



Title	Study of Backgrounds in CANDLES to Search for Double Beta Decays of ^{48}Ca
Author(s)	角畑, 秀一
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/54022
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (角 畑 秀 一)

論文題名

Study of Backgrounds in CANDLES to Search for Double Beta Decays of ^{48}Ca
 (^{48}Ca の二重ベータ崩壊探索のためのCANDLESにおけるバックグラウンドの研究)

論文内容の要旨

本研究では、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)を探索する実験であるCANDLESで観測された未知のバックグラウンドを解明した。

現在、 ^{48}Ca における $0\nu\beta\beta$ を高感度で観測する目的で、 CaF_2 結晶を用いたCANDLES III検出器が神岡地下実験室において稼働している。二重ベータ崩壊は非常に稀な反応であるため、極低バックグラウンド環境の構築が求められる。この検出器では、検出器外部からくるバックグラウンドは液体シンチレータを用いた 4π アクティブシールドで、結晶内部の不純物(Th系列)からのバックグラウンドは波形解析を用いて低減している。しかし本測定において、これらのバックグラウンドを取り除いた後でも崩壊のQ値(4.27 MeV)以上の高エネルギー領域で多くの信号が観測された。これは未知のバックグラウンドの存在を意味しており、 $0\nu\beta\beta$ の高感度観測のためにはこれを取り除かねばならない。そこで、このバックグラウンドについて調査し、遮蔽の手段を考察した。

本測定のエネルギースペクトルは、7.5 MeV及び9 MeVにピークを持つ特徴的な形状を持っていたため、ここから(n, γ)中性子捕獲反応による γ 線がバックグラウンドの原因であると予想した。なぜなら、検出器周辺の岩石と検出器タンク材料のステンレス鋼に含まれるFeは(n, γ)反応によって7.6 MeVの γ 線を放出し、さらにステンレス鋼に含まれるCrとNiは同じく9 MeVの γ 線を放出するためである。この予想を実際の測定において確かめるため、検出器近くに ^{252}Cf 中性子線源を導入して(n, γ)起因の γ 線を観測した。その結果得られたスペクトルの形状が本測定のものと一致した。さらにQ値付近でのイベント数を比較することで、予想通り未知のバックグラウンドが(n, γ)反応によるものであると突き止めた。また、遮蔽を考える上で重要となる、 γ 線の発生場所の比率(タンクからか岩石からか)をスペクトル形状から評価した。結果、タンクからの γ 線は無視できないが、岩石からくる γ 線が主なバックグラウンドとなっていることが明らかとなった。

この中性子起因の γ 線バックグラウンドは解析的には取り除けないため、検出器周辺にシールドを組み立てることで取り除く計画を立てた。計算及びシミュレーションから、岩石からの γ 線を10 cm厚のPbブロックで遮蔽し、タンクのステンレス鋼に入射する環境中性子を数mm厚のBシートで遮蔽することで、年間66イベント程度観測される見込みの(n, γ)起因バックグラウンドを年間1イベント以下にまで低減できる見込みが得られた。この遮蔽によって低バックグラウンド環境を達成することで、CANDLES III検出器は ^{48}Ca における $0\nu\beta\beta$ 測定の世界最高感度を達成できる見込みである。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (角 畑 秀 一)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	岸本 忠史
	副 査	教授	山中 卓
	副 査	教授	能町 正治
	副 査	教授	野海 博之
	副 査	准教授	吉田 斉

論文審査の結果の要旨

CANDLES は ^{48}Ca のニュートリノレス二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)を研究する一連の実験である。現在、神岡地下実験室に CANDLES III が建設され、観測が行われている。非常に稀な現象を探索する CANDLES 実験では、バックグラウンド(BG)が研究の感度の限界を決め、その低減が研究の成否を決定する。その為には BG の起源を理解する必要がある。本研究は現在の実験で観測されている BG の起源を特定し、それを低減する方法を明らかにすることで研究の限界を取り去り、更に高い感度での観測を可能にすることにある。

^{48}Ca は二重ベータ崩壊核の中で最大の Q 値(4.27 MeV)を持つため、BG の影響を受けにくく、その起源は限られている。CANDLES III 実験では CaF_2 結晶内での崩壊がシンチレーション光を発生し、それを光電子増倍管で観測して信号として取り出す。 CaF_2 結晶に含まれるトリウム系列の放射性原子核が BG になることは分かっていた。CANDLES III 実験はその対策をしていたが、それ以外の未知の BG が観測された。これは実験の感度を大きく制限し、観測可能な寿命は当初の計画を下回った。本研究ではこの BG の起源を探索した。

Q 値の 4MeV から 10MeV の領域に影響する γ 線源は限られている。観測されたスペクトルから環境中性子による(n, γ)反応が疑われた。そこで、実験室に ^{252}Cf の中性子線源を持ち込み、中性子起源のスペクトルを観測した。その結果から、実際に(n, γ)反応が BG の起源であることが確認できた。更に、中性子線源の位置を変えて測定することで、装置を納めるステンレスタンクと、周りの岩石に含まれる物質に対する既知の(n, γ)反応断面積から実験的に観測されたスペクトルがほぼ再現出来ることを確認した。この結果(n, γ)反応が原因であることだけでなく、ステンレスタンクと周りの岩石からの BG に対する比にも制限を加えることが出来た。

これらの BG は装置全体を遮蔽することで低減できることを明らかにした。その時、岩石からの BG の低減には鉛の遮蔽が有効であることを示し、ステンレスタンクからの BG の低減には中性子の遮蔽が有効であることを示した。この組み合わせで、全体として現在の BG をほぼ 2 桁下げることが可能であることを示した。これにより、 ^{48}Ca の $0\nu\beta\beta$ の寿命に対して、当初のほぼ計画通りの 10^{24} 年の感度を達成できることを示した。

この結果は ^{48}Ca のニュートリノレス二重ベータ崩壊を研究する上で、大きな一歩と言える。本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。