

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 山本 恵  
学位 博士 ( 理学 )  
学位記番号 新大院博 (理) 第 385 号  
学位授与の日付 平成 26 年 3 月 24 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 B 中間子における CP 対称性の破れと超対称性粒子の効果

論文審査委員 主査 教授・谷本盛光  
副査 教授・宮田等  
副査 教授・松尾正之  
副査 准教授・中野博章  
副査 准教授・浅賀岳彦

博士論文の要旨

**背景**

CP 対称性は、粒子と反粒子間の対称性であり、宇宙の物質生成の鍵となる基本的な対称性の一つである。この CP 対称性の破れが、1964 年に K 中性中間子の崩壊過程において発見された。この現象は 1973 年小林と益川によって三世代クォークの枠組み (小林-益川モデル) で説明された。その後、トップクォークが発見され、また、B ファクトリー実験で小林-益川モデルの予言と実験値が一致したことから、このモデルの正しさが確かめられた。このように、CP 対称性の破れは素粒子標準模型の確立において重要な役割を果たしてきた。

現在まで素粒子の諸現象は、この標準模型で説明できている。しかし、標準模型はあるエネルギー領域まで成り立つ有効理論と考えられており、この標準模型を超える新しい物理を探求することが課題となっている。新しい物理を探しあてる方法として、加速器のエネルギーを上げて新粒子を直接作り出す直接探査と、量子効果を通じて低エネルギー側の物理に出てくる影響を調べる間接探査の二つがある。現在稼働している大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) において、ヒッグス粒子が発見されたが、新粒子の存在証拠は未だ得られず、超対称模型といった、新しい物理の質量の下限は 1 TeV のエネルギースケールまで上がっている。一方で、LHC 実験は B 中間子を多量に生成するフレーバーファクトリーという面も持ち合わせており、CP 対称性の破れといった新しい物理に敏感な物理量に関する精密実験 (LHCb) も進んでいる。新物理の兆候が直接探査で見つかっていない状況を考えると、新粒子の質量の下限を踏まえ、B 中間子の CP 対称性の破れや稀少崩壊の新しい実験結果をインプットにし、系系統的な解析を行うことが標準理論を超える理論の手掛かりを得るために必要である。

**研究方法と結果**

本論文では、超対称性模型を導入し、B 中間子の崩壊過程における超対称粒子クォーク・スクォーク・グルイーノ相互作用の寄与を主に検討した。

まず、標準模型の理論値と実験値が誤差の範囲内ですでに一致している物理量から、超対称性模型のパラメータに制限をつけた。具体的には、**Bd** 中間子・**Bs** 中間子の質量差、時間依存 CP 非対称の大きさ、**Direct CP** 非対称の大きさ、崩壊分岐比、ストレンジクォークの **Chromo**-電気双極子モーメントなどからの制限を考慮した。これらの制限から得られた超対称性模型のパラメータを用いて、現在精密測定が進められている **Bs**→ $\Phi\Phi$  崩壊における CP 非対称や、**Bd**, **Bs** 中間子崩壊における **Semi-leptonic CP** 非対称等を計算し、**LHCb** 実験、**BelleII** 実験等での検証可能性を明らかにした。以上の研究から以下のような結論が導かれた。

1 **K** 中間子の CP 非対称性  $\epsilon_K$  と **Bd** 中間子の CP 非対称  $\sin(2\beta)$  の間で矛盾がある可能性が指摘されてきたが、スクォークのフレーバー混合の寄与で説明できた。

2 **Bd** 中間子の非レプトン崩壊モードにおける CP 非対称は、クォーク・スクォーク・グルイーノ相互作用によって標準模型の予言値より大きくなり得る。

3 **Bs**→ $\Phi\Phi$  崩壊における CP 非対称は標準模型の理論値から大きくずれる可能性がある。この CP 非対称は今後 **LHCb** での精密測定によりテストされる。

4 **Bd** 中間子と **Bs** 中間子の **Semi-leptonic** 崩壊における CP 非対称は、標準模型の予言値から大きくずれる可能性がある。近い将来、稼働予定の **BelleII** 実験での精密測定において、重要なテストとなる。

#### 審査結果の要旨

本論文は、**B** 中間子崩壊における CP 対称性の破れに対する超対称性粒子の効果であるクォーク・スクォーク・グルイーノ相互作用の寄与を検討したものである。超対称性は素粒子の標準理論を越える最も有力な理論とみられてきたが、その理論に対応する超対称性粒子は **LHC** 実験で発見されていない。そのため、低エネルギー実験である **B** 中間子の精密実験からそれらの新粒子の効果を調べる必要がある。

本研究では、**B** 中間子と **K** 中間子のこれまでのデータと **LHC** 実験での新粒子探査の結果を系統的に数値解析に取り入れ、そのもとで **QCD** 効果を踏まえた精密計算を行い CP 対称性の破れの予言に成功している。

特に、**Bs** 中間子の崩壊過程における CP 非対称は **LHCb** で初めて観測されたものであり、超対称性粒子の効果の予言は、この研究のもっとも特徴的なものである。

近い将来、CP 対称性の精密実験の結果が期待されるため、超対称性の検証が行われる可能性があり、本論文の価値は高いと判断される。

以上によって、本論文は博士論文として十分値するものと判断した。

なお、本研究は、CP 対称性の破れから超対称性の効果を見出すことを目指す基礎研究であるので、博士（理学）が適当であると判断した。