KHẢO SÁT TÍNH CHẤT ĐAN RỐI VÀ VIỄN TẢI LƯỢNG TỬ VỚI TRẠNG THÁI THÊM VÀ BỚT MỘT PHOTON LÊN HAI MODE KẾT HỢP SU(2)

TRẦN THỊ THANH BÌNH[1], *TRƯƠNG MINH ĐỨC*[2,*], *PHAN NGỌC DUY TỊNH*[2]
[1]*Học viên Cao học, Trường Đại học Sư Phạm, Đại học Huế*
[2]*Khoa Vật lý, Trung tâm VLLT và VLTT, Trường Đại học Sư Phạm, Đại học Huế*
[*]*Email: truongminhduc@dhsphue.edu.vn*

Tóm tắt: Trong bài báo này, chúng tôi khảo sát tính chất đan rối và viễn tải lượng tử với trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2). Kết quả thu được là trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) thể hiện tính đan rối theo tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy. Hơn nữa, trạng thái này còn thể hiện tính chất đan rối cao theo tiêu chuẩn định lượng độ rối Entropy tuyến tính. Sau đó sử dụng trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) này để thực hiện nghiên cứu quá trình viễn tải, chúng tôi nhận thấy rằng quá trình viễn tải thành công với độ trung bình F_{av} nằm trong khoảng $0,5 \leq F_{av} \leq 1$.
Từ khóa: Trạng thái hai mode kết hợp, tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy, tiêu chuẩn đan rối Entropy tuyến tính, độ trung thực trung bình.

1 MỞ ĐẦU

Ngày nay khoa học, kĩ thuật và công nghệ không ngừng phát triển, con người tìm cách số hóa tất cả các dữ liệu thông tin, kết nối tất cả chúng ta lại với nhau. Họ không ngừng cải tiến cách thức liên lạc trong cuộc sống. Trong thông tin lượng tử, làm thế nào để truyền tín hiệu đi xa mà vẫn đảm bảo tính lọc lựa cao và giảm được thăng giáng đến mức thấp nhất là vấn đề cấp thiết cho các nhà vật lý lý thuyết cũng như thực nghiệm. Trong đó, các trạng thái phi cổ điển là nguồn tài nguyên có giá trị cao để đáp ứng cho yêu cầu này. Năm 1963, Glauber và Sudarshan đưa ra trạng thái kết hợp [1], [2], ký hiệu là $|\alpha\rangle$, đây là trạng thái ứng với thăng giáng lượng tử nhỏ nhất suy ra từ hệ thức bất định Heisenberg. Sau đó Agrawal và Tara đã đề xuất ý tưởng về trạng thái kết hợp thêm photon [3] và cũng đã chứng minh được nó là một trạng thái phi cổ điển năm 1991. Trạng thái hai mode kết hợp SU(2) [4]

$$|\varphi\rangle_{ab} = (1+|\xi|^2)^{-N/2} \sum_{n=0}^{N} (C_N^n)^{1/2} \xi^n |n, N-n\rangle\,, \tag{1}$$

trong đó $\xi = -\tanh(\theta/2)\exp(-i\varphi)\,; (\theta/2) = r$ với θ rất bé, và hệ số khai triển $C_N^n = \dfrac{n!}{(N-n)!n!}$. Từ trạng thái hai mode kết hợp SU(2), chúng tôi đưa ra một trạng thái mới bằng cách thêm và

Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế
ISSN 1859-1612, Số 3(59)/2021: tr.46-54
Ngày nhận bài: 27/11/2020; Hoàn thành phản biện: 15/12/2020; Ngày nhận đăng: 16/12/2020

bớt một photon lên trạng thái hai mode kết hợp SU(2) như sau:

$$|\psi\rangle_{ab} = \mathcal{N}(\hat{a}^{+} + \hat{b})|\varphi\rangle_{ab}, \tag{2}$$

trong đó $\hat{a}^{+}, \hat{a}$ và $\hat{b}^{+}, \hat{b}$ là toán tử sinh (hủy) photon của mode a và mode b, $\mathcal{N}$ là hệ số chuẩn hóa có dạng

$$\mathcal{N} = \sqrt{\frac{\left(1+|\xi|^2\right)^N}{\sum\limits_{n=0}^{N} \frac{N!}{(N-n)!n!}|\xi|^{2n}(N+1)}}. \tag{3}$$

Khi triển khai trong các trạng thái Fock, trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) trong phương trình (2) được đưa ra như sau:

$$\begin{aligned} |\psi\rangle_{ab} = &\sqrt{\frac{\left(1+|\xi|^2\right)^N}{\sum\limits_{n=0}^{N} \frac{N!}{(N-n)!n!}|\xi|^{2n}(N+1)}}(1+|\xi|^2)^{-N/2}\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{n!(N-n)!}\right)^{1/2} \\ &\times \xi^n(\sqrt{n+1}|n+1, N-n\rangle_{ab} + \sqrt{N-n}|n, N-n-1\rangle_{ab}). \end{aligned} \tag{4}$$

Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành khảo sát tính đan rối của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) bằng tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy và định lượng độ rối theo tiêu chuẩn Entropy tuyến tính. Sau đó, chúng tôi tiến hành viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp thông qua trạng thái này và đánh giá sự thành công của quá trình viễn tải thông qua độ trung thực trung bình. Các kết quả thu được sẽ được chúng tôi biện luận chi tiết ở phần kết luận.

2 KHẢO SÁT TÍNH CHẤT ĐAN RỐI VÀ ĐỊNH LƯỢNG ĐỘ RỐI

Tính chất đan rối của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) được khảo sát theo tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy [5]. Điều kiện đan rối tổng quát được đưa ra bằng bất phương trình sau

$$\left\langle \hat{a}^{+m}\hat{a}^{m}\right\rangle \left\langle \hat{b}^{+n}\hat{b}^{n}\right\rangle < \left|\left\langle \hat{a}^{m}\hat{b}^{+n}\right\rangle\right|^2. \tag{5}$$

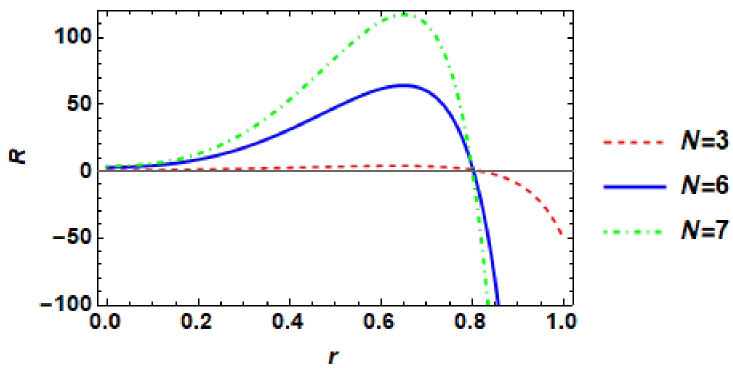
Theo Hillery-Zubairy [6], một trạng thái bị đan rối nếu một trong hai mode thỏa mãn bất phương trình trên. Để đơn giản, ta đặt $m = n$, với $n = 2k(k > 0)$. Chọn $k = 1$) và đưa ra tham số đan rối R_1 dưới dạng

$$R_1 = \left\langle \hat{a}^{+2}\hat{a}^{2}\right\rangle \left\langle \hat{b}^{+2}\hat{b}^{2}\right\rangle - \left|\left\langle \hat{a}^{2}\hat{b}^{+2}\right\rangle\right|^2. \tag{6}$$

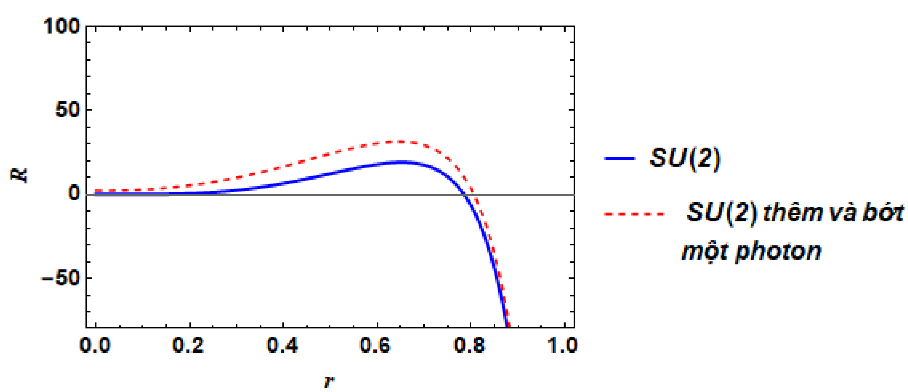
Một trạng thái là đan rối nếu tham số đan rối $R_1 < 0$. Tham số R_1 càng âm thì mức độ đan rối càng tăng, ngược lại nếu $R_1 \geq 0$ thì trạng thái đó không đan rối. Thực hiện tính toán các số hạng trong R_1 và đặt $\varphi = 0, \theta = 2r$ với $r \geq 0$ ta được $\xi = -\text{tanhr}$, thay kết quả vào biểu thức

(6) ta thu được

$$R_1 = \frac{\mathcal{N}^4}{(1+|\xi|^2)^{2N}}\left[\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)|\xi|^{2n}\right]^2 \times \left[(n+1)^3 + n(n-1)(N-n)\right]$$
$$\times\left[(n+1)(N-n)(N-n-1) + (N-n)(N-n-1)(N-n-2)\right] - \frac{\mathcal{N}^4}{(1+|\xi|^2)^{2N}} \qquad (7)$$
$$\times\left\{\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)|\xi|^{2n}\xi^2 \times \left[n(n-1)(n+1) + n(n-1)(N-n)\right]\right\}^2.$$



Hình 1: *Sự phụ thuộc của tham số đan rối vào của trạng thái thêm bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) với $N = 3, 6, 7$*



Hình 2: *Sự phụ thuộc của tham số đan rối R_1 vào r với $N = 5$ của trạng thái thêm bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) và trạng thái hai mode kết hợp SU(2)*

Đồ thị trên thể hiện kết quả khảo sát mức độ đan rối R theo r và N. Các giá trị N tương ứng ở hình 1 là $N = 3$, $N = 6$, $N = 7$ để khảo sát cho trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2). Hình 2 khảo sát với $N = 5$ tương ứng với trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) (đường đứt nét), và trạng thái hai mode kết hợp SU(2) (đường liền nét). Từ đồ thị ta thấy điều kiện đan rối $R < 0$ thỏa mãn với các giá trị r trong khoảng $0.8 \leq r \leq 1$. Các đường cong đi xuống cho thấy độ đan rối tăng mạnh khi r tăng. Nhìn vào đồ thị 2 ta thấy độ đan rối của trạng thái hai mode kết hợp SU(2) là mạnh hơn của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) nhưng với mức độ không đáng kể. Vậy trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) là trạng thái đan rối không hoàn toàn.

Tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy chỉ như là điều kiện đủ khi đánh giá độ rối, khi đó chúng ta cần kiểm tra lại các kết quả trên bằng một phương pháp khác độc lập với cách trên. Vì vậy để đánh giá cấp độ đan rối của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2), ta sử dụng entropy tuyến tính

$$M = 1 - Tr\left(\hat{\rho}_a^2\right), \tag{8}$$

trong đó $Tr\left(\hat{\rho}_a^2\right)$ là phép lấy vết ma trận mật độ rút gọn bình phương. Một trạng thái đan rối càng mạnh nếu $M = 1$, trường hợp $M = 0$ tương ứng với trạng thái không đan rối. Xét trong trường hợp tổng quát, ma trận mật độ $\hat{\rho}$ của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) có dạng

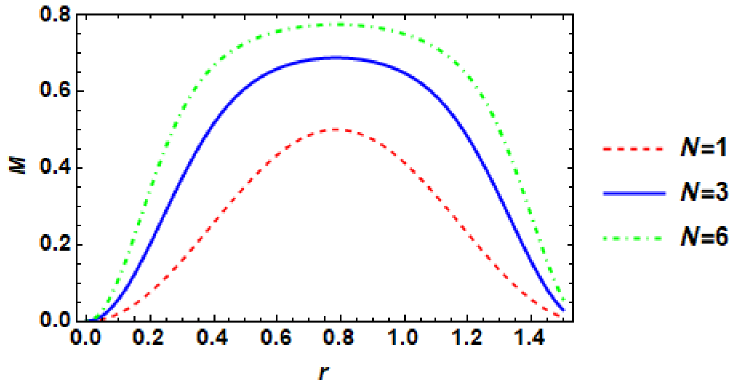
$$\begin{aligned}\hat{\rho} &= |\psi\rangle_{\text{ab ba}}\langle\psi| \\ &= \frac{\mathcal{N}^2}{(1+|\xi|^2)^N}\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)|\xi|^{2n} \\ &\times\left\{(n+1)\times_b\langle N-n \mid N-m\rangle_b + (N-n)\times_b\langle N-n-1 \mid N-m-1\rangle_b\right\},\end{aligned} \tag{9}$$

trong đó, $Tr_b\left(\hat{\rho}\right)$ là phép lấy vết ma trận mật độ $\hat{\rho}$ của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) lên mode b. Từ đó, ta có thể tính được

$$\begin{aligned}\hat{\rho}_a^2 =& \frac{\mathcal{N}^4}{(1+|\xi|^2)^{2N}}\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)^2|\xi|^{4n}\left\{(n+1)^2\right. \\ &\times_b\langle N-n \mid N-n\rangle_b + 2(n+1)(N-n)_b\langle N-n \mid N-n\rangle_b \\ &\left.\times_b\langle N-n-1 \mid N-n-1\rangle_b + (N-n)^2\times_b\langle N-n-1 \mid N-n-1\rangle_b\right\}.\end{aligned} \tag{10}$$

Vậy ta thay giá trị của $\hat{\rho}_a^2$ vào (8) và thu được kết quả entropy tuyến tính của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) là

$$\begin{aligned}M &= 1 - Tr(\hat{\rho}_a^2) \\ &= 1 - \frac{\mathcal{N}^4}{(1+|\xi|^2)^{2N}}\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)^2|\xi|^{4n}\times\{(n+1)^2 + 2(n+1)(N-n) + (N-n)^2\}.\end{aligned} \tag{11}$$



Hình 3: *Sự phụ thuộc của entropy tuyến tính M vào r với giá trị $N = 1$ (đường đứt nét), $N = 3$ (đường liền nét), $N = 6$ (đường chấm gạch).*

Hình 3 thể hiện sự phụ thuộc entropy tuyến tính M vào biên độ kết hợp r với giá trị $N = 1, 3$ và 6. Các giá trị N này được chọn theo thứ tự tương ứng với đường đứt nét, đường liền nét và đường chấm gạch. Sau khi khảo sát entropy tuyến tính của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2), đồ thị 3 cho chúng ta thấy trạng thái này là trạng thái đan rối. Khi biên độ r đủ lớn, cấp độ đan rối tăng theo giá trị của r trong khoảng $0 \leq r \leq 0.8$. Ngược lại, cấp độ đan rối giảm theo giá trị của r trong khoảng $0.8 \leq r \leq 1.5$. Mặt khác, khi tăng tổng lên thì giá trị M càng tiến đến 1, chứng tỏ trạng thái này càng đan rối. Như vậy trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) đạt đến mức độ đan rối cực đại khi ta chọn thông số thích hợp và thỏa mãn điều kiện đan rối để thực hiện nhiệm vụ quá trình viễn tải lượng tử. Như vậy, ở phần này chúng tôi thấy rằng trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) đan rối theo tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy bậc cao. Mặt khác, khi tiến hành định lượng độ rối trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) bằng tiêu chuẩn Entropy tuyến tính thì nó hoàn toàn phù hợp tính đan rối nhằm khẳng định thêm trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) là trạng thái đan rối có thể làm nguồn rối cho quá trình viễn tải lượng tử ở phần sau.

3 KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH VIỄN TẢI LƯỢNG TỬ

Để thực hiện quá trình viễn tải lượng tử, chúng tôi sử dụng nguồn rối là trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2)

$$|\psi\rangle_{ab} = \frac{\mathcal{N}}{\left(1+|\xi|^2\right)^{N/2}} \sum_{n=0}^{N} \left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)^{\frac{1}{2}} \xi^n \times \{\sqrt{n+1}|n+1, N-n\rangle_{ab} + \sqrt{N-n}|n, N-n-1\rangle_{ab}\}. \tag{12}$$

Theo mô hình viễn tải của Agarwal và Gasbris [7], [8], giả sử mode a được đưa tới Alice, mode b được đưa tới Bob và thông tin được mã hóa trong trạng thái kết hợp được viễn tải là $|\gamma\rangle_c$. Tại nơi gửi thông tin, trước khi thực hiện phép đo Bell [9] Alice sẽ thực hiện việc tổ hợp trạng thái

$|\gamma\rangle_c$ và $|\psi\rangle_{ab}$, ta được

$$\begin{aligned} |B(X,P)\rangle_{ac} &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}\hat{D}_c(\beta)|k,k\rangle_{ac}, \\ {}_{ac}\langle B(X,P)| &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}{}_{ac}\langle k,k|\hat{D}_c^{+}(\beta)\,. \end{aligned} \tag{13}$$

Khi phép đo tổ hợp hoàn thành, trạng thái tích sụp đổ do Bob và Alice cùng chia sẻ trạng thái rối nên Bob có trạng thái như sau $|\psi\rangle_{abc}$

$$\begin{aligned} |\psi\rangle_{\text{abc, B}} =& {}_{ac}\langle B(X,P)\mid\psi\rangle_{abc} \\ =& \frac{2}{\sqrt{\pi}}\times\frac{\mathcal{N}}{(1+|\xi|^2)^{N/2}}\sum_{k=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)^{\frac{1}{2}}\xi^n\left\{\sqrt{n+1}_{ac}\right. \\ &\times\left\langle k,k\left|\hat{D}_c^{+}(\beta)\right|n+1,N-n\right\rangle_{ab} \\ &\left.+\sqrt{N-n}_{\alpha c}\left\langle k,k\left|\hat{D}_c^{+}(\beta)\right|n,N-n-1\right\rangle_{ab}\right\}|\gamma\rangle_c. \end{aligned} \tag{14}$$

Lúc này bên Bob tồn tại trạng thái ứng với mode b chứa các thông tin về mode c. Bob thực hiện dịch chuyển $D(g\beta)$ để xây dựng lại trạng thái được viễn tải ban đầu $|\gamma\rangle_c$, trạng thái cuối cùng thu được trong quá trình viễn tải đó là

$$\begin{aligned} |\psi\rangle_{abc,\text{ out}} &= \hat{D}(g\beta)|\psi\rangle_{\text{abc, B}} \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\times\frac{\mathcal{N}}{(1+|\xi|^2)^{N/2}}\exp\left(\frac{\beta^*\gamma-\beta\gamma^*}{2}\right)\exp\left(-\tfrac{1}{2}|\gamma-\beta|^2\right) \\ &\times\sum_{n=0}^{N}\left(\frac{N!}{(N-n)!n!}\right)^{\frac{1}{2}}\xi^n\times\left\{\frac{(\gamma-\beta)^{n+1}}{\sqrt{n+1!}}\sqrt{n+1}\hat{D}(g\beta)|N-n\rangle_b\right. \\ &\left.+\frac{(\gamma-\beta)^n}{\sqrt{n!}}\sqrt{N-n}\hat{D}(g\beta)|N-n-1\rangle_b\right\}, \end{aligned} \tag{15}$$

với hệ số chuẩn hóa đã tìm được là

$$\mathcal{N}=\sqrt{\frac{\left(1+|\xi|^2\right)^N}{\sum\limits_{n=0}^{N}\frac{N!}{(N-n)!n!}|\xi|^{2n}(N+1)}}. \tag{16}$$

Quá trình viễn tải lượng tử lúc này đã hoàn thành. Để đánh giá mức độ thành công của quá trình viễn tải, ta dựa vào độ trung thực trung bình F_{av} mà chúng tôi đưa ra ở phần tiếp theo.

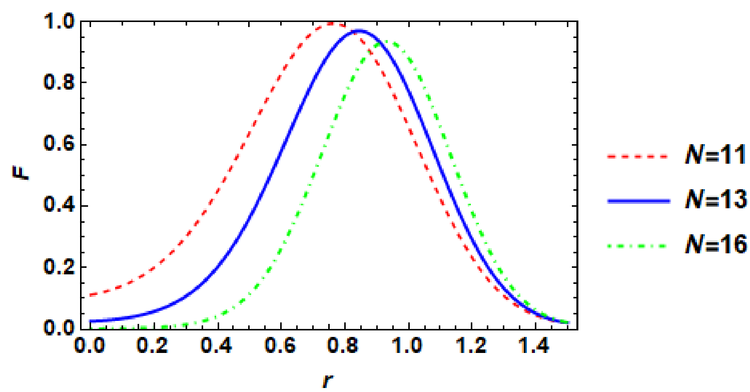
4 ĐỘ TRUNG THỰC TRUNG BÌNH CỦA QUÁ TRÌNH VIỄN TẢI LƯỢNG TỬ

Độ trung thực trung bình trong quá trình viễn tải được xác định qua biểu thức

$$\begin{aligned} F_{av} &= \int\left|{}_{in}\langle\psi|\psi\rangle_{out}\right|^2 d^2\beta \\ &= \int\left|\langle\gamma|\psi\rangle_{out}\right|^2 d^2\beta. \end{aligned} \tag{17}$$

Quá trình viễn tải được xem là thành công nếu độ trung thực trung bình thỏa mãn điều kiện $\frac{1}{2} \le F_{av} \le 1$. Để tiến hành tính toán F_{av}, chúng tôi sử dụng các tính chất của toán tử dịch chuyển và khai triển các trạng thái trong trạng thái Fock dưới dạng

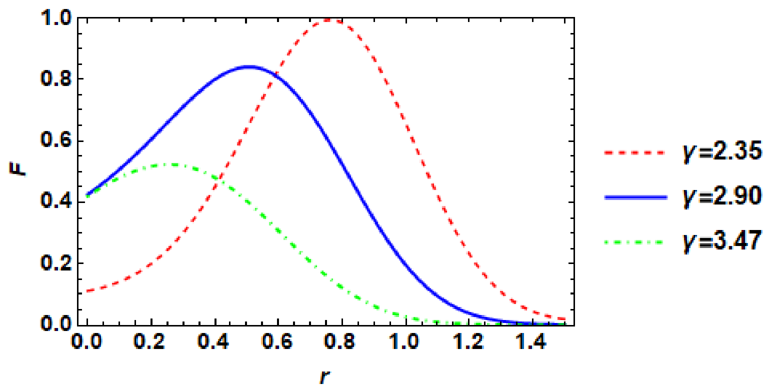
$$\begin{aligned} F_{av} = \frac{4\mathcal{N}^2}{(1+|\xi|^2)^N} e^{-|\gamma|^2} \sum_{n=0}^{N} \left(\frac{N!}{(N-n)!n!} \right) |\xi|^{2n} \times \left\{ \frac{\gamma^{2(N-n)}}{(N-n)!}(n+1) \right. \\ \left. + \frac{\gamma^{2(N-n)} n}{(N-n+1)(N-n-1)!\xi} + \frac{\gamma^{2(N-n)}\xi}{\gamma^2(N-n-2)!} + \frac{\gamma^{2(N-n-1)}(N-n)^2}{(N-n)!} \right\}. \end{aligned} \tag{18}$$



Hình 4: *Sự phụ thuộc của độ trung bình F_{av} vào biên độ kết hợp r ứng với giá trị $\gamma = 2.35$ và $N = 11$ (đường đứt nét), $N = 13$ (đường liền nét), $N = 16$ (đường chấm gạch)*

Dựa vào hình 4, khi ta chọn giá trị $\gamma = 2.35$, với $N = 11$ tương ứng với đường đứt nét thì độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng từ $0.5 \le F_{av} \le 1$ khi $0.4 \le r \le 1.1$. Khi tăng giá trị $N = 13$ ứng với đường liền nét thì độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng tử $0.5 \le F_{av} \le 1$ khi $0.6 \le r \le 1.15$. Khi $N = 16$ ứng với đường chấm gạch thì độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng từ $0.5 \le F_{av} \le 1$ khi $0.7 \le r \le 1.2$. Nhìn vào đồ thị ta thấy quá trình viễn tải thành công xảy ra trong khoảng r hẹp dần. Điều này chứng tỏ N càng bé thì quá trình viễn tải càng thành công. Với các giá trị của $N = 11, 13$ và $N = 16$ thì quá trình viễn tải lượng tử xảy ra thành công với độ trung thực trung bình $0.5 \le F_{av} \le 1$ với $0.4 \le r \le 1.1$.

Khi N bé thì quá trình viễn tải xảy ra tốt nhất nên ta xét khi $N = 11$ ứng với các giá trị γ khác nhau để khảo sát độ trung thực trung bình F_{av} như hình 5.



Hình 5: *Sự phụ thuộc của độ trung bình F_{av} vào biên độ kết hợp r ứng với giá trị $N = 11$ và $\gamma = 2.35$ (đường đứt nét), $\gamma = 2.90$ (đường liền nét), $\gamma = 3.47$ (đường chấm gạch).*

Khi chọn giá trị $N = 11$ với $\gamma = 2.35$ ứng với đường đứt nét độ trung thực trung bình đạt giá trị cực đại gần bằng 1. Khi γ tăng ứng với giá trị $\gamma = 2.90$ ứng với đường liền nét thì độ trung thực trung bình đạt cực đại 0.8, và $\gamma = 3.47$ ứng với đường chấm gạch thì độ trung thực trung bình đạt cực đại 0.50. Tiếp tục tăng γ thì độ trung thực trung bình đạt dưới 0.5 nên quá trình viễn tải không thành công nữa. Vậy nên khi chúng ta chọn γ càng bé thì quá trình viễn tải càng thành công với độ trung thực trung bình $0.5 \leq F_{av} \leq 1$ với $2.35 \leq \gamma \leq 3.47$. Như vậy, bằng cách chọn các tham số một cách phù hợp, chúng tôi đã thực hiện viễn tải lượng tử thành công một trạng thái kết hợp thông qua nguồn đan rối là trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2).

5 KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã khảo sát tính chất đan rối và định lượng độ rối của trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) bằng tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy bậc cao và tiêu chuẩn đan rối Entropy tuyến tính. Kết quả tính toán cho thấy trạng thái thêm và bớt một photon lên hai mode kết hợp SU(2) là trạng thái đan rối. Tuy nhiên, tính chất đan rối là không hoàn toàn, nghĩa là có vùng đan rối mạnh nhưng cũng có vùng không thực sự đan rối. Sau đó, chúng tôi sử dụng trạng thái này làm nguồn rối để thực hiện viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp và đánh giá mức độ thành công của quá trình viễn tải tải thông qua độ trung thực trung bình F_{av} . Các kết quả thu được cho thấy quá trình viễn tải là thành công trong vùng tham số được lựa chọn một cách phù hợp với trạng thái có biên độ bé, và độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải nằm trong khoảng $0.5 \leq F_{av} \leq 1$. Tuy nhiên, độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải là chưa ổn định và phụ thuộc nhiều vào các tham số đầu vào của quá trình viễn tải lượng tử.

LỜI CẢM ƠN

Phan Ngọc Duy Tịnh cảm ơn tài trợ của Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế trong đề tài mã số **T.20-TN.SV-03**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Glauber R. J. (1963), *"Coherent and Incoherent States of the Radiation Field"*, Physical Review Letters, 131, 2766.

[2] Sudarshan E. C. G. (1963),*"Equivalence of Semiclassical and Quantum Mechanical Descriptions of Statistical Light Beams"*, Physical Review Letters, 10, 277.

[3] Agarwal G. S. and Tara K. (1991), *"Nonclassical properties of states generated by the excitations on a coherent state"*, Physical Review A, 43, 492.

[4] Gerru C. C., Grobe R. (1996), *" Two-mode SU(2) and SU(1,1) Schrodinger cat states"*, Journal of modern optics, 44 (1), 41.

[5] Hillery M. and Zubairy M. S. (2006), *"Entanglement conditions for two - mode states"*, Physical Review Letters 96(5), 050503.

[6] Hillery M. and Zubairy M. S. (2006), *"Entanglement conditions for two - mode states: Applications"*, Physical Review A 74(3), 032333.

[7] Agarwal G. S. and Biswas A. (2005), *"Inseparability inequalities for higher oder moments for bipartite systems"*, New Journal of Physics, 7(1), 211.

[8] Agarwal G. S., Gabris A. (2007),*"Quantum teleportation with pair-coherent states"*, International Journal of Quantum Information, 5(1-2), 17.

[9] Janszky J., Koniorczyk M., Gabris A. (2001), *"One-complex-plane representation approach to continuous variable quantum teleportation"*, Physical Review A, 64, 034302.

Title: INVESTIGATING THE ENTANGLEMENT AND THE QUANTUM TELEPORTATION WITH THE ONE-PHOTON-ADDED AND ONE-PHOTON-SUBTRACTED TWO MODE SU(2) COHERENT STATE

Abstract: In this paper, we study the entanglement and the quantum teleportation in the one-photon-added and one-photon-subtracted two mode SU(2) coherent state by using the Hillery-Zubairy and the linear entropy criteria. The investigating results show that this state is an entangled state. Then, using the one-photon-added and one-photon-subtracted two mode SU(2) coherent state as an entangled resource to teleport a coherent state, we have found that the teleportation process is successful, and the average fidelity F_{av} of the teleportation process can get the values in the range $0,5 \leq F_{av} \leq 1$ depending on the suitable parameters.

Keywords: Two-mode coherent state, Hillery-Zubairy criterion, Linear entropy criterion, Average fidelity of the teleportation.