

Title	CsI calorimeter for the J-PARC KOTO experiment
Author(s)	岩井, 瑛人
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/60102
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【3】

氏名	岩井 瑛人		
博士の専攻分野の名称	博士(理学)		
学位記番号	第 25579 号		
学位授与年月日	平成24年6月20日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻		
学位論文名	CsI calorimeter for the J-PARC KOTO experiment (J-PARC KOTO 実験のための CsI カロリメータ)		
論文審査委員	(主査) 教授 山中 卓	(副査) 教授 岸本 忠史	教授 能町 正治 教授 中野 貴志 准教授 花垣 和則

論文内容の要旨

KOTO実験は長寿命中性 K_L 中間子の稀崩壊 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の観測を目指す実験である。この崩壊は、素粒子物理学の標準理論を検証し、それを超える新しい物理を探索するのに適している。標準理論での崩壊分岐比の理論値は 2.4×10^{-11}

[1]と稀であり、現在の崩壊分岐比の上限値は、KEK-PSで行ったE391a実験が得た 2.6×10^{-8} (90% C.L.) [2]である。理論値と比較すると、実験感度を更に1000倍改善する必要がある。そこでJ-PARCの大強度陽子ビームを用いてKOTO実験を行う事にした。実験感度を向上するため、我々はE391a実験の測定器に様々な改良を行った。その中で本論文は、 π からの二本の γ 線のエネルギー、時間と入射位置を測定するCsIカロリメータについて調べた。

カロリメータの改良点は主に次の二点である。一つは、7cm角の結晶を細かな2.5cm角の結晶に置き換える事により γ 線の電磁シャワーの情報をより詳しく観測できるようにする事。もう一つは、波形の立ち上がりがおよそ5nsである結晶からの信号を、フィルタを通して24nsに広げて波形を記録する事である。これにより、8ns毎に波形を記録しながらも、1ns以下の時間分解能を達成できる。

まずビームテストを行い、取得したデータの波形解析やエネルギー較正を行い、この改良したカロリメータの性能を測定した。またCsI結晶の基本特性のみを入力情報とした波形シミュレーション手法を開発した。この手法を用いてビームテストの測定結果を図1に示すように再現し、カロリメータの性能を波形の生成過程から定量的に理解した事を示した。

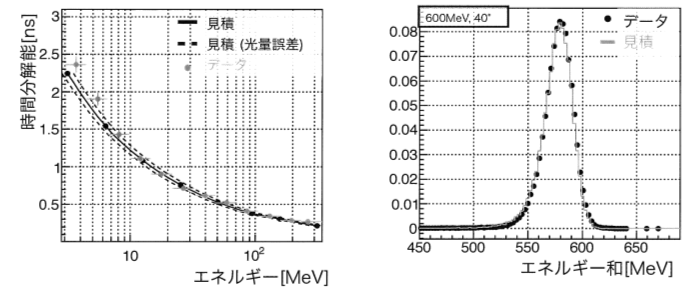


図1：データと波形シミュレーションの比較 (左：時間分解能、右：エネルギー分解能)

KOTO実験のシグナル事象(S:図2左)は π からの二本の γ 線のみをカロリメータで観測する事象であるが、背景事象の一つに、ビーム軸の周りを飛来する K_L 中間子が、同じく二本の γ 線に崩壊する事象(B:図2右)がある。この事象は終状態が γ 線二本のみで、Sと見分けが付けにくく、カロリメータで測定した情報のみによって除去する必要がある。二本の γ 線が崩壊した元の粒子 π^0 (S)と K_L (B)の質量が異なるため、図2右のようにBでは γ 線がカロリメータに入射した角度と再構成した角度が異なる。そのためBを除去するには入射角度の識別が有効である。そこで、置き換えた細かな結晶によって分かるようになった電磁シャワーの形を用いて γ 線の入射角度を識別する手法を開発した。カロリメータで観測される電磁シャワーの形が入射角度により変わる事を利用し、観測事象がSとBそれぞれである場合を仮定した時の、観測した電磁シャワーの「らしさ」を比較する事でSとBを識別する(図3)。この手法により、Sの検出効率83%に対してBを1/53倍に抑制できた。その結果、他の背景事象も含めた合計の背景事象数を、シグナル事象数より少なく抑える事ができ、標準理論の計算値の実験感度を狙える事が分かった。

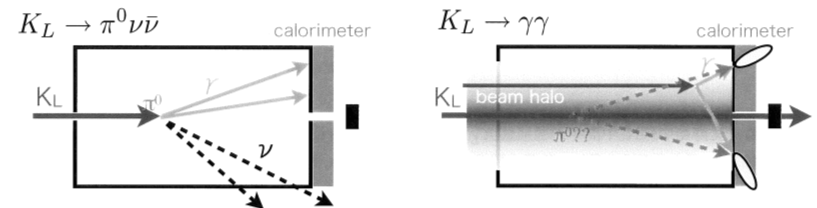


図2：事象の概要図 左： $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ シグナル事象(S)、右： $K_L \rightarrow \gamma \gamma$ 背景事象(B)

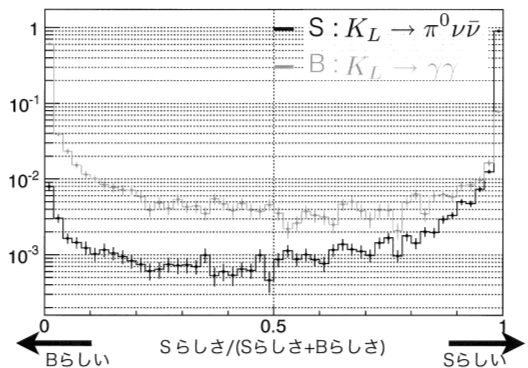


図3：電磁シャワーの“らしさ”比較によるS/B識別

[1] J. Brod, M. Gorbahn, and E. Stamou, Phys. Rev. D **83**, 034030 (2011).

[2] E391a, J. K. Ahn *et al.*, Phys. Rev. D **81**, 072004 (2010).

論文審査の結果の要旨

現在の素粒子の標準理論は、実験室で観測されている粒子・反粒子の対称性の破れ（CP対称性の破れ）は説明するが、宇宙に反物質がほとんどないという対称性の破れを説明できていない。したがって、CP対称性を破る、標準理論を超えた新しい物理があるはずである。そのような物理を探るために、阪大グループは他大学・研究所と共同で、中性K中間子の稀な崩壊 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を探索する実験を東海村のJ-PARC大強度陽子加速器施設で準備している。

岩井瑛人君は、その新たな実験で要となる電磁カロリメータの性能評価を行った。電磁カロリメータは π^0 から崩壊してできるガンマ線のエネルギーと入射位置を測定する装置である。これは2.5cm角、長さ50cmのCsIの結晶を積み重ねて作られ、ガンマ線によって結晶が発する光を光電子増倍管で電気信号に変えて波形を記録する。

岩井瑛人君は、144本の結晶に陽電子を入射する実験を東北大の電子加速器を用いて行い、波形が光電子増倍管で出る光電子の発生時間分布と光電子1個の波形から再現・理解でき、それによってカロリメータの時間分解能も再現できることを示した。また、エネルギーの非線形性などの補正の要因も明らかにした上でカロリメータのエネルギーを較正し、そのエネルギー分解能を原理に基づいて再現した。また、複数の結晶に広がる光量の分布と、その形を用いて得るカロリメータの位置分解能も、電磁シャワーの発生原理から再現・理解できることを示した。

さらに、ガンマ線の入射角度が3度異なれば、2.5cm角の結晶で観測される電磁シャワーの形も異なることを見いだした。このことを用い、ビームの外を飛来するわずかなK中間子が2個のガンマ線に崩壊することによって起きるバックグラウンドの数を、約50分の1に抑える事ができることを初めて示した。これにより、バックグラウンドの総数を標準理論の予測する信号事象数よりも下げられることを明らかにし、J-PARCの本実験に対して大きな貢献を果たした。

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。