

レーザーコンプトン散乱ガンマ線ビームを用いた磁気コンプトン散乱測定

MEASUREMENT OF MAGNETIC COMPTON SCATTERING BY LASER COMPTON SCATTERING GAMMA-RAY BEAM

山口将志^{#,A)}, 武元亮頼^{A)}, 杉田健人^{A)}, 小泉昭久^{B)}, 天野壮^{A)}, 橋本智^{A)}, 堀史説^{C)}, 宮本修治^{A)}

Masashi Yamaguchi^{#,A)}, Akinori Takemoto^{A)}, Kento Sugita^{A)}, Akihisa Koizumi^{B)},

Sho Amano^{A)}, Satoshi Hashimoto^{A)}, Fuminobu Hori^{C)}, Shuji Miyamoto^{A)}

^{A)} LASTI, Univ. of Hyogo, ^{B)} Univ. of Hyogo

^{C)} Osaka Prefecture University

Abstract

We measured hysteresis of electron spin magnetic moment in Fe by magnetic Compton scattering, using Laser Compton Scattering (LCS) gamma ray beams at the synchrotron radiation facility NewSUBARU. LCS ray is capable of producing Quasi-monochromatic γ -ray of energy range from 1.7 to 76 MeV and linear or circular polarization by adjusting condition of incident laser. We calculated magnetic Compton scattering rate by measuring the intensity difference between the scattered light from Fe when right and left circular polarization 16.9MeV gamma ray irradiated.

1. はじめに

磁気コンプトン散乱は 1979 年 N.Sakai, K.ono による実験報告[1]以降、世界中の放射光施設における円偏光線源の利用拡大とともに、発展、普及してきた実験手法である。磁気コンプトン散乱は P.M.Platzman と N.Tzoar が理論を提唱し、 γ 線源を円偏光 X 線として用いた N.sakai と K.ono によって初めて観測された。現在 Spring-8 並びに様々な放射光施設の挿入光源から放射される円偏光 X 線により測定されている[2]。照射する円偏光線源のエネルギーが上昇するに従い、コンプトン散乱に対する磁気コンプトン散乱の比率は上昇する[3]。近年の放射光施設の発展で、円偏光のガンマ線光源を利用できるようになり、高エネルギーの磁気コンプトン測定が可能になった。NewSUBARU 電子蓄積リング[4]、BL01におけるレーザーコンプトン散乱ガンマ線源(LCS- γ)[5]を利用して実験を行った。レーザーコンプトン散乱の特徴として、入射レーザーの偏光を生成されたガンマ線が保存することである。入射レーザーの偏光を調節することで、ガンマ線の偏光制御が可能になる。以前に 1.7MeV の磁気コンプトン散乱の測定を行った[6]。今回はレーザーを変更し、16.9MeV の円偏光 LCS- γ における磁気コンプトン散乱比率と Fe のヒステリシスの測定を行った。レーザーを変更したことで、電子とレーザーとの衝突点までの偏光を追うことができ、また、コインシデンスをとることでノイズを抑えることが可能になった。

2. 測定環境

NewSUBARU 電子蓄積リング、1.0GeV, 300mA, topup 運転で YAG(Nd)レーザーを入射することで最大エネルギー16.9MeV の LCS- γ を得られる。生成されたガンマ線は Pb で3mm ϕ にコリメートされ、実験ハッチに入射する。ガンマ線フラックスモニターにプラスチックシンチレータ、試料からの散乱ガンマ線を測定するために Ge 検出器を使用した。実験配置図を Figure 1 に示す。ハッチに

[#] ym731@lasti.u-hyogo.ac.jp

入射したガンマ線はフラックスモニターを透過後に、レーザー進行方向から 165 度傾けた厚さ 5mm の Fe 試料に照射される。Fe 試料には C 型電磁石が装着されており電磁石に流す電流を変えることで、Fe 試料の磁化を調節できる。Fe 試料の磁化方向は電磁石に流す電流の方向を変えることで変更可能である。試料からの 150 度後方散乱を Ge で測定することで磁気コンプトン散乱を測定する。Ge 検出器の検出部周りは Pb 覆われており、前方部、Fe 方向の面には 3cm の散乱光検出穴が空いている。YAG レーザーは 20kHz で運用し、Ge 検出器とコインシデンスをとることでノイズを抑えている。入射レーザーの偏光は $\lambda/4$, $\lambda/2$ 波長板を設置することで右回り、左回り円偏光を実現している。レーザー偏光は電子との衝突点を通じた光を測定して求めている。

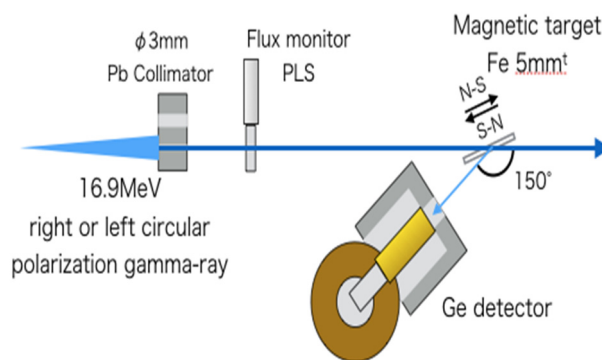


Figure 1: Layout of measuring Magnetic Compton Scattering.

3. 磁気コンプトン散乱と Fe ヒステリシス測定

3.1 磁気コンプトン散乱測定

Fe 試料に印加する磁場を一定にし、レーザーの偏光を右回り、左回りと変化させ測定を行い、磁気コンプトン

効果を確認した。測定結果を Figure 2 に示す。

対消滅の 511keV 光子の強度が大きく 340keV 付近からコンプトンエッジが確認できる。Fe 試料からのコンプトン散乱光は 16.9MeV の 150 度後方散乱になり、約 269keV である。コンプトン散乱ピークが右回り、左回り円偏光で違うことがわかる。Fe 試料に電磁石で S-N 方向に磁場をかけているために、磁気コンプトン効果で右円偏光は増加、左円偏光は減少している。右左円偏光における Ge のスペクトルの差を Figure 3 に示す。Fe 試料に S-N,N-S 方向に磁場をかけ、それぞれの状態での右円偏光スペクトルと左円偏光スペクトルを引いて磁気コンプトン散乱強度を求めた。それぞれの Fe 試料に入射するガンマ線の強度はフラックスモニターにより規格化されている。磁気コンプトン散乱は今研究の場合はコンプトン散乱強度の約 6.5%である。磁気コンプトン散乱のピークは磁化している4d 軌道電子との作用により発生するために、コンプトン散乱のピーク幅と比べて小さい。

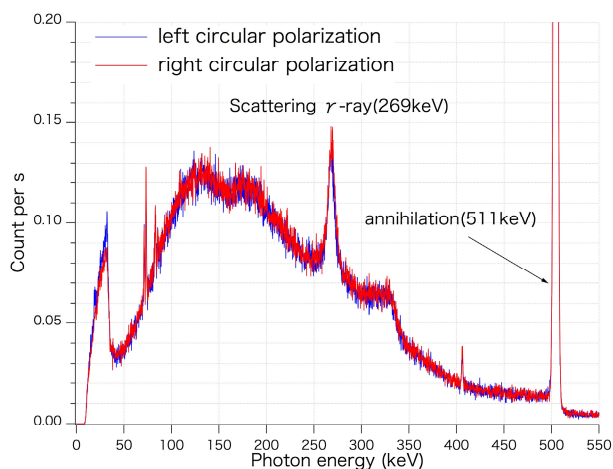


Figure 2: Ge signal, Constant magnetic field.

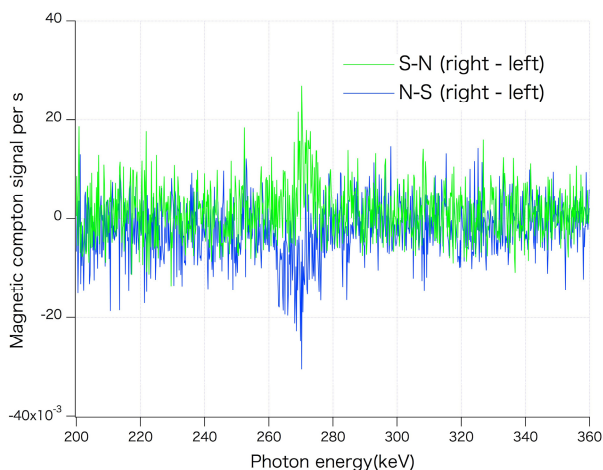


Figure 3: Net spectrum of Magnetic Compton Scattering.

3.2 磁気コンプトン散乱による Fe ヒステリシスの測定

入射レーザーの偏光を固定し、Fe 試料にかかる磁場を変化させ、磁気コンプトン散乱を利用し、電子の磁気モーメントのみのヒステリシス測定を行った。結果を Figure 4 に示す。横軸は電磁石に流した電流値であり、 $A > 0$ では N-S 方向に、 $A < 0$ では S-N 方向に磁場がか

かっている。赤丸は左円偏光、青丸は右円偏光ガンマ線での測定値である。各点は測定したスペクトルをコンプトン散乱の付近でピークフィッティングを行い、511keV によるコンプトンエッジ以下のコンプトン連続部信号を切り捨てている。完全円偏光の 16.9MeV における 150 度後方散乱の磁気コンプトン効果の計算値は 6.45%であり、今研究で測定された磁気コンプトン効果は $6.981 \pm 0.564\%$ であった。ヒステリシスの形については測定点に沿って外形を出しているが測定点の少なさと誤差の大きさによりほとんど評価できない。

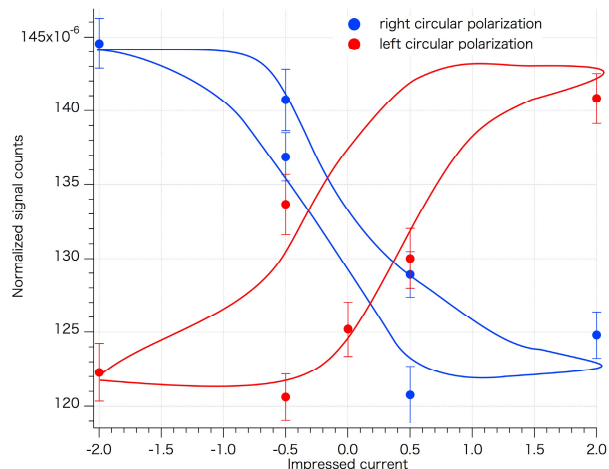


Figure 4: Fe Hysteresis using Magnetic Compton Scattering.

4. まとめ

磁気コンプトン散乱を 1.7MeV に続き 16.9MeV でも測定した。入射レーザーの左右の円偏光度を正確に測定できるようになり、おおよそ左右対称のヒステリシスが確認できる。しかし、計数率が低いために、測定時間、誤差が大きくなり正確性にはかける。レーザーの出力や試料と検出器との距離など、対策を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 坂井信彦他, "シンクロトロン放射光による磁気コンプトン散乱", 応用物理学, Vol.61, No.3, pp.226-233(1992).
- [2] 櫻井吉晴, 河田 洋," (MS82)磁気コンプトン散乱", 日本結晶学会誌 51,116-120(2009).
- [3] M. Fukuda *et al.*, " Polarimetry of Short-Pulse Gamma Ray Produced through Inverse Compton Scattering of Circularly Polarization Laser Beam", Physical review letters Volume91 Number16 164801(2003).
- [4] 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, リンクスステーションホール青森, 8 月 9-10 日(2014).
- [5] 宮本修治「レーザ・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).
- [6] 山口将志," レーザCompton 散乱ガンマ線ビームを用いた磁気 Compton 散乱測定", 年会プロシーディングス, WEP122 第12回日本加速器学会 年会, プラザ萬象, 敦賀市福祉総合センターあいあいプラザ, 8 月 5-7 日 (2015).