Môn học: Điện động lực học

Ôn tập cuối học kỳ

Trường điện từ

Phương trình Maxwell – Faraday (từ trường biến thiên sinh ra điện trường):

Dạng vi phân

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

Dạng tích phân

$$\oint \vec{E}\overrightarrow{dl} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\overrightarrow{dS}$$

Phương trình Maxwell – Ampere (điện trường biến thiên sinh ra từ trường):

Dạng vi phân

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0\mu_r\left(\vec{J} + \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)$$

Dạng tích phân

$$\oint \vec{B}\overrightarrow{dl} = \mu_0\mu_r\int_S (\vec{J} + \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{\partial \vec{E}}{\partial t})\overrightarrow{dS}$$

Trường điện từ

Câu 1: Một dây dẫn thẳng rất dài, nằm dọc theo trục Oz, mang dòng điện phụ thuộc theo thời gian t, có phương trình là: $\mathbf{i_{(t)}}$ = **3**.cos(**2.**10^{5}πt) (A), ở đó t tính ra giây. Dây dẫn được đặt trong không khí có $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 1$. Hãy dựa vào hệ phương trình Maxwell để:

a) Viết phương trình dạng tích phân về lưu số của vectơ cảm ứng từ do dòng điện tạo ra $B_{(\rho,\phi,z,t)}$ dọc theo đường tròn (C) bán kính ρ, nhận dây dẫn thẳng mang dòng điện làm trục đối xứng. Từ phương trình dạng tích phân đó, hãy xác định biểu thức vectơ cảm ứng từ $B_{(\rho,\phi,z,t)}$, cho rằng hai thành phần $B_z = B_\rho = 0$ bị triệt tiêu và **chỉ còn thành phần B_ϕ** nghĩa là $B_{(\rho,\phi,z,t)} = B_\phi \neq 0$.

Đại lượng $L = \oint_C \vec{B}\vec{dl}$ là lưu số của vectơ cảm ứng từ B dọc theo đường tròn C

Phương trình Maxewll – Ampere dạng tích phân (ở đây, chỉ có dòng điện tạo ra từ trường, không có điện trường tạo ra từ trường nên đạo hàm của E theo t = 0)

$$\oint_C \vec{B}\vec{dl} = \mu_0\mu_r \int_S \vec{J}\vec{dS} \Rightarrow B.l = \mu_0\mu_r J.S = \mu_0\mu_r.i$$

(tích số giữa mật độ dòng J và diện tích S chính là cường độ dòng điện i)

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0\mu_r i}{l} = \frac{3\mu_0\cos(2.10^5\pi t)}{2\pi\rho}$$

Do B chỉ có thành phần B_φ nên suy ra $\vec{B} = \frac{3\mu_0\cos(2.10^5\pi t)}{2\pi\rho}\vec{e_\varphi}$

Trường điện từ

Câu 1: Một dây dẫn thẳng rất dài, nằm dọc theo trục Oz, mang dòng điện phụ thuộc theo thời gian t, có phương trình là: $\mathbf{i}_{(t)}$ = **3**.cos(**2**.$10^5\pi$t) (A), ở đó t tính ra giây. Dây dẫn được đặt trong không khí có $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 1$. Hãy dựa vào hệ phương trình Maxwell để:

b) Viết phương trình dạng vi phân về mối liên hệ giữa vectơ cường độ điện trường (xoáy) $E_{(\rho,\phi,z,t)}$ với vectơ cảm ứng từ $B_{(\rho,\phi,z,t)}$, Từ phương trình dạng vi phân đó, hãy xác định biểu thức vectơ $E_{(\rho,\phi,z,t)}$ tại điểm cách dây dẫn một khoảng ρ. Cho rằng hai thành phần $E_\phi = E_\rho = 0$ bị triệt tiêu và **chỉ còn thành phần E_z** nghĩa là $E_{(\rho,\phi,z,t)} = E_z \neq 0$.

Phương trình Maxwell – Faraday dạng vi phân: $\nabla \times \vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ **(1)**

Từ kết quả câu a ta suy ra: $-\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \dfrac{3\mu_0 . 2.10^5\pi . \sin(2.10^5\pi t)}{2\pi\rho}\overrightarrow{e_\varphi}$

Trong hệ tọa độ trụ ta có: $\nabla \times \vec{E} = \dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \dfrac{\partial \rho E_\varphi}{\partial z}\right)\overrightarrow{e_\rho} + \left(\dfrac{\partial E_\rho}{\partial z} - \dfrac{\partial E_z}{\partial \rho}\right)\overrightarrow{e_\varphi} + \dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial \rho E_\varphi}{\partial \rho} - \dfrac{\partial E_\rho}{\partial \varphi}\right)\overrightarrow{e_z}$

Từ **(1)** ta suy ra $\nabla \times \vec{E}$ chỉ có thành phần e_φ $\Rightarrow \nabla \times \vec{E} = \left(\dfrac{\partial E_\rho}{\partial z} - \dfrac{\partial E_z}{\partial \rho}\right)\overrightarrow{e_\varphi}$ Mà theo đề bài E chỉ có thành phần E_z

$$\Rightarrow \nabla \times \vec{E} = \left(-\frac{\partial E_z}{\partial \rho}\right)\overrightarrow{e_\varphi} = \frac{3\mu_0 . 2.10^5\pi . \sin(2.10^5\pi t)}{2\pi\rho}\overrightarrow{e_\varphi}$$

Trường điện từ

Câu 1 (tiếp theo):

$$\nabla \times \vec{E} = \left(-\frac{\partial E_z}{\partial \rho}\right)\overrightarrow{e_\varphi} = \frac{3\mu_0 . 2.10^5 \pi . \sin(2.10^5 \pi t)}{2\pi\rho}\overrightarrow{e_\varphi}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial E_z}{\partial \rho} = \frac{3\mu_0 . 2.10^5 \pi . \sin(2.10^5 \pi t)}{2\pi\rho} \quad \Rightarrow \quad dE_z = \frac{3\mu_0 . 2.10^5 \pi . \sin(2.10^5 \pi t)}{2\pi}\frac{d\rho}{\rho}$$

Lấy tích phân 2 vế ta có: $E_z = 3\mu_0 . 10^5 . \sin(2.10^5 \pi t) \int \frac{d\rho}{\rho} = 3\mu_0 . 10^5 . \sin(2.10^5 \pi t) . \ln \rho$

Suy ra: $$\vec{E} = \overrightarrow{E_z} = 3\mu_0 . 10^5 . \sin(2.10^5 \pi t) . \ln \rho \, \overrightarrow{e_z}$$

Sóng điện từ trong môi trường

Phương trình truyền sóng điện từ trong không gian:

$$\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kr + \varphi)\overrightarrow{e_E}$$
$$\vec{H} = H_0 \cos(\omega t - kr + \varphi)\overrightarrow{e_H}$$

E và H luôn cùng pha

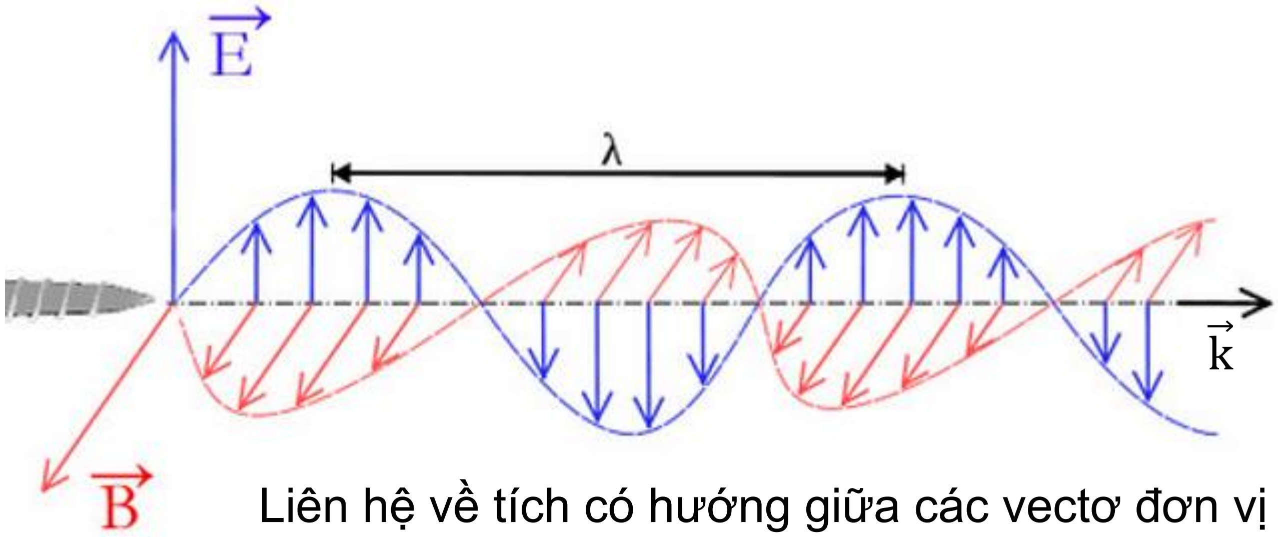
$\vec{k}$ là vectơ sóng $\quad k = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\omega}{c}$

E, H, k vuông góc nhau đôi một

Chiết suất của môi trường $\quad n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$

Mối liên hệ về biên độ giữa E và H:

$$E_0\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0} = H_0\sqrt{\mu_r\mu_0} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\varepsilon_r\varepsilon_0}{\mu_r\mu_0}} = \frac{1}{120\pi}\sqrt{\frac{\varepsilon_r}{\mu_r}}$$



Liên hệ về tích có hướng giữa các vectơ đơn vị

$$\boxed{\begin{aligned} \overrightarrow{e_E} \times \overrightarrow{e_H} &= \overrightarrow{e_k} \\ \overrightarrow{e_H} \times \overrightarrow{e_k} &= \overrightarrow{e_E} \\ \overrightarrow{e_k} \times \overrightarrow{e_E} &= \overrightarrow{e_H} \end{aligned}}$$

Sóng điện từ trong môi trường

Câu 2: Một sóng điện từ truyền trong môi trường điện môi đồng chất, đẳng hướng, có độ từ thẩm $\mu_r \approx 1$ và chiết suất đối với sóng trên là n = 1,73. Phương trình truyền sóng của véctơ cường độ từ trường của sóng là: $H_{\mathbf{(z,t)}} = (3e_x - e_y)10^{-2}\cos(\mathbf{25.}10^9\pi t - kz)$ (A/m). Hãy xác định:

a. Tần số của sóng, phương chiều truyền sóng và hằng số điện môi của môi trường tương ứng với sóng trên.

Tần số: $$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{25.10^9\pi}{2\pi} = 125.10^8\ Hz$$

Chiều truyền sóng là chiều dương trục Oz

(Qui ước k nhân với trục tọa độ nào thì sóng truyền theo trục đó; dấu – là truyền theo chiều dương, dấu + truyền theo chiều âm; ví dụ ở đây là **- kz**)

$$n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \rightarrow \varepsilon_r = \frac{n^2}{\mu_r} = \frac{1{,}73^2}{1} = 2{,}9929$$

Sóng điện từ trong môi trường

Câu 2: Một sóng điện từ truyền trong môi trường điện môi đồng chất, đẳng hướng, có độ từ thẩm $\mu_r \approx 1$ và chiết suất đối với sóng trên là n = 1,73. Phương trình truyền sóng của véctơ cường độ từ trường của sóng là: $H_{(z,t)} = (3e_x - e_y)10^{-2}\cos(\mathbf{25.}10^9\pi t - kz)$ (A/m). Hãy xác định:

b. Vận tốc truyền sóng và bước sóng trong môi trường điện môi trên.

Vận tốc: $$v = \frac{c}{n} = \frac{3.10^8}{1,73} = 1,73.10^8\ \ (m/s)$$

Bước sóng: $$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi c}{n\omega} = \frac{2\pi.3.10^8}{1,73.25.10^9.\pi} = 13,87.10^{-3}\ \ (m)$$

c) Độ lớn k của véctơ sóng k và tính chất phân cực của sóng trên.

$$k = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\omega}{c} = \frac{1,73.25.10^9.\pi}{3.10^8} = \frac{865\pi}{6}\ \ (rad/m)$$

Vectơ cường độ từ trường có độ lệch pha $\Delta\varphi = 0 \Rightarrow$ sóng phân cực thẳng

Sóng điện từ trong môi trường

Câu 2: Một sóng điện từ truyền trong môi trường điện môi đồng chất, đẳng hướng, có độ từ thẩm $\mu_r \approx 1$ và chiết suất đối với sóng trên là n = 1,73. Phương trình truyền sóng của véctơ cường độ từ trường của sóng là: $H_{(z,t)} = (3e_x - e_y)10^{-2}\cos(\mathbf{25.}10^9\pi t - kz)$ (A/m). Hãy xác định:

d. Biên độ của cường độ điện trường E_0 của sóng trên

Đầu tiên cần lưu ý rằng cách biểu diễn vectơ H trong đề bài chưa phải là dạng tường minh của phương trình sóng. Để xác định chính xác biên độ H_0 của H, cần xác định lại vectơ đơn vị $\overrightarrow{e_H}$ của H

$$\overrightarrow{e_H} = \frac{3\overrightarrow{e_x} - \overrightarrow{e_y}}{\sqrt{3^2+1}} = \frac{3}{\sqrt{10}}\overrightarrow{e_x} - \frac{\overrightarrow{e_y}}{\sqrt{10}}$$

Như vậy H sẽ được viết lại là: $\vec{H} = \left(\frac{3}{\sqrt{10}}\overrightarrow{e_x} - \frac{\overrightarrow{e_y}}{\sqrt{10}}\right)\sqrt{\mathbf{10}}.\mathbf{10^{-2}}.\cos(25.10^9\pi t - kz)$

$\Rightarrow$ Biên độ H_0 là $\sqrt{\mathbf{10}}.\mathbf{10^{-2}}$ (A/m)

$$E_0\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0} = H_0\sqrt{\mu_r\mu_0} \Rightarrow E_0 = \frac{H_0\sqrt{\mu_r\mu_0}}{\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0}} = \frac{\sqrt{10}.10^{-2}}{1,73}120\pi = 6,89\ (V/m)$$

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Vectơ Pointing (vectơ mật độ công suất) $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = E.H.(\overrightarrow{e_E} \times \overrightarrow{e_H})$ (W/m^2)

Công suất tức thời của chùm sóng điện từ có tiết diện ngang S: $\mathcal{P} = \vec{P}.\vec{S} = (\vec{E} \times \vec{H}).\vec{S}$ (W)

Công suất trung bình: $$\mathcal{P} = \frac{E_0.H_0}{2}.S = \frac{n.S}{120\pi\mu_r}\frac{E_0^2}{2}$$

Định luật Snell: $n_1 \sin\alpha_1 = n_2 \sin\alpha_2$

n_1 là chiết suất của môi trường 1

n_2 là chiết suất của môi trường 2

α_1 là góc tới

α_2 là góc khúc xạ

Góc Brewster α_B (góc tới để tia phản xạ bị phân cực hoàn toàn): $\tan\alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$

Khi góc tới bằng α_B, tia phản xạ và khúc xạ vuông góc nhau

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Các hệ thức Fresnel:

$$\frac{E_R^{\uparrow}}{E_I^{\uparrow}} = \frac{H_R^{o}}{H_I^{o}} = \frac{\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_1 - \frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_2}{\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_1 + \frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_2}$$

$$\frac{E_R^{o}}{E_I^{o}} = \frac{H_R^{\uparrow}}{H_I^{\uparrow}} = \frac{\frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1 - \frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2}{\frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1 + \frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2}$$

$$\frac{H_T^{\uparrow}}{H_I^{\uparrow}} = \frac{\frac{n_2}{\mu_{r2}}E_T^{o}}{\frac{n_1}{\mu_{r1}}E_I^{o}} = \frac{2\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_1}{\frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1 + \frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2}$$

$$\frac{H_T^{o}}{H_I^{o}} = \frac{\frac{n_2}{\mu_{r2}}E_T^{\uparrow}}{\frac{n_1}{\mu_{r1}}E_I^{\uparrow}} = \frac{2\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_1}{\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_1 + \frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_2}$$

Độ phản xạ: $R = \frac{E_{oR}^2}{E_{oI}^2}$

Độ truyền qua: $D = \frac{\frac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2}{\frac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1}\frac{E_{oT}^2}{E_{oI}^2}$

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Câu 3: Một chùm sóng điện từ phẳng, đơn sắc, có thiết diện ngang là 1 mm^2. Sóng truyền từ môi trường không khí có chiết suất $n_1 \approx 1$, $\mu_{r1} \approx 1$ đến mặt phân giới với môi trường nước có chiết suất n_2 = 1,33; $\mu_{r2} \approx 1$ với góc tới $\alpha_1 = 30^0$. Biết mặt phẳng tới song song với mặt yOz, mặt phân giới là mặt xOy (hình vẽ). Véctơ cường độ điện trường trên tia tới có phương e_x vuông góc mặt phẳng tới (yOz), có phương trình là: $E_{(r,t)} = e_x .15.10^3\cos(10^{12}\pi t - kr)$ (V/m). Hãy xác định:

a) Các tốc độ truyền sóng và bước sóng của sóng điện từ trong hai môi trường.

$$v_1 = \frac{c}{n_1} = 3.10^8 \ \ (m/s)$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3.10^8}{1,33} = 2,26.10^8 (m/s)$$

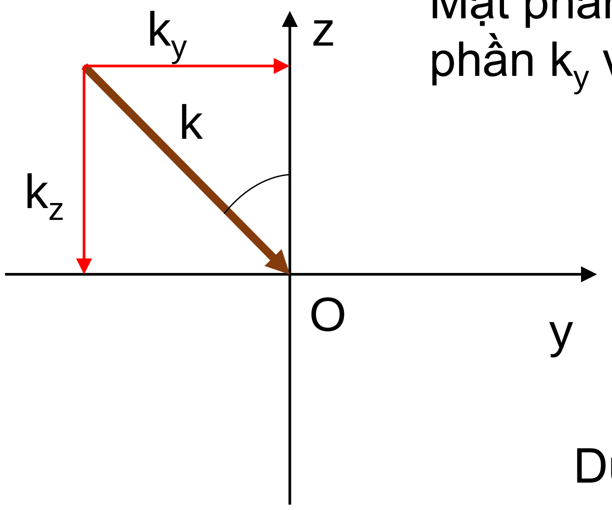
$$\lambda_1 = \frac{v_1}{f} = \frac{2\pi c}{n_1\omega} = \frac{2.\pi.3.10^8}{10^{12}\pi} = 6.10^{-4} \ \ (m)$$

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = \frac{2\pi c}{n_2\omega} = \frac{2.\pi.3.10^8}{1,33.10^{12}\pi} = 4,5.10^{-4} \ \ (m)$$

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Câu 3: Một chùm sóng điện từ phẳng, đơn sắc, có thiết diện ngang là 1 mm^2. Sóng truyền từ môi trường không khí có chiết suất $n_1 \approx 1$, $\mu_{r1} \approx 1$ đến mặt phân giới với môi trường nước có chiết suất n_2 = 1,33; $\mu_{r2} \approx 1$ với góc tới $\alpha_1 = 30^0$. Biết mặt phẳng tới song song với mặt yOz, mặt phân giới là mặt xOy (hình vẽ). Véctơ cường độ điện trường trên tia tới có phương e_x vuông góc mặt phẳng tới (yOz), có phương trình là: $E_{(r,t)} = e_x .15.10^3\cos(10^{12}\pi t - kr)$ (V/m). Hãy xác định:

b) Biểu thức véctơ sóng $\vec{k}$ và véctơ Pointing $\vec{P}_{(r,t)}$ ứng với chùm tia tới.



Mặt phẳng tới là mặt phẳng (yOz) ⇒ k nằm trong mặt phẳng (yOz) và gồm 2 thành phần k_y và k_z như hình vẽ

$$\vec{k} = k_y\vec{e_y} - k_z\vec{e_z}$$ (dấu – do k_z ngược chiều dương của trục Oz)

$$k = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{n\omega}{c} = \frac{10^{12}\pi}{3.10^8} = \frac{10^4\pi}{3}\ (rad/m)$$

Dựa vào hình vẽ ta có: $$k_z = k.\cos\alpha_1 = \frac{10^4\pi}{3}\cos 30 = \frac{10^4\pi}{2\sqrt{3}}$$

$$k_y = k.\sin\alpha_1 = \frac{10^4\pi}{3}\sin 30 = \frac{10^4\pi}{6}$$

Suy ra : $$\vec{k} = k_y\vec{e_y} - k_z\vec{e_z} = \frac{10^4\pi}{6}\left(\sqrt{3}\vec{e_y} - \vec{e_z}\right)$$

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Câu 3 (tiếp theo):

b) Biểu thức véctơ sóng $\vec{k}$ và véctơ Pointing $\vec{P}_{(r,t)}$ ứng với chùm tia tới.

$$\overrightarrow{e_k} = \frac{\vec{k}}{k} = \frac{k_y\overrightarrow{e_y} - k_z\overrightarrow{e_z}}{k} = \frac{k.\sin 30.\overrightarrow{e_y} - k.\cos 30.\overrightarrow{e_z}}{k} = \frac{\overrightarrow{e_y}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\overrightarrow{e_z}$$

$$E_0\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0} = H_0\sqrt{\mu_r\mu_0} \quad \Rightarrow H_0 = \frac{E_0\sqrt{\varepsilon_r\varepsilon_0}}{\sqrt{\mu_r\mu_0}} = \frac{E_0}{120\pi} = \frac{15.10^3}{120\pi} = \frac{125}{\pi} \quad (A/m)$$

Vectơ pointing :

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = E.H.(\overrightarrow{e_E} \times \overrightarrow{e_H}) = \mathrm{E.H.}\overrightarrow{e_k} = E_0.H_0.cos^2(10^{12}\pi t - kr)\overrightarrow{e_k}$$

$$= 15.10^3.\frac{125}{\pi}.cos^2(10^{12}\pi t - kr)\left(\frac{\overrightarrow{e_y}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\overrightarrow{e_z}\right) \quad (W/m^2)$$

c) Công suất của chùm sóng tới

$$\overline{\mathcal{P}_I} = \frac{E_0.H_0}{2}.S = \frac{1}{2}.15.10^3.\frac{125}{\pi}.10^{-6} = \frac{15}{16\pi} \ (W)$$

Truyền sóng giữa 2 môi trường

Câu 3: Một chùm sóng điện từ phẳng, đơn sắc, có thiết diện ngang là 1 mm^2. Sóng truyền từ môi trường không khí có chiết suất $n_1 \approx 1$, $\mu_{r1} \approx 1$ đến mặt phân giới với môi trường nước có chiết suất n_2 = 1,33; $\mu_{r2} \approx 1$ với góc tới $\alpha_1 = 30^0$. Biết mặt phẳng tới song song với mặt yOz, mặt phân giới là mặt xOy (hình vẽ). Véctơ cường độ điện trường trên tia tới có phương e_x **vuông góc mặt phẳng tới** (yOz), có phương trình là: $E_{(r,t)} = e_x . \mathbf{15}.10^3\cos(10^{12}\pi t - kr)$ (V/m). Hãy xác định:

d) Góc khúc xạ α_2 và công suất của chùm sóng phản xạ.

Áp dụng định luật Snell: $\sin\alpha_2 = \dfrac{n_1 \sin\alpha_1}{n_2} = \dfrac{\sin 30}{1{,}33} = \dfrac{50}{133} \quad \Rightarrow \quad \alpha_2 = \arcsin\left(\dfrac{50}{133}\right) = 22{,}08^0$

Vectơ cường độ điện trường vuông góc mặt phẳng tới nên trong bài toán này chỉ tồn tại thành phần E vuông góc

Ta có tỷ số: $$\frac{E_R^o}{E_I^o} = \frac{\dfrac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1 - \dfrac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2}{\dfrac{n_1}{\mu_{r1}}\cos\alpha_1 + \dfrac{n_2}{\mu_{r2}}\cos\alpha_2} = \frac{\cos 30 - 1{,}33, \cos 22{,}08}{\cos 30 + 1{,}33.\cos 22{,}08} = -0{,}1746$$

Ta lại có: $$R = \left(\frac{E_R^o}{E_I^o}\right)^2 = \frac{\mathcal{P}_R}{\mathcal{P}_I} \quad \Rightarrow \mathcal{P}_R = \mathcal{P}_I\left(\frac{E_R^o}{E_I^o}\right)^2 = \frac{15}{16\pi}.0{,}1746^2 = 0{,}0091\ (W)$$

Hiệu ứng Doppler

Liên hệ giữa tần số nguồn phát ω' và tần số thu ω:

$$\omega' = \frac{1 - \frac{v}{c}\cos\theta}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\,\omega \qquad\qquad \omega = \frac{1 + \frac{v}{c}\cos\theta'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\,\omega'$$

$$\cos\theta' = \frac{\cos\theta - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}\cos\theta} \qquad\qquad \cos\theta = \frac{\cos\theta' + \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}\cos\theta'}$$

θ; θ' lần lượt là góc hợp giữa chiều truyền của sóng thu và sóng phát với trục Ox

Nguồn chuyển động ra xa máy thu: $\theta = \theta' = \pi$

Nguồn chuyển động lại gần máy thu: $\theta = \theta' = 0$

Hiệu ứng Doppler

Câu 4: Một nguồn phát sóng điện từ với tần số riêng $\omega_0' = 2\pi.10^{12}$ rad/s chuyển động với vận tốc không đổi v = 0,6c. Nguồn chuyển động theo phương đi qua máy thu. Tìm tân số mà máy thu nhận được (tính theo Hz) khi:

a) Nguồn chuyển động ra xa máy thu

Ta có $f_0' = \frac{\omega_0'}{2\pi} = 10^{12}\ Hz$

Nguồn chuyển động ra xa máy thu $\Rightarrow \theta' = 180^0 \Rightarrow \cos\theta' = -1$

Suy ra: $$\boxed{f = \frac{1+\frac{v}{c}\cos\theta'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} f_0' = \frac{1-\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} f_0' = 5.10^{11}\ (Hz)}$$

a) Nguồn chuyển động lại gần máy thu

Nguồn chuyển động lại gần máy thu $\Rightarrow \theta' = 0^0 \Rightarrow \cos\theta' = 1$

$$\boxed{f = \frac{1+\frac{v}{c}\cos\theta'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} f_0' = \frac{1+\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} f_0' = 2.10^{12}\ (Hz)}$$