

卒業論文

佐々木昭雄

平成23年5月9日

目次

1	はじめに	4
1.1	ハイパー核のガンマ線分光実験	4
1.2	Hyperball-Jについて	4
1.3	本研究の目的	6
2	研究内容	8
2.1	製作	8
2.1.1	PWO ケース	8
2.1.2	PWO 検出器	8
2.1.3	PWO 検出器の光量の温度依存性	8
2.1.4	Ge 検出器	8
2.1.5	PWO ケースへの装着	8
2.2	性能評価	8
2.2.1	実験	8
2.2.2	解析	8
2.2.3	PWO 結晶の温度の見積り	8
2.2.4	ヒットパターン	9
2.2.5	サプレッション効率	11
2.2.6	サプレッションファクター	11
2.3	まとめ	11
3	本研究のまとめ	12

目 次

1	ハイパー核のエネルギー準位	4
2	プリアンプからの出力波形	5
3	B-type	6
4	E-type	7
5	U-type	7
6	L-type	7
7	回路図	9
8	PWO カウンターの QDC スペクトラム	10
9	ヒットパターン	11

表 目 次

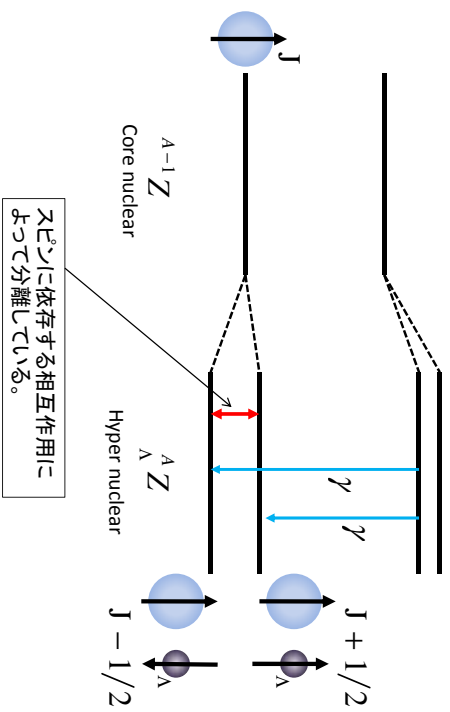


図 1: ハイパー核のエネルギー準位

1 はじめに

1.1 ハイパー核のガンマ線分光実験

陽子や中性子の他にハイペロンも含まれている原子核はハイパー核と呼ばれている。

ハイペロンの中で一番軽い Λ 粒子を 1 個含んだハイパー核 ${}^A_Z\Lambda$ について考える。この核を、通常の原子核 ${}^{A-1}_Z$ に Λ 粒子が 1 個やってきたものだと考えてみる。 Λ 粒子が入ることによってもともとそこにいた核子と相互作用して新たなエネルギー準位が生まれるが、核内での Λ 粒子と核子と二体有効相互作用は次のような式で書ける。

$$V_{\Lambda N} = V_0(r) + V_\sigma(r) s_\Lambda \cdot s_N + V_A(r) \mathbf{1}_{\Lambda N} \cdot \sigma_\Lambda + V_N(r) \mathbf{1}_{\Lambda N} \cdot \sigma_N + V_T(r) [3(\sigma_\Lambda \cdot \hat{r})(\sigma_N \cdot \hat{r}) - \sigma_\Lambda \cdot \sigma_N] \quad (1)$$

様々なハイパー核のエネルギー準位を測定することでこの式の各項の強さを実験的に求めることができる。特に図 1 の右側で二重に分離している準位はスピンに依存している相互作用によって分離していて、その間隔は小さいものだと数十 keV になる。そのような微細な構造を調べようとした場合には、ハイパー核の励起状態からの遷移に伴うガンマ線をエネルギー分解能が 2keV に達する Ge 検出器で測定する方法は有効な手段である。

1.2 Hyperball-J について

Hyperball-J は全 32 台の Ge 検出器と、各々の検出器を取り囲むように配置された PWO カウンターで構成されているガンマ線分光実験用の検出器群である。まずそ

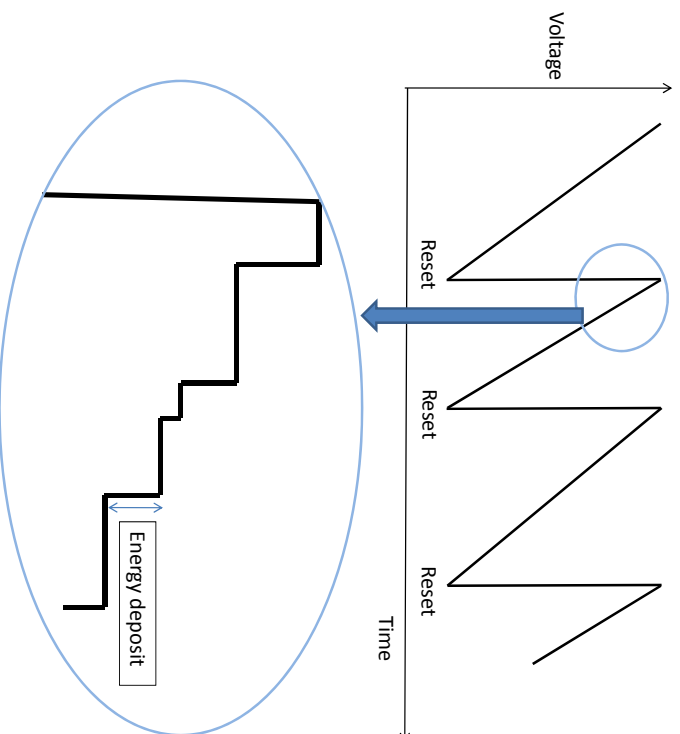


図 2: トリアンゴからの出力波形

それぞれの検出器について特徴をあげる。

- Ge 検出器

Ge 検出器はターゲットで生成されたハイパー核からのガンマ線を測定するために使われる。

使用している検出器は、Ge 結晶が円柱型で直径と高さとともに約7cm のN型クローズエンド同軸型のものである。トリアンゴはトランジスタリセット型になっていて、抵抗放電型に比べてデッドタイムが少ないのでガンマ線の計数率が高い状況で有利である。典型的な出力波形は次のようになっている。

Ge 検出器に粒子が通過してエネルギーを落とした場合出力波形がこの図のように階段状に下がる。これを整形時間が $3\mu\text{s}$ の波形整形器で読み出す。

結晶の冷却には機械式の冷却機を取り付けて行い、結晶の温度を常にモニタリングできるようにしている。特筆すべき点として、検出器は可変式になっており測定を効率良く行える配置にリモートコントロールできることがあげられる。

- PWO カウンター

PWO 検出器はバックグラウンドサプレッサーとして使用する。Ge 検出器に入ったガンマ線がコンプトン散乱されて外に出てくる事象をサプレッションす

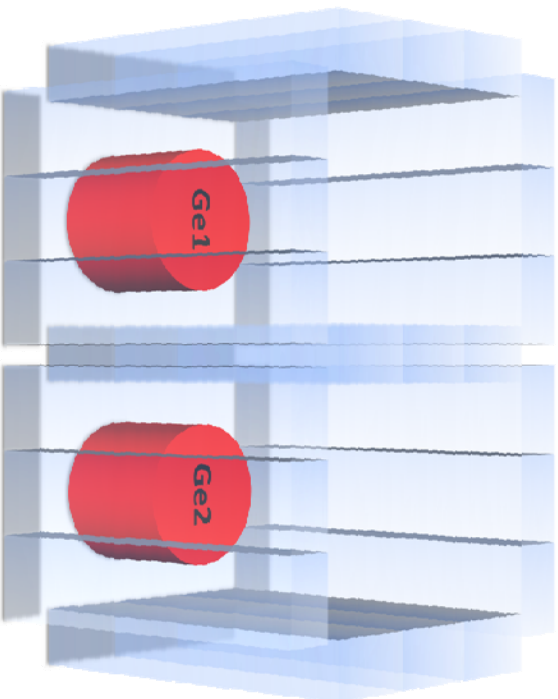


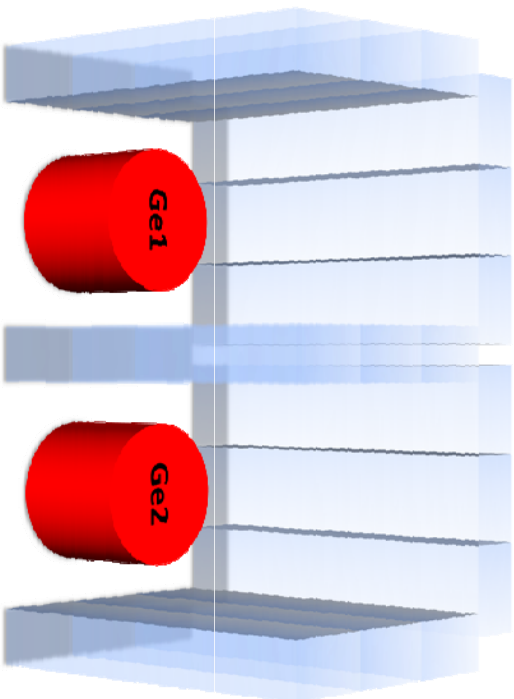
図 3: B-type

るために Ge 検出器を囲むような配置になっている。配置のされかたによって全部で 4 つの型に分けられる。

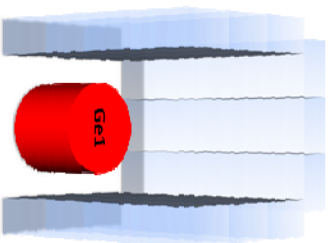
PWO シンチレータは崩壊定数が 6_{ns} 程度であり、高レート下でも使用することができ、光量が少ないのでそのままでは使用できない。しかし結晶を冷却して使用することで光量が増えることがわかっていて、Hyperball-J では冷媒を流して結晶を冷却するシステムを用いて PWO 検出器を使用している。

1.3 本研究の目的

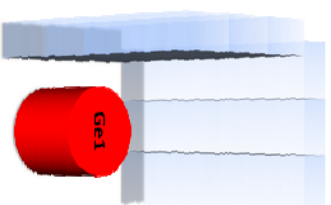
本研究は、ハイパー核のガンマ線分光実験用いる予定である Ge 検出器群 (Hyperball-J) を製作してその性能を評価することを目的として行った。評価する項目は、Hyperball-J に検出器を取り付けた状態での検出器の動作チェック、ガンマ線のコンプトン散乱イベントに対するサプレッション性能が主となっている。



☒ 4: F-type



☒ 5: U-type



☒ 6: L-type

2 研究内容

本研究は先ほど述べたように Hyperball-J の製作とその性能評価を目的としている。製作は数年に渡り行われてきており、すでにフレーム部分は完成していた。今回はフレームに検出器を装着して Hyperball-J 全体としての性能をテストすることが目標となっている。

2.1 製作

2.1.1 PWO ケース

2.1.2 PWO 検出器

2.1.3 PWO 検出器の光量の温度依存性

2.1.4 Ge 検出器

2.1.5 PWO ケースへの装着

2.2 性能評価

2.2.1 実験

実験はフレームに PWO ケースを取り付け、Hyperball-J の中心にガンマ線源をおいて行った。配置は次の図 ?? の通りである。PWO 結晶を冷やすための冷媒は-15 度に設定して、冷媒を流した場合と流さなかった場合の二通りの環境で実験を行った。これは結晶温度の違いによるサプレッション能力の違いを見るためである。

実験中は Ge 検出器からの信号をトリガーにして、Ge 検出器の ADC、PWO 検出器の TDC を取得した。回路は図 7 に示す。

また、これとは別の実験も行った。先ほどの配置のままにガンマ線源は取り除き、PWO カウンターの ADC を取得できるような回路を作り、環境放射線であるカリウムからガンマ線を測定した。これを PWO 結晶に流す冷媒を先ほどと同じように-15 度に設定して流す場合と何も流さない場合の二通り行った。この実験は PWO 結晶の冷却による光量の増加率から PWO 結晶の温度を見積もることを目的として行った。

2.2.2 解析

2.2.3 PWO 結晶の温度の見積り

今回得た PWO カウンターの ADC スペクトラムの典型的な例は図 8 のようであった。赤線は冷却せずに測定したものである。その時の室温は+12 度であり、冷却をしないまま 1 日以上時間が経過していたので PWO 結晶もその温度であったと考えることができる。青線は冷却液の温度を-15 度に設定し、およそ 1 日ほど冷却液を流

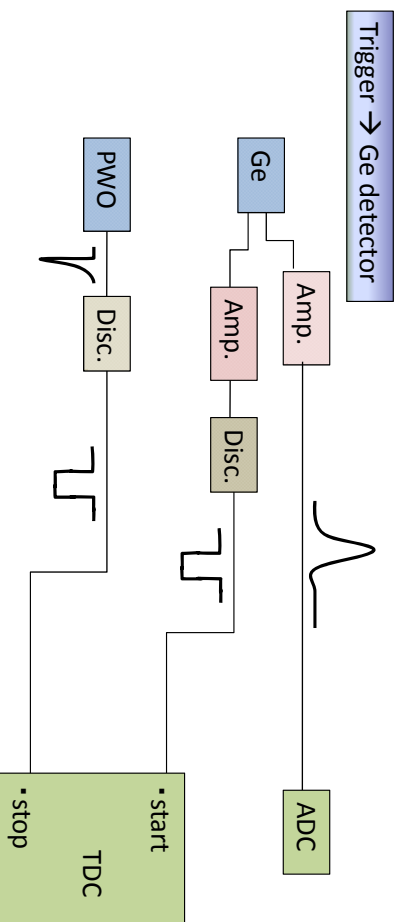


図 7: 回路図

しつづけた後に測定したものである。このときの PWO 結晶自体の温度を見積もりたい。

ペダスタル、シングルフォトソープ、ポタシウム（ガンマ線のエネルギーが 1460keV）のピークそれぞれをカウンタ関数でフィットイングして、ポタシウムのピークにおける光電子数を見積もった。すると図 8 に書き込まれているとおり、室温では 22 個、冷却液を流した場合では 36 個の光電子が PWO 結晶から放出されたと見積もることができた。

以前に PWO 結晶の光量の温度依存性を測定したデータを参考にすると（参考

） PWO 結晶を 1K 冷やすごとに光量は 3% 増加するということがわかる。したがって -15 度の冷却液を流した場合には PWO 結晶はおよそ -5 度程度の温度になっていたと推測できる。しかし PWO 結晶のスペクトラムを見ると分かる通りエネルギー分解能が非常に悪いいため、この方法ではあくまでも概算をするまでである。

2.2.4 ヒットパターン

PWO カウンターのヒットパターンを定義する。トリガーがかかったとき、そのトリガーを作った Ge 検出器のまわりを取り囲んでいる PWO カウンターの中で信号を検出したものを PWO カウンターに割り振られている番号ごとにヒストグラムに詰めていく。それを各トリガーごとに行って最終的にできたヒストグラムをヒットパターンと呼ぶことにする。

これをシミュレーションと比較することは、各々の PWO カウンターが正常に動作しているかをチェックするためのよい手段であると考えられる。もし正常に動作していない PWO カウンターがあった場合にはその検出器に割り振られた番号の bin

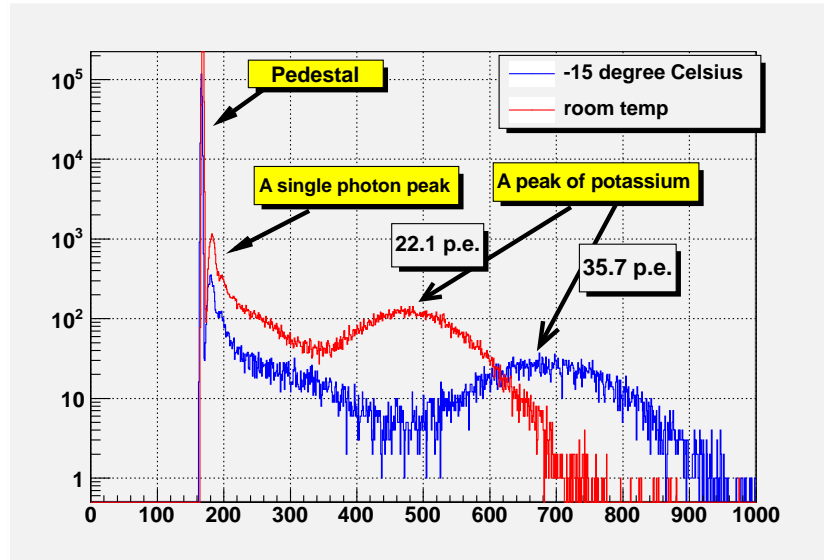


図 8: PWO カウンターの QDC スペクトラム

だけが異常な値を示すし、もし回路がスワッピングしているだとか内部でクロスチャンネルしている場合などはヒストグラムの bin を見るだけでどの検出器がスワッピングなどをおこなっているかがすぐに分かるはずである。

実際に今回の実験で得られたヒットパターンは図 9 のようになっていた。黒線が実験データで緑線がシミュレーションによって得られたヒストグラムである。bin が 0 のときの値で規格化してある。誤差棒は統計誤差が線に隠れる程度のものであったので図には乗っていない。

この図を見ると、シミュレーションと実験データはヒットパターンは多少の値の違いはあるものの近い形をしていることが分かる。今回の製作では PWO 結晶と PMT との接合は細心の注意をしながら行い、ヒットパターンを得る前にもこの PWO カウンターの信号チェックをした。その際には信号に異常は見られなかったため、今回得られたヒットパターンの実験データとシミュレーションとの値の違いについては、PWO 結晶の個体差によるもの、または制作過程において起きる避けられない人的な誤差であると推測する。したがってこの程度の違いであれば製作段階でのミスや PWO カウンターの異常はないとして、今後他のユニットも製作していくときにヒットパターンを製作がうまくいったかどうかの評価方法としてとりいれることができると思う。

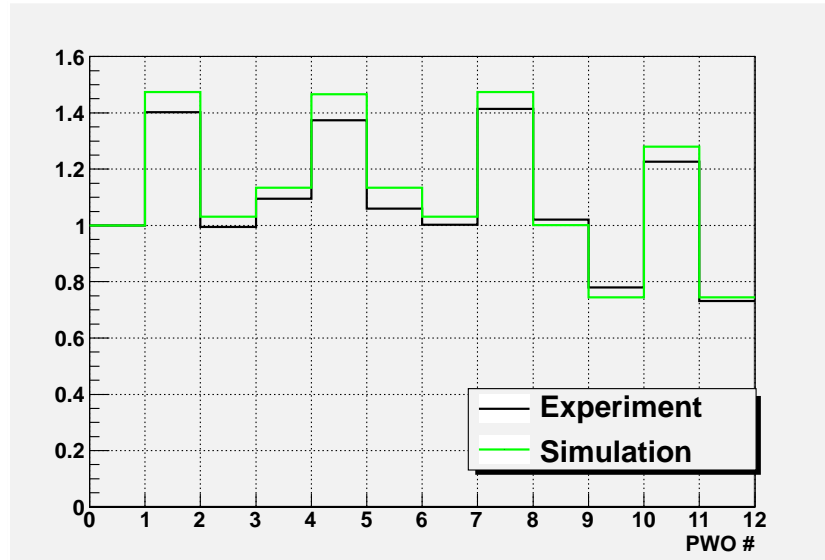


図 9: ヒットパターン

2.2.5 サプレッション効率

2.2.6 サプレッションファクター

2.3 まとめ

まとめると～

3 本研究のまとめ

本研究の目的は Hyperball-J の製作とその性能評価であった。最終的には全てのユニットをフレームに取り付けることで Hyperball-J は完成するが、今回は 1 ユニットだけを取り付けてテストを行った。

フレームに検出器を取り付けたときの Ge 検出器のエネルギー分解能は 2.7keV に達したが、この分解能を達成するまでには Ge 検出器ひとつだけの場合でもノイズ落としに苦労した。これからさらに台数を増やしていくのできれいな配線のしかたをし、アースをしっかりととれるように心がけなければいけない。

PWO 検出器は温度による光量の依存性が顕著に見られなかったが十分にサプレッション能力があった。その理由として、コバルト線源からのガンマ線がコンプトン散乱してから PWO 結晶に入射するが、今回の検出器配置では 100keV 以上のエネルギーを持つガンマ線が多く、PWO 結晶を冷やさなくても十分な光量が得られていた可能性が考えられる。温度に夜依存性をさらに調べ、最終的にどれだけ PWO 結晶を冷やせばよいかという議論するためには用いる線源を変える必要がある。

オフラインにおけるサプレッションのテスト結果であるが、シミュレーションと比較すると整合性が確認された。