

**Misura della vita media della particella D^0
con i dati raccolti all'acceleratore LHC del CERN
dall'esperimento LHCb**



CERN

Centro Europeo per la Ricerca Nucleare



***Fondato nel 1954 da 12 stati europei (tra i quali l'Italia), oggi ha 23 stati membri.
Oltre 600 istituti e università sparse in tutto il mondo collaborano
agli esperimenti presso il CERN.***

CERN



*Scoperta dei bosoni W e Z₀
Carlo Rubbia e Simon Van Der Meer
Premi Nobel 1984*



*World Wide Web inventato al CERN
nel 1990 da Tim Berners-Lee*

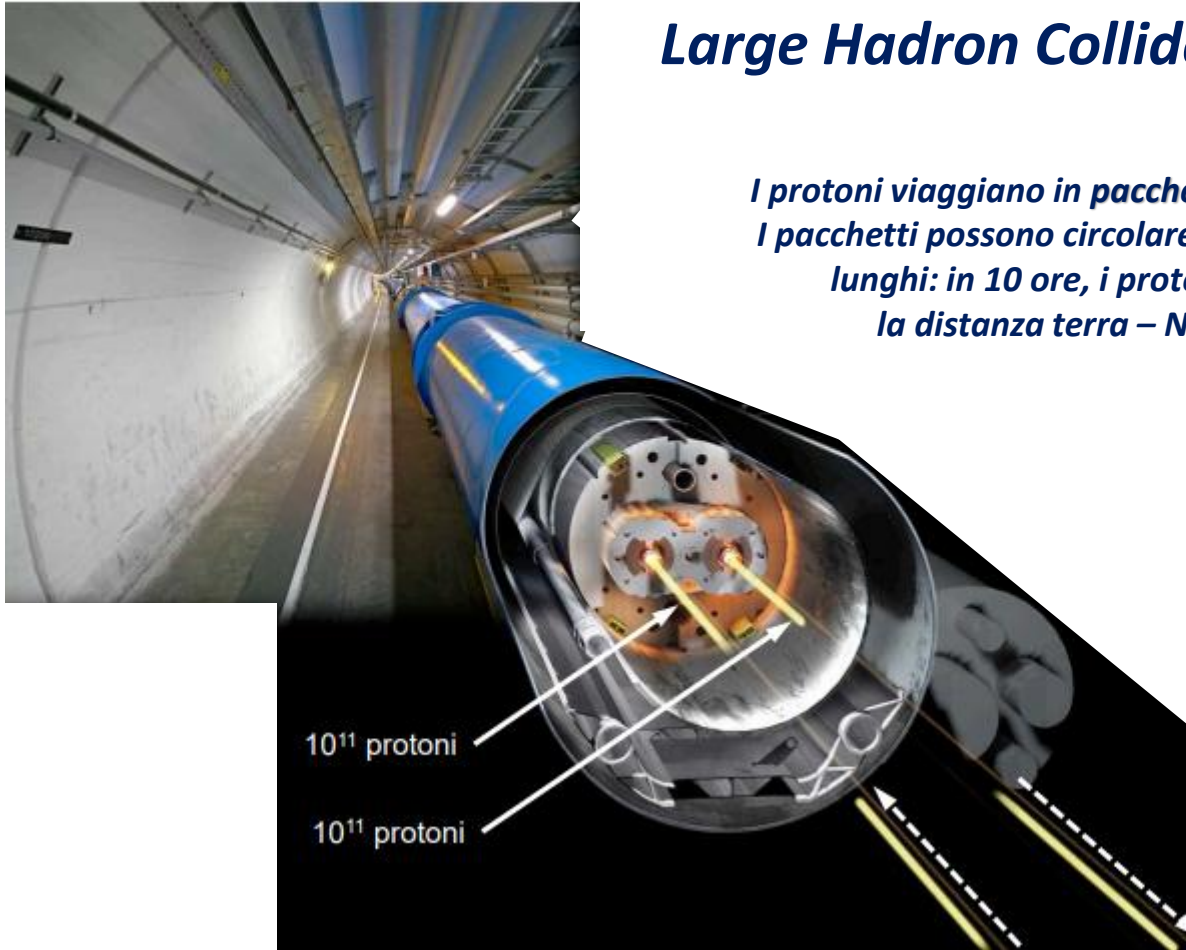


*Scoperta del bosone di Higgs
Francois Englert e Peter Higgs
Premi Nobel 2013*

LHC

Large Hadron Collider

*I protoni viaggiano in pacchetti separati temporalmente di 25ns.
I pacchetti possono circolare ininterrottamente per tempi molto lunghi: in 10 ore, i protoni di LHC percorrono due volte la distanza terra – Nettuno, ben 9 miliardi di km!*



Due fasci di protoni sono accelerati a velocità prossime a quella della luce lungo un anello di 27 km di circonferenza, costruito a circa 100 m sotto terra.

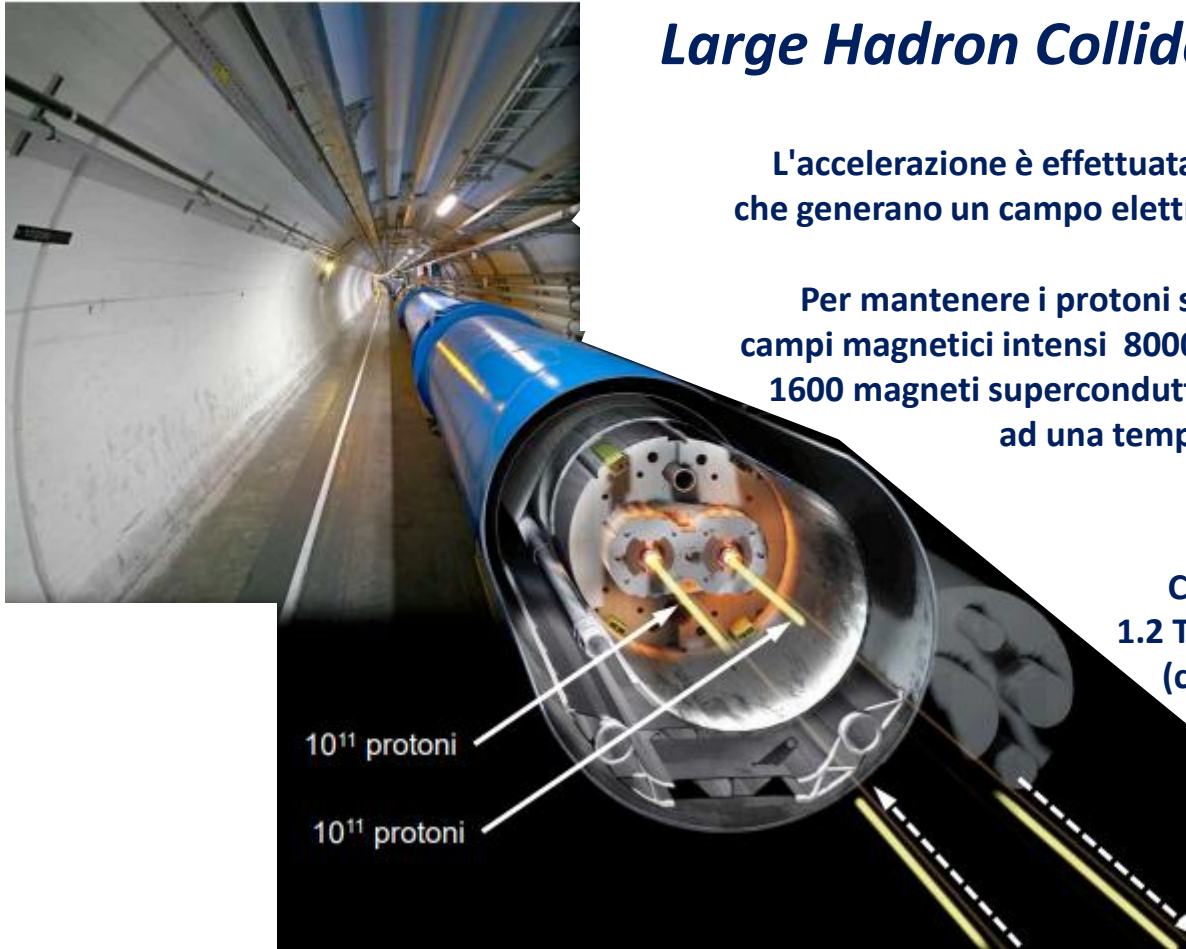
LHC

Large Hadron Collider

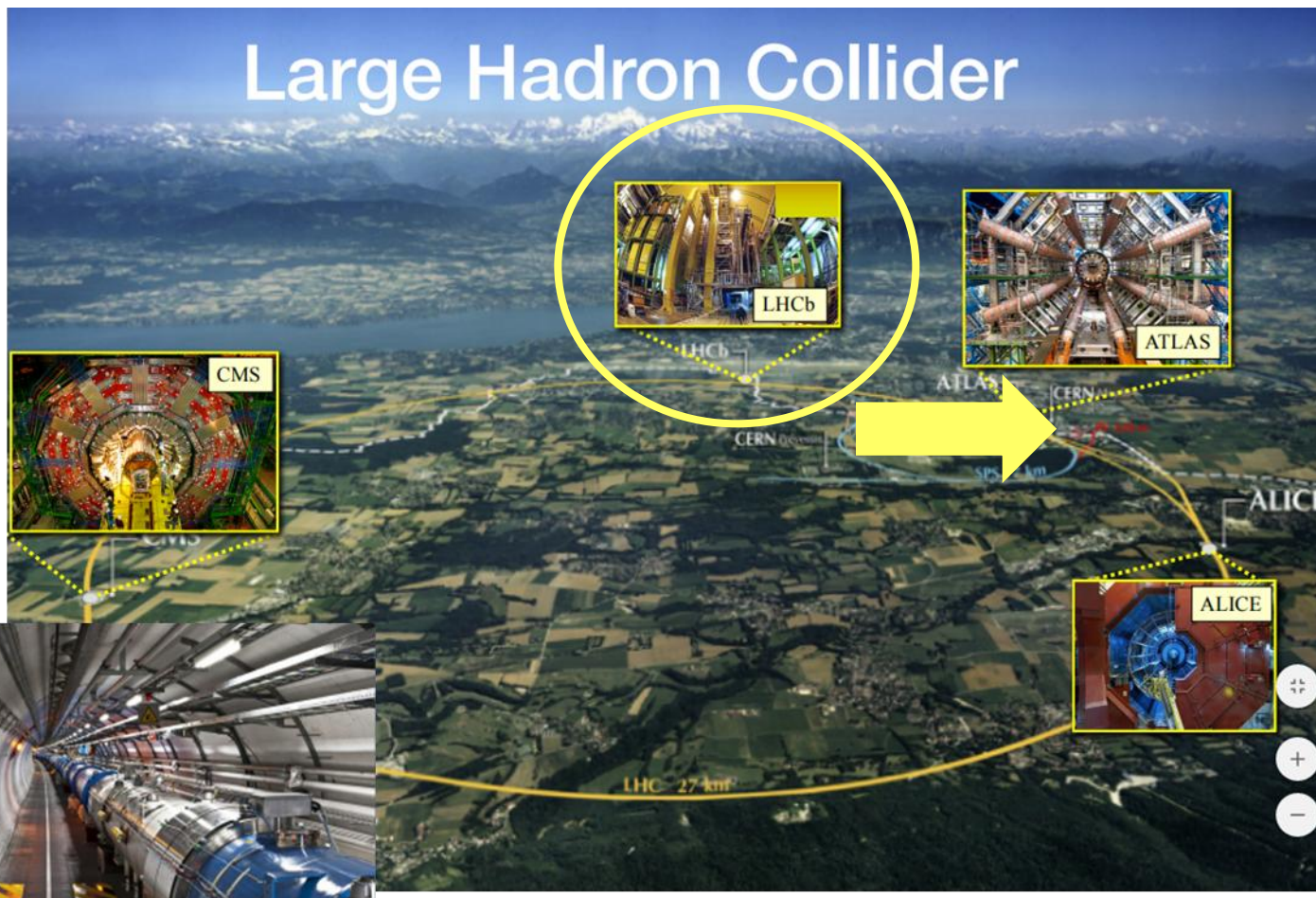
L'accelerazione è effettuata tramite cavità elettromagnetiche che generano un campo elettrico alternato ad altissima frequenza.

Per mantenere i protoni sull'orbita circolare sono necessari campi magnetici intensi 80000 volte il campo magnetico terrestre; 1600 magneti superconduttori sono raffreddati con elio liquido ad una temperatura di -271.25°C .

Consumo di energia elettrica CERN:
1.2 TWh per anno, di cui 50% circa per LHC
(consumo di circa 300000 abitazioni)



Due fasci di protoni sono accelerati a velocità prossime a quella della luce lungo un anello di 27 km di circonferenza, costruito a circa 100 m sotto terra.



I due fasci di protoni collidono in quattro punti ove sono collocati i 4 esperimenti principali.

LHCb è uno degli esperimenti operanti all'acceleratore LHC e studia in particolare le proprietà delle (anti-)particelle contenenti i quark beauty (b) e charm (c) prodotte nelle collisioni p-p.

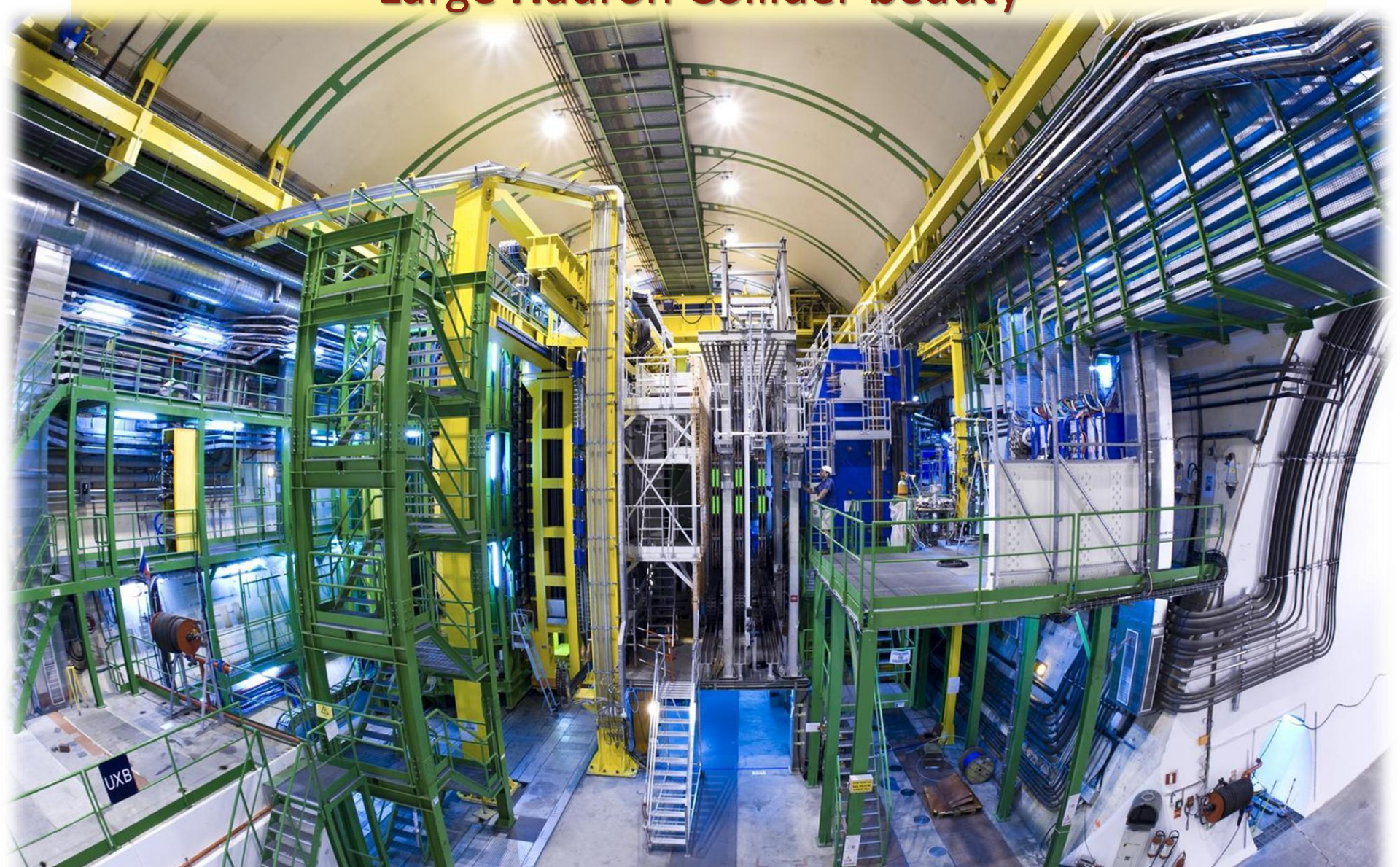
L'esperimento LHCb: Large Hadron Collider beauty



*Il nostro universo è costituito essenzialmente da materia.
Sappiamo peraltro che, al momento del Big Bang, circa 14 miliardi di anni fa,
materia e anti-materia sono state prodotte in egual quantità.
Dove è finita l'anti-materia?*

*L'esperimento LHCb è stato progettato per studiare se vi siano differenze
nel comportamento di particelle ed antiparticelle contenenti i quark b e c
tali da spiegare perché la natura preferisca la materia all'antimateria
e far luce così su uno dei misteri fondamentali del nostro universo.*

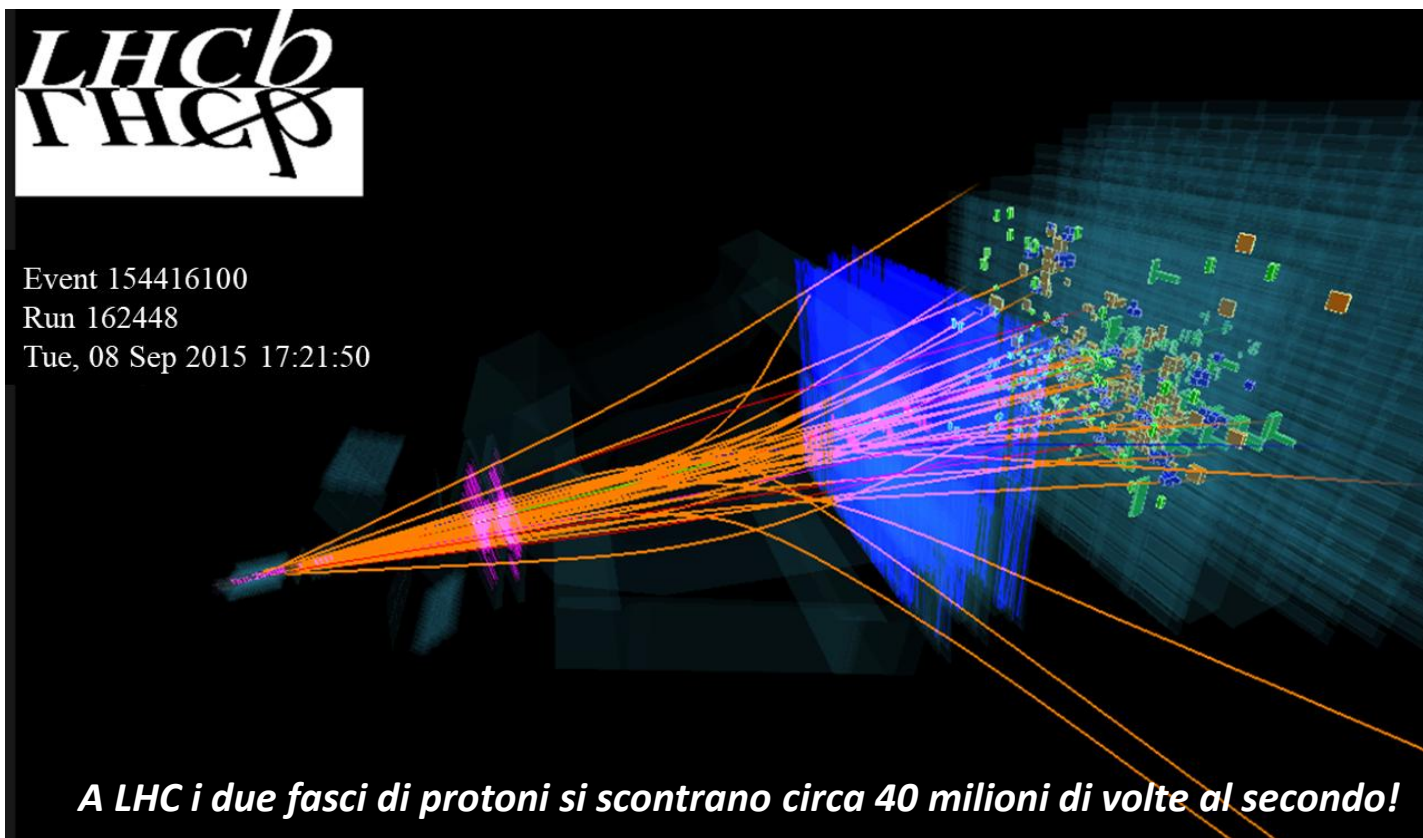
L'esperimento LHCb: Large Hadron Collider beauty



Apparato sperimentale: lunghezza circa 20 m, altezza 10 m, ha una massa di circa 5600 tonnellate!



Cosa succede quando due fasci di protoni di altissima energia vengono fatti collidere?

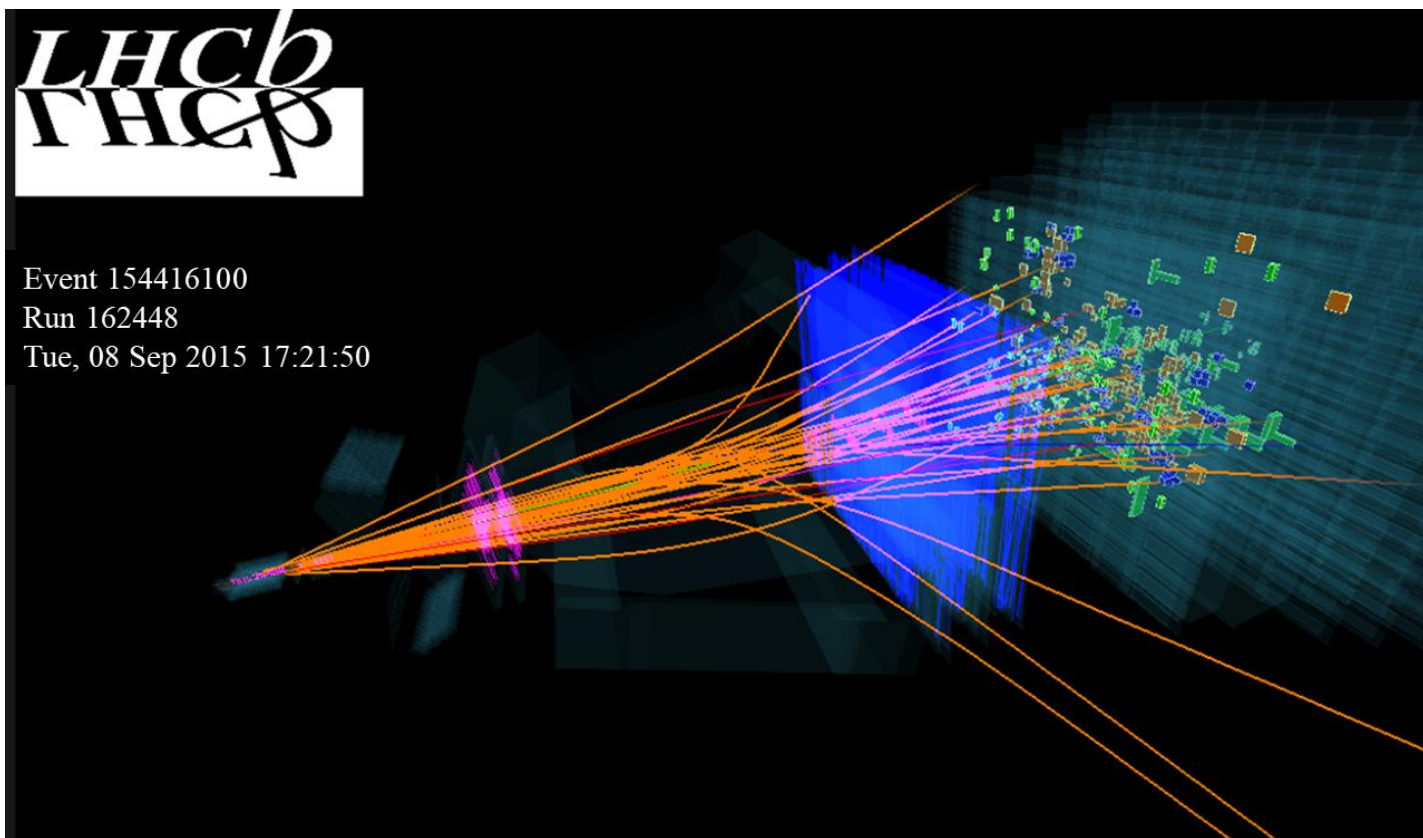


*Si producono tantissime particelle! Molte di queste particelle possono essere **rivelate** grazie alle tracce da esse lasciate in uno o più rivelatori che compongono l'apparato sperimentale.*

In figura, è rappresentato un tipico evento (collisione protone-protone) registrato da LHCb.



Cosa succede quando due fasci di protoni di altissima energia vengono fatti collidere?

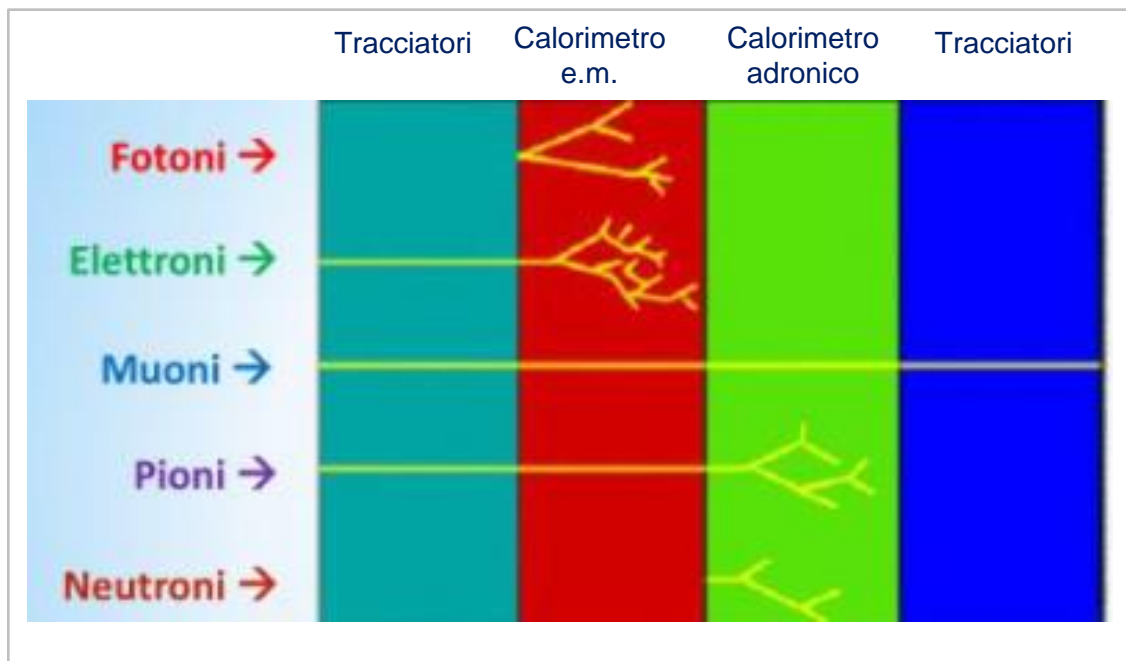


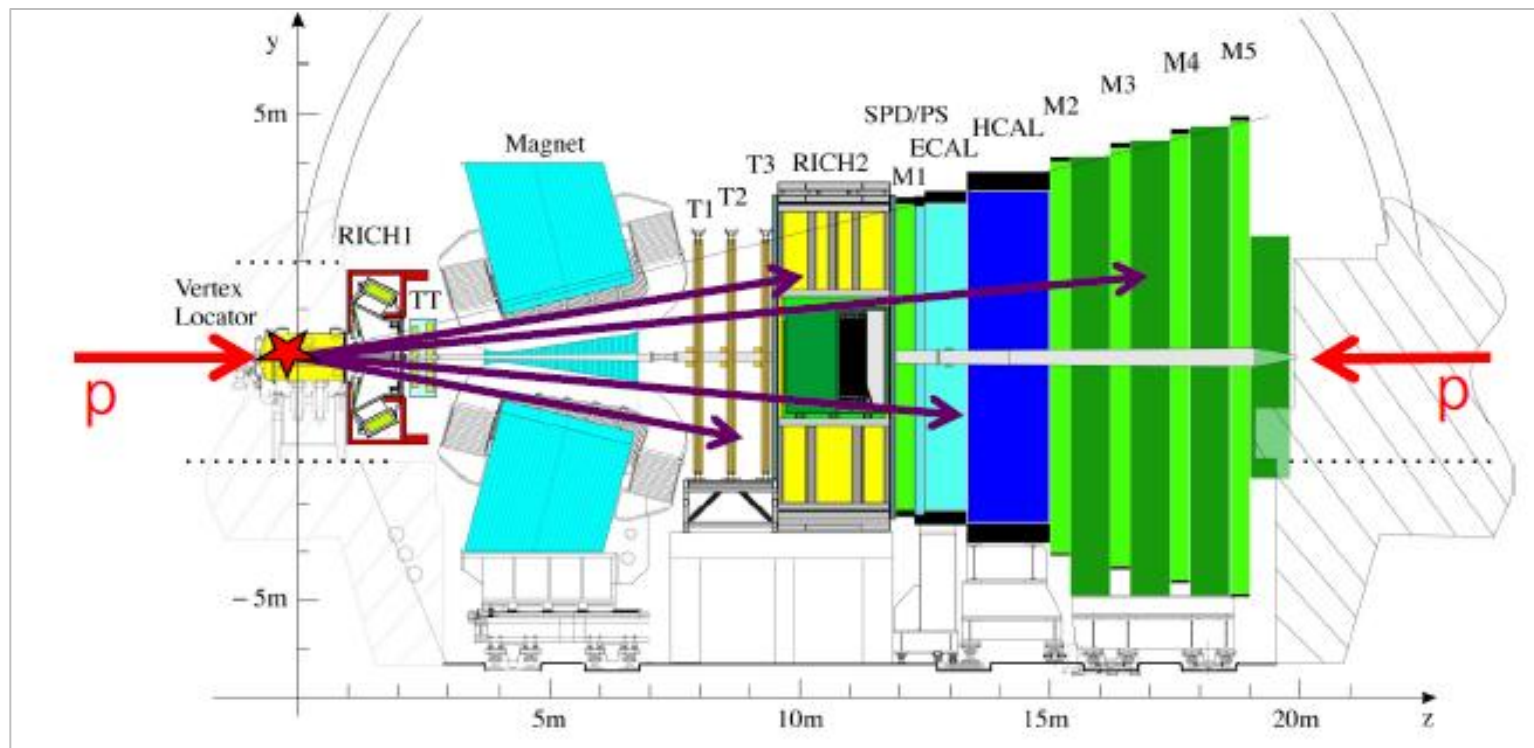
*Per **ricostruire** un evento, è necessario combinare le informazioni registrate da diversi rivelatori che ci permettono di misurare le proprietà delle particelle prodotte nelle interazioni.*

Come si rivelano le particelle?



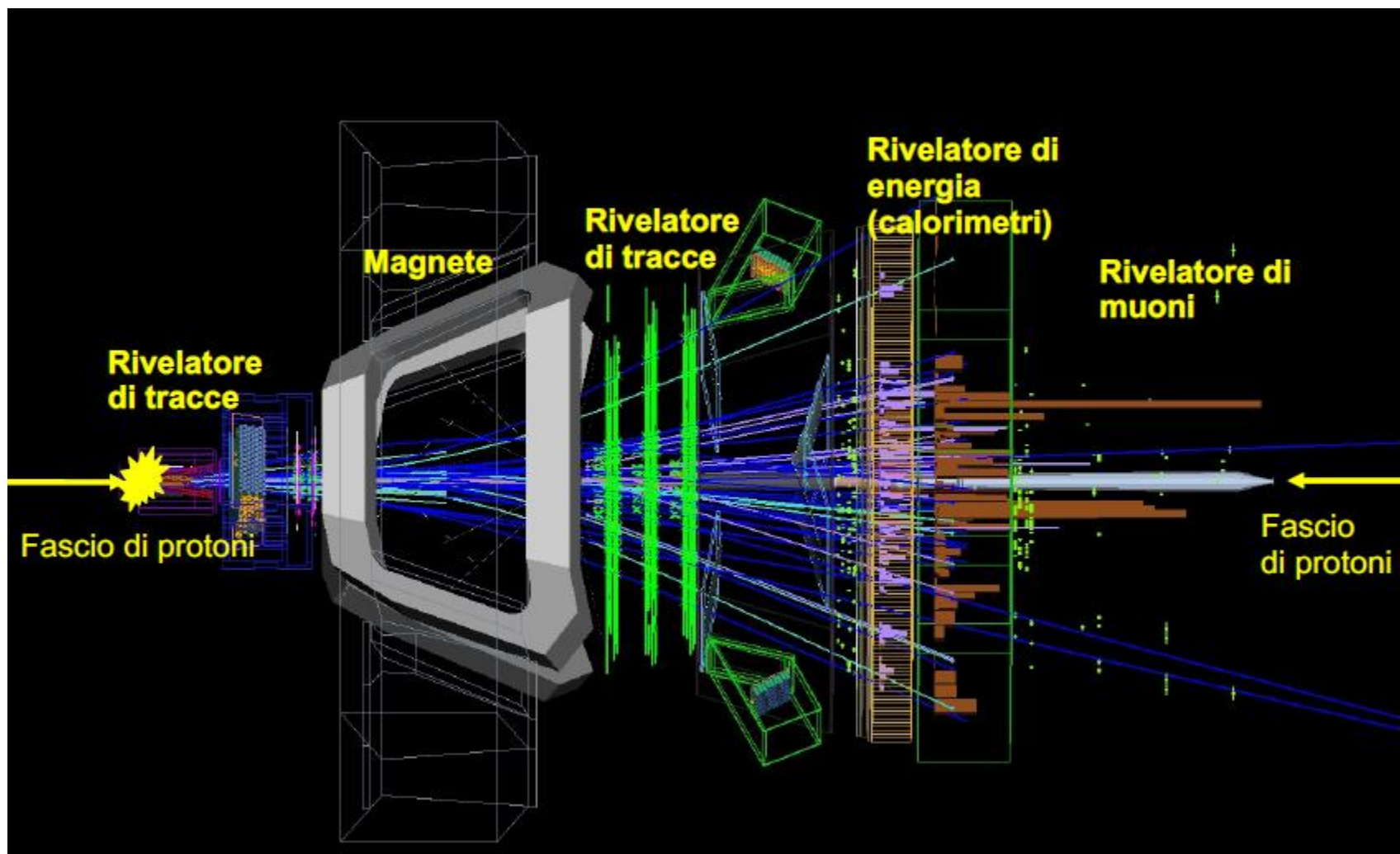
- Le particelle vengono rivelate e identificate grazie ai diversi meccanismi di interazione con la materia.
- Un apparato sperimentale come LHCb è tipicamente costituito da tanti rivelatori, ciascuno sensibile ad una particolare caratteristica delle particelle che lo attraversano.





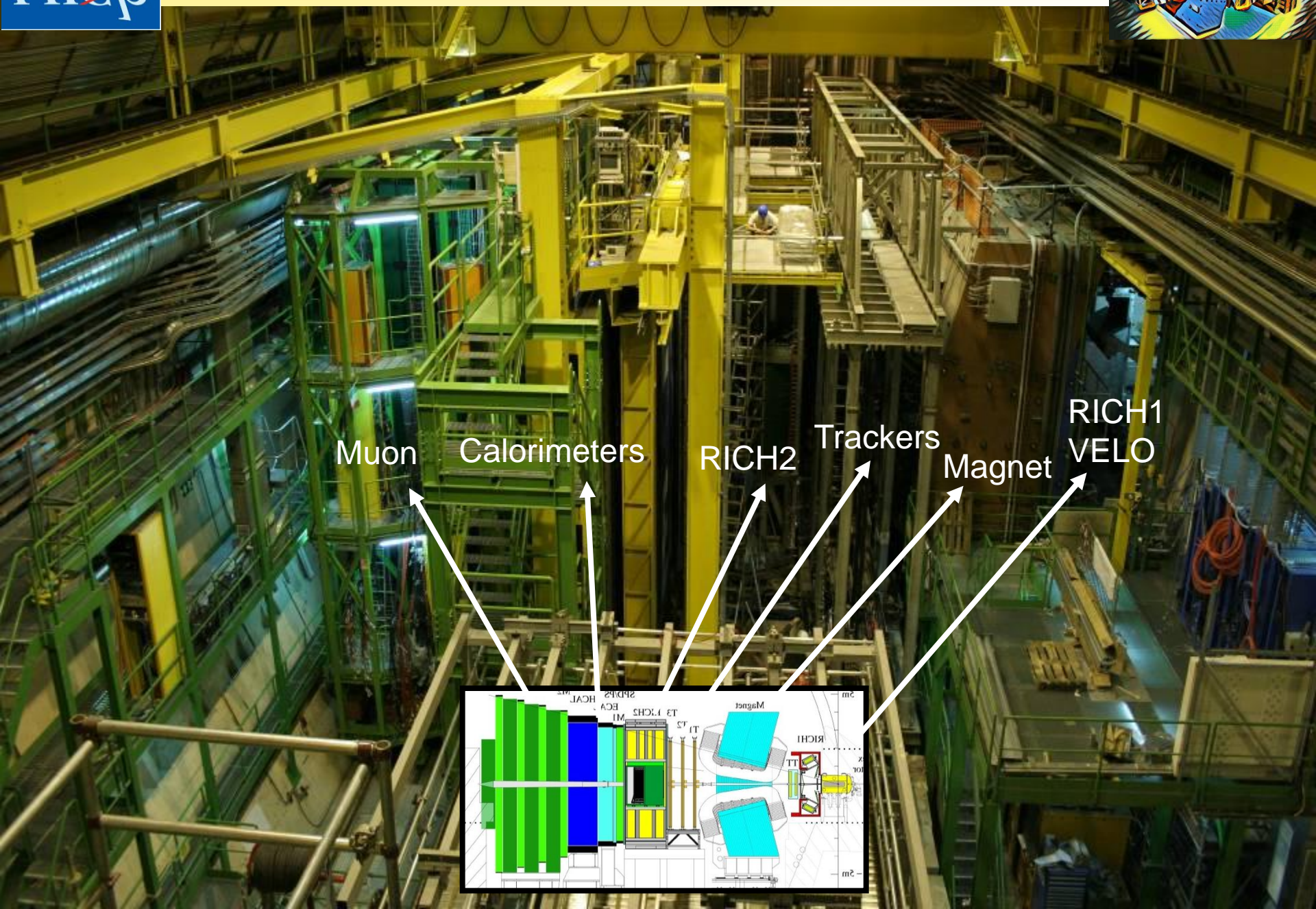
Spettrometro in avanti

in grado di misurare particelle prodotte ad angoli relativamente piccoli (entro $\sim 15^\circ$) rispetto alla direzione dei fasci collidenti



Il rivelatore LHCb è costituito da una serie di sotto-rivelatori di diverso tipo, posizionati in successione al di là del punto di interazione.

L'esperimento LHCb



Muon

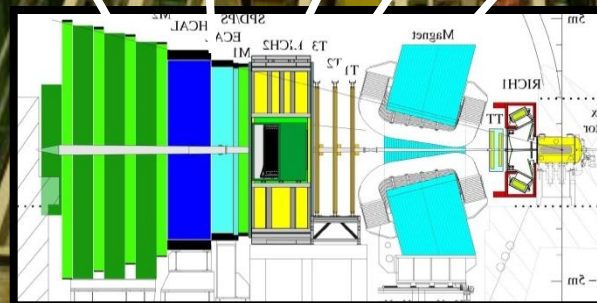
Calorimeters

RICH2

Trackers

Magnet

RICH1
VELO





Oggi utilizzerete un campione di dati raccolti dall'esperimento LHCb in collisioni protone-protone all'acceleratore LHC.

L'esercizio sarà diviso in due parti.

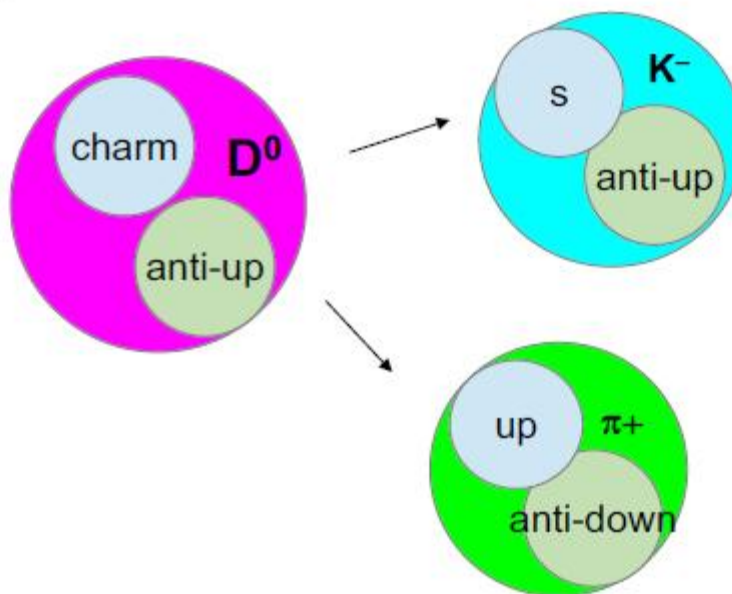
- PRIMA PARTE: selezionare le particelle D^0 prodotte nelle interazioni
- SECONDA PARTE: misurare la vita media della particella D^0



La particella D^0 è un mesone (=adrone composto da quark e antiquark) prodotto copiosamente nelle interazioni protone-protone ad LHC.

È una particella elettricamente neutra.

È una particella instabile: dopo aver percorso distanze \sim mm, decade (si disintegra) in particelle più leggere, per esempio un kaone e un pione.
In media una D^0 sopravvive $\sim 0.4 \times 10^{-12}$ s, meno di un picosecondo!

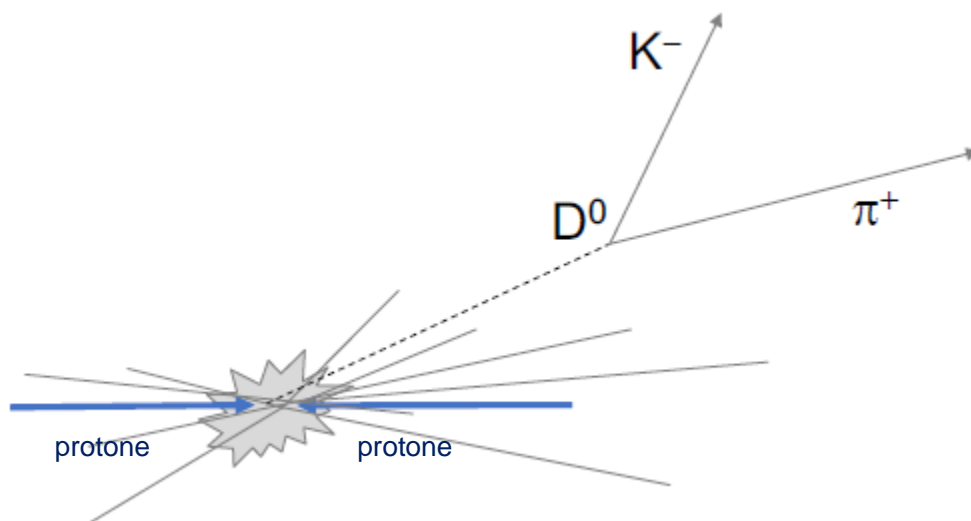


La particella D^0 : come rivelarla



La particella D^0 non lascia traccia nell'apparato sperimentale di LHCb.
Essa può essere rivelata a partire dalle tracce delle due particelle (kaone e pione) in cui decade.

Kaone e pione sono particelle elettricamente cariche e percorrono una distanza sufficiente per essere rivelate e identificate nel rivelatore LHCb.



Poiché la particella D^0 è elettricamente neutra, il kaone e il pione devono avere carica elettrica opposta.



Dalla fisica *classica* (la fisica che si studia a scuola), sappiamo che un corpo di massa m e velocità v possiede un'energia cinetica pari a:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$$

con $p = mv$ impulso (o momento o quantità di moto).

La massa della particella può quindi essere calcolata come:

$$m = \frac{p^2}{2E}$$

a partire dalla misura della sua energia e del suo impulso.

Queste relazioni non sono più valide per particelle che viaggiano a velocità prossime alla velocità della luce nel vuoto $c \sim 300,000$ km/s.



**Per particelle che viaggiano a velocità prossime alla velocità della luce
 $c \sim 300,000$ km/s, l'energia risulta pari a:**

$$E^2 = p^2 c^2 + (mc^2)^2$$

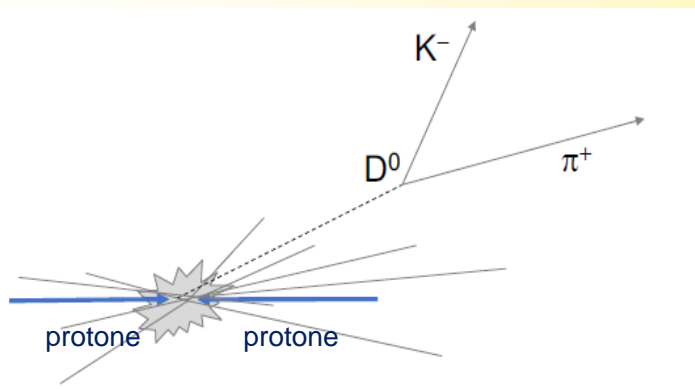
La massa della particella può quindi essere calcolata come:

$$mc^2 = \sqrt{E^2 - p^2 c^2}$$

La particella D^0 : come rivelarla



La particella D^0 può essere rivelata a partire dalla misura dell'energia e dell'impulso del kaone e del pione prodotti nel decadimento:



$$\vec{p}_{D^0} = \vec{p}_k + \vec{p}_\pi$$

$$E_{D^0} = E_k + E_\pi$$

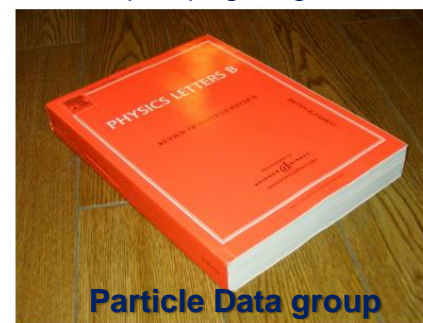
$$m_{D^0}c^2 = \sqrt{E_{D^0}^2 - p_{D^0}^2c^2}$$

Il valore della massa della particella D^0 , misurata da diversi esperimenti, è:

$$m_{D^0} = (1864.83 \pm 0.05) \text{MeV}/c^2$$

<https://pdg.lbl.gov/>

Incertezza sulla misura



Cosa è l'elettronVolt?



Si definisce elettronVolt l'energia acquistata da una particella con carica elettrica pari a quella dell'elettrone ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$), accelerata da una differenza di potenziale elettrico pari a 1 Volt:

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

In fisica spesso si utilizzano multipli dell'eV:

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

I protoni di LHC sono accelerati fino ad una energia di quasi 7 TeV!



Il valore della massa della particella D^0 è

$$m_{D^0} = 1864.8 \text{ MeV}/c^2$$

A quanti kg corrisponde?





Il valore della massa della particella D^0 è

$$m_{D^0} = 1864.8 \text{ MeV}/c^2$$

A quanti kg corrisponde?

$$m_{D^0} \approx 3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

**Per confronto, la massa di un protone è pari a $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ($938 \text{ MeV}/c^2$),
la massa di un elettrone è $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ($511 \text{ keV}/c^2$).**



Oggi utilizzerete un campione di dati raccolti dall'esperimento LHCb in collisioni protone-protone all'acceleratore LHC.

L'esercizio sarà diviso in due parti.

- **PRIMA PARTE:** selezionare le particelle D^0 prodotte nelle interazioni
- **SECONDA PARTE:** misurare la vita media della particella D^0



ESERCIZIO MASTERCLASS: PARTE I

- Collegarsi all'indirizzo <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

Firstname

Surname

Grade

Combination

Save

- Inserire i propri dati
- Selezionare la combinazione
- Cliccare il tasto *Save*

- Cliccare su *Event Display*



Event Display



D0 Lifetime



Event Display Exercise

Event handler
event_5_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

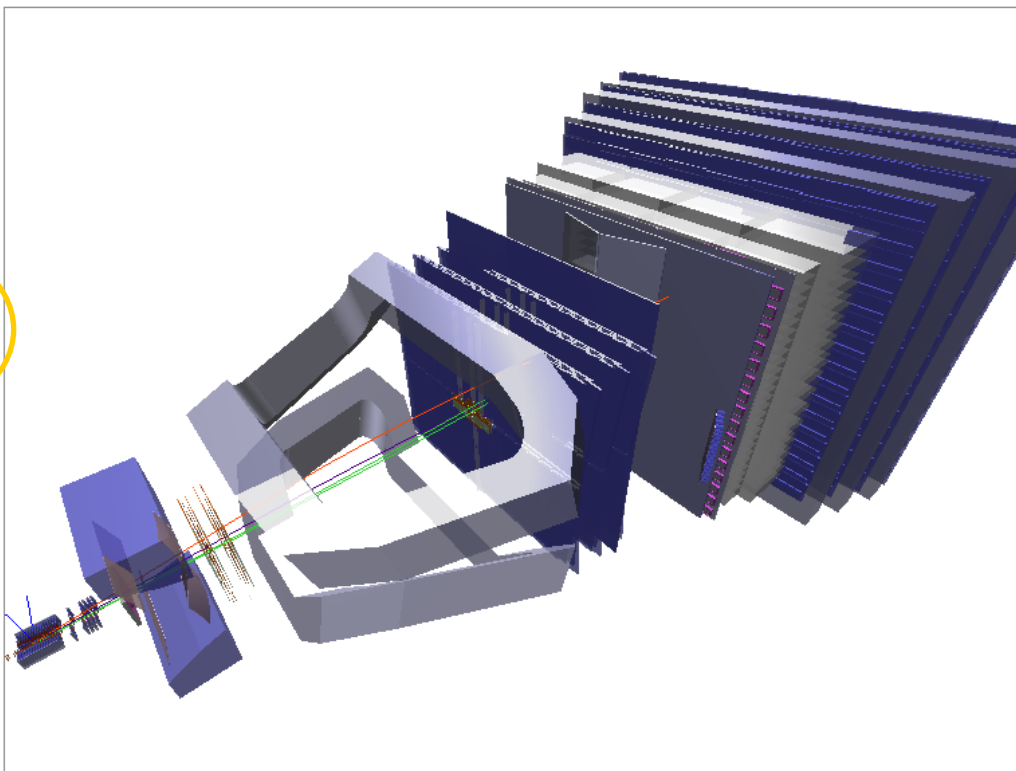
K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —



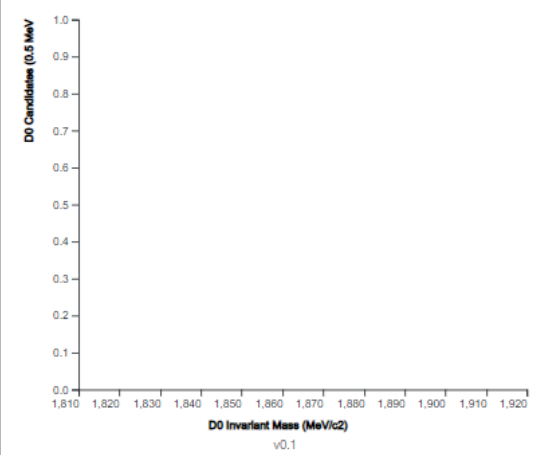
Particle information

E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c ²
name	
ZFstM	

My particles

Mass MeV/c²

Add





Event Display Exercise

Event handler
event_5_0.json

previous

next

View

- Zoom
- Detector
- Help

View ▾

Auto rotate

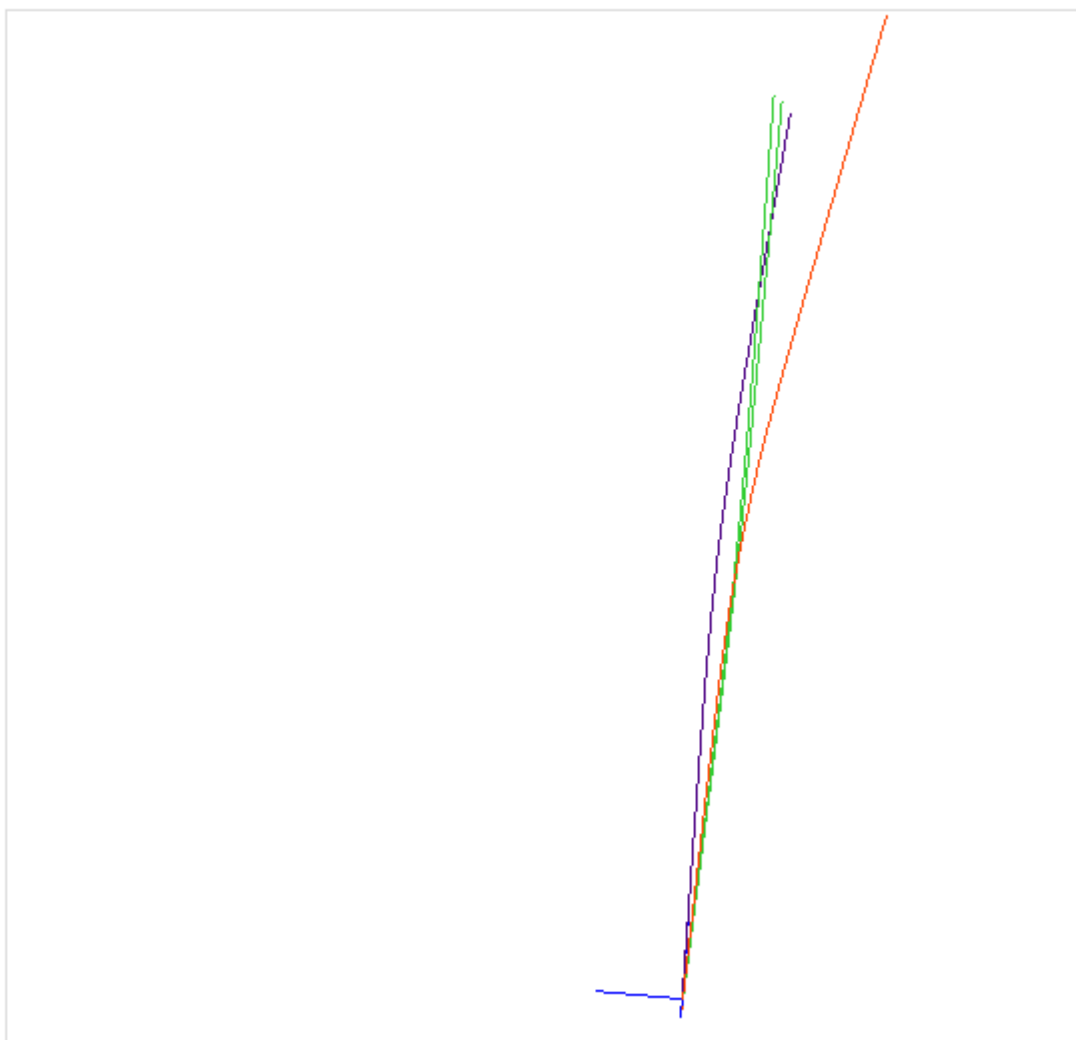


Legend

- K^- —
- K^+ —
- π^+ —
- π^- —
- D^0 —

Read instructions

Download JSON





Posizionando il mouse sulla traccia di una particella, ne compaiono le proprietà nel box a destra.
Cliccando sulla traccia, la particella viene selezionata.

[About](#)
[Language](#)

LHCb Masterclass

Event Display Exercise

Event handler
 event_5_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

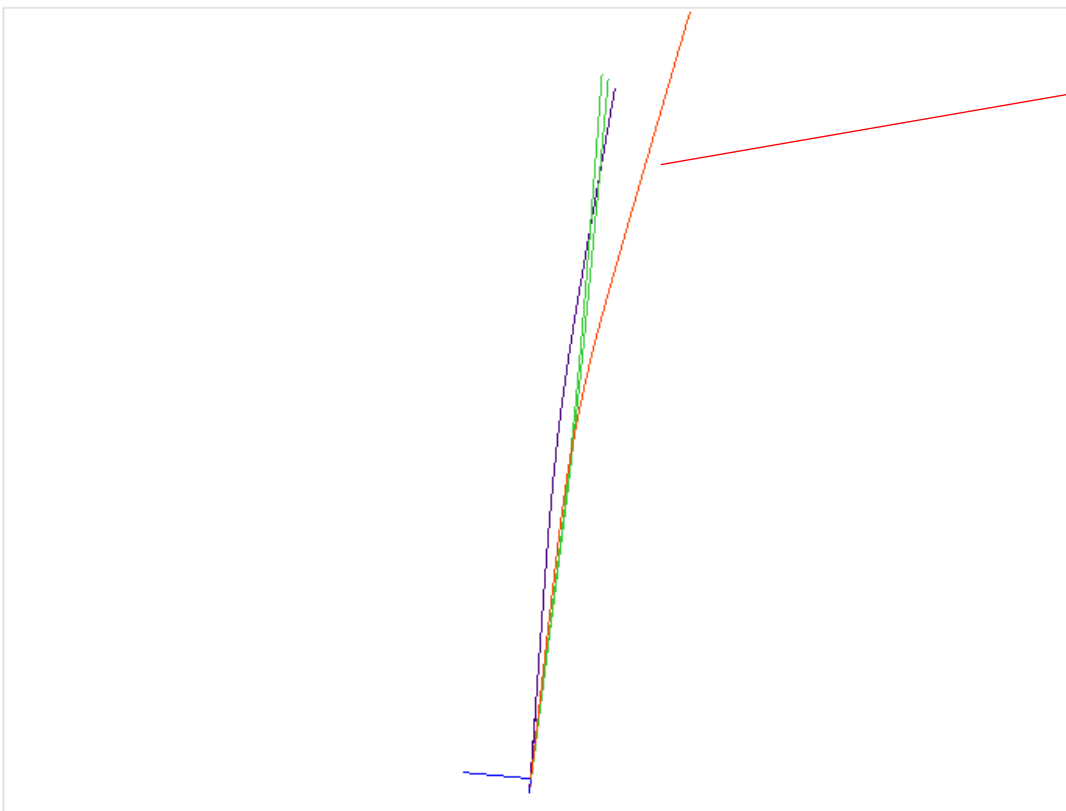
K⁻

K⁺

pi⁺

pi⁻

D⁰



Particle information

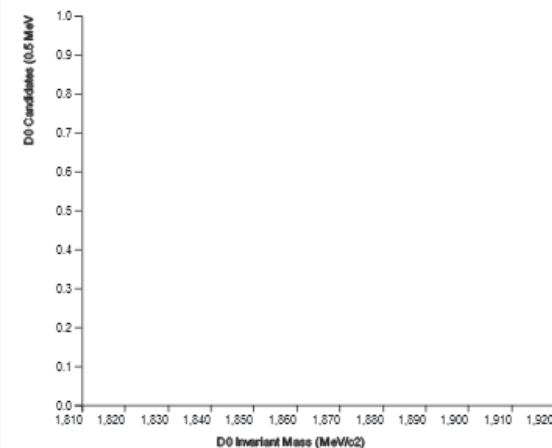
E	7887.708	MeV
chi2	1.041	
ipchi2	12.935	
mass	493.677	MeV/c ²
name	K ⁻	
ZFstM	-70.502	

My particles

K⁻

Mass MeV/c²

Add



v0.1

Read instructions

Download JSON



Posizionando il mouse sulla traccia di una particella, ne compaiono le proprietà nel box a destra.
Cliccando sulla traccia, la particella viene selezionata.

[About](#)
[Language](#)

LHCb Masterclass

Event Display Exercise

Event handler
 event_5_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

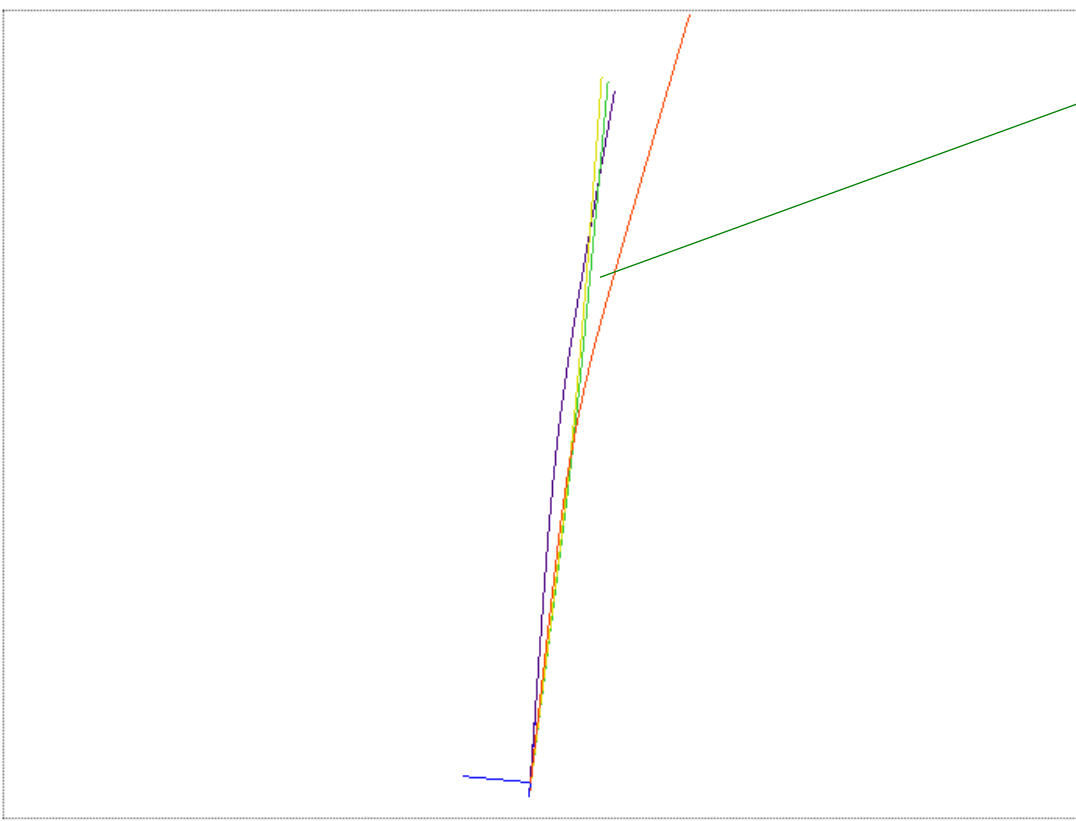
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



Particle information

E	28002.204	MeV
chi2	0.996	
ipchi2	0.319	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	-40.634	

My particles

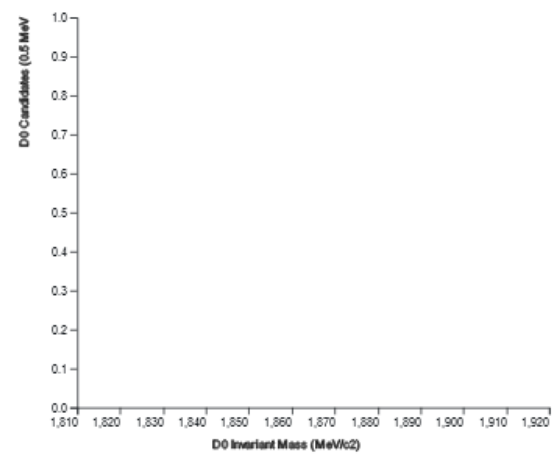
K⁻

pi⁺

Mass

1854.675 MeV/c²

Add



v0.1



Event Display Exercise

Event handler
event_5_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

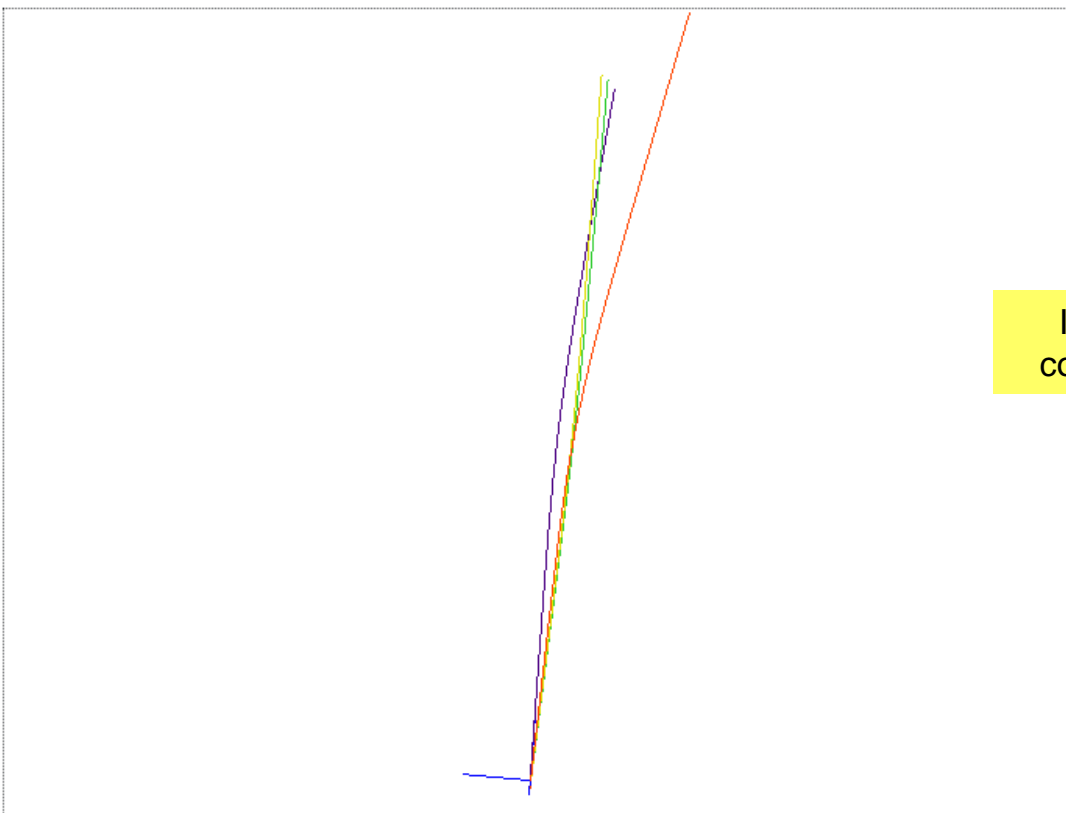
K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —



Particle information

E	28002.204	MeV
chi2	0.996	
ipchi2	0.319	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	-40.634	

My particles

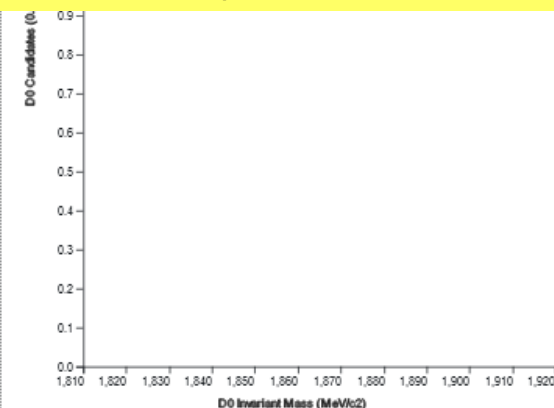
K⁻

pi⁺

Mass MeV/c²

Add

Il programma calcola la massa della combinazione di particelle selezionate.



v0.1

[Read instructions](#)

[Download JSON](#)



Event Display Exercise

Event handler
event_5_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

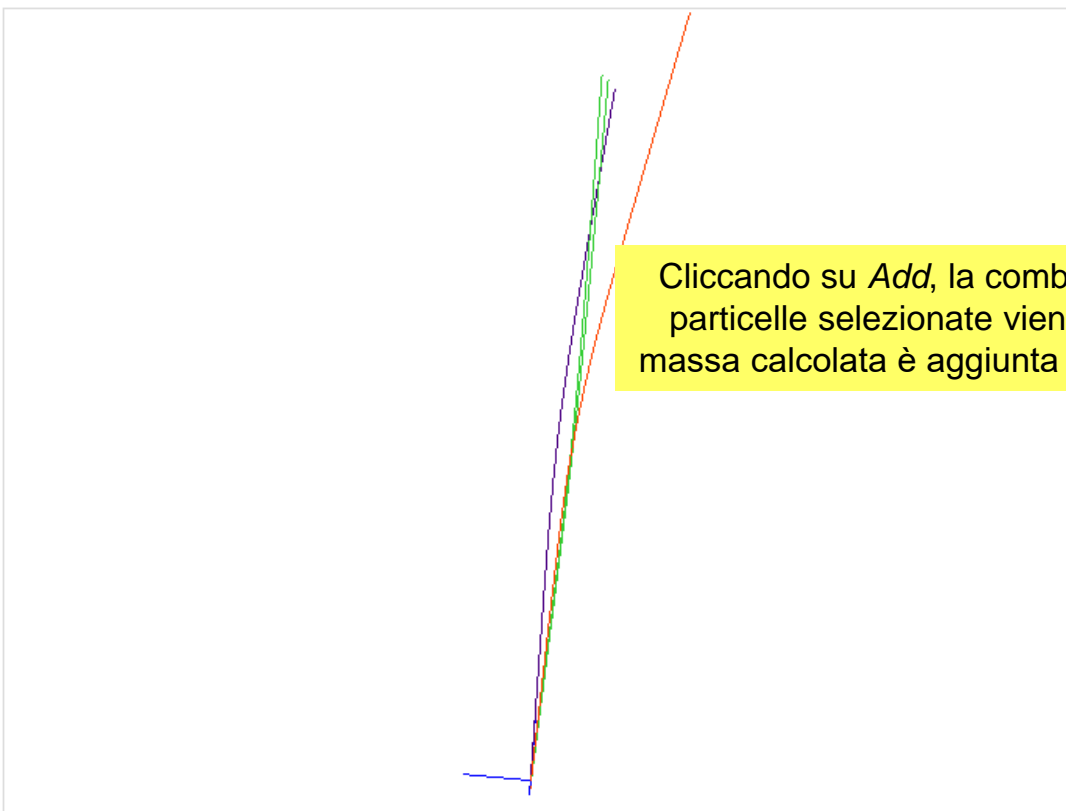
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



Particle information

E	28002.204	MeV
chi2	0.996	
ipchi2	0.319	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	-40.634	

My particles

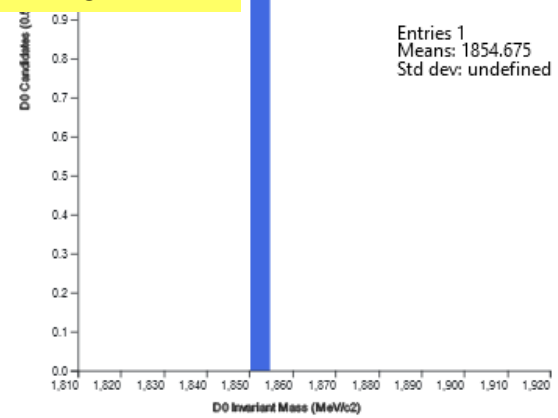
K⁻

pi⁺

Mass

1854.675 MeV/c²

Add





Event Display Exercise

Cliccando su *Next*, si passa all'evento successivo.

Event handler
event_5_1.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

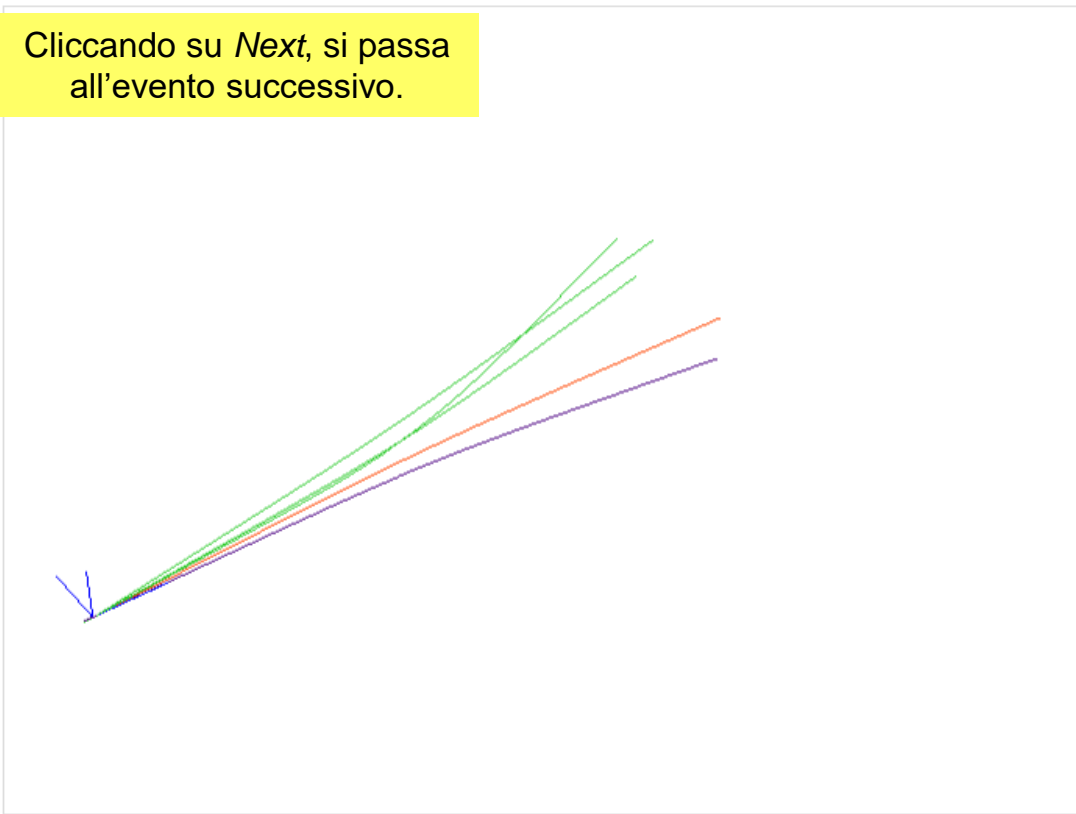
K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —



Particle information

E MeV

chi2

ipchi2

mass MeV/c²

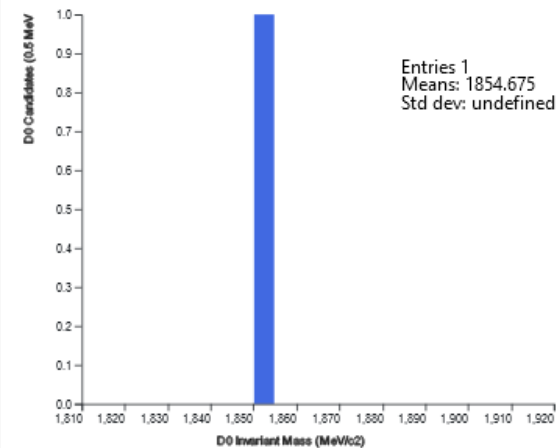
name

ZFstM

My particles

Mass MeV/c²

Add





LHCb Masterclass

Event Display Exercise

Se la massa della combinazione di particelle selezionate si discosta in modo significativo dalla massa della D^0 , cliccando su *Add*, compare un messaggio di errore.

✖ Mass is not in range. Please, try again.

Event handler
event_5_1.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

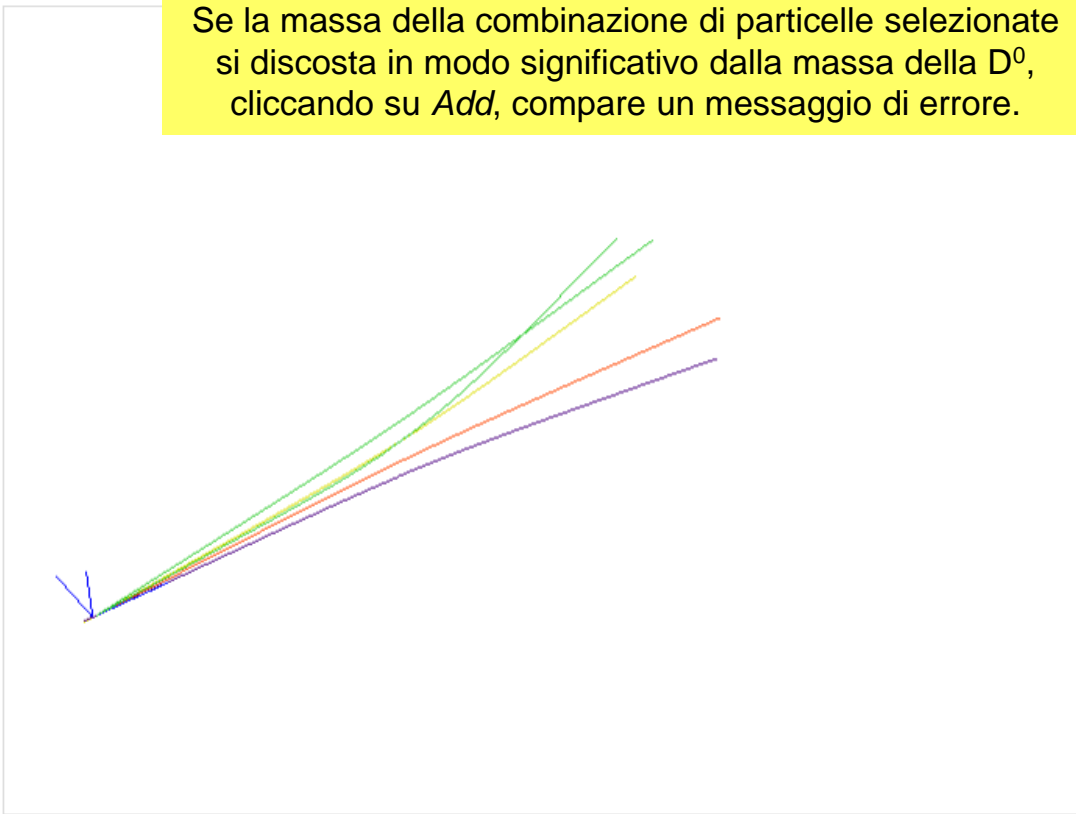
— K^-

— K^+

— π^+

— π^-

— D^0



Particle information

E	8305.193	MeV
chi2	1.486	
ipchi2	16.301	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi+	
ZFstM	124.088	

My particles

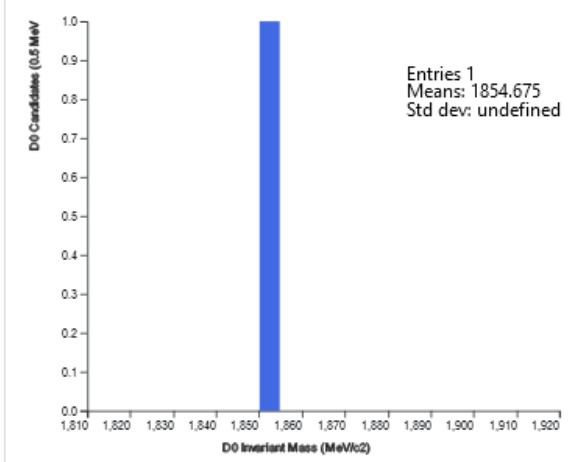
K^-

π^+

Mass

1035.987 MeV/c²

Add



v0.1



Event Display Exercise

Event handler
event_5_30.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON

Selezionando combinazioni di particelle con massa prossima a quella della D⁰ per i diversi eventi del campione scelto, l'istogramma delle masse si aggiorna.

Particle information

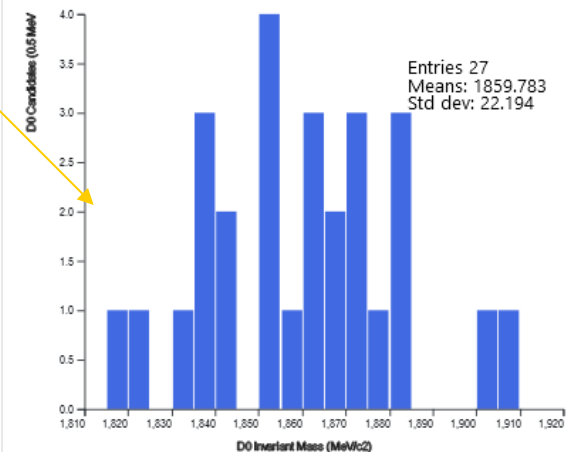
E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c ²
name	
ZFstM	

My particles

Mass

MeV/c²

Add





Event Display Exercise

- Analizzare gli eventi del campione selezionato.
- Salvare uno *screenshot* dell'istogramma ottenuto.

Event handler
event_5_30.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON

Particle information

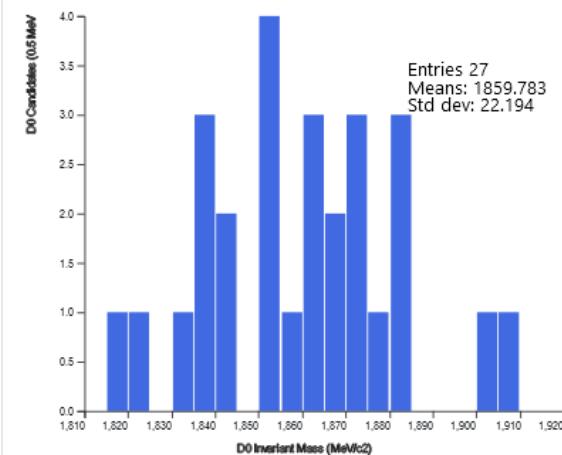
E	MeV
chi2	
ipchi2	
mass	MeV/c ²
name	
ZFstM	

My particles

Mass

MeV/c²

Add





**ADESSO TOCCA A VOI!
BUON LAVORO!!**

$$m_{D^0} = (1864.83 \pm 0.05) \text{MeV}/c^2$$