

祝ノーベル賞受賞  
「小林・益川の理論とは？」



# 小林益川理論と実験的証明

2008年10月17日

名古屋大学大学院 理学研究科  
高エネルギー素粒子物理学研究室 (N研)  
名古屋大学タウ・プトン物理研究センター  
飯嶋 徹

名古屋大学グローバルCOE  
「宇宙基礎原理の探求」



Nagoya University  
タウ・レプトン物理研究センター  
Tau Lepton Physics Research Center

# 小林さん。。。。

2005年8月 KEK見学会  
(名大理学部学生+留学生)



サインください。

10月9日(つくば)

2006年12月 CKM国際会議

(中核大学学术交流館)  
写真とって下さい。



握手して下さい。

# 益川さん。。。

ビデオ(NHKニュース、益川さん記者会見)

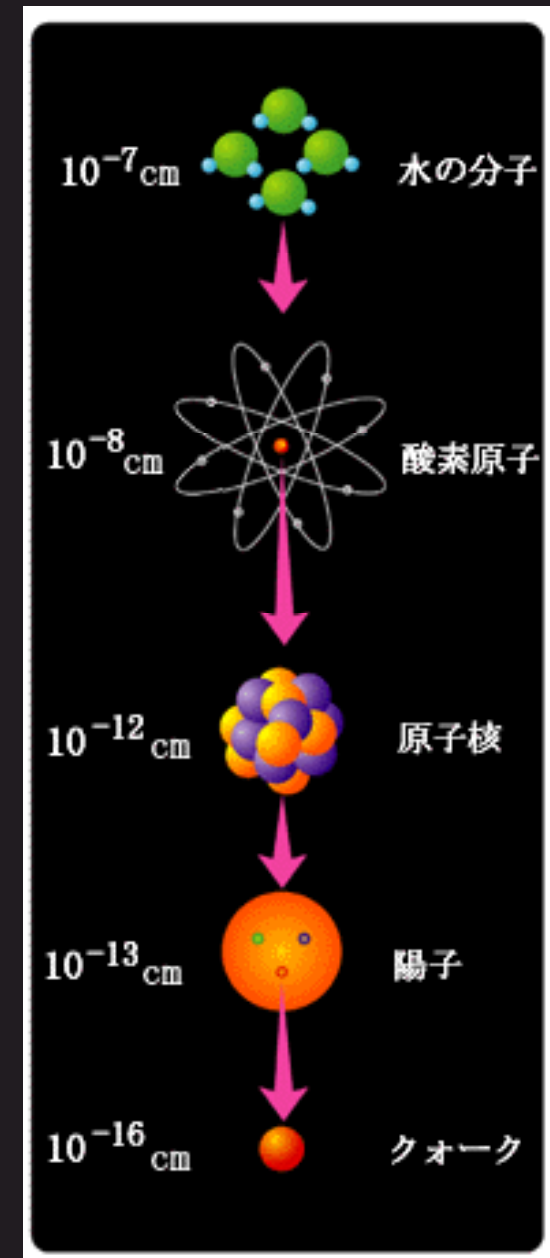
- 大してうれしくない。だって...我々の言ったことが正しいというのは、**2002-03年の実験で確立**した。科学者としてはこれが一番重要なことなんです。
- この実験の内容をお話します。

# 素粒子物理学

- 基本粒子は何か？
- 基本法則は何か？

宇宙  $\longleftrightarrow$  原子  $\longleftrightarrow$  基本粒子  
百億光年      1億分の1センチ      <10兆分の1センチ

素粒子研究によって初期  
宇宙の発展が理解できる。



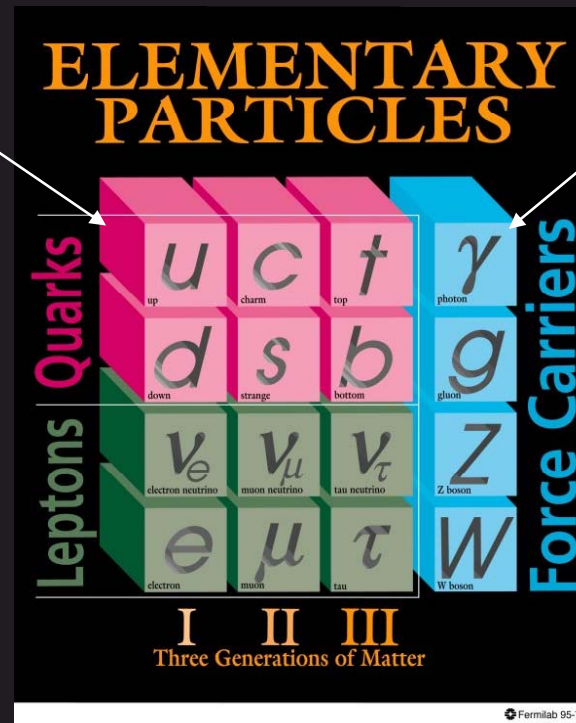
# 現在の素粒子標準理論

物質構成粒子  
(フェルミオン)

クォーク

レプトン

3世代構造



力を媒介する粒子  
(ボゾン)

電磁相互作用

強い相互作用

弱い相互作用

## 反粒子の存在

$$q \Leftrightarrow \bar{q}, \quad e^- \Leftrightarrow e^+, \quad \nu_e \Leftrightarrow \bar{\nu}_e, \quad \dots$$

全ての素粒子には、質量や寿命などが同じだが、  
符号の異なる相棒(反粒子)が存在する。

# 反粒子とは？

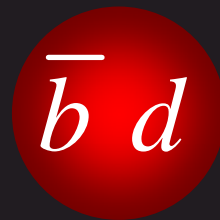
- 全ての素粒子には、質量や寿命などが同じだが、符号の異なる相棒(反粒子)が存在する。

アンダーソンによる陽電子発見(1932)

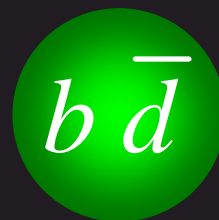
- 例

電子  $e^-$   $\longleftrightarrow$   $e^+$  陽電子

クォーク  $q$   $\longleftrightarrow$   $\bar{q}$  反クォーク

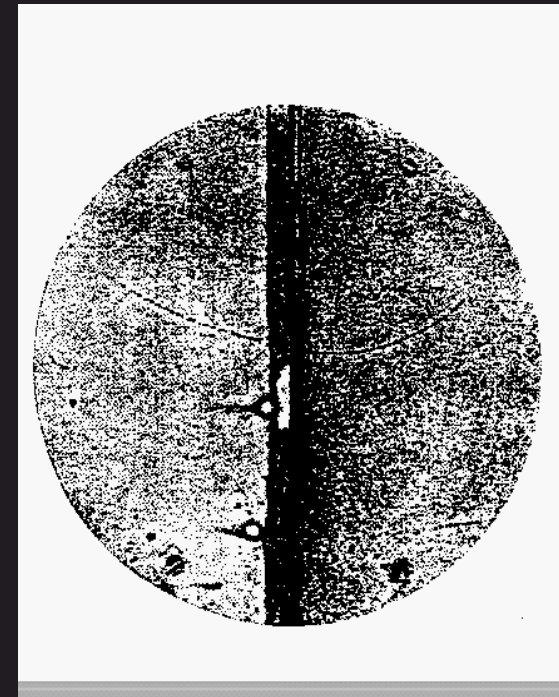


B中間子



反B中間子

本日の主役



# 対称性

- どちらが本当の写真かは区別できない。



ポール・ディラック  
1933年ノーベル物理学賞

相対論と量子論を統合し、その必然的な帰結として反粒子の存在を予言。

# 物理法則における対称性

- 時空内での並進
- パリティ変換 (P変換)
- 粒子・反粒子変換 (C変換)
- 時間反転 (T変換)
- あわせ技 (CP変換、CPT変換)

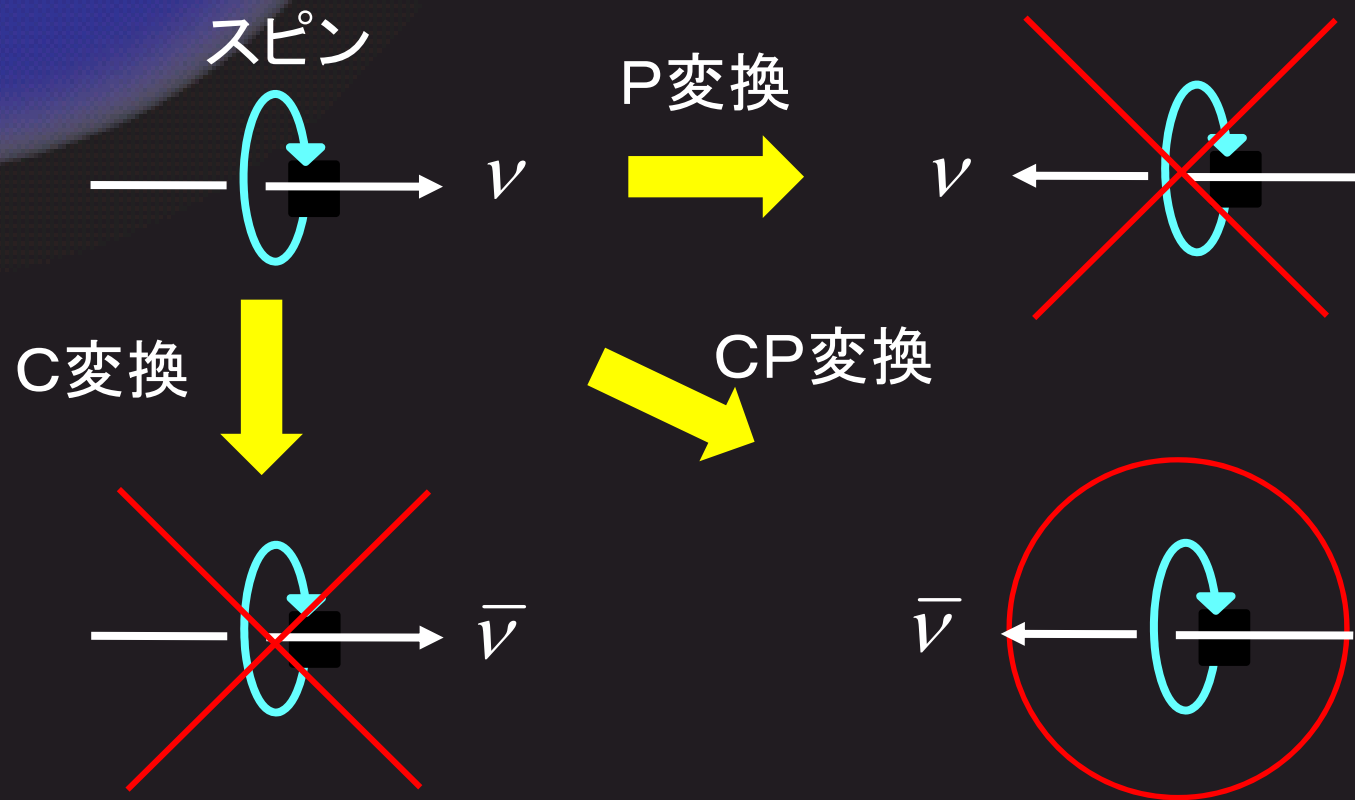
素粒子が従う物理法則は、これらの対称性を満たすと思われていた。

が。。。



# 弱い相互作用における対称性の破れ

- ニュートリノは左巻、反ニュートリノは右巻



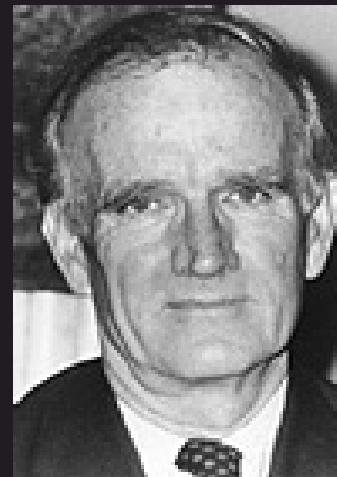
が、しかし。。。

# CPの破れの発見(1964年)

- 中性K中間子の崩壊における「CP対称性の破れ」の発見

$$K_L^0 \rightarrow \pi\pi$$

~0.2%



V. Fitch  
(1980年ノーベル物理学賞)



J. Cronin  
(1980年ノーベル物理学賞)

そして、私は生まれた。。。。

# CP対称性の破れの歴史

- 1964年 K中間子の崩壊で発見
- 1973年 小林－益川理論
  - クォークが6種類あればCP対称性は必然的に破れる。
  - 当時知られていたクォークは3種類→後に全て発見された。
- 1981年 三田(名大名誉教授)らがB中間子崩壊で大きなCPの破れを予言。

Bにおける大きなCPの破れは、小林－益川理論を含む標準理論の最終課題のひとつ(だった)。

小林 益川 三田



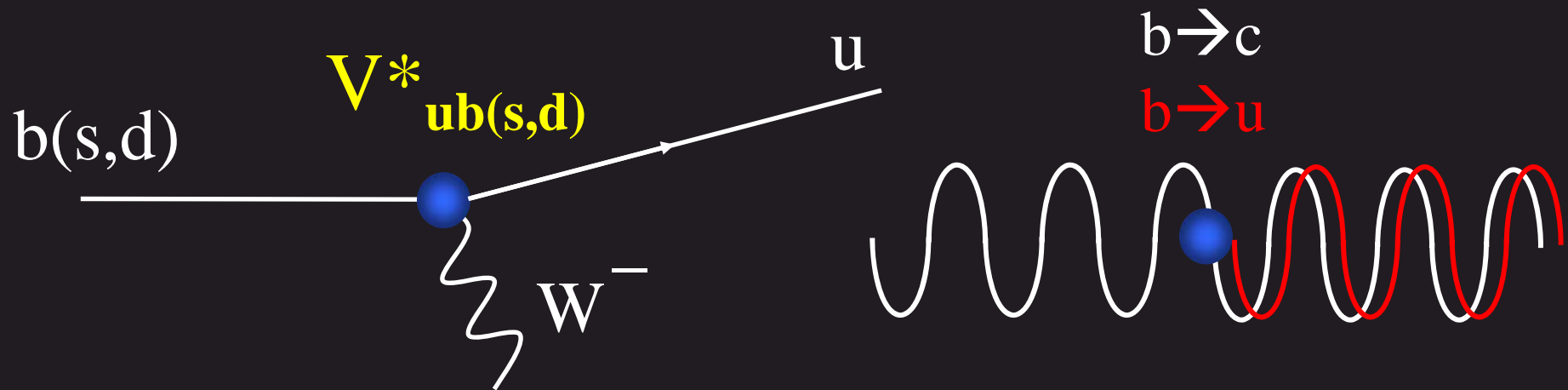
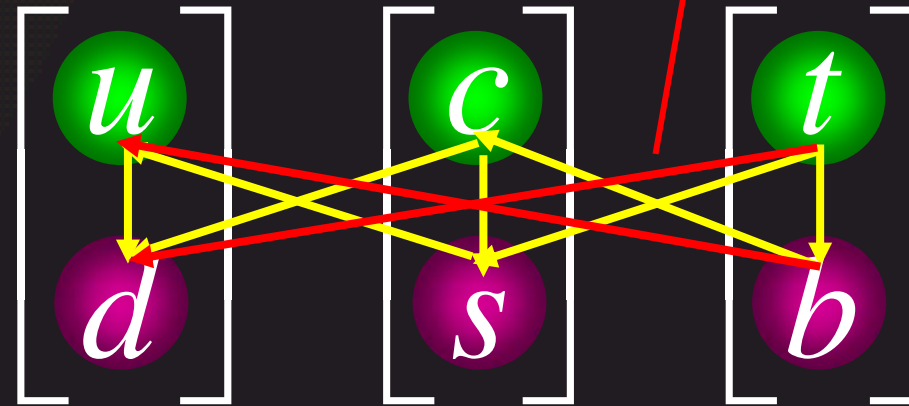
# 小林-益川理論(1973年)

- クォークは6種類あり、3つの世代を構成する。
  - 当時知られていたクォークは3種類。
  - 後の高エネルギー実験で検証済み。
- クォークは世代間で混じりあう(混合)。
- 混合の際に、粒子の位相が変化。これがCPの破れの種になる。

# クォークの“壊れ方” CPの破れのもと

$$Q = +\frac{2}{3}$$

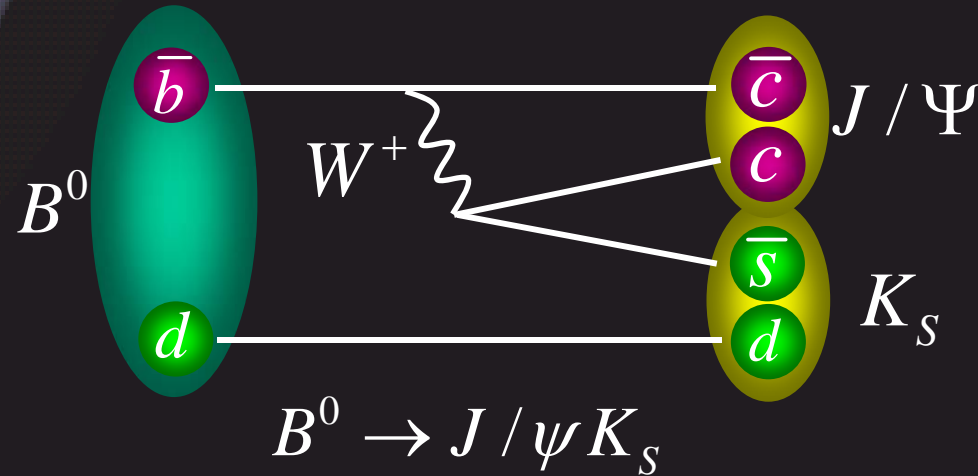
$$Q = -\frac{1}{3}$$



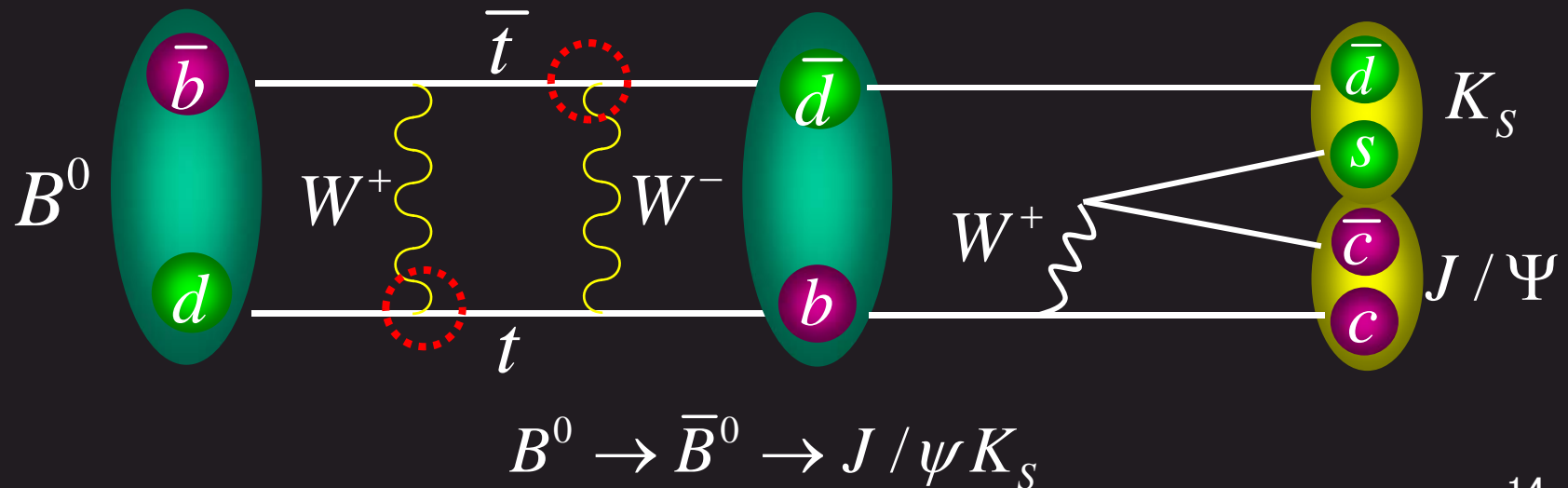
重いクォークから軽いクォークへの変化で波の位相が変化する。

# B中間子の崩壊は“二刀流”

- 木の形



- 箱+木の形



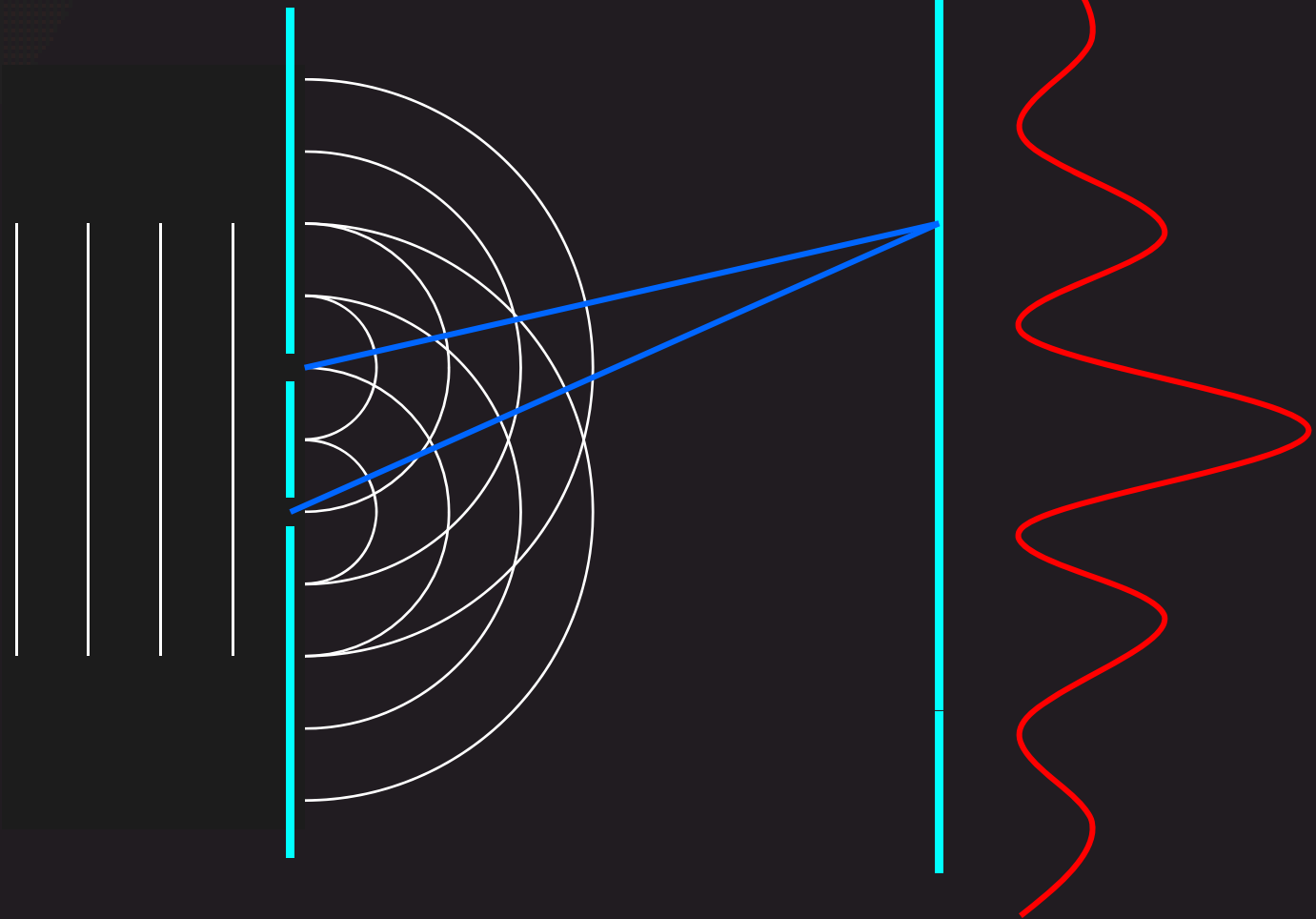
# 二重スリットの実験

光源



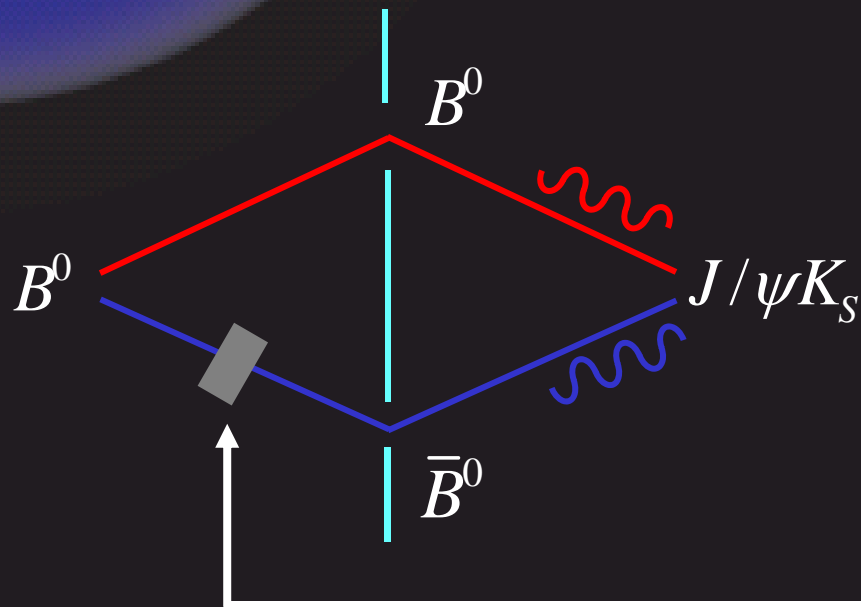
二重スリット

スクリーン

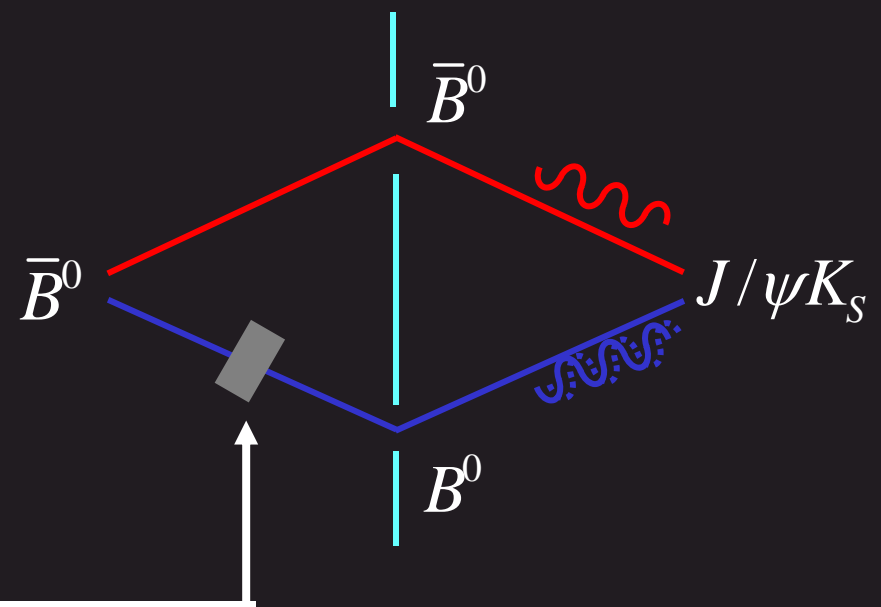


# B崩壊でのCP対称性の破れ

B中間子の崩壊



反B中間子の崩壊



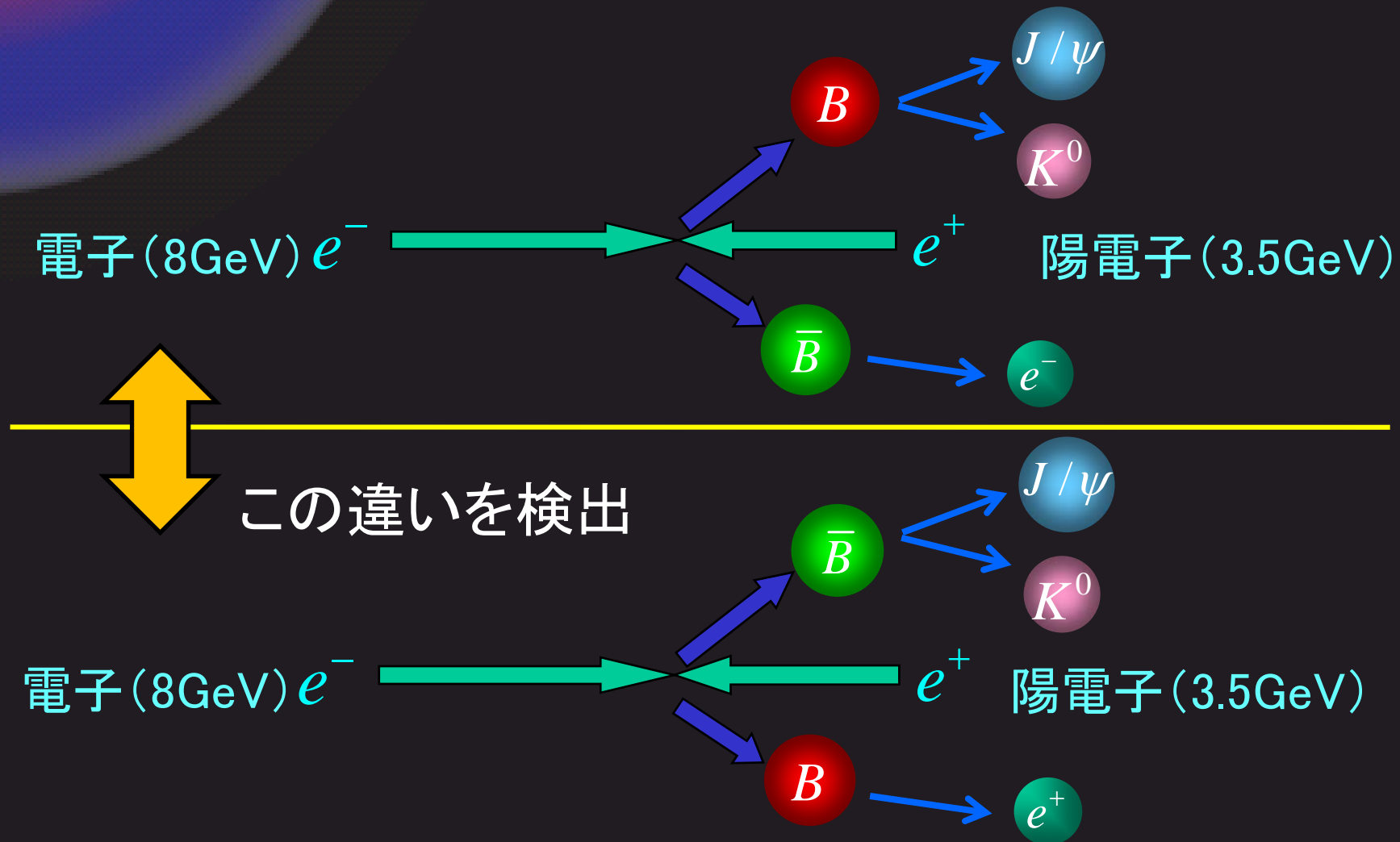
$B^0 \rightarrow \bar{B}^0 \neq \bar{B}^0 \rightarrow B^0$  違う!

- (初期状態が)  $B^0$  と  $\bar{B}^0$  で二つの波の干渉が異なる。



# Bファクトリー(B工場)での測定

電子-陽電子衝突で大量の $B\bar{B}$ 中間子対を生成する。



# 実験のがんばりどころ

- B中間子寿命はわずか1.5ピコ秒しかない！
  - 1ピコ秒 = 0.0000000000001秒
  - 飛行距離は20ミクロン程度。

➡ 非対称エネルギー衝突 (8GeV電子 + 3.5GeV陽電子)

- B中間子が前方に勢いよく飛び出す。

➡ 寿命が延びる

- 飛行距離は200ミクロン程度。

最先端の技術を使えば測定可能



# 加速器の挑戦

- 見たい崩壊 ( $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ ) はめったにおこらない (10万回に1回)。

➡ 高輝度 (ルミノシティ) の電子-陽電子衝突を実現

➡ 年間に1億個のB-反B中間子対を生成

“B中間子工場 (Bファクトリー)”

KEKB加速器は世界最高強度のマシン

# KEKB加速器

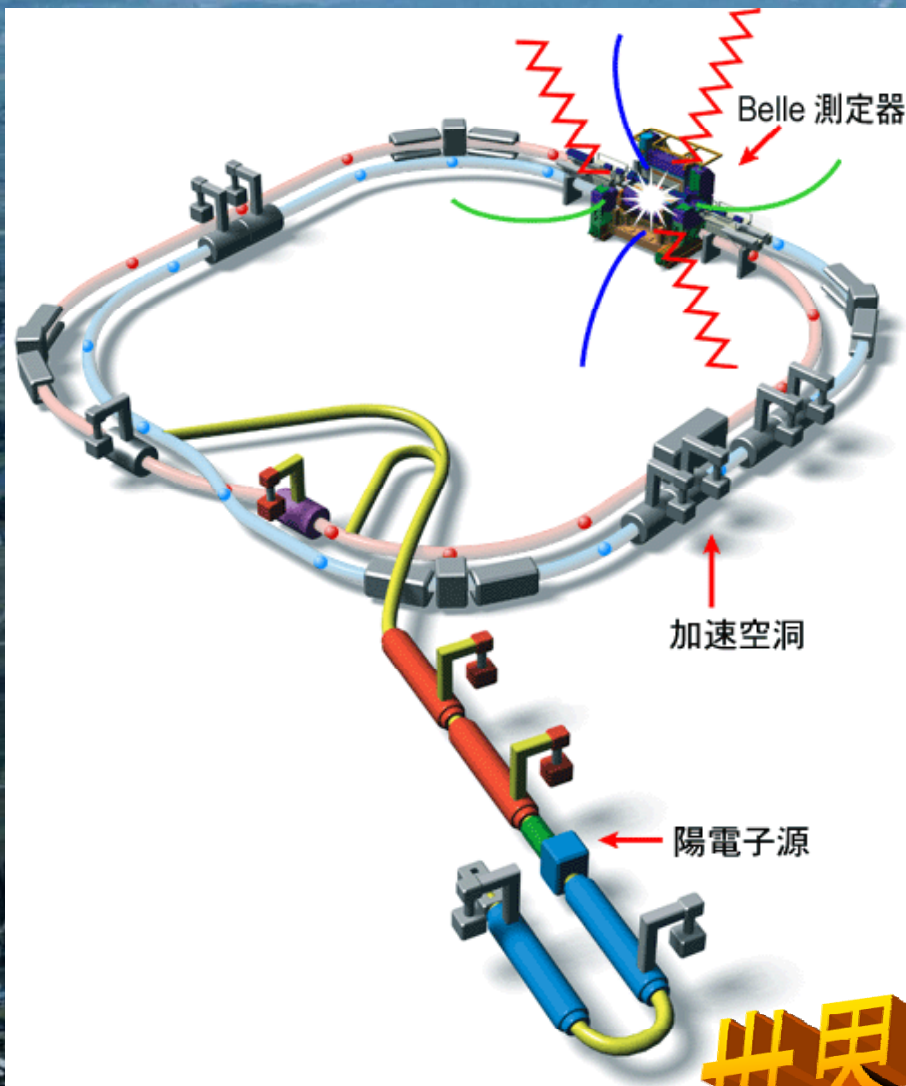
$e^- (8\text{GeV})$



$e^+ (3.5\text{GeV})$



# KEKB加速器

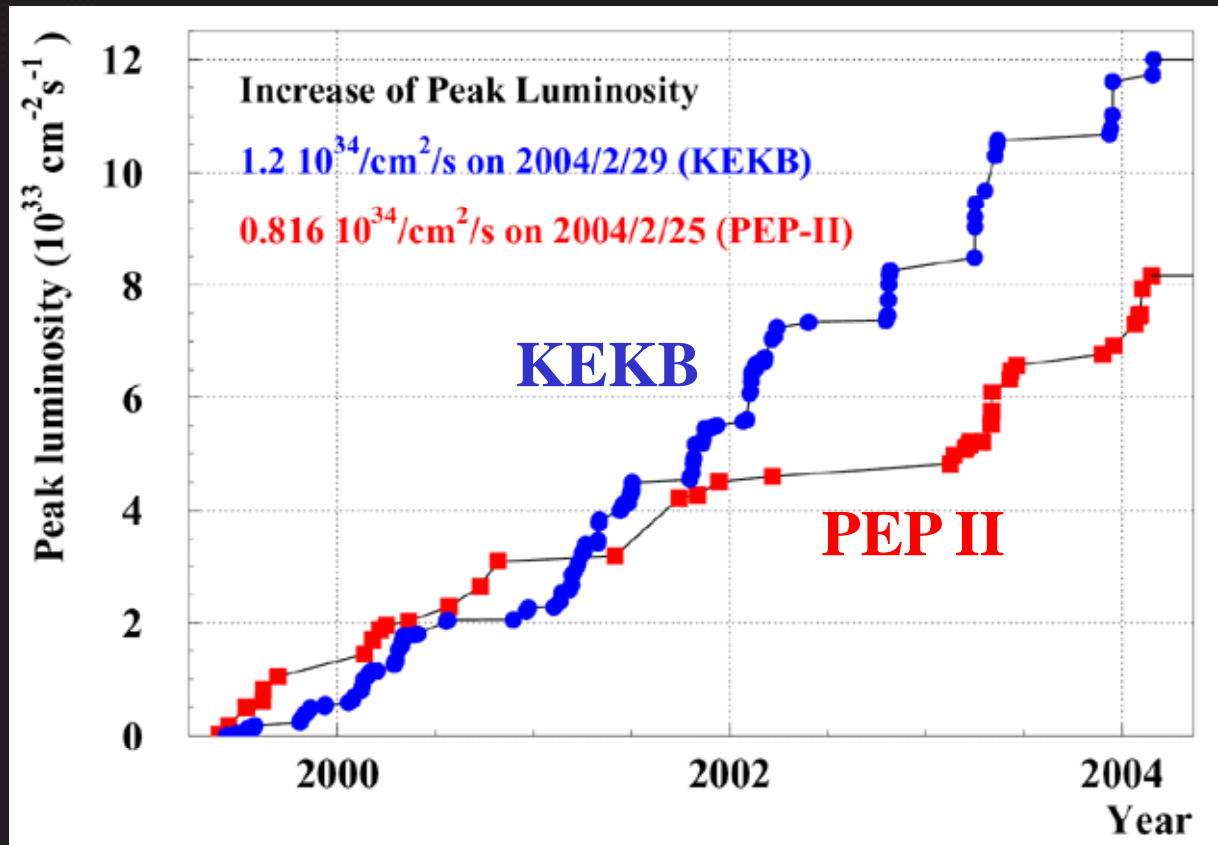


ルミノシティー  
 $1.7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  !  
↓  
年間約2億対のBBを生成。

世界最高強度を達成!

# 日米の熾烈な競争

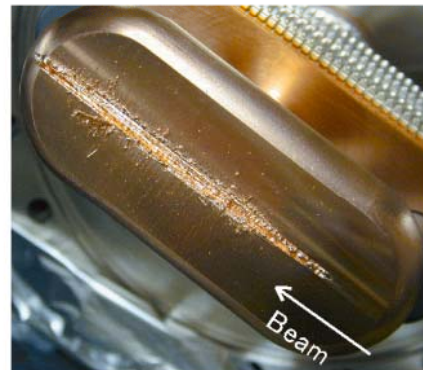
- 米国SLAC研究所のPEP II/BaBar実験とのルミノシティの比較



# 大電流との闘い

## 大電流によるトラブル

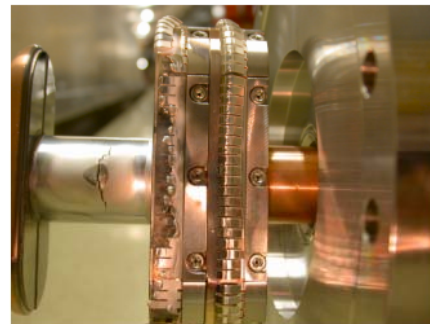
Movable Mask



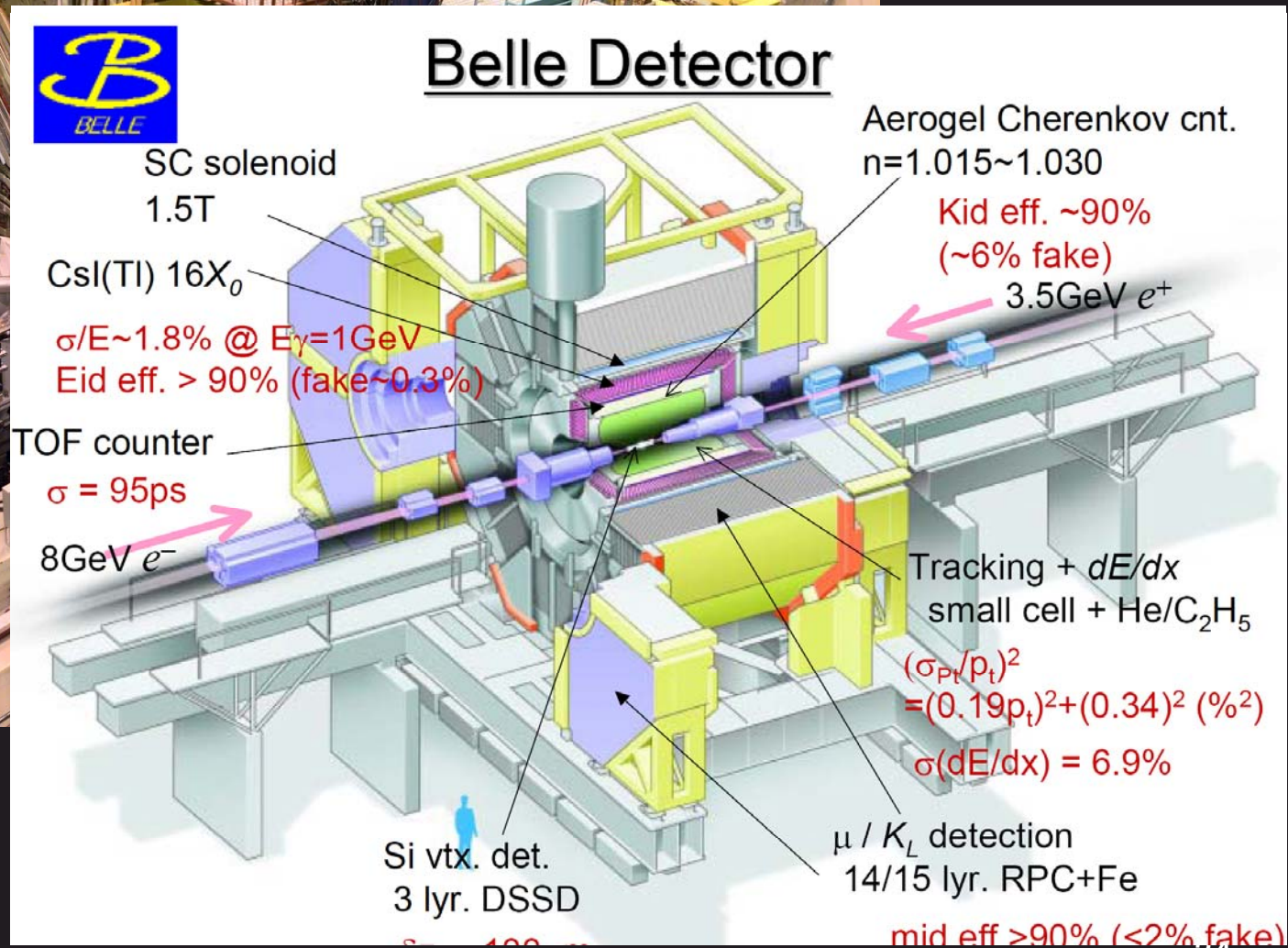
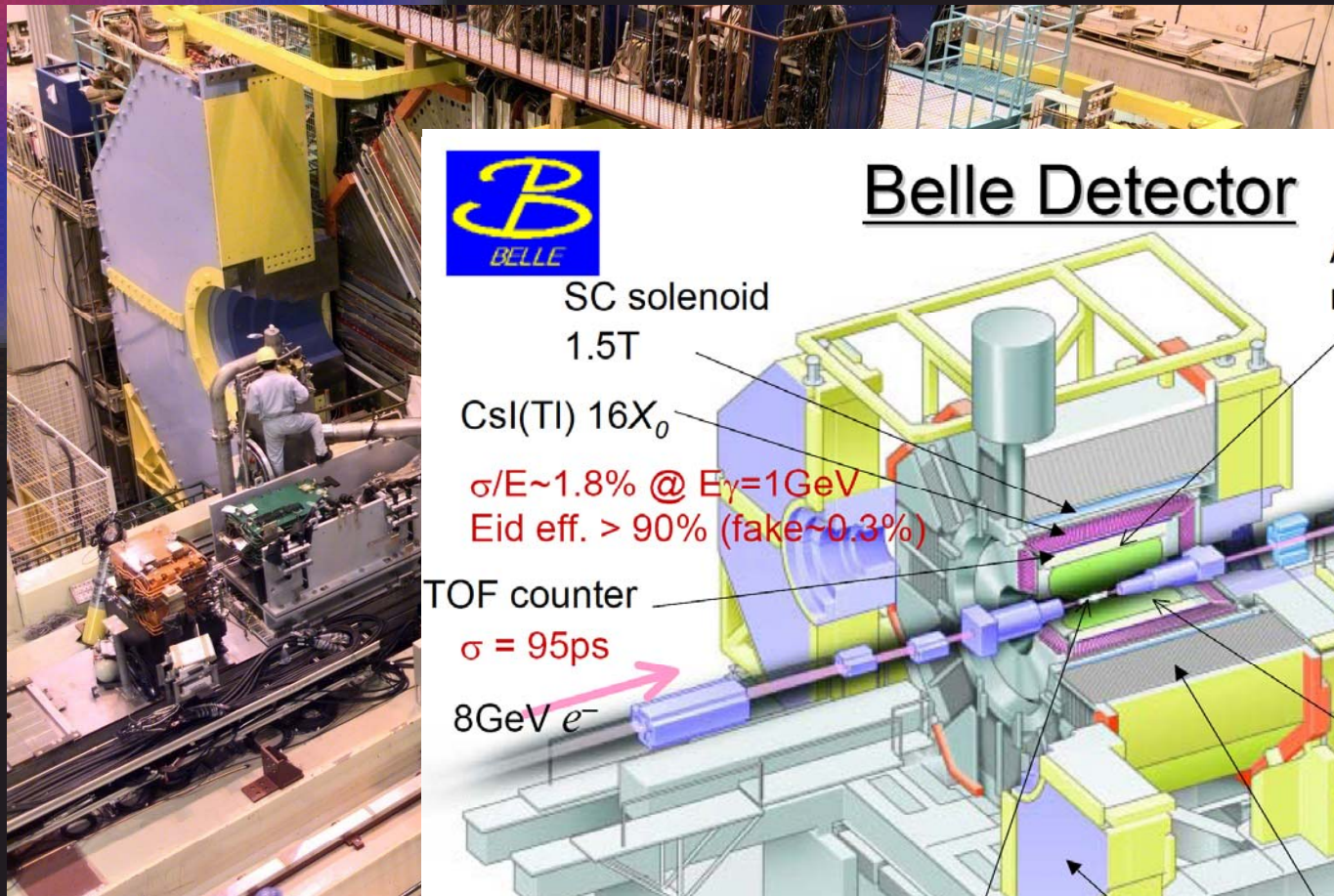
KEKB: Bellows



LER Septum Chamber



# Belle測定器

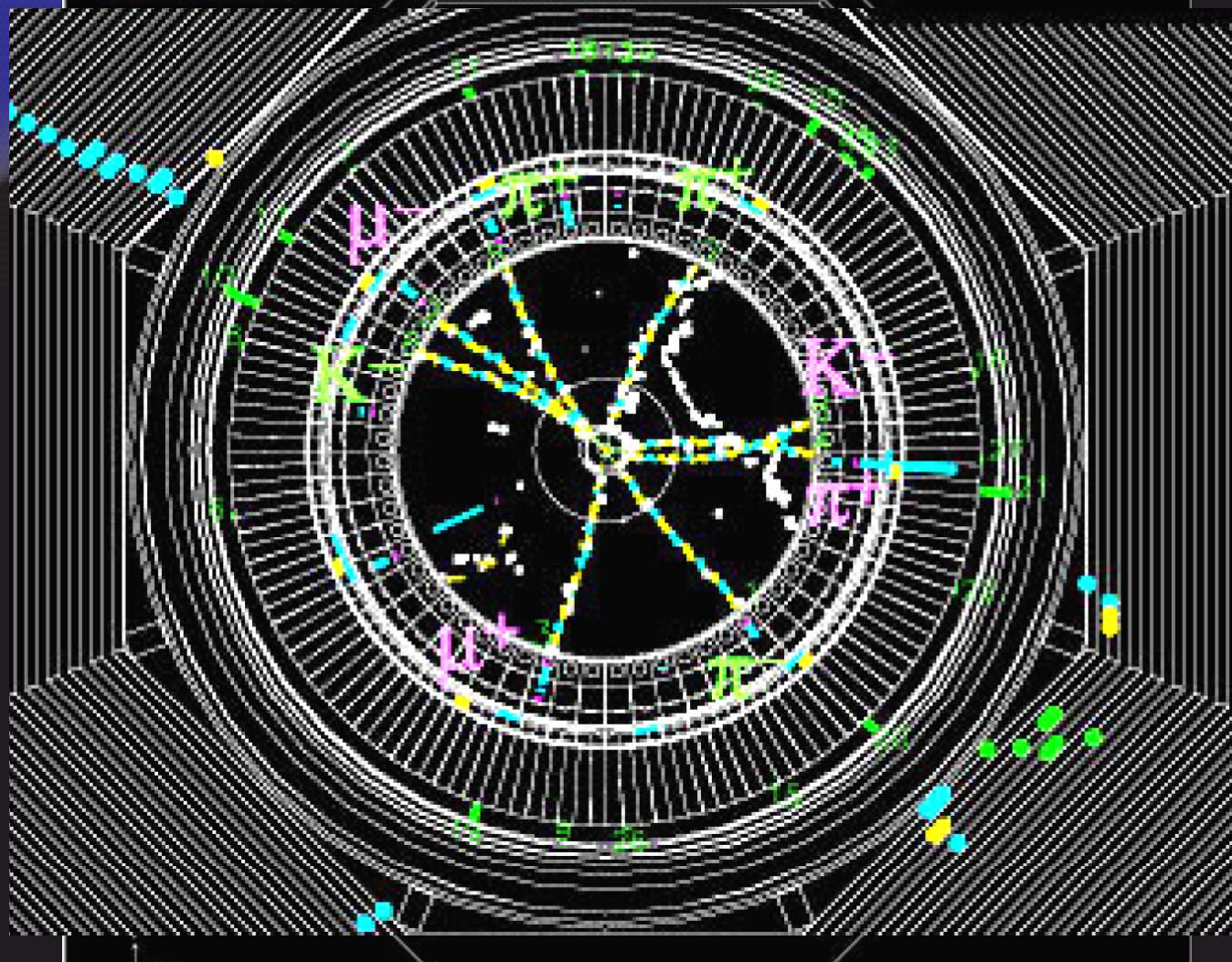




# B中間子崩壊の観測

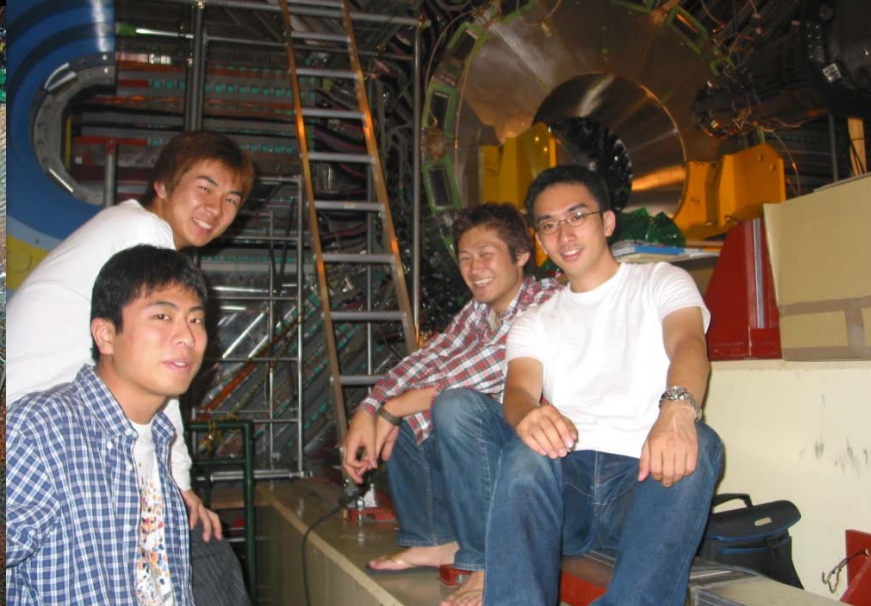
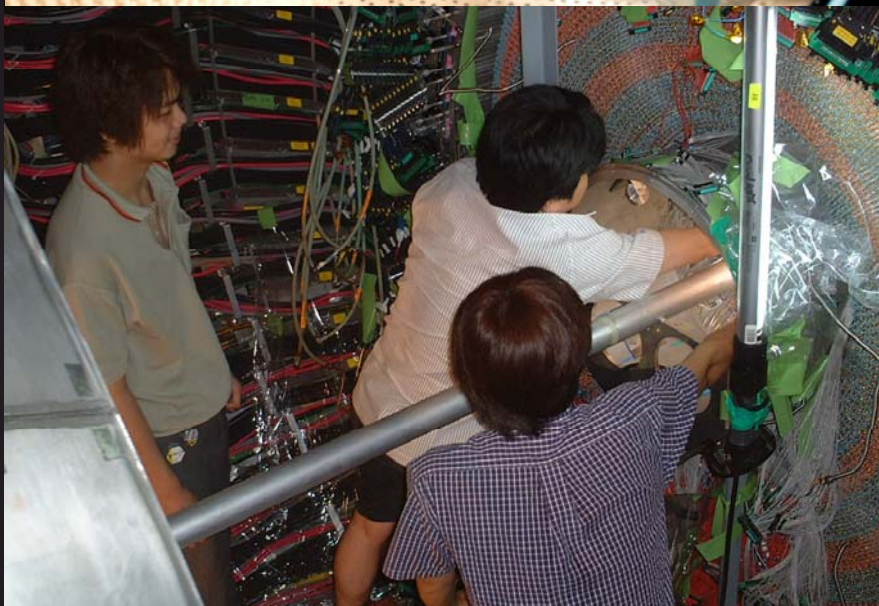
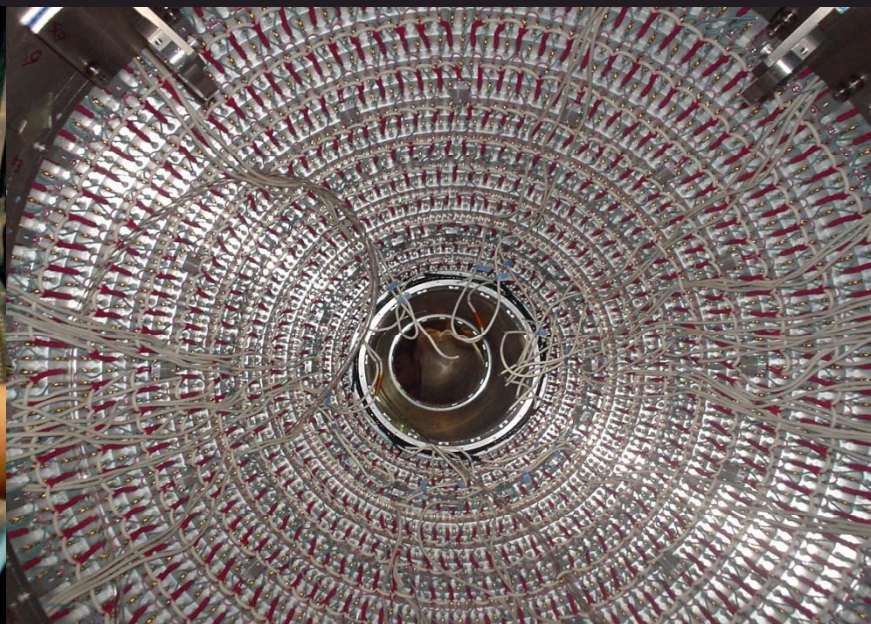
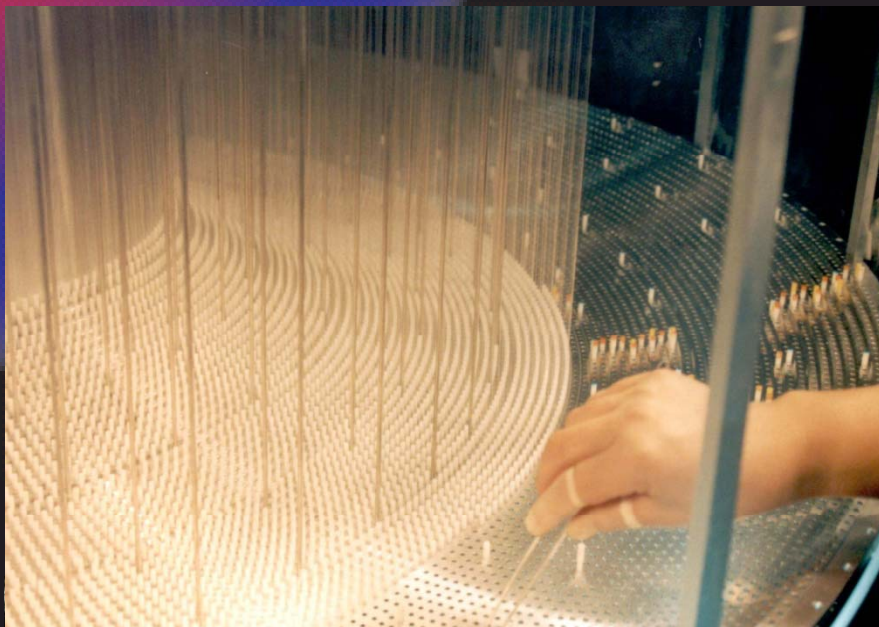
**BELLE**

Exp 9 Run 1011 Farm 4 Event 2820  
Eler 8.00 Eler 3.50 Mon Dec 18 10z36z59 2000  
TrgID 0 DetVer 0 MagID 0 BField 1.50 DepVer 5.10  
Ptot(gm) 11.1 Etot(gm) 0.2 SV0-M 0 CDC-M 1 KLM-M 0



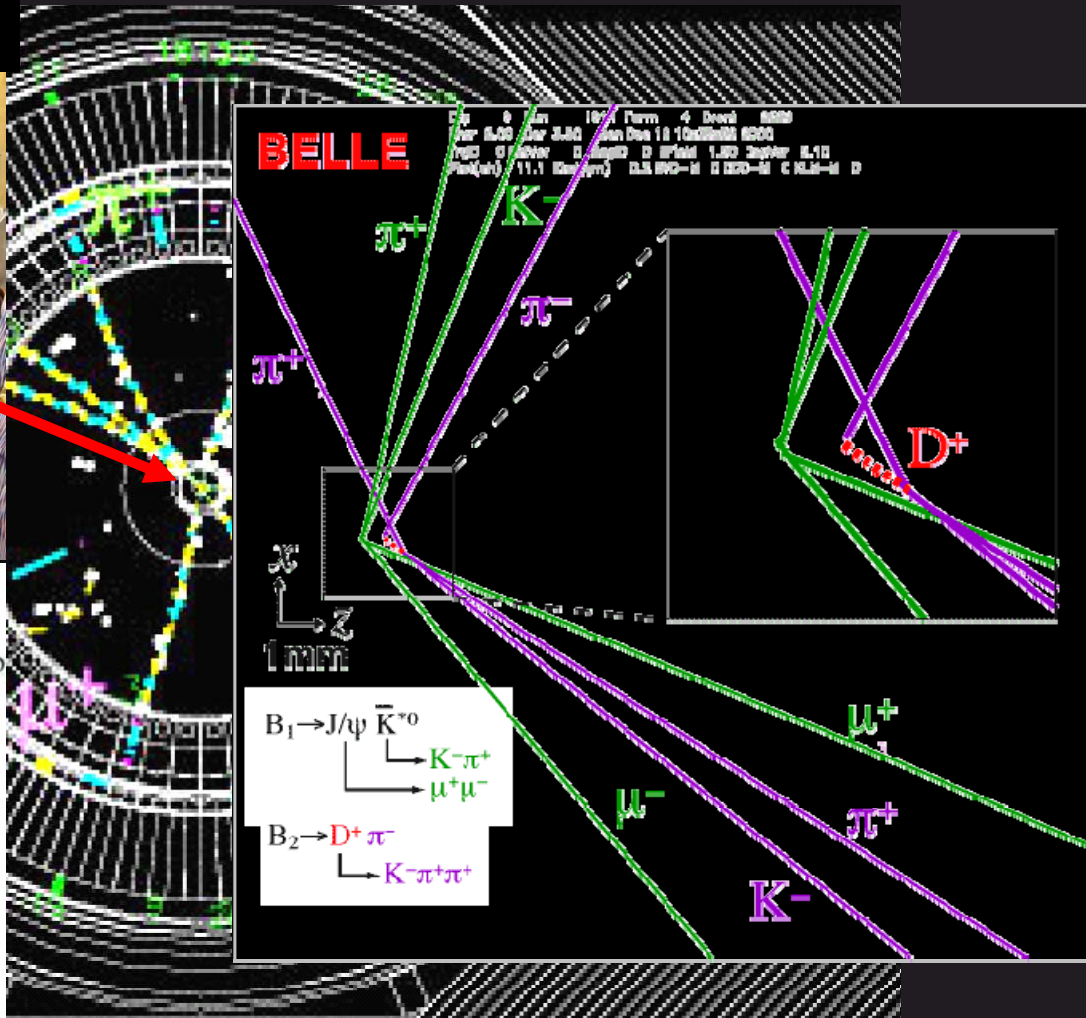
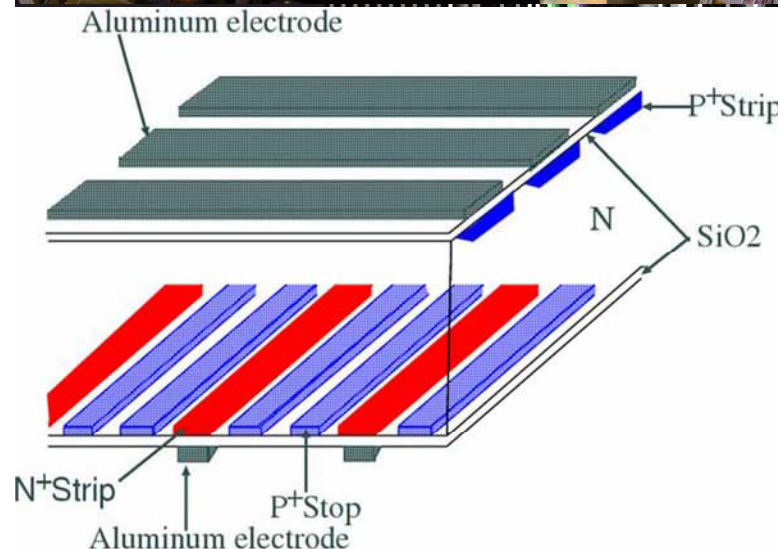
20 cm

# 中央飛跡検出器



# B中間子崩壊点再構成

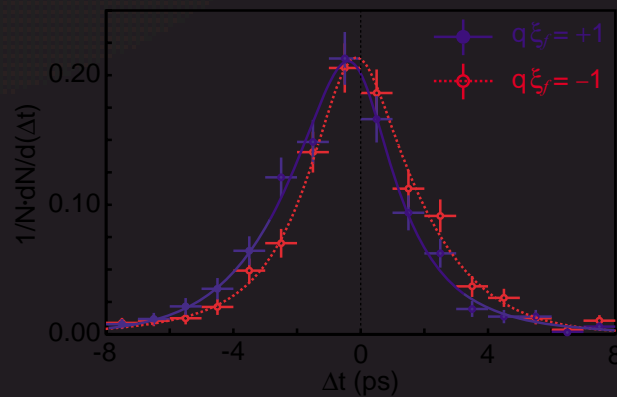
## シリコンバーテックス検出器



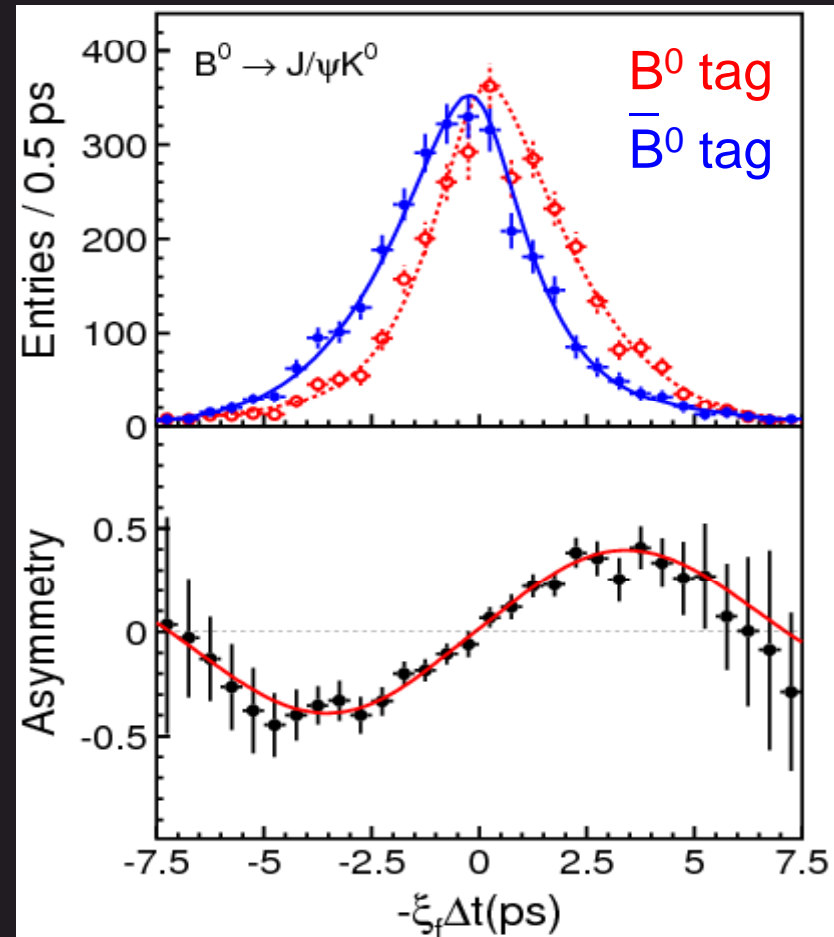
# B崩壊におけるCPの破れの発見



2001年(31M  $B\bar{B}$ )



2006年(532M  $B\bar{B}$ )



$$\sin 2\phi_1 = 0.642 \pm 0.031 \text{ (stat)} \pm 0.017 \text{ (syst)}$$

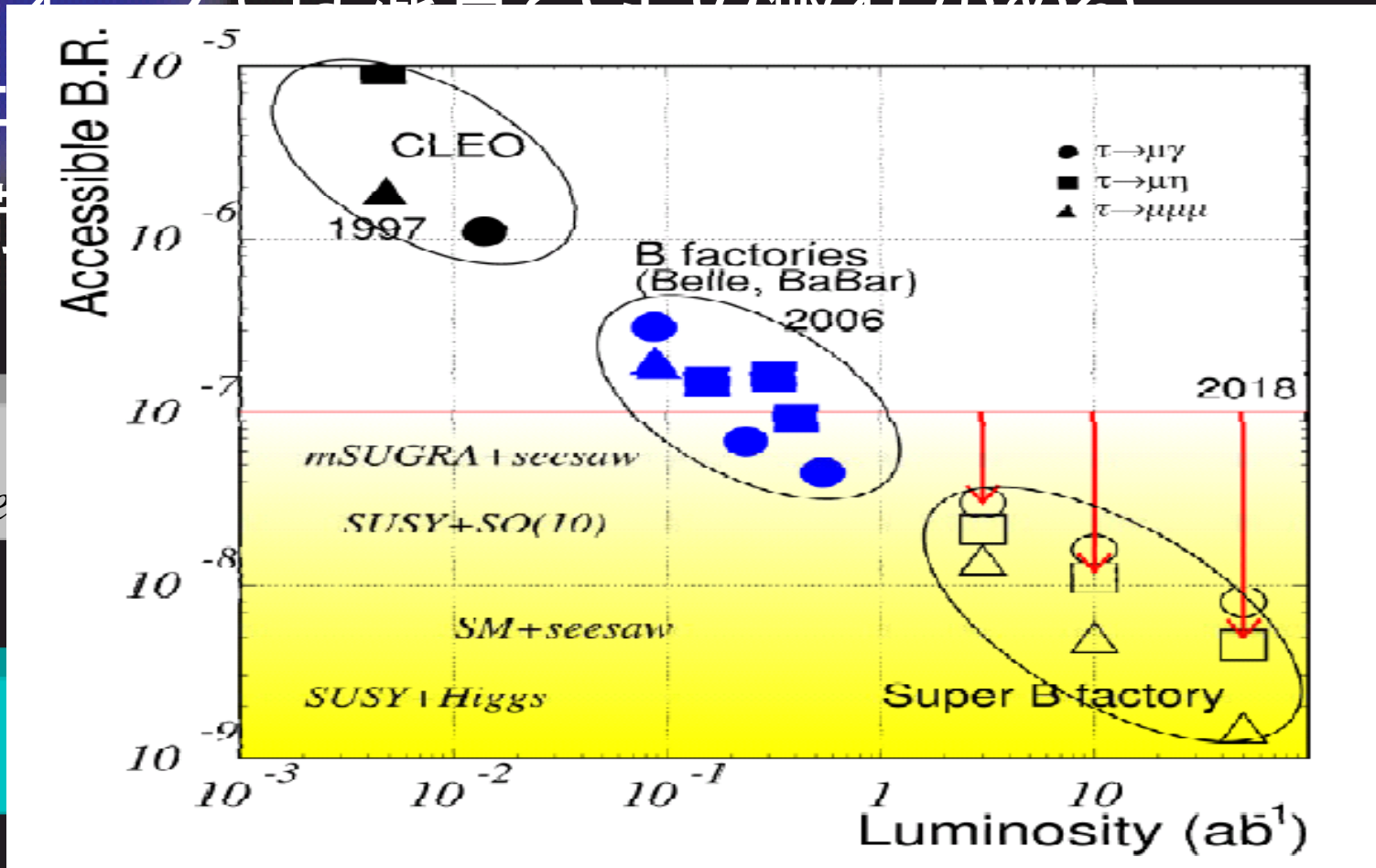
# わかったこと＋深まる謎

- 小林・益川理論の正しさ(クォークの世界の粒子・反粒子非対称の理由)
- 小林・益川だけでは、宇宙の物質優勢を説明できない。非対称が足りない。
- 小林・益川メカニズム以外のCP非対称の源が必要(新しい物理が必要)。
- 今後の研究は新しい物理の証拠探しへ！

# タウ・レプトンの崩壊と新物理の探索

- クォークでは混合とCPの破れがある

- 二
- 荷

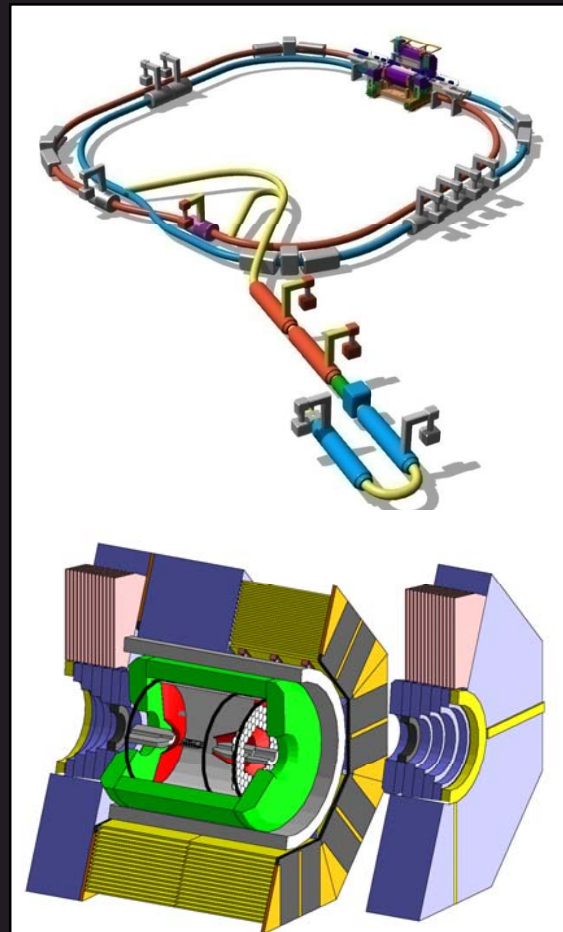
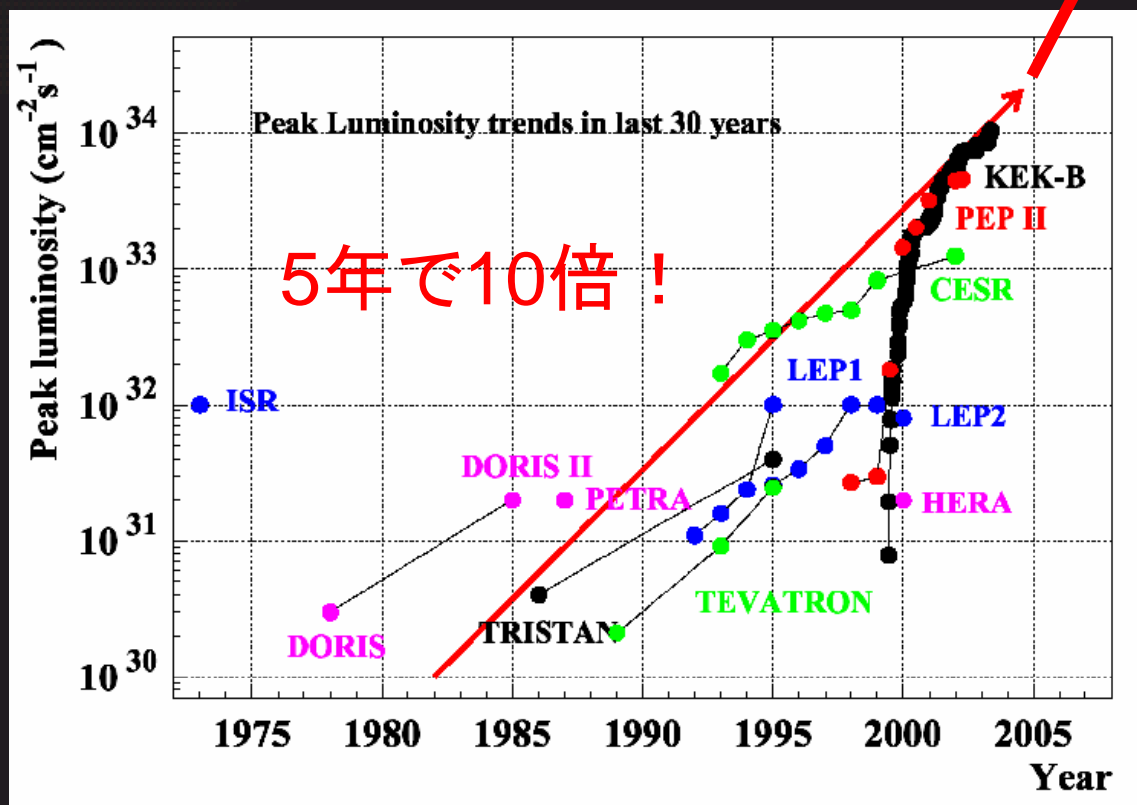


?

# スーパーBファクトリー

現在の約50倍のビーム強度

約 $10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



# 小林さんのメッセージ

KEKB と Belle に携わった全ての  
人とともに、アップグレード計画の  
成功を祈念しつ。

2008年10月9日

小林 謙



# この講演で伝えたいこと

- 小林益川理論:「紙と鉛筆」による研究
- 科学＝理論と実験、実証主義

• 実験による新現象の発見



• 理論による現象の理解と予言



• 実験による理論の検証

K中間子での  
CPの破れ

小林益川理論

B中間子での  
CPの破れ

# まとめ

- 名大の理論研究から生まれた小林益川理論を名大実験グループが進めるBファクトリー実験で検証！
- 次のチャレンジ=夢は「小林益川を超える」、  
「小林益川が説明できない現象」の発見！



スーパーBファクトリー や LHC実験  
次なるノーベル賞へ！ 若者よ来たれ！