

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC**

NGUYỄN THỊ THU LOAN

**ĐIỀU KHIỂN VI HẠT
TRONG KHÔNG GIAN BA CHIỀU
BẰNG KÌM QUANG - ÂM**

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

Thái Nguyên-2018

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC**

NGUYỄN THỊ THU LOAN

**ĐIỀU KHIỂN VI HẠT
TRONG KHÔNG GIAN BA CHIỀU
BẰNG KÌM QUANG - ÂM**

Chuyên ngành: Quang học

Mã số: 844.01.10

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

TS. Nguyễn Mạnh Thắng

Thái Nguyên-2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan nội dung của bản luận văn này là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của TS. Nguyễn Mạnh Thắng. Các kết quả trong luận văn là trung thực chưa có trong các luận văn khác.

Tác giả luận văn

Nguyễn Thị Thu Loan

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành nhất đến TS Nguyễn Mạnh Thắng, người Thầy đã hướng dẫn tận tình và động viên bản thân tôi trong quá trình nghiên cứu thực hiện luận văn với tinh thần đầy trách nhiệm. Thầy đã giúp tôi nâng cao kiến thức, nghị lực, phát huy được sáng tạo và hoàn thành tốt luận văn.

Tôi xin cảm ơn sâu sắc đến quý Thầy Cô giáo trong khoa Vật lý Trường Đại học Thái Nguyên - Đại học Khoa học đã đóng góp nhiều ý kiến khoa học bổ ích cho nội dung của luận văn, tạo điều kiện tốt nhất cho tôi trong thời gian học tập và nghiên cứu.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn đến gia đình, người thân, bạn bè và đồng nghiệp đã quan tâm, động viên và giúp đỡ tôi trong quá trình hoàn thành luận văn.

MỤC LỤC

Mở đầu.....	1
Chương 1: KÌM QUANG HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN.....	3
1.1 Quang lực.....	3
1.2 Bẫy quang học.....	8
1.3 Kim quang học (KQH).....	9
1.3.1 KQH theo nguyên lý giao thoa kế Mach-Zehnder	9
1.3.2. KQH theo nguyên lý khúc xạ quang- âm	10
1.3.3. KQH kết hợp nguyên lý quang-âm và quay Galvo	11
1.3.4. KQH theo nguyên lý kết hợp thông minh	12
1.3.5 KQH phi tuyến.....	13
1.4. Kết luận	15
Chương 2:CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA MẢNG KÌM QUANG-ÂM.....	16
2.1. Biên điệu quang âm.....	16
2.2 Cấu hình mảng vi thấu kính biến điệu quang âm.....	18
2.3. Cấu hình mảng kim quang học sử dụng mảng vi thấu kính biến điệu quang-âm.....	24
2.3.1. Mô hình	24
2.3.2. Tiêu cự vi thấu kính.....	26
2.3.3 Điều kiện khẩu độ số của vi thấu kính	26
2.3.4. Phân bố cường độ laser trên tiêu diện vi thấu kính.....	27
2.3.5 Quang lực gradient dọc và ngang.....	31
2.4. Kết luận	36
Chương 3: ĐIỀU KHIỂN VI HẠT BẰNG CÁCH THAY ĐỔI TẦN SỐ SÓNG ÂM.....	378
3.1. Gán nhãn cho các kìm đơn.....	378
3.2. Tọa độ hạt bẫy trong không gian	389
3.3 Mô phỏng quỹ đạo của các hạt bẫy trong quá trình điều khiển	40
3.3.1 Điều khiển vi hạt bằng phương pháp quản lý pha ban đầu	40
3.3.2 Điều khiển vi hạt bằng phương pháp quản lý tần số	42
3.4. Kết luận	46
KẾT LUẬN CHUNG.....	478
Một phần kết quả nghiên cứu đã được công bố trong công trình.....	49
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	4950

Ký hiệu và thuật ngữ viết tắt

Viết tắt	Giải thích nghĩa	Giải thích nghĩa
ICOT	Intelligently Control Optical Tweezers	Mảng kim quang học thông minh.
AOD	Acousto - Optical Deflector	Linh kiện phản xạ quang - âm.
NA	Numerical Aperture	Khẩu độ số.
IOT	Interferometric Optical Trap	Mảng kim giao thoa quang.

Ký hiệu	Ý nghĩa, đơn vị
\vec{F} , \vec{F}_{grad} , \vec{F}_{tx}	Quang lực; Lực gradient; Lực tán xạ (N)
F_s	Tần số sóng âm (Hz)
I, I_0	Cường độ laser (W/m^2)
I_s	Cường độ sóng âm (W/m^2)
M	Hằng số đáp ứng (m^2/W)
N	Số photon
NA	Khẩu độ số
P, P_0	Công suất (W)
S_0	Biên độ sóng âm (V/m)
V_s	Vận tốc sóng âm (m/s)
c	Vận tốc ánh sáng (m/s)
d	Độ dày môi trường (m)
\vec{f}	Quang lực của một photon (N)
f_a	Tần số ánh sáng (Hz)
f, f_1, f_2	Tiêu cự thấu kính (m)
K	Số sóng ($1/m$)
m	Tỉ số chiết suất
n, n_h, n_m	Chiết suất
\vec{p}	Xung lượng của photon (kg.m/s)

\vec{r}	Véc tơ tọa độ không gian
T	Thời gian (t)
w, w ₀	Bán kính vết chùm tia và thắt chùm (m)
z ₀	Độ dài Rayleigh (m)
Λ	Bước sóng sóng âm (m)
α	Tiết diện tán xạ (m.s)
Ω	Tần số góc(rad/s)
Λ	Bước sóng laser (m)
\hbar	Hằng số Plank (Js)
φ_x, φ_y	Pha ban đầu của hai sóng theo chiều x,y

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình vẽ	Hình vẽ
Hình 1.1 Xung lượng và lực do phản xạ	Hình 2.5 :Phân bố chiết suất trong diện tích $\Lambda \times \Lambda$
Hình 1.2 Hướng lực tương ứng vị trí hạt tương đối với tiêu điểm.	Hình 2.6 :M ô hình mảng kim quang học sử dụng vi thấu kính biến điệu sóng quang – âm
Hình 1.3 Lực gradient của chùm Gauss.	Hình 2.7 Mảng kim quang học trong chất lưu chứa vi hạt
Hình 1.4. Chùm Gauss bẫy hạt	Hình 2.8. Cấu hình kim quang học sử dụng một vi thấu kính
Hình 1.5 Cấu hình tối thiểu của bẫy quang học	Hình 2.9 Phân bố cường độ trong đĩa Airy
Hình 1.6. Sơ đồ chi tiết cấu tạo bẫy quang học	Hình 2.10 Phân bố cường độ laser trên tiêu diện ($z=f$)
Hình 1.7 Sơ đồ nguyên lý của IOT	Hình 2.11 Phân bố quang lực dọc trên mặt phẳng pha (z,ρ)
Hình 1.8 Kim quang học AOD	Hình 2.12 Phân bố quang lực ngang trên mặt phẳng pha (ρ,z)
Hình 1.9 Kim quang học sử dụng bộ quét tia Galvo	Hình 3.1 Mảng các vi thấu kính gắn nhãn T_{ij}
Hình 1.10 Sơ đồ cấu tạo của ICOT	Hình 3.2 Vị trí của vi hạt bẫy trong không gian chất lưu
Hình 1.11 Kim quang học phi tuyến ứng dụng điều khiển 3D	Hình 3.3. Thay đổi tọa độ vi hạt (x, y,z) khi thay đổi pha ban đầu $\varphi = -0.2\pi \div 0$
Hình 1.12. Sự phụ thuộc của vị trí cân bằng dọc trục vào công suất laser	Hình 3.4 Quỹ đạo các vi hạt điều khiển bởi kim đơn không nằm trên đường chéo
Hình 2.1. Phân bố chiết suất VLQA	Hình 3.5 Phụ thuộc của tọa độ vi hạt vào tần số sóng âm.
Hình 2.2 Khúc xạ Bragg của tạo bởi sóng âm trong môi trường quang-âm	Hình 3.6 Quỹ đạo chuyển động của vi hạt bẫy bởi kim đơn T_{11}
Hình 2.3 Cấu tạo của bộ biến điệu quang - âm bằng hai sóng âm nhìn từ trên xuống theo trục z	Hình 3.7 Quỹ đạo của vi hạt bẫy và điều khiển bởi các kim đơn T_{ij}
Hình 2.4 Phân bố chiết suất của tinh thể $Ge_{33}As_{12}Se_{33}$ trong mặt phẳng (X,Y)	Hình 3.8 Quỹ đạo của các vi hạt khi thay đổi tần số từ 400MHz xuống 200MHz.
	Hình 3.9 Sự phụ thuộc của quãng đường dịch chuyển của vi hạt bẫy bởi một đơn kim vào tần số

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Năm 1970, Ashkin (Nobel 2018) [1] đã khẳng định một chùm laser hội tụ mạnh có thể giữ được các vi hạt tại tiêu điểm nhờ quang lực - áp lực của photon ánh sáng tác động lên bề mặt vi hạt. Một thiết bị gồm một laser và một kính hiển vi sử dụng để giữ vi hạt tại tiêu điểm chùm laser gọi là bẫy quang học. Nếu bẫy quang học được thiết kế cùng với một hệ điện-cơ sao cho có thể thay đổi vị trí của tiêu điểm chùm tia laser trong không gian thì được gọi là kìm quang học. Cho đến nay kìm quang học trở thành công cụ hiệu dụng giữ và điều khiển các vi hạt như các vi cầu điện môi, nguyên tử, tế bào sống,... [1,2]. Xét tổng quát, các vi hạt được giữ tại một vị trí nào đó trong mặt phẳng mẫu và sau đó được điều khiển để nó dịch chuyển trên mặt phẳng mẫu phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu, tức là vị trí của vi hạt có thể được điều khiển trong không gian hai chiều (2D) [3,4], nhưng trong nhiều trường hợp các vi hạt cần phải được điều khiển trong không gian ba chiều (3D) [5,6]. Ví dụ, các tế bào cần phải bảo vệ trong dung môi có độ dày nhất định, khi đó không thể điều khiển chúng đơn thuần trong không gian 2D (mặt phẳng mẫu) mà phải điều khiển trong không gian 3D (trong chất lưu có độ dày nhất định). Khi sử dụng các kìm đơn chùm (chỉ sử dụng một chùm laser), các vi hạt có thể được điều khiển bằng phương pháp điện-cơ nhờ thay đổi hệ quang một cách tinh tế [5,6], trong khi đó, nếu sử dụng kìm quang học phi tuyến thì có thể điều khiển nhờ thay đổi tinh tế cường độ của một hoặc đồng thời hai chùm laser [7]. Tất cả các phương pháp trên đều phải thay đổi ít nhất hai yếu tố trong quá trình điều khiển vi hạt trong không gian 3D. Mới đây, các tác giả Hồ Quang Quý và Nguyễn Văn Thịnh [8,9] đã đề xuất và nghiên cứu thành công mảng kìm quang học quang-âm. Các tác giả đã sử dụng môi trường quang-âm được biến điệu ngang bằng nguồn sóng âm, tạo ra mảng các vi thấu kính và các vi thấu kính đó có thể hội tụ chùm laser thành mạng tiêu điểm khác nhau. Mỗi vi thấu kính được xem là một kìm quang học đơn và có thể điều khiển trong không gian 2D bằng cách thay đổi pha ban đầu và tần số sóng âm. Tiêu cự của mỗi vi thấu kính có thể thay đổi khi thay đổi cường độ và tần số sóng âm. Ngoài ra, trong công trình của mình, các tác giả đã chỉ ra, có sự liên hệ giữa tần số, cường độ sóng âm và tiêu cự vi thấu kính. Sự liên hệ này gợi cho chúng ta ý tưởng điều khiển vi hạt trong không gian 3D bởi 1một yếu tố hoặc tần số hoặc

cường độ sóng âm. Nội dung đề xuất và hiện thực hóa ý tưởng trên được trình bày trong luận văn có tựa đề: “**Điều khiển vi hạt trong không gian ba chiều bằng kim quang-âm.**”

2. Mục đích nghiên cứu

Khẳng định sử dụng kim quang-âm có thể điều khiển vi hạt trong không gian bằng cách thay đổi tinh tế các tham số sóng âm.

3. Nội dung nghiên cứu

Tổng quan về kim quang học và phương pháp điều khiển vi hạt, tập trung nghiên cứu cấu hình, lý thuyết cơ bản của kim quang-âm và các phương pháp điều khiển vi hạt bằng kim quang-âm, cụ thể thay đổi pha ban đầu và tần số sóng âm.

4. Cấu trúc luận văn

Ngoài phần mở đầu và kết luận, nội dung chính luận văn được cấu trúc trong ba chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về kim quang học và các phương pháp điều khiển liên quan.

Chương 2: Cấu hình kim quang học quang-âm và các đặc trưng cơ bản.

Chương 3: Phương pháp điều khiển vi hạt trong không gian.