

QRPA と GCM による二重ベータ崩壊原子核行列要素計算

Calculation of double-beta decay nuclear matrix elements using QRPA and GCM

日野原 伸生

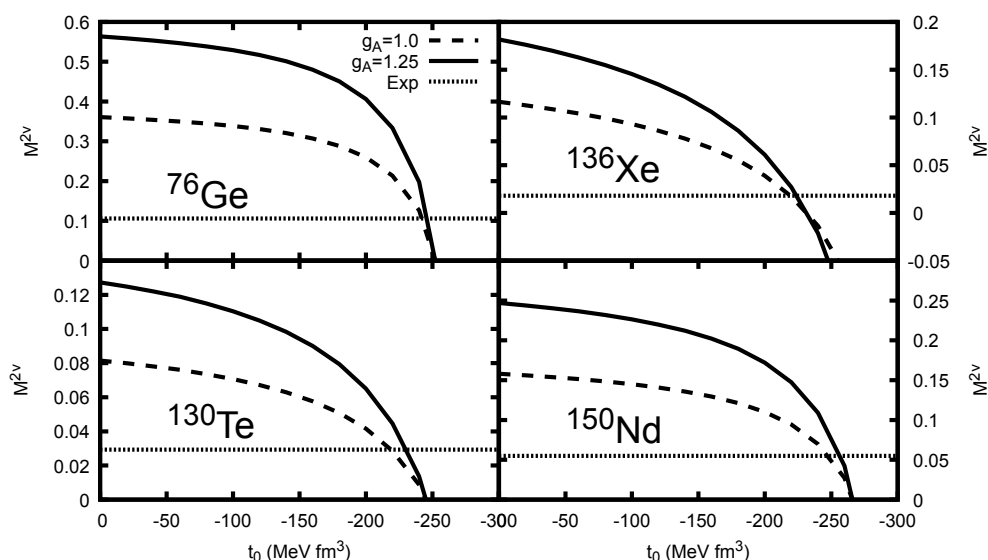
筑波大学計算科学研究センター

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求めるために必要な原子核行列要素を精密に計算し、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。この原子核行列要素の値は、基底状態の原子核の性質からは決定できない中性子-陽子対相互作用の強度に強く依存することが知られている。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($2\nu\beta\beta$)の原子核行列要素を計算して測定値と比較することで中性子-陽子対相互作用の詳細を決定し、ニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素の不定性を減らす。

2. 研究成果の内容

原子核密度汎関数の有限振幅法を応用し、中性子-陽子準粒子乱雑位相近似(QRPA)による原子核行列要素計算を標準的な行列対角化ではなく、反復法と二重複素積分を用いて効率的に行った。2019 年度から進めてきた 20 調和振動子主量子数基底からな



有限振幅法で計算した ^{76}Ge , ^{130}Te , ^{136}Xe , ^{150}Nd の $2\nu\beta\beta$ のガモフ・テラー原子核行列要素のアイソスカラー型対相関依存性。2 つの軸性ベクトル結合定数 g_A 値を用いた理論計算値と、半減期の測定データから導出された行列要素の実験値。

る一粒子模型空間を用いた現実的な計算を継続して行った。二重複素積分の積分経路として実軸上に中心を取った 2 つの円で原点を含まない積分経路を取り、2 つの円が近接する原点付近での積分の離散化の点数を多く取ることにより数値的な収束を確認した。 ^{76}Ge , ^{130}Te , ^{136}Xe , ^{150}Nd の 4 つの原子核の $2\nu\beta\beta$ 崩壊原子核行列要素のアイソスカラー型中性子-陽子対相関依存性を計算し、行列対角化を用いた先行研究と定性的な一致を得た。求まった原子核行列要素の値は先行研究の値より全体的に大きめとなった。先行研究では行列の次元を削減する近似が用いられているが、有限振幅法ではこの近似は用いられていないことに起因すると考えられる。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

有限振幅法による二重ベータ崩壊の計算では、与えられた外場演算子と複素エネルギーでの線形応答の計算を行う。有限振幅法の計算は数十万次元の線形方程式を反復法により解く。異なる複素エネルギーでの計算を MPI 並列化し、また相互作用パラメータを変えながら有限振幅法の計算を行った。最適な積分経路の設定や、経路の離散化の分析を進めるにあたって OFP を用いた MPI 並列計算が必須である。

4. 今後の展望

今回計算した 4 種類の崩壊核に加えて $2\nu\beta\beta$ が測定されているその他 7 種の原子核での原子核行列要素計算も含め、様々な原子核密度汎関数を用いた計算を行う。続いてアイソスカラー型中性子-陽子対相関を改良してこの相互作用の強度を決定し、ニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素計算にこの手法を応用する。

5. 成果発表

(1) 学会発表

1. 日野原 伸生、「有限振幅法を用いた原子核密度汎関数理論による二重ベータ崩壊行列要素計算」、第 2 回新学術「地下宇宙」領域研究会、オンライン、2020 年 6 月 2-3 日。
2. 日野原 伸生、「2 ニュートリノ二重ベータ崩壊原子核行列要素を用いたアイソスカラー型対相関結合定数の決定」、日本物理学会 2020 年秋季大会、オンライン、2020 年 9 月 14-17 日。
3. 日野原 伸生、「ニュートリノレス二重ベータ崩壊原子核行列要素計算の現状」、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊とその周辺、オンライン、2021 年 3 月 12、15 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	○	1000	0
Oakforest-PACS	○	25000	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。			