

多次元ランジュバン模型によるアクチナイド核分裂の系統的調査

Systematic study of nuclear fission of actinides using multi-dimensional Langevin models

石塚 知香子

東京工業大学科学技術創成研究院先導原子力研究所

1. 研究目的

核分裂機構の解明は、超重元素の魔法数についての新たな知見を得るためにも重要であるだけでなく、原子力エネルギーの利用で発生する核廃棄物中に含まれる高い毒性を有するマイナーアクチナイドと呼ばれる核種の核変換による減容や今後数が増える原子力施設の廃止措置のコスト削減においても緊急度の高い課題である。しかしながら、そこで必要となるアクチナイド核分裂の核分裂片質量数分布および陽子数分布のピーク構造の変化や中性子発生機構には未解明の部分が多く、系統的な調査が不可欠である。そこで本研究では予言力のある多次元ランジュバン模型を用いて、特に核分裂片の質量数分布と運動エネルギーの系統調査を実施することを目的とし、そのためにコードの並列化などを実施し、より多くの核種を効率よく計算することを目指す。

2. 研究成果の内容

多次元ランジュバン計算では、複合核の形状をあらわす変数として、原子核の伸び、二つの分裂片の変形度（4次元では独立な2つの変形度、3次元では分裂片間で共通の変形度）、二つの核分裂片の質量非対称度を考える。多次元ランジュバン模型では、これらの物理量がポテンシャル曲面上を摩擦やランダム力を感じながら時間発展する様子をランジュバン方程式から求めることで、複合核形成から核分裂に至る原子核形状の時間変化を模擬する。

この4次元ランジュバン模型を用いて、Np から Cf までのアクチナイドについて、励起エネルギー依存性を含む質量数分布の変遷や全運動エネルギーについて系統的調査を実施した。その際、ランジュバン模型の並列化により、計算速度が約10倍速くなったことにより、一つの核種に対して形状3次元および4次元ランジュバン模型で固定しているネックパラメータの値についての依存性も調べることができた。その結果、ウラン近傍の核種に対しては通常用いているネックパラメータが最適であることや、パラメータ依存性が低いことがわかった。また今回の系統的調査により、実験値を理論的に再現することが難しい核として知られるThの核分裂については、イグナチューク型等の標準的な殻補正模型ではなく、複合核の内部温度を考慮した近似なしの殻補正式をランジュバン模型で用いる必要があることがわかった。

3. 今後の展望

今回の研究課題では計算効率を高めるために、ランジュバンコードの並列化を実施した。今後は更なる効率向上をはかるため、大掛かりなコード変更が必要な輸送係数およびポテンシャル曲面の計算コードについても並列化を順次すすめていきたい。

4. 成果発表

- (1) “4次元ランジュバンモデルによる ^{180}Hg 核分裂”，石塚知香子，石井葉子，千葉敏，ウサング・マーク，フェディエール・イワニョーク，日本原子力学会 2018 年秋の大会，岡山大学津島キャンパス，岡山市，2018 年 9 月 5-7 日.
- (2) “Optimization of multi-dimensional Langevin models with COMA”，C. Ishizuka, Y. Iwata, K. Tsubakihara, S. Okumura, S. Chiba, CCS international symposium 2018, 筑波大学、茨城県つくば市，2018 年 10 月 5-6 日.
- (3) “4次元ランジュバンモデルを用いた中性子欠損水銀同位体の核分裂”，石塚知香子，石井葉子，千葉敏，ウサング・マーク，フェディエール・イワニョーク，2018 年度核データ研究会，東京工業大学大岡山キャンパス，東京都目黒区，2018 年 11 月 29-30 日.
- (4) “多次元ランジュバンモデルを用いた 核分裂計算と元素合成計算への応用”，石塚知香子，椿原康介，千葉敏，関口雄一郎，和南城伸也，核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究会，北海道大学，北海道札幌市，2019 年 3 月 6-8 日.
- (5) “ランジュバンモデルの改良”，石塚知香子，石井葉子，千葉敏，ウサング・マーク，フェディエール・イワニョーク，日本原子力学会 2019 年春の年会，茨城大学水戸キャンパス，茨城県水戸市，2019 年 3 月 20-22 日.
- (6) “Correlated transitions in TKE and mass distributions of fission fragments described by 4-D Langevin equation”，C. Ishizuka, M. D. Usang, F. A. Ivanyuk, S. Chiba, 54th ASRC International Workshop Sakura-2019 “Nuclear Fission and Structure of Exotic Nuclei”，JAEA, Tokai, Ibaraki, 2019 年 3 月 25-27 日.

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
COMA	○	32	0
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			