

Chuyên đề: Sóng điện từ - Sự truyền sóng vô tuyến trong khí quyển

Sóng vô tuyến là một phần không thể thiếu trong cuộc sống hiện đại, là nền tảng của hầu hết các công nghệ truyền thông không dây từ radio, truyền hình đến điện thoại di động và Internet. Hiểu rõ cách chúng truyền đi trong khí quyển là kiến thức cốt lõi của chương trình Vật Lý 12.

1. Sóng vô tuyến là gì?

Sóng vô tuyến là sóng điện từ có bước sóng từ vài mét đến vài kilômét (tương ứng với tần số từ vài kilohec (kHz) đến vài gigahec (GHz)), được sử dụng trong các hệ thống thông tin vô tuyến.

- **Bản chất:** Là sóng điện từ, lan truyền trong chân không với tốc độ ánh sáng ($c \approx 3.10^8 \text{ m/s}$).
- **Đặc tính sóng:** Có đầy đủ các tính chất đặc trưng của sóng như phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ, giao thoa.
- **Công thức liên hệ:** $\lambda = c / f$ trong đó λ là bước sóng, c là tốc độ ánh sáng, f là tần số.

Ví dụ 1: Một đài phát thanh FM phát sóng ở tần số 100 MHz. Bước sóng của nó là $\lambda = (3.10^8 \text{ m/s}) / (100.10^6 \text{ Hz}) = 3 \text{ mét}$.

Ví dụ 2: Một trạm radar hoạt động ở tần số 3 GHz. Bước sóng của nó là $\lambda = (3.10^8 \text{ m/s}) / (3.10^9 \text{ Hz}) = 0.1 \text{ mét} = 10 \text{ cm}$.

2. Phân loại sóng vô tuyến

Dựa vào bước sóng (hoặc tần số), người ta chia sóng vô tuyến thành các dải chính. Năng lượng của sóng điện từ tỉ lệ thuận với tần số ($E = hf$), do đó sóng có tần số càng cao (bước sóng càng ngắn) thì năng lượng càng lớn.

Tên sóng	Bước sóng (λ)	Tần số (f)	Đặc điểm năng lượng
Sóng dài	> 1000 m	3 - 300 kHz	Thấp
Sóng trung	100 m - 1000 m	300 kHz - 3 MHz	Trung bình
Sóng ngắn	10 m - 100 m	3 MHz - 30 MHz	Cao
Sóng cực ngắn	< 10 m	> 30 MHz	Rất cao

3. Sự truyền sóng vô tuyến trong khí quyển

Sự lan truyền của sóng vô tuyến phụ thuộc rất nhiều vào đặc tính của sóng (bước sóng, tần số) và môi trường khí quyển mà nó đi qua. Hai tầng khí quyển quan trọng nhất là tầng đối lưu và tầng điện li.

a. Tầng đối lưu

Đây là lớp khí quyển sát mặt đất, có độ cao khoảng 10-12 km. Tầng này chứa hầu hết hơi nước, mây, bụi và diễn ra các hiện tượng thời tiết. Sóng vô tuyến truyền trong tầng này được gọi là **sóng đất**. Sóng đất lan truyền dọc theo bề mặt cong của Trái Đất. Khả năng truyền của sóng đất phụ thuộc vào bước sóng:

sóng càng dài thì càng ít bị mặt đất hấp thụ và truyền đi càng xa.

b. Tầng điện li

Là lớp khí quyển ở độ cao từ khoảng 80 km đến 800 km. Dưới tác dụng của tia tử ngoại và các bức xạ khác từ Mặt Trời, không khí ở đây bị ion hóa mạnh, chứa nhiều hạt mang điện (ion, electron tự do). Tầng điện li có khả năng phản xạ hoặc khúc xạ các sóng vô tuyến có tần số nhất định, giống như một tấm gương khổng lồ trên bầu trời. Sóng vô tuyến truyền đến tầng điện li, bị phản xạ trở lại mặt đất được gọi là **sóng trời**.

- Khả năng phản xạ của tầng điện li phụ thuộc vào tần số của sóng và mật độ ion.
- Mật độ ion thay đổi theo thời gian trong ngày (ngày/đêm) và theo chu kỳ hoạt động của Mặt Trời (khoảng 11 năm). Ban ngày, mật độ ion cao hơn ban đêm.

4. Đặc điểm truyền sóng của các loại sóng vô tuyến

a. Sóng dài ($\lambda > 1000 \text{ m}$)

- **Đặc điểm:** Có năng lượng thấp, ít bị nước hấp thụ nhưng lại bị mặt đất hấp thụ mạnh.
- **Cơ chế truyền sóng:** Chủ yếu truyền dưới dạng **sóng đất**. Do bước sóng rất dài, nó có thể đi vòng qua các vật cản và lan truyền theo độ cong của Trái Đất.

- **Ứng dụng:** Quan trọng nhất là thông tin liên lạc dưới nước (ví dụ: liên lạc với tàu ngầm đang lặn) vì chúng có thể xuyên qua nước biển ở một mức độ nhất định.
- **Ví dụ 1:** Hệ thống định vị hàng hải LORAN-C (đã ngừng hoạt động ở nhiều nơi) sử dụng sóng dài ở tần số 100 kHz để giúp tàu thuyền xác định vị trí.
- **Ví dụ 2:** Các đài phát thanh ở châu Âu đôi khi sử dụng dải sóng dài để phủ sóng một khu vực rộng lớn với một máy phát duy nhất.

b. Sóng trung (100 m λ 1000 m)

- **Đặc điểm:** Bị tầng điện li hấp thụ mạnh vào ban ngày, nhưng lại được tầng điện li phản xạ tốt vào ban đêm.
- **Cơ chế truyền sóng:**
 1. **Ban ngày:** Chủ yếu truyền bằng **sóng đất**. Tầm phủ sóng bị giới hạn trong vài trăm kilômét vì sóng trời bị tầng điện li hấp thụ hết.
 2. **Ban đêm:** Truyền bằng cả **sóng đất** và **sóng trời**. Tầng điện li không hấp thụ mà phản xạ tốt sóng trung, giúp chúng truyền đi rất xa (hàng nghìn kilômét).
- **Ứng dụng:** Sử dụng trong phát thanh quảng bá trên băng tần AM (Amplitude Modulation).
- **Ví dụ 1:** Đài Tiếng nói Việt Nam (VOV) phát sóng trên băng tần AM. Vào ban đêm, bạn có thể bắt được tín hiệu của đài từ một khoảng cách rất xa so với ban ngày.

- **Ví dụ 2:** Nhiều người nghe radio vào buổi tối có thể dò được các đài phát thanh từ các tỉnh thành khác, thậm chí từ các nước láng giềng, điều mà ban ngày không thể làm được.

c. Sóng ngắn (10 m λ 100 m)

- **Đặc điểm:** Có năng lượng lớn hơn sóng trung và sóng dài. Bị mặt đất và mặt nước phản xạ tốt. Đặc biệt, chúng được tầng điện li phản xạ rất tốt vào cả ban ngày lẫn ban đêm.
- **Cơ chế truyền sóng:** Chủ yếu là **sóng trời**. Sóng ngắn có thể phản xạ nhiều lần giữa tầng điện li và mặt đất, giúp chúng truyền đi đến mọi nơi trên Trái Đất. Đây là cơ chế "nhảy sóng" (skywave propagation).
- **Ứng dụng:** Thông tin liên lạc vô tuyến tầm xa, xuyên lục địa. Phổ biến trong phát thanh quốc tế, liên lạc hàng hải, hàng không, và radio nghiệp dư.
- **Ví dụ 1:** Các đài phát thanh quốc tế như BBC World Service, VOA (Voice of America) sử dụng sóng ngắn để phát chương trình đến khắp nơi trên thế giới.
- **Ví dụ 2:** Phi công trên các chuyến bay vượt đại dương sử dụng sóng ngắn để giữ liên lạc với các trạm kiểm soát không lưu mặt đất khi ở ngoài tầm phủ của sóng cực ngắn.

d. Sóng cực ngắn (λ 10 m)

- **Đặc điểm:** Có năng lượng rất lớn, tần số rất cao. Chúng không bị tầng điện li phản xạ hay hấp thụ mà có khả năng xuyên qua tầng điện li để đi vào không gian.

- **Cơ chế truyền sóng:** Truyền theo đường thẳng từ nơi phát đến nơi thu (line-of-sight propagation). Do Trái Đất cong, tầm phủ sóng bị giới hạn bởi đường chân trời. Để truyền đi xa, cần có các trạm chuyển tiếp trên mặt đất hoặc sử dụng vệ tinh.
- **Ứng dụng:** Rất phổ biến và quan trọng trong công nghệ hiện đại.
 - **Truyền hình mặt đất (VHF, UHF) và phát thanh FM:** Yêu cầu anten thu phải "nhìn thấy" anten phát.
 - **Thông tin di động (3G, 4G, 5G):** Tín hiệu truyền thẳng từ điện thoại đến trạm thu phát sóng (BTS) gần nhất.
 - **Thông tin vệ tinh:** Sóng cực ngắn xuyên qua tầng điện li để truyền tín hiệu từ mặt đất lên vệ tinh và ngược lại (GPS, truyền hình vệ tinh).
 - **Wi-Fi, Bluetooth:** Liên lạc tầm gần theo đường thẳng.
 - **Radar:** Dùng để phát hiện và định vị vật thể.
- **Ví dụ 1:** Khi bạn đi vào đường hầm hoặc một khu vực bị núi cao che khuất, tín hiệu radio FM và sóng điện thoại di động thường bị mất hoặc yếu đi. Điều này là do sóng cực ngắn truyền thẳng và bị vật cản chặn lại.
- **Ví dụ 2:** Hệ thống định vị toàn cầu (GPS) hoạt động nhờ các vệ tinh trên quỹ đạo liên tục phát sóng cực ngắn xuống Trái Đất. Thiết bị GPS của bạn nhận tín hiệu này để tính toán vị trí.

5. Bảng tổng kết đặc điểm truyền sóng

Loại sóng	Đặc điểm truyền sóng chính	Tầng khí quyển ảnh hưởng	Ứng dụng tiêu biểu
Sóng dài	Sóng đất, ít bị nước hấp thụ, lan truyền theo độ cong Trái Đất.	Tầng đối lưu	Thông tin liên lạc dưới nước (tàu ngầm).
Sóng trung	Ban ngày: Sóng đất. Ban đêm: Sóng trời (phản xạ tốt ở tầng điện li).	Tầng điện li (chủ yếu vào ban đêm)	Phát thanh AM trong nước.
Sóng ngắn	Sóng trời (phản xạ tốt ở tầng điện li và mặt đất), có thể truyền đi rất xa.	Tầng điện li (cả ngày và đêm)	Phát thanh quốc tế, liên lạc hàng hải, hàng không tầm xa.
Sóng cực ngắn	Truyền thẳng, xuyên qua tầng điện li. Cần trạm chuyển tiếp hoặc vệ tinh để đi xa.	Không bị tầng điện li ảnh hưởng (xuyên qua)	Truyền hình, FM, di động (4G, 5G), Wi-Fi, GPS, vệ tinh.