

الدرس الأول (خصائص الصوت والكشف عنه)

١. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددها ١٨ Hz تتحرك في هواء درجة حرارته ٢٠ C ؟ (يعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).

الحل :

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

٢. إذا وقفت عند طرف واد وصرخت ، وسمعت الصدى بعد مرور ٠,٨٠ s ، فما عرض هذا الوادي ؟

الحل :

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

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

٣. تنتقل موجة صوتية ترددها  $2280 \text{ Hz}$  وطولها الموجي  $0,655 \text{ m}$  في وسط غير معروف . حدد نوع الوسط .

الحل :

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

$$v = \lambda f = (0.655 \text{ m})(2280 \text{ Hz}) \\ = 1490 \text{ m/s}$$

هذه السرعة تتوافق مع الماء في :

$25^\circ\text{C}$ .

٤. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة  $25,0 \text{ m/s}$  في اتجاه صفارة إنذار . إذا كان تردد صوت الصفارة  $365 \text{ Hz}$  ، فما التردد الذي ستسمعه ؟ علما بأن سرعة الصوت في الهواء  $343 \text{ m/s}$  .

الحل :

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

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

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

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

$$= 392 \text{ Hz}$$

٥. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة  $24,6 \text{ m/s}$  ، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها . فإذا انطلق المنبه فيها بتردد  $475 \text{ Hz}$  ، فما التردد الذي ستسمعه ؟ علما بأن سرعة الصوت في الهواء  $343 \text{ m/s}$  .

الحل :

$$\begin{aligned}
 v &= 343 \text{ m/s}, f_s = 475 \text{ Hz}, v_s = +24.6 \text{ m/s}, \\
 v_d &= -24.6 \text{ m/s} \\
 f_d &= f_s \left( \frac{v - v_d}{v - v_s} \right) \\
 &= (475 \text{ Hz}) \left( \frac{343 \text{ m/s} + 24.6 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s} - 24.6 \text{ m/s}} \right) \\
 &= 548 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

٦. تتحرك غواصة في اتجاه غواصة أخرى بسرعة  $9,20 \text{ m/s}$  ، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد  $3,50 \text{ MHz}$  . ما التردد الذي تلتقطه الغواصة الأخرى وهي ساكنة ؟ علما بأن سرعة الصوت في الماء  $1482 \text{ m/s}$  .

الحل :

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

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

$$\begin{aligned}
 f_d &= f_s \left( \frac{v - v_d}{v - v_s} \right) \\
 &= (3.50 \text{ MHz}) \left( \frac{1482 \text{ m/s}}{1482 \text{ m/s} - 9.20 \text{ m/s}} \right) \\
 &= 3.52 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

٧. يرسل مصدر صوت موجات بتردد  $262 \text{ Hz}$  . ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتزيد حدة الصوت إلى  $271 \text{ Hz}$  ؟ علما بأن سرعة الصوت في الهواء  $343 \text{ m/s}$  .

الحل :

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

$$v_d = 0 \text{ m/s}, v_s \text{ غير معلومة القيمة}$$

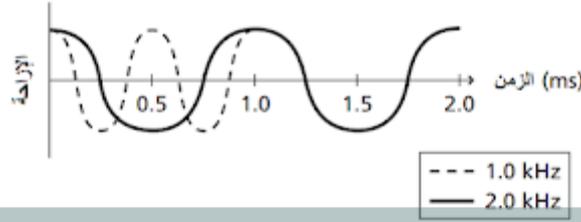
$$f_d = f_s \left( \frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$$

حل المعادلة بدلالة  $v_s$  :

$$\begin{aligned}
 v_s &= v - \frac{f_s}{f_d}(v - v_d) \\
 &= 343 \text{ m/s} - \left( \frac{262 \text{ Hz}}{271 \text{ Hz}} \right) (343 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) \\
 &= 11.4 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

٨. رسم بياني تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت . مثل بيانها العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها  $1,0 \text{ kHz}$  ، و لدورتين لنغمة ترددها  $2,0 \text{ kHz}$  .

الحل :



٩. تأثير الوسط اذكر خصيقتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت ، وخصيقتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط .

الحل :

الخصيقتان اللتان تتأثران : السرعة والطول الموجي ، والخصيقتان اللتان لا تتأثران : الزمن الدوري والتردد .

١٠ . خصائص الصوت ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدة الصوت ؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علو الصوت ؟

الحل :

التردد ، السعة .

١١ . مقياس الديسبل ما نسبة مستوى ضغط فرقة نشيد ( $110 \text{ dB}$ ) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية ( $50 \text{ dB}$ ) ؟

## الحل :

يزداد مستوى ضغط الصوت بمقدار ١٠ مرات مقابل كل زيادة مقدارها ٢٠ dB في مستوى الصوت . لذا فإن ٦٠ dB تقابل زيادة بمقدار ١٠٠٠ ضعف في مستوى ضغط الصوت .

١٢ . الكشف المبكر كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقبوا وصول القطار . لماذا تعد هذه الطريقة نافعة ؟

## الحل :

إن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر من سرعته في الغازات . لذلك 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 تتلاشى موجات الصوت خلال مسافات قصيرة .

١٣ . الخفافيش يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عال 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 ؟

## الحل :

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

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

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

الحل :

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

### الدرس الثاني (الرنين في الاعمدة الهوائية والأوتار):

١٥. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردد  $440 \text{ Hz}$  فوق أنبوب مغلق ، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء  $20^\circ \text{C}$  .

الحل :

تباعده الرنين  $\frac{\lambda}{2}$

إذا باستخدام  $\lambda = \frac{v}{f}$

فإن تباعد الرنين يساوي:

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

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

الحل :

$$1.1 \text{ m} = \frac{\lambda}{2} = \text{تباعده الرنين}$$

إذا

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

$$v = \lambda f = 2.2 \times 440 = 970 \text{ m/s}$$

١٧. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة  $27^\circ\text{C}$  ، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار  $20.2 \text{ cm}$  . ما تردد الشوكة الرنانة ؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال ٢ عند درجة الحرارة  $27^\circ\text{C}$  .

الحل :

حلول  
الجلول اون لاين  
hulul.online

$v=347 \text{ m/s}$  عند  $27^\circ\text{C}$

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

إذا

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

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

١٨. مصادر الصوت ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل مما يلي ؟

a. الصوت البشري

b. صوت المذياع

الحل :

a. الحبال الصوتية

b. غشاء رقيق (غشاء السماعة)

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

الحل :

طول الأنبوب يساوي نصف الطول الموجي

٢٠. الرنين في الأوتار يصدر وتر نغمة حادة ترددها  $370 \text{ Hz}$  . ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة ؟

الحل :

$$f_2 = 2f_1 = (2)(370 \text{ Hz}) = 740 \text{ Hz}$$

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

$$= 1100 \text{ Hz}$$

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

$$= 1500 \text{ Hz}$$

٢١. الضربات تنتج شركة رنانة ثلاث ضربات في كل ثانية ، مع شوكة رنانة أخرى ترددها  $392 \text{ Hz}$  . ما تردد الشوكة الرنانة الأولى ؟

الحل :

389 Hz أو 395 Hz ، ولا يمكن تحديد أيهما التردد الصحيح بالاعتماد على معطيات السؤال .

٢٢. الرنين في الأنابيب المغلقة يبلغ طول أنبوب مغلق  $2.40 \text{ m}$  .

a. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب ؟

b. إذا صدر عن أنبوب ثان نغمة في الوقت نفسه ، فستسمع ضربة

ترددتها  $1.40 \text{ Hz}$  . ما مقدار الزيادة في طول الأنبوب الثاني ؟

الحل :

a.

$$\lambda = 4L = (4)(2.40 \text{ m}) = 9.60 \text{ m}$$

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

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{9.60 \text{ m}} = 35.7 \text{ Hz}$$

b.

$$f = 35.7 \text{ Hz} - 1.40 \text{ Hz} = 34.3 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343 \text{ m/s}}{34.3 \text{ Hz}} = 10.0 \text{ m}$$

$$\lambda = 4L$$

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{10.0 \text{ m}}{4} = 2.50 \text{ m}$$

مقدار الزيادة في الطول:

$$2.50 \text{ m} - 2.40 \text{ m} = 0.10 \text{ m}$$

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

الحل :

يتضخم صوت الشوكة الرنانة كثيرا عندما تضغط بمقبضها على الأجسام المختلفة ، لأن هذه الأجسام تولد رنيناً . وتختلف الأصوات الناتجة من جسم إلى آخر ، لأن كلا منها يولد رنيناً مع ترددات وإيقاعات مختلفة ، لذلك يكون لها طابع صوت مختلف .

٢٤. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية : السعة ، الإدراك ، حدة الصوت ، السرعة



الحل

٢٥. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت ؟

الحل :

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

٢٦ . عند قياس زمن الركض لمسافة  $100\text{ m}$  يبدأ المراقبون عند خط  
النهاية تشغيل ساعات الوقف لديهم عند رؤيتهم دخانا يتصاعد من المسدس  
الذي يشير إلى بدء السباق ، وليس عند ماعهم صوت الإطلاق . فسر ذلك  
. و ما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت ند سماع الصوت  
؟

الحل :

ينتقل الضوء بسرعة  $3,00 \times 10^8\text{ m/s}$  بينما ينتقل الصوت في الهواء  
بسرعة  $343\text{ m/s}$  . سيرى المراقبون الدخان قبل سماع صوت إطلاق  
المسدس . وسيكون الزمن أقل من الزمن الفعلي لو اعتمد على سماع  
الصوت .

٢٧ . اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية  
المرتبطة معهما .

الحل :

الحدة - التردد ، العلو - السعة  
hulul.online

٢٨ . هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع  
الموجات ؟

الحل :

لجميع أنواع الموجات .

٢٩ . الموجات فوق الصوتية موجات صوتية ترددها أعلى من تلك التي  
تسمع 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 ممكنا .

**الحل :**

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

٣٠. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله ؟

**الحل :**

توافر جسم يهتز ووسط مادي .

٣١. المشاة عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسرون على الجسر بخطوات غير منتظمة . فسر ذلك .

**الحل :**

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 زيادة الطاقة الناجمة عنها مما يؤدي إلى انهياره . ولا يكون هناك تضخيم لتردد معين عندما يسرون بخطوات غير منتظمة .

٣٢. التقدير لتقدير مسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات ، عد الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد ، واقسم على ٣ . وضح كيف تعمل هذه القاعدة ؟

**الحل :**

إن سرعة الصوت تساوي :

$1/3, \text{ km/s} = 1/3, \text{ km/s} = 0,343 \text{ km/s} = 343 \text{ m/s}$  ، أو ينتقل الصوت تقريبا 1 km خلال 3s . لذلك قسم عدد الثواني على 3 .

٣٣. تزداد سرعة بمقدار  $0,6 \text{ m/s}$  لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة . ماذا يحدث لكل مما يلي بالنسبة لصوت ما عند ارتفاع درجة الحرارة ؟

a. التردد

b. الطول الموجي

الحل :

a. لا يوجد تغير في التردد .

b. يزداد الطول الموجي .

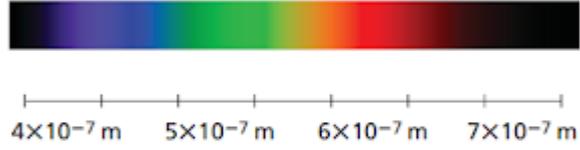
٣٤. الأفلام انفجر قمر اصطناعي في فلم خيال علمي ، حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فوراً . إذا اخترت مستشاراً فما الخطأ الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما ؟

الحل :

أولاً إذا سمعت صوتاً فإنك ستسمعه بعد رؤيتك للانفجار ، فموجات الصوت تنتقل أبطأ كثيراً من الموجات الكهرومغناطيسية . ثانياً كثافة المادة في الفضاء قليلة جداً ، بحيث لا تنتشر موجات الصوت ، ولذلك لن يسمع أي صوت .

٣٥. الانزياح نحو الأحمر لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مزاحاً نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة . فسر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض ، اعتماداً على الشكل التالي للطيف المرئي .

الحل :



الشكل 19-8

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

٣٦. يبلغ مستوى صوت ٤٠ dB . هل تغير ضغطه أكبر ١٠٠ مرة من عتبة السمع ، أم ٤٠ مرة ؟

الحل :

للصوت ٤٠ dB ضغط صوت أكبر ١٠٠ مرة .

٣٧. إذا ازدادت حدة الصوت فما التغير الذي لكل مما يلي ؟

a. التردد

b. الطول الموجي

c. سرعة الموجة

d. سعة الموجة

الحل :

a. يزداد التردد .

b. يقل الطول الموجي .

c. تبقى سرعة الموجة نفسها .

d. تبقى السعة نفسها .

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

الحل :

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

الحلون اون لاين
   
 hulul.online

٣٩. يولد أنبوب مغلق نغمة معينة ، فإذا أزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح انبوبا مفتوحا فهل تزداد حدة الصوت أم تقل ؟

الحل :

تزداد حدة الصوت ، حيث يكون التردد أكبر بمقدار الضعف للأنبوب المفتوح مقارنة بالأنبوب المغلق .

٤٠. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد  $5,0\text{ s}$  من رؤيتك للوميض فما بعد المدفع عنك؟

الحل :

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

٤١. إذا صحت في وادي وسمعت الصدى بعد  $3,0\text{ s}$  ، فما مقدار عرض الوادي؟

ع

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

وهي المسافة الكلية التي تم قطعها . مسافة الوادي:

$$\frac{1}{2}(343 \text{ m/s})(3.0 \text{ s}) = 5.1 \times 10^2 \text{ m}$$

الحل :

٤٢. إذا انتقلت موجة صوت ترددها  $4700 \text{ Hz}$  في قضيب فولاذي ، وكانت المسافة بين التضاعطات المتتالية هي  $1,1 \text{ m}$  ، فما سرعة الموجة؟

الحلون اون لاين
   
 hulul.online

الحل :

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

٤٣. الخفافيش يرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي  $3,5 \text{ mm}$  . ما تردد الصوت في الهواء؟

الحل :

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{0.0035 \text{ m}} = 9.8 \times 10^4 \text{ Hz}$$

٤٤ . ينتقل صوت تردده  $261,6 \text{ Hz}$  خلال ماء درجة حرارته  $25 \text{ C}$  .  
 أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء . لا تخلط بين الموجات  
 الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه .

الحل :

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

٤٥ . التصوير الفوتوجرافي تحدد بعض الكاميرات بعد الجسم عن طريق  
 إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى  
 الكاميرا ، كما يبين الشكل ٢٠-٨ . ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة  
 الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي  $3,00$   
 ؟ m

الحل :

المسافة الكلية التي يقطعها الصوت هي  $6,00 \text{ m} = 2 \times 3,00 \text{ m}$   
 وعليه فإن الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا  
 يساوي

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

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

٤٦. إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها  $4.40 \times 10^2 \text{ Hz}$  في ماء نقي هو  $3.30 \text{ m}$  فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

الحل :

$$v = \lambda f = (3.30 \text{ m})(4.40 \times 10^2 \text{ Hz})$$
$$= 1.45 \times 10^3 \text{ m/s}$$

٤٧. ينتقل صوت تردد  $442 \text{ Hz}$  خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد

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

٤٨. الطائرة النفاثة يعمل موظف في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع ، فتأثر بصوت مستواه  $150 \text{ dB}$  .

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

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

الحل :

a. إن مستوى صوت النشيد dB 110 لذلك يلزم تخفيضا بمقدار  $150 - 110 = 40$  dB

b. إن الهمس الذي يكون بالكاد مسموعا له مستوى صوت dB 10 ، لذا فإن المستوى الفعلي سيكون dB 50 أو مماثل لمستوى متوسط صوت طلاب صف دراسي .

٤٩ . النشيد تنشد فرقة نشيد بصوت مستواه dB 80 . ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تنشد بالمستويات التالية؟

a. dB 100

b. dB 120

الحل :

a. كل زيادة مقدارها dB 20 تؤدي إلى زيادة في الضغط بمقدار 10 ، لذلك ينتج ضغط أكبر بمقدار 10 مرات .

b.  $100 = (10)(10)$  ، أي 100 مرة ضغط أكبر .

٥٠ . يهتز ملف نابضي للعبة بتردد Hz 4,0 بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي m 0,50 . ما سرعة انتشار الموجة؟

الحل :

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

٥١. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بعد  $102\text{ m}$  من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته  $30\text{ C}$ . احسب مقدار:

a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة  $30\text{ C}$ .

b. الزمن الذي يحتاج اليه المشجع ليرى صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته لضرب الحارس لها.

الحل :

a. السرعة تزيد بمقدار  $0.6\text{ m/s}$  لكل  $1\text{ C}$ ، وعليه فإنها تزيد من  $343\text{ m/s}$  إلى  $349\text{ m/s}$  عند  $30\text{ C}$ . إذا سرعة الصوت في الهواء تساوي:

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

b.

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

٥٢. وقف شخص على بعد  $d$  من جرف صخري، كما يبين الشكل ٨-٢١. فإذا كانت درجة الحرارة  $15\text{ C}$ ، وصفق الشخص بيديه فسمع صدى الصوت بعد  $2.0\text{ s}$ ، فما بعد الجرف الصخري؟ الحل:



الشكل 21-8 (الرسم ليس بمقياس رسم)

عند درجة حرارة  $10\text{ C}$  ، سرعة الصوت تساوي  $3\text{ m/s}$  وهي أبطأ من سرعته عند  $20\text{ C}$  حيث ان السرعة عندها تساوي  $340\text{ m/s}$

٥٣. التصوير الطبي تستخدم موجات فوق صوتية بتردد  $4,25\text{ MHz}$  للحصول على صور للجسم البشري . فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح ،  $1,50\text{ km/s}$  ، فما الطول الموجي لموجة ضغط ترددها  $4,25\text{ MHz}$  في الجسم ؟

الحل :

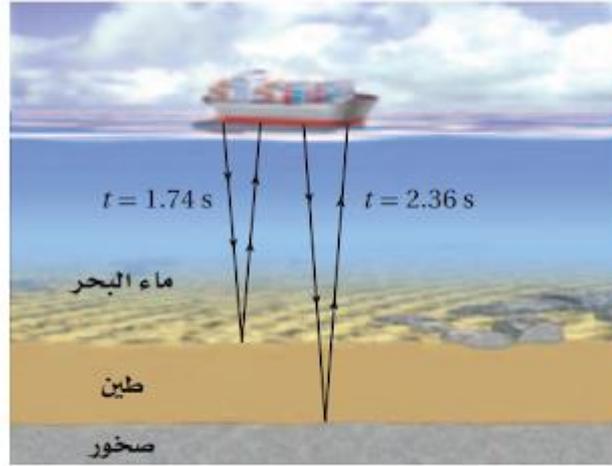
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.50 \times 10^3 \text{ m/s}}{4.25 \times 10^6 \text{ Hz}} = 3.53 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$= 0.353 \text{ mm}$$

٥٤. السونار تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل في ماء البحر ، كما يبين الشكل ٢٢-٨ . وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند قاع البحر بعد زمن مقداره  $1,74\text{ s}$  من إرسال الموجات . ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بعد  $2,36\text{ s}$  . فإذا كانت درجة حرارة ماء البحر  $20\text{ C}$  ، وسرعة الصوت في الطين  $1870\text{ m/s}$  فاحسب ما يلي :

a. عمق الماء .  
 b. سمك طبقة الطين .


  
 الحلول اون لاين
   
 hulul.online



الشكل 22-8 (الرسم ليس بمقياس رسم)

الحل :

a. سرعة الصوت في عمق الماء تساوي  $1533 \text{ m/s}$  و الزمن اللازم لرحلة واحدة هو  $0,87 \text{ s}$  ، إذا :

$$d_w = vt_w = (1533 \text{ m/s})(0.87 \text{ s}) = 1300 \text{ m}$$

b. الزمن لرحلة في الطين ذهابا وإيابا هو :  
 $2,36 \text{ s} - 1,74 \text{ s} = 0,62 \text{ s}$

الزمن لرحلة ذهابا هو  $0,31 \text{ s}$  ، إذا :

$$d_m = vt_m = (1875 \text{ m/s})(0.31 \text{ s}) = 580 \text{ m}$$

٥٥. تتحرك سيارة إطفاء بسرعة  $35 \text{ m/s}$  ، وتتحرك سيارة أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة  $15 \text{ m/s}$  . فإذا انطلقت صفارة إنذار سيارة الإطفاء بتردد  $327 \text{ Hz}$  فما التردد الذي يسمعه سائق السيارة ؟

الحل :

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

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

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

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

٥٦. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت ، وعندما كانت سرعته ٣١ m/s انطلقت صفارته بتردد ٣٠٥ Hz. ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يلي :

a. المراقب ثابت .

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة ٢١,٠ m/s .

الحل :

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

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

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

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

$$= 356 \text{ Hz}$$

٥٧. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعدا عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يلي :

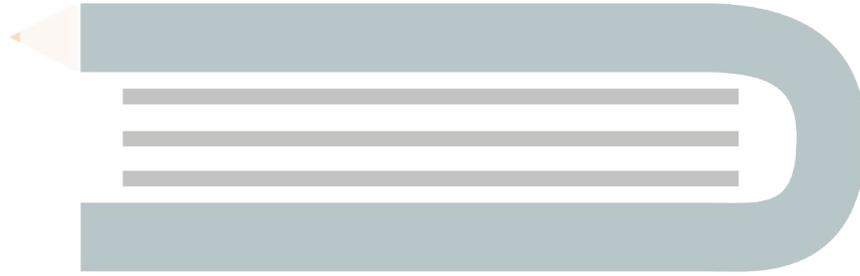
. المراقب يتحرك مبتعدا عن القطار بسرعة ٢١,٠ m/s .

الحل

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

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

$$= 2.80 \times 10^2 \text{ Hz}$$



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

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

$$= 2.63 \times 10^2 \text{ Hz}$$

٥٨. أنبوب في وضع رأسي مملوء بالماء وله صنوبر عند قاعدته ، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي . فإذا سمع رنين عند تخفيض مستوى

الماء في الأنبوب بمقدار  $17 \text{ cm}$  ، وسمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار  $49 \text{ cm}$  فما تردد الشوكة الرنانة ؟

$$49 \text{ cm} - 17 \text{ cm} = 32 \text{ cm} \text{ أو } 0.32 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}\lambda$$

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

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

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{0.64 \text{ m}} = 540 \text{ Hz}$$

الحل

٥٩. السمع البشري القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله  $3.0 \text{ cm}$  ، أوجد القيمة التقريبية لأقل تردد رنين . أهمل تصحيح النهاية .

الحل:

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

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

$$f = \frac{v}{4L} = \frac{343 \text{ m/s}}{(4)(0.030 \text{ m})} = 2.9 \text{ kHz}$$

٦٠. إذا أمسكت قضيب ألمنيوم طوله  $1,2 \text{ m}$  من منتصفه وضربت أحد طرفيه بمطرقة فسيهتز كأنه أنبوب مفتوح ، و يكون هناك بطن ضغط عند مركز القضيب ، بسبب توافق بطون الضغط عند عقد الحركة الجزيئية . فإذا كانت سرعة الصوت في الألمنيوم  $5150 \text{ m/s}$  فما أقل تردد اهتزاز للقضيب ؟

الحل :

 الحلول  
الجلول اون لاين  
hulul.online طول القضيب يساوي

$$\frac{1}{2}\lambda, \quad \lambda = 2.4 \text{ m}$$

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

٦١. شوكة رنانة ترددها  $445 \text{ Hz}$  . وعندما ضربت شوكة ثانية نتجت ضربات بتردد  $3 \text{ Hz}$  . ما الترددان الممكنان للشوكة الثانية ؟

الحل :

$$445 \text{ Hz} - 3 \text{ Hz} = 442 \text{ Hz}$$

$$445 \text{ Hz} + 3 \text{ Hz} = 448 \text{ Hz}$$

٦٢. إذا أنتج أنبوب مفتوح نغمة ترددها  $370 \text{ Hz}$  فما ترددات الإيقاعات الثاني ، والثالث ، والرابع المصاحبة لهذا التردد ؟

الحل :

$$f_2 = 2f_1 = (2)(370 \text{ Hz}) = 740 \text{ Hz}$$

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

$$= 1100 \text{ Hz}$$

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

$$= 1500 \text{ Hz}$$

٢٦٣. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة ترددها  $370 \text{ Hz}$  فما تردد أقل ثلاثة إيقاعات ينتجها هذا الأنبوب ؟

الحلون اون لاين
   
 hulul.online

الحل :

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

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

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

٦٤. ضبط وتر طوله  $65.0 \text{ cm}$  لينتج أقل تردد ، ومقداره  $196 \text{ Hz}$  . احسب مقدار :

a. سرعة الموجة في الوتر .

b. تردد الرنين التاليان لهذا الوتر .

الحل :

a

$$\lambda_1 = 2L = (2)(0.650 \text{ m}) = 1.30 \text{ m}$$

$$v = \lambda f = (1.30 \text{ m})(196 \text{ Hz}) = 255 \text{ m/s}$$

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

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

٦٥. يمثل الشكل ٢٣-٨ أنبوباً بلاستيكيًا موجاً مرناً طولهُ  $0.85 \text{ m}$ ، وعندما يتأرجح ينتج نغمة ترددها يمائل أقل تردد ينتجه أنبوب مفتوح له الطول نفسه. ما تردد النغمة؟ الحل :



$$L = 0.85 \text{ m} = \frac{\lambda}{2}, \quad \lambda = 1.7 \text{ m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{343 \text{ m/s}}{1.7 \text{ m}} = 2.0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

٦٦. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر منتجا نغمة حدثها أعلى فما التردد الجديد ؟

الحل :

$$f_2 = 2f_1 = (2)(2.0 \times 10^2 \text{ Hz}) = 4.0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

٦٧. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية  $0.020 \text{ Pa}$

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

b. إذا انتقلت القوة نفسها التي في الفرع a كاملة إلى العظام الثلاثة التي في الأذن الوسطى فما مقدار القوة التي تؤثر بها هذه العظام في الفتحة البيضية ، أي الغشاء المرتبط مع العظمة الثالثة ؟ علما بأن الفائدة الميكانيكية لهذه العظام ١,٥ .

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

الحل :

a.

حلول  
الجلول اون لاين  
hulul.online

$$F = PA$$

$$= (0.020 \text{ N/m}^2)(0.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$= 1.0 \times 10^{-6} \text{ N}$$

$$MA = \frac{F_r}{F_e} \quad F_r = (MA)(F_e)$$

$$F_r = (1.5)(1.0 \times 10^{-6} \text{ N}) = 1.5 \times 10^{-6} \text{ N}$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1.5 \times 10^{-6} \text{ N}}{0.026 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.58 \text{ Pa}$$

مراجعة عامة

٦٨. أنبوب مفتوح طوله  $1,65 \text{ m}$  . ما نغمة التردد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند دؤجة حرارة  $0^\circ \text{ C}$  ؟

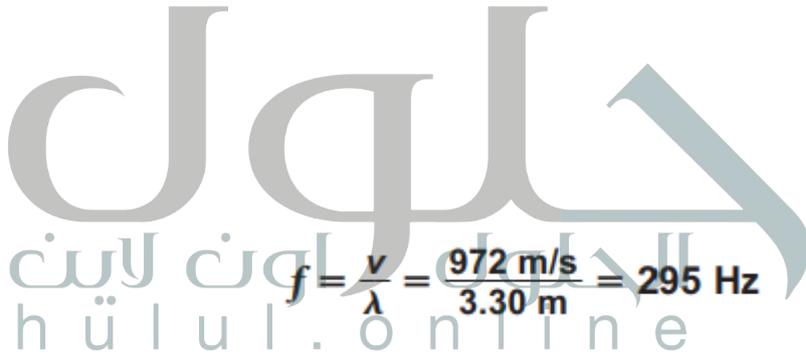
الحل :

طول الأنبوب المفتوح يساوي نصف الطول الموجي . وعليه فإن الطول

$$\text{الموجي يساوي } 1,65 \times 2 = 3,30 \text{ m}$$

سرعة الصوت في الهيليوم تساوي  $972 \text{ m/s}$

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


  
 الحلول
   
 الحلول اون لاين
   
 hulul.online

٦٩. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثا بسرعة  $19,5 \text{ m/s}$  ، ويغرد بحددة مقدارها  $954 \text{ Hz}$  . فإذا سمع الرائد النغمة بتردد  $985 \text{ Hz}$  فما سرعة الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب ؟

الحل :

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

$$v = ?$$

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

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

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

$$= 4.80 \times 10^2 \text{ m/s}$$

٧٠. إذا ألقيت حجرا في بئر عمقها  $122,5 \text{ m}$  كما في الشكل ٨-٢٤ فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر؟

الحل :

الزمن اللازم لسقوط الحجر في البئر يساوي

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

$$t = \sqrt{\frac{d}{\frac{1}{2}g}} = \sqrt{\frac{122.5 \text{ m}}{\left(\frac{1}{2}\right)(9.80 \text{ m/s}^2)}} = 5.00 \text{ s}$$

الزمن اللازم لسماع صوت الحجر يساوي

$$d = v_s t$$

$$t = \frac{d}{v_s} = \frac{122.5 \text{ m}}{343 \text{ m/s}} = 0.357 \text{ s}$$

الزمن الكلي يساوي

$$5.0 \text{ s} + 0.357 \text{ s} = 5.36 \text{ s}$$



الشكل ٨-٢٤

٧١. تستخدم سفينة موجات السونار بتردد  $22,5 \text{ kHz}$ . فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر  $1533 \text{ m/s}$  فما مقدار التردد الذي يصل السفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحرك بسرعة  $4,15 \text{ m/s}$  مبتعدا عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

الجزء الأول: من السفينة إلى الحوت

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

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

$$f_d = f_s \left( \frac{v - v_d}{v - v_s} \right) = (22.5 \text{ kHz}) \left( \frac{1533 - 4.15}{1533} \right)$$

$$= 22.4 \text{ kHz}$$

الجزء الثاني: من الحوت إلى السفينة

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

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

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

$$= 22.3 \text{ kHz}$$

٧٢. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة  $37.5 \text{ m/s}$  ، ويصدر صوتا بتردد  $327 \text{ Hz}$  ، فيرتد الصوت من فتحة النفق . ما تردد الصوت المنعكس الذي يسمع في القطار ، علما بأن سرعة الصوت في الهواء كانت  $343 \text{ m/s}$  ؟

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

الجزء الأول:

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

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

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

$$= 367 \text{ Hz}$$

الجزء الثاني:

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

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

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

$$= 407 \text{ Hz}$$

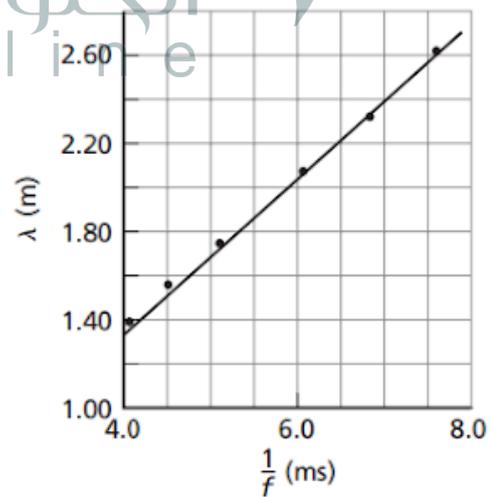
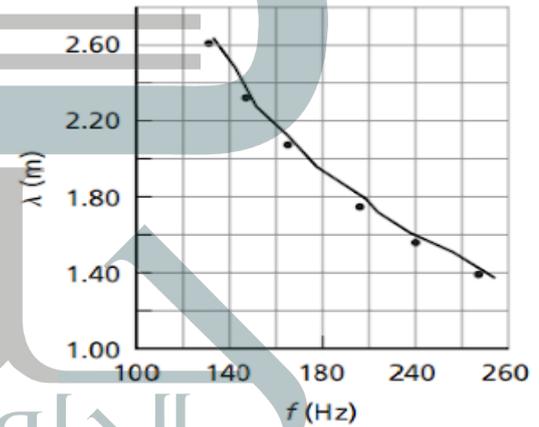
٧٣. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين الجدول ٢-٨ الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند ترددات معينة .

a. مثل بيانيا العلاقة بين الطول الموجي والتردد (التغير المضبوط) . ما نوع العلاقة التي يبينها الرسم البياني ؟

b. مثل بيانيا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردد ( $1/f$ ) . م نوع العلاقة التي يبينها الرسم البياني ؟ حدد سرعة الصوت من الرسم البياني .

الحل

الجدول ٢-٨	
الشوكات الرنانة	
التردد (Hz)	الطول الموجي (m)
131	2.62
147	2.33
165	2.08
196	1.75
220	1.56
247	1.39



٧٤. إعداد الرسوم البيانية افترض أن تردد بوق سيارة يساوي ٣٠٠ Hz عندما كانت السيارة ثابتة ، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك ؟ صمم مخططا تقريبا للمسألة .

الحل :

يجب أن يوضح الرسم البياني ترددا ثابتا نوعا ما أعلى من ٣٠٠ Hz عندما تقترب السيارة ، ويوضح ترددا ثابتا نوع ما أقل من ٣٠٠ Hz عندما تبتعد .

٧٥. حلل واستنتج صف كيف تستخدم ساعة وقف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد ٢٠٠ m من حفرة ملعب جولف ، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم . هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرا جدا أم صغيرا جدا ؟

الحل :

تبدأ تشغيل الساعة لقياس الزمن لحظة رؤيتك اللاعب يضرب الكرة ، وتوقفها لحظة سماعك صوت الضربة . ويمكن حساب السرعة من خلال قسمة المسافة ٢٠٠ m على الزمن المقيس . سيكون الزمن المقيس كبيرا ، وذلك لأنك تستطيع تحديد لحظة وصول الصوت بدقة ، ومن ثم تكون السرعة المحسوبة قليلة جدا .

٧٦. تطبيق المفاهيم وجد أن تردد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلا من تردد الضوء القادم من الجهة اليمنى . علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتمادا على هذا القياس ؟

الحل :

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

٧٧. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك . ما دوره في نظرية الانفجار الكبير ؟ وكيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم ، ودراسة حركة المجرات ؟

الحل :

كما درسنا سابقا فإن تأثير دوبلر ينص على تغير ظاهري في التردد (الاهتزاز) وطول الموجات الصادرة عن جسم متحرك بالنسبة لمراقب ، وكان أول من قام بدراسته الفيزيائي النمساوي يوهان دوبلر ، فسمي باسمه .

ينطبق تأثير دوبلر على الضوء ، فمثلا ضوء النجوم ، إذا كان هناك نجمة تتحرك باتجاهنا ، فإن موجات الضوء التي تبثها ستكون أقصر قليلا بسبب قربها لنا ، أما إذا كانت هذه النجمة تبتعد عنا ، فتبدو موجات الضوء أطول .

فأطوال موجية أقصر للضوء تعني أن الضوء منزاح نحو الأزرق ، والأطوال الموجية الأطوال تعني أن الضوء منزاح نحو الأحمر ، هذا التأثير ليس كبيرا لمعظم النجوم .

عند النظر إلى كل الألوان المختلفة الآتية من نجم ما ستلاحظ أنماط هنا على الأرض ، فيمكننا معرفة اللون الذي يجب أن يكون عليه كل نمط ، فإذا كانت هذه الأنماط منزاحة نحو الأزرق في ضوء النجوم ، نعرف أن النجم يتحرك نحونا ، أما إذا كان النمط منزاح نحو الأحمر ، فالنجم يتحرك مبتعدا عنا .

إن أول من لاحظ هذا التأثير فلكيا هو الفلكي الأمريكي إدوين هابل عام ١٩٢٩ م ، فاكتشف أن المجرات وبعض النجوم تتحرك مبتعدة عنا . وقد صاغ عليه قانونه (قانون هابل) الذي ينص على أن السرعة التي تبتعد

بها مجرة من المجرات عنا تتناسب تناسبا طرديا مع المسافة بينها وبين الأرض .

و طريقة الإنزياح هذه يستعملها الفلكيون كثيرا لحساب سرعات النجوم والمجرات في الكون ، ويمكن استخدامها أيضا لاكتشاف النجوم المختبئة ، وقد مكنت العلماء من معرفة سرعة ابتعاد المجرات عن الأرض من خلال قياس مقدار الانزياح الأحمر الذي نجده عند قياس أطيف تلك المجرات ، والتي أثبتت أن الكون يتمدد ما أدى إلى إثبات حدوث نظرية الانفجار العظيم قبل ١٣,٧ مليار سنة ونشأة الكون!

٧٨. ما سرعة الموجات المتولدة في وتر طوله  $60,0 \text{ cm}$  ، إذا نقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها  $440 \text{ Hz}$  ؟

الحل :

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

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