

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 反水素の超微細遷移と反陽子の磁気モーメント

理化学研究所・基幹研究所・上席研究員

やまざきやすのり
山崎 泰規

研究分野：物理学（原子・分子・量子エレクトロニクス）

キーワード：CPT 対称性、反水素、反陽子、磁気モーメント

【研究の背景・目的】

CPT 対称性（C:荷電共役変換、P:空間反転、T:時間反転）は、現代物理学において最も基本的だと考えられている対称性である。ところで、P や CP は、それぞれ保存すると信じられていたにもかかわらず、いずれも破れていることが順次明らかになり、現在に至っている。その意味で、CPT 対称性は最後に残された対称性の砦となっている。さらに、137 億年前のビッグバンでは物質と反物質が同じ数生成されたと考えられているが、我々の宇宙は物質のみからなっており、反物質は残されていないように見える。このようなアンバランスがなぜ起こったかという根元的な問題は未だ謎のままである。本研究では、反物質の代表格である反水素原子（陽子の反粒子である反陽子と電子の反粒子である陽電子が結合したものを）を合成し、その性質を水素原子と比較することで、最も基本的な物理法則である CPT 対称性をテストすることを目的とする。

【研究の方法】

CPT 対称であると、物質とそれに対応する反物質は、質量、電荷の絶対値、磁気モーメントの絶対値、寿命等様々な物理量が正確に一致する。そこでこれらの物理量を反物質について測定し、これに対応する物質と高い精度で比較する。我々は特に、反陽子の磁気モーメントに注目している。これは、磁気モーメントが、(1)これまで三桁の精度でしか知られておらず、質量、電荷などに比べて百万倍ほど精度が悪いこと、(2)CPT 対称性の破れに対する感度の高いことが拡張標準理論と呼ばれる枠組みから予想されていること、などの理由による。

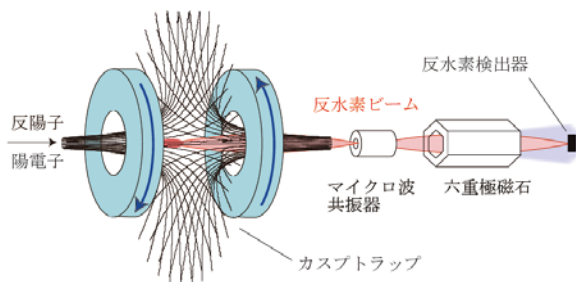


図1 偏極冷反水素ビーム合成装置とマイクロ波分光

そこで、極低温のspin偏極した反水素ビームを生成し、マイクロ波分光することで、その超微細遷

移周波数を六桁程度以上の高精度で決定する。同時併行して一様高磁場中に裸の反陽子を一個捕捉し、そのスピントリップ周波数をやはり六桁以上の精度で決定する。両者を比較することで磁気モーメントばかりでなく、反陽子内部の磁化分布に関する情報を世界ではじめて得る。

【期待される成果と意義】

偏極冷反水素ビームの生成は、既にそれ自体で反物質研究におけるエポックメイキングな成果である。反水素のマイクロ波分光、超微細遷移周波数の高精度決定、単一反陽子の一様磁場中でのスピントリップ周波数の高精度測定と磁気モーメントの決定、いずれも、これまで実現されたことがなく、各ステップが社会的にもインパクトの大きな研究成果になると考えている。以上の研究を通じ、磁気モーメントに関わる CPT 対称性がこれまでより千倍から百万倍高い精度でテストされる。さらに、反陽子内磁化分布についての情報もはじめて得られる。もし僅かでも反陽子（反水素）と陽子（水素）の間に違いが確認されれば、これは CPT 対称性の破れを実験的に示すはじめての例となり、物理学の基礎理論を大幅に書き換える必要がでてくる。我々の世界理解にも根元的な認識の変更を迫るものとなる。その影響は計り知れない。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Enomoto, et al., "Synthesis of Cold Antihydrogen in a Cusp Trap", Phys.Rev.Lett. 105 (2010) 243401(1-4).
- S. Ulmer, et al., "Direct Measurement of the Free Cyclotron Frequency of a Single Particle in a Penning Trap", Phys. Rev. Lett. 107, 103002 (2011)

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度 - 28 年度
269,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.riken.jp/ap/indexj.html>
<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/>
<http://www.riken.jp/lab/ulmeriru/yasunori@riken.jp>