

祝ノーベル賞受賞
「小林・益川の理論とは」



小林益川に○を与えた実験 Bファクトリー実験

2008年10月10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)



昨日 (KEK)

2006年12月 CKM国際会議
(野依学術交流館)



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。

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)。



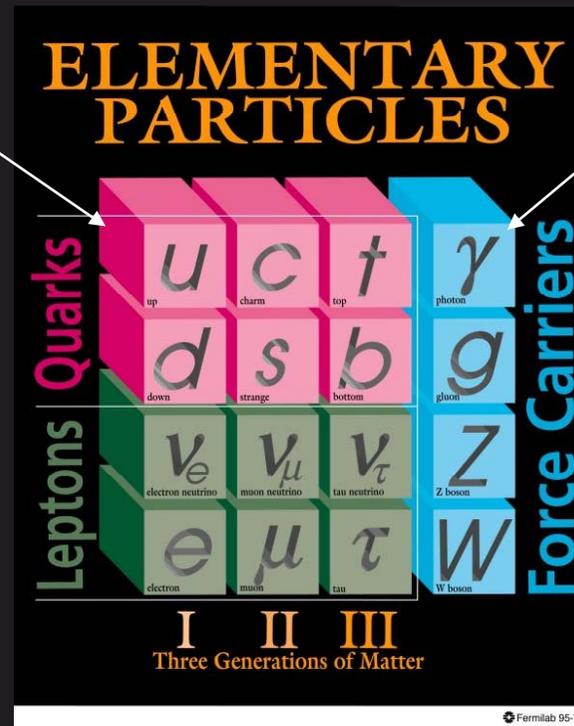
現在の素粒子標準理論

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

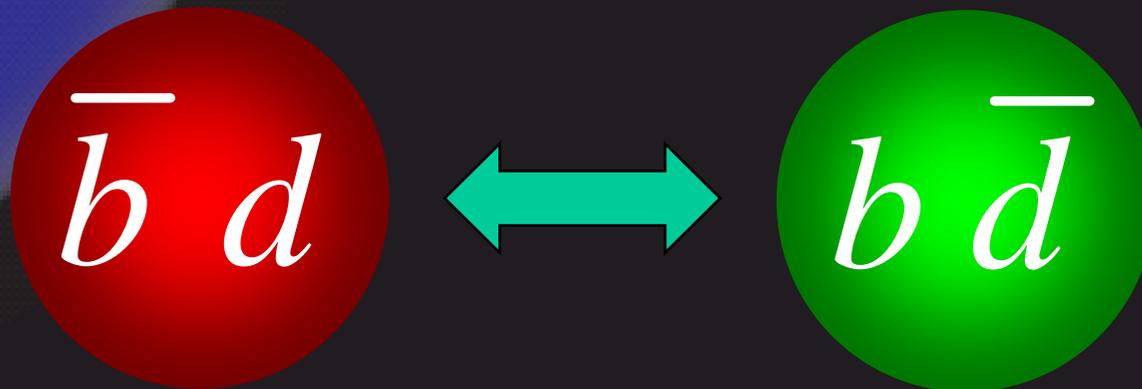
弱い相互作用

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。

B中間子



B中間子

反B中間子

質量は陽子の約5倍程度

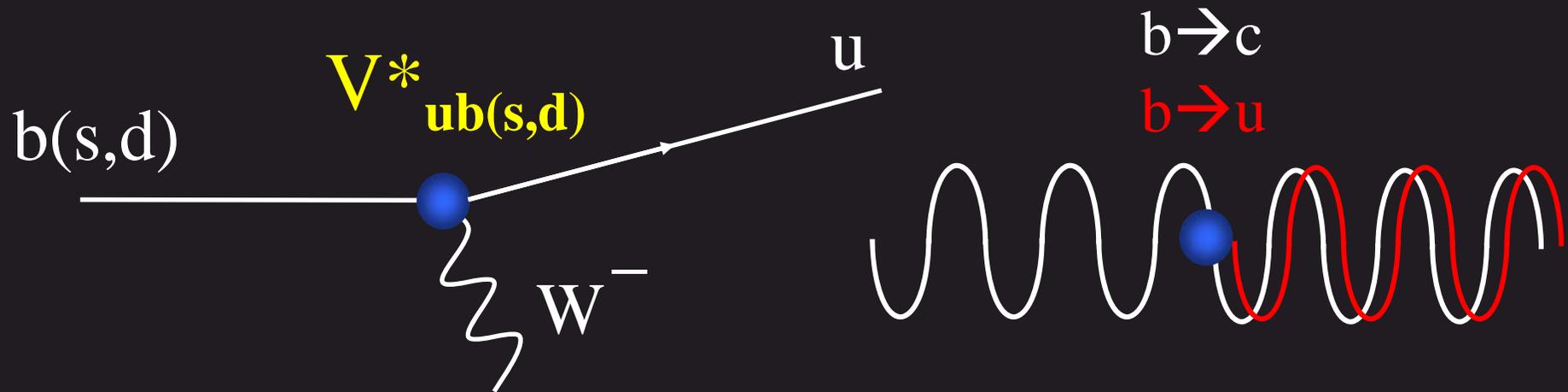
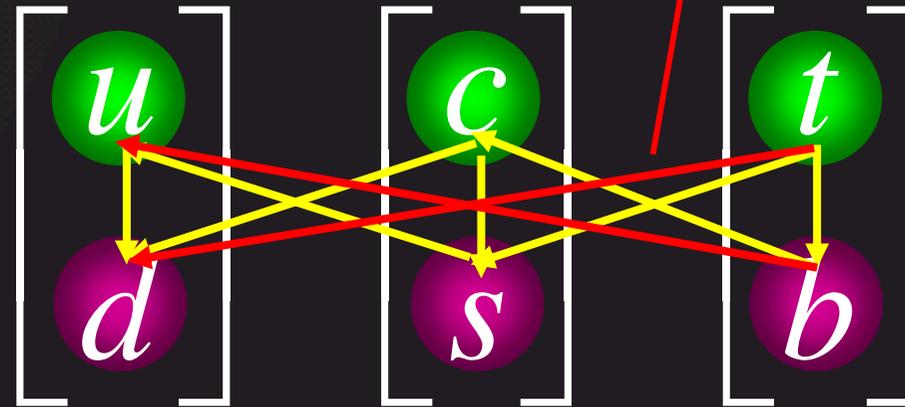
寿命は0.000 000 000 00153 秒(1.53ピコ秒)

Bファクトリーで崩壊の違いを精密に測る。

クォークの“壊れ方” CPの破れのもと

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

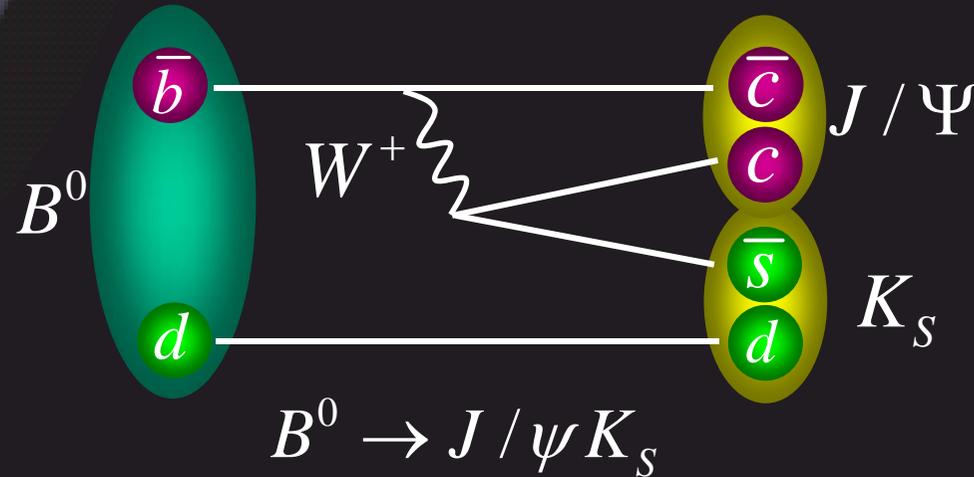
$$Q = -\frac{1}{3}$$



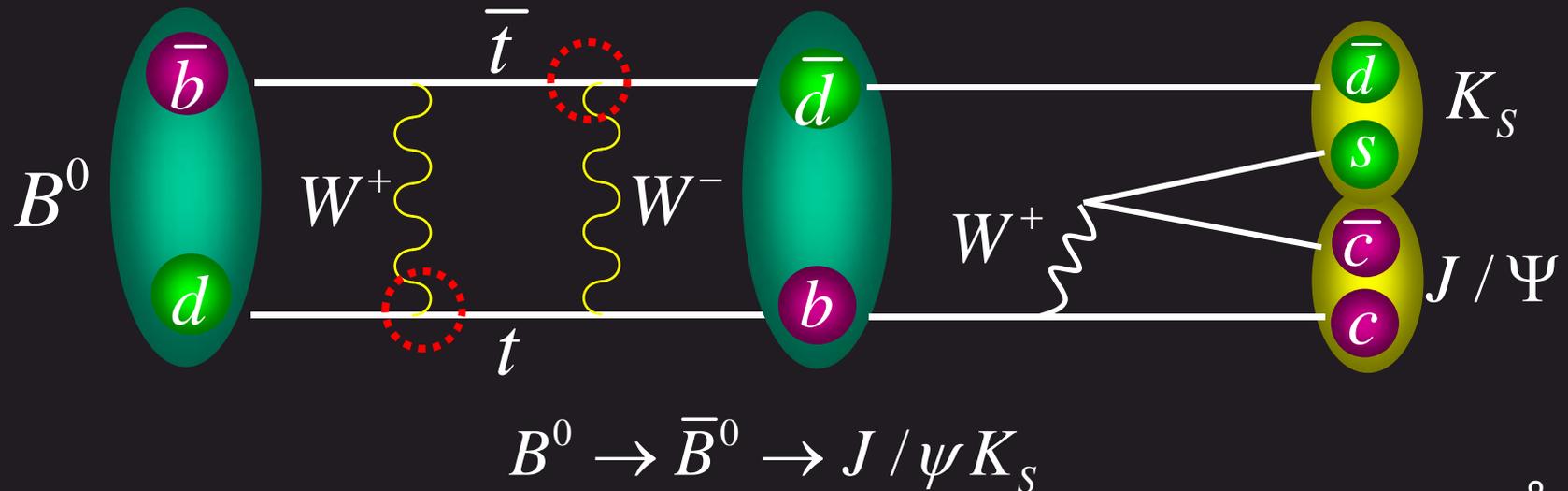
重いクォークから軽いクォークへの変化で波の位相が変化する。

B中間子の崩壊は“二刀流”

- 木の形

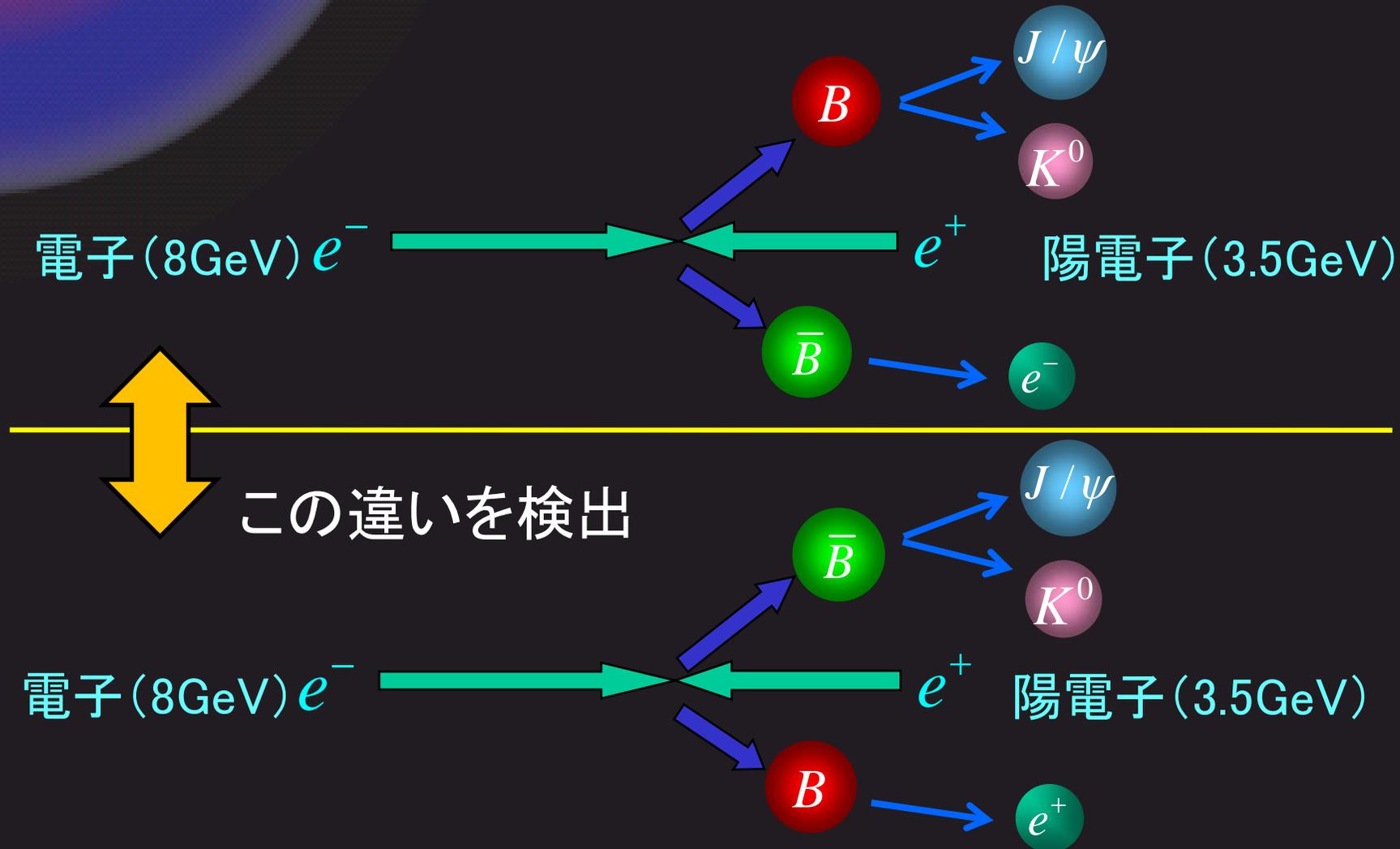


- 箱+木の形



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

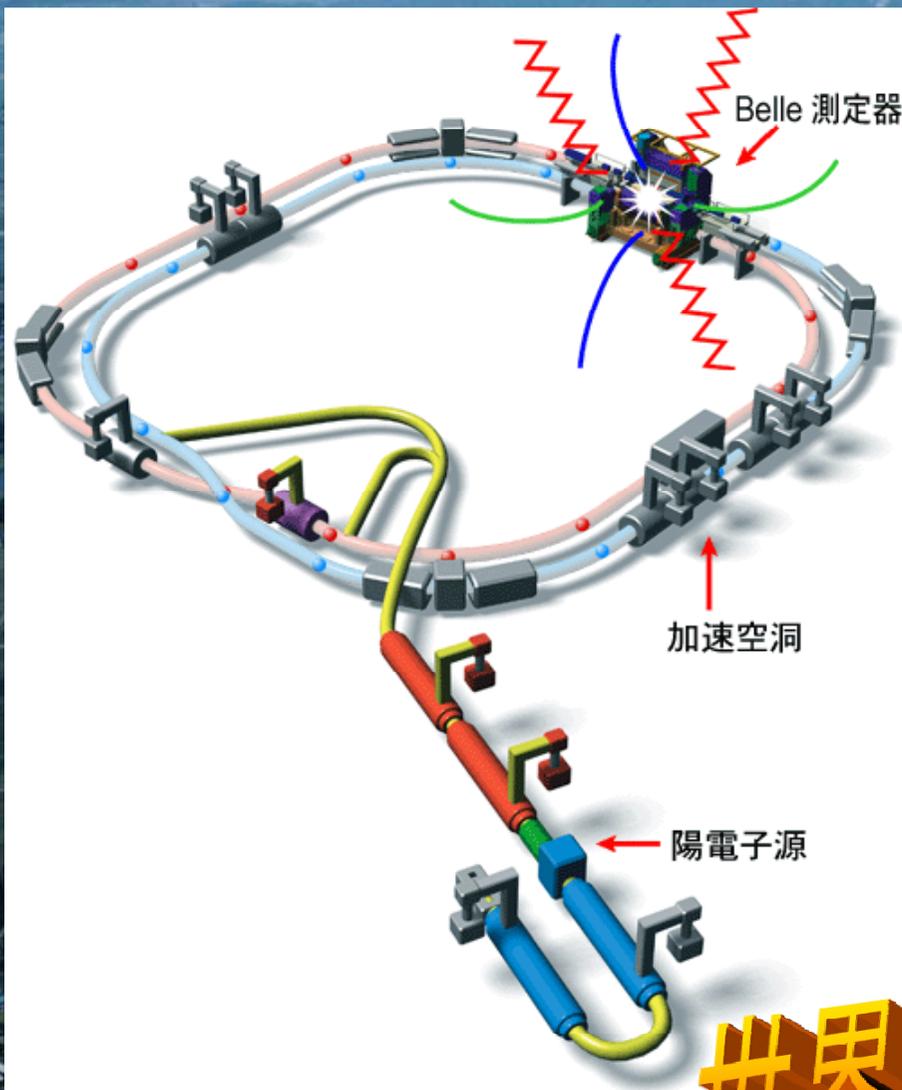
$e^- (8\text{GeV})$



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



KEKB加速器



ルミノシティー
 $1.7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$!

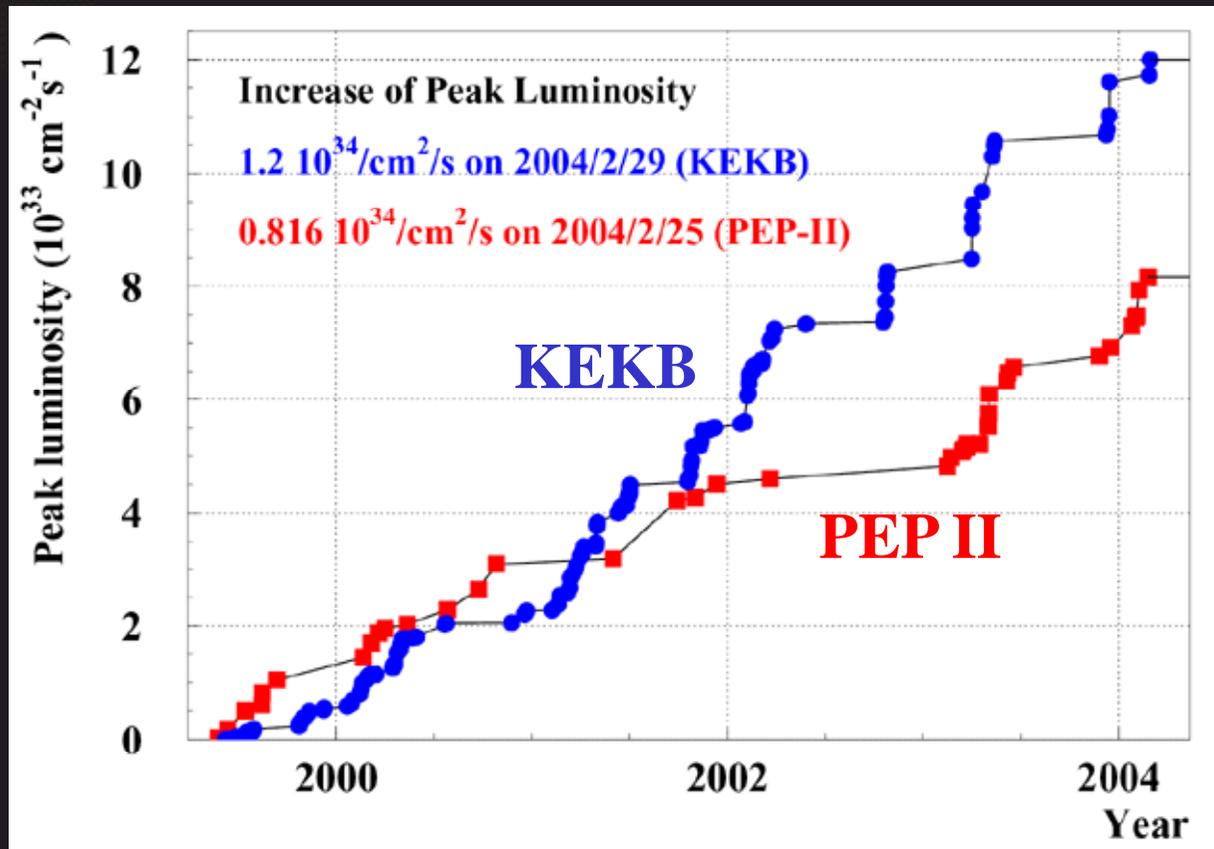
↓

年間約2億対のBBを生成。

世界最高強度を達成!

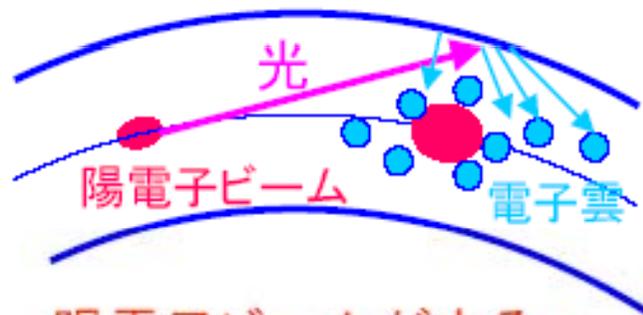
日米の熾烈な競争

- 米国SLAC研究所のPEP II/BaBar実験とのルミノシティの比較



“太る”ビームとの闘い

陽電子ビームよ、細くなれ。

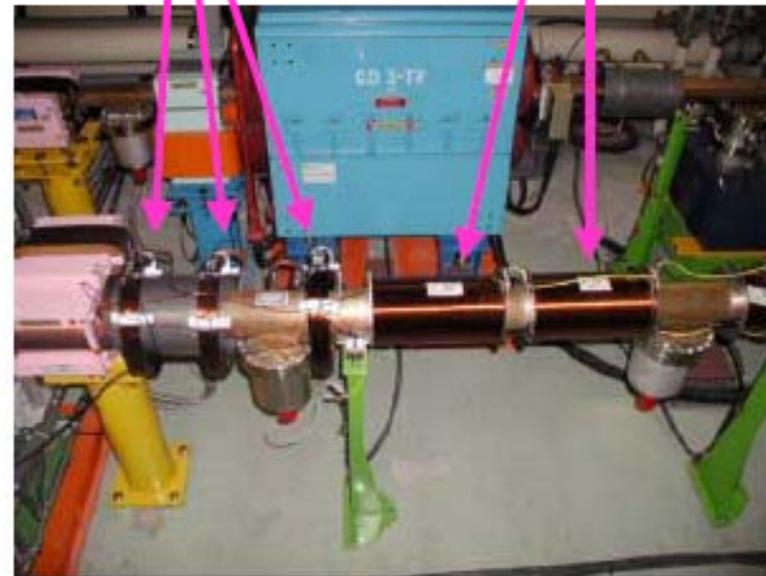


陽電子ビームが太る。
大変困った！

対策：磁場で電子雲を
壁に引き留めよ。

→大きく改善。

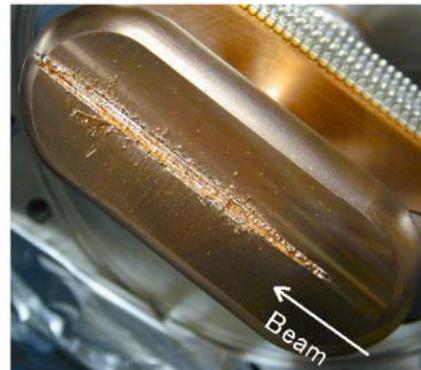
陽電子リング全周に、せっせと
ソレノイドコイルを巻いた。
(夏休み、正月休み)



大電流との闘い

大電流によるトラブル

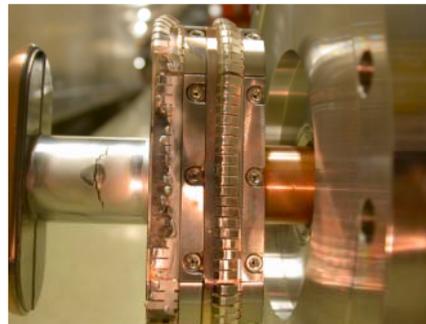
Movable Mask



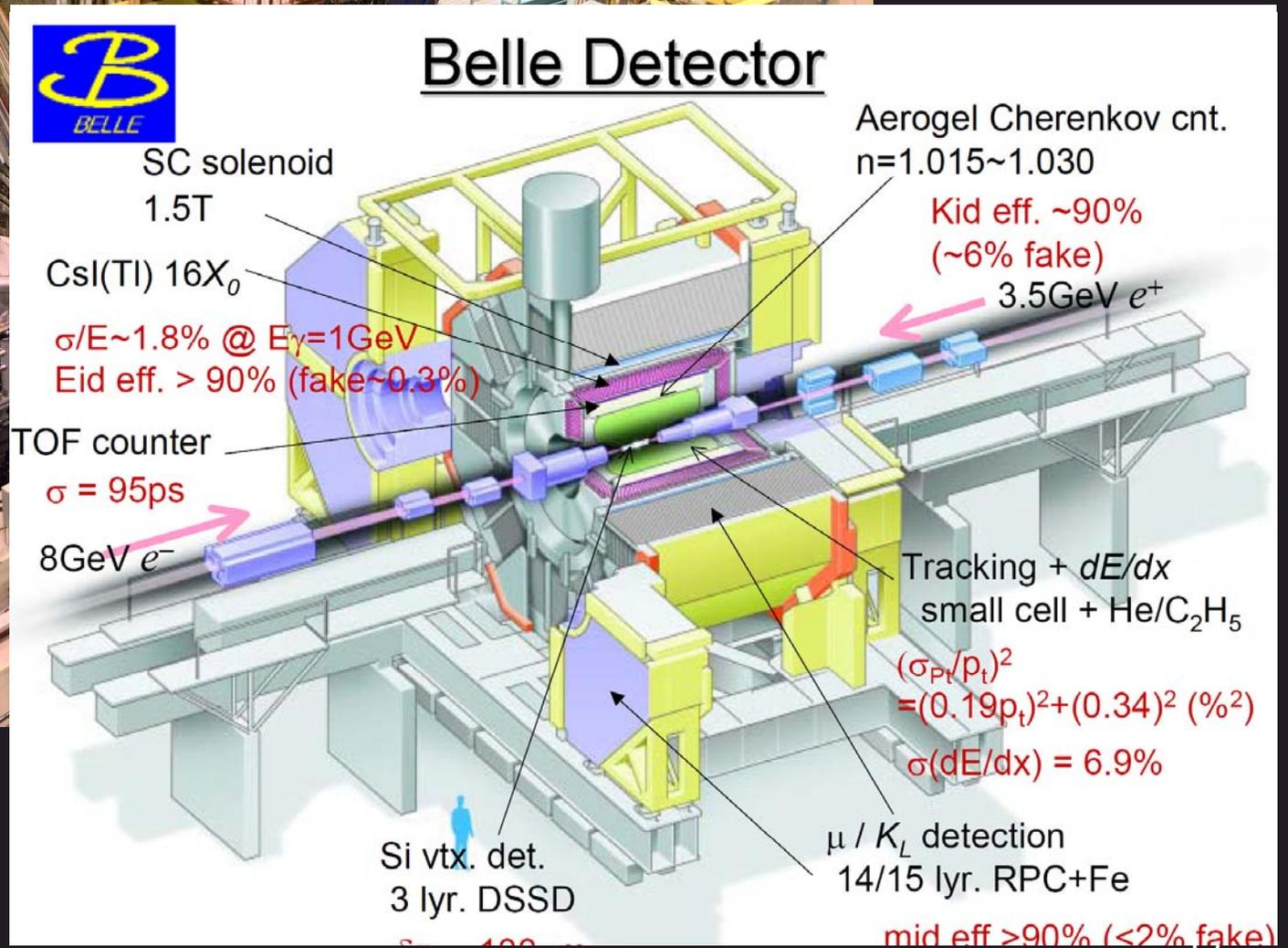
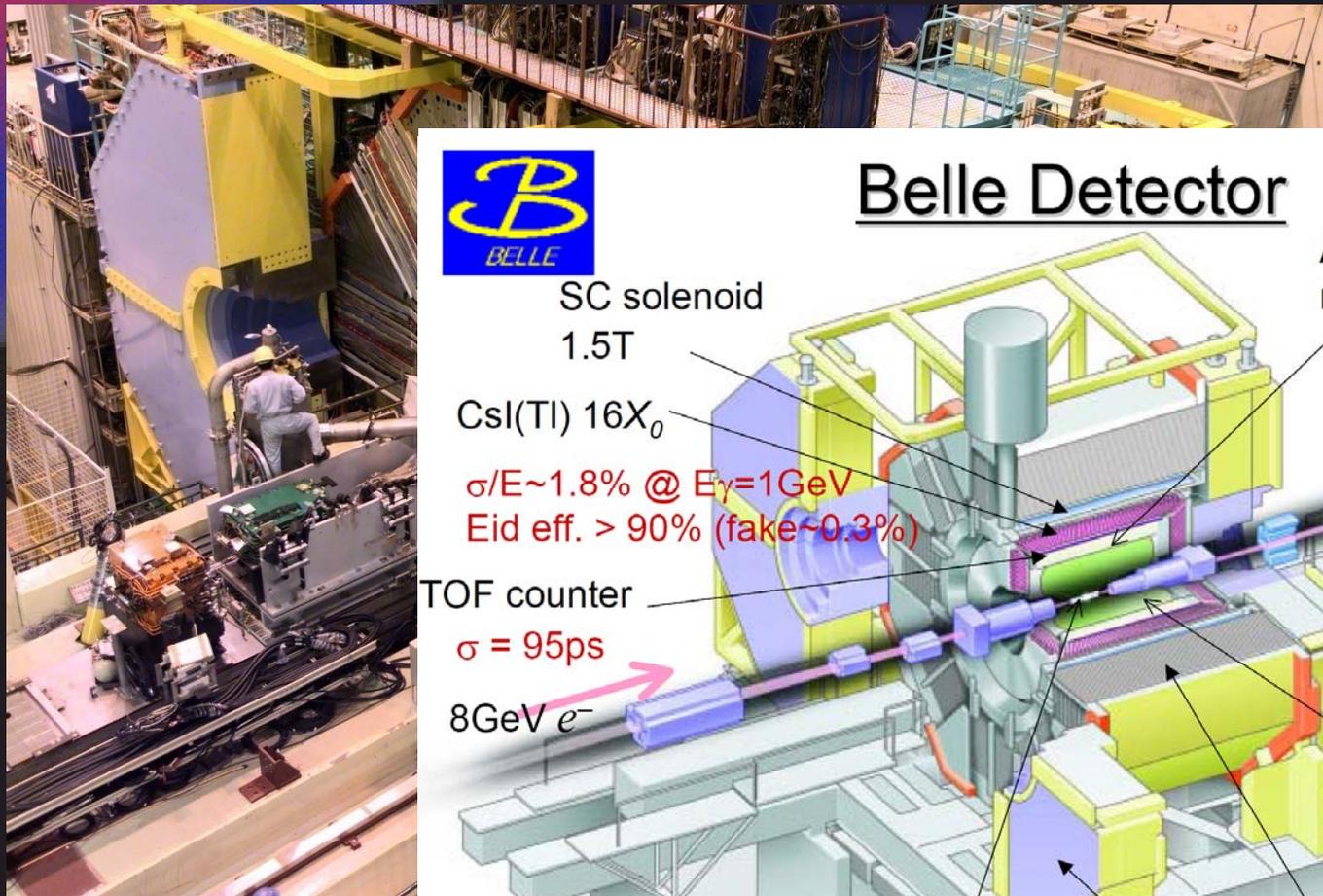
KEKB: Bellows



LER Septum Chamber



Belle測定器





Belle 国際研究チーム

世界14カ国の59の
研究機関・大学から
約360名が参加

ブドカー研究所
チェンナイ数理科学研究所
千葉大学
チョンナム国立大学
シンシナチ大学
イーファ女子大学
ギーセン大学
ギョンサン国立大学
ハワイ大学
広島工業大学
北京・高能研
モスクワ・IHEP
モスクワ・ITEP
カールスルーエ大学
神奈川大学
KEK
コリア大学
クラコウ原子核研
京都大学

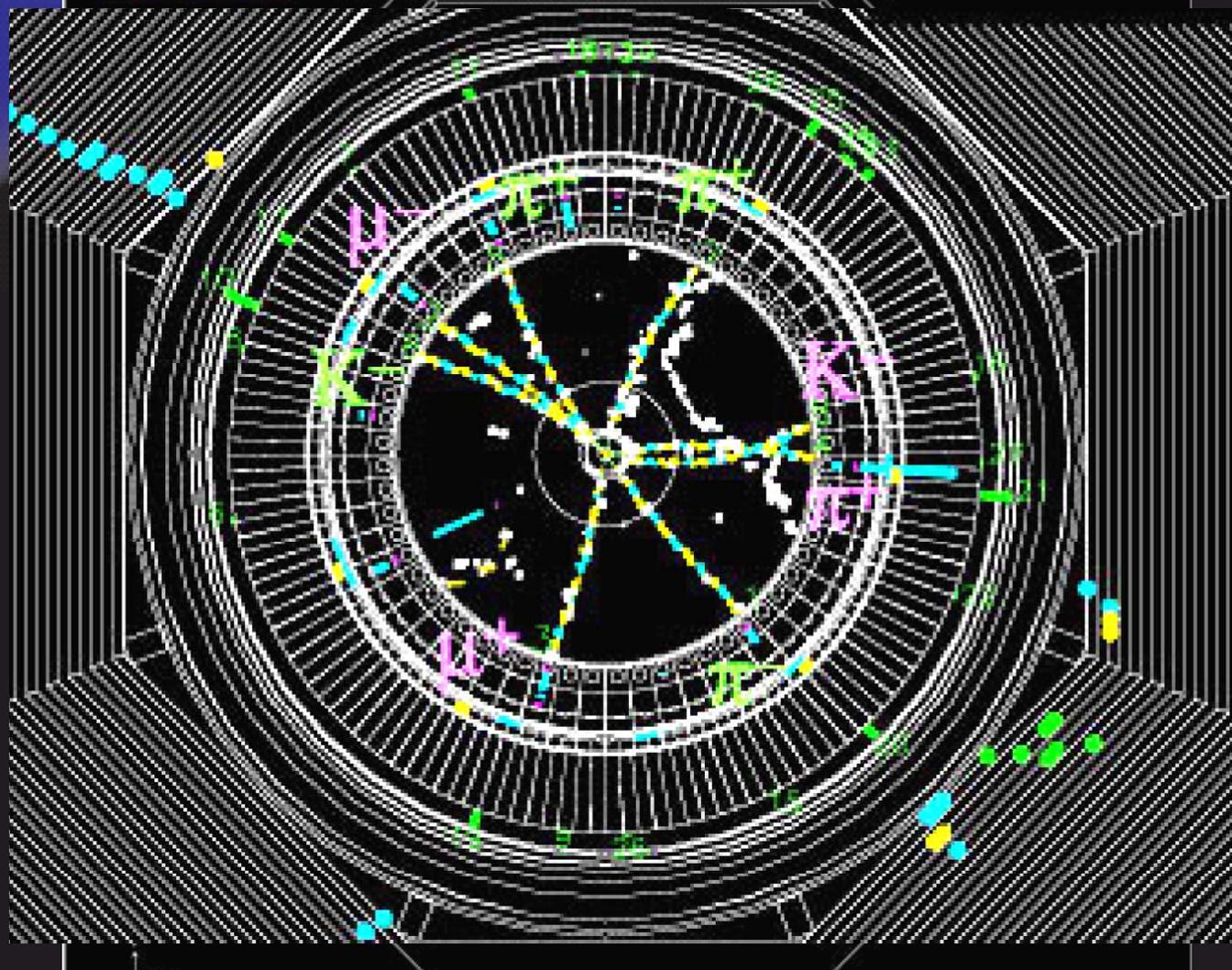
キュンポック国立大学
ローザンヌ大学
マックスプランク研究所
ヨセフステファン研究所
メルボルン大学
名古屋大学
奈良女子大学
国立中央大学
国立連合大学
国立台湾大学
日本歯科大学
新潟大学
ノバ・ゴリカ 科学技術学校
大阪大学
大阪市立大学
パンジャブ大学
ペキン大学
ピッツバーグ大学
プリンストン大学
理化学研究所

佐賀大学
中国科学技術大学
ソウル大学
信州大学
サンキュンカン大学
シドニー大学
タタ研究所
東邦大学
東北大学
東北学院大学
東京大学
東京工業大学
東京都立大学
東京農工大学
トリノ・INFN
富山商船高等専門学校
ウェイン州立大学
ウィーン高エネルギー研
バージニア工科大学
延世大学

B中間子崩壊の観測

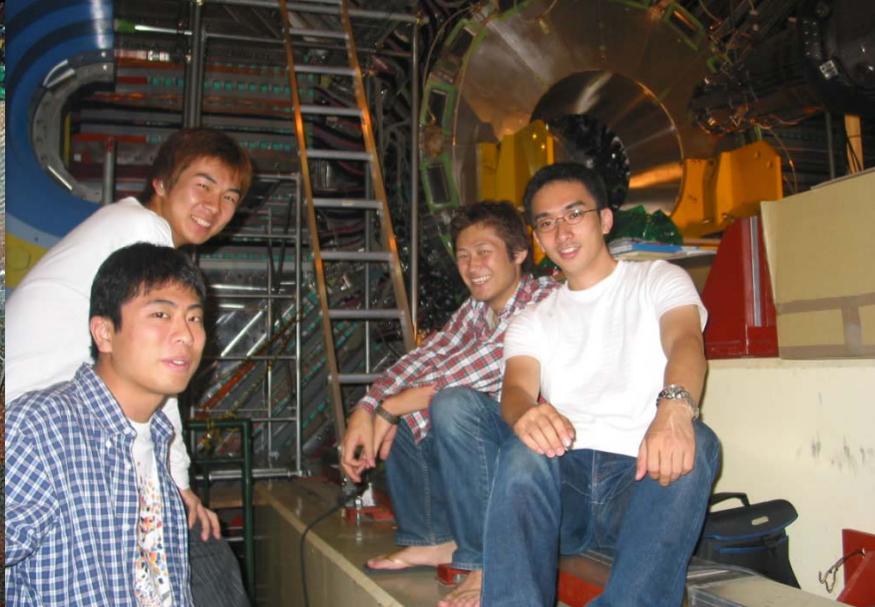
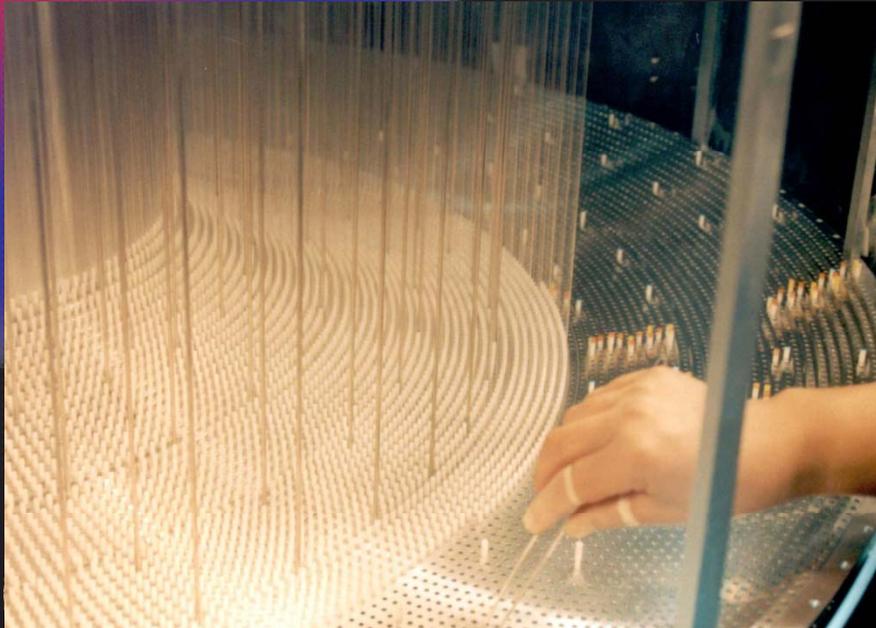
BELLE

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 SVD-M 0 CDC-M 1 KLM-M 0



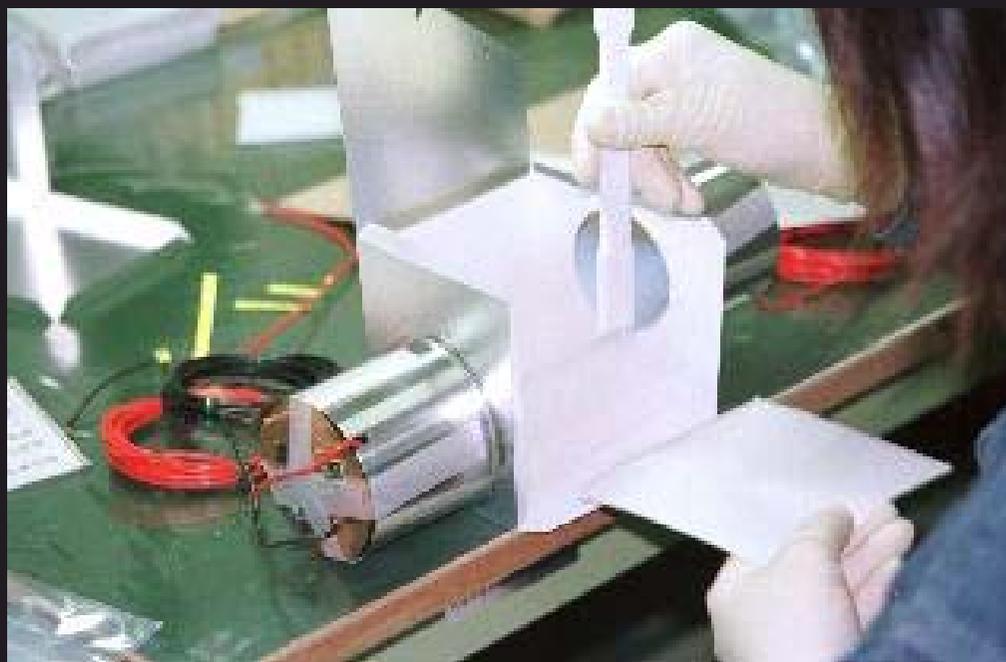
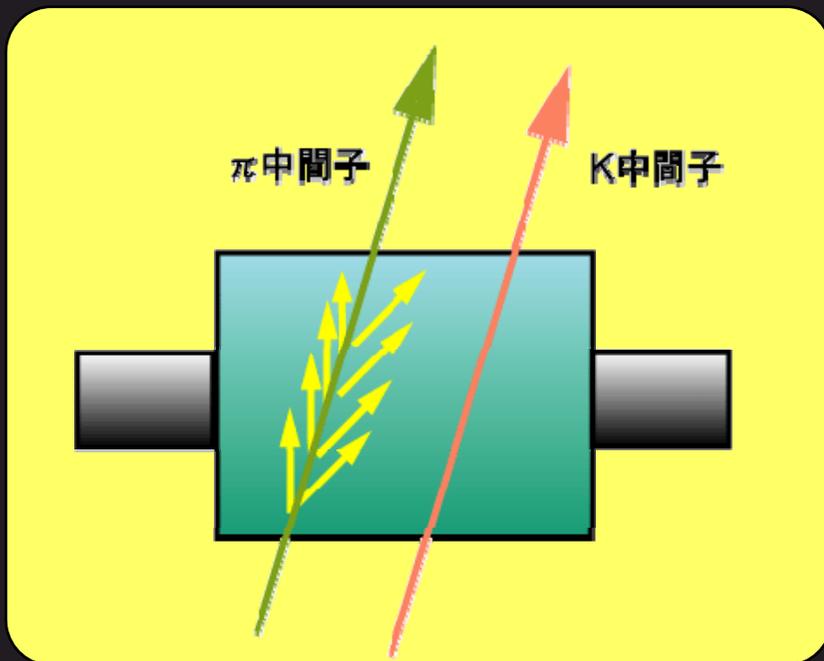
20 cm

中央飛跡検出器



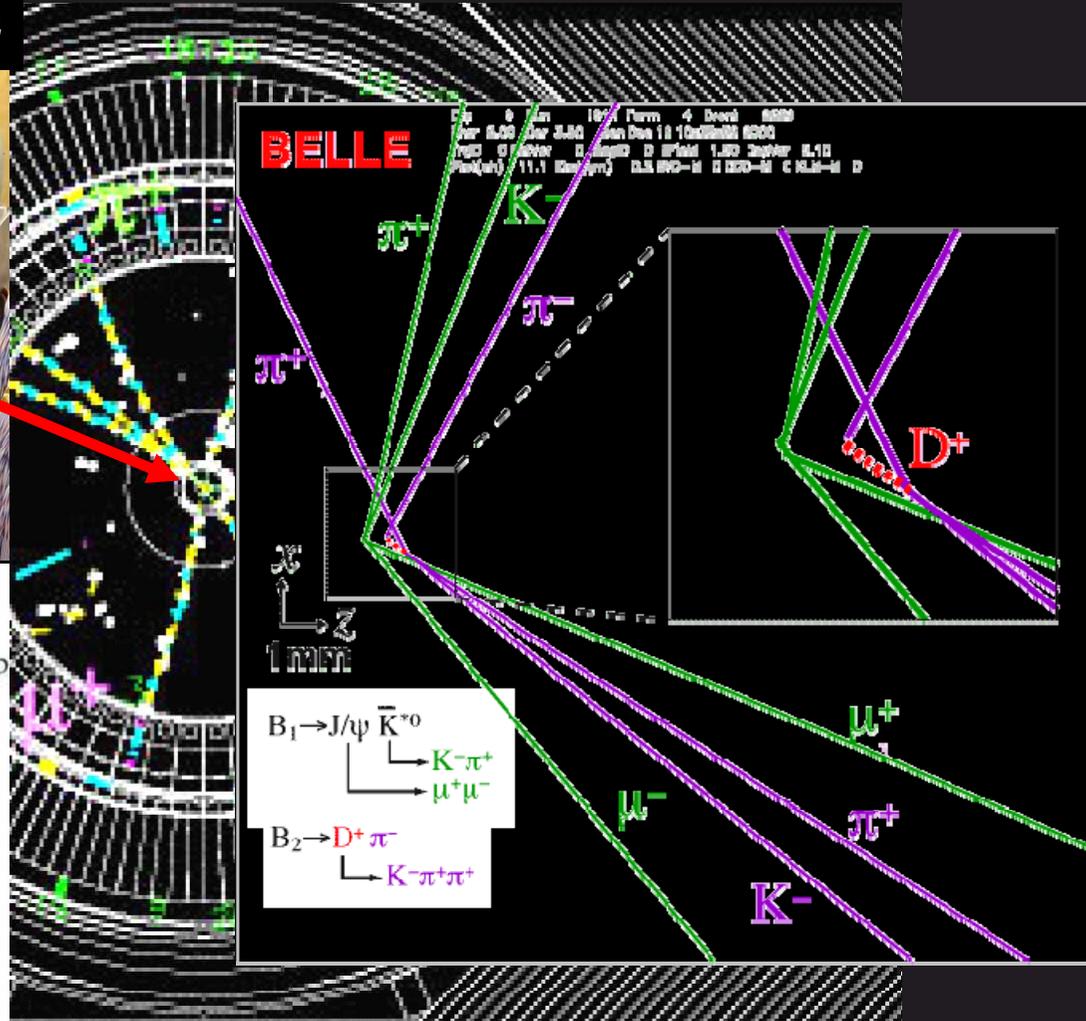
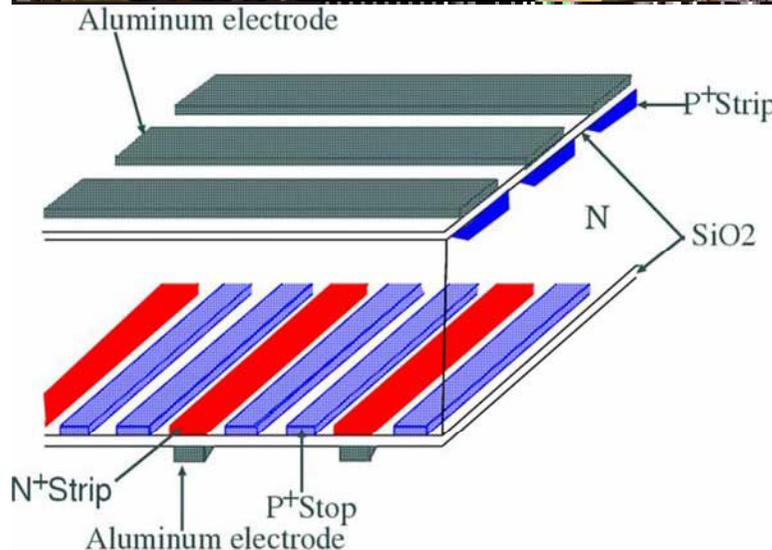
エアロジェル検出器

- 同じ運動量でも質量の違いによって粒子の速度が違う。
 - K中間子の質量は π 中間子の約3倍
- 適当な屈折率の透明物質を使えば、チェレンコフ光発生の有無で粒子の種類がわかる。
- Belleでは、**シリカエアロジェル**という特殊な物質を使う。



B中間子崩壊点再構成

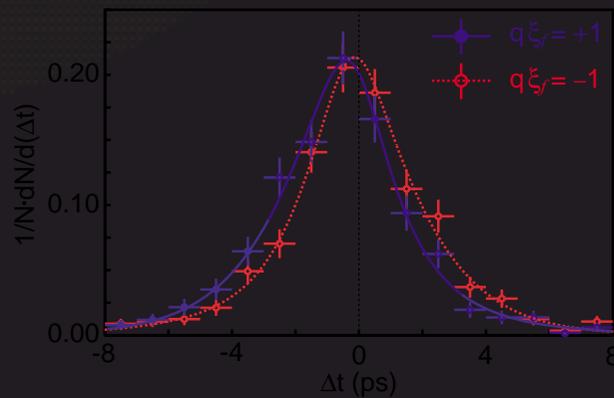
シリコンバーテックス検出器



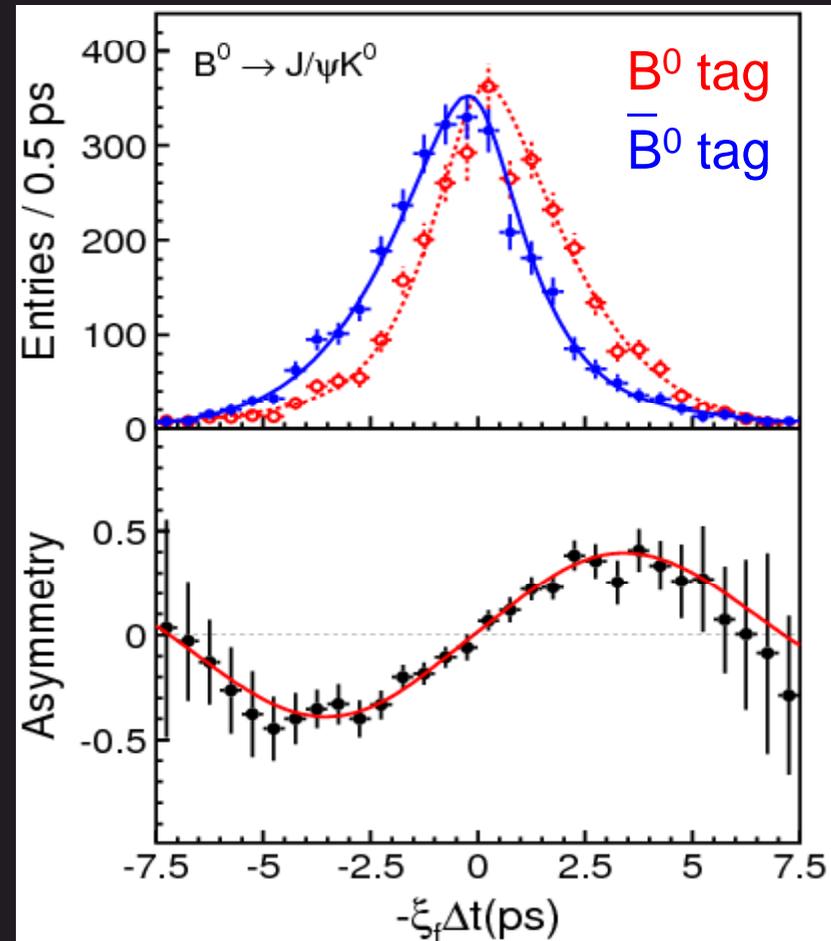
B崩壊におけるCPの破れの発見



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

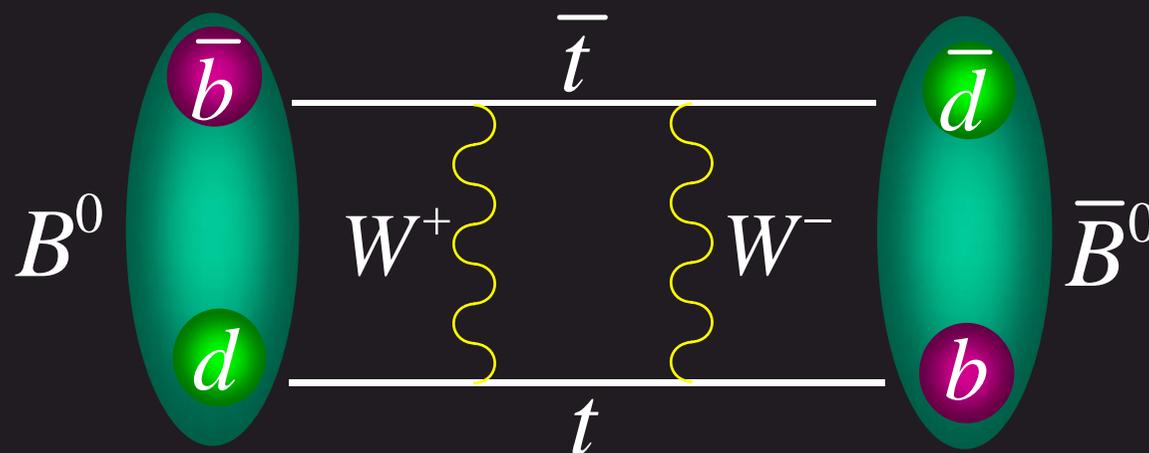
- 小林・益川理論の正しさ(クォークの世界の粒子・反粒子非対称の理由)
- 小林・益川だけでは、宇宙の物質優勢を説明できない。非対称が足りない。
- 小林・益川メカニズム以外のCP非対称の源が必要(新しい物理が必要)。
- 今後の研究は新しい物理の証拠探しへ！

新しい物理の探索

- 不確定性関係

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

B中間子崩壊の中間状態に重い粒子が登場する。

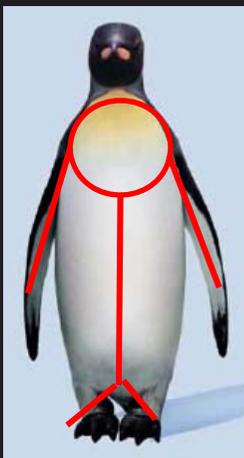


トップクォークやW粒子以外の効果が見えないか？

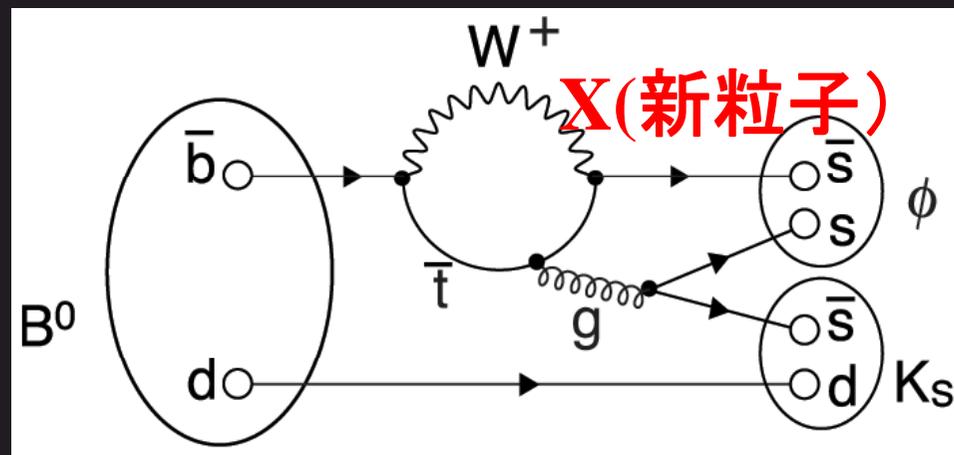
稀な崩壊におけるCPの破れ

- 「ペンギン崩壊」と呼ばれる量子ループを伴う崩壊は“新しい物理”に感度が高い。

標準理論のペンギン過程

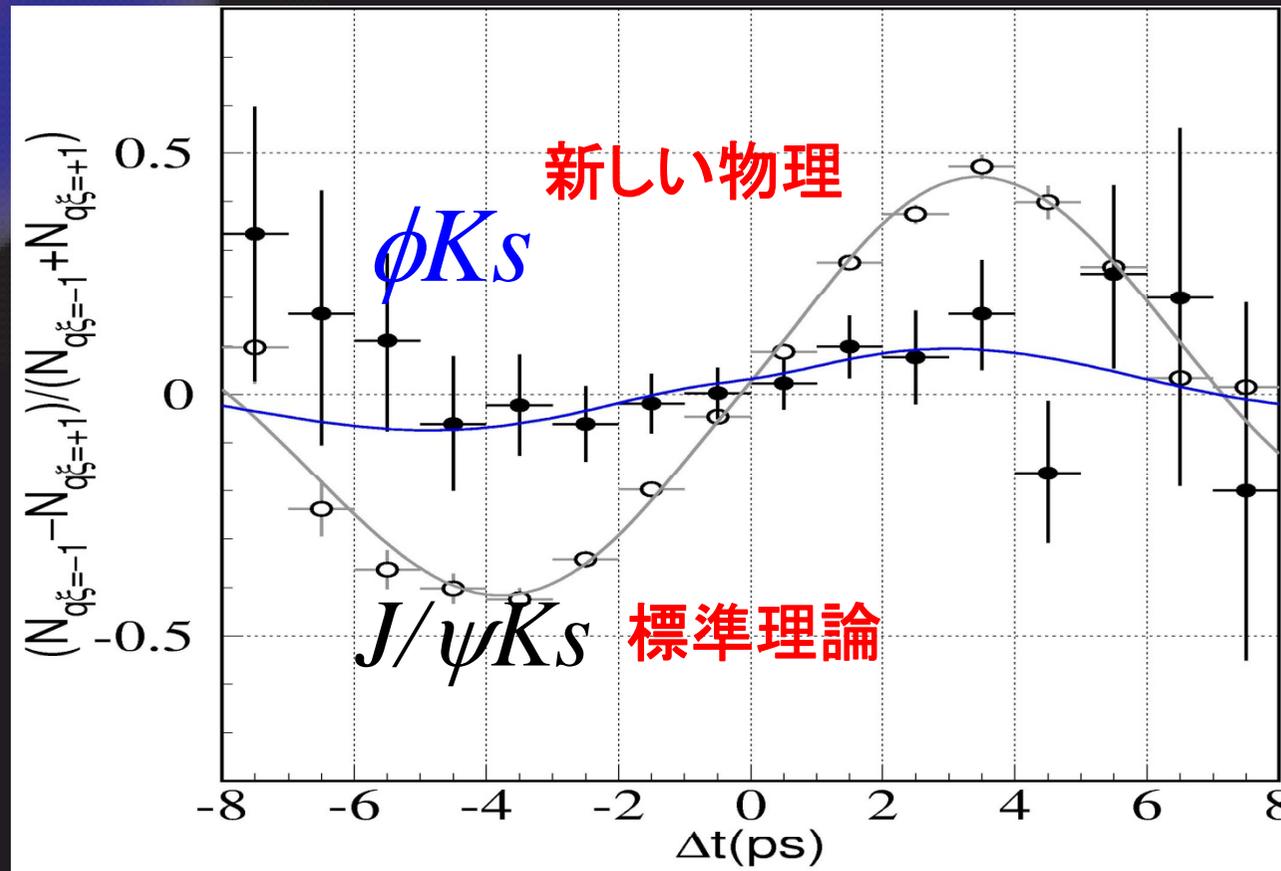


新物理のペンギン過程



未知の物理過程との干渉 → CP対称性の破れのずれ

スーパーBファクトリでは

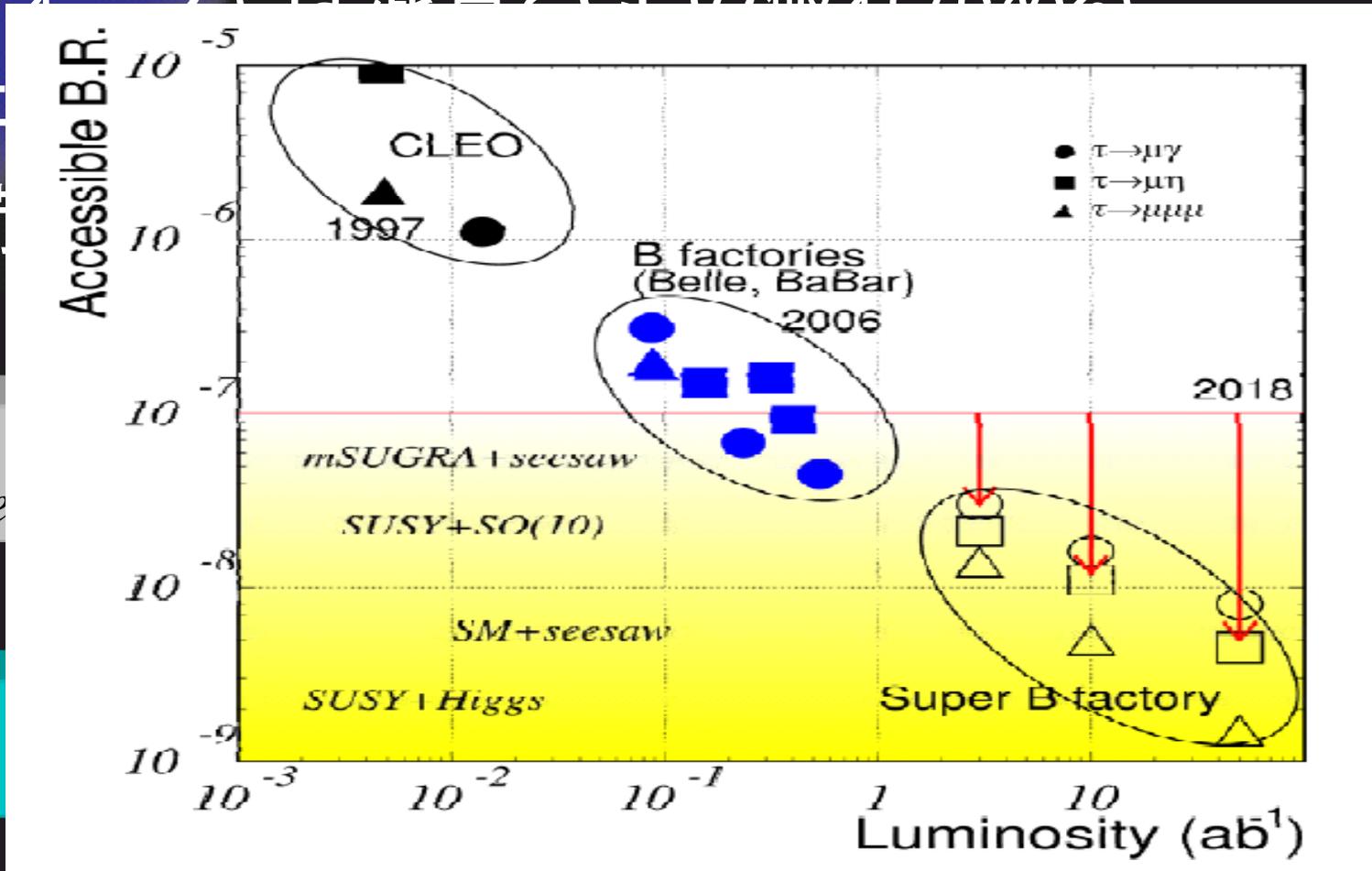
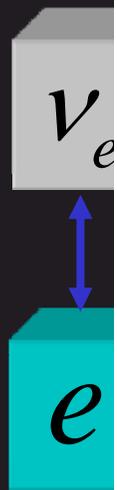


もし真の値が、現在(昨年8月)のBelleとBaBarの平均値のままで、 5 ab^{-1} のデータがあると、 ϕK_s モードだけで 6.2σ の有意な差が観測できる

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

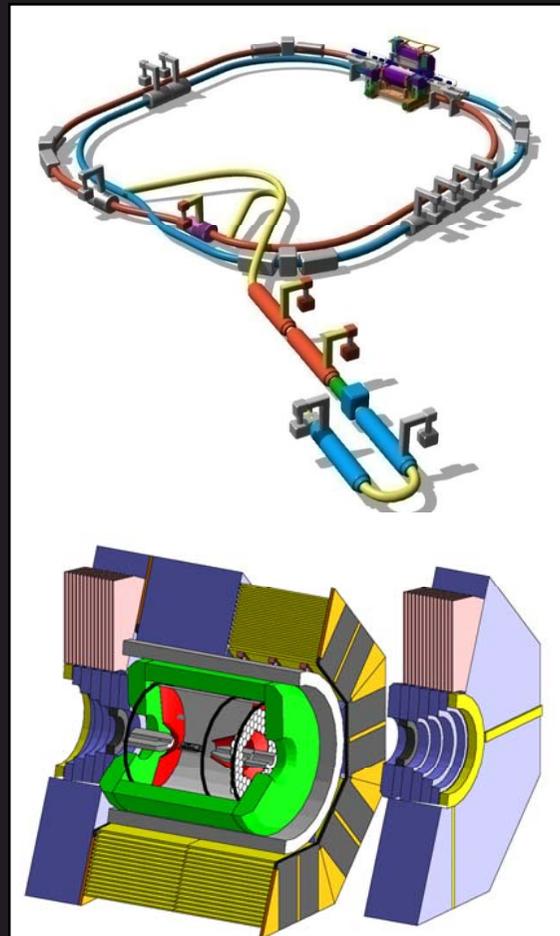
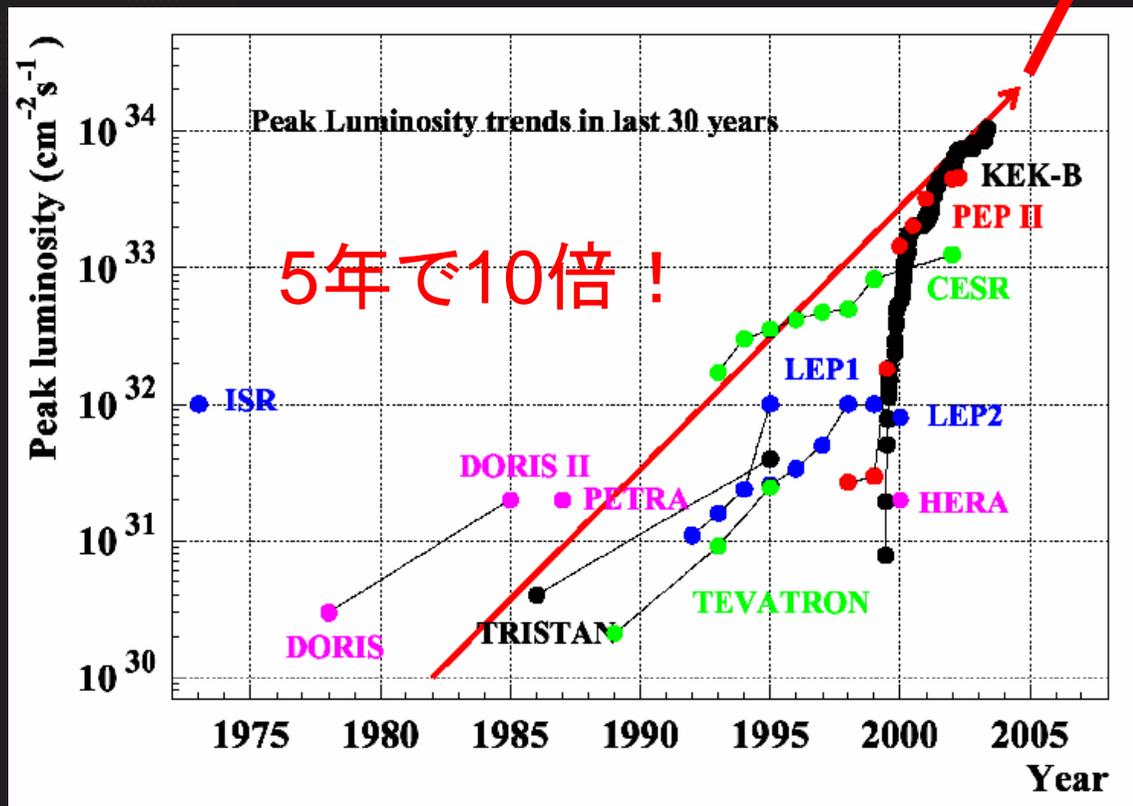
- 二
- 荷



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(昨日)

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

まとめ

- Bファクトリー実験で小林益川理論を検証！
- 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！