SỰ TRUYỀN ÁNH SÁNG TRONG TINH THỂ DỊ HƯỚNG

Có một lớp những hiện tượng ví dụ như hiệu ứng Kerr, hiệu ứng Pockel, v.v..trong đó điện trường của ánh sáng làm thay đổi tính chất quang học của môi trường gọi là ***hiện tượng điện quang*** (để phân biệt với các ***hiện tượng quang điện*** trong đó ánh sáng – quang làm thay đổi tính chất điện của môi trường vật chất). Hiện tượng đó không thuộc phạm vi nghiên cứu của đề tài này. Đề tài này chỉ nghiên cứu những hiện tượng truyền ánh sáng trong tinh thể trong đó điện trường của ánh sáng không làm thay đổi tính chất quang học của tinh thể.

Ở đây, đối tượng nghiên cứu của chúng ta là ánh sáng và tinh thể dị hướng. Cho nên, trước khi nghiên vấn đề này, chúng ta hãy nghiên cứu thuộc tính riêng của từng đối tượng.

I.ÁNH SÁNG:

Về phần ánh sáng, chúng ta chỉ nghiên cứu sóng phẳng đơn sắc vì hai lí do sau:

Thứ nhất, trong các hệ thống quang phổ hiện đại, nguồn sáng để kích thích mẫu đa phần là laser phát ánh sáng đơn sắc.

Thứ hai, thường chúng ta dùng laser hoạt động trong vùng sáng khả kiến (0.4 đến 0.8 micromet). Mà khoảng cách giữa nguồn kích thích và mẫu cỡ vài chục cm. Khoảng cách này lớn hơn rất nhiều so với bước sóng ánh sáng khả kiến cho nên sóng phát ra từ nguồn laser có thể xem như sóng phẳng.

Trong các thuộc tính của sóng thì thuộc tính quan trọng nhất là sự phân cực. Một sóng không phân cực là sóng mà trong đó đầu mút của các vecto điện và từ dao động một cách ngẫu nhiên theo mọi phương trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền (ví dụ ánh sáng tự nhiên). Trong khi đó, sóng phân cực là sóng mà trong đó các đầu mút của các vecto điện và từ vạch nên những quỹ đạo xác định trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền theo thời gian. Quỹ đạo đó có thể là elip, đường thẳng, hoặc đường tròn. Nếu bạn chưa hiểu kĩ về hiện tượng phân cực của sóng thì bạn có thể xem các mô phỏng mang tên polarizacion[1].swf và Cirpol[1].swf trong thư mục Mo_phong.

II.TINH THỂ DỊ HƯỚNG:

Tinh thể dị hướng là tinh thể mà trong đó tính chất vật lí theo các phương khác sẽ khác nhau. Tính chất vật lí ấy bao gồm tính chất cơ, nhiệt, điện, quang, v.v..Nhưng ở đây, chúng ta chủ yếu chỉ quan tâm đến tính chất quang. Trong các tinh thể dị hướng, mặc dù theo các phương khác nhau tính chất quang học có thể khác nhau nhưng cũng có những phương mà dọc theo đó tính chất quang học không thay đổi. Những phương đó gọi là trục quang học của tinh thể. Những tinh thể nào có một trục như vậy gọi là tinh thể đơn trục, có hai trục được gọi là tinh thể lưỡng trục.

Đối với tinh thể dị hướng, chúng ta sẽ xét mối quan hệ giữa vecto cảm ứng điện và vecto cường độ điện trường thông qua việc xét khái niệm tenxơ hằng số điện môi. Nói chung, đây là tenxo hạng II bao gồm 6 thành phần độc lập. Tuy nhiên, nếu chúng ta chọn hệ trục tọa độ thích hợp thì sẽ có thêm 3 thành phần của tenxơ ấy bị triệt tiêu. Hệ trục tọa độ ấy được gọi là hệ trục tọa độ chính của tinh thể.

1.Tenxơ hằng số điện môi:

Như chúng ta đã biết, khi sóng điện từ truyền trong không khí, các thành phần của vecto cảm ứng điện và vecto cường độ điện trường liên hệ với nhau theo những hệ thức tuyến tính:

$D_x = \varepsilon E_x$,

$D_y = \varepsilon E_y$,

$D_z = \varepsilon E_z$.

Nhưng trong tinh thể dị hướng, mối quan hệ giữa chúng phức tạp hơn. Mỗi thành phần của vecto cảm ứng điện là một tổ hợp tuyến tính của các thành phần của các vecto cường độ điện trường:

$$\left.\begin{aligned} D_x &= \varepsilon_{xx}E_x + \varepsilon_{xy}E_y + \varepsilon_{xz}E_z, \\ D_y &= \varepsilon_{yx}E_x + \varepsilon_{yy}E_y + \varepsilon_{yz}E_z, \\ D_z &= \varepsilon_{zx}E_x + \varepsilon_{zy}E_y + \varepsilon_{zz}E_z. \end{aligned}\right\}$$

Có thể biểu diễn mối quan hệ ấy bằng một hê thức tương đương khác:

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}.$$

ε gọi là tenxo điện môi của tinh thể dị hướng:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

ở đây chỉ có 6 thành phần độc lập vì $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}$, $\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx}$, $\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy}$ (tính chất của một tensor vật lí hạng II).

2.Hệ trục tọa độ chính:

Ví dụ: Tại bước sóng quang học 1 μm, tensor hằng số điện môi của tinh thể KDP trong một hệ trục tọa độ vuông góc x_1, x_2, x_3 có dạng:

$$\epsilon = \epsilon_0 \begin{bmatrix} 2.28 & 0 & 0 \\ 0 & 2.25 & -0.05196 \\ 0 & -0.05196 & 2.19 \end{bmatrix}.$$

Hãy tìm dạng của tensor này trong hệ trục tọa độ chính.

Các trị riêng và vector riêng của ma trận tensor ε là:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= 2.28\epsilon_0, \ \hat{x} = \hat{x}_1, \\ \epsilon_y &= 2.28\epsilon_0, \ \hat{y} = 0.866\hat{x}_2 - 0.500\hat{x}_3, \\ \epsilon_z &= 2.16\epsilon_0, \ \hat{z} = 0.500\hat{x}_2 + 0.866\hat{x}_3. \end{aligned}$$

Hệ trục tọa độ chính xyz sẽ là hệ trục tọa độ có các trục hướng theo các phương $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$.

Trong hệ trục tọa độ chính này, chỉ các thành phần trên đường chéo của tensor hằng số điện môi khác không. Các thành phần này là trị riêng của ma trận tensor ε :

$$\epsilon = \epsilon_0 \begin{bmatrix} 2.28 & 0 & 0 \\ 0 & 2.28 & 0 \\ 0 & 0 & 2.16 \end{bmatrix}.$$

III.SỰ TRUYỀN SÓNG PHẲNG ĐƠN SẮC TRONG TINH THỂ DỊ HƯỚNG:

Để nghiên cứu sự truyền sóng phẳng trong tinh thể dị hướng, người ta sử dụng cả hai phương pháp: phương pháp đại số và phương pháp hình học. Phương pháp đại số sử dụng phương trình Fresnel được rút ra trực tiếp từ hệ phương trình Maxwell. Phương pháp hình học sử dụng một khái niệm mới gọi là elipsoid chiết suất.

1.Phương trình Fresnel:

Điểm xuất phát

$$\begin{cases} \vec{E}, \vec{D}, \vec{B}, \vec{H} \sim \exp\{i\omega[(n/c)(\vec{r}\cdot\vec{s}) - t]\} \quad \vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\vec{s} \\ \vec{\nabla}\times\vec{A} = i\omega\frac{n}{c}\vec{s}\times\vec{A} \\ \dot{\vec{A}} = -i\omega\vec{A} \\ \vec{\nabla}\times\vec{H} = \dot{\vec{D}}, \quad \vec{\nabla}\times\vec{E} = -\dot{\vec{B}} \end{cases}$$

$$i\omega\frac{n}{c}\vec{s}\times\vec{H} = -i\omega\vec{D} \qquad \frac{n}{c}\vec{s}\times\vec{E} = i\omega\vec{B}$$

$$n\vec{s}\times\vec{H} = -c\vec{D} \qquad n\vec{s}\times\vec{E} = c\vec{B}$$

$$n\vec{s}\times\vec{H} = -c\vec{D} \qquad n\vec{s}\times\vec{E} = c\mu\vec{H}$$

$$-c\vec{D} = n\vec{s}\times\frac{n\vec{s}\times\vec{E}}{c\mu} \Leftrightarrow \vec{D} = -\frac{n^2}{c^2\mu}\vec{s}\times(\vec{s}\times\vec{E}) = +\frac{n^2}{c^2\mu}[\vec{E}-\vec{s}(\vec{E}\cdot\vec{s})]$$

$$\Leftrightarrow c^2\mu\varepsilon_k E_k = n^2[E_k - s_k(\vec{E}\cdot\vec{s})]$$

$$\Leftrightarrow n^2 s_k(\vec{E}\cdot\vec{s}) = n^2 E_k - c^2\mu\varepsilon_k E_k$$

$$\Leftrightarrow E_k = \frac{n^2 s_k(\vec{E}\cdot\vec{s})}{n^2 - c^2\mu\varepsilon_k} \Rightarrow s_k E_k = \frac{n^2 s_k^2(\vec{E}\cdot\vec{s})}{n^2 - c^2\mu\varepsilon_k}$$

$$s_x E_x = \frac{n^2 s_x^2(\vec{E}\cdot\vec{s})}{n^2 - c^2\mu\varepsilon_x}\ + \ ; \ s_y E_y = \frac{n^2 s_y^2(\vec{E}\cdot\vec{s})}{n^2 - c^2\mu\varepsilon_y}\ + \ ; \ s_z E_z = \frac{n^2 s_z^2(\vec{E}\cdot\vec{s})}{n^2 - c^2\mu\varepsilon_z}$$

Cộng: $s_xE_x + s_yE_y + s_zE_z$

$$\frac{s_x^2}{n^2-c^2\mu\varepsilon_x} + \frac{s_y^2}{n^2-c^2\mu\varepsilon_y} + \frac{s_z^2}{n^2-c^2\mu\varepsilon_z} = \frac{1}{n^2} = \frac{s_x^2+s_y^2+s_z^2}{n^2} \quad (1)$$

$$\frac{s_x^2}{n^2-c^2\mu\varepsilon_x} - \frac{s_x^2}{n^2} = s_x^2\left(\frac{1}{n^2-c^2\mu\varepsilon_x} - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{s_x^2\,c^2\mu\varepsilon_x}{n^4 - n^2c^2\mu\varepsilon_x} = \frac{s_x^2}{\frac{n^4}{c^2\mu\varepsilon_x} - n^2}$$

$$= \frac{1}{n^2}\,\frac{s_x^2}{\frac{1}{c^2\mu\varepsilon_x} - \frac{1}{n^2}}$$

$$(1) \Leftrightarrow \frac{s_x^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{c^2\mu\varepsilon_x}} + \frac{s_y^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{c^2\mu\varepsilon_y}} + \frac{s_z^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{c^2\mu\varepsilon_z}} = 0 \Leftrightarrow \frac{s_x^2}{\frac{c^2}{n^2} - \frac{1}{\mu\varepsilon_x}} + \frac{s_y^2}{\frac{c^2}{n^2} - \frac{1}{\mu\varepsilon_y}} + \frac{s_z^2}{\frac{c^2}{n^2} - \frac{1}{\mu\varepsilon_z}}.$$

Đích đến

Đặt:

$$\upsilon_x = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon_x}}, \qquad \upsilon_y = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon_y}}, \qquad \upsilon_z = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon_z}}.$$

$$\frac{s_x^2}{\upsilon_p^2 - \upsilon_x^2} + \frac{s_y^2}{\upsilon_p^2 - \upsilon_y^2} + \frac{s_z^2}{\upsilon_p^2 - \upsilon_z^2} = 0.$$

Quy đồng mẫu số ta được:

$$s_x^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_y^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_z^2) + s_y^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_z^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_x^2) + s_z^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_x^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_y^2) = 0.$$

Đây là phương trình trùng phương theo biến υ_p với 4 nghiệm chia làm 2 cặp $\pm\upsilon'_p$, $\pm\upsilon''_p$. Về mặt vật lí, các dấu cộng trừ của mỗi cặp nghiệm ứng với c ùng một sóng nhưng truyền theo các hướng ngược nhau. Vì vậy, từ phương trình này chúng ta rút ra được rằng:

Cấu trúc của môi trường bất đẳng hướng cho phép theo một hướng cho trước có thể có hai sóng truyền với vận tốc pha khác nhau. Đây là đặc điểm thứ nhất của sự truyền sóng trong tinh thể.

2.Elipsoid chiết suất:

Mật độ năng lượng điện ứng với một sóng điện từ là:

$$U = \frac{1}{2}\mathbf{E}\cdot\mathbf{D} \qquad (1)$$

Trong hệ tọa độ trục chính, chúng ta có:

$$D_x = \varepsilon_x E_x, \qquad D_y = \varepsilon_y E_y, \qquad D_z = \varepsilon_z E_z,$$

$$E_x = \frac{D_x}{\varepsilon_x} \qquad E_y = \frac{D_y}{\varepsilon_y} \qquad E_z = \frac{D_z}{\varepsilon_z}$$

Từ (1) suy ra:

$$U = \frac{1}{2}(E_x D_x + E_y D_y + E_z D_z)$$

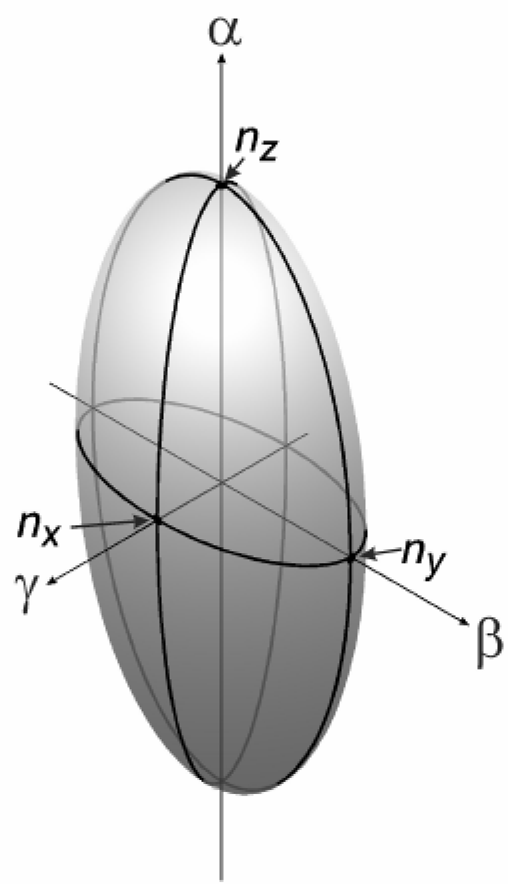
$$= \frac{1}{2}\left(\frac{D_x^2}{\varepsilon_x} + \frac{D_y^2}{\varepsilon_y} + \frac{D_z^2}{\varepsilon_z}\right)$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{D_x^2}{\varepsilon_0\varepsilon_{rx}} + \frac{D_y^2}{\varepsilon_0\varepsilon_{ry}} + \frac{D_z^2}{\varepsilon_0\varepsilon_{rz}}\right)$$

$$U = \frac{1}{2}\left[\frac{D_x^2}{\epsilon_o n_x^2} + \frac{D_y^2}{\epsilon_o n_y^2} + \frac{D_z^2}{\epsilon_o n_z^2}\right] \qquad (2)$$

$$\frac{\left(\frac{D_x}{\sqrt{2\epsilon_o U}}\right)^2}{n_x^2} + \frac{\left(\frac{D_y}{\sqrt{2\epsilon_o U}}\right)^2}{n_y^2} + \frac{\left(\frac{D_z}{\sqrt{2\epsilon_o U}}\right)^2}{n_z^2} = 1 \qquad (3)$$

$$\frac{\alpha^2}{n_x^2} + \frac{\beta^2}{n_y^2} + \frac{\gamma^2}{n_z^2} = 1 \qquad (4)$$

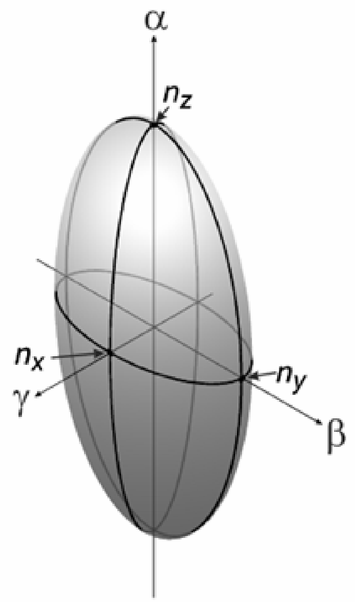


Ellipsoid trong hệ tọa độ không gian chiết suất

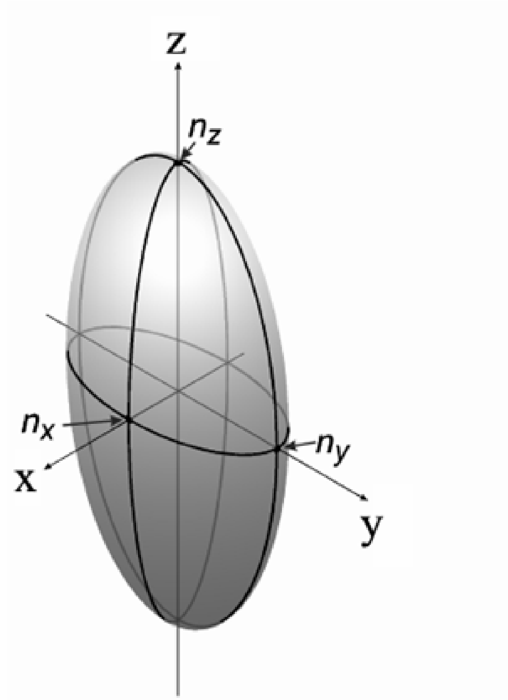
Xem hệ tọa độ không gian chiết suất và hệ trục tọa độ chính tương đương nhau (bạn hãy chấp nhận điều này !). Vì vậy, ta có thể viết:

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

Phương trình này gọi là phương trình elipsoid chiết suất. Đồ thị của nó trong hệ trục tọa độ chính được gọi là elipsoid chiết suất.

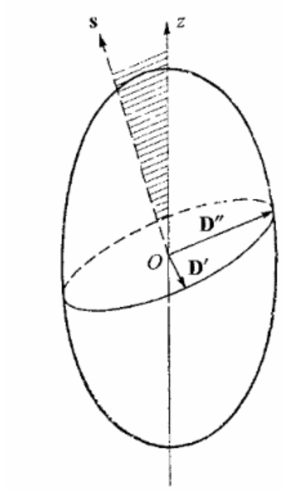


Ellipsoid trong hệ tọa độ không gian chiết suất



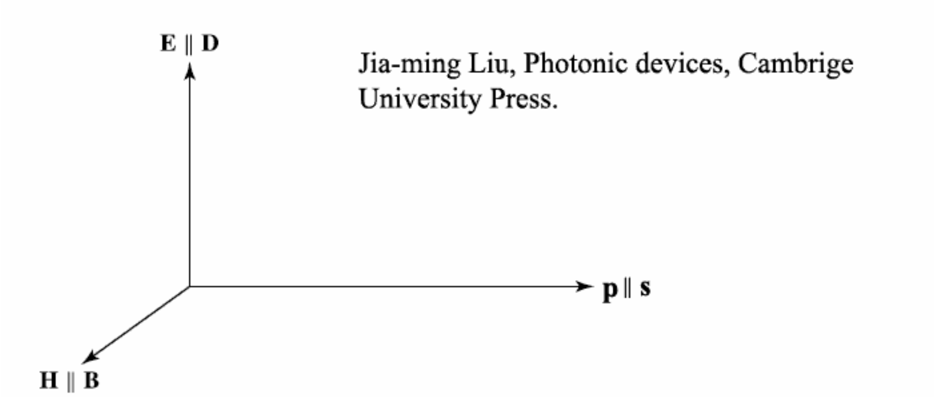
Ellipsoid trong hệ tọa độ không gian thực

Như trên đã nói, cấu trúc của môi trường bất đẳng hướng cho phép theo một hướng cho trước có thể có hai sóng truyền với vận tốc pha khác nhau. Vậy làm thế nào để xác định giá trị của các vận tốc pha ấy và mối quan hệ về phương của hai vecto cảm ứng điện tương ứng với hai sóng đó? Elipsoid chiết suất sẽ giúp chúng ta trả lời câu hỏi này. Đầu tiên, chúng ta hãy vẽ một mặt phẳng đi qua gốc tọa độ và vuông góc với vecto đơn vị truyền sóng ***s***. Giao tuyến của mặt phẳng này với elipsoid chiết suất trong trường hợp tổng quát sẽ là một hình elip. Khi đó vận tốc pha của hai sóng này sẽ tỉ lệ với nghịch đảo của độ dài các bán trục chính và phương dao động của các vecto cảm ứng điện ***D*** trùng với phương của các bán trục (vuông góc nhau).



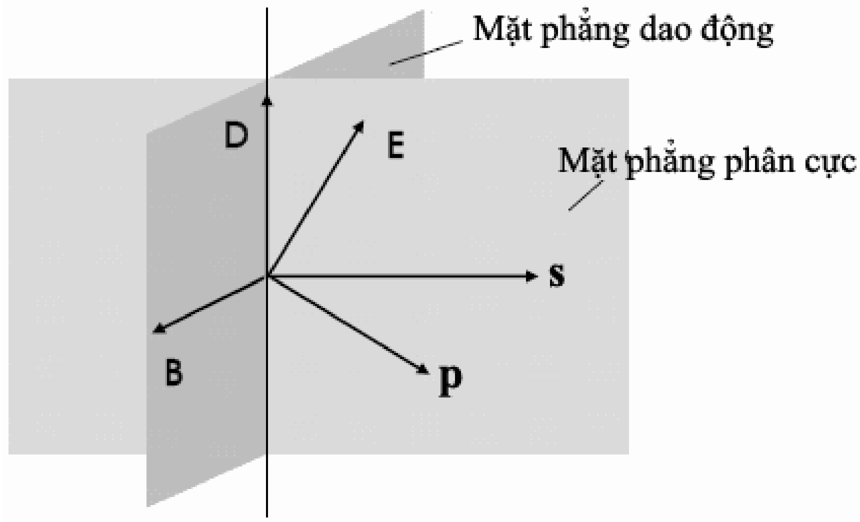
3.Phương truyền sóng và phương truyền năng lượng:

Trong môi trường đẳng hướng (chẳng hạn không khí), phương truyền năng lượng là phương của vecto Pointing. Mà vecto Pointing theo định nghĩa lại bằng tích có hướng giữa các vecto ***E*** và ***H***. Nên vecto Pointing vuông góc với mặt phẳng chứa các vecto ***E*** và ***H***. Điều đó có nghĩa là nó cũng sẽ cùng phương với vecto đơn vị truyền sóng ***s***.

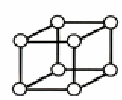
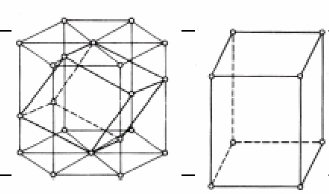
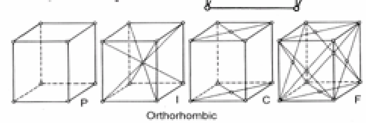


Hình 1.7| Mối quan hệ về hướng của **E**, **D**, **H**, **B**, **p**, và **S** trong không gian tự do hoặc trong môi trường đẳng hướng

Nhưng trong tinh thể dị hướng, vì ***E*** và ***D*** không cùng phương. Nên vecto truyền năng lượng Pointing ***p*** sẽ không còn trùng phương với vecto đơn vị truyền sóng.



4.Phân loại tinh thể theo tính chất quang học:

Loại tinh thể	Tính chất quang học	Chiết suất	Ví dụ
Đẳng hướng	Không thay đổi theo mọi phương	$n_x = n_y = n_z$	
Đơn trục	Không thay đổi theo một phương	$n_x = n_y \neq n_z$	
Lưỡng trục	Không thay đổi theo hai phương	$n_x \neq n_y \neq n_z$	

5.Tính chất quang học của tinh thể đơn trục:

a.Khảo sát bằng phương pháp đại số:

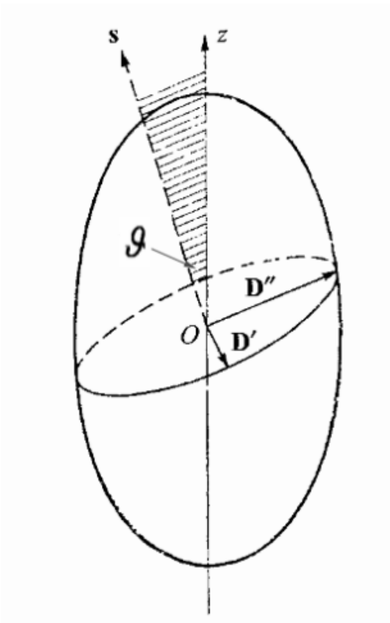
Tinh thể đơn trục có $n_x = n_y \neq n_z \Leftrightarrow \upsilon_x = \upsilon_y \neq \upsilon_z$. Đặt $\upsilon_x = \upsilon_y = \upsilon_0$, và $\upsilon_z = \upsilon_e$ vào phương trình Fresnel sau khi đã quy đồng:

$$s_x^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_y^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_z^2) + s_y^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_z^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_x^2) + s_z^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_x^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_y^2) = 0.$$

Ta được:

$$(\upsilon_p^2 - \upsilon_o^2)[(s_x^2 + s_y^2)(\upsilon_p^2 - \upsilon_e^2) + s_z^2(\upsilon_p^2 - \upsilon_o^2)] = 0. \quad (2)$$

Giả sử phương truyền sóng tạo với trục z một góc ϑ thì:



$$s_x^2 + s_y^2 = \sin^2\vartheta, \qquad s_z^2 = \cos^2\vartheta,$$

Phương trình (2) trở thành:

$$(\upsilon_p^2 - \upsilon_o^2)[(\upsilon_p^2 - \upsilon_e^2)\sin^2\vartheta + (\upsilon_p^2 - \upsilon_o^2)\cos^2\vartheta] = 0.$$

Nghiệm của phương trình này là:

$$\left.\begin{aligned} \upsilon_p'^2 &= \upsilon_o^2, \\ \upsilon_p''^2 &= \upsilon_o^2\cos^2\vartheta + \upsilon_e^2\sin^2\vartheta. \end{aligned}\right\}$$

υ_p' là vận tốc pha của tia thường.

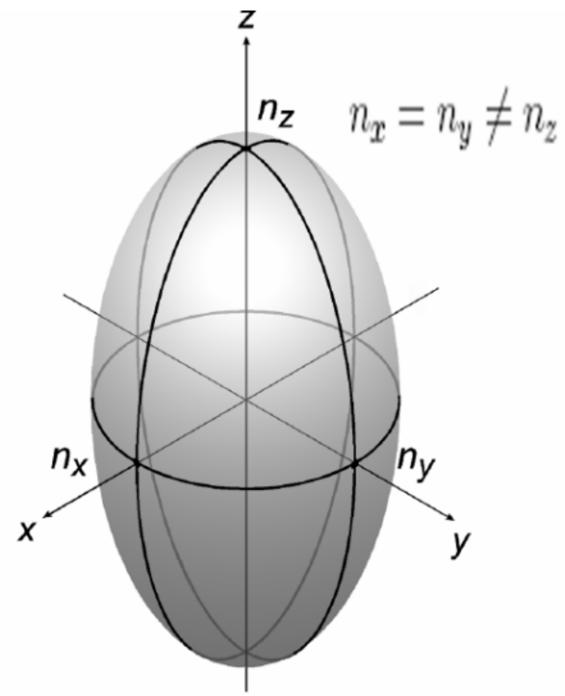
υ_p'' là vận tốc pha của tia bất thường.

Khi $\upsilon_0 > \upsilon_e$, sóng thường chuyển động nhanh hơn sóng bất thường, tinh thể như thế được gọi là đơn trục dương.

Khi $\upsilon_0 < \upsilon_e$, sóng bất thường chuyển động nhanh hơn sóng thường, tinh thể như thế được gọi là đơn trục âm (felspar).

Từ đây, ta thấy, từ một sóng ban đầu khi truyền vào tinh thể dị hướng, sóng sẽ truyền với hai vận tốc pha khác nhau nên từ một tia ban đầu sẽ tách ra thành hai tia, một tia tuân theo định luật khúc xạ và tia còn lại vi phạm định luật khúc xạ. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng lưỡng chiết. Xem mô phỏng birefringence_tutorial[1].swf trong thư mục Mo_phong để hiểu rõ hơn. (Tia là các đường thẳng vuông góc với mặt đầu sóng. Mặt đầu sóng là những mặt phẳng bao gồm các điểm có cùng trạng thái dao động hay cùng pha.)

b.Khảo sát bằng phương pháp hình học:



Ellipsoid chiết suất của tinh thể đơn trục

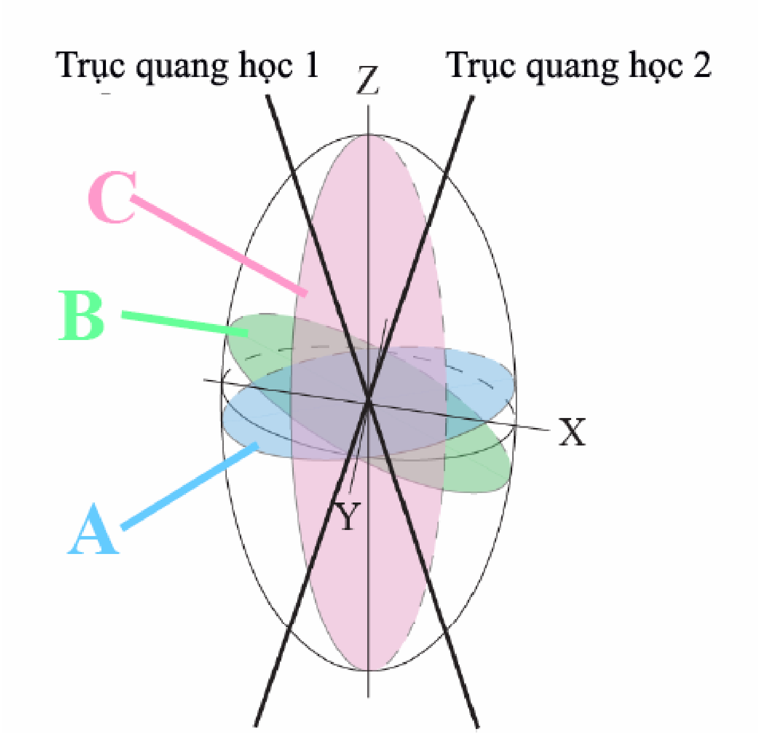
Khi sóng truyền dọc theo trục z, theo phương pháp elipsoid, mặt phẳng đi qua gốc tọa độ và vuông góc với trục z là một hình tròn nằm trong mặt phẳng Oxy. Cho nên, theo phương này, sóng sẽ truyền với vận tốc pha như ban đầu chứ không tách thành hai tia có vận tốc truyền khác nhau. Trong trường hợp này, trục z gọi là trục quang học của tinh thể đơn trục.

Khi phương truyền sóng tạo với trục z một góc nào đó thì mặt phẳng đi qua gốc tọa độ và vuông góc với phương truyền sóng là một elip nên sóng sẽ truyền với hai vận tốc pha khác nhau và do đó từ một tia ban đầu sẽ tách thành hai tia khi đi vào trong tinh thể. Và phương dao động của các vecto cảm ứng điện của các sóng thành phần vuông góc nhau.

6.Tính chất quang học của tinh thể lưỡng trục:

Nếu chỉ muốn thu được các kiến thức định tính về tính chất quang học của tinh thể lưỡng trục thì chúng ta chỉ cần dùng phương pháp hình học vì việc khảo sát bằng phương pháp đại số sẽ rất phức tạp và không cần thiết.

Nhìn vào elipsoid của tinh thể lưỡng trục chúng ta thấy rằng, có thể có hai hình tròn đi qua gốc tọa độ và nội tiếp với elipsoid. Vậy khi sóng truyền dọc theo các trục đi qua gốc tọa độ và vuông góc với hai hình tròn này thì cũng sẽ không có hiện tượng tách tia. Vậy hai trục này chính là hai trục quang học của tinh thể lưỡng trục.



Khi sóng truyền theo phương lệch với trục quang học một góc nào đó thì cũng có hiện tượng lưỡng chiết nhưng trong trường hợp của tinh thể lưỡng trục người ta thấy cả hai tia đều là tia bất thường.

Còn một mục nữa là mục sự thay đổi chế độ phân cực của sóng khi truyền qua tinh thể dị hướng, khi nào rãnh mình sẽ soạn tiếp cho các bạn, giờ mình phải đi học vật lí màng mỏng thôi, sợ quá !!! Mọi thắc mắc, phàn nàn, chửi bới, góp ý xin gửi lên gmail lớp hoặc gửi đến nick của mình. Mình rất vui lòng và nhanh chóng trả lời câu hỏi của các bạn và hi vọng các bạn cũng sẽ vui lòng để trả lời câu hỏi của mình về những nội dung liên quan đến phần của các bạn.