

大森 賢治

自然科学研究機構 分子科学研究所
研究主幹・教授

アト秒精度の凝縮系コヒーレント制御

§ 1. 研究実施体制

(1)「大森」グループ

- ① 研究代表者:大森 賢治 (自然科学研究機構・分子科学研究所・光分子科学研究領域、研究主幹／教授)
- ② 研究項目
 - ・研究全体の統轄
 - ・超高速量子シミュレーターの開発とバルク固体コヒーレント制御への応用
 - ・アト秒精度のバルク固体コヒーレント制御(中村グループと共同)
 - ・デコヒーレンス制御技術の開発

(2)「中村」グループ

- ① 主たる共同研究者:中村 一隆 (東京工業大学応用セラミックス研究所、准教授)
- ② 研究項目
 - ・アト秒精度のバルク固体コヒーレント制御(大森グループと共同)
 - ・アト秒精度のバルク固体コヒーレント制御のための予備実験と検出系の開発
 - ・凝縮系のアト秒コヒーレント制御理論の構築

§ 2. 研究実施の概要

原子レベルのミクロな物質は空間的に広がった波としての性質を示すことが知られています。この奇妙な性質を説明する為に、およそ 100 年前に量子力学という物理学の理論が生まれました。今や、コンピューターやコンパクトディスク、あるいは MRI などの医療技術に至るまで、量子力学の応用製品は私たちの日常生活に無くてはならないものになりました。一方、空間的に広がったミクロな物質の波をマクロな測定器で観測すると、一瞬のうちに空間的に局在した粒子へと変化することが知られていますが、まだ量子力学はこの現象をうまく説明できていません。この瞬間的な変化は、「説明できないが存在する現象」として、過去 100 年もの間、盲目的に受け入れられてきました。私たちの研究の最大の目的は、この 100 年の謎を科学的に解明することにあります。もしそれができれば、壊れやすい物質の波の性質を保護し、量子コンピューターや量子通信などの先端的な量子テクノロジーに活かすための何らかのヒントが得られるかもしれません。

このような背景を踏まえ、私たちはこれまでに、真空装置内で周囲から孤立した原子や電子の波(波動関数)をレーザー光で制御する研究に取り組み、「アト秒・ピコメートル精度で波動関数を時空間制御する」という未踏領域に到達しました(アト= 10^{-18} , ピコ= 10^{-12})。本 CREST 研究では、このアト秒精度の極限コヒーレント制御技術を、多数の原子が集合した凝縮系に適用し、そこでの非局在化した(空間的に広がった)波動関数の時空間発展を観測し制御することによって、「物質の波がいつどのようにして粒子に変化するのか」をより良く理解することを目指しています。

このような背景のもとに、本 CREST 研究では、凝縮系の典型例である固体結晶の中で非局在化した波動関数を対象としてコヒーレント制御の開発を進めています。一方、固体結晶を始めとする凝縮系では、一般的に物質の波の性質は壊れやすく、その制御性もあまり高くありません。これは、私たちの身の回りにあるマクロな固体に波の性質が見られないことから良くわかります。そこで我々は、このような固体実験と並行して、その物理的なエッセンスを抽出したより単純なモデル系を用意し、そこでの模擬実験を行うことで、固体中の物理現象をより良く理解することを目指しています。このような模擬実験系は量子シミュレーターと呼ばれています。本 CREST 研究では、マイクロケルビン以下に冷却した極低温のルビジウム(Rb)原子集団の波動関数の時間発展を観測する、世界に類を見ない「超高速量子シミュレーター」の開発を進めています(K. Ohmori, Found. Phys. 44, 813-818 (2014))。今年度は、この超高速量子シミュレーターによって、多数の原子の相互作用が誘起する超高速量子ダイナミクスを観測し、その観測結果を理論的に解析し、さらに積極的に制御するための3つの方法論を確立することに成功しました。これで、超高速量子シミュレーターを確実に動作させるための、実験的および理論的な基本ツールが揃ったこととなります。本 CREST 研究の開始当初、世界のどこにも存在しなかった超高速量子シミュレーターの概念を、ついに実証することが出来ました。最終年度となる来年度は、これらの基本ツールを様々な興味深い多体量子現象に適用し、ここで得られた知見を固体結晶の制御に応用することによって、凝縮系のコヒーレント制御を格段に進展させることを目指します。