

高速中性子計測用シンチレータを用いた2.45MeV中性子の計測

Measurement of 2.45 MeV neutrons using a scintillator for fast neutron

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

Yusuke Yamagata¹, Masayuki Kato¹, Akito Fujita¹, Yutaka Takahara¹, Hibiki Watanabe², Masayuki Watanabe³

In recent years, neutron beams are expected to be applied to various fields of medicine and engineering. However, due to the large size of the neutron source, neutron applications are not widely used such fields at present. To widely spread the technology applying neutron beams, it is necessary to develop a small neutron source with high neutron fluence rate. In this study, a small neutron source using the D-D fusion reaction is being investigated. In this research, it is necessary to accurately measure the generated neutron emissions. The purpose of this research is to construct a neutron measurement system using plastic scintillators for fast neutrons. In the experiment, the difference between the neutron and gamma-ray signals was investigated. The validity of the fast neutron detectors is discussed.

1. 研究背景と目的

高エネルギーを有する中性子線は放射線の種類である。物質等の透過性が非常に高い特性を生かし、癌治療用放射線源や非破壊検査用放射線源など様々な分野へ応用されている。現在の主な中性子の発生装置は原子炉や加速器など大型の施設であることから、利便性やコスト面などいまだ問題は多く、中性子利用の広い普及には至っていない。そこで本研究室では小型化かつ低コストの中性子発生装置の実現を目標とした研究開発を行っている。このような中性子源の開発において、中性子発生量やそのエネルギー分布などを正確に計測することが重要となる。本研究では小型中性子源の性能を、より多くの情報で評価すること目的として、高速中性子検出用のプラスチックシンチレータを用いた中性子計測システムの構築を行った。その詳細を報告する。

2. 放射線について

2-1. 放射線の定義

物質を電離する能力を有する粒子や電磁波の高エネルギーの流れを放射線と呼ぶ。放射線には様々な種類があり、本研究の研究対象である中性子線に関して2-2節で説明する。

2-2. 中性子線およびγ線について

本研究の研究課題である中性子線に関して詳しく説明する。中性子とは、陽子と共に原子核を構成している中性の粒子である。最も大きな特徴としては電荷をもたず、電気的に中性的な粒子であることである。そのため負の電子や正の原子核との電気的な相互作用を起ささない。電気的な衝突がない一方、物理的な衝突は起こり得る。電子は中性子と比べて1836倍軽いので、

ほとんどの場合がほぼ質量が等しい陽子、もしくはその集まりである原子核との衝突でのみ相互作用が生じる。一般的に中性子を遮蔽するためには、質量のほぼ等しい水素の原子核である陽子を多く含む物質が利用される。本研究室ではポリエチレンブロックや水を用い、それらの厚みを増すことで中性子線からの遮蔽を行っている。

一般的なプラスチックシンチレータはγ線にも感度がある。γ線とは、励起状態にある原子核がより低いエネルギーの状態に遷移する際に放出される電磁波である。

3. 小型D-D核融合型中性子源

本研究室では「慣性静電閉じ込め方式核融合」を応用した小型核融合型中性子源の実験を行っている。本研究で使用している装置の概略図をFig.1に示す。本実験装置は、リング状の陰極を実験装置の中心に設置し、その両側に二つの陽極を設置した構造となっている。実験では、リング陰極に負の高電圧を印加することでグロー放電を発生させる。このグロー放電により発生した重水素の原子核は、リング陰極が作る強い電場により、リング陰極に向かって急速に加速され、リング陰極の中心部を通り過ぎる。通り過ぎた原子核は再度、リング陰極の電場により再加速され、結果としてまたリング陰極の中心部を通り過ぎる。リング陰極への印加電圧の増加に伴い、グロー放電が収束し始め、最終的にビーム状の放電が形成される。リング陰極リングへ印加する電圧が-10kV程度以上から次第に原子核同士の衝突が起こり始め、核融合反応が生じる。以上が本実験装置において核融合反応が起き、中性子線が発生する原理である。

1 : 日大理工・院 (前期)・量子 : Graduate School of Quantum Science and Technology, CST, Nihon-U

2 : 日大理工・物理 : Science, CST, Nihon-U

3 : 日大・教員・量科研 : Institute of Quantum Science, Nihon-U

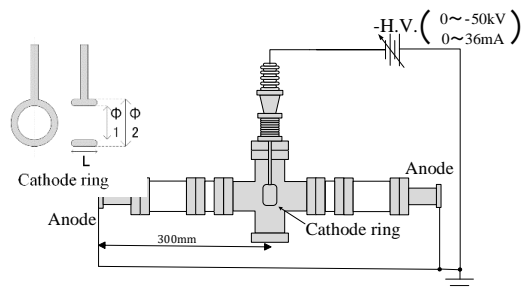


Fig.1 Schematic drawing of experimental device

4. シンチレーション計測系

放射線の計測方法にプラスチックシンチレータを用いた計測法がある。シンチレータ内を放射線が通過する際、その原子核や電子と相互作用を起し、原子や分子内の電子もしくは原子核を励起状態にする。励起された電子や原子核は非常に不安定であり、基底状態へ戻ろうとする。このとき、放出されるエネルギーの一部がシンチレーション光として放出される。このシンチレーション光を計測することで放射線の数やエネルギー判別に利用することができる。このシンチレーション光は肉眼では確認することができないほど微弱であるため、計測には光電子増倍管を利用する。本節以降で各器具に関して説明する。

4-1. プラスチックシンチレータ

本研究で用いたプラスチックシンチレータは ELJIN 社の型番 EJ-410 であり、高速中性子計測用のシンチレータである。透明のプラスチックの同心円柱状に構造化された水素ポリマーマトリックスの中に硫化亜鉛蛍光体を埋め込んだものである。ここに中性子が衝突し、その衝突で反跳陽子がシンチレーション光を発する。しかしながら計測効率が通常のプラスチックシンチレータよりも低く、約 1/100 であることから本研究でその実用性について検討する必要がある。

4-2. 光電子増倍管

光電子増倍管はシンチレータで発せられた微小のシンチレーション光を、増幅された電気信号に変換する計測機器である。光の入射により発生した 1 次電子を増幅する電子増倍部から構成されている。

5. 実験結果

リング陰極の印加電圧に対する中性子フルエンス率を Fig.2 に示す。印加する電圧の増加に伴い中性子フルエンス率(位置 80cm)が急激に増加することがわかる。次にプラスチックシンチレータを用いた実験の計測結果に関して説明する。プラスチックシンチレータの

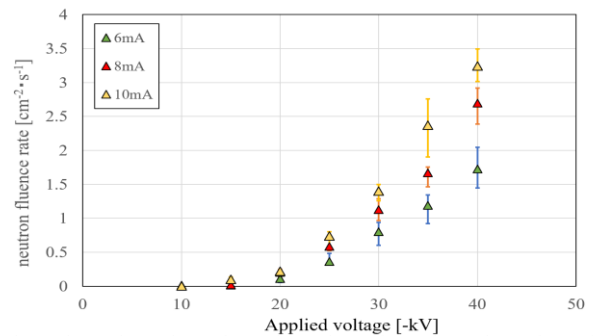


Fig.2 Measurement of gamma ray and neutron ray

中性子線の計測信号は γ 線やノイズに対して減衰時間が長いことがわかっている。予備実験として密封放射線源 ^{60}Co を用い γ 線の測定を行った。その後、中性子線の計測を行い、波形の比較を行った。条件は計測時間 1 時間、光電子増倍管印加電圧を-1500V とした。その実験結果を Fig.3 示す。

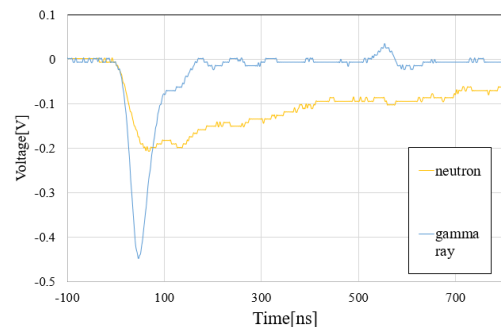


Fig.3 Measurement of gamma ray and neutron ray

本実験の結果から、減衰時間の違いでノイズもしくは γ 線と中性子の信号を分別することができた。今回中性子計測の際に取得できたデータが 66 個であった。そのうち中性子と考えられるデータは 2 個しか確認できなかった。詳細に関しては講演にて報告する。今後は検出効率の向上に向けて各装置の設定値などを検討する予定である。

6. 参考文献

- [1] I.A. Pawelczak, S.A. Ouedraogo, A.M. Glenn, R.E. Wurtz, L.F. Nakae: "Studies of neutron- γ pulse shape discrimination in EJ-309 liquid scintillator using charge integration method" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 711 (2013) 21-26
- [2] 吉野興平 放射線測定の基本, (2017)
- [3] 長谷川純, 堀田栄喜, 高倉啓, 宮寺晴夫「慣性静電閉じ込め核融合中性子源の開発動向」レーザー研究 第 46 巻第 10 号, (2018)