

相対論的平均場理論とガウス過程回帰によるアクチノイド領域核の対相関力の決定

Determining the Pairing Strength of Actinide Region Nuclides by Relativistic Mean Field (RMF) and Gauss Process Regression (GPR)

*河野 大樹¹、陳 敬徳¹、石塚 知香子¹、稲倉 恒法¹、千葉 敏¹

(1. 東京工業大学)

アクチノイド領域核の核分裂障壁 (B_f)、結合エネルギー (B.E.)、対回転慣性能率 (\mathcal{I}_{rot}) [1] の統一的記述を目指して、相対論的平均場理論 (RMF) と BCS 対相関モデルによる計算値と実験値の相対平均二乗誤差 (MSRE) が最小となる対相関力の強度をガウス過程回帰 (GPR) により求め本手法の有効性について検証した。

キーワード:核データ、相対論的平均場理論、核分裂障壁、対相関、アクチノイド、ガウス過程回帰

1 緒言

微視的平均場模型では平均場のパラメータは様々な原子核の基底状態近傍の性質 (質量や変形度) を系統的に記述するように決定するが、核分裂障壁を同時に精度よく再現することが困難であることが分かっている。一方、「対相関力」 [2] は残留相互作用であるため柔軟性があり、それを調整する事によって核分裂障壁を調整することが可能である。その妥当性は平均場の影響をほとんど受けない観測量である対回転慣性能率によって検証されるべきである。RMF はハドロン物理の枠組みで議論され、相対論的に共変なラグランジアンより様々な物理量を統一的に導出することができ、更には原子核を記述する際に重要なスピン軌道力が自然に導出される強力な理論モデルである [3]。本研究では RMF の残留相互作用として BCS 対相関を採用し、GPR により「対相関力」の強度パラメータを調整する事でアクチノイド領域核の核分裂障壁を含む性質の系統的な記述を試みた。

2 計算方法

相対論的共変なラグランジアンを導入し量子場の理論から RMF を導くために中間子場の摂動を無視し平均値に注目する古典近似と核子の負エネルギー成分を無視する No sea 近似の二つの近似を施した [3]。

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}(i\gamma_\mu\partial^\mu - M)\psi + \frac{1}{2}\partial^\mu\sigma\partial_\mu\sigma - U(\sigma) - g_\sigma\bar{\psi}\psi\sigma - \frac{1}{4}\Omega^{\mu\nu}\Omega_{\mu\nu} + \frac{1}{2}m_\omega^2\omega^\mu\omega_\mu - g_\omega\bar{\psi}\gamma^\mu\psi\omega_\mu + U(\omega) \\ - \frac{1}{4}\vec{R}^{\mu\nu}\vec{R}_{\mu\nu} + \frac{1}{2}m_\rho^2\vec{\rho}^\mu\vec{\rho}_\mu - g_\rho\bar{\psi}\gamma^\mu\vec{\tau}\psi\vec{\rho}_\mu - \frac{1}{4}F^{\mu\nu}F_{\mu\nu} - e\bar{\psi}\gamma^\mu\psi A_\mu$$

上記のラグランジアン及びオイラーラグランジュ方程式を用いることで核子場や中間子場の従う方程式を導出することができ、これらを連立して解く事で得られる各場の情報を基に RMF におけるエネルギーを得る事ができる。さらに、対相関エネルギーを加え、 B_f , B.E., \mathcal{I}_{rot} における MSRE が最小となる対相関力を Python における機械学習ライブラリである scikit-learn [4] を用いて決定した。

3 結果

右図はアクチノイド領域核における B_f , B.E., \mathcal{I}_{rot} の相対平均二乗誤差 (MSRE)

$$\text{MSRE} = \sum \left(\frac{\text{Exp.} - \text{Cal.}}{\text{Exp.}} \right)^2$$

を $G_{\text{best}} = aG$ の係数 a 毎にプロットしたものである。結論として対相関力を 10% 程度強くすることで、質量、核分裂障壁、対回転慣性能率の再現が全て向上することが分った。講演では、右図を含めた結果と導出過程について報告する。

参考文献

- [1] D. M. Brink and R. A. Broglia, Nuclear Superfluidity, Pairing in Finite Systems (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2005)
- [2] S. Karatzikos, A.V. Afanasjev, G. A. Lalazissis and P. Ring, Nucl. Phys. B **689** 72-81 (2010)
- [3] B.D. Serot and J.D. Walecka, Adv. Nucl. Phys. 16 (1986)
- [4] <https://scikit-learn.org/stable/>

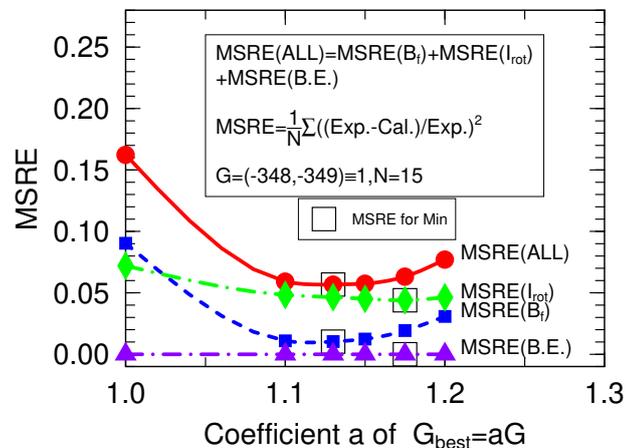


図 1 対相関力の関数としての MSRE: $G \equiv (G_n, G_p)[\text{MeV fm}^{-3}]$ はオリジナルの対相関力、 $N = 15$ は調査したアクチノイド核の数

*Taiki Kouno¹, Chen Jindge¹, Chikako Ishizuka¹, Tsunenori Inakura¹ and Satoshi Chiba¹

¹Tokyo Institute of Technology