Osaka University Knowledge Archive

Title	Energy resolution of CANDLES detector for studying neutrino-less double beta decay of 48Ca
Author(s)	Bui, Tuan Khai
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77473
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Form 3

Abstract of Thesis

Name （BUI TUAN KHAI ）	
Title	Energy resolution of CANDLES detector for studying neutrino-less double beta decay of ^{48}Ca (^{48}Caのニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊を研究するための CANDLES検出器のエネルギー分解能)

Abstract of Thesis

Neutrino-less double beta decay (0νββ) is a useful tool to determine the mass of neutrino. The CANDLES experiment is searching for the 0νββ of ^{48}Ca using CaF_2(pure) scintillator crystals as the detector and the source. Searching for 0νββ, the two-neutrino double beta decay (2νββ) is unavoidable background around Q-value of ^{48}Ca. The difference of the energy spectrum is the only way to discriminate the 0νββ events from 2νββ events. Therefore, energy resolution must be improved. Scintillation photons are collected by the Photomultiplier Tubes (PMTs) surrounding the crystals. Ideally, the energy resolution should be equal to the statistical fluctuation of number of photoelectrons. The current energy resolution (2.6% r.m.s.) is bigger than the statistical fluctuation of number of photoelectrons (1.6% r.m.s.). The difference is studied in this thesis.

Due to a long decay constant of CaF_2 (τ=1μsec), we make a signal integration of 4μsec to calculate the energy. A Flash Analog-to-Digital Converter records the waveform in each PMT. The baseline fluctuation is accumulated in the signal integration, and they make the energy resolution worse. In this thesis, a study of the baseline fluctuation in CANDLES III detector is reported. The baseline fluctuation can cause a severe effect (about 1% r.m.s.) at Q-value of ^{48}Ca.

In order to reduce the baseline fluctuation, photon counting method is useful. However, because of the signal overlap, photoelectrons can be missed in counting, and the energy resolution becomes worse. To reduce the baseline fluctuation and avoid count loss of the photoelectrons, an alternative method named “partial photon counting” is introduced. Using this method, we obtain the improved energy resolutions 4.5-4.0% (r.m.s.) at 1460 keV (γ-ray of ^{40}K), and 3.3-2.9% (r.m.s.) at 2614 keV (γ-ray of ^{208}Tl). The energy resolution at Q-value is estimated to be improved to 2.2% by using “partial photon counting”. With the improved energy resolution, the sensitivity of CANDLES detector for the half-life of 0νββ of ^{48}Ca can be improved by 1.09 times. Additionally, a chance to improve detector resolution by using CaF_2(pure) at low temperature and photon counting is discussed. It is estimated to achieve the new world-best limit of effective neutrino mass of 27-118 meV.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Bui Tuan Khai　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	能町 正治
	副 査　教授	野海 博之
	副 査　教授	青木 正治
	副 査　准教授	嶋　達志
	副 査　准教授	吉田　斉

論文審査の結果の要旨

ニュートリノのマヨラナ粒子としての性質は、物質の起源を説明する鍵となると考えられ、実験的に証明しようと、多くの試みがなされている。ニュートリノを伴わないダブルベータ崩壊探査は、ニュートリノのマヨラナ粒子としての性質や質量を実験で調べる最も実現可能性の高い方法である。しかし、ダブルベータ崩壊は非常に稀な事象であるため、バックグラウンドを極限まで減らすことが必要である。自然界の放射性物質や宇宙線からのバックグラウンドを取り除いても、ニュートリノを伴うダブルベータ崩壊がバックグラウンドとして残る。これを取り除くには、エネルギーの違いを用いるしかない。このため、実験では高いエネルギー分解能が必要となる。本研究では、ダブルベータ崩壊実験である CANDLES 実験において、分解能を悪くする要因を調べ、それを改善する新しい方法を開発した。

東京大学宇宙線研究所付属神岡宇宙素粒子研究施設内の、大阪大学核物理研究センター神岡二重ベータ崩壊実験施設に設置された、CANDLES 実験装置は ^{48}Ca のダブルベータ崩壊を、CaF_2 シンチレーターを用いて測定するものである。シンチレーターの光量から期待されるエネルギー分解能は、ダブルベータ事象に対し、1.6%(σ)であるが、2.6%しか得られていない。本研究はその原因を調べた。その結果、通常のシンチレーターで問題となるような原因はほとんど寄与しておらず、逆に通常のシンチレーターでは問題とならないペデスタル値の測定誤差が最も大きな要因であることが分かった。これは、CaF_2 シンチレーターが他のシンチレーターに比べ非常に長い時定数(1μs)を持つことにより、わずかな誤差が大きく分解能の劣化に寄与することによる。

本研究ではこの問題を避けるために、光子を数えることとした。しかし、光量が多いため、パルスの初めの部分では波形の重なりにより、正確に数えることができなかった。そこで、新しい方法として、初めの部分は信号波形を積分し、後半は光子数を数える方法を開発した。これにより、2.2%の分解能が得られ、ダブルベータ崩壊事象の感度を向上させることができた。

本研究の考察、および解析方法は、現在の CANDLES 実験の感度向上にとどまらず、様々な実験において、分解能向上を行う上で重要な知見を与えるものである。よって、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。