

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAI THÁP CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
BỘ MÔN VẬT LÝ NGUYÊN
VẬT LÝ LASER

www.mientayvn.com

MODE TRONG HỒI CÔNG NGHỆ NG
TIÊU CHUẨN NHẢY NHẢY A MODE

THƯỜNG NGUYÊN T.S PHAN BÁCH THƯỜNG

HVTT

TRƯỜNG M. H. NH
LÊ TH. L. A

TP.HCM 1/2010

M C L C

A. MODE TRONG H C NGH NG

I. Mode

1. Mode là gì ?

2. Kí hi u

3. Phân lo i

4. Th i gian s ng c a mode trong h c ngh ng

II. i u ki n t n t i c a mode trong h c ngh ng

III. Ch n l c mode

B. TIÊU CHU N N NH C A MODE TRONG H C NGH NG

Tiêu chu n n nh c a mode

M t s ví d

A. MODE TRONG H ́C NG H ́NG

I. MODE :

1. Mode là gì ?

Mode là m ́t d ́ng c ́a dao ́ng hay s ́ phân b ́ tr ́ng c ́ tái t ́o theo pha trong không gian c ́a sóng lan truy ́n sau m ́t s ́ l ́n l ́n ph ́n x ́.

Mode là dao ́ng ri ́ng, trong g ́n úng b ́ c ́ l ́ mode có th ́ coi là giao thoa c ́a sóng ph ́ng lan truy ́n theo h ́ng ng ́c chi ́u nhau gi ́a hai g ́ng ph ́n x ́. M ́i mode c ́ c ́ tr ́ng b ́ i c ́ u hình t ́ng ng ́c ́a tr ́ng trên b ́ m ́t các g ́ng và s ́ n ́a b ́ c ́ sóng c ́ s ́ p x ́ p gi ́a hai g ́ng.

2. Kí hi ́u

Kí hi ́u : TEM_{mnq} (Transverse Eletromagnetic) dùng ch ́ sóng i ́n t ́ng (là sóng mà \vec{E} và \vec{H} n ́m trong m ́t ph ́ng vuông góc ph ́ng truy ́n sóng).

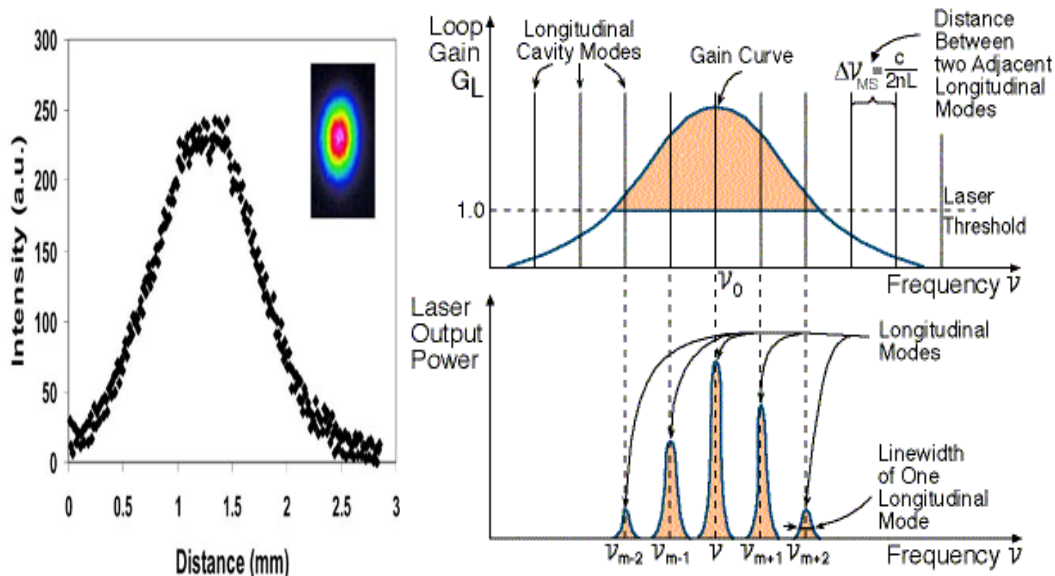
- q c ́ tr ́ng cho mode d ́ c ́ tr ́c (còn có kh ́n ng phân b ́ t ́ hai thành ph ́n còn l ́ i).
- m, n c ́ tr ́ng cho lo ́i mode ngang.

N ́u ch ́ ý ́n mode d ́ c ́ tr ́c TEM_{00q} . Mode ngang g ́n tr ́c nh ́ t ́ là TEM_{01q} , TEM_{10q} .

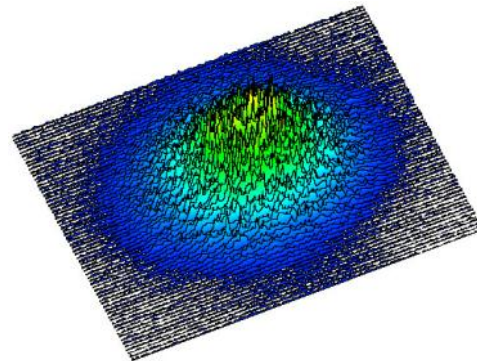
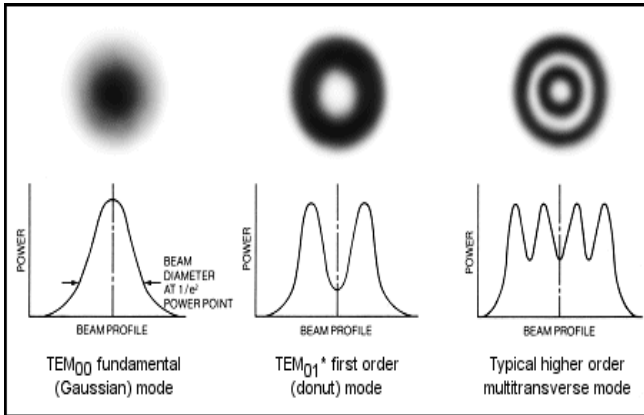
3. Phân lo ́i :

Có hai lo ́i ch ́ y ́u : mode ngang và mode d ́ c

- **Mode d ́ c** : Mode d ́ c là s ́ nút d ́ c theo tr ́ c c ́a h ́c ng h ́ng gi ́a hai g ́ng.



- **Mode ngang** là s ố nút trên m ặt ph ẳng vuông góc v ới tr ục laser .



Tuy nhiên có vài gi ả o trình còn k ể n lo i mode n ữa là mode xi ên. Khi sóng ph ẳng lan truy n t ừ g ờ ng 1 ờ ng 2 d ể i góc θ khá nh ỏ (là góc h ẹp i ph ẳng c ủa sóng t ừ i so v ớ i ph ẳng tr ục c ủa bu ồng c ồng h ệ ng) thì mode t ỏ thành trên ph ẳng ó g ờ i là mode xi ên .

4. Th ờ gian s ố c ủa mode :

Sau m ột l ần ph ản x ả bi ến ố b ộ gi ỏ m do m ặt mát v ớ i nhi ều x ả hay ph ản x ả . Do có m ặt mát n ên mode có th ờ gian s ố h ỏ h ỏ n .

Th ờ gian s ố c ủa xác ố nh ỏ b ộ ng kho ẻ th ờ gian ố bi ến ố sóng gi ỏ m ể l ần so v ớ i l ần ng ỏ n ữ u .

II. I U K I N T N T I C A M O D E T R O N G H Ọ C N G H Ề N G

- Bu ồng c ồng h ệ ng laser ho ẻ t ừ ng v ớ i nhi ều mode khác nhau , m ỗi mode xem nh ỏ là m ột t ừ n ố khác nhau.
- Khi sóng ph ẳng t ừ i bu ồng c ồng h ệ ng (BCH) có nhi ều t ừ n ố r ừ i r ừ c khác nhau. (V ớ i ánh sáng t ừ i không ỏ n ố c ần ch ả nhi ều t ừ n ố khác nhau, ng v ớ i m ột b ộ c ồng là m ột t ừ n ố).
- Không ph ả i t ừ c ả t ừ n ố ó u dao ẻ ng v ả t ỏ thành mode mà ch ỏ có m ột s ố t ừ n ố c ả phép dao ẻ ng v ả t ừ giá tr ừ c ả i giao thoa t ỏ thành mode , m ột s ố còn l ầ b ộ tr ừ t ừ i do quá trình giao thoa.

i u k ẻ n giao thoa c ả c ả i :

- Sóng t ừ i h ẹp v ớ i ph ẳng tr ục Oz góc θ

$$2L \cdot \cos\theta = q \cdot \lambda$$

L : chi ều dài c ủa bu ồng c ồng h ệ ng
 λ : b ộ c ồng sóng ánh sáng t ừ i
 q : s ố nguyên

- Sóng t ừ i truy n theo ph ẳng Oz :

$$2.L = q.\lambda$$

- Nghĩa là các tần số của sóng tới bước sóng của hốc có bước sóng thỏa mãn trên thì dao động và tạo thành mode trong hốc quang học.

Chú ý:

- Thông thường khoảng cách giữa hai gương L (chiều dài bước sóng quang học) rất lớn so với dài bước sóng λ , lúc đó q có giá trị rất lớn (khoảng 10^6 ở vùng ánh sáng vùng quang học). Do đó có sự tách tần số giữa hai mode lân cận q và q-1 là:

- BCH có chênh lệch tần số có chi tiết như sau:

$$\Delta f_q = f_q - f_{q-1} = \frac{c}{2Ln}$$

- BCH có không chênh lệch tần số:

$$\Delta f = f_q - f_{q-1} = \frac{c}{2.L}$$

- Cùng khoảng bao vệ chênh lệch tần số có rộng thì sẽ có rất nhiều tần số phát ra, laser hoạt động chọn mode (không ổn định, biến động).
 - Cùng khoảng bao vệ chênh lệch tần số có rộng thì có ít tần số phát ra (nếu chọn tần số phát ra thì laser hoạt động chọn mode, rộng thì phần lớn là mất, laser có tính ổn định cao) thì biến động khá nhỏ và có thể bỏ qua tính ổn định vì thời gian tồn tại của laser hoạt động vì BCH phát ra một tần số duy nhất.

Thông thường laser làm vì chênh lệch nào?

- Mặc dù ánh sáng laser là ánh sáng kết hợp nhưng nó không ổn định hoàn toàn. Tất cả các laser đều tạo ra ánh sáng trong một dải tần nào đó. Dải tần hoạt động của laser xác định chủ yếu bởi môi trường khuếch đại và cấu trúc dải tần khuếch đại.

- Ví dụ, một loại laser khí thông dụng He-Ne có dải tần khuếch đại khoảng 1.5 GHz (khoảng bước sóng 0.002 nm), trong khi đó, laser rắn (Ti:Sapphire) có dải tần khoảng 128 THz (khoảng bước sóng 300 nm).

- Nếu muốn laser hoạt động chọn mode thì nó chỉ có một tần số phát ra, lúc này sẽ mất mát phần lớn khuếch đại của BCH và chiều dài BCH phải thỏa:

$$L = \frac{\lambda q}{2} \text{ với } q \text{ là bậc của mode}$$

Tức là chiều dài L chia cho bước sóng \Rightarrow không thể chia hết.

- Thời gian tồn tại của sóng nên rất lớn \Rightarrow sẽ có mode rất nhiều.

- Vì lý do đó là khoảng cách tần số giữa hai mode liên tiếp rất gần nhau và q-1; cho biết công thức (ở vùng bước sóng quang học rất gần với chiều dài L):

$$\Delta f = f_q - f_{q-1} = \frac{c}{2.L}$$

Tính trình trên, mật laser nh v i kho ng cách hai g ng 30 cm có kho ng cách t n s gi a các mode d c là 0.5 GHz.

Nh v y, i v i hai laser c p trên, v i bu ng c ng h ng 30 cm, laser He-Ne có d i t n 1.5 GHz s phát 3 mode d c, trong khi laser Ti:sapphire có d i t n 128 THz s phát ch ng 250000 mode.

M i mode d c có r ng t n s nào ó nh ng nh h n nhi u kho ng cách t n s gi a các mode

- Nhìn chung laser th ng làm vi c ch a mode vì trong BCH có nhi u mode dao ng. Mu n laser làm vi c ch n mode, ng i ta ph i lo i b nh mode b c cao. Ch gi l i nh ng mode c n phát. Quá trình lo i b ó là ch n l c mode .

III.CH N L C MODE

- M i bu ng c ng h ng ho t ng v i ch a mode, nhi u mode ngang c phát ra , m i mode ng v i m t t n s khác nhau và phân kì c ng khác nhau. Ch s m, n càng cao thì b c c a mode càng cao, lúc này m t mát nhi u h n so v i m c c b n (0,0) làm nh h ng n công su t phát c a laser.

- Yêu c u c b n c a laser là có tính nh h ng, n s c, k th p và công su t l n. công su t phát l n thì m t mát trong BCH ph i ít (ph m ch t cao). Có nhi u cách :

- m t mát th p thì h s Fresnel ph i l n

$$N = \frac{a_1 \cdot a_2}{\lambda \cdot L}$$

Mu n N l n thì a_1, a_2 l n và L, λ nh (bán kính g ng l n nh ng chi u dài BCH ph i nh). i u này r t khó vì N ph i th a i u ki n n m trong kho ng nào h n nh n a.

- Laser ho t ng ch n mode , ch c b n TEM_{00} , ch này m t mát là ít nh t. N u laser ho t ng ch này thì công su t phát l n và b r ng ph h p th a tính n s c cao.

Mu n v y laser ch t o ra m t mode dao ng trong BCH ng v i m t t n s duy nh t. i u ki n là chi u dài BCH ch kho ng b c sóng. Khó có th ch t o c.

- BCH phát a mode, mu n laser có công su t l n, n s c, ph h p ta ph i lo i b các mode b c cao, gi l i nh ng mode c n phát .C n ph i ch c l c mode.

- Ph ng pháp ch ng: dùng tín hi u bên ngoài bi n i u ánh sáng trong BCH

- Ph ng pháp th ng: t m t y u t trong BCH gây hi n t ng t bi n i u ánh sáng

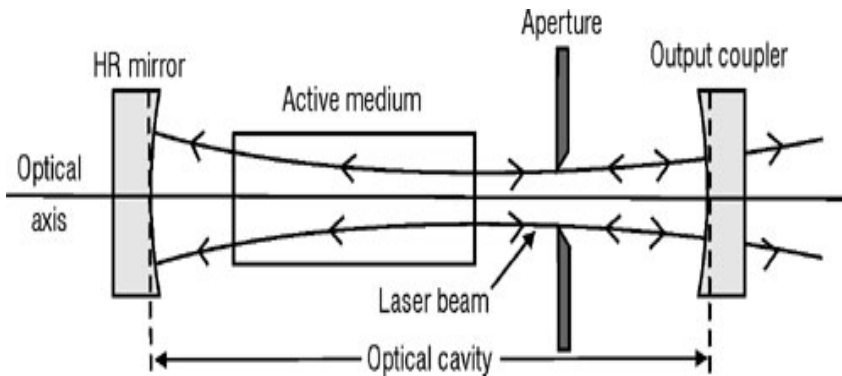
D i ây trình bày các ph ng pháp t m t y u t trong BCH gây hi n t ng t bi n i u ánh sáng.

Ch n l c mode ngang

- Vi c nén các dao ng không c n thì t c th c hi n b ng cách a vào BCH m t màn ch n c bi t.

Theo phân bố trường mode TEM₀₀ có trục tập trung gần trục, các mode bậc cao TEM₁₁, TEM₂₀... trường phân bố xa trục, bậc dao động càng lớn trường phân bố càng xa.

+ t vào BCH thành ch n có kích th c phù h p



Ch gì l i mode c b n TEM₀₀

As shown in Fig. 9.4, high-order modes are larger than low-order modes. For many laser applications, it's important that the laser oscillate only in the TEM₀₀ mode. How can you prevent a laser from oscillating in its higher-order modes?

The answer has to do with the relative sizes of the different modes. The TEM₀₀ mode is smaller in diameter than any other transverse mode. Thus, if you place an aperture of the proper size (as shown in Fig. 9.4) inside the resonator, only the TEM₀₀ mode will fit through it. Higher-order modes will be extinguished because the loss imposed on them by the aperture will be greater than the gain provided by the active medium. Some TEM₀₀ lasers come equipped with apertures like the one shown in Fig. 9.4, while in others the small diameter of the active medium acts as an effective aperture.

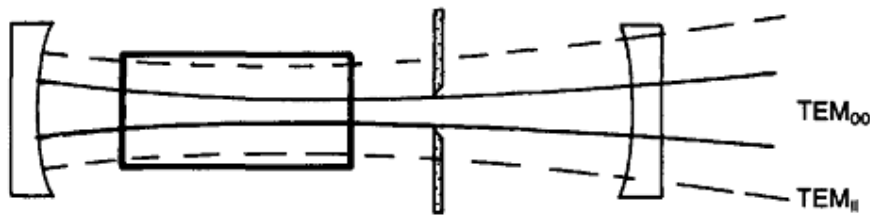


Figure 9.4 An aperture in the resonator can force it to oscillate only in the TEM₀₀ mode.

In Fig. 9.4 the TEM₁₁ mode occupies a larger volume in the gain medium than the TEM₀₀ mode does. The TEM₁₁ mode can therefore interact with more of the population inversion and extract more power from the laser. For this reason, lasers oscillating in high-order modes usually produce more power than otherwise similar lasers limited to TEM₀₀ oscillation. However, the advantages of the TEM₀₀ mode often outweigh the cost of reduced power.

Chẩn đoán mode d c

Thay đổi chiều dài của BCH.

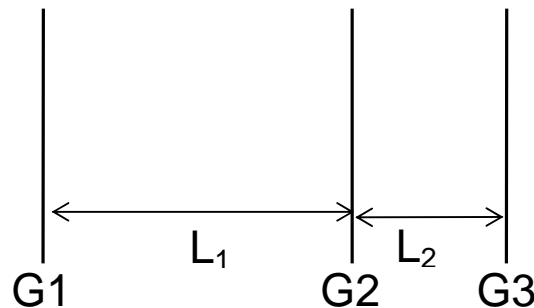
Đưa vào BCH một cấu trúc Fabry-Perot hoặc cấu trúc ghép song song.

Dùng gương phẳng có hình sọc truyền qua thay đổi.

Dùng phương pháp Bragg để tìm vị trí chuyển đổi.

+ Thay đổi chiều dài:

- Nếu rút ngắn chiều dài của BCH có thể giảm dần số mode d c, cách này không hiệu quả vì làm giảm chiều dài của hoạt chất và giảm công suất của laser.
- Phương pháp chẩn đoán thông dụng: dùng BCH kép.



- Giả sử 3 gương phẳng G1, G2, G3. Khoảng cách giữa G1 và G2 là L_1 , trong phần này hình thành các mode d c với tần số:

$$\Delta f_{12} = \frac{c}{2L_1}$$

- Tương tự, giữa gương G2 và G3 xuất hiện những dao động d c với tần số:

$$\Delta f_{23} = \frac{c}{2L_2}$$

Nguyên tắc BCH kép

- Nếu chọn L_1 và L_2 khác nhau thì tần số giữa hai mode của hai phần khác nhau.
- Những mode d c có tần số riêng trong các phần trùng nhau mới là mode chung của BCH \rightarrow phương dao động của BCH kép thay đổi từ nhiễu sóng vì phương dao động của BCH thông thường (không có G2).
- Hiệu suất của phương pháp tăng khi tăng số gương phẳng.

Ngoài ra còn r t nhi u ph ng pháp ch c l c mode , d i ây ch gi i thi u :

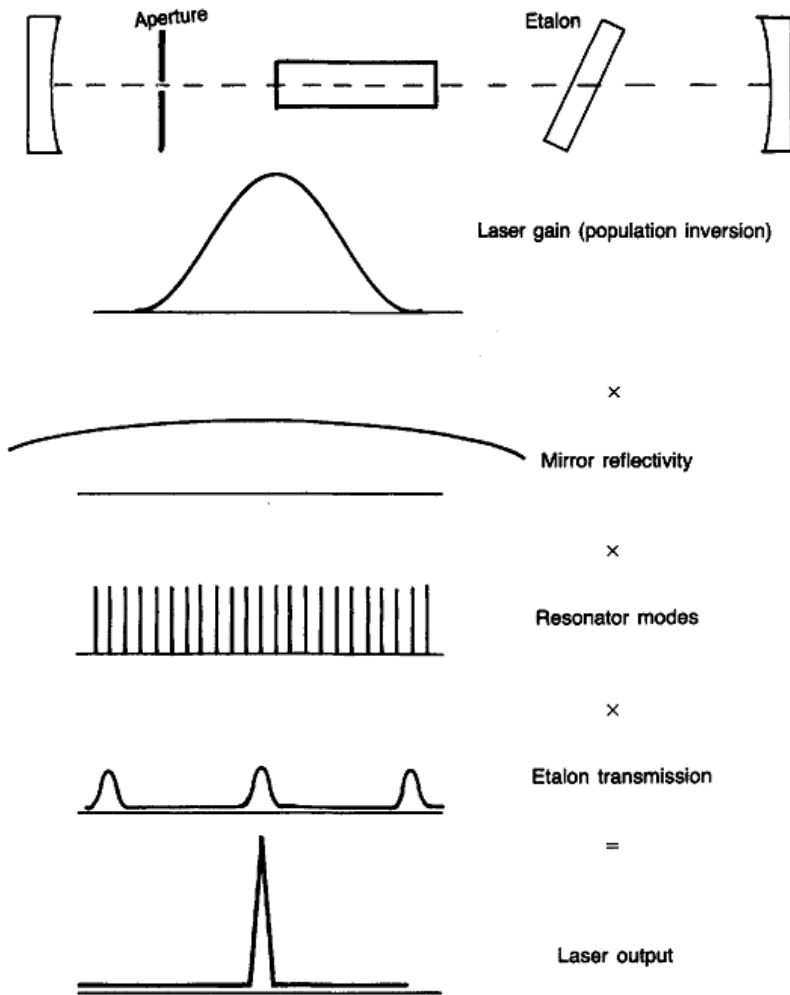


Figure 10.14 Single-mode oscillation.

in Fig. 10.14.) Many single-mode lasers use more than one etalon to ensure that the laser is restricted to one mode.

t thêm vào BCH m u PDE

Now, in order to select a specific single high order mode operation, we insert into the laser resonator a DPE. As shown in Fig. 1, the DPE is inserted near one of the resonator mirrors, preferably near the output coupler mirror. The

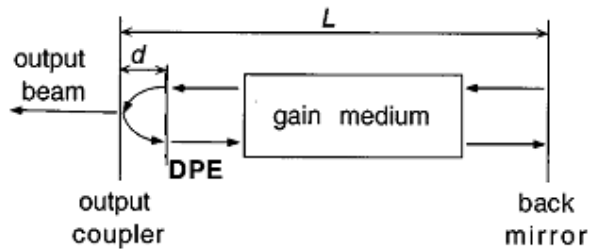


FIG. 1. Laser resonator configuration with a DPE inserted next to the output coupler.

B. TIÊU CHU N N NH MODE

Mode dao ng n nh khi h c ng h ng có m t mát th p.

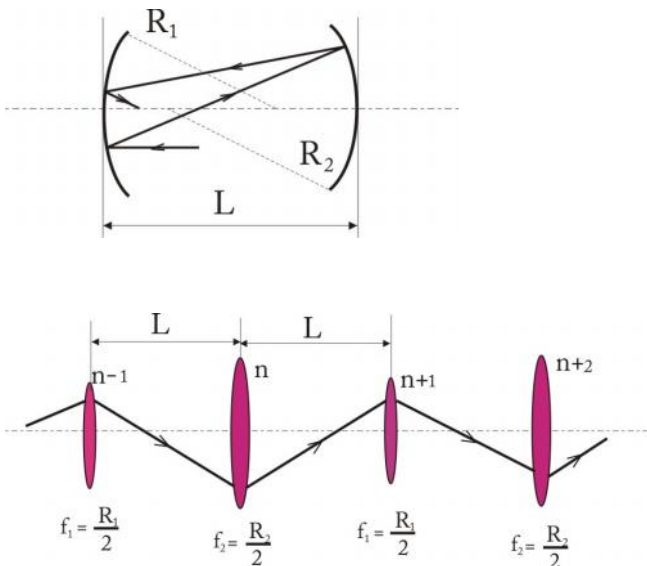
h c ng h ng có m t mát th p, t c là trong nó t n t i nh ng mode có Q l n, c n th a m ãn hai i u ki n:

- Kích th c g ng ph n x ph i th a m ãn h th c:

$$\frac{a_1 a_2}{\lambda L} > 1$$

- Tia ánh sáng truy n trong h không b phân kì

Xét h c ng h ng không i x ng v i g ng có bán kính cong R_1 và R_2



Hệ thống kính tống ống vi hệ ống, n ưu tiêu của hệ thống kính bng tiêu của ống tống và khoảng cách giữa các hệ thống kính bng khoảng cách giữa hai ống.

❖ Khảo sát mặt tia sáng truyền qua hệ thống kính.

Ma trận truyền sáng trong không gian tống do:

Ma trận truyền sáng qua hệ thống kính
$$\begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
 mống:

Hệ thống kính hội tụ $f > 0$; hệ thống kính phân kỳ $f < 0$

Bây giờ ta xét sự lan truyền của mặt tia sáng qua ống trung gian ống nh tống có dài L và tiếp theo sau là hệ thống kính mống có tiêu cự f.

Điều kiện ống vi hệ lan truyền của tia giữa mặt phẳng n và n+1.

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{L}{f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$$

⇒ tia sáng truyền ra khỏi hệ thống kính (n+2) khỏi hệ thống kính n:

$$\begin{bmatrix} x_{n+2} \\ \theta_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ \theta_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{n+2} \\ \theta_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{L}{f_2} & L \left(2 - \frac{L}{f_2} \right) \\ -\left\{ \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \left(1 - \frac{L}{f_1} \right) \right\} & -\left\{ \frac{L}{f_1} - \left(1 - \frac{L}{f_1} \right) \left(1 - \frac{L}{f_2} \right) \right\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ \theta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ \theta_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} x_{n+2} = Ax_n + B\theta_n \\ \theta_{n+2} = Cx_n + D\theta_n \end{cases} \text{ Hay}$$

Với
$$A = 1 - \frac{L}{f_2} \qquad B = L \left(2 - \frac{L}{f_2} \right)$$

$$C = -\left\{ \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \left(1 - \frac{L}{f_1} \right) \right\} \qquad D = \left\{ \frac{L}{f_1} - \left(1 - \frac{L}{f_1} \right) \left(1 - \frac{L}{f_2} \right) \right\}$$

Điều kiện của cấu trúc hệ thống kính tống hoàn toàn là mặt tiếp hệ thống kính lân cận ($\Delta n = 2$) và khi đó vị trí ống kính sẽ

$$\Rightarrow \begin{cases} x_{s+1} = Ax_s + B\theta_s(1) \\ \theta_{s+1} = Cx_s + D\theta_s(2) \end{cases}$$

T (1) ta có:

$$\begin{cases} \theta_s = \frac{1}{B}(x_{s+1} - Ax_s) \\ \theta_{s+1} = \frac{1}{B}(x_{s+2} - Ax_{s+1}) \end{cases}$$

Thay $x_{s+2} - (A+D)x_{s+1} + (AD-BC)x_s = 0$ vào (2) ta có:

Vì $(AD-BC)=1$

$$-(A+D) = -2 \left\{ 1 - \frac{L}{f_1} - \frac{L}{f_2} + \frac{L^2}{2f_1f_2} \right\} = -2b$$

Ta có $x_{s+2} - 2bx_{s+1} + x_s = 0$

nghỉ m có $x_s = x_0 e^{isq} \rightarrow e^{2iq} - 2be^{iq} + 1 = 0$ d ng:

$$\Rightarrow e^{iq} = b \pm 2i\sqrt{1-b^2}$$

$$q = \pm \arccos b$$

điều kiện n nh c a s lan truyền tia sáng thì q phải là số thực

$$\Rightarrow |b| \leq 1$$

Hay

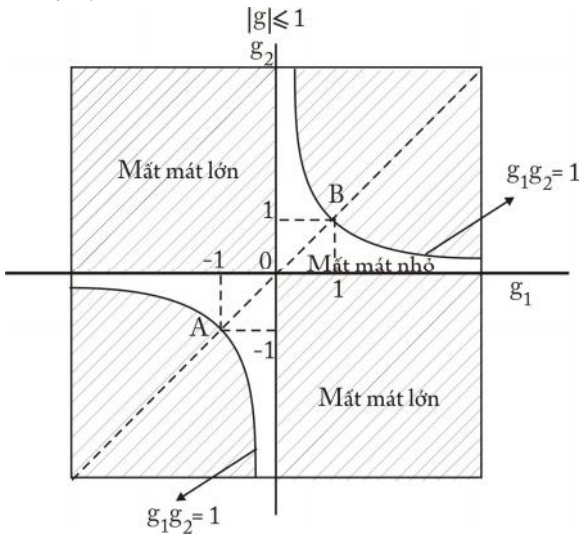
$$-1 \leq 1 - \frac{L}{f_1} - \frac{L}{f_2} + \frac{L^2}{f_1f_2} \leq 1$$

Chuyển sang thông số quang học $f = \frac{R}{2}$ ta có:

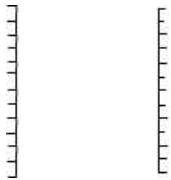
$$0 \leq \left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) \leq 1$$

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1$$

th :

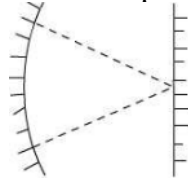


M t s h c ng h ng có m t mát th p:



$$R_1 = R_2 = \infty$$

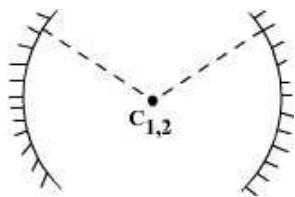
$$g_1 \cdot g_2 = 1$$



$$R_1=L; R_2=\infty$$

$$g_1=0; g_2=1$$

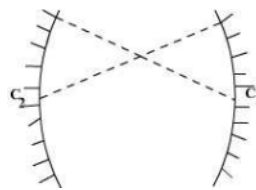
$$g_1 \cdot g_2=0$$



$$R_1 = R_2 = \frac{L}{2}$$

$$g_1 = g_2 = -1$$

$$g_1 \cdot g_2 = 1$$



$$R_1=R_2=L$$

$$g_1=g_2=0$$

$$g_1 \cdot g_2=0$$

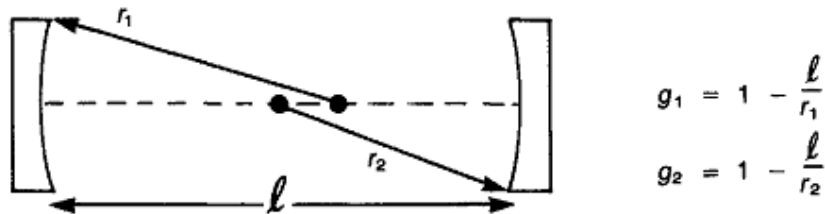
M t s ví d :

Figure 9.10 The g -parameters for calculating resonator stability.

Figure 9.11 shows a concave/convex configuration. Is it stable? First, calculate the g -parameters:

$$g_1 = 1 - \frac{50 \text{ cm}}{-500 \text{ cm}} = 1.1 \quad g_2 = 1 - \frac{50 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0.5$$

Then multiply them together:

$$g_1 g_2 = (1.1)(0.5) = 0.55$$

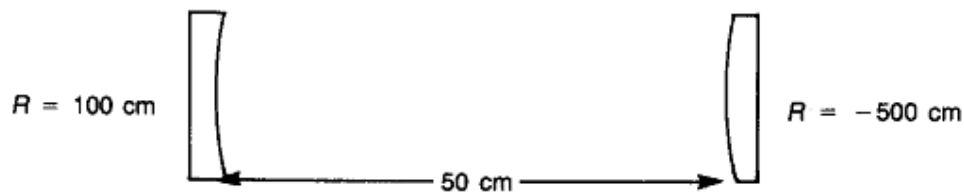


Figure 9.11 A stable concave-convex resonator configuration.

resonator in Fig. 9.11 is stable for an HeNe laser, an Nd:YAG laser, or a carbon dioxide laser.

Figure 9.12 shows a concave/concave mirror configuration. To determine whether it is stable, first calculate the g -parameters:

$$g_1 = g_2 = 1 - \frac{9}{3} = -2$$

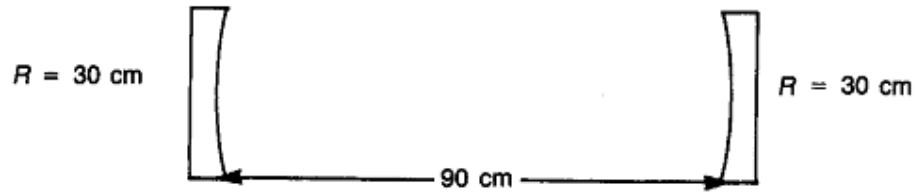


Figure 9.12 An unstable concave-concave configuration.

Then multiply them together:

$$g_1 g_2 = (-2)^2 = 4$$

The product is greater than one, so this configuration is not stable.

TÀI LI U THAM KH O

1. **V t lý laser** **Nguy n H u Chí – Tr n Tu n**
2. **C s v t lý laser** **Nguy n Minh Hi n**
3. **Principles of laser** **Orazio Svelto David C.Hanna**
4. **Introduction To Laser Technolody** **Breck hitz, J.J Ewing , Jeff Hecht**
5. **Solid State Laser A Graduate Text** **Walter Koechner , Michael Bass**