

BỘ GIÁO DỤC ĐÀO TẠO  
ĐẠI HỌC HUẾ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM

\*\*\*\*\*◇◇◇\*\*\*\*\*

NGUYỄN THỊ THU

NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT PHI CỎ ĐIỂN BẬC CAO  
CỦA TRẠNG THÁI ĐƠN MODE CHỒNG CHẤT  
NÉN KẾT HỢP TĂNG CƯỜNG

Chuyên ngành: Vật lý lý thuyết và vật lý toán

Demo Version - Select Pdf SDK

Mã số: 8 44 01 03

LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ  
THEO ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:  
PGS. TS. TRƯỞNG MINH ĐỨC

Thừa Thiên Huế, năm 2020

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, các số liệu và kết quả nghiên cứu ghi trong luận văn là trung thực, được các đồng tác giả cho phép sử dụng và chưa từng được công bố trong bất kì một công trình nào khác.

**Nguyễn Thị Thu**

# LỜI CẢM ƠN

Sau một thời gian nghiên cứu và hoàn thành luận văn tốt nghiệp này, em xin gửi lời cảm ơn chân thành, sâu sắc đến thầy giáo **PGS. TS. Trương Minh Đức**, đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ em trong suốt quá trình thực hiện.

Em xin gửi lời cảm ơn đến quý thầy giáo, cô giáo trong tổ Vật lý; các anh (chị) Nghiên cứu sinh, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế đã tạo điều kiện giúp đỡ em hoàn thành luận văn.

Tôi xin gửi lời cảm ơn đến các anh, chị và các bạn học viên Cao học K27, gia đình, bạn bè đã động viên, góp ý, giúp đỡ, tạo điều kiện cho tôi trong quá trình học tập và thực hiện luận văn này.

*Huế, tháng 11 năm 2020*

Tác giả luận văn

**Demo Version - Select.Pdf SDK** Nguyễn Thị Thu

# Mục lục

|  |           |
|--|-----------|
| Trang phụ bì   | i         |
| Lời cam đoan   | ii        |
| Lời cảm ơn   | iii       |
| Mục lục  | 1         |
| Danh sách hình vẽ  | 4         |
| Mở đầu   | 5         |
| <b>Demo Version - Select.Pdf SDK</b>   |           |
| <b>NỘI DUNG</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT</b>  | <b>8</b>  |
| 1.1. Trạng thái kết hợp . . . . .  | 8         |
| 1.1.1. Định nghĩa . . . . .  | 8         |
| 1.1.2. Các tính chất của trạng thái kết hợp . . . . .                                | 9         |
| 1.2. Trạng thái nén . . . . .  | 12        |
| 1.2.1. Ý tưởng về trạng thái nén . . . . .   | 12        |
| 1.2.2. Toán tử nén $\hat{S}_a$ . . . . .   | 13        |
| 1.3. Các kiểu nén bậc cao . . . . .  | 13        |
| 1.3.1. Nén kiểu Hong-Mandel . . . . .  | 13        |
| 1.3.2. Nén kiểu Hillery . . . . .  | 15        |
| <b>Chương 2. TRẠNG THÁI ĐƠN MODE CHỒNG CHẤT NÉN KẾT<br/>HỢP TĂNG CƯỜNG . . . . .</b> | <b>16</b> |
| 2.1. Giới thiệu . . . . .  | 16        |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 2.2.  | Toán tử nén tăng cường . . . . .   | 16 |
| 2.3.  | Trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường . . . . .  | 18 |
| 2.3.1.  | Định nghĩa . . . . .   | 18 |
| 2.3.2.  | Tính chất . . . . .  | 18 |
| 2.4.  | Một số phép tính trung bình của trạng thái . . . . .   | 20 |
| 2.4.1.  | Trung bình $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle_{V,\theta}$ trong trạng thái đơn mode chồng chất<br>nén kết hợp tăng cường . . . . . | 22 |
| 2.4.2.  | Trung bình $\langle \hat{a}^{\dagger 2} \hat{a}^2 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 23 |
| 2.4.3.  | Trung bình $\langle \hat{a}^{\dagger 3} \hat{a}^3 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 24 |
| 2.4.4.  | Trung bình $\langle \hat{a}^{\dagger 4} \hat{a}^4 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 25 |
| 2.4.5.  | Trung bình $\langle \hat{a} \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 28 |
| 2.4.6.  | Trung bình $\langle \hat{a}^2 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 28 |
| 2.4.7.  | Trung bình $\langle \hat{a}^3 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 29 |
| 2.4.8.  | Trung bình $\langle \hat{a}^4 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 29 |
| 2.4.9.  | Trung bình $\langle \hat{a}^6 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 30 |
| 2.4.10.   | Trung bình $\langle \hat{a}^8 \rangle_{V,\theta}$ . . . . .  | 31 |
| <b>Chương 3. TÍNH CHẤT NÉN HILLERY BẬC CAO CỦA TRẠNG THÁI ĐƠN MODE CHỒNG CHẤT NÉN KẾT HỢP TĂNG CƯỜNG</b> . . . . .  |  | 36 |
| 3.1.  | Mở đầu . . . . .   | 36 |
| 3.2.  | Tính chất nén Hillery bậc cao . . . . .  | 37 |
| 3.2.1.  | Khái niệm . . . . .  | 37 |
| 3.2.2.  | Tính chất nén Hillery đối với trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường . . . . .  | 38 |
| <b>Chương 4. TÍNH THỐNG KÊ SUB-POISSON BẬC CAO VÀ TÍNH CHẤT PHẢN KẾT CHÙM BẬC CAO CỦA TRẠNG THÁI ĐƠN MODE CHỒNG CHẤT NÉN KẾT HỢP TĂNG CƯỜNG</b> . . . . . |  | 45 |
| 4.1.  | Mở đầu . . . . .   | 45 |
| 4.2.  | Khái niệm . . . . .  | 45 |
| 4.2.1.  | Tính thống kê sub-Poisson bậc cao . . . . .  | 45 |
| 4.2.2.  | Tính phản kết chùm bậc cao . . . . .   | 46 |
| 4.3.  | Khảo sát tính thống kê sub-Poisson bậc cao và tính phản kết chùm bậc cao của trạng thái . . . . .  | 47 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 4.3.1. Bậc 1 . . . . .              | 47        |
| 4.3.2. Bậc 2 . . . . .              | 48        |
| 4.3.3. Bậc 3 . . . . .              | 49        |
| <b>KẾT LUẬN</b> . . . . .           | <b>52</b> |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> . . . . . | <b>53</b> |

**Demo Version - Select.Pdf SDK**

# Danh sách hình vẽ

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Hệ số nén bậc một là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r$ . . .  | 41 |
| 3.2 | Hệ số nén bậc hai là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r$ . . .  | 41 |
| 3.3 | Hệ số nén bậc ba là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r$ . . . .   | 42 |
| 3.4 | Hệ số nén bậc bốn là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r$ . . .  | 43 |
| 3.5 | Hệ số nén bậc hai (đường đứt nét) và bậc bốn (đường liền nét) là hàm của $\theta$ với tham số nén $r = 0.4$ . . . . .                    | 44 |
| 4.6 | Tham số $P_2$ là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r = 0, 0.8, 1.2$ với $\lambda = 0.2$ và $\alpha = e^{i\pi/3}$ . . . . . | 48 |
| 4.7 | Tham số $P_3$ là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r = 0, 0.8, 1.2$ với $\lambda = 0.2$ và $\alpha = e^{i\pi/4}$ . . . . . | 49 |
| 4.8 | Tham số $P_4$ là hàm của $\theta$ với các giá trị khác nhau của $r = 0, 0.4, 0.8$ với $\lambda = 0.2$ và $\alpha = e^{i\pi/4}$ . . . . . | 51 |

Demo Version - Select.Pdf SDK

# MỞ ĐẦU

## 1. Lý do chọn đề tài

Cuộc sống ngày càng hiện đại và phát triển, đòi hỏi khoa học kỹ thuật không ngừng được cải thiện. Và một trong những nhu cầu bức thiết của cuộc sống hiện đại là thông tin liên lạc, không chỉ nhanh chóng mà còn phải chính xác, hiệu quả. Tuy nhiên, do các sản phẩm làm phương tiện truyền và nhận thông tin được chế tạo dựa trên tính chất cổ điển của vật liệu nên dẫn đến những hạn chế nhất định. Vấn đề là làm thế nào để truyền tín hiệu đi xa một cách nhanh chóng mà vẫn đảm bảo tính lọc lựa, không bị nhiễu và hao phí năng lượng thấp là nhiệm vụ được đặt ra, không ngừng thôi thúc các nhà nghiên cứu. Hiểu được tầm quan trọng này, các nhà vật lý lý thuyết và vật lý thực nghiệm đã tìm các phương pháp tạo ra các trạng thái vật lý mà ở đó có các thăng giáng sẽ được hạn chế ở mức tối đa và sau đó áp dụng thực nghiệm để chế tạo các dụng cụ quang học, thiết bị điện tử, máy tính có tính chất truyền thông tin chính xác, tốc độ xử lý cực nhanh và bảo mật.

Việc tạo ra các trạng thái phi cổ điển của trường điện từ đã và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, điển hình là trạng thái nén và các trạng thái kết hợp, đây là các trạng thái phi cổ điển vì chúng tuân theo các tính chất phi cổ điển [3]. Vào đầu thập niên 80 của thế kỷ XX, Hestrom [14], Hillery [15] và Mandel [19] đã đưa ra khái niệm trạng thái phi cổ điển, trong đó trạng thái phi cổ điển được nhắc đến đầu tiên là trạng thái nén. Khi trạng thái nén được khám phá nó mở ra một phương cách để vượt qua giới hạn lượng tử chuẩn được suy ra từ hệ thức bất định Heisenberg. Năm 2019, Jian-ming và các cộng sự đã đưa ra một trạng thái phi cổ điển mới đó là trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường và đã khảo sát một số tính chất phi cổ điển của trạng thái này nhưng chỉ dừng lại ở bậc thấp như hiệu ứng nén bậc một, tính thống kê sub-Poisson bậc một và tính phản kết chùm bậc một. Tính đến thời điểm hiện tại, trong các bài báo và các tài liệu mà chúng tôi cập nhật được, chưa có tác giả nào đề cập đến việc khảo sát các tính chất phi cổ điển bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường. Vì vậy, trong luận văn này chúng tôi sẽ khảo sát quá trình nén Hillery bậc cao, tính thống kê sub-Poisson bậc cao và tính phản kết chùm bậc cao của trạng thái này. Với mong muốn các tính chất phi cổ điển bậc cao của trạng



thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường sẽ góp phần làm rõ ứng dụng của trạng thái này trong công nghệ thông tin lượng tử cũng như các ứng dụng khác sau này. Với những lí do trên, chúng tôi chọn đề tài: **“Nghiên cứu các tính chất phi cổ điển bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường”** để nghiên cứu.

## 2. Mục tiêu của luận văn

Mục tiêu của đề tài này là nghiên cứu các tính chất phi cổ điển bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường. Các tính chất phi cổ điển bậc cao đó là: tính chất nén Hillery bậc cao, tính thống kê sub-Poisson bậc cao và tính phản kết chùm bậc cao.

## 3. Nội dung nghiên cứu

Trên cơ sở mục tiêu nghiên cứu đề ra, nội dung luận văn tập trung nghiên cứu các vấn đề sau:

- Hệ thống các kiến thức liên quan về trạng thái kết hợp, trạng thái nén và các tính chất phi cổ điển.

- Khái quát về trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường.

- Nghiên cứu các tính chất phi cổ điển bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường, đó là:

- + Tính chất nén Hillery bậc cao;
- + Tính thống kê sub-Poisson bậc cao;
- + Tính phản kết chùm bậc cao.

## 4. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp lý thuyết trường lượng tử;
- Phương pháp tính số và vẽ đồ thị.

## 5. Phạm vi nghiên cứu

- Khảo sát tính chất nén Hillery bậc 1, 2, 3, 4;
- Khảo sát tính thống kê sub-Poisson và tính phản kết chùm bậc 1, 2, 3.

## 6. Bố cục luận văn

Ngoài mục lục và tài liệu tham khảo, luận văn được chia làm 3 phần.

**Phần mở đầu:** Trình bày lý do chọn đề tài, mục tiêu của đề tài, nội dung nghiên cứu của đề tài, phương pháp nghiên cứu, giới hạn đề tài và bố cục luận văn.

**Phần nội dung:** bao gồm 4 chương

*Chương 1:* Cơ sở lý thuyết.

*Chương 2:* Trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường.

*Chương 3:* Khảo sát tính chất nén Hillery bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường.

*Chương 4:* Khảo sát tính thống kê sub-Poisson bậc cao và tính phản kết chùm bậc cao của trạng thái đơn mode chồng chất nén kết hợp tăng cường.

**Phần kết luận:** Trình bày tóm tắt các kết quả đạt được, hạn chế của đề tài, đề xuất hướng mở rộng nghiên cứu.

**Demo Version - Select.Pdf SDK**