

宇宙硬X線偏光検出器PoGO+の感度向上のための 中性子バックグラウンド除去

大橋礼恵, 高橋弘充, 河野貴文, 内田和海, 水野恒史, 深沢泰司(広島大学), 他PoGOLite/PoGO+チーム

概要

X線、ガンマ線帯域での偏光観測から得た磁場の向きや整列の度合いの情報からは、パルサーの放射機構やブラックホール近傍の降着円盤の構造の解明が期待されている。しかしこれらのエネルギー帯域での偏光検出例は少ない。PoGOLite(Polarized Gamma-ray Observer-Lite version)気球実験は、世界初の25-100 keVの硬X線帯域での偏光検出を目的とした、日本とスウェーデンの共同プロジェクトである。PoGOLiteの検出器は、偏光観測に用いる主検出部61本とBGO(Bi₄Ge₃O₁₃)シールド30本をそれぞれ光電子増倍管で読み出している。だが主要バックグラウンドの大気中性子は、BGOでは除去できない。そこで主検出部自身で、ガンマ線と中性子の信号波形の差を利用した波形弁別により、バックグラウンドを除去することで観測精度の向上が期待される。本研究では、波形弁別を実現するため、ADCを100 MSPSまで向上させるなど、読み出しシステムを改良した。また波形弁別の較正データを取得するため、高速中性子の照射実験を行った。そして2016年にPoGOLiteを改良したPoGO+としてスウェーデンからカナダまで飛行する約1週間行われた気球フライトデータから、ガンマ線と高速中性子には波高値のピークに達するまでに、~80 nsの差を確認した。この波形の立ち上がり時間差を利用して中性子バックグラウンドを除去し、波形弁別を行った。

1.X線・ガンマ線での偏光観測

X線、ガンマ線の偏光が持つ情報

→ 降着円盤の構造、パルサーの放射機構

高エネルギー天体现象の研究において重要

検出例は少ない

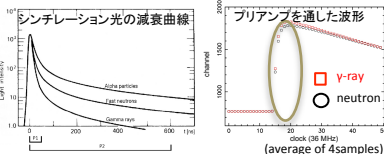


3.ガンマ線/中性子の弁別

2013年フライトからの課題:

主要バックグラウンド: 大気中性子(高速中性子)

→ 高速中性子はガンマ線よりシンチレータの蛍光の時定数が遅いことを利用して中性子イベントを除去



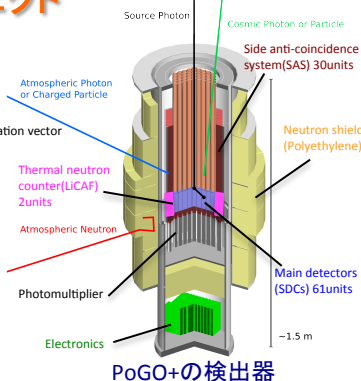
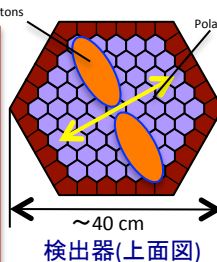
Pulse-Shape-Discri with 70MHz Sampling -- Tuneyoshi Kamae

2.PoGO+プロジェクト

- 気球を用いて25-100 keVを偏光観測
- 検出器: 蜂の巣構造のシンチレータ(61ユニット)
- 光子の散乱方向 ⊥ 偏光ベクトル → 偏光を検出

これまでのフライト:

- ◆ 2013年7月: (~2週間) スウェーデン → ロシア かに星雲 3回観測
- ◆ 2016年7月: (~1週間) スウェーデン → カナダ 天体観測 かに星雲 7回 Cyg X-1 6回

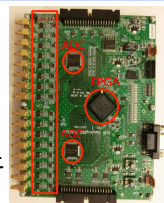


4.読み出しシステム改良

2013年フライトからの課題: 読み出しシステム部分の排熱が十分でなかった

→ 読み出し回路の消費電力を下げる
読み出しボード1枚あたりのチャンネル数を増やし、ボード枚数を減らす

- アナログ回路の高速化、省エネ化(電力3/4)
- Analog Digital Converterのサンプリングレートを37.5 MHzから100 MHzまで向上
- FPGAのアルゴリズム改良 (FPGA = Field Programmable Gate Array)

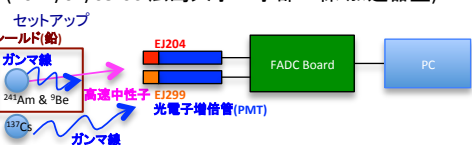


Flash ADC(FADC) Board

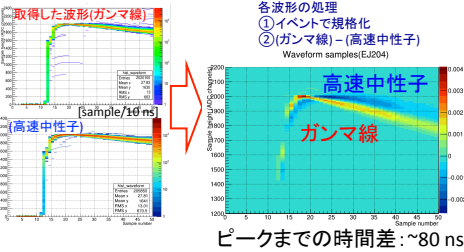
5.高速中性子線源による実験

改良を行った読み出しシステムを用いて、ガンマ線、高速中性子信号波形を取得

→ 波形に差があることを確認した (2017/01/05-06 広島大学工学部F2棟 加速器室)



実験結果(60 keV付近)



PoGO+で使用するEJ204でもガンマ線/高速中性子の波形弁別能力があることがわかった

6.フライトデータ解析

2016年のフライトデータについて、地上キャリブレーションデータ(ガンマ線)を比較対象とし、ガンマ線と中性子の波形弁別の可能性を調べた。

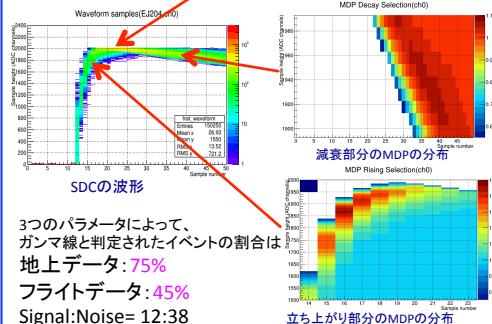
3パラメータでの弁別

各波形を3つのパラメータで弁別した



波形テンプレートによる弁別

パイルアップなどを除き、地上キャリブレーションデータ(ガンマ線)とフライトデータでテンプレートを作成し、弁別を行った。X²の値で、ガンマ線/中性子の判定を行った



3つのパラメータによって、ガンマ線と判定されたイベントの割合は
地上データ: 75%
フライトデータ: 45%
Signal:Noise = 12:38

MDPは~12%改善されることが予想される

をガンマ線とみなす

Ground Calibration Data
Flight Data
波形テンプレートによって、ガンマ線と判定されたイベントの割合は
地上データ: 84%、フライトデータ: 52%
Signal:Noise = 13:44となり、
MDPは~11%改善されることが予想される

まとめ

硬X線での偏光観測を行う、PoGO+の2016年フライトに向けて、読み出しシステムの改良を行った。2013年のフライトからの課題を解決するために、消費電力を下げ、ガンマ線/中性子の波形弁別能力を向上させるためにADCのサンプリングレートを37.5 MHzから100 MHzに高速化した。またFPGAのアルゴリズムの改良した。そしてガンマ線/中性子の波形弁別の可能性を確認するために、高速中性子線源を用いた地上実験を行った。2016年のフライトデータを用いて、3つのパラメータと波形テンプレートによる波形弁別を行い、MDPがそれぞれ約12%、11%改善することが予想される結果となった。