

www.mientayvn.com

www.mientayvn.com

- Dịch tiếng anh chuyên ngành trực tuyến:
http://www.mientayvn.com/dich_tieng_anh_chuyen_nghanh.html
- Học lý luận :
http://www.mientayvn.com/OCW/MIT/Vat_li.html

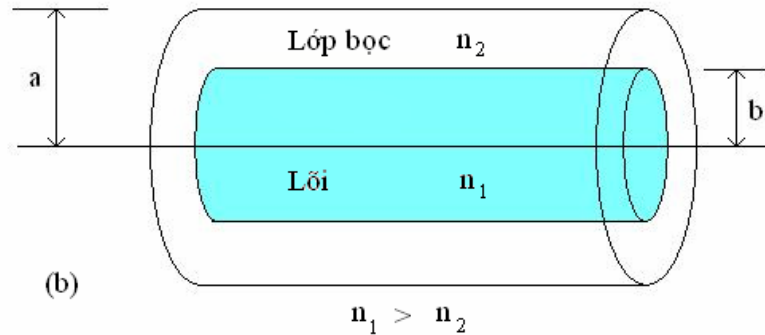
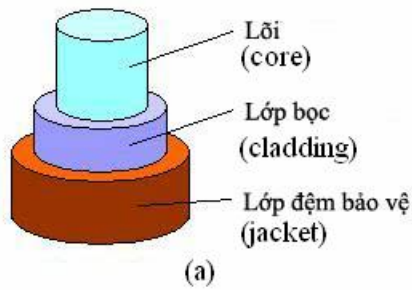
Chương 1:

CUT OS I QUANG VÀ S TRUY N SÓNG TRONG S I QUANG H C

I. C u t o s i q u a n g h c :

S i q u a n g h c là m t l o i n g d n s ó n g i n m ô i m à n ó c ó t h t r u y n n n g l i n g q u a n g h c v à t h o n g t i n . C u t o c a s i q u a n g h c g m m t l o i (c o r e) g i a (h ì n h 1.1) . c ó b á n k í n h là a v i c h i t s u t là n_1 , c b a o q u a n h b i m t l p b c (c l a d d i n g) n g t â m , c ó b á n k í n h là b v i c h i t s u t n_2 n h t h u a m t í t s o v i c h i t s u t c a l o i (c 1 %) .

Hình 1.1a là hình dáng bên ngoài c a s i q u a n g , c ò n h ì n h 1.1b là h ì n h p h ó n g i c h c a l o i v à l p b c c a s i q u a n g .



Hình 1.1 C u t o c a s i quang h c

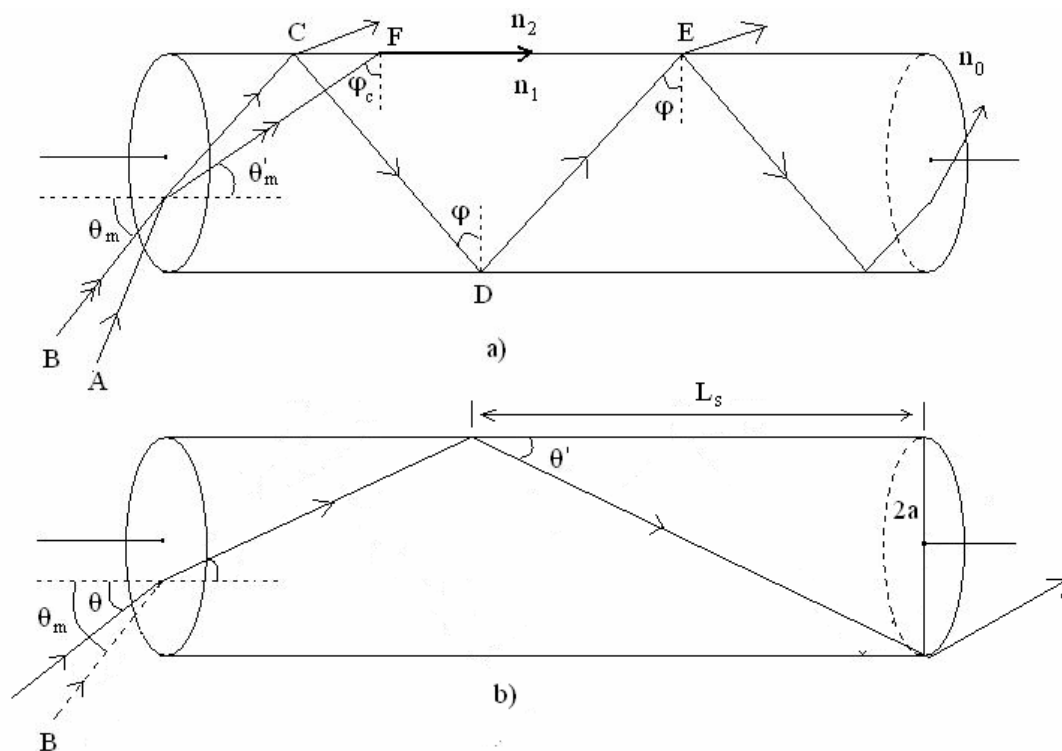
Chi t su t n_1 và n_2 th ã ng n m trong kho ã ng 1,44 ã n 1,46. Ngày nay ng ã i ta ch ã t o s i quang h c ch ã t l ã ng cao b ã ng oxit silic (SiO_2) và pha t p vào ó m t s ã nguyên t v i l ã ng khác nhau ã t o ra các s i quang h c có chi t su t khác nhau tùy theo yêu c u và m c ích s ã ã ng. Các nguyên t th ã ng ãùng pha t p th ã ng là Ti, Ge, Bo,... Bên ngo ài s i quang có có m t ho c hai l p v t li u m (jacket) b o v th ã ng ã làm b ã ng acrylate, ngo ài ra nó có nhi m v s xen l ã n tín hi u gi ã nh ã ng s i quang ã c ã t k c n nhau.

II. S truy n c a ánh sáng trong s i quang theo quan ã i m quang h ãnh h c:

II.1 ã u ki n ph ã n x toàn ph ã n:

Bây gi ã chúng ta s ã kh o sát ph ã ng cách truy n c a ánh sáng trong s i quang h c theo quan ã i m quang h ãnh h c. ãây chúng ta ch ã xét các tia kinh tuy n mà nó c t tr c qua tâm c a s i quang mà thôi.

Xét m t o n ã ng n và th ã ng c a s i quang v i chi t su t n_1, n_2, n_0 tu n t ã là chi t su t c a lõi, l p b c và môi tr ã ng (h ãnh 1.2a).



Hình 1.2 Sự truyền của ánh sáng trong sợi quang

Tia A đi vào mặt bên trái của sợi quang, bị khúc xạ ở đó và truyền lên C trên bề mặt trên của sợi quang mà ở đó một phần ánh sáng bị khúc xạ ra ngoài và một phần bị phản xạ vào bên trong. Tia trong tiếp tục truyền lên D, sau đó lên E và v.v... Sau khi phản xạ nhiều lần tia này sẽ bị mất mát phần lớn năng lượng của nó. Tia A không thể mãi đi xuống khi phản xạ nội toàn phần, tức là nó đi vào bề mặt sợi quang tại các điểm C, D, E... mà góc tới của nó nhỏ hơn góc tới hạn:

$$\phi < \phi_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$$

Tia B đi vào sợi quang với góc θ_m nhỏ hơn so với tia A, sẽ đi vào bề mặt sợi quang tại điểm F theo cách mà tia khúc xạ của nó song song với bề mặt sợi quang. Các tia khác đi vào sợi quang với góc $\theta < \theta_m$ sẽ chỉ bị phản xạ nội toàn phần bề mặt phân cách giữa lõi và lớp bọc của sợi quang. Các tia như thế sẽ truyền đi theo sợi quang bằng nhiều lần phản xạ liên tiếp nhau, không bị mất năng lượng do khúc xạ ra ngoài sợi quang. Tuy nhiên, sẽ mất mát do hấp thụ thì không thể tránh khỏi, nó phụ thuộc vào trong suốt của vật liệu của sợi quang đi và ánh sáng sử dụng.

II.2 Khung :

Mặt trong nhúng thông số quan trọng của sợi quang là khúc xạ. Nó góp phần không nhỏ trong việc xác định tính chất của sợi quang học.

II.2.1 Nhận xét:

Khúc xạ là sin của mặt nghiêng của hình nón liên hệ tới các tia kinh tuyến mà chúng có thể đi vào hay đi ra khi mặt nghiêng có mặt yếu tố quang học nhân với chỉ số môi trường truyền của hình nón đó.

Như vậy, trong trường hợp sợi quang học mà ta đang xét, thì khúc xạ (Numerical Aperture - NA) là:

$$NA = n_0 \sin \theta_m \quad (1.1)$$

Trong hình 1.2b ta thấy rằng tia B xác định mặt nghiêng của hình nón tròn xoay của các tia mà tất cả chúng đều thỏa mãn điều kiện phản xạ toàn phần trong sợi quang. Điều này có nghĩa là khúc xạ của sợi quang bằng giá trị lớn nhất trong mặt hình nón thu nhận (hình 1.2b), mà tất cả các tia trong hình nón này đều phản xạ toàn phần khi đi vào sợi quang. Góc cực đại θ_m của hình nón có liên hệ mật thiết với góc tới hạn φ_c .

II.2.2 Biện luận khúc xạ:

Tìm tia vào (hình 1.2b) ta có:

$$n_0 \sin \theta_m = n_1 \sin \theta'_m$$

Trong hình 1.2a ta nhận thấy rằng:

$$\theta'_m = 90^\circ - \varphi_c$$

Do đó:

$$n_0 \sin \theta_m = n_1 \cos \varphi_c \quad (1.2)$$

Và từ định luật Snell ta có:

$$\sin \varphi_c = n_2 / n_1 \quad (1.3)$$

Thay (1.2) vào (1.1) và sử dụng (1.3) ta có:

$$NA = n_0 \sin \theta_m = n_1 \cos \varphi_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.4)$$

$$t: \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1.5)$$

Δ là s chênh l ch chi t su t t i.

Vì thông th ng $n_1 \approx n_2$ cho nên $\Delta \ll 1$ (i u ki n d n sóng y u¹). T (1.4) và 1.5) suy ra:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (1.6)$$

N u $n_0 = 1$ (t c là ánh sán truy n t môi tr ng không khí vào s i quang), thì kh u s n gi n là sin n a góc c a hình nón l n nh t c a tia kinh tuy n (t c là tia ng đi n v i s quang) mà nó truy n qua s i quang b i m t chu i ph n x to àn ph n. Rõ ràng là NA không th l n h n l tr phi n_0 l n h n l. Kh n ng thu nh n ánh sán sán c a s i quang t ng theo kh u s NA.

Nh v y, kh u s NA là s o kh n ng thu nh n ánh sán c a s i quang. Giá tr c a kh u s tùy thu c vào lo i s i quang, th ng n m trong kho ng t 0,1 n 0,5.

M t cách n gi n và g n úng o kh u NA c a m t s i quang là o kích th c v t sán tròn c t o ra trên màn b i s i quang khi c chi u ánh sán vào (hình 1.3).

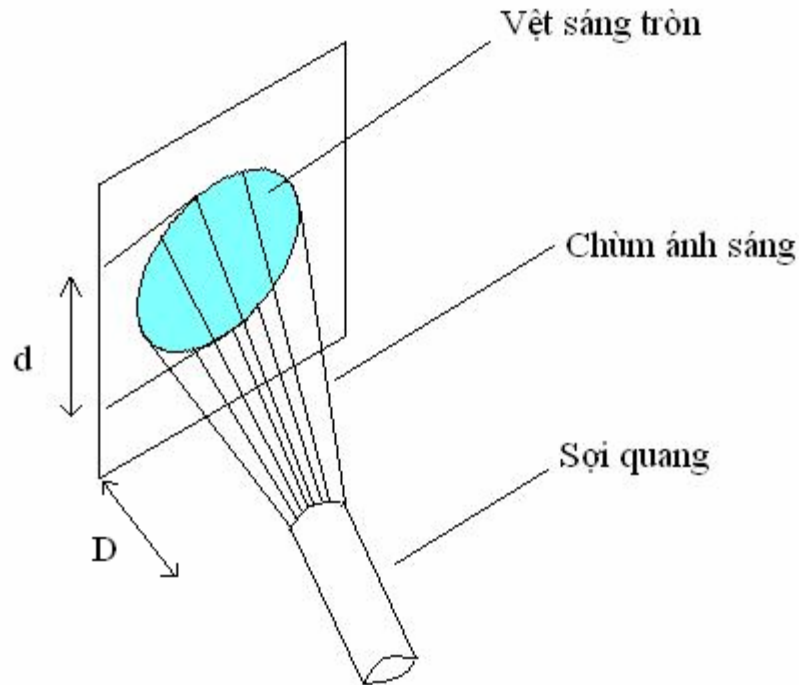
Màn E c t vuông góc v i tr c quang h c c a s i quang. Kh u s c tính theo công th c:

$$NA = \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4D^2}} \quad (1.7)$$

Trong ó, d là ng kính c a v t sán tròn, D là kho ng cách t m t c t c a s i quang n màng. N u $d/2D$ nh h n 0,25 thì m t cách g n úng có th vi t (1.7) l i nh sau:

$$NA = \frac{d}{2D} \quad (1.8)$$

¹ S khác nhau gi a chi t su t l i và chi t su t l p b c là nh , thông th ng nh h n 1%.



Hình 1.3 B trí o kh u s

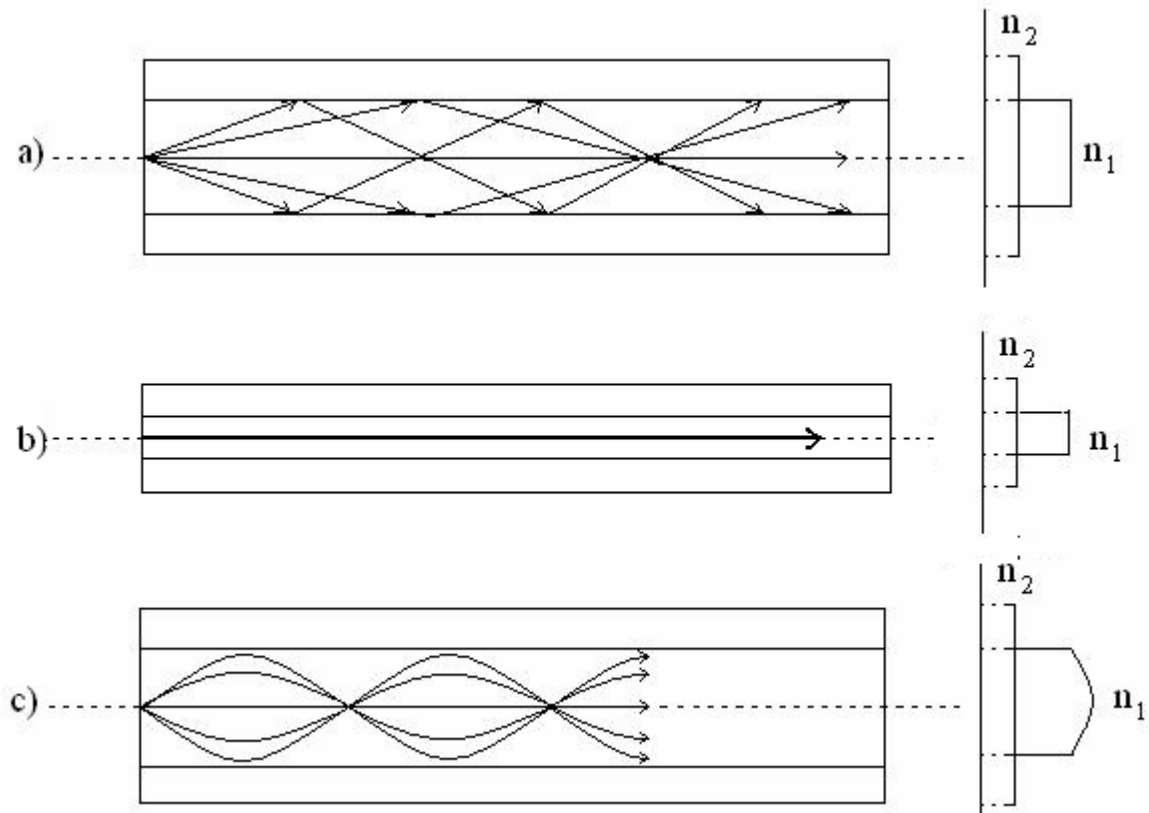
Trong th c nghi m có th o kh u s b ng hai ph ng pháp: ph ng pháp g n úng nh v a mô t trên và ph ng pháp o b ng n ng l ng. Ph ng pháp sau chính xác nhi u h n ph ng pháp tr c.

II.3 Phân lo i s i quang:

Hai lo i s i quang c b n mà hi n nay s d ng nhi u nh t là: s i quang có chi t su t nh y b c SI (step – index) và s i quang có chi t su t thay i liên t c GRIN (graded – index).

II.3.1 S i quang có chi t su t nh y b c SI:

Các lõi c a s i quang kh o sát trên c gi s là ng nh t v i chi t su t c a lõi n_1 là h ng s . Ánh sáng truy n qua chúng do s ph n x n i toàn ph n nhi u l n (hình 1.4a). S i quang nh th g i là s i quang có chi t su t nh y b c vì nh ã n i trên, chi t su t c a chúng thay i t ng t gi a lõi và l p b c. S i quang SI g m có 2 lo i: a mode và n mode. S i quang a mode (hình 1.4a) là lo i s i quang mà nó cho phép nhi u mode (hay các ph ng c a tia) có th truy n qua nó.



Hình 1.4 Phân lo i s quang

Còn s i quang n mode là lo i s i quang có ng kính lõi r t nh ($t = 1,5 - 10 \mu\text{m}$), chúng ch cho phép duy nh t m t mode i vào s i quang t i b c sóng ho t ng mà thôi (hình 1.4b). Lo i s i quang n mode có suy gi m n ng l ng truy n (dB/km) r t th p, t c truy n nhanh do không b nh h ng do hi u ng tán s c mode (s c c p ph n sau) và d ãy t n c a nó ho t ng σ_f r t r ng (hàng tr m GHz) r t phù h p cho thông tin liên l c vi n thông, m c dù h i khó s d ng vì kích th c c a nó khá nh .

II.3.2 S i quang có chi t su t lõi thay i liên t c GRIN

M t trong nh ng khó kh n liên quan n vi c truy n sóng trong s i quang a mode là s khác nhau v v n t c nhóm c a các mode. i u này s t o nên s khác nhau v th i gian truy n, do ó các xung ánh sáng s b m r ng khi chúng truy n qua s i quang. Hi u ng này g i là tán s c mode. Nó gi i h n t c mà các xung lân c n có th c truy n mà không ch ng ph lên nhau.

Tán s c mode có th c gi m thi u n u ta s d ng s i quang mà chi t su t gi m liên t c t trung tâm c a lõi ra ngoài nh là m t hàm theo bán kính r. S i

quang nh th c g i là s i quang có chi t su t thay i liên t c GRIN (hình 1.4c). Trong th c t hàm này có d ng:

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha \Delta} \quad 0 \leq r \leq a \quad (1.11)$$

Trong ó $\alpha = \Delta/a^2$, $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$ và $n_1 = [n(r)]_{\max}$. Thông s α c ch n sao cho s tán s c mode là nh nh t.

$\alpha = 1$: ng bi u di n chi t su t có d ng tam giác.

$\alpha = 2$: ng bi u di n chi t su t có d ng parabol.

$\alpha = \infty$: s i quang có chi t su t d ng nh y b c SI.

Trong s i quang GRIN này, v n t c nhóm s t ng theo kho ng cách t trong tâm lõi do chi t su t gi m t trong ra ngoài. M c dù các tia có nghiêng l n so v i tr c s i quang, ph i i m t qu ng ng xa h n nh ng chúng truy n nhanh h n. Do ó, th i gian truy n c a các tia khác nhau là nh nhau.

Trong h u h t các s i quang s d ng trong thông tin liên l c u có $\alpha = 2$ (hình 1.4c) b i vì nó có th làm gi m thi u t i a s nh h ng do s tán s c mode. Do ó, n u ta s d ng s i quang GRIN ch t l ng xung truy n và v n t c truy n xung s c c i thi n r t nhi u so v i khi s d ng s i quang SI.

S i quang có ng kính lõi thay i t 50 – 100 μm , d s d ng, r t phù h p cho công tác thông tin liên l c do chúng có d ỹ t n ho t ng σ_f trung bình (c vài GHz) và suy gi m nói chung là khá th p.

III. S truy n sóng trong s i quang theo quan i m sóng i n t

III.1 S phân b tr ng theo không gian

Bây gi chúng ta s kh o sát s truy n c a sóng i n t trong s i quang SI theo thuy t i n t . M c ích c a chúng ta là xác nh tr ng i n và t c a các sóng d n mà nó th a mãn các ph ng trình Maxwell và i u ki n biên c a lõi và l p b c.

M i thành ph n c a i n tr ng và t tr ng ph i th a mãn ph ng trình Helmholtz:

$$\nabla^2 U + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (1.12)$$

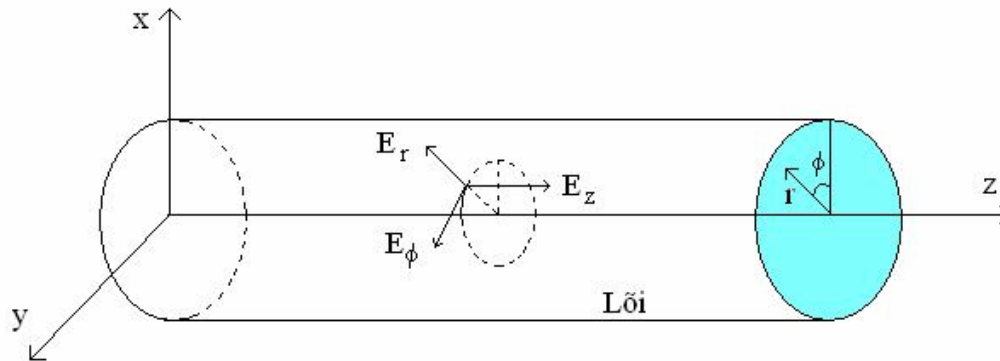
Trong ó $n = n_1$ trong lõi ($r < a$)

$n = n_2$ trong lớp vỏ ($r > a$)

và $k_0 = 2\pi/\lambda_0$

Trong tọa độ trụ (hình 1.5), phương trình Helmholtz có dạng:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (1.13)$$



Hình 1.5 Hình tọa độ trụ

Chúng ta chỉ quan tâm đến dạng nghiệm mà sóng truyền theo phương z với hằng số truyền là β và do đó U sẽ có dạng $e^{-j\beta z}$. Ngoài ra, U phải là một hàm tuần hoàn theo góc ϕ với chu kỳ là 2π . Ta giả sử rằng sự phụ thuộc của U vào ϕ là iu hòa, nghĩa là U có dạng $e^{-jl\phi}$, trong đó l là số nguyên.

Ta thay $U(r, \phi, z) = u(r) e^{-j\beta z} e^{-jl\phi}$ với $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ vào (1.13), ta có:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} \left(n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0 \quad (1.14)$$

Chúng ta biết rằng sóng sẽ có dẫn (hay liên kết) nếu hằng số truyền β nhỏ hơn hằng số sóng trong lõi, tức là $\beta < n_1 k_0$ và lớn hơn hằng số sóng trong lớp vỏ, tức là $\beta > n_2 k_0$. Chúng ta viết:

$$\begin{aligned} k_T^2 &= n_1^2 k_0^2 - \beta^2 \\ \gamma^2 &= \beta^2 - n_2^2 k_0^2 \end{aligned} \quad (1.15a) \quad (1.15b)$$

Sóng có truyền trong sợi quang thì k_T^2 và γ^2 phải dương và do đó k_T và γ là thực. Phương trình (1.14) có thể tách ra làm 2 phần, một phần cho lõi, một phần cho lớp vỏ, như sau:

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} \left(k_T^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r < a \text{ (lõi)} \quad (1.16a)$$

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} \left(\gamma^2 - \frac{l^2}{r^2} \right) u = 0, \quad r > a \text{ (lớp vỏ)} \quad (1.16b)$$

Các phương trình (1.16a) và (1.16b) là các phương trình vi phân quen thuộc mà nghiệm của chúng là các hàm Bessel. Ngoài trừ các hàm $\rightarrow \infty$ tại $r = 0$ trong lõi, hay khi $r \rightarrow \infty$ trong lớp vỏ, chúng ta thu được các nghiệm liên tục như sau:

$$u(r) \propto \begin{cases} J_l(k_T r), & r < a \\ K_l(\gamma r), & r > a \end{cases} \quad (1.17)$$

Trong đó, $J_l(x)$ là hàm Bessel loại 1, bậc l và $K_l(x)$ là hàm Bessel biến đổi loại 2, bậc l . Hàm $J_l(x)$ dao động như hàm sin hay cos với biên độ giảm dần. Trong trường hợp $x \gg 1$, ta có:

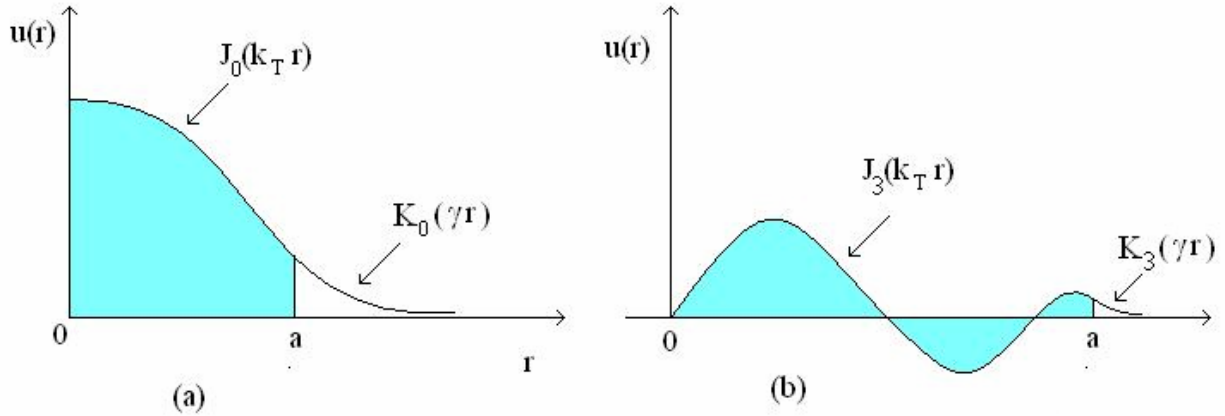
$$J_l(x) \approx \left(\frac{2}{\pi x} \right)^{1/2} \cos \left[x - \left(1 + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{2} \right], \quad x \gg 1 \quad (1.18a)$$

Và $K_l(x)$ giảm theo dạng hàm mũ khi x tăng:

$$K_l(x) \approx \left(\frac{2}{\pi x} \right)^{1/2} \left(1 + \frac{4l^2 - 1}{8x} \right) e^{-x}, \quad x \gg 1 \quad (1.18b)$$

Hình 1.6 là hai ví dụ về sự phân bố theo bán kính của hàm $u(r)$ cho bởi (1.17). Hình 1.6a ứng với $l = 0$, hình 1.6b ứng với $l = 3$. Vùng màu là lõi của sợi quang, vùng trắng là lớp vỏ.

Các thông số k_T , γ và 2 hằng số l trong (1.17) được chọn sao cho $u(r)$ và đạo hàm của nó liên tục biên $r = a$.



Hình 1.6 S phân b hàm u theo r

Hai thông số k_T, γ xác định các thay thế của $u(r)$ trong lõi và trong lớp bọc. k_T càng lớn thì sự phân bố theo bán kính dao động càng nhanh trong lõi. γ càng lớn thì sự suy giảm càng nhanh và sự xuyên thấu của sóng vào lớp bọc càng nhỏ. Từ (1.15a) và (1.15b) suy ra:

$$k_T^2 + \gamma^2 = (n_1^2 - n_2^2)k_0^2 = NA^2 \cdot k_0^2 \quad (1.19)$$

Từ (1.19) ta thấy rằng nếu k_T tăng và γ giảm thì thì trường sóng xuyên thấu vào lớp bọc sâu hơn. Khi k_T vượt quá $NA \cdot k_0$ thì γ là số ảo và sóng sẽ không còn liên kết với lõi nữa.

III.2 Thông số V

Ta đặt:

$$X = k_T a \quad \text{và} \quad Y = \gamma a \quad (1.20)$$

X, Y các giá trị là các thông số chuẩn hóa. Kết hợp (1.20) với (1.19) ta có:

$$X^2 + Y^2 = V^2$$

Trong đó, $V = NA k_0$, hay:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (1.21)$$

V là thông số rất quan trọng, nó xác định số mode và hình dạng truyền của sóng quang. Nó cũng là thông số sóng quang hay thông số V . Ta cần ghi nhớ rằng sóng cđn trong sóng quang thì X phải nhỏ hơn V .

III.3 Phương trình đặc trưng

Hàm $u(r)$ liên tục và có đạo hàm liên tục tại $r = a$ như :

$$\frac{k_T a J_1'(k_T a)}{J_1(k_T a)} = \frac{(\gamma a) K_1'(\gamma a)}{K_1(\gamma a)} \quad (1.22)$$

Các đạo hàm J_1' và K_1' của hàm Bessel thỏa mãn các đẳng thức:

$$J_1'(x) = \pm J_{\mu \pm 1}(x) \mu \pm 1 \frac{J_1(x)}{x}$$

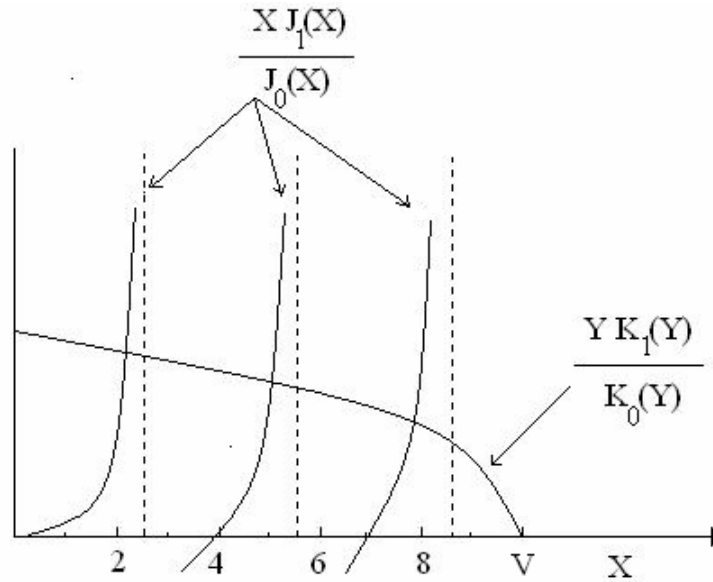
$$J_1'(x) = -K_{\mu \pm 1}(x) \mu \pm 1 \frac{K_1(x)}{x}$$

Thay các đẳng thức này vào (1.22) và sử dụng các thông số chuẩn hóa (1.20) $X = k_T a$ và $Y = \gamma a$ ta thu được phương trình đặc trưng:

$$X \frac{J_{l \pm 1}(X)}{J_l(X)} = \pm Y \frac{K_{l \pm 1}(Y)}{K_l(Y)} \quad (1.23)$$

Với V và l cho trước, phương trình đặc trưng chỉ chứa một biến số X (vì $Y^2 = V^2 - X^2$).

Phương trình đặc trưng có thể giải bằng phương pháp đồ thị hoặc cách vẽ đồ thị vế trái và phải của (1.23) theo X và tìm các nghiệm. Như minh họa trong hình 1.7, với $l = 1$, đồ thị vế trái có nhiều nhánh, đồ thị phải chỉ có một nhánh giảm monotôn đi theo X và trục tung tại $X = V$ ($Y = 0$). Ta có nhiều nghiệm trong khoảng $0 < X \leq V$. Mỗi nghiệm X_{lm} tương ứng với một mode cắt quang với giá trị riêng biệt của X . Các giá trị này ký hiệu là X_{lm} với $l = 1, 2, 3, \dots, M_l$. Khi tìm được X_{lm} thì ta có thể xác định các thông số k_{Tlm} và γ_{lm} , hằng số truyền β_{lm} và các hàm $u_{lm}(r)$ bằng cách sử dụng các phương trình (1.15), (1.17) và (1.20).



Hình 1.7 Các phương trình đặc trưng bậc n của phương pháp

III. 4 Số mode và V

Không phải mọi tia sáng nào đi vào sợi quang đều có truyền đi trong sợi quang mặc dù chúng đã thỏa mãn điều kiện phản xạ nội toàn phần. Chỉ có một số phương trình (hay mode) nào đó cho phép truyền mà thôi.

Mode là trạng thái mà nó duy trì sự phân bố trường ngang và sự phân bố là những nhau tất cả các môđun dọc theo trục dọc sợi quang.

Như đã nói phần trên, môđun nghiệm của phương trình đặc trưng (1.23) ứng với mỗi mode. Ứng với mỗi giá trị của V thì phương trình đặc trưng có nghiệm X_{lm} . Nếu gọi M là số mode, thì ta chứng minh rằng với $V \gg 1$ ta có:

$$M = \frac{4}{\pi^2} V^2 \quad (1.24)$$

Ví dụ :

Một sợi quang oxit silic với chiết suất lõi $n_1 = 1,452$ và $\Delta = 0,01$, có khẩu số $NA = n_1(2\Delta)^{1/2} = 0,205$.

Nếu bước sóng hoạt động là $\lambda_0 = 0,85 \mu\text{m}$, bán kính lõi $a = 25 \mu\text{m}$ thì thông số V là $V = 2\pi (2a/\lambda_0) NA = 37,9$. Ta tính được:

$$M = 4V^2/\pi^2 \approx 585 \text{ mode}$$

Hiện tại có nghĩa là chỉ có 585 mode cho phép truyền trong sợi quang mà thôi. Bây giờ, nếu lấy các mode ngoài biên, tức là lỗi tiếp xúc trực tiếp với không khí. Lúc này $n_2 = 1$ và $NA = 1$. Thì thông số V sẽ là $V = 2\pi (2a/\lambda_0) NA = 184,8$. Do đó, sử dụng phương trình (1.24) ta tính được có hơn 13.800 mode cho phép truyền trong sợi quang.

III.5 Hình thức truyền (ví dụ)

Như đã đề cập trên, hình thức truyền có thể xác định bằng cách giải phương trình đặc trưng (1.23) tìm nghiệm X_{lm} và sau đó sử dụng (1.15a) và (1.20) ta sẽ có:

$$\beta_{lm} = \left(n_1^2 k_0^2 - \frac{X_{lm}^2}{a^2} \right)^{1/2} \quad (1.24)$$

Chúng ta không có một lời giải tường minh cho nghiệm X_{lm} . Nếu $V \gg 1$, một cách gần đúng ta có thể giải sự phân nhánh như trong hình (1.6) là gần với các nghiệm nguyên, tức là ta có $X_{lm} \approx x_{lm}$.

Vì $V \gg 1$ cho nên hiểu các nghiệm là nguyên và ngay lập tức chúng ta có $x_{lm} \approx (l+2m)\pi/2$. Như vậy, ta thu được:

$$\beta_{lm} = \left(n_1^2 k_0^2 - (l+2m)^2 \frac{\pi^2}{4a^2} \right)^{1/2} \quad (1.25)$$

Tại đây có:

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} V^2 = \frac{4}{\pi^2} NA^2 a^2 k_0^2 = \frac{4}{\pi^2} (2n_1^2 \Delta) a^2 k_0^2 \quad (1.26)$$

Thay (1.25) và (1.26) cho ta:

$$\beta_{lm} = n_1 k_0 \left[1 - 2 \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta \right]^{1/2} \quad (1.27)$$

Vì Δ rất nhỏ, nên chúng ta có thể sử dụng khai triển gần đúng $(1+\delta)^{1/2} \approx 1+\delta/2$ với $|\delta| \ll 1$. Cùng với ta có:

$$\beta_{lm} = n_1 k_0 \left[1 - \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta \right] \quad (1.28)$$

Thay (1.28) ta nhận thấy rằng các mode bậc cao (m lớn) sẽ truyền với hình thức truyền như sau.

III.6 Vận tốc nhóm (v_g)

xác định vận tốc nhóm $v_{lm} = d\omega/d\beta_{lm}$ của mode (l, m) chúng ta sử dụng định nghĩa β_{lm} như là một hàm theo tần số góc ω bằng cách thay thế $n_1 k_0 = \omega/c_1$ và $M = \frac{4}{\pi^2} (2n_1^2 \Delta) a^2 k_0^2 = \frac{8}{\pi^2} a^2 \omega^2 \frac{\Delta}{c_1}$ vào (1.28) và giải c_1 và Δ về ω . Ở đây hàm $d\omega/d\beta_{lm}$ cho ta:

$$v_{lm} \approx c_1 \left[1 + \frac{(1+2m)^2}{M} \Delta \right]^{-1}$$

Vì Δ rất nhỏ, nên chúng ta có thể sử dụng khai triển gần đúng $(1+\delta)^{-1} \approx 1 - \delta$ với $|\delta| \ll 1$. Cuối cùng ta có:

$$v_{lm} \approx c_1 \left[1 - \frac{(1+2m)^2}{M} \Delta \right] \quad (1.29)$$

Do các giá trị c_1 và c_2 của $(1+2m)$ thường là 2 và \sqrt{M} và vì $M \gg 1$ nên vận tốc nhóm thay đổi trong khoảng c_1 đến $c_1(1-\Delta) = c_1(n_2/n_1)$.

Do đó, vận tốc nhóm của các mode bậc thấp (vì m nhỏ) là bằng vận tốc pha của vật liệu làm lõi ($c_1 = c/n_1$), ngược lại, vận tốc nhóm của các mode bậc cao (m lớn) thì nhỏ hơn.

Ta nhận thấy rằng, sự khác biệt về vận tốc nhóm chính là do mode nhanh nhất càng lớn khi Δ càng lớn.

Mặc dù sợi quang có Δ càng lớn (tức là khi số NA càng lớn do $NA = n_1(2\Delta)^{1/2}$) thì khả năng thu nhận ánh sáng vào càng lớn, nhưng đồng thời sự mode c phép truyền trong nó cũng càng nhiều hơn. Hiện tượng này dẫn đến sự nhiễu xạ tán sắc do mode (modal dispersion) cũng tăng lên. Nguyên nhân của tán sắc mode là do sự khác nhau về vận tốc nhóm giữa các mode. Tán sắc mode là một trong những nguyên nhân làm giảm tốc độ truyền dẫn của sợi quang. Đây là nguyên nhân làm cho người ta ít sử dụng sợi quang SI trong thông tin liên lạc hoặc truyền dẫn quang dài.

IV. Sợi quang đa mode:

IV.1 Đặc điểm của sợi quang:

Như đã nói trên, sợi quang đơn mode có số đường rãnh trong thông tin liên lạc do tốc độ truyền cao, dây truyền ngắn. Một sợi quang có bán kính lõi là a , khúc xạ là n_1 là đơn mode trong mode LP_{01} cần, như:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA < 2,405 \quad (1.30)$$

Như vậy, tham số duy nhất của mode (1.30), ta phải dùng sợi quang có bán kính lõi nhỏ, khúc xạ NA nhỏ (nghĩa là sai khác giữa n_1 và n_2 phải nhỏ, cỡ 1%) và bước sóng λ_0 dài. Mode đơn LP_{01} này có phân bố trường dạng hình chuông đồng tâm phân bố Gauss. Mode này, nhờ lượng ánh sáng bị giam giữ (confinement) trong lõi. Cần cần nhớ rằng để làm việc đơn mode là tránh các hiện tượng nhiễu xạ do tán xạ mode. Dưới đây là một ví dụ tính toán cho sợi quang đơn mode.

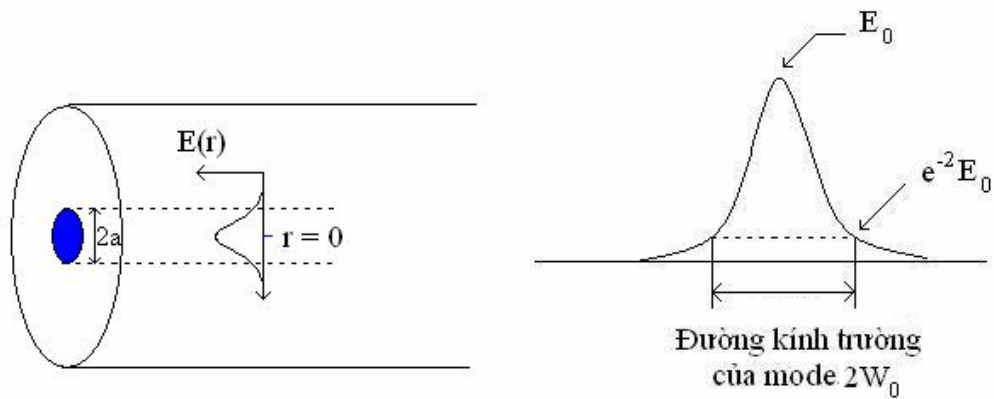
Một sợi quang oxit silic có chiết suất lõi là $n_1 = 1,447$; $\Delta = 0,01$; khúc xạ $NA = n_1(2\Delta)^{1/2} \approx 0,25$; bước sóng $\lambda_0 = 1,3 \mu\text{m}$. Sợi quang này là đơn mode như $V = 2\pi(2a/\lambda_0)NA < 2,405$.

Lúc đó, đường kính sợi quang $2a < 4,86 \mu\text{m}$.

Nếu bây giờ Δ giảm xuống còn 0,0025 thì đường kính sợi quang bây giờ phải là $2a < 9,62 \mu\text{m}$ tham số duy nhất của mode.

IV.2 Đường kính trường của mode:

Đối với sợi quang đơn mode, sự phân bố hình học của ánh sáng trong mode truyền khác với đường kính lõi và khúc xạ, nó rất quan trọng trong việc xác định tính chất truyền sợi quang. Một thông số cần của sợi quang đơn mode là đường kính trường của mode (*mode field diameter, MFD*) mà nó liên quan và tương đương gần với giá trị cực tiểu của chúng, tức là nó gần với giá trị còn $1/e^2$ liên so với giá trị cực đại, do đó liên quan tới vị bình phương của liên quan hoặc tương đương. Thông số này có thể xác định phân bố trường của mode đơn LP_{01} . Hình 1.8 mô tả phân bố ánh sáng trong sợi quang đơn mode. Có rất nhiều mô hình mô tả và đo MFD. Liên quan quan trọng là tất cả các phương pháp này làm sao tính toán gần đúng các phân bố liên quan.



Hình 1.8 Phân bố ánh sáng trong sợi quang đơn mode

Trình thức giải thích phân bố là theo định luật Gauss với:

$$E(r) = E_0 \exp\left(-\frac{r^2}{W_0^2}\right) \quad (1.31)$$

Trong đó r là bán kính, E_0 là cường độ điện trường tại bán kính bằng 0 và W_0 là bán kính của phân bố điện trường.

Bán kính $2W_0$ của MFD của mode LP_{01} có thể xác định như sau:

$$2W_0 = 2 \left[\frac{\int_0^\infty r^3 E^2(r) dr}{\int_0^\infty r R^2(r) dr} \right]^{1/2} \quad (1.32)$$

Trong đó $E(r)$ là phân bố trường của mode cơ bản LP_{01} . Nói chung, những giá trị bán kính trường của mode MFD là không thực nghiệm. Có nhiều những giá trị bán kính trường của mode đã đưa ra nhiều tài liệu khác. Cần nên lưu ý rằng trường của mode thay đổi theo chỉ số khúc xạ, do đó nó có sai lệch chút ít so với phân bố Gauss.

Chương 2:

S M T M Á T N N G L N G T R U Y N

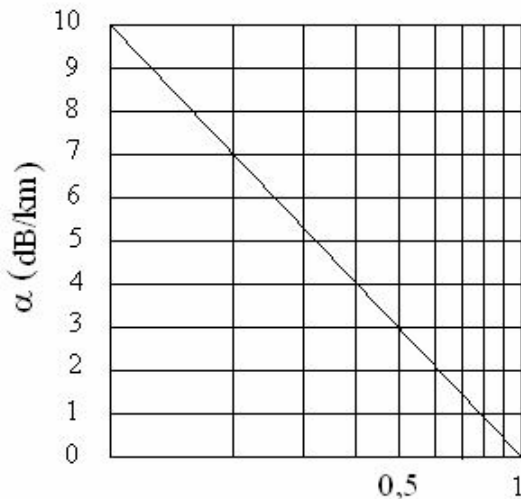
I. Suy giảm năng lượng truyền:

I.1. Hệ số suy giảm:

Năng lượng ánh sáng truyền trong sợi quang giảm theo khoảng theo hàm số mũ do sự hấp thụ và tán xạ. Hệ số suy giảm α thường đo theo đơn vị dB/km như sau:

$$\alpha = \frac{1}{L} 10 \log \frac{1}{\Omega} \quad [\text{dB/km}] \quad (2.1)$$

Trong đó $\Omega = P(L)/P(0)$ là tỉ số truyền năng lượng của sợi quang có chiều dài là L km. Hình 2.1 mô tả quan hệ giữa α và Ω . Ví dụ, nếu sợi quang có chiều dài 1 km thì năng lượng giảm 3 dB tương ứng với $\Omega = 0,5$; trong khi đó năng lượng suy giảm 10 dB tương ứng với $\Omega = 0,1$ và suy giảm 20 dB tương ứng với $\Omega = 0,01$ v.v...



Hình 2.1 Sự liên hệ giữa hệ số suy giảm và tỉ số truyền năng lượng

I.2 Suy giảm do hấp thụ:

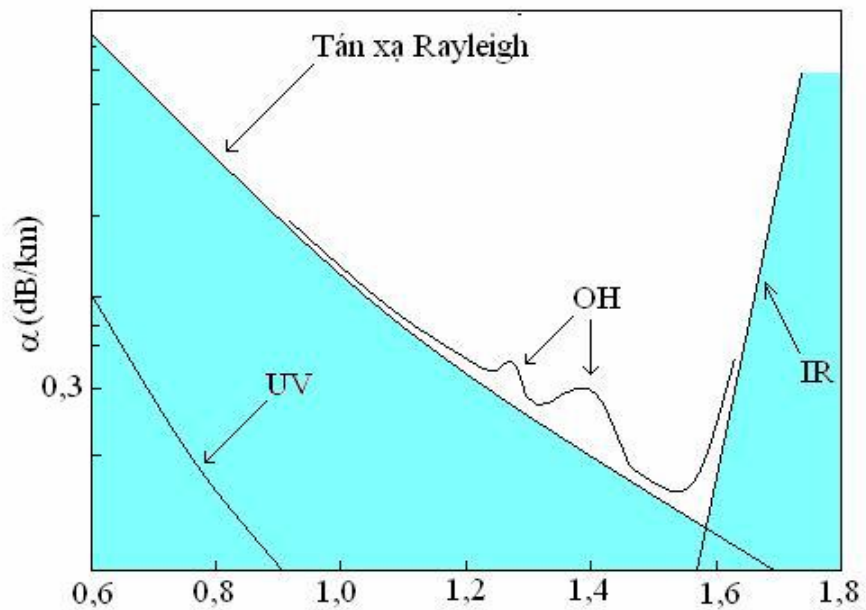
Hệ số hấp thụ của thủy tinh oxit silic (SiO_2) phụ thuộc nhiều vào bước sóng (hình 2.2). Loại thủy tinh này có 2 dãy hấp thụ khá mạnh:

- Dãy hấp thụ hồng ngoại trung bình do các dao động chuyển động.
- Dãy hấp thụ tử ngoại do các dao động liên kết.

giả 2 vùng này có mặt các mà đó không có sự hấp thụ xảy ra. Đó là vùng cửa sổ quang học.

1.3 Suy giảm do tán xạ :

Tán xạ Rayleigh cũng làm suy giảm ánh sáng trong sợi quang. Sự dao động của các phân tử trong thủy tinh gây ra sự không đồng nhất ngẫu nhiên về chiết suất mà nó đóng vai trò như một tâm tán xạ nhỏ. Biên độ của tán xạ tỉ lệ với ω^2 . Cũng tán xạ tỉ lệ với ω^2 hay $1/\lambda_0$ (hình 2.2). Có thể thấy bước sóng ngắn bị tán xạ hơn bước sóng dài. Do đó, sự suy giảm do tán xạ Rayleigh sẽ giảm theo bước sóng. Trong vùng khả kiến, sự suy giảm do tán xạ Rayleigh liên tục do suy giảm bước sóng của vùng hấp thụ tự nhiên, nhưng nó có thể vượt qua vùng bước sóng liên tục 1,6 μm so với sự suy giảm do hấp thụ tự nhiên.



Hình 2.2 Suy giảm do hấp thụ và tán xạ

Có thể thấy 2 ảnh hưởng do dao động của nhóm chức -OH (cửa sổ quang học trong thủy tinh).

Hiện chất của sự suy giảm do hấp thụ và tán xạ và tùy theo mục đích sử dụng, người ta chọn bước sóng hoạt động λ_0 cho phù hợp. Trong thực tế, người ta thường sử dụng các nguồn phát LED hoặc laser bán dẫn cho mục đích thông tin liên lạc. Tùy theo loại sợi quang sử dụng, người ta sử dụng laser có bước sóng 0,87 μm , 1,3 μm hay 1,55 μm .

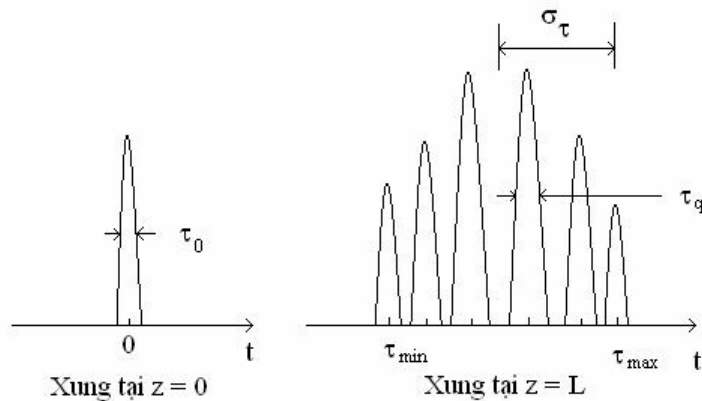
II. Sóng tán xạ mode

Nhã c c p ph n trên, s tán s c mode làm gi i h n t c truy n d li u trong s i quang b i vì s tán s c mode làm m r ng theo th i gian xung c a sóng quan h c mang d li u. Có t t c b n lo i tán s c trong s i quang: tán s c mode, tán s c do v t li u, tán s c do ng d n sóng v à tán s c không tuy n tính. Tán s c có nh h ng l n nh t n s truy n sóng trong s i quang. Tài li u này ch c p n tán s c mode.

Tán s c mode ch x y ra trong s i quang a mode do s khác nhau v v n t c nhóm c a các mode. M t xung n c a ánh sáng i vào m t s i quang M mode t i i m z = 0 s lan ra thành M xung v i th i gian trì hoãn (delay) khác nhau mà nó t ng nh m t hàm c a z. i v i s i quang có chi u dài L, thì th i gian trì hoãn cho các mode khác nhau là: $\tau_q = L/v_q$ v i q = 1, 2, 3,...M. Trong ó v_q là v n t c nhóm c a mode th q. N u g i v à v_min là v n t c nhóm l n nh t v à nh nh t thì xung nh n c s lan ra trong m t kh ng theo th i gian là (L/v_min - L/v_max).

r ng xung trong tr ng h p này là $\sigma_\tau = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{v_{\min}} - \frac{L}{v_{\max}} \right)$ (hình 2.3). r ng xung

σ_τ c ng c g i là th i gian áp ng c a s i quang.



Hình 2.3 S tán s c mode

Trong s i quang SI, v i s mode l n, ta có v_min ≈ c_1(1-Δ) và v_max ≈ c_1. Vì (1-Δ)^-1 ≈ 1+Δ nên th i gian áp ng là:

$$\sigma_\tau = \frac{L \Delta}{c_1 2} \quad (2.2a)$$

S tán s c mode trong s i quang GRIN là nh h n trong s i quang SI do v n t c nhóm c a các mode c làm x p x b ng nhau (do s i quang GRIN có chi t

su t gi m t trong ra ngoài) và sai bi t gi a các kho ng th i gian trì hoãn c a các mode $\tau = L/v_q$ gi m i. Ng i ta ch ng minh c r ng v n t c l n nh t và nh nh t cho s i quang GRIN là $v_{\max} = c_1$ và $v_{\min} \approx c_1(1-\Delta^2/2)$. Do ó, th i gian áp ng cho tr ng h p s i quang GRIN là:

$$\sigma_\tau = \frac{L \Delta^2}{c_1 2} \quad (2.2b)$$

Vì $\Delta \ll 1$ nên so sánh (2.2a) và (2.2b) ta nh n th y r ng s tán s c mode nh h ng n s i quang GRIN ít h n $2/\Delta$ l n so v i s i quang SI.

Dãy t n ho t ng σ_f c a s i quang t l ngh ch v i *th i gian áp ng* theo công th c:

$$\sigma_f = \frac{1}{2\pi\sigma_\tau} \quad (2.3)$$

T (2.2a) và (2.2b) và (2.3), có th rút ra k t lu n:

- S i quang GRIN có suy gi m r t th p.
- S i quang GRIN có dãy t n ho t ng l n h n s i quang SI.
- S i quang GRIN có lõi l n d s d ng.
