

受付 ID	17a4
分野	原子核

二重ベータ崩壊と中性子—陽子対の非線形ダイナミクス

Double beta decay and non-linear dynamics of neutron-proton pairing

日野原 伸生

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

ニュートリノレス二重ベータ崩壊の観測によってニュートリノの質量を決定できる可能性があるが、実験によって測定される崩壊の半減期からニュートリノの質量を評価するためには原子核行列要素の理論値が必要となる。ニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素を原子核構造計算によって精密に計算し、二重ベータ崩壊の探索実験におけるニュートリノの質量決定に寄与することが研究の主目的である。特に原子核有効相互作用の中で中性子—陽子対相関が行列要素を強く抑制する重要な役割を担うため、この相互作用の詳細を明らかにしつつ、中性子—陽子対相関による多体効果を取り込んだ生成座標法による計算を行う。

2. 研究成果の内容

平成29年度の成果は以下の3つである。生成座標法による計算を行うためには、生成座標法の非直交基底間の重なり積分(内積)を計算する必要があるが、二重ベータ崩壊核の ^{48}Ca は二重閉殻であり、準粒子波動関数からなる行列にゼロ固有値が存在するため、従来用いられているこの逆行列を用いた手法が使えない。ゼロ固有値が存在する場合にも重なり積分の計算ができるように計算コードの改良を行い、 ^{48}Ca の重なり積分の計算が可能となった。中性子—陽子対振幅の自由度のみを生成座標に用いた計算を行った。殻模型計算では中性子—陽子対相関によって原子核行列要素が抑制される結果が得られているが、終状態の ^{48}Ti に中性子—陽子対振幅の自由度を入れた生成座標法では、十分な抑制を得ることができなかった。

対相関を生み出す対密度汎関数に対密度の空間微分項や対運動密度項を導入して精密化を行い、対回転の慣性モーメントを実験と比較することによってそれらの結合定数を決定できることを示した。同様に中性子—陽子対相関についても精密化が行えることが期待される。この成果は論文として出版された。

原子核密度汎関数理論の線形応答計算を効率的に行う有限振幅法を応用することによって、二重ベータ崩壊の原子核行列要素を計算する定式化を行った。特に、崩壊演算子が分離型となる2つのニュートリノを放出する二重ベータ崩壊については、従来の大次元の行列対角化による方法と比較して大幅な高速化が期待できる。

3. 学際共同利用として実施した意義

対回転の慣性モーメントの計算は、調和振動子基底を用いた複数の同位体チェーンにおいて結合定数を系統的に変えた計算であり、COMAを用いることで効率的な計算の実行が可能となった。

4. 今後の展望

生成座標法の計算については、 ^{130}Te や ^{136}Xe , ^{150}Nd などの重い質量領域の原子核の二重ベータ崩壊の計算を実行してゆきたい。対密度汎関数の精密な決定については、今回は Sn と Pb の同位体のみの議論であったが、核図表の広い領域での対回転の慣性モーメントを計算し、実験値と比較することで対密度汎関数の精密化を図っていきたい。また、有限振幅法による2つのニュートリノを放出する二重ベータ崩壊については、コードの実装が完了し、効率的な計算が可能となれば、この実験データを用いて中性子-陽子対密度汎関数の結合定数を大局的に決定することで、ニュートリノレス二重ベータ崩壊計算の中性子-陽子対密度汎関数から来る不定性を減らし、原子核密度汎関数による、より定量的に信頼できる計算が可能になると考えられる。

5. 成果発表

(1) 学術論文

1. N. Hinohara, “Extending pairing energy density functional using pairing rotational moments of inertia,” *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, **45** (2018), 024004.

(2) 学会発表

1. 日野原 伸生, “生成座標法による二重ベータ崩壊原子核行列要素の評価,” 新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核実験」2017年領域研究会、岡山大学、2017年5月21-23日.
2. “Application of generator coordinate method with neutron-proton pairing amplitudes to nuclear matrix elements,” MEDEX’17, National Technical Library, Prague, Czech Republic, May 29-Jun. 2, 2017.
3. “Nuclear matrix elements from generator coordinate method,” INT Program INT-17-2a Neutrinoless Double-beta Decay, INT, UW, WA, USA, Jun. 13-Jul. 14, 2017.
4. “Generator coordinate method with neutron-proton pairing amplitudes for double-beta decay nuclear matrix elements,” XXXV Mazurian Lakes Conference on Physics, Piaski, Poland, Sep. 3-9, 2017.
5. “Neutron-proton pairing and double-beta decay nuclear matrix element,” Conference on Neutrino and Nuclear Physics (CNNP2017), Univ. of Catania, Catania, Italy, Oct. 15-21, 2017.

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
HA-PACS/TCA			
COMA	○	19,800	
Oakforest-PACS			
※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。			