

レーザーコンプトン散乱ガンマ線(LCS-ガンマ線)による偏光軸に対する中性子の放出角度分布の測定

NEUTRON EMISSION DISTRIBUTION DEPENDENCE ON POLARIZATION WITH LCS Γ -RAY

武元亮頼^{#, A)}, 山口将志^{A)}, 杉田健人^{A)}, 橋本智^{A)}, 天野壯^{A)},
早川岳人^{B)}, 浅野芳裕^{C)}, 糸賀俊朗^{D)}, 佐波俊哉^{E)}, 宮本修治^{A)}
Akinori Takemoto^{#, A)}, Masashi Yamaguchi^{A)}, Kento Sugita^{A)}, Satoshi Hashimoto^{A)}, Sho Amano^{A)},
Takehito Hayakawa^{B)}, Yoshihiro Asano^{C)}, Toshiro Itoga^{D)}, Toshiya Sanami^{E)}, Shuji Miyamoto^{A)}

^{A)} Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, university of Hyogo

^{B)} The National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

^{C)} RIKEN Spring-8 Center

^{D)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute

^{E)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The measurements of the angular distributions of neutron emission were performed. The ^{197}Au , $^{107,109}\text{Ag}$, and ^{89}Y targets were irradiated by quasi-monochromatic linear polarized gamma-ray beam at NewSUBARU BL01. The angular distribution of neutrons emitted from photo-nuclear reaction by the giant dipole resonance. In addition, we tried to measure the photo-neutron emission from the cluster dipole resonance of ^9Be target.

1. はじめに

1957年、イタリアの Agodi 博士は直線偏光のガンマ線が原子核に当たり、巨大双極子核共鳴(GDR)によって中性子が放出された時の角度分布に関して理論計算を行った。ガンマ線の入射軸に対して垂直な面を考え、方位角方向の中性子の放出角度分布を計算し、ガンマ線の偏光方向に対する中性子の放出角を θ とすると中性子強度の角度分布 $I(\theta)$ は

$$I(\theta) = a + b \cos 2\theta \quad (1)$$

となる事を示した[1]。しかし、当時は直線偏光の高輝度で高エネルギーのガンマ線光源がなかったため、実験での実証がなされなかった。近年、NewSUBARU 電子

蓄積リング[2]の BL01 などのレーザーコンプトン散乱ガンマ線(LCS-gamma)[3]を用いてその理論を実験的に確かめることができるようになった。ターゲットとして Au, Cu, I の3つの核種で中性子の放出角度分布を測定した[4]。

それに続き、中性子の放出角度分布を高精度に計測するために計測系の改良と単位時間あたりの中性子の発生量の増加を検討し、レーザーを最大出力 5W のレーザーから 30W のものに変えて試験をした。その状態でターゲットとして ^{197}Au , $^{107,109}\text{Ag}$, ^{89}Y を使い GDR によって発生した中性子の放出角度分布を計測することに成功した[5]。

今回は、加速器トンネルからのノイズを避けるためにハッチ2を使う。反応断面積の小さい ^9Be をターゲットとして用いて、GDR 以外の共鳴であるクラスター双極子共鳴(CDR)[6]における角度分布の計測をして、GDR の分布と違いが出るか検証した。

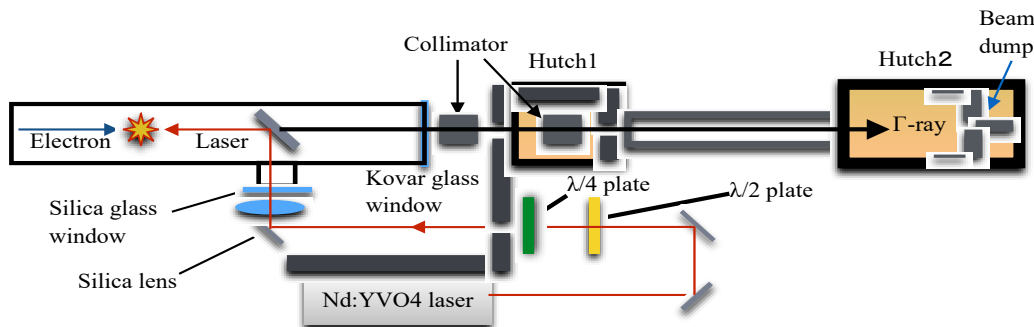


Figure 1: Schematic diagram of NewSUBARU BL01.

[#] akinori@lasti.u-hyogo.ac.jp

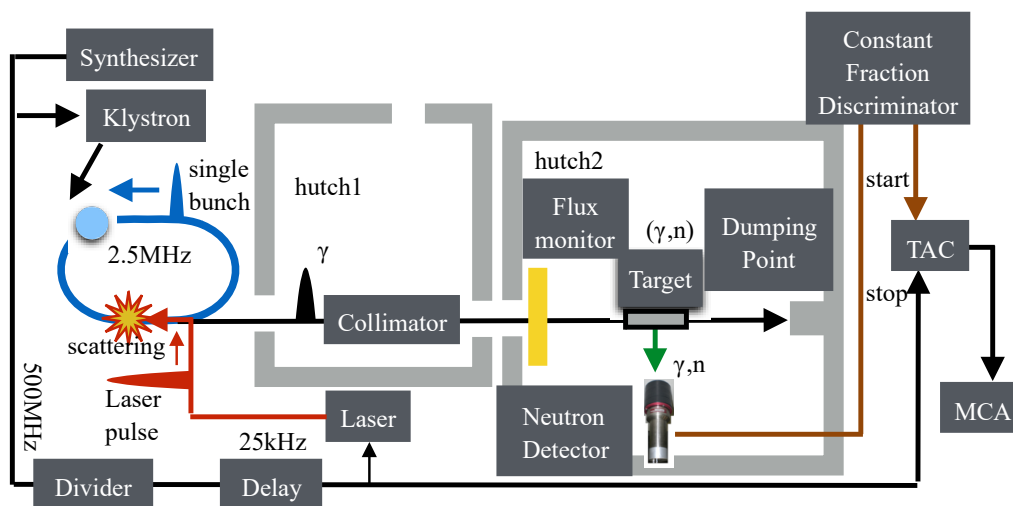


Figure 2: Schematic diagram of NewSUBARU BL01.

2. 計測手法

NewSUBARU 電子蓄積リング内に 1GeV で蓄積してから電子の減速をする。電子を 725MeV まで減速し、Nd レーザー(1064nm)を入射することで LCS-gamma を得る。この時の LCS-gamma の最大エネルギーは 9.55MeV である。LCS-gamma は、中心軸からの角度でエネルギーが決まるため、コリメータを設置して準単色ガンマ線にしている。コリメータは直径 6mm φ のものを使用している。中性子検出器はプラスチックシンチレータ型検出器を使用している。この検出器はガンマ線(光子)と中性子の両方に感度を持つため、二つの信号を分別するために TOF 法を用いた。

回路系を Figure 2 に示す。TOF 法を用いるためにガンマ線はパルスにする必要がある。そこで電子蓄積リングをシングルバンチモードで運転し、パルスレーザーを入射する。電子ビームのタイミング信号によりレーザーをトリガーして同期を取っている。電子のバンチ長は 33ps(1σ)で、レーザーのパルス幅は 60ns(FWHM)である。ハイパワーのものに変えたがパルス幅が長いために無駄になってしまっている。TAC のスタート信号に中性

子検出器信号、ストップ信号に電子タイミング信号を用いた。

ガンマ線の偏光方向と中性子検出器とのなす角度を変えるために中性子検出器の位置は固定して、偏光軸を回転させた。入射レーザーの偏光を 1/2,1/4 波長版を使って変えた。回転させた時のレーザーの偏光は加速器トンネルを透過したレーザー光を使って確認した。ガンマ線フラックスの校正用にプラスチックシンチレータをターゲットよりも上流側に設置して計測している。

3. TOF 信号と中性子の放出角度分布

9.55MeV の LCS-gamma を ${}^9\text{Be}$ ターゲットに約 2 時間当たった時の TOF 信号を Figure 3 に示す。 ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ 反応の Q 値は -1.66MeV である。最大エネルギー 9.53MeV の LCS-gamma を照射しているので放出される中性子の最大エネルギーは 7.87MeV である。GDR での放出角度分布を計測した時、検出できる中性子の最小エネルギーは 2.5MeV だった。ターゲットに散乱されたガンマ線のタイミングから計算できる、二つのエネルギーの中性子が来る時間に線を引いた。

緑色で示した部分は LCS-gamma がターゲットによって散乱されたもので 496keV の光子の信号である。

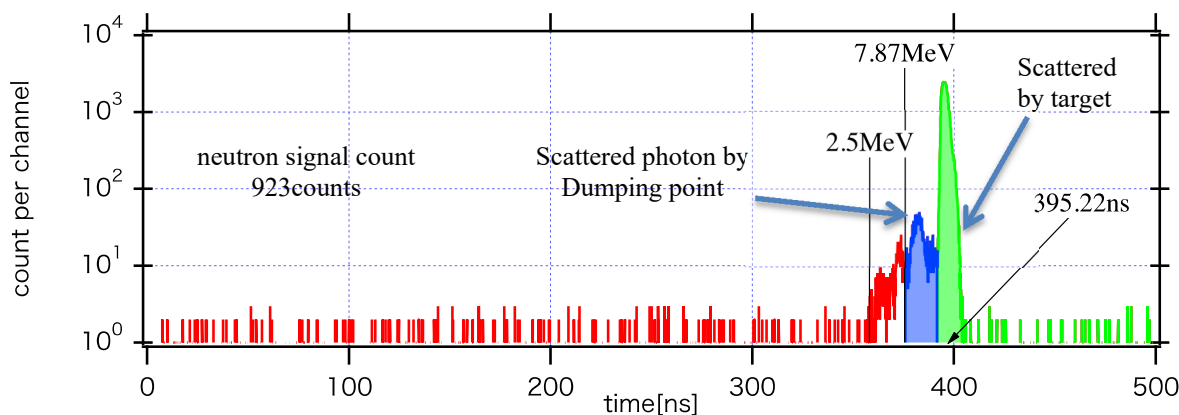


Figure 3: TOF signal, vertical polarization.

青色で示された部分は GDR 計測時にはなかった。今回使っている Be ターゲットは透過率が 75%と GDR 計測時につかっていたターゲットと比べて大量に透過する。LCS-gamma の damping point からの後方散乱された光子が増えたため、ピークが現れた。

次に偏光軸に対する中性子の放出角度分布がどのようになっているかを Figure 4 に示す。以下の式(1)でフィッティングして校正曲線を引いた。カイ 2 乗検定をしたが、整合性は 3.5%だった。この数字だけ見ると GDR の分布と比べて違いが出ているが、統計量が少ない。統計精度をさらに高める必要がある。

$$I = a + b \cos 2\theta \quad (1)$$

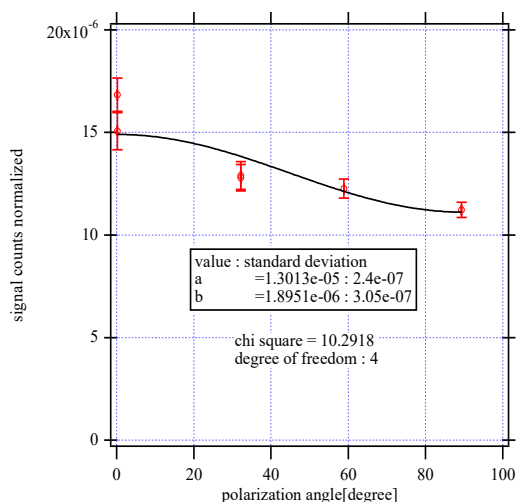


Figure 4: Neutron angular distribution.

4. まとめ、今後について

今後ガンマ線照射フラックスを高め、更に統計精度の向上を行なう。新しく ${}^9\text{Be}$ の CDR と考えられている反応ピークからの中性子分布も測定出来たが、更に統計精度を上げる必要がある。統計精度向上のためのガンマ線フラックス増強は、散乱領域のレーリー長程度、数ナノ秒程度のパルス幅のレーザーを導入を検討中である。加えて、中性子検出器の数を増やすことも予定している。

参考文献

- [1] A. Agodi *et al.*, Nuovo Cimento, 5(1), 21(1957).
- [2] 宮本修治 他, "ニュースパル放射光施設の現状", 年会プロシーディングス, FSP018 第 11 回日本加速器学会年会, リンクステーションホール青森, 8月 9-10 日 (2014).
- [3] 宮本修治 「レーザー・コンプトン散乱ガンマ線ビームライン-NewSUBARU 放射光施設-」, 加速器学会誌「加速器」, 5, pp.111-116 (2008).
- [4] K. Horikawa *et al.*, "Neutron angular distribution in (γ, n) reactions with linearly polarized γ -ray beam generated by laser Compton scattering" Physics Letters B, 737, pp.109-113 (2014).
- [5] 武元亮頼 他, "レーザーコンプトン散乱 γ 線(LCS- γ)による偏光と中性子の放出角度分布の依存性の測定", 年会プロシーディングス, WEP117 第 12 回日本加速器学会年会, プラザ萬象, あいあいプラザ, 8月 6-7 日(2015)
- [6] H. Utsunomiya *et al.*, "Photodistintegration of ${}^9\text{Be}$ through the $1/2^+$ state and cluster dipole resonance", Physics Review C, 92, 064323 (2015).