

QRPA を用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素の計算

Calculation of nuclear matrix elements of neutrinoless double- β decay using QRPA

岩田順敬
東京工業大学

1. 研究目的

二重ベータ崩壊の原子核行列要素を計算することは、ニュートリノの有効質量を決定するために必須の課題である。原子核行列要素の値はまた、ニュートリノのマヨラナ粒子性（反粒子が粒子それ自身と同一）を決定づけるニュートリノレス二重ベータ ($0\nu\beta\beta$) 崩壊の次世代観測実験準備に必要な半減期の見積りのためにも欠かせない。本研究では、 $^{136}\text{Xe}\rightarrow^{136}\text{Ba}$ の $0\nu\beta\beta$ 崩壊の原子核行列要素計算を準粒子乱雑位相近似 (QRPA) を用いて行う。そしてその計算の信頼性を四つの具体的な点について検証する。さらに進んだ計算を行うため、QRPA の拡張も行う。

2. 研究成果の内容

第一に、中間状態 (^{136}Cs) のスペクトルを実験データと比較し、未完データの特徴を再現していることを示した。さらに $^{136}\text{Xe}({}^3\text{He}, t)^{136}\text{Cs}$ 反応実験から得られているガモフ・テラー遷移強度分布のエネルギー依存性が再現されることを示した。これらの検証により QRPA が ^{136}Xe と ^{136}Cs でよい近似であることを示した。

第二に、本来の $0\nu\beta\beta$ 崩壊経路と、完全性近似のもとで可能な仮想的二核子移行経路による計算で原子核行列要素が一致するようにアイソスカラー陽子・中性子対相互作用の強さを決めることが可能であることを示した。上記の QRPA の妥当性はこの強さをを用いて示された。

第三に、 $2\nu\beta\beta$ 崩壊の原子核行列要素計算に用いるエネルギー分母を QRPA に固有の二通りの仕方で計算し、結果が一致することを検証した。

第四に、原子核行列要素の数値が、一粒子空間の次元拡張に対し収束していることを検証した。

将来の研究の発展のため、高次 QRPA 計算のプログラミングに用いる式の導出が行われた。

3. 学際共同利用として実施した意義

本研究の特徴は QRPA の $\beta\beta$ 崩壊原子核行列要素計算への適用妥当性を詳細に検証した点に

ある。この検証の中で特に一粒子空間の次元拡張に対する計算結果の収束性を得るまで次元拡張を行った結果、本研究の計算は、高性能並列計算機を必要とする大規模計算となった。この計算は、Oakforest-PACSを用い、豊富な資源割り当てが与えられることによってはじめて可能になった。また、本研究は、ニュートリノに関係するすべての研究分野に影響を与える。これらの理由により、本研究を学際共同利用として実施した意義は高い。

4. 今後の展望

$0\nu\beta\beta$ 崩壊の原子核行列要素計算をめぐるには、異なる方法による結果が因子2から3も異なっており、計算の信頼性を示すことが、重要な基本的要求になっている。本研究では可能な限りこの信頼性の検証が行われた。他のグループよりも詳細に検証が行われたと躊躇せずいうことができる。今後は、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊を起こしうる他の例についての同様に詳細な検証を行う。QRPAがよい近似である崩壊例を明らかにすることが、それらの計算の目的である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

1. J. Terasaki, "Consistency Examinations of Calculations of Nuclear Matrix Elements of Double- β Decay by QRPA", Nuclear Theory vol. 37, eds.: M. Gaidarov and N. Minkov, Heron Press, Sofia (2018) 3.

2. J. Terasaki, "Effective axial-vector current coupling and isoscalar pairing interaction for quasiparticle random-phase approximation approach to double- β and β decays", Physical Review C, submitted.

(2) その他 (国際会議発表)

1. J. Terasaki "Examination and improvement of nuclear matrix elements of double- β decay in QRPA approach" (poster), Neutrino 2018 - XXVIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Heidelberg, Germany, June 4-9, 2018.

2. J. Terasaki "Consistency Examinations of Calculations of Nuclear Matrix Elements of Double- β Decay by QRPA" (talk), The 37th international workshop on nuclear theory, Rila mountain, Bulgaria, June 24-30, 2018.

3. J. Terasaki "Determination of strength of isoscalar pairing interaction by a mathematical identity in QRPA", (talk), 2018 Zakopane conference on nuclear

physics, Zakopane, Poland, August 26 - September 2, 2018.

4. J. Terasaki "Examination of consistency of QRPA approach to double- β decay", (talk), International conference, Nuclear theory in the supercomputing era - 2018, Daejeon, South Korea, October 29 - November 2, 2018.

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			
Oakforest-PACS	○	150300	
※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。			