TRƯỜNG ĐẠI HỌC SÂN KHẤU – ĐIỆN ẢNH HÀ NỘI
HỆ THỐNG BÀI GIẢNG SỐ

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

CHƯƠNG 1

Bản chất vật lý của âm thanh và cơ chế cảm nhận thính giác

Biên soạn: Lê Khắc Tuấn

Hà Nội – 2026

Sau chương này người học phải làm được

- Trình bày bản chất sóng cơ học, sóng dọc của âm thanh và ba điều kiện để âm thanh tồn tại.
- Giải thích bốn đại lượng của sóng âm: biên độ (Peak, RMS, Crest Factor), tần số, âm sắc và góc pha.
- Tính bước sóng, vận tốc âm theo nhiệt độ, tần số sóng đứng và độ trễ loa theo hiệu ứng Haas.
- Phân biệt các thang decibel (dB SPL, dBu, dBFS, dBTP, dBA, dBC) và dùng đúng hệ số 10 hay 20.
- Áp dụng định luật −6 dB khi nhân đôi cự ly và quy tắc 3:1 khi đặt micro thu thoại.
- Đo và hiệu chỉnh độ to theo ITU-R BS.1770 (LUFS/LKFS), kiểm soát True Peak khi phát hành.
- Giải thích cơ chế phát âm formant, cấu tạo tai, đường cong đẳng âm ISO 226 và hiện tượng che lấp.
- Tuân thủ quy tắc bảo vệ thính giác NIOSH và mức kiểm âm chuẩn 85 dBC SPL.

MỤC 1.1

Bản chất vật lý của âm thanh và cơ chế lan truyền sóng

- Âm thanh vừa là hiện tượng vật lý, vừa là cảm giác do não bộ tái tạo.
- Trong không khí, âm thanh là sóng dọc: vùng nén và vùng giãn nối tiếp nhau.
- Vận tốc, trở kháng và bước sóng nối con số với kích thước thật của phòng và thiết bị.

Hai định nghĩa và ba yếu tố tiên quyết

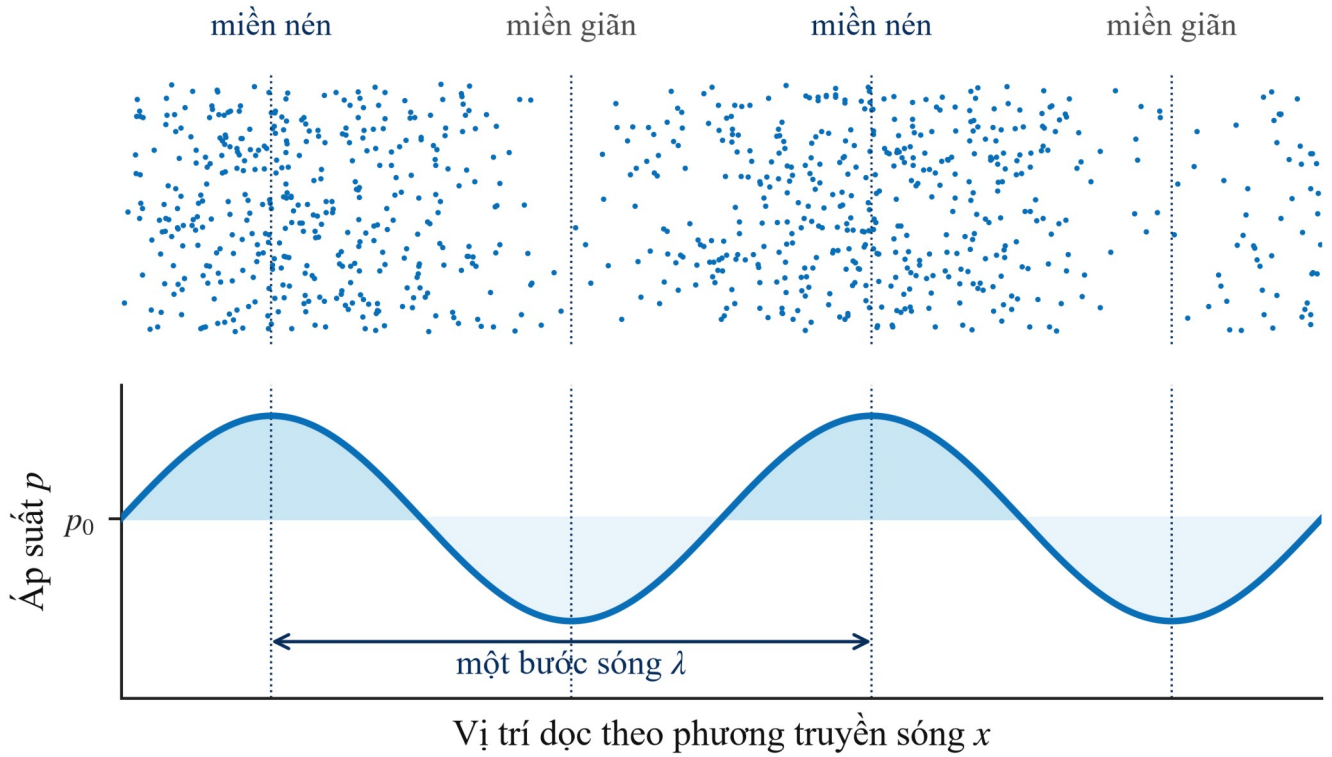
- **Vật lý:** lan truyền dao động cơ học dưới dạng sóng áp suất qua môi trường đàn hồi.
- **Sinh lý:** cảm giác thính giác do não tái tạo khi màng nhĩ rung lên.
- **Nguồn âm:** vật dao động quanh vị trí cân bằng: dây thanh quản, bước chân, màng loa.
- **Môi trường:** khí, lỏng, rắn; chân không không truyền âm nên vụ nổ ngoài vũ trụ phải im lặng.
- **Nơi nhận:** màng nhĩ, màng rung micro, hoặc hydrophone khi quay dưới nước.

Khoảng cách giữa máy đo và màng nhĩ là không gian sáng tạo

Thiết bị đo cho đại lượng khách quan (Pascal, Watt). Khán giả tiếp nhận bằng cảm nhận chủ quan: độ to, cao độ, âm sắc. Kỹ sư âm thanh điện ảnh làm việc chính trong khoảng cách ấy.

Miền nén và miền giãn

- Nguồn đẩy phần tử khí rời vị trí cân bằng; lực đàn hồi kéo lại, quán tính đẩy vượt qua.
- Miền nén: áp suất cao hơn P_o; miền giãn: thấp hơn P_o.
- Đường sin trên DAW là đồ thị áp suất theo thời gian tại một điểm, không phải hình dạng không khí.



Hình 1.1 — Bản chất sóng dọc: miền nén và miền giãn của các phần tử không khí, đối chiếu với đồ thị biến thiên áp suất âm thanh

Phần tử khí chỉ dao động tại chỗ

- Ở 94 dB SPL (1 Pa), 1 kHz: phân tử khí dịch chuyển chỉ khoảng 0,07 µm.
- Ở ngưỡng nghe 0 dB SPL (20 µPa): khoảng 10^{-11} m, nhỏ hơn đường kính nguyên tử hydro.
- Vì vậy màng rung micro phim trường phải rất mỏng và nhẹ, chỉ vài micromét.
- Trong chất rắn còn có sóng ngang và sóng bề mặt: rung sàn, rung chân máy lọt vào micro.
- **Giải pháp:** gắn micro trên bộ giảm chấn Shockmount để cô lập khỏi chân boom.

Ba công thức nền của vận tốc và trở kháng

```
Newton-Laplace (1.1):   c = √(γ·R·T / M)      (m/s)
   γ ≈ 1,40 (không khí khô); R = 8,314 J/(mol·K)
   T = θ + 273,15 (K);  M ≈ 0,02896 kg/mol

Công thức thực nghiệm (1.2), dùng tốt từ −20 °C đến +50 °C:
   c ≈ 331,3 + 0,606·θ   (m/s)      →  ở 20 °C: c ≈ 343,4 m/s (làm tròn 343)

Trở kháng âm học đặc trưng (1.3):
   Z = ρ·c               (rayl = Pa·s/m)
   Không khí 20 °C: Z ≈ 413 rayl;  nước: Z ≈ 1,48·10⁶ rayl (gấp hơn 3.500 lần)
```

Vận tốc âm phụ thuộc gì và không phụ thuộc gì

- **Không phụ thuộc áp suất:** áp suất đổi thì mật độ đổi theo, hai tác động triệt tiêu nhau.
- **Không phụ thuộc tần số:** âm trầm và âm bổng đi cùng tốc độ, dàn nhạc nghe xa không "lệch nhịp".
- **Độ ẩm tăng nhẹ vận tốc:** tới +0,1% đến +0,35% khi ẩm 100% ở nhiệt độ cao.
- **Trở kháng chênh lệch:** hơn 99,9% năng lượng phản xạ tại mặt nước; diễn viên lặn không nghe thấy đạo diễn.

Cũng vì chênh lệch trở kháng mà tai giữa cần chuỗi xương làm đòn bẩy, và tường bê tông đặc cách âm tốt hơn mút xốp.

Vận tốc truyền âm trong các môi trường

Môi trường	Nhiệt độ	c (m/s)	Ý nghĩa trong điện ảnh
Không khí khô	0 °C	331,3	Quay cảnh băng giá, mùa đông vùng cao
Không khí phòng thu	20 °C	343,4	Chuẩn căn chỉnh độ trễ DSP, rạp chiếu
Không khí phim trường hè	35 °C	352,5	Ngoại cảnh nắng nóng, độ trễ thay đổi
Khí Heli	20 °C	1.007	“Giọng vịt Donald”: formant dịch chuyển
Nước ngọt	25 °C	1.497	Nhanh gấp ~4,4 lần không khí; hydrophone
Gỗ sân khấu	20 °C	3.300 – 4.000	Nhạc cụ, sàn trường quay
Bê tông cốt thép	20 °C	3.000 – 4.000	Rung chấn kết cấu qua tường
Thép giàn giáo	20 °C	5.120	Tiếng va đập kim loại truyền cực nhanh
Chân không	–	0	Không có môi trường; hoàn toàn im lặng

Độ trễ loa fill ở ngoại cảnh 34 °C

```
Tình huống: loa fill cách sân khấu chính d = 12 m; nhiệt độ 34 °C.

c ≈ 331,3 + 0,606 × 34 = 351,9 m/s
t = d / c = 12 / 351,9 ≈ 0,0341 s = 34,1 ms     →  cài delay 34 ms trên DSP

Nếu để mặc định 20 °C (c = 343 m/s):  t = 35,0 ms  →  lệch 0,9 ms

Ở 12 m sai số này chưa làm hỏng âm sắc,
nhưng với tháp loa delay cách hàng trăm mét sẽ gây lọc lược và trôi pha.
```

Cần tính vận tốc âm theo nhiệt độ thực tế tại hiện trường, không dùng mặc định.

Bước sóng và hệ quả kỹ thuật (20 °C)

Tần số	Bước sóng λ	Hệ quả kỹ thuật
20 Hz	17,15 m	Lớn hơn hầu hết phòng dựng
50 Hz	6,86 m	Cỡ chiều dài phòng lớn; sóng đứng rất mạnh
100 Hz	3,43 m	Cỡ phòng dựng nhỏ, chiều cao trường quay; dễ ù rền
343 Hz	1,00 m	Mốc dễ nhớ: 343 Hz ứng với 1 mét
1 kHz	34,3 cm	Cỡ đầu người; mốc chuyển ITD sang ILD
4 kHz	8,58 cm	Cỡ họng kèn tweeter; bức xạ định hướng hẹp
10 kHz	3,43 cm	Cỡ lưới chắn đầu micro; dễ nhiễu xạ
20 kHz	1,71 cm	Cỡ tấm mút mỏng; chỉ tiêu âm được dải này

Vật cản chỉ hiệu quả khi lớn hơn λ/2

- Vách di động cao 1,2 m chỉ chặn được dải trung và cao.
- Tiếng máy phát, điều hòa 50–60 Hz (λ 6–7 m) nhiễu xạ vòng qua vách gần như nguyên vẹn.
- Foam dày 5 cm chỉ bắt đầu hấp thụ từ khoảng 1,7 kHz; dán mút mỏng để chữa “ùng ục” là sai.
- **Subwoofer:** màng 15–18 inch (38–46 cm) và thùng lớn để dịch chuyển đủ thể tích khí.
- **Tweeter:** màng cỡ 1 inch là đủ cho bước sóng ngắn, giữ góc phủ rộng.

Hai mô hình lan truyền quyết định cách đặt micro

- **Sóng cầu (gần nguồn):** nguồn điểm, mặt sóng là mặt cầu $S = 4\pi r^2$; mức giảm 6 dB khi nhân đôi cự ly.
- **Sóng phẳng (xa nguồn):** mặt sóng gần như phẳng trên màng micro, tia sóng song song.
- Micro đo và micro phim trường được hiệu chuẩn trong trường sóng phẳng (free-field / diffuse-field).
- Hiệu ứng cận âm (tăng bass khi đặt sát miệng) chỉ xuất hiện trong trường sóng cầu ở cự ly rất gần.

MỤC 1.2

Bốn đại lượng đặc trưng của sóng âm

- Sóng sin là dao động điều hòa thuần khiết, chỉ có một tần số.
- Theo Fourier, mọi âm thanh đều là tổng của nhiều sóng sin đơn tần.
- Bốn đại lượng cần nắm: biên độ, tần số, âm sắc và góc pha.

Sóng áp suất sin và các tham số

$$p(t) = P_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \phi) \qquad (1.5)$$

- $p(t)$ áp suất âm tức thời (Pa)
- P_{max} biên độ áp suất đỉnh (Pa)
- f tần số (Hz); $\omega = 2\pi \cdot f$ là tần số góc (rad/s)
- ϕ góc pha ban đầu (rad)

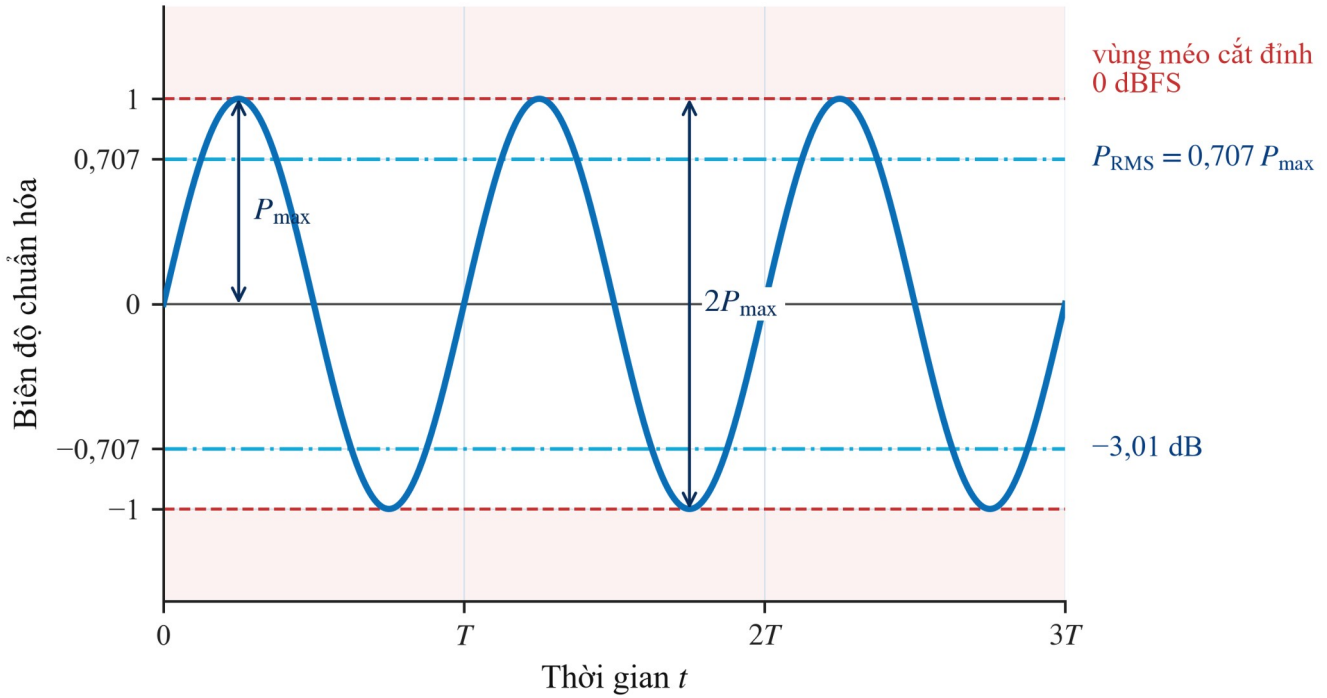
Fourier: tiếng gầm quái vật, tiếng nổ, violin, lời thì thầm...
= tổng của nhiều sóng sin với biên độ, tần số, pha xác định.

Ba cách đo biên độ

- **Đỉnh (Peak):** $A_{peak} = \max|p(t)|$; giới hạn an toàn của hệ thống, vượt 0 dBFS là méo cắt đỉnh.
- **Đỉnh – đỉnh:** $A_{p\text{-}p} = 2 \cdot A_{peak}$ với sin đối xứng; theo dõi trên máy hiện sóng.
- **Hiệu dụng (RMS):** $P_{RMS} = P_{max} / \sqrt{2} \approx 0{,}707 \cdot P_{max}$; phản ánh năng lượng và công suất.
- Méo cắt đỉnh sinh chuỗi hài bậc lẻ chói tai, làm rách và vỡ bản thu thoại.

Tai nghe theo năng lượng, không theo đỉnh

- Tai cảm nhận độ to theo năng lượng trung bình (RMS, LUFS), không theo đỉnh vài mili-giây.
- Phát súng đỉnh cao nhưng ngắn có thể nghe nhỏ hơn tiếng động cơ xe tải liên tục.
- **Crest Factor:** CF = 20·log10(P_max / P_RMS); sin thuần ≈ 3,01 dB.
- Giao hưởng thu tự nhiên: 18–22 dB; nhạc pop ép nén: chỉ còn 6–8 dB.

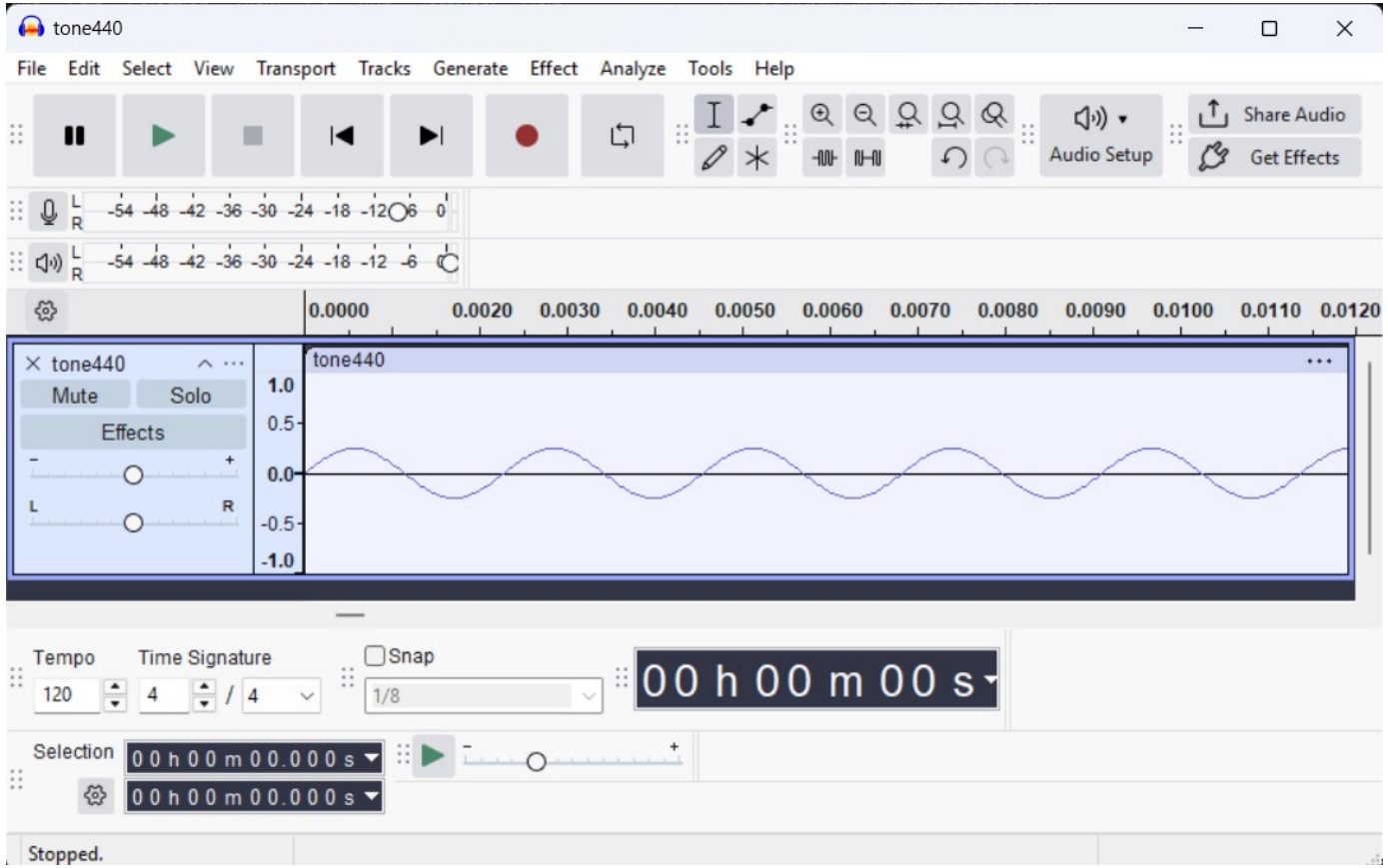


Hình 1.2 — Biên độ đỉnh, đỉnh – đỉnh, giá trị hiệu dụng RMS và ngưỡng méo cắt đỉnh của hệ thống

Tần số là khách quan, cao độ là chủ quan

- Tần số f (Hz) là số chu kỳ trong 1 giây; chu kỳ T = 1/f.
- Dải nghe 16 Hz – 20 kHz; dưới là hạ âm, trên là siêu âm.
- **Quãng tám:** tần số gấp đôi; dải nghe trải đúng 10 quãng tám (20 Hz → 20,48 kHz).
- **Decade:** tần số gấp 10 lần; thường làm trục hoành máy phân tích phổ RTA.
- Nốt La chuẩn A4 = 440 Hz (một số dàn nhạc châu Âu dùng 442 Hz).

Sin 440 Hz: trong 12 ms có hơn năm chu kỳ

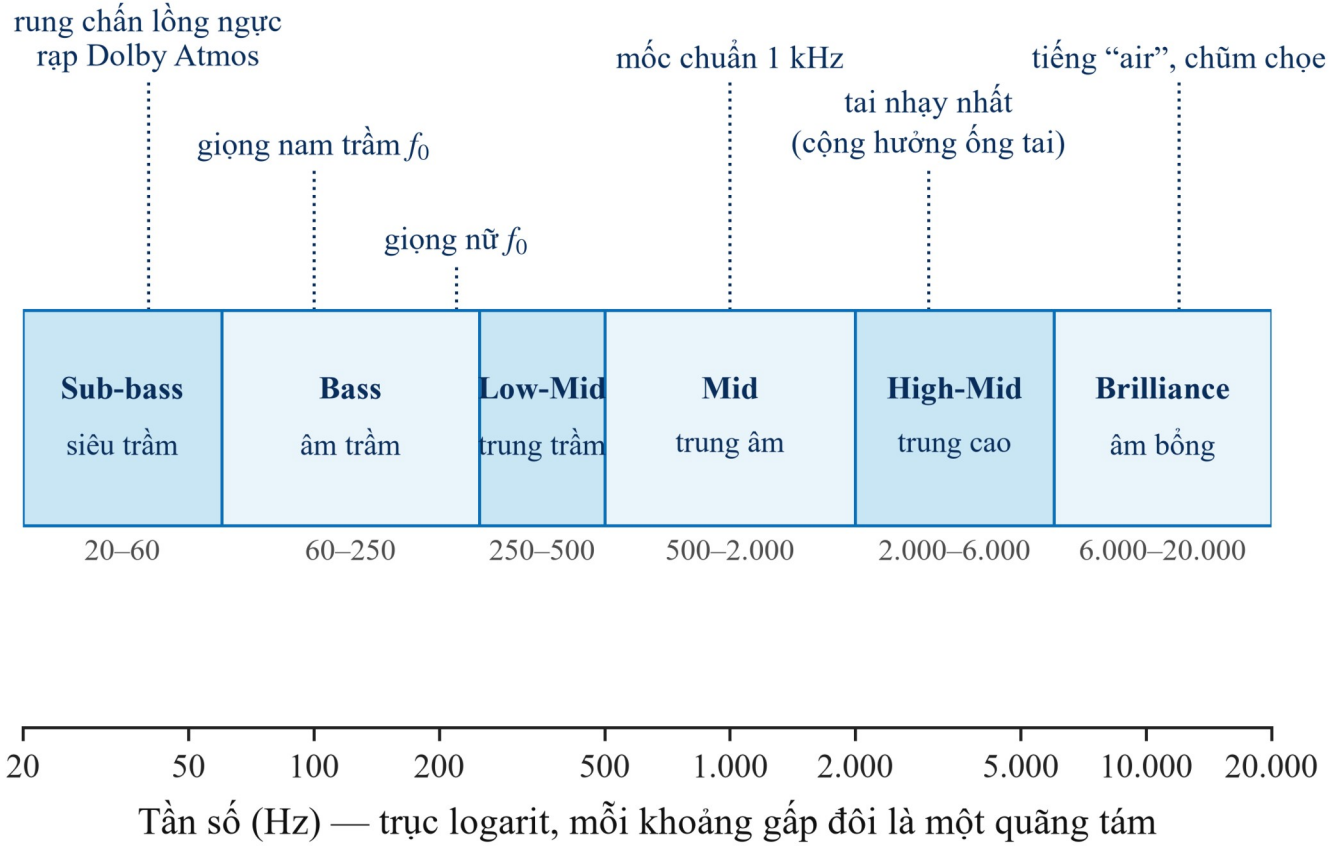


Hình 1.3 — Dạng sóng sin 440 Hz phóng to trong Audacity; chu kỳ T = 1/440 s ≈ 2,27 ms

Sáu phân vùng tần số trong xử lý âm thanh điện ảnh

Phân vùng	Dải tần	Đặc tính và ứng dụng
Sub-bass (siêu trầm)	20 – 60 Hz	Rung lồng ngực: bom nổ, sấm; cắt High-Pass 80 Hz trên track thoại
Bass (trầm)	60 – 250 Hz	Ấm, uy lực giọng nam, cello, kick; dễ tích tụ gây đục
Low-Mid (trung trầm)	250 – 500 Hz	Độ dày “body”; thừa thì nghẹt, như nói trong chum
Mid (trung)	500 Hz – 2 kHz	Phần lớn năng lượng tiếng nói; quyết định hiểu nội dung
High-Mid (trung cao)	2 – 6 kHz	Nhạy nhất (3–4 kHz); độ rõ câu từ; tăng quá gây chói
Brilliance / Treble	6 – 20 kHz	“Air”, thì thào, lá xào xạc; suy thoái sớm nhất theo tuổi

Sáu phân vùng và các mốc nghiệp vụ



Hình 1.4 — Sáu phân vùng tần số của dải nghe được và các mốc nghiệp vụ trong sản xuất điện ảnh

Tạo và xuất tệp sóng sin chuẩn bằng Python

```
# src/hello.py - Chương trình tổng hợp sóng sin cơ bản
import numpy as np
import soundfile as sf

SAMPLE_RATE = 44100   # Tần số lấy mẫu tiêu chuẩn CD (Hz)
DURATION = 2.0        # Độ dài tín hiệu (giây)
FREQUENCY = 440.0     # Nốt A4 (Hz)
AMPLITUDE = 0.5       # Biên độ đỉnh (tương đương -6 dBFS)

total_samples = int(SAMPLE_RATE * DURATION)
t = np.linspace(0, DURATION, total_samples, endpoint=False)

audio_data = AMPLITUDE * np.sin(2.0 * np.pi * FREQUENCY * t)

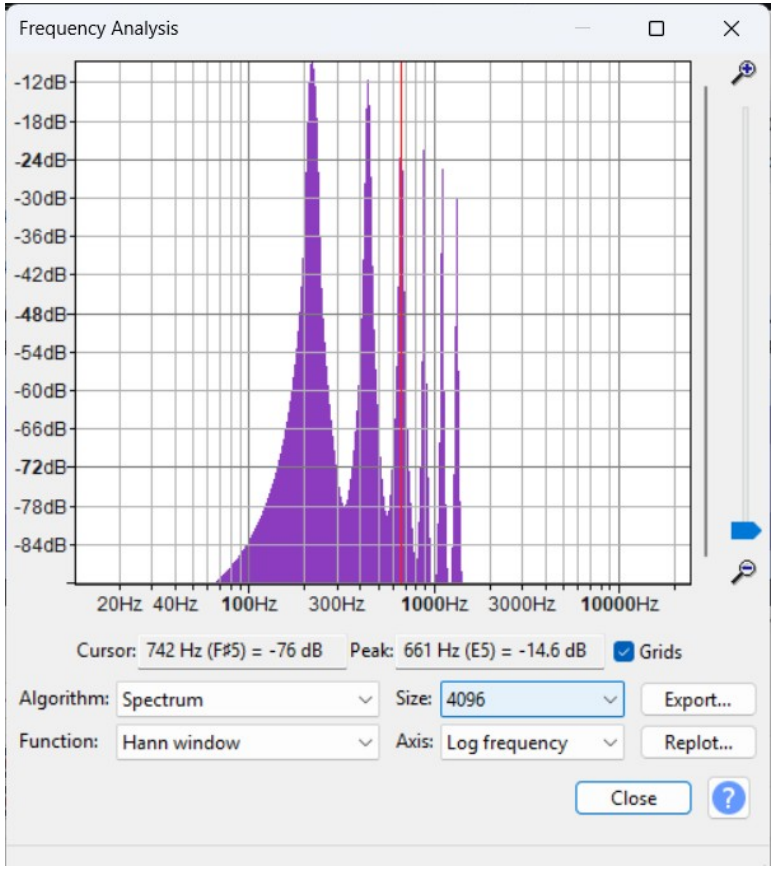
sf.write("sine_440hz.wav", audio_data, SAMPLE_RATE, subtype='PCM_16')
```

Liệt kê 1.1 — src/hello.py: tạo sóng sin 440 Hz và lưu thành WAV 16-bit PCM.

“Dấu vân tay” của mỗi nguồn âm

- Cùng nốt A4 = 440 Hz, cùng âm lượng, violin và trumpet vẫn nghe khác nhau: đó là âm sắc.
- Âm sắc gồm hai yếu tố: phổ hài tần số và đường bao biên độ theo thời gian (ADSR).
- **Hài âm:** tần số bội nguyên của f_o ($2f_o$, $3f_o$, $4f_o$…); f_o quyết định cao độ.
- **Hài bậc chẵn:** ấm, tròn, dày; dùng tube preamp, tape saturation để làm mềm giọng thoại.
- **Hài bậc lẻ:** sắc, gắt, kim loại; khai thác trong sound design phim kinh dị, giật gân.

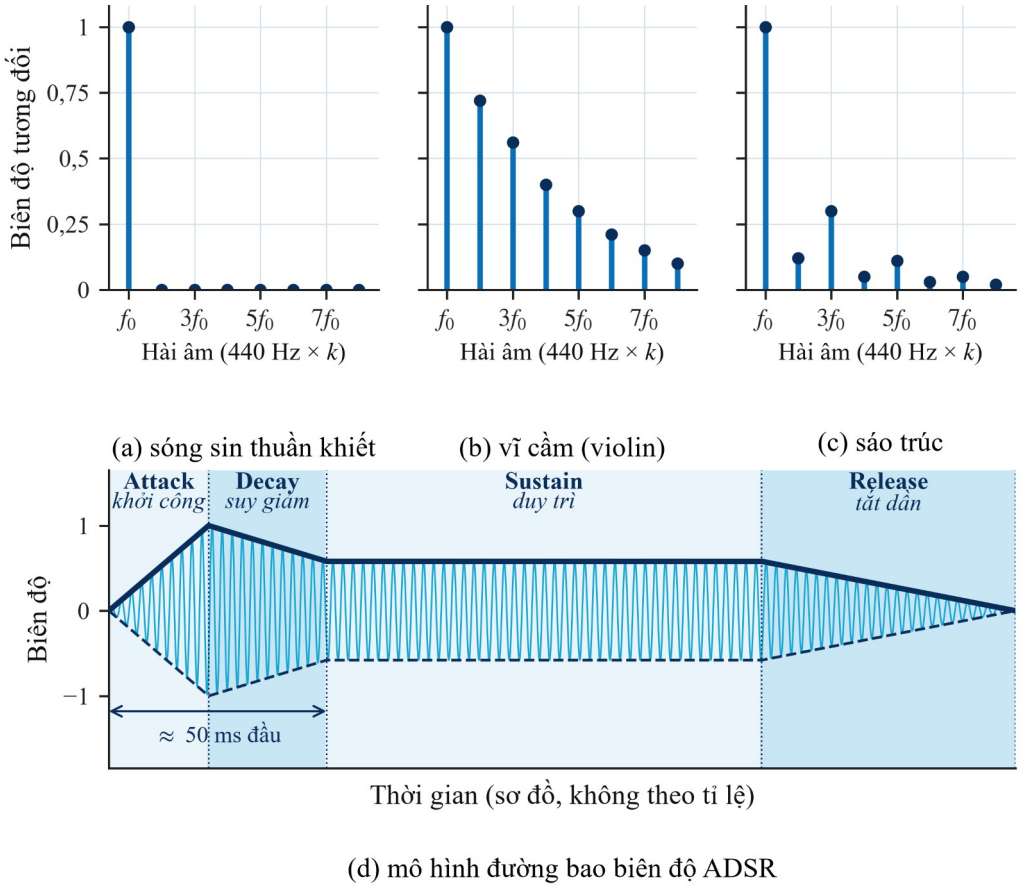
Sáu hài của cơ bản 220 Hz, biên độ giảm dần



Hình 1.5 — Phổ âm phức hợp đo bằng Plot Spectrum của Audacity (cửa sổ Hann, FFT 4096): đỉnh tại 220, 440, 660, 880 Hz…

Bốn giai đoạn biên độ theo thời gian

- **Attack:** tới đỉnh; 50 ms đầu chứa hơn 80% thông tin nhận dạng nguồn âm.
- **Decay:** giảm từ đỉnh về mức duy trì.
- **Sustain:** mức ổn định khi nguồn còn kích thích.
- **Release:** tắt dần; quyết định độ tự nhiên của Foley.
- Attack compressor quá nhanh làm dẹt tiếng nổ, tiếng trống.



Hình 1.6 — Âm sắc: phổ hài Fourier của nốt La 440 Hz ở ba nguồn âm khác nhau và mô hình đường bao biên độ ADSR

Cùng pha thì cộng, ngược pha thì triệt tiêu

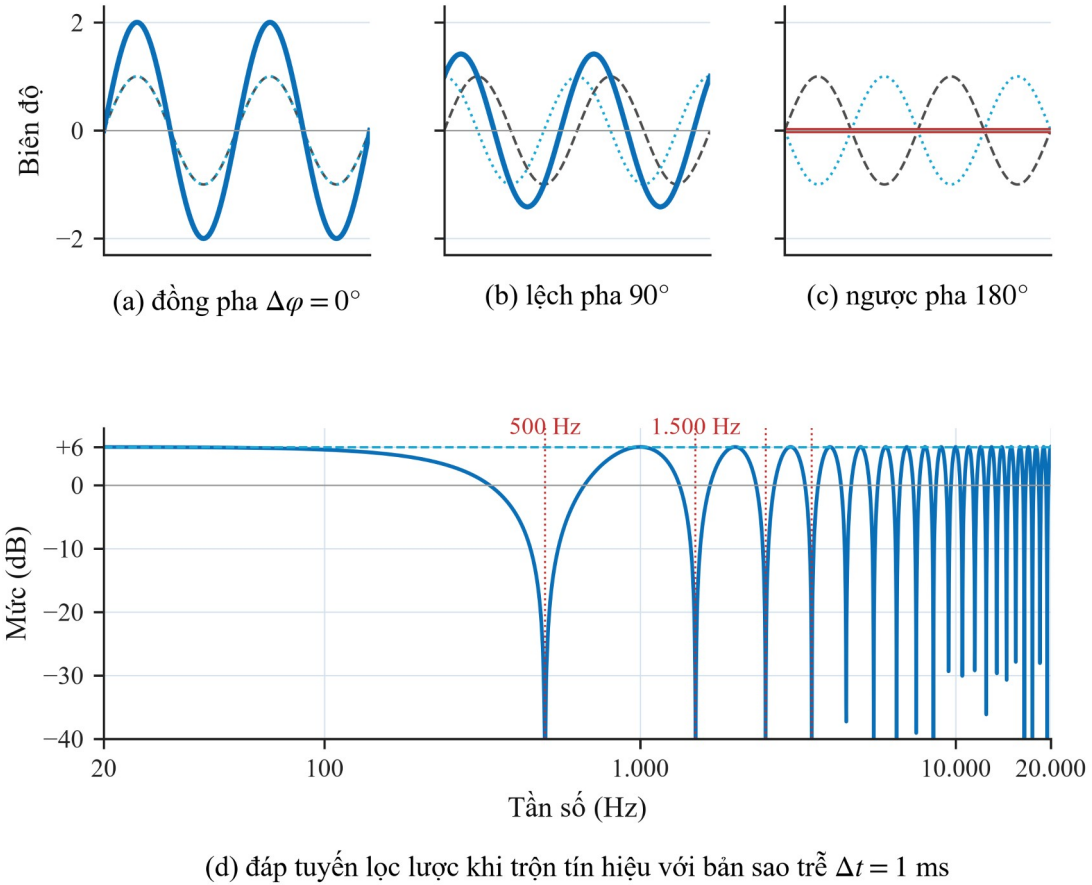
- Góc pha ϕ là vị trí tức thời trong chu kỳ, đo bằng độ (0°–360°) hoặc radian.
- **Cùng pha (Δϕ = 0°):** biên độ tăng gấp đôi, mức áp suất tăng +6 dB.
- **Ngược pha (Δϕ = 180°):** hai sóng triệt tiêu hoàn toàn, p(t) = 0 Pa (−∞ dB).
- **Đảo cực:** nhân tín hiệu với −1 trên mọi tần số (nút Ø trên mixer).
- **Lệch pha:** do trễ thời gian Δt, $\Delta\phi = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t$, phụ thuộc tần số.

Nút Ø không sửa được lỗi lệch pha do khoảng cách

Đảo cực tác động như nhau lên mọi tần số, còn lệch pha do trễ thời gian thì khác nhau ở từng tần số. Chỉ căn chỉnh thời gian (Time Alignment / Delay) mới xử lý triệt để.

Trộn tín hiệu với bản sao trễ

- Hai bản sao lệch Δt nhỏ (phản xạ mặt bàn, hai micro ở hai cự ly) tạo đáp tuyến hình răng lược.
- Đỉnh +6 dB xen kẽ hõm −∞ dB.
- **Hõm triệt tiêu:** f_null = (2n+1) / (2·Δt), n = 0, 1, 2…
- Δt = 1 ms: hõm ở 500, 1.500, 2.500 Hz…; giọng mỏng, rỗng như trong ống.



Hình 1.7 — Tương tác pha giữa hai sóng âm và đáp tuyến lọc lược (Comb Filtering) khi trộn tín hiệu với bản sao trễ 1 ms

Đặt hai micro thu hai diễn viên đối thoại

- **Quy tắc:** d_mic-mic ≥ 3 · d_nguồn-mic.
- Ở cự ly gấp 3, tiếng diễn viên A lọt vào micro B yếu hơn khoảng 9,5–12 dB.
- Khi trộn hai kênh, ảnh hưởng lọc lược còn dưới 0,5 dB, không đáng kể.
- **Bàn talkshow, họp báo:** dùng micro bề mặt (Boundary / PZM) để Δt ≈ 0, loại bỏ lọc lược.
- **Kiểm tra Mono:** mix nghe hay trên Stereo nhưng mất lời trên điện thoại là dấu hiệu lệch pha.

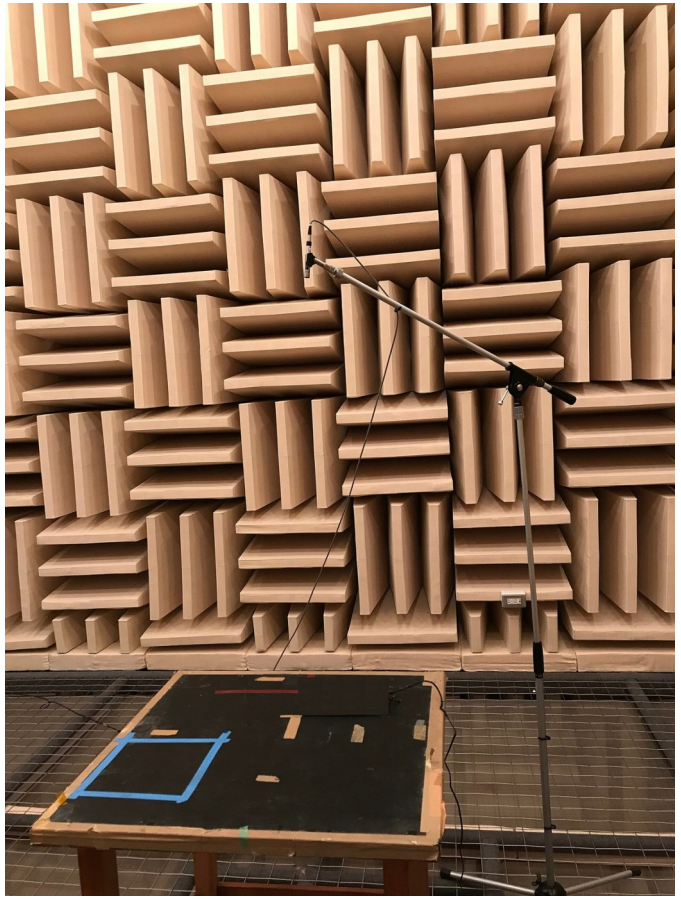
MỤC 1.3

Âm học kiến trúc phim trường và phòng hậu kỳ

- Trong không gian kín, sóng âm va đập liên tục vào tường, trần, sàn, đạo cụ.
- Trường âm kiến trúc quyết định chất lượng thu thoại và độ chuẩn của phòng kiểm âm.
- Các vấn đề chính: phản xạ, âm vang, sóng đứng, RT60, tiếng ồn nền.

Hệ số hấp thụ α từ 0 đến 1

- Bề mặt có Z lớn hơn nhiều không khí thì phản xạ; mặt phẳng nhẵn: góc phản xạ bằng góc tới.
- Mặt lồi tán xạ; mặt lõm (trần vòm, góc thụt) hội tụ âm, gây méo trường âm.
- α = 0: phản xạ hoàn toàn; α = 1: hấp thụ hoàn toàn; α thay đổi mạnh theo tần số.
- Phòng vô hưởng phủ khối nêm hút âm để α gần lý tưởng.

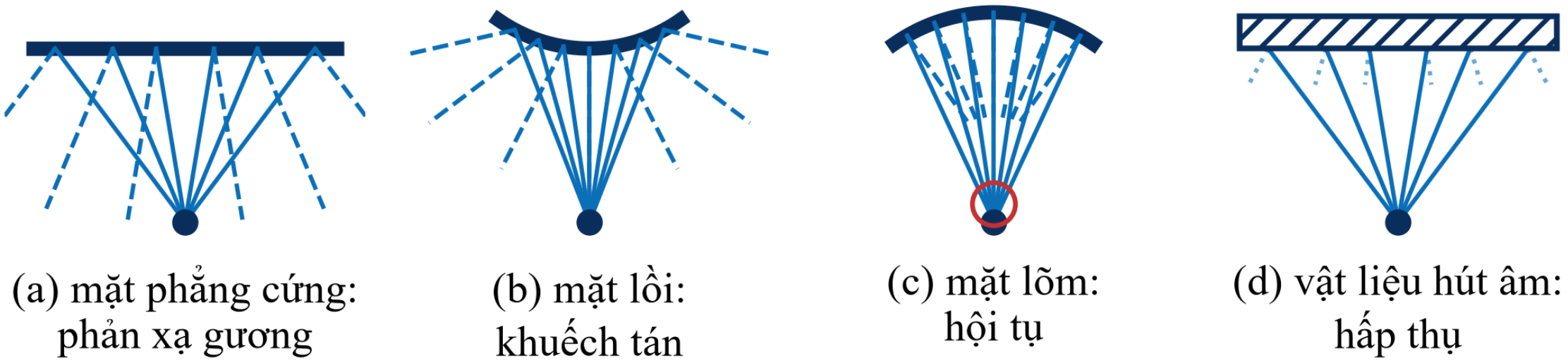


Hình 1.8 — Phòng đo vô hưởng với các khối nêm hấp thụ âm phủ tường và micro đo trên giá đỡ

Hệ số hấp thụ α của vật liệu phim trường

Chất liệu	125 Hz	500 Hz	2 kHz	Lưu ý
Bê tông, gạch men	0,01	0,02	0,02	Phản xạ 98%; tối kỵ trong phòng thu
Kính cửa sổ 4 mm	0,35	0,08	0,04	Hút nhẹ trầm; phản xạ toàn dải cao
Thảm nỉ dày	0,05	0,25	0,60	Không tác dụng với tiếng trầm
Rèm nhung xếp nếp	0,15	0,55	0,70	Xử lý cơ động cho trường quay tạm
Rockwool 50 mm	0,20	0,75	0,95	Hiệu quả từ 500 Hz trở lên
Bông khoáng 100 mm + đệm khí	0,55	0,95	0,98	Mở rộng hiệu quả xuống dải trầm
Bẫy âm trầm góc	0,80 – 0,90	0,30	0,15	Bắt buộc ở góc, trị sóng đứng < 150 Hz
Khán giả ngồi ghế nỉ	0,40	0,80	0,90	Rạp đông có âm vang ngắn hơn rạp trống

Phản xạ gương, khuếch tán, hội tụ và hấp thụ



Hình 1.9 — Bốn kiểu tương tác của sóng âm với bề mặt: phản xạ gương, khuếch tán, hội tụ và hấp thụ

Ba thành phần nối tiếp nhau theo thời gian

- **Sóng trực tiếp:** đường ngắn nhất từ miệng tới micro; giữ âm sắc, mạnh nhất, định vị chính xác.
- **Tiếng vang (Echo):** trễ ≥ 100 ms; não tách thành hai sự kiện rời rạc.
- Điều kiện echo ở 20 °C: s = 343 × 0,1 = 34,3 m, tường cách nguồn ít nhất khoảng 17,2 m.
- **Âm vang (Reverb):** hàng nghìn phản xạ gần, trễ < 50 ms, hợp thành "đuôi" mịn tắt dần.
- Âm vang tạo quy mô không gian, nhưng quá lớn thì từ trước chèn từ sau, giảm độ rõ lời.

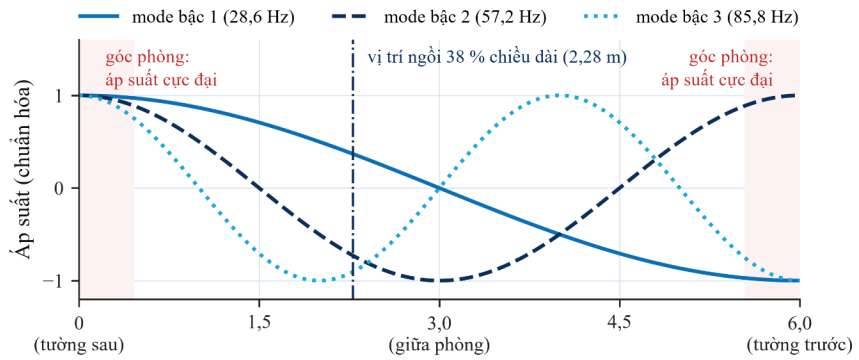
Sóng tới và sóng phản xạ giao thoa thành trường tĩnh

- **Bụng sóng:** cùng pha, áp suất cực đại; luôn có ở mặt tường cứng và các góc phòng.
- **Nút sóng:** ngược pha 180°, áp suất triệt tiêu; hai nút liên tiếp cách nhau λ/2.
- **Rayleigh:** $f = (c/2)\cdot\sqrt{((nx/L)^2 + (ny/W)^2 + (nz/H)^2)}$, nx, ny, nz nguyên không âm.
- **Mode trục:** chỉ một chỉ số khác 0, như (1,0,0); năng lượng mạnh nhất, méo trầm nặng nhất.

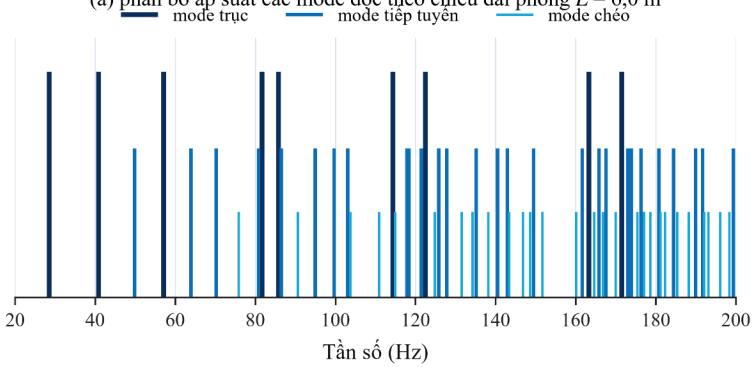
Kê bàn dựng giữa phòng là ngồi đúng nút sóng

Phòng dài 5 m: mode trục bậc 1 là 343 / (2 × 5) = 34,3 Hz, nút sóng ở giữa phòng. Ngồi đó thấy mất bass, đẩy EQ trầm +6 đến +10 dB; ra rạp hoặc lên ô tô thì bass thừa, ù rền.

Sóng đứng và cách bố trí bẫy âm trầm



(a) phân bố áp suất các mode dọc theo chiều dài phòng $L = 6{,}0$ m



(b) phổ mode của phòng dựng 6,0 × 4,2 × 3,0 m: các mode dồn cục ở dải trầm

Hình 1.10 — Sóng đứng trong phòng kín: vị trí nút và bụng sóng, phổ các mode và giải pháp bố trí bẫy âm trầm

Sabine, Eyring và tần số Schroeder

RT60: thời gian để năng lượng âm giảm 60 dB (một triệu lần) sau khi nguồn tắt.

Sabine (1.10), dùng khi $\bar{\alpha} < 0{,}3$:

$$RT60 = 0{,}161 \cdot V / A \qquad A = \Sigma S_i \cdot \alpha_i \quad \text{(sabin)}$$

Eyring, dùng khi phòng hút âm mạnh ($\bar{\alpha} > 0{,}3$):

$$RT60 = 0{,}161 \cdot V / [\, -S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}) \,]$$

Tần số Schroeder (1.11):

$$f_s \approx 2000 \cdot \sqrt{(RT60 / V)} \quad \text{(Hz)}$$

- $f < f_s$: phòng ứng xử như các mode rời rạc → bẫy trầm, vị trí ngồi
- $f > f_s$: mode dày đặc, âm học thống kê → tiêu âm, tán âm thông thường

RT60 khuyến nghị cho các không gian điện ảnh

Không gian	RT60 (500 Hz – 1 kHz)	Yêu cầu âm học
Phòng lồng tiếng / thuyết minh	0,15 – 0,25 s	Không gian “khô” tuyệt đối
Phòng dựng / hòa âm nhỏ	0,25 – 0,35 s	Độ phẳng theo tần số; kiểm soát bass
Phòng chiếu thử phim	0,30 – 0,50 s	Theo khuyến nghị SMPTE ST 202
Trường quay đồng bộ	0,50 – 0,80 s	Hay bị vượt; cần cờ tiêu âm
Hội trường, phòng hòa nhạc	1,00 – 1,40 s	Cân bằng độ rõ lời và độ vang nhạc
Nhà thờ cổ, hang đá lớn	2,00 – 6,00 s	Rất khó thu thoại; hợp thu vang hiệu ứng

Ước lượng RT60 và tiêu âm phòng dựng 5 × 4 × 3 m

```
Tường, trần trát vữa α = 0,03; sàn gạch men α = 0,02; xét ở 500 Hz.

V = 5 × 4 × 3 = 60 m³;  S_sàn = S_trần = 20 m²;  S_tường = 54 m²
A_gốc = 20×0,02 + 20×0,03 + 54×0,03 = 2,62 sabin
RT60 hiện trạng = 0,161 × 60 / 2,62 ≈ 3,68 s     →  quá vang

Mục tiêu RT60 = 0,3 s:  A_cần = 0,161 × 60 / 0,3 = 32,2 sabin
ΔA = 32,2 − 2,62 = 29,58 sabin
Rockwool 50 mm (α = 0,75):  S = 29,58 / 0,75 ≈ 39,4 m²
   ≈ phủ kín trần và gần 35% diện tích tường
```

Vài tấm mút dán rải rác để trang trí không đủ kiểm soát âm vang của một căn phòng.

Bốn giải pháp âm học chuẩn mực

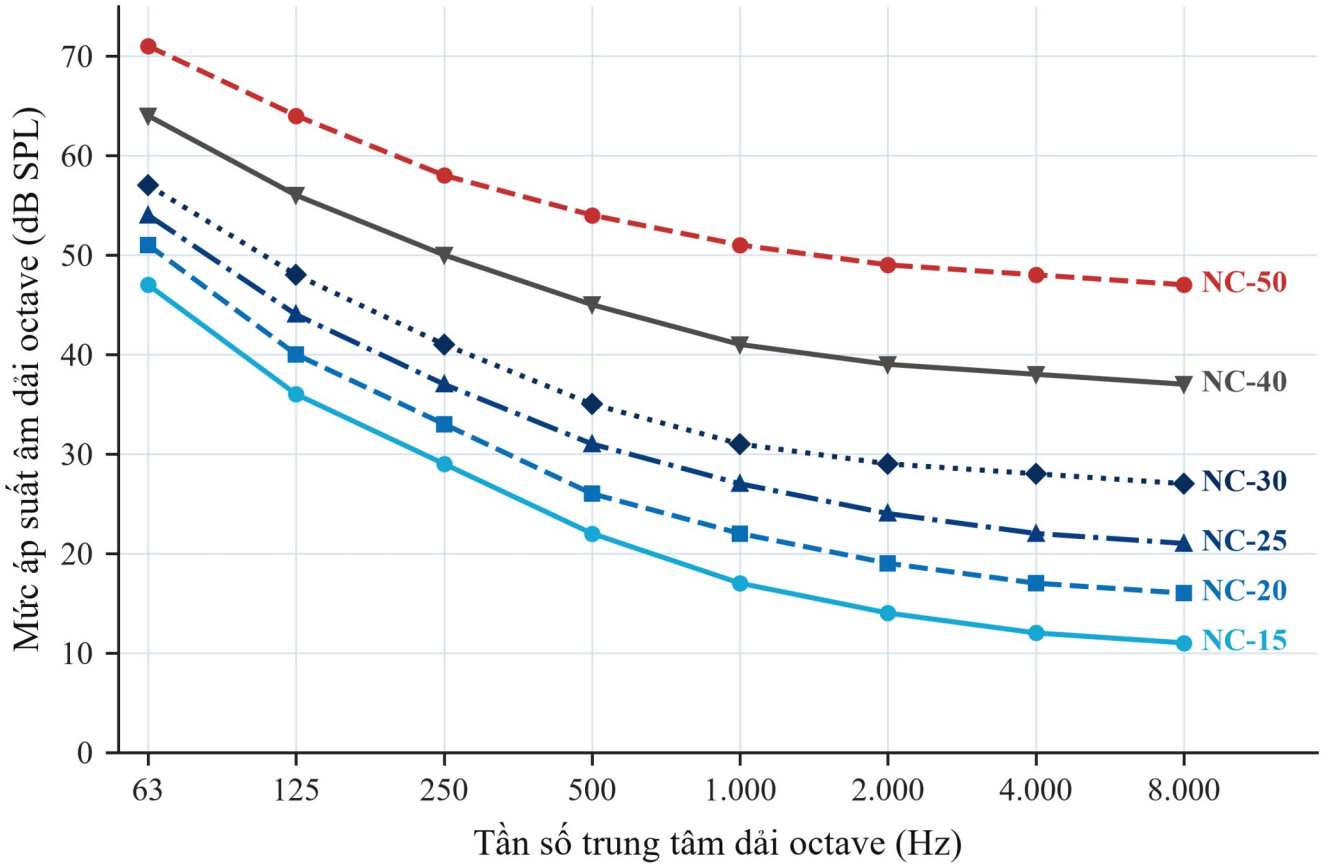
- **Chăn tiêu âm:** trải ngoài khung hình, treo cờ tiêu âm trên đầu diễn viên.
- **Bẫy trầm góc:** hiệu quả gấp 3–4 lần đặt giữa tường.
- **Vị trí 38%:** ngồi ở 38% chiều dài từ tường trước, tránh 50%.
- **Vách vát 6°–12°:** chống flutter echo; tán âm Schroeder sau lưng.



Hình 1.11 — Phòng điều khiển phòng thu có tấm tán âm dạng thanh và vách vát góc

Chỉ tiêu quan trọng thứ hai sau âm vang

- Tiếng ồn nền được đánh giá theo đường cong tiêu chí Noise Criteria (NC).
- **Phòng lồng tiếng:** NC-15 đến NC-20.
- **Phòng hòa âm rạp, trường quay TV:** NC-25 đến NC-30.



Hình 1.12 — Hệ đường cong tiêu chí tiếng ồn nền NC và mức yêu cầu đối với từng loại không gian sản xuất

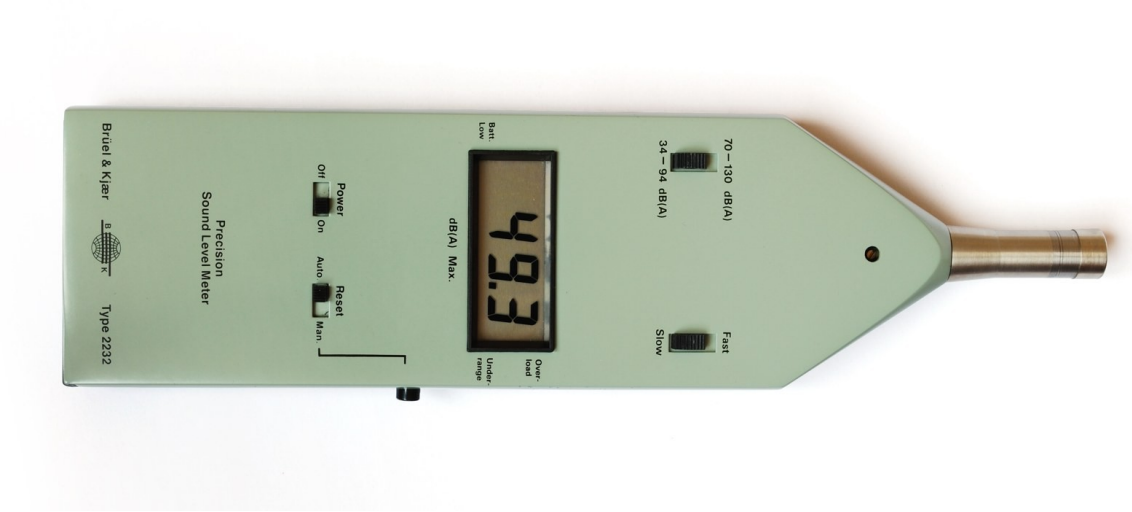
Ba hiện tượng lan truyền ngoài trời

- **Nhiễu xạ:** âm trầm vòng qua vách; âm cao bị chặn tạo "bóng âm", sau góc phố chỉ nghe tiếng trầm.
- **Khúc xạ ban ngày:** sát đất nóng hơn, tia âm cong lên trời, âm suy giảm nhanh.
- **Khúc xạ ban đêm:** nghịch nhiệt, tia âm cong xuống đất, tiếng ồn xa nghe rõ bất thường.
- **Doppler:** $f' = f \cdot (c \pm v_o) / (c \mp v_s)$; xe tiến lại tần số tăng, rời xa thì tụt xuống.
- Sound design cảnh rượt đuổi phải áp đúng tỷ lệ dịch tần theo vận tốc.

MỤC 1.4

Đơn vị decibel và các quy chuẩn đo lường

- Từ ngưỡng nghe 20 µPa tới ngưỡng đau 20 Pa: gấp 10^6 lần áp suất, 10^{12} lần năng lượng.
- Cảm nhận của tai xấp xỉ theo logarit (định luật Weber–Fechner).
- Hai lý do ấy khiến cả ngành âm thanh thống nhất dùng decibel.



Decibel là tỷ số logarit so với một mốc quy chiếu

Định nghĩa gốc theo công suất: $L = 10 \cdot \log_{10}(P / P_0)$
Công suất tỷ lệ bình phương biên độ: $P \propto p^2$

$$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 \cdot \log_{10}(p / p_0) \quad \text{(dB)} \quad (1.13)$$

Hệ số 20 → đại lượng biên độ trường: áp suất p, điện áp V, dòng I, mẫu số x
Hệ số 10 → đại lượng công suất/năng lượng: công suất P, cường độ I, W, E

“Tín hiệu này 50 dB” mà không nêu mốc quy chiếu thì vô nghĩa.
Nhầm 10 với 20 là lỗi phổ biến nhất, luôn sai gấp đôi.

Các mốc quy chiếu decibel thông dụng

Ký hiệu	Mốc quy chiếu	Ngữ cảnh sử dụng
dB SPL	p_o = 20 µPa	Áp suất âm trong không khí; máy đo mức âm
dBA	20 µPa + trọng số A	Tiếng ồn môi trường, an toàn lao động
dBC	20 µPa + trọng số C	Âm mức lớn; kiểm âm rạp 85 dBC SPL
dBZ	20 µPa, phẳng	Đo tuyến tính 10 Hz – 20 kHz
dBu	0,7746 V RMS	Pro Audio; +4 dBu danh định
dBV	1,0 V RMS	Dân dụng; −10 dBV danh định
dBm	1 mW trên 600 Ω	Di sản viễn thông, truyền dẫn
dBFS	Toàn dải số	Hệ thống số; 0 dBFS là trần tuyệt đối
dBTP	Đỉnh thực liên mẫu	Chống méo khi nén AAC/MP3
dB SIL	$I_o = 10^{-12}$ W/m²	Mức cường độ âm
dB SWL	$P_o = 10^{-12}$ W	Mức công suất bức xạ của loa

Các mốc dB SPL quen thuộc trong sản xuất phim

- **0 dB:** ngưỡng nghe tại 1 kHz (20 µPa). 20–30 dB: phòng Foley, mức lý tưởng thu Room Tone.
- **40–45 dB:** nhà yên tĩnh, thì thầm cảnh đêm. 60–65 dB: hội thoại, mức danh định lời thoại.
- **75–85 dB:** xe cộ, đường phố. 85 dBC: mức hiệu chuẩn loa rạp và phòng hòa âm.
- **95–100 dB:** xưởng cơ khí, hét lớn cận cảnh. 110–120 dB: concert rock, cần nút tai.
- **120–130 dB:** ngưỡng đau. 140–150 dB: phản lực cự ly 30 m, bom nổ; màng micro có thể rách.

Từ ngưỡng nghe tới ngưỡng đau



Hình 1.14 — Thang mức áp suất âm dB SPL từ ngưỡng nghe tuyệt đối đến ngưỡng đau, kèm giới hạn tiếp xúc nghề nghiệp

Công suất, cường độ, thanh áp và công thức mức

Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị	Mốc tham chiếu	Công thức mức
Thanh áp	p	Pa	$p_o = 2\times10^{-5}$ Pa	$L_p = 20\cdot\log10(p/p_o)$
Cường độ âm	I	W/m²	$I_o = 10^{-12}$ W/m²	$L_I = 10\cdot\log10(I/I_o)$
Công suất âm	P	W	$P_o = 10^{-12}$ W	$L_W = 10\cdot\log10(P/P_o)$

Mốc được chọn để ba thang trùng nhau trong trường tự do: ngưỡng đau 20 Pa và 1 W/m² đều cho 120 dB; $I = p^2 / (\rho\cdot c)$.

80 dB cộng 80 dB không bằng 160 dB

- **Nguồn không tương quan:** $L_{\Sigma} = 10 \cdot \log10(\Sigma\ 10^{(L_i/10)})$, cộng theo công suất.
- **Hai nguồn bằng nhau:** +3 dB (80 + 80 → 83 dB); bốn nguồn +6 dB; mười nguồn +10 dB.
- **Tương quan, cùng pha:** áp suất cộng trực tiếp, tăng +6 dB (nhân đôi track).
- **Chênh từ 10 dB:** nguồn yếu góp tối đa 0,4 dB, có thể bỏ qua; cơ sở của quy tắc 3:1.

Cộng tiếng ồn và chiến lược xử lý trường quay

```
Điều hòa 62 dB, quạt đèn LED 58 dB, giao thông 55 dB; yêu cầu nền < 35 dB SPL.

10^(62/10) = 1.584.893
10^(58/10) =   630.957
10^(55/10) =   316.228
Tổng       = 2.532.078   →  L_tổng = 10·log10(2.532.078) ≈ 64,0 dB SPL

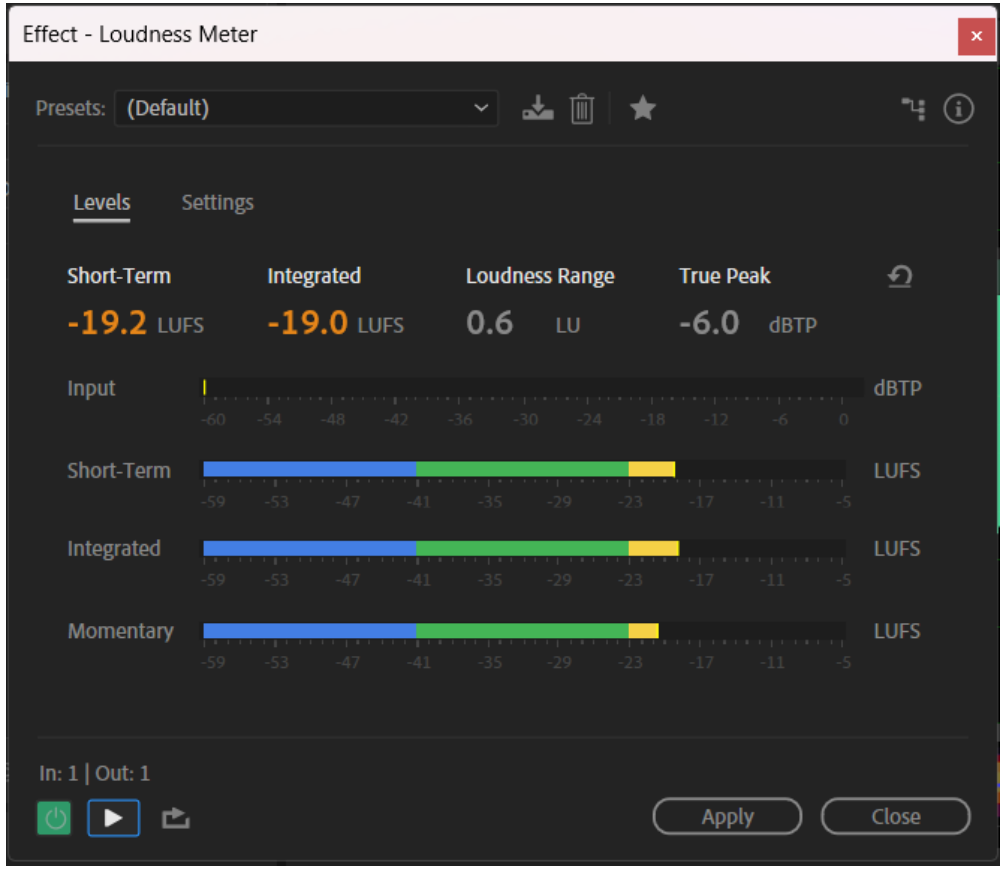
Chỉ hơn nguồn lớn nhất 2 dB: nguồn mạnh nhất chi phối trường âm.
Tắt điều hòa khi bấm máy  →  còn 59,7 dB; sau đó thay quạt êm, làm kín gioăng cửa.
```

Đầu tư tiêu âm tường mà vẫn để điều hòa ồn chạy là lãng phí nhất.

Bốn giai đoạn của thuật toán đo độ to

- **Trọng số K:** High-Shelf +4 dB từ khoảng 2 kHz và High-Pass cắt dưới 100 Hz.
- **Trọng số kênh:** L, R, C nhân 1,0; kênh vòm nhân 1,41 (+1,5 dB); loại hẳn LFE.
- **Gating:** cổng tuyệt đối −70 LUFS, cổng tương đối thấp hơn 10 LU so với mức sơ bộ.
- **Ba khung đo:** Momentary 400 ms, Short-term 3 s, Integrated cả tác phẩm.
- 1 LUFS (chuẩn EBU) đồng nhất với 1 LKFS (chuẩn ATSC); Integrated là chỉ số giao nộp.

Đo một đoạn thoại tổng hợp dài sáu giây



Hình 1.15 — Loudness Meter trong Adobe Audition: Integrated −19,0 LUFS, LRA 0,6 LU, True Peak −6,0 dBTP

Hai chỉ số theo dõi song song

- **Loudness Range (LRA):** chênh độ to giữa đoạn tĩnh nhất và bùng nổ nhất, đo bằng LU.
- Phim chiếu rạp 12–20 LU; tin tức truyền hình 4–8 LU; podcast di động dưới 8 LU.
- **True Peak (dBTP):** nội suy oversampling để tìm đỉnh thật sau D/A, khác Sample Peak.
- Tệp Sample Peak 0 dBFS vẫn có thể vọt +1,5 dBTP khi nén MP3/AAC.
- Mọi chuẩn phát hành quy định trần True Peak từ −1,0 đến −2,0 dBTP.

Độ to đích và trần True Peak trên các nền tảng

Nền tảng / chuẩn	Integrated đích	True Peak max
EBU R128 (TV châu Âu)	−23,0 LUFS (±0,5 LU)	−1,0 dBTP
ATSC A/85 (TV Mỹ)	−24,0 LKFS (±1,0 LU)	−2,0 dBTP
Netflix	−27,0 LKFS (đo trên lời thoại)	−2,0 dBTP
YouTube, Spotify, TikTok/Reels	−14,0 LUFS	−1,0 dBTP
Apple Music (Stereo)	−16,0 LUFS	−1,0 dBTP
Apple Music (Spatial/Atmos)	−18,0 LUFS	−1,0 dBTP
AES TD1004 (podcast)	−16 LUFS stereo, −19 mono	−1,0 dBTP
Rạp chiếu (SMPTE ST 202)	Fader 7.0 (85 dBC SPL)	–

Thời streaming, làm to hơn không còn thắng

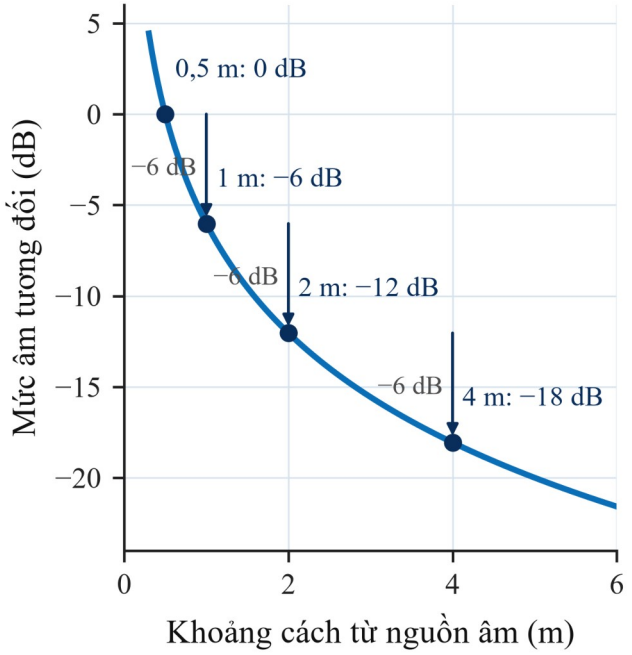
Master ở −8 LUFS rồi tải lên YouTube (−14 LUFS) sẽ bị kéo giảm 6 dB: nghe bẹp, thiếu lực, mất không gian. Bản master giữ dải động ở −14 LUFS nghe thoáng và uy lực hơn. Mục tiêu là dải động và độ rõ, không phải con số LUFS lớn nhất.

Suy hao theo khoảng cách: −6 dB khi nhân đôi cự ly

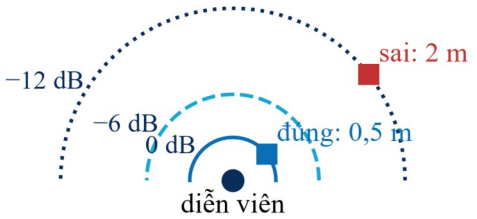
Khoảng cách	ΔL	Ý nghĩa hiện trường
r = 0,5 m (mốc)	0 dB	Cự ly boom lý tưởng phía trên trán diễn viên
Gấp 2 (1,0 m)	−6 dB	Boom trung bình khi mở trung cảnh
Gấp 4 (2,0 m)	−12 dB	Toàn cảnh; áp suất giảm 4 lần
Gấp 10 (5,0 m)	−20 dB	Thoại chìm dưới tiếng ồn nền
Gấp 40 (20 m)	−32 dB	Tiếng súng, đại bác ở xa
Còn 1/2 (0,25 m)	+6 dB	Sát miệng; kèm hiệu ứng cận âm

Micro trôi xa thì không bù bằng Gain

- Boom trôi từ 0,5 m lên 1,0 m: lời thoại giảm đúng 6 dB.
- Tăng Gain +6 dB thì gió, côn trùng, máy phát và nhiễu nhiệt cũng tăng +6 dB.
- SNR giảm 6 dB; làm sạch hậu kỳ khó, tốn kém, dễ méo tiếng.
- Giữ micro cách miệng 0,4–0,7 m, sát mép trên khung hình.



(a) mỗi lần nhân đôi cự ly, mức âm giảm 6 dB



(b) cự ly cần boom: gấp 4 lần cự ly = chênh 12 dB

Hình 1.16 — Định luật bình phương nghịch đảo: mức âm giảm 6 dB mỗi lần nhân đôi cự ly, và hệ quả với cự ly đặt cần boom

Vị trí đặt micro quyết định bản thu, không phải núm Gain

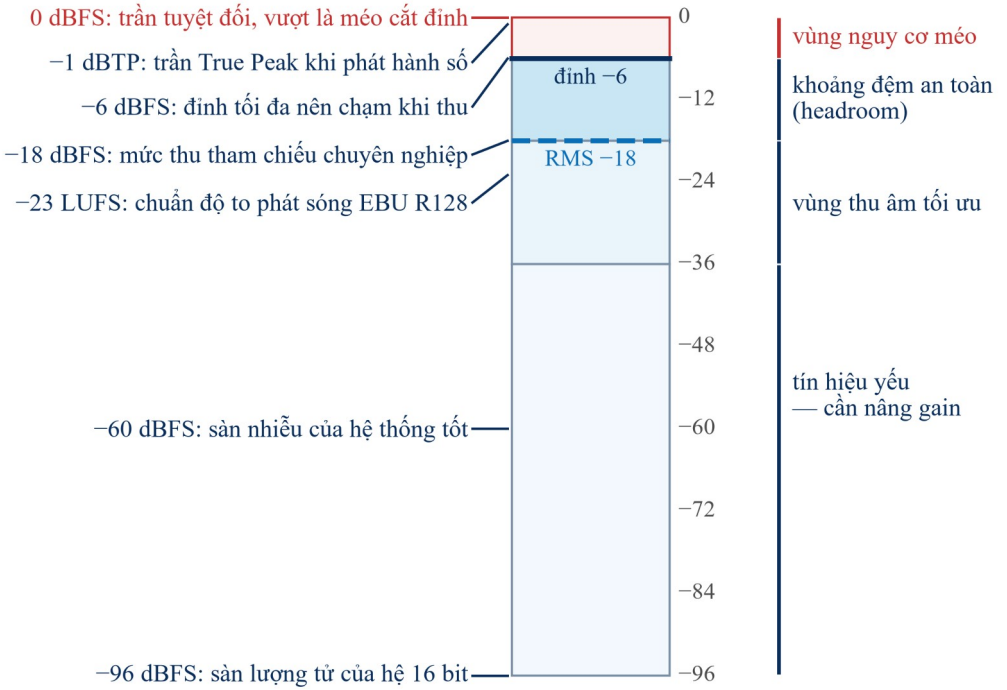
Mỗi lần nhân đôi cự ly mất 6 dB tín hiệu, và Gain bù vào cũng nâng tạp âm lên đúng chừng ấy.
Muốn SNR tốt thì đưa micro lại gần nguồn.

Bốn giới hạn của mọi chuỗi thiết bị

- **Sàn nhiễu:** nhiễu điện tử cố hữu do chuyển động nhiệt của electron trong mạch.
- **Dải động:** từ sàn nhiễu tới mức méo; 16-bit 96 dB, 24-bit 144 dB (thực tế ~120 dB).
- **SNR:** tỷ số giữa mức làm việc danh định của lời thoại và sàn nhiễu.
- **Headroom:** khoảng dự trữ từ mức làm việc danh định tới trần 0 dBFS.

Thoại quanh −18 đến −20 dBFS RMS

- −18 dBFS RMS (châu Âu) hoặc −20 dBFS RMS (SMPTE Mỹ).
- Chừa 18–20 dB headroom cho tiếng cười, gào thét bất ngờ.
- Vẫn cách sàn nhiễu hơn 80 dB.
- 32-bit float không clip trong miền số, nhưng micro và preamp analog vẫn méo (~130 dB SPL).



Hình 1.17 — Thang decibel toàn dải dBFS, khoảng đệm an toàn và các mốc chuẩn trong quy trình gain staging

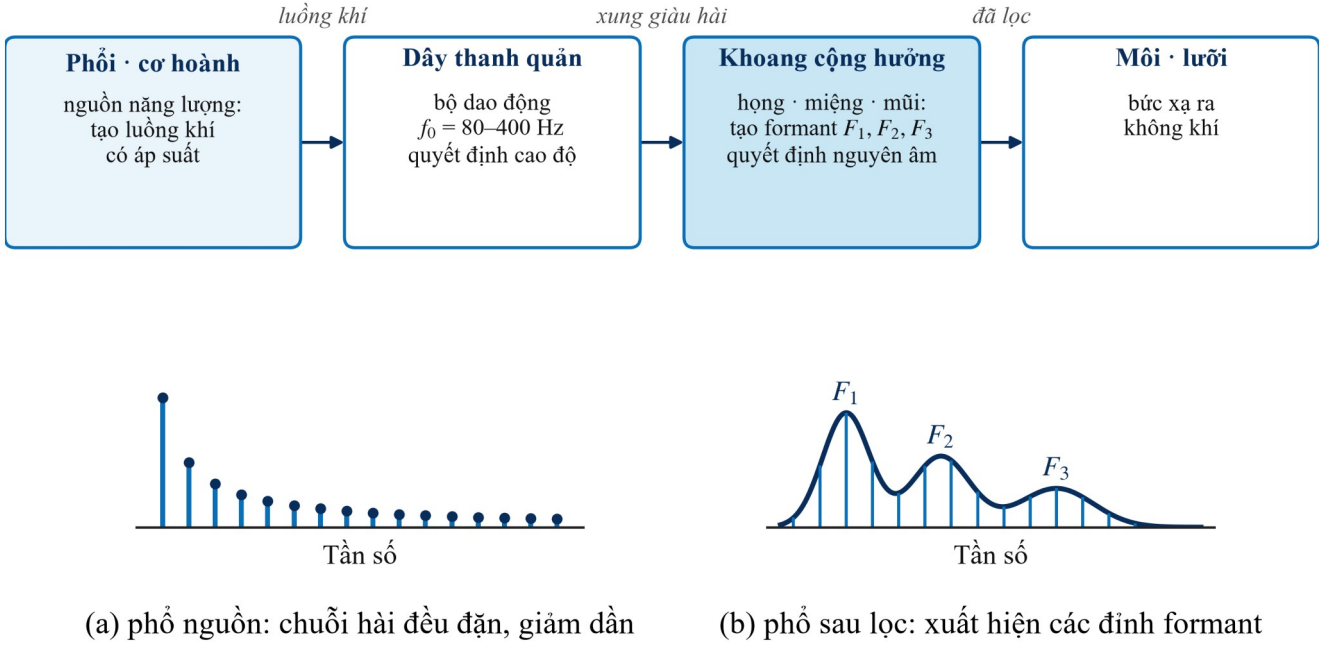
MỤC 1.5

Cơ chế phát âm giọng nói và formant

- Giọng nói là chất liệu biểu cảm cốt lõi của điện ảnh.
- Mô hình nguồn – bộ lọc: dây thanh tạo dao động giàu hài, đường dẫn khí định hình âm sắc.
- Formant quyết định nguyên âm và chất giọng; là nền của kỹ thuật khoét tần.

Nguồn quyết định cao độ, bộ lọc quyết định nguyên âm

- Luồng khí từ phổi đi qua khe thanh môn giữa hai dây thanh.
- Dây thanh khép – mở nhịp nhàng do áp lực khí và hiệu ứng Bernoulli.
- Luồng khí bị băm thành chuỗi xung, f_0 từ 80 Hz đến 1.100 Hz.
- f_0 phụ thuộc độ dày, độ căng của dây thanh và giới tính.



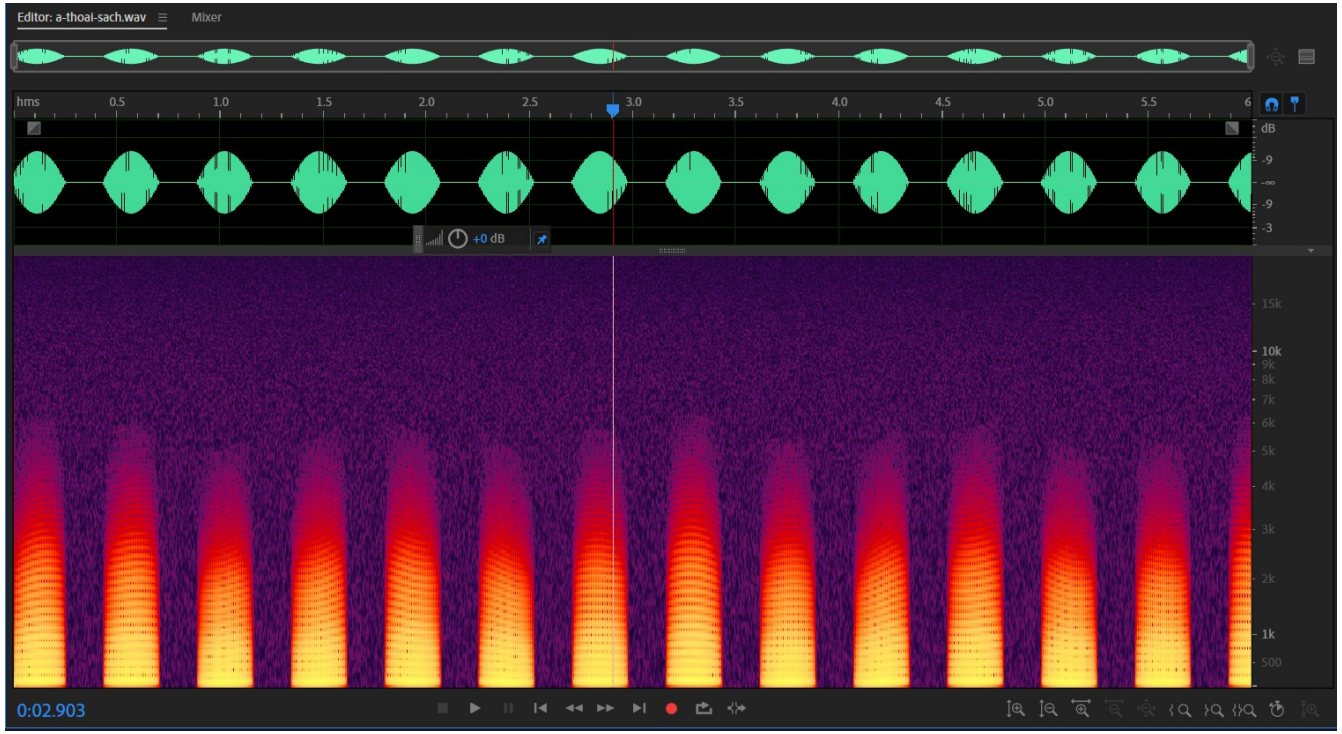
(a) phổ nguồn: chuỗi hài đều đặn, giảm dần

(b) phổ sau lọc: xuất hiện các đỉnh formant

Hình 1.18 — Cơ quan phát âm của người theo mô hình nguồn – bộ lọc: dây thanh quyết định cao độ, khoang cộng hưởng quyết định nguyên âm

Các đỉnh cộng hưởng F1, F2, F3…

- Hầu, khoang miệng, vòm khẩu cái, hốc mũi là chuỗi hộp cộng hưởng.
- Chúng khuếch đại một số dải và triệt tiêu dải khác: đó là formant.
- Trên phổ đồ, mỗi âm tiết là một cụm năng lượng, đậm ở dải thấp.



Hình 1.19 — Phổ đồ của đoạn thoại mẫu trong Adobe Audition; nguồn âm là tệp thoại tổng hợp, trục đứng là tần số

Formant gần như độc lập với cao độ

- **/i/:** F1 rất thấp (~250 Hz), F2 rất cao (~2.300 Hz).
- **/a/:** F1 cao (~700 Hz), F2 trung bình (~1.100 Hz).
- Vị trí formant do giải phẫu và khẩu hình (hàm, lưỡi, môi), gần như không phụ thuộc f_0.
- Pitch Shifting không bật bảo toàn formant: nâng tông thành “giọng sóc chuột”, hạ tông thành “quái vật”.

Dải tần các chất giọng diễn viên

Chất giọng	f_0	Formant đặc trưng	Lưu ý thu và xử lý
Basse (nam trầm)	80 – 120 Hz	Mạnh ở 2,4 kHz	High-Pass 60–70 Hz
Baryton (nam trung)	100 – 180 Hz	Mạnh ở 2,6 kHz	Dọn bớt 200 Hz nếu đục
Ténor (nam cao)	140 – 280 Hz	Mạnh ở 2,8 kHz	Vang sáng, kịch tính
Alto / Mezzo (nữ trung)	160 – 300 Hz	Mạnh ở 2,9 kHz	Dải trung đầy đặn
Soprano (nữ cao)	200 – 350 Hz	Mạnh ở 3,2 kHz	Xuyên thấu không gian lớn
Giọng trẻ em	250 – 400 Hz	3,5 kHz trở lên	Bớt dải gắt 300–500 Hz
Vùng rõ lời	1 – 4 kHz	Đỉnh F2, F3	Sống còn với ngữ nghĩa
Âm xuýt (s, x, ch)	5 – 9 kHz	Gió ma sát răng	Dùng De-Esser, không cắt EQ phẳng

Cho lời thoại nổi lên mà không tăng âm lượng

- **Frequency Carving:** cắt −2 đến −4 dB, Q ≈ 1,5, vùng 1–3,5 kHz trên track nhạc nền.
- Tạo khoang trống trên phổ để câu thoại nổi lên tự nhiên, rõ nét.
- **Hiệu ứng cận âm:** micro định hướng dưới 15–20 cm, dải dưới 150 Hz tăng +6 đến +15 dB.
- **Âm nổ /p/, /b/, /t/:** luồng khí đập màng micro gây “bụp”; dùng pop filter, lệch trục 15°–30°.

MỤC 1.6

Sinh lý thính giác và tâm lý âm học trong điện ảnh

- Âm thanh điện ảnh cuối cùng là cảm giác được tái dựng trong vỏ não khán giả.
- Mọi quyết định đặt micro, xử lý âm sắc, đặt mức kiểm âm phải xét theo tai người.
- Nội dung: cấu tạo tai, đẳng âm, ngưỡng cảm nhận, che lấp, Haas, bảo vệ thính giác.

Tai ngoài, tai giữa và tai trong

- **Tai ngoài:** ống tai ~2,5 cm cộng hưởng, tăng +10 đến +15 dB ở 2,5–4 kHz: dải tai nhạy nhất.
- **Tai giữa:** màng nhĩ ~55 mm^2 và đế xương bàn đạp ~3,2 mm^2 cùng chuỗi xương khuếch đại áp lực hơn 20 lần.
- Tai giữa phối hợp trở kháng không khí (413 rayl) với dịch ốc tai (~1.500.000 rayl).
- **Tai trong:** ốc tai, ~20.000 tế bào lông; đáy cộng hưởng tần số cao, đỉnh cộng hưởng tần số trầm.

Cấu tạo tai và cơ chế phối hợp trở kháng



Sóng âm trong không khí → dao động cơ học của xương → sóng áp suất trong dịch ốc tai → xung thần kinh

Hình 1.20 — Cấu tạo ba khoang tai, đường đi của tín hiệu và cơ chế phối hợp trở kháng âm học

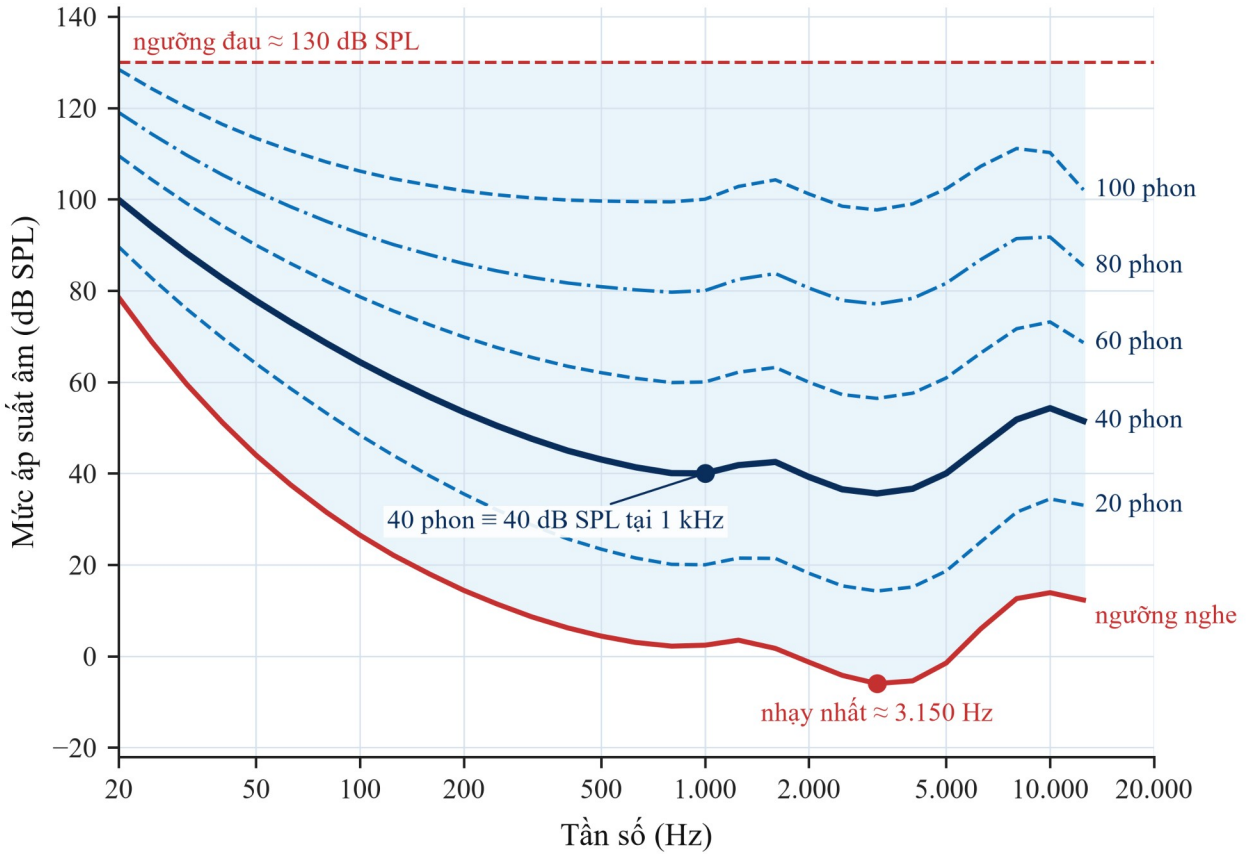
Tế bào lông mao thính giác không tái sinh

Tổn thương do tiếng ồn (NIHL) diễn ra âm thầm: ù tai sau giờ làm, rồi mất dần thính lực quanh 4.000 Hz. Với người làm âm thanh, đôi tai là tài sản không thể thay thế; bảo vệ thính giác là kỷ luật nghề nghiệp.

Độ to cảm nhận phi tuyến theo tần số

- Fletcher – Munson (1933) và ISO 226:2023: mức dB SPL cần có để nghe to bằng âm 1 kHz.
- **Phon:** 60 phon cần 60 dB ở 1 kHz, nhưng 68–70 dB ở 100 Hz và tới 85 dB ở 30 Hz.
- **Sone:** 1 sone = 40 phon; mỗi +10 phon số sone gấp đôi (+10 dB mới nghe “to gấp đôi”).
- Nghe nhỏ (dưới 60 dB) đường cong rất dốc; nghe lớn (trên 85 dB) đường cong phẳng hơn nhiều.

Đường cong đẳng âm theo ISO 226 và vùng nghe



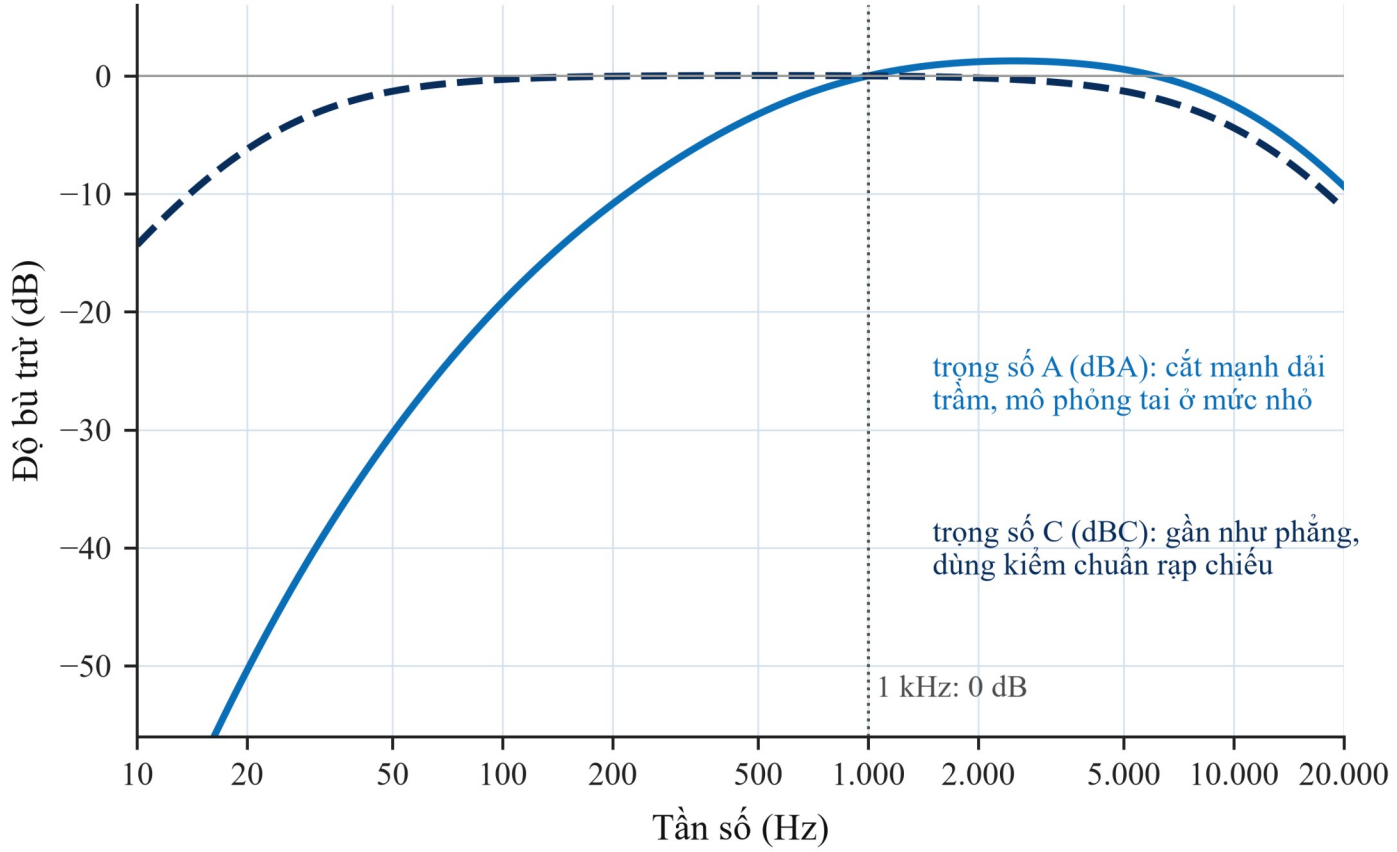
Hình 1.21 — Hệ đường cong đẳng âm dựng theo bảng tham số chuẩn ISO 226 và vùng nghe của tai người

Hiệu chuẩn loa kiểm âm ở 85 dBC SPL

- Máy đo trọng số C, Slow, tại vị trí ngồi trung tâm; nhiễu hồng −20 dBFS RMS.
- 85 dBC SPL mỗi kênh màn ảnh L, C, R; phòng dựng nhỏ dưới 150 m^3: 79 dBC SPL.
- Mix quá nhỏ: tưởng thiếu bass/treble, tăng thừa EQ; ra rạp thì gắt, trầm rền.
- Mix quá to: gọt bớt bass; lên tivi gia đình thì mỏng, nghèo âm sắc.

Cố định volume phòng dựng ở mức chuẩn; chỉ nghe nhanh ở mức nhỏ để kiểm tra độ cân bằng lời thoại.

dBA cắt trầm mạnh, dBC gần như phẳng



Hình 1.22 — Đặc tuyến mạch lọc trọng số dBA (cắt trầm mạnh) đối chiếu dBC (gần như phẳng)

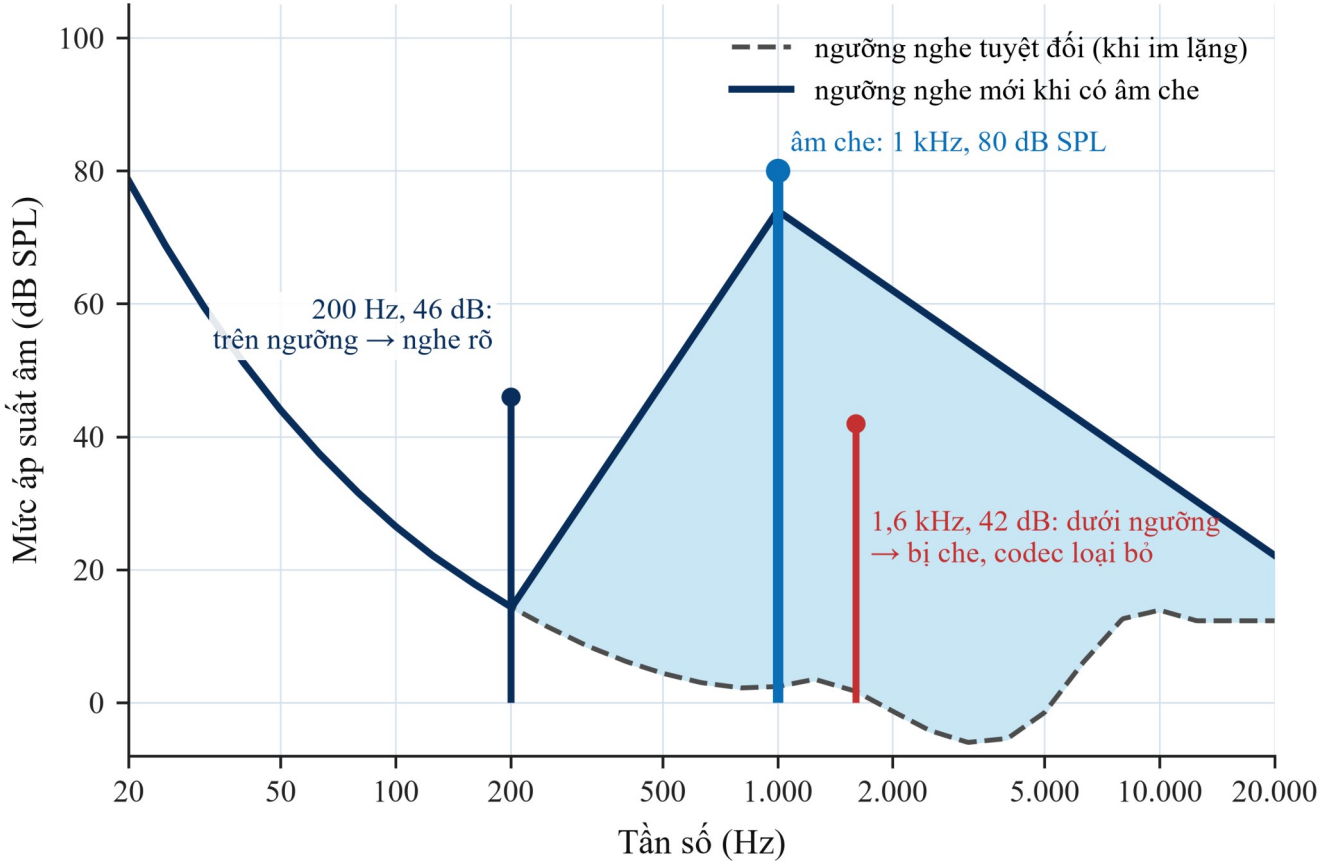
Ngưỡng chênh lệch cảm nhận của thính giác

Chênh lệch	Cảm nhận	Ý nghĩa trong hòa âm
Dưới 1 dB	Không phát hiện khi nghe bình thường	Chỉnh fader dưới 1 dB là vô nghĩa
Khoảng 1 dB (JND)	Ngưỡng phát hiện tối thiểu	Chỉ nhận ra khi so A/B tức thì
3 dB	Thay đổi rõ khi so sánh	Gấp đôi công suất chỉ tăng vừa phải
5 dB	Rất rõ khi nghe bình thường	Bậc cảm nhận thực tế; 6 bậc sắc thái pp → ff
10 dB	“To gấp đôi” hoặc “giảm một nửa”	Mốc quan trọng nhất khi dựng cao trào
Từ 15 dB	Tách hẳn hai lớp âm thanh	Để lời thoại nổi hẳn trên nhạc nền

Dàn nhạc 60–90 dB SPL (30 dB) chia bước 5 dB được đúng 6 bậc: pp, p, mp, mf, f, ff.

Âm mạnh nâng ngưỡng nghe, âm yếu biến mất

- **Đồng thời:** bất đối xứng; âm trầm che âm cao dễ và rộng hơn chiều ngược lại.
- **Theo thời gian:** che sau 50–200 ms; che trước 5–20 ms.
- **Codec có tổn hao:** MP3, AAC, Opus bỏ phần bị che, giảm tệp tới 10 lần.
- **Sidechain Ducking:** tự hạ nhạc nền khi nhân vật nói.



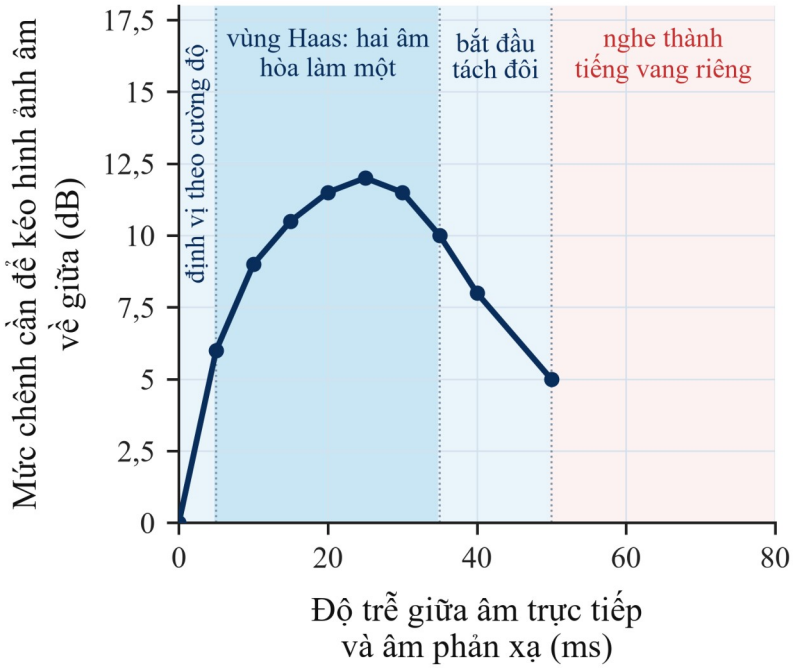
Hình 1.23 — Đường cong ngưỡng che lấp trong miền tần số — cơ sở vật lý của mọi thuật toán nén có tổn hao

ITD, ILD, HRTF và hiệu ứng Haas

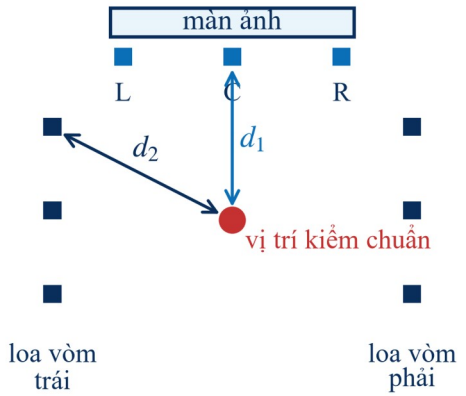
- **ITD:** chênh thời gian giữa hai tai, tối đa 0,6–0,7 ms; chủ đạo dưới 1,5 kHz.
- **ILD:** chênh mức do đầu che chắn tạo bóng âm; chủ đạo trên 1,5 kHz.
- **HRTF:** nếp gấp vành tai giúp phân biệt trước/sau và độ cao.
- **Haas:** cùng tín hiệu tới chênh dưới 50 ms thì não gộp làm một, định vị theo âm đến sớm nhất.
- Âm đến sau chỉ làm tăng độ to và mở rộng cảm giác không gian.

Neo lời thoại vào màn ảnh bằng hiệu ứng Haas

- Loa vòm tường cách khán giả 2–3 m; loa màn ảnh cách 15–20 m.
- Phát đồng thời: âm loa vòm tới sớm hơn khoảng 40–50 ms, lời thoại "dính" vào tường.
- Đặt Digital Delay để âm loa vòm tới sau âm màn ảnh 15–30 ms.



(a) đường cong hiệu ứng ưu tiên



(b) cài độ trễ loa vòm rạp chiếu

Hình 1.24 — Đường cong hiệu ứng ưu tiên (Haas) và sơ đồ cài đặt độ trễ cho hệ loa vòm rạp chiếu phim

Giới hạn thời gian tiếp xúc tiếng ồn (NIOSH)

Mức âm	Thời gian tối đa/ngày	Bối cảnh thực tế
85 dBA	8 giờ	Trường quay ồn, phòng máy chủ, giao thông
88 dBA	4 giờ	Sân khấu kịch khi tổng duyệt
91 dBA	2 giờ	Gần loa monitor sân khấu
94 dBA	1 giờ	Bàn mixer FOH đại nhạc hội
97 dBA	30 phút	Sát giàn loa Line Array
100 dBA	15 phút	Vũ trường, cảnh quay bar club
103 dBA	7,5 phút	Nguy hiểm; bắt buộc chụp tai
106 dBA	3,75 phút	Nổ súng đạo cụ cự ly gần
112 dBA	Dưới 1 phút	Không tiếp xúc nếu không bảo hộ
140 dBA	0 giây	Rách màng nhĩ, điếc vĩnh viễn

Ba thói quen bắt buộc của người làm âm thanh

- **Nút tai lọc phẳng:** giảm đều 15–25 dB toàn dải, vẫn thẩm định được bản mix; nút bọt xốp làm méo.
- **Quy tắc 60/60:** tai nghe không quá 60% âm lượng tối đa, không quá 60 phút liên tục.
- **Nghỉ tai:** 10–15 phút yên tĩnh sau mỗi 90 phút hòa âm liên tục.
- Tránh dịch ngưỡng nghe tạm thời (TTS), nguyên nhân khiến cuối buổi đẩy thừa dải cao.

Từ tư duy kênh sang tư duy đối tượng

- **Binaural:** mô phỏng đúng tín hiệu tại hai màng nhĩ (ITD, ILD, HRTF); nghe qua tai nghe.
- **Dummy Head:** đầu người giả (như Neumann KU 100), micro đặt đúng vị trí màng nhĩ.
- **Object-based (Dolby Atmos):** mỗi nguồn là đối tượng mang tọa độ X, Y, Z.
- Bộ giải mã tự render theo số loa hoặc tai nghe thực có, kèm Head Tracking.

MỤC 1.7

Mô phỏng kỹ thuật và cầu nối lập trình âm thanh số

- Trong điện ảnh số, mọi tín hiệu âm thanh là chuỗi mẫu số rời rạc xử lý bằng DSP.
- Chương trình Python nối công thức vật lý với cách DAW vận hành.
- Hai bài toán: đo Peak, RMS, Crest Factor và tính suy hao boom theo cự ly.

Đo biên độ và tính suy hao bằng Python

```
import numpy as np

def generate_and_analyze_tone(freq_hz=440.0, duration_sec=1.0, sample_rate=48000, amplitude=1.0):
    t = np.linspace(0, duration_sec, int(sample_rate * duration_sec), endpoint=False)
    signal = amplitude * np.sin(2.0 * np.pi * freq_hz * t)
    peak_val = np.max(np.abs(signal))
    rms_val = np.sqrt(np.mean(signal**2))
    dbfs_peak = 20.0 * np.log10(peak_val)
    dbfs_rms = 20.0 * np.log10(rms_val)
    crest_factor_db = dbfs_peak - dbfs_rms      # lý thuyết: 3.01 dB
    return signal

def calculate_inverse_square_law(spl_initial=80.0, d_initial=0.5, d_target=1.0):
    delta_db = 20.0 * np.log10(d_initial / d_target)   # -6.02 dB khi nhân đôi cự ly
    return spl_initial + delta_db
```

Rút gọn từ Liệt kê 1.3 (bỏ phần in báo cáo). Kết quả: RMS 0,707107 = −3,01 dBFS; boom 0,5 → 1,0 m giảm 6,02 dB.

MỤC 1.8

Bảng tổng hợp ứng dụng thực tế hiện trường

- Gom các đại lượng vật lý đã học thành ma trận hành động.
- Mỗi tình huống: hiện tượng chi phối và quyết định kỹ thuật cụ thể.
- Dùng làm danh mục kiểm tra tại phim trường và phòng hòa âm.

Hiện tượng vật lý và quyết định kỹ thuật

Tình huống	Đại lượng chi phối	Quyết định kỹ thuật
Chọn cự ly cần boom	Bình phương nghịch đảo, cận âm	Cách miệng 40–70 cm; xa mất 6 dB, gần bị ùng
Hai micro cảnh đối thoại	Pha, lọc lược	Quy tắc 3:1; kiểm tra tương thích Mono
Điều hòa lọt vào cảnh thoại	Cộng mức logarit, che lấp	Tắt nguồn ồn lớn nhất trước; đo lại SPL
Phòng dựng thiếu trầm	Sóng đứng, room modes	Ngồi ở 38% chiều dài; bass trap ở góc
Căn loa vòm rạp chiếu	Vận tốc âm, hiệu ứng Haas	Delay để loa vòm tới sau 15–30 ms

Hiện tượng vật lý và quyết định kỹ thuật (tiếp)

Tình huống	Đại lượng chi phối	Quyết định kỹ thuật
Phim nộp YouTube bị hạ tiếng	LUFS (BS.1770), True Peak	Đưa về −14 LUFS, limiter trần −1,0 dBTP
Lời thoại chìm dưới nhạc	Che lấp đồng thời	Khoét 2–4 dB vùng 1–3 kHz trên nhạc, ducking
Giọng thoại “nghẹt hộp”	Phản xạ mặt bàn, lọc lược	Micro bề mặt hoặc nâng micro khỏi mặt bàn
Quay đêm bị kêu ồn từ xa	Khúc xạ do nghịch nhiệt	Hạ loa, chúc loa xuống, sub dạng Cardioid
Sound design xe rượt đuổi	Hiệu ứng Doppler	Dịch tần đúng theo vận tốc tiến lại và ra xa

Những điều cần nhớ

1. Âm thanh là sóng cơ học, sóng dọc trong khí; truyền năng lượng, không truyền vật chất; cần đủ ba yếu tố.
2. $c \approx 331{,}3 + 0{,}606 \cdot \theta$; $\lambda = c/f$ nối tần số với kích thước vật liệu, loa; $Z = \rho c$ quyết định phản xạ hay truyền qua.
3. Bốn đại lượng: biên độ (Peak, RMS, Crest Factor), tần số theo quãng tám, âm sắc (hài, ADSR), góc pha.
4. Lọc lược có hõm tại $(2n+1)/(2\Delta t)$; quy tắc 3:1 và kiểm tra Mono khi thu nhiều diễn viên.
5. Âm học phòng: phân biệt echo và reverb; sóng đứng trị bằng bass trap và vị trí 38%; RT60 theo Sabine/Eyring.
6. Decibel là tỷ số: hệ số 20 cho biên độ, 10 cho công suất; hai nguồn không tương quan bằng nhau +3 dB.
7. Nhân đôi cự ly mất 6 dB; không bù bằng Gain. Đo độ to bằng LUFS, giữ True Peak; thoại −18 đến −20 dBFS RMS.
8. Formant nhận diện nguyên âm; tai nhạy nhất 2,5–4 kHz; kiểm âm 85 dBC; che lấp và Haas là nền của codec, loa vòm.

Câu hỏi ôn tập và tình huống hiện trường

- **Ôn tập (25 câu):** ba điều kiện của âm thanh, sóng dọc, Z = ρc, Peak/RMS, đảo cực và lệch pha, lọc lược.
- **Ôn tập (tiếp):** echo/reverb, sóng đứng, Sabine/Eyring, Schroeder, hệ số 10/20, BS.1770, ISO 226, Haas.
- **Tình huống 1:** boom từ 0,6 m lên 2,4 m (76 dB SPL): tính mức mới, lượng Gain bù và tác hại SNR.
- **Tình huống 2:** phòng dựng 5,0 × 3,5 × 2,8 m: tính mode trục bậc 1, phân tích việc kê bàn giữa phòng.
- **Tình huống 3:** rạp có loa màn ảnh 18 m, loa vòm 3 m (c = 340 m/s): tính delay cho kênh vòm.

Bài tính toán và thực hành khảo sát phòng

- **Tính toán (15 bài):** vận tốc ở 28 °C, bước sóng 250 Hz/8 kHz, dB SPL từ 0,2 Pa, cộng nhiều nguồn ồn.
- **Tính toán (tiếp):** hõm lọc lược Δt = 0,5 ms, mode phòng dài 6,2 m, RT60, SPL loa ở 15 m, LUFS, Doppler.
- **Thực hành 1:** đo L, W, H; tính room modes theo Rayleigh và tần số Schroeder.
- **Thực hành 2:** đo ồn nền dBA sáng, trưa, tối; phân tích nguồn ồn chính.
- **Thực hành 3–4:** ước lượng RT60; thu 30 giây đọc thoại, đo LUFS, True Peak; lập dự toán xử lý 5 triệu đồng.