

Bi に対する 7 MeV/u α 入射による 中性子生成量測定

Measurement of Neutron Production from 7 MeV/u α Incidence on a Bi target

*杉原 健太¹, 李 恩智¹, 執行 信寛¹, 田中 鐘信², 赤塩 敦子², 佐波 俊哉³

¹九州大学, ²理化学研究所仁科加速器科学研究センター, ³高エネルギー加速器研究機構

医学研究用の ^{211}At を $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応により製造するためのビームラインの遮蔽設計に必要な、7.16 MeV/u α ビームを Bi ターゲットに入射した際に生成される中性子のエネルギースペクトルを測定した。結果をシミュレーションコードと比較した。

キーワード: アルファ線, Bi, 中性子収量, 飛行時間法, PHITS, INCL, QMD

1. 緒言

従来より、重粒子線治療・RI 内用療法等の放射線を用いたがん治療が広く行われてきた。放射線治療は患者の負担が小さいという利点がある一方で、病巣細胞周りの正常細胞にも影響を与える恐れがある。そこで近年、飛程が短く高 LET である α 線を RI 内用療法に利用することが考えられている。その際、治療薬剤の安定的な国内自給のために α 線源として ^{211}At を用いることが考えられている。

理化学研究所では α 線を用いて $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応により ^{211}At を製造するための新しいビームラインの建設を予定している。しかし、ビームラインの放射線遮蔽設計に必要な中性子収量の実験データは存在しない。そこで本研究では、ビームラインの放射線遮蔽設計のために、7.16 MeV/u α ビームと Bi ターゲットの反応からの中性子二重微分収量を測定し、PHITS 3.00[1]に組み込まれている核反応モデルの INCL[2]と JQMD[3]モデルの計算結果との比較を行った。

2. 実験

実験は理化学研究所仁科加速器科学研究センター AVF サイクロトロンを用いて行った。入射 α ビームの運動エネルギーは 7.16 MeV/u とした。ターゲットには α ビームの飛程よりも長い厚さ 2 mm の Bi を用いた。核反応によって生成された中性子を 0 度、45 度、90 度方向に設置した EJ301 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 1.08 m、45 度で 1.18 m、90 度で 1.24 m とした。直径および厚さ 2 inch の中性子検出器を用いた。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、サイクロトロンの RF 信号と中性子検出器の信号の時間差から飛行時間法で導出した。バックグラウンド成分測定のために、ターゲットチェンバーと各中性子検出器の間に厚さ 60 cm の鉄のシャドーバーを設置した測定も行なった。

3. 結果

図 1 に中性子生成二重微分収量の実験結果と PHITS によるシミュレーション計算結果の比較図を示す。各角度で約 4 MeV 以上の中性子を測定できた。各角度について、INCL 模型による計算は JQMD 模型による計算よりも実験値をよく再現していることがわかる。これは、ターゲット原子核の表面に存在する核子の運動量の評価を改良したためだと考えられる[2]。また JQMD 模型の実験結果再現性が悪い理由は、ポテンシャルの平均場近似がうまくいっておらず、入射 α 粒子を構成する核子の運動量分布を再現できていないためだと考えられる。

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.*, **55** (2018) pp. 684-690.
- [2] A. Boudard, J. Cugnon, J.-C. David *et al.*, “New potentialities of the Liège intranuclear cascade model for reactions induced by nucleons and light charged particles,” *Phys. Rev.* **C87**, (2013) 014606..
- [3] K. Niita, S. Chiba, T. Maruyama *et al.*, “Analysis of the (N, xN') reactions by quantum molecular dynamics plus statistical decay model,” *Phys. Rev.* **C52**, 2620 (1995) pp. 2620-2635.

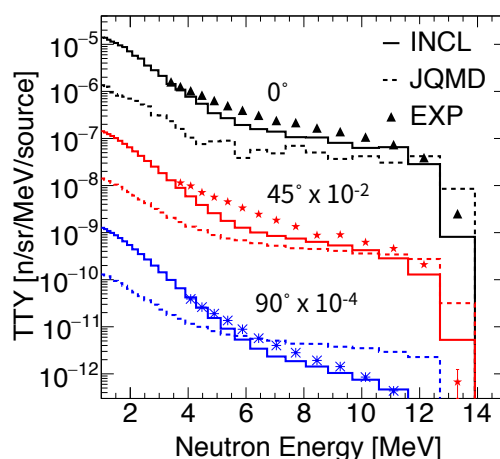


図 1. 中性子収量の実験値と PHITS による計算結果の比較

*Kenta Sugihara¹, Lee Eunji¹, Nobuhiro Shigyo¹, Kanenobu Tanaka², Atsuko Akashio² and Toshiya Sanami³

¹Kyushu Univ. ²RIKEN ³KEK