



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Belle II

L'esperimento Belle II a SuperKEKB

Le attività di Belle II ai Laboratori Nazionali di Frascati

Alessandro Di Cicco* per il gruppo Belle II di LNF

**Laboratori Nazionali di Frascati*, e-mail: alessandro.dicicco@lnf.infn.it

- Il Modello Standard
- L'asimmetria materia-antimateria
- La violazione di CP nel Modello Standard
- La ricerca di Nuova Fisica oltre il Modello Standard
- Il rivelatore Belle II alla B-factory SuperKEKB
- Le attività di ricerca di Belle II ai Laboratori Nazionali di Frascati

Il Modello Standard

3

STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES

| | | | | | | |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Q U A R K S | UP mass $2,3 \text{ MeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ u | CHARM $1,275 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c | TOP $173,07 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t | GLUON 0 0 1 g | H I G G S B O S O N | |
| | DOWN $4,8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d | STRANGE $95 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s | BOTTOM $4,18 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b | PHOTON 0 0 1 γ | | |
| | L E P T O N S | ELECTRON $0,511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e | MUON $105,7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ | TAU $1,777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ | | Z BOSON $91,2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z |
| | | ELECTRON NEUTRINO $<2,2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e | MUON NEUTRINO $<0,17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ | TAU NEUTRINO $<15,5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ | | W BOSON $80,4 \text{ GeV}/c^2$ 0 ± 1 W |
| | | | | | | G A U G E B O S O N S |

- Il Modello Standard (MS) è la teoria che descrive le particelle elementari e le loro interazioni
 - 3 famiglie di fermioni elementari: leptoni e quark
 - Bosoni mediatori delle forze fondamentali: elettromagnetica, nucleare forte, nucleare debole
- Le previsioni del MS sono in ottimo accordo con le evidenze sperimentali per quanto riguarda la descrizione e la previsione dei fenomeni della natura
 - Es.: meccanismo di Higgs, previsione esistenza bosone di Higgs anni '60 e scoperta avvenuta nel 2012
- Ci sono ancora domande a cui il MS non riesce a dare una risposta

I punti critici del Modello Standard

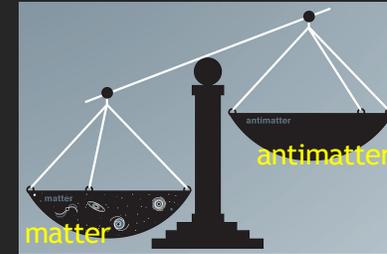


4

- Il MS non spiega come mai esistono 3 famiglie di fermioni elementari. Ne esistono altre? Non ne basta una sola, la prima?
- Perché le masse di fermioni elementari sono così diverse tra loro? ($m_e = 0.551 \text{ MeV}/c^2$, $m_t = 173000 \text{ MeV}/c^2$)
- Su scala cosmologica osserviamo un'asimmetria tra materia e antimateria che il MS riesce a spiegare solo in parte
- Cos'è la materia oscura? E cos'è l'energia oscura?

L'asimmetria materia-antimateria

La violazione di CP: la natura tratta in modo diverso la materia e l'antimateria



5

Il Big Bang ha generato una uguale quantità di materia e antimateria
Materia e antimateria annichilano producendo energia



Se non ci fosse un'asimmetria tra materia e antimateria ci aspetteremmo di osservare un universo fatto solo di radiazione

Ma osserviamo miliardi di galassie fatte di materia nell'universo!!

Perché l'universo è fatto di materia?

La violazione della simmetria CP

- Le interazioni elettrodeboli non conservano CP: la natura tratta in modo diverso la materia e l'antimateria
- È possibile osservare più materia che antimateria nell'universo
- La violazione di CP come descritta nel MS non permette di spiegare del tutto la carenza di antimateria che osserviamo oggi nell'universo

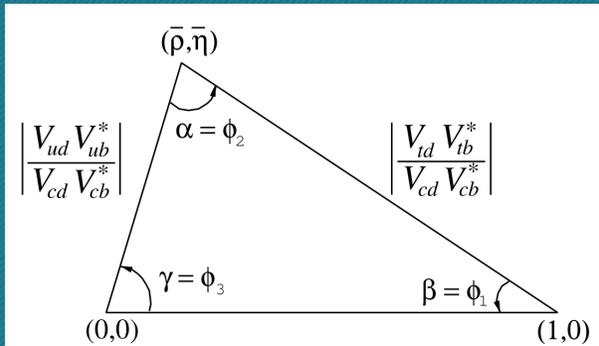
Dove e come altro cercare altre sorgenti di asimmetria per spiegare l'assenza di antimateria nell'universo? → Nuova Fisica

La violazione di CP nel Modello Standard

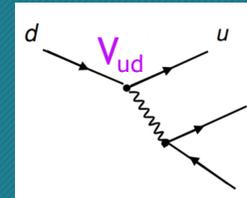
La violazione di CP nel MS è legata all'esistenza di una fase complessa nella matrice CKM, che descrive le transizioni tra le diverse famiglie dei quark (flavor transitions)

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

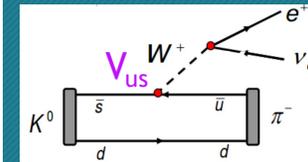
Le condizioni di unitarietà della matrice CKM, unite ad un po' di algebra, permettono di rappresentare la matrice CKM come un triangolo nel piano complesso (ρ, η): **TRIANGOLO DI UNITARIETÀ**



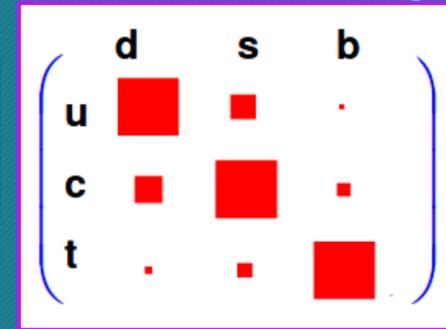
Possiamo misurare gli elementi di matrice studiando decadimenti deboli



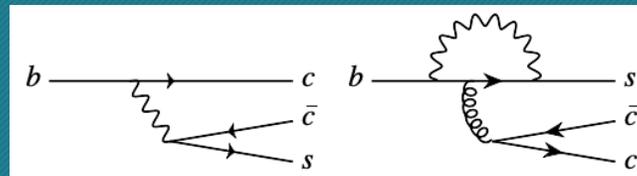
Neutron decay



Kaon decay



Possiamo misurare anche gli angoli



Decadimenti $B^0 \rightarrow J/\psi K^0, \bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K^0$

TIME DEPENDENT ANALYSIS OF ASYMMETRY

$$S_f \sin(\Delta m_d t) - C_f \cos(\Delta m_d t)$$

$$S_f = -\eta_f \sin 2\beta \quad C_f = 0$$

La ricerca di Nuova Fisica

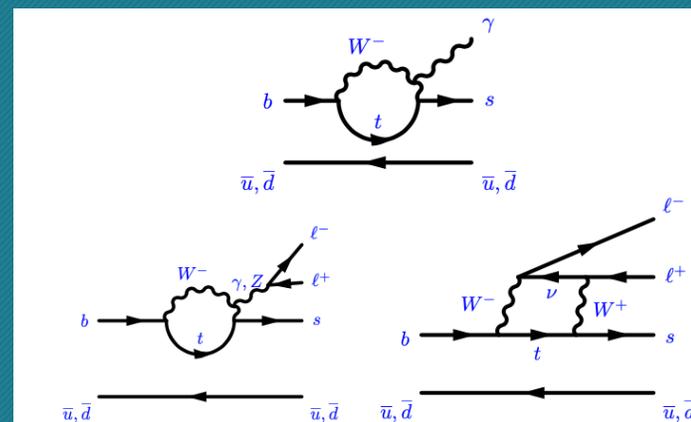


7

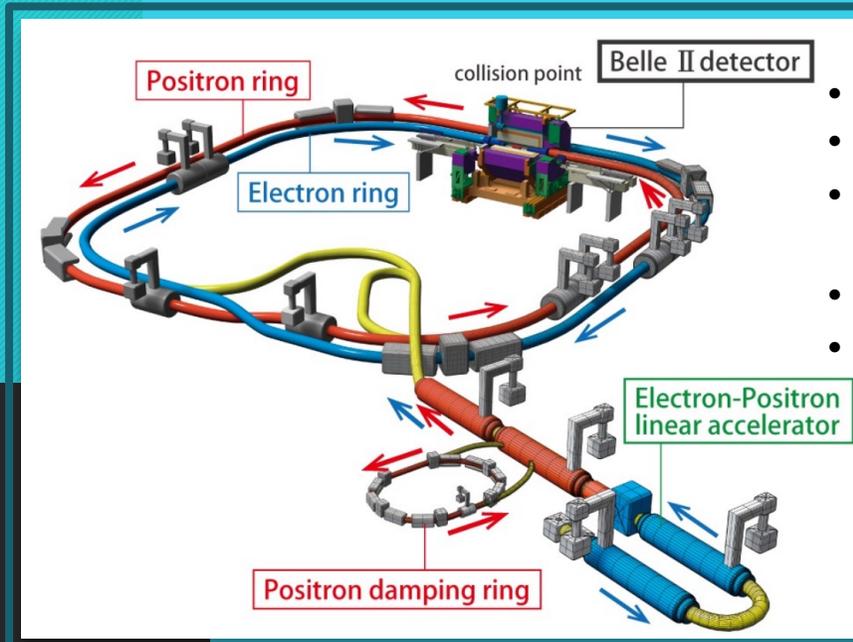
- La **fisica del sapore** (flavor physics) si occupa di misurare i parametri del triangolo di unitarietà, con lo scopo di verificare che le predizioni del MS siano esatte e coerenti nel settore della violazione di CP
- Ogni deviazione dalle predizioni segnala la possibilità che nuovi fenomeni, non previsti dal MS, intervengano nella fisica dei processi in esame (**Nuova Fisica**)
- I nuovi fenomeni devono essere verificati sperimentalmente con **misure di precisione**
- **Uno degli scopi principali di Belle II è fare misure di precisione nell'ambito della fisica del sapore**

Es.: decadimenti rari dei mesoni B
pinguini radiativi $b \rightarrow s\gamma$, $b \rightarrow d\gamma$
pinguini elettrodeboli $b \rightarrow s\ell^+\ell^-$, $b \rightarrow d\ell^+\ell^-$, $b \rightarrow sv\bar{\nu}$

Processi sensibili a NP: nei loop possono essere scambiati anche partner supersimmetrici di quark e bosoni, Higgs carichi



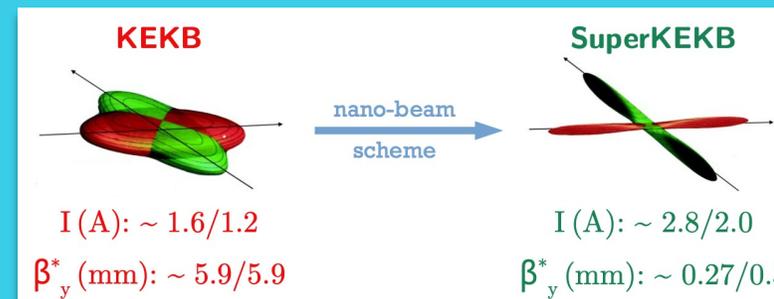
SuperKEKB: una super fabbrica di mesoni B



- Collisionatore e^+e^- a Tsukuba, Giappone
- $\sqrt{s} = 10.58$ GeV - Risonanza $\Upsilon(4S)$
- Produzione di mesoni B in uno stato quantistico correlato
- Collisioni anche off-resonance
- Fasci asimmetrici 7/4 GeV: il Lorentz boost del sistema e^+e^- permette ai mesoni B e D di percorrere una distanza apprezzabile prima di decadere

Schema di collisione nano-beam

proposto da P. Raimondi per la SuperB-factory



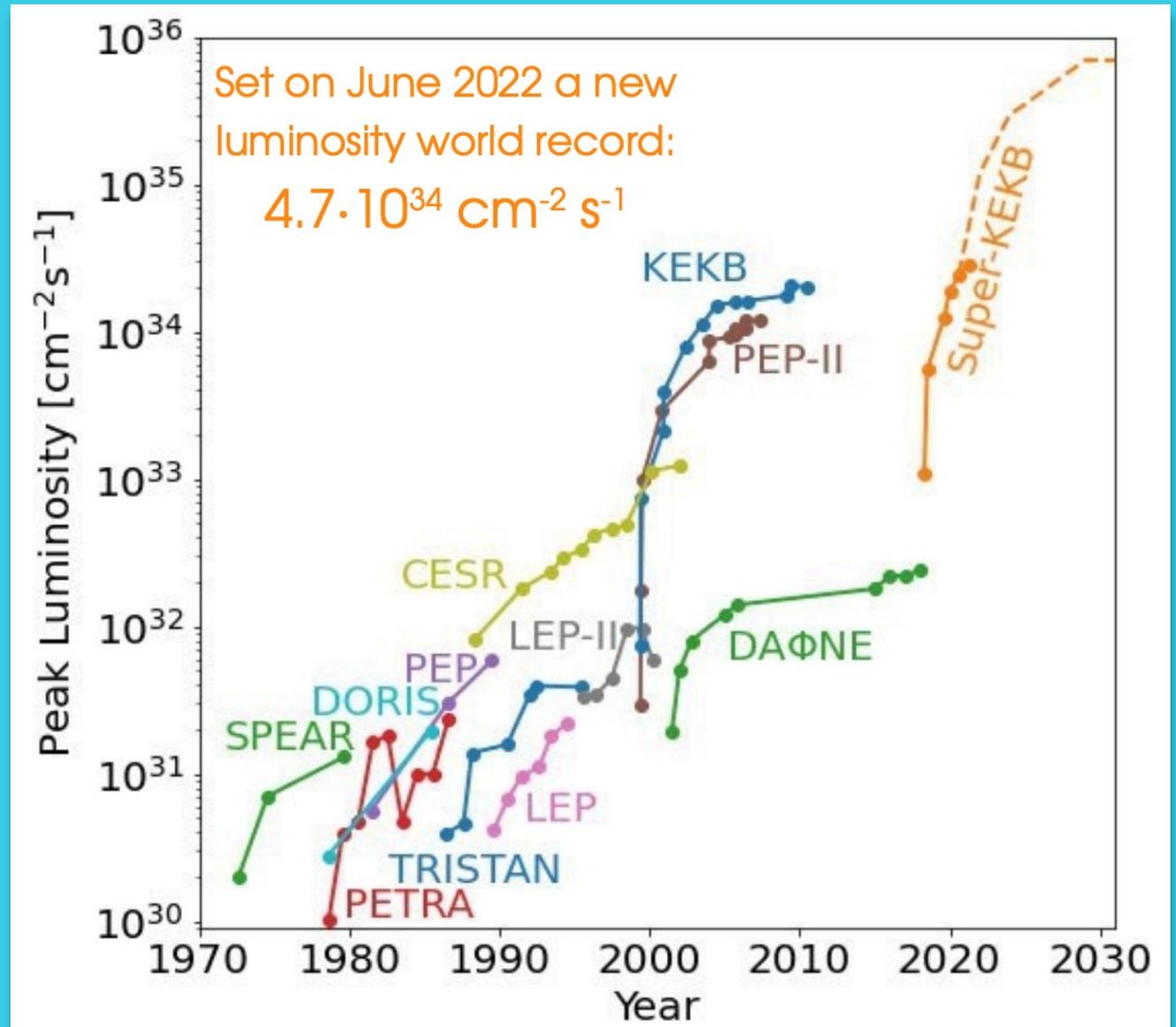
Fasci molto strizzati per minimizzare l'oro sovrapposizione al punto di interazione $\sigma_y^* \approx 50$ nm

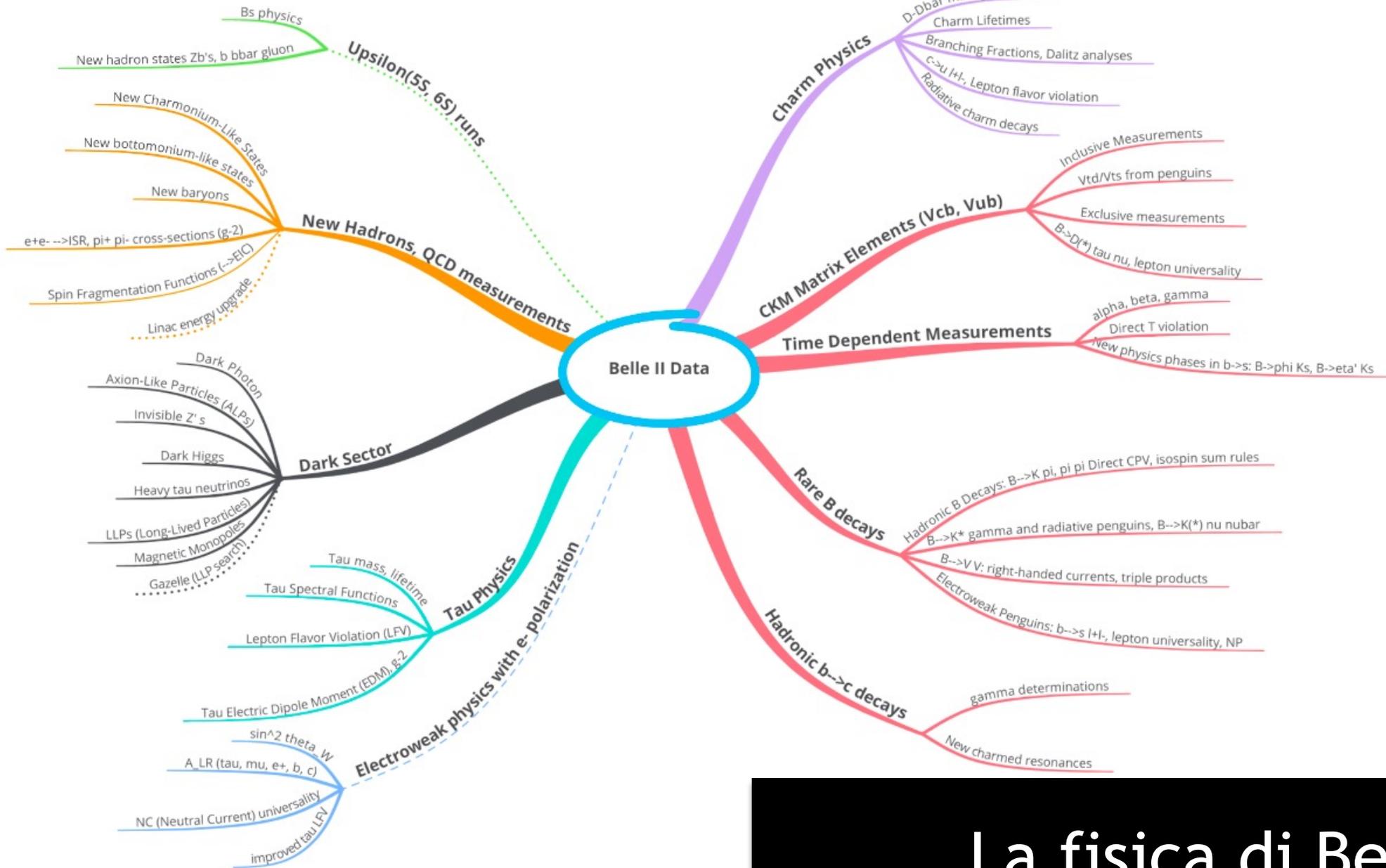
1000 volte più sottile di un capello!!



Luminosità di picco x40 rispetto a KEKB

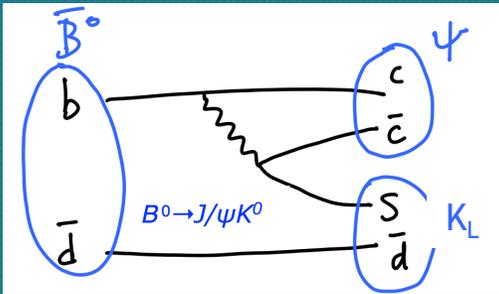
SuperKEKB: un record mondiale



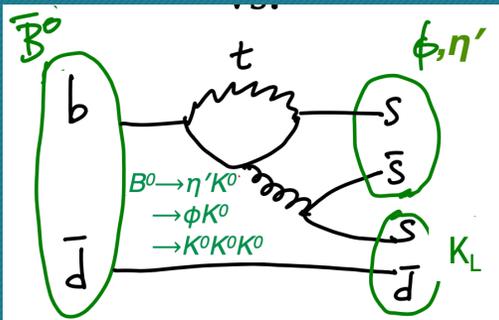
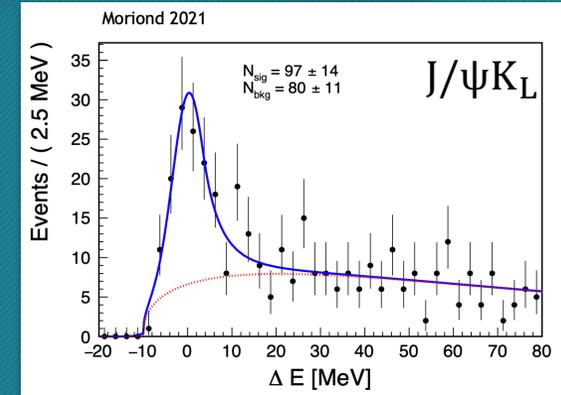


La fisica di Belle II

Le attività del gruppo di LNF: $B^0 \rightarrow J/\psi K_L$, $B^0 \rightarrow \eta' K_L$ e misura di $\sin 2\beta$

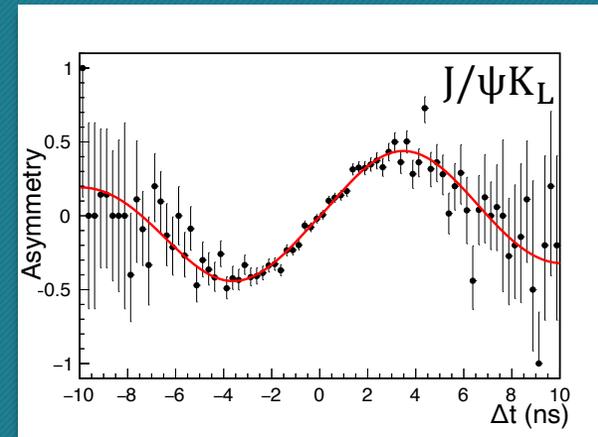


- $B^0 \rightarrow J/\psi K_L$
- canale di riferimento per la misura di $\sin 2\beta$ nel MS
 - misura di $\sin 2\beta$ indipendente dal golden channel $J/\psi K_S$
 - dominato dal diagramma al tree-level
 - segnatura sperimentale molto chiara:
 - 2 leptoni ($J/\psi \rightarrow ee$, $J/\psi \rightarrow \mu\mu$)
 - adrone neutro identificato come K_L



- $B^0 \rightarrow \eta' K_L$
- dominato dal diagramma a pinguino
 - segnatura sperimentale:
 - identificazione dei decadimenti di η'
 - adrone neutro identificato come K_L

Il valore di $\sin 2\beta$ deve essere lo stesso per le transizioni $b \rightarrow c\bar{c}d$ e $b \rightarrow s\bar{s}s$
 Ogni deviazione indica effetti di NP

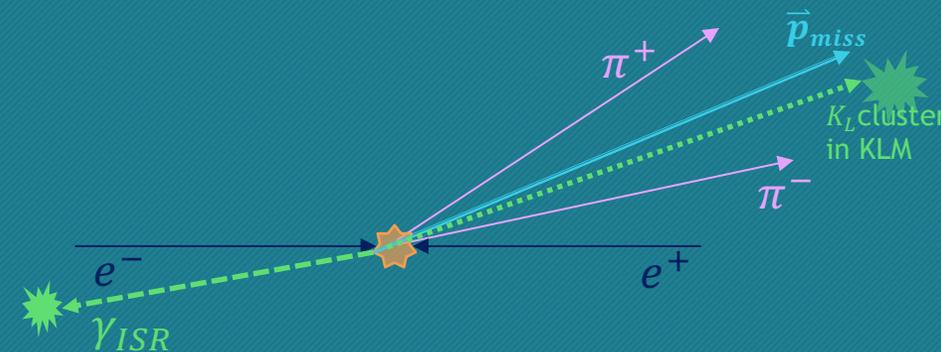


Le attività del gruppo di LNF: $e^+e^- \rightarrow \phi\gamma$

12

Analisi $e^+e^- \rightarrow \phi\gamma$, $\phi \rightarrow K_S K_L$

- canale molto pulito
 - calibrazione KLM
 - ottimizzazione identificazione dei mesoni K_L
 - efficienza identificazione cluster adronici di K_L in KLM
- segnatura sperimentale semplice:
 - 1 fotone di alta energia rivelato nell'apparato (energia attesa nel c.m. = 5.24 GeV)
 - 2 tracce di curvatura opposta provenienti dal punto di interazione (decadimento $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$)

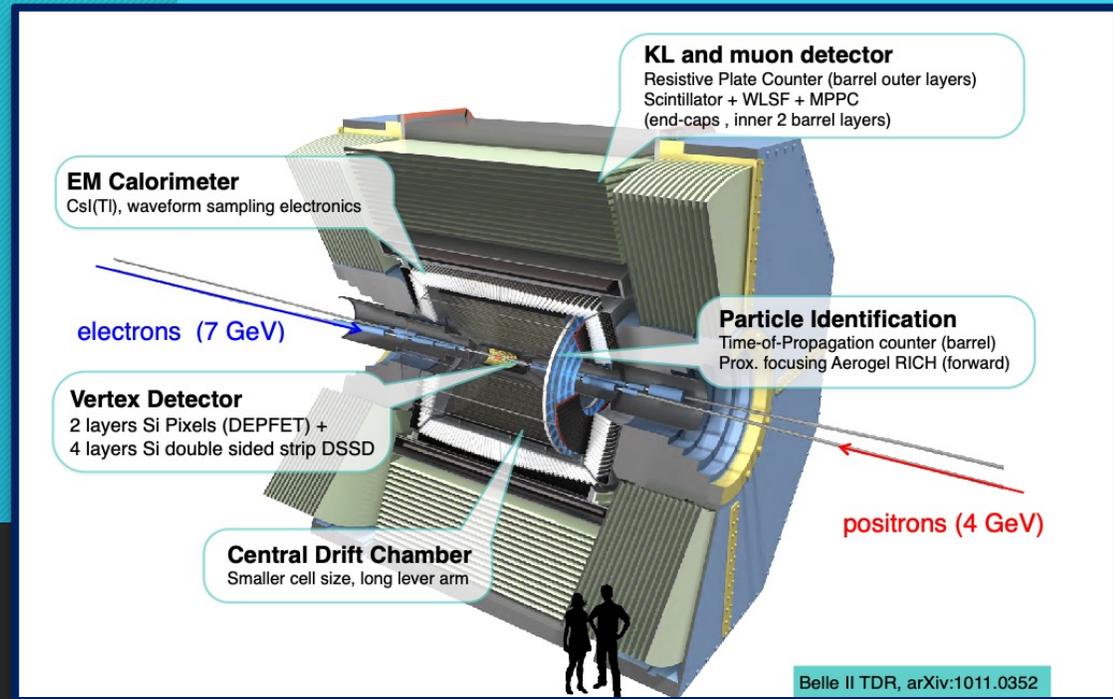


La direzione e il modulo dell'impulso del mesone K_L (impulso mancante) si possono ricostruire chiudendo la cinematica del decadimento:

$$\vec{P}_{miss} = \vec{P}_{ee} - \vec{P}_{KS} - \vec{P}_{\gamma}$$

BelleII 4π magnetic spectrometer @ SuperKEKB

- Good reconstruction of both charged and neutral particles in a clean environment with well known initial state
- Reconstruction of fully-inclusive final states and broadly search for particles with little or no direct signature in the detector

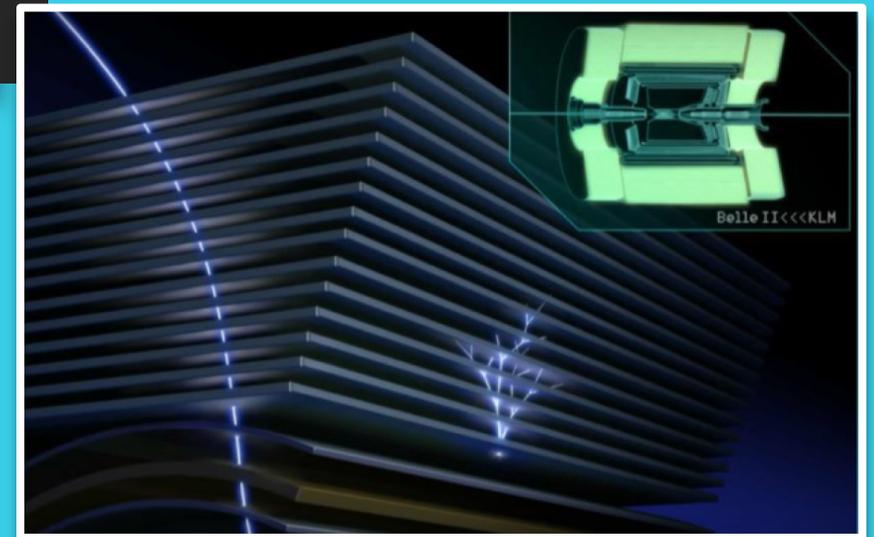


Il rivelatore Belle II



KLM detector

- RPCs and scintillators
- Muon and K_L identification





Riccardo de Sangro

Primo Ricercatore



Giuseppe Finocchiaro

Primo Ricercatore



Marcello Piccolo

Associato Senior



Ida Peruzzi

Associato Senior



Alessandro Calcaterra

Primo Ricercatore



Alessandro Di Cicco

Assegnista di Ricerca



Cristina Martellini

Associata

Il gruppo Belle II di LNF

Possibilità di lavorare con noi

15

Sono disponibili tesi a vari livelli, sia per studenti (triennali e magistrali) che per dottorandi

Fra gli argomenti possibili:

- Ottimizzazione degli algoritmi di ricostruzione dei mesoni K_L
- Calibrazione del rivelatore KLM tramite il processo $e^+e^- \rightarrow \phi\gamma$
- Misura della violazione di CP time-dependent nei decadimenti $B \rightarrow J/\psi K_L$
- Misura della violazione di CP time-dependent nei decadimenti $B \rightarrow \eta' K_L$

Tutte le attività offrono l'opportunità di trascorrere dei periodi nel laboratorio KEK a Tsukuba in Giappone

Per maggiori dettagli contattare: giuseppe.finocchiaro@lnf.infn.it