المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 3

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة 1445-2023

يوزع مجاناً ولا يباع

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٤هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء ٣ – التعليم الثانوي – نظام المسارات – السنة الثالثة.
وزارة التعليم.– الرياض ، ١٤٤٤هـ
٦٢٤ ص؛ ٢٧.٥ x ٢١ سم
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

١– الفيزياء – تعليم – السعودية ٢– التعليم الثانوي – السعودية – كتب دراسية أ. العنوان
ديوي ٥٣٠.٠٧١٢ ١٤٤٤/٨٧٦٤

رقم الإيداع : ١٤٤٤/٨٧٦٤
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

موقع واجباتك

الفصل 3

الصوت
Sound

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الصوت بدلالــة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.
- توضيــح الخصائص التــي تميز بين الأصوات المنتظمة والضجيج.

الأهمية

يُعدّ الصوت وســيلة مهمة للتواصل، ونقل الثقافات المختلفة بين الشعوب. وحديثًا تعــد موجاته إحدى وســائل المعالجة.

فِرَق النشيد تحتوي فرقة النشيد الواحدة على أكثر من شــخص، ولكل شخص منهم صوت مختلف عن الآخر، وعندما ينشــدون معًــا تنتج أصــوات مختلفة، ولكنها تكــون ذات إيقاعــات مريحة للنفس.

فكر ◄

تختلف الأصوات الصادرة عن الأجسام باختلاف طبيعة هذه الأجسام، وبسبب هذا الاختلاف نستطيع التمييز بين هذه الأصوات. فما سبب هذا الاختلاف؟

تولد الآلات والأجسام الصوت بطرائق متعددة فقد يكون الصوت ناتجا عن اهتزاز عمود هواء أو سطح مهتز او اهتزاز أوتار وسطح في حالة رنين وترتبط الاختلافات في الاصوات الناتجة عن الآلأت أو الأجسام بنمط موجات الصوت التي تشكلها

موقع واجباتك

موقع واجباتي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر أصواتًا مختلفة؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استخدام كؤوس زجاجية لإصدار أصوات مختلفة؟ وكيف تختلف الأصوات الصادرة عن الكؤوس ذات السيقان عن الأصوات الصادرة عن الكؤوس التي بلا سيقان؟

الخطوات

1. اختر كأسًا زجاجية ذات ساق ولها حافة رقيقة.
2. **حضّر** تفحّص بحذر الحافة العلوية للكأس؛ حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأسًا مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبِّت قاعدة الكأس بإحدى يديك، ثم بلّل إصبعك وحكّها ببطء حول الحافة العلوية للكأس. **تحذير**: تعامل مع الزجاج بحذر؛ لأنه هَشّ.
4. سجّل مشاهداتك، ثم زِد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
5. اختر كأسًا ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات 4–2.
6. اختر كأسًا بلا ساق، وكرّر الخطوات 4–2.

التحليل

لخص مشاهداتك، ما الكؤوس التي لها المقدرة على إصدار أصوات: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في الأصوات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار أصوات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك، ثم اقترح اختبارًا لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار أصوات.

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

الصوت جزء مهم في حياة العديد من المخلوقات الحية؛ إذ تستخدم الحيوانات الصوت للصيد والتزاوج والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يزيد صوت صفارة الإنذار من القلق لدى الناس، في حين تساعد أصوات أخرى ـ ومنها صوت الأذان أو تلاوة القرآن ـ على التهدئة وإراحة النفس. ولقد أصبح مألوفًا لديك ـ من خلال خبرتك اليومية ـ العديد من خصائص الصوت، ومنها علوّه ونغمته وحدّته. ويمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من ميزات فِرَق النشيد. وستدرس في هذا الفصل المبادئ الفيزيائية للموجات الصوتية.

درست في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. كما استكشفت كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض وتفاعلها مع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي تحتاج إلى إجابته أولًا هو: ما نوع موجة الصوت؟

الأهداف

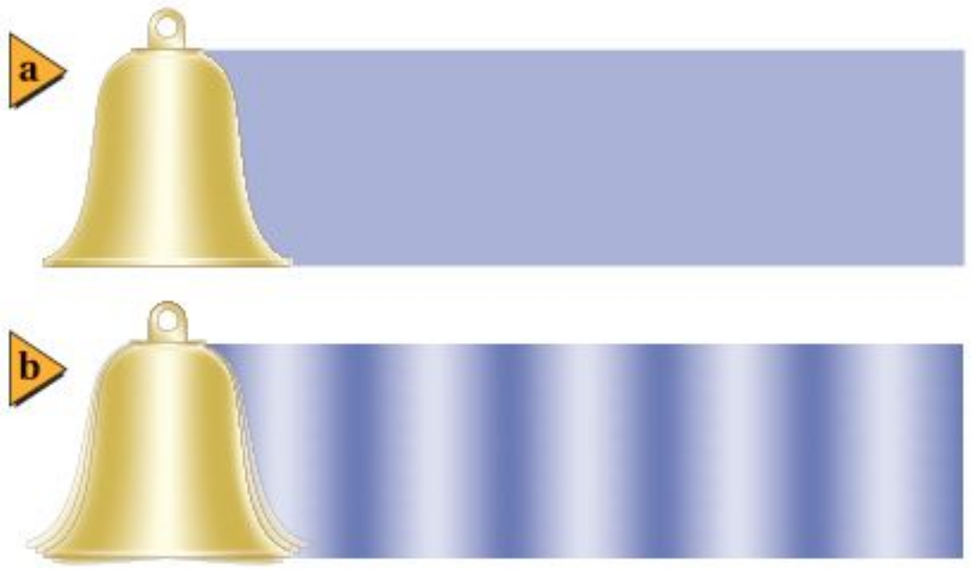
- **تبيّن** الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
- **تربط** الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية بإدراكنا للصوت.
- **تحدّد** بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

الموجة الصوتية
حدّة الصوت
علوّ الصوت
مستوى الصوت
الديسبل
تأثير دوبلر

موقع واجباتي

موقع واجباتي



■ **الشكل 1–3** يكون الهواء حول الجرس قبل قرعه ذا ضغط متوسط (a). وعند قرعه تُحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع، وأخرى ذات ضغط منخفض؛ حيث تمثل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (b). ويبين الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعليًا من الجرس في الاتجاهات جميعها.

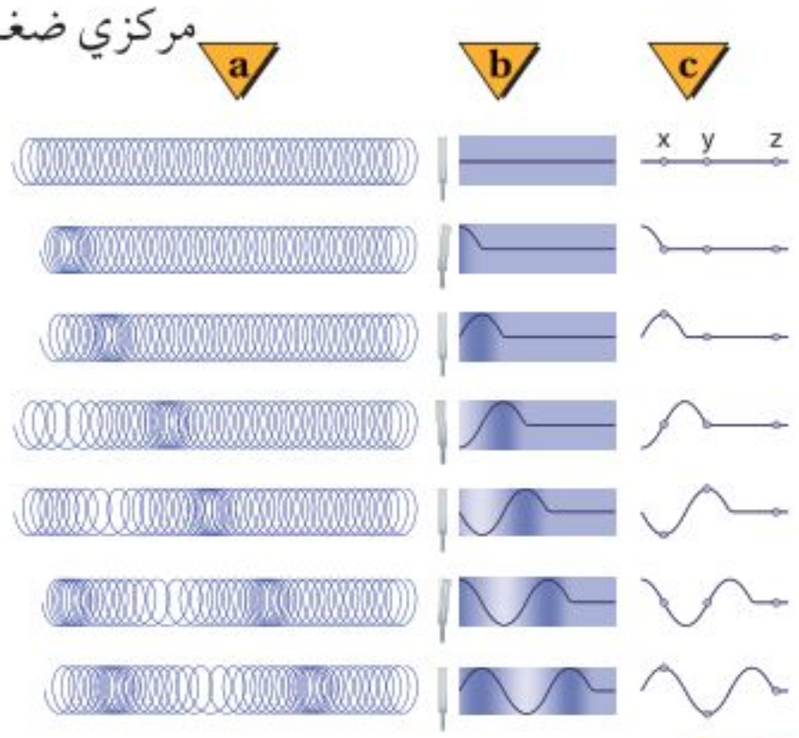
الموجات الصوتية Sound Waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُنشد. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سمّاعة مسجل؟ يوضّح **الشكل 1–3** جرسًا يهتز، وهو يشبه أوتارك الصوتية أو سمّاعة المسجل أو أي مصدر للصوت؛ فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام، تصدم حافة الجرس جزيئات الهواء، وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.

وينتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يأتي: تُؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أكبر قليلًا من المتوسط، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أقل قليلًا من المتوسط. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وإذا ركّزت على بقعة واحدة فستشاهد ارتفاع ضغط الهواء وانخفاضه، بخلاف سلوك البندول. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط خلال المادة.

وصف الصوت يسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ **موجةً صوتيةً**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في **الشكل 2–3**. ويكون تردد الموجة هو عدد اهتزازات قيمة الضغط في الثانية الواحدة. أمّا الطول الموجي فيمثل المسافة بين مركزي ضغط مرتفع أو منخفض متتاليين. ويُعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازية لاتجاه انتشار الموجة.

■ يبين **الشكل 2–3** نمذجة تضاغطات وتخلخلات موجة صوت باستخدام نابض (a). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (b). ويمكنك استعمال منحنى الجيب وحده لتعبر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع x، y، وz تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (c).



تعتمد سرعة الصوت في الهواء على درجة الحرارة؛ حيث تزداد سرعته في الهواء 0.6 m /s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C. فمثلا، تتحرك موجات الصوت خلال هواء له درجة حرارة الغرفة، 20 °C، عند مستوى سطح البحر بسرعة 343 m /s. وينتقل الصوت خلال المواد الصلبة والموائع أيضًا. وتكون سرعة الصوت عمومًا في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وأكبر منها في الغازات. ويبين **الجدول 1–3** سرعات موجات الصوت في أوساط متعدّدة. ولا ينتقل الصوت في الفراغ؛ وذلك لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تشـــترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، مثل انعكاسها عن الأجســـام الصلبة، كجدران غرفة مثلاً. وتُسمى موجات الصوت المنعكسة عند وصولها إلى مصدرها الصَّدَى. ويمكن اســـتخدام الزمن الذي يحتـــاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويستخدم هذا المبدأ الخفافيش، وبعض الكاميرات، وبعض الســـفن التي تســـتخدم السونار. ومن الممكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يؤدي إلى نشـــوء بقـــع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًّا. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما درست في الفصل السابق، من خلال المعادلة الآتية: $\lambda = v / f$

الجدول 1–3

سرعة الصوت في أوساط متعدّدة

الوسط	m/s
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الماء (25 °C)	1493
ماء البحر (25°C)	1533
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130

الاجابة في الصفحة التالية

مسائل تدريبية

1. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددهـــا 18 Hz تتحرك في هواء درجة حرارته 20 °C؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).
2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وســـمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟
3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

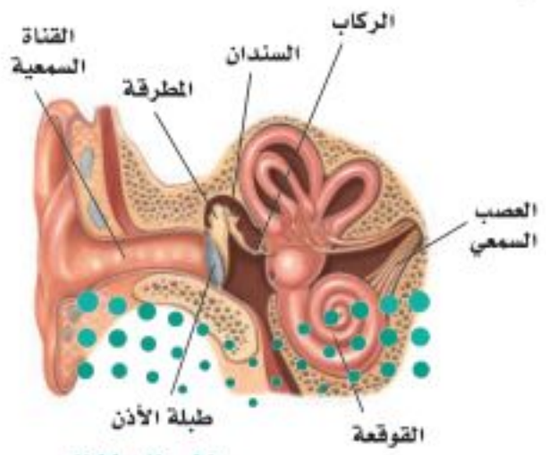
الكشف عن موجات الضغط Detection of Pressure Waves

تحوّل كاشفات الصوت الطاقة الصوتية – الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة– إلى شكل آخر من أشـــكال الطاقة. ويُعد الميكروفون أحد الكاشـــفات الشـــائعة؛ حيث يحول طاقة الموجات الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز اســـتجابة للموجات الصوتية، وينتج إشـــارة كهربائية. وستدرس عملية التحويل هذه في المقرّرات اللاحقة، خلال دراستك لموضوع الكهرباء والمغناطيسية.

الأذن البشـرية تعد الأذن البشرية، كما في **الشكل 3–3**، كاشفًا يستقبل موجات الضغط، ويحوّلها إلى نبضات كهربائية؛ حيث تدخل الموجاتُ الصوتية القناةَ الســـمعية، وتُســـبّب اهتزازاتٍ لغشـــاء طبلة الأذن، ثم تنقل ثلاثة عظام دقيقة هذه الاهتزازات إلى ســـائل في القوقعـــة. وتلتقط شـــعيرات دقيقة تبطّن القوقعـــة الحلزونية تردّدات معيّنة في الســـائل المتذبذب، فتُنشِّـــط هذه الشـــعيرات الخلايـــا العصبية، والتي ترســـل بدورها نبضات – سيّالات عصبية – إلى الدماغ، وتولّد الإحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات، وهي حساسة لمدى كبير جدًّا من السعات. كما يستطيع الإنسان التمييز بين أنواع مختلفة من الأصوات. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن معرفة بالفيزياء والأحياء. ويعد تفســـير الأصوات في الدماغ أمرًا معقدًا، وما زالت الأبحاث مستمرة لفهمه بصورة تامة.

الربط مع الأحياء



الشكل 3–3 تُعدّ الأذن البشرية أداة إحساس معقدة؛ إذ تترجم اهتزازات الصوت إلى سيّالات عصبية ترسل إلى الدماغ لتفسيرها. وهناك ثلاثة عظام في الأذن الوسطى، هي: المطرقة، والسندان، والركاب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

موقع واجباتي

1. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددهـــا 18 Hz تتحرك في هواء درجة حرارته 20 °C؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).

.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\ \text{m/s}}{18\ \text{Hz}} = 19\ \text{m}$$

2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وســمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟

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

لذا فإن

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(0.40\ \text{s}) = 140\ \text{m}$$

3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

لذا فإن

$$v = \lambda f = (0.655\ \text{m})(2280\ \text{Hz})$$

$$= 1490\ \text{m/s}$$

وتقابل هذه السرعة سرعة الصوت في الماء عند 25°C.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

إدراك (تمييز) الصوت Perceiving Sound

حدّة الصوت كان مارن ميرسن وجاليليو أول من توصلا إلى أن **حدّة الصوت** الذي نسمعه تعتمد على تردد الاهتزاز. ولا تكون الأذن حساسة بالتساوي للترددات جميعها؛ فأغلب الأشخاص لا يستطيعون سماع أصوات ترددتها أقل من 20 Hz أو أكبر من 20,000 Hz. ويكون إحساس الأشخاص الأكبر سنًّا بالترددات الأكبر من 10000 Hz أقل مقارنة بالأشخاص الأصغر سنًّا. ولا يتمكن أغلب الناس عند عمر 70 سنة تقريبًا، من سماع أصوات ترددتها أكبر من 8000 Hz، مما يؤثر في مقدرتهم على فهم الحديث.

عُلوّ الصوت التردد والطول الموجي خاصيتان فيزيائيتان للموجات الصوتية. ومن الخصائص الأخرى لموجات الصوت السعة؛ وهي مقياس لتغير الضغط في الموجة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا للصوت، وتنقله إلى الدماغ ليتم تفسيره هناك. ويعتمد **علوّ الصوت** ـ عند إدراكه بحاسة السمع ـ على سعة موجة الضغط في المقام الأول.

إن الأذن البشرية حساسة جدًّا لتغيرات الضغط في الموجات الصوتية، والتي تمثل سعة الموجة. فإذا علمت أن 1 atm من الضغط يساوي 1.01×10^5 Pa، فإن الأذن تستطيع تحسّس سعات موجات ضغط قيمها أقل من واحد من المليار من الضغط الجوي، أو 2×10^{-5} Pa. أما الحد الأقصى للمدى المسموع فإن تغيرات الضغط المقاربة لـ 20 Pa أو أكثر تسبّب الألم للأذن. ومن المهم تذكر أن الأذن تتحسّس تغيرات الضغط عند ترددات معينة فقط. فالصعود إلى الجبل يغير الضغط على أذنيك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن هذا التغير لا يعد ذا أهمية أو تأثير في الترددات المسموعة.

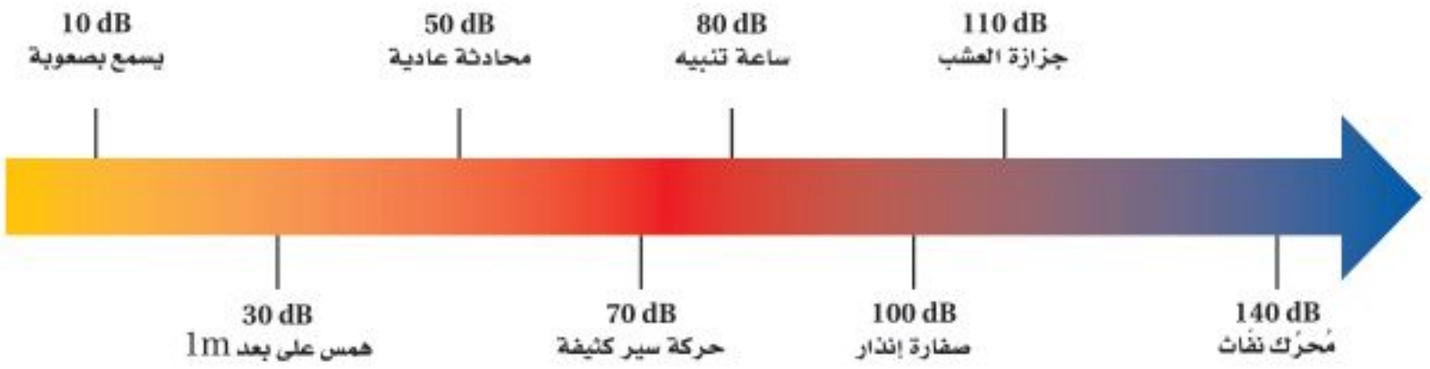
ولأن البشر يستطيعون تحسّس مدى واسع من تغيرات الضغط فإن هذه السعات تُقاس على مقياس لوغاريتمي يُسمّى **مستوى الصوت**، ووحدة قياسه هي **الديسبل** (dB). حيث يعتمد مستوى الصوت على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويساوي 2×10^{-5} Pa. ومثل هذه السعة لها مستوى صوت يعادل 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي سعة ضغطه أكبر عشر مرات من 2×10^{-4}Pa مساويا لـ 20 dB، ومستوى صوت سعة ضغطه أكبر عشر مرات من ذلك هو 40 dB. ويدرك أغلب الأشخاص زيادة بمقدار 10 dB في مستوى الصوت وكأنها مضاعفة لعلو الصوت الأصلي بمقدار مرتين. ويبين **الشكل 4–3** مستوى الصوت للعديد من الأصوات. وبالإضافة إلى وصفها تغيرات الضغط، تستعمل مقاييس الديسبل أيضًا لوصف قدرة موجات الصوت وشدتها.

إن التعرض للأصوات الصاخبة يسبّب فقدان الأذن لحساسيتها، وخصوصًا للترددات العالية. وكلّما تعرض الشخص للأصوات الصاخبة فترة أطول كان التأثير أكبر. ويستطيع

تجربة عملية

ما الديسبل؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 4–3 يبين مقياس الديسبل هذا مستويات الصوت لبعض الأصوات المألوفة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الشـــخص التخلص من أثر التعـــرض لفترة قصيرة للصوت الصاخب خلال ســـاعات معـــدودة، ولكن يمكن أن يســـتمر أثر التعرض لفترة طويلة إلى أيام أو أســـابيع. ويؤدي التعرض الطويل إلى مستوى صوت 100 dB أو أكبر من ذلك إلى ضرر دائم.

وقد ينتج ضعف السمع عن الأصوات الصاخبة في سمّاعات الرأس الموصولة بالراديو أو مشـــغلات الأقراص المدمجة. وفي بعض الحالات يغفل المستمعون عن مستويات الصوت المرتفعة. وللتقليل من الأضرار الناجمة عن الأصوات الصاخبة تم استعمال سدّادات الأذن القطنية التي تُخفّض مســـتوى الصوت بمقـــدار 10 dB فقط. وقد تختزل بعض الملحقات الخاصة بالأذن 25 dB. فيما تُخفّض ســـدّادات الأذن والملحقات الأخرى المصمّمة بصورة محدّدة، كما يبين **الشكل 5–3** مستوى الصوت بمقدار 45 dB.

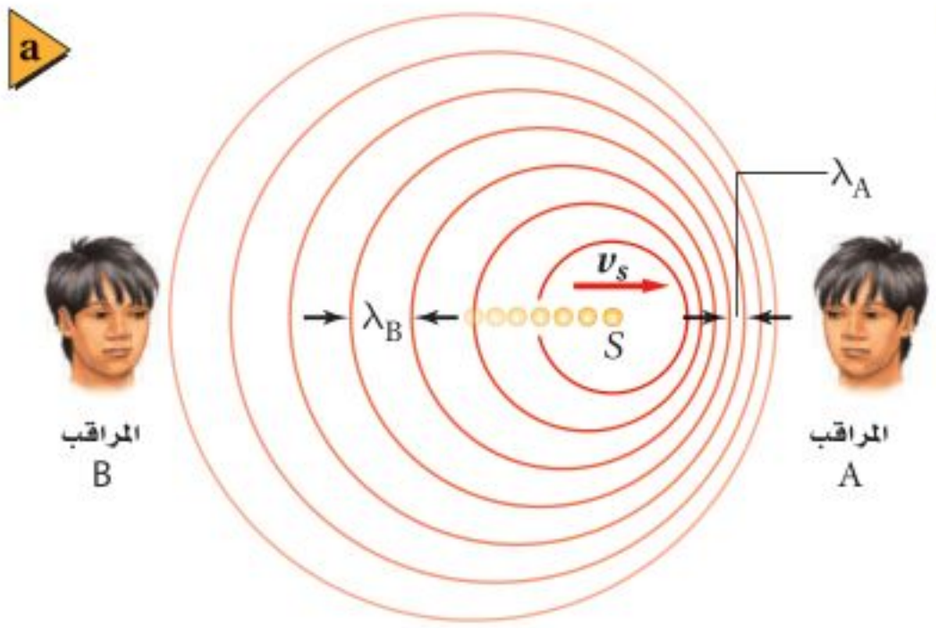
لا يتناســـب علوّ الصوت طرديًّا مع تغيرات الضغط في موجات الصوت عند إحساســـه بالأذن البشرية؛ حيث تعتمد حساســـية الأذن على كلٍّ من حدّة الصوت وســـعته. كما أن إدراك الأصوات النقية بالأذن يختلف عن إدراك الأصوات المختلطة.

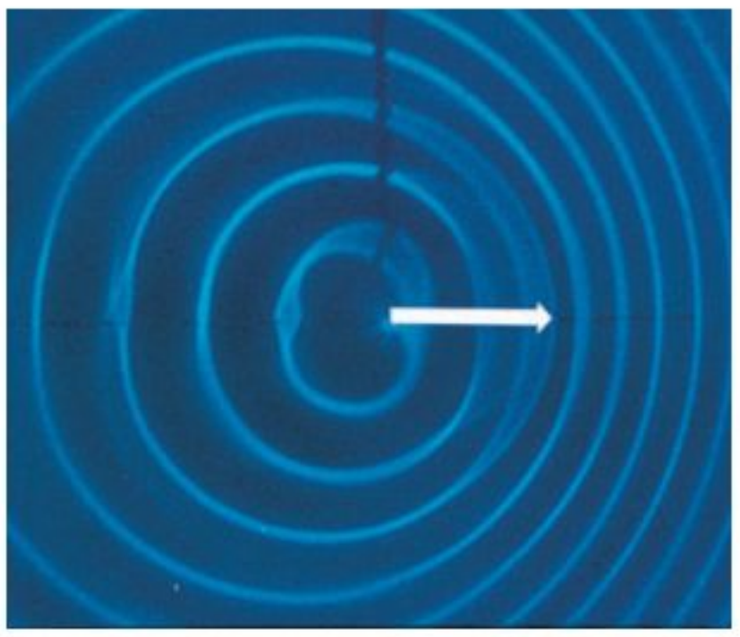
■ **الشكل 5–3** قد يؤدي التعرض المستمر للأصوات الصاخبة إلى ضعف في السمع أو فقدانه تمامًا. وعلى العاملين في بعض المهن مثل مراقب الطيران استعمال أداة لحماية السمع.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

هل لاحظت أن حدّة صوت ســـيارة الإســـعاف أو الإطفاء أو صفـــارة الشرطة تتغير مع مرور المركبة بجانبك؟ تكـــون حدّة الصوت أعلى عندما تتحـــرك المركبة في اتجاهك، ثم تتناقص حدّة الصوت لتصبح أقل عندما تتحرك المركبة مبتعدةً عنك. ويُســـمى انزياح أو تغيّر التردد **تأثير دوبلر**، كما هو موضح في **الشـــكل 6–3**. حيث يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمـــين بسرعة v_s، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصـــدر في دوائر مركزها المصدر، في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه كاشـــف الصوت، الذي هو المراقب A في **الشـــكل 6a–3**، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقـــب، لذا يقل الطول الموجـــي ويصبح λ_A. ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوســـط الواحد فإن قِممًا أكثر تصل أذن المراقب في كل ثانية، مما يعني أن تردد الصوت عند المراقب A قـــد ازداد. في حين يـــزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيدًا عن الكاشـــف، وهو المراقب B في **الشـــكل 6a–3**، ويصبح λ_B، ويقل تردد الصوت عنـــد المراقب B. ويبين **الشكل 6b–3** تأثير دوبلر لمصدر صوتي متحرك في موجات الماء داخل حوض الموجات. ويحدث تأثير دوبلر أيضًا إذا كان الكاشـــف متحركًا والمصدر ثابتًا، إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النســـبية لموجات الصوت والمراقب. فمع اقتراب المراقب من المصدر الثابت تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قِمم الموجات

■ **الشكل 6–3** يقل الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، ويصبح λ_A؛ ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيدًا عن المراقب B ويصبح λ_B (**a**). وتوضح حركة مصدر الموجات الصوتية تأثير دوبلر في حوض الموجات (**b**).





موقع واجباتي

موقع واجباتك

التـــي تصل إليه في كل ثانية. ومع ابتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النســـبية، مما يؤدي إلى نقصان في قِمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية.
يمكن حســـاب التردد الذي يسمعه المراقب إذا كان المصدر وحده متحركًا، أو المراقب وحده متحركًا، أو كان كلاهما متحركين، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

تأثير دوبلر $f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$

التردد الذي يدركه مراقب يســـاوي السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، مقسومًا على السرعة المتجهة للمصدر بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، وكله مضروب في تردد الموجة.

تمثـــل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة المتجهة لموجة الصوت، و v_d السرعة المتجهة للمراقب، و v_s السرعة المتجهة لمصدر الصـــوت، و f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر، و f_d التردد الذي يستقبله المراقب. وتطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو حركة المراقب، أو عند حركة كليهما.
عند حل المسائل باستخدام المعادلة السابقة، تأكد من تعريف نظام الإحداثيات، بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصـــدر إلى المراقب. وتصل الموجات الصوتيـــة إلى المراقب من المصدر، لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائمًا. حاول رســـم مخطّطات للتحقق من أن المقدار $(v\text{-}v_d)/(v\text{-}v_s)$ يعطي نتائج كما تتوقع، اعتمادًا على ما تعلمته حول تأثير دوبلر. ولاحظ أنه بالنســـبة إلى مصدر يتحرك في اتجاه المراقب (الاتجاه الموجب، الـــذي ينتج مقام أصغر مقارنة بالمصدر الثابت)، ولمراقب يتحرك في اتجاه المصدر (الاتجاه الســـالب، الذي ينتج زيادة البسط مقارنة بمراقب ثابت) فإن التردد الذي يســـتقبله المراقـــب f_d يزداد. وبالمثل إذا تحرك المصدر بعيـــدًا عن المراقب، أو إذا تحـــرك المراقب بعيدًا عن المصدر فإن f_d تقـــل. اقرأ الرياضيات في الفيزياء أدناه لترى كيف تُختصر معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقِب ثابتًا.

الرياضيات في الفيزياء

اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر ما صفرًا في معادلة معقدة فإن المعادلة قد تُختصر في صورة أكثر سهولة للاستخدام.

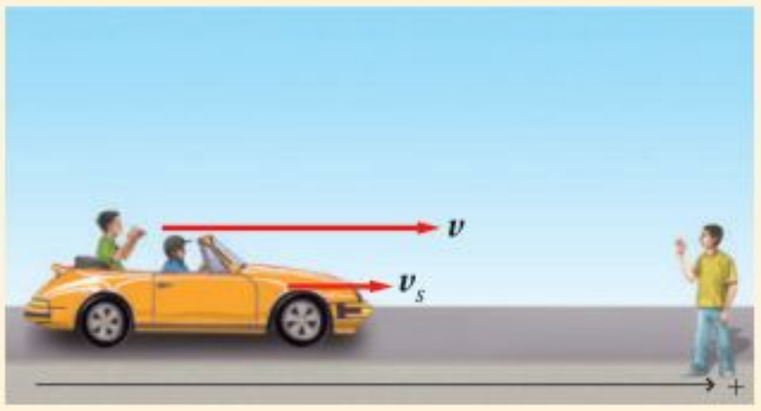
مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرك: $v_s = 0$
$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$	$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$
$= f_s\left(\frac{v}{v - v_s}\right)$	$= f_s\left(\frac{v - v_d}{v}\right)$
$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}}\right)$
$= f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1}\right)$
	$= f_s\left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$

موقع واجباتك

موقع واجباتي

مثـــــال 1

تأثير دوبلر يركب شخص سيارة تسير في اتجاهك بسرعة 24.6 m /s، ويصدر صوتًا تردده 524 Hz. ما التردد الذي ستسمعه، مع افتراض أن درجة الحرارة تساوي 20 °C؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة.
- أسّس محاور إحداثيات، وتحقق أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- بيّن السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب.

المعلوم	المجهول
$v = +343\ \text{m/s},\ v_s = +24.6\ \text{m/s}$	$f_d = ?$
$v_d = 0\ \text{m/s},\ f_s = 524\ \text{Hz}$	

دليل الرياضيات

الكسور

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة الآتية، وعوّض القيمة $v_d = 0\ \text{m/s}$:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

عوّض مستخدمًا $v_s = +24.6\ \text{m/s}$، $v = 343\ \text{m/s}$، $f_s = 524\ \text{Hz}$

$$f_d = f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$$

$$= 524\ \text{Hz}\left(\frac{1}{1 - \frac{24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}}\right)$$

$$= 564\ \text{Hz}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- **هل الجواب منطقي؟** يتحرك المصدر في اتجاهك، لذا يجب أن يزداد التردد.

مسائل تدريبية

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m /s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.
5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m /s، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.
6. تتحرك غوّاصة في اتجاه غوّاصة أخرى بسرعة 9.20 m /s، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد 3.50 MHz. ما التردد الذي تلتقطه الغوّاصة الأخرى وهي ساكنة؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m /s.
7. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتبدو حدّة الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.

الاجابة في الصفحة التالية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

موقع واجباتي

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m /s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 365\ \text{Hz}, v_s = 0,$$

$$v_d = -25.0\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (365\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} + 25.0\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 392\ \text{Hz}$$

5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m /s، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 475\ \text{Hz}, v_s = +24.6\ \text{m/s}$$

$$v_d = -24.6\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (475\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} + 24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 24.6\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 548\ \text{Hz}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

6. تتحرك غوّاصة في اتجــاه غوّاصة أخرى بسرعة 9.20 m /s، وتصدر موجات فــوق صوتية بتردد 3.50 MHz. ما التردد الذي تلتقطه الغوّاصة الأخرى وهي ساكنة؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m /s.

$$v = 1482\ \text{m/s}, f_s = 3.50\ \text{MHz}$$

$$v_s = 9.20\ \text{m/s}, v_d = 0\ \text{m/s}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (3.50\ \text{MHz})\left(\frac{1482\ \text{m/s}}{1482\ \text{m/s} - 9.20\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 3.52\ \text{MHz}$$

7. يرســل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz. ما السرعة التي يجب أن يتحــرك بها المصدر لتزيد حدّة الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.

$$v = 343\ \text{m/s}, f_s = 262\ \text{Hz}, f_d = 271\ \text{Hz}$$

$$v_d = 0\ \text{m/s}$$

أما v_s فهي كمية غير معروفة القيمة.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

حل المعادلة السابقة بالنسبة إلى v_s.

$$v_s = v - \frac{f_s}{f_d}(v - v_d)$$

$$= 343\ \text{m/s} - \left(\frac{262\ \text{Hz}}{271\ \text{Hz}}\right)(343\ \text{m/s} - 0\ \text{m/s})$$

$$= 11.4\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

■ **الشكل 7–3** تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لتعيين موقع الفريسة، بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام الصدى.

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية، في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية. وله تطبيقات عدّة؛ فمثلاً تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بُعدها عن الأرض. كما يُستخدم في الطب لقياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بجهاز الموجات فوق الصوتية.

الربط مع الأحياء

وتستخدم الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وافتراسها؛ فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفاش يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل. أما عندما يلحق الخفاش بالحشرة ويقترب منها فيكون تردد الموجة المنعكسة أكبر، كما هو موضح في **الشكل 7–3**. ولا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط لتحديد موقع الفريسة والطيران، ولكن تستخدمها أيضًا لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. وهذا يعني أنها تميز الأمواج الخاصة التي ترسلها وانعكاساتها عن مجموعة كبيرة من الأصوات والترددات الموجودة. ويستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات.

1–3 مراجعة

8. **رسم بياني** تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثّل بيانيًّا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها 1.0 kHz، ولدورتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.

9. **تأثير الوسط** اذكر خصيصتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت، وخصيصتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط.

10. **خصائص الصوت** ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدّة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علوّ الصوت؟

11. **مقياس الديسبل** ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟

12. **الكشف المبكر** كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

13. **الخفافيش** يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفاش بين:
   a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟
   b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقتربة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

14. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

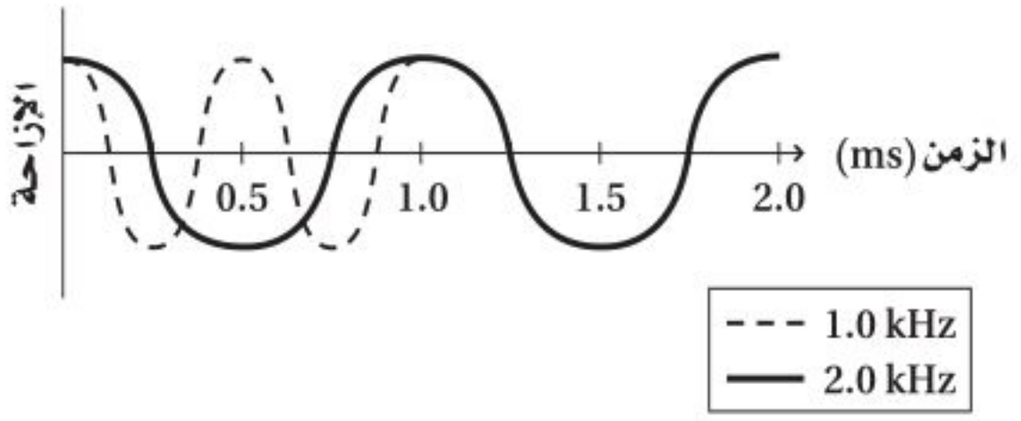
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الاجابة في الصفحة التالية

موقع واجباتي

موقع واجباتي

8. رسم بياني تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثّل بيانيًّا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها 1.0 kHz، ولدورتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.



9. تأثير الوسط اذكر خصيصتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت، وخصيصتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط.

الخصيصتان اللتان تتأثران: السرعة والطول الموجي، أما الخصيصتان اللتان لا تتأثران فهما الزمن الدوري والتردد.

10. خصائص الصوت ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدّة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علوّ الصوت؟

التردد، السعة

11. مقياس الديسبل ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟

يزداد مستوى ضغط الصوت 10 مرات مقابل كل زيادة مقدارها 20 dB في مستوى الصوت؛ لذا فإن 60 dB تقابل زيادة مقدارها 1000 ضعف في مستوى ضغط الصوت.

12. الكشف المبكر كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

إن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر من سرعته في الغازات. لذا تنتقل موجات الصوت بسرعة أكبر في القضبان الفولاذية مقارنة بسرعة انتقالها في الهواء. وتساعد القضبان على عدم انتشار طاقة الموجات الصوتية على مساحة أكبر؛ لذا لا يتلاشى الصوت بسرعة كما يحدث له في الهواء.

13. الخفافيش يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفاش بين:

a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟

سيختلفان في الشدة، حيث تعكس الحشرات الأكبر طاقةً صوتية أكبر في اتجاه الخفاش.

b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقتربة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

إن الحشرة التي تطير نحو الخفاش تعيد الصدى بتردد أكبر (انزياح دوبلر)، أما الحشرة التي تطير مبتعدة عن الخفاش فستعيد الصدى بتردد أقل.

14. التفكير الناقد هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

لا، يجب أن تتحرك السيارة مقتربة أو مبتعدة عن المراقب لملاحظة تأثير دوبلر؛ حيث لا تنتج الحركة المستعرضة أي أثر لتأثير دوبلر.

موقع واجباتي

موقع واجباتي
رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–3 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

درس العالم الألماني هيرمن هلمهولتز في منتصف القرن التاسع عشر أصوات الناس، ثم طوّر علماء ومهندسون في القرن العشرين أداة إلكترونية لا تكتفي بدراسة مفصلة للصوت، بل بإنشاء آلات إلكترونية لإنتاج الأصوات أيضًا، بالإضافة إلى آلات تسجيل تسمح لنا بسماع القرآن والخطب والقصائد وتسجيلات متعددة في أي مكان وأي زمان نريده.

الأهداف
- **تصف** مصدر الصوت.
- **توضّح** مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
- **تفسّر** سبب وجود الاختلافات في صوت الآلات وفي أصوات الناس.

المفردات
أنبوب الرنين المغلق
أنبوب الرنين المفتوح
التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
الإيقاع

مصادر الصوت Sources of Sound

ينتج الصوت عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تذبذب في ضغط الهواء. فمثلاً يحتوي مكبّر الصوت على مخروط مصمّم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، ويولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك، مما يسمح لك بسماع القرآن أو الأذان. وتعدّ الصنوج والدفوف والطبول أمثلة على السطوح المهتزة، وتعدّ جميعها مصادر للصوت.

ينتج الصوت البشري عن اهتزاز الأوتار الصوتية، وهي عبارة عن زوج من الأغشية في الحنجرة، حيث يندفع الهواء من الرئتين مارًّا عبر الحنجرة، فتبدأ الأوتار الصوتية في الاهتزاز. ويتم التحكم في تردد الاهتزاز بعضلات الشد الموجودة على الأوتار الصوتية.

أما الآلات الوترية فإن الأسلاك أو الأوتار هي التي تهتز؛ إذ يُنتج ضرب الأوتار أو سحبها أو احتكاكها بقوس الوتر، اهتزازَ الأوتار. وتتصل الأوتار عادة بلوحة صوتية تهتز مع الأوتار. وتؤدي اهتزازات اللوحة الصوتية إلى إحداث ذبذبات في قيمة ضغط الهواء الذي نشعر به بوصفه صوتًا.

الرنين في الأعمدة (الأنابيب) الهوائية Resonance in Air Columns

عند وضع شوكة رنانة فوق عمود هواء يهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشوكة الرنانة. تذكّر أن الرنين يزيد من سعة الاهتزاز من خلال تكرار تطبيق قوة خارجية صغيرة بالتردد الطبيعي نفسه. ويحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء إلى تغيير حدّة صوت الآلة. ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة محدّدة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الأصوات العشوائية إلى أصوات منتظمة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

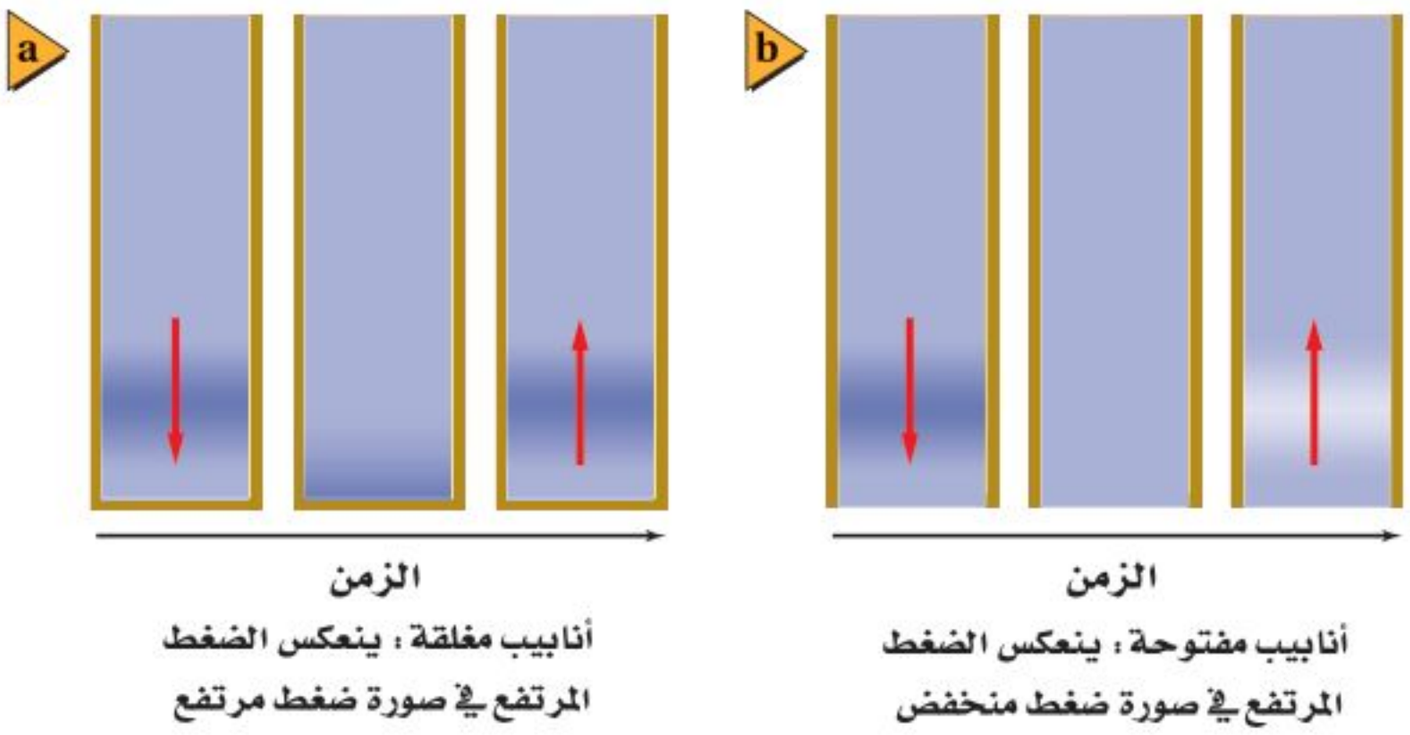
وتُحدث الشوكة الرنانة فوق أنبوب مجوف رنينًا في عمود الهواء، كما يبين **الشكل 8–3**، إذا تم وضع الأنبوب في الماء، بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق – بالنسبة إلى الهواء – يكون في حالة رنين ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المغلق**. ويتم تغيير طول عمود الهواء بتعديل ارتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. فإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب. ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

■ **الشكل 8–3** يغير رفعُ الأنبوب أو إنزالُه، طولَ عمود الهواء، ويكون الصوت عاليًا عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

موجة الضغط (الطولية) الموقوفة (المستقرة) كيف يحدث الرنين؟ تولّد 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 في **الشكل 9a–3**. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجة ضغط مرتفع أخرى فعندها تقوّي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولّد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

أما الأنبوب المفتوح فهو أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المفتوح**. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجة ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجة ضغط منخفض، كما يبين **الشكل 9b–3**.

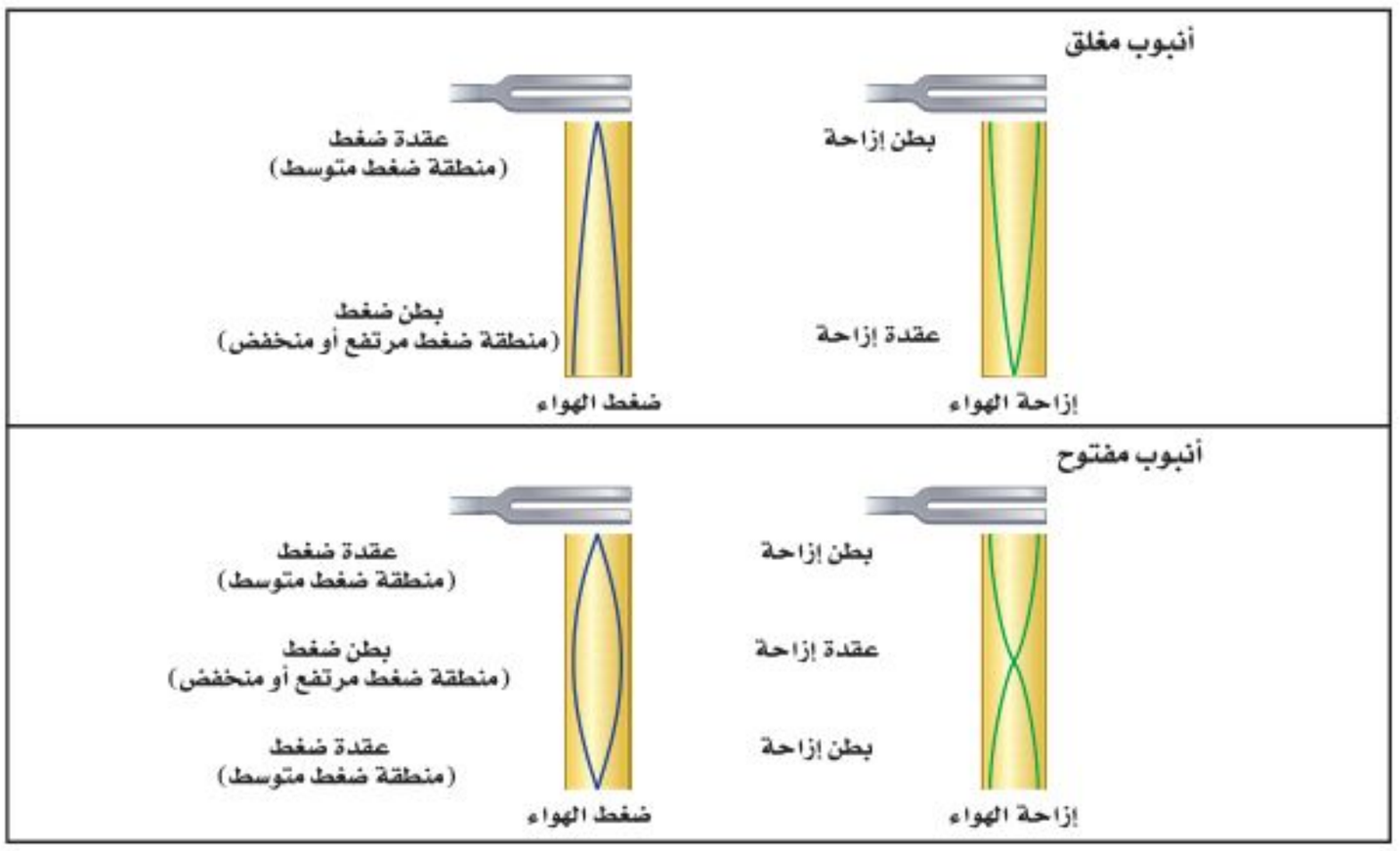
طول عمود هواء الرنين يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في أنبوب بموجة جيبية، كما يوضح **الشكل 10–3**. كما يمكن أن تُمثّل الموجات الجيبية إما تغيّرات ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات المستقرة عقدًا وبطونًا، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطون فيتذبذب



■ **الشكل 9–3** يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء أنبوبًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع في الأنابيب المغلقة موجات ضغط مرتفع (a). أما في الأنابيب المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة (b).

موقع واجباتي

موقع واجباتي



■ **الشكل 10–3** تمثّل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأنابيب.

تجربة

الرنين في الأعمدة الهوائية

تحتاج في هذه التجربة إلى: شوكة رنانة، ومطرقة خاصة، وأنبوب مغلق.

1. اطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب.
2. غيّر طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه. وقرّب الشوكة الرنانة بعد طَرْقها من فوهة الأنبوب.
3. أعد الخطوة السابقة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج

4. **لاحظ** ماذا لاحظت بعد تنفيذ الخطوة 2 والخطوة 3؟

يحدث تقوية لصوت اهتزاز الشوكة الرنانة بوساطة العمود الهوائي؛ أي يحدث رنين عند أطوال معينة للعمود الهوائي

5. استنتج متى يحدث الرنين؟

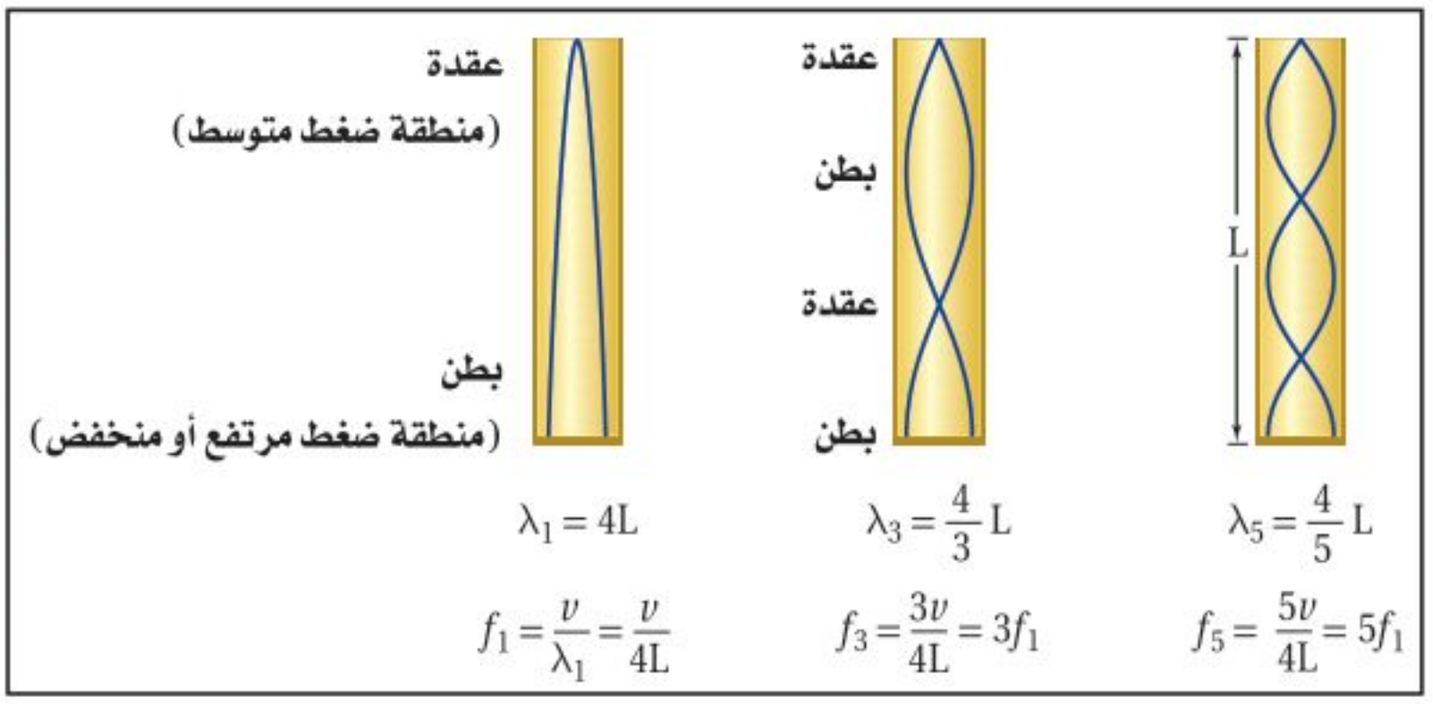
يحدث الرنين عندما يتساوى تردد اهتزاز العمود الهوائي مع تردد الشوكة الرنانة

■ **الشكل 11–3** يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا فرديًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

الضغط عندها بين قيمتيه 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.

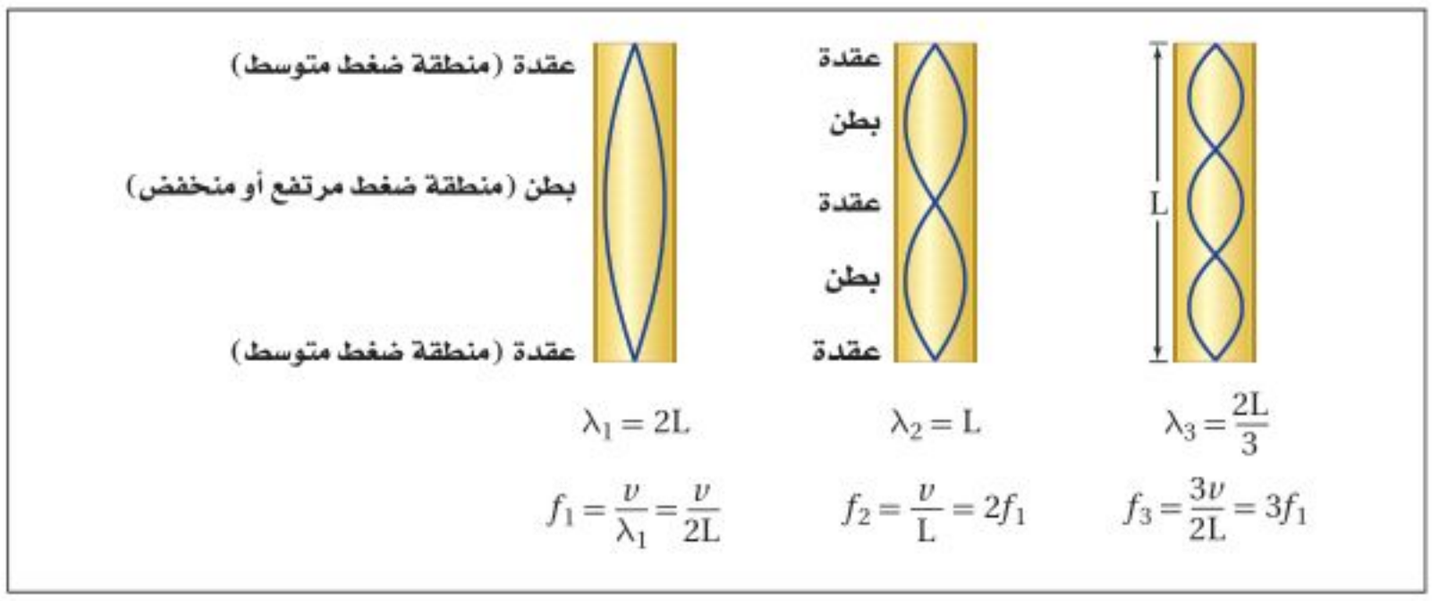
تردّدات الرنين في أنبوب مغلق إن طول أقصر عمود هواء له بطن ضغط عند الطرف المغلق وعقدة ضغط عند الطرف المفتوح يكون مساويًا لربع الطول الموجي، كما يبين **الشكل 11–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال أعمدة هواء رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$, $7\lambda/4$ ...وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

يكـــون طول عمود هواء الرنين الأول عمليًّا أطـــول قليلًا من ربع الطول الموجي؛ وذلك لأن تغيرات الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند الطرف المفتوح من الأنبوب. وتكون العقدة فعليًّا أبعد عن الطرف بمقدار 0.4 قطر الأنبوب. وتفصل بين أطوال أعمدة هواء الرنين الإضافية مسافات مقدارها نصف الطول الموجي. ويستخدم قياس هذه المسافة بين كل رنينين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما يبين المثال 2.



موقع واجباتي

موقع واجباتي



■ **الشكل 12–3** يكون الأنبوب المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا زوجيًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

تجربة عملية

ما مقدار سرعة الصوت؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ترددات الرنين في أنبوب مفتوح يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا نصف الطول الموجي، كما يبين **الشكل 12–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات نصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة في حالة الرنين مع الشوكة الرنانة بأطوال $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$, 2λ... وهكذا.

إذا استعملت أنبوبين مفتوحًا ومغلقًا على أنهما أنبوبان في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للأنبوب المغلق. لذا يكون التردد في الأنبوب المفتوح ضعف التردد الذي في الأنبوب المغلق. وتكون أطوال أعمدة هواء الرنين لكلا الأنبوبين مفصولة بفترات مقدارها نصف الطول الموجي.

سماع الرنين يُؤدي الرنين إلى زيادة علوّ تردّدات مخصّصة. فإذا صرخت داخل نفق طويل فإن الصوت الذي يدوّي وتسمعه يكون بسبب النفق بوصفه أنبوبًا في حالة رنين. كما تعمل الصدفة في **الشكل 13–3** عمل أنبوب مغلق في حالة رنين.

تطبيق الفيزياء

السمع والتردّد

تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz. ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أمّا القطّ فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz.

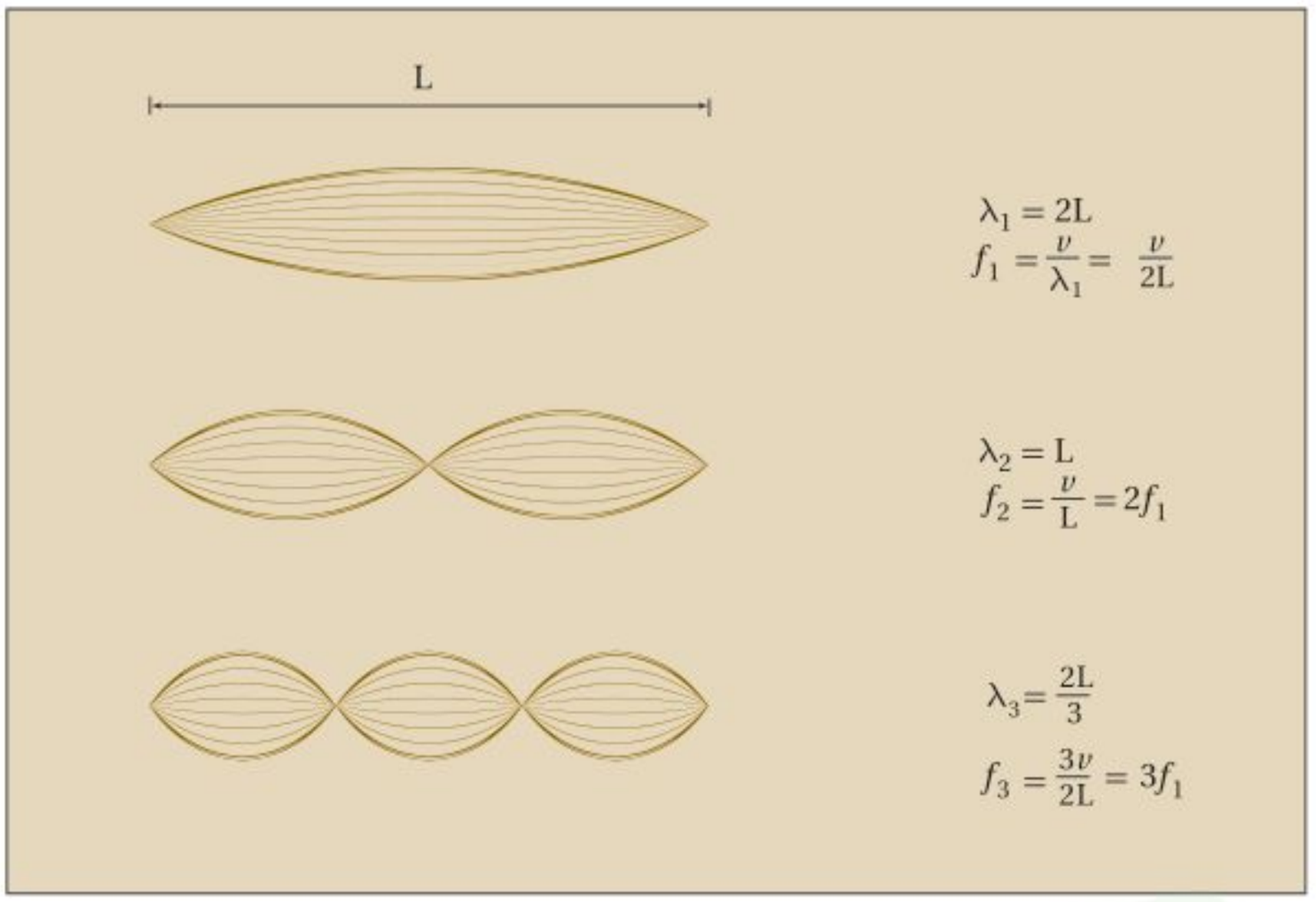
■ **الشكل 13–3** تعمل الصدفة عمل أنبوب مغلق في حالة رنين، يضخّم ترددات معينة من الأصوات المحيطة

الرنين في الأوتار Resonance on Strings

تختلف أشكال الموجة في الأوتار المهتزة اعتمادًا على طريقة توليدها. ومن ذلك النقر أو الشد أو الضرب، إلّا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة في النوابض والحبال، كما درست في الفصل السابق. ويكون الوتر في آلة ما مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى في **الشكل 14–3** أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $3\lambda/2$, 2λ, $5\lambda/2$ وهكذا. وكما هو الحال للأنبوب المفتوح فإن تردّدات الرنين تساوي مضاعفات أقل تردد.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

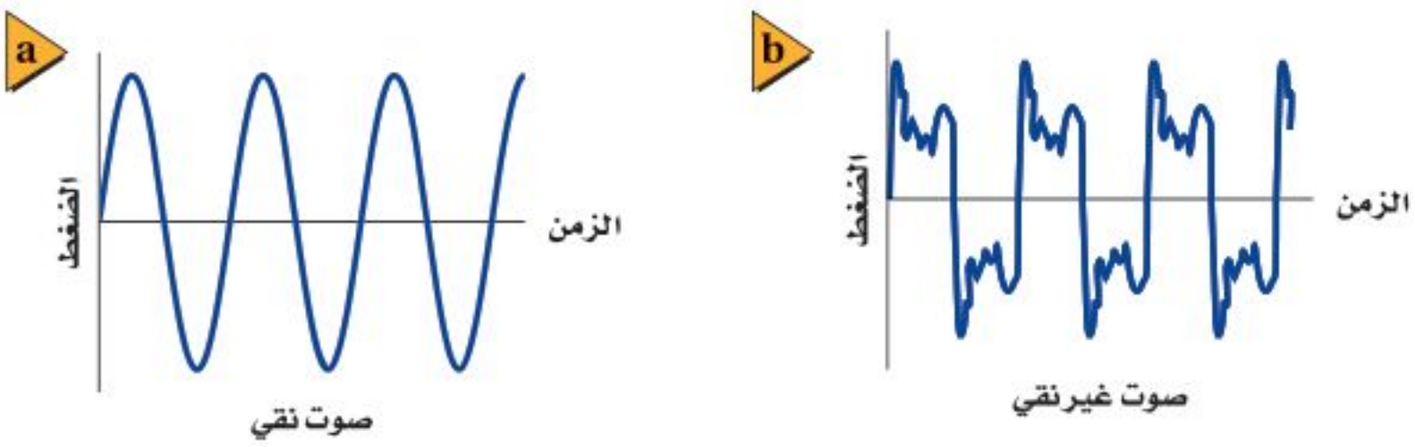


■ **الشكل 14–3** وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساويًا لمضاعفات نصف الطول الموجي.

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة طوله. لذا فإن الآلة الوترية تُضبط بتغيير شدّ أوتارها. فكلما كان الوتر مشدودًا أكثر كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته المستقرة.

جودة الصوت Sound Quality

تولّد الشوكة الرنانة صوتًا معتدلاً غير مرغوب فيه؛ لأن أطرافها تهتز بحركة توافقية بسيطة، وتنتج موجة جيبية بسيطة، كما يبين **الشكل 15a–3**. أما الأصوات البشرية فهي أكثر تعقيدًا، ومنها الموجة المبينة في **الشكل 15b–3**. وقد يكون لكلتا الموجتين التردّد نفسه، أو الحدّة نفسها، ولكن الصوتين مختلفان جدًّا. تولّد الموجة المعقدة باستخدام مبدأ التراكب لجمع موجات ذات تردّدات مختلفة؛ إذ يعتمد شكل الموجة على السعات النسبية لهذه التردّدات. ويُسمى الفرق بين الموجتين طابع الصوت، أو لون النغمة، أو جودتها.



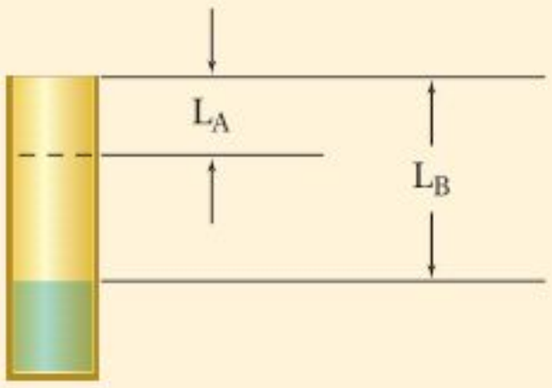
■ **الشكل 15–3** رسم بياني لصوت نقي مقابل الزمن (a). ورسم بياني لموجات صوتية غير نقية (معقدة) مقابل الزمن (b).

موقع واجباتي

موقع واجباتي

مثـــــال 2

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع أنبوب مغلق، سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و65.3 cm. ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20° C؟ وضّح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الأنبوب المغلق.
- عيّن طولي عمود الهواء لحالتي الرنين.

المعلوم **المجهول**

$f = 392\ \text{Hz}$ $v = ?$

$L_A = 21.0\ \text{cm}$

$L_B = 65.3\ \text{cm}$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستخدام علاقة: الطول- الطول الموجي للأنبوب المغلق.

$$L_B - L_A = \tfrac{1}{2}\lambda$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ λ

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

عوّض مستخدمًا $L_A = 0.210\ \text{m}$، $L_B = 0.653\ \text{m}$

$$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$$

$$= 0.886\ \text{m}$$

استخدم المعادلة الآتية لإيجاد السرعة

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ v

$$v = f\lambda$$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 0.886\ \text{m}$، $f = 392\ \text{Hz}$

$$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m})$$

$$= 347\ \text{m/s}$$

السرعة أكبر قليلًا من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C، مما يشـير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلًا من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الجواب صحيحة $\text{m/s} = (\frac{1}{\text{s}})(\text{m}) = (\text{Hz})\ (\text{m})$.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة أكبر قليلًا من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C.

موقع واجباتي

موقع واجباتك

15. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردّد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C.

الفواصل بين أوضاع الرنين تساوي $\frac{\lambda}{2}$. وعند استخدام العلاقة التالية: $\lambda = \frac{v}{f}$ فإن الفواصل بين أوضاع الرنين تساوي:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} = \frac{343\ \text{m/s}}{(2)(440\ \text{Hz})} = 0.39\ \text{m}$$

16. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

الفواصل بين أوضاع الرنين $\frac{\lambda}{2} = 1.1\ \text{m}$

لذا فإن

$$\lambda = 2.2\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (2.2\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 970\ \text{m/s}$$

17. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردّد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال 2 عند درجة الحرارة 27 °C.

$$v = 347\ \text{m/s}$$

وذلك عند 27 °C

ومن خلال الفواصل بين أوضاع الرنين نحصل على

$$\frac{\lambda}{2} = 0.202\ \text{m}$$

أو

$$\lambda = 0.404\ \text{m}$$

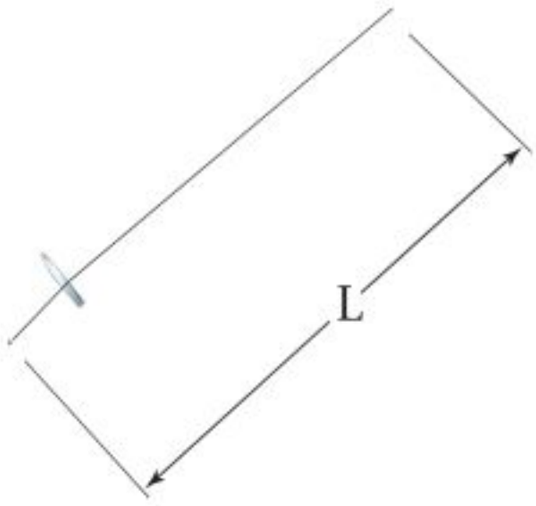
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{347\ \text{m/s}}{0.404\ \text{m}} = 859\ \text{Hz}$$

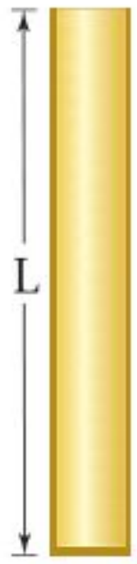
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتك

موقع واجباتي

مسألة تحفيز





1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، والذي يساوي التردد نفسه لأنبوب مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة m و L وسرعة الصوت في الهواء v. استخدم معادلة سرعة الموجة في وتر $\left(u=\sqrt{F_T/\mu}\right)$؛ حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.

2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

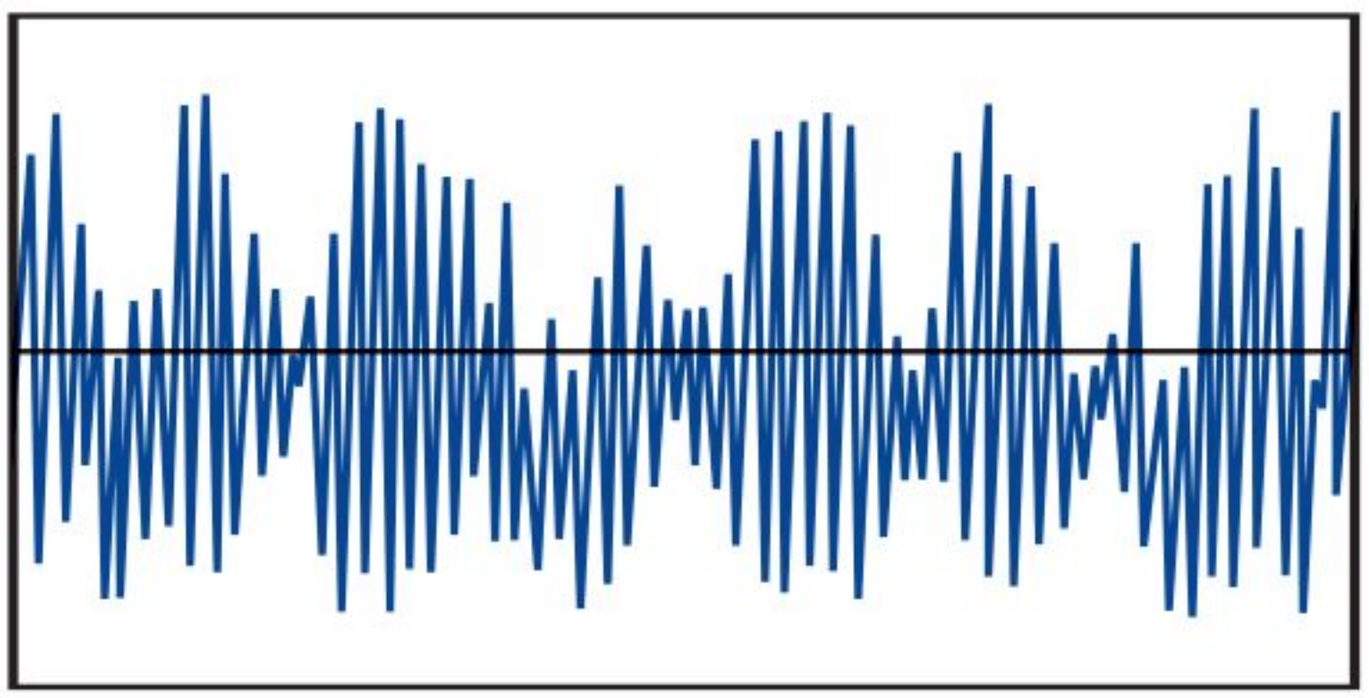
الاجابة في الصفحة التالية

إعادة إنتاج الصوت والضجيج

Sound Reproduction and Noise

هل استمعت إلى شخص يتلو القرآن أو آلة تسجيل؟ في أغلب الأوقات يتم تسجيل الأصوات وتشغيلها عن طريق أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت بإتقان يجب أن يلائم النظام جميع التردّدات بالتساوي. فالنظام الصوتي (الاستيريو) الجيد يحافظ على السعات لكل التردّدات بين 20 و20000 Hz ضمن 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى إرسال المعلومات بلغة منطوقة، وتكون التردّدات بين 300 و3000 Hz كافية. ويساعد تخفيض عدد التردّدات الموجودة على تخفيض الضجيج. ويبين **الشكل 16–3** موجة ضجيج يظهر فيها العديد من التردّدات تقريبًا بالسعات نفسها.

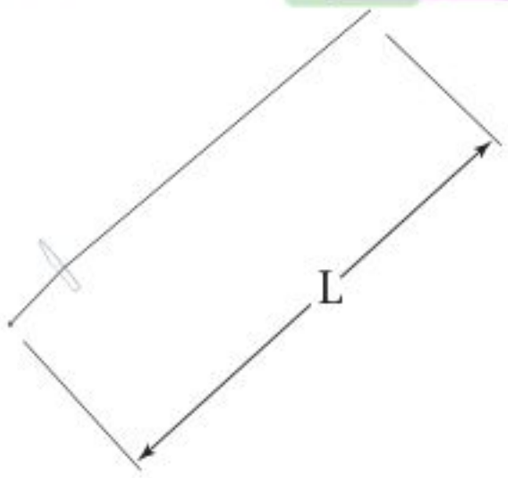


■ **الشكل 16–3** يتكون الضجيج من ترددات متعددة، ويتضمن تغيرات عشوائية في التردد والسعة.

موقع واجباتي

موقع واجباتك

مسألة تحفيز



1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، والذي يساوي التردد نفسه لأنبوب مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة m وL وسرعة الصوت في الهواء v. استخدم معادلة سرعة الموجة في وتر $\left(u=\sqrt{F_T/\mu}\right)$؛ حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.

يساوي الطول الموجي الأساسي في الأنبوب المغلق 4L، لذا فإن التردد $f=\frac{v}{4L}$. والطول الموجي الأساسي في الوتر يساوي 2L، لذا فإن تردد الوتر $f=\frac{u}{2L}$، حيث u هي سرعة الموجة في الوتر

$$u=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

والكتلة لكل وحدة طول للوتر هي $\mu=m/L$، وبتربيع الترددين وترتيبهما بعلاقة مساواة ينتج

$$\frac{v^2}{16L^2}=\frac{u^2}{4L^2}$$

$$=\frac{F_T}{4L^2\mu}$$

$$=\frac{F_T L}{4L^2 m}$$

$$=\frac{F_T}{4Lm}$$

أخيرًا، بإعادة الترتيب بالنسبة إلى قوة الشد ينتج

$$F_T=\frac{mv^2}{4L}$$

2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

بالنسبة إلى وتر كتلته 1.0 g وطوله 0.40 m، فإن قوة الشد تساوي

$$F_T=\frac{mv^2}{4L}=\frac{(0.0010\ \text{kg})(343\ \text{m/s})^2}{4(0.400\ \text{m})}=74\ \text{N}$$

موقع واجباتك

18. مصادر الصوت ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل ممّا يأتي؟

a. الصوت البشري

الحبال الصوتية

b. صوت المذياع

غشاء رقيق (غشاء السماعة)

19. الرنين في الأنابيب المفتوحة ما النسبة بين طول الأنبوب المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

طول الأنبوب يساوي نصف الطول الموجي.

20. الرنين في الأوتار يصدر وتر نغمة حادة ترددها 370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة؟

إيقاعات الوتر تساوي أعدادًا صحيحة مضروبة في التردد الأساسي، وعليه فإن ترددات الإيقاعات هي:

$$f_2 = 2f_1$$

$$= (2)(370\ \text{Hz})$$

$$= 740\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1$$

موقع واجباتي

$$= (3)(370\ \text{Hz})$$

$$= 1110\ \text{Hz}$$

$$= 1100\ \text{Hz}$$

$$f_4 = 4f_1$$

$$= (4)(370\ \text{Hz})$$

$$= 1480\ \text{Hz}$$

$$= 1500\ \text{Hz}$$

21. الرنين في الأنابيب المغلقة يبلغ طول أنبوب مغلق 2.40 m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب؟

$$\lambda = 4L$$

$$= (4)(2.40\ \text{m})$$

$$= 9.60\ \text{m}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$= \frac{343\ \text{m/s}}{9.60\ \text{m}}$$

$$= 35.7\ \text{Hz}$$

22. **التفكير الناقد** اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية واحملها بحيث تكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

يتضخم صوت الشوكة الرنانة كثيرا عندما تضغط بمقبضها على أجسام أخرى؛ لأن هذه الأجسام تولّد رنينًا كاللوحات الصوتية. وتختلف الأصوات الناتجة من جسم إلى آخر؛ لأن كلاًّ منها يولّد رنينًا مع ترددات وإيقاعات مختلفة؛ لذا يكون لها طابع صوت مختلف.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شـوكة رنانة تهتز فوق أنبوب مغلق طوله مناسـب فإن الهواء داخـل الأنبوب يهتز بالتردد نفسه f للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. وسـيكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. ويُنتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$؛ حيث تمثل L المسـافة من سـطح الماء إلى الطرف المفتوح للأنبوب. وسـتحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استخدام أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهـداف

- **تجمع البيانات وتنظمها** للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- **تقيس** طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- **تحلّل** البيانات لتحدِّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- امسح مباشرة أي سوائل منسكبة.
- تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد	ماء
مخبار مدرّج سعته 1000 ml	مسطرة مترية
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة	
مقياس درجة حرارة (غير زئبقي)	
أنبوب زجاجي (طوله 40 cm تقريبًا وقطره 3.5 cm تقريبًا)	

الخطوات

1. ارتد نظارة واقية، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى فوهته تقريبًا.
2. قـس درجـة حـرارة الغرفة، وسجّلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شـوكة رنانة، وسـجّل ترددها في جدولي البيانات 2 و3.
4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجّله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
6. أمسـك الشـوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على طرفها بمطرقة الشـوكة الرنانة. ولا تضرب الشـوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. أمسـك الشـوكة الرنانة المهتزة فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي، وارفع الأنبوب والشـوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. وعندما تعين هذه النقطة حرّك الأنبوب إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدِّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجّل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرّر الخطوات 3 و 6 و 7 لشـوكتين رنانتين إضافيتين، وسجّل نتائجك في المـكان المخصّص للمحاولتـين 2 و 3 في جداول البيانات. يجب أن تكـون ترددات الرنين الثلاثة للشـوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الجدول 1

المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m /s)	السرعة التجريبية للصوت (m /s)
1	24	345	320
2	24	345	316
3	24	345	326

الجدول 2

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1	480	0.034	0.167	0.668
2	493.9	0.034	0.160	0.64
3	320	0.034	0.255	1.02

الجدول 3

المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m /s)	الطول الموجي المحسوب المُصحَّح (m)	سرعة الصوت التجريبية المُصحَّحة (m /s)
1	480	345	0.722	346
2	493.9	345	0.694	342
3	320	345	1.074	343

التحليل

انظر إلى الجداول 1 و 3

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستخدام العلاقة $v = 331\ \text{m/s} + 0.60\ T$، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، و T درجة حرارة الهواء بالسلسيوس. سجّل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و3 للمحاولات جميعها.

2. لأن نقطة الرنين الأولى عُيّنت عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استخدم الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. سجّل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.

إنظر الى الجدول 2

3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجّل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.

إنظر الى الجدول 1

4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\%\text{error} = \frac{|\text{Accepted value} - \text{Experimental value}|}{\text{Accepted value}} \times 100\%$$

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

تعد الأخطاء 10–20% مقبولة.

5. **النقد** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتزود العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$؛ حيث تمثل λ الطول الموجي، و L طول الأنبوب فوق الماء، و d القطر الداخلي للأنبوب. استخدم قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ، وسجّل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصحّحة بضرب تردّد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجّل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصحّحة في جدول البيانات 3.

يجب أن تكون الأخطاء النسبية 5% أو أقل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساويًا 4/ λ. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينان اللاحقان؟

الأطوال: 4/ λ3 ، 4/ λ5

2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضّح إجابتك.

نعم؛ بتوفير أنبوب طوله على الأقل 4/ λ3، يمكن الحصول على نقطة الرنين التالية.

التوسع في البحث

أيّ النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

إن تقنية التحليل باستخدام القيم المُصحَّحة للطول الموجي يجب أن تكون أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم الأنابيب المغلقة وتردّدات الرنين لها.

يتناقص تردد الرنين بزيادة طول الأنبوب.

موقع واجباتي

موجات الصوت في الشمس Sound Waves in the Sun

تُسمّى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالسيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعيًّا في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات p)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، سبّبتها قوى مختلفة.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، رغم أنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. ويفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العوائق الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس يفوق مساحتي المغرب والعراق معًا، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضًا جدًّا بالنسبة لنا؛ إذ إن الزمن الدوري لنغمة ترددها 440 Hz يساوي 0.00227 s، ومتوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، فيكون ترددها $f = 0.003\ \text{Hz}$.

ولأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة؛ لأنه لا يمكن رؤية الشمس في أثناء الليل. لذا فقد

تنتقل الموجات الصوتية (موجات p) خلال منطقة الحمل في الشمس

أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (SOHO). وهو قمر اصطناعي يدور حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائمًا.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقيسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عند دق الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بالتحليل الدقيق.

النتائج تزوّد اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلًّا من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (SOHO) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضًا. وتقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كوّن فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟

التصويرية لسطح الشمس ويقومون بحساب متوسط البيانات حيث تلغي موجات الصوت بعضها بعضاً وتبقى الحركة بسبب دوران الشمس فقط ومن خلال اختزال الحركة الدورانية من نقطة واحدة تبقى الحركة بسبب الموجات الصوتية فقط

2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون هناك موجات صوتية في نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه، ولهذه الموجات الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية؟

لا تتداخل موجات صوتية مختلفة تداخلاً بناء إذا اختلف حجم النجم وهذا يؤدي إلى تشكل مجموعة مختلفة من الموجات الموقوفة

موقع واجباتي

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

المفردات

- الموجة الصوتية
- حدّة الصوت
- علوّ الصوت
- مستوى الصوت
- الديسبل
- تأثير دوبلر

المفاهيم الرئيسة

- الصوت تغيُّر 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 (20 °C) تساوي 343 m /s. وتزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m /s تقريبًا مع كل زيادة 1 °C في درجة الحرارة.
- تحوّل كواشف الصوت الطاقة التي تحملها موجة الصوت إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا حسّاسًا ذا كفاءة عالية لموجات الصوت.
- يُميّز تردّد موجة صوت من خلال حدّته.
- يُقاس اتساع ضغط موجة صوت بوحدة الديسبل (dB).
- يعتمد علوّ الصوت ـ عندما يُدرَك بالأذن والدماغ ـ على اتساعه.
- يُعرف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردّد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

المفردات

- أنبوب الرنين المغلق
- أنبوب الرنين المفتوح
- التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
- الإيقاع

المفاهيم الرئيسة

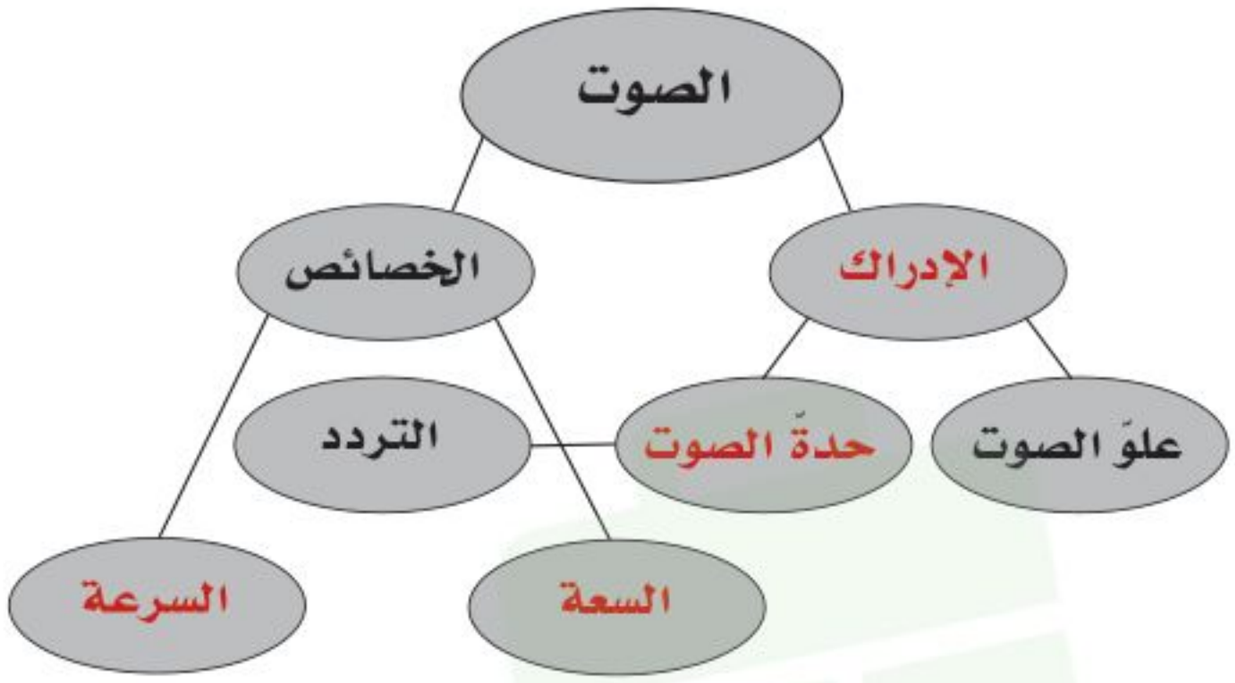
- ينتج الصوت عن تذبذب جسم في وسط مادي.
- معظم الأصوات موجات معقدة، تتكوّن من أكثر من تردّد واحد.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد سعة تردّد رنينه.
- يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله λ /4، 3λ /4، 5λ /4 وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردّد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله λ /2، 2λ /2، 3λ /2، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساويًا لِـ 3λ /2، λ /2، 2λ /2، وهكذا، مثل الأنبوب المفتوح. وتكون تردّدات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- ترددّاتُ وشدة الموجات المعقدة الناتجة عن حنجرة شخص تحدّد طابعَ الصوت الذي يعدّ خاصية له.
- يمكن وصف التردّد الأساسي بدلالة الرنين.

موقع واجباتي

الفصل 3 التقويم

خريطة المفاهيم

23. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، الإدراك، حدّة الصوت، السرعة.



إتقان المفاهيم

24. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟(1 – 3)

يمكن وصف الموجات الصوتية بواسطة التردد، والطول الموجي، والسعة، والسرعة.

25. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟ (1 – 3)

ينتقل الضوء بسرعة 3.00×10^8 m/s، في حين ينتقل الصوت في الهواء بسرعة 343 m/s. لذا سيرى المراقبون الدخان قبل سماع صوت إطلاق المسدس. وسيكون الزمن أقل من الزمن الفعلي لو اعتمد على سماع الصوت.

26. اذكر نوعين من أنــواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معهما. (1 – 3)

الحدّة – التردد؛ العلوّ – السعة.

27. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع الموجات؟ (1 – 3)

لجميع أنواع الموجات.

28. الموجات فوق الصوتية موجات صوتية تردّداتها أعلى من تلك التي تســمع بالأذن البشرية، وتنتقل هذه الموجات خلال الجسم البشري. كيف يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم في الأوردة أو الشرايين؟ وضح كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكنًا. (1 – 3)

يستطيع الأطباء قياس انزياح دوبلر من الصوت المنعكس عن خلايا الدم المتحركة. ولأن الدم يتحرك، لذا يحدث انزياح دوبلر لهذا الصوت، وتتقارب الانضغاطات أو تتباعد، مما يؤدي إلى تغيير تردد الموجة.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الفصل 3 التقويم

29. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟ (2 – 3)

توافر جسم يهتز ووسط مادي.

30. **المشاة** عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسيرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسرّ ذلك. (2 – 3)

عندما يسير الجنود بخطوات منتظمة ينشأ تردد معين يؤدي إلى اهتزاز الجسر بالتردد نفسه؛ أي يحدث رنين مع الجسر؛ مما يؤدي إلى زيادة سعة اهتزازه ومن ثم انهياره .ولا يكون هناك تضخيم لتردد معين عندما يسيرون بخطوات غير منتظمة.

تطبيق المفاهيم

31. **التقدير** لتقدير المسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات، عُدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقسم على 3. وضح كيف تعمل هذه القاعدة.

إن سرعة الصوت تساوي:

343 m/s =0.343 km/s =(1/2.92) km/s، أو ينتقل الصوت تقريبًا 1 km خلال 3 s؛ لذا قسّم عدد الثواني على 3. أما بالنسبة إلى وحدة الميل فإن الصوت ينتقل تقريبًا 1 mile خلال زمن مقداره 5 s؛ لذا قسّم عدد الثواني على 5.

32. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m /s لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يأتي بالنسبة لصوتٍ ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد

لا يوجد تغير في التردد.

b. الطول الموجي

يزداد الطول الموجي.

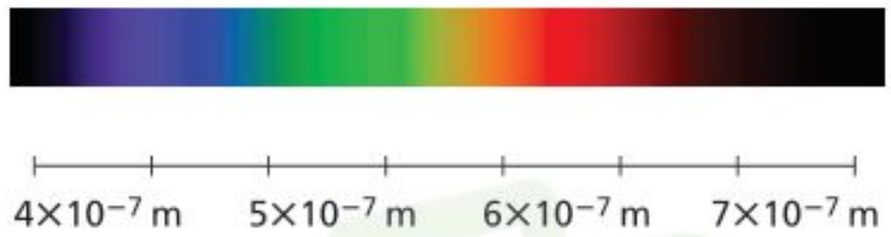
33. **الأفلام** انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فورًا. إذا أُختِرتَ مستشارًا فما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

أولاً: إذا سمعت صوتًا فإنك ستسمعه بعد رؤيتك للانفجار؛ فموجات الصوت تنتقل أبطأ كثيرًا من الموجات الكهرومغناطيسية. ثانيًا: كثافة المادة في الفضاء قليلة جدًّا، إلى الحد الذي لا تنتشر معه موجات الصوت لذا لن يسمع أي صوت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

34. الانزياح نحو الأحمر لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مُزاحًا نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتمادًا على الشكل 17–3 للطيف المرئي.



الشكل 17–3

للضوء الأحمر طول موجي أكبر، لذا فإن تردده أقل من تردد الألوان الأخرى. أما بالنسبة إلى انزياح دوبلر للضوء القادم من المجرات البعيدة نحو الترددات المنخفضة (اللون الأحمر) فيشير ذلك إلى أن تلك المجرات تتحرّك مبتعدة عنا.

35. يبلغ مستوى صوت 40 dB. هل تغيُّر ضغطه أكبر 100 مرة من عتبة السمع، أم 40 مرة؟

للصوت 40 dB ضغط صوت أكبر 100 مرة.

36. إذا ازدادت حدّة الصوت فما التغير الذي يحدث لكل مما يأتي؟

a. التردد

يزداد التردد.

b. الطول الموجي

يقل الطول الموجي.

c. سرعة الموجة

تبقى سرعة الموجة نفسها.

d. سعة الموجة

تبقى السعة نفسها.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

37. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد حدّة صوت أنبوب مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

$\lambda = 4L$ و $v = \lambda f$، لذا فإن $v = 4fL$. إذا ازدادت v وبقيت L ثابتة فإن f تزداد، وتزداد حدّة الصوت أيضًا.

38. يولّد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أُزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح مفتوحًا فهل تزداد حدّة الصوت أم تقل؟

تزداد حدّة الصوت؛ حيث يكون التردد أكبر بمقدار الضعف للأنبوب المفتوح مقارنة بالأنبوب المغلق.

إتقان حل المسائل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه

39. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(5.0\ \text{s}) = 1.7\ \text{km}$$

40. إذا صِحت في وادٍ وسمعت الصدى بعد 3.0 s، فما مقدار عرض الوادي؟

المسافة الكلية المقطوعة تساوي

$$d = vt = (343\ \text{m/s})(3.0\ \text{s})$$

أما المسافة بينك وبين الجانب الآخر للوادي فتساوي:

$$\frac{1}{2}(343\ \text{m/s})(3.0\ \text{s}) = 5.1\times10^{2}\ \text{m}$$

41. إذا انتقلت موجة صوت تردّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

$$v = \lambda f = (1.1\ \text{m})(4700\ \text{Hz}) = 5200\ \text{m/s}$$

42. **الخفافيش** يُرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm. ما تردد الصوت في الهواء؟

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{0.0035\ \text{m}} = 9.8\times10^{4}\ \text{Hz}$$

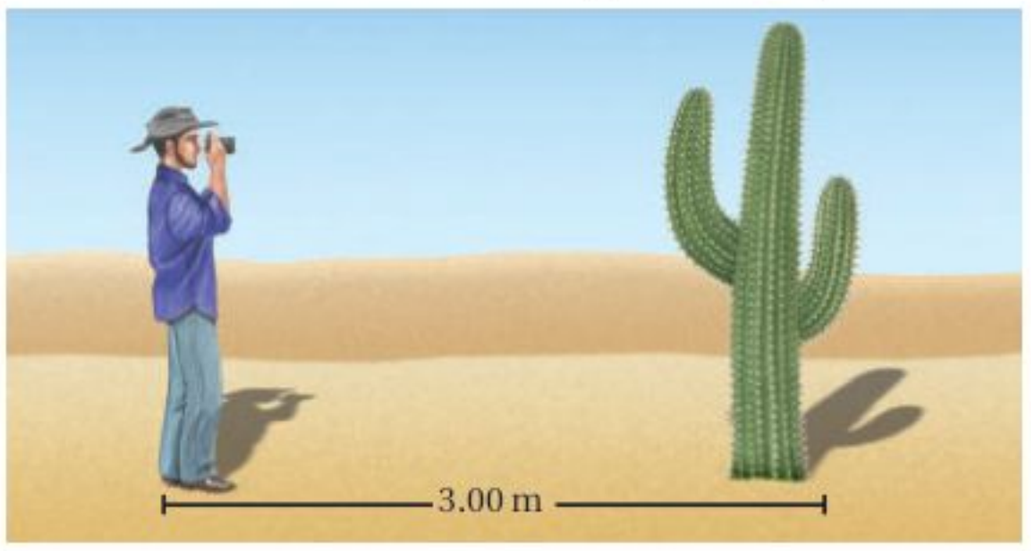
موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

43. ينتقــل صوت تــردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارتــه 25 °C. أوجد الطــول الموجي لموجات الصوت في الماء. (لا تخلط بــين الموجات الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه).

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1493\ \text{m/s}}{261.6\ \text{Hz}} = 5.707\ \text{m}$$

44. **التصويــر الفوتوجرافي** تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجســم عن طريق إرســال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبين **الشــكل 18–3**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟



■ الشكل 18–3

المسافة الكلية التي يجب أن يقطعها الصوت تساوي

6.00 m

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

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v} = \frac{6.00\ \text{m}}{343\ \text{m/s}} = 0.0175\ \text{s}$$

45. إذا كان الطــول الموجي لموجــات صوت ترددها 2.40×10^2 Hz في ماء نقي هو 3.30 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

$$v = \lambda f = (3.30\ \text{m})(2.40\times10^2\ \text{Hz})$$

$$= 7.92\times10^2\ \text{m/s}$$

46. ينتقل صوت تردّده 442 Hz خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5130\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 11.6\ \text{m}$$

47. **الطائــرة النفاثــة** يعمل موظف في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع، فتأثر بصوت مستواه 150 dB.

a. إذا وضع الموظف أداة حماية للأذن تخفض مستوى الصوت إلى حد صوت النشيد الوطني المدرسي فما مقدار الانخفاض في المستوى؟

إن مستوى صوت النشيد 110 dB، لذا يتطلب تخفيضًا بمقدار 40 dB.

موقع واجباتي

b. إذا سمع الموظف صوتًا مثل الهمس لا يكاد يُسمع إلا بصعوبة فما الذي يسمعه شخص لا يضع أداة الحماية على أذنيه؟

إن الهمس الذي يكاد يكون مسموعًا له مستوى صوت 10 dB، لذا فإن المستوى الفعلي سيكون 50 dB، أو مماثلا لمستوى متوسط صوت طلاب صف دراسي.

48. **النشيد** تُنشد فرقة نشيد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تُنشد بالمستويات الآتية؟

a. 100 dB

كل زيادة مقدارها 20 dB تؤدي إلى زيادة في الضغط مقدارها 10 مرات؛ لذا ينتج ضغط أكبر 10 مرات.

b. 120 dB

$10\times10=100$ ؛ أي 100 مرة ضغط أكبر

49. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

$$v=\lambda f=(0.50\text{ m})(4.0\text{ s}^{-1})=2.0\text{ m/s}$$

50. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بُعد 152 m من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته 30 °C. احسب مقدار:

a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 30°C.

تزداد السرعة بمعدل 0.6 m/s لكل 1°C، لذا فإنه عند ارتفاع درجة الحرارة من 20°C حتى 30°C، تكون الزيادة في السرعة 6 m/s. لذا تصبح السرعة تساوي

$$343+6=349\text{ m/s}$$

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع ليسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته ركل الحارس لها.

$$t=\frac{d}{v}=\frac{152\text{ m}}{349\text{ m}}=0.436\text{ s}$$

51. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما يبين الشكل **19-3**. فإذا كانت درجة الحرارة 15 °C، وصفّق الشخص بيديه فسمع صدى الصوت بعد 2.0 s، فما بُعد الجرف الصخري؟

عند درجة حرارة 15°C تكون سرعة الصوت أبطأ بمقدار 3 m/s، مقارنة بسرعة الصوت عند درجة حرارة 20°C؛ لذا فإن سرعة الصوت تصبح 340 m/s عند درجة الحرارة تلك.

$v=340\text{ m/s}$

و

$2t=2.0\text{ s}$

$d=vt=(340\text{ m/s})(1.0\text{ s})=3.4\times10^{2}\text{ m}$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

52. التصوير الطبي تستخدم موجات فوق صوتية بتردّد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km /s، فما الطول الموجي لموجة ضغط تردّدها 4.25 MHz في الجسم؟

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.50\times10^{3}\ \text{m/s}}{4.25\times10^{6}\ \text{Hz}}$$

$$= 0.353\ \text{mm}$$

53. السونار تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل سطح الماء، كما يبين **الشكل 20–3**. وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند القاع بعد زمن مقداره 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بَعد 2.36 s. فإذا كانت درجة حرارة ماء المحيط 25 °C، وسرعة الصوت في الطين 1875 m /s، فاحسب ما يأتي:

a. عمق الماء.

سرعة الصوت في ماء البحر تساوي 1533 m/s، وزمن رحلة الصوت خلال الذهاب أو الإياب فقط يساوي 0.87 s، لذا فإن:

$$d_{\text{ماء}} = vt_{\text{ماء}}$$

$$= (1533\ \text{m/s})(0.87\ \text{s})$$

$$= 1300\ \text{m}$$

b. سُمك طبقة الطين.

مقدار زمن رحلة الصوت ذهابًا وإيابًا خلال طبقة الطين يساوي

$$2.36\ \text{s} - 1.74\ \text{s} = 0.62\ \text{s}$$

مقدار زمن رحلة الصوت ذهابًا أو إيابًا فقط خلال طبقة الطين يساوي 0.31 s، لذا فإن

$$d_{\text{الطين}} = vt_{\text{الطين}}$$

$$= (1875\ \text{m/s})(0.31\ \text{s})$$

$$= 580\ \text{m}$$

54. تتحرك سيارة إطفاء بسرعة 35 m /s، وتتحرك حافلة أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m /s. فإذا انطلقت صفارة إنذار سيارة الإطفاء بتردد 327 Hz فما التردّد الذي يسمعه سائق الحافلة؟

$$v_s = 35\ \text{m/s}, v = 343\ \text{m/s}, v_d = 15\ \text{m/s},$$

$$f_s = 327\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (327\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} - 15\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 35\ \text{m/s}}\right) = 350\ \text{Hz}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

55. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت، وعندما كانت سرعته 31 m /s انطلقت صفارته بتردد 305 Hz. ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 0)}{343\ \text{m/s} - 31.0\ \text{m/s}}$$

$$= 335\ \text{Hz}$$

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m/s.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - (-21.0\ \text{m/s}))}{343\ \text{m/s} - 31.0\ \text{m/s}}$$

$$= 356\ \text{Hz}$$

56. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعدًا عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 0)}{343\ \text{m/s} - (-31.0\ \text{m/s})}$$

$$= 2.80\times10^2\ \text{Hz}$$

b. المراقب يتحرك مبتعدًا عن القطار بسرعة 21.0 m/s.

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= \frac{(305\ \text{Hz})(343\ \text{m/s} - 21.0\ \text{m/s})}{343\ \text{m/s} - (-31.0\ \text{m/s})}$$

$$= 2.63\times10^2\ \text{Hz}$$

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

57. أنبوب في وضع رأسيّ مملـوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار 17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقـدار 49 cm، فما تردّد الشوكة الرنانة؟

$49\ \text{cm} - 17\ \text{cm} = 32\ \text{cm}$

أو

$0.32\ \text{m}$

يوجد $\frac{1}{2}\lambda$ بين نقطتي الرنين

$$\frac{1}{2}\lambda = 0.32\ \text{m}$$

$$\lambda = 0.64\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{0.64\ \text{m}}$$

$$= 540\ \text{Hz}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

58. السمع البشري القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردّد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

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

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$f = \frac{v}{4L}$$

$$= \frac{343\ \text{m/s}}{(4)(0.030\ \text{m})}$$

$$= 2.9\ \text{kHz}$$

59. إذا أمسكت قضيب ألومنيوم طوله 1.2 m من منتصفه وضربت أحد طرفيه بمطرقة فسيهتز كأنه أنبوب مفتوح، ويكون هناك بطن ضغط عند مركز القضيب؛ بسبب توافق بطون الضغط لعُقَد الحركة الجزيئية. فإذا كانت سرعة الصوت في الألومنيوم 5150 m /s فما أقل تردّد اهتزاز للقضيب؟

طول القضيب يساوي $\frac{1}{2}\lambda$، لذا فإن

$$\lambda = 2.4\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5150\ \text{m/s}}{2.4\ \text{m}} = 2.1\ \text{kHz}$$

60. إذا أنتج أنبوب مفتوح نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّدات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة لهذ التردّد؟

$$f_2 = 2f_1 = (2)(370\ \text{Hz})$$

$$= 740\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1 = (3)(370\ \text{Hz}) = 1110\ \text{Hz}$$

$$= 1100\ \text{Hz}$$

$$f_4 = 4f_1 = (4)(370\ \text{Hz}) = 1480\ \text{Hz}$$

$$= 1500\ \text{Hz}$$

61. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّد أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

$$3f_1 = (3)(370\ \text{Hz}) = 1110\ \text{Hz} = 1100\ \text{Hz}$$

$$5f_1 = (5)(370\ \text{Hz}) = 1850\ \text{Hz} = 1800\ \text{Hz}$$

$$7f_1 = (7)(370\ \text{Hz}) = 2590\ \text{Hz} = 2600\ \text{Hz}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

62. ضُبط وتر طوله 65.0 cm لينتج أقل تردّد، ومقداره 196 Hz. احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

$$\lambda_1 = 2L = (2)(0.650\ \text{m})$$

$$= 1.30\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (1.30\ \text{m})(196\ \text{Hz})$$

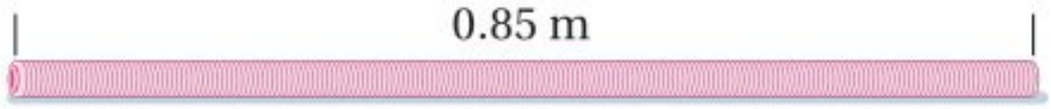
$$= 255\ \text{m/s}$$

b. الترددين الآتيين لرنين هذا الوتر.

$$f_2 = 2f_1 = (2)(196\ \text{Hz}) = 392\ \text{Hz}$$

$$f_3 = 3f_1 = (3)(196\ \text{Hz}) = 588\ \text{Hz}$$

63. يمثّل **الشكل 21–3** أنبوبًا بلاستيكيًّا مموجًا مرنًا طوله 0.85 m. وعندما يتأرجح ينتج نغمة تردّدها يماثل أقل تردّد يُنتجه أنبوب مفتوح له الطول نفسه. ما تردّد النغمة؟



الشكل 21–3

$$L = 0.85\ \text{m} = \frac{\lambda}{2},$$

لذا فإن

$$\lambda = 1.7\ \text{m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343\ \text{m/s}}{1.7\ \text{m}} = 2.0\times10^2\ \text{Hz}$$

64. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر منتجًا نغمة حدّتها أعلى، فما التردّد الجديد؟

$$f_2 = 2f_1 = (2)(2.0\times10^2\ \text{Hz}) = 4.0\times10^2\ \text{Hz}$$

65. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية 0.020 Pa،

a. فما القوة المؤثرة في طبلة أذن مساحتها $0.52\ \text{cm}^2$؟

$$F = PA$$

$$= (0.020\ \text{N/m}^2)(0.52\times10^{-4}\ \text{m}^2)$$

$$= 1.0\times10^{-6}\ \text{N}$$

موقع واجباتي

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

b. إذا انتقلت القوة نفسها التي في الفرع **a** كاملة إلى العظام الثلاثة في الأذن الوسطى، فما مقدار القوة التي تؤثر بها هذه العظام في الفتحة البيضية؛ أيْ الغشاء المرتبط مع العظمة الثالثة؟ علمًا بأن الفائدة الميكانيكية لهذه العظام 1.5.

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

لذا فإن

$$F_r = (MA)(F_e)$$

$$F_r = (1.5)(1.0\times10^{-6}\,\text{N}) = 1.5\times10^{-6}\,\text{N}$$

c. ما مقدار الضغط الإضافي الذي انتقل إلى السائل الموجود في القوقعة نتيجة تأثير هذه القوة، إذا كانت مساحة الفتحة البيضية $0.026\,\text{cm}^2$؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1.5\times10^{-6}\,\text{N}}{0.026\times10^{-4}\,\text{m}^2} = 0.58\,\text{Pa}$$

مراجعة عامة

66. أنبوب مفتوح طوله 1.65 m. ما نغمة التردّد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0 °C؟

طول الأنبوب المفتوح يساوي نصف الطول الموجي للتردد الأساسي، وعليه، فإن $\lambda = 3.30\,\text{m}$.

إن سرعة الصوت في الهيليوم تساوي 972 m/s، لذا فإن

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{972\,\text{m/s}}{3.30\,\text{m}} = 295\,\text{Hz}$$

67. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثًا بسرعة 19.5 m /s، ويُغرِّد بحدّة مقدارها 954 Hz. فإذا سمع الرائد النغمة بتردّد 985 Hz فما سرعة الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب؟

$$f_d = 985\,\text{Hz}, f_s = 945\,\text{Hz}, v_s = 19.5\,\text{m/s}$$

$$v = ?$$

لذا فإن

$$\frac{f_d}{f_s} = \frac{v}{v - v_s} = \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

$$\frac{v_s}{v} = 1 - \frac{f_s}{f_d}$$

أو

$$v = \frac{v_s}{1 - \frac{f_s}{f_d}} = \frac{19.5\,\text{m/s}}{1 - \left(\frac{945\,\text{Hz}}{985\,\text{Hz}}\right)}$$

$$= 4.80\times10^2\,\text{m/s}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

68. إذا ألقيت حجـرًا في بئر عمقهـا 122.5 m كما في **الشكل 22–3**، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر؟

الشكل 22–3

احسب أولا الزمن الذي يحتاج إليه الحجر عند سقوطه ليصل إلى قعر البئر بالمعادلة التالية:

$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

لذا فإن

$$t = \sqrt{\frac{d}{\frac{1}{2}g}} = \sqrt{\frac{122.5\ \text{m}}{\left(\frac{1}{2}\right)(9.80\ \text{m/s}^2)}}$$

$$= 5.00\ \text{s}$$

يحسب الزمن الذي يستغرقه الصوت عند عودته إلى أعلى بالمعادلة التالية:

$$d = v_s t$$

لذا فإن

$$t = \frac{d}{v_s} = \frac{122.5\ \text{m}}{343\ \text{m/s}}$$

$$= 0.357\ \text{s}$$

الزمن الكلي يساوي

$$5.00\ \text{s} + 0.357\ \text{s} = 5.36\ \text{s}$$

69. تستخدم سفينة موجات السونار بتردّد 22.5 kHz. فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m /s

فما مقدار التردّد الذي يصل السـفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحـرك بسرعة 4.15 m /s مبتعدًا عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

الجزء الأول: من السفينة حتى الحوت

$$v_d = +4.15\ \text{m/s}, v = 1533\ \text{m/s},$$

$$f_s = 22.5\ \text{kHz}, v_s = 0$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$= (22.5\ \text{kHz})\left(\frac{1533\ \text{m/s} - 4.15\ \text{m/s}}{1533\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 22.4\ \text{kHz}$$

الجزء الثاني: من الحوت حتى السفينة

$$v_s = -4.15\ \text{m/s}, v = 1533\ \text{m/s},$$

$$f_s = 22.4\ \text{kHz}, v_d = 0$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (22.4\ \text{kHz})\left(\frac{1533\ \text{m/s}}{1533\ \text{m/s} + 4.15\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 22.3\ \text{kHz}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

70. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة 37.5 m/s، ويصدر صوتًا بتردّد 327 Hz، فيرتد الصوت من فتحة النفق. ما تردّد الصوت المنعكس الذي يُسمع في القطار، علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء كانت 343 m/s؟

تلميح: حل المسألة في جزأين، افترض في الجزء الأول أن النفق مراقب ثابت، واحسب التردّد. ثم افترض في الجزء الثاني أن النفق مصدر ثابت، واحسب التردّد المقيس في القطار.

الجزء الأول:

$$v_s = +37.5\ \text{m/s}, v = 343\ \text{m/s},$$

$$f_s = 327\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (327\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s} - 37.5\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 367\ \text{Hz}$$

الجزء الثاني:

$$v_d = -37.5\ \text{m/s}, v = 343\ \text{m/s},$$

$$f_s = 367\ \text{Hz}$$

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right) = (367\ \text{Hz})\left(\frac{343\ \text{m/s} - (-37.5\ \text{m/s})}{343\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 407\ \text{Hz}$$

التفكير الناقد

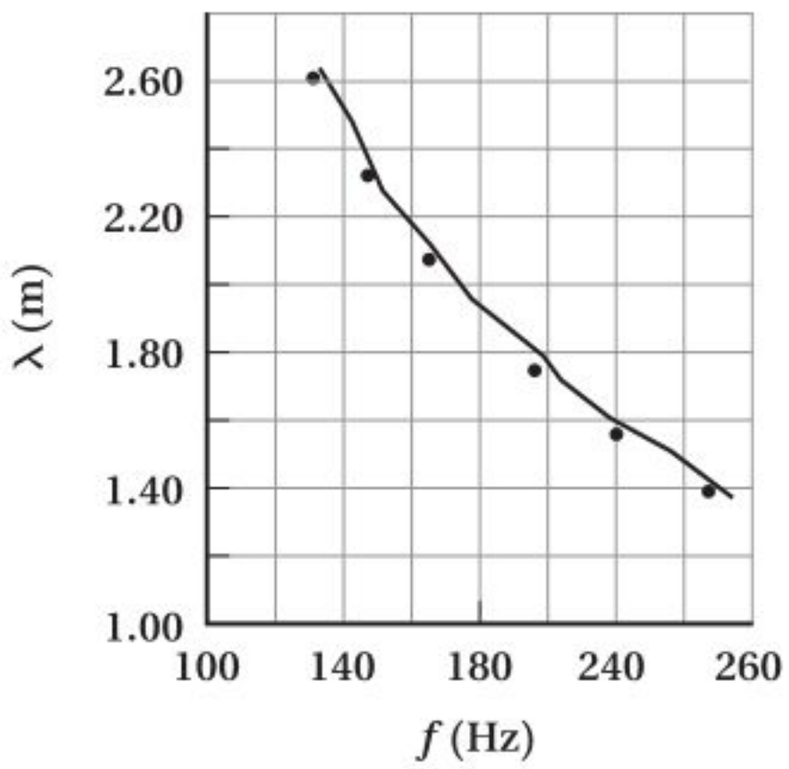
71. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** يبين الجدول 2–3 الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

الجدول 2–8

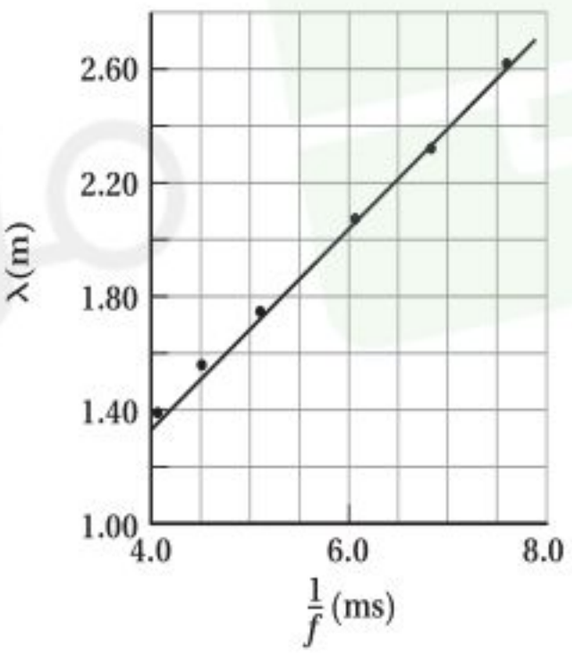
الشوكات الرنانة	
الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

يبين الرسم البياني وجود علاقة عكسية بين التردد والطول الموجي.



b. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردّد ($1/f$). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

يبين الرسم البياني وجود علاقة طردية بين الزمن الدوري $\left(\frac{1}{f}\right)$ والطول الموجي. ويمكن حساب سرعة الصوت من خلال حساب ميل الخيط الموضح في الرسم البياني، والذي يساوي تقريبًا 343 m/s.



72. إعداد الرسوم البيانية افترض أن تردّد بوق سيارة يساوي 300 Hz عندما كانت السيارة ثابتة، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردّد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟ صمّم مخطّطًا تقريبيًّا للمسألة.

يجب أن يوضح الرسم البياني ترددا ثابتا نوعا ما أعلى من 300 Hz عندما تقترب السيارة، ويوضح ترددًا ثابتًا نوعًا ما أقل من 300 Hz عندما تبتعد.

73. حلّل واستنتج صف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا جدًّا أم صغيرًا جدًّا؟

تبدأ تشغيل الساعة لقياس الزمن لحظة رؤيتك اللاعب يضرب الكرة، وتوقفها لحظة سماعك صوت الضربة. ويمكن حساب السرعة من خلال قسمة المسافة 200 m على الزمن المقيس. سيكون الزمن المقيس كبيرًا؛ وذلك لأنك تستطيع تحديد لحظة ضرب الكرة بالنظر بدقة، ولكنك لا تستطيع تحديد لحظة وصول الصوت بدقة، ومن ثم تكون السرعة المحسوبة قليلة جدًّا.

74. تطبيق المفاهيم وجد أن تردّد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلاً من تردّد الضوء القادم من الجهة اليمنى. علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتمادًا على هذا القياس؟

يجب أن تدور الشمس حول محورها بنفس نمط دوران الأرض. ويشير انزياح دوبلر إلى أن الجانب الأيسر من الشمس يقترب نحونا، في حين يبتعد الجانب الأيمن عنا.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

تقويم الفصل 3

الكتابة في الفيزياء

75. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك. كيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرّات؟

يجب أن يناقش الطلاب عمل إدوين هابل، والانزياح نحو الأحمر، وتمدد الكون، والتحليل الطيفي، واكتشاف التذبذبات في حركة أنظمة الكوكب– النجم.

مراجعة تراكمية

76. ما سرعة الموجات المتولّدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها 440 Hz؟ (الفصل 2)

$$\lambda = 2L = 2(0.600\ \text{m}) = 1.20\ \text{m}$$

$$v = \lambda f = (1.20\ \text{m})(440\ \text{Hz}) = 530\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

(A) تغير ضغط الهواء.

(B) الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.

(C) الموجات الكهرومغناطيسية.

(D) الموجات تحت الحمراء.

2. سمع خالد أثناء سباحته نغمة وصلت إلى أذنه بتردّد 327 Hz عندما كان تحت الماء. فما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افترض سرعة الصوت في الماء 1493 m /s)

(A) 2.19 nm

(B) 4.88×10^{-5} m

(C) 2.19×10^{-1} m

(D) 4.57 m

3. يجذب صوت بوق سيارة انتباه مراقب ثابت. فإذا كانت السيارة تقترب من المشاهد بسرعة 60.0 km /h، وتردّد صوت البوق 512 Hz، فما تردّد الصوت الذي يسمعه المراقب؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m /s)

(A) 488 Hz

(B) 512 Hz

(C) 538 Hz

(D) 600 Hz

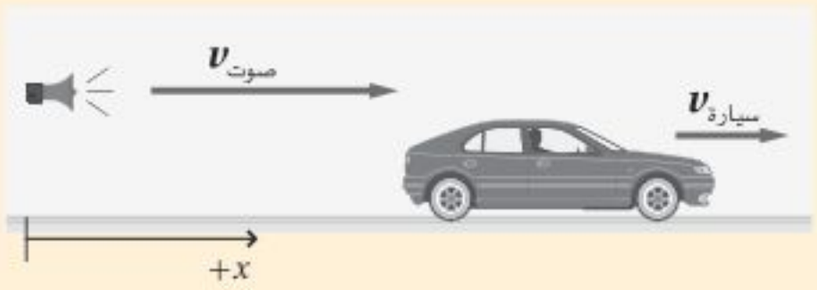
4. تبتعد سيارة بسرعة 72 km /h عن صافرة ثابتة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فإذا انطلقت الصافرة بتردّد 657 Hz فما تردّد الصوت الذي يسمعه السائق؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء 343 m /s)

(A) 543 Hz

(B) 620 Hz

(C) 647 Hz

(D) 698 Hz



5. ينتقل صوت بوق سيارة في الهواء بسرعة 351 m / s. فإذا كان تردّد الصوت 298 Hz فما طوله الموجي؟

(A) $9.93 \times 10-4$ m

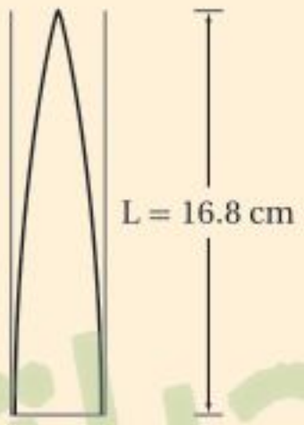
(B) 0.849 m

(C) 1.18 m

(D) 1.05×10^{5} m

الأسئلة الممتدة

6. يبين الشكل أدناه طول عمود الهواء في حالة الرنين الأول لعمود هواء مغلق، فإذا كان تردد الصوت 488 Hz فما سرعة الصوت؟



328 m /s

إرشاد

سجِّل حساباتك

يطلب إليك في أغلب الاختبارات الإجابة عن عدد كبير من الأسئلة في زمن قليل. سجّل حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها، ولا تحاول حفظها.

موقع واجباتي