

加速器ニュートリノにおける背景中性子および背景ガンマ線の測定

芝山 凌 (横浜国立大学理工学府)

概要

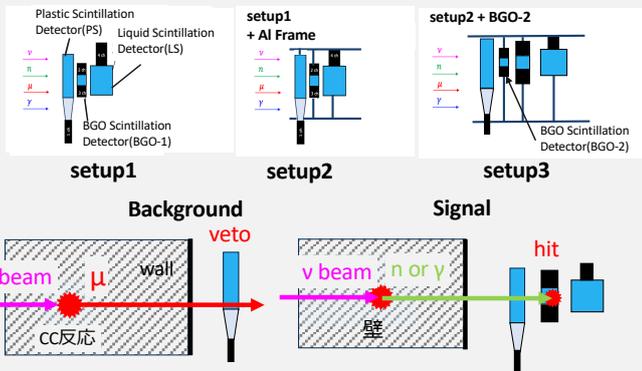
水チェレンコフ検出器による超新星背景ニュートリノ(DSNB)探索において、主要な背景事象は大気ニュートリノと酸素原子核の中性カレント準弾性散乱反応(NCQE)である。そこで、現在我々はJ-PARCニュートリノビームを利用したNCQE反応を測定する新たな実験を計画している。このNCQE反応測定将来実験において、ニュートリノビームの副産物として生成される二次中性粒子が主な背景事象になると考えられる。この背景事象の測定のため、J-PARCニュートリノモニター棟地下二階で、約二ヶ月のビームタイムを通し、通算 2.97×10^{20} POTのデータを取得した。実験はプラスチックシンチレーション検出器(PS)、BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$)シンチレーション検出器、液体シンチレーション検出器(LS)を用いた3つのセットアップを通して行い、それぞれのセットアップについて、ビーム由来の中性子、ガンマ線、ミュオン等の事象頻度(event/POT)を算出し、一貫した結果を得た。また、実験結果をシミュレーションと比較することによって、ビーム照射量あたりの二次中性粒子流量の定量決定について議論する。

導入

水チェレンコフ検出器によるDSNB(Diffuse Supernova Neutrino Background)探索の主なバックグラウンド事象に、大気ニュートリノと酸素原子核の中性カレント準弾性散乱(NCQE)反応がある。DSNB探索感度改善のため、我々は $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO)結晶を元にした検出器を用い、酸素原子核標的に対するNCQE事象を検出する新たな実験を計画している。この将来実験において、主な背景事象になる、ニュートリノビーム由来の中性粒子(n, γ)を測定するため、J-PARC NM棟B2階でT101実験を行った。

実験

T101実験はJ-PARCニュートリノモニター棟B2階で3つのセットアップを用いて行った。3つのセットアップに共通して、ビーム上流から、プラスチックシンチレーション検出器(PS)、BGOシンチレーション検出器、液体シンチレーション検出器(LS)を配置した。



データ収集システム

PS、BGO、LSの信号データをそれぞれ保存するため、FADC (250 MHz sampling, 100 μs window)を用いた。データ取得のトリガーはビームタイミングを同期したものを使用した。(1.36 sec. repetition cycle)。約二ヶ月のビームタイムを通し、合計 29.7×10^{19} POTのデータを取得した。

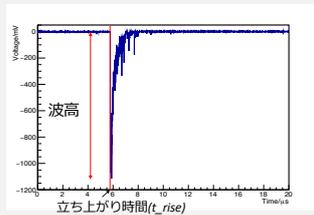


Fig : BGO-1の典型的な波形

解析手法

PSで観測したバックグラウンド事象のビーム由来ミュオンの立ち上がり時間分布から、On-timeを22 ~ 27 μs 、Off-timeを5 ~ 10 μs と定義した。正味のイベント数を、(On-time) - (Off-time)で評価し、これをセットアップ毎に得られたビーム照射量POTで割ることで、計数頻度(event/POT)を算出する。

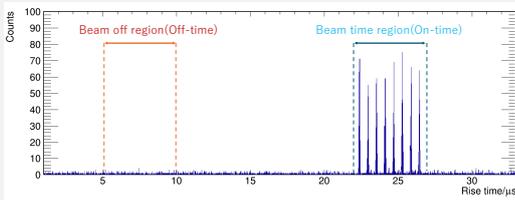
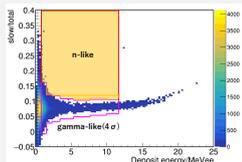


Fig. ビームが出ているRunにおけるPSの立ち上がり時間分布

粒子選別手法

ビーム上流側にあるPSで荷電粒子事象を排除し、LSを用いた波形弁別(PSD)で中性粒子事象を選択し、粒子毎の計数頻度を算出する。

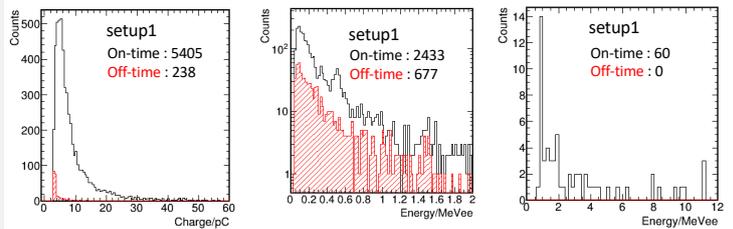


結果

以下に示す三つの条件を用いてビーム由来のミュオン、中性子、ガンマ線の計数頻度(event/POT)を算出した。

- 条件1. PSが反応した。(Only PS)
- 条件2. PSが反応していない + BGO-1が反応した。(Not PS & BGO-1)
- 条件3. PSが反応していない + LSが反応した + PSDでn-like (Not PS & LS)

- 条件1 (μ -like事象選択)
- 条件2 (n or γ -like事象選択)
- 条件3 (n-like事象選択)

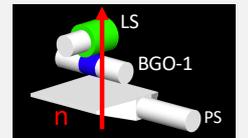


条件	選択粒子	事象頻度($\times 10^{-19}$ /POT)		
		setup1	setup2	setup3
Only PS	ミュオン	560 ± 8	554 ± 7	552 ± 9
Not PS & BGO-1	中性子+ガンマ線	190 ± 6	186 ± 5	$218 \pm 7^*$
Not PS & LS	中性子	6.5 ± 0.8	6.1 ± 0.7	7 ± 1

Total POT setup1 9.23×10^{19} POT setup2 13.7×10^{19} POT setup3 6.80×10^{19} POT

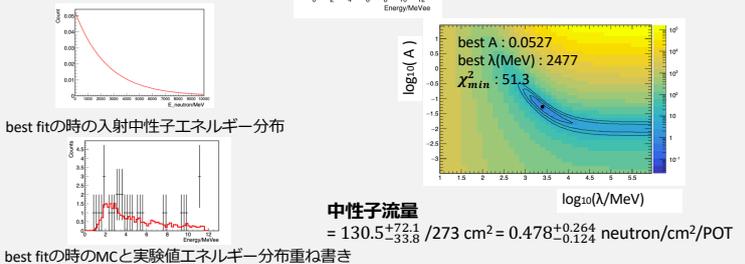
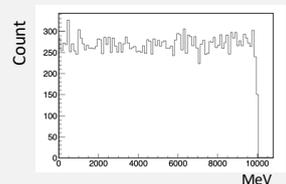
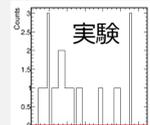
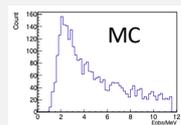
シミュレーション

Geant4を用いて0.1 MeVから10 GeVの中性子をT101実験で用いたセットアップに打ち込み、得られたエネルギー分布を実験値と比較し、中性子流量を決定する。



手順

- シミュレーション値を $A \exp(-\frac{E_n}{\lambda})$ で重み付け
- パラメーターA, λ を変えながら実験値と比較
- χ^2 が最小(χ^2_{min})になるA, λ を見つける。



まとめ

- J-PARC NM棟2階でvビーム由来の中性子・ガンマ線の測定を行った。
- 3つのセットアップで、粒子毎に一貫した事象頻度を得られた。
- 実験で得られた結果をGeant4を用いたシミュレーションと比較し、中性子流量の決定について議論した。