

Il sapore nel Modello Standard

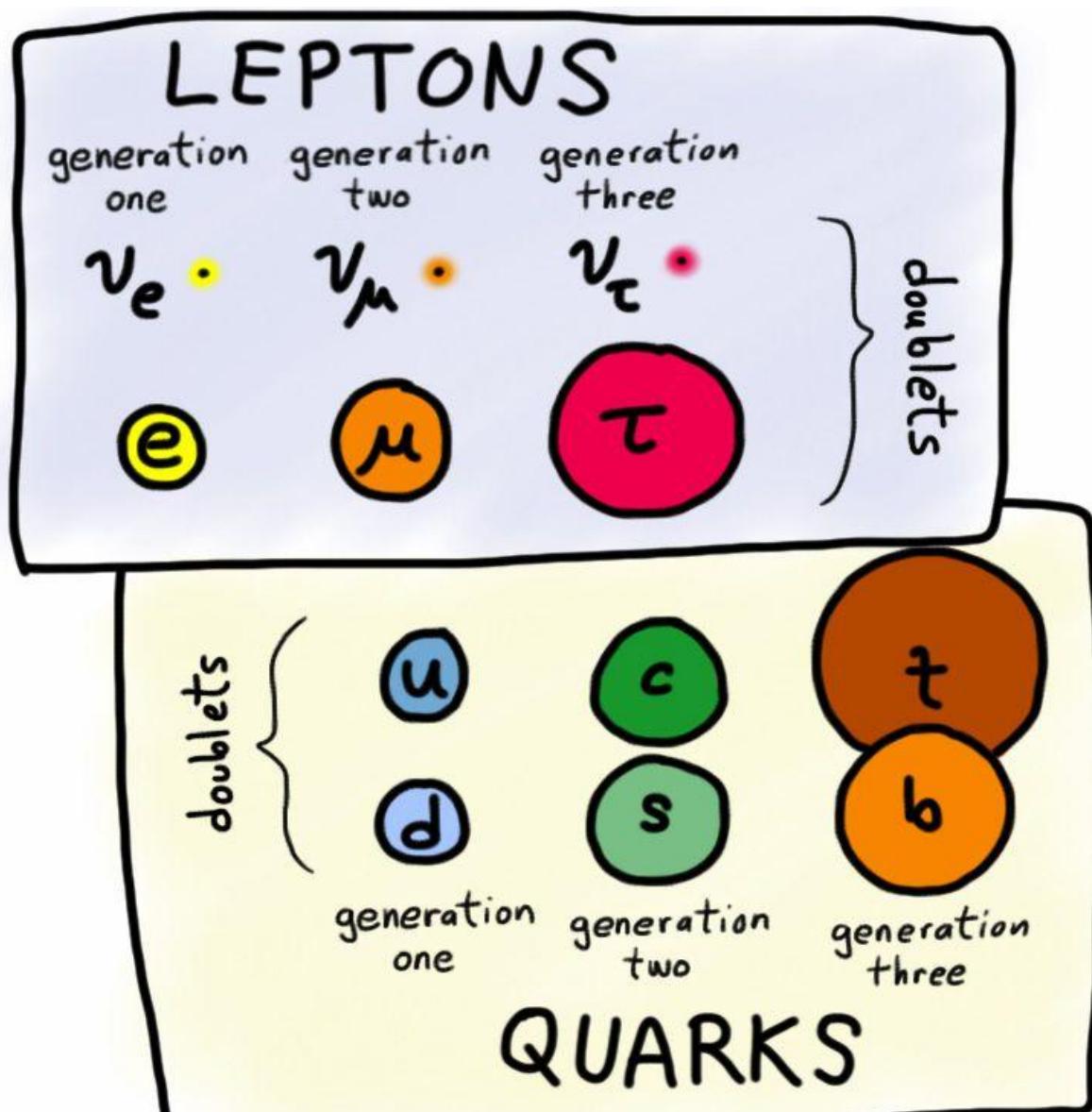
Simone Meloni
s.meloni1@campus.unimib.it

5 Marzo 2019

COSA SI INTENDE PER FISICA DEL SAPORE?

LA FISICA DEL SAPORE

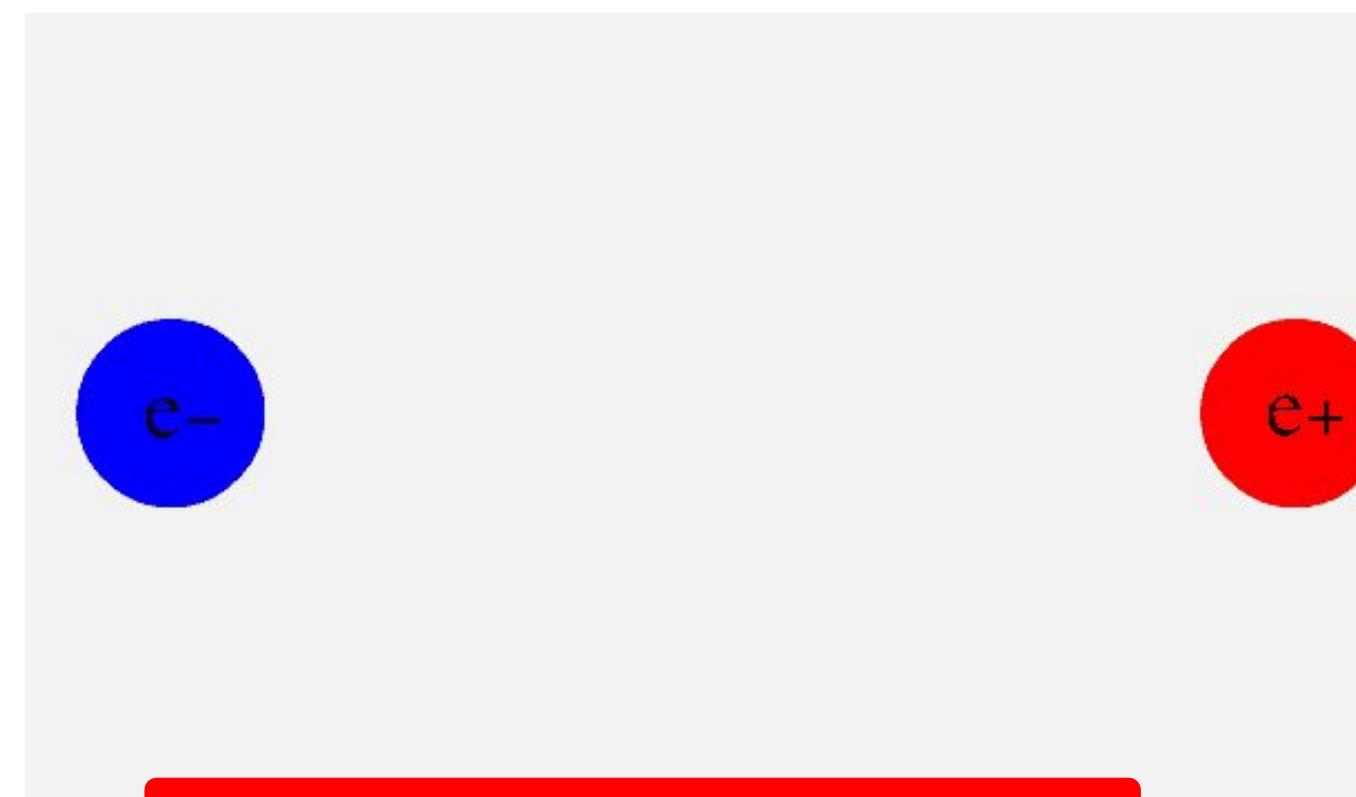
| | I | II | III | |
|---------------|---|---|---|---|
| mass | $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ |
| charge | $\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$ | 0 |
| spin | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |
| QUARKS | u up | c charm | t top | g gluon |
| | $\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ |
| | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | 0 |
| | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |
| | d down | s strange | b bottom | γ photon |
| LEPTONS | $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e electron | $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ muon | $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ tau | $\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z Z boson |
| | $<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino | $<0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino | $<18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino | $\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W W boson |
| | | | | GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS |
| SCALAR BOSONS | | | | |



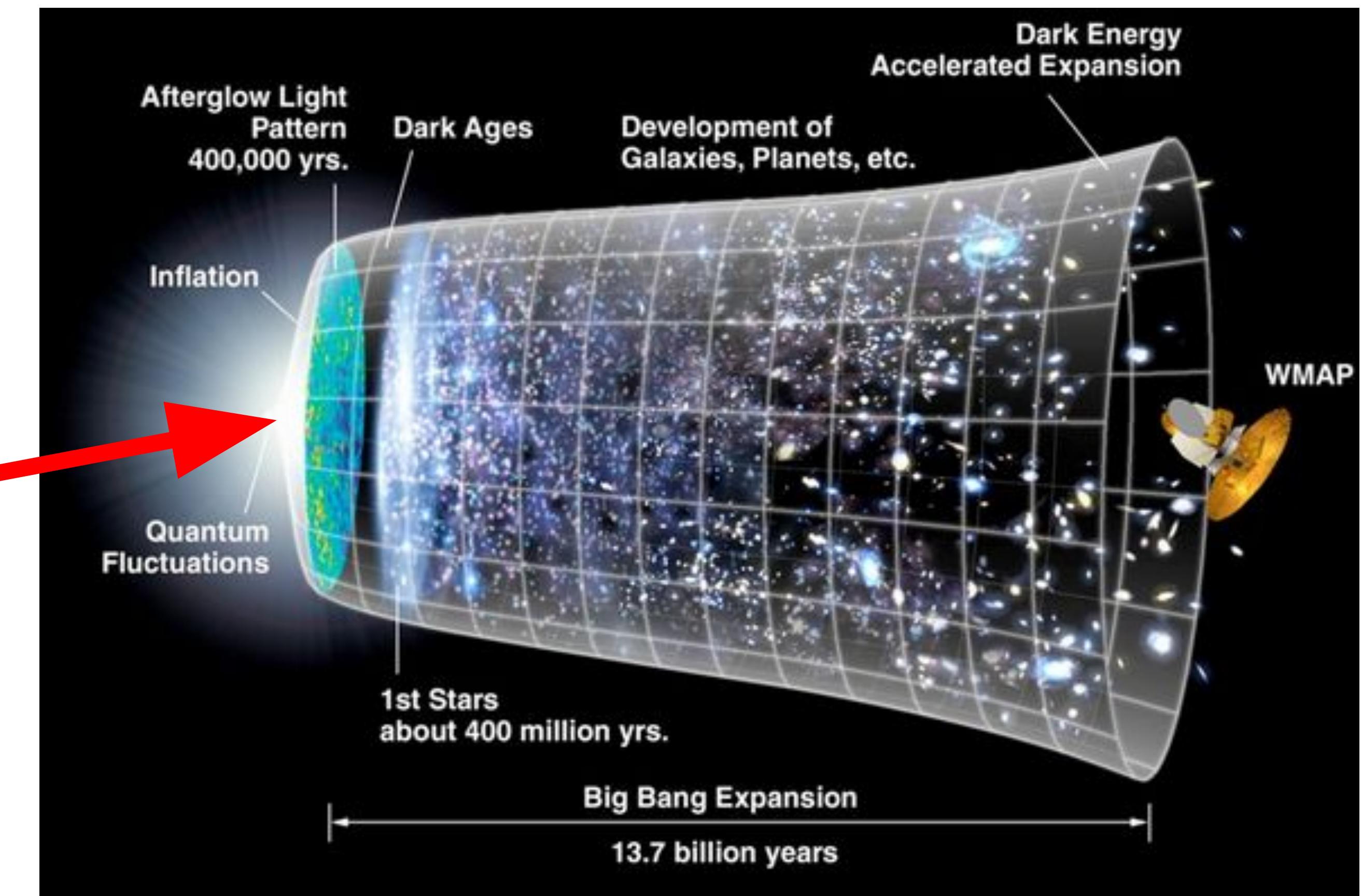
- Le particelle nel Modello Standard sono divise in
 - Quark
 - Leptoni
 - Bosoni
- Ogni quark e leptone ha un nome, il suo sapore
- Ci sono tre copie di ogni quark e leptone, famiglie
 - Perché tre famiglie?
 - Come si comportano?
 - Perché hanno masse così diverse?

....E POI L'ANTIMATERIA

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



STESSA QUANTITÀ DI
MATERIA
E ANTIMATERIA

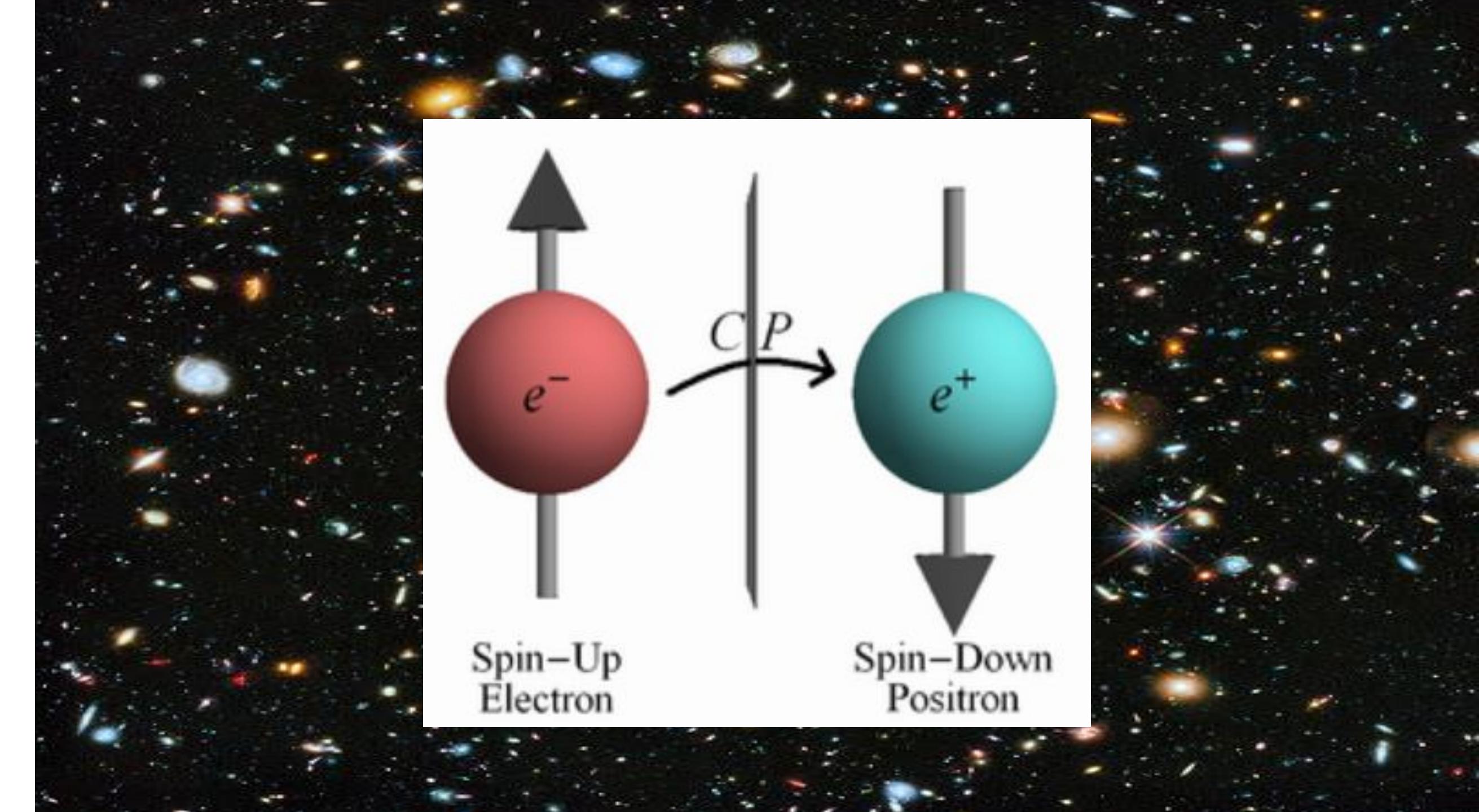


Perché viviamo in un universo dominato da materia?

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

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

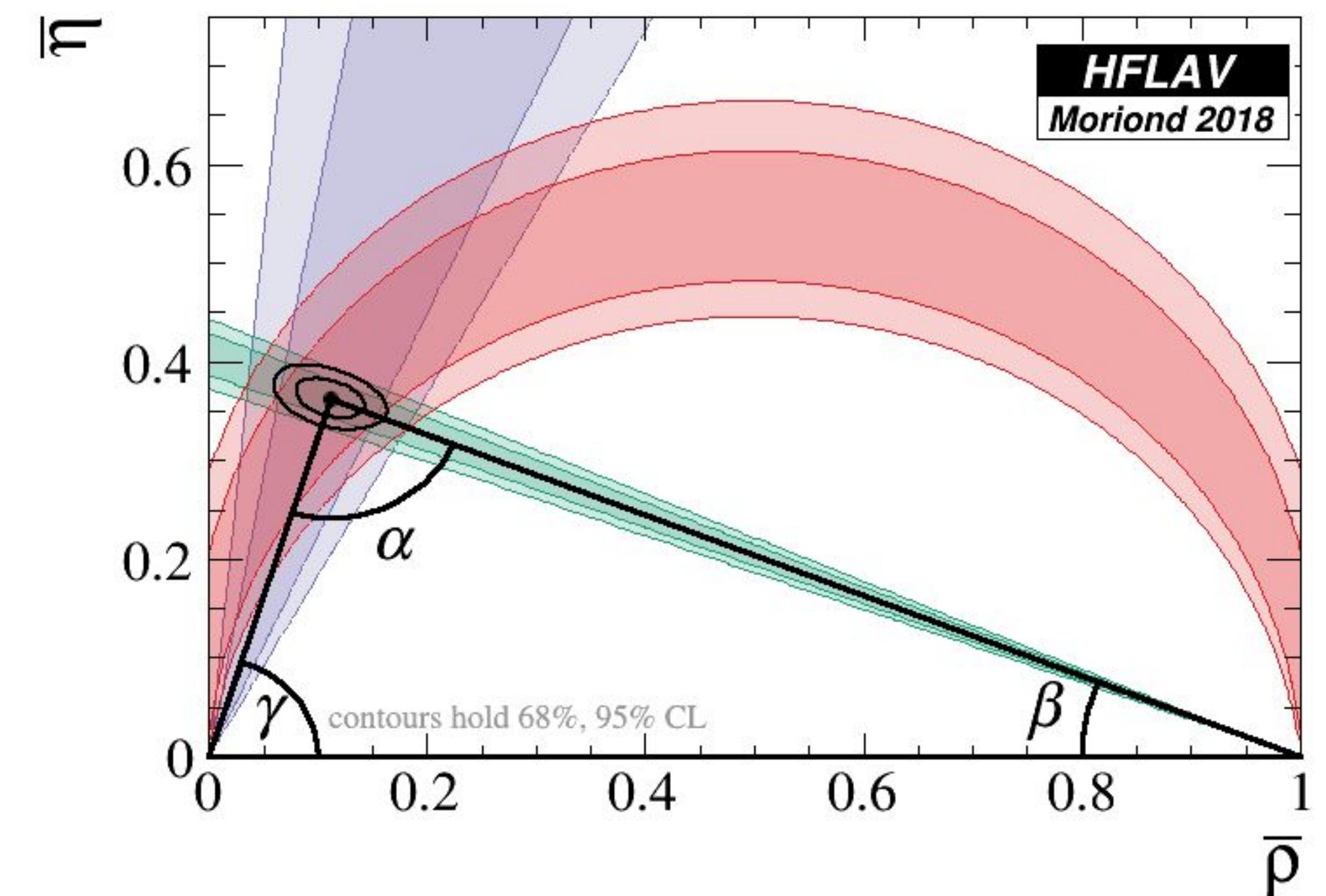
Gli autostati di massa "si mescolano" con una matrice di rotazione 3x3

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

BASE DELLE MASSE



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

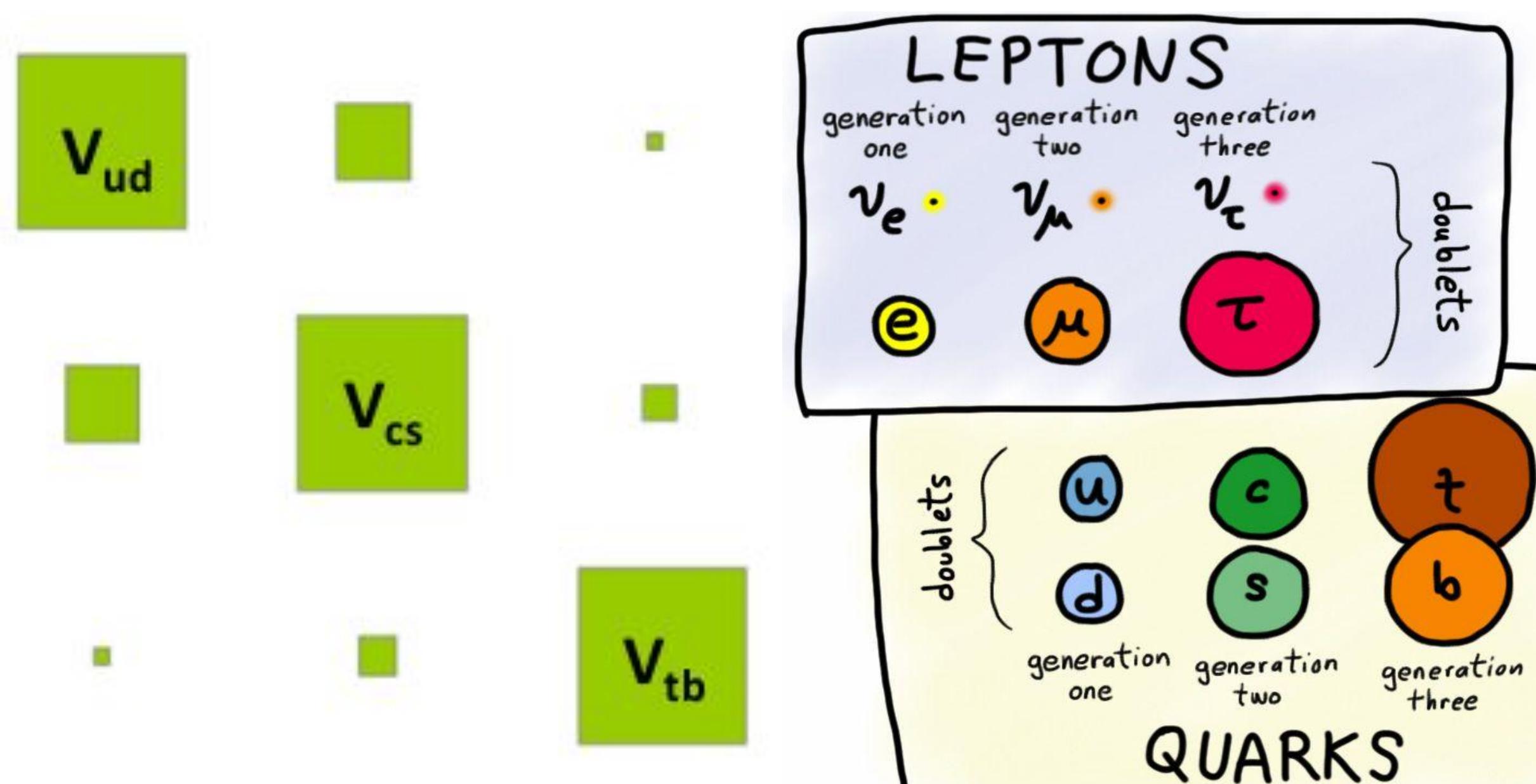
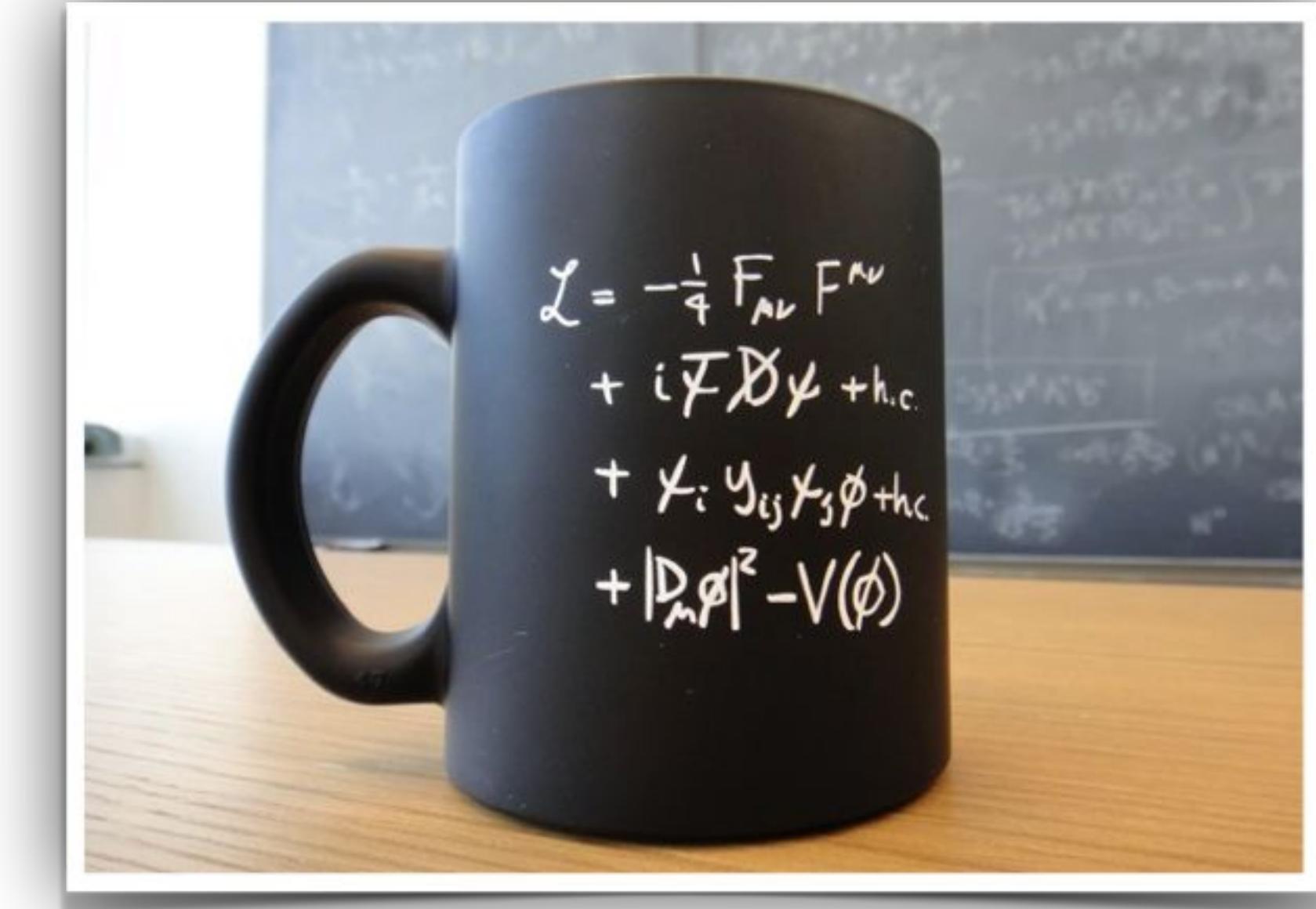
$$\frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \approx A$$

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

FISICA DEL SAPORE \supseteq 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



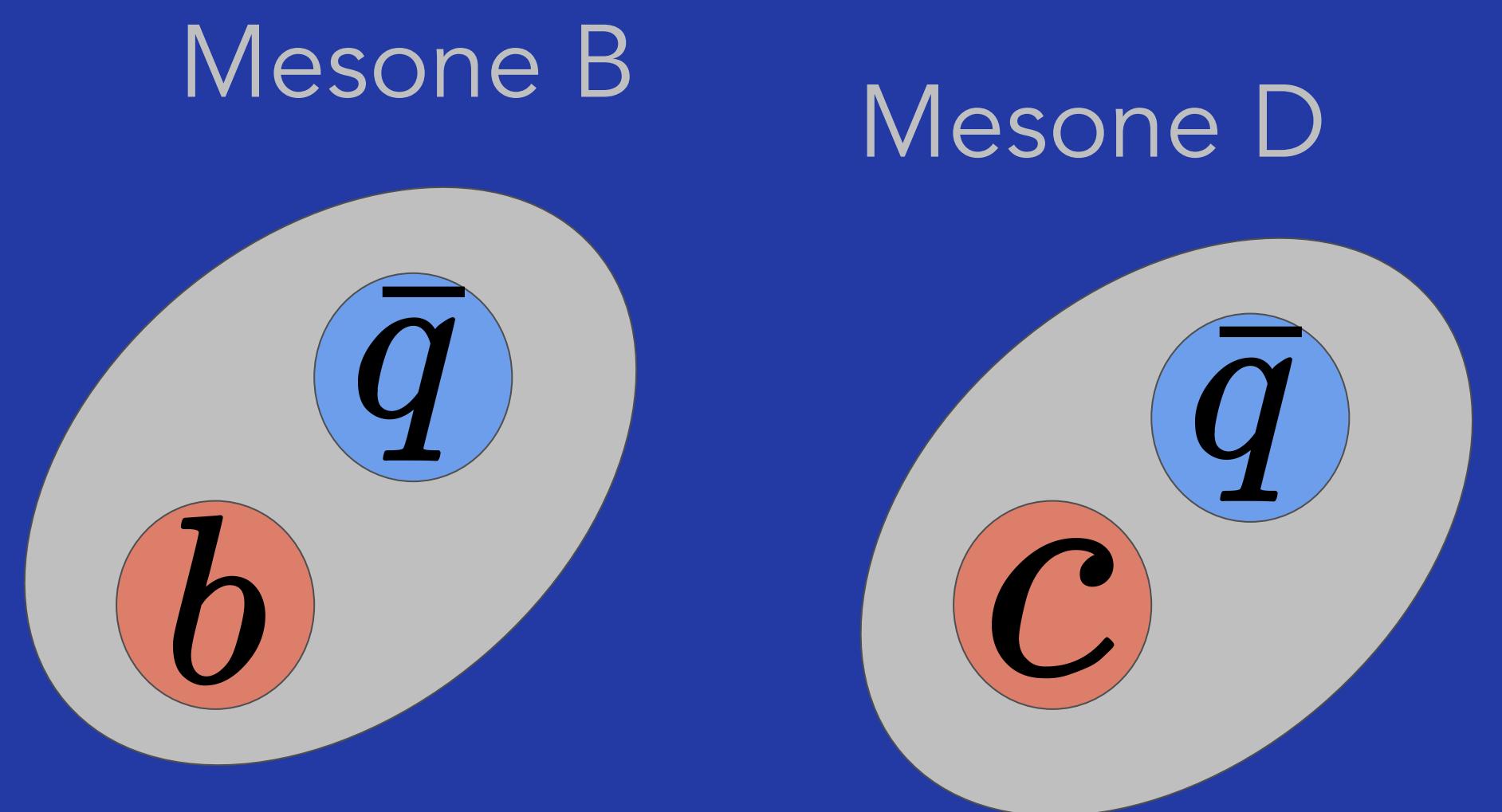
Ad oggi nessuna evidenza di nuove particelle

Approccio complementare:

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

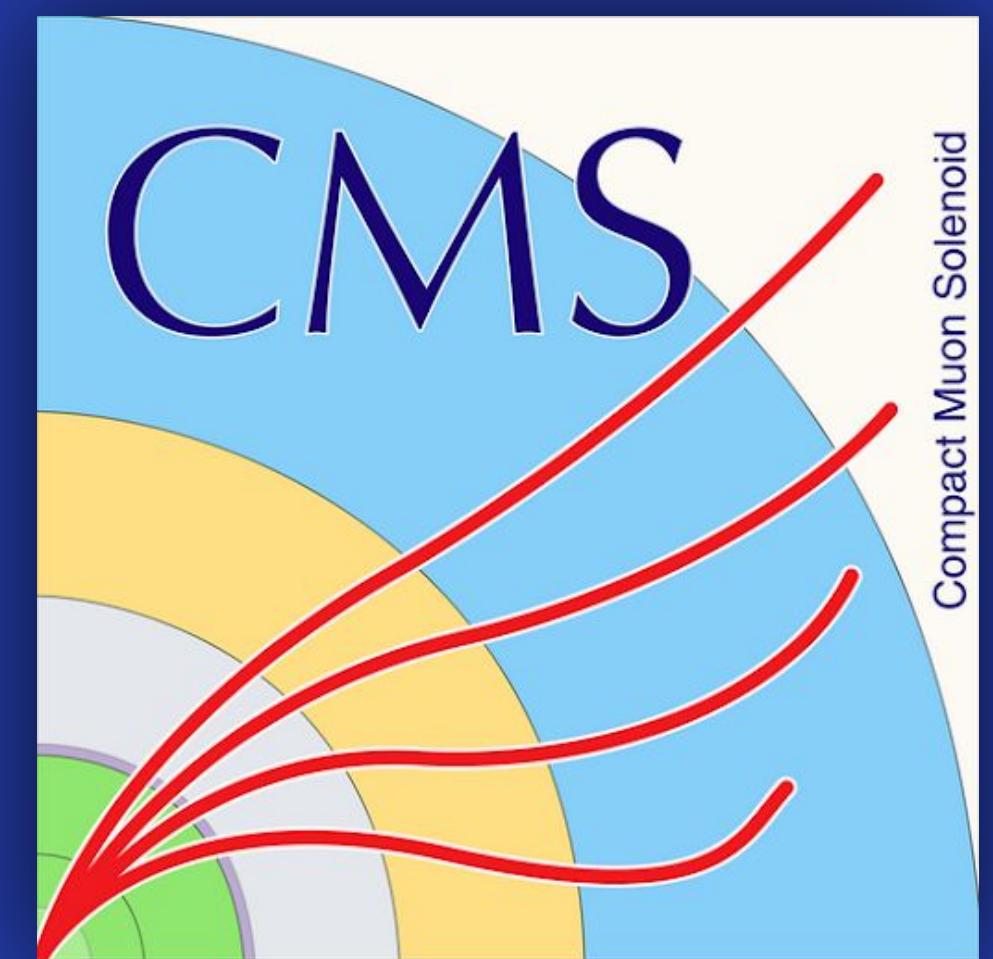
FISICA DEL SAPORE \supseteq TEST DI PRECISIONE DEL MODELLO
STANDARD

LA FISICA DEI SAPORI PESANTI (HEAVY FLAVOURS)



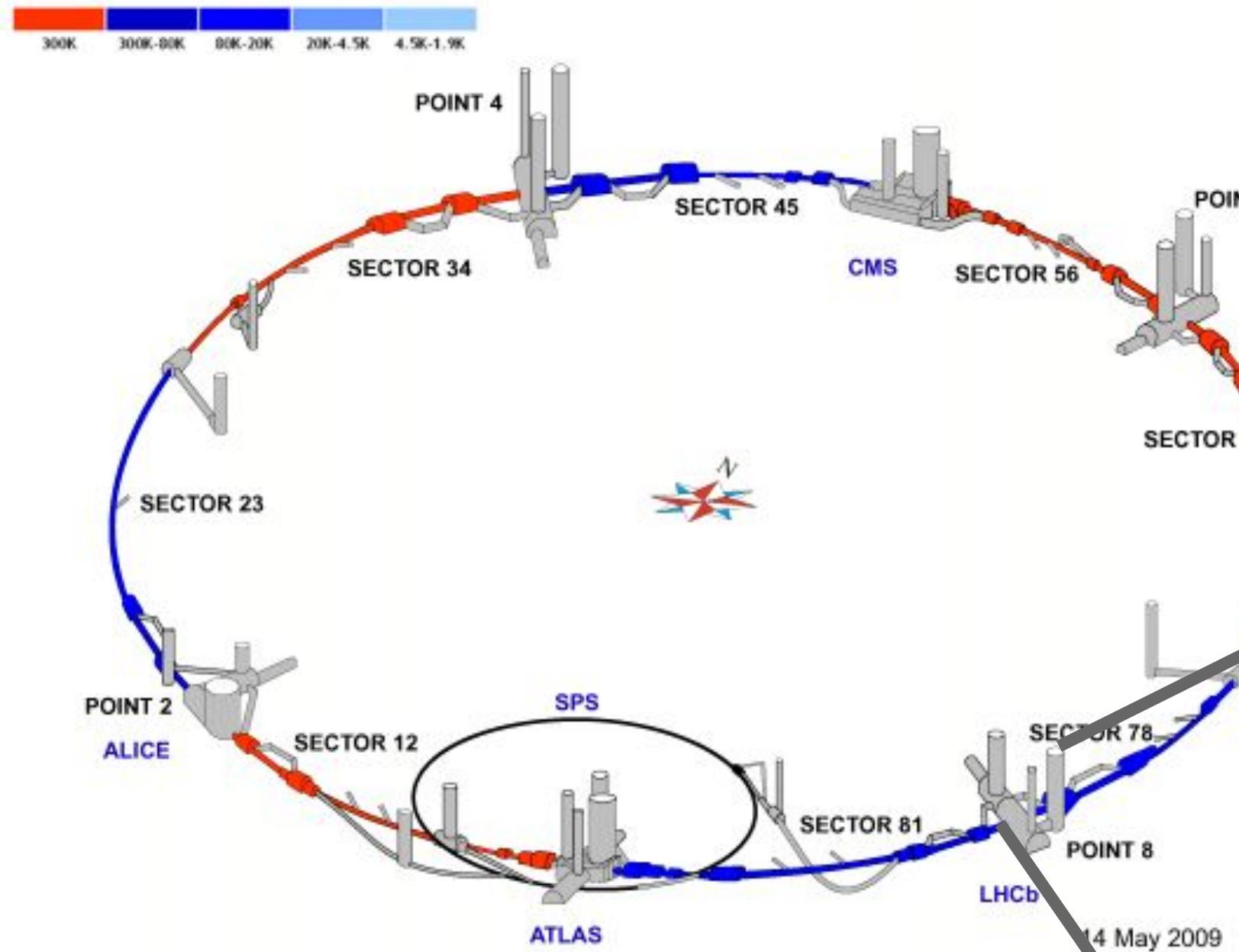
- Si studiano le proprietà di mesoni contenenti quark charm o beauty
- I due quark più pesanti che formano stati legati
- Decadono cambiando sapore, per interazione debole
 - Vita media abbastanza lunga ($10^{-13} s$) da poter viaggiare per qualche millimetro all'interno del rivelatore
- Essendo pesanti,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

IL SAPORE IN BICOCCA

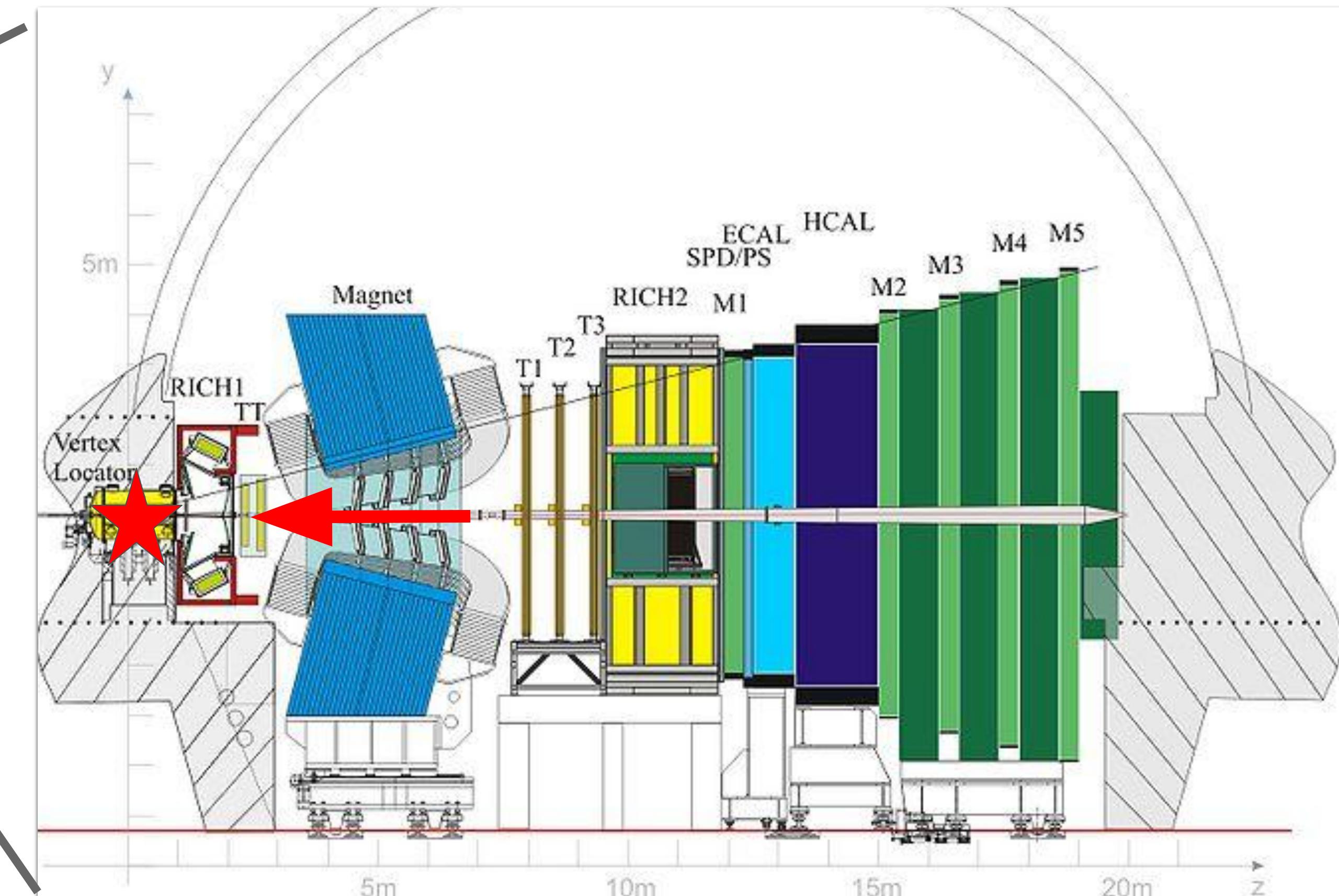


LHCb

- Esperimento dedicato alla fisica del flavour al CERN



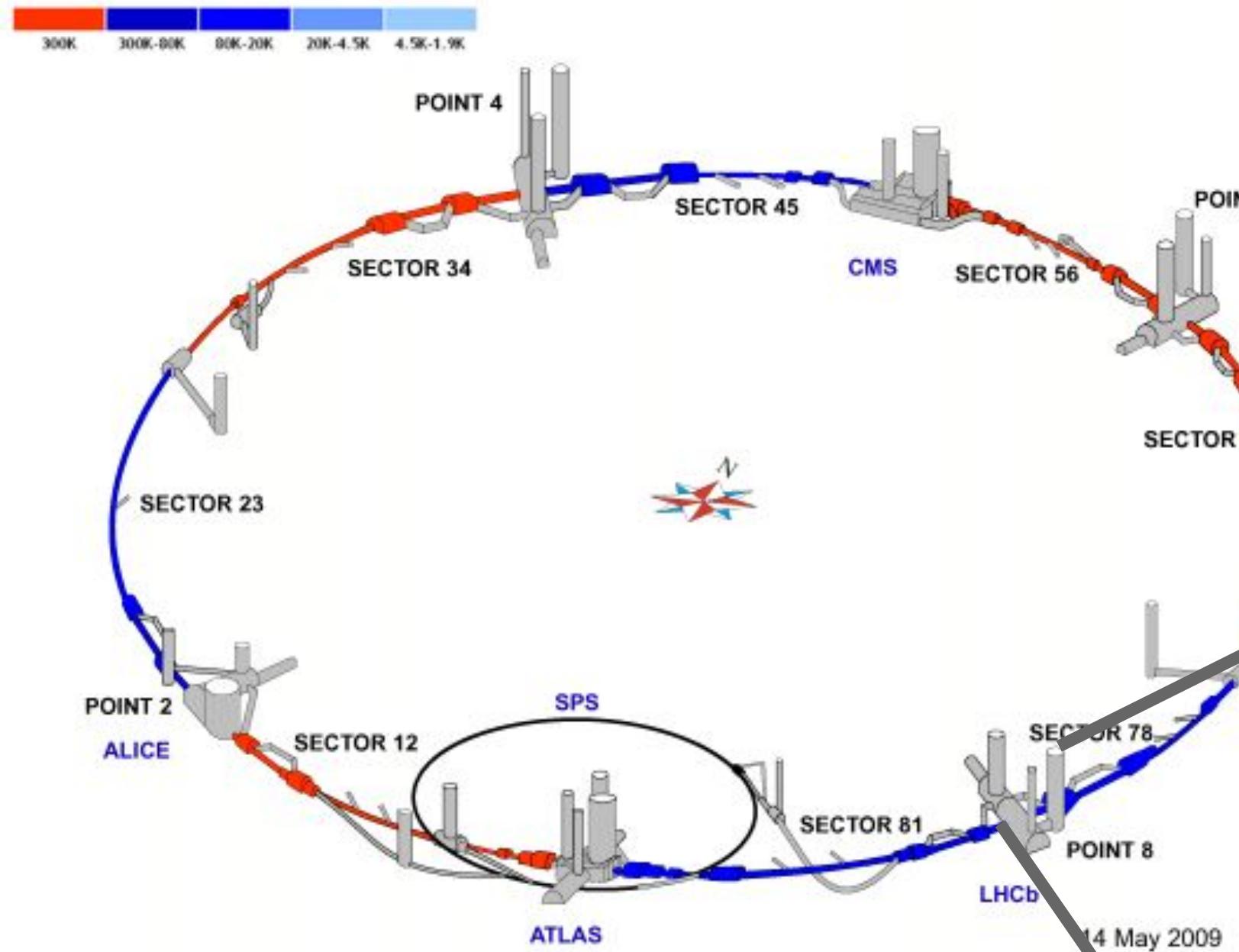
- Composto da molti detector, per misurare le proprietà di diversi tipi di particelle



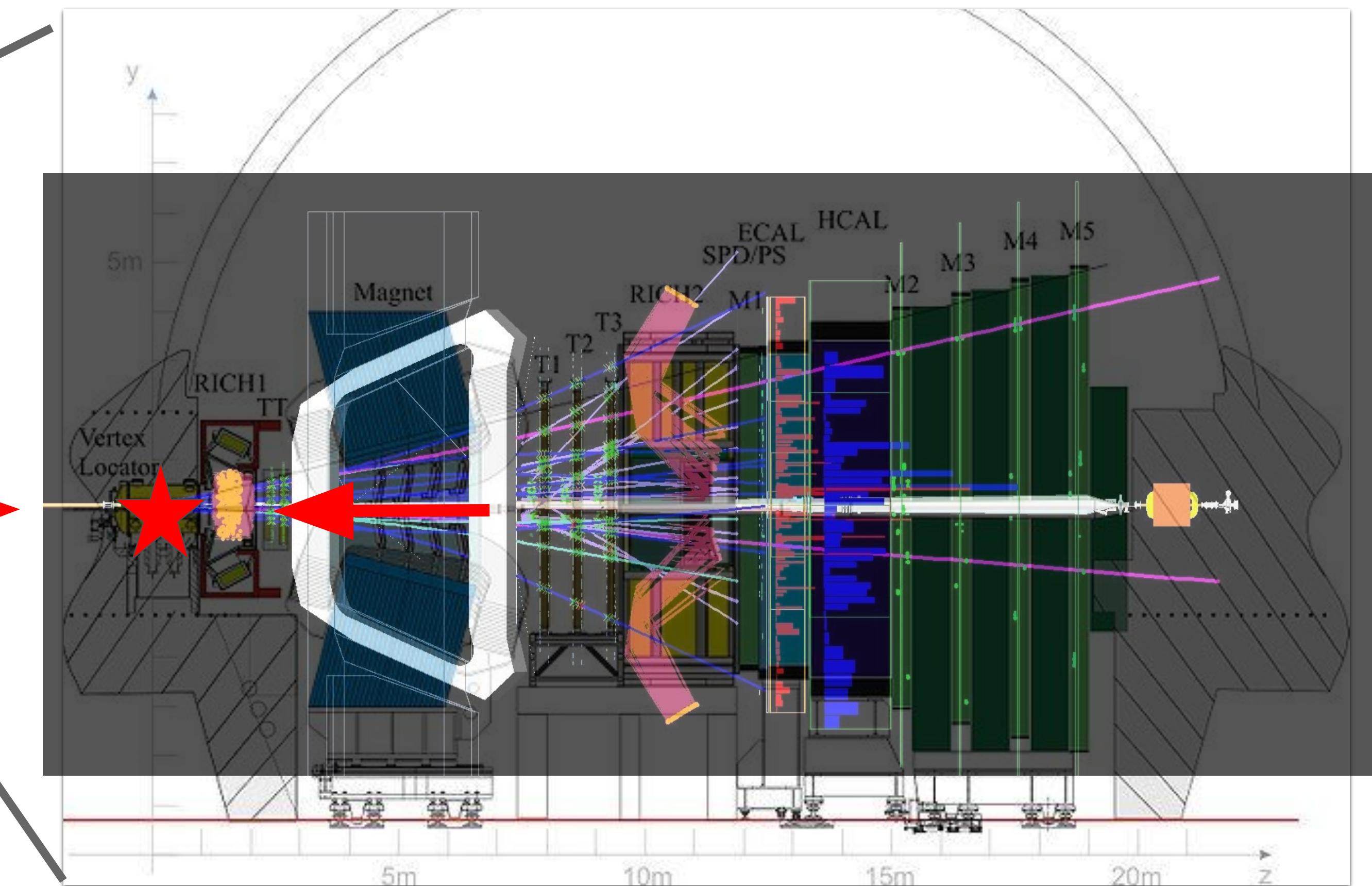
- Spettrometro in avanti, dove è prodotta la maggior parte dei quark pesanti

LHCb

- Esperimento dedicato alla fisica del flavour al CERN



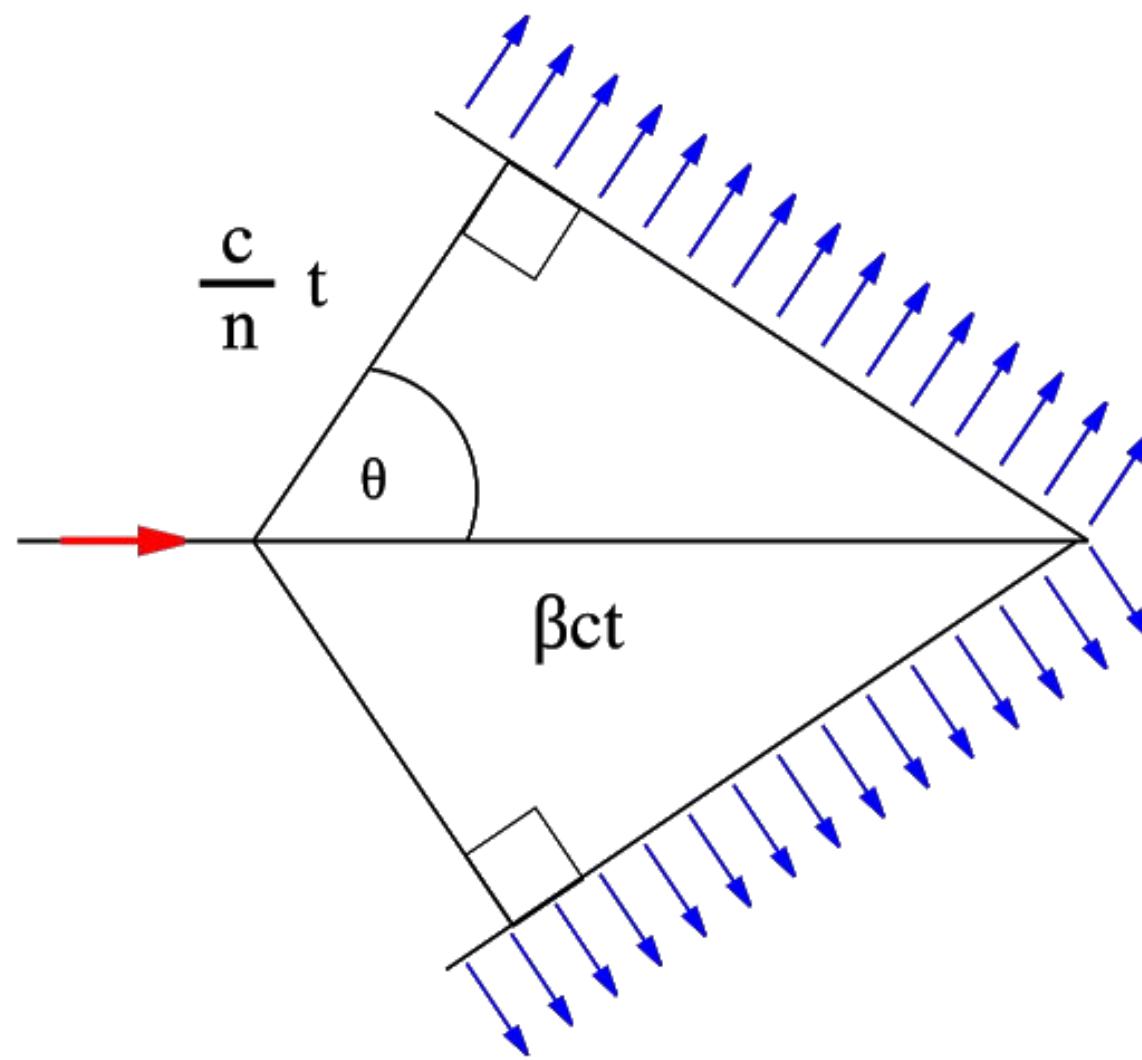
- Composto da molti detector, per misurare le proprietà di diversi tipi di particelle



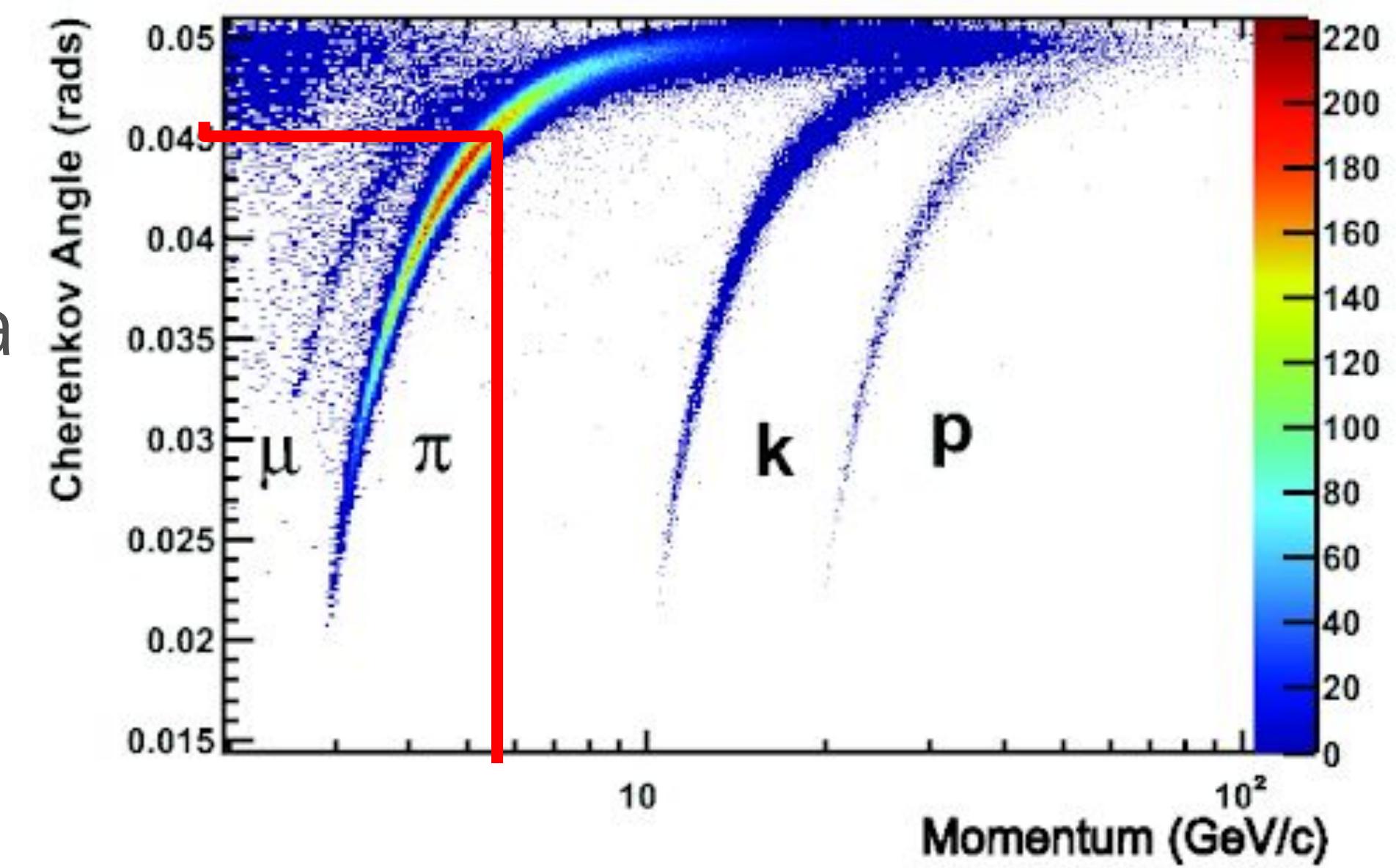
- Spettrometro in avanti, dove è prodotta la maggior parte dei quark pesanti

RING IMAGING CHERENKOV

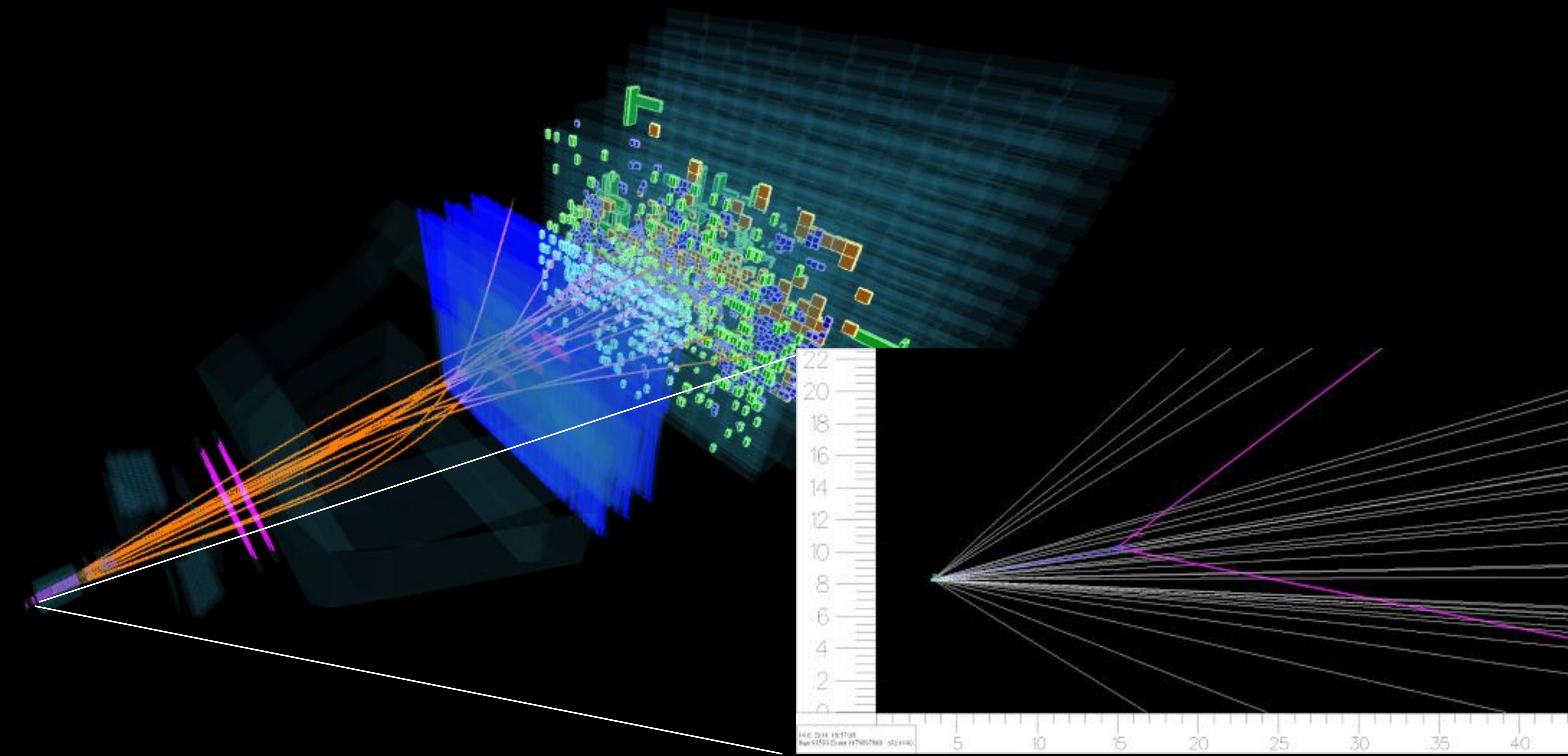
- Particolarità: due rivelatori Cherenkov
- Radiazione Cherenkov: fotoni emessi quando una particella attraversa un mezzo ad una velocità maggiore di quella della luce (nel mezzo).



- 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?

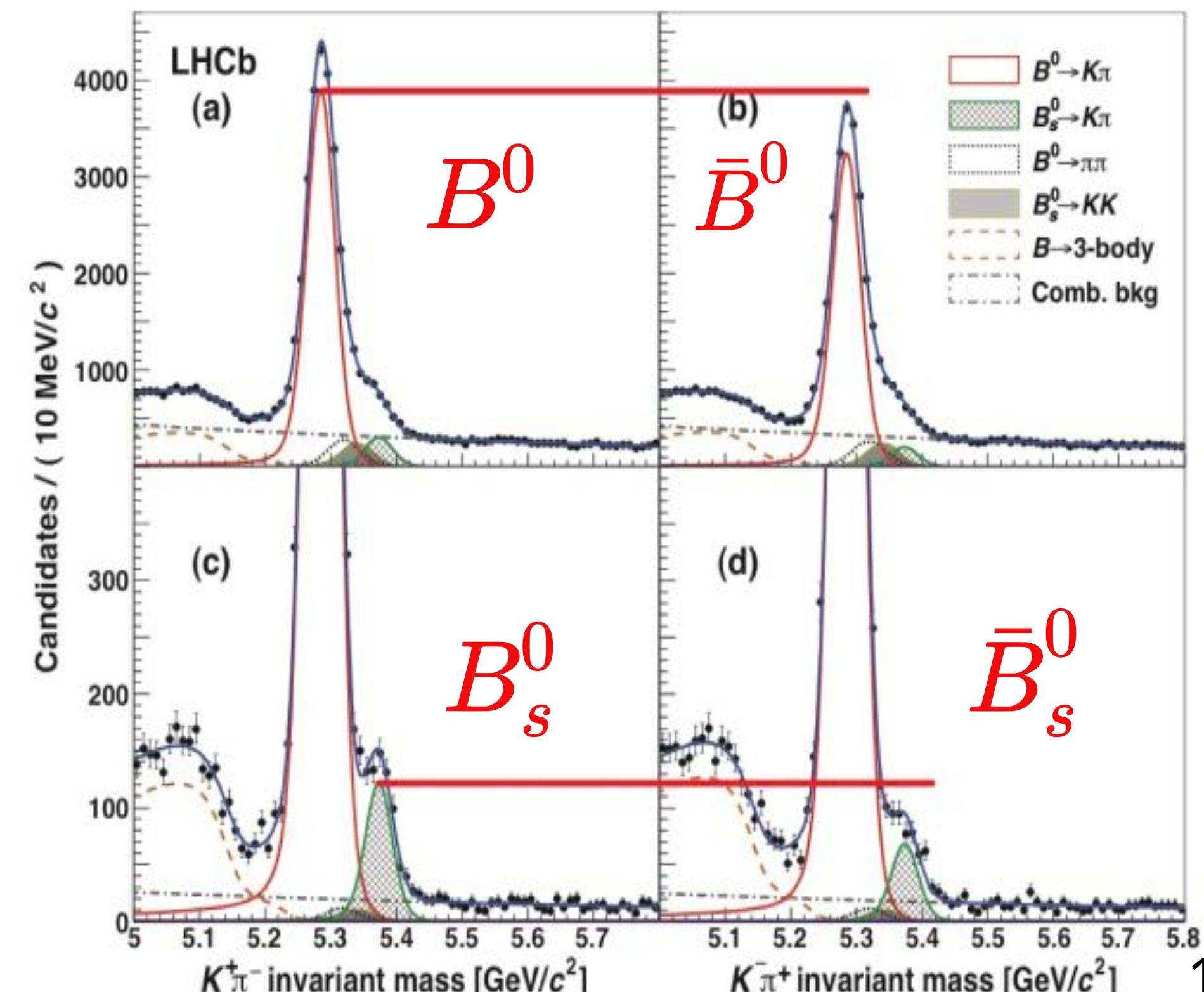
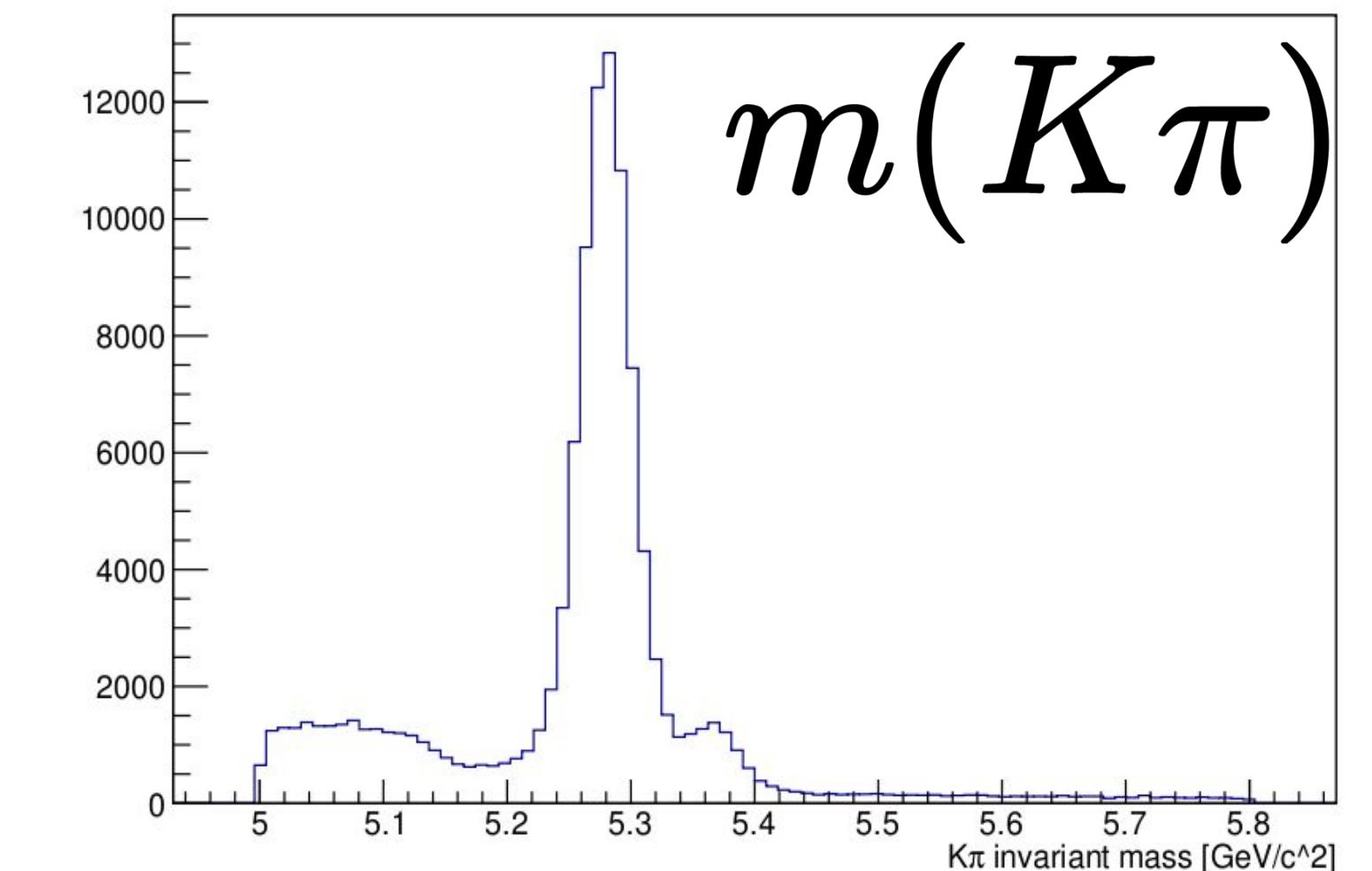
MISURA DELLA VIOLAZIONE DI CP

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

$$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$$

$$\bar{B}^0 \rightarrow K^- \pi^+$$

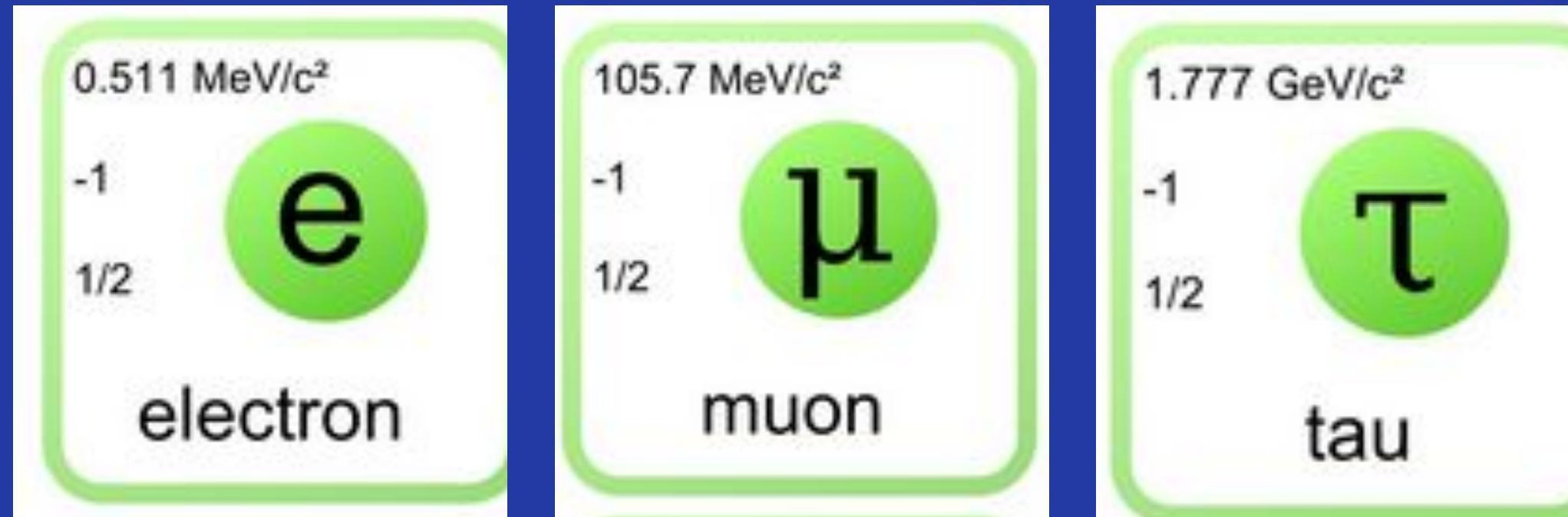
- Si ricostruisce la massa invariante a partire da due particelle nello stato finale
- Si studiano e si capiscono i fondi
- Si contano il numero di mesoni e antimesoni
- **L'obiettivo** è confrontare l'asimmetria di CP osservata con quanto viene previsto nel Modello Standard
- **La speranza** è di osservare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



RICERCA DI VIOLAZIONE DI REGOLE DI SIMMETRIA

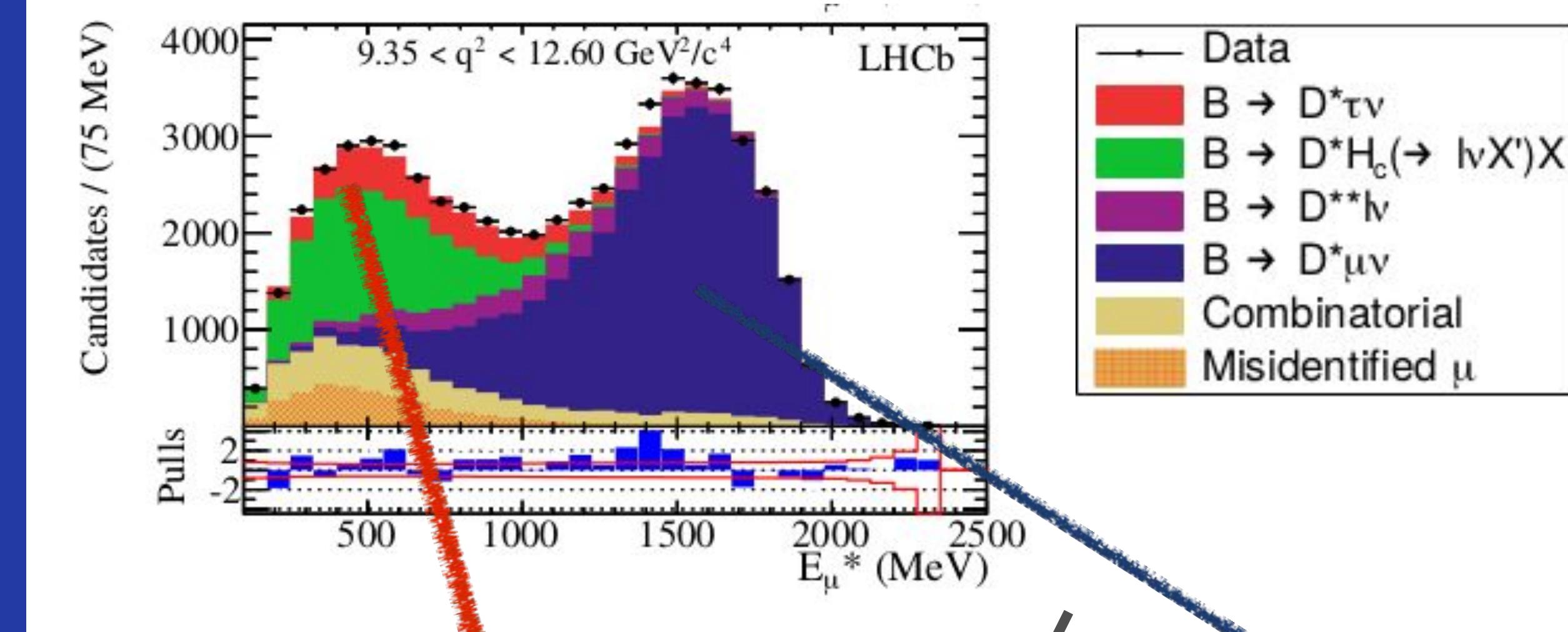
- Un altro modo per cercare nuova fisica è quello di controllare se delle regole di simmetria previste dal MS sono violate

LEPTON FLAVOUR UNIVERSALITY



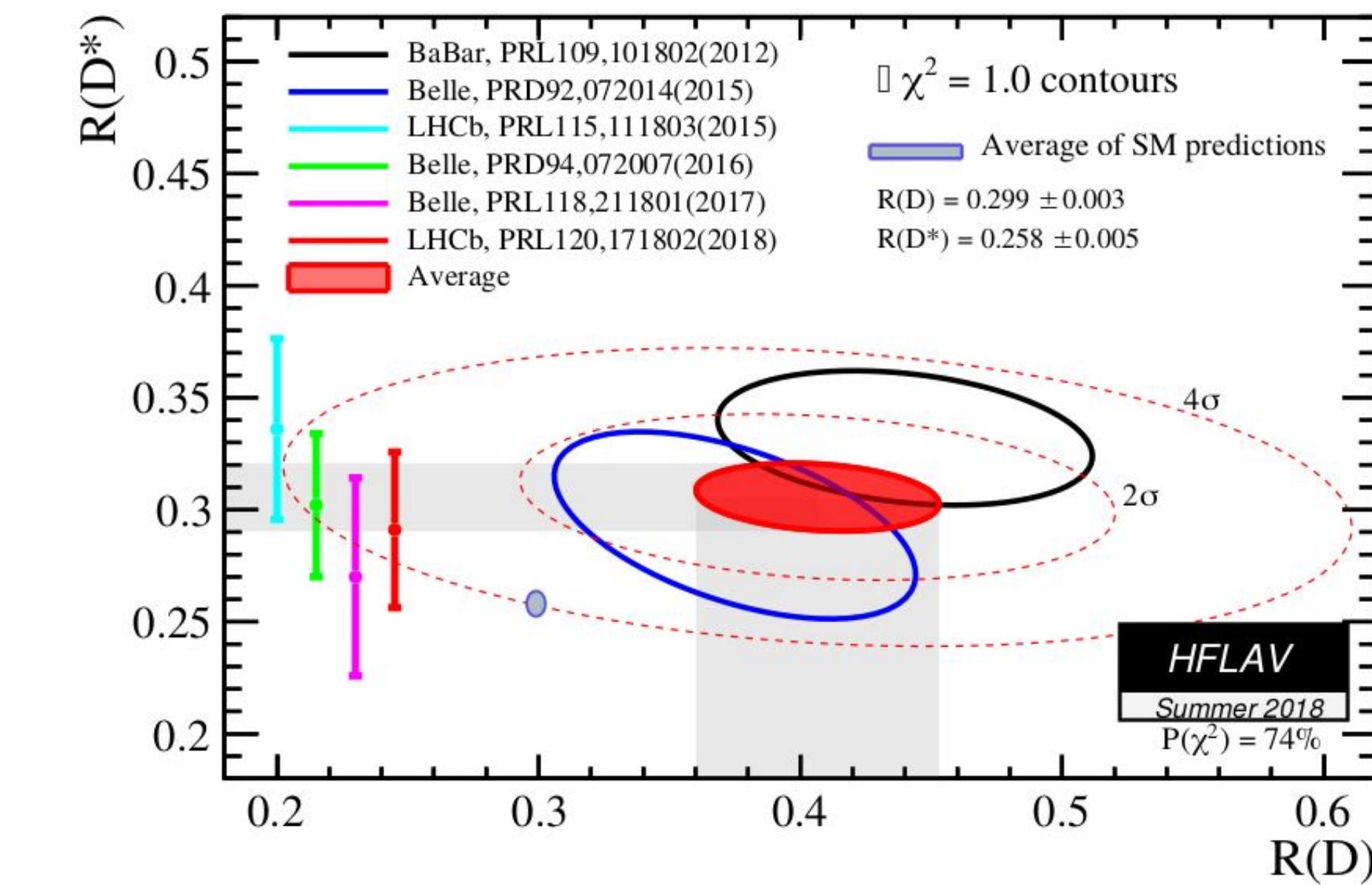
- L'unica differenza è la loro massa
- Differenze nelle loro interazioni possono essere segnale di nuova fisica

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



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

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

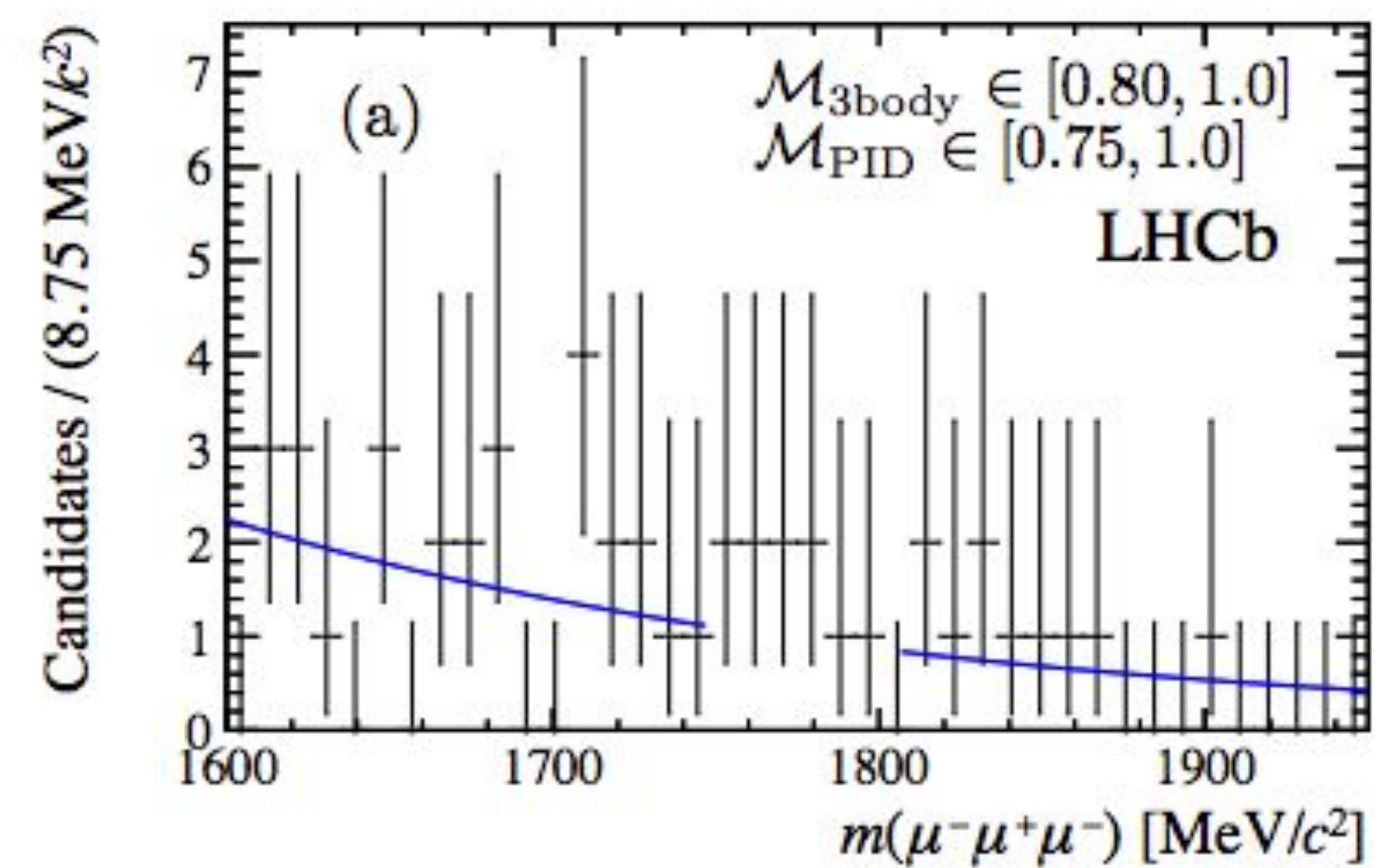
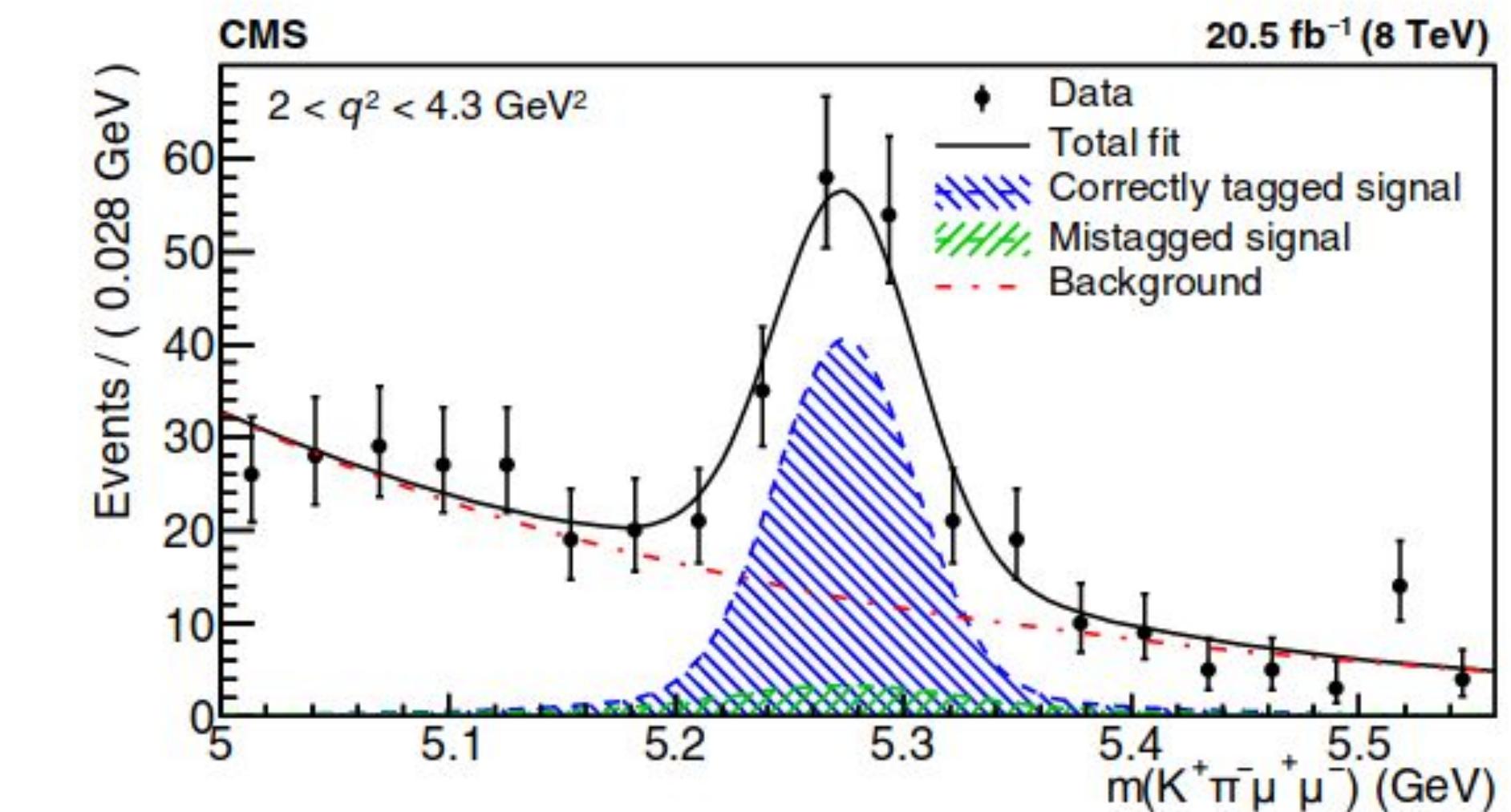
$$\bullet B \rightarrow K^* \mu\mu \quad P \approx 10^{-8}$$

- Si studiano le distribuzioni angolari del decadimento

DECADIMENTI ULTRA-RARI

$$\bullet \tau \rightarrow \mu\mu\mu \quad P \approx 10^{-14}$$

- 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:
- Maurizio Martinelli:

marta.calvi@mib.infn.it
maurizio.martinelli@mib.infn.it

CMS:

- Sandra Malvezzi:
- Mauro Dinardo:

sandra.malvezzi@mib.infn.it
mauro.dinardo@mib.infn.it

RICH:

- Gianluigi Pessina:

gianluigi.pessina@mib.infn.it