

論文内容の要旨

論文題目: Measurement of CP -Violating Asymmetries in the Flavor-Changing Neutral Current Decays of the B Meson

(B 中間子のフレーバー変換中性カレント崩壊における CP 非対称性の測定)

氏名: 中津優

濱

中性 B 中間子系における CP 対称性の破れは、 B ファクトリー実験が 2001 年に観測した $b \rightarrow c\bar{c}s$ 崩壊における時間に依存した CP 対称性の大きな破れを観測して以来、確固たるものになっている。そのもとになっているクォークにおける CP の破れおよび小林益川行列は、素粒子物理における標準理論の成功に大きく貢献した。

一方、近年、素粒子物理の興味は、標準理論を超えた新しい物理の寄与の探索に移りつつあり、直接的探索(例:LHC 実験)と間接的探索(例: B ファクトリー実験)により網羅されている。本研究では、後者について着目した。

B 中間子系の崩壊は、一般に標準理論内の振幅が非常に小さいので、極めて微小と予想される標準理論を超えた物理の振幅との干渉が観測できる可能性がある。よって、新しい物理のよいプローブとなりうる。さらに、フレーバー変換中性カレント(クォークの種類が b から s または、 b から d に

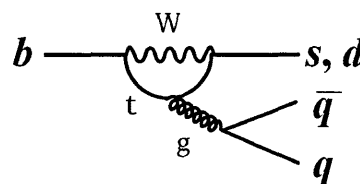


図1: $b \rightarrow sg / b \rightarrow dg$ ループ遷移の
ファインマンダイアグラム

変化するループ遷移(例: $b \rightarrow sg / b \rightarrow dg$ ループ遷移(g はグルーオン) (図 1)))を含む崩壊は、不確定性原理により、中間状態に非常に重い粒子が現れうる。よって、 $b \rightarrow sg$ または $b \rightarrow dg$ ループ遷移は、超対称性粒子のような標準理論を超えた重い粒子の寄与に非常に敏感である。標準理論を超えた重い粒子の結合定数の位相が崩壊の弱い相互作用の位相と異なれば、 CP 非対称性の測定値が標準理論の予想値と異なると期待される。

ここ数年、 B ファクトリー実験では、 $b \rightarrow sg$ ループ遷移で記述される約 10 種類の崩壊における CP 非対称性が、活発に測定されてきた。その中でも、 $B^0 \rightarrow \phi K_S^0$ 崩壊は、 CP 非対称性に対する理論的な不確定性が極めて小さく、実験的にも事象抽出が比較的容易である。このため、 CP 非対称性測定がもっとも成果が期待されている **golden mode** である。しかし、 CP 非対称性の決定に関しては、同じ $K_S^0 K^+ K^-$ 終状態を持つ他の崩壊モード ($B^0 \rightarrow f_0 K_S^0$ や非共鳴状態) 間の干渉による影響が考えられる。その寄与の定量的な見積もりはこれまでのデータ量では不可能であった。

一方、 $b \rightarrow dg$ ループ遷移は $b \rightarrow sg$ ループ遷移よりも崩壊分岐比が一桁小さく、新しい物理の寄与との干渉に一層敏感である。さらに、崩壊振幅が $b \rightarrow sg$ ループ遷移を含む崩壊とは異なる CP 位相を持つので、別の角度から相補的で独立な研究を行うことが可能である。しかし、 $b \rightarrow dg$ ループ遷移における CP 非対称性は、物理的研究意義の重要性が大きいかかわらず、崩壊分岐比の小ささゆえに、これまでのデータ量では未知なる研究分野であった。

本論文では、

- 1) $b \rightarrow sg$ 遷移の中での **golden mode** である $B^0 \rightarrow \phi K_S^0$ 崩壊を含む、 $K_S^0 K^+ K^-$ 終状態をもつ B 中間子崩壊における、干渉を考慮した”時間依存した Dalitz プロット解析”を用いた CP 位相の測定結果、
- 2) $b \rightarrow dg$ 遷移の中での **golden mode** である $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0$ 崩壊における CP 非対称性の測定結果について述べる。本研究においては、 $Y(4S)$ 共鳴状態から生成される B 中間子対 6.57 億個のデータを用いた。このデータは、KEKB ファクトリーおよび Belle 検出器を用いて生成および収集されたものである。

本文中では、まず、従来の CP 非対称性の測定方法を利用した 2) の解析結果について述べ、さらに、新たな測定手法に着目しつつ 1) の解析結果について述べる。

$B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0$ 崩壊において、信号と背景事象の識別が最大になるモデルを作ることにより、統計誤差を削減する事象抽出方法を採用した。その結果、事象再構成の効率を前回の試みよりも約 40% 増やすことに成功し、 58 ± 11 個の $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0$ 信号事象を観測した。

CP 非対称性を測定するために、再構成された B 中間子の崩壊点情報、検出器分解能由来の Δt 較正関数に基づき Δt を決定し、さらに B 中間子のフレーバーを決定した。本解析では特に、有限距離飛行した K_S^0 から崩壊した 2 つの荷電 π の運動量情報から、新たに K_S^0 の運動量ベクトルを再構成し、 B 中間子の崩壊点情報を得る工夫を施した。さらに、 Δt およびフレーバーの確率密度関数を最尤関数法で再構成した事象に対してフィットした。 Δt をフレーバーに応じて分類した分布にその確率密度関数を重ねたものを図 2 に示す。時間依存した CP 非対称性、 $S_{CP} = -0.38_{-0.77}^{+0.69} (stat) \pm 0.05 (syst)$ を得た。系統誤差のうち、信号の Δt 較

正関数、信号の割合、背景事象の Δt モデルが大きな寄与を占める。

また、この測定結果は、世界最高精度であるが、測定結果を標準理論の予想値と比較したところ、現時点では標準理論と無矛盾であった。

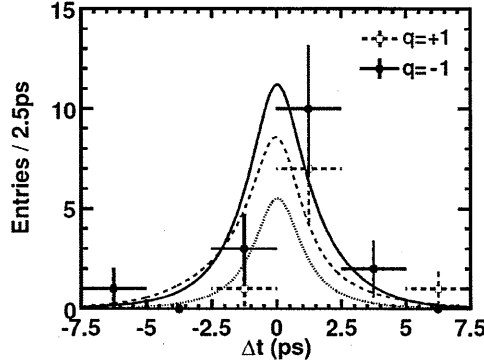


図 2: フレーバー q ごとの Δt の分布とそれにフィットされた確率密度関数。黒は背景事象。

$B^0 \rightarrow \phi K_S^0$ 崩壊を含む $B^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ 終状態崩壊過程において、従来の時間依存性に新たに運動学的な量(Dalitz プロット)を組み合わせた。図 3 に我々が用いた $B^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ 信号モデルの Dalitz プロットを示す。各中間状態の CP 非対称性、各崩壊モードの相対的な大きさをあらわす Dalitz 振幅、および干渉をあらわす Dalitz 位相を含む全 18 パラメータを最尤関数法で同時に決定した。

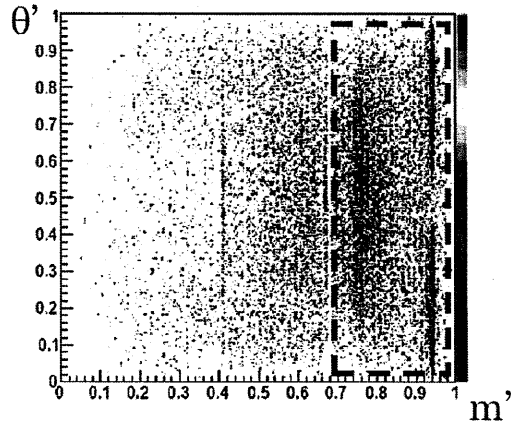


図 2 $B^0 \rightarrow K_S^0 K^+ K^-$ シグナルモデル(7 個の崩壊モードを含む)の Dalitz プロット。非共鳴状態が半分程度の寄与である。赤線内が ϕK_S^0 、 $f_0 K_S^0$ が密集する本解析で興味がある部分。

非共鳴状態と崩壊幅の広い s 波の共鳴状態($f_0 K_S^0$ 、 $f_X K_S^0$)間の干渉パターンの違いにより 4 解が見つかった。多数($O(1000)$)回の Pseudo-experiments による検証や外部の情報を用い、最も確からしい 1 解に絞り込み、以下のとおり、 $B^0 \rightarrow \phi K_S^0$ 崩壊における CP 位相を求めた。

$$\phi_1^{eff} = (32.0_{-8.3}^{+8.8} (stat.) \pm 1.8 (syst.) \pm 0.8 (Dalitz Model))^\circ$$

さらに、 3σ を越える確からしさに時間依存した CP の破れの示唆をつかんだ。

今回の測定結果を、標準理論の枠組み内の理論的予想値と比較したところ、理論と測定の結果は一致を見せているが、理論の予想値と比べて実験結果の統計誤差はいまだ大きく、理論と現実の一致もしくは不一致を決定するまでには至っておらず、より大量のデータが望まれる。今後の課題として、Dalitz 信号モデルの記述の不確かさがあげられるが、統計が増えると、データを用いて改善可能である。

本研究手法は、今後も継続すると予想される B 中間子系の CP 非対称測定をプローブとした標準模型を超える物理の探索手法 “の完成形であり、その可能性を実証することが出来た。