

スピン集団におけるマクロな量子もつれ状態の生成と精密測定への応用

Macroscopic-Entangled-State Generation in Spin Ensembles and Their Application to Quantum Precision Measurements



理化学研究所¹ ○(PC)湯川 英美¹

RIKEN¹, °(PC)Emi Yukawa¹

E-mail: emi.yukawa@riken.jp

量子力学は、ミクロな物質の振る舞いを記述する理論として、半導体技術やレーザーといった20世紀の技術発展を支えてきた。近年では、さらに進んで、1原子、1スピンという単一量子レベルでの量子操作において、より長い量子コヒーレンス、より高いフィデリティの実現が日進月歩で進められている。その恩恵の1つとして、我々はスピンやボゾンの集団などのマクロな系を、量子コヒーレンスを保った状態で操作することが可能になり、量子測定においては、マクロな量子もつれ状態を、精度向上のリソースとして利用出来るようになった[1]。この例として、重力波測定[2]やバイオセンシング[3]におけるスクイズド光の応用が挙げられる。しかし、マクロな量子もつれ状態の生成と応用には課題も残されている：量子もつれ状態を用いることにより、原理的には、集団を構成する量子の数 N に対して、 $N^{1/2}$ の精度の向上を見込める一方で、特にスピン系で N を $O(10)$ 程度より大きくすることは難しい。これは例えば、固体スピン集団では個々のスピンの周波数のばらつきが原因であり、冷却原子系では量子もつれ状態を生成するスピン間相互作用の弱さ、粒子ロス、励起状態の寿命がボトルネックとなっている。

この問題に取り組むため、我々は、ダイヤモンド窒素-空孔中心やシリコン中の不純物スピンのスピアンサンブルにおけるスピンスクイズド状態の生成[4]、ルビジウム 87 原子気体とトラップ中のベリリウム 9 イオンのスピアンサンブルにおける、2つのコヒーレント状態の重ね合わせの生成[5]について研究を行った。前者では[4]、 $O(10^2)$ 程度のスピン同士を磁束型超伝導量子ビット/超伝導共振器を介して相互作用させた系を磁氣的に駆動し、1軸ひねり相互作用又は量子ビット/共振器の緩和によってスピンスクイズド状態を生成する数値シミュレーションを行った。我々は、個々のスピン周波数のばらつきによるスクイズド状態の減衰を、適切なパルスシーケンスによって抑えられることを示した。後者では[5]、ZZタイプの相互作用をしている $O(10^2)$ 程度のスピン集団を、横磁場で緩やかに駆動することにより、粒子ロスを含めた冷却原子系の寿命、トラップ中のイオンの寿命より短い時間でコヒーレント状態の重ね合わせを生成できることを数値的に示した。講演では、これらの量子状態の精密測定への応用についても議論を行う。

[1] G. C. Knee et. al, Nat. Commum. **7**, 13253 (2016).

[2] H. Aasi et. al, Nature Photonics **7**, 613 (2013).

[3] M. A. Taylor et. al, Phys. Rev. X **4**, 011017 (2014).

[4] S. Dooley, E. Yukawa, et. al, New J. Phys. **18**, 053011 (2016).

[5] E. Yukawa, G. J. Milburn, and K. Nemoto, Phys. Rev. A **97**, 013820 (2018).