

原子-光ネットワーク型量子コンピュータの展望

Outlook of atom-photon networked quantum computers

阪大基礎工¹, 阪大 QIQB² ○山本 俊^{1,2}

GSES Osaka Univ.¹, QIQB Osaka Univ.², °Takashi Yamamoto^{1,2}

E-mail: yamamoto.takashi.es@osaka-u.ac.jp

近年、量子コンピュータ研究が世界的に急速に進んでおり、その全貌を把握することが非常に困難になってきている。ハードウェアに限定したとしても、超伝導、イオントラップ、光、中性原子、半導体量子ドットのそれぞれが大きく発展してきており、さらに新しい方式も研究され始めている。そのうえで、各ハードウェアに適した誤り耐性へ向かう理論的な方法が議論され、実証されるようになってきている。そして、誤り耐性があり有用な問題を計算できる汎用の量子コンピュータに向けて、大規模化の研究が行われている。国内では、ムーンショット型研究開発事業目標 6[1]を中心に、これらの研究開発が戦略的に行われている。本講演では、その中でも、小規模の量子コンピュータを量子通信で量子的に繋ぐことで、大規模化し、ネットワーク型量子コンピュータを構築するための試みを紹介する[2]。特に、我々が行っている中性原子と光子の量子もつれを利用するネットワーク型量子コンピュータを中心に議論する[3]。

誤り耐性があり汎用量子コンピュータへは百万から1億量子ビット必要と試算されている。これを実現するためには、多くの課題が存在するが、大きな課題として、単一の物理システムで十分な誤り耐性を保ちつつ、目標の量子ビット数に拡大する現実的な解を見いだせていないところである。例えば、「数百量子ビットの量子コンピュータであれば作ることができるかもしれないが、それ以上は量子通信を含むモジュラーアプローチを使う必要があるだろう」と述べられており[4]、ネットワーク型量子コンピュータは早くから期待されている。最近急速に進展してきた中性原子方式では、数百量子ビットを超えて、1万量子ビットに手が届きそうな状況ではあるが、その先は、ネットワーク型量子コンピュータという状況に変わりはない。中性原子方式では、光ピンセットアレイを生成し、各光ピンセットに単一原子をトラップすることで、量子ビットのアレイを生成する。さらに、別の光ピンセットを用意し、それを動かすことで、原子の量子ビットを自在に動かすことができる。そして、原子をリドベルグ状態に励起することで、最近接量子ビット間に CZ ゲートを作用することができ、量子コンピュータとして動作する。幸いなことに、この原子は光子と量子もつれを生成することが可能であり、この光子を介して、離れた量子コンピュータ間の量子もつれを生成することが可能であり、量子コンピュータの大規模化が可能である。世界的にも研究が進んできており、それらも含めて今後の展望を議論する。

[1] <https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/index.html>

[2] <https://qcnqc.jp/>

[3] https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/66_yamamoto.html

[4] Davide Castelvecchi, Nature 554, 289-292 (2018).