統計模型による即発中性子多重度とアイソマー生成比

Calculations of prompt neutron multiplicities and isomer production ratios by the statistical model

*奥村森 [1]、Mark Dennis Usang[1]、河野俊彦 [2]、千葉敏 [1]

[1] 東工大先導原研，[2] ロスアラモス国立研究所

核分裂生成物収率の理論予測精度向上を目的とし、核分裂片の一次収率、全運動エネルギー及び励起エネルギー分布をいくつかの手法により推定し、Hauser-Feshbach（HF）理論により即発中性子数多重度を求め、即発中性子放出に伴う収率分布の変化を評価した。また、実験値が存在するいくつかの核種についてのアイソマー生成比について計算結果との比較を行った。

キーワード：核分裂、独立収率、即発中性子、アイソマー生成比

1. 緒言

核分裂に関連する各種観測値を高精度で予測するため、様々な理論や計算コードが開発されている。なかでも核分裂生成物の質量数・荷電分布、運動エネルギー、励起エネルギー、スピン、即発中性子多重度（$\bar{\nu}$）などの情報は、核分裂現象を記述するのに重要な情報である。しかしながら、これらの観測値を理論のみで統合的に整合性を保ちながら再現するのは未だに困難があるのが現状である。例えば、即発中性子放出前の核分裂片収率（一次収率）は、実験的に得ることが困難だが断裂時の原子核の状態を知るのに非常に重要な情報である。また、このような核分裂片の崩壊過程は、Hauser-Feshbach（HF）理論により説明されるが、1,000核種以上存在する核分裂片の多様さゆえ、HF 理論の適用には必要な観測・非観測値が多数必要となることに由来する不確実性が存在する。

そこで本研究では、即発中性子放出前後の核分裂片の質量数分布の変化に着目し、実験的に得られた即発中性子放出後の核分裂収率の質量数分布（独立収率）を再現するような即発中性子放出前の核分裂片収率（一次収率）を推定する。各種手法により仮定した核分裂片収率を用い、HF 理論の統計崩壊計算により即発中性子多重度を算出し、即発中性子放出後の核分裂収率を求める。その結果、観測値として得られる独立収率を再現するような一次収率を求める。これにより核分裂に関する各種理論計算が再現すべき核分裂片の分布を決定する。

2. 手法

はじめに、3～5 個のガウス分布により一次収率の質量数分布を仮定した。さらに、この一次収率の質量数分布を満たすような同重体の収率をガウス分布により仮定することで、一次収率の(A, Z, Yield)分布を生成した。全運動エネルギー（TKE）は、質量数依存性に関する実験値をフィッティングし、核分裂片収率の(A, Z)に一意に対応する値を与えた。また、TKE から求めた励起エネルギー（TXE）を同様に核分裂片収率の(A, Z)に一意に与えた。これにより生成した核分裂片(A, Z, Yield, TKE, TXE)のセットをインプットとして、HF 統計崩壊コード[1]により、即発中性子多重度を計算した。得られた即発中性子多重度を、一次収率(A, Z, Yield)に適用し、即発中性子放出後の収率（独立収率）を求めた。同様の計算を、過去に得られた Langevin 計算[2]や Monte Carlo 計算[3]による核分裂片(A, Z, Yield, TKE, TXE)セットをインプットとして計算した場合とも比較した。また、これらにより得られた収率のうち、実験値が存在するいくつかの核種について、アイソマー生成比を計算値と比較した。

3. 結論

図 1 にガウス分布を仮定して生成した ^{235}U(n_{th}, f)の即発中性子放出前後の核分裂収率の質量数分布、HF 計算により得られた即発中性子多重度の質量数分布 $\bar{\nu}(A)$を示す。$\bar{\nu}(A)$は、実験値の傾向をよく再現した。即発中性子放出前後の収率を比較すると、放出前に対象な分布は放出後に非対称な分布となり、A＝134 に見られる収率のピークなど実験値を元に決定された核データ(JENDL FPY-2011)の傾向をよく再現した。発表では、各種手法により仮定した核分裂片の分布を用いた結果を比較して示す。

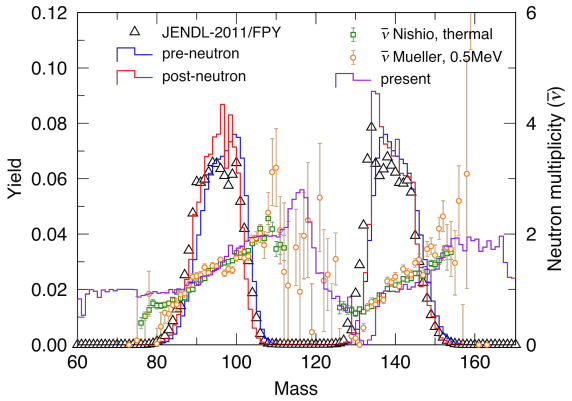

図 1 即発中性子放出前後の ^{235}U(n_{th},f)収率と計算により得られた即発中性子多重度

参考文献

[1] T. Kawano, P. Talou, M. B. Chadwick, and T. Watanabe, J. Nucl. Sci. Technol. **47**, 462 (2010).
[2] M. D. Usang, F. A. Ivanyuk, C. Ishizuka, and S. Chiba, Phys. Rev. C **94**, 044602 (2016).
[3] B. Becker, P. Talou, T. Kawano, Y. Danon, and I. Stetcu, Phys. Rev. C **87**, 014617 (2013).

謝辞　本研究は原子力システム研究開発事業の下で文部科学省からの受託事業として東京工業大学が実施した平成 29 年度 “代理反応によるマイナーアクチノイド核分裂の即発中性子 測定技術開発と中性子エネルギー評価”の成果である。

*Shin Okumura[1], Mark Dennis Usang[1], Toshihiko Kawano[2], Satoshi Chiba [1]
[1]Tokyo Institute of Technology, [2]Los Alamos National Laboratory