

二光子過程による $f_0(980)$ 共鳴状態の観測

$$\eta' \longrightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \text{ 反応の探索}$$

森 隆志 (東工大), Belle Collaboration

2004/2/18

内容

- 目的
- 二光子過程の特徴
- **Event selection**
 - $f_0(980)$
 - η'
- まとめ

目的

$f_0(980)$ 共鳴状態は $D_s^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^+$ 崩壊から見つかった。

性質はまだ良く知られていない。

$f_0(980)$ の性質、クォーク模型における位置付け



質量 M 、幅 $\Gamma_{\pi^+\pi^-}$

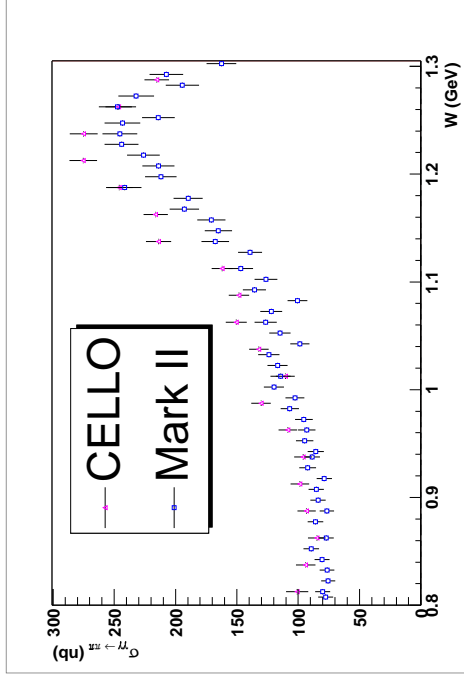
二光子幅 $\Gamma_{\gamma\gamma} B(f_0(980) \rightarrow \pi\pi)$

Search for $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-$

P, CP violation mode

$B(\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-)$ のアッパーリミットを求める。

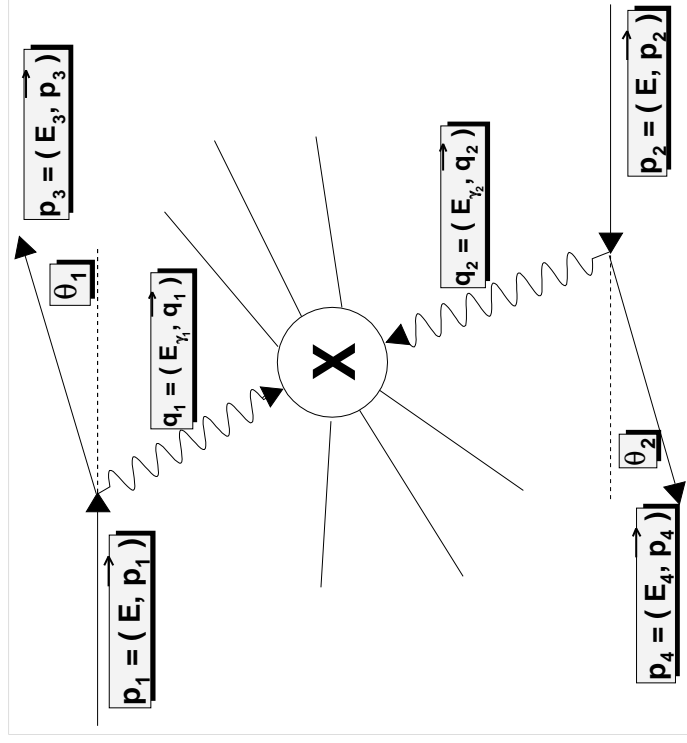
$B = 2\%$ (PDG, 90%CL)



Eur. Phys. J. C9,
11-29 (1999)

過去の二光子過程の実験

二光子過程の特徴



- $\pi^+\pi^-$ decay mode \implies G-Parity $G = +1$ ($G = (-1)^{J+C}$)
- $JPC = 0^{++}, 2^{++}$ が主に生成される
- $\therefore \gamma\gamma \longrightarrow \pi^+\pi^-$ では、 f_J ($J = \text{even}$) を観測できる
- 二光子幅 $\Gamma_{\gamma\gamma B}$ (Resonance $\rightarrow \pi\pi$) を測れる。

- ビームから主に放出される準実光子同士
の衝突
- この時の光子の運動量はビーム軸に並行
 \implies 運動量の横方向成分 p_t がバランス
- $JPC = 0^{\pm+}, 2^{\pm+}$ が主に生成(光子:
 $JPC = 1^{--}$)

Event Selection

二光子過程の終状態

$$\gamma\gamma \longrightarrow \pi^+\pi^-$$

$$e^+e^-$$

$$\mu^+\mu^-$$

$$K^+K^-$$

$$\bar{p}p$$

$$|dz| < 2\text{cm}, |dr| < 1\text{cm}$$

$$|dz(+)-dz(-)| < 1\text{cm}$$

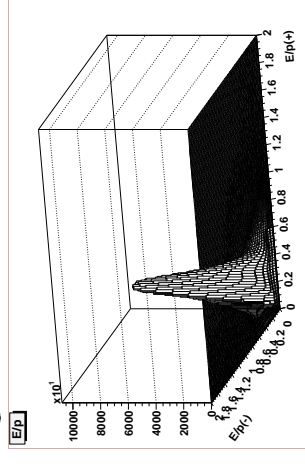
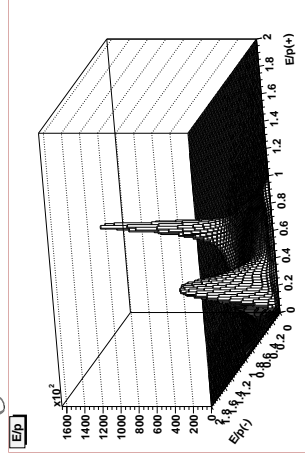
$$p_t > 0.3\text{GeV}/c$$

$$|\sum p_t| < 0.1\text{GeV}/c$$

$$-0.47 < \cos\theta < 0.82$$

e^+e^- pairs are rejected by electron ID.

$$P_{e^+} < 0.66 \quad \& \quad P_{e^-} < 0.66$$



E/p scatter plot of before and after electron ID cut.

Particle ID devices:

TOF and $dE/dx(\text{CDC})$: $\pi/K/p$ 識別

ACC: π/K separation at $p > 1.2\text{GeV}/c$

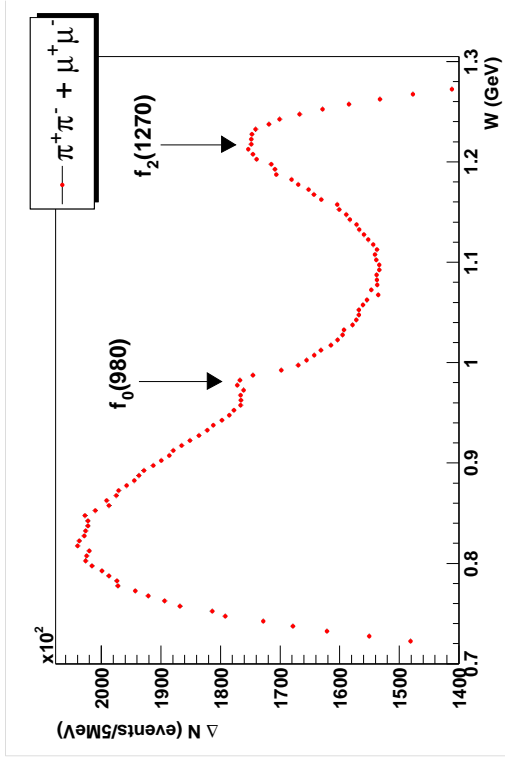
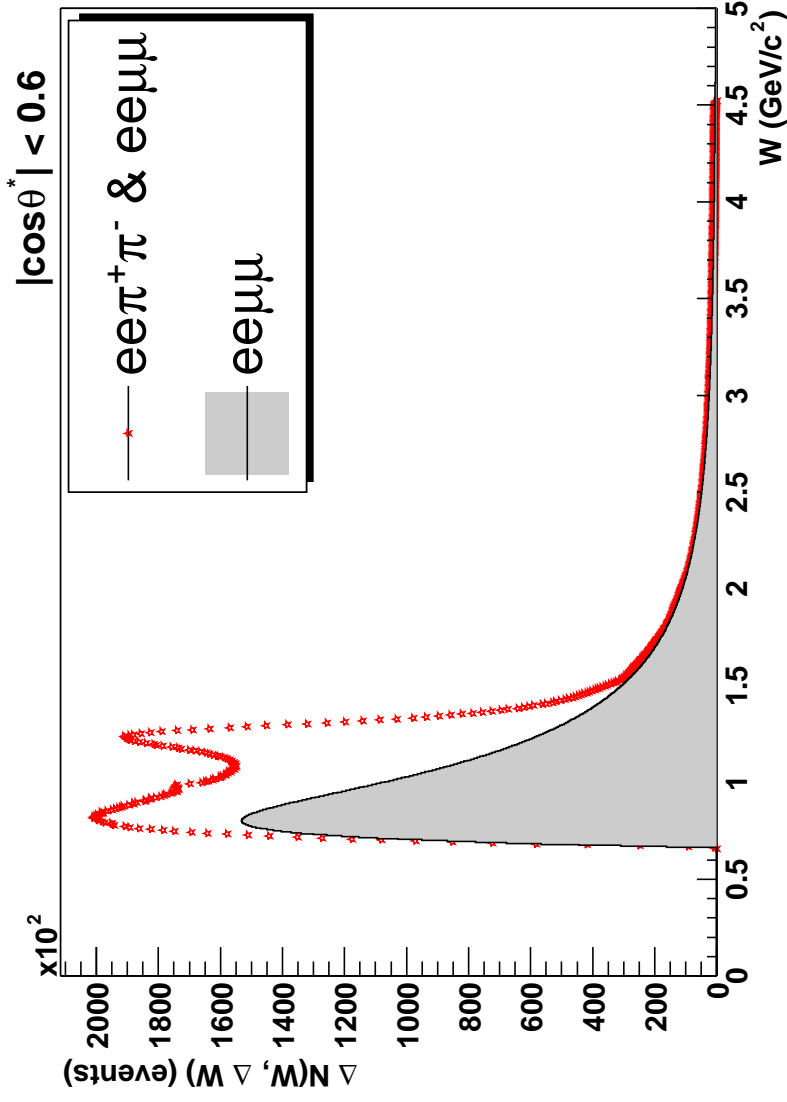
Likelihood ratio parametrized by Particle ID devices:

$$P(K^+; \pi^+) \times P(K^-; \pi^-) < 0.25$$

$$P(p; K^+) \times P(\bar{p}; K^-) < 0.5$$

$\mu^+\mu^-$ pairs are not rejected.

$ee \rightarrow e\pi^+\pi^-$ と $ee \rightarrow ee\mu\mu$ のイベント数の不変質量分布



$$\int L dt = 89 \text{fb}^{-1}$$

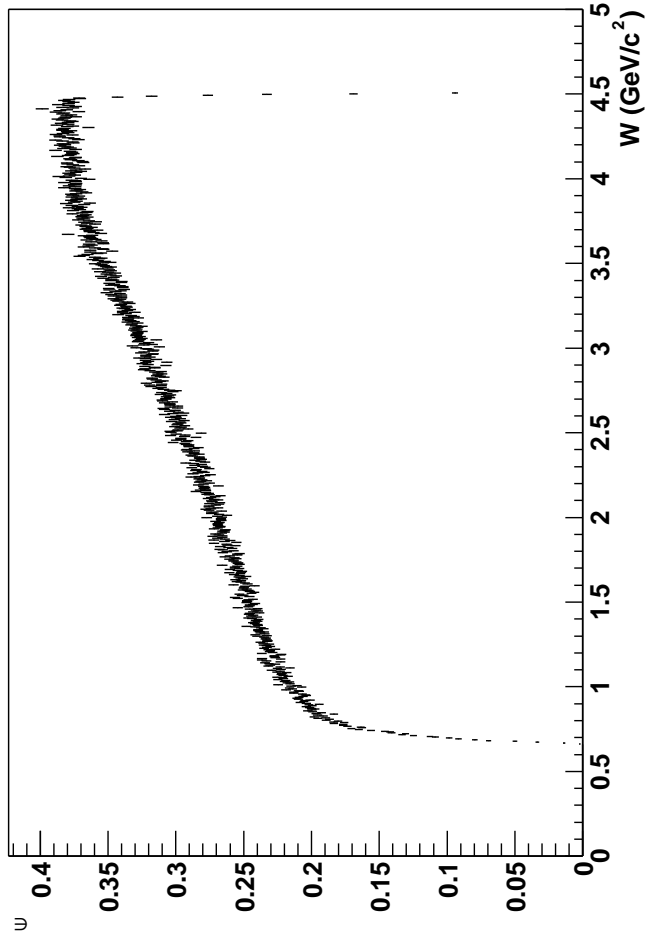
$$p_t > 0.3 \text{GeV}/c$$

$$\cos\theta^* \leq 0.6$$

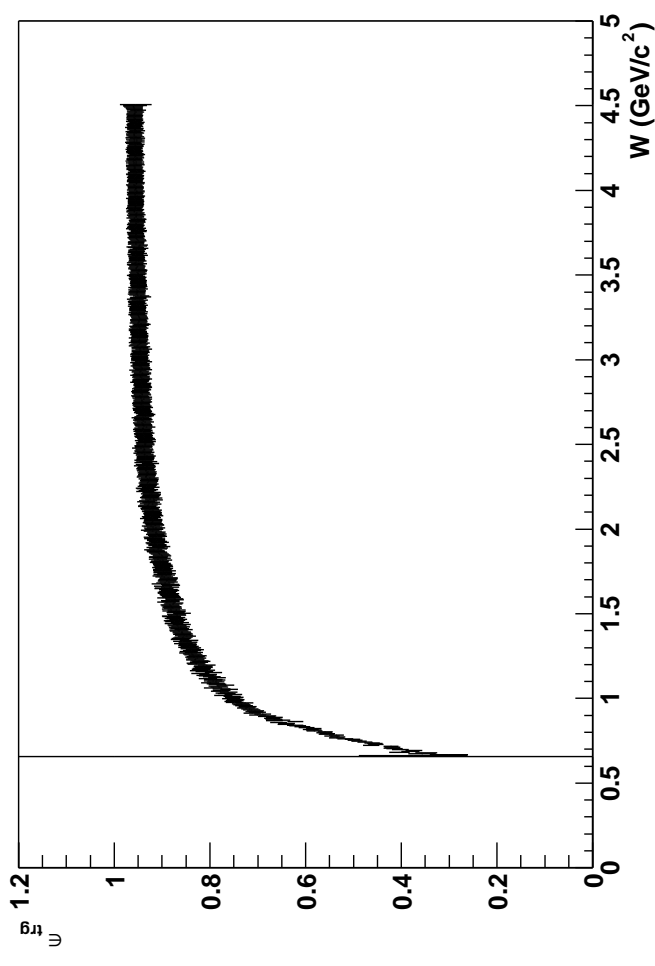
$ee \rightarrow e\pi^+\pi^-$ Efficiencies

$$|\cos\theta^*| < 0.6$$

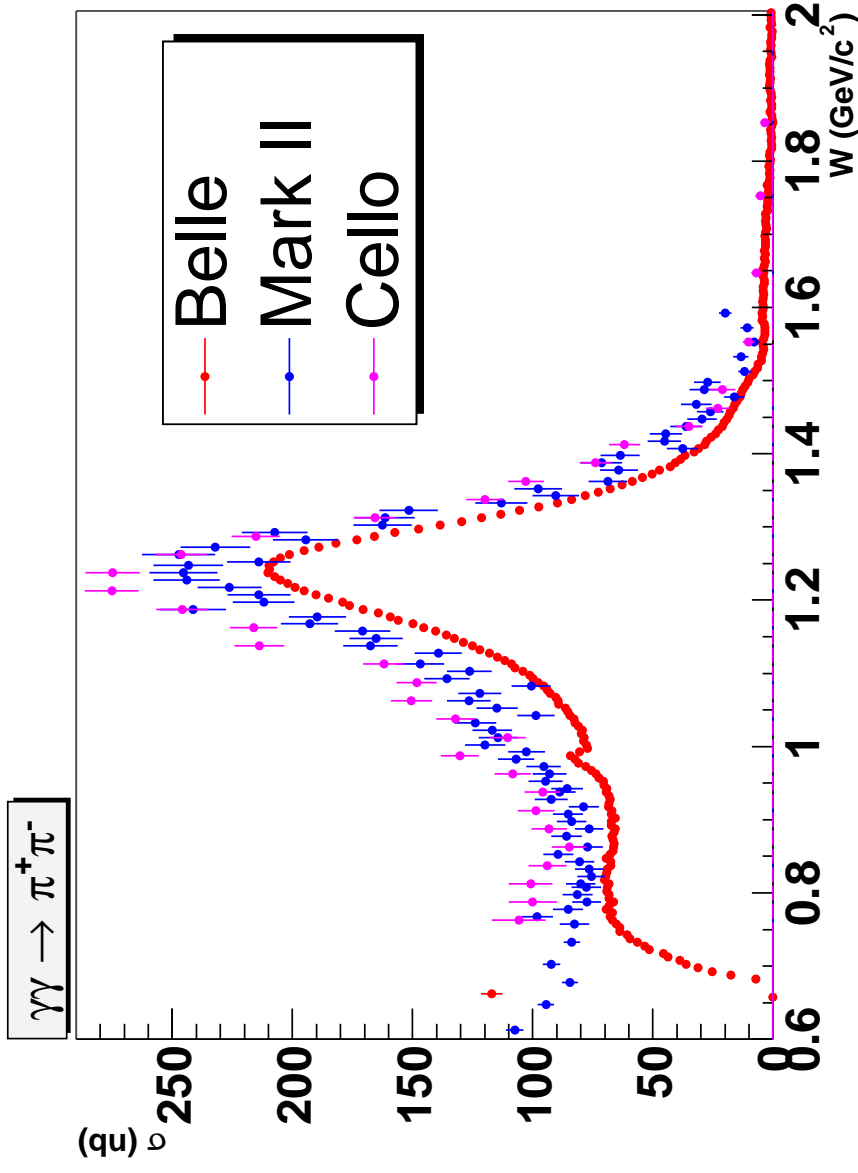
Selection Efficiency



Trigger Efficiency



Cross Section



$$|\cos\theta^*| < 0.6$$

15%程度のずれ

Trigger Effi.?

$f_0(980)$

Fitting

$f_0(980)$ のフィットには、次の効果を考慮に入れる必要がある:

- $W > 2M_K$ では $\gamma\gamma \rightarrow K\bar{K}$ 反応
- $W = 2M_K$ は $f_0(980)$ のピーク構造の内側にある。
- continuum と $f_0(980)$ の干渉

\Rightarrow asymmetric Breit-Wigner amplitude

Asymmetric Breit-Wigner Function

$$M = \frac{\sqrt{S}\Gamma}{M^2 - W^2 - iM(\Gamma + \Gamma_{K\bar{K}})}$$

$$\Gamma_{K\bar{K}} = \begin{cases} g_K \sqrt{\frac{1}{4}W^2 - M_K^2} & \left(\frac{W}{2} - M_K \geq 0\right) \\ ig_K \sqrt{M_K^2 - \frac{1}{4}W^2} & \left(\frac{W}{2} - M_K < 0\right) \end{cases}$$

$$g_K = r g_\pi, \quad g_\pi = \frac{\Gamma}{\sqrt{\frac{1}{4}M^2 - M_\pi^2}}$$

M : $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ の振幅

S : Scale factor related with the cross section

M_π, M_K, M : それぞれ $\pi, K, f_0(980)$ の質量

Γ : $f_0(980) \rightarrow \pi^+\pi^-$ の崩壊幅

$\Gamma_{K\bar{K}}$: $f_0(980) \rightarrow K^+K^-$ の崩壊幅

g_π, g_K : それぞれ π, K の結合定数の二乗

Fitting Function: $\Delta N = \Delta N_{BG} + \Delta N_R$

$$\Delta N_{BG} = C_0 + C_1 W + C_2 W^2 + C_3 W^3$$

$$\Delta N_R = \sigma_R \epsilon \epsilon_{\text{trg}} \frac{dL}{dW} dW \int L dt$$

$$\sigma_R = |\mathcal{M}_{J0} + \mathcal{M} e^{i\phi}|^2, \quad \mathcal{M}_{J0} = \sqrt{\frac{\Delta N_{J0}}{\epsilon \epsilon_{\text{trg}} \frac{dL}{dW} dW \int L dt}}$$

$\epsilon, \epsilon_{\text{trg}}$: Selection and trigger efficiencies

$\frac{dL}{dW}$: Two-photon Luminosity function

dW : bin width

$\int L dt$: 積分 luminosity

\mathcal{M}_{J0} : ヘリシティ $\lambda = 0$ の $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ continuum の振幅

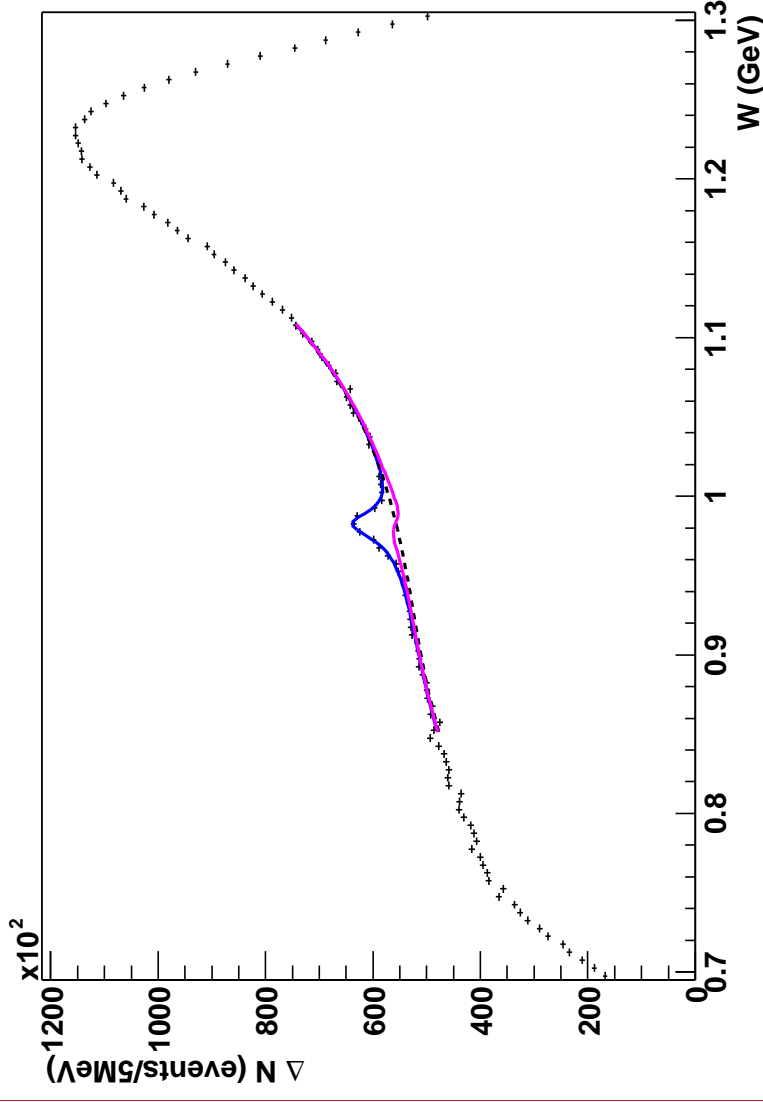
ϕ : 干渉の位相

Fitting Parameters: $C_0, C_1, C_2, C_3, S, M, \Gamma, r_g, \Delta N_{J0}, \phi$

ϕ は 0 または π のどちらかをとるように固定した。

結果

$$\frac{\chi^2}{n} = 0.60$$



Parameters	Value	Stat. Err.
S (nb · GeV ³)	0.361	+0.198 -0.033
M (MeV)	983.4	+1.0 -1.5
Γ (MeV)	21.4	+1.0 -1.9
r_g	0.0	±2.28
ΔN_{J0} (events/5MeV)	136.5	+101.2 -72.2
ϕ (rad)	0	

$\Gamma_{\gamma\gamma\mathcal{B}}$

$$\Gamma_{\gamma\gamma\mathcal{B}} = \frac{S}{8\pi(2J+1)F} = 61.6^{+16.8}_{-2.8} \text{ eV}$$

S : Fitting parameter

J : Spin of the resonance

F : Fraction of the cross section from the resonance

$J = 0$, $F = 0.6$ for $f_0(980)$

Systematic Errors of $\Gamma_{\gamma\gamma\mathcal{B}}$

Tracking Efficiency	4 %
Trigger Efficiency and $\mu\mu$ Background	$+6_{-10}$ %
K/π Separation	1 %
Luminosity Function	5 %
Integrated Luminosity	1 %
Total	$+9_{-12}$ %



Function: $\Delta N(\text{pol3}) + \Delta N(f_0(980)) + \Delta N(\eta')$

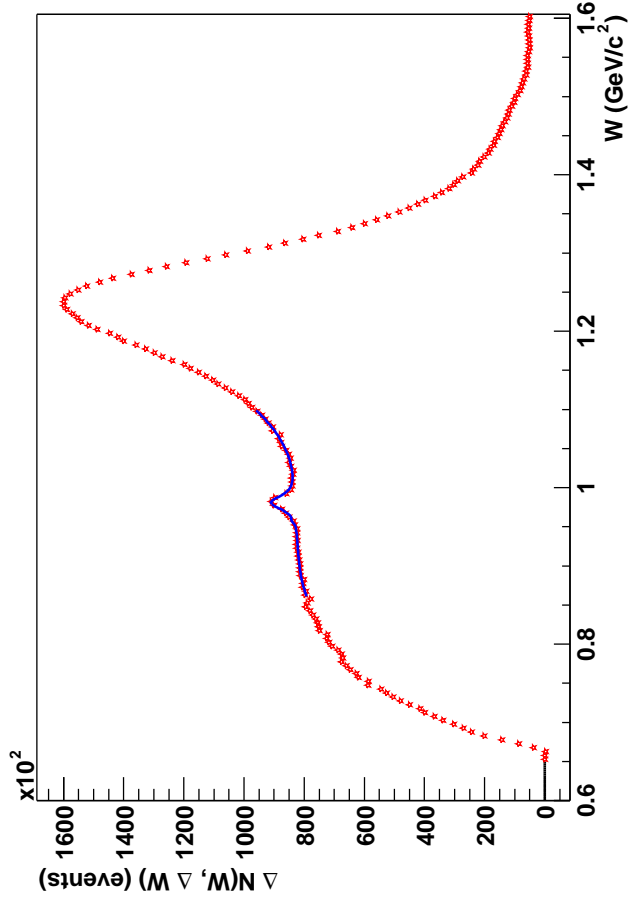
$\Delta N(\text{pol3})$: Background

$\Delta N(f_0(980))$: the $f_0(980)$ resonance peak

$\Delta N(\eta')$: η' , gaussian.

干渉項は無視した。

干渉項を考慮に入れた場合も、無視した時の結果から計算できる



$$M = 0.95778 \text{ GeV}/c^2$$

$$\Gamma = 2.3 \times 10^{-3} \text{ GeV}/c^2$$

$$\Gamma_{\gamma\gamma} = 4.28 \pm 0.19 \text{ GeV}/c^2$$



743 events @ 90%CL

$$B = \frac{\sigma M^2 \Gamma}{8\pi(2J+1)F\Gamma_{\gamma\gamma}} = 3.2 \times 10^{-5} @ 90\% CL$$

$J = 0$: spin of η'

$F = 0.6$: constant of angular acceptance

$$\sigma = \frac{N}{\epsilon_{\text{trg}} \frac{dL}{dW} \int L dt} : \text{Cross Section of } \eta'$$

まとめ

$$M = 983.4^{+1.0}_{-1.5} \text{ MeV}, \Gamma = 21.4^{+1.0}_{-1.9} \text{ MeV}$$

$$\Gamma_{\gamma\gamma}(f_0(980)) \mathcal{B}(f_0(980) \rightarrow \pi^+\pi^-) \\ = 61.6^{+16.8}_{-2.8}(\text{stat.})^{+5.5}_{-7.4}(\text{syst.}) \text{ eV}$$

$$\text{PDG: } \Gamma_{\gamma\gamma}(f_0(980)) = (0.39^{+0.10}_{-0.13}) \times 10^3 \text{ eV}$$

$\mathcal{B} \approx 0.2$: 一致

しかし、PDGでは、 $\mathcal{B} \approx 0.5$ と仮定している。

$$\mathcal{B}(\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-) = 3.2 \times 10^{-5}$$