

Chương 7 : Giao thoa ánh sáng.

I. Tổng quát về sóng giao thoa ánh sáng .

1) Sóng chong chát hai sóng ánh sáng .

Khi công ñoả của sóng ánh sáng , do sóng chong chát của hai hay nhiều sóng , không bằng tổng công ñoả của từng sóng , ta gọi là hiện tượng giao thoa ánh sáng .

Khai sát hai nguồn ñiểm S_1 và S_2 , chúng phát ra các ñoan sóng có cùng tần số ν . Sóng truyền tới ñiểm M có biểu thức :

$$S_1(M_1t) = S_{1m} \cos \left[2\pi\nu \left(t - \frac{S_1M}{c} \right) + \varphi_{1 \text{ sup}} + \varphi_1 \right]$$

$$S_2(M_1t) = S_{2m} \cos \left[2\pi\nu \left(t - \frac{S_2M}{c} \right) + \varphi_{2 \text{ sup}} + \varphi_2 \right]$$

Tín hiệu ánh sáng tại M : $S(M_1t) = S_1(M_1t) + S_2(M_1t)$

$$I = K \langle (S_1 + S_2)^2 \rangle = K \langle S_1^2 \rangle + K \langle S_2^2 \rangle + 2K \langle S_1 S_2 \rangle$$

$$K \langle S_1^2 \rangle = \frac{1}{2} K S_{1m}^2 = I_1$$

$$K \langle S_2^2 \rangle = \frac{1}{2} K S_{2m}^2 = I_2$$

$$2K S_{1m} S_{2m} = 4\sqrt{I_1 I_2}$$

$$2K S_1 S_2 = 4\sqrt{I_1 I_2} \cos \left[2\pi\nu \left(t - \frac{S_1M}{c} \right) + \varphi_{1 \text{ sup}} + \varphi_1 \right] \times \cos \left[2\pi\nu \left(t - \frac{S_2M}{c} \right) + \varphi_{2 \text{ sup}} + \varphi_2 \right]$$

$$\varphi_{2 \text{ sup}} + \varphi_2]$$

$$= 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \left[2\pi\nu \left(2t - \frac{S_1M}{c} - \frac{S_2M}{c} \right) + \varphi_{1 \text{ sup}} + \varphi_1 + \varphi_{2 \text{ sup}} + \varphi_2 \right]$$

$$+ 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \left[2\pi\nu \left(\frac{S_2M}{c} - \frac{S_1M}{c} \right) + \varphi_{1 \text{ sup}} + \varphi_1 - \varphi_{2 \text{ sup}} - \varphi_2 \right]$$

$$\Rightarrow I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \langle \cos \varphi(M_1t) \rangle$$

$$\text{với } \varphi(M_1t) = \left[2\pi\nu \left(\frac{S_2M}{c} - \frac{S_1M}{c} \right) + \varphi_{1 \text{ sup}} + \varphi_1 - \varphi_{2 \text{ sup}} - \varphi_2 \right]$$

là ñoả lệch pha tại ñiểm M của sóng S_2 ñối với S_1 .

Hai sóng có ñoả lệch pha phụ thuộc ngẫu nhiên theo thời gian , ñiều gọi là hai sóng không kết hợp $I = I_1 + I_2$

2) Sóng kết hợp :

Giả sử hai nguồn sóng cùng chất tại M xuất phát từ cùng một nguồn sóng được phát ra từ một nguồn S.

$\Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$; $\varphi (M)$ giống nhau không đổi theo thời gian.

Hai sóng nhỏ vậy được gọi là sóng toàn kết hợp (cùng tần số).

Hiệu quang lộ:

$$\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1 + \delta_{\text{sup}}$$

với
$$\delta_{\text{sup}} = \frac{c}{2\pi v} (\varphi_{1\text{sup}} - \varphi_{2\text{sup}})$$

$(SM)_1$ và $(SM)_2$ là quang lộ từ S tới M bởi hai tia 1 và 2

Biên độ pha $\varphi(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta(M)$ không phụ thuộc vào thời gian.

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \delta(M) \right)$$

\Rightarrow hiện tượng giao thoa (ảnh sáng)

Nói với các sóng kết hợp một phần :

$$0 \leq \langle \cos \varphi(M) \rangle \leq \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \delta(M) \right)$$

3) Các vân giao thoa:

- Cường độ sáng cực đại trên các mặt nước các hình bởi

$$\delta(M) = m \lambda_0 \quad m: \text{số nguyên}$$

- Cường độ cực tiểu :

$$\delta(M) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_0$$

- Vị trí giao thoa :

$$p = \frac{\delta}{\lambda_0}$$

Trên màn quan sát ta thấy các vân sáng và vân tối xen kẽ nhau.

Nói với các vân sáng $p = m$

Vân tối
$$p = m + \frac{1}{2}$$

- Độ tương phản :

$$\Gamma = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

4) Các hệ giao thoa .

- a) Chia mặt sóng : hai sóng giao thoa phát ra bởi sự chia một cách hình học mặt sóng của nguồn sơ cấp \Rightarrow hai tia khác nhau từ một nguồn .

b) Chia biên nhiễu: một mặt phản xạ không toàn phần thực hiện sẽ chia về mặt năng lượng tới cùng một tia phát ra bởi nguồn. Hay sóng giao thoa với nhau sau khi đi qua những nhiễu khác nhau.

5) Tính kết hợp của hai giao thoa :

a) Tính kết hợp thời gian .

Ta xét trường hợp nguồn nhiễu S, nơi phát ra những nhiễu sóng với những khoảng thời gian T_c và chiều dài kết hợp l_c tổng cộng

Mỗi nhiễu sóng phát ra từ S bị chia thành hai nhiễu sóng. Chúng đến nhiễu M của trường giao thoa sau khi đi qua các nhiễu (tia) 1 và 2. Do hai tia khác nhau, giữa chúng có nhiễu:

$$\Delta t = \frac{(SM)_2}{c} - \frac{(SM)_1}{c}$$

Nếu có thể quan sát hiện tượng giao thoa, hiệu quang lộ phải nhỏ hơn chiều dài kết hợp :

$$(SM)_2 - (SM)_1 < l_c$$

Ta nói các sóng kết hợp thời gian.

b) Tính kết hợp không gian

Một nguồn sáng gồm tập hợp các nguồn nhiễu không kết hợp với nhau, nhiễu phân bố trên một mặt hoặc trong thể tích nào đó.

Các vân giao thoa nhiễu tạo ra bởi một nguồn sáng có thể bị mờ khi nhiễu của nguồn tăng.

Chiều dài kết hợp không gian là nhiễu rộng góc nhiễu của nguồn khi cho một bức ảnh giao thoa mờ.

6) Giao thoa bằng ánh sáng phản cực .

Nếu ánh sáng phản cực, cần phải tính đến hướng của trường \vec{E} khi khảo sát sóng giao thoa, mô hình vòng hướng của ánh sáng không nhiễu nhiễu giao thoa bất toàn.

II. Giao thoa bằng chia biên nhiễu.

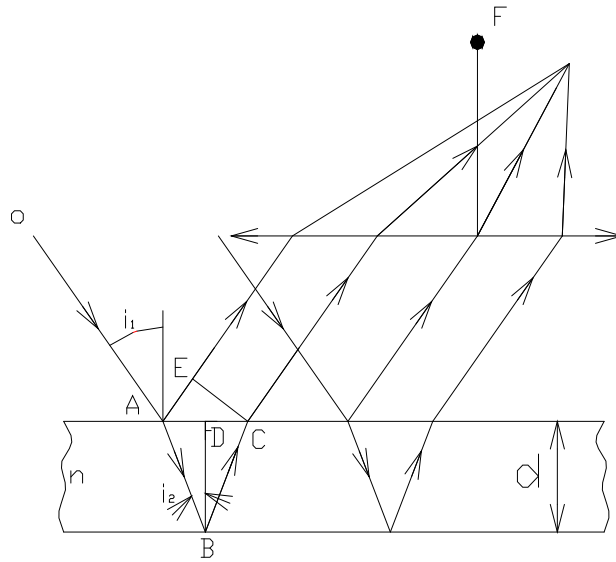
1) Bản mỏng có bề dày không nhiễu :

Xét một bản mỏng có bề dày không nhiễu d , chiết suất n . Rồi sáng bản bằng một nguồn sáng nhiễu. Xét một chùm sóng truyền tới bản với góc tới i_1 . Mỗi tia của chùm khi tới bản sẽ tách làm 2 : một phản nhiễu xạ ở ngay mặt trên, còn một phản nhiễu đi vào bản mỏng và phản nhiễu xạ ở mặt dưới, nhiễu lên trên và nhiễu ra ngoài. Khi ra ngoài không khí hai tia phản nhiễu xạ sóng với nhau. Nếu dùng thấu kính hội tụ hai tia tại M trong mặt phẳng tiêu thì chúng sẽ giao thoa với nhau. Hiệu quang lộ của hai tia:

$$L_1 - L_2 = n(AB + BC) - (AE + \frac{\lambda}{2})$$

$$AE = CE \sin i_1 = 2d \tan i_2 \sin i_1, AB = BC = \frac{d}{\cos i_2}$$

$$L_1 - L_2 = \frac{2nd}{\cos i_2} - 2d \tan i_2 \sin i_1 - \frac{\lambda}{2}$$

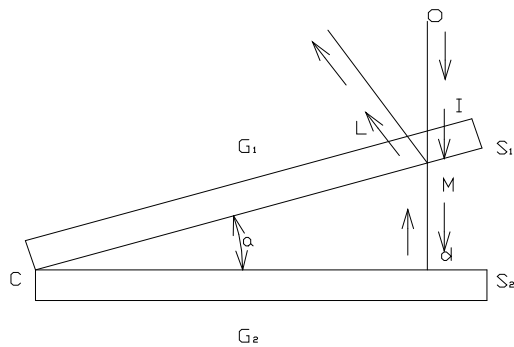


Các chùm sáng có cùng góc tới i_1 sẽ hội tụ tại các điểm nằm trên một đường tròn có tâm tại F \Rightarrow các vân giao thoa là những đường tròn đồng tâm với F gọi là các vân giao thoa cùng độ nghiêng.

2) Ném không khí

Ném không khí là một lớp không khí hình nêm, giới hạn bởi hai bản thủy tinh đặt nghiêng nhau một góc α nhỏ.

Σ_1 và Σ_2 là hai mặt của nêm, giao tuyến của hai mặt này được gọi là cạnh nêm. Rồi một chùm sáng đơn sắc song song vuông góc với mặt Σ_2 . Xét tia OI của chùm. Tia này đi vào bản thủy tinh G_1 nên M nó tách thành hai: một phần phản xạ tại M , còn một phần truyền qua nêm không khí, phản xạ trên mặt Σ_2 , trở về M và đi ra ngoài theo đường MIO .



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

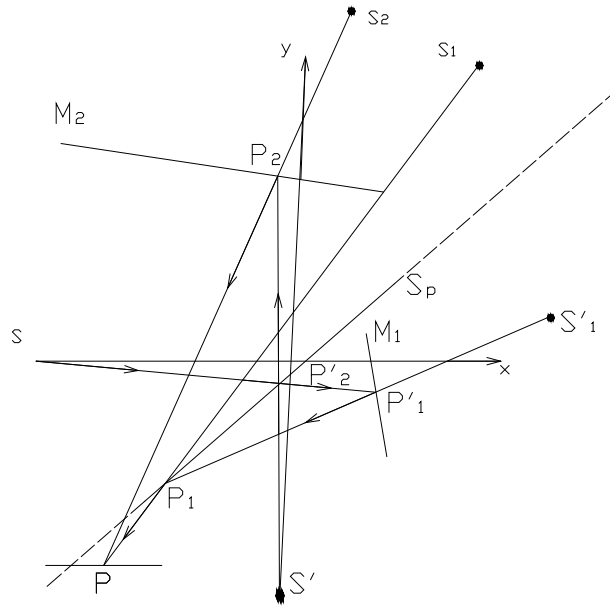
Các vân giao thoa là những vòng thẳng song song với cạnh nêm.

3) Giao thoa khe Michelson :

Giao thoa khe Michelson gồm hai gương (M_1 nối diện với cửa vào và M_2 gần vuông góc với M_1) và một bản phân xạ nữa gọi là bản chia song hợp với các gương góc $\frac{\pi}{4}$.

Một chùm tia khi đi vào máy , bị chia làm hai và chiếu ra khỏi máy sau khi đi qua những khoảng không khác nhau .

Nhờ thế, ta có thể quan sát sô giao thoa bằng cách chia biên nữa.

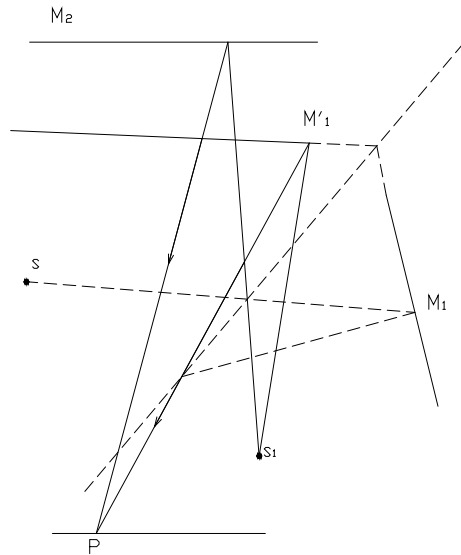


Song từ nguồn điếm S và đi ra khỏi giao thoa khe sau khi đi qua những 1 gương nhờ song phát ra bởi nguồn điếm tại S_1 .

Song đi qua những 2 gương nhờ song phát ra bởi nguồn điếm tại S_2 .

Quang lộ: $(SP)_1 = (S_1P)$ và $(SP)_2 = (S_2P)$

□ Số nhiễu không đồng :



Giao thoa kế Michelson tổng hợp với một bản mỏng không khí giới hạn giữa hai bề mặt phản xạ M_2 và M_1' , nối với M_1 qua bản chia sóng.

- Nếu M_2 và M_1' song song: bản mỏng với các mặt song song. Có một bề mặt khi quay quanh một trục nào đó vuông góc với M_2 .
- Nếu M_2 và M_1' không song song: nêm không khí.

III. Giao thoa kế Michelson với "trạng thái" bản mỏng không khí với các mặt song song.

Hiệu quang lộ:

$$\delta = 2e \cos i$$

Với e là bề dày của bản mỏng.

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right) \quad \text{với } \delta = S_2P - S_1P$$

Các mặt phẳng có dạng là hai hyperboloids tròn xoay quay quanh trục là đường nối S_1 và S_2 .

Nếu với một nguồn điểm, các vân tròn đồng tâm sáng, giao thoa không nhìn thấy.

Nếu với nguồn sáng rộng, các vân sáng và tối đồng phân bố đều khoảng cách lớn, hoặc trong mặt phẳng tiêu của thấu kính thì vân mờ. Giao thoa nhìn thấy ở vị trí khác.

- Vân có cùng nồng độ

Vân bậc p tổng hợp với góc nghiêng i : $\cos i = \frac{p\lambda}{2e}$

$$\delta = p\lambda = 2e \cos i$$

Với bề dày e , các giao thoa cực nằm ở tâm của các vân tròn ($i=0$)

$$p_0 = \frac{2e}{\lambda}$$

ρ_p : bán kính của vân tròn bậc p

$\rho_p = f i_p$ với f' là tiêu cự của thấu kính hội tụ

$$\cos i_p \approx 1 - \frac{i_p^2}{2} = \frac{p\lambda}{2e} = \frac{p}{p_0} \Rightarrow i_p = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{p_0}}$$

Bán kính của vân tròn thứ k :

$$\rho_k = f' \sqrt{\frac{2k}{p_0}} = \rho_1 \sqrt{k}$$

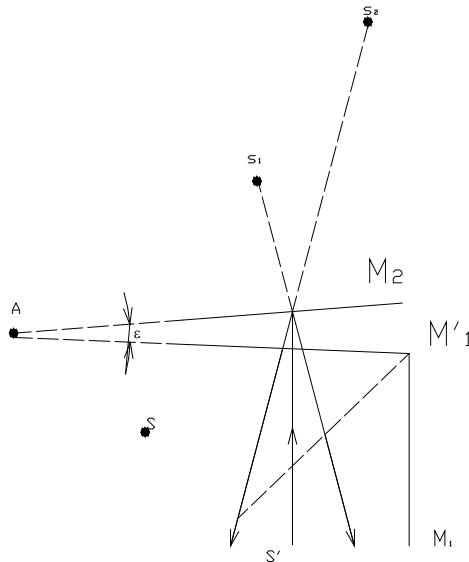
ρ_1 là bán kính của vân tròn thứ nhất

$$\rho_1 = f' \sqrt{\frac{2}{p_0}}$$

IV. Giao thoa kế Michelson ở trạng thái " nằm không khí .

1) Chiều sáng bằng một nguồn điểm .

a) Nguồn điểm ở khoảng cách hữu hạn .



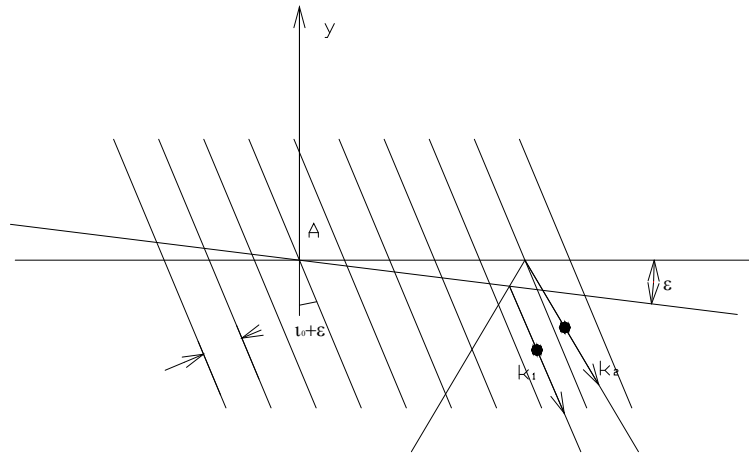
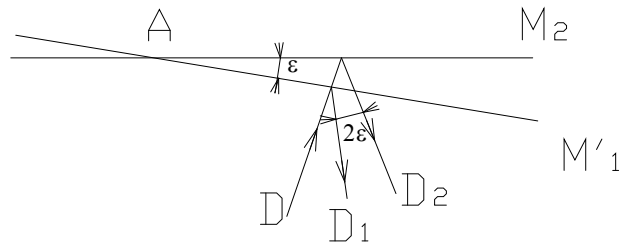
Góc ϵ giữa gương thứ M_2 và gương ảnh M_1' luôn luôn rất nhỏ. Các mặt phẳng cộng nhò là các hyperboloides tròn xoay mà tiêu điểm là các nguồn thòicập S_1 và S_2 . Giao của các hyperboloids này với màn quan sát một cách gần nhòing nhòan thẳng song song với cánh nhòim .

Các vân giao thoa tồn tại khắp nhòim trong trường giao thoa với cùng nhòitổng phòin . Chúng không nhòinh xòim .

b) Nguồn nhòim ở vô còic .

Sòing phòin ra từ một nguồn nhòim ở vô còic là một sòing phòin ; gòic gòim hai gòim M_2 và M_1' bằng ϵ , sòing phòin này sẽ cho hai sòing phòin với gòic gòim các phòim của chúng bằng 2ϵ .

Các mặt phẳng song song là các mặt phẳng song song, khoảng cách giữa hai mặt phẳng song song
 là $\frac{\lambda}{2\epsilon}$



$$\vec{r} = A\vec{P}$$

\vec{k}_1 và \vec{k}_2 là các vectơ sóng của hai sóng phản xạ từ M_2 và M'_1 .

Biên độ của hai sóng giao thoa tại P:

$$\begin{aligned} \varphi(P) &= (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} + \varphi_0 \\ &= (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} \end{aligned}$$

$\varphi_0 = 0$, vì các sóng này đồng pha tại A

Các mặt phẳng có cùng pha, trên nó $\varphi = \cos t$, là các mặt phẳng vuông góc với vectơ $(\vec{k}_2 - \vec{k}_1)$.

Xét trường hợp mặt phẳng tới vuông góc với cạnh nêm. Chọn trục Ax nằm trên M_1' , tia tới với góc tới i_0 trên M_1'

$$\vec{r} = (x, y); \quad \vec{k}_1 = (k \sin i_0, -k \cos i_0); \quad \vec{k}_2 = (k \sin(i_0 + 2\varepsilon), -k \cos(i_0 + 2\varepsilon))$$

$$\Rightarrow (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \sin \varepsilon (x \cos(i_0 + \varepsilon) + y \sin(i_0 + \varepsilon))$$

Phương trình của các mặt có cùng pha có thể viết là:

$$\varphi(P) = (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} = 2p\pi$$

$$\Rightarrow x \cos(i_0 + \varepsilon) + y \sin(i_0 + \varepsilon) = p \frac{\lambda}{2\varepsilon}$$

\Rightarrow hai các mặt phẳng cách đều nhau, khoảng cách giữa hai mặt kế nhau là $\frac{\lambda}{2\varepsilon}$, mặt phẳng $p=0$ đi qua cạnh nêm.

2) Chiều sáng bằng một nguồn rộng ô vuông

Nếu muốn có những vân tổng phản xạ, cần phải có mặt lồi lại gần khi ta môi trường dài nguồn sáng.

Nếu nguồn sáng rộng, các vân giao thoa nhiễu xạ trên một mặt ô vuông ảnh của các sóng.

Giải thích môi trường khe của nguồn trong mặt phẳng vuông góc với cạnh nêm. Các sóng phẳng xuất phát từ những điểm khác nhau của nguồn, nên sóng M_1' dưới những góc tới i trong khoảng $i_0 - \frac{\lambda}{2}$ và $i_0 + \frac{\lambda}{2}$

Các mặt phẳng có cùng pha cách nhau $\frac{\lambda}{2\varepsilon}$ và mặt phẳng có các giao thoa bằng 0 đi qua cạnh nêm. Phương của chúng nghiêng một góc $i + \varepsilon$, phụ thuộc vào i .

Mặt phẳng nhiễu xạ đi qua cạnh nêm và rất gần các sóng.

$$I = 2 I_0 \left\{ 1 + \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} 2\varepsilon (x \cos(i + \varepsilon) + y \sin(i + \varepsilon)) \right] \right\}$$

Nếu ít phụ thuộc vào góc tới i : $\frac{\partial I}{\partial i} \Big|_{i=i_0} = 0$ tại lân cận i_0 .

$$\Rightarrow -x \sin(i_0 + \varepsilon) + y \cos(i_0 + \varepsilon) = 0$$

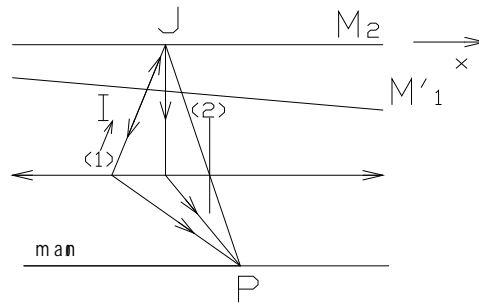
Đây là phương trình của mặt phẳng đi qua cạnh nêm và vuông góc với phương của các mặt phẳng giao thoa.

Với một nguồn rất rộng, nhiễu xạ phản xạ trên mặt phẳng nhiễu xạ ô vuông 1 với hiệu quang lộ nhỏ, tức là M_1' rất gần M_2 và ô vuông cạnh nêm.

- Các tia giao thoa với nhau tại một điểm trên mặt nhiễu xạ, xuất phát từ cùng một tia tới
- Chiều dài kết hợp không gian của giao thoa kế Michelson ở chế độ nhiễu xạ không rõ ràng: số vân quan sát nhiễu xạ phụ thuộc vào góc nhiễu xạ của chùm tia.

3) Các vân cùng màu :

Xem nhô màn quan sát la liên hiệp với M_2 qua một thấu kính . Xét trường hợp các tia tới vuông góc với M_1



$$\delta = IJ + (JP)_2 - (IP)_1 = IJ + (JP)_2 - [(JP)_1 - IJ]$$

$$(JP)_1 = (JP)_2$$

$$\Rightarrow \delta = 2 IJ = 2 e(x)$$

$\Rightarrow \delta$ chă phụ thuộc be đạy $e(x)$ của nếm không khí .

Các nômng thẳng cùng nômng các vân cùng nômng , s ong song với cãnh của nếm không khí .
 Chuông không phụ thuộc vào vị trí của nguồn

Các vân bậc p : $\delta = p\lambda = 2e(x) = 2 \varepsilon x$

$\Rightarrow p = 0$: trên cãnh nếm .

Khoảng cách giữa các vân : $i = \frac{\lambda}{2\varepsilon}$

Khi dịch chuyển gương M_1 mà không thay nômng phômng của nôi

_ Khoảng cách vân không thay nômng và các vân dịch chuyển không bị biến đãng .

_ Vị trí của một vân coi bậc nômng chă phụ thuộc be đạy của nếm không khí , tức la phụ thuộc vào khoảng cách tới cãnh nếm .

V) Tính kết hợp không gian

Khi một hệ giao thoa nômng chiếu sáng bằng một nguồn nếm , sô giao thoa tồn tại trong cấu trúc giao thoa : nômng gọi la giao thoa không nômng xô.

Neu nguồn la nguồn rộng , ta phân biệt hai trường hợp :

_ Nômng phân của các vân giảm ôi mỗi nôi : giao thoa không nômng xô.

_ Nômng phân giảm ôi mỗi nôi , nômng giảm rất ít trên một mặt nômng biệt phụ thuộc vào hệ giao thoa và vào vị trí tômng nômng của nguồn nômng với hệ : giao thoa nômng xô trên mặt nômng xô.

Thước kẻ:

_ Một mặt nhỏ vậy chắt tòn tại ôi hê giao thoa chia biên ñoã.

_ Mặt ñoã ñoãc xac ñinh bôit tãp hõp các ñieãm cat nhau của hay tia loixuat phát từ cùng một tia tõi phát ra từ một ñieãm trung tâm của nguồn .

Nhac lại : chiều dài của tính kết hõp không gian :

+ Hõu hãn ñoã với giao thoa kã Michelson ôi che ñoã ñieãm không khí .

+ Voã hãn ñoã với giao thoa kã Michelson ôi bãn moing .

www.mientayvn.com

- Chúng tôi ã d ch c m t s ch ng c a m t s khóa h c thu c ch ng trình h c li u m c a hai tr ng i h c n i ti ng th gi i MIT và Yale.

- Chi ti t xin xem t i:

- http://mientayvn.com/OCW/MIT/Vat_li.html

- http://mientayvn.com/OCW/YALE/Ki_thuat_y_sinh.html