

令和3年5月27日
岡山大学

異分野の知と技術で生み出す新しい基礎物理研究 テーブルトップ実験で「宇宙の謎」に挑む

◆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、異分野の知と技術を結集して生み出された岡山大学発の独自な手法による基礎物理研究に取り組んでいます。
- ・原子・分子・原子核をレーザーにより操作・制御して、その量子干渉性を利用することにより、テーブルに載るような実験で大規模実験に匹敵するような成果をあげることを目指しています。
- ・超精密原子核時計につながる新しい発見、量子干渉性を用いた新たな増幅機構の解明、など成果を上げつつあり、それらを展開・発展させて「宇宙の謎」に挑みます。

岡山大学異分野基礎科学研究所・量子宇宙研究コアでは、素粒子原子核物理、原子物理、量子エレクトロニクス、量子化学、宇宙物理、量子ビーム科学など、様々な分野の研究力を駆使し、異分野の知と技術を結集することにより、岡山大学発の新しい原理に基づいた従来にはない形での素粒子・宇宙物理研究を創出しています。

ここで鍵になるのは、原子・分子・原子核という「量子」とそれを操作するレーザー技術の組み合わせです。これらの量子をレーザーにより高度に操作し、量子力学的に重ね合わせて、干渉性を利用することで、極めて稀にしか起こらない微かな現象を観測可能にします。

原子核をレーザーで制御することにより超精密な原子核時計（注1）を実現するための基礎研究、素粒子ニュートリノ（注2）の微かな反応を増幅して捉えて様々なパラメータを決定する研究、ミュオンや極性分子を用いた基礎物理研究、いずれも実験室内に収まるようなテーブルトップ実験により、素粒子・宇宙に関する未解明の課題に取り組んでいます。

■発表内容

<導入・背景>

近年、宇宙・素粒子物理学研究の進展により、宇宙はビッグバンという高温・高圧の状態から始まり、その後膨張するとともに冷えて現在の宇宙の姿になったことが明らかになってきました。その一方で、ビッグバンの時には物質と同数あったはずの反物質（注3）が、なぜ我々の周りから消えてしまったのか？宇宙の膨張に大きな影響を与えている、宇宙に満ちている目に見えない暗黒物質や暗黒エネルギーの正体は何か？ というような、大きな謎も未解決のまま残されています。このような壮大な宇宙の謎を解明するには、はるか宇宙の彼方からやってくる微かな信号を捉えたり、宇宙初期の高温・高密度な状況を人工的に作り出したり必要があるため、これまでは巨大な観測装

PRESS RELEASE

置、実験施設を使うのが一般的でした。

<研究内容、業績>

岡山大学では、発想を大きく転換し、小規模な実験によって宇宙の謎を解明しようとする研究を進めています。ここで用いられるのは原子・分子・原子核とレーザーです。量子力学の原理「量子干渉性」を用いて、極めて稀にしか起こらない微かな現象を波のように重ねあわせて増幅することにより、観測可能にします。実験室内のテーブルに載るような実験で、巨大実験に匹敵するような成果を出すことを目標にしています。

このような新しい発想に基づいた研究を行うには、様々な分野（素粒子原子核物理、原子物理、量子エレクトロニクス、量子化学、宇宙物理）の研究者の協力が必須であり、それぞれの分野で培ってきた知識と最先端の技術の融合によって初めて可能となります。我々の研究グループでは、異分野の知と独創的なアイデアを結集することにより、以下のような研究を推進しています。

原子核時計に関する研究

3000種類以上ある原子核の中で唯一レーザー制御可能なトリウム 229 原子核を用いた基礎研究を行っています。原子核は原子や分子に比べて周りを電子で覆われており、外部の環境の影響を受けにくいいため、原子核を利用した原子核時計が実現すると、宇宙が誕生してから1秒もずれないような精度を達成することが期待されています。この超精密原子核時計により、これまで定数とされていた物理定数の経年変化（注4）を調べることで、宇宙の膨張に対する知見を得ることが可能になります。原子核時計の実現のためには、トリウム 229 をレーザーによりアイソマーと呼ばれる特殊な原子核状態に遷移させる必要がありますが、これまでにアイソマーを人工的に生成した例はありませんでした。我々の研究グループは、2019年にSPring-8の放射光X線を用いた実験により世界で初めてトリウム 229 のアイソマーを人工的に生成することに成功しました。この成果は原子核時計の実現につながる第一歩として、世界からも注目されています。

原子を用いたニュートリノ研究

観測が難しく未だ多くの謎に包まれているニュートリノという素粒子の性質は、宇宙初期に反物質が消えてしまった謎を解明する鍵を握ると考えられています。従来ニュートリノを観測するためには、その反応の弱さをカバーするために数千トンもある巨大な実験装置が必要とされていました。我々の研究グループは、原子からのニュートリノ放出現象を最先端のレーザー技術を駆使して、量子干渉性を利用して増幅して、実験室内で観測することを目指しています。我々はこの増幅機構を「マクロコヒーレント増幅機構」と名付け、これによりニュートリノの様々な性質を明らかにして、宇宙創成の謎に迫ります。これまでに、ニュートリノ反応に類似した過程を用いた原理実証実験で巨大な増幅率を達成するなどの成果を上げており、今後のニュートリノ反応の観測を目指して、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なっているところです。

<展望>

ここで紹介した研究テーマ以外にも、新しい発想に基づいた、ミューオンや極性分子あるいは結晶中にドーピングしたイオンなど新たな「量子」とレーザーを用いた基礎科学研究を次々と立ち上げつつあります。いずれの研究テーマについても、異分野基礎科学研究所の研究グループにとどまらず、国内、国外の様々な分野の研究者の力を結集し、日夜研鑽を続けて一步一步理解を進めながら、「宇宙の謎」の解明を目指しています。

<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：原子核時計と原子時計：

これらの時計はいずれも、特定の2つのエネルギー準位間の遷移によって吸収される光やマイクロ波の振動数が一定であることを利用し、時間の基準を作ります。原子核時計は、原子核が電子の雲に囲まれているおかげで、環境変化の影響を受けにくいと考えられています。原子核時計の実現には2つのエネルギー準位間の遷移を精密に制御する必要があり、そのためにレーザーが用いられます。

注2：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特徴があります。

注3：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ます。

注4：物理定数の経年変化：

例えば、電子の電荷（厳密には微細構造定数と呼ばれる電荷に関連した数）は永久に変わることがないだろうと考えられており、従って物理定数と呼ばれてきました。近年、このような物理定数も宇宙史のスケールでは経年変化するかもしれないとの仮説が浮上しています。

＜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



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。