

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 極低運動量移行の電子弾性散乱による陽子電荷半径精密決定

東北大学・電子光理学研究センター・教授

すだ としみ
須田 利美

研究課題番号： 16H06340 研究者番号：30202138

研究分野： 原子核 (実験)

キーワード： 電子弾性散乱、陽子電荷半径、極低運動量移行、電荷形状因子、ローゼンブルス分離

【研究の背景・目的】

高エネルギー電子散乱、水素原子分光実験、そして μ 水素原子 (電子を μ^- に置換した原子) 分光実験から決定された陽子の電荷半径が、決定誤差を考慮しても 7σ で4%も食い違うことが明らかになり、現在「陽子電荷半径問題 (Proton Charge Radius Puzzle)」として Nature 誌や Science 誌の表紙を飾る事態になっている。過去のデータの解釈の妥当性、分光データに対する陽子の有限なサイズの極僅かな影響を見積もる理論計算の再検討、高度化などの努力が払われているが、現時点では「陽子電荷半径問題」の原因は明らかになっていない。追試の努力も行われていて、精度並びに信頼度の高い電荷半径決定に向けた実験が実施あるいは検討されている。

本研究は、電子散乱による荷電半径決定法では最も信頼度の高い方法を採用する。低エネルギー電子加速器である東北大学・電子光理学研究センターの大強度60MeV 直線電子加速器を利用し、世界の他の研究施設では測定不可能な極低運動量移行領域 ($0.0003 \leq Q^2 \leq 0.005$ (GeV/c) 2) での電子・陽子弾性散乱実験をおこなう。所謂 Rosenbluth 分離法によって電荷半径の情報を含む電荷形状因子を分離・決定し、電荷形状因子の極低運動量移行領域での振舞いから半径を決定する。

電荷半径は、電荷形状因子の $Q^2 \rightarrow 0$ での微分係数として定義されるため、その決定精度を上げるには、可能な限り運動量移行を小さくする必要がある。しかしながら、世界の素粒子・原子核研究用電子加速器はすべて高エネルギー化され、上記運動量移行領域での測定は不可能な状態である。

【研究の方法】

本研究では、前例のない極低運動量移行領域での測定により、モデル依存性のない解析方法で電荷半径を決定する。信頼度高く荷電半径を決定するには、陽子との弾性散乱断面積から電荷形状因子を実験的に分離決定することが不可欠である (Rosenbluth 分離)。しかしながら、世界で稼働中の原子核研究用電子加速器施設では極低運動量領域での Rosenbluth 分離を伴う測定は実施不可能である。それは、電子ビームエネルギーが高すぎ Rosenbluth 分離に必要な大きく散乱角度を変えた測定、並びに頻繁な加速エネルギー変更が実際上不可能なためである。

本研究を実施する東北大学・電子光理学研究センターで放射性同位体 (RI) 生成用電子直線加速器 (最大ビームエネルギー 60 MeV) は、エネルギー変更が容易であり Rosenbluth 分離を伴う測定が可能である。高品質電子ビーム供給用ビーム輸送系と広い散乱角度を覆う散乱電子測定系を建設することで、陽子の電荷半径をモデル依存性無く決定することが出来る。信頼度高く高精度の電荷半径を決定するため、系統誤差を 10^{-3} 以下に押さえた測定を実現する。

【期待される成果と意義】

測定例のない $0.0003 \leq Q^2 \leq 0.005$ (GeV/c) 2 領域で、 Q^2 値 20 点で電子弾性散乱断面積を測定する。 Q^2 一定の元で散乱角度を変え (電子ビームエネルギーも要変更) 電子・陽子弾性散乱断面積を測定し、Rosenbluth 分離手法により実験的に電荷形状因子 $G_E(Q^2)$ を分離決定する。 $G_E(Q^2)$ の Q^2 依存性から 1% 以下の精度で電荷半径を決定する。運動量移行を約一桁小さく出来き、高次モーメント寄与を二桁以上押さえ込むことにより、電子散による電荷半径測定法としては最も信頼度の高い測定になる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ R. Pohl et al., Nature 466 (2010) 213.
- ・ A. Antognini et al., Science 229 (2013) 417.

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度 - 32 年度 128,500 千円

【ホームページ等】

<http://www.lns.tohoku.ac.jp>
suda@lns.tohoku.ac.jp

