



Title	Neutrino-less and Two Neutrino Double Beta Decays of ^{100}Mo
Author(s)	田中, 純一
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37240
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	田 中 純 一
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	第 9631 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 3 年 3 月 26 日
学 位 授 与 の 要 件	理学研究科 物理学専攻
	学位規則第 5 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	Neutrino-less and Two Neutrino Double Beta Decays of ¹⁰⁰ Mo (モリブデン100のニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊と二つのニュートリノを伴う二重ベータ崩壊)
論文審査委員	(主査) 教授 江尻 宏泰 (副査) 教授 大坪 久夫 教授 高橋 憲明 助教授 岡田 憲志 助教授 岸本 忠史

論 文 内 容 の 要 旨

高感度核分光装置“ELEGANTS V”(ELECTron GAMMA ray NeuTrino Spectrometer V)を二重ベータ崩壊測定のために開発した。ELEGANTS Vは多種の放射線検出器によって構成されている。構成しているのは電子のエネルギーと時間を測定するための16のプラスティックシンチレータ、ガンマ線、X線のエネルギーを検出するための20のNaIシンチレータ、電子の軌跡を測定するための2つのドリフトチェンバである。ELEGANTS Vは検出器と分離されたソース(線源)の一重または二重のベータ崩壊の測定が出来、半減期にして約 10^{20} 年程度の反応まで測定可能である。

¹⁰⁰Mo 100 g を二重ベータ崩壊のソースとし、^{nat}Mo(天然モリブデン) 100 g をバックグラウンド測定のソースとして測定が約1年行われた。それにより、¹⁰⁰Moにおける2つのニュートリノを伴う二重ベータ崩壊がはじめて測定された。それによると半減期は $1.36_{-0.23}^{+0.97} \times 10^{19}$ 年(68%CL)である。またニュートリノの出ない二重ベータ崩壊に対して¹⁰⁰Moとしては最も厳しい半減期の下限が得られた。それによるとマヨラナニュートリノ質量によるニュートリノの出ない二重ベータ崩壊の半減期は 4.7×10^{21} 年以上(68%CL)、右巻弱相互作用の混合によるニュートリノの出ない二重ベータ崩壊の半減期は 2.5×10^{21} 年以上(68%CL)である。これらの半減期からマヨラナニュートリノ質量の上限として $\langle m_e \rangle < 7.7$ eV、右巻弱相互作用の混合係数の上限として $\langle \lambda \rangle < 2.1 \times 10^{-5}$ が得られる。

本研究で得られた、2つのニュートリノの出る二重ベータ崩壊の半減期からその反応に対する核行列要素の値 $M^{2\nu} = 0.088$ が得られる。この値は理論計算で求められる値に比べて著しく小さい。このことは¹⁰⁰Moの2つのニュートリノの出る二重ベータ崩壊に関する核行列要素の成分のうちで大きな打ち消し合いがおこっていることを示している。ニュートリノでない二重ベータ崩壊の核行列要素 M^{ν} の

理論計算は難しいが、 $M^{2\nu}$ の実験値を基に計算することが出来る。 $M^{2\nu} = 0.088$ という値は ^{100}Mo における $M^{0\nu}$ の値がほかの原子核に対する値と同じくらい大きい可能性を示唆している。

検出器の周囲の放射性元素によるバックグラウンドの影響はモンテカルロ法による計算機シミュレーションにより求められた。それによると、2つのニュートリノの出る二重ベータ崩壊のエネルギー領域(0.7–2.0 MeV)のバックグラウンドの多くは検出器の周囲の放射性元素によるものである。それらの大半は検出器周囲の空気中の ^{222}Rn の崩壊後の生成核及び光電子倍管に含まれる放射性元素によっている。またニュートリノでない二重ベータ崩壊のエネルギー領域(2.5–3.0 MeV)のバックグラウンドの多くは空気中の ^{222}Rn の崩壊後の生成核及びモリブデン試料箔中の放射性元素が原因である。

ニュートリノでのない二重ベータ崩壊の測定についてバックグラウンドを低減させるためのいくつかの改良案が考えられている。それら改良の後の検出器の感度(測定し得る最大の半減期)はモンテカルロ計算によると ^{100}Mo 200 g を使用したニュートリノでのない二重ベータ崩壊の1年間の測定でおよそ 10^{23} 年と予想される。これは今回得られた限界よりもおよそ2桁精度がよく、約0.5 eV のマヨラナニュートリノ質量の上限を与える。

論文審査の結果の要旨

極低バックグラウンドの電子ガンマ・ニュートリノ分光器 ELEGANTS V 号を開発し、連続スペクトルをもつ二重ベータ崩壊に対し、 $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{20}$ 年という世界最高の測定感度を得た。二重ベータ崩壊核の ^{100}Mo 試料と天然の ^{nat}Mo をバックグラウンド比較用試料として約1年測定を神岡地下観測所で行い、 ^{100}Mo のニュートリノを伴う二重ベータ崩壊($2\nu\beta\beta$)の測定に成功した。その半減期は $T_{1/2}^{2\nu} = 1.36^{+0.37}_{-0.23} \times 10^{19}$ 年(68% CL)である。これは二重ベータ崩壊を単独に直接法で測定した世界最初の例である。また ^{100}Mo のニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)に対し、最も精度のよい半減期の下限を得た。それらはマヨラナニュートリノ質量による $0\nu\beta\beta$ に対して、 $T_{1/2}^{0\nu} > 4.7 \times 10^{21}$ 年(68% CL), 右巻弱相互作用の混合による $0\nu\beta\beta$ に対して $T_{1/2}^{0\nu} > 2.5 \times 10^{21}$ 年(68% CL)である。これらからマヨラナニュートリノの質量の上限として $\langle m_\nu \rangle < 7.7 \text{ eV}$, 右巻弱相互作用混合比の上限として $\langle \lambda \rangle < 2.1 \times 10^{-5}$ を得た。

本研究で得た ^{100}Mo の $2\nu\beta\beta$ の半減期より、 ^{100}Mo の $2\nu\beta\beta$ の核行列要素の値 $|M^{2\nu}| = 0.088$ を得た。この値は理論計算による値より3~10倍小さい。このことは ^{100}Mo の二重ベータ崩壊の核行列要素の理論計算の困難さを実験の上からも示したといえる。 $0\nu\beta\beta$ の核行列要素の値を実験で得た $2\nu\beta\beta$ の核行列要素から求めることができる。今回得た $|M^{2\nu}| = 0.088$ は ^{100}Mo における $0\nu\beta\beta$ の核行列要素の値が、現在の理論計算値ほど小さくなく、他の核と同じくらい大きいことを示唆している。

測定の際のバックグラウンドについて、計算機シミュレーションによって、検出器系内の環境放射線によって説明されることを示した。 $2\nu\beta\beta$ のエネルギー領域では、バックグラウンドの大半は空気中に含まれる放射性ラドンガスの崩壊による生成核、及び光電子増倍管内の放射性元素によるものである。0

$\nu\beta\beta$ のエネルギー領域では、バックグラウンドは空気中の放射性ラドンガスの崩壊による生成核によるものである。

これらのバックグラウンドの解析の結果から、いくつかの改良が提案されている。それらの改良のうちの測定感度（測定可能な最大の半減期）は、1年間の測定で $0\nu\beta\beta$ に対しておよそ 10^{23} 年と予想できる。これは、今回得られた下限よりも約2桁精度がよく、マヨラナニュートリノ質量にして、0.5eV の上限を与える。

これらの成果は、素粒子・原子核の研究を大きく進歩させるもので、本論文は理学博士の学位論文として、十分価値のあるものと認める。