

4年卒業論文
GSOによるneutron capture

三浦 勇介 (96S2111)

提出日 2000年3月13日

目次

§ 1.目的	4
§ 2.実験装置・方法	4
2.1 GSO の neutron capture による γ 線	4
2.2 回路について	6
1. 前置増幅器	6
2. Shaping Amp	6
2.3 中性子の flux の測定	7
2.4 検出効率について	7
§ 3.実験結果	8
3.1 GSO の neutron capture による γ 線	8
3.2 中性子の flux の測定	10
1. 検出効率	10
2. neutron flux	10
3. パイルアップ	13
4. ドップラー効果	13
§ 4.考察	14
§ 5.結論	14
§ 6.謝辞	16

図目次

1 実験装置	5
2 回路図	5
3 CR 整形	7
4 GSO を置いての測定	9
5 GSO を置かないで測定	11
6 ^{10}B ターゲットでの測定	12

表目次

1	ピークが見えた原因1	8
2	ピークが見えた原因2	10
3	パイルアップによる損失	13
4	Gd の分岐比	14

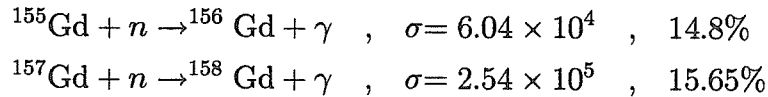
§ 1. 目的

Ge 検出器を用いる際に BGO 検出器によって周りを遮蔽し、さらに anti coincidence をとることによってバックグラウンドの影響を減らすことがある。今回は中性子がバックグラウンドとして存在するところで、BGO の代わりに、よりエネルギー分解能がよく扱いやすい GSO 検出器 (Gd_2SiO_5) を使う場合について考えた。そういった時に、Gd の neutron capture により発生する γ 線が Ge 検出器にどの程度影響するかについて調べた。

§ 2. 実験装置・方法

2.1 GSO の neutron capture による γ 線

熱中性子はエネルギーが低いので他の原子核と衝突したときに散乱されるよりも捕獲される確率が高い。そのため ^{252}Cf からの中性子をポリエチレンで減速して、GSO の neutron capture による γ 線を測った。自然界に存在する割合と cross section から考えて検出できそうな (n, γ) の反応は次の 2 つだった。



この γ 線を Ge 検出器で観測するために図 1 のような配置で実験を行った。また、観測する際に用いた回路図を図 2 に示す。この実験に用いた中性子線源 ^{252}Cf は、

$$\phi_n = 5.0768 \times 10^6 [\text{neutron/sec}] \quad (1991/4/9 \text{ 測定})$$

である。半減期が 2.56 年であることを考えれば、現在では

$$\phi_n = 4.8 \times 10^5 [\text{neutron/sec}]$$

だけの中性子が放出されていることがわかる。

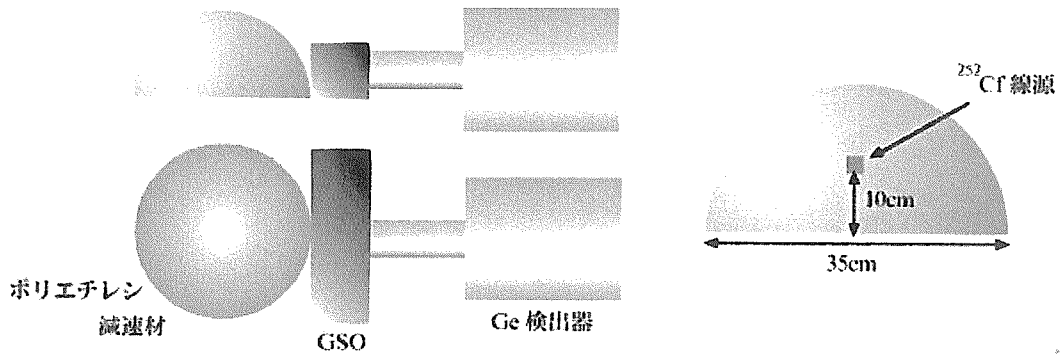


図 1: 実験装置

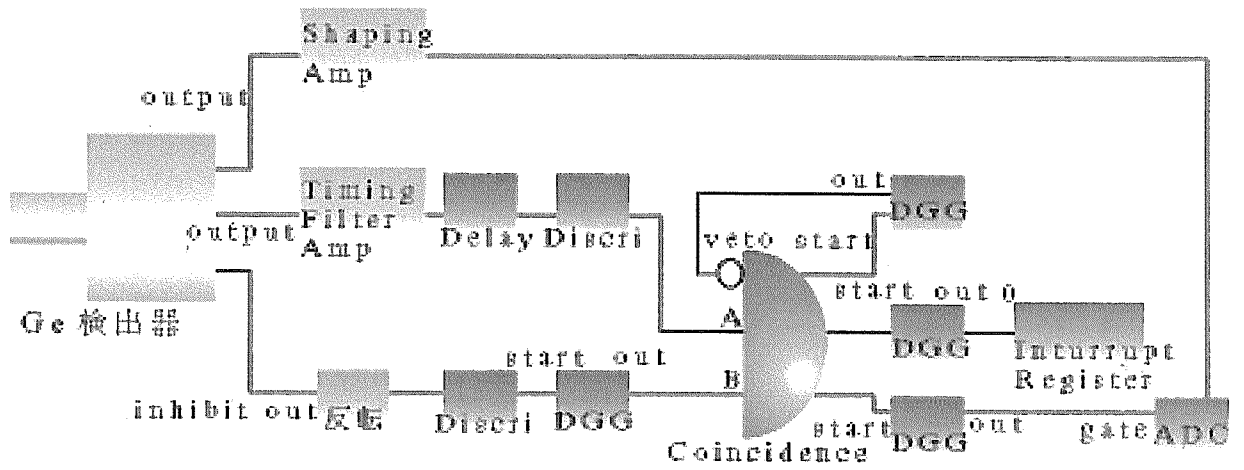


図 2: 回路図

2.2 回路について

1. 前置増幅器

通常の電荷型前置増幅器では、帰還抵抗を用いて入力信号を徐々に減衰させることで電荷が飽和するのをさけている。こういった方式で計数率の高い実験を行うとすぐに飽和してしまう。これをさけるために帰還抵抗の値を小さくすると今度はノイズが増大する。これを回避する方式として reset 型がある。

今回の実験に用いた Ge 検出器はこの reset 型の前置増幅器を内蔵している。これは電荷が飽和したときに reset する信号を送るようになっている。この方式では帰還抵抗を用いる必要がないので前置増幅器の雑音の重要な 1 要因であるジョンソン雑音を完全に消し去ることができる。ただし、リセットがかかるときにノイズがでるので、これを消すために inhibit out からの信号を anti coincidence にとる。また、この方法では後続の増幅器においてポールゼロ消去をする必要がない。このことも reset 型の前置増幅器が高計数率の実験に適している要因の一つである。

2. Shaping Amp

Shaping Amp は、微分回路 (CR 回路) と積分回路 (RC 回路) から成り立っている。前置増幅器からの信号は階段型であり、CR 整形を行うことで図 3 のようになる。これだけではパルスの波高の最大値はきわめて短い時間しか保持されないため、あとで波高を検出することが困難になる。また、微分回路は信号に混入しているノイズの高周波成分をすべて通過させるので信号対雑音特性が悪くなってしまう。これらの問題は微分回路のあとに積分回路を加えることによって解決される。こういった Shaping Amp を通すことで入射粒子のエネルギーについての情報はパルスの高さとして読み出されるようになる。そのため ADC は電荷積分型ではなく、ピークホールド型を用いる。

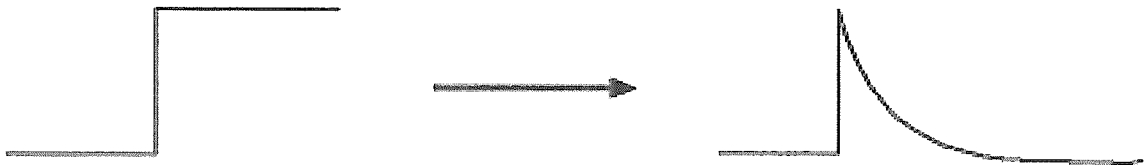
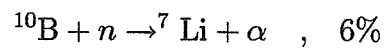
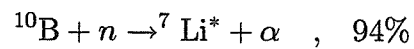


図 3: CR 整形

2.3 中性子の flux の測定

neutron flux を測定するために、表面積 $10.5\text{cm} \times 14.8\text{cm}$ 、厚さ 0.5mm 程度の ^{10}B ターゲットを用意し、これに中性子をあてると、



の反応が起こることを利用し、 $^7\text{Li}^*$ から放出される 477.6keV の γ 線を観測した。

2.4 検出効率について

図 2 の回路で測定する際に Ge 検出器の検出効率を下げる原因として次のことが考えられる。

- Ge 検出器の結晶自体の検出効率
- 立体角による損失
- CAMAC の処理にかかる時間による損失
- パイルアップによる損失

以下に実験結果として挙げるグラフではこれらのうち下の2つについて補正を加えることによって、実験を行ったときの環境の差を減らしたものである。

§ 3. 実験結果

3.1 GSO の neutron capture による γ 線

測定を行った結果得られたスペクトルは、図4のようになった。このとき見えたピークを表1に示す。

No	Energy[keV]	ピークが見えた原因
1	511	Annihilation
2,4	1202,1713	2224keV からのエスケープピーク
3	1460	^{40}K
5	2224	$p(n, \gamma)d$
6	4440	$^{12}\text{C}(n, n')$
7	4953	$^{12}\text{C}(n, \gamma)^{13}\text{C}$

表 1: ピークが見えた原因 1

ここで、2224,4953keV の γ 線は減速材に用いたポリエチレン中の ^{12}C によるものである。

エスケープピークは電子対消滅によるものである。これはまず電子対生成が起こり、この際生じた陽電子が消滅するとき起こる。電子対生成は、 γ 線のエネルギーが電子の静止質量の2倍すなわち 1.02MeV を越えたときにエネルギー的に可能となる。この反応が起こると γ 線は消失し、残りのエネルギーは電子と陽電子に分配される。陽電子が消滅すると2つの 511keV の γ 線を生じる。この γ 線が1つ検出器の外に逃げた場合をシングルエスケープ、2つとも逃げた場合をダブルエスケープと呼ぶ。今回の実験では 2224keV の γ 線に対してこれらがはっきりと見えている。また、対消滅が検出器の外で起こり、511keV の γ 線が検出器に入射するとその位置にピークをつくる。これが表1に Annihilation と示したものである。

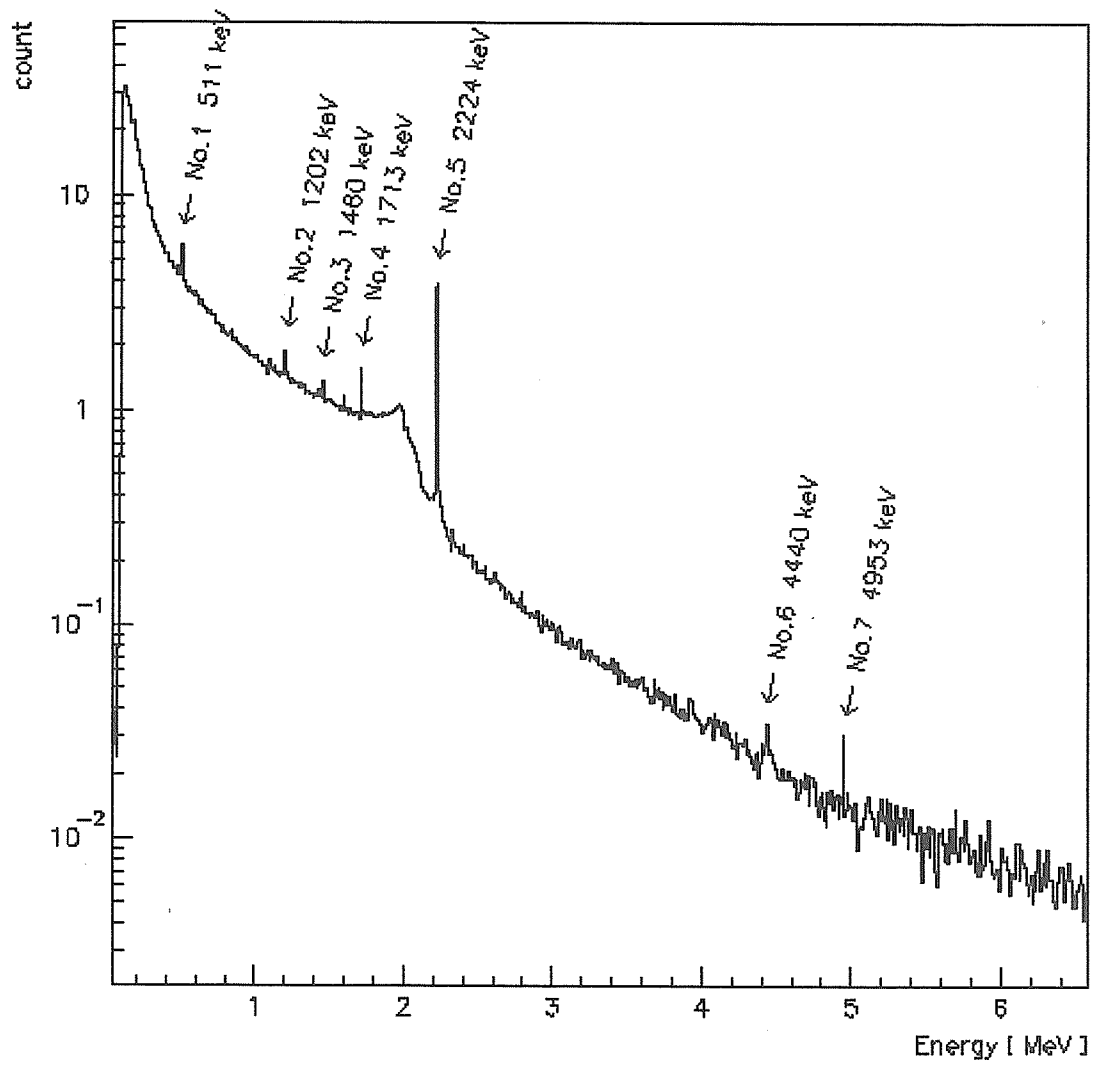


図 4: GSO を置いての測定

GSOを置いた場合と比較するために、GSOを置かない状態でも測定を行った。この結果は図5である。この結果ピークの見えている位置には違いがみられなかったといえる。

この実験方法ではGdからの γ 線は観測できなかったため、その原因について調べることにした。

3.2 中性子の flux の測定

^{10}B をターゲットにして測定を行った結果が図6である。それぞれのピークが見えた原因は表2に示した。

No	Energy[keV]	ピークが見えた原因
1	389.9	$^{71}\text{Ga}(n, n')$
2	477.6	$^{10}\text{B}(n, \gamma)^7\text{Li}^*$
3	511	Annihilation
4	718.4	$^{10}\text{B}(n, n')$
5	843	$^{27}\text{Al}(n, n')$
6	1202	2224keVからのエスケープピーク

表 2: ピークが見えた原因 2

1. 検出効率

GEANTによるシミュレーションにより、477.6keVの γ 線に対してGe検出器自体の検出効率と立体角の影響を含んだ検出効率が3.66%であることがわかった。

このほかに検出効率を下げる原因として、CAMACの処理時間による損失と、パイルアップによる損失も考えられる。これらを考えに入れて補正すると、 ^{10}B から発生した477.6keVの γ 線のうちデータとしてとることができたのは0.18%であることがわかった。

2. neutron flux

^{10}B はneutron capture crosssectionが $\sigma = 3840[\text{b}]$ と、とても大きいので今回用いたターゲットでは入射した中性子をすべて捕獲すると考えて

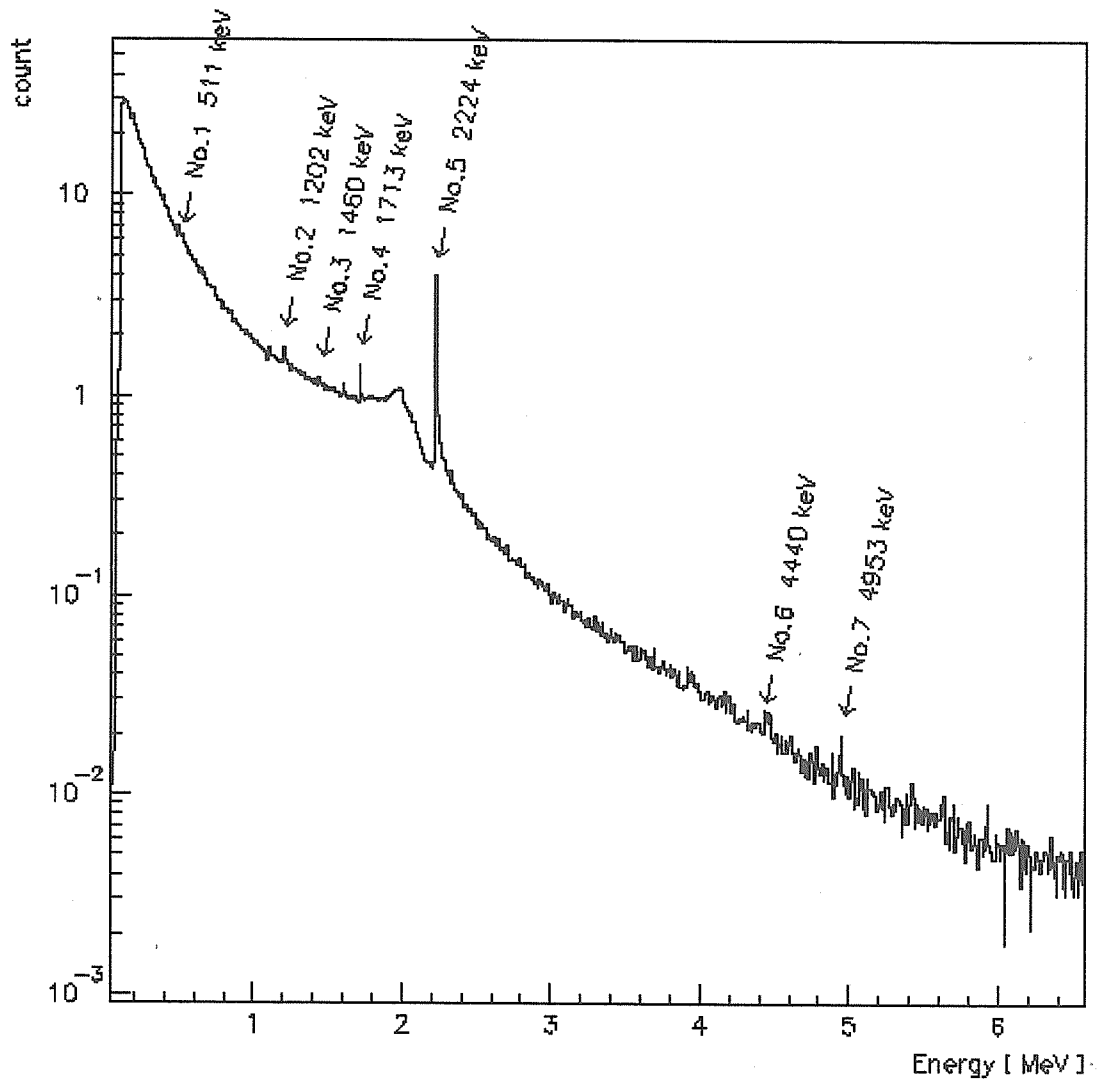


図 5: GSO を置かないで測定

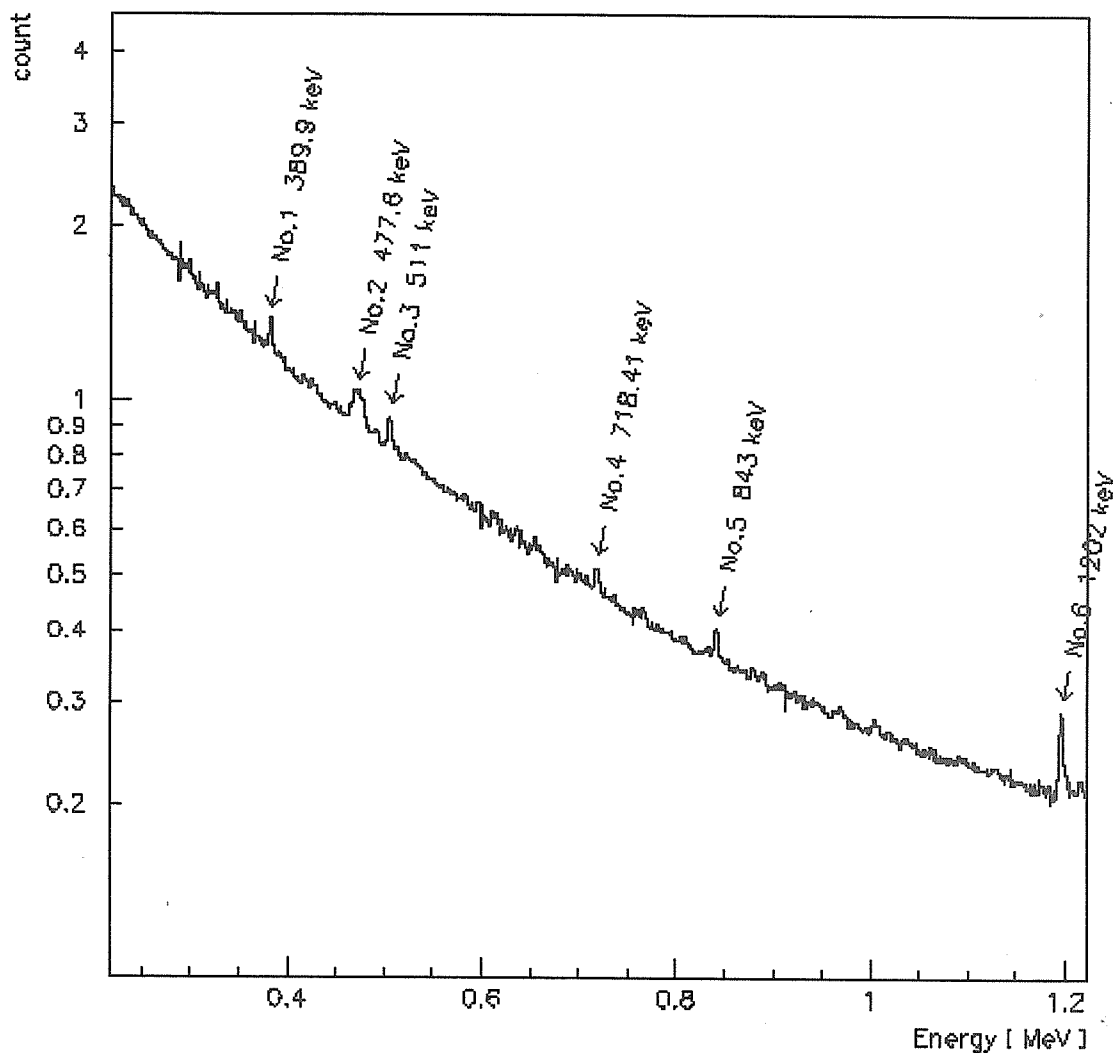


図 6: ^{10}B ターゲットでの測定

よい。そのため、入射した中性子の flux を ϕ_n とすれば発生した 477.6keV の γ 線の数は

$$10.5 \times 14.8 \times 0.94 \times \phi_n = 146.1 \times \phi_n \text{ [個/sec]}$$

であることがわかる。

実験結果から ^{10}B のピークから観測された中性子の量が 0.35[個/sec] であることがわかった。よって、上記の結果から neutron flux が

$$\phi_n = 1.34 \text{ [個/sec/cm}^2\text{]}$$

であることがわかった。この値ははじめに予想していたものよりも小さかった。

3. パイルアップ

Shaping Amp を通したあとのパルスは幅が $30\mu\text{sec}$ もあるのでこの時間内に 2 つのパルスが入ってきてしまう場合がある。こういった損失をパイルアップによる損失と呼ぶ。今回の測定でパイルアップによる損失がどの程度あったかを表 3 に示す。

行った測定	パイルアップによる損失
GSO を置いての測定	12 %
GSO なしでの測定	31 %
^{10}B をターゲットにして測定	35 %

表 3: パイルアップによる損失

4. ドップラー効果

^{10}B のピークの幅が他のピークよりも大きかった理由はドップラー効果によるものである。 ^{10}B の neutron capture により生成された $^7\text{Li}^*$ は、0.84[MeV] の運動エネルギーを持っているため、粒子が完全に静止する前に γ 線を放出する場合がある。そのような粒子はドップラー効果により、 $477.6 \pm 7.8\text{keV}$ の位置にピークをつくる。

§ 4. 考察

測定した中性子の flux を用いて GSO から観測される γ 線について考えてみた。

^{157}Gd の cross section は、 2.54×10^5 と ^{10}B よりも大きいので密度などを考えても GSO の表面ですべて吸収されてしまうと考えるが良い。今回使った GSO は $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 13.5\text{cm}$ の大きさであったため、図 1 の配置では発生した γ 線がほとんど GSO の内部で吸収されてしまい、efficiency が非常に小さくなってしまった。

しかし、Gd の neutron capture による γ 線が検出できなかった何よりの原因は、自然界にある Gd1 個の中性子捕獲に対しする分岐比 (branching ratio) が、もっとも大きいものでも 2.5% しかなかったことである。このことについて、分岐比の大きいものを表 4 に示す。もっとも分岐比の高い γ 線のエネルギーは 6.75 [MeV] なので、GEANT によるシミュレーションの結果このエネルギーの γ 線に対する Ge 検出器の検出効率 2.0×10^{-4} とわかる。この結果と測定した neutron flux、さらに前に述べた損失の原因なども考えると実際に測定されたと思われる 6.75 [MeV] の γ 線の数 7.2×10^{-5} [個/sec] ということがわかった。この結果ではピークとして測定できなかったというのも納得できる。

Energy [MeV]	割合
6.75	2.25 %
5.90	1.15 %
4.93	0.55 %
5.58	0.38 %

表 4: Gd の分岐比

§ 5. 結論

今回の実験の結果では熱中性子がバックグラウンドとして存在する場所で GSO から発生した γ 線を Ge 検出器で計測したとき特別に大きなピークは見られないことがわかった。また、GSO は中性子をよく吸収するので、遮蔽材としてもよいことがわかった。このことから、今回行ったよ

うな状況ではBGOの代わりにGSOを使ってもよいであろうということが言える。

§ 6. 謝辞

今回、卒論の実験を行うにあたって適切な指導を数多く与えてくださった橋本治教授、田村宏和助教授、忙しい合間をぬっていろいろと面倒をみていただいた高橋俊之助手、藤井優助手には非常に感謝しています。また、実験の場を提供してくださったCYRICの方々や、事務的な面でいろいろとお世話になった加藤守男さん、川村直子さんに感謝いたします。最後に、今回一緒に実験の行い、いろいろ迷惑をかけてしまった亀岡覚君、たいへん忙しいにも関わらずサイクロの撤収を手伝ってくれたみなさまにもこの場を借りてお礼を述べさせていただきます。

参考文献

- [1] KNOLL 放射線計測ハンドブック
- [2] W.R.Leo Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments