

受付ID	17a1
分野	原子核

## CSM+SVM法を用いた4体共鳴状態の分析

### Analysis of four-body resonances by using CSM+SVM

青山茂義

新潟大学 情報基盤センター

#### 1. 研究目的

本申請課題では、Complex Scaling Method(CSM)と Stochastic Variational Method(SVM)を組み合わせた CSM+SVM 法を原子核の4体共鳴状態に適用し、その分析を行なった。主に、 $4\text{He}$ 核の励起共鳴状態の分析を行なう。核力第一原理によるハミルトニアンを対角化し、4核子系の複素エネルギー固有値問題を解くが、 $4\text{He}$ 核では100万次元程度のハミルトニアン行列の計算が必要である。CSM+SVMを適用するとこの次元を、数万次元程度まで減らすことができるが、1コアでは、1回の計算あたり数年程度かかるので、現実的ではない。COMAの32ノードを使い、1回の計算を1日程度で終わらせる(計画全体では数十日)ことにより、 $4\text{He}$ の励起共鳴状態の現実的な分析を行なう。

#### 2. 研究成果の内容

$4\text{He}$ の励起状態の中でも、 $0^+$ と $0^-$ の連続共鳴状態を重点的に分析した。 $\text{Second } 0^+$ 状態と $\text{First } 0^-$ 状態に関しては、実験と非常によい一致を得た。これは、核力第一原理計算の予言力の高さを示した。しかしながら、実験的に報告されている $\text{Second } 0^-$ は、この計算では共鳴状態としては求まらなかった。実験的にかなり幅の大きな状態でもあるので、必ずしも、共鳴状態である必要なく、連続状態の断面積が実験条件等の何らかの理由で、若干増大している可能性がある。連続状態の断面積の構造を確かめるためには、当初予定のComplex Scaling Methodよりも、微視的R行列理論で境界条件を取り扱う方が向いているので、境界条件の入れ方を変えて再分析を行った。この場合も、弾性散乱断面積の増大は見られなかったが、実験的に観測されているエネルギー領域の近くに、PhaseShiftが異常な振る舞いを示していることがわかった。そこで、詳細にS行列の分析を行った所、 $t+p(h;n)$ チャンネルの弾性散乱のS行列が0となっていることがわかった。つまり、弾性散乱が禁止されており、陽子を入射させると100%中性子に置き換わる完全交換が起きていることがわかった。これは、理想的な単純2チャンネルのS行列公式の極限的性質から導かれるが、 $4\text{He}$ というよく知られていると思われる原子核において、現実的に極限状況がおきているということ、核力第一原理から示した。この成果については、Physical Review Cに投稿し、受理(平成31年4月)された。

3. 学際共同利用として実施した意義

学祭共同利用の高速な計算機を用いることにより、テンポよく、分析が可能であった。また、スケーリングアングル変更等の条件変更を多数回行なうことが可能であった。**Complex Scaling Method**に加えて、微視的 **R** 行列による分析を追加したが、**COMA** 計算機を利用していなければ、論文発行に半年から1年の時間がかかったことが、予想されるので、大きな意義があった。

4. 今後の展望

微視的 **R** 行列理論を適用し、 $t+p \rightarrow h+n$  の非弾性チャンネルの分析等、より詳細な **4He** の励起構造の分析を予定している。これは、平成30年度の学祭共同利用プロジェクト「微視的 **R** 行列理論による **4He** の励起共鳴状態の分析」として認められているので、**4He** の励起構造に関して、より理解が深まる。

5. 成果発表

(1) 学術論文

「Ab initio study of  $J=0^{+-}$  continuum structure in **4He**」、S. Aoyama and D. Baye, *Physical Review C*, to be published.

(2) 学会発表等

「CSM+SVMによる**4He**の励起共鳴状態の分析」、青山茂義、RCNP研究会「核子・ストレンジネス多体系におけるクラスター現象」、2017年8月4日-6日、大阪大学  
 「微視的 **R** 行列理論による **4He** の励起共鳴状態の分析」、青山茂義、日本物理学会  
 2017年秋季大会、2017年9月12日-15日、宇都宮大学

「CSM+SVMによる**4He**の4体共鳴状態の分析」、青山茂義、筑波大学計算科学研究センターシンポジウム「計算科学の発展と将来」、2017年10月11日-12日、つくば交際会議場

「A study of four-body resonance states by using the complex scaling method plus the stochastic variational method」、S. Aoyama, WNCP2017, 2017.10-25-27, Hokkaido University.

(3) その他

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
HA-PACS/TCA			
COMA	○	60,000	
Oakforest-PACS			