

【特別推進研究】

理工系（化学）



研究課題名 アト秒精度の超高速コヒーレント制御を用いた量子多体ダイナミクスの探求

自然科学研究機構・分子科学研究所・教授

おおもり けんじ
大森 賢治

研究課題番号：16H06289 研究者番号：10241580

研究分野：物理化学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：超高速コヒーレント制御、アト秒、量子多体問題、量子シミュレーター、極低温原子

【研究の背景・目的】

超伝導・磁性材料から薬剤分子に至るまで、多くの重要な物理的・化学的機能性は、多数の原子や分子が相互作用する量子多体問題によって支配されている。しかし、2020年頃完成予定の「ポスト京」コンピューターを使ったとしても、30粒子以上の量子多体系の定常状態を厳密に計算することは不可能であることが知られている。非定常な時間発展であれば、それよりもさらに難しい。

本研究は、1000粒子以上の量子多体系の非定常な時間発展を近似無しに10億分の1秒以下でシミュレートすることの出来る世界唯一の「超高速量子シミュレーター」を、「アト秒精度のコヒーレント制御技術」と「絶対零度付近までレーザー冷却した強相関リュードベリ原子集団」という二つの極限ツールを組み合わせることを目的とする。

【研究の方法】

実在の固体材料や液体中では、多数の原子や分子に渡って広がった多体波動関数は熱的な擾乱によって一瞬のうちに局在化してしまうので、私たちが開発したアト秒精度の超高速コヒーレント制御技術を用いても、その途中の状態を観測することは極めて難しいと予想される。

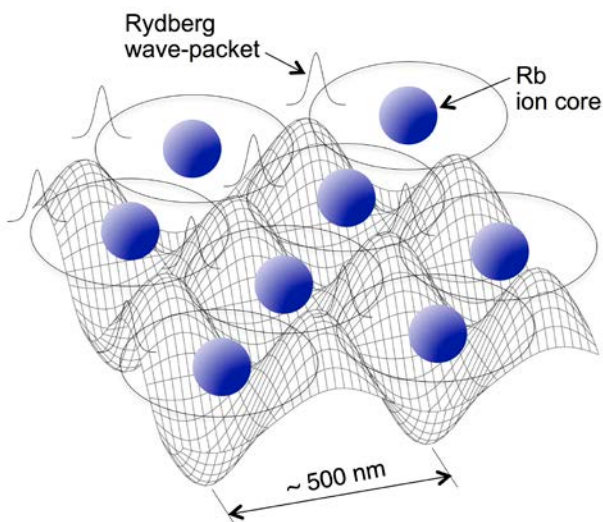


図1 超高速量子シミュレーターの概念図
(K. Ohmori, Found. Phys. **44**, 813 (2014))

そこで本研究では、次世代フォトニック技術（浜松ホトニクス社と共同開発）を用いて真空中に空間捕捉した高密度の極低温ルビジウム(Rb)・リュード

ベリ原子集団の強相関状態（図1）を固体や液体のモデル系として用い、そこでの波動関数の時空間発展を追求する。真空・極低温状態なので熱的な擾乱が無視でき、リュードベリ原子の大きな双極子モーメントが強相関状態を創るのに適している。

【期待される成果と意義】

本研究で開発する超高速量子シミュレーターは、極めて複雑な量子-古典境界付近での量子多体ダイナミクスを1000粒子以上について近似無しにシミュレートすることを可能にするだろう。これによって、量子-古典境界に対する理解が飛躍的に高まるとともに、冒頭で述べたような超伝導性、磁性、薬理効果などの巨視的な物理的・化学的機能性の発現のメカニズムをより良く理解し、それらの機能性をボトムアップ的な手法で積極的に制御するための指針が得られると期待される。将来的には、新しい超伝導材料・磁性材料あるいは薬剤分子等を開発する上で、超高速量子シミュレーターが、量子多体問題の新しい大規模シミュレーションプラットフォームとして発展する事が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- “Ultrafast Fourier transform with a femtosecond laser driven molecule,” K. Hosaka and K. Ohmori *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 180501 (2010).
- “Strong-laser-induced quantum interference,” H. Goto and K. Ohmori *et al.*, Nature Phys. **7**, 383-385 (2011).
- “All-optical control and visualization of ultrafast two-dimensional atomic motions in a single crystal of bismuth,” H. Katsuki and K. Ohmori *et al.*, Nature Commun. **4**, 2801 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成28年度－32年度 426,400千円

【ホームページ等】

https://groups.ims.ac.jp/organization/ohmori_g/ohmori@ims.ac.jp