



Belle実験における $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 崩壊の研究



新粒子発見プログラム B-Lab

奈良女子大学大学院
高エネルギー物理学研究室
井本絢子



Belle実験における $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 崩壊の研究

1. Introduction
2. KEKB加速器/Belle検出器
3. $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 崩壊の測定
4. Summary



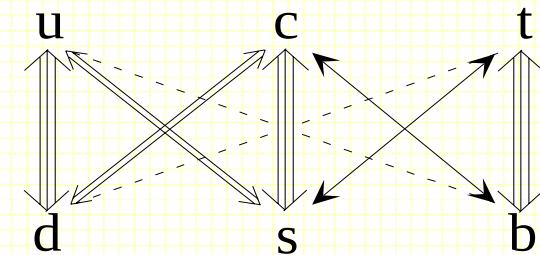
hep-ex/0408107

1. Introduction



小林益川理論

クォークが3世代あると、**世代間混合**により
CP対称性の破れが起こりうる。



小林・益川行列

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

Wolfenstein表記

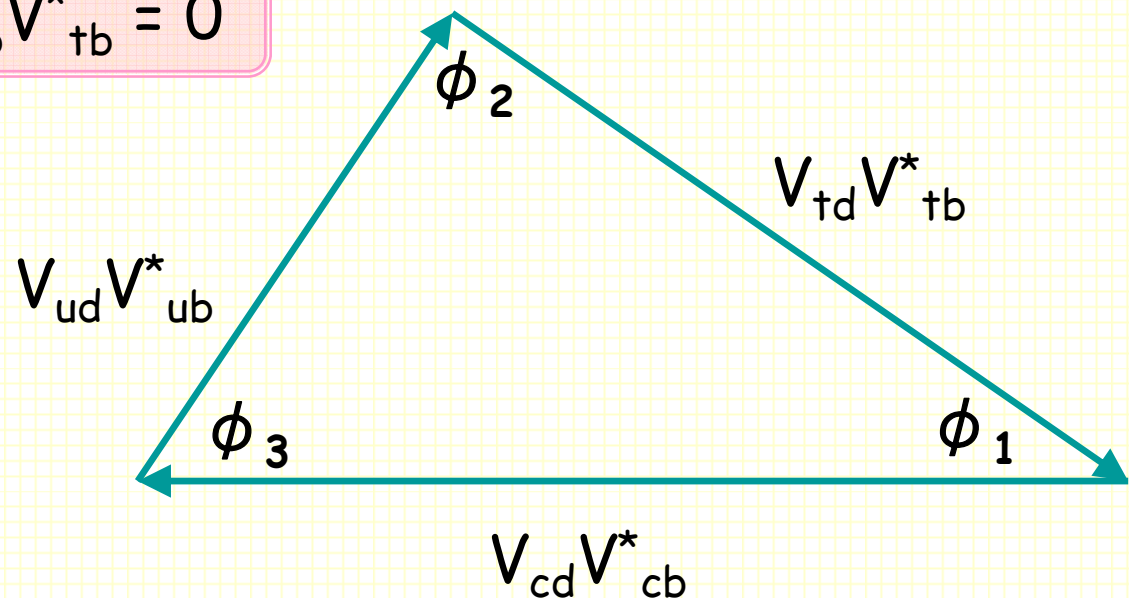
$$= \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2/2 & 1 \end{pmatrix}$$

CP対称性の破れは、
小林・益川行列に含まれる**複素位相**で説明される。

ユニタリティー三角形

ユニタリー性より

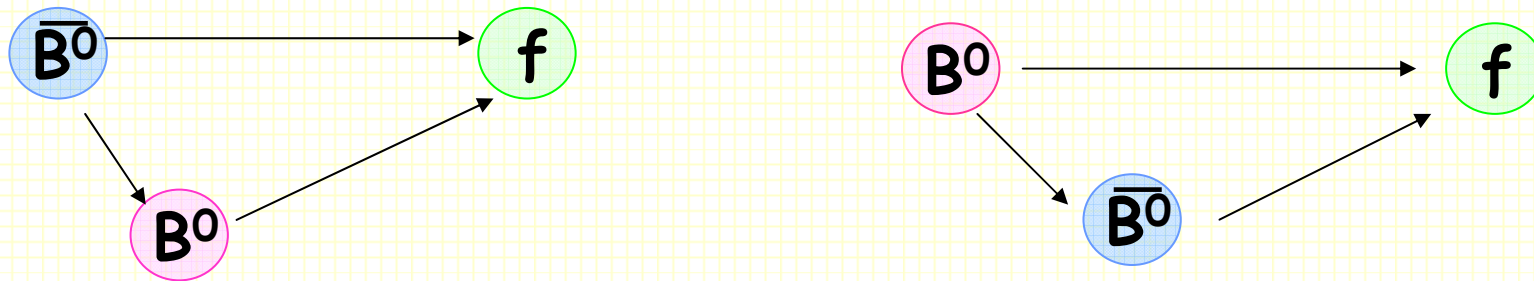
$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cb}V_{cb}^* + V_{tb}V_{tb}^* = 0$$



CP対称性の破れが小林・益川理論によるものかどうかを検証するには、時間に依存したCP対称性の破れの測定を行い、**三角形が成立する条件**を測定。

CP非対称度の測定(B^0 - $\bar{B}^0$ 混合)

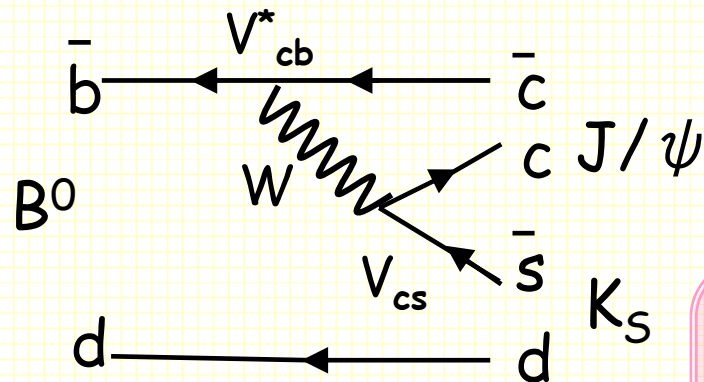
B^0 からも $\bar{B}^0$ からも崩壊できるCP固有状態をfとする



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}^0(t) \rightarrow f) - \Gamma(B^0(t) \rightarrow f)}{\Gamma(\bar{B}^0(t) \rightarrow f) + \Gamma(B^0(t) \rightarrow f)}$$
$$= \underline{S_f} \sin \Delta m t + \underline{A_f} \cos \Delta m t$$

CP対称性の破れの大きさを表す

$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ 崩壊 & $B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$ 崩壊

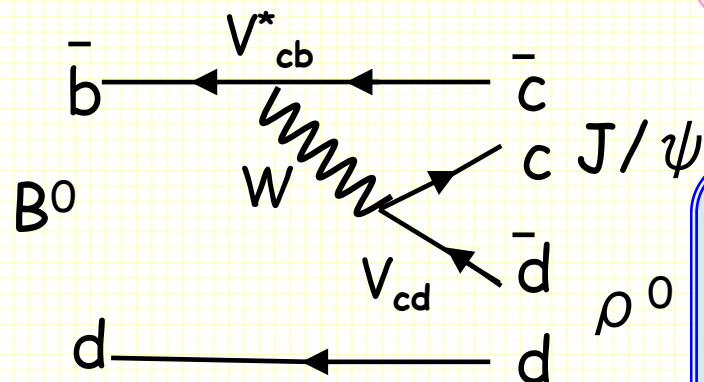


$b \rightarrow \bar{c}cs$ 遷移における CP 非対称度の測定値は

$$S_f = \sin 2\phi_1 = 0.728 \pm 0.056 \pm 0.023$$

$$A_f = 0.007 \pm 0.041 \pm 0.033$$

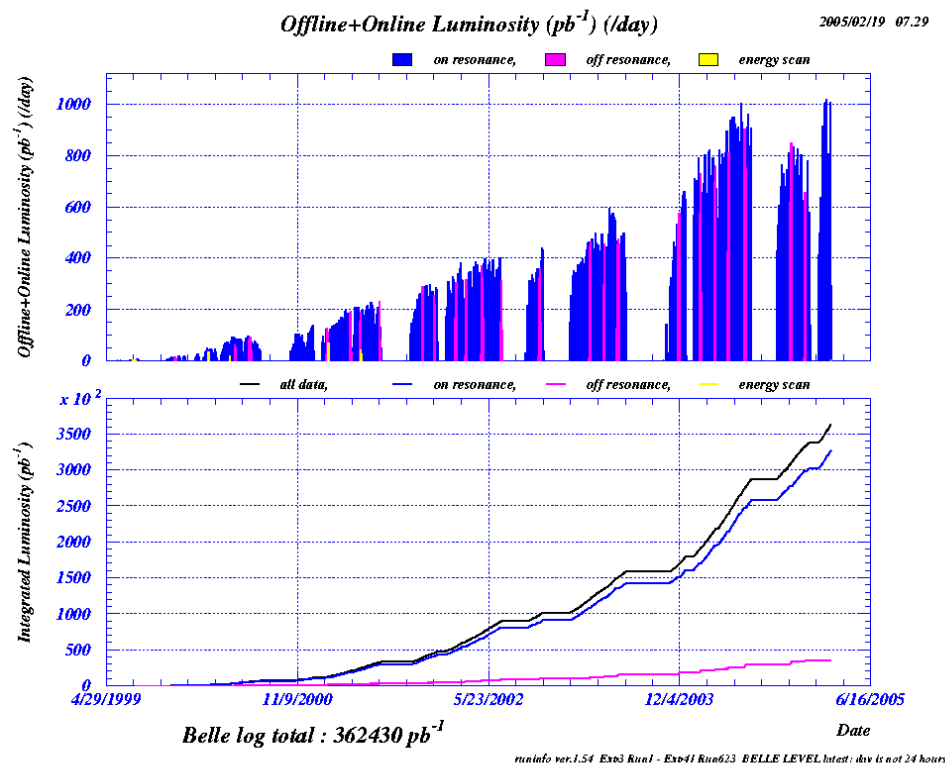
(Belle)



$\sin 2\phi_1$ を測定し 小林・益川理論を
多角的に検証。

2.1 KEKB加速器



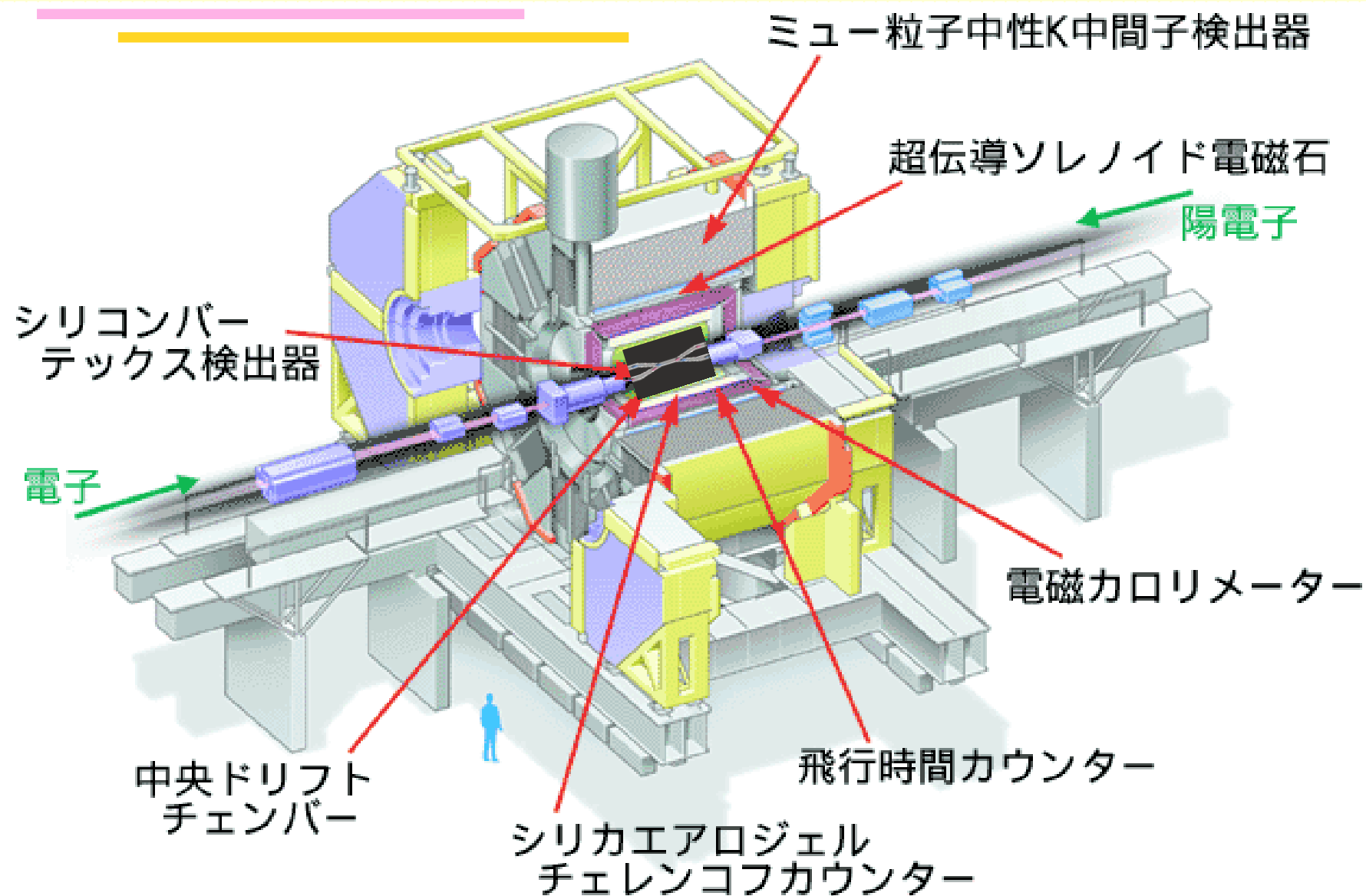


peak luminosity = 15.01 /nb/sec (Feb. 14, 2005)

1 day luminosity = 1 /fb/day (Feb. 19, 2005)

Total luminosity= 354 /fb (~ Feb. 07, 2005)

2.2 Belle測定器

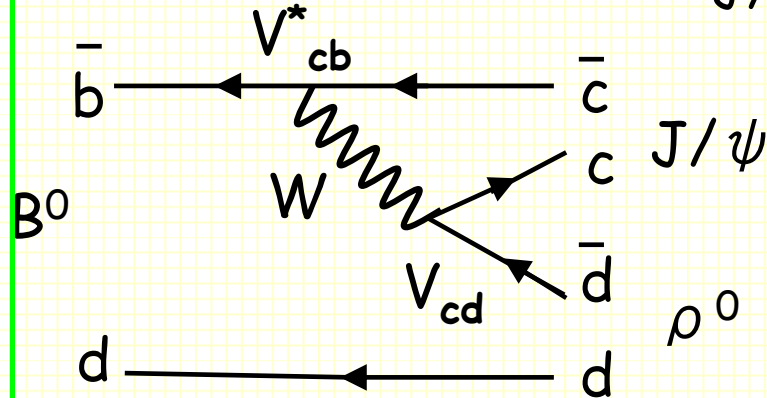


3.1 $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ physics

$B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$ mode

CP固有値 $-1, +1$

$b \rightarrow c \bar{c} d$ 遷移



擬スカラー中間子 $\rightarrow$ 2つのベクトル中間子への崩壊
 J/ψ と ρ^0 の間の軌道角運動量は $L=0, 1, 2$ の3種類

$CP=+1$ ($L=0, 2$)

$CP=-1$ ($L=1$)

の重ね合わせになっている。

この割合を決定すれば、

CP対称性の破れの測定 $\rightarrow \phi_1$ が測定可能

Other resonance

new mode 探索

Non-resonance

CP対称性の破れの測定に
不定性を与えるので、寄与を
明らかにすることが重要。

3.2 $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ reconstruction

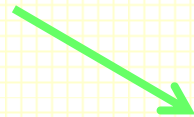
DATA 2000年～2003年の間収集された 1.52×10^8 個の
B中間子対 (積分ルミノシティ 140 fb^{-1})

再構成の手順

$e^+ e^- / \mu^+ \mu^-$



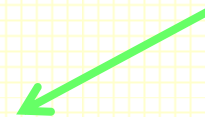
J/ψ



π^+



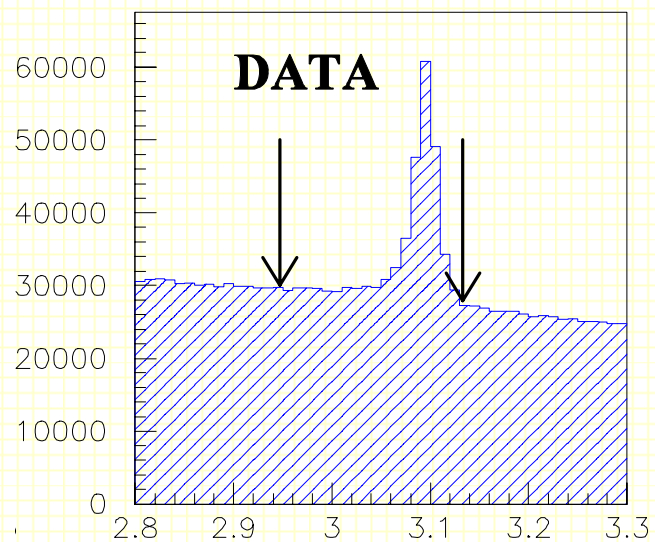
π^-



B^0

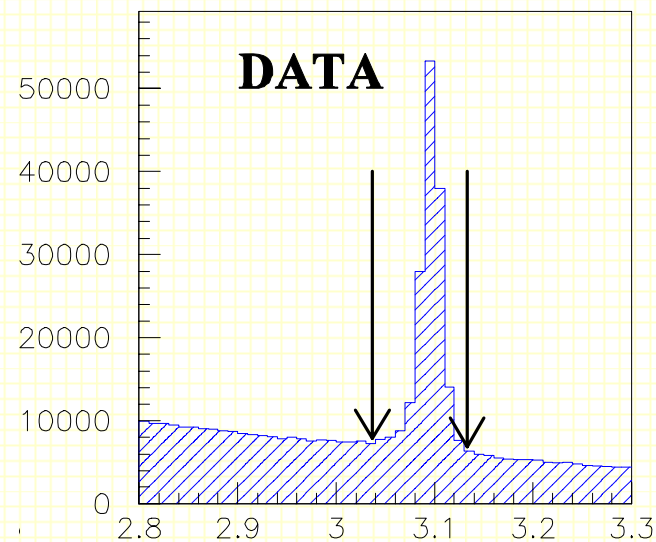
J/ψ reconstruction

$$J/\psi \rightarrow e^+e^-$$



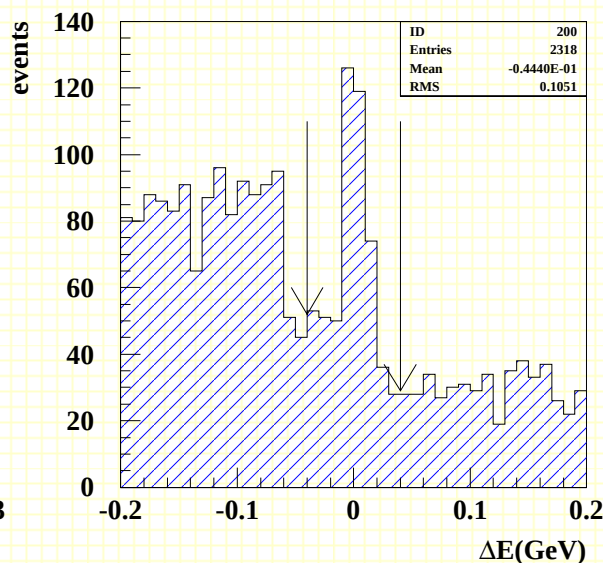
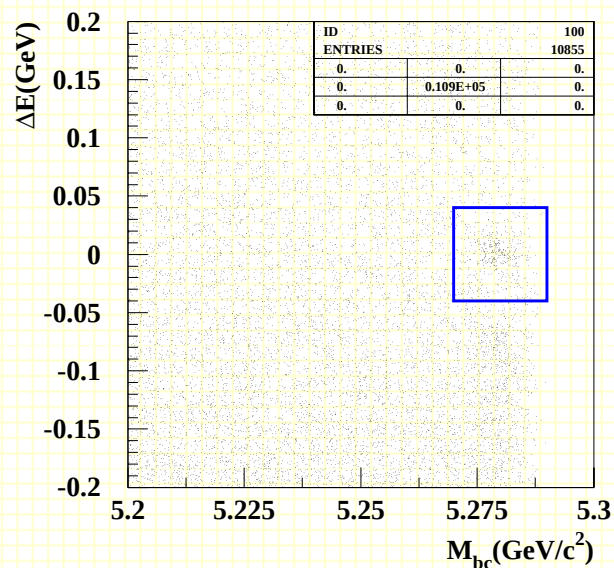
$$2.95 < M_{ee} < 3.1 \text{ (GeV}/c^2\text{)}$$

$$J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$$



$$3.04 < M_{\mu\mu} < 3.13 \text{ (GeV}/c^2\text{)}$$

B⁰ reconstruction ΔE - M_{bc} dist.



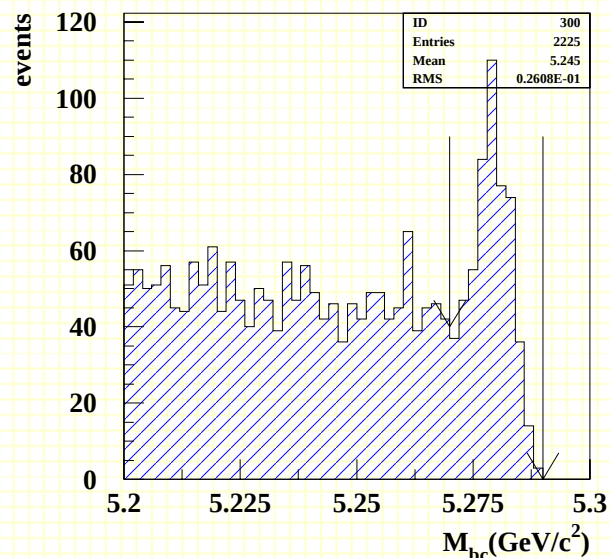
$$\Delta E \equiv E_{\text{tot}}^* - E_{\text{beam}}^*$$

$$M_{bc} \equiv \sqrt{(E_{\text{beam}}^*)^2 - (P_{\text{tot}}^*)^2}$$

* : $\Upsilon(4S)$ rest frame

E_{tot} : 終状態粒子のenergy sum

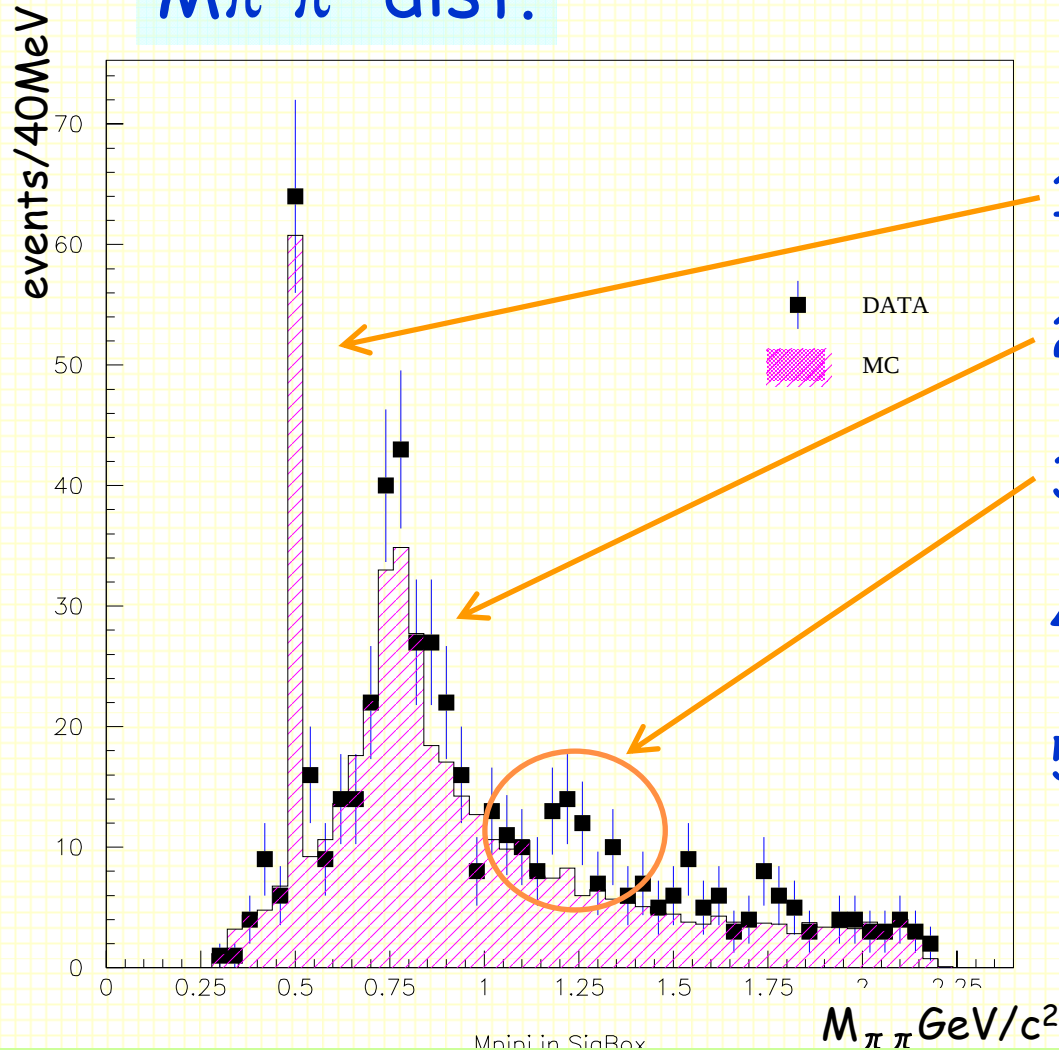
P_{tot} : // momentum sum



シグナル領域内に、 $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 候補
537事象を観測。

3.3 Measurement of branching fraction

$M_{\pi^+\pi^-}$ dist.



1. $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$

2. $B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$

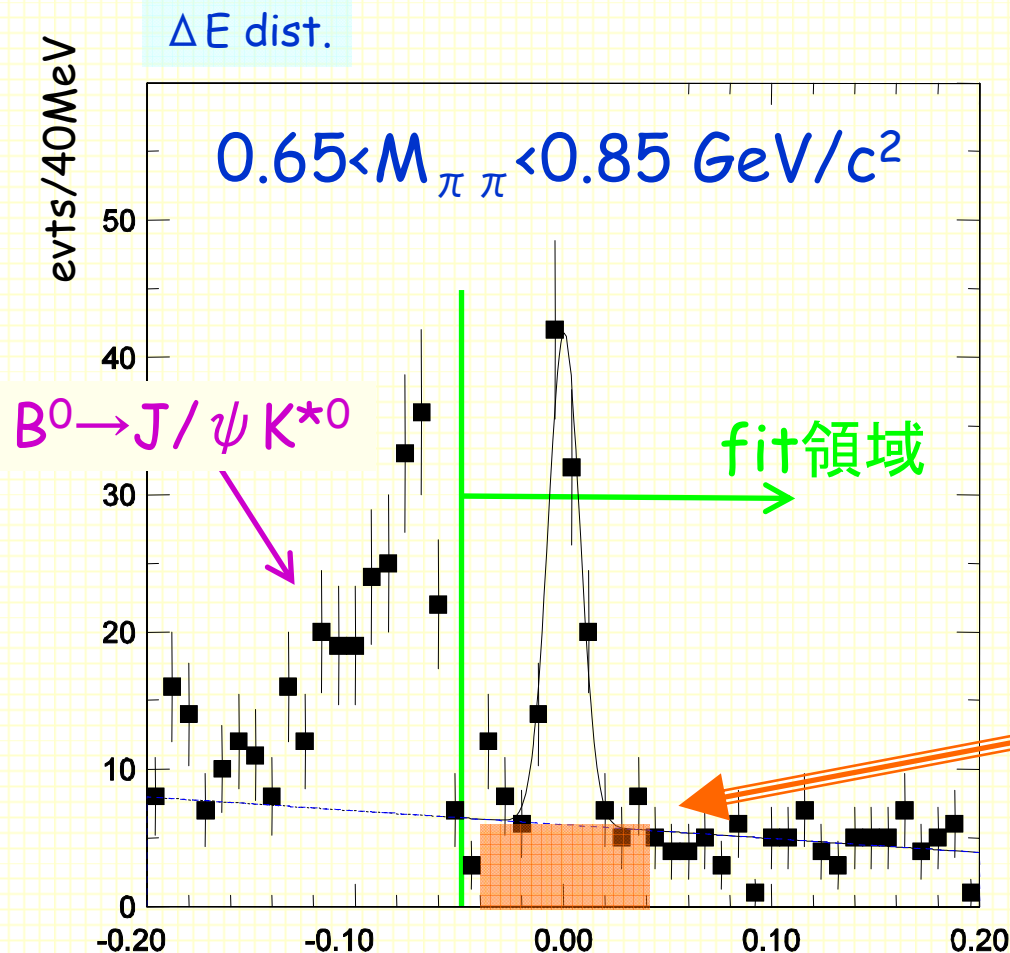
3. $B^0 \rightarrow J/\psi f_2$

4. non-resonant $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

5. background

Background estimation

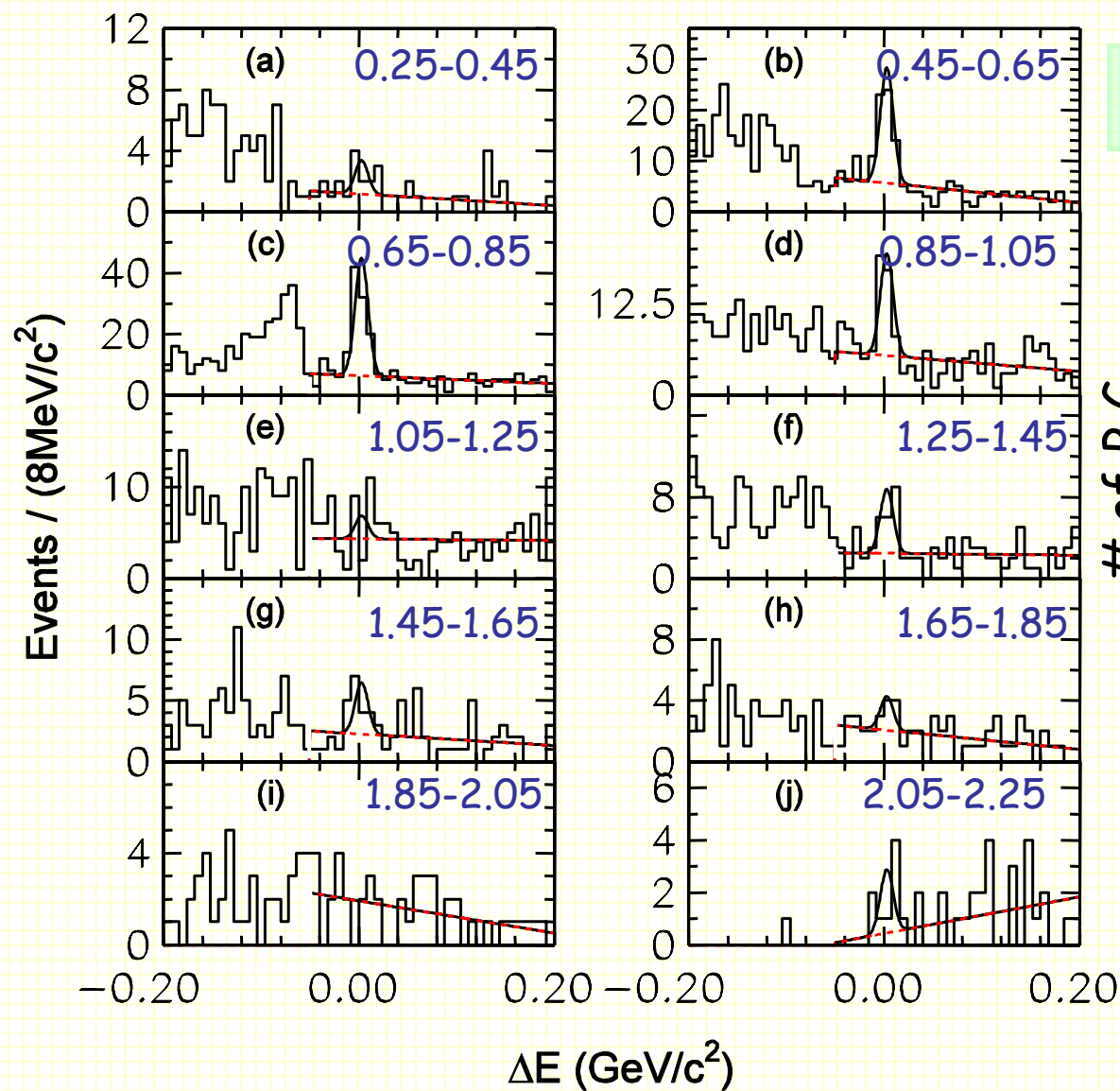
$M_{\pi\pi}$ 分布を $0.2 \text{ GeV}/c^2$ 毎に区切り、それぞれの領域での ΔE 分布からバックグラウンドの事象数を決定する。



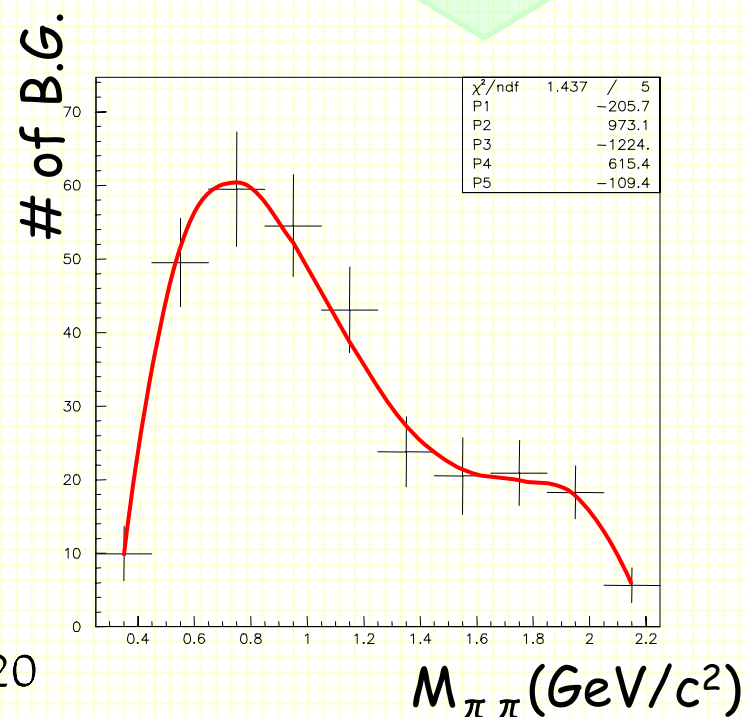
Fitting function
Signal: ガウス関数
B.G.: 1次関数

of background
→ 60 ± 8 evts

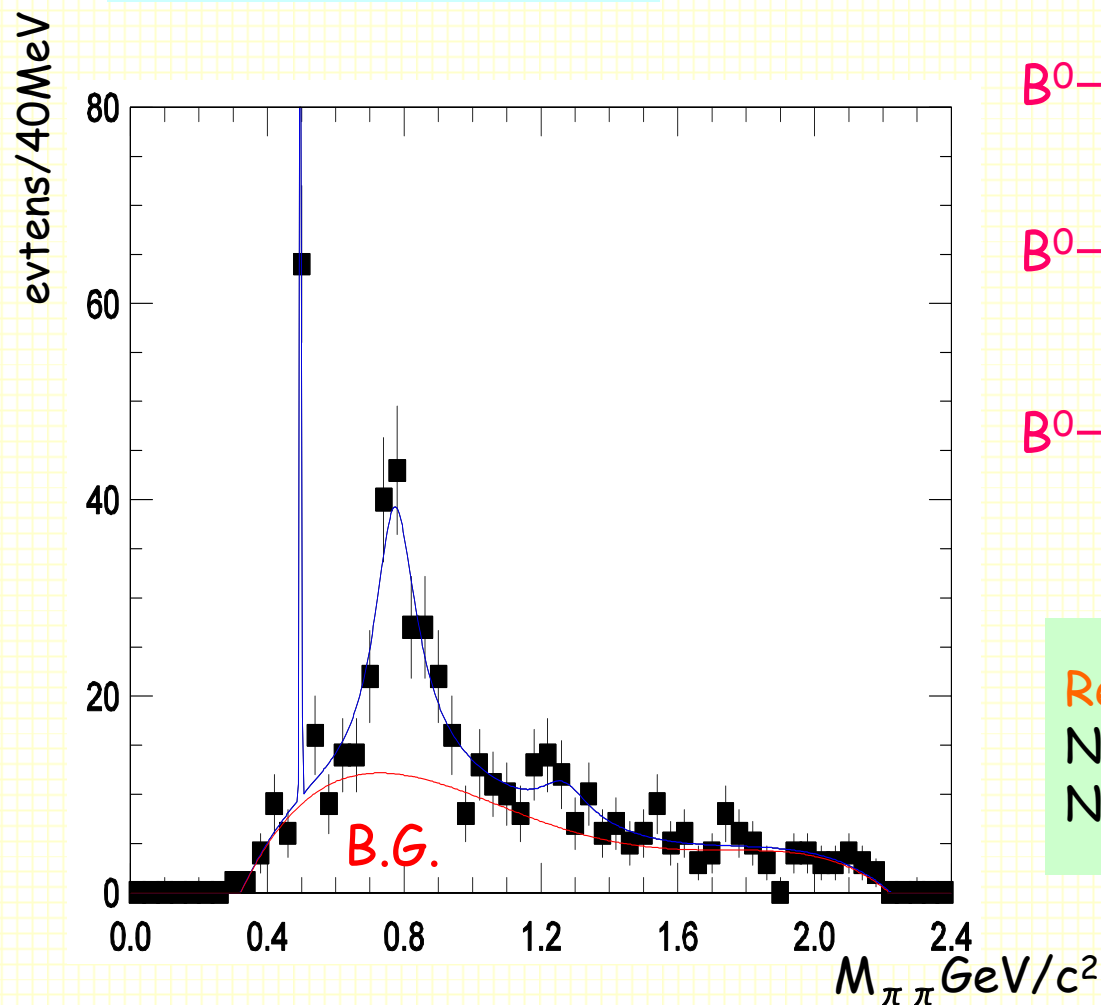
ΔE fit in different $M_{\pi\pi}$ regions -> bkg function



フィットで得られた事象数から
 $M_{\pi\pi}$ 分布をつくりなおし、
4次式を用いてバックグラウンド
の関数を決定。



$M_{\pi\pi}$ fit result



$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$

double Gaussian

$B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$

Pwave Breit-Wigner

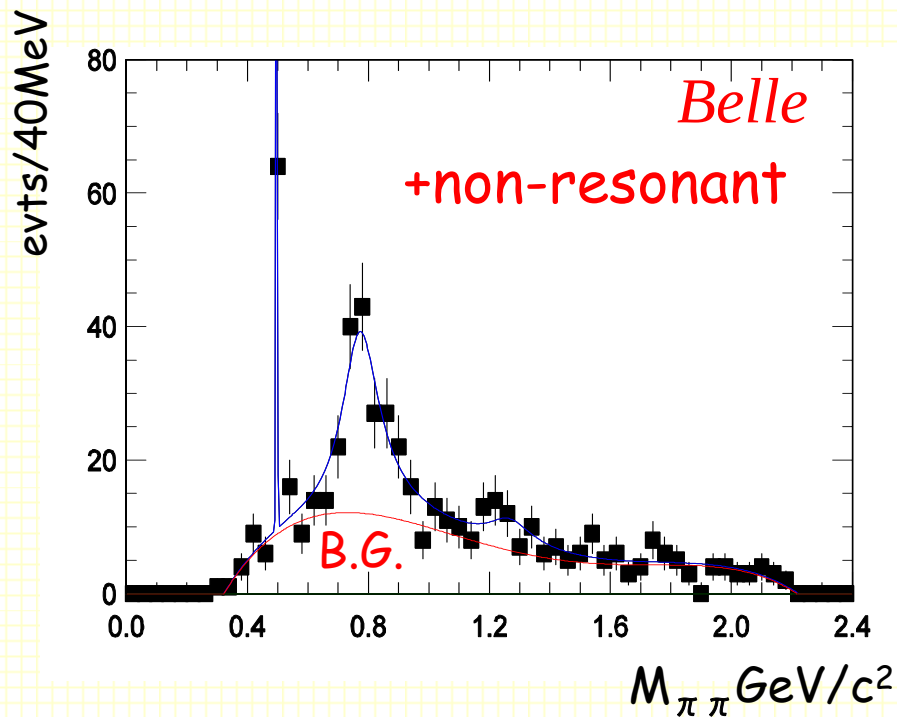
$B^0 \rightarrow J/\psi f_2$

Dwave Breit-Wigner

Results

$N(J/\psi \rho^0) = 140 \pm 17$ events

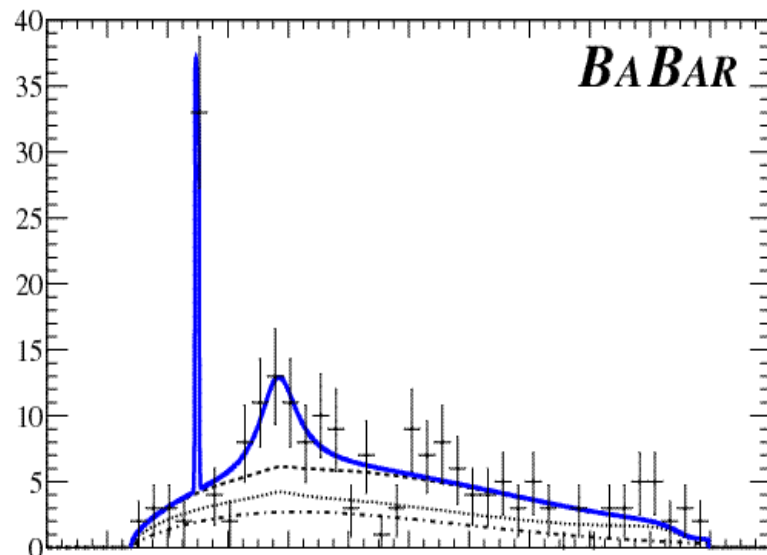
$N(J/\psi f_2) = 28 \pm 11$ events (2.9σ)



$B^0 \rightarrow \text{non-resonant } J/\psi \pi^+ \pi^-$
MCより決定

Result

$N(\text{non-resonant}) = 0$ 事象と一致



BABAR
non-resonanceの顕著な寄与
があると主張 ($L=56 \text{ fb}^{-1}$)

Branching ratio : $B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0) = \frac{N_{\text{obs}}}{\varepsilon \cdot \text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) \cdot N_{B\bar{B}}}$$

$$N_{\text{obs}} = 146 \pm 17$$

$$\text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) = 0.118 \pm 0.002$$

$$\text{検出効率} : \varepsilon = 0.278 \pm 0.002$$

$$N_{B\bar{B}} = (1.52 \pm 0.01) \times 10^8$$

preliminary

系統誤差	$\pm 9.1\%$
検出効率	$\pm 2.7\%$
B.G.の見積もり	$\pm 5.1\%$
粒子識別・再構成	$\pm 6.4\%$
$\text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-)$	$\pm 1.7\%$
$N_{B\bar{B}}$	$\pm 0.4\%$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0) = (2.9 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 0.3(\text{sys.})) \times 10^{-5}$$

Branching ratio : $B^0 \rightarrow J/\psi f_2$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi f_2) = \frac{N_{\text{obs}}}{\varepsilon \cdot \text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) \cdot \text{Br}(f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-) \cdot N_{B\bar{B}}}$$

$$N_{\text{obs}} = 28 \pm 11$$

$$\text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) = 0.118 \pm 0.002$$

$$\text{Br}(f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = 0.565 \pm 0.002$$

$$\text{検出効率} : \varepsilon = 0.278 \pm 0.002$$

$$N_{B\bar{B}} = (1.52 \pm 0.01) \times 10^8$$

preliminary

系統誤差	$\pm 21.8\%$
検出効率	$\pm 0.7\%$
B.G.の見積もり	$\pm 20.6\%$
粒子識別・再構成	$\pm 6.4\%$
$\text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-)$	$\pm 1.7\%$
$\text{Br}(f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$	$\pm 2.9\%$
$N_{B\bar{B}}$	$\pm 0.4\%$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi f_2) = (9.9 \pm 4.2(\text{stat.}) \pm 2.2(\text{sys.})) \times 10^{-6}$$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi f_2) < 1.5 \times 10^{-5} (@90\% \text{C.L.})$$

Branching ratio : ノンレゾナント $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

ノンレゾナント $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 崩壊 $\rightarrow$ 寄与は小さい

bkgを1 σ 下げたfit結果 $N_{\text{obs}} = 15 \pm 20$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- (\text{NR})) < \frac{N_{\text{obs}} (@90\% \text{C.L.})}{\varepsilon \cdot \text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) \cdot N_{\bar{B}B}}$$

$$N_{\text{obs}} (@90\% \text{C.L.}) = 48$$

$$\text{Br}(J/\psi \rightarrow l^+ l^-) = 0.118$$

$$\text{検出効率} : \varepsilon = 0.278$$

$$N_{\bar{B}B} = 1.52 \times 10^8$$

preliminary

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- (\text{NR})) < 1 \times 10^{-5} (@90\% \text{C.L.})$$

4. Summary

$B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$ 崩壊の測定

preliminary

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0) = (2.9 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 0.3(\text{sys.})) \times 10^{-5}$$

$$\text{Br} = (1.6 \pm 0.6(\text{stat.}) \pm 0.4(\text{sys.})) \times 10^{-5} (B_A B_{AR}, 2002)$$

$B^0 \rightarrow J/\psi f_2$ 崩壊の測定

preliminary

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi f_2) = (9.9 \pm 4.2(\text{stat.}) \pm 2.2(\text{sys.})) \times 10^{-6}$$

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi f_2) < 1.5 \times 10^{-5} (@90\% \text{C.L.})$$

この崩壊過程を 2.9σ の有意性で初めて測定。

ノンレゾナント $B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ 崩壊の測定

preliminary

$$\text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- (\text{NR})) < 1 \times 10^{-5} \text{ (@90\% C.L.)}$$

ノンレゾナンスの寄与が小さいことを確認。
この崩壊過程の上限値を初めて設定。

future plan

Dataを増やしノンレゾナンスの精密検証、new mode
の探索を行う。

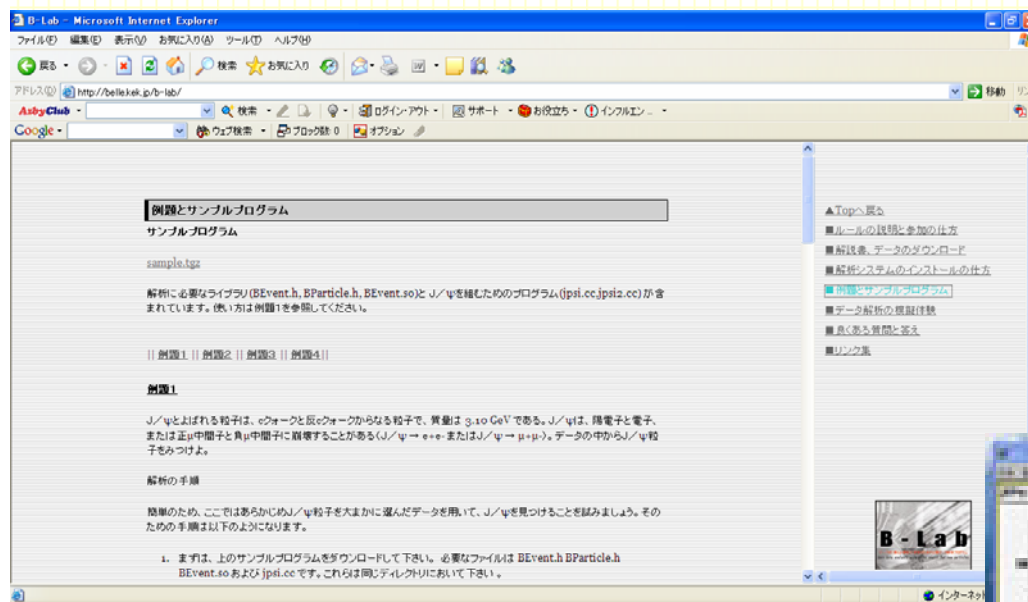
$B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$ 崩壊過程を用い $\sin 2\phi_1$ の測定へ。



新しい素粒子発見のための 公開データ解析プログラム

<http://belle.kek.jp/b-lab/>

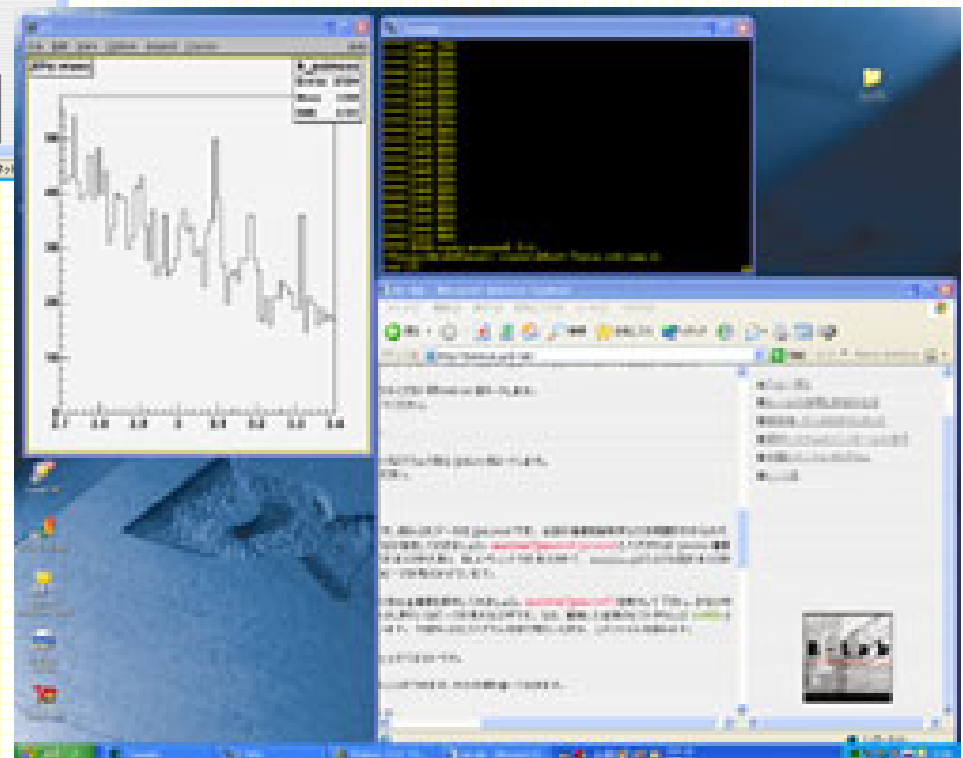
belleのデータを使って新粒子を発見しよう！



申請後、自由にデータにアクセスできる

必要な物

ネットワークに接続できるパソコンのみ
参加費無料。解説書、例題あり





<http://www.kek.jp/newskek/2004/julaug/B-Lab.html>

高校にて課外授業

大学の講義でも使われています

新発見！

-> 論文を発表、Belle測定器にプレートを貼り付ける