

Belle実験

実験屋から理論家への期待・要望

宮林謙吉(奈良女大理)
「ストレンジネス核物理」研究会
@熱海 2009 Feb. 28th

研究会「多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態」
“Homework” discussionでのスライド(2008年12月6日・7日)

Home Works for Theorists

- So far works are done mainly for interpreting the observed phenomena. But, we need more predictions.

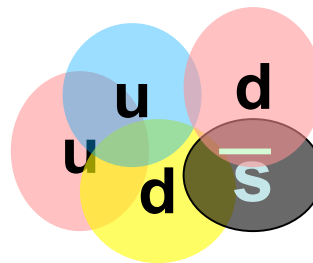
実験屋からも「何をpredictionすれば測定可能なのか？」
という、“入れ知恵”をせんかい、ということでしょう。

風変わり(エキゾチック)なハドロン

$q\bar{q}$ (メソン)、 qqq (バリオン)でないものも可能性あり。

ペンタクォーク:

e.g. an $S=+1$ バリオン

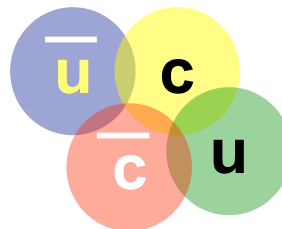


グルーボール:

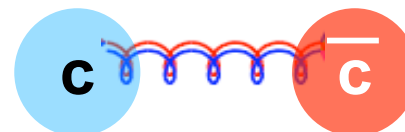
gluon-gluon color singlet states



テトラクォーク:



$q\bar{q}$ -gluonハイブリッド



構成要素としてcやbを含むと

- 軽いクォーク(u,d,s)は混ざる場合があるが

例:

$$\begin{aligned} f' &= \psi_8 \cos \theta - \psi_1 \sin \theta && \rightarrow \eta && \psi_8 &= \frac{1}{\sqrt{6}}(u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}) \\ f &= \psi_8 \sin \theta + \psi_1 \cos \theta && \rightarrow \eta' && \psi_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}}(u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}) \end{aligned}$$

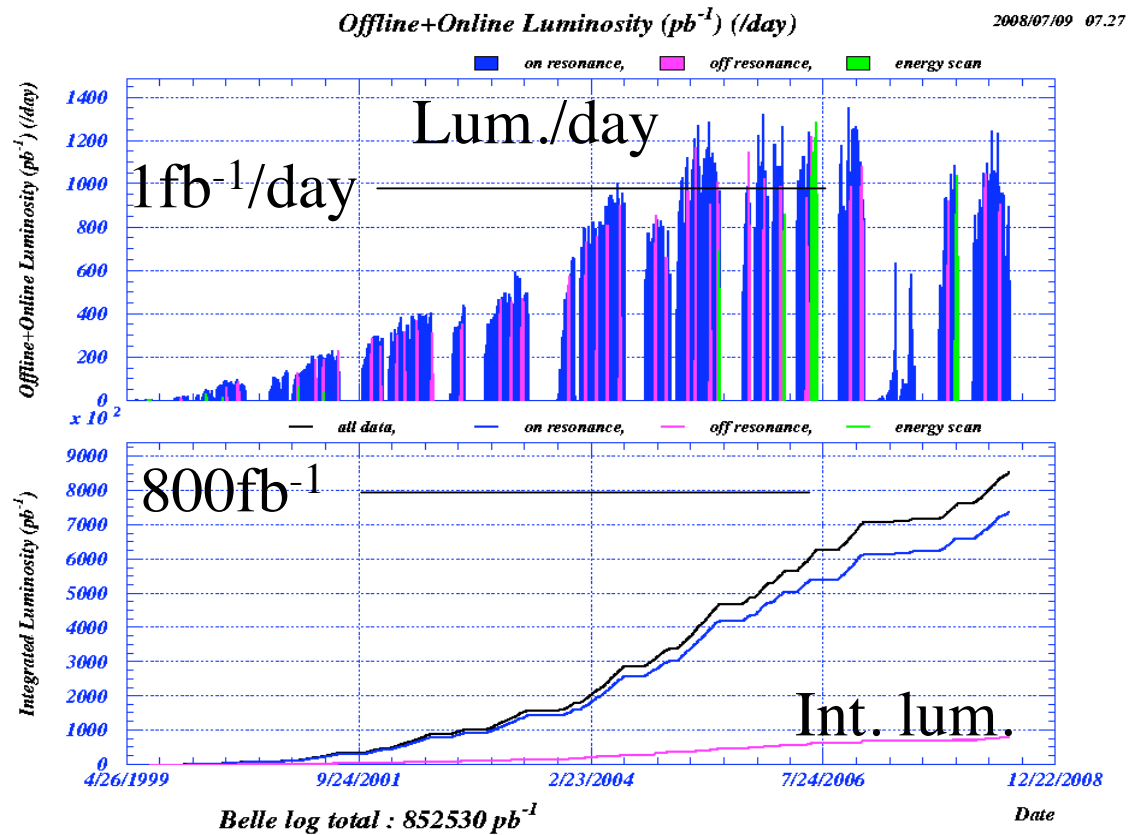
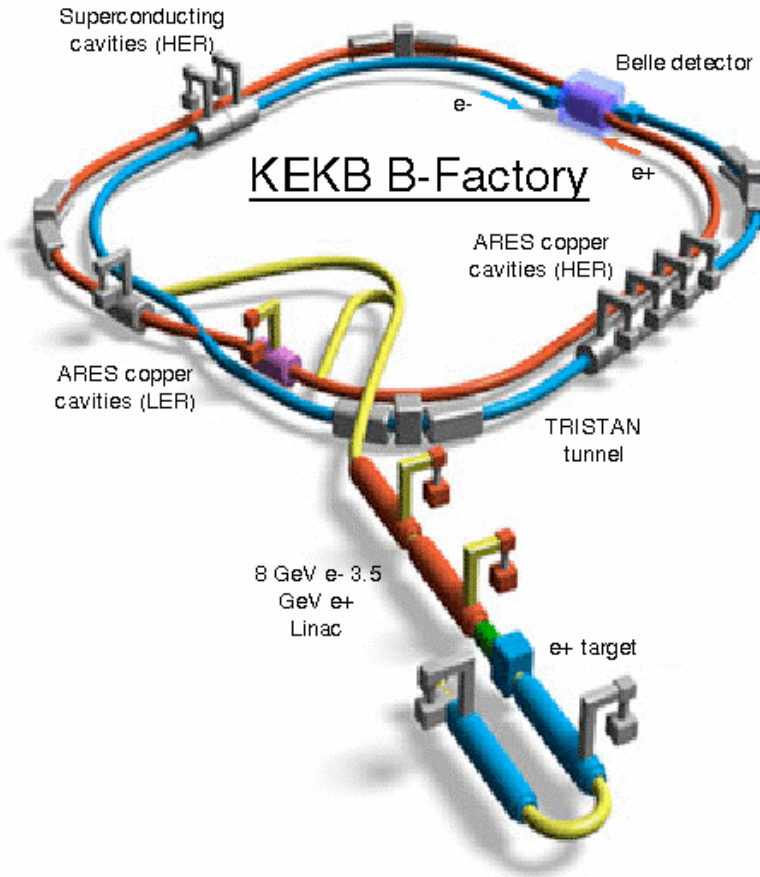
重いクォーク($M_c \sim 1.5\text{GeV}$ 、 $M_b \sim 5\text{GeV}$)なので混ざらない。

- 特に $c\bar{c}$ の場合、 J/ψ ($c\bar{c}$ の1S束縛状態)や ψ' (2S束縛状態)は e^+e^- や $\mu^+ \mu^-$ に崩壊してくれるので、実験データ中に明瞭な信号を得やすい。 $b\bar{b}$ の場合も、 $\Upsilon(1S)$ 、 $\Upsilon(2S)$ 、 $\Upsilon(3S)$ は $\mu^+ \mu^-$ への崩壊が使える。

Outline

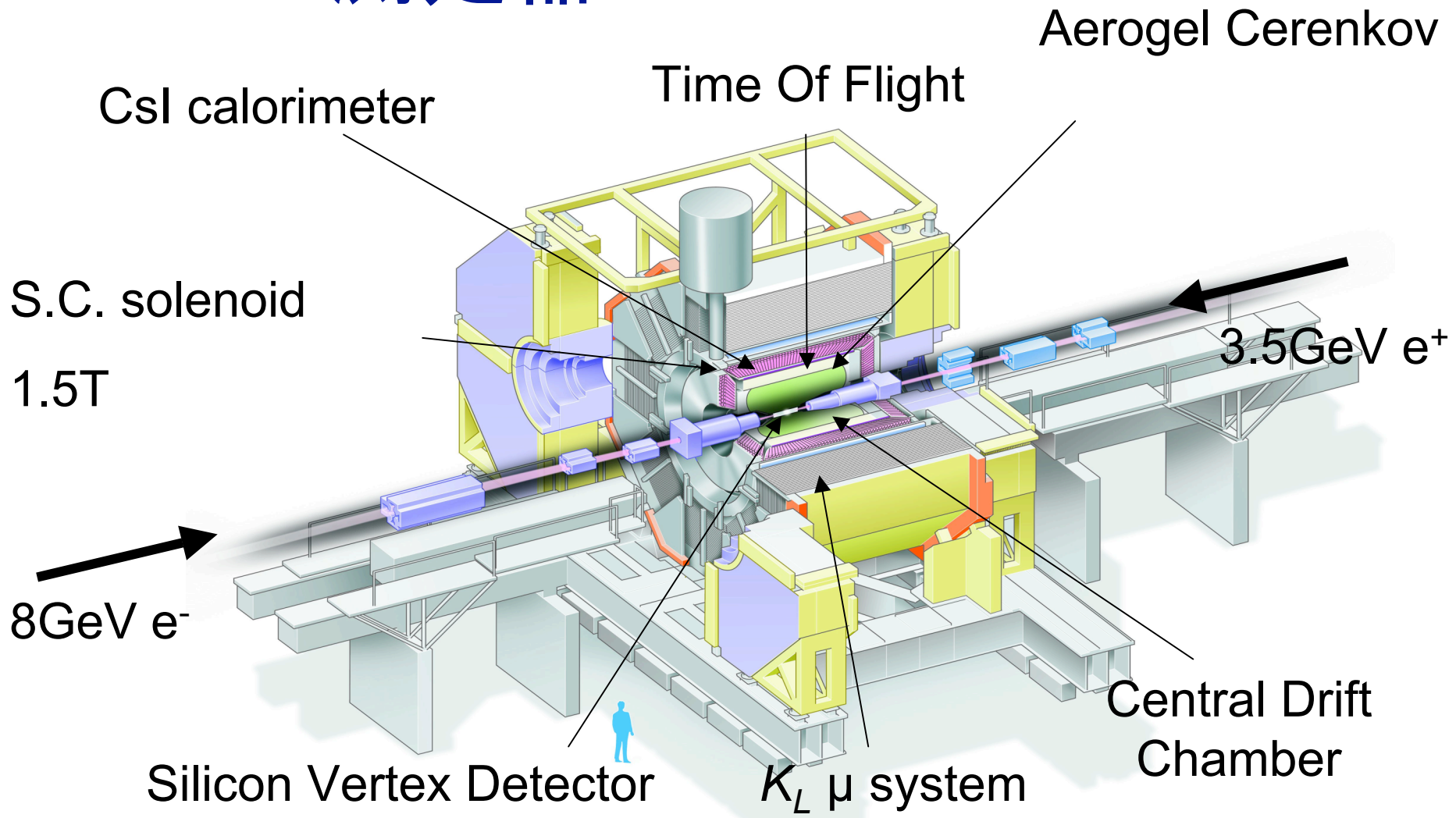
- X(3872)を軸に、思うことあれこれ
- Initial State RadiationにおけるY粒子
- Bottomonium(-like)な粒子の話題
 - $Y_b \rightarrow \Upsilon(nS)\pi\pi$
- まとめ

KEKB 加速器



8GeV(e⁻)X3.5GeV(e⁺)、世界最高のルミノシティ(輝度)
 これまでに出版された結果は $\Upsilon(4S):605\text{fb}^{-1}=660\text{M } B\bar{B}$ 、
 $\Upsilon(5S):22\text{fb}^{-1}$ + エネルギースキャンのデータを解析

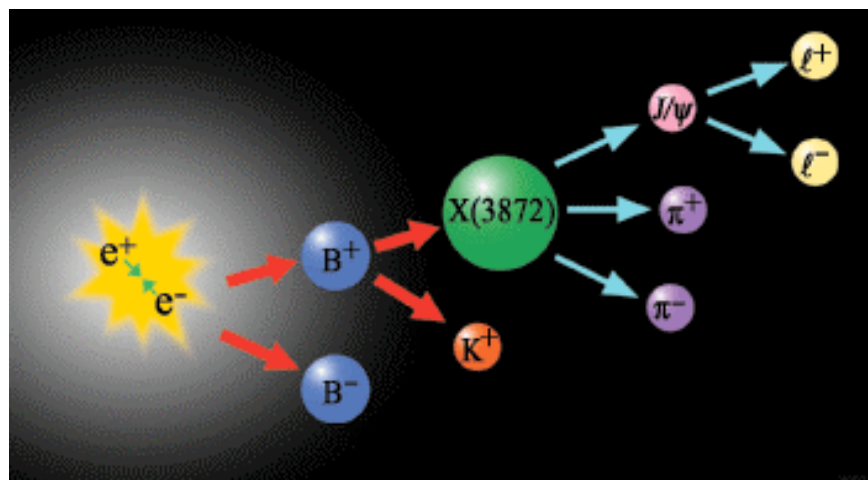
Belle測定器



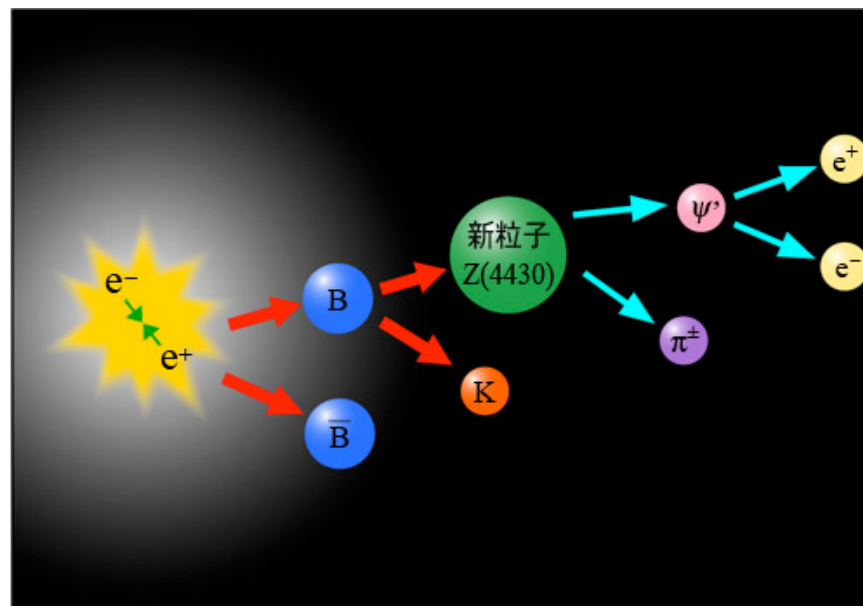
汎用で粒子識別能力に優れた高分解能スペクトロメーター

X(3872)を軸に、思うことあれこれ

復習: $c\bar{c}$ を含むエキゾチックハドロン をB中間子崩壊中に探す



X(3872)は
 $B \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^- K$ 崩壊で
 $J/\psi \pi^+\pi^-$ の質量分布に
ピークとして出現

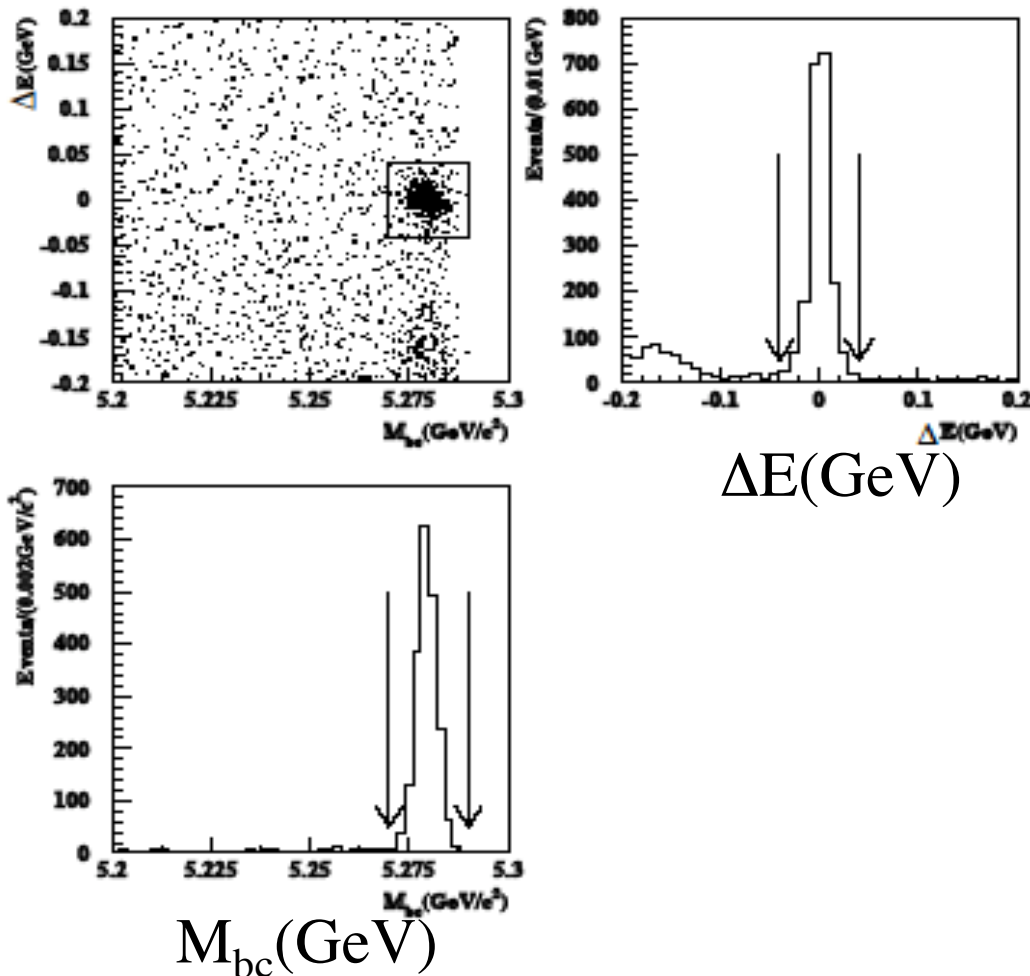


荷電テトラクォークの中には、チャーモニウムと荷電パイ中間子に崩壊するものがあるのでは？

$B \rightarrow$ チャーモニウム $\pi^\pm K$ で
チャーモニウム π^\pm の質量分布にピークを探そう！

B中間子崩壊のFull Reconstruction

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



Using $\Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$ kinematics

$$M_{bc} = \{ (E_{CM}/2)^2 - (\sum P_i)^2 \}^{1/2}$$

Signal peaks at B mass
(5.28 GeV)

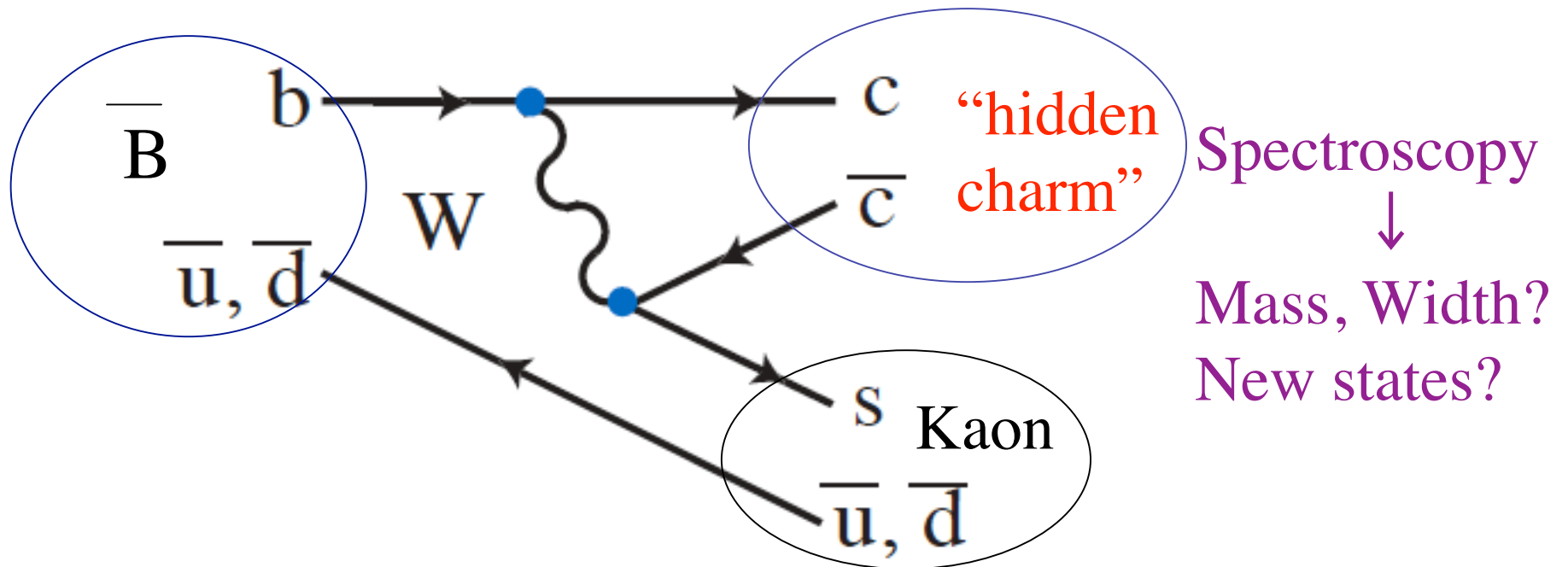
$$\Delta E = \sum E_i - E_{CM}/2$$

Signal peaks at 0.

Charmonium(的) states in B decay

B decays as a source of
“hidden charm”(charm anti-charm)

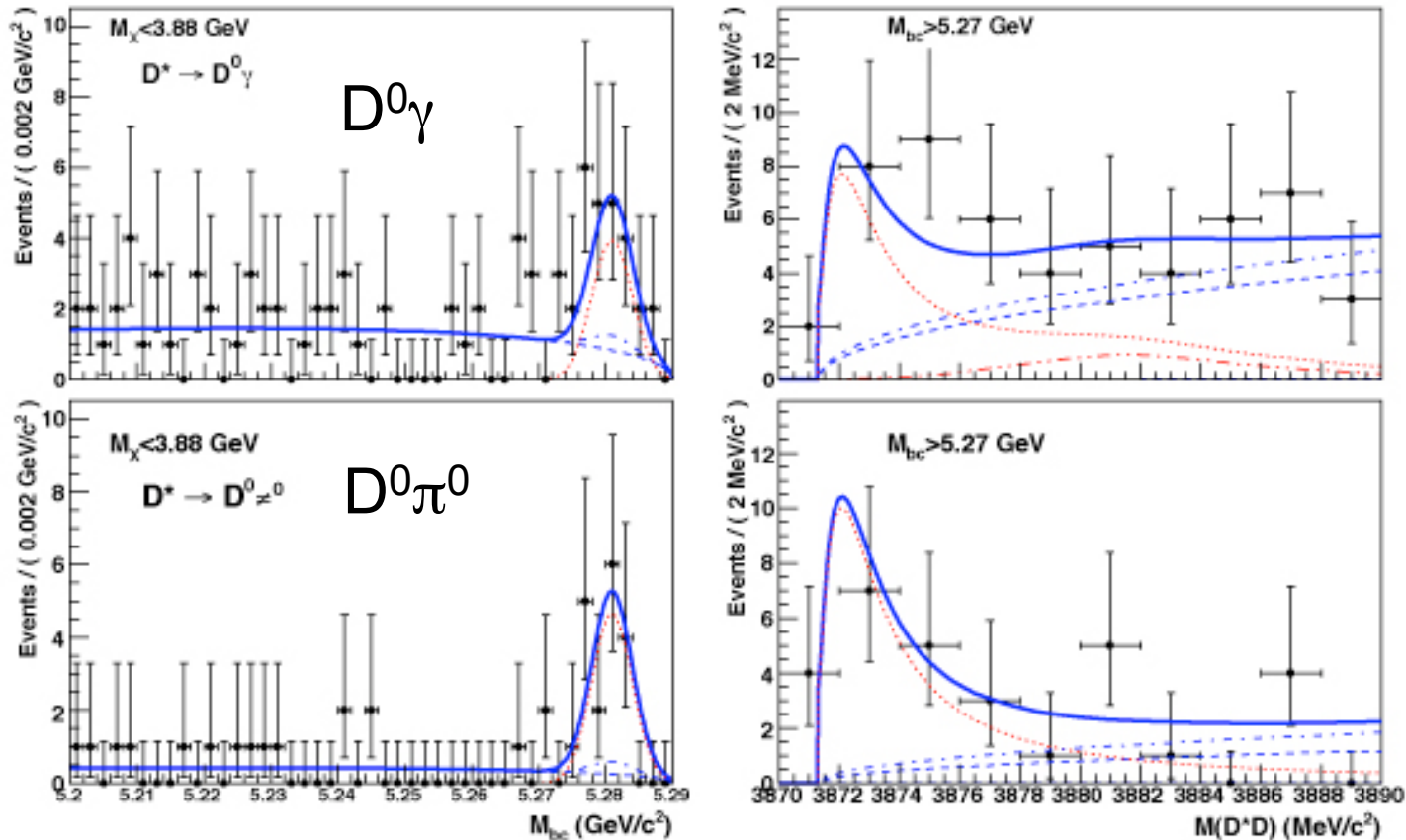
Cabbibo-favored diagram (V_{cb} and V_{cs}) \rightarrow commonly produced!



From Tom Browder (1)

- X(3872)
 - The shape of the expected $D^*\bar{D}$ distribution is of interest.
 - Predictions for the ratio of X(3872) BFs into different modes.
 - Does these ratios of BFs reveal something about the structure of the X(3872)? (i.e. what fraction is $c\bar{c}$ and what fraction is molecule).

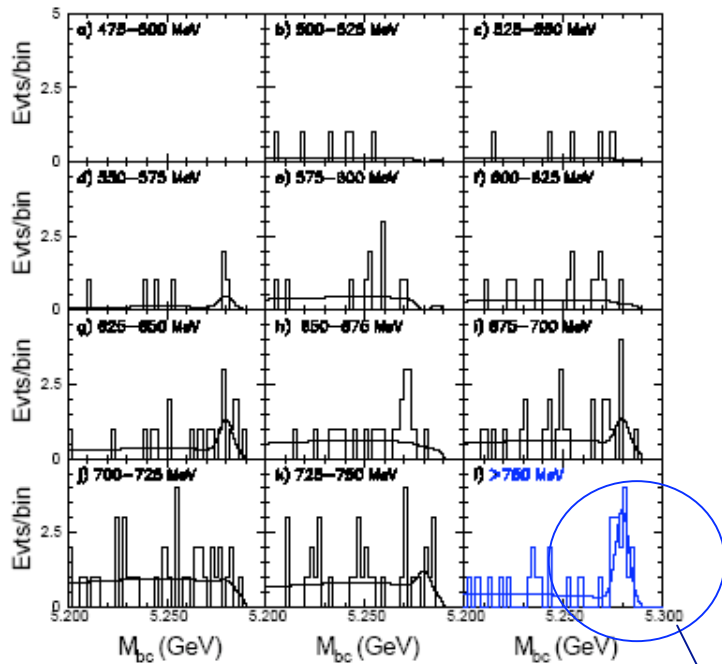
$B \rightarrow D^{*0} \overline{D^0} K$ with 660M $B\overline{B}$



位相空間小→質量分解能効かなくなる。
分布の幅=X(3872)の幅? Other effects?

arXiv:0810.0358

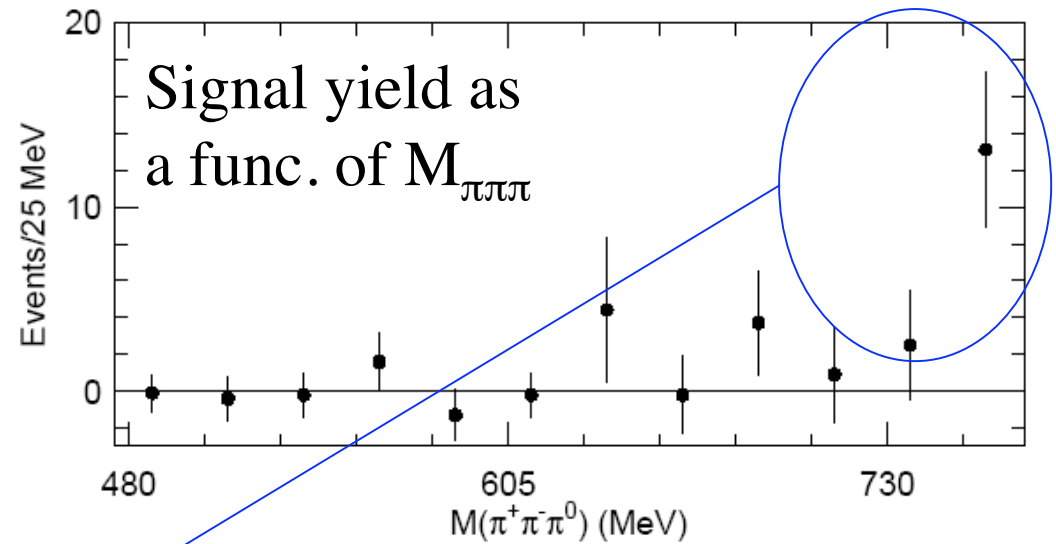
$X(3872) \rightarrow 2\pi J/\psi$ and $3\pi J/\psi$



M_{bc} in each $M_{J/\psi\omega}$ bin

12.4 ± 4.2 events

A virtual ω ?



Signal yield as
a func. of $M_{\pi\pi\pi}$

Belle 275M $B\bar{B}$,
hep-ex/0505037

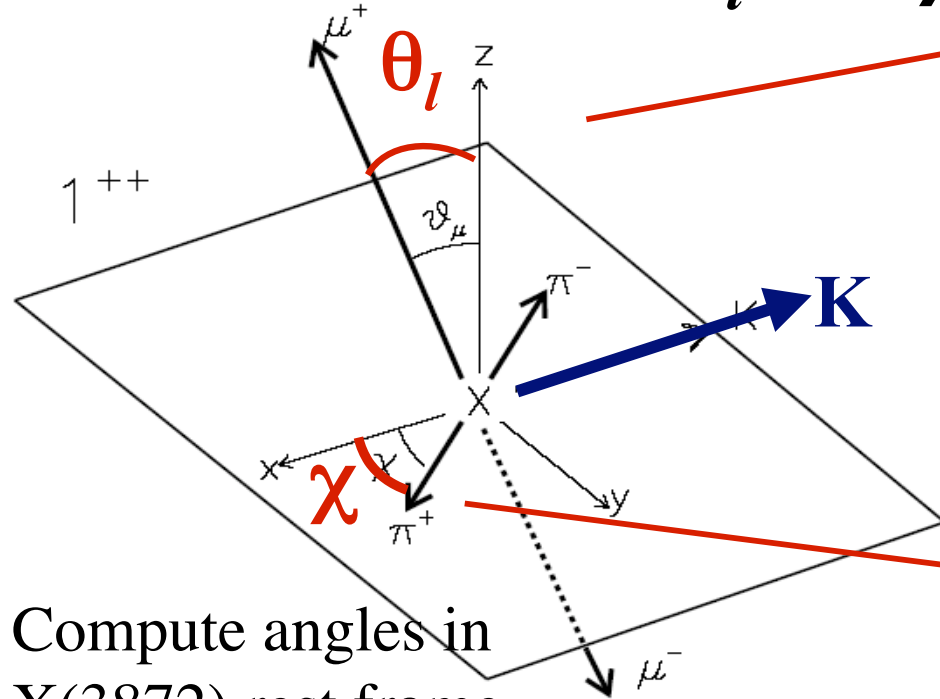
$$\frac{\text{Br}(X \rightarrow 3\pi J/\psi)}{\text{Br}(X \rightarrow 2\pi J/\psi)} = 1.0 \pm 0.5$$

2 $\pi J/\psi$ に崩壊するものと3 $\pi J/\psi$ に崩壊するものが縮退? \rightarrow 3 $\pi J/\psi$ で J^{PC} を決定して2 $\pi J/\psi$ の場合と比較できる?

Rev. X(3872), how about 1^{++} ?

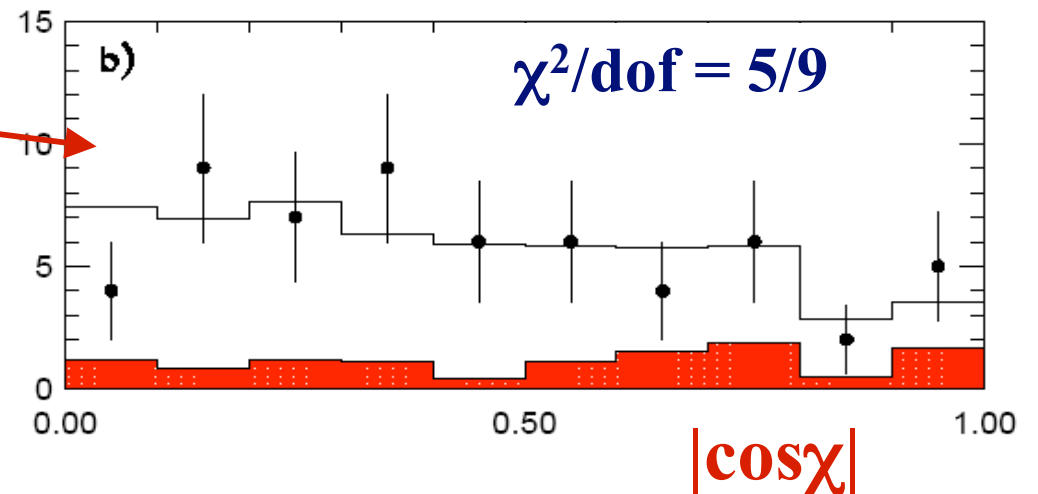
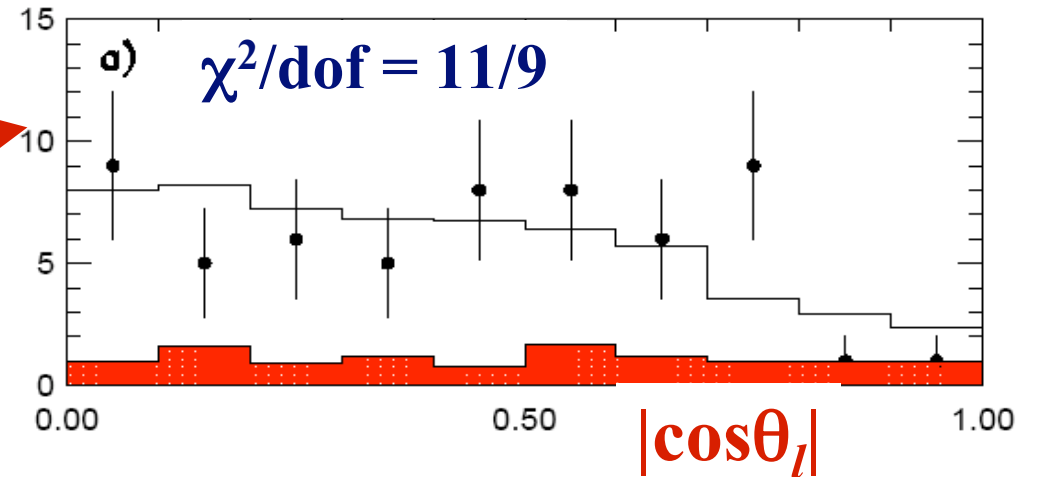
これにはRosnerたちのformalismが役に立った。

$$dN/d\cos\theta d\cos\chi \propto \sin^2\theta_l \sin^2\chi$$



Compute angles in $X(3872)$ rest frame.

1^{++} looks OK!

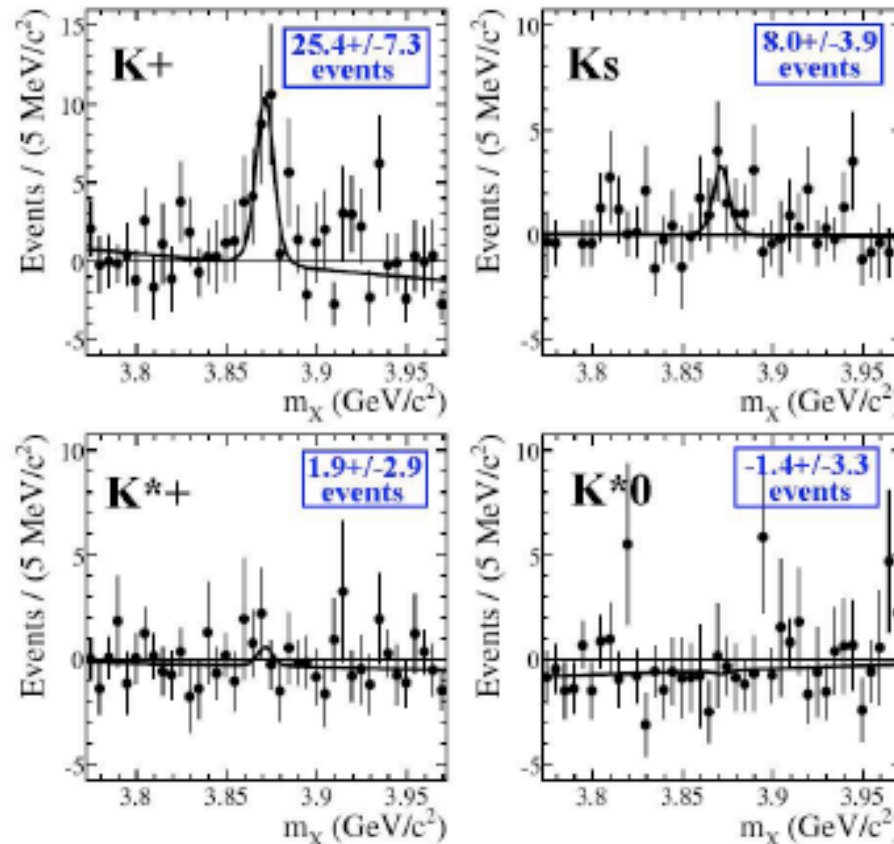


BaBar's report → Now Belle analysis on going.

X(3872) → $\psi(2S)\gamma$ Results

- First evidence for $X(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma$ ($\sim 3.5\sigma$ significance)
- Measure:
 $\text{BF}(B^+ \rightarrow X(3872) K^+) \times$
 $(X(3872) \rightarrow \psi(2S)\gamma) =$
 $(9.5 \pm 2.7 \pm 0.6) \times 10^{-6}$
- Set limits on other modes

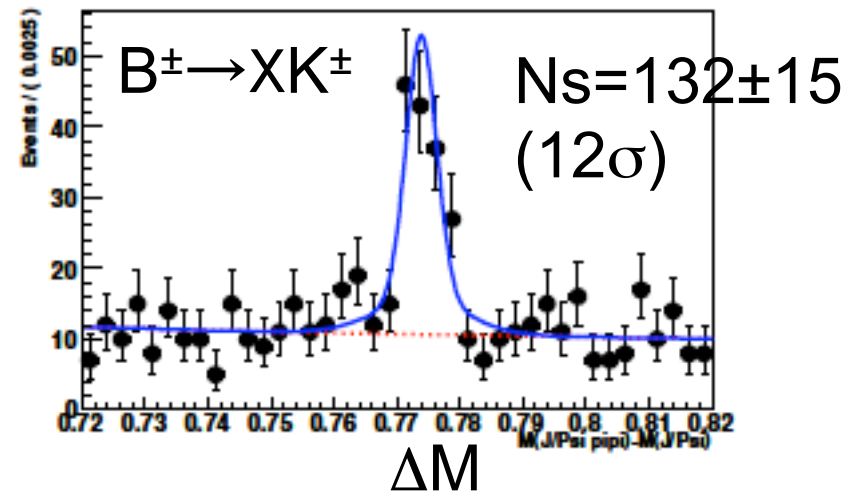
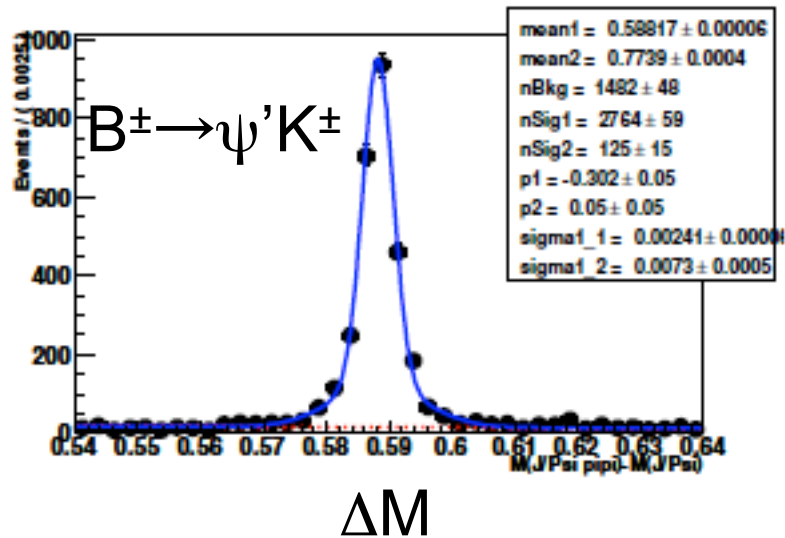
3x larger Br.
w.r.t $J/\psi \gamma$.



これも、molecule
ならば $\psi'\gamma$ へのbr.
小さいという
predictionに触発
されたようだ。

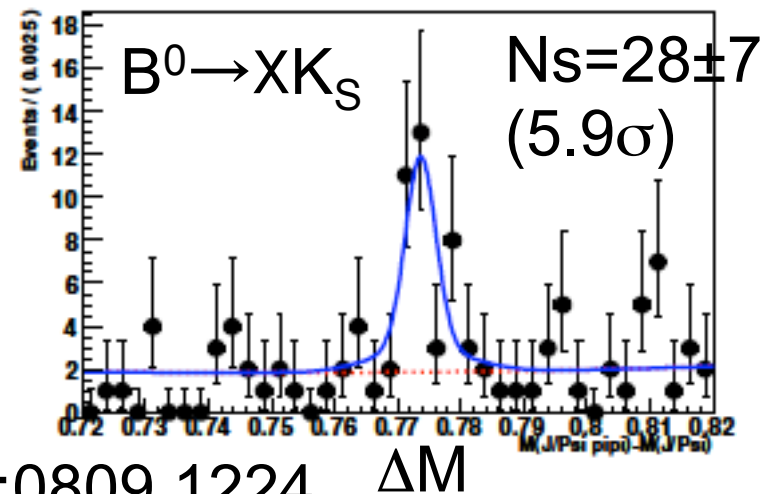


Productionで何かわかることは？



ΔM distributions for ψ' and X are **fitted simultaneously**; detector resolution effect is automatically calibrated by ψ' .

$B^\pm \rightarrow X(3872)K^\pm$ と $B^0 \rightarrow X(3872)K_S$ はほぼ同じ崩壊分岐比。

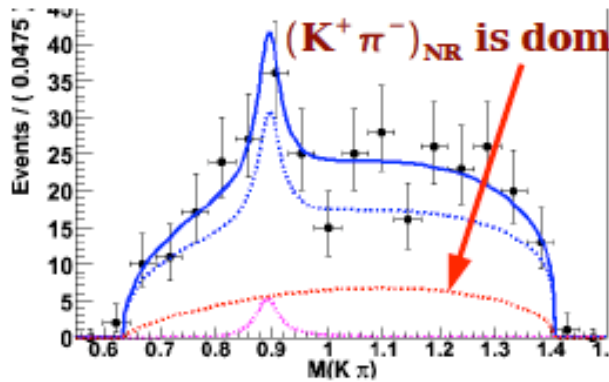
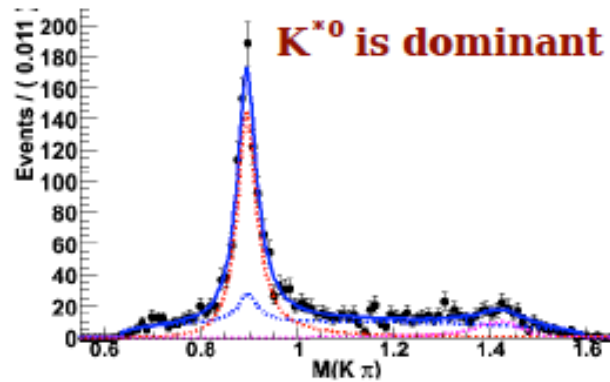
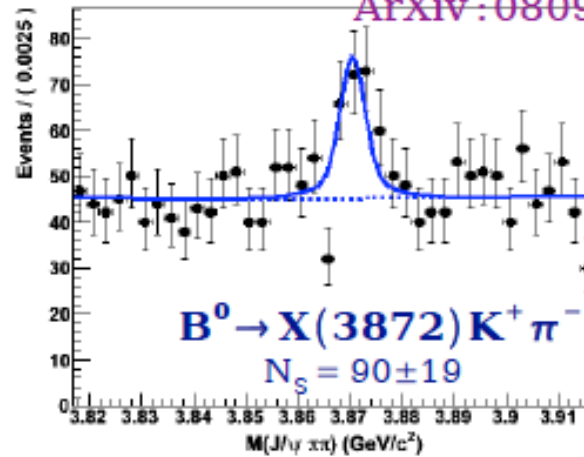
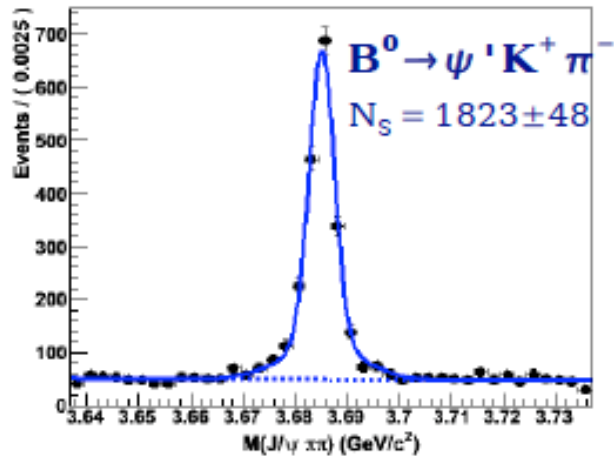


arXiv:0809.1224

$B^0 \rightarrow X(3872)K^+\pi^-$

$B^0 \rightarrow X(3872)K^+\pi^-$, $K^+\pi^-$ is mostly non-resonant (NR)

ArXiv:0809.1224



QWG6にて
K.Trabelsiの
Talkより抜粋。

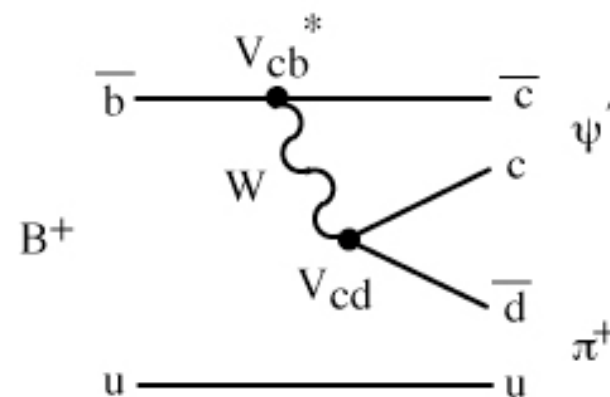
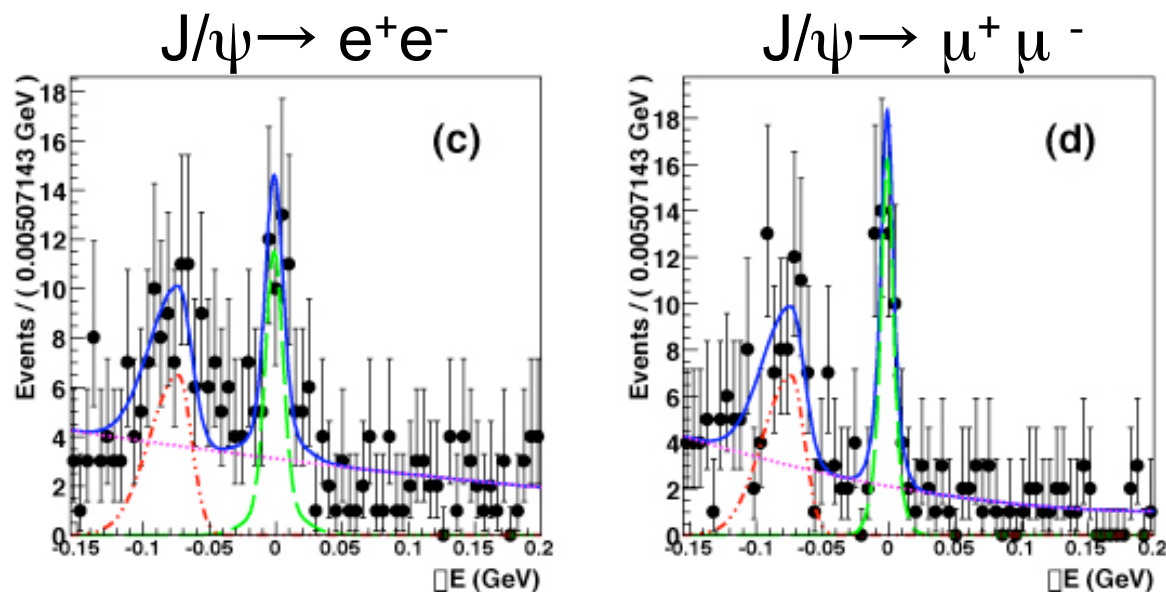
B decay中の生成
にFinal State Int.
が効く場合は、こう
した情報も有用に
ならないか？

$(K^+\pi^-)$ is mostly K^{*0} for $B \rightarrow \text{charmonium} (J/\psi, \psi', \chi_{c1}) K\pi$

$$\text{BR}(B^0 \rightarrow X(3872)(K^+\pi^-)_{\text{NR}}) \times \text{BR}(X \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-) = (8.1 \pm 2.0^{+1.1}_{-1.4}) \times 10^{-6}$$

$$\text{BR}(B^0 \rightarrow X(3872)K^{*0}) \times \text{BR}(X \rightarrow J/\psi \pi^+\pi^-) < 3.4 \times 10^{-6} \text{ (90\% C.L.)}$$

例えば $B \rightarrow X(3872)\pi$ を考える



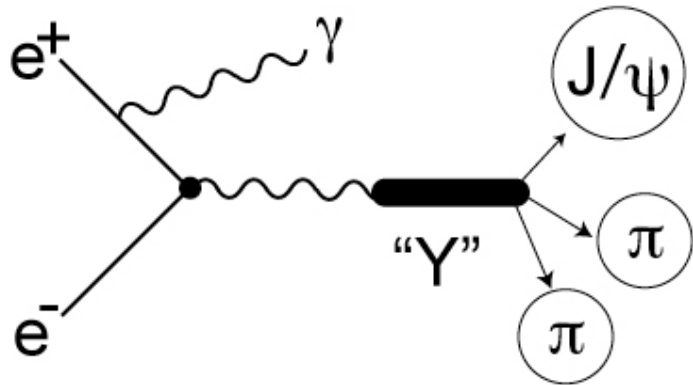
$B^+ \rightarrow \psi' (\rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-) \pi^+$ の信号は見えている(PRD(R)78,051104)。
Mass windowをずらして、 $B^+ \rightarrow X(3872) (\rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-) \pi^+$ の探索は可能。
Final State Interactionが効いて、単純なCabbibo suppressionの予想よりも、tetraquarkやmoleculeといったモデルによっては、大幅にenhanceされる、またはsuppressされる、という見積もりがあれば測定を行う立場にとってはencouraging。

From Tom Browder (2)

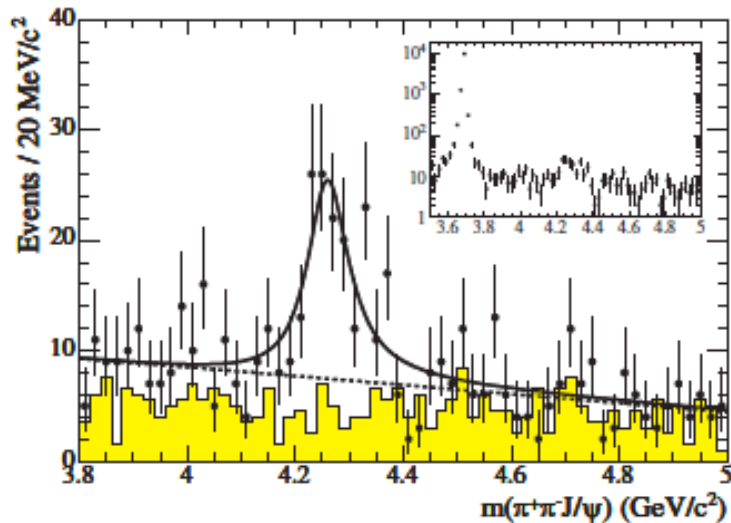
- For other new particles, $Y(3940)$, $Y(4260)$, $Z(4430)$, etc.
 - There is usually only a single decay mode observed.
 - If these are real new particles, we should expect to find other decay modes.
 - We need predictions for ratios of the dominant decay mode to other decay modes.
 - What are these additional modes ?
 - Are we searching for them ?

Initial State Radiationにおける Y粒子

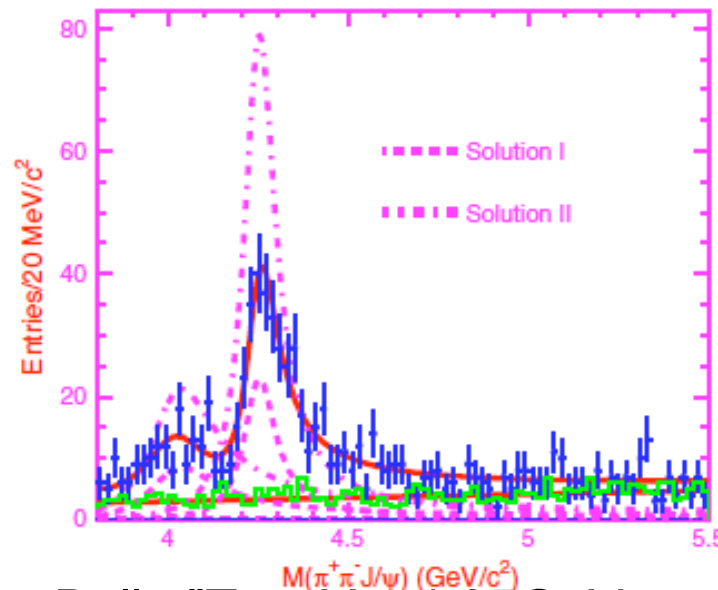
cc̄を含む”Y”粒子



衝突直前の e^+ (または e^-)が光子を放出、有効な衝突エネルギーが下がって生じる反応がある。Radiative return、またはInitial State Radiation (ISR)と呼ばれる。



BaBar: ”Y(4260)”
PRL95,142001



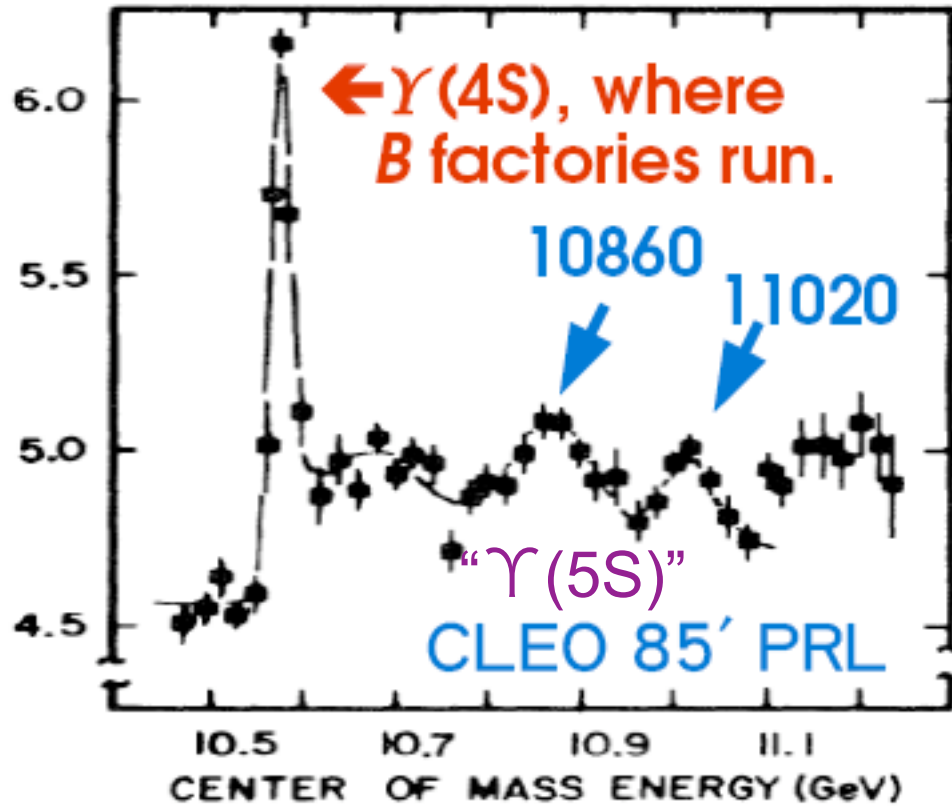
Belle: ”Two Ys, 4.05GeV and 4.25GeV”
PRL99,182004

cc̄を含んで重いのにJ/ψππに崩壊する。こいつらは何者？ Hybridならば、他の崩壊モードは？

Y_b : bクォーク対を含む新しい
ハドロ

$$”\Upsilon(5S)” \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^- \quad (n=1,2,..)$$

ハドロン生成全断面積



重心系エネルギー

$\Upsilon(4S) \rightarrow B^0B^0, B^+B^-$

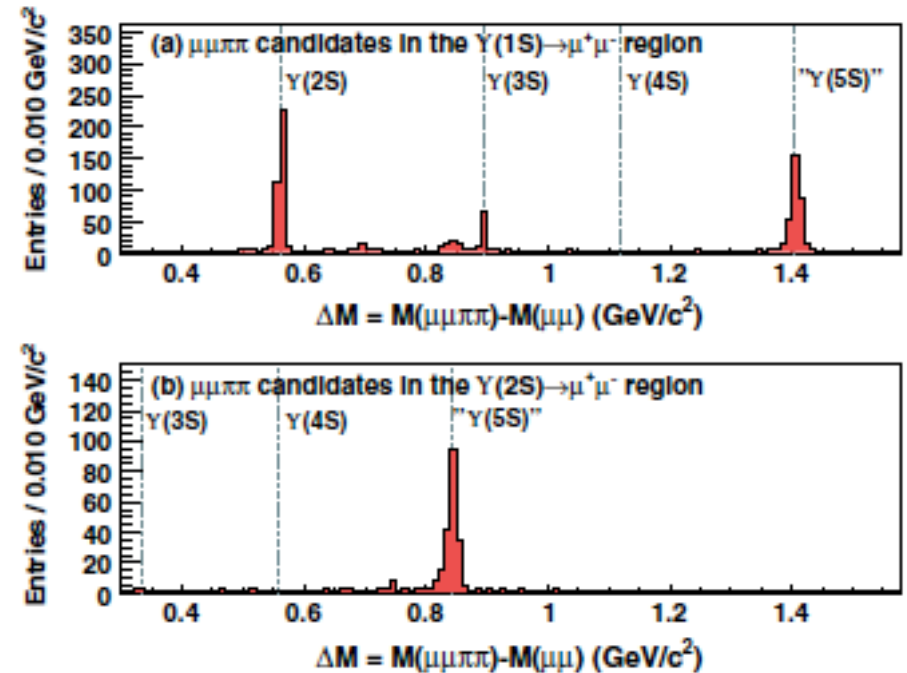
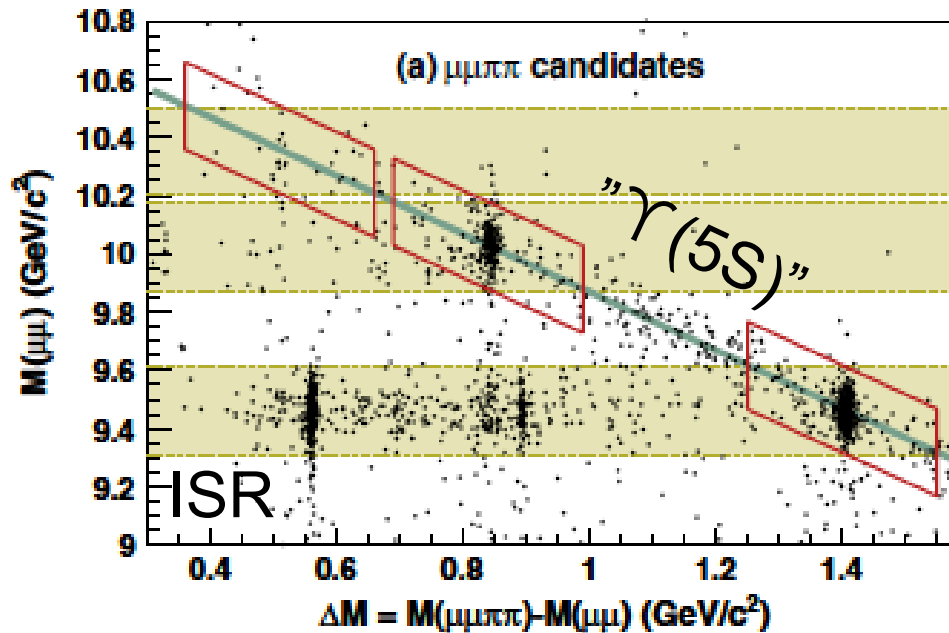
$\Upsilon(5S) \rightarrow B^0B^0, B^+B^-, B_S B_S$ など
 B中間子の類の対生成が支配的で、その他の過程の存在はBファクトリー実験以前にはわかっていなかった。

しかし、Bファクトリーの高統計データにより(→次頁)

” $\Upsilon(5S)$ ” $\rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ (続き)

$\Upsilon(4S)\rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$, $\Upsilon(2S)\pi^+\pi^-$, $\Upsilon(3S)\pi^+\pi^-$ が存在することがわかった(PRD75,071103R)。

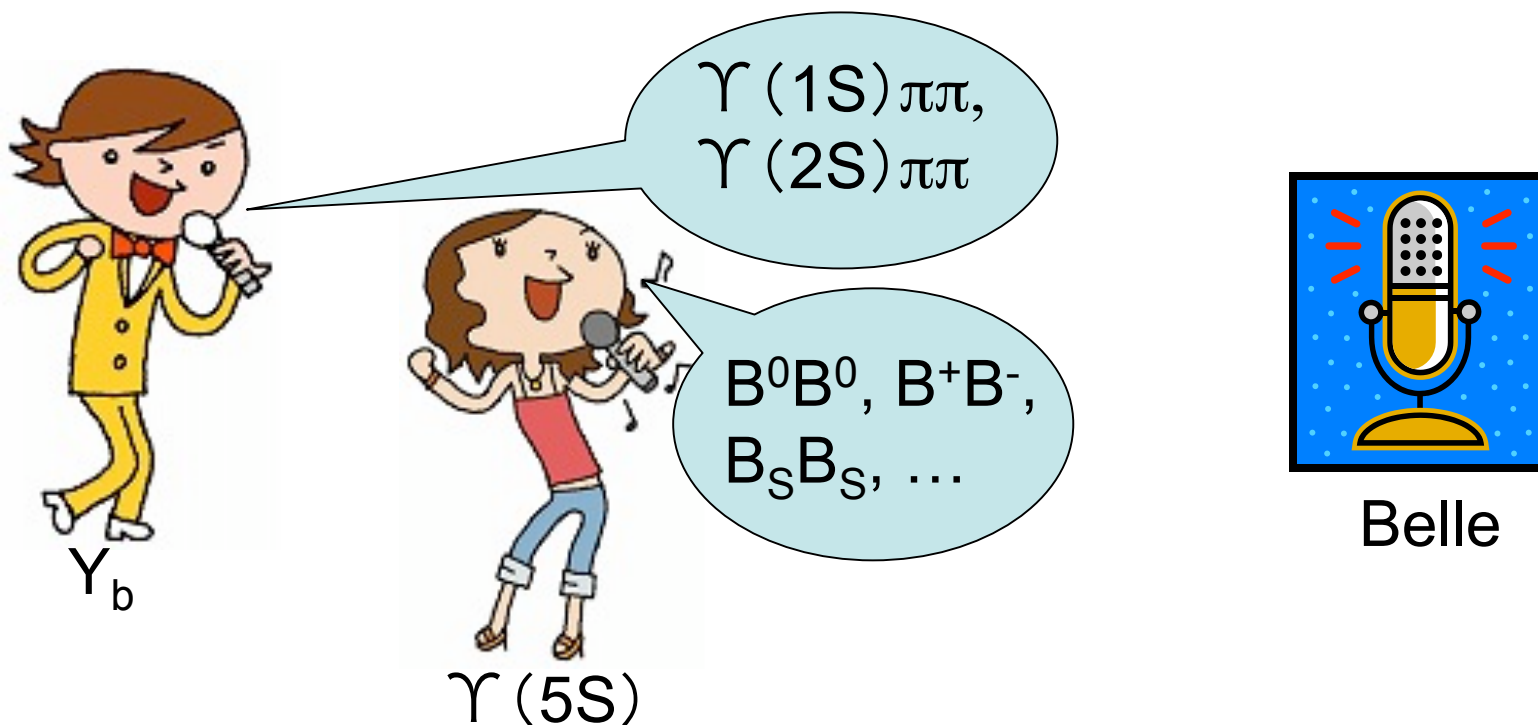
” $\Upsilon(5S)$ ” $\rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ も測定したところ、



” $\Upsilon(5S)$ ” $\rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$, $\Upsilon(2S)\pi^+\pi^-$ は $\Upsilon(4S)$ などの場合とくらべて数十倍も大きい！(PRL100,112002)

これは一体どういうことか？

終状態(=曲目)を $\Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$, $\Upsilon(2S)\pi^+\pi^-$ に限ると、 $\Upsilon(5S)$ ($b\bar{b}$ の束縛状態) とほぼ同じ質量のもう一つの粒子 Y_b が作られて、重なり合っているのでは？
(=ほぼ同じ音程で、その曲だけ得意な演奏者が隠れている?)



重心系エネルギーを10.689GeVの近傍で変えながらデータ収集
(= Y_b と $\Upsilon(5S)$ の音色の違いを調べたい)=エネルギースキャン

エネルギースキャンの結果

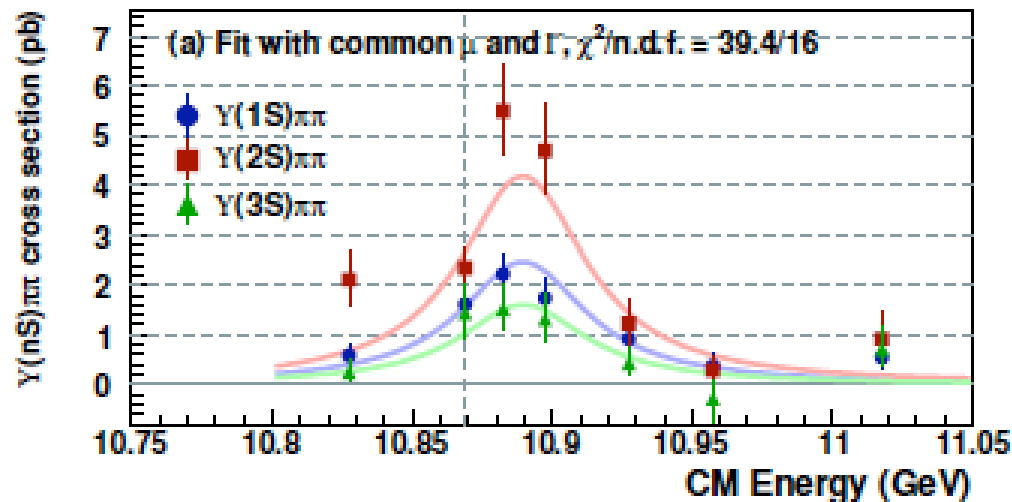
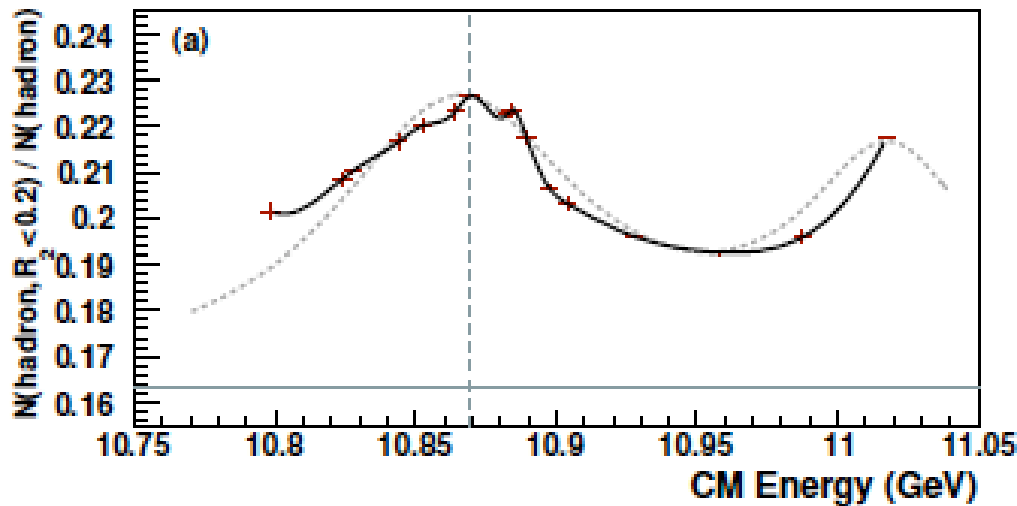
Belle preliminary

$\bar{B}B$ 、 $B_s\bar{B}_s$ など”全曲目”
 既知の $\Upsilon(5S)$ (あるいは
 $\Upsilon(6S)$)データと無矛盾。

$\Upsilon(ns)\pi\pi$ に限ると、ピーク位置と
 幅が既知の Υ と違う！

$M=10889.6\pm 1.8(\text{stat})\pm 1.5(\text{syst})$ MeV
 $\Gamma=54.7+8.5/-7.2(\text{stat})\pm 2.5(\text{syst})$ MeV

Bottomonium-likeなexotic
 hadronの質量、幅、崩壊モードの
 見積もりが早期に出てくれば、run
 のscheduleにフィードバックできる
 かも。



まとめ

- X(3872)
 - 複数の崩壊モードで観測されている唯一のexotic hadron。
 - 複数の崩壊モードの分岐比どうしの比と、構造＝正体をあばく議論を結びつける見積もりが欲しい。
 - B decayにおけるProduction mechanismと構造＝正体をあばく議論を結びつける見積もりが欲しい。
- Z(4430)、Y(4260)、等
 - 発見されたパターン以外の崩壊モードは？
 - 複数の崩壊モードの分岐比どうしの比と、構造＝正体をあばく議論を結びつける見積もりが欲しい。
- Y_b : 質量10889.6 GeVで、 $\Upsilon(nS)\pi\pi$ に崩壊、既知の $\Upsilon(5S)$ とは別物であるとエネルギースキャンで明らかに。
 - Bottomonium-likeなexotic hadronの質量、幅、崩壊モードの見積もりが早期に得られれば、runのscheduleにフィードバックできるかも。