

【基盤研究(S)】 大区分B



研究課題名 陽子半径パズルの解明を目指した極限的低エネルギーでの電子・陽子弾性散乱

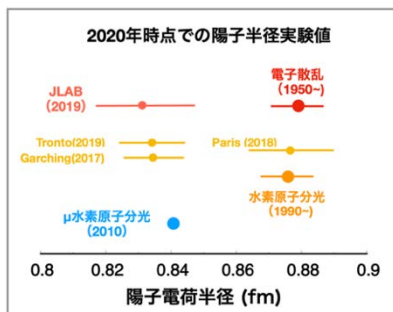
東北大学・電子光理学研究センター・教授
すだ としみ
須田 利美

研究課題番号： 20H05635 研究者番号：30202138

キーワード： 電子散乱、陽子電荷半径、史上最低エネルギー、電荷形状因子、断面積絶対値測定

【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、「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た。この問題は、陽子の大きさという基本物理量が未確定であるという原子核物理学上の問題にだけでなく、基礎物理定数であるリュドベリー（Rydberg）定数の不定性に直結し、また電子と μ 粒子間の未知の相違の示唆の可能性の指摘もあり現代物理学が解決すべき問題と一つの認識されている。したがって、この問題の指摘以降、多くの追試の努力も行われてきている。昨年、2019年、までに、3つの水素原子分光、そしてJLABでの電子散乱で新たに陽子電荷半径が決定された（右図）が、水素原子分光実験ではお互いに矛盾する値を示し、電子散乱のデータは半世紀にわたる電子散乱研究と深刻な不一致を示す値が発表され、混乱は一層深まっている感がある。



本研究は、史上最低エネルギーの電子散乱を実現し、電子散乱としては最も信頼度の高い電荷半径の決定を目標とする。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、決定精度向上には可能な限り運動量移行を小さくする必要がある。研究は、東北大学・電子光理学研究センターの大強度 6.0 MeV 直線電子加速器を利用し、極低運動量移行領域 ($0.0003 \leq Q^2 \leq 0.005$ (GeV/c)²) を覆った電子・陽子弾性散乱測定をおこなう。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る舞いから半径を決定する。

【研究の方法】

本研究では、陽子半径値決定時のモデル依存性を極限まで排除することを可能にする測定を行う。そのため、低エネルギー電子散乱 ($E_e = 20 - 60$ MeV) で、極低運動量移行領域を覆った上で弾性散乱断面

積から電荷形状因子を実験的に分離決定するため Rosenbluth 分離法を導入する。そのためには頻繁なビームエネルギー変更が不可欠であるが、大型・高エネルギー化された最先端の原子核研究用電子加速器施設では実施不可能であり、本研究のみが全ての条件を満たすことができる。

下の写真のように、すでに加速器からの良質な電子ビームを輸送するための新ビーム輸送系ならびに散乱電子を測定する高運動量分解能電磁スペクトロメーター一台は建設済みである。測定断面積精度向上



のための2台目のスペクトロメーターと高品質データ収集のための測定装置高度化を行い 2022年から測定を開始する。

【期待される成果と意義】

世界の原子核研究用最先端電子加速器施設では実施不可能な測定を実施し、陽子半径決定時のモデル依存性を極限まで排することで、電子散乱としては最も信頼度の高い陽子半径値を決定する。本研究により、陽子半径値を確定し、Rydberg 定数の不定性に決着をつけ、そして素粒子物理学の標準理論に関わる電子と μ 粒子の相違についての知見を与える。

【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.
- ・ T. Suda et al., Journal of Part. Acc. Soc. Japan, 15(2018)52-59.
- ・ T. Suda and K. Tsukada, 原子核研究 61(2017) 87-98.

【研究期間と研究経費】

令和2年度－6年度 132,500千円

【ホームページ等】

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