



CHƯƠNG V: PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

Bài giảng môn Vật lý 3 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 25 tháng 9 năm 2024

1 Sự phân cực ánh sáng

- 1. Ánh sáng tự nhiên
- 2. Ánh sáng phân cực
- 3. Định luật Malus về phân cực ánh sáng
- 4. Sự phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

2 Phân cực do lưỡng chiết

- 1. Tính lưỡng chiết của tinh thể
- 2. Các loại kính phân cực

3 Ánh sáng phân cực elip và phân cực tròn

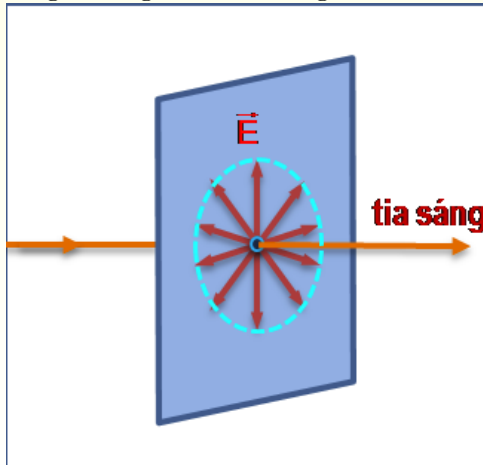
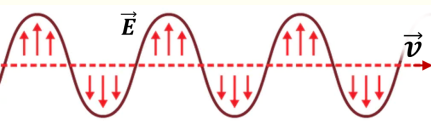
- 1. Bản phần tư bước sóng
- 2. Bản nửa bước sóng
- 3. Bản một bước sóng

4 Lưỡng chiết nhân tạo

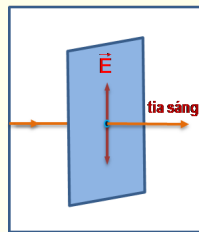
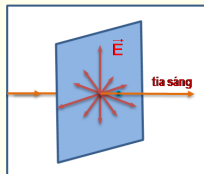
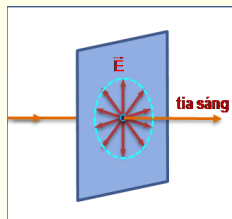
- 1. Lưỡng chiết do biến dạng cơ học
- 2. Lưỡng chiết do điện trường

5 Sự quay mặt phẳng phân cực.

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

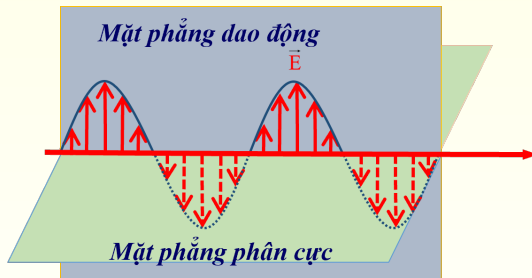


2. Ánh sáng phân cực



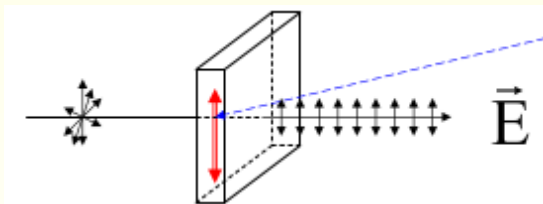
- **Ánh sáng phân cực một phần:** Ánh sáng có vectơ E dao động đều đặn theo mọi phương nhưng có phương mạnh, phương yếu.
- Ánh sáng có vectơ E chỉ dao động theo một phương xác định \Rightarrow **ánh sáng phân cực thẳng** hay **ánh sáng phân cực toàn phần**.
- Nếu ánh sáng phân cực trong đó đầu mút vectơ sáng E chuyển động trên một đường elip (đường tròn) \Rightarrow ánh sáng phân cực elip (tròn).

Hiện tượng ánh sáng tự nhiên biến thành ánh sáng phân cực \Rightarrow hiện tượng phân cực ánh sáng.



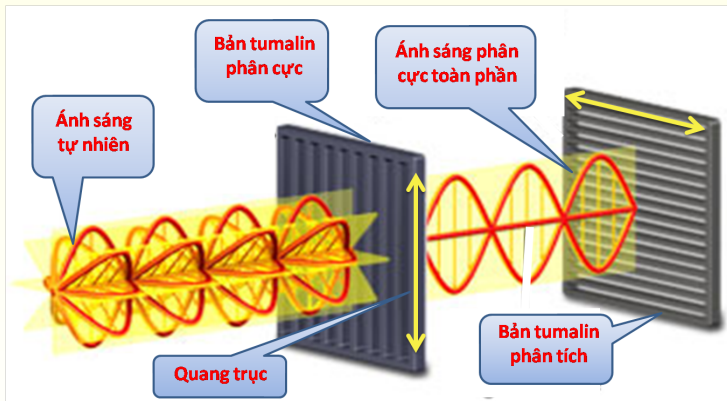
- Mặt phẳng chứa tia sáng và phương dao động của $\vec{E} \Rightarrow$ **mặt phẳng dao động**.
- Mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với mặt phẳng dao động \Rightarrow **mặt phẳng phân cực**.

3. Định luật Malus về phân cực ánh sáng

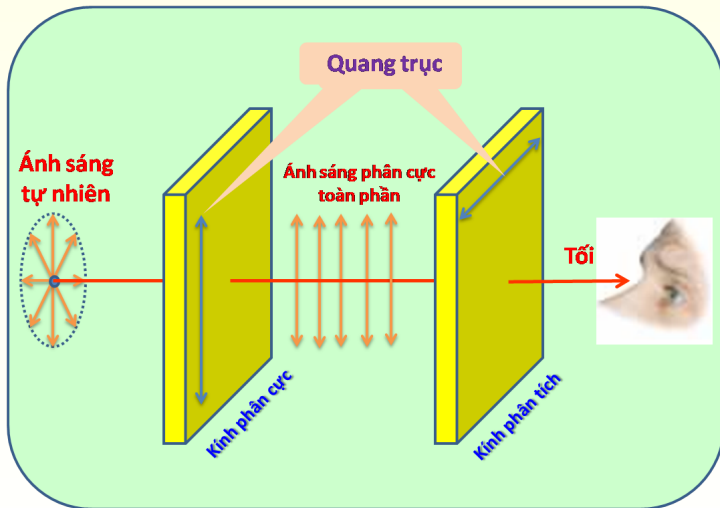


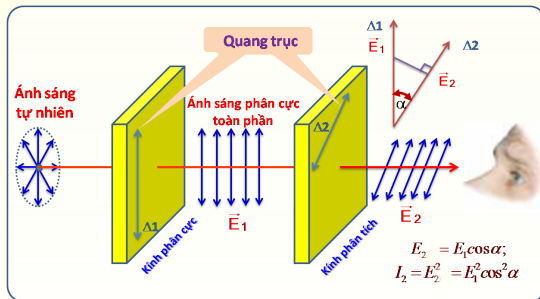
- Bản tinh thể Tuamalin (hợp chất silicôbôrat aluminium AlSiBO_5) với chiều dày 1mm có thể biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực thẳng.
- Theo phương quang trục Δ , ánh sáng không bị hấp thụ và truyền tự do qua bản tinh thể, còn theo phương vuông góc với quang trục, ánh sáng bị hấp thụ hoàn toàn (tính hấp thụ dị hướng).

Sự phân cực ánh sáng qua bản tuamalin



Sự phân cực ánh sáng qua bản tuamalin

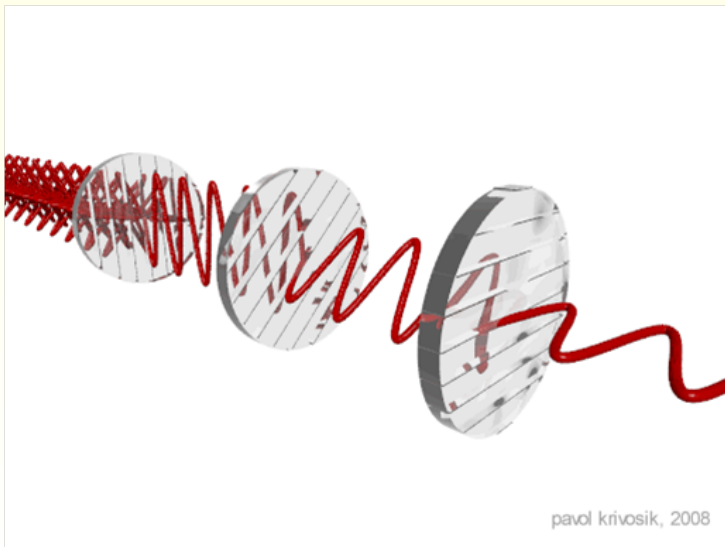




Khi cho một chùm sáng tự nhiên truyền qua hệ hai bản tuamalin dày có quang trục hợp với nhau một góc $\alpha \Rightarrow$ cường độ sáng nhận được sau hệ sẽ thay đổi phụ thuộc $\cos^2 \alpha$.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

$\alpha = 0 \rightarrow I_2 = I_1 = \text{max: sáng}$
 $\alpha = 90^\circ \rightarrow I_2 = 0 = \text{min: tối}$



Nguyên nhân của sự phân cực ánh sáng là do sự hấp thụ ánh sáng không đồng đều theo các hướng khác nhau của tinh thể tuamalin:

- Phương song song với quang trục (1): **ánh sáng không bị hấp thụ**
- Phương vuông góc với quang trục (2): **ánh sáng bị hấp thụ hoàn toàn**

Tính chất này gọi là tính bất đẳng hướng quang học của tinh thể, biểu hiện qua tính hấp thụ dị hướng của tinh thể.

Xét ánh sáng tự nhiên truyền qua bản T_1 có vectơ sáng \vec{E}

- Có thể phân tích thành 2 thành phần theo phương (1) và (2):

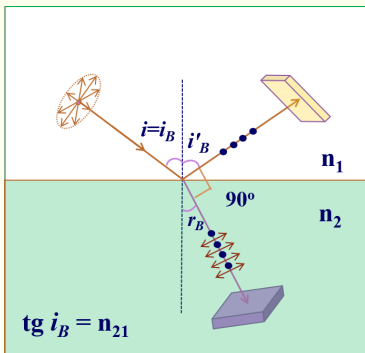
$$E^2 = E_{\parallel}^2 + E_{\perp}^2 \quad (2)$$

- Do ánh sáng tự nhiên có độ lớn và phương của \vec{E} biến đổi hoàn toàn hỗn loạn nên lấy trung bình:

$$E_{\parallel}^2 = E_{\perp}^2 = \frac{1}{2} E^2 \quad (3)$$

- Do tính hấp thụ dị hướng của tinh thể, sau khi qua bản T_1 ánh sáng tự nhiên biến thành ánh sáng phân cực có vectơ $\vec{E}_1 = \vec{E}_{\parallel}$
- Cường độ sáng I_1 sau bản T_1 là

$$I_1 = E_1^2 = \vec{E}_{\parallel}^2 = \frac{1}{2} \vec{E}^2 = \frac{1}{2} I_0 \quad (4)$$



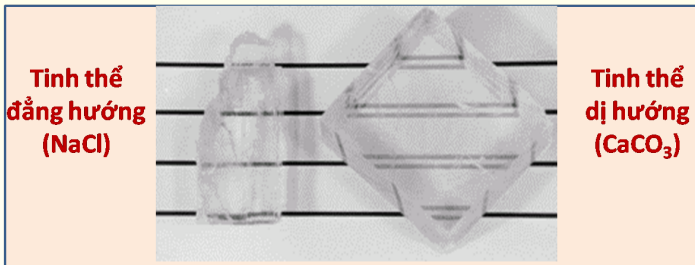
- Tia phản xạ và tia khúc xạ đều là ánh sáng phân cực một phần.
- Thay đổi góc tới i thì mức độ phân cực của tia phản xạ và tia khúc xạ cũng thay đổi.
- khi $i = i_B$: tia phản xạ sẽ phân cực toàn phần.

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

i_B : góc tới Brewster hay góc phân cực toàn phần.

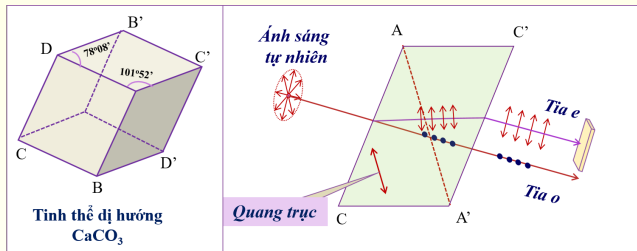
Tính bất đẳng hướng quang học của tinh thể, biểu hiện qua tính lưỡng chiết của tinh thể.

Lưỡng chiết tự nhiên (tinh thể thạch anh, băng lan - CaCO_3 ...)



Hiện tượng lưỡng chiết:

Chiếu một tia sáng vào tinh thể thì tia sáng bị tách thành hai tia.



Đường thẳng nối hai đỉnh A và A₁ ⇒ quang trục của tinh thể.

Chiếu 1 tia sáng tự nhiên ⊥ mặt ABCD ⇒ tách thành hai tia:

- Tia truyền thẳng (tuân theo định luật khúc xạ) ⇒ tia thường, tia O.
- Tia thứ hai lệch khỏi phương truyền ban đầu (không tuân theo định luật khúc xạ) ⇒ tia bất thường, tia e.
- Ra khỏi tinh thể hai tia này song song với nhau và song song với tia tới, đều là ánh sáng phân cực toàn phần.

- 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 đối với hai tia:

$$\frac{\sin i}{\sin i_o} = n_o = \text{const}$$

$$\frac{\sin i}{\sin i_e} = n_e \neq \text{const}$$

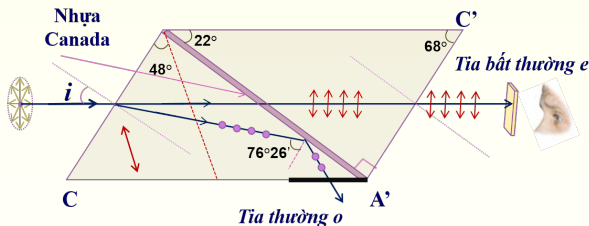
- Những tinh thể có $n_e < n_o$ (băng lan): **tinh thể âm**.
- Tinh thể có $n_e > n_o$ (thạch anh): **tinh thể dương**.

Các loại kính phân cực:

- Các dụng cụ dùng để phân cực ánh sáng tự nhiên.
- Được sử dụng như kính phân tích để nghiên cứu ánh sáng phân cực.

- Bản Tuamalin: Ánh sáng tự nhiên bị tách thành 2 tia O và E, chiều dày cỡ 1mm \Rightarrow hấp thụ hoàn toàn tia thường.
- Bản polaroit: vật liệu hữu cơ có tính lưỡng chiết. Chiều dày cỡ 0,1mm \Rightarrow hấp thụ hoàn toàn tia thường.

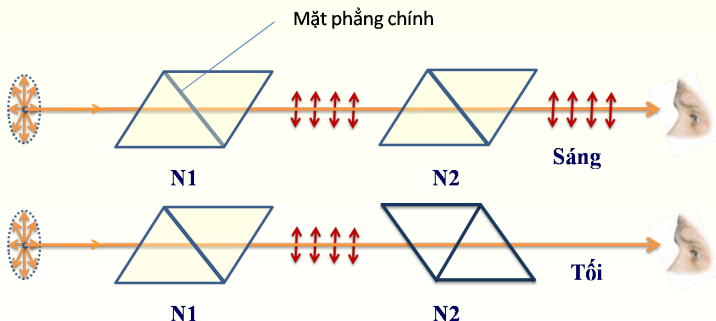
- Lăng kính Nicol:



Hai lăng kính bằng tinh thể băng lan được dán lại với nhau bằng một lớp nhựa canada trong suốt ($n_{nh} = 1,55$) (chiết suất của tia o và tia e là $n_o = 1,66$ và $n_e = 1,48$).

- Rọi chùm sáng tự nhiên đến nicol N_1 , sau N_1 đặt N_2 , với quang trục (N_1, N_2) = $\alpha \Rightarrow$ cường độ sáng I_2 sau N_2 và cường độ sáng I_1 sau N_1 tuân theo mối liên hệ:

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

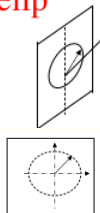


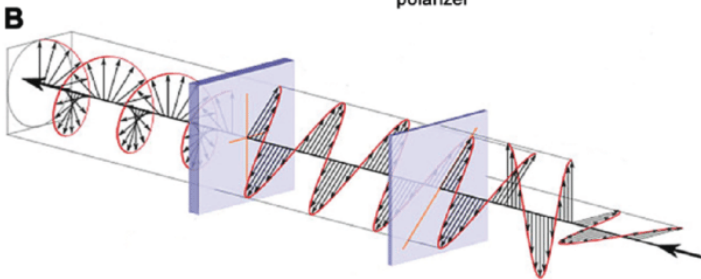
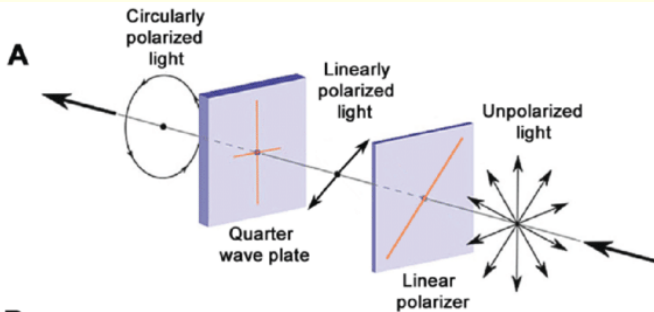
Ánh sáng phân cực thẳng: ánh sáng có vectơ sáng \vec{E} dao động theo một phương xác định, $\Leftrightarrow \vec{E}$ dao động trên đường thẳng.

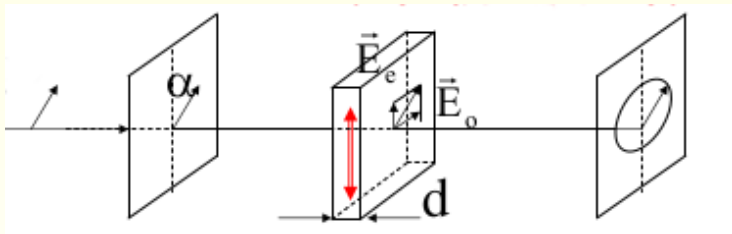
Phân cực elip: mũi vectơ cường độ điện trường quay trên elip

Phân cực tròn: mũi vectơ cường độ điện trường quay trên vòng tròn.

elip







- Xét bản tinh thể T có quang trục Δ và độ dày d .
- Chiếu vuông góc với mặt trước của bản tinh thể một tia sáng phân cực toàn phần có vectơ sáng \vec{E} hợp với quang trục một góc α .
- Trong bản T, ánh sáng tách thành 2 tia: tia e (\vec{E}_e) và tia o (\vec{E}_o) có vận tốc khác nhau.
- Ra khỏi bản T, 2 tia e và o có vận tốc bằng nhau và kết hợp với nhau như hai dao động vuông góc, cùng tần số: $\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_o$

- \vec{E}_o và \vec{E}_e dao động theo hai phương vuông góc với nhau \Rightarrow đầu mút vectơ sáng tổng hợp sẽ chuyển động trên một đường elip xác định bởi phương trình:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi, \quad (5)$$

với $A_1 = A \sin \alpha$ và $A_2 = A \cos \alpha$: biên độ và $\Delta\varphi = \varphi_o - \varphi_e$: hiệu pha dao động của hai vectơ sáng \vec{E}_o và \vec{E}_e .

- Hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường tại một điểm M sau bản bằng:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d \quad (6)$$

- Ứng với hiệu pha:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_o - L_e) = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d, \quad (7)$$

λ là bước sóng ánh sáng trong chân không.

① Bản phần tư bước sóng:

Hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường truyền qua bản bằng một số lẻ lần của phần tư bước sóng:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d = (2k + 1)\frac{\lambda}{4} \quad (8)$$

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2} \quad (9)$$

phương trình (5) sẽ thành:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1 \quad (10)$$

Đặc biệt, nếu $\alpha = 45^\circ \rightarrow A_1 = A_2 = A_0$ và phương trình (5) sẽ thành:

$$x^2 + y^2 = A_0^2 \quad (11)$$

Sau khi truyền qua bản phần tư bước sóng, ánh sáng phân cực thẳng bị biến đổi thành ánh sáng phân cực elip dạng chính tắc hoặc phân cực tròn.

2. Bản nửa bước sóng

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:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (12)$$

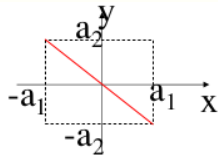
Hiệu pha của hai tia:

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\pi \quad (13)$$

phương trình (5) sẽ thành:

$$\frac{x}{A_1} + \frac{y}{A_2} = 0 \quad (14)$$

Sau khi truyền qua bản nửa bước sóng ánh sáng phân cực thẳng vẫn là ánh sáng phân cực thẳng, nhưng phương dao động đã quay đi một góc 2α so với trước khi đi vào bản.



3. Bản một bước sóng

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:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = k\lambda \quad (15)$$

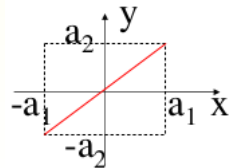
Hiệu pha của hai tia:

$$\Delta\varphi = 2k\pi \quad (16)$$

phương trình (5) sẽ thành:

$$\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2} = 0 \quad (17)$$

Sau khi truyền qua bản một bước sóng ánh sáng phân cực thẳng vẫn là ánh sáng phân cực thẳng, ánh sáng phân cực thẳng giữ nguyên không đổi.



- Vật có tính bất đẳng hướng khi bị nén hoặc bị kéo dãn
- Quang trục: phương mà vật bị nén hoặc bị kéo dãn. Hiệu số chiết suất của môi trường bị nén

$$n_o - n_e = Cp$$

p: áp suất tác dụng lên vật

C: hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào bản chất của vật và bước sóng ánh sáng.

- Hiệu pha giữa hai dao động của tia thường và tia bất thường:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = \frac{2\pi Cp}{\lambda}d, \quad (18)$$

d: bề dày của vật

Ứng dụng: dùng để nghiên cứu sự phân bố áp suất trong vật.

- Hiệu ứng Kerr: một số chất lỏng trở nên bất đẳng hướng khi đặt trong điện trường.
- Quang trục: phương của điện trường. Hiệu số chiết suất của môi trường bị nén

$$n_o - n_e = kE^2$$

E : điện trường

k : hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng.

- Hiệu pha giữa hai dao động của tia thường và tia bất thường:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d = \frac{2\pi kE^2}{\lambda}d = 2\pi BE^2d, \quad (19)$$

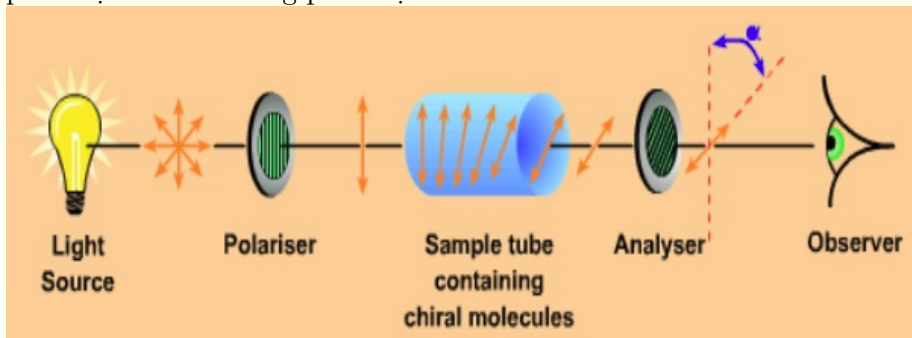
d : bề dày của lớp chất lỏng

$B = k/\lambda$: hằng số Kerr

Ứng dụng: chế tạo các van quang học.

Sự quay mặt phẳng phân cực.

Tinh thể đơn trục và tinh thể vô định hình có thể làm quay mặt phẳng phân cực của ánh sáng phân cực.



- Các tinh thể đơn trục: (thạch anh, NaClO_3)

Góc quay mặt phẳng phân cực của một tia sáng đơn sắc tỷ lệ với bề dày của bản tinh thể.

$$\alpha = [\alpha]\rho d,$$

$[\alpha]$: hệ số tỷ lệ, ρ và d : khối lượng riêng và bề dày của bản tinh thể, tương ứng.

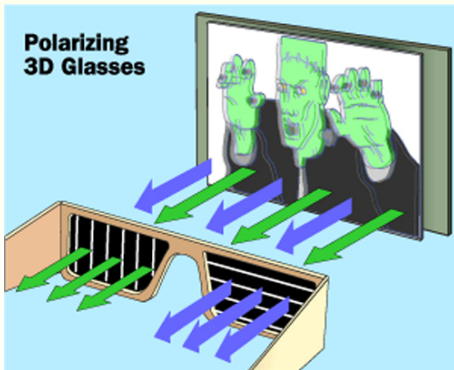
- Các chất vô định hình: còn được gọi là chất quang hoạt (đường, rượu)

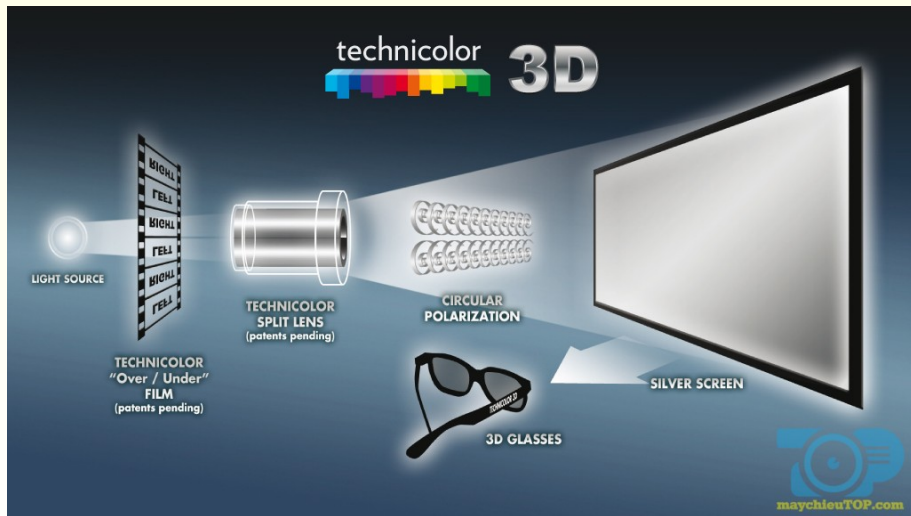
$$\alpha = [\alpha]\ell C,$$

- ℓ : bề dày của lớp dung dịch,
- Nồng độ C : tỷ số giữa khối lượng của chất vô định hình trong dung dịch và thể tích của dung dịch

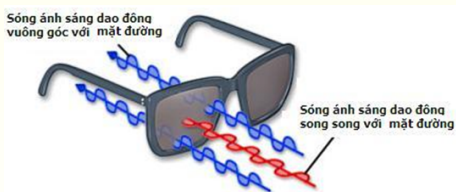
- Ứng dụng : chế tạo dụng cụ đo nồng độ các chất (đường kế, rượu kế).

Phim 3D





Kính râm phân cực



Màn hình tinh thể lỏng LCD (Liquid-Crystal Display)

