

反水素原子ラムシフト分光による反陽子荷電半径の測定

Lamb shift measurement of antihydrogen atom for determining the charge radius of antiproton

東京大学 黒田直史

水素原子のラムシフトを測定することで有限の大きさを持つ陽子の荷電半径を得られる。水素原子のラムシフトは歴史的に、マイクロ波分光によって直接的に測定されてきた。本研究では、水素原子の反物質である反水素原子の 2S-2P ラムシフト分光を通じて陽子の反粒子である反陽子の荷電半径を初めて測定することを目的とする。

欧州原子核研究機構 (CERN) には世界で唯一の低速の反陽子の供給施設があり、反水素原子の合成・磁気トラップへの閉じ込めと分光実験が行われてきた。現在、新たに大強度低速反陽子蓄積リング (ELENA) の建設が始まり低速反陽子ビームの強度と質 (エネルギー広がり) が大きく改善され、より多彩な実験が見込まれる。そこには大強度低速反陽子ビームを高密度のポジトロニウムに打ち込んで反水素原子ビームを生成するビームラインが設置されるため、それを用いたマイクロ波によるラムシフトの直接測定を行う。

本研究では、入射反陽子ビームのエネルギーは 2S 状態反水素の収量がピークとなる 6keV 付近を選ぶ。2S 状態の反水素原子をマイクロ波と共鳴させて 2P 状態に遷移させると、2P 状態は 1.6ns という短い時間で 1S 状態へと脱励起する。反対に共鳴から外れるとそのまま 2S 状態として通過してくるため、出てきた反水素に強い電場をかけて 1S 状態に落とし、その際に発する紫外光 (ライマン α 光) を検出する。つまり、マイクロ波の周波数を変えながらライマン α 光の変化をみることで 2S_{1/2} と 2P_{1/2} 間の差、ラムシフトを測定できる。

講演者らは、チューリッヒ連邦工科大学の共同研究者とともに分光に向けてマイクロ波共振器やライマン α 光検出器の開発を行った。マイクロ波共振器は、比較的大きなビーム径が予測されるため平行平板型で開発し、ライマン α 光検出器は CsI でコーティングされた MCP と 2S から 1S へのクエンチ用電極を組合せたものを開発した。ELENA 稼動に先立ち、水素原子ビーム源を用いたテスト実験を進めている。ここでは水素原子のラムシフトは 1000ppm 程度での精度が予想される。精度は主に 2S, 2P 状態の超微細構造からの共鳴線幅の広がりによる。測定ができれば、ラムシフトの測定精度を陽子の荷電半径を 10% で決定できる 100ppm まで高める。2S_{1/2} の超微細構造のうち F=0 の状態だけを選択することで線幅を狭める装置の設計を進めている。このビームを用いる手法はさらにラムゼー法へ発展させることで測定精度を高める利点があり、対応した装置の設計も進めている。

CERN で ELENA が稼動を始め次第、反陽子のビームラインに接続し反水素の測定に進む予定である。

【参考文献】

- ・ "A Precision Detection of the Lamb Shift in Hydrogen", G. Newton, D.A. Andrews, and P.J. Unsworth, Philos. Trans. Royal Soc. A, 290(1373) 35, 1979.
- ・ "Lamb shift measurement of antihydrogen for determining the charge radius of antiproton and a stringent test of CPT symmetry", N. Kuroda, D.A.Cooke, P. Crivelli, H. Higaki, G. Janka, Y. Matsuda, B. Radics, and C. Regenfus, J. Phys.: Conf. Ser., 875(3) 022054, 2017.