

Title	Development of ELEGANTS V and Double Beta Decay of ^{100}Mo
Author(s)	嶋, 達志
Citation	大阪大学, 1990, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2553
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名・(本籍)	は 嶋	たつ 達	し 志
学位の種類	理	学	博
学位記番号	第	9 0 4 8	号
学位授与の日付	平成 2 年 3 月 24 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	Development of ELEGANTS V and Double Beta Decay of ^{100}Mo (超高感度測定器エレガント 5 号の開発および ^{100}Mo の二重ベータ崩壊の研究)		
論文審査委員	(主査) 教授	江尻 宏泰	
	(副査) 教授	長島 順清	教授 高杉 英一
	教授	柴田 徳思(東京大学原子核研究所)	助教授 岸本 忠史

論文内容の要旨

^{100}Mo の二重ベータ崩壊 ($\beta\beta$) 測定用高感度・低バックグラウンド測定装置 ELEGANTS V 号の開発をおこなった。本装置は i) 電子線軌跡検出用大型ドリフトチェンバー (DC), ii) 電子線エネルギー, 時間情報検出用プラスチックシンチレーター (PL), iii) γ 線, X 線検出用 NaI シンチレーター (NaI) から成り, 特に DC は 2 本の電子の軌跡が $\beta\beta$ 試料箔上の 1 点で交わるという特徴を持つ真の $\beta\beta$ 事象をバックグラウンド事象から識別するために最も重要な役割を果たす。本 DC は, i) 低バックグラウンド材料で作られている。ii) ヘリウム, 炭酸ガスの混合ガスを動作ガスとして用い, $\beta\beta$ における 3 MeV 以下の低エネルギー電子の軌跡が明瞭に検出でき, また地下実験室での安全な動作が可能である。iii) 同軸円筒状電場の採用により, 3.2π の立体角の範囲にわたって電子の軌跡を入射角によらず正しく決定できる。iv) 各層 98.5% 以上の高検出効率を持つ, 等の特長を持つ。

また, PL は 2.5~3 MeV の電子に対して $\Delta E = 250$ keV (FWHM), 1.5 MeV の電子に対して $\Delta t = 700$ psec (FWHM) の分解能を持ち, 3.4π の立体角を囲む。NaI は ^{137}Cs 662 keV γ 線に対して 7.7% (FWHM) のエネルギー分解能を持ち, 3.2π の立体角を囲んでいる。

大阪地上での動作テストののち, 神岡地下 1000 m で無酸素銅箔を擬似試料としたバックグラウンド測定をおこなった結果, ニュートリノの放出されない $\beta\beta$ ($0\nu\beta\beta$) に対するバックグラウンドの起源は, 空気中の ^{222}Rn が崩壊して作られる ^{214}Bi の β 崩壊で放出される β 線と, それに伴う γ 線がコンプトン散乱をおこして生じる電子によるものであることが判明した。

また, $\beta\beta$ に対するバックグラウンド源である U, Th を 0.5 ppb 以上含まない ^{100}Mo 及び天然 Mo 試料箔の開発に成功し, ELEGANTS V 号による最初の 132 時間の測定から, $0\nu\beta\beta$, 及び 2 個の

ニュートリノの放出を伴う $2\nu\beta\beta$ の半減期の下限値として

$$T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} > 1.6 \times 10^{20} \text{ 年} \quad (2\sigma)$$

$$T_{1/2}^{2\nu\beta\beta} > 4.5 \times 10^{18} \text{ 年} \quad (2\sigma)$$

を得た。このことから ^{222}Rn を十分に除去し、1年間の測定を行うことにより $T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} \geq 10^{23}$ 年程度、ニュートリノのマヨラナ質量で 0.5 eV 程度の測定が可能であり、また $2\nu\beta\beta$ に対しては現状のままであと数百時間の測定で存在が確認できると予想される。

また、ELEGANTSV号は ^{100}Mo 以外の $\beta\beta$ 試料核や $\beta\beta$ 以外の超稀現象に対しても極めて高感度かつ低バックグラウンドな測定を可能にする。

論文の審査結果の要旨

二重ベータ崩壊の研究は、素粒子・原子核・宇宙物理の重要な課題に挑戦するもので、大変興味深いテーマである。ニュートリノの出ない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$) はニュートリノのマヨラナ質量、弱相互作用の左・右巻カレントを与えるもので、標準理論を越える大統一理論等の感度よい検証になる。また、ニュートリノの放出を伴う二重ベータ崩壊 ($2\nu\beta\beta$) は極めて長い ($10^{19} \sim 10^{23}$ 年) 半減期の領域、数 MeV のエネルギー領域のベータ崩壊の実験的測定の check と、 $1^+ \text{GT}\beta\beta$ 核行列要素 MGT を与える。 MGT は $0\nu\beta\beta$ 核行列要素について重要な情報を与えるだけでなく、原子核の β^- 、 β^+ 崩壊過程の相関の点からも興味ある。

現在までの所 $0\nu\beta\beta$ は だ発見されておらず、 $2\nu\beta\beta$ の直接測定が一例あるだけである。

本論文の目的は、極低バックグラウンド・高感度測定器 ELEGANTSV (ELEctron-Gamma ray-NeuTrino Spectrometer) V号を開発し、 $0\nu\beta\beta$ 、 $2\nu\beta\beta$ 両方について現在の世界水準より一桁以上高い精度の測定を行うことにある。特に ELEGANTSV号の中心的検出器であるドリフト型飛跡検出器を考案し、円筒電場による広角度放出 β 線の検出、 He-CO_2 ガス導入によるクーロン散乱効果の減少、多重カソード・フィールド線導入による β 線のエネルギー損失の減少等を実現した。これによって有効に $\beta\beta$ 線飛跡検出を可能にし、正しい事象の選別を可能にした。また、U、Thが 0.5 ppb 以下の ^{100}Mo と天然 Mo ソースの開発に成功した。

これらの ELEGANTSV号の中心的課題を解決することによって、 $0\nu\beta\beta$ で $T_{1/2}^{0\nu} \sim 2 \times 10^{23}$ 年、 $2\nu\beta\beta$ で $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{20}$ 年の検出感度の ELEGANTSV号の製作・テストに成功した。これらの性能は世界的なものである。

神岡地下での測定を開始し、はじめの短期間の測定で、preliminaryな結果として $T_{1/2}^{0\nu} \geq 0.5 \times 10^{21}$ 年、 $T_{1/2}^{2\nu} > 10^{19}$ 年を得た。前者は ^{100}Mo についてのこれまでの最良値 $T_{1/2}^{0\nu} > 4 \times 10^{21}$ 年にせまり、 $T_{1/2}^{2\nu}$ については最も精度の良い値であり、理論値 ($10^{17} \sim 10^{18}$ 年) を上回る $\beta^+ - \beta^-$ cancellation の効果を表している。

これらの研究実績は、博士論文として十分価値のあるものであることを認める。