

平成16年度大型シミュレーション研究課題報告書

延与佳子(京大基研), 小野章(東北大理), 古田 琢哉(東北大理)

受理番号

大型-116

研究課題名

反対称化分子動力学による核構造と重イオン反応の研究

研究組織

	氏名	所属機関・部局	身分
研究責任者	延与佳子	京都大学 基礎物理学研究所	助教授
研究従事者	小野章	東北大学 大学院理学研究科物理学専攻	助手
研究従事者	古田 琢哉	東北大学 大学院理学研究科物理学専攻	博士後期課程

研究内容

sdシェル領域原子核の基底状態および励起状態の研究

反対称化分子動力学法を用いて sd シェル領域の基底状態および低励起状態の研究を行った。

sd 殻原子核では異なる変形状態が共存する安定核が知られている。例えば、 ^{28}Si では、oblate な基底状態と prolate 変形をもつ励起回転帯が知られている。 ^{28}Si と同じ中性子数を持つ $N = 14$ isotone の中性子過剰核 ^{24}Ne と ^{19}B で変形共存が存在し得るか、どのような性質を持つかなどを AMD 計算によって研究した。その結果、 ^{28}Si に限らず他の $N = 14$ の中性子過剰核においても、異なる中性子構造に起因する二つの回転帯が低エネルギー領域に現れることが示唆された。 ^{24}Ne および ^{19}B 核でも oblate 的な中性子構造をもつ状態が基底回転帯として表れ、低い励起エネルギー領域に prolate 的な中性子構造をもつ励起回転帯が現れるという理論的予言を得た。基底状態の中性子構造を実験的に確かめる方法として、 ^{19}B での電気的四重極モーメントの測定実験が有用である。一方、 ^{24}Ne の中性子構造を実験的に調べるには、例えば、 ^{24}Ne の E2 遷移強度を鏡映核 ^{24}Si の遷移強度と比較することが有用であることを提案した。

また、 ^{16}C において最近異常に小さな $B(E2)$ が測定され、“陽子変形と中性子変形の違い”を示唆する実験値として注目されている。我々は中性子過剰な C アイソトープにおける基底回転帯の構造を系統的に研究し、陽子分布や中性子分布がどのような変形構造をもつかを理論的に調べた。その結果、 ^{16}C の基底回転帯においては、陽子分布がパンケーキ形、中性子分布が葉巻形を好む、という奇妙な性質によって小さな $B(E2)$ が説明できることを示した。 ^{16}C の計算結果では、葉巻型の中性子分布

に対して、パンケーキ型の陽子分布の対称軸は中性子の対称軸と直交した向きをとる。 $E2$ に寄与する 2^+_{\uparrow} 状態は、中性子の対称軸 Z に対して $J_z = K = 0$ の量子数を持ち、角運動量 $J^{\pm} = 2^+$ の向きが陽子対称軸と平行になった(陽子の対称軸周りの回転)成分を含むも。この時、陽子は $J^{\pm} = 2^+$ の角運動量に一切寄与を与えず中性子だけが励起しているため、この成分からの遷移では $E2$ 遷移強度はゼロとなる。その結果 ^{16}C の $B(E2)$ は小さくなる。AMD計算の結果はCアイソトープの $B(E2)$ 実験値を系統的に再現しており、特に ^{10}C から中性子を増やしていった時に ^{16}C で $B(E2)$ が非常に小さくなる現象を良く説明している。

AMDによる原子核反応と熱平衡状態の統一的研究

これまで、我々は反対称化分子動力学を用いて仮想的な容器内に閉じ込められた多核子系の時間発展を計算することで、理想的熱平衡状況下での核物質の性質(核物質の液相気相相転移など)について調べてきた。前年度の研究として、従来、熱平衡状態の計算に用いられてきた統計模型と結果を比較することで反対称化分子動力学によって熱平衡状態をどの程度良く記述できるのか調べることを行った。具体的には統計模型のベンチマークテストで行われた計算と同じ系の計算を反対称化分子動力学でも行い、得られた質量数分布を比較した。結果はグローバルな形として、様々な統計模型の違いの範囲内で良く一致する質量数分布が得られた。これにより、微視的な動力学計算である反対称化分子動力学を用いても、等重率に基づく統計計算とほぼ同程度の結果が得られることが示された。しかし、分布の詳細を見ると、統計模型の結果に比べて、中重核元素の生成量が少し多くなり、これと関係してアルファ粒子や核子などの生成量が少ないという違いもあった。この原因に関しては、統計模型では無視されているクラスター間の相互作用が反対称化分子動力学の場合には考慮されているといった違いから来しているとも考えられるが、今後より深く研究を行う必要がある。

研究成果発表

査読つき論文

- Y. Kanada-En'yo,
"Deformation of C isotopes",
Phys. Rev. C 71, 014310 (2005).
- Y. Kanada-En'yo,
"Deformations in $N = 14$ isotones",
Phys. Rev. C 71, 014303 (2005).
- Y. Kanada-En'yo, M. Kimura, and H. Horiuchi,
"Cluster structure in stable and unstable nuclei",
to appear in Eur. Phys. J. A 24 (2005).
- A. Ono, P. Danielewicz, W. A. Friedman, W. G. Lynch and M. B. Tsang,
"Symmetry energy for fragmentation in dynamical nuclear collisions", Phys.
Rev. C70, 041604(R) (2004).
- A. Ono, P. Danielewicz, W. A. Friedman, W. G. Lynch and M. B. Tsang,
"Isospin fractionation and isoscaling in dynamical nuclear collisions", Proc.
The 8th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure
and Dynamics, Nara, November 24–29, 2003, Nucl. Phys. A738, 308c(2004).

プロシーディングス論文

- T. Furuta and A. Ono,
"Nuclear Liquid-Gas Phase Transition Studied with Antisymmetrized Molecular Dynamics", The YITP Workshop on Nuclear Matter under Extreme Conditions, Prog. Theor. Phys. Supp. 156, 147(2004).

口頭発表

- Y. Kanada-En'yo,
"Cluster structure in stable and unstable nuclei",
The Fourth International Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses,
Pine Mountain, Georgia, USA 2004.9.
- A. Ono,
"Isoscaling and symmetry energy in dynamical simulations of nuclear collisions",
Gordon Research Conference 2004 on Nuclear Chemistry, Colby Sawyer College,
New London, New Hampshire, June 13–18, 2004.
- A. Ono,
"Symmetry energy for excited nuclei produced by multifragmentation", Symposium
on Nuclear Equation of State used in Astrophysical Models,
Part of the 228th ACS National Meeting, Philadelphia, August 25–26, 2004.
- A. Ono,
"Isoscaling and symmetry energy in dynamical fragment formation",

Second Argonne/MSU/JINA/INT RIA Workshop: Reaction Mechanisms for Rare Isotope Beams, Michigan State University, March 9–12, 2005.

- T. Furuta,
"Nuclear Liquid-Gas Phase Transition Studied with Antisymmetrized Molecular Dynamics" (ポスター発表), Gordon conference, Colby-Sawyer, USA 2004.6.
- T. Furuta,
"Nuclear Liquid-Gas Phase Transition Studied with Antisymmetrized Molecular Dynamics", WCI post Gordon conference Workshop, Smith College, USA 2004.6.
- 古田琢哉, "反対称化分子動力学による熱平衡状態の記述",
日本物理学会 2004 年秋季大会, 高知大, 2004.9.
- 延与佳子, "AMD を用いた quark model による pentaquark の研究",
日本物理学会 2004 年秋季大会, 高知大, 2004.9.
- 延与佳子, "11C 励起状態の 3 体クラスターの構造と遷移強度",
研究会「少数粒子系物理の最近の発展と今後の展望」, 阪大核物理センター,
2004.12.