

論文審査の結果の要旨

氏名 小曾根 健嗣

この論文は、レプトンフレーバー非保存現象である $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索を通じて超対称性大統一理論を検証する実験 (MEG 実験) のために新たに開発した高性能液体キセノン γ 線検出器の詳細と、それを使って新しい物理が検証可能であることを示したものである。

論文は7章からなり、第1章は $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊についての理論的背景とこれまでの実験の概要が、第2章は MEG 実験装置について、第3章ではその中でも液体キセノン γ 線検出器について、第4章では液体キセノンの純化と吸収長について、第5章では試作した 100 リットルの液体キセノン検出器の性能について、第6章では実機の予想される性能およびそれによる新しい物理の検証可能性について詳しく記されている。そして、第7章で結論が述べられている。

荷電レプトンのレプトンフレーバー非保存現象である $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索を通じて超対称性大統一理論を検証する実験である MEG 実験は、スイスの Paul Sherrer Institute (PSI) で行われる予定である。PSI には世界最大強度 ($\sim 4.5 \times 10^7 \mu^+/\text{sec}$) を誇るビームチャンネルがあり、大量に供給される μ^+ 粒子をターゲット中で静止させて $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索することになる。 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊では γ 線と陽電子が μ 粒子の静止質量の半分の 52.8 MeV/c の運動量をもってお互いが反対の向きに放出される。アクシデンタル・バックグラウンドとして、50 MeV 付近の γ 線が生成され観測される割合を、如何に抑えられるかが実験の鍵となる。MEG 実験を構成する γ 線検出器である、液体キセノン・シンチレーション検出器の開発と実用化が本論文の主題である。

MEG 実験で使用される液体キセノン・シンチレーション検出器は 1000 リットルの液体キセノンで満たされ、その中に約 800 本の光電子増倍管 (PMT) が並べられる予定である。本論文では MEG 検出器を想定して製作された 100 リットルの液体キセノン・シンチレーション検出器の試作器を用い、安定したオペレーションの確立と検出器性能の評価を行った。このような巨大な液体キセノン・シンチレーション検出器が製作されたのは世界初のことである。その安定性に関しては、液体キセノン温度 (110 K) を 3ヶ月間に渡って安定に保てることが検証できた。また、使われる光電子増倍管は、110 K という低温下でも安定した動作が実証できている。

この液体キセノン・シンチレーション検出器の性能を飛躍的に高めたのは液体キセノンの循環式純化システムの導入であった。水分子は γ 線とキセノンとの相互作用によりシンチレーション光を吸収してその性能を損なうため、液体キセノンを純化させる装置を新たに組み入れることで水分を取り除き、吸収長を 1m まで伸ばすことができた。検出器の性能は、産業技術研究所 (AIST) で電子蓄積リン

グ (TERAS) の 764 MeV の電子にレーザーを当て逆コンプトン散乱させて得られる γ 線を使うことにより詳しく調べられた。

これらの性能評価実験の結果、期待されるアクシデンタル・バックグラウンドは 1.2×10^{-14} events/ μ^+ -decay であり、 μ レートを 4.5×10^7 /sec と仮定すれば 5.8×10^{-14} (90% C.L.) という分岐比まで探索できることが示された。この値は現在の分岐比の上限値を 2桁更新できるものであり、MEG 実験により超対称性大統一理論の検証が可能である。

以上に述べたように、この論文は、新しく開発した液体キセノン・シンチレーション検出器が低エネルギー γ 線検出に対し優れた性能を有しており、MEG 実験のために実用化できることが実証された。これにより、レプトンフレーバー非保存事象である $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の分岐比を 2桁更新でき、素粒子の超対称性大統一理論の検証が可能であることが示された。

この論文は、学問的に大変有用なものであり、また論文提出者の独創性も十分であると認められる。また、この論文は MEG 実験グループの他の共同研究者との共同研究に基づくものであるので、論文提出者がどのような主導的な寄与があったのか審査委員会において念入りに審査した。その結果、検出器の開発・性能測定は論文提出者が中心となり行なったものであることから論文提出者の主導性が十分であると判断した。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。