

$B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊を使った
CP非保存角 ϕ_3 の測定のための
 $D^* \rightarrow D \pi, D \rightarrow K_s K \pi$ 崩壊の
Dalitz plot解析

2012年 3月 24日

東北大学 鈴木 善明

and Belle collaboration

日本物理学会@関西学院大学

24aGG-4

目次

- イン트로ダクション
 - CP非保存角 ϕ_3
 - $B^\pm \rightarrow DK^\pm$ 崩壊を用いた ϕ_3 の測定
 - $D^* \rightarrow D\pi, D \rightarrow K_S K\pi$ の解析の必要性
- $D^{*\pm} \rightarrow D\pi^\pm, D \rightarrow K_S K^\mp \pi^\pm$ 崩壊の研究
 - D の選定
 - Dalitz plot のフィットの手法
 - 結果
- まとめ

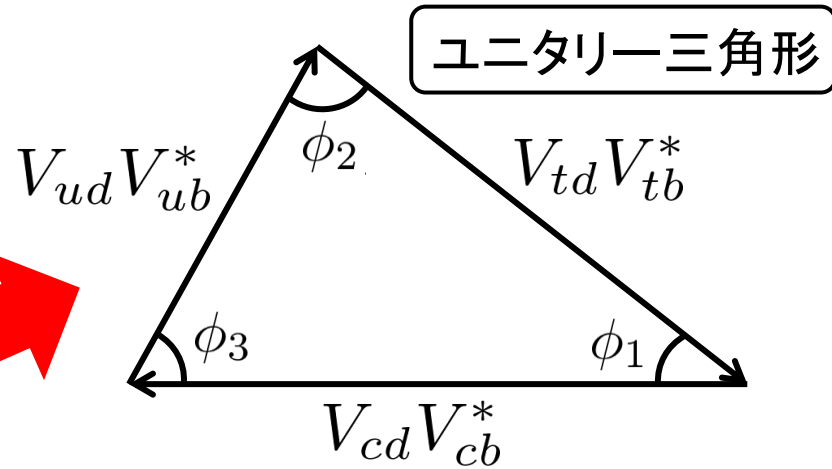
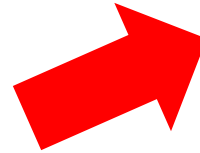
CP非保存角 ϕ_3

CKM行列

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

ユニタリ条件

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



ϕ_1, ϕ_2 は精度よく測定されており、 ϕ_3 の値が新物理の有無(三角形が閉じるか否か)を決める。

$$\phi_1 = 21.38^\circ \begin{matrix} +0.79^\circ \\ -0.77^\circ \end{matrix}$$

$$\phi_2 = 89.0^\circ \begin{matrix} +4.4^\circ \\ -4.2^\circ \end{matrix}$$

$$\phi_3 = 68^\circ \begin{matrix} +10^\circ \\ -11^\circ \end{matrix}$$

CKMfitter, LP2011

ϕ_3 の測定精度の向上が課題

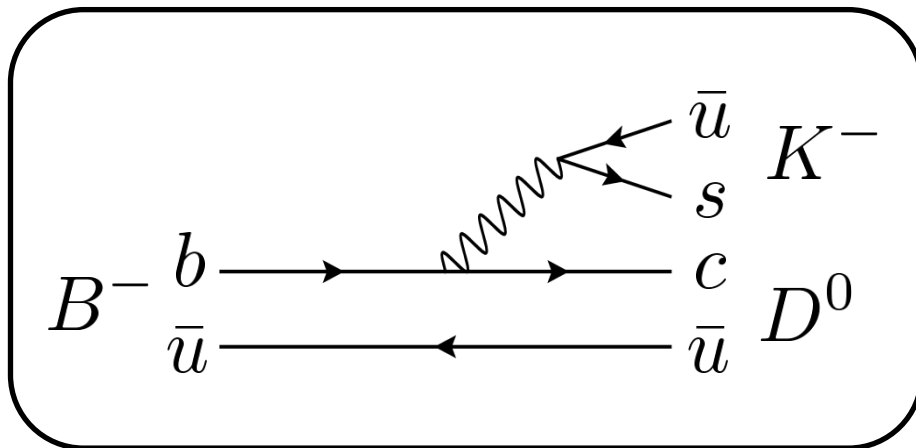
$$\phi_3 \equiv \arg \left(\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{-V_{cd}V_{cb}^*} \right)$$

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

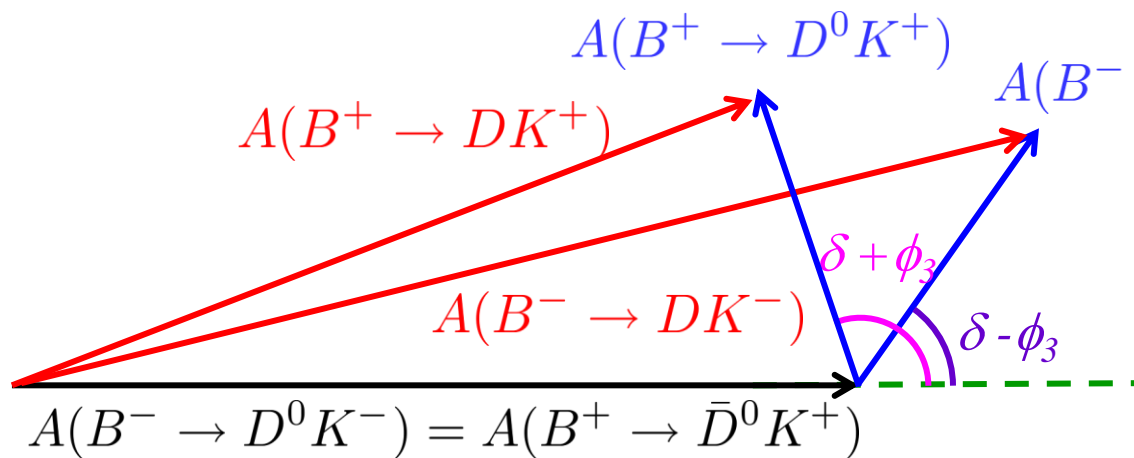
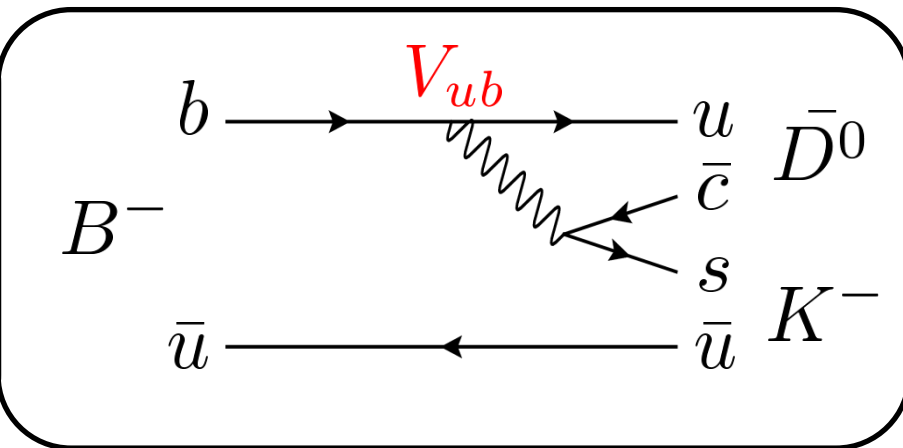
$b \rightarrow u$ 遷移を含む崩壊 ($B \rightarrow DK$) で ϕ_3 の測定が可能。

B → DK崩壊

$$B^- \rightarrow D^0 K^-$$



$$B^- \rightarrow \bar{D}^0 K^-$$



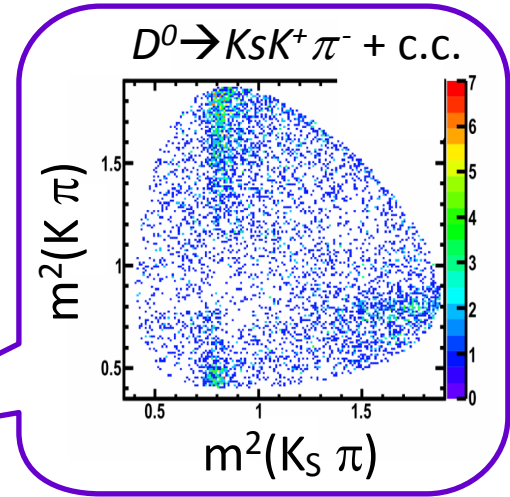
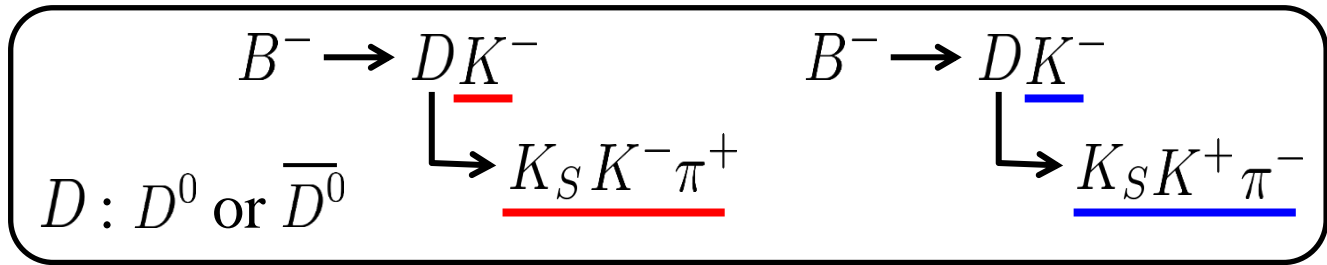
$D : D^0 \text{ or } \bar{D}^0$
 D^0 と \bar{D}^0 は同じ終状態に崩壊しうる。

δ : 強い相互作用に起因する位相差

B^- と B^+ の崩壊分岐比を測定することで δ, ϕ_3 が求まる。

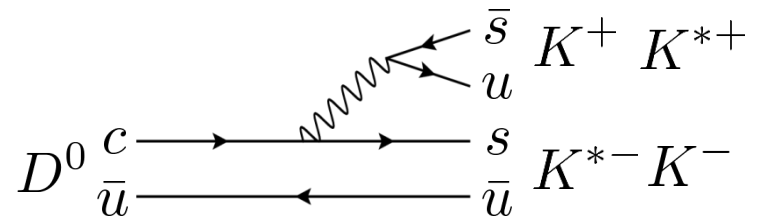
(\bar{D}^0) の崩壊

本研究では、 D の崩壊として $D \rightarrow K_S K \pi$ 崩壊を用いる。



- 様々な中間共鳴状態を含むため、Dalitz plot を用いた解析が必要。
- 様々な中間共鳴状態による様々な強い相互作用の状態が寄与するため、 ϕ_3 に強い制限をかけることが可能。
- 類似の $D \rightarrow K_S \pi \pi$ の Dalitz plot 解析による測定は高精度である。

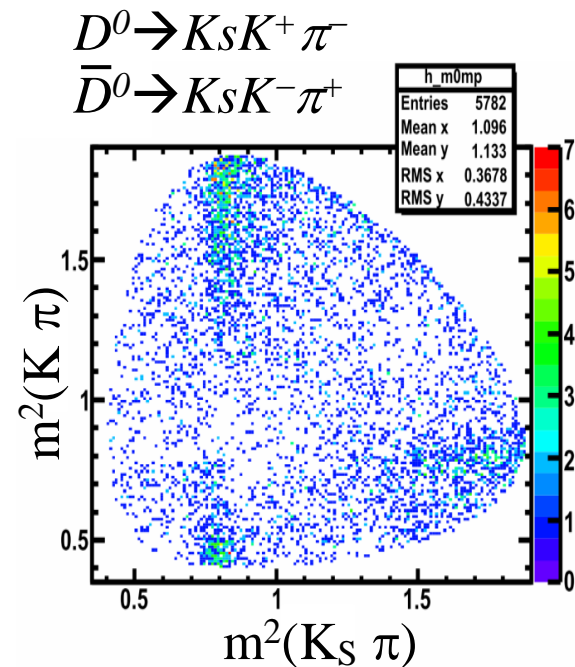
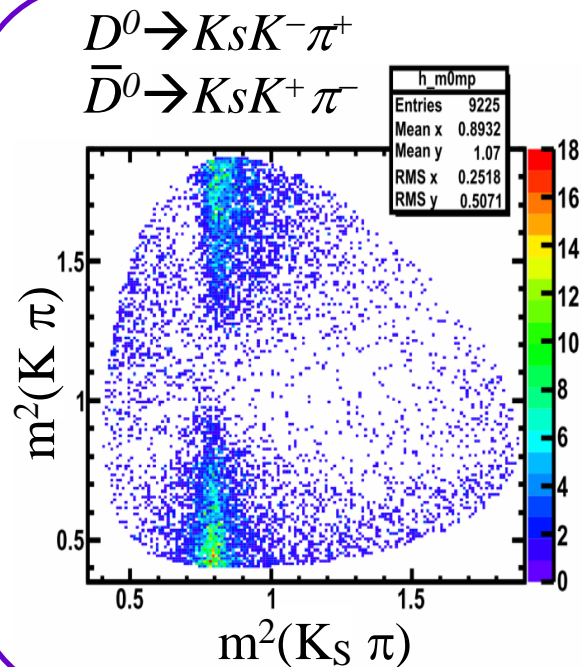
特に、最大の共鳴である $D \rightarrow K^{*+} K^-$ と $D \rightarrow K^{*-} K^+$ は、強い相互作用による位相の絶対値が等しいため、強い制限をかけることができる。



同じ過程で崩壊

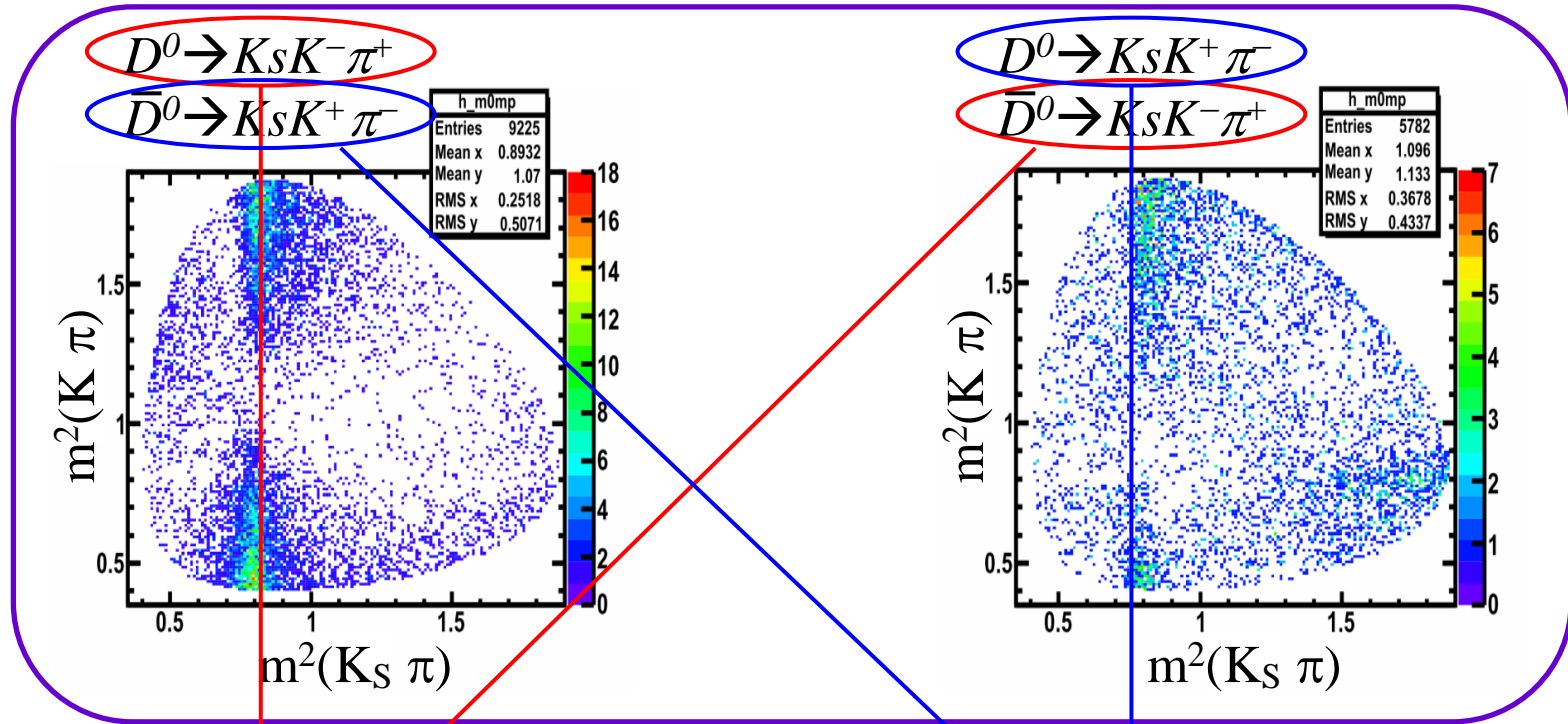
Tagged D の Dalitz Plot 解析

フィットに用いる $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは D^0 と \bar{D}^0 を区別できる tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。



Tagged D の Dalitz Plot 解析

フィットに用いる $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot の分布のモデルは D^0 と \bar{D}^0 を区別できる tagged D (from $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-$) を用いて作成する。



$B \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_S K^- \pi^+$

$B \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_S K^+ \pi^-$

この2つの平面上の分布のモデルを重ね合わせてそれぞれの $B \rightarrow DK, D \rightarrow K_S K \pi$ の平面をフィットすることになる。

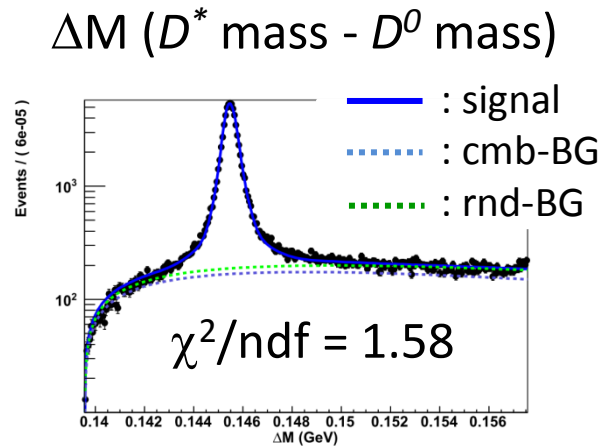
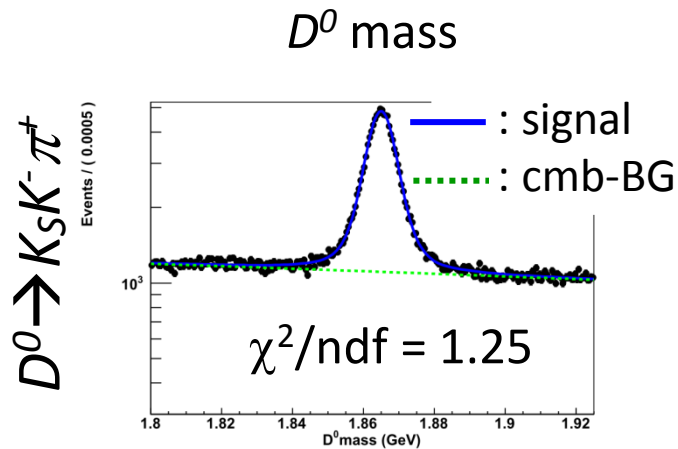
Tagged D の選定

- $Y(4S)$ のデータ 711 fb^{-1} を使用。
- $p^*(D^*) > 2.5 \text{ GeV}/c$
- $|K_S \text{ mass (PDG)} - K_S \text{ mass}| < 0.0125$ ($\sim 4\sigma$)
- Likelihood によって K, π を識別。
- D^0 mass と ΔM は 2σ でカット。

Background の種類

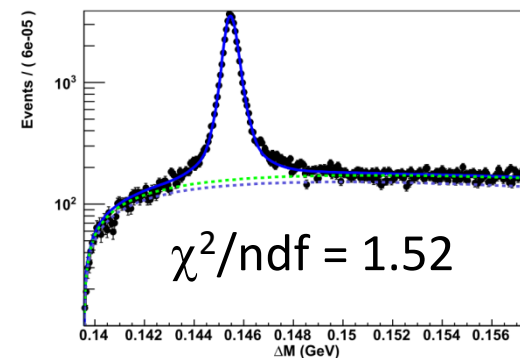
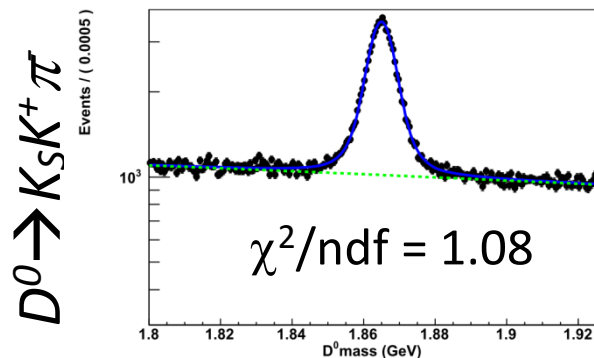
Combinatorial BG (cmb-BG) :
 D^0 の再構成を間違えたもの

Random π BG (rnd-BG) :
 D^0 は正しく再構成できたが、
 D^* の再構成を間違えたもの



of events/ 711 fb^{-1} with
 D^0 mass & ΔM 2σ cut.

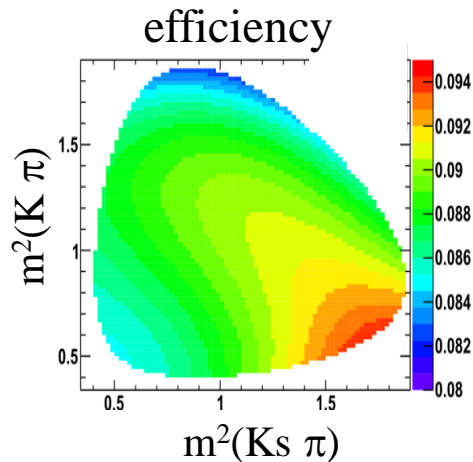
$\sim 66,400$ events
 Purity : 92.8%



$\sim 42,800$ events
 Purity : 90.8%

フィットの手法

- unbinned likelihood fit を利用。
- Dalitz plot 上の検出効率を考慮。
- cmb-BGは D の purity からフラクションを固定。
- cmb-BGの形状は D mass のサイドバンドから決定。



フィットに
用いる共鳴

rnd-BG について

- D^0 は正しく再構成されている。
- π_{slow}^{\pm} の電荷が真の事象と合っているものはシグナルとして扱う。
- π_{slow}^{\pm} の電荷を間違えているものはもう一つのモードが混入したバックグラウンドとなる。

		Different mode	
Charge conjugate	$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+$ $\downarrow K_S K^- \pi^+$		$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+$ $\downarrow K_S K^+ \pi^-$
	$D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi_{slow}^-$ $\downarrow K_S K^+ \pi^-$		$D^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi_{slow}^-$ $\downarrow K_S K^- \pi^+$

$$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$$

$$\bar{K}^*(892)^0 K_S$$

$$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$$

$$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$$

$$K_0^*(1430)^+ K^-$$

$$K^*(892)^+ K^-$$

$$K_1^*(1680)^+ K^-$$

$$K_2^*(1430)^+ K^-$$

$$a_0(980)^- \pi^+$$

$$a_0(1450)^- \pi^+$$

$$a_2(1320)^- \pi^+$$

Non-resonant

フィットに用いる PDF

PDF_{sig}

Breit-Wigner の分布を用いたアイソバーモデル。

$$PDF_{sig} = N_{norm} \left| \sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j \right|^2$$

赤字: フリーパラメータ

A_j : B-W amplitude

フラクションの定義

$$f_i = \frac{\int |a_i e^{i\varphi_i} A_i|^2 dm_x^2 dm_y^2}{\int |\sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j|^2 dm_x^2 dm_y^2}$$

PDF_{rnd}

もう一つのモードを rnd-BG (< 1%) を無視してフィットすることによって得る。

PDF_{cmb}

D^0 mass のサイドバンドから決定する。

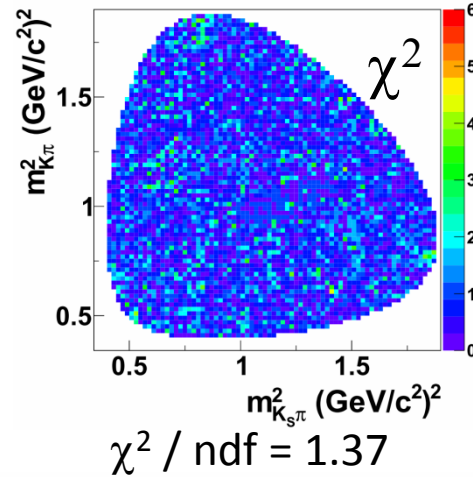
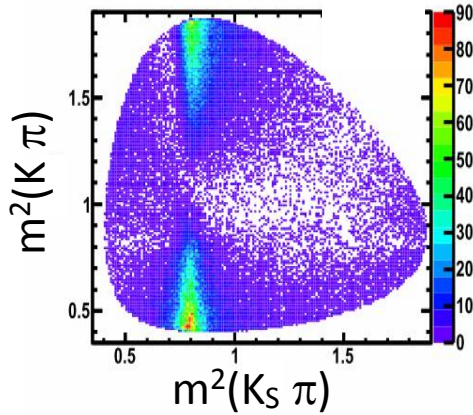
$$PDF = f_{rnd} f_{ra} PDF_{rnd} + f_{cmb} PDF_{cmb} + (1 - f_{rnd} f_{ra} - f_{cmb}) PDF_{sig}$$

f_{cmb} : cmb-BG の割合

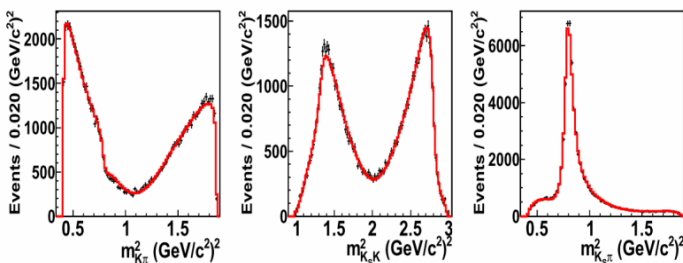
f_{rnd} : rnd-BG の割合

f_{ra} : rnd-BG にもう一つのモードが混入する割合

フィット結果 : $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$ preliminary

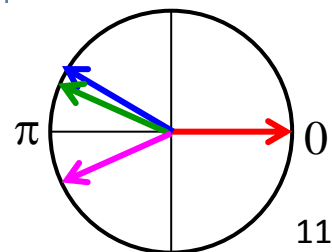


Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.373	4.177 ± 0.354	2.645 ± 0.071
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.012	0.136 ± 0.006	-2.004 ± 0.045
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.330	11.25 ± 0.668	2.772 ± 0.029
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.010	1.545 ± 0.290	-2.934 ± 0.127
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.065	1.724 ± 0.376	-0.158 ± 0.271
$K^*(892)^+ K^-$	0.611	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.418	12.67 ± 0.484	-2.797 ± 0.037
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.068	3.989 ± 0.276	0.417 ± 0.037
$a_0(980)^- \pi^+$	0.128	2.242 ± 0.126	2.817 ± 0.055
$g_{K\bar{K}}$	0.823		
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.055	1.034 ± 0.052	-0.075 ± 0.033
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00012	0.069 ± 0.034	-1.507 ± 0.482
N.R.	0.134	2.927 ± 0.442	0.124 ± 0.155
Sum	2.203		

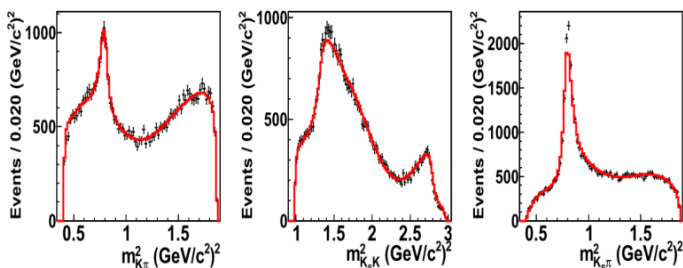
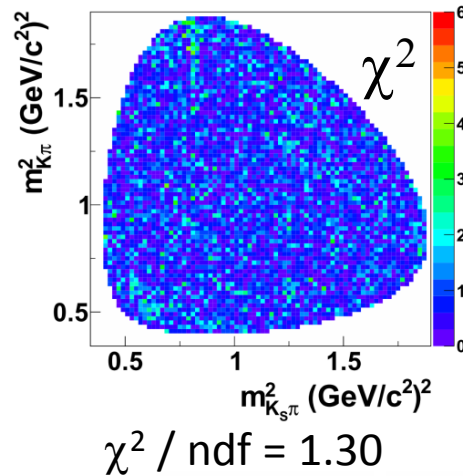
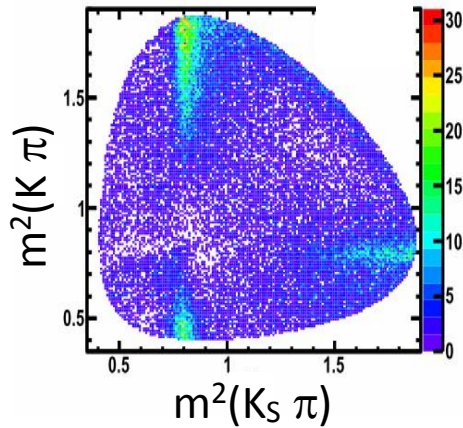


黒点 : データ, 赤線 : フィット関数

強い共鳴がある程度の位相差を持って分布しているので、 B の崩壊による位相がどのような値であっても ϕ_3 を測定することが出来る。



フィット結果 : $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$ preliminary

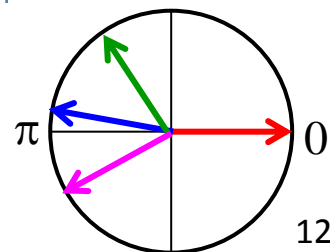


黒点 : データ, 赤線 : フィット関数



Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.314	6.151 ± 0.636	3.033 ± 0.133
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.035	0.370 ± 0.013	3.106 ± 0.048
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.125	11.13 ± 0.830	2.289 ± 0.050
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.061	6.229 ± 0.387	-3.066 ± 0.050
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.246	5.387 ± 0.674	-2.436 ± 0.077
$K^*(892)^+ K^-$	0.237	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.277	16.56 ± 1.115	-2.740 ± 0.061
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.040	4.931 ± 0.349	0.641 ± 0.073
$a_0(980)^- \pi^+$	0.158	4.718 ± 0.297	-3.084 ± 0.131
$g_{K\bar{K}}$	0.455		
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.005	0.492 ± 0.095	-1.939 ± 0.166
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.0007	0.264 ± 0.054	0.159 ± 0.203
N.R.	0.302	7.047 ± 0.864	0.172 ± 0.123
Sum	1.800		

強い共鳴がある程度の位相差を持って分布しているので、 B の崩壊による位相がどのような値であっても ϕ_3 を測定することが出来る。



まとめとプラン

$B \rightarrow DK$, $D \rightarrow K_S K \pi$ 崩壊を用いた ϕ_3 の測定を目指した解析を行っている。

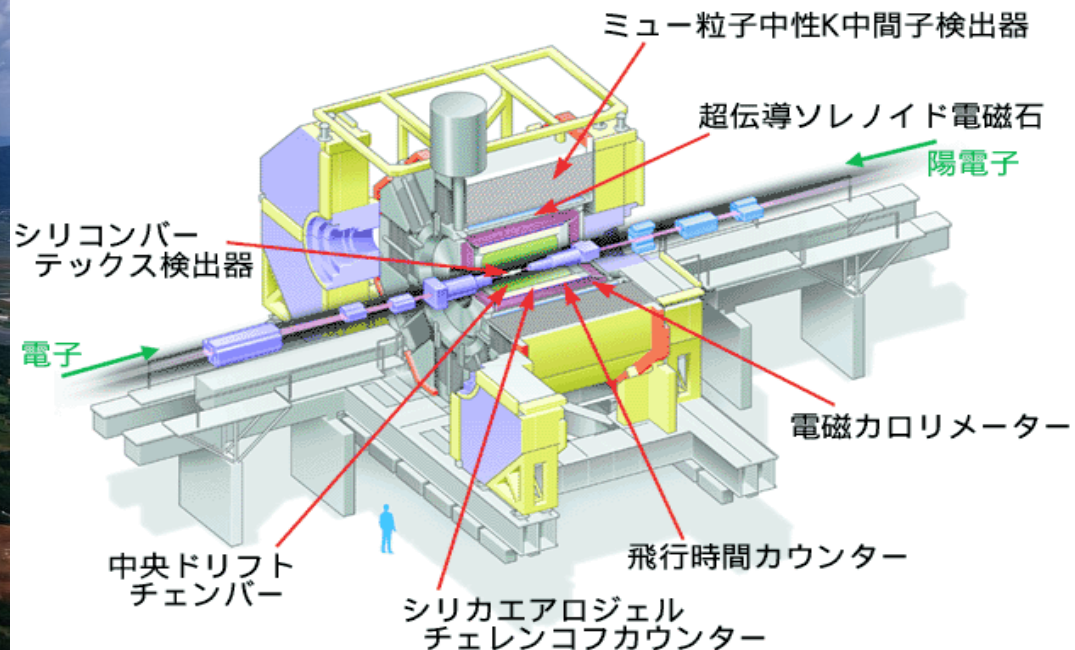
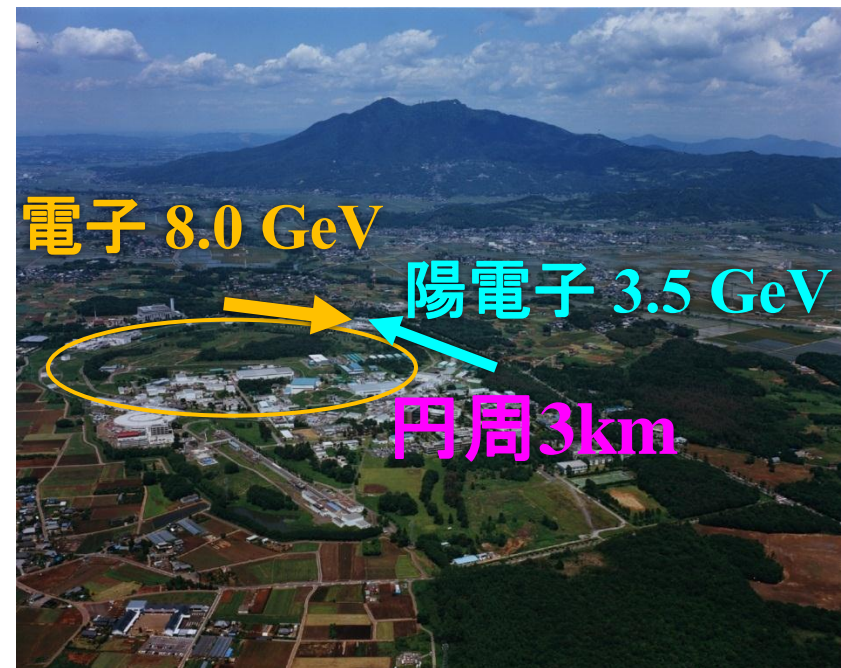
- $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot 解析の有用な結果は未だない。
- フレーバーが分かる $D^{*+} \rightarrow D^0 \pi^+$ 由来の D を用いて $D^0 \rightarrow K_S K^\pm \pi^\mp$ の Dalitz plot をフィットし、情報を得た。
- $D \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz plot のフィット手法を確立し、 $D \rightarrow K_S K \pi$ を用いた ϕ_3 測定の可能性を示した。

プラン

- フィットに用いる共鳴を再考し、最適なモデルを選択する。
- $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$ と $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$ の平面を同時フィットする。
- 作成した D^0 の Dalitz plot のモデルを利用して $B \rightarrow DK$, $D \rightarrow K_S K \pi$ をフィットし、 ϕ_3 の情報を得る。

Backup

Belle実験



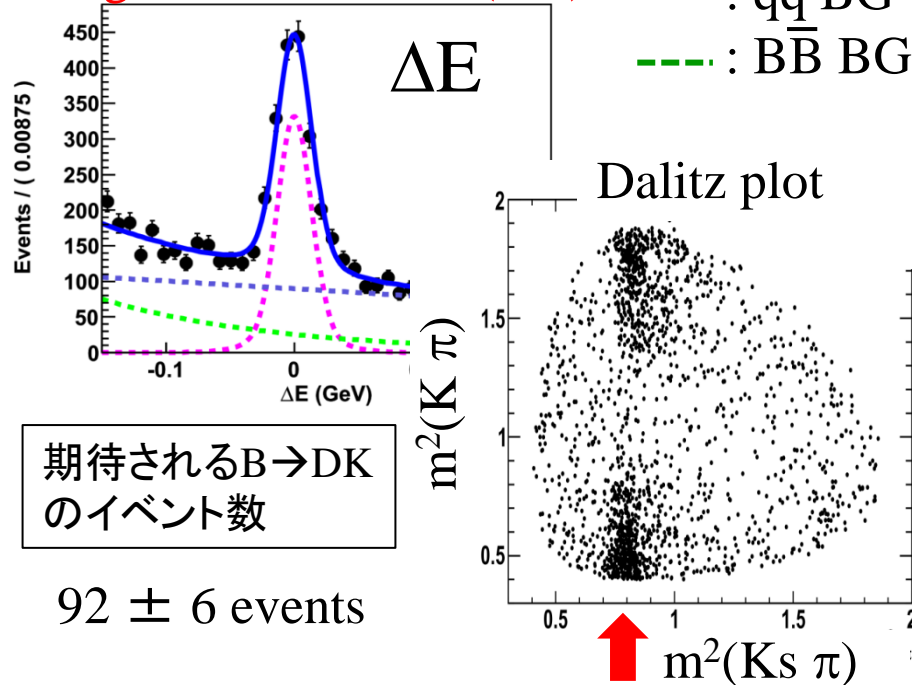
- 積分ルミノシティ: 1014 fb^{-1} (Y(4S): 711 fb^{-1})
- SuperKEKB, BelleIIへのアップグレードのため2010年6月に運転終了。

Control sample : $B \rightarrow D\pi, D \rightarrow K_s K\pi$

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

— : total pdf
 - - - : signal
 - - - : $q\bar{q}$ BG
 - - - : $B\bar{B}$ BG

Signal : $1359 \pm 44(\text{stat})$

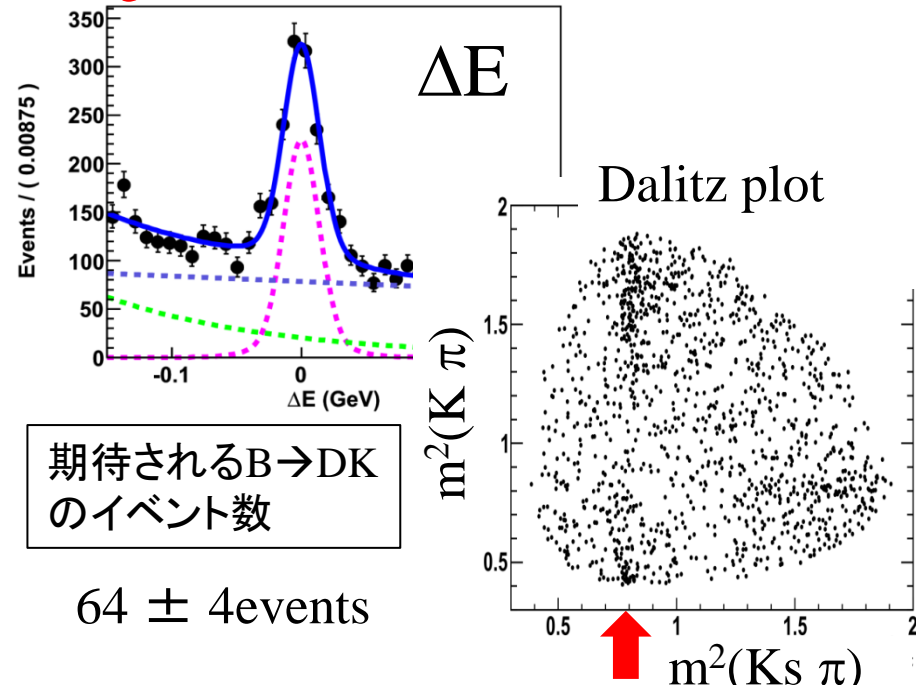


期待される $B \rightarrow DK$ のイベント数

92 ± 6 events

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

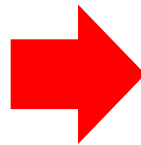
Signal : $946 \pm 38(\text{stat})$



期待される $B \rightarrow DK$ のイベント数

64 ± 4 events

Dalitz plot 上の複雑な構造が見て取れる

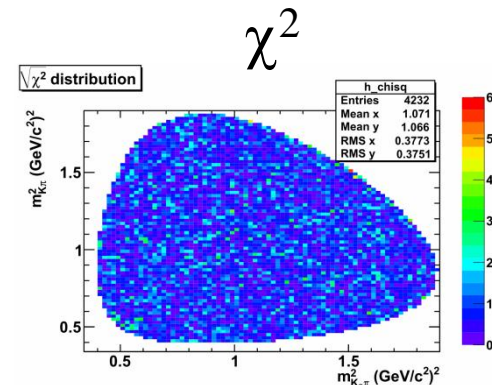
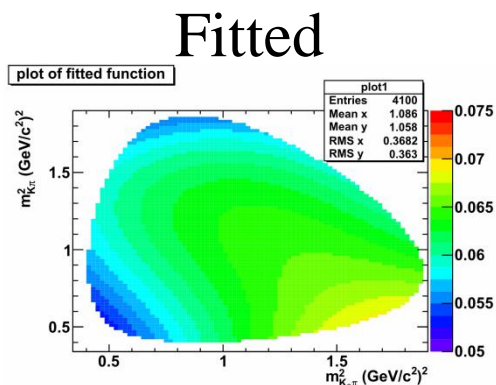
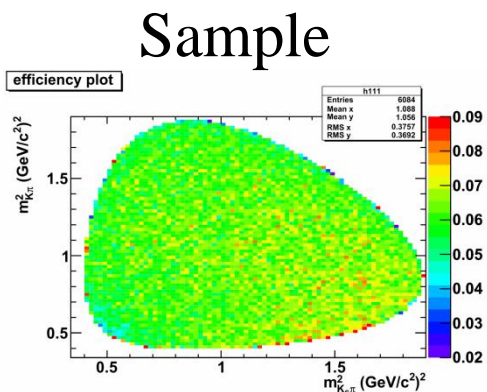


Dalitz plot のフィットによって各共鳴の情報を得ることができる

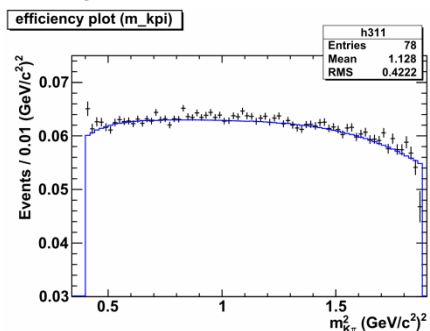
Efficiency of SVD1

10,000,000 events are generated.

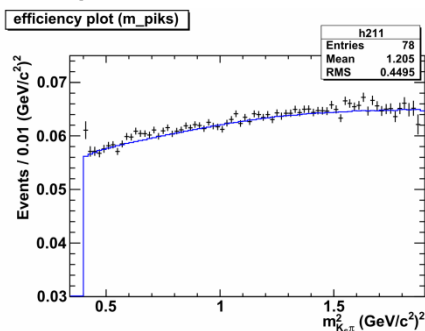
The efficiency of the Dalitz plane was fitted using cubic polynomial.



Projection for $K\pi$



Projection for $K_S\pi$



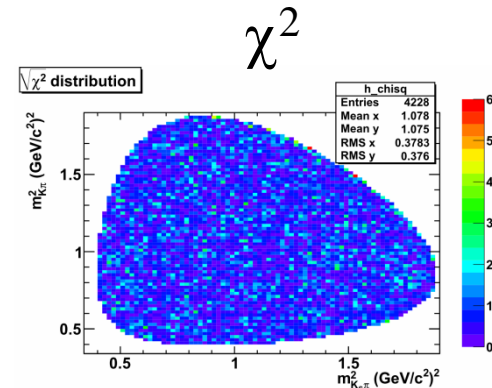
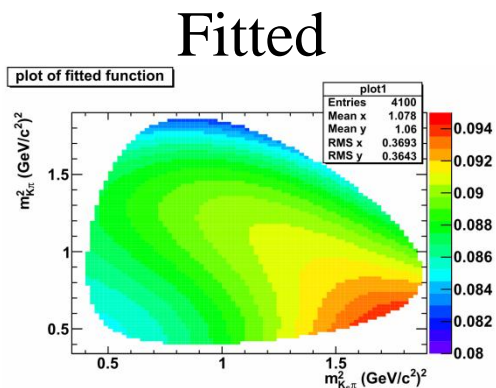
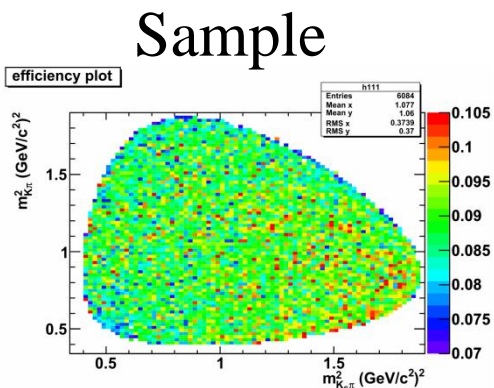
$$\chi^2/\text{ndf} = 1.03$$

SVD1: ~ 6 %

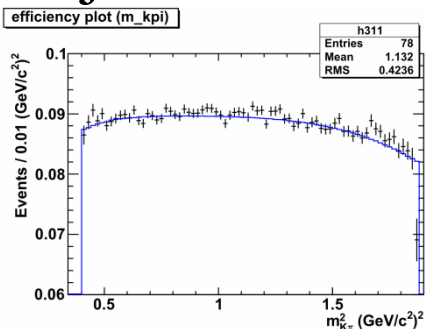
Efficiency of SVD2

10,000,000 events are generated.

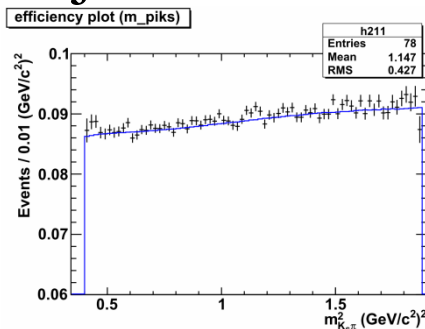
The efficiency of the Dalitz plane was fitted using cubic polynomial.



Projection for $K\pi$



Projection for $K_S\pi$

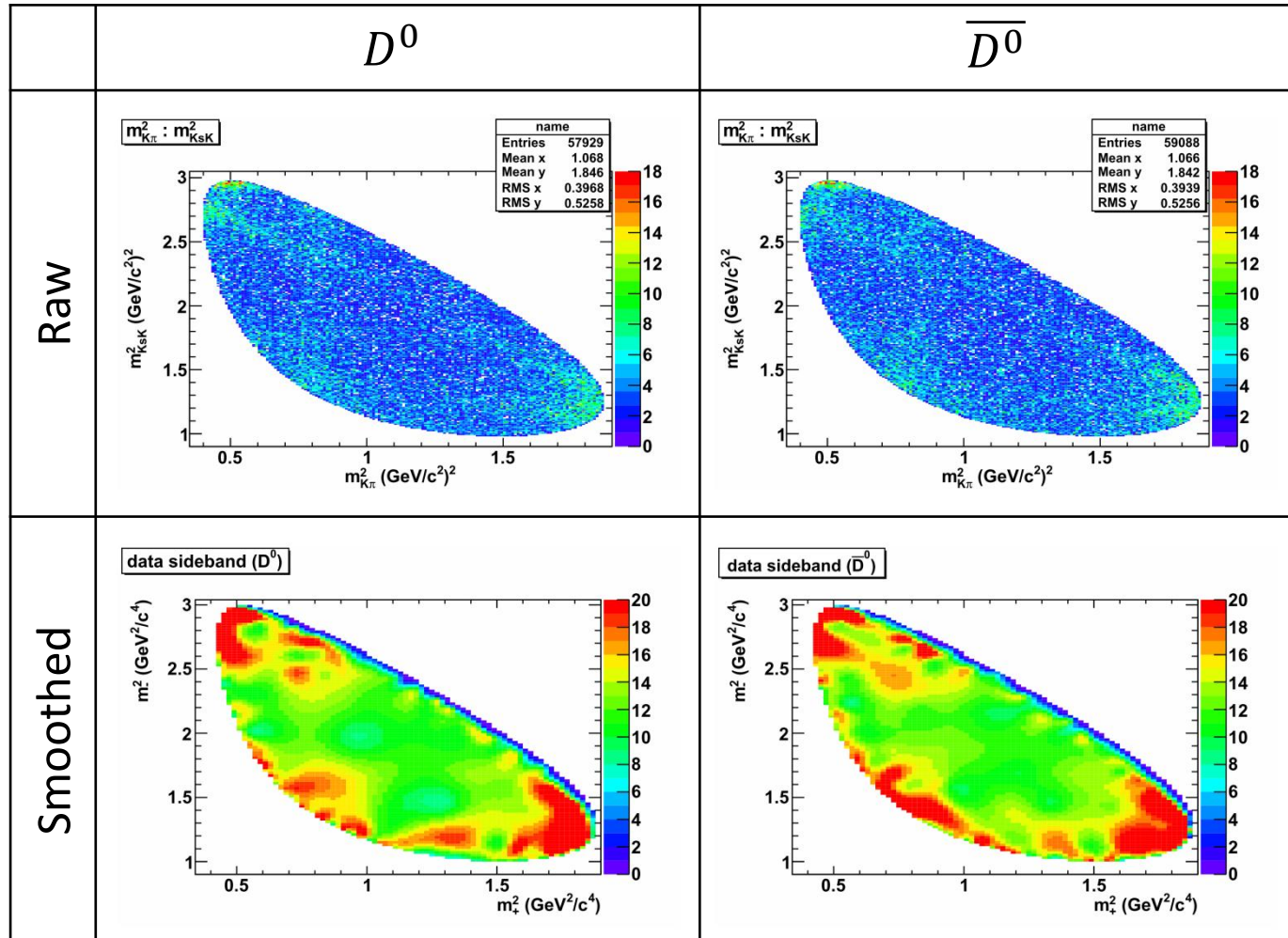


$$\chi^2/\text{ndf} = 0.958$$

SVD2: ~ 9 %

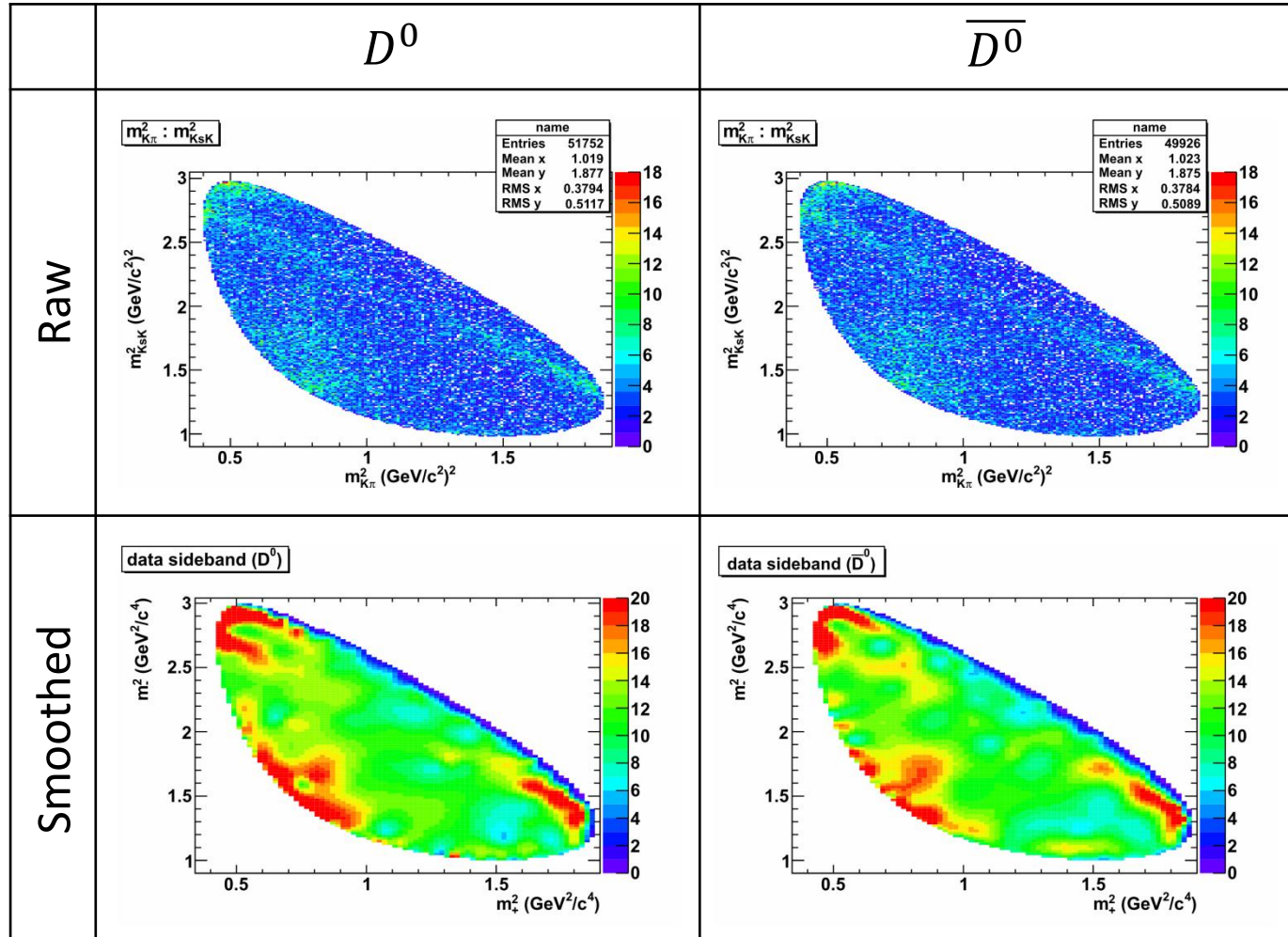
Combinatorial BG : $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$

Combinatorial BG distributions are extracted from D^0 mass sideband ($-10\sigma \sim -5\sigma$, $5\sigma \sim 10\sigma$). The distribution are smoothed by paw.



Combinatorial BG : $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$

Combinatorial BG distributions are extracted from D^0 mass sideband ($-10\sigma \sim -5\sigma$, $5\sigma \sim 10\sigma$). The distribution are smoothed by paw.



Random pion BG : feed-through

In the rnd-BG, if the charge of captured π_{slow} is the same as the charge of the true π_{slow} , such events are equivalent to the signal.

On the other hand, if the charge of captured π_{slow} is the opposite, such events are background of the another mode.

	Different mode	
Charge conjugate	$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+$ $\hookrightarrow K_S K^- \pi^+$	$D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+$ $\hookrightarrow K_S K^+ \pi^-$
	$D^{*-} \rightarrow \overline{D^0} \pi_{slow}^-$ $\hookrightarrow K_S K^+ \pi^-$	$D^{*-} \rightarrow \overline{D^0} \pi_{slow}^-$ $\hookrightarrow K_S K^- \pi^+$

Thus, there is a feed-through by the another mode in the rnd-BG.

Angular dependence

Spin 0

$$A_0 = F_D F_r \frac{1}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}}$$

Spin 1

$$A_1 = F_D F_r \frac{M_{BC}^2 - M_{AC}^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)(M_A^2 - M_B^2)}{M_{AB}^2}}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}}$$

Spin 2

$$A_2 = \frac{F_D F_r}{M_r^2 - M_{AB}^2 - iM_r \Gamma_{AB}} \left[\left(M_{BC}^2 - M_{AC}^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)(M_A^2 - M_B^2)}{M_{AB}^2} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(M_{AB}^2 - 2M_D^2 - 2M_C^2 + \frac{(M_D^2 - M_C^2)^2}{M_{AB}^2} \right) \left(M_{AB}^2 - 2M_A^2 - 2M_B^2 + \frac{(M_A^2 - M_B^2)^2}{M_{AB}^2} \right) \right]$$

$a_0(980)^\pm$

$$A_{a_0(980)} = F_D F_r \frac{g_{K\bar{K}}}{M_r^2 - M_{AB}^2 - i(\rho_{\eta\pi} g_{\eta\pi}^2 + \rho_{K\bar{K}} g_{K\bar{K}}^2)}$$

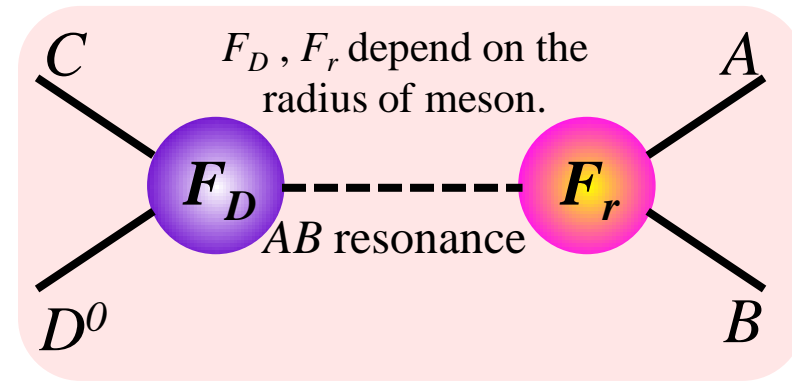
S. Kopp et al. (CLEO Collaboration),
Phys. Rev. D 63, 092001 (2001)

Red letter : free parameter

$$PDF = f_{sig} N_{norm} \left| \sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j \right|^2 + (1 - f_{sig}) PDF_{bkg}$$

Definition of fraction

$$f_i = \frac{\int |a_i e^{i\varphi_i} A_i|^2 dm_x^2 dm_y^2}{\int |\sum_j a_j e^{i\varphi_j} A_j|^2 dm_x^2 dm_y^2}$$

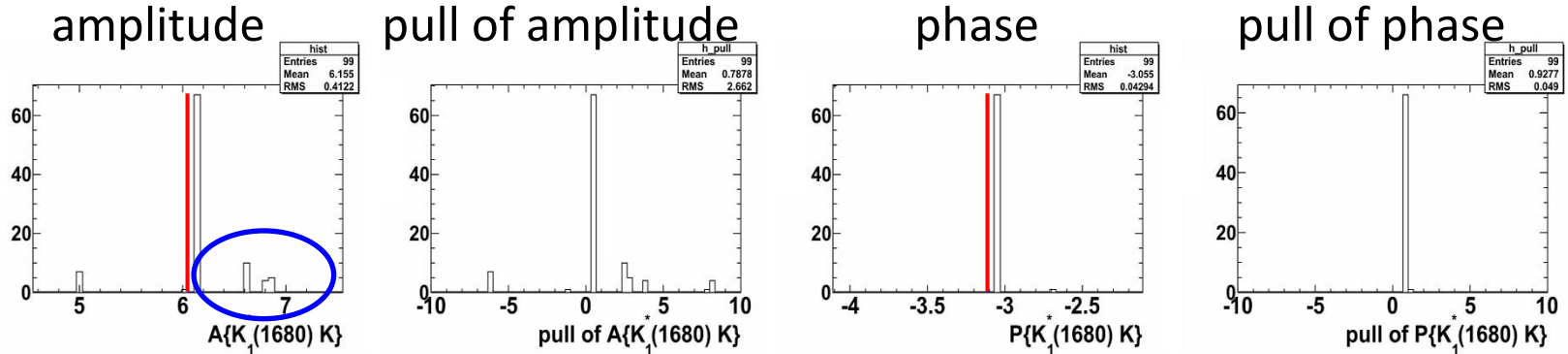


Multiple solutions

There are multiple solutions because of local maximum of likelihood.
Therefore 100 random initial values are used for the fit of Dalitz plane.

$$K_1^*(1680)^+ K^-$$

This parameter is shown for example. MC at generation level

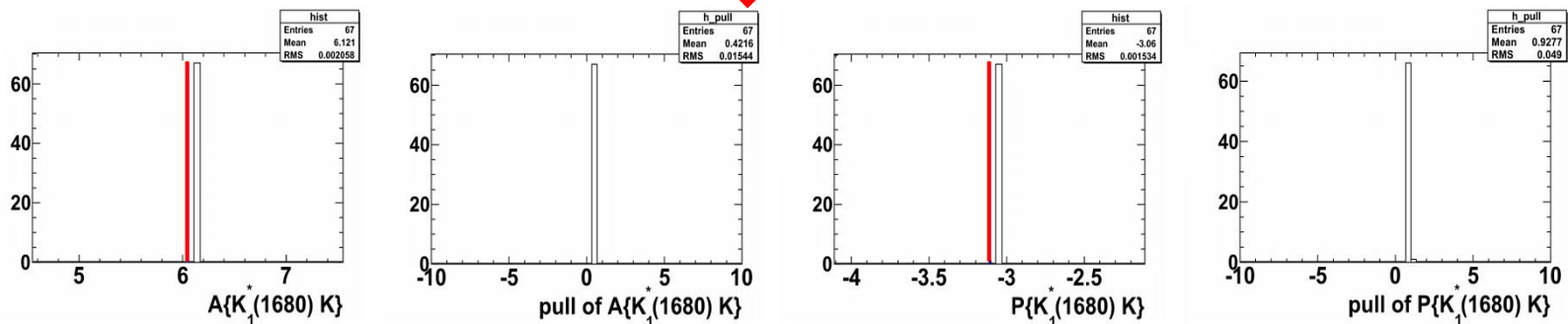


Multiple solutions

Red line : generation value



$$\sqrt{-2 \log(L/L_{max})} < 1$$

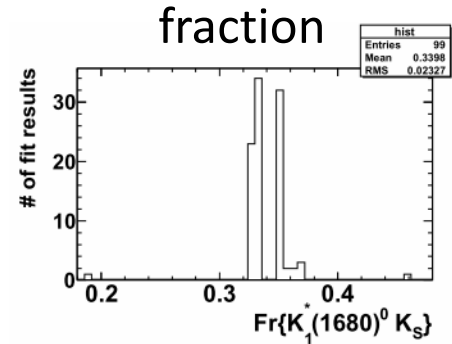
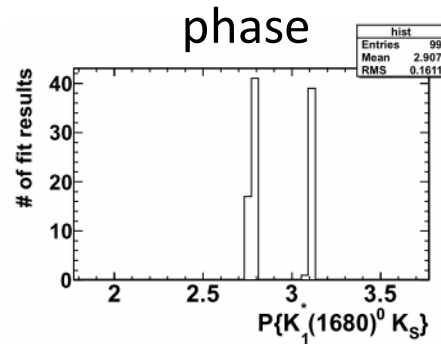
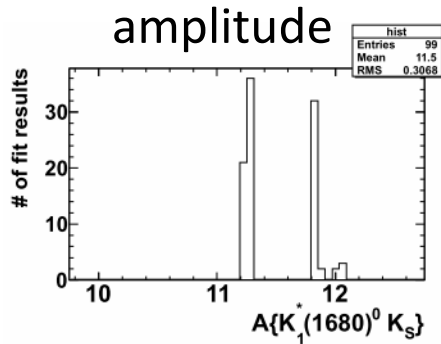


Multiple solutions were vanished.

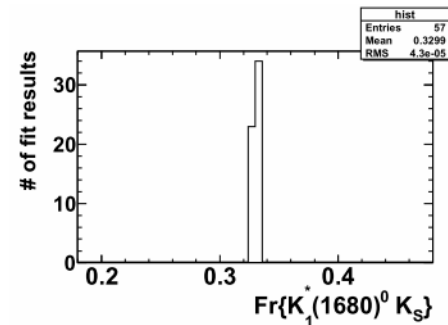
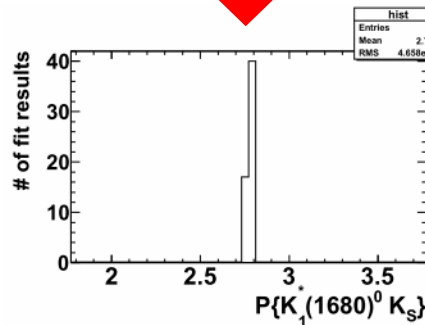
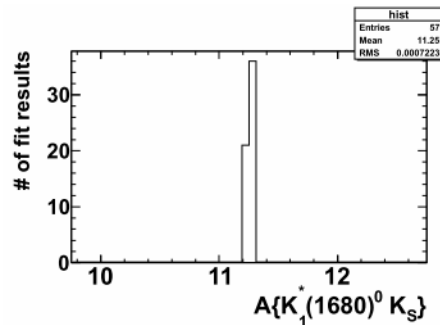
Multiple solutions : $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$

To check that multiple solutions are vanished,
one parameter is shown for example.

$$K_1^*(1680)^0 K_S$$

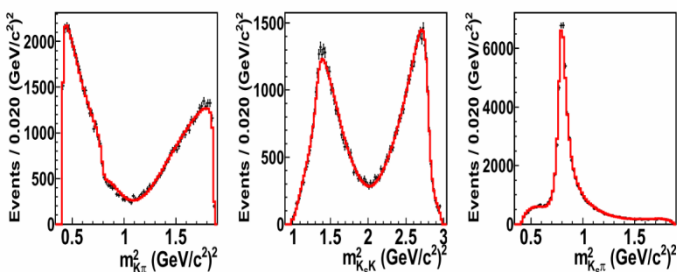
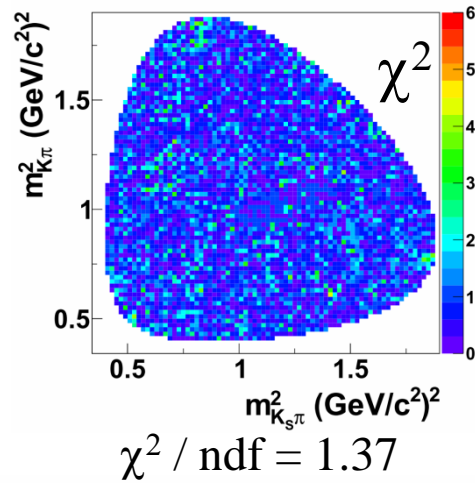
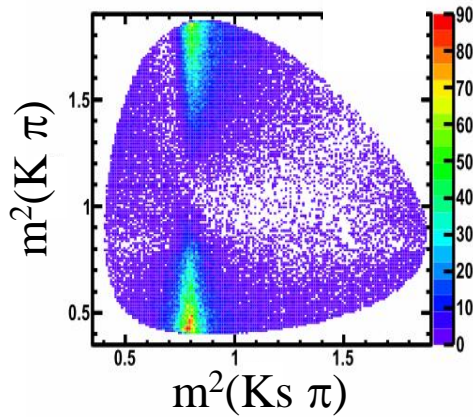


$$\sqrt{-2 \log(L/L_{max})} < 1$$



Only one solution remains.

Maximum likelihood result : $D^0 \rightarrow K_S K^- \pi^+$



Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.373	4.177 ± 0.354	2.645 ± 0.071
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.012	0.136 ± 0.006	-2.004 ± 0.045
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.330	11.25 ± 0.668	2.772 ± 0.029
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.010	1.545 ± 0.290	-2.934 ± 0.127
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.065	1.724 ± 0.376	-0.158 ± 0.271
$K^*(892)^+ K^-$	0.611	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.418	12.67 ± 0.484	-2.797 ± 0.037
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.068	3.989 ± 0.276	0.417 ± 0.037
$a_0(980)^- \pi^+$	0.128	2.242 ± 0.126	2.817 ± 0.055
$g_{K\bar{K}}$		0.823	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.055	1.034 ± 0.052	-0.075 ± 0.033
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.00012	0.069 ± 0.034	-1.507 ± 0.482
N.R.	0.134	2.927 ± 0.442	0.124 ± 0.155
Sum	2.203		

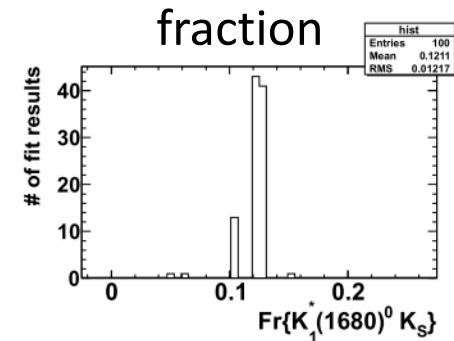
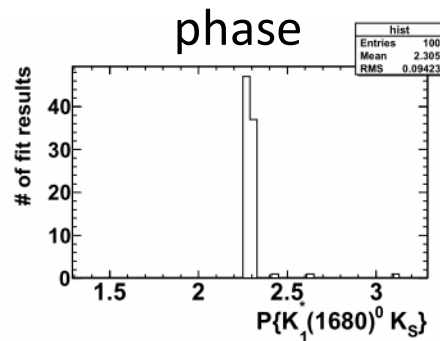
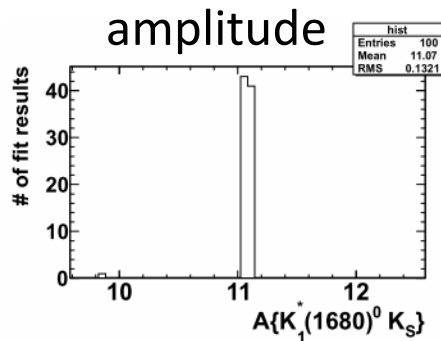
Black dots : data , Red line : fitted function

Fit result : $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$

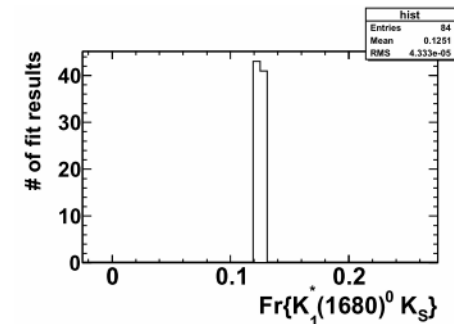
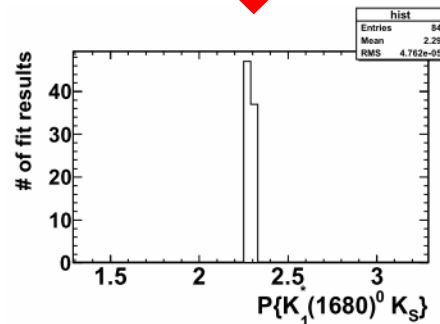
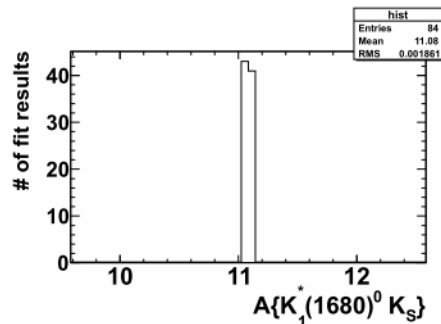
To check that multiple solutions are vanished, one parameter is shown for example.

$$K_1^*(1680)^0 K_S$$

The rnd-BG is excluded from this fitting.

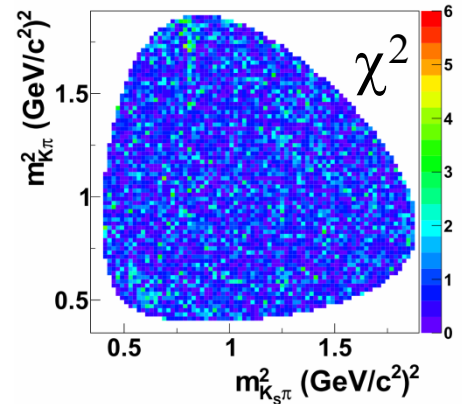
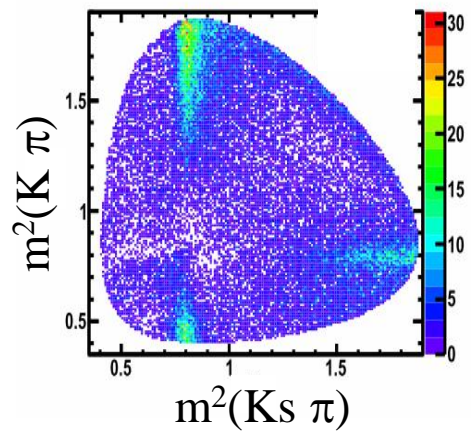


$$\sqrt{-2 \log(L/L_{max})} < 1$$

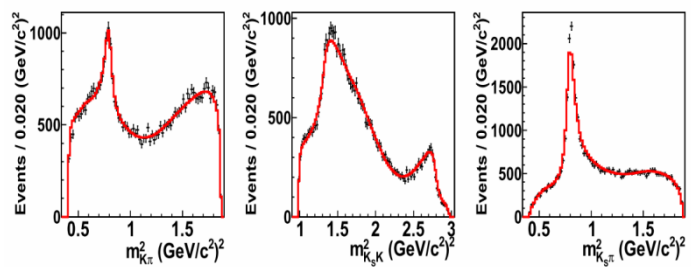


Only one solution remains.

Maximum likelihood result : $D^0 \rightarrow K_S K^+ \pi^-$



$\chi^2 / \text{ndf} = 1.30$



Black dots : data , Red line : fitted function

Mode	Fraction	Amplitude	Phase [rad]
$\bar{K}_0^*(1430)^0 K_S$	0.316	6.150 ± 0.626	3.033 ± 0.125
$\bar{K}^*(892)^0 K_S$	0.034	0.368 ± 0.013	3.107 ± 0.048
$\bar{K}_1^*(1680)^0 K_S$	0.125	11.08 ± 0.819	2.290 ± 0.050
$\bar{K}_2^*(1430)^0 K_S$	0.061	6.194 ± 0.391	-3.059 ± 0.051
$K_0^*(1430)^+ K^-$	0.240	5.305 ± 0.674	-2.434 ± 0.076
$K^*(892)^+ K^-$	0.239	1	0
$K_1^*(1680)^+ K^-$	0.280	16.58 ± 1.087	-2.734 ± 0.059
$K_2^*(1430)^+ K^-$	0.040	4.926 ± 0.338	0.647 ± 0.073
$a_0(980)^- \pi^+$	0.160	4.730 ± 0.344	-3.095 ± 0.149
$g_{K\bar{K}}$		0.457 ± 0.049	
$a_0(1450)^- \pi^+$	0.005	0.497 ± 0.098	-1.932 ± 0.163
$a_2(1320)^- \pi^+$	0.0007	0.261 ± 0.053	0.163 ± 0.204
N.R.	0.299	6.991 ± 0.886	0.175 ± 0.115
Sum	1.801		

Selection criteria (for B events)

Impact parameter	$ dr < 5\text{mm}$, $ dz < 5\text{cm}$
M_{bc}	$5.27 < M_{bc} < 5.29 \text{ GeV}/c^2$
PID	for all charged K : $\text{PID}(K) > 0.6$ for all charged π : $\text{PID}(\pi) < 0.4$
Mass	$ M(\pi^+\pi^-) - M(K_S) < 0.0125 \text{ GeV}/c^2$ $ M(K^*K) - M(D^0) < 0.0159 \text{ GeV}/c^2$
Best candidate selection	Use the best M_{bc}

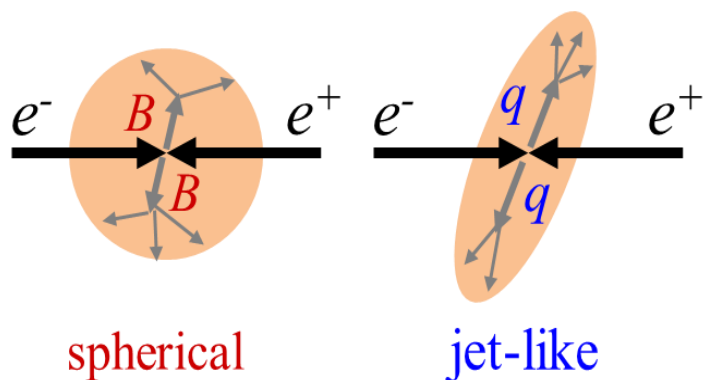
Y(4S)の全データ(711 fb⁻¹)を使用。

Likelihood Ratio (KSFW)

信号事象の数は2次元フィット (KSFW Likelihood vs ΔE)によって求められる。

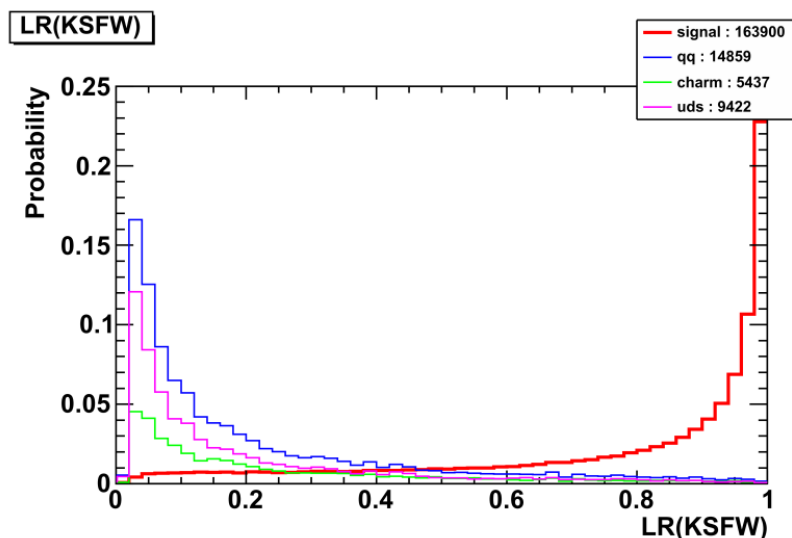
KSFW:

運動量方向などからイベントの形状を数値化する手法。



シグナル(Bを経由)は球状に、
 $q\bar{q}$ イベントはジェット状に分布

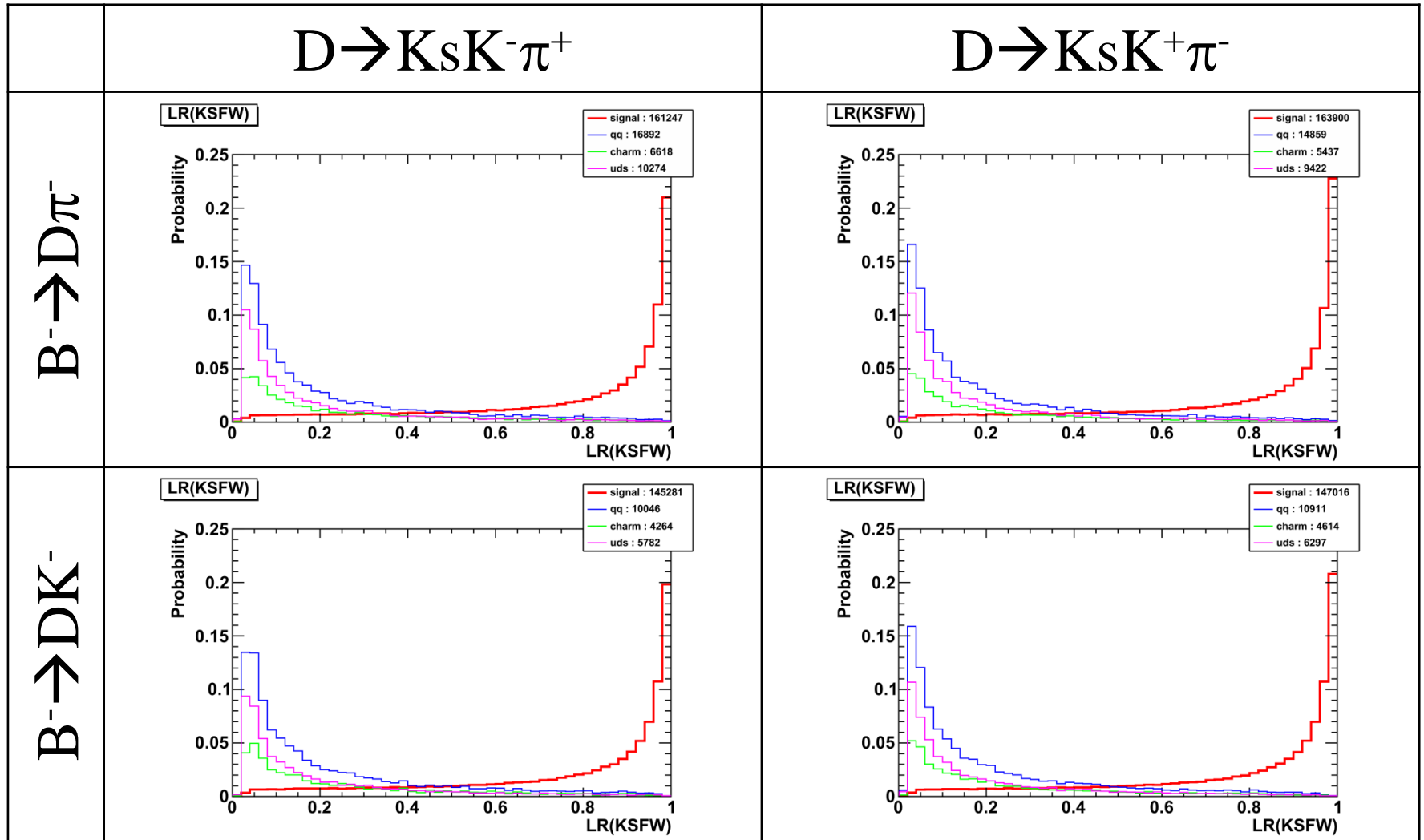
Example of KSFW likelihood ratio



Red : signal

Blue : $q\bar{q}$ (charm + uds)

KSFW Likelihood (MC)



Red : signal Blue : qq (charm + uds)

シグナルと $q\bar{q}$ バックグラウンドはよく分離できている。

フィットに用いるPDF

For ΔE

for signal	Double gaussian
for $B\bar{B}$ background	Exponential
for $q\bar{q}$ background	1 st chebyshev

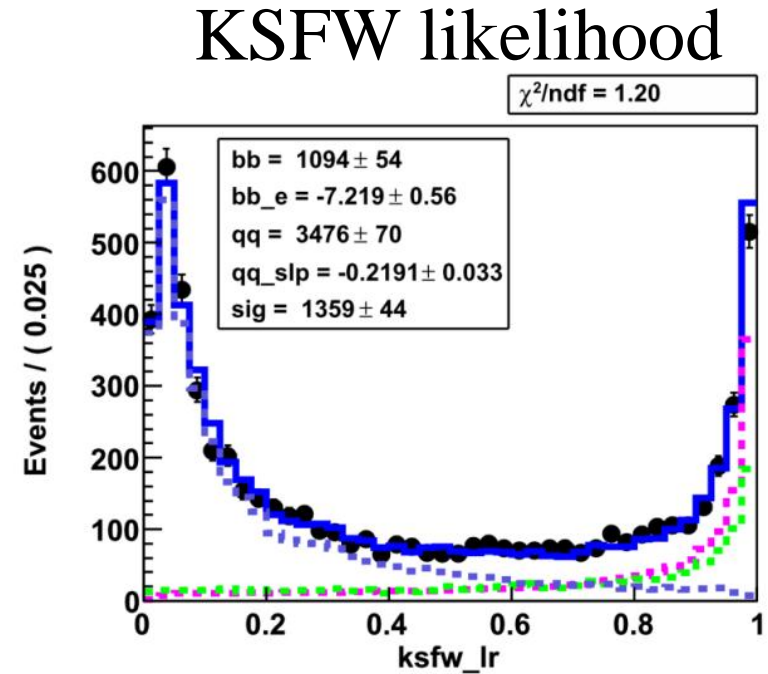
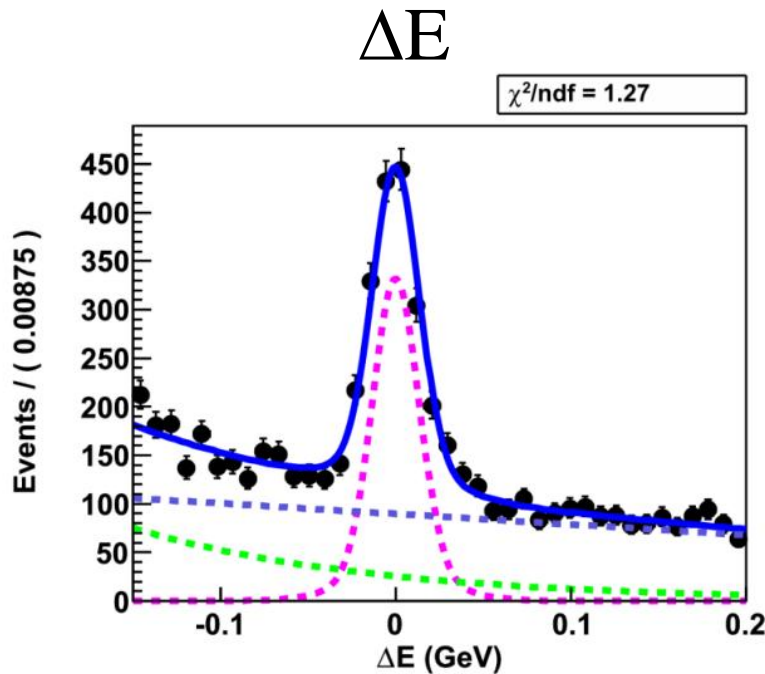
For KSFW likelihood

Histogram PDF

for signal	Obtained from signal MC
for $B\bar{B}$ background	Obtained from $B\bar{B}$ MC
for $q\bar{q}$ background	Obtained from $q\bar{q}$ MC

Control sample : $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K_s K^- \pi^+$

Projection for each axis

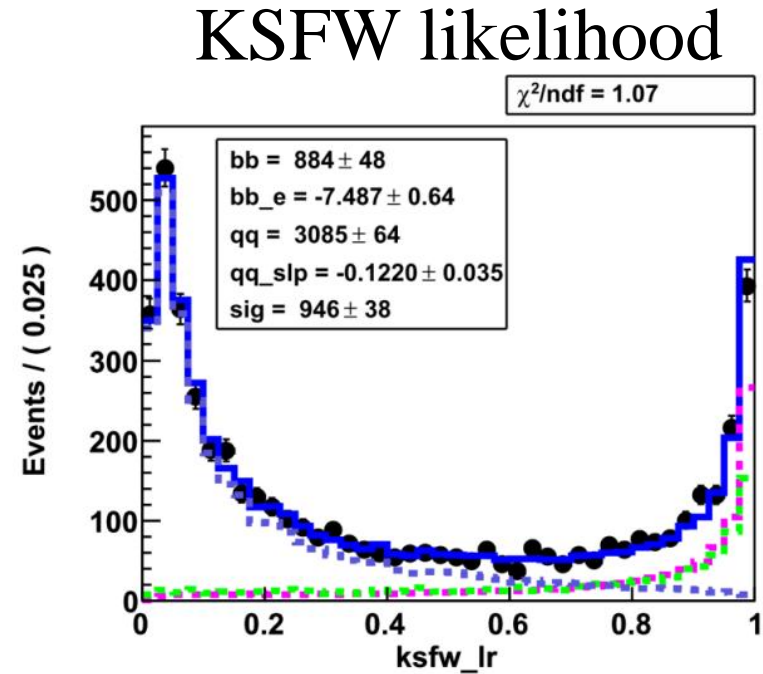
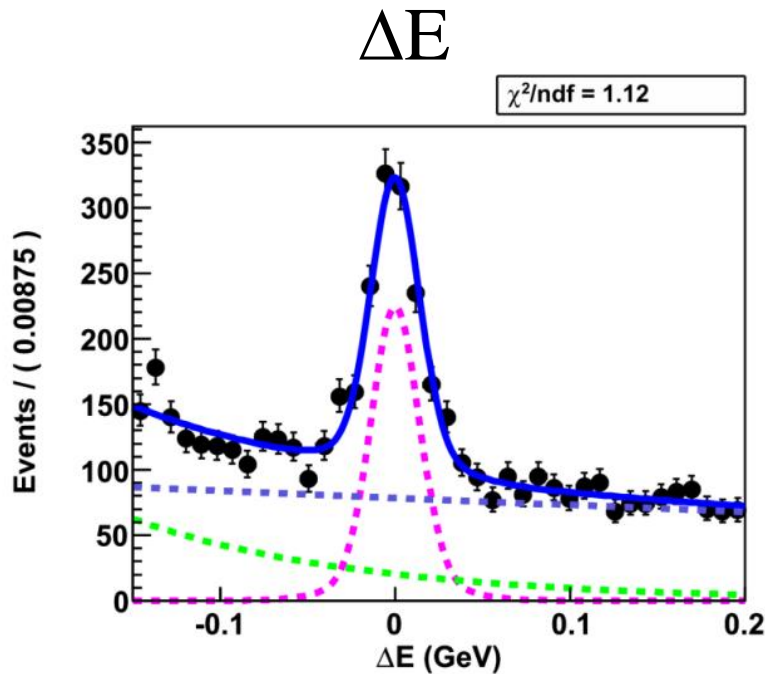


Blue solid : total pdf, Magenta dashed : signal
Blue dashed : $q\bar{q}$ BG, Green dashed : $B\bar{B}$ BG

Signal events : $1359 \pm 44(\text{stat})$

Control sample : $B^- \rightarrow D\pi^-$, $D \rightarrow K_s K^+ \pi^-$

Projection for each axis



Blue solid : total pdf, Magenta dashed : signal
Blue dashed : $q\bar{q}$ BG, Green dashed : $B\bar{B}$ BG

Signal events : $946 \pm 38(\text{stat})$

期待される $B \rightarrow DK$ イベントの数

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 1,359 \pm 44(\text{stat}) \text{ events}$

$B^- \rightarrow D\pi^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 946 \pm 38(\text{stat}) \text{ events}$

$B \rightarrow DK, D \rightarrow K\pi$ の解析によると、

(Y. Horii, K. Trabelsi, H. Yamamoto et al., PRD 78, 071901(R) (2008))

$$\frac{\text{Br}(B^- \rightarrow DK^-)}{\text{Br}(B^- \rightarrow D\pi^-)} = [6.77 \pm 0.23(\text{stat}) \pm 0.30(\text{syst})] \times 10^{-2}$$

期待される $B \rightarrow DK, D \rightarrow K_s K\pi$ イベントの数は、

$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^- \pi^+ : 92 \pm 6 \text{ events}$

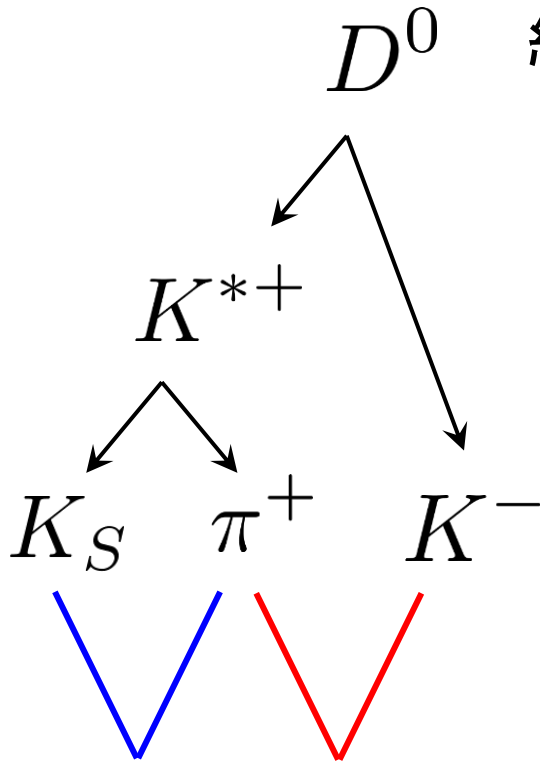
$B^- \rightarrow DK^-, D \rightarrow K_s K^+ \pi^- : 64 \pm 4 \text{ events}$

Dalitz Plot

同じ終状態でも異なる共鳴状態を
経由してきている可能性がある。

$$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$$

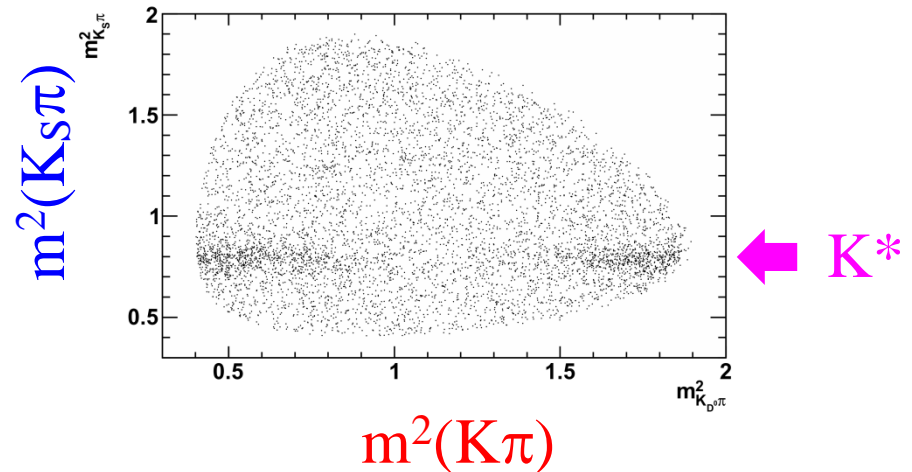
(e.g. $D \rightarrow K^* K$, $K^{*0} K^0$, $a_0 \pi$, ...etc.)



実際に組み合わせて
massを出してみる。



$D^0 \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz Plot (MC)



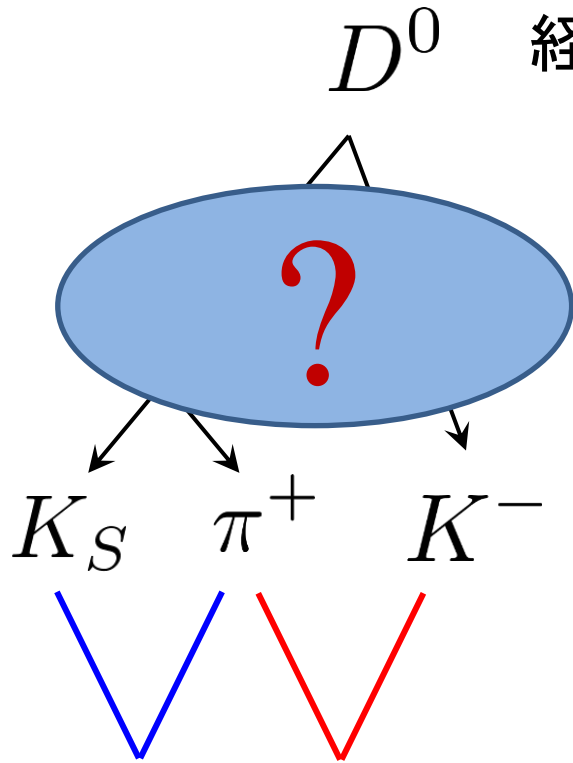
nonresonant modeは
一様に分布する

Dalitz Plot

同じ終状態でも異なる共鳴状態を
経由してきている可能性がある。

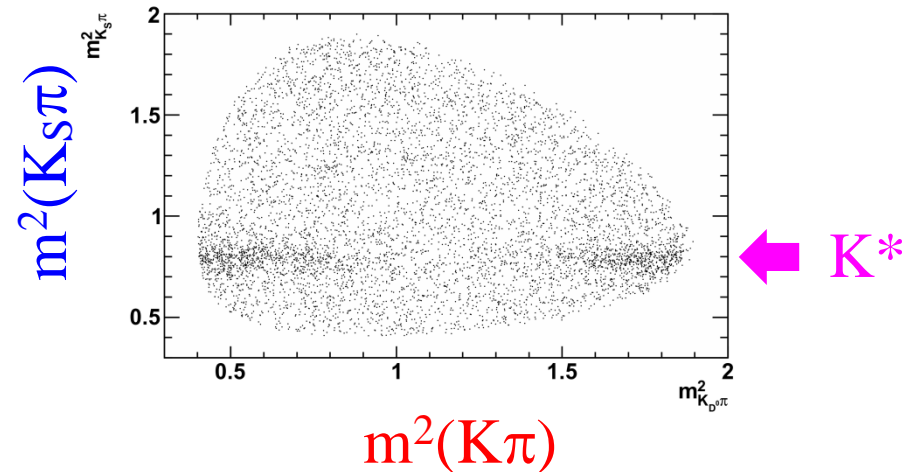
$$D^0 \rightarrow ?? \rightarrow K_S K \pi$$

(e.g. $D \rightarrow K^* K$, $K^{*0} K^0$, $a_0 \pi$, ...etc.)



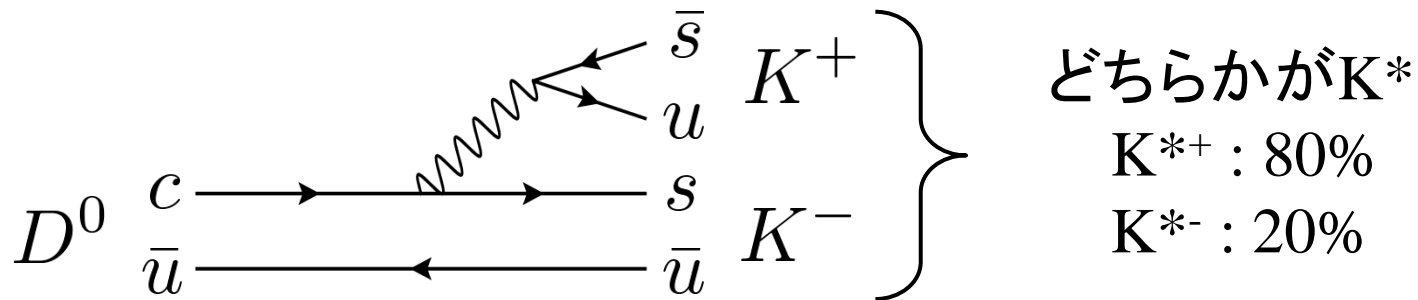
実際に組み合わせて
massを出してみる。

$D^0 \rightarrow K_S K \pi$ の Dalitz Plot (MC)



nonresonant modeは
一様に分布する

D → K* K 崩壊



➔ $D^0(\bar{D}^0) \rightarrow K^{*+} K^-$
 $D^0(\bar{D}^0) \rightarrow K^{*-} K^+$ の2つの終状態が存在する。

Bの電荷と合わせてモードを判別する。

$$B^{\oplus} \rightarrow [K^{*\oplus} K^{\pm}]_D K^{\pm} \quad \text{Opposite mode}$$

$$B^{\oplus} \rightarrow [K^{*\oplus} K^{\mp}]_D K^{\pm} \quad \text{Same mode}$$

また、 K^* は $K^{*\pm} \rightarrow K^{\pm} \pi^0 : 1/3$
 $K^{*\pm} \rightarrow K^0 \pi^{\pm} : 2/3$ で崩壊する。

変形GW法

B⁺, B⁻ の分岐比

$$D \rightarrow K_S K^- \pi^+ \quad A[B^- \rightarrow K^-(K^{*+} K^-)_D] = |A_B A_D| \left[1 + r_B r_D e^{i(\delta_B + \delta_D - \phi_3)} \right]$$

$$D \rightarrow K_S K^+ \pi^- \quad A[B^- \rightarrow K^-(K^{*-} K^+)_D] = |A_B A_D| e^{i\delta_D} \left[r_D + r_B e^{i(\delta_B - \delta_D - \phi_3)} \right]$$

$$D \rightarrow K_S K^- \pi^+ \quad A[B^+ \rightarrow K^+(K^{*-} K^+)_D] = |A_B A_D| \left[1 + r_B r_D e^{i(\delta_B + \delta_D + \phi_3)} \right]$$

$$D \rightarrow K_S K^+ \pi^- \quad A[B^+ \rightarrow K^+(K^{*+} K^-)_D] = |A_B A_D| e^{i\delta_D} \left[r_D + r_B e^{i(\delta_B - \delta_D + \phi_3)} \right]$$

$$r_B = \left| \frac{\bar{A}_B}{A_B} \right| = \left| \frac{A(B^- \rightarrow \bar{D}^0 K^-)}{A(B^- \rightarrow D^0 K^-)} \right|, \quad r_D = \left| \frac{\bar{A}_D}{A_D} \right| = \left| \frac{A(\bar{D}^0 \rightarrow K^{*+} K^-)}{A(D^0 \rightarrow K^{*+} K^-)} \right|$$

r_D は他の測定で精度よく測定されている (既知数) とする。

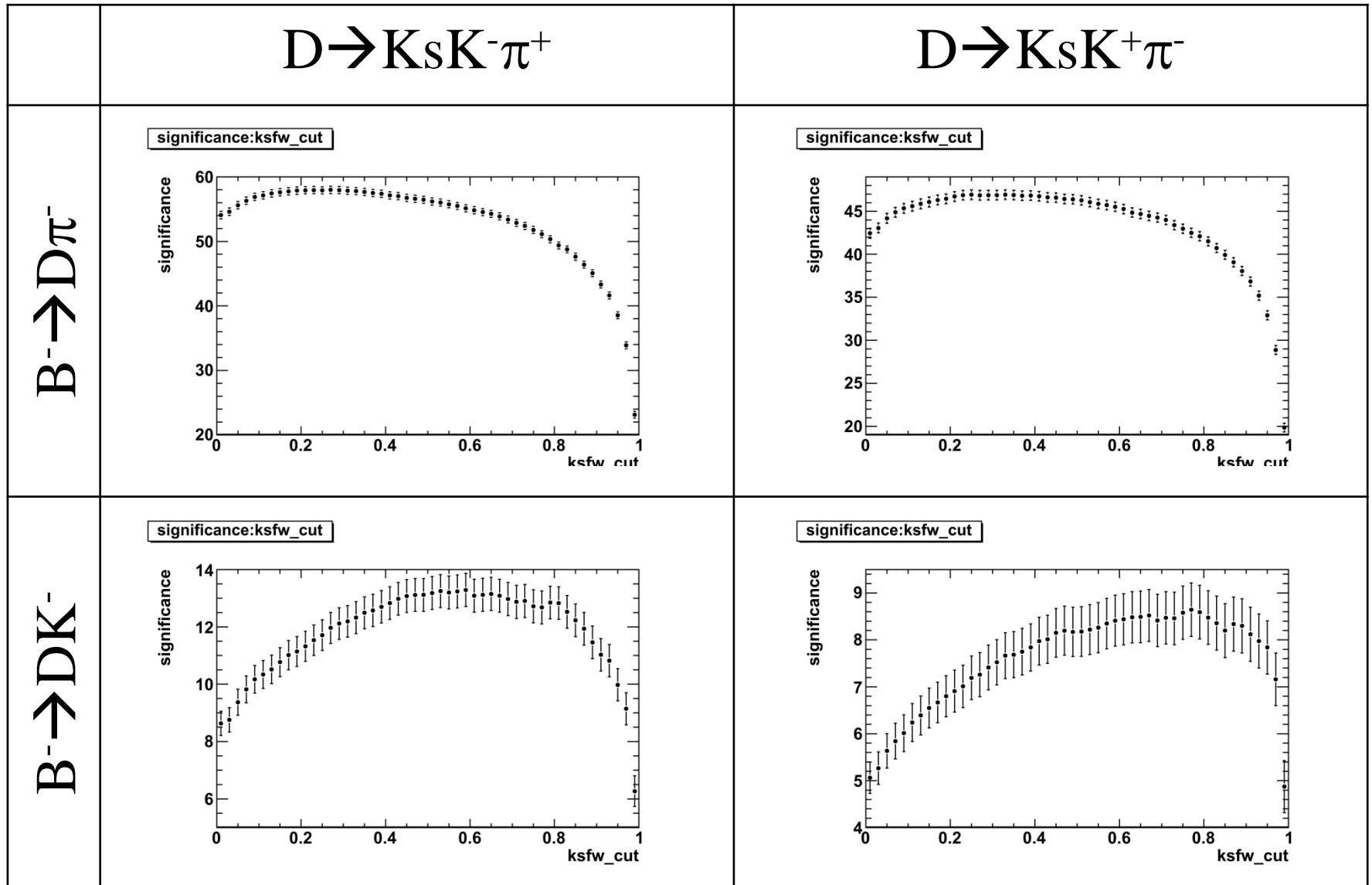
→ 未知数は δ_D , δ_B , r_B , ϕ_3 の4つ。分岐比の4式を連立すれば解ける。

この崩壊モードのみで ϕ_3 の測定が可能

$$\cos \phi_3 = \frac{(R_1 + R_3 - 2)^2 - (R_2 + R_4 - 2r_D^2)^2}{4[(R_1 - 1)(R_3 - 1) - (R_2 - r_D^2)(R_4 - r_D^2)]}$$

$$R_1 = \left[\frac{A[B^- \rightarrow K^-(K^{*+} K^-)_D]}{A_B A_D} \right]^2, \quad R_2 = \dots$$

The merit of LR(KSFW)



These distributions are reasonable.