

Chương VI : GIAO THOA ANH SÁNG

I. Tổng quát về sự giao thoa ánh sáng.

1) Sự chồng chất hai sóng ánh sáng:

Khi có hai hoặc nhiều sóng ánh sáng, do sự chồng chất của hai hay nhiều sóng, không bằng tổng của hai hoặc nhiều sóng, ta gọi là hiện tượng giao thoa ánh sáng.

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

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

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

Tín hiệu ánh sáng tại M:

$$S(M,t) = S_1(M,t) + S_2(M,t)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

là hiệu lệch pha tại điểm M của sóng S_2 đối với S_1 .

Hai sóng có hiệu lệch pha phụ thuộc ngẫu nhiên theo thời gian, nên gọi là hai sóng không kết

hợp: $I = I_1 + I_2$

2) Sóng kết hợp:

Giải thích hai tia sóng chồng chất tại M xuất phát từ cùng một nguồn sóng nên phát ra từ một nguồn S.

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

Hai sóng nhỏ vậy nên gọi là hoàn toàn kết hợp (có cùng tần số).

Hiệu quang lộ:

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

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

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

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

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

⇒ hiện tượng giao thoa (ánh 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 xác định bởi

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

- Cường độ cực tiểu:

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

- Bậc giao thoa:

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

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

Nói với các vân sáng $p = m$

Vân tối $p = m + \frac{1}{2}$

- Nỗ 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 sỏi chia một cách hình học mặt sóng của nguồn sơ cấp ⇒ hai tia khác nhau từ một nguồn.

b) Chia biên độ một mặt phần xạ không toàn phần thể hiện sỏi chia về mặt năng lượng từ cùng một tia phát ra bởi nguồn. Hai sóng giao thoa với nhau sau khi đi qua những rãnh khác nhau.

5) Tính kết hợp của hệ giao thoa:

a) Tính kết hợp thời gian.

Ta xét trường hợp nguồn niêm S, nó phát ra những nơan sóng với những khoảng thời gian τ_c và chiều dài kết hợp l_c tổng ờng.

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

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

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 nằm không kết hợp với nhau, hoặc phân bố trên một mặt hoặc trong thể tích nào đó.

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

Chiều dài kết hợp không gian là nhiễu cực đại của nguồn khi có một bậc ảnh giao thoa mờ.

6) Giao thoa bằng ánh sáng phân cực:

Nếu ánh sáng phân cực, cần phải tính đến hướng của trường \vec{E} khi khảo sát sự giao thoa, mô hình sóng hướng của ánh sáng không nên giải quyết bài toán.

II. Giao thoa bằng chia biên nửa

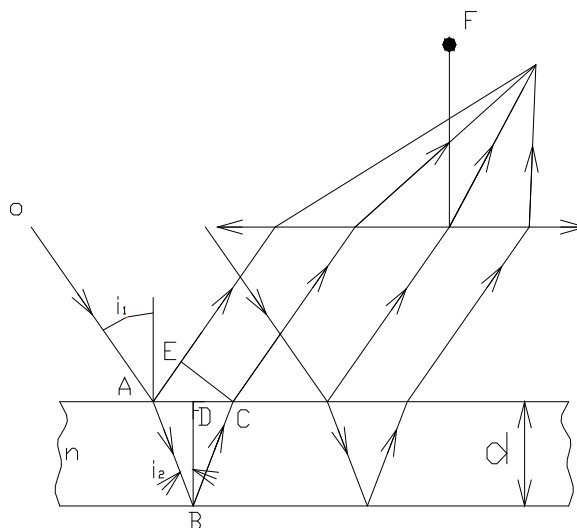
1) Bán kính có bề dày không đều:

Xét một bán kính có bề dày không đều d , chiết suất n . Ray sáng bán bằng một nguồn sáng rộng. Xét một chùm song song truyền tới bán với góc tới i_1 . Một tia của chùm khi tới bán sẽ tách làm 2: một phần phản xạ ở ngay mặt trên, còn một phần đi vào bán mỏng và phản xạ ở mặt dưới, rồi lên trên và ló ra ngoài. Khi ra ngoài không khí hai tia phản xạ song song 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:

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

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

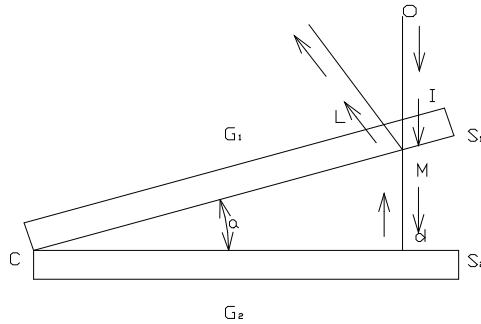
$$L_1 - L_2 = \frac{2nd}{\cos i_2} - 2d \operatorname{tg} i_2 \sin i_1 - \frac{\lambda}{2}$$



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 và được gọi là các vân giao thoa cùng nửa nghiêng.

2) Nằm không khí:

Như trong hình vẽ, hai mặt phẳng song song S_1 và S_2 cách nhau một khoảng d . Một chùm tia sáng đơn sắc song song với trục OI của chùm. Tia này chiếu vào mặt phẳng S_1 tại điểm M và bị phản xạ thành hai tia: một tia phản xạ tại M , còn một tia truyền qua mặt phẳng S_1 , phản xạ trên mặt S_2 , trở về M và đi ra ngoài theo hướng MO .



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

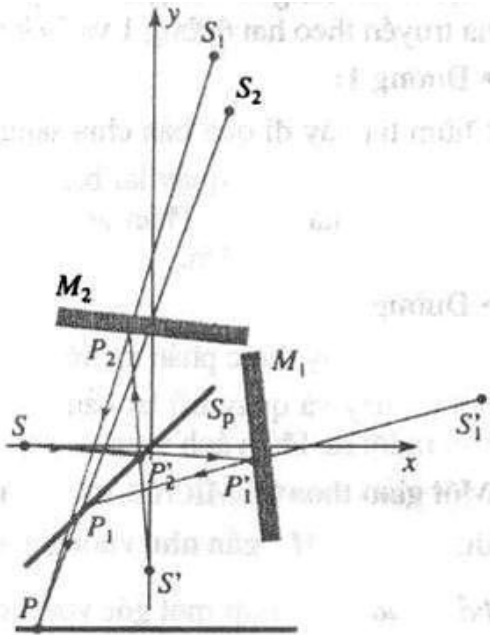
Các vân giao thoa là những vân thẳng song song với cạnh nhòm.

3) Giao thoa khe Michelson:

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

Một chùm tia khi đi vào máy, bị chia làm hai và chúng ra khỏi máy sau khi đi qua những vân nhiễu xạ khác nhau.

Nhờ thế ta có thể quan sát sự giao thoa bằng cách chia biến đổi.



Hình 7. Cách dựng hai tia tới điểm P theo hai đường khác nhau.

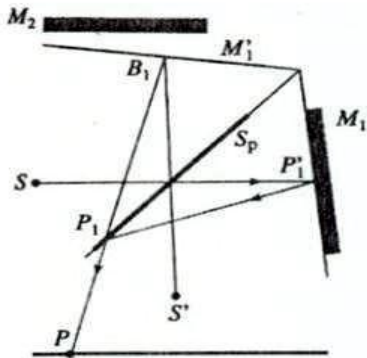
Song từ nguồn điểm S vãi ra khỏi giao thoa kế sau khi đi qua nõõng 1 gương nhỏ song phat ra bởi nguồn ảo ãt tại S_1 .

Song ãi qua nõõng 2 gương nhỏ song phat ra bởi nguồn ảo ãt tại S_2 .

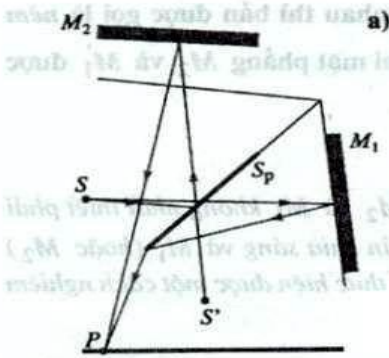
Quang lộ

$$(SP)_1 = (S_1P) \text{ và } (SP)_2 = (S_2P)$$

- Số ão ãõng nõõng :

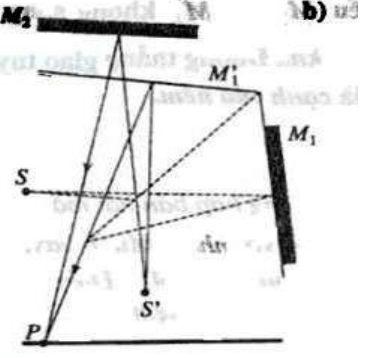


Hình 8. Gương tương đương M_1' : M_1' là hình đối xứng của M_1 qua bản chia sáng.



Hình 9a. Hệ gương thực.

b. Hệ gương tương đương (M_1' là hình đối xứng của M_1 qua bản chia sáng).



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

- 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 vuông góc với M_2 .
- Nếu M_2 và M_1' không song song: nêm không khí.

III. Giao thoa kế Michelson ở " 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 đồng trục 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 trục sẽ sáng, giao thoa không nhìn thấy.

Nếu với nguồn sáng rộng, các vân sáng và tối đồng trục tạo thành các vân thẳng, hoặc trong mặt phẳng tiêu của thấu kính đồng trục cho khác thì vân mờ. Giao thoa không nhìn thấy.

Vân có cùng màu nghiêng

$$\text{Vân bậc } p \text{ đồng trục với góc nghiêng } i: \quad \cos i = \frac{p\lambda}{2e}$$

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

Với bề dày e , các giao thoa cực đại nằm 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 :

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

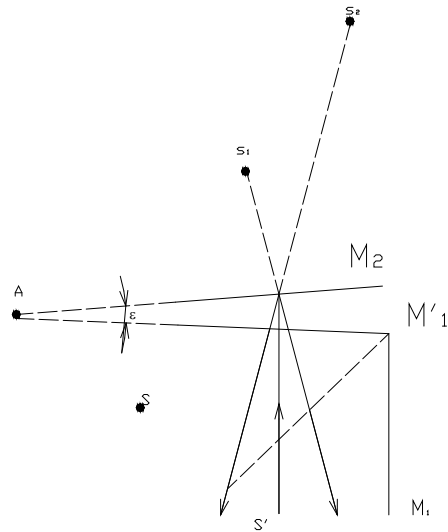
ρ_1 là bán kính của vân tròn thứ nhất

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

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

1) Chiếu sáng bằng một nguồn điểm:

a) Nguồn điểm ở khoảng cách hữu hạn.

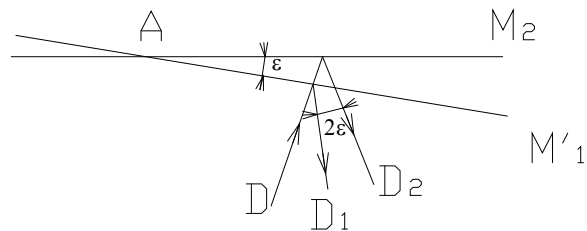


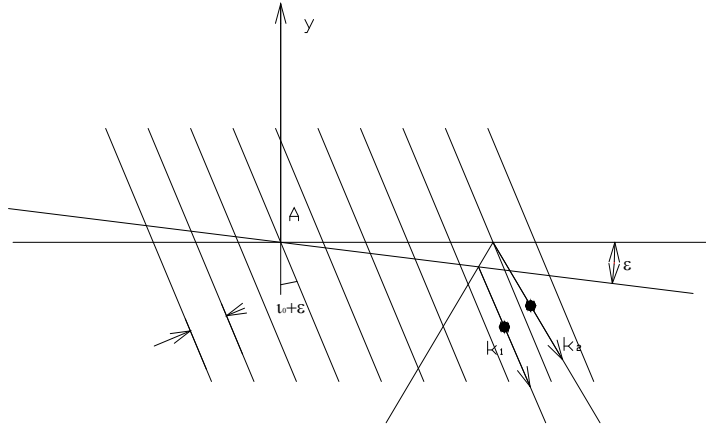
Goic ϵ giữa gông thõc M_2 và gông ảnh M_1' luôn luôn rất nhỏ. Các mặt ñáng cõng ñõ là các hyperboloides tron xoay mà tiõu ñiõm là các nguõn thõc cõp S_1 và S_2 . Giao của các hyperboloids này với màn quan sát một cách gần ñúng là những ñoãn t hãng song song với cãnh ñiõm.

Các vân giao thoa tồn tại khắp ñõ trong trõng giao thoa với cãng ñõ tõng phõn. Chúng không ñiõnh xõu.

b) Nguõn ñiõm õi vò cõc.

Sõng phõn ra tõ một nguõn ñiõm õi vò cõc là một sõng phõng; goic giữa hai gông M_2 và M_1' bằng ϵ , sõng phõng này sẽ cho hai sõng phõng với goic giữa các phõng của chúng bằng 2ϵ . Các mặt ñáng cõng ñõ là các mặt phõng song song, khoảng cách giữa hai mặt ñáng cõng ñõ cãnh nhau là $\frac{\lambda}{2\epsilon}$.





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

\vec{k}_1 và \vec{k}_2 là các vectơ sóng của hai sóng phẳng phản xạ từ M_2 và M_1 .

Điều kiện pha 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 đồng pha trên mỗi $\varphi = \text{const}$, 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

$$\begin{aligned} \vec{r}(x,y); \vec{k}_1(k \sin i_0, -k \cos i_0); \vec{k}_2(k \sin(i_0 + 2\epsilon), -k \cos(i_0 + 2\epsilon)) \\ \Rightarrow (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \cdot \vec{r} = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \sin \epsilon (x \cos(i_0 + \epsilon) + y \sin(i_0 + \epsilon)) \end{aligned}$$

Phương trình của các mặt đồng pha là:

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

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

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

2) Chiều sáng bằng một nguồn rộng ô vuông:

Nếu muốn có những vân đồng pha tốt, cần phải nở màn lại gần khi ta mở rộng dải nguồn sáng.

Nếu nguồn sáng rộng, các vân giao thoa nhỏ hình xoắn 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 sóng nhiễu xạ nhau $\frac{\lambda}{2\varepsilon}$ và mặt phẳng có các giao thoa bằng 0 đi qua cạnh
 trên. Phương của chúng nghiêng một góc $i + \varepsilon$, phụ thuộc vào i .
 Mặt phẳng nhiễu xạ qua cạnh trên 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 .

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

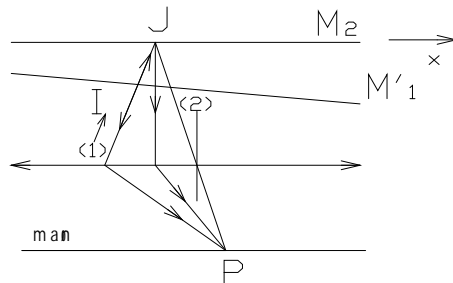
Đây là phương trình của mặt phẳng đi qua cạnh trên và vuông góc với phương của các mặt
 phẳng giao thoa.

Với một nguồn rất rộng, nó tạo thành trên mặt phẳng nhiễu xạ gần 1 nối với hiệu quang
 lộ hoặc tới tại M_1' rất gần M_2 và ở lân cận cạnh trên.

- 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 khí
 là không vô hạn: số vân quan sát được phụ thuộc vào góc mở của chùm tia.

3) Các vân cực nhiễu xạ:

Xem nhò màn quan sát là liên tiếp với M_2 qua một thấu kính. Xét trường hợp các tia tới
 vuông góc với M_1'



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

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

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

$\Rightarrow \delta$ chỉ phụ thuộc bề dày $e(x)$ của tấm nhiễu xạ.

Các nhiễu xạ cường độ nhiễu xạ các vân cực nhiễu xạ, song song với cạnh của tấm nhiễu xạ.
 Chúng không phụ thuộc vào vị trí của nguồn.

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

$\Rightarrow p = 0$: trên cạnh trên.

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

Khi dịch chuyển sóng M_1 mà không thay đổi phương của nó

- Khoảng cách vân không thay đổi và các vân dịch chuyển không bị biến dạng.

