ϕ_3測定に向けた、$B^0 \to DK^{*0}$崩壊の研究

"セグメンテーション"
ニモ負ケズ
"フィット ノット コンバージ"
ニモ負ケズ
雪ニモ 夏ノ暑サニモ負ケヌ
丈夫ナ体ヲ持チ
欲ハアル ヨク怒ル
イツモシヅカニワラッテイル

東北大学
根岸 健太郎

目次

- Belle実験
- ϕ_3
  - CP非保存角ϕ_3
- B→DK崩壊
  - GLW法
  - ADS法
  - GGSZ法(Dalitz)
  - R_{DK^*}測定
  - $B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$
- まとめ

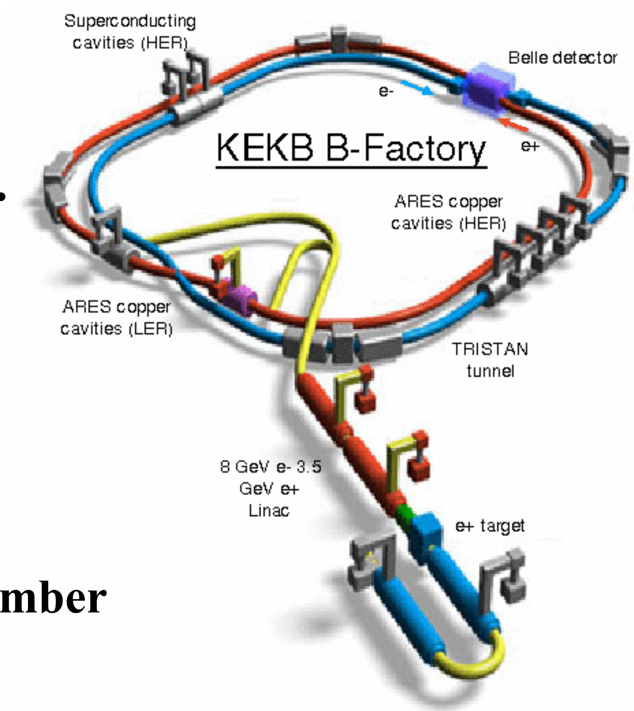
BELLE実験

Belle実験

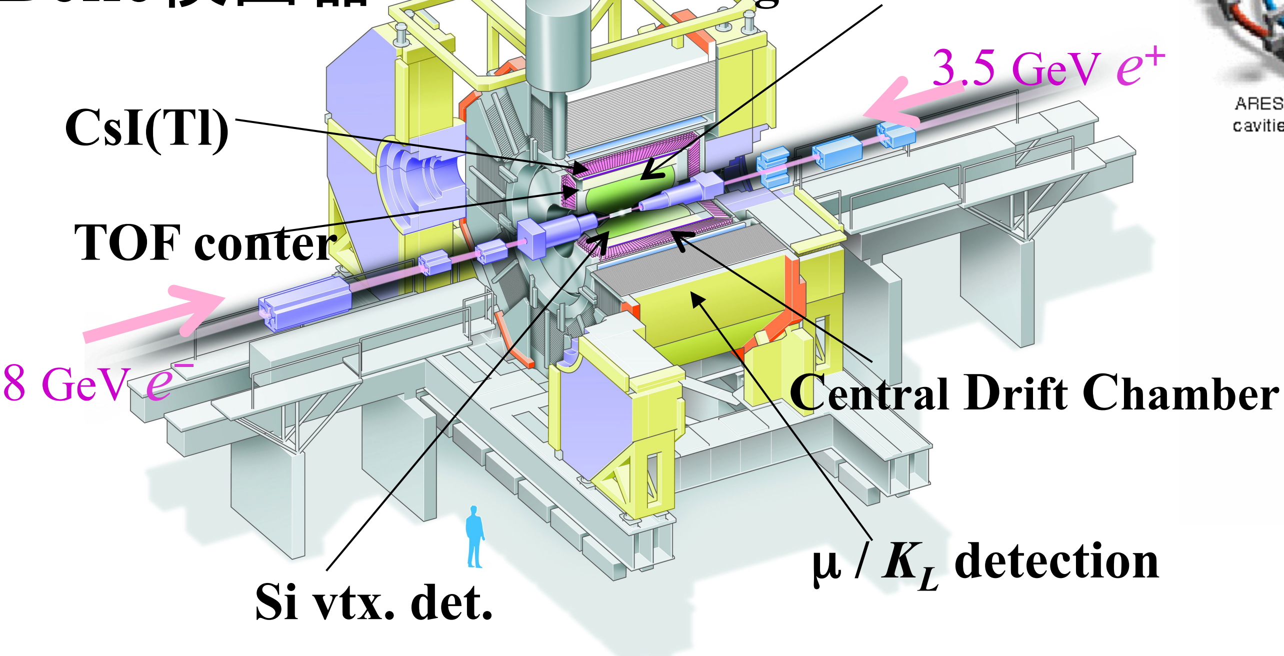
- Belle実験
  - e^+e^-衝突で$\Upsilon(4S)$($b\bar{b}$レゾナンス)を生成

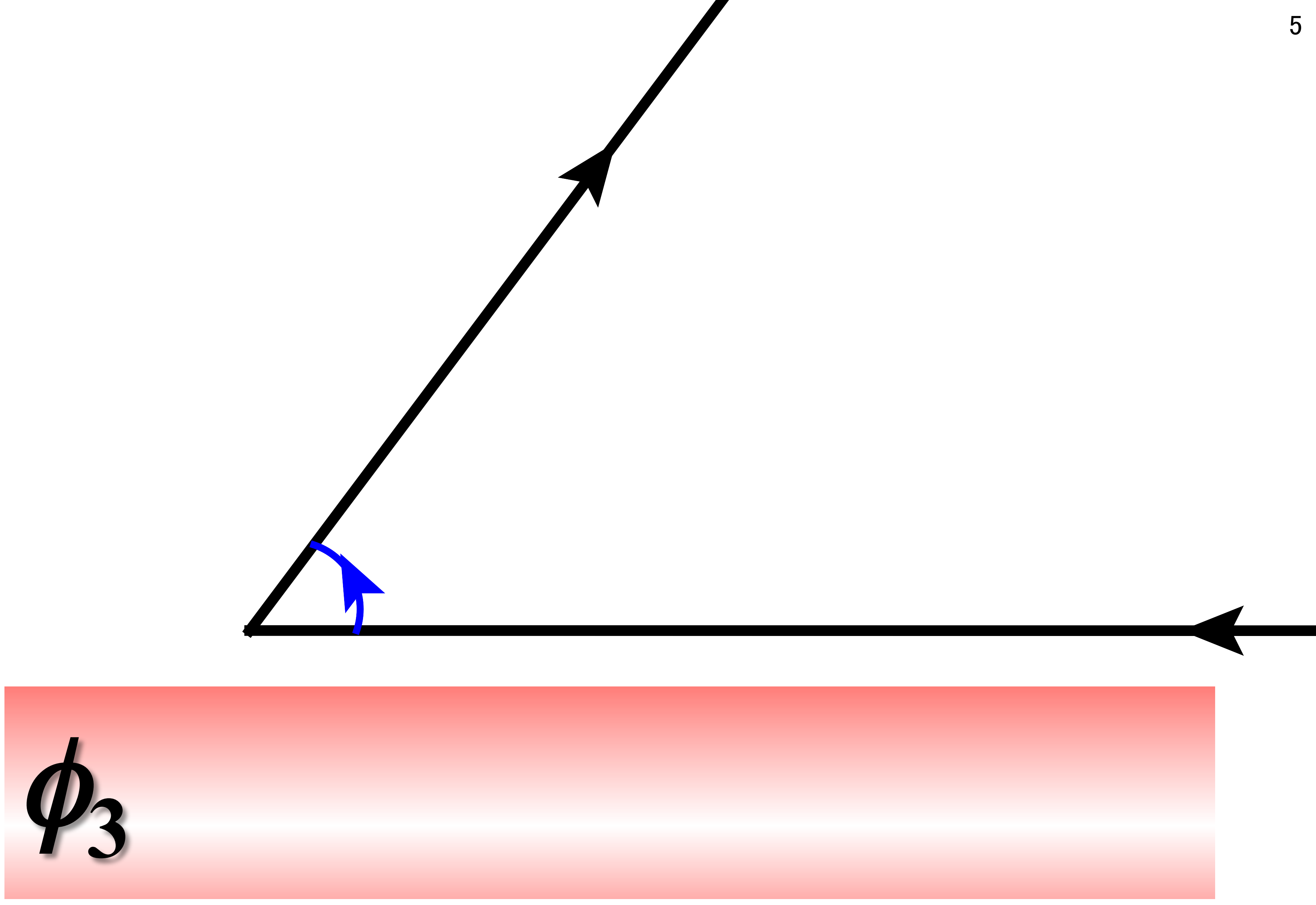
$$\Upsilon(4S) \rightarrow B^+B^- \quad \sim 50\ \%$$
$$\rightarrow \bar{B}^0B^0 \quad \sim 50\ \%$$

- KEKB加速器
  - e^- : 8.0 GeV, e^+ : 3.5 GeV, 重心エネルギー : 10.6 GeV (非線形)
  - e^+e^-衝突器として世界最高のルミノシティ



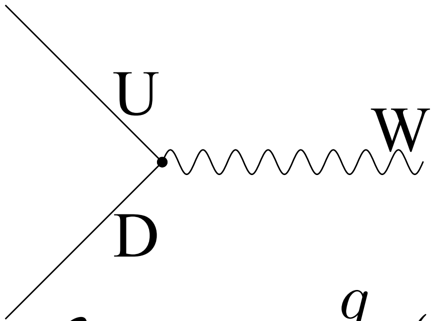
- Belle検出器




ϕ_3

CP非保存角ϕ_3

- CKM(Caibbo-小林-益川)行列
  - 弱い相互作用の荷電カレントに入ってくる行列
  - 質量の固有状態とフレイバーの固有状態を混合



U = (u, c, t)
D = (d, s, b)
U_L, D_L : 左巻き成分

$$\mathcal{L}_{int} = -\frac{g}{\sqrt{2}}(\bar{U}_L \gamma_\mu V_{CKM} D_L W_\mu^+) + h.c.$$

  - CKM行列はユニタリでなければならない

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

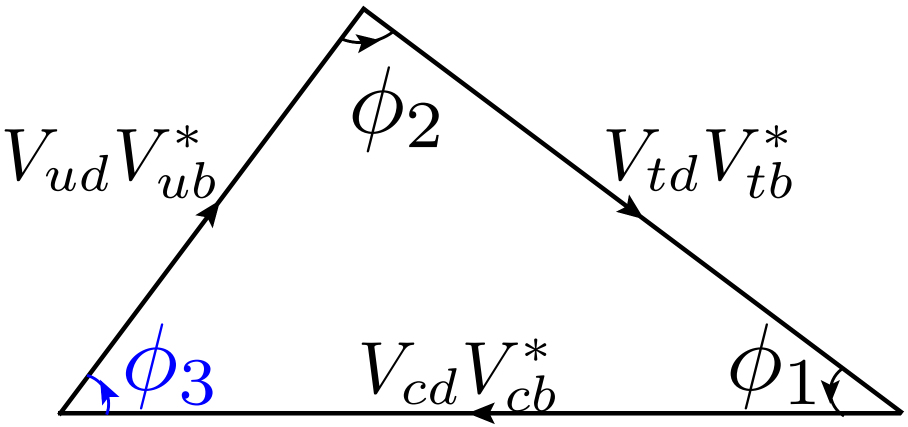
$$V_{CKM} V_{CKM}^\dagger = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

  - 各項が複素数 → 複素平面上に三角形 → ユニタリ三角形

ユニタリ三角形

- ユニタリ三角形



$$\phi_3 \equiv \arg\left(\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{-V_{cd}V_{cb}^*}\right)$$

$$\sim -\arg(V_{ub})$$

現在の各角度測定値

$$\phi_1 = (21.38^{+0.79}_{-0.77})^\circ$$

$$\phi_2 = (88.7^{+4.6}_{-4.3})^\circ$$

$$\phi_3 = (66 \boxed{\pm 12})^\circ$$

ICHEP 12

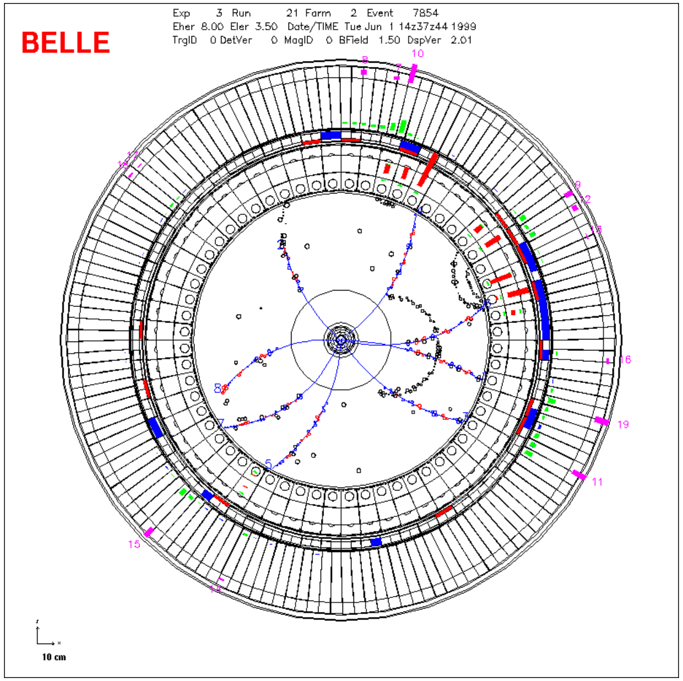
ϕ_3の精度が悪い

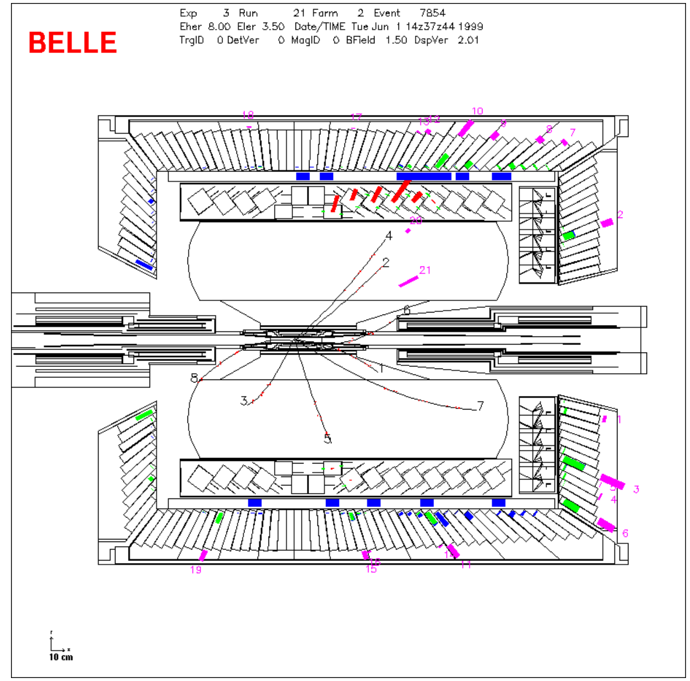
精度の向上

→ SMパラメターの精密測定

→ New Physicsの手掛かり?

- ϕ_3はb → u遷移のある(V_{ub}の含まれる)モードで測定する事となる。
  - どのように測定するか → 次





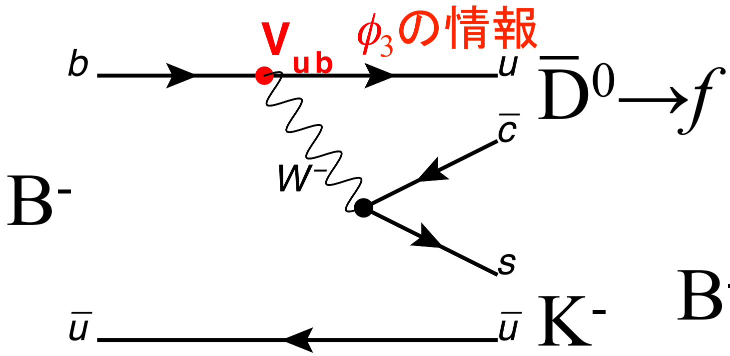
B→DK崩壊を用いϕ_3を測る

GLW, ADS, GGSZ法

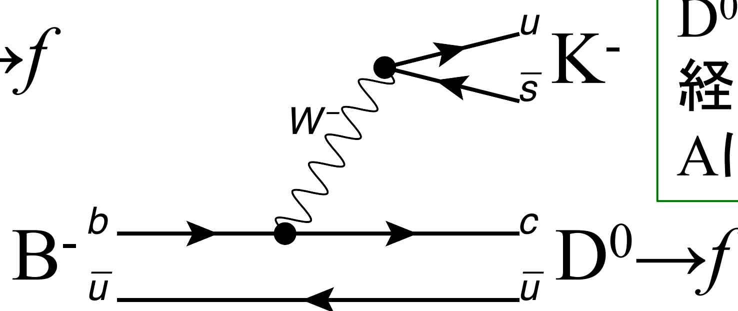
B→DK崩壊

ϕ_3測定とB → DK崩壊

D : D^0 or $\bar{D}^0$



経路A

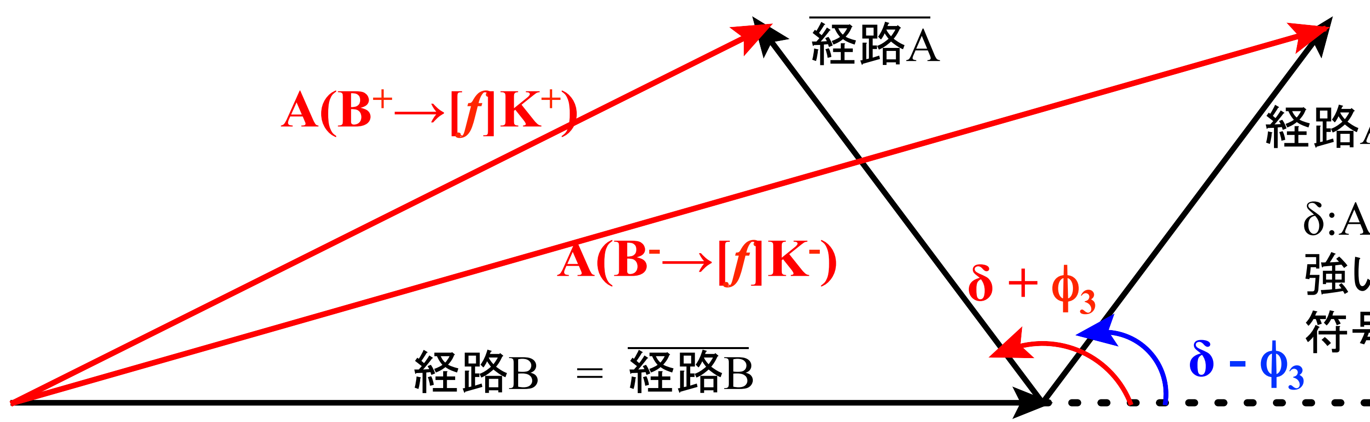


経路B

D^0,$\bar{D}^0$が同じ終状態fへ
経路A,Bが干渉
Aにb→u(ϕ_3の効果)

経路A,BのAmplitudeの足し算をする訳ですが…

- Charge Conjugateで弱い相互作用の位相は符号が**反転する**
- 経路A,B間で強い相互作用の位相差δが入ってくる
(Charge Conjugateで符号は**反転せず**)



δ:A,B間の
強い相互作用の位相差
符号反転しない

- 観測量は赤線の(経路A,Bの干渉を経た)二乗 (B⁻とB⁺の崩壊分岐比)

ϕ_3測定

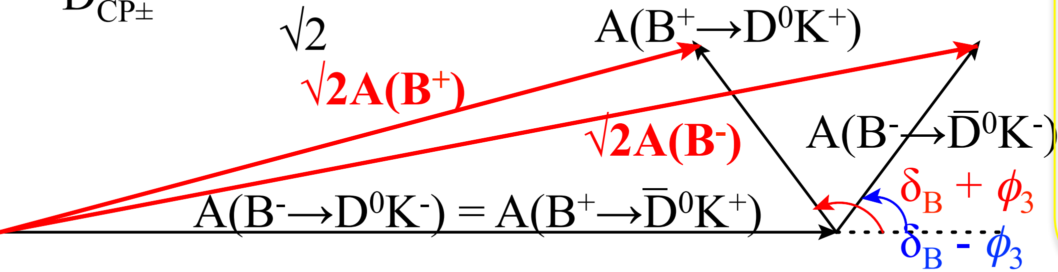
- $B^- \to DK^-$
  - GLW法 (Gronau-London-Wyler)
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法 (Atwood-Dunietz-Soni)
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz) (Giri-Grossman-Soffer-Zupan)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

大きく三つに分けて、順に説明します

GLW, ADS法

GLW法　D→CP Eigenstate

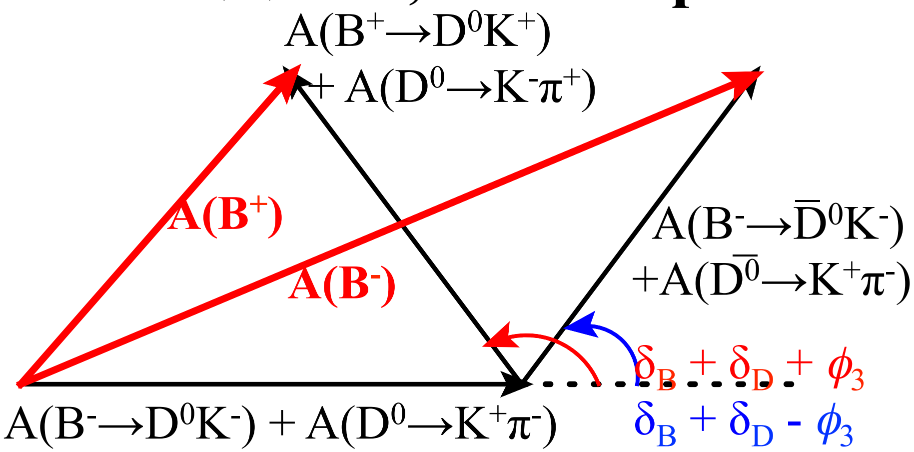
$$D_{CP\pm} = \frac{(D^0 \pm \bar{D}^0)}{\sqrt{2}}$$



$$R_\pm = \frac{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)}}{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{fav}}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{fav}}K^+)}} = 1 + r_B^2 \pm 2r_B \cos\delta_B \cos\phi_3$$

$$A_\pm = \frac{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) - \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{CP\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{CP\pm}K^+)} = \frac{\pm 2r_B \sin\delta_B \sin\phi_3}{R_\pm}$$

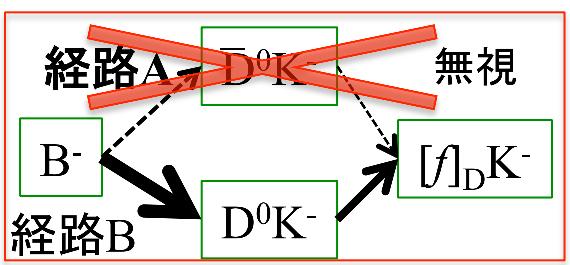
ADS法　Kπ, Flavor Specific

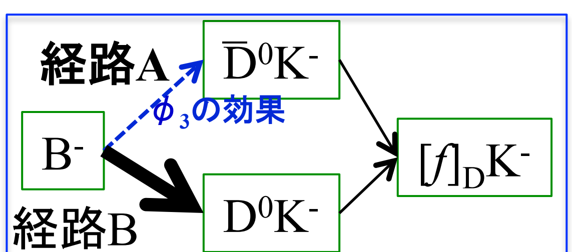


$A(B^-\to D^0K^-) + A(D^0\to K^+\pi^-)$
$= A(B^+\to \bar{D}^0K^+) + A(\bar{D}^0\to K^-\pi^+)$

$$R_{ADS} = \frac{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{sup}}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{sup}}K^+)}}{\boxed{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{fav}}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{fav}}K^+)}} = r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos(\delta_B + \delta_D)\cos\phi_3$$

$$A_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{sup}}K^-) - \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{sup}}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{sup}}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{sup}}K^+)} = \frac{\pm 2r_B r_D \sin(\delta_B + \delta_D)\sin\phi_3}{R_{ADS}}$$



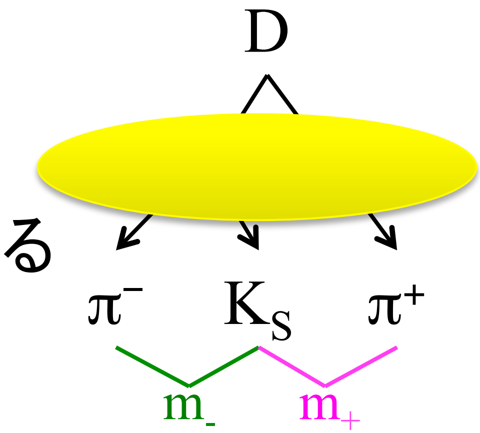


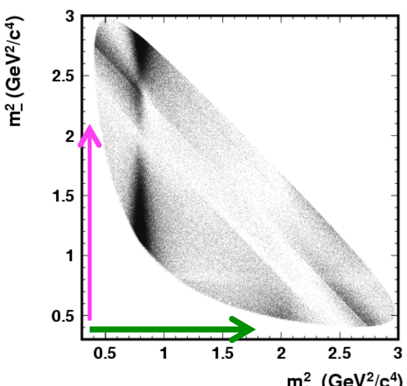
r_B：経路A,Bの比(B崩壊の比)
δ_B：B崩壊の強い相互作用の位相差

r_D：D崩壊の比
δ_D：D崩壊の強い相互作用の位相差

GGSZ法

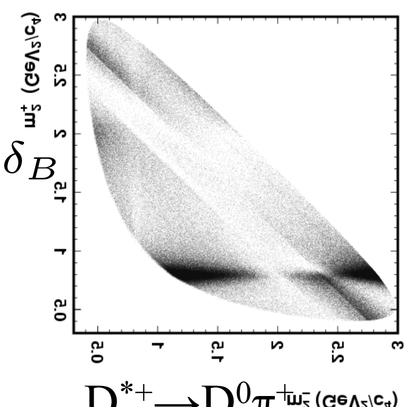
- $D \rightarrow K_S\pi\pi$, etc
  - D崩壊が三体崩壊
  - 三体崩壊のレゾナンス分布にϕ_3の影響が現れる
    - 経由するレゾナンス(Dalitz図の場所)によって D崩壊の強い相互作用の位相(δ_D)が異なる





$D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0\pi^-$
$\bar{D}^0 \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$

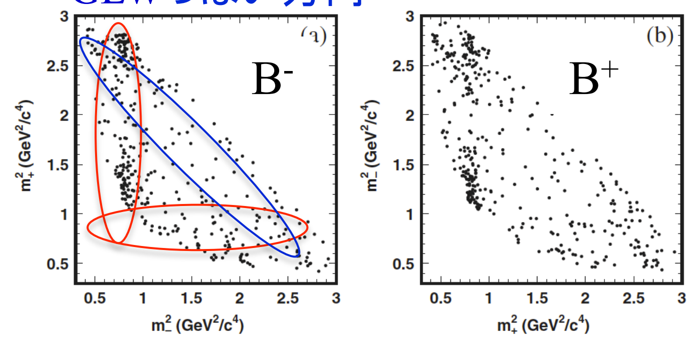
$$+r_B e^{\pm i\phi_3 + i\delta_B}$$



$D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$
$D^0 \rightarrow K_S\pi^+\pi^-$

$$=$$

ADSっぽい方向
GLWっぽい方向



典型的に求める四つの変数

$$x_\pm = r_B\cos(\pm\phi_3 + \delta_B)$$
$$y_\pm = r_B\sin(\pm\phi_3 + \delta_B)$$

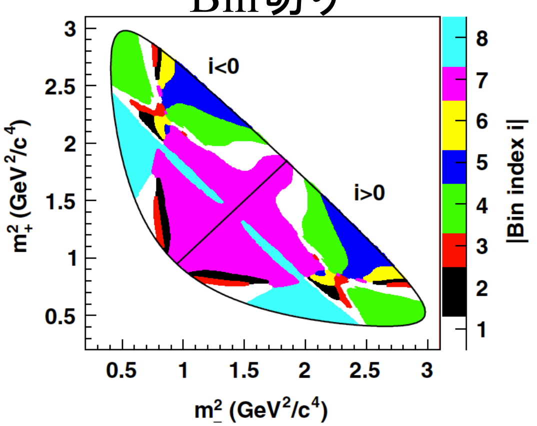
A. Poluektov, PRL 81, 112002 (2010)

$$\phi_3 = (78.4 \pm 3.6(stat.) \pm 8.9(syst.)^{+11.6}_{-10.8}(model))^\circ$$

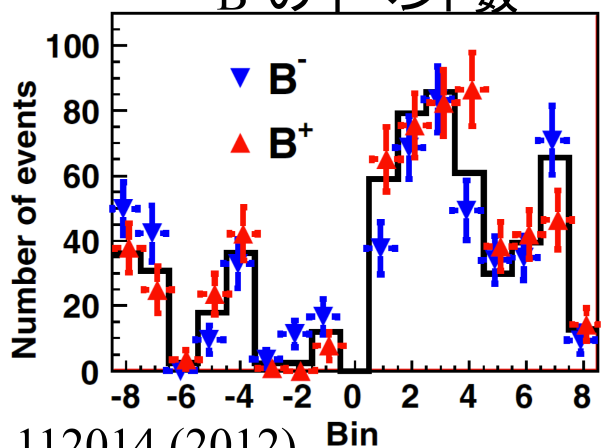
Model Independent Dalitz

- $D \to K_S\pi\pi$, etc
  - D崩壊が三体崩壊
  - 三体崩壊のレゾナンス分布にϕ_3の影響が現れる
    - 経由するレゾナンス(Dalitz図の場所)によって
      D崩壊の強い相互作用の位相(δ_D)が異なる
    - ➢ Dalitz図上δ_D値の等高線を引き、Bin切りして単純にSignalを数える
      Bin毎にδ_Dが解っているのでϕ_3が出せる

Bin切り



B$^\pm$のイベント数



A. Poluektov, PRD 85, 112014 (2012)

$$\phi_3 = (77.3^{+15.1}_{-14.9} \pm 4.1 \pm 4.3)^\circ$$

$$r_B = 0.145 \pm 0.030 \pm 0.010 \pm 0.011$$

$$\delta_B = (129.9 \pm 15.0 \pm 3.8 \pm 4.7)^\circ$$

レゾナンス分布を評価する
モデルの不定性が無い
現状では統計エラーが優位
→D,B Factoryの
統計が溜まれば
(次世代D,B Factoryで)
解決出来る!!

ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$
  - GLW法
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

現在のϕ_3は
これらの結果を
Combineしたもの

全部ひっくるめて、連立方程式を作る事になるので、
他のモードを解析すればする程ϕ_3の制限がかかる！

中性Bでの ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$
  - GLW法
    $D \to \pi\pi$, CP Eigenstate
    - Signal大きい
    - CP非対称性小さい
  - ADS法
    $D \to K\pi$, Flavor Specific
    - Signal小さい
    - CP非対称性大きい
  - GGSZ法(Dalitz)
    $D \to K_S\pi\pi$, 三体崩壊
    - GLWとADSを引っ括め解析

同様の方法がとれる

- $\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$
  - GLW法
  - ADS法
  - GGSZ法(Dalitz)

Belleの
Full Dataで
解析しているのは
自分だけ

中性Bで同様に解析した時の欠点と利点

→ 次ページ

中性Bでの ϕ_3測定

- $B^- \to DK^-$　　同様の方法がとれる　　• $\bar{B}^0 \to D\bar{K}^{*0}$

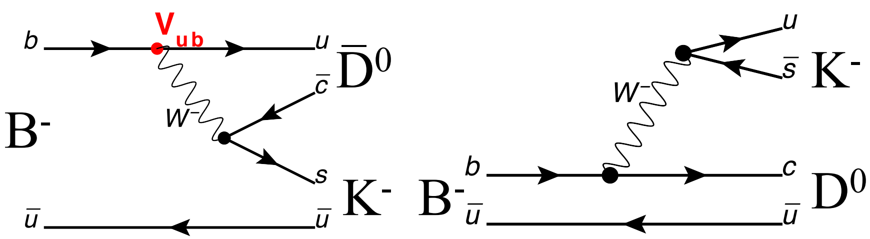
  – 崩壊分岐比
  $Br(B^- \to D^0K^-) = (3.68 \pm 0.33) \times 10^{-4}$

  ~ 1/10

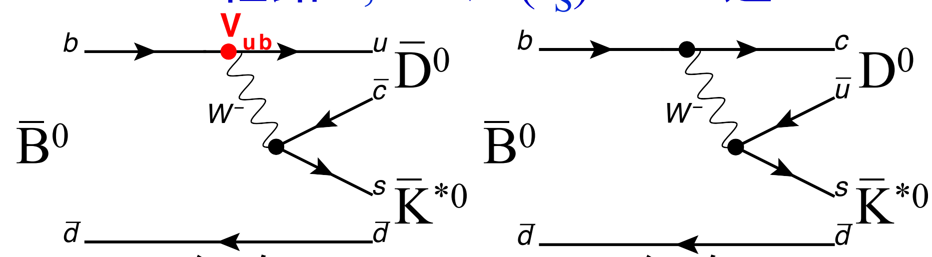
  – ☹分岐比は小さい
  $Br(B^0 \to D^0K^{*0}) = (4.2 \pm 0.6) \times 10^{-5}$

  – 経路A,Bの比

  – ☺経路A,Bの比(r_S)が1に近い!!

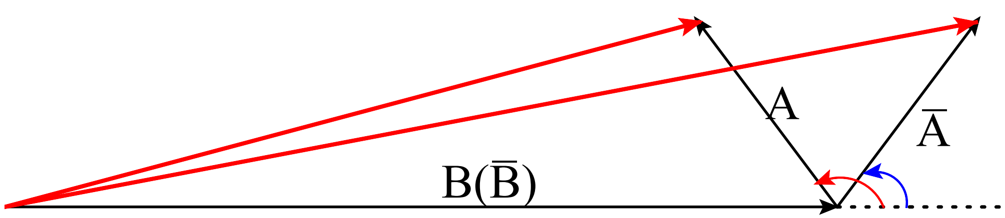


経路A　　経路B

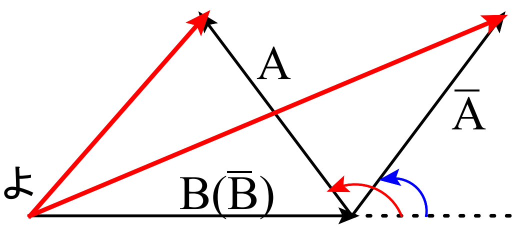


経路A　　経路B

$r_B(DK) = 0.099 \pm 0.008$　　~ 10 倍(?)　　$r_S(\text{expected}) \sim r_B \times 9$



右の方が
非対称度
測り易そうでしょ



– ☺$K^{*0} \to K^+\pi^-$によるB Flavor Tag

$$K^{*0} \to \begin{cases} K^+\pi^- & \sim 2/3 \\ K^0\pi^0 & \sim 1/3 \end{cases}$$

B^0-$\bar{B}^0$混合の効果が入らない

$B^0 \to DK^{*0}$

- 今までやった事
  - ADS法
    D→KπにてR_{ADS}を測定

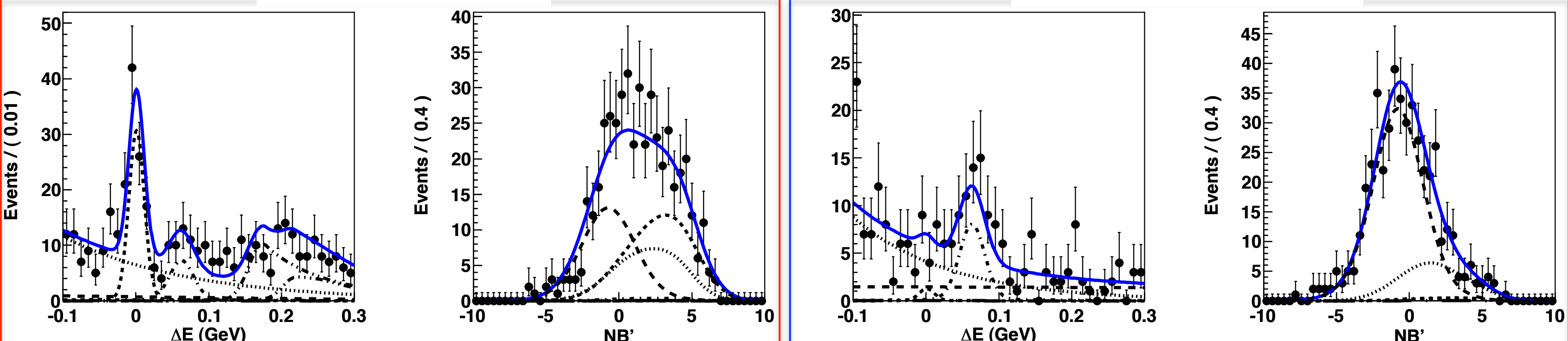
Suppressed mode

$$R_{DK^*} \cong \frac{\boxed{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^{*0}) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^-\pi^+]_D \bar{K}^{*0})}}{\boxed{\Gamma(B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^{*0}) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^+\pi^-]_D \bar{K}^{*0})}}$$

$$= r_S^2 + r_D^2 + 2k r_S r_D \cos(\delta_S + \delta_D)\cos\phi_3$$

Favored

Favored mode　　　　Suppressed mode



Signal - - -
$B\bar{B}$ BG • • •
$q\bar{q}$ BG — —
$D^0\rho^0$ - • - •
D^0K^+ - •• - ••
$D^0\pi^+$ - ••• - •••

$N_{sig} = 190^{+22.3}_{-21.2}$

$N_{sig} = 7.7^{+10.6}_{-9.5}$ "0 consistent"

PRD 86, 011101 (2012)

- $R_{ADS} = (4.5^{+5.6}_{-5.0}{}^{+2.8}_{-1.8})\times 10^{-2}$
  < 0.16 (@ 95 % C.L.)

$r_D^2 = (3.80 \pm 0.10)\times 10^{-3}$ (PDG)
$k \sim 1$ (BaBar simulation studies)
から$R_{DK^*} \sim r_S^2$ (非常に保守的に)として
$r_S < 0.4$ ← 予想値より小さい可能性!!

- これからやる事
  - $D \to K_S\pi\pi$ Model Independent Dalitz

$B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$

- $B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$にModel IndependentなDalitzを適用する
  - 予想されるシグナル数

$$N_{\rm sig} = N_{\rm fav} \times \frac{Br(D \to K_S\pi\pi)}{Br(D \to K\pi)} \times \frac{eff_{K_S\pi\pi}}{eff_{\rm fav}}$$

$$\sim 190 \times \frac{3 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-2}} \times \frac{9.7 \times 10^{-2}}{21.0 \times 10^{-2}}$$

$$\sim 68 \text{ events}$$

N_{fav} : $B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$ Favored Modeのシグナル数

$eff_{fav(KS\pi\pi)}$: $B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$ Favored Mode ($B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$)の検出効率

  - 参考)荷電Bで同等程度のSginal統計によるϕ_3測定の結果(Belle)
    - A. Poluktov, PRD 70, 072003 (2004)
      $B^- \to D^{(*)}K^-$でModel Dependent

$\phi_3 = (77 ^{+17}_{-19} \pm 13 \pm 11(\mathrm{model}))^\circ$

DK$^-$ 146 events → $r_B = 0.26^{+0.10}_{-0.14}$

~2σで求まっている

(D*K$^-$ 39 events)

- 統計ではFactor~1/2程度だが、
  中性Bの方が非対称度が大きい

$B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$ 続き

- 現在の状況
  - 中性Bは荷電Bと比べSignalが小さいのでBGとの戦い
  - NeuroBayesを用いた$q\bar{q}$ Background Suppression

Belleで一般的に使われていたもの

LR(KSFW)
$|\cos\theta_B|$

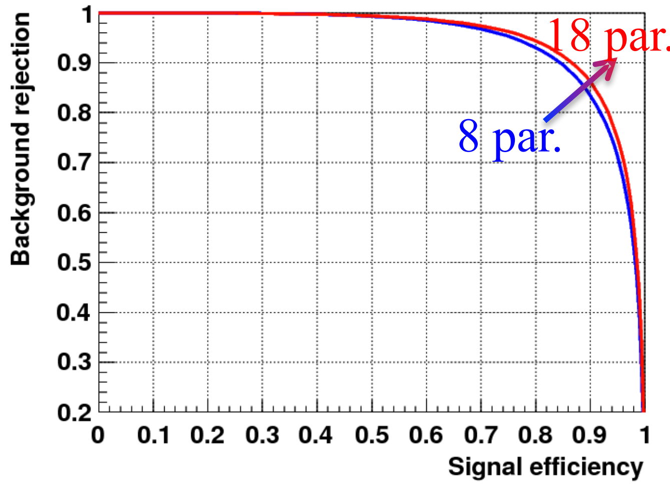
$B \to [K\pi]_D K^{*0}$で使ったもの

$|\cos\theta_{thr}|$
Δz
Distance DK*
$|qr|$
$\cos\theta^D_B$
ΔQ

\+

new parameters

sphe
apla
v1_z
v1_v1
v2_v2
v3_v3
thru_v_z
thru_rec
thru_oth
thru_all



Sig. Eff. [%]	BG rej. [%]	
	18 par.	8 par.
80	92.9	91.8
90	86.0	84.4
95	78.0	75.6
99	55.9	53.9

少しの改善が見える
これら10パラメータが
実際使えるのかのCheckが必要!!

まとめ

Summary and Plan

- まとめ
  - ϕ_3 : SMのパラメータの測定それ自体とても重要
    - New Physicsの手掛かりとなる可能性
  - 中性Bでのϕ_3測定は未だ行われていない
    - 荷電Bでの結果とのクロスチェック
  - $B^0 \to [K\pi]_D K^{*0}$でのR_{DK*}の上限値を更新する事に成功
    - R_{DK*} < 0.24 (95% C.L.) @BaBar 2009 with 465M $B\underline{B}$
      < 0.16 (95% C.L.) @Belle My result with 772M BB
- 今後の方針、課題
  - $B^0 \to [K_S\pi\pi]_D K^{*0}$のDalitz解析
    - $q\bar{q}$ Suppression
    - (ΔE, M_{bc}, NB)の三次元FitでPhase Space全体のSignalを求める

Thank you!!

BACK UP

$\mathbf{R_{DK^*}}$

$$R_{DK^*} \equiv \frac{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K + \pi^-) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^-\pi^+]_D K^-\pi^+)}{\Gamma(B^0 \to [K^-\pi^+]_D K^+\pi^-) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^+\pi^-]_D K^-\pi^+)}$$
$$= r_S^2 + r_D^2 + 2kk_D r_S r_D \cos(\delta_S + \delta_D)\cos\phi_3$$

$$A_{DK^*} \equiv \frac{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K + \pi^-) - \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^-\pi^+]_D K^-\pi^+)}{\Gamma(B^0 \to [K^+\pi^-]_D K^+\pi^-) + \Gamma(\bar{B}^0 \to [K^-\pi^+]_D K^-\pi^+)}$$
$$= \frac{2kk_D r_S r_D \sin(\delta_S + \delta_D)\sin\phi_3}{R_{DK^*}}$$

$B^0 \to DK^{*0}$モードに特有

$$r_S^2 \equiv \frac{\Gamma(B^0 \to D^0 K^+\pi^-)}{\Gamma(B^0 \to \bar{D}^0 K^+\pi^-)} = \frac{\int dp A_A^2(p)}{\int dp A_B^2(p)}$$

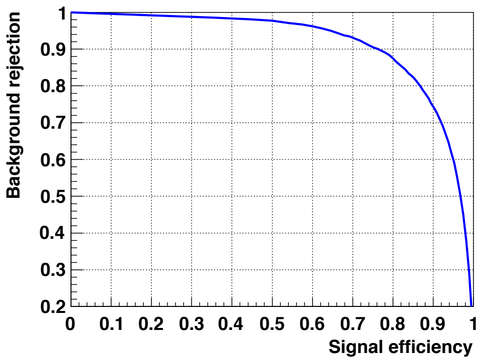
$$ke^{i\delta_S} \equiv \frac{\int dp A_A(p) A_B(p) e^{i\delta(p)}}{\sqrt{\int dp A_A^2(p) \int dp A_B^2(p)}}$$

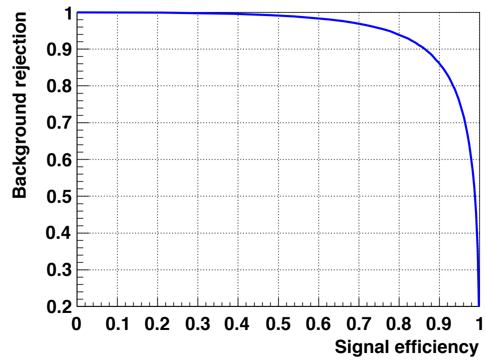
他の実験で良く測定されている

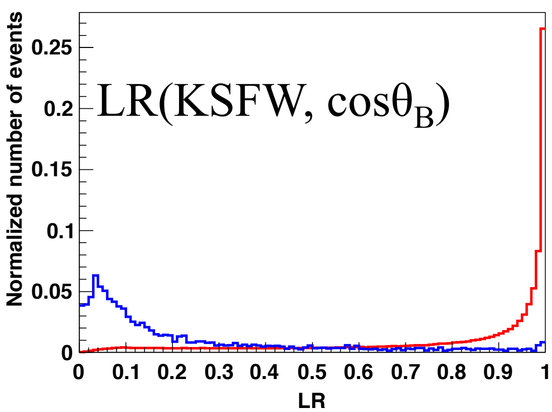
$$r_D^2 \equiv \frac{\Gamma(D^0 \to K^+\pi^-)}{\Gamma(D^0 \to K^-\pi^+)} = \frac{\int dm A_{DCS}^2(m)}{\int dm A_{CF}^2(m)}$$

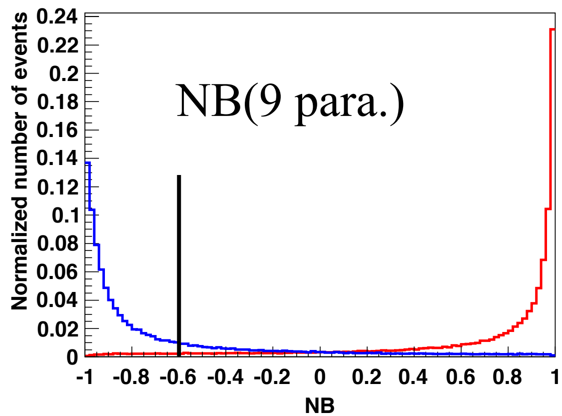
$$k_D e^{i\delta_D} \equiv \frac{\int dm A_{DCS}(m) A_{CF}(m) e^{i\delta(m)}}{\sqrt{\int dm A_{DCS}^2(m) \int dm A_{CF}^2(m)}}$$

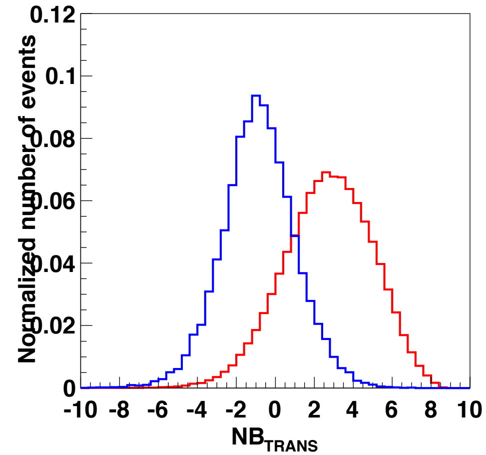
Neurobayes


Background rejection
Signal efficiency

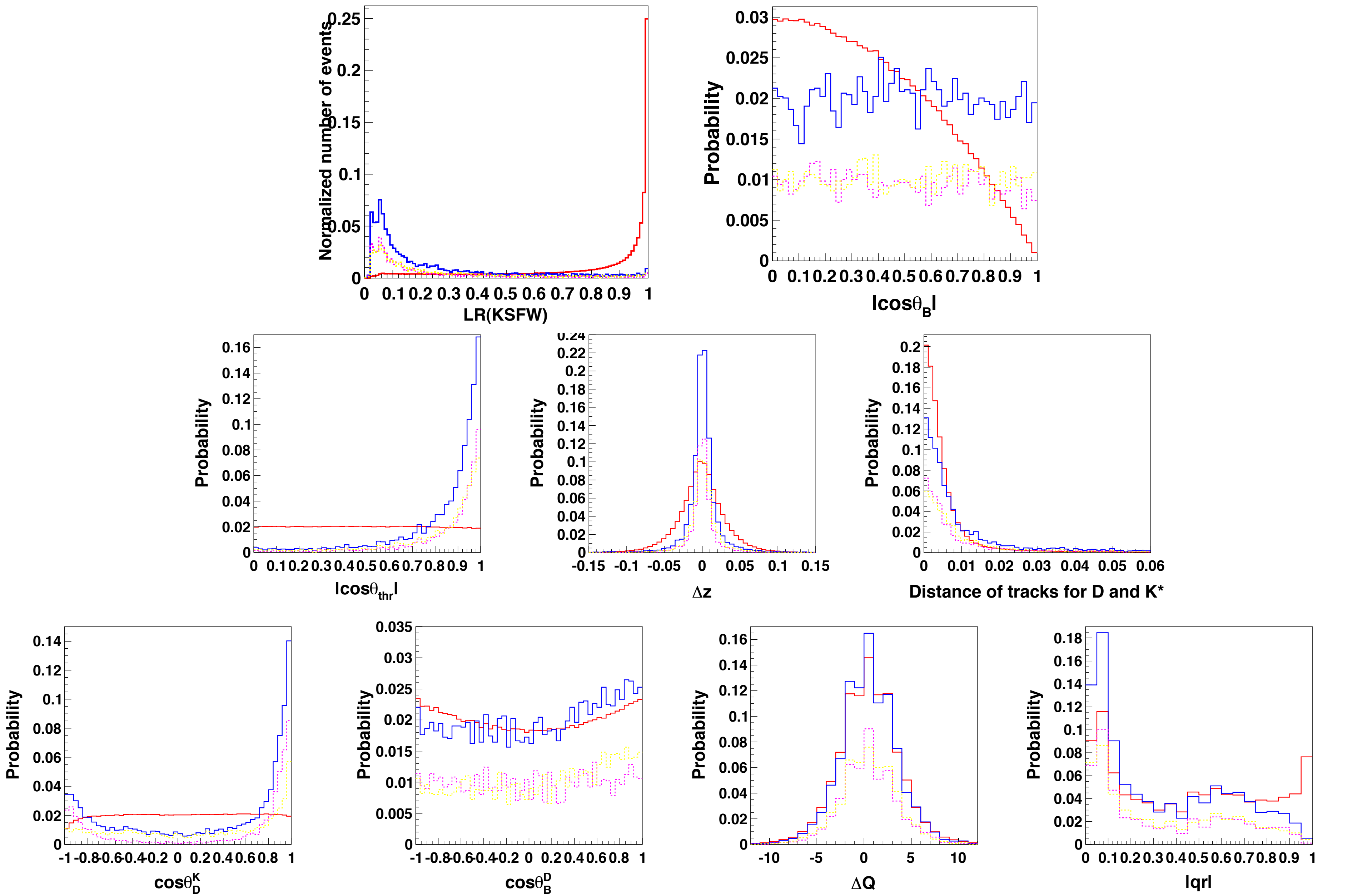

Background rejection
Signal efficiency


LR(KSFW, $\cos\theta_B$)
Normalized number of events
LR


NB(9 para.)
Normalized number of events
NB


Normalized number of events
NB_{TRANS}

NeuroBayes input parameters



Selection Criteria

- $K^{\pm}/\pi^{\pm}$同定
  - Efficiency = 90 %, Fake rate ~ 10 %
- D^0, K^{*0}の再構成
  - D^0 : $|M_{K\pi} - M_{D0}| < 0.015$ GeV ($\pm 3\sigma$)
  - K^{*0} : $|M_{K\pi} - M_{K*0}| < 0.050$ GeV ($\pm 1\Gamma$)
- B^0の再構成
  - 二つの運動学的変数を利用

$$M_{\rm bc} \equiv \sqrt{E_{\rm beam}^2 - (p_{D^0} + p_{K^{*0}})^2}$$

·再構成したBの不変質量に対応

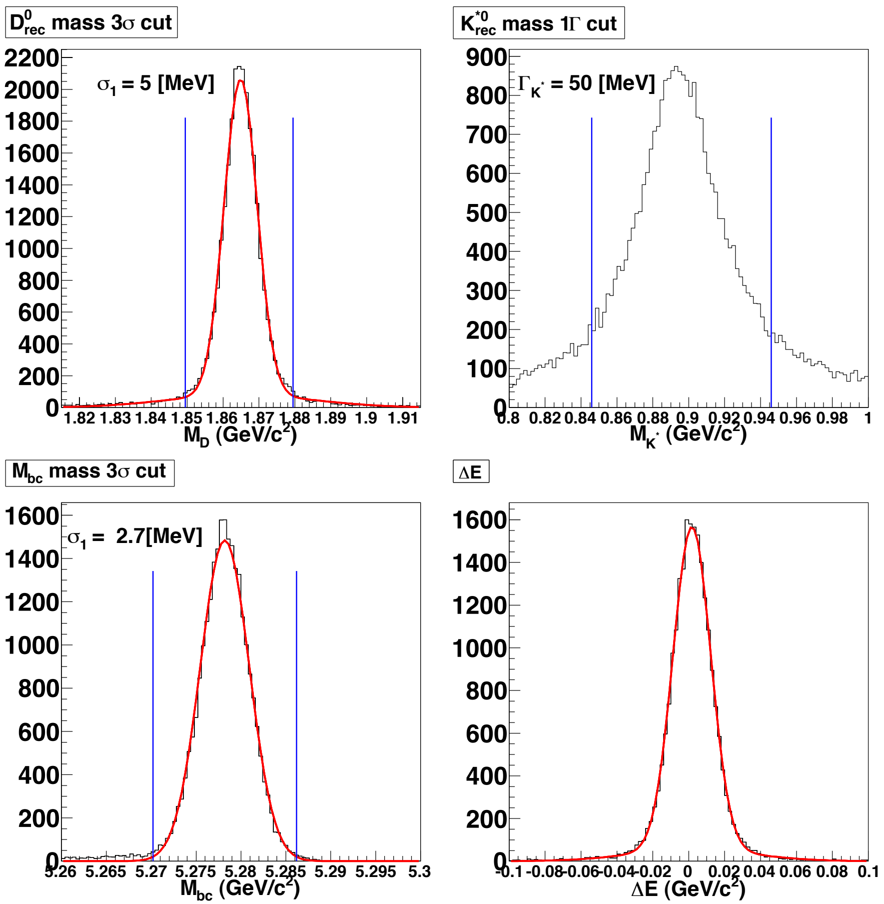
•$|M_{bc} - M_{B0}| < 0.008$ GeV ($\pm 3\sigma$)

$$\Delta E \equiv E_{D^0} + E_{K^{*0}} - E_{\rm beam}$$

·エネルギーの保存に対応
シグナルだと ~ 0

•Fit → シグナルの導出

Signal MC



バックグラウンドの抑制

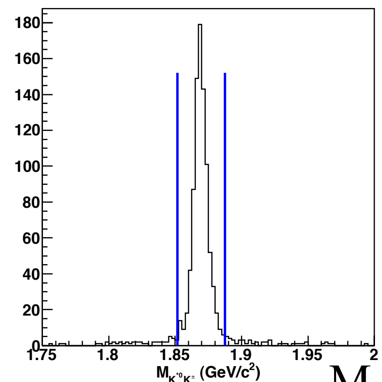
- ϕ_3測定のモードはは基本的にバックグラウンドとの戦いである
  - $B\bar{B}$バックグラウンド : $B \rightarrow XY\ldots$
  - $q\bar{q}$バックグラウンド : $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$　　　$(q = (u, d, s, c))$

- $B\bar{B}$バックグラウンドの抑制
  - 終状態が同じになる崩壊を抑制
    - $[K^-K^-\pi^+]D^-\pi^+$
  - D*イベント
    - $D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+$崩壊の$D^0$を捉え
シグナルを再構成してしまう
$\Delta M < 0.15$ GeV のイベントを除去

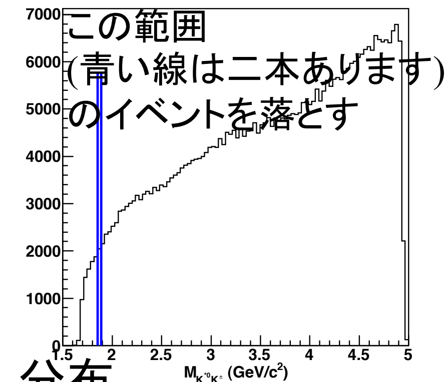
$\Delta M : M_{D^{*\pm}} - m_{D0}$

$\Delta M \sim m_\pi$ (0.140 GeV)にピーク

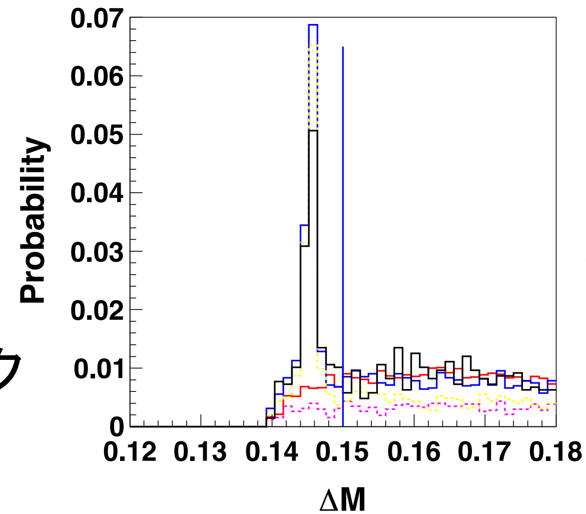
$[K^-K^-\pi^+]D^-\pi^+$



Signal MC



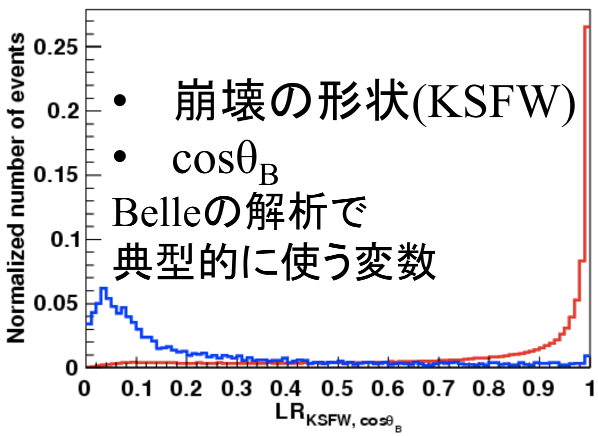
$M_{KK\pi}$分布



赤:シグナル
黒:BB BG
青:qq BG
緑:charm
紫:u, d, s

qqバックグラウンドの抑制

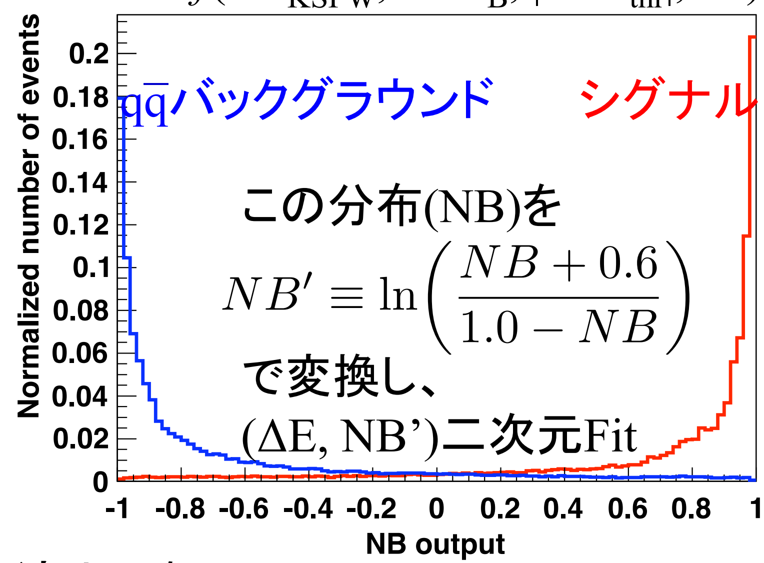
- Neural Network (NeuroBayes)
  - $q\bar{q}$バックグラウンドとシグナルで分布の違う変数をインプットし、Neural Networkで分離させる、B→DKでは新しい手法

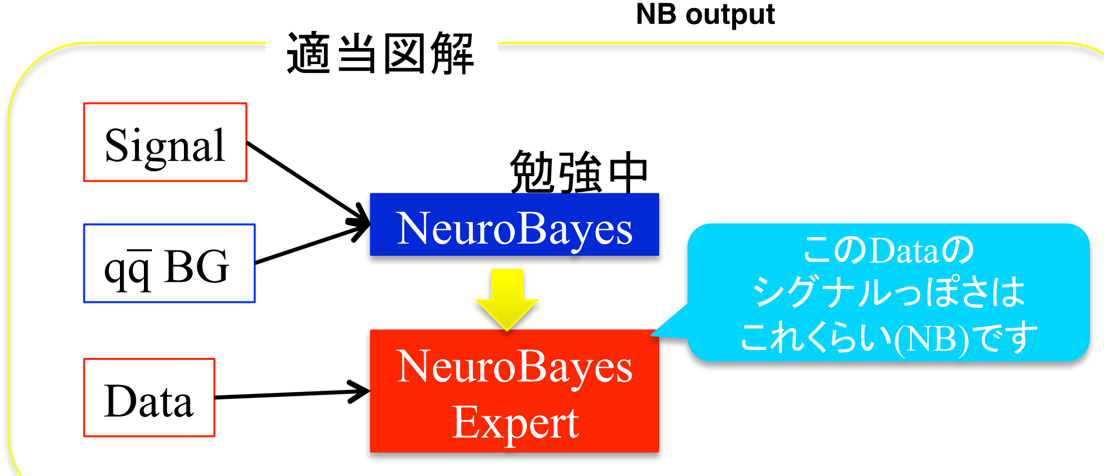


- $|\cos\theta_{thr}|$
- Δz
- $\cos\theta^K_D$
- $|qr|$
- ΔQ
- DK*の距離
- $\cos\theta_B$

シグナルとBGで
分布が違うと考えられる
変数(7つ)

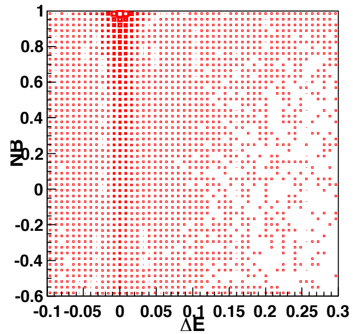
$\mathrm{NB} = f(\mathrm{LR_{KSFW}}, \cos\theta_B, |\cos\theta_{thr}|, \ldots)$

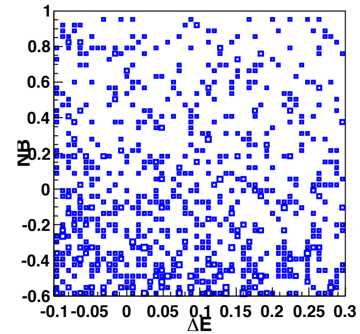




PDF

We perform ΔE-NB' 2D fit.





PDF for ΔE

- Signal: a double Gaussian fixed from signal MC
- Combinatorial $B\bar{B}$: free exponential
- $D^0\rho^0$:
- D^0K^+:
- $D^0\pi^+$:

Fixed from MC

- Peaking BGs: fixed from MC
  - $[K^{*0}\pi^-]_{D-} K^+$
- $q\bar{q}$: free 1st order Chebychev

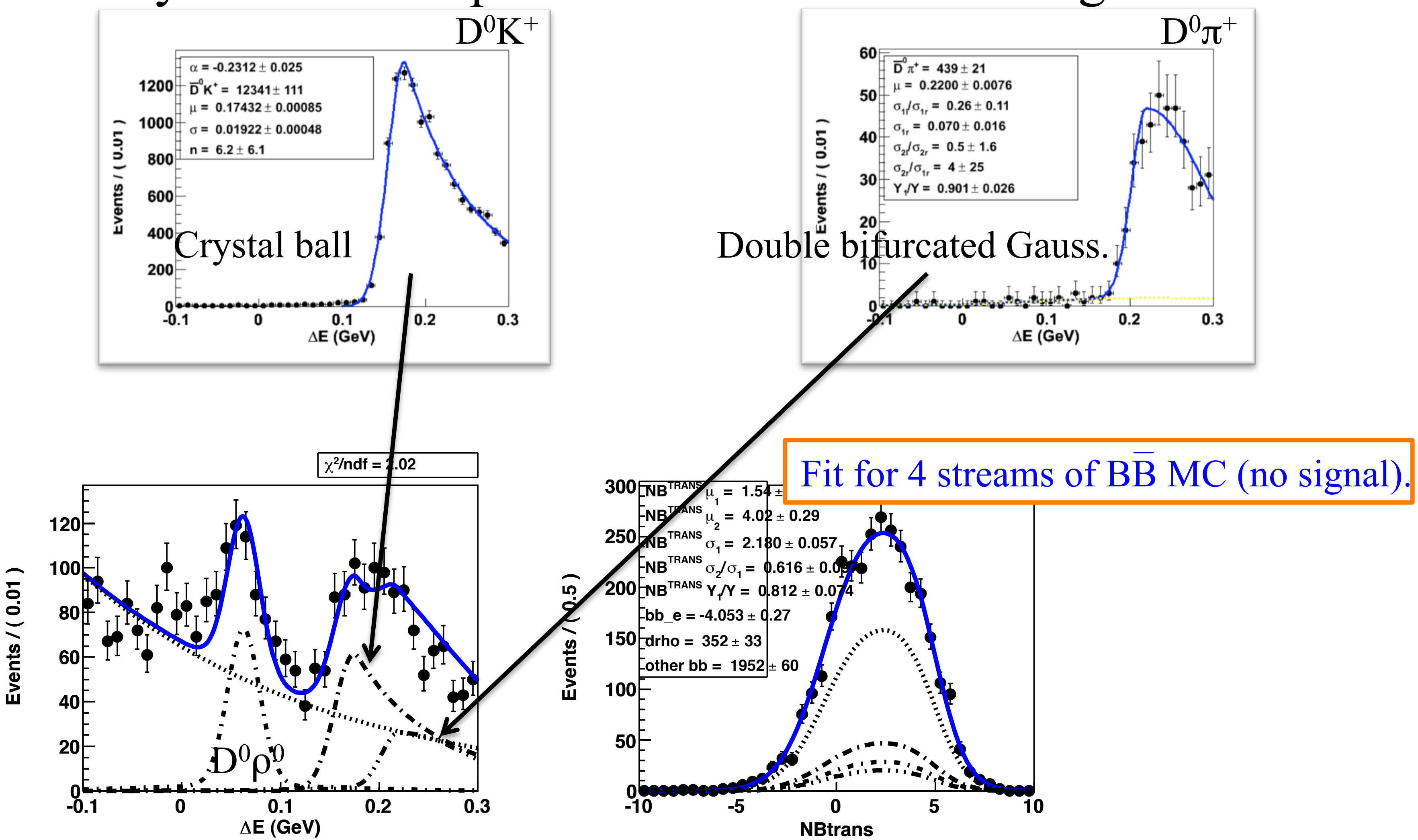
PDF for NB'

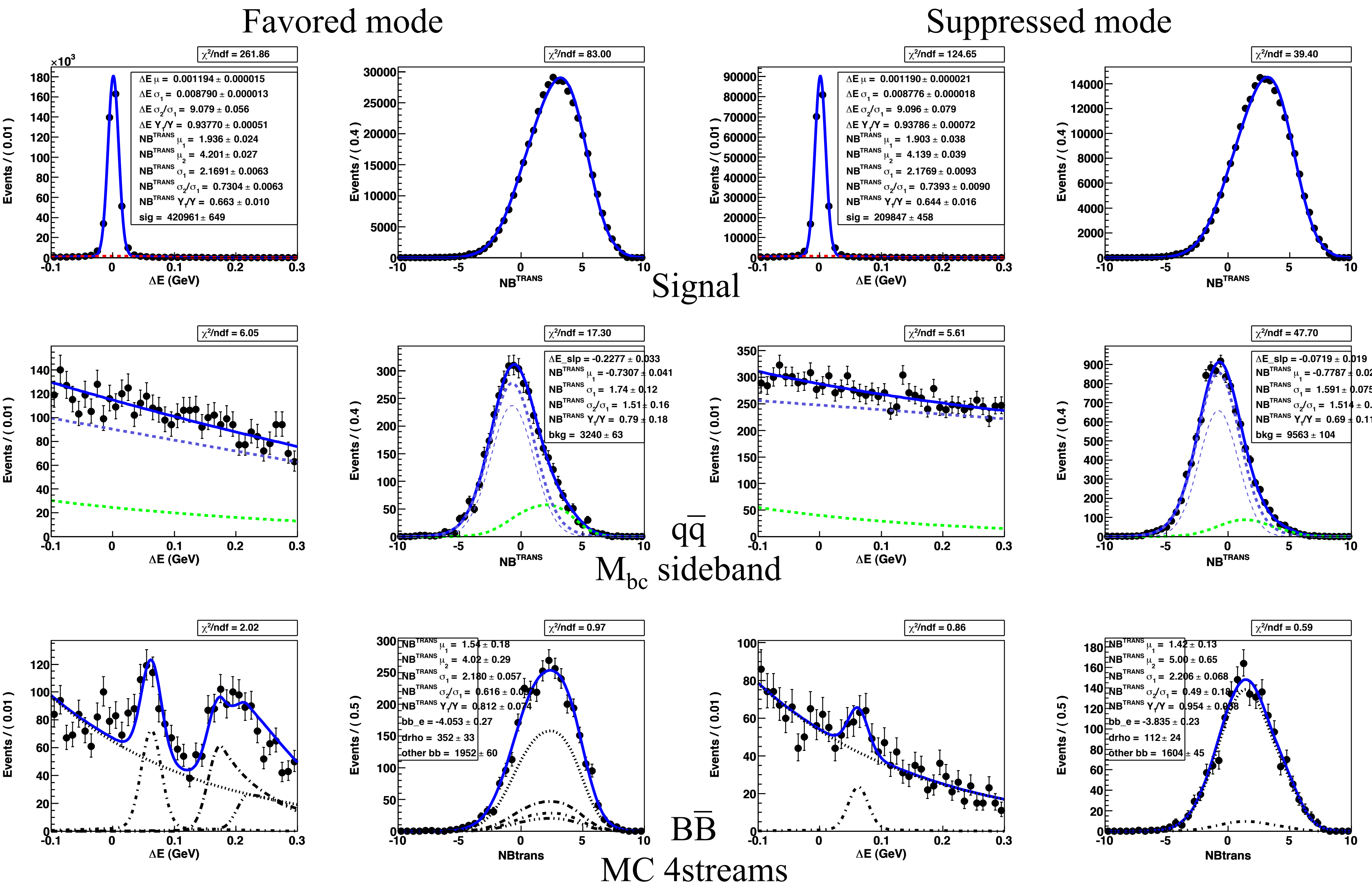
- Signal: a double Gaussian fixed from signal MC
- Comb. $B\bar{B}$:
- $D^0\rho^0$:
- D^0K^+:
- $D^0\pi^+$:
- Peaking BGs:

Double Gaussians Fixed from MC

- $q\bar{q}$: a double Gaussian fixed from M_{bc} sideband of the data.

- The yields and shapes are fixed in the fit on signal MC.

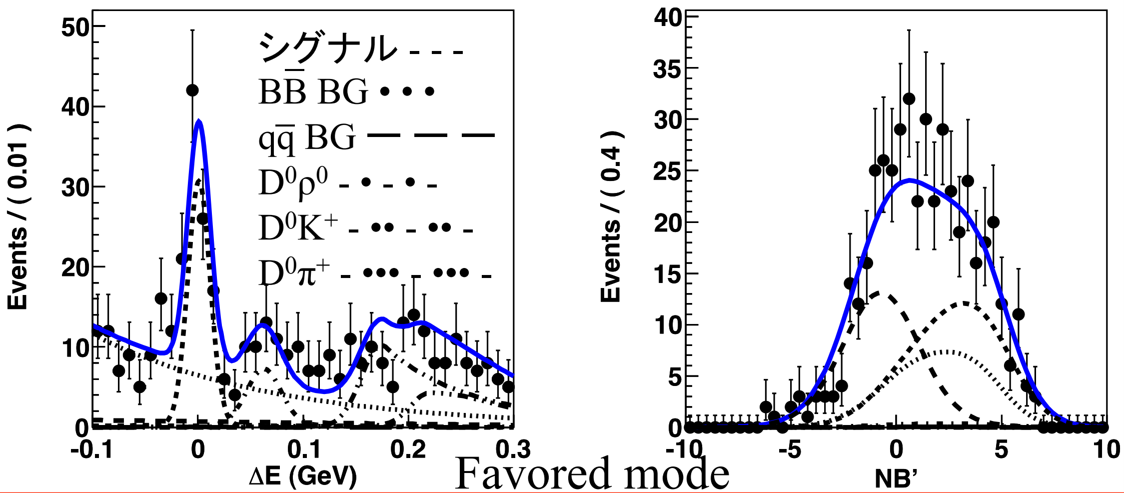




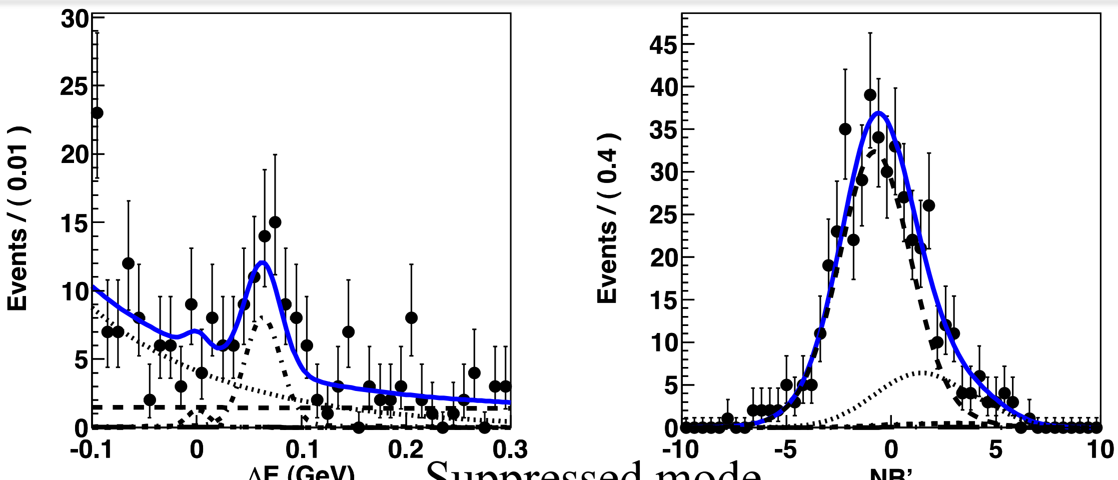
Favored mode
Suppressed mode
Signal
$q\bar{q}$
M_{bc} sideband
$B\bar{B}$
MC 4streams
χ²/ndf = 261.86
ΔE μ = 0.001194 ± 0.000015
ΔE σ1 = 0.008790 ± 0.000013
ΔE σ2/σ1 = 9.079 ± 0.056
ΔE Y1/Y = 0.93770 ± 0.00051
NBTRANS μ1 = 1.936 ± 0.024
NBTRANS μ2 = 4.201 ± 0.027
NBTRANS σ1 = 2.1691 ± 0.0063
NBTRANS σ2/σ1 = 0.7304 ± 0.0063
NBTRANS Y1/Y = 0.663 ± 0.010
sig = 420961 ± 649
χ²/ndf = 83.00
χ²/ndf = 124.65
ΔE μ = 0.001190 ± 0.000021
ΔE σ1 = 0.008776 ± 0.000018
ΔE σ2/σ1 = 9.096 ± 0.079
ΔE Y1/Y = 0.93786 ± 0.00072
NBTRANS μ1 = 1.903 ± 0.038
NBTRANS μ2 = 4.139 ± 0.039
NBTRANS σ1 = 2.1769 ± 0.0093
NBTRANS σ2/σ1 = 0.7393 ± 0.0090
NBTRANS Y1/Y = 0.644 ± 0.016
sig = 209847 ± 458
χ²/ndf = 39.40
χ²/ndf = 6.05
χ²/ndf = 17.30
ΔE_slp = -0.2277 ± 0.033
NBTRANS μ1 = -0.7307 ± 0.041
NBTRANS σ1 = 1.74 ± 0.12
NBTRANS σ2/σ1 = 1.51 ± 0.16
NBTRANS Y1/Y = 0.79 ± 0.18
bkg = 3240 ± 63
χ²/ndf = 5.61
χ²/ndf = 47.70
ΔE_slp = -0.0719 ± 0.019
NBTRANS μ1 = -0.7787 ± 0.021
NBTRANS σ1 = 1.591 ± 0.075
NBTRANS σ2/σ1 = 1.514 ± 0.05
NBTRANS Y1/Y = 0.69 ± 0.11
bkg = 9563 ± 104
χ²/ndf = 2.02
χ²/ndf = 0.97
NBTRANS μ1 = 1.54 ± 0.18
NBTRANS μ2 = 4.02 ± 0.29
NBTRANS σ1 = 2.180 ± 0.057
NBTRANS σ2/σ1 = 0.616 ± 0.0
NBTRANS Y1/Y = 0.812 ± 0.074
bb_e = -4.053 ± 0.27
drho = 352 ± 33
other bb = 1952 ± 60
χ²/ndf = 0.86
χ²/ndf = 0.59
NBTRANS μ1 = 1.42 ± 0.13
NBTRANS μ2 = 5.00 ± 0.65
NBTRANS σ1 = 2.206 ± 0.068
NBTRANS σ2/σ1 = 0.49 ± 0.18
NBTRANS Y1/Y = 0.954 ± 0.038
bb_e = -3.835 ± 0.23
drho = 112 ± 24
other bb = 1604 ± 45
Events / (0.01)
Events / (0.4)
Events / (0.5)
ΔE (GeV)
NBTRANS
NBtrans

Result

- $B^0 \to [K\pi]DK^{*0}$でR_{ADS}を測定



Favored mode



Suppressed mode

- 得られたシグナル数
  - $N_{\text{fav.}} = 190 \pm 22$
  - $N_{\text{sup.}} = 7.7 \pm 10$
- 得られたR_{DK^*}

$$R_{DK^*} = \frac{N_{\text{sup.}}/\epsilon_{\text{sup.}}}{N_{\text{fav.}}/\epsilon_{\text{fav.}}}$$

$$= (4.1^{+5.6+2.8}_{-5.0-1.8}) \times 10^{-2}$$

$$< 0.16 \quad (95\% C.L.)$$

  - 過去のBelleやBaBarより強い上限値

Systematic uncertainty

Source	R_{DK^*} $[10^{-2}]$
Det. Eff.	+ 0.08 - 0.08
PDF	+ 2.81 - 1.85
Fit bias	+ 0.36 - 0.01
Total	**+ 2.83** **- 1.85**

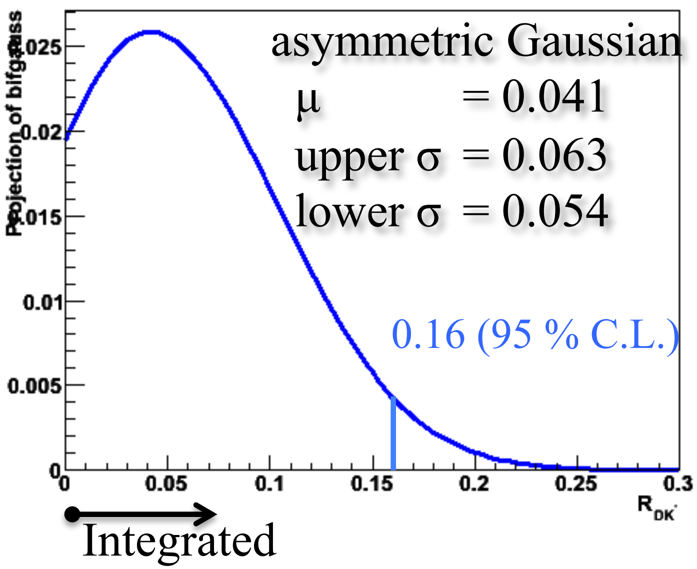
Sig.	+ 0.05 - 0.17
$\bar{D}^0 r^0$	+ 0.04 - 0.08
$\bar{D}^0 K^+$	+ 0.01 - 0.03
$\bar{D}^0 p^+$	+ 0.01 - 0.05
$B\bar{B}$	+ 1.76 - 1.17
$q\bar{q}$	+ 2.19 - 1.40
Peaking	+ 0.07 - 0.12
sum	**+ 2.81** **- 1.85**

- Detection efficiency: MC statistics and PID calibration.
- PDF:
  - Uncertainties due to fixed shape parameters are obtained by varying them $\pm 1\sigma$.
  - Uncertainty due to NB′ PDF of $B\bar{B}$ BG is estimated by applying signal PDF. Assign obtained difference to + and - sides (conservative).
  - Uncertainty due to the peaking background is estimated by applying 0-2 times the expected yields.
  - Uncertainties due to the D^0K^+ and $D^0\pi^+$ yields are obtained by applying the error of efficiency and BR.
- Fit bias: obtain the pull distribution from 10,000 pseudo-experiments.

$$R_{DK^*} = (4.1^{+5.6}_{-5.0}{}^{+2.8}_{-1.8}) \times 10^{-2}$$

Upper limit on R_{DK^*}

- We obtain the upper limit by using an asymmetric Gaussian, where the positive and negative widths correspond to positive and negative errors including the syst. err.



$$R_{DK^*} = (4.1\,^{+5.6}_{-5.0}\,^{+2.8}_{-1.8}) \times 10^{-2}$$
$$< 0.16 \ \ (95\ \%\ \text{C.L.})$$

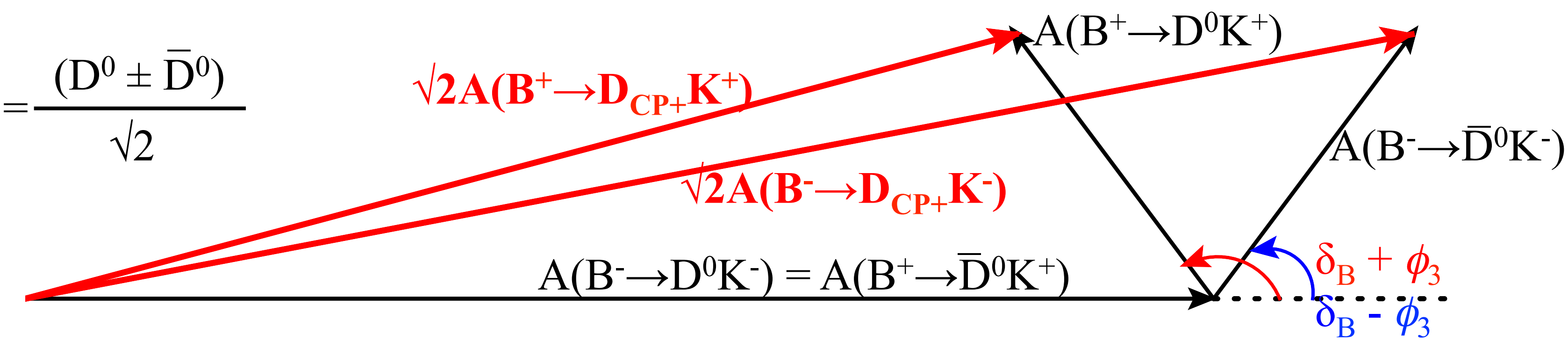
BaBar'09 $R_{DK^*} < 0.24$ (95 % C.L.)

GLW法

M. Gronau and D. Wyler, PLB 265, 172 (1991)

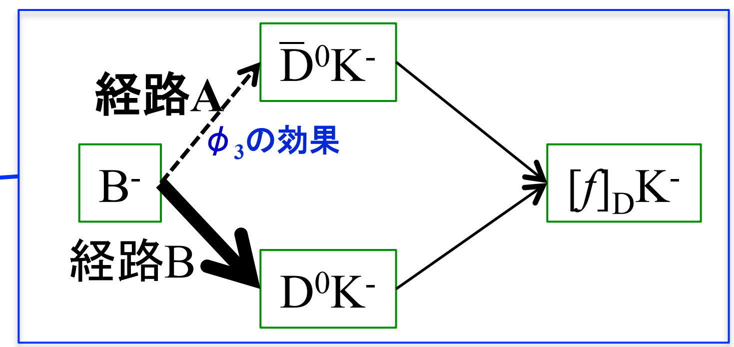
- $D \to KK, \pi\pi$, etc
  - D崩壊がCP固有モード
  - 比較的大きな崩壊振幅

$$D_{CP\pm} = \frac{(D^0 \pm \bar{D}^0)}{\sqrt{2}}$$



典型的に求める二つの変数

$$R_\pm = \frac{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{fav}}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{fav}}K^+)}$$
$$= 1 + r_B^2 \pm 2r_B \cos\delta_B \cos\phi_3$$
$$A_\pm = \frac{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^-) - \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^+)}{\Gamma(B^- \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^-) + \Gamma(B^+ \to D_{\mathrm{CP}\pm}K^+)}$$
$$= \frac{\pm 2r_B \sin\delta_B \sin\phi_3}{R_\pm}$$

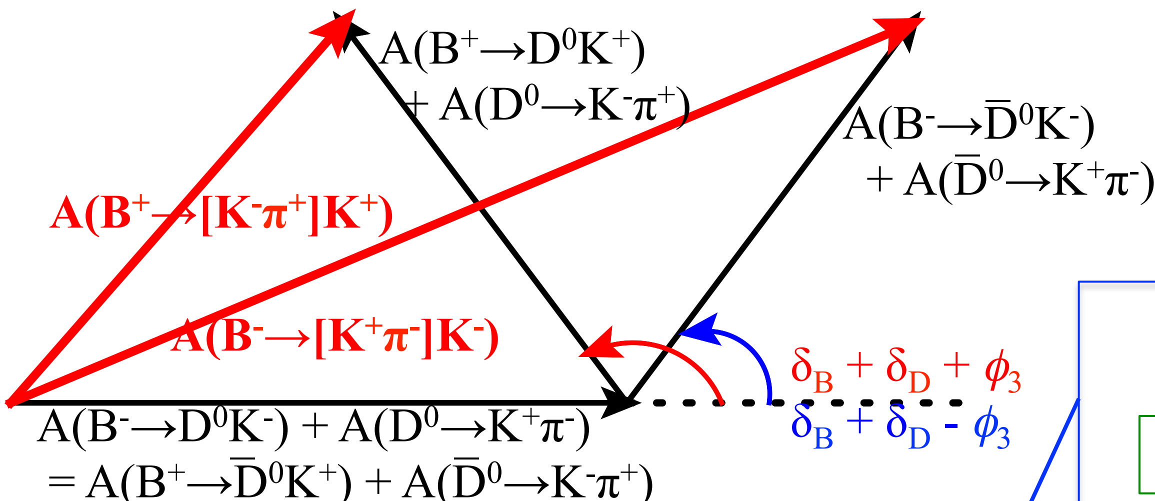


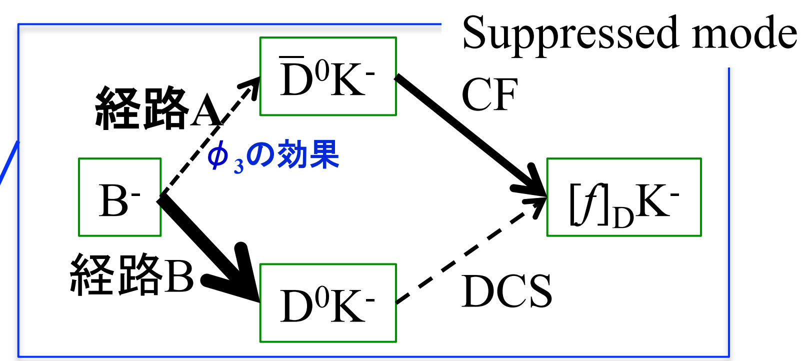
後述(ADSの所で)

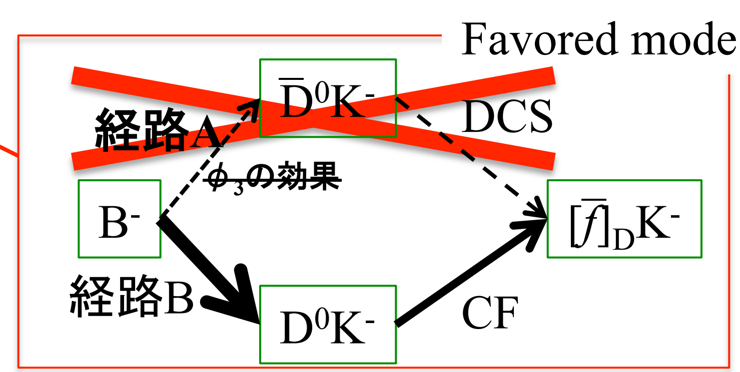
ADS法

D. Atwood, I. Dunietz and A. Soni, PRL78, 3257 (1997)
PRD 63, 036005 (2001)

- $D \rightarrow K\pi,\ K\pi\pi^0,\ K\pi\pi\pi$, etc
  - D崩壊がFlavor Specific (Favored, Suppressed Mode)
  - Sup. Modeで崩壊振幅は小さい、CP非保存の影響が大きい







典型的に求める二つの変数

$$R_{ADS} = \frac{\boxed{\Gamma(B^- \rightarrow D_{\rm sup}K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{\rm sup}K^+)}}{\boxed{\Gamma(B^- \rightarrow D_{\rm fav}K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{\rm fav}K^+)}}$$

$$= r_B^2 + r_D^2 + 2r_B r_D \cos(\delta_B + \delta_D)\cos\phi_3$$

$$A_{ADS} = \frac{\Gamma(B^- \rightarrow D_{\rm sup}K^-) - \Gamma(B^+ \rightarrow D_{\rm sup}K^+)}{\Gamma(B^- \rightarrow D_{\rm sup}K^-) + \Gamma(B^+ \rightarrow D_{\rm sup}K^+)}$$

$$= \frac{\pm 2r_B r_D \sin(\delta_B + \delta_D)\sin\phi_3}{R_{ADS}}$$

$B^0 \to DK^{*0}$崩壊の研究

東北大学
根岸 健太郎