

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 金田 佑哉
学位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 428 号
学位授与の日付 平成 30 年 3 月 23 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名 ミュー粒子の異常磁気能率を説明する MeV スケールの新物理探索

論文審査委員 主査 准教授・浅賀 岳彦
副査 教授・宮田 等
副査 教授・小池 裕司
副査 准教授・中野 博章
副査 准教授・江尻 信司
副査 准教授・下村 崇 (宮崎大学)

博士論文の要旨

素粒子物理学の基礎理論として標準模型がある。この理論は、素粒子間に作用する強い相互作用、電磁相互作用、および弱い相互作用を、ゲージ対称性に基づく量子場の理論により統一的に記述する。この模型は、これまでの様々な実験で測定されたエネルギーが陽子質量の千倍程度までの素粒子反応をほぼ矛盾なく説明する。標準模型の成功を示す代表的な一例として、電子の異常磁気能率があげられる。電子の異常磁気能率に対する理論予言と測定値は驚異的な 10 桁以上の精度で一致しており、標準模型の正しさを見事に示している。

しかしながら、ミュー粒子の異常磁気能率も同様に精度よく計算され、精度よく測定されているにも関わらず、両者の間に統計的に 3 シグマ以上の差異が報告されている。この差異は標準模型の枠内では解決できないため、自然界には標準模型を超える新しい物理法則が存在すると考えられている。

このミュー粒子の異常磁気能率の問題を解決するため、これまでに様々な標準模型を拡張した素粒子模型が提唱されてきた。これらの模型では、問題解決のため標準模型にはない、新しい素粒子を導入している。しかも、現在の実験観測と無矛盾となるために、新粒子の質量として陽子の百倍から千倍程度の重い領域が検討されてきた。これまでに、欧州原子核研究機構 (CERN) での大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) 実験を筆頭に、様々な高エネルギー加速器実験によって新粒子探索が行われてきたが、今日まで発見には至っていない。

この帰結が示すことは、新粒子の持つ性質として以下の二つの可能性が考えられる。(1) 新粒子の質量が想定以上に重く、現在の探索実験のエネルギーでは生成することができないため、その存在が確認できない。(2) 新粒子の質量は十分に軽いため、エネルギー的に

粒子を生成することは可能であるが、新粒子の持つ相互作用が弱いためにその存在が確認できない。本論文では、(2)の可能性を検討した。

具体的には、標準模型に登場する粒子との結合定数が小さく、陽子の千分の一程度の軽い質量を持つ新しいゲージ粒子を導入することにより、ミュー粒子の異常磁気能率の問題の解決を検討した。論文ではまず、これまでの実験観測結果と無矛盾であり、ミュー粒子の異常磁気能率の測定値を説明できるモデルのパラメータ領域があることを示した。

さらに本論文では、導入する新粒子を直接検証する手法について検討を行った。その結果、高エネルギー加速器研究機構で実施される Belle-II 実験での探索法、および大強度陽子加速器施設 (J-PARC) におけるニュートリノ振動実験の前置検出器での探索法の二つの方法を提案した。さらに、この二つの手法はモデルのパラメータ領域を探索する際、相補的な役割を果たしていることを示し、両者の重要性を明らかにした。

審査結果の要旨

本論文では、素粒子標準模型が抱えるミュー粒子の異常磁気能率の問題について検討した。特に、陽子の千分の一程度の軽い質量を持つ新しいゲージ粒子を理論に導入し、その輻射補正により異常磁気能率の問題を解決する可能性を研究した。

この論文では、異常磁気能率の問題を解決する新しいゲージ粒子がこれまでの実験と矛盾しないことを示した上で、この粒子を実験により直接検証する手法を考案した。特に、日本で行われる Belle-II 実験やニュートリノ振動実験に着目し、これまでにない新しい探索手法を提案し、実験グループに大きな影響を与えた。

本研究では、これまでにない新規の探索手法を提言するなどオリジナリティが高い結果を生み出した。さらに、理論物理だけでなく実験物理にも大きな影響を与えたため、その重要性は非常に高いと判断される。

よって、本論文は博士 (理学) の博士論文として十分であると認定した。