

K-27

小型中性子源における中性子線計測系の構築

Construction of neutron measurement system in a small neutron source

○加藤雅之¹, 清水尚輝¹, 渡部政行²*Masayuki Kato¹, Naoki Shimizu¹, Masayuki Watanabe²

Abstract: In this research, we are developing a small neutron source using a fusion reaction. It is important to obtain accurate properties of emitted neutron beam for the development of new neutron sources. The scintillator measurement system is one of the neutron measurement method. 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 this plastic scintillator, neutrons interact with nuclei of hydrogen and emit scintillation light. In addition, 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.

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により発生させることができる。中性子線の特長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、例えば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。中性子応用は今後の更なる発展が期待されているが、しかしながら既存の原子炉や加速器は装置自体が大型であり、中性子応用を促進するためには装置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. 放射線とは

2-1. 中性子線

中性子は原子核を構成する核子であり、陽子と同じ質量をもち、電荷がない粒子である。原子核内ではこの中性子と陽子が重力や電気力よりも強い核力で結合されている。中性子は電荷を持たないことから陽子や電子のようにクーロンの法則による斥力を受けない。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. 電磁波 (γ 線)

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を γ 線と呼ぶ。 α 崩壊後、原子核が励起状態であり、

ここから γ 線を放出することによって安定な原子核になることがある。この過程は β 崩壊の際も起こることがある。

2-3. 宇宙放射線

宇宙空間には、太陽により発生した荷電粒子線と遠くの星雲で発生した高エネルギーの荷電粒子線がある。これらの1次宇宙線は地球の大気圏に入ると、大気中の窒素や酸素の原子核と衝突し、陽子や中性子等が生成される。1次宇宙線により大気圏で生成される放射線を2次宇宙線という。地上に降り注ぐ主な放射線は中性子とミューオンである。

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、持続時間の短い光のパルスが現れる。これをシンチレーション光と呼び、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。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。

3-1. 光電子増倍管

シンチレータにより生じたシンチレーション光が光電陰極の金属表面に入射する。その入射した光により光電効果が起こり金属表面から光電子が飛び出す。その光電子を集束電極によりダイノードに集める。ダイノードの金属表面に当たった光電子により電子が金属表面から飛び出す。こうしていくつものダイノードに

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

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

より増倍された電子は陽極に達して信号電流として出力される。

3-2. 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使用する。プラスチックシンチレータに入射した中性子は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。

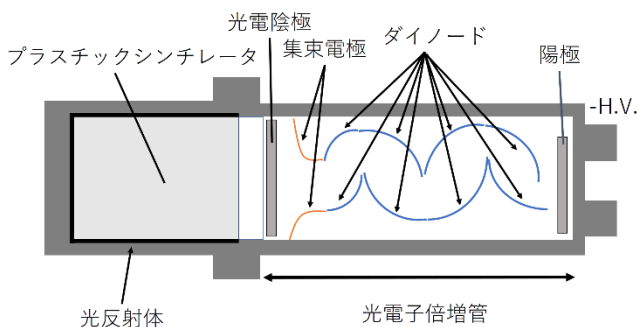


Figure 1. Schematic diagram of scintillation measuring instrument

4. 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。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。

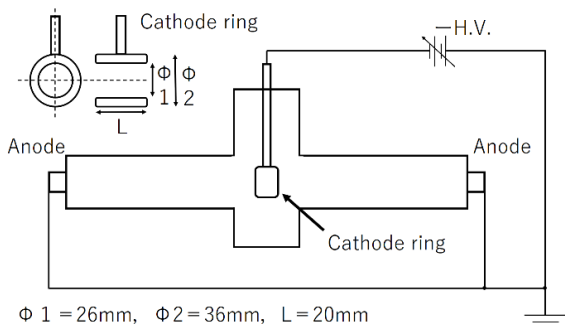
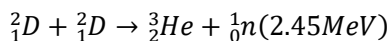


Figure 2. Schematic diagram of the neutron generator

5. γ線源

γ線源には、密封線源であるコバルト60 (${}^{60}_{27}Co$) を使用した。コバルト60はβ崩壊を起こしニッケル60に崩壊する。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線を放出する。

6. 実験結果

実験ではまず、プラスチックシンチレータを用いてγ線の計測を行った。Liをドーピングしたプラスチックシンチレータの上に線源を載せて計測を行った。光電子増倍管に-1500Vを印加し、波形調整アンプでゲインを500に設定してγ線源ありの場合となしの場合とで、それぞれ1000秒間(約17分間)、MCA(マルチチャンネルアナライザ)を用いて計測を行った。その計測結果を図3に示す。

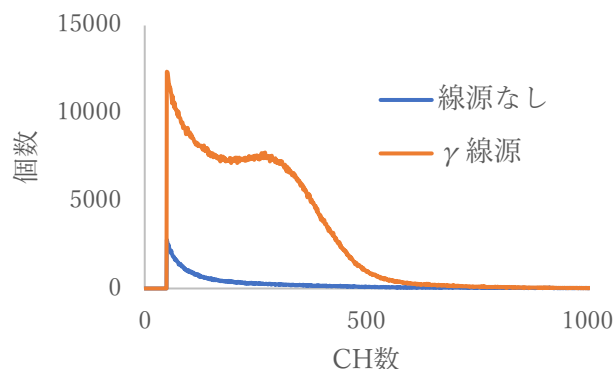


Figure 3. Measurement of environmental radiation and gamma ray

実験結果よりLiをドーピングしたプラスチックシンチレータでのγ線を計測をできることが確認できた。同時に、シンチレーション計測器から出力された波形を直接オシロスコープで計測した。その結果に関しては講演にて報告する。今後、中性子線の照射時でも、同様の実験を行い、γ線と中性子線の計測結果を比較し、それぞれを分別する予定である。

7. 参考文献

[1] 吉野興平 放射線測定の基礎, (2017)
 [2] 石坂直樹: 卒業論文, (2020).
 [3] Mark E. Ellis : Neutron and Gamma Ray Pulse Shape Discrimination with EJ-270 Lithium-Loaded Plastic Scintillator