

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC VINH**

***MAI VĂN LƯU***

**MỘT SỐ ẢNH HƯỞNG CỦA CHÙM LASER XUNG GAUSS  
LÊN QUÁ TRÌNH PHÂN BỐ  
CỦA MÔI TRƯỜNG BỊ KÍCH THÍCH**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**Chuyên ngành: Quang học**

**Mã số: 62 44 11 01**

**Người hướng dẫn khoa học:**

- 1. PGS. TS. Hồ Quang Quý**
- 2. PGS. TS. Đinh Xuân Khoa**

***VINH, 2010***

**LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan nội dung của bản luận án này là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Hồ Quang Quý và PGS.TS. Đinh Xuân Khoa. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

Tác giả luận án

**Mai Văn Lưu**

## LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Hồ Quang Quý và PGS.TS. Đinh Xuân Khoa, tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới các thầy giáo, những người đã đặt đề tài, dẫn dắt tận tình và động viên tác giả trong suốt quá trình nghiên cứu để hoàn thành luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các thầy giáo, cô giáo, các nhà khoa học và các bạn đồng nghiệp trong khoa Vật lý, khoa Sau đại học - Trường Đại Học Vinh, Viện Khoa học & Công nghệ Quân sự - Bộ Quốc Phòng đã đóng góp những ý kiến khoa học bổ ích cho nội dung của luận án, tạo điều kiện và giúp đỡ tác giả trong thời gian học tập và nghiên cứu.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới bạn bè, người thân trong gia đình đã quan tâm, động viên, giúp đỡ tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Xin trân trọng cảm ơn!

**Tác giả luận án**

## MỞ ĐẦU

Một trong những thành tựu quan trọng trong sự phát triển khoa học và công nghệ của thế kỷ XX là sự ra đời của LASER (*Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation*). Khác với ánh sáng thông thường, bức xạ laser là một chùm ánh sáng kết hợp, đơn sắc với độ phân kỳ nhỏ và có thể có cường độ rất lớn. Ngoài các tính chất trên, còn có một số laser có thể thay đổi được bước sóng liên tục trong một vùng phổ nhất định. Nhờ đó, ứng dụng của laser trong khoa học, công nghệ và cuộc sống ngày càng đa dạng, phong phú.

Một trong các tham số đặc trưng cho chùm laser là cường độ chùm tia. Nói chung, cường độ của chùm xung laser là đại lượng phụ thuộc không gian và thời gian, mà hầu hết có dạng phân bố Gauss. Khi chùm laser truyền trong môi trường, dưới tác động của nó môi trường vật chất sẽ thay đổi trạng thái (hay bị kích thích). Chúng ta biết rằng, môi trường là tập hợp của các hạt vi mô. Các hạt vi mô đó có cấu trúc vật chất, cấu trúc lý - hoá, vị trí, tốc độ nhất định và tập trung trong một không gian với mật độ xác định. Khi chịu tác động của laser, các thành phần của môi trường sẽ thay đổi thông qua quá trình lượng tử (hấp thụ và phát xạ cưỡng bức), thay đổi nhiệt độ thông qua quá trình không lượng tử (tích thoát dao động) hoặc thay đổi vị trí, vận tốc thông qua quá trình va chạm lượng tử (tương tác xung lượng).

Trong tự nhiên khi xảy ra tương tác, các quá trình thay đổi trạng thái nói chung và thay đổi nhiệt độ nói riêng, là tất yếu - theo định luật bảo toàn năng lượng. Mặt khác, theo định luật bảo toàn xung lượng, các quá trình thay đổi vị trí và vận tốc cũng sẽ xảy ra. Do đó, khi có tương tác của laser với môi trường cũng sẽ xảy ra sự thay đổi trạng thái nói chung, vị trí và xung lượng nói riêng. Mức độ thay đổi phụ thuộc vào số lượng (hay mật độ) dòng photon. Hay nói cách khác, dưới tác động của chùm laser, sự thay đổi tính chất của môi trường sẽ phụ thuộc vào cường độ chùm tia. Khi xảy ra các quá trình thay đổi trạng

thái của vật chất (trong đó có sự thay đổi mật độ các hạt), mật độ các hạt bị kích thích sẽ thay đổi theo không gian và thời gian. Nghĩa là, mật độ các hạt bị kích thích sẽ có sự phân bố lại theo không gian và thời gian. Phân bố mật độ của vật chất trong đó có sự thay đổi một tính chất nào đó (ví dụ mức năng lượng, nhiệt độ, vị trí, tốc độ,...) dưới tác dụng của chùm laser gọi chung là quá trình quang phân bố (optical deposition) [20], [60], [82], [92].

Sự thay đổi quá trình quang phân bố xảy ra khi có tác động của laser với môi trường. Môi trường hoạt chất - môi trường khuếch đại laser đặc trưng bởi hệ số khuếch đại (khuếch đại trên một đơn vị độ dài). Hệ số khuếch đại mô tả tốc độ tăng của mật độ dòng photon (hay cường độ trường laser) [6]. Như vậy, phân bố tâm hoạt trong laser ảnh hưởng đến hệ số khuếch đại của môi trường hoạt chất và do đó ảnh hưởng đến hiệu suất và công suất laser phát.

Mặt khác, khi được kích thích, các tâm hoạt sẽ chuyển từ mức năng lượng cơ bản lên các mức năng lượng cao hơn, nghĩa là trong môi trường có sự thay đổi quang phân bố. Khi chuyển từ các mức kích thích trên về mức laser trên, các tâm hoạt sẽ tạo ra các dao động nội làm cho nhiệt độ của môi trường hoạt chất tăng lên [4], [7], [27], [47], [51], [58], [62], [67], [79], [92-93]. Quá trình biến đổi nhiệt trong hoạt chất phụ thuộc vào không gian và thời gian. Như vậy, quá trình biến đổi quang nhiệt đã xảy ra trong hoạt chất mà kết quả là làm tăng nhiệt độ của môi trường. Do sự thay đổi chiết suất theo nhiệt độ mà hiệu ứng thấu kính nhiệt hình thành trong hoạt chất. Sự thay đổi chiết suất trong quá trình hoạt động của laser sẽ biến hoạt chất đồng nhất ban đầu thành một thấu kính - gọi là thấu kính nhiệt. Hiệu ứng thấu kính nhiệt sẽ ảnh hưởng đến cấu trúc chùm tia, ảnh hưởng đến tần số làm việc của laser [6].

Chùm tia laser không những làm thay đổi quá trình quang phân bố trong môi trường hoạt chất mà nó còn có thể làm thay đổi vị trí, vận tốc của hạt vi mô. Sự thay đổi đó ảnh hưởng đến quá trình ổn định trạng thái của hạt và ảnh hưởng đến quá trình khảo sát, nghiên cứu đối tượng là các hạt vi mô.

Ngày nay, laser rắn bơm ngang đang được quan tâm nghiên cứu [42], [65], [67], [73], [80], [83-85], [89], [92]. Đối với laser rắn, phân bố năng lượng bơm hay phân bố tâm hoạt bị kích thích là vấn đề quan trọng trong quá trình thiết kế, chế tạo. Dựa vào phân bố năng lượng bơm của laser bán dẫn, các công trình nghiên cứu trước đây đã giả thiết phân bố năng lượng bơm trong môi trường hoạt chất có dạng Gauss [92]. Điều này hoàn toàn không thực tế vì chỉ cần một sự thay đổi nhỏ của vị trí thanh laser bán dẫn cũng như thay đổi kích thước hoạt chất, thay đổi tham số thấu kính hội tụ,... sẽ làm thay đổi phân bố năng lượng bơm trong hoạt chất, do đó làm thay đổi tính chất của laser rắn. Khảo sát ảnh hưởng của các tham số trên đến quá trình phân bố năng lượng bơm trong thanh hoạt chất laser rắn sẽ được chúng tôi tiếp tục nghiên cứu và trình bày trong chương 2 của luận án.

Với laser Raman, tùy thuộc vào mục đích sử dụng và yêu cầu về tính chất mà nhiều loại laser Raman khác nhau đã được quan tâm nghiên cứu [25-26], [28], [31-32], [51], [53-54], [69], [77-79], [87]. Trong laser Raman, hiệu ứng tiêu cực ảnh hưởng đến hiệu suất chính là hiệu ứng phát tần số đối Stokes [25], [84], [87]. Hiện tượng sinh nhiệt trong laser Raman cũng đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu [24], [51], [69], [77-79], [87]. Tuy nhiên, các công trình này mới chỉ dừng lại ở laser Raman phát sóng Stokes. Nghiên cứu quá trình phân bố tâm hoạt bị kích thích, dẫn đến phân bố nhiệt và phân bố chiết suất trong môi trường hoạt chất laser Raman sẽ được nghiên cứu và trình bày trong nội dung chương 3 của luận án.

Ứng dụng chùm tia laser trong việc khảo sát, nghiên cứu các hạt vi mô đang là vấn đề cấp thiết, mang tính thời sự hiện nay. Khái niệm “Bẫy quang học” đã được nhắc đến nhiều trong các công trình nghiên cứu về tác dụng của laser [11-17], [19-20], [29-30], [35], [37-45], [59], [61], [75]. Sử dụng một hay nhiều chùm tia Gauss để bẫy các hạt có kích thước cỡ nano (bẫy quang học) không còn là vấn đề mới hiện nay. Tuy nhiên, chưa có công trình nào đề cập đến việc khảo sát phân bố quang lực tác dụng lên hạt điện môi trong bẫy

quang học sử dụng hai chùm xung Gauss ngược chiều. Nội dung này sẽ được chúng tôi tiếp tục bổ sung nghiên cứu và trình bày ở chương 4.

Như vậy, từ những vấn đề nêu trên, chúng ta thấy một số nội dung cần quan tâm nghiên cứu: 1) Nghiên cứu phân bố năng lượng bơm trong laser rắn bơm ngang bằng laser bán dẫn. 2) Khảo sát quá trình sinh nhiệt trong laser Raman phát sóng đối Stokes, ảnh hưởng của hiệu ứng nhiệt đến cấu trúc chùm tia phát. 3) Nghiên cứu phân bố quang lực của chùm tia Gauss trong bẫy quang học tác động lên hạt điện môi có kích thước cỡ nano.

Để giải quyết những vấn đề đã đặt ra, thời gian qua chúng tôi đã quan tâm nghiên cứu. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án “***Một số ảnh hưởng của chùm laser xung Gauss lên quá trình phân bố của môi trường bị kích thích***”.

Với tên luận án được xác định, mục đích nghiên cứu của đề tài là khảo sát ảnh hưởng của chùm xung Gauss lên quá trình phân bố tâm hoạt bị kích thích trong thanh hoạt chất laser rắn bơm ngang bằng laser bán dẫn. Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số đến bán kính vùng chông lẩn năng lượng bơm trong hoạt chất, qua đó tối ưu hoá các tham số nhằm nâng cao hiệu suất quá trình bơm. Đối với laser Raman, luận án tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của chùm tia Gauss lên phân bố các tâm hoạt bị kích thích, dẫn đến phân bố nhiệt và phân bố chiết suất trong môi trường laser Raman buồng cộng hưởng bội ba. Cuối cùng, luận án sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số chùm tia lên phân bố quang lực tác dụng lên hạt điện môi trong bẫy quang học hai chùm xung Gauss ngược chiều.

Để nghiên cứu các nội dung đã nêu ra như trên, luận án sử dụng phương pháp số và tính toán lý thuyết. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong 4 chương của luận án:

**Chương 1.** Một số kết quả đã nghiên cứu về tác dụng của chùm laser xung Gauss.

Trong chương này chúng tôi khái quát các kết quả đã nghiên cứu của một số tác giả về phân bố năng lượng bơm trong laser rắn bơm ngang bằng laser bán dẫn; quá trình sinh nhiệt trong laser Raman phát sóng Stokes và phân bố quang lực trong bẫy quang học sử dụng một chùm tia Gauss. Từ những điểm tổng quan, những vấn đề cần quan tâm hoàn thiện như: phân bố của các hạt bị kích thích khi hấp thụ ánh sáng và thực hiện dịch chuyển kết hợp; phân bố các hạt bị kích thích khi hấp thụ ánh sáng và thực hiện dịch chuyển không kết hợp (dịch chuyển nhiệt) và cuối cùng là các hạt bị kích thích khi không hấp thụ ánh sáng (hạt điện môi) sẽ được đề xuất nghiên cứu trong các chương sau.

**Chương 2.** Phân bố tâm hoạt bị kích thích trong hoạt chất laser rắn bơm ngang bằng laser bán dẫn.

Loại bỏ giả thiết phân bố năng lượng bơm có dạng Gauss trong hoạt chất với các tham số cho trước như trong công trình nghiên cứu của W.Xie [92], trong chương này chúng tôi đề xuất các tham số thiết kế cần quan tâm, khảo sát phân bố tâm hoạt bị kích thích trên tiết diện ngang và theo chiều dọc trục hoạt chất laser rắn bơm ngang bằng laser bán dẫn. Qua đó tìm ra phương án tối ưu hoá các tham số bơm theo tham số mode cơ bản nhằm nâng cao hiệu suất quá trình bơm.

**Chương 3.** Phân bố tâm hoạt bị kích thích và các hiệu ứng gradient nhiệt trong laser Raman buồng cộng hưởng bội ba.

Trong chương này chúng tôi trình bày quá trình sinh nhiệt, huỷ nhiệt trong laser Raman khi quan tâm đến sóng đối Stoke trong laser Raman buồng cộng hưởng bội ba. Qua đó tìm phân bố nhiệt, phân bố chiết suất trong hoạt chất laser Raman và phân tích khả năng loại bỏ hiệu ứng nhiệt trong laser Raman buồng cộng hưởng bội ba.

**Chương 4.** Phân bố quang lực tác dụng lên hạt điện môi cỡ nano trong bẫy quang học hai chùm xung Gauss ngược chiều.



Giới thiệu cấu hình bẫy quang học sử dụng hai chùm xung Gauss lan truyền ngược chiều. Nội dung chính của chương là nghiên cứu phân bố quang lực của hai chùm tia Gauss tác dụng lên hạt vi mô. Qua đó đề cập đến tính ổn định của bẫy quang học sử dụng hai chùm tia Gauss lan truyền ngược chiều.

Bản luận án này được hoàn thành tại khoa Vật lý, trường Đại học Vinh. Kết quả của luận án đã được báo cáo ở các Seminar tại bộ môn Quang học - Quang phổ, khoa Vật lý, trường Đại học Vinh. Các kết quả của luận án cũng đã được trình bày tại *Hội nghị Quang học - Quang phổ toàn quốc* [45], [46], [47]; được công bố trên tạp chí *Nghiên cứu Khoa học, Kỹ thuật và Công nghệ Quân sự* [41], [66], [67]; tạp chí *Communication in Physic* [26], [27], [38], [42], [44], [65]; các tạp chí chuyên ngành ngoài nước (*Computational methods for Science and Technology*, Ba Lan [39] và *Chiness Optic Letter*, Trung Quốc [43]).

## Chương 1

# MỘT SỐ KẾT QUẢ ĐÃ NGHIÊN CỨU VỀ TÁC DỤNG CỦA CHÙM LASER XUNG GAUSS

### 1.1. Chùm laser xung Gauss

#### 1.1.1. Phân bố mode trong buồng cộng hưởng laser

Lý thuyết trường điện từ cho thấy cường độ trường trong các buồng cộng hưởng khác nhau có thể phân tích thành chuỗi các hàm phụ thuộc vào ba tham số. Mỗi tham số ứng với một dạng dao động (hay còn gọi là mode), được ký hiệu  $TEM_{mnq}$  (viết tắt của mode ngang - Transverse, mode điện - Electric và mode từ - Magnetic, trong đó  $m$  và  $n$  là các số nguyên [10]). Các số nguyên cho biết số cực tiểu, hay số điểm cường độ bằng không, giữa các rìa của chùm tia theo hai hướng vuông góc nhau ( $m$  cho mode điện và  $n$  cho mode từ). Hai chỉ số đầu ( $m, n$ ) ứng với hàm mô tả cấu trúc ngang của dao động (dạng dao động ngang) -  $TEM_{mn}$ . Mỗi dao động ngang ứng với hàng loạt dao động dọc cách nhau một nửa bước sóng, sắp xếp theo chiều dài buồng cộng hưởng [6], các dao động này ứng với chỉ số  $q$ . Chiều dài buồng cộng hưởng và bước sóng ánh sáng tác động lẫn nhau để tạo ra mode dọc của sự phân bố năng lượng trong chùm tia. Còn thiết kế buồng cộng hưởng là nhân tố then chốt trong việc xác định sự phân bố cường độ theo chiều ngang của chùm tia [10].

Trong buồng cộng hưởng quang học sẽ tồn tại các sóng đứng, do sự giao thoa của các sóng phẳng truyền dọc quang trục theo hướng ngược nhau sau khi phản xạ trên hai gương. Khoảng cách giữa hai bụng sóng liền nhau bằng một nửa bước sóng. Các dao động dọc sắp xếp theo chiều dọc buồng cộng hưởng, mỗi dao động dọc ứng với một tần số riêng. Thực tế số dao động dọc (mode dọc) trong laser là số nguyên lần một nửa bước sóng so với chiều dài buồng cộng hưởng. Bước sóng của mode dọc được tính theo công thức [6]: