

LHCb Masterclass 2024

Esperimento LHCb e misura della vita media del mesone D^0

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Firenze



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
SEZIONE DI FIRENZE

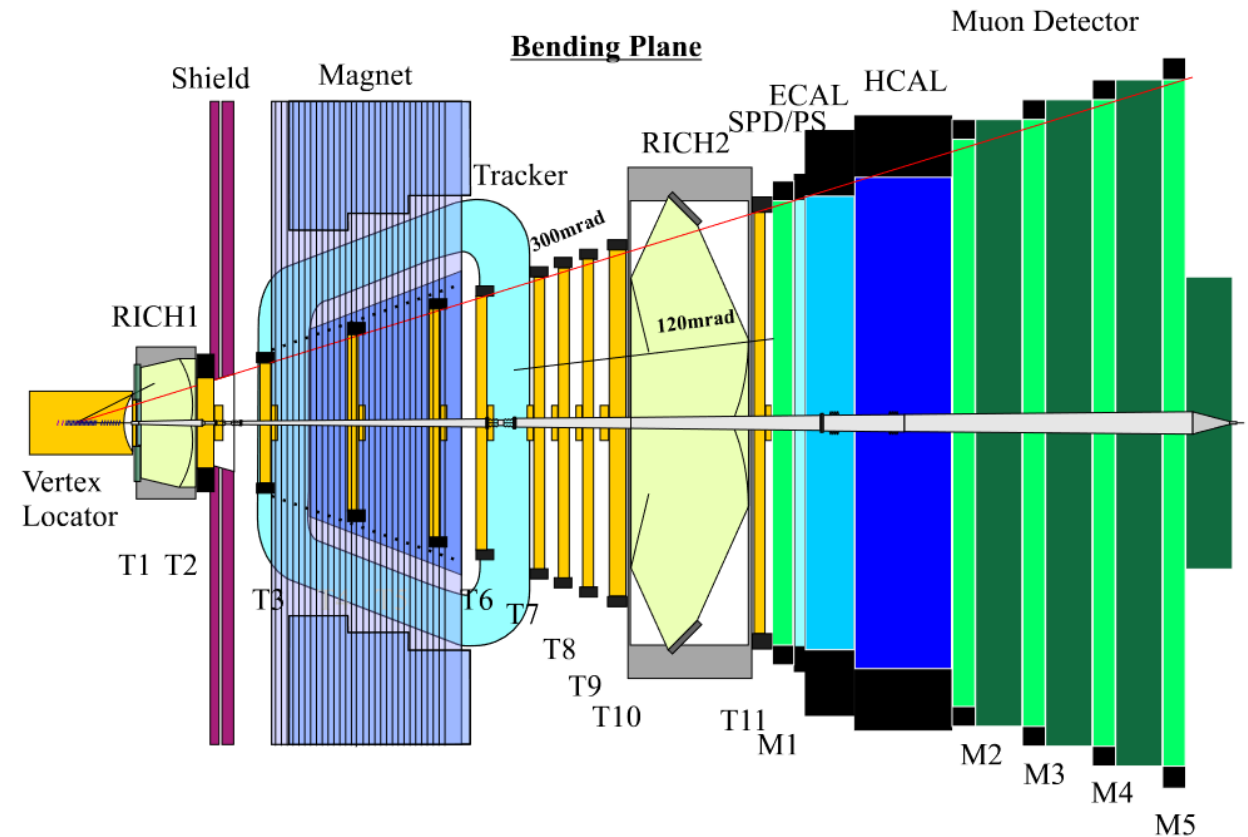
16 Febbraio 2024
fabio.davolio@edu.unifi.it



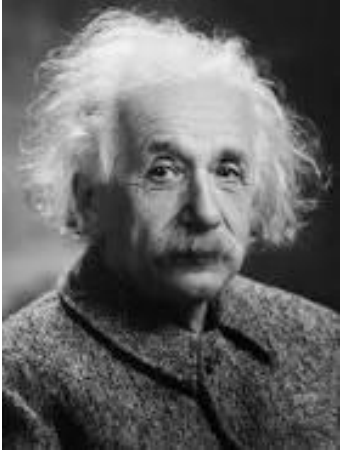
Esperimento LHCb

LHCb è uno dei quattro grandi esperimenti dell'acceleratore LHC al CERN

Uno degli scopi principali dell'esperimento è la misura dei parametri della violazione di CP



Predizione dell'antimateria

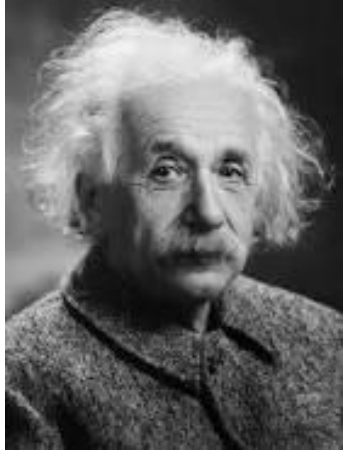


Albert Einstein, 1905

Meccanica **Relativistica**

$$E = \gamma mc^2$$

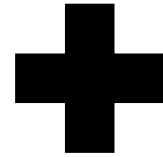
Predizione dell'antimateria



Albert Einstein, 1905

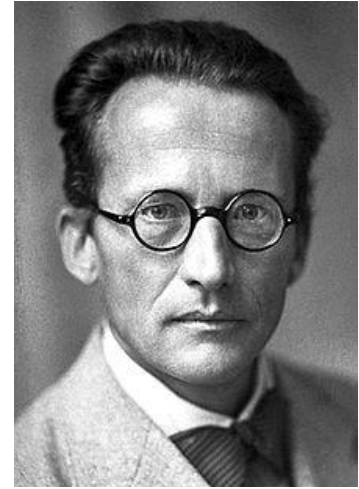
Meccanica **Relativistica**

$$E = \gamma mc^2$$



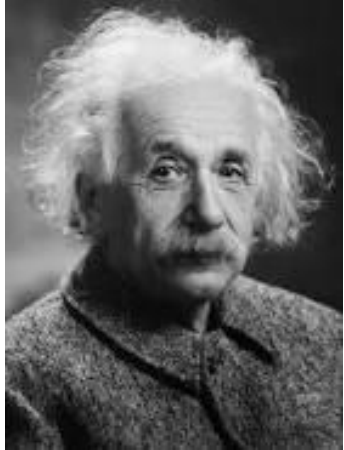
Meccanica **Quantistica**

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\vec{r}, t) = \hat{H}\psi(\vec{r}, t)$$



Erwin Schrodinger, 1926

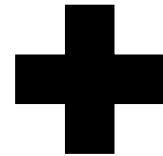
Predizione dell'antimateria



Albert Einstein, 1905

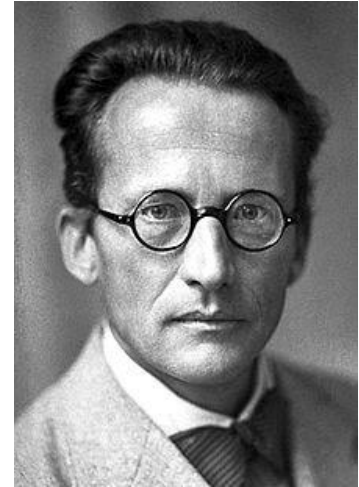
Meccanica **Relativistica**

$$E = \gamma mc^2$$



Meccanica **Quantistica**

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\vec{r}, t) = \hat{H}\psi(\vec{r}, t)$$



Erwin Schrodinger, 1926

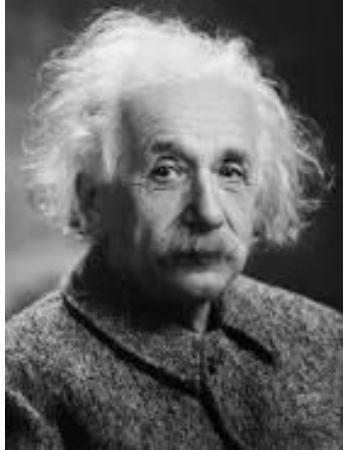
Meccanica **Quantistica Relativistica**

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$



Paul A. M. Dirac, 1929

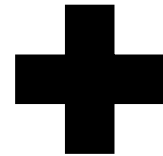
Predizione dell'antimateria



Albert Einstein, 1905

Meccanica **Relativistica**

$$E = \gamma mc^2$$



Meccanica **Quantistica**

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\vec{r}, t) = \hat{H}\psi(\vec{r}, t)$$



Erwin Schrodinger, 1926

Meccanica **Quantistica Relativistica**

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

Problema!

Presenta soluzioni a energia negativa



Paul A. M. Dirac, 1929

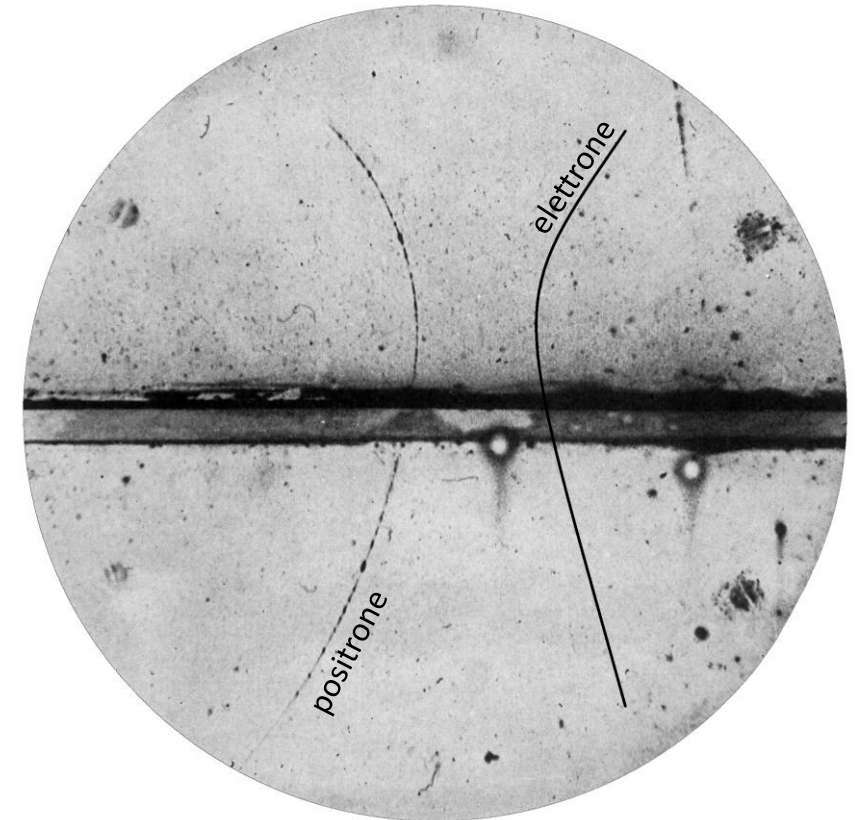
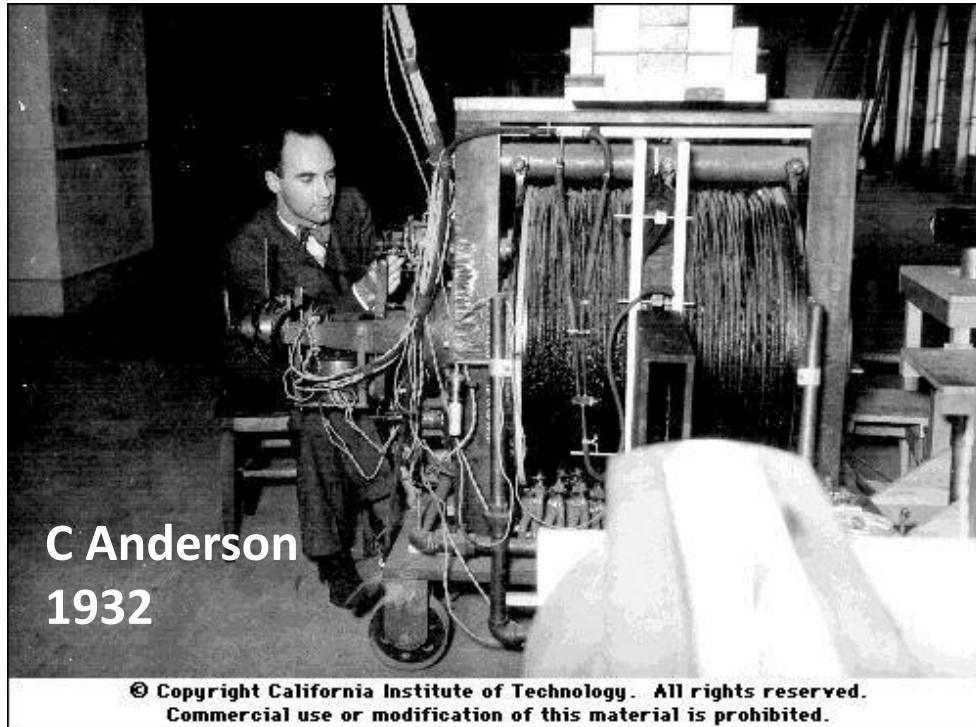
Soluzioni a energia negativa descriverebbero bene
'**elettroni di carica positiva**', che però non conosciamo

Osservazione dell'antimateria

La Forza di Lorentz è quella forza percepita da una particella carica che si muove in un campo magnetico

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

ed è opposta per cariche di segno opposto



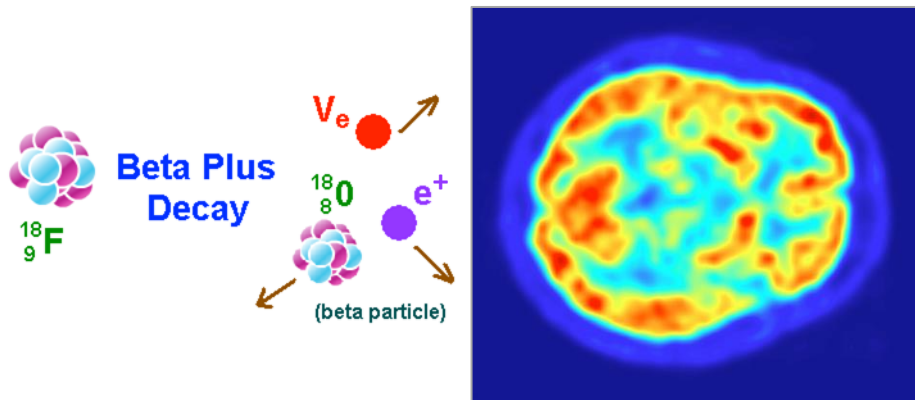
Studiando i raggi cosmici con un campo magnetico si trovarono tracce simili all'elettrone che curvavano dalla parte 'sbagliata'

Applicazioni dell'antimateria oggi

Applicazioni dell'antimateria oggi

PET scanner

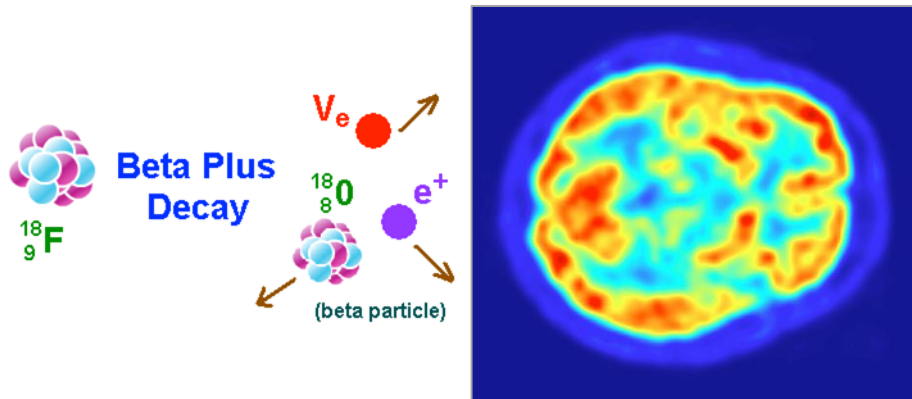
PET = **Positron** Emission Tomography



Applicazioni dell'antimateria oggi

PET scanner

PET = **Positron** Emission Tomography



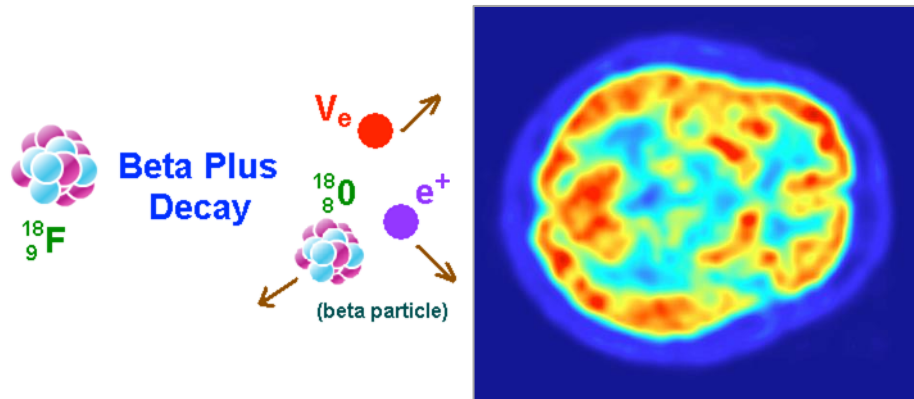
Ricerca scientifica



Applicazioni dell'antimateria oggi

PET scanner

PET = **Positron** Emission Tomography



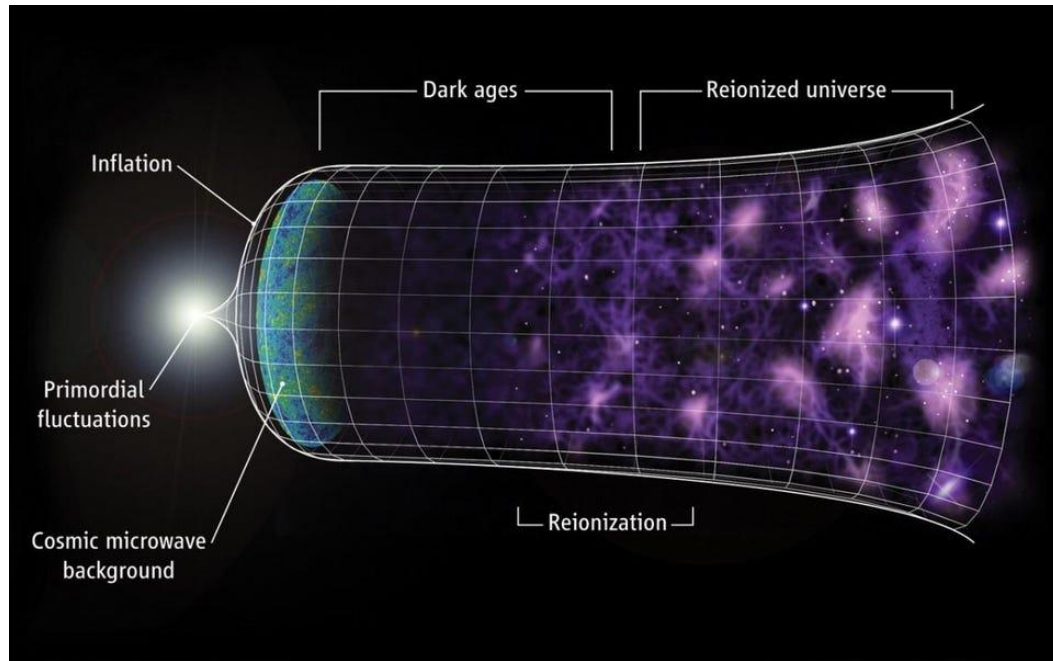
Ricerca scientifica



Fantascienza



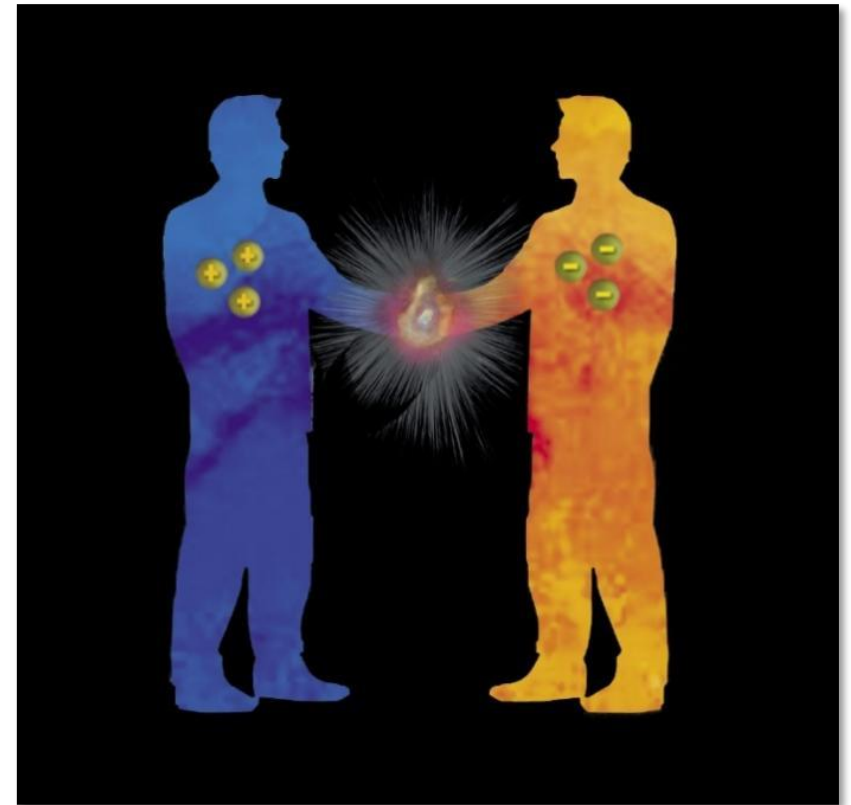
Perché ci interessa l'antimateria?



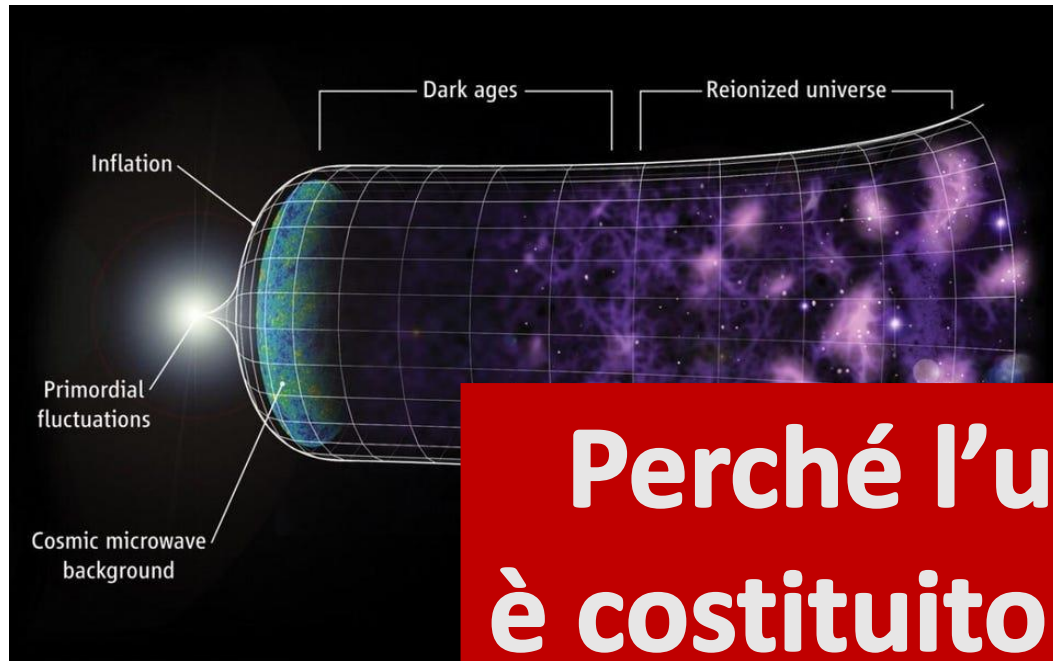
Si ritiene che al momento del Big-Bang si sia creata una uguale quantità di materia e di antimateria.

Quando materia e antimateria entrano in contatto, **annichilano**, cioè la loro massa si trasforma in energia secondo l'equazione di Einstein

$$E = mc^2$$



Perché ci interessa l'antimateria?



Si ritiene che al momento del Big-Bang si sia creata una uguale quantità di materia e di antimateria.

Perché l'universo attuale è costituito solo da materia?

Quando materia e antimateria entrano in contatto, **annichilano**, cioè la loro massa si trasforma in energia secondo l'equazione di Einstein

$$E = mc^2$$



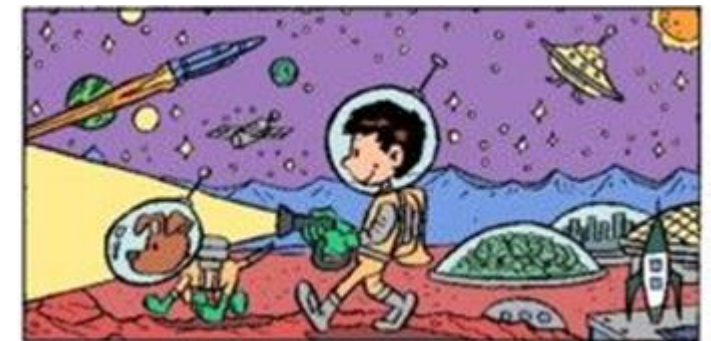
LHCb cerca una risposta

L'asimmetria materia-antimateria può essere osservata, ad esempio, studiando particelle che contengono i quark b

I quark b non sono presenti nella materia ordinaria perché sono instabili, ma sono stati creati in grande quantità nel big-bang e possono essere prodotti nelle collisioni protone-protone a LHC

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
	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
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Quarks				
	<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
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	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
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson
Leptons				Gauge Bosons



Piccole differenze portano a grandi scoperte

Asimmetria?

Nel mondo delle particelle ci sono tre trasformazioni particolarmente interessanti

Asimmetria?

Nel mondo delle particelle ci sono tre trasformazioni particolarmente interessanti

PARITÀ (P): è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno delle coordinate spaziali



Trasformazione P
Le tre direzioni spaziali
sono tutte invertite
contemporaneamente.

Asimmetria?

Nel mondo delle particelle ci sono tre trasformazioni particolarmente interessanti

PARITÀ (P): è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno delle coordinate spaziali



INVERSIONE TEMPORALE (T): è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno del tempo

Asimmetria?

Nel mondo delle particelle ci sono tre trasformazioni particolarmente interessanti

PARITÀ (P): è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno delle coordinate spaziali



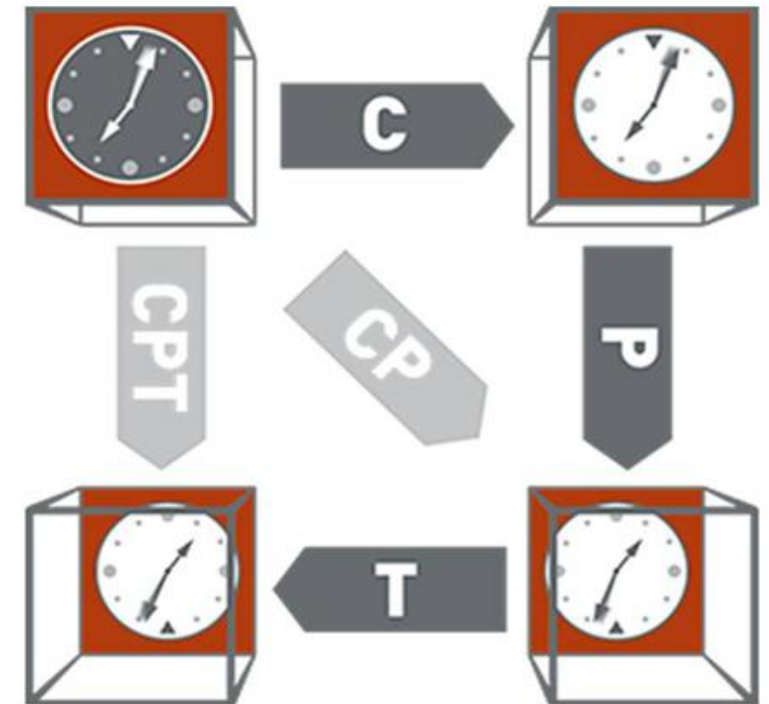
INVERSIONE TEMPORALE (T): è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno del tempo

CONIUGAZIONE DI CARICA (C): è la trasformazione che consiste nell'invertire tutte le cariche di un sistema, scambiando materia con antimateria



Violazione di CP

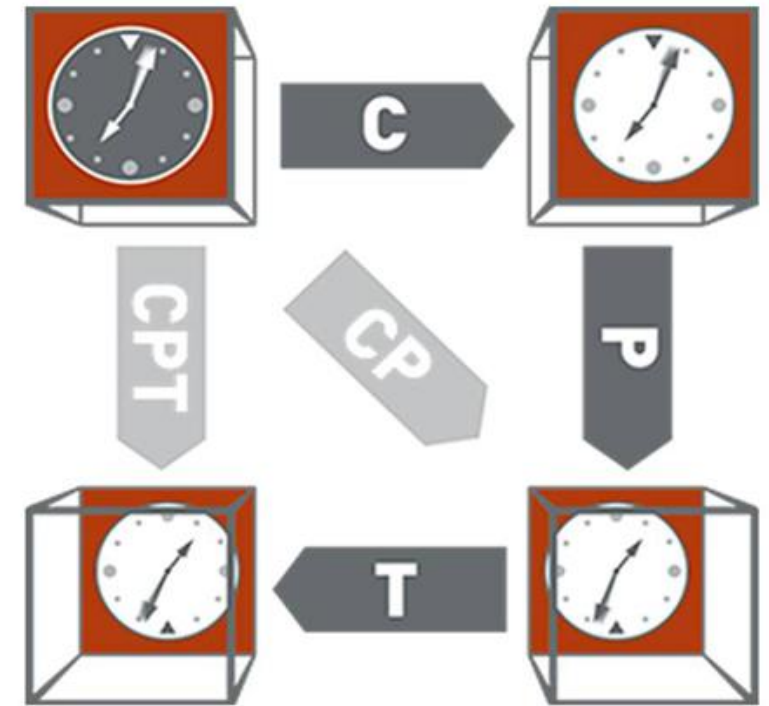
Nell'universo esiste la simmetria *CPT*: un processo e quello con antiparticelle, speculare e con la freccia del tempo invertita devono comportarsi nello stesso modo



Violazione di CP

Nell'universo esiste la simmetria *CPT*: un processo e quello con antiparticelle, speculare e con la freccia del tempo invertita devono comportarsi nello stesso modo

C e *P* sono singolarmente violate, quindi si osservano grandi differenze se si considera solo una di queste trasformazioni



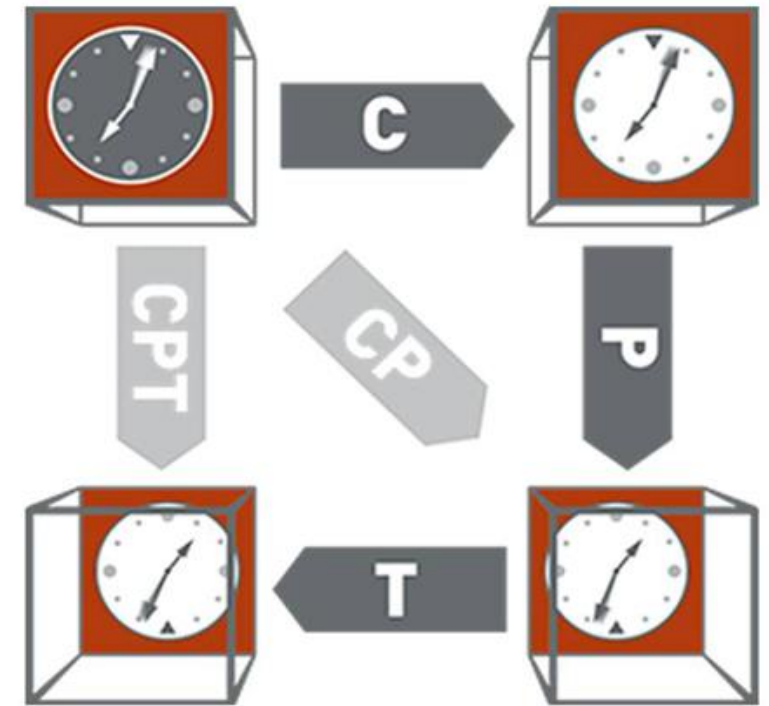
Violazione di CP

Nell'universo esiste la simmetria *CPT*: un processo e quello con antiparticelle, speculare e con la freccia del tempo invertita devono comportarsi nello stesso modo

C e *P* sono singolarmente violate, quindi si osservano grandi differenze se si considera solo una di queste trasformazioni

Se però considero *CP*, questa simmetria può essere violata solo se è violata anche *T*, perché

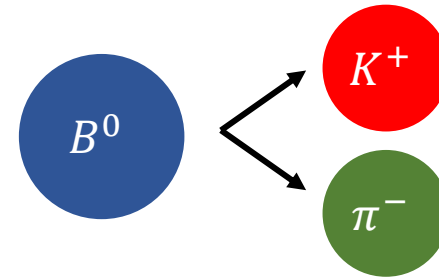
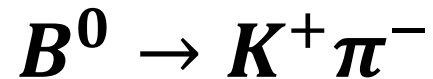
$$CPT = (-CP)(-T)$$



Come osservare la violazione di CP?

Nelle particelle contenenti quark b , i mesoni B, gli effetti dell'asimmetria materia-antimateria sono particolarmente ben visibili.

Consideriamo ad esempio il decadimento

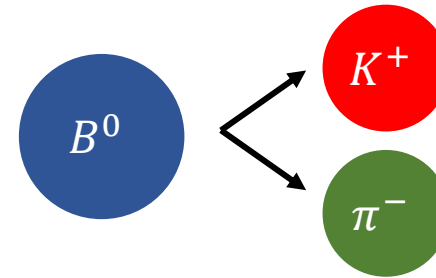
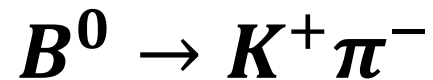


Come si potrebbe sfruttare per verificare se materia e antimateria si comportano nello stesso modo?

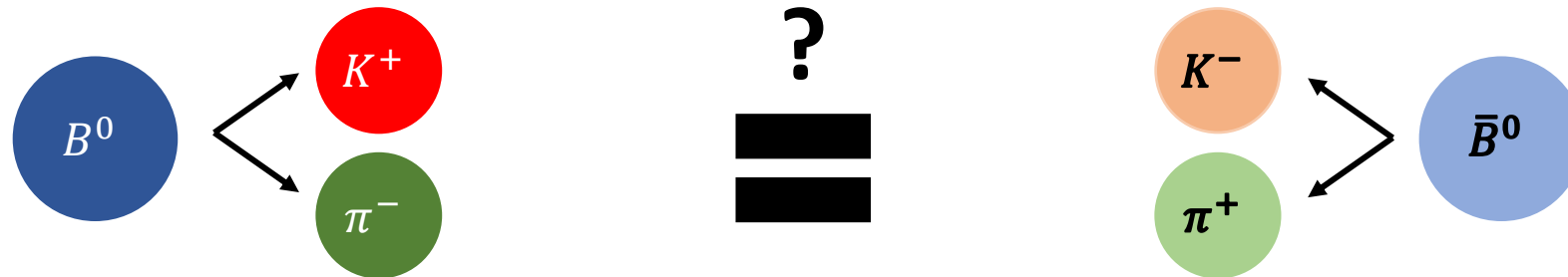
Come osservare la violazione di CP?

Nelle particelle contenenti quark b , i mesoni B, gli effetti dell'asimmetria materia-antimateria sono particolarmente ben visibili.

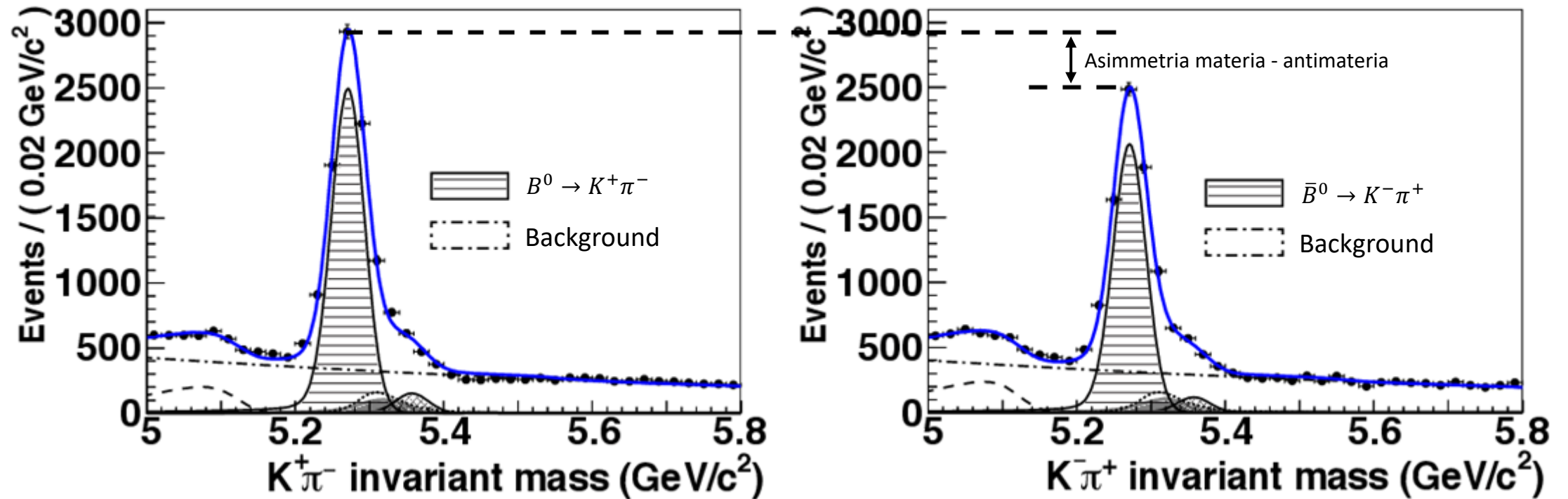
Consideriamo ad esempio il decadimento



Come si potrebbe sfruttare per verificare se materia e antimateria si comportano nello stesso modo?

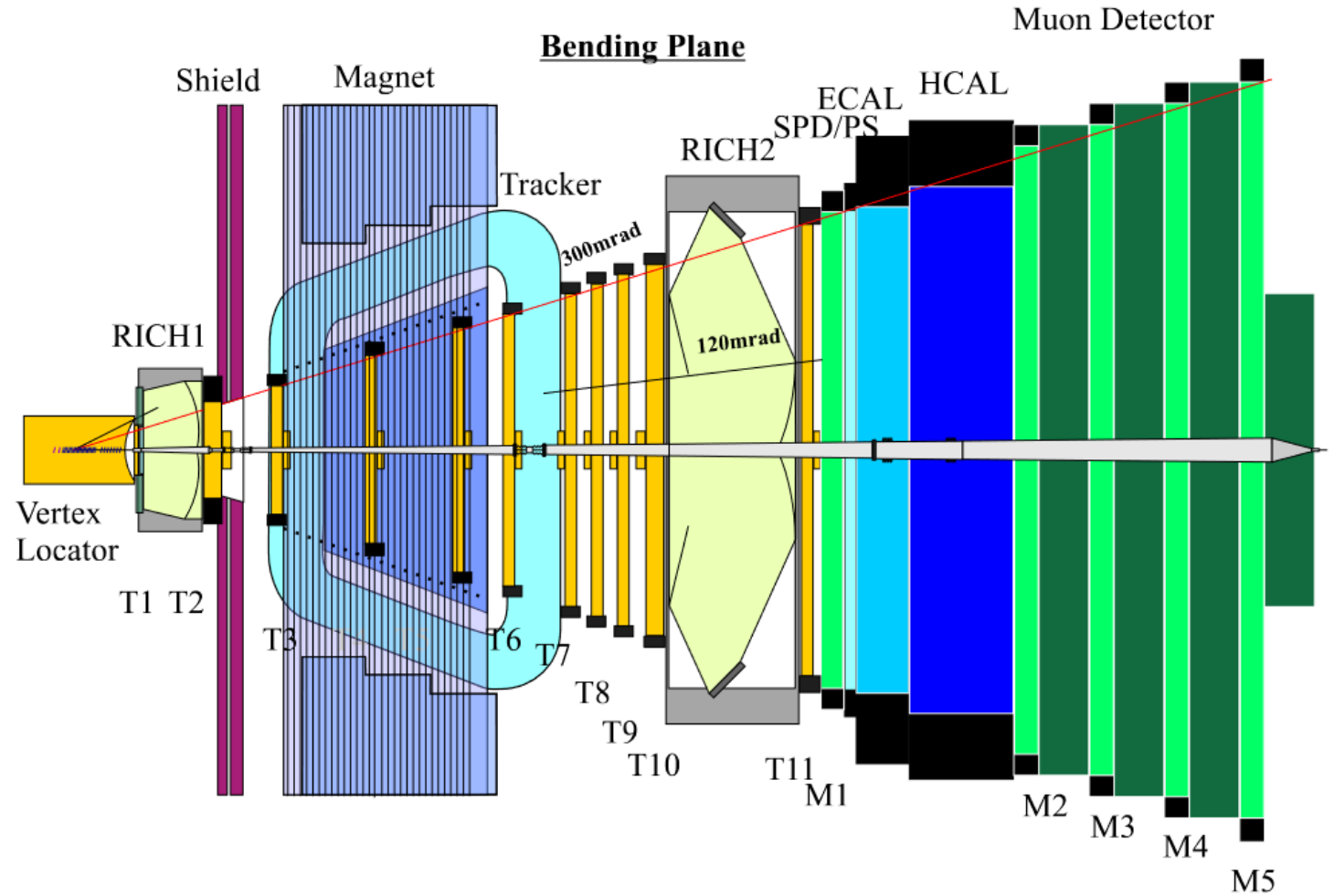


Osservazione di LHCb



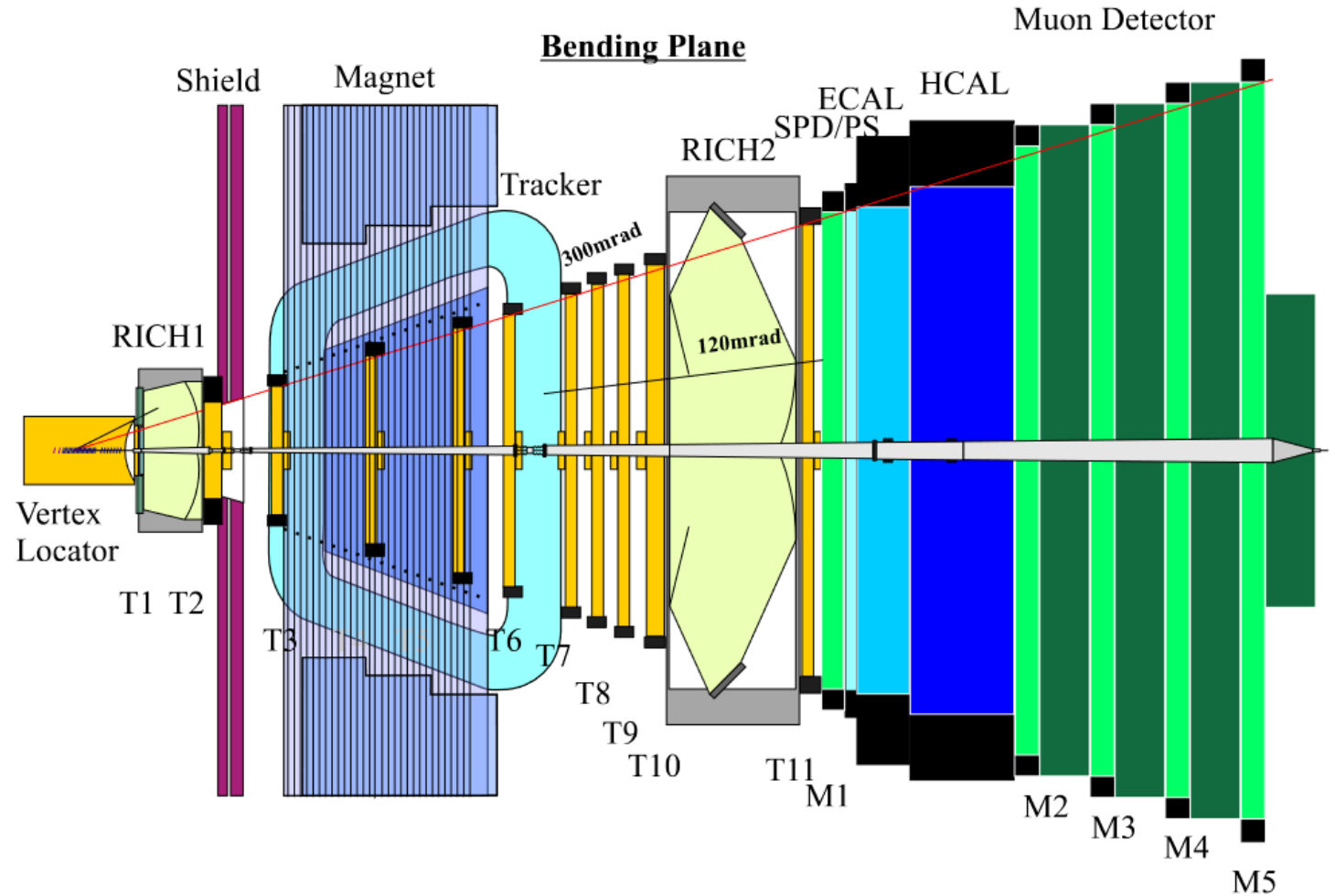
B^0 e \bar{B}^0 si comportano in maniera leggermente diversa!

Esperimento LHCb



Esperimento LHCb

1. Come funziona?
2. Perché è fatto così?
3. Come si riconoscono le particelle?



Rivelatori di particelle – Come funzionano?

Rivelatori di particelle – Come funzionano?



Occhio

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul nervo ottico

Rivelatori di particelle – Come funzionano?



Occhio

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul nervo ottico

TAC

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico da rivelatori a cristalli



Rivelatori di particelle – Come funzionano?



Occhio

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul nervo ottico



Fotocamera digitale

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul sensore

TAC

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico da rivelatori a cristalli



Rivelatori di particelle – Come funzionano?



Occhio

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul nervo ottico



Fotocamera digitale

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico sul sensore

TAC

Rivelatore di fotoni

Segnale elettrico da rivelatori a cristalli



Contatore Geiger

Rivelatore di elettroni, particelle α , etc.

Segnale elettrico dovuto a ionizzazione di un gas



Rivelatori di particelle – Come funzionano?



Occhio

Rivelatore di fotoni



Praticamente tutti i rivelatori di particelle funzionano con lo stesso principio: le particelle depositano energia nel rivelatore che viene trasformata in un segnale elettrico

Segnale elettrico sul sensore

Contatore Geiger

Rivelatore di elettroni, particelle α , etc.
Segnale elettrico dovuto a ionizzazione di un gas

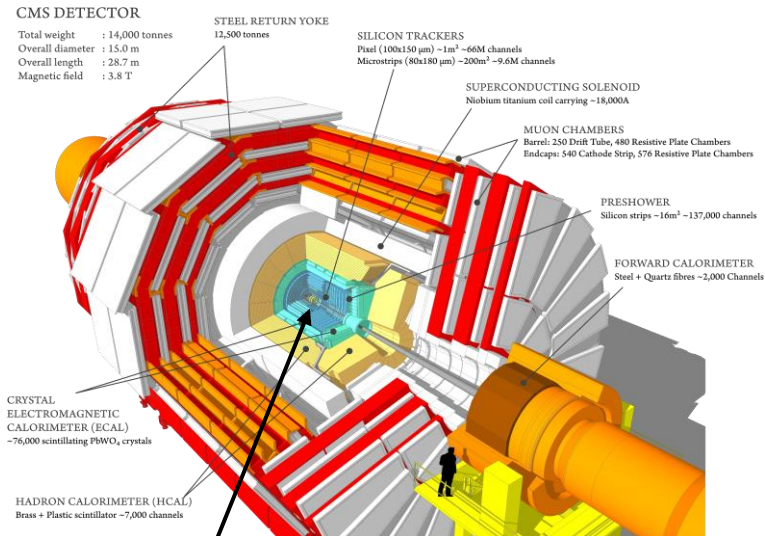


LHCb – Perché è fatto così?

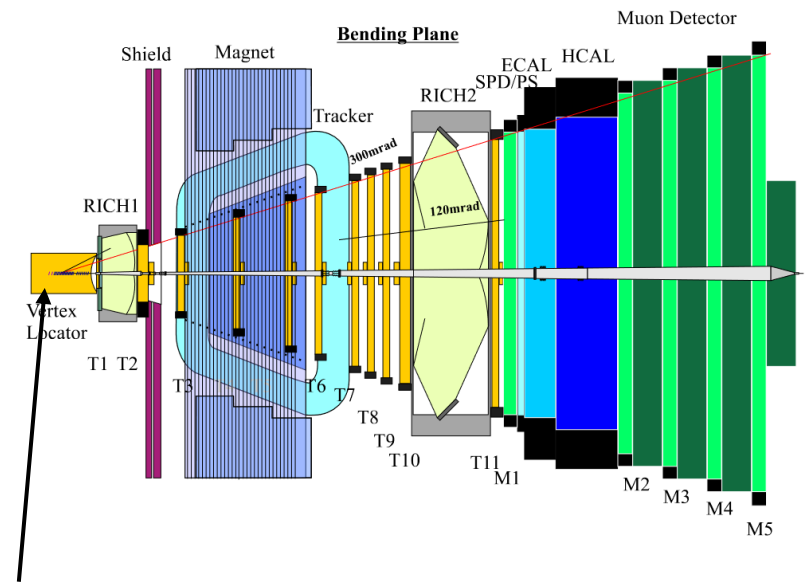
LHCb è uno dei quattro esperimenti ad LHC, che è un acceleratore in cui vengono fatti scontrare tra loro protoni ad altissime energie

ANALOGIA PRINCIPALE

DIFFERENZA PRINCIPALE



Punto di interazione



Punto di interazione

LHCb – Perché è fatto così?

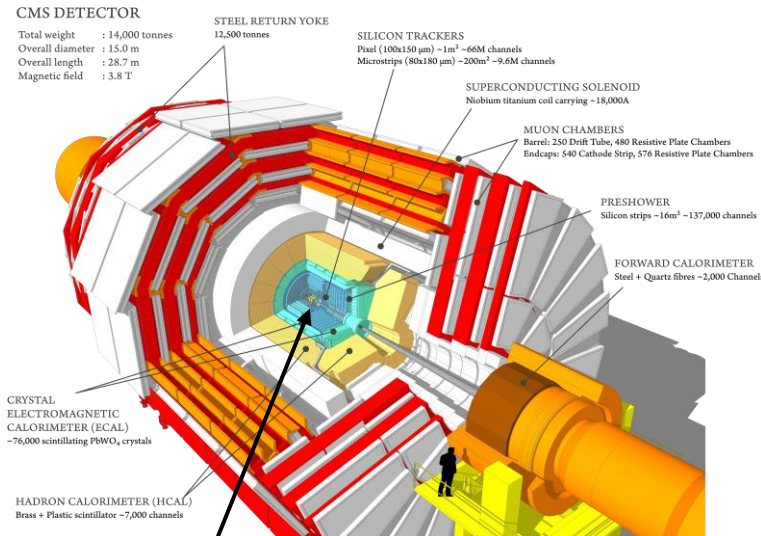
LHCb è uno dei quattro esperimenti ad LHC, che è un acceleratore in cui vengono fatti scontrare tra loro protoni ad altissime energie

ANALOGIA PRINCIPALE

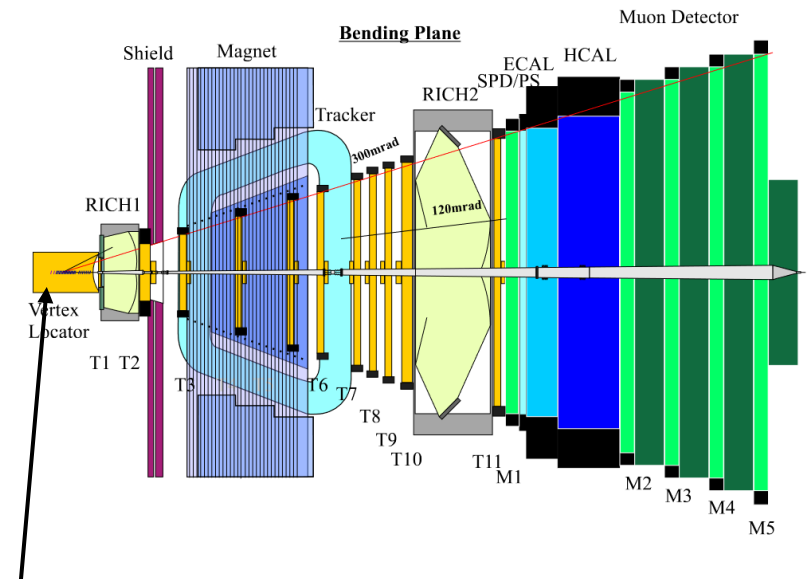
Stratificazione

DIFFERENZA PRINCIPALE

Geometria del rivelatore



Punto di interazione

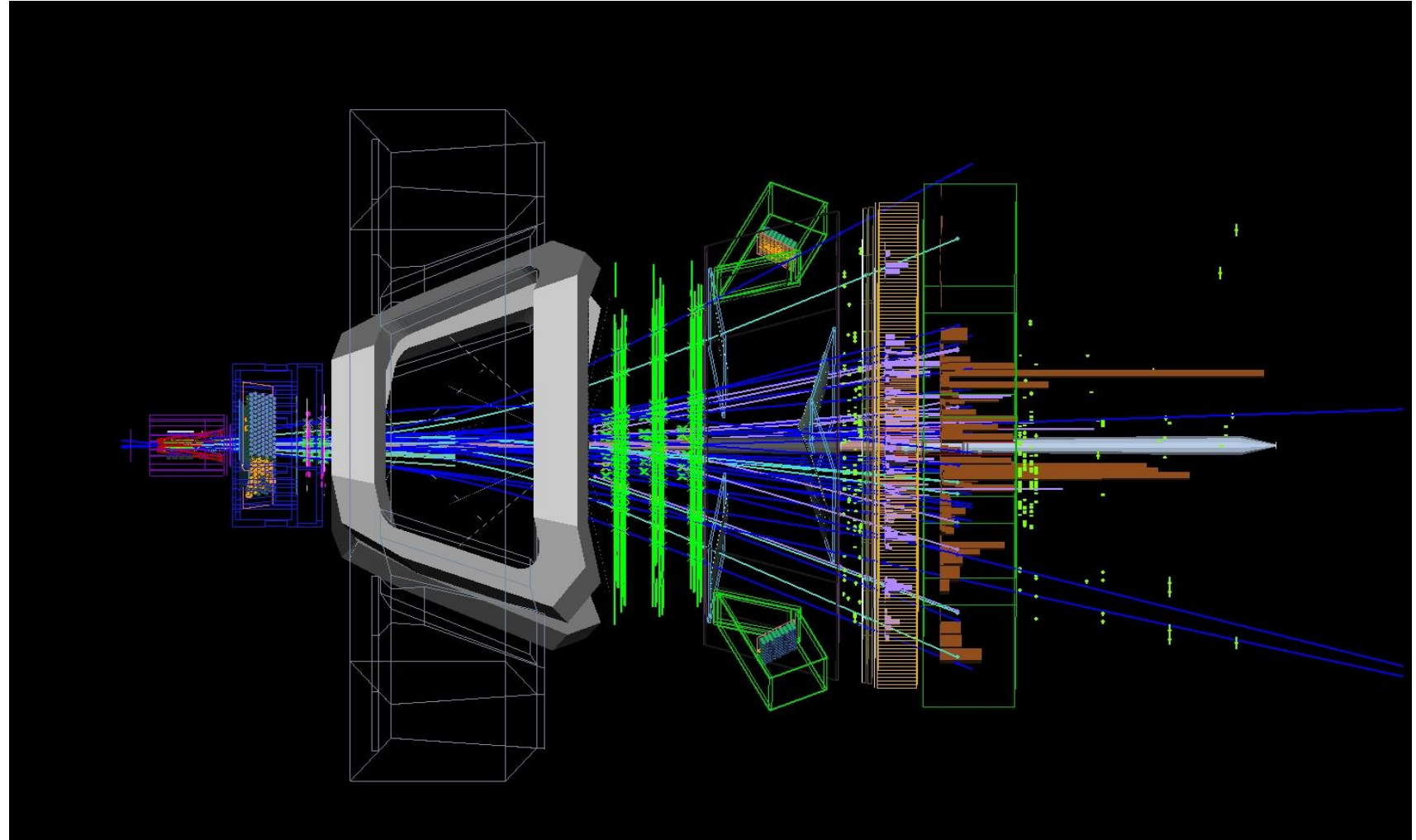


Punto di interazione

LHCb – Come si riconoscono le particelle?

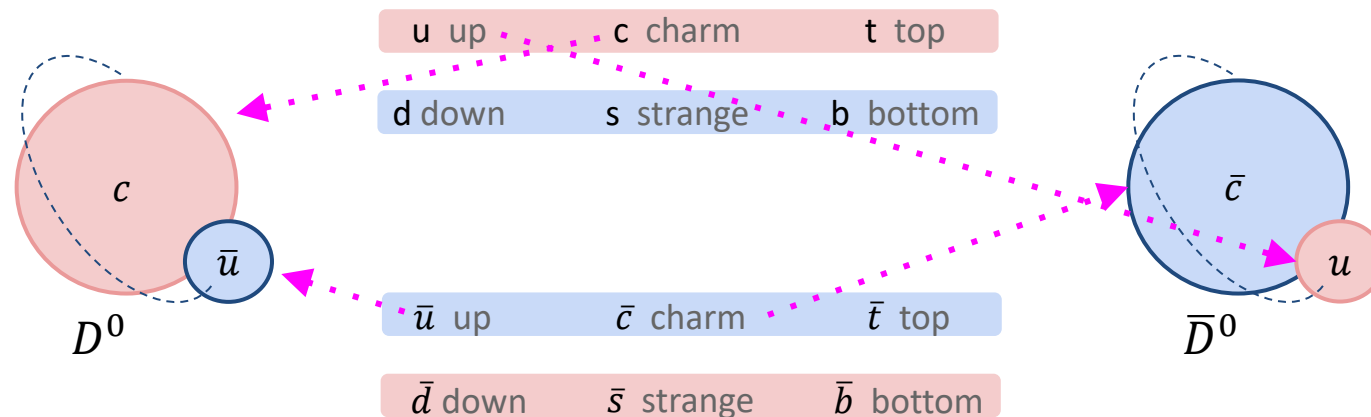
In ogni strato viene depositata energia ed è importante capire da che particella è stata depositata

Bisogna quindi **ricostruire** le particelle che sono state prodotte e **selezionarle**

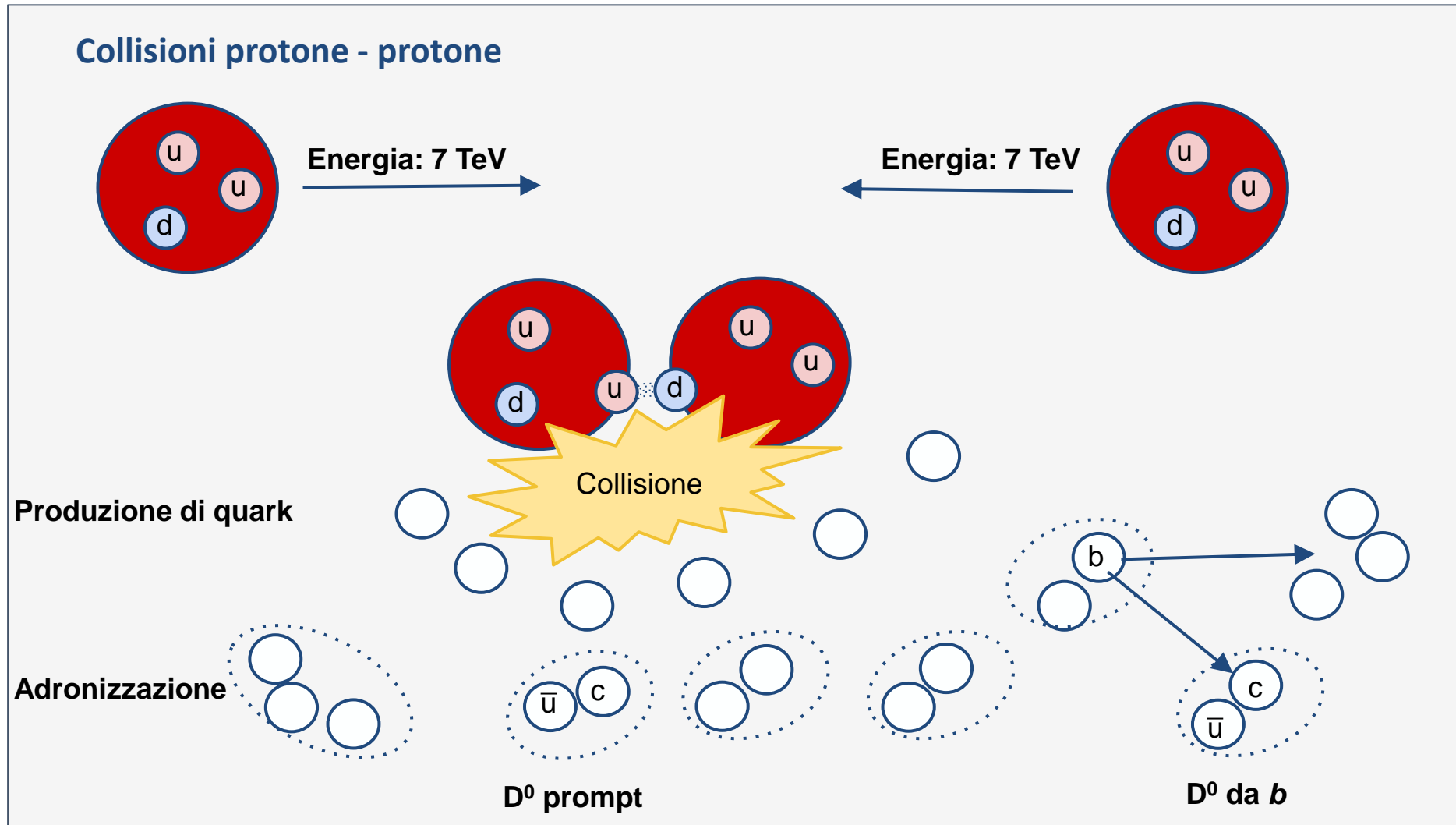


Mesone D^0

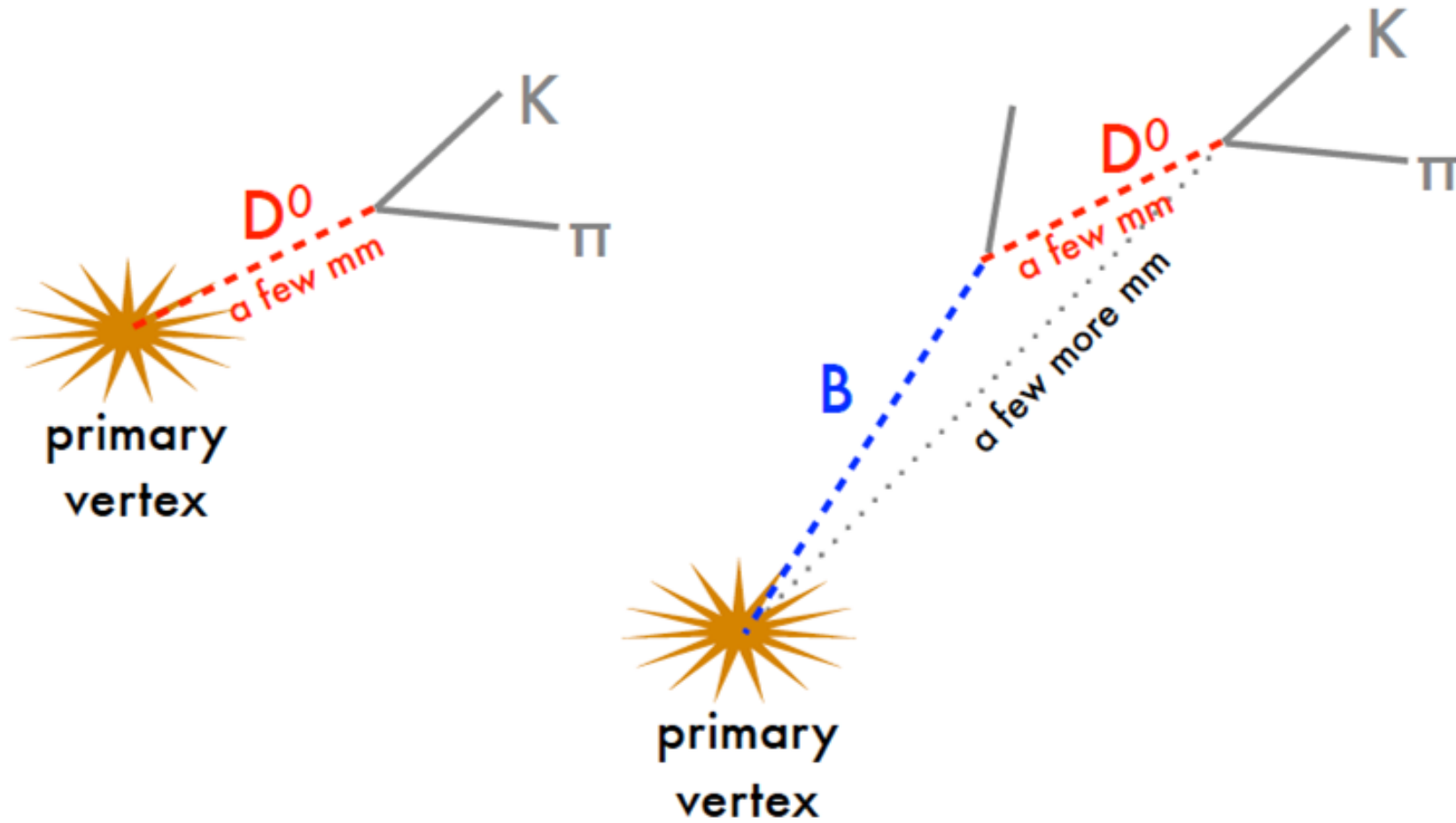
Il mesone D^0 è uno stato legato di un quark **charm** e un anti-quark **up**
 D^0 e \bar{D}^0 sono l'una l'antiparticella dell'altra



Produzione dei mesoni D^0



Modi di produzione del mesone D^0



Modi di decadimento del mesone D^0

Mode	Fraction (Γ_i / Γ)	Scale Factor/ Conf. Level	Rate (MeV/c)
Topological modes			
Γ_1 0-prongs	[1] $(15 \pm 6)\%$		
Γ_2 2-prongs	$(71 \pm 6)\%$		
Γ_3 4-prongs	[2] $(14.6 \pm 0.5)\%$		
Γ_4 6-prongs	[3] $(6.5 \pm 1.3) \times 10^{-4}$		
Inclusive modes			
Γ_5 e^+ anything	[4] $(6.40 \pm 0.11)\%$		
Γ_6 μ^+ anything	$(6.8 \pm 0.6)\%$		
Γ_7 K^- anything	$(54.7 \pm 2.8)\%$	S=1.3	
Γ_8 \bar{K}^- anything + K^0 anything	$(47 \pm 4)\%$		
Γ_9 K^+ anything	$(3.4 \pm 0.4)\%$		
Γ_{10} $K^*(892)^-$ anything	$(15 \pm 9)\%$		
Γ_{11} $\bar{K}^*(892)^0$ anything	$(9 \pm 4)\%$		
Γ_{12} $K^*(892)^+$ anything	$< 3.6\%$	CL=90%	
Γ_{13} $\bar{K}^*(892)^0$ anything	$(2.8 \pm 1.3)\%$		
Γ_{14} η anything	$(0.5 \pm 0.9)\%$		
Γ_{15} η' anything	$(2.48 \pm 0.27)\%$		
Γ_{16} ϕ anything	$(1.08 \pm 0.04)\%$		
Γ_{17} invisibles	$< 9.4 \times 10^{-5}$	CL=90%	
Semileptonic modes			
Γ_{18} $K^+ e^+ \nu_e$			867
Γ_{19} $K^+ e^+ \nu_\mu$	$(3.549 \pm 0.026)\%$	S=1.2	867
Γ_{20} $K^+ \mu^+ \nu_\mu$	$(3.41 \pm 0.04)\%$		864
Γ_{21} $K^*(892)^+ e^+ \nu_e$	$(2.15 \pm 0.16)\%$		719
Γ_{22} $K^*(892)^+ \mu^+ \nu_\mu$	$(1.89 \pm 0.24)\%$		714
Γ_{23} $K^+ e^+ e^+ \nu_e$	$(1.6 \pm 0.21)\%$		861
Γ_{24} $\bar{K}^0 \pi^+ e^+ \nu_e$	$(1.44 \pm 0.04)\%$		860
Γ_{25} $[\bar{K}^0 \pi^+] s\text{-wave } e^+ \nu_e$	$(7.9 \pm 1.7) \times 10^{-4}$		860
Γ_{26} $K^+ \pi^+ e^+ \nu_e$	$(2.8 \pm 0.1) \times 10^{-4}$		843
Γ_{27} $K_1(1270)^+ e^+ \nu_e$	$(1.01 \pm 0.18) \times 10^{-3}$		511
Γ_{28} $K^+ \pi^+ \mu^+ \nu_\mu$	$< 1.3 \times 10^{-3}$	CL=90%	821
Γ_{29} $[\bar{K}^*(892)^+ \pi^+] \mu^+ \nu_\mu$	$< 1.5 \times 10^{-3}$	CL=90%	692
Γ_{30} $\pi^+ e^+ \nu_e$	$(2.91 \pm 0.04) \times 10^{-3}$		927
Γ_{31} $\pi^+ \mu^+ \nu_\mu$	$(2.07 \pm 0.12) \times 10^{-3}$	S=1.3	924
Γ_{32} $\pi^+ \rho^+ e^+ \nu_e$	$(1.45 \pm 0.07) \times 10^{-3}$		922
Γ_{33} $\rho^+ e^+ \nu_e$	$(1.50 \pm 0.12) \times 10^{-3}$	S=1.9	771
Γ_{34} $\rho^+ \mu^+ \nu_\mu$	$(1.35 \pm 0.13) \times 10^{-3}$		767
Γ_{35} $\omega(980)^+ e^+ \nu_e, \omega^- \rightarrow \eta \pi^+$	$(1.33 \pm 0.33) \times 10^{-4}$		
Γ_{36} $b_1(1232)^+ e^+ \nu_e, b_1^- \rightarrow \omega \pi^+$	$< 1.12 \times 10^{-4}$	CL=90%	

Hadronic modes with one \bar{K}			
Γ_{37} $K^+ \pi^+$	$(3.947 \pm 0.030)\%$	S=1.2	861
Γ_{38} $K_S^0 \pi^0$	$(1.240 \pm 0.022)\%$		860
Γ_{39} $K_L^0 \pi^0$	$(10.0 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		860
Γ_{40} $K_S^0 \pi^+ \pi^-$	[5] $(2.80 \pm 0.18)\%$	S=1.1	842
Γ_{41} $K_S^0 \rho^0$	$(6.3 \pm 0.5) \times 10^{-3}$		674
Γ_{42} $K_S^0 \omega, \omega \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(2.0 \pm 0.6) \times 10^{-4}$		670
Γ_{43} $K_S^0 (\pi^+ \pi^-) s\text{-wave}$	$(3.3 \pm 0.8) \times 10^{-4}$		842
Γ_{44} $K_S^0 f_0(980) \pi^0, f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(1.20 \pm 0.09) \times 10^{-3}$		549
Γ_{45} $K_S^0 f_0(1370) \pi^0, f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(2.8 \pm 0.1) \times 10^{-3}$		-1
Γ_{46} $K_S^0 f_2(1270) \pi^0, f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(9 \pm 2) \times 10^{-4}$		262
Γ_{47} $K^*(892)^+ \pi^-, K^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^-$	$(1.64 \pm 0.11)\%$		711
Γ_{48} $K_1^*(1430)^+ \pi^-, K_1^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^-$	$(2.07 \pm 0.09) \times 10^{-3}$		378
Γ_{49} $K_2^*(1430)^+ \pi^-, K_2^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^-$	$(3.4 \pm 0.1) \times 10^{-4}$		367
Γ_{50} $K^*(1880)^+ \pi^-, K^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^-$	$(4.4 \pm 3.5) \times 10^{-4}$		46
Γ_{51} $K^*(892)^+ \pi^-, K^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^+$	[6] $(1.13 \pm 0.09) \times 10^{-4}$		711
Γ_{52} $K_1^*(1430)^+ \pi^-, K_1^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^+$	[6] $< 1.4 \times 10^{-5}$	CL=95%	
Γ_{53} $K_2^*(1430)^+ \pi^-, K_2^{*-} \rightarrow K_S^0 \pi^+$	[6] $< 3.4 \times 10^{-4}$	CL=95%	
Γ_{54} $K_S^0 \pi^+ \pi^-$ nonresonant	$(2.5 \pm 0.2) \times 10^{-4}$		842
Γ_{55} $K^+ \pi^+ \pi^0$	[5] $(14.4 \pm 0.5)\%$	S=2.0	844
Γ_{56} $K^+ \rho^+$	$(11.2 \pm 0.7)\%$		675
Γ_{57} $K^+ \rho(1700)^+, \rho^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(8.2 \pm 1.8) \times 10^{-3}$		-1
Γ_{58} $K^*(892)^+ \pi^+, K^*(892)^- \rightarrow K^+ \pi^0$	$(2.31 \pm 0.09)\%$		711
Γ_{59} $\bar{K}^*(892)^0 \pi^0, \bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(1.96 \pm 0.24)\%$		711
Γ_{60} $K_1^*(1430)^+ \pi^+, K_1^{*-} \rightarrow K^+ \pi^0$	$(4.8 \pm 2.2) \times 10^{-3}$		378
Γ_{61} $\bar{K}_2^*(1430)^0 \pi^0, \bar{K}_2^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(5.9 \pm 0.5) \times 10^{-3}$		379
Γ_{62} $K^*(1880)^+ \pi^+, K^{*-} \rightarrow K^+ \pi^0$	$(1.9 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		46
Γ_{63} $K^+ \pi^+ \pi^0$ nonresonant	$(1.15 \pm 0.09)\%$		844
Γ_{64} $K_S^0 2 \pi^0$	$(9.1 \pm 1.1) \times 10^{-3}$	S=2.2	843
Γ_{65} $K_S^0 (2 \pi^0) s\text{-wave}$	$(2.6 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		
Γ_{66} $\bar{K}^*(892)^0 \pi^0, \bar{K}^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$	$(8.1 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		711
Γ_{67} $\bar{K}^*(1430)^0 \pi^0, \bar{K}^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$	$(4 \pm 2) \times 10^{-3}$		
Γ_{68} $\bar{K}^*(1880)^0 \pi^0, \bar{K}^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$	$(1.0 \pm 0.4) \times 10^{-3}$		
Γ_{69} $K_S^0 f_2(1270) \pi^0, f_2 \rightarrow 2 \pi^0$	$(2.3 \pm 1.1) \times 10^{-4}$		
Γ_{70} $2 K_S^0, \text{ one } K_S^0 \rightarrow 2 \pi^0$	$(3.2 \pm 1.1) \times 10^{-4}$		
Γ_{71} $K_S^0 2 \pi^0$ nonresonant			843
Γ_{72} $K^+ 2 \pi^+ \pi^-$	[5] $(8.22 \pm 0.14)\%$	S=1.1	813
Γ_{73} $K^+ \pi^+ \rho^+$ total	$(6.87 \pm 0.31)\%$		609
Γ_{74} $K^+ \pi^+ \rho^0 3\text{-body}$	$(6.1 \pm 1.6) \times 10^{-3}$		609
Γ_{75} $\bar{K}^*(892)^0 \rho^0, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(1.01 \pm 0.06)\%$		416

Γ_{76} $\bar{K}^*(892)^0 \rho^0$ transverse, $\bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(1.2 \pm 0.4)\%$		417
Γ_{77} $K^+ \omega(1260)^+, \omega^+ \rightarrow \rho^+ \pi^+$	$(4.32 \pm 0.32)\%$		327
Γ_{78} $K_1(1270)^+ \pi^+, K_1^- \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ total	$(3.9 \pm 0.4) \times 10^{-3}$		
Γ_{79} $\bar{K}^*(892)^0 \pi^+ \pi^-$ total, $\bar{K}^*(892)^0 \rightarrow K^+ \pi^+$			685
Γ_{80} $\bar{K}^*(892)^0 \pi^+ \pi^-$ 3-body, $\bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$			685
Γ_{81} $K_1(1270)^+ \pi^+, K_1^- \rightarrow \bar{K}^*(892)^0 \pi^-, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(6.6 \pm 2.3) \times 10^{-4}$		484
Γ_{82} $K^+ 2 \pi^+ \pi^-$ nonresonant	$(1.81 \pm 0.07)\%$		813
Γ_{83} $K_S^0 \pi^+ \pi^0 \pi^0$	[7] $(5.2 \pm 0.6)\%$		813
Γ_{84} $K_S^0 \eta, \eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$(1.17 \pm 0.03) \times 10^{-3}$		772
Γ_{85} $K_S^0 \omega, \omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$(9.9 \pm 0.6) \times 10^{-3}$		670
Γ_{86} $K^+ 2 \pi^+ \pi^0$	$(8.86 \pm 0.23)\%$		815
Γ_{87} $K^+ 2 \pi^+ \pi^0$	$(4.3 \pm 0.4)\%$		771
Γ_{88} $\bar{K}^*(892)^0 \pi^+ \pi^- \pi^0, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(1.3 \pm 0.6)\%$		643
Γ_{89} $K^+ \pi^+ \omega, \omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$(2.8 \pm 0.3)\%$		605
Γ_{90} $\bar{K}^*(892)^0 \omega, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+, \omega \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$(6.5 \pm 3.0) \times 10^{-3}$		410
Γ_{91} $K_S^0 \eta \pi^0$	$(1.01 \pm 0.06)\%$		721
Γ_{92} $K_S^0 \omega(980), \omega \rightarrow \eta \pi^0$	$(1.20 \pm 0.28)\%$		
Γ_{93} $\bar{K}^*(892)^0 \eta, \bar{K}^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$	$(2.9 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		
Γ_{94} $K^+ \pi^+ \eta$	$(1.88 \pm 0.06)\%$	S=1.4	721
Γ_{95} $K^*(892)^0 \eta, K^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(8.9 \pm 0.24) \times 10^{-3}$		
Γ_{96} $\omega(980)^+ K^-, \omega^+ \rightarrow \eta \pi^+$	$(7.4 \pm 0.2) \times 10^{-3}$		
Γ_{97} $K_1(1980)^+ \pi^+, K_1^- \rightarrow K^+ \eta$	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^{-4}$		
Γ_{98} $K^+ \pi^+ \pi^0 \eta$	$(4.49 \pm 0.27) \times 10^{-3}$		656
Γ_{99} $K_S^0 2 \pi^0 \eta$	$(2.80 \pm 0.21) \times 10^{-3}$		651
Γ_{100} $K_S^0 2 \pi^0 \eta$	$(1.76 \pm 0.26) \times 10^{-3}$		656
Γ_{101} $K_S^0 2 \pi^+ 2 \pi^-$	$(2.66 \pm 0.30) \times 10^{-3}$		768
Γ_{102} $K_S^0 \rho^0 \pi^+ \pi^-, \text{ no } K^*(892)^-$	$(1.1 \pm 0.7) \times 10^{-3}$		
Γ_{103} $K^*(892)^- 2 \pi^+ \pi^-, K^*(892)^- \rightarrow K_S^0 \pi^-, \text{ no } \rho^0$	$(5 \pm 7) \times 10^{-4}$		642
Γ_{104} $K^*(892)^- \rho^0 \pi^+, K^*(892)^- \rightarrow K_S^0 \pi^-$	$(1.6 \pm 0.6) \times 10^{-3}$		230
Γ_{105} $K_S^0 2 \pi^+ 2 \pi^-$ nonresonant	$< 1.2 \times 10^{-3}$	CL=90%	768
Γ_{106} $\bar{K}^*(1430)^0 \pi^0, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$			771
Γ_{107} $K^+ 3 \pi^+ 2 \pi^-$	$(2.2 \pm 0.6) \times 10^{-4}$		713

Fractions of some of the following modes with resonances have already appeared above as submodes of particular charged-particle modes. These nine modes below are all corrected for unseen decays of the resonances.

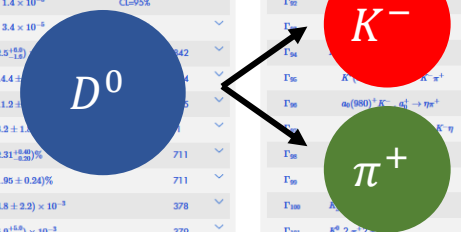
Hadronic modes with three K^* 's			
Γ_{108} $K_S^0 K^+ K^-$	$(4.42 \pm 0.32) \times 10^{-3}$		544
Γ_{109} $K_S^0 \omega(980)^0, \omega^0 \rightarrow K^+ K^-$	$(2.9 \pm 0.4) \times 10^{-3}$		
Γ_{110} $K^+ \omega(980)^+, \omega^+ \rightarrow K^+ K_S^0$	$(5.9 \pm 1.8) \times 10^{-4}$		
Γ_{111} $K^+ \omega(980)^+, \omega^+ \rightarrow K^+ K_L^0$	$< 1.1 \times 10^{-4}$	CL=95%	

Γ_{121} $K^+ \omega(980)^+, \omega^+ \rightarrow K^+ K_S^0$	$< 1.1 \times 10^{-4}$	CL=95%	
Γ_{122} $K_S^0 f_0(980) \pi^0, f_0 \rightarrow K^+ K^-$	$< 9 \times 10^{-5}$	CL=95%	
Γ_{123} $K_S^0 \phi, \phi \rightarrow K^+ K^-$	$(2.03 \pm 0.15) \times 10^{-3}$		520
Γ_{124} $K_S^0 f_2(1270) \pi^0, f_2 \rightarrow K^+ K^-$	$(1.7 \pm 1.1) \times 10^{-4}$		
Γ_{125} 3 K_S^0	$(7.5 \pm 0.7) \times 10^{-4}$	S=1.4	539
Γ_{126} $K^+ 2 K^+ \pi^-$	$(2.25 \pm 0.22) \times 10^{-4}$		434
Γ_{127} $K^+ K^+ \bar{K}^*(892)^0, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(4.5 \pm 1.8) \times 10^{-5}$		-1
Γ_{128} $K^+ \pi^+ \phi, \phi \rightarrow K^+ K^-$	$(4.0 \pm 1.7) \times 10^{-4}$		422
Γ_{129} $\phi \bar{K}^*(892)^0, \phi \rightarrow K^+ K^-, \bar{K}^0 \rightarrow K^+ \pi^+$	$(1.08 \pm 0.21) \times 10^{-4}$		-1
Γ_{130} $K^+ 2 K^+ \pi^-$ nonresonant	$(3.4 \pm 1.5) \times 10^{-5}$		434
Γ_{131} $2 K_S^0 K^+ \pi^+$	$(5.9 \pm 1.3) \times 10^{-4}$		427
Pionic modes			
Γ_{132} $\pi^+ \pi^-$	$(1.454 \pm 0.024) \times 10^{-3}$	S=1.4	922
Γ_{133} $2 \pi^0$	$(8.26 \pm 0.25) \times 10^{-4}$		923
Γ_{134} $\pi^+ \pi^- \pi^0$	$(1.49 \pm 0.06)\%$	S=2.1	907
Γ_{135} $\rho^+ \pi^-$	$(1.01 \pm 0.04)\%$		764
Γ_{136} $\rho^0 \pi^0$	$(3.86 \pm 0.23) \times 10^{-3}$		764
Γ_{137} $\rho^+ \pi^+$	$(5.15 \pm 0.25) \times 10^{-3}$		764
Γ_{138} $\rho(1450)^+ \pi^-, \rho^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(1.6 \pm 2.1) \times 10^{-5}$		
Γ_{139} $\rho(1450)^0 \pi^0, \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(4.5 \pm 2.0) \times 10^{-5}$		
Γ_{140} $\rho(1450)^+ \pi^+, \rho^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(2.7 \pm 0.4) \times 10^{-4}$		
Γ_{141} $\rho(1700)^+ \pi^0, \rho^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(6.1 \pm 1.5) \times 10^{-4}$		
Γ_{142} $\rho(1700)^0 \pi^0, \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(7.4 \pm 1.8) \times 10^{-4}$		
Γ_{143} $\rho(1700)^+ \pi^+, \rho^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(4.8 \pm 1.1) \times 10^{-4}$		
Γ_{144} $f_0(980) \pi^0, f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(1.22 \pm 0.22) \times 10^{-4}$		
Γ_{145} $f_0(1370) \pi^0, f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(5.5 \pm 2.1) \times 10^{-5}$		
Γ_{146} $f_0(1500) \pi^0, f_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(5.8 \pm 1.6) \times 10^{-5}$		
Γ_{147} $f_2(1270) \pi^0, f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(4.6 \pm 1.6) \times 10^{-4}$		
Γ_{148} $f_2(1710) \pi^0, f_2 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$(1.97 \pm 0.21) \times 10^{-4}$		
Γ_{149} $\pi^+ \pi^- \pi^0$ nonresonant	$(1.3 \pm 0.4) \times 10^{-4}$		907
Γ_{150} 3 π^0	$(2.0 \pm 0.5) \times 10^{-4}$		908
Γ_{151} $2 \$			

Modi di decadimento del mesone D^0

Mode	Fraction (Γ_i / Γ)	Scale Factor/ Conf. Level
Topological modes		
Γ_1 0 prongs	[1] (15 ± 6)%	
Γ_2 2 prongs	(71 ± 6)%	
Γ_3 4 prongs	[2] (14.6 ± 0.5)%	
Γ_4 6 prongs	[3] (6.5 ± 1.3) × 10 ⁻⁴	
Inclusive modes		
Γ_5 e ⁺ anything	[4] (6.40 ± 0.11)%	
Γ_6 μ ⁺ anything	(6.8 ± 0.6)%	
Γ_7 K ⁻ anything	(54.7 ± 2.8)%	S=1.3
Γ_8 \bar{K}^0 anything + K ⁰ anything	(47 ± 4)%	
Γ_9 K ⁺ anything	(3.4 ± 0.4)%	
Γ_{10} K ⁰ (892) ⁰ anything	(15 ± 9)%	
Γ_{11} \bar{K}^0 (892) ⁰ anything	(9 ± 4)%	
Γ_{12} K ⁰ (892) ⁰ anything	< 3.6%	CL=90%
Γ_{13} \bar{K}^0 (892) ⁰ anything	(2.8 ± 1.3)%	
Γ_{14} η anything	(0.5 ± 0.9)%	
Γ_{15} η' anything	(2.48 ± 0.27)%	
Γ_{16} φ anything	(1.08 ± 0.04)%	
Γ_{17} invisibles	< 9.4 × 10 ⁻⁵	CL=90%
Semileptonic modes		
Γ_{18} K ⁺ e ⁺ ν _e		867
Γ_{19} K ⁺ μ ⁺ ν _μ	(3.549 ± 0.026)%	S=1.2
Γ_{20} K ⁺ μ ⁺ ν _μ	(3.41 ± 0.04)%	
Γ_{21} K ⁰ (892) ⁰ e ⁺ ν _e	(2.15 ± 0.16)%	
Γ_{22} K ⁰ (892) ⁰ μ ⁺ ν _μ	(1.89 ± 0.24)%	
Γ_{23} K ⁰ e ⁺ e ⁺ ν _e	(1.6 ^{+1.1} _{-1.2})%	
Γ_{24} \bar{K}^0 e ⁺ e ⁺ ν _e	(1.44 ± 0.04)%	
Γ_{25} [\bar{K}^0 π ⁻] s-wave e ⁺ ν _e	(7.9 ± 1.7) × 10 ⁻⁴	
Γ_{26} K ⁺ π ⁺ e ⁺ ν _e	(2.8 ^{+1.1} _{-1.2}) × 10 ⁻⁴	
Γ_{27} K ₁ (1270) ⁰ e ⁺ ν _e	(1.01 ± 0.18) × 10 ⁻³	
Γ_{28} K ⁺ π ⁺ μ ⁺ ν _μ	< 1.3 × 10 ⁻³	CL=90%
Γ_{29} [\bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁻] μ ⁺ ν _μ	< 1.5 × 10 ⁻³	CL=90%
Γ_{30} π ⁺ e ⁺ ν _e	(2.91 ± 0.04) × 10 ⁻³	
Γ_{31} π ⁺ μ ⁺ ν _μ	(2.07 ± 0.12) × 10 ⁻³	S=1.3
Γ_{32} π ⁰ e ⁺ e ⁺ ν _e	(1.45 ± 0.07) × 10 ⁻³	
Γ_{33} π ⁰ e ⁺ ν _e	(1.50 ± 0.12) × 10 ⁻³	S=1.9
Γ_{34} ρ ⁺ μ ⁺ ν _μ	(1.35 ± 0.13) × 10 ⁻³	
Γ_{35} ω(800) ⁰ e ⁺ ν _e , ω ⁻ → π ⁰ π ⁻	(1.33 ^{+0.34} _{-0.33}) × 10 ⁻⁴	
Γ_{36} b ₁ (1235) ⁰ e ⁺ ν _e , b ₁ ⁻ → ω π ⁻	< 1.12 × 10 ⁻⁴	CL=90%

Hadronic modes with one \bar{K}			
Γ_{37} K ⁺ π ⁺	(3.947 ± 0.030)%	S=1.2	861
Γ_{38} K _S ⁰ π ⁰	(1.240 ± 0.022)%		860
Γ_{39} K _L ⁰ π ⁰	(10.0 ± 0.7) × 10 ⁻³		860
Γ_{40} K _S ⁰ π ⁺ π ⁻	[5] (2.80 ± 0.18)%	S=1.1	842
Γ_{41} K _S ⁰ ρ ⁰	(6.3 ^{+0.9} _{-1.0}) × 10 ⁻³		674
Γ_{42} K _S ⁰ ω, ω → π ⁺ π ⁻	(2.0 ± 0.6) × 10 ⁻⁴		670
Γ_{43} K _S ⁰ (π ⁺ π ⁻) s-wave	(3.3 ± 0.8) × 10 ⁻⁴		842
Γ_{44} K _S ⁰ f ₀ (980) π ⁰ , f ₀ → π ⁺ π ⁻	(1.20 ^{+0.40} _{-0.23}) × 10 ⁻³		549
Γ_{45} K _S ⁰ f ₀ (1370) π ⁰ , f ₀ → π ⁺ π ⁻	(2.8 ^{+1.0} _{-1.1}) × 10 ⁻³		-1
Γ_{46} K _S ⁰ f ₀ (1270) π ⁰ , f ₀ → π ⁺ π ⁻	(9 ⁺¹⁰ ₋₈) × 10 ⁻⁴		262
Γ_{47} K ⁰ (892) ⁰ π ⁺ , K ⁰ → K _S ⁰ π ⁻	(1.64 ^{+0.11} _{-0.12})%		711
Γ_{48} K ₁ (1430) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → K _S ⁰ π ⁻	(2.07 ^{+0.40} _{-0.33}) × 10 ⁻³		378
Γ_{49} K ₁ (1430) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → K _L ⁰ π ⁻	(3.4 ^{+1.0} _{-1.1}) × 10 ⁻⁴		367
Γ_{50} K ⁰ (1880) ⁰ π ⁺ , K ⁰ → K _S ⁰ π ⁻	(4.4 ± 3.5) × 10 ⁻⁴		46
Γ_{51} K ⁰ (892) ⁰ π ⁺ , K ⁰ → K _S ⁰ π ⁺	[6] (1.13 ^{+0.40} _{-0.34}) × 10 ⁻⁴		711
Γ_{52} K ₁ (1430) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → K _S ⁰ π ⁺	[6] < 1.4 × 10 ⁻⁵	CL=95%	
Γ_{53} K ₁ (1430) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → K _L ⁰ π ⁺	[6] < 3.4 × 10 ⁻⁵		
Γ_{54} K _S ⁰ π ⁺ π ⁰ nonresonant	[5] (2.5 ^{+1.0} _{-1.1})%		742
Γ_{55} K ⁺ π ⁺ π ⁰	[5] (14.4 ± 0.4)%		744
Γ_{56} K ⁺ ρ ⁺	(11.2 ± 0.5)%		745
Γ_{57} K ⁺ ω(1700) ⁺ , ρ ⁺ → π ⁺ π ⁰	(8.2 ± 1.1)%		746
Γ_{58} K ⁰ (892) ⁰ π ⁺ , K ⁰ (892) ⁰ → K ⁰ π ⁰	(2.31 ^{+0.40} _{-0.33})%		711
Γ_{59} \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁰ , \bar{K}^0 (892) ⁰ → K ⁻ π ⁺	(1.96 ± 0.24)%		711
Γ_{60} K ₁ (1430) ⁰ π ⁰ , K ₁ ⁰ → K ⁻ π ⁰	(4.8 ± 2.3) × 10 ⁻³		378
Γ_{61} \bar{K}^0 (1430) ⁰ π ⁰ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁰	(5.9 ^{+1.0} _{-1.1}) × 10 ⁻³		379
Γ_{62} K ⁰ (1880) ⁰ π ⁺ , K ⁰ → K ⁻ π ⁰	(1.9 ± 0.7) × 10 ⁻³		46
Γ_{63} K ⁻ π ⁺ π ⁰ nonresonant	(1.15 ^{+0.40} _{-0.33})%		844
Γ_{64} K _S ⁰ 2 π ⁰	(9.1 ± 1.1) × 10 ⁻³	S=2.2	843
Γ_{65} K _S ⁰ (2 π ⁰) s-wave	(2.6 ± 0.7) × 10 ⁻³		
Γ_{66} \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁰ , \bar{K}^0 → K _S ⁰ π ⁰	(8.1 ± 0.7) × 10 ⁻³		711
Γ_{67} \bar{K}^0 (1430) ⁰ π ⁰ , \bar{K}^0 → K _S ⁰ π ⁰	(4 ± 23) × 10 ⁻⁴		
Γ_{68} \bar{K}^0 (1880) ⁰ π ⁰ , \bar{K}^0 → K _S ⁰ π ⁰	(1.0 ± 0.4) × 10 ⁻³		
Γ_{69} K _S ⁰ f ₀ (1270) π ⁰ , f ₀ → 2 π ⁰	(2.3 ± 1.1) × 10 ⁻⁴		
Γ_{70} 2 K _S ⁰ , one K _S ⁰ → 2 π ⁰	(3.2 ± 1.1) × 10 ⁻⁴		
Γ_{71} K _S ⁰ 2 π ⁺ π ⁻ nonresonant			843
Γ_{72} K ⁻ 2 π ⁺ π ⁻	[5] (8.22 ± 0.14)%	S=1.1	813
Γ_{73} K ⁻ π ⁺ ρ ⁰ total	(6.87 ± 0.31)%		609
Γ_{74} K ⁻ π ⁺ ρ ⁰ 3-body	(6.1 ± 1.6) × 10 ⁻³		609
Γ_{75} \bar{K}^0 (892) ⁰ ρ ⁰ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(1.01 ± 0.06)%		416



Γ_{76} \bar{K}^0 (892) ⁰ ρ ⁰ transverse, \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(1.2 ± 0.4)%		417
Γ_{77} K ⁻ ω(1260) ⁺ , ω ⁺ → ρ ⁺ π ⁺	(4.32 ± 0.32)%		327
Γ_{78} K ₁ (1270) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → K ⁻ π ⁺ π ⁰ total	(3.9 ± 0.4) × 10 ⁻³		
Γ_{79} \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁺ π ⁰ total, \bar{K}^0 (892) ⁰ → K ⁻ π ⁺			685
Γ_{80} \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁺ π ⁰ 3-body, \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺			685
Γ_{81} K ₁ (1270) ⁰ π ⁺ , K ₁ ⁰ → \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁺ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(6.6 ± 2.3) × 10 ⁻⁴		484
Γ_{82} K ⁻ 2 π ⁺ π ⁻ nonresonant	(1.81 ± 0.07)%		813
Γ_{83} K _S ⁰ π ⁺ π ⁰ [7]	(5.2 ± 0.6)%		813
Γ_{84} K _S ⁰ η, η → π ⁺ π ⁻ π ⁰	(1.17 ± 0.03) × 10 ⁻³		772
Γ_{85} K _S ⁰ ω, ω → π ⁺ π ⁻ π ⁰	(9.9 ± 0.6) × 10 ⁻³		670
Γ_{86} K ⁻ π ⁺ 2 π ⁰	(8.86 ± 0.23)%		815
Γ_{87} K ⁻ 2 π ⁺ π ⁻ π ⁰	(4.3 ± 0.4)%		771
Γ_{88} \bar{K}^0 (892) ⁰ π ⁺ π ⁰ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(1.3 ± 0.6)%		643
Γ_{89} K ⁻ π ⁺ ω, ω → π ⁺ π ⁻ π ⁰	(2.8 ± 0.3)%		605
Γ_{90} \bar{K}^0 (892) ⁰ ω, \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺ , ω → π ⁺ π ⁻ π ⁰	(6.5 ± 3.0) × 10 ⁻³		410
Γ_{91} K _S ⁰ 2 π ⁺ π ⁻	(1.01 ± 0.06)%		721
Γ_{92} K _S ⁰ π ⁺ π ⁰	(1.20 ± 0.28)%		
Γ_{93} K ⁻ π ⁺ π ⁰	(2.9 ± 0.7) × 10 ⁻³		
Γ_{94} K ⁻ π ⁺ π ⁰	(1.88 ± 0.05)%	S=1.4	721
Γ_{95} K ⁻ ω(1450) ⁺ , ω ⁺ → π ⁺ π ⁰	(8.9 ^{+0.40} _{-0.33}) × 10 ⁻³		
Γ_{96} ω(800) ⁰ K ⁻ π ⁺ , ω ⁺ → π ⁺ π ⁰	(7.4 ^{+0.33} _{-0.27}) × 10 ⁻³		
Γ_{97} K ⁻ ω(1700) ⁺ , ω ⁺ → π ⁺ π ⁰	(2.2 ^{+1.0} _{-1.1}) × 10 ⁻⁴		
Γ_{98} K ⁻ ω(1700) ⁺ , ω ⁺ → ρ ⁺ π ⁰	(4.49 ± 0.27) × 10 ⁻³		656
Γ_{99} K ⁻ ω(1700) ⁺ , ω ⁺ → ρ ⁺ π ⁰	(2.80 ± 0.21) × 10 ⁻³		651
Γ_{100} K ⁻ ω(1700) ⁺ , ω ⁺ → ρ ⁺ π ⁰	(1.76 ± 0.26) × 10 ⁻³		656
Γ_{101} K _S ⁰ 2 π ⁺ π ⁻	(2.66 ± 0.30) × 10 ⁻³		768
Γ_{102} K _S ⁰ ρ ⁺ π ⁻ , no K ⁰ (892) ⁰	(1.1 ± 0.7) × 10 ⁻³		
Γ_{103} K ⁰ (892) ⁰ 2 π ⁺ π ⁻ , K ⁰ (892) ⁰ → K _S ⁰ π ⁺ , no ρ ⁰	(5 ± 7) × 10 ⁻⁴		642
Γ_{104} K ⁰ (892) ⁰ ρ ⁰ π ⁺ , K ⁰ (892) ⁰ → K _S ⁰ π ⁻	(1.6 ± 0.6) × 10 ⁻³		230
Γ_{105} K _S ⁰ 2 π ⁺ 2 π ⁻ nonresonant	< 1.2 × 10 ⁻³	CL=90%	768
Γ_{106} \bar{K}^0 (1430) ⁰ π ⁺ π ⁰	(8.1 ± 0.7) × 10 ⁻³		771
Γ_{107} K ⁻ 3 π ⁺ 2 π ⁻	(2.2 ± 0.6) × 10 ⁻⁴		713

Fractions of some of the following modes with resonances have already appeared above as submodes of particular charged-particle modes. These nine modes below are all corrected for unseen decays of the resonances.

Hadronic modes with three K ⁻ 's			
Γ_{108} K _S ⁰ K ⁺ K ⁻	(4.42 ± 0.32) × 10 ⁻³		544
Γ_{109} K _S ⁰ ω(880) ⁰ , ω ⁰ → K ⁺ K ⁻	(2.9 ± 0.4) × 10 ⁻³		
Γ_{110} K ⁻ ω(880) ⁰ , ω ⁰ → K ⁺ K _S ⁰	(5.9 ± 1.8) × 10 ⁻⁴		
Γ_{111} K ⁻ ω(880) ⁰ , ω ⁰ → K ⁺ K _L ⁰	< 1.1 × 10 ⁻⁴	CL=95%	

Γ_{121} K ⁰ ω(880) ⁰ , ω ⁰ → K ⁺ K _S ⁰	< 1.1 × 10 ⁻⁴	CL=95%	
Γ_{122} K _S ⁰ f ₀ (980) π ⁺ , f ₀ → K ⁺ K ⁻	< 9 × 10 ⁻⁵	CL=95%	
Γ_{123} K _S ⁰ φ, φ → K ⁺ K ⁻	(2.03 ± 0.15) × 10 ⁻³		520
Γ_{124} K _S ⁰ f ₀ (1370) π ⁺ , f ₀ → K ⁺ K ⁻	(1.7 ± 1.1) × 10 ⁻⁴		
Γ_{125} 3 K _S ⁰	(7.5 ± 0.7) × 10 ⁻⁴	S=1.4	539
Γ_{126} K ⁺ 2 K ⁻ π ⁺	(2.25 ± 0.22) × 10 ⁻⁴		434
Γ_{127} K ⁺ K ⁻ \bar{K}^0 (892) ⁰ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(4.5 ± 1.8) × 10 ⁻⁵		-1
Γ_{128} K ⁻ π ⁺ φ, φ → K ⁺ K ⁻	(4.0 ± 1.7) × 10 ⁻⁴		422
Γ_{129} φ \bar{K}^0 (892) ⁰ , φ → K ⁺ K ⁻ , \bar{K}^0 → K ⁻ π ⁺	(1.08 ± 0.21) × 10 ⁻⁴		-1
Γ_{130} K ⁺ 2 K ⁻ π ⁺ nonresonant	(3.4 ± 1.5) × 10 ⁻⁵		434
Γ_{131} 2 K _S ⁰ K ⁺ π ⁺	(5.9 ± 1.3) × 10 ⁻⁴		427
Pionic modes			
Γ_{132} π ⁺ π ⁻	(1.454 ± 0.024) × 10 ⁻³	S=1.4	922
Γ_{133} 2 π ⁰	(8.26 ± 0.25) × 10 ⁻⁴		923
Γ_{134} π ⁺ π ⁰	(1.49 ± 0.06)%	S=2.1	907
Γ_{135} ρ ⁺ π ⁻	(1.01 ± 0.04)%		764
Γ_{136} ρ ⁰ π ⁰	(3.86 ± 0.23) × 10 ⁻³		764
Γ_{137} π ⁺ π ⁺	(5.15 ± 0.25) × 10		

Ricostruzione

Significa partire dai segnali depositati nei rivelatori per capire quali particelle li hanno prodotti



Se si ricombinassero a caso, cosa succederebbe?

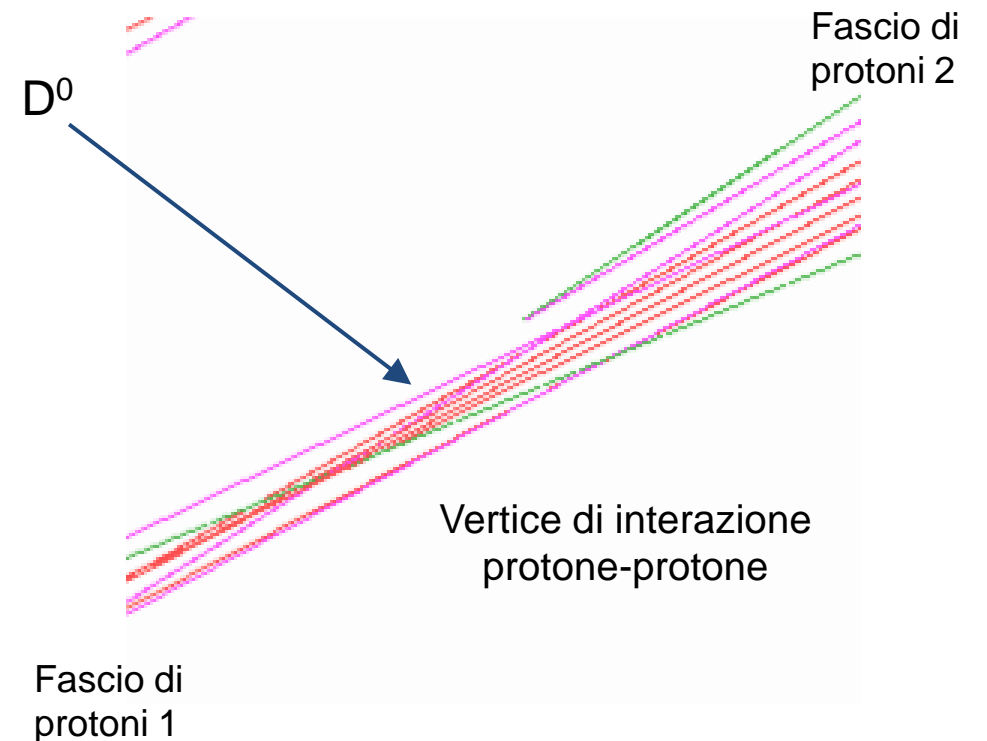
Ricostruzione

In questa collisione è stato prodotto un D^0 che poi è decaduto in due particelle più leggere. Per **ricostruirlo** dobbiamo individuare le tracce delle due particelle e 'riassemblarle'

E se scelgo male?

Succede!

Chiamiamo **SEGNALE** i candidati selezionati che sono stati realmente prodotti nel decadimento di un D^0 , **FONDO** gli altri: combinazioni casuali di particelle



Selezione

Per separare il segnale dal fondo dobbiamo utilizzare proprietà delle particelle che ci permettano di distinguere quelle 'giuste' da quelle 'sbagliate'

Ad esempio, se volete studiare le proprietà delle **mele** e avete a disposizione un **cesto di frutta assortita**, sceglierete le mele in base alla *forma*, al *colore*, al *peso*, al *diametro*, etc.

Per le particelle si usano grandezze come:

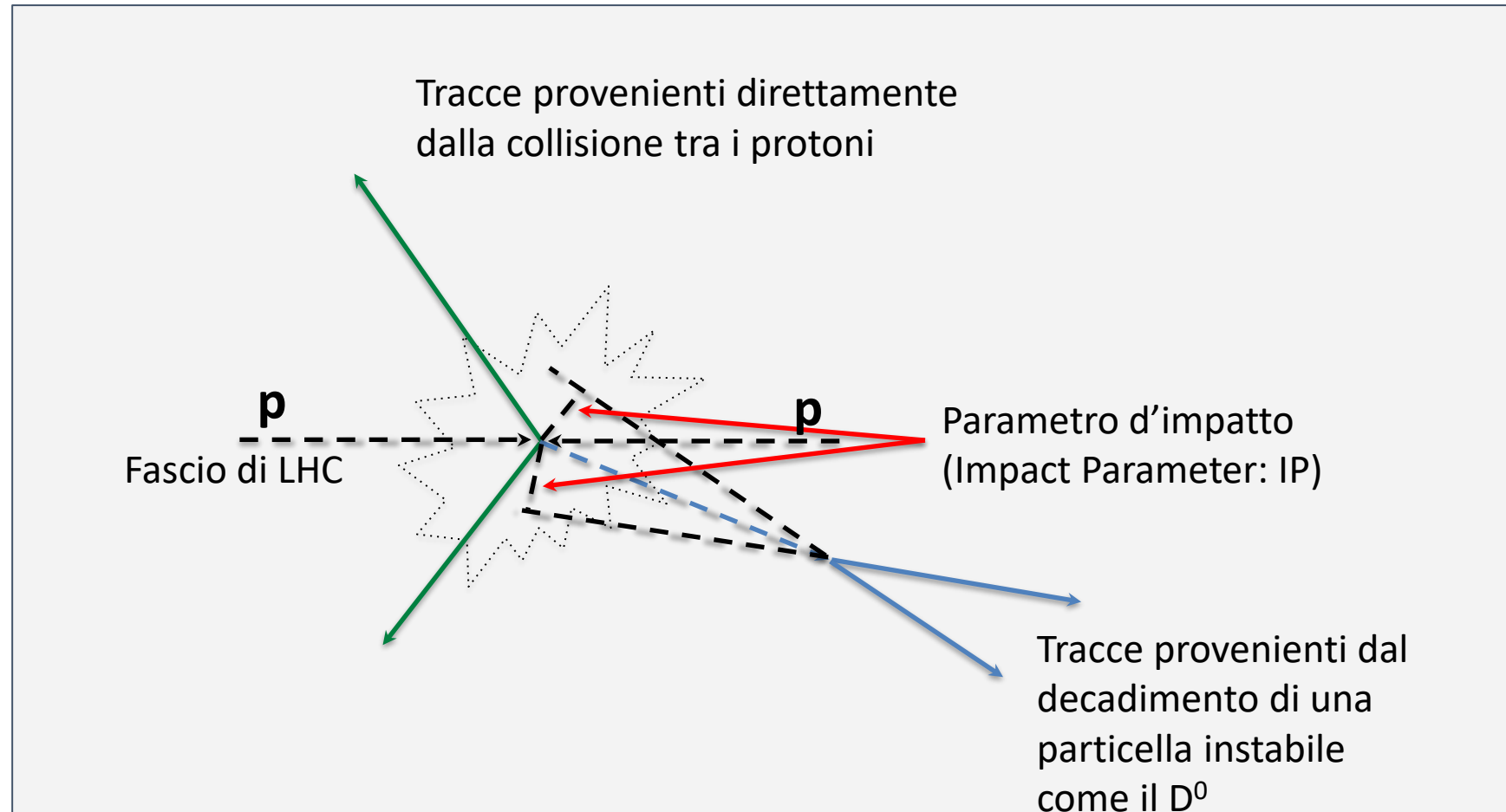
- Parametro d'impatto
- Quantità di moto
- Massa
- Tempo di decadimento



Parametro d'impatto

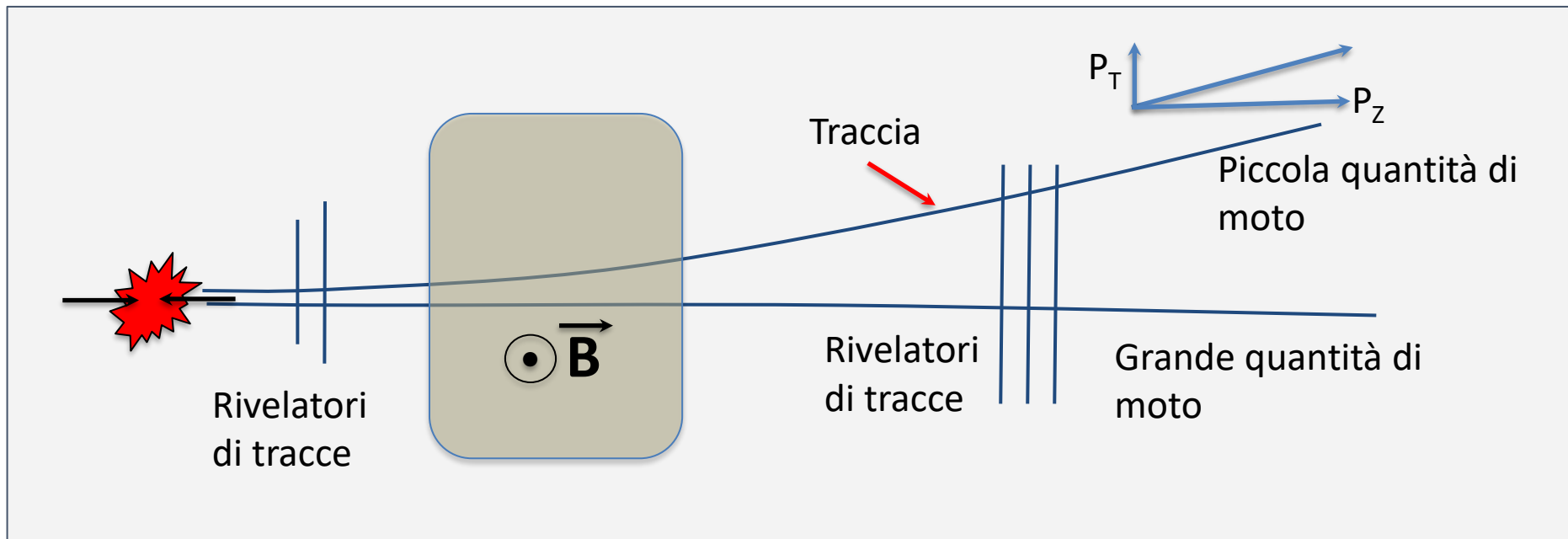
Il **parametro d'impatto** è la distanza minima tra la traccia di una particella e il vertice della collisione protone-protone

Per ricostruire con precisione la posizione dei vertici si utilizza il **Vertex Locator (VELO)**



Quantità di moto

Le particelle cariche che si muovono in un campo magnetico sono sottoposte alla **Forza di Lorentz**, che le devia in modo dipendente dalla loro quantità di moto
Studiando quanto una particella venga deviata si determina la **quantità di moto** delle particelle: particelle più lente sono deviate di un angolo maggiore
Disponiamo quindi di **tracciatori** che rivelino la posizione delle particelle cariche immediatamente prima e dopo il magnete



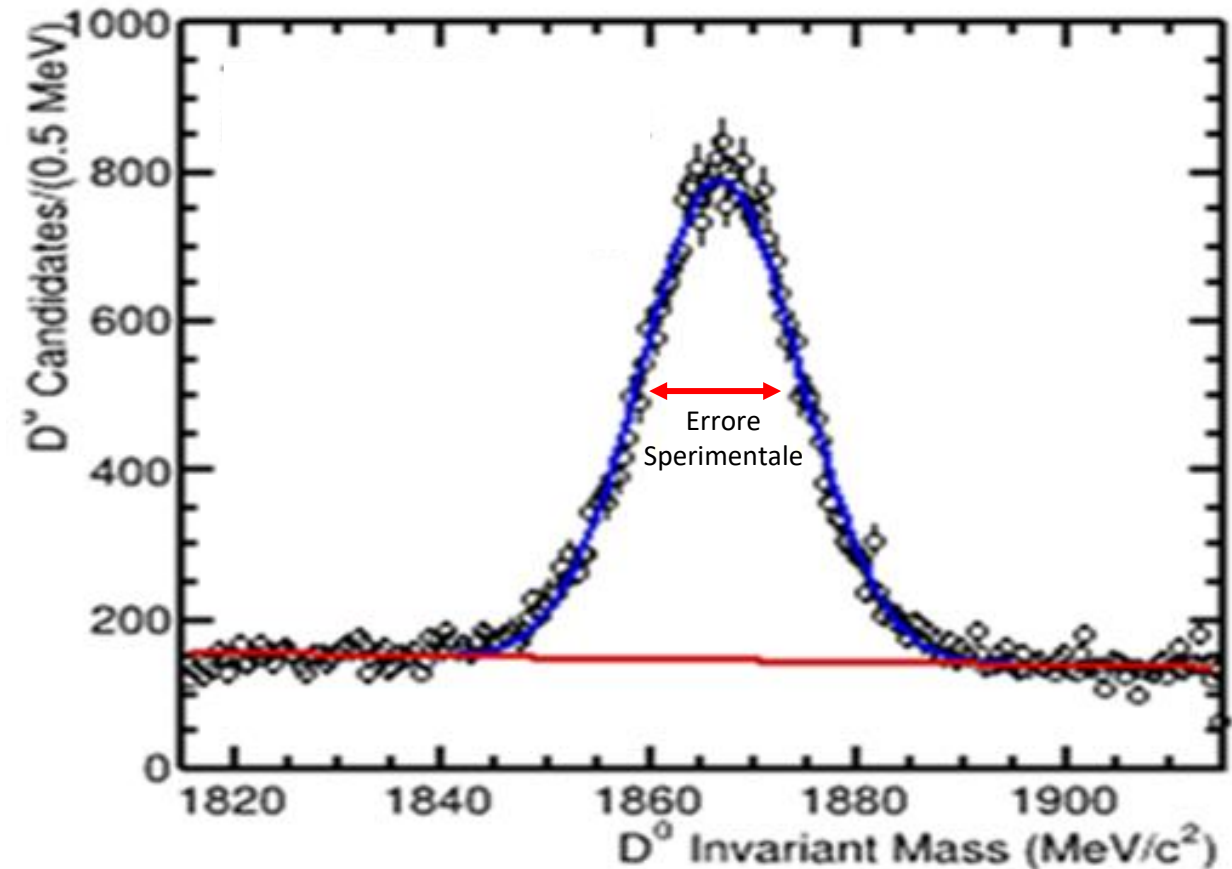
Massa

Sfruttando le leggi di conservazione dell'energia e della quantità di moto, la massa del mesone D^0 può essere misurata a partire dalle particelle in cui esso decade.

Misurando la massa di molti D^0 si ottiene una distribuzione simile a quella a destra

Il valore della massa del mesone D^0 è

$$M(D^0) = 1864.84 \pm 0.05 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$



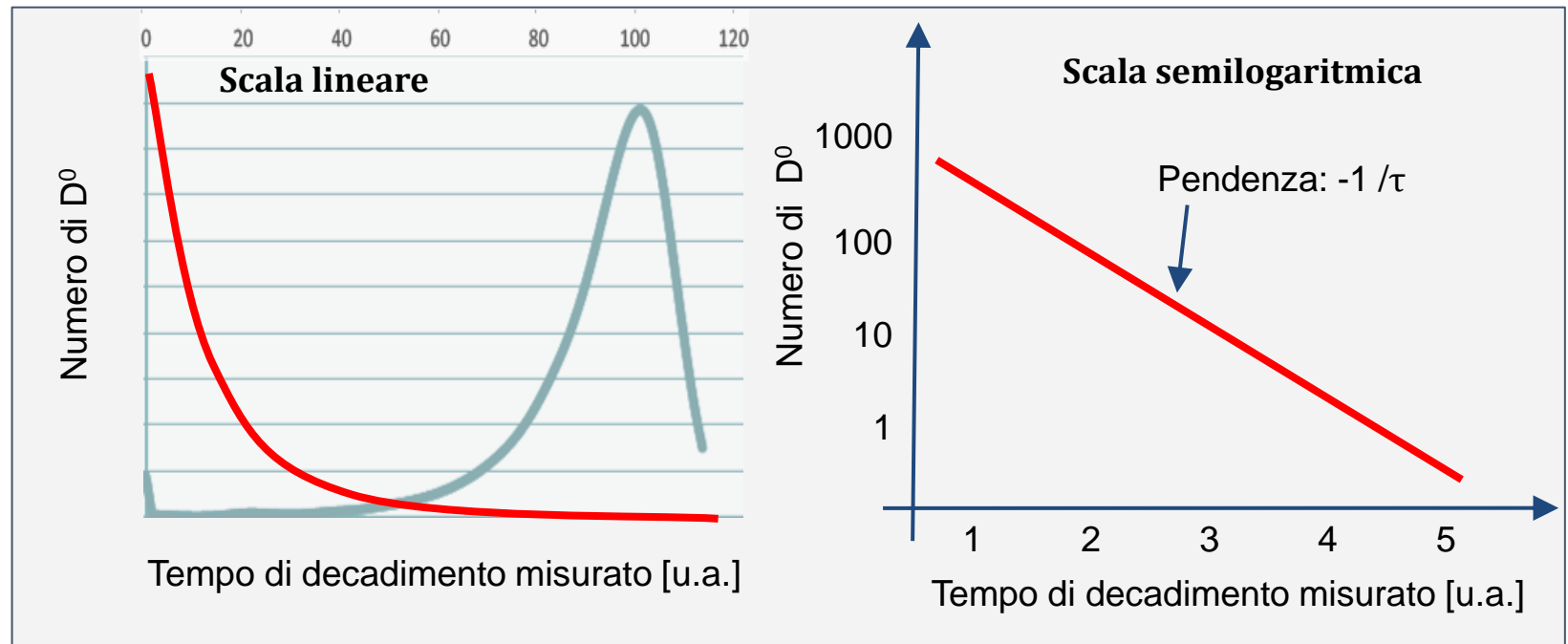
Vita media

A un certo tempo iniziale t_0 ho un numero N_0 di particelle instabili
(ad esempio nuclei radioattivi, mesoni D^0 , ...)

Dopo un tempo t , a causa
delle disintegrazioni, ne
rimangono

$$N = N_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$$

τ è il valore medio di questa
distribuzione e prende il
nome di **vita media**



Da esperimenti precedenti sappiamo che la vita media del D^0 è di circa **mezzo picosecondo**

**Ma adesso...
Mettiamo le mani sopra i dati veri**