

ガンマ線コンプトンカメラによる偏光観測の検証

木原 邦夫、阿部 由紀子、富永 慎弥、中本 達也、深沢 泰司、澤本 直之、山田 芳徳(広島大)
 田中 孝明、三谷 烈史、中澤 知洋、高橋 忠幸(宇宙研)、五十川 知子、谷津 陽一、片岡 淳(東工大)
 水野 恒史、Markus Suhonen、田島 宏康(SLAC)、山下 祐一郎(山形大)

Introduction

現在の宇宙観測では数10keV～数MeVの領域は他のエネルギー帯に比べて感度の向上が遅れている。この領域ではコンプトン散乱が支配的であり、光子のエネルギーや到来方向を高性能で測定することが難しいため、性能の良い検出器が開発されてこなかった。しかし、この領域では超新星爆発の核線など宇宙の高エネルギー現象の解明に重要な物理が含まれている。この領域を補う候補としてコンプトンカメラがある。コンプトンカメラでは、偏光に対するコンプトン散乱方向の異方性を利用した優れた偏光計にもなる可能性を秘めており、明るい天体や線バーストの偏光測定が期待される。

Purpose

今回、偏光検出能力の検証のために7月にSpring-8で実験を行った。この実験では270keVのエネルギーを持つビームを用いた。ビームは直接当てるのはビーム強度が強すぎるため散乱体で一度散乱させ強度を落としてから実験を行った。まず、Modulation factorの良いとされる偏光計を用いてビームの偏光度を測ってキャリブレーションする。次にコンプトンカメラを用いて偏光を測定する。実験結果とGeant4を用いたシミュレーションの結果を交えて検出器の偏光性能について検証する。
 なお、コンプトンカメラの詳細については、川益さん(広大)、中澤さん、三谷さん(宇宙研)の発表を参照。

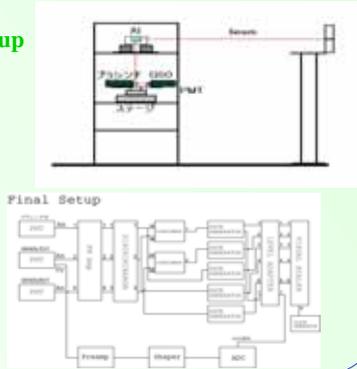
キャリブレーション偏光計実験

この実験は、自動XY回転ステージにより15°刻みで0°～360°まで回転させてModulationを調べる。基本的なセットアップはコンプトンカメラ側と同じでDetectorの位置だけが変まっている。(ステージは、阪大 林田さんより借用)

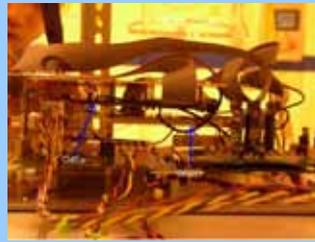
DSSD/CdTeコンプトンカメラ実験

この実験では、Alで一度散乱させたビームをDetectorに当て0°・90°・180°・270°回転させてデータを取得した。また、DSSDのn側は実験中に死んでしまったので解析ではchを14に固定して考えた。

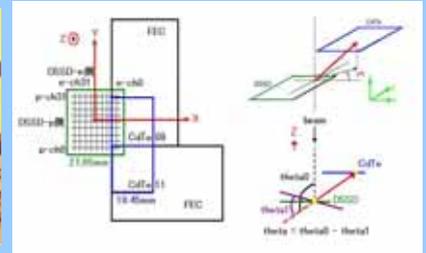
キャリブレーション偏光計 Setup



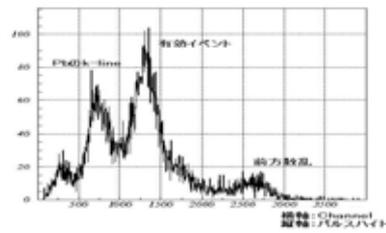
コンプトンカメラ Setup



DSSDとCdTeのgeometry (0°の場合)



GSOでのエネルギースペクトル



コンプトン散乱の Energy Deposit

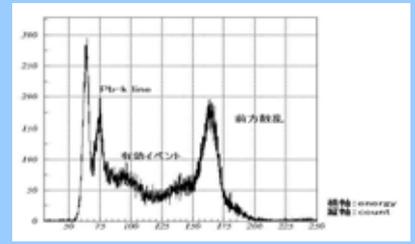


$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{mc^2}(1 - \cos \theta)}$$

$mc^2 = 511\text{keV}$

- ・Alでの散乱でbeam Energyは177keVになる。
- ・キャリブレーション偏光計の実験では、Energy Depositはブラシチでは45keV、GSOでは131keVである。
- ・コンプトンカメラの実験ではEnergy Depositは左図のようになる。

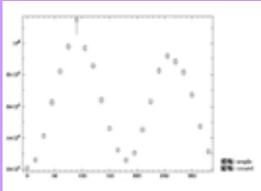
DSSD、CdTeでのエネルギースペクトル



実験でのModulation

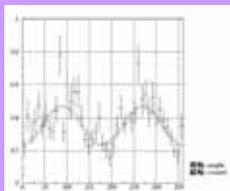
キャリブレーション偏光計

Modulation factor 0.65



コンプトンカメラ

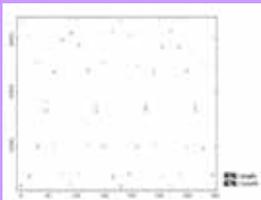
Modulation factor 0.343



Geant4でのModulation

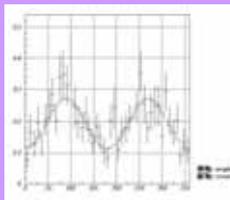
キャリブレーション偏光計

Modulation factor 0.87



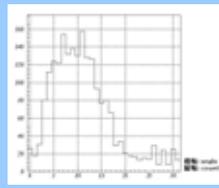
コンプトンカメラ

Modulation factor 0.406



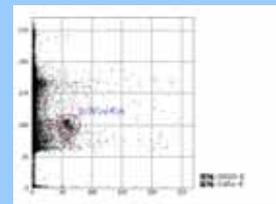
キャリブレーション偏光計のmodulationは実験では85%、Geant4では87%であり、偏光度75%となる。コンプトンカメラは実験では34%、Geant4では40%であり、偏光度84%となり、両方とも誤差5%ほどあるので、お互いにconsistent。

DSSD-p側でのhit分布



この分布からDSSD-p側はch9付近にhitしているのが分かる。

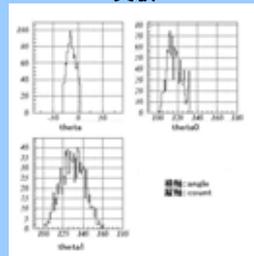
DSSDとCdTeのenergyの2次元plot



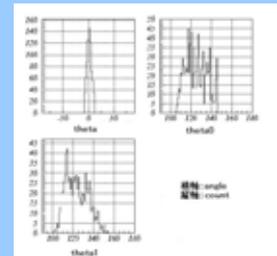
DSSD-46keV付近 CdTe-131keV付近に分布しており、コンプトン散乱がきちんと起こっている事がわかる。

コンプトン散乱によるエネルギーと角度の関係

実験



Geant4



DSSDのエネルギー分解能約6keV、CdTeのエネルギー分解能約7keVなので、角度分解能は約10度と予想されるが、実験(左上図)もそうになっている。

考察

- ★ この実験では、きちんと偏光を観測することができたことから、コンプトンカメラは優れた偏光計となる可能性があることが分かった。DSSDのn側が死んでしまったので、Modulation factorは小さかったが、生きていればmodulation factorが80%以上と予想され、非常に性能の良い偏光計となる。
- ★ 今回は、エネルギー分解能が良くなかったため、角度分解能が悪かったが、我々はエネルギー分解能2keV以下を目指しており、それが達成されれば角度分解能は200keVで約2度以下になる。