

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

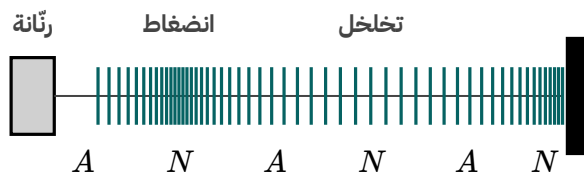
الأمواج المستقرّة الطوليّة والأعمدة الهوائيّة

أمواج مستقرّة في نابض وفي عمود من الهواء: الانضغاط والتخلخل، وعمود الرنين، والعمود المفتوح والعمود المغلق
الأمواج المُستقرّة . الوحدة 3 . الدرس 2 (1 من 2)

حين تعبر نفقاً طويلاً ضيقاً تسمع ضجيج السيارات مضجماً: الصوت ينعكس في النفق ويتداخل فيتقوى. الصوت موجةً طوليّة، وحين ينعكس في عمود من الهواء تتكوّن فيه أمواج مستقرّة. وجاء عمود الهواء والمزمار مسألةً في ثمانٍ من ستّ عشرة ورقة امتحانٍ فيها قسم مسائل قرأناها بين 2016 و2026. نتابع مع الكتاب في الصفحات 175 إلى 180.

الأمواج المستقرّة الطوليّة في نابض

في تجربة الكتاب، الصفحة 176، نثبت أحد طرفي نابضٍ مرّن بنقطة ثابتة، والآخر بشعبة رنانة كهربائيّة، ونشدّه أفقيّاً. حين تعمل الرنانة تنتشر فيه أمواج طوليّة: الحلقات تهتزّ على امتداد النابض نفسه، فتتقارب في مواضع وتتباعّد في أخرى.



النابض في لحظةٍ ما: عند العقد N تتقارب الحلقات أو تتباعّد، وعند البطن A تبقى المسافات بينها ثابتة. الكتاب، الصفحة 176. الرسم من عندنا.

تذكّر: «عندما تعمل الهزازة تنتشر الأمواج الطوليّة الواردة من المُنْبِيع (الرنانة) وفق استقامة النابض لتصل إلى النهاية الثابتة وتنعكس عنها، فتتداخل الأمواج الطوليّة المُنعكسة مع الأمواج الطوليّة الواردة.» و«تُسمّى الحلقات الساكنة عقد اهتزاز ... بينما الحلقات الأوسع اهتزازاً تُسمّى بطون الاهتزاز.» الكتاب، الصفحة 176.

والحلقات المجاورة لبطن الاهتزاز تتحرّك معه دوماً إلى الجهة نفسها، فتبقى المسافات بينها ثابتة ولا يتغيّر عنده الضغط: بطن الاهتزاز عقدة للضغط. أمّا عند عقدة الاهتزاز فتتحرّك الحلقات على جانبيها في جهتين متعاكستين، فتتقارب نصف دور ثم تتباعّد: عقدة الاهتزاز بطن للضغط، فيها انضغاط يليه تخلخل. الكتاب، الصفحة 177.

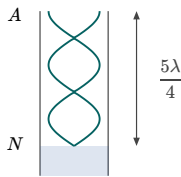
والمسافة بين عقدتي اهتزاز متتاليتين أو بطنين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$ ، والمسافة بين عقدة والبطن الذي يليها $\frac{\lambda}{4}$ ، كما في الوتر.

في نابضٍ تتكوّن فيه أمواجٌ مستقرّة طوليّة، أين يتغيّر الضغط أكثر ما يمكن؟
كيف أبدأ؟ عند أيّ موضعٍ تتحرّك الحلقات على الجانبين في جهتين متعاكستين؟

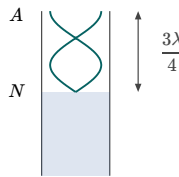
- (أ) عند بطون الاهتزاز
 (ب) عند عقد الاهتزاز
 (ج) يتغيّر بالقدر نفسه على طول النابض
 ب. نعم: الحلقات على جانبي العقدة تتقارب ثمّ تتباعد، فعقدة الاهتزاز بطنٌ للضغط.

عمود الرنين

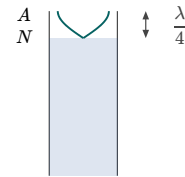
في تجربة الكتاب، الصفحات 177 إلى 179، رتانةً تواترها 512 Hz فوق أنبوبٍ زجاجيٍّ مفتوح الطرفين طوله 40 cm ، مغموسٍ في وعاءٍ مملوءٍ بالماء. نرفع الأنبوب ببطء ونغيّر طول عمود الهواء فوق الماء حتّى نسمع صوتاً عالياً شديداً؛ هذا هو الرنين، ويسمّيه الكتاب أيضاً التجاوب. سطح الماء نهايةً مغلقة تمنع الحركة الطولية للهواء، فيتكوّن عنده عقدة اهتزاز، وعند فوّهة الأنبوب المفتوحة بطن اهتزازٍ تقريباً.



3. الرنين الثالث: $L_3 = \frac{5\lambda}{4}$



2. الرنين الثاني: $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$



1. الرنين الأوّل: أقصر عمودٍ هوائيّ يحدث عنده التجاوب: $L_1 = \frac{\lambda}{4}$

عمود الهواء فوق سطح الماء عند الرنين، مع غلاف سعة الاهتزاز. الكتاب، الصفحة 177. الرسم من عندنا.

ومن الرنين الأوّل إلى الثاني يزداد طول العمود بنصف طول موجة، الكتاب، الصفحة 179:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2}$$

انتبه: بين رنينين متتاليين $\frac{\lambda}{2}$ ، لا $\frac{\lambda}{4}$. الربع هو طول العمود عند الرنين الأوّل فقط.

تطبيق الكتاب، الصفحة 179: رتانةً تواترها 250 Hz فوق أنبوبٍ هوائيّ مغلق، وأعلى صوتٍ سُمع عندما كان طول أقصر عمودٍ هوائيّ 35 cm . احسب سرعة انتشار الصوت في هواء الأنبوب.

$$v = ?$$

$$1. \text{ طول الموجة أقصر عمود: } L = \frac{\lambda}{4} \text{ مع } L = 0.35 \text{ m}$$

$$\lambda = 4L = 4 \times 0.35 = 1.4 \text{ m}$$

$$2. \text{ السرعة } v = \lambda f$$

$$v = 1.4 \times 250 = 350 \text{ m.s}^{-1}$$

بهذه الطريقة نقيس سرعة الصوت في المختبر: رنانة معلومة التواتر وطول أقصر عمود:

$$v = 4L_1 f$$

مثال من عندنا: رنانة تواترها 500 Hz فوق عمود رنين، يحدث الرنين الأول عند 17 cm والثاني عند 51 cm .

$$\lambda, v = ?$$

$$1. \text{ طول الموجة } \Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2 \times (0.51 - 0.17) = 0.68 \text{ m}$$

$$2. \text{ السرعة } v = \lambda f$$

$$v = 0.68 \times 500 = 340 \text{ m.s}^{-1}$$

وتحقّق: الرنين الأول على ربع طول الموجة:

$$\frac{\lambda}{4} = 0.17 \text{ m}$$

في عمود رنين يحدث رنينان متتاليان عند 20 cm و 60 cm . طول الموجة:

كيف أبدأ؟ الفرق بين رنينين متتاليين $\frac{\lambda}{2}$.

(أ) $\lambda = 40 \text{ cm}$

(ب) $\lambda = 160 \text{ cm}$

(ج) $\lambda = 80 \text{ cm}$

ج. نعم: $\frac{\lambda}{2} = 40 \text{ cm}$ ، وتحقق: $\frac{\lambda}{4} = 20 \text{ cm}$.

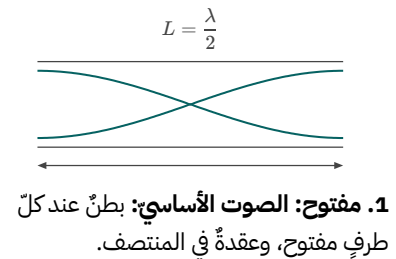
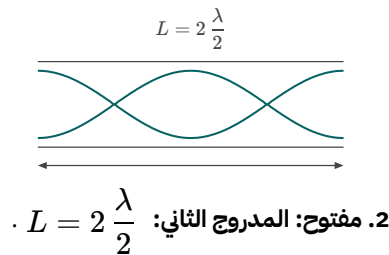
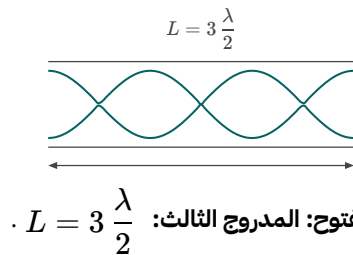
العمود المفتوح والعمود المغلق

تذكر: «العمود الهوائي المفتوح: هو أنبوب أسطواني الشكل، مفتوح الطرفين والمملوء بجزيئات الهواء الساكنة يُمكن تغيير طوله بإضافة أنبوب آخر قطره أقل، وطول هذا الأنبوب عند التجاوب يساوي عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة.» و«العمود الهوائي المغلق: هو أنبوب أسطواني الشكل، مفتوح من طرف ومغلق من الطرف الآخر ... وطول هذا الأنبوب عند التجاوب يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة.» الكتاب، الصفحة 180.

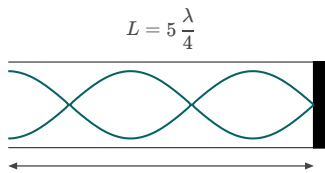
في السطر الأول العمود المفتوح، وفي الثاني العمود المغلق، حيث $n = 1, 2, 3, \dots$

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

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

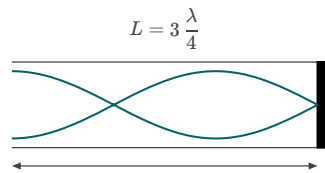


العمود الهوائي المفتوح، الكتاب، الصفحة 179، الرسم من عندنا.

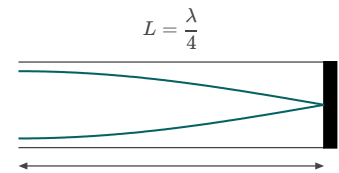


3. مغلق: المدروج الخامس:

$$L = 5 \frac{\lambda}{4}$$



2. مغلق: المدروج الثالث: $L = 3 \frac{\lambda}{4}$



1. مغلق: الصوت الأساسي: بطن عند الطرف المفتوح، وعقدة عند الطرف المغلق.

العمود الهوائي المغلق، الكتاب، الصفحة 179. الرسم من عندنا.

انتبه: في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدروجات ذات العدد الزوجي، الكتاب، الصفحة 179: تواتراته المضاعفات الفردية فقط: f_1 و $3f_1$ و $5f_1$ وهكذا.

تطبيق الكتاب، الصفحة 180: أنبوب هوائي مفتوح الطرفين طوله 50 cm يصدر الرنين الثاني برنانة مجهولة التواتر، وسرعة الصوت 340 m.s^{-1} . احسب تواتر الرنانة.

$$f = ?$$

1. طول الموجة مفتوح، الرنين الثاني $n = 2$:

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

2. التواتر $f = \frac{v}{\lambda}$:

$$f = \frac{340}{0.5} = 680 \text{ Hz}$$

في العمود المفتوح كل المضاعفات الصحيحة ممكنة:

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

تطبيق الكتاب، الصفحة 180: القناة السمعية في أذن الإنسان طولها 3 cm ، تنتهي بغشاء الطبل، فهي عمود هوائي مغلق. سرعة الصوت فيها 348 m.s^{-1} . أوجد أصغر تواتر يحدث عنده التجاوب.

$$f_1 = ?$$

1. طول الموجة مغلق، الرنين الأول:

$$\lambda = 4L = 4 \times 0.03 = 0.12 \text{ m}$$

$$2. \text{ التواتر } f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f_1 = \frac{348}{0.12} = 2900 \text{ Hz}$$

وهذا التواتر الأساسي للقناة السمعية. ولذلك تزداد حساسية الأذن للتواترات بين 2000 Hz و 5000 Hz ، الكتاب، الصفحة 179:

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

المسألة التاسعة، الكتاب، الصفحة 188: سرعة الصوت في الهواء 330 m.s^{-1} . احسب تواتر الصوت الأساسي لعمود هوائي طوله 2 m مغلقاً ثم مفتوحاً، ثم تواتر المدروج الثالث في كل حالة.

$$f_1, f_3 = ?$$

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

$$f_1 = \frac{330}{8} = 41.25 \text{ Hz}$$

$$2. \text{ مفتوح } f_1 = \frac{v}{2L}$$

$$f_1 = \frac{330}{4} = 82.5 \text{ Hz}$$

3. المدروج الثالث في الحالتين $3f_1$:

$$123.75 \text{ Hz} \quad 247.5 \text{ Hz}$$

بالطول نفسه، الصوت الأساسي للعمود المغلق نصف الصوت الأساسي للعمود المفتوح:

$$\frac{v}{4L} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{2L}$$

طول العمود الهوائي المفتوح الذي يصدر نغمته الأساسية، الكتاب، الصفحة 185:

| كيف أبدأ؟ بطن عند كل طرف مفتوح.

$$L = \frac{\lambda}{2} \quad (\text{أ})$$

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad (\text{ب})$$

$$L = \lambda \quad (\text{ج})$$

أ. نعم: بين بطنين متتاليين نصف طول موجة.

أنبوب هوائي مغلق طوله 150 cm فيه عقدة عند النهاية المغلقة، وبطن عند المفتوحة، وعقدة وبطن بينهما. طول الموجة، الكتاب، الصفحة 185:

| كيف أبدأ؟ عدد الأرباع: عقدة، بطن، عقدة، بطن.

$$\lambda = 200 \text{ cm} \quad (\text{أ})$$

$$\lambda = 150 \text{ cm} \quad (\text{ب})$$

$$\lambda = 50 \text{ cm} \quad (\text{ج})$$

$$\text{أ. نعم: } L = \frac{3\lambda}{4} \text{ ، ف } \lambda = \frac{4 \times 150}{3} .$$

أي هذه التواترات لا يصدره عمود هوائي مغلق صوته الأساسي 100 Hz ؟

| كيف أبدأ؟ المغلق يعطي المضاعفات الفردية فقط.

$$300 \text{ Hz} \quad (\text{أ})$$

$$500 \text{ Hz} \quad (\text{ب})$$

$$200 \text{ Hz} \quad (\text{ج})$$

ج. نعم: $2f_1$ مدروج زوجي، لا يصدره العمود المغلق.

رنانة تواترها 340 Hz فوق عمود هوائي مغلق، وسرعة الصوت 340 m.s^{-1} . أول بعد يحدث عنده الرنين، المسألة الرابعة، الكتاب، الصفحة 187:

$$| \text{كيف أبدأ؟ } \lambda = \frac{v}{f} \text{ ، والرنين الأول } \frac{\lambda}{4} .$$

$$L_1 = 0.5 \text{ m} \quad (\text{أ})$$

$$L_1 = 0.25 \text{ m} \quad (\text{ب})$$

$$L_1 = 1 \text{ m} \quad (\text{ج})$$

$$\text{ب. نعم: } \lambda = 1 \text{ m} \text{ ، و } L_1 = \frac{\lambda}{4} .$$

المصدر: الفيزياء، الصفحات 175 إلى 180 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.