TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

LẬP TRÌNH ÂM THANH

CHƯƠNG 1

Nhập môn và bản chất vật lý của âm thanh

Chương 1 · 5 tiết · Mã học phần 531833 · 75 tiết · Học kỳ 5

Hà Nội – 2026

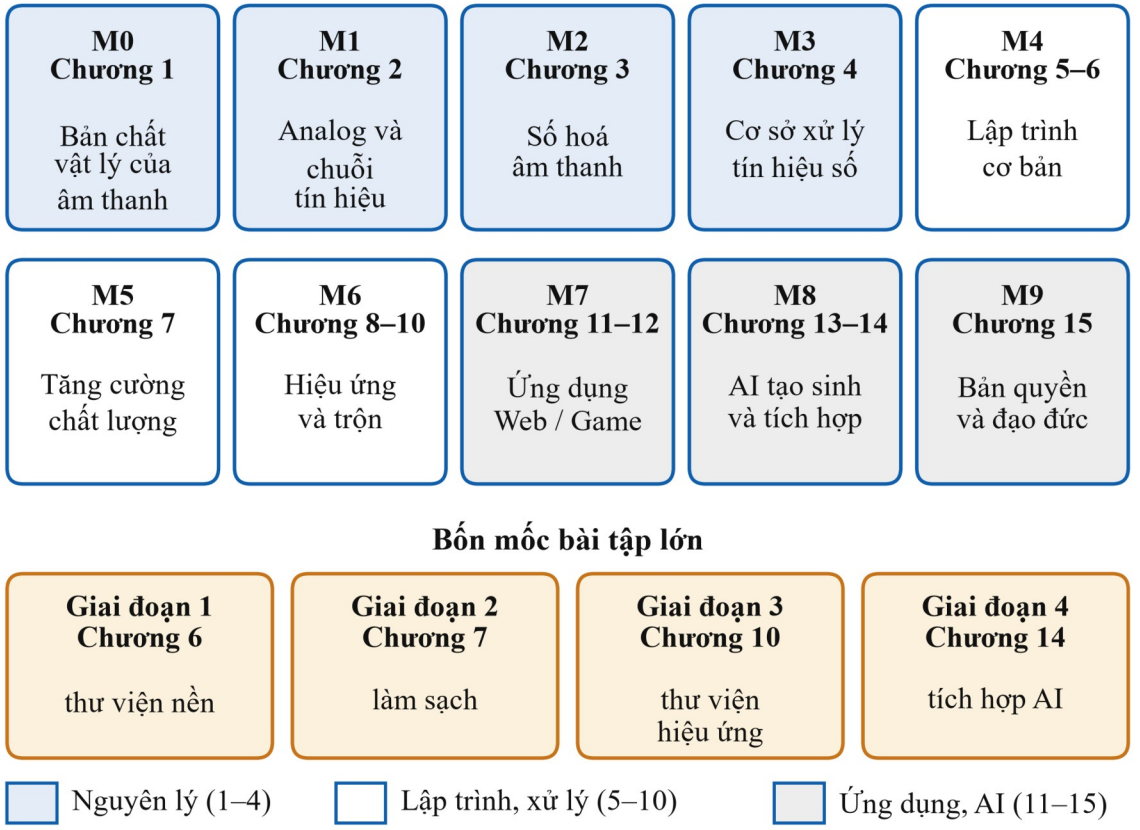
Sau chương này người học phải làm được

- Giải thích âm thanh là gì, cần những yếu tố nào để tồn tại và vì sao không truyền được trong chân không.
- Gọi tên bốn đại lượng gốc của sóng âm và quan hệ của chúng với cảm nhận của tai.
- Tính bước sóng, tốc độ âm theo nhiệt độ, mức decibel và mức suy giảm theo khoảng cách.
- Giải thích vì sao cùng một nốt mà mỗi nhạc cụ nghe khác nhau, bằng khái niệm phổ hài.
- Mô tả hai điểm mù của tai người và vai trò của chúng làm nền cho nén có tổn hao.
- Cài môi trường lập trình; chạy đoạn mã sinh, đo, ghi và vẽ một sóng sin.

MỤC 1.1

Vị trí chương học

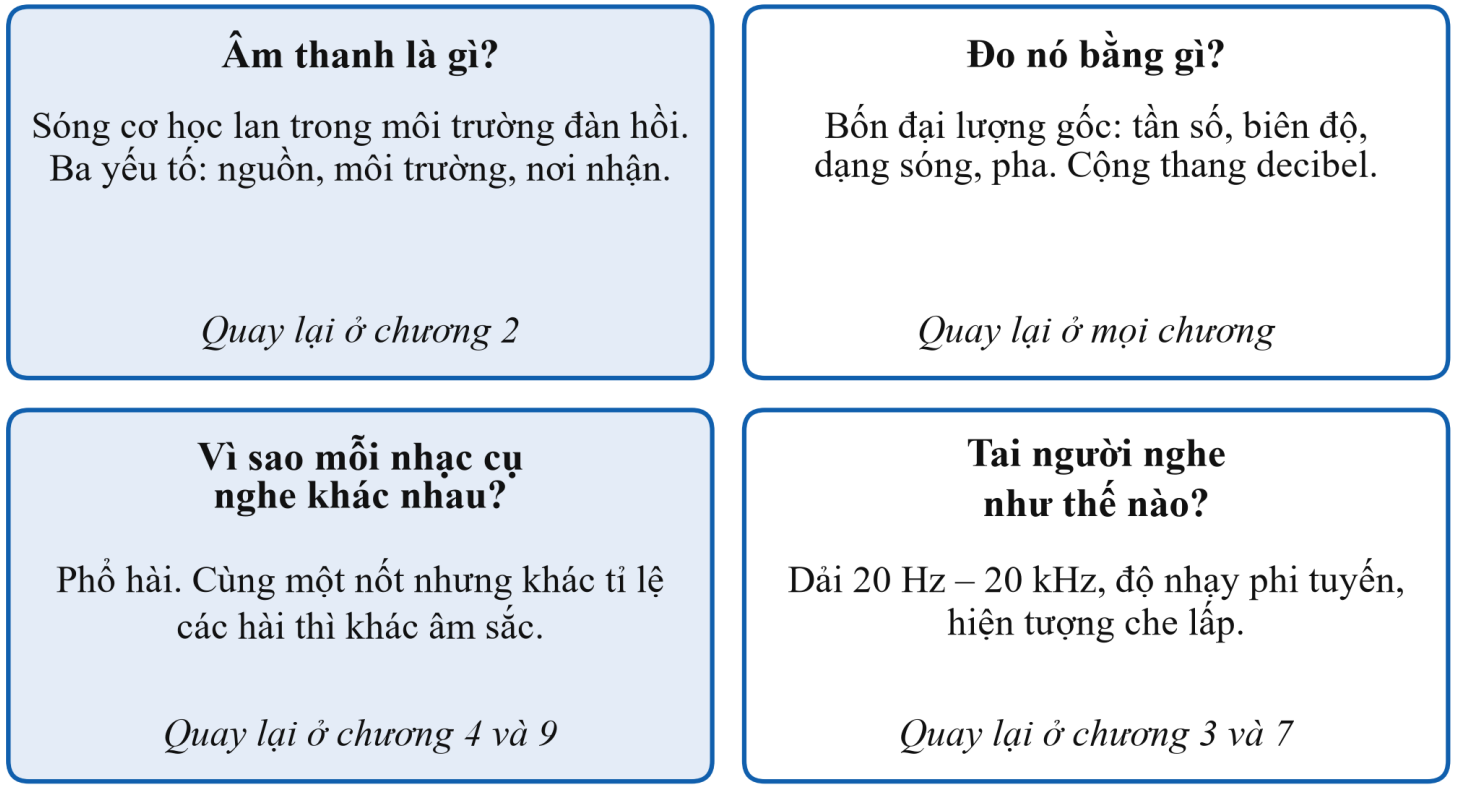
- Học phần dạy viết mã xử lý tín hiệu âm thanh.
- Bốn chương đầu dựng nguyên lý, chưa viết dòng mã nào; chủ ý này có lý do.
- Mọi dòng mã từ chương 5 là cách diễn đạt lại một nguyên lý của bốn chương ấy.



Chữ quan trọng nhất là “tự viết”

- Kết thúc học phần, người học tự viết được một thư viện xử lý âm thanh của riêng mình.
- Thư viện ấy được đưa vào một sản phẩm chạy được: ứng dụng web hoặc trò chơi.
- Người chỉ biết gọi thư viện sẽ dừng lại khi thiếu hàm cần dùng hoặc khi kết quả sai.
- Hướng đi của học phần: viết phần lõi, hiểu từng dòng, rồi mới dùng thư viện cho phần ngoại vi.

Bốn câu hỏi của chương 1 và nơi chúng quay lại



Hình 1.2 — Bốn câu hỏi của chương 1 và chỗ chúng quay lại trong học phần

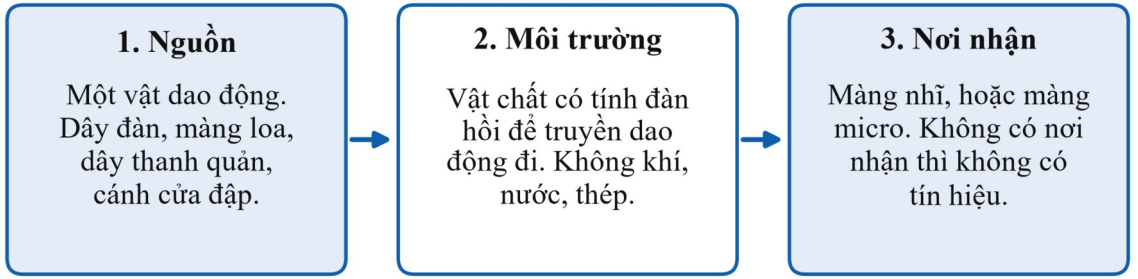
Không cần thuộc lòng con số, cần hiểu quan hệ giữa các đại lượng

Đổi đại lượng này thì đại lượng kia đổi theo ra sao. Mọi hình đều vẽ từ tín hiệu tính thật bằng mã. Phần thính giác ở cuối chương tuy hay bị coi nhẹ nhưng là nền của toàn bộ chuyện nén ở chương 3.

MỤC 1.2

Âm thanh là sóng cơ học

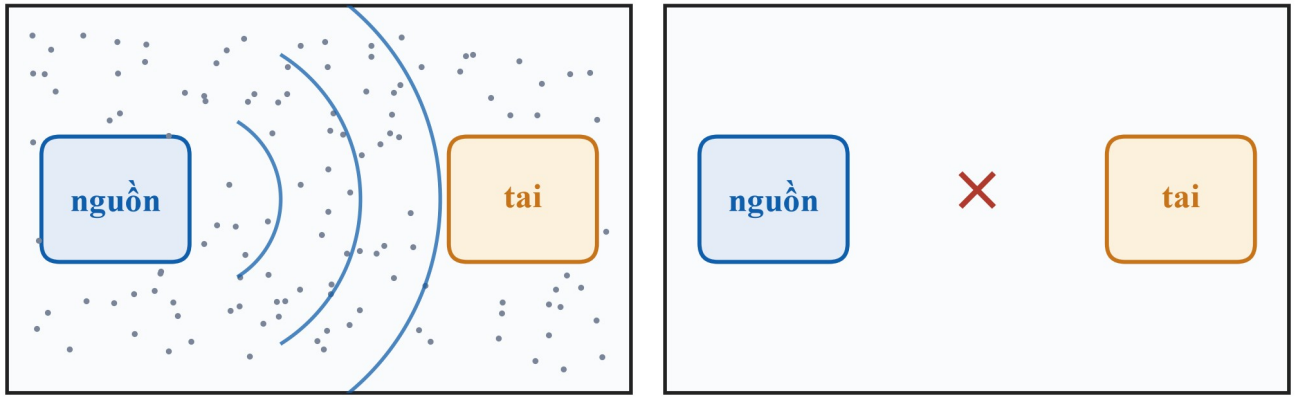
- Âm thanh là một hiện tượng, không phải một vật.
- Hiện tượng chỉ xảy ra khi có đủ ba yếu tố: nguồn, môi trường, nơi nhận.
- Sóng âm trong không khí là sóng dọc; điều lan đi là trạng thái nén.



Thiếu môi trường thì không có âm thanh —
đó là lý do trong chân không hoàn toàn im lặng.

Nguồn, môi trường và nơi nhận

- Nguồn: vật đang dao động, như dây đàn, màng loa, dây thanh quản.
- Môi trường: vật chất đàn hồi cho dao động truyền đi; nước, gỗ, thép truyền tốt hơn không khí.
- Nơi nhận: màng nhĩ hoặc màng micro; thiếu nơi nhận thì không có tín hiệu.
- Trong chân không không có môi trường nên âm không truyền được.



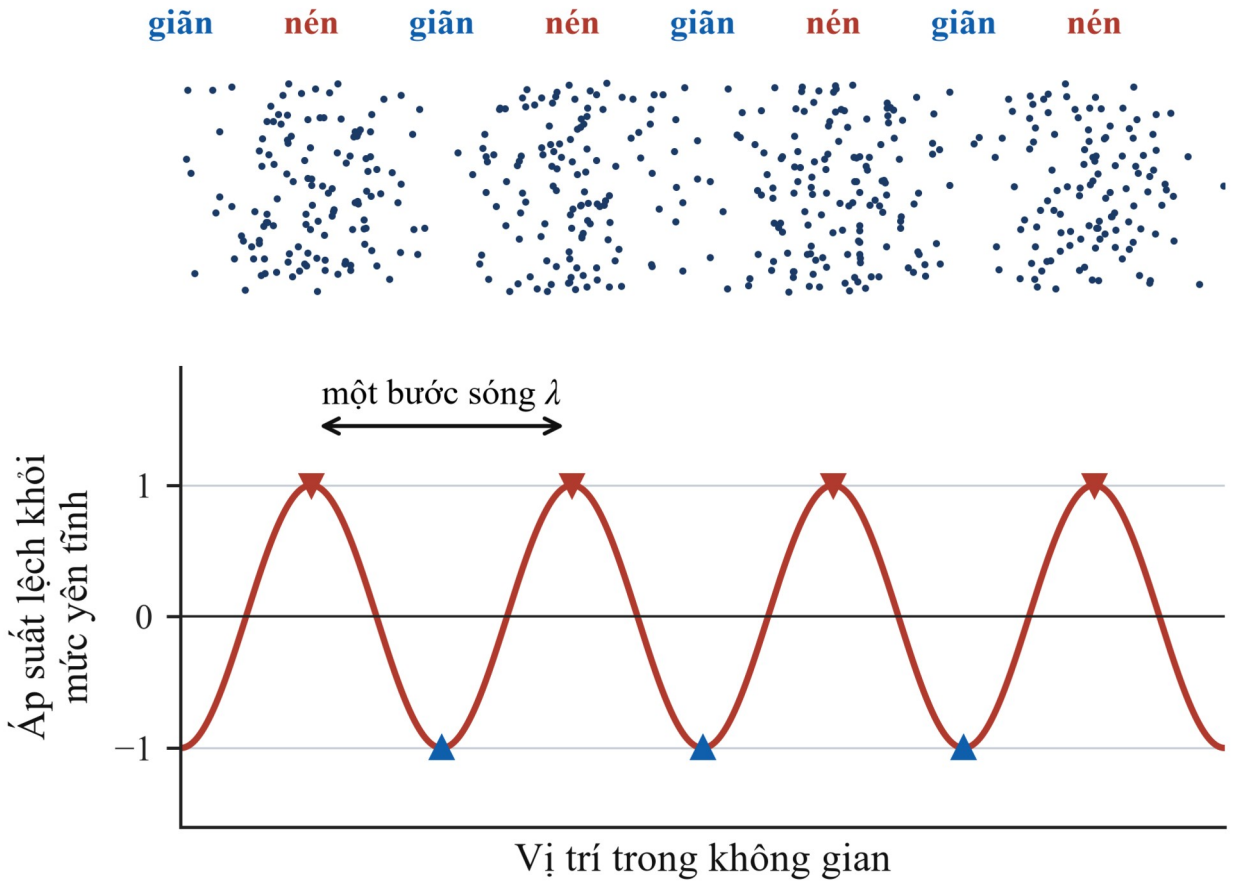
(a) Có không khí — âm truyền được

(b) Chân không — không có gì để truyền

Hình 1.4 — Có môi trường thì âm truyền được; trong chân không thì không

Vùng nén và vùng giãn nối tiếp nhau

- Vật dao động đẩy các phần tử khí kề bên; chúng dồn lại rồi bật về chỗ cũ.
- Kết quả là vùng nén và vùng giãn nối tiếp nhau chạy đi trong không gian.
- Phần tử dao động theo đúng hướng sóng đi: đó là sóng dọc.
- Sóng trên mặt nước là sóng ngang: phần tử nhấp nhô vuông góc với hướng sóng.



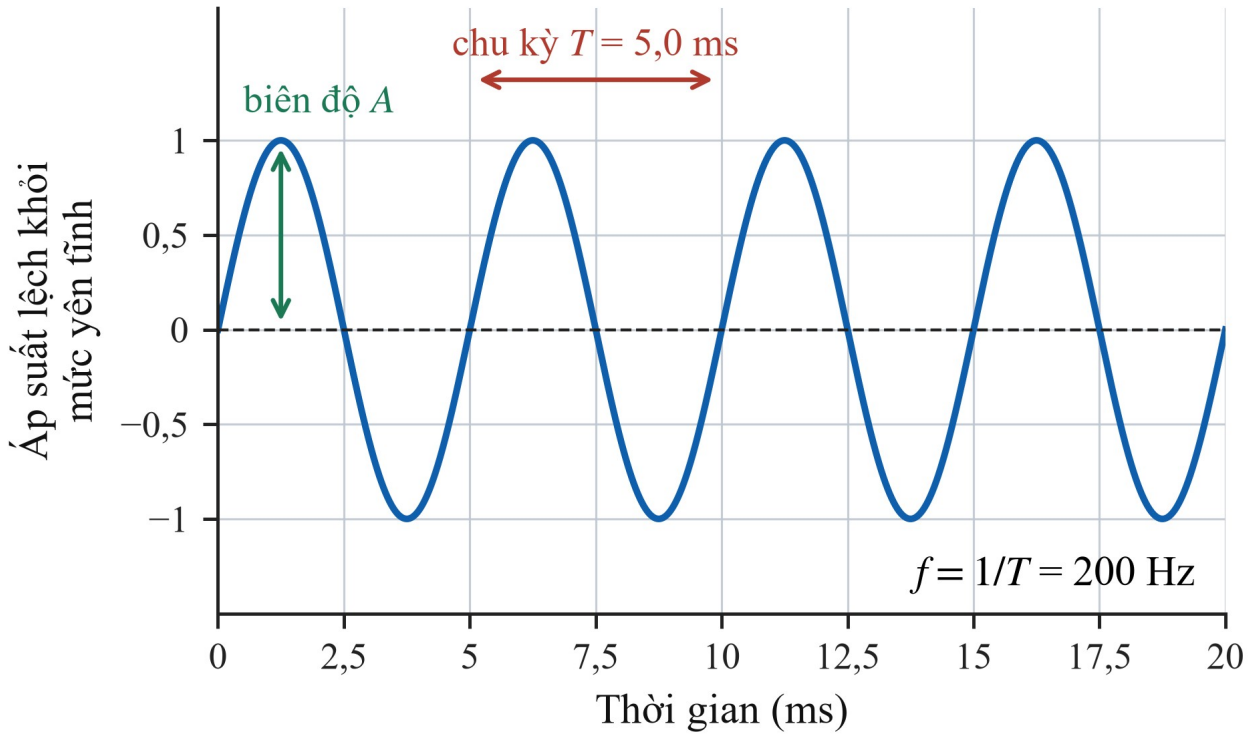
Hình 1.5 — Sóng dọc trong không khí — vùng nén và vùng giãn, cùng đường cong áp suất tương ứng

Cái lan đi là trạng thái nén, không phải vật chất

Phần tử không khí chỉ rung tới lui quanh vị trí cũ. Giống sóng chạy trên một hàng người: sóng đi từ đầu hàng tới cuối hàng nhưng không ai đổi chỗ. Nếu phần tử đi theo sóng thì mỗi lần nói sẽ có luồng gió thổi tới người nghe.

Áp suất tại một điểm theo thời gian

- Micro đứng yên và ghi áp suất tại điểm đó thay đổi thế nào theo thời gian.
- Đây là hình quan trọng nhất của chương, có lẽ của cả học phần.
- Mọi tệp âm thanh là đường cong ấy, được ghi lại thành một dãy số.
- Lọc, nén, thêm hiệu ứng, trộn lớp: tất cả chỉ là biến đổi dãy số đó.



Hình 1.6 — Áp suất tại một điểm theo thời gian — đây chính là thứ mà micro ghi lại

Sóng sin: công thức bốn tham số

$$x(t) = A\sin(2\pi ft + \varphi)$$

(1.1)

- A là biên độ; f là tần số, tính bằng héc.
- t là thời gian, tính bằng giây; ϕ là pha ban đầu.
- Bốn tham số là toàn bộ thông tin của một sóng sin.
- Mục 1.3 đi vào từng tham số.

Tốc độ âm trong không khí phụ thuộc nhiệt độ

$$c \approx 331{,}3 \sqrt{1 + \frac{t}{273{,}15}} \quad [\text{m/s}]$$

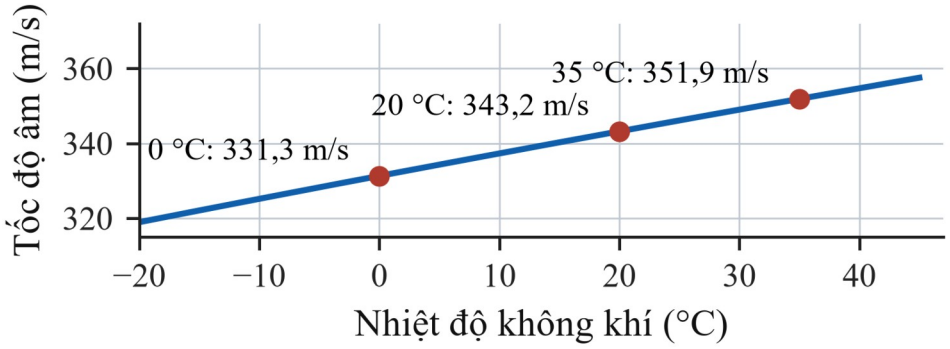
(1.2)

- Tốc độ âm phụ thuộc môi trường; với không khí còn phụ thuộc nhiệt độ.
- t là nhiệt độ không khí, tính bằng độ C.
- Cả học phần dùng giá trị ở nhiệt độ phòng 20 °C.

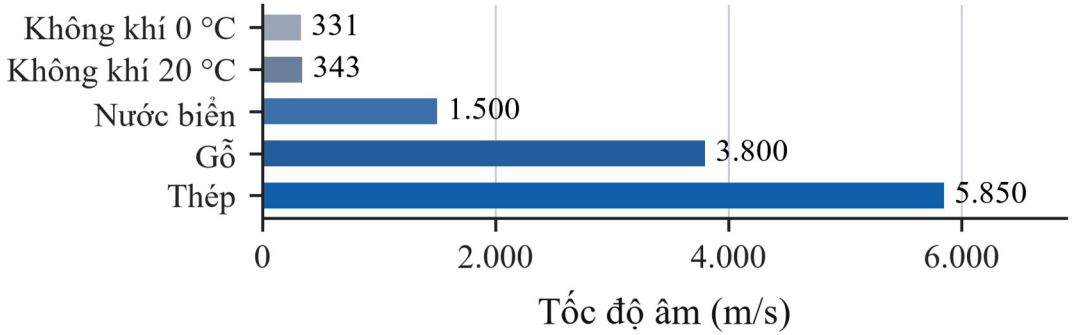
Tốc độ âm trong không khí ở vài mức nhiệt độ

Nhiệt độ	Tốc độ âm	Ghi chú
0 °C	331,3 m/s	giá trị hay gặp trong sách giáo khoa
20 °C	343,2 m/s	nhiệt độ phòng, dùng trong cả học phần
35 °C	351,9 m/s	ngoài trời mùa hè ở Hà Nội

Tốc độ âm theo nhiệt độ và trong vài môi trường khác



(a) Không khí: phụ thuộc nhiệt độ



(b) Môi trường càng đặc, càng cứng thì âm đi càng nhanh

Hình 1.7 — Tốc độ âm theo nhiệt độ không khí, và trong vài môi trường khác

Tốc độ âm tăng theo độ cứng, giảm theo khối lượng riêng

Âm đi trong thép nhanh gấp mười bảy lần trong không khí. Thép có khối lượng riêng lớn hơn vài nghìn lần nhưng độ cứng lớn hơn nhiều triệu lần, nên phần độ cứng thắng. Hệ quả: âm truyền qua tường và sàn rất tốt, cách âm phòng thu khó hơn tưởng tượng.

Bước sóng: quãng đường sóng đi trong một chu kỳ

$$\lambda = \frac{c}{f}; \qquad f = \frac{c}{\lambda}$$

(1.3)

- Biết tốc độ và tần số thì tính được bước sóng.
- Bước sóng quyết định kích thước của mọi thứ tương tác với sóng âm.
- Ở 20 °C, bước sóng của 1.000 Hz là 34,3 cm.

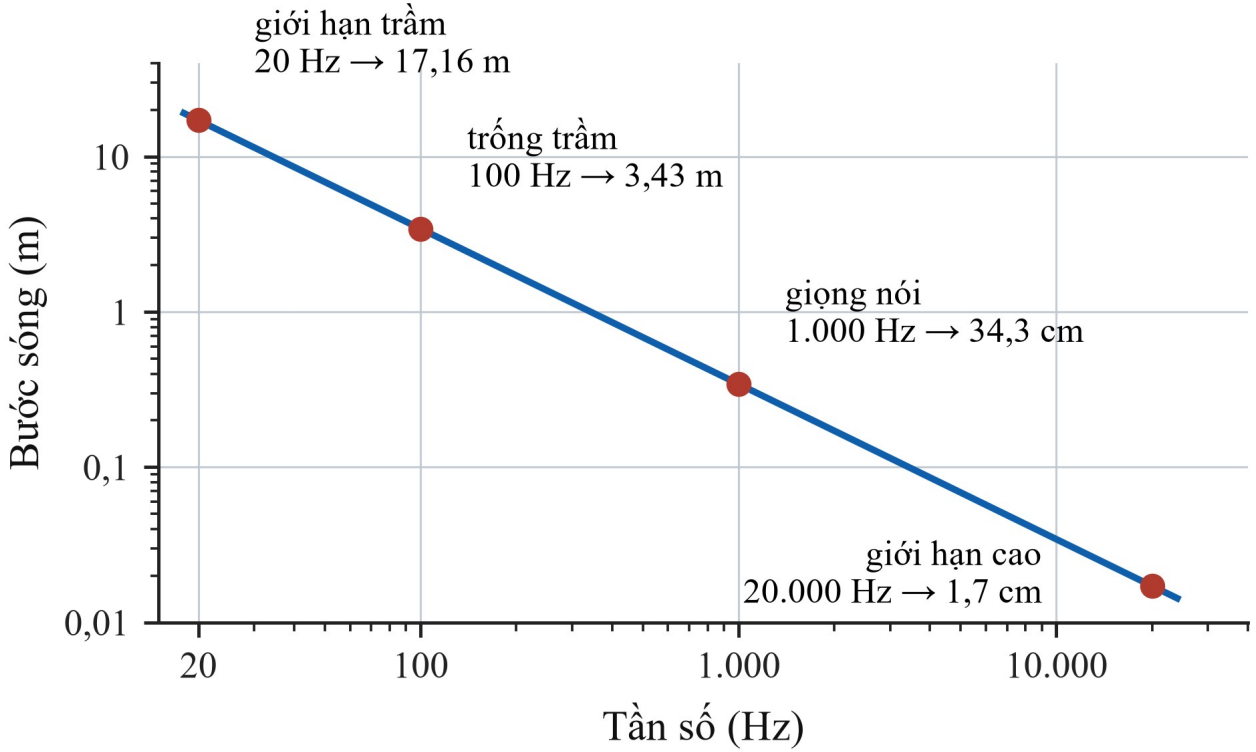
1.2.5 · BẢNG 1.2

Bước sóng ở vài tần số tiêu biểu, tính ở 20 °C

Tần số	Bước sóng	So sánh cho dễ hình dung
20 Hz	17,16 m	dài hơn một phòng học
100 Hz	3,43 m	chiều cao một tầng nhà
1.000 Hz	34,3 cm	chiều dài một cẳng tay
10.000 Hz	3,4 cm	chiều rộng một ngón tay
20.000 Hz	1,7 cm	bề dày một cục tẩy

Bước sóng trải hơn một nghìn lần trên dải nghe được

- Loa trầm phải lớn vì màng loa cần kích thước tương xứng với bước sóng.
- Tấm mút mỏng dán tường chỉ hút âm cao, không tác dụng với âm trầm.
- Âm trầm có bước sóng hàng mét; tấm mút dày vài xăng-ti-mét không cản được.



Hình 1.8 — Bước sóng trên toàn dải nghe được — trải hơn một nghìn lần

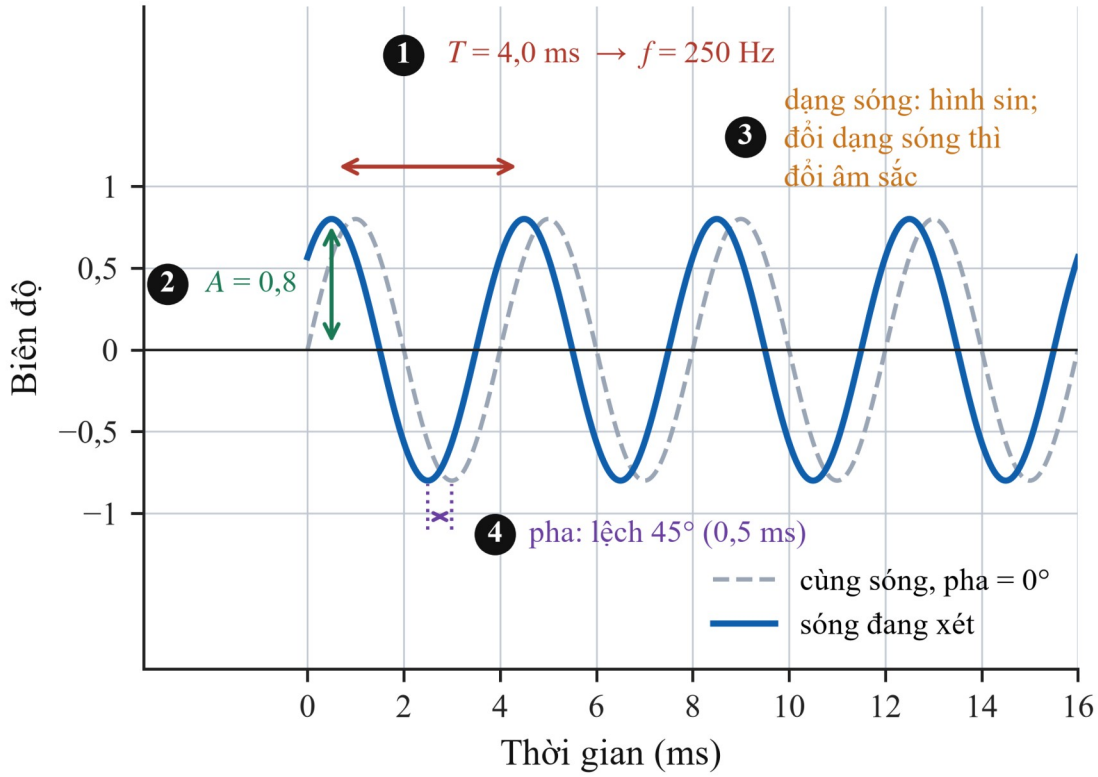
Vật chỉ ảnh hưởng đáng kể khi cùng bậc với bước sóng

Nhỏ hơn bước sóng nhiều thì sóng đi vòng qua như không có gì. Vì vậy đứng sau cái cột vẫn nghe rõ tiếng nói, nhưng không nhìn thấy người nấp sau cột: bước sóng ánh sáng quá nhỏ nên không đi vòng được.

MỤC 1.3

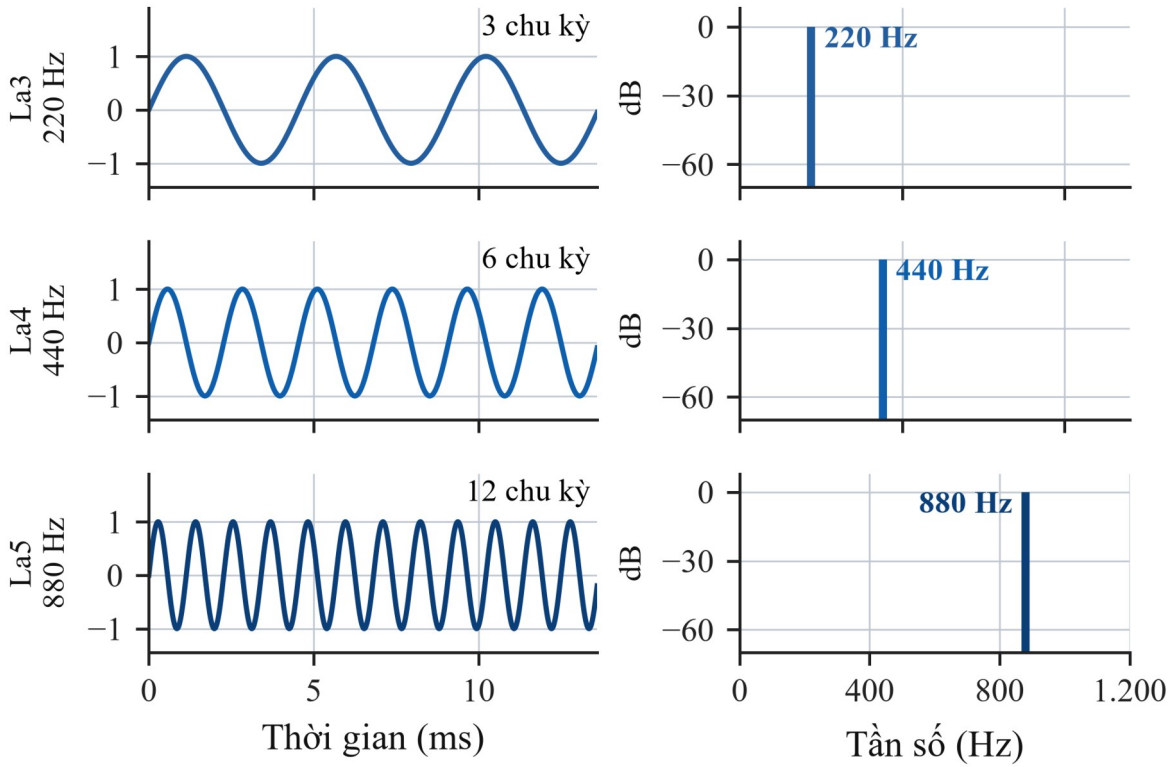
Bốn đại lượng gốc

- Một sóng sin được xác định hoàn toàn bởi bốn con số.
- Tần số quyết định cao độ; biên độ quyết định độ to.
- Dạng sóng quyết định âm sắc; pha quyết định chuyện cộng hay triệt.
- Mọi phép xử lý của học phần đều tác động vào bốn con số này.



Tần số quyết định cao độ

- Tần số là số chu kỳ trọn vẹn trong một giây, đơn vị héc (Hz); f = 1/T.
- Tần số càng lớn thì nghe càng cao.
- Quan hệ giữa tần số và cao độ là quan hệ nhân, không phải quan hệ cộng.
- Gấp đôi tần số thì lên đúng một quãng tám: 100 lên 200 Hz hay 1.000 lên 2.000 Hz.



Hình 1.10 — Ba tần số cách nhau đúng một quãng tám, nhìn ở miền thời gian và miền tần số

Nốt La ở các quãng tám và tần số tương ứng

Nốt	Tần số	Quan hệ
La2	110 Hz	thấp hơn hai quãng tám
La3	220 Hz	thấp hơn một quãng tám
La4	440 Hz	nốt chuẩn để lên dây đàn
La5	880 Hz	cao hơn một quãng tám
La6	1.760 Hz	cao hơn hai quãng tám

Vì sao thang tần số hay vẽ theo lô-ga-rít

Tai nghe theo tỉ lệ chứ không theo hiệu: khoảng cách cảm nhận giữa 100 và 200 Hz bằng giữa 5.000 và 10.000 Hz. Trên trục lô-ga-rít, mỗi quãng tám chiếm cùng bề rộng; trục thẳng dùng khi cần nhìn kỹ một vùng hẹp.

Ba con số mô tả độ mạnh của tín hiệu

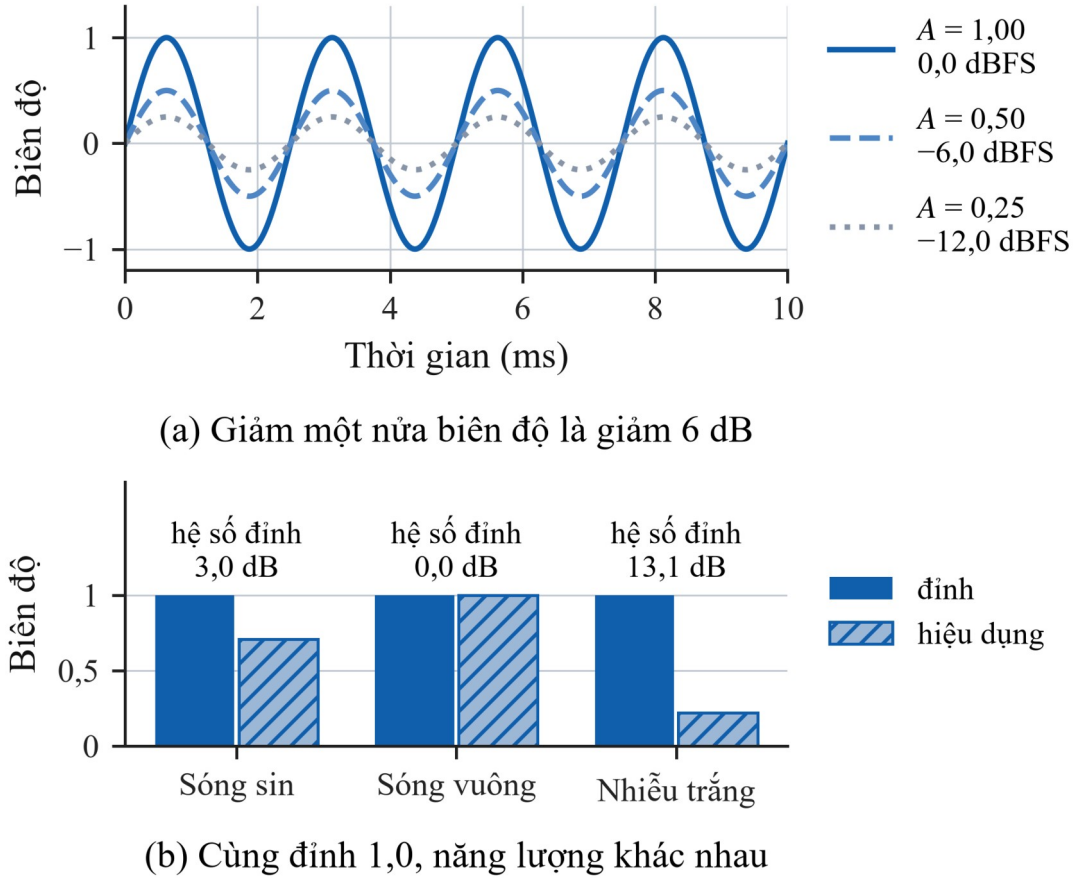
$$A_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x_n^2}\ ; \qquad K = 20\log_{10}\frac{A_{\text{pk}}}{A_{\text{rms}}}$$

(1.4)

- Mẫu âm thanh thường là số thực trong khoảng từ −1,0 tới +1,0; biên độ 1,0 là toàn thang.
- Đỉnh: giá trị tuyệt đối lớn nhất; cho biết tín hiệu có vượt ngưỡng và bị méo hay không.
- Hiệu dụng: căn bậc hai của trung bình bình phương; gần với độ to cảm nhận hơn đỉnh.
- Hệ số đỉnh: khoảng cách giữa hai con số trên, tính bằng dB; cho biết tín hiệu nhọn hay dày.

Ba tín hiệu cùng đỉnh 1,0, năng lượng khác hẳn

- Sóng sin: hiệu dụng 0,707; hệ số đỉnh 3,01 dB.
- Sóng vuông: hiệu dụng 1,000; hệ số đỉnh 0,00 dB.
- Cùng mức đỉnh, sóng vuông mang năng lượng lớn hơn và nghe to hơn rõ rệt.
- Chương 7 chuẩn hoá và chương 8 nén đều quay lại hai khái niệm này.



Hình 1.11 — Ba tín hiệu cùng đỉnh 1,0 nhưng năng lượng và hệ số đỉnh khác hẳn nhau

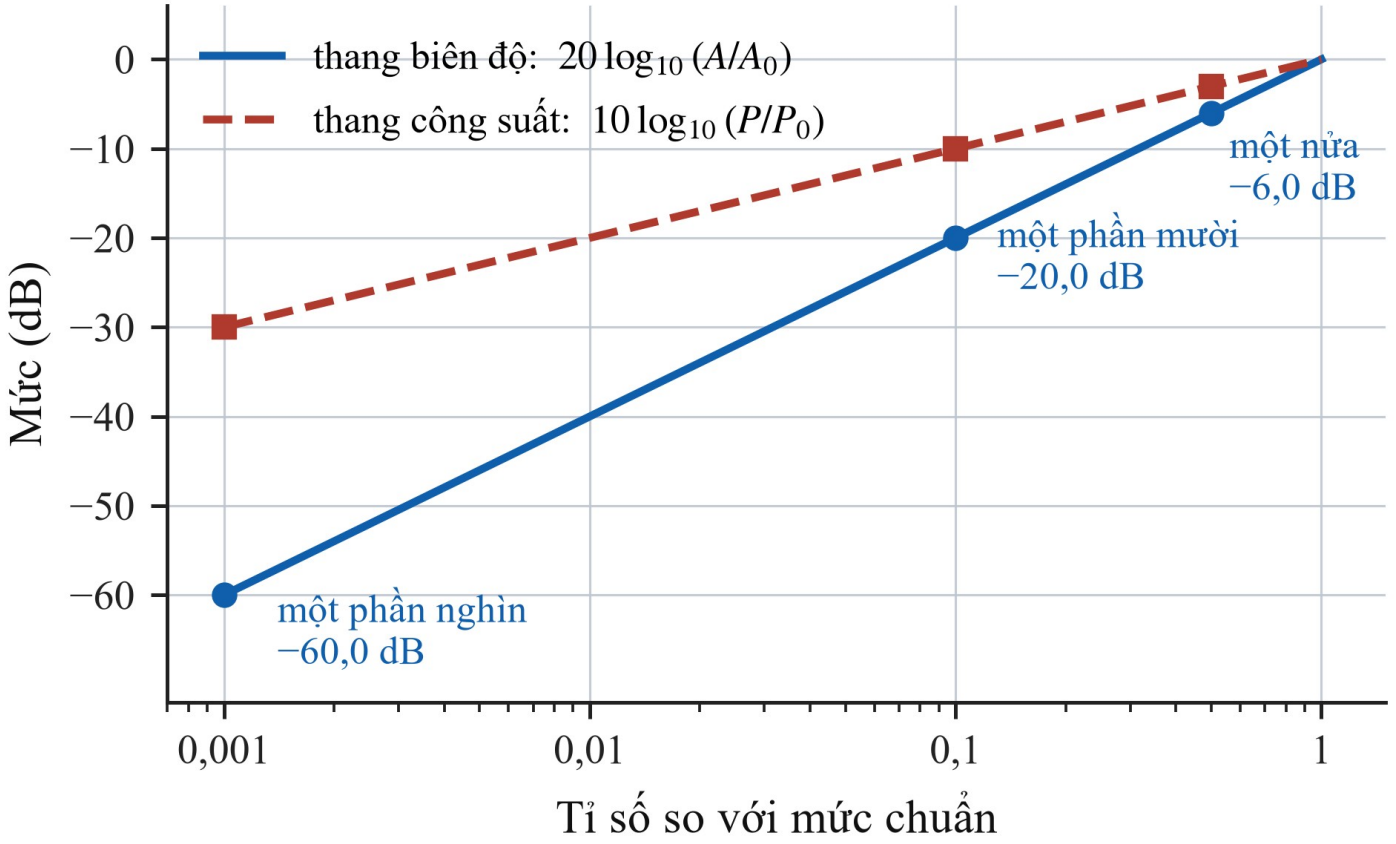
Decibel có hai công thức

$$L_A = 20\log_{10}\frac{A}{A_0}; \qquad L_P = 10\log_{10}\frac{P}{P_0} \qquad [\text{dB}]$$

(1.5)

- Tai cảm nhận độ to theo tỉ lệ nên mức âm thanh đo bằng thang lô-ga-rít.
- Hệ số 20 dùng cho biên độ; hệ số 10 dùng cho công suất.
- Đây là điểm dễ nhầm mà gần như ai học cũng gặp một lần.

Hai thang decibel: hệ số 20 cho biên độ, hệ số 10 cho công suất



Hình 1.12 — Hai thang decibel: hệ số 20 cho biên độ, hệ số 10 cho công suất

Vài mốc decibel cần thuộc

Thay đổi	Theo biên độ	Theo công suất	Cảm nhận
Gấp đôi	+6,02 dB	+3,01 dB	to hơn rõ, chưa phải gấp đôi độ to
Một nửa	−6,02 dB	−3,01 dB	nhỏ đi rõ rệt
Một phần mười	−20 dB	−10 dB	rất nhỏ
Một phần nghìn	−60 dB	−30 dB	gần như im

Dãy mẫu (biên độ, điện áp) thì hệ số 20; công suất, năng lượng thì hệ số 10

Trong học phần này phần lớn dùng hệ số 20 vì làm việc trực tiếp với dãy mẫu. Nhớ mốc: gấp đôi biên độ là +6 dB, gấp đôi công suất là +3 dB. Thấy con số 6 hay 3 là biết đang ở thang nào.

Mức áp suất âm giảm theo khoảng cách

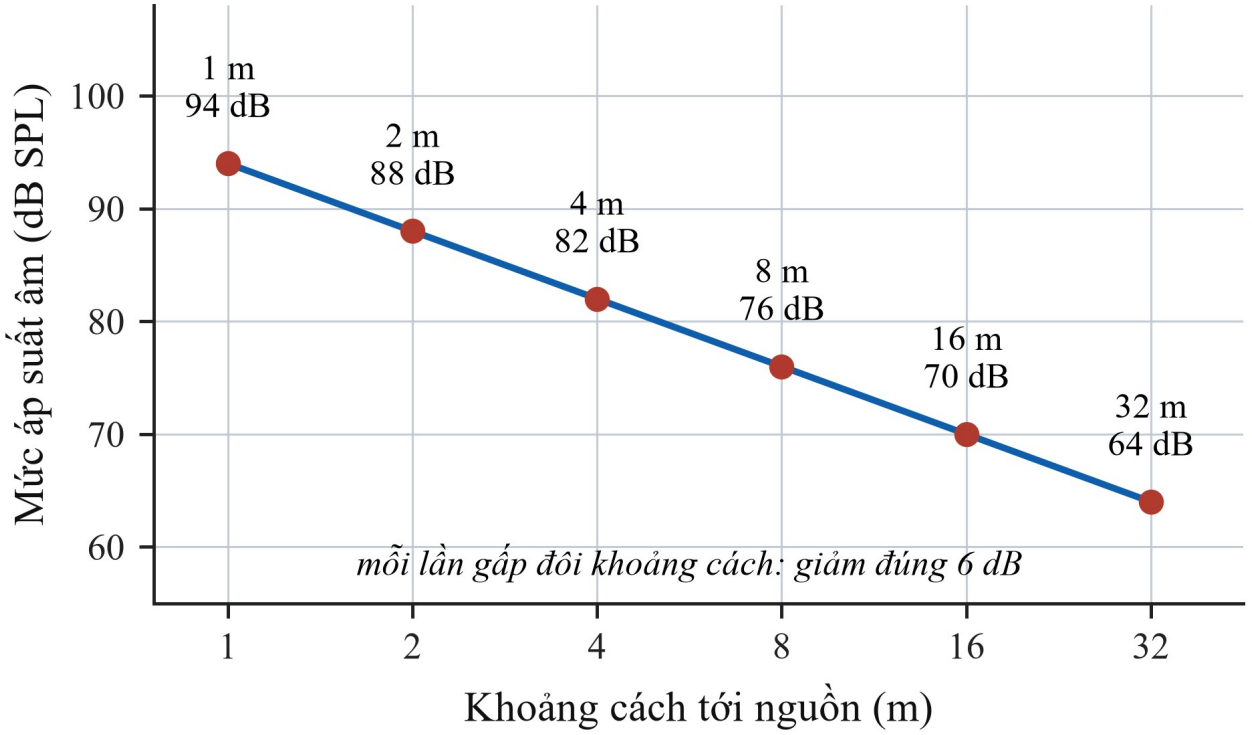
$$L_2 = L_1 - 20\log_{10}\frac{d_2}{d_1}$$

(1.6)

- Nguồn nhỏ phát mọi hướng: năng lượng trải đều lên mặt cầu ngày càng lớn.
- Mỗi lần gấp đôi khoảng cách, mức giảm đúng 6 dB.
- Từ 1 m ra 2 m mất 6 dB; từ 1 m ra 16 m mất 24 dB.

Mỗi lần gấp đôi khoảng cách thì giảm đúng 6 dB

- Từ 1 m ra 2 m mất 6 dB.
- Từ 2 m ra 4 m lại mất đúng chừng ấy.
- Từ 1 m ra 16 m mất 24 dB.



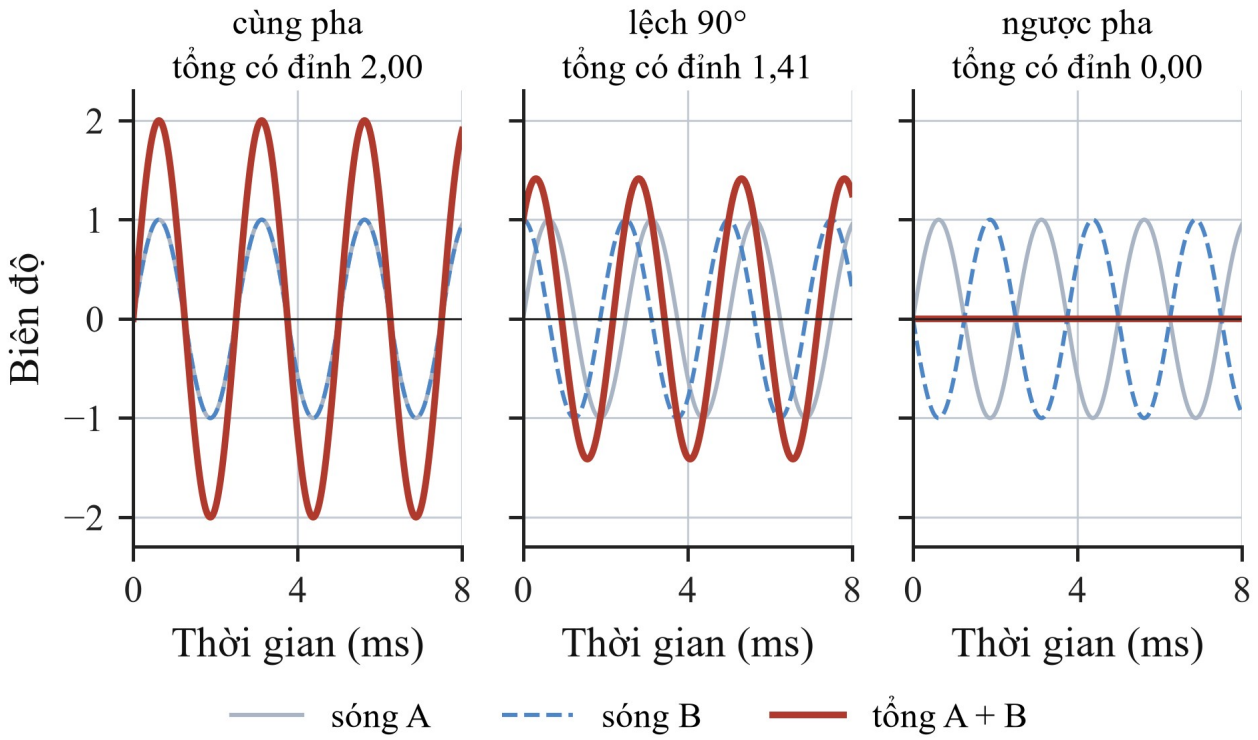
Hình 1.13 — Mỗi lần gấp đôi khoảng cách thì mức giảm đúng 6 dB

Đưa micro lại gần còn một nửa khoảng cách thì tín hiệu mạnh thêm 6 dB

Nhiễu nền của phòng gần như không đổi theo khoảng cách, nên tỉ số tín hiệu trên nhiễu cũng tốt lên đúng 6 dB. Đây là cách cải thiện chất lượng thu rẻ nhất, rẻ hơn mọi thiết bị khử nhiễu ở chương 7.

Hai sóng giống hệt nhau, chỉ khác pha

- Pha cho biết sóng bắt đầu từ đâu trong chu kỳ.
- Nghe một sóng sin đơn độc thì tai không phân biệt được pha.
- Hai sóng cùng pha cộng lại cho đỉnh 2,00: gấp đôi.
- Hai sóng ngược pha cho đỉnh 0,000000: triệt tiêu hoàn toàn.



Hình 1.14 — Hai sóng giống hệt nhau, chỉ khác pha: tổng có thể gấp đôi hoặc biến mất

Hai chỗ gặp pha: đảo pha khi thu và tai nghe chống ồn

Micro nối ngược cực: nghe từng kênh bình thường, trộn lại thì mất phần lớn âm trầm. Tai nghe chống ồn tạo sóng ngược pha với tiếng ồn để triệt tiêu tại màng nhĩ. Từ chương 9, flanger và chorus cộng một bản sao lệch pha vào tín hiệu gốc.

MỤC 1.4

Phổ hài và âm sắc

- Cùng một nốt, mỗi nhạc cụ nghe khác nhau.
- Cao độ do f_0 quyết định; âm sắc do tỉ lệ biên độ các hài quyết định.
- Âm sắc còn nằm ở thời gian: đường bao ADSR (Attack, Decay, Sustain, Release – tấn công, suy giảm, duy trì, nhả).
- Phổ đồ cho thấy tần số nào xuất hiện lúc nào.

Âm nghe được là tổng của các hài

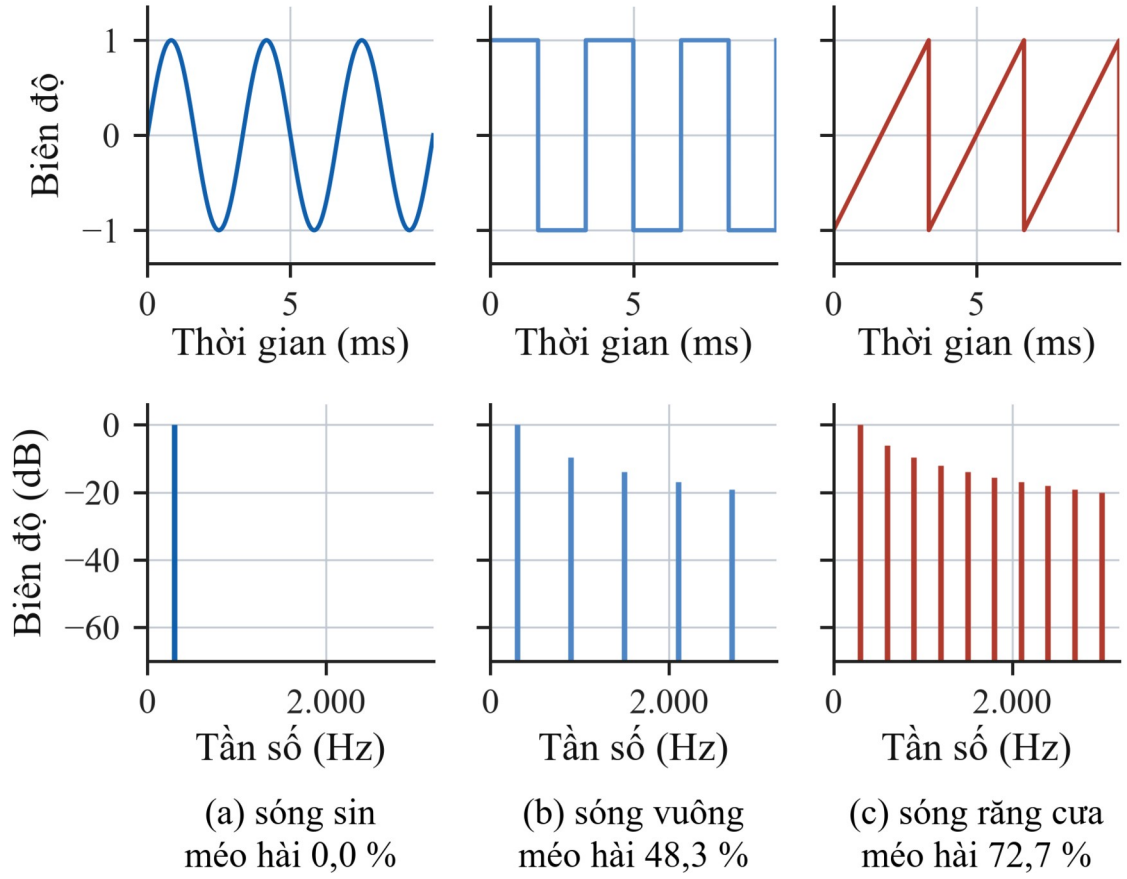
$$x(t) = \sum_{k=1}^{K} A_k \sin(2\pi k f_0 t + \varphi_k)$$

(1.7)

- Vật thật dao động ở tần số cơ bản và đồng thời ở các bội số của nó, gọi là hài.
- f_o là tần số cơ bản, k là bậc hài, Ak là biên độ của hài bậc k.
- Cao độ do f_o quyết định; âm sắc do tỉ lệ các Ak quyết định.

Cùng tần số cơ bản 300 Hz, âm sắc khác hẳn

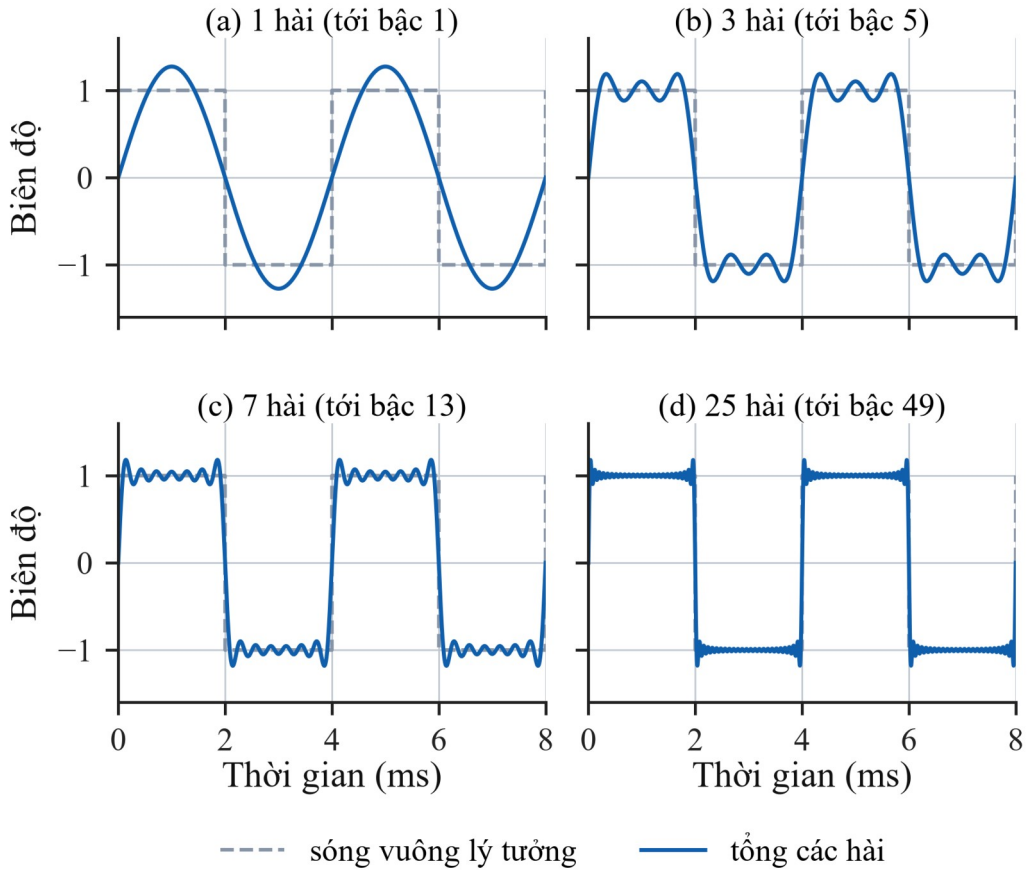
- Sóng sin chỉ có một vạch phổ.
- Sóng vuông có các vạch bậc lẻ.
- Sóng răng cưa có đủ mọi bậc.
- Độ méo hài đo được lần lượt là 0,00 %, 41,4 % và 72,7 %.



Hình 1.15 — Ba dạng sóng cùng tần số cơ bản 300 Hz và ba phổ tương ứng

Cộng đủ nhiều sóng sin thì ra mọi dạng sóng

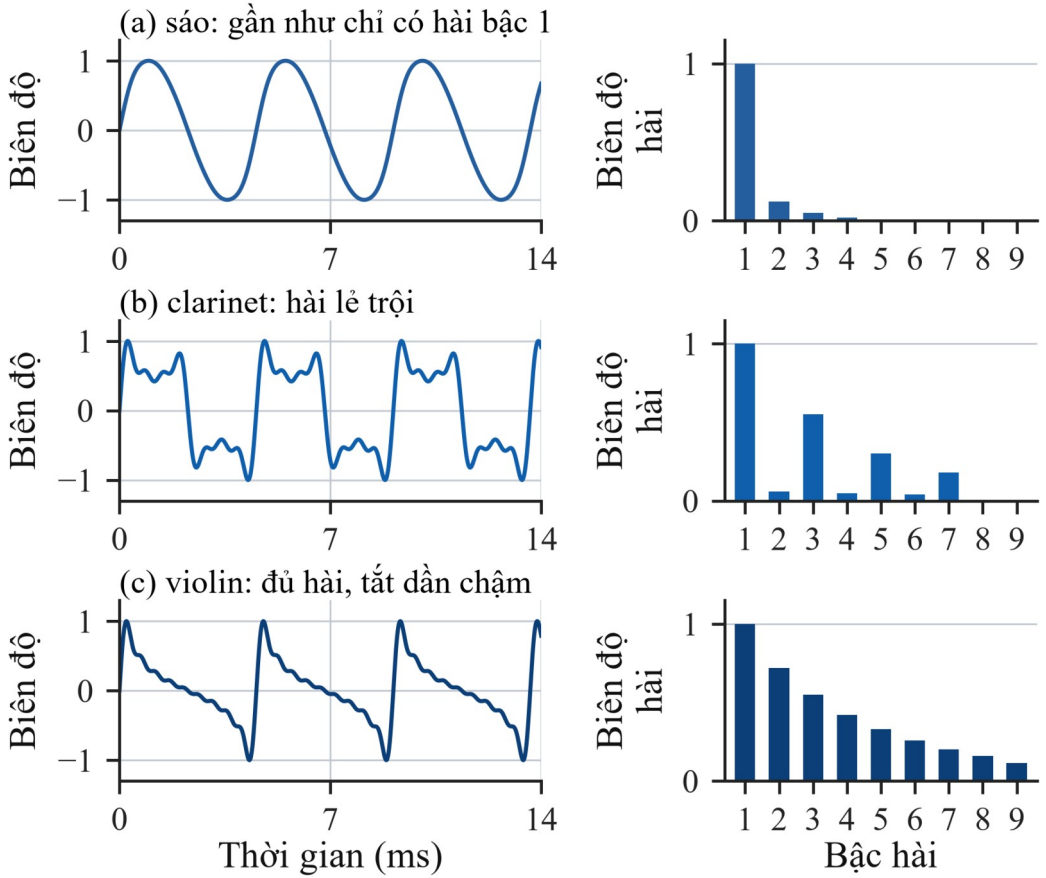
- Dạng sóng phức tạp nào cũng phân tích được thành tổng các sóng sin, và ngược lại.
- Ý tưởng này được học kỹ ở chương 4 dưới tên biến đổi Fourier.
- Gợn sóng ở hai mép vẫn còn sau khi cộng hai mươi lăm hài: hiện tượng Gibbs.
- Gibbs không mất hẳn; gặp lại ở chương 4 dưới dạng gợn sóng dải chắn của bộ lọc số.



Hình 1.16 — Cộng dần các hài lẻ: từ một sóng sin tới sóng vuông

Ba âm sắc dựng từ cùng tần số cơ bản 220 Hz

- Ba dạng sóng được dựng bằng cách cộng hài với ba bộ biên độ khác nhau.
- Cả ba là nốt La 220 Hz: cùng cao độ, cùng độ to.
- Chỉ khác tỉ lệ biên độ các hài, tai đã nhận ra ba nhạc cụ khác nhau.



Hình 1.17 — Ba âm sắc khác nhau dựng từ cùng một tần số cơ bản, chỉ khác tỉ lệ các hài

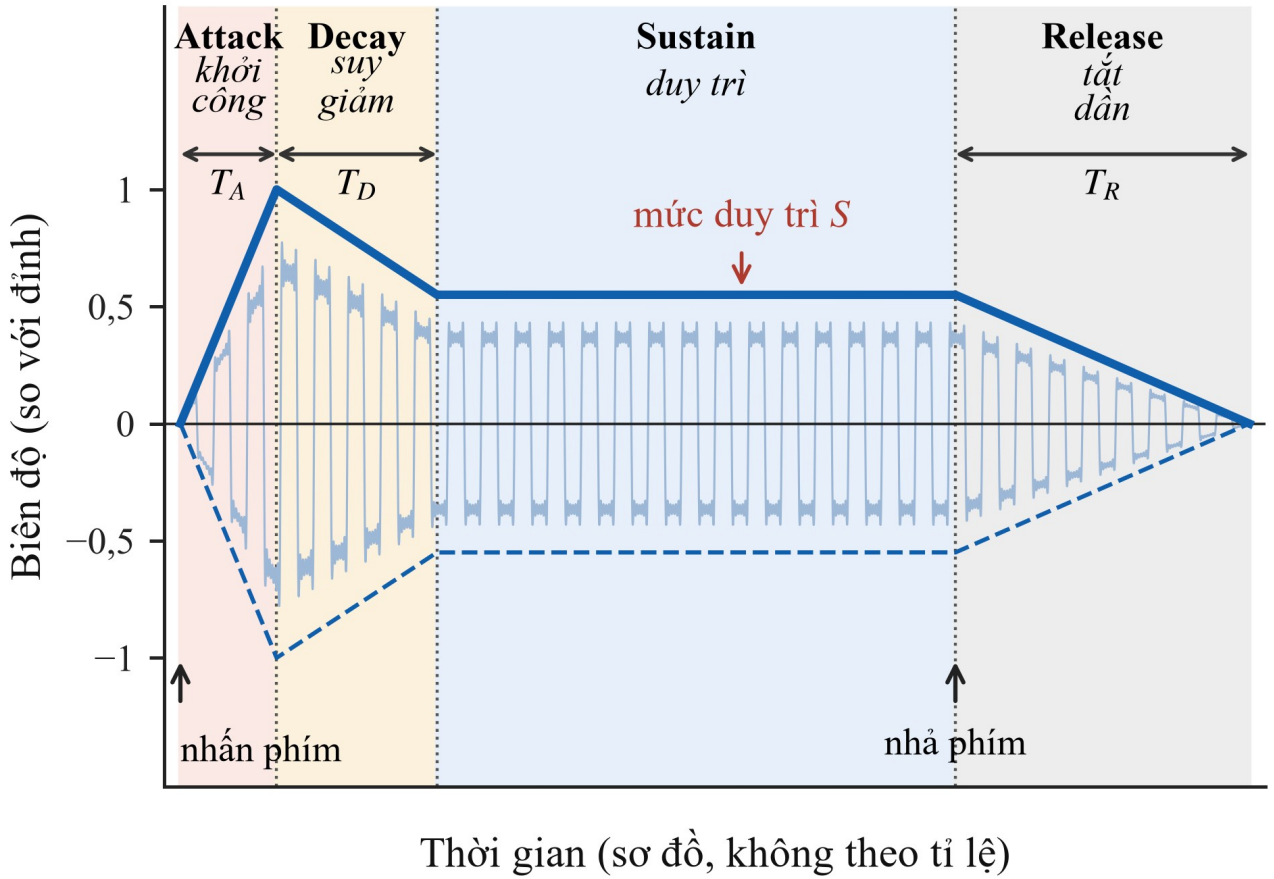
Đặc điểm phổ hài của vài nhóm nhạc cụ

Nhóm	Đặc điểm phổ hài	Nghe ra sao
Sáo, ống thổi hở	Hài bậc 1 áp đảo	Trong, mềm, gần sóng sin
Clarinet, ống bịt một đầu	Hài lẻ trội, hài chẵn yếu	Rỗng, hơi "mũi"
Violin, đàn dây kéo	Đủ hài chẵn và lẻ	Sáng, dày, nhiều chi tiết
Trống, chuông	Không phải bội số nguyên của f_0	Không có cao độ rõ ràng

Thành phần không là bội số nguyên của f_0 thì tai không quy được về một cao độ: gõ trống không "ra nốt".

Đường bao biên độ: bốn giai đoạn, bốn tham số

- Đường bao là cách biên độ của nốt biến đổi từ lúc bắt đầu tới lúc tắt.
- ADSR gồm bốn giai đoạn nối tiếp: attack, decay, sustain, release.
- TA, TD, TR là thời gian; S là một mức biên độ, từ 0 đến 1.
- Giai đoạn duy trì kéo dài đúng bằng thời gian giữ phím.

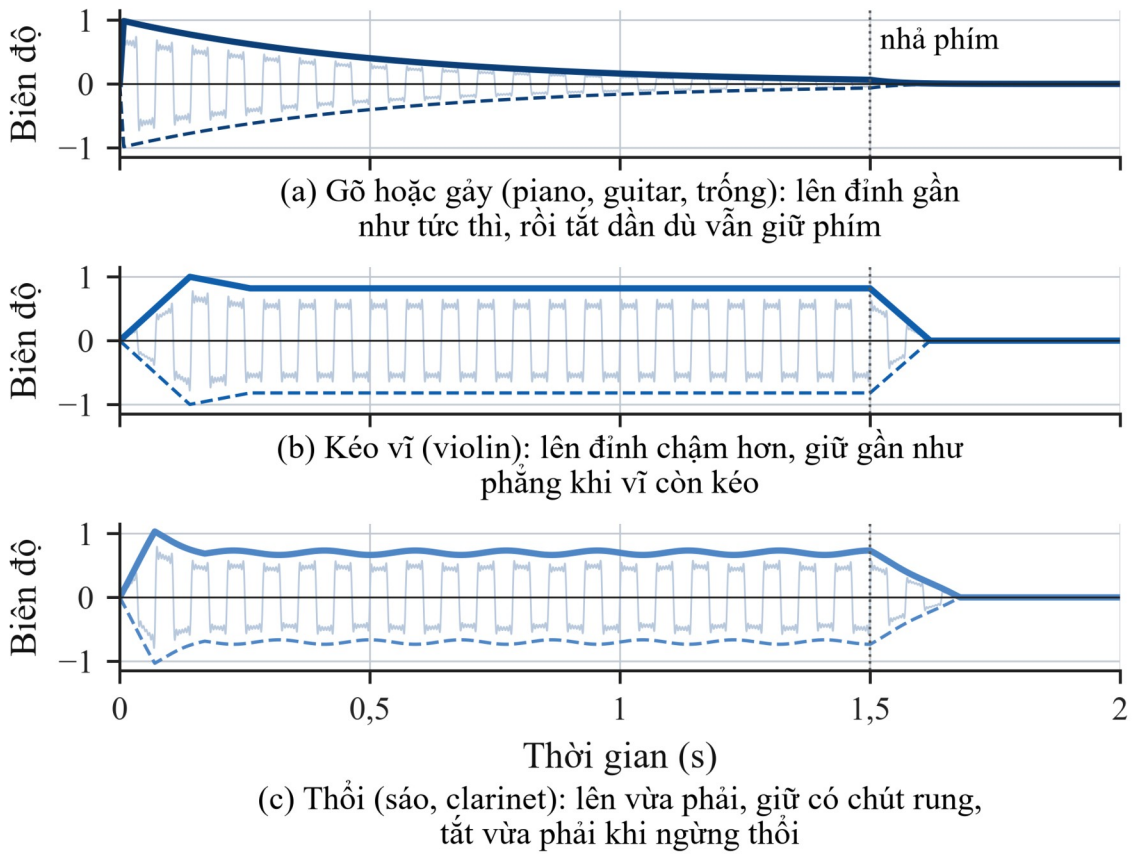


Hình 1.18 — Đường bao biên độ ADSR của một nốt: bốn giai đoạn và bốn tham số

Bốn giai đoạn của đường bao ADSR

Giai đoạn	Tham số	Diễn ra khi nào	Nghe được gì
Attack (khởi công)	TA	Biên độ tăng từ 0 lên đỉnh	Càng ngắn càng bật, sắc
Decay (suy giảm)	TD	Hạ từ đỉnh xuống mức duy trì	Phần nảy sau khởi đầu
Sustain (duy trì)	S (mức)	Giữ nguyên khi còn giữ phím	S = 0 thì chỉ còn khởi đầu
Release (tắt dần)	TR	Từ lúc nhả phím về 0	Càng dài càng nghe có vang

Cùng một dạng sóng, ba đường bao: gõ hoặc gảy, kéo vĩ, thổi



Hình 1.19 — Cùng một dạng sóng, ba đường bao khác nhau: gõ hoặc gảy, kéo vĩ, thổi (tần số sóng được hạ thấp để nhìn rõ)

Đường bao điển hình của vài nhóm nhạc cụ

Nhóm	Attack	Decay và Sustain	Release
Piano, guitar gảy, trống	Rất ngắn, vài ms	Tắt dần liên tục	Ngắn nếu có giảm âm
Dây kéo vĩ	Vừa, vài chục đến vài trăm ms	Gần như phẳng	Ngắn, khi nhấc vĩ
Kèn sáo	Vừa, kèm tiếng hơi	Phẳng, có rung biên độ	Ngắn tới vừa
Organ ống	Mềm, hơi chậm	Phẳng, mức duy trì cao	Ngắn

Mức độ gần đúng, mang tính minh hoạ.

Ba lý do đường bao quan trọng với tai

- Phần khởi công mang nhiều thông tin nhận dạng nguồn âm; cắt đoạn đầu thì khó nhận ra nhạc cụ.
- Phổ thay đổi theo thời gian; tỉ lệ các hài còn đổi ở giai đoạn khởi công và tắt dần.
- Đường bao quyết định cảm giác về nhịp và khoảng cách: attack ngắn nghe gần, attack dài nghe lùi xa.
- Đường bao là một nửa của âm sắc, không phải chi tiết phụ.

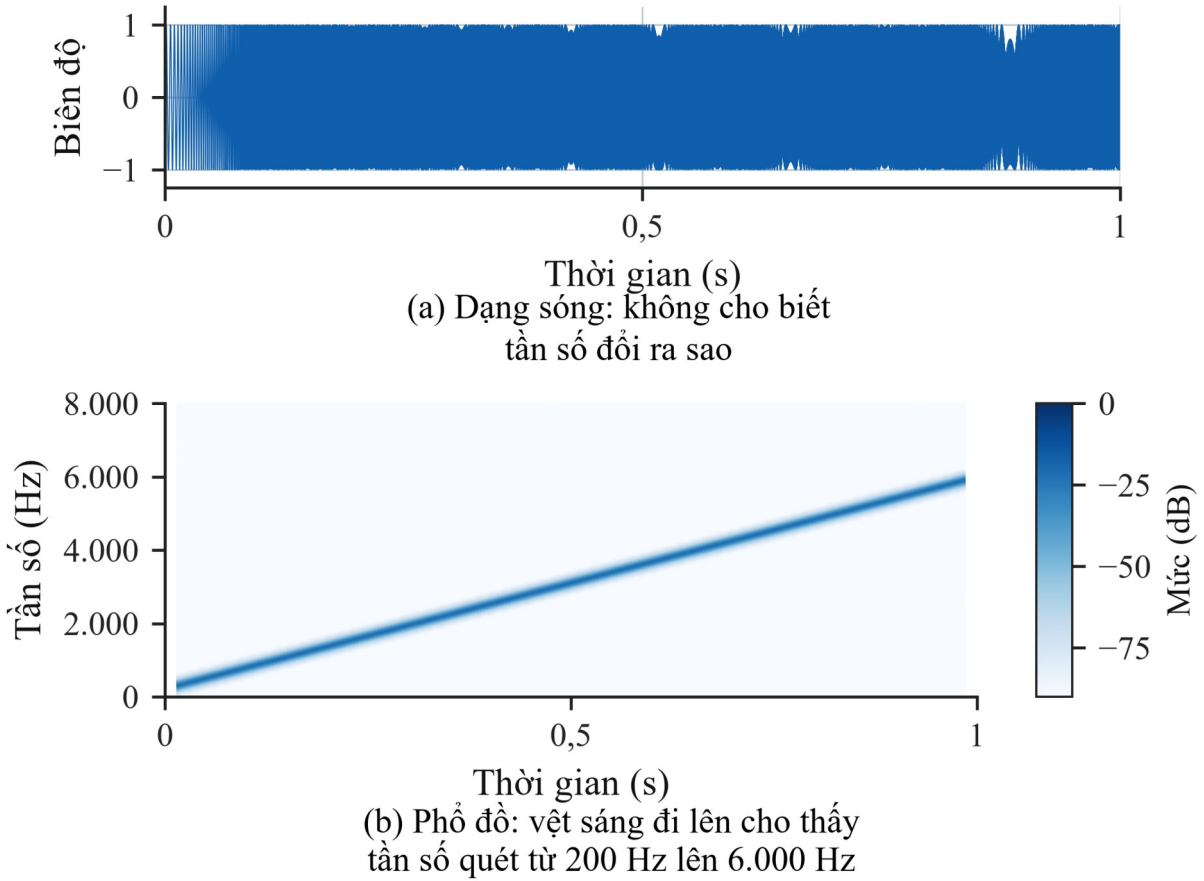
Một ý tưởng, bốn nơi gặp lại

- Chương 6: fade vào, fade ra, chữa tiếng “tách” khi attack hoặc release bằng 0.
- Chương 8: attack và release của bộ nén, bộ cổng là thời gian phản ứng của bộ xử lý.
- Chương 11 và 12: Web Audio lập lịch đường bao cho tham số bằng lệnh hẹn giờ trên AudioParam.
- Nhận ra cùng một ý tưởng mang bốn tên gọi khác nhau.

ADSR chỉ là mô hình: nhạc cụ thật hiếm khi có đường bao gồm bốn đoạn thẳng.

Phổ đồ của tín hiệu quét tần số

- Phổ cho biết có những tần số nào, không cho biết chúng xuất hiện lúc nào.
- Với tiếng nói và nhạc, tần số thay đổi liên tục nên cần cách nhìn khác.
- Dạng sóng không cho biết gì về tần số quét; phổ đồ cho thấy đầy đủ.
- Chương 4 học cách tính phổ đồ; từ giờ chỉ cần biết đọc.



Hình 1.20 — Phổ đồ của một tín hiệu quét tần số: dạng sóng không cho biết gì, phổ đồ thì nói hết

Trục ngang là thời gian, trục dọc là tần số, độ sáng là độ mạnh

Vạch ngang sáng là một tần số ổn định kéo dài. Vệt chéo đi lên là tần số đang tăng dần. Đây là công cụ nhìn quan trọng nhất của cả học phần.

Mỗi cách nhìn trả lời một câu hỏi khác nhau

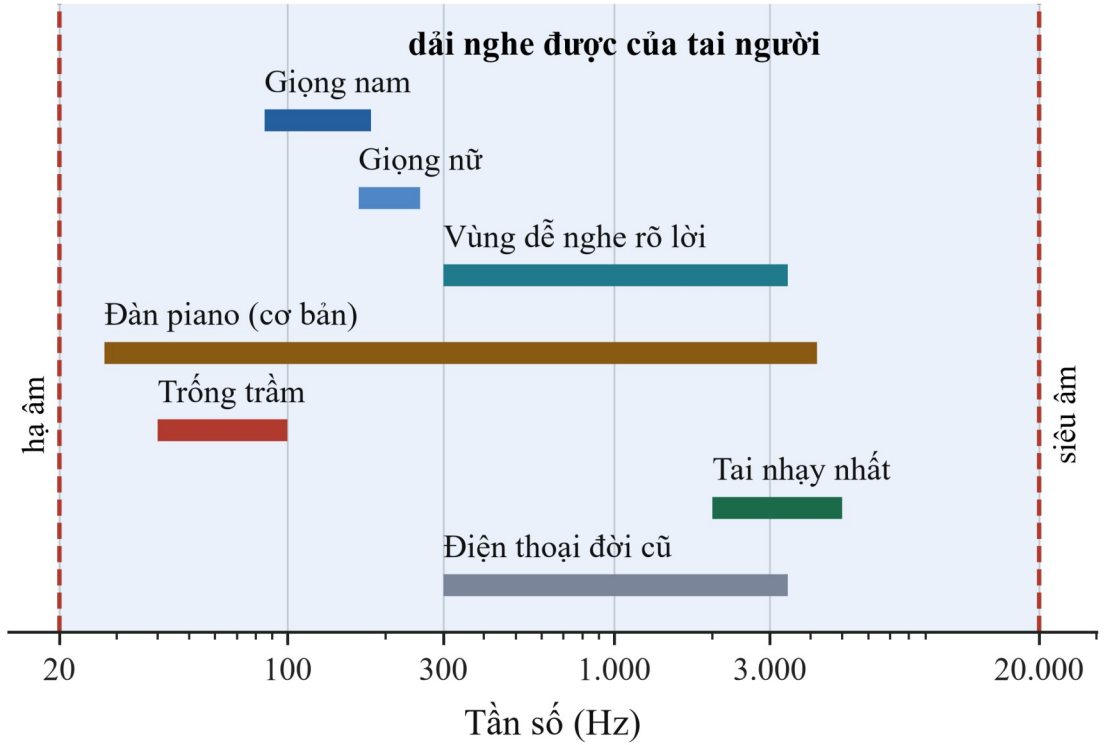
Cách nhìn	Trả lời câu hỏi	Dùng ở
Dạng sóng	Biên độ đổi thế nào theo thời gian	Chương 2 và 3
Phổ	Đoạn này gồm những tần số nào	Chương 4 và 5
Phổ đồ	Tần số nào xuất hiện lúc nào	Từ chương 9

Chọn nhầm cách nhìn thì thứ cần tìm sẽ vô hình: tiếng rít 8 kHz hiện rõ trên phổ đồ nhưng khó thấy trên dạng sóng.

MỤC 1.5

Tai người nghe như thế nào

- Mục này nói về cái nhận âm thanh.
- Mọi quyết định kỹ thuật về sau đều nhắm tới một cái tai, không phải một máy đo.
- Tai có hai điểm mù: ngưỡng nghe cong theo tần số và hiện tượng che lấp.

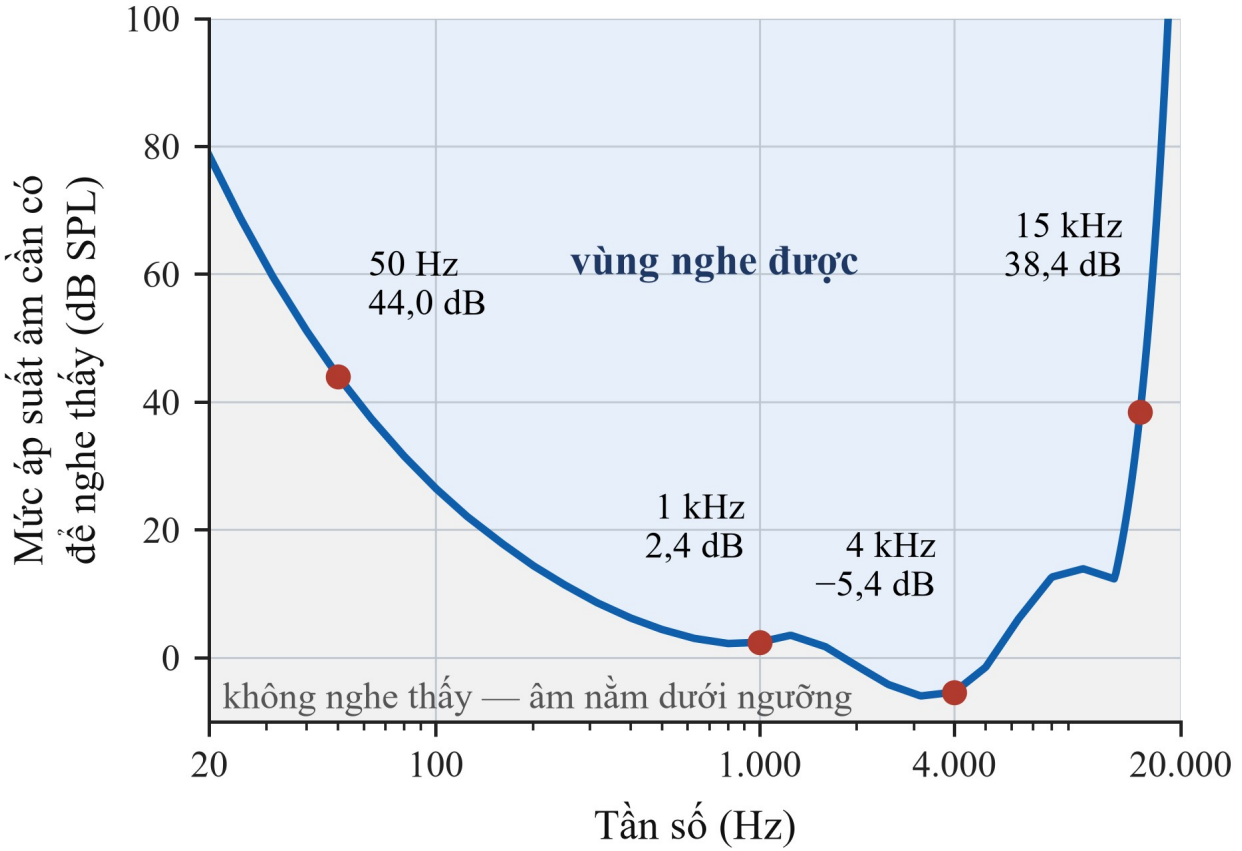


Dải nghe được: 20 Hz tới 20.000 Hz

- Hai con số này là của người trẻ tai tốt; giới hạn trên tụt dần theo tuổi.
- Tới tuổi bốn mươi thường chỉ còn khoảng 14 đến 16 kHz.
- Dưới 20 Hz là hạ âm, trên 20 kHz là siêu âm; tai không nhận được.
- Điện thoại đời cũ chỉ truyền 300 đến 3.400 Hz, chưa tới một phần năm dải nghe, mà vẫn nghe rõ lời.
- Không phải phần nào của tín hiệu cũng quan trọng như nhau.

Mức cần có để nghe thấy, theo từng tần số

- Dữ liệu theo ISO 226:2003.
- Ở 4.000 Hz chỉ cần khoảng −5 dB; ở 1.000 Hz cần khoảng 2 dB.
- Ở 50 Hz phải tới 44 dB, mạnh hơn khoảng 300 lần về biên độ so với ở 4 kHz.



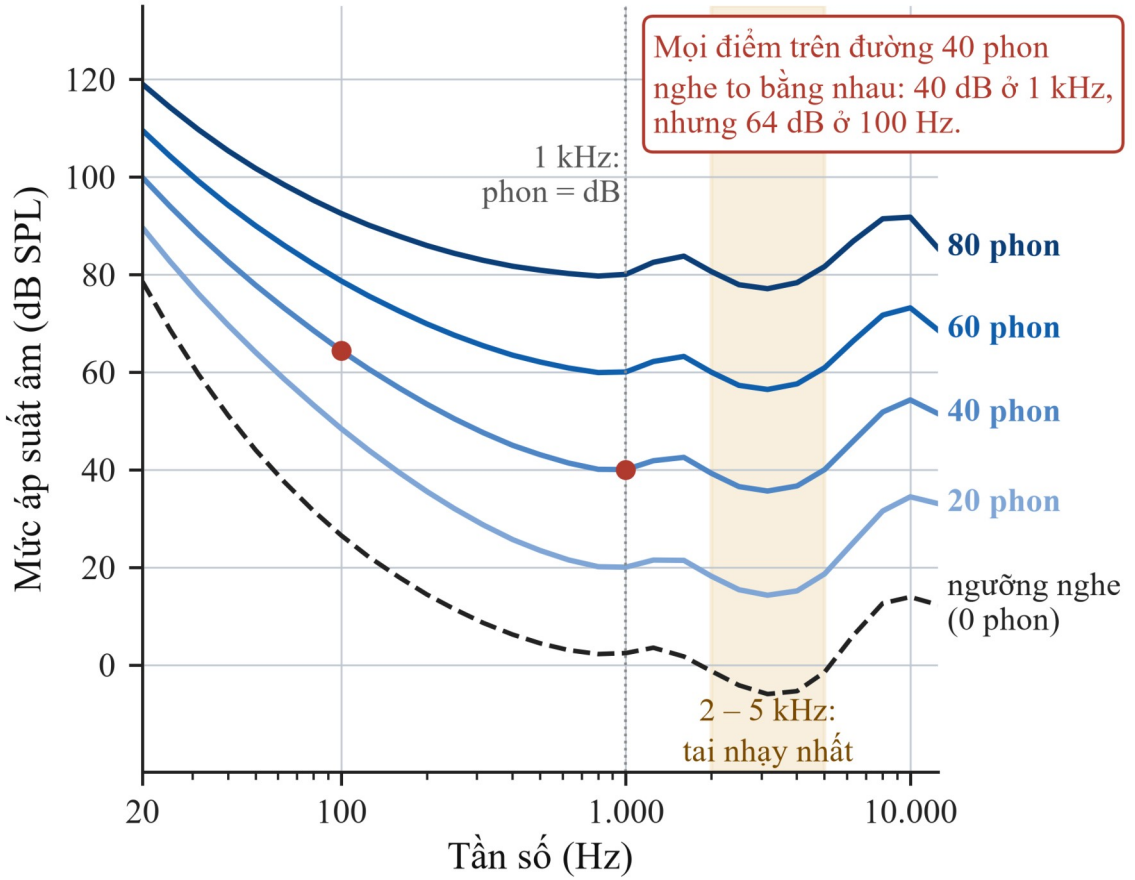
Hình 1.22 — Ngưỡng nghe tuyệt đối — mức cần có để nghe thấy, theo từng tần số

Vùng 2 đến 5 kHz là vùng tai nhạy nhất; đây là điểm mù thứ nhất

Vùng này chứa phần lớn thông tin phân biệt phụ âm; chỉnh âm sắc ở đây có hậu quả rõ hơn hẳn. Âm trầm phải phát mạnh hơn nhiều mới nghe thấy, nên loa trầm cần công suất lớn. Âm nằm dưới đường ngưỡng thì bộ mã hoá có tổn hao không cần truyền đi.

Mỗi đường nối các âm nghe to bằng nhau, đánh số bằng phon

- Âm N phon nghe to bằng âm 1 kHz ở N dB SPL (Sound Pressure Level – mức áp suất âm); ở 1 kHz phon và dB trùng nhau.
- Đường 40 phon qua 40 dB ở 1 kHz, nhưng ở 100 Hz phải tới 64 dB và ở 50 Hz tới 78 dB.
- Các đường thấp nhất ở vùng 2 đến 5 kHz.
- Các đường phẳng dần khi mức nghe tăng.



Hình 1.23 — Đường đẳng âm theo ISO 226:2003: mỗi đường nối các âm nghe to bằng nhau, đánh số bằng phon

Mức dB SPL cần có để nghe to bằng nhau (ISO 226:2003)

Tần số	20 phon	40 phon	60 phon	80 phon
50 Hz	64	78	90	102
100 Hz	48	64	79	92
1.000 Hz	20	40	60	80
4.000 Hz	15	37	58	78
8.000 Hz	32	52	72	91
50 Hz so với 1 kHz	44 dB	38 dB	30 dB	22 dB

Giảm âm lượng thì mọi tần số giảm như nhau, nhưng độ to cảm nhận thì không

Các đường đẳng âm mức thấp dốc hơn ở phía trầm. Nút loudness trên ampli nâng trầm và cao khi hạ âm lượng để bù lại. Người làm hậu kỳ phải nghe kiểm tra ở nhiều mức. Trọng số A (dBA) xấp xỉ đường cỡ 40 phon.

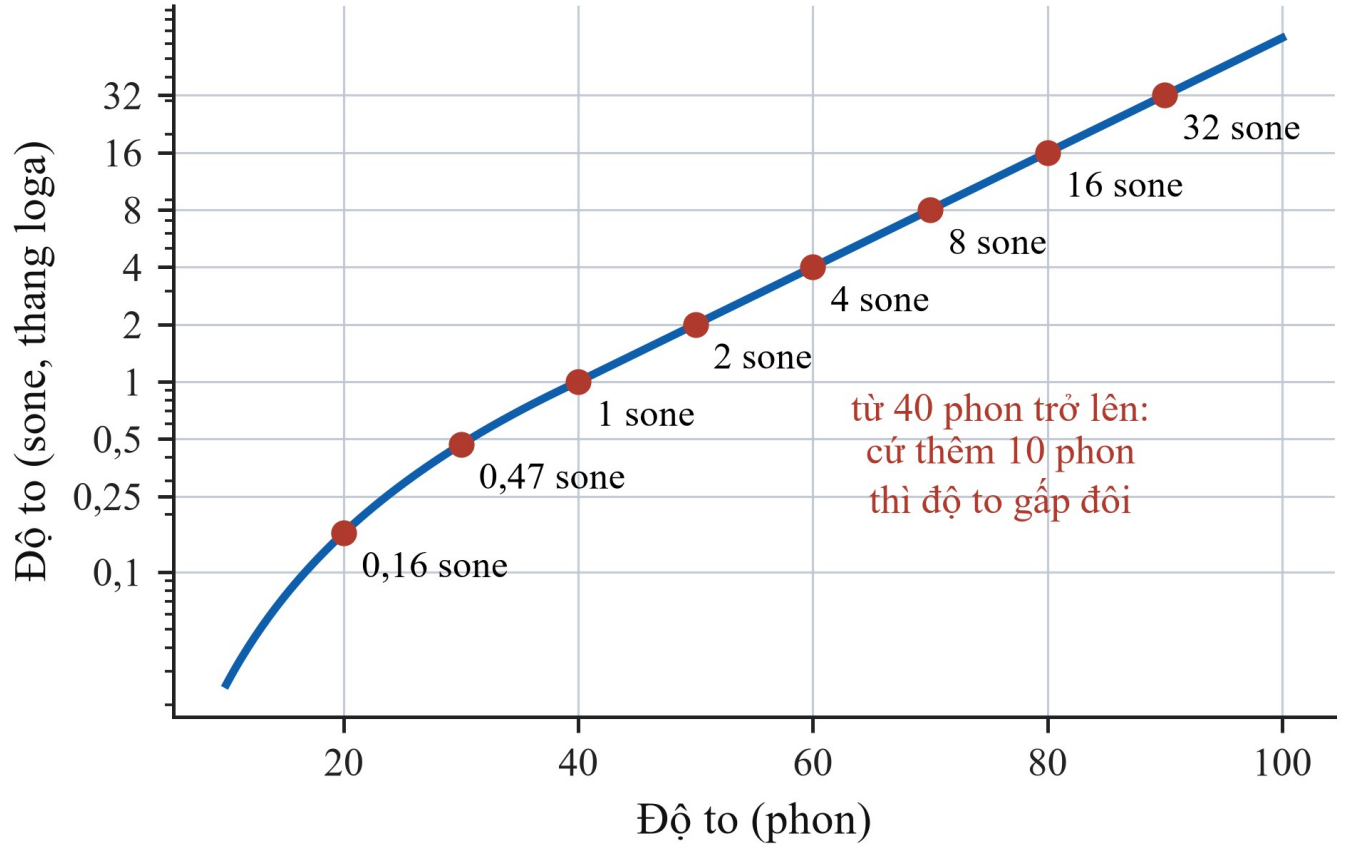
Từ 40 phon trở lên, thêm 10 phon thì độ to gấp đôi

$$N = 2^{(P-40)/10} \quad [\text{sone}]$$

(1.8)

- Phon là thang so sánh; sone là thang tỉ lệ, 1 sone là độ to của âm 1 kHz ở 40 phon.
- P là độ to tính bằng phon (P ≥ 40); N là độ to tính bằng sone.
- Dưới 40 phon, độ to tăng chậm hơn, xấp xỉ N ≈ (P/40)^2,642.

Quan hệ phon và sone: thêm 10 phon từ 40 phon trở lên thì độ to gấp đôi



Hình 1.24 — Quan hệ giữa phon và sone: từ 40 phon trở lên, thêm 10 phon thì độ to gấp đôi (thang sone là thang loga)

Vài mốc phon và sone (minh hoạ)

Độ to	Số sone	Ví dụ gần đúng
20 phon	0,16 sone	Gần ngưỡng nghe ở tần số giữa
40 phon	1 sone	Phòng yên tĩnh, thư viện
60 phon	4 sone	Trò chuyện bình thường
80 phon	16 sone	Phố ồn, nhạc nghe to
90 phon	32 sone	Rất to; nghe lâu có hại

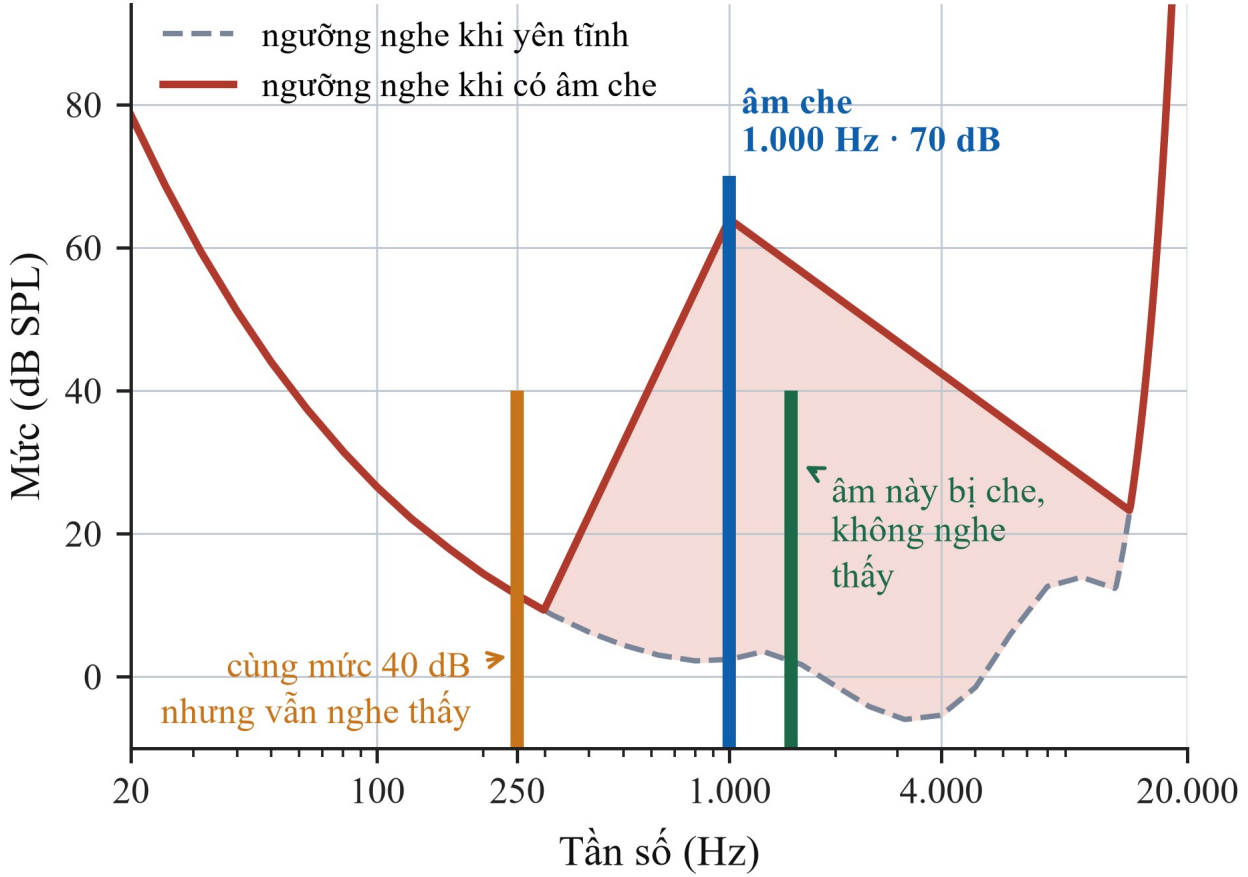
Rút gọn từ Bảng 1.9 (5 trong 8 dòng).

Biên độ gấp đôi là +6 dB; công suất gấp đôi là +3 dB; độ to gấp đôi là khoảng +10 dB

Phải tăng biên độ chừng 3 lần thì tai mới thấy to gấp đôi. Vì vậy bộ khuếch đại công suất gấp đôi chỉ làm người nghe thấy to hơn một chút.

Một âm mạnh nâng ngưỡng nghe của vùng lân cận

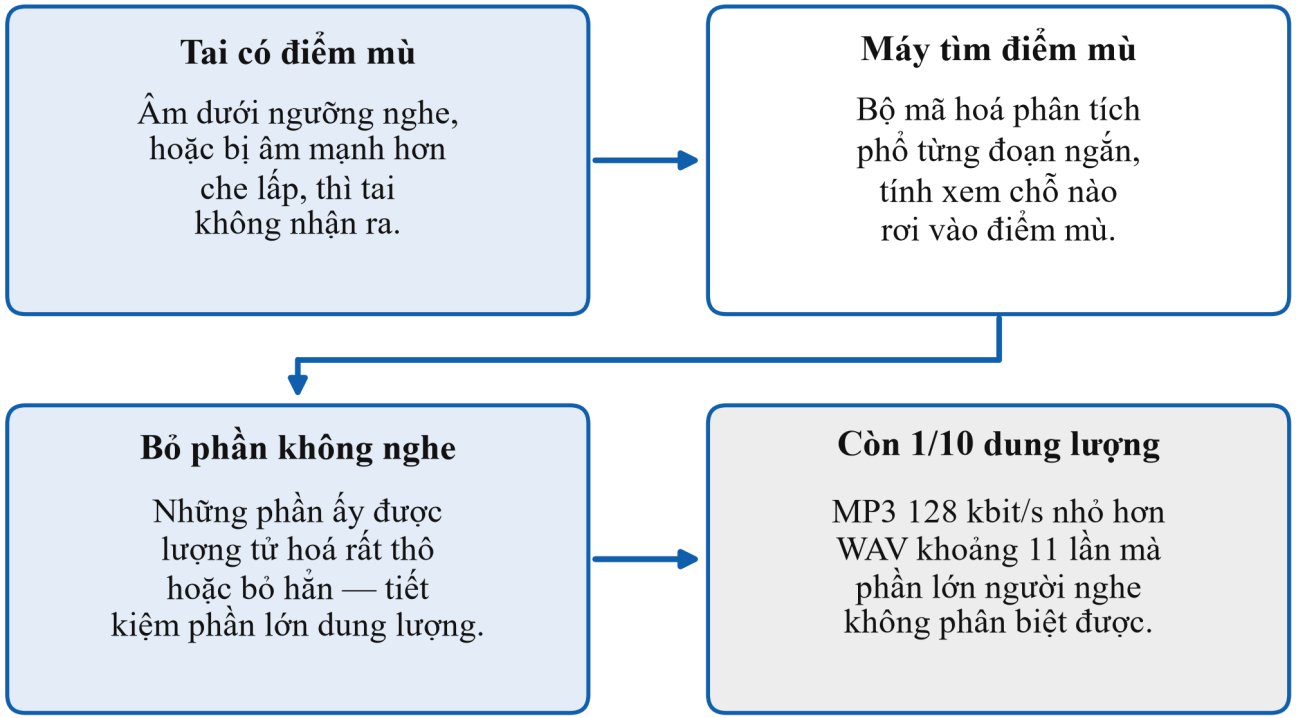
- Âm yếu ở gần âm mạnh, vốn nghe được khi yên tĩnh, nay không nghe thấy.
- Búp che lấp không đối xứng: dốc về phía tần số thấp, thoải về phía tần số cao.
- Âm mạnh che âm cao hơn nó dễ hơn nhiều so với âm trầm hơn.
- Còn có che lấp theo thời gian: sau âm mạnh vài chục ms, trước âm mạnh vài ms.



Hình 1.25 — Che lấp theo tần số: một âm mạnh nâng ngưỡng nghe của vùng lân cận

Từ một hiện tượng sinh lý tới định dạng nén có tổn hao

- Nén có tổn hao (MP3, AAC, Opus) là bỏ đi những phần tai không nghe được.
- Một phút âm thanh chất lượng CD chiếm 10,6 MB; MP3 128 kbit/s chỉ 0,96 MB.
- Nhỏ hơn khoảng 11 lần mà phần lớn người nghe không phân biệt được.
- Khoản tiết kiệm đến từ hai điểm mù của tai.



Hình 1.26 — Từ một hiện tượng sinh lý tới định dạng nén có tổn hao

Không nén có tổn hao nhiều lần chồng lên nhau

“Tai không nghe được” là kết luận có điều kiện. Mỗi lần nén, bộ mã hoá bỏ phần nó cho là bị che dựa trên tín hiệu đang có; lần nén sau tính nhầm và bỏ cả phần còn nghe được. Quy tắc nghề: giữ bản gốc không nén để làm việc, chỉ nén ở bước xuất bản.

MỤC 1.6

Hướng dẫn thực hành

- Cài môi trường một lần, dùng cho cả học phần.
- Chạy đoạn mã đầu tiên: sinh, đo, ghi và vẽ một sóng sin.
- Con số tính bằng mã phải khớp con số suy ra từ công thức.

Python 3

Ngôn ngữ chính từ chương 5 tới chương 15. Cần bản 3.10 trở lên.

numpy · scipy soundfile

Ba thư viện nền: numpy giữ mẫu, scipy lọc, soundfile đọc ghi.

matplotlib

Vẽ dạng sóng và phổ. Mọi hình trong giáo trình này đều do nó vẽ.

Audacity

Để nhìn và nghe. Dùng đối chiếu kết quả mã chúng ta viết ra.

VS Code hoặc PyCharm

Trình soạn mã. Dùng cái nào cũng được, miễn quen tay.

Lệnh cài một dòng:

```
pip install numpy scipy soundfile sounddevice matplotlib
```

Cài các thư viện cần thiết (Mã 1.1)

```
pip install numpy scipy soundfile sounddevice matplotlib
```

Cần Python 3.10 trở lên. Audacity cài như phần mềm bình thường; không tham gia vào mã nhưng dùng để nhìn và nghe kết quả.

kiem_moi_truong.py: sinh, đo, ghi (Mã 1.2)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import soundfile as sf

SR = 44100                    # tần số lấy mẫu, mẫu mỗi giây
F0 = 440.0                    # nốt La4
DUR = 2.0                     # thời lượng, giây

# sinh tín hiệu: đúng công thức (1.1)
t = np.arange(int(DUR * SR)) / SR
x = 0.5 * np.sin(2 * np.pi * F0 * t)       # biên độ 0,5

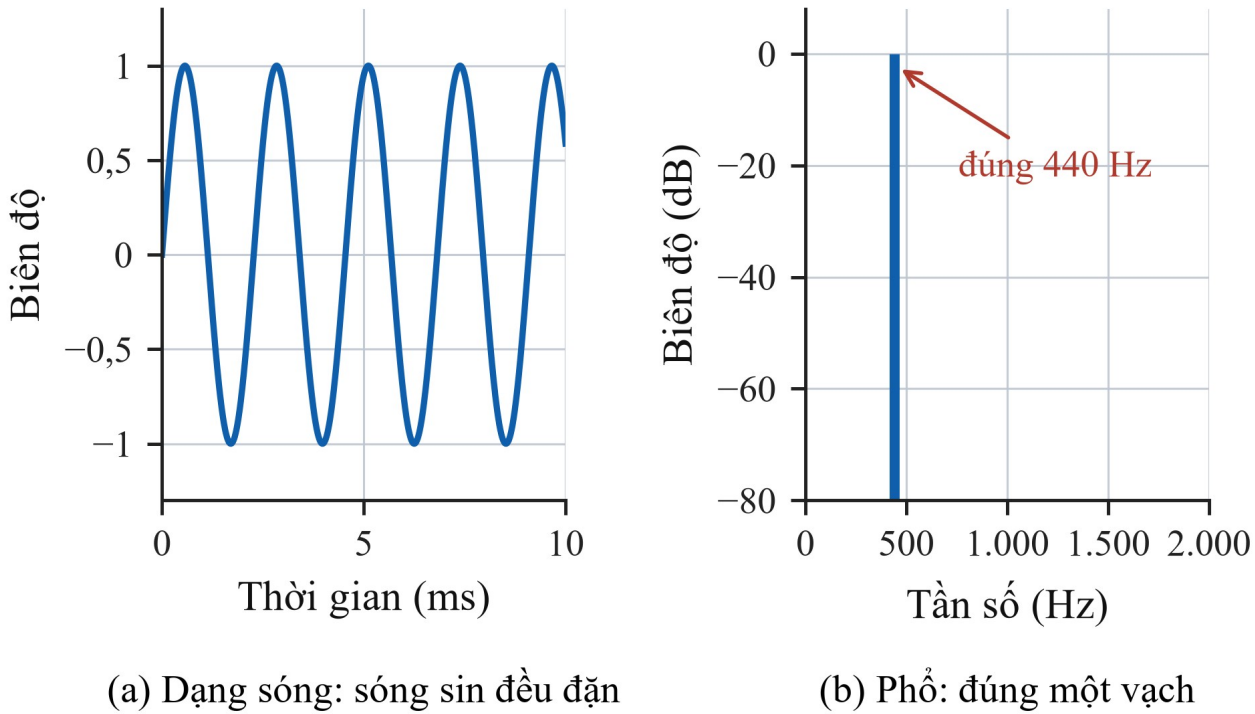
# đo
dinh = np.max(np.abs(x))
hieu_dung = np.sqrt(np.mean(x ** 2))
print("đỉnh      =", round(dinh, 4))
print("hiệu dụng =", round(hieu_dung, 4))
print("hệ số đỉnh=", round(20 * np.log10(dinh / hieu_dung), 2), "dB")

# ghi ra tệp để nghe bằng Audacity
sf.write("sin440.wav", x, SR)
```

(rút gọn) Bỏ phần vẽ dạng sóng và phổ bằng matplotlib; mã đầy đủ ở giáo trình.

Dạng sóng và phổ sau khi chạy đoạn mã

- Kết quả in ra: đỉnh = 0,5000; hiệu dụng = 0,3536; hệ số đỉnh = 3,01 dB.
- Đỉnh phổ nằm ở 440,0 Hz.
- Hệ số đỉnh 3,01 dB khớp giá trị lý thuyết của sóng sin ở mục 1.3.2.
- Nghe tệp sin440.wav thấy một tiếng đều, không đổi cao độ.



(a) Dạng sóng: sóng sin đều đặn

(b) Phổ: đúng một vạch

Hình 1.28 — Dạng sóng và phổ phải thấy sau khi chạy đoạn mã kiểm môi trường

Ba lỗi hay gặp khi chạy lần đầu

Triệu chứng	Nguyên nhân	Cách sửa
ModuleNotFoundError	Cài vào bản Python khác bản đang chạy	Dùng python -m pip install
Cửa sổ đồ hoạ không hiện	Không có giao diện, hoặc thiếu plt.show()	Dùng plt.savefig để ghi ra ảnh
Phổ có nhiều vạch	Quên nhân cửa sổ Hanning, hoặc biên độ vượt 1,0	Kiểm lại dòng nhân cửa sổ; in giá trị đỉnh
Tệp WAV bị rè	Biên độ vượt 1,0 nên bị cắt ngọn khi ghi	Giảm hệ số 0,5 hoặc chuẩn hoá trước khi ghi

Rút gọn từ Bảng 1.10 (4 trong 5 dòng).

MỤC 1.7

Bài tập tính toán

- Sáu bài, đều giải được bằng các công thức của chương.
- Yêu cầu trình bày phép tính, không chỉ ghi kết quả.
- Đáp số do mô-đun sigtools.py sinh ra.

Nội dung sáu bài tính toán

- Bài 1: bước sóng 100, 1.000, 8.000 Hz ở 20 °C và cột bê tông đường kính 40 cm.
- Bài 2: quy tắc 6 dB; micro từ 2 m về 0,5 m, nhiễu nền 45 dB SPL.
- Bài 3: hai thang decibel; biên độ đỉnh 0,25, nhân với 4.
- Bài 4: đỉnh, hiệu dụng, hệ số đỉnh của sin, vuông và nhiễu trắng.
- Bài 5: tốc độ âm và độ trễ loa phụ cách 34 m ở 34 °C và 24 °C.
- Bài 6: phổ hài của âm có tần số cơ bản 150 Hz.

Được chấm là đường đi tới kết quả, không chỉ kết quả cuối

Bài làm đạt yêu cầu có đủ ba thứ: công thức dùng, các con số thay vào công thức, và kết quả kèm đơn vị. Nên tính tay trước rồi mới đối chiếu với sigtools.py, không làm ngược lại.

Ba lỗi hay gặp khi làm bài tập

- Lẫn đơn vị: viết đơn vị cạnh mỗi số khi thay vào công thức rồi rút gọn để kiểm tra.
- Dùng nhầm hệ số decibel: 20 cho biên độ và điện áp, 10 cho công suất và năng lượng.
- Cộng decibel như số thường: hai nguồn 60 dB cùng phát cho khoảng 63 dB, không phải 120 dB.

MỤC 1.8

Câu hỏi ôn tập và bài thảo luận

- Hai mươi lăm câu hỏi ôn tập bám theo các mục của chương.
- Hai tình huống thảo luận không có đáp án đúng duy nhất.
- Cái được đánh giá là chất lượng lập luận.

Hai tình huống thảo luận

- Tình huống 1: thu ghi-ta bằng hai micro; từng kênh dày nhưng trộn mono thì mỏng, mất trầm.
- Tình huống 2: lưu toàn bộ ở 96 kHz, 24 bit cho trò chơi điện thoại có hợp lý không.
- Yêu cầu: lập luận bằng khái niệm đã học, nêu phép thử và cái giá của mỗi cách xử lý.

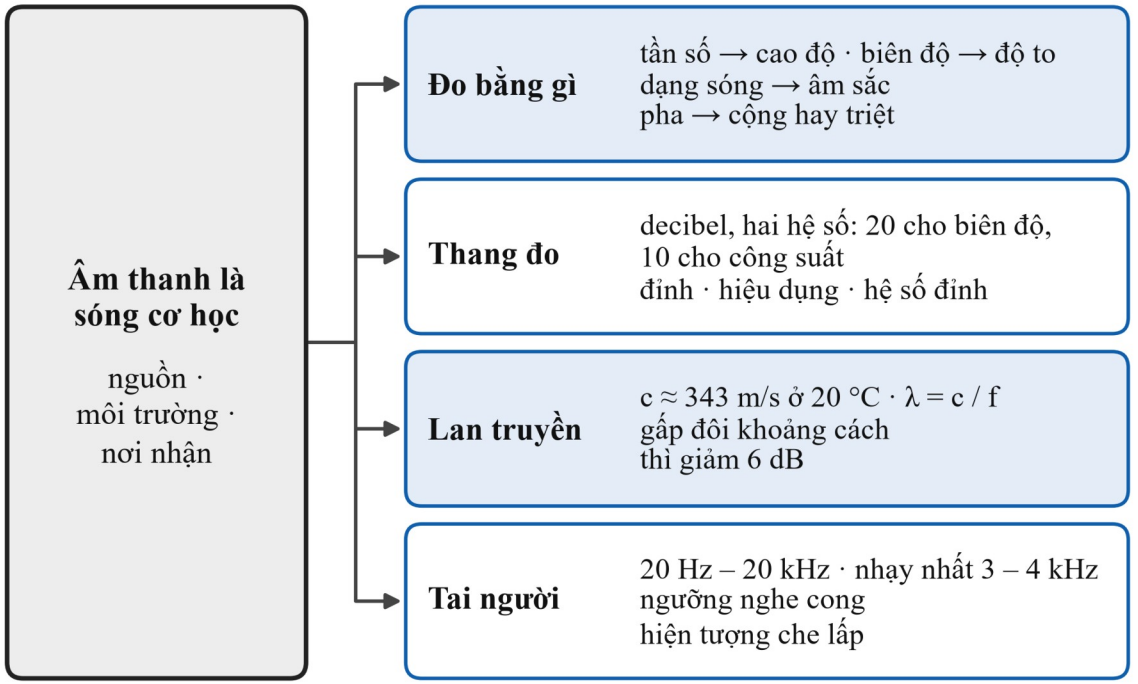
Bốn bước lập luận trong nghề âm thanh

- Mô tả hiện tượng bằng đại lượng, không bằng cảm giác.
- Nêu cơ chế vật lý có thể gây ra hiện tượng.
- Đưa ra một phép thử phân biệt được.
- Đề xuất cách xử lý, kèm cái giá phải trả.
- Bốn bước dùng lại ở mọi chương thực hành sau và ở bài tập lớn.

MỤC 1.9

Tóm tắt và chuẩn bị cho chương sau

- Bản đồ khái niệm của chương 1.
- Bảng thuật ngữ Anh – Việt.
- Việc cần làm trước chương 2: cài xong môi trường.



Bốn nhánh này quay lại ở mọi chương sau. Nhánh thang đo dùng nhiều nhất — gần như chương nào cũng gặp.

Việc cần làm trước chương 2

- Chương 2 nói về âm thanh analog và chuỗi thiết bị, bắt đầu bằng đọc ghi tệp WAV.
- Bắt buộc: chạy được đoạn mã ở mục 1.6.2.
- Bài tập: chọn ba âm quanh mình (trầm, trung, cao) và mô tả theo bốn đại lượng đã học.
- Nên làm thêm: thu một câu nói bằng Audacity, xem dạng sóng và phổ đồ, tìm nguyên âm và phụ âm.

Những điều cần nhớ

1. Âm thanh là sóng cơ học, cần nguồn, môi trường và nơi nhận; cái lan đi là trạng thái nén.
2. Bốn đại lượng gốc: tần số quyết định cao độ, biên độ quyết định độ to, dạng sóng quyết định âm sắc, pha quyết định cộng hay triệt.
3. Decibel có hai hệ số: 20 cho biên độ, 10 cho công suất; gấp đôi biên độ là +6 dB.
4. Âm sắc là tỉ lệ các hài; đường bao ADSR là nửa còn lại của âm sắc.
5. Tai có hai điểm mù: ngưỡng nghe cong theo tần số và hiện tượng che lấp.
6. Nén có tổn hao khai thác hai điểm mù ấy; giữ bản gốc, chỉ nén ở bước cuối.