

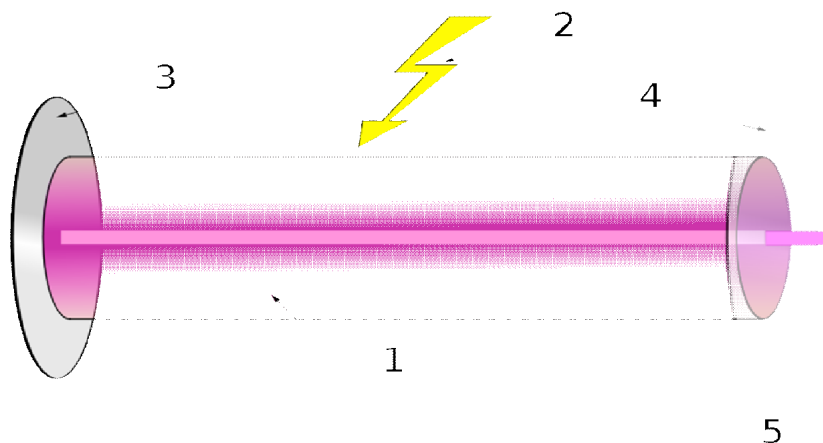
Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA VẬT LÝ
BỘ MÔN VẬT LÝ NGUYÊN



Seminar Vật Lý Laser:

BUỒNG CỘNG HƯỞNG ĐỘ PHẨM CHẤT BUỒNG CỘNG HƯỞNG



Giáo viên hướng dẫn: TS. Phan Bách Thắng

Học viên thực hiện:

*Nguyễn Đỗ Minh Quân
Lý Ngọc Thủy Tiên*

TP.HCM, Tháng 1 năm 2010



M C L C

I. BU NG C NG H NG.....	2
1. Kh n ng khu ch i sóng i n t khi i qua môi tr ng ho t tính	2
2. Nguyên lý liên k th i ti p d ng t ng khu ch i.....	2
3. Bu ng c ng h ng là gì?.....	2
4. Vì sao bu ng c ng h ng quang h c là bu ng c ng h ng	2
5. C u t o c a bu ng c ng h ng quang h c.....	2
6. Ch c n ng c a bu ng c ng h ng quang h c.....	2
6.1. Th c hi nh i ti p d ng.....	2
6.2. T o ra b c x nh h ng, n s c, k th p	3
7. Phân lo i bu ng c ng h ng theo c u t o	3
8. Yêu c u k thu t i v i các lo i g ng laser.....	4
II. PH M CH T BU NG C NG H NG.....	5
1. ph m ch t là gì?	5
2. Các d ng m t mát n ng l ng	5
3. Xác nh ph m ch t:	6
3.1. ph m ch t trong quá trình ph n x	6
3.2. M t mát do hi n t ng nhi u x trên g ng	7
TÀI LI U THAM KH O	10

I. BUỒNG CỘNG HƯỞNG

1. Khi sóng điện từ đi qua môi trường đồng tính

Giả sử sóng điện từ đi vào có công suất P truyền trong môi trường đồng tính dọc theo trục Z . Số biến đổi công suất theo trục Z là $dP = G dz$ và G là hệ số khuếch đại xác định theo công thức:

$$G(z) = \frac{dP}{P dz} = \frac{1}{P} \left(\frac{dP}{dz} \right) = \frac{1}{P} (N_m - N_n) \frac{dP}{dz}$$

Như vậy nếu $N_m > N_n$ thì $G > 0$

Ngoài ra khi truyền qua môi trường đồng tính thì mật độ công suất sóng điện từ sẽ giảm do nhiễu nguyên nhân. Vì vậy số biến đổi công suất theo trục Z là $dP = (G - G_n) dz$, hay $P = P_0 \exp\{(G - G_n)z\}$; và G_n là hệ số mất mát

Như vậy công suất sóng trong môi trường đồng tính tăng, không những công suất khuếch đại tăng lên mà hiệu suất mất mát trong môi trường đồng tính

2. Nguyên lý liên kết hai tia phản xạ qua khuếch đại

“Mật độ tín hiệu khuếch đại quay về môi trường đồng tính và mật độ năng lượng đi qua môi trường đồng tính liên kết khuếch đại. Do khuếch đại sóng điện từ sẽ tăng nếu hiệu số $N_m > N_n$ khi đi qua môi trường đồng tính. Nếu khuếch đại vượt mức mật độ mất mát toàn phần thì tia sẽ phát sóng điện từ”

thành lập liên kết hai tia phản xạ qua buồng cộng hưởng

3. Buồng cộng hưởng là gì?

Buồng cộng hưởng là một trong những bộ phận quan trọng của máy phát laser. Nó dùng để tích lũy liên kết hai tia phản xạ và tạo ra bức xạ đồng pha. Buồng cộng hưởng gồm các mặt phản xạ và môi trường đồng tính

4. Vì sao buồng cộng hưởng quang học là buồng cộng hưởng

Vì khi thu tia này không thể tạo ra buồng cộng hưởng vì kích thước cỡ bước sóng dài quang học

Nếu giả sử có thể tạo ra buồng cộng hưởng vì kích thước nhỏ thì buồng cộng hưởng có ý nghĩa về mặt năng lượng vì kích thước quá cao không thể tạo công suất bức xạ cần thiết.

Ngoài ra khi sử dụng buồng cộng hưởng thì hiệu suất biến đổi năng lượng và giảm mật độ năng lượng do phản xạ

5. Cấu tạo buồng cộng hưởng quang học

Thông thường buồng cộng hưởng là một hệ thống hai mặt đối diện nhau, giữa hai mặt này là môi trường đồng tính. Thông thường một trong hai gương làm nhiệm vụ phản xạ ánh sáng, gương còn lại là vật phản xạ một phần ánh sáng truyền vào nó và cho một phần ánh sáng truyền qua

6. Chức năng của buồng cộng hưởng quang học

6.1. Tích lũy hai tia phản xạ

Như ta đã biết môi trường đồng tính tồn tại trong buồng cộng hưởng tuy có khuếch đại tín hiệu đi qua nó theo quy luật $P = P_0 \exp\{(G - G_n)z\}$ nhưng khuếch đại này không liên tục vì chiều dài z là cố định. Có công suất khuếch đại tín hiệu liên tục kích thích môi trường đồng tính liên tục.

Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

Ví dụ như i v i ho t ch t CO_2 là m t trong nh ng ho t ch t có h s khu ch i t ng i l n, thì t c công su t b c x là 1W thì c n ph i s d ng m t ng ch a khí dài 10^4m . T ví d trên ta th y mu n t ng chi u dài c a ho t ch t ph i c gi i quy t b ng cách khác. Chính nh bu ng c ng h ng mà vi c thay i chi u dài ho t ch t tr nên n gi n b ng cách cho b c x ph n x nhi u l n trên các g ng ph n x .

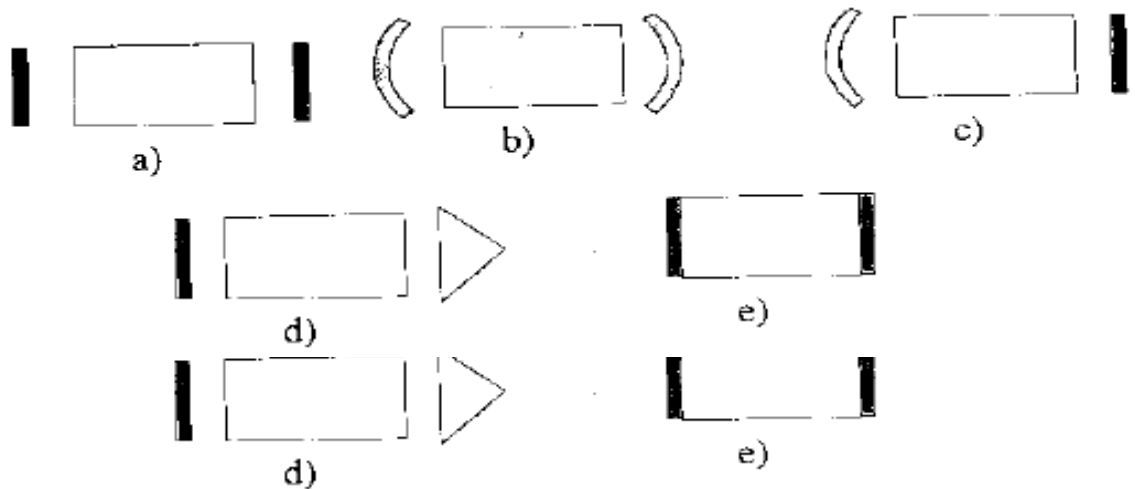
Khi cho sóng ánh sáng i qua ho t ch t c a bu ng c ng h ng tín hi u s c khu ch i lên, khi t i m t ph n x m t ph n sóng ánh sáng s b h t th h o c truy n qua nh ng ph n l n sóng ánh sáng s ph n x tr l i và c khu ch i lên khi i qua môi tr ng ho t tính n m t ph n x còn l i. T i ây c ng x y ra quá trình t ng t và c nh v y sau nhi u l n ph n x s thu c b c x có c ng l n.

6.2. T o ra b c x nh h ng, n s c, k t h p

Do c u t o bu ng c ng h ng là h nên nh ng sóng ánh sáng truy n d c theo tr c c a bu ng c ng h ng sau nhi u l n ph n x c c ng h ng lên nhi u l n. Nh ng sóng ánh sáng này s xác nh công su t ra c a laser. Còn nh ng sóng ánh sáng lan truy n d i nh ng góc l ch t ng i l n so v i tr c c a bu ng c ng h ng s b thoát ra ngoài sau nhi u l n ph n x . Vì v y b c x c hình thành bu ng c ng h ng s có tính **nh h ng r t cao**

Trong nhi u l n ph n x gi a hai g ng, pha c a sóng ánh sáng luôn b o toàn và quan h v pha c a các sóng ó c ng không i, do ó b c x ra mang tính **k t h p**

Cu i cùng nh bu ng c ng h ng có th th c hi n c các ph ng pháp ch n l c thu



c b c x có dãi ph r t h p g n nh **n s c**

7. Phân lo i bu ng c ng h ng theo c u t o

Phân lo i theo ng i c a tia sáng:

ng kia sáng h (zic z c h):

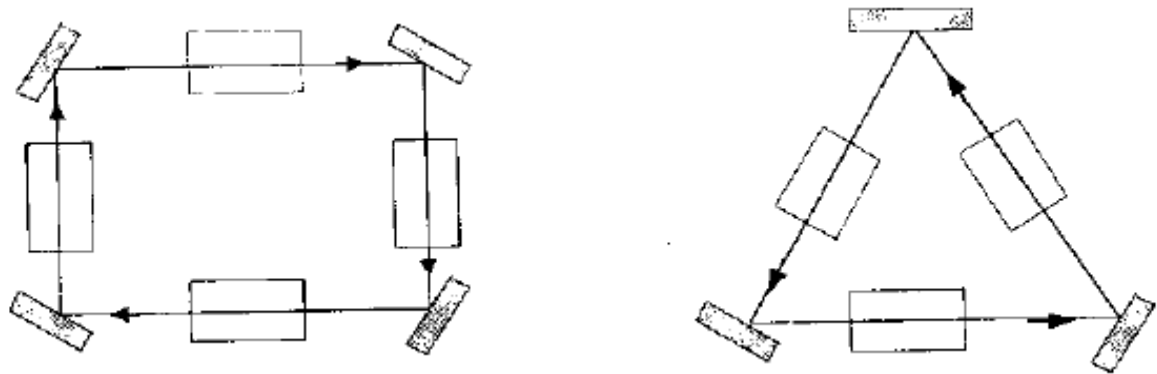
Bu ng c ng h ng ph ng: hai g ng ph n x là hai g ng ph ng, cho b c x có nh h ng cao

Bu ng c ng h ng c u ng tiêu: Hai g ng c u có cùng bán kính và chung tiêu i m

Ngoài ra còn có các lo i bu ng : g ng li n trong laser bán d n, m t g ng ph ng và m t g ng c u, g ng ph ng và l ng kính quay

ng i tia sáng kín : các g ng ph n x c t sao cho ng i tia sáng là kín

Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng



8. Yêu cầu kỹ thuật về các loại gương laser

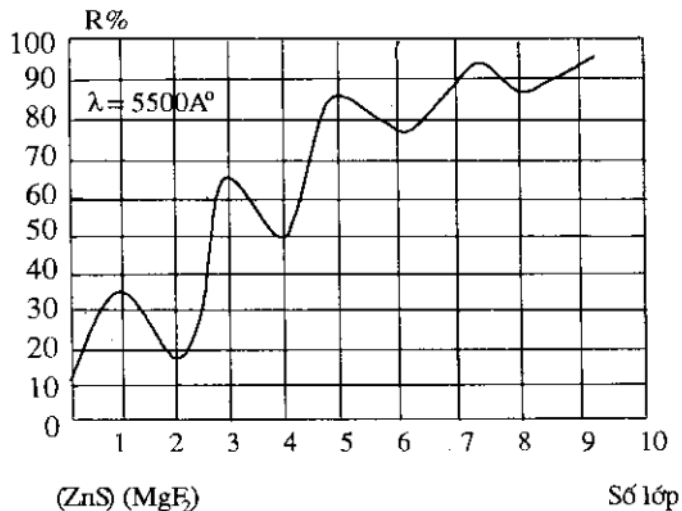
Yêu cầu cơ bản của các gương laser là phải đảm bảo cho hệ số phản xạ cho phép là lớn nhất và phần năng lượng tiêu hao do hấp thụ trên các bề mặt là nhỏ nhất.

Trong giai đoạn đầu phát triển của kỹ thuật laser người ta sử dụng các gương có lớp phủ tinh thể hay thạch anh và lớp phủ oxit nhôm hoặc vàng, hệ số phản xạ của các gương này vùng ánh sáng khả kiến thường không vượt quá 90-95% và phần năng lượng tiêu hao trên bề mặt gương có thể tới 5-10%. Vì vậy các gương này có phẩm chất không cao.

Ngày nay trong kỹ thuật laser phần lớn gương nhôm, bạc, vàng được thay bằng gương in môi nhiệt độ thấp. Nó có các đặc tính nổi bật: các gương có hệ số phản xạ cao và phần năng lượng tiêu hao do hấp thụ là rất bé, chu kỳ bảo quản ngắn gọn và tuổi thọ của các gương này cao. Vì thế nó mở ra phẩm chất của buồng cộng hưởng rất cao. Yêu cầu về độ dày quang học của các lớp in môi công suất phản xạ tăng lên và hệ số phản xạ lớn là

$$n_1 \cdot h_1 = n_2 \cdot h_2 = n_3 \cdot h_3 = \dots = n_n \cdot h_n = \frac{\lambda}{4}$$

Hệ số phản xạ và tính chất của các gương còn phụ thuộc vào số lớp in môi. Ví dụ số phụ thuộc này về việc in môi các chất có ZnS và MgF₂



Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

Các gương có độ phản xạ từ 3-7 là các gương bán trong suốt, khi gương có độ phản xạ 15 là pin môi trường lên thì độ phản xạ sẽ cao ($R > 99\%$)

Ngoài ra các loại gương trong hệ thống quang học đòi hỏi sai số về bước sóng của mặt gương không vượt quá giá trị cho phép là $\frac{\lambda(1-R)}{2\pi\sqrt{R}}$

Ngoài ra một thông số kỹ thuật của các gương cần chú ý là giá trị mật độ công suất tối đa mà gương có thể chịu được. Đây là một vài số liệu xác định qua thực nghiệm:

Các chất thành phần của lớp phản xạ	Số lớp	Công suất tối hạn [mW/cm ²]	Bước sóng λ [μ]
ZnS+MgF ₂	15	350	0,6943
ZnS+MgF ₂	15	30	0,53
ZnS	1	350	0,6943
CeO ₂ +MgF ₂	15	400	0,6943
ZnS+SrF ₂	13	60	0,6943

Để việc hình thành môi trường phản xạ hoàn toàn, mặt gương bán trong suốt thì hệ số phản xạ thỏa mãn:

$$R_2 = e^{-\beta l \left(\sqrt{\frac{\sigma_{21} \cdot n_0}{\beta} \cdot \frac{k-1}{k+1}} - 1 \right)} \quad \text{với laser làm việc theo sơ đồ 3 mức}$$

$$R = e^{-2\beta l \left(\sqrt{\frac{\sigma_{32} \cdot n_0}{\beta} \cdot \frac{\omega_{14} \cdot \tau_{32}}{\omega_{14} \tau_{32} + 1}} - 1 \right)} \quad \text{với laser làm việc theo sơ đồ 4 mức}$$

II. PH M CH T BU NG C NG H NG

1. phẩm chất là gì?

Một đặc trưng quan trọng của BCH là phẩm chất. phẩm chất xác định một năng lượng bức xạ trong hệ thống phẩm chất càng cao khi năng lượng mất mát càng nhỏ.

2. Các dạng mất mát năng lượng:

Trên thực tế vì có nhiều dạng mất mát trong hệ thống quang học. Các mất mát đó do nhiều nguyên nhân:

- Mất mát bức xạ thất thoát phản xạ các góc gương
- Mất mát bức xạ nhiễu xạ nhiễu xạ trên gương
- Mất mát do các gương không song song nhau
- Mất mát do sự hấp thụ của các photon khi di chuyển trong buồng cộng hưởng

Buồng cộng hưởng – Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

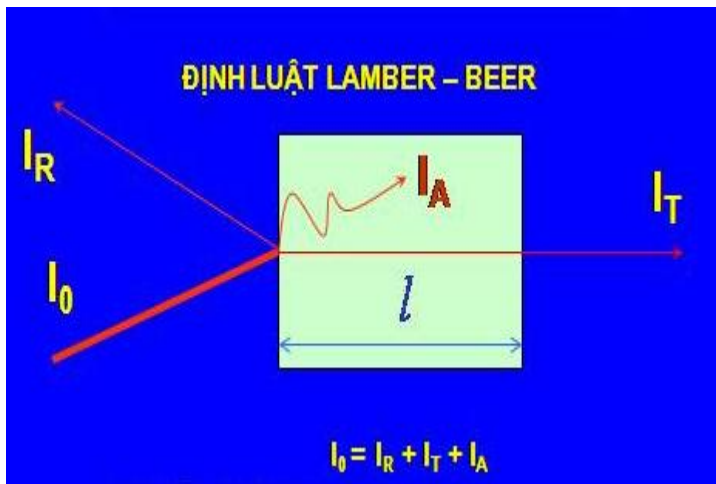
Một định luật rất quan trọng để xác định phẩm chất

Trong BCH h, nhiều yếu tố đóng vai trò: nó làm giảm số mode dao động số v i h c ng h ng kín. Một khác trong quá trình di chuyển, năng lượng sóng còn bị mất mát do hiện tượng truyền qua và hiện tượng hấp thụ bức xạ. Do đó, năng lượng mất mát trong 2 quá trình này là rất quan trọng.

3. Xác định phẩm chất:

3.1. phẩm chất trong quá trình phản xạ:

- Ta xét mất mát do chất lượng phản xạ của gương (hiện tượng truyền qua và hấp thụ trong gương):



Chùm sáng chiếu tới gương thì sẽ chia ra làm 3 thành phần theo định luật Lamber-beer (như hình vẽ):

- + Một phần chùm sáng sẽ phản xạ lại môi trường
- + Một phần chùm sáng sẽ truyền qua
- + Một phần bị hấp thụ bức xạ

Trong Laser ta cần chùm sáng phản xạ lại môi trường để có hiện tượng, như vậy, phần chùm sáng bị hấp thụ và truyền qua sẽ làm giảm cường độ chùm sáng chiếu vào, gây ra mất mát trong quá trình phản xạ.

Cường độ ánh sáng mất đi trong một đơn vị thể tích do sự phản xạ này là:

$$dI/dt_{px} = -I c/L$$

Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

$$\Leftrightarrow I = I_0 \exp(-c.t/L)$$

Với $I/I_0 = \exp(-c.t/L)$: t càng tăng thì I càng giảm.

phẩm chất trong trường hợp này là: $Q_1 = L/c$

Suy ra: $I/I_0 = \exp(-c.t/L) = \exp(-t./Q_1)$

\Rightarrow Phương trình biểu diễn dao động tắt dần trở thành:

$$dI/dt_{px} = -I/Q_1$$

Xác định Q_1 :

- Nếu coi các gương là hoàn toàn giống nhau, và có hệ số phản xạ là R , thì phần năng lượng của BCH bị mất đi trong khoảng thời gian dt xác định:

Giả sử sóng mang năng lượng $E/2$ đi từ gương G_1 đến gương G_2 . Thời gian G_2 , sóng này có phản xạ trở lại một phần, còn một phần thì hao hụt $-E(1-R)/2$.

- Khoảng thời gian cần thì để sóng đi hết quãng đường G_1 đến G_2 là:

$$t = L/v = Ln/c \quad (n \text{ là chiết suất của môi trường hoặc tính})$$

Như vậy sau mỗi khoảng thời gian t thì sóng đi hết quãng đường G_1 đến G_2 , và tiêu hao phần năng lượng bằng $-E(1-R)/2$. Vì vậy, trong một đơn vị thời gian, sóng bị mất một phần năng lượng là: $-E(1-R)/2t = -E(1-R)c/2Ln$

Vì mỗi dao động trong BCH có thể coi là hai sóng phản xạ lan truyền ngược chiều nhau, nên phần năng lượng mà mất dao động (mất mode) mất đi trong một đơn vị thời gian là: $-E(1-R)c/Ln$

Như vậy trong cùng khoảng thời gian t , phần năng lượng xác định tiêu hao:

$$dE = -E(1-R)c/Ln dt. \quad (1)$$

Mặt khác, nếu coi các mode của BCH như các dao động riêng lẻ, thì phần năng lượng dao động tắt dần:

$$dE = -E dt/Q_1 \quad (2)$$

So sánh: (1) và (2): $Q_1 = Ln/c(1-R) = 2Ln/(1-R)$

- Trong dải sóng vô tuyến: $\lambda \gg L$ (57): mất mát lớn

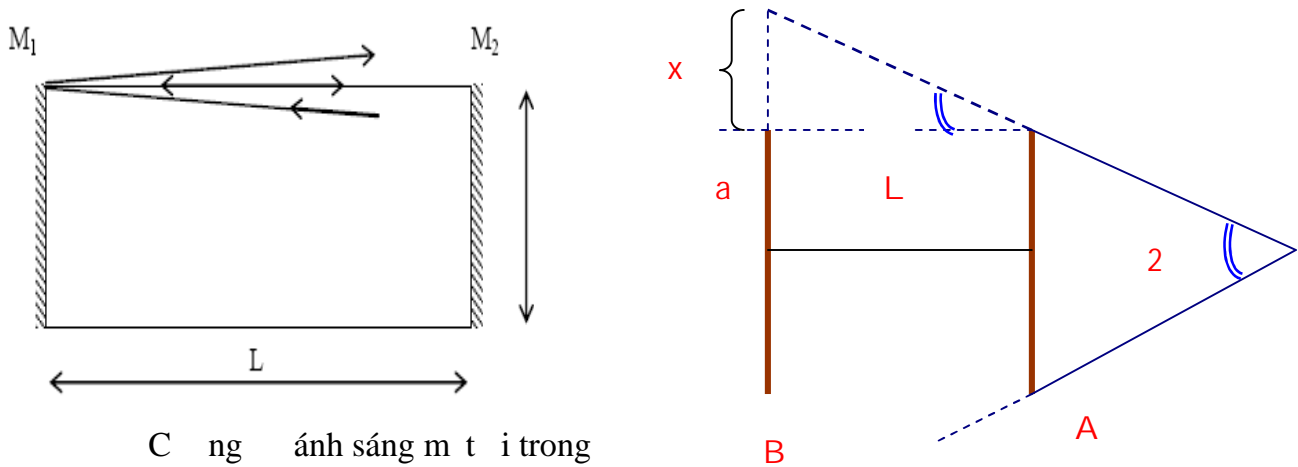
Do đó hệ số hiệu chỉnh đáng kể cho sóng ngắn.

Ví dụ như với $\lambda = 1.10^{-2}$, $L = 0,3$ m, $\lambda = 1\mu\text{m}$, $Q_1 = 2.10^8$

3.2. Mất mát do hấp thụ nhiệt và nhiễu xạ trên gương:

Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

Do kích thước hình học của buồng nên các chùm sáng khi chiếu tới biên gương sẽ phản xạ và đi ra khỏi BCH. Một mặt mát này gọi là mặt mát do nhiễu xạ.



Các góc ánh sáng mặt tới trong mặt phẳng thì gian do nhiễu xạ

$$\text{nhiễu xạ này là: } dI/dt_{nx} = -I/Q_2 \quad (**)$$

Chùm sóng song song với trục p lên gương A, phản xạ và nhiễu xạ trong góc α/a .

Phản xạ ngược lại do nhiễu xạ sau mặt l n b c x i qua h c ng h ng s b ng t s đi n tích vành khuyên có bán kính $x (x = \dots L)$ với đi n tích gương:

$$2ax/a^2 = L/a^2 = 1/N \quad (N: \text{số Fresnel})$$

Như vậy, số Fresnel càng lớn thì mặt mát do nhiễu xạ càng nhỏ

$$\Rightarrow Q_2 = a^2/L$$

- Các loại laser khác nhau sẽ có phẩm chất khác nhau:

- ❖ Laser Ruby có chiều dài 10 cm, góc kính của thanh Ruby là 1cm, hai gương phản xạ của nó là 2 mặt đáy của nó, với nhiệt độ phòng $\lambda = 6943 \text{ \AA}$ thì ta tìm được $N = Q_2 = 625$
- ❖ Với laser khí Ar, dài h c ng h ng khoảng 50cm, góc kính trong ống phóng điện khoảng 2mm, dài sóng $\lambda = 4880 \text{ \AA}$, thì $N = Q_2 = 20$

Tính năng trình () và (**), các góc giảm tính năng là:

Buồng cộng hưởng - Đo phẩm chất buồng cộng hưởng

$$dI/dt = -I(1/Q_1 + 1/Q_2) = -I/Q$$

$$\text{vì } 1/Q = 1/Q_1 + 1/Q_2$$

Q là phẩm chất của buồng cộng hưởng

Mất máy laser càng tốt thì có Q càng lớn.

TÀI LI U THAM KH O

1. V t Lý Laser, Nguy n H u Chí – Tr n Tu n, NXB HQG.TPHCM
2. Giáo Trình Quang H c, Nguy n Tr n Trác – Di p Ng c Anh, NXB HSP.TPHCM
3. C S K Thu t Laser, Tr n c Hân – Nguy n Minh Hi n, NXB Giáo D c
4. Bài gi ng V t Lý Laser L p Cao H c V t Lý ng D ng K19, Th y TS. Phan Bách Th ng