

Belle II実験における 新物理探索と精密測定

早坂 圭司 (新潟大学)

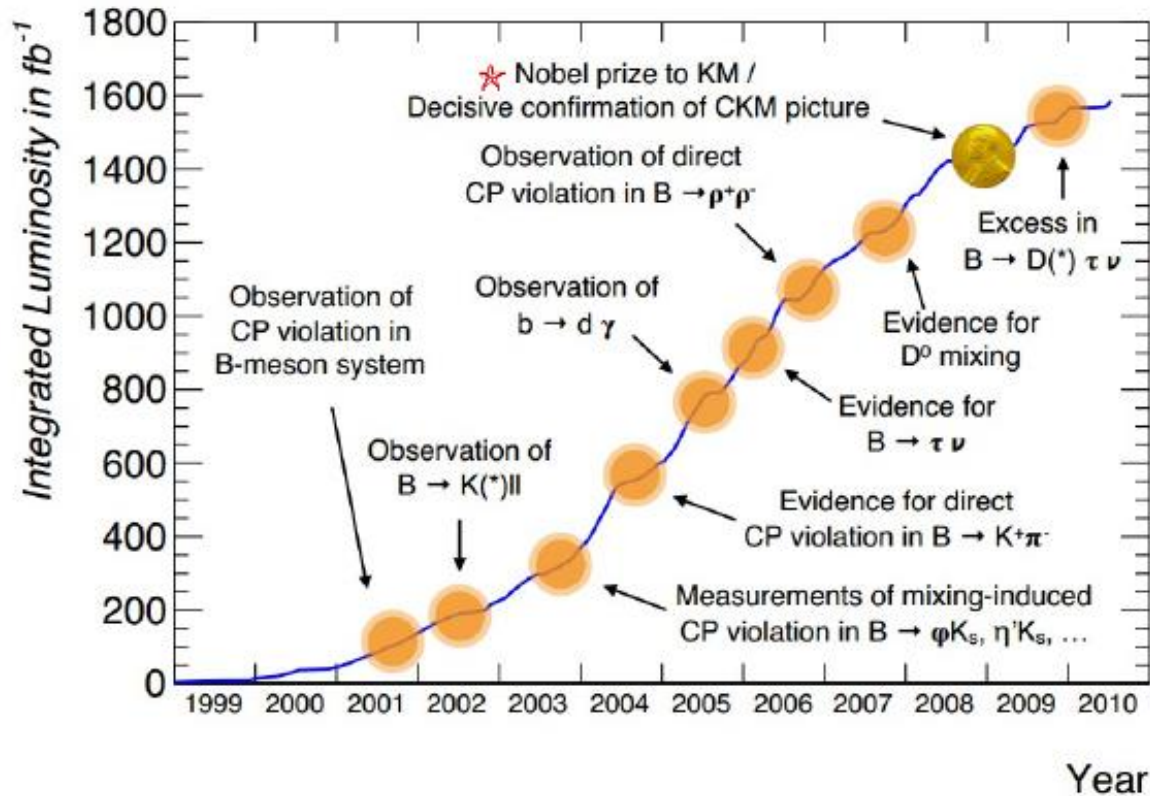
SuperKEKB/Belle II実験

▶ 高エネルギー加速器研究機構（KEK）で行われる電子・陽電子散乱型加速器実験

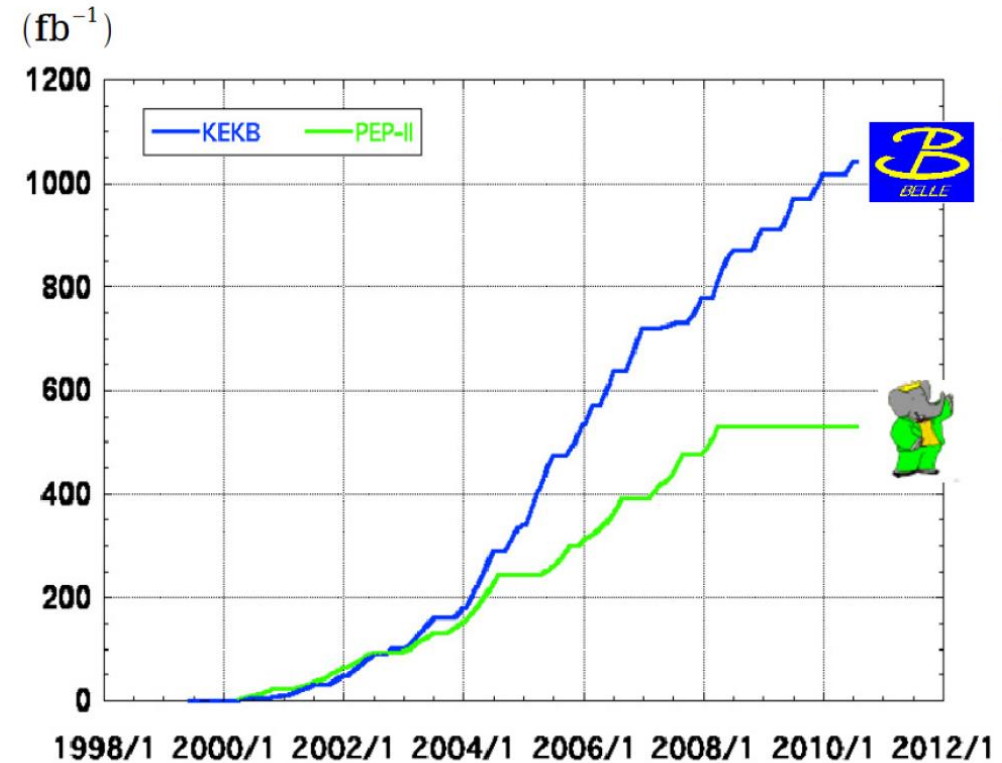
- ▶ 重心系のエネルギーは $Y(4S)$ の質量
- ▶ B中間子を長生きさせるために非対称散乱
- ▶ $Y(4S)$ はほぼ100% $B\bar{B}$ もしくは B^+B^- に崩壊するので、B-ファクトリー実験とも呼ばれる。同程度に、D中間子や、 τ レプトンも生成されるので、フレーバーファクトリーとも呼ばれる。
- ▶ 現在、23か国（地域）、100研究組織、約700名の共同研究者
- ▶ 先行実験にKEKB/Belle実験があり、世界最高統計量の 7.7×10^8 B中間子対のデータを取得。これの50倍のデータ取得を目指す。



KEKB/Belle から SuperKEKB/Belle IIへ



Integrated luminosity of B factories



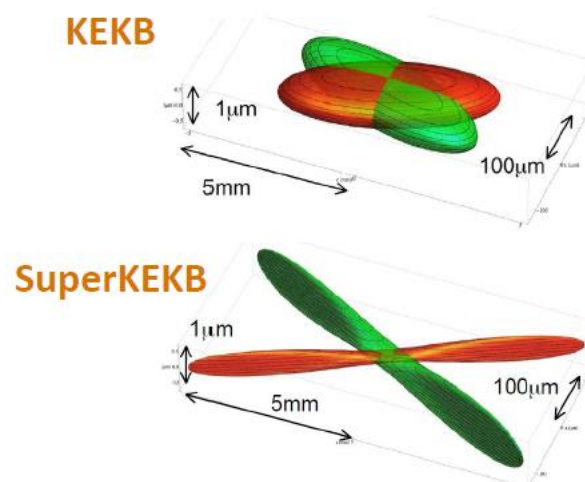
> 1 ab^{-1}
On resonance:
 $Y(5S): 121 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(4S): 711 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(3S): 3 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(2S): 25 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(1S): 6 \text{ fb}^{-1}$
Off reson./scan:
 $\sim 100 \text{ fb}^{-1}$

$\sim 550 \text{ fb}^{-1}$
On resonance:
 $Y(4S): 433 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(3S): 30 \text{ fb}^{-1}$
 $Y(2S): 14 \text{ fb}^{-1}$
Off resonance:
 $\sim 54 \text{ fb}^{-1}$

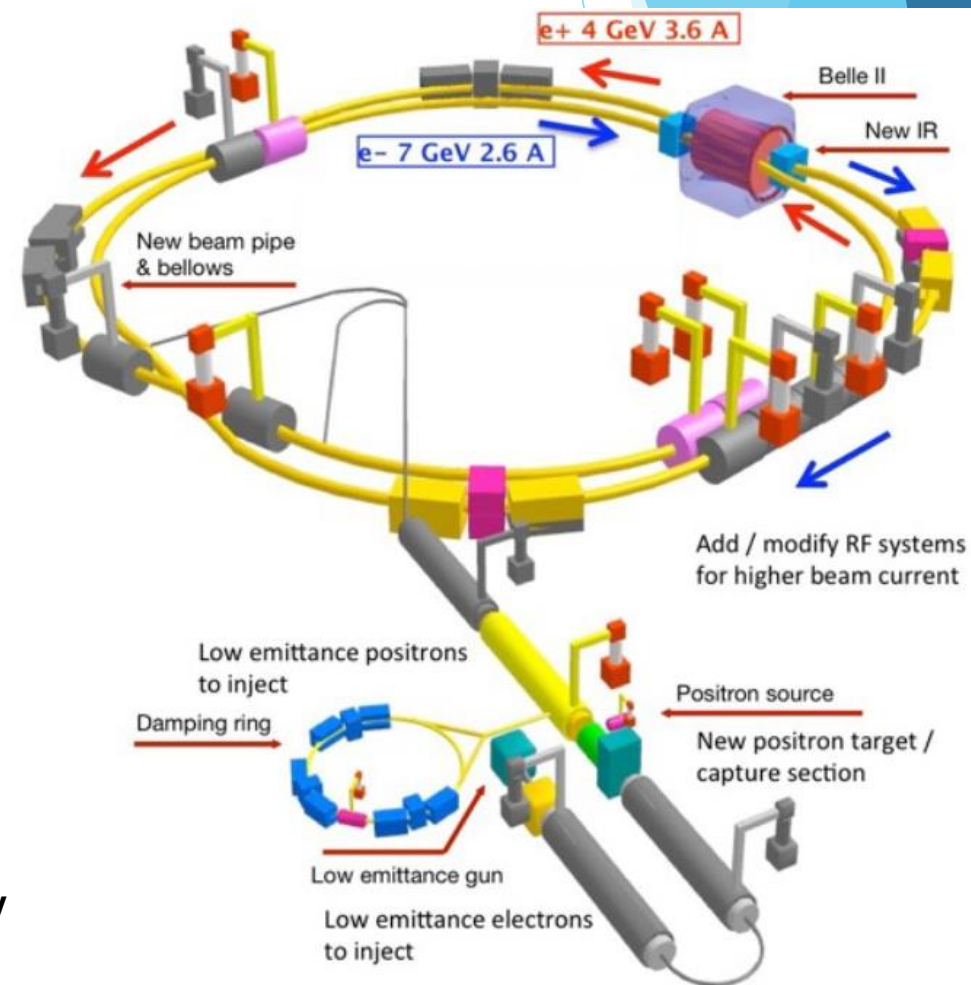
SuperKEKB/Belle II: データ量を 50 倍へ

SuperKEKB加速器

- ▶ 50倍のデータ量を達成するために加速器の性能を40倍に
(輝度 = 瞬間ルミノシティ)
 - ▶ 電流を2倍
 - ▶ 衝突時のビームサイズを20倍



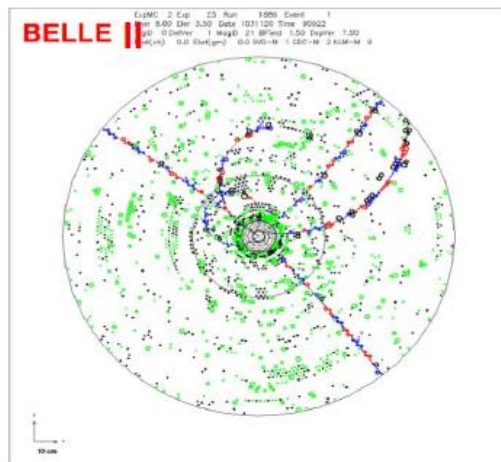
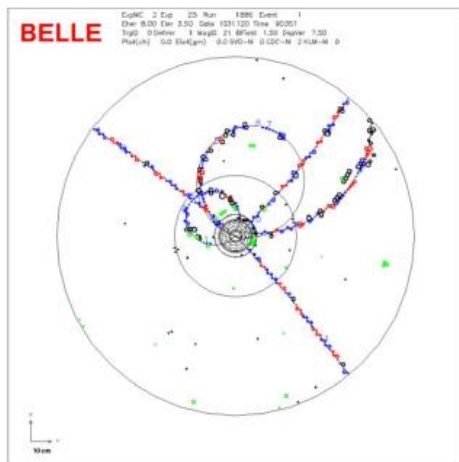
ビームの非対称度を下げる : 8GeV/3.5GeV → 7GeV/4GeV



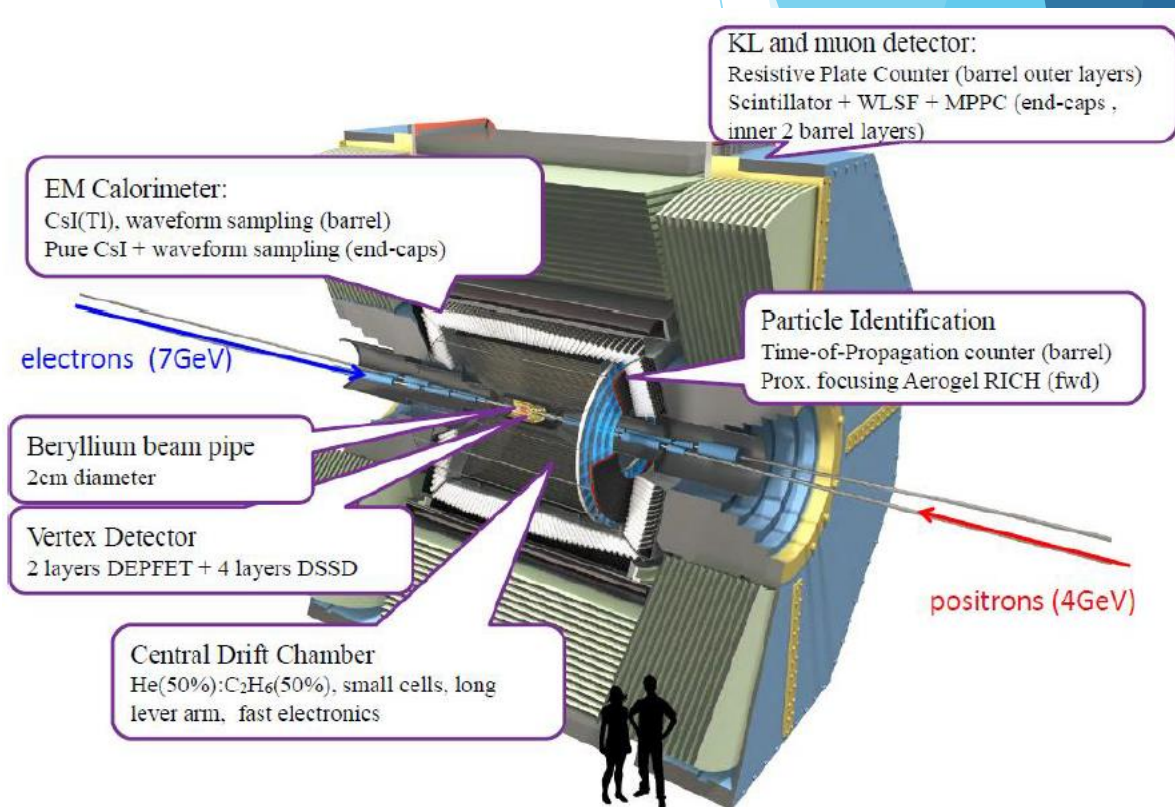
Belle II検出器

▶ 加速器の性能向上に伴い検出器もupgrade

- ▶ 衝突頻度向上対策
 - ▶ 衝突間隔が短くなったことへの対策
 - ▶ BGの量が増えたことへの対策
- ▶ 非対称度が下がったことへの対策
- ▶ 粒子識別能力の向上



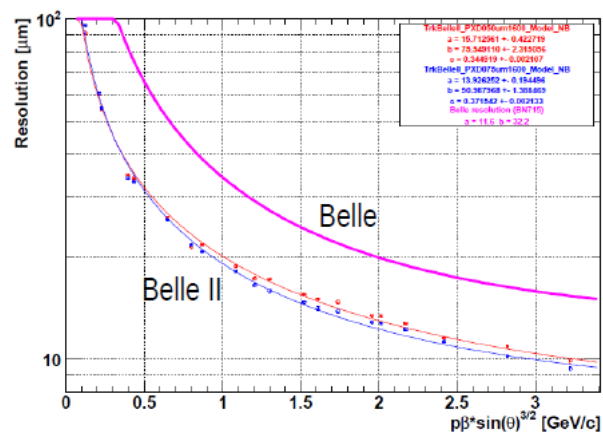
画像はイメージです



検出器

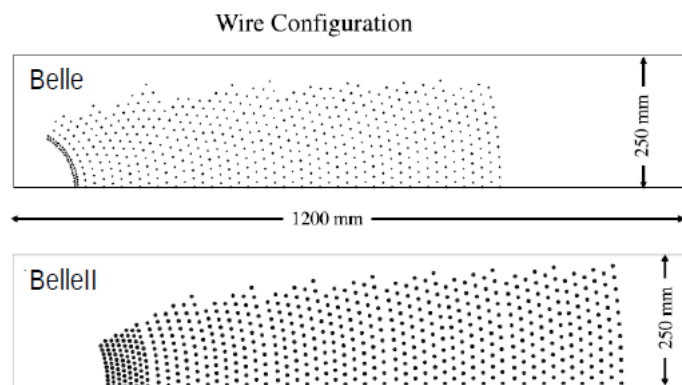
▶ シリコン検出器

▶ 2倍程度分解能向上



▶ トラッカー

▶ より密に



▶ PID : チェレンコフイメージを利用

▶ Belle:チェレンコフ光が出るかでないか + TOF バレル部 エンドキャップ部

	Belle	Belle II (sim)
K eff	88%	94%
π fake rate	9%	4%

95%

3%

▶ カロリメータ、 μ 検出器

▶ 基本部分はそのまま

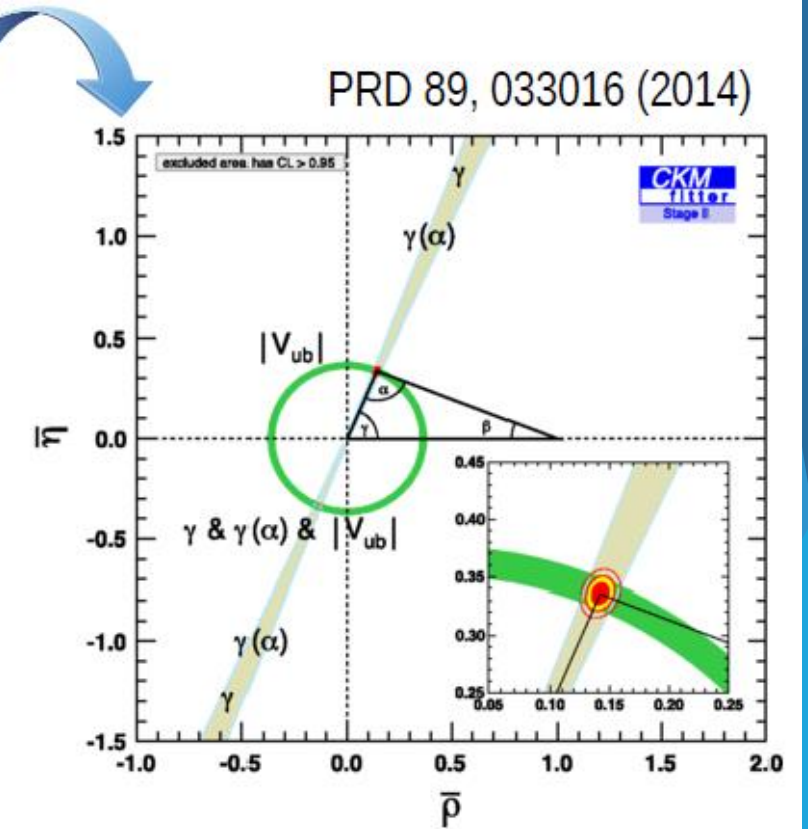
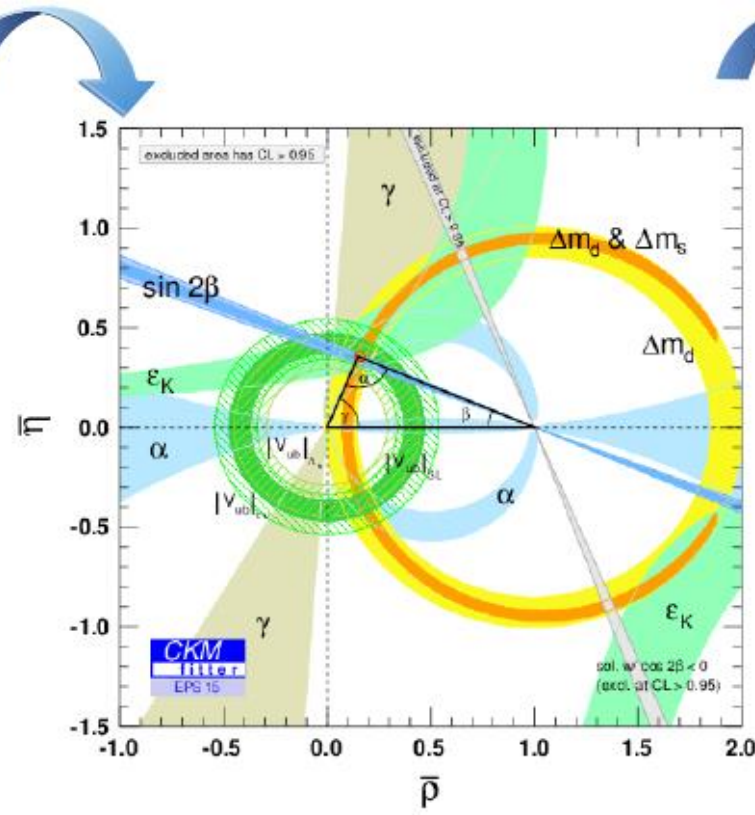
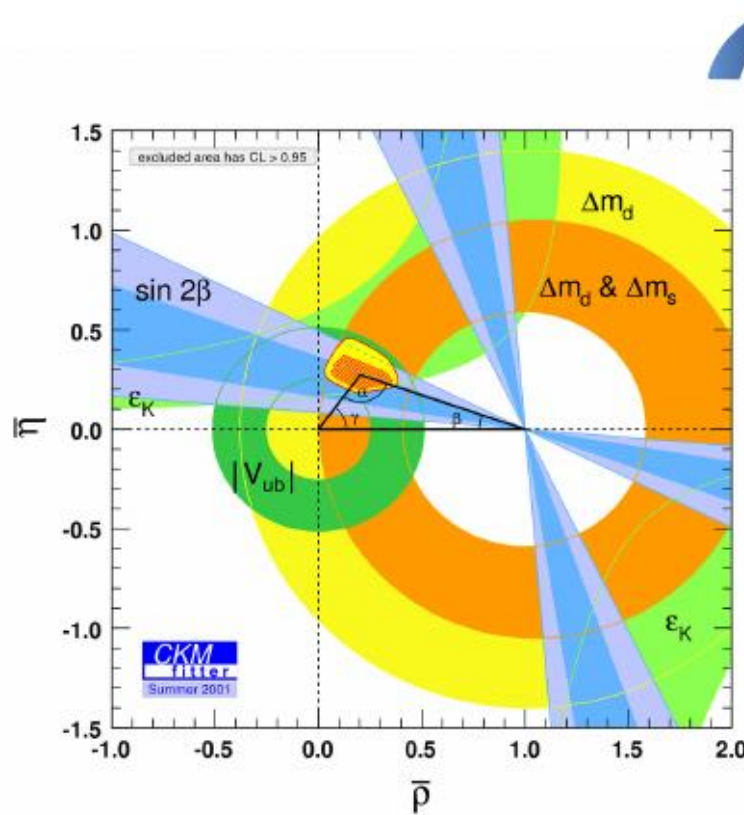
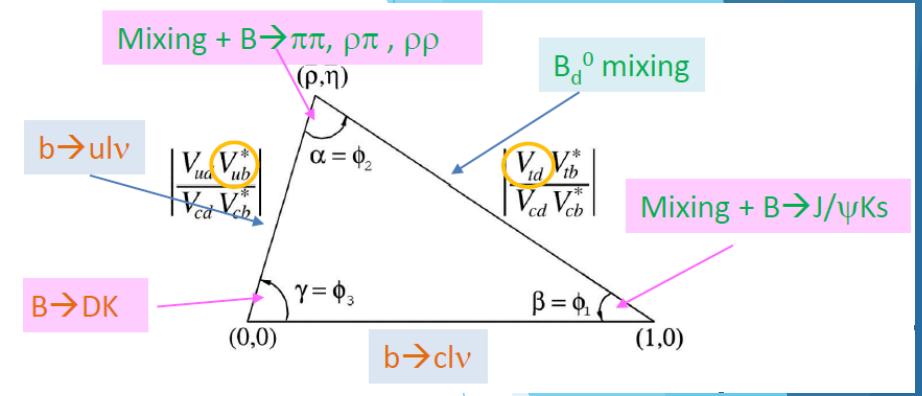
▶ 読み出し回路を高頻度対応

何をするのか？

- ▶ ユニタリー三角形は閉じているのか？
- ▶ 今見えているアノマリーは生き残るのか？
- ▶ 新たなアノマリーは生じるのか？・希崩壊の探索

ユニタリー三角形

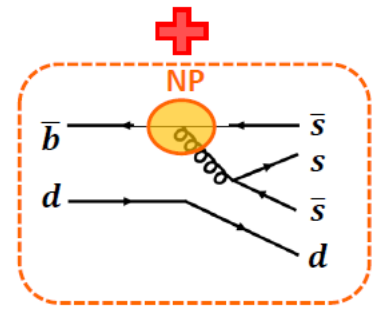
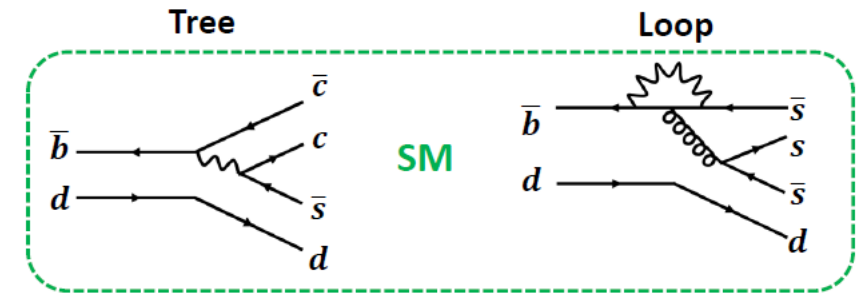
この10年でユニタリー三角形の精度は劇的に向上した。



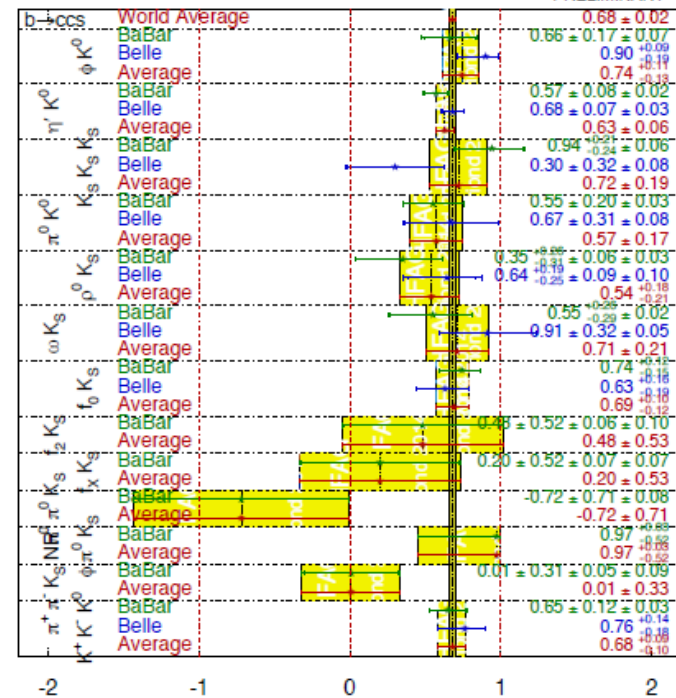
ユニタリー三角形が本当に閉じているのか？を検証するのがBファクトリー実験の使命

Sin2φ₁(=β)と新物理

- ▶ b→c過程からも、b→s過程からも評価可能
 - ▶ b→c過程はtreeだが、b→s過程はloop
 - ▶ 新物理過程が乗っかっているとb→s過程の方が影響は顕著
 - ▶ b→c過程とb→s過程から評価したφ₁の差が新物理の影響
- 現状はエラーが大きいがconsistent

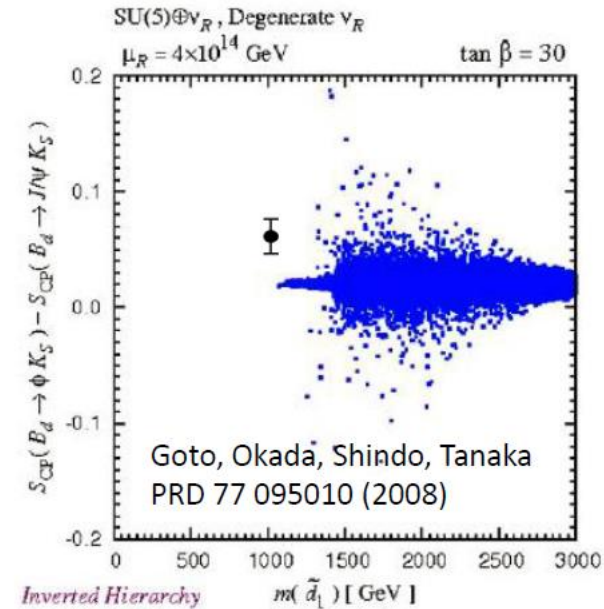
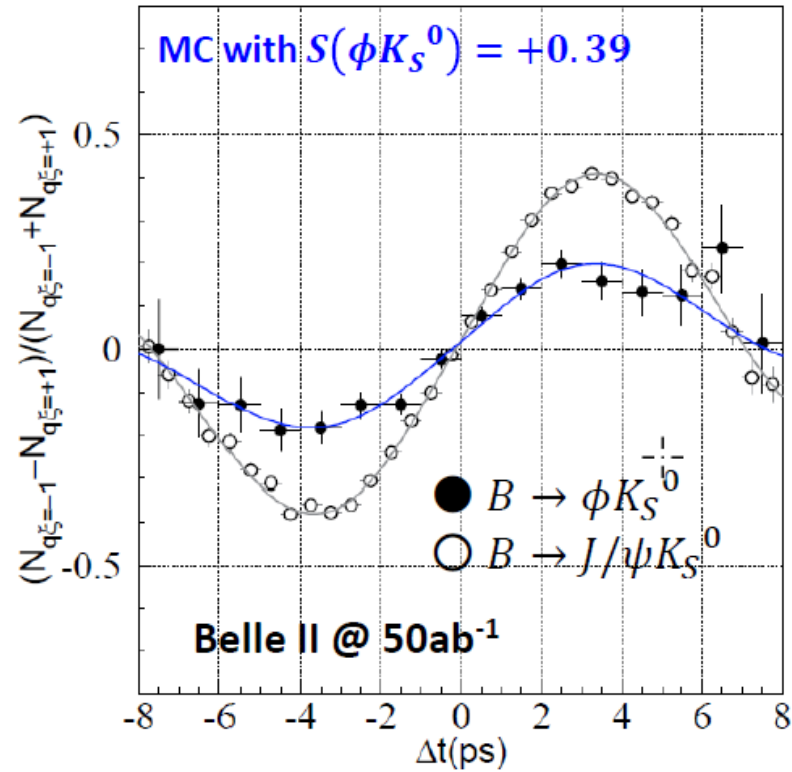
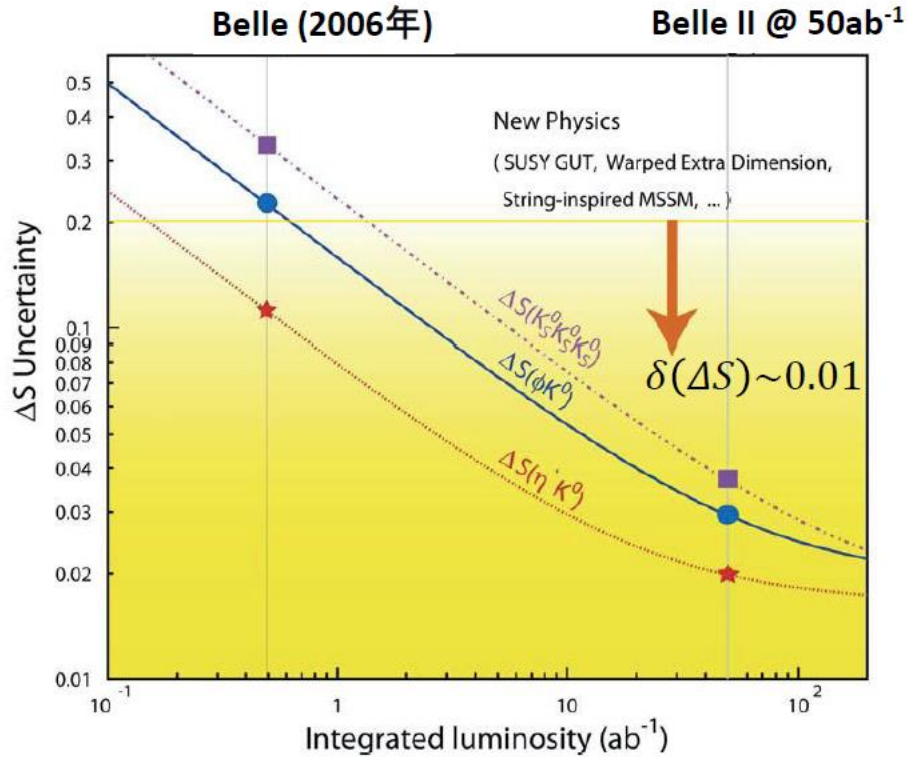


$\sin(2\beta^{\text{eff}}) \equiv \sin(2\phi_1^{\text{eff}})$ **HFAG**
Moriond 2014
PRELIMINARY



ϕ_1 のBelle IIでの精度

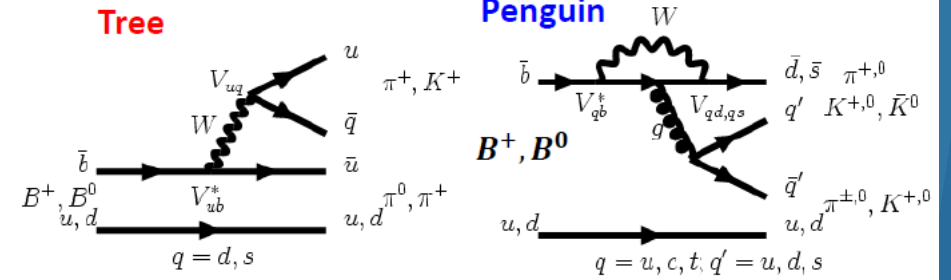
$$\Delta S_{\phi K^0} = S_{\phi K^0} - S_{J/\psi K^0} \quad S \sim \sin(2\phi_1)$$



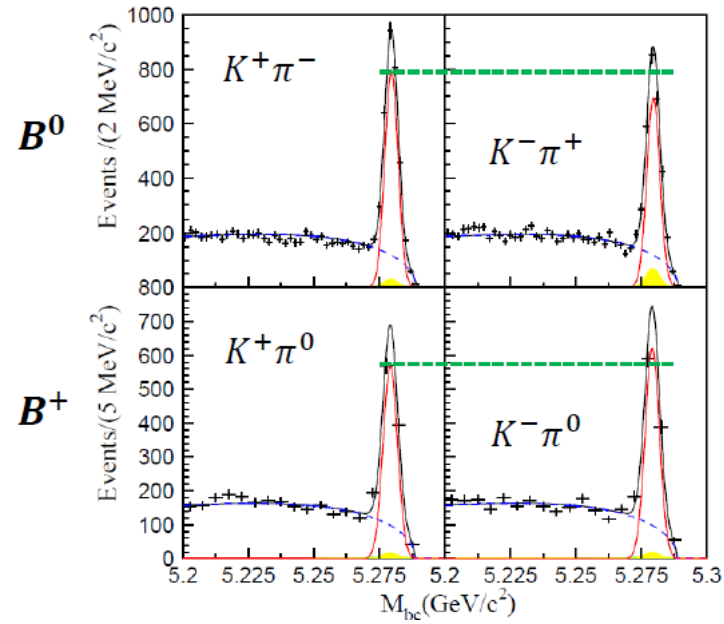
▶ 50ab⁻¹で $\delta(\Delta S) \sim O(10^{-2})$:新物理の検出が可能

B → Kπ崩壊

- ▶ アノマリーがあるように見える過程の1つ
- ▶ $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$, $B^0 \rightarrow K^0 \pi^0$, $B^+ \rightarrow K^+ \pi^0$, $B^+ \rightarrow K^0 \pi^+$ はクォークレベルでは同じ反応なので、CPVも同じになるはず。



Belle (PRD 87, 031103(R) (2013))



$$\begin{aligned}
 A_{CP}(K^+ \pi^-) &= -0.069 \pm 0.014 \pm 0.007 \\
 A_{CP}(K^+ \pi^0) &= +0.043 \pm 0.024 \pm 0.007 \\
 \Delta A_{CP} &= A_{CP}(K^+ \pi^0) - A_{CP}(K^+ \pi^-) \\
 &= 0.112 \pm 0.027 \pm 0.007 \quad (5.6\sigma)
 \end{aligned}$$

Isospin sum rule

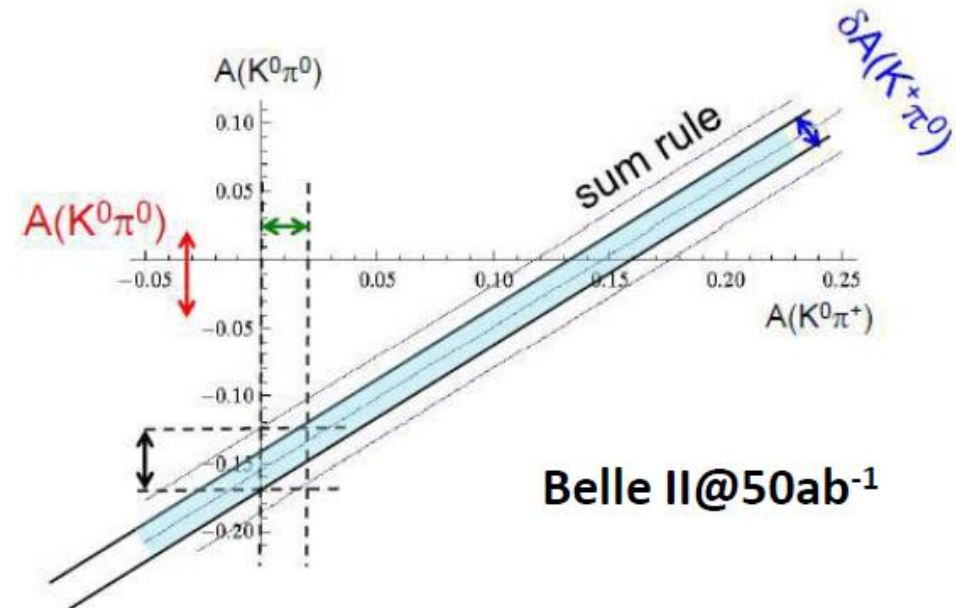
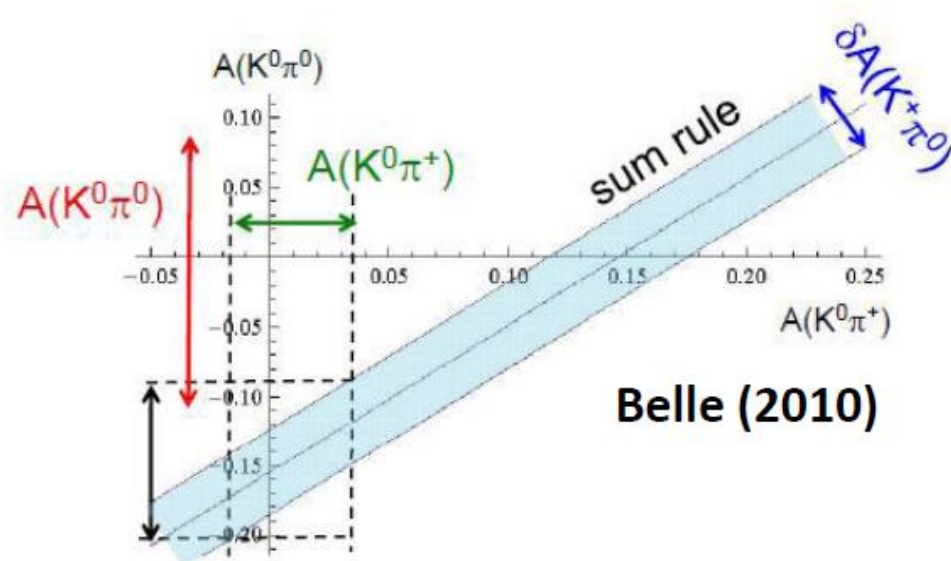
- ▶ Isospinの違いを吸収するようなsum rule

$$A_{CP}(K^+\pi^-) + A_{CP}(K^0\pi^+) \frac{\Gamma(K^0\pi^+)}{\Gamma(K^+\pi^-)} - A_{CP}(K^+\pi^0) \frac{2\Gamma(K^+\pi^0)}{\Gamma(K^+\pi^-)} - A_{CP}(K^0\pi^0) \frac{2\Gamma(K^0\pi^0)}{\Gamma(K^+\pi^-)} = 0$$

- ▶ Belleの結果を代入すると

Phys. Lett. B627, 82 (2005)

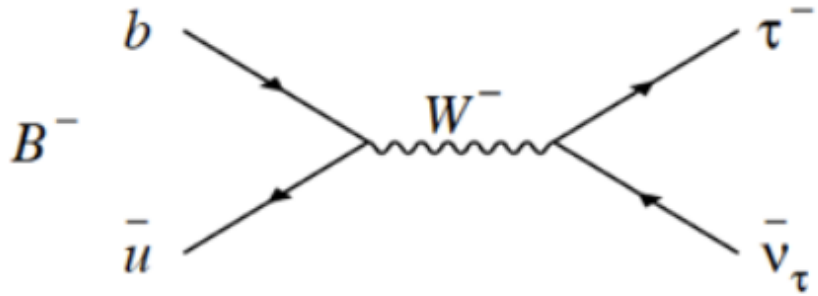
- ▶ $-0.270 \pm 0.132 \pm 0.060$ (1.9σ)



τ を含むB崩壊

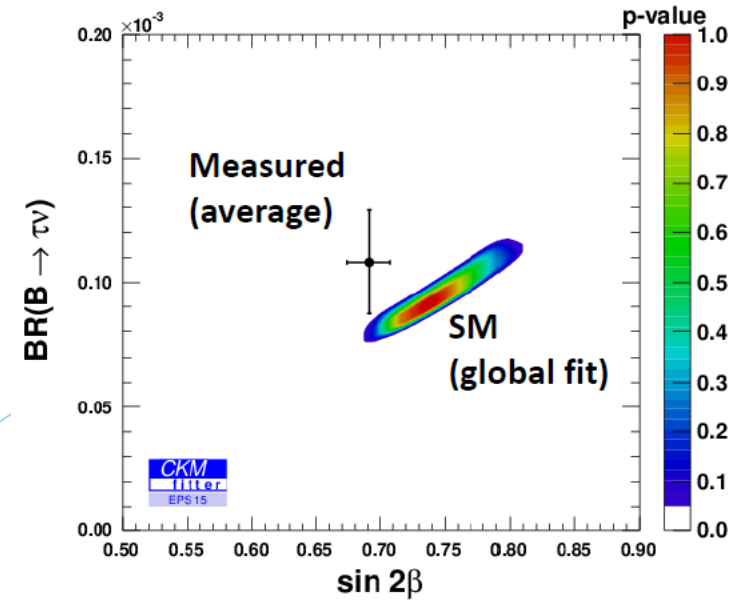
- ▶ τ を含むと必ず ν_τ を含み、 τ 崩壊がさらに ν_τ を出すのでBの同定が難しい
 - ▶ 通常は、もう一方のBを完全再構成し、欠損運動量が質量0ではないことを要請する。
 - ▶ Bファクトリーの独壇場！ と思ってたらLHCbが $B \rightarrow D^* \tau \nu$ を測って見せた
- ▶ 第3世代のbから第3世代の τ へと崩壊するので、Higgs的な新物理の寄与は大きいと期待される。

$B \rightarrow \ell \nu$ 崩壊 ($\ell = e, \mu, \tau$)

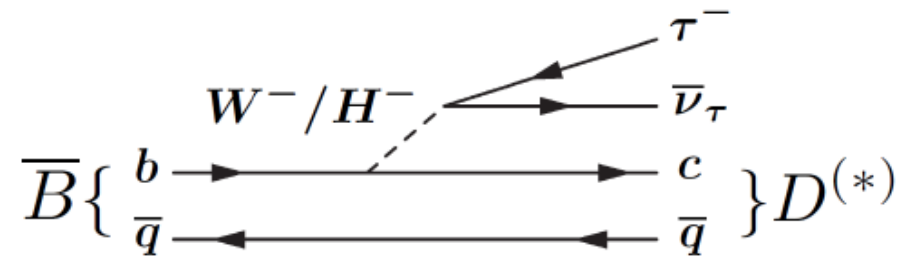


$$\mathcal{B}(B \rightarrow \ell \nu) = \frac{G_F^2 m_B m_\ell^2}{8\pi} \left(1 - \frac{m_\ell^2}{m_B^2}\right)^2 f_B^2 |V_{ub}|^2 \tau_B$$

- ▶ m_ℓ^2 に比例しているため、 $\ell = e, \mu$ は非常に小さい。
(μ でも 3 桁落ち : Belle では観測不可能)



B → D(*) τ ν 崩壊



- ▶ 分岐比は $B \rightarrow \tau \nu$ に比べて大きい
- ▶ DやD*が居るので背景事象も落としやすい
- ▶ DやD*が居るのでハドロナイゼーションや V_{cb} を考慮する必要あり → $R(D^*), R(D)$ の導入

$$R(D) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D \tau^- \bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D \ell^- \bar{\nu}_\ell)}$$

$$R(D^*) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^* \tau^- \bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^* \ell^- \bar{\nu}_\ell)}$$

PIDなど実験の系統誤差もキャンセルできるので
精度がよい → テンション等はこっちで議論

- ▶ D*の偏極やτの偏極など、分岐比以外の情報もある。
(があまり、活用されていない)

$B \rightarrow D^* \tau \nu$ のアップデート

- ▶ 終状態に ν を含むので、理想的にはもう1つのB中間子を完全再構成した方がよい→やりつくされた。
- ▶ これ以上精度を上げるには？
 - ▶ もう1つのB中間子を $B \rightarrow D^* \ell \nu$ ($\ell = e, \mu$)崩壊とする解析 (セミレプトニックタグ)
 - ▶ 完全再構成の時は同時に $B \rightarrow D \tau \nu$ も測定したが、背景事象がおおいので無理
 - ▶ τ の崩壊を $\tau \rightarrow \ell \nu \nu$ だったのをやめて $\tau \rightarrow \pi \nu, \rho \nu$ とする解析 (完全再構成、 τ ハドロニック崩壊)
 - ▶ メリットとして、 τ の偏極が測定できる。
 - ▶ $B \rightarrow D^* \pi \dots$ の...の部分が検出漏れした場合の背景事象が区別できない。なおかつ、精密に測定されていない場合大きな系統誤差となる。

B → D* τ ν 最新結果

セミレプトニックタグ

$$- \mathcal{R}(D^*) = 0.302 \pm 0.030(\text{stat}) \pm 0.011(\text{syst})$$

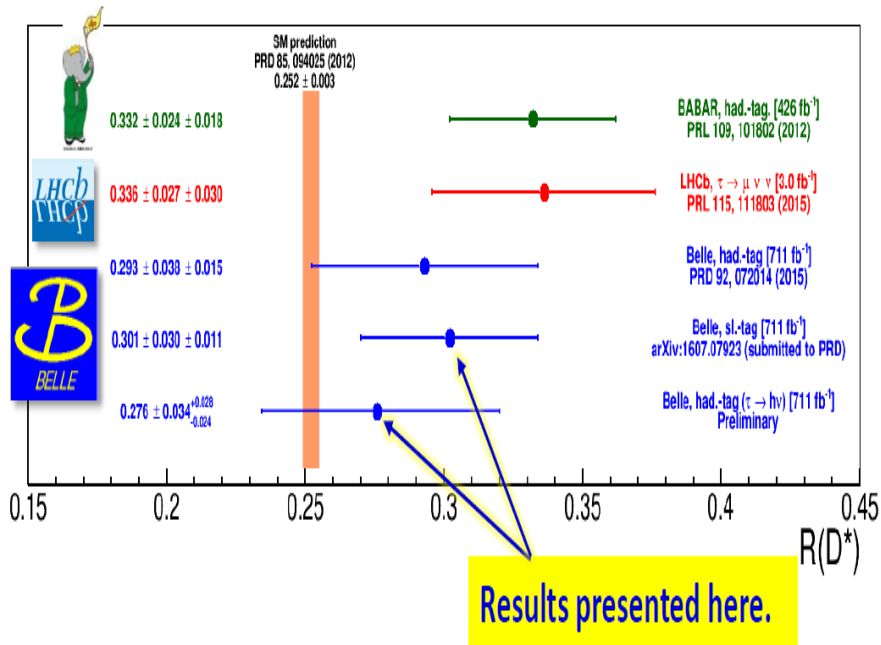
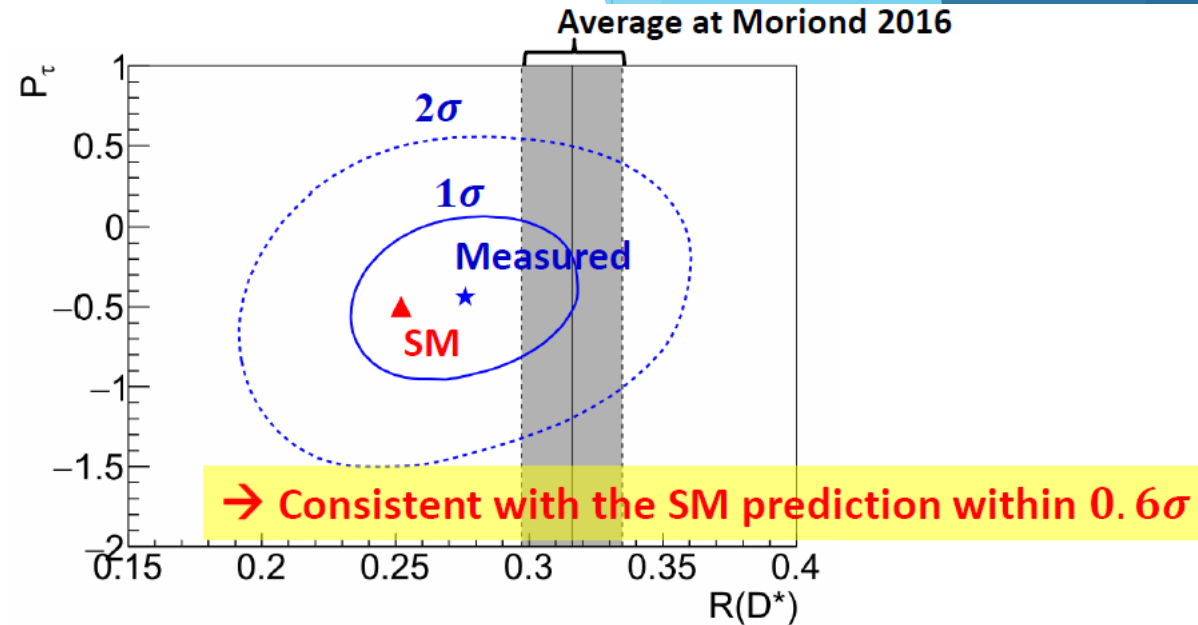
Submitted to PRD
(arXiv:1607.07923)

完全再構成、τハドロニック崩壊

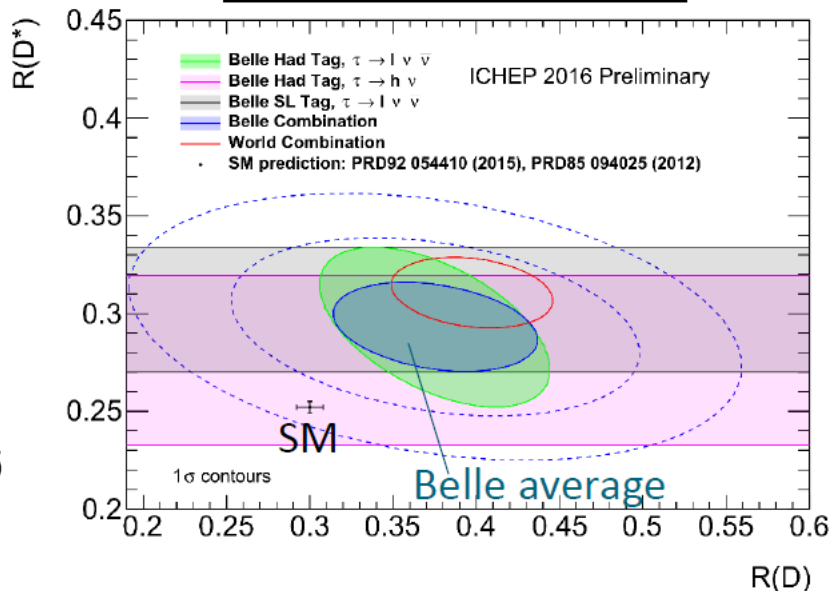
$$- \mathcal{R}(D^*) = 0.276 \pm 0.034(\text{stat})_{-0.026}^{+0.029}(\text{syst})$$

Preliminary

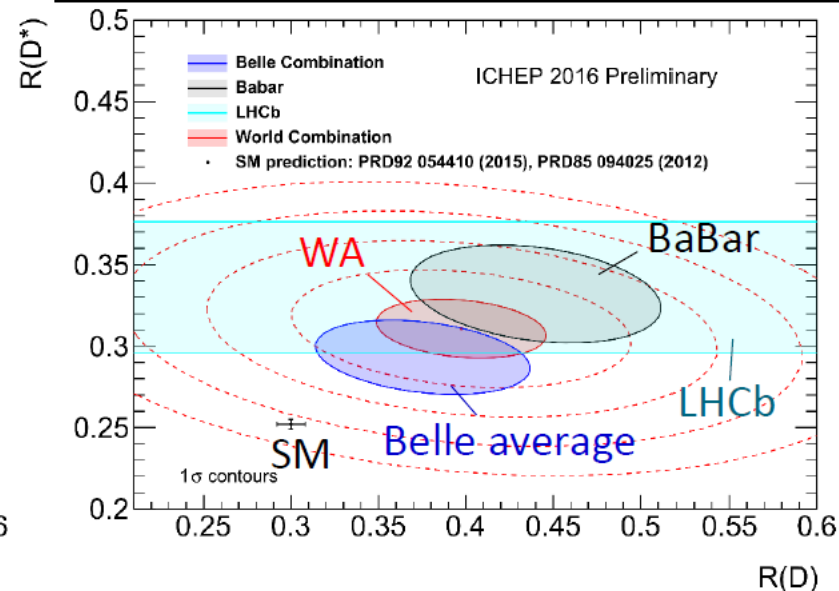
$$- \mathcal{P}_\tau = -0.44 \pm 0.47(\text{stat})_{-0.17}^{+0.20}(\text{syst})$$



Belle combination



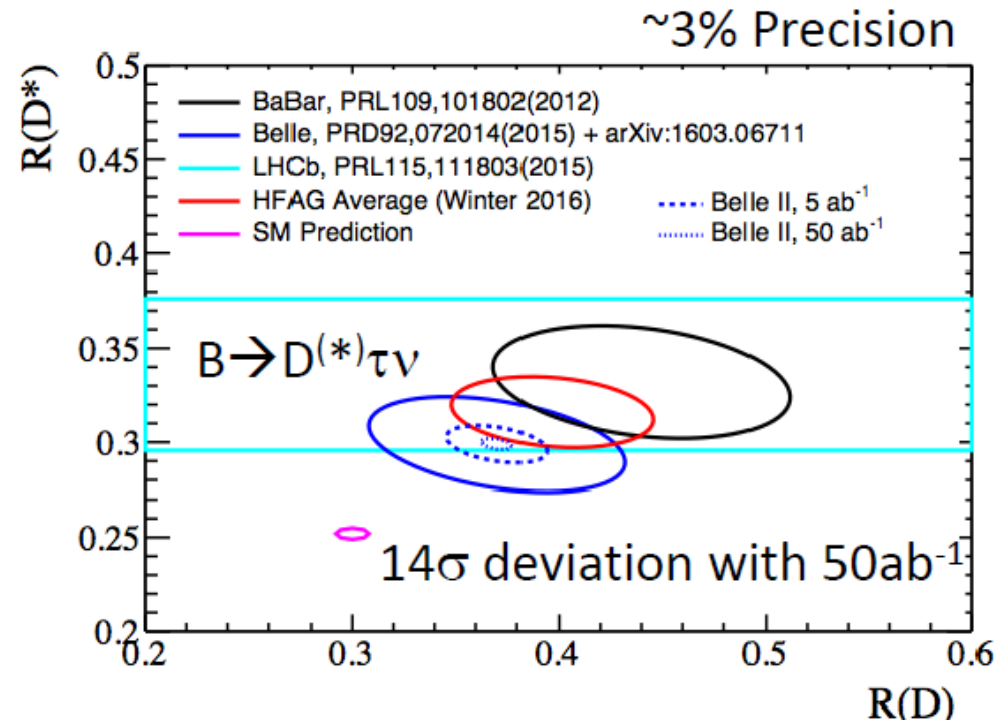
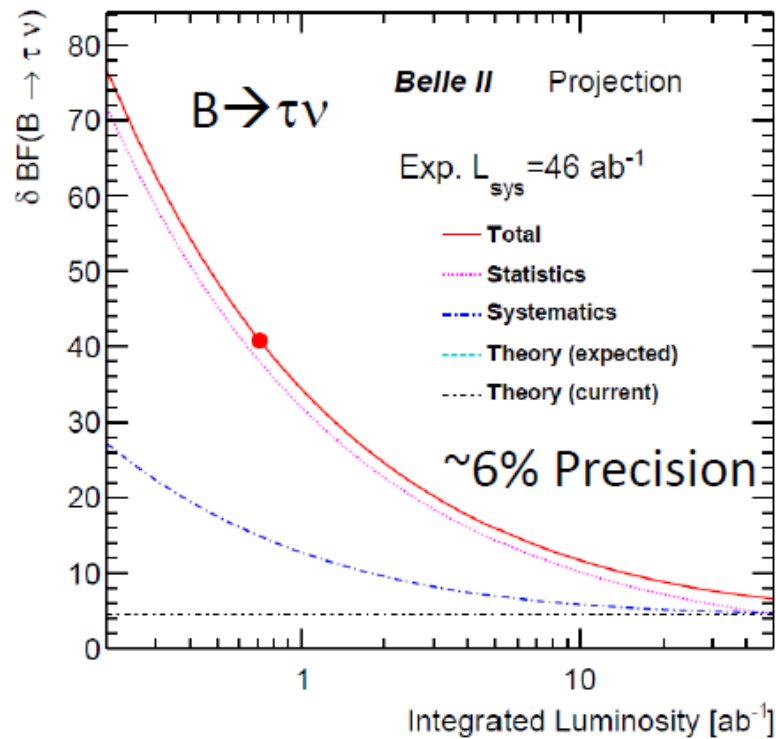
Comparison among experiments



τ を含むB崩壊のBelle IIでの精度

	Statistical	Systematic	Total Exp
	(reducible, irreducible)		
$B(B \rightarrow \tau\nu)$ (had. tagged)			
711 fb ⁻¹	38.0	(14.2, 4.4)	40.8
5 ab ⁻¹	14.4	(5.4, 4.4)	15.8
50 ab ⁻¹	4.6	(1.6, 4.4)	6.4
$B(B \rightarrow \tau\nu)$ (semileptonic tagged)			
711 fb ⁻¹	24.8	(18, ^{+6.0} / _{-9.6})	^{+31.2} / _{-32.2}
5 ab ⁻¹	8.6	(6.2, ^{+6.0} / _{-9.6})	^{+12.2} / _{-14.4}
50 ab ⁻¹	2.8	(2.0, ^{+6.0} / _{-9.6})	^{+6.8} / _{-10.2}

	Statistical	Systematic	Total Exp
	(reducible, irreducible)		
$R(D)$			
423 fb ⁻¹	13.1	(9.1, 3.1)	16.2
5 ab ⁻¹	3.8	(2.6, 3.1)	5.6
50 ab ⁻¹	1.2	(0.8, 3.1)	3.4
$R(D^*)$			
423 fb ⁻¹	7.1	(5.2, 1.9)	9.0
5 ab ⁻¹	2.1	(1.5, 1.9)	3.2
50 ab ⁻¹	0.7	(0.5, 1.9)	2.1



$b \rightarrow s \gamma$ 過程

- ▶ 時間依存するCPVは

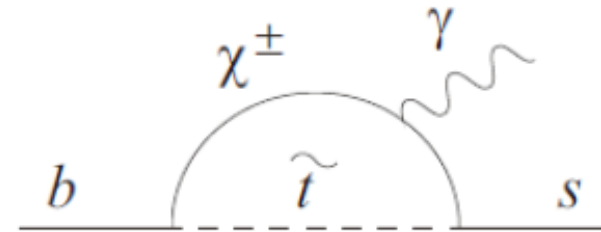
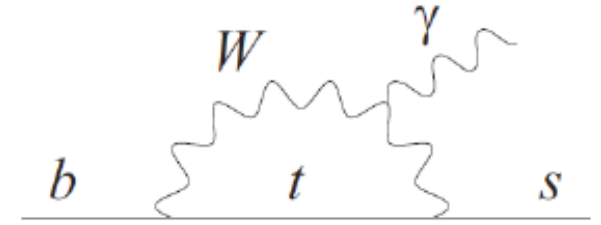
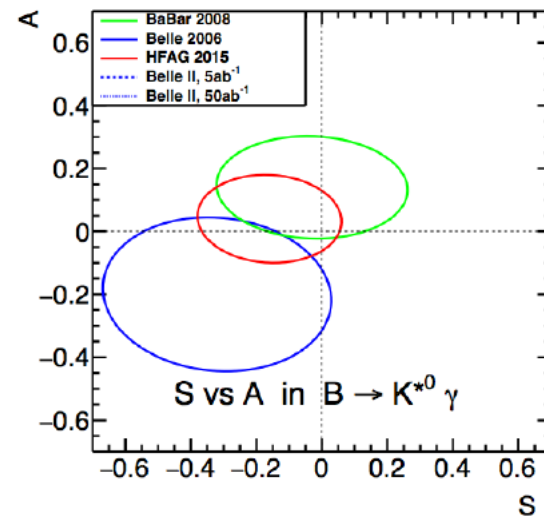
$$\frac{dN}{dt} = e^{-\Gamma t} [1 + q(A \cos(\Delta m t) + S \sin(\Delta m t))]$$

Standard Model

$$S_{K_S \pi^0 \gamma}^{SM} = -2 \frac{m_s}{m_b} \sin(2\beta) \sim -0.03$$

Left-Right symmetric model

$$S_{K_S \pi^0 \gamma}^{LR} = 0.67 \cos(2\beta) \sim 0.5$$



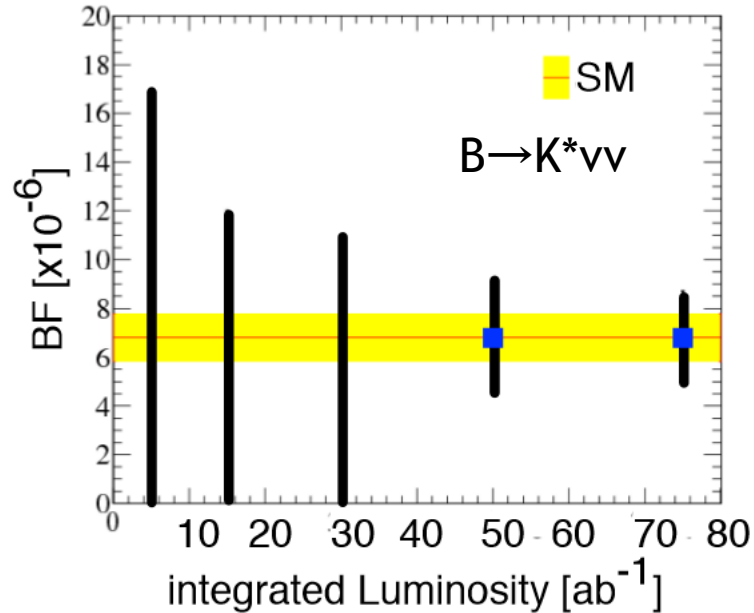
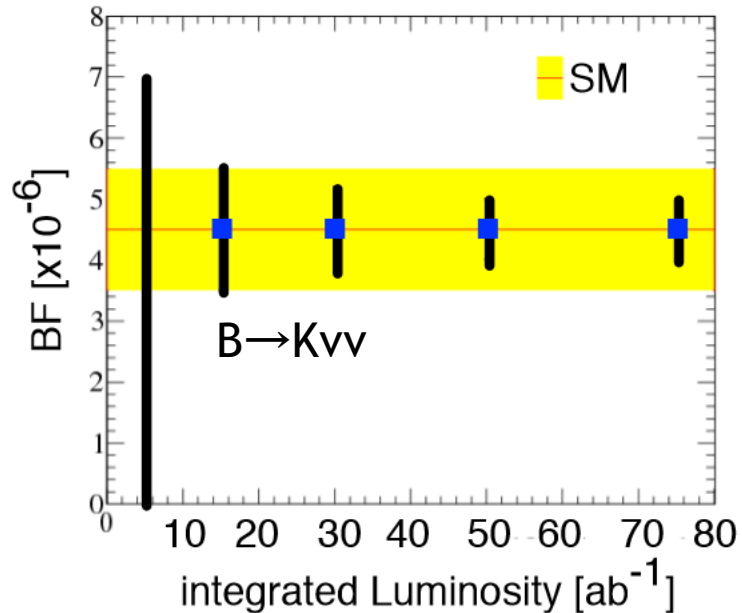
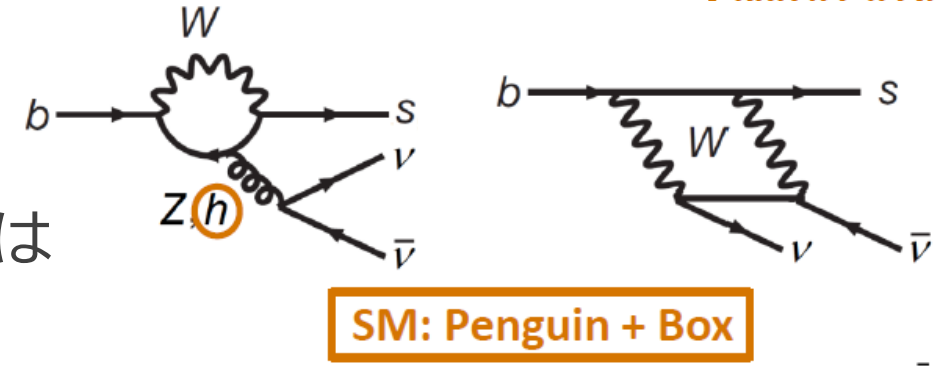
$b \rightarrow s \nu \bar{\nu}$

▶ ペンギンかボックスでしか起きないので分岐比は非常に小さい： $\sim O(10^{-6})$

Belleでは見つかっていない： $<(4.0-9.7) \times 10^{-6}$

新物理がからめば標準模型の予言より大きいかも

標準模型の寄与だけなら：Kは 10 ab^{-1} , K^* は 50 ab^{-1} で 3σ



期待している 精度のまとめ

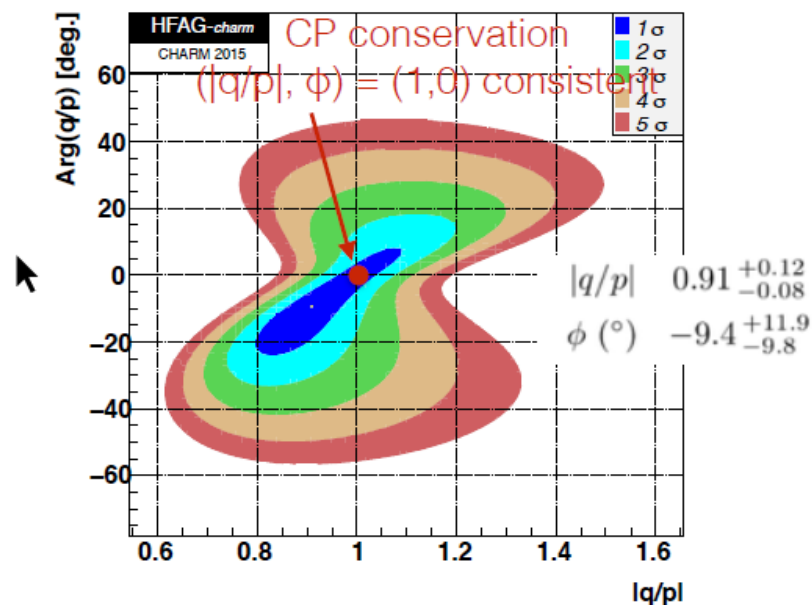
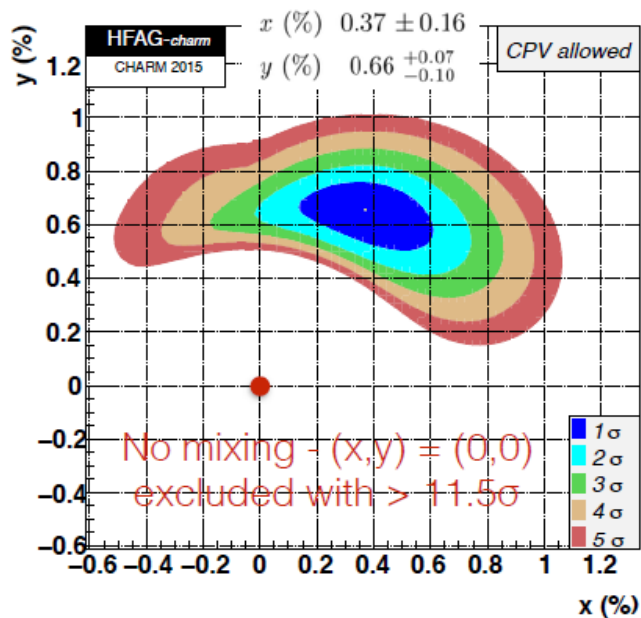
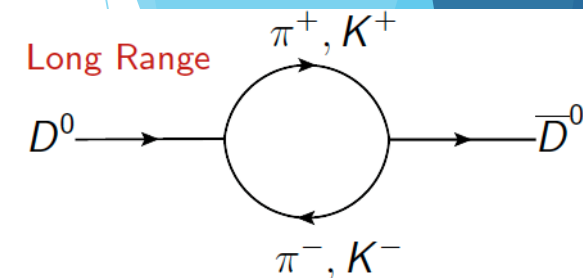
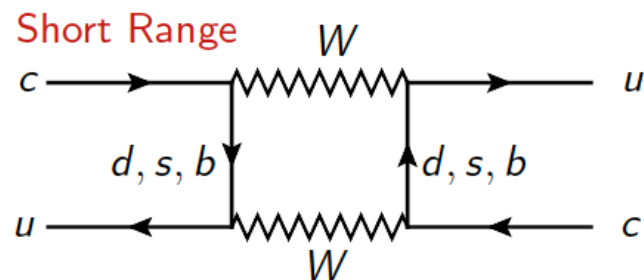
	Observables	Belle or LHCb* (2014)	Belle II		LHCb	
			5 ab ⁻¹	50 ab ⁻¹	8 fb ⁻¹ (2018)	50 fb ⁻¹
UT angles	$\sin 2\beta$	$0.667 \pm 0.023 \pm 0.012(1.4^\circ)$	0.7°	0.4°	1.6°	0.6°
	α [°]	85 ± 4 (Belle+BaBar)	2	1		
	γ [°] ($B \rightarrow D^{(*)}K^{(*)}$)	68 ± 14	6	1.5	4	1
	$2\beta_s(B_s \rightarrow J/\psi\phi)$ [rad]	$0.07 \pm 0.09 \pm 0.01^*$			0.025	0.009
Gluonic penguins	$S(B \rightarrow \phi K^0)$	$0.90^{+0.09}_{-0.19}$	0.053	0.018	0.2	0.04
	$S(B \rightarrow \eta' K^0)$	$0.68 \pm 0.07 \pm 0.03$	0.028	0.011		
	$S(B \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0)$	$0.30 \pm 0.32 \pm 0.08$	0.100	0.033		
	$\beta_s^{\text{eff}}(B_s \rightarrow \phi\phi)$ [rad]	$-0.17 \pm 0.15 \pm 0.03^*$			0.12	0.03
	$\beta_s^{\text{eff}}(B_s \rightarrow K^{*0}\bar{K}^{*0})$ [rad]	–			0.13	0.03
Direct CP in hadronic Decays	$A(B \rightarrow K^0\pi^0)$	$-0.05 \pm 0.14 \pm 0.05$	0.07	0.04		
UT sides	$ V_{cb} $ incl.	$41.6 \cdot 10^{-3}(1 \pm 2.4\%)$	1.2%			
	$ V_{cb} $ excl.	$37.5 \cdot 10^{-3}(1 \pm 3.0\%_{\text{ex.}} \pm 2.7\%_{\text{th.}})$	1.8%	1.4%		
	$ V_{ub} $ incl.	$4.47 \cdot 10^{-3}(1 \pm 6.0\%_{\text{ex.}} \pm 2.5\%_{\text{th.}})$	3.4%	3.0%		
	$ V_{ub} $ excl. (had. tag.)	$3.52 \cdot 10^{-3}(1 \pm 10.8\%)$	4.7%	2.4%		
Leptonic and Semi-tauonic	$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau\nu)$ [10^{-6}]	$96(1 \pm 26\%)$	10%	5%		
	$\mathcal{B}(B \rightarrow \mu\nu)$ [10^{-6}]	< 1.7	20%	7%		
	$R(B \rightarrow D\tau\nu)$ [Had. tag]	$0.440(1 \pm 16.5\%)^\dagger$	5.6%	3.4%		
	$R(B \rightarrow D^*\tau\nu)^\dagger$ [Had. tag]	$0.332(1 \pm 9.0\%)^\dagger$	3.2%	2.1%	...	
Radiative	$\mathcal{B}(B \rightarrow X_s\gamma)$	$3.45 \cdot 10^{-4}(1 \pm 4.3\% \pm 11.6\%)$	7%	6%		
	$A_{CP}(B \rightarrow X_{s,d}\gamma)$ [10^{-2}]	$2.2 \pm 4.0 \pm 0.8$	1	0.5		
	$S(B \rightarrow K_S^0\pi^0\gamma)$	$-0.10 \pm 0.31 \pm 0.07$	0.11	0.035		
	$2\beta_s^{\text{eff}}(B_s \rightarrow \phi\gamma)$	–			0.13	0.03
	$S(B \rightarrow \rho\gamma)$	$-0.83 \pm 0.65 \pm 0.18$	0.23	0.07		
	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \gamma\gamma)$ [10^{-6}]	< 8.7	0.3	–		
Electroweak penguins	$\mathcal{B}(B \rightarrow K^{*+}\nu\bar{\nu})$ [10^{-6}]	< 40	< 15	30%		
	$\mathcal{B}(B \rightarrow K^+\nu\bar{\nu})$ [10^{-6}]	< 55	< 21	30%		
	$C_7/C_9(B \rightarrow X_s\ell\ell)$	$\sim 20\%$	10%	5%		
	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \tau\tau)$ [10^{-3}]	–	< 2	–		
	$\mathcal{B}(B_s \rightarrow \mu\mu)$ [10^{-9}]	$2.9^{+1.1*}_{-1.0}$			0.5	0.2

$D^0 - \bar{D}^0$ 混合

BやKの混合と比べると小さい。
Long Rangeが効くと予想されている

$$|D_{1,2}\rangle = p|D^0\rangle \pm q|\bar{D}^0\rangle,$$

$$x \equiv (m_1 - m_2)/\Gamma \quad y \equiv (\Gamma_1 - \Gamma_2)/(2\Gamma) \quad \Gamma \equiv (\Gamma_1 + \Gamma_2)/2. \quad \phi = \text{Arg}(q/p)$$



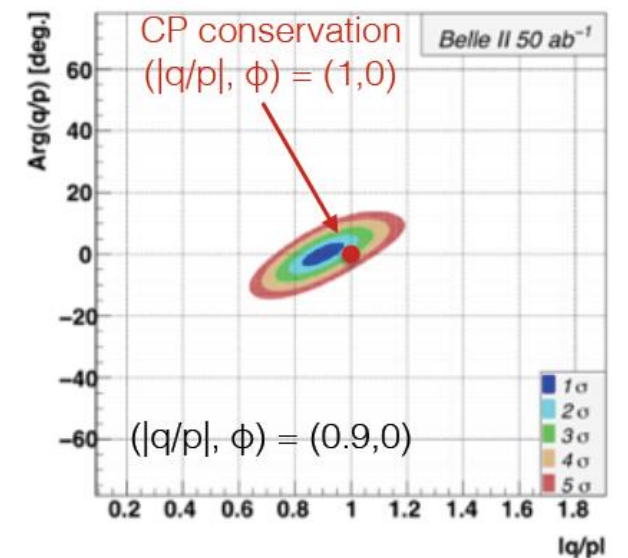
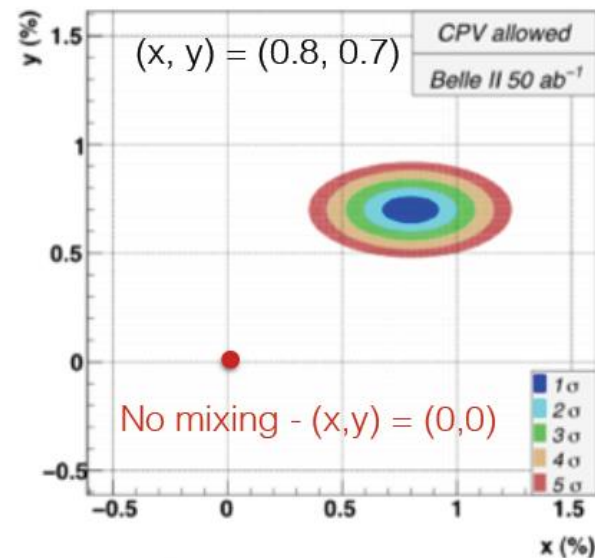
Analysis	Observable	Uncertainty (%)	
		Now ($\sim 1 \text{ ab}^{-1}$)	$\mathcal{L} = 50 \text{ ab}^{-1}$
$K_S^0 \pi^+ \pi^-$	x	0.21	0.08
	y	0.17	0.05
	$ q/p $	18	6
	ϕ	0.21 rad	0.07 rad
$\pi^+ \pi^-, K^+ K^-$	y_{CP}	0.25	0.04
	A_Γ	0.22	0.03
$K^+ \pi^-$	x'^2	0.025	0.003
	y'	0.45	0.04
	$ q/p $	0.6	0.06
	ϕ	0.44	0.04 rad

Belle IIでの $D^0 - \bar{D}^0$ 混合

▶ Belleの結果より3～10倍程度の
精度向上が見込まれる

(が、右の表に出ているような
荷電粒子のみの崩壊モードからの結果は

LHCbより精度を出すのは
難しい。)



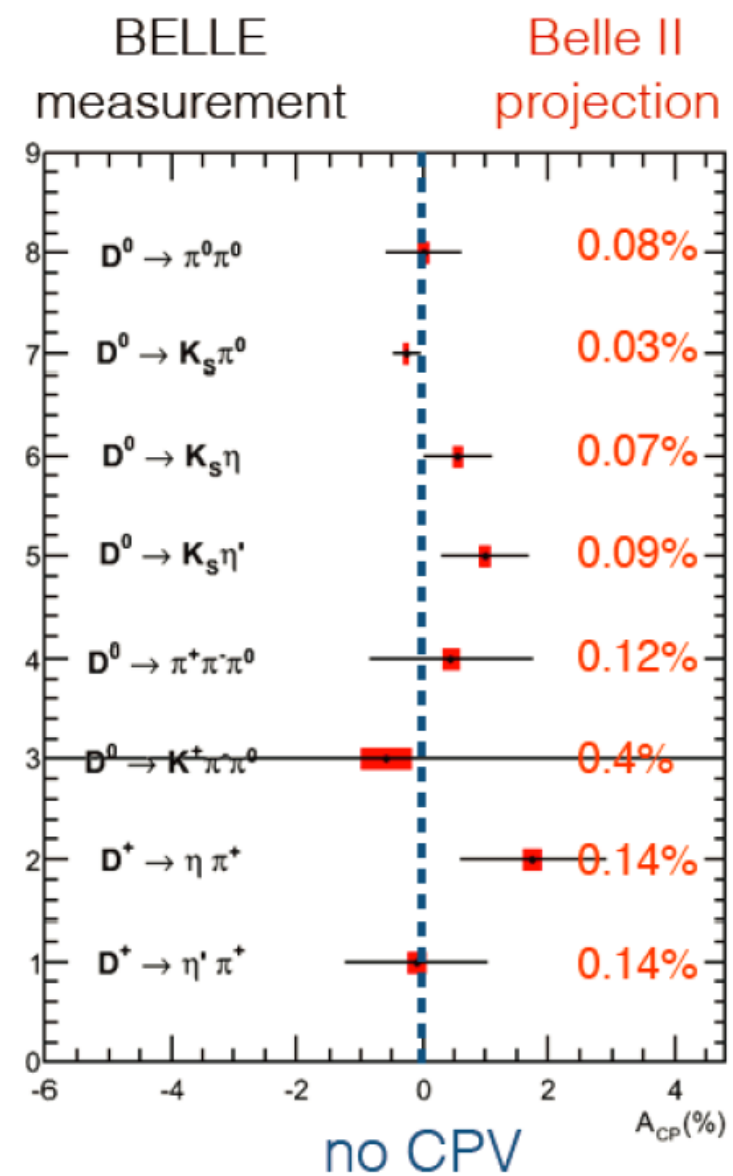
D中間子のDirect CPV

$$A_{CP}^f = \frac{\Gamma(D^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow \bar{f})}{\Gamma(D^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow \bar{f})}$$

mode	\mathcal{L} (fb $^{-1}$)	A_{CP} (%)	Belle II at 50 ab $^{-1}$
$D^0 \rightarrow K^+K^-$	976	$-0.32 \pm 0.21 \pm 0.09$	± 0.03
$D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	976	$+0.55 \pm 0.36 \pm 0.09$	± 0.05
$D^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$	976	$\sim \pm 0.60$	± 0.08
$D^0 \rightarrow K_S^0\pi^0$	791	$-0.28 \pm 0.19 \pm 0.10$	± 0.03
$D^0 \rightarrow K_S^0\eta$	791	$+0.54 \pm 0.51 \pm 0.16$	± 0.07
$D^0 \rightarrow K_S^0\eta'$	791	$+0.98 \pm 0.67 \pm 0.14$	± 0.09
$D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$	532	$+0.43 \pm 1.30$	± 0.13
$D^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^0$	281	-0.60 ± 5.30	± 0.40
$D^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^+\pi^-$	281	-1.80 ± 4.40	± 0.33
$D^+ \rightarrow \phi\pi^+$	955	$+0.51 \pm 0.28 \pm 0.05$	± 0.04
$D^+ \rightarrow \eta\pi^+$	791	$+1.74 \pm 1.13 \pm 0.19$	± 0.14
$D^+ \rightarrow \eta'\pi^+$	791	$-0.12 \pm 1.12 \pm 0.17$	± 0.14
$D^+ \rightarrow K_S^0\pi^+$	977	$-0.36 \pm 0.09 \pm 0.07$	± 0.03
$D^+ \rightarrow K_S^0K^+$	977	$-0.25 \pm 0.28 \pm 0.14$	± 0.05
$D_s^+ \rightarrow K_S^0\pi^+$	673	$+5.45 \pm 2.50 \pm 0.33$	± 0.29
$D_s^+ \rightarrow K_S^0K^+$	673	$+0.12 \pm 0.36 \pm 0.22$	± 0.05

(table by Marko Startc)

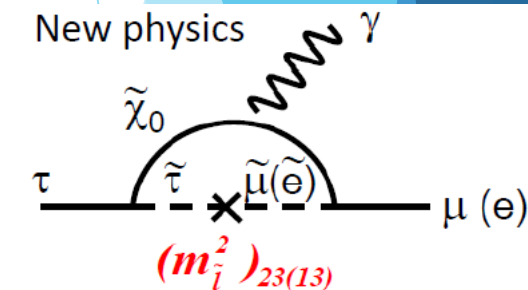
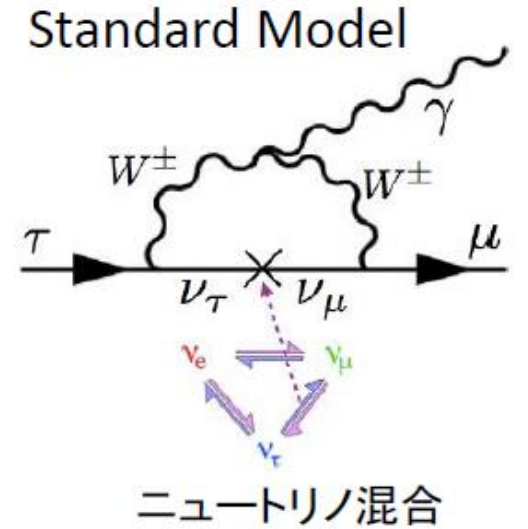
崩壊先が荷電粒子だけの場合はどうしてもLHCbに負ける
Belle IIは中性粒子込の崩壊がメインターゲット



Tau LFV探索

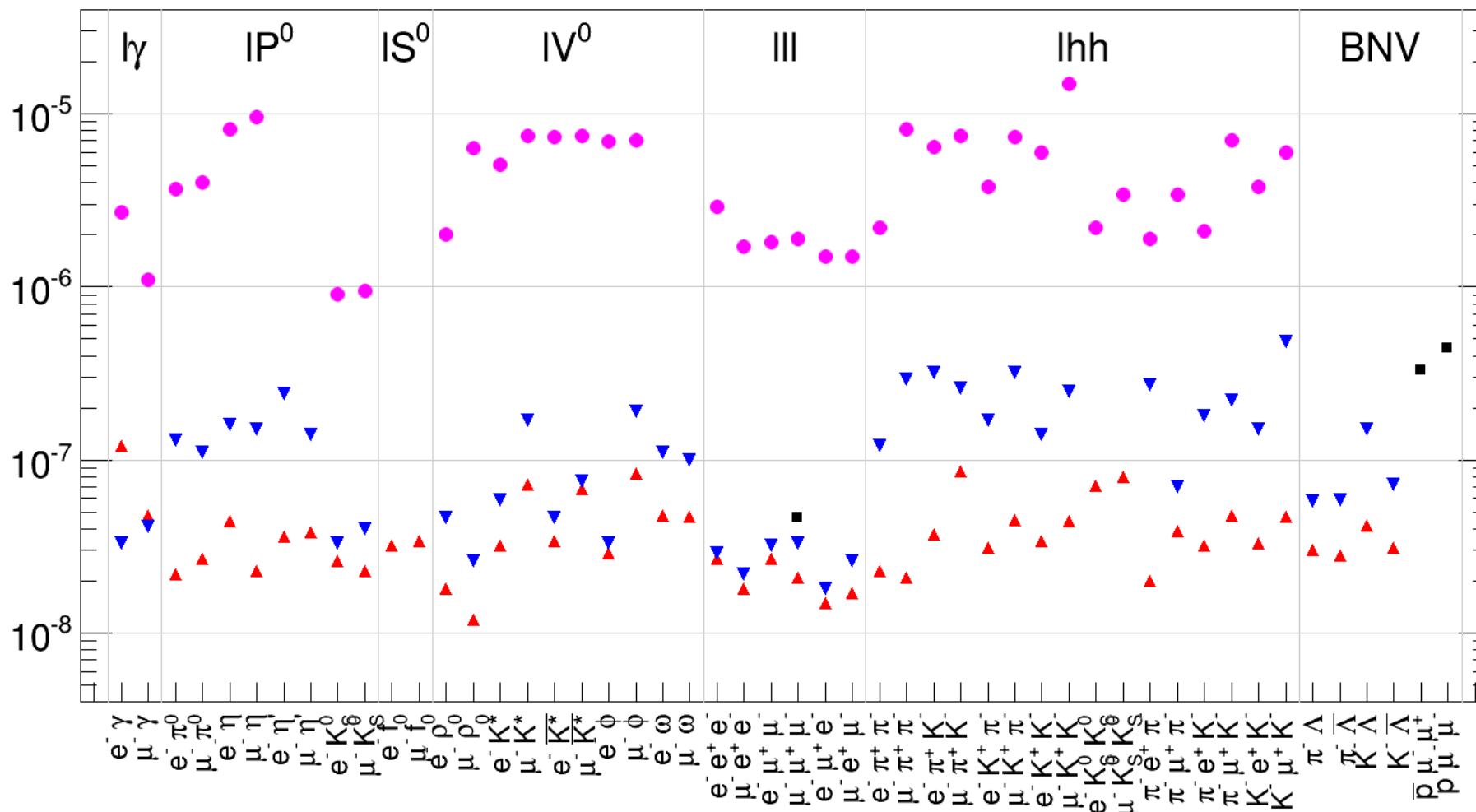
- ▶ ニュートリノ振動の存在からレプトンフレーバの保存則というのは成り立っていない。特になんらかの対称性に要請された保存則でもない。
- ▶ ただ、ニュートリノ混合だけでは、一番簡単な過程 $\tau \rightarrow \mu \gamma$ でも実験にはかからない程度 (10^{-50}) の分岐比しか预言されない。
- ▶ τ のLFVは (電荷とスピンの保存則だけを守れば) 約50種類くらい考えられる
 - ▶ $\tau \rightarrow 3\mu$, $\tau \rightarrow e^+e^-\mu$, $\tau \rightarrow \pi^+\pi^-e$, $\tau \rightarrow \Lambda\pi^- \dots$

※ μ - e 転換などは μ とクォークの反応が介在する過程だが、上記のレプトン数をやぶりつつクォークもかかわる反応や、バリオン数を破るような反応はミュオンでは検証負荷



Tau LFV探索の現状

90% C.L. upper limits for LFV τ decays



HFAG-Tau
Summer 2014

● CLEO
▼ BaBar
▲ Belle
■ LHCb

ほとんどが 10^{-8} まで探索された。
LHCbが最近参戦

Belle IIにおけるTau LFV探索

▶ 系統誤差はほとんど問題にならないので、統計量がそのまま感度に効いてくる。

一般的に、

背景事象の数が多い→(統計量)^{-1/2}に比例

背景事象の数が少ない→(統計量)⁻¹に比例

$\tau \rightarrow \ell \ell' \ell''$ は(統計量)⁻¹に比例

$\tau \rightarrow \ell \gamma$ は(統計量)^{-1/2}に比例と予想される。

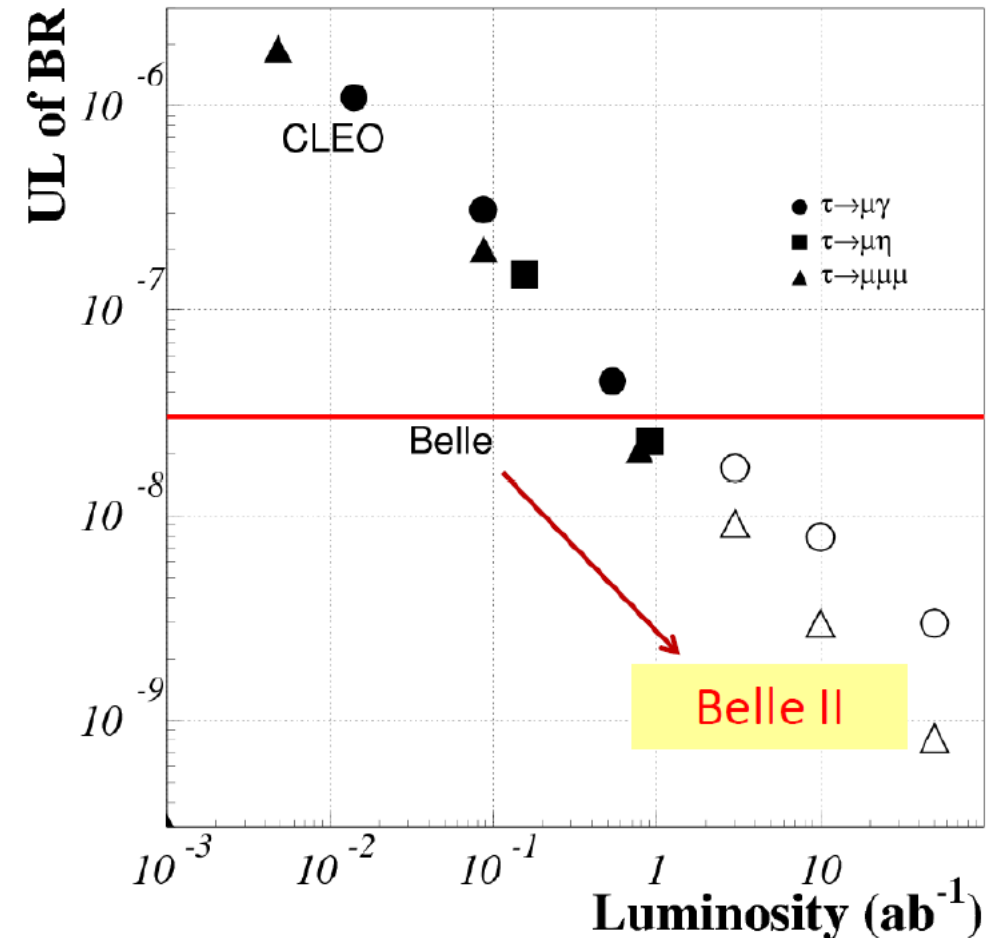
※だが、加速器のアップグレードに伴い

Fake γ の増加が予想され、もっと背景事象の

状況の悪化が予想される。 $\tau \rightarrow \ell \gamma$ など

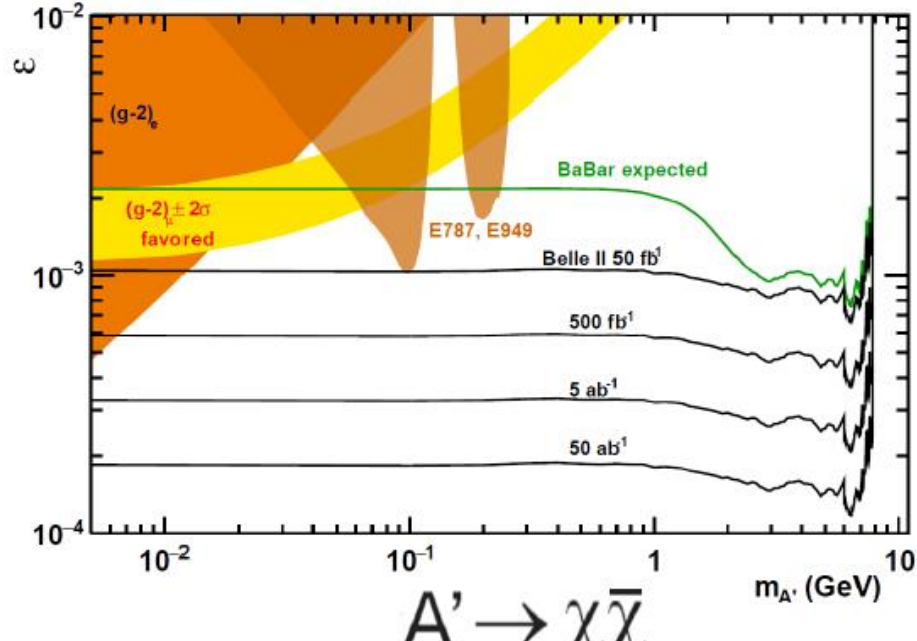
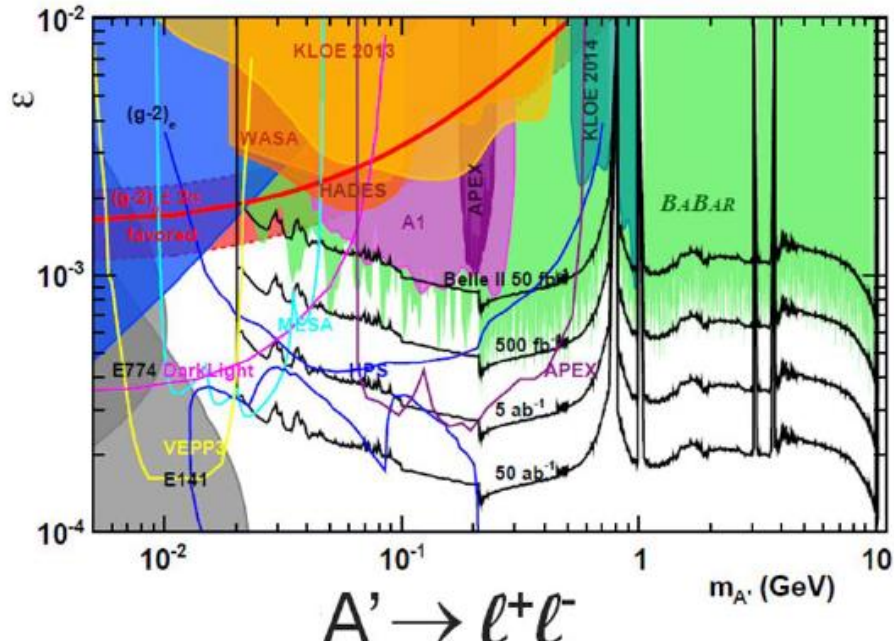
γ を含むモードはより慎重な評価が必要

ナイーブな予想

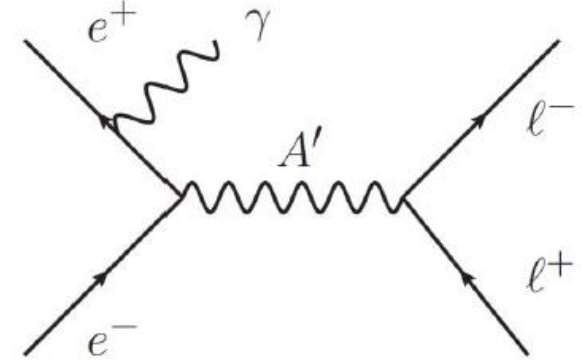


Dark photon探索

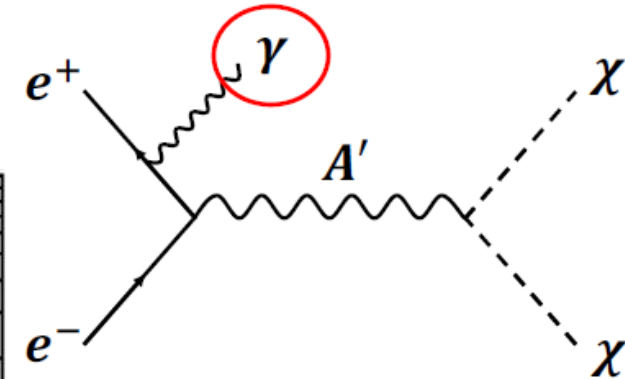
- ▶ 新しい重いphoton的な粒子を導入する
- ▶ 普通のphotonと $\varepsilon F'_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$ という結合
- ▶ DM候補に崩壊する場合は、1個だけphotonがある状態というイベントを見つける



Dark photon decay to leptons



Dark photon decay to DM



SuperKEKB/Belle II実験の最近と今後

▶ Phase I

▶ 2016年2月～6月

▶ 衝突なし。Belle II 検出器なし。HER:870mA, LER:1010mA達成

▶ Phase II

▶ 2017年11月～

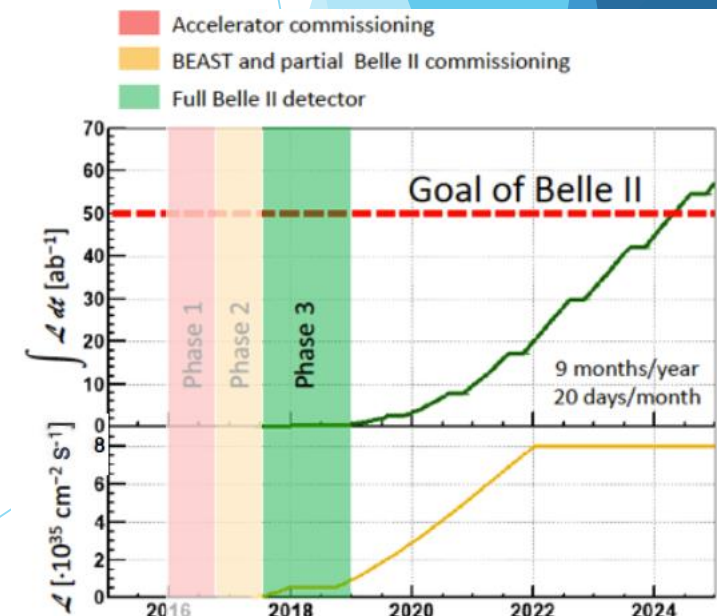
▶ 衝突あり。Belle II検出器あり。（但し、最内層検出器なし）

▶ Phase III/Run I

▶ 2018年秋

▶ 本番： Belle II検出器も全部。最初は 300fb^{-1} が目標。

▶ 10年くらいで 50ab^{-1}



この他にも

- ▶ $b \rightarrow s \ell \ell$ のようにLHCbがアノマリーを出しているもの
- ▶ ハドロンスペクトロスコピー
 - ▶ 新しいボトモニウム
 - ▶ エキゾチックハドロン
 - ▶ チャームバリオン

→QCDの基本的自由度の理解
- ▶ τ のレプトンユニバーサルティ
- ▶ Muon $g-2$ の理論予想に必要な π -loopの評価のための $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ 反応の測定
- ▶ (2光子過程も?)

最後に

- ▶ 新物理の間接探索は、直接探索と異なり明確なシグネチャが見えづらいと予想されます。
- ▶ そのため、複数のアノマリー的なものを組み合わせて有意なシグネチャとしていくのが最初のステップとなると予想されます。
- ▶ そうすると、なかなか実験研究者だけでは難しい部分が出てきます。
- ▶ 現在、Belle II Theory interface Platform (B2TiP)という枠組みがあって、理論研究者の方々と交流を持っていますが、今年いっぱい解散予定です。
- ▶ しかし、上記の必要性から維持されるか、似たような枠組みは存在し続けると思います。
- ▶ 多くの理論研究者の方々に協力して頂きたいと思います。

まとめ

- ▶ SuperKEKB/Belle II実験がもうすぐ始まります
 - ▶ Phase IIは来年秋、Phase III(本番)は再来年秋。
- ▶ 最終的（～10年）には50ab-1相当のデータを貯めます。
 - ▶ Belle実験の50倍
- ▶ フレーバファクトリー実験です：B, D, τ などの測定を通して新物理の探索を行っていきます。
 - ▶ ユニタリー三角形の検証
 - ▶ アノマリーの追及
 - ▶ 希崩壊の探索
- ▶ 理論研究者の方々の協力も非常に重要