



## LHCb Masterclass 2025 - Genova

---

Misura della vita media del  $D^0$  a LHCb

---

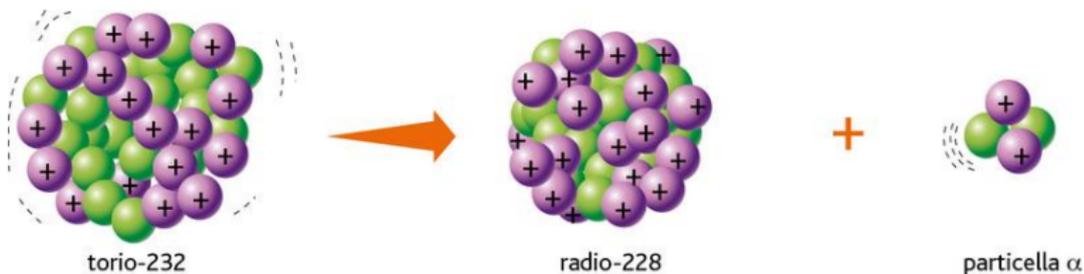
11 Aprile 2025

## Esercizio di oggi

- Userete un campione di dati reali raccolti dall'esperimento **LHCb** nelle collisioni tra protoni all'acceleratore LHC
- **Cercherete in questi dati una particella di nome  $D^0$** : siccome la particella  $D^0$  vive poco dovrete trovare tra le tante tracce prodotte dallo scontro dei protoni di LHC quelle dei prodotti di decadimento che formano un  $D^0$  o un anti- $D^0$
- In base alla massa misurata per il  $D^0$  dovrete distinguere gli eventi di veri  $D^0$  da quelli di "fondo" che sono dati da combinazioni casuali di particelle che in realtà non provengono da un  $D^0$
- Misurerete quindi una proprietà di questa particella: **la vita media**
- La particella  $D^0$  è un mesone elettricamente neutro, prodotto molto abbondantemente a LHC
- Viene studiato per la ricerca di differenza tra materia e anti-materia

# Cosa misureremo oggi?

- Molte particelle (composte dai quark che abbiamo visto prima) sono instabili
- Dopo un certo intervallo di tempo decadono in altre particelle
- Per esempio, voi conoscete i decadimenti radioattivi dei nuclei?



## Il tempo di decadimento

- Conoscere il momento esatto in cui un singolo nucleo radioattivo decade, cioè si disintegra non può essere previsto da nessuna legge fisica
- I decadimenti dei singoli nuclei avvengono in maniera casuale
- Quello che sappiamo è che il numero di nuclei che decadono al passare del tempo diminuisce esponenzialmente

# Il tempo di decadimento

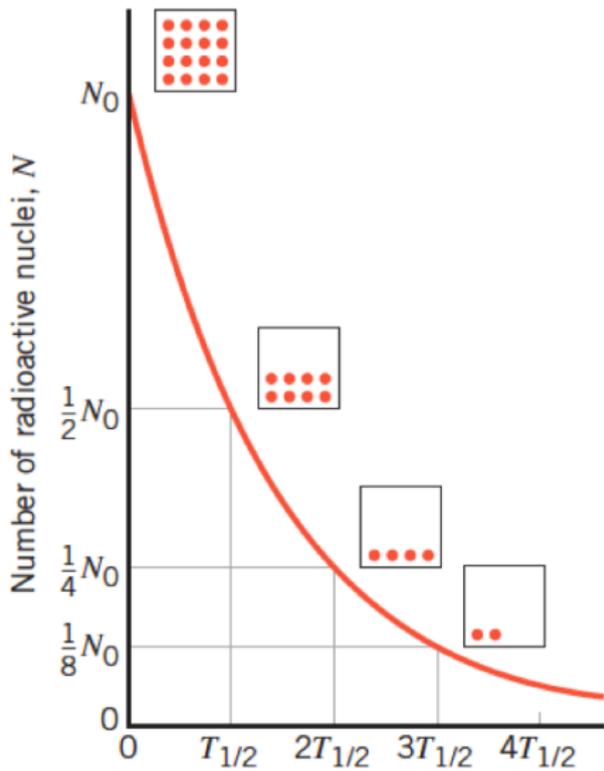
- Possiamo calcolare il numero di nuclei  $N(t)$  ad un certo istante di tempo  $t$  conoscendo quanti nuclei,  $N_0$ , che avevamo all'istante  $t = 0$

$$N(t) = N_0 \exp^{-\frac{t}{\tau}}$$

dove  $\tau$  è la vita media

- Possiamo definire un tempo, detto tempo di dimezzamento  $T_{1/2}$  come il tempo dopo il quale la metà dei nuclei è decaduta

$$T_{1/2} = \ln 2 \times \tau = 0.693 \times \tau$$

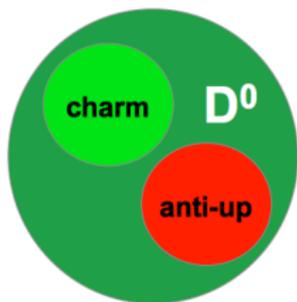


## Cosa misureremo oggi?

- Oggi misureremo la vita media di una particella neutra: il mesone  $D^0$
- Il  $D^0$  è costituito da un quark anti-up e un quark charm
- È una particella instabile e dopo un certo tempo decade
- In un kaone negativo ( $K^-$ ) e un pione positivo ( $\pi^+$ )
- L'antiparticella, l'anti- $D^0$  decade in un kaone positivo  $K^+$  e in un pione negativo  $\pi^-$

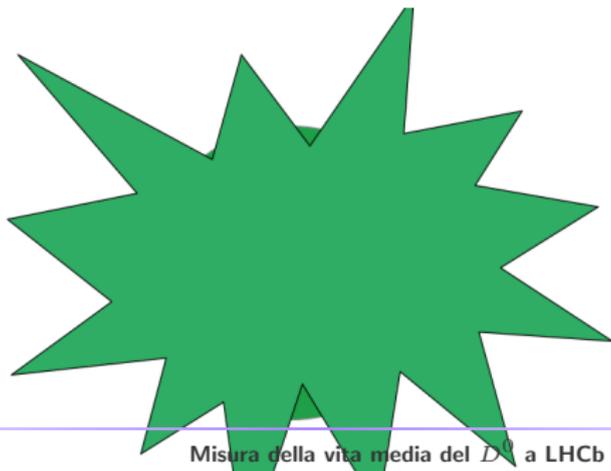
## Cosa misureremo oggi?

- Oggi misureremo la vita media di una particella neutra: il mesone  $D^0$
- Il  $D^0$  è costituito da un quark anti-up e un quark charm
- È una particella instabile e dopo un certo tempo decade
- In un kaone negativo ( $K^-$ ) e un pione positivo ( $\pi^+$ )
- L'antiparticella, l'anti- $D^0$  decade in un kaone positivo  $K^+$  e in un pione negativo  $\pi^-$



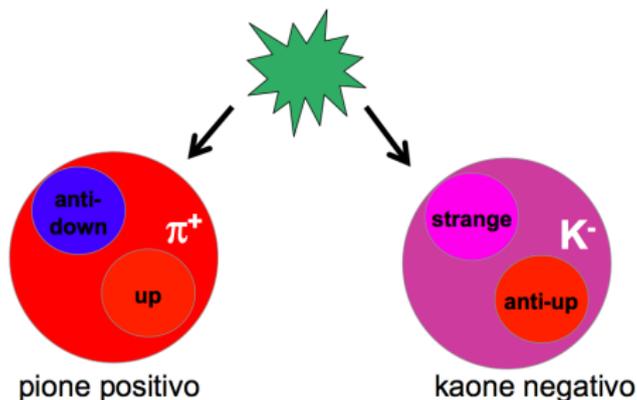
## Cosa misureremo oggi?

- Oggi misureremo la vita media di una particella neutra: il mesone  $D^0$
- Il  $D^0$  è costituito da un quark anti-up e un quark charm
- È una particella instabile e dopo un certo tempo decade
- In un kaone negativo ( $K^-$ ) e un pione positivo ( $\pi^+$ )
- L'antiparticella, l'anti- $D^0$  decade in un kaone positivo  $K^+$  e in un pione negativo  $\pi^-$



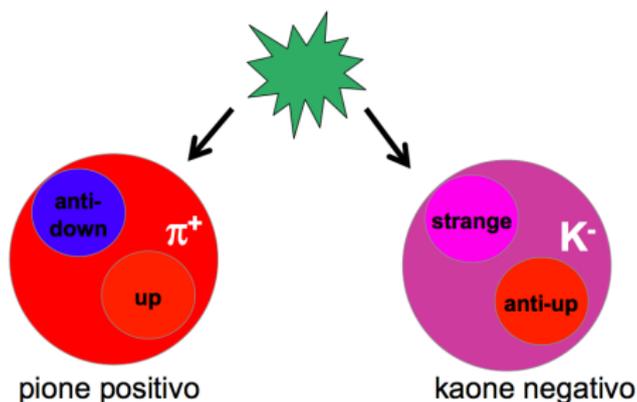
## Cosa misureremo oggi?

- Oggi misureremo la vita media di una particella neutra: il mesone  $D^0$
- Il  $D^0$  è costituito da un quark anti-up e un quark charm
- È una particella instabile e dopo un certo tempo decade
- In un kaone negativo ( $K^-$ ) e un pione positivo ( $\pi^+$ )
- L'antiparticella, l'anti- $D^0$  decade in un kaone positivo  $K^+$  e in un pione negativo  $\pi^-$

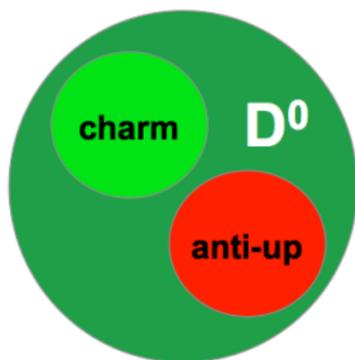


## Cosa misureremo oggi?

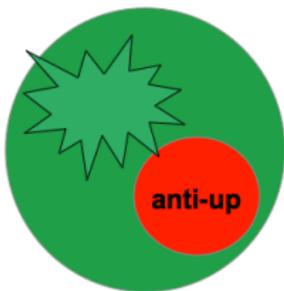
- Oggi misureremo la vita media di una particella neutra: il mesone  $D^0$
- Il  $D^0$  è costituito da un quark anti-up e un quark charm
- È una particella instabile e dopo un certo tempo decade
- In un kaone negativo ( $K^-$ ) e un pione positivo ( $\pi^+$ )
- L'antiparticella, l'anti- $D^0$  decade in un kaone positivo  $K^+$  e in un pione negativo  $\pi^-$



# Perchè il $D^0$ decade?



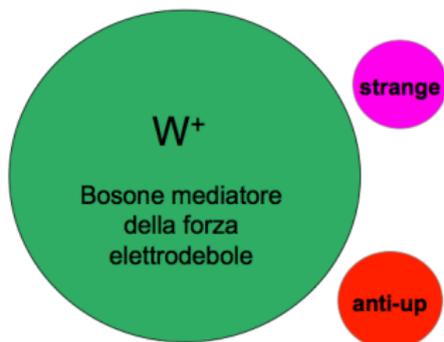
# Perchè il $D^0$ decade?



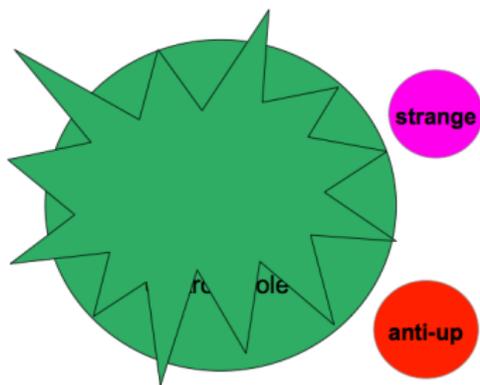
# Perchè il $D^0$ decade?



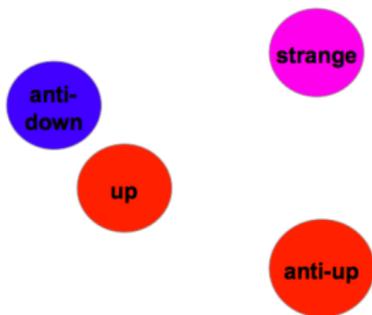
## Perchè il $D^0$ decade?



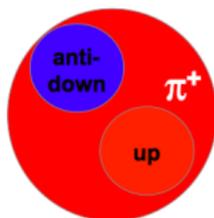
# Perchè il $D^0$ decade?



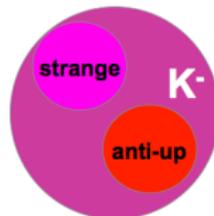
## Perchè il $D^0$ decade?



# Perchè il $D^0$ decade?

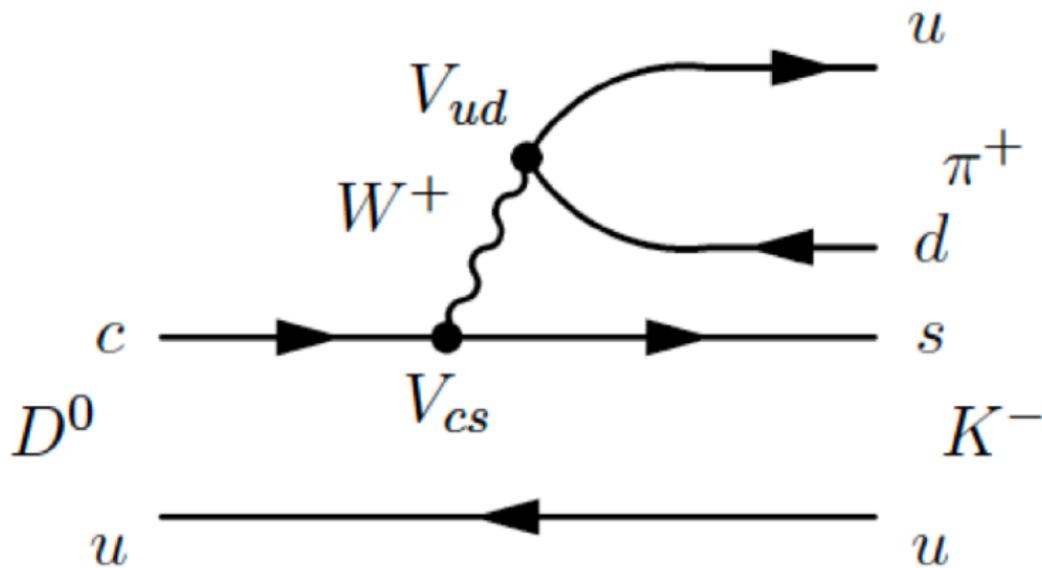


pione positivo



kaone negativo

## Nel nostro linguaggio di fisici



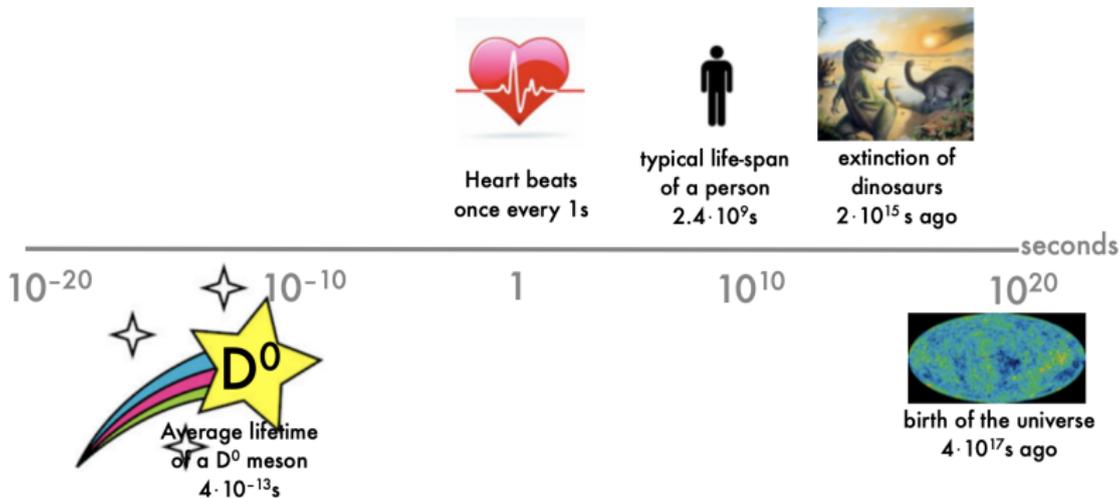
## Quanto tempo ci mette a decadere?

- Il range delle vite medie è enorme: la vita del  $D^0$  è piuttosto piccola

Type	Name	Symbol	Energy (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	$e^- / e^+$	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	$\mu^- / \mu^+$	105.7	$2.2 \times 10^{-6}$ seconds
	Tau lepton / Antitau	$\tau^- / \tau^+$	1777	$2.9 \times 10^{-13}$ seconds
Meson	Neutral Pion	$\pi^0$	135	$8.4 \times 10^{-17}$ seconds
	Charged Pion	$\pi^+ / \pi^-$	139.6	$2.6 \times 10^{-8}$ seconds
Baryon	Proton / Antiproton	$p^+ / p^-$	938.2	$> 10^{29}$ years
	Neutron / Antineutron	$n / \bar{n}$	939.6	885.7 seconds
Boson	W boson	$W^+ / W^-$	80,400	$10^{-25}$ seconds
	Z boson	$Z^0$	91,000	$10^{-25}$ seconds

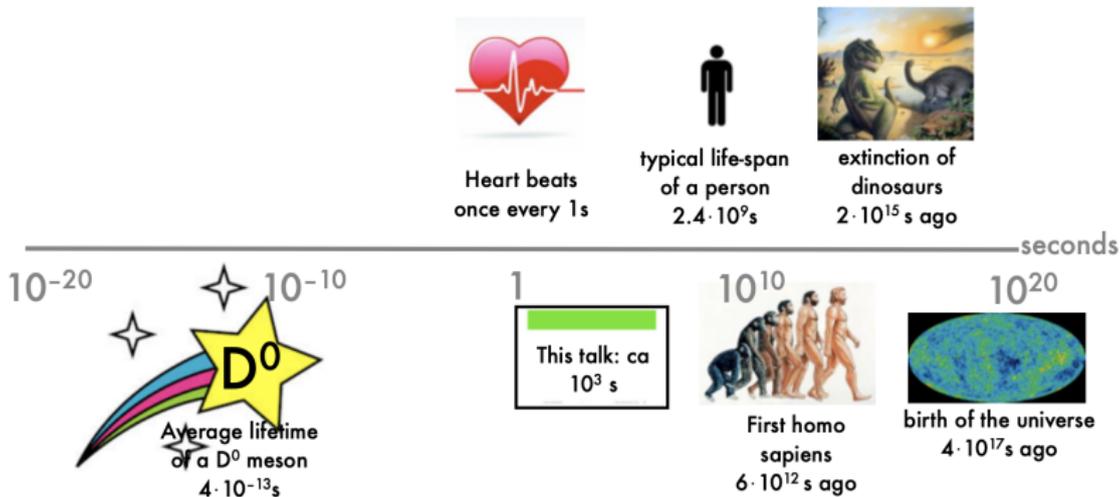
# Scale di tempi a confronto...

- Stiamo misurando un tempo veramente piccolo...



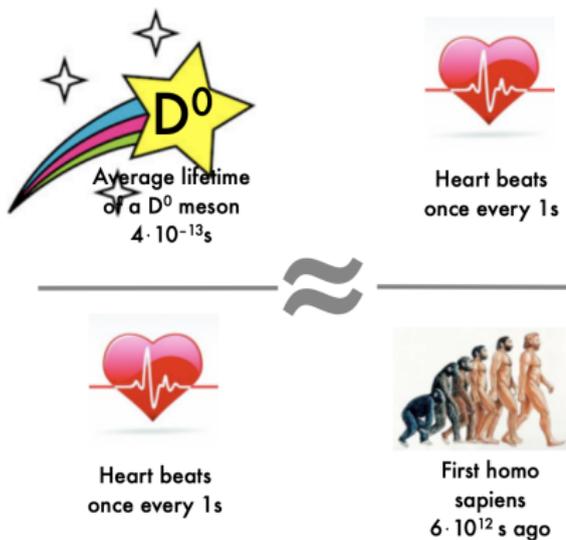
# Scale di tempi a confronto...

- Stiamo misurando un tempo veramente piccolo...



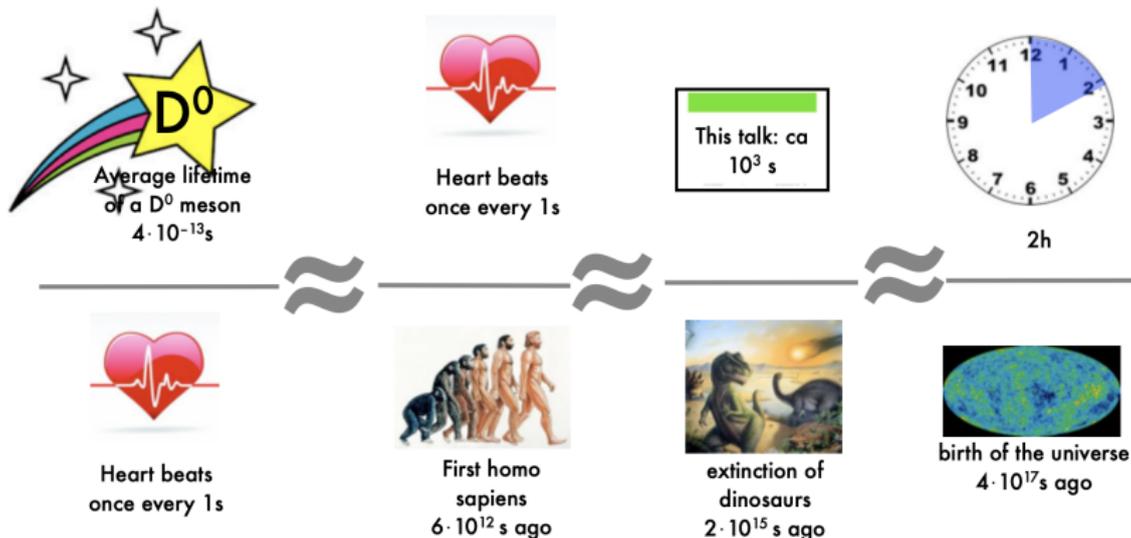
# Scale di tempi a confronto...

- Stiamo misurando un tempo veramente piccolo...



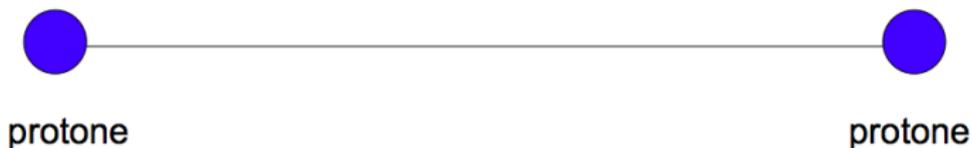
# Scale di tempi a confronto...

- Stiamo misurando un tempo veramente piccolo...



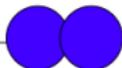
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



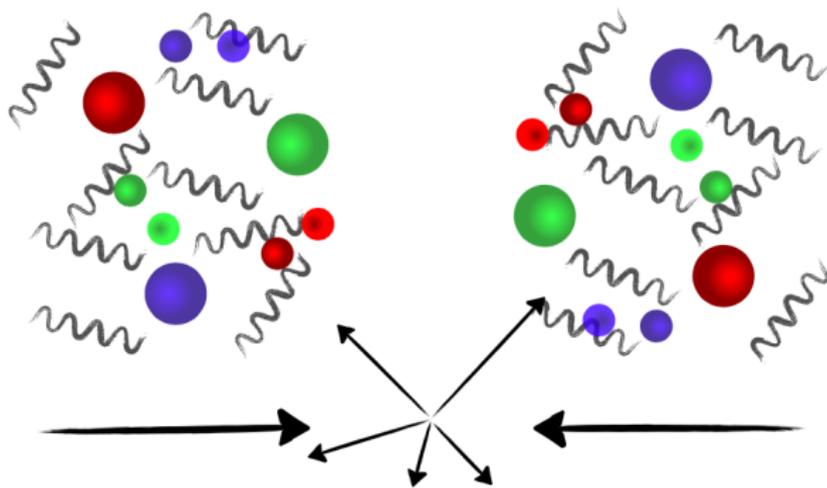
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



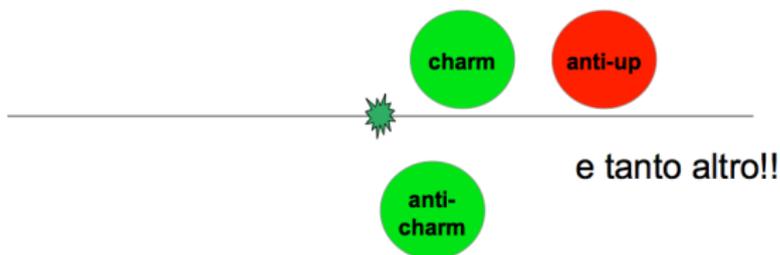
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



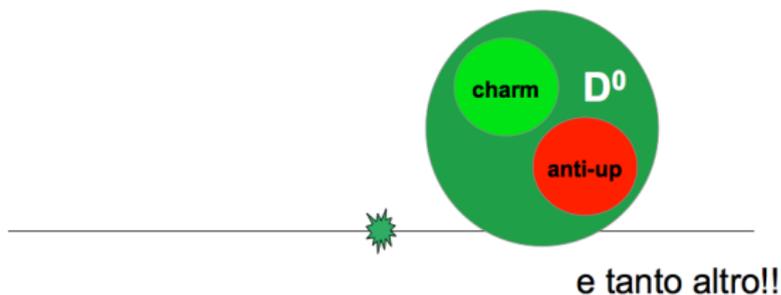
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivelarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



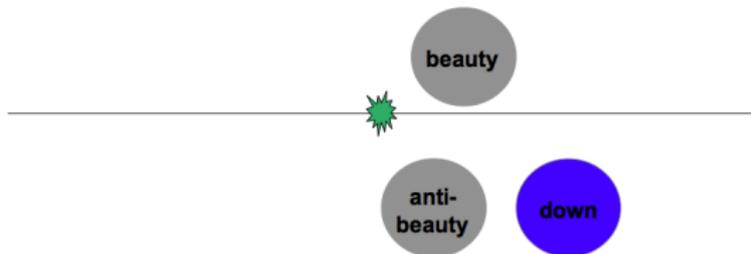
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivelarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



## Alla ricerca del $D^0$

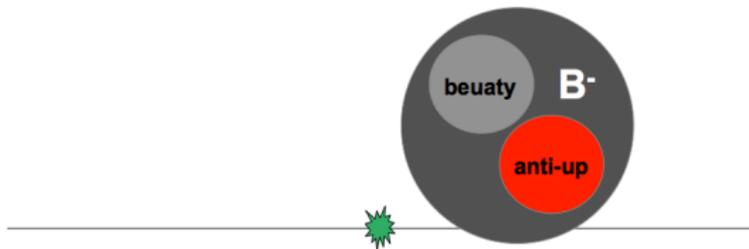
- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



Ma puo' anche succedere questo!

## Alla ricerca del $D^0$

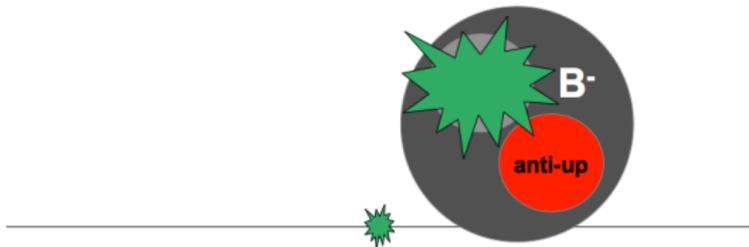
- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



...dalla interazione protone-protone si produce una particella chiamata  $B...$

## Alla ricerca del $D^0$

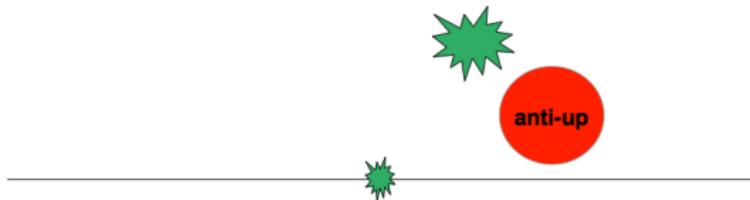
- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivelarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



... che dopo un po' decade ...

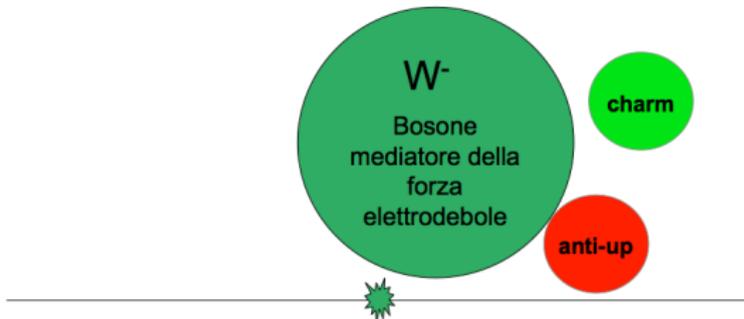
## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



## Alla ricerca del $D^0$

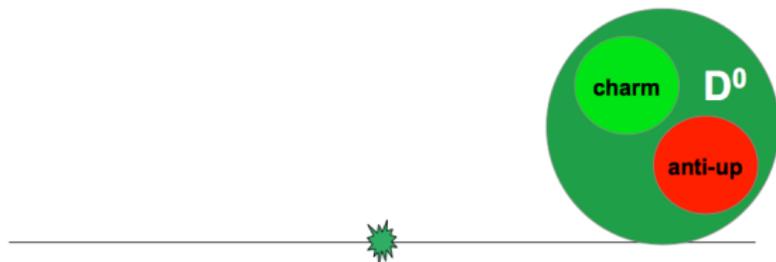
- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivelarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti



... nel bosone  $W^-$  ...

## Alla ricerca del $D^0$

- Per misurare la vita media del  $D^0$  dobbiamo rivellarli, vedremo fra un po' come si fa
- Ma prima di cercarli dobbiamo capire come sono prodotti

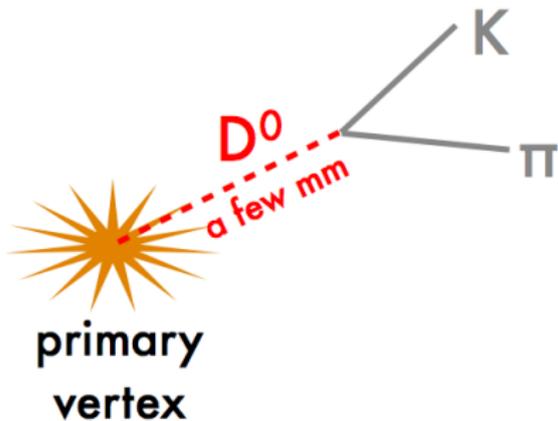


+ altro

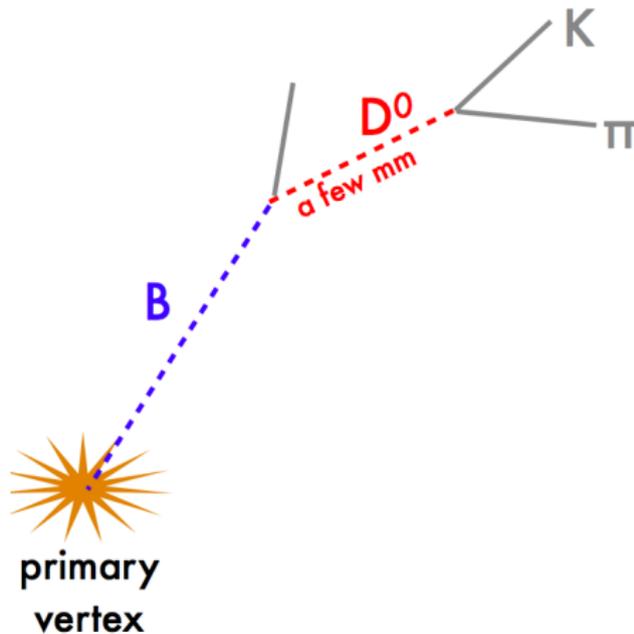
... e si forma così il  $D^0$ !

## Riassumendo

Produzione diretta:



Produzione dal decadimento di una  
particella  $B$ :



## Come si rivela un $D^0$ ?

- Il  $D^0$  abbiamo detto decade dopo un certo intervallo di tempo con una vita media brevissima prima di lasciare traccia
- Possiamo quindi rivelare i suoi prodotti di decadimento:

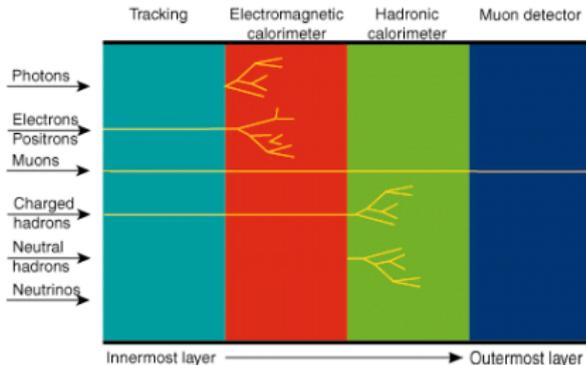
$$D^0 \rightarrow K^- \pi^+$$

- LHCb ha dei rivelatori dedicati a riconoscere i  $K^-$  e i  $\pi^+$  e a misurarne le caratteristiche che ci interessano
  - Dobbiamo saper riconoscere i  $K$  e i  $\pi$  tra le tante tracce prodotte nell'interazione  $p$ - $p$
  - Dobbiamo separare tracce negative e positive: vogliamo le coppie  $(K^+, \pi^-)$  e  $(K^-, \pi^+)$  in modo che la somma delle loro cariche sia neutra come quella del  $D^0$
  - Dobbiamo selezionare solo il  $K^-$  e il  $\pi^+$  provengono proprio dal  $D^0$

# Rivelatori

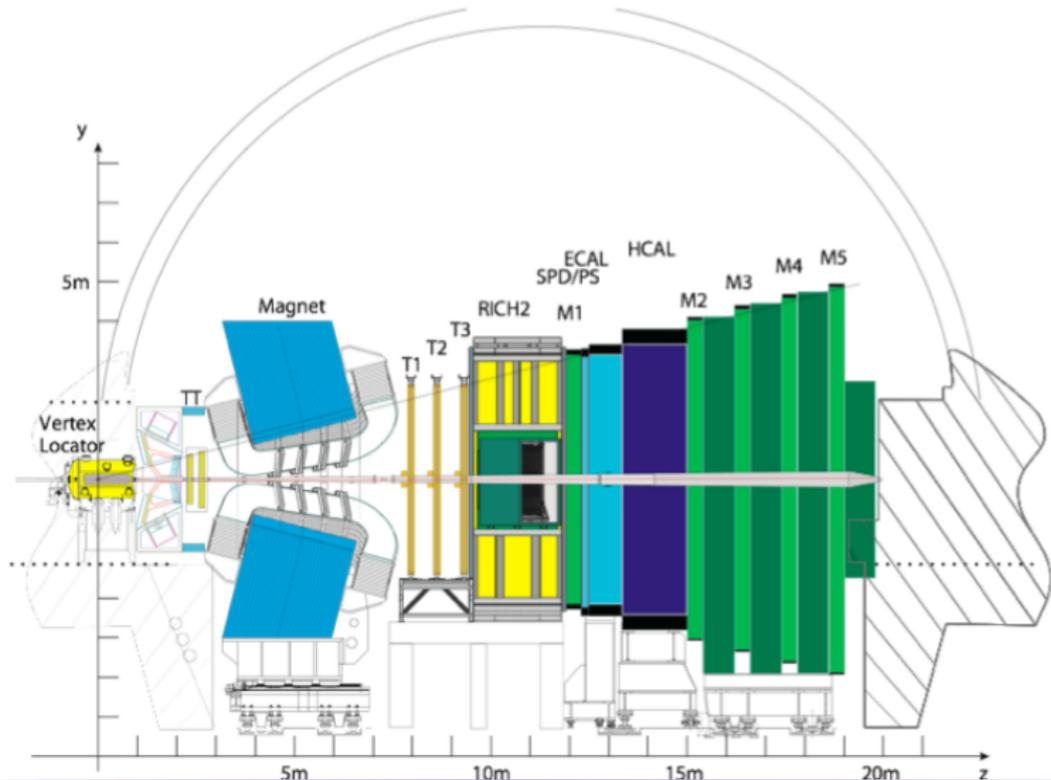
- Le particelle vengono rivelate e identificate nei rivelatori di particelle, grazie al loro diverso modo di interagire con la materia
- Esistono diversi tipi di rivelatore, ottimizzati per rivelare e misurare tipi diversi di particelle e informazioni fisiche diverse:

- Carica
- Direzione
- Energia
- Quantità di moto
- Massa (tipo di particella)

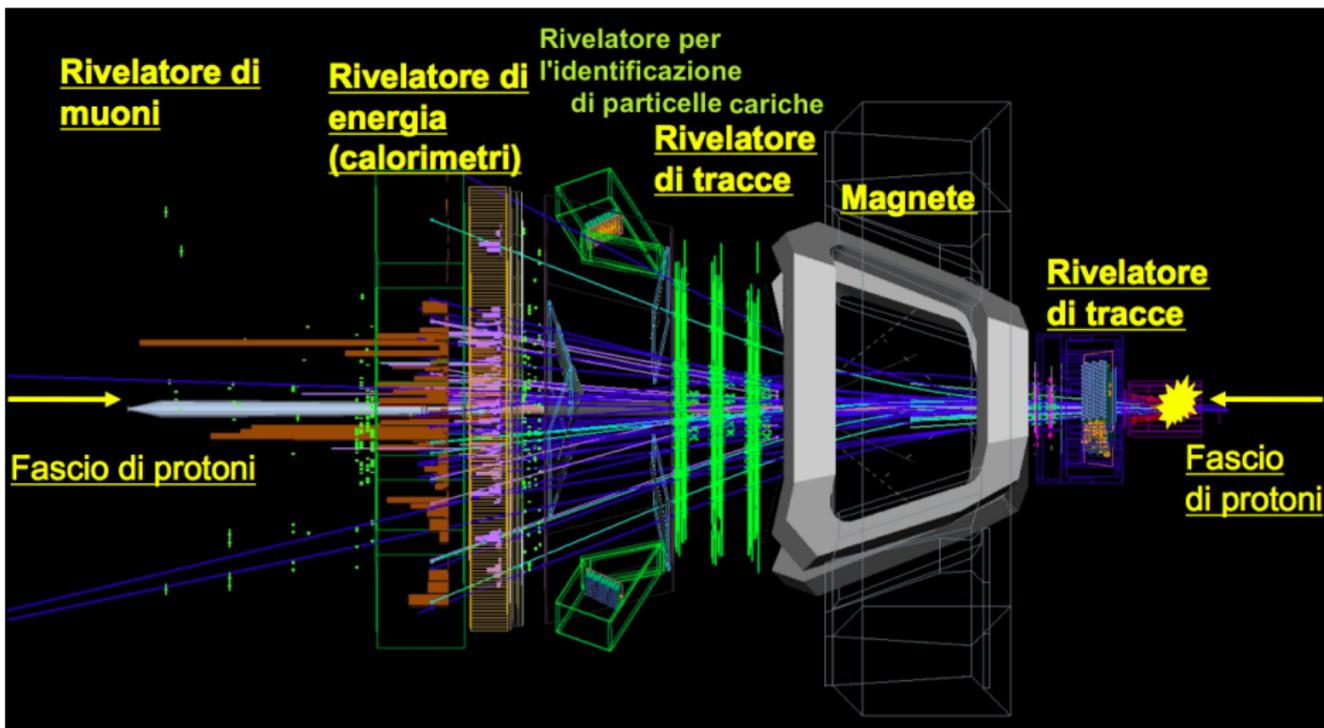


- Un rivelatore di particelle è costituito da più strati, ciascuno in grado di misurare una particolare caratteristica della particella
- In generale un apparato per la fisica delle particelle sfrutta le informazioni di parecchi rivelatori opportunamente combinati

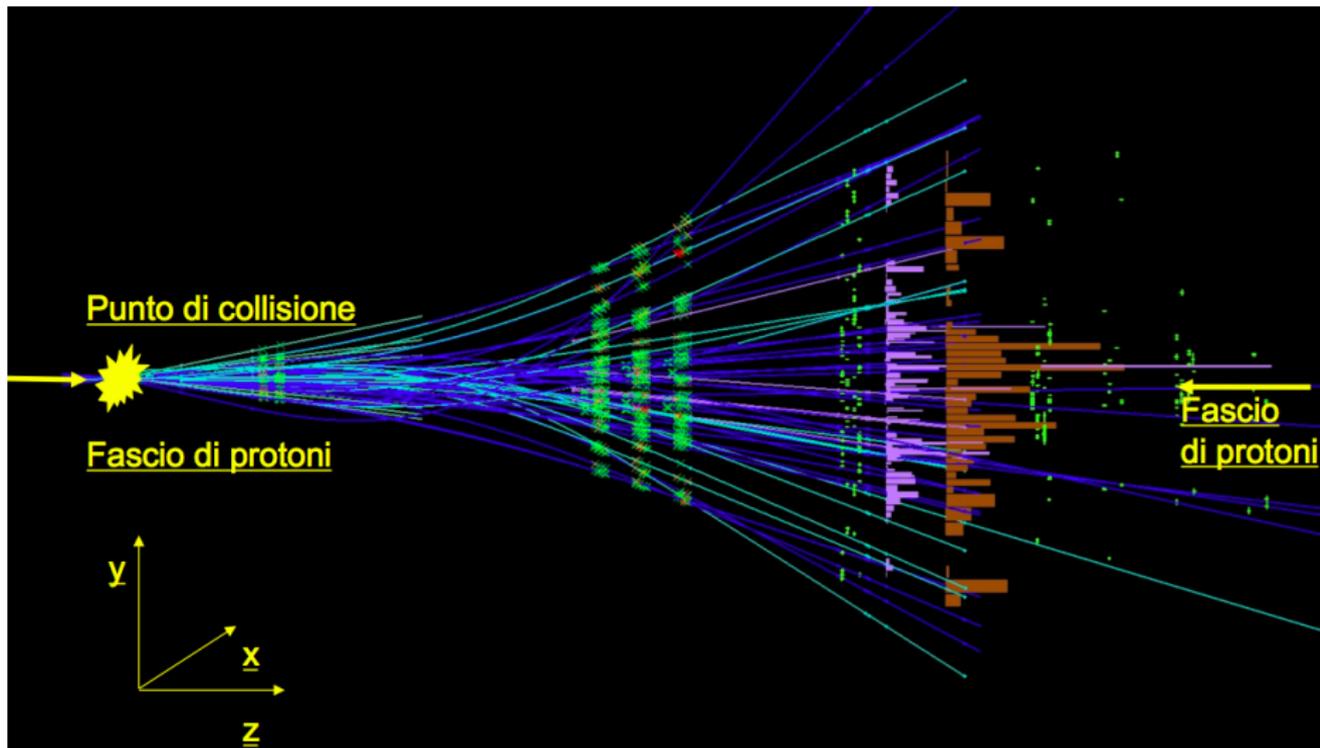
## Il rivelatore LHCb



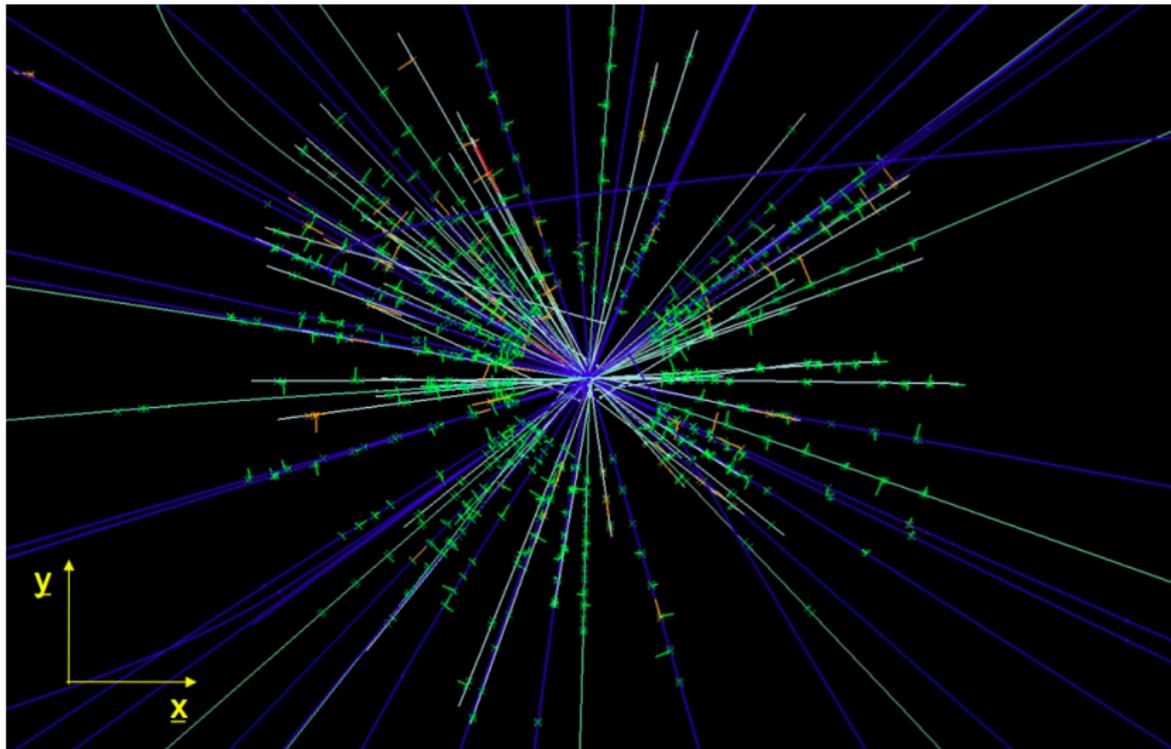
# Il rivelatore LHCb



# Una collisione a LHCb



# Una collisione a LHCb



# Come riconosciamo che il $K^-$ e il $\pi^+$ provengono proprio dal $D^0$ ?

## CHARMED MESONS

( $C = \pm 1$ )

$D^+ = c \bar{d}$ ,  $D^0 = c \bar{u}$ ,  $\bar{D}^0 = \bar{c} u$ ,  $D^- = \bar{c} d$ , similarly for  $D^*$ 's

$D^0$

$$I(J^P) = 1/2(0^-)$$

INSPIRE search

## Mini Reviews

$D^0 - \bar{D}^0$  Mixing (rev.)

## Listings

► Expand all sections

$D^0$ MASS	$1864.83 \pm 0.05$ MeV
$m_{D^+} - m_{D^0}$	$4.75 \pm 0.08$ MeV
$D^0$ MEAN LIFE	<input type="text"/>
$ m_{D_1^0} - m_{D_2^0}  = x \Gamma$	$(95^{+41}_{-44}) \times 10^8 \hbar \text{ s}^{-1}$
$(\Gamma_{D_1^0} - \Gamma_{D_2^0})/\Gamma = 2y$	$0.0129^{+0.0014}_{-0.0018}$
$ q/p $	$0.92^{+0.12}_{-0.09}$
$A_\Gamma$	$(-0.125 \pm 0.526) \times 10^{-3}$
$\cos \delta$	$0.97 \pm 0.11$

$$m_{D^0} = 1864.3 \pm 0.05 \text{ MeV} = 3.1 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

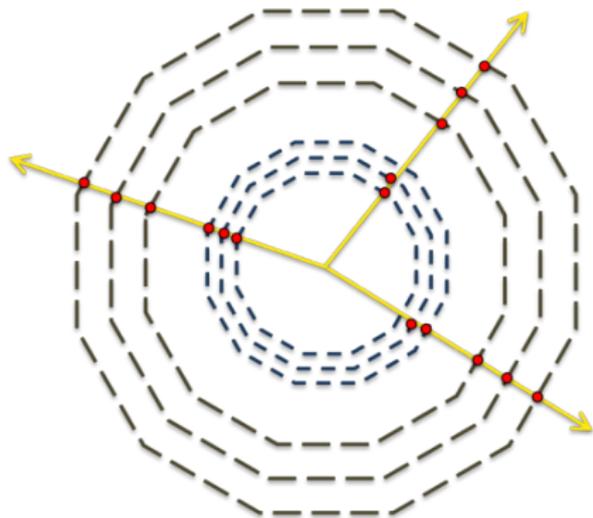
Misura della vita media del  $D^0$  a LHCb 11 Aprile 2025

## Calcolare la massa del $D^0$

$$m_{D^0}^2 = m_K^2 + m_\pi^2 + 2\sqrt{m_K^2 + |\vec{p}_K|^2}\sqrt{m_\pi^2 + |\vec{p}_\pi|^2} - 2|\vec{p}_K||\vec{p}_\pi|\cos\theta$$

- La massa del  $K$  e del  $\pi$  sono state misurate e sono note in maniera molto precisa
- Le uniche quantità incognite sono  $|\vec{p}_K|$  e  $|\vec{p}_\pi|$  e  $\cos\theta$ . Dobbiamo quindi misurare le quantità di moto delle due particelle.

## Sistemi traccianti



- Elementi sensibili al passaggio di particelle cariche
- La tecnologia più usata è simile a quella dei sensori delle macchine fotografiche digitali: delle superfici di silicio, tagliuzzate in pixel che danno un segnale al passaggio di una particella carica
- Registrano la posizione delle particelle cariche permettendo di ricostruirne la traccia
- La misura della traccia associata al passaggio di una particella è una cosa buona ma da sola non ci dice molto...

## Misura dell'impulso di una particella carica

- Una particella carica che attraversa un campo magnetico è soggetta ad una forza perpendicolare alla direzione della sua velocità e del campo magnetico
- La direzione della forza (e quindi il verso di curvatura) dipende dal segno della carica

Se  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$  sono perpendicolari:  $F = qvB$

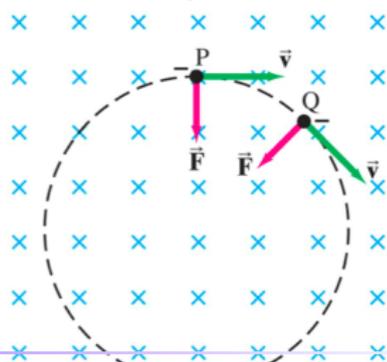
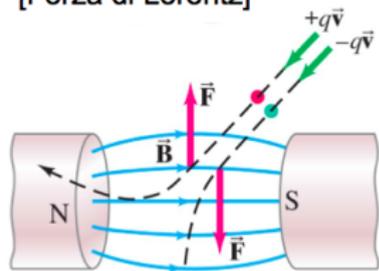
$$F = ma \rightarrow a = \frac{v^2}{R}$$

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{p}{qB}$$

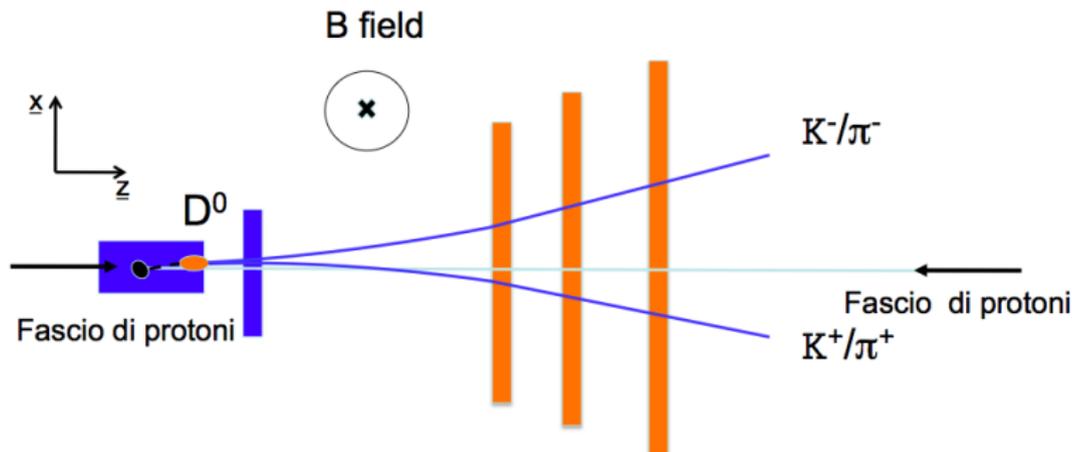
L'entità della curvatura dipende dalla velocità delle particelle

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

[Forza di Lorentz]



# Misurare la quantità di moto a LHCb



- Grazie ai sistemi traccianti
  - possiamo capire se la particella carica è positiva o negativa
  - dalla curvatura della particella misuriamo la quantità di moto

$$p = qBR$$

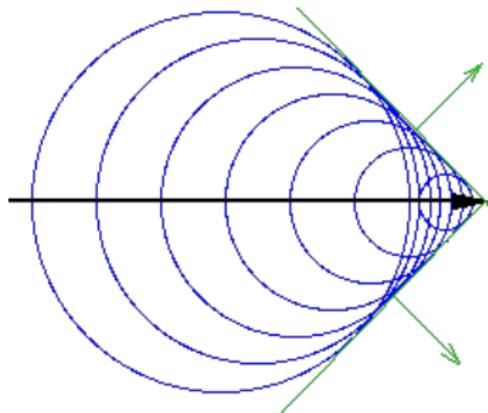
## Rivelatori a Radiazione Cherenkov

- Ci permettono di identificare le particelle e quindi di capire se la traccia è un  $K$  o un  $\pi$
- L'effetto Cherenkov consiste nell'emissione di un cono di luce da parte di una particella in moto in un materiale ad una velocità superiore alla velocità della luce nel mezzo attraversato

## Rivelatori a Radiazione Cherenkov

- È analogo al cono di Mach quando si supera la barriera del suono nell'aria
- Quando un aereo vola ad una velocità superiore a quella del suono in aria produce delle onde d'urto che generano un cono





- Misurando l'angolo del cono di luce si ricava la velocità della particella

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta}$$

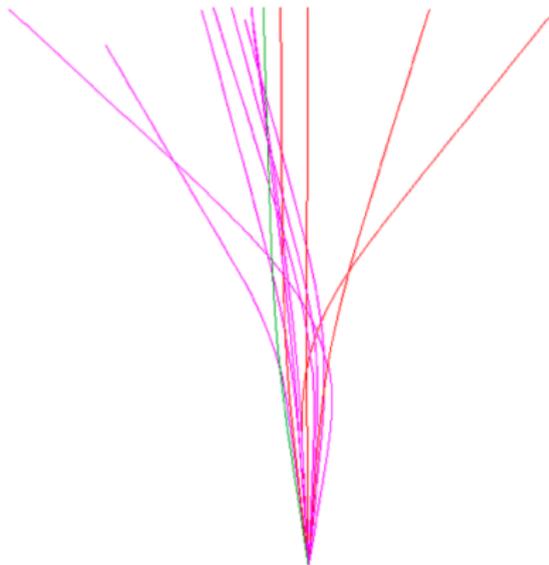
- Se contemporaneamente misuro la quantità di moto posso ricavare la massa della particella

$$m = \frac{p}{v}$$

- Siccome la massa del  $K$  è diversa dalla massa del  $\pi$  posso identificare e separare i  $K$  dai  $\pi$

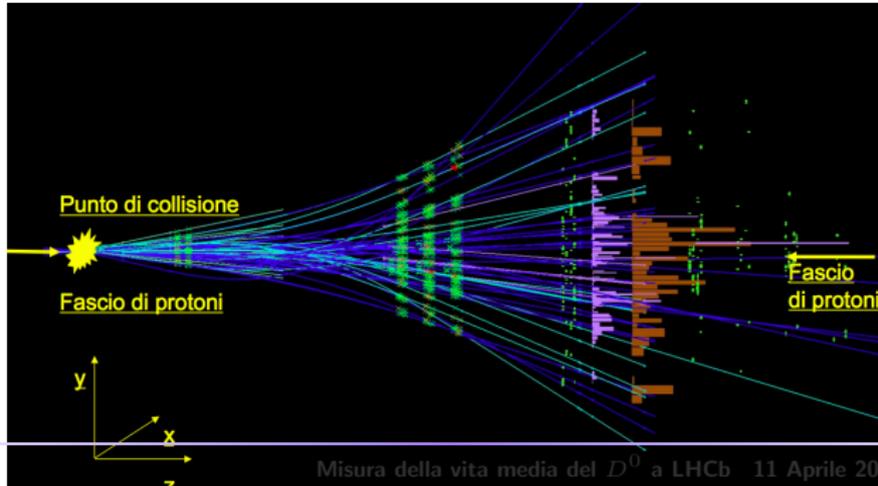
## Riassumendo...

- Abbiamo imparato a misurare la quantità di moto delle tracce
- Abbiamo imparato a identificare tracce negative e positive grazie alla curvatura indotta dal campo magnetico
- Sappiamo che il rivelatore LHCb ha dei rivelatori dedicati a riconoscere i  $K^-$  e i  $\pi^+$  che usano la radiazione Cherenkov
- Ora possiamo combinare tutti i  $K$  e i  $\pi$  per misurare la massa a partire dall'impulso delle singole tracce e vedere se il valore è quello del  $D^0$

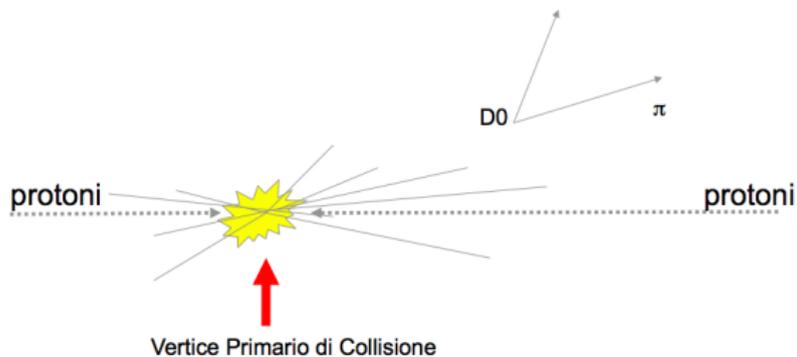


## Come si rivela un $D^0$ ?

- Nell'evento abbiamo tanti  $K$  e  $\pi$ 
  - Se nell'evento c'è un  $D^0$  avremo che una coppia di  $K$  e  $\pi$  proverrà dal  $D^0$ . Chiameremo questi eventi SEGNALE
  - Ma ci saranno anche tanti  $K$  e  $\pi$  prodotti direttamente dall'interazione protone-protone e chiameremo questi eventi FONDO
- Quindi il nostro SEGNALE è nascosto da TANTI eventi di FONDO!  
Non sarà facile trovarlo!



# Come distinguiamo il segnale dal fondo?



# Esercizio

- Imparerete a selezionare le tracce corrispondenti a kaoni e pioni separando segnale e fondo: negli eventi che analizzerete sono presenti sia segnale, quindi veri decadimenti del  $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  che fondo cioè finti segnali che hanno caratteristiche simili ma che non sono i veri decadimenti
- Utilizzerete delle funzioni matematiche per descrivere i dati che vi permetteranno di misurare alcune proprietà delle particelle che state osservando tra cui la vita media
- Vi renderete conto delle possibili incertezze che avrete sulla misura

# Obiettivi dell'esercizio

- Primo obiettivo: riempire un istogramma con eventi di massa del  $D^0$ , selezionando un  $K$  e un  $\pi$  per ogni evento

# Primo Obiettivo

- Il programma visualizza le tracce ricostruite dopo una interazione protone-protone in LHCb
- Dovete trovare tra tutte le tracce di un evento una coppia  $K^- \pi^+$  (o un  $K^+ \pi^-$ ) che soddisfino queste caratteristiche:
  - la cui misura degli impulsi quando opportunamente combinata ha un valore di massa prossimo a quello della massa del  $D^0$
  - Il punto in cui le tracce  $K^-$  e un  $\pi^+$  si intersecano (vertice di decadimento) sia distaccato dal vertice primario (quella da cui vengono la maggior parte delle tracce)



## Pronto a partire?

---

- Collegatevi a `https://lhcb-d0.web.cern.ch`

- Inserire i propri dati
- Scegliere la combinazione “Combination” (usate il numero della sotto-stanza del meeting)
- Cliccare “Save”
- Scegliere il primo esercizio cliccando sul tasto “Event Display”

Firstname \_\_\_\_\_

Surname \_\_\_\_\_

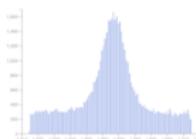
Grade \_\_\_\_\_

Combination \_\_\_\_\_ ▾

Save



Event Display



D0 Lifetime

# Visualizzatore di eventi

- Si ha un'immagine del rivelatore LHCb e le tracce delle particelle

## Event Display Exercise

Event handler  
event\_1\_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

K<sup>-</sup> —

K<sup>+</sup> —

pi<sup>+</sup> —

pi<sup>-</sup> —

D<sup>0</sup> —

Read instructions

Download JSON

Particle information

E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c <sup>2</sup>
name	
ZFstM	

My particles

Mass MeV/c<sup>2</sup>

Add

v0.1

# Visualizzatore di eventi

- Le tracce hanno colori diverse a seconda delle particella che le ha prodotte: una legenda in basso a sinistra ti dirà quale colore corrisponde a ciascuna particelle

## Event Display Exercise

Event handler  
event\_1\_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

- K<sup>-</sup>
- K<sup>+</sup>
- pi<sup>+</sup>
- pi<sup>-</sup>
- D<sup>0</sup>

Read instructions

Download JSON

Particle information

E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c <sup>2</sup>
name	
ZFstM	

My particles

Mass

MeV/c<sup>2</sup>

Add

v0.1

# Visualizzatore di eventi

- Puoi zoomare, cambiare vista, ruotare, togliere/mettere il rivelatore
- Per trovare i vertici del  $D^0$  puoi visualizzare l'evento in tre diverse proiezioni bidimensionali (Top/Side/Front), prova tutte perchè ogni evento è diverso e può essere più chiaro in una proiezione piuttosto che in un'altra

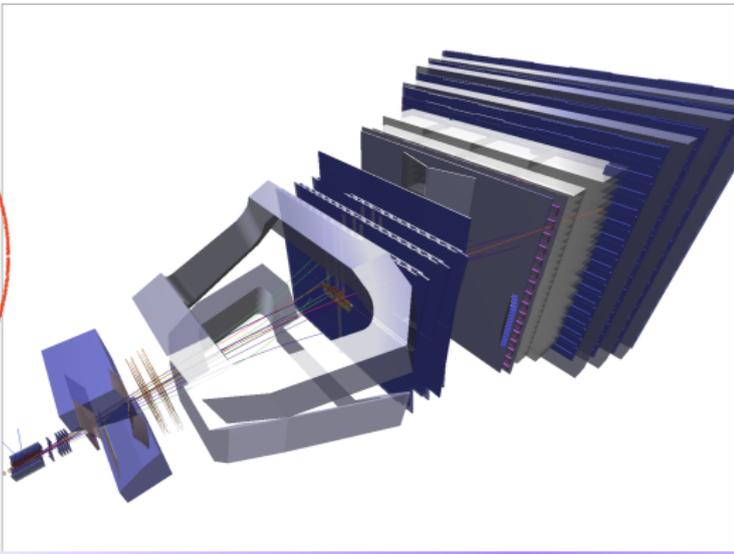
## Event Display Exercise

Event handler  
event\_1\_0.json  
previous  
next

View  
Zoom  
Detector  
Help  
View  
Auto rotate

Legend  
K<sup>-</sup>  
K<sup>+</sup>  
pi<sup>+</sup>  
pi<sup>-</sup>  
D<sup>0</sup>

Read instructions  
Download JSON



Particle information

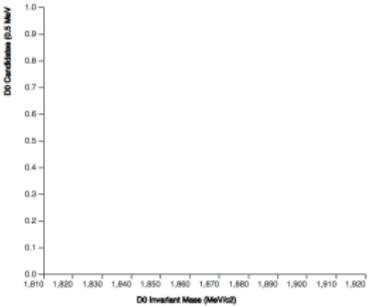
E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c <sup>2</sup>
name	
ZFstM	

My particles

Mass MeV/c<sup>2</sup>

Add

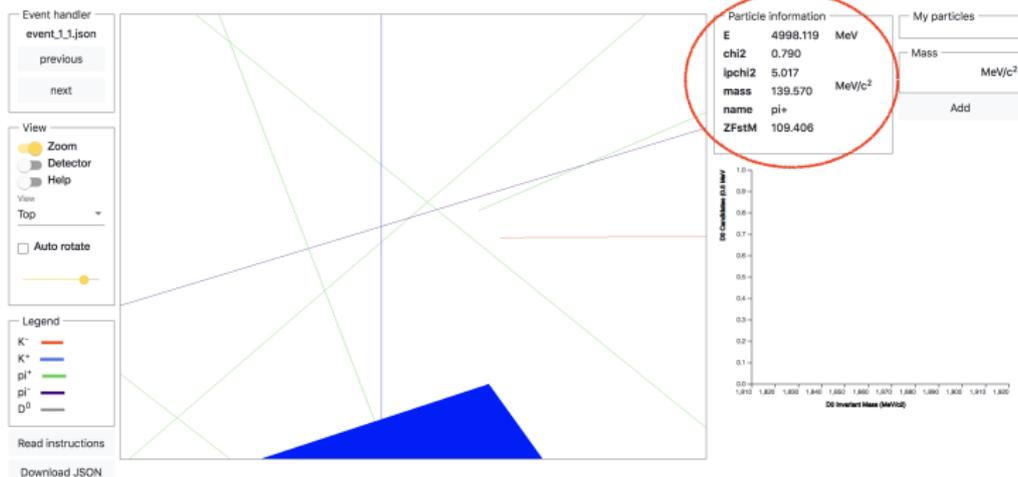
DD Candidates (0.5 MeV)



# Visualizzatore di eventi

- Posizionando il mouse su una traccia verranno visualizzate nel riquadro “Informazioni sulla particella/Particle information” la massa e la quantità di moto

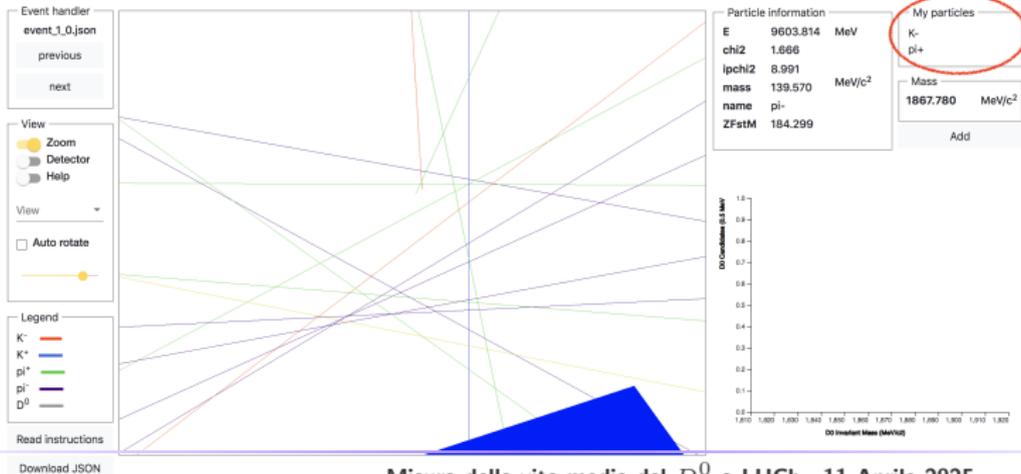
Event Display Exercise



# Visualizzatore di eventi

- Una volta individuata la traccia di interesse puoi selezionarla cliccandola con il mouse
- Una volta individuate le due tracce e selezionate le due tracce cliccandole con il mouse, la massa della particella da cui sono decadute verrà calcolata e visualizzata in “Mass/Massa”

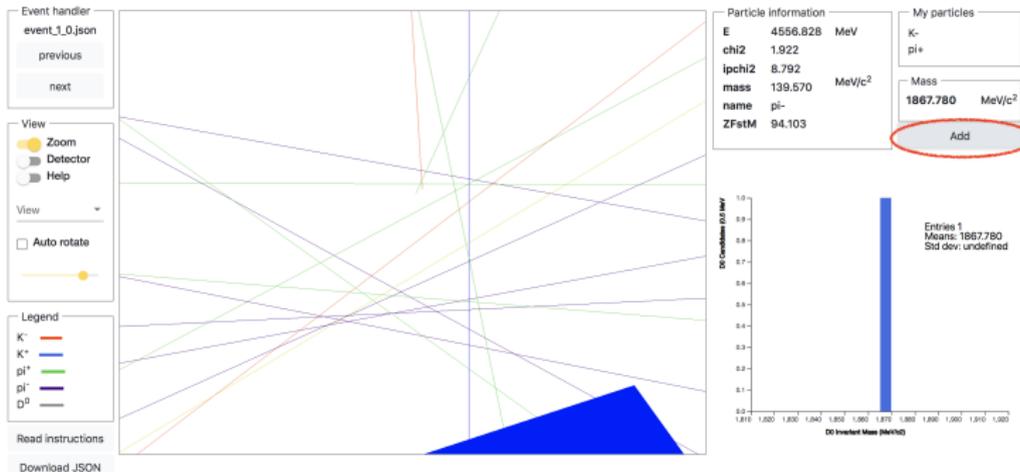
## Event Display Exercise



# Visualizzatore di eventi

- Se pensi che la combinazione di tracce dia una massa compatibile con quella del  $D^0$  premi il pulsante “Add/Aggiungi” per salvare il valore in un istogramma

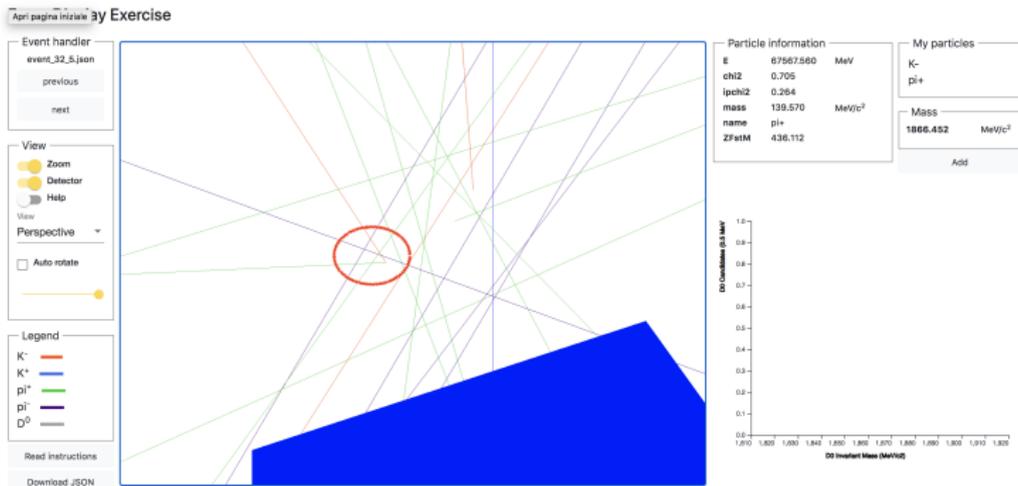
Event Display Exercise



v01

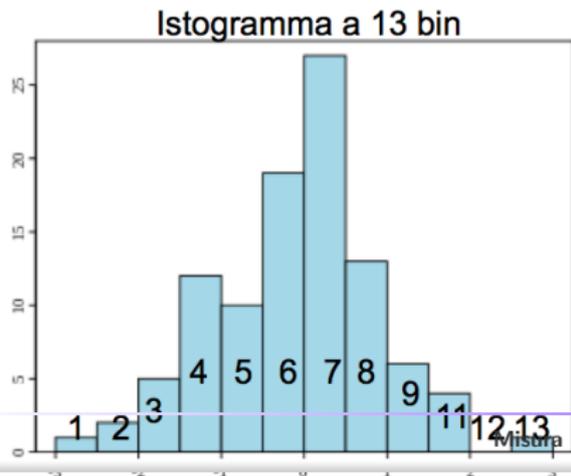
# Esempio di evento interessante

- Esempio di vertice a due tracce spostato dal vertice primario



## Cosa è un istogramma?

- Quando abbiamo riconosciuto molti eventi, li salviamo e facciamo un istogramma della massa, cosa otteniamo?
- E' un grafico formato da rettangoli che serve per visualizzare velocemente una distribuzione di valori in classi.
- Se facciamo  $n$  misure di una stessa grandezza, possiamo classificarla in "bin"
- Un bin è un rettangolo del grafico

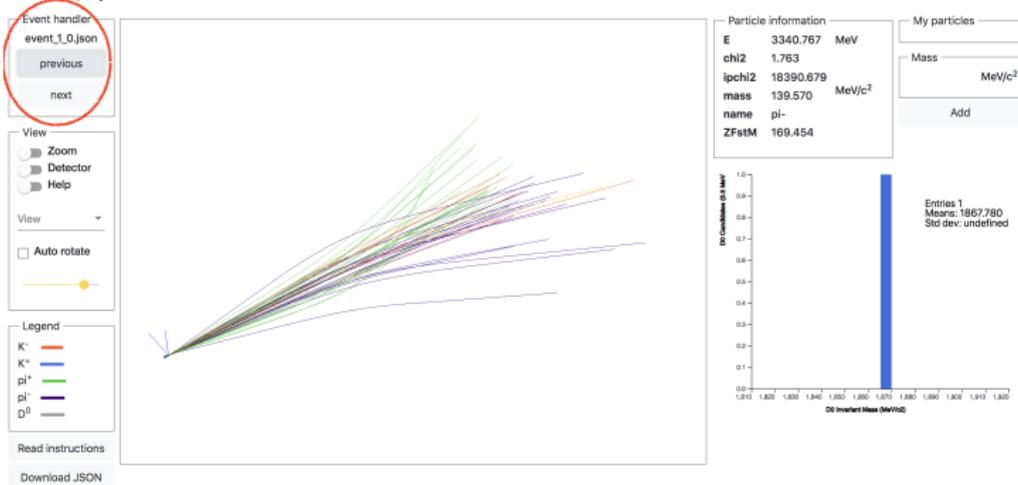


- Se misuro  $x = -0.2$  aumento di una unità il bin numero "6" all'interno dell'intervallo  $[-0.5, 0.0]$
- L'altezza di un rettangolo 6 rappresenta il numero di volte che la mia misura è all'interno della larghezza della base del bin 6

# Primo Obiettivo

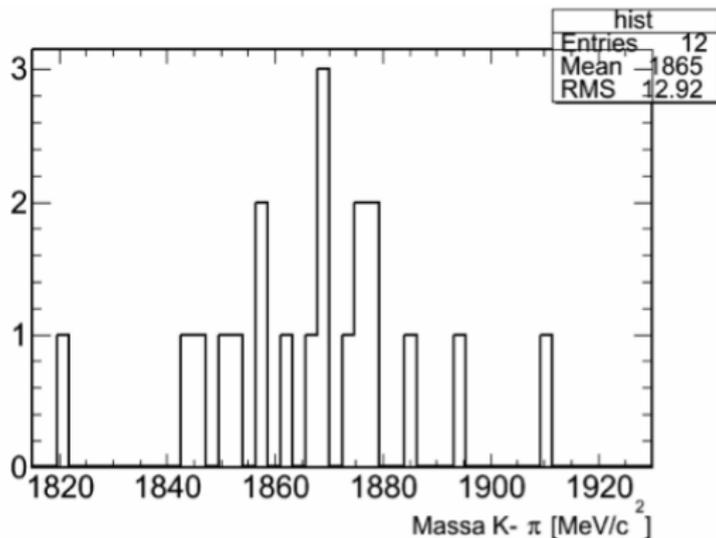
- Ripetere l'operazione per i 30 eventi del tuo campione.
- Per passare all'evento successivo cliccare su “Next/Successivo”
- Per tornare all'evento precedente cliccare su “Previous/Precedente”

## Event Display Exercise



v01

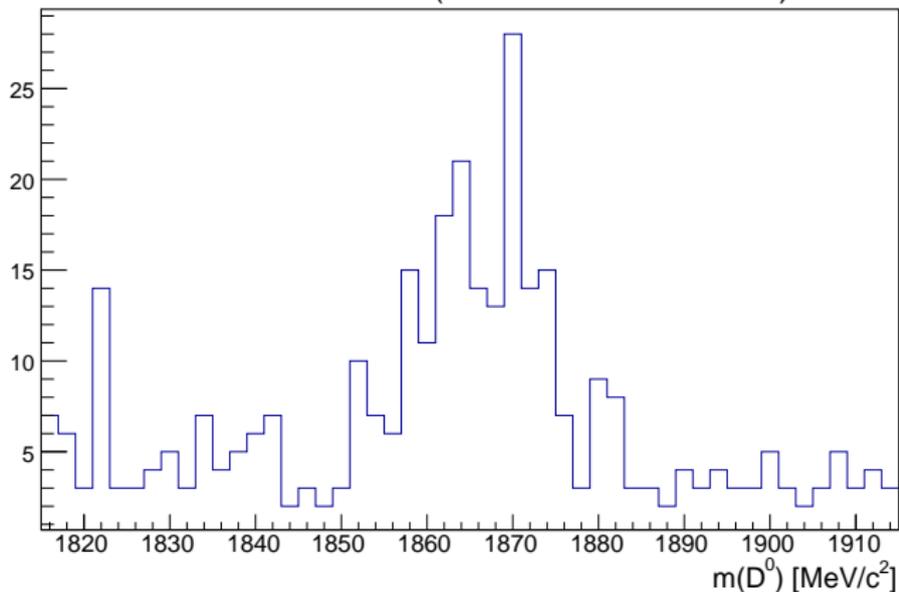
## Primo Obiettivo



- Ripeti l'operazione per i 30 eventi del tuo campione e salva l'istogramma complessivo.

# Primo Obiettivo

Massa invariante  $D^0$  (studenti 27 Marzo 2018)



## Obiettivi dell'esercizio

---

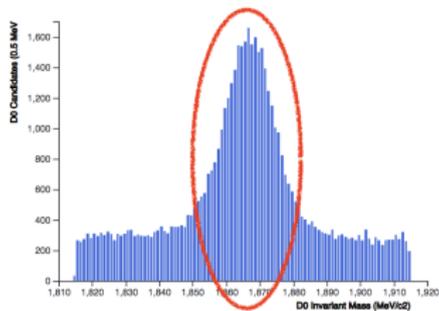
- Primo obiettivo: riempire un istogramma con eventi di massa del  $D^0$ , selezionando un  $K$  e un  $\pi$  per ogni evento
- Secondo obiettivo: fare il fit della distribuzione di massa del  $D^0$

## Secondo obiettivo

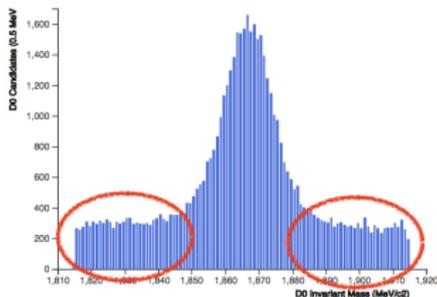
- A questo punto avete a disposizione un campione di dati maggiori per continuare l'esercizio.
- Questo perchè gli eventi da voi raccolti sono troppo pochi per fare una misura precisa
- Ogni misura ha sempre un errore
- Una regola (non assoluta) è che se uno ha raccolto  $N$  eventi di segnale, la precisione relativa sulla misura è  $(100/\sqrt{N})\%$ 
  - 100 eventi significa 10% di precisione
  - 10000 eventi significa 1% di precisione
  - ...
- Dalla schermata iniziale cliccate sul logo “ $D^0$  lifetime”
- Premete il pulsante “Plot  $D^0$  mass/Grafico massa  $D^0$ ” per ottenere il grafico della distribuzione di massa

## Secondo obiettivo

- Picco: SEGNALE



- Distribuzione piatta: FONDO



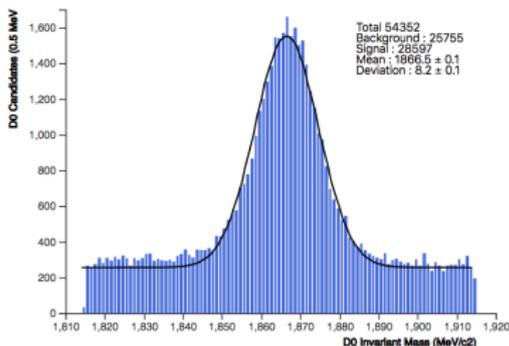
- Abbiamo detto che oltre a coppie ( $K, \pi$ ) provenienti da un  $D^0$  abbiamo anche del fondo costituito da tracce che combinate danno una massa simile a quella del  $D^0$  ma non provengono dal  $D^0$
- Per gli eventi di segnale la massa ha valori più frequenti in corrispondenza del valore vero: picco dalla forma a campana centrato sul valore medio
- Per gli eventi di fondo, che derivano da combinazioni casuali di tracce dell'evento, la massa può avere qualunque valore, la sua distribuzione è uniforme

## Secondo obiettivo

- Bisogna trovare un modello parametrico e adattarlo (fare un fit) per descrivere le distribuzioni di segnale e fondo
- Segnale = Funzione gaussiana
- Fondo = Funzione lineare (Retta)

$$G(m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(D^0 \text{ invariant mass} - \text{media})^2}{2\sigma^2}\right)$$

- La procedura di fit trova il valore dei parametri per i quali il modello parametrico approssima meglio la distribuzione di massa
- I parametri ottenuti dal fit sono riportati sul plot
- In blu è visualizzato il picco di segnale mentre in rosso l'andamento del fondo
- La “media” ci da la misura di massa del  $D^0$



# Misure masse $D^0$

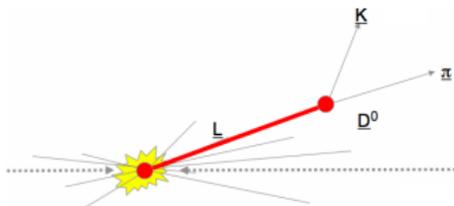
VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
<b>1864.83 ± 0.05</b>	<b>OUR FIT</b>			
<b>1864.84 ± 0.05</b>	<b>OUR AVERAGE</b>			
1864.845 ± 0.025 ± 0.057	63k	1 TOMARADZE	2014	$D^0 \rightarrow K^- 2 \pi^+ \pi^-$
1864.75 ± 0.15 ± 0.11		AAIJ	2013V LHCb	$D^0 \rightarrow K^+ 2 K^- \pi^+$
1864.841 ± 0.048 ± 0.063	4.3k	2 LEES	2013S BABR	$e^+ e^-$ at $\Upsilon(4S)$
1865.30 ± 0.33 ± 0.23	0.1k	ANASHIN	2010A KEDR	$e^+ e^-$ at $\psi(3770)$
1864.847 ± 0.150 ± 0.095	0.3k	CAWLFIELD	2007 CLEO	$D^0 \rightarrow K_S^0 \phi$

## Obiettivi dell'esercizio

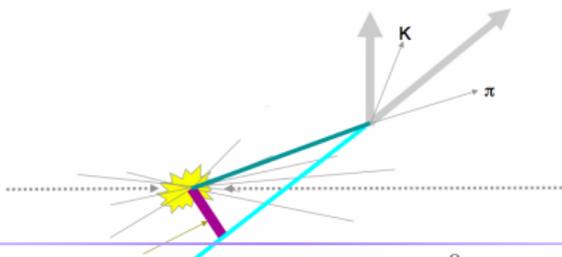
- Primo obiettivo: riempire un istogramma con eventi di massa del  $D^0$ , selezionando un  $K$  e un  $\pi$  per ogni evento
- Secondo obiettivo: misurare il valore della massa del  $D^0$
- Terzo obiettivo: ottenere la distribuzione di alcune variabili per gli eventi di segnale e per gli eventi di fondo
  - Le caratteristiche degli eventi che stanno nelle due regioni saranno diverse. Osserveremo nei grafici di alcuni variabili legate all'evento alcune di queste proprietà

## Variabili che studieremo

- **D0 TAU**: è il tempo di decadimento della  $D^0$ . Abbiamo detto che la distribuzione segue un andamento esponenziale

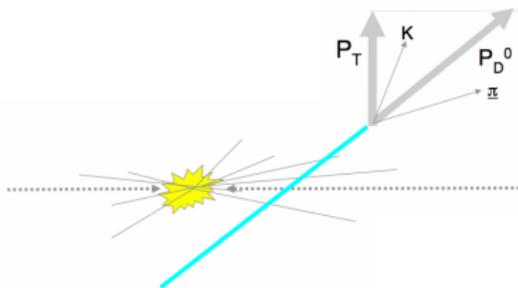


- **D0 IP**: è il parametro di impatto, cioè la distanza della traiettoria della  $D^0$  dal punto di interazione protone-protone misurata nel punto di massimo avvicinamento della  $D^0$  ad esso.

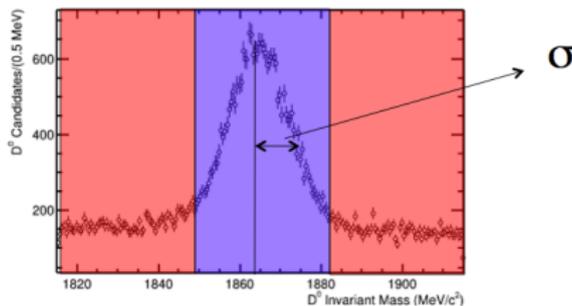


## Variabili che studieremo

- **$D^0$   $P_T$** : la componente della quantità di moto del  $D^0$  nel piano trasverso alla linea dei fasci di LHC



# Regioni di segnale/fondo



- La distribuzione di massa si può dividere in tre regioni:
  - La regione di segnale al centro, corrispondente al picco e due regioni laterali a destra e a sinistra
  - La regione di segnale può essere definita come 3 volte la larghezza della Gaussiana  $\sigma$  che abbiamo ottenuto dal fit: entro  $3\sigma$  è contenuto il 99.9% degli eventi

# Regioni di segnale/fondo

## $D^0$ lifetime Exercise

Analysis tools

- Plot  $D^0$  mass
- Fit mass distribution

Background substr.

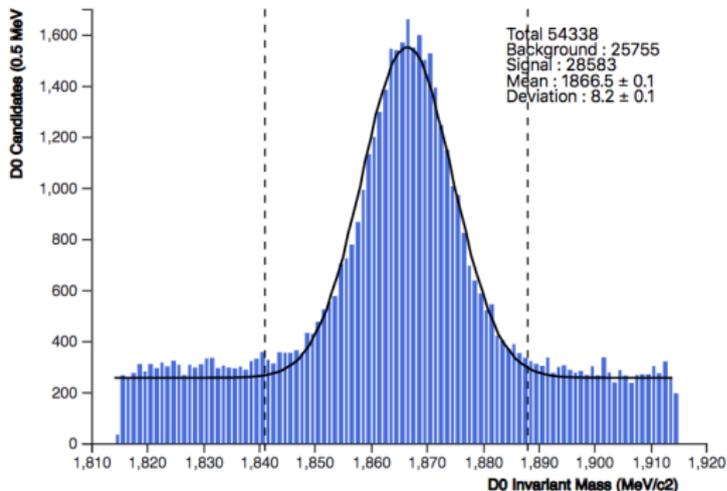
Signal range

1841 1888

Plot distributions

Variable range

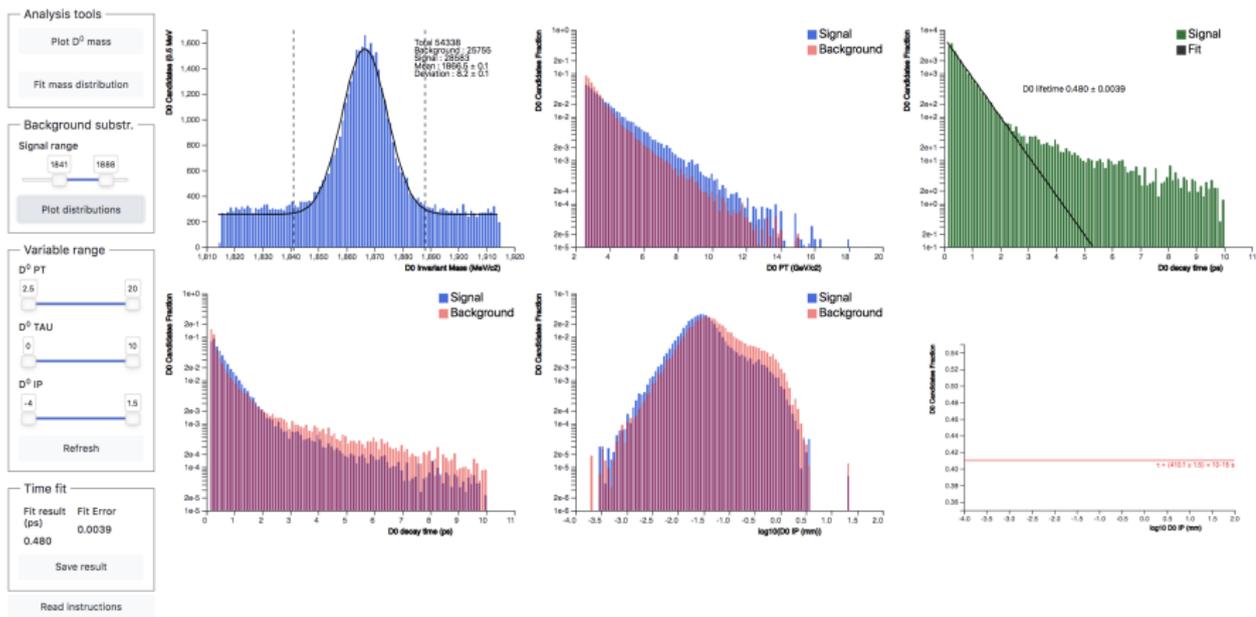
$D^0$  PT



- Usate il cursore “Background substr.-Signal range” per fissare i limiti di questa regione: questi saranno i limiti sulla massa entro cui è contenuto il segnale. I valori esterni a questo intervallo saranno considerati fondo

# Regioni di segnale/fondo

## $D^0$ lifetime Exercise

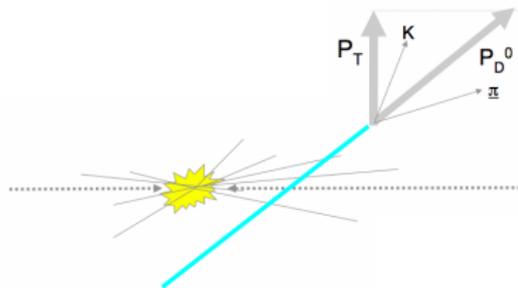
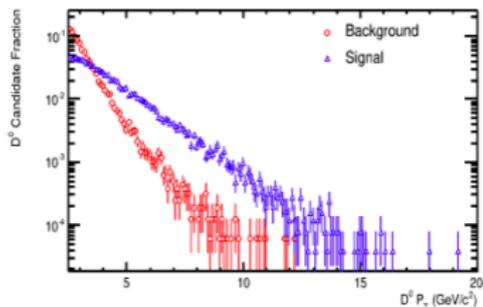


- Premere "Plot distributions": vedrai le distribuzioni relative agli eventi di segnale (blu) e fondo (rosso) per le altre variabili

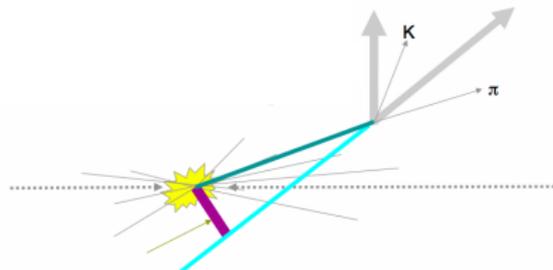
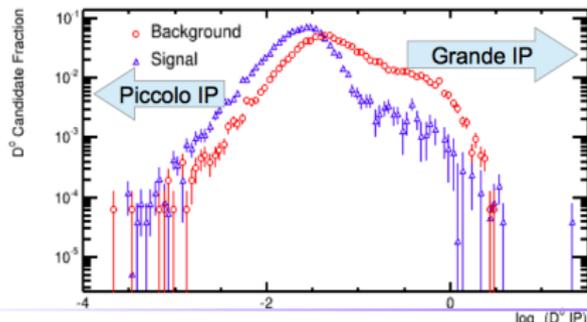
- Le caratteristiche degli eventi che stanno nelle due regioni sono diverse?

# Grafico variabili

Il  $D^0$  ha un elevato impulso trasverso



Il  $D^0$  proveniente dal vertice primario (dove si scontrano i protoni) ha un piccolo parametro di impatto rispetto al vertice primario



## Obiettivi dell'esercizio

- Primo obiettivo: riempire un istogramma con eventi di massa del  $D^0$ , selezionando un  $K$  e un  $\pi$  per ogni evento
- Secondo obiettivo: misurare il valore della massa del  $D^0$
- Terzo obiettivo: ottenere la distribuzione di alcune variabili per gli eventi di segnale e per gli eventi di fondo
- Quarto obiettivo: misuriamo finalmente la vita media della particella  $D^0$

# Misura della vita media del $D^0$

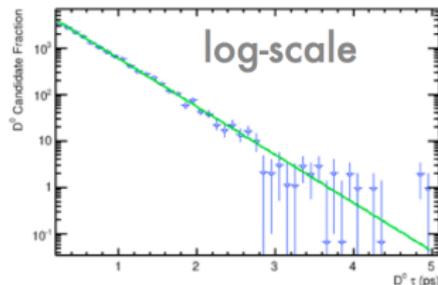
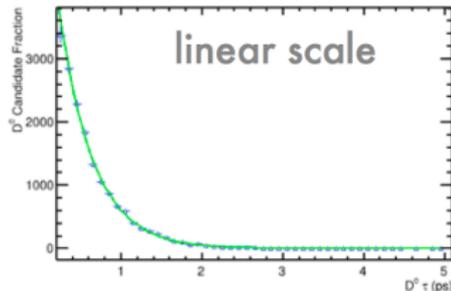
$$N(t) = N_0 \exp^{-\frac{t}{\tau}}$$

che sotto forma logaritmica diventa:

$$\ln(N(t)) = \ln(N_0) - \frac{t}{\tau}$$

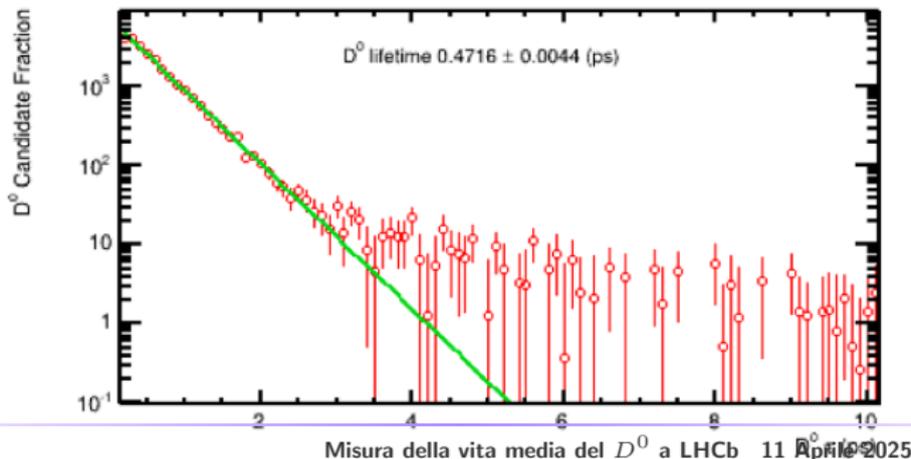
$$\ln(N(t)) = \text{costante} - \frac{t}{\tau}$$

che è una retta con pendenza  $-\frac{1}{\tau}$



# Misura della vita media del $D^0$

- Premi il pulsante “Fit tempo decadimento”
- Adattiamo la curva che descrive l'andamento del tempo di decadimento all'istogramma del tempo di decadimento del segnale
- Otteniamo il valore della vita media  $\tau$
- Confrontiamo il valore con quello del PDG



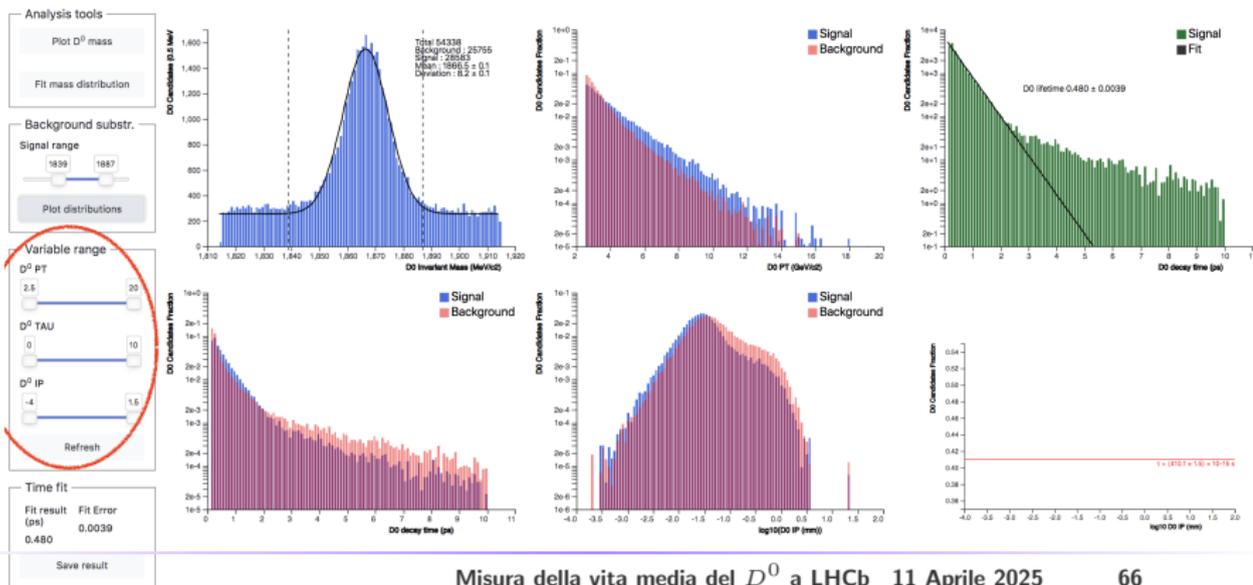
## Obiettivi dell'esercizio

- Primo obiettivo: riempire un istogramma con eventi di massa del  $D^0$ , selezionando un  $K$  e un  $\pi$  per ogni evento
- Secondo obiettivo: misurare il valore della massa del  $D^0$
- Terzo obiettivo: ottenere la distribuzione di alcune variabili per gli eventi di segnale e per gli eventi di fondo
- Quarto obiettivo: misuriamo finalmente la vita media della particella  $D^0$
- Quinto obiettivo: Grafico dell'andamento della vita media in funzione del parametro di impatto

- Abbiamo parlato prima che più dati avete a disposizione più la misura sarà precisa: questa è quella che chiamiamo incertezza statistica
- La vostra misura oltre alle incertezze statistiche possono essere affette anche da errori sistematici per esempio causati da una stima non corretta del fondo
- Un modo per stimare eventuali incertezze sistematiche è ripetere la misura cambiando i criteri usati per la selezione del segnale

- Cercate di minimizzare la quantità di fondo variando i valori accettati per  $p_T$ , IP e t (diverse sorgenti di fondo possibili) spostando i cursori in “Variable range”
- Per ogni cambiamento nel “Variable range” cliccate su “Refresh”
- Vi compare il valore per la vita media del  $D^0$  interpolando la distribuzione dei tempi di decadimento (in scala logaritmica) con una retta

### $D^0$ lifetime Exercise



- Per ogni valore salvate il risultato premendo il tasto “Save result”
- Vi aggiungerà un punto nel grafico in basso a destra

### $D^0$ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot  $D^0$  mass

Fit mass distribution

---

Background substr.

Signal range

1839 1887

Plot distributions

---

Variable range

$D^0$  PT

2.5 20

$D^0$  TAU

0 10

$D^0$  IP

-4 1.5

Refresh

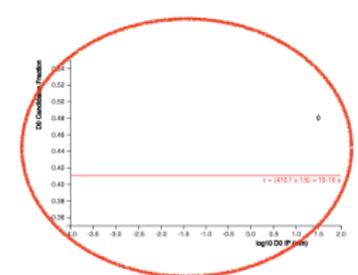
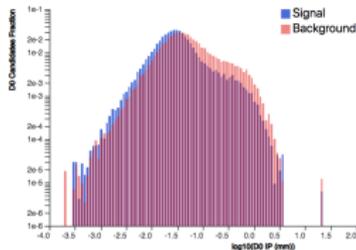
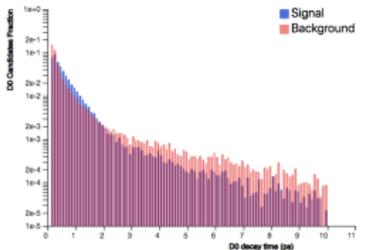
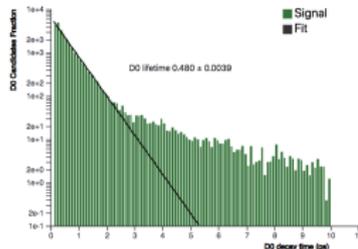
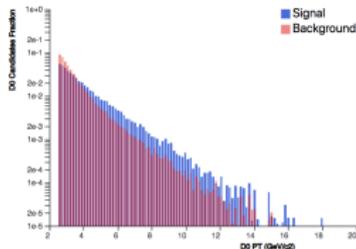
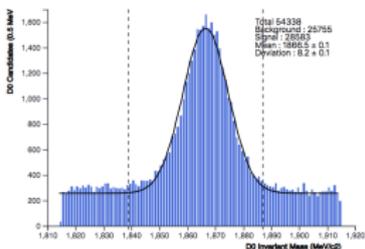
---

Time fit

Fit result (ps)	Fit Error (ps)
0.480	0.0039

Save result

Read instructions

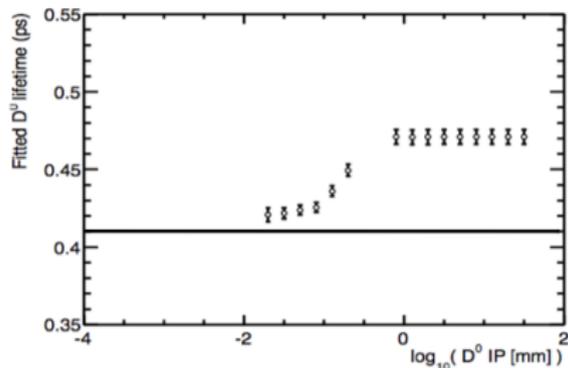


v0.1

- Provate a rimuovere per esempio gli eventi con parametro di impatto più grande
- Riducete il limite superiore del taglio sul parametro di impatto  $D^0$  IP
- Ripetete le operazioni precedenti
- Come è l'andamento?

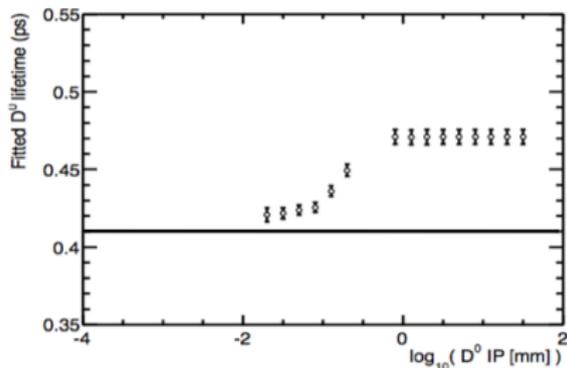
# Risultato

- Rimuovendo gli eventi con parametro di impatto più grande cosa succede?



# Risultato

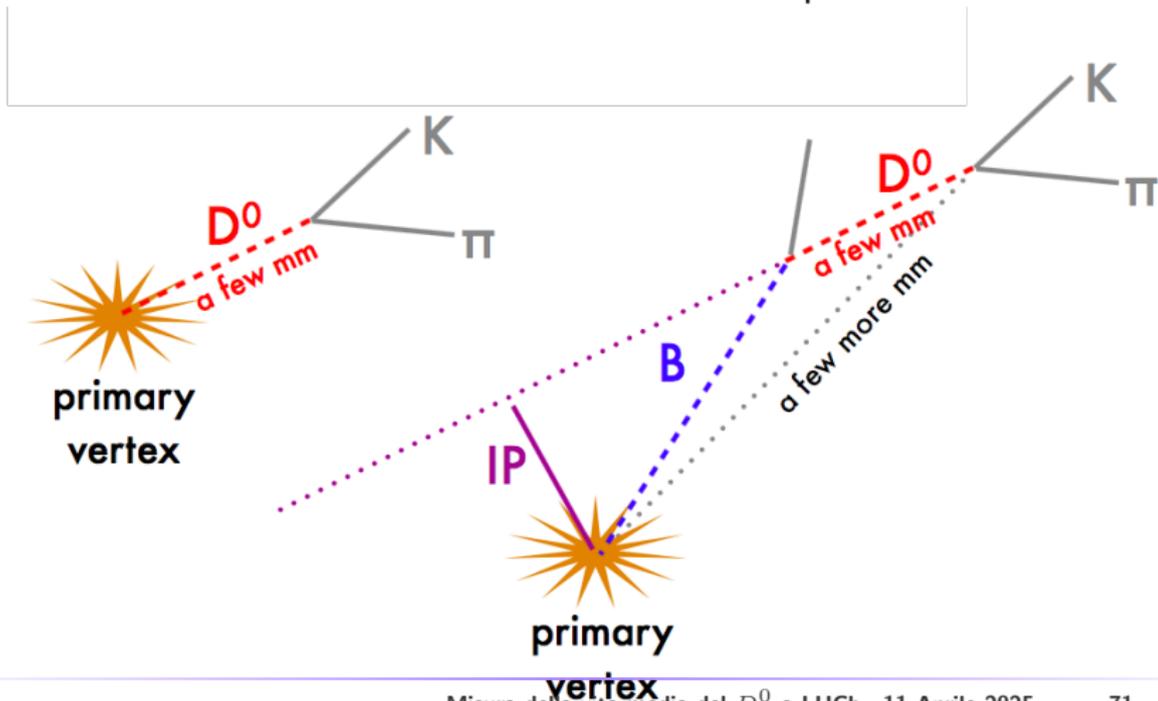
- Rimuovendo gli eventi con parametro di impatto più grande il valore della vita media diminuisce, perché?



# Risultato

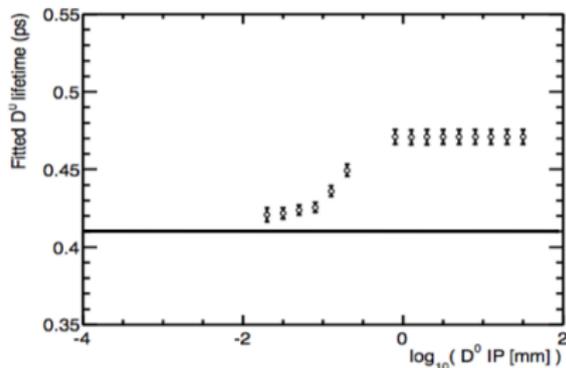
Produzione diretta:

Produzione dal decadimento di una  
particella  $B$ :



# Risultato

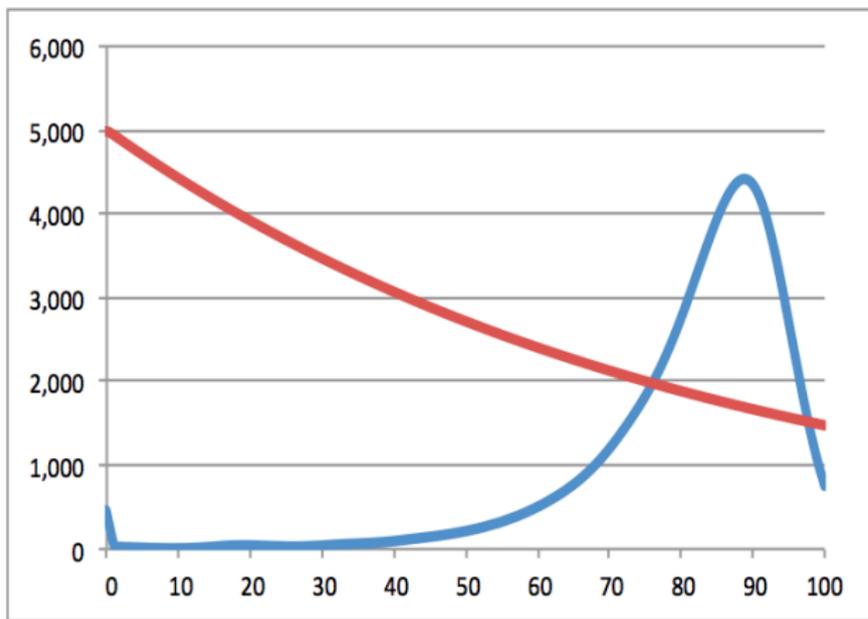
- Rimuovendo gli eventi con parametro di impatto più grande il valore della vita media diminuisce
- Abbiamo rimosso i  $D^0$  che sono decaduti da  $B^0$
- Per questi eventi il tempo misurato è la somma del tempo di decadimento del  $B$  più quella del  $D^0$



Spare slides

## E per gli esseri umani?

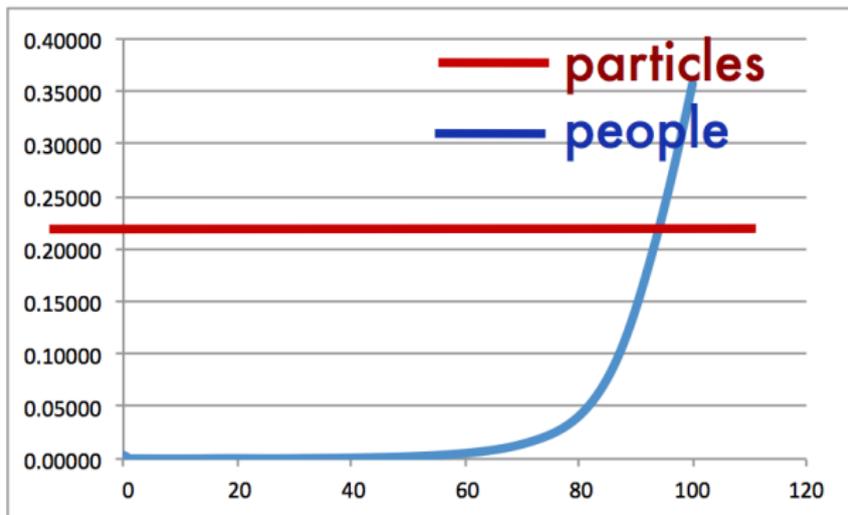
- Confrontiamo la distribuzione di decadimento delle particelle con la distribuzione della probabilità di morte degli esseri umani



— particle  
— people

## E per gli esseri umani?

- Probabilità che, data una persona/particella che è sopravvissuta fino ad un'età  $x$ , muoia/decada nell'anno successivo



- Le particelle possono decadere ma non invecchiano!
- La forma della distribuzione del tempo di decadimento è una diretta conseguenza di questo

# Dove?

- Faremo questa misura all'esperimento LHCb al CERN di Ginevra



