



تقویت اطلاعات متقابل بین دو میدان اپتیکی

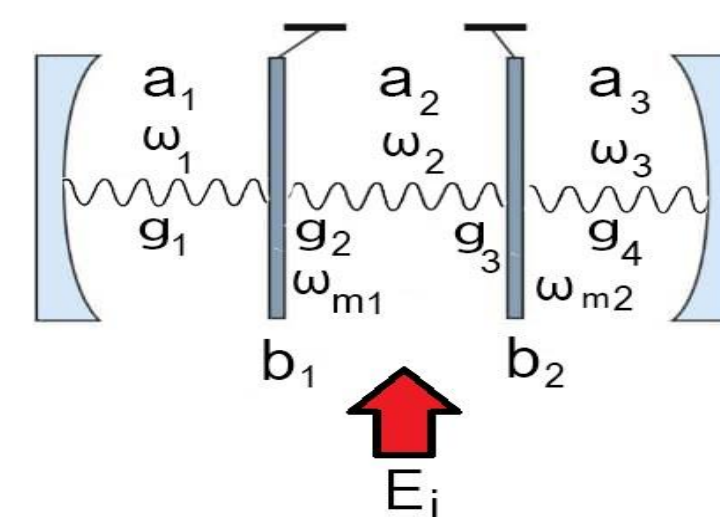
مریم ابراهیمی^۱؛ علیداد عسکری^۲؛ وحید عامری سیاهونی^۳

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، کیلومتر نه جاده میناب، بندرعباس

مقدمه

سیستم‌های اپتومکانیکی بستر امیدوارکننده‌ای برای کنترل نوسانات خلاً می‌باشند[۱]. کاواک اپتیکی با ترکیبی از درجه آزادی مکانیکی زمینه منحصر به فردی را برای انتقال و پردازش اطلاعات کوانتومی از طریق اثرات اپتومکانیکی فراهم می‌سازد[۲]. در این مقاله سیستم مورد مطالعه ما یک سیستم اپتومکانیکی است که در آن سعی داریم اطلاعات متقابل را بین دو زیرسیستم تقویت کنیم. از آنجایی که اطلاعات متقابل معیاری از همبستگی بین دو زیرسیستم است، اگر اطلاعات متقابل با اندازه گیری بر پایه‌ای مناسب روی یک زیرسیستم انجام شود، می‌تواند همبستگی را در بقیه اجزای سیستم تقویت کند[۳]. ما برای رسیدن به این هدف از چلانگی استفاده می‌کنیم. حالت‌های چلانده ابزاری برای کنترل نوسانات خلاً می‌باشند[۴]. همچنین چلانگی با نویز حرارتی مبارزه می‌کند و مانع واهمدوسی در سیستم می‌شود[۵]. از این رو انتظار می‌رود که چلانگی بتواند در تقویت اطلاعات متقابل و در نتیجه برای تقویت همبستگی در سیستم مؤثر شود.

روند آزمایش



شکل ۱: نمودار شماتیک سیستم. دو غشای دیالکتریک متحرک داخل یک کاواک فابری پرو قرار دارد. مکان دو آینه ثابت است.

یک سیستم اپتومکانیکی مطابق شکل ۱ در نظر می‌گیریم. فرض می‌شود دو غشای دی الکتریک متحرک داخل یک کاواک فابری پرو که از دو آینه ثابت تشکیل شده است قرار دارد. دو غشا با در برگرفتن یک میدان اپتیکی که در بین آنها قرار دارد، تشکیل یک ساندویچ غشایی می‌دهند. که در آن $i=1,2$ است. دینامیک این سیستم توسط معادله مستر توصیف می‌شود که به صورت زیر است:

$$\frac{d\hat{\rho}}{dt} = -i[\hat{H}, \hat{\rho}] + \sum_{j=1}^3 \gamma (2\hat{a}_j \hat{\rho} \hat{a}_j^\dagger - \hat{a}_j^\dagger \hat{a}_j \hat{\rho} - \hat{\rho} \hat{a}_j^\dagger \hat{a}_j) + \sum_{m=1,2} \kappa (2\hat{b}_m \hat{\rho} \hat{b}_m^\dagger - \hat{b}_m^\dagger \hat{b}_m \hat{\rho} - \hat{\rho} \hat{b}_m^\dagger \hat{b}_m)$$

هامیلتونی سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{H} = \hat{H}_{free} + \hat{H}_{i,drive} + \hat{H}_{int}$$

هر کدام از جملات هامیلتونی به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{H}_{free} = \omega_1 \hat{a}_1^\dagger \hat{a}_1 + \omega_{m1} \hat{b}_1^\dagger \hat{b}_1 + \omega_2 \hat{a}_2^\dagger \hat{a}_2 + \omega_{m2} \hat{b}_2^\dagger \hat{b}_2 + \omega_3 \hat{a}_3^\dagger \hat{a}_3$$

$$\hat{H}_{1,drive} = E_1 (\hat{a}_2 + \hat{a}_2^\dagger)$$

$$\hat{H}_{2,drive} = E_2 (\hat{a}_2^2 + \hat{a}_2^{\dagger 2})$$

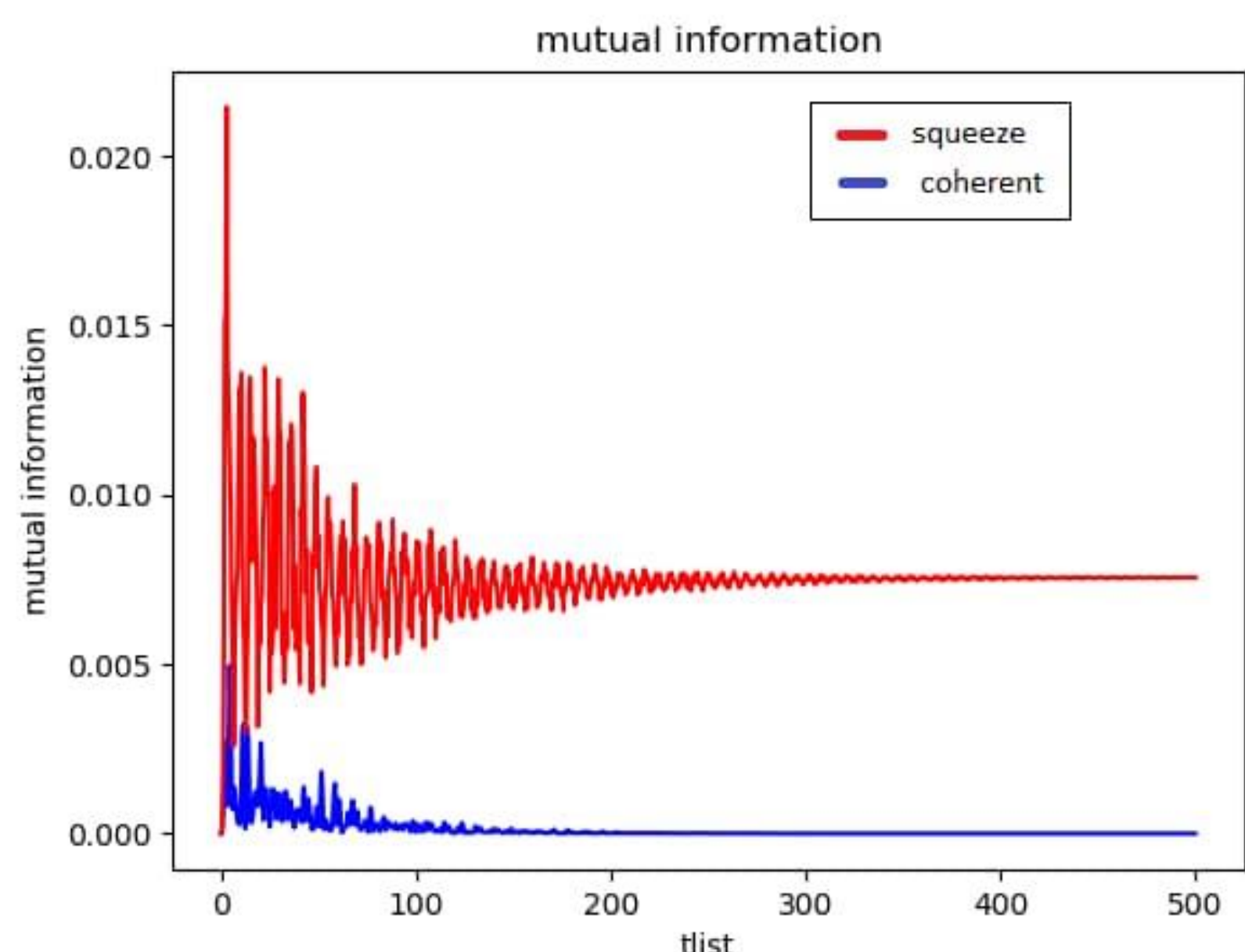
$$\hat{H}_{int} = g_1 (\hat{a}_1 + \hat{a}_1^\dagger) (\hat{b}_1 + \hat{b}_1^\dagger) + g_2 (\hat{b}_1 + \hat{b}_1^\dagger) (\hat{a}_2 + \hat{a}_2^\dagger) + g_3 (\hat{a}_2 + \hat{a}_2^\dagger) (\hat{b}_2 + \hat{b}_2^\dagger) + g_4 (\hat{b}_2 + \hat{b}_2^\dagger) (\hat{a}_3 + \hat{a}_3^\dagger)$$

بحث و بررسی

اطلاعات متقابل کوانتومی برای یک حالت کوانتومی دو بخشی ρ_{AB} به صورت زیر تعریف شده است:

$$I(\rho_{AB}) = S(\rho_A) + S(\rho_B) - S(\rho_{AB})$$

که در آن $S(\rho) = -tr(\rho \log \rho)$ آنتروپی فون نویمان است. این اطلاعات متقابل غیر منفی است و تعبیر همبستگی کامل بین دو زیرسیستم را در بر می‌گیرد[۶]. شکل ۲ نمودار اطلاعات متقابل بین دو میدان اپتیکی که از طریق ساندویچ غشایی به هم مرتبط شده‌اند را در دو حالت همدوس و چلانده نشان می‌دهد. نمودار آبی رنگ اطلاعات متقابل بین دو میدان اپتیکی در حالت همدوس و نمودار قرمز رنگ همان نمودار را در حالت چلانده نشان می‌دهد. همان طور که از شکل ۲ پیداست اطلاعات متقابل در حالت چلانده نسبت به حالت همدوس



شکل ۲: نمودار اطلاعات متقابل بین دو میدان اپتیکی در حالت همدوس و چلانده

نتیجه‌گیری

در این مقاله با اعمال پمپ همدوس و پمپ چلانده به یک میدان اپتیکی که بین دو غشا ساندویچ شده است، اطلاعات متقابل را بین دو میدان اپتیکی که از طریق این ساندویچ غشایی به هم مرتبط شده‌اند حساب کردیم. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که چلانگی عملکرد بهتری در تقویت اطلاعات متقابل نسبت به حالتی دارد که پمپ ما همدوس ساز باشد. از آنجایی که اطلاعات متقابل معیاری از همبستگی بین دو زیرسیستم است و چلانگی روی تمام اجزای سیستم اثر می‌گذارد، می‌بینیم که چلانگی باعث ایجاد همبستگی بیشتر بین اجزای سیستم شده است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که چلانگی پارامتری مناسب در تقویت اطلاعات متقابل بین دو زیرسیستم به شمار می‌رود.

مراجع

- [1] Montenegro, V., Genoni, M. G., Bayat, A., & Paris, M. G. (2020). Mechanical oscillator thermometry in the nonlinear optomechanical regime. *Physical Review Research*, **2**(4), 04333[8].
- [2] Xiong, H., Si, L. G., Yang, X., & Wu, Y. (2015). Asymmetric optical transmission in an optomechanical array. *Applied Physics Letters*, **107**(9), 091116.
- [3] Chakrabarty, I., Agrawal, P., & Pati, A. K. (2011). Quantum dissension: generalizing quantum discord for three-qubit states. *The European Physical Journal D*, **65**(3), 605-612.
- [4] Caves, C. M. (1981). Quantum-mechanical noise in an interferometer. *Physical Review D*, **23**(8), 1693.
- [5] Teh, R. Y., Drummond, P. D., & Reid, M. D. (2020). Overcoming decoherence of Schrödinger cat states formed in a cavity using squeezed-state inputs. *Physical Review Research*, **2**(4), 043387.
- [6] Kumar, A. (2017). Multiparty quantum mutual information: an alternative definition. *Physical Review A*, **96**(1), 012332.