

(論文内容の要旨)

素粒子の標準理論によると、クォークの様々な遷移過程のうち、電荷を変えずにフレーバーを変える過程は、ツリーダイアグラムのレベルで禁止されている。例えば、 b クォークから d クォークへの遷移はその典型例である。しかし、この過程はループを介して W ボソンや t クォークと結合する。また、超対称性粒子などの未知の重粒子とも結合可能であるため、標準模型を超える物理の探索にとり有望であると期待されている。 b クォークから d クォークへの遷移のうち、終状態に実光子を伴う過程 ($b \rightarrow d \gamma$) は、光子のエネルギーが大きいいため、特に測定に適した過程である。また、崩壊ダイアグラムにキャビボ・小林・益川 (CKM) 行列要素 $V_{tb}^* V_{td}$ を含むため、この過程の崩壊分岐比を測定することで、複素位相をもつ $|V_{td}|$ に制限をつけることが可能である。過去の実験では、高エネルギー加速器研究機構やスタンフォード線形加速器センターの B 工場において B 中間子からの3つの崩壊モード、 $B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$, $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$, $B^0 \rightarrow \omega \gamma$ 、が確認されている。

本論文においては、さらに多くのデータを用い、解析を改善することにより、より精度の高い測定結果を報告する。実験は、高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子衝突型加速器 (KEKB) と付随する検出器 (Belle) を用いて行われた。解析には、収集された 657×10^6 の B 中間子対を用いた。また本解析では、上記した3つのモードの分岐比測定に加え、 $B \rightarrow \rho \gamma$ におけるアイソスピン非対称度 $\Delta(\rho \gamma)$ 及び $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$ における荷電非対称度 $A_{CP}(B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma)$ の測定も遂行した。 $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$ においては消滅ダイアグラムも寄与するため、上記する非対称度をいずれも破る要因となっている。なお荷電非対称度 $A_{CP}(B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma)$ の測定は世界で最初のものである。

解析の手順は、まず電磁カロリメータから、高いエネルギーをもつ光子を選ぶ。 ρ 粒子や ω 粒子は2つまたは3つのパイ中間子に崩壊するので、荷電粒子から選んだパイ中間子で不変質量を組み、 ρ 粒子や ω 粒子を再構成する。粒子識別は、閾値型エアロジェルチェレンコフ検出器によって行う。最後に、光子と ρ 粒子または ω 粒子から B 中間子を再構成し、フィットを用いて信号事象数を求める。本解析において最大のバックグラウンドとなる事象は、電子陽電子が消滅し、 u, d, s, c 等のクォーク対となる事象 (Continuum Events) である。これについては、B 中間子生成過程とこのバックグラウンド事象とのトポロジーの違いを用いて区別する。更に、 ω 粒子の不変質量やダリッツ分布の違いを利用する手法により、信号能力分離能力に改善を加えると同時に、フィットの方法自身にも改良を加える。以上の結果、本解析では、信号同定効率を20%程度向上させることに成功した。

得られた結果は以下のとおりである。まず分岐比については、 $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$ が $8.7^{+2.9}_{-2.7} \pm (0.9/1.1) \times 10^{-7}$ であり、 $B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$ が $7.8^{+1.7}_{-1.6} \pm (0.9/1.0) \times 10^{-7}$ 、 $B^0 \rightarrow \omega \gamma$ が $4.0^{+1.9}_{-1.7} \pm (1.3) \times 10^{-7}$ となった。またアイソスピン非対称や荷電非対称度については、 $\Delta(\rho \gamma) = -0.11^{+0.32}_{-0.32} \pm (0.09)$ 及び $A_{CP}(B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma) = -0.48^{+0.21}_{-0.19} \pm (0.08/0.09)$ が得られた。最後に、CKM 行列要素については、 $|V_{td}/V_{ts}| = 0.195^{+0.02}_{-0.019} \pm (0.015)$ となった。これらはいずれも標準模型と矛盾せず、それを支持している。

(論文審査の結果の要旨)

申請者は、高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子衝突型加速器(KEKB)と付随する検出器(Belle)を用いて、 b クォークから d クォークへの光子を伴う遷移過程($b \rightarrow d \gamma$)を実験的に研究した。現在の素粒子の標準理論によると、クォークの様々な遷移過程のうち、電荷を変えずにフレーバーを変える過程は、ツリーダイアグラムのレベルで禁止されている。申請者の測定した $b \rightarrow d \gamma$ 過程はその典型例である。しかし、この過程はループを介して超対称性粒子などの未知の重粒子とも結合可能であるため、標準模型を超える物理の探索にとり有望である。実験的な観点では、 b クォークから d クォークへの遷移のうち、終状態に実光子を伴う過程($b \rightarrow d \gamma$)は、光子のエネルギーが大きいため、特に測定に適した過程である。また、崩壊ダイアグラムにキャビボ・小林・益川(CKM)行列要素 $V_{tb}^* V_{td}$ を含むため、この過程の崩壊分岐比を測定することで、複素位相をもつ $|V_{td}|$ に制限をつけることが可能である。過去の実験では、高エネルギー加速器研究機構やスタンフォード線形加速器センターのB工場においてB中間子からの3つの崩壊モード、 $B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$, $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$, $B^0 \rightarrow \omega \gamma$ 、が確認されている。申請者は、 657×10^6 のB中間子対のデータを用い、解析を改善することにより、より精度の高い測定結果を得た。また解析では、 $B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma$, $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$, $B^0 \rightarrow \omega \gamma$ モードの分岐比測定に加え、 $B \rightarrow p \gamma$ におけるアイソスピン非対称度 $\Delta(p\gamma)$ 及び $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$ における荷電非対称度 $A_{CP}(B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma)$ の測定をも行った。 $B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma$ においては消滅ダイアグラムも寄与するため、上記する非対称度をいずれも破る要因となりうる。なお荷電非対称度の測定は世界で最初のものである。解析の手順は、まず電磁カロリメータから、高いエネルギーをもつ光子を選ぶ。 ρ 粒子や ω 粒子は2つまたは3つのパイ中間子に崩壊するので、荷電粒子から選んだパイ中間子で普遍質量を組み、 ρ 粒子や ω 粒子を再構成する。粒子識別は、閾値型エアロジェルチェレンコフ検出器によって行う。最後に、光子と ρ 粒子または ω 粒子からB中間子を再構成し、フィットを用いて信号事象数を求める。本解析において最大のバックグラウンドとなる事象は、電子陽電子が消滅し、 u, d, s, c 等のクォーク対となる事象(Continuum Events)である。これについては、B中間子生成過程とこのバックグラウンド事象とのトポロジーの違いを用いて区別する。更に、 ω 粒子の不変質量とダリッツ分布の違いを利用する手法により、信号能力分離能力に改善を加えると同時に、フィットの方法自身を改良する。以上の結果、本解析では、信号同定効率を20%程度向上させることに成功した。

得られた結果はいずれも標準模型と矛盾せず、それを支持している。申請者は、得られた解析結果を用いて、標準理論を越える模型に対する制限をも得ている。上記の結果は、B中間子やキャビボ・小林・益川行列、また標準模型を越える模型に対して新しい知見を加えるものである。

以上により、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。