كويت جديدة
NEWKUWAIT
وزارة التربية

الفيزياء ١٠

الصف العاشر

الجزء الثاني

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

الفيزياء

كتاب الطالب

الصفّ العاشر ١٠

الجزء الثاني

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. راشد طاهر الشمالي　　أ. مصطفى محمد مصطفى علي

أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي　　أ. سعاد عبد العزيز الرشود

أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٣٩ - ١٤٤٠ هـ

٢٠١٨ - ٢٠١٩ م

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية ـ قطاع البحوث التربوية والمناهج

إدارة تطوير المناهج

معلمي الكويت
صفوف الكويت
KuwaitTeacher.Com

الطبعة الأولى ٢٠١٢ - ٢٠١٣ م
الطبعة الثانية ٢٠١٤ - ٢٠١٥ م
٢٠١٦ - ٢٠١٧ م
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الفيزياء للصف العاشر الثانوي

أ. عاصي محمد نوري العاشور

أ. سامي عبد القوي محمد
أ. عادل عبد العليم العوضي
أ. عنود محمد يوسف الكندري
أ. عنود الطرقي حسيكان الذايدي

دار التَّربَويّون House of Education ش.م.م. وبيرسون إديوكيشن ٢٠١٢

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

معلمي الكويت
صفوة
Kuwaitteacher.Com

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

وفي عهد دولة الكويت

معلمي الكويت
صفوة
Kuwaitteacher.Com

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

مقدمـــــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

KuwaitTeacher.Com

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

صفوة معلمي الكويت
KuwaitTeacher.Com

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الحركة

الوحدة الثانية: المادّة وخواصّها الميكانيكية

الجزء الثاني

الوحدة الثالثة: الاهتزاز والموجات

الوحدة الرابعة: الكهرباء الساكنة والتيّار المستمرّ

صفوة معلمي الكويت
KuwaitTeacher.Com

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الثالثة: الاهتزاز والموجات	**12**
الفصل الأوّل: الموجات والصوت	**13**
الدرس 1–1: الحركة التوافقية البسيطة	**14**
الدرس 1–2: خصائص الحركة الموجية والصوت	**19**
مراجعة الوحدة الثالثة	**35**

صفوة معلمي الكويت
KuwaitTeacher.Com

الوحدة الرابعة: الكهرباء الساكنة والتيّار المستمرّ	**41**
الفصل الأوّل: الكهرباء الساكنة	**42**
الدرس 1–1: الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)	**43**
الدرس 1–2: الموصّلات والعوازل وطرق الشحن	**49**
الدرس 1–3: الشحن بالتأثير (الحث) واستقطاب الشحنة	**52**
الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية	**57**
الدرس 2–1: التيّار الكهربائي ومصدر الجهد	**58**
الدرس 2–2: المقاومة الكهربائية – قانون أوم	**62**
الدرس 2–3: القدرة الكهربائية	**67**
الدرس 2–4: الدوائر الكهربائية	**70**
مراجعة الوحدة الرابعة	**80**

صفوة معلمي الكويت
KuwaitTeacher.Com

يُظهر اصطدام الموجات على الشاطئ الطاقة الكبيرة التي تنقلها الموجة من مكان إلى آخر .

اكتشف بنفسك

ما هي الموجات؟

لكي تعرف أسباب الموجة وخصائصها أجر النشاط التالي:

1. املأ وعاءً قليل الارتفاع بحوالى cm (3) من الماء .
2. بواسطة قلم رصاص ، المس سطح الماء مرّتين في الثانية لمدّة دقيقة . ارسم الشكل الذي تراه .
3. قم بزيادة عدد المرّات التي يلمس بها القلم سطح الماء في الثانية الواحدة . ارسم الشكل الذي تراه .

اعتمادًا على ملاحظتك:

1. قارن بين شكل الموجة التي أحدثتها في الخطوة 2 وشكل الموجة التي أحدثتها في الخطوة 3 .
2. ما هو السبب الرئيسي لحدوث الموجة؟
3. ما هي الخاصّة التي نتجت من حركة القلم عدّة مرّات في زمن محدّد؟
4. متى كانت قمم الموجات أقرب إلى بعضها؟ هل عندما كان عدد الاهتزازات في الثانية أكثر أم أقلّ؟
5. ما العلاقة التي يُمكن أن تستنتجها بين عدد الاهتزازات الحادثة خلال الثانية والمسافة بين قمّتين متتاليتين؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

- الموجات والصوت

أهداف الوحدة

- يُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها .
- يعدد بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة .
- يستنتج الخصائص العامّة للموجات .
- يُعرّف انعكاس الصوت وانكساره .
- يُعرّف تداخل الصوت وحيوده .
- يُعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة) .
- يصف اهتزاز الأوتار ويذكر العوامل التي يتوقّف عليها تردّد الوتر المهتزّ .
- يصف اهتزاز الأعمدة الهوائية ويعرف الرنين .
- يكتسب مهارة القيام ببعض الأنشطة المخبرية .

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك! ما هي الموجات؟

توظيف الفيزياء: اختصاصيّو الزلازل

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: تطبيقات على انعكاس الصوت

توظيف الفيزياء: ضابط الشرطة

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: صحّتك والضوضاء

توظيف الفيزياء: الخفّاش

توظيف الفيزياء: الفيزياء تُخفّف الضوضاء أو تُلغيها

نشاط إثرائي: الضربات

KuwaitTeacher.Com

دروس الفصل
الدرس الأوّل
* الحركة التوافقية البسيطة
الدرس الثاني
* خصائص الحركة الموجية والصوت

الاهتزازات تحمل طاقة

معظم الأشياء من حولنا تتذبذب وتهتزّ، حتّى الأشياء الصغيرة جدًّا مثل جزيئات المادّة تهتزّ وتحتاج إلى وقت لتتحرّك بين نقطتين. عندما تطرق جرس مثلًا، ستتابع الاهتزازات لفترة معيّنة قبل أن تتلاشى.

الموجة هي إنتقال الحركة الإهتزازية عبر جزيئات الوسط.

فالموجة تنتشر في وسط ما حيث تنتقل من مكان إلى آخر. عندما تتحرّك الموجة، ما الذي ينتقل بالفعل؟ هل تنتشر جزيئات الوسط المادّي؟ أم شيء آخر؟

إذا رميت حجرًا في بركة ماء ستُلاحظ تشكّل دوائر عند نقطة ملامسة الحجر للسطح، ثمّ تتّسع هذه الدوائر تدريجيًّا منتشرة في اتّجاه جوانب البركة، فهل تنتقل جزيئات الماء؟ بالطبع لا تنتقل جزيئات الوسط، ولكنّ طاقة الاضطراب الحاصل في الوسط هي التي تنتقل من مكان إلى آخر.

تجدر الإشارة إلى أنّ الصوت والضوء هما شكلان من أشكال الطاقة التي تنتشر في الوسط بشكل موجي.

في هذا الفصل، سوف نشرح خصائص الموجات بشكل عامّ، من انتشار وانعكاس وانكسار وحيود وتداخل. وسنتطرّق إلى الصوت كتطبيق خاصّ على الموجات، وسنُعيّن سرعته، من اهتزاز الأوتار والرنين في الأعمدة الهوائية، من خلال تجارب وأنشطة وعلاقات فيزيائية بسيطة.

معلمة الكويت
KuwaitTeacher.Com

الدرس 1-1

الحركة التوافقية البسيطة
Simple Harmonic Motion

الأهداف العامة

- يُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها.
- يتعرّف بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة.
- يستنتج العلاقة بين الجانب المعرفي للعلوم والجانب التطبيقي منها وأهميّتها في تنمية المجتمع.

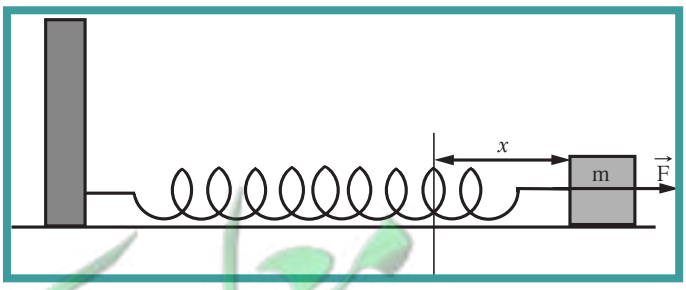
درسنا في سياق سابق أنّ بعض أنواع الحركة قد يُكرر نفسه، مثل حركة أرجوحة الأطفال أو حركة أوتار الآلات الموسيقية. وقد عرّفنا هذه الحركة بالحركة الاهتزازية (Oscillatory motion)، وعرّفنا **الحركة الاهتزازية التي تُكرر نفسها في فترات زمنية متساوية بالحركة الدورية Periodic motion**.

لكن ما هي الحركة التوافقية البسيطة؟ وهل كلّ حركة دورية اهتزازية تُعَدّ حركة توافقية بسيطة؟

في هذا الدرس، سنُجيب عن هذه الأسئلة وسنُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ونُمثّلها بيانيًّا ونذكر خصائصها.

1. الحركة التوافقية البسيطة
Simple Harmonic Motion

لنأخذ جسمًا كتلته (m) ونربطه بنهاية نابض ليتحرّك على سطح أفقي أملس كما في (شكل 1).



(شكل 1)

عندما نقوم بشدّ الكتلة بقوّة $(\vec{F})$ فإنّها تتحرّك مبتعدة عن موضع الاتّزان ويستطيل النابض بإزاحة مقدارها (x) عن موضع الاتّزان. وعندما نترك الجسم، يُؤثّر النابض على الكتلة بقوّة تُسمّى قوّة الإرجاع Restoring force ليُعيدها إلى موضع الاتّزان.

KuwaitTeacher.Com

وتكون قوّة الارجاع مساوية للقوّة المؤثّرة من حيث المقدار وعكسها من حيث الاتّجاه، كما أنّ هذه القوّة تتناسب طرديًّا مع إزاحة الجسم المهتزّ. تتكرّر هذه الحركة في فترات زمنية متساوية وتستمرّ في غياب الاحتكاك فوق السطح الأملس بسبب قوّة الإرجاع تلك تنشأ حركة اهتزازية تُسمّى الحركة التوافقية البسيطة.

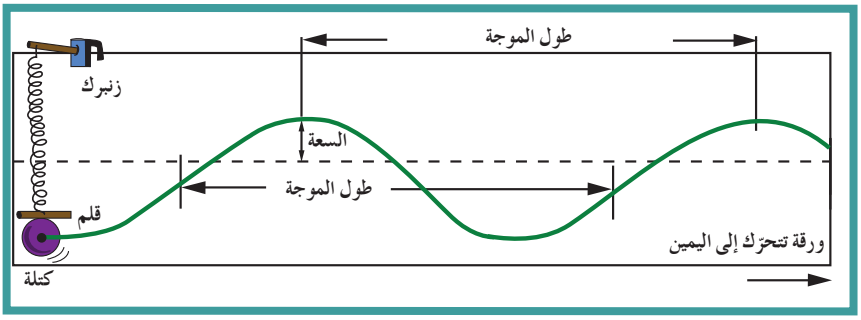
لذا يُمكن تعريف **الحركة التوافقية البسيطة Simple harmonic motion بأنّها حركة اهتزازية تتناسب فيها القوّة المعيدة (قوة الإرجاع) طرديًّا مع الإزاحة الحادثة للجسم وتكون دائماً في اتّجاه معاكس لها (عند إهمال الاحتكاك).**

1.1 تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانيًّا

Graphic Representation of the Harmonic Motion

اربط كتلة مثبت بها قلم بنابض معلّق بشكل رأسي بحيث إنّ القلم الموجود في الكتلة قادر على تكوين رسم بياني على ورقة موضوعة قرب النظام ،ويُمكن سحبها بشكل أفقي وبسرعة ثابتة كما في (شكل 2).

اسحب الكتلة نحو الأسفل بإزاحة محدّدة واتركها لتهتزّ حول موضع الاتّزان.



(شكل 2)

ستُلاحظ أنّ القلم قد رسم على الورقة رسمًا بيانيًّا للعلاقة بين المسافة والزمن، يتّخذ شكل منحنى جيبي بسيط. وعليه، يمكننا أن نقول أنّ الحركة التوافقية البسيطة هي الحركة التي تُمثَّل بمنحنى جيبي بسيط.

2.1 خصائص الحركة التوافقية البسيطة

Characteristics of the Simple Harmonic Motion

من خلال (شكل 2) الذي يُمثّل الحركة التوافقية البسيطة، يُمكننا أن نستنتج خصائص الحركة التوافقية البسيطة وهي:

- **السعة A: هي نصف المسافة التي تفصل بين أبعد نقطتين يصل إليهما الجسم المهتز، أي أكبر إزاحة للجسم عن موضع سكونه (إتزانه).**
- **التردّد f: هو عدد الاهتزازات الكاملة الحادثة في الثانية الواحدة ويُقاس بوحدة الهرتز Hz.**

KuwaitTeacher.Com

- **الزمن الدوري T: هو زمن دورة كاملة ويُقاس بحسب النظام الدولي (SI) بوحدة الثانية.** أظهرت التجارب أنّه يُمكن احتساب الزمن الدوري باستخدام العلاقة التالية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

علمًا أنّ m هي كتلة الجسم و k هو ثابت هوك.

- **السرعة الزاوية ω: وهي مقدار الزاوية التي يمسحها نصف القطر في الثانية الواحدة. (وتقاس بوحدة rad/s)**
- **زاوية الطور ϕ: وهي الإزاحة الدائرية في لحظة $t = 0$.**

اعتمادًا على الرسم البياني للإزاحة والزمن، ومن شكل اقتران الجيب الذي ندرسه في الرياضيات تُكتَب معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة على النحو التالي: $y = A \sin(\omega t + \phi)$

مثال (1)

يتحرّك جسم بحركة توافقية بسيطة وتُعطى إزاحته (cm) بالعلاقة التالية: $y = 15\sin(10t + \pi/4)$. حيث تقاس الأبعاد بوحدة (cm) والأزمنة (s) والزوايا (rad)

احسب: **(أ)** السعة **(ب)** التردّد **(جـ)** الزمن الدوري

طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل:** اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: الإزاحة بالنسبة إلى الزمن

غير المعلوم: **(أ)** السعة: $A = ?$ **(ب)** التردّد: $f = ?$

(جـ) الزمن الدوري: $T = ?$

2. **احسب غير المعلوم:**

بالمقارنة مع المعادلة العامّة يُمكن أن نستنتج أنّ:

(أ) السعة: $A = 15\,cm$

(ب) التردّد: $\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{10}{2\pi} = \frac{5}{\pi}\,Hz$

(جـ) الزمن الدوري: $T = ?$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\pi}{5}\,s$$

3. **قيّم:** هل النتيجة مقبولة؟

نعم، يمكن تحقيق النتائج عمليًّا.

نشاط توضيحي

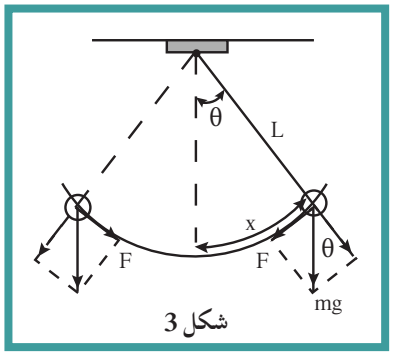
- اربط ثقلًا في نهاية خيط طوله حوالى 1 m.
- حرّك الخيط ذهابًا وإيابًا تحصل على بندول بسيط.
- عيّن التردّد والزمن الدوري كما يلي:
- احسب زمن 10 ذبذبات كاملة مثلًا.
- كرّر باحتساب زمن 20 ذبذبة كاملة أيضًا. ستجد في كلّ الأحوال أنّ زمن الذبذبة الواحدة ثابت، وذلك بقسمة الزمن الكليّ على عدد الذبذبات الكاملة.
- أضف ثقلًا جديدًا إلى الثقل الأصلي للبندول من دون تغيير طول خيط البندول.
- احسب الزمن الدوري وزمن الذبذبة، ستجد أنّه ثابت ولا يتوقّف على الثقل. ثمّ احسب التردّد وهو مقلوب الزمن الدوري.

هل تعلم؟

أوّل من اخترع البندول المُستخدَم في الساعة هو أبو سعيد بن يونس المصري، حوالى عام 1000م. وأوّل ساعة بندولية اخترعها الهولندي كريستان هايغنز عام 1657م.

معلمي الكويت
KuwaitTeacher.Com

3.1 تطبيقات عملية للحركة التوافقية البسيطة



شكل 3

البندول البسيط عبارة عن ثقل معلّق في نهاية خيط مهمل الوزن وغير قابل للتمدّد طوله L، ويكون طرفه الآخر مثبّتًا بنقطة ثابتة الشكل (شكل 3).
نُحرّك الثقل حركة بسيطة لا تبعد كثيرًا عن موضع الإتزان (لا تزيد عن 10^{o}) وندعه يعود إلى موضع الاتّزان تحت تأثير مركبة الثقل التي تُساوي قيمتها $F = -mg\sin\theta$، وذلك لأن قوّة شدّ الخيط متعامدة مع اتّجاه الحركة، والمركبة سالبة لأنّ مركبة القوّة تكون دائمًا باتّجاه عكس الإزاحة x. فنجد أنّ القوّة المحرّكة للبندول البسيط تُشبه القوّة المحرّكة لنظام الكتلة والنابض. لذلك، فإنّ حركة البندول هي حركة توافقية بسيطة في غياب أيّ احتكاك.
يُمكن التحقّق من الزمن الدوري للبندول البسيط عبر احتسابه باستخدام القاعدة الرياضية التالية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

علمًا أنّ L تُساوي طول الخيط وg عجلة الجاذبية الأرضية.
من خلال العلاقة السابقة، نجد أنّ الزمن الدوري لا يتأثّر بكتلة ثقل البندول ولكنّه يتأثّر بطوله. كذلك لا يتأثّر الزمن الدوري بسعة الحركة شرط ألّا تزيد زاوية الاهتزاز عن عشر درجات.

مثال (2)

احسب الزمن الدوري لبندول بسيط طوله (20) cm علمًا بأن عجلة الجاذبية الأرضية تُساوي $(10)\ m/s^2$.

طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل:** اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: طول الخيط: $L = 20\ cm$
عجلة الجاذبية الارضية: $g = 10\ m/s^2$
غير المعلوم: الزمن الدوري: $T = ?$
2. **احسب غير المعلوم:**
باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$T = 2 \times 3.14 \times \sqrt{0.2/10} = 0.89\ s$
3. **قيّم:** هل النتيجة مقبولة؟
نعم إذا تمّت مقارنتها مع النتائج في المختبر.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. عُلّق جسم كتلته (200)g بنابض معلّق رأسيًّا، وحينما اتّزن الجسم سُحب ثمّ تُرِك ليهتزّ، فأكمل (40) اهتزازة خلال (4) ثوانٍ. إذا علمت أنّ عجلة الجاذبية الأرضية تساوي $10m/s^2$، احسب:
(أ) تردّد النابض
(ب) الزمن الدوري للنابض
(جـ) ثابت النابض
النتائج: (أ) 10Hz
(ب) 0.1 s
(جـ) 800 N/m
2. تحرّك جسم حركة توافقية بسيطة حسب العلاقة:
$y = 5\sin(100\pi t)$
حيث تقاس الأبعاد بوحدة (m)، الأزمنة (s)، الزوايا (rad).
احسب:
(أ) زاوية الطور
(ب) السرعة الزاوية
(جـ) التردّد
النتائج: (أ) $\phi = 0$
(ب) $\omega = 100\pi$ rad/s
(جـ) $f = (50)$Hz

معلمة الكويت
KuwaitTeacher.Com

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – عرّف المصطلحات التالية:
الحركة التوافقية البسيطة – سعة الإهتزازة– التردّد – الزمن الدوري

ثانيًا – احسب الزمن الدوري لجسم يهتزّ بتردّد (100)Hz .

ثالثًا – بندول بسيط طول خيطه (1)m وكتلة كرته (50)g ، احسب:
(أ) الزمن الدوري لحركة البندول
(ب) الزمن الدوري للبندول إذا زادت كتلة الكرة إلى المثلين
(جـ) الزمن الدوري للبندول إذا وُضِع على كوكب آخر عجلة جاذبيته خمسة أمثال عجلة جاذبية الأرض

رابعًا – عُلِّق جسم كتلته (200)g بنابض ثابت القوة لمرونته $k = 100\,N/m$. سحب الجسم رأسيًا لأسفل مسافة (10)cm عن موضع إتزانه وتُرك ليتحرك حركة توافقية بسيطة . احسب الزمن الدوري لهذه الحركة .

خامسًا – إذا أُعطِيت استخدامهم من كرة معدنية وخيطًا رفيعًا وساعة إيقاف ، اشرح كيف يُمكنك حساب عجلة الجاذبية الأرضية .

سادسًا – عُلِّقت كتلة غير معلومة بنابض ثابت مرونته (200)N/m وتُركت لتهتزّ بحركة توافقية بسيطة . احسب مقدار هذه الكتلة إذا كان التردّد يُساوي (6)Hz .

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

الدرس 1-2

خصائص الحركة الموجية والصوت
Characteristics of Wave Motion and Sound

الأهداف العامة

- يتعرّف الخصائص العامّة للموجات .
- يُعرّف معنى انعكاس الصوت وانكساره .
- يُعرّف معنى تراكب الصوت وتداخله وحيوده .
- يُعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة) .
- يُدرك اهتزاز الأوتار والعوامل التي يتوقّف عليها تردّد الوتر المهتزّ .
- يُعرّف اهتزاز الأعمدة الهوائية ومعنى الرنين في الصوت.
- يكتسب مهارة القيام ببعض الأنشطة البسيطة مثل: تحقيق قانون انعكاس الصوت ؛ بيان تداخل الصوت والموجات الموقوفة ؛ تعيين سرعة الصوت باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية .

إذا تأمّلنا من حولنا لوجدنا يوميًّا الكثير من الظواهر الموجية، ابتداءً من اضطراب سطح الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه وصولًا إلى حركة أمواج البحار . كما أنّ معظم المعلومات تصلنا على شكل موجات تنقل الطاقة من المصدر المهتزّ إلى المستقبِل البعيد . يحدث ذلك من دون انتقال المادّة وبسرعة تعتمد على نوع الموجة والوسط الذي تنتقل خلاله . فالصوت عبارة عن طاقة تصل أذننا على شكل موجة ميكانيكية، والضوء طاقة تلتقطها أعيننا على شكل موجة كهرومغناطيسية وكذلك الإشارات التي تستقبلها أجهزة الراديو والتلفاز تنتقل على شكل موجات كهرومغناطيسية .

في هذا الدرس، سنتعلّم خصائص الموجات بشكل عامّ، والموجات الصوتية بشكل خاصّ . وسندرس كيفية توليد الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة والأعمدة الهوائية .

1. خصائص الموجات Characteristics of Waves

تنتشر الموجات في خطّ مستقيم وفي جميع الاتّجاهات .

بغضّ النظر عن نوع الوسط، فإنّ سرعة انتشار الموجة وتردّدها وطولها الموجي ترتبط معًا بالمعادلة التالية:

سرعة الموجة = الطول الموجي × التردّد

أي $\boxed{v = \lambda . f}$

هناك نوعان من الموجات: منها ما يُسمّى **بالموجات المستعرضة Transverse waves بحيث تكون حركة جزئيات الوسط عمودية على إتجاه إنتشار الموجة كالموجات المائية**، ومنها ما يُسمّى **بالموجات الطولية Longitudinal waves حيث تتحرّك جزئيات الوسط من نفس إتجاه إنتشار الموجة . وتنتشر على هيئة تضاغطات وتخلخلات.**

توظيف الفيزياء

اختصاصيّو الزلازل

عندما يحدث زلزال، فإنّ انطلاق الطاقة المفاجئ يُحدث موجات . يدرس اختصاصيو الزلازل هذه الموجات لمعرفة مكان الزلزال واحتساب شدّته، فيقارنون بين سرعة الموجة الطولية الأوّلية والموجة المستعرضة الثانوية وسعتيهما . يُمكن لاختصاصي الزلازل وصف الزلازل، والتعرّف على نشأة الأرض، والتنبّؤ بحدوث زلازل في المستقبل .

KuwaitTeacher.Com

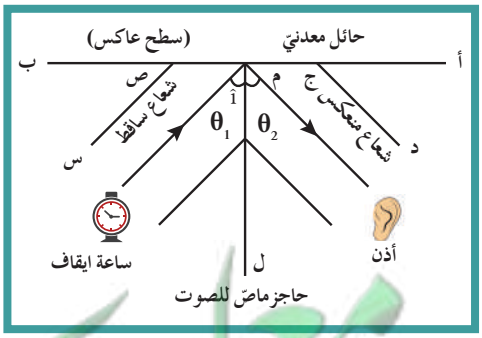
- تنعكس الموجات على السطوح العاكسة محققة قوانين الانعكاس.
- تنكسر الموجات عند إنتقالها بين وسطين مختلفين محققة قوانين الانكسار.
- من خصائص الموجات ما يُعرف بالتراكب والتداخل والحيود. سوف نتطرّق إلى هذه الظواهر في سياق هذا الدرس.

2. انعكاس الصوت وانكساره
Sound Refraction and Diffraction

يُعرَف الصوت عادة بأنّه أيّ اضطراب ينتقل في الوسط نتيجة إهتزازه. بحيث تتحرّك طبلة الأذن على شكل اهتزازات تنتقل بعد تكبيرها عن طريق العصب السمعي إلى المخّ الذي يُترجم هذه الاهتزازات إلى أصواتها الأصلية. والصوت موجات طولية ميكانيكية لا يُمكن أن تحدث إلّا في وجود وسط ناقل للموجات. ومن الظواهر التي تُميّز الصوت أثناء انتقاله نذكر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

1.2 انعكاس الصوت Sound Reflection

هو ارتداد الصوت عندما يُقابل سطحًا عاكسًا. يحدث انعكاس الصوت عادة عندما تصل الموجات الصوتية إلى السطح الفاصل بين وسطين، فتنقسم الطاقة الصوتية عند السطح الفاصل إلى ثلاثة أقسام: قسم منها ينفذ في الوسط الجديد ويُعاني انكسارًا نتيجة لانتقاله من وسط إلى آخر، وقسم ينعكس عن السطح الفاصل بزاوية مساوية لزاوية السقوط، حيث ترتدّ الموجات الصوتية إلى الوسط الذي جاءت منه، وقسم ثالث يُمتَصّ.
في ما يتعلّق بالقسم الذي ينعكس (شكل 4)، كلّما كان الوسط الجديد صلبًا، زاد القسم المنعكس من الطاقة الصوتية مثل الحديد والخشب. أمّا إذا كان الوسط الجديد من الصوف أو القماش، فإنّ معظم الطاقة الصوتية تُمتَصّ بهذه الموادّ.



(شكل 4)

قانونا انعكاس الصوت

1. **الشعاع الصوتي الساقط والشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.**
2. **زاوية السقوط تُساوي زاوية الانعكاس أي $[\theta_1 = \theta_2]$.**

توظيف الفيزياء

ضابط الشرطة

ضبّاط الشرطة مسؤولون عن حماية الناس من المجرمين، وضبط سائقي السيّارات الذين يُخالفون حدود السرعة وذلك باستخدام أجهزة الرادار، ويتمّ ذلك بإرسال موجات في اتّجاه السيّارات لاحتساب سرعتها. ويُمكن لضابط الشرطة أيضًا معرفة مدى التزام السائق بالسرعات المحدّدة على الطرقات.

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع

صحّتك والضوضاء

نحن نُحاول حماية أعيننا من الضوء الشديد، ولكن لا نُعير مثل هذا الاهتمام لآذاننا. فقرب الأذن من مكبّرات الصوت في الحفلات الصاخبة يُسبّب آلامًا شديدة للأذن، وقد تفقد الأذن الحساسية في تمييز الأصوات المختلفة.
وفي مجال الصناعة، قد تتأذّى الأذن بسبب المحرّكات والمطارق والمناشير التي تُصدر أصواتًا مستمرّة عالية الشدّة، أي طاقات عالية يُمكن أن تُدمّر خلايا الأذن الداخلية التي لا يُمكن تعويضها.

KuwaitTeacher.Com

2.2 تطبيقات على انعكاس الصوت

(أ) ظاهرة الصدى

هل وقفت مرّة في مكان فسيح، وتكلّمت بصوت عالٍ وسمعت صوتك يعود إليك مرةً ثانية؟ هل صرخت مرّة بصوت عالٍ أمام مبنىً كبير بعيد عنك؟ عودة الصوت مرّة ثانية إليك وسماعه بعد انعكاسه تُسمّى ظاهرة صدى الصوت.

ويُعرَف الصدى بأنّه تكرار سماع للصوت الأصلي نتيجة لانعكاس الموجات الصوتية، ويُسمَع بوضوح بعد زوال التأثير الذي يُحدثه الصوت الأصلي على الأذن.

شرط تمييز (سماع) صدى الصوت

حيث إنّ الإحساس بالصوت في الأذن يستمرّ لمدّة $\left(\frac{1}{10}\right)$ s بعد وصول الصوت إلى طبلة الأذن، فإذا وصل الصوت المنعكس إلى الأذن في زمن أقلّ من $\left(\frac{1}{10}\right)$ s بعد وصول الصوت الأصلي إليها، لا تستطيع الأذن العادية تمييز الصوت الأصلي عن الصوت المنعكس.

أمّا إذا وصلت الموجات الصوتية المنعكسة إلى الأذن بعد زمن يزيد عن $\left(\frac{1}{10}\right)$ s على وصول الصوت الأصلي إليها، فإنّ تأثير الصوت الأصلي يكون قد زال من الأذن ونسمع الصوت المنعكس بوضوح.

وحيث إنّ سرعة الصوت في درجة الحرارة العادية (20)°C تُساوي (340) m/s تقريبًا، فإنّ المسافة التي يقطعها الصوت خلال $\left(\frac{1}{10}\right)$ s تُعادل

$340 \times \frac{1}{10} = (34)$ m، أي أنّ البعد بين السامع (الأذن) والسطح العاكس يجب ألّا يقلّ عن $\frac{34}{2}$ أي (17)m (تساوي المسافة ذهابًا وإيابًا 34 m).

أمّا إذا كانت المسافة بين الأذن والسطح العاكس أقلّ من (17)m، فلن نسمع صدى الصوت بوضوح. تتغيّر هذه المسافة بتغيّر سرعة الصوت نتيجة تغيّر درجة الحرارة.

(ب) تسليط أو تركيز الصوت

عندما ينعكس الصوت عن سطح مقعّر فإنّه يتجمّع في بؤرة (مثل الضوء)، وذلك يزيد من وضوح الصوت وشدّته. ويجب ألّا يتجاوز مساحة السطح المقعّر حدًّا معينًا لمنع حدوث التشويش للصوت نتيجة انعكاسه عليه.

ويتمّ تزويد المسارح والقاعات الكبيرة بجدران خلفية مقعّرة لعكس الأصوات التي ترتدّ إلى الصالة أو القاعة وتزيد وضوح الصوت. وقد استخدم المهندسون المسلمون قديمًا هذه الخاصّية لتقوية الصوت خاصّة في أيّام الجمع والأعياد لنقل صوت الخطيب والإمام إلى جميع أنحاء المسجد. وقد حدث ذلك في المسجد الكبير، فسقفه وجدرانه مقعّرة بحيث يضمن توزيع الصوت على كافة أنحاء المسجد بوضوح.

(جـ) نقل الصوت بالأنابيب

يتمّ ذلك بهدف جمع الطاقة الصوتية ونقلها باستخدام موادّ ذات معاملات امتصاص صغيرة، من أجل تقليل الطاقة الصوتية التي تمتصّها جدران الأنابيب، ومن تطبيقات هذه الخاصّية سمّاعة الطبيب والبوق.

توظيف الفيزياء

الخفّاش

يستخدم الخفّاش الأمواج الصوتية المنعكسة (الصدى) لاصطياد الحشرات، وذلك بإرسال موجات صوتية في اتّجاه الحشرات واستقبالها بعد انعكاسها، فيُحدّد مكانها ويسهل عليه اصطيادها (نهارًا أو ليلًا).

KuwaitTeacher.Com

إثراء

الصوتيات المعمارية (هندسة الصوت)

ذكرنا في ما سبق أنّ تأثير الصوت على أذن الإنسان السليم يستمرّ $\left(\frac{1}{10}\right)$s بعد انتهاء الصوت. إذا كانت جملة صوتية لمدّة (0.5)s، فإنّ تأثيرها على أذن السامع يستمرّ لمدّة (0.6)s = 0.5 + 0.1. وإذا كانت سرعة الصوت على درجة حرارة المكان تُساوي (340)m/s، فإنّ الصوت يقطع خلال فترة التأثير على الأذن مسافة تُساوي:

$0.6 \times 340 = (204)\text{m}$.

لنفترض أنّ مصدر الصوت يحدث في قاعة طولها $\frac{204}{2} = (102)\text{m}$ أو أكثر. في هذه الحالة، نسمع صدى الصوت واضحًا للجملة الصوتية. أمّا إذا كان طول القاعة أقلّ من (102)m، فيحدث تشويش وتداخل بين أوّل الجملة الصوتية وآخرها، ولا يُمكننا تمييز صدى الصوت بوضوح، فيحدث ما يُسمّى بترديد الصوت.

لذلك نجد أنّ المهندسين المعماريين يُحاولون التخلّص من هذا التشويش الذي يُسبّب عدم وضوح الصوت، ويعود ذلك إلى زمن الترديد، وهو الزمن اللازم لانخفاض شدّة الصوت إلى (10^{-6}) من قيمته الأصلية، والذي على أساسه تتميّز القاعات والمسارح صوتيًّا. ويعتمد زمن ترديد الصوت في قاعة ما على حجم القاعة وشكلها ومساحة جدرانها، وعلى قدرتها على امتصاص الصوت، وعلى الغرض الذي تُستخدَم فيه القاعة. مثلًا، في حالة استخدام مكبّرات الصوت في صالة احتفالات، يكون زمن الترديد (1)s. وفي المسارح يصل زمن الترديد إلى (2.5)s.

ويُمكن تصحيح الهندسة الصوتية لقاعة ما باستخدام ألواح من مادّة ماصّة للصوت (شكل 5)، مثل الفلين والجبس والنسيج الزجاجي. توضَع هذه المادّة على السقف والجدران لتقليل ترديد الصوت وتحسين الحالة الصوتية. لكن ترديد الصوت غير مستحبّ في استديوهات الإذاعة والتسجيل، لذلك تُستخدَم غرف تُسمّى غرفًا ماصّة للصوت أو غرفًا صمّاء.

(شكل 5)
ماصّ للصوت من مادّة البولي يوريثان

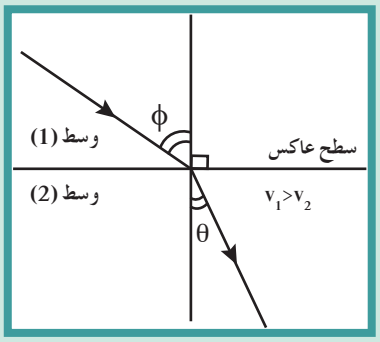
3.2 انكسار الصوت Sound Refraction

انكسار الصوت هو التغيير في مسار الموجات الصوتية عند انتقالها بين وسطين مختلفي الكثافة مثل الهواء وثاني أكسيد الكربون. ويحدث انكسار الصوت نتيجة اختلاف سرعتي الصوت في الوسطين، أي أنّ:

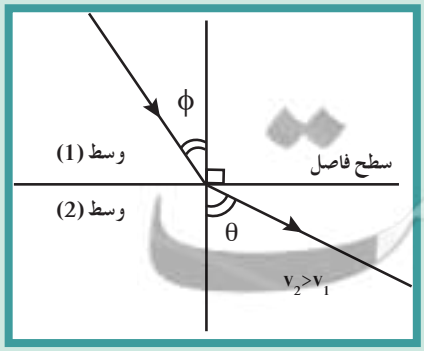
$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

ومن خلال (شكل 6) نجد أنّ: ($\phi > \theta$)

ينكسر الشعاع الساقط مقتربًا من العمود المقام على السطح الفاصل، وذلك عندما تكون سرعة الصوت في الوسط الأوّل (v_1) أكبر من سرعته في الوسط الثاني (v_2).



(شكل 6)



(شكل 7)

KuwaitTeacher.Com

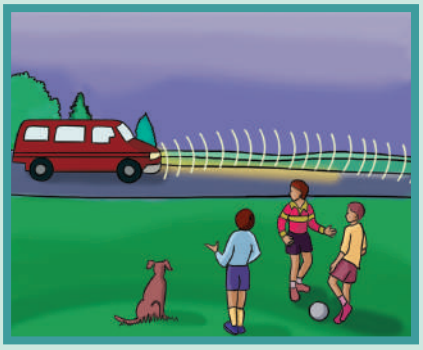
ويحدث العكس في (شكل 7) حيث ينكسر الشعاع الساقط مبتعدًا عن العمود على السطح الفاصل وذلك عندما تكون سرعة الصوت في الوسط الأوّل (v_1) أقلّ من سرعته في الوسط الثاني (v_2).

تحدث ظاهرة الانكسار في الهواء الذي يحيط بسطح الأرض لأنّه غير متجانس الحرارة.

فدرجة حرارته قرب السطح تكون في النهار أكبر من درجة حرارة الطبقات العليا والعكس في الليل. نتيجة لذلك، تكون سرعة الصوت مختلفة بين طبقات الهواء ذات الدرجات الحرارية المختلفة، فيحدث انكسار لموجات الصوت كما في (شكل 8) حيث سرعة انتشار الصوت في الهواء الساخن أكبر منها في الهواء البارد. لذلك، يستطيع الأولاد سماع الصوت الصادر من السيّارة في الليل من مسافة بعيدة ولا يستطيعون سماعه في النهار.

ملاحظة: يُمكن للصوت أن ينكسر بتأثير الرياح أيضًا.

أثناء النهار



أثناء المساء (الليل)

(شكل 8)

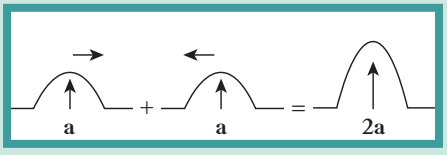
يختلف انكسار الصوت في الهواء باختلاف درجة حرارة طبقات الهواء.

3. تراكب الموجات Waves Superposition

ماذا يحدث عندما تلتقي موجتان أو أكثر في الوسط نفسه؟ وهل يُمكن لهاتين الموجتين أن تنتشرا بطريقة تكون فيها كلّ منها مستقلّة عن الأخرى؟

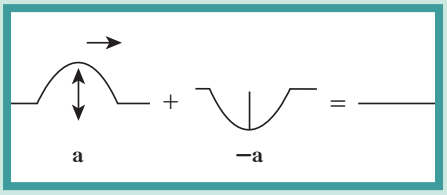
إنّ الموجات ذات النوع الواحد (ميكانيكية مثلًا) تعبر بعضها بعضًا من دون أن تتأثّر وتتجمّع عندما تلتقي في نقطة تُسمّى **نقطة التراكب Superposition**. فتُساوي الإزاحة الكلّية الناتجة مجموع الإزاحات لهذه الموجات. وبعد عبور الموجات نقطة التراكب، تستعيد كلّ موجة شكلها وتُكمل بالاتّجاه الذي كانت تسلكه ويُسمّى هذا مبدأ التراكب.

وإذا كانت موجتان من نوعين مختلفين (ميكانيكية وكهرومغناطيسية مثلًا) فلا يُمكنهما تحقيق مبدأ التراكب. يُفسّر مبدأ التراكب كيف يُمكننا سماع شخص بوضوح بالرغم من أنّ صوته تقاطع مع أصوات أخرى.



(شكل 9)

تداخل بنائي حيث تدعم الموجات بعضها



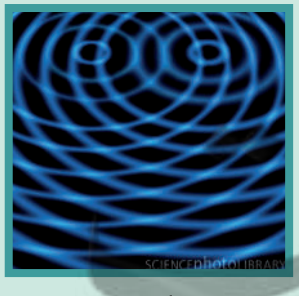
(شكل 10)

تداخل هدمي حيث تلغي الموجات بعضها

4. تداخل الموجات Waves Interference

التداخل Interference هو نتيجة التراكب بين مجموعة من الموجات من نوع واحد ولها التردّد نفسه. يحدث مع كلّ أنواع الموجات بما في ذلك موجات سطح الماء والموجات الصوتية وغيرها. وللحصول على نمط تداخل واضح ومستمرّ، لا بدّ أن يكون للموجات المتداخلة السعة نفسها.

وهناك نمطان من التداخل: الأوّل هو التداخل البنائي حيث تدعم الموجات بعضها فتقوى، كالتقاء قمّتين مثلًا (شكل 9). والنمط الثاني هو التداخل الهدمي حيث تُلغي الموجات بعضها كالتقاء قمّة موجة مثلًا مع قاع موجة أخرى (شكل 10). يسهل رؤية تداخل الموجات على سطح الماء عندما يُلامس جسمان مهتزّان سطح الماء بالتردّد والسعة نفسهما (شكل 11).



(شكل 11)

تداخل ناتج عن تراكب أمواج الماء من مصدرين مهتزّين.

KuwaitTeacher.Com

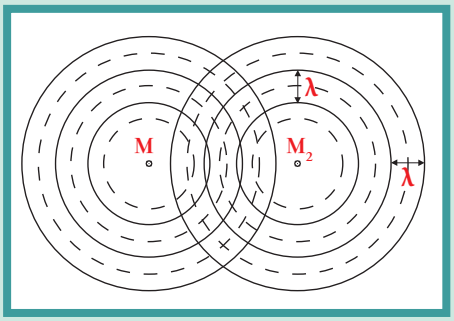
أنصاف الأقطار الداكنة هي نقاط تتفّق في أنّ فرق المسير يُساوي:
$\Delta S = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ حيث ... $n = 0, 1, 2, 3$ هو صفر أو عدد صحيح تُمثّل أنصاف الأقطار هذه تداخلًا هدميًّا حيث تتراكب فيها قمّة موجة معيّنة مع قاع موجة أخرى، وتكون النتيجة مناطق سعتها صفر. ويُمكننا القول إنّها موجات غير متّفقة في الطور.

أمّا المناطق المضاءة فهي نقاط تتّفق في أنّ فرق المسير يُساوي:
$\Delta S = n\lambda$ حيث ... $n = 0, 1, 2, 3$ هو عدد صحيح
تُمثّل هذه المناطق تداخلًا بنائيًّا حيث تصل الموجات بحالات متّفقة الطور قمّة مع قمّة أو قاع مع قاع.

أمّا بالنسبة إلى تداخل الموجات الصوتية، فيُمكن دراسته بالمقارنة مع التداخل على سطح الماء. فإنّ قمّة الموجة في الموجات المستعرضة على سطح الماء تُقابل التضاغط في موجات الصوت الطولية، وكذلك يُقابل القاع التخلخل ويُؤثّر في شدّة الصوت.

لنأخذ مصدرين صوتيين نقطيين M_1 وM_2 (شكل 12) يطلقان أمواجًا لها التردّد نفسه والسعة نفسها. وحيث إنّ أمواج الصوت أمواج طولية تتكوّن من تضاغطات وتخلخلات، تُمثّل الدوائر المتّصلة النهايات العظمى للتضاغطات، وتُمثّل الدوائر المتقطّعة النهايات العظمى للتخلخلات. يُساوي الطول الموجي (λ) المسافة بين أيّ قوسين متّصلين متتاليين، أو المسافة بين أيّ قوسين متقاطعين متتاليين. ونتيجة لتراكب الحركتين الموجيتين المتساويتين في التردّد والسعة، توجد بعض المواضع التي تلتقي فيها التضاغطات من المصدر M_1 مع تضاغطات المصدر M_2، أو تلتقي فيها تخلخلات من المصدر M_1 مع تخلخلات من المصدر M_2 وتتّفق هذه النقاط في أنّ فرق المسير يُساوي $\Delta S = n\lambda$ حيث:
... $n = 0, 1, 2, 3$ هو عدد صحيح
عند هذه النقاط، يكون التداخل بنائيًّا وتزداد شدّة الصوت، كما توجد بعض المواضع التي تلتقي فيها تضاغطات المصدر M_1 مع تخلخلات المصدر M_2، أو تخلخلات M_1 مع تضاغطات M_2. وهي تتّفق في أنّ فرق المسير يُساوي $\Delta S = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ و... $n = 0, 1, 2, 3$ هو عدد صحيح. عند هذه النقاط، يكون التداخل هدميًّا وتضعف شدّة الصوت أو تنعدم.

ولبيان ظاهرة التداخل في الصوت، يمكن استخدام أنبوب كوينك (Koenig) الذي يظهر بوضوح أنّ التداخل البنائي للموجتين المتفقتين في الطور حيث تحدث تقوية للصوت، والتدخّل الهدمي للصوت عندما يكون فرق المسير $\lambda/2$ ولا نسمع صوتًا.



(شكل 12)
تداخل ناتج من تراكب أمواج صوتية من مصدرين صوتيين

إثراء

الضربات

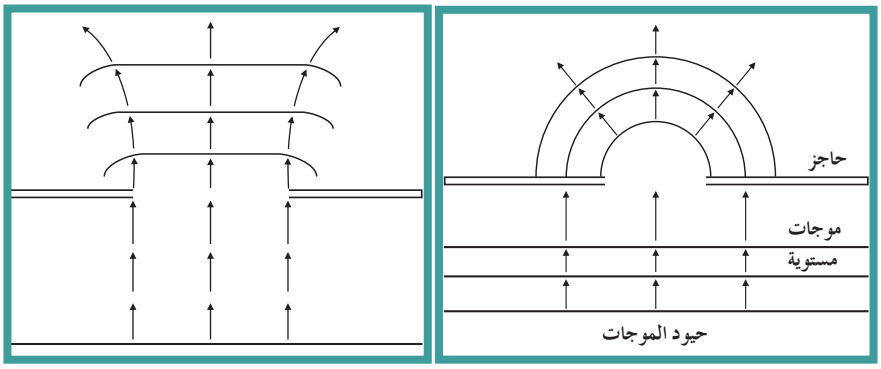
عند تراكب موجتين صوتيتين لهما السعة نفسها واختلاف بسيط في التردّد، يُسمَع تغيّر في الصوت فيكون الصوت عاليًا ثمّ ضعيفًا وذلك بشكل دوري. يُسمّى هذا التغيّر الدوري في شدّة الصوت بالضربات.

معلمة الكويت
KuwaitTeacher.Com

5. حيود الصوت Sound Diffraction

هي ظاهرة انحناء الموجات حول حافّة حادّة أو عند نفاذها من فتحة صغيرة بالنسبة إلى طولها الموجي (شكلا 14 و15). هذا يعني أنّ الموجات تحيد عن مسارها الأصلي، وتسير في اتّجاهات متفرّقة، ويزداد انحناء الموجات كلّما كان إتساع الفتحة أصغر. تحدث ظاهرة الحيود في الصوت عند اصطدام موجات الصوت بحواجز وفتحات تتناسب أبعادها مع طول الموجة الصوتية، فيُمكن سماع صوت يفصلك عنه حاجز.

توضيح الحيود عمليًّا: يُمكنك استخدام حوض الموجات لتوضيح حيود موجات الماء باستخدام شرائح متنوّعة الأحجام والأشكال (شكل 13).

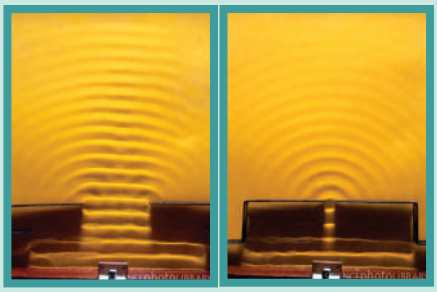


(شكل 13)

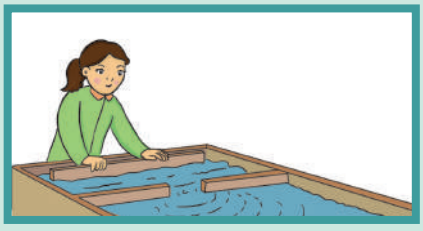
6. الموجات الموقوفة (الساكنة) Standing (stationary) Waves

إذا قمت بربط حبل في حائط ما، ثمّ قمت بهزّ الطرف الحرّ لهذا الحبل لتُرسل نبضة فيه، سوف تُلاحظ أنّ هذه النبضة ستنعكس عند الحائط. أمّا إذا حرّكتَ الحبل بطريقة منتظمة، فسوف تُحدث موجات ساقطة على الجدار وموجات منعكسة. تلتقي الموجات الساقطة على الجدار مع الموجات المنعكسة وتتداخل، فينقسم الحبل إلى عدّة قطاعات تتكوّن من عقد وبطون. تكون العقد أجزاء ساكنة من الحبل وتكون البطون ذات سعات كبرى في منتصف المسافة بين عقدتين. وبما أنّ أماكن هذه العقد والبطون ثابتة، تُسمّى هذه الموجات بالموجات الموقوفة أو الساكنة (شكل 16).

فالموجات الموقوفة أو الساكنة Standing Waves هي تلك الموجات التي تنشأ من تراكب قطارين من الموجات متماثلين في التردّد والسعة لكنّهما يسيران في اتّجاهين متعاكسين.



(شكل 14)
موجات مستوية تمرّ من فتحات مختلفة الاتّساع



(شكل 15)
حيود موجات مستقيمة في حوض ماء

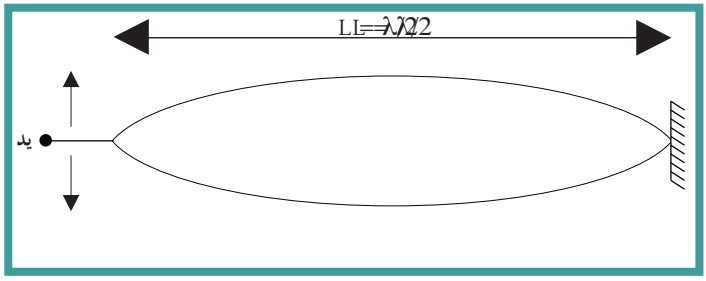
توظيف الفيزياء

الفيزياء يُخفّف أو يُلغي الضوضاء

يُعتبَر التداخل الهدمي للصوت خاصّية مفيدة في التقنية ضدّ الضوضاء. فقد تمّ تجهيز بعض الالآت المصدرة للضوضاء بأجهزة تُرسل صوت الآلة إلى رقائق إلكترونية تقوم بإصدار أصوات مطابقة لصوت الآلة، ولكن تختلف معها في الطور في سمّاعات الأذن التي تُعرَف بالسمّاعات المانعة للضوضاء والتي يستخدمها الطيّارون بكثرة في أيّامنا هذه.

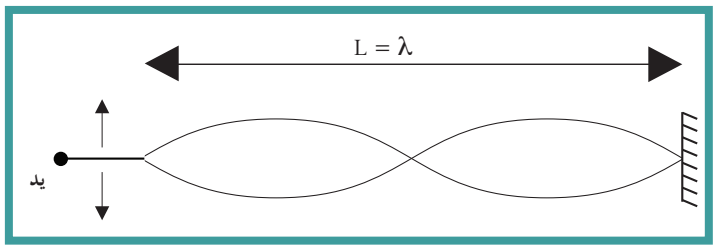
معلمة الكويت
صوت الكويت
KuwaitTeacher.Com

يُمكن أن نُكوّن مجموعات متنوّعة من الموجات الساكنة عن طريق هزّ الحبل بتردّدات مختلفة وأبسط موجة موقوفة يُمكن تكوينها من قطاع واحد حيث يساوي طول الحبل نصف طول الموجة (شكل 17).



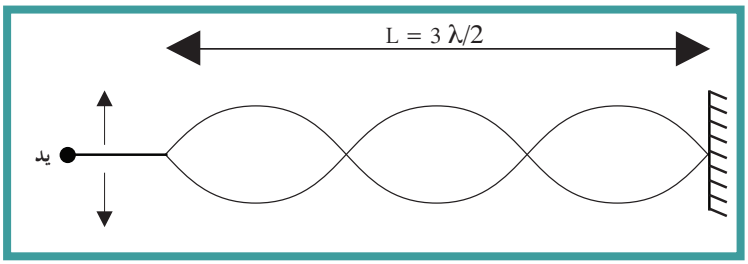
(شكل 17)
موجة موقوفة لها قطاع واحد

بزيادة التردّد يزيد عدد القطاعات. فإذا ضاعفنا تردّد اهتزاز الحبل، نحصل على موجة موقوفة لها قطاعان (شكل 18)، ويُساوي طول الحبل طول الموجة.



(شكل 18)
موجة موقوفة مكونة من قطاعين

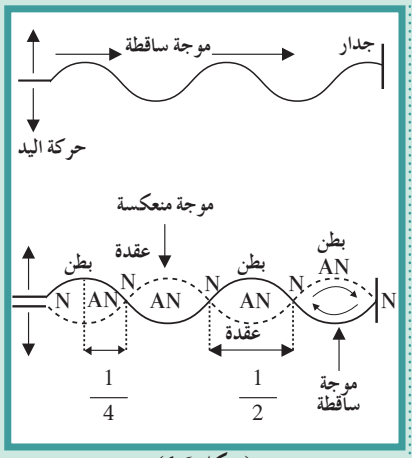
أمّا إذا حرّكنا الحبل بتردّد ثلاث مرّات أكثر، نحصل على موجة لها ثلاثة قطاعات (شكل 19).



(شكل 19)
موجة موقوفة مكونة من ثلاثة قطاعات

7. الموجات الموقوفة والآلات الموسيقية
Standing Waves and Musical Instruments

تتكوّن الموجات الموقوفة عند اهتزاز أوتار الآلات الموسيقية التي تُصدر نغمات أساسية أو توافقية، وكذلك في الأعمدة الهوائية المهتزّة في حالة الرنين داخل آلات النفخ الموسيقية. سوف ندرس ذلك بشكل مفصّل.



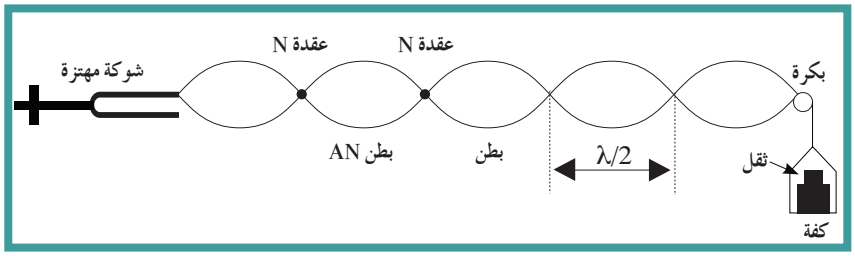
(شكل 16)
تتراكب الموجات الساقطة والمنعكسة لتكوّن موجة موقوفة. تُسمّى النقاط الساكنة عقدًا، أمّا النقاط ذات السعة الكبيرة، فتسمّى بطون.

KuwaitTeacher.Com

1.7 الأوتار المهتزّة Vibrating Strings

لكي نفهم تكون الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة ودورها في إصدار التردّدات المختلفة سنبدأ بتجربة ميلد التالية:

تجربة ميلد:



(شكل 20)

يتكوّن الجهاز من شوكة رنّانة مهتزّة. يتّصل أحد فرعيها بأحد طرفي الوتر وهو خيط مرن طوله حوالى 2)m)، ويمرّ الطرف الآخر للوتر فوق بكرة ملساء، وينتهي في كفّة توضَع فيها أثقال (شكل 20).

عندما تهتزّ الشوكة، ينتقل في الوتر قطار من الموجات المستعرضة تصل إلى البكرة فيرتدّ عنها. وتتراكب الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة مكوّنة الموجات الموقوفة التي تتكوّن من عقد وبطون.

من خلال تجربة ميلد للموجات الموقوفة في الأوتار، يُمكننا تعرّف كيفية تكوّن الموجة الموقوفة من الوتر المهتزّ. يُمكننا أيضًا استخدام هذه التجربة لتعيين سرعة الموجات الموقوفة كما يلي:

1. أعدّ الجهاز كما سبق، وضع أثقال مناسبة في الكفّة، ثمّ اجعل الشوكة الرنّانة تهتزّ حتّى تحصل على اهتزاز مستعرض في الوتر على هيئة قطاعات. ستجد أنّ هناك تراكبًا بين الموجة الصادرة والموجة المنعكسة تنشأ عنه الموجات الموقوفة، والتي بدورها تتكوّن من قطاعات يتألّف كلّ منها من عقدتين بينهما بطن.
2. حدّد عدد القطاعات (n) وطول الخيط (L).

طول القطاع الواحد = المسافة بين عقدتين متتاليتين = $\frac{L}{n}$

ولكنّ المسافة بين كلّ عقدتين متتاليتين = نصف طول الموجة = $\frac{\lambda}{2}$

بما أنّ $\boxed{\frac{L}{n} = \frac{\lambda}{2}}$

إذًا يساوي طول الموجة: $\boxed{\lambda = \frac{2L}{n}}$

ولكن $v = \lambda . f$ وبالتعويض عن λ نحصل على: $\boxed{v = \frac{2L}{n} . f}$

معلم الكويت
KuwaitTeacher.Com

مثال (1)

اهتزّ حبل طوله (240)cm اهتزازًا رنينيًّا في ثلاثة قطاعات عندما كان التردّد (15)Hz . احسب سرعة إنتشار الموجة في الحبل .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

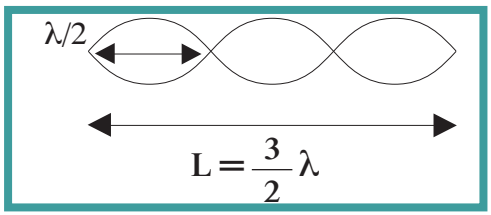
المعلوم: طول الحبل: $L = 240\ cm$

التردّد: $f = 15\ Hz$

غير المعلوم: سرعة الموجة: $v = ?$

2. احسب غير المعلوم:

نرسم الحبل المكوّن من ثلاثة قطاعات .



من خلال الشكل نستطيع أن نكتب العلاقة التالية:

$$L = \frac{3}{2}\lambda$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$$\lambda = \quad = 2 \times \frac{240}{3} = 160\ cm = 1.6\ m$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة $\lambda = v/f$ ، نحصل على:

$$v = \lambda f = 1.6 \times 15 = 24\ m/s .$$

قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم ، السرعة مقبولة تتناسب مع معطيات المسألة ويمكن تحقيقها عمليًّا في المختبر .

يُمكننا أن نستنتج من خلال إهتزاز الأوتار المستعرضة (الصنومتر) السابقة أنّ طول الوتر ونوعه وتغيير قوّة الشدّ فيه بتغيير الأثقال في الكفّة هي من العوامل المؤثّرة في تكوين الموجة الموقوفة وعدد قطاعاتها ، وبالتالي فهي تؤثّر في التردّدات أي في النغمات التي تصدرها هذه الأوتار .

باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $f = \frac{nv}{2L}$

وباستخدام العلاقة $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ التي تمثّل سرعة انتشار الموجة في وتر مشدود حيث T هي قوّة شدّ الوتر (نيوتن) ، و μ = كتلة وحدة الأطوال (kg/m) ، يمكننا أن نستنتج أنّ التردّدات التي تصدرها الأوتار تمثّل

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. وتر طوله (1)m ، مشدود بقوّة مقدارها (50)N . فإذا كان تردد النغمة الأساسية (25)Hz . احسب كتلة وحدة الطول من الوتر μ = ؟

النتيجة: 0.02 kg/m

2. وتر مشدود يُصدر نغمة أساسية تردّدها يُساوي 25 Hz . احسب تردّد النغمات التوافقية الثانية والثالثة والرابعة .

النتائج: التوافقية الثانية = 75 Hz

التوافقية الثالثة = 100 Hz

التوافقية الرابعة = 125 Hz

3. وتر طوله 3 m ، تولّدت عليه موجة موقوفة مكوّنة من 4 عقد وسرعة الموجات فيه 12 m/s . احسب كلًّا من:

(أ) طول الموجة

(ب) تردّد نغماته التوافقية الأولى والثانية

النتائج: (أ) 2 m

(ب) (4 Hz ، 6 Hz)

KuwaitTeacher.Com

بالعلاقة $= \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ حيث n=1,2,3,4

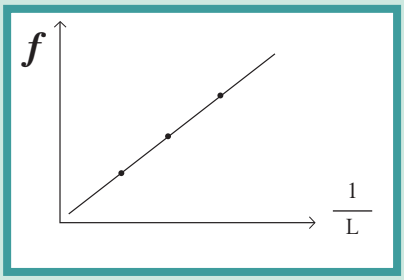
العوامل المؤثِّرة بالنغمة الأساسية

باستخدام $= \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ نستنتج أنّ العوامل التي تؤثِّر بالنغمة الأساسية هي:

1. طول الوتر (L): يتناسب تردّد الوتر عكسيًّا مع طوله عند ثبات قوّة الشدّ وكتلة وحدة الأطوال من الوتر (شكل 21):

$$f \propto \frac{1}{L}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

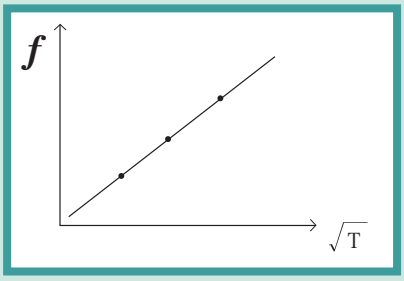


(شكل 21)

2. قوّة شدّ الوتر (T): يتناسب تردّد الوتر طرديًّا مع الجذر التربيعي لقوّة الشدّ له عند ثبوت طوله وكتلة وحدة الأطوال منه (شكل 23)، أي:

$$f \propto \sqrt{T}$$

$$\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{f_1}{f_2}$$

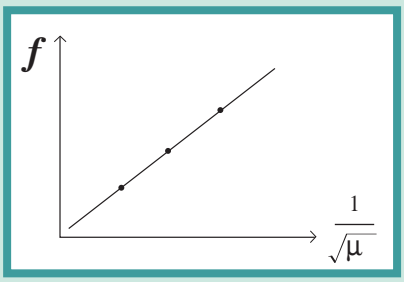


(شكل 22)

3. كتلة وحدة الأطوال من الوتر (μ): يتناسب تردّد الوتر عكسيًّا مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه عند ثبوت طوله وقوّة الشدّ (شكل 23)، أي:

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$



(شكل 23)

ويُمكن تمثيل العلاقات السابقة بيانيًّا كالتالي:

- العلاقة بين التردّد وطول الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 21)
- العلاقة بين التردّد وقوّة شدّ الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 22)
- العلاقة بين التردّد وكتلة وحدة الأطوال من الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 23)

معلمة الكويت
KuwaitTeacher.Com

مثال (2)

شدّ وترًا طوله (80)cm وكتلته (0.5)g بقوّة مقدارها (49)N . احسب تردّد النغمة الأساسية التي يُصدرها هذا الوتر .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: طول الوتر: $L = 80\ cm$

كتلة الوتر: $m = 0.5\ g$

مقدار قوّة الشدّ: $T = 49\ N$

غير المعلوم: تردّد النغمة أساسية: $f = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة بعد احتساب μ ، نحصل على:

$$f_0 = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.8} = 6.25 \times 10^{-4}\ kg/m$$

$$f_0 = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2 \times 0.8}\sqrt{\frac{49}{6.25 \times 10^{-4}}}$$

$$f_0 = 175\ Hz$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم ، إذا تمّت مقارنتها بالنتائج في المختبر .

مثال (3)

يُصدر وتر طوله (50)cm نغمة تردّدها (500)Hz . احسب تردّده عندما يُصبح طوله (100)cm .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: طول الوتر: $L_1 = 50\ cm$

التردّد: $f_1 = 500\ Hz$

طول الوتر الجديد: $L_2 = 100\ cm$

غير المعلوم: التردّد الجديد $f_2 = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1}$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$$\frac{500}{f_2} = \frac{100}{50}$$

$$f_2 = 250\ Hz$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

يتناسب التردّد عكسيًّا مع الطول ، فعند زيادة الطول ينخفض مقدار التردّد .

KuwaitTeacher.Com

2.7 الأعمدة الهوائية والرنين

Sound Pipes and Resonance

الأعمدة الهوائية نوعان؛ إمّا يكون عمودًا هوائيًّا مغلقًا من أحد طرفيه Closed sound pipe ، أو مفتوح الطرفين Opened sound pipe .

يُشبه اهتزاز الأعمدة الهوائية اهتزاز الأوتار المستعرضة ، فالموجة الصوتية التي تتحرّك في العمود الهوائي داخل الأنبوب تنعكس عند وصولها إلى نهاية العمود الهوائي ، ثمّ تتحرّك في الاتّجاه العكسي وتستمرّ حركة الانعكاس مكوّنة موجة موقوفة طولية حيث تتكوّن عقدة عند الطرف المغلق للعمود الهوائي ، ويتكوّن بطن بالقرب من الطرف المفتوح ، وذلك بسبب جزيئات الهواء التي لا يُمكنها أن تتحرّك عند الطرف المغلق للعمود الهوائي الذي يمنعها من الحركة . أمّا عند الطرف المفتوح ، فإنّ جزيئات الهواء تستطيع الحركة بسهولة إلى الخارج .

(شكل 24)
تهتزّ الشوكة الرنّانة عند تردّد معيّن للساكسوفون .

الرنين Resonance

يحدث الرنين عندما تهتزّ جزيئات الوسط بسعة عظمى نتيجة تأثّرها بمصدر يهتزّ بتردّد يُساوي أحد تردّدات النغمة الأساسية أو التوافقية (شكل 24) .

(أ) الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة

يوضّح (شكل 25) ثلاثة أنواع من الأنابيب الهوائية المغلقة . يُمكن تغيير طول العمود الهوائي فيها بتغيير مستوى سطح الماء أو أيّ سائل مناسب آخر داخل الأنبوب المستخدَم .

يُمكن لعمود هوائي مغلق طوله (L) أن يهتزّ بطرق مختلفة . فإذا اهتزّ بحيث تتكوّن على امتداد طوله عقدة واحدة وبطن واحد ، صدرت عنه النغمة الأساسية . أمّا إذا اهتزّ بحيث يتكوّن داخله عقدتان وبطنان ، صدرت عنه نغمة إضافية تُسمّى النغمة التوافقية الأولى . في هذه الحالة:

$$L = \frac{3}{4}\lambda$$

أي:

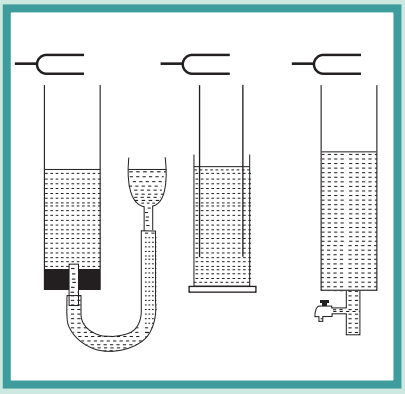
$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

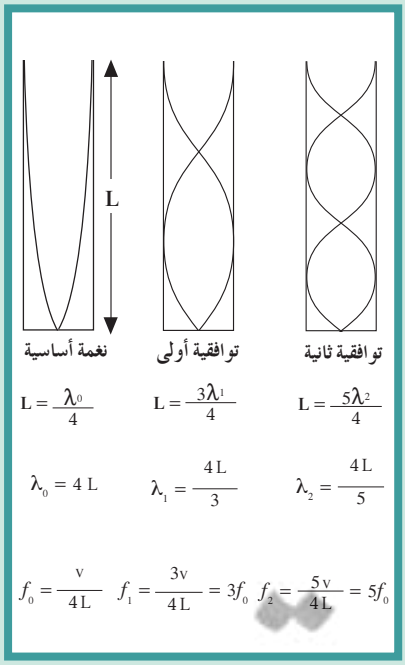
ويكون تردّد هذه النغمة: $f_1 =$ (حيث سرعة الصوت في الهواء = v)

وتُعطى تردّدات النغمات التوافقية الأخرى على الشكل التالي:

$$f_n = (2n + 1)\frac{v}{4L} = (2n + 1)f_0 \qquad (n = 0, 1, 2, 3, 4, ...)$$

أي أنّ تردّد هذه النغمات يتناسب مع الأعداد الصحيحة الفردية .





(شكل 25)
أعمدة هوائية مغلقة تصدر نغمات متعددة

KuwaitTeacher.Com

هذا يعني أنّ النغمة التوافقية الأولى نغمة ذات تردّد يُساوي ثلاثة أمثال تردّد النغمة الأساسية، وتردّد النغمة التوافقية الثانية يُساوي خمسة أمثال تردّد النغمة الأساسية، وهكذا دواليك.

يُلاحَظ عادة أنّه عندما يهتزّ عمود هوائي ليُصدر نغمته الأساسية (وتُسمّى الرنين الأوّل)، فإنّ بعض النغمات التوافقية (وتُسمّى الرنين الثاني والثالث...) تصدر مرافقة للنغمة الأساسية كما يحدث في الأنابيب الأرغونية. وتزداد شدّة النغمات التوافقية المرافقة للنغمة الأساسية، كما يزداد عدد هذه النغمات تدريجيًّا، ما يُؤدّي إلى تغيّر نوع النغمة في الأنبوب الأرغوني.

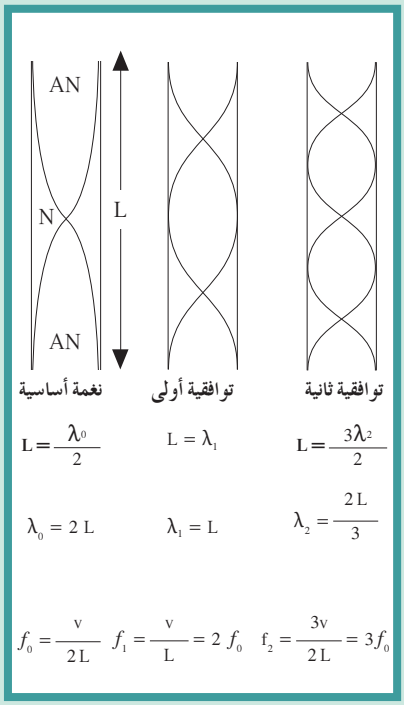
(ب) الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة

تصدر النغمة الأساسية للعمود الهوائي المفتوح عندما يكون طوله مساويًا لنصف الطول الموجي، أي عندما يكون: $L = \frac{\lambda_0}{2}$

وتصدر عن العمود الهوائي المفتوح نغمات توافقية بالإضافة إلى النغمة الأساسية (شكل 26).

تُعطى بالعلاقة: $f_{n-1} = \frac{nv}{2L}$

$n=1,2,3,...$



(شكل 26)
أعمدة هوائية مفتوحة

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

مثال (4)

إذا كانت سرعة الصوت في الهواء (340)m/s ، إحسب:
أوّلًا: تردّد النغمة الأساسية التي يُصدرها عمود هوائي طوله (100)cm إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا
ثانيًا: تردّد النغمة التوافقية الثانية إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: سرعة الصوت في الهواء: $v = 340\ m/s$
طول العمود الهوائي: $L = 100\ cm$
غير المعلوم: تردّد النغمة الأساسية:
(أ) العمود مغلق = ؟
(ب) العمود مفتوح = ؟
تردّد النغمة الثانية التوافقية:
(أ) العمود مغلق = ؟
(ب) العمود مفتوح = ؟

2. احسب غير المعلوم:
أوّلًا – تردّد النغمة الأساسية:
(أ) العمود مغلق:
باستخدام المعادلة الرياضية التالية: $f_0 = \frac{V}{4L}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$$f_0 = \frac{340}{4 \times 1} = 85\ Hz$$
(ب) العمود مفتوح:
باستخدام المعادلة الرياضية التالية: $f_0 = \frac{V}{2L}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$$f_0 = \frac{340}{2} = 170\ Hz$$
ثانيًا – تردّد النغمة التوافقية الثانية
(أ) العمود مغلق: $f_2 = 5f_0 = 425\ Hz$
(ب) العمود مفتوح: $f_2 = 3f_0 = 510\ Hz$

أسئلة تطبيقية وحلّها

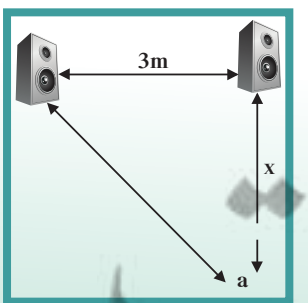
1. يُصدر عمود هوائي مغلق نغمته الأساسية عندما يكون طوله (35)cm ويكون تردّدها (256)Hz. احسب التردّد إذا كان طول العمود الهوائي (17.5)cm.
الناتج: 512 Hz

2. وتر مشدود بقوّة مقدارها (16)N يُصدر نغمة متّفقة في تردّدها مع نغمة عمود هوائي مغلق طوله (0.4)m. احسب طول أقصر عمود هوائي مفتوح يُصدر نغمة أساسية تتّفق مع نغمة الوتر إذا ازدادت شدّة الوتر بمقدار (9)N.
الناتج: 64 cm

صفوة الكويت
KuwaitTeacher.Com

مراجعة الدرس 1-2

1. اكتب أهمّ خصائص الموجات.
2. اذكر قانوني انعكاس الصوت، ثمّ اشرح تجربة عملية لتحقيقهما.
3. ما أهمّ تطبيقات انعكاس الصوت؟ تكلّم عن أحدها بالتفصيل.
4. ما معنى انكسار الصوت؟
5. عرّف كلًّا من: تراكب الموجات – التداخل – الحيود
6. اشرح تجربة عملية تُوضّح ظاهرة التداخل في الصوت، وبيّن كيفية احتساب سرعة الصوت باستخدام هذه التجربة؟
7. ما الموجات الموقوفة؟ اشرح تجربة توضّح هذه الموجات، وعرّف العقدة والبطن.
8. بيّن بالرسم النغمة التوافقية الثالثة عند اهتزاز الأوتار المستعرضة، ثمّ اكتب ما يُساويه تردّد النغمة الأساسية مبيّنًا العوامل التي يتوقّف عليها هذا التردّد.
9. بيّن بالرسم نغمة توافقية ثانية في كلّ من العمود المغلق والعمود المفتوح. اكتب النسبة بين تردّدات النغمة الأساسية والتوافقيات في كلّ من العمودين.
10. اشرح تجربة تحدّد من خلالها سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية.
11. هل يُمكن لموجة صوتية أن تُدمّر موجة صوتية أخرى أو تُلغيها؟ اشرح ذلك.
12. تنتشر موجة صوتية بسرعة (340)m/s. احسب طول موجة صوتية تردّدها (20)Hz، وأخرى تردّدها (20 000)Hz.
13. احسب تردّد موجة صوتية طولها الموجي (1)m وسرعتها (340)m/s.
14. يُرسل خفّاش في كهف نبضات صوتية ويستقبل صداها خلال (1)s. احسب بُعد جدار الكهف عن الخفّاش. [علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء (340) m/s]
15. احسب تردّد النغمة الأساسية لوتر طوله (50)cm وكتلته (50)g إذا كانت قوّة الشدّ عليه تُساوي (40)N.
16. وتر مشدود بقوّة $T = 10\,N$ يُشكّل موجة موقوفة من ثلاثة قطاعات. ما مقدار القوّة T' التي يجب وضعها على الوتر ليُشكّل أربعة قطاعات علمًا أنّ مقدار التردّد ثابت.
17. احسب تردّد النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الثالثة لعمود هوائي مفتوح طوله (25)cm إذا كانت سرعة الصوت (340)m/s.
18. احسب تردّد النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الرابعة لعمود هوائي مغلق طوله (40)cm علمًا أنّ سرعة الصوت في الهواء (340)m/s.
19. في الصورة مصدران صوتيان متماثلان ومستمع يقف عند نقطة (a) كما هو موضّح في الشكل (27). إذا كانت النقطة (a) تمثّل التداخل البنّاء الأوّل، فكم يكون فرق المسير بين المصدرين والمستمع علمًا أنّ سرعة الصوت في الوسط تساوي (340)m/s والتردّد $f = (200)Hz$؟



(شكل 27)

KuwaitTeacher.Com

مراجعة الوحدة الثالثة

المفاهيم

Wave reflection	انعكاس الموجة
Wave refraction	انكسار الموجة
Interference	تداخل
Simple harmonic motion	حركة توافقية بسيطة
Periodic motion	حركة دورية
Wave motion	حركة موجية
Diffraction	حيود
Standing waves	الموجات الموقوفة
Longitudinal wave	موجة طولية
Transverse wave	موجة مستعرضة

الأفكار الرئيسية في الوحدة

- الحركة التوافقية البسيطة هي حركة اهتزازية تتناسب فيها القوّة المعيدة طرديًّا مع الإزاحة الحاصلة للجسم في غياب الاحتكاك.
- خصائص الحركة التوافقية البسيطة هي السعة، والتردّد، والزمن الدوري، والسرعة الزاوية، وزاوية الطور.
- وتُعتبَر حركة البندول البسيط من أهمّ تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة.
- خصائص الحركة الموجية (الصوت) هي:

1. الانتشار في خطوط مستقيمة في جميع الاتّجاهات
2. الانعكاس: تغيير مسار الشعاع الصوتي في الوسط نفسه
3. الانكسار: تغيير مسار الشعاع الصوتي عند نفاذه بين وسطين مختلفين
4. التداخل: تراكب موجتين لهما التردّد نفسه فيحدث إمّا تداخل بنائي عندما يكون فرق المسار بين الموجتين $= n\lambda$ حيث $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ وتزداد شدّة الصوت، أو تداخل هدمي عندما يكون فرق المسير بين الموجتين $= \left(2n + 1\right)\frac{\lambda}{2}$ وتضعف شدّة الصوت أو تنعدم. ويُستخدَم أنبوب كوينك لتوضيح ظاهرة التداخل في الصوت.
5. الحيود: هي ظاهرة انحناء الموجات حول حافّة حاجز أو حول حافّتي فتحة صغيرة.

- الموجات الموقوفة أو الساكنة: هي موجات تنشأ من تراكب قطارين من الأمواج متماثلين في التردّد والسعة لكنّهما يسيران في اتّجاهين متعاكسين، وتتكوّن مواضع تكون فيها قيمة السعة كبيرة وتُسمّى «بطونًا»، ومواضع تكون فيها قيمة السعة صغيرة وتُسمّى «عقدًا». وتُساوي المسافة بين مركزي بطنين أو عقدتين متتاليتين نصف الطول الموجي للموجة الموقوفة، وتكون مواضع العقد والبطون ثابتة. ونحصل على الموجات الموقوفة عند اهتزاز الأوتار المستعرضة أو اهتزاز الأعمدة الهوائية.
- من أهمّ تطبيقات انعكاس الصوت: صدى الصوت، الصوتيات المعمارية أو هندسة الصوت، تسليط الصوت أو تركيزه في المسارح أو القاعات الكبيرة، نقل الصوت بالأنابيب.

KuwaitTeacher.Com

- يعود تردّد النغمة الأساسية للوتر المهتزّ إلى طول الوتر، وقوّة شدّ الوتر، وكتلة وحدة الأطوال من الوتر.
- يُمكن تحديد سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية.

معادلات

- معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة:

$$y = A \sin (wt + \Phi)$$

- الزمن الدوري للبندول البسيط:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

- الزمن الدوري لكتلة معلّقة بزنبرك (البندول المرن):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

تداخل بنائي: فرق المسير $\Delta S = n\lambda$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، 3، ... .

تداخل هدمي: فرق المسير $\Delta S = (2n + 1)\lambda/2$ علمًا أنّ n تُساوي 0، 1، 2، 3، ... .

التردّد في الأوتار المهتزّة:

$f = (n/2L)\sqrt{T/\mu}$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، ...

التردّد في الأعمدة الهوائية المفتوحة:

$f = nv/2L$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، 3، ...

التردّد في الأعمدة الهوائية المغلقة:

$f = (2n + 1)v/4L$ علمًا أنّ n تُساوي 0، 1، 2، 3، ...

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم الكلمات الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة مفاهيم تُنظّم بعض الأفكار التي احتوتها الوحدة.

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

1. عدد الذبذبات الكاملة التي يُحدثها الجسم في الثانية الواحدة هو:

☐ الاهتزازة الكاملة ☐ التردّد ☐ سعة الاهتزازة ☐ زاوية الطور

2. عندما ينتقل الصوت:

☐ تنتقل جزيئات الوسط الناقل للصوت
☐ لا تنتقل جزيئات الوسط الناقل للصوت
☐ ينتقل مصدر الصوت إلى أذن السامع
☐ ينتقل السامع إلى الصوت

3. إذا كان الزمن الدوري لبندول بسيط يُساوي 12(s)، فإنّ طول خيط البندول بوحدة (المتر) يُساوي:

☐ 12.5 ☐ 15.3 ☐ 22.1 ☐ 35.8

4. لزيادة الزمن الدوري لبندول بسيط إلى المثلين يجب تغيير طول خيط البندول إلى:

☐ مثلي الطول الأصلي
☐ نصف الطول الأصلي
☐ أربعة أمثال الطول الأصلي
☐ ربع الطول الأصلي

5. إذا كانت سرعة إنتشار الموجة في الهواء 2(m/s) وتردّدها يُساوي4(Hz)، فإنّ طولها الموجي بوحدة (المتر) يُساوي:

☐ 0.5 ☐ 2 ☐ 6 ☐ 8

6. نابض ثابت مرونته 100(N/m)، ومعلق فيه كتلة مقدارها 1(kg). فإذا تُرك ليتحرّك حركة توافقية بسيطة، فإنّ الزمن الدوري بوحدة (الثانية) يساوي:

☐ 0.134 ☐ 0.628 ☐ 3.14 ☐ 6.28

7. تشكّلت موجة موقوفة على وتر طوله 96(cm) وكان يحتوي على (17) عقدة، فإنّ الطول الموجي بوحدة (cm) يُساوي:

☐ 5.65 ☐ 6 ☐ 12 ☐ 17

8. تختلف موجات الصوت الساقطة عن المنعكسة في:

☐ التردّد ☐ اتّجاه الانتشار ☐ السرعة ☐ الطول الموجي

معلمي الكويت
صفوة في الكويت
KuwaitTeacher.Com

9. أكمل ما يلي:

(أ) يحدث تداخل بنائي بين موجتين إذا كان فرق المسير بينهما = ... ويحدث تداخل هدمي بين موجتين إذا كان فرق المسير بينهما = ...

(ب) عند انكسار شعاع صوتي ينفذ بين وسطين مختلفين فإنّ ..... = $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$

(جـ) يُعطى الزمن الدوري للبندول البسيط من خلال العلاقة التالية: ..... = T

(د) سرعة انتشار الموجة (v) = ... × ..... .

(هـ) يتوقف تردّد النغمة الأساسية لوتر مهتزّ على: ..... ، ..... ، ..... ،

(و) من تطبيقات انعكاس الصوت: ..... ، ..... ، ..... ،

تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

1. عرّف الحركة التوافقية البسيطة .
2. اذكر أمثلة عن حركة توافقية بسيطة .
3. عرّف صدى الصوت .
4. عرّف تداخل الصوت .
5. تنتشر موجات مائية مستوية طولها الموجي (6)cm بسرعة (21)m/s في حوض الموجات المائية . حين تغيّر عمق الماء في الحوض ، أصبح طولها الموجي (4)cm .

   (أ) احسب سرعة الموجات في الجزء الثاني من الحوض .

   (ب) احسب تردّد الموجات في كلّ من جزأي الحوض .
6. استُخدِم مولّد ذبذبات يُصدر تردّدًا مقداره (50)Hz ليُولّد موجات ساكنة مستعرضة في سلك معدني رفيع ، فتكوّنت في الوتر نقاط تبدو ساكنة تقريبًا ، أي أنّ سعة اهتزازها تُساوي صفرًا . ووُجِد أنّ البعد بين كلّ نقطتين متتابعتين منهما يُساوي (47)cm . ما اسم هذه النقاط؟ احسب سرعة الموجات المستعرضة في الوتر المهتزّ .
7. يقف رجلان وجهًا لوجه على بعد (200)m من بعضهما البعض . أطلق أحدهما النار ، فسجّل الثاني الزمن بين رؤية الوميض وسماع الطلقة النارية (0.6)s . احسب سرعة الصوت .
8. ما الفرق بين التداخل البنائي والتداخل الهدمي؟
9. هل يُعَدّ التداخل خاصّية لبعض أنواع الموجات أم لكلّ أنواعها؟
10. ما سبب تكوّن الموجة الموقوفة؟
11. هل يُمكن لموجة معيّنة أن تُلغي موجة أخرى فتُصبح السعة المشتركة تُساوي صفرًا؟

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. يُصدر وتر طوله (100)cm وقوّة الشدّ فيه (1225)N نغمة أساسية تردّدها (300)Hz. كيف تجعل الوتر يُصدر نغمة أساسية تردّدها (420)Hz؟
   (أ) بتغيير قوّة الشدّ فيه
   (ب) بتغيير طوله

2. شدّ سلكًا طوله (140)cm وكتلته (52)g بثقل كتلته (16)kg. احسب تردّد نغمته الأساسية إذا كانت عجلة الجاذبية الأرضية $(10)m/s^2$.

3. وتر طوله (50)cm وقوّة شدّه (39.2)N، يُصدر نغمة تردّدها (200)Hz. احسب تردّد وتر آخر من المادّة نفسها وقطره مساوٍ لقطر الوتر المذكور إذا كان طوله (60)cm وقوّة شدّه (88.2)N.

4. أحدثت شوكة رنّانة تردّدها (256)Hz رنينًا مع وتر طوله (50)cm. احسب تردّد الشوكة إذا أحدثت رنينًا مع وتر طوله (40)cm.

5. إذا كان (λ) طول الموجة الصوتية، و(L) طول أقصر عمود هوائي يحدث عنده الرنين، وضّح بالرسم أنّ:
   - طول أقصر عمود هوائي مغلق يساوي ($\frac{1}{4}\lambda$)
   - طول أقصر عمود هوائي مفتوح يساوي ($\frac{1}{2}\lambda$)

6. أحدث عمود هوائي مغلق رنينًا مع شوكة رنّانة عندما كان طوله (25) cm. وعندما حدث الرنين الثاني (التوافقية الأولى) كان طول العمود الهوائي (75)cm. فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء عند إجراء التجربة (33 800)cm/s، احسب:
   (أ) طول الموجة الصادرة
   (ب) تردّد الشوكة الرنانة

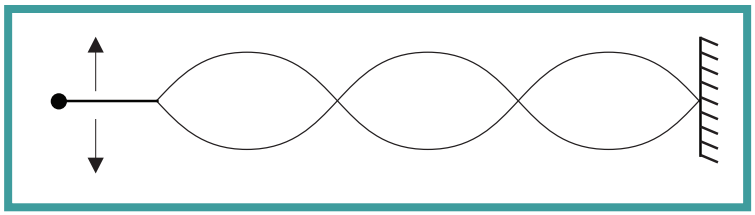
7. ما نسبة طول عمود هوائي مغلق إلى طول عمود هوائي مفتوح عندما يُصدر العمود الهوائي المغلق رنينًا ثالثًا، ويُصدر العمود الهوائي المفتوح رنينًا رابعًا متأثّرين باهتزاز شوكة رنّانة واحدة؟

8. أحدثت شوكة رنّانة، تردّدها (600)Hz، رنينًا مع عمود هوائي مفتوح. فإذا علمت أنّه تشكّلت في العمود الهوائي (5) عقد، وأنّ سرعة الصوت (330)m/s احسب:
   (أ) طول موجة الصوت
   (ب) البعد بين عقدتين متتاليتين

KuwaitTeacher.Com

9. تكوّنت داخل عمود هوائي مفتوح عقدتان تبعدان cm(20) عن بعضهما:
(أ) احسب طول العمود الهوائي.
(ب) ما اسم النغمة التوافقية الصادرة عن العمود في هذه الحالة؟
(جـ) إذا كان تردّد الصوت الذي يُصدره العمود Hz(800)، فما مقدار سرعة الصوت داخل العمود؟

10. افرض أنّك قمت بتكوين موجة موقوفة من ثلاثة قطاعات، كما في الشكل أدناه. إذا زاد تردد الحبل إلى المثلين، فما عدد القطاعات التي ستحدث في الموجة الموقوفة الجديدة؟



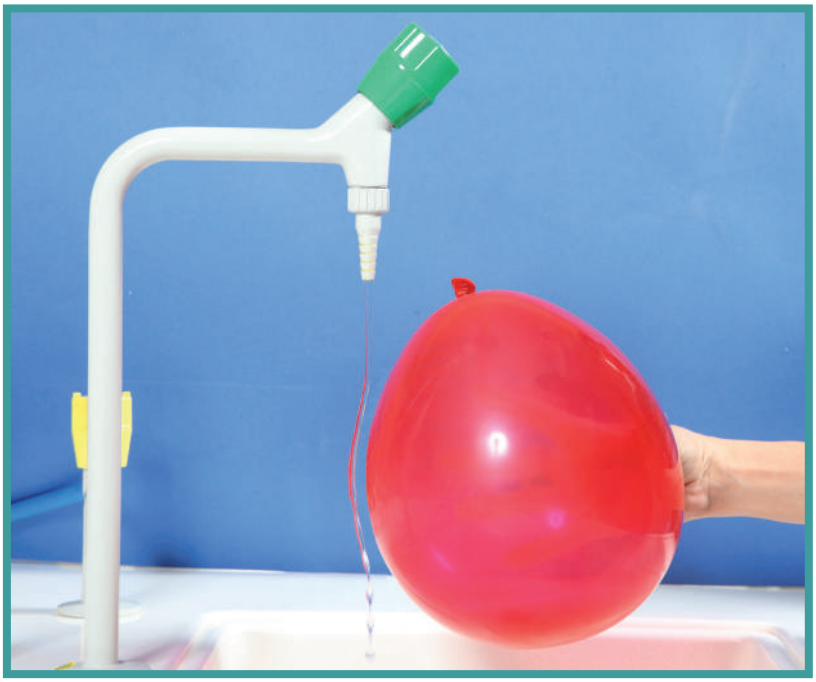
التواصل

اكتب نصًّا تُبيّن فيه أهمّية الموجات الموقوفة في الموسيقى والآلات الموسيقية.

نشاط بحثي

قم ببحث تُبيّن فيه كيف يصدر الصوت وكيف نسمعه.
حدّد في بحثك دور الأذن بشكل مفصّل في عملية سماع الصوت، واذكر دور الدماغ.

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com



اكتشف بنفسك!

الماء المنحني

لإجراء هذا النشاط تحتاج إلى بالون ومصدر ماء (صنبور).

يُفضَّل إجراء هذا النشاط في جوّ جافّ.

1. افتح صنبور الماء لتحصل على ماء ينساب بخطّ رفيع لا يزيد سمكه عن 4 mm.
2. انفخ البالون وقرّبه من الماء.
3. دع البالون الجافّ يحتكّ بسترتك أو بقطعة من الصوف.
4. قرّب البالون ببطء من الماء.

اعتمادًا على ملاحظتك:

1. ماذا اكتسب البالون نتيجة احتكاكه بسترتك أو بقطعة الصوف؟
2. ماذا حدث للماء عندما قرّبت البالون منه قبل احتكاكه؟
3. ماذا حدث للماء عندما قرّبت البالون منه بعد احتكاكه؟
4. هل يُمكننا استخدام مسطرة من الحديد بدلًا من البالون؟ ولماذا؟ اشرح.
5. ماذا تستنتج؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل: الكهربائية الساكنة
الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية

أهداف الوحدة

- يوضّح كيف يُمكن أن يحمل جسم ما شحنة موجبة أو سالبة.
- يصف الكشّاف الكهربائي ويعدد استخداماته البسيطة.
- يُعرّف قانون كولوم.
- يميّز بين الموصّلات والعوازل.
- يصف كيفية شحن مادّة عازلة.
- يصف كيفية شحن موصّل بدون توصيل.
- يصف كيفية شحن عازل عن طريق الاستقطاب.
- يصف ماذا يحدث داخل السلك الحامل للتيّار.
- يُعرّف قانون أوم ويُطبّقه.
- يستنتج العوامل التي تُؤثّر في مقاومة السلك.
- يذكر أسباب الصدمة الكهربائية.
- يربط بين القدرة الكهربائية المستخدمة بواسطة جهاز ما وبين التيّار وفرق الجهد.
- يصف دوائر التوالي ودوائر التوازي ويفهم خصائص كلّ منها.
- يُعرّف المقاومة المكافئة.
- يُوضّح أسباب الحمل الزائد على الدوائر الكهربائية الموجودة في المنازل وكيفية تجنّبها.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك! الماء المنحني
تداخل الفيزياء والكيمياء: الكهربائية والروابط الكيميائية
العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: احذر الشحنات
الفيزياء في المجتمع: قطار يسبح في الهواء
الفيزياء في المطبخ: الطبخ بالميكروويف
العلاقة بالكيمياء الكهربائية: التحليل الكهربائي
الفيزياء في المختبر: اختصاصي الكهرباء (الكهربائي)
ارتباط الفيزياء بالتكنولوجيا: قياس بالتيّار الكهربائي

KuwaitTeacher.Com

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- الشحنات والقوى الكهربائية

الدرس الثاني
- الموصّلات والعوازل وطرق الشحن

الدرس الثالث
- الشحن بالتأثير واستقطاب الشحن

نحن نعلم أنّ مبدأ الكهربائية يُفسّر ظاهرة البرق، ويُفسّر سبب الشرارات الصغيرة التي تحدث بين قدميك وسجّاد صوفي تمشي عليه، وغيرها من الظواهر التي لطالما تساءلنا عن أسبابها. كما أنّ المصطلحين شحنة كهربائية سالبة، وشحنة كهربائية موجبة هما مصطلحان شائعان في أيّامنا هذه، وسبق أن استخدمناهما في صفوف سابقة وتكلّمنا عن تجاذب الشحنات المختلفة، وتنافر الشحنات المتشابهة.

ولكن لا بدّ من الإشارة إلى أنّ موضوع الكهرباء الساكنة، والذي هو أساس توليد الكهرباء، كان نتيجة تضافر جهود العلماء التي أدّت إلى اكتشافه وتطوّره واستخدامه.

ففي القرن السادس قبل الميلاد، اكتشف طاليس Thales أنّ حجر الكهرمان يُصبح قادرًا على جذب أجزاء صغيرة من القشّ بعد فركه بالفراء. وبعد 2000 عام، وضع الفيزيائي الإنكليزي وليم غلبرت William Gilbert التعبير شحنة Charge. وفي القرن السابع عشر، وبعد ملاحظة أنّ بعض الأجسام المشحونة تتجاذب وبعضها يتنافر، اقترح الفيزيائي الفرنسي شارل دو فاي Charles Du Fay وجود نوعين من الشحنات. بعد ذلك، أتى العالم الأميركي بنيامين فرنكلين وسمّاها الشحنات السالبة والموجبة. ثمّ اكتشف طومسون Josef Thomson الإلكترون، وتمكّن روبرت ميلكيان من قياس شحنته وتبيّن أنّها أصغر شحنة حرّة في الطبيعة. في هذا الفصل، سوف ندرس الشحنات الكهربائية والقوى المؤثّرة بينها. وسنناقش أيضًا طرق الشحن والفرق بين الموصّلات والعوازل.

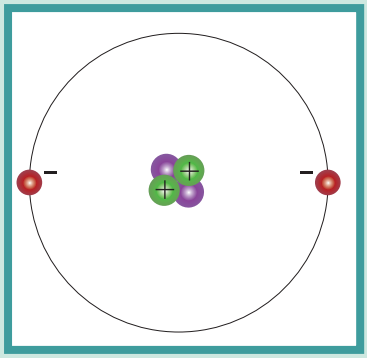
KuwaitTeacher.Com

الشحنات والقوى الكهربائية
Charges and Electrical Forces

الأهداف العامة

- يصف القوى بين الأجسام.
- يُوضّح كيف يمكن أن يكتسب جسم ما شحنة موجبة أو شحنة سالبة.
- يذكر مكونات الكشّاف الكهربائي واستخداماته البسيطة.
- يُعرّف قانون كولوم.
- يُطبّق المعادلة الرياضية لقانون كولوم.

سبق أن تعلّمت عن قوى جذب الأرض التي تجعل الأجسام كلّها تسقط باتّجاهها، وتعلّمت أنّها قوّة تعمل عن بعد من دون الحاجة إلى ملامسة الجسم. وفي هذا الدرس، سوف نتناول نوعًا جديدًا من القوى التي تعمل عن بُعد وتنشأ بين الشحنات الكهربائية، وهي القوّة الكهربائية. وباستخدام قانون كولوم، سوف نتمكّن من حساب مقدار هذه القوّة.



(شكل 28)
تتكوّن النواة في ذرّة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين. تنجذب الإلكترونات إلى النواة موجبة الشحنة.

1. أنواع الشحنات الكهربائية Types of Charges

من خلال فهمنا للتركيب الذرّي للمادّة، ندرك أنّ الذرّة متعادلة كهربائيًّا، إذ تحتوي على عدد متساوٍ من البروتونات والإلكترونات. تتجاذب الإلكترونات مع البروتونات، لكنّها تتنافر في ما بينها. يعود هذان التجاذب والتنافر إلى خاصّية تسمّى **الشحنة** الكهربائية **charge**، وقد تمّ الاتّفاق على أنّ شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة. أمّا النيوترونات الموجودة داخل نواة الذرّة فلا تحمل أيّ شحنة، ولا تنجذب ولا تتنافر مع الشحنات الكهربائية.

2. قانون حفظ (بقاء) الشحنة
Conservation of Charge

يحتفظ كلّ من البروتونات والإلكترونات بشحنة كهربائية خاصّة به. تحتوي الذرّة المتعادلة على العدد نفسه من البروتونات والإلكترونات ولا تملك شحنة كهربائية؛ أي أنّ الشحنة الموجبة تعادل تمامًا الشحنة السالبة. فإذا نزعنا من الذرّة أحد إلكتروناتها، فإنّها تفقد خاصّية التعادل الكهربائي، ويُصبح عدد بروتونات النواة أكبر من عدد الإلكترونات، فيُقال إنّ الذرّة أصبحت موجبة الشحنة.

KuwaitTeacher.Com

تُسمّى الذرّة التي تحمل شحنة كهربائية «أيونًا» . والأيون الموجب له شحنة كلّية موجبة ، أي أنّه فَقَد إلكترونًا أو أكثر ، فيما الأيون السالب له شحنة كلّية سالبة ، أي أنّه اكتسب إلكترونًا أو أكثر .

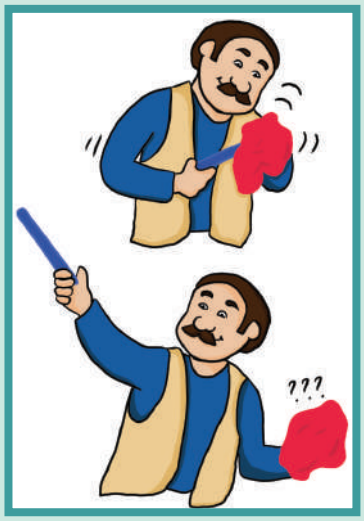
تتكوّن المادّة من الذرّات التي بدورها تتكوّن من إلكترونات وبروتونات (شكل 28) بالإضافة إلى النيوترونات . وكلّ جسم يحتوي على أعداد متساوية من البروتونات والإلكترونات لا يحمل أي شحنة كهربائية (متعادل) . أمّا في حال عدم التساوي ، فيُصبح هذا الجسم مشحونًا كهربائيًّا ، وذلك جرّاء نزع عدد من الإلكترونات أو إضافته .

تكون الإلكترونات التي تدور بالقرب من النواة شديدة الترابط معها ، في حين أنّ الإلكترونات التي تدور في أبعد المدارات يكون ترابطها بالنواة ضعيفًا ويسهل انتزاعها من الذرّة . تختلف قيمة الطاقة اللازمة لنزع إلكترون ما طبقًا لنوع الموادّ المختلفة ، فإلكترونات المطّاط تكون أكثر ارتباطًا بأنويتها من إلكترونات الفراء . لذلك ، عند احتكاك قضيب مطّاطي بالفراء (شكل 29) ، تنتقل الإلكترونات من الفراء إلى المطّاط ، فيُصبح قضيب المطّاط محتويًا على إلكترونات زائدة ، ويُصبح سالب الشحنة . أمّا الفراء ، فيحدث له نقص في الإلكترونات ويصبح موجب الشحنة . أمّا الحرير ، فله ميل للإلكترونات أكثر من ميل الزجاج والبلاستيك لها ، فتنتقل الإلكترونات من الزجاج إلى الحرير عند الاحتكاك .

ونختصر ما سبق بالقول إنّ الجسم الذي لا تتساوى فيه أعداد البروتونات والإلكترونات يكون مشحونًا كهربائيًّا . فإن احتوى على إلكترونات أكثر أصبح سالب الشحنة ، وإن احتوى على إلكترونات أقلّ أصبح موجب الشحنة . تنتقل الشحنات بثلاث طرق: **الاحتكاك (الدلك Rubbing)** ، **التوصيل (اللمس) Conduction** و**التأثير (الحثّ) Induction** .

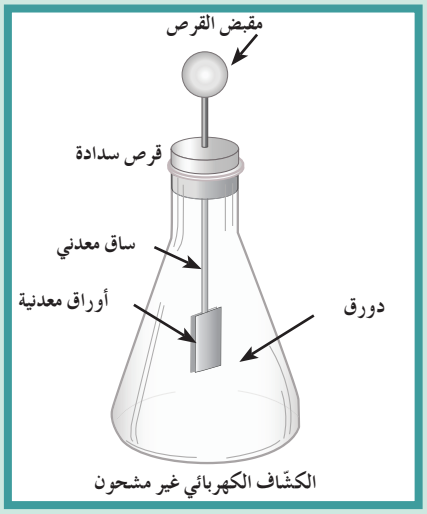
- الشحن بالدلك هو انتقال الإلكترونات من جسم إلى آخر بالاحتكاك بين الجسمين مثل بين الصوف وساق البلاستيك .
- والشحن بالتوصيل هو انتقال الإلكترونات من جسم مشحون إلى جسم آخر بالتلامس المباشر .
- والشحن بالتأثير هو تحرّك الإلكترونات إلى جزء من الجسم بسبب الشحنة الكهربائية لجسم آخر لا يلامسه . وسوف ندرسه بالتفصيل في الدروس اللاحقة في هذا الفصل .

من السهل ملاحظة أنّ **الشحنات لا تفنى ولا تُستحدَث بل تنتقل من مادّة إلى أخرى ، ما يعني أنّ الشحنات الكهربائيّة محفوظة .** وينطبق مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية على كلّ عمليات الشحن ، سواء تلك التي تحدث على نطاق واسع مثل البرق أو التي تحدث على نطاق ضيّق كما في مجال الذرّة . ولم يتمّ رصد أيّ حالة فناء أو استحداث للشحنة حتى الآن في أيّ من العمليات الفيزيائية ، لذا يُعتبَر قانون حفظ الشحنة الركن الأساس في علم الفيزياء .

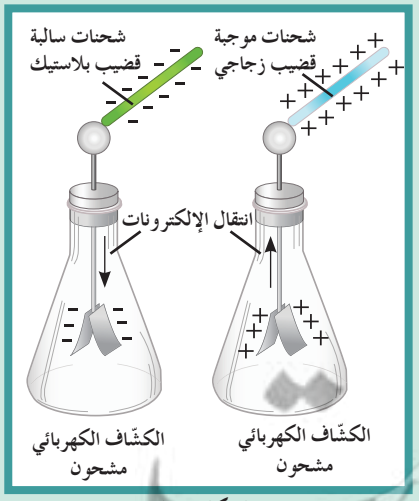


(شكل 29)

تنتقل الإلكترونات من الفراء إلى قضيب المطّاط ، فيصبح قضيب المطّاط سالب الشحنة . هل أصبحت شحنة الفراء موجبة أم سالبة؟



(شكل 30)



(شكل 31)

KuwaitTeacher.Com

في الأجسام التي تحمل شحنة كهربائية، يكون هناك تغيّر (بالزيادة أو النقصان) في عدد إلكتروناتها، ولا يُمكن تجزئة الإلكترون الواحد. هذا يعني أنّ الشحنة الكهربائية التي يحملها أيّ جسم هي مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون الواحد. لا يُمكن وجود شحنة تعادل شحنة $(1000.5)e^-$ أو $(10.5)e^-$ إلكترون، فإنّ مقدار أيّ شحنة كهربائية يجب أن يكون مضاعفًا صحيحًا لشحنة الإلكترون الواحد.

3. الكشف عن الشحنة Detecting Charge

إنّ الشحنة الكهربائية غير مرئية، لكن يُمكن اكتشافها بواسطة أداة خاصّة تُسمّى الكشّاف الكهربائي Electroscope. يتألّف الكشّاف الكهربائي النموذجي (الإلكتروسكوب) من ساق معدنية لها قرص في أعلاها وساق في أسفل حيث توجد ورقتان أو صفيحتان من معدن رقيق جدًّا (ألومنيوم أو فضة أو ذهب). عندما يكون الكشّاف الكهربائي غير مشحون، تتدلّى الورقتان نحو الأسفل (شكل 30).

عندما يلمس القرص جسمًا مشحونًا، تسري الشحنات عبر الساق حتّى تصل إلى الورقتين اللتين تُصبحان مشحونتين بالشحنة نفسها، لذا، فإنّهما تتنافران أو تنفرجان. تتنافر ورقتا الكشّاف الكهربائي إذا شُحِنتا بشحنة سالبة أو موجبة (شكل 31).

4. التفريغ الكهربائي Discharging

لا يحتفظ الجسم المشحون بشحنته إلى الأبد، فالإلكترونات تميل إلى الحركة لتعود بالجسم إلى حالته المتعادلة. وعند جمع جسمين يحمل أحدهما شحنة موجبة والآخر شحنة سالبة، تنتقل الإلكترونات من الجسم ذي الشحنة السالبة إلى الجسم الموجب الشحنة. **يُسمّى فقدان الكهرباء الساكنة الناتج عن انتقال الشحنات الكهربائية بعيدًا عن الجسم بالتفريغ الكهربائي Discharging.**

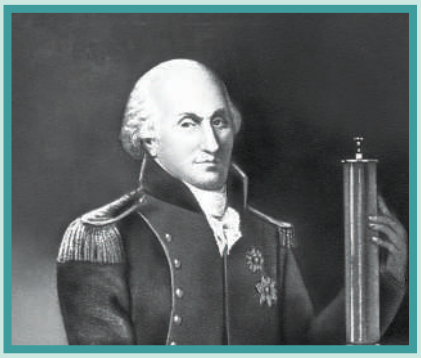
5. قانون كولوم Coulomb's Law

تتّبع القوّة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين قانون التربيع العكسي. وكان العالم الفرنسي شارل كولوم (1736 – 1806م) (شكل 32) أوّل من اكتشف هذه العلاقة وحدّد العوامل التي تعتمد عليها القوّة الكهربائية بين شحنتين نقطيتين، ووضع قانون يُعرَف باسمه.

ينصّ قانون كولوم على ما يلي:

القوّة الكهربائية بين جسمين مشحونين، مُهمل حجمهما بالنسبة إلى المسافة الفاصلة بينهما، تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيًّا مع مربّع المسافة الفاصلة بينهما.

ومن الملاحظ أنّ قانون كولوم يشبه قانون نيوتن للجاذبية، حيث تؤدّي



(شكل 32)
شارل أوغستان دي كولوم (1736 – 1806) الفيزيائي الفرنسي الذي اكتشف قانون القوّة الكهربائيّة بين الجسيمات المشحونة. وسُمِّيت وحدة قياس الشحنة الكهربائية باسمه.

تداخل الفيزياء والكيمياء

الكهربائية والروابط الكيميائية

إنّ الإلكترونات لذرّة ما قريبة من بروتونات الذرّات المجاورة ممّا هي قريبة من إلكترونات هذه الذرّات، وبالتالي تكون قوى تجاذب الإلكترونات مع البروتونات القريبة أقوى من قوى تنافرها مع الإلكترونات. وعندما تُصبح قوى التجاذب كافية، تتّحد الذرّات معًا لتكوّن جزيئات، أي أنّ قوى الروابط الكيميائية التي تعمل على ترابط الذرّات معًا لتكوّن جزيئًا هي قوى كهربائية تعمل داخل حيّز ضيّق حيث لا يوجد توازن بين قوى الجذب والتنافر. فمن المنطق لكلّ من يُدرّس علم الكيمياء أن يكون على معرفة بالكهربائية.

KuwaitTeacher.Com

ويُعبَّر عن قانون كولوم بالعلاقة الرياضية التالية:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

حيث إنّ:

- $q_1 q_2$ تُمثّل مقدار كلّ من الشحنتين ووحدة قياسهما في النظام الدولي للوحدات هي (C).
- d تُساوي المسافة بين شحنتين (m).
- k هي ثابت كولوم وتعتمد على الوسط الذي توجد فيه الشحنتين. بحسب النظام الدولي للوحدات وفي الفراغ أو الهواء، يُساوي ثابت كولوم $9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$.
- F هي القوّة الكهربائية ووحدة قياسها هي النيوتن (N). إنّ اتّجاه القوّة يكون دائمًا على امتداد الخطّ الواصل بين الشحنتين.

مثال (1)

تُمثّل ذرّة الهيدروجين المفردة (شكل 33) أبسط تركيب للذرّة. تتكوّن نواتها من بروتون كتلته kg (1.7×10^{-27}) يدور حوله إلكترون واحد كتلته kg (9.1×10^{-31})، ومتوسّط نصف قطر المدار يساوي m (5.3×10^{-11}). قارن بين القوّة الكهربائية وقوّة الجاذبية لكلّ من البروتون والإلكترون في هذه الذرّة.

[علمًا بأن مقدار شحنة الإلكترون = مقدار شحنة البروتون

$= 1.6 \times 10^{-19}\ C$]

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$ مقدار ثابت الجذب الكوني

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: كتلة البروتون: $m_p = 1.7 \times 10^{-27}$ kg ومقدار شحنته 1.6×10^{-19} c

كتلة الإلكترون: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg ومقدار شحنته 1.6×10^{-19} c

المسافة: $d = 5.3 \times 10^{-11}$ m $G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

غير المعلوم: (أ) القوّة الكهربائية بين البروتون والإلكترون: $F_e = ?$

(ب) قوّة الجاذبية بين البروتون والإلكترون $F_g = ?$

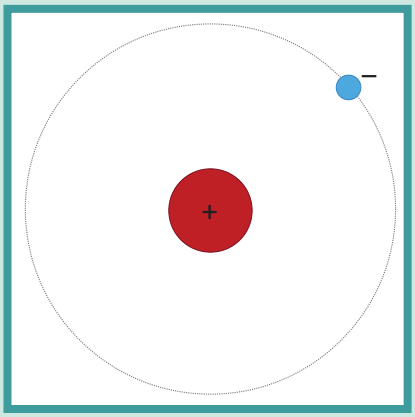
2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام العلاقة الرياضية: (قانون كولوم)

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$F_e = k \frac{qq'}{d^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.2 \times 10^{-8}\ N$$



(شكل 33)
ذرّة الهيدروجين

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. جسم صغير مشحون بشحنة مقدارها $(6)\mu C$ موجودة على بعد $(3)cm$ من كرة صغيرة شحنتها $(1.5)\mu C$.
احسب مقدار القوّة الكهربائية بين الشحنتين؟
الناتج: $(90)N$
2. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة $(4)N$. احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة قيمة كلّ من الشحنتين.
الناتج: $(16)N$
3. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة $(20)N$. احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة المسافة بينهما عن مقدارها السابق.
الناتج: $(5)N$

KuwaitTeacher.Com

مثال (1) تابع

(ب) باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$F_g = \frac{Gm_e \cdot m_p}{d^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= 3.7 \times 10^{-47}\ N$$

وللمقارنة بين القوّتين:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.7 \times 10^{-47}} = 2.2 \times 10^{39}\ N \Rightarrow F_e >> F_g$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ القوّة الكهربائية أكبر بكثير من قوّة الجاذبية كما كنّا نتوقّع.

فإنّ القوى الكهربائية تعادل 10^{39} مرّة قوّة الجاذبية، أي أنّ القوى الكهربائية بين مكوّنات الذرّة تفوق بكثير قوى الجاذبية المتبادلة بين أيّ من هذه المكوّنات.

مثال (2)

جسمان يحمل كلّ منهما شحنة كهربائية معيّنة يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة مقدارها (400)N.

احسب مقدار هذه القوّة عندما تُصبح المسافة بينهما (1/2) قيمتها الأساسية.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: القوّة الكهربائية بين الشحنتين: $F_1 = 400N$

المسافة الجديدة: $d_2 = \frac{d_1}{2}$

غير المعلوم: القوّة الكهربائية بعد تقليل المسافة $F_2 = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

نُلاحظ أنّ القوّة تتناسب عكسيًّا مع مربّع المسافة، وبالتالي نستطيع أن نستنتج العلاقة التالية:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$\frac{F_2}{400} = \frac{d_1^2}{\frac{d_1^2}{4}}$$

$$F_2 = 400 \times 4 = 1\,600\ N$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ القوّة الكهربائية F_2 أكبر من F_1 كما كنّا نتوقّع، لأنّ القوّة بين الشحنتين تزداد إذا قلّت المسافة بينهما والعكس صحيح.

KuwaitTeacher.Com

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – كيف تؤثر الجسيمات ذات الشحنات المتشابهة على بعضها البعض؟ وكيف تؤثر الجسيمات ذات الشحنات المختلفة على بعضها البعض؟

ثانيًا – ما الطرائق الثلاث التي تُنتَج بها الكهرباء الساكنة؟

ثالثًا – عندما يتمّ شحن المشط كهربائيًّا عبر دلكه بواسطة قطعة قماش من الحرير، كيف يُمكن معرفة ما إذا كانت شحنته الكهربائية سالبة أم موجبة؟

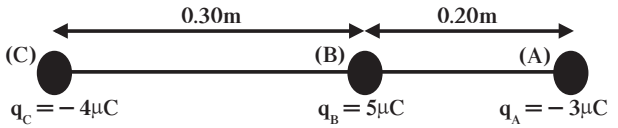
رابعًا – برأيك، لماذا تُجهَّز شاحنة لنقل الغاز أو النفط بسلسلة معدنية تتدلّى من الخلف بشكل يبقى طرفها الأسفل دائمًا على تماسّ مع الأرض؟

خامسًا – **(أ)** احسب مقدار القوّة الكهربائية بين شحنتين $q_1 = 50\mu C$ و$q_2 = 20\mu C$ يبعدان عن بعضهما بعضًا $(20)cm$؟

(ب) كم تصبح هذه القوّة إذا استبدلت الشحنة الأولى بشحنة لها ضعف قيمتها.

سادسًا – ثلاث كرات متماثلة A وB وC. الكرة A لها شحنة مقدارها $(+20)\mu C$ والكرة B لها شحنة مقدارها $(-40)\mu C$ والكرة C لا يوجد عليها أيّ شحنة. معتمدًا على قانون بقاء الشحنة، احسب شحنة كلّ من الكرات الثلاث بعد أن تلامس الكرة C الكرة A ومن ثمّ الكرة B.

سابعًا – احسب مقدار القوّة المؤثرة على الكرة C وقيمة شحنتها q_C، من جرّاء وجودها بالقرب من الكرتين A وشحنتها q_A، وB وشحنتها q_B (انظر الشكل المرفق).



ثامنًا – جسمان يحمل كلّ منهما شحنة كهربائية معيّنة يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة مقدارها $(400)N$. احسب مقدار هذه القوّة عندما تُصبح المسافة بينهما $\left(\frac{1}{8}\right)$ من قيمتها الأساسية.

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع

احذر الشحنات

يجب على الفنّيين الذين يصلحون الدوائر الإلكترونية، كتلك الموجودة في الحاسوب، أن يحذروا انتقال أيّ شحنات من أجسامهم إلى الدوائر. يُمكن لهذه الشحنات أن تُدمّر الدوائر وأيّ معلومات تحويها. يقف بعض الفنّيين على وسادة عازلة ويرتدون أربطة حول معصمهم تتّصل بسلك أرضي للتسريب الكهربائي تمنع انتقال الشحنات إلى الدوائر الإلكترونية الحسّاسة.

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

الموصّلات والعوازل وطرق الشحن
Conductors, Insulators and Charging

الأهداف العامة

- يُميّز بين الموصّلات والعوازل.
- يتعرّف الشحن بالدلك واللمس.

(شكل 34)

هل يكون سريان الشحنات لعدّة كيلومترات في الأسلاك المعدنية أسهل من سريانها عدّة سنتيمترات في مادّة عازلة؟

في خطوط نقل القدرة الكهربائية (شكل 34)، تسري الشحنات الكهربائية عبر الأسلاك لكنّها لا تستطيع أن تسري في الموادّ التي تفصل الأسلاك عن الأبراج المعدنية التي تحملها. يدلّ هذا على أنّ الشحنات الكهربائية لا تستطيع المرور بجميع الموادّ. في هذا الدرس، سوف نُصنّف الموادّ إلى موادّ موصّلة وموادّ عازلة، وذلك بحسب سماحها للشحنات بالمرور فيها، وسوف نتطرّق إلى كيفية شحن بعض الموادّ الموصّلة والعازلة.

1. الموصّلات والعوازل Conductors and Insulators

تتحرّك الإلكترونات بسهولة أكبر داخل بعض الموادّ. تتميّز إلكترونات المدارات الخارجية في ذرّات الفلزّات بأنّها ضعيفة الترابط مع نواة الذرّة، ما يعطيها حرّية الحركة داخل حدود هذا الفلزّ. تُعتبَر مثل هذه الموادّ موصّلات جيّدة، فالفلزّات هي موصّلات جيّدة لحركة الشحنات الكهربائية (الإلكترونات)، وللحرارة أيضًا، وذلك لاحتوائها على إلكترونات حرّة. في المقابل تكون إلكترونات بعض الموادّ، كالمطّاط والزجاج مثلًا، مترابطة جيّدًا داخل الذرّات.

KuwaitTeacher.Com

لا تتمتّع هذه الإلكترونات بحرّية الحركة إلى ذرّات أخرى ضمن هذه المادّة. وتكون مثل هذه الموادّ رديئة التوصيل للكهرباء، وبالتالي للحرارة للسبب نفسه، وتسمّى هذه الموادّ العوازل.

يُمكن تصنيف كلّ الموادّ من حيث قابليتها للتوصيل الكهربائي. فالموادّ التي تأتي على رأس القائمة هي **الموصّلات Conductors**، والتي تأتي في أسفلها هي **العوازل Insulators**.

المسافة بين رأس القائمة وأسفلها كبيرة جدًّا. يكون التوصيل الكهربائي للفلزّات مثلًا أكبر من التوصيل الكهربائي للزجاج بملايين من المرّات.

إنّ تصنيف المادّة من حيث كونها موصّلًا أو عازلًا يعتمد على مدى قوّة ترابط الإلكترونات داخلها.

2. أشباه الموصّلات Semiconductors

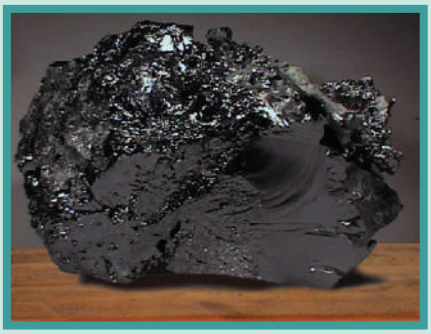
توجد موادّ معيّنة مثل السيليكون (شكل 35) والجرمانيوم تكون عوازل جيّدة، وهي على شكل بلّورات نقيّة من درجات الحرارة القريبة من الصفر المطلق. وتزيد قدرتها على التوصيل عند استبدال ذرّة واحدة من كلّ مليون ذرّة بذرّة من عنصر مختلف، بحيث تحدث زيادة أو نقص إلكترون واحد من التركيب البلّوري لها، ومن ثمّ يُمكن استخدامها كمادّة عازلة أو كمادّة موصّلة للكهرباء. تُسمّى هذه الموادّ **أشباه موصّلات Semiconductors**. والوصلة الثلاثية الترانزستور ما هي إلّا ثلاث شرائح رقيقة من أشباه الموصّلات المتلاصقة. يدخل الترانزستور (شكل 36) في العديد من الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا اليومية.

3. الموصّلات الفائقة Super Conductors

تكتسب بعض الفلزّات قدرة غير محدودة على التوصيل الكهربائي (مقاومة صفر لسريان الشحنات)، وذلك على درجات حرارة منخفضة تقترب من الصفر المطلق، وتُسمّى هذه الفلزّات الموصّلات الفائقة **Super conductors**. ومنذ العام 1987، تمّ اكتشاف «موصّلات فائقة» تعمل على درجة حرارة أعلى من (100)k، وهي مركّبات عديدة غير فلزّية. تتميّز الموصّلات الفائقة بأنّها بمجرّد تكوّن تيّار داخلها، تستمرّ الإلكترونات المكوّنة له في الحركة إلى ما لا نهاية.

4. الشحن بالدلك واللمس Charging by Friction and Contact

اعتدنا جميعًا الآثار الناتجة عن الشحن الناتج من الدلك. مثلًا، عند مداعبة هرّ بفرك شعر جسمه، نسمع صوت الفرقعات الخفيفة للشرارات الصغيرة المتكوّنة، أو عند تمشيط شعرنا أمام المرآة في الظلام نرى ونسمع فرقعات الشرارات المتكوّنة. في هذه الحالات، تنتقل



(شكل 35)
يُعتبَر السيليكون من أكثر أشباه الموصّلات استعمالًا.

(شكل 36)
ترانزستور يُستخدَم في الأجهزة الإلكترونية كالراديو، والتلفزيون، والكومبيوتر.

الفيزياء في المجتمع

قطار يسبح في الهواء

في اليابان، تمّ تصميم قطار يعمل على قضبان مصنوعة من الموادّ فائقة التوصيل. وعندما تبرد هذه القضبان إلى درجة الحرارة المطلوبة، يرتفع القطار بكامله عن سطح القضبان نتيجة التنافر المغناطيسي بين القطار والسكّة ويصبح وكأنّه يسير في الهواء، ما يمنع الاحتكاك ويُقلّل من استهلاك الوقود.

KuwaitTeacher.Com

الإلكترونات بالدلك بين مادّتين. فانتقال الإلكترونات من مادّة إلى أخرى نتيجة الدلك يُسمّى عملية الشحن بالدلك.

يُمكن أن تنتقل الإلكترونات من مادّة إلى أخرى بمجرّد اللمس. فعند وضع جسم مشحون بحيث يُلامس جسمًا آخر غير مشحون (متعادل)، تنتقل بعض الشحنات إلى الجسم المتعادل إذا كان من مادّة موصّلة للكهرباء، وتتوزّع الشحنات على سطحه لأنّ الشحنات المتشابهة تتنافر. أمّا إذا كان من مادّة عازلة، فيجب أن يلامس الجسم المشحون عدّة نقاط منه للحصول على توزيع متماثل تقريبًا للشحنات على الجسم العازل. وهذا ما يُفرّق شحن جسم موصّل عن شحن جسم عازل.

مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – ما الفرق بين الموصّلات الجيّدة والعوازل الجيّدة؟

ثانيًا – (أ) ما السبب في أنّ بعض الموادّ مثل المطّاط والزجاج تكون عوازل جيّدة؟

(ب) ما السبب في أنّ الفلزّات تكون جيّدة لتوصيل الكهرباء؟

ثالثًا – عرّف أشباه الموصّلات.

رابعًا – عرّف الموصّلات الفائقة.

معلمي الكويت
صفوة
KuwaitTeacher.Com

الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة
Charging by Induction and Charge Polarization

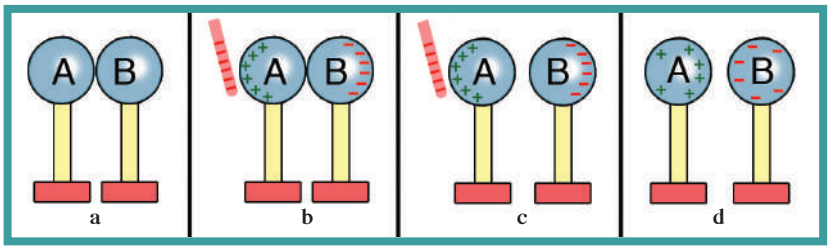
الأهداف العامة

- يصف كيفية شحن مادّة عازلة.
- يصف كيفية شحن موصّل بدون توصيل.
- يصف كيفية شحن عازل عن طريق الاستقطاب.

ناقشنا في الدرس السابق الشحن بالدلك واللّمس. في هذا الدرس، سنتناول الشحن بالتأثير ويُسمّى أيضًا الشحن بالحثّ أو التحريض.

1. الشحن بالتأثير (الحثّ) Charging by Induction

عند تقريب جسم مشحون إلى سطح موصّل ما، تتحرّك الإلكترونات على هذا السطح بدون أيّ تلامس بين الجسمين.



(شكل 37)
الشحن بالتأثير

بالنظر إلى الكرتين المعدنيتين المعزولتين A وB في (شكل 37)، تتلامس الكرتان في الصورة «a» من الشكل، أمّا في الصورة «b»، فيقرب جسم سالب الشحنة من الكرة «A».

تتنافر الإلكترونات من الكرة «A» مع الشحنة السالبة وتبتعد إلى الكرة «B» وتتراكم عليها تاركة شحنة موجبة على الكرة «A».

لقد تمّت إعادة توزيع الشحنات بين الكرتين. وهنا يقال إنّه تمّ تأثير شحنة على الكرتين. في الصورة «c»، تمّ فصل التلامس بين الكرتين مع وجود الجسم المشحون. تُوضّح الصورة «d» إزالة الجسم المشحون، ونُلاحظ أنّ الكرتين شُحِنَتا بشحنتين متساويتين ولكن مختلفين في النوع.

KuwaitTeacher.Com