

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 早川 淳
学位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 384 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_s 中間子崩壊の直接的 CP 非保存における超対称性効果の探索

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・大原 謙一
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

スイスの CERN (欧州素粒子原子核研究機構) にある陽子と陽子を円形に加速し衝突させて素粒子の反応をみる加速器である大型ハドロンコライダー LHC のエネルギーフロントィアは 8TeV であり、その LHC で素粒子に質量を与える原因となるヒッグス粒子が発見された。その質量は 126GeV である。しかしスピンが整数であるボゾンとスピンが半整数であるフェルミオンの入れ替えで物理法則が不変になる超対称性 (Super Symmetry) を課すことで現れる超対称性粒子のような新粒子は未発見である。一方ルミノシティフロントィア (素粒子の反応数の到達点) では LHC の測定器である LHCb において、 B_s 中間子の CP の破れの測定がなされた。また B_s 粒子の Direct CP Violation (粒子と反粒子の直接崩壊における崩壊確率の違い) が観測され始めた。その実験で測られた粒子と反粒子の崩壊確率の違いを表す量である Asymmetry A_{CP} は $B_s \rightarrow K+K^*$ 崩壊では $A_{CP} = -0.14 \pm 0.11 \pm 0.03$ で $B^0 \rightarrow K+\pi$ 崩壊では $A_{CP} = -0.082 \pm 0.006$ である。これらの測定値は新しい物理現象についてどのような制限を与えるのかを検討するのが本論文の目的である。

研究方法と結果

本論文では、超対称性モデルを導入し、グルイーノ・スクォークが媒介したフレーバーが変化する効果を探するため $B_s \rightarrow K+K^-$ と $B_s \rightarrow K^0 K^0 \text{bar}$ 過程の Direct CP Violation を研究した。そこでは $b \rightarrow s$ 遷移のペンギンの振幅が崩壊を支配している。

Direct CP の破れがおきるために、ハドロンの終状態での再反応の寄与がなければならぬ。そこで強い相互作用による量子力学的位相のずれがあったとき、Direct CP 対称性の破れが実現する。この計算ではすでに確立している QCD 因子化法を用いている。質量差 ΔM_{B_s} 、 $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ 崩壊における CP を破る位相 ϕ_s と $b \rightarrow s\gamma$ の分岐比の実験データを入力することによって、フレーバー混合の可能な領域を探した。スペクテーター s を d に入れ替えることによって $B_s \rightarrow K+K^-$ 崩壊は $B^0 \rightarrow K+\pi^-$ 崩壊と関係しているので、これらのデータに加え、 $B^0 \rightarrow K+\pi^-$ の Asymmetry から来る制限を考慮に入れた。その制限のもと、 $B_s \rightarrow K+K^-$ と $B_s \rightarrow K\bar{0}K\bar{0}$ 崩壊の Direct CP Violation を予言した。CP 対称性の物理量 S_{K+K^-} は、 $0.1 \sim 0.5$ の領域に予言され、標準モデルの予言からかなりずれる。物理量 $C_{K\bar{0}K\bar{0}}$ と $S_{K\bar{0}K\bar{0}}$ の標準理論の予言はゼロに近いので、超対称性の寄与は $B_s \rightarrow K\bar{0}K\bar{0}$ で検出できると期待される。これらの期待された大きさは、 $C_{K\bar{0}K\bar{0}} = -0.06 \sim 0.06$ と $S_{K\bar{0}K\bar{0}} = -0.5 \sim 0.3$ の領域にある。これらの崩壊における CP Violation の詳細なデータは SUSY の寄与に対する重要なテストを与えてくれる。

審査結果の要旨

本論文は、B 中間子崩壊における Direct CP 対称性（直接的 CP 対称性）の破れに対して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、QCD 因子化手法を駆使し、超対称性粒子の効果を直接的 CP 対称性の破れのなかで検証する手法を明瞭に示した。とりわけ B_s 中間子が二個の K 中間子に崩壊する過程で、超対称性クォークの寄与が大きくあらわれる物理量を探りだすことに成功し、その解析課程を詳細かつ明確に示している。

特に、 B_s 中間子の崩壊過程における直接的 CP 対称性の破れは LHCb で初めて観測されたものであり、この崩壊過程における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、直接的 CP 対称性の破れ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 対称性の破れの起源を解明する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。