تداخل الأمواج الصوتية والنبضات

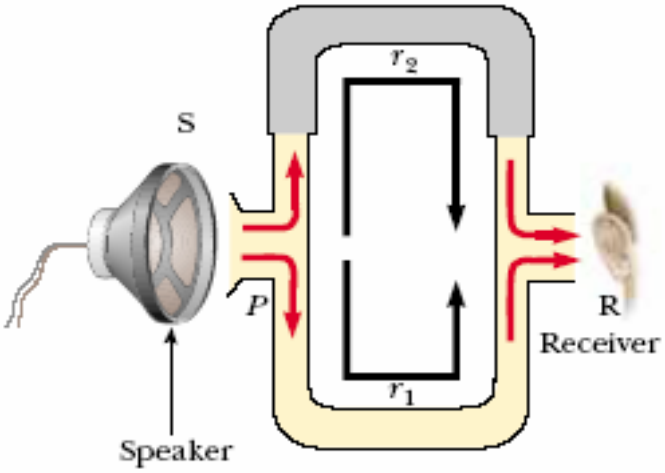
Interference of Waves and Beats

مقدمة (Introduction):

يتحدث هذا الفصل عن تداخل الأمواج الصوتية حيث يقدم تعريفاً للأمواج المستقرة ومن ثم يعطي فكرة عن مفهوم التداخل وشرطي التداخل البنّاء والهدّام، ويقدم فكرة عن النبضات (الخفقات) وكيف تتشكل وأخيراً يتضمن الفصل مجموعة من المسائل المحلولة وغير المحلولة.

1.7 تداخل الأمواج الصوتية (Interference of Waves)

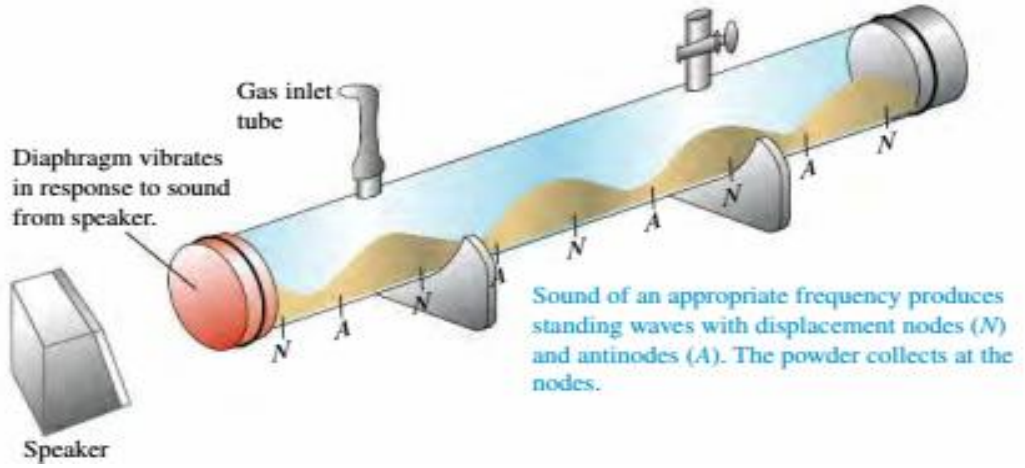
تنتشر موجة صوتية من المكبر (S) في الأنبوب وتنقسم إلى قسمين عند النقطة P (الشكل 1.7). يتم الكشف عن الموجتين واللتين تتحدان في الجانب المقابل لـ P، أي عند المستقبل (R). يمكن تغيير طول المسار العلوي r_2 عن طريق تحريك القسم العلوي.



الشكل 1.7: يُظهر موجة صوتية صادرة عن المكبر S وتنتشر في الأنبوب وتنقسم إلى جزأين عند النقطة P.

تدعى الظاهرة الموجية التي تحدث عندما تتداخل موجتان أو أكثر في نفس الموضع من الفراغ *بالتداخل*.

الأمواج المستقرة: عندما تتحد موجتان تتحركان في اتجاهين متعاكسين في وسط، مما يؤدي إلى أنتاج نمط موجة مستقرة مع عقد وبطون ثابتة (الشكل 2.7).



الشكل 2.7: يُظهر الأمواج الصوتية المستقرة باستخدام أنبوب كوندت (Kundt's tube). حيث يمثل التظليل الأزرق كثافة الغاز في لحظة معينة عندما يكون ضغط الغاز عند عقد الإزاحة بحيث تأخذ قيمتها العظمى أو الصغرى.

1.1.7 التداخل البنّاء (Constructive Interference)

في حالة التداخل البنّاء تكون السعة الكلية للموجة هي ضعف السعة من أجل كل موجة منفردة. يحدث التداخل البنّاء عندما:

$$\Delta x = n\lambda,\ n = 0,\ 1,\ 2,\ 3.....$$

حيث Δx هو فرق المسير (path difference)، وتصل الموجتان إلى المستقبل R على توافق في الطور.

2.1.7 التداخل الهدّام (Destructive Interference)

تكون السعة أصغر بكثير مما هي عليه عند وجود مكبر صوت واحد (أو موجة واحدة). يحدث التداخل الهدّام عندما:

$$\Delta x = (2n + 1)\ \lambda/2,\ n = 0,\ 1,\ 2,3...$$

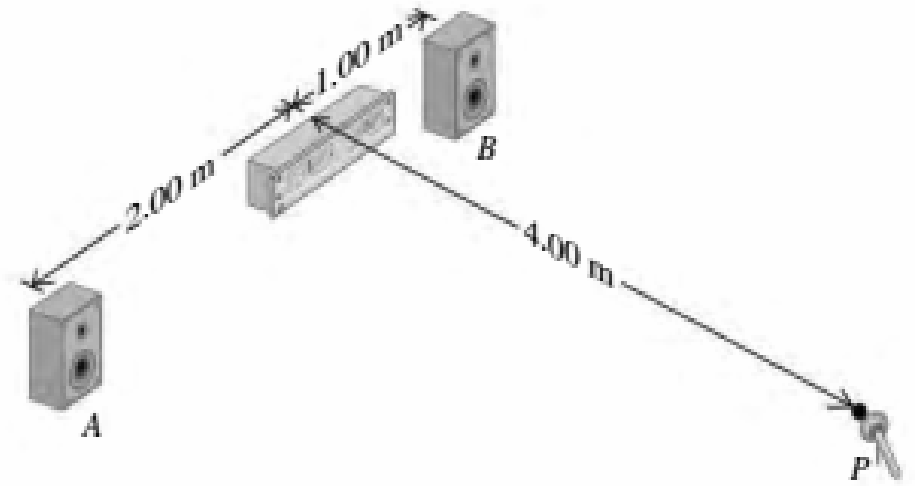
حيث Δx هو فرق المسير، وتصل الموجة إلى R على اختلاف في الطور.

مثال 1.7: تداخل مكبر الصوت (Loudspeaker interference):

يتم تشغيل مكبري صوت صغيرين، A و B (الشكل 3.7)، بواسطة نفس مضخّم الصوت ويصدران أمواج جيبية صافية على توافق في الطور. إذا كانت سرعة الصوت 350 m/s، فالمطلوب:

(a) من أجل أي التواترات يحدث التداخل البنّاء عند النقطة P؟

(b) من أجل أي التواترات يحدث التداخل الهدّام عند النقطة P؟



الشكل 3.7: ما هو نوع التداخل الذي يحدث عند النقطة P.

الحل:

تعتمد طبيعة التداخل عند P على الفرق d في المسير من النقطة A إلى P ومن النقطة B إلى P. نقوم بحساب الطولين باستخدام نظرية فيثاغورس. حيث يحدث التداخل البنّاء عندما تساوي d عددًا صحيحاً من طول الموجة، بينما يحدث التداخل الهدّام عندما يكون d عدد نصف صحيح من طول الموجة. لإيجاد التواترات المقابلة نستخدم العلاقة $v = f\lambda$.

فتكون المسافة من المكبر A إلى النقطة P هي:

$$[(2.00\ \text{m})^2 + (4.00\ \text{m})^2]^{1/2} = 4.47\ \text{m}$$

أما المسافة من المكبر B إلى النقطة P فهي:

$$[(1.00\ \text{m})^2 + (4.00\ \text{m})^2]^{1/2} = 4.12\ \text{m}$$

فيكون فرق المسير:

$$d = 4.47\ \text{m} - 4.12\ \text{m} = 0.35\ \text{m}$$

(a) يحدث التداخل البنّاء عندما يكون فرق المسير:

$$d = 0,\ \lambda,\ 2\lambda..\text{or}\ d = 0,\ v/f,\ 2v/f..= nv/f$$

لذا فإن التواترات الممكنة هي:

$$f_n = \frac{nv}{d} = n\frac{350\,\text{m/s}}{0.35\,\text{m}} \qquad (n = 1, 2, 3, ...)$$

$$= 1000\ \text{Hz},\ 2000\ \text{Hz},\ 3000\ \text{Hz}$$

(b) أما التداخل الهدّام فيحدث عندما يكون فرق المسير:

$$d = \lambda/2,\ 3\lambda/2,\ 5\lambda/2.....\text{or}\ d = v/2f,\ 3v/2f,\ 5v/2f.... = nv/f$$

فإن التواترات الممكنة هي:

$$f_n = \frac{nv}{2d} = n\frac{350\,\text{m/s}}{2(0.35\,\text{m})} \qquad (n = 1, 2, 3, ...)$$

$$= 500\ \text{Hz}, 1500\ \text{Hz},\ 2500\ \text{Hz}$$

2.7 النبضات أو الخفقات (Beats)

دعنا نلقي نظرة على ما يحدث عندما يكون لدينا موجتان بسعتين متساويتين لكن بتواترين مختلفين قليلاً. يحدث هذا، على سبيل المثال، عندما تصدر شوكتان رنانتان معاً صوتين ولكن بتواترين مختلفين قليلاً. أو عندما يكون هناك نوعان من ألات النفخ التي من المفترض أن يكون لها نفس التواتر تمامًا "خارج التناغم".

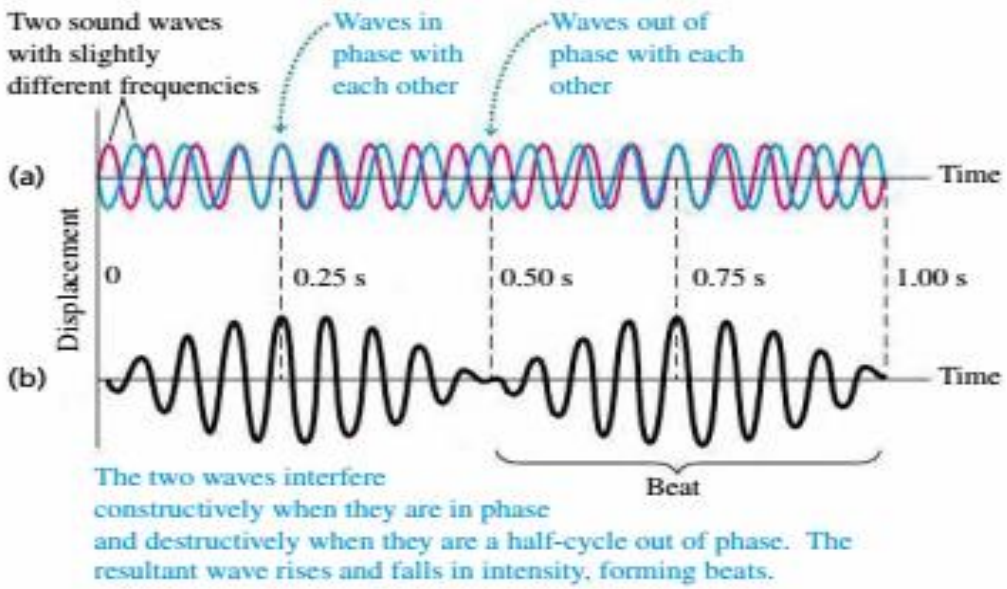
ليكن لدينا نقطة معينة في الفراغ حيث تتداخل الموجتان. حيث تم رسم إزاحة الموجتان المنفردتان كتابع للزمن كما هو واضح في الشكل a4.7. بتطبيق مبدأ التراكب، نضيف الإزاحتين في كل لحظة زمنية لإيجاد الإزاحة الكلية عند ذلك الزمن. والنتيجة هي الرسم البياني الواضح في الشكل b4.7.

تبدو الموجة الناتجة في الشكل b4.7 وكأنها موجة جيبية واحدة ذات سعة متغيرة تمتد من القيمة العظمى إلى الصفر والعودة.

يسبب الاختلاف في السعة اختلافات في جهارة الصوت تسمى النبضات (الخفقات)، ويسمى التواتر الذي يتغير به ارتفاع الصوت بتواتر النبض. في هذا المثال، يكون تواتر النبض هو الفرق بين التواترين.

يمكننا إثبات أن تواتر النبض هو دائمًا الفرق بين التواترين f_a و f_b ، حيث يكون f_a أكبر من f_b:

$$f_{\text{beat}} = f_a - f_b \qquad \textbf{(beat frequency)}$$



الشكل 4.7: النبضات (الخفقات) عبارة عن تقلبات في السعة تنتجها موجتان صوتيتان بتواتر مختلف قليلاً، هنا 16 هرتز و 18 هرتز. (a) الأمواج الفردية. (b) الموجة الناتجة والتي تكونت عن طريق تراكب الموجتين. تواتر النبض هو 18 هرتز- 16 هرتز= 2 هرتز.

عند أزمنة معينة تكون الموجتان على توافق في الطور؛ فتتطابق القيم الصغرى والعظمى مع بعضها البعض وبالتالي تنضاف السعات.

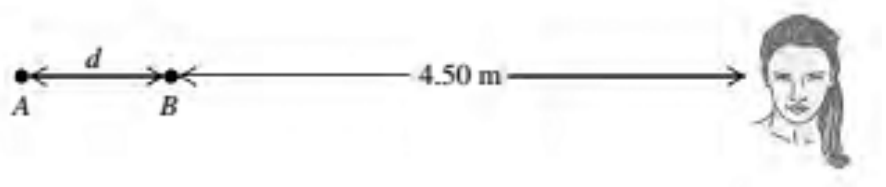
مسائل غير محلولة

1.7. يتم تشغيل مكبري الصوت الصغيرة A و B على توافق في الطور عند 725 هرتز بواسطة نفس الهزاز الصوتي. حيث يبدأ كلا المكبرين على مسافة 4.50 متر من المستمع، لكن مكبر الصوت A يبدأ بالابتعاد ببطء (الشكل المرافق). والمطلوب:

(a) ما هي المسافة d التي سينتج الصوت من مكبرات الصوت أولاً تداخلاً هدّاماً عند موضع المستمع؟

(b)) إذا تم نقل A بعيدًا عن الجزء **(a)**، فما هي المسافة d التي ستنتج بعد ذلك مكبرات الصوت تداخلًا هدّاماً عند موضع المستمع؟

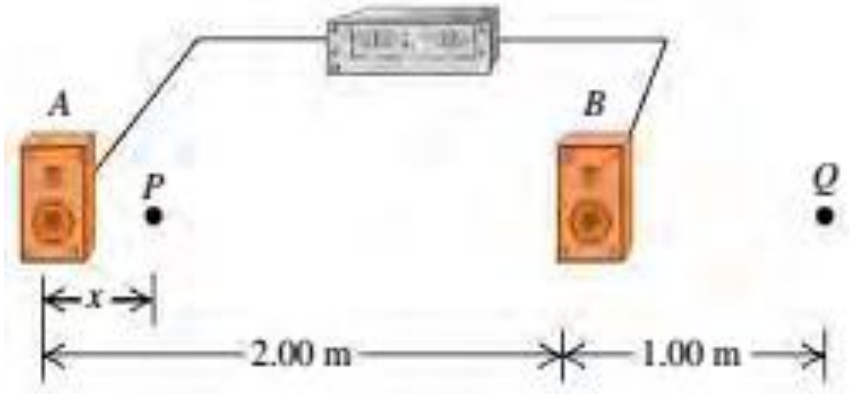
(c) بعد أن يبدأ "A" في الابتعاد عن موضعه الأصلي، فما هي المسافة التي ستنتج المكبرات عندها أولاً تداخلًا بنّاءً عند موضع المستمع؟



2.7. يتم تشغيل مكبري صوت، A و B (الشكل المرافق)، بواسطة نفس مضخّم الصوت ويصدران أمواج جيبية على توافق في الطور. يقع مكبر الصوت B على بعد 2.00 متر على يمين A. ليكن لديتا النقطة Q والتي تقع على امتداد الخط الذي يربط بين المكبرين، على بعد 1.00 متر إلى يمين B. يصدر كلا المكبرين أمواج صوتية تنتقل مباشرة من المكبر إلى النقطة Q. فما هو أقل تواتر يحدث من أجله:

(a) التداخل البنّاء عند النقطة Q،

(b) التداخل الهدّام عند النقطة Q.



3.7. ضبط الكمان. تضبط عازفة كمان آلتها الموسيقية لاستخدامها في الحفلة الموسيقية A (440 هرتز). تقوم بعزف النغمة أثناء الاستماع إلى نغمة تم إنشاؤها إلكترونيًا بهذا التواتر بالضبط وتسمع تواتراً يبلغ 3 هرتز، والذي يزيد إلى 4 هرتز عندما تقوم بشد وتر الكمان قليلاً. والمطلوب:

(a) ما هو تواتر النغمة التي عزفتها على الكمان عندما سمعت نبضات مقدارها 3 هرتز؟

(b) لضبط كمانها بشكل مثالي من أجل الحفلة "A"، هل عليها شد أو رخي وتر الكمان عما كان عندما سمعت نبضات قيمتها 3 هرتز؟

**********نهاية الفصل السابع**********