

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26610056

研究課題名(和文) 不安定核電気双極子モーメント測定への挑戦

研究課題名(英文) Challenge to measure EDM of unstable nuclei

研究代表者

小沢 顕 (Ozawa, Akira)

筑波大学・数理物質系・教授

研究者番号：80260214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：不安定核の電気双極子モーメントの直接測定を最終目標として、まずは、不安定核の生成と不安定核の核偏極量測定などの実験を行った。大阪大学核物理学研究センターでは、不安定核 ^{20}F と ^{40}Sc の生成と核偏極量測定実験を行った。それぞれの不安定核の生成は確認できたが、有為な核偏極量は観測できなかった。筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では、不安定核生成法として、陽子共鳴吸収反応を試みた。この反応により不安定核 ^{25}Al と ^{30}P が十分な量生成できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Purpose for this study is direct measurement of electric dipole moments (EDM) of unstable nuclei. For this purpose, during the research term, we performed production of unstable nuclei and measurement of polarization degree for the nuclei, that are necessary for measurement of EDM. In Research Center for Nuclear Physics in Osaka University, we performed to produce unstable nuclei ^{20}F and ^{40}Sc used polarized deuteron and proton, respectively, however, we could not confirm their nuclear polarization. In Tandem Accelerator Complex in University of Tsukuba, we tried new method to produce unstable nuclei; resonant proton-capture reactions. We found that unstable nuclei, ^{25}Al and ^{30}P can be produced effectively by this method.

研究分野：原子核実験

キーワード：核磁気モーメント

1. 研究開始当初の背景

(1) 原子以下の有限量子多体系での電気双極子モーメントはパリティを破るため標準理論の枠組みでは0とされている。これまで電気双極子モーメントの探査は、原子、中性子、ミューオンなどで行われているが、いずれも上限値しか与えられていない。一方、電気双極子モーメントの発生機構は複数考えられ、多様な量子多体系での探索がのぞまれる。原子以下の有限量子多体系のうち、原子核はこれまで電気双極子モーメントの直接的な測定は行われていない。その理由は、通常の原子核は、電子の殻をまわっており電子が電氣的なシールドとなっているためである(シッフの定理)。さらに、原子核の中でも不安定核は、間接的な測定も行われてはいない。

(2) 不安定核の電気双極子モーメントの測定のためには、核偏極した不安定核が必要である。不安定核の核偏極度は、不安定核が崩壊する際に放出される線の非対称放出を利用した核磁気共鳴法(β -NMR法)により測定可能である。筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門タンデム加速器施設(UTTAC)には、ラムシフト型偏極イオン源があり偏極陽子、偏極重陽子が利用できる。これらのビームを使った偏極移行反応により核偏極した不安定核の生成が可能である。

(3) UTTACの12UD静電加速器は、平成23年3月の東日本大震災で被災し、後継加速器として6MVタンデム加速器が導入された。6MVタンデム加速器は、導入当初は平成26年9月から運用の予定であった。

2. 研究の目的

原子以下の有限量子多体系での電気双極子モーメントはパリティを破るため標準理論の枠組みでは0とされている。これまで電気双極子モーメントの探査は、原子、中性子、ミューオンなどで行われているが、い

ずれも上限値しか与えられていない。我々は、有限量子多体系のうち、これまで電気双極子モーメントの直接測定が行われていない原子核、それも陽子と中性子の密度分布が非対称である不安定核の直接測定を目標とした。不安定核の電気双極子モーメントの直接測定には、不安定核の生成と不安定核の核偏極生成が必須である。本研究では、偏極イオン源からの偏極ビームを利用して、いくつかの不安定核に対して、偏極移行反応による生成と核偏極生成を試みた。

3. 研究の方法

本研究は2年計画であった。最初の年の前半で、UTTACの6MVタンデム加速器に不安定核の核偏極度測定のための β -NMR装置を整備し、最初の年の後半から、6MVタンデム加速器を利用して不安定核の生成と核偏極測定実験を開始する予定であった。2年目には、不安定核の生成と核偏極測定実験などによりUTTACの6MVタンデム加速器での実現可能性を調査し、さらに電気双極子モーメント測定に必要な実験装置の概念設計などを行う予定であった。

4. 研究成果

(1) 平成26年度は、核偏極量測定のためにUTTACの6MVタンデム加速器で β -NMR装置の整備を行った。線検出のためのプラスチックシンチレーター、NMRのための高周波系、不安定核生成のための標的などの購入/製作などを行った。しかし、結局、平成26年度はUTTACの6MVタンデム加速器の運転はなかったので、不安定核の生成、核偏極量の測定などの実験を行うことはできなかった。大阪大学核物理研究センター(RCNP)には偏極イオン源があり、UTTACの6MVタンデム加速器での研究を模した不安定核生成実験及び不安定核の核偏極測定実験が可能である。平成26年度は、RCNPのAVFサイクロトロンで

-NMR の実験を行った。平成 26 年度に行った実験は、不安定核 $^{20}\text{F}(I=2^+, T_{1/2}=11.1\text{s})$ の生成と核偏極量測定の実験を行った。10MeV の偏極重陽子ビームを CaF_2 標的に照射し、 $^{19}\text{F}(\vec{d}, p)^{20}\text{F}$ 反応により ^{20}F を

生成した。この実験では、高純度(~100%) の ^{20}F の生成は確認できたが、有為な核偏極量は確認できなかった。

(2) 平成 27 年度は、平成 26 年度に引き続き、RCNP の AVF サイクロトロンで -NMR の実験を行った。不安定核 $^{40}\text{Sc}(I=4^+, T_{1/2}=182\text{ms})$ の生成と核偏極量測定の実験を行った。73MeV の偏極陽子ビームを CaS 、 CaO 、 CaF_2 標的に照射し、

$^{40}\text{Ca}(\vec{p}, n)^{40}\text{Sc}$ 反応により ^{40}Sc を生成

した。それぞれの標的で ^{40}Sc の純度は 20~40%であった。この実験では、それぞれの標的で ^{40}Sc の生成は確認できたが、有為な核偏極量は確認できなかった。

(3) UTTAC では、当初の予定から遅れて平成 28 年 3 月から 6MV タンデム加速器の運転が開始された。平成 27 年度は、UTTAC では、二つの実験を行った。一つは、不安定核生成に関わるものである。従来は、(d,p)や(d,n)といった重陽子剥離反応と陽子移行反応(p,n)により、不安定核を生成していたが、平成 27 年度は、あらたに陽子共鳴吸収反応(p,)による不安定核生成も試みた。実験は 1MV タンデトロンで行った。標的として Mg と Si 標的を使い、860 keV 陽子ビームにより不安定核 $^{25}\text{Al}(I=5/2^+, T_{1/2}=7.1\text{s})$ と $^{30}\text{P}(I=1^+, T_{1/2}=150\text{s})$ の生成を試みた。それぞれの不安定核の生成は Ge 検出器による γ 線の測定で行った。実験結果から、不安定核 ^{25}Al と ^{30}P の生成を確認し、これらの核に β -NMR 法を適用可能であることがわかった。二つ目の実験は、6MV タンデム加速器において、 β -NMR

装置設置地点での、ビームサイズ及び一次ビームの輸送効率の測定を行った。ビームサイズは、直径約 2mm、一次ビームの輸送効率はイオン源から約 100%であった。

(4) 今後は、 β -NMR 装置の改良を行うとともに、UTTAC の 6MV タンデム加速器で研究を続けていく。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

Y. Ishibashi, D. Nagae, Y. Abe, Y. Ichikawa, T. Moriguchi, A. Ozawa, K. Sawahata, H. Ueno

“Measurements of nuclear moments for unstable nuclei at RCNP”

UTTAC Annual Report 2014, 84 (2016)

8-9. 査読無し

A. Ozawa, Y. Ichikawa, T. Moriguchi, K. Sawahata

“Production of unstable nuclei via resonant proton-capture reactions”

UTTAC Annual Report 2014, 84 (2016)

12. 査読無し

D. Nagae, Y. Ishibashi, N. Inaba, S. Okada, Y. Abe, and A. Ozawa

“Test of rotating magnet field system for beta-NMR method”

UTTAC Annual Report 2013, 83 (2015)

12-14. 査読無し

[学会発表](計 1 件)

石橋陽子、市川雄一、高峰愛子、今村慧、藤田朋美、佐藤智哉、旭耕一郎、江上魁、船山智歌子、川口高史、小島修一郎、西坂太志、大友祐一、小沢顕、富永大樹、山崎展樹、吉見彰洋、上野秀樹

「中性子過剰核 ^{39}S の核磁気モーメント測定」

日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月 19 日~22 日、東北学院大学(宮城県仙台市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小沢 顕 (OZAWA, Akira)

筑波大学、数理物質系、教授

研究者番号：80260214

(3)連携研究者

笹 公和 (SASA, Kimikazu)

筑波大学、数理物質系、准教授

研究者番号：20312796

長江大輔 (NAGAE, Daisuke)

理化学研究所、仁科加速器センター、協力

研究員

研究者番号：60455285