

量子多体理論に基づく原子核衝突における観測量分布の定量的記述



研究者所属・職名:
研究推進機構 超域学術院・特任助教

ふりがな せきざわ かずゆき

氏名: 関澤 一之

主な採択課題:

- [特別研究員奨励費「時間依存平均場理論による多核子移行反応の研究」\(2013-2014\)](#)
- [若手研究「多スレーター行列式を用いた次世代理論に基づく原子核ダイナミクスの超並列計算」\(2019-2022\)](#)

分野: 原子核物理学、計算科学

キーワード: 原子核、核反応、ダイナミクス、量子多体問題、時間依存密度汎関数法

課題

- なぜこの研究をおこなったのか? (研究の背景・目的)

“**原子核の物理**”を理解することは、我々の身の回りにある元素の起源や、エネルギー問題にも関わる核融合・核分裂過程、そして中性子星と呼ばれる超高密度天体とその合体に伴う時空のさざ波(重力波)に至るまで、様々なスケールの現象の理解につながる。近年では、地球上に天然には存在しない不安定な原子核を研究することで、我々は原子核の理解を深化させている。しかしながら、未知の不安定核を実験的に生成するためには、理論的予測が不可欠である。本研究では、**可能な限り人為的な要素を排除した基礎理論に基づき、原子核衝突を定量的に記述し、理解すること**を目指している。

- 研究するにあたっての苦労や工夫 (研究の手法)

原子核衝突を核子自由度から量子論的に記述する方法に、時間依存密度汎関数法がある。40年以上にわたる研究の歴史があるが、実験的に見られる反応過程の多様性(観測量の分布)を定量的に記述することはできずにいた。その理由は、1つは理論的枠組みの欠点によるものであり、もう1つは、そもそも拡張理論を実行するだけの計算機性能がなかったということが挙げられる。本研究では、揺らぎの効果を取り入れるように**拡張された理論的枠組みと並列計算コードを開発し、スーパーコンピュータを駆使した数値シミュレーション**を行い、実験データとの比較を行った。

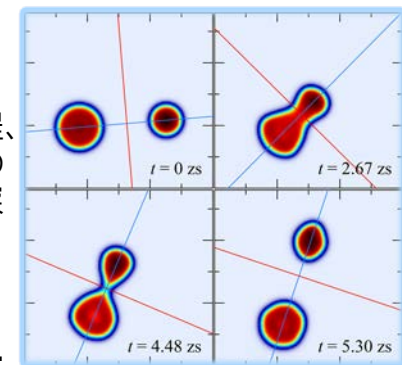


図1 シミュレーションによって得られた衝突する原子核の密度分布の様子 [1zept秒(zs)は 10^{-21} 秒]

量子多体理論に基づく原子核衝突における観測量分布の定量的記述

研究成果

- どんな成果がでたか? どんな発見があったか?

1) 従来の理論による記述の定量性と限界の確立

2つの原子核を衝突させると、原子核間で構成粒子（陽子・中性子）のやり取りが起こり、衝突前と異なる原子核が生成される。特別研究員として実施した課題（2013-2015）では、従来の理論的枠組みの範囲内で、生成される原子核の種類分布を記述する解析手法を開発し、理論の定量性の検証を行った。この研究により、**従来の理論では、主要な反応過程の定量的記述が得られないものの、起こる確率の小さい反応過程を過小評価してしまうことが示された。**

2) 揺らぎの効果を取り入れた拡張理論の開発とその応用

従来の理論の問題点を解消するために、「若手研究」で実施している課題（2019～）では、反応過程の確率的な分岐による“揺らぎ”の影響を取り入れた、拡張理論を採用した。この拡張理論の並列計算コードを開発し、スパコンを駆使して得られた数値計算結果を実験データと比較することにより、**i) 生成される原子核の種類記述の定量性を劇的に改善することに成功した。また、ii) 拡張理論に基づき、反応によって散逸するエネルギーの分布を微視的に計算する方法を開発することに成功した。**

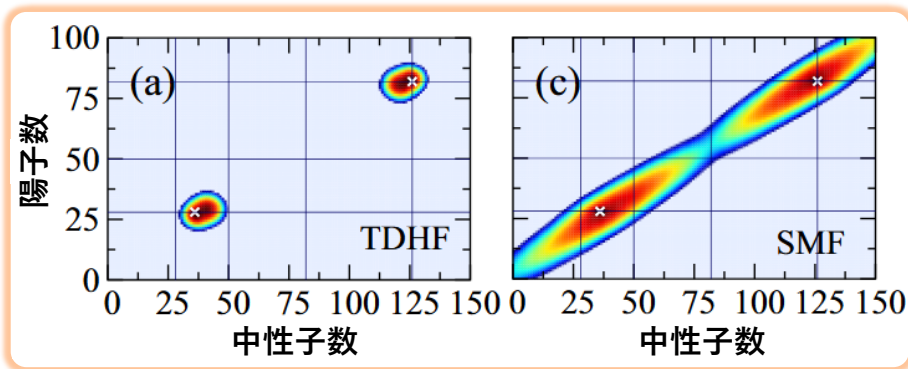


図2 ニッケル(^{64}Ni)と鉛(^{208}Pb)原子核の衝突で生成される原子核の分布。左図が従来の理論、右図が拡張理論による計算結果。縦軸(横軸)が生成された原子核に含まれる陽子(中性子)の数を表し、赤い領域ほど生成されやすい。拡張理論による広い分布(右図)が、実験データと定量的に整合することを確認した。

今後の展望

- 今後の展望・期待される効果

- 大学院時代から続く継続的な研究により、**世界をリードする理論的枠組みとそれを実現する並列計算コードを開発**することができた。
- 現在実施中の課題では、これまでに開発した拡張理論を応用することにより、**未知の不安定核を生成する最適な反応条件を予測**することを目指す。これにより未知不安定核の実験的生成を先導し、**今後の不安定核物理の進展に貢献**することを目指す。
- また、揺らぐ反応過程間の相関効果を取り入れることで、原子核理論の長年の課題である**多体の量子トンネル現象の記述に挑戦**する。