

氏 名	うしろ だ ゆたか 後 田 裕
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2385 号
学位授与の日付	平 成 13 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	A measurement of the Inclusive Branching Fraction for the Radiative B Meson Decay $B \rightarrow X_s \gamma$ with the Belle Detector (Belle 検出器による B 中間子の輻射崩壊 $B \rightarrow X_s \gamma$ の分岐比測定)
論文調査委員	(主 査) 助教授 坂 本 宏 教授 西川公一郎 教授 谷 森 達

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子の標準理論によると b quark が s quark に tree level で崩壊することは禁止されている。そのため、最低次のファインマン図は、1 ループ香り交換中性カレント過程となる。ループ部は主として W と t により仲介されるが、それらのかわりに荷電 Higgs 粒子や SUSY 粒子など、標準理論以外の寄与があると、 $B \rightarrow X_s \gamma$ ($b \rightarrow s \gamma$) の崩壊の分岐比は標準理論の予言と比べて大きくも小さくもなり得る。故に、 $B \rightarrow X_s \gamma$ の分岐比を測定することにより、標準理論を精密に試験し、またそれを拡張した理論に対して制限を加えることができる。

本論文では、 $B \rightarrow X_s \gamma$ の分岐比を測定した。使用したデータは文部科学省高エネルギー加速器研究機構の Belle 検出器で観測した約 6fb^{-1} である。Belle は KEKB 加速器でそれぞれ 3.5GeV 、 8GeV に加速された e^+ 、 e^- を衝突させて生成した γ ($4S$) の崩壊により生成する B 中間子を研究する為の検出器である。

$B \rightarrow X_s \gamma$ 事象は B 中間子の準二体崩壊であるので、特徴的な単色の硬い光子を放出する。一方、奇妙さの自由度 (S) を持つ反跳系 (X_s) は、 K 中間子一つと π 中間子一から四個を組み合わせる準包括的に再構成する。これらの組み合わせで構成されない寄与は理論により外挿する。このような包括的な解析に付随する重大な問題点は、一つの事象中に複数の候補が可能なことである。複数の候補の中から一つ最も良いものを選ぶ手法として、Belle の崩壊点検出器を活用し、最も崩壊点が多く再構成された候補を選択した。これにより、 B 中間子候補の再構成質量等の運動学的変数をバイアスせずに候補を取り出すことができた。

最大のバックグラウンド事象は軽いクォークの対生成 ($e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$) からくる。 $q\bar{q}$ からのバックグラウンド事象を抑制するために SFW と呼ばれる新しい終状態形状変数を開発した。このカットにより、 S/N 比約 1 を達成した。抑制した上で残った $q\bar{q}$ からの寄与を差引いて $B \rightarrow X_s \gamma$ の事象の産量を決定するために、一般には e^+e^- のエネルギーを少し Υ ($4S$) からずらして取ったデータ (off-resonance data) を用いるが、代わりに SFW の側波帯領域のデータを用いた。そのため SFW には運動学的変数との相関を持たない様、様々な工夫がなされた。Belle 実験では off-resonance data を全体の 1/11 しかとらないがこの方法によりバックグラウンドの見積もりが可能になった。

$B \rightarrow X_s \gamma$ の再構成効率は Kagan と Neubert による理論の模型に基づき Monte Carlo で見積もった上で、実際のデータを用いて補正し決定した。

以上により $B \rightarrow X_s \gamma$ の分岐比を

$$\beta(B \rightarrow X_s \gamma) = (3.36 \pm 0.53 \pm 0.42 \pm 0.59) \times 10^{-4}$$

と決定した。誤差の第一項は統計誤差、第二項は系統誤差、第三項は理論模型の誤差である。

論文審査の結果の要旨

申請者の課題は B 中間子が輻射を伴ってストレンジネスを含んだ状態へ崩壊する事象を包括的に測定したものである。個別のハドロン終状態の影響を平滑化し、理論との予測を曖昧さなく与えることができる点でこのモードの測定が意味があることがまず確認された。このモードはフレーバーを変える中性カレント反応であり、標準模型では最低次でループを含むことから未知の物理への感度が高いことや、放出されるリアルなガンマ線を測定することによる理論的簡明さなども利点である。

実際の測定に当たっては、まず測定されるガンマ線および終状態を構成する粒子の判定についての妥当性が検討された。ガンマ線については電磁カロリメータのクラスター解析の品質、および接続される荷電粒子飛跡がないことを保証する手順などの個別のステップが適当であると確認できた。残りのストレンジネスを含んだ終状態を構成する荷電粒子・中性粒子の選択基準、その結果の品質の評価について十分なアクセプタンスや検出効率を保持していることを確認した。

選別された事象候補について背景事象を評価し差し引く必要がある。主たる背景は B 中間子ではなく軽いクォーク対生成に由来する事象であるが、その定量的評価の方法について検討した。これはこの論文の結論を与える上で最も重要な論旨である。前提として、B ファクトリー実験が熾烈な国際的競争関係にあり、他実験に先駆けて B 中間子における CP 対称性の破れを検証するという至上命令があることのために、本来ならば背景事象を説明するに足る十分な B 中間子共鳴外エネルギーでのデータ取得ができない現状についてはやむを得ないと結論できる。逆にいうと、この論文ではそのようなデータがなくても、現有する共鳴エネルギーでのデータの解析により背景事象の評価が十分な信頼性を持つて行えることを示した。

最終的な結果については、先行している実験である CLEO の結果を統計において改善するものであり、標準模型が予測するところと統計精度の範囲で一致するものであった。以前に出版された CLEO の結果が標準模型の予測と一定分離していたことを考えると、特にそのような傾向はなく標準模型で説明しうることによってこのモードの解析に結論を与えている。公式に出版されていない CLEO の最近のデータもこの論文と同じ傾向を与えている。

以上のように研究の動機から実験・解析の実際、得られた結論について検討を加えてきたが、いずれも高く評価される内容を持っていることを確認した。KEK-B 加速器 Belle 実験の第一世代の物理のアウトプットであり、今後多く出てくるであろう Belle コラボレーションの発表論文の質の基準を与えた点でも重要な意味を持つものと考えられる。京都大学理学博士の学位にふさわしい論文であると結論することができる。