

論文審査の結果の要旨

氏名 白 雪

本論文は 10 章からなる。第 1 章は序章でありこの研究の背景が簡潔に述べられている。第 2 章ではさらに詳しくこの研究の理論的・実験的背景を説明し、第 3 章はこの研究を進めるための実験装置の説明にあてられ、第 4 章では、論文提出者が主に使用する 2010 年に収集したデータに関する説明にあてられている。第 5-7 章で、データ解析の詳細が記述されている。第 8 章でその解析での新たな改良点とその評価を行っている。第 9 章が、この論文の結果となる重要な章で、 μ^+ 粒子が陽電子と光子に崩壊する事象が有意に観測されなかったことからその崩壊比に関して、世界でもっとも厳しい上限値を出している。その上で、第 10 章ではこの探索に関しての今後の展望を議論している。

本論文の主眼は、 μ^+ 粒子が陽電子と光子に崩壊するという事象の探索である。通常ミュー粒子は陽電子とミュー・ニュートリノと電子・ニュートリノの 3 体に崩壊し、ミュー粒子からミュー・ニュートリノへとレプトンフレーバーがよく保存されていることが実験的にわかっている。しかし、フレーバーが保存する理論的な強い根拠はなく、実際標準模型を超える理論では、世代を超えてミュー粒子が電子と光子に崩壊する可能性が論じられている。

これまでの実験ではこの分岐比は 1.2×10^{-11} 以下であることが分かっており、それをさらに 1 桁以上よい精度での探索を目指して、国際共同実験 MEG が提案され、スイスの PSI 研究所で実験が行われている。この崩壊過程を発見できた場合は、素粒子物理学において全く新しい地平が出現し、重要な結果となる。この実験の鍵は、2 体崩壊して出てくる陽電子と光子をいかに精度よく測定できるかである。特に、複数事象が重なりあったものを一つの事象として見てしまう効果をどれだけ抑えられるかが重要になる。2 つの高性能検出器の発明が必要であり、一つは光子の測定器(液体キセノン検出器)で、もう一つは陽電子の検出器であった。

既に、2009 年のデータについて暫定的な解析が発表されており、そこでは角度はややずれているものの、この 2 体崩壊に近い事象が数個存在した。

論文提案者は、液体キセノン検出器の運転・校正を進め、この実験の遂行にあたって大きな貢献をしつつ、解析の改良を行い、2010 年に収集したデータをもとに解析を進めた。解析の改良では、特に測定器間の相互位置の精査、陽電子のトラッキングの改良、そして取得事象から分岐比を算出する上での最尤法の改善などを進めた。

論文提案者はまず、2009年のデータの再解析を行った。上記の改良によりバックグラウンド事象を低減することに成功したが、最終的な、 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 事象の分岐比の上限値の値は暫定結果とほぼ変わらないことを示した。その上で、2010年のデータ解析を、まず信号領域を隠した状態に進め (Blind analysis)、周辺の事象の分布が理解できた後に信号領域の事象分布を調べた。2010年のデータは2009年に収集したデータの約2倍の量がある。解析の結果は、有意な $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 事象が観測されなかったため、これにより $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 事象の分岐比の上限を、2010年のデータ単独、及び2009年と2010年のデータを総合した場合の両方で求めた。後者の上限は 2.4×10^{-12} (90% confidence level) となり、過去の実験の上限より1桁近い改善となった。

本論文は、国際共同実験グループ MEG での共同研究であるが、この研究に関しては論文提出者が主体となって進めている。得られた結果は、この崩壊過程に対する一番厳しい上限をあたえることとなり、素粒子の標準理論を超えるモデルを作るにあたって大きな制限となり、非常に重要な結果を導き出した。

以上により論文提出者の寄与が十分であると判断し、したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。