

数百 MeV/u α 粒子入射における分解反応の研究

α -particle breakup at incident energy of several hundreds of MeV/u

*山口 雄司¹, 荒木 優佑¹, 藤井 基晴¹, 渡邊 岳¹, 佐波 俊哉²,

松藤 成弘³, 古場 裕介³, 岩元 洋介⁴, 魚住 裕介¹

¹九州大学, ²高エネルギー加速器研究機構, ³量子科学技術研究開発機構,

⁴日本原子力研究開発機構

放射線医学総合研究所 HIMAC において, エネルギー100 および 230 MeV/u での α 粒子入射荷電粒子生成二重微分断面積の測定をおこなった. 陽子, 重陽子, 三重陽子, ^3He , α 粒子を $\Delta E-E$ 法によって識別して結果を得た. INC 模型計算に分解反応を導入し, 測定結果と計算結果とを比較し考察する.

キーワード: 核内カスケード模型, α 入射, 荷電粒子, 二重微分断面積, 分解反応

1. 緒言

重粒子線がん治療は効果的な治療法であるが, 重粒子誘起反応で生じる 2 次粒子による低線量被ばくが問題視されている. 2 次粒子は, 炭素イオンが形成するブラッグピークより深い領域だけでなく, 治療ビームの軌道から離れた健常組織へ線量付与し得る. これが晩発影響として発がんを引き起こすと考えられているため, 特に子どもに対する線量の正確な見積りが必要となる. しかし, 炭素イオン入射反応のデータは 0°近傍にのみ存在する. 見積りには粒子輸送計算が用いられ, 一般に核内カスケード(INC)または量子分子動力学模型と一般化蒸発模型(GEM)からなる 2 段階モデルが適用されるが, 既存のモデルによる複合粒子生成の記述精度は低い[1]. そこで, われわれが改良を進めてきた INC コード[2]の適用範囲を数百 MeV/u α 入射, 炭素イオン入射反応へと拡張する. α 入射への拡張には数百 MeV/u での α 入射複合粒子生成二重微分断面積(DDX)の実験データが必要であるが, 35 MeV/u 以上のデータは報告されていない. 本研究では 100 および 230 MeV/u α 入射反応 DDX の実験データを取得し, INC コードの拡張に取り組む.

2. 実験

放射線医学総合研究所の HIMAC 棟で実験をおこなった. 散乱槽内に C, Al, Co, Nb 試料を設置し, 入射エネルギー $E_\alpha = 100, 230$ MeV/u の He イオンを照射した. 散乱槽の 30°, 45°, 60°, 90°のポートに, Si 半導体検出器, GSO, PWO シンチレータからなる検出器を設置し, 標的試料から放出する陽子, 重陽子, 三重陽子, ^3He , α 粒子のエネルギーを測定した. 粒子識別には $\Delta E-E$ 法を用いた.

3. 結果・考察

右図に $E_\alpha = 100$ MeV/u での $^{59}\text{Co}(\alpha, dx)$ 反応 DDX の取得データと拡張 INC + GEM による計算結果を示す. 30°から 90°の幅広い角度で, 最大 300 MeV 程度の高エネルギー成分まで実験データを得ることができた. 拡張 INC の計算結果は 30°で実験値を再現するが, 45°, 90°と角度の増大とともに再現性が低下しており, 重陽子放出時の粒子軌道偏向の検討が必要と考える.

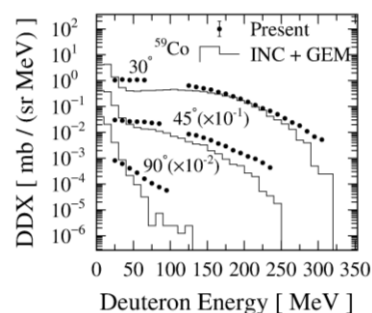


図 $E_\alpha = 100$ MeV/u における $^{59}\text{Co}(\alpha, dx)$ 反応の DDX.

参考文献

[1] J. Dudouet et al., Phys. Rev. C, 89, 054616 (2014).

[2] M. J. Kobra et al., J. Nucl. Sci. and Tech., 55, 2, 209-216 (2017).

*Yuji Yamaguchi¹, Yusuke Araki¹, Motoharu Fujii¹, Gaku Watanabe¹, Toshiya Sanami², Naruhiro Matsufuji³, Yusuke Koba³, Yosuke Iwamoto⁴ and Yusuke Uozumi¹

¹Kyushu Univ., ²High Energy Accelerator Res. Org., ³Quantum and Radiological Sci. and Tech., ⁴Japan Atomic Energy Agency