

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401
研究種目：研究活動スタート支援
研究期間：2013～2014
課題番号：25887036
研究課題名(和文) ジルコニウム同位体を利用したピグミー双極子共鳴の系統的研究

研究課題名(英文) Pygmy Dipole Resonances in Zr isotopes

研究代表者
岩本 ちひろ (Iwamoto, Chihiro)

大阪大学・核物理研究センター・特任研究員

研究者番号：50649770
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、近年新しく発見された原子核の電気双極子共鳴であるピグミー双極子共鳴(PDR)の発達過程をジルコニウム同位体に着目した測定を行なって確かめることと、ピグミー双極子共鳴の構造を観測する手法の開発を行なうことであった。

ジルコニウム同位体のPDR測定については、PDRの強度発達が理論的に予想されている励起エネルギー4MeVから7MeV付近を測定するための開発が完了し、2015年5月から6月にかけて現在実験を実施中である。PDRの構造観測手法の開発については、実際に設置する検出器に対するバックグラウンドの評価を行ない、このバックグラウンドに対する遮蔽体や標的を設置する真空槽を製作した。

研究成果の概要(英文)：Purpose of the study is to measure a Pygmy Dipole Resonances (PDRs) in Zirconium isotopes and to develop the new method to observe a structure of the PDR. The PDR is a new electric dipole resonances which have been found in recent years.

We have developed to measure the PDRs in Zirconium isotopes above 4MeV of excitation energy and we are performing an experiment to measure the PDR in Zirconium isotopes now. The PDRs in Zirconium isotopes is predicted to appear in the excitation energy range from 4MeV to 7MeV. In addition, we have estimated a background around an area in which we will set detectors for the measurement of the PDR structure and we have made a shield for the background and a vacuum chamber for targets.

研究分野：物理学

キーワード：実験核物理

1. 研究開始当初の背景

原子核の光吸収反応により発見された電気双極子励起(E1 励起)の強度集中である巨大双極子共鳴(Giant Dipole Resonance, GDR)は、陽子群と中性子群の双極振動(p-n 振動)としてよく理解されている。これは原子では見られない原子核という有限量子多体系に特有の集団運動のうち最も基本的なものとして、古くから体系的に研究が行われてきた。

近年では、重い原子核や中性子過剰核で GDR よりも低い励起エネルギー領域にピグミー双極子共鳴(Pygmy Dipole Resonance, PDR)と呼ばれる E1 励起強度集中の存在が実験的に見つかっている。PDR は核表面に存在する中性子皮(中性子スキン)と内部(コア)との間の双極振動(スキン振動)で理解できると理論的に予想される一方で、p-n 振動とスキン振動が混合している状態として理解できるといふ議論もなされている。また PDR の励起メカニズムは、軌道角運動量の小さい軌道を占有する中性子が励起されることで出現するものと理論的に予想されている。

このように、PDR はこれまでよく理解されてきた GDR とは異なる新しい集団運動として注目が集まっており、集団運動の描像や励起メカニズムの予想がなされているが、実験的証拠が乏しくその実態は未だ謎に包まれている。

2. 研究の目的

我々の目的は、このような実験・理論の両面から存在が明らかになってきたにも関わらず、その性質が未だ謎に包まれている原子核の新しい電気双極子共鳴であるピグミー双極子共鳴について、その励起メカニズムと集団運動の描像を実験的に解明することである。具体的には、以下の2点を目指した。

(1) PDR の励起メカニズムの解明

ジルコニウム 90 原子核 (^{90}Zr 核) 及び ^{90}Zr 核よりも中性子数の多い ^{92}Zr 核, ^{94}Zr 核, ^{96}Zr 核について PDR 強度発達を観測することで、中性子の増加に伴い PDR の強度がどのように変化するかを調べること。

(2) PDR の集団運動の直接的観測への挑戦

PDR の集団運動について、p-n 振動とスキン振動を見分けて観測するための新たな手法を開発すること。

3. 研究の方法

これらの実験は、大阪大学核物理研究センターのリングサイクロトロン加速器施設において、高分解能磁気分析器グランドライデンを用いて行なった(図.1)。運動エネルギー 300MeV にまで加速した陽子を原子核で散乱させ、散乱される陽子の角度分布を、散乱角度 0 度を含む範囲で測定する“超前方陽子非弾性散乱実験”を利用した。この方法は、これまで不可能であった陽子や中性子といった核子が放出される閾値エネルギーに依存しない E1 励起強度分布の絶対値の決定を可能としている。

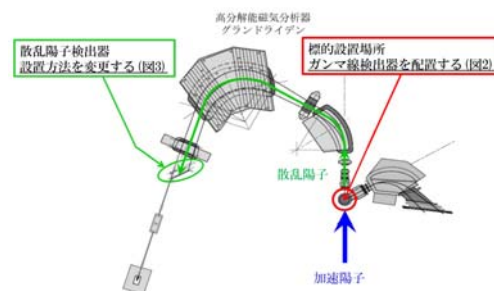


図 1. 高分解能磁気分析器グランドライデン。標的に加速した陽子ビームを照射し、散乱された陽子をグランドライデンで陽子検出器位置まで導き、測定を行なう。本研究では、散乱陽子検出器付近及び標的設置付近を研究目的のために開発した。

目的(1)については、 ^{90}Zr 核よりも中性子の多いジルコニウム同位体である ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr の三核種について超前方陽子非弾性散乱実験を行ない、PDR 強度分布を観測することで達成する。これらの同位体は、 ^{90}Zr 核ですでに観測されている PDR よりも、さらに低いエネルギー領域において新たに PDR が発達するという理論予想がある。これを検証するために、これまでの検出器のセットアップで達成されてきたエネルギー領域よりも、さらに低いエネルギー領域である励起エネルギー 4MeV 以上の測定を目指す。得られた実験結果と理論予測とを比較して、中性子数の増加と PDR 強度との関連を調べることで、中性子の PDR に対する寄与を理解する。

目的(2)については、陽子散乱時に励起された標的が崩壊する際に発生するガンマ線崩壊を散乱陽子と同時に測定することで励起準位をより精度良く特定し、準位毎の陽子散乱の角度分布

を測定してPDRの集団運動を観測する。陽子非弾性散乱測定だけでは励起状態の性質が平均化されてしまい集団運動の観測が困難である。そこで、高いエネルギー分解能を持つガンマ線測定器であるゲルマニウム検出器を、標的を囲うように設置し、陽子散乱時に励起された標的のガンマ線崩壊を散乱陽子と同時に測定することで、励起準位をより精度良く特定する。(図2)

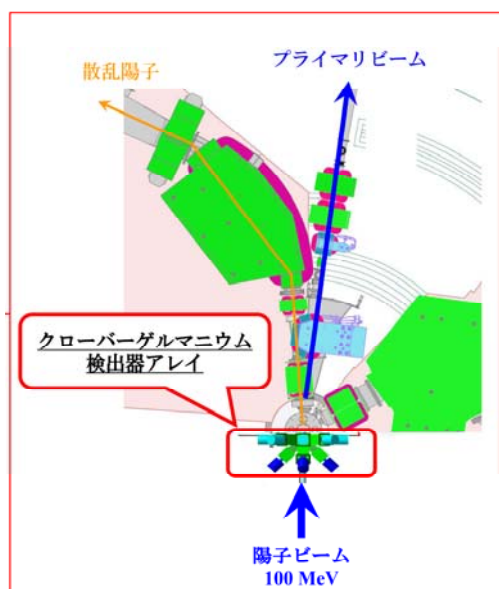


図 2. ガンマ線同時係数のためのゲルマニウム検出器配置図。標的周りにゲルマニウム検出器を 12 台から 16 台設置し、励起された標的が崩壊する際に発生するガンマ線を散乱陽子と同時に測定する。

4. 研究成果

目的(A)についての研究成果としては、より低励起エネルギー領域についての PDR 測定を行なううえで懸案となっていた、バックグラウンド対策を行なったことである。

具体的には、散乱陽子検出器の配置を図 3 の右図のように変更した。変更前の標準セットアップ(図 3 の左)でより低励起エネルギー側の測定を行なおうとする場合、加速陽子のエネルギーをこれまで用いてきた 300MeV よりも低くする必要がある。しかしながら、その場合加速陽子のエネルギー 300MeV による実験に比べて低励起エネルギー領域にバックグラウンドが多量に発生してしまうという問題があった。変更後のセットアップでは、加速陽子のエネルギー 300MeV を用いてこれまで達成されてきた最低測定可能励起エネルギー

4MeV よりもさらに低い、励起エネルギー 4MeV までの測定が可能となった。変更後のセットアップ自体はこれまでに別目的の実験で実施されたことのあるセットアップであり、十分実現が可能であったため、この方針で実験計画・準備を進め、2015年5月から6月にかけて、現在実験を実施中である。実際に、これまでに良く励起準位が調べられている炭素 12 の原子核の持つ励起エネルギー 4.4MeV の準位が測定でき、ジルコニウム同位体についても励起エネルギー 4MeV 付近まで PDR を測定できることがわかった。

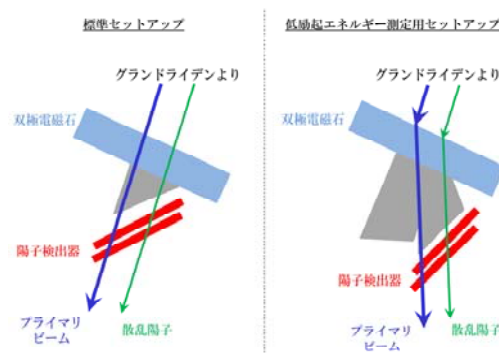


図 3. ジルコニウム同位体の PDR 測定用に変更した陽子検出器セットアップ(右)と標準の陽子検出器セットアップ(左)。

陽子検出器の直前に位置する双極電磁石を用いて散乱陽子の軌道をコントロールすることで、より低励起エネルギー領域の PDR の測定が可能となる。

目的(B)の研究成果としては、ガンマ線同時計測に使用するゲルマニウム検出器を、実際に標的の周りに設置し、標的周りに発生する多様なバックグラウンドの評価を行ない、本実験で想定される実験条件において発生するバックグラウンドに比べて、十分本測定が可能であることがわかったことである。

具体的には、これまでに良く調べられている炭素 12 標的に加速陽子を照射し、その際に発生するガンマ線バックグラウンドのエネルギー分布を測定した。その際、ガンマ線バックグラウンドに対して有意に炭素 12 の励起エネルギー 4.4MeV のガンマ線が測定できた。

また、ゲルマニウム検出器に障害を与えてしまう放射線である中性子の発生量及びエネルギー分布を測定し、実際にゲルマニウム検出器を連続何日設置可能かという評価を行な

った。さらに、ゲルマニウム検出器の検出効率を下げてしまう陽子の発生量及びエネルギー分布を測定し、発生する陽子に対するゲルマニウム検出器への遮蔽体の設計も行なった。

これらの評価結果から、具体的な遮蔽体及び標的を設置するための真空槽を設計した。この真空槽は、2015年の6月に完成し、これを用いて2015年度末に、超前方陽子非弾性散乱のガンマ線同時計測本実験を行なう予定である。

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1件)

- ① A. M. Krumbholz et al., Low-energy electric dipole response in ^{120}Sn , *Physics Letters B*, 査読有, vol. 744, 2015年, pp. 7 - 12

[学会発表] (計3件)

- ① Chihiro Iwamoto et al., Pygmy Dipole Resonance and Dipole Polarizability in ^{90}Zr , The 12th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG12), 2013年11月18日～2013年11月22日, International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA (つくば国際会議場)
- ② 岩本ちひろ 他、陽子非弾性散乱実験によるピグミー双極子共鳴の研究と中性子核物質研究への応用、日本物理学会、2014年3月27日～2014年3月30日、東海大学湘南キャンパス
- ③ Natsumi Ichige et al., Study of radiation damage on Ge detectors and background for CAGRAF, 日本物理学会, 2014年10月7日～2014年10月11日, Hilton Waikoloa Village Island of Hawaii, USA

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩本 ちひろ (IWAMOTO, Chihiro)

大阪大学核物理研究センター・特任研究員

研究者番号：50649770