

アト秒精度の超高速量子シミュレータ開発と量子コンピュータへの応用

Development of an ultrafast quantum simulator with attosecond precision and its applications to quantum computing

自然科学研究機構・分子科学研究所 大森 賢治

Institute for Molecular Science (IMS), National Institutes of Natural Sciences, Kenji Ohmori

E-mail: ohmori@ims.ac.jp

固体材料の超伝導性や磁性の発現から液体中の薬剤分子と標的分子の相互作用に至るまで、私たちの身の回りには多くの重要な物理的・化学的機能性は量子多体問題によって支配されている。しかし、このような強相関系の量子多体問題を現在のシリコンベースの古典コンピュータで厳密に解くことは極めて難しい。例えば、最近稼働を始めた世界最速レベルの「富嶽」スパコンを使ったとしても 30 粒子以上を扱うことは事実上不可能であり、仮に 1000 粒子であれば 10 の 573 乗年もかかってしまう。これに対して、制御性の高い人工的な量子多体系を実験的に組み立て、そこでの模擬実験によって量子多体問題をよりよく理解する、という概念が 1982 年に Richard Feynman によって提案され[1]、現在では量子シミュレーションと呼ばれている。

量子シミュレータのハードウェアとしては、イオントラップ、冷却原子、超伝導素子等が考えられるが、私たちは、この中でも極めて純粋な波の性質を示し、相互作用の性質と強度を自在に調節できる冷却原子を用いた開発を進めている。特に、世界で初めて広帯域の超高速レーザーで高密度の冷却原子集団をリユードベリ状態に励起することによって、これまでにない強相関系を組み立てることに成功した[2-4]。また、私たちが独自に開発したアト秒精度の超高速コヒーレント制御[5]をこの強相関リユードベリ原子集団に適用し、超高速多体電子ダイナミクスを観測・制御することにも成功している[2,3,6]。この全く新しいタイプの量子シミュレータ「超高速量子シミュレータ」[7]は、強相関多体電子ダイナミクスを超高速時間スケールでシミュレートするための画期的なプラットフォームとして発展していくことが期待される[8]。本講演では、その開発の経緯と現状、今後の展望、そして量子コンピューティングへの応用について解説する。

超伝導量子ビットによる研究開発が先行している現状において (Google・IBM・D-Wave Systems 等)、その弱点である長時間コヒーレンスや物理ビットの均一性 (大規模化) の問題をクリア出来ると期待される冷却原子を用いた方式の開発は大きなブレイクスルーをもたらす可能性を持っている。同時に、冷却原子による量子情報処理はまだ黎明期にあり、この分野におけるわが国の競争力強化のプラットフォームとして適性が高い。

本プロジェクトは、浜松ホトニクス社との緊密な連携の下で進められている。

References

- [1] R. P. Feynman, *Int. J. Theor. Phys.* **21**, 467 (1982).
- [2] N. Takei *et al.*, *Nature Commun.* **7**, 13449 (2016).
Highlighted by *Science* **354**, 1388 (2016); *IOP PhysicsWorld.com* (2016).
- [3] C. Sommer *et al.*, *Phys. Rev. A* **94**, 053607 (2016).
- [4] M. Mizoguchi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 253201 (2020).
- [5] H. Katsuki *et al.*, *Acc. Chem. Res.* **51**, 1174 (2018).
- [6] C. Liu *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **121**, 173201 (2018).
- [7] Patent “Quantum simulator and quantum simulation method”,
H. Sakai (Hamamatsu Photonics K.K.), K. Ohmori (IMS, NINS) *et al.*,
US 10,824,114 B2 (Pat. Date Nov. 3, 2020).
- [8] UC Boulder / NIST Quantum Technology Website : CUBit Quantum Initiative
<https://www.colorado.edu/initiative/cubit/newsletter/newsletter/june-2020>
“A metal-like quantum gas: A pathbreaking platform for quantum simulation”