

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

ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊の半減期から電子ニュートリノの質量を求めるために必要な原子核行列要素の値を精密に計算し、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中性子-陽子対相互作用によって強く抑制されることが知られているが、その相互作用の詳細はあまりわかっていない。そのため、中性子-陽子チャンネルの関連する実験データを評価しつつ中性子-陽子対相互作用の詳細を明らかにし、この相互作用の影響を取り込んだ原子核行列要素計算を実行する。

2. 研究成果の内容

平成30年度の主要な成果は原子核密度汎関数理論の有限振幅法による線形応答計算によってニュートリノを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するコードが完成したことである。 $2\nu\beta\beta$ には多くの実験データが存在するため、これを用いて中性子-陽子対相互作用を決定することができる。原子核密度汎関数理論は質量領域によらず大域的に計算が可能な理論であり、二重ベータ崩壊の原子核行列要素は準粒子乱雑位相近似(QRPA)などで計算することができる。原子核行列要素のQRPA計算は崩壊の始状態及び終状態それぞれでの大次元行列の対角化が必要な大規模計算であるが、昨年度までに行った定式化により、原子核密度汎関数理論においては有限振幅法を用いることで効率的にQRPA原子核行列要素の計算が可能であることを示した。この定式化では行列対角化は不要であり、反復法である有限振幅法計算を様々な複素エネルギーに対して並列して行い、その結果を二重複素積分することにより原子核行列要素が求まる。このコードを用いて ^{48}Ca を含むpf殻原子核で二重ガモフ・テラー遷移および $2\nu\beta\beta$ の原子核行列要素のテスト計算を系統的に行い、フェルミおよびガモフ・テラー行列要素のアイソベクトル型およびアイソスカラー型中性子-陽子対相関依存性を調べ、相互作用による行列要素の抑制が得られることを確認した。

3. 学際共同利用として実施した意義

有限振幅法による二重ベータ崩壊原子核行列要素計算は複素エネルギーを変えながら何度も行う大規模計算であり、学際共同利用による COMA や Oakforest-PACS の利用を通じて計算コードの作成を効率的に進めることができた。

4. 今後の展望

計算コードの並列化を完了し、模型空間を広げた計算を行う。既存の原子核密度汎関数を用いて $2\nu\beta\beta$ 崩壊の原子核行列要素を計算し、実験値との比較を行った後、実験値を再現するような新しい密度汎関数を決定していきたい。

5. 成果発表

(1) 学会発表

1. Nobuo Hinohara, "Double-beta decay nuclear matrix element using finite-amplitude method," 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, Waikoloa Village, HI, USA, Oct. 23-27, 2018.
2. 日野原 伸生, "二重ベータ崩壊原子核行列要素計算の現状", 「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」京大・A 班共催 二重ベータ崩壊若手研究会、京都大学、2018年11月8-9日.
3. Nobuo Hinohara, "Finite-amplitude method for double-beta decay," Tsukuba-CCS workshop on "microscopic theories of nuclear structure and dynamics," CCS, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, Dec. 10-12, 2018.
4. Nobuo Hinohara, "Finite-amplitude method for double-beta decay nuclear matrix elements," (poster) International Symposium on Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019, Tohoku University, Sendai, Japan, Mar. 7-9, 2019.

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
COMA	○	16,750	0
Oakforest-PACS	○	2,200	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。			