

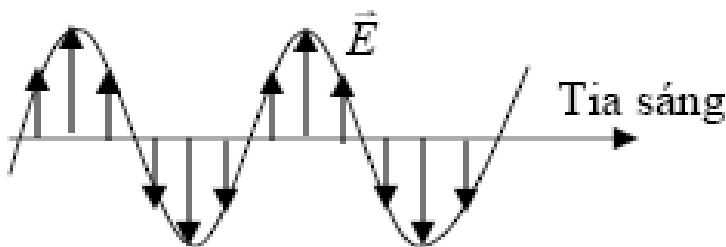


CHƯƠNG 5: PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

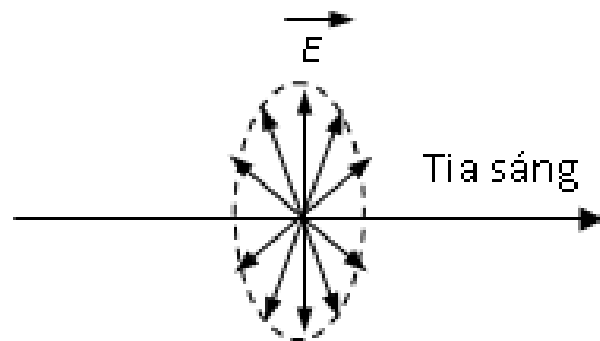
1. SỰ PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

1. Ánh sáng tự nhiên

Định nghĩa: Ánh sáng có vector cường độ điện trường dao động đều đặn theo mọi phương vuông góc tia sáng được gọi là ánh sáng tự nhiên.



Hình 5-1a



Hình 5-1b

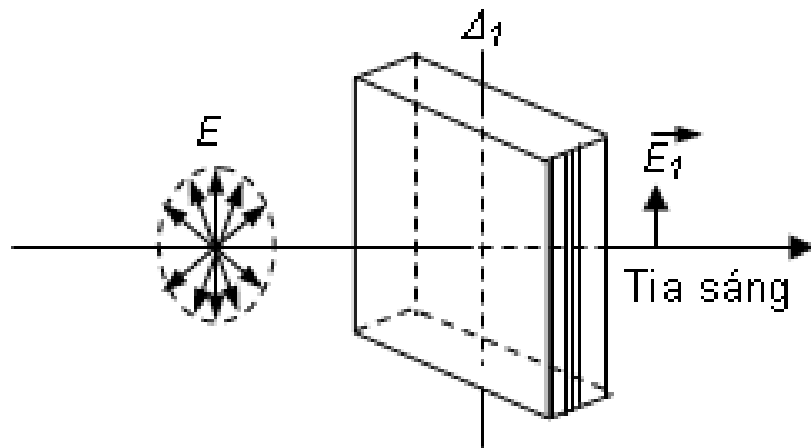
2. Ánh sáng phân cực

Định nghĩa: Ánh sáng có vectơ E chỉ dao động theo một phương xác định được gọi là **ánh sáng phân cực thẳng hay ánh sáng phân cực toàn phần.**

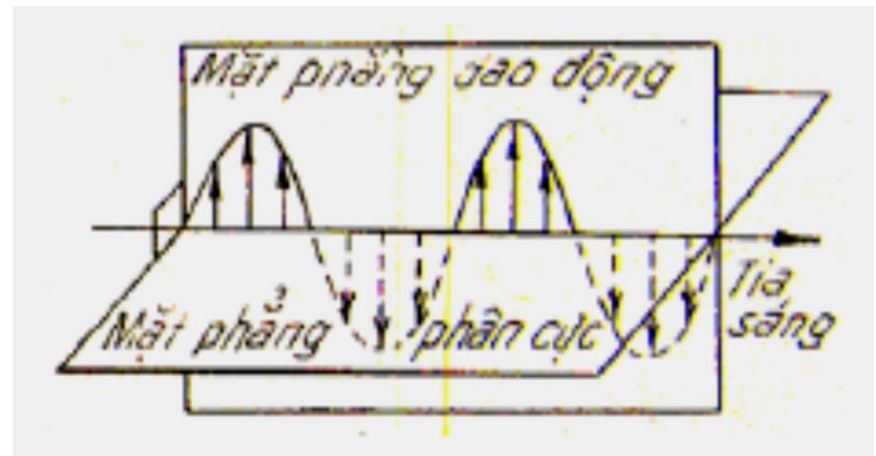
Hiện tượng ánh sáng tự nhiên biến thành ánh sáng phân cực gọi là hiện tượng phân cực ánh sáng.

Trong một số trường hợp do tác dụng của môi trường lên ánh sáng truyền qua nó, vectơ cường độ điện trường vẫn dao động theo tất cả các phương vuông góc với tia sáng nhưng có phương dao động yếu, có phương dao động mạnh. Ánh sáng này được gọi là *ánh sáng phân cực một phần*. Nếu ánh sáng phân cực trong đó đầu mút vectơ sáng chuyển động trên một đường elip (hay đường tròn) thì được gọi là *ánh sáng phân cực elip (tròn)*





Hình 5-2. Biểu diễn ánh sáng phân cực toàn phần



Hình 5-3. Mặt phẳng dao động và mặt phẳng phân cực

3. Định luật Malus về phân cực ánh sáng

Xét sự truyền ánh sáng qua bản tinh thể tuamalin (hợp chất silicôbôrat aluminium) với chiều dày 1mm.

Xét ánh sáng tự nhiên truyền tới bản tuamalin T_1 , bất kì vectơ sáng E nào của ánh sáng tự nhiên cũng đều có thể phân tích thành hai thành phần:

phần: $\vec{E}_{1x} \perp \Delta_1$ Khi đó: $E^2 = E_{1x}^2 + E_{1y}^2$
 $\vec{E}_{1y} // \Delta_1$

Do ánh sáng tự nhiên có E phân bố đều đặn xung quanh tia sáng nên ta có thể lấy trung bình:

$$\overline{E_{1x}^2} = \overline{E_{1y}^2} = \frac{1}{2} \overline{E^2}$$



Do tính hấp thụ dị hướng của bản tinh thể tuamalin, thành phần vuông góc với quang trục bị hấp thụ hoàn toàn, còn thành phần song song với quang trục được truyền hoàn toàn qua bản tuamalin T_1 , ánh sáng tự nhiên đã biến thành ánh sáng phân cực toàn phần có vectơ sáng song song với quang trục $\vec{E}_1 = \vec{E}_{1y}$

và cường độ sáng I_1 sau bản T_1 bằng:

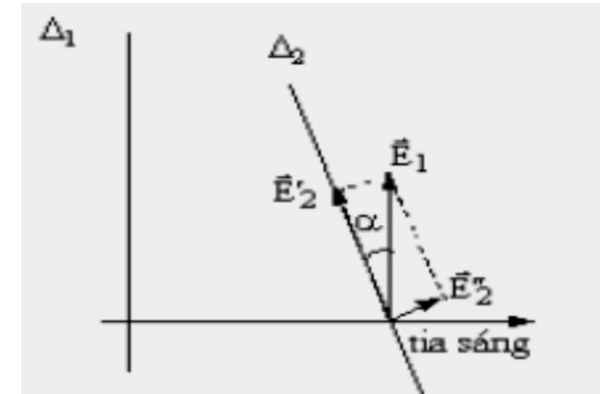
$$I_1 = E_1^2 = \overline{E_{1y}^2} = \frac{1}{2} \overline{E^2} = \frac{1}{2} I_0$$

$I_0 = \overline{E^2}$ là cường độ của ánh sáng tự nhiên truyền tới bản T_1 .

Định luật Malus:

Lấy một bản tuamalin T_2 có quang trục Δ_2 đặt sau T_1 .

Gọi α là góc giữa hai quang trục .



Vector sáng sau bản tuamalin T_1 sẽ được phân tích thành hai thành phần:

$$E'_2 = E_1 \cos \alpha \quad \text{song song với quang trục } \Delta_2$$

$$E''_2 = E_1 \sin \alpha \quad \text{vuông góc với } \Delta_2$$

Như vậy sau bản T_2 ta cũng nhận được ánh sáng phân cực toàn phần có vector sáng E' song song với quang trục và ta thu được công thức biểu diễn diễn định luật Malus:

$$I_2 = (E'_2)^2 = E_1^2 \cos^2 \alpha = I_1 \cos^2 \alpha$$



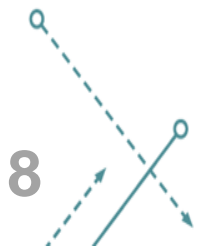
$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$$

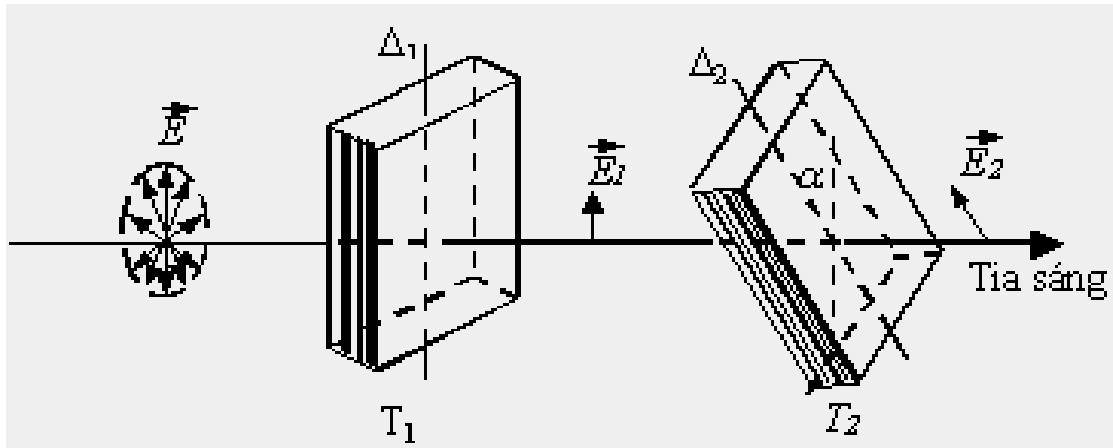
I_1 là cường độ sáng sau bản tuamalin T_1 . Như vậy nếu giữ cố định bản T_1 và quay bản T_2 xung quanh tia sáng thì I_2 sẽ thay đổi.

- Khi hai quang trục song song với nhau, $\alpha = 0 \Rightarrow I_{2\max} = I_1$
- Khi hai quang trục vuông góc với nhau, $\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow I_{2\min} = 0$

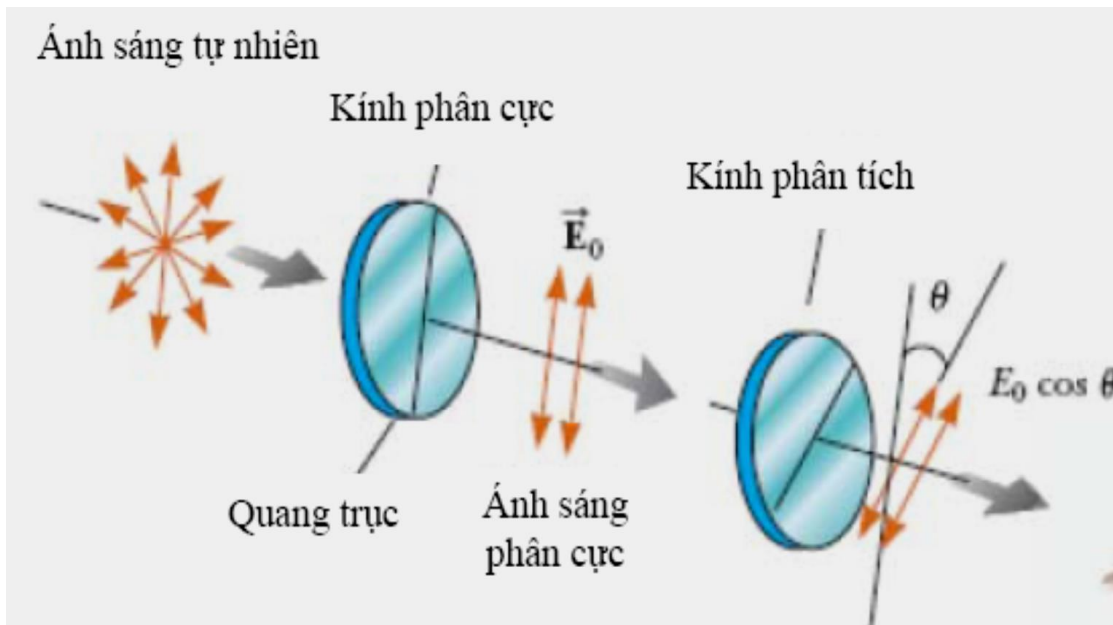
T_1 được gọi là *kính phân cực*, T_2 được gọi là *kính phân tích* (hình 5-5a)

Định luật Malus: Khi cho một chùm tia sáng tự nhiên truyền qua hai kính phân cực và phân tích có quang trục hợp với nhau một góc α thì cường độ sáng nhận được tỉ lệ với $\cos^2 \alpha$.





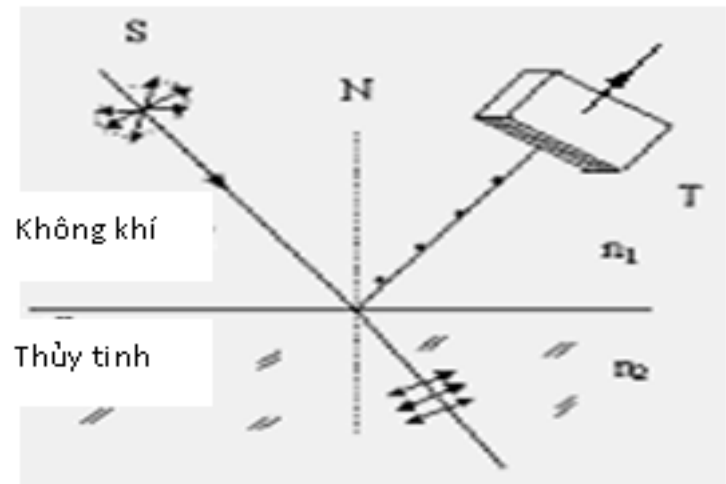
Hình 5-5a . Sơ đồ biểu diễn định luật Malus



Hình 5-5b. Phương pháp phân cực ánh sáng bằng kính phân cực

4. Sự phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

- Khi cho một tia sáng tự nhiên chiếu tới mặt phân cách giữa hai môi trường dưới góc tới $i \neq 0$ thì tia phản xạ và tia khúc xạ đều là ánh sáng phân cực một phần.
- Vectơ cường độ điện trường của tia phản xạ có biên độ dao động lớn nhất theo phương vuông góc với mặt phẳng tới, còn vectơ cường độ điện trường của tia khúc xạ có biên độ dao động lớn nhất theo phương nằm trong mặt phẳng tới (hình 5-6).



Hình 5-6: Phân cực do phản xạ và khúc xạ

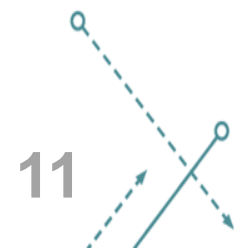
Khi thay đổi góc tới i thì mức độ phân cực của tia phản xạ và tia khúc xạ cũng thay đổi.

Tia phản xạ sẽ phân cực toàn phần, khi:

$$\operatorname{tgi}_B = n_{21}$$

Chiết suất tỷ đối của môi trường hai đối với môi trường một: $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$

i_B được gọi là góc tới Brewster hay góc phân cực toàn phần.

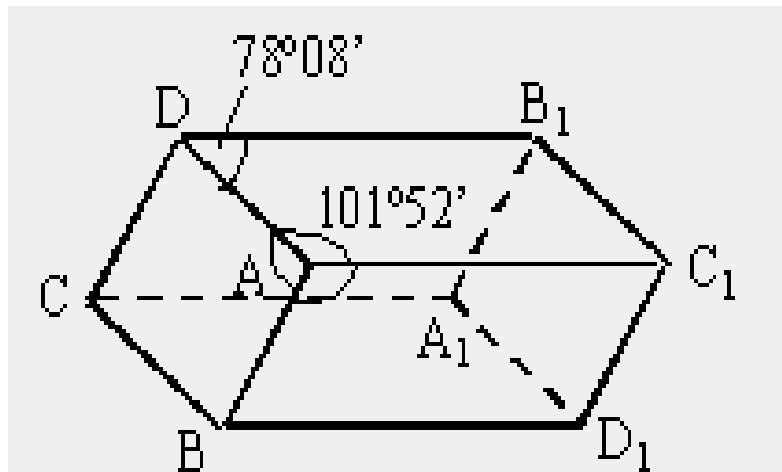


2. PHÂN CỰC DO LŨNG CHIẾT

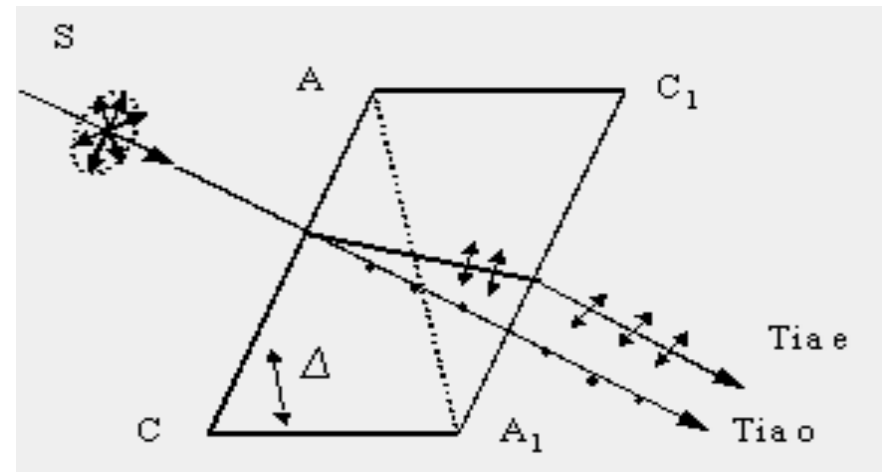
2. 1. Tính lưỡng chiết của tinh thể

- Thực nghiệm chứng tỏ rằng một số tinh thể như băng lan, thạch anh... có tính chất đặc biệt là nếu chiếu một tia sáng đến tinh thể thì ta sẽ được hai tia. Hiện tượng này gọi là hiện tượng lưỡng chiết.
- Nguyên nhân là do tính bất đẳng hướng của tinh thể về mặt quang học (tức là tính chất quang của tinh thể ở các hướng khác nhau thì sẽ khác nhau). Để nghiên cứu hiện tượng lưỡng chiết chúng ta xét tinh thể băng lan.





Hình 5-7. Tinh thể băng lan

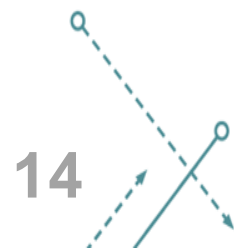


Hình 5-8. Tính lưỡng chiết của tinh thể

- Tia truyền thẳng không bị lệch khỏi phương truyền gọi là **tia thường (kí hiệu là tia o)**. Tia này tuân theo định luật khúc xạ ánh sáng. Tia thường phân cực toàn phần, có vector sóng E vuông góc với một mặt phẳng đặc biệt gọi là mặt phẳng chính của tia đó (mặt phẳng chứa tia thường và quang trục).
- Tia lệch khỏi phương truyền gọi là **tia bất thường (kí hiệu là tia e)**. Tia này không tuân theo định luật khúc xạ ánh sáng. Tia bất thường phân cực toàn phần, có vector sóng E nằm trong mặt phẳng chính của nó (mặt phẳng chứa quang trục và tia bất thường).

Khi ló ra khỏi tinh thể, hai tia thường và tia bất thường chỉ khác nhau về phương phân cực. Chiết suất của tinh thể băng lan đối với tia thường luôn không đổi và bằng

$$n_o = \frac{\sin i}{\sin i_o} = 1.659$$



- Chiết suất n_e của tinh thể băng lan đối với tia bất thường phụ thuộc vào phương truyền của nó trong tinh thể và thay đổi từ 1,659 (theo phương quang trục) đến 1,486 (theo phương vuông góc với quang trục). Như vậy đối với tinh thể băng lan ta có: $n_e \leq n_o$
- Vì chiết suất $n = c/v$, với c là vận tốc ánh sáng trong chân không và v là vận tốc ánh sáng trong môi trường, do đó: $v_e \geq v_o$
nghĩa là trong tinh thể băng lan, vận tốc của tia bất thường nói chung lớn hơn vận tốc của tia thường.
- Những tinh thể có $n_e < n_o$ (như tinh thể băng lan) được gọi là **tinh thể âm**. Còn những tinh thể có $n_e > n_o$ (như tinh thể thạch anh) được gọi là **tinh thể dương**.



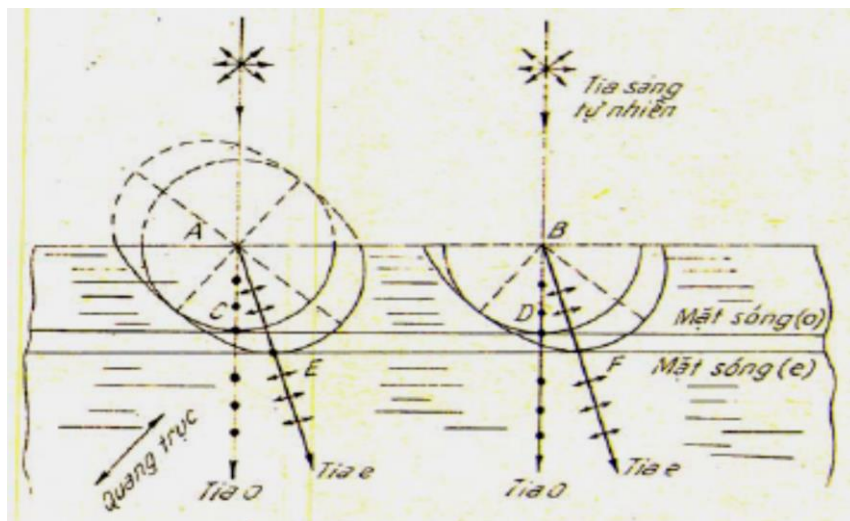
2. 2. Mặt sóng trong môi trường tinh thể đơn trục

- Vì vận tốc của tia thường không phụ thuộc phương truyền trong tinh thể, do đó mặt sóng thứ cấp đối với ánh sáng thường từ một điểm nào đó trong tinh thể thoát ra là một mặt cầu (dù tinh thể là dương hay âm). Với ánh sáng bất thường, vận tốc phụ thuộc phương truyền, do đó mặt sóng thứ cấp không phải là mặt cầu. Thực nghiệm và lý thuyết chứng tỏ rằng mặt sóng **đối với ánh sáng bất thường là một mặt elip tròn xoay có trục quay song song với quang trục của tinh thể.**
- Muốn xác định tia thường và tia bất thường trong tinh thể đơn trục, ta phải áp dụng nguyên lý Huygens để vẽ các mặt sóng thực của ánh sáng thường và ánh sáng bất thường ở cùng một thời điểm nào đó.



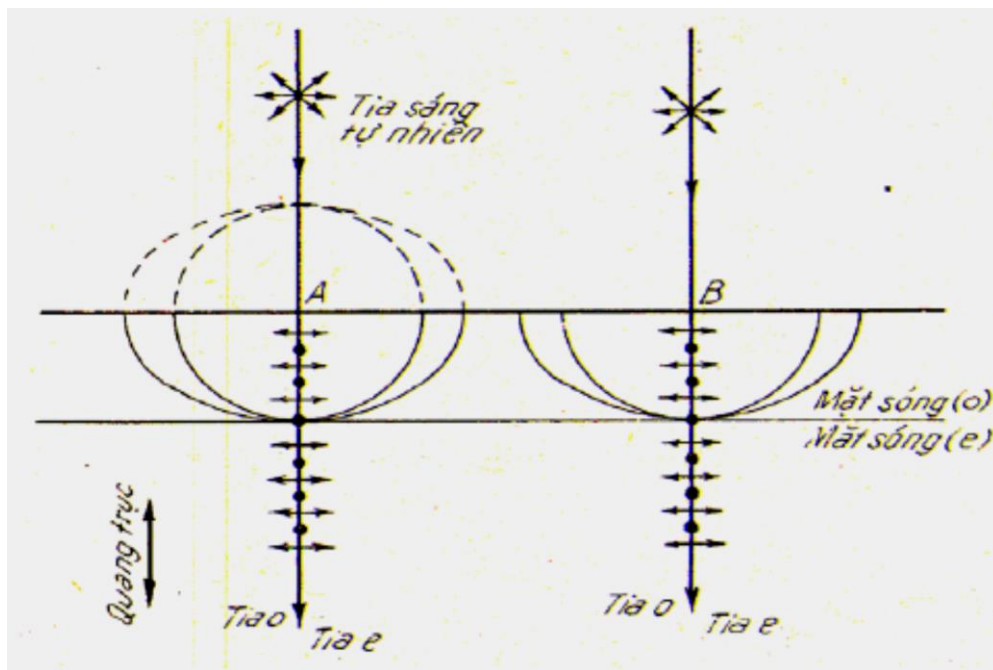
Sau đây ta xác định tia thường và tia bất thường trong một số trường hợp khi ánh sáng truyền trong tinh thể Bể lan. Để đơn giản ta lấy chùm ánh sáng tới là chùm đơn sắc, song song, rọi vuông góc với mặt tinh thể.

Trường hợp 1: Quang trục nghiêng một góc nào đó so với mặt tinh thể.



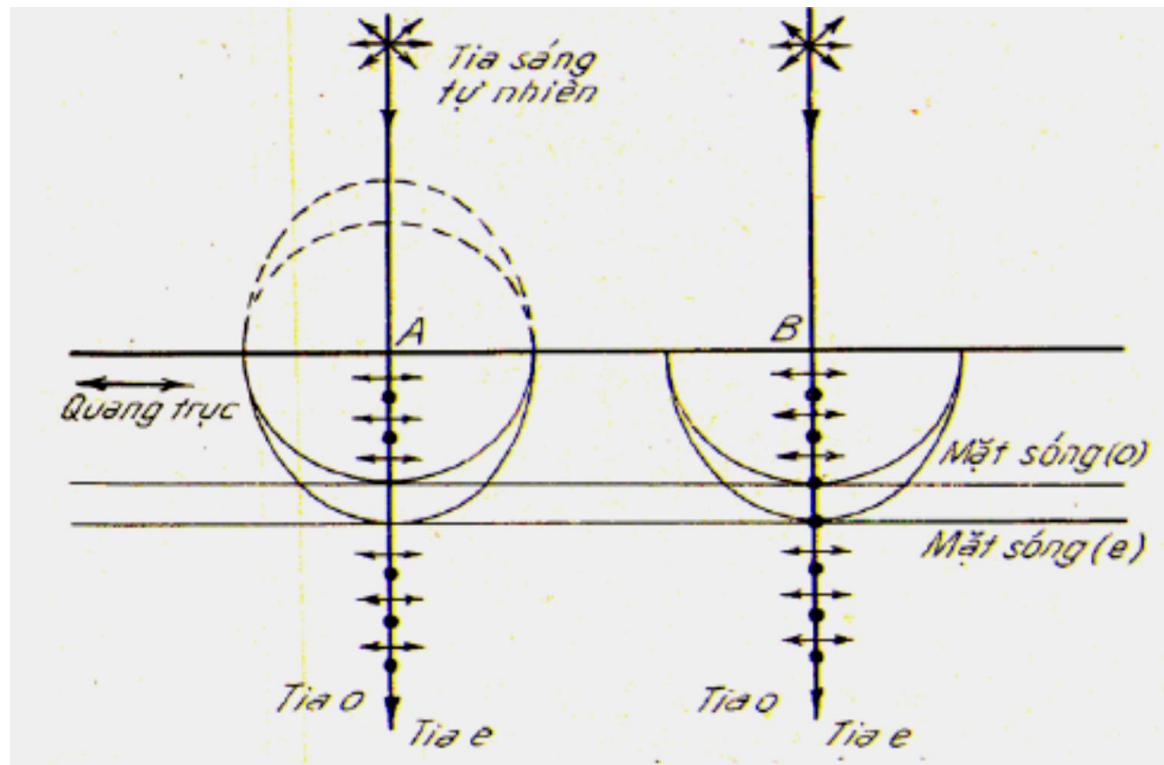
Trường hợp 2: Chùm sáng và quang trục cùng vuông góc với mặt AB của tinh thể

Vì theo phương quang trục, vận tốc của tia thường và tia bất thường trùng nhau; do đó mặt sóng của ánh sáng thường và bất thường trùng nhau. Kết quả khi vào tinh thể tia sáng không bị tách thành hai.



Hình 5-11. Xác định tia thường và tia bất thường trong trường hợp chùm sáng và quang trục vuông góc mặt tinh thể

Trường hợp 3: Chùm sáng vuông góc với mặt tinh thể, còn quang trục song song với mặt đó



2. 3. Các loại kính phân cực

* Bản Pôlarôit

Một số tinh thể lưỡng chiết có tính hấp thụ dị hướng mạnh đối với một trong hai tia thường và bất thường. Ví dụ bản tinh thể tuamalin dày hơn 1mm hầu như hấp thụ hoàn toàn tia thường và chỉ cho tia bất thường truyền qua nó. Vì vậy bản tuamalin có thể dùng làm kính phân cực.

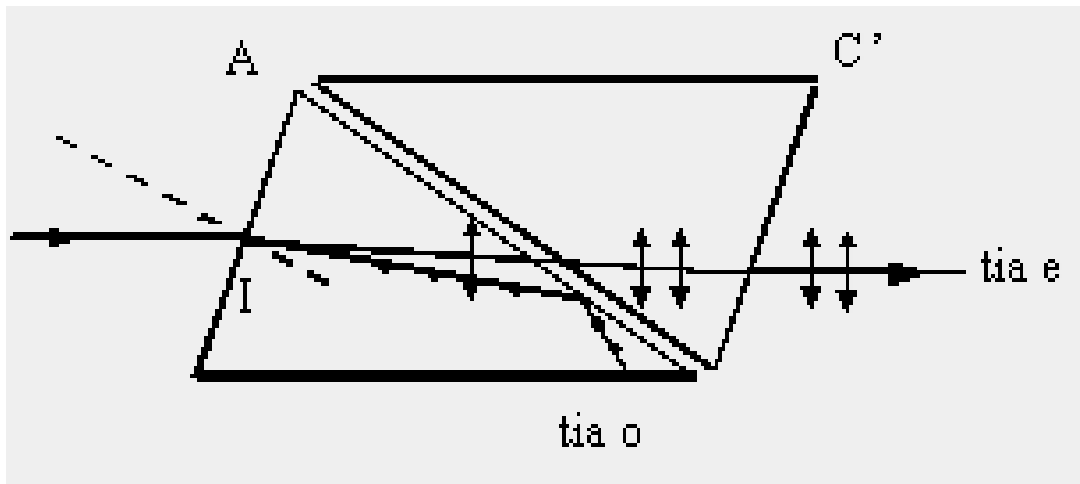
Trong những năm gần đây người ta đã chế tạo **những kính phân cực làm bằng xenlulôit, trên có phủ một lớp tinh thể định hướng sunfat-iôt-kinin có tính hấp thụ dị hướng mạnh. Những bản này gọi là bản pôlarôit.**

Bản pôlarôit dày khoảng 0,1 mm có thể hấp thụ hoàn toàn tia thường và tạo ra ánh sáng phân cực toàn phần sau khi đi ra khỏi bản.



* Lăng kính Nicol (Nicôn)

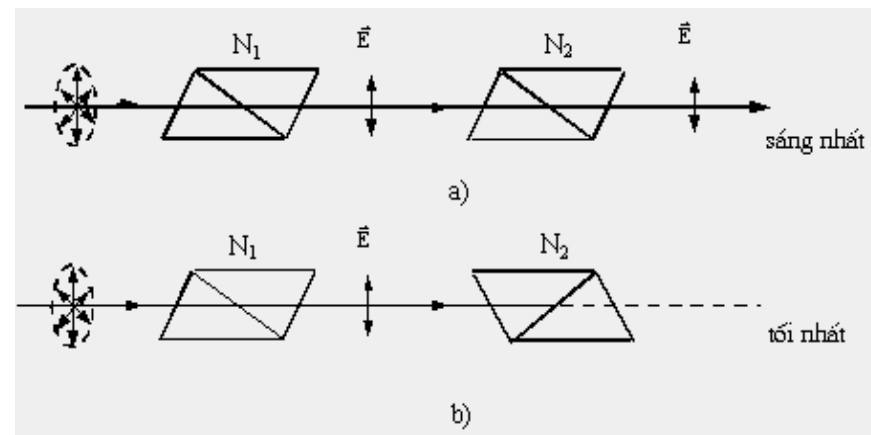
- là một khối tinh thể băng lan được cắt theo mặt chéo thành hai nửa và dán lại với nhau bằng một lớp nhựa canada trong suốt có chiết suất $n = 1.550$



Hình 5-13. Lăng kính Nicol

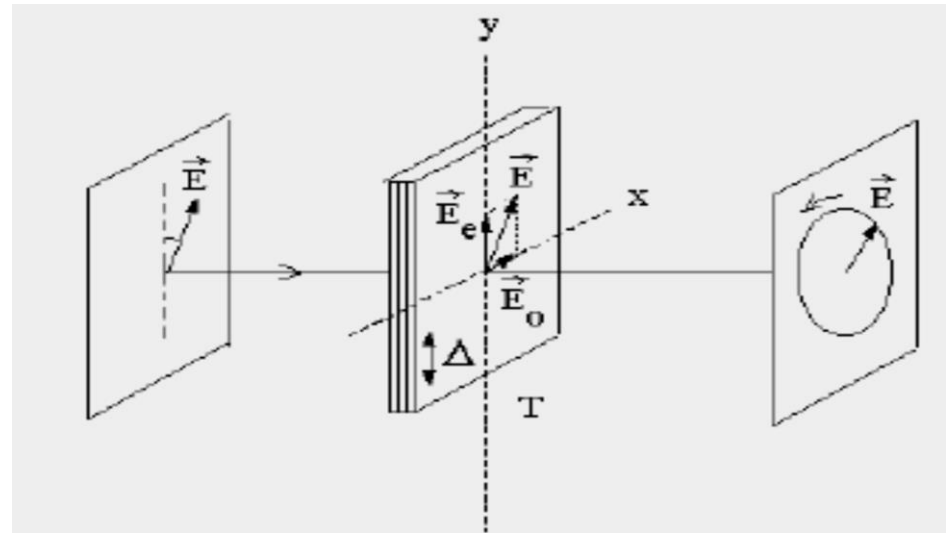
Nếu cho một chùm sáng tự nhiên qua hệ hai nicol N_1 và N_2 thì cường độ sáng I_2 ở phía sau bản nicol N_2 cũng được xác định theo định luật Malus, α là góc giữa hai mặt phẳng chính của nicol N_1 và N_2 .

- Khi hai nicol N_1 và N_2 đặt ở vị trí song song thì cường độ sáng sau nicol N_2 đạt cực đại $I_2 = I_{\max}$ (sáng nhất).
- Khi hai nicol đặt ở vị trí bắt chéo cường độ sáng sau nicol N_2 đạt cực tiểu $I_2 = I_{\min}$ (tối nhất)



3. ÁNH SÁNG PHÂN CỰC ELIP VÀ PHÂN CỰC TRÒN

Thực nghiệm chỉ ra rằng ta có thể tạo ra *ánh sáng phân cực* trong đó đầu mút vector sáng E chuyển động trên một đường elip (hay đường tròn), ánh sáng phân cực này được gọi là *ánh sáng phân cực elip* hay *phân cực tròn*



Hình 5-15. Ánh sáng phân cực elip

- Vector sáng tổng hợp của tia thường và tia bất thường tại điểm M sau bản tinh thể bằng: $\vec{E} = \vec{E}_o + \vec{E}_e$
- Ở trong bản tinh thể, hai tia này truyền đi với vận tốc khác nhau (do chiết suất của tinh thể đối với hai tia khác nhau, $n_e \neq n_o$) và khi ló ra khỏi bản chúng lại truyền đi với cùng vận tốc. Do đó, hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường tại một điểm M sau bản bằng:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d$$

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (L_o - L_e) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)d$$



- Các vectơ sáng dao động theo hai phương vuông góc với nhau, do đó đầu mút vectơ sáng tổng hợp sẽ chuyển động trên một đường elip xác định bởi phương trình:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi$$

Với A_1 và A_2 lần lượt là biên độ và $\Delta\varphi = \varphi_o - \varphi_e$ là hiệu pha dao động của hai vectơ sáng \vec{E}_o, \vec{E}_e

- Nếu trước khi vào bản tinh thể, ánh sáng phân cực toàn phần có biên độ là A thì $A_1 = A \cdot \sin \alpha$ và $A_2 = A \cdot \cos \alpha$.

=> Như vậy, ánh sáng phân cực thẳng sau khi truyền qua bản tinh thể sẽ biến thành ánh sáng phân cực elip. Chúng ta sẽ xét một vài trường hợp riêng phụ thuộc vào độ dày d của bản tinh thể.

3. 1. Bản phần tư bước sóng

Bản nửa bước sóng là bản tinh thể có độ dày d sao cho hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường truyền qua bản bằng một số lẻ lần của phần tư bước sóng:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$$

Khi đó hiệu pha của hai tia bằng:

$$\Delta \phi = (2k + 1) \frac{\pi}{2}$$

Và phương trình elip sẽ thành:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$$

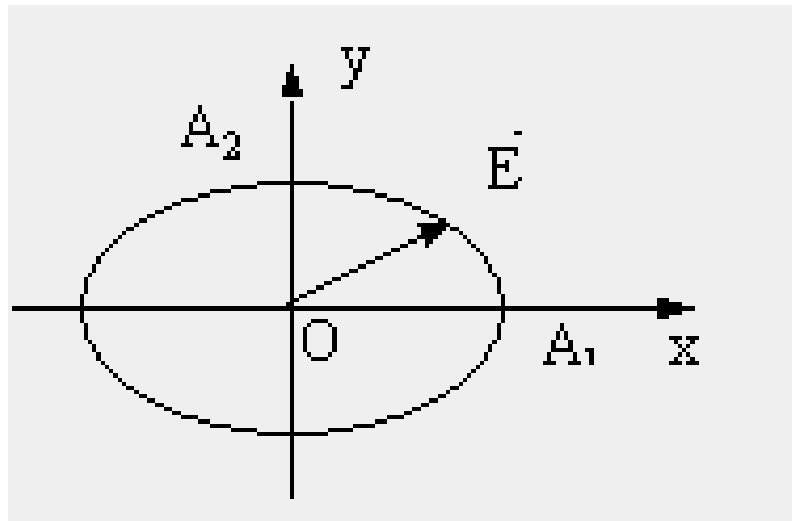
Tức là:

đầu mút của vectơ sáng tổng hợp E phía sau bản tinh thể chuyển động trên một elip dạng chính tắc có hai bán trục là A_1 và A_2

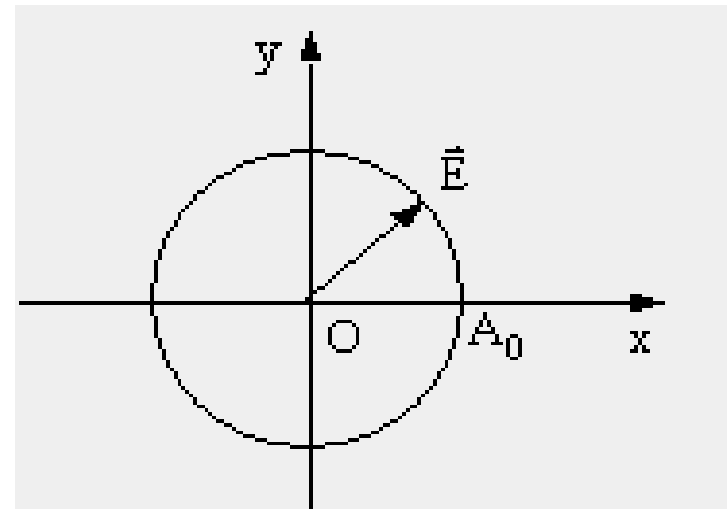


Đặc biệt $\alpha = 45^\circ$ thì $A_1 = A_2 = A_0$ và phương trình elip sẽ trở thành phương trình đường tròn với tâm O, bán kính A_0 :

$$x^2 + y^2 = A_0^2$$



Hình 5-16a. Phân cực elip dạng chính tắc



Hình 5-16b. Phân cực tròn

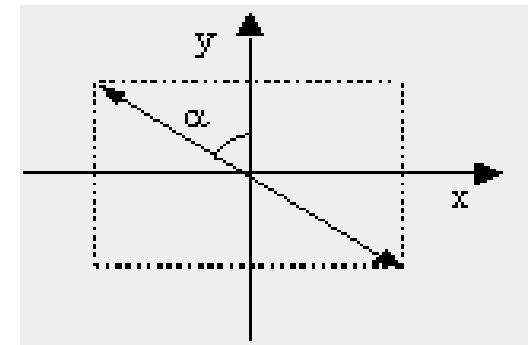
3. 2. Bản nửa bước sóng

Bản nửa bước sóng là bản tinh thể có độ dày d sao cho hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường truyền qua bản bằng một số lẻ lần nửa bước sóng:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta \phi = (2k + 1)\pi$$

$$\frac{x}{A_1} + \frac{y}{A_2} = 0$$



Hình 5-17

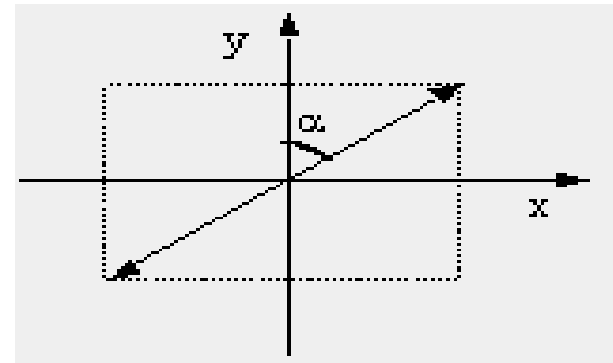
3. 3. Bản một bước sóng

Bản một bước sóng là bản tinh thể có độ dày d sao cho hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường truyền qua bản bằng một số nguyên lần bước sóng:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = k\lambda$$

$$\Delta\phi = 2k\pi$$

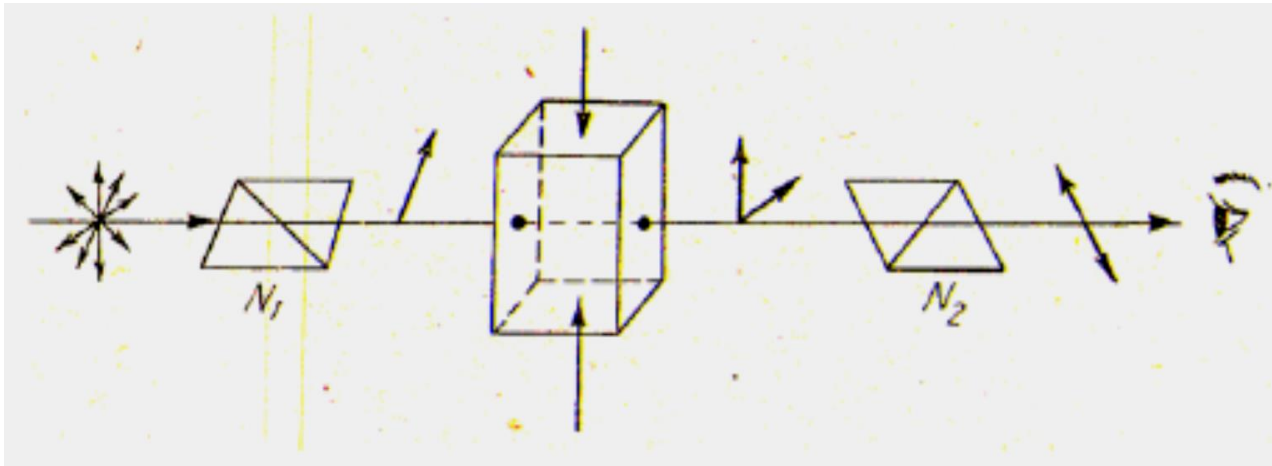
$$\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2} = 0$$



Hình 5-18

4. LƯỠNG CHIẾT NHÂN TẠO

4. 1. Lưỡng chiết do biến dạng cơ học



Hình 5-19. Sơ đồ nghiên cứu hiện tượng lưỡng chiết do biến dạng.

- Thực nghiệm chứng tỏ rằng, hiệu chiết suất $n_0 - n_e$ của môi trường bị nén hoặc bị kéo dãn đối với tia thường và tia bất thường tỷ lệ với áp suất p tác dụng lên vật: $n_0 - n_e = Cp$

(C là hệ số tỷ lệ, phụ thuộc bản chất của vật và bước sóng sánh sang)

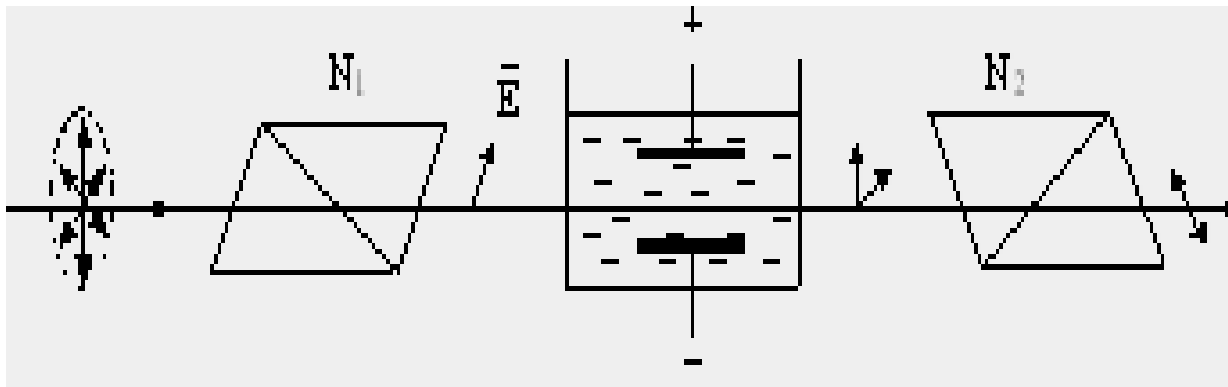
- Hiệu pha dao động của tia thường và tia bất thường sẽ là:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_0 - n_e)d = \frac{2\pi Cp}{\lambda}d$$



4. 2. Lượng chiết do điện trường

Một số chất lỏng như sulfua cacbon, benzôn... khi chịu tác dụng của điện trường thì trở nên bất đẳng hướng về mặt quang học. Hiện tượng này được Kerr tìm ra năm 1875 và gọi là *hiệu ứng Kerr*.



Hình 5-21. Thí nghiệm về hiệu ứng Kerr

- Thực nghiệm chứng tỏ với mỗi ánh sáng đơn sắc, hiệu số chiết suất $n_o - n_e$ của chất lỏng (chịu tác dụng của điện trường) đối với tia thường và tia bất thường truyền trong nó có độ lớn tỉ lệ với bình phương cường độ điện trường E tác dụng lên chất lỏng:

$$n_o - n_e = kE^2$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e)d = \frac{2\pi}{\lambda} kE^2d = 2\pi BE^2d$$

Là hiệu pha giữa hai dao động của tia thường và tia bất thường sau khi đi qua lớp chất lỏng có bề dày d .

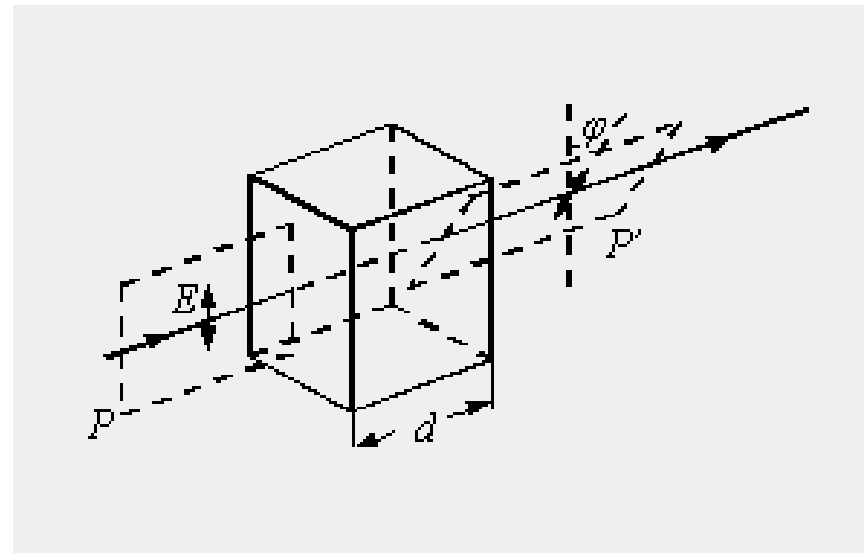
với k là hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng;

$B = k/\lambda$ gọi là *hằng số Kerr*. Giá trị của B phụ thuộc nhiệt độ của chất lỏng và bước sóng ánh sáng.



5. SỰ QUAY MẶT PHẪNG PHÂN CỰC

Khi đặt giữa kính phân cực T_1 và kính phân tích T_2 một bản tinh thể thạch anh có quang trục nằm dọc theo phương truyền của tia sáng chứng tỏ dưới tác dụng của bản tinh thể ánh sáng phân cực thẳng sau bản T_1 đã bị quay đi một góc φ (hình 5-22), hay ta nói bản tinh thể đã làm quay mặt phẳng phân cực một góc φ . Đó là hiện tượng quay mặt phẳng phân cực.



Hình 5-22: Hiện tượng quay mặt phẳng phân cực

- Thực nghiệm cho thấy góc quay φ của mặt phẳng phân cực tỷ lệ thuận với độ dày d của bản tinh thể:

$$\varphi = \alpha d$$

α là hệ số quay, nó có giá trị phụ thuộc bản chất, nhiệt độ của chất rắn quang hoạt và bước sóng λ của ánh sáng.

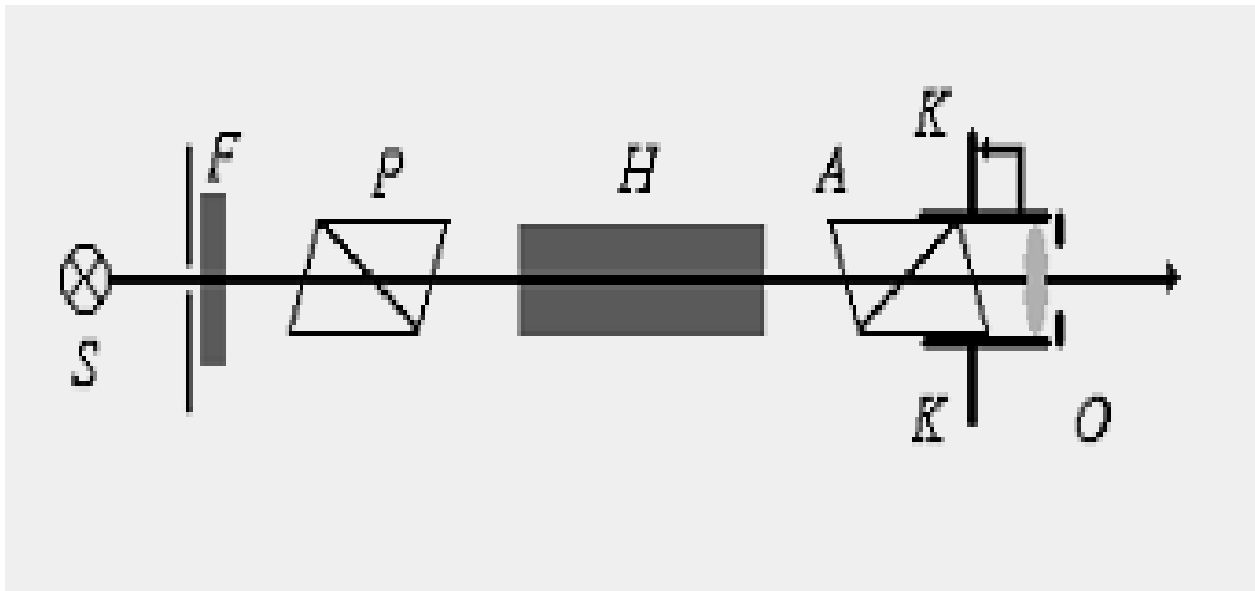
- Đối với các dung dịch, góc quay φ của mặt phẳng phân cực tỷ lệ với độ dày d của lớp dung dịch có ánh sáng phân cực truyền qua và tỷ lệ với nồng độ c của dung dịch:

$$\phi = [\alpha] cd$$

trong đó $[\alpha]$ được gọi là hệ số quay riêng, nó có giá trị phụ thuộc bản chất và nhiệt độ của dung dịch hoạt quang, đồng thời phụ thuộc bước sóng λ của ánh sáng.

Ứng dụng trong một dụng cụ gọi là đường kế để xác định nồng độ đường trong dung dịch:

$$\phi = [\alpha] cd \Rightarrow c = \frac{\phi}{[\alpha].d} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{[\alpha].d}$$



Bài tập ví dụ

Ví dụ 1:

Cho một chùm tia sáng phân cực thẳng có bước sóng trong chân không là $\lambda_0 = 0,589\mu\text{m}$ chiếu vuông góc với quang trục của một bản tinh thể băng lan. Chiết suất của tinh thể băng lan đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$. Xác định bước sóng của tia thường và tia bất thường.



Bài giải:

- Bước sóng λ của ánh sáng truyền trong môi trường có chiết suất n liên hệ với bước sóng λ_0 của ánh sáng trong chân không:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

- Bước sóng của tia thường trong tinh thể băng lan:

$$\lambda_t = \frac{\lambda_0}{n_0} = \frac{0,589}{1,658} = 0,355 \mu m$$

- Bước sóng của tia bất thường trong tinh thể băng lan:

$$\lambda_{bt} = \frac{\lambda_0}{n_e} = 0,396 \mu m$$



Ví dụ 2:

Một bản nửa bước sóng có độ dày nhỏ nhất bằng $d_{\min} = 1,732\mu\text{m}$. Cho biết chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_0 = 1,658$ và $n_e = 1,488$. Xác định bước sóng của ánh sáng truyền tới bản này.

Bài giải:

Độ dày d của bản nửa bước sóng thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta L = (n_0 - n_e).d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Bản nửa bước sóng có độ dày nhỏ nhất khi $k = 0$.

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2(n_0 - n_e)} = 1,732 \mu m$$

$$\Rightarrow \lambda = 2.d_{\min} (n_0 - n_e) = 0,589 \mu m$$

