پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۲۱

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

دینامیک سامانه فیزیکی در حضور نوفه‌ی مخابراتی تصادفی

حکیمه جاقوری [۱]، کوروش جاویدان [۱] سمیرا نظیف کار [۲]

[۱] دانشگاه فردوسی مشهد

[۲] دانشگاه نیشابور

چکیده

سیستم های فیزیکی واقعی در محیط هایی هستند که با آن برهم کنش داده و از آن تاثیر می پذیرند. این برهم کنش با محیط سر منشاء ناهمدوسی است که تخریب ویژگی های کوانتومی و ناپدید شدن درهم‌تنیدگی و هم‌بستگی‌های کوانتومی را در پی دارد. در این مطالعه توجه خود را به نوفه‌ی مخابراتی تصادفی (Random telegraph noise) معطوف می‌کنیم و به بررسی تحول سیستم کیوبیت-کیوبیت برهم‌کنش‌گر با نوفه‌ی کلاسیکی می‌پردازیم و به نتایج جالبی در این زمینه دست پیدا می‌کنیم. نشان می‌دهیم که اگر نوفه‌ی محیط از نوع مخابراتی تصادفی (RTN) باشد پس از گذشت یک بازه زمانی مقدار معیارهای کوانتومی در یک محیط مشترک بیشتر از حالتی است که دو محیط مجزا هستند درحالی‌که در محیط‌هایی با نوفه‌ی ارنشتاین-النبک معیارهای کوانتومی در محیط‌های مستقل مقدار بیشتری از محیط مشترک دارند.

فرایندهای غیرگاوسی

ساختار میکروسکوپی محیط نقش اساسی را در مشخص کردن دینامیک سامانه کوانتومی که در معرض نوفه قرار گرفته، ایفا می‌کند. افت‌وخیزگر دوپایا[1]، که افت‌وخیزگر دو ترازه[2] هم نامیده می شود به صورت تصادفی میان دو مقدار با آهنگ سوئیچینگ مشخصی، سوئیچ می شود. تأثیر یک افت‌وخیزگر، تولید نوفه‌ی مخابراتی تصادفی(RTN) است، درحالی که مجموعه‌ای ازTLFها باعث ایجاد نوفه‌ی $\frac{1}{f^{\alpha}}$ می‌شوند. RTN توصیف کننده‌ی فرایند تصادفی گسسته $\{B(t), t \in [0,\infty]\}$است که متغیر تصادفی B می‌تواند دو مقدار ممکن را با آهنگ سوئیچینگ γ را بگیرد.

هنگامی‌که $\gamma > n$ناحیه‌ی جفت شدگی ضعیف است و تابع مشخصه، یک تابع واپاشی یکنواخت نسبت به زمان است. از طرف دیگر در ناحیه‌ی جفت‌شدگی قوی $\gamma < n$ تابع مشخصه، تابع نوسانی میرا نسبت به زمان است. در دو ناحیه تابع مشخصه به‌صورت زیر است(۱):

$$\Delta_n(\gamma) = \langle e^{in\varphi(t)} \rangle = e^{-\gamma t}[\cosh(\delta t) + \frac{\gamma}{\delta}\sinh(\delta t)] \qquad \delta = \sqrt{\gamma^2 - n^2} \qquad \gamma > n$$
$$= e^{-\gamma t}[\cos(\delta t) + \frac{\gamma}{\delta}\sin(\delta t)] \qquad \delta = \sqrt{n^2 - \gamma^2} \qquad \gamma < n \qquad (۳)$$

تابع **مشخصه** یک کمیت حقیقی است. عبارت اول، ناحیه سریع یا مارکوفی و عبارت دوم ناحیه‌ی آهسته یا غیرمارکوفی را توصیف می کند. میدان‌های خارجی کلاسیکی $\Omega_A(t)$ و $\Omega_B(t)$ بر روی دو کیوبیت مطابق رابطه‌ی $H_I(t) = \Omega_A(t)\sigma_z^A + \Omega_B(t)\sigma_z^B$ اثر می‌گذارند (۲-٤)، ماتریس چگالی در

[1] Bistable fluctuators

[2] Two level fluctuators (TLF)

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

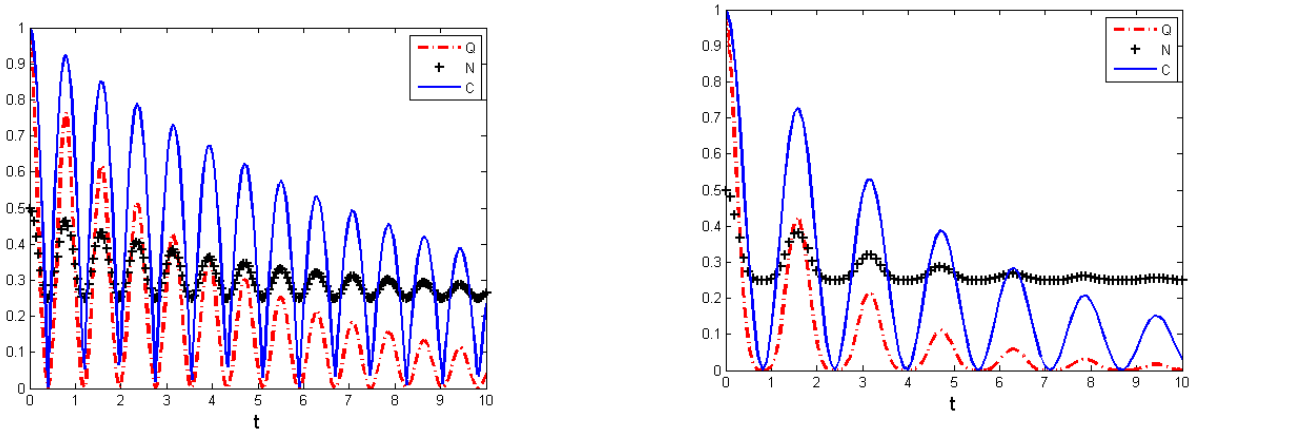
لحظه‌ی ابتدایی $\rho(0)=(1_{AB}+\sum_{i=1}^{3}c_i\sigma_i^A\otimes\sigma_i^B)$ است که $\sigma_i^{A,B}$ ماتریس‌های پاولی و $\vec{c}=(c_1,c_2,c_3)$ حالت سیستم را توصیف می‌کند. ماتریس چگالی تحول یافته در دو محیط مستقل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\rho_I(t)=\frac{1}{4}[I_4+c_1\Delta_2^2(t)\sigma_x\otimes\sigma_x+c_2\Delta_2^2(t)\sigma_y\otimes\sigma_y+c_3\sigma_z\otimes\sigma_z] \qquad (٤)$$

و ماتریس چگالی تحول یافته در یک محیط مشترک به صورت زیر است:

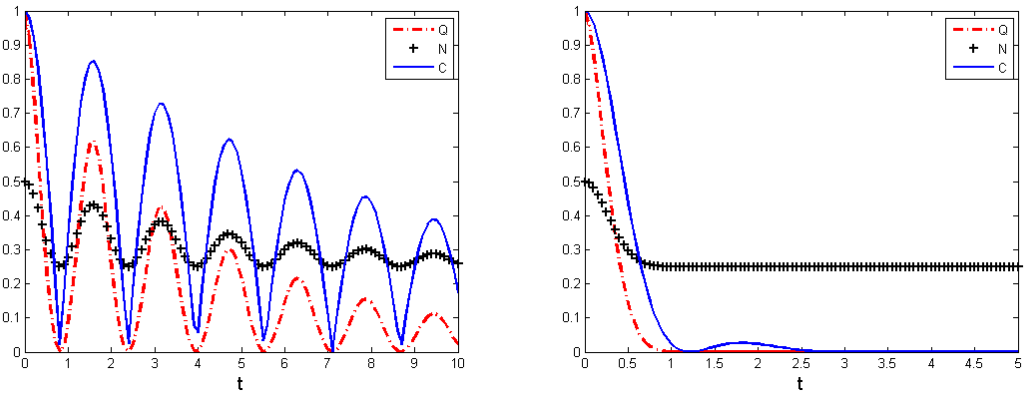
$$\rho_C(t)=\frac{1}{8}[2I_4+(c_1+c_2+\Delta_4(t)(c_1-c_2))\sigma_x\otimes\sigma_x+(c_1+c_2-\Delta_4(t)(c_1-c_2))\sigma_y\otimes\sigma_y+2c_3\sigma_z\otimes\sigma_z] \qquad (٥)$$

شکل ۱ نشان می‌دهد که برای حالت ابتدایی $c_1=1,c_2=-1,c_3=1$ و $\gamma=0.1$ معیارها در محیط مشترک نسبت به زمان در مقایسه با محیط‌های مستقل نو سانات بی شتری از خود ن شان می‌دهند. در این حالت می‌توان دید که معیار توافق در مقای سه با ناهم‌خوانی کوانتومی در برابر نوفه‌های محیطی مقدار بیشتری را از خود نشان می‌دهد اگر نوفه‌ی محیط از نوع ارنشتاین-النبک باشد مقدار معیارهای کوانتومی در محیط‌های مستقل بیشتر از محیط مشترک هستند. شکل‌های (۲) این رفتار معیارها را برای حالت ابتدایی یکسان و $\gamma=1$ به‌صورت روشن‌تر نشان می‌دهند.



الف. ب.

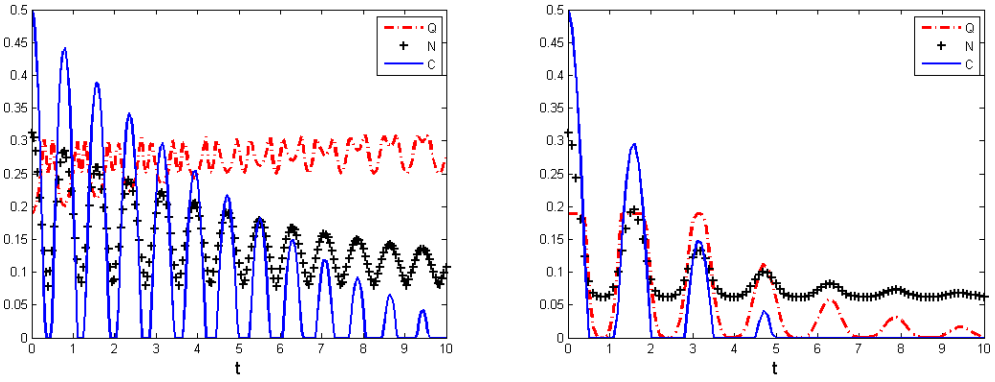
شکل ۱: تحول ناهم‌خوانی کوانتومی نقطه خط (.-)، ناجایگزیدگی القاء شده توسط اندازه‌گیری با (+) و درهم‌تنیدگی با خط ممتد (-) نشان داده شده است. الف: دو کیوبیت در دو محیط مستقل ب: دو کیوبیت در یک محیط مشترک با در نظر گرفتن $\gamma=0.1$ و $c_1=1,c_2=-1,c_3=1$.



الف: ب:

شکل ۲: تحول معیارهای کوانتومی مشابه شکل۱ با در نظر گرفتن $\gamma=1$ و $c_1=1,c_2=-1,c_3=1$.

در شکل (۳) برای حالت ابتدایی $c_1=1,c_2=-\frac{1}{2},c_3=\frac{1}{2}$ و $\gamma=0.1$ نشان می‌دهیم که مقدار ناهم‌خوانی کوانتومی در برابر نوفه مقاوم‌تر از معیار توافق است و در این شکل دیده می‌شود که در محیط مشترک در مقایسه با دو محیط مستقل با گذشت زمان مقدار معیارهای اندازه‌گیری در برابر نوفه است. در محیط مشترک در ابتدا برهم‌کنش با محیط باعث افزایش ناهم‌خوانی کوانتومی می‌شود و سپس تحول ناهم‌خوانی کوانتومی رفتار نوسانی از خود نشان می‌دهد که از مقدار ناهم‌خوانی کوانتومی در لحظه‌ی ابتدایی بیشتر است.



الف: ب:

شکل ۳: : تحول معیارهای کوانتومی مشابه شکل۱ با در نظر گرفتن $\gamma=0.1$ و $c_1=1,c_2=-\frac{1}{2},c_3=\frac{1}{2}$.

برای حالت $c_1=1,c_2=-\frac{1}{2},c_3=\frac{1}{2}$ و $\gamma=0.1$ نشان می‌دهیم که معیار توافق و ناهم‌خوانی کوانتومی در دو محیط مستقل با گذشت زمان میرا می‌شود اما در محیط مشترک معیار توافق نسبت به زمان از بین نمی‌رود و ناهم‌خوانی کوانتومی در ابتدا کاهش یافته و بعد رفتار نوسانی از خود نشان می‌دهد و در نهایت به یک مقدار ثابت خواهد رسید. معیارMIN با گذشت زمان در محیط مشترک در مقایسه با محیط‌های مستقل مقدار بیشتری را دارد.

نتیجه گیری

در این مقاله به مطالعه‌ی یک نوفه‌ی غیرگاوسی پرداختیم. رفتار معیارهای کوانتومی را برای سامانه کیوبیت-کیوبیت در یک محیط مشترک و دو محیط مستقل بررسی کردیم و نشان دادیم که در حضور نوفه‌ی RTN پس از یک بازه زمانی، همواره مقدار معیارها در محیط مشترک بیشتر از دو محیط مستقل هستند درحالی اگر نوفه‌ی محیط از نوع ارنشتاین-النبک باشد معیارهای کوانتومی در محیط‌های مستقل بیشتر از محیط مشترک هستند. به‌علاوه نشان داده‌ایم که امکان افزایش ناهم‌خوانی کوانتومی در نتیجه‌ی برهم‌کنش با محیط اطراف وجود دارد در حالی‌که معمولاً برهم‌کنش با محیط سبب کاهش معیارهای اندازه‌گیری می‌شود. معیار MIN در نتیجه برهم‌کنش با محیط صفر نمی‌شود بلکه درنهایت به یک مقدار ثابت می‌رسد.

مرجع‌ها

1. W. Gardiner, *Handbook of Stochastic Methods* (Springer, Berlin, 1983).
2. Li J-Q, Liang J-Q. Quantum and classical correlations in a classical dephasing environment. *Physics Letters A.* 2011;375(13):1496-503.
3. Benedetti C, Paris MG, Maniscalco S. Non-Markovianity of colored noisy channels. *Physical Review A.* 2014;89(1):012114.
4. Benedetti C, Buscemi F, Bordone P, Paris MG. Effects of classical environmental noise on entanglement and quantum discord dynamics. *International Journal of Quantum Information*. 2012;10(08):1241005.