

受付ID	15a-34
分野	原子核分野

ニュートリノレス二重ベータ崩壊の核行列要素の大規模殻模型計算

Large-scale shell-model calculation for nuclear matrix elements of neutrino-less double beta decay

岩田 順敬

東京大学・原子核科学研究センター

1. 研究目的

ニュートリノ振動についての実験結果からニュートリノに質量があることが明らかにされたことで、ニュートリノの有効質量が実際にどのような値をとっているのかということに大きな興味が集まっている。というのも、ニュートリノ質量が定量的に明らかにされることで、未解のレプトン質量階層構造や物質優勢の理由を説明することができるものと期待されているからである。

このようなニュートリノの質量を定量的に明らかにする試みのうちで最も有力と考えられている方法の一つにニュートリノレス二重ベータ崩壊の観測実験から得られる半減期を用いるという方法がある。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るかどうかということと関係していることから知られているように様々な未知の物理と関与しているのだが、とりわけニュートリノレス二重ベータ崩壊からニュートリノの有効質量を得るためには核行列要素を計算する必要がある。ここで核行列要素の正確な値を素粒子の詳細な個別情報のみから得ることは不可能で、二重ベータ崩壊の始状態と終状態に対応する原子核の核構造を(核子)多体系としての原子核の性質を正確に反映させたものとして計算しておく必要がある。

本研究では大規模殻模型計算によって波動関数を計算する。これまでの計算では取り込むことのできなかった効果まで含めては二重ベータ崩壊の始状態と終状態に対応する原子核の波動関数を得たうえで、それら始状態と終状態の間で起こる崩壊過程を計算する。崩壊過程は演算子として記述されるが、その演算子にたいしていくつかの分解を施すことで、核行列要素の値を計算する際に取り入れておかなければならない多体相関を明らかにする。現在様々な方法で行われ、結果にも2倍~3倍程度の違いが生じている核行列要素の計算においては、それらの良し悪しを決める決定的な指針は存在していない。この研究は核行列要素の計算値の違いの原因を特定し、その良し悪しを判断する上で、一つの判定基準を与えることを目標とする。

2. 研究成果の内容

Ca48(カルシウム48)の二重ベータ崩壊について、大規模殻模型計算による研究を実施した。とくに筑波大学計算科学研究センターの計算資源は、二重ベータ崩壊を記述する演算子にたいして分解を施すことで、考えられる $(14 \times 3) \times 3 + (5 \times 3) \times 3 = 171$ 種の独立な計算を系統的に行うことに用いた。研究結果はPhys. Rev. Lett. 誌上で公表した[1]。とくに角運動量とパリティで核行列要素を分解した結果(文献[1]の図3)、及び大規模計算において2つ目の主殻を1つ目の主殻に加えた模型空間を考えたことでどのような違いが生じたかということに関する結果(文献[1]の表2)はいずれも筑波大学計算科学研究センターの計算機による成果である。

3. 学際共同利用として実施した意義

HA-PACSを主に用いてGPUに関する部分のコード開発を進めながら、COMAを用いてCPUを用いた並列計算を実施することで、効率的にコード開発を進めることができた。また中間報告会などの機械で、多岐にわたる分野での計算の工夫や有効な利用法を学ぶことができた。

4. 今後の展望

より正確な計算値を得るのために、方法論的な観点から

- ◆非経験的な(ab-initio)な取り扱いによって得られた有効相互作用を用いた計算
- ◆より大きな模型空間をとった計算の実現
- ◆GPUを含めた並列計算に効率的な計算の実現

が考えられる。一方で、二重ベータ崩壊の物理とニュートリノの性質を明らかにするという観点から、

- ◆Ca48に限らない二重ベータ崩壊核についての大規模殻模型計算
- ◆Ca48の二重ベータ崩壊についてのニュートリノレス過程と2ニュートリノ過程の関係

が考えられる。とくに物理学的な観点から挙げた2つの課題については、素粒子の基本的な性質を原子核実験・原子核理論から明らかにする(現状としては、そうするより他に良案がない)上で、重

要な意味を持っている。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[1] Large-scale shell-model analysis of the neutrinoless double-beta decay of Ca48, Y. Iwata, N. Shimizu, T. Otsuka, Y. Utsuno, J. Menendez, M. Honma, T. Abe, Phys. Rev. Lett. 116 (2016) 112502.

[2] Ingredients of nuclear matrix element for two-neutrino double-beta decay of Ca48, Y. Iwata, N. Shimizu, Y. Utsuno, M. Honma, T. Abe, T. Otsuka, JPS Conf. Proc. 6 (2015) 030057.

[3] Large-scale shell model calculation project for double-beta decay
Y. Iwata, N. Shimizu, Y. Utsuno, M. Honma, T. Abe, and T. Otsuka, CNS-REP-93 (2015) 63.

(2) 学会発表

[4] 岩田順敬, 清水則孝, 大塚孝治, Javier Menendez, 宇都野穰, 本間道雄, 阿部喬, Ca48 のニュートリノレス二重ベータ崩壊に対するステライル・ニュートリノの影響, 日本物理学会, 東北学院大学, 2016年3月。

[5] Yoritaka Iwata, The nuclear matrix element of double beta decay, QUCS 2015, Nara, Japan, 2015年11月。

[6] 岩田順敬, ニュートリノレス二重ベータ崩壊の核行列要素の成分分析, 第7回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム, 筑波大学, 2015年10月。

[7] 岩田順敬, 清水則孝, 大塚孝治, 宇都野穰, J. Menendez, 本間道雄, 阿部喬, 48Ca の二重ベータ崩壊の殻模型計算による記述 III, 日本物理学会, 大阪市立大学 2015年9月。

[8] Yoritaka Iwata, Two-neutrino and neutrinoless double beta decay of Ca48
CANHP 2015, YITP, Kyoto University, Japan 2015年9月。

[9] Yoritaka Iwata, Heavy Neutrino-Exchange Potential for the Large-Scale Shell Model Calculations of Double-Beta Decay, CANHP 2015, YITP, Kyoto University, Japan, 2015年9月。

[10] Y. Iwata, N. Shimizu, T. Otsuka, Y. Utsuno, J. Menendez, M. Honma, T. Abe, Large-scale shell model calculation project for neutrinoless double-beta decay of Ca48, NDM15, Jyvaskyla, Finland, 2015年6月。

[11] 岩田順敬, ニュートリノレス二重ベータ崩壊の核行列要素の大規模殻模型計算, 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, 神戸大学, 日本, 2015年5月。

(3) その他

該当なし。

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース※
HA-PACS	○	1400
HA-PACS/TCA		
COMA	○	1360
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		