CHƯƠNG 7

TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

7.1. LUẬN ĐIỂM THỨ NHẤT CỦA MAXWELL

7.1.1. Điện trường xoáy

- Theo thí nghiệm của Faraday về hiện tượng cảm ứng điện từ
- Từ đó, ta rút ra các nhận xét:

  + Từ trường biến đổi làm xuất hiện trong vòng dây 1 lực lạ tác dụng lên các hạt mang điện có trong vòng dây

  + Dòng điện cảm ứng là do 1 điện trường $\vec{E}_B$ được tạo ra trong dây dẫn. Chiều của điện trường trong dây dẫn là chiều của dòng điện cảm ứng.

  + Để tạo thành dòng điện thì công của điện trường để dịch chuyển các hạt tải điện theo đường cong kín phải khác không, điều đó có nghĩa là sức điện động cảm ứng ε_c bằng lưu số của vectơ cường độ điện trường $\vec{E}_B$ dọc theo vòng dây kín (C)

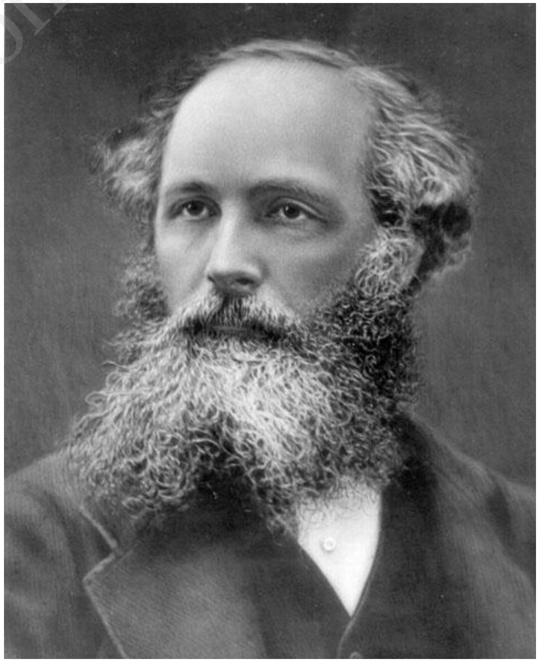
$$\varepsilon_C = \oint_C \vec{E}_B . d\vec{\ell}$$

  + Điện trường gây nên dòng điện cảm ứng có những đường sức khép kín - điện trường xoáy .

7.1.2. Phát biểu luận điểm

Sự xuất hiện của điện trường xoáy trong mạch không phụ thuộc bản chất, trạng thái, nhiệt độ dây dẫn.

→ Sự xuất hiện của điện trường xoáy do từ trường biến thiên theo thời gian gây ra.



Jame Clerk Maxwell
(1831 - 1879)

Luận điểm thứ nhất của Maxwell:

"Bất kì một từ trường nào biến thiên theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy".

7.1.3. Phương trình Maxwell - Faraday

- Xét vòng dây kín (C) trong một từ trường biến thiên theo thời gian. Theo định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ, trong mạch sẽ xuất hiện một sức điện động cảm ứng được xác định từ

$$\varepsilon_c = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}.d\vec{S}$$

$$\oint_C \vec{E}_B.d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}.d\vec{S}$$

- Trong trường hợp tổng quát các vectơ $\vec{B}$ có thể vừa là hàm số của thời gian vừa là hàm số của không gian nên:

$$\oint_C \vec{E}_B.d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S}$$

Lưu số của vectơ cường độ điện trường xoáy dọc theo vòng dây kín bất kỳ bằng về giá trị tuyệt đối, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông gửi qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó

- Sử dụng công thức Stokes [$\oint_C \vec{A}.d\vec{\ell} = \int_S \left(\nabla \times \vec{A}\right) d\vec{S}$ (0.20)] đối với vế trái của phương trình, ta có thể đưa phương trình này đến dạng :

$$\int_S (\nabla \times \overrightarrow{E_B}).d\vec{S} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S}$$

- Vòng dây bao quanh mặt S là vòng dây bất kỳ, muốn cho phương trình đúng với mọi vòng dây thì biểu thức dưới dấu tích phân phải bằng nhau:

$$\nabla \times \vec{E}_B = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

- Chính Maxwell đã cho rằng từ trường biến thiên theo thời gian đã tạo nên điện trường xoáy trong không gian và không phụ thuộc vào sự có mặt của vòng dây. Sự có mặt vòng dây là phương tiện để ta lấy ra được điện trường xoáy đó mà thôi .
- Theo luận điểm của Maxwell: ***Từ trường biến thiên gây nên sự xuất hiện của điện trường và điện trường này khác với điện trường tĩnh (do các hạt điện tích đứng yên gây ra)***. Như ta đã biết: lưu số của trường tĩnh điện theo vòng dây kín luôn bằng không nên rot cũng phải luôn bằng không .

- Vậy điện trường có thể là trường thế $\vec{E}_q$ hoặc là trường xoáy $\vec{E}_B$. Trong trường hợp tổng quát điện trường có thể gồm điện trường thế và điện trường xoáy vì vậy từ nay về sau khi nói đến điện trường $\vec{E}$ ta có thể hiểu đó là $\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_B$, và ta luôn có:

$$\oint_C \vec{E}.d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S} \quad \text{(dạng tích phân)}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{(dạng vi phân)}$$

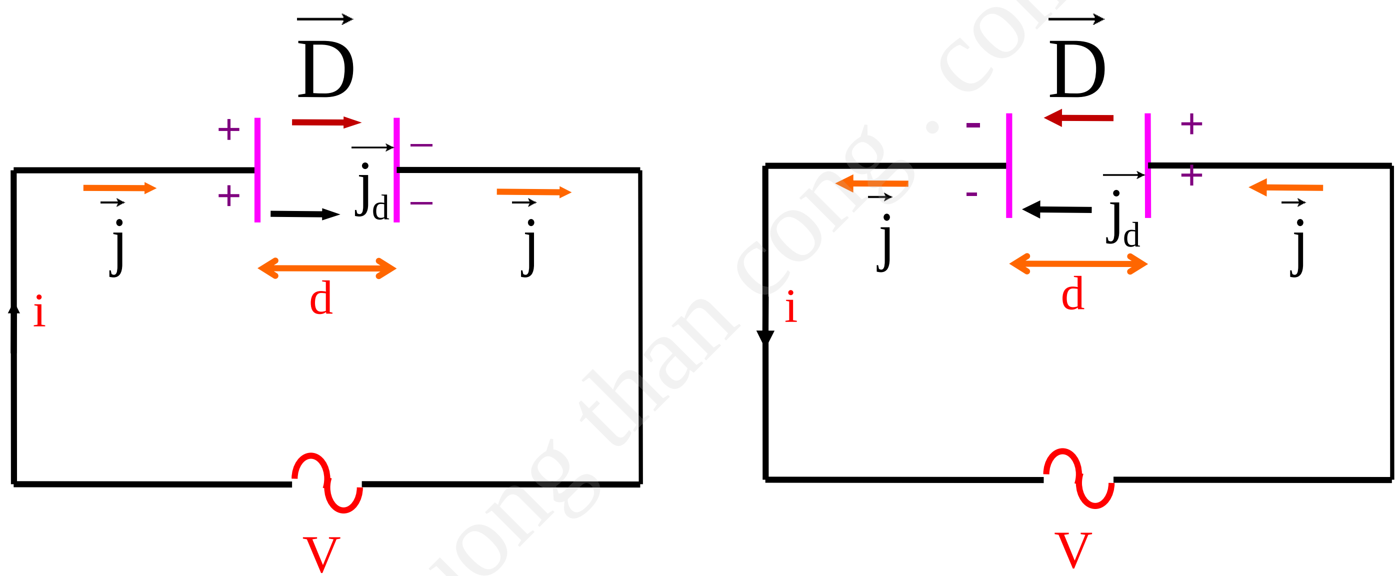
Là các phương trình Maxwell- Faraday (dạng tích phân và vi phân)

- Sự tồn tại mối tương quan giữa điện trường và từ trường là nguyên nhân vì sao việc khảo sát điện trường, từ trường riêng biệt chỉ có giá trị tương đối

7.2. LUẬN ĐIỂM THỨ HAI CỦA MAXWELL

7.2.1. Dòng điện dịch:

a) Khái niệm:



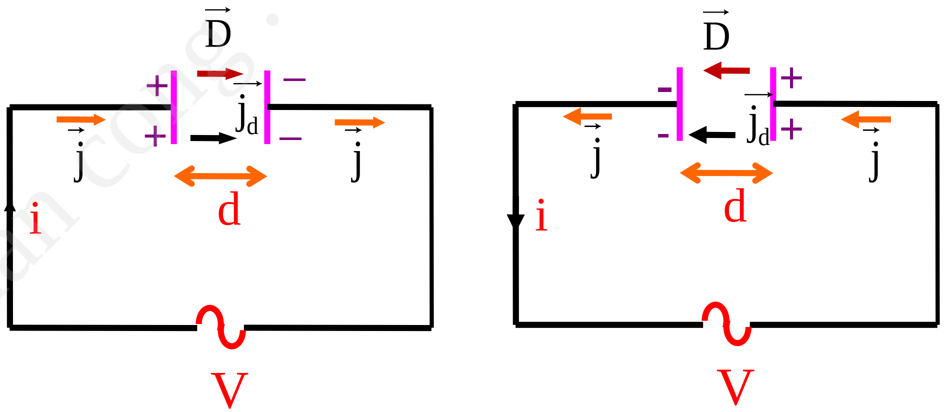
Vì cấp điện xoay chiều nên điện tích giữa hai bản luôn thay đổi theo thời gian, tạo ra điện trường giữa hai bản của tụ cũng thay đổi theo thời gian, có tác dụng như dòng điện, gọi là dòng điện dịch.

Giải thích: Trong ½ chu kỳ, điện trường E có chiều như hình vẽ và có giá trị:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o} = \frac{q}{S\varepsilon_o} \Rightarrow q = S\varepsilon_o E$$

Tốc độ biến thiên của điện tích q theo thời gian chính là dòng điện dịch I_d chạy trong vùng không gian của hai bản tụ:

$$I_d = \frac{dq}{dt} = S\varepsilon_o \frac{dE}{dt}$$



Khi đó, mật độ dòng điện dịch:

$$j_d = \frac{I_d}{S} = \varepsilon_o \frac{dE}{dt} = \frac{dD}{dt}$$

Trong trường hợp tổng quát, ta có: $\vec{D} = \vec{D}(x, y, z, t)$

$$\boxed{\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}}$$

Dòng điện dịch trong chân không, không liên quan đến bất kỳ một sự dịch chuyển nào của các loại hạt vật chất. Theo Maxwell thì điện trường biến đổi theo thời gian trong chân không vẫn sinh ra từ trường.

- **Dòng điện dịch chỉ *là điện trường biến thiên theo thời gian*, nó không phải do sự chuyển động của các hạt điện tạo nên, do đó nó *không gây ra hiệu ứng nhiệt Joule-Lentz* và *không chịu tác dụng của từ trường*. Nó chỉ giống dòng điện dẫn ở chỗ *có khả năng gây ra từ trường*.**
- **Nơi nào có điện trường biến thiên theo thời gian thì nơi đó có dòng điện dịch. Dòng điện dịch tồn tại ở cả trong dây dẫn có dòng điện biến đổi chạy qua.**
- **Dòng điện dịch cũng gây ra từ trường như dòng điện dẫn nên khi xét từ trường trong vật dẫn, ta phải xét nó gây bởi dòng điện dẫn và dòng điện dịch, nên gọi là dòng điện toàn phần**

$$\vec{j}_{tp} = \vec{j} + \vec{j}_d$$

- **Tùy theo tính chất dẫn điện của môi trường và tốc độ biến thiên của điện trường theo thời gian mà hai số hạng trên có vai trò khác nhau. Trong các vật dẫn điện tốt, điện trường biến thiên chậm thì dòng điện dịch rất nhỏ so với dòng điện dẫn và ngược lại.**

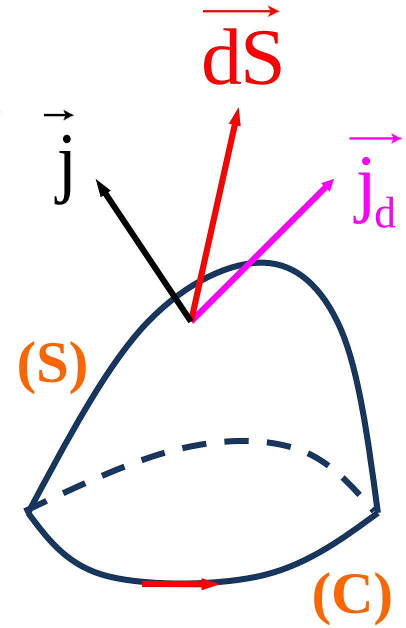
7.2.2. Phát biểu luận điểm:

"Bất kỳ một điện trường nào biến thiên theo thời gian cũng đều sinh ra một từ trường"

7.2.3. Phương trình Maxwell- Ampère:

- Xét đường cong (C), mặt S, trong môi trường có dòng điện dẫn và điện trường biến thiên theo thời gian.
- Định lý Ampère được viết như sau:

$$\oint_C \vec{H}.d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \vec{j}_d\right).d\vec{S}$$



Để thiết lập phương trình Maxwell – Ampère

Dạng tích phân của phương trình Maxwell-Ampère:

$$\oint_C \vec{H}.d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right).d\vec{S}$$

-

Áp dụng định lý Stokes [$\oint_C \vec{A}.d\vec{\ell} = \int_S (\nabla \times \vec{A}).d\vec{S}$ (0.20)] cho vế trái, ta được:

$$\int_S (\nabla \times \vec{H}).d\vec{S} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right).d\vec{S}$$

- Vì S là một mặt bất kỳ nên:

$$\nabla \times \overrightarrow{H} = \vec{j} + \frac{\partial \overrightarrow{D}}{\partial t}$$

- **Đây là dạng vi phân của phương trình Maxwell-Ampère có thể áp dụng đối với từng điểm trong không gian**

→Nếu biết sự phân bố của dòng điện dẫn và tốc độ biến thiên theo thời gian của điện trường thì ta có thể tính dược từ trường do chúng gây ra.

7.3. TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ HỆ CÁC PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL

7.3.1. Trường điện từ:

- **Theo 2 luận điểm của Maxwell → điện trường và từ trường liên hệ chặt chẽ với nhau, chuyển hóa lẫn nhau và đồng thời tồn tại trong không gian, tạo thành một trường thống nhất gọi là trường điện từ**
- **Năng lượng trường điện từ được định xứ trong không gian có trường điện từ. Mật độ năng lượng của trường điện từ bằng tổng mật độ năng lượng điện trường và từ trường:**

$$w = w_e + w_m = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_o E^2 + \frac{1}{2}\mu\mu_o H^2 = \frac{1}{2}\left(\vec{E}.\vec{D} + \vec{B}.\vec{H}\right)$$

- **Năng lượng trường điện từ là:**

$$W = \int_V w dv = \frac{1}{2}\int_V \left(\varepsilon\varepsilon_o E^2 + \mu\mu_o H^2\right) dv$$

$$W = \frac{1}{2}\int_V \left(\vec{E}.\vec{D} + \vec{B}.\vec{H}\right) dv$$

7.3.2. Hệ phương trình Maxwell:

→ Để mô tả trường điện từ một cách định lượng

- **Cặp pt thứ 1: thiết lập từ pt Maxwell-Faraday và định lý Gauss đối với từ trường:**

Dạng tích phân:

$$\oint_C \vec{E}.d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$$

[Theo công thức O-G: $\oint_S \vec{A}.d\vec{S} = \int_V \nabla.\vec{A}dv \quad (0.12)$ **]**

Dạng vi phân:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla.\vec{B} = 0$$

- **Cặp phương trình thứ 2: trên cơ sở của pt Maxwell - Ampère và định lý Gauss đối với điện trường:**

Dạng tích phân:

$$\oint_C \vec{H}.d\vec{\ell} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) . d\vec{S}$$

→ mối liên hệ giữa dòng điện dẫn, dòng điện dịch và từ trường do nó gây ra

$$\oint_C \vec{D}.d\vec{S} = \int_V \rho dv$$

→điện tích ngoài là nguồn gốc của trường vectơ $\vec{D}$

[Theo công thức O-G: $\oint_S \vec{A}.d\vec{S} = \int_V \nabla.\vec{A}dv \quad (0.12)$]

Dạng vi phân:

$$\nabla \times \overrightarrow{H} = \left(\vec{j} + \frac{\partial \overrightarrow{D}}{\partial t} \right)$$

$$\nabla.\overrightarrow{D} = \rho$$

- Các phương trình biểu diễn mối liên hệ giữa $\vec{D}$, $\vec{j}$ và $\vec{E}$ cũng như mối lên hệ giữa $\vec{H}$ và $\vec{B}$

$$\overrightarrow{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \overrightarrow{E}$$

$$\overrightarrow{B} = \mu\mu_0 \overrightarrow{H}$$

$$\overrightarrow{j} = \sigma\overrightarrow{E}$$

- Đây cũng là các phương trình cơ bản của điện động lực học

- 3 phương trình này chỉ áp dụng đối với môi trường đồng chất và đẳng hướng

7.4. SÓNG ĐIỆN TỪ

7.4.1. Sự sản sinh ra sóng điện từ

- **Maxwell đã kết luận: "*Điện trường do từ trường biến đổi sản sinh ra cũng là một điện trường biến đổi và điện trường biến đổi này đến lượt mình lại sinh ra một từ trường biến đổi, kết quả là ta thu được một hệ trường điện từ biến đổi lan truyền trong không gian, đó là sóng điện từ.*"**

7.4.2. Phương trình sóng điện từ

- Trong trường hợp tổng quát, những phương trình Maxwell của trường điện từ dưới dạng vi phân được viết như sau:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla . \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{H} = \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)$$

$$\nabla . \vec{D} = \rho$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

- Trong môi trường điện môi, trung hòa, đồng chất và đẳng hướng, hệ phương trình Maxwell có dạng:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla . \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla . \vec{D} = 0$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

- Do môi trường đồng chất nên:

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla}.\vec{D} = \mu\mu_0 \vec{\nabla}.\vec{E} \qquad \vec{\nabla}.\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{\nabla}.\vec{H}$$

Vì thế, ta có:

$$\nabla.\vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\nabla.\vec{H} = 0$$

$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\nabla.\vec{E} = 0$$

- Lấy rot 2 vế của phương trình đầu:

$$\nabla \times \left(\nabla \times \vec{E}\right) = -\mu\mu_0 \left(\nabla \times \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}\right)$$

- Theo giải tích vectơ:

$$\nabla \times \left(\nabla \times \vec{E}\right) = \nabla\left(\nabla.\vec{E}\right) - \left(\nabla.\nabla\right)\vec{E} = \nabla\left(\nabla.\vec{E}\right) - \Delta\vec{E}$$

- Do đó: $$\nabla\left(\nabla.\vec{E}\right) - \Delta\vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial}{\partial t}\left(\nabla \times \vec{H}\right) \qquad (*)$$

→ $$\Delta\vec{E} = \mu\mu_0\varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Đặt $v = \dfrac{1}{\sqrt{\mu\mu_0\varepsilon\varepsilon_0}}$

→ $$\Delta\vec{E} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Trong hệ tọa độ Descartes, ta có:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Tương tự, ta cũng sẽ có:

$$\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

- 2 phương trình trên là phương trình sóng đối với trường điện từ
- → Trường điện từ tồn tại dưới dạng sóng điện từ có vận tốc truyền sóng xác định

7.4.3. Vận tốc truyền sóng điện từ

Trong môi trường điện môi, trung hòa, đồng chất và đẳng hướng, có hằng số điện môi ε và độ từ thẩm tỉ đối μ, vận tốc truyền sóng điện từ được xác định bằng công thức:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_0\varepsilon\varepsilon_0}}$$

Trong đó:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi}10^{-9} \quad \text{(F/m)}$$

$$\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \quad \text{(H/m)}$$

Đặt

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3.10^8$$

Khi đó, v được viết thành:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n}$$

Trong đó $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ là chiết suất môi trường.

Vậy, vận tốc sóng điện từ bằng với vận tốc ánh sáng

7.5. SÓNG ĐIỆN TỪ PHẲNG

- Khảo sát vùng không gian trong đó không có điện tích tự do, không có dòng dẫn. Trục Ox vuông góc với mặt sóng

$$0 = \mu\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t}$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = \mu\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t}$$

$$0 = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t}$$

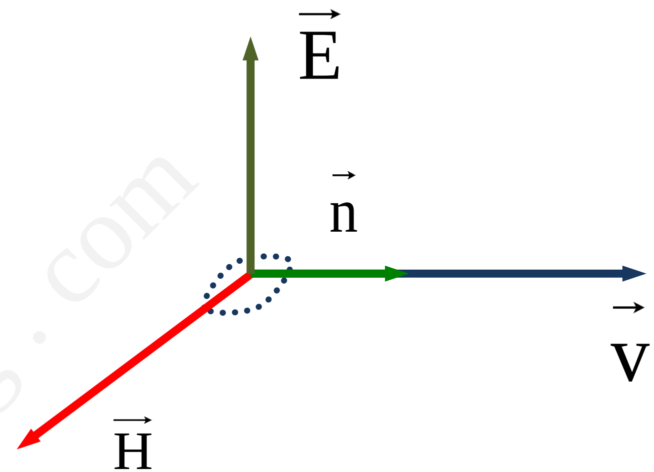
$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = -\varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_z}{\partial t}$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} = \mu\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial x} = 0$$

→ Các vectơ $\vec{E}$ và $\vec{H}$ luôn thẳng góc với phương truyền sóng, tức là ***sóng điện từ luôn là sóng ngang***



Sóng điện từ là sóng ngang

- Ta có các nhóm phương trình độc lập:

$$\boxed{\frac{\partial E_z}{\partial x} = \mu\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} \qquad \frac{\partial H_y}{\partial x} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_z}{\partial t}}$$

$$\boxed{\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t} \qquad \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_y}{\partial t}}$$

→ Để mô tả quá trình sinh sóng điện từ, ta chỉ cần lấy 1 trong 2 hệ phương trình trên và cho các thành phần khác trong hệ bằng 0

VD:

- Từ phương trình thứ 1 ta có: $$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

- Từ phương trình thứ 2 ta có: $$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}$$

- Nghiệm đơn giản nhất của 2 phương trình trên lần lượt là:

$$E_y = E_m \cos\left(\omega t - kx + \alpha_1\right)$$

$$H_z = H_m \cos\left(\omega t - kx + \alpha_2\right)$$

→ $$kE_m \sin\left(\omega t - kx + \alpha_1\right) = \mu\mu_0\omega H_m \sin\left(\omega t - kx + \alpha_2\right)$$

$$kH_m \sin\left(\omega t - kx + \alpha_2\right) = \varepsilon\varepsilon_0\omega E_m \sin\left(\omega t - kx + \alpha_1\right)$$

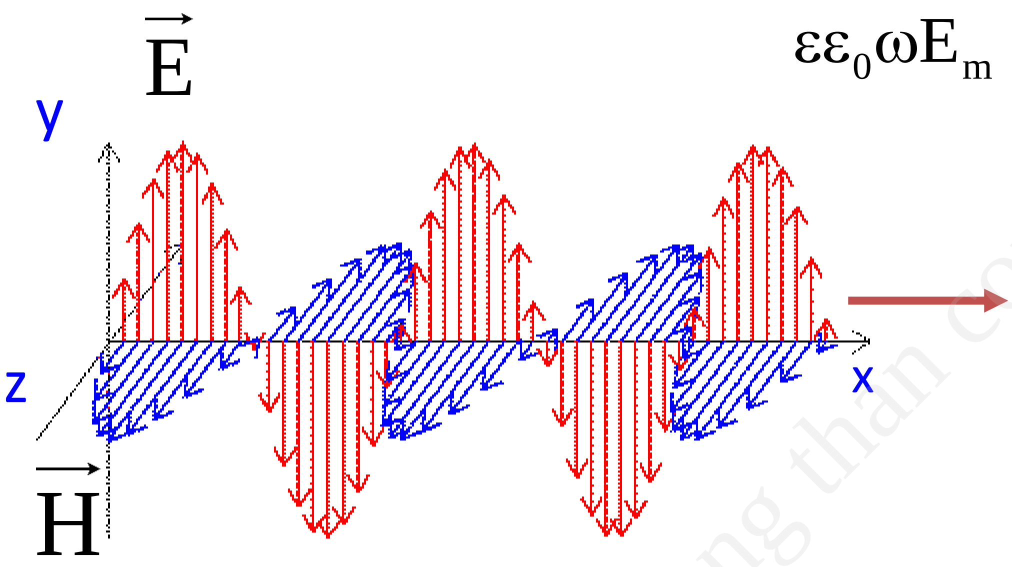
Để phương trình thỏa mãn thì:

+ các pha ban đầu bằng nhau

+ các biểu thức sau phải được thực hiện: $kE_m = \mu\mu_0\omega H_m$

$$\varepsilon\varepsilon_0\omega E_m = kH_m$$

$$\rightarrow \boxed{\varepsilon\varepsilon_0 E^2_m = \mu\mu_0 H^2_m}$$



Hình ảnh tức thời của sóng điện từ phẳng

Như vậy:

+các dao động của các vectơ điện và từ trong sóng điện từ xảy ra cùng một pha

+ biên độ của chúng liên hệ với nhau qua hệ thức:

$$E_m\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H_m\sqrt{\mu\mu_0}$$

Khi truyền trong chân không, ta luôn có:

$$\frac{E_m}{H_m} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi \approx 377$$

Tại mỗi điểm bất kỳ, các vectơ $\vec{E}$ và $\vec{H}$ dao động theo quy luật điều hòa

7.6. NĂNG LƯỢNG CỦA SÓNG ĐIỆN TỪ, VECTƠ POINTING

- Sóng điện từ truyền năng lượng của trường điện từ trong không gian

+ Mật độ năng lương điện trường $\vec{E}$: $w_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$

+ Mật độ năng lượng từ trường $\vec{B}$: $w_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$

→ Mật độ năng lượng trường điện từ:

$$\boxed{w = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}}$$

→ $$\boxed{w = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0\mu_0 E^2}{\mu_0} = \varepsilon_0 E^2}$$

- Phương trình xác định mật độ năng lượng trường điện từ tại bất kỳ thời điểm nào cũng như trong bất kì miền nào của không gian:

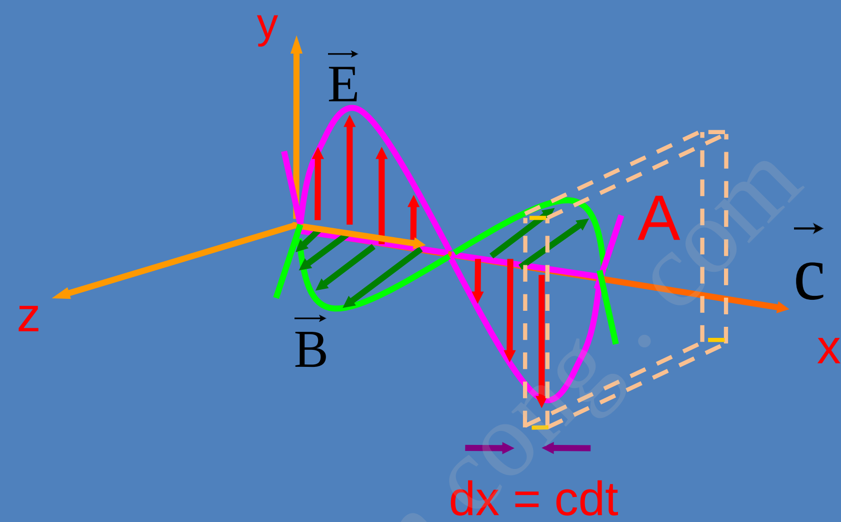
$$w = \varepsilon_0 E^2 = \varepsilon_0 c^2 B^2 = \frac{B^2}{\mu_0}$$

$$w = \varepsilon_0 E^2 = \varepsilon_0 EcB = \frac{\varepsilon_0 EB}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} EB$$

- Vecto Pointing $\vec{P}$:Xác định năng lượng sóng điện từ truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian.

  + đơn vị: w/m^2

  + hướng được xác định bởi hướng truyền sóng



Sóng điện từ truyền năng lượng qua diện tích A

Năng lượng trường điện từ tồn trữ trong yếu tố thể tích dv là:

$$dW = wdv = \left(\varepsilon_0 E^2\right)\left(Acdt\right)$$

Do đó, năng lượng trường điện từ truyền qua một đơn vị diện tích sau một đơn vị thời gian là:

$$\boxed{P = \frac{1}{A}\frac{dW}{dt} = \varepsilon_0 c E^2}$$

Trong chân không, E= cB, nên ta có thể biểu diễn độ lớn của vectơ $\vec{P}$ dưới dạng:

$$P = \varepsilon_0 c E^2 = \frac{cB^2}{\mu_0} = \frac{EB}{\mu_0}$$

Hướng của $\vec{P}$ song song với hướng của vận tốc truyền sóng và thẳng góc với các vectơ $\vec{E}$, $\vec{B}$ nên có dạng:

$$\vec{P} = \frac{1}{\mu_0}\left(\vec{E} \times \vec{B}\right)$$

Giá trị trung bình của vectơ Pointing được xác định bằng biểu thức:

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 c E_0^2 = \frac{1}{2}\frac{c}{\mu_0}B_0^2 = \frac{E_0 B_0}{2\mu_0}$$

7.7. SÓNG ĐIỆN TỪ TRONG MÔI TRƯỜNG

- Khi có môi trường điện môi hoặc môi trường từ, các phương trình Maxwell có những thay đổi

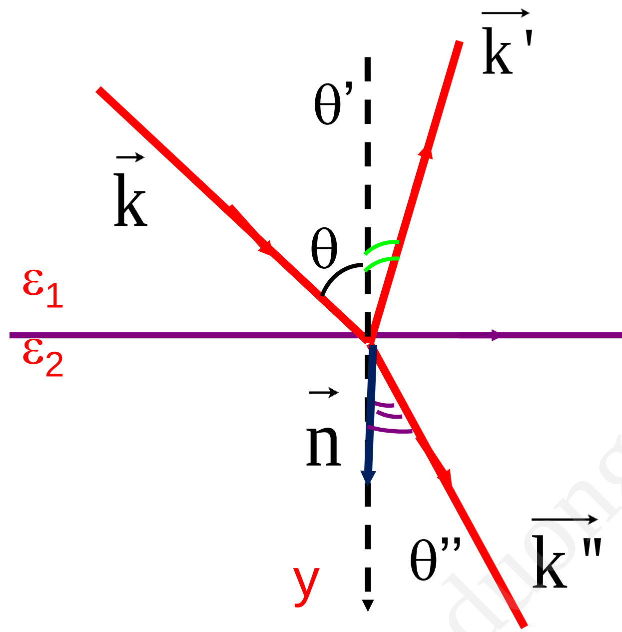
- Xét môi trường đồng chất, đẳng hướng, hệ số từ môi và điện môi là hằng số, không phụ thuộc hướng truyền sóng, ta có tốc độ truyền sóng điện từ trong môi trường là:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

→ Vận tốc truyền sóng điện trừ trong môi trường vật chất thường bé hơn vận tốc ánh sóng trong chân không

- Sóng điện từ không thể đi vào vật dẫn lý tưởng. Đối với vật dẫn thực, sóng điện từ có thể xuyên qua được một phần nên chúng sẽ tiêu hao một ít năng lượng trong đó

7.8. SỰ PHẢN XẠ VÀ KHÚC XẠ CỦA SÓNG ĐIỆN TỪ PHẲNG KHI TRUYỀN QUA MẶT PHÂN CHIA HAI MÔI TRƯỜNG ĐIỆN MÔI



Sự phản xạ và khúc xạ của sóng điện từ trên mặt phân chia hai môi trường

Nếu gọi $\vec{\tau}$ là hướng tiếp tuyến với mặt phân chia hai môi trường, ta có:

$$E_{1\tau} = E_{2\tau} \quad (*)$$

- Khảo sát thành phần phân cực phẳng của sóng $\vec{E}$ khi mà hướng dao động của $\vec{E}$ tạo với mặt phẳng tới 1 góc bất kỳ
- Trong trường hợp này các dao động $\vec{E}$ trong sóng điện từ phẳng truyền dọc theo hướng $\vec{k}$ được xác định bằng công thức:

$$\vec{E} = \vec{E}_m \exp\left[i\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)\right] = \vec{E}_m \exp\left[i\left(\omega t - k_x x - k_y y\right)\right]$$

- Vectơ trường phản xạ :

$$\overrightarrow{E'} = \overrightarrow{E'_m} \exp\left[i\left(\omega' t - k'_x x - k'_y y + \alpha'\right)\right]$$

- Vectơ trường khúc xạ:

$$\overrightarrow{E''} = \overrightarrow{E''_m} \exp\left[i\left(\omega'' t - k''_x x - k''_y y + \alpha''\right)\right]$$

Trường tổng cộng trong môi trường 1:

$$\vec{E}_1 = \vec{E} + \vec{E'} = \vec{E}_m \exp\left[i\left(\omega t - k_x x - k_y y\right)\right] + \vec{E'}_m \exp\left[i\left(\omega' t - k'_x x - k'_y y + \alpha'\right)\right]$$

Trường tổng cộng trong môi trường 2:

$$\vec{E}_2 = \vec{E''} = \vec{E''}_m \exp\left[i\left(\omega'' t - k''_x x - k''_y y + \alpha''\right)\right]$$

Trong điều kiện (*), ta có:

$$\vec{E}_{m,\tau} \exp\left[i\left(\omega t - k_x x\right)\right] + \vec{E'}_{m,\tau} \exp\left[i\left(\omega' t - k'_x x + \alpha'\right)\right] =$$

$$= \vec{E''}_{m,\tau} \exp\left[i\left(\omega'' t - k''_x x + \alpha''\right)\right]$$

Để biểu thức nghiệm đúng với mọi giá trị t, ta phải có:

$$\omega = \omega' = \omega''$$

- Để biểu thức (1) nghiệm đúng với mọi x, phải có:

$$\boxed{k_x = k'_x = k''_x}$$

$$\rightarrow \quad \boxed{k\sin\theta = k'\sin\theta' = k''\sin\theta''} \quad \rightarrow \frac{\omega\sin\theta}{v_1} = \frac{\omega\sin\theta'}{v_1} = \frac{\omega\sin\theta''}{v_2}$$

Từ đó ta có các biểu thức biểu thị các định luật phản xạ, khúc xạ của sóng điện từ khi truyền qua ranh giới của 2 môi trường:

$$\theta' = \theta$$

$$\boxed{\frac{\sin\theta}{\sin\theta''} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12}}$$

Chiết suất tương đối của môi trường 2 đối với môi trường 1:

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{n_2}{n_1}$$

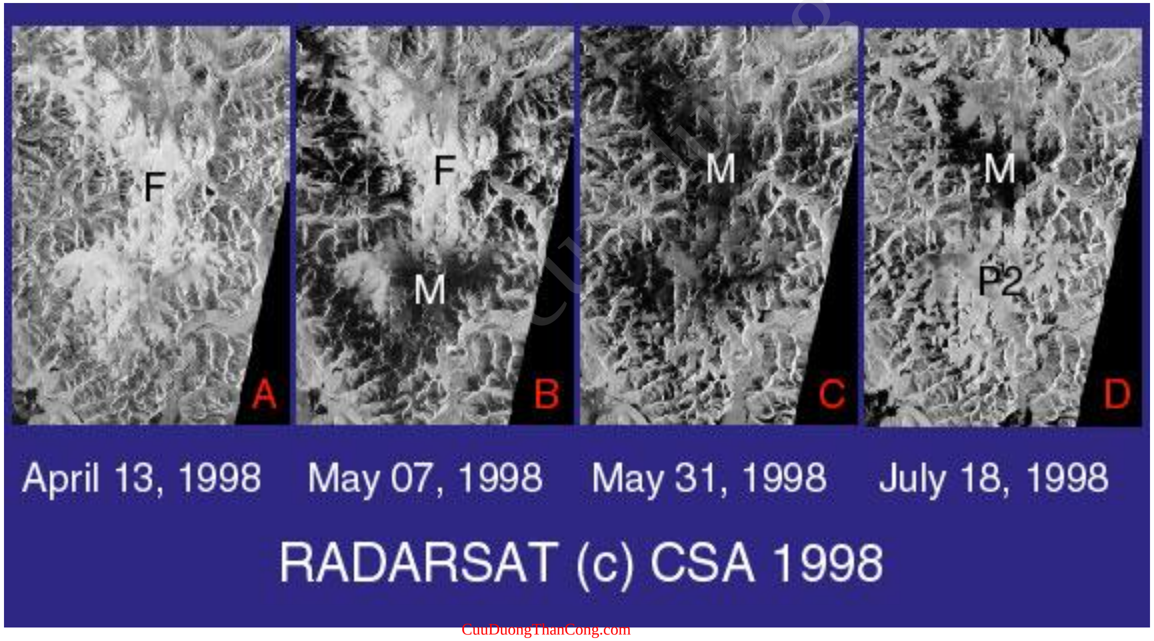
Như vậy $\dfrac{\sin\theta}{\sin\theta''} = \dfrac{n_2}{n_1}$ → $n_1 \sin\theta = n_2 \sin\theta''$

Khi $\theta'' = 90^\circ$ và $n_2 < n_1$, ta có $\sin\theta_{TP} = \dfrac{n_2}{n_1}$

→Biểu thức biểu thị định luật phản xạ toàn phần của sóng điện từ:

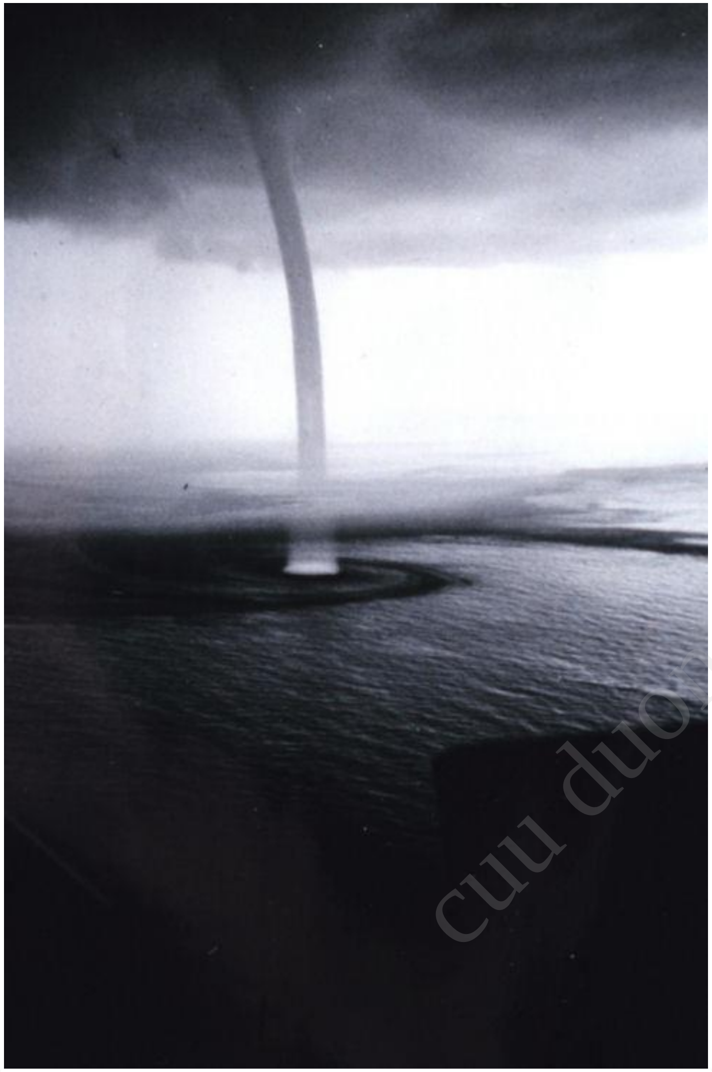
$$\theta_{TP} = \arcsin\frac{n_2}{n_1} = \arcsin n_{12}$$

Hình ảnh một cơn bão phát hiện bằng radar

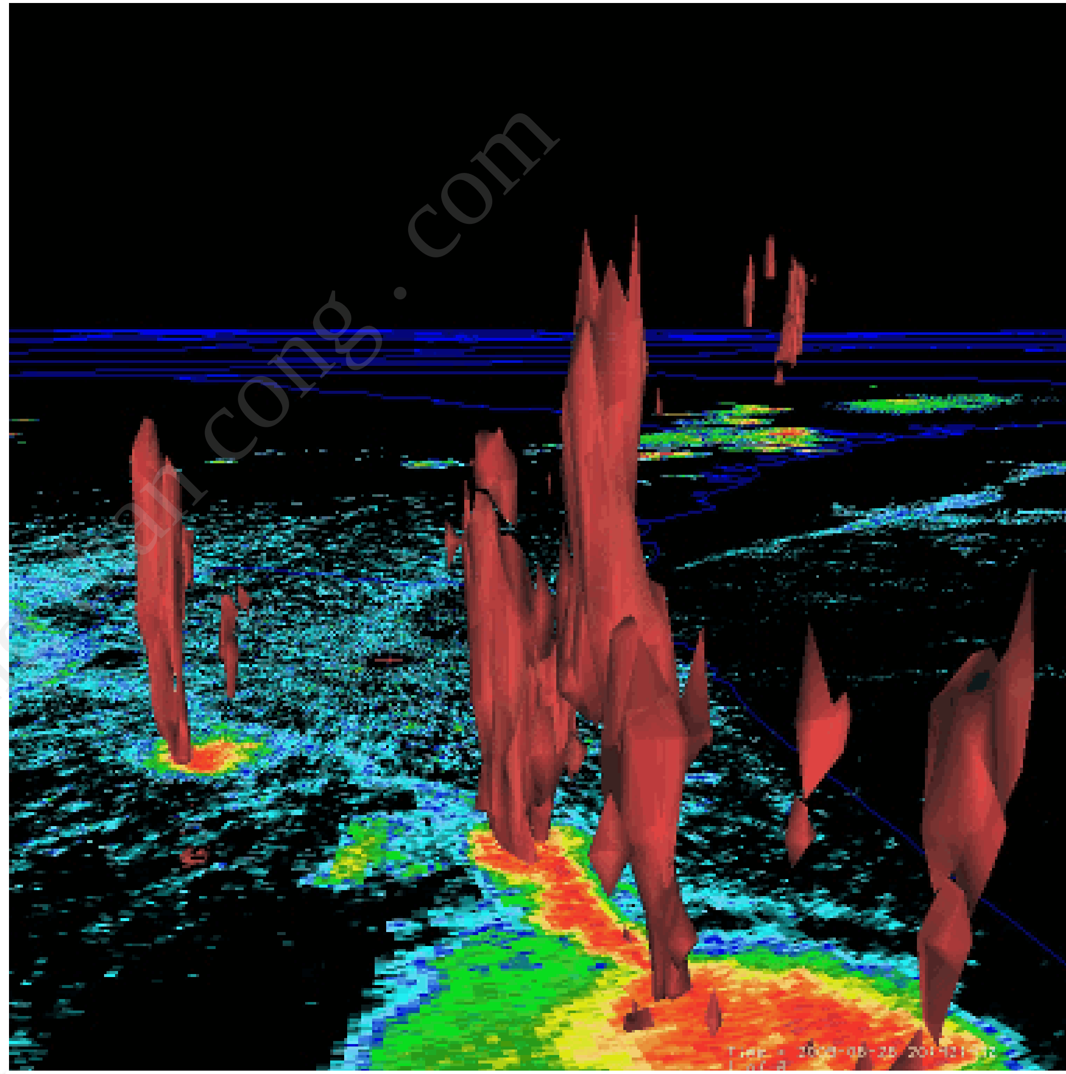


Quan sát sự hình thành và tan chảy của các tảng băng

Giới thiệu, lịch sử, phát triển và ứng dụng



Vòi rồng (Waterspout)



Quan sát vòi rồng bằng radar