

Title	ニュートリノの出ない二重ベータ崩壊および関連した話題の実験的研究
Author(s)	上窪田, 紀彦
Citation	大阪大学, 1986, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1483
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【5】

氏名・(本籍)	かみ くぼ た のり ひと 上 窪 田 紀 彦
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	第 7 1 7 1 号
学位授与の日付	昭 和 61 年 3 月 25 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	ニュートリノの出ない二重ベータ崩壊および関連した話題の実験的研究
論文審査委員	(主査) 教 授 江 尻 宏 泰 (副査) 教 授 小 谷 恒 之 教 授 南 園 忠 則 教 授 森 田 正 人 教 授 長 島 順 清 助 教 授 柴 田 徳 思

論 文 内 容 の 要 旨

^{76}Ge のニュートリノの出ないモード ($0\nu\beta\beta$) の二重ベータ崩壊が、極低バックグラウンド装置ELEGANTS (ELEctron GAMMA-ray NeuTrino Spectrometer) を用いて研究された。 0ν 型二重ベータ崩壊はレプトン数を保存しない過程であるが、2つの原因によって起こり得る。第一にニュートリノが有限の質量を持つこと、第二に弱い相互作用中に右巻相互作用 ($V+A$ 項) が存在することである。ただしニュートリノはMajorana型であることが必要である。この論文は、 ^{76}Ge の 0ν 型二重ベータ崩壊 ($0^+ \rightarrow 0^+$ 遷移と $0^+ \rightarrow 2^+$ 遷移) を精密 $\beta-r$ 核分光法で測定し、得られたニュートリノ質量と $V+A$ 項についての知見を報告することを目的とする。

0ν 型崩壊を実験で調べるために、極低バックグラウンド装置ELEGANTSが開発された。この装置の中心部は β 線用高分解能Ge検出器とその周囲を完全に (4π 立体角で) 囲む r 線用NaI検出器から成る。ELEGANTSの特徴は、 β 線に伴うすべての r 線を 4π 立体角NaIで検出すること、および検出器からの信号を各イベントごとにすべてリスト型式で記録することの2点である。この方法は 0ν 型二重ベータ崩壊検証はもちろん、Ge検出器で観測されるバックグラウンドが何に起因するかを調査するにも非常に有効である。これらの特徴を持つELEGANTSの 0ν 型二重ベータ崩壊検出感度は、外国の二重ベータ崩壊実験グループの装置と比べても最高のレベルにある。

測定は神岡地下実験室で合計8577時間行なわれた。(86年1月まで) 0ν 型二重ベータ崩壊と思われるピークは検出されなかったが、 ^{76}Ge の 0ν 型 $0^+ \rightarrow 0^+$ 遷移に対して 7.4×10^{22} 年、 $0^+ \rightarrow 2^+$ 遷移に対して 5.6×10^{22} 年の半減期下限が得られた。(いずれも68% C.L.) 前者は他グループによる同種実験と同程度の数値であるが、後者は世界最高の値である。得られた半減期下限から導かれるニュートリノ質量

とV+A型の上限は、 $36 \sim 136 \text{ eV}$ および $(0.4 \sim 1.6) \times 10^{-5}$ である。ただしこれらの上限値は、計算に用いる核行列要素によって数倍の差がある。

今回得られたニュートリノ質量の上限値は、外国の二重ベータ崩壊実験グループによって導かれた値とは矛盾しない。一方トリチウム(三重水素)のベータ崩壊実験では、 $36 \pm 4 \text{ eV}$ という有限値が報告されている。しかし実験で得られるニュートリノの型や、実験の誤差範囲、理論計算の不定性を考慮すると、これらの数値が相入れないと断定するわけにはいかない。ニュートリノ質量の問題は宇宙の全質量をニュートリノが占めるのかという問題とも関連し、今後共議論されていくであろう。この問題を解決するには、将来さらに測定精度の高い装置での実験と同時に、二重ベータ崩壊の核行列要素計算など理論分野においてもさらなる研究が望まれる。

ELEGANTSはまた極微量放射能の測定にも応用できる。1週間の測定で 10^{-15} Curieのレベルまで検出できるが、これはこの分野の水準をはるかに超えた検出感度である。

論文の審査結果の要旨

本論文の目的は、基本的素粒子の一つであるニュートリノの質量と右巻相互作用の存在を二重ベータ核分光法によって検証することである。ニュートリノは素粒子の一族レプトン族の一つで、現在の標準理論では質量=0であり、また相互作用は左巻相互作用(右巻成分=0)でレプトン数は保存する。最近統一理論の考えからこのようなニュートリノ像に重大な疑問が持たれて来た。また宇宙がニュートリノで満ちていることから、ニュートリノの質量の有無は宇宙の安定性にも重大な影響を持つ。

ニュートリノの実験は極めて難しく、現状では精度の良い実験が無く、且つ不確定な所が多い。本研究は、ニュートリノの出ない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)の精密 $\beta-\gamma$ 核分光測定によって、ニュートリノの正体を解明しようとするもので、次の特徴がある。i)一つの原子核内での中性子(クォーク)間のニュートリノの放出吸収と云う現象を測定するので、求めようとする $0\nu\beta\beta$ 過程を1億倍拡大して見る。ii) $0\nu\beta\beta$ のベータ線のエネルギースペクトルは線スペクトルになり、他の現象からの分離測定が有利。iii) $0\nu\beta\beta$ の現象を $0^+ \rightarrow 0^+$ と $0^+ \rightarrow 2^+$ の二重ベータ遷移で測定することによって、レプトン数非保存、ニュートリノのマジョラナ粒子性、ニュートリノの質量、右巻相互作用成分がわかる。iv) Ge検出器内に78%ある ^{76}Ge の二重ベータ崩壊の測定によって高分解能高効率を得る。v) Ge検出器を 4π 型NaI結晶の γ 線検出器で囲み、 $\beta-\gamma$ 同時測定を行うことで $0^+ \rightarrow 0^+$ 、 $0^+ \rightarrow 2^+$ の $0\nu\beta\beta$ と他のバックグラウンドの識別能力を格段に向上。vi) 多重検出器系からの信号を事象ごとに多重電子回路、計算機、磁気テープで記録し、測定のモニター、分解能その他の時間依存性の補正等を行い、測定の質を向上。特にv)とvi)は本研究の独創的点である。

二重ベータ崩壊は極めて稀な事象を約1億倍以上のバックグラウンドの中から識別検出する実験のために、高度の実験レベルを要する。本研究では慎重な検出器系開発製作が行なわれ、上記の特徴をもった電子・ガンマ線・ニュートリノ核分光器(エレガント号)開発に成功し、且つ宇宙線のバックグラ

ウンドを避けるために神岡鉱山内地下 1000 m に実験室を設営して測定することにより、極めて精度の良い測定を可能にした。

本研究で得られた結果は、レプトン数非保存、ニュートリノ質量、右巻相互作用については10万分の1程度の高精度で上限を与えるもので、標準理論に対し最も精度の良い検証を与え実験的に世界のレベルを向上させた。国内外からも注目され、その成果の一部は既にいくつかの国際会議や論文にも発表された。本研究は独創性と根気ある研究で極めて困難な実験を成功させ、重要な問題を明らかにしたもので、理学博士の学位論文として十分価値あるものと認める。