



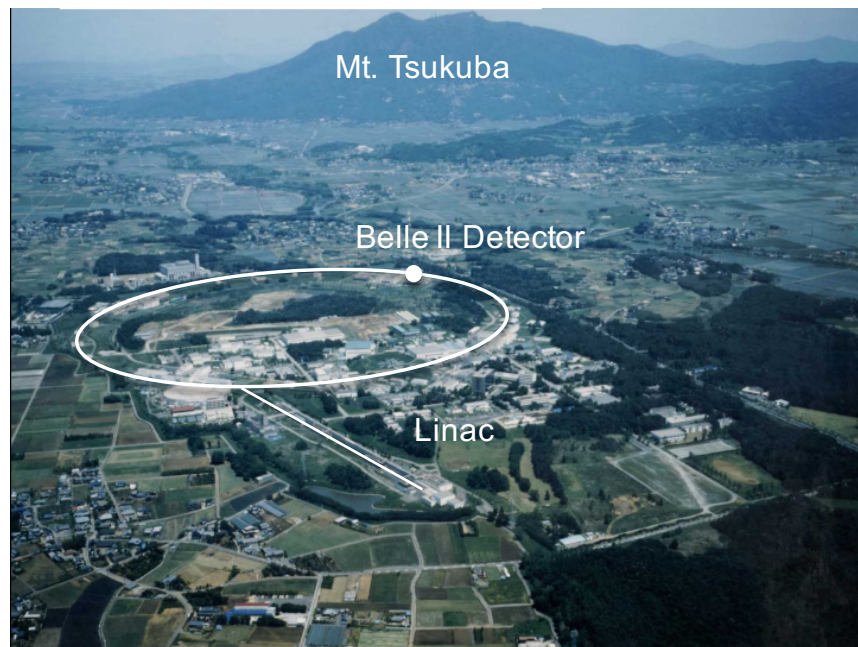
Stato dell'esperimento Belle II e prospettive di misure



Mario Merola (INFN Napoli)

per la Collaborazione Belle II

31 Marzo 2016



IFAE XV INCONTRI DI FISICA 2016 DELLE ALTE ENERGIE

Dipartimento di Fisica
Università di Genova
30 Marzo - 1 Aprile
<http://ifae2016.ge.infn.it>

per l'immagine di Massimo Sestini, grazie al Museo Sestini a Forte di Bard, Genova

Comitato Organizzatore	Comitato Scientifico
O. Biggio	D. Bettoni
R. Cardinale	W. Bonivento
G. Darbo	O. Bozzi
O. Gemme*	O. Cecchi
G. Gemme	G. Chiarelli
M. Pallavicini	E. Cocchi
F. Parodi	P. Colangelo
S. Passaggio	F. De Fazio
E. Robutti	A. Di Girolamo
M. Taluti	F. Fabbri
S. Zavatarelli	S. Falolano
	F. Ferroni
	P. Lubrano
Segreteria e Calcolo	A. Masiero
A. Brunengo	L. Merola
E. Carnevali	S. Ragazzi
M. Orosu	G. Riccardi
D. Ferraro	B. Salita
L. Opisso	M. Pavan
	L. Trentadue*
	A. Tricomi
	V. Vagnoni
	F. Vissani
	A. Zoccolli

*chair

LUZZATI

INFN

CAEN NATIONAL INSTRUMENTS

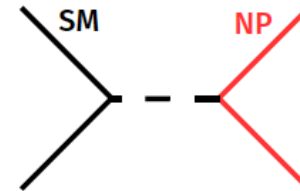
HAMAMATSU PHOTON IS OUR BUSINESS

Domande aperte in fisica delle alte energie nel settore del flavour

- **Asimmetria barionica in cosmologia:** nuove fonti di violazione di CP (CPV)
- **Gerarchia di quarks e leptoni (di massa e sapori), 19 parametri liberi nello SM:** grandi teorie unificate (supersimmetria) ?
- **Materia oscura:** settore “dark” nascosto ?
- **Masse finite dei neutrini:** violazione della conservazione del sapore dei leptoni carichi (LFV) ?

Ricerca di nuova fisica (NP)

- **Frontiera dell'energia:** produzione diretta di nuove particelle – limitata dall'energia dei fasci (LHC - ATLAS, CMS)



- **Frontiera dell'intensità:** nuove particelle nei diagrammi a loop, deviazioni dalle previsioni dello SM (B factories, LHCb)

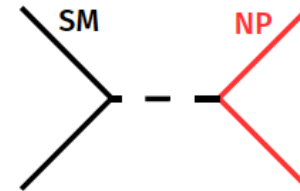


Domande aperte in fisica delle alte energie nel settore del flavour

- **Asimmetria barionica in cosmologia:** nuove fonti di violazione di CP (CPV)
- **Gerarchia di quarks e leptoni (di massa e sapori), 19 parametri liberi nello SM:** grandi teorie unificate (supersimmetria) ?
- **Materia oscura:** settore “dark” nascosto ?
- **Masse finite dei neutrini:** violazione della conservazione del sapore dei leptoni carichi (LFV) ?

Ricerca di nuova fisica (NP)

- **Frontiera dell'energia:** produzione diretta di nuove particelle – limitata dall'energia dei fasci (LHC - ATLAS, CMS)

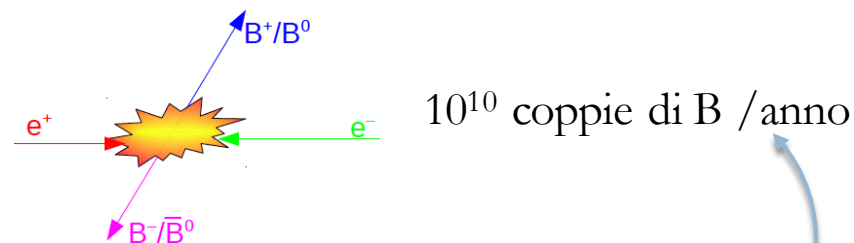
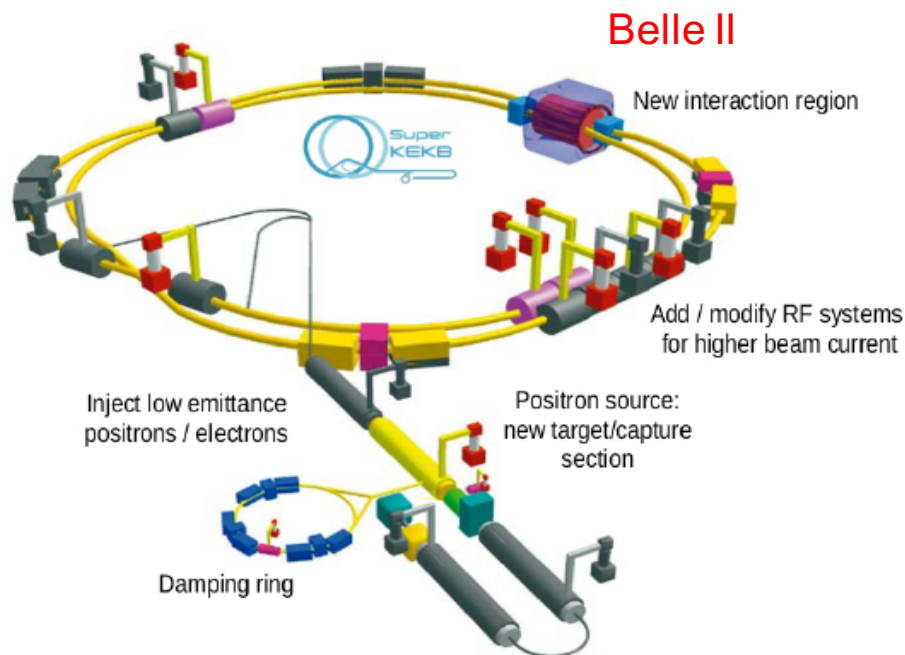


Belle II

- **Frontiera dell'intensità:** nuove particelle nei diagrammi a loop, deviazioni dalle previsioni dello SM (B factories, LHCb)

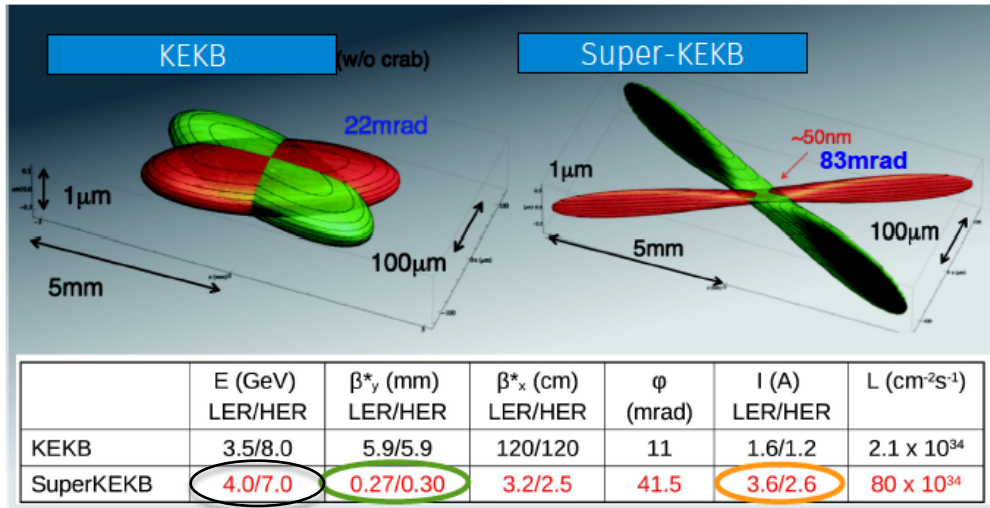


- **Collider di elettroni e positroni** situato presso i laboratori di KEK (Tsukuba, Giappone), costituisce l'upgrade di KEKB
- **La costruzione è stata completata nel 2015**
- $e^+e^- \rightarrow B\bar{B}$ (4 GeV + 7 GeV) principalmente a $\sqrt{s_{\text{cm}}}=10.58$ GeV (picco della risonanza $\Upsilon(4S)$)



Channel	Belle	BaBar	Belle II (per year)
$B\bar{B} \Upsilon(4S)$	7.7×10^8	4.8×10^8	1.1×10^{10}
$B_s^{(*)}\bar{B}_s^{(*)}$	7.0×10^6	—	6.0×10^8
$\Upsilon(1S)$	1.0×10^8		1.8×10^{11}
$\Upsilon(2S)$	1.7×10^8	0.9×10^7	7.0×10^{10}
$\Upsilon(3S)$	1.0×10^7	1.0×10^8	3.7×10^{10}
$\Upsilon(5S)$	3.6×10^7	—	3.0×10^9
$\tau\tau$	1.0×10^9	0.6×10^9	1.0×10^{10}

Nano-beam scheme firstly proposed by P. Raimondi for SuperB



boost ridotto

factor 20
fattore ~ 40-50 in luminosità

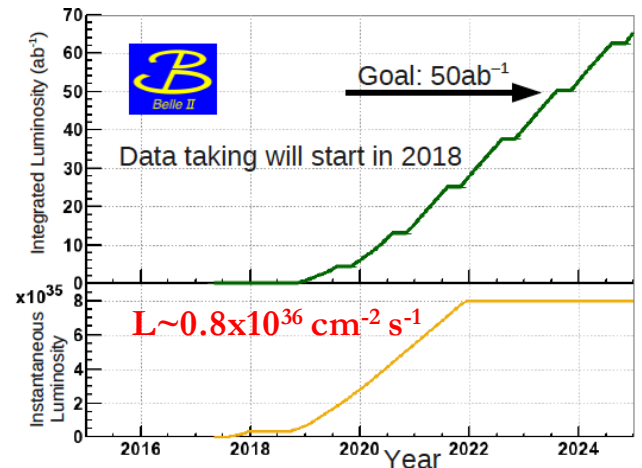
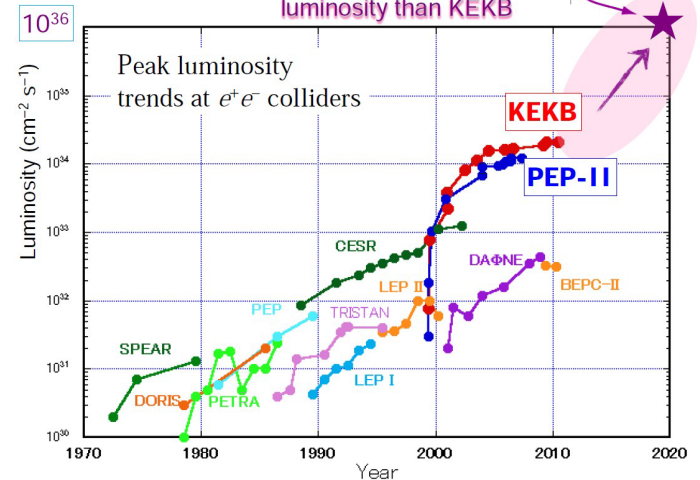
Luminosità

$$L = \frac{\gamma_{\pm}}{2e r_e} \left(1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \frac{I_{\pm} \xi_{y\pm}}{\beta_{y\pm}} \frac{R_L}{R_{\xi_y}}$$

beam current
vertical beta function at IP

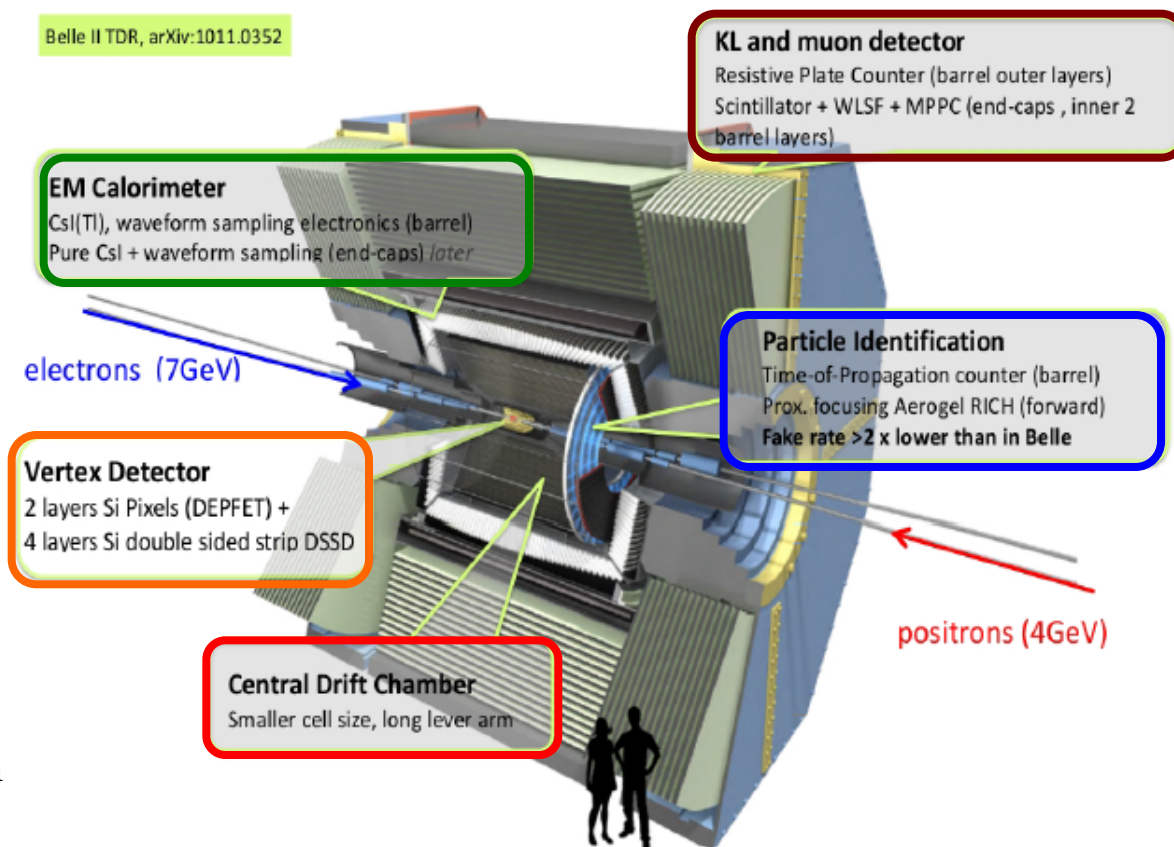
SuperKEKB is the intensity frontier

40x higher instantaneous
luminosity than KEKB



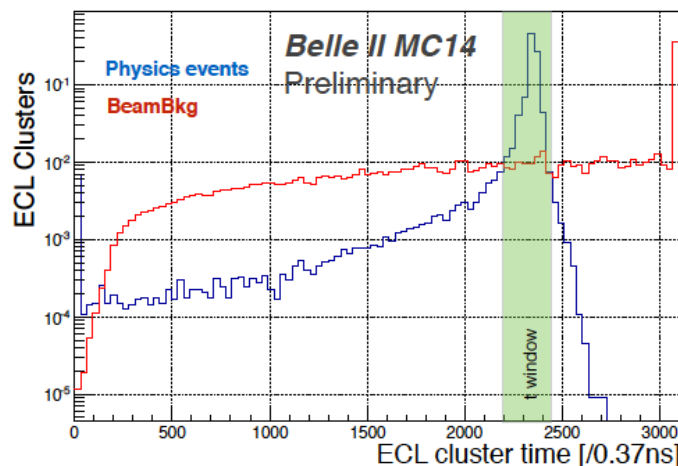
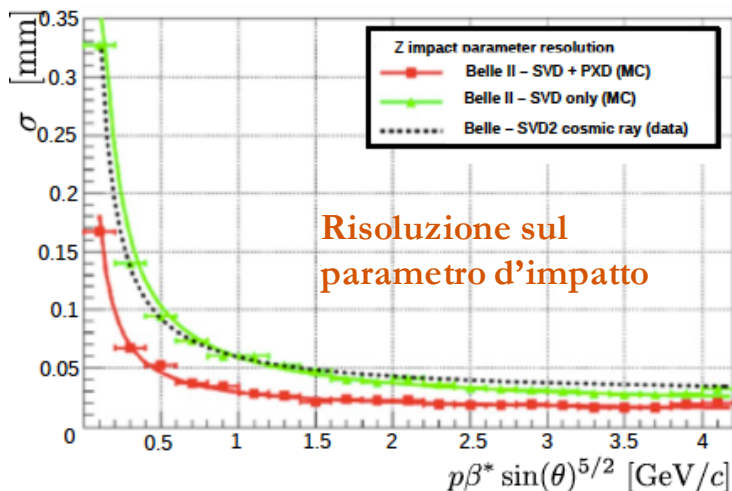
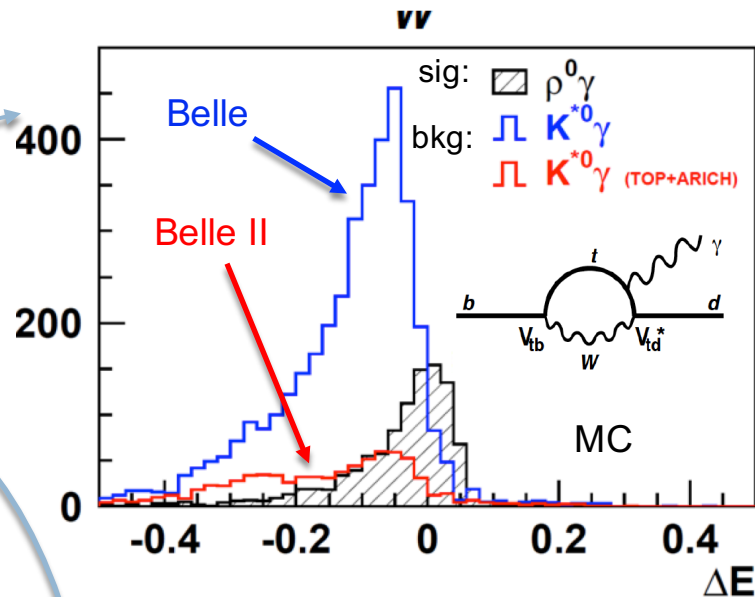
Upgrade di Belle II:

- **Estensione della regione di Vertex Detector** (aggiunti rivelatori a pixel)
- **Estensione della copertura della Drift Chamber**
- **Nuova elettronica per l'ECL** (campionamento e fit delle forme d'onda)
- **Maggiore ermeticità** (nuovo rivelatore per la PID nella regione di endcap in avanti)
- **Migliore efficienza del rivelatore KLM** (alcuni strati di RPC sostituiti con scintillatori)

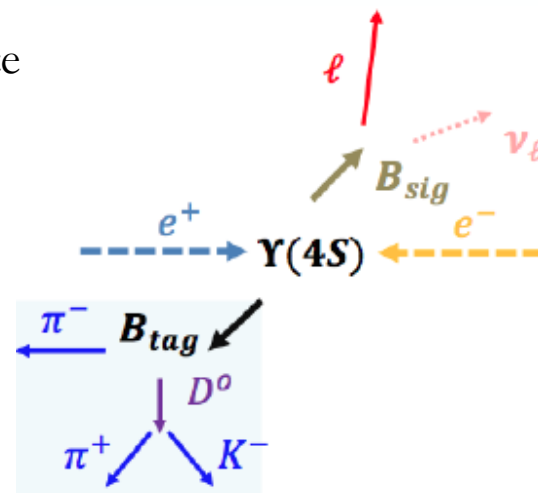


Improvements:

- risoluzione del vertice secondario
- separazione K/ π e flavour tagging
- reiezione del fondo indotto dal fascio
- efficienza di ricostruzione di K_S , π^0 e pioni lenti



1. **L'energia delle collisioni è fissata** e regolabile per le differenti risonanze $\Upsilon(nS)$
2. **Condizioni sperimentali pulite**, bassa molteplicità di tracce e occupancy nel rivelatore (rispetto ai collider adronici)
 - alta efficienza di ricostruzione di B, D, K, tau
 - trigger efficiente al $\sim 99\%$
3. **La completa ricostruzione di un B (B_{tag})** permette di vincolare il 4-momento dell'altro B (B_{sig})
 - importante nei canali con energia mancante (neutrini)
4. **Eccellenti prestazioni del calorimetro EM**
 - alta efficienza di ricostruzione anche di stati finali neutri

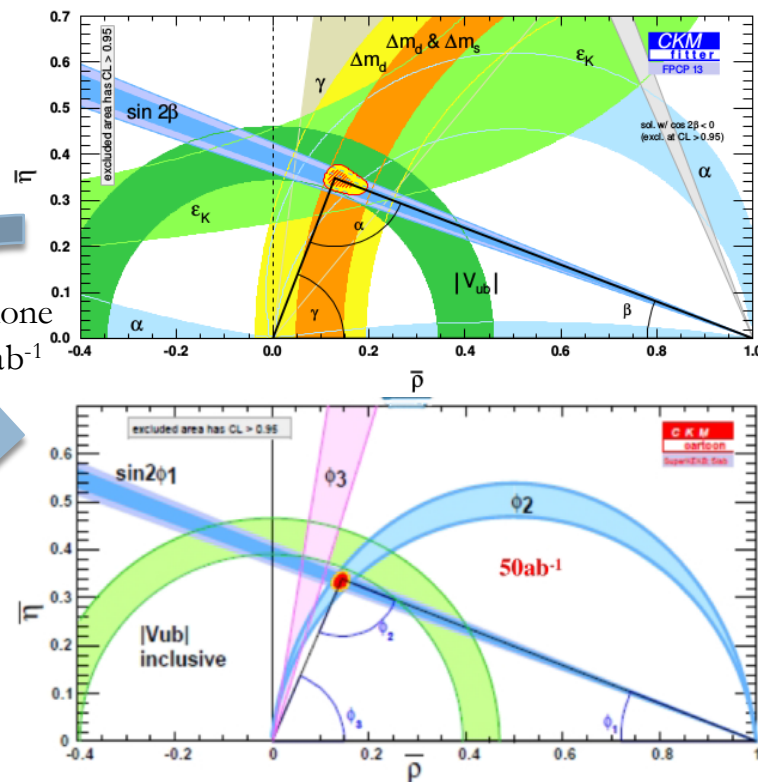


- CPV nei decadimenti del B ($B \rightarrow J/\psi K^0, K^0 \pi^0 \gamma, K\pi$) e decadimenti (semi)leptonici del B ($B \rightarrow D^{(*)} l \nu, \pi l \nu, \tau \nu, \mu \nu$), **angoli e lati CKM**
- **Decadimenti rari** del B ($B \rightarrow K \nu \nu, X_s \gamma, X_s l l, \gamma \gamma$)
- **Fisica del charm** ($D \rightarrow l \nu$, mixing, CPV)
- **LFV** nei decadimenti del tau ($\tau \rightarrow 3l, l \gamma$)
- **Dark Sector, spettroscopia**

	Belle	BaBar	Global Fit CKMfitter	LHCb Run-2	Belle II 50 ab^{-1}	LHCb Upgrade 50 fb^{-1}	Theory
ϕ_1 : <i>ccs</i>	0.9°		0.9°	0.6°	0.3°	0.3°	v. small.
ϕ_2 : <i>uud</i>	4° (WA)		2.1°		1°		~1-2°
ϕ_3 : <i>DK</i>	14°		3.8°	4°	1.5°	1°	negl.
$ V_{cb} $ inclusive	1.7%		2.4%		1.2%		
$ V_{cb} $ exclusive	2.2%				1.4%		
$ V_{ub} $ inclusive	7%		4.5%	7.2%	3.0%		
$ V_{ub} $ exclusive	8%				2.4%		
$ V_{ub} $ leptonic	14%				3.0%		

Slide di backup per dettagli sul confronto Belle2-LHCb

Triangolo di unitarietà



Experiment

No result

Moderate precision

Precise

Very Precise

Theory

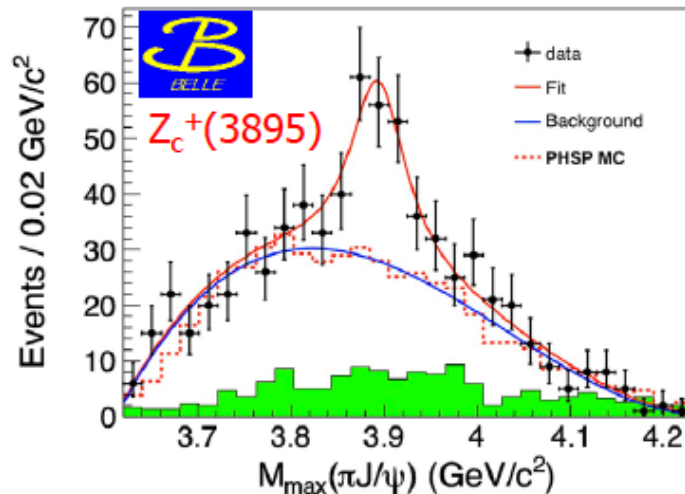
Moderate precision

Clean / LQCD

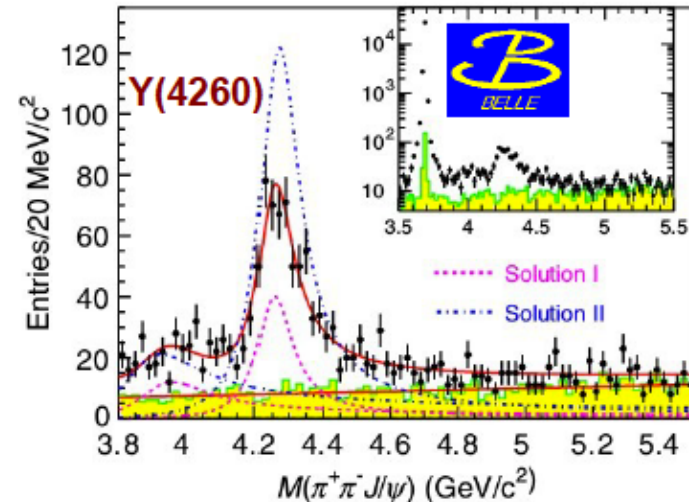
Clean

Highlights prospettive di misure

- **Scan in energia** delle collisioni e raccolta dati principalmente al picco delle risonanze $Y(3S, 5S, 6S)$ con studio delle transizioni $Y(nS) \rightarrow Y(mS)$, $m < n$
- Interesse dovuto al fatto che sono stati scoperti nuovi **mesoni “esotici”**, non inquadrabili nell’attuale modello a quark (tetraquark, glueballs, ibridi)
- Tracciamento a basso momento poco efficiente a causa **dell’assenza del rivelatore di vertice**



Candidato tetraquark $cu\bar{c}d$

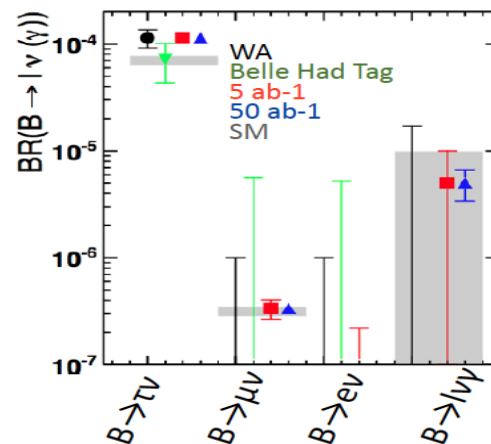
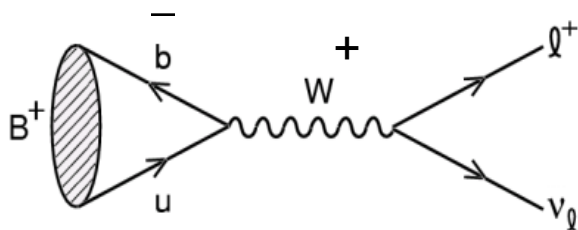


Candidato ibrido $c\bar{c}g$

“Golden modes” con 5 ab^{-1} : decadimenti leptonici del B

14

- $B \rightarrow l \nu$: decadimenti soppressi per elicità



Proiezioni con
5 e 50 ab^{-1}

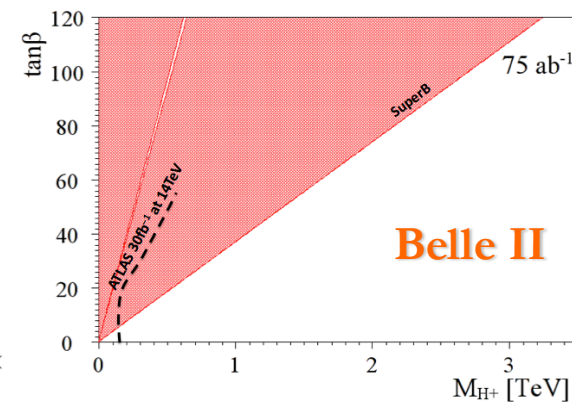
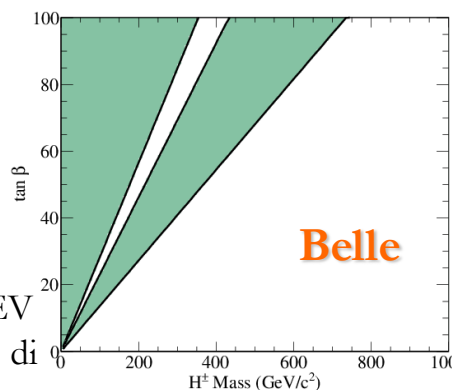
- $B \rightarrow \tau \nu$: evidence a Belle e a BaBar

$$\mathcal{B} = [0.91 \pm 0.19(\text{stat.}) \pm 0.11(\text{syst.})] \times 10^{-4} \quad (\text{significatività di } \sim 4.6 \sigma) \quad \text{Belle, 2015}$$

- La presenza di Nuova Fisica, **ad esempio bosoni di Higgs carichi**, modifica il branching ratio del decadimento.

$$B = B_{SM} \times \left(1 - m_B^2 \frac{\tan^2 \beta}{m_{H^\pm}^2} \right)$$

rapporto tra i VEV dei due doppietti di Higgs

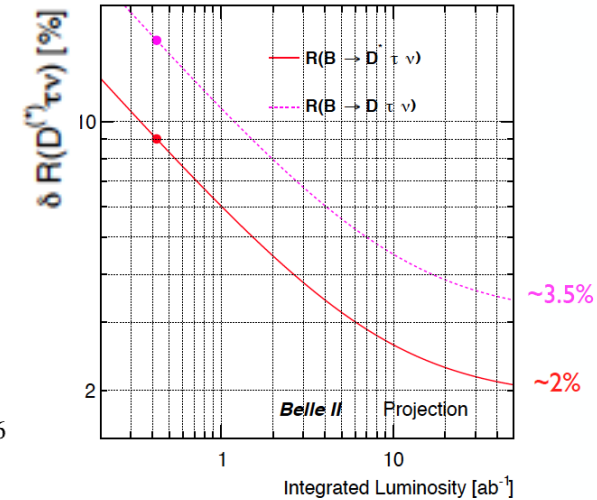
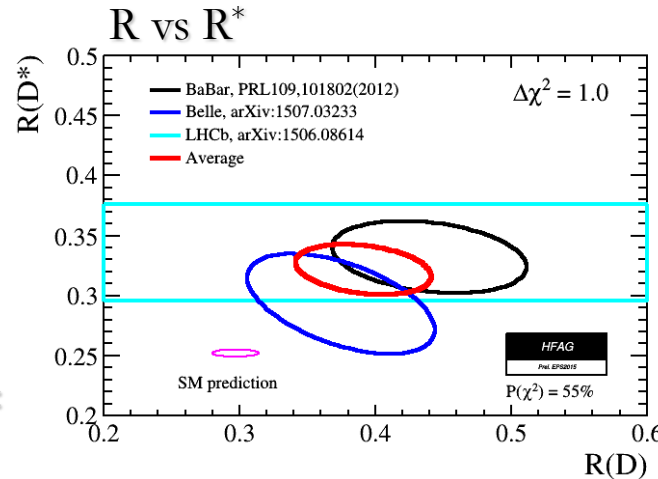


“Golden modes” con 5 ab^{-1} : decadimenti semileptonici del B

15

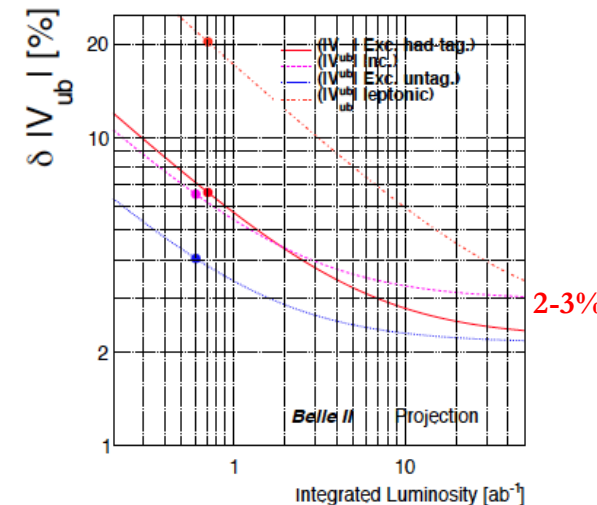
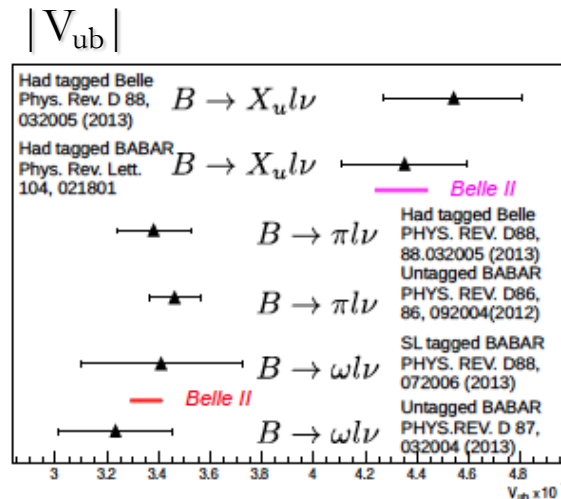
• $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$

- Misura di $R^{(*)} = \text{BR}(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu) / \text{BR}(B \rightarrow D^{(*)} l \nu)$
- Incertezze teoriche ridotte
- Sensibile a Higgs carichi
- **Combinazione misure attuali:** discrepanza di 4.0σ dal SM !



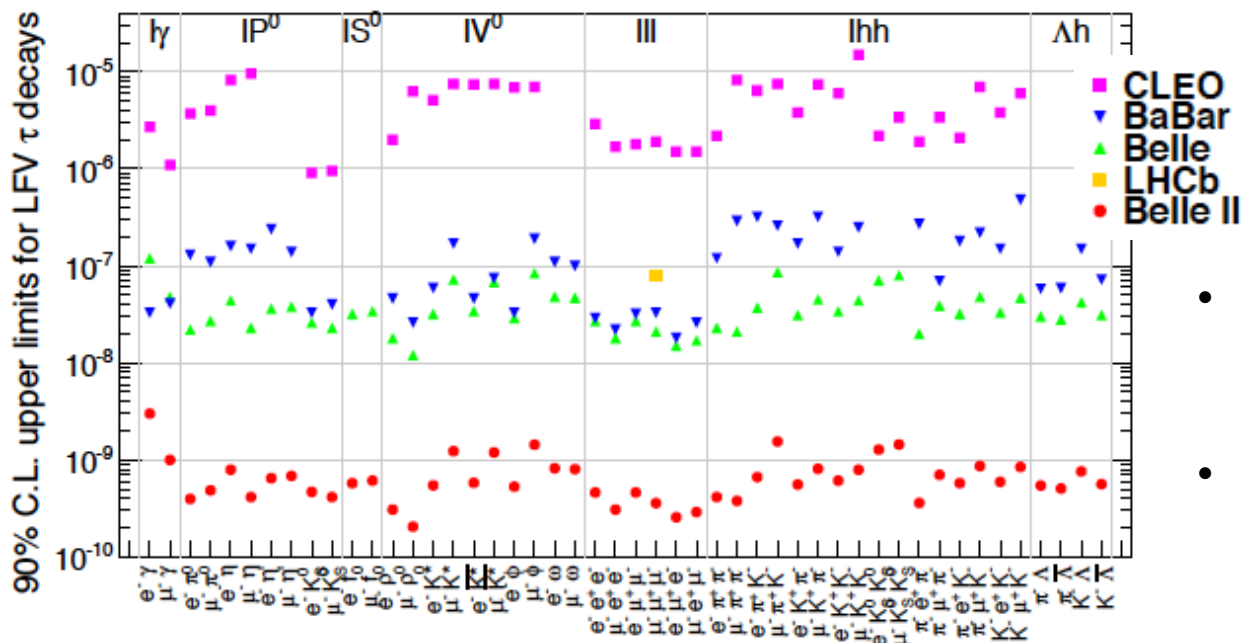
• $B \rightarrow X_u l \nu$

- Tensione tra misure inclusive ed esclusive di $|V_{ub}|$



- LFV costituisce un chiaro **test del modello standard**: BR atteso $\sim 10^{-25}$
- Nuova Fisica può indurre LFV

	reference	$\tau \rightarrow \mu \gamma$	$\tau \rightarrow \mu \mu \mu$
SM + heavy Maj ν_R	PRD 66(2002)034008	10^{-9}	10^{-10}
Non-universal Z'	PLB 547(2002)252	10^{-9}	10^{-8}
SUSY SO(10)	PRD 68(2003)033012	10^{-8}	10^{-10}
mSUGRA+seesaw	PRD 66(2002)115013	10^{-7}	10^{-9}
SUSY Higgs	PLB 566(2003)217	10^{-10}	10^{-7}



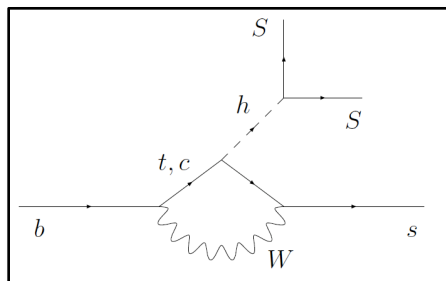
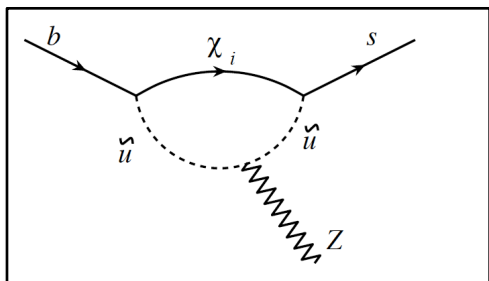
- Decadimenti del τ **studiati alle B-factories** (collider adronici non competitivi)
- Precisione migliore di **2 ordini di grandezza**

- BR previsto nello SM:

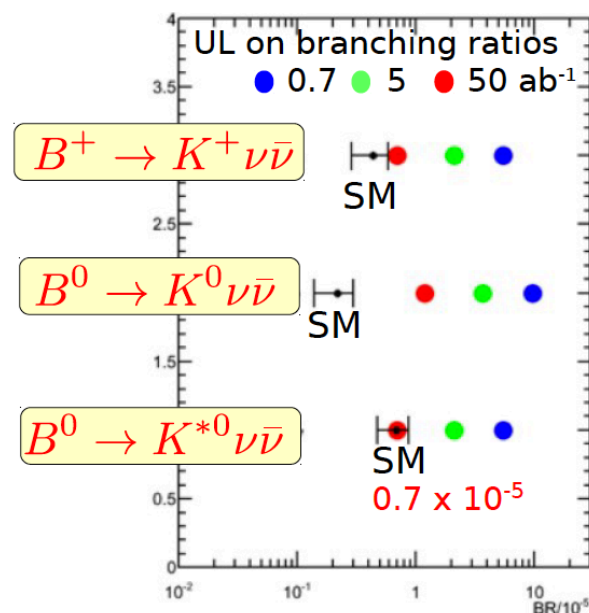
$$\text{BR}(B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu})_{\text{SM}} = (3.98 \pm 0.43 \pm 0.19) \times 10^{-6}$$

$$\text{BR}(B^0 \rightarrow K^{*0} \nu \bar{\nu})_{\text{SM}} = (9.19 \pm 0.86 \pm 0.50) \times 10^{-6}$$

- Effetti di nuova fisica (incremento del BR anche di un fattore 50)
 - non standard Z-couplings (SUSY)
 - nuove fonti di energia mancante (DM, extra dim.)



Mode	Statistical error 50 ab ⁻¹	Total Error
$B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$	20%	22%
$B^0 \rightarrow K_S^0 \nu \bar{\nu}$	94%	94%
$B^+ \rightarrow K^{*+} \nu \bar{\nu}$	21%	22%
$B^0 \rightarrow K^{*0} \nu \bar{\nu}$	20%	22%
$B \rightarrow K^* \nu \bar{\nu}$ combined	15%	17%



- Nella B factory di SuperKEKB collisioni di e^- ed e^+ raggiungeranno la luminosità istantanea di $0.8 \cdot 10^{36} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Il nuovo rivelatore di Belle II (upgrade di Belle) affronterà l'accresciuto livello di fondi con un sistema di tracciamento migliore e PID più efficiente
- Il commissioning del rivelatore è cominciato nel 2016, con le prime collisioni che avverranno nel 2017 e il programma di fisica completo a partire dalla fine del 2018
- Il programma di fisica include lo studio della violazione di CP, i decadimenti (semi)leptonici e rari del B, LFV, la fisica del charm, il dark sector e la spettroscopia adronica (possibile anche a partire dal 2017).
- Con i dati raccolti entro il 2024, corrispondenti a una luminosità di circa 50 ab^{-1} , Belle II sarà in grado di fare luce sulla fisica oltre il modello standard

Grazie dell'attenzione !

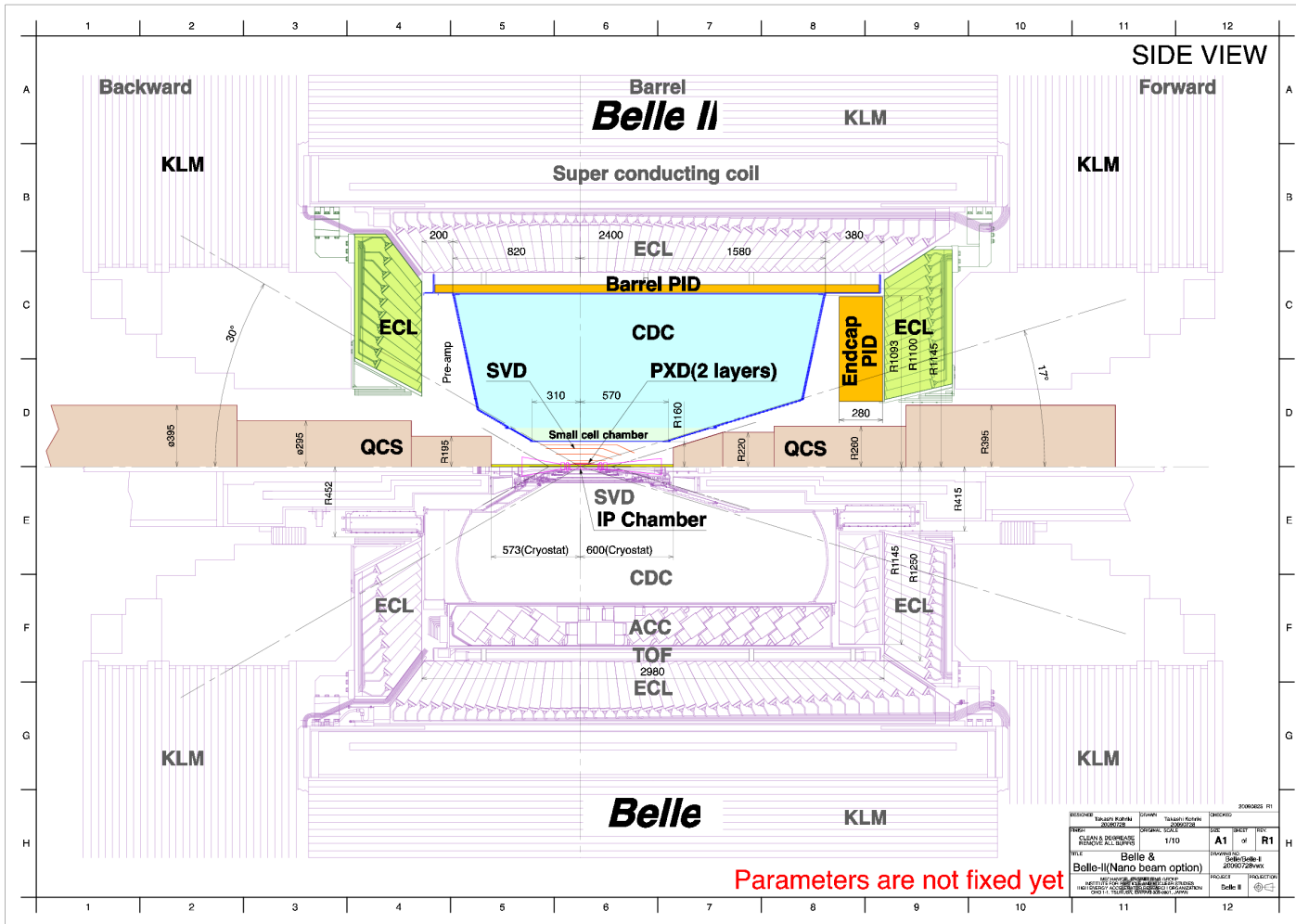


Backup

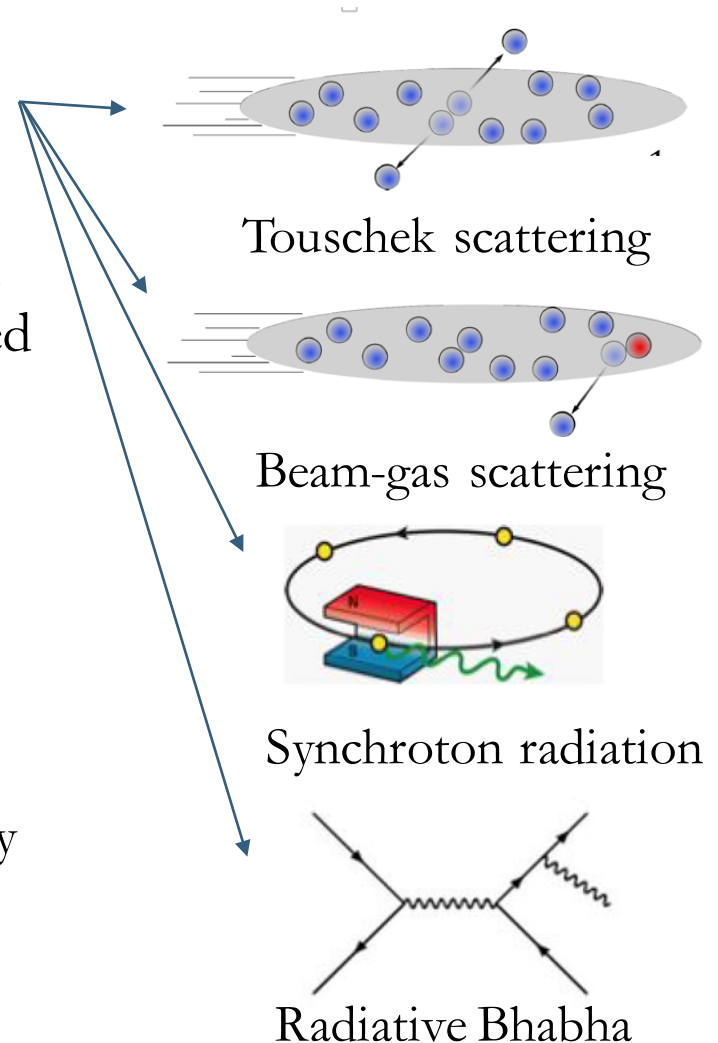


Belle II vs Belle

21



- Among the technical challenges at Belle2, there are beam backgrounds
- In Belle/KEKB, unexpected backgrounds burnt a hole in the beam pipe and damaged inner detectors
- Especially dangerous at SuperKEKB:
 - Temporary damage or faults in electronics
 - Obscure physics processes
 - Fake interesting physics signals
 - Rejecting fake signals also lowers efficiency
- This is where BEAST comes in...



Early Physics Topics on Belle II

Energy	Outcome	Lumi (fb ⁻¹)	Comments
$\Upsilon(1S)$ On	N/A	60+	-No interest identified for Phase 2 -Low energy
$\Upsilon(2S)$ On	N/A	200	-No interest identified for Phase 2
$\Upsilon(1D)$ Scan	Particle discovery	10-20	-Better Study needed for $\Upsilon(1D_2)$ - $\Upsilon(1D_{1,3})$ to be discovered
$\Upsilon(3S)$ On	Many topics	200+	-Known resonance -High luminosity needed: Phase 3
$\Upsilon(3S)$ Scan	Precision QED	~ 10	-Understanding of beam conditions needed
$\Upsilon(2D)$ Scan	Particle discovery	10-20	- $\Upsilon(2D)$ to be discovered
$\Upsilon(5S)+$ Scan	Particle discovery?	10+?	-Energy to be determined
$\Upsilon(6S)$ On	Particle discovery?	30+?	-Upper limit of machine energy
Single γ	New physics?	30+	-Special triggers required

	Observables	Belle or LHCb* (2014)	Belle II		LHCb	
			5 ab ⁻¹	50 ab ⁻¹	8 fb ⁻¹ (2018)	50 fb ⁻¹
UT angles	$\sin 2\beta$	$0.667 \pm 0.023 \pm 0.012(0.9^\circ)$	0.4°	0.3°	0.6°	0.3°
	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 $\mathcal{A}(B \rightarrow K^0\pi^0)$	$-0.05 \pm 0.14 \pm 0.05$	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	$\mathcal{B}(B \rightarrow K^{*+}\nu\tau)$ [10 ⁻⁶]	< 40	< 15	30%		
	$\mathcal{B}(B \rightarrow K^+\nu\tau)$ [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

	Observables	Belle or LHCb* (2014)	Belle II		LHCb	
			5 ab ⁻¹	50 ab ⁻¹	2018	50 fb ⁻¹
Charm Rare	$\mathcal{B}(D_s \rightarrow \mu\nu)$	$5.31 \cdot 10^{-3}(1 \pm 5.3\% \pm 3.8\%)$	2.9%	0.9%		
	$\mathcal{B}(D_s \rightarrow \tau\nu)$	$5.70 \cdot 10^{-3}(1 \pm 3.7\% \pm 5.4\%)$	3.5%	2.3%		
	$\mathcal{B}(D^0 \rightarrow \gamma\gamma)$ [10 ⁻⁶]	< 1.5	30%	25%		
Charm CP	$A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+K^-)$ [10 ⁻⁴]	$-32 \pm 21 \pm 9$	11	6		
	$\Delta A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+K^-)$ [10 ⁻³]	3.4*			0.5	0.1
	A_Γ [10 ⁻²]	0.22	0.1	0.03	0.02	0.005
	$A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^0\pi^0)$ [10 ⁻²]	$-0.03 \pm 0.64 \pm 0.10$	0.29	0.09		
	$A_{CP}(D^0 \rightarrow K_S^0\pi^0)$ [10 ⁻²]	$-0.21 \pm 0.16 \pm 0.09$	0.08	0.03		
Charm Mixing	$x(D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-)$ [10 ⁻²]	$0.56 \pm 0.19 \pm^{0.07}_{0.13}$	0.14	0.11		
	$y(D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-)$ [10 ⁻²]	$0.30 \pm 0.15 \pm^{0.05}_{0.08}$	0.08	0.05		
	$ q/p (D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-)$	$0.90 \pm^{0.16}_{0.15} \pm^{0.08}_{0.06}$	0.10	0.07		
	$\phi(D^0 \rightarrow K_S^0\pi^+\pi^-)$ [°]	$-6 \pm 11 \pm^{4}_{5}$	6	4		
Tau	$\tau \rightarrow \mu\gamma$ [10 ⁻⁹]	< 45	< 14.7	< 4.7		
	$\tau \rightarrow e\gamma$ [10 ⁻⁹]	< 120	< 39	< 12		
	$\tau \rightarrow \mu\mu\mu$ [10 ⁻⁹]	< 21.0	< 3.0	< 0.3		