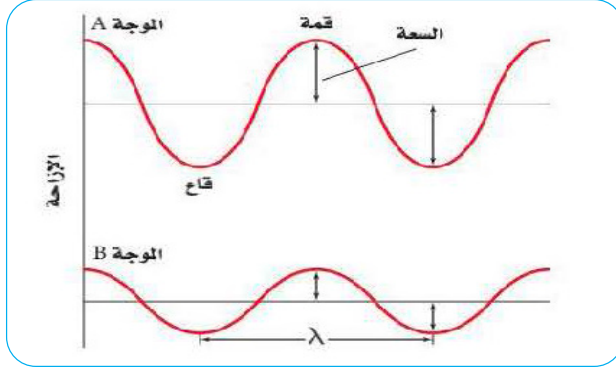
وبين الشكل (8) موجتين متشابهتين، لكنهما تختلفان في السعة. تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. فالرياح القوية تولد موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن رمي حجر صغير في الماء.

تنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر من الموجة ذات السعة القليلة. فإذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طردياً مع مربع سعتها. لذلك نجد أن مضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف من الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية.

الطول الموجي:

يبين الشكل (8) النقاط السفلية التي تسمى قاع الموجة والنقاط العلوية التي تسمى قمة الموجة. ويعرف أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرر فيها نمط الموجة نفسه باسم الطول الموجي.

الطول الموجي: المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليتين ويرمز لها بالرمز اللاتيني λ (لدا).



شكل (8): سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B

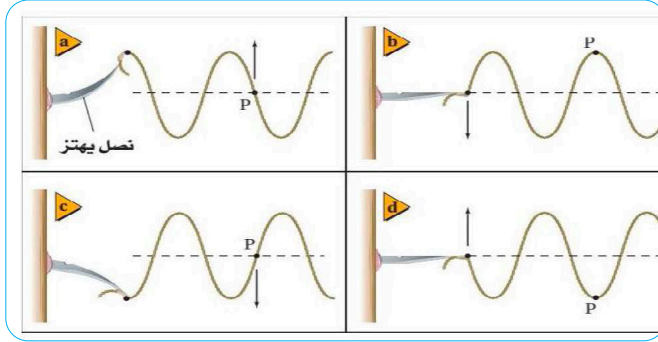
الطور:

أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولاً موجياً واحداً أو مضاعفاتة. إذا كان هنالك جسيماً في وسط ماء، لهما نفس الإزاحة عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. فإن الجسيماً لهما نفس الطور - أما إذا كان الجسيماً في الوسط متعاكسين في الإزاحة والسرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـ 180° . على سبيل المثال هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180° . فالطور يعبر عن الحالة اللحظية للاهتزاز عند نقطة معينة وفي زمن معين أي: هل الجسيم عند قمة الموجة؟ أم عند القاع؟ أم يمر بنقطة الاتزان صعوداً أو هبوطاً. إذن الطور يحدد موضع الجسيم في دورة الاهتزاز.

الزمن الدوري والتردد:

يمكننا باستخدام سرعة الموجة وسعتها وصف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبقان فقط على الموجات الدورية. ومن خلال دراستك للحركة التوافقية البسيطة (في حالة البندول) تعرفت أن الزمن الدوري هو

الزمن اللازم للجسم المهتز لتمام اهتزازة كاملة (دورة كاملة). وعادة يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة الدورية أو المسبب لها - ويكون الزمن الدوري للموجة مساوياً الزمن الدوري للمصدر.



شكل (9): يهتز أحد طرفي زنبرك (Spring) متصل بنصل 30 اهتزازة في الثانية، عليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

تبين الأشكال من (a - 9) حتى (b - 9) أن الزمن الدوري T يساوي 0.03s، وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة، وهو أيضاً الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.

أما تردد الموجة f، هو عدد الاهتزازات الكاملة في الثانية. ويقاس بالهيرتز (Hz)، والهيرتز الواحد هو اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه، تكون العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{تردد الموجة:}$$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

تقطع الموجة مسافة تساوي طولاً موجياً واحداً في فترة زمنية تساوي زمناً دورياً واحداً. لذلك الطول الموجي يساوي: $\lambda = v T$ وبسبب أن الحصول على التردد عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري، فإن المعادلة تكتب على النحو التالي:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{طول الموجة:}$$

تمثيل الموجات:

ماذا نعني بتمثيل الموجات؟

تمثيل الموجات هو وصف حركة الموجة رياضياً وبيانياً لايجاد:

• الإزاحة.

• السعة.

• الطول الموجي.

• الطور.

• العلاقة بين الزمن والمكان.

التمثيل البياني للموجات:

١) التمثيل البياني للإزاحة مع المسافة:

يستخدم لبيان شكل الموجة في لحظة زمنية ثابتة الشكل (a - 10)، يوضح:

السعة (A): أكبر إزاحة

الطول الموجي (λ): المسافة بين قمتين متتاليتين.

٢) التمثيل البياني للإزاحة مع الزمن:

يستخدم لبيان حركة نقطة واحدة على الموجة مع الزمن، مثل حركة

النقطة P في الشكل (9)، حيث يمكن تمثيل هذه الحركة بيانياً، بحيث

ترسم الإزاحة بوصفها متغيراً مع الزمن، كما في الشكل (b - 10). ومن

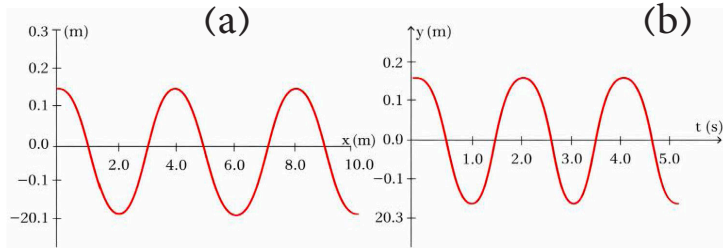
خلاله يمكن الحصول على:

• الزمن الدوري (T)

• التردد ($f = 1/T$)

كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانياً على ورق الرسم البياني، بحيث يتم

تمثيل التضاغطات على المحور Y مثلاً.



شكل (10): الطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m (a). والزمن الدوري 2.0 s (b). فإذا مثل

هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها فما سرعتها؟

تذكر:

- التردد ثابت بتغير الوسط.
- سرعة الموجة تعتمد على الوسط.
- زيادة السعة زيادة الطاقة (لا تؤثر على السرعة).

مثال (3):

موجة طولها الموجي $\lambda = 2 \text{ m}$ وترددها $f = 4 \text{ Hz}$. جد سرعة الموجة.

الحل:

نستخدم العلاقة: $v = \lambda f$

$$v = 2 \times 4 = 8 \text{ m/s} \quad \therefore$$

السرعة = 8 m/s

مثال (4):

إذا كان الزمن الدوري لموجة $T = 0.5 \text{ s}$. أحسب التردد؟

الحل:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{0.5}$$

التردد = 2 Hz

مثال (5):

من الرسم البياني (ازاحة - زمن)، وجد أن الزمن بين قمتين متتاليتين يساوي 0.25 s . جد التردد.

الحل:

الزمن بين قمتين = الزمن الدوري

$$T = 0.25 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ Hz}$$

التردد = 4 Hz

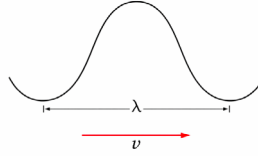
مثال (6):

موجة صوتية ترددها 192Hz مرت بملاعب لكرة قدم طوله 91.4m خلال فترة قدرها 0.271s، أحسب مقدار:

- (أ) الزمن الدوري للموجة.
(ب) سرعة الموجة.
(ج) الطول الموجي للموجة.
(د) الطول الموجي والزمن لدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442Hz.

الحل:

نرسم نموذجاً للموجة:



المعطيات: $f = 192 \text{ Hz}$ ، $d = 91.4 \text{ m}$ ، $t = 0.271 \text{ s}$
المطلوب:

$$v = ? , \lambda = ? , T = ?$$

(a) الزمن الدوري للموجة:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{192 \text{ Hz}} = 0.00521 \text{ s}$$

$$v = \frac{d}{t} = \text{سرعة الموجة (b)}$$

$$= \frac{91 \text{ m/s}}{0.271 \text{ s}} = 337 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \text{الطول الموجي للموجة (d)}$$

$$= \frac{337 \text{ m/s}}{192 \text{ Hz}} = 1.76$$

(c) الطول الموجي والزمن الدوري، عند تردد 442Hz

$$\lambda = \frac{v}{f} : \text{الطول الموجي}$$

$$= \frac{337 \text{ m/s}}{442 \text{ Hz}} = 0.762 \text{ m}$$

الزمن الدوري:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{442 \text{ Hz}} = 0.00226 \text{ s}$$

تقويم ذاتي:

1. إذا طلب منك زيادة الطول الموجي لموجات في حبل، هل تهز الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟
2. أحدث مصدر اضطراباً في حبل تردده 6.00Hz ، إذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0m/s ، جد طولها الموجي.

تفكير ناقد:

سقطت قطرة مطر في بركة فولدت موجات ذات سعات صغيرة. لكن عندما يقفز سباح في البركة فسيولد موجات ذات سعات كبيرة. لماذا لا تولد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

(3) سلوك الموجات

عندما تصطدم الموجة بحاجز أو سطح فاصل بين وسطين فإنها في الغالب تنعكس وترتد إلى الخلف داخل الوسط نفسه. وفي حالات أخرى تمر الموجة كلها أو جزء منها خلال السطح الفاصل إلى وسط آخر، ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل. فالتعدد من خصائص سلوك الموجة، ما هي إلا نتيجة الحقيقة التالية:

((يمكن أن تكون هناك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه خلال الزمن نفسه، بخلاف الجسيمات المادية، إذ لا يمكن لجسمين شغل الحيز نفسه خلال الزمن نفسه))

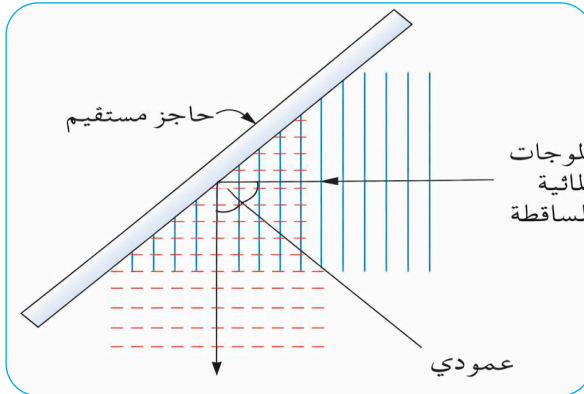
أولاً: انعكاس الموجات Reflection of Waves:

للتعرف على انعكاس الموجات اجر النشاط التالي:
النشاط (2):

انعكاس الموجات المائية

الأدوات: حوض ماء - قطعة خشبية مستقيمة
الخطوات:

- احدث موجات منتظمة في الحوض.
- ضع القطعة الخشبية كحاجز.
- لاحظ اتجاه الموجات بعد اصطدامها بالحاجز.



شكل (11): انعكاس الموجات عملياً

يتسبب حاجز مستقيم يقف معتدلاً بالماء في انعكاس الموجات الساقطة القادمة. الاستنتاج: الموجات ترتد بزاوية مساوية لزاوية السقوط.

انعكاس الموجات: هو ارتداد الموجة عند اصطدامها بسطح فاصل أو حاجز يمنعها من الاستمرار في الانتشار داخل الوسط نفسه.

القاعدة الفيزيائية الأساسية:

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس
تنطبق هذه القاعدة على:

- موجات الضوء
- موجات الصوت
- موجات الماء

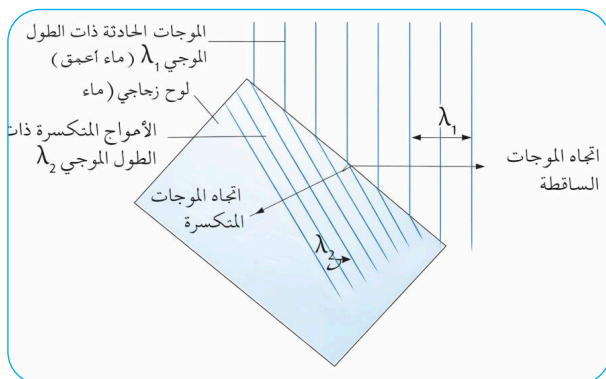
جدول (1): سلوك الكميات الفيزيائية للموجة عند الانعكاس:

الكمية الفيزيائية	ماذا يحدث	السبب
التردد	ثابت	خاص بالمصدر
السرعة	ثابتة	الوسط لم يتغير
الطول الموجي	ثابت	يعتمد على السرعة والتردد
الاتجاه	يتغير	بسبب الارتداد
السعة	قد تقل	فقد جزء من الطاقة

ثانياً: انكسار الموجات:

النشاط (3): انكسار موجات الماء

الأدوات: حوض ماء - قطعة زجاج أو بلاستيك شفاف
الخطوات:



- اترك نصف الحوض عميقاً والنصف الآخر ضحلاً .
- أحدث موجات مستوية .
- راقب اتجاه الموجة عند عبورها للمنطقة الضحلة ماذا تلاحظ؟

شكل (12): انكسار الموجات المستوية

يبين شكل (12) انكسار الموجات عملياً، بوضع كتلة الزجاج بزاوية على الموجات المستوية القادمة. ويتسبب الفرق في عمق الماء في حدوث انكسار للموجات. انكسار الموجات: هو تغير اتجاه انتشار الموجة عند انتقالها من وسط إلى آخر تختلف فيه سرعة انتشار الموجة.

السبب الفيزيائي:

الانكسار يحدث بسبب:

تغير سرعة الموجة عند عبورها الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في الخواص الفيزيائية (مثل الكثافة، أو معامل الانكسار في الضوء)

الكمية الفيزيائية	السلوك	التفسير العلمي
السرعة	تتغير	لاختلاف الوسط
الطول الموجي	يتغير	$v = \lambda f$ لأن
الاتجاه	يتغير	نتيجة تغير السرعة
التردد	ثابت	خاص بالمصدر

جدول (2): سلوك الكميات الفيزيائية للموجة عند الانكسار:

تقويم ذاتي:

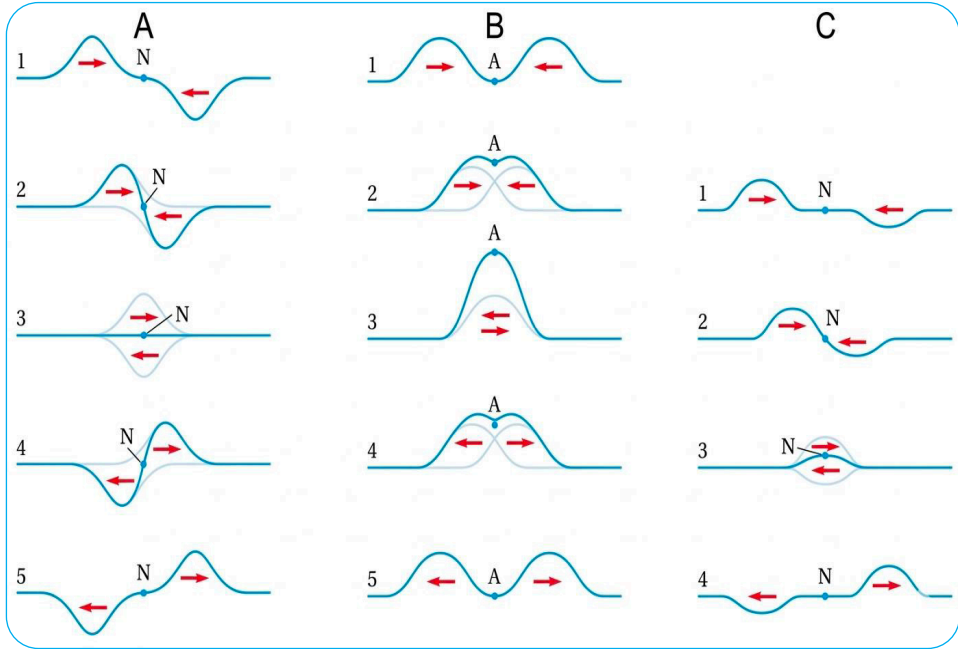
- تتحرك الموجات المائية من طرف بركة ضحل إلى الطرف الأعظم.
- اذكر التغيرات (إن وجدت) في التردد، والطول الموجي، وسرعة الضوء.

تراكب الموجات Superposition of Waves :

إذا انتقلت موجة في زنبرك أو جبل مثبت أحد أطرافه في جدار وقابلت موجة منعكسة. ما الذي يحدث في هذه الحالة؟

سيكون هناك موجتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما، وتؤثر كل من الموجتين في الوسط بصورة مستقلة. وينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، الناتجة عن موجتين أو أكثر، تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل نبضة على حدة، أي أنه يمكن اتحاد موجتين أو أكثر لتكوين موجة واحدة جديدة. وإذا انتقلت الموجتان في اتجاهين متعاكسين فيما أن تلغي كل منهما تأثير

الأخرى، أو تنتج نبضة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويعرف الأثر الناتج عن تراكب موجتين أو أكثر بالتداخل.



شكل (13)

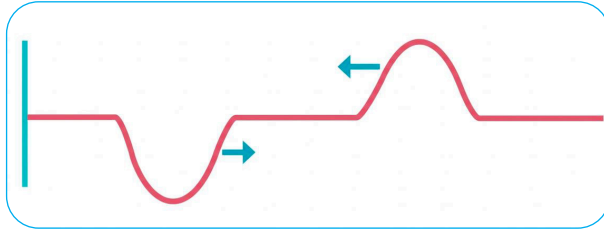
تداخل الموجات:

نشاط (2):

الأدوات: زنبرك طويل وخفيف (نابض)

الخطوات:

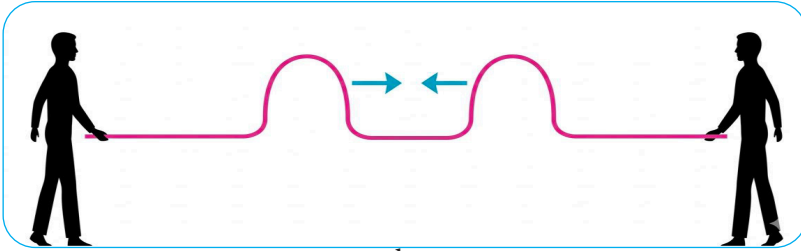
- ثبت الزنبرك (النابض) في حائط على ارتفاع مناسب، فليكن 10 سم من الأرض.
- شد الزنبرك (النابض) من طرفه الثاني، ثم أحدث به موجة بتحريك الطرف الذي بيدك إلى الأعلى ثم إلى الأسفل.
- راقب الاضطراب الذي تولد في الزنبرك (النابض).
- ماذا حدث للاضطراب عندما وصل إلى الجدار؟
- إن ما شاهدته هو انعكاس للموجة.



شكل (14 - a)

• أحدث اضطراباً آخر في الزنبرك، وعند انعكاس الاضطراب عن الجدار أحدث نبضة أخرى شكل (14 - a).

- ماذا يحدث للاضطرابين في منطقة تلاقيهما؟



شكل (14 - b)

يسمى مثل هذا التداخل تداخلاً هدمياً لأن إحدى الموجتين دمرت الأخرى.
• أبعد الزنبرك (النابض) عن الجدار واجعل أحد زملائك يمسكه من الطرف الآخر.

• أحدث أنت وزميلك اضطراباً في الزنبرك (النابض) في نفس الوقت وبنفس الكمية. ماذا يحدث للاضطرابين في منطقة التقائهما شكل (14 - b) ؟
يسمى هذا التداخل تداخلاً بناءً لأنه نتج عنه موجات ذات سعة أكبر من سعة أي من الموجتين الأصليتين.

إذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في الشكل (13 - a) فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفراً. وتسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقاً العقلة. وتواصل الموجتان حركتهما بعد التداخل، وتستعيدان شكلهما الأصلي. ويوضح الشكل (13 - b) تداخلاً بناءً لموجتين متساويتين، حيث تكون موجة ذات سعة أكبر عند النقطة A عندما تلتقي الموجتان، وتسمى هذه الموجة الناتجة البطن، وتكون ازاحتها هي الأكبر. وتمر الموجتان بعد ذلك إحداها خلال الأخرى دون أن تغير في شكليهما أو حجميهما.

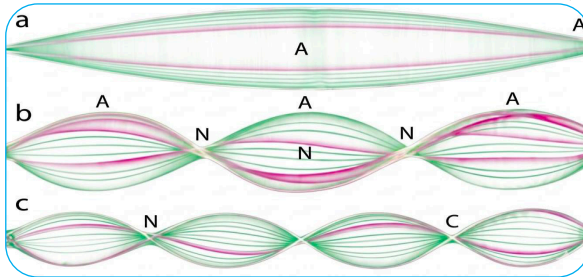
الموجات الموقوفة (المستقرة):

عند تثبيت أحد طرفي حبل أو زنبرك (نابض حلزوني) في نقطة ثابتة فليكن مقبض باب، فإذا بدأت بهز الطرف الآخر فإن الموجات تنطلق من يدك متحركة في اتجاه الطرف الآخر الثابت، ثم ترتد عند هذه النهاية الثابتة وتنقلب من جديد، وتعود إلى يدك ثانية. وعندما تصل الموجة المرتدة إلى يدك تنعكس وتنقلب من جديد وتتحرك إلى الخلف مرة أخرى. وتكون ازاحة الموجة عندما تنطلق من يدك للمرة الثانية في الاتجاه نفسه الذي انطلقت منه أول مرة.

- كيف يمكنك زيادة سعة الموجة التي قمت بإنتاجها؟
إذا قمت بضبط حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساوياً للزمن الذي تحتاج إليه الموجة حتى تكتمل دورة كاملة من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذ سوف تضاف الإزاحة التي تولدها يدك في كل مرة إلى ازاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة نتوقع أن اهتزاز الحبل سيكون أكبر من حركة يدك، استناداً على معرفتك بالتداخل البناء.
وتعتبر هذه الاهتزازات ذات السعة الكبيرة مثلاً على الرنين الميكانيكي.
وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط الموجة، كما مبين في الشكل (a - 15). وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى الموجة الموقوفة أو المستقرة.

الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين.

عند مضاعفة تردد الاهتزاز تتولد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزاً في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولد عقد وبطنون أكثر، كما مبين في الشكلين (a - 15) و (c - 15).



شكل (15): ينتج التداخل موجات مستقرة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطن.

ملخص مراجعة الفصل:

المفاهيم الرئيسة	المفردات
• تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط • تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه الحركة الموجية، أما في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة. • التردد هو عدد الدورات في الثانية، ويرتبط بالزمن الدوري من خلال المعادلة الآتية: $f = \frac{1}{T}$ • يمكن حساب طول موجة منتشرة باستخدام المعادلة: $\lambda = \frac{v}{f}$ • عندما تعبر موجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين ينفذ جزء منها وينعكس الجزء الآخر. • ينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، والناجمة عن موجتين أو أكثر تساوى المجموع الجبري للإزاحات الناجمة عن كل موجة على حدة. • يحدث التداخل عندما تتحرك موجتان أو أكثر في الوسط ذاته وفي الوقت نفسه. • الانكسار هو تغير اتجاه الموجات عند حد فاصل بين وسطين مختلفين.	• الموجة • نبضة موجية • الموجة الدورية • الموجة المستعرضة • الموجة الطولية • سعة الموجة • القاع • القمة • الطول الموجي • التردد • الموجة الساقطة • الموجة المنعكسة • مبدأ التراكب • التداخل - العقدة • بطن الموجة • الموجة الموقوفة • الشعاع • العمود المقام • قانون الانعكاس • الانكسار

تقويم ذاتي:

1. أي خصائص الموجة الآتية لا تتغير عندما تمر الموجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد، السعة، الطول الموجي، السرعة، الاتجاه؟
2. ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في زنبرك (نابض) مثبت الطرفين؟

تقويم الفصل

- أ - ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (×) أمام العبارة الخطأ:
1. الحركة الاهتزازية هي حركة دورية تتكرر حول موضع الاتزان. ()
 2. الزمن الدوري هو عدد الإهتزازات الكاملة التي تتم في الثانية الواحدة. ()
 3. التردد يساوي مقلوب الزمن الدوري. ()
 4. الطاقة الكلية في الحركة التوافقية البسيطة تظل ثابتة إذا أهمل الاحتكاك. ()
 5. الزمن الدوري للموجة هو الزمن اللازم لمرور طول موجي واحد أمام نقطة معينة. ()
 6. عند زيادة التردد وثبات سرعة الموجة يزداد الطول الموجي. ()
 7. في الموجة الطولية يحدث تضغط وتخلخل في الوسط. ()
 8. عند أقصى إزاحة تكون السرعة صفر والعجلة عظمى. ()
 9. بزيادة سعة الإهتزازة يزداد الزمن الدوري في الحركة التوافقية البسيطة. () تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة. ()

ب - ارسم دائرة حول رقم الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فيما يلي:

1. الحركة الدورية، هي الحركة التي:
(a) تسير في خط مستقيم.
(b) تتغير سرعتها بانتظام.
(c) تتكرر بانتظام على فترات زمنية متساوية. (d) تعتمد على وجود قوة ثابتة.
(e) تتوقف بعد زمن قصير.

2. الزمن اللازم لإتمام دورة كاملة يسمى:
- (a) الزمن الدوري. (b) الطور (c) التردد (d) السعة. (e) الإزاحة.
3. العلاقة الصحيحة بين التردد (f) والزمن الدوري (T) هي:
- (a) $f = T$ (b) $f = \frac{1}{T}$ (c) $T = f^2$ (d) $f = 2T$ (e) $T = \frac{1}{2f}$
4. وحدة قياس التردد في النظام الدولي هي:
- (a) متر (b) ثانية (c) نيوتن (d) هيرتز (e) جول
5. إذا كان الزمن الدوري لحركة بندول بسيط يساوي 2s فإن تردده يساوي:
- (a) 2HZ (b) 1HZ (c) 0.5 HZ (d) 4HZ (e) 0.25 HZ
6. القوة المؤثرة في الحركة التوافقية البسيطة تكون:
- (a) ثابتة المقدار والإتجاه. (b) في إتجاه الحركة دائماً.
- (c) عكس إتجاه الإزاحة ومتناسبة معها (d) عكس إتجاه السرعة
- (e) تساوي صفراً دائماً
7. عند وضع الاتزان في الحركة التوافقية البسيطة تكون:
- (a) السرعة = صفر (b) العجلة = صفر (c) الإزاحة = أكبر ما يمكن
- (d) الطاقة الكامنة أكبر ما يمكن (e) القوة أكبر ما يمكن
8. عند أقصى إزاحة في الحركة التوافقية البسيطة تكون:
- (a) السرعة عظمى. (b) العجلة = صفر (c) القوة = صفر
- (d) السرعة = صفر (e) الطاقة الحركية عظمى.
9. إذا أتم جسم 60 دورة في 30 ثانية فإن تردده يساوي:
- (a) 1HZ (b) 2HZ (c) 30HZ (d) 0.5 HZ (e) 60 HZ
10. الحركة الإهتزازية، حركة:
- (a) في خط مستقيم بسرعة ثابتة. (b) دائرية منتظمة
- (c) تتكرر ذهاباً وإياباً حول موضع الاتزان. (d) عشوائية (e) بتسارع ثابت
11. الموجات الميكانيكية تحتاج إلى:
- (a) فراغ (b) وسط مادي للإنتشار (c) ضوء
- (d) حرارة (e) مجال كهربائي
12. المسافة بين قمتين متتاليتين في موجة مستعرضة تسمى:
- (a) السعة (b) التردد (c) الطول الموجي

(d) الزمن الدوري (e) السرعة

13. تعتمد سرعة الموجة في وسط معين على :

(a) سعتها فقط (b) ترددها فقط (c) خواص الوسط المادي

(d) عدد القمم (e) الزمن الدوري فقط

14. ما مقدار قيمة ثابت زنبرك يخزن طاقة وضع مقدارها 8.67J عندما

يستطيل إزاحة 247mm ؟

(a) 70.2 N/m (b) 142 N/m (c) 71.1 N/m (d) 284 N/m (e) 60 N/m

15. أي الخيارات الآتية يصف الموجة الموقوفة ؟

	الموجات	الاتجاه	الوسط
a	متطابقة	نفسه	نفسه
b	غير متطابقة	متعاكس	متعاكس
c	متطابقة	متعاكس	نفسه
d	غير متطابقة	نفسه	متعاكس
e	غير متطابقة	نفسه	نفسه

15. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s ؟

(a) 5.94 m (b) 24.m (c) 37.3 m (d) 11.9 (e) 9.

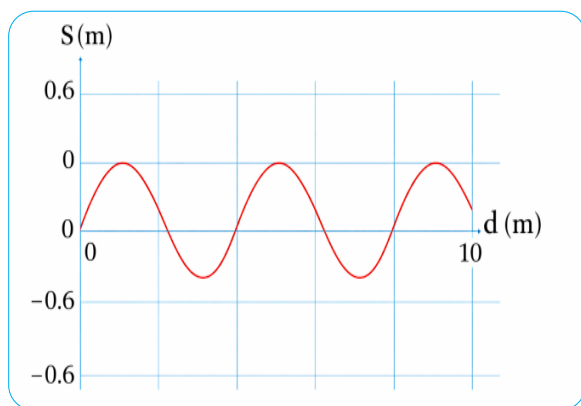
ج- اجب عن الأسئلة التالية:

1. أذكر أمثلة لحركات توافقية بسيطة.
2. عرف الحركة الموجية ثم أذكر أنواعها.
3. ما الفرق بين التردد والزمن الدوري ؟
4. أشرح تجربة عملية تبين كيف يحدث التداخل بين الموجات في الزنبرك ؟
5. أكمل الجدول التالي:

حركة الموجة	اضطراب	نوع الموجة
الموجات الصوتية	تغيرات في ضغط الهواء	
الموجات.....	تغيرات في مواقع الجزيئات المائية	
الموجات.....	تحرك أحد أطراف الحبل من موضع السكون	مستعرضة

الموجات الضوئية	تغيرات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الوسط	
-----------------	---	-------

6. ميز بين الموجات المستعرضة والطولية، مع ذكر مثال لكل منها.
7. يبين الشكل العلاقة البيانية لإزاحة موجة مقابل المسافة بطول الموجة عند وقت معين.



- (1) أذكر قيمة سعة الموجة. (2) الطول الموجي للموجة
8. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لإشتقاق وحدات k .
9. يبين الجدول التالي بيانات تم الحصول عليها عندما علقت عدة كتل في نهاية زنبرك، وقيست الزيادة في طول الزنبرك.

الأوزان المعلقة	
الإستطالة X(m)	القوة F(N)
0.12	2.5
0.26	5.0
0.35	7.5
0.5	10.0
0.60	12.5
0.71	15.0

a/ مثل بيانياً القوة المؤثرة في الزنبرك مقابل الإستطالة الناتجة.

- b/ جد ثابت الزنبرك من الرسم البياني.
- c/ بإستخدام الرسم البياني، جد طاقة الوضع المختزنة في الزنبرك عندما يستطيل إزاحة 0.5m

الوحدة الثالثة : الفصل الثاني

موجات الصوت



- ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

الأهداف:

- بعد دراستك لهذا الفصل والتفاعل مع أنشطتها، يتوقع منك أن:
- تصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها؛
- تصف الطبيعة الطولية للموجات الصوتية بدلالة عمليات الانضغاط والتخلخل؛
- تستنتج اختلاف سرعة الصوت في الهواء والسوائل والأجسام الصلبة؛
- تصف طريقة مباشرة لتعيين سرعة الصوت في الهواء وتجري العمليات الحسابية الضرورية؛
- تشرح بعض التطبيقات لظاهرة الصدى؛
- تشرح ظاهرة دوبلر وبعض تطبيقاتها الحياتية؛
- تستخدم معادلة دوبلر في حل المسائل؛
- تفسر ظاهرة الرنين في الأعمدة الهوائية.

الأهمية:

يعد الصوت وسيلة مهمة للتواصل، ونقل الثقافات المختلفة بين الشعوب. وحديثاً تعد موجاته إحدى وسائل التشخيص والعلاج.

المفردات الجديدة:

الموجة الصوتية، الطول الموجي، سرعة الصوت، سعة الصوت، الصدى، التردد، تأثير دوبلر، أنبوب الرنين المغلق، أنبوب الرنين المفتوح، التردد الأساسي (النغمة الأساسية)، الرنين، الموجات المستقرة، البطن، العقدة، الشوكة الرنانة.

تمهيد

لقد درست في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. كما تعرفت على كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض وتفاعلها مع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته.

وستدرس في هذا الفصل المبادئ الفيزيائية للموجات، وكيفية إصدار الصوت وتصنيفه، وكيفية إنتقاله خلال الوسائل العديدة، وموضوعات أخرى. فكلما فهمنا أكثر عن الصوت، كلما تمكنا من إستخدامه والتحكم فيه بشكل أفضل.

طبيعة وإصدار الصوت:

لقد علمت سابقاً أن الصوت شكل من أشكال الطاقة، وينتقل من نقطة إلى أخرى كموجة، فكيف تنتقل هذه الموجات ؟

إستكشف وفسر:

الأدوات والمعدات:

الصوت (مثل الجرس)، مصباح، مصدر كهرباء (مثل البطارية)، ناقوس زجاجي متصل بمفرغة هواء.

الخطوات:

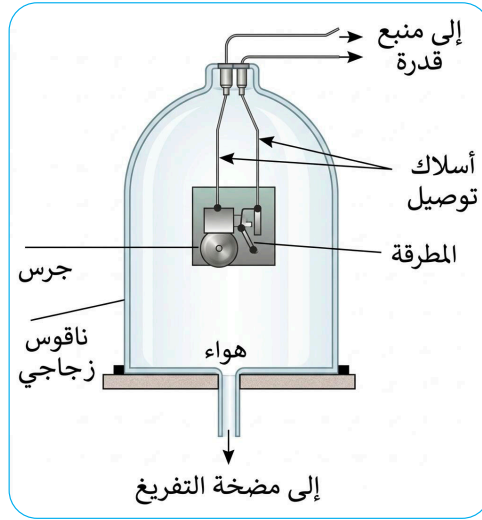
- ضع المصباح والجرس داخل الناقوس الزجاجي المتصل بمفرغة الهواء.
- صل المصباح والجرس بمصدر الكهرباء كما في الشكل (1) قبل تشغيل مضخة التفريغ. هل تستطيع سماع الصوت، ورؤية ضوء المصباح؟
- شغل مضخة تفريغ الهواء من الناقوس، ثم صل المصباح والجرس بمصدر الكهرباء
- هل تستطيع سماع صوت الجرس، ورؤية ضوء المصباح بعد تفريغ الناقوس من الهواء؟

1. سماع صوت الجرس والمصباح قبل إفراغ الهواء من الناقوس
2. عند تفريغ الناقوس الزجاجي من الهواء يبدأ صوت الجرس بالانخفاض إلى أن يتلاشى، بينما يمكن رؤية ضوء المصباح.

الاستنتاج:

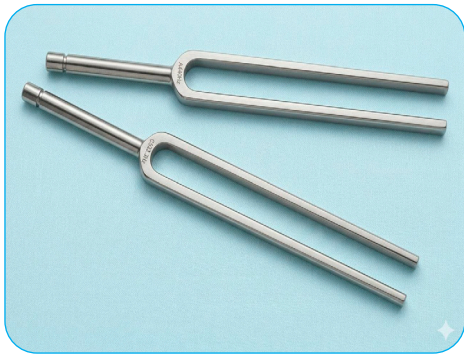
الصوت يحتاج الى وسط ناقل (الهواء) لينقله من المصدر إلى أذاننا، بينما الضوء لا يحتاج وسط ناقل ليصل إلى أعيننا.

أما الموجات التي لا تحتاج إلى وسط ناقل تسمى الموجات الكهرومغناطيسية، مثل موجات الضوء.



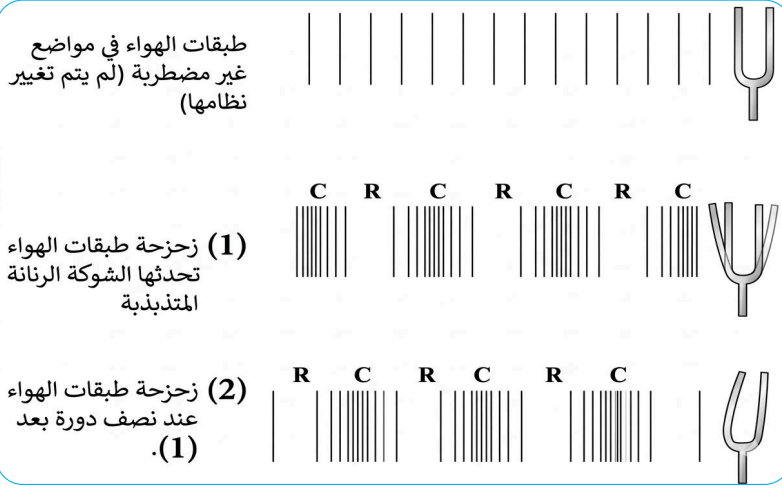
شكل (1): تجربة الجرس والمصباح

وكما ذكرنا في الفصل السابق، الصوت مثال للموجة الطولية. وينتقل عبر وسط مادي، حيث تقوم مصادر متذبذبة موضوعة في وسط ما بإنتاج الصوت، ويكون الوسط عادة هواء، ولكن يمكن أن يكون غازاً، أو سائلاً، أو جسماً صلباً. فالجسم المتذبذب في وسط ما مثل الهواء، ينتج موجات صوتية بترددات طبقات جسيمات الهواء. إن ذلك يشبه الموجات الطولية التي تصدر عند ذبذبة زنبرك طويل رفيع بمحاذاة طوله.



شكل (2): مصدر شائع للصوت

يوضح الشكل (2) الشوكة الرنانة كمصدر تذبذب شائع للصوت. فهي أداة ذات شعبتين فولاذيتين صلبتين، وتحدث نغمة موسيقية عند طرقها. ويوضح الشكل (3) الطبيعة الطولية للموجات الصوتية التي تحدثها الشوكة الرنانة المتذبذبة. لاحظ إصدار طبقات الهواء المترددة سلسلة من الإنضغاطات (C) والتخلخلات (R).

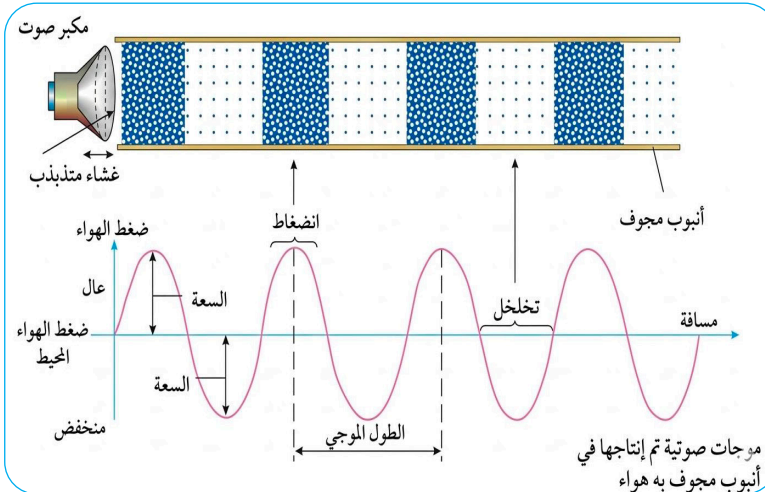


شكل (3) : ترسل الشوكة الرنانة المتذبذبة موجات صوتية طويلة

لا شك إن انضغاطات وتخلخلات الموجات الصوتية في الهواء هي تغيرات في ضغط الهواء. لذلك تمثل الانضغاطات أماكن يكون ضغط الهواء فيها أعلى بشكل طفيف من ضغط الهواء المحيط. والتخلخلات تمثل أماكن يكون ضغط الهواء فيها أدنى بشكل طفيف من ضغط الهواء المحيط.

الشكل (4) يوضح الموجات الصوتية التي يحدثها الغشاء المتذبذب لمكبّر صوت في أنبوب مجوف به هواء. وتمثل المسافة بين أي انضغاطين أو تخلخلين متتاليين هي الطول الموجي λ لموجة الصوت. وأقصى تغير للضغط يعطى سعة الموجة الصوتية

A.



شكل (4) : موجات صوتية تم توليدها في أنبوب مجوف به هواء

تقويم ذاتي:

1. ما طبيعة الصوت؟
2. كيف يصدر الصوت.

سرعة الموجات الصوتية:

أي وسط له جسيمات يمكن أن تتذبذب سيرسل صوتاً، ولكن طبيعة الوسط ستؤثر على سرعة الموجات الصوتية. في أي الأوساط، الصلبة، أم الغازية، أم السائلة، تكون سرعة الصوت أكبر؟

استكشف وفسر:

من واقع معرفتك وتجربتك، أي الأوساط المادية تكون فيه سرعة الصوت أكبر؟ سجل توقعاتك.

جدول (1): سرعة انتشار الصوت في أوساط مختلفة

المواد الصلبة		المواد السائلة عند درجة حرارة 25 درجة		المواد الغازية عند درجة حرارة 25 درجة	
المادة	سرعة الصوت م/ث	المادة	سرعة الصوت م/ث	المادة	سرعة الصوت م/ث
الحديد	5130	ماء البحر	1523	الهيدروجين	1290
الفضة	2680	الماء	1493	الهيليوم	972
الرصاص	1230	الكبريت	1315	الهواء	331

تأمل الجدول (1) مستخدماً بياناته لإثبات توقعاتك أو نفيه.

عند ترتيب المواد تنازلياً من حيث مقدار سرعة انتشار الصوت فيها بناء على تقارب ذراتها وتماسكها، تصبح على النحو التالي:

المواد الصلبة، ثم السائلة، ثم الغازية. فعند تعرض المادة لموجة صوتية تبدأ ذراتها بالاهتزاز، وهذا الاهتزاز ينتقل من ذرة إلى أخرى حتى يصل إلى آخر ذرة في الوسط.

الوسط الذي تكون ذراته متقاربة ومتماسكة أكثر يعمل على نقل موجة صوت أسرع، وهذا ما يجعل سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وفي السائلة أكبر منها في الغازية.

هل للشروط الفيزيائية، مثل درجة الحرارة تأثير على سرعة الصوت في الهواء؟
أنظر الجدول (2).

جدول (2): تأثير الشروط الفيزيائية على سرعة الصوت في الهواء:

التغيرات في	التأثير على سرعة الصوت في الهواء
درجة الحرارة T	سرعة الصوت تتناسب مع $\sqrt{T}$
الرطوبة	يتقلل الصوت أسرع عند ارتفاع الرطوبة
الضغط	لا يؤثر تغير الضغط على سرعة الصوت

تأمل واختبر نفسك:

هل يتحرك الصوت خلال بالون مملوء بالهيدروجين؟
مستخدماً الجدول (3)، فسر الحالات الآتية:

- سرعة الصوت في الهواء عند درجة (20°م) أكبر من سرعته في الهواء عند درجة (صفر°م).

- سرعة الصوت في الهيدروجين والهيليوم أكبر من سرعته في الهواء عند درجة (صفر°م).

جدول (3):

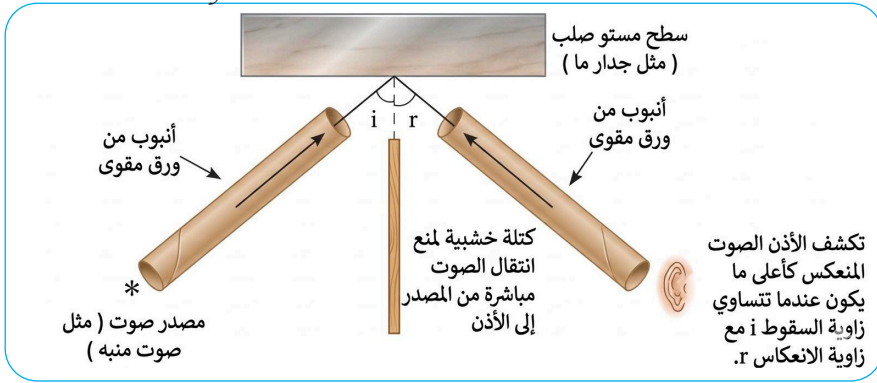
الغاز	الهيدروجين عند (صفر°م)	الهيليوم عند (صفر°م)	الهواء عند (صفر°م)	الهواء عند (20°م)
سرعة الصوت (م/ث)	1286	972	331	343

تشارك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، مثل انعكاسها عن الأجسام الصلبة، كجدران حائط مثلاً.

انعكاس الصوت:

تتعرض أيضاً الموجات الصوتية للانعكاس مثل الموجات الضوئية. وتسمى موجات الصوت المنعكسة عند وصولها إلى مصدرها الصدى. ويمكن استخدام الزمن الذي يحتاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويستخدم هذا المبدأ الخفافيش، وبعض الكاميرات، وبعض السفن التي تستخدم السونار. ومن الممكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يؤدي إلى نشوء بقع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفاً جداً. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما درست في الفصل السابق، ومن خلال المعادلة:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$



شكل (5) تجربة بسيطة تبين انعكاس الصوت

يلاحظ من نتائج التجربة، تساوي مقدار زاوية سقوط الصوت (i) ومقدار زاوية الانعكاس (r) دائماً. وهذا يعرف بزاوية الانعكاس، الذي ينص على: زاوية سقوط الصوت على جسم ما تساوي زاوية انعكاسه.

تقويم ذاتي:

- إذا وقفت عند طرف وادي وصرخت، وسمعت الصدى بعد مرور 0.80 ثانية، فما عرض هذا الوادي؟

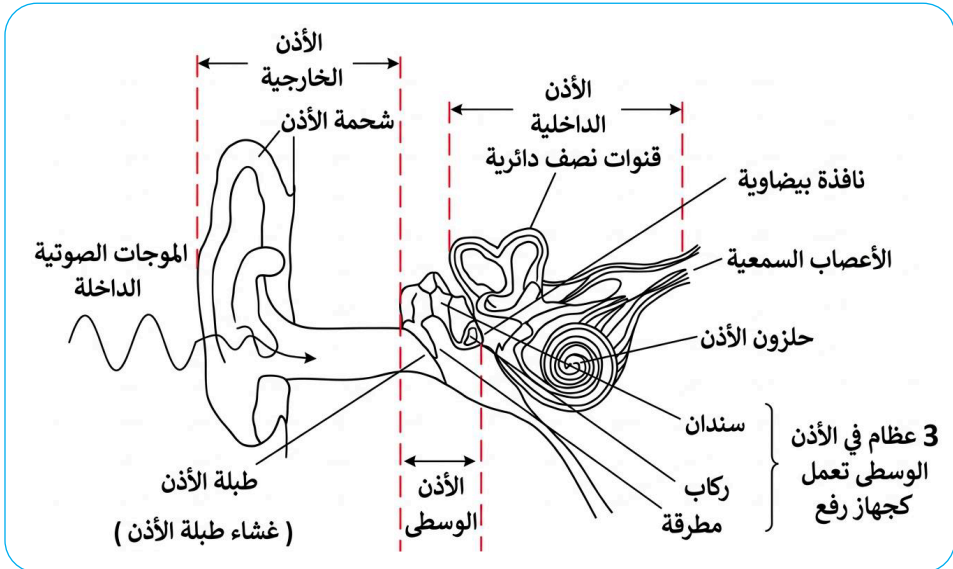
الكشف عن موجات الضغط:

تحول كاشفات الصوت الطاقة الصوتية - الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة - إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. ومن الكاشفات الشائعة هي المايكروفون ولكن أهم هذه الكاشفات و ذات أهمية كبيرة هي:

الأذن البشرية:

تعد كاشفاً يستقبل موجات الضغط الشكل (6)، ويحولها إلى نبضات كهربائية؛ حيث تدخل الموجات الصوتية القناة السمعية، وتسبب اهتزازات لغشاء طبلة الأذن، ثم تنقل ثلاثة عظام دقيقة هذه الاهتزازات إلى سائل في القوقعة. وتلتقط شعيرات دقيقة تبطن القوقعة الحلزونية ترددات معينة في السائل المتذبذب، فتنشط هذه الشعيرات الخلايا العصبية، والتي ترسل بدورها نبضات - سيالات عصبية إلى الدماغ وتولد الاحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات، وهي حساسة لمدى كبير جداً من السعات. كما يستطيع الإنسان التمييز بين أنواع مختلفة من الأصوات. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن معرفة بالفيزياء والأحياء.



شكل (6) : تركيب أذن الإنسان

ويبين مخطط العمليات التالى، كيفية استجابة الأذن للموجات الصوتية الداخلة إليها.



مخطط إنسياب العمليات

معلوماتك:

إن أذن الإنسان يستطيع التمييز بين صوتين إذا كان الزمن الفاصل بينهما لا يقل عن (0.1) ثانية، فعند إصدار صوت في غرفة فارغة، فإن الصوت ينعكس عن الجدران عدة مرات، وإذا كانت المدة الزمنية بين كل موجة صوت والموجة المنعكسة عنها أكبر من (0.1) ثانية فإننا سوف نسمع تكرار الصوت الأصلي، وهذا ما يعرف بالصدى كما سبق لك أن درسته بالمرحلة الابتدائية.

مثال (1):

أحسب البعد لحاجز يمكن أن يعكس الموجات الصوتية في الهواء بحيث يمكن سماعها إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 340 م/ث، علماً بأن الأذن البشرية تحتاج إلى 0.1 ثانية للتمييز بين صوتين مختلفين؟

الحل:

0.1 ثانية هي الزمن الكلي للصوت ذهاباً وإياباً.

المسافة = السرعة $\times$ الزمن

$$\text{المسافة} = 0.1 \times 340$$

المسافة = 34 وهي المسافة التي يقطعها الصوت ذهاباً وإياباً

بعد الحاجز = المسافة / 2 = 34 / 2 = 17 م.

صدى الصوت هو الصوت المسموع بعد انعكاسه من أسطح مستوية صلبة مثل جدار

لظاهرة الصدى العديد من التطبيقات من أهمها:

1. قياس سرعة الصوت في وسط ما من خلال قياس الزمن اللازم للصوت لقطع مسافة معينة بين مصدر صوت وحاجز هذا الوسط.
2. قياس عمق البحر باستخدام جهاز السونار (مرسل موجات الصوت) وذلك بإرسال إشارة (نبضة صوت)، وملاحظة الفترة الزمنية قبل وصول الإشارة المنعكسة (صدى الصوت)، يمكن معرفة عمق البحر.
3. تحديد موقع طائرة بالنسبة لبرج المراقبة باستخدام موجات الرادار.

تأمل واختبر نفسك :

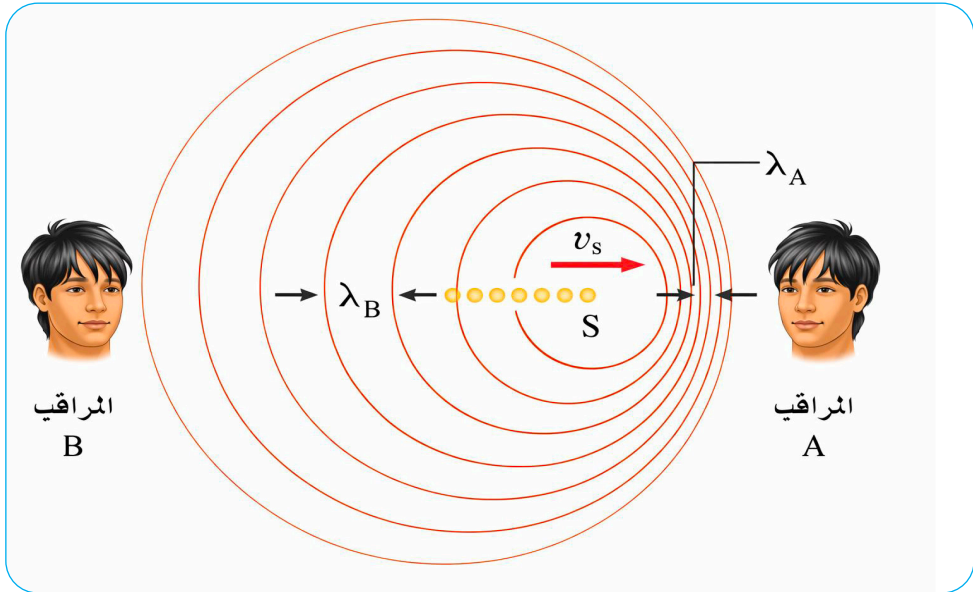
نستخدم جهاز السونار (مرسل موجات الصوت) لقياس أعماق المحيطات والبحار، فإذا أرسل جهاز السونار موجات صوتية باتجاه قاع البحر، وبعد (0.2) ثانية ثم استقبال الموجات المنعكسة، فإذا علمت أن سرعة الصوت في الماء (1400 م/ث)، أحسب الآتي:

- (i) زمن وصول الموجات الصوتية الى قاع البحر.
- (ii) عمق البحر.

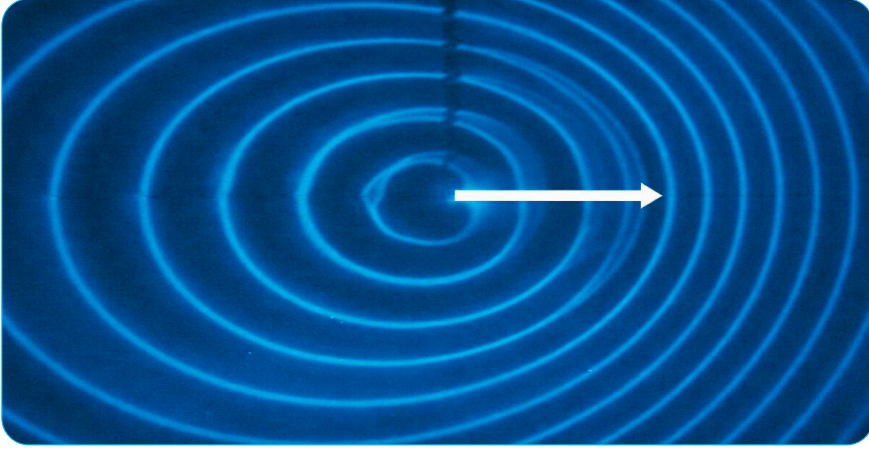
تأثير دوبلر (Doppler effect)

لا شك أنك ومن واقع معاشتك للحياة اليومية قد لاحظت أن صوت سيارة الإسعاف أو الإطفاء أو صفارة شرطة النجدة تتغير عند مرورها بالقرب منك. حيث تكون حدة الصوت أعلى عندما تتحرك السيارة في إتجاهك، ثم تتناقص حدة

الصوت لتصبح أقل عندما تبتعد السيارة عنك. وتسمى انزياح أو تغير التردد **تأثير دوبلر** كما مبين في الشكل (7)، حيث يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمين بسرعة v_s ، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصدر في دوائر مركزها المصدر، في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه كاشف الصوت، الذي هو المراقب A في الشكل (7)، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقب، لذلك يقل الطول الموجي ويصبح λ_A . ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوسط الواحد فإن قمماً أكثر تصل الأذن في كل ثانية، مما يعنى أن تردد الصوت عند المراقب A قد ازداد. في حين يزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيداً عن الكاشف، وهو المراقب B في الشكل (7)، ويصبح λ_B ، ويقل تردد الصوت عند المراقب B . ويحدث تأثير دوبلر أيضاً إذا كان الكاشف متحركاً والمصدر ثابتاً، إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النسبية لموجات الصوت والمراقب. فمع إقتراب المراقب من المصدر الثابت تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية. ومع إبتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النسبية، مما يؤدي إلى نقصان في قمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية.



الشكل (7): يقل الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A ، ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيداً عن المراقب B .



شكل (8): حركة مصدر الموجات الصوتية - تأثير دوبلر في حوض الموجات

تأثير دوبلر هو التغير الظاهري في التردد (أو الطول الموجي) نتيجة الحركة النسبية بين المصدر والمراقب .

- يمكن حساب التردد الذي يسمعه المراقب إذا كان المصدر وحده متحركاً، أو المراقب وحده متحركاً، أو كان كلاهما متحركين، باستخدام المعادلة:

$$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$$

حيث :

v : السرعة المتجهة لموجة الصوت

v_d : السرعة المتجهة للمراقب

v_s : السرعة المتجهة لمصدر الصوت

f_s : تردد الموجة المنبعثة من المصدر

f_d : التردد الذي يستقبله المراقب

تطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو حركة المراقب، أو عند حركة كليهما. عند حل المسائل باستخدام هذه المعادلة تأكد من تعريف نظام الإحداثيات، بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب، وتصل الموجات الصوتية إلى المراقب من المصدر لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائماً.

الفيزياء والرياضيات:

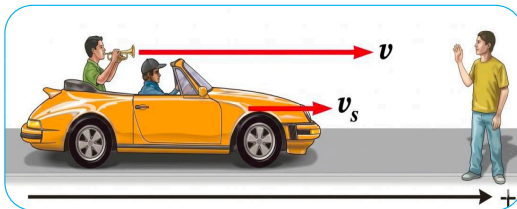
اختصار المعادلات: يمكن اختصار المعادلات المعقدة بمساواة عنصر ما بالصفر، فتكون المعادلة أكثر يسراً وسهولة عند الاستخدام. تأمل الجدول التالي للتحقق من ذلك.

عندما يكون المراقب ثابت، المراقب متحرك: $v_s = 0$	عندما يكون المراقب ثابت ، المصدر متحرك: $v_d = 0$
$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{v - v_d}{v} \right)$ $= f_s \left(\frac{\frac{v - v_d}{v}}{\frac{v}{v}} \right)$ $= f_s \left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1} \right)$ $= f_s \left(1 - \frac{v_d}{v} \right)$	$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{v}{v - v_s} \right)$ $= f_s \left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}} \right)$ $= f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right)$

مثال (1):

سيارة تسير في إتجاهك بسرعة 24.6 m/s ، ويصدر صوتاً تردده 524 Hz . وبافتراض أن درجة الحرارة 20°C ، ما التردد الذي يمكنك أن تسمعه؟

الحل: ١



يمكن تمثيل الحالة كما بالرسم أدناه باستخدام محاور الأحداثيات يمكننا التحقق من أن الإتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.

$$f_d = ? \quad v = +343 \text{ m/s}, \quad v_s = +24.6 \text{ m/s}, \quad v_d = 0.0 \text{ m/s}, \quad f_s = 524 \text{ Hz}$$

باستخدام المعادلة:

$$\begin{aligned} f_d &= f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right) \\ &= f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right) \\ &= 524 \text{ Hz} \left(\frac{1}{1 - \frac{24.6 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}}} \right) \\ &= 564 \text{ Hz} \end{aligned}$$

تقويم ذاتي:

تتحرك غواصة في اتجاه غواصة أخرى بسرعة 10.0m/s ، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد 3.5MHz . ما التردد الذي ستلتقطه الغواصة الأخرى وهي ساكنة، (سرعة الصوت في الماء 1482m/s) .

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية، في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية.

تطبيقات حياتية لظاهرة تأثير دوبلر:

- تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة المركبات.
- يراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بعدها عن الأرض.

الفيزياء والأحياء:

تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وإفتراسها، فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفاش يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل. أما عندما يلحق الخفاش بالحشرة ويقرب منها يكون تردد الموجة المنعكسة أكبر.

الرنين في الأعمدة الهوائية:

- ما المقصود بالرنين؟

استكشف وفسر:

الرنين (Resonance) هو إزدیاد كبير في سعة الإهتزاز عندما يتساوى تردد المؤثر الخارجى مع التردد الطبیعى للنظام المهتز. أى أن الرنين يحدث عندما يكون:

$$f_{\text{natural}} = f_{\text{source}}$$

- ما هو العمود الهوائى؟

هو كمية من الهواء محصورة داخل أنبوبة يمكن أن تهتز وتكون موجات صوتية موقوفة. عند مرور موجة صوتية داخل الأنبوبة تنعكس من الأطراف، وتتداخل الموجات مكونة موجات موقوفة (Standing Waves).

عند وضع شوكة رنانة فوق عمود هواء يهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشوكة الرنانة. يحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التى ستكون فى حالة رنين، فى حين يؤدى تغيير طول عمود الهواء إلى تغيير حدة صوت الآلة. ويعمل عمود الهواء فى حالة الرنين على تضخيم مجموعة محددة من الترددات لتضخيم نغمة مفردة، وتحويل الأصوات العشوائية إلى أصوات منتظمة. وتحدث الشوكة الرنانة فوق أنبوب مجوف رنيناً فى عمود الهواء، كما بالشكل (9)، فإذا تم وضع الأنبوب فى الماء، بحيث تصبح إحدى نهايتى الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق بالنسبة إلى الهواء - يكون فى حالة رنين ويعرف هذا الأنبوب بأنبوب الرنين المغلق. ويتم تغيير طول عمود الهواء بتعديل إرتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. وعند ضرب الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية مثلاً، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل

في الماء فإن الصوت يصبح عالياً أو منخفضاً على التناوب. ويكون الصوت عالياً عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

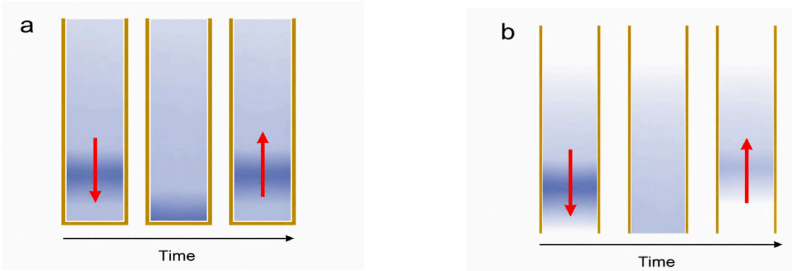


شكل (9):

يتم تغيير عمود الهواء بتعديل إرتفاع الأنبوب فوق سطح الماء، ويكون الصوت عالياً عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

- كيف يحدث الرنين؟

تولد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من تذبذبات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما مبين بالشكل (10-a). فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجة ضغط مرتفع أخرى فعندها تقوى الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

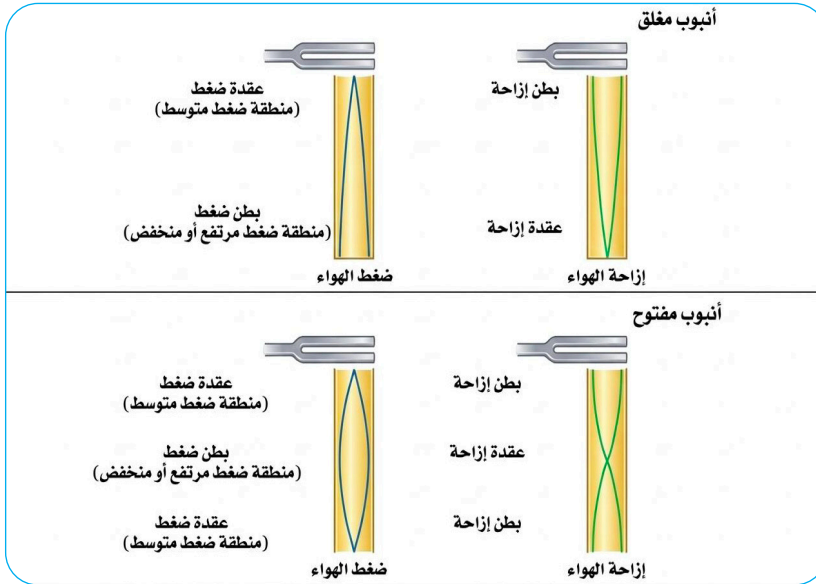


شكل (10): في الأنابيب المغلقة موجات ضغط مرتفع (a)، في الأنابيب المفتوحة تكون الموجات المنعكسة مقلوبة (b)

أما الأنبوب المفتوح فهو أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح ويعرف بأنبوب الرنين المفتوح. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوباً. فعلي سبيل المثال، إذا وصلت موجة ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجة ضغط منخفض، كما موضح في الشكل (10-b).

طول عمود هواء الرنين (Resonant Air Column Length)

طول عمود الهواء عند حدوث الرنين يعتمد على نوع الانبوبة (مفتوحة من الطرفين أم مغلقة من طرف واحد)، وطول الموجة الصوتية λ . يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في أنبوب بموجة جيبية، كما يوضح الشكل (11). كما يمكن أن تمثل الموجات الجيبية إما تغيرات ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات المستقرة عقداً وبطوناً، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوى المتوسط، أما مناطق البطون فيتذبذب الضغط عندها بين قيمته العظمى والصغرى. وفي حالة رسم الإزاحة تكون البطون هي مناطق الإزاحة الكبيرة، وتكون العقد هي مناطق الإزاحة القليلة. وفي كلتا الحالتين تكون المسافة بين بطنين أو بين عقدتين متتاليتين مساوية لنصف الطول الموجي.



شكل (11): تمثل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأنابيب

استكشف وفسر:

الأدوات: شوكة رنانة - مطرقة خاصة - أنبوب مغلق
الخطوات:

1. اطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب؛
2. غير في طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه؛
3. قرب الشوكة الرنانة بعد طرقها من فوهة الأنبوب؛
4. اعد الخطوة الثانية والثالثة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج:

ماذا تلاحظ بعد تنفيذ الخطوات: 2، 3، 4 ؟

ترددات الرنين في أنبوب مغلق:

الأنبوب المغلق هو أنبوب مغلق من طرف ومفتوح من الطرف الآخر. هذا النوع من الأعمدة الهوائية له خصائص مميزة في الرنين الصوتي.

الشروط الفيزيائية للرنين:

- عند الطرف المغلق تكون:

الإزاحة = صفر $\Leftarrow$ عقدة إزاحة (Displacement)

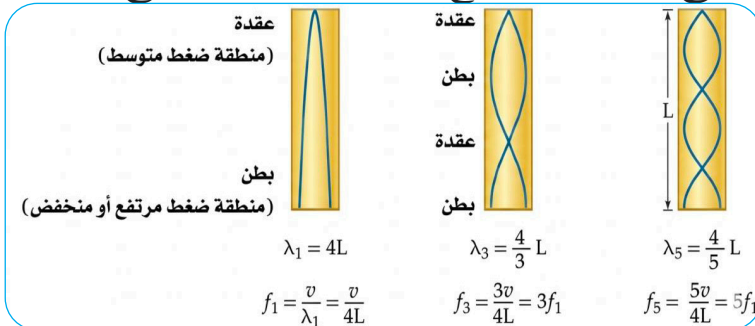
- عند الطرف المفتوح تكون:

الإزاحة عظمى $\Leftarrow$ بطن إزاحة (Displacement Antinode)

لأن الهواء عند الطرف المغلق لا يستطيع الحركة، بينما عند الطرف المفتوح يهتز بحرية.

العلاقة الأساسية لطول العمود الهوائي:

إن طول أقصر عمود هواء له بطن ضغط عند الطرف المغلق وعقدة ضغط عند الطرف المفتوح يكون مساوياً لربع الطول الموجي، كما يوضح الشكل (12).



شكل (12): يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عدداً فردياً من مضاعفات ربع الطول الموجي.

إذا كان طول الأنبوب L ، فإن أطوال الموجات المسموح بها تحقق العلاقة:

$$L = \frac{1}{4} \lambda , \frac{3}{4} \lambda , \frac{5}{4} \lambda , \frac{7}{4} \lambda , \dots$$

$$L = \frac{\lambda(2n-1)}{4} \quad \text{أى أن :}$$

حيث : $n=1,2,3,4,\dots$

معادلة ترددات الرنين:

$$v = f \lambda \quad \text{بما أن :}$$

فإن ترددات الرنين تعطى بالعلاقة :

$$f_n = \frac{n(2n-1)}{4L}$$

حيث : تردد الرنين f_n ، سرعة الصوت في الهواء v

طول الأنبوب L ، رقم النغمة n

الأنبوب المغلق يعطى التوافقيات الفردية فقط : $f_1, f_3, f_5, f_7, \dots$
ولا تظهر التوافقيات الزوجية

التفسير الفيزيائي:

يحدث الرنين عندما يتكون نمط موجة واقفة (standing Wave) بحيث يتحقق شرط العقدة عند الطرف المغلق والبطن عند الطرف المفتوح.

وهذا الشرط لا يسمح إلا بوجود أطوال موجية تمثل أرباع مضاعفات فردية للطول.

إذا كان طول الأنبوب L ، فإن :

$$L = \frac{\lambda n}{2}$$

حيث : $n=1,2,3,4....$

λ الطول الموجي

معادلة ترددات الرنين:

$$v = f \lambda$$

بما أن :

فإن ترددات الرنين تعطى بالعلاقة :

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

حيث : تردد الرنين f_n ، سرعة الصوت في الهواء v

L = طول الأنبوب ، n رقم النغمة

الأنبوب المفتوح يعطى جميع التوافقيات : $f_1, f_2, f_3, f_4, \dots$
على عكس الأنبوب المغلق الذى يعطى التوافقيات الفردية فقط.

التفسير الفيزيائي:

يتحقق الرنين عندما تتكون موجة واقفة بحيث يكون عند الطرفين بطون
إزاحة، ويحتوى الأنبوب على عدد صحيح من أنصاف الأطوال الموجية.
لهذا تظهر جميع التوافقيات دون إستثناء.

تذكر:

يؤدى الرنين إلى زيادة علو ترددات مخصصة. فإذا صرخت داخل نفق
طويل فإن الصوت الذى يدوى وتسمعه يكون بسبب النفق بوصفه أنبوباً
في حالة رنين.

الرنين في الأوتار (Resonance on string) :

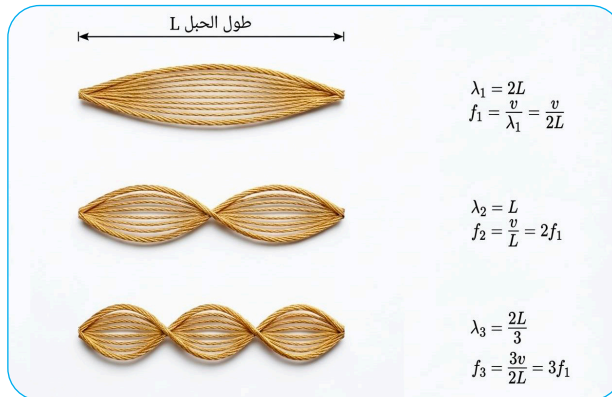
- هل تختلف أشكال الموجة في الأوتار المهتزة؟
تختلف أشكالها اعتماداً على طريقة توليدها، من نقر أو شد أو ضرب. إلا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة في الهزاز (الناضض) والحبال، كما درست في الفصل السابق.

ويكون الوتر في آلة ما مشدوداً من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون عقدة عند كل طرف من طرفيه. ويمكن ملاحظة أن النمط الأول للإهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي كما في الشكل (14). ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقاً لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $\frac{3\lambda}{2}, 2\lambda, \frac{5\lambda}{4}$

وهكذا. وكذا الحال للأنبوب المفتوح فإن ترددات الرنين تساوى مضاعفات أقل تردد.

تقويم ذاتي :

1. ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل مما يأتي:
a. الصوت البشري.
b. صوت المذياع.
2. يبلغ طول أنبوب مغلق 2.4m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب؟



شكل (14): وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساوياً لمضاعفات نصف الطول الموجي

مثال (2):

استخدم شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع أنبوب مغلق، فكان أعلى صوت مسموع عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و 65.3 cm . ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20°C ؟ وضح إجابتك.

الحل:

نرسم الأنبوب المغلق
نعين طولى عمود الهواء لحالتى الرنين.
المعطيات:

$$f = 392 \text{ Hz}, L_A = 21.0 \text{ cm}$$

$$L_B = 65.3 \text{ cm},$$

المطلوب:

باستخدام علاقة الطول - الطول الموجى للأنبوب المغلق:

$$\begin{aligned} L_B - L_A &= \frac{1}{2} \lambda \\ &= 2 (L_B - L_A) \\ &= 2 (0.653 \text{ m} - 0.21 \text{ m}) \\ &= 0.886 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$v = f \lambda$$

$$= (392.0 \text{ Hz}) (0.886 \text{ m})$$

$$= 347 \text{ m/s}$$

السرعة أكبر قليلاً من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20°C ، مما يشير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلاً من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

ملخص مراجعة الفصل:

المفردات	المفاهيم الرئيسية
• الموجة الصوتية • تأثير دوبل • أنبوب الرنين المغلق • أنبوب الرنين المفتوح	• الصوت تغير في الضغط ينتقل خلال مادة على هيئة موجة طولية. • لموجة الصوت تردد، وطول موجي، وسرعة، وسعة. كما تنعكس موجات الصوت وتتداخل. • سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة الغرفة (C) (تساوي 343 m/s). وتزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m/s تقريباً مع كل (C) في درجة الحرارة. • تحول كواشف الصوت الطاقة التي تحملها موجة الصوت إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. وتعد الأذن البشرية كاشفاً حساساً ذا كفاءة عالية لموجات الصوت. • يعرف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بالمعادلة الآتية: • معظم الأصوات موجات معقدة، تتكون من أكثر من تردد واحد. • يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردد الأساسي. • يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله $\lambda/2, 2\lambda/2, 3\lambda/2$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردد الأساسي.

تقويم الفصل

(أ) ارسم دائرة حول رقم الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة فيما يلي:

1. تنتقل الموجة:

(i) المادة (ii) القوة (iii) الجزيئات (iv) الطاقة

2. أى مما يلي مثلاً للموجات الطولية؟

(i) الموجات الصوتية التي يحدثها العود (ii) الموجات في حوض الماء
(iii) الموجات الضوئية في الماء (iv) الموجات الحبلية في الحبل

3. يعتمد تردد الصوت الصادر عن مصدر مهتز على:

(i) سرعة الموجة في الوسط. (ii) عدد الإهتزازات في الثانية.
(iii) سعة الإهتزاز. (iv) كثافة الوسط فقط.

4. يتصل رواد الفضاء ببعضهم البعض عن طريق وصلات لاسلكية لأن:

(i) البدل التي يلبسونها تمتص الصوت
(ii) الموجات الصوتية تصبح مشوشة في الهواء
(iii) الموجات الصوتية لا تنتقل في الفراغ
(iv) تنتقل الموجات الصوتية ببطء في الفراغ

5. تزداد سرعة الصوت في:

(i) الغازات مقارنة بالسوائل. (ii) السوائل مقارنة بالمواد الصلبة.
(iii) المواد الصلبة مقارنة بالسوائل. (vi) الفراغ.

6. الظاهرة التي يحدث فيها تغير في تردد الصوت نتيجة حركة المصدر أو الراصد تسمى:

(i) الحيود. (ii) التداخل (iii) تأثير دوبلر.

7. العلاقة الرياضية الصحيحة بين سرعة الصوت (v)، التردد (f)، والطول الموجي (λ) هي:

$$v = \frac{f}{\lambda} \quad (vi) \quad \lambda = f v \quad (iii) \quad f = v \lambda \quad (ii) \quad v = f \lambda \quad (i)$$

8. تقف بنت على مسافة 10m أمام جدار مبنى المدرسة، ثم تحدث صوتاً حاداً بقرع الأرضية. فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء 340m/s، بعد كم من الزمن (ثانية) تسمع صدى الصوت؟

0.015 s (i) 0.02 s (ii) 0.059 s (iii) 17 s (iv)

(ب) اجب عن الأسئلة التالية:

1. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟

2. أكمل الجدول التالي:

حركة الموجة	اضطراب	نوع الموجة
الموجات الصوتية	تغيرات في ضغط الهواء	
الموجات.....	تغيرات في مواقع الجزيئات المائية	
الموجات.....	تحرك أحد أطراف الحبل من موضع السكون	مستعرضة
الموجات الضوئية	تغيرات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الوسط	

3. ميز بين الموجات المستعرضة والطولية، مع ذكر مثال لكل منها.

4. يمكن استخدام زنبرك طويل ورفيع لشرح كل من حركة الموجة المستعرضة والطولية. صف مع الرسم كيفية عمل ذلك مع توضيح الطول الموجي لكل نوع من الحركة الموجبة على الرسم.

5. مثل بيانياً بين الطول الموجي ومقلوب التردد ($\frac{1}{f}$) ما نوع العلاقة التي يبينها الرسم البياني؟ حدد سرعة الصوت من الرسم البياني.

الشوكلات الرنانة	
الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

6. وضح كيف يمكن استخدام ظاهرة انعكاس الموجات في كشف السفن عن أماكن وجود أسراب السمك تحت سطح الماء.

7. يصدر حوت موجة صوتية فترتد عن صخرة بعد مرور 3 ثوان. فإذا علمت أن سرعة الموجات الصوتية في الماء عند درجة حرارة 20m يساوى 1500m/s فما بعد الصخرة عن الحوت؟
8. وضع رواد فضاء مرآة على سطح القمر، ثم أرسلوا موجات كهرومغناطيسية من الأرض نحو سطح القمر، وانعكست الموجات وتم التقاطها بعد 2.8s ، فما بعد القمر عن الأرض؟
9. أكمل الجدول الآتي مقارنة بين موجات الصوت والموجات الكهرومغناطيسية:

وجه المقارنة / الموجات	موجات الصوت	الموجات الكهرومغناطيسية
الوسط الناقل		
سرعة انتشارها في الهواء		
شكل الموجة		

ملحق

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية Symbols and Units of Some Physical Quantities

الرقم	الكمية الفيزيائية	الرمز المستخدم	وحدة القياس
١	الطول	l	m (meter)
٢	الكتلة	m, M	Kg (Kilogram)
٣	الزمن	t	s (second)
٤	الازاحة	d, x, y, z	m (meter)
٥	الازاحة الزاوية	Θ	rad
٦	نصف القطر	r	(meter)m
٧	طول القوس	s	(meter)m
٨	السرعة الزاوية المتجهة	ω	rad s ⁻¹
٩	التسارع الزاوي	α	rad s ⁻²
١٠	التردد	f	HZ(s ⁻¹)
١١	الزمن الدوري	T	ms ⁻²
١٢	العجلة	a	ms ⁻²
١٣	عجلة الجاذبية	g	ms ⁻²
١٤	القوة	F	N(Newton)
١٥	الطاقة	E	J(Joule)
١٦	الشغل	W	J(Joule)
١٧	الزاوية	α, ϕ, Θ	deg, rad
١٨	عزم القوة	τ	N.m (Newton. Meter)
١٩	عزم القصور الذاتي	I	Kg.m ²
٢٠	كمية التحرك الخطي	$\vec{p}$	Kg.m s ⁻¹

٢١	معامل الإرتداد	e	لا وحدة له (كمية عديمة الأبعاد)
٢٢	القدرة	P	iwatt (J/s)
٢٣	الكثافة	ρ	Kgm ⁻³ (Kilogram)
٢٤	درجة الحرارة	T	Kelvin, Celsius
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الطول الموجي	λ	meter
٢٧	قوة الشد	$\vec{T}$	N(Newton)
٢٨	قوة الإحتكاك	f_s	N(Newton)
٢٩	معامل الإحتكاك السكوني	μ_s	لا وحدة له (كمية عديمة الأبعاد)
٣٠	القوة العمودية	f_N	N(Newton)