


# Chương 17

## Sóng âm

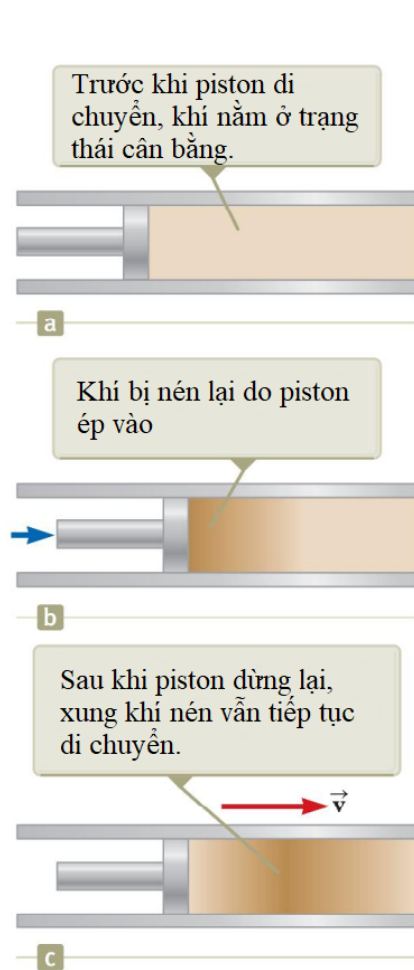
hần lớn các loại sóng tìm hiểu tại Chương 16 tập trung vào chuyển động trong môi trường một chiều. Sóng lan truyền theo chiều dài của sợi dây là một ví dụ. Chúng ta cũng bắt gặp những loại sóng lan truyền trong môi trường hai chiều, như sóng lan truyền trên mặt nước. Tại chương này, ta sẽ bàn về sóng cơ học tồn tại trong không gian ba chiều.

Chúng ta sẽ phân tích về sóng âm, loại sóng không chỉ truyền xuyên qua mọi loại vật chất mà còn được ghi nhận là loại hình sóng cơ học phổ biến nhất bởi sự hiện diện thường xuyên trong đời sống giao tiếp của con người. Khi sóng âm lan truyền trong không khí, các phần tử khí bị dịch chuyển khỏi vị trí cân bằng. Các dịch chuyển này kéo theo sự thay đổi của mật độ và áp suất khí dọc theo phương truyền sóng. Nếu nguồn âm dao động theo quy luật hình sin, mật độ và áp suất cũng sẽ biến thiên theo quy luật điều hoà như thế. Biểu diễn toán học của sóng âm điều hoà hoàn toàn tương tự như trường hợp sóng hình sin trên sợi dây.

Sóng âm được chia thành ba loại hình dựa trên phạm vi tần số hoạt động:

1. *Âm nghe thấy*: là sóng âm thuộc dải tần có thể nghe được bởi tai người. Âm thanh được tạo ra bằng rất nhiều cách, qua nhạc cụ, qua giọng hát. . .
2. *Hạ âm*: có tần số nằm dưới dải nghe thấy bởi tai người. Những chú voi có thể dùng hạ âm để gọi nhau trên khoảng cách nhiều kilomet.
3. *Siêu âm*: có tần số cao hơn dải nghe thấy bởi tai người. Bạn có thể dùng một chiếc còi “câm” để gọi chó. Chó dễ dàng nghe thấy siêu âm phát ra từ chiếc còi này, mặc cho mọi người xung quanh hoàn toàn không hay biết gì. Siêu âm cũng được sử dụng trong chụp ảnh y tế.

## 17.1 Sự biến thiên áp suất trong sóng âm



Hình 17.1: Xung áp suất di chuyển theo ống khí

Khi piston chuyển động điều hoà, các vùng nén-giãn khí luân phiên được tạo ra. Khoảng cách giữa hai vùng nén liên tiếp gọi là bước sóng. Do sóng âm là sóng dọc, thể hiện rõ nét qua sự nén và giãn của môi trường, mọi phần tử của khí đều chuyển động điều hoà song song với phương lan truyền của sóng. **Độ chuyển dời** của một phần tử khí so với vị trí cân bằng có thể biểu diễn qua hàm số:

$$s(x, t) = s_{max} \cos(kx - \omega t), \quad (17.1)$$

trong đó  $s_{max}$  là ly độ cực đại của phần tử khí khỏi vị trí cân bằng, cũng gọi là **biên độ dịch chuyển**,  $k$  - số sóng,  $\omega$  - tần số góc. Lưu ý rằng sự chuyển dịch của các phần tử khí diễn ra dọc theo trục  $x$  song song với phương truyền sóng.

Sự thay đổi của áp suất cũng diễn ra một cách tuần hoàn với cùng số sóng  $k$  và tần số góc  $\omega$  như phương trình (17.1). Từ đó ta có thể viết:

$$\Delta P = \Delta P_{max} \sin(kx - \omega t), \quad (17.2)$$

trong đó **biên độ áp suất**  $\Delta P_{max}$  được xác định bởi độ biến thiên cực đại của áp suất khỏi giá trị cân bằng.

Ở chương 16, chúng ta nghiên cứu sóng cơ học bằng cách khảo sát một xung lan truyền dọc theo sợi dây hay dọc theo một lò xo. Hãy làm điều tương tự dành cho trường hợp sóng âm. Ta sẽ miêu tả một cách trực quan sự di chuyển của một xung sóng âm dọc theo ống khí như hình 17.1. Một piston được đẩy nhanh từ trái sang phải sẽ làm khí bị nén lại và tạo ra xung. Trước khi piston chuyển động, khí nằm ở trạng thái cân bằng, mật độ khí đồng đều và biểu diễn bằng màu đồng nhất (hình 17.1a). Khi piston đẩy sang phải (hình 17.1b), chỉ có phần khí nằm ngay trước piston bị nén lại, ứng với vùng tô đậm trên hình. Áp suất và mật độ trong vùng này lớn hơn giá trị trước khi piston dịch chuyển. Khi piston chững lại (hình 17.1c), vùng khí bị nén vẫn tiếp tục di chuyển về phía trước, tương ứng với một xung lan truyền dọc theo ống với vận tốc  $v$ .

Ta cũng có thể tạo ra một sóng âm tuần hoàn trong ống khí như hình 17.2 bằng cách cho piston chuyển động điều hoà. Phần đậm hơn trên hình diễn tả vùng khí bị nén, có mật độ và áp suất cao hơn giá trị cân bằng. Vùng khí nén hình thành mỗi khi piston đẩy vào ống, di chuyển dọc theo ống và tiếp tục nén phần khí nằm ngay trước nó. Khi piston kéo lui về sau, khí nằm trước piston bị giãn ra, áp suất và mật độ tại vùng này giảm đi và nhỏ hơn giá trị lúc cân bằng (những vùng nhạt trên hình 17.2). Các vùng đậm và nhạt nối đuôi nhau chạy đi với tốc độ truyền âm trong môi trường.

Lưu ý rằng nếu độ chuyển dời được biểu diễn qua hàm  $\cos$  thì độ biến thiên áp suất lại thể hiện qua hàm  $\sin$ . Ta sẽ lý giải cho phép chọn lựa này. Trên hình 17.3a, chúng ta tập trung chú ý vào một lớp khí mỏng có chiều dài  $\Delta x$  và tiết diện  $A$  trong một ống khí đang ở trạng thái cân bằng. Thể tích của khối khí này bằng  $V = A\Delta x$ .

Hình 17.3b miêu tả lớp khí này bị dịch chuyển qua vị trí mới khi sóng âm truyền qua. Hai mặt của lớp khí di chuyển được những đoạn  $s_1$  và  $s_2$  khác nhau, dẫn đến thể tích biến thiên một lượng  $\Delta V = A\Delta s = A(s_1 - s_2)$ .

Theo định nghĩa về *modul khối* (xem (12.8) Chương 12)

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V},$$

ta có thể biểu diễn độ biến thiên áp suất thông qua sự thay đổi thể tích:

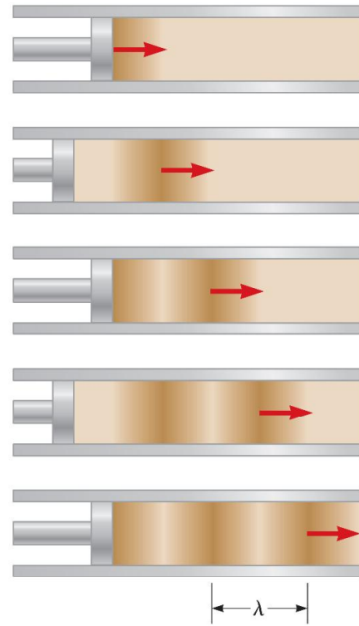
$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V}.$$

Thế giá trị của thể tích ban đầu  $V$  và độ biến thiên thể tích  $\Delta V$  nói trên vào, ta có:

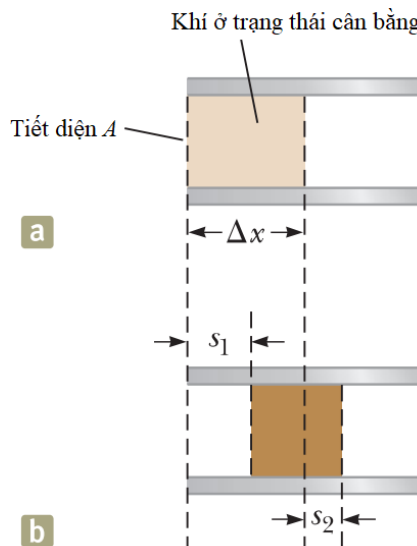
$$\Delta P = -B \frac{A\Delta s}{A\Delta x}.$$

Khi lớp khí đang khảo sát trở nên vô cùng mỏng, tỉ số  $\Delta s/\Delta x$  trở thành đạo hàm riêng:

$$\Delta P = -B \frac{\partial s}{\partial x}. \tag{17.3}$$



Hình 17.2: Sóng gồm những vùng giãn nén nối nhau trong ống khí



Hình 17.3: Khí ở trạng thái cân bằng và bị nén khi lệch khỏi vị trí cân bằng

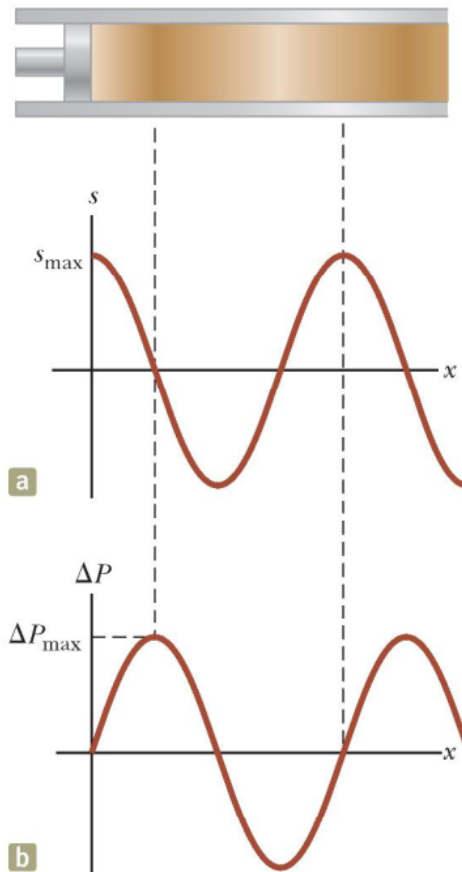
Thế hàm chuyển dời (17.1) vào (17.3) thu được:

$$\Delta P = -B \frac{\partial}{\partial x} [s_{max} \cos(kx - \omega t)] = Bs_{max}k \sin(kx - \omega t).$$

Từ đây ta thấy rằng nếu độ chuyển dời được viết bằng hàm cos sẽ dẫn đến áp suất được biểu diễn qua hàm sin. Ta cũng thấy được mối liên hệ giữa biên độ dịch chuyển và biên độ áp suất:

$$\Delta P_{max} = B s_{max} k. \quad (17.4)$$

Những suy luận trên chỉ ra rằng, sóng âm đều có thể diễn đạt tốt qua độ chuyển dời hoặc qua biến thiên áp suất. Đồ thị trên hình 17.4 cho thấy, độ chuyển dời và biến thiên áp suất lệch pha nhau  $1/4$  chu kì. Sự biến thiên áp suất đạt cực đại khi độ chuyển dời khỏi vị trí cân bằng bằng không, và ngược lại.



Hình 17.4: Sự tương quan giữa độ chuyển dời và biến thiên áp suất

**Câu hỏi 17.1:** Khi bạn vỗ lên miệng của một chai rỗng, một xung sóng âm sẽ truyền xuống theo không khí chứa trong chai. Vào thời điểm xung này đến được đáy chai, diễn tả nào sau đây về độ chuyển dời của các phân tử khí và áp suất khí tại điểm này là chính xác:

- Độ chuyển dời và áp suất đều đạt cực đại.
- Độ chuyển dời và áp suất đều đạt cực tiểu.
- Độ chuyển dời bằng không còn áp suất đạt giá trị lớn nhất.
- Độ chuyển dời bằng không còn áp suất đạt giá trị nhỏ nhất.



## 17.2 Vận tốc truyền âm

Ta mở rộng suy luận của phần trước để đánh giá tốc độ lan truyền của sóng âm trong chất khí. Trên hình 17.5a, ta khảo sát khối khí hình trụ nằm giữa piston và đường gạch đứt. Khối khí này nằm yên cân bằng nhờ sự tác dụng của hai lực có cùng độ lớn: áp lực từ piston từ phía bên trái và áp lực khí bên phải tạo ra. Mỗi lực này có độ lớn bằng  $PA$ , trong đó  $P$  là áp suất của khí, còn  $A$  là tiết diện ngang của ống.

Hình 17.5b mô tả hệ sau khoảng thời gian  $\Delta t$ , theo đó piston di chuyển sang phải với vận tốc không đổi  $v_x$  nhờ lực đẩy piston từ phía bên trái đã tăng lên thành  $(P + \Delta P)A$ . Lúc này mọi phần tử khí trong vùng khảo sát đều chuyển động sang trái với vận tốc  $v_x$ .

Ta cố tình chọn độ dài của vùng khí khảo sát bằng  $v\Delta t$ , với  $v$  là vận tốc truyền âm. Sau thời gian  $\Delta t$ , khí nằm bên phải nét gạch đứt vẫn đứng yên, chưa bị ảnh hưởng bởi sóng âm còn chưa vươn đến.

Phần khí khảo sát được mô tả như một hệ cô lập. Lực từ piston tạo ra một biến thiên về động lượng. Tổng hợp lực này bằng  $F = A\Delta P$  và sinh ra xung lực:

$$\vec{I} = \sum \vec{F}\Delta t = (A\Delta P\Delta t)\vec{i}.$$

Độ biến thiên áp suất liên quan đến độ biến thiên thể tích và modul khối:

$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V} = -B \frac{-v_x A \Delta t}{v A \Delta t} = B \frac{v_x}{v}.$$

Từ đây xung lực bằng:

$$\vec{I} = \left( AB \frac{v_x}{v} \Delta t \right) \vec{i}. \quad (17.5)$$

Độ biến thiên động lượng của khối khí khảo sát:

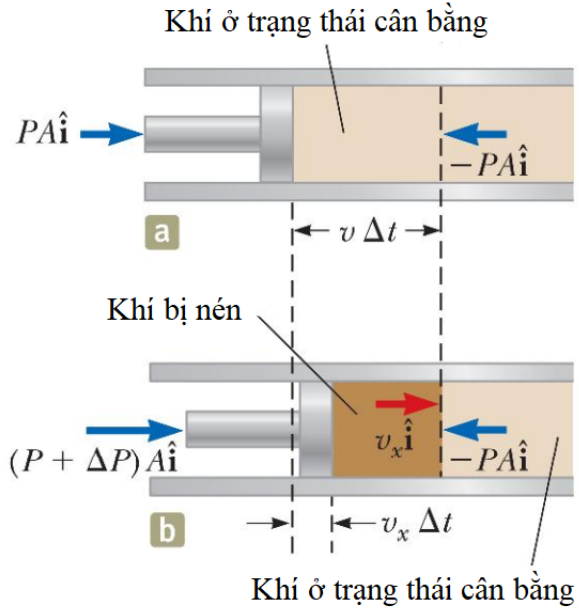
$$\Delta \vec{p} = m\Delta \vec{v} = \rho V (v_x \vec{i} - 0) = (\rho v v_x A \Delta t) \vec{i}. \quad (17.6)$$

Theo định luật Newton thứ hai viết dưới dạng xung lực:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F}\Delta t.$$

Thế  $\Delta \vec{p}$  và  $\vec{F}$  vào thu được:

$$\rho v v_x A \Delta t = AB \frac{v_x}{v} \Delta t.$$



Hình 17.5: Mô hình phân tích vận tốc truyền âm

Sau khi giản ước, ta có được biểu thức của vận tốc truyền âm:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}. \quad (17.7)$$

Sẽ rất thú vị khi ta so sánh biểu thức này với vận tốc truyền sóng trên sợi dây:

$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$  (Chương 16). Trong cả hai trường hợp, vận tốc lan truyền sóng phụ thuộc vào tính đàn hồi của môi trường (modul khối  $B$  hoặc lực căng dây  $T$ ), cũng như phụ thuộc vào quán tính của vật chất môi trường (khối lượng riêng  $\rho$  hoặc khối lượng trên một đơn vị độ dài dây  $\mu$ ). Vận tốc lan truyền của tất cả các sóng cơ học đều có thể biểu diễn dưới dạng tổng quát:

$$v = \sqrt{\frac{\text{Tính đàn hồi}}{\text{Quán tính}}}.$$

Trong trường hợp sóng dọc lan truyền trong chất rắn, vận tốc truyền âm phụ thuộc vào suất Young và khối lượng riêng của môi trường. Bảng 17.1 đưa ra một vài giá trị của vận tốc truyền âm trong những môi trường khác nhau.

Bảng 17.1: Tốc độ truyền âm trong các môi trường

Môi trường	$v$ (m/s)	Môi trường	$v$ (m/s)	Môi trường	$v$ (m/s)
<b>Chất khí</b>		<b>Chất lỏng ở 25°C</b>		<b>Chất rắn</b>	
Hydro (0°C)	1286	Glycerin	1904	Thủy tinh borosilicate	5640
Heli (0°C)	972	Nước biển	1533	Sắt	5950
Không khí (20°C)	343	Nước	1493	Nhôm	6420
Không khí (0°C)	331	Thủy ngân	1450	Đồng thau	4700
Oxy (0°C)	317	Dầu hỏa	1324	Đồng	5010
		Rượu metylic	1143	Vàng	3240
		Carbon tetrachlorua (CCl <sub>4</sub> )	926	Nhựa acrylic	2680
				Chì	1960
				Cao su	1600

Thực tế cho thấy vận tốc truyền âm còn phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường, bởi nhiệt độ ảnh hưởng đến tính đàn hồi và mật độ vật chất. Với trường hợp không khí, vận tốc truyền âm phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức:

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{T_C}{273}}. \quad (17.8)$$

trong đó 331 m/s là vận tốc truyền âm trong không khí ở 0°C, còn  $T_C$  là nhiệt độ không khí ở thang đo Celsius. Dùng công thức trên có thể tính ra được vận tốc truyền âm trong không khí ở 20°C xấp xỉ 343 m/s.

Con số trên cho ra một phương pháp thuận tiện giúp ước lượng khoảng cách đến một cơn giông. Đầu tiên đếm số giây kể từ khi có tia chớp đến khi nghe được tiếng sấm. Sau đó lấy con số này chia cho 3, sẽ ra được giá trị khoảng cách tính theo km, bởi 343 m/s  $\approx$  1/3 km.

Nhìn vào biểu thức (17.7), ta có thể viết lại mối liên hệ (17.4) giữa độ chuyển dời và biến thiên áp suất:

$$\Delta P_{max} = B s_{max} k = \rho v^2 s_{max} \left( \frac{\omega}{v} \right) = \rho v \omega s_{max}. \quad (17.9)$$

Cách diễn giải này thuận tiện hơn (17.4) bởi vì số liệu về mật độ khí dễ tìm thấy hơn là modul khối.

### 17.3 Cường độ của sóng âm điều hoà

Ở chương trước ta đã chỉ ra rằng, sóng lan truyền theo một sợi dây không chùng có mang theo năng lượng. Một cách tự nhiên ta cũng có thể đoán rằng, sóng âm cũng truyền đi năng lượng. Hãy khảo sát khối khí như đã nói ở hình 17.5. Hình dung rằng piston bây giờ đẩy tới kéo lui luân phiên theo quy luật điều hoà với tần số góc  $\omega$ . Sóng truyền đi theo ống một công suất:

$$Power = \vec{F} \cdot \vec{v}_x.$$

Ở đây ta dùng chữ *Power* thay cho kí hiệu truyền thống *P* để tránh nhầm lẫn với kí hiệu áp suất. Lực  $\vec{F}$  tác dụng lên phần tử khí có mối quan hệ với áp suất, còn vận tốc  $\vec{v}_x$  là đạo hàm của độ chuyển dời:

$$\begin{aligned} Power &= [\Delta P(x,t)A] \vec{i} \cdot \frac{\partial}{\partial t} [s(x,t) \vec{i}] \\ &= \rho v \omega A s_{max} \sin(kx - \omega t) \cdot \frac{\partial}{\partial t} [s_{max} \cos(kx - \omega t)] \\ &= \rho v \omega A s_{max} \sin(kx - \omega t) \cdot \omega s_{max} \sin(kx - \omega t) \\ &= \rho v \omega^2 A s_{max}^2 \sin^2(kx - \omega t). \end{aligned}$$

Công suất này có chứa hàm  $\sin^2$ , mà giá trị trung bình của nó được chứng minh trong toán học bằng 1/2. Do đó công suất truyền âm có giá trị trung bình:

$$(Power)_{avg} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A s_{max}^2.$$

Cường độ sóng âm là công suất truyền âm trên một đơn vị diện tích mặt cắt:

$$I = \frac{(Power)_{avg}}{A} = \frac{1}{2} \rho v (\omega s_{max})^2. \quad (17.10)$$

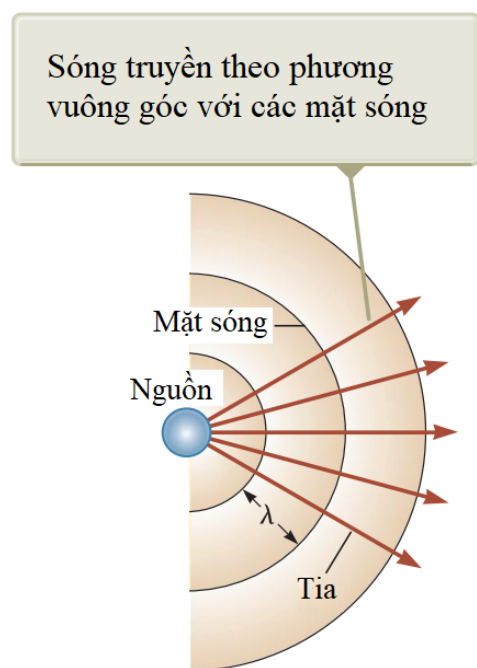
Như vậy cường độ của sóng âm điều hoà tỉ lệ thuận với bình phương của độ chuyển dời và tỉ lệ thuận với bình phương tần số. Biểu thức trên cũng có thể viết lại theo sự phụ thuộc vào áp suất nhờ mối liên hệ (17.10):

$$I = \frac{(\Delta P_{max})^2}{2\rho v}. \quad (17.11)$$

Loại sóng trên sợi dây chúng ta đã nghiên cứu ở Chương 16 buộc phải lan truyền chỉ theo một phương. Sóng âm ta tìm hiểu ở các phần 17.1, 17.2 cũng di chuyển theo

một chiều, dọc theo chiều dài ống. Tuy nhiên như đã nói từ đầu Chương 17, sóng âm có thể lan truyền theo nhiều hướng trong môi trường.

Xét một nguồn điểm phát ra sóng âm đồng đều theo mọi hướng như hình 17.6. Nếu không khí xung quanh tuyệt đối đồng nhất, năng lượng sóng âm sẽ truyền đi một cách đẳng hướng với tốc độ lan truyền như nhau. Kết quả là ta thu được sóng cầu. Tập hợp tất cả các điểm dao động cùng pha gọi là **mặt sóng**. Khoảng cách giữa hai mặt sóng gần nhau nhất có cùng pha gọi là **bước sóng**. Những đường vuông góc với mặt sóng ta gọi là các **tia**.



Cường độ của sóng âm phát ra từ nguồn điểm suy giảm dần theo khoảng cách đến nguồn điểm:

$$I = \frac{(Power)_{avg}}{4\pi r^2}. \quad (17.12)$$

**Câu hỏi 17.2:** Một dây đàn guitar tạo ra tiếng vang rất nhỏ nếu không được mắc gần thùng đàn. Tại sao âm thanh lại trở nên to hơn khi có thùng đàn?

- Dây sẽ dao động với năng lượng lớn hơn.
- Năng lượng thoát khỏi đàn ở mức cao hơn.
- Cường độ âm trải rộng trên một diện tích lớn hơn ở vị trí người nghe.
- Cường độ âm tập trung lại trên một diện tích nhỏ hơn ở vị trí người nghe.
- Vận tốc truyền âm trong vật liệu chế tạo thùng đàn là cao hơn.
- Không câu trả lời nào chính xác.

Hình 17.6: Sóng từ nguồn điểm

### Bài tập mẫu 17.1: Giới hạn nghe

Âm thanh yếu nhất tai người có thể phát hiện ra ở tần số 1000 Hz có cường độ khoảng  $1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ , hay còn gọi là *ngưỡng nghe*. Âm thanh lớn nhất tai người có thể chịu được ở tần số này có cường độ khoảng  $1.00 \text{ W/m}^2$ , hay còn gọi là *ngưỡng đau*. Tính biên độ áp suất và biên độ chuyển dời tương ứng với hai giới hạn này.

#### Giải:

**Khái niệm.** Thử nhớ lại những nơi yên tĩnh nhất bạn từng trải nghiệm. Có thể hình dung rằng, cường độ âm ở những nơi yên tĩnh như thế vẫn cao hơn ngưỡng nghe.

**Phân loại.** Do ta đã biết cường độ sóng âm và cần tìm biên độ sóng, việc giải bài toán cần áp dụng những phân tích đã nêu trong mục này.

**Phân tích.** Để tìm biên độ của biến thiên áp suất tại ngưỡng nghe, ta dùng phương trình (17.11), lấy giá trị của vận tốc truyền âm trong không khí  $v = 343 \text{ m/s}$  và khối lượng riêng của không khí  $\rho = 1.20 \text{ kg/m}^3$ :

$$\begin{aligned}\Delta P_{max} &= \sqrt{2\rho v I} \\ &= \sqrt{2(1.20 \text{ kg/m}^3)(343 \text{ m/s})(1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2)} \\ &= 2.87 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2.\end{aligned}$$

Biên độ chuyển dời được tính theo công thức (17.9), trong đó  $\omega = 2\pi f$ :

$$\begin{aligned}s_{max} &= \frac{\Delta P_{max}}{\rho v \omega} = \frac{2.87 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2}{(1.20 \text{ kg/m}^3)(343 \text{ m/s})(2\pi \times 1000 \text{ Hz})} \\ &= 1.11 \times 10^{-11} \text{ m}.\end{aligned}$$

Bằng cách tương tự, ta có thể tính ra được rằng, âm thanh lớn nhất tai người chịu được (ngưỡng đau) tương ứng với biên độ biến thiên áp suất  $28.7 \text{ N/m}^2$  và biên độ chuyển dời  $1.11 \times 10^{-5} \text{ m}$ .

**Nhận định.** Bởi vì áp suất khí quyển gần bằng  $10^5 \text{ N/m}^2$ , kết quả về biên độ biến thiên áp suất nói trên cho thấy, tai người nhạy cảm với những rung động áp suất nhỏ hơn 10 tỉ lần so với áp suất khí quyển! Biên độ chuyển dời cũng vì thế mang giá trị rất nhỏ. Nếu ta so sánh  $s_{max}$  thu được với kích thước nguyên tử (tầm  $10 \times 10^{-10} \text{ m}$ ), ta sẽ thấy tai người là bộ cảm biến vô cùng tinh nhạy với sóng âm.

### Bài tập mẫu 17.2: Cường độ của một nguồn điểm

Một nguồn điểm phát ra sóng âm với công suất trung bình bằng 80W.

(A) Tính cường độ của sóng âm tại điểm cách nguồn 3m.

**Giải:**

**Khái niệm.** Thử hình dung một chiếc loa nhỏ phát ra âm thanh với công suất trung bình 80W như nhau theo mọi hướng. Còn bạn thì đang đứng cách loa 3m. Khi âm thanh phát ra, năng lượng sóng âm bị loãng dần theo mặt cầu sóng nở rộng, do vậy cường độ suy giảm dần theo khoảng cách.

**Phân tích.** Vì nguồn điểm phát ra năng lượng dưới dạng sóng cầu, ta có thể sử dụng phương trình (17.12):

$$I = \frac{(Power)_{avg}}{4\pi r^2} = \frac{80 \text{ W}}{4\pi(3 \text{ m})^2} = 0.707 \text{ W/m}^2.$$

Cường độ này gần sát giá trị của ngưỡng đau.

(B) Tính khoảng cách kể từ nguồn, nơi có cường độ sóng âm giảm còn  $I = 1.00 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ .

**Giải:**

Tách  $r$  từ phương trình (17.12) và thế giá trị của  $I$  vào:

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{(Power)_{avg}}{4\pi I}} = \sqrt{\frac{80 \text{ W}}{4\pi(1.00 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2)}} \\ &= 2.52 \times 10^4 \text{ m.} \end{aligned}$$

## Mức cường độ âm ở thang Decibels

Tai người có thể nghe thấy âm thanh trên dải cường độ rất rộng. Vì vậy để thuận tiện, người ta đưa vào khái niệm mức cường độ âm, được tính qua công thức:

$$\beta = 10 \lg \left( \frac{I}{I_0} \right), \quad (17.13)$$

trong đó  $I_0$  là cường độ mốc, lấy bằng ngưỡng nghe thấy trung bình của tai người tại tần số 1000 Hz:  $I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Đơn vị của mức cường độ âm là decibels (dB). Dựa theo thang đo này, ngưỡng đau  $I = 1.00 \text{ W/m}^2$  tương ứng với mức cường độ âm:

$$\beta = 10 \lg \frac{1 \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 10 \lg 10^{12} = 120 \text{ dB},$$

còn ngưỡng nghe tương ứng với:

$$\beta = 10 \lg \frac{10^{-12} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 0 \text{ dB}.$$

Việc nghe âm thanh quá to kéo dài có thể dẫn đến huỷ hoại thính giác. Mức cường độ âm tối đa được khuyến cáo không vượt quá 90dB đối với tai người. Bảng 17.2 đưa ra một vài mức cường độ âm tiêu biểu.

---

**Câu hỏi 17.3:** Khi tăng cường độ của sóng âm lên 100 lần thì mức cường độ âm tăng lên một lượng bằng bao nhiêu?  
(a) 100 dB (b) 20 dB (c) 10 dB (d) 2 dB

---

Bảng 17.2: Một số mức cường độ âm tiêu biểu

Nguồn âm	$\beta$ (dB)
Sân bay	150
Súng máy, búa khoan	130
Còi báo động, nhạc rock	120
Tàu điện ngầm, máy cắt cỏ	100
Giao thông đông đúc	80
Máy hút bụi	70
Trò chuyện	60
Tiếng muỗi	40
Nói thầm	30
Lá xào xạc	10
Ngưỡng nghe	0

### Bài tập mẫu 17.3: Mức cường độ âm

Hai cái máy giống nhau nằm cách anh công nhân những khoảng bằng nhau. Cường độ âm thanh do mỗi cỗ máy đang làm việc gây ra tại vị trí anh công nhân đứng bằng  $2.0 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$ .

(A) Tính mức cường độ âm anh công nhân nghe thấy khi chỉ một máy hoạt động.

#### Giải:

**Khái niệm.** Hình dung tình huống khi có một nguồn âm đang hoạt động rồi có thêm một nguồn âm giống hệt thế xen vào, hay khi một người đang nói thì có thêm người khác nói xen cùng, hoặc khi một nhạc cụ đang chơi thì có thêm một nhạc cụ khác như thế cùng hoà âm.

**Phân loại.** Bài tập này tương đối đơn giản khi chỉ cần kết nối đến phương trình (17.13).

**Phân tích.** Sử dụng phương trình (17.13) tính mức cường độ âm tại vị trí anh công nhân khi chỉ một máy hoạt động:

$$\beta_1 = 10 \log \left( \frac{2.0 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2}{1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) = 10 \log(2.0 \times 10^5) = 53 \text{ dB}.$$

(B) Tính mức cường độ âm anh công nhân nghe thấy khi cả hai máy cùng hoạt động.



**Giải:**

Dùng phương trình (17.13) tính mức cường độ âm tại vị trí anh công nhân khi cường độ âm thanh tăng gấp đôi:

$$\beta_1 = 10 \log \left( \frac{4.0 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2}{1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) = 10 \log(4.0 \times 10^5) = 56 \text{ dB.}$$

**Nhận định.** Những kết quả trên nói lên rằng, khi cường độ âm thanh tăng gấp đôi, mức cường độ âm chỉ tăng lên 3dB. Mức tăng 3dB này hoàn toàn không phụ thuộc vào giá trị cường độ âm ban đầu.

## Cảm giác âm và tần số

Mức cường độ âm chỉ là thước đo vật lý cho sóng âm. Trong khi đó cảm giác âm lại mang đặc điểm sinh lý. Con người cảm nhận âm thanh không phải thông qua những thiết bị đo hiện rõ giá trị, mà thông qua sự so sánh giữa các âm với nhau. Như đã đề cập, ngưỡng nghe của tai người ở tần số 1000 Hz là  $1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ , tương ứng với mức cường độ âm 0dB. Tuy nhiên ngưỡng nghe tại các tần số khác nhau vốn không giống nhau. Ví dụ ở tần số 100 Hz, ngưỡng nghe tương ứng với mức cường độ âm 30dB! Nói cách khác, mức cường độ âm 30dB ở 100Hz và 0dB ở 1000Hz mang lại cảm giác âm như nhau, mặc dù hai mức này khác nhau theo thước đo vật lý. Rõ ràng giữa thước đo vật lý và thước đo sinh lý không tồn tại mối quan hệ đơn giản.

Những phép kiểm nghiệm đã cho phép dựng lên đồ thị như trên hình 17.7, thể hiện phạm vi mà tai người có thể cảm nhận được sóng âm bằng những diện tích màu sáng. Trục hoành thể hiện tần số, trục tung đánh dấu mức cường độ âm vật lý. Đường cong bao dưới phần diện tích màu sáng tương ứng với ngưỡng nghe. Để ý rằng tai người chỉ cảm nhận được sóng âm có tần số từ 20Hz đến 20000Hz. Đường bao phía trên của vùng sáng là ngưỡng đau. Phản ứng sinh lý trước ngưỡng đau hầu như không phụ thuộc vào tần số.

Sự thay đổi rõ rệt nhất của cảm giác âm nằm ở phạm vi tần số thấp và mức cường độ âm thấp, tương ứng với phần bên trái phía dưới của vùng đồ thị màu sáng. Cảm nhận của chúng ta thay đổi một cách riêng rẽ theo tần số và theo mức cường độ âm. Nếu bạn đang nghe nhạc với âm bass (tần số thấp) và âm treble (tần số cao) với âm lượng lớn như nhau, hãy thử chỉnh volume nhỏ xuống rồi nghe lại lần nữa. Bạn sẽ để ý thấy âm bass dường như yếu đi hẳn so với treble.

### Bài tập mẫu 17.4: Độ lớn của âm

Theo quy ước, độ lớn của âm thanh được xem là tăng gấp đôi khi mức cường độ âm tăng thêm 10dB. (Thực ra điều này không hợp lý cho lắm khi tần số quá cao hoặc quá thấp.) Phát triển từ Bài tập mẫu 17.3, có câu hỏi đặt ra: Bao nhiêu máy cùng chạy thì độ ồn chỗ anh công nhân tăng gấp đôi?

**Trả lời:**

Sử dụng quy ước nói trên, độ ồn tăng gấp đôi tương đương với mức cường độ âm tăng thêm 10dB:

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \text{ dB} = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right).$$

$$\Rightarrow \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = 1 \rightarrow I_2 = 10I_1.$$

Như vậy, 10 máy cùng chạy mới làm tăng gấp đôi tiếng ồn.



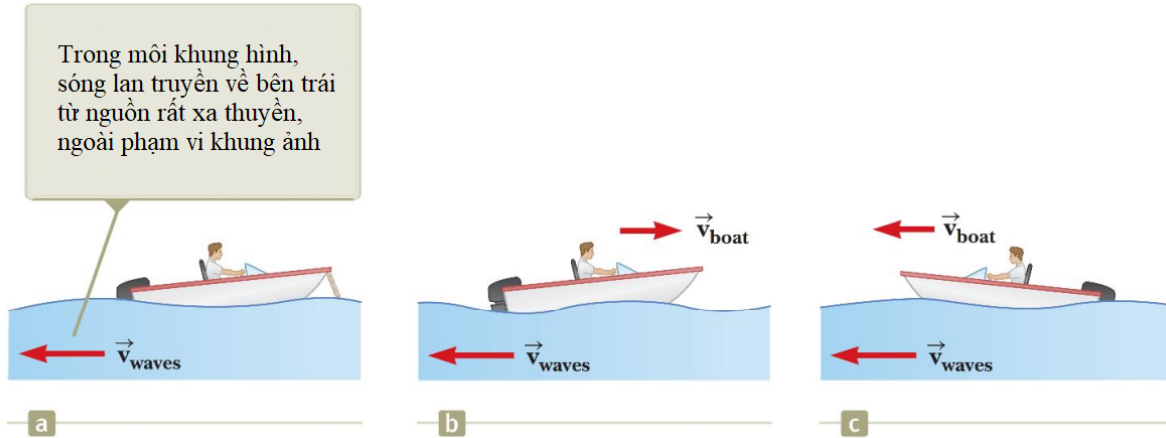
Hình 17.7: Mức cường độ âm và dải tần hoạt động của một số nguồn âm

## 17.4 Hiệu ứng Doppler

Chắc rằng bạn đã từng để ý thấy tiếng còi xe hơi thay đổi như thế nào khi nó chạy ngang qua. Tần số âm thanh bạn nghe thấy khi xe tiến lại gần sẽ cao hơn tần số khi xe chạy ra xa. Thực nghiệm này là một ví dụ cho hiệu ứng Doppler.

Để thấy rõ nguyên nhân của sự thay đổi này, thử hình dung bạn đang ngồi trên một chiếc thuyền đang neo đậu trên biển, nơi có những con sóng dập dềnh với tần số  $T = 3.0\text{s}$ . Như vậy, cứ mỗi 3 giây lại có một ngọn sóng cập vào mạn thuyền. Hình 17.8a mô tả cảnh tượng này, với những sóng nước đi từ phải sang trái. Nếu bạn cài đặt đồng hồ  $t = 0$  đúng khi có một ngọn sóng đi ngang, đồng hồ sẽ chỉ 3.0s khi có ngọn sóng kế tiếp, chỉ 6.0s khi ngọn sóng thứ ba kéo đến, và cứ thế tiếp diễn.

Từ những quan sát này, bạn có thể kết luận về tần số sóng:  $f = 1/T = 1/3.0\text{s} = 0.33\text{Hz}$ . Bây giờ, giả sử bạn nổ máy và cho thuyền đi thẳng về phía sóng đang lao tới như hình 17.8b. Một lần nữa bạn cài đặt lại đồng hồ về 0 khi có một ngọn sóng đập lên phía trước thuyền. Bởi vì thuyền di chuyển ngược chiều với sóng nên ngọn sóng tiếp theo sẽ đập đến sau thời gian ít hơn 3 giây. Nói cách khác, chu kỳ bạn quan sát được ngắn hơn  $3.0\text{s}$ . Do  $f = 1/T$ , bạn sẽ quan sát thấy sóng có tần số cao hơn so với khi thuyền đứng yên.



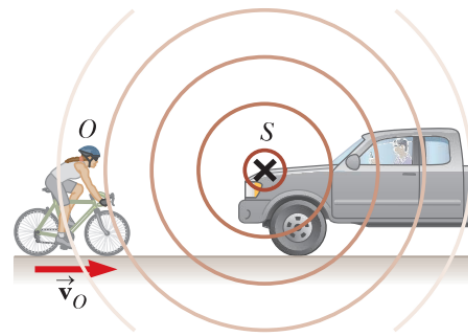
Hình 17.8: Nhịp sóng vô khác nhau khi thuyền di chuyển khác nhau

Nếu bạn cho thuyền quay ngược lại, đi cùng hướng với sóng (hình 17.8c), bạn sẽ thấy hiệu ứng ngược lại. Hãy đặt lại đồng hồ về 0 khi có một ngọn sóng đập vào mạn sau của thuyền. Bởi vì thuyền đang cố chạy ra xa khỏi ngọn sóng tiếp theo, nên ngọn sóng kế tiếp ấy phải mất thời gian nhiều hơn 3 giây mới đuổi kịp thuyền. Bạn sẽ thấy tần số thấp hơn so với khi thuyền đứng yên.

Các hiệu ứng này xảy ra do vận tốc tương đối giữa thuyền và sóng phụ thuộc vào hướng chuyển động cũng như phụ thuộc vào chính tốc độ của thuyền. Khi thuyền chuyển động về bên phải như hình 17.8b, vận tốc tương đối này lớn hơn vận tốc truyền sóng, dẫn đến tần số bị tăng lên. Khi thuyền đi ngược về phía bên trái, vận tốc tương đối thấp hơn vận tốc truyền sóng, tần số quan sát bị giảm đi.

Bây giờ ta làm phép kiểm tra tương tự nhưng dành cho sóng âm, theo đó sóng nước chuyển thành sóng âm, bản thân nước trở thành không khí, còn người trên thuyền trở thành quan sát viên lắng nghe âm thanh. Lúc này quan sát viên  $O$  chuyển động còn nguồn sóng  $S$  đứng yên. Để cho đơn giản, cho rằng không có gió gây nhiễu động và quan sát viên lao thẳng về phía nguồn sóng (hình 17.9). Quan sát viên có vận tốc  $v_0$  hướng về nguồn đứng yên  $v_S = 0$ . Nguồn điểm phát ra sóng âm lan đều khắp mọi hướng dưới dạng sóng cầu. Khoảng cách giữa hai mặt sóng cầu cùng pha liên tiếp bằng độ dài bước sóng.

Gọi  $f$  là tần số của nguồn,  $\lambda$  là bước sóng,  $v$  là vận tốc truyền âm. Nếu quan sát viên cũng



Hình 17.9: Quan sát viên  $O$  chuyển động so với nguồn  $S$

đứng yên, anh ta sẽ thấy sóng có tần số  $f$ . Khi quan sát viên di chuyển về phía nguồn sóng, vận tốc tương đối của sóng so với người quan sát bằng  $v' = v + v_0$ , còn bước sóng  $\lambda$  vẫn không đổi. Dùng hệ thức liên hệ (16.12),  $v = \lambda f$ , ta có thể nói rằng âm thanh do quan sát viên nghe thấy có tần số:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\lambda}.$$

Vì  $\lambda = v/f$ , ta có thể biểu diễn  $f$  dưới dạng:

$$f' = \frac{v + v_0}{v} \cdot f. \quad (17.14)$$

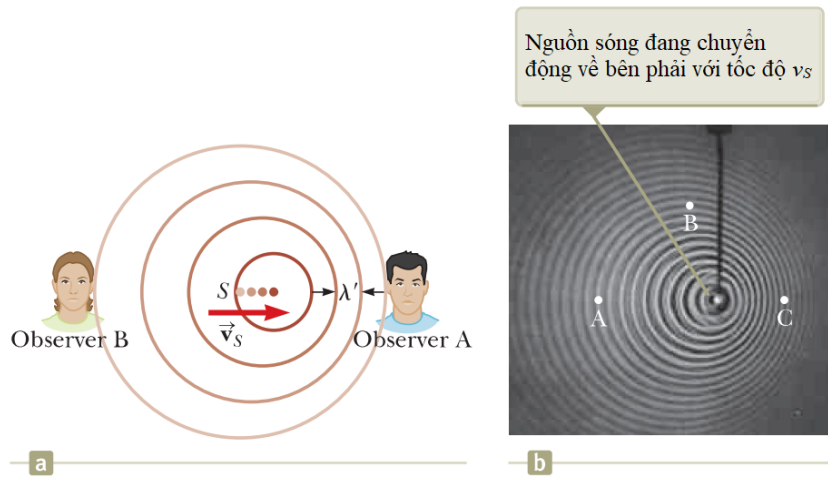
Nếu quan sát viên chuyển động ra xa khỏi nguồn sóng, vận tốc tương đối của sóng so với người quan sát trở thành  $v' = v - v_0$ . Quan sát viên sẽ nghe được tần số thấp hơn với công thức tính:

$$f' = \frac{v - v_0}{v} \cdot f. \quad (17.15)$$

Hai phương trình sau cùng có thể thu gọn làm một:

$$f' = \frac{v \pm v_0}{v} \cdot f.$$

Dấu "+" được dùng khi quan sát viên tiến lại gần nguồn, dấu "-" khi quan sát viên rời xa khỏi nguồn.



Hình 17.10: Nguồn  $S$  chuyển động so với hai quan sát viên  $A$  và  $B$

Bây giờ hình dung rằng đến lượt nguồn chuyển động, còn người quan sát đứng yên. Nếu nguồn di chuyển về phía quan sát viên  $A$  như hình 17.10a, mỗi mặt sóng mới được tạo ra sẽ lệch về phía bên phải so với mặt sóng trước. Kết quả là quan sát viên sẽ "bắt gặp" các mặt sóng "mau" hơn, liên tục hơn so với khi nguồn đứng yên. Hình 17.10b mượn hình ảnh sóng nước để minh họa cảnh tượng này, nhằm giúp ta dễ hình dung hơn cho trường hợp không khí đang khảo sát. Lúc này bước sóng  $\lambda'$  đo được bởi người quan sát ngắn hơn bước sóng thực  $\lambda$  của nguồn. Cứ mỗi chu kì

nguồn di chuyển được một đoạn  $v_S T = v_S/f$  và bước sóng bị thu ngắn đi một lượng bằng đúng đoạn đó:

$$\lambda' = \lambda - \frac{v_S}{f}.$$

Tần số  $f'$  do quan sát viên A nghe thấy:

$$\begin{aligned} f' &= \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - v_S/f} = \frac{v}{v/f - v_S/f} \\ &= \frac{v}{v - v_S} \cdot f. \end{aligned} \quad (17.16)$$

Như vậy tần số được tăng lên khi nguồn tiến về người quan sát.

Ngược lại khi nguồn chạy xa khỏi người quan sát, như trường hợp do quan sát viên B ghi nhận được, anh ta đo được bước sóng  $\lambda'$  dài hơn giá trị  $\lambda$  và nghe thấy âm có tần số:

$$f' = \frac{v}{v + v_S} \cdot f, \quad (17.17)$$

tức bị giảm đi. Ta có thể diễn đạt mối quan hệ giữa tần số quan sát với vận tốc chuyển động của quan sát viên và của nguồn sóng bằng hệ thức tổng quát:

$$f' = \frac{v + v_0}{v - v_S} \cdot f. \quad (17.18)$$

Ở đây dấu của  $v_0$  và  $v_S$  phụ thuộc vào hướng chuyển động. Chúng mang giá trị dương nếu chuyển động có xu hướng làm nguồn và quan sát viên xích lại gần nhau. Còn nếu những chuyển động này có xu hướng tách nguồn và người quan sát xa dần ra, vận tốc phải mang giá trị âm.

Cho dù hiệu ứng Doppler thấy rõ nhất với sóng âm, nó cũng xuất hiện phổ biến trong mọi loại sóng. Chuyển động tương đối giữa nguồn với quan sát viên cũng tạo ra hiệu ứng dịch chuyển tần số của sóng ánh sáng. Theo nguyên lý ấy, hiệu ứng Doppler đã được dùng trong máy bắn tốc độ của cảnh sát. Các nhà thiên văn dùng hiệu ứng Doppler giúp xác định vận tốc của các thiên thể như sao, thiên hà... so với Trái đất.

**Câu hỏi 17.4:** Đặt ba cảm biến sóng nước tại ba điểm A, B và C như hình 17.10b. Phát biểu nào sau đây là đúng?

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| (a) Sóng có vận tốc lớn nhất tại A   | (d) Bước sóng đo được dài nhất tại C |
| (b) Sóng có vận tốc lớn nhất tại C   | (e) Tần số đo được cao nhất tại C    |
| (c) Bước sóng đo được dài nhất tại B | (f) Tần số đo được cao nhất tại A    |

**Câu hỏi 17.5:** Bạn đứng trên sân ga và lắng nghe tiếng một đoàn tàu đang tiến vào ga với vận tốc không đổi. Bạn sẽ nghe thấy:

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| (a) Cường độ và tần số đều tăng   | (d) Cường độ giảm còn tần số tăng        |
| (b) Cường độ và tần số đều giảm   | (e) Cả cường độ lẫn tần số đều không đổi |
| (c) Cường độ tăng còn tần số giảm | (f) Cường độ giảm còn tần số không đổi   |

### Bài tập mẫu 17.5: Tàu ngầm với hiệu ứng Doppler

Hai tàu ngầm A và B di chuyển dưới nước theo hướng ngược chiều nhau. Tàu ngầm A có tốc độ 8.00m/s, phát ra một sóng âm với tần số 1400Hz. Còn tàu ngầm B có tốc độ 9.00m/s. Vận tốc truyền âm trong nước bằng 1533m/s.

(A) Tàu ngầm B sẽ thu được sóng âm với tần số bao nhiêu?

**Giải:**

**Khái niệm.** Mặc dù bài toán này nói về tàu ngầm lặn trong nước, nhưng hiệu ứng Doppler vẫn hiện diện và đóng vai trò tương tự trường hợp bạn lái ô-tô và nghe âm thanh vang đến từ xe khác.

**Phân loại.** Do cả hai tàu ngầm đều chuyển động, bài toán quy về trường hợp hiệu ứng Doppler khi cả nguồn lẫn quan sát viên đều di chuyển.

**Phân tích.** Dùng phương trình (17.18) ta có thể tính tần số bị biến đổi khi tàu B thu được:

$$\begin{aligned} f' &= \frac{v+v_0}{v-v_S} \cdot f \\ &= \left[ \frac{1533\text{m/s} + (+9.00\text{m/s})}{1533\text{m/s} - (+8.00\text{m/s})} \right] \cdot (1400\text{Hz}) = 1416\text{Hz}. \end{aligned}$$

Ở đây ta cần lưu ý về dấu vận tốc nguồn và vận tốc phía quan sát.

(B) Sau khi hai tàu ngầm đi qua nhau và tiếp tục di chuyển ngược hướng xa dần nhau, tần số sóng âm tàu B thu được bằng bao nhiêu?

**Giải:**

Ta lặp lại phép tính trên, chỉ cần lưu ý về dấu của vận tốc:

$$\begin{aligned} f' &= \frac{v+v_0}{v-v_S} \cdot f \\ &= \left[ \frac{1533\text{m/s} + (-9.00\text{m/s})}{1533\text{m/s} - (-8.00\text{m/s})} \right] \cdot (1400\text{Hz}) = 1385\text{Hz}. \end{aligned}$$

Lưu ý rằng tần số đã suy giảm từ 1416Hz khi hai tàu tiến lại gần nhau xuống còn 1385Hz khi hai tàu tách xa nhau. Hiệu ứng này tương tự như khi bạn nghe thấy tiếng còi xe bị trầm xuống khi ô-tô vượt ngang qua bạn.

(C) Khi hai tàu ngầm tiến gần về nhau, một phần sóng bị phản xạ ngược lại trên thân tàu B và quay trở lại tàu A. Tàu A sẽ thu được sóng phản xạ này ở tần số bao nhiêu?

**Giải:**

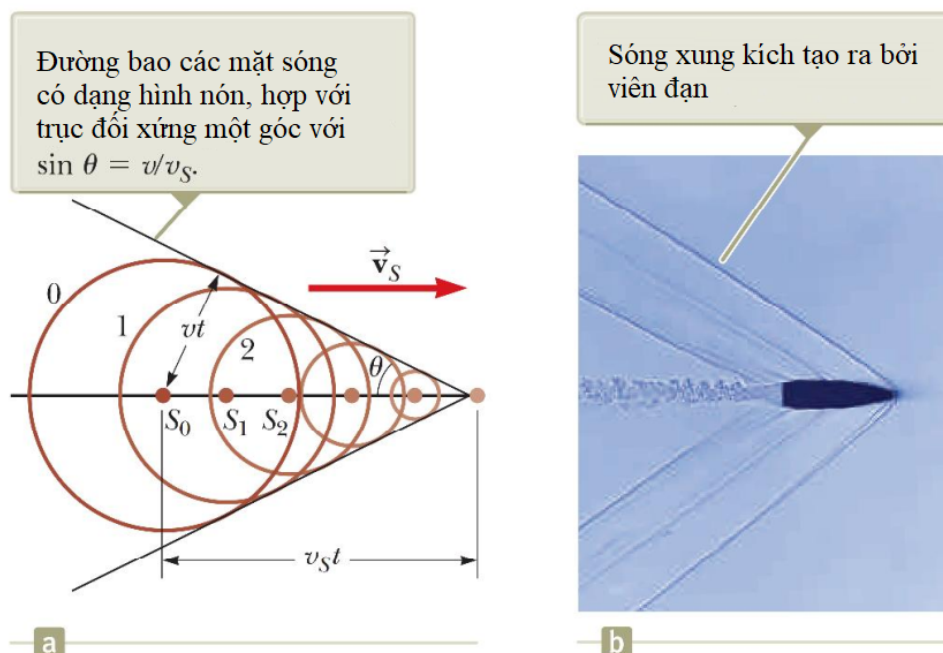
Sóng âm 1416Hz do tàu B thu được bị dội ngược lại giống như thể chính tàu B phát ra nó. Cho nên lúc này tàu B đóng vai trò nguồn sóng, còn tàu A trở thành quan sát viên. Tần số sóng âm do tàu A nhận được:

$$\begin{aligned} f' &= \frac{v+v_0}{v-v_S} \cdot f \\ &= \left[ \frac{1533\text{m/s} + (+9.00\text{m/s})}{1533\text{m/s} - (+8.00\text{m/s})} \right] \cdot (1416\text{Hz}) = 1432\text{Hz}. \end{aligned}$$

**Nhận định.** Kỹ thuật dùng hiệu ứng Doppler này cũng được áp dụng cho máy bắn tốc độ của cảnh sát. Thay vì dùng sóng âm, các xung sóng điện từ phát ra từ máy và phản xạ trên đối tượng cần đo. Thông qua việc đo tần số của xung phản xạ, máy sẽ tính ra được vận tốc của phương tiện giao thông đang chuyển động.

## Sóng xung kích

Chuyện gì xảy ra nếu nguồn sóng chuyển động với vận tốc siêu thanh, có nghĩa khi vận tốc nguồn  $v_S$  vượt quá vận tốc truyền sóng  $v$ ? Tình huống này được ghi lại trên hình 17.11a.



Hình 17.11: Sự hình thành nón Mach và sóng xung kích



Những đường tròn mô tả các mặt sóng cầu liên tục sinh ra theo đường chuyển động của nguồn. Khi  $t = 0$ , nguồn nằm ở vị trí  $S_0$  và chuyển động về phía trước. Một thời gian sau nguồn đã ở  $S_1$ , sau đó đến  $S_2$ , v.v... Tại thời điểm  $t$  bất kì, mặt sóng sinh ra tại  $S_0$  đã đạt đến bán kính  $vt$ . Lúc này nguồn đã di chuyển ra một đoạn bằng  $v_S t$ . Để ý trên hình 17.11a, ta thấy có một đường thẳng bao trọn rìa của các mặt sóng. Thực vậy, các mặt sóng hình thành nên một mặt nón, ta gọi là nón Mach, có đường biên hợp với trục đối xứng một góc  $\theta$  sao cho:

$$\sin \theta = \frac{vt}{v_S t} = \frac{v}{v_S}.$$

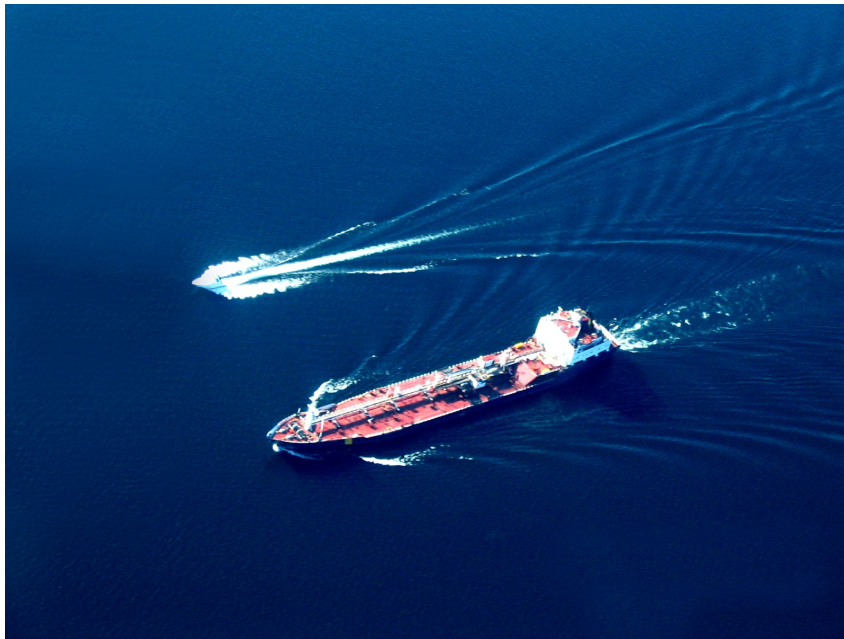
Tỉ lệ  $v_S/v$  được gọi là **số Mach**, còn mặt nón hình thành khi  $v_S > v$  gọi là **sóng xung kích**. Cho dễ hình dung, trên hình 17.12 đưa ra chiếc thuyền chuyển động nhanh hơn tốc độ lan truyền sóng nước, tạo nên nón chữ V, thể hiện hình ảnh tương tự sóng xung kích của sóng âm trong không khí.

Máy bay chuyển động với tốc độ siêu thanh tạo ra sóng xung kích là tác nhân gây ra những quả "bom siêu thanh". Sóng xung kích mang theo năng lượng cực lớn, tập trung ở mặt nón Mach, tương ứng với một biến thiên áp suất đủ sức gây hỏng thính giác, thậm chí làm hư hại công trình nhà cửa nếu máy bay bay thấp. Thực tế, một máy bay như thế mang tận hai trái bom siêu thanh: một sóng xung kích sinh ra từ mũi, còn một sinh ra do đuôi máy bay.

---

**Câu hỏi 17.6:** Một máy bay với vận tốc không đổi đi từ vùng khí lạnh sang vùng khí nóng. Số Mach sẽ:

- (a) Tăng lên.
  - (b) Giảm đi.
  - (c) Không đổi.
- 



Hình 17.12: Nón Mach trên mặt nước

## Tóm tắt chương 17

### Định nghĩa

**Cường độ** của một sóng âm được tính bằng công suất truyền qua một đơn vị diện tích:

$$I = \frac{(Power)_{avg}}{A} = \frac{(\Delta P_{max})^2}{2\rho v}. \quad (17.10, 17.11)$$

**Mức cường độ âm** được tính qua công thức:

$$\beta = 10 \lg \left( \frac{I}{I_0} \right). \quad (17.13)$$

$I_0$  là cường độ mốc, lấy bằng ngưỡng nghe thấy trung bình của tai người tại tần số 1000 Hz:  $I_0 = 1.00 \cdot 10^{-12} \text{W/m}^2$ . Đơn vị của mức cường độ âm là decibels (dB).

### Khái niệm và nguyên lý

Sóng âm là một sóng dọc lan truyền trong môi trường có khả năng giãn nén. Vận tốc truyền âm phụ thuộc vào tính đàn hồi của môi trường cũng như phụ thuộc vào quán tính của vật chất cấu nên môi trường. Tốc độ lan truyền sóng âm trong chất khí có modul khối  $B$  và khối lượng riêng  $\rho$  bằng:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}. \quad (17.7)$$

Trong trường hợp sóng âm điều hoà, độ chuyển dời của một phần tử khí so với vị trí cân bằng biểu diễn qua hàm số:

$$s(x, t) = s_{max} \cos(kx - \omega t), \quad (17.1)$$

Còn độ biến thiên áp suất so với trạng thái cân bằng:

$$\Delta P = \Delta P_{max} \sin(kx - \omega t), \quad (17.2)$$

trong đó  $\Delta P_{max}$  là **biên độ áp suất**. Sóng áp suất nhanh pha hơn sóng chuyển dời 1/4 chu kì. Giữa  $s_{max}$  và  $\Delta P_{max}$  có mối liên hệ:

$$\Delta P_{max} = B s_{max} k = \rho v \omega s_{max}. \quad (17.9)$$

Sự thay đổi tần số nghe được bởi người quan sát khi có sự chuyển động tương đối giữa nguồn sóng và quan sát viên được gọi là **hiệu ứng Doppler**. Khi ấy tần số bị biến đổi thành:

$$f' = \frac{v + v_0}{v - v_S} \cdot f. \quad (17.18)$$

Ở đây dấu của  $v_0$  và  $v_S$  phụ thuộc vào hướng chuyển động. Chúng mang giá trị dương nếu chuyển động có xu hướng làm nguồn và quan sát viên xích lại gần nhau. Còn nếu những chuyển động này có xu hướng tách nguồn và người quan sát xa dần ra, chúng sẽ mang giá trị âm.

### Câu hỏi lý thuyết chương 17

- Bảng 17.1 về tốc độ truyền âm cho thấy, sóng âm truyền trong chất rắn nhanh hơn nhiều so với trong chất khí. Sự chênh lệch này có nguyên nhân bởi:
  - Sự khác biệt giữa mật độ chất rắn và chất khí
  - Sự chênh lệch về khả năng đàn hồi
  - Chất rắn có kích thước bị giới hạn, trái ngược với tính tự do của khí
  - Chất khí không chịu được áp suất lớn.
- Điều gì xảy ra khi một sóng âm đi từ không khí vào trong nước:
  - Cường độ tăng lên
  - Bước sóng giảm
  - Tần số tăng lên
  - Tần số giữ nguyên không đổi
  - Tốc độ lan truyền giảm.
- Sóng âm mang đặc trưng của:
  - Sóng ngang
  - Sóng dọc
  - Sóng ngang hay sóng dọc tùy theo phương pháp tạo sóng
  - Một thực thể không mang năng lượng
  - Sóng lan truyền không cần đến môi trường.
- Khi bạn nghe nhạc, làm thế nào bạn có thể khẳng định rằng tốc độ truyền âm là như nhau ở mọi tần số?
- Trình bày phương pháp xác định khoảng cách đến một tia chớp bằng cách đếm thời gian từ lúc hiện ánh chớp đến khi nghe thấy tiếng sấm.
- Máy bắn tốc độ của cảnh sát có thể đo được dịch chuyển Doppler của xung sóng vô tuyến. Lý giải tại sao phép đo dịch chuyển Doppler có thể áp dụng trong việc xác định tốc độ phương tiện giao thông?

## Bài tập chương 17

1. Một sóng điều hoà lan truyền trong môi trường có phương trình:

$$s(x, t) = 2.00 \cos(15.7x - 858t),$$

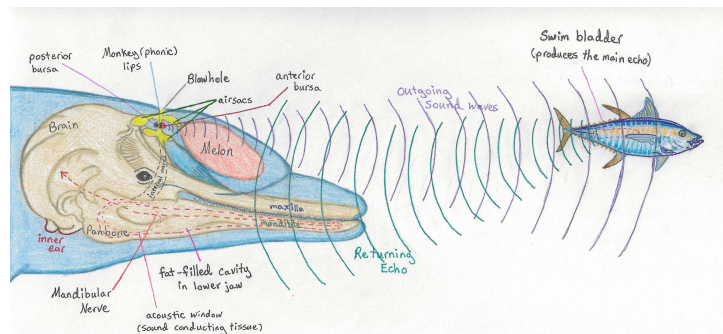
trong đó  $s$  lấy đơn vị micromet,  $x$  lấy đơn vị mét, còn  $t$  tính bằng giây. Hãy xác định:

- Biên độ sóng
  - Bước sóng
  - Tốc độ truyền sóng
  - Độ chuyển dịch khỏi vị trí cân bằng của các phần tử môi trường tại điểm  $x = 0.05\text{m}$  vào lúc  $t = 3\text{s}$ .
  - Vận tốc cực đại của dao động phần tử môi trường.
2. Khi một sóng âm truyền qua không khí, nó tạo ra sự biến thiên áp suất quanh giá trị áp suất khí quyển:

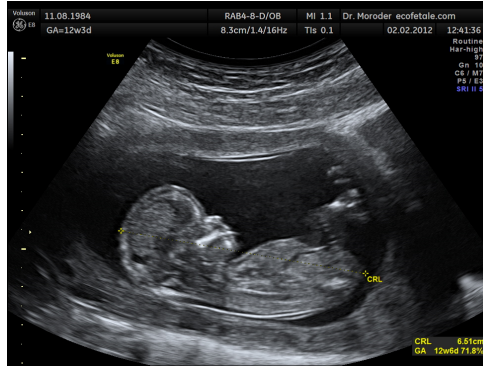
$$\Delta P = 1.27 \sin(\pi x - 340\pi t),$$

đo ở hệ đơn vị SI. Hãy tìm:

- Biên độ của biến thiên áp suất nói trên
  - Tần số của sóng
  - Bước sóng
  - Tốc độ truyền sóng.
3. Viết biểu thức mô tả sự biến thiên áp suất theo tọa độ và thời gian cho một sóng âm điều hoà truyền trong không khí. Cho rằng tốc độ truyền âm bằng  $343\text{m/s}$ ,  $\lambda = 0.1\text{m}$ ,  $\Delta P_{max} = 0.2\text{Pa}$ .
4. Động đất xảy ra trên những đường đứt gãy của vỏ Trái đất tạo ra những cơn sóng địa chấn, tồn tại cả dưới dạng sóng dọc (sóng P) lẫn sóng ngang (sóng S). Sóng P có tốc độ lan truyền vào khoảng  $7\text{km/s}$ . Hãy tính modul khối trung bình của vỏ Trái đất, biết khối lượng riêng của đất đá khoảng  $2500\text{kg/m}^3$ .
5. Cá heo xác định khoảng cách đến đối tượng bằng cách phát ra siêu âm và cảm nhận độ trễ của sóng phản xạ. Một con cá heo bơi trong nước biển ở  $25^\circ\text{C}$  phát ra sóng âm thẳng đến con mồi cách nó  $150\text{m}$ . Sau bao lâu thì cá heo nghe thấy tiếng vọng?

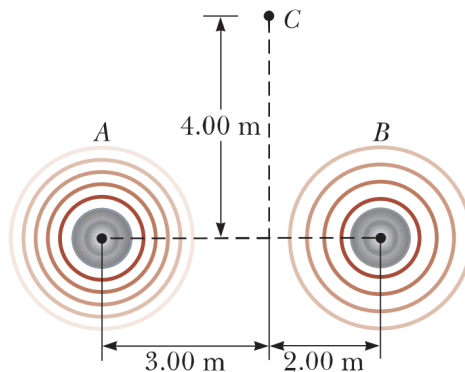


6. Siêu âm trong y tế dùng để tạo ảnh chẩn đoán. Các xung siêu âm sẽ đi xuyên qua phần cơ thể bệnh nhân. Mỗi sóng phản xạ từ mỗi phần tử được ghi lại, và khoảng cách đến mỗi phần tử được xác định thông qua độ trễ của sóng phản xạ. Để soi được chi tiết, bước sóng của siêu âm cần nhỏ hơn nhiều so với kích thước của đối tượng thăm dò. Vận tốc siêu âm trong môi trường cơ thể người vào khoảng 1500m/s (tương đương tốc độ truyền âm trong nước).
- (a) Siêu âm với tần số 2.4MHz có bước sóng bằng bao nhiêu?
- (b) Trong kĩ thuật tạo ảnh siêu âm, dải tần số được dùng từ 1.00MHz đến 20.0MHz. Tính dải bước sóng tương ứng.

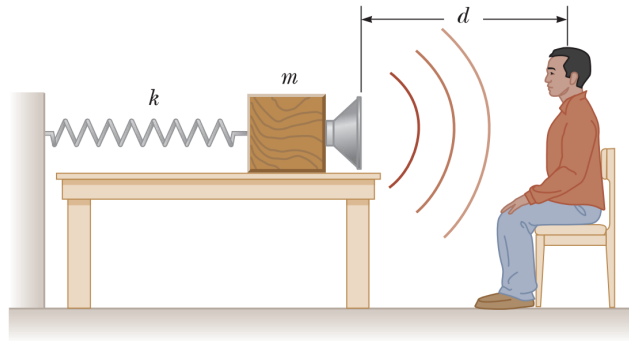


7. Một sóng âm trong không khí có biên độ biến thiên áp suất bằng  $4.00 \times 10^{-3}$  Pa. Tính biên độ dịch chuyển của các phần tử môi trường ở tần số 10.0kHz.
8. Dùng búa gõ vào đầu thanh ray dài 8.50m. Microphone đặt ở đầu đối diện bắt được hai xung sóng âm, một truyền theo không khí và một sóng dọc truyền xuyên qua thanh ray.
- (a) Xung nào truyền đến microphone trước?
- (b) Tìm khoảng chênh lệch thời gian giữa hai xung ghi được.
9. Màng nhĩ có diện tích khoảng  $5.00 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>.
- (a) Tính công suất trung bình của sóng âm đập vào màng nhĩ ở ngưỡng đau, tương ứng với cường độ 1.00 W/m<sup>2</sup>.
- (b) Có bao nhiêu năng lượng truyền đến màng nhĩ trong thời gian 1 phút.
10. Cường độ của một sóng âm tại một điểm nào đó nằm cách nguồn 1.00kHz là 0.600 W/m<sup>2</sup>.
- (a) Xác định cường độ của âm nếu tần số tăng lên thành 2.50kHz trong khi biên độ chuyển dời ( $s_{max}$ ) không đổi.
- (b) Tính cường độ âm nếu tần số giảm xuống còn 0.500kHz và biên độ chuyển dời ( $s_{max}$ ) tăng gấp đôi.
11. Một người đeo máy trợ thính có chức năng tăng mức cường độ âm lên 30dB cho mọi tần số thuộc dải nghe thấy. Máy trợ thính này khuếch đại một âm ở tần số 250Hz có cường độ  $3.0 \times 10^{-11}$  W/m<sup>2</sup>. Hỏi cường độ của âm này khi truyền đến màng nhĩ bằng bao nhiêu?
12. Một đoàn tàu hú còi khi sắp tiến đến điểm cắt với đường bộ. Tiếng còi tàu có thể nghe thấy từ cách xa 10km với mức cường độ âm 50dB.

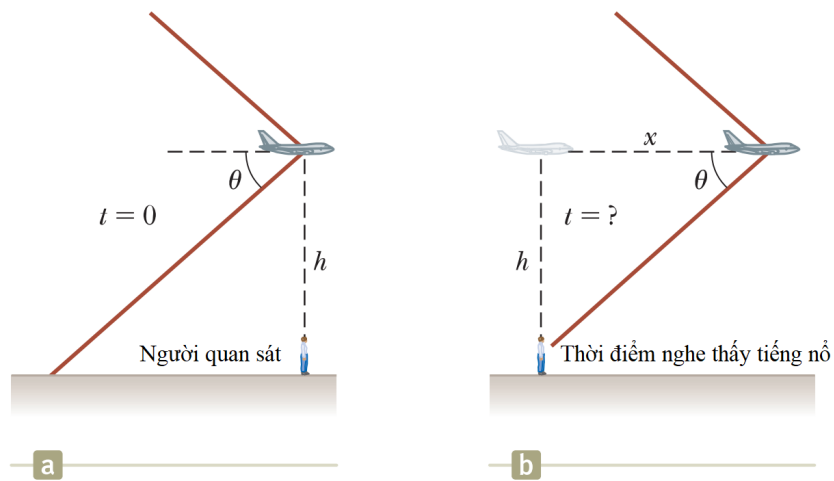
- (a) Tính cường độ trung bình của còi tàu.  
 (b) Mức cường độ âm tại giao lộ khi tàu còn cách đó 50m bằng bao nhiêu?
13. Một buổi trình diễn trượt băng tổ chức trên sân vận động ngoài trời, với nhạc nền đạt mức 80dB. Mức cường độ âm này quá lớn, làm em bé bật tiếng khóc 75dB.  
 (a) Âm thanh kết hợp có cường độ bằng bao nhiêu?  
 (b) Tính mức cường độ âm của âm kết hợp.
14. Hai loa kích thước nhỏ phát ra sóng âm đồng đều theo mọi hướng. Loa A có công suất 1.00mW, loa B có công suất 1.50mW. Hãy tính mức cường độ âm tại điểm C trên hình, cho rằng:  
 (a) Chỉ bật loa A  
 (b) Chỉ bật loa B  
 (c) Cả hai loa đều bật.



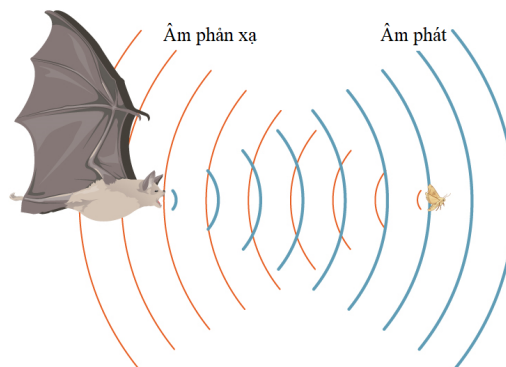
15. Một xe cứu thương di chuyển với vận tốc 42m/s phát ra tiếng còi tần số 450Hz. Một ô-tô khác chuyển động cùng chiều với vận tốc 25m/s. Người trên xe ô-tô sẽ nghe thấy tần số bằng bao nhiêu:  
 (a) Khi xe cứu thương đi phía sau ô-tô  
 (b) Khi xe cứu thương đã vượt qua ô-tô?
16. Một người lái ô-tô trên cao tốc về hướng bắc với vận tốc 25.0m/s. Xe cảnh sát đi ngược chiều về phía nam với vận tốc 40.0m/s, hú còi với tần số 2500Hz, tiến về phía ô-tô.  
 (a) Người lái ô-tô nghe thấy tần số bằng bao nhiêu?  
 (b) Tần số nghe được thay đổi như thế nào sau khi xe cảnh sát đã đi qua?  
 (c) Thử tính lại câu (a) và (b) trong trường hợp xe cảnh sát đuổi theo người lái ô-tô từ phía sau.
17. Một hộp loa nối với lò xo có độ cứng  $k = 20.0\text{N/m}$  và dao động với biên độ 0.50m trên mặt bàn như hình vẽ. Loa có khối lượng 5.00kg, phát ra âm thanh tần số 440Hz.  
 (a) Hãy tính tần số cao nhất và thấp nhất mà người ngồi bên phải nghe thấy.  
 (b) Người này nghe thấy mức cường độ âm cực đại bằng 60.0dB khi loa tiến lại khoảng cách gần nhất  $d = 1.00\text{m}$ . Vậy mức cường độ âm cực tiểu anh ta nghe được bằng bao nhiêu?



18. Một máy bay siêu thanh đạt tốc độ Mach 3.00 trên độ cao  $h = 20000\text{m}$ . Lấy  $t = 0$  là thời điểm khi máy bay đi ngang qua đầu người quan sát. Cho rằng tốc độ truyền âm trung bình trong không khí bằng  $335\text{m/s}$ .
- (a) Sau bao lâu người đứng trên mặt đất sẽ hứng chịu sóng xung kích?
- (b) Vào thời điểm sóng xung kích vừa quét đến người trên mặt đất, máy bay đang ở đâu?



19. Dơi có thể săn lùng và nhận diện những con mồi rất nhỏ, có kích thước tương đương với bước sóng của sóng siêu âm do nó phát ra. Nếu dơi phát ra siêu âm  $60.0\text{kHz}$  lan truyền với tốc độ  $340\text{m/s}$  thì những loại côn trùng nào nó có thể phát hiện thấy?





**Đáp số**

1. (a) 2 m (b) 40 cm (c) 54.6 m/s (d)  $-0.433 \mu\text{m}$  (e) 1.72 mm/s
2. (a) 1.27 Pa (b) 170 Hz (c) 2.00 m (d) 340 m/s
3.  $\Delta P = 0.2 \sin(62.8x - 2.16 \times 10^4 t)$
4.  $1 \times 10^{11}$  Pa
5. 0.196 s
6. (a) 0.625 mm (b)  $0.75 \mu\text{m} - 1.50 \text{ mm}$
7.  $1.55 \times 10^{-10}$  m
8. (b) 23.4 ms
9. (a)  $5.00 \times 10^{-5}$  W (b)  $3.00 \times 10^{-3}$  J
10. (a)  $3.75 \text{ W/m}^2$  (b)  $600 \text{ W/m}^2$
11.  $3.0 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$
12. (a) 126 W (b) 96 dB
13. (a)  $13.2 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$  (b) 81.2 dB
14. (a) 65.0 dB (b) 67.8 dB (c) 69.6 dB
15. (a) 475 Hz (b) 430 Hz
16. (a) 3.04 kHz (b) 2.08 kHz  
(c) Khi cảnh sát đang đuổi theo: 2.62 kHz. Khi cảnh sát đã vượt qua: 2.40 kHz
17. (a) 441 Hz - 439 Hz (b) 54.0 dB
18. (a) 56.3 s (b) 56.6 km
19. Những côn trùng có kích thước lớn hơn 5.67 mm