

# QRPA によるニュートリノレス二重ベータ崩壊原子核行列要素の信頼性の崩壊例依存性

## Decay-instance dependence of reliability of nuclear matrix element of neutrinoless double- $\beta$ decay by QRPA

寺崎 順

チェコ工科大学プラハ

### 1. 研究目的

ニュートリノ振動の発見によって、ニュートリノが有限質量をもつことが約二十年前に証明されて以来、ニュートリノ物理は、爆発的發展の途上にある。現在の研究の重要な流れのひとつは、ニュートリノに関連した未知の粒子や性質の探索であり、そのひとつは、ニュートリノはその反粒子と同一かもしれないという可能性である。これは前世紀前半に提案され、同中ごろに原子核のニュートリノレス二重ベータ崩壊の有無によって検証可能であるということが提示された。それ以来、その発見を目指して多くの実験が試みられ、現在では、約 30 の大型プロジェクトが世界各地で進行中である。その半減期は、宇宙の年齢よりはるかに長いと予想され、実験にはきわめて高い測定感度が要求される。もし見つければ、上記の特異なニュートリノの性質の発見とともに、レプトン数非保存という発見が伴う。これらの発見は、なぜニュートリノは他のフェルミ粒子より桁違いに軽いのかという問題の解明、また、宇宙初期における粒子誕生の機構と現在の宇宙における粒子・反粒子の偏りの解明にとって重要な情報となる。

ニュートリノレス二重ベータ崩壊の確率は、原子核行列要素、位相空間因子、有効ニュートリノ質量の関数であり、もし崩壊確率が実験で求めれば、理論計算による前二つの物理量を用いて、有効ニュートリノ質量が求まるという関式である。ニュートリノ質量はまだ完全にはわかっていないため、この有効ニュートリノ質量の決定もニュートリノ物理の重要な課題のひとつである。ところが、原子核行列要素の計算値は、原子核波動関数に用いる近似によって、最小値と最大値に三倍くらいの違いがあり、精密な議論を阻んでいる。この問題の解決は、原子核理論に課せられた重要な課題であり、これが課題実施者の研究の目的である。

### 2. 研究成果の内容

課題実施者は、2021 年度に表題の研究を行う予定であったが、上記問題の解決に向けて予想外の大きな前進が得られたため、これを当該年度の研究とした。原子核行列要素の計算値を比較すると、系統的に殻模型値が準粒子乱雑位相近似 (QRPA) 値の半分で

ある。課題実施者は、殻模型の専門家との共同研究によって、この相当に異なる二つの値をほとんど同じにする補正の方法を示した。

殻模型は、多粒子・多空孔相関を十分取り入れることができる反面、始状態と終状態の核の記述に用いる一粒子バレンス空間を制限している。一方、QRPA は、一粒子空間を十分広く取り、粒子・空孔相関を低次のものに限る近似である。まず、殻模型による荷電変換強度関数と実験データとの比較から、殻模型で記述可能な中間状態核の最高励起エネルギーを求め、これと QRPA 計算による原子核行列要素成分をそのエネルギーの関数として徐々に蓄積した和（ランニングサム）から、殻模型の原子核行列要素値を外装する補正因子を求めた。これは 1 より大きい。一方、QRPA と殻模型の荷電変換強度関数の低エネルギー領域での比較から、QRPA の原子核行列要素に対する補正因子を求めた。これは 1 より小さい。この方法によりそれぞれの近似理論の原子核行列要素の修正を行った結果、二理論の修正値は従来の因子 2 の違いから、20% 程度の違いにまで大幅に近づくことが  $^{48}\text{Ca}$  で示された。これにより、殻模型と QRPA の不一致問題の本質的な原因は除かれた。

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

この研究は、大規模な並列計算なしには不可能であった。学際共同利用が果たした役割と意義は大きい。

### 4. 今後の展望

原子核行列要素の不確定性をもたらしている最後の問題は、崩壊演算子の有効ガモフ・テラー結合の不確定性である。崩壊演算子の多体補正を場の理論的方法で加えることにより、この問題の解決を目指す。これは、現在の大規模計算よりもさらに大規模になり、数値計算の加速が必要である。そのため、計算プログラムの GPU 化を行う。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

J. Terasaki and Y. Iwata, Eur. Phys. J. Plus **136** (2021) 908

会議発表は省略する。

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			
Oakforest-PACS	○	170,000	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。			