KHẢO SÁT MỨC ĐỘ ĐAN RỐI VÀ QUÁ TRÌNH VIỄN TẢI LƯỢNG TỬ VỚI TRẠNG THÁI HAI MODE KẾT HỢP SU(1, 1) THÊM HAI VÀ BỚT MỘT PHOTON CHẴN

***Bùi Thị Thủy*[1]**

***Trương Minh Đức*[1]**

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi khảo sát tính chất đan rối và định lượng độ rối với trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn bằng tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy và tiêu chuẩn đan rối Entropy tuyến tính. Kết quả khảo sát cho thấy trạng thái này là một trạng thái đan rối mạnh. Sau đó, bằng việc sử dụng trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn để thực hiện quá trình viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp, chúng tôi nhận thấy rằng quá trình viễn tải lượng tử là thành công với độ trung thực F_{av} nằm trong khoảng từ 0,5 đến 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 của quá trình viễn tải*

1. Mở đầu

Cùng với sự phát triển của khoa học - kỹ thuật, lĩnh vực thông tin liên lạc cũng không ngừng phát triển. Con người không ngừng cải tiến cách thức liên lạc trong cuộc sống và vấn đề làm thế nào để truyền thông tin đi xa, đặc biệt là thông tin lượng tử 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.

Năm 1963, Glauber và Sudarshan đưa ra trạng thái kết hợp [1], ký hiệu là $\left|\alpha\right\rangle$, đây là trạng thái ứng với thăng giáng lượng tử nhỏ nhất suy ra từ hệ thức bất định Heisenberg. Vào năm 1991, Agarwal và Tara đã đề xuất ý tưởng về trạng thái kết hợp thêm photon [2]. Việc thêm và bớt photon vào một trạng thái vật lý là một phương pháp quan trọng để có thể tạo ra một trạng thái phi cổ điển mới. Trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn được định nghĩa như sau:

$$|\psi\rangle_{ab} = \mathrm{N}\left(\hat{a}^{\dagger 2} + \hat{b}\right)\left(|\varphi\rangle_{ab} + |-\varphi\rangle_{ab}\right) \tag{1}$$

trong đó $\left|\varphi\right\rangle_{ab}$ là trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) [3], $\hat{a}^{\dagger}, \hat{a}$ và $\hat{b}^{\dagger}, \hat{b}$ là toán tử sinh (hủy) photon của mode a và mode b. Trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) $\left|-\varphi\right\rangle_{ab}$ có dạng như sau:

$$|-\varphi\rangle_{ab} = \left(1 - |\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(n+q)!}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}} (-\xi)^n |n+q, n\rangle_{ab} \tag{2}$$

[1]Trường Đại học Sư phạm - Đại học Huế

Email: tmduc2009@gmail.com

Khai triển theo trạng thái Fock, trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn được viết lại như sau:

$$|\varphi\rangle_{ab} = N\left(1-|\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(n+q)}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}} \left[1+(-1)^n\right] \xi^n \times \left\{\sqrt{n+q+1}\sqrt{n+q+2}|n+q+2,n\rangle_{ab} + \sqrt{n}|n+q,n-1\rangle_{ab}\right\} \tag{3}$$

Khi $m = n = 2k + 1$ thì $[1 + (-1)^{2k+1}] = 0$ nên $N = 0$. Xét trường hợp $m = n = 2k$ và thực hiện chuẩn hóa ta có:

$$N = \left[2\left(1-|\xi|^2\right)^{1+q} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(n+q)!}{n!q!}\right] \left[1+(-1)^n\right] |\xi|^{2n}\right]^{-\frac{1}{2}} \times \left[(n+q+1)(n+q+2)+n\right]^{-\frac{1}{2}}. \tag{4}$$

Vậy:

$$|\psi\rangle_{ab} = \left[2\left(1-|\xi|^2\right)^{1+q} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(n+q)!}{n!q!}\right] \left[1+(-1)^n\right] |\xi|^{2n} \times \left\{(n+q+1)(n+q+2)+n\right\}^{-\frac{1}{2}} \times \left(1-|\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(n+q)!}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}} \left[1+(-1)^n\right] |\xi|^{2n} \times \left\{\sqrt{n+q+1}\sqrt{n+q+2}|n+q+2,n\rangle_{ab} + \sqrt{n}|n+q,n-1\rangle_{ab}\right\} \tag{5}$$

Việc truyền tải thông tin thông qua việc sử dụng tính chất đan rối được gọi là viễn tải lượng tử. Đó là một quá trình dịch chuyển thông tin cũng như vật chất tức thời, mà không phải dịch chuyển qua không gian, được thực hiện bằng cách giải mã một vật ở địa điểm này rồi gửi thông tin tới địa điểm khác, nơi vật sẽ được tái tạo lại cấu trúc giống như ban đầu. Viễn tải lượng tử có thể được khai thác để làm cho máy tính lượng tử, mạng lưới viễn thông trở nên nhanh, mạnh và bảo mật hơn. Để nghiên cứu viễn tải lượng tử, các nhà khoa học đang tập trung khai thác rối lượng tử. Việc nghiên cứu tính đan rối đóng vai trò quan trọng trong quá trính tạo ra nguồn tài nguyên đan rối, từ đó tìm ra nguồn đan rối có độ trung thực trung bình cao nhất. Nhận thấy các khảo sát về trạng thái đan rối và viễn tải lượng tử là một vấn đề thú vị, vì vậy trong bài báo này chúng tôi tiến hành định lượng độ đan rối và viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp với nguồn đan rối là trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn.

2. Nghiên cứu tính chất đan rối và định lượng độ rối của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn

Trong phần này, chúng tôi khảo sát tính đan rối của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn theo tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy [4], [5]. Điều kiện đan rối tổng quát được biểu diễn bằng bất phương trình sau:

$$\left\langle \hat{a}^{\dagger m}\hat{a}^{m}\right\rangle \left\langle \hat{b}^{\dagger n}\hat{b}^{n}\right\rangle < \left|\left\langle \hat{a}^{m}\hat{b}^{n}\right\rangle\right|^{2} \tag{6}$$

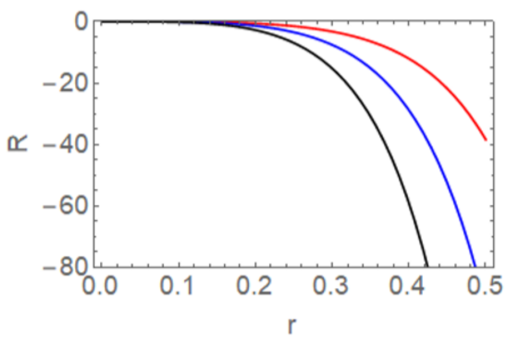
Theo tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy, một trạng thái bất kỳ bị đan rối nếu trung bình trong trạng thái đó thỏa mãn bất đẳng thức (6). Nếu $m \neq n$ thì trị trung bình ở vế trái trong biểu thức ứng với trạng thái SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn bằng không, trong khi vế trái luôn không âm. Do vậy không có đan rối trong trường hợp này. Khi m=n, đặt n=2k (chọn k=1) và đưa vào tham số rối R_1 dưới dạng:

$$R_1 = \left\langle \hat{a}^{\dagger 2}\hat{a}^{2}\right\rangle \left\langle \hat{b}^{\dagger 2}\hat{b}^{2}\right\rangle - \left|\left\langle \hat{a}^{2}\hat{b}^{2}\right\rangle\right|^{2} \tag{7}$$

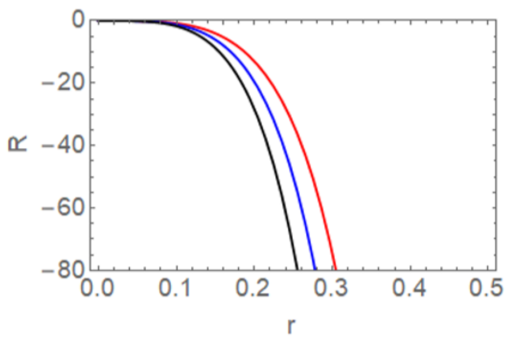
Trạng thái đan rối nếu $R_1 < 0$, trong đó R_1 càng âm thì mức độ đan rối càng tăng và ngược lại nếu $R_1 \geq 0$ thì trạng thái không đan rối. Thực hiện tính toán các số hạng trong R_1 với trạng thái SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn và đặt $\varphi = \pi, \theta = 2r$ với $r \geq 0$ ta được $\xi = -\tanh r$. Thay các kết quả vào biểu thức (7) ta thu được:

$$\begin{aligned}
R_1 = {} & |N|^4\left(1-|\xi|^2\right)^{2(1+q)} \times \left\{\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]\left[1+(-1)^n\right]^2|\xi|^{2n}\right\}^2 \\
& \times\left[(n+q+1)^2(n+q+2)^2+n\,(n+q)\,(n+q-1)\right] \\
& \times\left[n\,(n-1)\,(n-2)+n\,(n-1)\,(n+q+1)\,(n+q+2)\right] \\
& -\left\{|N|^4\left(1-|\xi|^2\right)^{2(1+q)} \times \left[\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]\left[1+(-1)^n\right]^2|\xi|^{2n}\xi^{-2}\right]^2\right. \\
& \left.\times\left\{n(n-1)\left[(n+q+1)(n+q+2)+(n-2)\right]\right\}^2.\right.
\end{aligned} \tag{8}$$

Đồ thị hình 1 thể hiện kết quả khảo sát của mức độ đan rối R theo tham số r và q. Gía trị q được khảo sát tương ứng ở hình 1 là q=1, q=2, q=3 và hình 2 là q=6, q=7, q=8. Từ đồ thị ta thấy R<0 điều kiện đan rối luôn thỏa mãn với mọi giá trị của r và q. Các đường cong đi xuống cho thấy độ đan rối tăng khi r tăng. Vậy trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn là trạng thái rối hoàn toàn.



Hình 1. *Sự phụ thuộc của tham số đan rối R_1 vào r với $q = 1, 2, 3$*



Hình 2. *Sự phụ thuộc của tham số đan rối R_1 vào r với $q = 6, 7, 8$*

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 hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn, ta sử dụng tiêu chuẩn đan rối Entropy tuyến tính [6].

$$M = 1 - Tr\left(\hat{\rho}_a^2\right), \tag{9}$$

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 $\hat{\rho}$ của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn:

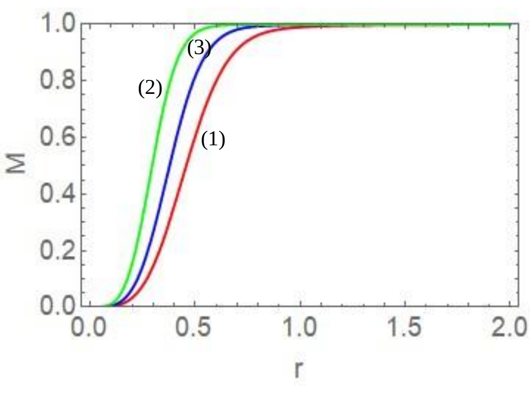
$$\begin{aligned}\hat{\rho} &= |\Psi\rangle_{abba}\langle\Psi| \\ &= 2N^2\left(1-|\xi|^2\right)^{1+q}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]\left[1+(-1)^n\right]\xi^{4n} \\ &\times\left\{(n+q+1)(n+q+2)|n+q+2\rangle_{aa}\langle n+q+2| + n|n+q\rangle_{aa}\langle n+q|\right\},\end{aligned} \tag{10}$$

trong đó $Tr\left(\hat{\rho}\right)$ là phép lấy vết ma trận mật độ $\hat{\rho}$ của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn lên mode b. Từ đó suy ra

$$\begin{aligned}\hat{\rho}_a^2 &= 4N^4\left(1-|\xi|^2\right)^{2(1+q)}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]^2\left[1+(-1)^n\right]^2\xi^{8n} \\ &\times\left\{(n+q+1)^2(n+q+2)^2|n+q+2\rangle_{aa}\langle n+q+2|\right. \\ &+2n(n+q+1)(n+q+2)|n+q+2\rangle_{aa}\langle n+q+2|\,|n+q\rangle_{aa}\langle n+q| \\ &\left.+n^2|n+q\rangle_{aa}\langle n+q|\right\}.\end{aligned} \tag{11}$$

Cuối cùng, ta thu được kết quả:

$$\begin{aligned}M &= 1 - Tr(\hat{\rho}_a^2) \\ &= 1 - 4N^4\left(1-|\xi|^2\right)^{2(1+q)}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]^2\left[1+(-1)^n\right]^2\xi^{8n} \\ &\times\left((n+q+1)^2(n+q+2)^2 + 2n(n+q+1)(n+q+2) + n^2\right)\end{aligned} \tag{12}$$



Hình 3: *Sự phụ thuộc của Entropy tuyến tính M và biên độ kết hợp r với giá trị q=1, q=3, q=7*

Hình 3 thể hiện sự phụ thuộc của entropy tuyến tính M vào biên độ kết hợp r với giá trị q=1,3,7. Các giá trị q này được chọn theo thứ tự tương ứng với đường (1), đường (3), đường (2). Sau khi khảo sát Entropy tuyến tính của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn, từ đồ thị 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, và r càng tăng thì giá trị M càng tiến đến 1, chứng tỏ trạng thái này càng đan rối. Như vậy trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn đạt đến mức độ đan rối cực đại khi ta chọn các thông số phù hợp và thỏa mãn điều kiện đan rối để thực hiện nhiệm vụ quá trình viễn tải lượng tử.

3. Khảo sát quá trình viễn tải lượng tử với trạng thái hai mode kết hợp SU(1,1) thêm hai và bớt một photon chẵn

Để thực hiện quá trình viễn tải lượng tử theo mô hình Gasbris và Agarwal [7], ta sử dụng nguồn đan rối là trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn như sau:

$$\begin{aligned}|\varphi\rangle_{ab} &= N\left(1-|\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\frac{(n+q)}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}}\left[1+(-1)^n\right]\xi^n \\ &\times\left\{\sqrt{n+q+1}\sqrt{n+q+2}|n+q+2,n\rangle_{ab}+\sqrt{n}|n+q,n-1\rangle_{ab}\right\}\end{aligned} \tag{13}$$

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 $|\gamma\rangle_c$. Tiếp theo Alice thực hiện một phép đo trạng thái Bell tổ hợp lên hai mode a và c để đo thông tin đan rối giữa $|\gamma\rangle_c$ và $|\varphi\rangle_{ab}$.

$$\begin{aligned}|B(X,P)\rangle_{ac} &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}D_c(\beta)|k,k\rangle_{ac}, \\ {}_{ca}\langle B(X,P)| &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}\left({}_{ca}\langle k,k|D_c^{\dagger}(\beta)\right)\end{aligned} \tag{14}$$

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 $|\psi\rangle_{abc}$

$$\begin{aligned}|\psi\rangle_{abc,B} &= {}_{ca}\langle B(X,P)|\psi\rangle_{abc} \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}N\left(1-|\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left[\frac{(n+q)}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}}\left[1+(-1)^n\right]\xi^n \\ &\times\left\{\sqrt{n+q+1}\sqrt{n+q+2}{}_{ca}\left\langle k,k\left|D_c^{\dagger}(\beta)\right|n+q+2\right\rangle_a|n\rangle_b|\gamma\rangle_c\right. \\ &\left.+\sqrt{n}{}_{ca}\left\langle k,k\left|D_c^{\dagger}(\beta)\right|n+q\right\rangle_a|n-1\rangle_b|\gamma\rangle_c\right\}.\end{aligned} \tag{15}$$

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:

$$\begin{aligned}|\psi\rangle_{abc,out} &= \hat{D}\left(g\beta\right)|\psi\rangle_{abc,B}\\
&= \tfrac{2}{\sqrt{\pi}}N\left(1-|\xi|^2\right)^{\frac{1+q}{2}}\exp\left(\tfrac{\beta^*\gamma-\beta\gamma^*}{2}\right)\exp\left(-\tfrac{1}{2}|\gamma-\beta|^2\right)\\
&\quad\times\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)}{n!q!}\right]^{\frac{1}{2}}\left[1+(-1)^n\right]\xi^n\\
&\quad\times\left\{\tfrac{(\gamma-\beta)^{n+q+2}}{\sqrt{(n+q+2)!}}\sqrt{n+q+1}\sqrt{n+q+2}_c\hat{D}\left(g\beta\right)|n\rangle_b\right.\\
&\quad\left.+\tfrac{(\gamma-\beta)^{n+q}}{\sqrt{(n+q)!}}\sqrt{n}\hat{D}\left(g\beta\right)|n-1\rangle_b\right\},\end{aligned}\qquad(16)$$

với:

$$\begin{aligned}N=&\left[2\left(1-|\xi|^2\right)^{1+q}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]\left[1+(-1)^n\right]|\xi|^{2n}\right.\\
&\left.\times\left\{(n+q+1)(n+q+2)+n\right\}^{-\frac{1}{2}}.\right.\end{aligned}\qquad(17)$$

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

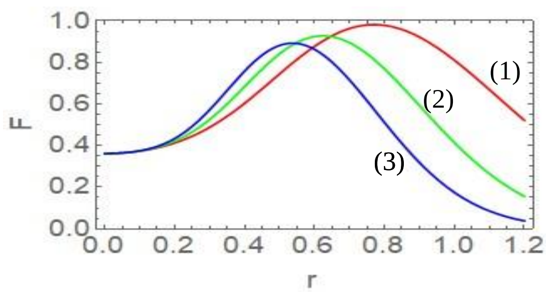
4. Độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải lượng tử

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

$$\begin{aligned}F_{av}&=\int\left|{}_{in}\langle\psi|\psi\rangle_{out}\right|^2 d^2\beta\\
&=\int\left|\langle\gamma|\psi\rangle_{out}\right|^2 d^2\beta\end{aligned}\qquad(18)$$

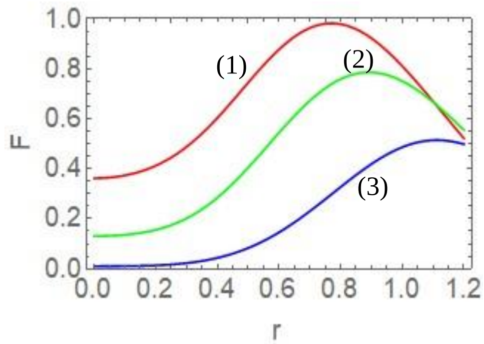
Quá trình viễn tải thành công nếu thỏa mãn điều kiện với độ trung thực $0{,}5\le F_{av}\le 1$. Chúng ta tiến hành tính toán độ trung thực F_{av} bằng việc sử dụng tính chất của toán tử dịch chuyển và khai triển trong trạng thái Fork ta được:

$$\begin{aligned}F_{av}&=8|N|^2\left(1-|\xi|^2\right)^{1+q}e^{-|\gamma|^2}\sum_{n=0}^{\infty}\left[\tfrac{(n+q)!}{n!q!}\right]\left[1+(-1)^n\right](\xi)^{2n}\\
&\quad\times\left(\tfrac{|\gamma|^{2n}}{n!}(n+q+1)(n+q+2)+\tfrac{\xi^2|\gamma|^{2n+1}}{n!(n+1)}(n+q+2)(n+q+1)\right.\\
&\quad\left.+\tfrac{|\gamma|^{2n-3}}{\xi^2 n!}(n-1)n^2+\tfrac{|\gamma|^{2n-2}}{n!}n^2\right)\end{aligned}\qquad(19)$$



Hình 4: *Sự phụ thuộc của độ trung thực trung bình F_{av} vào biên độ kết hợp r ứng với giá trị γ =1,55 và q=0,2,4*

Dựa vào hình 4, ta thấy khi chúng ta chọn giá trị γ=1,55, với q=0 tương ứng đường (1), độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng từ 0,5≤ F_{av}≤1 khi 0,35 ≤ r ≤ 1,2. Tăng giá trị q=2 ứng với đường (2) độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng từ 0,5 ≤F_{av}≤ 1 khi 0,27≤ r ≤0, 95. Khi giá trị q=4 ứng với đường (3) độ trung thực trung bình F_{av} có giá trị nằm trong khoảng từ 0,5≤F_{av}≤1 khi 0,25≤ r ≤0,82, ta thấy quá trình viễn tải xảy ra trong khoảng r hẹp dần. Điều này chứng tỏ khi q bé thì quá trình viễn tải xảy ra tốt nhất. Do đó quá trình viễn tải lượng tử xảy ra thành công với độ trung thực trung bình 0,5≤F_{av}≤1 với 0,35 ≤ r ≤ 1,2. Khi q bé thì quá trình viễn tải xảy ra tốt nhất nên ta xét khi q=0 ứng với các giá trị γ khác nhau để khảo sát độ trung thực trung bình F_{av} như hình 5.



Hình 5: *Sự thụ thuộc của độ trung thực trung bình F_{av} vào biên độ kết hợp r ứng với giá trị q=0 và γ =1,55; γ =1,85; γ =2,45*

Khi chọn giá trị q=0 với γ=1,55 ứng với đường (1) thì độ trung thực trung bình đạt cực đại gần bằng 1. Khi tăng γ ứng với giá trị γ=1,85 ứng với đường (2) thì độ trung thực trung bình đạt cực đại 0,7 và γ=2,45 ứng với đường (3) thì độ trung thực trung bình đạt cực đại 0,5. 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 sẽ thành công hơn. Do đó quá trình viễn tải lượng tử xảy ra thành công với độ trung thực trung bình 0,5≤F_{av}≤1 với 1,55≤γ≤2,45. Như vậy, quá trình viễn tải lượng tử là thành công khi ta chọn các tham số trạng thái phù hợp.

5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng tiêu chuẩn đan rối Hillery-Zubairy bậc cao và tiêu chuẩn đan rối Entropy tuyến tính để khảo sát tính chất đan rối của trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn. Kết quả khảo sát cho thấy trạng thái hai mode kết hợp SU(1, 1) thêm hai và bớt một photon chẵn là một trạng thái đan rối hoàn toàn, và cấp độ đan rối tương đối mạnh khi tiệm cận đến giá trị đan rối cực đại. Sau đó, chúng tôi sử dụng trạng thái này làm nguồn đan rối để thực hiện quá trình viễn tải lượng tử một trạng thái kết hợp và đánh giá mức độ thành công của quá trình viễn tải thông qua độ trung thực trung bình. Kết quả khảo sát cho thấy quá trình viễn tải được thực hiện thành công với độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải là $0,5 \leq F_{av} \leq 1$ với trạng thái có giá trị biên độ của trường tương đối bé. Tuy nhiên, với giá trị biên độ của trường tương đối lớn lớn thì độ trung thực trung bình của quá trình viễn tải là chưa ổn định và còn phụ thuộc vào các tham số đầu vào một cách phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Glauber. R. J. (1963), *Phys. Rev, 131*, 2766
2. Agarwal. G. S. and Tara. K. (1991), *Physical Review A*, 43, 492
3. Christopher C. Gerru, Rainer Grobe (1996), *Journal of Modern Optics*, 44, 41
4. Hillery M. and Zubairy M. S. (2006), *Phys. Rev. Lett. 96*, 050503
5. Hillery M. and Zubairy M. S. (2006), *Phys. Rev. A 74(3)*, 032333
6. Agarwal G. S. and Biswas A. (2005), *New Journal of Physics* 7, 211
7. Gasbris A., Agarwal G. S. (2007), *Int. Journal of Quant. Inf.*, 5, 17

STUDYING THE ENTANGLEMENT AND THE QUANTUM TELEPORTATION VIA PLUS OF TWO-PHOTON ADDED AND ONE-PHOTON SUBTRATED TWO-MODE SU(1,1) EVEN COHERENT STATE

ABSTRACT

In this paper, we study the entanglement property of the plus of two-photon added and one-photon subtracted to two-mode SU(1,1) even coherent state by using the Hillery-Zubairy and the Linear Entropy criteria. The results show that this state is strongly entangled, and the degree of the entanglement depends on the adding and subtracting photons to the state. When using the plus of two-photon added and one-photon subtracted to two-mode SU(1,1) even coherent state as an entanglement resource for quantum teleportation form a coherent state, we found that the teleportation process was successful with the fidelity ranging from 0,5 to 1.

Keywords: *Two-mode SU(1,1) coherent state, Hillery-Zubairy criterion, Linear Entropy criterion, Entanglement and teleportation*

(Received: 25/11/2019, Revised: 2/12/2019, Accepted for publication: 3/12/2019)