

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 5

PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

I. MỤC ĐÍCH - YÊU CẦU

1. Hiểu được sự phân cực ánh sáng thể hiện ánh sáng là sóng ngang. Phân biệt ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực (một phần, toàn phần). Định luật Malus về phân cực ánh sáng.
2. Hiểu được sự phân cực ánh sáng do phản xạ, khúc xạ. Sự phân cực do lưỡng chiết. Lưỡng chiết nhân tạo và các loại kính phân cực.
3. Hiểu được ứng dụng của hiện tượng quay mặt phẳng phân cực để xác định nồng độ của các chất hoạt quang trong phân cực kế (đường kế).

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

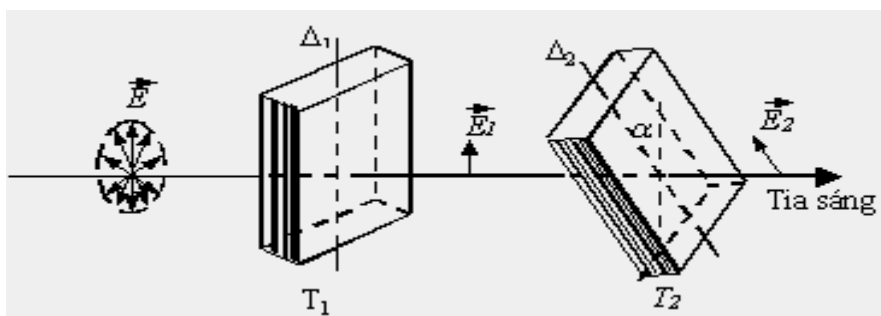
1. Sự phân cực ánh sáng

- * 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.
- * Ánh sáng có vectơ cường độ điện trường chỉ dao động theo một phương xác định được gọi là ánh sáng phân cực thẳng hay ánh sáng phân cực toàn phần.
- * Ánh sáng có vectơ cường độ điện trường dao động theo tất cả các phương vuông góc với tia sáng nhưng có phương dao động yếu, có phương dao động mạnh được gọi là ánh sáng phân cực một phần.
- * Ánh sáng phân cực trong đó đầu mút vectơ sáng \vec{E} chuyển động trên một đường elip (hay đường tròn) thì được gọi là *ánh sáng phân cực elip (tròn)*.

Mặt phẳng chứa tia sáng và phương dao động của \vec{E} được gọi là mặt phẳng dao động, còn mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với mặt phẳng dao động gọi là mặt phẳng phân cực.

Trong bản Tuamalin có một phương đặc biệt gọi là quang trục của tinh thể (kí hiệu là Δ). Theo phương quang trục, ánh sáng không bị hấp thụ, mà truyền qua hoàn toàn còn theo phương vuông góc với quang trục, ánh sáng bị hấp thụ hoàn toàn.

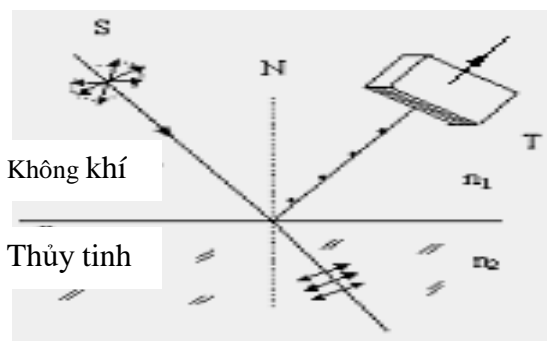
* **Định luật Malus:** Khi cho một chùm tia sáng tự nhiên truyền qua hai bản tuamalin có quang trục hợp với nhau một góc α thì cường độ sáng nhận được tỉ lệ với $\cos^2 \alpha$.



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

* **Sự phân cực do phản xạ, khúc xạ:**

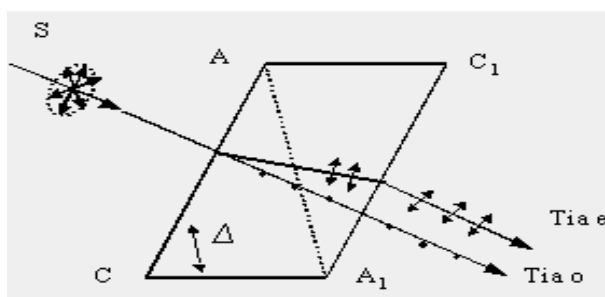
Khi thay đổi góc tới i thì mức độ phân cực của tia phản xạ và tia khúc xạ cũng thay đổi. Khi $\text{tg } i_B = n_{21}$ thì tia phản xạ sẽ phân cực toàn phần, n_{21} là chiết suất tỉ đối của môi trường hai đối với môi trường một, i_B được gọi là góc tới Brewster.



2. Sự phân cực do lưỡng chiết

* Tính lưỡng chiết của tinh thể

Nếu chiếu một tia sáng đến tinh thể sẽ thu được hai tia khúc xạ gọi là hiện tượng lưỡng chiết. Tia tuân theo định luật khúc xạ gọi là tia thường. Tia thường phân cực toàn phần, có vector sáng \vec{E} vuông góc



với mặt phẳng chính của tia thường.

Tia không theo định luật khúc xạ gọi là tia bất thường. Tia bất thường phân cực toàn phần, có vectơ sáng \vec{E} nằm trong mặt phẳng chính của nó. Khi ló ra khỏi tinh thể, hai tia thường và tia bất thường chỉ khác nhau về phương phân cực. Đối với tinh thể băng lan ta có: $n_e \leq n_o$ do đó: $v_e \geq v_o$,

Kính phân cực là những dụng cụ có thể biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực, ví dụ như bản tuamalin, bản pôlarôit, lăng kính nicol...

* 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 (có tính lưỡng chiết). Hiệu ứng này gọi là hiệu ứng Kerr và được ứng dụng để chế tạo van quang học

* Mặt sóng trong môi trường tinh thể đơn trục

Mặt sóng thứ cấp đối với ánh sáng thường từ một điểm nào đó trong tinh thể thoát ra là một mặt cầu. Với ánh sáng bất thường, mặt sóng thứ cấp không phải là mặt cầu. Mặt sóng đối với ánh sáng bất thường là một mặt elip tròn xoay có trục quay song song với quan trục của tinh thể.

* Kính phân cực

+ *Bản Pôlarôit*

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, 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. Bản pôlarôit được sử dụng nhiều trong ngành vận tải.

+ *Lăng kính Nicol*

Lăng kính Nicol 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 $n = 1,550$. cho tia sáng tự truyền qua sẽ trở thành ánh sáng phân cực toàn phần có mặt phẳng dao động trùng với mặt phẳng chính của nicol.

3. Ánh sáng phân cực elip và phân cực tròn

* Ánh sáng phân cực trong đó đầu mút vectơ sáng \vec{E} chuyển động trên một đường elip (hay đường tròn) được gọi là ánh sáng phân cực elip (hay phân cực tròn).

* 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 . Tại điểm ngay phía sau bản đầu mút vectơ sáng tổng hợp sẽ chuyển động trên một đường elip xác định bởi phương trình:

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

x, y là độ dời dao động, A_1, A_2 là biên độ dao động của \vec{E}_o và \vec{E}_e . Hiệu pha của các tia thường và tia bất thường là

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

* Bản phần tư 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:

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

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

* 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:

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

Sau khi truyền qua bản 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.

* 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:

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

Sau khi truyền qua bản ánh sáng phân cực thẳng giữ nguyên không đổi.

4. Lưỡng chiết nhân tạo.

* Lưỡng chiết do biến dạng cơ học:

- 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.

$$n_0 - n_e = C_p$$

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

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

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

Trong đó d là bề dày của vật. Bên trong vật bị nén có thể có những điểm chịu áp suất như nhau qua những điểm đó, ánh sáng bị lưỡng chiết như nhau, phương pháp nghiên cứu dựa trên cơ sở này được gọi là phương pháp quang đàn hồi,

* Lưỡng chiết do điện trường

- 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:

$$n_o - n_e = kE^2$$

với k là hệ số tỉ lệ phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng. Hiệu pha giữa hai dao động của tia thường và tia bất thường sau khi đi qua lớp chất lỏng có bề dày d sẽ là:

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

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

Thời gian để các phân tử định hướng theo phương của điện trường và thời gian để các phân tử trở về trạng thái chuyển động hỗn loạn chỉ vào cỡ 10^{-10} s, được ứng dụng để chế tạo van quang học dùng đóng ngắt ánh sáng rất nhanh không có quán tính.

5. Sự quay mặt phẳng phân cực

Một số tinh thể hoặc dung dịch có tác dụng làm quay mặt phẳng phân cực của chùm ánh sáng phân cực toàn phần truyền qua chúng. Thực nghiệm cho thấy góc quay $\varphi = \alpha d$, α là hệ số quay, nó có giá trị phụ thuộc bản chất và nhiệt độ của chất rắn quang hoạt và bước sóng λ của ánh sáng.

Đối với các dung dịch: $\varphi = [\alpha]cd$, 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.

Hiện tượng quay mặt phẳng phân cực được ứng dụng trong một dụng cụ gọi là đường kế để xác định nồng độ đường trong dung dịch.

6. Một số ứng dụng khác

III. CÂU HỎI LÝ THUYẾT

1. Hiện tượng phân cực chứng tỏ bản chất gì của ánh sáng? Ánh sáng là sóng ngang hay sóng dọc? Giải thích tại sao?
2. Phân biệt ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực toàn phần, ánh sáng phân cực một phần, ánh sáng phân cực elip (tròn).
3. Thiết lập, phát biểu và viết biểu thức của định luật Malus đối với sự phân cực ánh sáng.
4. Trình bày sự phân cực do phản xạ, khúc xạ.
5. Trình bày sự phân cực do lưỡng chiết.
6. Trình bày ác loại kính phân cực? các bản pôlarôit làm giảm thiểu độ chói như thế nào?

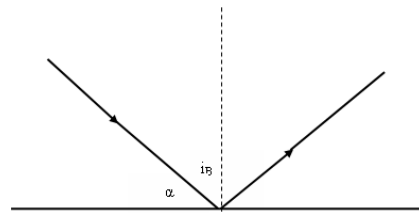
7. Định nghĩa ánh sáng phân cực elip, phân cực tròn. Trình bày cách tạo ra ánh sáng phân cực elip. Xét các trường hợp bề dày bản một phần tư bước sóng, bản nửa bước sóng và bản một bước sóng
8. Trình bày tính lưỡng chiết của tinh thể do biến dạng và do điện trường. Trình bày hiệu ứng Kerr
9. Nêu sự giống nhau và khác nhau của hai tia thường và bất thường khi đi qua tinh thể băng lan.
10. Nêu ứng dụng của hiện tượng quay mặt phẳng phân cực.

IV. BÀI TẬP

Thí dụ 1: Hỏi góc nghiêng của mặt trời so với chân trời phải bằng bao nhiêu để những tia sáng mặt trời phản chiếu trên mặt hồ bị phân cực toàn phần. Biết rằng chiết suất của nước hồ $n = 1,33$.

Bài giải:

Theo định luật Brewster, muốn tia sáng phản chiếu bị phân cực toàn phần thì góc tới của nó phải bằng góc tới Brewster, xác định bởi công thức:



$$\operatorname{tg} i_B = n = 1,33 \rightarrow i_B = 53^{\circ}5'$$

Do đó góc nghiêng của mặt trời so với đường chân trời: $\alpha = 90^{\circ} - i_B = 36^{\circ}55'$

Thí dụ 2: 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: $\lambda_{bt} = \frac{\lambda_0}{n_e} = 0,396 \mu m$

Thí dụ 3: Một bản nửa bước sóng có độ dày nhỏ nhất bằng $d_{\min} = 1,732 \mu m$. 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 thoả 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 $k = 0$.

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

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

Bài tập tự giải

1. Cho biết khi ánh sáng truyền từ một chất có chiết suất n ra ngoài không khí thì xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần của ánh sáng ứng với góc giới hạn $i_{gh} = 45^\circ$. Xác định góc tới Brewster của chất này, môi trường chứa tia tới là không khí.

2. Ánh sáng tự nhiên truyền từ không khí tới chiếu vào một bản thuỷ tinh. Cho biết ánh sáng phản xạ bị phân cực toàn phần khi góc khúc xạ $r = 33^\circ$. Xác định chiết suất của bản thuỷ tinh.

3. Xác định góc tới Brewster của một mặt thuỷ tinh có chiết suất $n_1 = 1,57$ khi môi trường ánh sáng tới là:

a. Không khí.

b. Nước có chiết suất $n_2 = 4/3$.

4. Một chùm tia sáng sau khi truyền qua một chất lỏng đựng trong một bình thủy tinh, phản xạ trên đáy bình. Tia phản xạ bị phân cực toàn phần khi góc tới trên đáy bình bằng $42^{\circ}37'$, chiết suất của bình thủy tinh $n = 1,5$. Tính:

a. Chiết suất của chất lỏng.

b. Góc tới trên đáy bình để chùm tia phản xạ trên đó phản xạ toàn phần.

5. Cho một chùm tia sáng tự nhiên chiếu vào mặt của một bản thủy tinh nhúng trong chất lỏng. Chiết suất của thủy tinh là $n_1 = 1,5$. Cho biết chùm tia phản xạ trên mặt thủy tinh bị phân cực toàn phần khi các tia phản xạ hợp với các tia tới một góc $\varphi = 97^{\circ}$. Xác định chiết suất n_2 của chất lỏng.

6. Ánh sáng phản chiếu trên một mặt thủy tinh đặt trong không khí sẽ bị phân cực toàn phần khi góc khúc xạ $r = 30^{\circ}$. Tìm chiết suất của loại thủy tinh trên.

7. Chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên lên mặt một bản thủy tinh nhẵn bóng, nhúng trong một chất lỏng. Tia phản xạ (trên mặt bản thủy tinh) hợp với tia tới một góc $\varphi = 97^{\circ}$, và bị phân cực toàn phần. Xác định chiết suất của chất lỏng, cho $n_{tt} = 1,5$.

8. Một chùm tia sáng tự nhiên sau khi truyền qua một cặp kính phân cực và kính phân tích, cường độ sáng giảm đi 4 lần; coi phần ánh sáng bị hấp thụ không đáng kể. Hãy xác định góc hợp bởi tiết diện chính của hai kính trên.

9. Mặt phẳng chính (mặt phẳng dao động) của hai lăng kính nicol N_1 và N_2 hợp với nhau một góc $\alpha = 60^{\circ}$. Hỏi:

a. Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua nicol N_1 .

b. Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua cả hai nicol.

Biết rằng, khi truyền qua mỗi lăng kính nicol, ánh sáng bị phản xạ và hấp thụ mất $k = 5\%$

10. Một chùm tia sáng phân cực thẳng có bước sóng trong chân không $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ được rọi thẳng 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 $n_e = 1,488$. Tìm bước sóng của tia thường và tia bất thường trong tinh thể.

11. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục và có độ dày $d = 1\text{mm}$. Chiếu ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,6\mu\text{m}$ vuông góc với mặt bản. Tính hiệu quang lộ và hiệu pha của tia thường và tia bất thường truyền qua bản thạch anh, biết rằng chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,544$, $n_e = 1,535$.

12. Tìm bề dày nhỏ nhất của bản $1/4$ bước sóng nếu chiết suất đối với tia thường và tia bất thường lần lượt là $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$, bước sóng ánh sáng $\lambda = 0,545 \mu\text{m}$.

13. Cho biết đối với ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,545\mu\text{m}$ thì chiết suất của bản phân tư bước sóng đối với tia thường và tia bất thường truyền trong bản có giá trị lần lượt bằng

$n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$. Hỏi bản phân tư bước sóng có độ dày nhỏ nhất bằng bao nhiêu?

14. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục của nó với độ dày không vượt quá $0,5\text{mm}$. Xác định độ dày lớn nhất của bản thạch anh này để chùm ánh sáng phân cực phân cực thẳng có bước sóng $\lambda = 0,589\mu\text{m}$ sau khi truyền qua bản thỏa mãn điều kiện sau:

a. Mặt phẳng phân cực bị quay đi một góc nào đó.

b. Trở thành ánh sáng phân cực tròn.

Cho biết hiệu số chiết suất của tia thường và tia bất thường đối với bản thạch anh

$$n_e - n_o = 0,009.$$

15. Một bản tinh thể được cắt song song với quang trục và có bề dày $d = 0,25 \text{ mm}$ được dùng làm bản $1/4$ bước sóng (đối với bước sóng $\lambda = 0,530 \text{ }\mu\text{m}$). Hỏi đối với những bước sóng nào của ánh sáng trong vùng quang phổ thấy được, nó cũng là một bản $1/4$ bước sóng? Coi rằng đối với mọi bước sóng trong vùng khả kiến ($\lambda = 0,4 \text{ }\mu\text{m} \div 0,7 \text{ }\mu\text{m}$), hiệu chiết suất của tinh thể đối với tia bất thường và tia thường, đều bằng nhau và bằng: $n_o - n_e = 0,009$.

16. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục và được đặt vào giữa hai nicol bắt chéo nhau sao cho quang trục của bản hợp với mặt phẳng chính của các nicol một góc $\alpha = 45^\circ$. Tìm bề dày nhỏ nhất của bản để ánh sáng bước sóng $\lambda_1 = 0,643 \text{ }\mu\text{m}$ có cường độ sáng cực đại, còn ánh sáng bước sóng $\lambda_2 = 0,564 \text{ }\mu\text{m}$ có cường độ sáng cực tiểu, sau khi chúng truyền qua hệ thống hai ni-côn trên. Coi hiệu suất của bản thạch anh đối với tia bất thường và tia thường ứng với cả hai bước sóng trên đều bằng $n_o - n_e = 0,009$.

17. Giữa hai kính nicol song song người ta đặt một bản thạch anh có các mặt vuông góc với quang trục. Khi bản thạch anh có độ dày $d_1 = 2 \text{ mm}$ thì mặt phẳng phân cực của ánh sáng đơn sắc truyền qua nó bị quay đi một góc $\varphi_1 = 53^\circ$. Xác định độ dày d_2 của bản thạch anh này để ánh sáng đơn sắc không truyền qua được kính nicôn phân tích.

18. Một bản phân cực có độ dày nhỏ nhất $d_{\min} = 1,732 \text{ }\mu\text{m}$. Cho biết chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658$, $n_e = 1,488$. Xác định bước sóng của ánh sáng truyền tới bản, biết ánh sáng phân cực thẳng sau khi qua bản mặt phẳng phân cực bị quay đi một góc

19. Ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 545 \text{ nm}$ thì chiết suất của bản phân cực đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658$, $n_e = 1,488$. Cho biết ánh

sáng phân cực thẳng đi qua bản phân cực trở thành ánh sáng phân cực elip. Hỏi bản có độ dày nhỏ nhất bằng bao nhiêu. Để ánh sáng sau khi qua bản thành ánh sáng phân cực tròn cần thêm điều kiện gì?