2025年春の年会

核データ部会セッション[「シグマ」調査専門委員会共催]

三体核力研究と核データ応用への期待
Study of Three-body Nuclear Force and its Expectations for Nuclear Data Production

(3) 核子多体系の原子核構造・反応計算の確立

(3) Establishment of Nuclear Structure and Reaction Calculations for Nucleon Many-body Systems

肥山　詠美子
東北大学

1. 緒言

物理学の興味のある課題の中には、少数粒子系（３体以上）のシュレディンガー方程式を「精密に」解くことに帰着する課題が多い。「精密に」解くことによって、新しい知見を得たり、新しい予言や発見に至ることがしばしばある。従って、少数粒子系のシュレディンガー方程式を、精密に解くことができる、容易に解くことができる、適用範囲が広い、大学院修士レベルでも容易に習得できるような計算法が存在すれば、心強い。しかし、そのような計算の開発は難しい。

原子分子の世界では、電子と原子核で構成されるが、ここでは、電子の質量が原子核よりも非常に軽いこと、相互作用であるクーロン力が比較的弱いだけ、よい近似が存在し、原子核物理分野よりも比較的、容易に解くことができる。一方、原子核物理の分野では、陽子や中性子で構成される核子の質量は同じ、相互作用は核力であり、強い相互作用であるために、近似法をできるだけ排除した計算法が必要である。

2. 無限小変位ガウス・ローブ関数展開法の提唱とその応用

そこで、「無限小変位ガウス・ローブ関数展開法」をいう３体、４体系のシュレディンガー方式を厳密に計算する計算法を提唱した[1]。一般的に、少数系におけるシュレディンガー方程式を解くために、未知関数をできるだけ完全系に近い基底関数で展開し、ハミルトニアンの行列要素を計算することで、一般化固有値問題に帰着させ、エネルギー固有値と波動関数を求める。この際、重要なことは展開する基底関数が「信頼できる」ものであることである。そこで、講演者は、次のような基底関数を提唱した。この基底関数を「無限小変位ガウス・ローブ基底関数」と呼ぶ。この基底関数によって、すべての粒子間の相関を取り入れることができる、波動関数の遠方の漸近形をよく記述できる。行列要素の計算が容易にできるだけ、解析的に実施することができる、という利点が生まれた。この基底関数の提唱のおかげで、４体問題だけでなく、５体問題以上の精密計算が可能になりつつある。実際、この計算法が厳密に数値解を与えるかを証明するために、世界中の少数多体系を計算する７つの研究グループと共に、^{4}He という４体問題について複雑な現実的核子間相互作用を使用して、その４体問題計算をし、その答えを比較するというベンチマークテストを実施した。その計算結果は、数 10keV の精度で一致した[2]。

$$\lim_{\varepsilon \to 0} \frac{1}{\varepsilon^{l}} \sum_{k=1}^{k_{\max}} C_{lm,k}\, e^{-\nu(\mathbf{r} - \varepsilon \mathbf{D}_{lm,k})^2}$$

3. まとめ

本講演では、この計算法とその適用例として、４He 原子系の３体〜５体問題の計算について、説明し、本計算法が如何に有力な方法であるかを示したい。

謝辞 本研究は JST/ERATO（課題番号 JPMJER2304）の助成を受けたものである。

参考文献

[1] E.Hiyama, Y. Kino,and M. Kamimura,　Prog. Part. Nucl. Phys. 51, 233 (2003).
[2] H. Kamada et al., Phys. Rev. C64, 044001 (2001).

Emiko Hiyama
Tohoku Univ.