

受付ID	15a-3
分野	原子核分野

ニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素計算

Calculation of nuclear matrix elements of neutrinoless double-beta decay

寺崎 順

筑波大学 数理物質系・計算科学研究センター

1. 研究目的

本研究のゴールは、ニュートリノの質量を決定するのに必要な、ニュートリノレス二重ベータ崩壊過程の原子核の遷移行列要素（原子核行列要素）を、準粒子乱雑位相近似（QRPA）を用いて信頼のできる精度で求めることである。平成26年度の研究から、QRPA基底状態に含まれる多体相関が原子核行列要素を顕著に縮小させる新たな機構が明らかになった。この機構の効果がどれだけ多くの核で顕著に現れるかを明らかにすることが平成27年度の研究目的である。COMAではこれらの核のHartree-Fock-Bogoliubov (HFB) 基底状態（原子核行列要素計算の第一段階）を求める。

2. 研究成果の内容

前年度までに、完全性近似のもとで、二核子移行仮想経路を用いた原子核行列要素計算を示し、原子核の基底状態は陽子・中性子QRPAと同種粒子QRPAの積波動関数で表わされるべきであること、始状態と終状態に基づいて独立に求めた二つのQRPA状態の重複は、準ボソン近似でのQRPA基底状態の定義に基づいて計算すべきであることを示した。平成27年度の研究はこれら原子核行列要素計算の概念的に新しい発展をさらに発展させることであった。とりわけ重要な成果は、当初の目的にはなかった発見であるが、本来の二重ベータ崩壊経路と上記の二核子移行仮想経路が同じ原子核行列要素を与えるべきという論理的要請が、異なる相互作用が満たすべき拘束条件となるということを見出したことである。二重ベータ経路では、陽子・中性子対相互作用が大きな影響をもち、二核子移行経路では同種粒子対相互作用が大きな影響を持つが、二種類のQRPAの積基底状態波動関数を用いても、これらの相互作用の強さが独立に決定されると二つの経路による原子核行列要素の一致は保証されない。この性質は、たとえば二重ベータ崩壊経路計算を考えると、同種粒子対相互作用のHFB近似を超える主要な効果は、QRPA状態の重複にあらわに含まれるQRPA基底状態波動関数の規

格化因子にしか現れないということから発生する。そこで、上記の論理的要請は強さの決め方が確立していない陽子・中性子対相互作用の強さの決め方を与える。このような考察に基づいた計算を $^{150}\text{Nd} \rightarrow ^{150}\text{Sm}$ で行い、論理的要請を満たす陽子・中性子対相互作用の強さは、陽子対相互作用と中性子のそれぞれの強さの平均値にとっても近いということがわかった。ここで重要なことは、その強さは QRPA がよい近似である範囲にあり、二ニュートリノ二重ベータ崩壊の半実験的原子核行列要素を再現するように決めたと時のような QRPA の不安定性問題はないということである。本研究の計算では、二ニュートリノ二重ベータ崩壊の原子核行列要素は約 50% 半実験値を超過したが、歴史的には因子 2 以上の食い違いが通常であったことを考えると悪い結果ではない。本年度までの本研究によって、半世紀近くの間確立したと考えられてきた QRPA の適用方法に主要な基礎的発展がなされたことは大きな成果である。

3. 学際共同利用として実施した意義

次に $^{40}\text{Ca} \rightarrow ^{40}\text{Ti}$ の計算を目指しており、これらの原子核の HFB 基底状態計算は本年度 COMA を用いて行われた。COMA はこの計算にたいへん適しており、本研究にとって重要な寄与があった。

4. 今後の展望

$^{40}\text{Ca} \rightarrow ^{40}\text{Ti}$ のニュートリノレス二重ベータ原子核行列要素計算が進行中である。この親核は二重魔法数をもつ球形核であり、これまで計算をおこなった希土類変形核とは原子核の性質がたいへん異なる。そのような核でも一貫した計算方法が適用可能であるかどうかを検証することが近い将来の目標であり今後の展望である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- 1). J. Terasaki, Phys. Rev. C **93**, 024317 (2016) “Two decay paths for calculating the nuclear matrix element of neutrinoless double- β decay using quasiparticle random-phase approximation”
- 2). J. Terasaki, AIP Conference Proceeding **1686**, 020025 (2015), “Many-body correlations of QRPA in nuclear matrix elements of double-beta decay”

(2) 学会発表

- 1). 寺崎 順、日本物理学会第 71 回年次大会、仙台 2016 年 3 月 19 日－22 日
「QRPA を用いた ^{48}Ca のニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素計算」
- 2). 寺崎 順、日本物理学会 2015 年秋季大会、大阪、2015 年 9 月 25 日－28 日、
「QRPA を用いた原子核行列要素計算の一貫性」

(3) その他

- 1). J. Terasaki, Symposium on quarks to universe in computational science (QUCS2015), Nara, Nov. 4–8 2015, "Effects of nuclear many-body correlation on neutrinoless double-beta decay in quasiparticle random-phase approximation" 1.
- 2). J. Terasaki, 2nd international workshop & 12 th RIBF discussion on neutronon-proton correlations, July 6 – 9, 2016, "Proton-neutron pairing correlation in double-beta decay"
- 3). J. Terasaki, 10th meeting on matrix elements for the double-beta-decay experiments (MEDEX'15), Prague, Jun. 9-12, 2015, "Many-body correlations of QRPA in nuclear matrix elements of double-beta decay"
- 4). J. Terasaki, 新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」2015年領域研究会、神戸、2015年5月15日–17日「原子核行列要素の方法による不一致問題の解決をめざして」

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	594
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		