

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25610061

研究課題名(和文) 巨大共鳴領域に隠れたM1遷移強度の測定法の提案

研究課題名(英文) Proposal of measurements of M1 strengths in giant dipole resonance energy region

研究代表者

早川 岳人 (HAYAKAWA, TAKEHITO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号：70343944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：原子核のM1強度は、原子核物理学と宇宙物理で重要である。1957年にAgodiは100%直線偏光した線を用いた場合の( $\gamma$ ,n)反応の中性子角度分布が、ビーム軸に対し90度で $a+b\cos(\phi)$ ( $\phi$ は方位角)という式に記述できることを理論的に予言した。しかし、実験的には半世紀以上検証されていなかった。ニュースバルで供給されるレーザーコンプトン散乱線を用いて、Au-197、I-127、Cu、Fe-56に対して直線偏向面に対する( $\gamma$ ,n)反応の角度分布を計測した。レーザーの直線偏向面を回転させることで測定した。これらの角度分布は、Agodiによって予言された関数で良く記述されることが判明した。

研究成果の概要(英文)：The M1 transitions in nuclei have attracted increasing attention in nuclear physics and nuclear astrophysics. In 1957, Agodi predicted that the neutron angular distribution in ( $\gamma$ , n) reactions with a 100% linearly polarized gamma-ray beam for dipole excitation should be anisotropic and universally described by the simple function of  $a + b \cos(\phi)$  at polar angle of 90 degree, where  $\phi$  is the azimuthal angle. However, this prediction has not been experimentally confirmed over half a century. We have verified experimentally this angular distribution in the ( $\gamma$ , n) reaction for Au-197, I-127, natural Cu, Fe-56 targets using linearly polarized laser Compton scattering gamma-rays at NewSUBARU in SPring-8. Neutron angular distributions were measured by changing the angle of linear polarization plane of the incident laser. The neutron angular distributions are well described as the function predicted by Agodi.

研究分野：数物系科学

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：レーザーコンプトン散乱線 中性子 直線偏向線

### 1. 研究開始当初の背景

原子核の磁気的雙極子(M1)遷移強度は、超新星ニュートリノ元素合成過程におけるニュートリノ-原子核相互作用の評価のために重要な物理量である。しかし、理論予測に対して測定された M1 強度は大幅に小さく、長年の問題となっている。その M1 遷移強度が、巨大雙極子共鳴(GDR)領域に、中性子離別エネルギー以上 (10MeV 以上) の領域では、E1 遷移による巨大雙極子共鳴 (GDR) が強く出現するため、この領域の M1 強度を計測する有効な手段は未だにない。そのため、我々はこれまで行われていない直線偏光したレーザーコンプトン散乱(LCS) 線による ( $\gamma, n$ ) 反応で放出された中性子角度分布を計測し、高エネルギー励起領域の M1 強度を実験的に求める手法を提案する。

### 2. 研究の目的

測定技術を確立するために、Fe-56 などの偶偶核をターゲットにして直線偏光した LCS 線による ( $\gamma, n$ ) 反応の中性子の角度分布を計測する。中性子は飛行時間法(TOF)で測定する。TOF でエネルギーを選別し、Fe-55 の基底状態を生成する中性子のみを選ぶ。ビーム軸に対する角度  $\theta = 90^\circ$  において、角度  $\theta$  に対する角度分布を計測する。M1 と E1 では経由した励起状態が異なるため中性子角度分布も異なる。この角度分布の差から Fe-56 の M1 遷移強度を導く解析方法、有意なデータを得るための角度条件を明らかにする。文献調査の結果、直線偏光した LCS 線の ( $\gamma, n$ ) 反応による中性子の角度分布について、スピンとパリティの保存則から、ビーム軸に対して  $\theta = 90^\circ$  における  $\theta$  の角度分布は、 $a + b \cdot \cos^2 \theta$  になることが予言されていた 1957 年の論文(A.Agodi, Il Nuovo Cimento, 1, 21(1957))を発見した。しかし、近年までほぼ 100%直線偏光した LCS 線源は存在しなかったため、この予言を実証した論文は出版されておらず、ほとんど忘れられていた。したがって、直線偏光 LCS 線の ( $\gamma, n$ ) 反応の中性子の角度分布という分野そのものが未開拓であり、様々な可能性を有している。

### 3. 研究の方法

レーザーコンプトン散乱 LCS 線は、電子蓄積リング等に蓄積された電子とレーザーの逆コンプトン散乱 (トムソン散乱) によって、高エネルギーの LCS 線を生成する技術である。生成された LCS 線は、準単色、エネルギー可変、空間的にビーム状等の特徴を有する。また、レーザーの偏光度がそのまま LCS 線に移行するため、ほぼ 100%直線偏光の LCS 線を生成することができる点が従来の LCS 線より優れた点の一つである。現在、MeV 領域の LCS 線装置は、世界で Duke 大学(米)と Spring-8

内のニュースバル放射光施設に設置されているのみである。本実験はニュースバルで行われた。中性子の測定は飛行時間測定法 (TOF) で行った。2 種類の実験を行い、最初の実験ではターゲットとシンチレーターの距離は約 100cm であり、2 度目の実験では約 85cm であった。

LCS 散乱線をパルス化して実験を行った。電子蓄積リング内に 1 個の電子バンチが周回させた。ここに、パルス幅 8ns の約  $1 \mu\text{m}$  ( $1.5 \mu\text{m}$ ) の波長のレーザーを正面衝突させ LCS 線を生成させた。蓄積リングの電子ビームのパルス幅 60ps のため、生成される LCS 線のパルス幅も原理的に 60ps であり、TOF 実験の期待される時間精度よりはるかに短い。

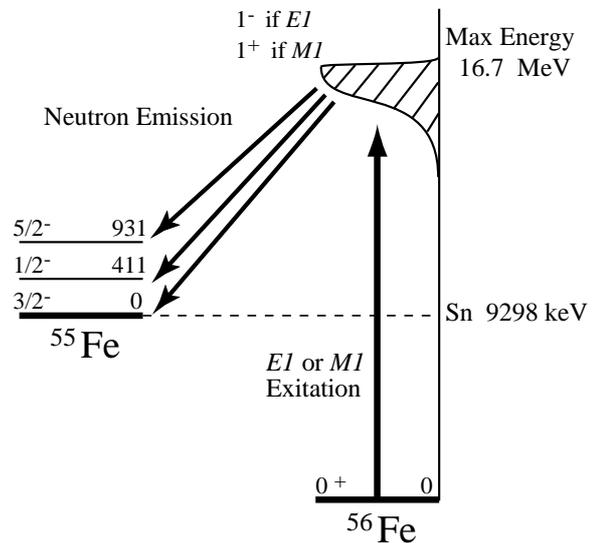


図1 鉄の ( $\gamma, n$ ) 反応の模式図

パルスビームを試料に照射し、試料中の ( $\gamma, n$ ) 反応で生成される中性子を TOF で計測した。照射したガンマ線の最大エネルギーは約 17MeV であり、この領域では MeV エネルギーの中性子が発生する。MeV 領域では中性子の速度は光速のだいたい 10%程度であり、1m の距離では目的とする中性子は 20 ~ 40ns の飛行時間がかかる。TOF 法の基準となる時間信号には、加速器の RF 源の信号を用いた。この信号はレーザーの外部トリガーに入力され、レーザー発振のタイミングを制御している。なお、その他の精度を悪化させる要因として、ターゲットの長さ、シンチレーターの厚さ(奥行)があるが、統計を得るために無視した。

レーザーの直線偏光面を任意の角度に変更することで、LCS 線の偏光面を容易に変更することができる。直線偏光の面を変更して同じ計測を行い、計測システムの系統誤差を評価する。

### 4. 研究成果

図1に鉄ターゲットに対するTOFスペクトルの1例を示す。中性子とガンマ線のピーク（中性子はバンプ状であるが）を明確に識別できる。ガンマ線のピークが部分的に太いのは、ビームダンプからのガンマ線が入射したと考えると時間的に説明できる。入射したLCSガンマ線のエネルギー幅は3~6MeVあるため、原子核の励起状態を識別することはできない。そのため、中性子のピークは連続的形状を有する。

バックグラウンドは十分少ないので、中性子のピーク面積から、中性子の量を求め、角度の関数とした。この実験値から最小二乗法で  $a + b \cdot \cos^2$  の関数を求めたところ、すべてのターゲットに対して、この式が良く成り立つことが判明した。本成果は、Agodiが1957年に理論的に予言してから、広い質量領域について本予言が成り立つことを初めて示したものである。

直線偏向の面から0度と90度における中性子の計測から、いわゆる Analyzing Power を求め、E1とM1の成分の比を求めることが原理的に可能である。次の課題はM1成分を精度よく求める方法（実験技術及び解析法）を研究することである。

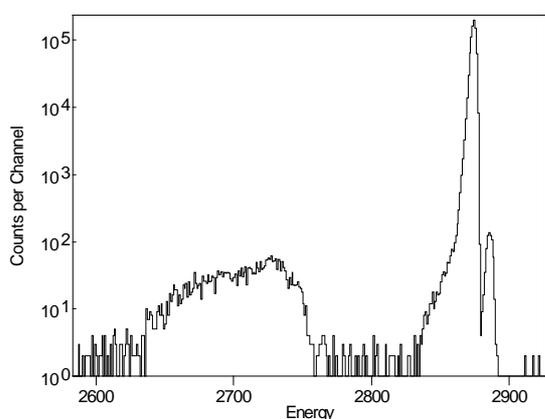


図2 鉄ターゲットに対するTOFスペクトルの例。左のバンプは中性子で、右のピークはガンマ線である。

## 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 2 件)

T. Hayakawa, K. Ogata, S. Miyamoto, T. Mochizuki, K. Horikawa, S. Amano, K. Imazaki, D. Lie, Y. Izawa, S. Chiba, “New Probe of M1 and E1 strengths in GDR regions”, Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxy, 査読有、in press (2014).

T. Hayakawa, S. Miyamoto, K. Horikawa, S. Amano, T. Mochizuki, K. Imazaki, D.

Li, Y. Izawa, K. Ogata, S. Chiba, “Photodisintegration reactions with linear polarized gamma-ray beam”, Proceedings of the international symposium “Nuclear Physics and Gamma-ray sources for Nuclear Security and Nonproliferation”, 査読有、in press (2014).

〔学会発表〕(計 1 件)

早川岳人、静間俊行、C. Angell、秋宗秀俊、宮本修治、天野壮、望月孝晏、千葉敏、緒方一介、藤原守、<sup>56</sup>Feの光核反応の中性子角度分布，日本原子力学会2014年春の年会、2014年3月、東京

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

早川 岳人 (HAYAKAWA, Takehito)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用  
研究センター・研究主幹  
研究者番号：7 0 3 4 3 9 4 4

### (2) 研究分担者

緒方 一介 (OGATA, Kazuyuki)  
大阪大学・核物理研究センター・准教授  
研究者番号：5 0 3 4 6 7 6 4

秋宗 秀俊 (AKIMUNE, Hidetoshi)  
甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：60319829

宮本 修治 (MIYAMOTO, Shuji)  
兵庫県立大学・附属研究所・教授  
研究者番号：90135757

(3)連携研究者

静岡 俊行 (SHIZUMA, Toshiyuki)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究主幹  
研究者番号：50282299

エンジェル クリストファー (ANGELL, Christopher)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究員  
研究者番号：90635690