



الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

المزامير وسرعة الصوت في الغازات

المزامير ومنبعها، وقانونا المزامير متشابه الطرفين ومختلف الطرفين، وكيف تتغير سرعة الصوت مع درجة الحرارة ونوع الغاز

الأمواج المُستقرّة . الوحدة 3 . الدرس 2 (2 من 2)

المزامير أنبوب من الهواء يرنّ مع منبعه. وإذا ملأناه بغاز آخر أو سخّناه تغيّرت سرعة الصوت فيه، فتغيّر صوته. هذه الفكرة بالذات، تبديل الغاز أو درجة الحرارة، جاءت في مسائل المزامير في أوراق 2019 و2023 و2026. نتابع مع الكتاب في الصفحات 181 إلى 183.

المزامير ومنابعه الصوتية

تذكّر: «المزامير: أنبوب أسطواني أو موشوري، مقطّعه ثابت وصغير بالنسبة إلى طوله، جدرانه خشبيّة أو معدنيّة خفيفة لكي لا تشارك في الاهتزاز، يحتوي غازاً (الهواء غالباً) يهتزّ بالتجاوب مع المنبع الصوتي للمزامير». الكتاب، الصفحة 181.

وُصِفَ المصادر الصوتية إلى نوعين، الكتاب، الصفحة 181: «المنبع ذو الفم» نهاية غرفة صغيرة مفتوحة يُدفع فيها الهواء ويخرج من شقّ ضيّق، فيتشكّل عند الفم بطن اهتزاز، أي عقدة ضغط. و«المنبع ذو لسان» صفيحة مرنة تقطع جريان الهواء بتواتر المنبع، فيتشكّل عند اللسان عقدة اهتزاز، أي بطن ضغط.

ويقسم الكتاب المزامير من الناحية الاهتزازية إلى نوعين: «مُتشابهة الطرفين» إذا كان طرفاها من نوع واحد، بطنين أو عقدتين، و«مُختلفة الطرفين» إذا كان عند أحدهما بطنٌ وعند الآخر عقدة. الكتاب، الصفحة 181.

مزامير ذو فم نهايته مفتوحة. عند نهايته المفتوحة يتشكّل، الكتاب، الصفحة 186:

| كيف أبدأ؟ الطرف المفتوح يسمح للهواء بالحركة الطولية الحرة.

(أ) عقدة اهتزاز

(ب) بطن اهتزاز

(ج) بطن ضغط

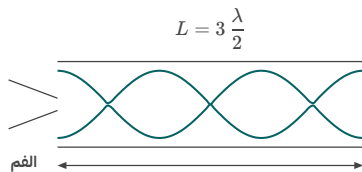
ب. نعم: وهو عقدة للضغط.

قانونا المزامير

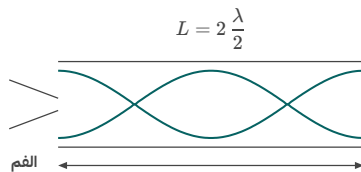
المزمار متشابه الطرفين، ذو فمٍ ونهايةٍ مفتوحة، بطنٌ عند كلِّ طرف. طوله عددٌ صحيح من نصف طول الموجة، ومع $\lambda = \frac{v}{f}$ ،
الكتاب، الصفحة 182:

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

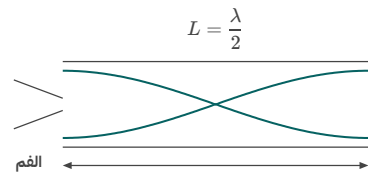
$$f = n \frac{v}{2L}$$



3. المدروج الثالث: $f_3 = 3f_1$.



2. المدروج الثاني: $f_2 = 2f_1$.



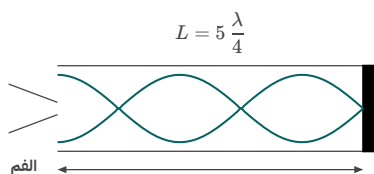
1. الصوت الأساسي: $f_1 = \frac{v}{2L}$.

المزمار متشابه الطرفين، الكتاب، الصفحة 182. الرسم من عندنا.

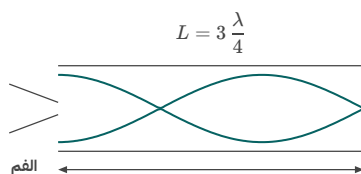
والمزمار مختلف الطرفين، ذو فمٍ ونهايةٍ مغلقة، بطنٌ عند الفم وعقدةٌ عند النهاية المغلقة. طوله عددٌ فرديٌّ من ربع طول الموجة،
الكتاب، الصفحة 182:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

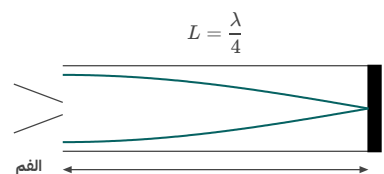
$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L}$$



3. المدروج الخامس: $f_5 = 5f_1$.



2. المدروج الثالث: $f_3 = 3f_1$.



1. الصوت الأساسي: $f_1 = \frac{v}{4L}$.

المزمار مختلف الطرفين، الكتاب، الصفحة 182. الرسم من عندنا.

انتبه: متشابه الطرفين: كلُّ المضاعفات f_1 . مختلف الطرفين: المضاعفات الفردية فقط $(2n - 1) f_1$. ولكي يُصدر المزمار مدروجاته نزيد نفخ الهواء فيه تدريجيًّا، الكتاب، الصفحة 182.

مزمراً متشابه الطرفين طوله L ، وسرعة الصوت في هوائه v . تواتر صوته الأساسي، الكتاب، الصفحة 186:

كيف أبدأ؟ بطنان عند الطرفين: $L = \frac{\lambda}{2}$.

(أ) $f = \frac{v}{4L}$

(ب) $f = \frac{2v}{L}$

(ج) $f = \frac{v}{2L}$

ج. نعم: كما في الكتاب، الصفحة 182.

أنبوب صوتي مختلف الطرفين صوته الأساسي 435 Hz . تواتر الصوت التالي الذي يمكن أن يصدره، الكتاب، الصفحة 186:

كيف أبدأ؟ المختلف الطرفين: المضاعفات الفردية فقط.

(أ) 1305 Hz

(ب) 870 Hz

(ج) 217.5 Hz

أ. نعم: 3×435 .

مزمراً متشابه الطرفين طوله L يصدر صوتاً أساسياً موافقاً للصوت الأساسي لمزمراً مختلف الطرفين طوله L' ، في الشروط نفسها. فإن، الكتاب، الصفحة 186:

كيف أبدأ؟ $\frac{v}{2L} = \frac{v}{4L'}$.

(أ) $L = 2L'$

(ب) $L = L'$

(ج) $L' = 2L$

أ. نعم: $\frac{v}{2L} = \frac{v}{4L'}$ ف $L = 2L'$.

سرعة الصوت في الغازات

«تواتر الصوت الأساسي الذي يصدره مزمراً يتناسب طردياً مع سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار. ويمكن تغيير هذه السرعة بزيادة درجة حرارة الغاز أو تغيير طبيعته.» الكتاب، الصفحة 183.

تتناسب سرعة انتشار الصوت في غاز معين طردياً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارته المطلقة T بالكلفن، الكتاب، الصفحة 183:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad T = 273 + t$$

وتتناسب سرعتنا انتشار الصوت في غازين مختلفين عكساً مع الجذر التربيعي لكثافتهما بالنسبة للهواء، «إذا كان الغازان في درجة حرارة واحدة، ولهما رتبة ذريّة واحدة (أي عدد الذرات التي تُؤلّف جزيئته هي نفسها)» الكتاب، الصفحة 183. و M الكتلة الموليّة للغاز، والكثافة بالنسبة للهواء $D = \frac{M}{29}$:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

انتبه: درجة الحرارة بالكلفن لا بالدرجات المئويّة. وفي تبديل الغاز الكتلة الموليّة للغاز الآخر في البسط: الصوت أسرع في الغاز الأخفّ.

المسألة الأولى، الكتاب، الصفحة 187: سرعة انتشار الصوت في الهواء 331 m.s^{-1} بدرجة 0°C . احسب سرعته في الدرجة 27°C .

$$v_2 = ?$$

1. بالكلفن $T = 273 + t$:

$$T_1 = 273 \text{ K} \quad T_2 = 300 \text{ K}$$

2. النسبة $v_2 = v_1 \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$:

$$v_2 = 331 \sqrt{\frac{300}{273}} \approx 347 \text{ m.s}^{-1}$$

لو عوّضنا بالدرجات المئويّة لظهرت $\sqrt{\frac{27}{0}}$ ، وهي لا معنى لها:

$$T = 273 + t$$

مثال على نمط مسألة دورة 2026 في دمشق: مزامير مختلف الطرفين يحوي غاز الأكسجين ($M = 32$) ، سرعة الصوت فيه 324 m.s^{-1} ، وتواتر صوته الأساسي 162 Hz . نملؤه بغاز الهيدروجين ($M = 2$) في درجة الحرارة نفسها.

$$L, v', f' = ?$$

$$1. \text{ الطول } f_1 = \frac{v}{4L}$$

$$L = \frac{v}{4f_1} = \frac{324}{4 \times 162} = 0.5 \text{ m}$$

$$2. \text{ السرعة في الهيدروجين الغازان ثنائياً الذرة، و } \frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}}$$

$$v' = 324 \sqrt{\frac{32}{2}} = 324 \times 4 = 1296 \text{ m.s}^{-1}$$

3. التواتر الجديد الطول نفسه، والتواتر مع السرعة:

$$f' = \frac{1296}{4 \times 0.5} = 648 \text{ Hz}$$

الهيدروجين أخف بست عشرة مرة، فالصوت فيه أسرع بأربع مرّات، والتواتر أعلى بأربع مرّات:

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

v_1 سرعة الصوت في الهيدروجين ($M = 2$) و v_2 في الأكسجين ($M = 32$) ، في الدرجة نفسها. فإنّ، الكتاب، الصفحة 186:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \text{كيف أبدأ؟}$$

$$(أ) \quad v_1 = 16 v_2$$

$$(ب) \quad v_2 = 4 v_1$$

$$(ج) \quad v_1 = 4 v_2$$

$$ج. نعم: \quad \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$$

سرعة الصوت في غازٍ 331 m.s^{-1} بدرجة 0°C . نسخّنه إلى 273°C . سرعته الجديدة:

كيف أبدأ؟ حوّل إلى الكلفن: 273 K و 546 K .

(أ) $v = 662 \text{ m.s}^{-1}$

(ب) $v \approx 468 \text{ m.s}^{-1}$

(ج) $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$

ب. نعم: تضاعفت درجة الحرارة المطلقة، فالسرعة $331\sqrt{2}$.

من الكتاب: مسائل

المسألة الخامسة، الكتاب، الصفحة 187: استُعملت رنانةٌ تواترها 445 Hz فوق عمود رنينٍ مغلقٍ لتحديد سرعة انتشار الصوت في غاز الهيليوم. البعد بين صوتين شديدين متتاليين 110 cm .

$$v = ?$$

1. طول الموجة بين رنينين متتاليين $\frac{\lambda}{2}$:

$$\lambda = 2 \times 1.10 = 2.2 \text{ m}$$

2. السرعة $v = \lambda f$:

$$v = 2.2 \times 445 = 979 \text{ m.s}^{-1}$$

الصوت في الهيليوم أسرع منه في الهواء بنحو ثلاث مرّات. وبين رنينين متتاليين دائماً نصف طول موجة:

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

المسألة الثانية، الكتاب، الصفحة 187: يصدر أنبوبٌ صوتيّ مختلف الطرفين صوتاً أساسيّاً تواتره 435 Hz . ما تواترات الأصوات الثلاثة التي تليه؟

$$f_3, f_5, f_7 = ?$$

1. المدروجات الفردية : $f = (2n - 1) f_1$

$$3 \times 435 = 1305 \text{ Hz}$$

$$5 \times 435 = 2175 \text{ Hz}$$

$$7 \times 435 = 3045 \text{ Hz}$$

لا 870 Hz ولا 1740 Hz : المدروجات الزوجية غائبة.

$$f = (2n - 1) f_1$$

المسألة الحادية عشرة، الكتاب، الصفحة 188: مزمارٌ متشابه الطرفين طوله 1 m يصدر صوتاً تواتره 170 Hz ، وسرعة الصوت 340 m.s^{-1} . احسب عدد أطوال الموجة في المزمار، ثم طول مزمارٍ مختلف الطرفين يصدر صوتاً أساسياً موافقاً في درجة الحرارة نفسها.

$$\frac{L}{\lambda}, L' = ?$$

1. طول الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$:

$$\lambda = \frac{340}{170} = 2 \text{ m} \quad \frac{L}{\lambda} = 0.5$$

2. المزمار الآخر الصوت الأساسي للمختلف الطرفين : $L' = \frac{\lambda}{4}$

$$L' = \frac{2}{4} = 0.5 \text{ m}$$

في المزمار نصف طول موجة، فهو يصدر صوته الأساسي. والمختلف الطرفين يكفيه نصف الطول:

$$L' = \frac{L}{2}$$

تفكيرٌ ناقد، الكتاب، الصفحة 188: وتُرَكمان كتلته m وطوله L يهتز بالتواتر الأساسي نفسه لعمودٍ هوائي مغلق طوله L ، وسرعة الصوت في الهواء v . استنتج قوّة الشدّ.

$$F_T = ?$$

1. التساوي الوتر بين نهايتين مقيدتين، والعمود مغلق:

$$\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_T L}{m}} = \frac{v}{4L}$$

2. الحلّ نضرب في $2L$ ثم نربّع:

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

مسألة تجمع درسي الوحدة: قانون الأوتار وقانون الأعمدة الهوائية:

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

المصدر: الفيزياء، الصفحات 181 إلى 183 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.