

論文内容要旨 (和文)

氏名 吉田 浩司



論文題目 中性 K 中間子稀崩壊実験のためのサンドイッチ型検出器と新型光電子増倍管の開発

KEK E391a 実験は、直接 CP 対称性を破る $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 反応の存在を探索し、K 崩壊におけるその反応の分岐比を測定しようとするものである。この崩壊モードは、理論的な不定さが少なく、CKM 行列要素の $\text{Im}V_{td}$ を精度良く決める上できわめて重要な反応であると考えられている。

この反応に関わる粒子は全て電氣的に中性であるので、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0(\rightarrow \gamma\gamma) + \text{nothing}$ という事象が測定器内において観測されることによって同定される。この実験では観測された $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 事象に対してしか厳しい運動学的な制限をかけることができないので、Veto Counter によってバックグラウンド事象を排除し *nothing* を保証することが重要である。

実験計画の実現に当たっては、検出器など様々な研究開発が必要であった。本論文は上述の *nothing* を保証するために重要な役割を有する Barrel Veto Counter と新型光電子増倍管の開発研究についてまとめたものである。

1. 押し出し成形法によるプラスチックシンチレーターに関する研究
2. Wavelength shifter (WLS) fiber によるシンチレーション光の読み出し系に関する研究
3. Barrel Veto Counter の Prototype Counter の試作とビームによるテスト実験
4. プリズム状光電面を有する新型光電子増倍管の開発研究

押し出し成形法による MS 樹脂シンチレーターの開発が成功し、長さ 5.5m を超えるシンチレーターの量産にも成功した。またそのシンチレーターと WLS Fiber による集光方式によってサンドイッチ型シャワー検出器を構成し、photon veto counter として十分な性能を発揮させることができる見通しが立った。

KEK E391a 実験のために、WLS Fiber を集光系に採用したサンドイッチ型電磁シャワーカロリメーターの Prototype Counter を試作し、 π 、 e などの粒子ビームを用いて性能評価実験をおこなった。

Prototype Counter の応答は、入射電子に対して大変良好な直線性を示した。またエネルギー分解能は $\sigma/E(\%) = 5.10 \pm 0.03/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 0.00 \pm 0.26$ であり、シミュレーションから予想される性能に遜色の無いものであった。得られた光電子数は、 γ 線の入射エネルギーあたり 5.75 ± 0.03 個/MeV であり、プラスチックシンチレーターにおける Deposit Energy あたりに換算すると 19.6 ± 0.1 個/MeV であった。これらの実験結果は、Prototype Counter の基本デザインを踏襲して、KEK E391a の Photon Veto Counter を製作したとしても、十分な性能、不感率 10^{-4} を達成できることを示していた。

平均獲得光電子数の増加を図るため、口径 2-inch の PMT R329 に、(1) プリズム形状をもつ光電面、(2) Extended-green photocathode、(3) 鏡面研磨された電極、の 3 つの改良を施した。結果として、新型の PMT では平均獲得光電子数を 1.8 倍に増やすことができた。時間応答については、TTD に関しては、新型の PMT と標準の PMT では似たような振る舞いを示した。しかしながら TTS に関しては、新型 PMT の TTS は標準 PMT のそれより明らかに悪化した。暗電流については、室温下での使用ならば、標準の PMT と同程度の性能を新型の PMT でも実現できた。このように、KEK E391a の Barrel Counter にこの新型 PMT R329EGPX を装着して、平均獲得光電子数は増やしながらかも、安定して検出器を動作させることが可能になった。

論文内容要旨 (英文)

氏名 吉田 浩司



論文題目 Developments of a sandwich-type detector and a new photomultiplier tube for a kaon rare decay experiment

KEK E391a is an experiment to study direct CP violation through a measurement of the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay branching ratio. This decay mode will offer a clean information of the CKM matrix element $\text{Im}V_{td}$ because an uncertainty in the theoretical calculation is estimated to be only a few %.

$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ events will be identified by a signal of $K_L^0 \rightarrow \pi^0 (\rightarrow \gamma\gamma) + \text{nothing}$ in the whole decay region of the E391a detector. The kinematical constraint is so weak that most important aspect to identify the $\pi^0 \nu \bar{\nu}$ events is background rejection using veto counters.

Developments of a new photomultiplier tube (PMT) and a barrel veto counter, which plays an important role in the background rejection, are reported in this thesis.

1. We succeeded mass-production of large plastic sheets made of MS-resin-based scintillator over 5.5m long by the extruding technique. As a consequence, a lead/scintillator sandwich-type calorimeter to give sufficient light yield to reject background events, became available.
2. The performance of the lead/scintillator sandwich-type detector with a WLS fiber readout has been tested by using 0.4–2.0 GeV/c electrons and pions. It has been fabricated as a prototype counter for the KEK E391a experiment. For electrons the prototype counter provides a very linear response to the incident energy. The energy resolution is obtained to be $\sigma/E (\%) = 5.10 \pm 0.03/\sqrt{E (\text{GeV})} \oplus 0.00 \pm 0.26$. A light yield of 5.75 ± 0.03 photoelectrons/MeV is obtained for the incident energy of γ rays. It corresponds to a light yield of 19.6 ± 0.1 photoelectrons/MeV for the energy deposit in a plastic scintillator. These values ensure the detection inefficiency of 10^{-4} for photon veto counters of the E391a experiment.
3. We have made improvements on the 2-inch PMT (Hamamatsu R329) to increase the photoelectron yield with a prism-shaped, an extended-green photocathode and polished electrodes. Consequently, about 1.8-times larger photoelectron yield was obtained with the new PMTs. A similar behavior in the T.T.D. was found for the standard and new PMTs. However, the T.T.S. of the new PMTs is significantly larger than that of the standard PMTs. The darkcurrent of the new PMTs is comparable to that of the standard PMTs at room temperature.

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

理工学研究科長 殿

平成17年2月7日

論文博士論文審査委員会

主査 加藤 静吾
副査 櫻井 敬久
副査 岩田 高広
副査 郡司 修一
副査

学位論文審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

氏 名 吉田 浩司

2. 論文題目 (英文の場合は、その和訳を併記すること。)

中性K中間子稀崩壊実験のためのサンドイッチ型検出器と新型光電子増倍管の開発

3. 学位論文公聴会

開催日 平成17年1月31日
場 所 理学部13番教室

4. 審査年月日

論文審査 平成17年1月31日 ~ 平成17年1月31日
学力確認 平成17年1月31日 ~ 平成17年1月31日

5. 学位論文の審査及び学力確認の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格
(2) 学力確認 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

7. 学力確認の結果の要旨

別紙のとおり

氏名	吉田 浩司
学位論文の審査結果の要旨	
<p>CP対称性の破れの精密測定は、現在素粒子物理学の中心的課題となっている。山形大学は、高エネルギー加速器研究機構の陽子シンクロトン加速器を使用し、K中間子の稀崩壊によるCP非対称性の研究に参加している。本論文は、この実験に必要な不可欠な測定器の主要部分の開発及び、そこから得られた成果をまとめたものである。この実験では1000億分の1という非常に小さな確率で起こると期待される崩壊過程が実際にどれほどの確率で起こっているかを調べる必要がある。そのためには、不必要なバックグラウンドデータを徹底的に排除できる検出器が必要不可欠である。吉田氏は7年もの期間をかけて山形大学の代表者として開発を継続し、途中から参加した修士課程の学生を指導し、成果を挙げさせてきた。本論文の個別の部分は修士論文にも使われているが、全体をまとめたのはこれがはじめてである。</p> <p>本論文の業績は大きく3つの部分に分かれる。それらは</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 押し出し成形法によるプラスチックシンチレータの開発 2 波長変換ファイバーによる光の読み出し系の開発 3 プリズム光電面を有する新型光電子増倍管の開発 <p>である。第1、第2の部分は数億円にもおよぶ検出器製作費を10分の1にコストダウンするのに必要な開発である。費用をかければもっと高性能のものができていることが分かっているために目立たないが、性能をそれほど失わずにコストを大幅に削減できたことは評価されるべきである。第3の部分は光電子増倍管の性能を従来の製品の1.8倍に上げることに成功し測定データの質を改善することにつながっている。この部分は吉田氏の独創性の最もよく発揮されたものであると言える。この新型光電子増倍管をまとめた報告がレフリーのある欧文学術誌に掲載されており、本論文の主論文と位置づけられている。</p> <p>これらの開発の途中では必要に応じて、加速器を使ったビームテストも行い、最終的に長さ7メートル、直径3メートルの真空タンクに収められた巨大な測定器にまとめられ、データ収集段階に入っている。吉田氏は上記3つの全ての部分で検出器の性能の評価法を確立したと言える。このうちのどの部分が欠けても実験遂行は不可能である。</p> <p>なお論文公聴会では本論文にはないカラー写真の表示や既存データの引用などがあり、論文本体よりも明快なプレゼンテーションであった。そのためできればそれらの資料を付加して本論文を改訂すれば、後学の徒にとってまたとない資料になるであろうとの声もあった。以上のように本論文にある業績は博士の学位に十分相当するものであると認め、合格と判断する。</p>	
学力確認の結果の要旨	
<p>本論文の序論でCP対称の破れの物理学的意義について詳細にまとめられ、公聴会でも関連質問に的確に対応しており、専門的知識を十分身につけていると判断された。本論文にある検出器開発は放射線と物質の相互作用をはじめとする物理学、電子工学などの基礎知識が必要であり、その背景があったからこそ研究開発が進展したと言える。</p> <p>吉田氏は平成4年から山形大学の教員として物理学の授業を担当しており、教養課程から修士課程までの学生の指導経験を蓄積している。また英文の論文の主著者として英文での発表を経験している。以上のように本人には博士として必要な学力を備えているものと認め、合格と判断する。</p>	