

## Przetwarzanie informacji kwantowej w obwodach kwantowych ultrasilnie sprzężonych ze światłem

S. Abo<sup>1</sup>, Y.-H. Chen<sup>2</sup>, A. Kockum<sup>3</sup>, A. Miranowicz<sup>1,2</sup>,  
F. Nori<sup>2,5</sup>, W. Qin<sup>2</sup>, S. Savasta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,  
61-614 Poznań, Polska*

<sup>2</sup>*RIKEN Cluster for Pioneering Research,  
Wako-shi, Saitama 351-0198, Japonia*

<sup>3</sup>*Chalmers University of Technology,  
412 96 Gothenburg, Szwecja*

<sup>4</sup>*Università di Messina,  
I-98166 Messina, Włochy*

<sup>5</sup>*University of Michigan,  
Ann Arbor, Michigan 48109-1040, USA*

Metody i urządzenia do kwantowego przetwarzania informacji (QIP), bezpiecznej komunikacji kwantowej i metrologii kwantowej często wykorzystują sprzężenie światła z różnymi układami materii kwantowej, począwszy od naturalnych lub sztucznych atomów i spinów do mezoskopowych nadprzewodników i struktur nanomechanicznych. Komplementarne zalety tych hybrydowych systemów kwantowych mogą być kluczowe dla rozwoju nowych technologii kwantowych. Wiele badań eksperymentalnych i teoretycznych koncentruje się ostatnio na badaniu ultrasilnego sprzężenia światła z materią, gdy siła tego oddziaływania staje się porównywalna do częstości rezonansowych jego podsystemów [1]. Ten referat będzie przeglądem niektórych naszych najnowszych wyników dotyczących technologii kwantowych i QIP opartych na ultrasilnym sprzężeniu światła z materią.

Ostatnio pokazaliśmy, że ultrasilne sprzężenie może być efektywnie symulowane w układach typu Jaynesa-Cummingsa w wyniku zastosowania parametrycznego wzmocnienia (tj. ściskania światła) [2] lub jednomodowego klasycznego silnego pompowania [3]. Podejście oparte na ściskaniu światła zostało przez nas zastosowane do nieniszczącego odczytu kubitów [4], natomiast podejście wykorzystujące silne pompowanie klasyczne zastosowaliśmy do opracowania protokołów ultraszybkich geometrycznych obliczeń kwantowych o podwyższonej wierności [5]. Ponadto, stwierdziliśmy, że symulowane ultrasilne sprzężenie umożliwia wytworzenie gigantycznych stanów typu kota Schrödingera (tj. makroskopowo rozróżnialnych stanów superpozycji) w układach atomowych o wyjątkowo długim czasie życia, do 4 rzędów wielkości dłuższym niż czas trwania typowych fotonicznych kotów kwantowych, przy założeniu tych samych parametrów [6, 7]. Aby pokazać przydatność kotów Schrödingera w QIP, opisaliśmy protokół nieadiabaticznych geometrycznych obliczeń kwantowych, opartych na takich kubitach [8]. W rzeczywistości żaden układ kwantowy nie może być całkowicie odizolowany od swojego środowiska. W szczególności, rozfazowanie jest głównym

mechanizmem zaniku korelacji kwantowych, powodującym w szczególności poszerzenie linii spektralnych i zasadniczo ograniczającym wierność protokołów QIP. Ostatnio zajęliśmy się ważnym problemem, jak poprawnie opisać rozfazowanie ultrasłabie sprzężonego światła z materią [9].

### Bibliografia

- [1] Kockum A. F., Miranowicz A., De Liberato S., Savasta S., Nori F., Ultrastrong coupling between light and matter, *Nature Rev. Phys.* 1, 19 (2019).
- [2] Qin W., Miranowicz A., Li P.-B., Lu X.-Y., You J.-Q., Nori F., Exponentially Enhanced Light-Matter Interaction, Cooperativities, and Steady-State Entanglement Using Parametric Amplification, *Phys. Rev. Lett.* 120, 093601 (2018).
- [3] Sánchez Muñoz C., Kockum A. F., Miranowicz A., Nori F., Ultrastrong-coupling effects induced by a single classical drive in Jaynes-Cummings-type systems, *Phys. Rev. A* 102, 033716 (2020).
- [4] Qin W., Miranowicz A., Nori F., Beating the 3 dB Limit for Intracavity Squeezing and Its Application to Nondemolition Qubit Readout, *Phys. Rev. Lett.* 129, 123602 (2022).
- [5] Chen Y.-H., Miranowicz A., Chen X., Xia Y., Nori F., Enhanced-Fidelity Ultrafast Geometric Quantum Computation Using Strong Classical Drives, *Phys. Rev. Applied* 18, 064059 (2022).
- [6] Qin W., Miranowicz A., Jing H., Nori F., Generating long-lived macroscopically distinct superposition states in atomic ensembles, *Phys. Rev. Lett.* 127, 093602 (2021).
- [7] Chen Y.-H., Qin W., Wang X., Miranowicz A., Nori F., Shortcuts to Adiabaticity for the Quantum Rabi Model: Efficient Generation of Giant Entangled Cat States via Parametric Amplification, *Phys. Rev. Lett.* 126, 023602 (2021).
- [8] Kang Y.-H., Chen Y.-H., Wang X., Song J., Xia Y., Miranowicz A., Zheng S.-B., Nori F., Nonadiabatic geometric quantum computation with cat qubits via invariant-based reverse engineering, *Phys. Rev. Research* 4, 013233 (2022).
- [9] Mercurio A., Abo S., Mauceri F., Russo E., Macri V., Miranowicz A., Savasta S., Di Stefano O., Pure Dephasing of Light-Matter Systems in the Ultrastrong and Deep-Strong Coupling Regimes, *Phys. Rev. Lett.* (2023), w druku.