

有限振幅法を用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊行列要素の評価

Evaluation of nuclear matrix element of neutrinoless double-beta decay using the proton-neutron finite-amplitude method

日野原 伸生

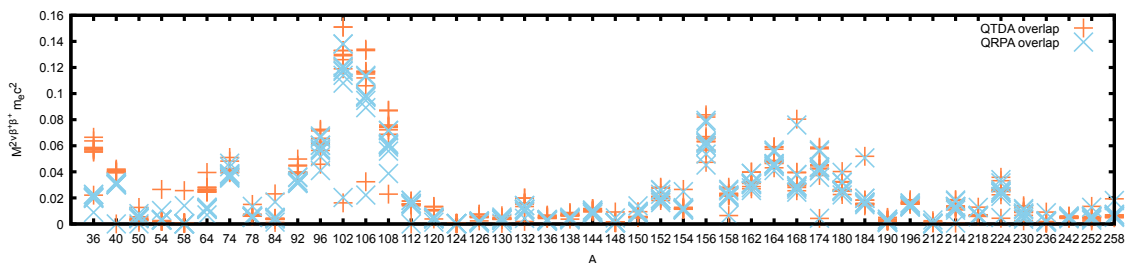
筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

電子ニュートリノの有効質量をニュートリノレス二重ベータ崩壊の半減期から決定するために、崩壊原子核の遷移のしやすさを表す原子核行列要素の値を原子核構造理論から精密に計算し、ニュートリノの質量決定に貢献することが研究の目的である。原子核行列要素の値は原子核内の核子間有効相互作用、特に中性子-陽子間の相互作用に強く依存することがわかっている。半減期が測定されている、ニュートリノを2つ放出する二重ベータ崩壊($2\nu\beta\beta$)や二重電子捕獲($2\nu\text{ECEC}$)の原子核行列要素の情報を用いることで中性子-陽子間の相互作用の不定性を減らすことを目指す。

2. 研究成果の内容

中性子-陽子チャンネルの有限振幅法を用い、捕獲過程の Q 値から電子を捕獲可能な46核種について $2\nu\text{ECEC}$ の原子核行列要素の計算を系統的に行った。用いた原子核密度汎関数は β 崩壊等の実験値を大域的に再現するように調整された10種類を用いた。半減期が測定されている ^{78}Kr , ^{124}Xe , ^{130}Ba の原子核行列要素は、半減期の実験値から見積もられる値に比べてオーダーが異なる小さな値になり、実験値が説明できないことがわかった。これらの核種では捕獲の始状態核と終状態核の四重極変形に関する形状が異なることにより、有限振幅法で二重電子捕獲を計算する際に仮定されている、平均場近似および小振幅近似が成立しないことが主要因として考えられる。また、 $2\nu\beta\beta$ の場合と同様、質量数が大きい原子核では始状態核と終状態核が同程度にプロレート変形しており、原子核行列要素の値が用いた密度汎関数にパラメータにあま



原子核密度汎関数法による $2\nu\text{ECEC}$ の原子核行列要素の値(横軸は捕獲核種の質量数)。計算値は10種類の汎関数を用い、2種類の重なり積分の手法を使っている。

り依存しないことがわかった。

また、 $0\nu\beta\beta$ の原子核行列要素を有限振幅法を用いて計算するためには二体崩壊演算子を一体演算子の積で表す必要がある。ニュートリノが寄与する部分を展開することで二体演算子を一体演算子の積の和で表現した後に、各項ごとに有限振幅法の計算を実行する。 $0\nu\beta\beta$ 原子核行列要素の計算コードのプロトタイプを作成し、 ^{76}Ge でのテスト計算を実行した。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

これまでの学際共同利用プログラムの成果により、複数の原子核密度汎関数を用いた有限振幅法による二重ベータ崩壊や二重電子捕獲半減期の全核種計算が可能となり、関連する科研費の研究課題へと発展している。

4. 今後の展望

$0\nu\beta\beta$ 原子核行列要素の原子核行列要素の計算コードを完成させ、特に測定実験が進められている核種の計算に着手したい。

5. 成果発表

(1) 学会発表

1. Nobuo Hinohara, “Current status and future perspective of nuclear structure calculation for nuclear matrix element of neutrinoless double-beta decay”, Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with Underground Physics (UGAP2022), Tokyo University of Science, Noda, Japan, June 13 – 15, 2022.
2. 日野原 伸生、「 $0\nu\beta\beta$ 崩壊半減期の原子核構造計算の現状と展望」、日本物理学会 2022 年秋季大会 共催シンポジウム 地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化、オンライン、2022 年 9 月 10 日.
3. 日野原 伸生、「二重ベータ崩壊核行列要素と中性子-陽子対相関」、二重ベータ崩壊核行列要素に関する実験理論合同研究会、大阪大学核物理研究センター、2022 年 10 月 3 – 4 日.

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
Cygnus	○	630	0
Wisteria/BDEC-01	○	45,000	0

※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。