

令和元年 5 月 23 日

## 原子・分子・原子核の量子干渉性を用いた基礎物理研究 ～テーブルトップ実験による宇宙の探求～

### ◆発表のポイント

- ・岡山大学異分野基礎科学研究所・量子宇宙研究コアでは、岡山大学発の新しいアイデアによる基礎物理研究の創成を行い、テーブルトップの実験を元に宇宙開闢の謎に迫っています。
- ・その鍵を握る素粒子ニュートリノ（注1）の未知の性質を調べるため、ネックであった反応性の弱さをカバーする、原子とレーザーによる量子干渉性を利用した新たな手法を探求しています。
- ・原子時計を凌駕する精度をもつ超精密原子核時計の実現に向けた基礎研究も行っており、将来的にこれを用いて宇宙の膨張を司る物理定数の変化を測定し、宇宙膨張の変遷をとらえることを目指します。

岡山大学異分野基礎科学研究所・量子宇宙研究コアでは、原子物理、量子光学、量子化学、数理論理学、ビーム物理など、さまざまな分野の研究力を結集して、岡山大学発の独自な手法により、新たな形での素粒子・宇宙物理研究を創出しています。

素粒子の一つであるニュートリノは未だ解明されていない謎が多く、宇宙がその進化の過程で物質優勢となった鍵を握るとされています。異分野基礎科学研究所の吉村浩司教授らのグループでは、原子とレーザーの量子干渉性を利用することにより、非常にまれにしか起こらないニュートリノ反応を増幅して、ニュートリノのさまざまなパラメータを決定する研究「原子を用いたニュートリノ質量分光（SPAN: SPectroscopy with Atomic Neutrino）」を推進して、宇宙開闢の謎に迫ります。また、原子核をレーザーで制御することにより、超精密原子核時計を実現するための基礎研究を行っています。現在最高精度である原子時計を凌駕する時間精度で、物理定数の変化を測定し、宇宙膨張の変遷の原因を究明します。実験室内に収まるようなテーブルトップの実験を元に、素粒子・宇宙に関する未解決の課題に挑んでいます。

### ■発表内容

#### <導入・背景>

我々の宇宙はビッグバンという高温・高圧の状態から始まったことが、宇宙・素粒子物理学の進展から明らかになってきました。ビッグバンにおいて同数存在したはずの物質と反物質（注2）は、宇宙が膨張して冷えていくのに伴い互いに衝突して消滅していき、138億年経った現在、物質のみが残り、我々の宇宙を構成しています。

なぜ、反物質のみ消滅し、物質だけが残ったのでしょうか？この物質・反物質の非対称性は素粒子・宇宙物理の大きな謎の一つとなっています。その解決の鍵を握るのが、ニュートリノという未だその性質がよくわかっていない素粒子です。ニュートリノは非常に相互作用が弱く、地球自体を簡単にすり抜けてしまうほどで、その研究には加速器や大型検出器大規模な観測装置が必要と考え

## PRESS RELEASE

られてきました。吉村教授らのグループは、原子と光の量子干渉性に着目し、通常では観測できない極めてまれな反応を増幅することにより、実験室内でニュートリノを研究しようと試みています。

### <研究内容、業績>

本研究グループが観測に使う反応過程は、原子・分子の励起状態（安定な状態よりエネルギーが高い状態）から、光を伴いながらニュートリノが対になって放出される過程です。この過程を詳しく調べることによりニュートリノの未知の性質を解明することが可能になります。問題となるのはニュートリノの反応が極めて弱く、このような反応が起こる頻度が極めてまれなことです。これを解決するのが、原子とレーザーによる量子干渉性です。通常は原子の数にしか比例しない反応頻度が、原子集団が協力共同的に反応することにより、その数の二乗に比例するようになります。極めてまれなプロセスでも巨大な数の原子数の二乗に比例すれば、目に見える確率で起こることになります。本研究グループはこの新しい増幅機構をマクロコヒーレンス増幅機構と名付け、まずはその原理実証を行いました。ニュートリノ反応に類似した過程である2つの光を放射する過程を観測して、15桁以上の増幅効果を観測しました。現在、ニュートリノ反応の観測を目指して、マクロコヒーレンス増幅機構のさらなる詳細な理解、ニュートリノ反応の観測に適した原子の選定を行っているところです。

一方、原子・分子の量子状態の制御に加えて、よりミクロな原子核のレーザーによる制御の研究も展開しています。原子核は、原子や分子に比べて周りを電子で覆われているため、外部の環境の影響を受けにくく、安定な系としての利用（超精密原子核時計など）が考えられています。ただし、原子核を制御するには、通常の原子の1000倍以上のエネルギーが必要であり、従来レーザーによる制御は不可能と考えられてきました。ところが、最近の研究により、3000種類以上ある原子核の中で、唯一トリウムの同位体トリウム-229は通常の原子と同じレベルの励起エネルギーを持ち、レーザーで制御可能であることがわかってきました。トリウム-229を用いた原子核時計が実現すれば、宇宙が始まってから1秒もずれない精度が達成できることになります。その実現に向けて、まずは、レーザーを制御するためにそのエネルギーを正確に知る必要があります。本研究グループは放射光X線を用いて別のエネルギー準位を用いて、トリウム原子核の制御を行うことに世界で初めて成功しました。現在、制御した原子核から放射される紫外線の観測を通して、レーザーエネルギーの決定を行っているところです。

### <展望>

本研究グループでは、今回紹介した研究以外にも実験室内で可能なさまざまな基礎物理研究を行っています。いずれも、最終的な目標に到達するまで道のりは遠いですが、多数の分野の研究者の力を結集して、日夜研鑽を続けて一歩一歩理解を進めながら、大規模実験に匹敵するような成果を目指しています。

### <略歴>

1963年生まれ。東京大学大学院博士課程中退。博士（理学）。専門分野は素粒子・宇宙線物理。東

## PRESS RELEASE

京大学素粒子物理国際研究センター助手、高エネルギー加速器研究機構助教授、准教授、岡山大学極限量子研究コア教授を経て現職。

### ■ 語句説明

注1：ニュートリノ

電荷をもたない素粒子（あらゆる物質を構成する元となる粒子）で、宇宙で最も豊富に存在する素粒子の一つ。他の物質との反応性が極めて弱い。

注2：反物質

ある物質と比して質量とスピンの全く同じで、構成する素粒子の電荷などが全く逆の性質を持つ「反粒子」によって組成される物質。物質と反物質が衝突すると対消滅を起こし、質量がエネルギーとなって放出される。

### <お問い合わせ>

岡山大学 異分野基礎科学研究所

教授 吉村 浩司

（電話番号）086-251-8499

（FAX）086-251-7811



岡山大学は、国連の「持続可能な開発目標（SDGs）」を支援しています。