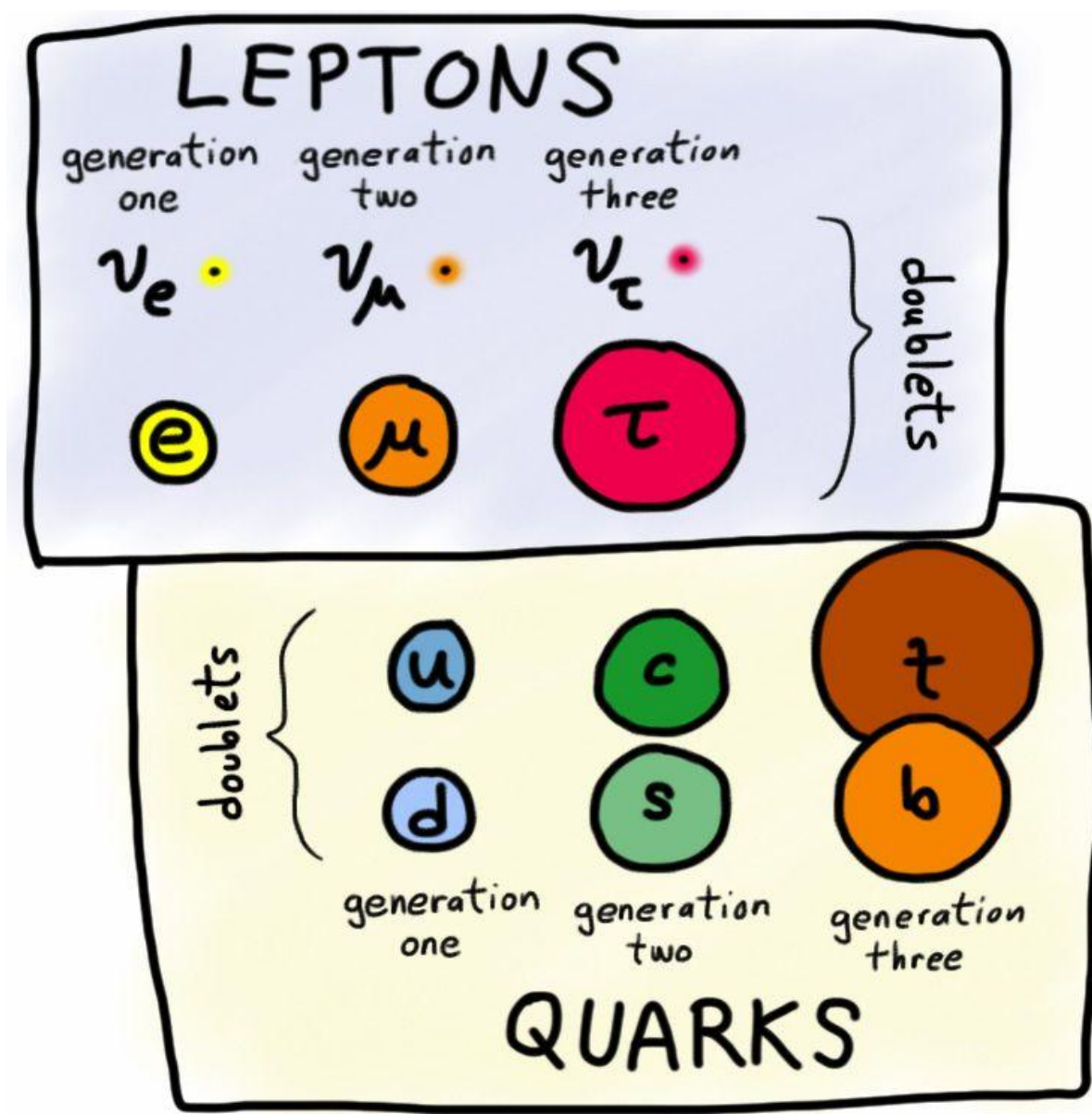


Il sapore nel Modello Standard

Simone Meloni 5 Marzo 2019
s.meloni1@campus.unimib.it

COSA SI INTENDE PER FISICA DEL SAPORE?

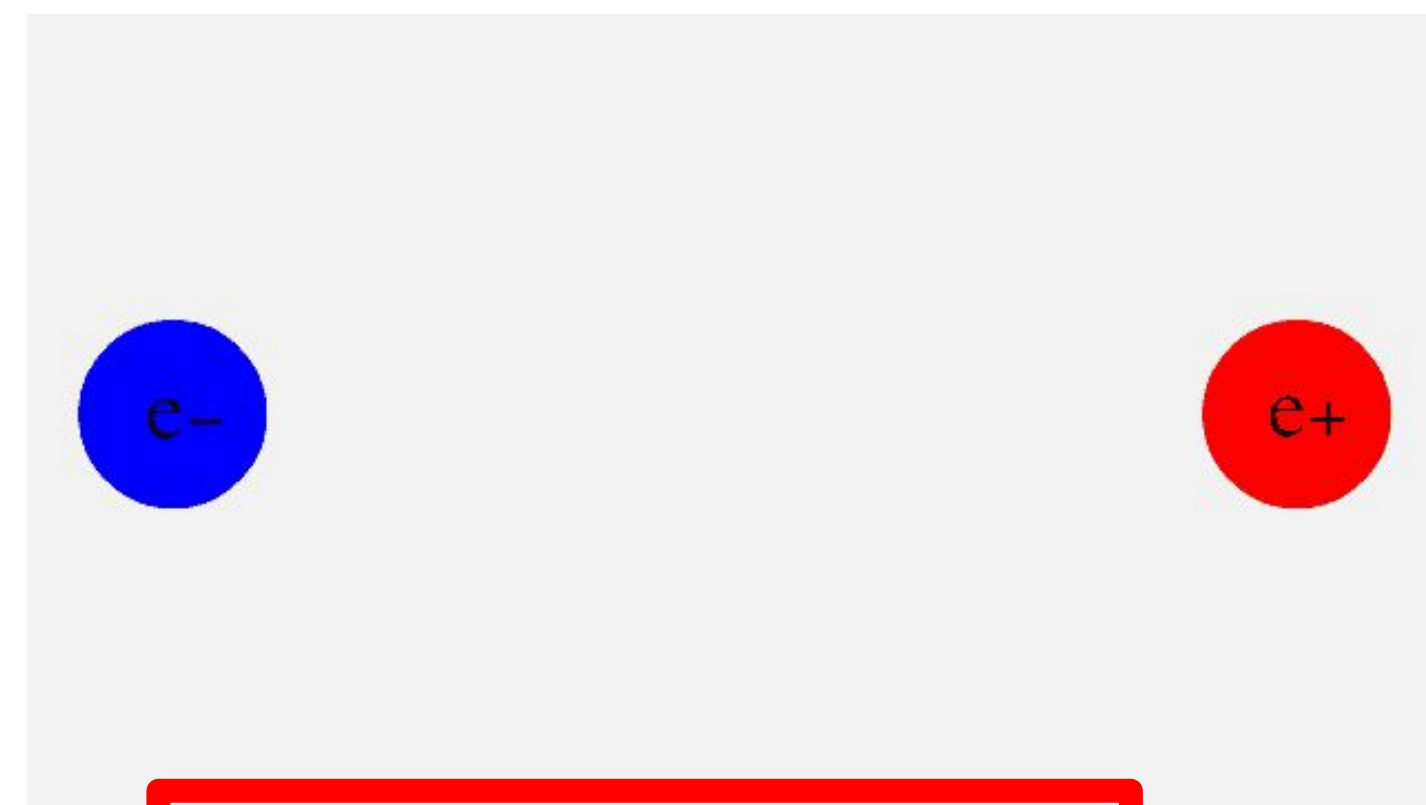
	I	II	III	
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	u up	c charm	t top	g gluon
	d down	s strange	b bottom	γ photon
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson



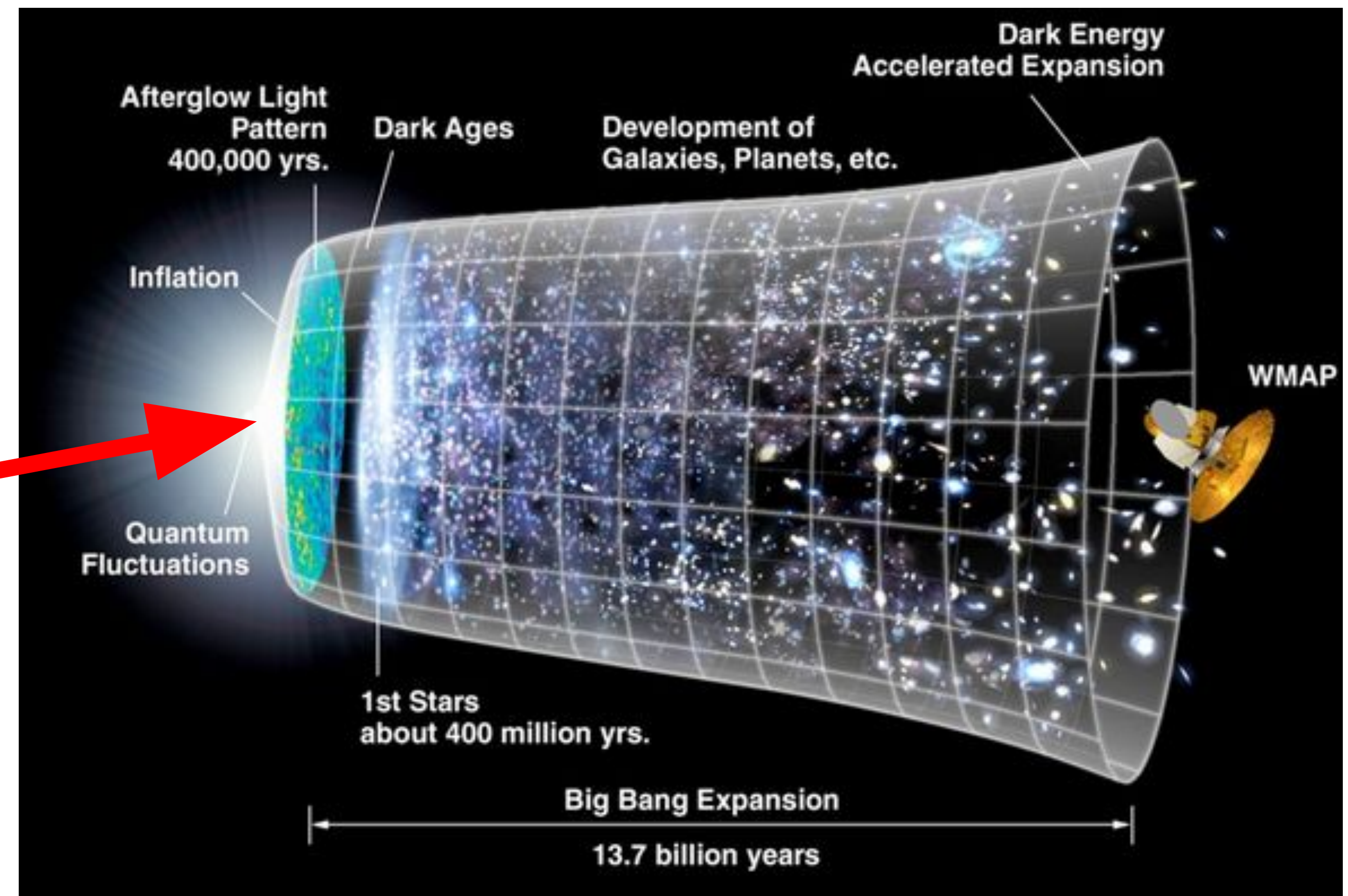
- 2

....E POI L'ANTIMATERIA

Tutto questo è metà della storia! Oltre alla materia esiste l'antimateria



STESSA QUANTITÀ DI
MATERIA
E ANTIMATERIA

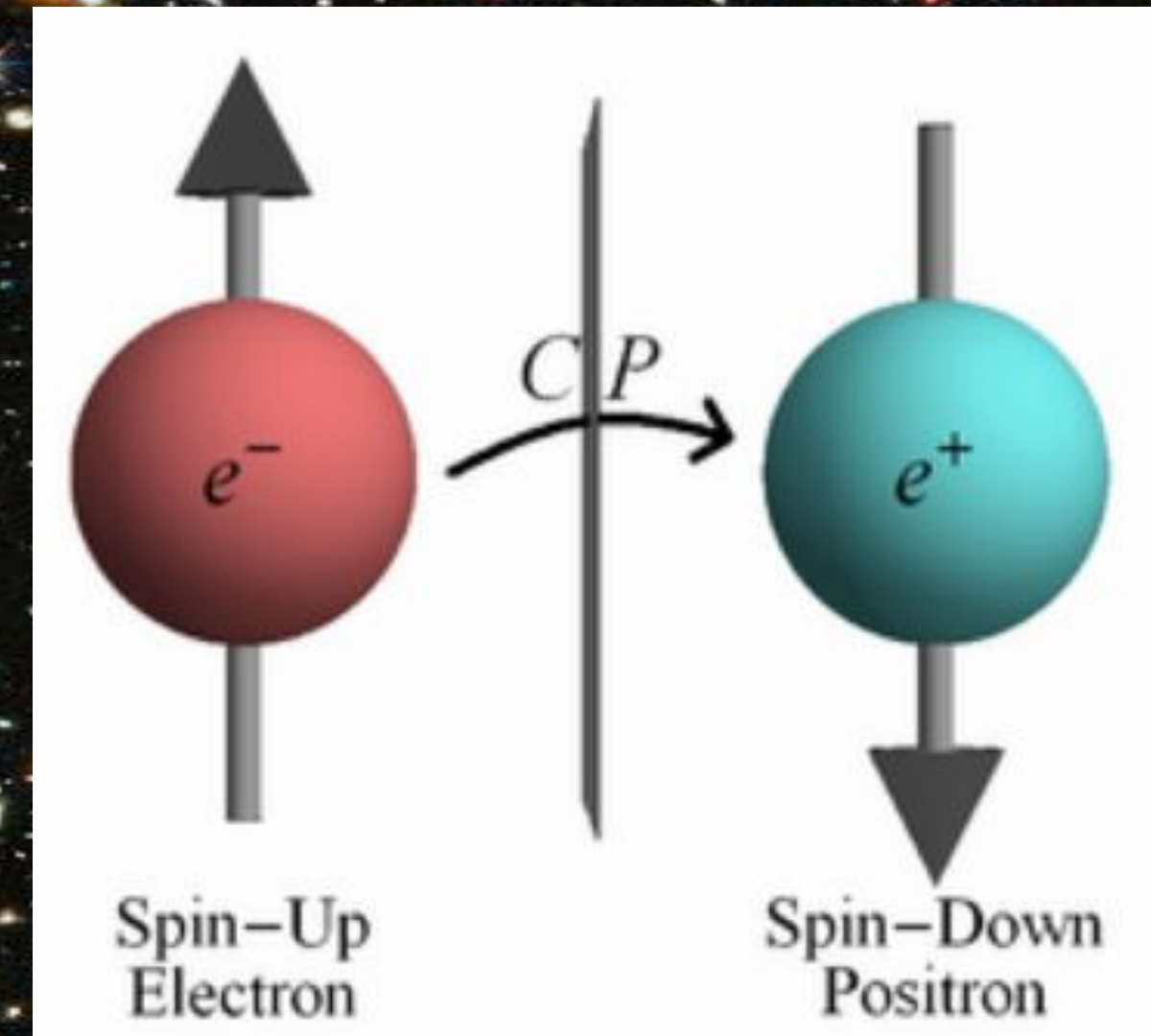


Perché viviamo in un universo dominato da materia?

VIOLAZIONE DI CP E UNIVERSO

- Materia e antimateria non si comportano in modo simmetrico
- L'universo è stato creato con la stessa quantità di materia e antimateria
- La quantità di materia rispetto alla quantità di antimateria è cambiata dinamicamente.
- Quello che vediamo è ciò che è rimasto

$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx 10^{-10}$$



Trasformazione di CP:

- * C (coniugazione di carica)
- * P (trasformazione di parità)

VIOLAZIONE DI CP NEL MS

BASE DEL SAPORE

BASE DELLE MASSE

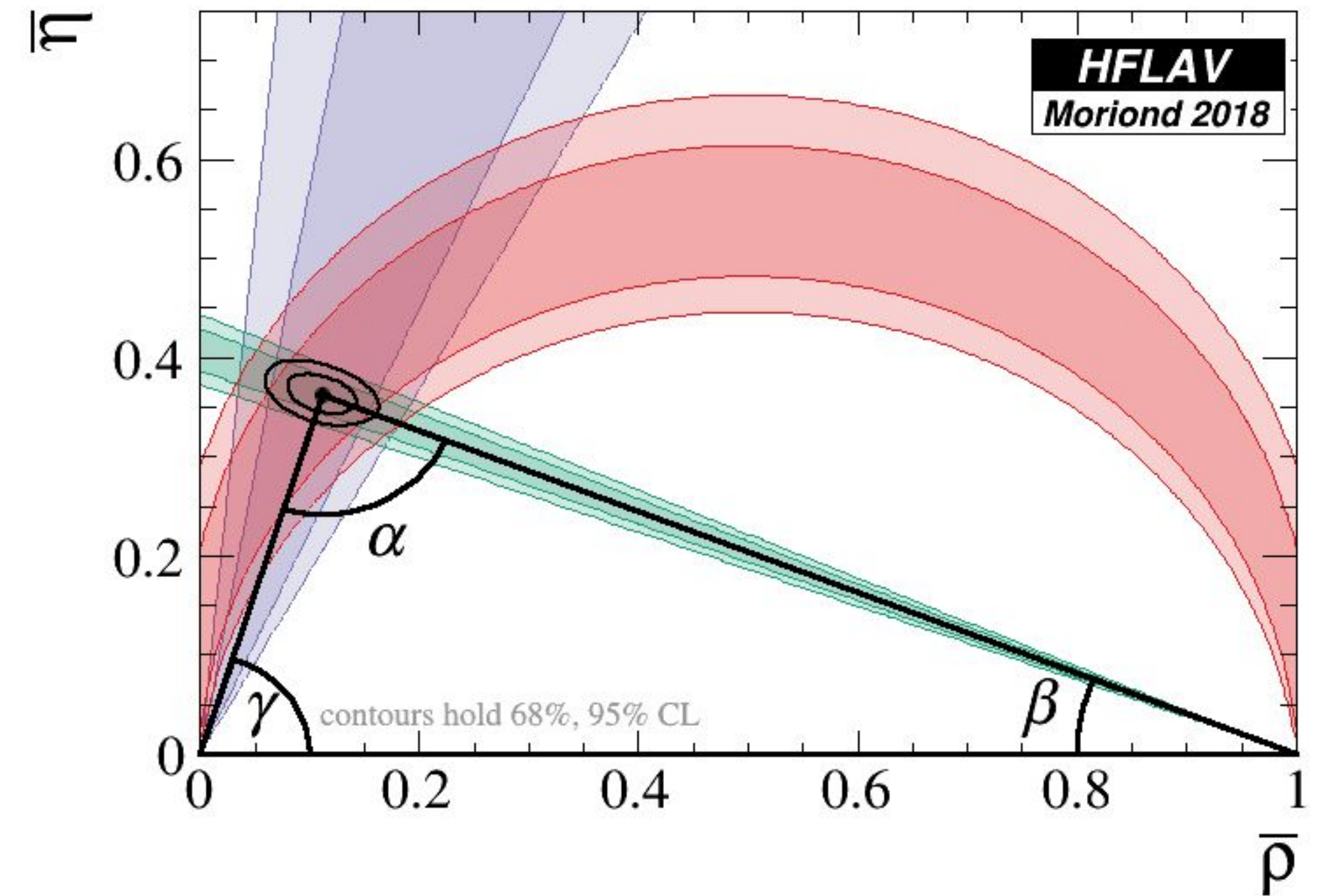
$$\begin{bmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ s \\ b \end{bmatrix}$$

Gli autostati di massa “si mescolano” con una matrice di rotazione 3x3

MATRICE CKM

Il modello prevede una matrice complessa (una sola fase complessa), e unitaria

Condizione di unitarietà permette di disegnare un triangolo con angoli e lati dettati da fase e moduli della matrice



L'area del triangolo di unitarietà è proporzionale alla differenza tra materia e antimateria nell'universo.

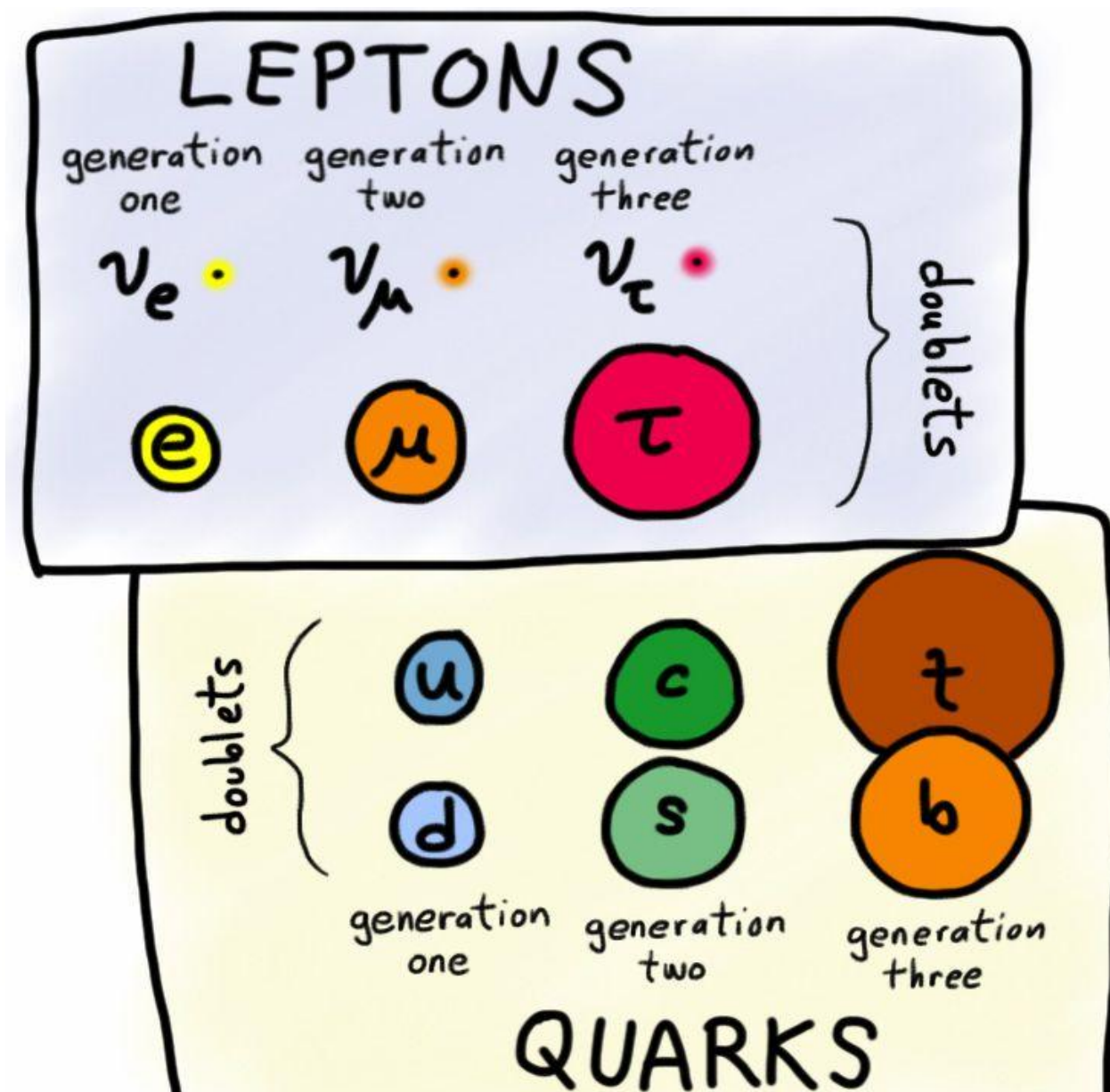
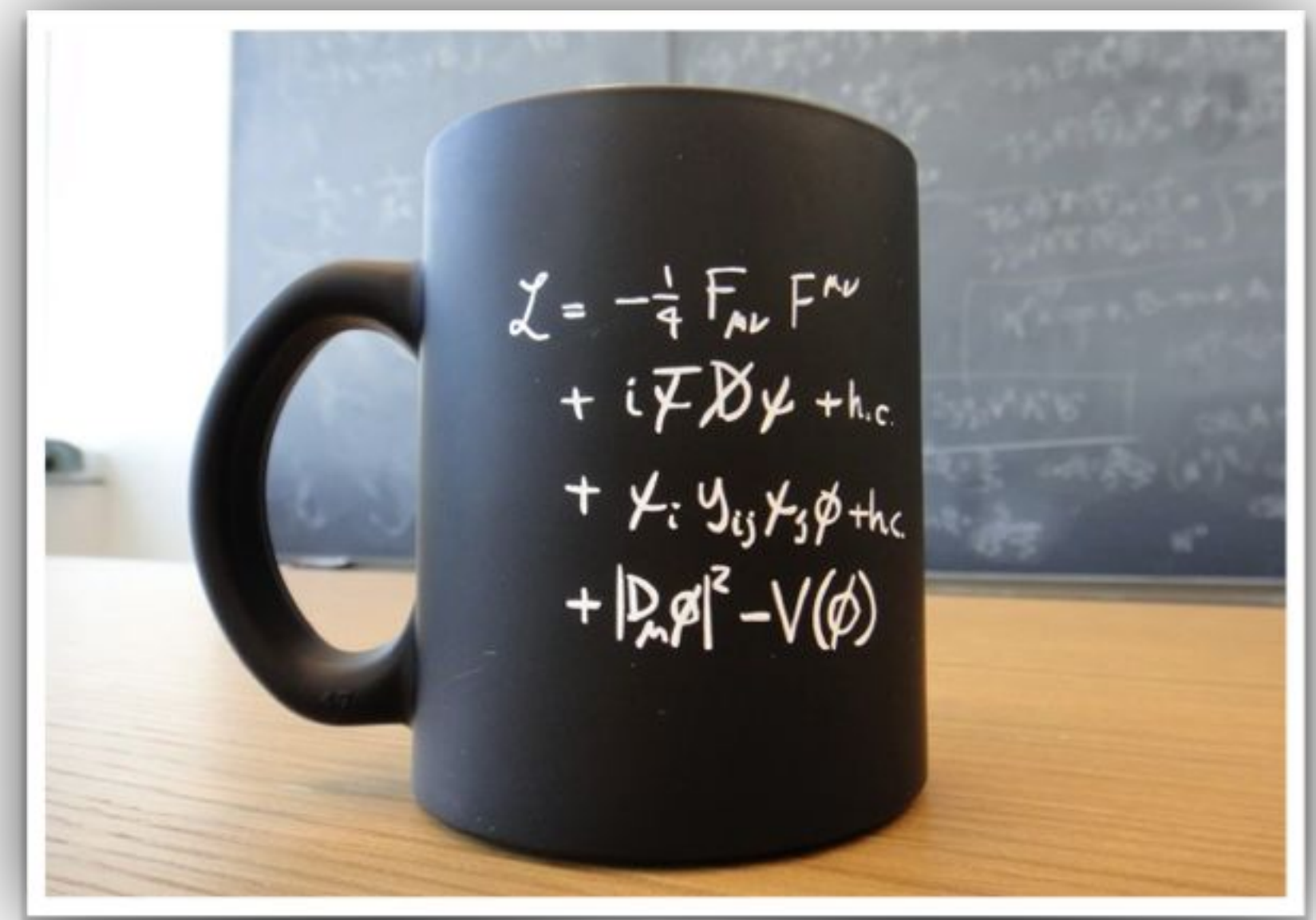
$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx A$$

Ma non basta! L'asimmetria prevista dal Modello Standard è più piccola di quella che osserviamo (7 ordini di grandezza) 5

FISICA DEL SAPORE \Rightarrow VIOLAZIONE CP

OLTRE IL MODELLO STANDARD

- Il Modello Standard non è sufficiente per spiegare il nostro universo
- Le masse e gli accoppiamenti delle particelle devono essere imposte dalle osservazioni sperimentali



Ad oggi nessuna evidenza di nuove particelle

Approccio complementare:

Misure di precisione per cercare piccole deviazioni e testare le simmetrie del modello standard

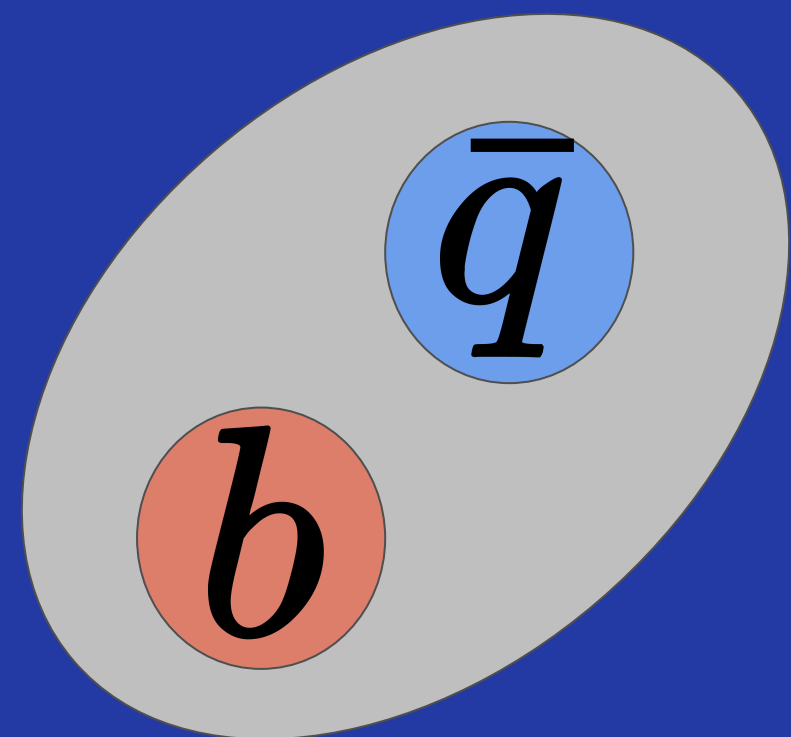
FISICA DEL SAPORE \Rightarrow TEST DI PRECISIONE DEL MODELLO
STANDARD

LA FISICA DEI SAPORI PESANTI (HEAVY FLAVOURS)

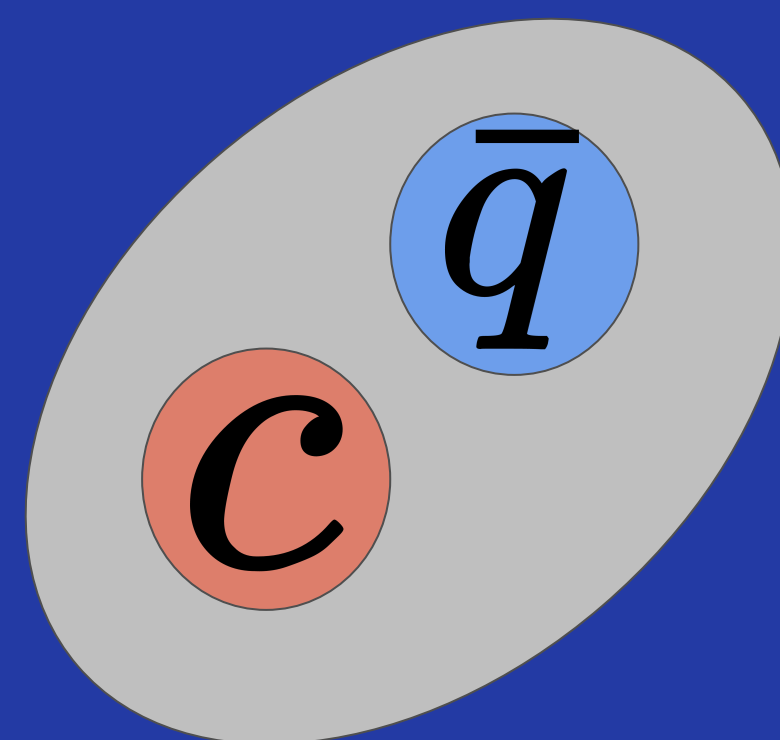


- Si studiano le proprietà di mesoni contenenti quark charm o beauty
- I due quark più pesanti che formano stati legati
- Decadono cambiando sapore, per interazione debole
 - Vita media abbastanza lunga (10^{-13} s) da poter viaggiare per qualche millimetro all'interno del rivelatore
- Essendo pesanti, possono decadere in molti altri mesoni leggeri (π , K)
 - Ricca fenomenologia per studiare la violazione di CP

Mesone B



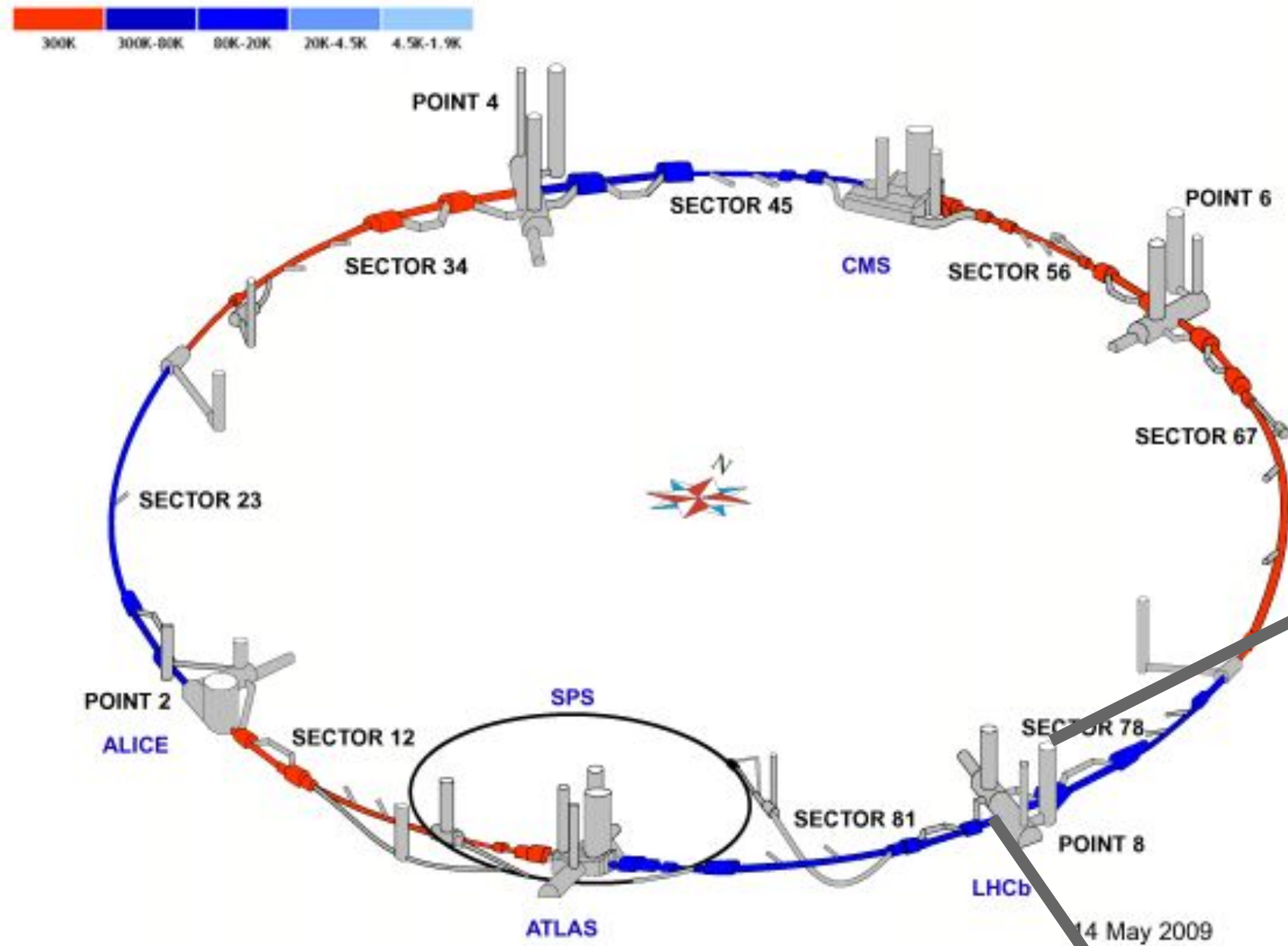
Mesone D



IL SAPORE IN BICOCCA

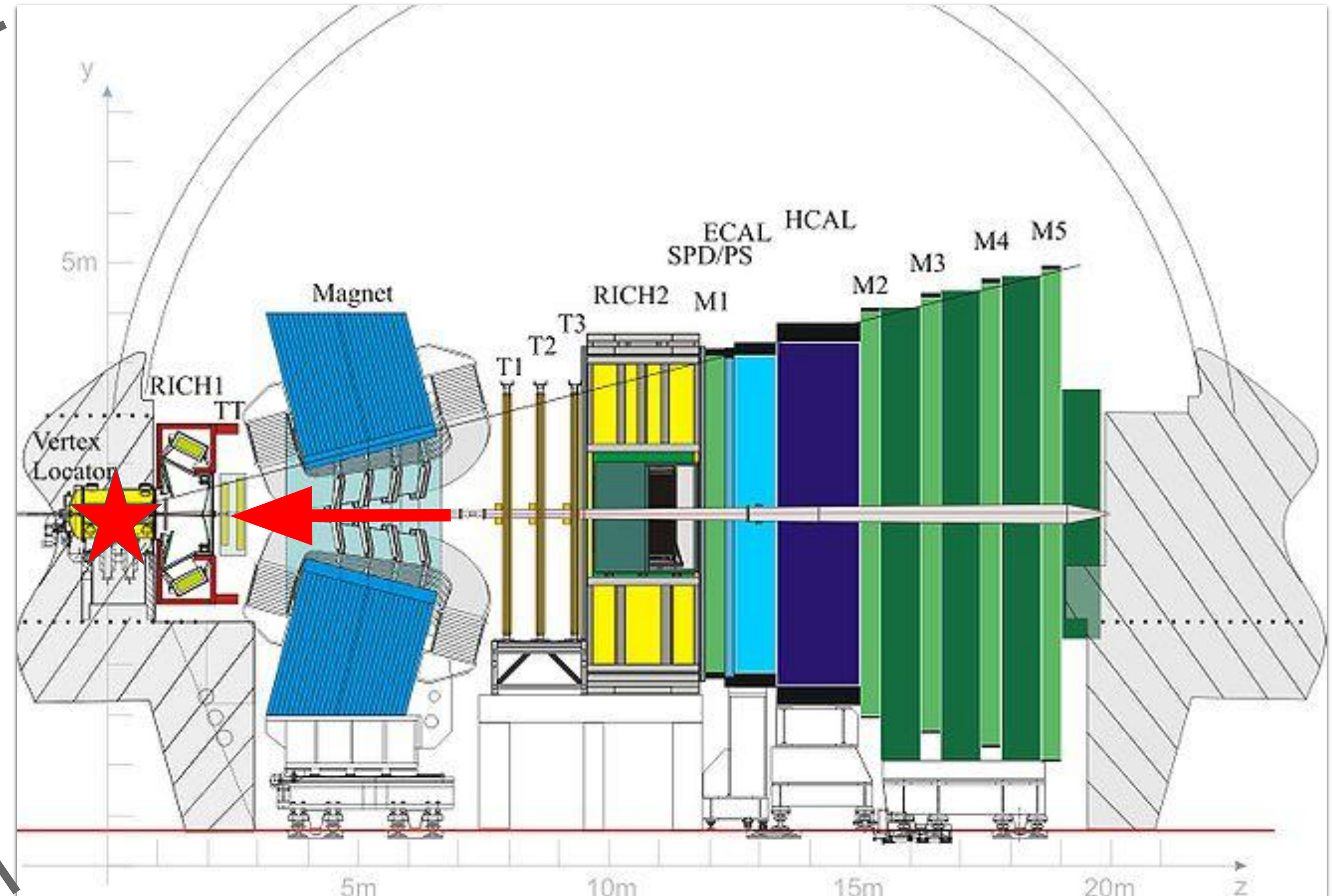


LHCb



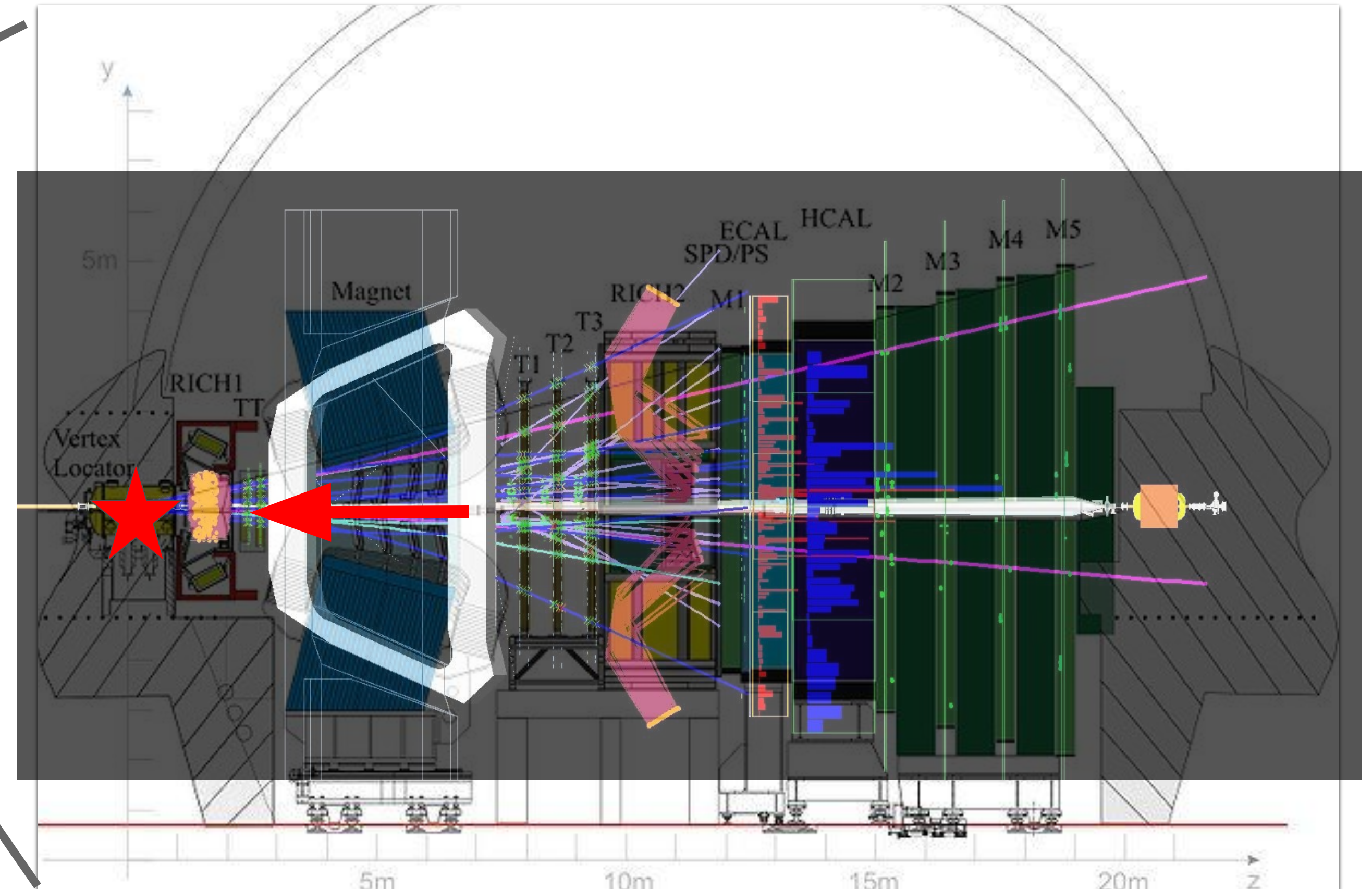
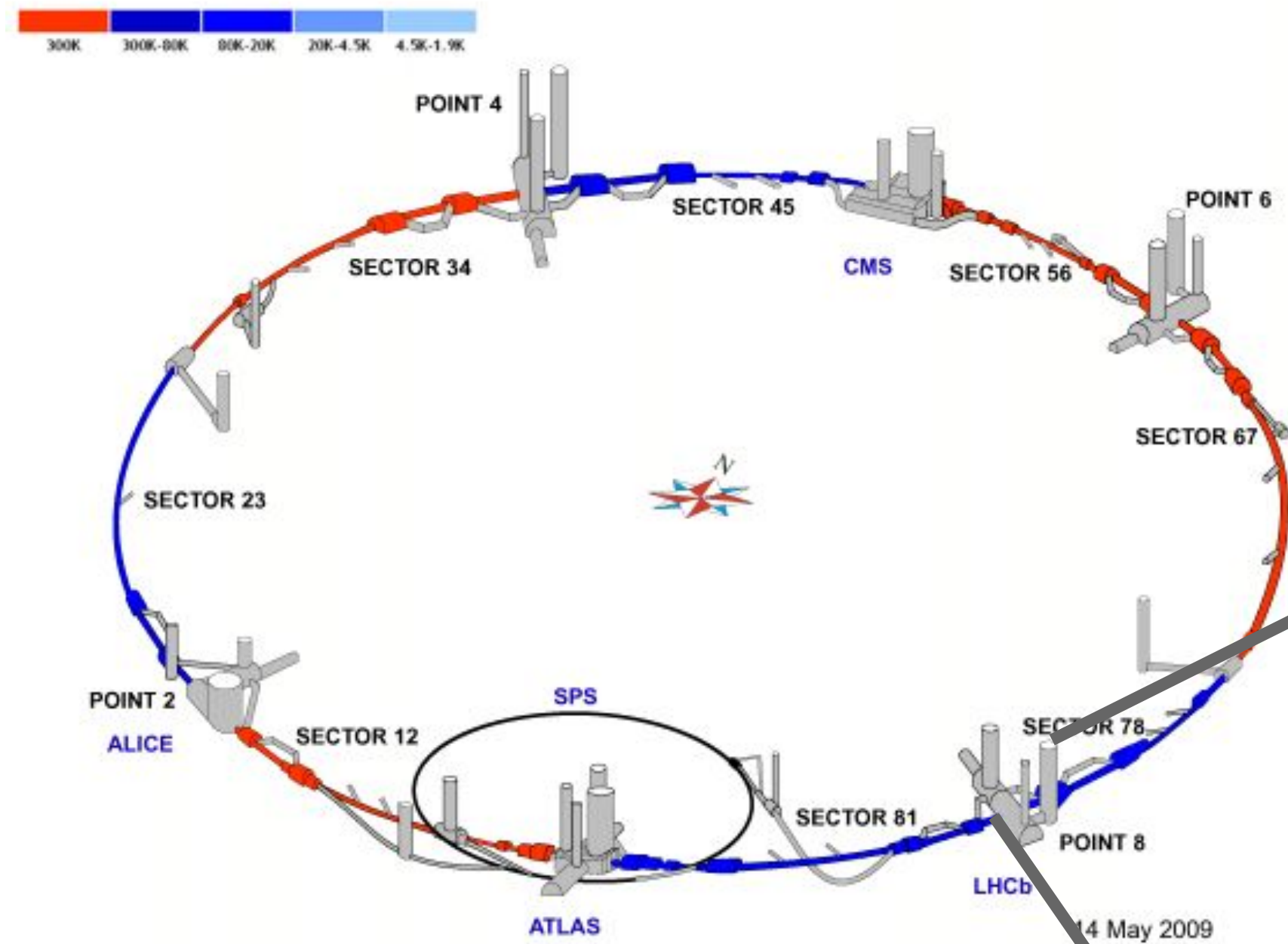
- Esperimento dedicato alla fisica del flavour al CERN
- Composto da molti detector, per misurare le proprietà di diversi tipi di particelle

- Spettrometro in avanti, dove è prodotta la maggior parte dei quark pesanti



LHCb

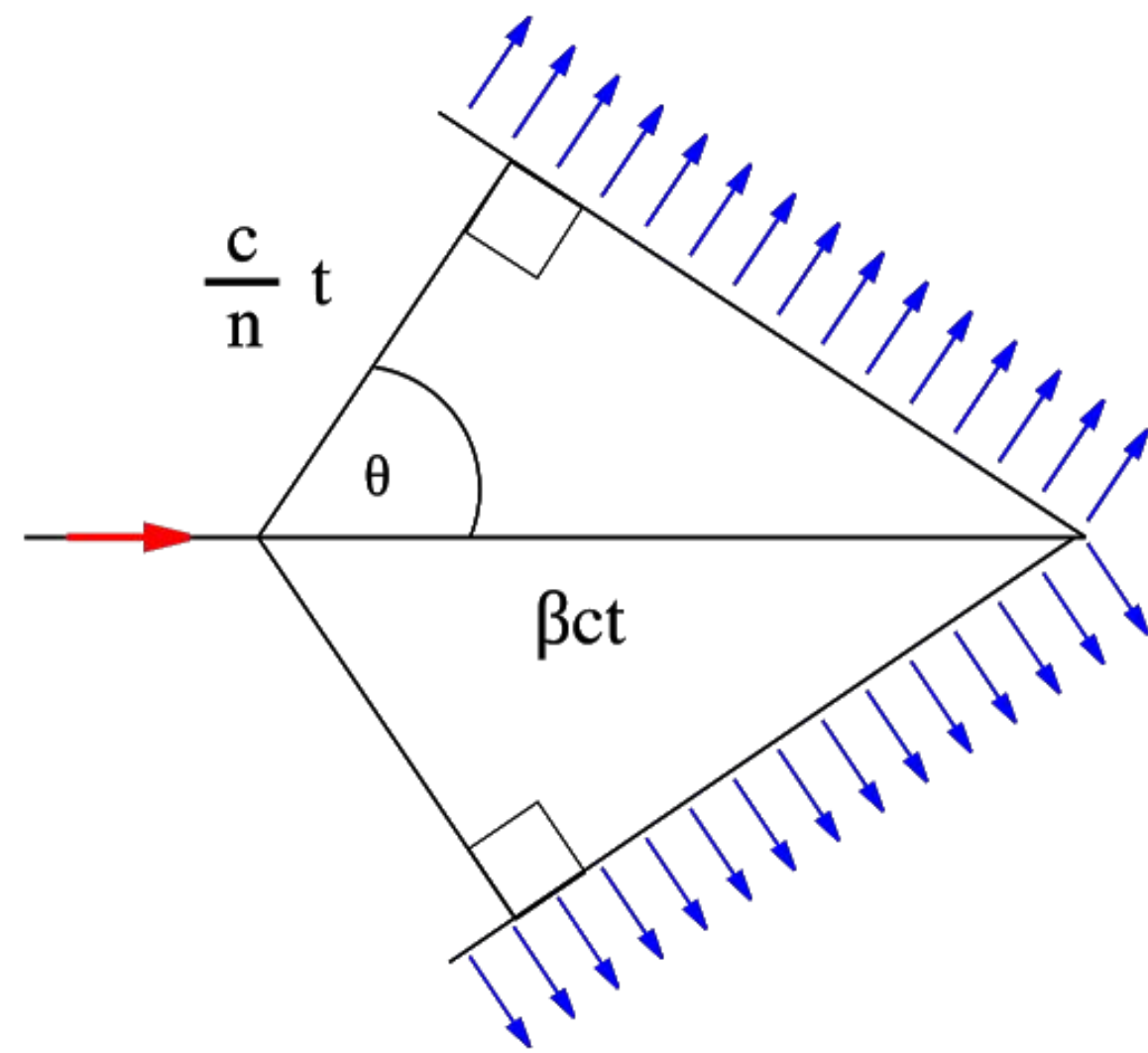
- Esperimento dedicato alla fisica del flavour al CERN
- Composto da molti detector, per misurare le proprietà di diversi tipi di particelle



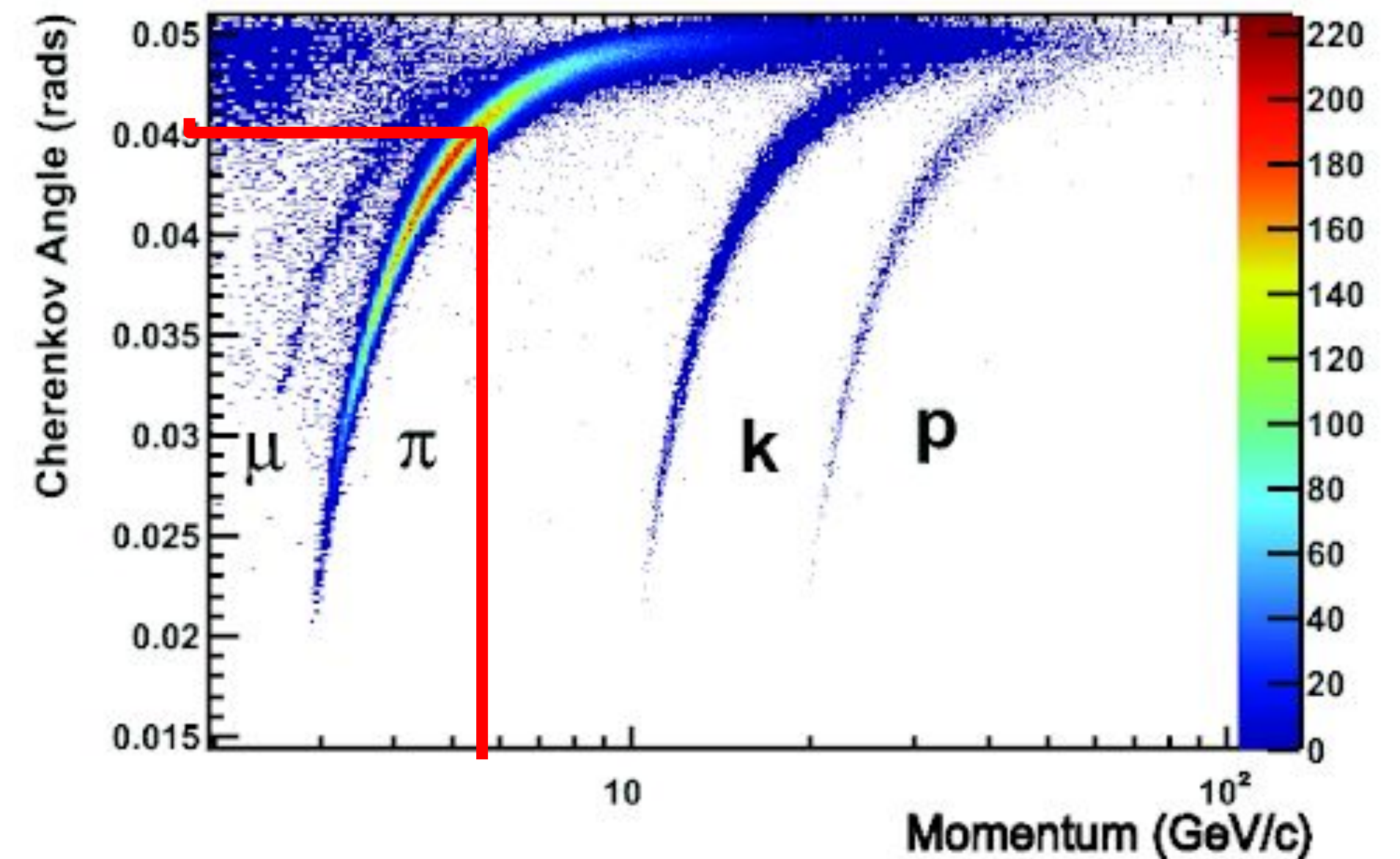
- Spettrometro in avanti, dove è prodotta la maggior parte dei quark pesanti

RING IMAGING CHERENKOV

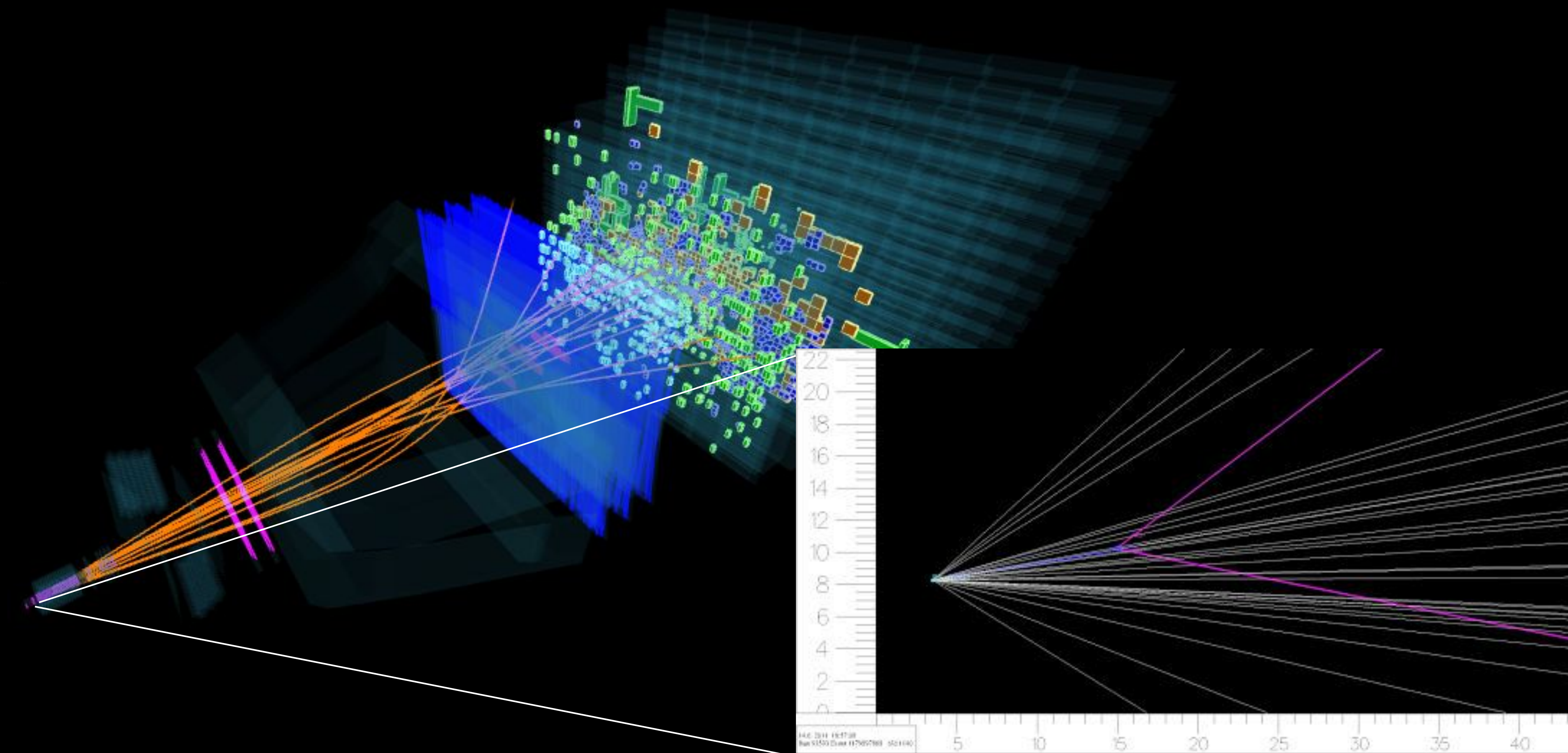
- Particolarità: due rivelatori Cherenkov
- Radiazione Cherenkov: fotoni emessi quando una particella attraversa un mezzo ad una velocità maggiore di quella della luce (nel mezzo).



- L'angolo di emissione dipende dall'indice di rifrazione e dalla quantità di moto della particella.



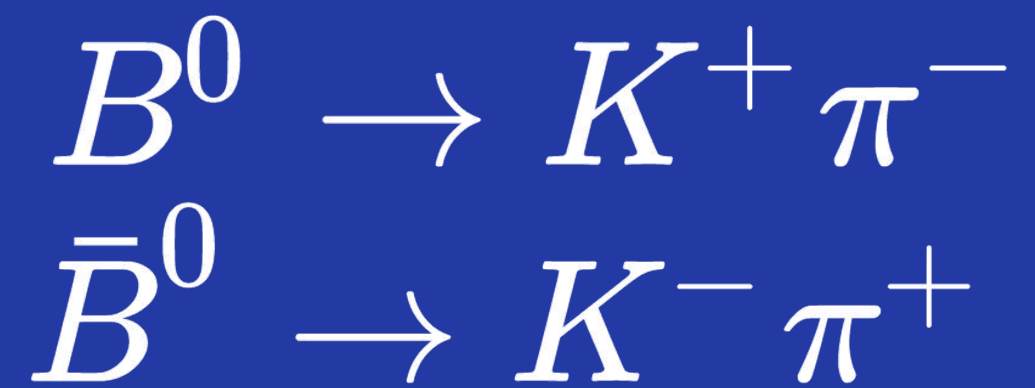
- Possibile identificare le particelle cariche misurando l'angolo di emissione dei fotoni Cherenkov



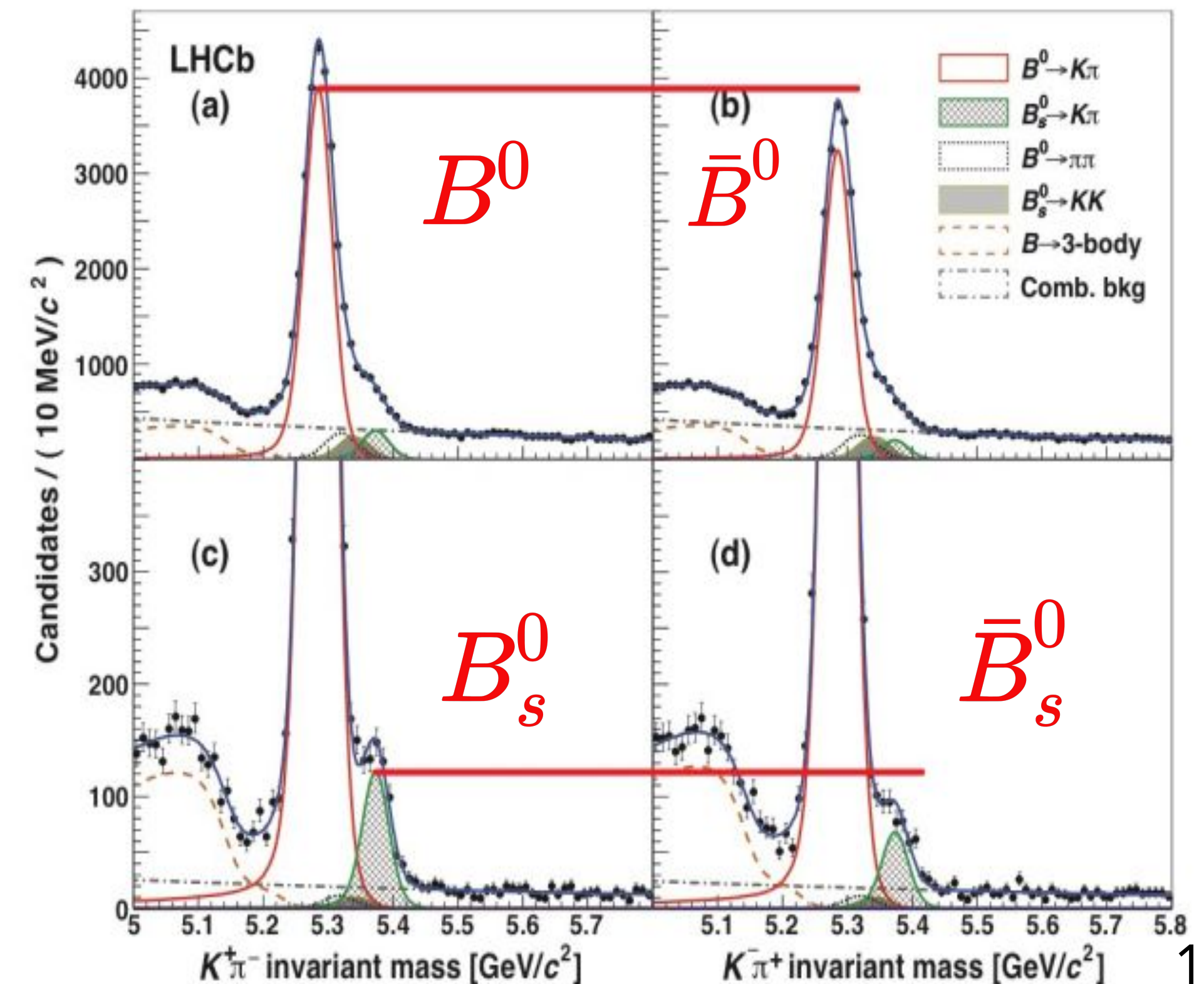
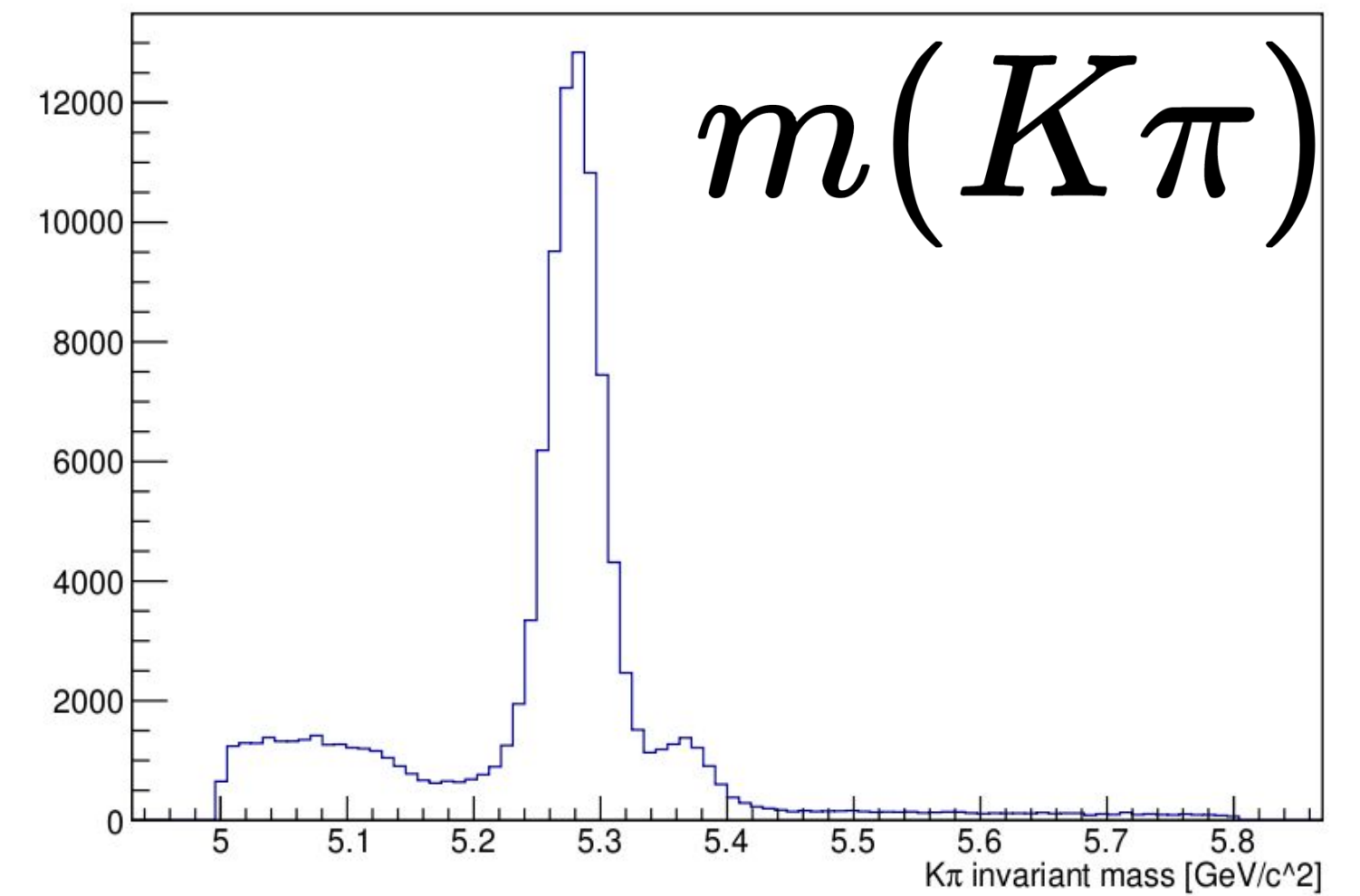
COME SI RICERCA NUOVA FISICA INDIRETTAMENTE?

MISURA DELLA VIOLAZIONE DI CP

- Si vuole capire come decadono gli anti-mesoni rispetto ai mesoni. Es.



- Si ricostruisce la massa invariante a partire da due particelle nello stato finale
- Si studiano e si capiscono i fondi
- Si contano il numero di mesoni e antimesoni
- **L'obiettivo** è confrontare l'asimmetria di CP osservata con quanto viene previsto nel Modello Standard
- **La speranza** è di osservare che le due non sono compatibili



RICERCA DI VIOLAZIONE DI REGOLE DI SIMMETRIA

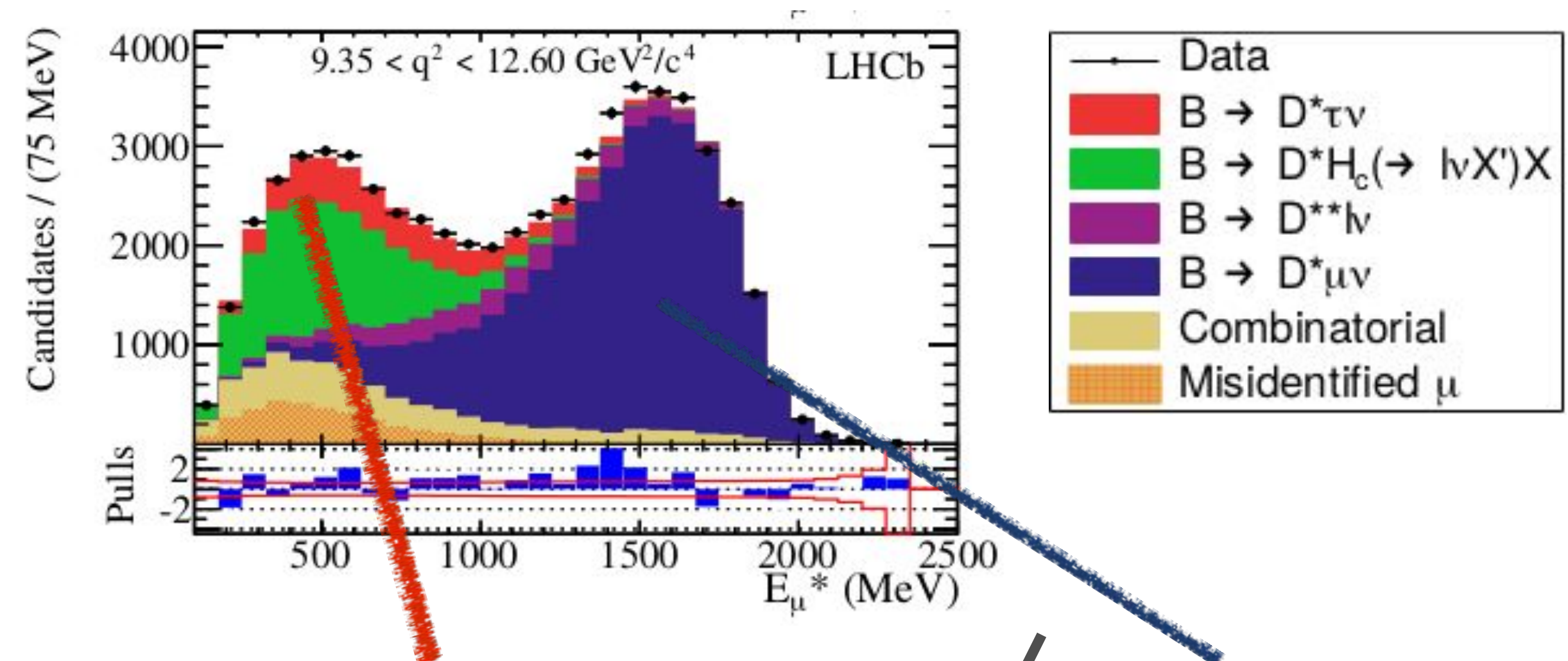
- Un altro modo per cercare nuova fisica è quello di controllare se delle regole di simmetria previste dal MS sono violate

LEPTON FLAVOUR UNIVERSALITY



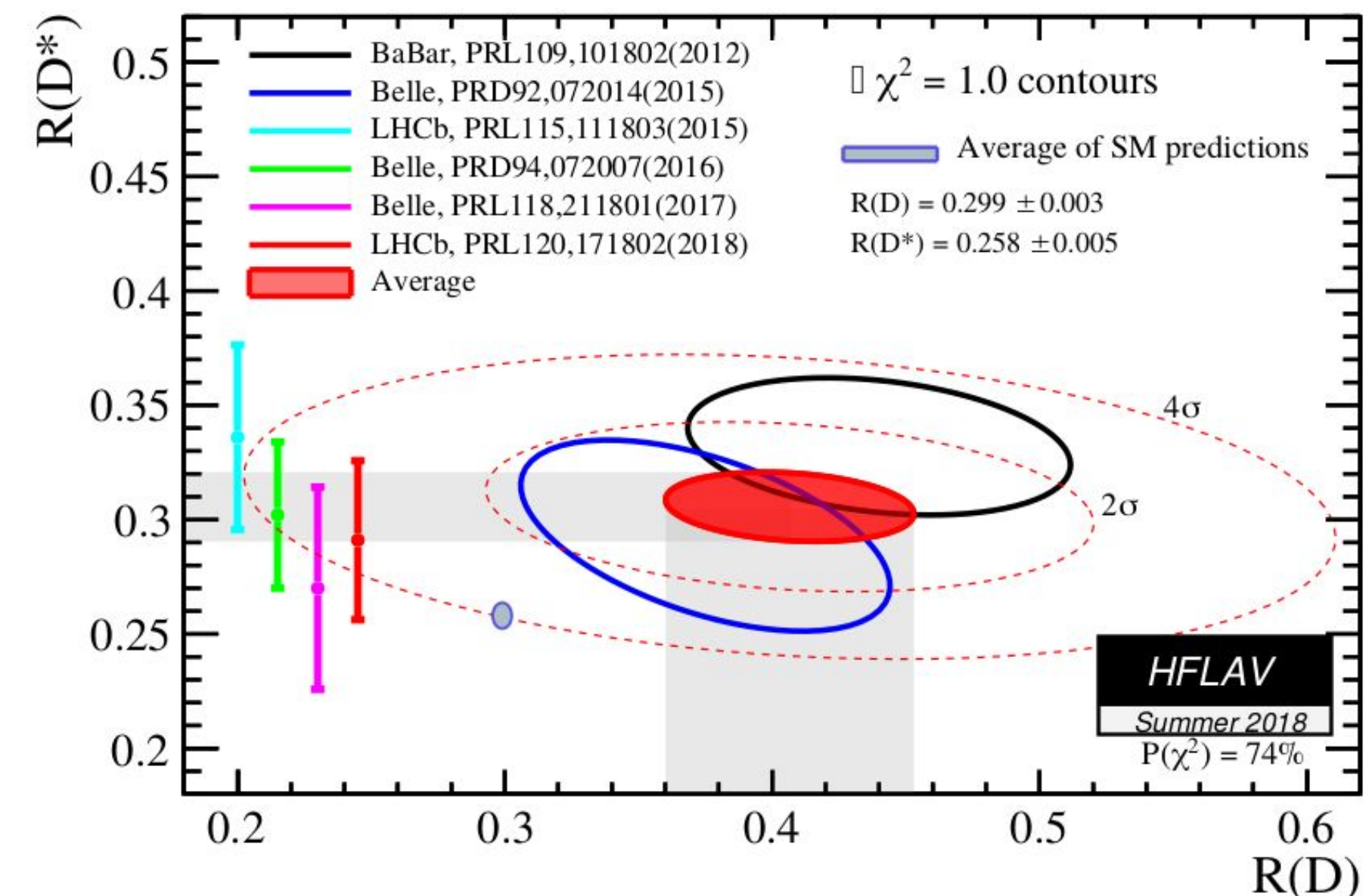
- L'unica differenza è la loro massa
- Differenze nelle loro interazioni possono essere segnale di nuova fisica

$$B \rightarrow D(\tau/\mu)\nu$$



$$\mathcal{R}(D) = \frac{N(B \rightarrow D\tau\nu)}{N(B \rightarrow D\mu\nu)}$$

Si osserva una discrepanza di circa 4σ



ANALISI DI DECADIMENTI RARI

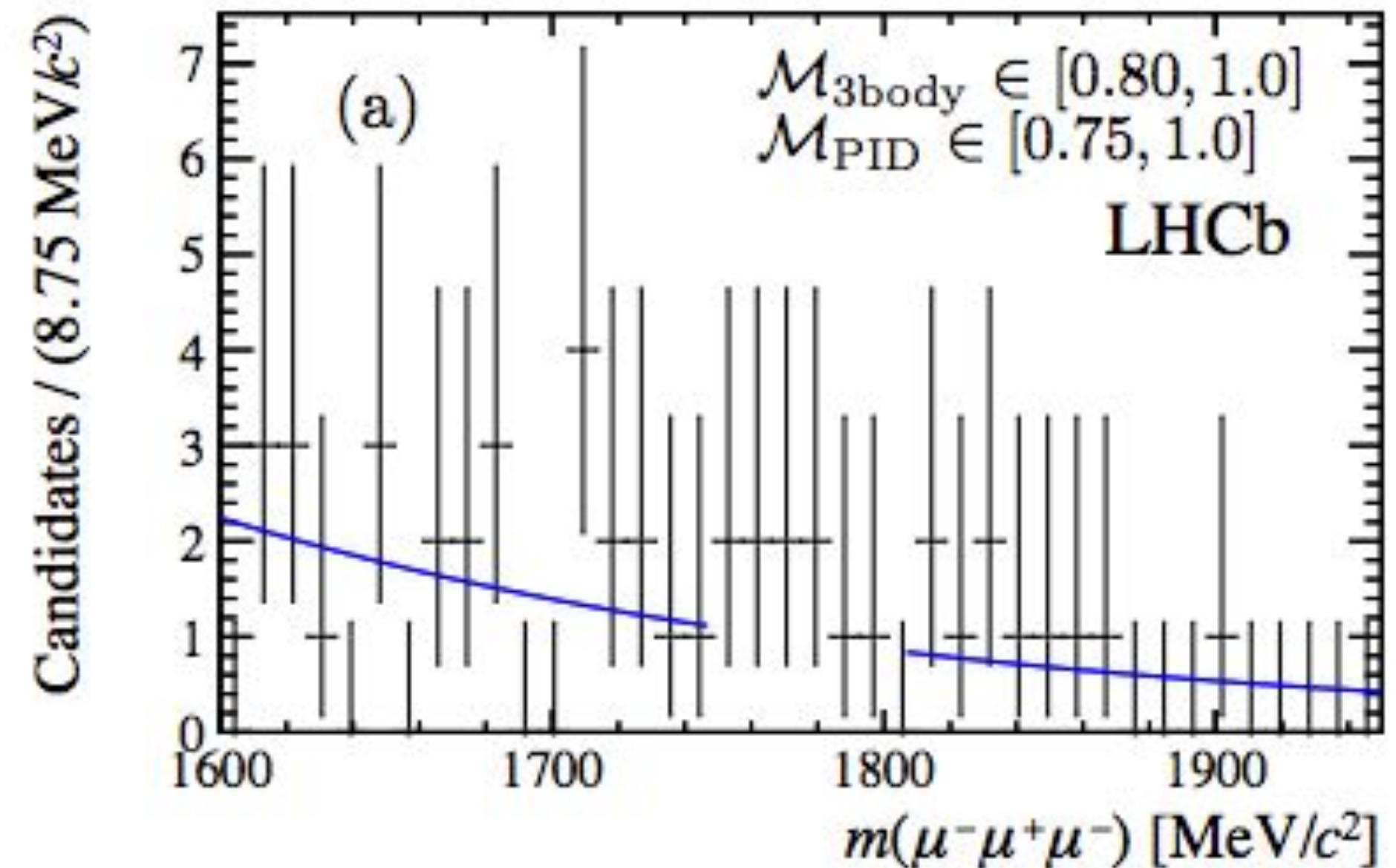
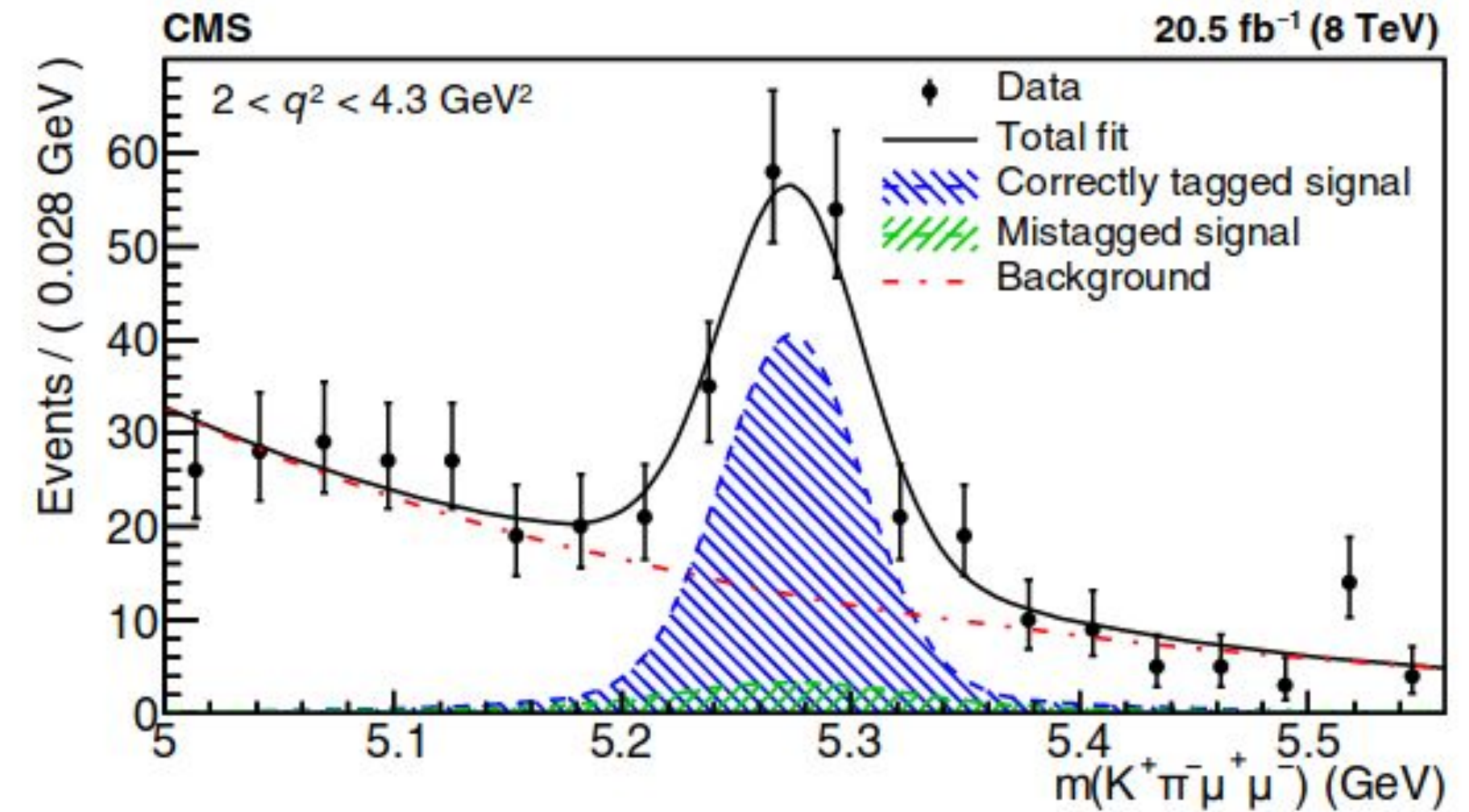
- Piccole deviazioni dal MS si possono anche cercare in decadimenti che sono molto soppressi.

DECADIMENTI RARI

- $B \rightarrow K^* \mu \mu$ $P \approx 10^{-8}$
- Si studiano le distribuzioni angolari del decadimento

DECADIMENTI ULTRA-RARI

- $\tau \rightarrow \mu \mu \mu$ $P \approx 10^{-14}$
- L'osservazione di anche una manciata di conteggi sarebbe segnale di nuova fisica



LA MIA ESPERIENZA NELLA FISICA DEL SAPORE

SUMMER STUDENT IN LHCb

- Sviluppo di tecniche di trigger basate su Machine Learning
- 3 mesi insieme a centinaia di studenti da tutto il mondo



TESI MAGISTRALE

- Analisi dei dati di LHCb (misura di $R(D)$)
 - Sviluppo di un fit basato su analisi multivariata
 - Due mesi al CERN tramite progetto Erasmus ExtraUE
-
- Attualmente PhD in Bicocca
 - Test di universalità leptonica tramite la misura di $R(D)$
 - Analisi angolare, Analisi in formalismo di teoria dei campi effettiva...

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

RIFERIMENTI

LHCb

- Marta Calvi: marta.calvi@mib.infn.it
- Maurizio Martinelli: maurizio.martinelli@mib.infn.it

CMS:

- Sandra Malvezzi: sandra.malvezzi@mib.infn.it
- Mauro Dinardo: mauro.dinardo@mib.infn.it

RICH:

- Gianluigi Pessina: gianluigi.pessina@mib.infn.it