

O-1

小型中性子源から発生する中性子線のプラスチックシンチレータによる計測

Neutron measurements at a small neutron source by a plastic scintillator

○加藤雅之¹, 高原優¹, 藤田朗人¹, 山縣宥介¹, 渡邊響², 渡部政行³

*Masayuki Kato¹, Yutaka Takahara¹, Akito Fujita¹, Yusuke Yamagata¹, Hibiki Watanabe¹, Masayuki Watanabe²

Abstract: For the development of new neutron source, it is important to obtain accurate properties of emitted neutron beam. The scintillator measurement system is one of the neutron measurement methods. The measurement system using a plastic scintillator, which is an organic scintillator doped with lithium (Li) are constructing in this research. When the neutron enters the plastic scintillator, neutrons interact with nuclei of hydrogen and emit scintillation light. In addition, thermal neutrons undergo a fusion reaction with lithium and this reaction produces tritium and helium. These charged particles also emit scintillation light, the information of emitted neutron beam is obtained from lights of the plastic scintillator. The decay time of the scintillation signal depends on the type of radiation. In this study, the signals of neutron radiation and electromagnetic radiation are discriminated by the method of pulse shape discrimination. The experimental results show that the decay time of the γ -ray signal is about 50 μ s.

1. 研究背景と目的

高エネルギーの中性子線は放射線の一種であり、原子炉や加速器など大型研究施設等における核反応で発生する。中性子線の特徴として軽元素に対する感度が高いことが挙げられる。この特性を生かし、中性子ラジオグラフィやがん治療等の技術に中性子線が応用されている。中性子の応用は今後の更なる発展が期待されているが、原子炉や加速器は装置自体が大型であり、未だ広く普及には至っていない。中性子応用を更に促進するためには中性子源の小型化が重要になる。

本研究では核融合反応を応用した小型中性子源の開発を進めている。中性子源を開発する場合、小型中性子源から発する中性子のエネルギー分布やフルエンス率等の情報を正確に得ることが重要となる。中性子の計測法の一つにシンチレータ計測系がある。本研究では特に、有機シンチレータに分類されるプラスチックシンチレータを用いた計測系の構築を行っている。

2. 中性子線と γ 線

2-1. 中性子線

中性子は原子核を構成する核子である。陽子とほぼ同じ質量をもち、電荷を持たない粒子である。原子核内ではこの中性子と陽子が電気力等よりも強い核力で結合されている。中性子は電荷をもたないことから荷電粒子のようにクーロン作用による力を受けない。そのためエネルギーが低くても容易に原子核付近に辿り着き、相互作用することができる。

2-2. γ 線

中性子発生実験において、様々な要因で電磁放射線

が発生する。 γ 線は電磁放射線の1種である。励起状態にある原子核がより低いエネルギーの励起状態もしくは基底状態に遷移する際に放出される電磁波が γ 線である。励起状態である原子核はこの γ 線を放出することによって安定な原子核になる。この過程は α 崩壊、 β 崩壊の際に起こることがある。

3. シンチレーション計測器

物質に放射線が入射した際に、持続時間の短い光パルスが現れる。これをシンチレーションと呼び、シンチレーションを発生させる物質をシンチレータと呼ぶ。1個の放射線の入射により発生するシンチレーションの強度は非常に弱いため、その光パルスを電気信号に変換するために光電子増倍管を用いる。このシンチレータと光電子増倍管を組み合わせたものをシンチレーション検出器と呼ぶ。図1にシンチレーション計測器の概略を示す。プラスチックのスチレン等に有機蛍光物質を溶かして重合することで任意の形状に加工できるようにした固体がプラスチックシンチレータである。

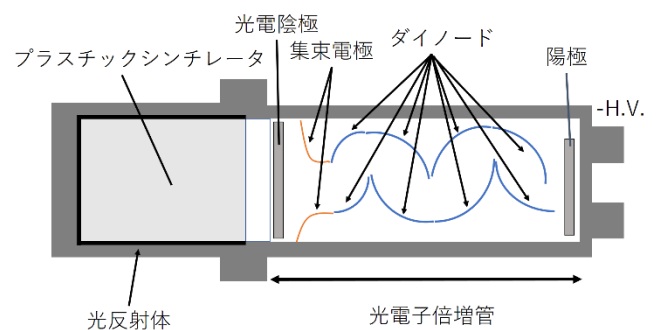
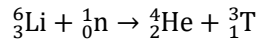


Figure 1. Schematic diagram of scintillator

1 : 日大理工・院(前)・量子 2 : 日大理工・学部・物理 3 : 日大・教員・量科研

4. Li をドーピングしたプラスチックシンチレータ

本研究では、リチウム (Li) を添加させたプラスチックシンチレータを計測に使用した。プラスチックシンチレータに入射した高速中性子は減速後、Li と核融合反応を起こす。この核反応で生じた荷電粒子とプラスチックシンチレータとの相互作用から中性子の情報を得る。中性子と Li の核融合反応式を以下に示す。



5. 中性子線源

本研究では D-D 核融合反応を用いた小型中性子源を開発している。図 2 に小型中性子源の概略を示す。装置中央に設置したリング状の陰極を中心とし、左右に接地された二つの陽極を設置している。陰極に高電圧を印加することで陰極付近にグロー放電を形成し、重水素がイオン化される。放電により発生した重水素の原子核は陰極電圧により陰極に向かって加速され、リング中央を通過する。左右から陰極に向かって加速された重水素の原子核同士が衝突し核融合反応が起こる。この核融合反応でヘリウムと 2.45MeV のエネルギーを持った中性子が発生する。核融合反応式を以下に示す。

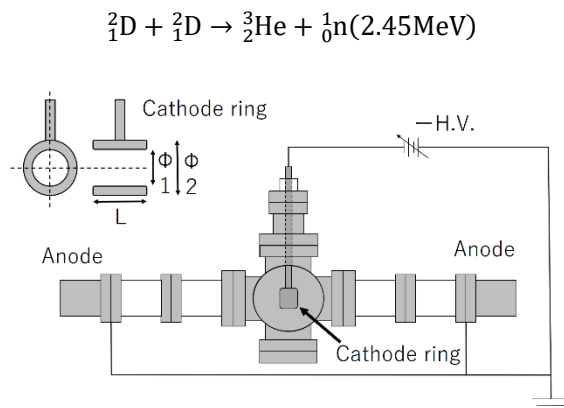


Figure 2. Schematic diagram of the neutron generator

6. γ 線源

予備実験で用いる γ 線源として、密封線源であるコバルト 60 (${}^{60}_{27}\text{Co}$) を使用した。コバルト 60 は β 崩壊を起こし、ニッケル 60 に変わる。この崩壊時に放出される β 線のエネルギーは 0.32MeV であり、崩壊後のニッケル 60 が γ 崩壊を起こし 1.17MeV と 1.33MeV の γ 線が放出される。

7. パルス波形弁別

中性子線は物質に入射すると物質中の原子核と衝突・散乱、もしくは Li との原子核反応で生じた荷電粒子によりシンチレーションを発生する。また γ 線が入射

した場合はコンプトン散乱で生ずる反跳電子によりシンチレーションを発生する。そのためこの反跳電子と反跳陽子によるシンチレーション光の強度が同じ場合、検出器からの出力パルスが等しくなりパルス波高だけでは中性子か γ 線なのかの区別することができない。しかしながら、シンチレーション光のそれぞれの過程で減衰時間が異なる有機シンチレータの中がある。この減衰時間の違いを利用した計測技術をパルス波形弁別 (Pulse Shape Discrimination) という。本研究で使用するプラスチックシンチレータは放射線の違いにより減衰時間が異なるため、このパルス波形弁別を行い、中性子源から発生する中性子線と電磁放射線の弁別を行う。

8. 実験結果

予備実験ではまず、コバルト 60 をプラスチックシンチレータの前に設置し、 γ 線の計測を行った。光電子増倍管に -1500V を印加し、光電子増倍管からの出力電圧をオシロスコープで計測した。最大値電圧 -7V 程度の計測波形のデータを規格化した波形を図 3 に示す。

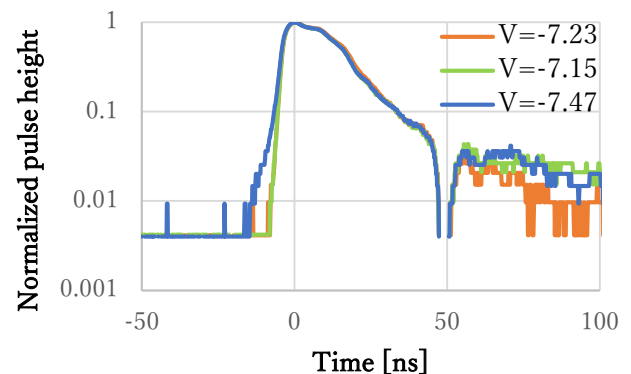


Figure 3. Waveform of measured gamma rays

実験結果により Li をドーピングしたプラスチックシンチレータで γ 線を計測すると 50 ns 程度でパルス波形が終了していることを確認した。今後、中性子線を照射した際の波形を確認し、中性子線と X 線の分別を行った結果を報告する予定である。また、現在開発している小型中性子源の中性子フルエンス率の電極印加電圧、放電電流の依存性も報告する予定である。

9. 参考文献

- [1] 吉野興平 放射線測定の基礎, (2017)
- [2] Mark E. Ellis : Neutron and Gamma Ray Pulse Shape Discrimination with EJ-270 Lithium-Loaded Plastic Scintillator