

Tổng hợp kiến thức về Độ cao của âm

Độ cao là một trong ba đặc trưng sinh lí của âm thanh, bên cạnh độ to và âm sắc. Nó giúp chúng ta phân biệt được các âm trầm, bổng khác nhau. Chuyên đề này sẽ đi sâu vào bản chất vật lí của độ cao và các yếu-tố-ảnh-hưởng-đến-nó.

1. Độ cao của âm là gì?

Độ cao của âm là một đặc trưng sinh lí của âm, phụ thuộc vào cảm nhận của tai người, giúp ta phân biệt được âm trầm (thấp) và âm bổng (cao).

- **Âm trầm (thấp):** Là những âm nghe có vẻ nặng, sâu như tiếng trống cái, giọng nói của nam giới trưởng thành.
- **Âm bổng (cao):** Là những âm nghe thanh, cao vút như tiếng sáo, tiếng chim hót, giọng nói của nữ giới và trẻ em.

Trong đời sống, ta thường xuyên phân biệt độ cao của âm thanh. Ví dụ, khi một ca sĩ lên những nốt cao, ta nói họ có "giọng cao". Khi một chiếc xe tải gầm rú, ta nghe thấy âm thanh "trầm" và nặng nề.

2. Mối quan hệ giữa Độ cao và Tần số

Đặc trưng vật lí quyết định độ cao của âm chính là tần số của sóng âm. Mối quan hệ này là mối quan hệ trực tiếp và mật thiết.

a. Tần số (f)

Tần số của sóng âm là số dao động mà nguồn âm (hoặc các phần tử môi trường) thực hiện được trong một giây.

- **Công thức:** $f = 1/T$

- **Trong đó:**

- **f:** Tần số, đơn vị là Hertz (Hz).
- **T:** Chu kì dao động, đơn vị là giây (s).

b. Mối quan hệ trực tiếp

Độ cao của âm tỉ lệ thuận với tần số của sóng âm.

- **Tần số càng lớn (f cao) → Âm càng cao (bổng).**
- **Tần số càng nhỏ (f thấp) → Âm càng trầm (thấp).**

Tai người là một bộ phận cảm nhận tần số rất nhạy, có thể phân biệt được sự thay đổi rất nhỏ về tần số, từ đó cảm nhận được sự khác biệt về độ cao.

Ví dụ 1: Tiếng vo ve của con muỗi có tần số rất cao (khoảng 500-600 Hz), do đó ta nghe thấy âm thanh rất cao và chói tai. Ngược lại, tiếng gầm của sư tử có tần số rất thấp (dưới 100 Hz), tạo ra âm thanh trầm và uy lực.

Ví dụ 2: Trong âm nhạc, các nốt nhạc từ Đồ, Rê, Mi, Fa, Sol, La, Si có tần số tăng dần. Nốt Đồ trầm có tần số thấp hơn nốt Si cao.

3. Phân loại âm thanh theo tần số

Dựa vào khả năng cảm nhận của tai người, sóng âm được chia thành ba loại chính:

Loại âm	Dải tần số (f)	Đặc điểm	Ví dụ
Hạ âm	$f < 16\text{ Hz}$	Tai người không nghe được. Có thể gây cảm giác mệt mỏi, khó chịu, buồn nôn khi có cường độ lớn.	Sóng địa chấn trước động đất, tiếng gọi bầy của voi, sự chuyển động của các khối không khí lớn.
Âm nghe được (Âm thanh)	$16\text{ Hz} \leq f \leq 20.000\text{ Hz}$	Tai người có thể cảm nhận được. Đây là dải tần số của giọng nói, âm nhạc và hầu hết âm thanh trong đời sống.	Giọng nói con người (85 - 1100 Hz), tiếng đàn piano (27.5 - 4186 Hz), tiếng chim hót.
Siêu âm	$f > 20.000\text{ Hz}$ (20 kHz)	Tai người không nghe được. Có khả năng truyền thẳng, ít bị nhiễu xạ và có nhiều ứng dụng trong khoa học, kỹ thuật.	Sóng siêu âm của dơi, cá heo để định vị; máy siêu âm trong y tế; máy dò khuyết tật vật liệu.

4. Các yếu tố ảnh hưởng đến tần số và độ cao của âm

Tần số của âm không phải là ngẫu nhiên mà phụ thuộc vào các đặc tính vật lí của nguồn phát âm. Hai nguồn âm phổ biến nhất là dây đàn và cột khí.

a. Sóng âm trên dây (Ví dụ: Đàn guitar, piano, violin)

Khi một sợi dây đàn hồi được gảy, nó sẽ dao động và tạo ra sóng dừng. Tần số của các dao động này quyết định độ cao của âm phát ra.

Công thức tính tần số sóng dừng trên dây có hai đầu cố định:

$$f_k = (k / 2L) * \sqrt{(T / \mu)}$$

- **f_k :** Tần số của họa âm bậc k (Hz).
- **k :** Bậc của họa âm ($k = 1, 2, 3, \dots$). Với $k=1$, ta có âm cơ bản (tần số nhỏ nhất, âm trầm nhất). Các giá trị $k > 1$ tương ứng với các họa âm.
- **L :** Chiều dài của sợi dây (m).
- **T :** Lực căng của sợi dây (N).
- **μ :** Mật độ khối lượng dài của dây (kg/m), được tính bằng **$\mu = m/L$** (với m là khối lượng dây).

Từ công thức trên, ta thấy tần số (độ cao) của âm do dây phát ra phụ thuộc vào:

1. **Chiều dài (L):** Tần số tỉ lệ nghịch với chiều dài dây ($f \sim 1/L$). Dây càng ngắn, âm phát ra càng cao.

Ví dụ: Khi chơi đàn guitar, người chơi bấm vào các phím đàn khác nhau. Việc này làm thay đổi chiều dài hiệu dụng của phần dây dao động. Bấm càng gần về phía thùng đàn, phần dây dao động (L) càng ngắn, tần số (f) càng lớn, và nốt nhạc phát ra càng cao.

2. **Lực căng (T):** Tần số tỉ lệ thuận với căn bậc hai của lực căng dây ($f \sim \sqrt{T}$).

Dây càng căng, âm phát ra càng cao.

Ví dụ: Khi lên dây đàn, người ta vặn các khóa đàn. Vặn khóa để dây căng hơn (tăng T) sẽ làm tăng tần số, khiến âm phát ra cao hơn cho đến khi đạt đúng nốt nhạc chuẩn.

3. **Mật độ khối lượng dài (μ):** Tần số tỉ lệ nghịch với căn bậc hai của mật độ khối lượng dài ($f \sim 1/\sqrt{\mu}$). Dây càng nhẹ (mảnh, μ nhỏ), âm phát ra càng cao.

Ví dụ: Trên một cây đàn guitar, các dây có độ dày khác nhau. Dây số 1 (dây Mí cao) là mỏng nhất (μ nhỏ nhất) nên phát ra âm cao nhất. Dây số 6 (dây Mì trầm) là dày nhất (μ lớn nhất) nên phát ra âm trầm nhất, dù chúng có cùng chiều dài và lực căng tương đương.

b. Sóng âm trong cột khí (Ví dụ: Sáo, kèn, chai lọ)

Khi thổi vào miệng sáo hoặc kèn, cột không khí bên trong sẽ dao động, tạo ra sóng dừng và phát ra âm thanh. Tần số của âm phụ thuộc vào chiều dài cột khí và cấu trúc của ống (kín hay hở).

Trường hợp 1: Ống một đầu kín, một đầu hở (VD: Kèn clarinet, thổi vào miệng chai)

Trong trường hợp này, tại đầu kín luôn là một nút sóng và tại đầu hở luôn là một bụng sóng.

Công thức tính tần số:

$$f_k = (2k + 1) * v / (4L) \text{ (Chỉ có các họa âm bậc lẻ)}$$

- **k**: 0, 1, 2, ...
- **v**: Tốc độ truyền âm trong không khí (khoảng 340 m/s ở điều kiện thường).
- **L**: Chiều dài của cột khí (m).

Âm cơ bản (trầm nhất) ứng với $k=0$: $f_0 = v / 4L$.

Ví dụ 1: Khi bạn thổi vào miệng một chai thủy tinh rỗng, bạn sẽ nghe thấy một âm trầm. Nếu bạn đổ nước vào chai, chiều dài cột không khí (L) bên trên mặt nước sẽ giảm đi. Theo công thức, L giảm thì f tăng, do đó âm thanh phát ra sẽ cao hơn.

Ví dụ 2: Một cây kèn clarinet dài 60 cm (0.6 m). Tần số âm cơ bản mà nó có thể phát ra là $f_0 = 340 / (4 * 0.6) \approx 141.7 \text{ Hz}$.

Trường hợp 2: Ống hở cả hai đầu (VD: Sáo trúc, sáo flute)

Trong trường hợp này, hai đầu hở của ống luôn là hai bụng sóng.

Công thức tính tần số:

$$f_k = k * v / (2L) \text{ (Có cả họa âm bậc chẵn và bậc lẻ)}$$

- **k**: 1, 2, 3, ...
- **v**: Tốc độ truyền âm trong không khí.
- **L**: Chiều dài của cột khí (m).

Âm cơ bản (trầm nhất) ứng với $k=1$: $f_1 = v / 2L$.

Ví dụ 1: Người chơi sáo trúc thay đổi độ cao của nốt nhạc bằng cách dùng ngón tay bịt hoặc mở các lỗ trên thân sáo. Khi mở một lỗ, chiều dài hiệu dụng của cột khí dao động (L) bị rút ngắn lại. L giảm làm cho tần số f tăng lên, tạo ra một nốt nhạc cao hơn.

Ví dụ 2: So sánh hai cây sáo có cùng cấu trúc nhưng khác chiều dài. Cây sáo ngắn hơn (L nhỏ hơn) sẽ phát ra âm cơ bản có tần số cao hơn, tức là âm thanh tổng thể của nó sẽ cao và thanh hơn cây sáo dài.

5. Bài tập ví dụ và ứng dụng

a. Ví dụ tính toán

Bài toán: Một dây đàn guitar dài 65 cm (0.65 m) có khối lượng 3.9 g. Để dây phát ra nốt La (A4) có tần số âm cơ bản là 440 Hz, cần phải điều chỉnh lực căng dây là bao nhiêu?

Phân tích và giải:

1. Đổi đơn vị:

- $L = 65 \text{ cm} = 0.65 \text{ m}$
- $m = 3.9 \text{ g} = 0.0039 \text{ kg}$

2. Tính mật độ khối lượng dài (μ):

$$\mu = m / L = 0.0039 / 0.65 = 0.006 \text{ kg/m}$$

3. Áp dụng công thức tần số âm cơ bản ($k=1$):

$$f_1 = (1 / 2L) * \sqrt{(T / \mu)}$$

$$440 = (1 / (2 * 0.65)) * \sqrt{(T / 0.006)}$$

4. Biến đổi để tìm T:

$$440 * (2 * 0.65) = \sqrt{(T / 0.006)}$$

$$572 = \sqrt{(T / 0.006)}$$

$$T / 0.006 = 572^2 = 327184$$

$$T = 327184 * 0.006 \approx 1963.1 \text{ N}$$

Kết luận: Cần một lực căng khoảng 1963.1 N để dây đàn phát ra nốt La 440 Hz.

b. Ứng dụng thực tế

- **Trong âm nhạc:** Hiểu biết về mối quan hệ giữa tần số và các đặc tính vật lý của nguồn âm là cơ sở để thiết kế, chế tạo và sử dụng các loại nhạc cụ. Việc lên dây đàn chính là điều chỉnh lực căng T để đạt được tần số f mong muốn.
- **Trong y học:** Siêu âm (sóng âm có tần số rất cao) được dùng để chẩn đoán hình ảnh (siêu âm thai, siêu âm tim), phá sỏi thận mà không cần phẫu thuật.
- **Trong công nghiệp và kĩ thuật:** Siêu âm được dùng để kiểm tra các khuyết tật bên trong vật liệu (đường hàn, khối kim loại), làm sạch các chi tiết máy móc phức tạp, hoặc đo độ sâu của biển.
- **Trong tự nhiên:** Nhiều loài động vật như dơi, cá heo sử dụng siêu âm để định vị, săn mồi và giao tiếp trong môi trường thiếu ánh sáng.