

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

個人研究

2019年度研究成果報告書

研究代表者	所属部局・職	氏名
	理学部物理学科 助教	梅野 泰宏 印
研究課題	無機シンチレータを用いた陽子のエネルギー測定と粒子弁別の研究	
研究期間	2019年度	
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 960,000円 / (採択金額) 960,000円	

研究の概要(200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)

本研究は、不安定原子核の生成限界に近い核の励起状態研究を推し進めるための基礎研究として、無機シンチレータ CsI(Na)の信号を波形デジタイザで読み出し、陽子のエネルギー測定と波形を用いた入射粒子の弁別を行った研究である。

本研究によってCsI(Na)信号の波形デジタイザ読み出しを用いれば、 $\gamma$ 線と中性子が高精度で弁別可能であること、CsI(Na)の読み出し回路である光電子増倍管に改造を加えれば約110MeVの陽子と約1MeVの $\gamma$ 線の弁別が可能であること、そして約110MeVの陽子の運動エネルギーを2%以下の分解能で測定できることがわかった。これによって、この読み出しを大規模なCsI(Na)検出器群に適用することで、励起状態研究の可能な範囲が広げられることを示した。

キーワード(研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[ 無機シンチレータ ] [ 中性子過剰核 ] [ 波形弁別 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究の目的は CsI (Na) シンチレータからの出力波形を波形デジタイザで読み出し、入射粒子の弁別を波形解析から行うこと、そして陽子の運動エネルギーを 2% (FWHM) 以下の分解能で測定することである。この目的が達成できれば、我々のグループで運用している CsI (Na) 検出器群のすべての検出器に本研究で用いた波形デジタイザを導入し、現在共同研究で建設を進めている陽子飛跡トラックと組み合わせることで、既存のどの検出器よりも高効率な不安定原子核の励起状態研究が可能になる。

本研究で CsI (Na) 検出器に関して得られた成果のまとめは以下の通りである。

1. 約 4MeV の中性子と約 4MeV の  $\gamma$  線の波形弁別は非常に高精度で行うことができる。
2. 光電子増倍管のダイノードからの出力信号を用いれば、約 1MeV の  $\gamma$  線と約 100MeV の荷電粒子の同時測定及び弁別が可能。
3. 陽子のエネルギーは 2% 以下のエネルギー分解能で測定できる。

以下はこの結果の詳細について述べる。

本研究の目標を達成するために、我々は既存の CsI (Na) 検出器の読み出し回路として、14 ビット、250M サンプル/秒で波形データ取得が可能な CAEN 社の波形デジタイザ V1725 を導入した。本研究で用いた CsI (Na) 検出器は大型の CsI (Na) 結晶に光電子増倍管を取り付けたものである。まず V1725 の性能評価として、 $^{241}\text{Am}$ -Be 線源からの平均運動エネルギー 4MeV の中性子と 4.4MeV の  $\gamma$  線を CsI (Na) 検出器に照射し、検出器の光電子増倍管のアノード出力を V1725 で取得した。その結果、 $\gamma$  線起源の信号波形の立ち下がり時間が約  $1\mu$  秒であるのに対し、中性子起源の信号波形の立ち下がり時間は約 50n 秒と非常に短いことを確認した。これは 4MeV 以下の低いエネルギーの中性子の弁別が非常に容易であることを示している。この大きな立ち下がり時間の違いは、約 4MeV の中性子が CsI (Na) 内で反応したときに放出する荷電粒子の飛程が非常に短い事により、CsI の発光が発光中心である Na を経由せず、純 CsI の発光過程によってシンチレーション光が放出されるからと考えられる。また  $\gamma$  線の信号に比べ中性子の信号は電荷量が非常に小さいため、 $\gamma$  線のエネルギーが 0.3MeV 以上の領域であれば、中性子起源のイベントと  $\gamma$  線のイベントは波形弁別せずとも混ざらないこともわかった。

さらに CsI (Na) 検出器で  $\gamma$  線と運動エネルギー約 100MeV の陽子の弁別及び同時測定を可能にするために、光電子増倍管のベース回路を改造し、従来から用いてきた光電子増倍管のアノード出力に加えて、第 8 ダイノードから出力信号と得ることを可能にした。ダイノードからの信号はアノード信号に比べて数倍小さい。本研究の目的の反応である核子あたり約 200 MeV の不安定原子核ビームと陽子標的の反応では、CsI (Na) 検出器にやってくる反応性生物は主に約 100MeV の陽子等の軽粒子、数 MeV の中性子、そして約 1MeV の  $\gamma$  線である。アノード信号のみで陽子と  $\gamma$  線という 100 倍エネルギーの違い (=信号の大きさが約 100 倍違う) 粒子の信号を処理するのは難しい。しかしダイノードからの信号を陽子測定用、アノードからの信号を  $\gamma$  線測定用として別々に読み出せば、この 2 つの粒子の同時測定が可能となる。

**研究成果の概要** (つづき)

ダイノード信号はアノード信号に比べて約 1/6 の大きさになるようベース回路を調整した。アノード側には従来から用いていた波形整形アンプを接続し、その出力を ADC で取得した。一方ダイノード出力は V1725 で取得した。アノード出力はアンプによって約 20 倍に増幅されるので、ダイノード/アノード出力比とこのアンプの増幅を合わせることで、約 100 倍のエネルギー差があった  $\gamma$  線と陽子を 1 つの検出器で同時測定することが可能となった。

そして、この CsI(Na) 検出器で炭素、アルゴン、キセノン、そして陽子ビームと陽子標的の反応で生成された約 110MeV の陽子を含む軽粒子を測定する実験を、放射線医学総合研究所で 2020 年 2 月に行った。陽子標的に核子あたり 230MeV のビームを照射し、その反応性生物を陽子反応標的周辺に設置したドリフトチェンバー、プラスチックシンチレータ、CsI(Na) 検出器を組み合わせた検出装置で測定した。この装置では反応性生物が CsI(Na) 検出器に入射した際に、入射位置や入射角度がわかるように位置検出器ドリフトチェンバーが CsI(Na) の直前に設置してある。またプラスチックシンチレータも CsI(Na) 検出器の直前に設置してあり、プラスチックと CsI(Na) のエネルギー損失相関(dE-E)を用いた補助的な弁別が行えるようになっている。

dE-E によって波形弁別とは別に入射粒子の弁別が可能なので、その弁別済みの情報と V1725 で取得した波形情報を組み合わせることで、波形弁別による粒子弁別の精度の評価が可能である。また陽子ビームと陽子標的の反応では、散乱陽子の入射位置が陽子の運動エネルギーと相関しているため、入射位置測定から CsI(Na) 検出器の陽子に対する線形性の評価が可能となる。

炭素、アルゴン、キセノンビームの実験は波形弁別データの取得を目指して行った。dE-E 法を用いて、CsI(Na) 検出器に陽子、重陽子、三重陽子の 3 種類の軽粒子が入射していることが確認できた。初期的な解析からこれらの軽粒子による波形は  $\gamma$  線による波形に近いことがわかった。波形を用いた粒子弁別は、現在詳細なデータ解析を行っているところである。

陽子ビームを用いた実験では、検出器にはほとんど陽子以外の粒子はやってこないため、波形弁別用の陽子パルスの基礎データ取得と、CsI(Na) 検出器で約 110MeV の陽子の運動エネルギーを測定した場合のエネルギー分解能を評価した。初期的なデータ解析から、エネルギー分解能は 2%以下であることがわかった。本実験の目標であるエネルギー分解能(2%)とすでに同等である。今後行う詳細なデータ解析によって、よりよい分解能が得られることが期待できる。

**研究発表** (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ① 雑誌論文 (著者名、論文タイトル、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③ シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

① 特になし

② 特になし

③ 特になし

④ 特になし