

Chương 8

GIAO THOA ÁNH SÁNG

Chương 8: GIAO THOA ÁNH SÁNG

Nội dung

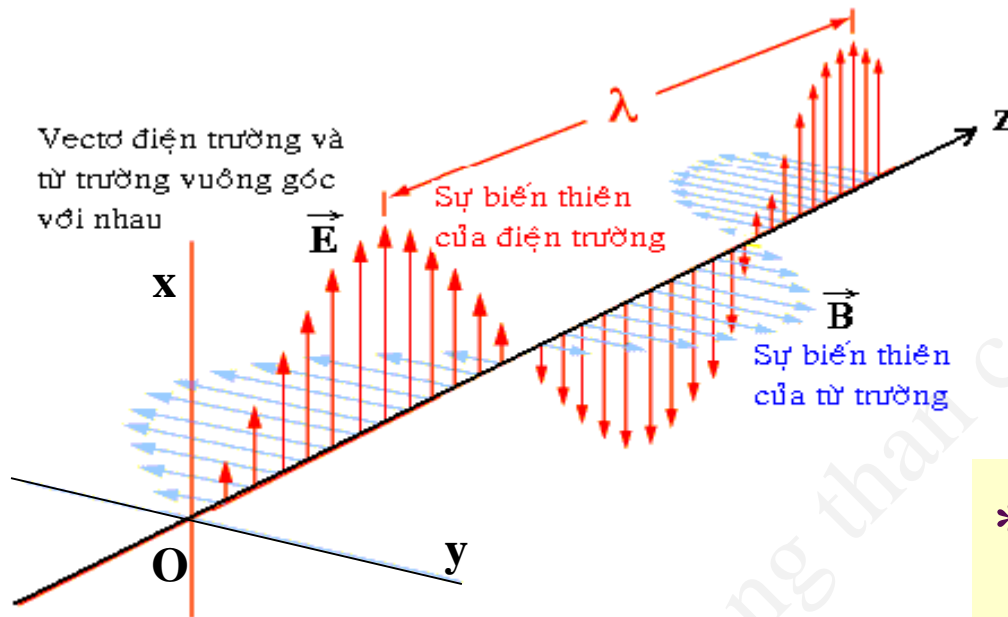
- Nguyên lý Huyghen, nguyên lý chồng chất.
- Hiện tượng giao thoa của sóng kết hợp
- Khảo sát hiện tượng giao thoa ánh sáng
- Giao thoa bởi bản mỏng có bề dày thay đổi.

Chuẩn đầu ra

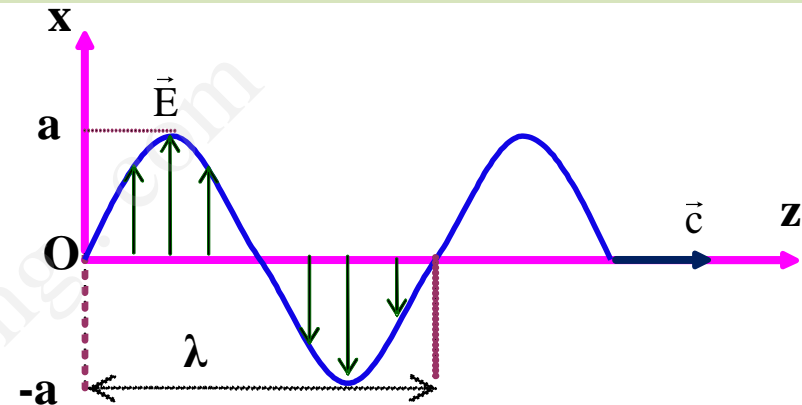
- Hiểu được các khái niệm cơ bản về giao thoa as.
- Nắm được các định luật cơ bản về giao thoa as.
- Vận dụng giải các bài toán cụ thể về giao thoa: khe Young, màn mỏng, màn mỏng có bề dày thay đổi...

8.1. LÝ THUYẾT SÓNG VỀ ÁNH SÁNG

8.1.1. Các đặc trưng của sóng ánh sáng



Sóng điện từ



**Ánh sáng là sóng điện từ,
sóng ánh sáng có các đặc
trưng cơ bản sau:**

- * Biên độ sáng: a
- * Cường độ sáng: $I = a^2$
- * Chu kỳ dao động: T
- * Tần số sóng: $\nu = \frac{1}{T}$
- * Tần số góc: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$
- * Bước sóng: $\lambda = cT$

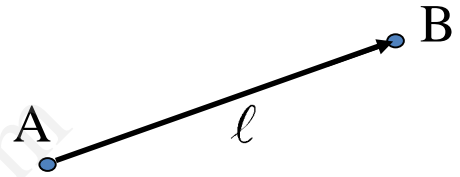
8.1.2. Phương trình sóng ánh sáng đơn sắc

1. Quang lộ của tia sáng

Xét môi trường đồng chất về phương diện quang học có chiết suất không đổi là n , ℓ là khoảng cách từ A đến B.

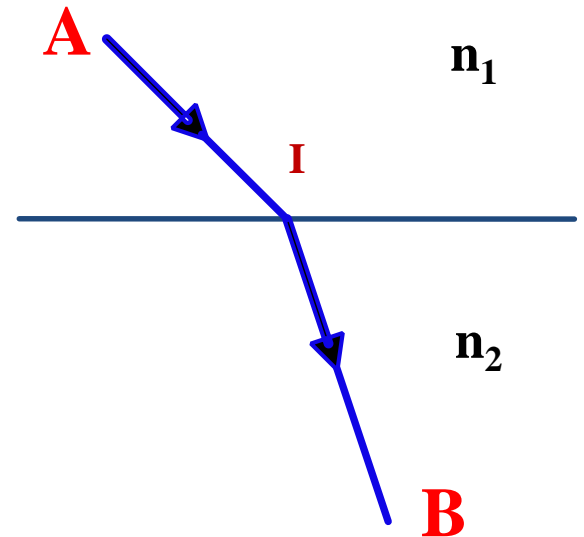
Quang lộ của tia sáng từ A đến B:

$$L_{AB} = [AB] = n\ell$$



Tia sáng từ A đến B qua 2 môi trường đồng chất khác nhau

Gọi ℓ_1 là quãng đường ánh sáng đi từ A đến I, ℓ_2 là quãng đường ánh sáng đi từ I đến B.



Quang lộ ánh sáng đi từ A đến B là:

$$\begin{aligned} L_{AB} &= L_{AI} + L_{IB} \\ &= n_1 \cdot \ell_1 + n_2 \cdot \ell_2 \end{aligned}$$

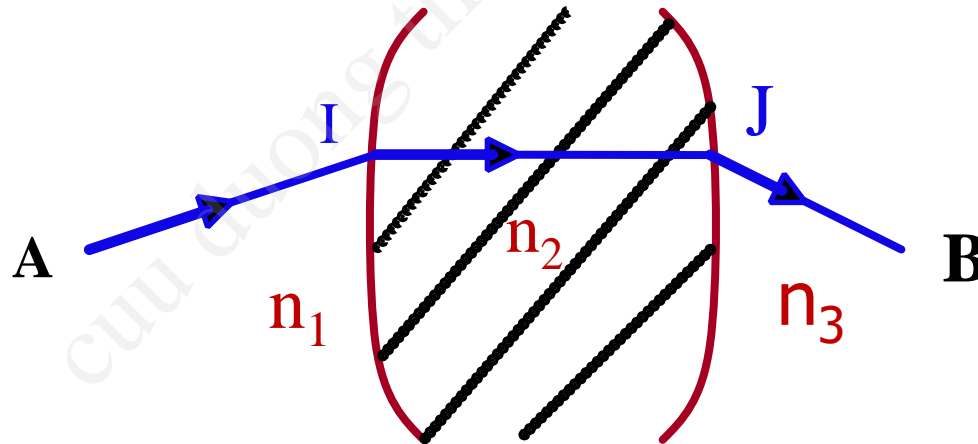


Quang lộ qua 2 môi trường⁴

Tương tự, xét tia sáng đi từ A đến B qua ba môi trường có chiết suất khác nhau:

$$L_{AB} = L_{AI} + L_{IJ} + L_{JB}$$

$$L_{AB} = n_1 \cdot \ell_1 + n_2 \cdot \ell_2 + n_3 \cdot \ell_3$$



Quang lộ qua ba môi trường



Trường hợp môi trường không đồng nhất về phương diện quang học

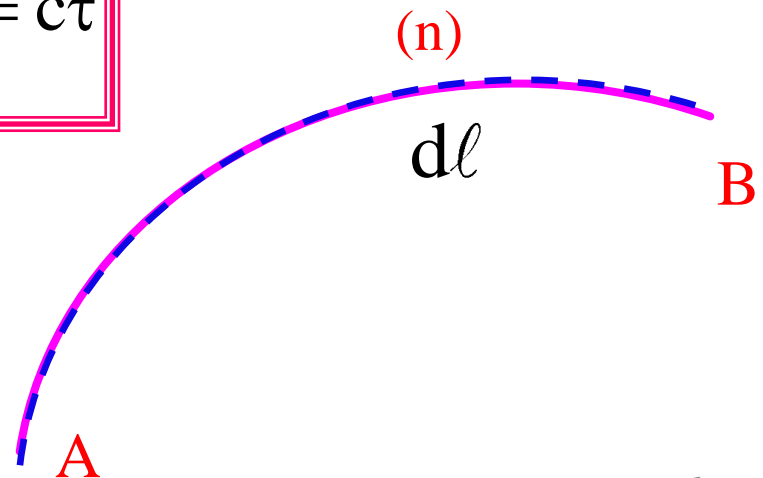
Khi đó ánh sáng truyền từ điểm A sang điểm B sẽ bị khúc xạ liên tục.

Ánh sáng sẽ truyền theo đường cong nào đó.

Trên mỗi đoạn đường nguyên tố ta có: $dL = n \cdot d\ell$
Vậy trên đoạn đường AB quang lộ của tia sáng sẽ là:

$$L_{AB} = \int_A^B n d\ell = \int_A^B \frac{c}{v} d\ell = c \int_A^B \frac{d\ell}{v} = c \int_A^B d\tau = c\tau$$

$$L_{AB} = c\tau$$

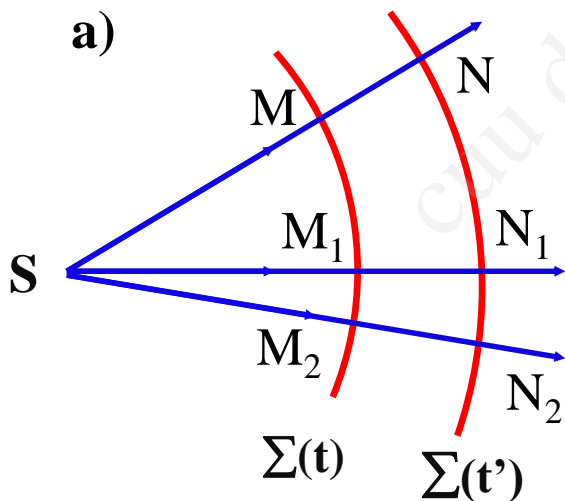


2. Mặt sóng hình học

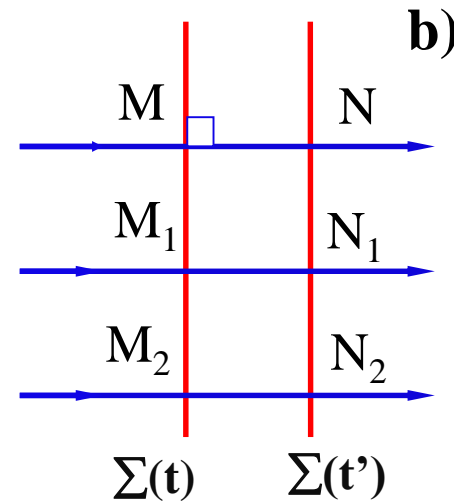
Mặt sóng hình học của một chùm tia là tập hợp những điểm mà ánh sáng của chùm tia đó truyền đến ở cùng một thời điểm

Giả sử ở thời điểm t , ánh sáng truyền đến một mặt $\Sigma(t)$ nào đó và ở thời điểm $t' = t + \tau$ ánh sáng truyền tới mặt $\Sigma(t')$. Khoảng thời gian để các tia sáng truyền đi giữa cùng hai mặt sóng hình học $\Sigma(t)$ và $\Sigma(t')$ bằng nhau

Nếu nguồn sáng điểm ở gần, các mặt sóng hình học sẽ là những mặt cầu có tâm tại nguồn sáng. Nếu nguồn sáng ở rất xa, các mặt cầu này sẽ trở thành những mặt phẳng.



$$t' = t + \tau$$

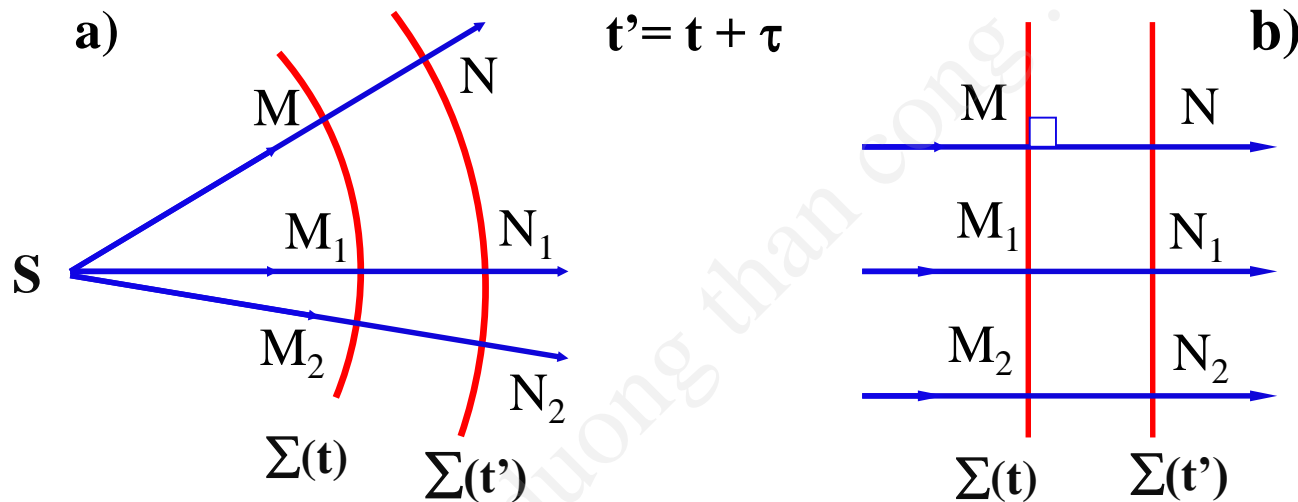


a) Sóng cầu

b) Sóng phẳng

3. Định lý Malus

Phát biểu: Quang lộ của các tia sáng giữa hai mặt sóng hình học đều bằng nhau.



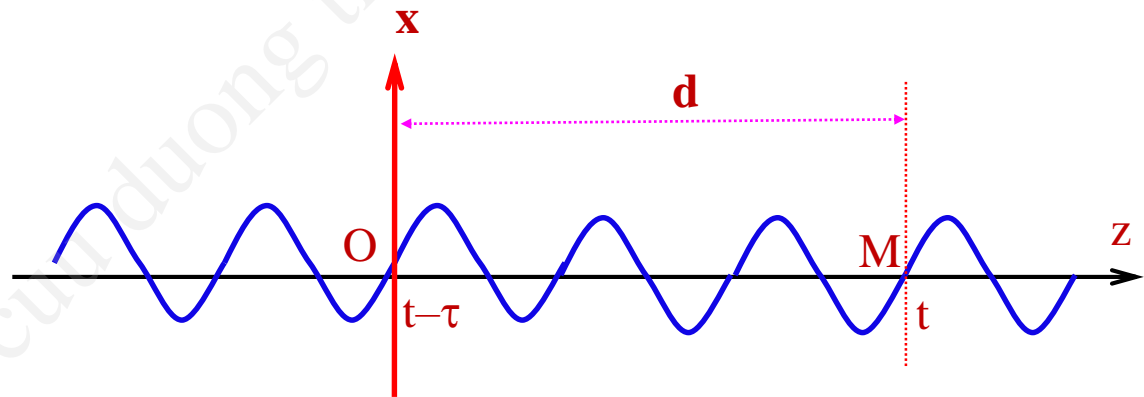
$$\left. \begin{aligned} L_{M_1N_1} &= L_1 = c\tau \\ L_{M_2N_2} &= L_2 = c\tau \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$L_1 = L_2$$



4. Phương trình sóng ánh sáng đơn sắc

Giả sử tại điểm O (nguồn sáng) dao động sáng thay đổi theo thời gian theo qui luật hình sin với a và ω lần lượt là biên độ và tần số góc của sóng ánh sáng. Phương trình sóng ánh sáng tại O ở thời điểm t có thể viết:



$$x(0, t) = a \cos \omega t$$



Ph trình sóng AS tại O ở thời điểm t:

$$x(O, t) = a \cos \omega t$$

Xét điểm M bất kỳ trên trục z và cách O một khoảng d, gọi τ là thời gian ánh sáng truyền từ O đến M. Khi đó:
Dao động sóng ánh sáng tại điểm M thời điểm t giống hệt dao động sáng tại O vào thời điểm $(t - \tau)$ và ta có thể thiết lập phương trình sóng sáng này tại M như sau:

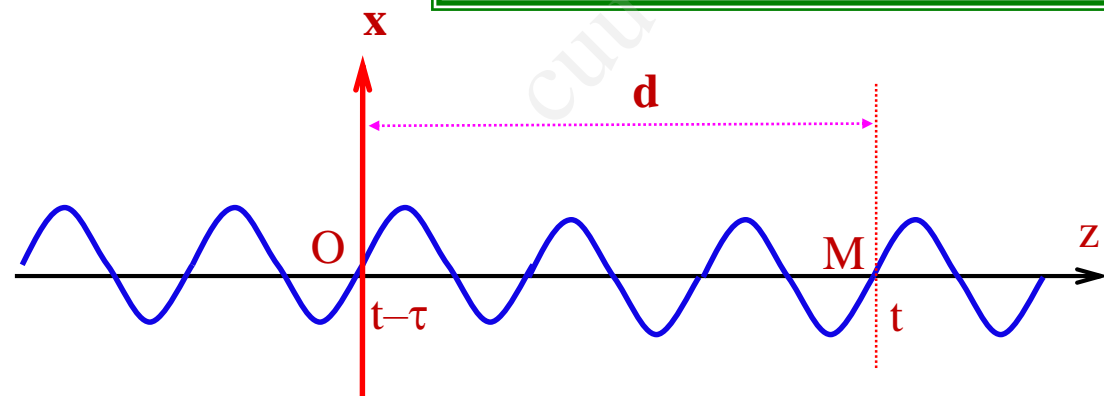
$$x(M, t) = x(O, t - \tau)$$

$$x(O, t - \tau) = a \cos \omega(t - \tau)$$

$$x(M, t) = a \cos \frac{2\pi}{T}(t - \tau) = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\tau}{T} \right)$$

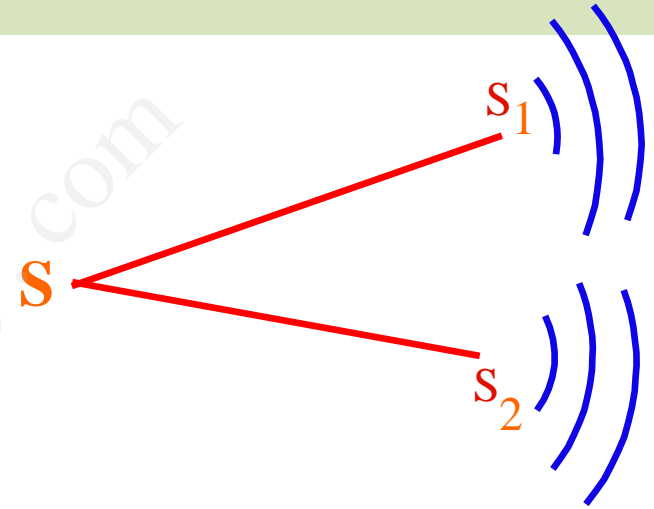
mà $L = c \cdot \tau$

$$x(M, t) = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right)$$



8.1.3. Nguyên lý Huyghens về sự lan truyền của sóng ánh sáng

Bất kì một điểm nào mà sóng truyền đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp, phát sóng cầu về phía trước nó.



8.2. SỰ GIAO THOA SÓNG – NGUỒN KẾT HỢP

8.2.1. Nguyên lý chồng chất

Tại điểm gặp nhau cường độ điện trường tổng hợp

\vec{E} do hai điện trường \vec{E}_1 và \vec{E}_2 tạo nên:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

8.2.2. Tổng hợp hai dao động cùng tần số, cùng phương

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{a}_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$\mathbf{x}_2 = \mathbf{a}_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2 = \mathbf{a}_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + \mathbf{a}_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

(a_1, a_2 là các biên độ dao động, φ_1 và φ_2 là các pha ban đầu)

$$\mathbf{x} = \mathbf{a} \cos(\omega t + \varphi)$$

Biên độ a và pha ban đầu φ được xác định:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2}$$

8.2.3. HTGT - Dao động kết hợp, không kết hợp

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Do cường độ tỉ lệ với bình phương biên độ cho nên có thể viết cho cường độ như sau:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Thực tế các máy thu ánh sáng (kể cả mắt) chỉ có thể ghi nhận được giá trị trung bình của cường độ trong thời gian quan sát t . Lấy trung bình biểu thức trên theo t .

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Vì a_1 và a_2 không phụ thuộc vào thời gian nên:

$$\bar{I} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \overline{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Theo định nghĩa về giá trị trung bình:

$$\overline{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)} = \frac{1}{t} \int_0^t \cos(\varphi_1 - \varphi_2) dt$$

$$\bar{I} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \frac{1}{t} \int_0^t \cos(\varphi_1 - \varphi_2) dt$$

Ta xét hai trường hợp đặc biệt sau đây:

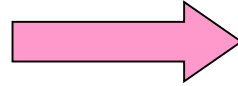
a) $(\varphi_1 - \varphi_2) = \text{hằng số}$

$$\bar{I} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \neq I_1 + I_2$$

Cường độ tổng hợp không bằng tổng cường độ của các dao động thành phần mà có thể lớn hơn hay bé hơn tổng đó tùy thuộc vào hiệu số pha ban đầu $(\varphi_1 - \varphi_2)$ của chúng.

b) Hiệu số pha ban đầu ($\varphi_1 - \varphi_2$) thay đổi một cách hỗn loạn theo thời gian.

$$\overline{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)} = 0$$



$$\bar{I} = I_1 + I_2$$

Trường hợp này cường độ sáng tổng hợp bằng tổng cường độ sáng của các dao động thành phần, tức là không xảy ra hiện tượng giao thoa.

Các dao động này là dao động không kết hợp

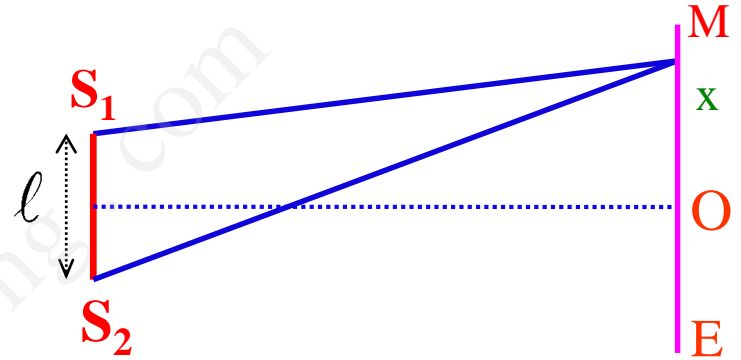
Vậy, muốn quan sát được HTGT ánh sáng thì các sóng giao thoa với nhau phải là các sóng kết hợp (cùng chu kỳ và hiệu số pha không thay đổi theo thời gian: $(\varphi_1 - \varphi_2) = \text{hằng số}$) và dao động của chúng phải thực hiện cùng phương.

8.2.4. Điều kiện CĐ, CT giao thoa ánh sáng

Gọi M là điểm trên màn E mà tại đó hai sóng ánh sáng chồng chất lên nhau

$$x_1 = a_1 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L_1}{\lambda} \right)$$

$$x_2 = a_2 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L_2}{\lambda} \right)$$



$x(M, t)$ là dao động sóng sáng tổng hợp tại M và nó có dạng:

$$x = a \cos(\omega t + \varphi)$$

Ta có:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \frac{L_2 - L_1}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda}$$

Điều kiện cực đại của giao thoa:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = 1$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2k\pi \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

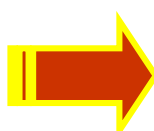
$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 = (a_1 + a_2)^2 \quad (\text{lớn nhất})$$

Vậy, điều kiện CĐGT:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2k\pi$$

2 sóng gặp nhau đồng pha với nhau và cường độ tổng hợp:

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

(theo trước) $\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda}$  $\Delta L = L_2 - L_1 = k\lambda$

PB: Những điểm sáng là những điểm mà tại đó hiệu quang lộ của hai tia sáng bằng số nguyên lần bước sóng.

Điều kiện cực tiểu của giao thoa:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = -1$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (2k + 1)\pi \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 - 2a_1a_2 = (a_1 - a_2)^2 \quad (\text{nhỏ nhất})$$

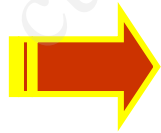
Vậy, điều kiện CTGT:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (2k + 1)\pi$$

2 sóng gặp nhau ngược pha với nhau và cường độ tổng hợp:

$$I_{\max} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda}$$

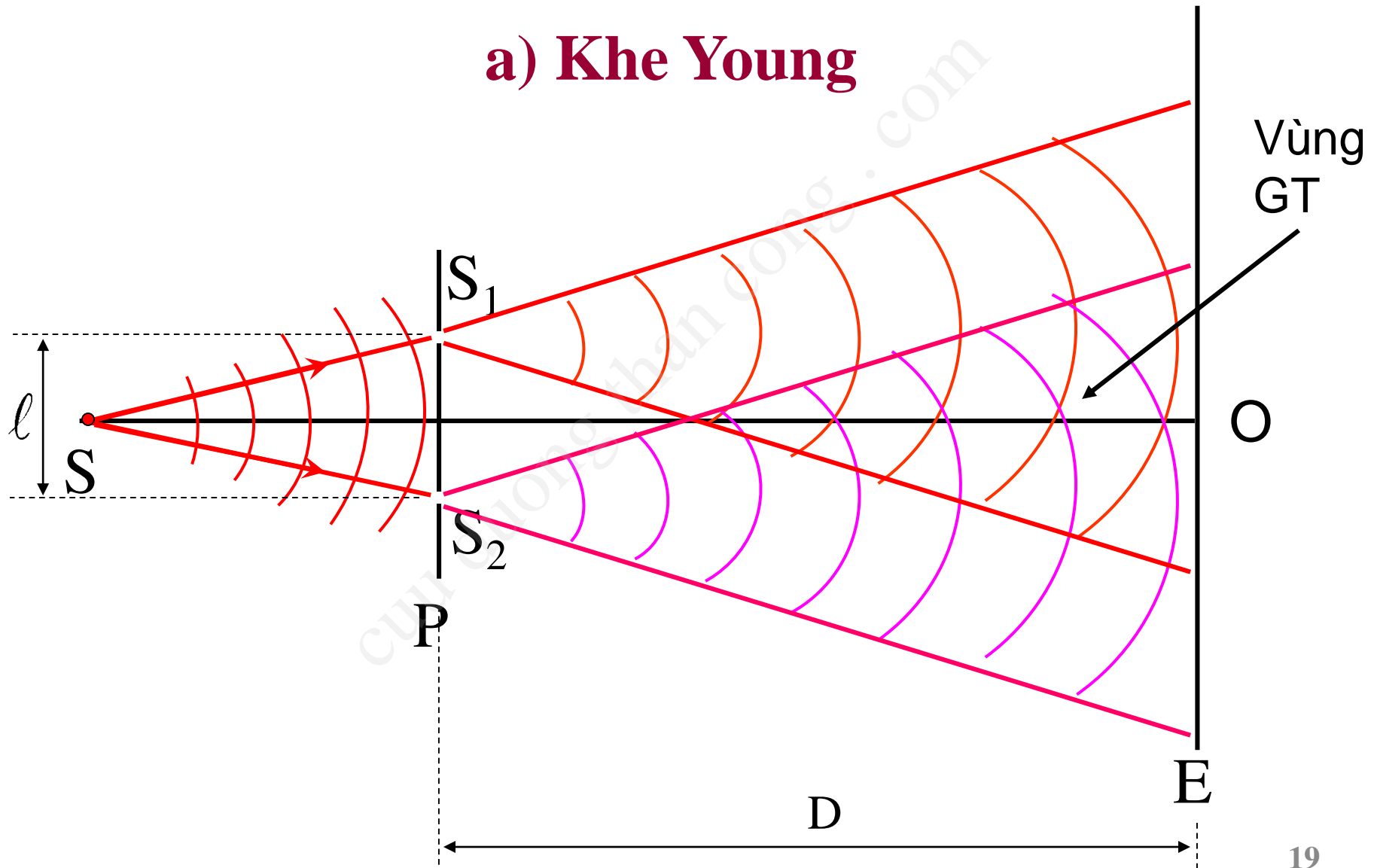


$$\Delta L = L_2 - L_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

PB: Những điểm tối là những điểm mà tại đó hiệu quang lộ của hai tia sáng bằng số lẻ lần nửa bước sóng.

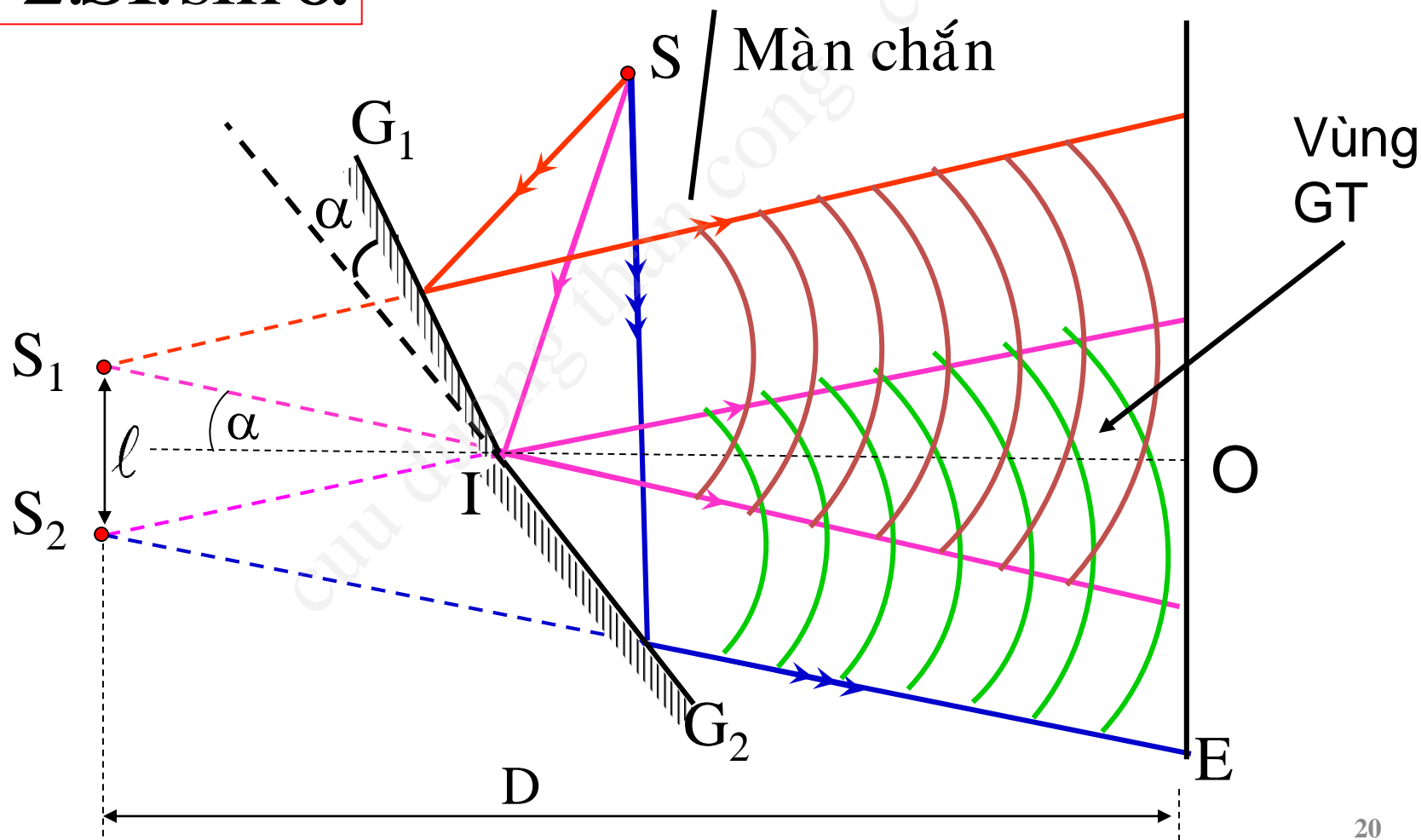
CÁCH TẠO RA HAI NGUỒN KẾT HỢP

a) Khe Young



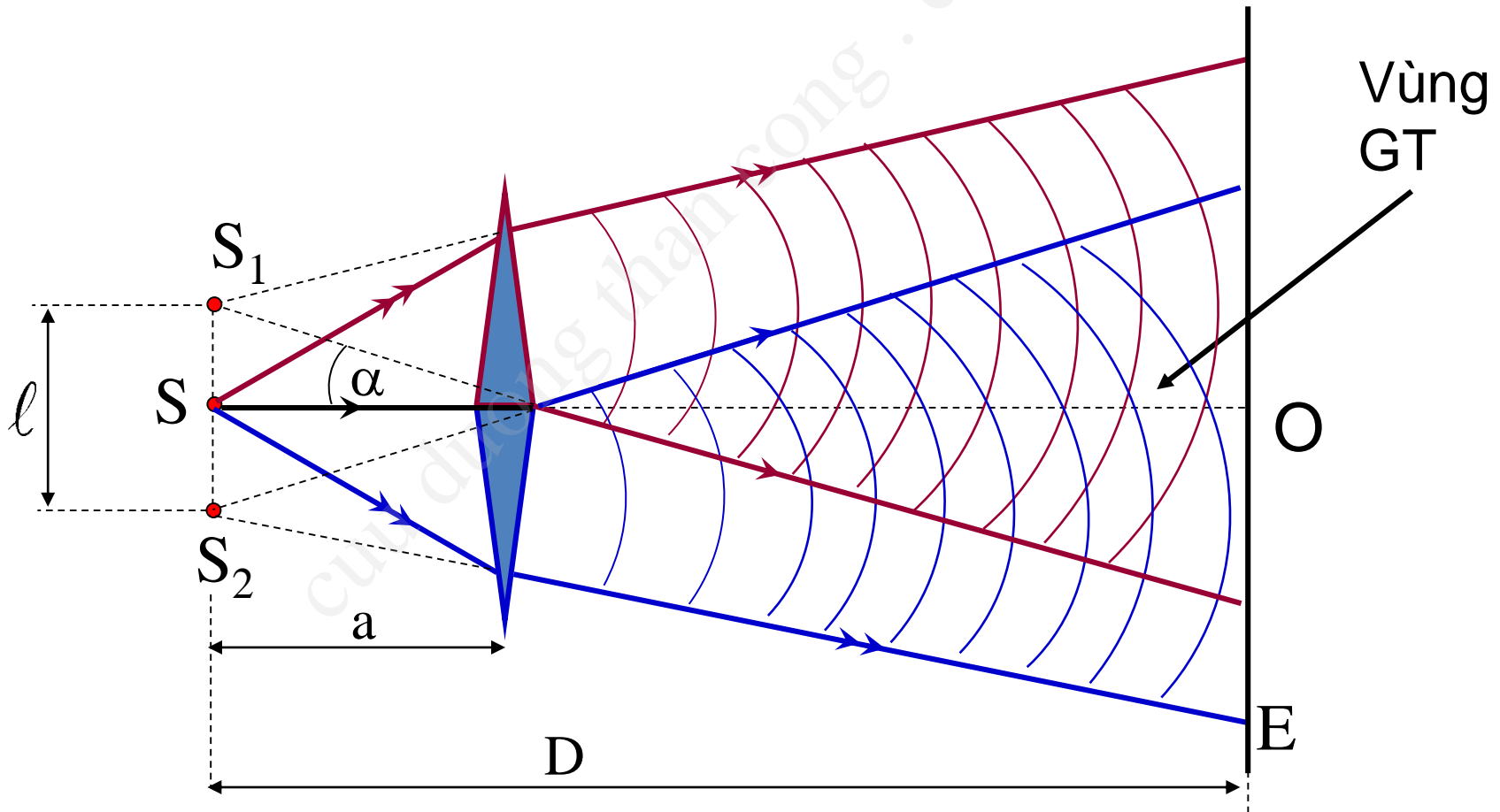
b) Gương Fresnel

$$\ell = 2.SI.\sin \alpha$$



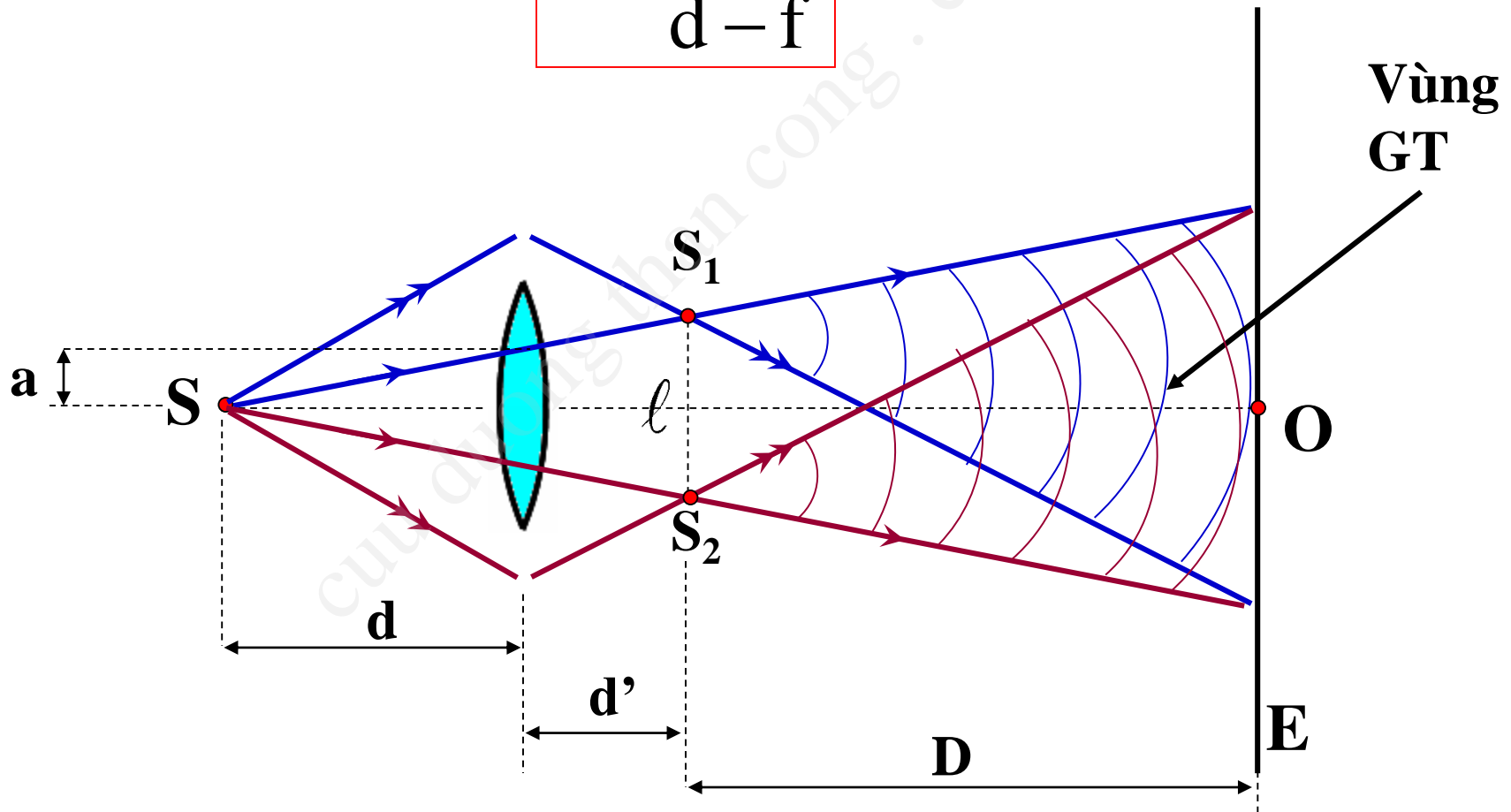
c) Lăng kính Fresnel

$$\ell = 2a \cdot \tan \alpha \approx 2a\alpha = 2a(n-1)A$$



d) Lưỡng thấu kính Billet

$$\ell = \frac{2af}{d-f}$$



GIAO THOA BỞI 2 NGUỒN ĐIỂM

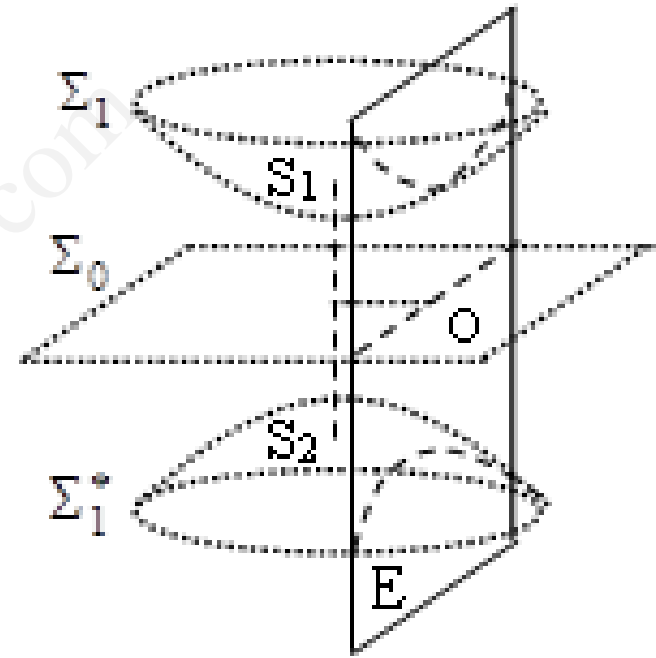
- Sơ đồ thí nghiệm:



8.2.5. Hình dạng và vị trí vân GT

1. Hình dạng vân GT

+ Theo hình học giải tích, quỹ tích của những điểm trong không gian có hiệu số các khoảng cách tính từ chúng đến hai điểm cố định cho trước bằng một hằng số là một mặt hyperbol tròn xoay (hyperboloid), có hai tiêu điểm là hai điểm cố định S_1, S_2 .



Hình 8.10a

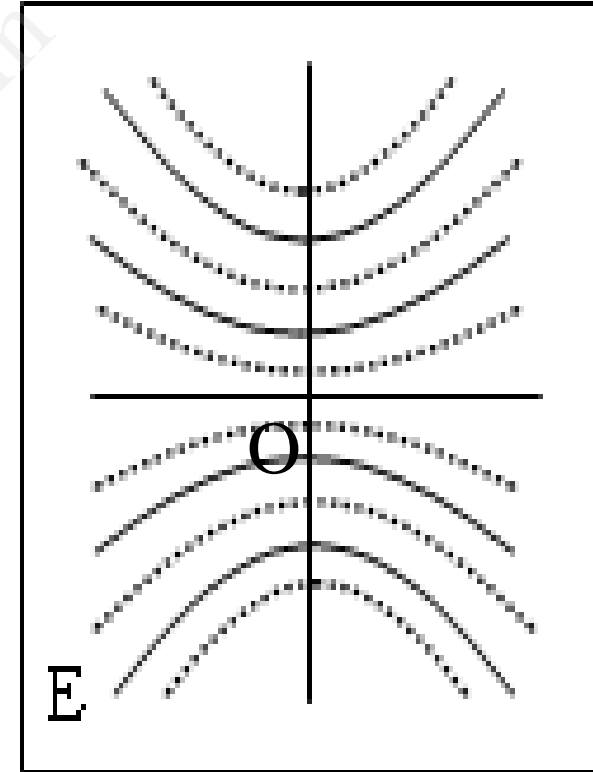
+ Như vậy, quỹ tích của những điểm trong không gian có cùng một cường độ sáng cực đại thoả mãn điều kiện $(L_2 - L_1) = k\lambda =$ hằng số là một họ mặt hyperboloid, có hai tiêu điểm là S_1 và S_2 , nằm đối xứng với nhau qua mặt phẳng trung trực ứng với $k = 0$.

1. Hình dạng vân GT

+ Quỹ tích của những điểm trong không gian có cùng một cường độ sáng cực tiểu, thỏa mãn điều kiện:

$(L_2 - L_1) = (k + \frac{1}{2}) \lambda = \text{hằng số}$, là một họ mặt hyperboloid khác xen giữa họ mặt ứng với các cực đại giao thoa.

+ Đặt một màn ảnh E song song với mặt phẳng P chứa hai điểm S_1 và S_2 thì giao tuyến của các mặt hyperboloid với màn E là những đường hyperbol. Đó là những đường sáng và tối xen kẽ nhau và được gọi là những vân giao thoa: đường sáng là vân sáng, còn đường tối là vân tối.



Hình 8.10b

2. Vị trí các vân sáng, vân tối

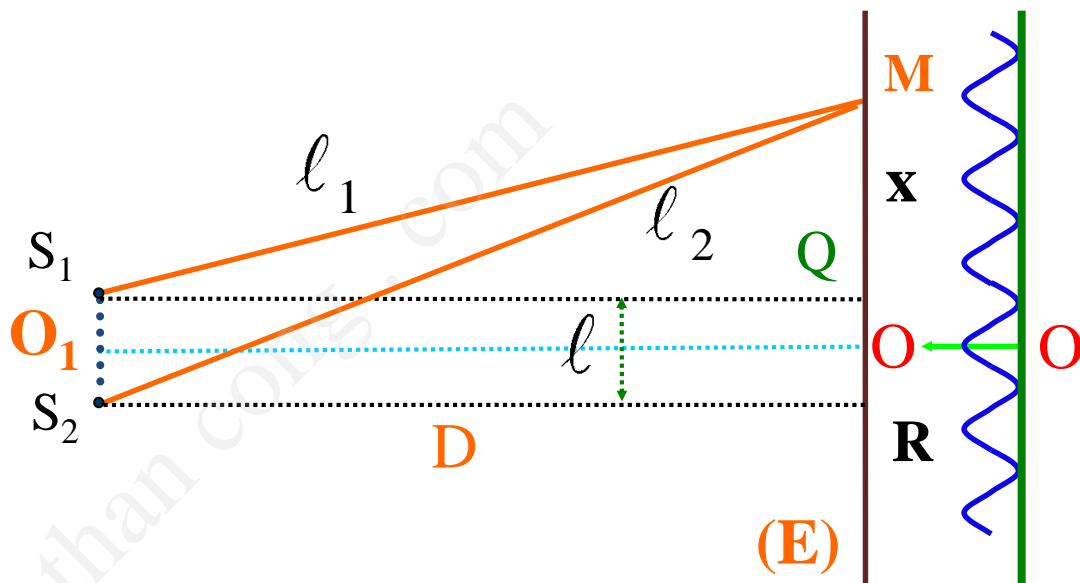
Xét hai tam giác vuông
 RS_2M và QS_1M :

$$\ell_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{\ell}{2}\right)^2$$

$$\ell_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{\ell}{2}\right)^2$$

Với $\ell \ll D$

$$\ell_2 + \ell_1 \approx 2D$$



$$(\ell_2 - \ell_1)(\ell_2 + \ell_1) = 2x\ell$$

$$\ell_2 - \ell_1 = \frac{x\ell}{D}$$

Nếu M là vân sáng:

$$\ell_2 - \ell_1 = k\lambda$$

$$\frac{x\ell}{D} = k\lambda \Rightarrow x = k \frac{\lambda D}{\ell}$$

$$x_k^s = k \frac{\lambda D}{\ell}$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$i = \frac{\lambda D}{\ell}$$

Kết luận: Các vân sáng cách đều nhau và khoảng cách giữa các vân sáng liên tiếp là i , các vân sáng đối xứng nhau qua vân sáng chính giữa.

M là vân tối:

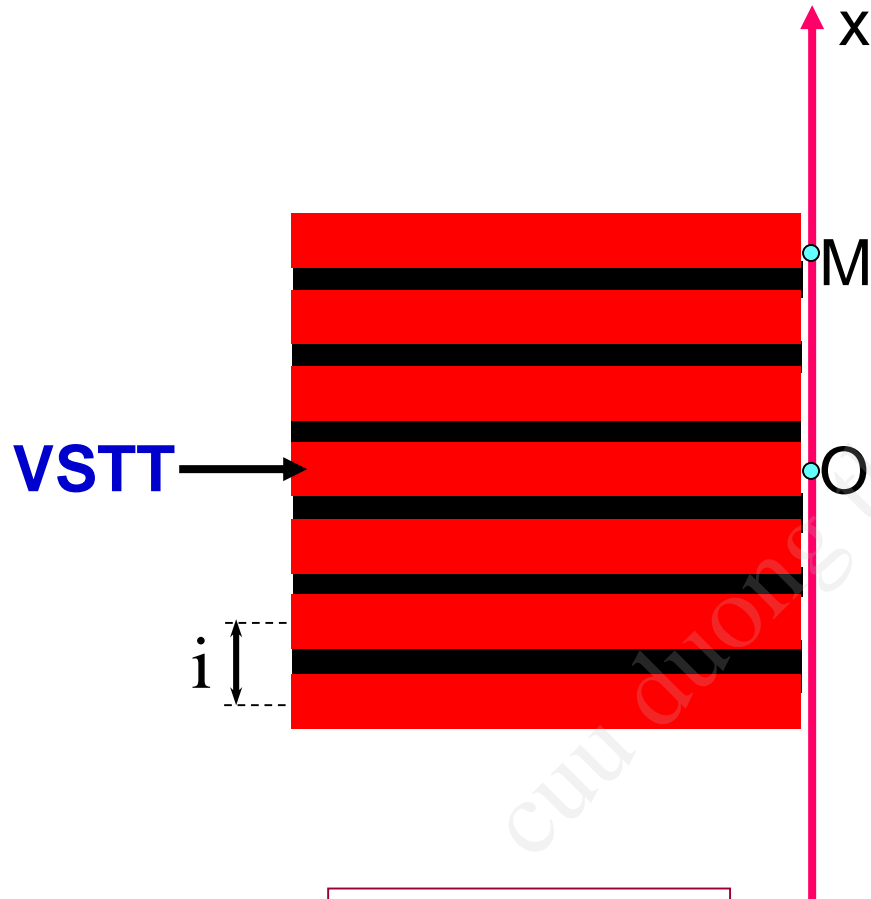
$$\ell_2 - \ell_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

Vị trí vân tối:

$$x_k^t = (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda D}{\ell} \quad ; (k = 0, \pm 1, \pm 2..)$$
$$i = \frac{\lambda D}{\ell}$$

Kết luận: Các vân tối nằm đúng giữa các vân sáng. Do đó, khoảng cách giữa hai vân tối liên tiếp là i và khoảng cách giữa hai vân sáng, tối liên tiếp là $i/2$.

- **Hình ảnh vân giao thoa:**



$$i = \frac{\lambda D}{\ell}$$

Điểm M trùng với vị trí **vân sáng** khi và chỉ khi:

$$x_M^s = ki$$

Điểm M trùng với vị trí **vân tối** khi và chỉ khi:

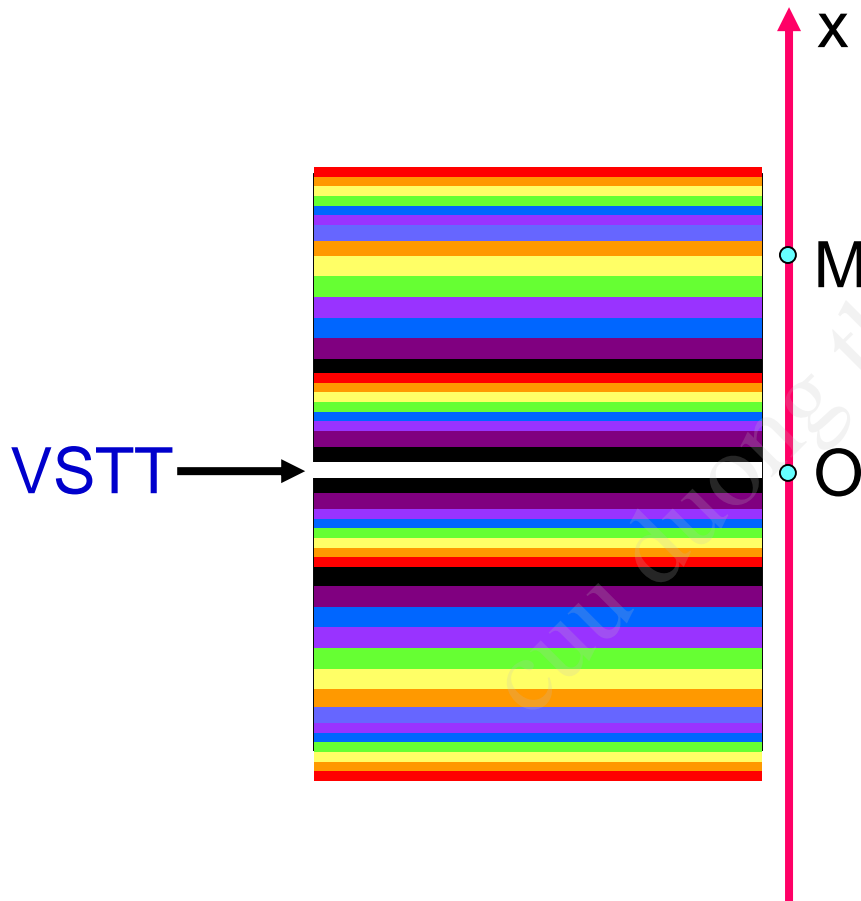
$$x_M^t = \left(k + \frac{1}{2} \right) i$$

- **Giao thoa với ánh sáng trắng:**

- **Vân trung tâm có màu trắng**

- **Hai bên có các dải màu biến đổi liên tục, viền tím bên trong, đỏ bên ngoài.**

- **Vùng tím của quang phổ bậc 3 có thể phủ lên vùng đỏ của quang phổ bậc 2.**

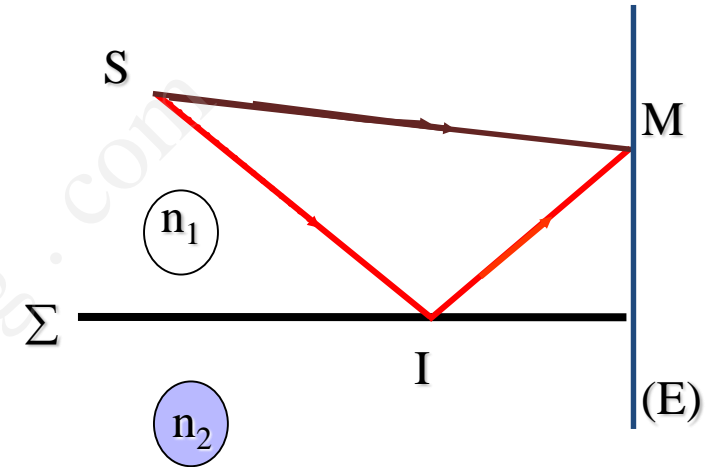


8.5. GT CHO BỎI BẢN MỎNG TRONG SUỐT 2 MẶT SONG SONG, VÂN CÙNG ĐỘ NGHIÊNG

1. Sự định xứ của vân

2. Tính hiệu quang lộ

a) Định luật Lloyd về sự kéo dài quang lộ của tia sáng



Lloyd nhận xét: Khi tia sáng phản xạ trên mặt phân cách từ môi trường có chiết suất nhỏ sang môi trường có chiết suất lớn hơn thì quang lộ tăng thêm $\lambda/2$: sự tăng nửa sóng (ngược lại quang lộ không tăng) : $L_1 = SM$ (không phản xạ) và $L_2 = SI + IM + \lambda/2$ (tia phản xạ IM phản xạ trên mặt phân cách từ môi trường có chiết suất $n_1 = 1$ đến môi trường có chiết suất $n_2 > 1$ nên tăng nửa bước sóng)

b) Tính hiệu quang lộ

Từ C vẽ CH vuông góc AR₁ và chú ý tia AR₁ phản xạ từ môi trường có chiết quang nhỏ sang môi trường có chiết quang lớn hơn nên quang lộ [SAR₁] được tăng thêm $\frac{\lambda}{2}$

$$\Delta L = [SABCR_2] - [SAR_1 + \frac{\lambda}{2}]$$

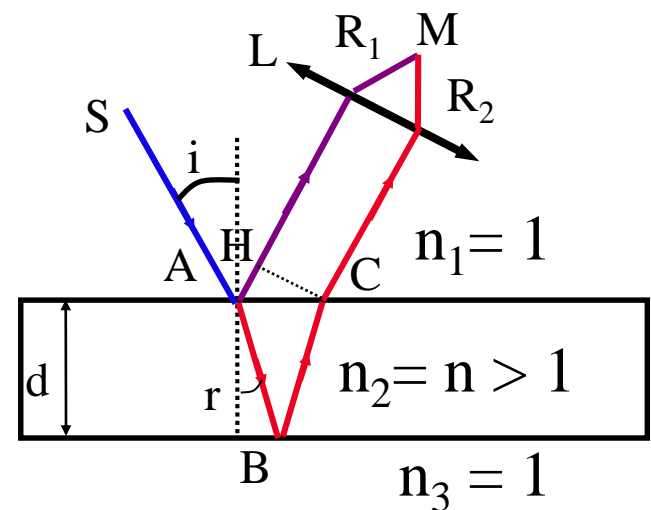
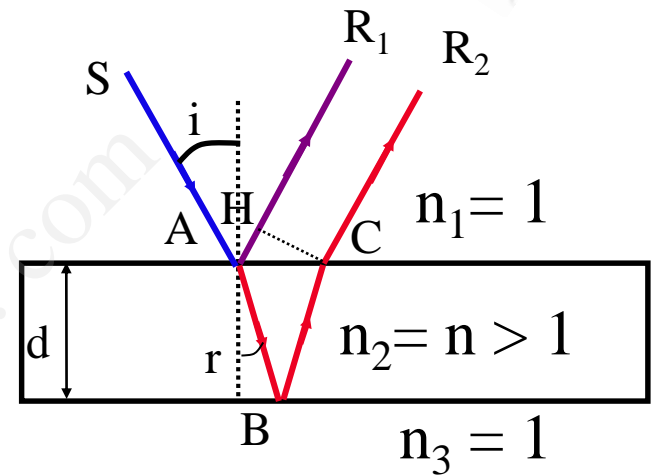
$$= (AB + BC)n - [AH + \frac{\lambda}{2}] ; AH = 2d.tgr.sini$$

Theo hình: $AB = BC = \frac{d}{\cos r}$

$$n.\sin r = \sin i \Rightarrow \Delta L = 2dncosr - \frac{\lambda}{2}$$

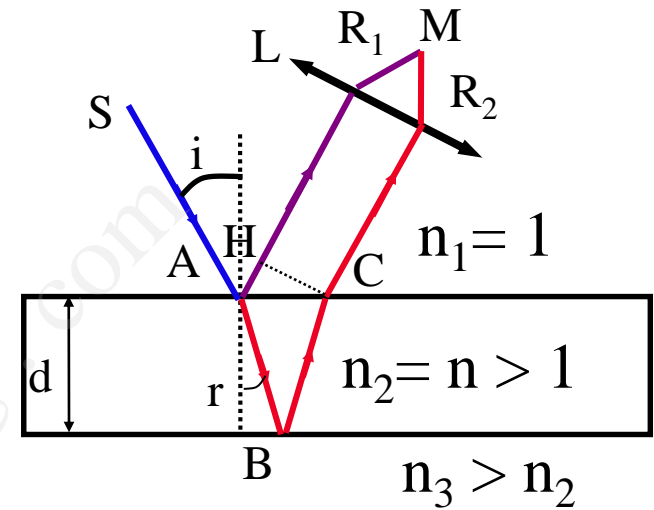
$$\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} \quad \text{và} \quad \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

$$\Delta L = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$$



Tính hiệu quang lộ

Tia AR_1 phản xạ từ môi trường chiết quang nhỏ sang môi trường có chiết quang lớn hơn nên quang lộ $[SAR_1]$ được tăng thêm nửa bước sóng, tia BCR_2 phản xạ tương tự nên quang lộ tăng $\frac{\lambda}{2}$



$$\Delta L = [SABCR_2 + \frac{\lambda}{2}] - [SAR_1 + \frac{\lambda}{2}] = (AB + BC)n - AH$$

Theo hình thì: $AB = BC = \frac{d}{\cos r}$; $AH = 2d \cdot \tan r \cdot \sin i$

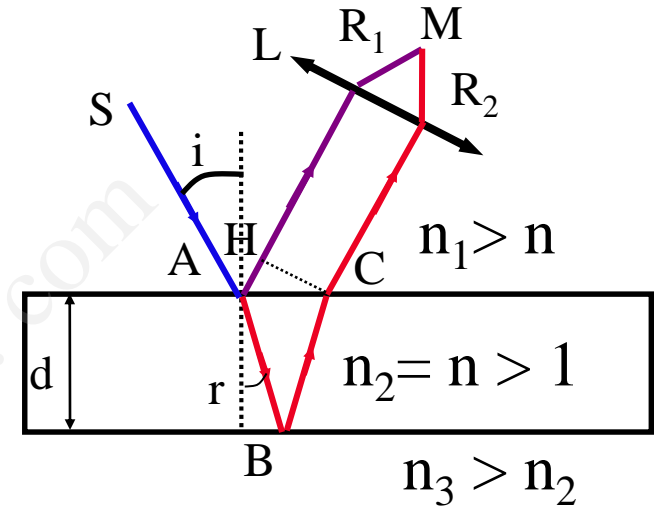
$$n \cdot \sin r = \sin i \quad \Rightarrow \quad \Delta L = 2d n \cos r$$

$$\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} \quad \text{và} \quad \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

$$\Delta L = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

Tính hiệu quang lộ

Tia AR_1 phản xạ từ môi trường chiết quang lớn sang môi trường chiết quang nhỏ hơn nên QL $[SAR_1]$ không tăng, tia BCR_2 phản xạ từ môi trường có chiết quang nhỏ sang môi trường có chiết quang lớn hơn nên QL tăng $\frac{\lambda}{2}$



$$\Delta L = [SABCR_2 + \frac{\lambda}{2}] - [SAR_1]$$

$$= (AB + BC)n + \frac{\lambda}{2} - AH$$

$$AB = BC = \frac{d}{\cos r}; AH = 2d \cdot \tan r \cdot \sin i$$

$$n \cdot \sin r = \sin i \Rightarrow \Delta L = 2d n \cos r$$

$$\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} \quad \text{và} \quad \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

$$\Delta L = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

Vậy đối với bản mỏng trong suốt, hiệu lộ thay đổi theo góc tới i , do đó khi nghiêng mắt, nghiêng đầu làm góc i thay đổi sẽ cho hệ thống vân GT thay đổi theo: **VÂN CÙNG ĐỘ NGHIÊNG.**

- Hình ảnh giao thoa trong tự nhiên:



VD1: Một chùm sáng song song có bước sóng $0,6\mu\text{m}$ chiếu vuông góc vào mặt bản mỏng có bề dày không đổi $d = 3,0\mu\text{m}$, chiết suất $n = 1,30$. Mặt trên của bản mỏng tiếp xúc với không khí, mặt dưới của bản mỏng tiếp xúc với môi trường có chiết suất $n' = 1,50$. Tính hiệu quang lộ của tia phản xạ ngay mặt trên của bản mỏng tại điểm A và tia khúc xạ vào trong bản mỏng, phản xạ ở mặt dưới tại B rồi truyền ngược ra ngoài không khí ở mặt trên tại điểm M.

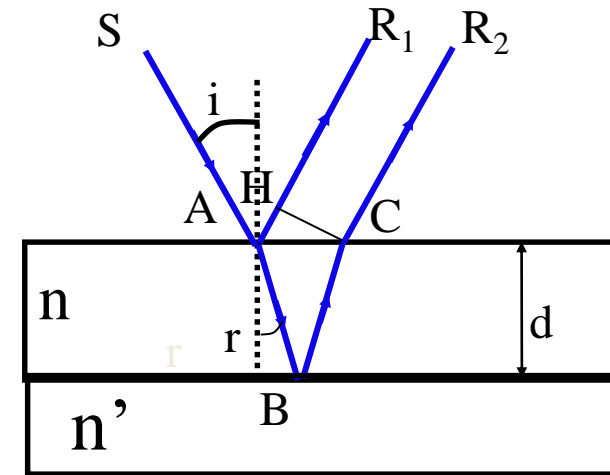
Giải:

Ta có:

$$L_2 - L_1 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

Chiếu vuông góc: $\Rightarrow i = 0$

$$\Rightarrow L_2 - L_1 = 2nd = 2 \cdot 1,3 \cdot 3 = 7,8\mu\text{m}$$

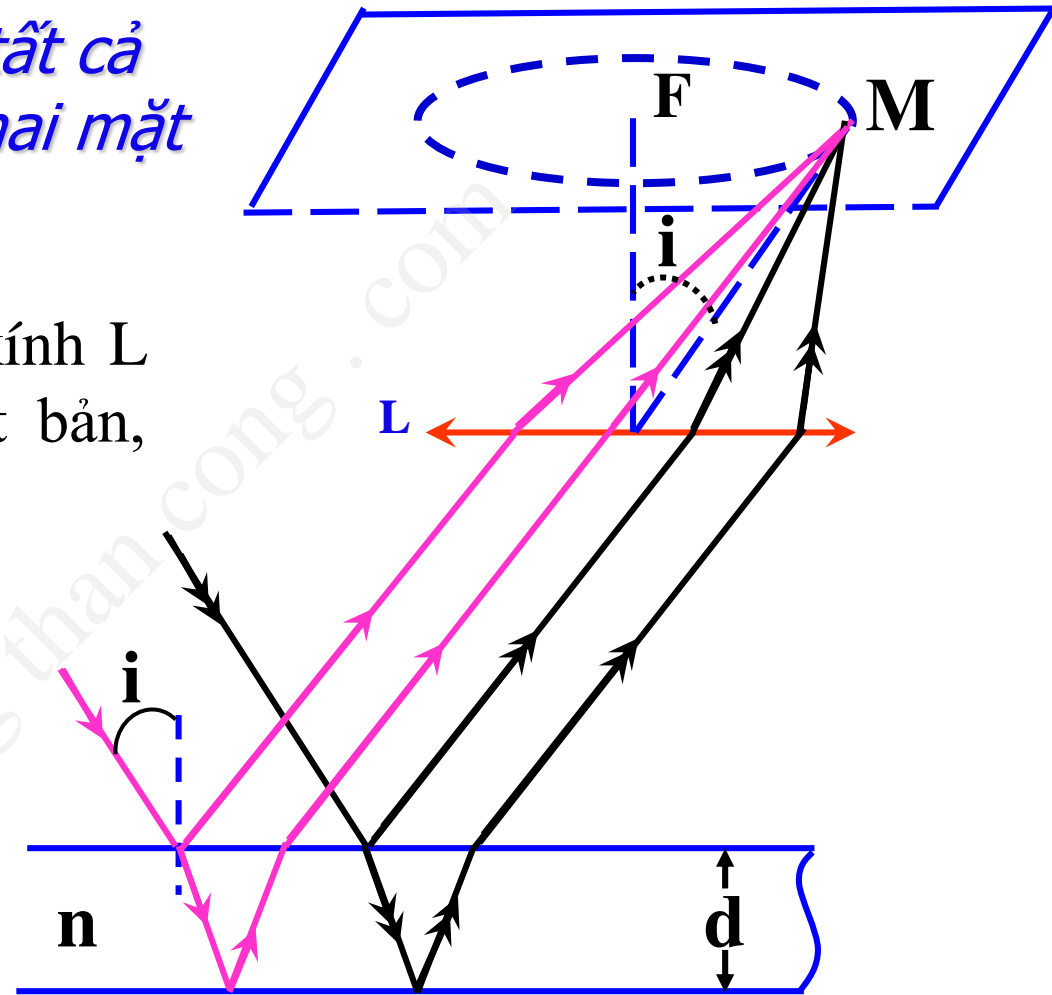


3. Hình dạng vân giao thoa

Dùng thấu kính L để hội tụ tất cả những tia sáng phản xạ từ hai mặt của bản lên tiêu diện E

Nếu quang trục OF của thấu kính L trùng với pháp tuyến của mặt bản, vân giao thoa là đường tròn.

Nếu quang trục OF của thấu kính L không trùng với pháp tuyến của mặt bản, vân giao thoa có dạng elip.



Khi bản được chiếu bằng ánh sáng của một nguồn rộng, đơn sắc và thấu kính được đặt song song với mặt bản thì ta sẽ quan sát được một hệ vân gồm những vòng tròn đồng tâm sáng và tối xen kẽ nhau, có tâm là tiêu điểm F của thấu kính.

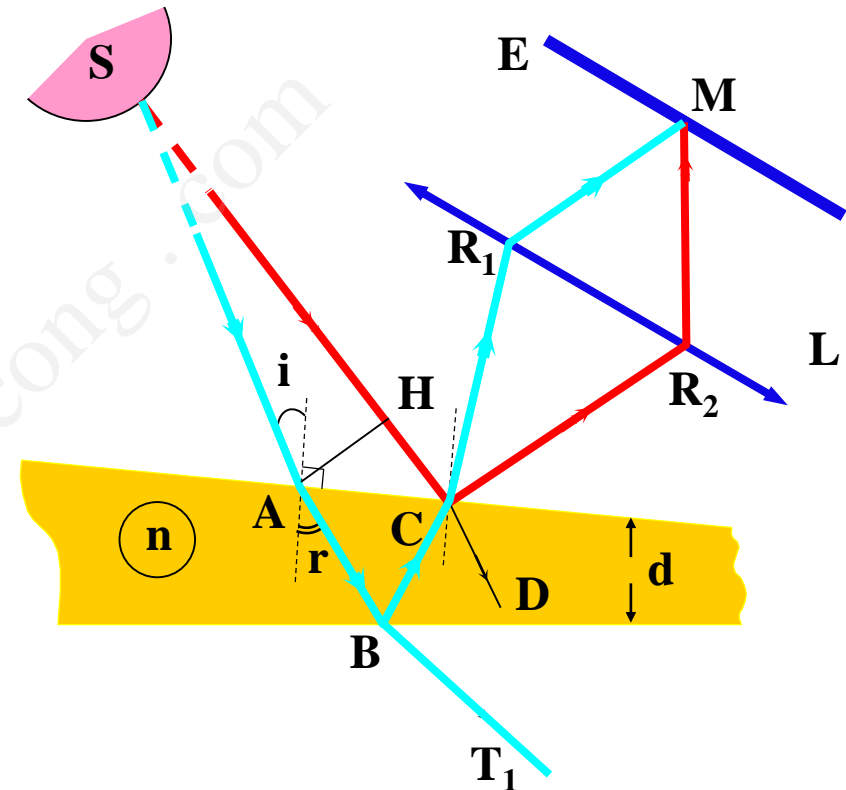
8.6. GT CHO BỜ BẢN MỎNG TRONG SUỐT CÓ ĐỘ DÀY THAY ĐỔI, VÂN CÙNG ĐỘ DÀY

1. Sự định xứ của vân

2. Hiệu lộ ΔL là một hàm số của độ dày d của bản (nguồn sáng đặt khá xa bản mỏng thì góc i rất bé (≈ 0) & chúng chỉ thay đổi trong một giới hạn nhỏ).

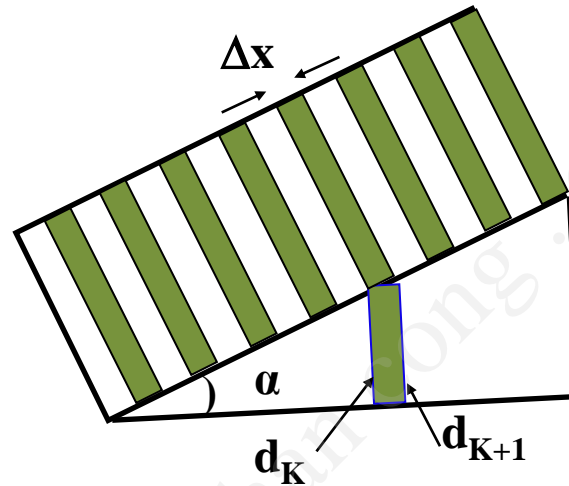
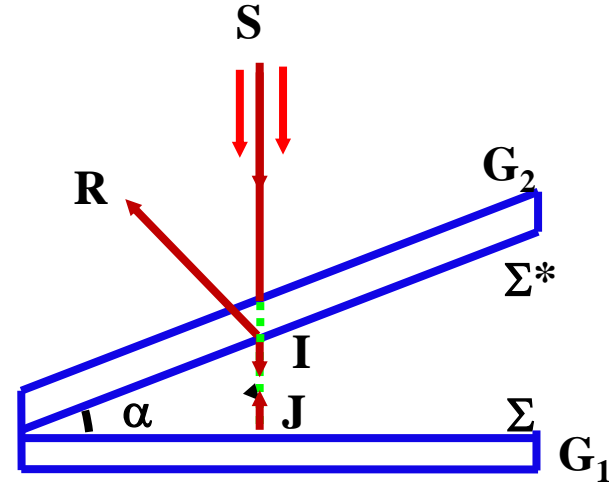
$$\Delta L = 2dn - \frac{\lambda}{2} \quad \text{hoặc} \quad \Delta L = 2dn + \frac{\lambda}{2} \quad \text{hoặc} \quad \Delta L = 2dn$$

ΔL là một hàm số của độ dày d , nên người ta gọi là **VÂN CÙNG ĐỘ DÀY**. Hệ vân quan sát được là những đường sáng và tối xen kẽ nhau.



4. Vân GT cùng độ dày cho bởi các bản mỏng không khí

Vân GT cho bởi một nêm không khí



$$\Delta L = L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

Những điểm tối:

$$\Delta L = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

$$d = k \frac{\lambda}{2}; \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

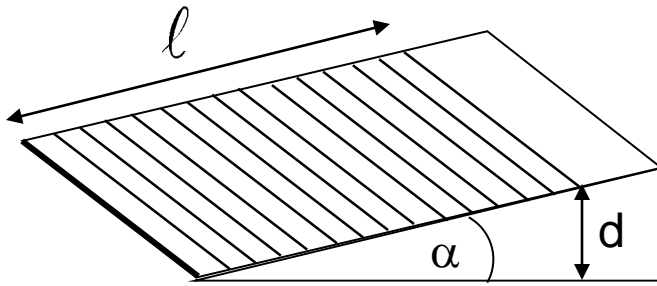
Những điểm sáng:

$$\Delta L = k\lambda$$

$$d = k \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4}; \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Delta x = \frac{d_{k+1} - d_k}{\sin \alpha} = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$$

• **VD2: Nêm không khí:**



Chiếu chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng $0,6\mu\text{m}$ vuông góc với mặt của nêm không khí. Khoảng cách giữa 4 vân sáng kế nhau là $1,8\text{mm}$. Tính góc nghiêng α của nêm.

Giải:

Vị trí vân sáng thứ k :

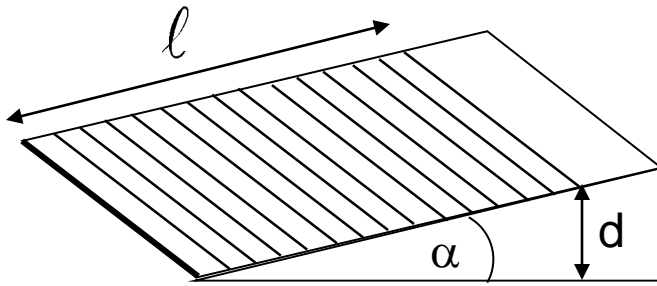
$$d = \left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} = \ell \sin \alpha \approx \ell \alpha$$

Vị trí vân sáng thứ k' :

$$d' = \left(k' - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \approx \ell' \alpha$$

$$\Rightarrow \Delta \ell \cdot \alpha = (k' - k) \frac{\lambda}{2} = \Delta k \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta k \cdot \lambda}{2 \Delta \ell} = \frac{3 \cdot 0,6}{2 \cdot 1,8 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

• **VD3: Nêm thủy tinh:**



Chiếu chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng $0,6\mu\text{m}$ vuông góc với mặt của nêm thủy tinh có chiết suất $n = 1,5$. Khoảng cách giữa 4 vân sáng kế nhau là $1,8\text{mm}$. Tính góc nghiêng α của nêm.

Giải:

Vị trí vân sáng thứ k:

$$d = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2n} = \ell \sin \alpha \approx \ell \alpha$$

Vị trí vân sáng thứ k':

$$d' = \left(k' + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2n} \approx \ell' \alpha$$

$$\Delta \ell \cdot \alpha = (k' - k) \frac{\lambda}{2n} = \Delta k \cdot \frac{\lambda}{2n} \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta k \cdot \lambda}{2n \Delta \ell} = \frac{3 \cdot 0,6}{2 \cdot 1,5 \cdot 1,8 \cdot 10^3}$$

$$= 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \quad 41$$

Khử phản xạ các mặt kính: Màng chống phản xạ

Để khử phản xạ thì các tia (1) và (2) phải ngược pha nhau, nghĩa là hiệu quang lộ của chúng phải thỏa đk:

$$L_2 - L_1 = 2n'h = (k + \frac{1}{2})\lambda \quad \Rightarrow h = (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2n'}$$

Hệ số phản xạ R khi ánh sáng đến vuông góc với mặt phân cách giữa hai môi trường

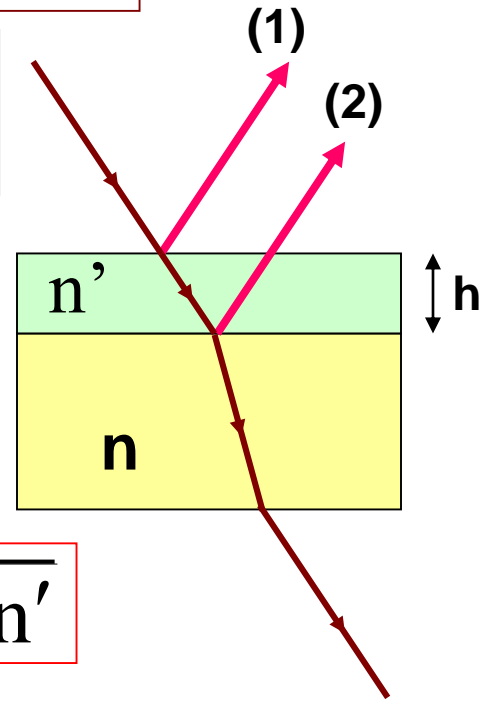
$$R_{12} = \left(\frac{n' - 1}{n' + 1} \right)^2$$

$$R_{23} = \left(\frac{n - n'}{n + n'} \right)^2 = \left(\frac{\frac{n}{n'} - 1}{\frac{n}{n'} + 1} \right)^2$$

$$R_{12} = R_{23}$$

$$\Rightarrow n' = n / n'$$

$$n = \sqrt{n'}$$

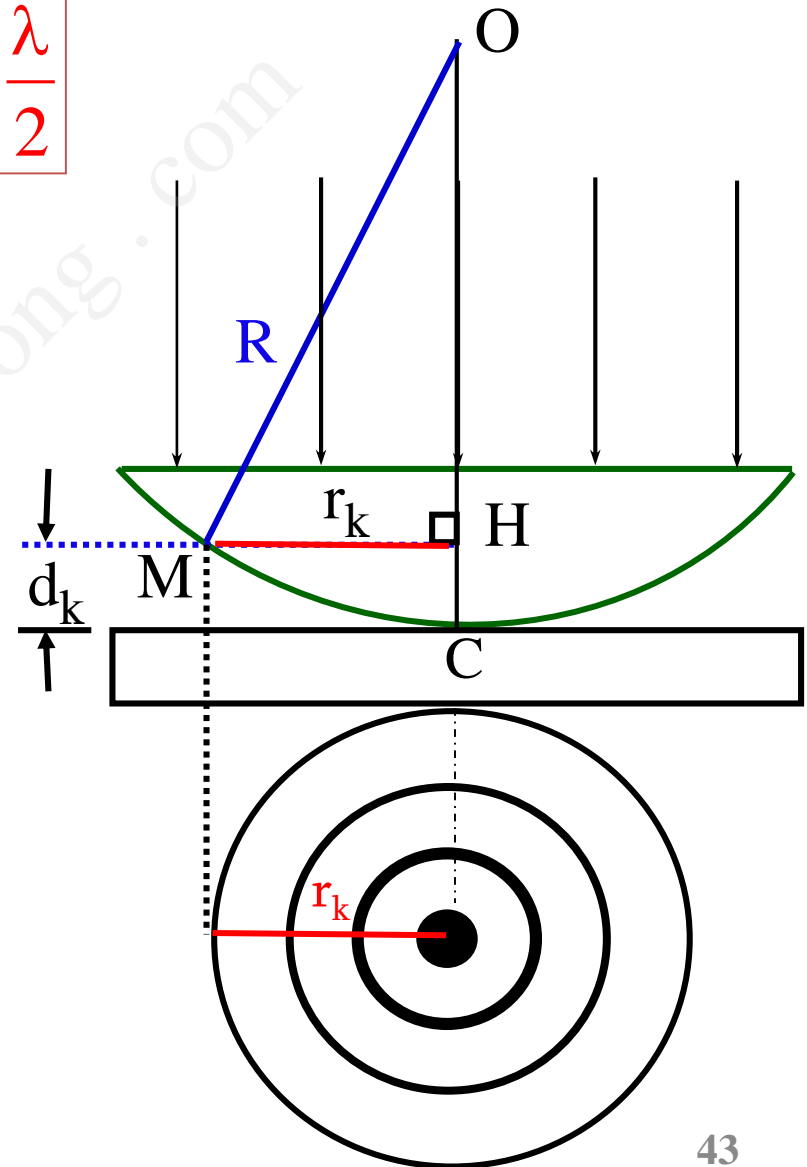


**Không thể khử được hoàn toàn tất cả các bước sóng.
Chọn h, n' để khử bước sóng $0,555\mu\text{m}$.**

Vân tròn Newton

Hiệu quang lộ:

$$L_2 - L_1 = 2d_k + \frac{\lambda}{2}$$



Trong tam giác vuông OMH:

$$R^2 = (R - d_k)^2 + r_k^2$$

$$r_k^2 = d_k (2R - d_k)$$

$$d_k \approx \frac{r_k^2}{2R}$$

Các vân tối thứ k thoả mãn:

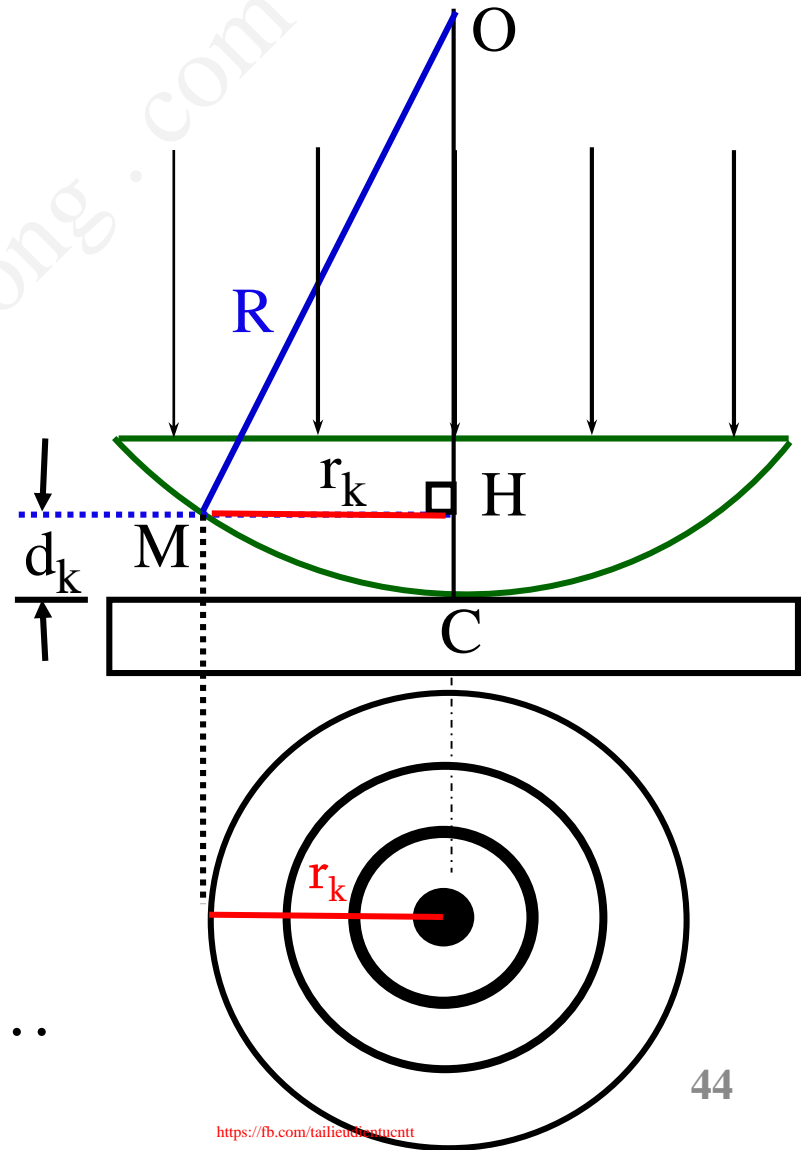
$$\Delta L = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$r_k \approx \sqrt{k\lambda R} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Các vân sáng thứ k thoả mãn:

$$\Delta L = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$r_k \approx \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda R} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$



Giao thoa của ánh sáng trắng

Chiếu bản mỏng có độ dày thay đổi bằng một chùm ánh sáng trắng.

Mỗi bức xạ đơn sắc trong ánh sáng trắng cho ta một hệ vân riêng.

Quan sát vân Newton hay vân trên nêm với ánh sáng trắng phản xạ thì vân tại tâm hay tại cạnh nêm là vân tối, ba, bốn vân tiếp theo là vân có màu sắc viền tím phía trong, viền đỏ phía ngoài, ra xa hơn là màu trắng bậc cao và ở đó không còn quan sát được vân nữa.

VD4: Thấu kính trong hệ thống tạo vân tròn Newton có bán kính cong $R = 10\text{m}$, được rọi vuông góc bởi một chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ . Người ta đo được khoảng cách từ vân tối bậc 4 đến vân tối bậc 9 là 2mm . Tính λ .

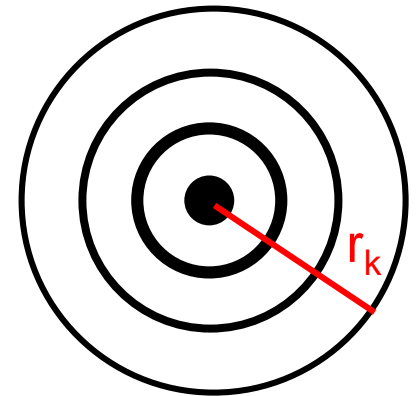
Giải:

Bán kính vân tối thứ k : $r_k \approx \sqrt{k\lambda R}$

K/c từ vân tối thứ 4 đến 9:

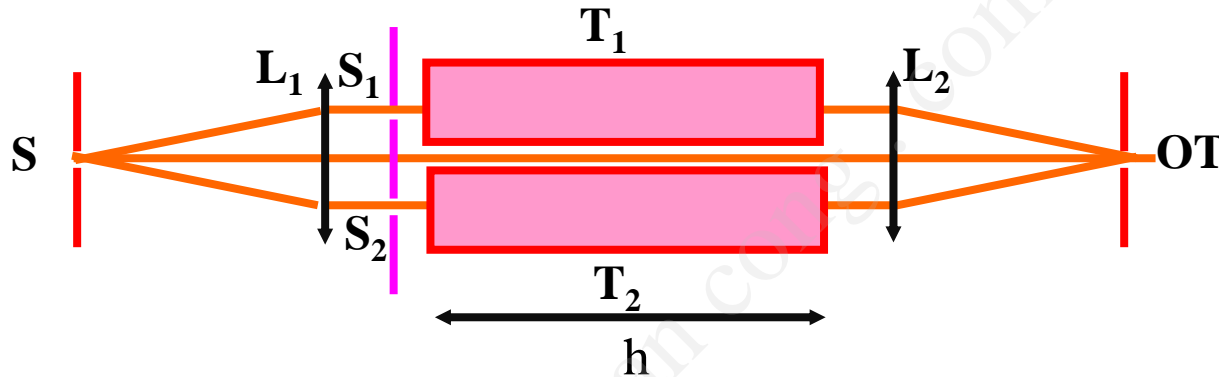
$$\Rightarrow \Delta r = r_9 - r_4 = \sqrt{9\lambda R} - \sqrt{4\lambda R} = \sqrt{\lambda R}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{(\Delta r)^2}{R} = \frac{2^2}{10 \cdot 10^3} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 0,4 \mu\text{m}$$



8.7. GIAO THOA KẾ HAI CHÙM TIA

1. Giao thoa kế Rayleigh



Hiệu quang lộ của hai chùm tia giao thoa:

$$\Delta L = [n - 1]h$$

Quang lộ thay đổi một lượng ΔL hệ vân dịch chuyển một khoảng:

$$x = \frac{h\Delta L}{\ell}$$

Với $\ell = S_1S_2$; $D \approx h$

Khoảng cách giữa hai vân liên tiếp bằng:

$$i = \Delta x = \frac{h}{\ell} \lambda$$

Số khoảng vân đã dịch chuyển:

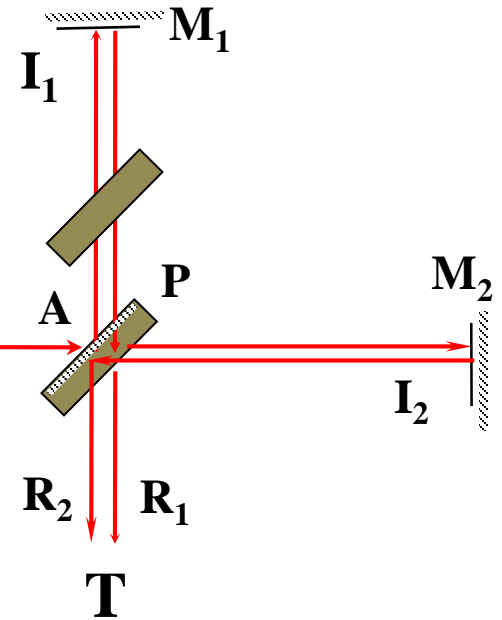
$$p = \frac{x}{\Delta x} = \frac{\Delta L}{\lambda} = (n - 1) \frac{h}{\lambda}$$

Dùng giao thoa kế Rayleigh có thể xác định được độ biến thiên chiết suất rất bé. Thí dụ với $h = 5\text{cm}$, $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, $p = 0,1$ khoảng vân, ta có: $n - 1 = 10^{-6}$ tức là đo được độ biến thiên rất bé.

2. Giao thoa kế Michelson

Khi dịch chuyển một gương song song với chính nó dọc theo tia sáng một đoạn $\lambda/2$ thì hiệu quang lộ của hai tia này thay đổi là λ và hệ thống vân dịch chuyển một khoảng vân.

Nguồn sáng S

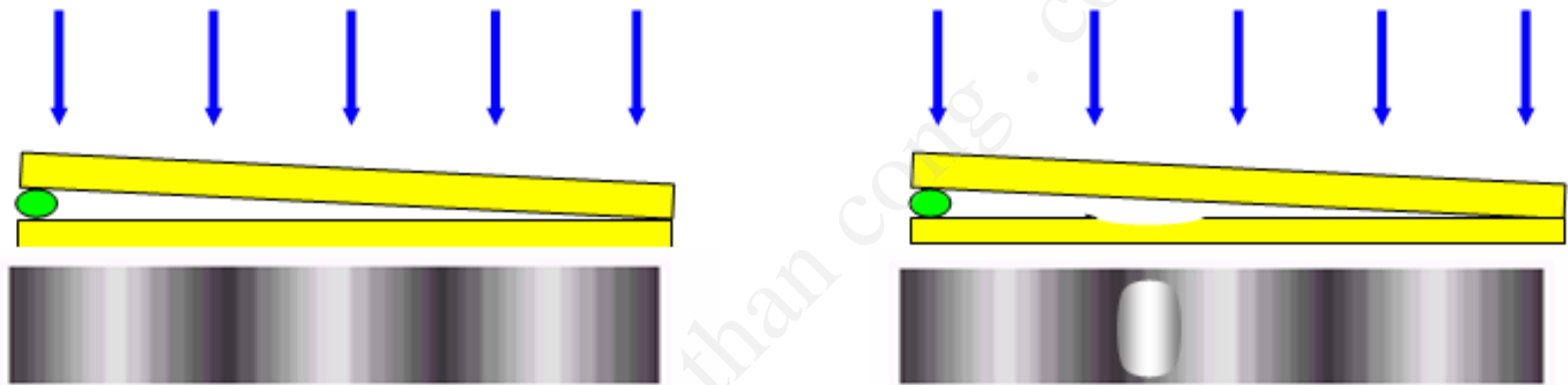


Giao thoa kế Michelson dùng để đo chiều dài với độ chính xác rất cao

Dịch chuyển gương từ đầu này sang đầu kia của vật và đếm số vân dịch chuyển. Nếu hệ thống vân dịch chuyển đi m khoảng vân thì chiều dài vật cần đo là: $m\lambda/2$.

8.8. NHỮNG ỨNG DỤNG CỦA HTGT HAI CHÙM TIA

1. Kiểm tra phẩm chất các mặt quang học



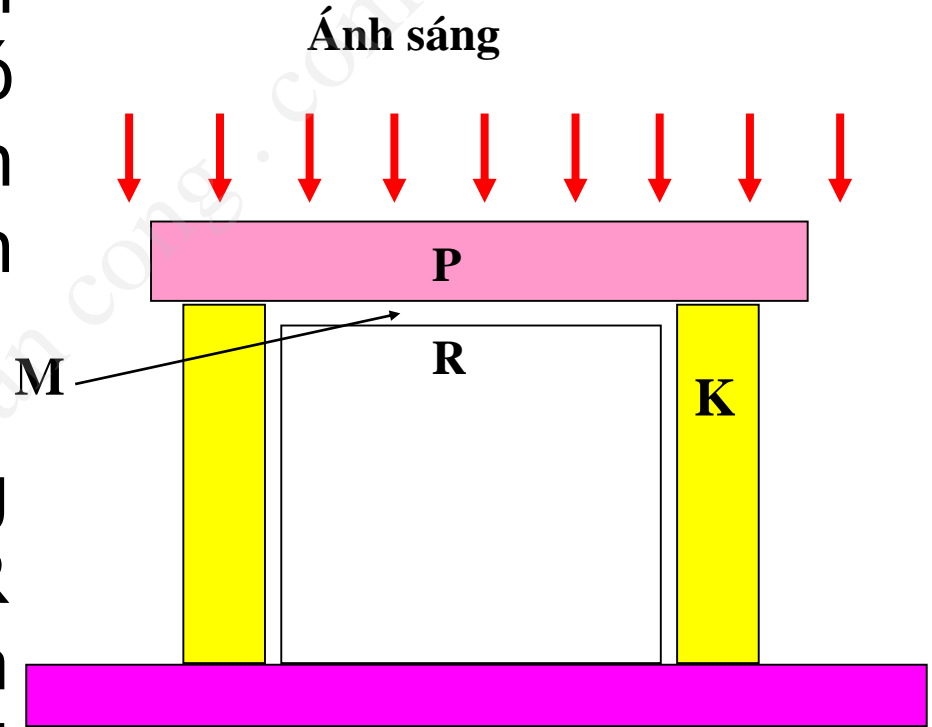
Hình 8.21

Khi kiểm tra mặt phẳng chỉ cần đặt mẫu chuẩn trên mặt cần thử sao cho giữa chúng tạo thành một nêm không khí mỏng. Nếu mặt cần kiểm tra phẳng lì, thì phải quan sát những vân thẳng song song với cạnh nêm. Một vết xước hay chỗ gồ ghề trên mặt của mẫu cần kiểm tra sẽ làm cho vân giao thoa ứng với chỗ đó cong queo đi.

2. Đo độ biến thiên nhỏ của chiều dày

Nở kế hiện đại nhất gồm có một vòng K bằng thạch anh đúc (tính chất nhiệt của nó đã biết) trên đó đặt một bản thuỷ tinh mẫu chuẩn P (hình 8.22)

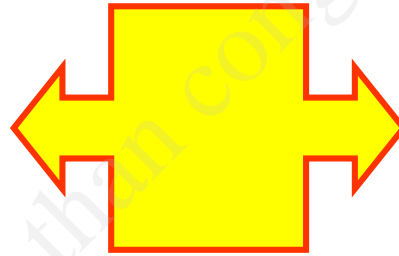
Khi đốt nóng toàn bộ dụng cụ, do hệ số nở của P và R khác nhau mà độ dày của lớp không khí M thay đổi (lớp không khí thường có dạng nêm), làm cho hệ vân dịch chuyển.



Hình 8.22

3. Những ứng dụng khác:

* xác định chính xác các góc rất bé giữa các mặt phẳng.



* xác định bước sóng ánh sáng để làm đơn vị đo độ dài với độ chính xác tới 10^{-9} m.