

科学研究費助成事業(基盤研究(S))公表用資料 [研究進捗評価用]

平成22年度採択分
平成25年4月10日現在

電子弾性散乱による 短寿命不安定核の電荷密度分布測定 Electron Scattering for Measurements of Charge Density Distribution of Short-Lived Nuclei

須田 利美 (SUDA TOSHIMI)

東北大学・電子光理学研究センター・教授



研究の概要

安定核では知られていない奇異な構造が発見されている短寿命不安定核の内部構造を電子散乱により調べる。電子散乱は内部構造研究に理想的な手法だが、生成困難で且つ短寿命の不安定核を標的とした電子散乱の前例はない。我々が開発した SCRIT 法という革新的な実験技術により世界初の不安定核に対する電子散乱を実現し、短寿命不安定核の電荷密度分布を決定する。

研究分野：原子核（実験）

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：電子弾性散乱、不安定核、電荷密度分布、SCRIT 法、イオントラップ

1. 研究開始当初の背景

陽子数と中性子数のバランスの崩れた不安定原子核の中には、安定核では知られていなかった特異な内部構造を有する原子核の存在が発見されつつある。それらは、大きさの系統性や魔法数など確立済みと考えていた原子核の基本的な構造が、安定核並びに安定核近傍のみで適応可能であることを示している。不安定核構造をも包含し原子核構造の統一的理解を可能にする構造模型の確立は、現代の原子核物理学が取り組む最重要研究課題の一つである。

原子核の内部構造研究には、自身が素粒子で、且つ良く理解された電磁相互作用で内部構造を探る電子散乱が最良の手法である。安定核の内部構造研究で、電子散乱は決定的な役割を果たしたことはよく知られている。

しかしながら、生成が困難で短寿命で崩壊する不安定核を標的とした電子散乱はその方法論すら確立しておらず、不安定核研究者の長年の夢であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、世界初の短寿命不安定核を標的とする電子散乱実験を実現し、弾性散乱により不安定核の電荷密度分布を測定することである。具体的には、陽子、中性子共に魔法数を持つ寿命40秒の ^{132}Sn 核（及び他の不安定 Sn 同位体）の電荷密度分布を決定

し、安定 Sn 同位体も含めて Sn 核の密度分布が中性子数20ヶの違い、 $^{112}\text{Sn}\sim^{132}\text{Sn}$ 、によりどのように変化するかを定量的に決定することである。

3. 研究の方法

我々は、電子散乱による不安定核研究を可能にする全く新しい実験手法、SCRIT 法 (Self Confining RI Target)、を開発し、その有用性を実証した。この SCRIT 法に基づき理化学研究所・仁科加速器研究センターに世界初、そして現時点では世界唯一の不安定核研究専用電子散乱施設を建設している。電子加速器は、150 MeV 電子入射器と SCRIT 装置を設置してある電子蓄積リングで構成される。SCRIT 法により電子ビーム上に研究対象の短寿命不安定核を捕獲し、電子散乱を実現する。不安定核は、電子入射器からの電子ビームをウラン標的に照射し、ウラン光分裂反応を利用して生成する。

短寿命不安定核の電荷密度分布は、電子弾性散乱断面積より決定する。電子ビームエネルギーは 150~300 MeV で、運動量移行 80~300 MeV/c 領域で弾性散乱断面積を測定する。弾性散乱同定のために、大立体角を有し運動量分解能 $\Delta p/p=10^{-3}$ を実現する散乱電子測定系が必要で、本科研費で、大型電磁石並びに散乱電子軌跡測定用ドリフトチェンバーで構成される散乱電子測定系を建設した。

4. これまでの成果

平成23年3月11日の東日本大震災により本科研費の代表者、須田利美、を含む東北大学グループは公私ともに大きな被害を受け、残念ながら研究計画も影響を受けた。しかしながら、多くの方々の協力を受け研究環境を建て直し、震災から2年経った平成24年度末の時点では概ね当初の研究計画に追いついた。最終年度である平成26年度には、世界初の不安定核の電子散乱実験を実施し、電荷密度分布決定ができる見通しである。これまでの主な成果は次の2点である。

- 1) 散乱電子測定系の建設
- 2) 高ルミノシティー実現のための電子散乱施設高度化

これらについて紹介する。

散乱電子測定系の建設

電子散乱により電荷密度分布を決定するためには弾性散乱断面積を測定する必要がある。電子ビームエネルギーを150~300 MeVとし、Ex~1 MeV程度の励起状態への非弾性散乱過程を分離した測定を考えると、散乱電子測定系に要求される運動量分解能、 $\Delta p/p$ 、は 10^{-3} である。さらに散乱電子測定系は大立体角を有し、且つ広い散乱角度を覆う必要がある。

これらの要求を満たす測定系として、大型双極子電磁石 (gap : 29(H)x170(W)x140(L) cm³, 55 ton) と散乱電子軌跡測定用ドリフトチェンバーからなる電子スペクトロメータを採用した。

震災のために詳細検討や建設時期などに影響は出たが、平成24年度末には予定通り主要装置の建設が終了した。

高ルミノシティー実現に向けた高度化

生成困難で短寿命で崩壊する不安定核を標的とするため、より少数の標的数で電子散乱実験に必要なルミノシティー、 $10^{27}/\text{cm}^2/\text{s}$ 、を達成する必要がある。

新たに建設したSCRIT装置を含む電子加速器の立ち上げ、調整を行い、その上で安定核を使ったテスト実験を行った。調整の結果、電子ビームエネルギー150 MeVで蓄積電流200 mA以上、ビーム寿命2時間という当初の目標値を達成することができた。高ルミノシティーを目指す施設の高度化のために、安定核、¹³³Csや¹³²Xe、をSCRIT装置で捕獲し、既存の(エネルギー分解能の悪い)散乱電子検出器による測定を行うテスト実験を繰り返した。条件の最適化により、目標ルミノシティー $10^{27}/\text{cm}^2/\text{s}$ が達成出来ることを実証した。

また平成24年度末には当初の予定通り、

日本初となる電子線による²³⁸U光核分裂反応により、本研究で電子散乱実験の標的となる¹³²Sn不安定核の生成、取り出し、同定に成功した。

5. 今後の計画

研究期間中に世界初の不安定核の電子散乱を実現し電荷密度分布の決定を目指して研究を進める。

平成25年度

安定核やSCRIT装置に仕込んだ極細タンングステンワイヤーからの散乱電子を利用して、散乱電子測定系の立ち上げ、調整を実施し、運動量分解能等を実測する。

ウラン核光核分裂反応で生じた不安定核、予定は¹³²Sn核(寿命40秒)、を蓄積電子ビームに捕獲させ、世界初の電子散乱事象発生を確認する。平成25年度内は目標の約2桁低いビームパワーの電子ビーム照射で開発研究を進める。

平成26年度

平成26年度は最終目標であるルミノシティー、 $10^{27}/\text{cm}^2/\text{s}$ 、達成を目指した開発をすすめ、年度内に¹³²Sn核の電子弾性散乱微分断面積測定を実施し、電荷分布密度の決定を行う。その後、標的を他の同位体、¹²⁶Sn~¹³⁰Sn、とした測定を引き続き行い、それらの電荷分布密度を決定する。Sn安定同位体、¹¹²Sn~¹²⁶Sn、とともに、最も長い同位体チェーンでの電荷分布密度を決定出来る。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

査読付き論文6編。

- 1) Nuclear physics at the SCRIT electron scattering facility

T. Suda et al.,

Prog. Theor. Exp. Phys. 03C008, 2012

- 2) Present status of the RIKEN RI Beam Factory

T. Suda

Proceedings of 10th International Spring Seminar on Nuclear Physics: Journal of Physics 267, 012008, 2011

- 3) SCRIT RI・電子散乱実験装置の建設

M. Wakasugi et al.,

加速器学会誌 7, 271-277, 2010

他3編。

ホームページ等

<http://www.lns.tohoku.ac.jp/~scrit>