

受付 ID	15a-17
分野	原子核

二重ベータ崩壊と大振幅集団運動

Double beta decay and large-amplitude collective motion

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はニュートリノがマヨラナ粒子であれば起こりうる過程であり、さらにその半減期から電子ニュートリノの有効質量が評価できるが、この導出において原子核行列要素を理論的に評価する必要がある。原子核行列要素の計算では崩壊の二体演算子の評価に加えて、崩壊の始状態と終状態の原子核を原子核構造理論によって正確に計算することが求められる。これまでに準粒子乱雑位相近似(QRPA)によってアイソスカラー型の中性子-陽子間の対相関力が核行列要素の値を抑制することが知られていたが、QRPAは量子ゆらぎが大きくなるような変形共存核や、相転移近傍に位置する原子核では近似が破綻するため、非線形相関が記述できる大振幅集団運動理論を用いる必要がある。本研究は生成座標法を用いて、基底状態の記述で重要となる四重極変形相関と、二重ベータ崩壊で重要となる中性子-陽子対相関の両方の非線形ゆらぎを取り込んだ計算を行い、二重ベータ崩壊の核行列要素の評価することを目的とする。

2. 研究成果の内容

軽い pf 殻核(Ti, Cr)の二重ベータ崩壊の原子核行列要素計算を系統的に行い、殻模型計算による厳密解と比較することで、四重極変形と中性子-陽子対の非線形相関を取り入れた生成座標法による記述の定量性を示した。また、この計算では現実的な相互作用から導き出された簡単な分離型集団ハミルトニアンを用いたが、元の現実的相互作用による原子核行列要素と比較しても定量的によい近似になっていることを示した。分離型集団ハミルトニアンを生成座標法で解くことの有効性が、集団性があまり発達していないと考えられる軽い質量領域で示すことによって、集団性が発達した重い原子核領域においてはその有効性がさらに正当化できることが期待できる。

また生成座標法計算で最も時間がかかる行列要素の量子数射影演算部分において、計算コードの最適化を行い、二体行列要素計算のアルゴリズムの大幅な変更により、およそ2.5倍の高速化を達成した。

3. 今後の展望

分離型集団ハミルトニアンが二重ベータ崩壊の行列要素を評価する上でよい近似になっており、また計算コードの高速化により重い原子核の生成座標法計算が容易にできるようになったのが本学際共同利用の主な成果である。同じタイプのハミルトニアンを用いた、殻模型計算が困難となる質量数の大きい変形原子核(^{150}Nd など)の原子核行列要素の計算が第一の展望として挙げられる。この領域での核行列要素計算は現状中性子-陽子対相関を線形近似である QRPA で取り入れた計算や、中性子-陽子対相関を考慮していない生成座標法計算が主であるため、中性子-陽子対相関の非線形効果の分析は重要である。

また、もう一つの展望は相互作用の精密化である。中性子-陽子の対相関を含む原子核密度汎関数を用いた計算を行うことで、二重ベータ崩壊のみならず、ベータ崩壊やガモフテラー遷移などの関連する荷電交換過程の系統的な計算が可能となる。その第一歩としては、中性子-陽子対相関を入れた密度汎関数法の計算コードの構築および、関連する実験観測量を用いた中性子-陽子対相互作用の結合定数の決定である。

4. 成果発表

(1) 学術論文

J. Menéndez, N. Hinohara, J. Engel, G. Martínez-Pinedo, and T. R. Rodríguez,
 “Testing the importance of collective correlations in neutrinoless $\beta\beta$ decay”
 Phys. Rev. C **93**, 014305 (2016)

(2) 学会発表

N. Hinohara and J. Engel,
 “Generator coordinate method with proton-neutron pairing coordinates and evaluation of double-beta decay nuclear matrix elements”
 Nuclear Structure and Dynamics III, Portoroz, Slovenia, Jun.14-19, 2015.
N. Hinohara,
 “Generator Coordinate Method with Proton-Neutron Pairing Amplitudes”
 2nd International Workshop & 12th RIBF Discussion on Neutron-Proton Correlations, University of Hong Kong, Hong Kong, Jul.6-9, 2015.

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	1600
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		