

345 MeV/u ウランビームを用いた放射線評価 (1) 銅標的に対する中性子二重微分収量の測定

Radiation evaluation of 345 MeV/u uranium beam

(1) Measurement of double-differential neutron yields for copper target

*杉原 健太¹, 執行 信寛¹, 田中 鐘信², 赤塩 敦子²

¹九州大学, ²理化学研究所仁科加速器研究センター

理化学研究所 RI ビームファクトリーではウランビームの大強度化を検討しており、遮蔽の最適化のためにウランビームによる中性子収量の測定データが必要である。そこで、345 MeV/u ウラン入射に対する銅ターゲットからの中性子二重微分収量を、飛行時間法で測定した。測定結果と PHITS によるモンテカルロシミュレーションの結果との比較を行った。

キーワード：ウラン，銅，中性子二重微分収量，有機液体シンチレータ，飛行時間法

1. 緒言

理化学研究所仁科加速器研究センターの RI ビームファクトリー (RIBF) では、核子あたり 345 MeV にウランイオンビームを加速することができ、将来計画として、ウランビームの大強度化を検討している。遮蔽の最適化のために線源項としてウランビームとターゲットやビームダンプの反応によって生成する中性子二重微分収量の測定データが必要である。そこで、本研究ではウランビームと銅との反応により生成する中性子の二重微分収量を、飛行時間法で測定した。

2. 実験

実験は RIBF の ZeroDegree Spectrometer の F10 チェンバー付近で行った。ターゲットには 345 MeV/u ウランの飛程よりも長い長さである 10 mm の銅を用いた。銅ターゲットとウランビームとの反応によって生成された中性子を 0 度、45 度、90 度の位置に設置した 3 台の NE213 有機液体シンチレータで測定した。ターゲットと中性子検出器との飛行距離は 0 度で 9.5 m、45 度と 90 度で 4.0 m とした。0 度方向には直径と厚さが 5.04 cm のシンチレータを、45 度と 90 度には直径と厚さが 12.7 cm のものを使用した。また、厚さ 2 mm の荷電粒子弁別用のプラスチックシンチレータを各中性子検出器の前に設置した。

中性子のエネルギーは、加速器からのタイミング信号と各中性子検出器の信号から、飛行時間法により導出した。ビーム強度は約 10^6 pps で行った。超伝導リングサイクロトロン of 繰り返し周波数が 18.5 MHz であるため、即発 γ 線と中性子の飛行時間の差が 35 ns 以下の中性子を測定対象とした。このとき、測定可能な最低エネルギーは 0 度で 130 MeV、45 度で 35 MeV、90 度で 40 MeV であった。また、ターゲットと各中性子検出器の間に鉄のシャドーバーを設置して、ターゲットから直接中性子検出器に入らないバックグラウンド中性子成分を測定した。

3. 結果

図 1 に荷電粒子と γ 線の弁別、バックグラウンドイベントの除去を行うことで得られた 0 度方向の実験結果とモンテカルロ粒子輸送シミュレーションコード PHITS 2.85[1] による 0 度方向の計算結果を示す。0 度方向では中性子エネルギーが 200 MeV 以上で JQMD-1.0 と 2.0 のいずれを用いて計算した PHITS の結果も実験データを再現していることがわかる。しかし 200 MeV 以下では JQMD-1.0 と 2.0 で大きな差が生じた。これは、JQMD-2.0 は核子間の相互作用を相対論不変な形式に書き換えて原子核同士が衝突する際の中心位置が離れている衝突の精度を上げているためと考えられる [2]。発表では、他の角度の実験結果とシミュレーション結果との比較についても報告する。

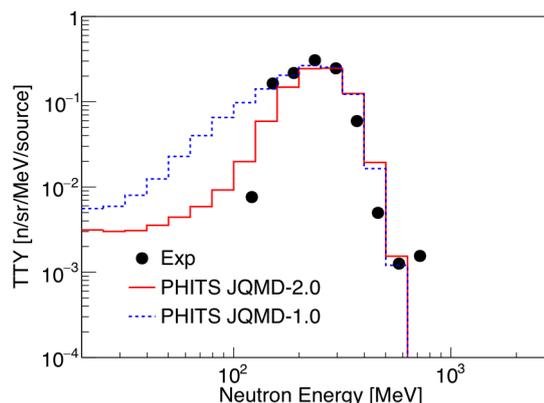


図 1. 0 度の中性子検出器による実験結果と PHITS によるシミュレーション結果との比較

参考文献

- [1] T. Sato, et al., Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 2018, <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1419890>.
[2] T. Ogawa, T. Sato, S. Hashimoto, D. Satoh, and K. Niita, *Phys. Rev.*, **C92**, 024614(2015).

*Kenta Sugihara¹, Nobuhiro Shigyo¹, Kanenobu Tanaka² and Atsuko Akashio²
¹Kyushu Univ. ²RIKEN