

ĐẠI HỌC HUẾ  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM



**BÁO CÁO TỔNG KẾT**  
**ĐỀ TÀI KHOA HỌC CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG**  
**NĂM 2019**

**Tên đề tài: NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT PHI CỎ ĐIÊN, ĐỊNH LƯỢNG ĐỘ RỐI VÀ VIỄN TẢI LƯỢNG TỬ CỦA TRẠNG THÁI NÉN HAI MODE THÊM**  
**ĐIÊN VÀ ĐỘ MỘT PHOTON**

Mã số : T.19 – TN – 07  
Chủ nhiệm đề tài : Lê Thị Mỹ Hằng  
Cố vấn khoa học : PGS.TS Trương Minh Đức

SINH VIÊN PHỐI HỢP NGHIÊN CỨU:

Trương Thị Phương Thảo

Huế 11/2019

# MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	i
DANH SÁCH CÁC HÌNH VẼ.....	iii
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI .....	iv
THÔNG TIN VỀ SINH VIÊN CHỊU TRÁCH NHIỆM CHÍNH THỰC HIỆN ĐỀ TÀI .....	vii
MỞ ĐẦU .....	1
CHƯƠNG 1 - HỆ THỐNG KIẾN THỨC LIÊN QUAN .....	3
1.1. Các trạng thái phi cổ điển và tính chất.....	3
1.1.1. Trạng thái Fock.....	3
1.1.2. Trạng thái kết hợp.....	3
1.1.3. Trạng thái nén.....	10
1.1.4. Trạng thái nén hai mode chân không .....	12
1.2. Một số tính chất của đơn photon.....	16
1.2.1. Tính chất nén .....	16
1.2.2. Tính chất rối .....	22
1.3. Tiêu chuẩn đan rối .....	24
1.3.1. Tiêu chuẩn đan rối của Hillery-Zubairy.....	25
1.3.2. Tiêu chuẩn entropy tuyến tính.....	26
1.4. Mô hình viễn tải lượng tử với các nguồn đan rối hai mode.....	28
CHƯƠNG 2 – KHẢO SÁT CÁC TÍNH CHẤT PHI CỔ ĐIỂN CỦA TRẠNG THÁI NÉN HAI MODE THÊM HAI VÀ BỐT MỘT PHOTON.....	31
2.1. Trạng thái hai mode thêm hai và bớt một photon.....	31
2.2. Tính chất nén tổng hai mode của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon .....	33
2.3. Tính chất nén hiệu hai mode của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon .....	35

<b>CHƯƠNG 3 – ĐỊNH LƯỢNG ĐỘ RỜI VỚI TRẠNG THÁI NÉN HAI MODE THÊM HAI VÀ BỐT MỘT PHOTON.....</b>	<b>38</b>
3.1. Khảo sát tính chất đan rời của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon.....	38
3.2. Định lượng độ rời theo tiêu chuẩn entropy tuyến tính của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon .....	40
<b>CHƯƠNG 4 – VIỆN TẢI LƯỢNG TỬ VỚI TRẠNG THÁI NÉN HAI MODE THÊM HAI VÀ BỐT MỘT PHOTON.....</b>	<b>43</b>
4.1. Khảo sát quá trình viễn tải lượng tử với trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon .....	43
4.2. Độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải lượng tử.....	45
<b>KẾT LUẬN.....</b>	<b>48</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>49</b>
<b>PHỤ LỤC</b>	

**Demo Version - Select.Pdf SDK**

## DANH SÁCH CÁC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Đồ thị khảo sát sự phụ thuộc của tham số nén tổng của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon vào $r$ .....	35
Hình 2.2. Đồ thị khảo sát sự phụ thuộc của tham số nén hiệu của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon vào $r$ .....	37
Hình 3.1. Đồ thị thể hiện sự phụ thuộc của tham số đan rối $R$ theo tiêu chuẩn Hillery-Zubairy của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon vào $r$ . ....	39
Hình 3.2: Đồ thị thể hiện sự phụ thuộc của tham số $E_L$ của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon vào $r$ .....	42
Hình 4.1. Đồ thị thể hiện sự phụ thuộc của tham số độ trung thực trung bình của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon vào $r$ . ....	47

**Demo Version - Select.Pdf SDK**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM**  
**KHOA VẬT LÝ**

**THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI**

**1. Thông tin chung:**

- Tên đề tài: NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT PHI CỔ ĐIỂN, ĐỊNH LƯỢNG ĐỘ RỐI VÀ VIỆN TẢI LƯỢNG TỬ CỦA TRẠNG THÁI NÉN HAI MODE THÊM HAI VÀ BỐT MỘT PHOTON.

- Sinh viên thực hiện: Lê Thị Mỹ Hằng, Trương Thị Phương Thảo.

- Lớp: Vật lý tiên tiến 4    Khoa: Vật lý    Năm thứ: 4    Số năm đào tạo: 4

- Người hướng dẫn: PGS.TS Trương Minh Đức.

**2. Mục tiêu đề tài:**

- Nghiên cứu các tính chất phi cổ điển, định lượng độ rối của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon.

- Sử dụng trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon như là một nguồn đan rối để viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp.

**3. Tính mới và sáng tạo:**

- Đối với thế giới, các nhà khoa học đã liên tiếp đưa ra các phương án viễn tải với mong muốn tìm ra cách truyền tải thông tin nhanh nhất có thể, sau phương án viễn tải đầu tiên được đưa ra bởi Bennet [9] vào năm 1993 là sự chia sẻ một trạng thái rối lượng tử hai mode. Các mô hình viễn tải sau đó như hình thức luận hàm Wigner, hình thức luận biên độ trực giao, khai triển theo các trạng thái Fock, ... đã được đề xuất.

-Đối với nước ta, việc nghiên cứu các tiêu chuẩn đan rối và mô hình viễn tải lượng tử là một hướng nghiên cứu mới mẻ và rất lý thú. Các trạng thái hai mode kết hợp thêm một hay nhiều photon đã được một số tác giả nghiên cứu nhưng trạng thái hai mode kết hợp cặp thêm hai và bớt một photon chưa được ai nghiên cứu và khảo sát. Nhận thấy những điều đó, chúng tôi chọn đề tài "Nghiên cứu tính chất phi cổ điển, định

lượng độ rối và viễn tải lượng tử của một trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon" làm đề tài nghiên cứu.

#### **4. Kết quả nghiên cứu:**

- Nghiên cứu tính chất phi cổ điển bao gồm nén tổng, nén hiệu.
- Định lượng độ rối của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon.
- Từ kết quả khảo sát đan rối đã được đưa ra, chúng tôi sử dụng trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon như một nguồn rối để viễn tải lượng tử.

#### **5. Đóng góp về mặt kinh tế - xã hội, giáo dục và đào tạo, an ninh, quốc phòng và khả năng áp dụng của đề tài:**

- Đóng góp vào nguồn tài liệu nghiên cứu và học tập cho nhà trường.
- Khảo sát tính chất đan rối theo tiêu chuẩn Hillery-Zubairy, Entropy tuyến tính và viễn tải lượng tử của một trạng thái nén.

#### **6. Công bố khoa học của sinh viên từ kết quả nghiên cứu của đề tài:**

Lê Thị Mỹ Hằng, Trương Thị Phương Thảo: “Nghiên cứu các tính chất phi cổ điển, định lượng độ rối và viễn tải lượng tử của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon”, Kỷ yếu Hội Nghị Khoa Học Sinh viên Trường Đại học Sư Phạm - Đại học Huế.

Demo Version - Select.Pdf SDK

Ngày 15 tháng 11 năm 2019

**Sinh viên chịu trách nhiệm chính**

**thực hiện đề tài**

*(ký, họ và tên)*

Lê Thị Mỹ Hằng

**Nhận xét của người hướng dẫn về những đóng góp khoa học của sinh viên thực hiện đề tài**

Sinh viên hoàn thành xuất sắc và đúng thời hạn những yêu cầu mà giảng viên hướng dẫn đưa ra. Hơn nữa, sinh viên có thái độ tích cực, ý thức tự giác cao và tinh thần trách nhiệm trong quá trình thực hiện đề tài.

Ngày 15 tháng 11 năm 2019

**Xác nhận của đơn vị**

*(ký tên)*

PGS.TS Trương Minh Đức

**Người hướng dẫn**

*(ký, họ và tên)*

PGS.TS Trương Minh Đức

**Demo Version - Select.Pdf SDK**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM**  
**KHOA VẬT LÝ**

**THÔNG TIN VỀ SINH VIÊN CHỊU TRÁCH NHIỆM CHÍNH**  
**THỰC HIỆN ĐỀ TÀI**

**I. SƠ LƯỢC VỀ SINH VIÊN:**

Họ và tên : LÊ THỊ MỸ HẰNG  
Sinh ngày : 11 tháng 07 năm 1998  
Nơi sinh : Hạ Trạch – Bố Trạch – Quảng Bình  
Lớp : Vật lý tiên tiến 4 Khóa: 2016-2020  
Khoa : Vật lý  
Địa chỉ liên hệ : 42/5 Nguyễn Lộ Trạch, Thừa Thiên Huế  
Điện thoại : (+84) 397380316  
Email : hangpcy316@gmail.com

**II. QUÁ TRÌNH HỌC TẬP:**

**Demo Version - Select.Pdf SDK**

**Năm thứ 1:**

Ngành học: Vật Lý tiên tiến Khoa: Vật Lý  
Kết quả xếp loại học tập: khá

**Năm thứ 2:**

Ngành học: Vật Lý tiên tiến Khoa: Vật Lý  
Kết quả xếp loại học tập: giỏi

*Ngày 15 tháng 11 năm 2019*

**Xác nhận của đơn vị**  
*(ký tên)*

**Sinh viên chịu trách nhiệm chính**  
**thực hiện đề tài**  
*(ký, họ và tên)*

PGS.TS Trương Minh Đức

Lê Thị Mỹ Hằng



# MỞ ĐẦU

## 1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài trong và ngoài nước

Rối lượng tử là một hiệu ứng trong cơ học lượng tử trong đó trạng thái lượng tử của hai hay nhiều vật thể có liên hệ với nhau, dù chúng cách xa tới mức nào, thậm chí là tới khoảng cách lên tới cả nhiều năm ánh sáng.

Khái niệm rối lượng tử được Einstein cùng đồng nghiệp của mình là Boris Podolsky và Nathan Rosen đưa ra lần đầu tiên vào năm 1935 và được gọi là trạng thái EPR. Một cuộc tìm kiếm các trạng thái đan rối bắt đầu từ đó và cho đến nay vẫn đang được tiếp tục nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực vật lý khác nhau. Thành công đầu tiên là các tiêu chuẩn đan rối áp dụng cho trạng thái thuần khiết hai thành phần, chẳng hạn như tiêu chuẩn Schmidt, tiêu chuẩn entropy Von-Neumann,... Tuy nhiên, các trạng thái thuần khiết là những trạng thái rất khó để tạo ra trong thực nghiệm, điều lý tưởng chỉ có ở trong các bản thảo lý thuyết. Nói một cách khác, các trạng thái trong thực tế có thể dễ dàng tạo ra là các trạng thái hỗn hợp và việc tìm nguồn rối, cải thiện độ rối của nó trong điều kiện thực tế, là những vấn đề hết sức quan trọng, đang rất được quan tâm bởi điều kiện đan rối hoàn hảo cho các trạng thái hỗn hợp mới thực sự có ý nghĩa thực tiễn thực sự.

Vào những năm 60 của thế kỷ XX, Glauber (1963) [14] và Sudarshan (1963) đã đưa ra khái niệm về trạng thái kết hợp khi nghiên cứu tính chất của chùm sáng laser. Đây là trạng thái ứng với giá trị thăng giáng nhỏ nhất suy ra từ hệ thức bất định Heisenberg. Cũng chính nghiên cứu của Glauber và Sudar – Shan đã dẫn đến sự xuất hiện của giới hạn quang lượng tử. Sau đó, khái niệm về trạng thái nén được đưa ra bởi Stoler và đã được Hollenhorst [15] đặt tên, trạng thái nén đã được thực nghiệm khẳng định vào năm 1987. Khái niệm về các trạng thái nén được các nhà vật lý lý thuyết không ngừng phát triển, tiếp tục nghiên cứu. Như ta đã biết, việc tạo ra các trạng thái phi cổ điển của trường điện từ đang được các nhà khoa học quan tâm và đặt lên hàng đầu.

Gần đây, tạo ra các trạng thái phi cổ điển vẫn đang thu hút sự chú ý của nhiều nhà khoa học. Vấn đề này vẫn đang được tiếp tục với hai hướng cơ bản. Thứ nhất, tìm các tiêu chuẩn đan rối dưới dạng điều kiện cần và đủ trước hết cho hệ hai thành phần. Thứ hai, mở rộng phạm vi áp dụng ra cho hệ lượng tử đa thành phần hoặc đa mode. Cả hai

đều hướng đến mục tiêu tìm ra các tính chất phi cổ điển, độ rối và viễn tải lượng tử ở tiêu chuẩn hoàn hảo, tức là điều kiện cần và đủ cho rối lượng tử trong trường hợp tổng quát nhất để có thể ứng dụng cho thông tin lượng tử và máy tính lượng tử.

## 2. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay lĩnh vực thông tin lượng tử đang thu hút sự chú ý của nhiều nhà khoa học trên toàn thế giới bởi triển vọng về hiệu quả ứng dụng trong thực tiễn của nó. Viễn chuyển tải lượng tử được đưa ra lần đầu tiên bởi Bennett [9] và các cộng sự sau đó cũng được đề xuất với biến liên tục bởi Vaidman [7] và tiếp tục được mô tả thực nghiệm bởi Braunstein và Kimble [8]. Vấn đề then chốt của lĩnh vực này cả về mặt lý thuyết cũng như trong thực nghiệm là việc tìm ra các trạng thái, các tính chất phi cổ điển, định lượng độ rối và viễn tải lượng tử đặc biệt để áp dụng thực hiện các nhiệm vụ thông tin lượng tử. Với mong muốn rằng tính chất của các trạng thái thêm hai và bớt một photon được nghiên cứu sâu hơn để có thể đóng góp một phần nhỏ nào đó vào các nghiên cứu ứng dụng tiếp theo sau này, chúng tôi chọn đề tài “Nghiên cứu các tính chất phi cổ điển, định lượng độ rối và viễn tải lượng tử với trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon”.

## 3. Mục tiêu của đề tài

Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu các tính chất phi cổ điển, định lượng độ rối của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon, sử dụng trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon như là một nguồn đan rối để viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp.

## 4. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

### a. Đối tượng nghiên cứu

Tính chất của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon.

### b. Phạm vi nghiên cứu

Trong đề tài này, chúng tôi chỉ nghiên cứu ba tính chất của trạng thái nén hai mode thêm hai và bớt một photon đó là tính chất nén, tính chất phản chùm và tính chất đan rối; sử dụng trạng thái này như một nguồn đan rối.

## 5. Cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp lý thuyết trường lượng tử cho hệ nhiều hạt.
- Phương pháp thống kê và thống kê lượng tử.
- Dùng phương pháp tính số với phần mềm mathematica để tính toán, vẽ đồ thị và khảo sát các bài toán của đề tài nghiên cứu.

# CHƯƠNG 1 - HỆ THỐNG KIẾN THỨC LIÊN QUAN

## 1.1. Các trạng thái phi cổ điển và tính chất

### 1.1.1. Trạng thái Fock

Trạng thái Fock là trạng thái riêng của toán tử Hamiltonian một hạt của trường điện từ, được kí hiệu là  $|n\rangle$  hay trạng thái số hạt của trường điện từ được biểu diễn như sau:

$$\hat{H} = \hbar\omega \left( \hat{a}^\dagger \hat{a} + \frac{1}{2} \right). \quad (1.1)$$

Bên cạnh đó, trạng thái Fock còn là trạng thái riêng của toán tử số hạt  $\hat{n}|n\rangle = \hat{a}^\dagger \hat{a}$  có dạng sau:

$$\hat{n}|n\rangle = n|n\rangle, \quad (1.2)$$

hay trạng thái có số hạt xác định:

$$|n\rangle = \frac{(\hat{a}^\dagger)^n}{\sqrt{n!}} |0\rangle, \quad (1.3)$$

với kí hiệu cho trạng thái chân không là  $|0\rangle$ , đây là trạng thái mà không có hạt nào của trường được kích thích. Các trạng thái Fock tạo nên một hệ cơ sở đủ có dạng là:

$$\sum_{n=0}^{\infty} |n\rangle \langle n| = 1. \quad (1.4)$$

Dựa vào phương trình (1.4), ta có thể suy ra bất kì một vectơ nào trong hệ cơ sở này.

### 1.1.2. Trạng thái kết hợp

#### a) Định nghĩa

Đầu thập niên 60, Glauber và Sudarshan đưa ra trạng thái kết hợp. Trạng thái kết hợp được định nghĩa là trạng thái tuân theo phân bố Poisson nên nó là một trạng thái cổ điển. Bên cạnh đó, trạng thái này ứng với thăng giáng nhỏ nhất suy ra từ hệ thức bất định Heisenberg. Kí hiệu trạng thái kết hợp là  $|\alpha\rangle$ , có thể được tạo ra bằng cách tác dụng toán tử dịch chuyển lên trạng thái chân không, nghĩa là: