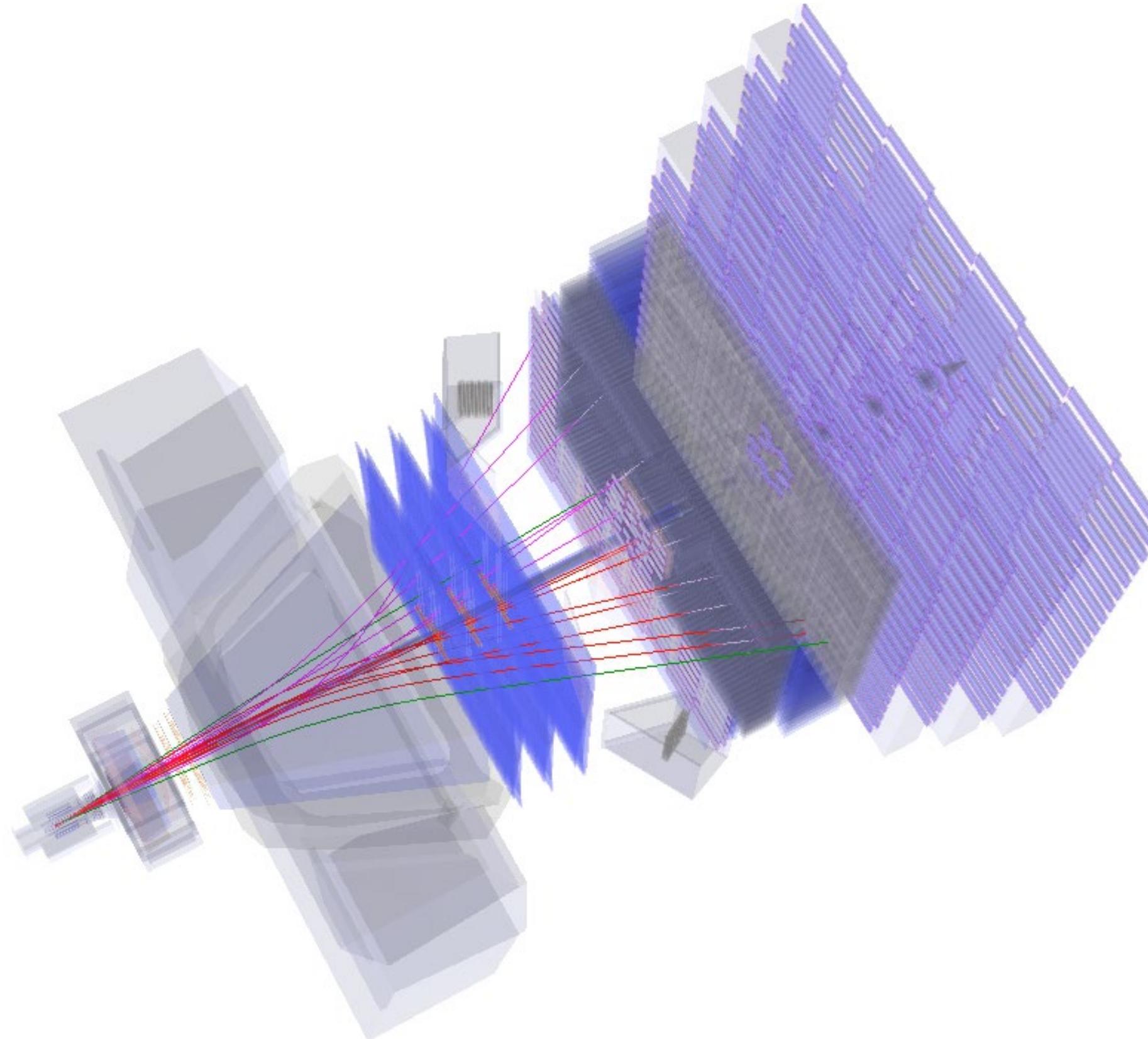


Introducción al ejercicio masterclass LHCb

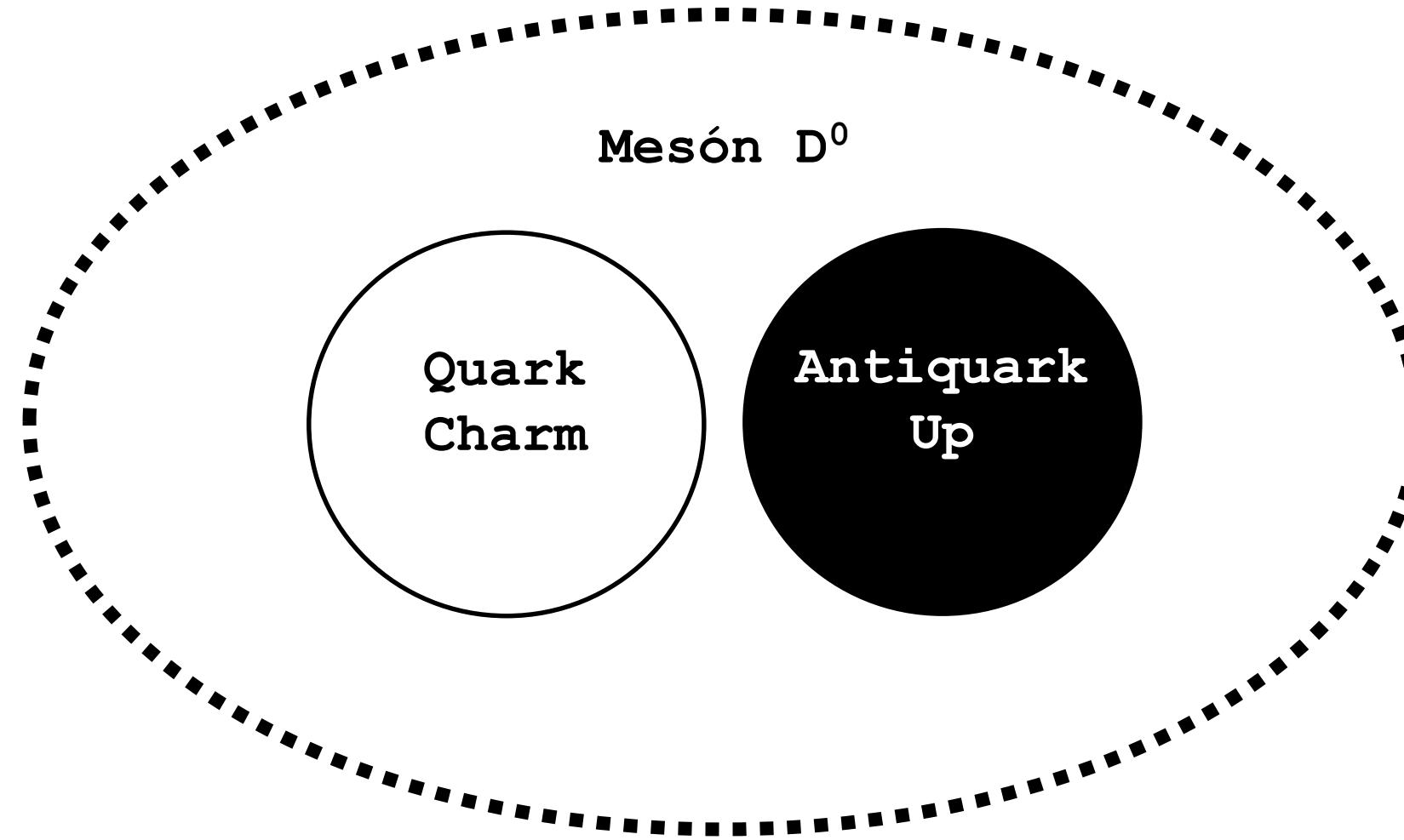


¿Qué es lo que vamos a observar y medir hoy?



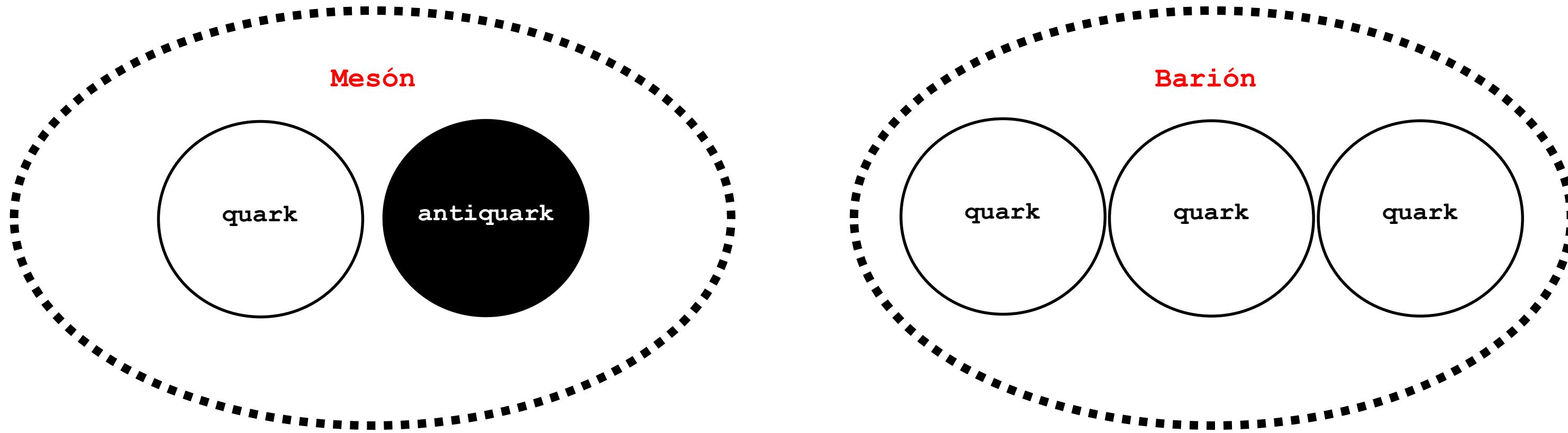
El objetivo de este ejercicio es observar un tipo de partícula que se produce y desintegra en el LHC y medir su **tiempo de vida** (vida media)

¿Qué es lo que vamos a observar y medir hoy?



El objetivo de este ejercicio es observar un tipo de partícula que se produce y desintegra en el LHC y medir su **tiempo de vida** (vida media)

¿Qué partículas forman los quarks?

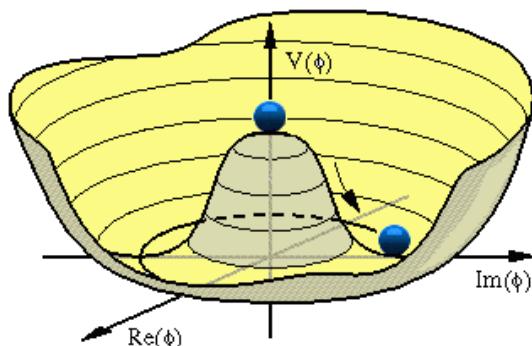


Dos tipos diferentes de combinaciones : **quark-antiquark**, o **tres (anti)quarks**.

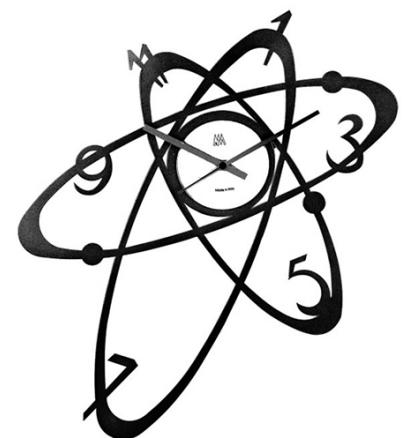
Las **antipartículas** tienen cargas opuestas a las de sus correspondientes partículas, por lo demás interactúan del mismo modo. La mayor parte de las partículas tienen su correspondiente antipartícula (pero en ocasiones la partícula es su propia antipartícula).

Escalas de tiempo

Vida media de un bosón de Higgs
 $1.6 \cdot 10^{-22}$ s



$T=1/f$ de un reloj atómico
 10^{-10} s



El corazón late cada 1 s



La vida típica de una persona
 $2.4 \cdot 10^9$ s

Extinción de los dinosaurios hace
 $2 \cdot 10^{15}$ s



10^{-20}



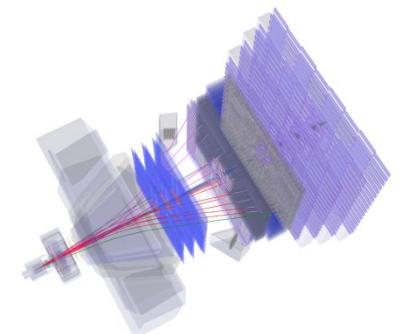
Vida media del mesón D^0
 $4 \cdot 10^{-13}$ s

10^{-10}



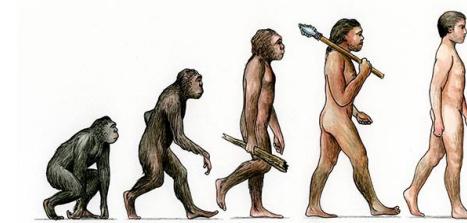
$T=1/f$ de un piano de cola
 $4 \cdot 10^{-3}$ s

1



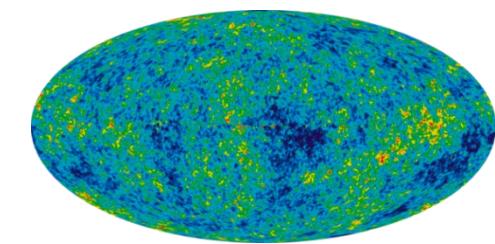
Esta charla
 10^3 s

10^{10}



Primeros homo sapiens hace
 $6 \cdot 10^{12}$ s

10^{20}



Nacimiento del Universo hace
 $4 \cdot 10^{17}$ s

segundos

¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos una partícula que vive $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos (1 picosegundo)

¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos una **partícula que vive $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos** (≈ 1 picosegundo)

Hemos de medir el tiempo de vida a partir de su recorrido, $t = l m / p$

¿Qué espacio recorrerá, en promedio, si viaja a la velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s? Típicamente los mesones D^0 en LHCb viajan a $v=0.99919 \cdot c$

¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos una **partícula que vive $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos** (<1 picosegundo)

Hemos de medir el tiempo de vida a partir de su recorrido, $t = l m / p$

¿Qué espacio recorrerá, en promedio, si viaja a la velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s? Típicamente los mesones D^0 en LHCb viajan a $v=0.99919 \cdot c$

Recorrerá $3 \cdot 10^8$ m/s $\times 0.4 \cdot 10^{-12}$ s = $1.2 \cdot 10^{-4}$ m = 0.12 mm

¡Esto no es mucho!

¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos una **partícula que vive $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos** (1 picosegundo)

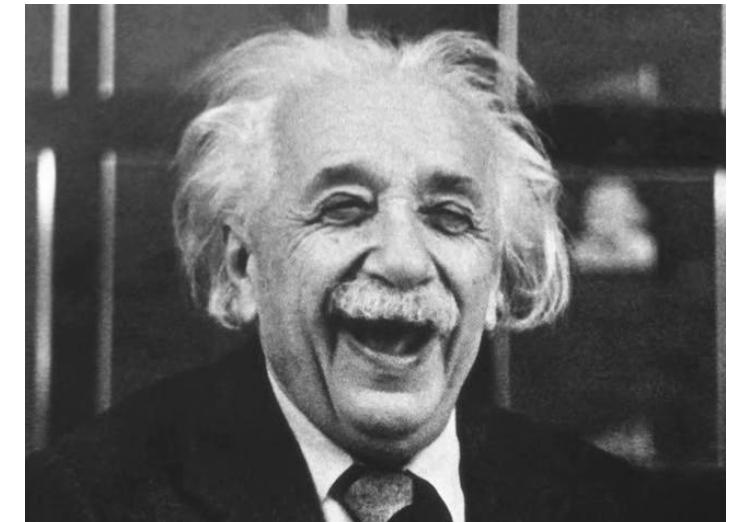
Hemos de medir el tiempo de vida a partir de su recorrido, $t = 1 \text{ m} / p$

¿Qué espacio recorrerá, en promedio, si viaja a la velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$? Típicamente los mesones D^0 en LHCb viajan a $v=0.99919 \cdot c$

Recorrerá $3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \times 0.4 \cdot 10^{-12} \text{ s} = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0.12 \text{ mm}$

¡Esto no es mucho! Afortunadamente este cálculo es incorrecto: no hemos tenido en cuenta la **dilatación del tiempo** de la relatividad especial:

$$t' = t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$



¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos una **partícula que vive $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos** (1 picosegundo)

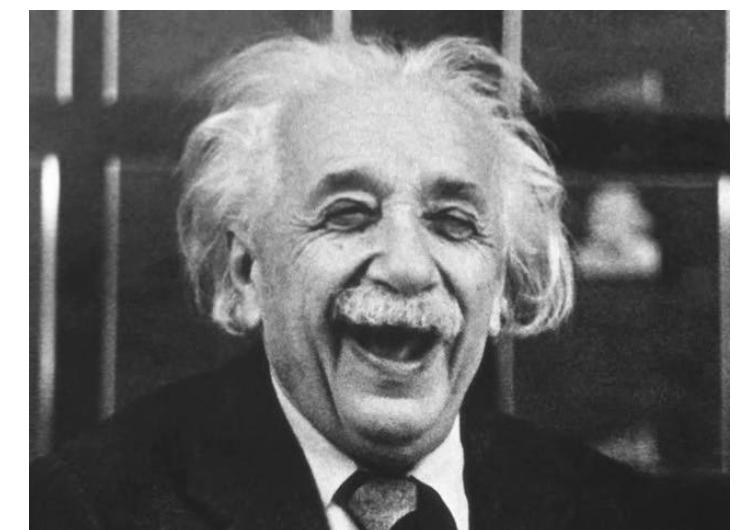
Hemos de medir el tiempo de vida a partir de su recorrido, $t = 1 \text{ m} / p$

¿Qué espacio recorrerá, en promedio, si viaja a la velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$? Típicamente los mesones D^0 en LHCb viajan a $v=0.99919 \cdot c$

Recorrerá $3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \times 0.4 \cdot 10^{-12} \text{ s} = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0.12 \text{ mm}$

¡Esto no es mucho! Afortunadamente este cálculo es incorrecto: no hemos tenido en cuenta la **dilatación del tiempo** de la relatividad especial:

$$t' = t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$



Esto hace que una **partícula en el LHC con una vida media de $0.4 \cdot 10^{-12}$ segundos viva unas 25 veces más**, $10 \cdot 10^{-12}$ segundos, y por tanto **se desplace típicamente mucho más**, unos 3 mm... ¡Suficiente para que podamos medir su desplazamiento!

¿Cómo medir un tiempo tan pequeño?

Consideremos

Hemos de

¿Qué espacio
 $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Recorrerá

¡Esto no
no hemos
relatividad

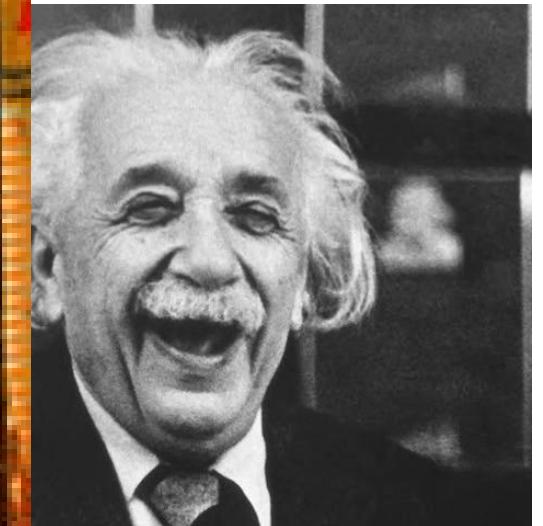
$t' = t/\sqrt(1 - v^2/c^2)$

Esto hace
viva unas

mucho más, unos 3 mm... ¡Suficiente para que podamos medir su desplazamiento!

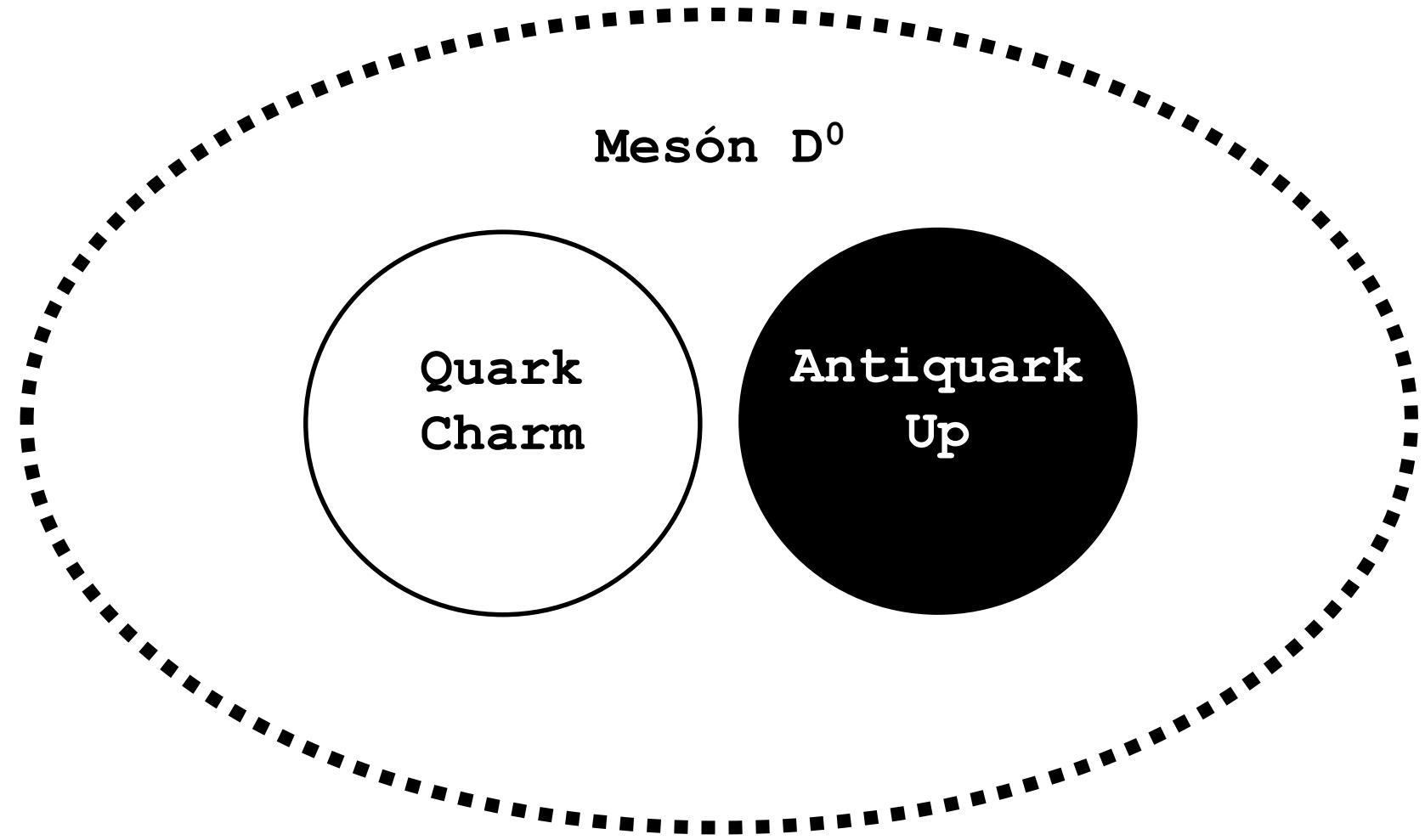
p

$z, c =$

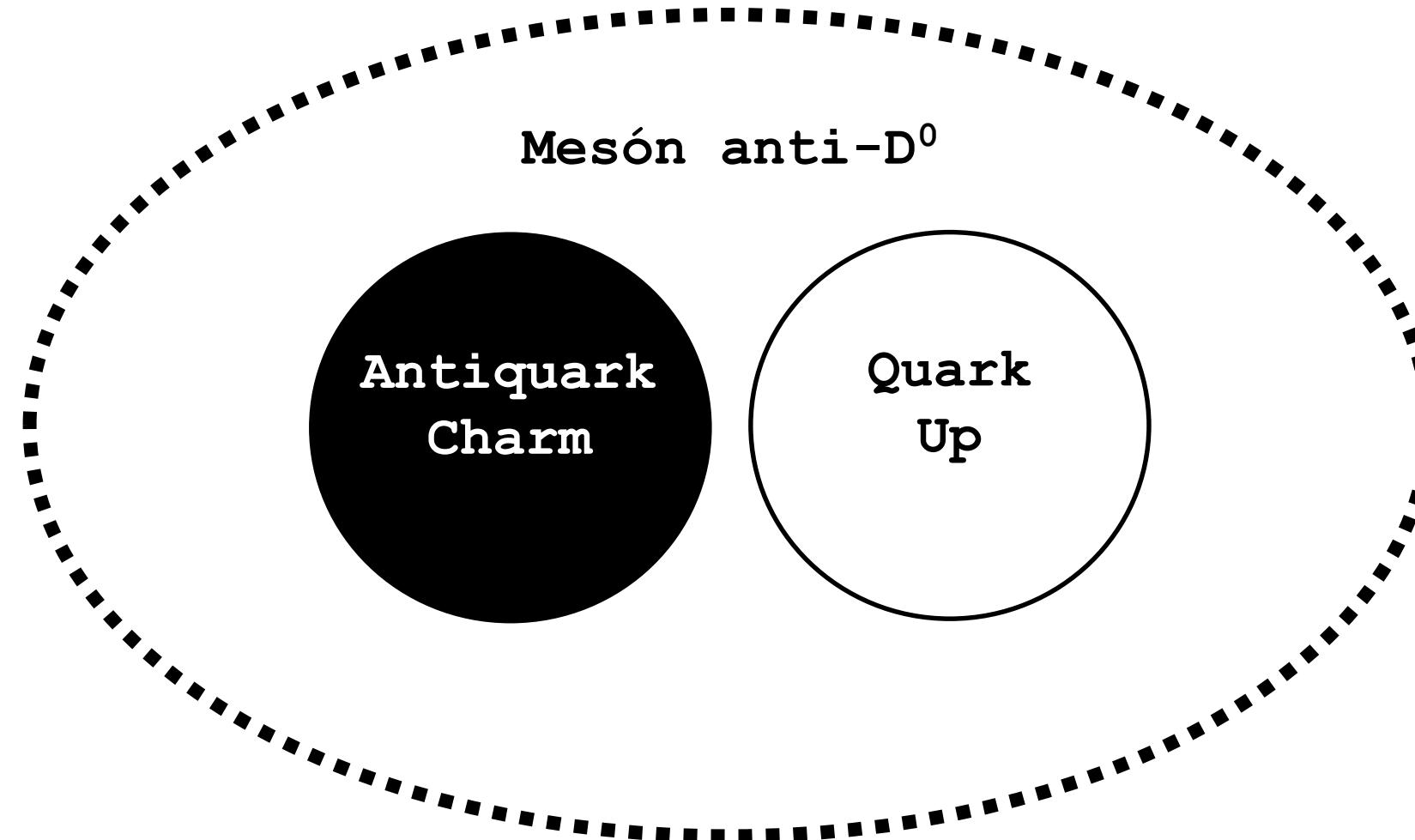


segundos
icamente

¿Por qué es especial el D⁰?



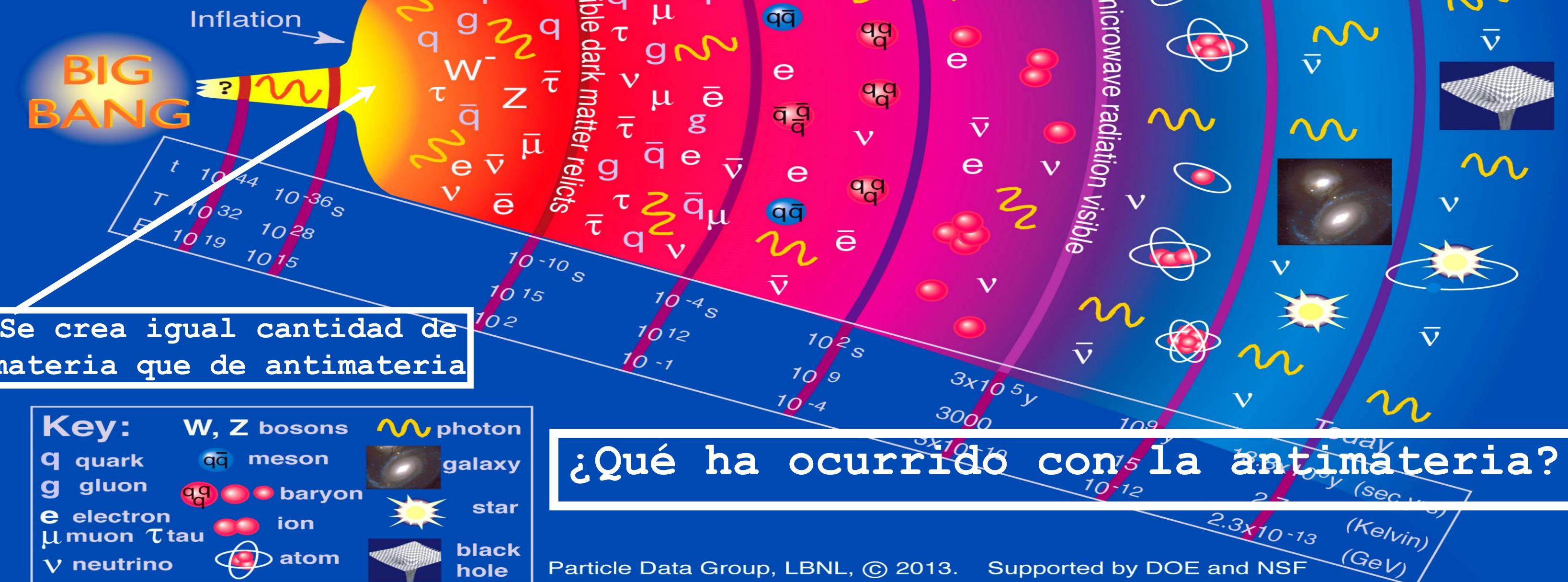
¿Por qué es especial el D⁰?



History of the Universe

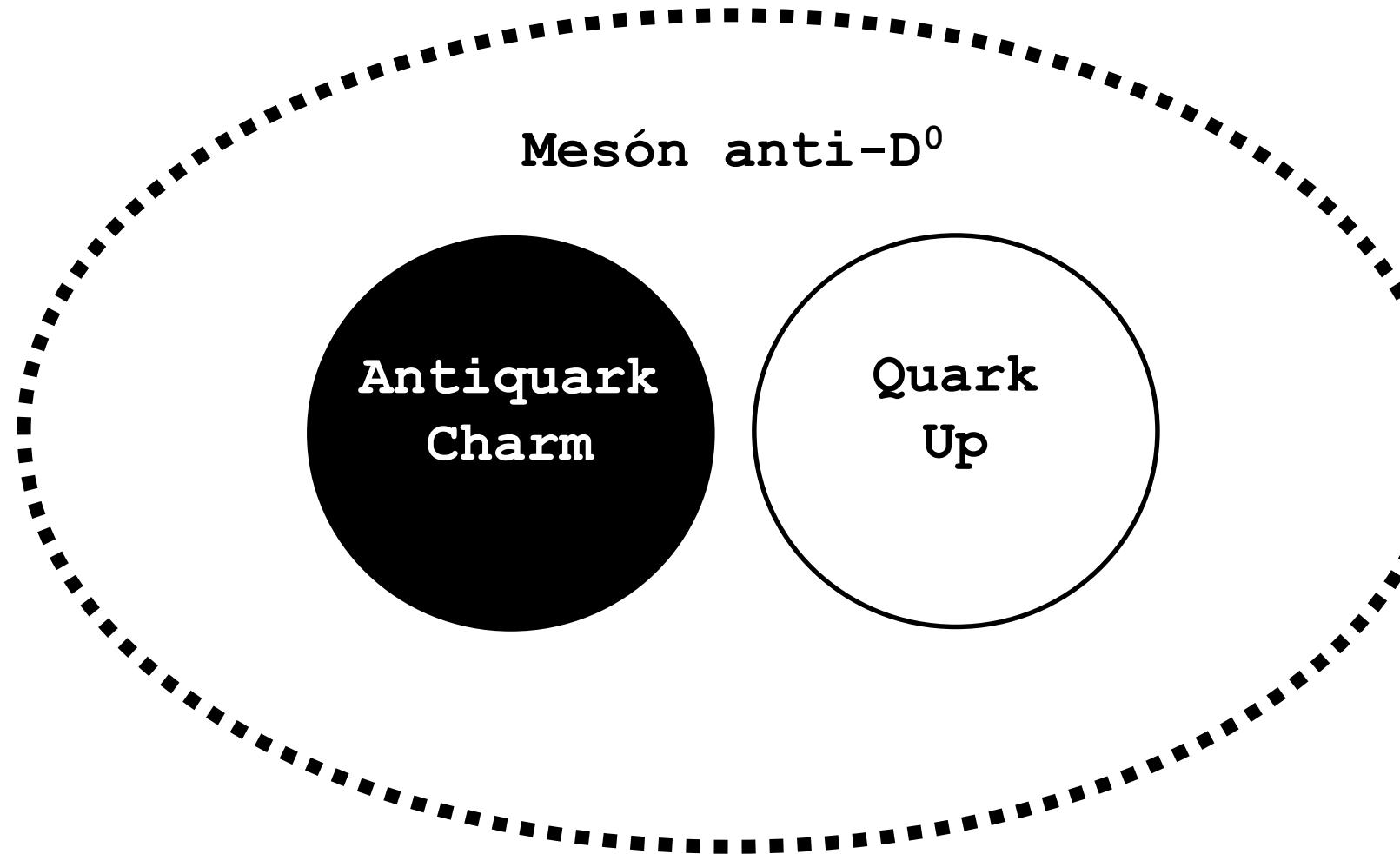
Hoy: prácticamente no hay antimateria en el Universo

¿Por qué es importante la antimateria?



¿Qué ha ocurrido con la antimateria?

¡Oscila antes de desintegrarse!



El D^0 es una partícula neutra : ¡puede oscilar entre materia y antimateria antes de desintegrarse!

Estas partículas pueden darnos pistas de las pequeñas diferencias entre materia y antimateria que podrían dar lugar al enorme desequilibrio materia-antimateria

¿Por qué el D⁰ y no otra partícula?

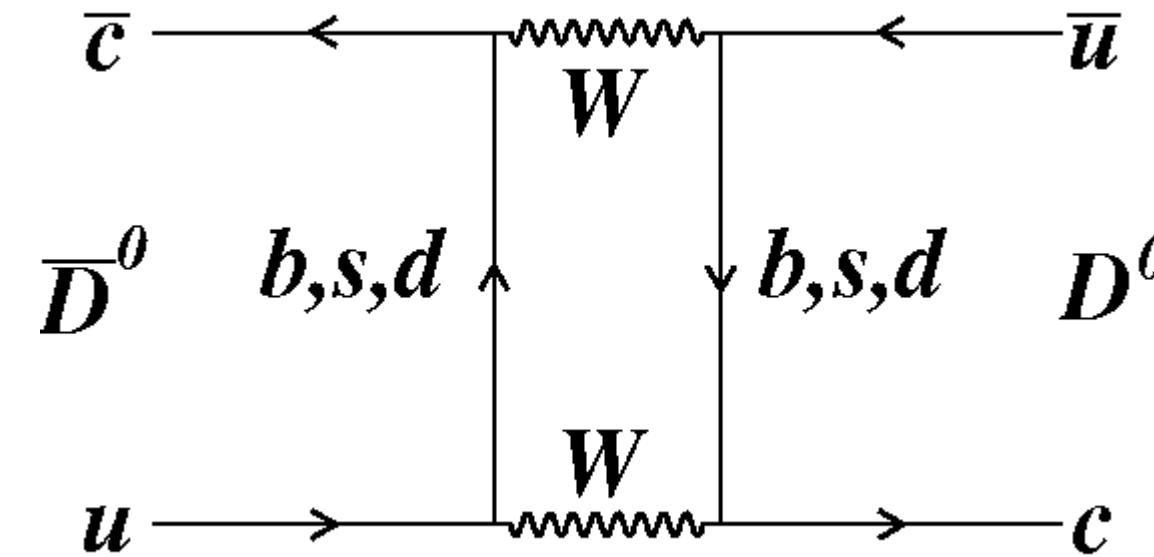
Three Generations of Matter (Fermions)			
I	II	III	
mass → 2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge → 2/3	2/3	2/3	0
spin → 1/2	1/2	1/2	1
name → up	charm	top	photon
Quarks	d	s	g
4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
-1/3	-1/3	-1/3	0
1/2	1/2	1/2	1
down	strange	bottom	gluon
Leptons	e	ν_e	Z^0
<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
0	0	0	0
1/2	1/2	1/2	1
electron	electron neutrino	tau neutrino	Z boson
Gauge Bosons	e	μ	W^\pm
0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
-1	-1	-1	±1
1/2	1/2	1/2	1
electron	muon	tau	W boson

Los mesones neutros pueden oscilar entre materia y antimateria mientras se propagan

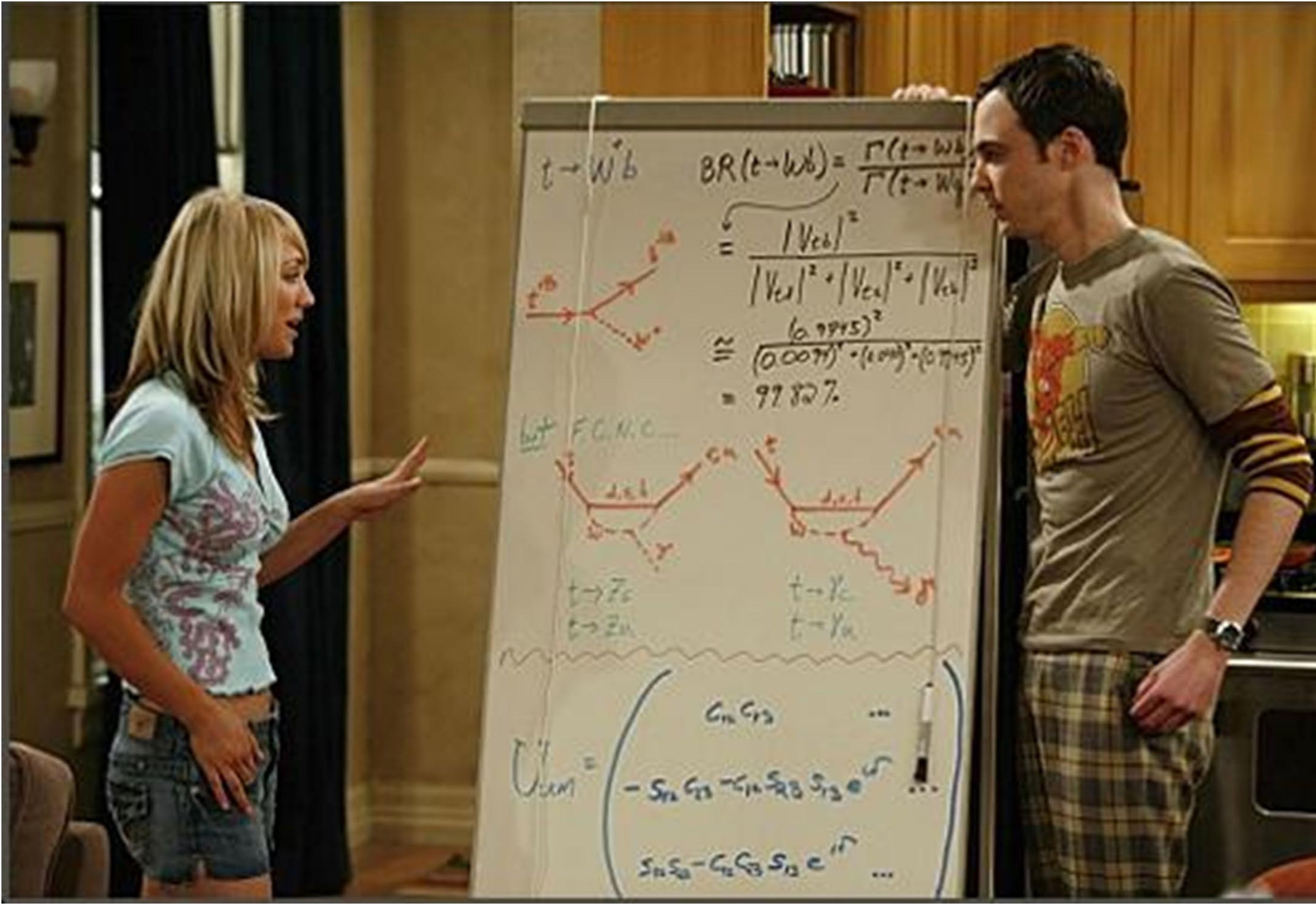
¿Por qué el D⁰ y no otra partícula?

Three Generations of Matter (Fermions)			
I	II	III	
mass → 2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge → 2/3	2/3	2/3	0
spin → 1/2	1/2	1/2	1
name → up	charm	top	photon
Quarks	d	s	g
4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
-1/3	-1/3	-1/3	0
1/2	1/2	1/2	1
down	strange	bottom	gluon
Leptons	e	ν_e	Z^0
<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
0	0	0	0
1/2	1/2	1/2	1
electron	electron neutrino	tau neutrino	Z boson
Gauge Bosons	e	μ	W^\pm
0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
-1	-1	-1	±1
1/2	1/2	1/2	1
electron	muon	tau	W boson

Los mesones neutros pueden oscilar entre materia y antimateria mientras se propagan



Las oscilaciones partícula-antipartícula son importantes porque son sensibles a la presencia de nuevas partículas que aparecen de manera virtual en el diagrama de la caja, las cuales pueden ser mucho más masivas que las que somos capaces de producir directamente



¿Por qué el D⁰ y no otra partícula?

Three Generations of Matter (Fermions)			
I	II	III	
mass → 2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge → 2/3	2/3	2/3	0
spin → 1/2	1/2	1/2	1
name → u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	d down	s strange	b bottom
4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
-1/3	-1/3	-1/3	0
1/2	1/2	1/2	1
e electron neutrino	μ muon neutrino	τ tau neutrino	Z ⁰ Z boson
Leptons	e electron	μ muon	τ tau
<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
0	0	0	0
1/2	1/2	1/2	1
Gauge Bosons	W ⁺ W boson		
0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	
-1	-1	-1	
1/2	1/2	1/2	

Los mesones neutros pueden oscilar entre materia y antimateria mientras se propagan

Hay diferentes mesones de tipo "down" que pueden oscilar: (ds) K⁰, (db) B_d, (sb) B_s

¿Por qué el D⁰ y no otra partícula?

Three Generations of Matter (Fermions)				
I	II	III		
mass - charge - spin - name -	2.4 MeV/c ² 2/3 1/2 u up	1.27 GeV/c ² 2/3 1/2 c charm	171.2 GeV/c ² 2/3 1/2 t top	0 0 1 γ photon
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	v _e electron neutrino	v _μ muon neutrino	v _τ tau neutrino	Z ⁰ Z boson
Gauge Bosons	e electron	μ muon	τ tau	W [±] W boson

Los mesones neutros pueden oscilar entre materia y antimateria mientras se propagan

Hay diferentes mesones de tipo "down" que pueden oscilar: (ds) K⁰, (db) B_d, (sb) B_s

Pero sólo uno tipo "up": el mesón D⁰ (cu)

El quark top no forma ni mesones ni bariones

¿Por qué el D⁰ y no otra partícula?

Three Generations of Matter (Fermions)				
I	II	III		
mass - charge - spin - name -	2.4 MeV/c ² 2/3 1/2 u up	1.27 GeV/c ² 2/3 1/2 c charm	171.2 GeV/c ² 2/3 1/2 t top	0 0 1 γ photon
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	v _e electron neutrino	v _μ muon neutrino	v _τ tau neutrino	Z ⁰ Z boson
Gauge Bosons	e electron	μ muon	τ tau	W [±] W boson

Los mesones neutros pueden oscilar entre materia y antimateria mientras se propagan

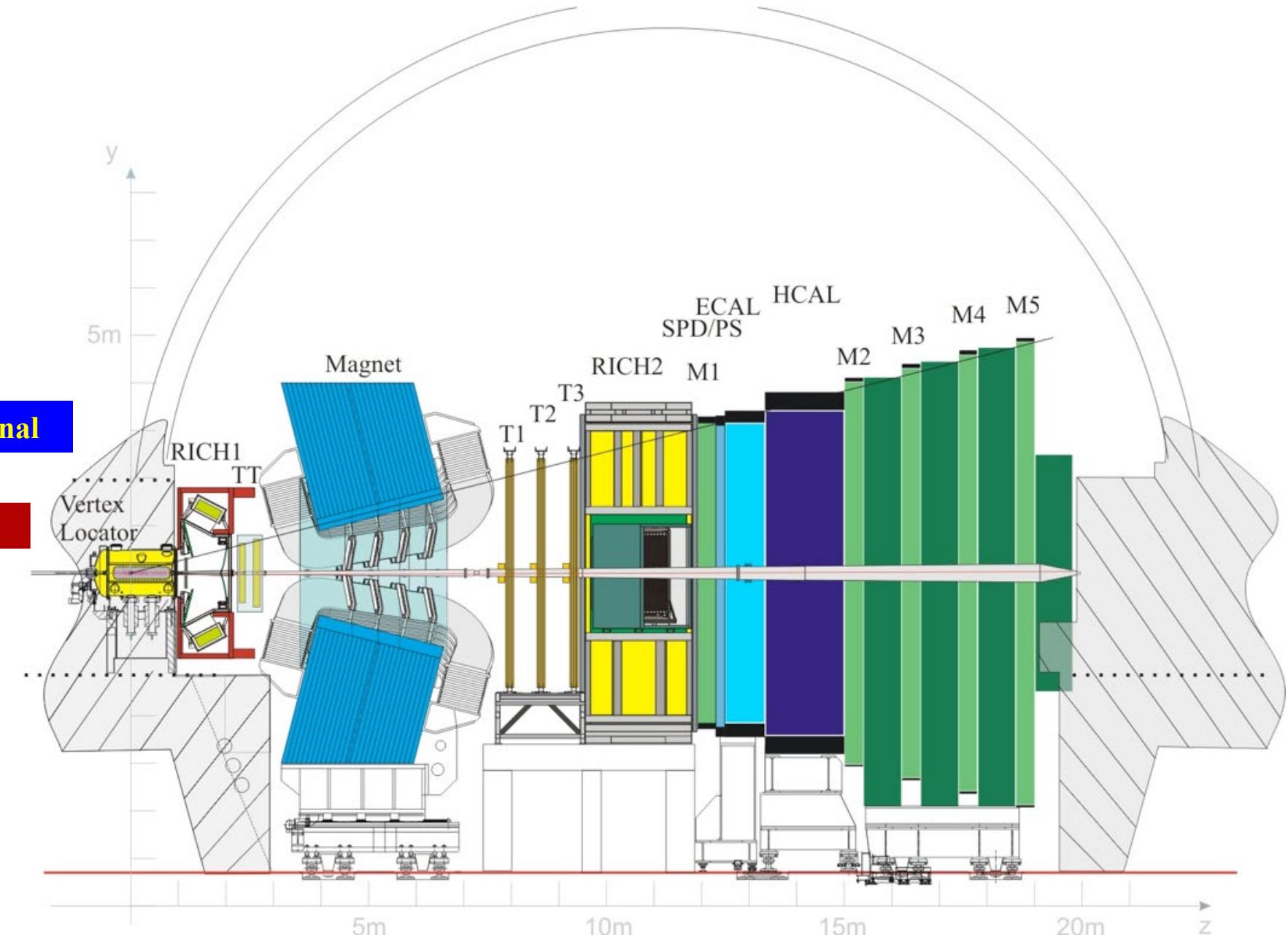
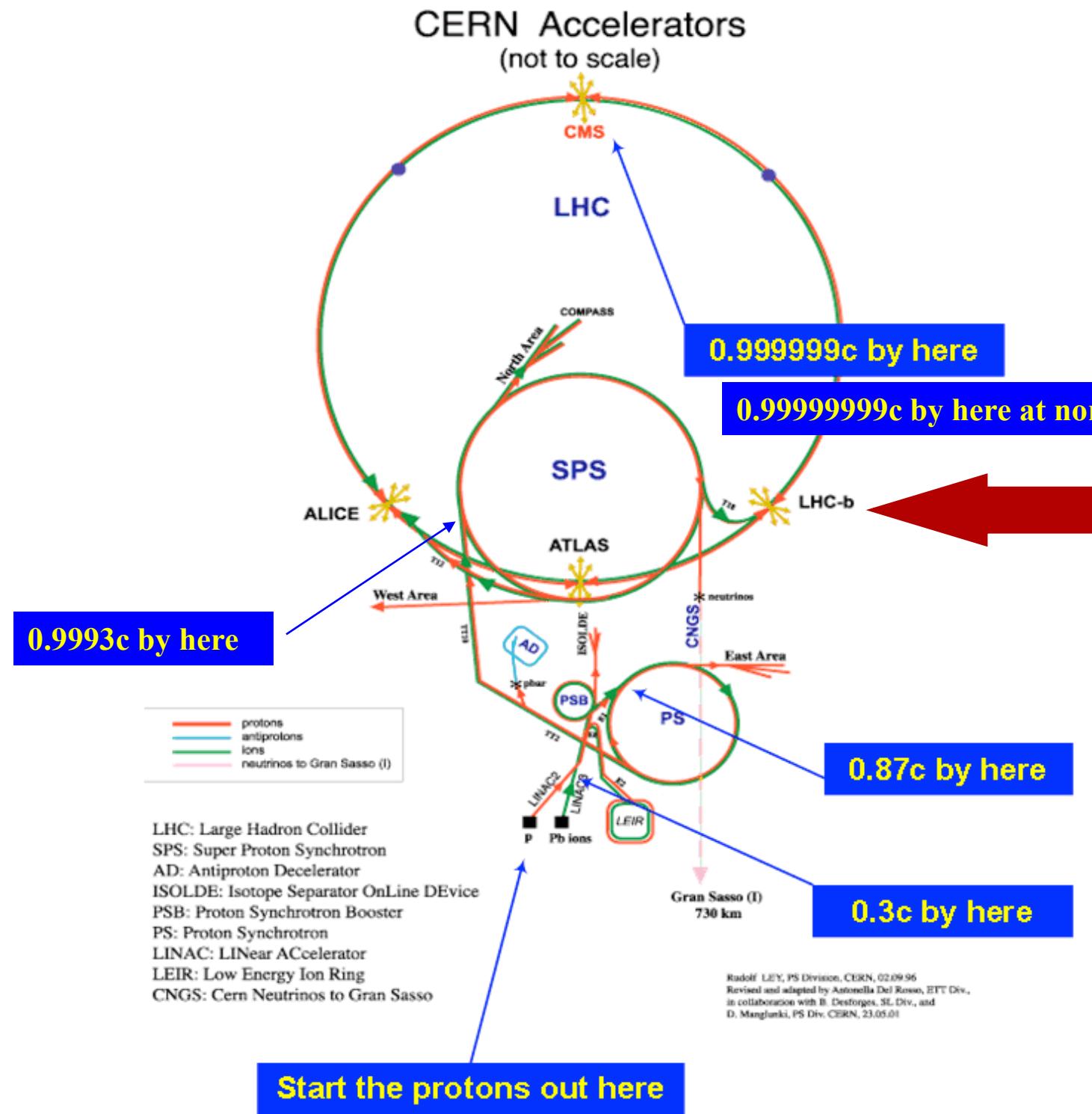
Hay diferentes mesones de tipo "down" que pueden oscilar: (ds) K⁰, (db) B_d, (sb) B_s

Pero sólo uno tipo "up": el mesón D⁰ (cu)

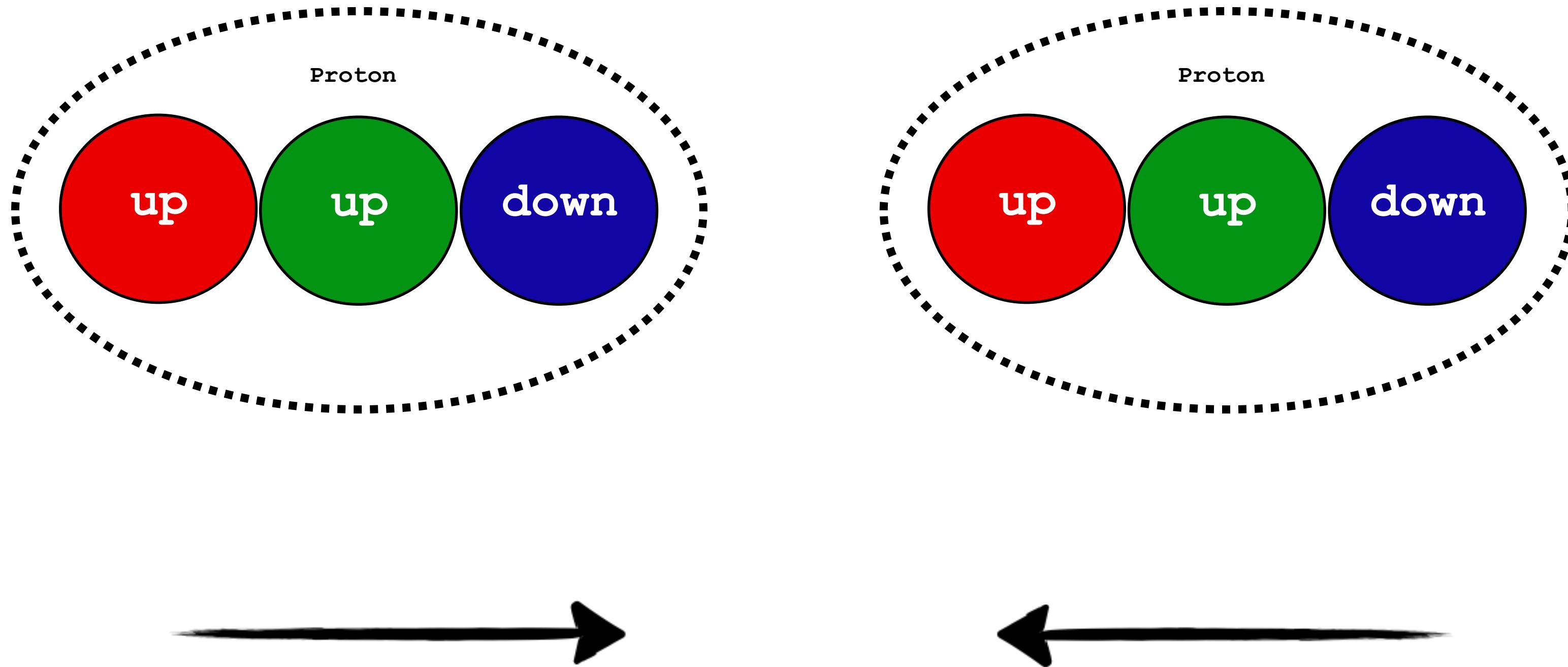
El quark top no forma ni mesones ni bariones

Esto hace que el mesón D⁰ sea un laboratorio único para el estudio de la simetría entre materia y antimateria

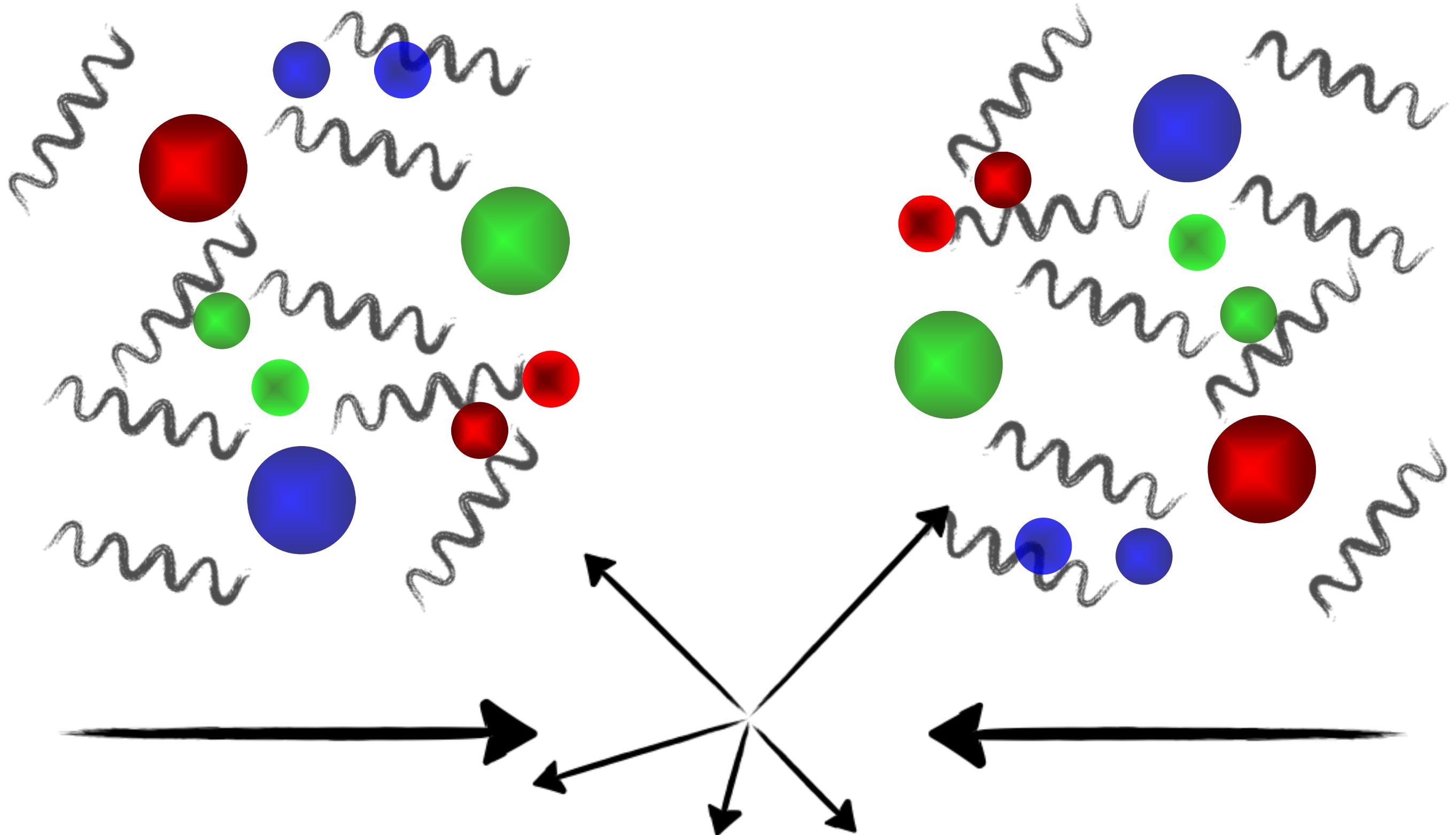
Large Hadron Collider @ CERN



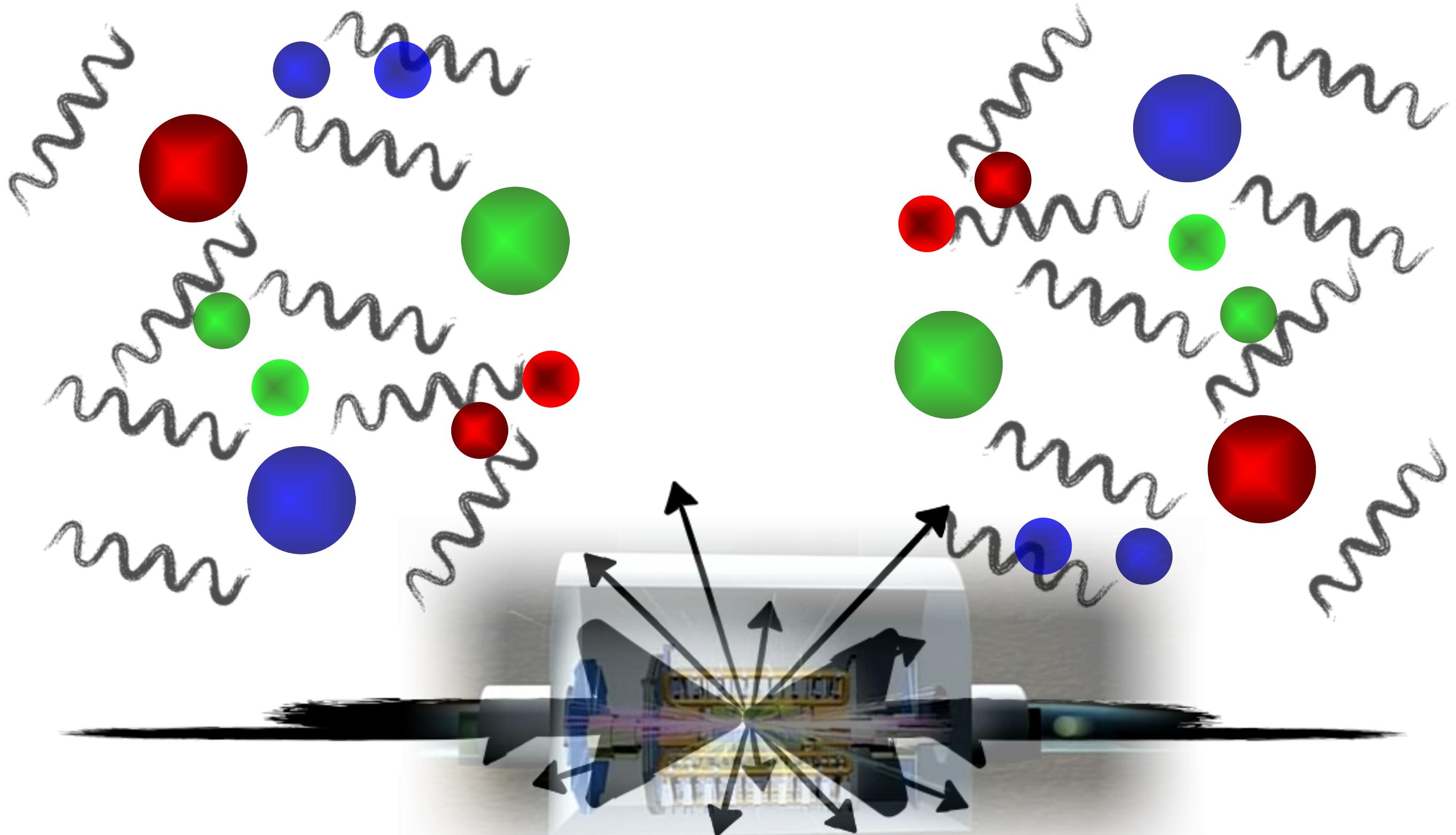
Los protones colisionan...



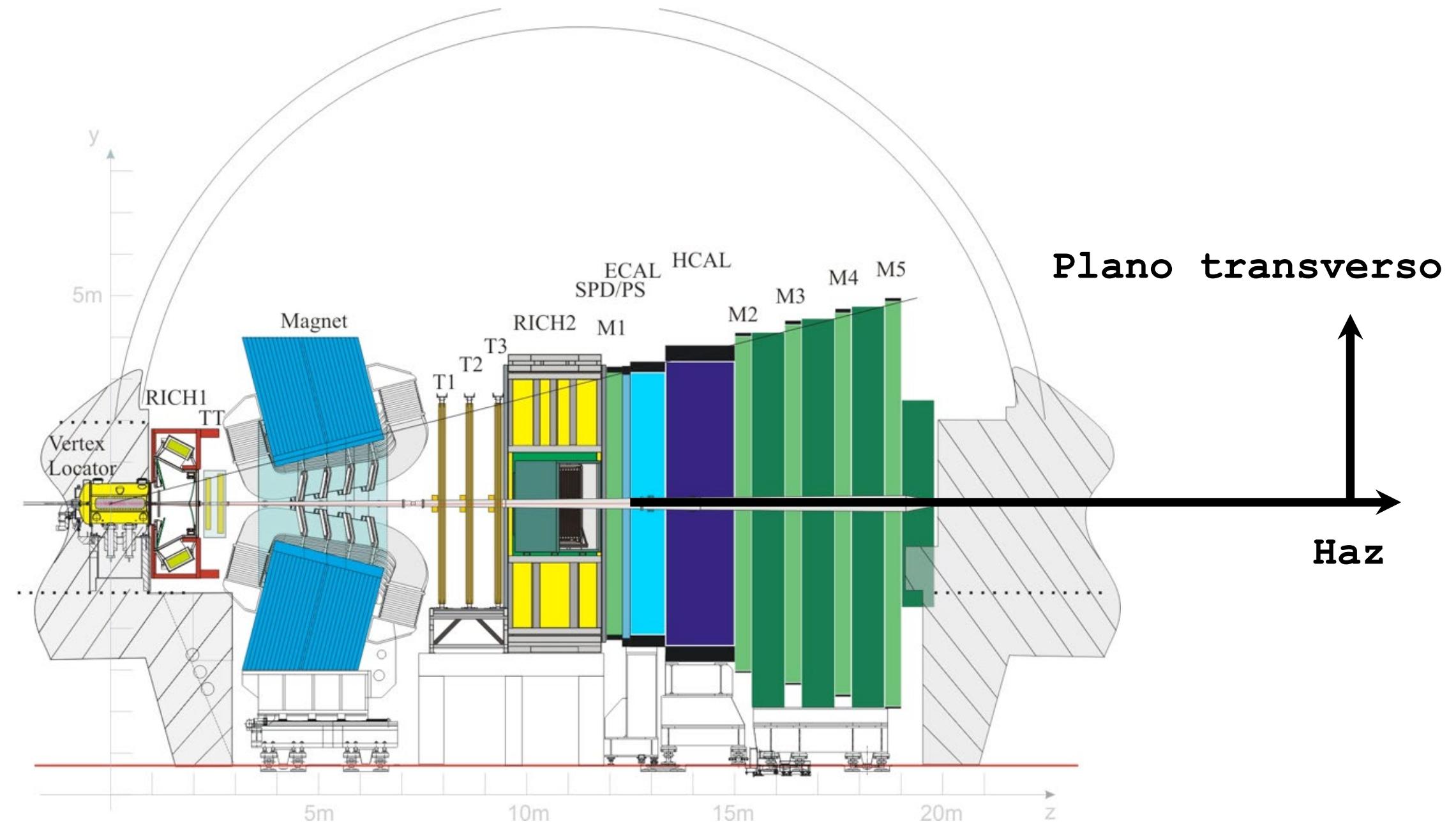
Los protones colisionan...



Los protones colisionan...



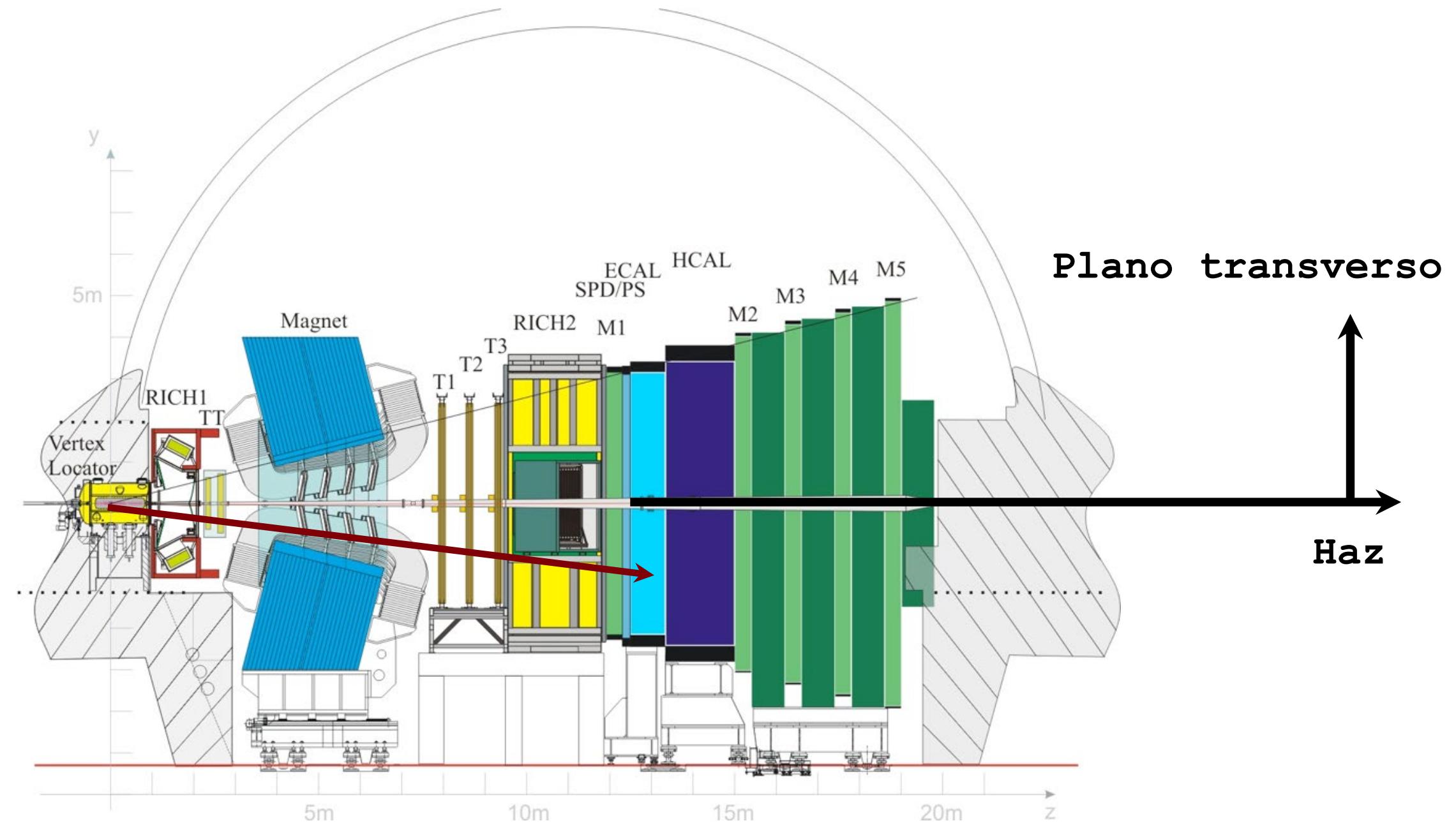
LHCb @ LHC



p_T = Momento transverso

E_T = Energía transversa

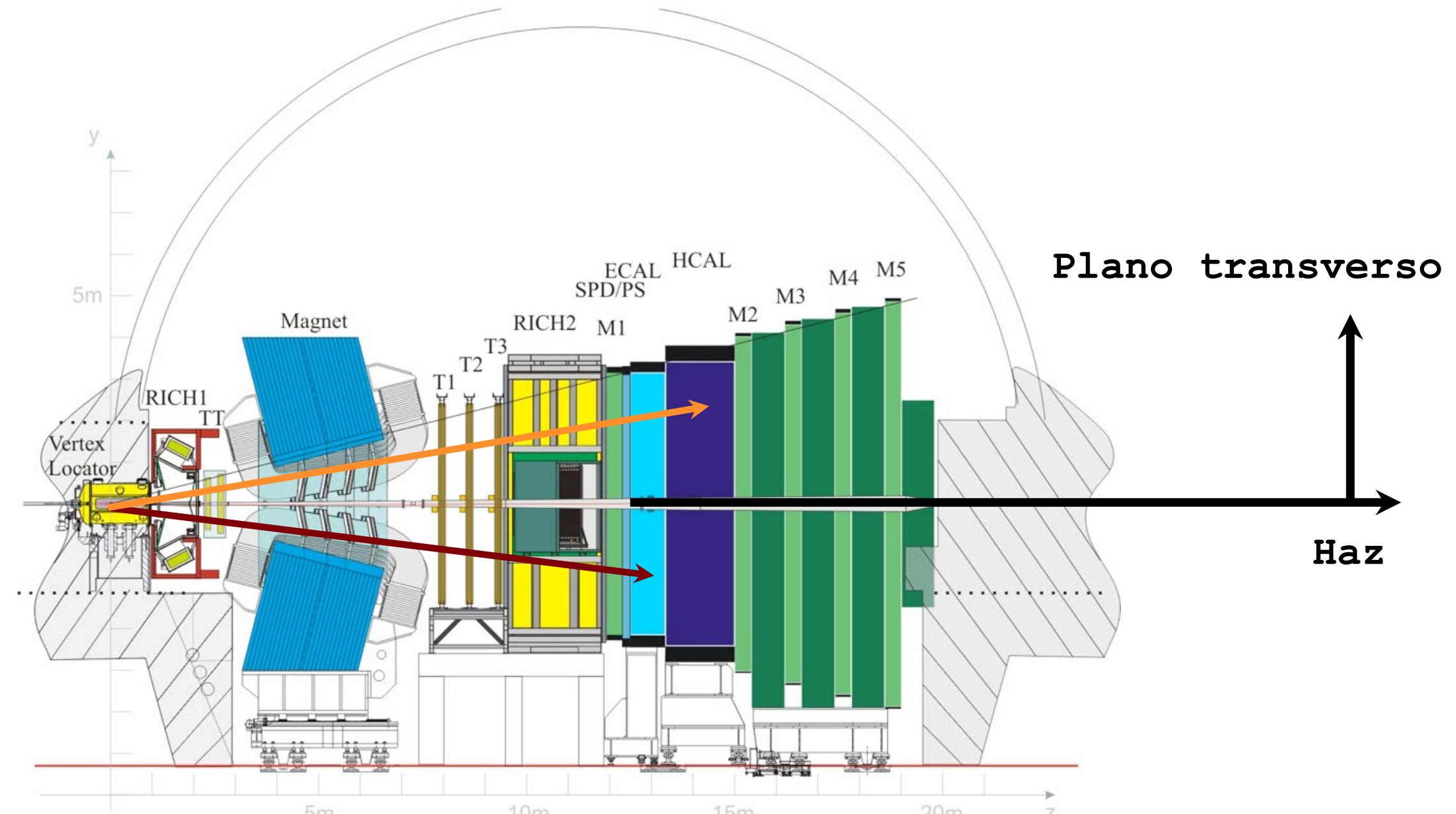
LHCb @ LHC



p_T = Momento transverso

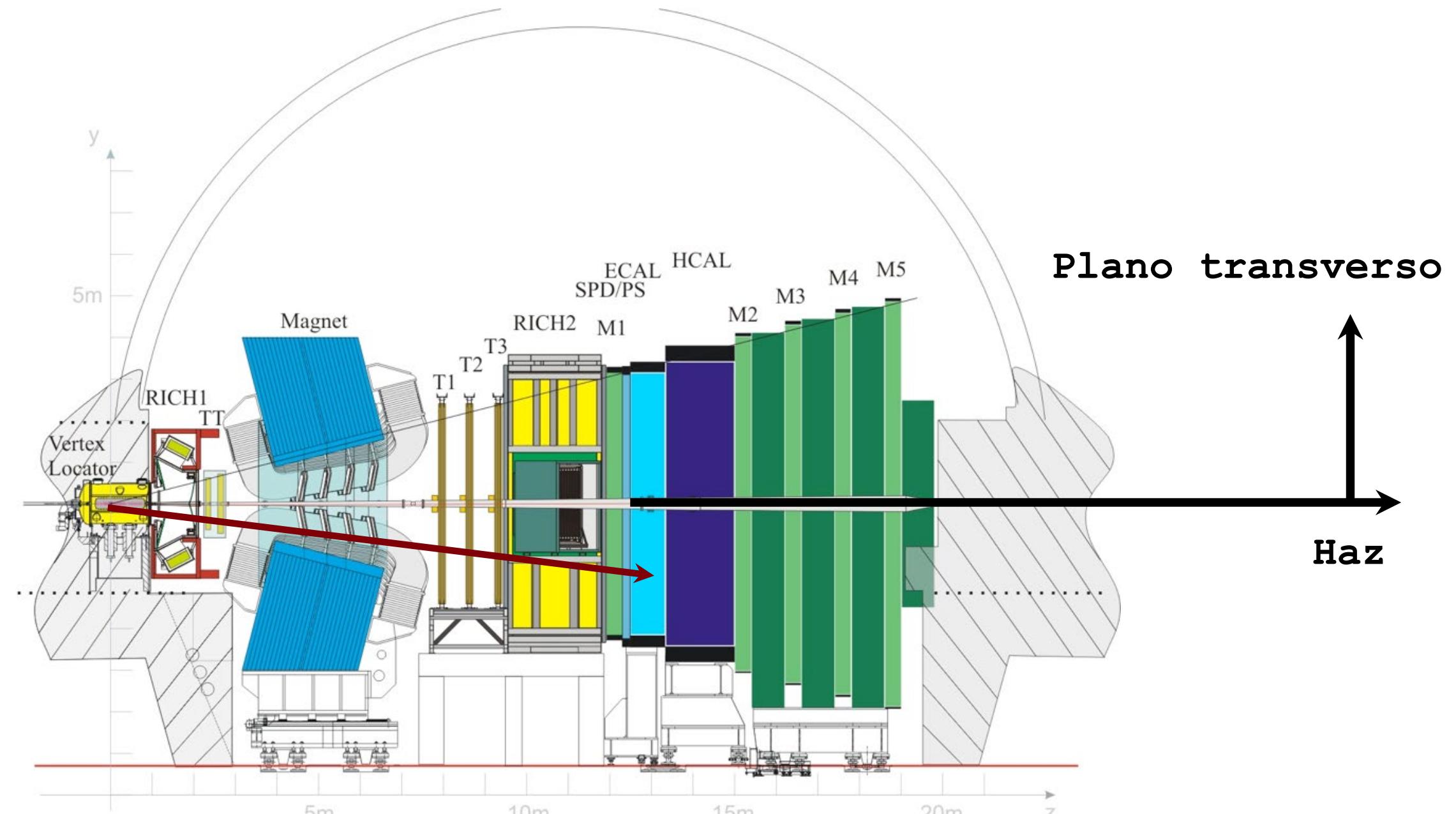
E_T = Energía transversa

LHCb @ LHC



p_T = Momento transverso
 E_T = Energía transversa

LHCb @ LHC



p_T = Momento transverso

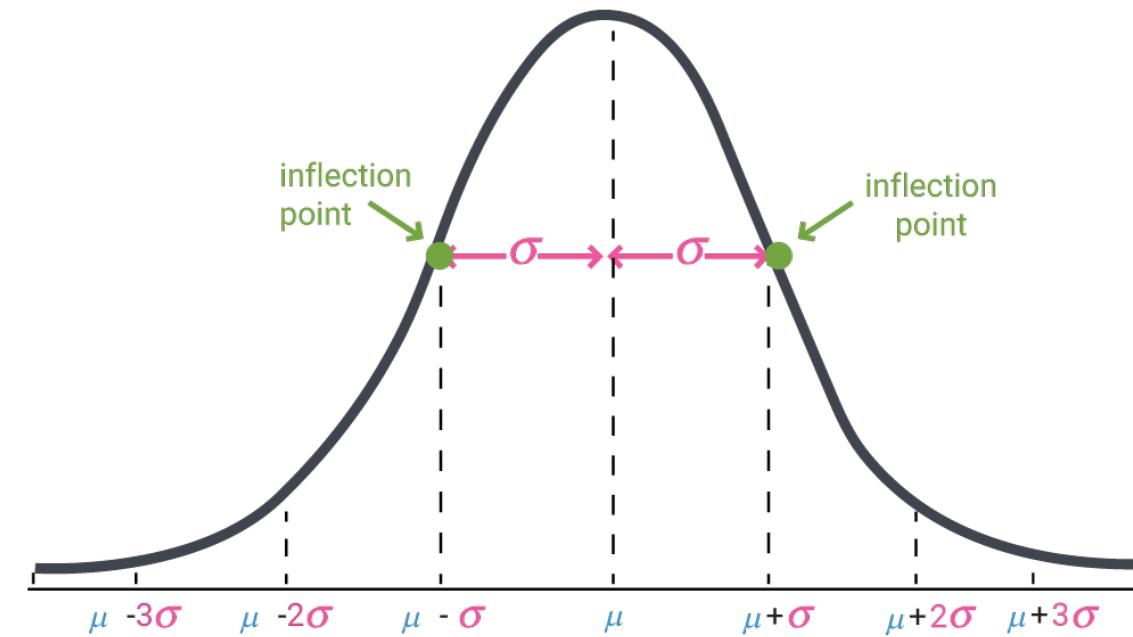
E_T = Energía transversa

Rendimiento del detector LHCb

La medida repetida de una misma magnitud física, como la masa del mesón D^0 y su tiempo de vida, proporciona valores de dicha magnitud que varían según una distribución que depende de la resolución del instrumento (y método) de medida

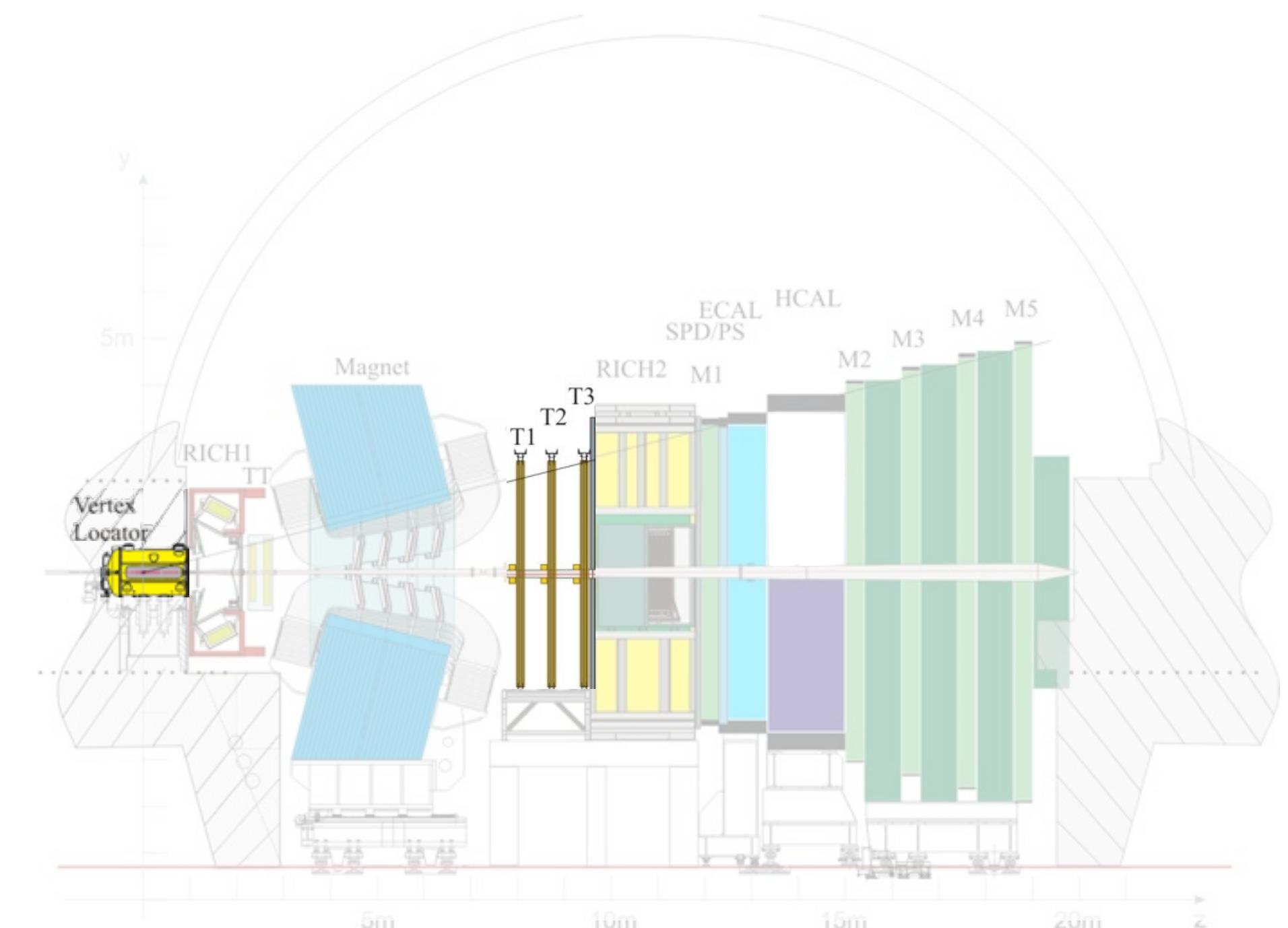
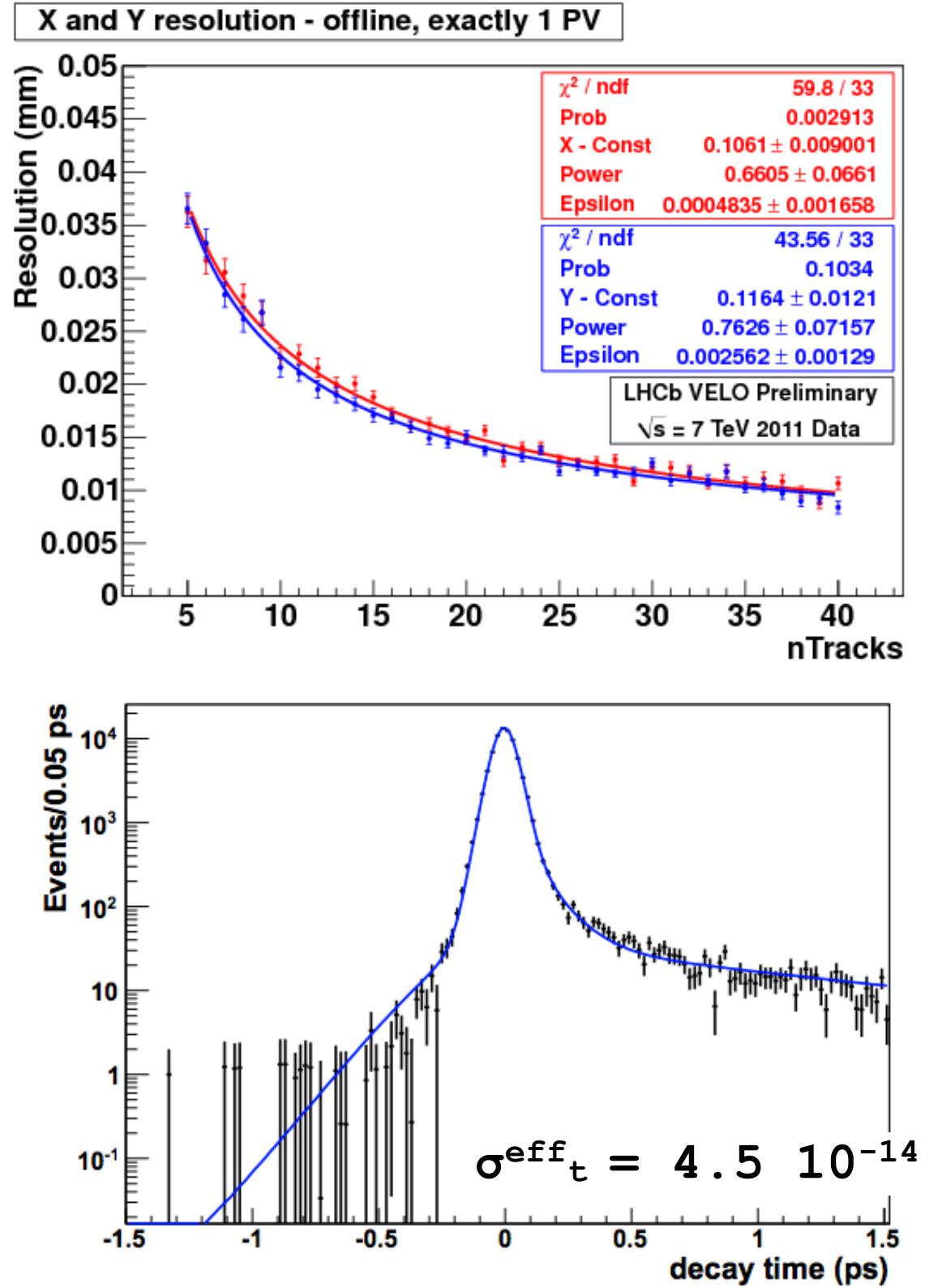
La distribución de Gauss o Normal es fundamental en física para determinar la resolución

Si además estamos midiendo una magnitud asociada a un proceso microscópico (como es el caso del D^0), hay variaciones debidas a la naturaleza mecano-cuántica del proceso. Es el caso de la vida del D^0 , por eso distinguimos entre tiempo de vida (que sigue una distribución exponencial) y vida media

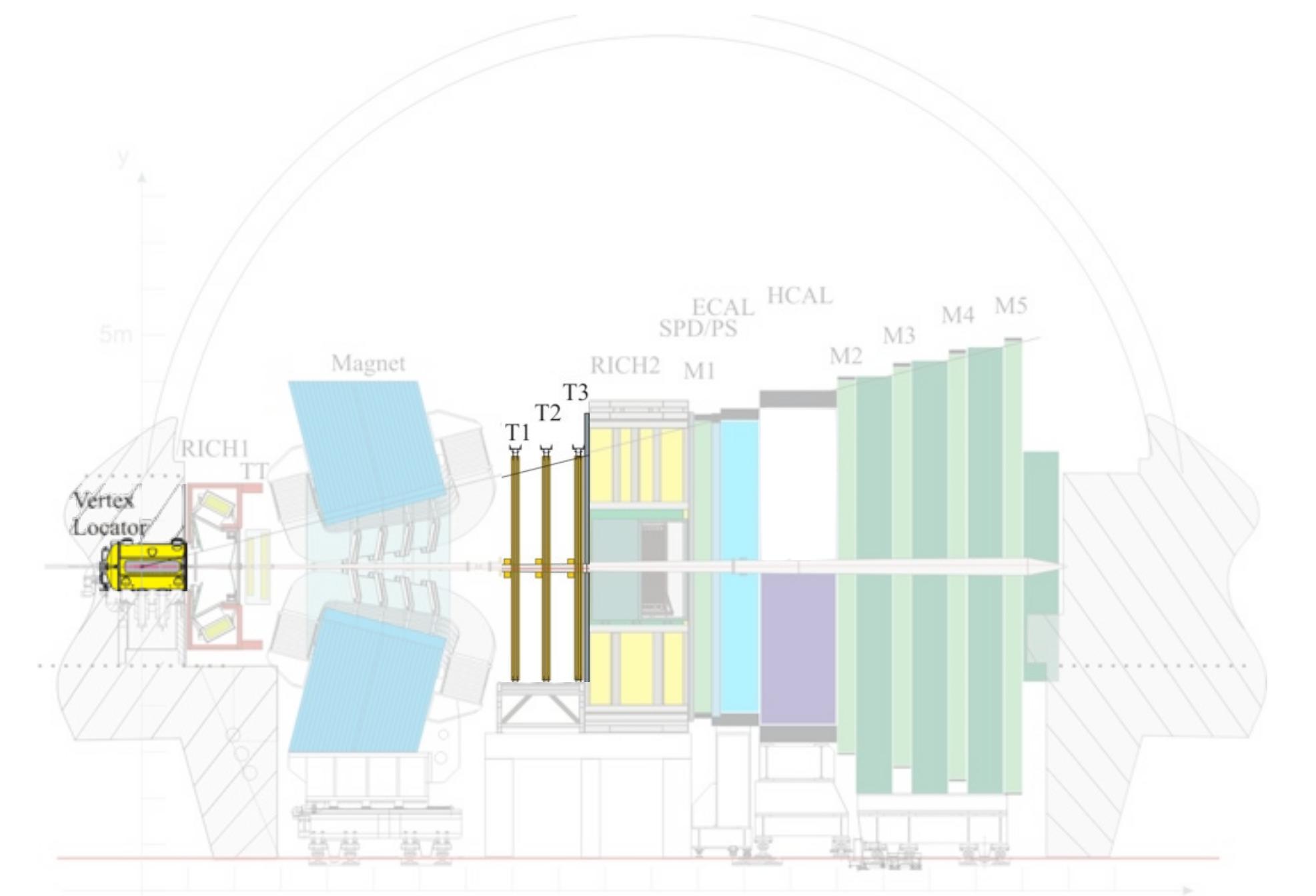
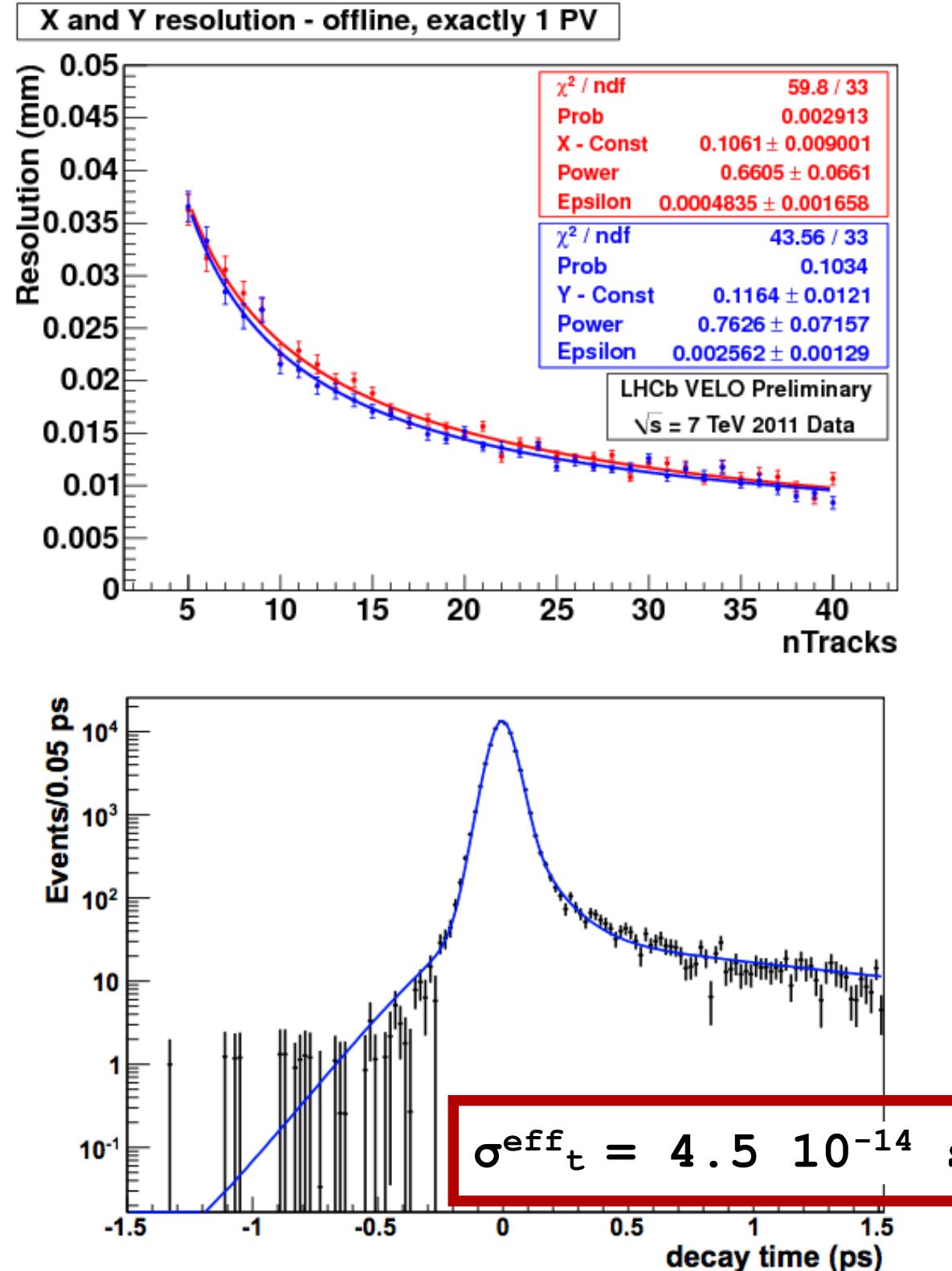


$$G(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Rendimiento del detector LHCb



Rendimiento del detector LHCb



¡Se pueden medir tiempos de hasta unos pocos $\sim 10^{-14}$ segundos!

Pero sigue siendo complicado...

Hay ruido de fondo,

Pero sigue siendo complicado...

Hay **ruido de fondo**,

Masa invariante del sistema kaón-píón compatible con la del D^0



Kaón y píón de cargas opuestas

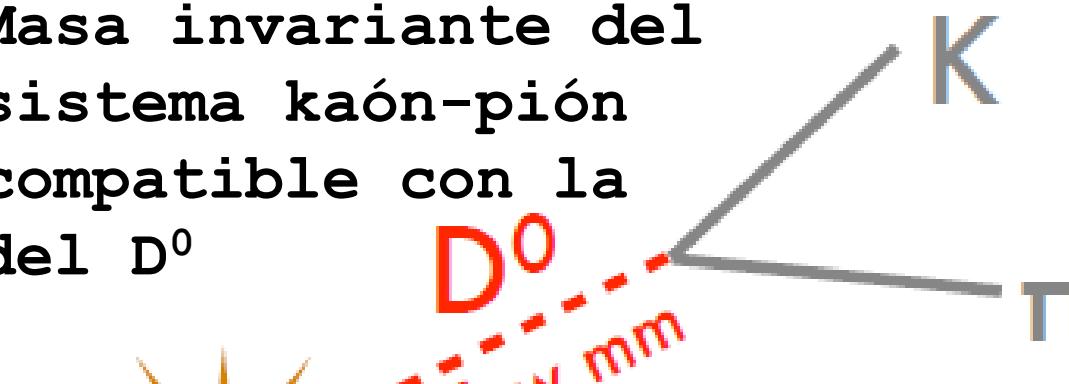
Distancia de vuelo del D^0 (vértice desplazado), a partir de la que se infiere el tiempo de vida

primary
vertex

Pero sigue siendo complicado...

Hay **ruido de fondo**, y **hay mesones D que no provienen del vértice primario** donde se ha producido la colisión

Masa invariante del sistema kaón-píón compatible con la del D^0

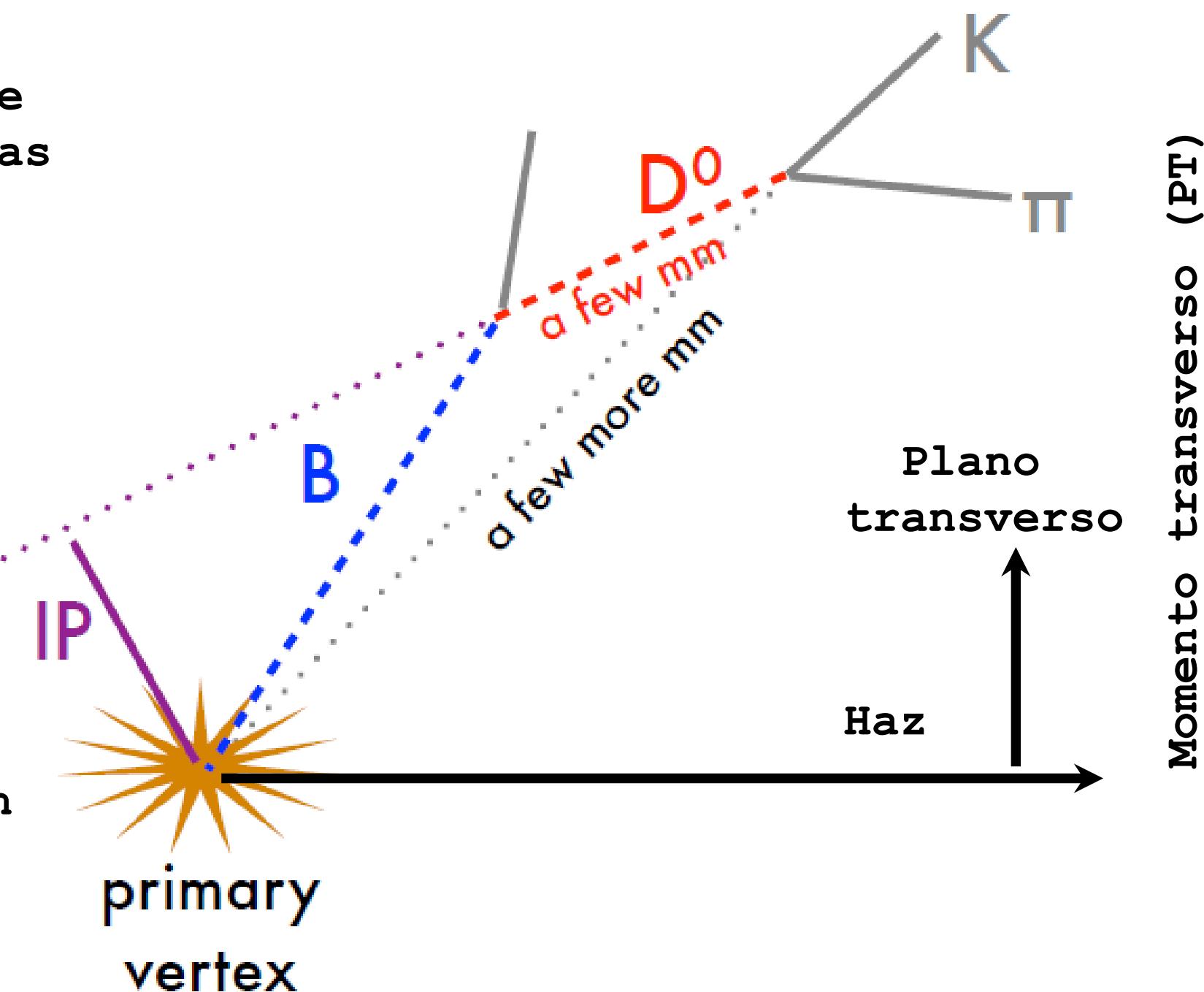


Kaón y píón de cargas opuestas

Distancia de vuelo del D^0 (vértice desplazado), a partir de la que se infiere el tiempo de vida

primary
vertex

Parámetro de impacto (IP): distancia de máxima aproximación de la línea de vuelo del D^0 al vértice primario)



Pero...



El 10% de las interacciones en LHC produce un hadrón (mesón o barión) con charm:
¡LHCb ha registrado miles de millones de desintegraciones de estos hadrones!

Los objetivos del ejercicio

Daros una idea de los datos producidos por el LHC

Enseñaros cómo seleccionar partículas en el LHC

Enseñaros algunas utilidades de “data science” con las que medir las propiedades físicas de la señal

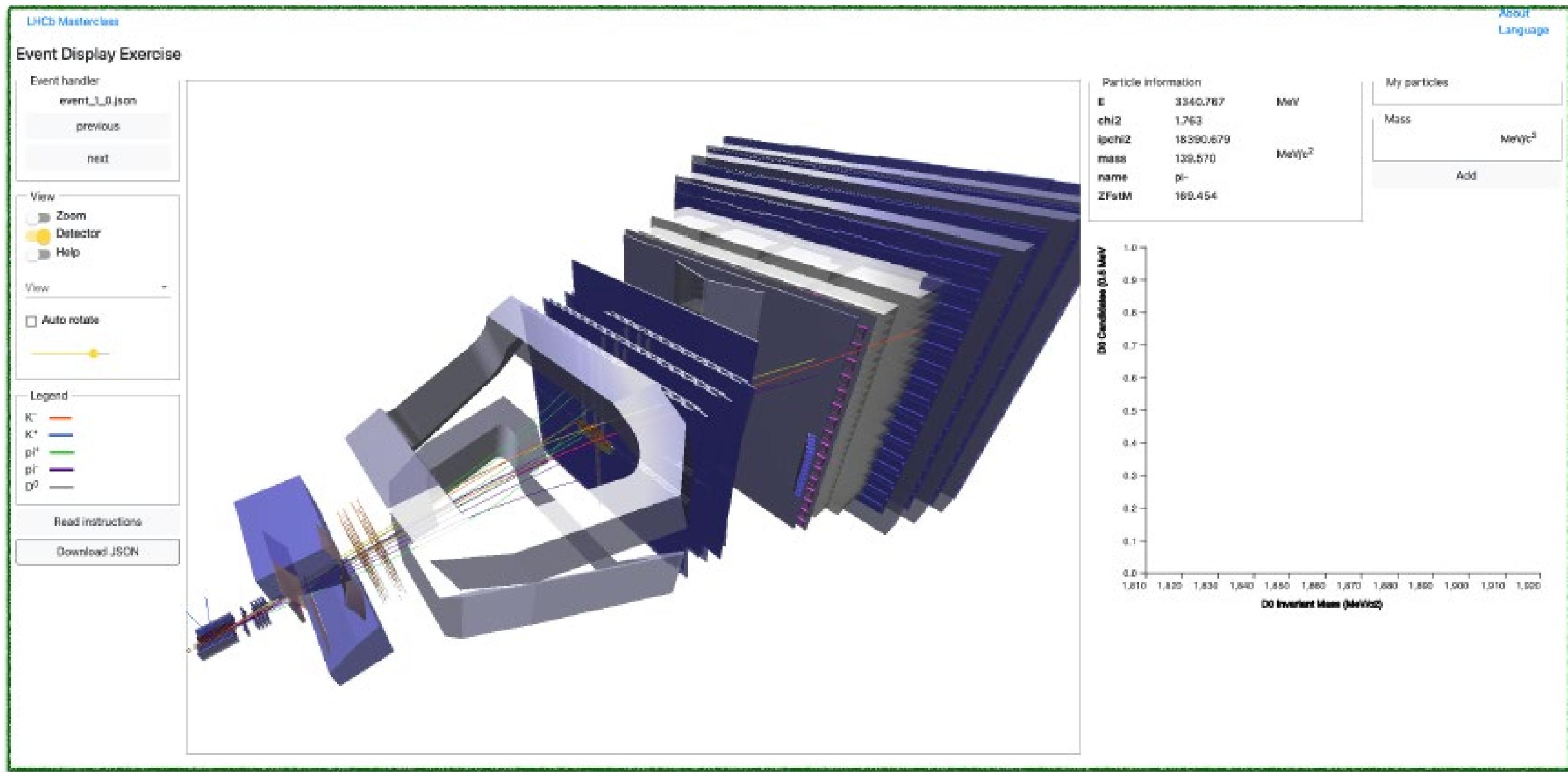
Mostrar algunos aspectos sobre incertidumbres sistemáticas en las medidas

The LHCb exercise - Event Display

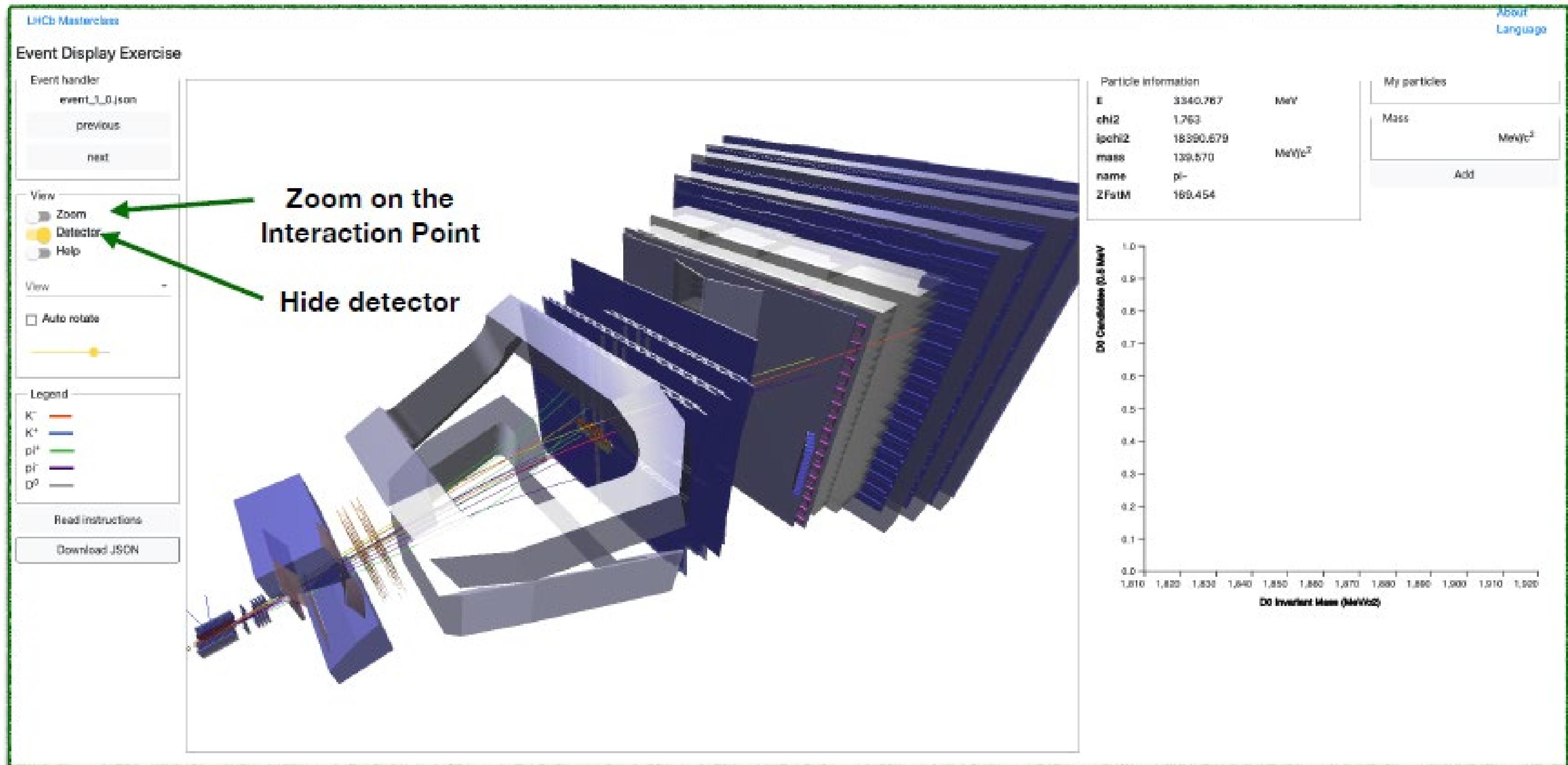
Part 1

Give it a try at <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

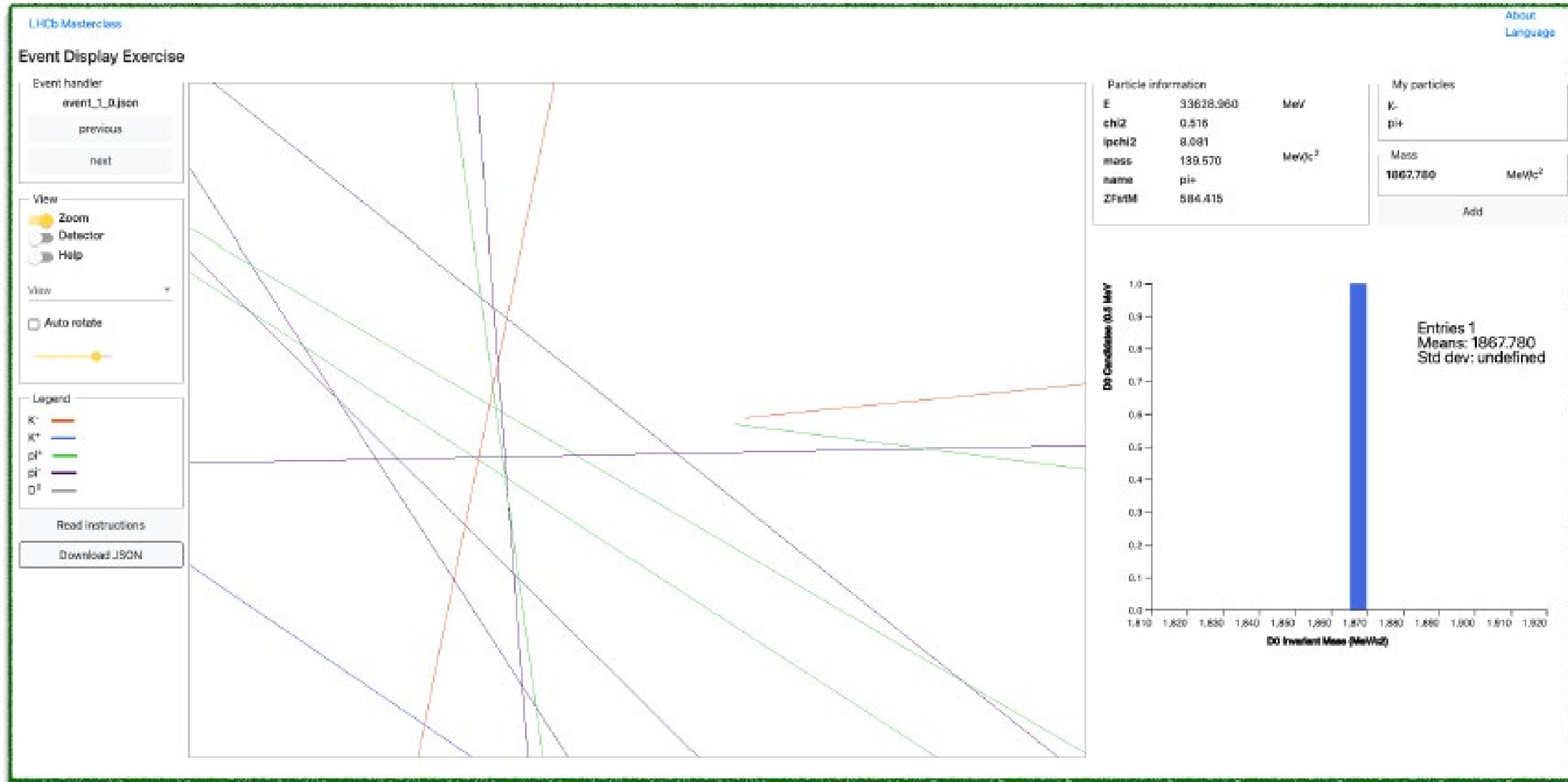
The LHCb exercise - Event Display



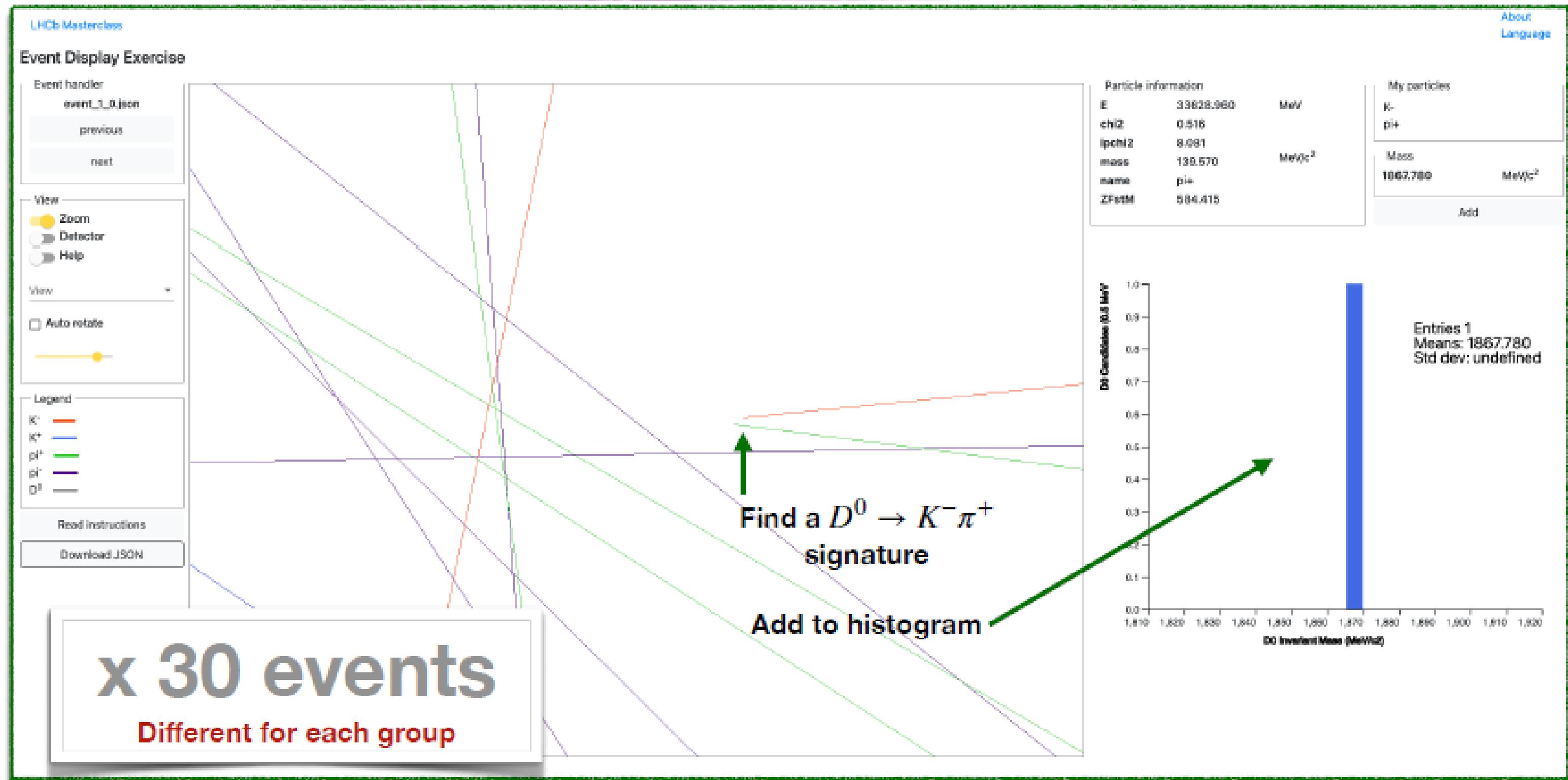
The LHCb exercise - Event Display



The LHCb exercise - Event Display



The LHCb exercise - Event Display



The LHCb exercise - Lifetime measurement

Part 2

Give it a try at <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

The LHCb exercise - Lifetime measurement

LHCb Masterclass

D^0 lifetime Exercise

Analysis tools

- Plot D^0 mass
- Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1610 1675

Plot distributions

Variable range

D^0 PT

2.5 25

D^0 TAU

0 10

D^0 IP

-4 1.5

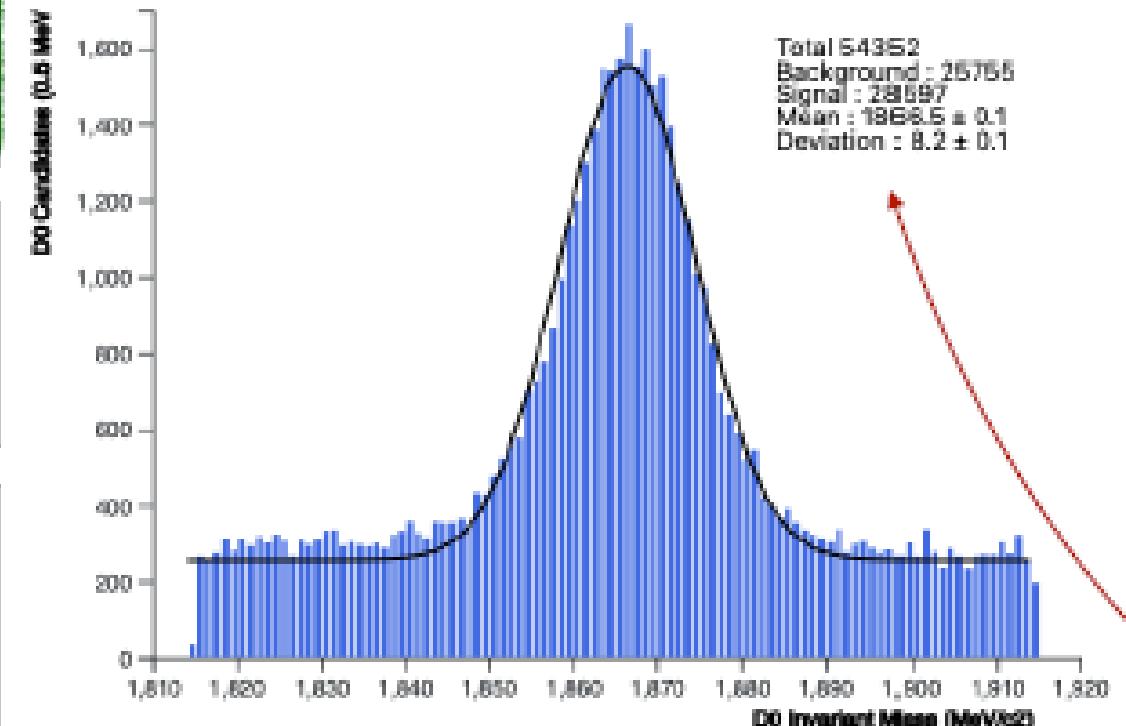
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result

Read instructions



1. Plot a D^0 sample (same sample for everybody)
2. Fit the distribution (get N_{sig} , N_{bkg})

The LHCb exercise - Lifetime measurement

LHCb Masterclass

About
Lang:

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1840

1860

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

20

30

D⁰ TAU

0

10

D⁰ IP

-1

10

Refresh

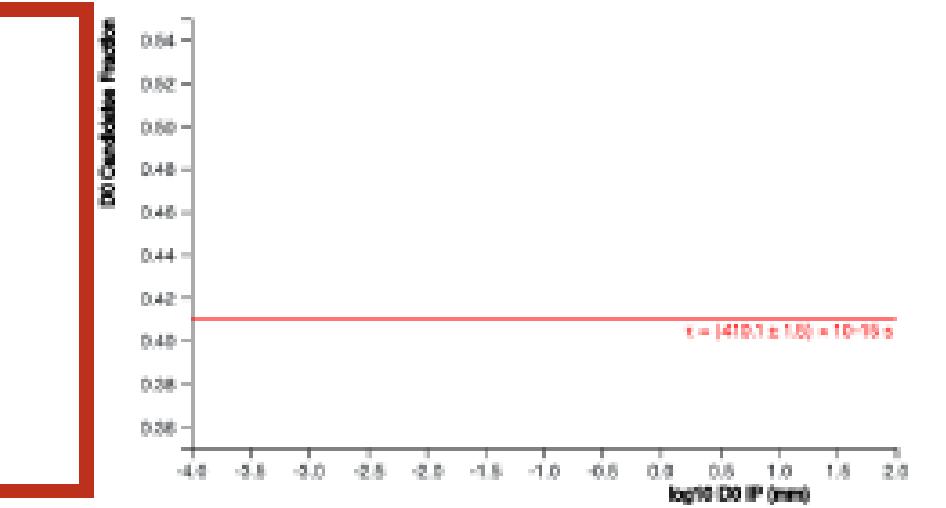
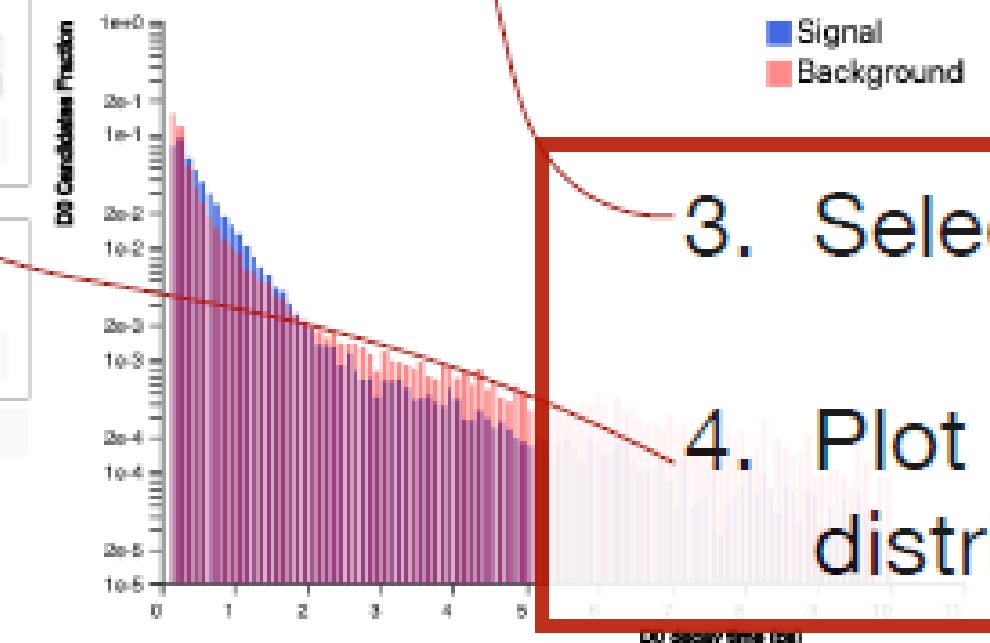
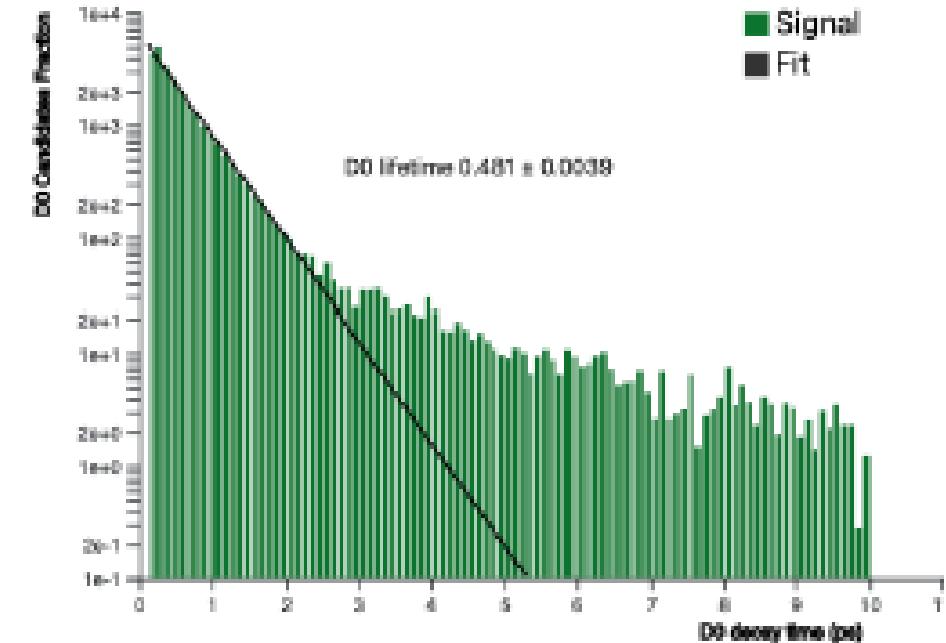
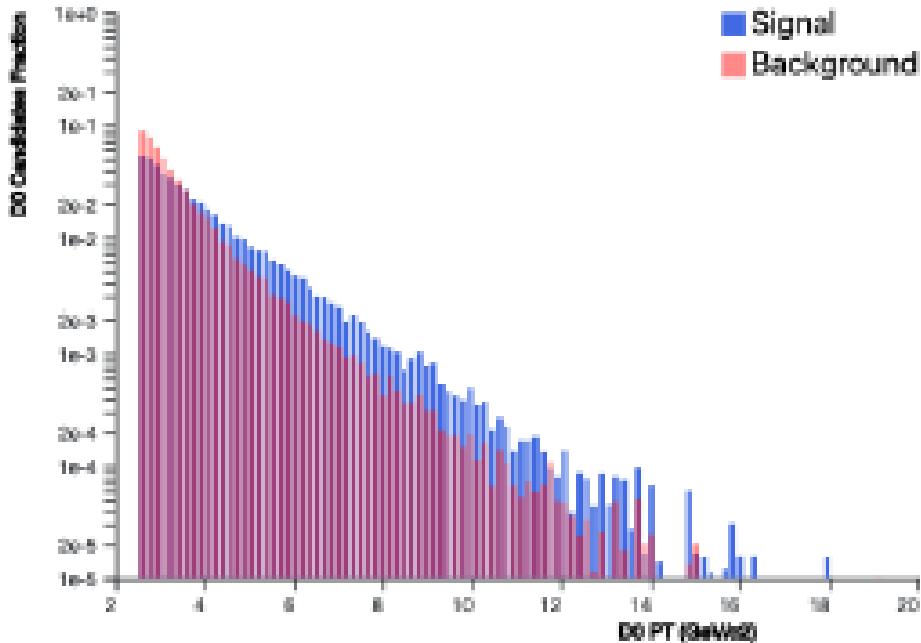
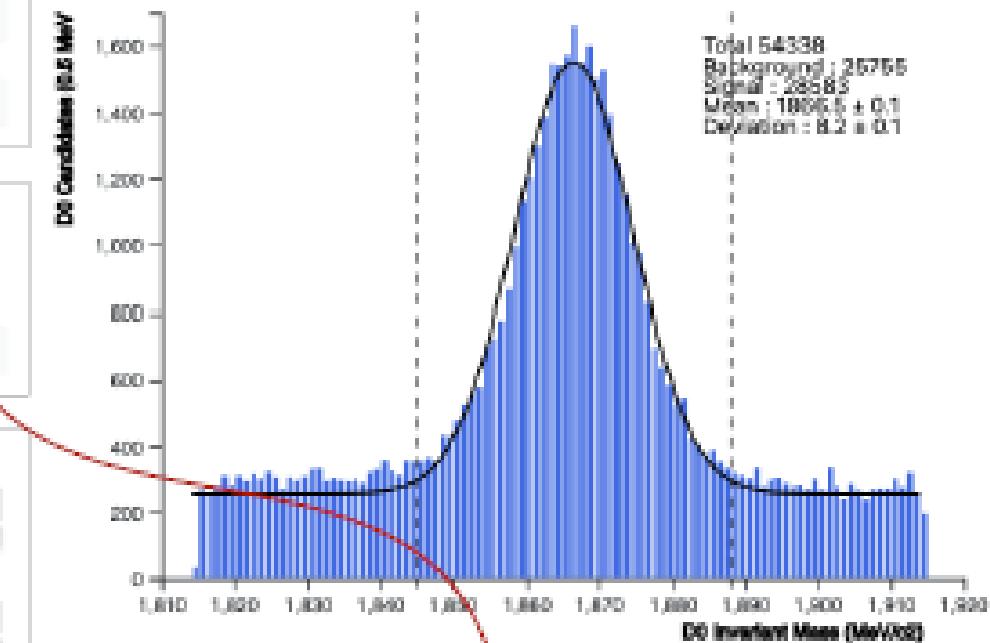
Time fit

Fit result (ps) Fit Error 0.0039

0.481

Save result

Read instructions



3. Select signal range

4. Plot Signal/Background distributions and lifetime fit

The LHCb exercise - Lifetime measurement

LHCb Masterclass

Ab
Lat

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1840 1847

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

20 20

D⁰ TAU

1 10

D⁰ IP

-1 1

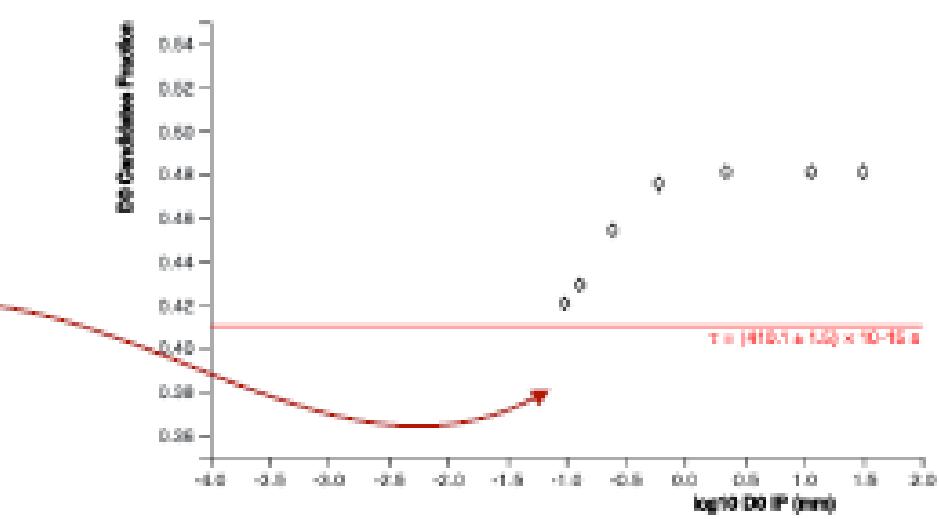
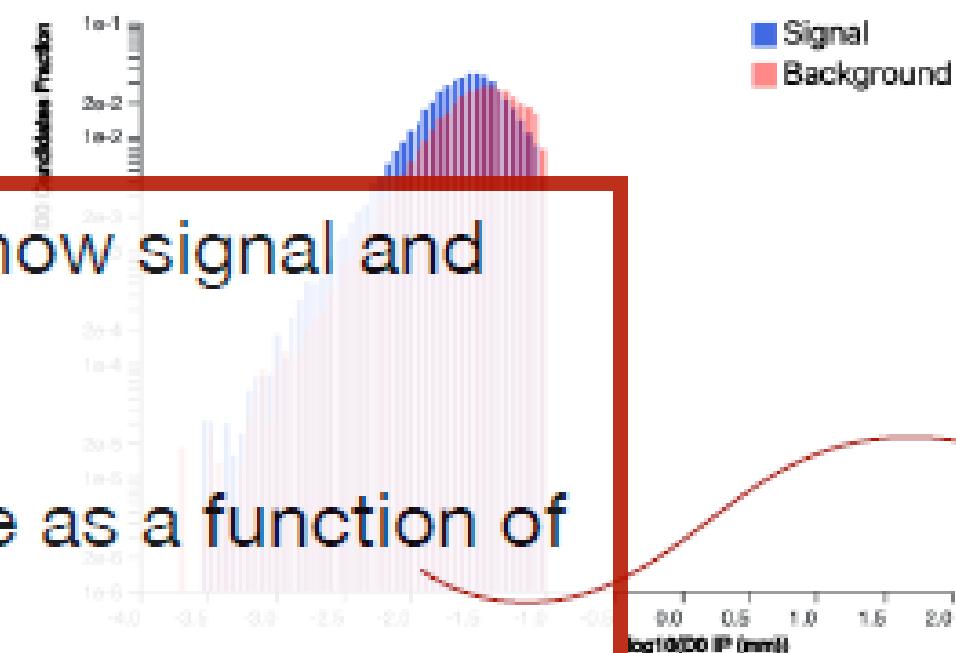
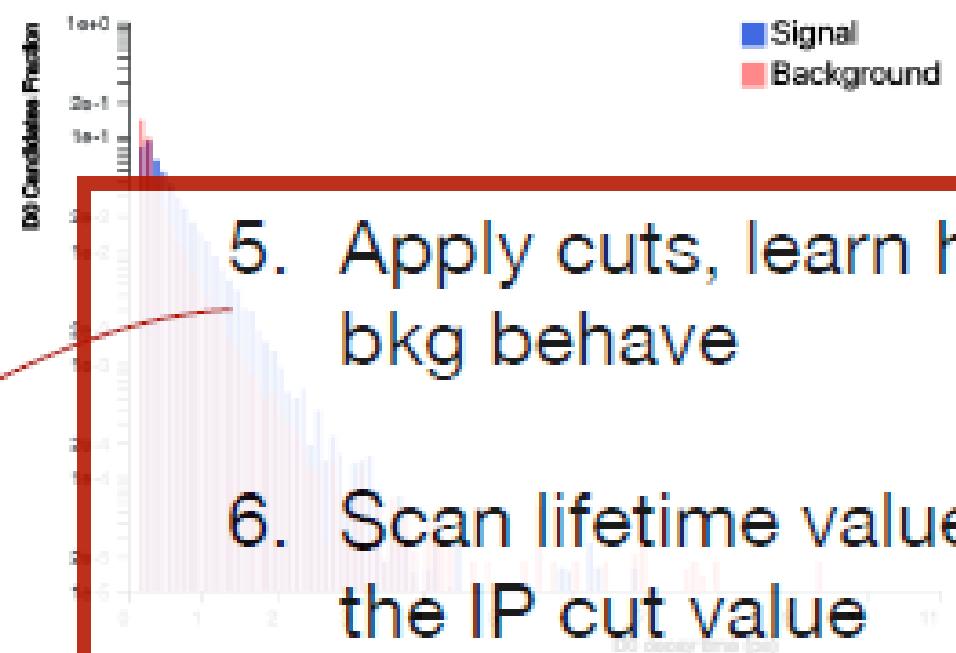
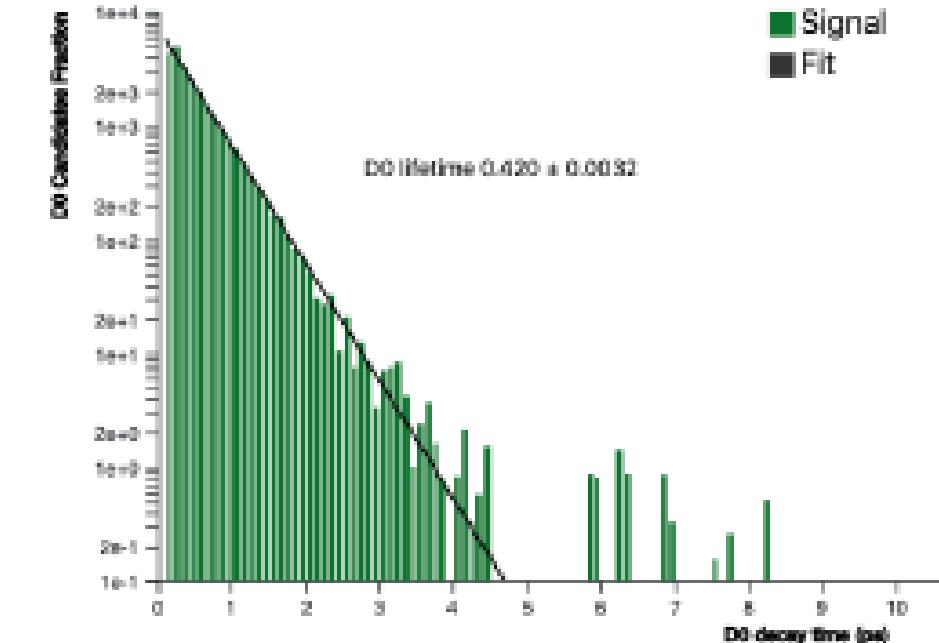
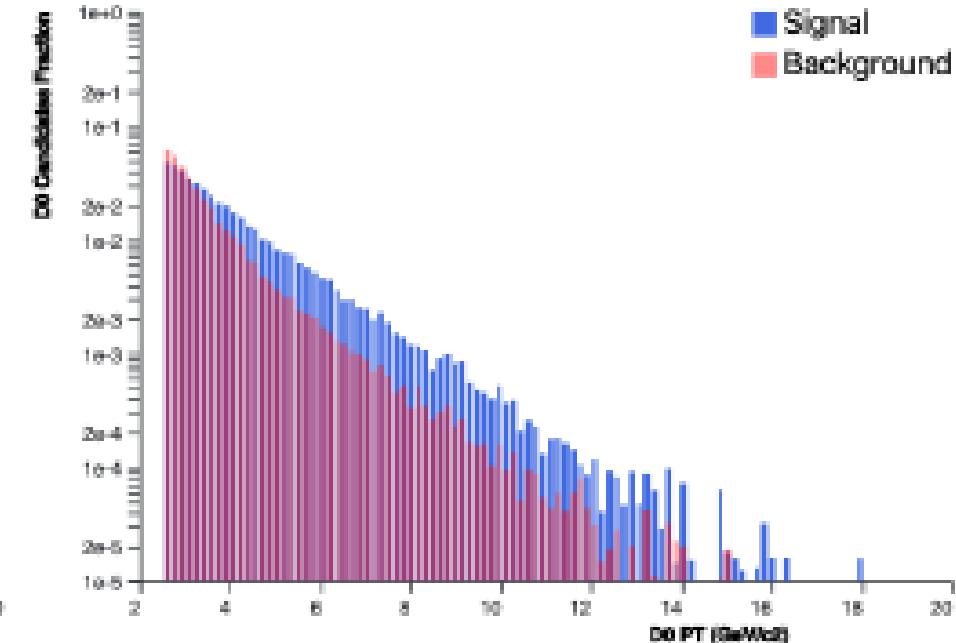
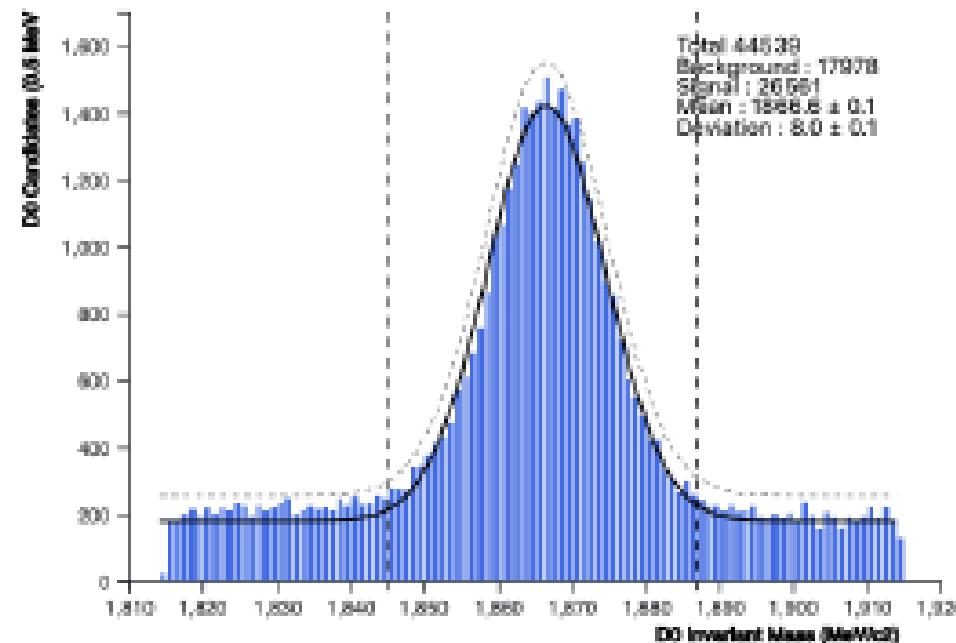
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error 0.0032

Save result

Reconstruction



5. Apply cuts, learn how signal and bkg behave

6. Scan lifetime value as a function of the IP cut value

The LHCb exercise - Lifetime measurement

LHCb Masterclass

Abo
Lan

D^0 lifetime Exercise

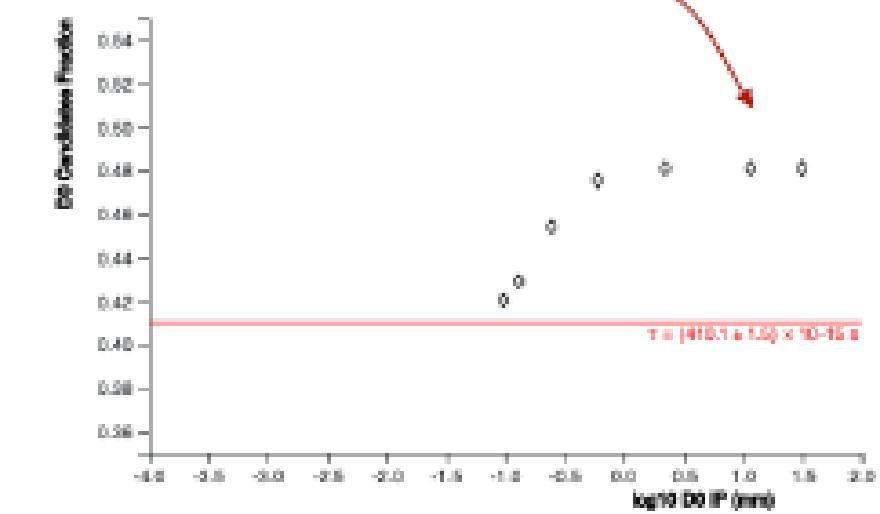
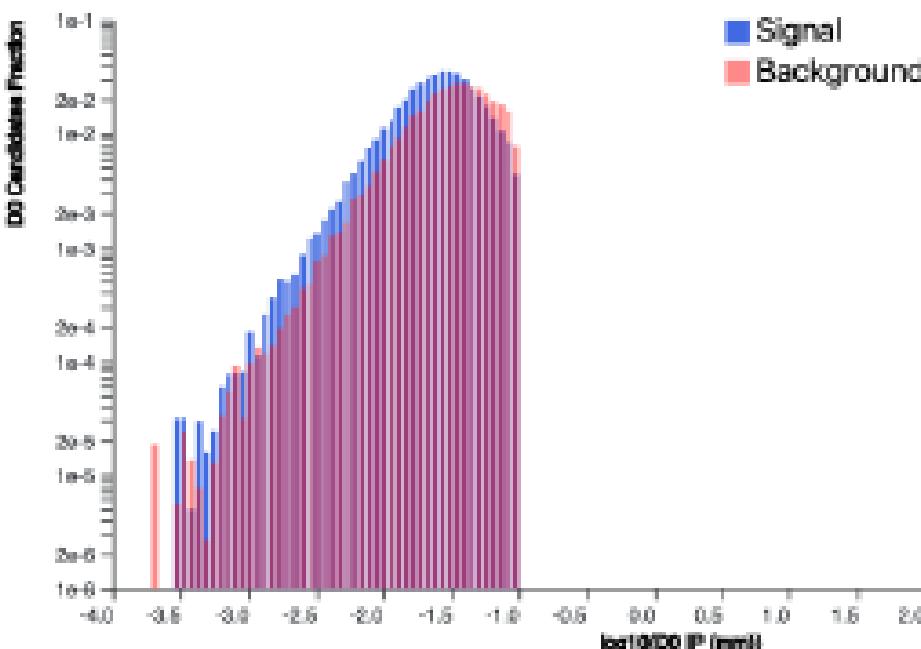
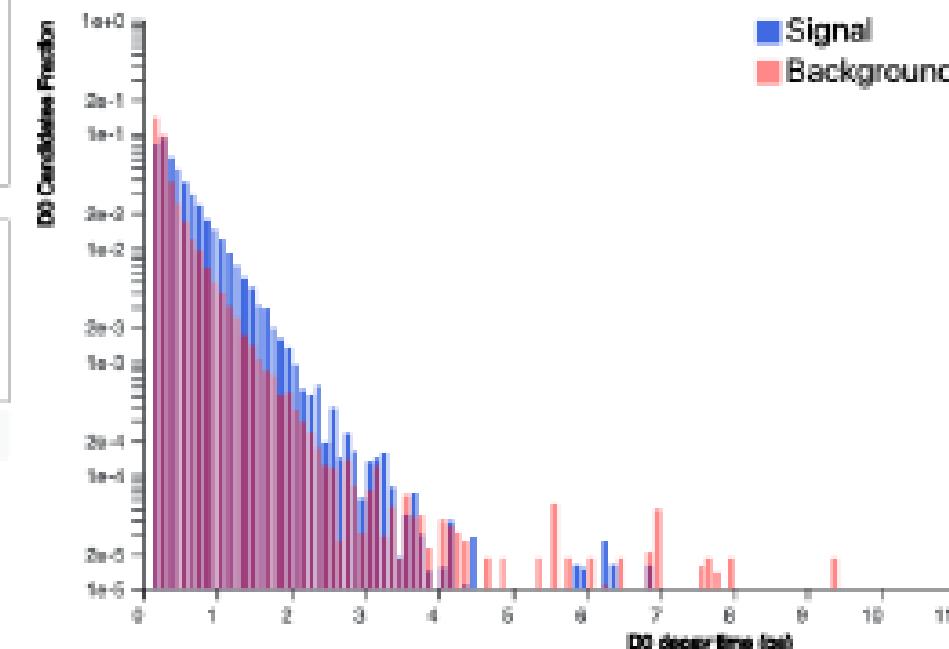
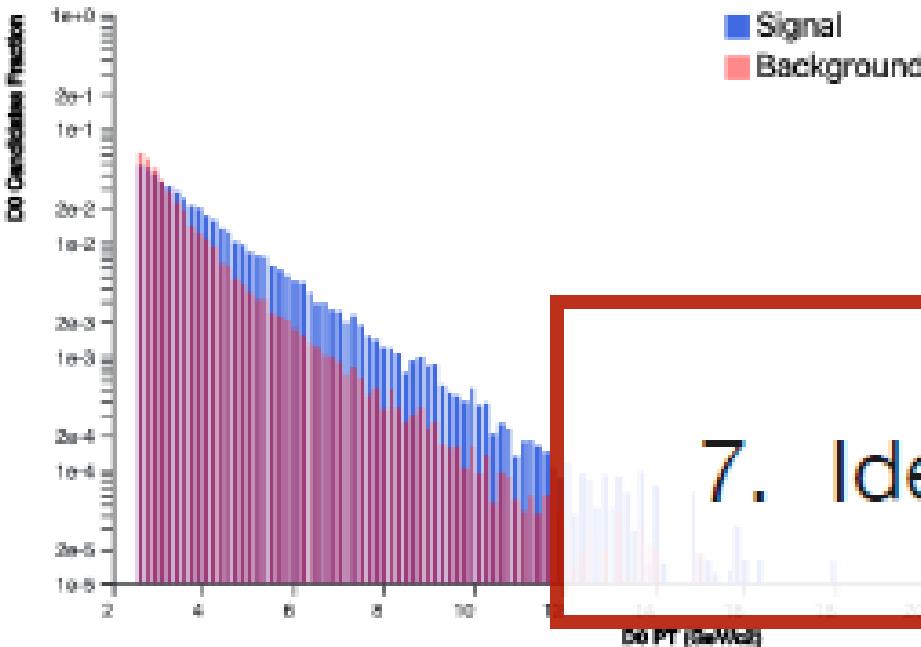
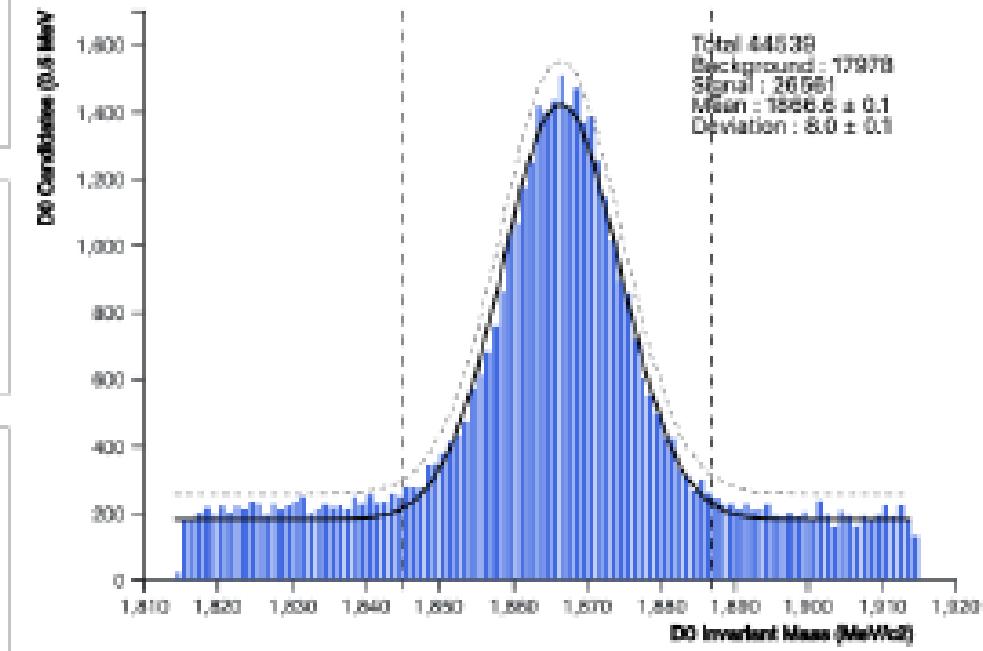
Analysis tools

Plot D^0 mass
Fit mass distribution

Background substr.
Signal range
Plot distributions

Variable range
 D^0 PT
25 29
 D^0 TAU
1 19
 D^0 IP
-4 0
Refresh

Time fit
Fit result (ps): Fit Error 0.0032
0.420
Save result
Read instructions



7. Identify non-prompt D^0 s!

When all else fails, read the instructions

- Agnes Allen

LHCb Masterclass

[About](#)

[Language](#)

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

- Plot D⁰ mass
- Fit mass distribution
- Background subtraction
- Signal range
- Plot distributions

Variable range

- D⁰ PT: 0.10 to 20
- D⁰ TAU: 0.5 to 10
- D⁰ IP: -4 to 4.67

Time fit:

Fit result (ps) Fit Error/0.033
0.421

Save result

Read Instructions

Welcome to the LHCb masterclass exercise on measuring the lifetime of the D0 meson.

The goal of this exercise is to measure the lifetime of the D0 meson, a fundamental particle made of a charm quark and an up anti-quark. In order to do so, you will first learn how to separate signal D0 mesons from backgrounds. Finally, you will compare your results to the values found by the Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>).

Step-by-step instructions :

1. Plot the D0 mass distribution. The mass of the D0 is a fundamental variable which separates signal (the peaking structure in the middle) from the flat background.
2. Read the results of the fit and use them to determine the signal range. The function being fitted to the signal is a Gaussian, whose width, indicated by the greek letter σ , is related to how far the signal extends from the mean (most probable) value. In particular, an interval of $\pm 3\sigma$ around the mean value contains 99.7% of the signal, while $\pm 1\sigma$ contains 68% of the signal. Use the slider to set the signal range to be $\pm 3\sigma$ around the mean value.
3. Plot the variable distributions. You will see three further plots appearing, and in each one the blue points represent the distribution of the signal in that variable while the red points represent the distribution of the background. The plot is logarithmic in the Y axis, and each point represents the fraction of the total signal in that bin. Which regions of each variable contain mostly signal? Which contain mostly background?
4. Fit the lifetime distribution. Save the results of your fit and compare them to the PDG value. Do they agree? 5. Repeat step 4 but now varying the upper D0 log(IP) variable range from 1.5 to -2 in steps of 0.2. Do you notice a pattern? Talk to a demonstrator about your results. Does the D0 lifetime with an log(IP) cut of -1.5 agree better or worse with the PDG than the lifetime with an log(IP) cut of 1.5?

Close

Resultados y preparación de la videoconf

Leed la hoja que os entregaremos en las aulas de informática.

Cada grupo debe producir el histograma de la masa del D0 : los recolectaremos al final de la sesión. Seguid las instrucciones de la hoja.

Cada grupo producirá la gráfica de la vida media en función del corte superior en IP. Almacenar el pdf de la pantalla (browser). Anotar en la hoja el mejor valor de la vida media, y los valores de los cortes.

Cuestiones para la videoconferencia:

Question 1: How did the D0 mass distribution change with more data?

Question 2: What can cause the background in the invariant mass distributions?

Question 3: Did your result of lifetime agree with the world average value listed in PDG tables?

Question 4: How much data would you need to be as precise as the current world average? As example take your error ~5 fs, PDG world average error ~1 fs