

ニュートリノ中性カレント反応理解のための 核子・酸素原子核反応に関する研究

田野智大、白石悠樹、小汐由介、蓬萊明日、芦田洋輔、中家剛、WENDELL Roger^A、森正光^A、
COLLAZOU Gianmaria^B、IACOB Fabio^B、KONAKA Akira^C、嶋達志^D

岡大理、京大理^A、Padova University^B、TRIUMF^C、RCNP^D

日本物理学会 第77回年次大会 (2022年)

講演番号 15aA122-3

目次

1. 研究背景

- SK-Gd実験
- 大気ニュートリノのNCQE反応
- 原子核反応によるガンマ線

2. E525実験

3. リマインダー

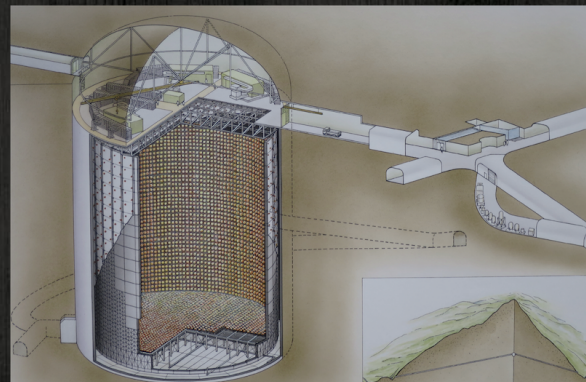
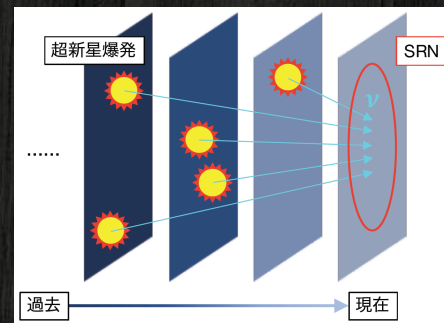
4. ガンマ線スペクトル解析

- on timing 領域の決定
- ガンマ線スペクトル

5. まとめ・展望

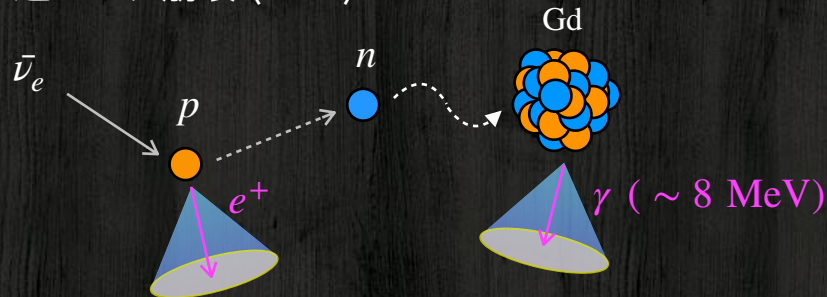
SK-Gd実験

- 超新星背景ニュートリノ (SRN)
 - ▶ 過去の超新星爆発によるニュートリノの重ね合わせ
 - ▶ 爆発機構・重元素合成過程の解明につながる
- SK-Gd実験
 - ▶ SRNの逆ベータ崩壊 ($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$) を探索
 - ▶ e^+ と $Gd(n, \gamma)$ のコインシデンス → 背景事象との識別
 - ▶ 中性子を放出する反応は取り除くことが難しい
 - 大気ニュートリノのNCQE反応

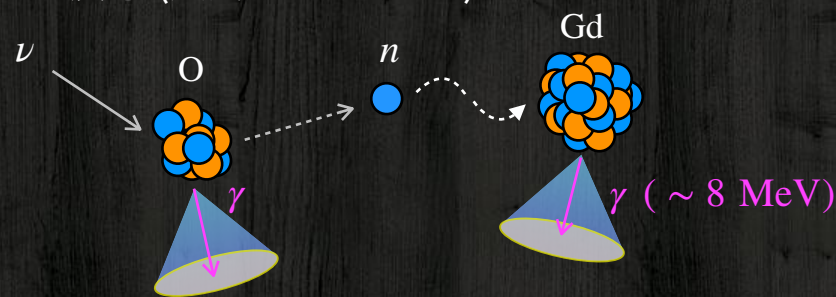


大気ニュートリノのNCQE反応

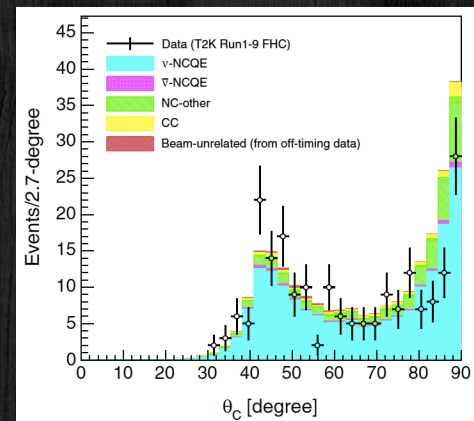
逆ベータ崩壊 (SRN)



NCQE反応 (大気ニュートリノ)



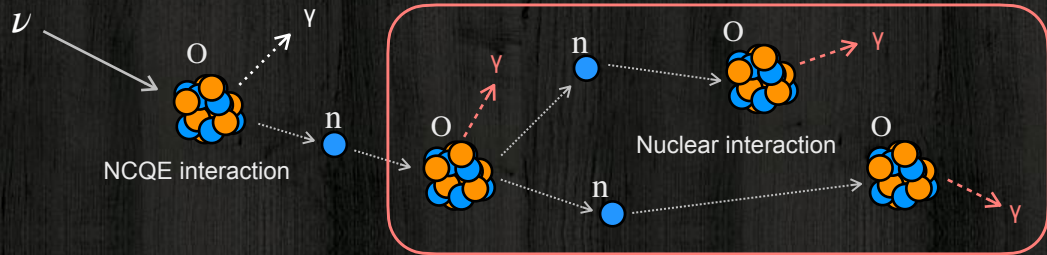
- シミュレーションによる事象数の見積りが必要
 - ▶ 反応断面積の精度が不十分
- T2K実験での断面積測定
 - ▶ チェレンコフ角分布がデータとMCで合っていない
 - ▶ 大角度部分は原子核反応によるガンマ線が影響



PRD 100, 112009 (2019)

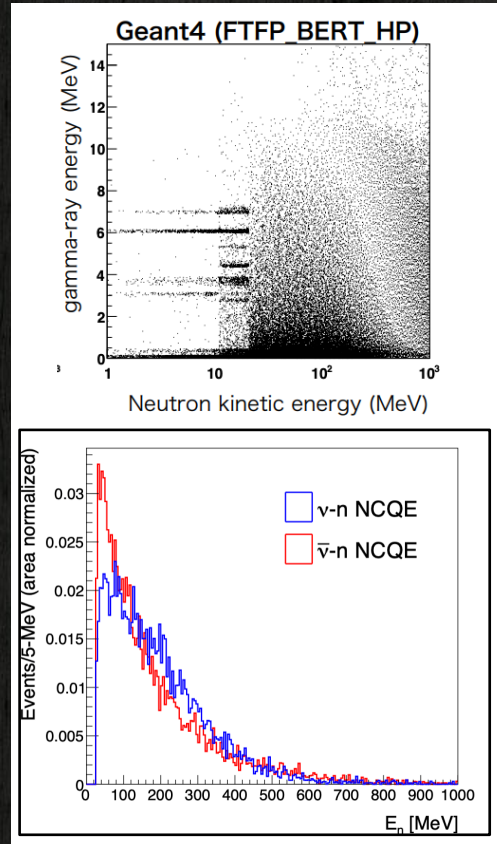
原子核反応によるガンマ線

- NCQE反応後の中性子と酸素原子核の反応によるガンマ線



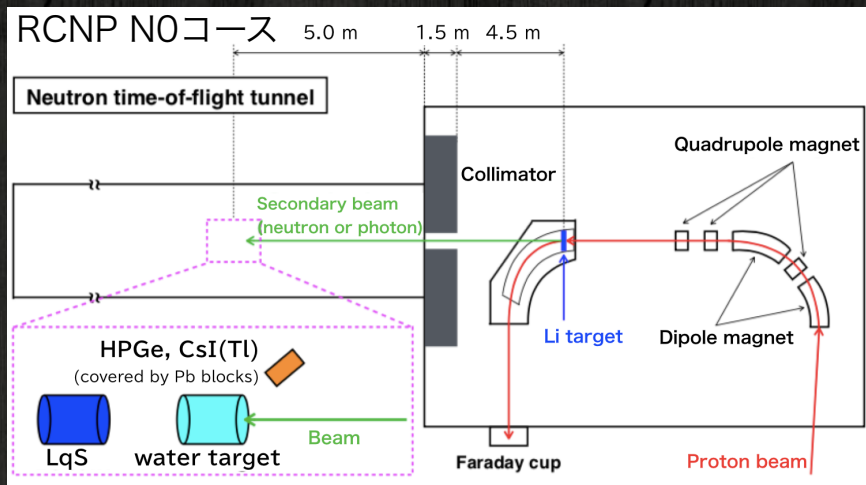
- 20 MeV以上の中性子と酸素原子核の反応が導入されていない
- NCQE反応では数十MeV～数百MeVの中性子が放出される
→ 20 MeV以上の中性子についても詳細に理解する必要あり

中性子・酸素原子核反応を理解し、
原子核反応によるガンマ線の不定性を削減する



E525実験

- 中性子ビームを水標的に入射し、放出されるガンマ線を測定
- 中性子・酸素原子核の各反応について、断面積を算出

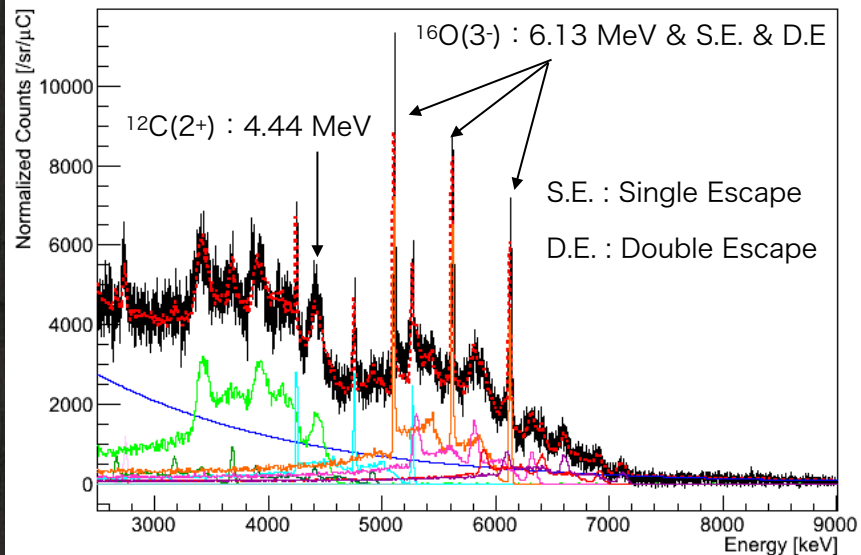


中性子：液体シンチレータ (LqS)

ガンマ線：ゲルマニウム検出器 (HPGe)

Proton beam：30 MeV・250 MeV (本研究)

ガンマ線スペクトル (30 MeV実験, T.Horai *et al.*)



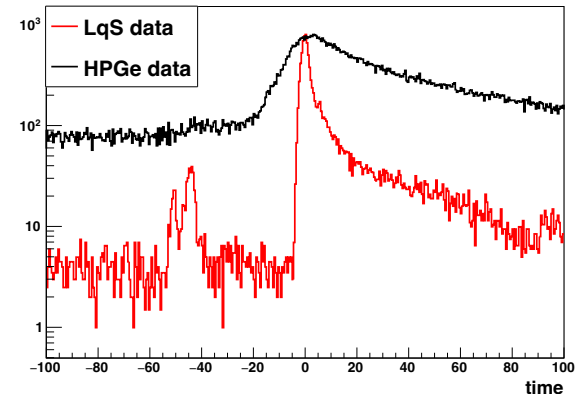
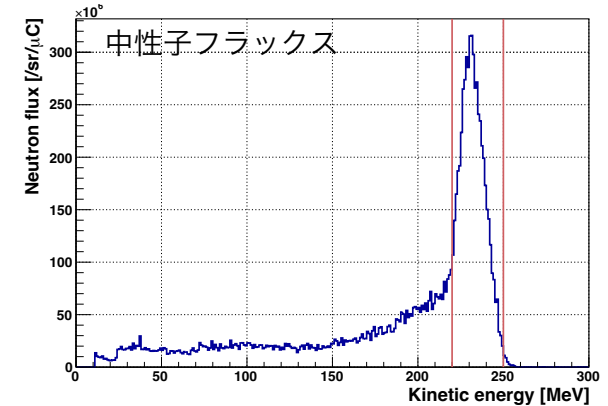
リマインダー

【2021年 秋季大会 17pV1-11】

- 中性子フラックス → 220～250 MeVにピーク
- 220 ～250 MeVの中性子と水の反応
→ ToFを用いたカットをかける
- HPGeはLqSより時間分解能が悪いため、on-timing
領域を広げる必要がある

【今回】

- HPGeのToF分布で on-timing 領域を決定した
- ガンマ線スペクトルを求めた

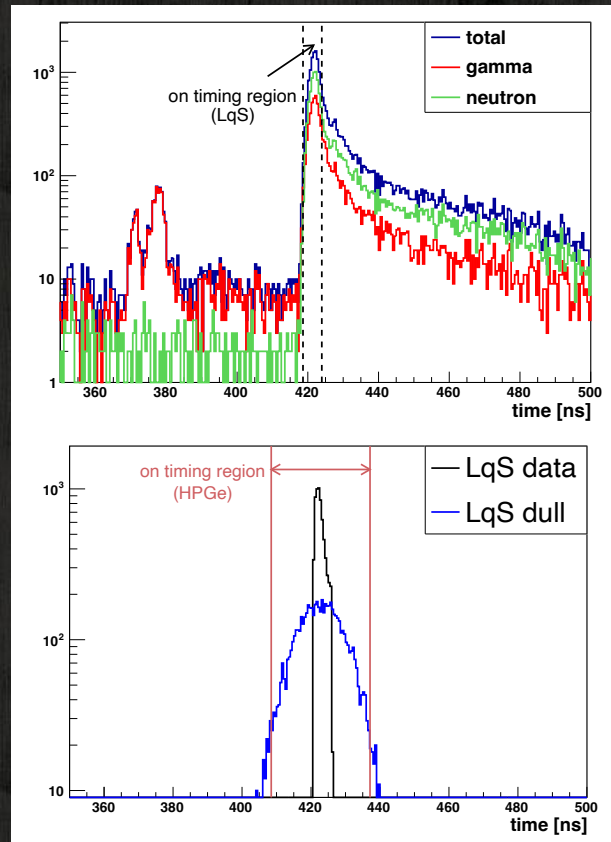


on-timing 領域の決定

- 時間分解能の違い
LqS : 1.9 ns HPGe : 6.8 ns
- LqSのToFをなまらせた分布を作成し、それをもとにHPGe検出器での on-timing 領域を決定する

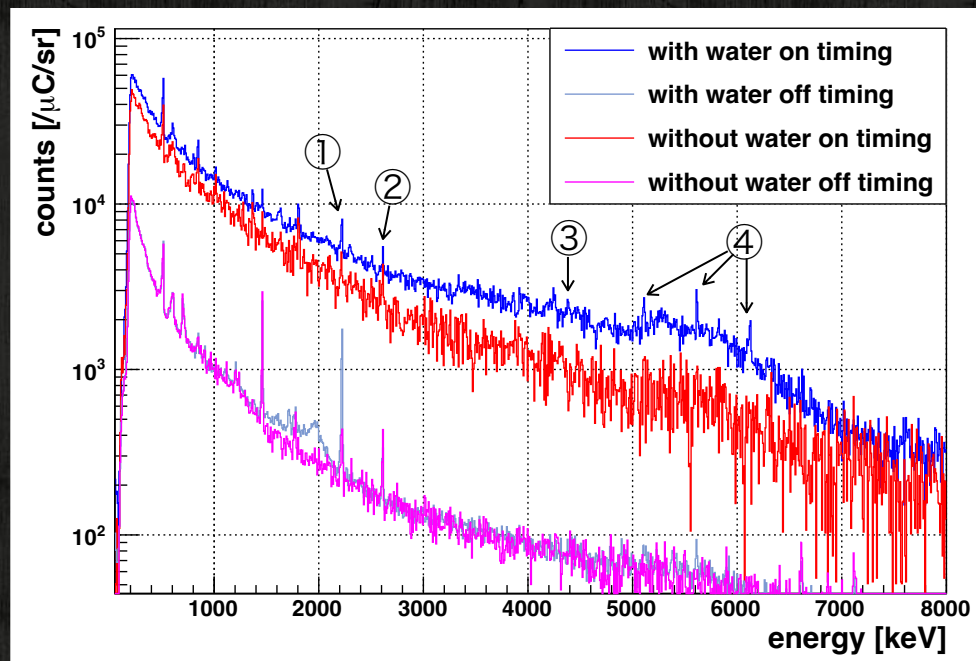
【on-timing 領域の決定法】

- LqSのon-timing領域のToF分布を作成
- $\sigma = 6.8 \text{ ns}$ のガウス分布に従って乱数をふり、なまらせた分布を作成
- その分布で、 $\text{mean} \pm 2 \sigma \rightarrow$ on-timing 領域 (HPGe)



ガンマ線スペクトル

- 4つのスペクトル図を作成
 - 水あり (on / off timing)
 - 水なし (on / off timing)
- 複数のピークが確認できる
 - ① ^1H の熱中性子捕獲 : 2.22 MeV
 - ② ^{208}Tl (環境) : 2.61 MeV
 - ③ $^{12}\text{C}(2^+)$: 4.44 MeV
 - ④ $^{16}\text{O}(3^-)$: 6.13 MeV & S.E. & D.E.



今後は反応断面積の計算を行っていく

まとめ・展望

【まとめ】

- ・ 中性子・酸素原子核反応を理解するために、RCNPでE525実験が行われた
→ 現在250 MeV実験の解析を進めている
- ・ HPGe検出器で on-timing 領域を決定した
- ・ ガンマ線スペクトル図を4つの条件で作成し、中性子・原子核反応由来のピークを確認した

【展望】

- ・ スペクトルフィッティングを行い、断面積を算出する
 - Geant4 を用いて各ガンマ線のシグナルサンプルを作成
 - データをフィッティングして反応断面積を計算

