



# Introduzione alle prove per le Master Classes 2005

Einstein in the 21st Century



- Generalita' sui processi di decadimento:
  - Vita media
  - Larghezza di decadimento
  - Rapporti di decadimento
- Che operazioni in pratica ?
  - Misure di vita media
  - Misure di rapporti di decadi



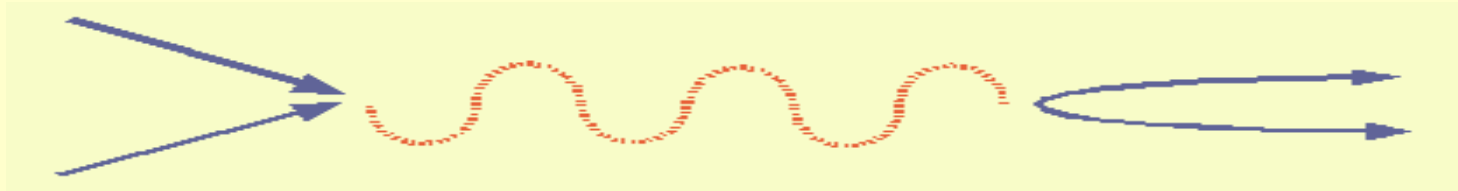


- Lo studio delle proprietà delle particelle elementari è finalizzato a capire i meccanismi che regolano le interazioni (forze) tra i corpi
- Per questo si riproducono ai collisori condizioni analoghe a quelle verificatesi nei primi istanti successivi al Big Bang
- Si rigenerano per brevissimi istanti particelle "estinte"
- Un vero Jurassic Park





- Ci aiuta l'equivalenza energia-materia:



- Se avviene che :

$$\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = \mathbf{E}_\gamma = \mathbf{M}(\mathbf{X})$$

la particella X puo' essere prodotta !

- "Regolando" l'energia dei fasci produco stati di massa vieppiu' crescente ( = piu' vicina alle condizioni primeve ) ...

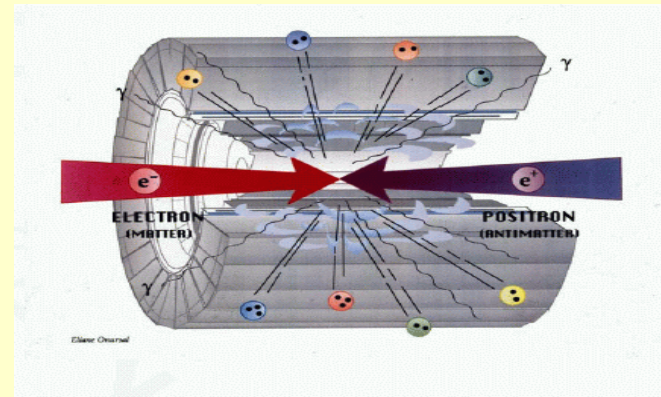
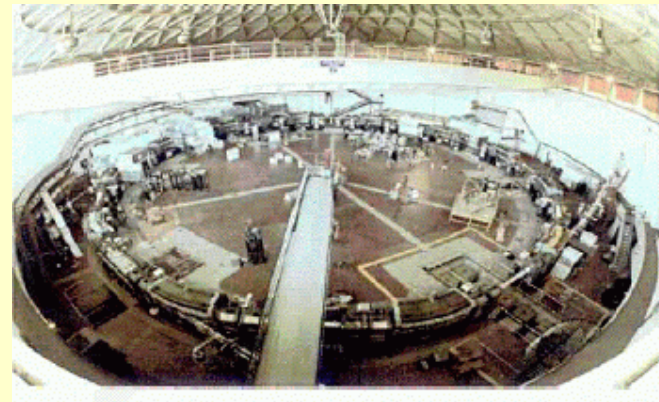


# Einstein in the 21st Century

## Come le osserviamo ?



- ... che si manifestano come repentini aumenti nei conteggi dei rivelatori (risonanze)
- Analogia con la radio:
  - frequenza  $\leftrightarrow$  energia
  - sintonizzatore  $\leftrightarrow$  acceleratore
  - diffusori  $\leftrightarrow$  rivelatori





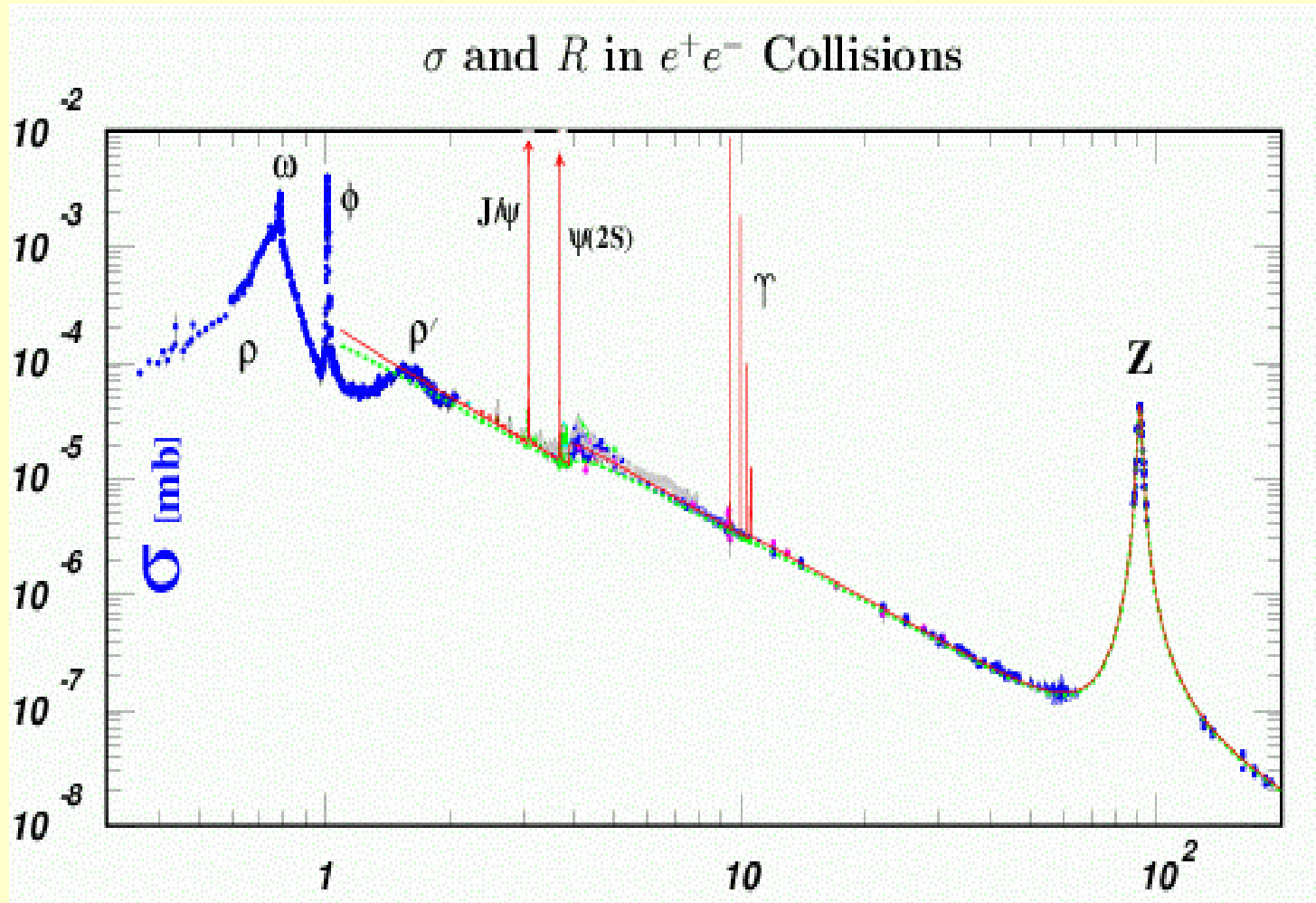


# Einstein in the 21st Century

## Uno spettro in frequenza



Sezione d'Urto (mb)



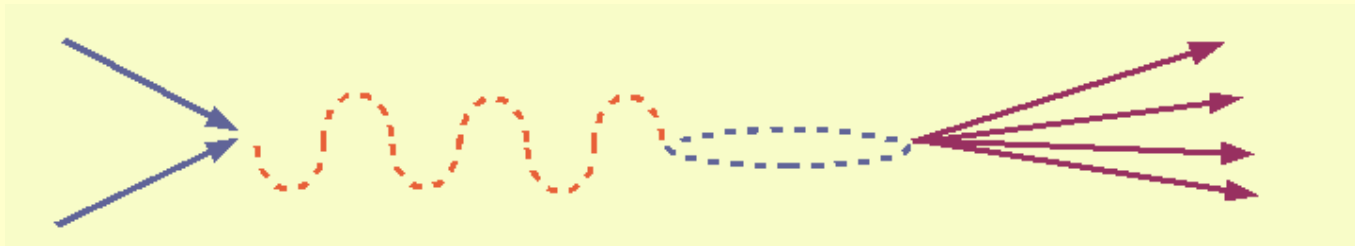


# Einstein in the 21st Century

## Che cosa osserviamo in realta' ?



- Gli stati in questione hanno vita breve ( $10^{-10} \div 10^{-25}$  s)
- Non possono essere osservati direttamente !
- Osserviamo nei rivelatori i prodotti del loro decadimento, da cui inferiamo le proprieta' originali

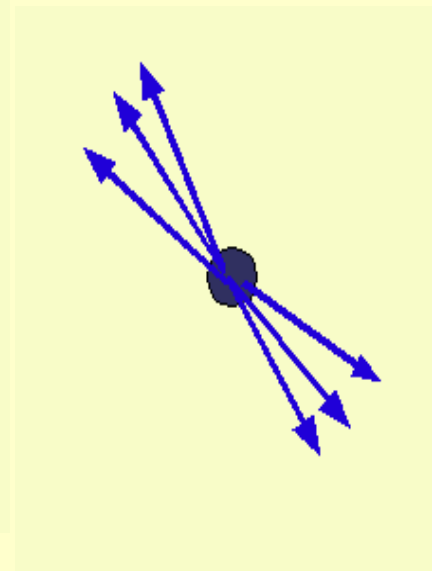
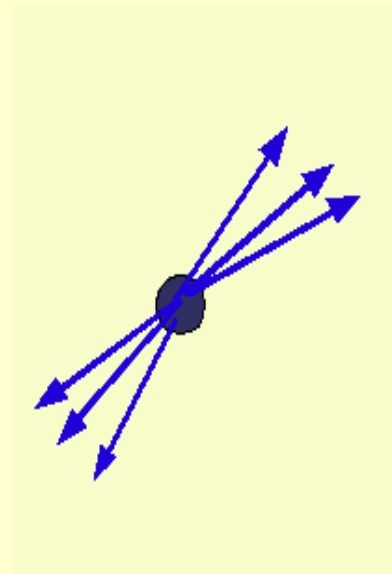
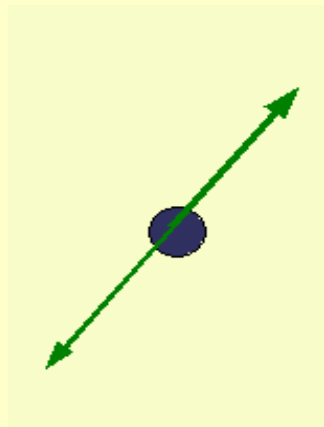
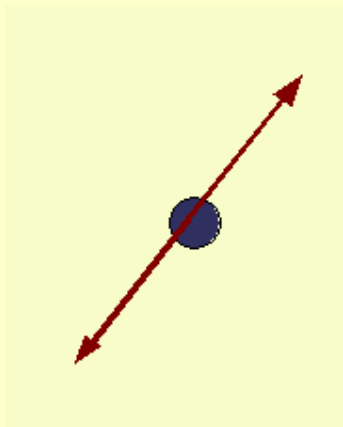


- Ma perche' decadono ?



## Una caratteristica "universale"

- ♦ tutti i sistemi naturali evolvono da condizioni di maggior ordine a minor ordine
- ♦ lo stato risonante e' piu' ordinato
- ♦ lo stato osservabile e' meno ordinato:
  - ★ sono possibili varie combinazioni,
  - ★ in ciascuna, svariate particelle,
  - ★ che possono disporsi in diversi modi





- Il tempo di vita della particella ( $\tau$ ) e' inversamente proporzionale alle velocita' del decadimento
- Questa dipende da :
  - entita' della variazione di entropia  
tecnicamente: "spazio delle fasi", di facile calcolo
  - meccanismo del decadimento  
che dipende dalla natura della forza in azione  
ovvero proprio cio' che vogliamo studiare

**Da misure di  $\tau$  inferiamo le proprieta' basilari  
delle interazioni tra i corpi**





# Il ruolo della Meccanica Quantistica

- Per una fissata particella  $X$ , con definiti valori di  $\tau$  e configurazioni di decadimento, **non possiamo** prevedere deterministicamente:
  - l'istante in cui decadrà' (*quando*)
  - la configurazione in cui decadrà' (*come*)
- ma possiamo formulare **predizioni di natura probabilistica** :
  - qual e' la probabilita' di osservarla ancora in vita dopo un certo tempo
  - qual e' la probabilita' di osservarla decadere in una configurazione, piuttosto che un'altra



- Tutti i processi di decadimento sono descritti dalla funzione esponenziale:

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

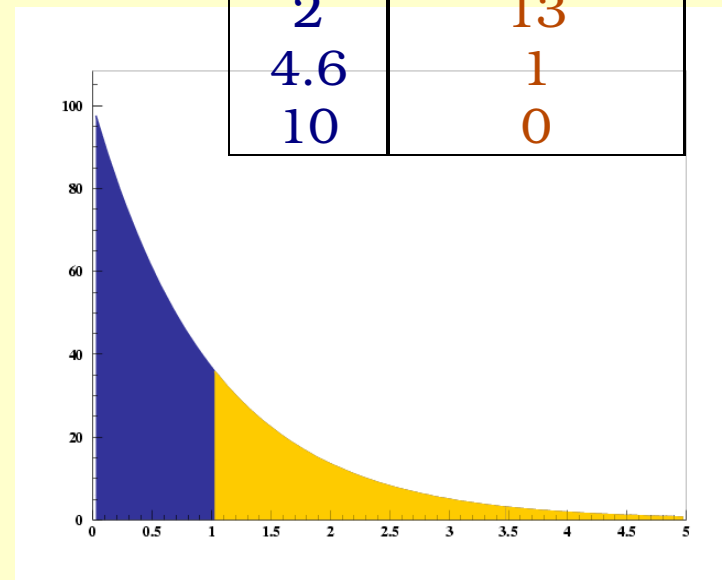
- Interpretazione

- Inizialmente  $N_0$  particelle
- Dopo  $t$  secondi :

$$N(t) = N_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \text{decadute}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{residue}$$

$t/\tau$	residui (%)
0	100
0.69	50
1	37
2	13
4.6	1
10	0





- La probabilita' di osservare una particella instabile ancora in vita dopo un tempo  $t$  e'  $e^{-t/\tau}$
- Per misurare  $\tau$  :
  - contare il numero di decadimenti in funzione del tempo  $N = N(t)$
  - interpolare i dati ottenuti
- Si noti che
  - $\langle e^{-t/\tau} \rangle = \tau$ ,  $\sigma(e^{-t/\tau}) = \tau$
- Ne segue che l'errore statistico sulla misura e'
  - $\delta(\tau) = \tau / \sqrt{N}$

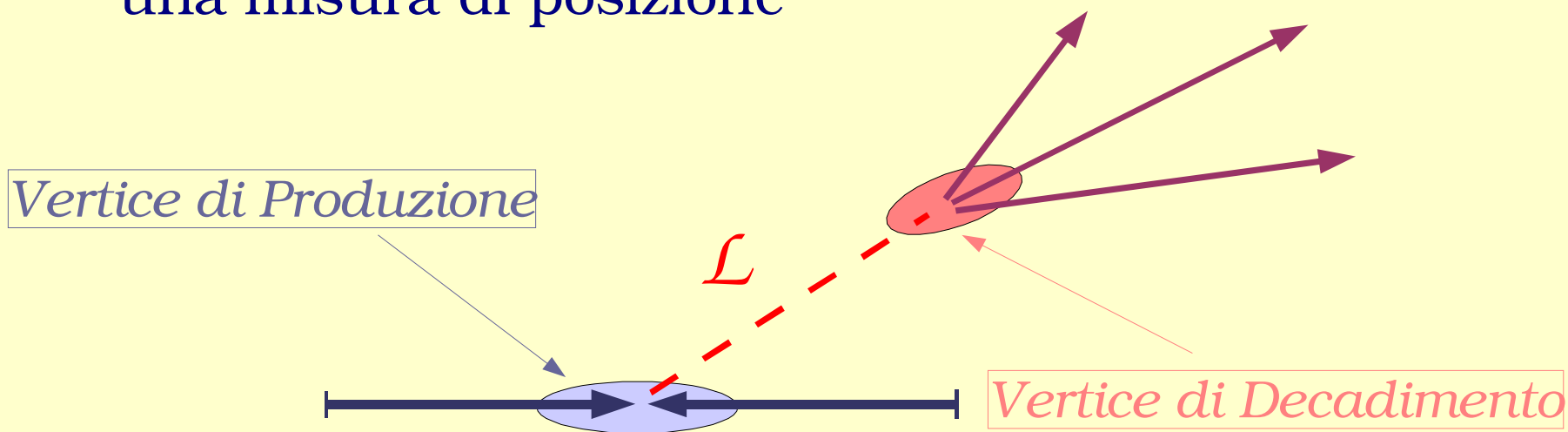


- Questo e' in effetti un limite ottimistico.
- In realta' la precisione *statistica* e' ulteriormente limitata da :
  - risoluzione nella misura del tempo
  - errori *statistici* dovuti alla sottrazione dei fondi, cioe' di processi parassiti che imitano quello di interesse e che non si riesce completamente ad eliminare
- E inoltre bisognerà considerare errori *sistematici*:
  - misura del tempo
  - efficienza di rivelazione del decadimento
  - conoscenza dei fondi





- Se la vita media e' sufficientemente lunga (almeno frazioni di secondo) basta contare il numero di annichilazioni in funzione del tempo (decadimenti beta)
- Negli esperimenti ai collisori si effettua viceversa una misura di posizione



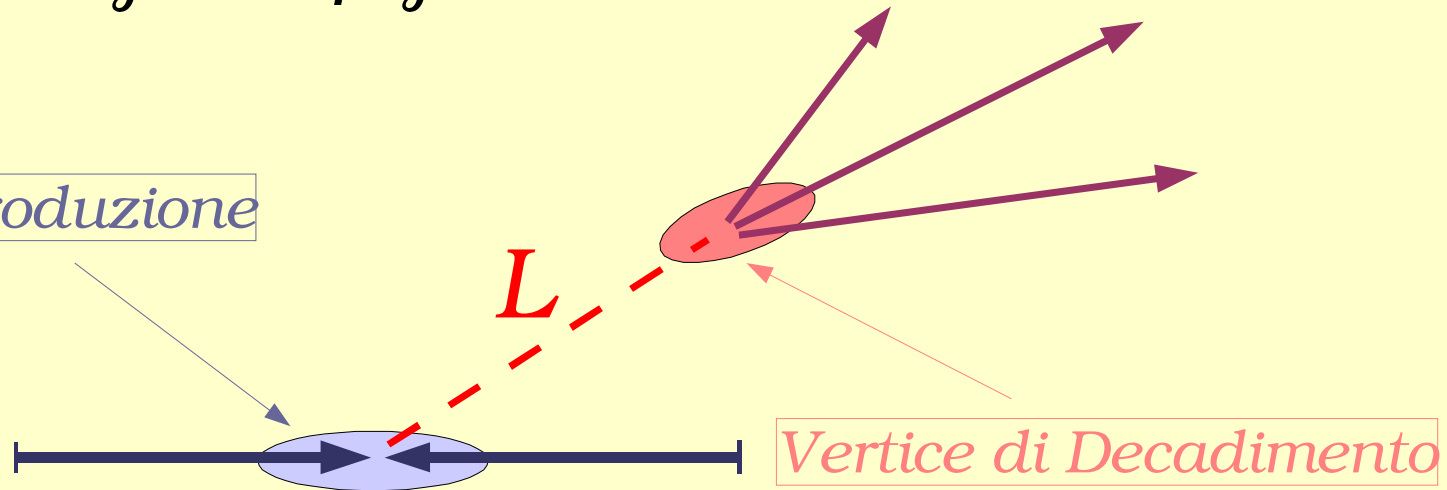


- Misuro posizioni del vertice primario e di quello di decadimento
- Determino la distanza tra i due
- Calcolo il tempo (proprio) come :

$$t = \frac{L}{v} \times \frac{1}{\gamma} = \frac{L}{c \beta \gamma} = \frac{L}{c} \times \frac{m}{P}$$

← massa  
← *quantita' di moto*

Vertice di Produzione

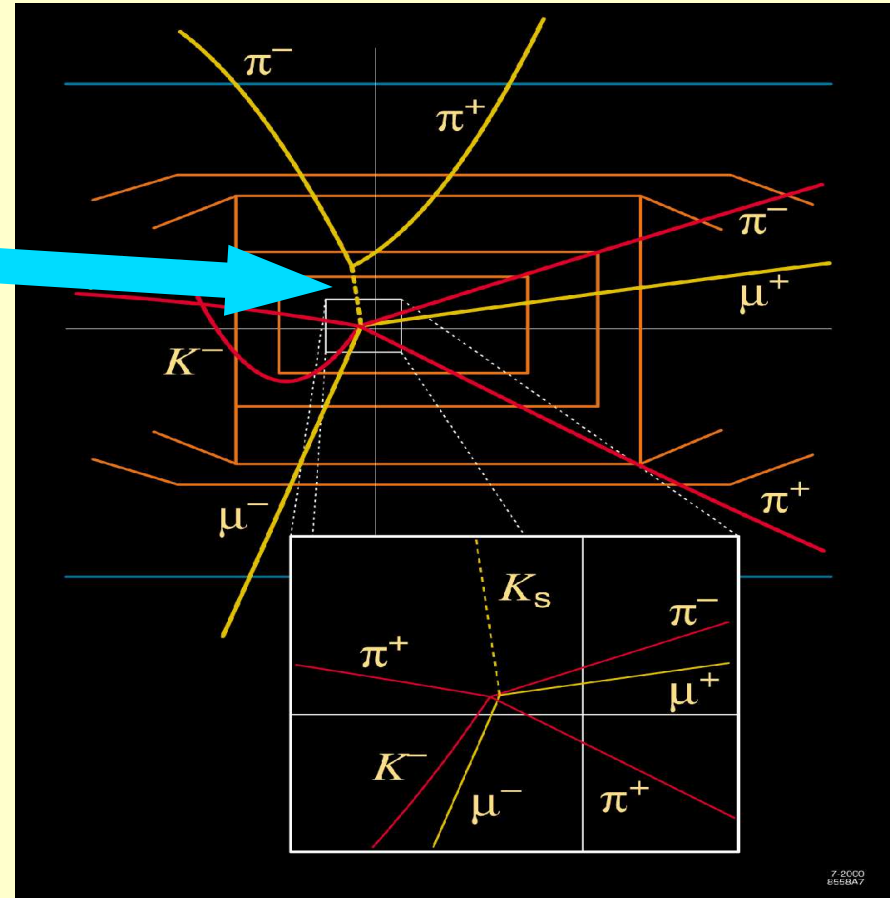
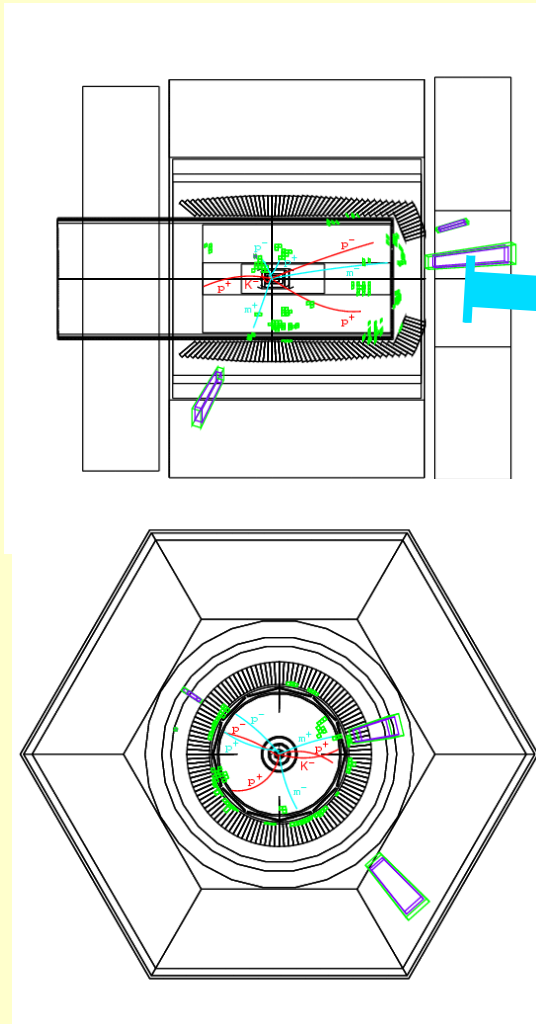




Einstein in the 21st Century  
**Esempi: un evento da BABAR**



$$B^0 \rightarrow J/\Psi K_s, \quad J/\Psi \rightarrow \mu\mu, \quad K_s \rightarrow \pi\pi \quad \beta\gamma c\tau(K_s) \sim 1 \text{ cm}$$

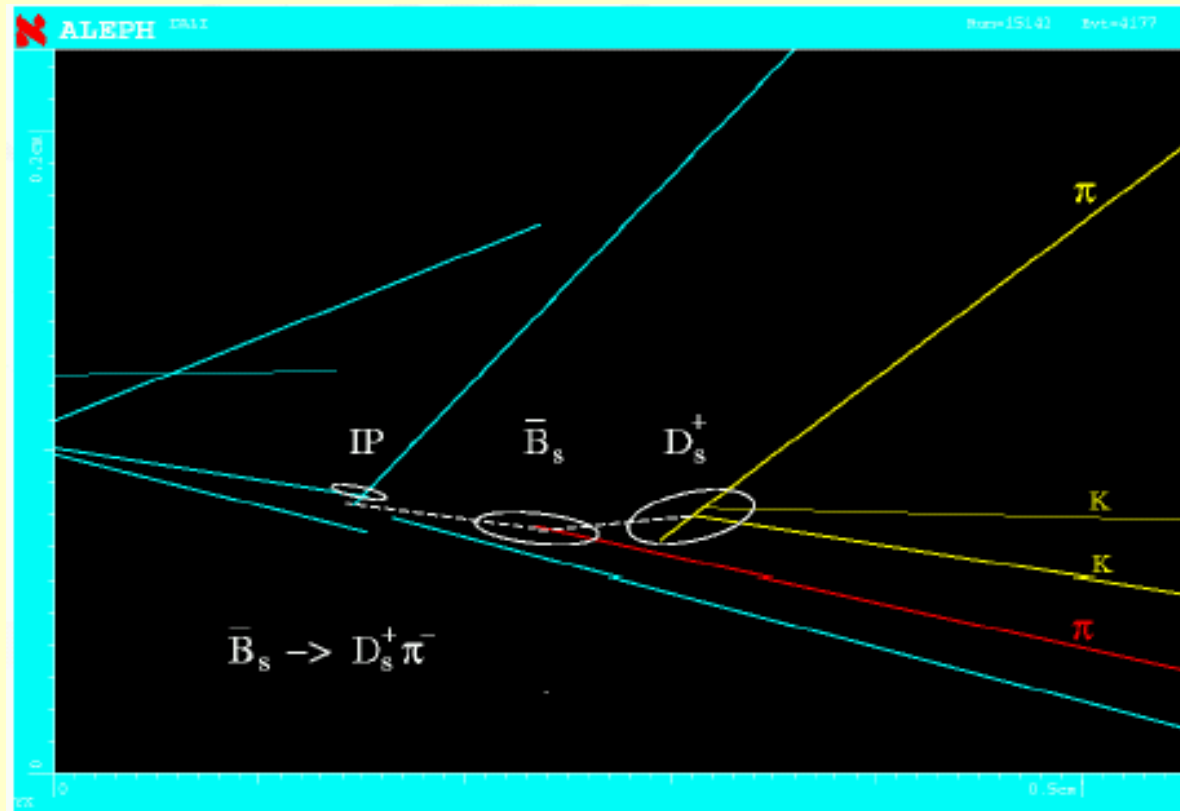




# Esempi : due Vertici ALEPH @ LEP

$$Z^0 \rightarrow B_s X, \quad B_s \rightarrow D_s^+ \pi^-, \quad D_s \rightarrow KK\pi$$

$$\beta\gamma c\tau(D_s) \sim 1.0 \text{ mm}, \quad \beta\gamma c\tau(B_s) \sim 4.0 \text{ mm}$$





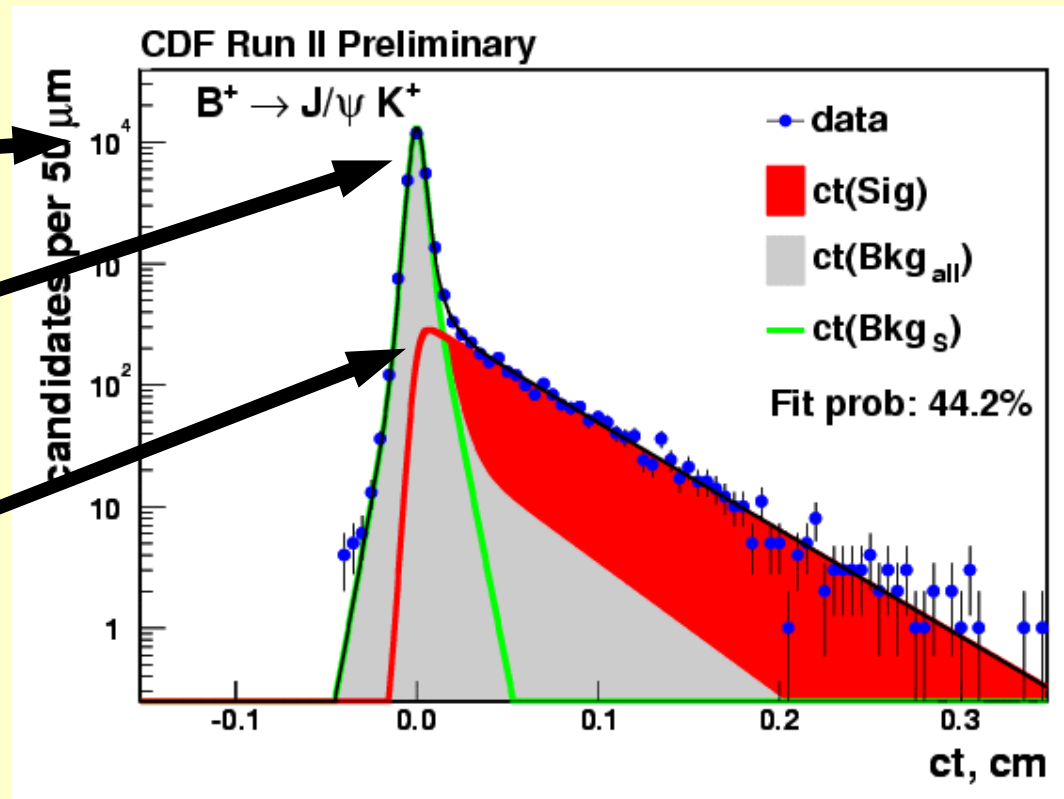


# Esempi: distribuzioni da CDF



Notare:

- scala logaritmica (rappresentato  $\log(N_i)$ )
- fondi (area grigia)
- effetti di risoluzione a basso  $ct$





- Possiamo determinare la vita media se la lunghezza di volo nel laboratorio e' misurabile con i rivelatori esistenti:

$$L = c \beta \gamma \tau = c \tau \times \frac{p}{m} > 100 \mu m$$

**Esempio :**  
**mesoni B ai collisori**

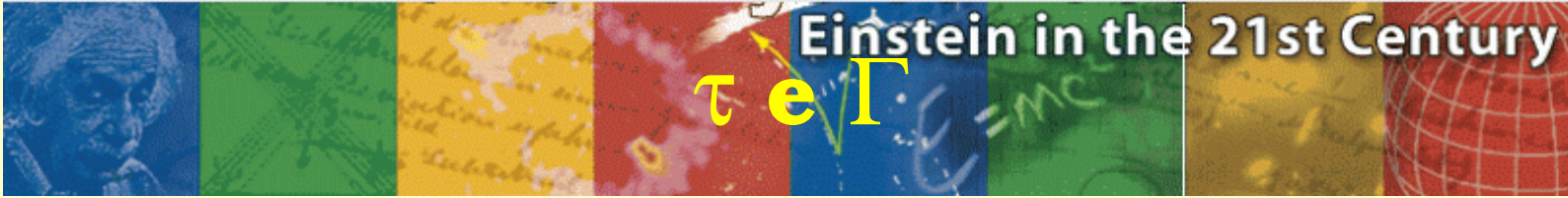
$P \sim 3-30 \text{ GeV}/c$  ,  
 $M = 5.27 \text{ GeV}/c^2$   
 $\beta\gamma \sim 0.5-5.5$  ,  $\tau \sim 1.5 \times 10^{-12} \text{ s}$

**$L \sim 0.4-4 \text{ mm}$**  😊

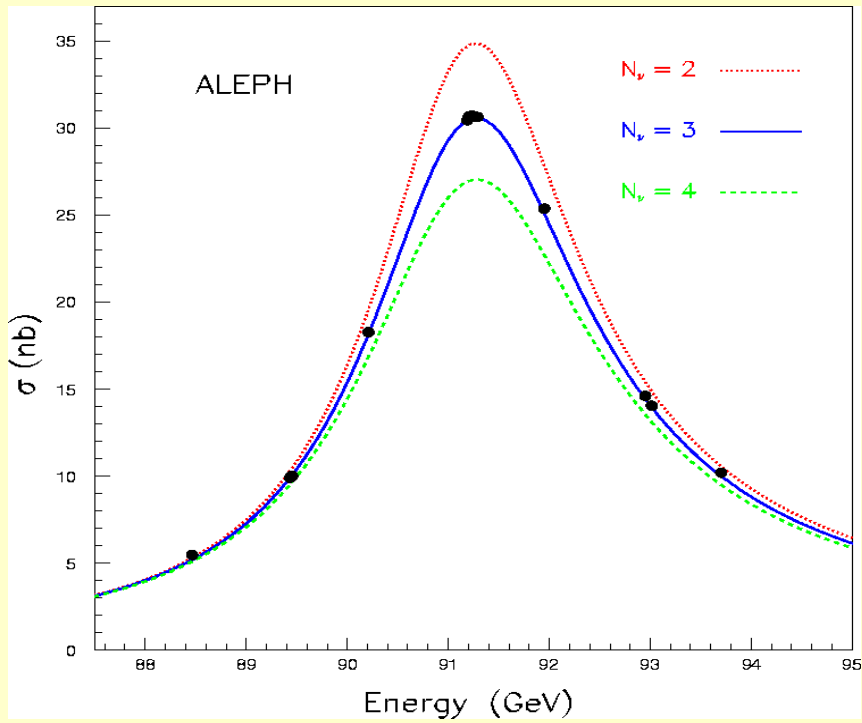
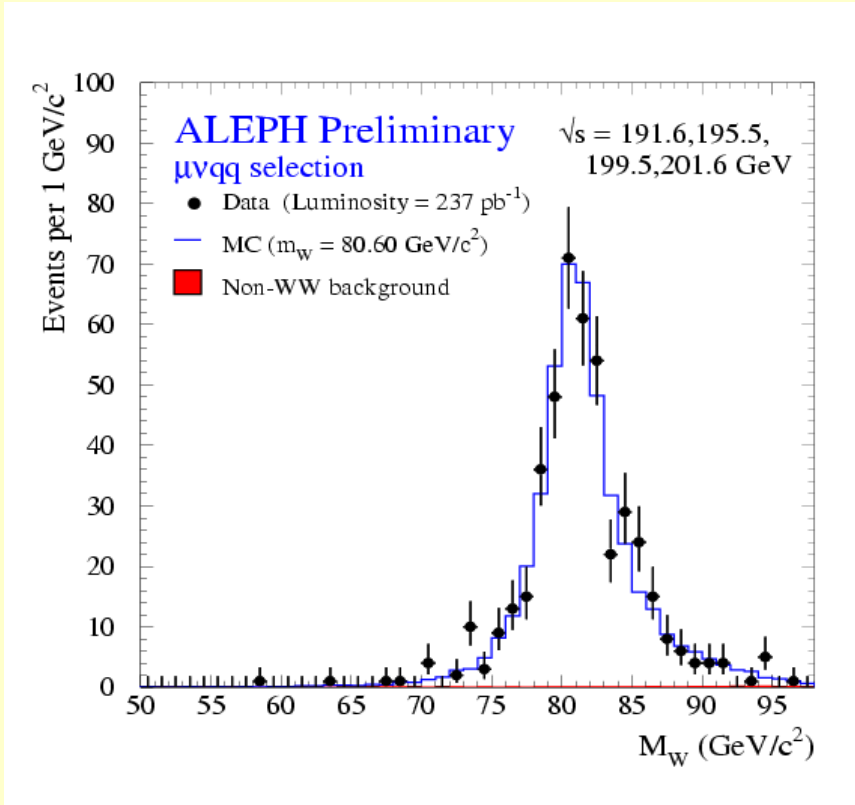
**Contro Esempio :**  
**bosoni vettori a LHC**

$P \sim 100 \text{ GeV}/c$  ,  
 $M = 100 \text{ GeV}/c^2$   
 $\beta\gamma \sim 1$  ,  $\tau \sim 10^{-24} \text{ sec}$

**$L \sim 10^{-16} \text{ m}$**  ☹



- Ci aiutano la Meccanica Quantistica e la Relativita' Ristretta
- Principio d'Indeterminazione:
  - $\Delta t \Delta E = \hbar \Rightarrow \Delta E = \hbar / \Delta t = \hbar / \tau$
- Nel sistema di riposo della particella:
  - $E = Mc^2 \Rightarrow \Delta E = \Delta M c^2 = \Gamma \Rightarrow \Gamma = \hbar / \tau$
- La massa ha una indeterminazione (larghezza) intrinseca  $\Gamma$
- Misurando  $\Gamma$  possiamo calcolare  $\tau$  !



$$\Gamma(W) = 2.12 \pm 0.04 \text{ GeV}/c^2$$

$$\tau(W) = 3.15 \cdot 10^{-25} \text{ s}$$

$$\Gamma(Z) = 2.495 \pm 0.02 \text{ GeV}/c^2$$

$$\tau(Z) = 2.68 \cdot 10^{-25} \text{ s}$$





# Come: I Rapporti di Decadimento

Einstein in the 21st Century



- Altra informazione viene dallo studio dei modi del decadimento:
  - Quali particelle vengono prodotte ?
  - Con quale frequenza relativa ?
- Uno degli studi piu' importanti, effettuato nello scorso decennio a LEP (CERN) e SLC (SLAC), riguarda le proprieta' di decadimento del bosone vettore di gauge, la  $Z^0$



- La Z puo' decadere nelle tre speci di leptoni:

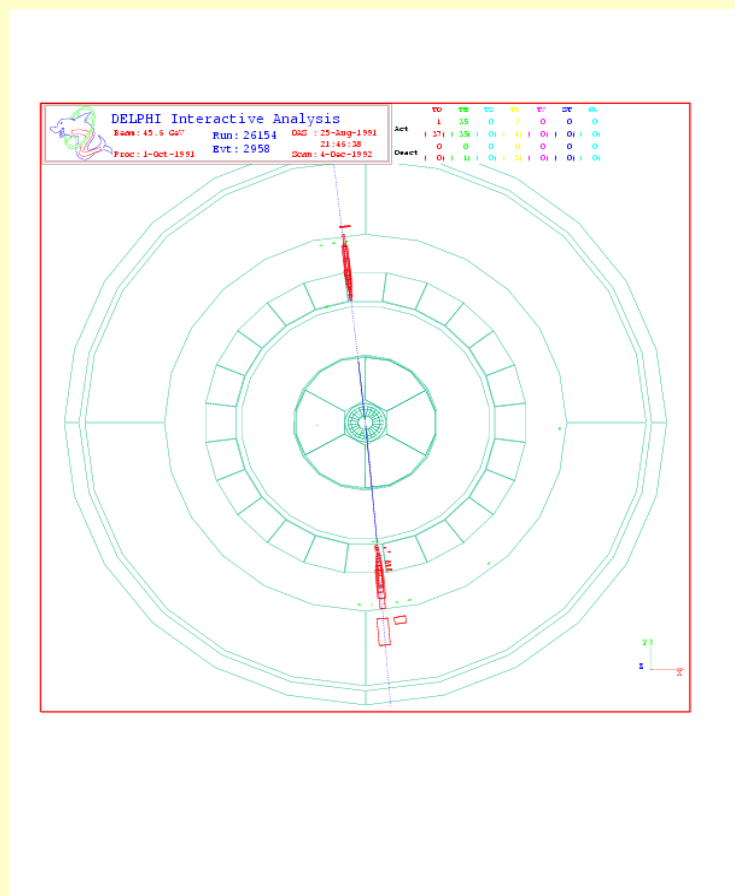
- $Z \rightarrow e^+e^-$  ( coppie di elettroni)
- $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$  ( coppie di muoni )
- $Z \rightarrow \tau^+\tau^-$  ( coppie di tau )

con frequenza approssimativamente uguale, o in coppie di quark, che originano getti con alta molteplicita' di particelle visibili :

- $Z \rightarrow qq \rightarrow jets$  di adroni

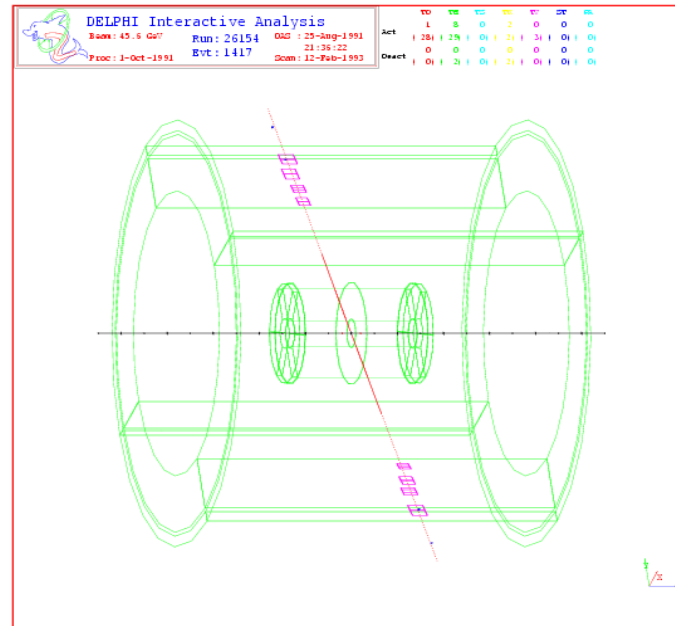
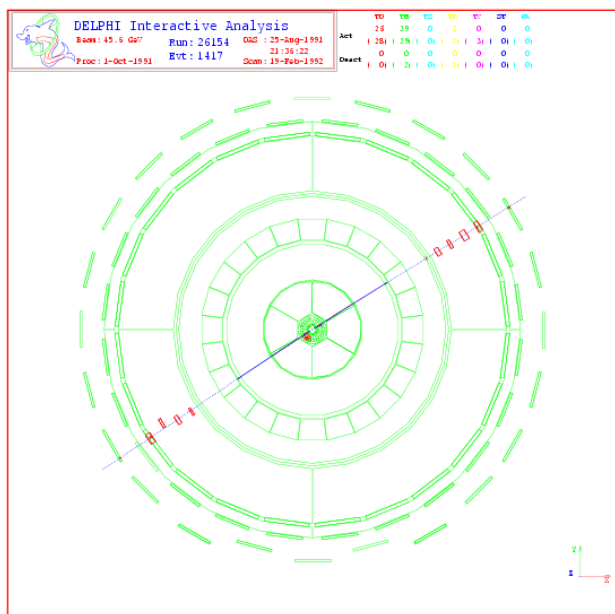


- Decadimento a due corpi
- Si distingue perche' le due tracce vengono assorbite nel calorimetro elettromagnetico



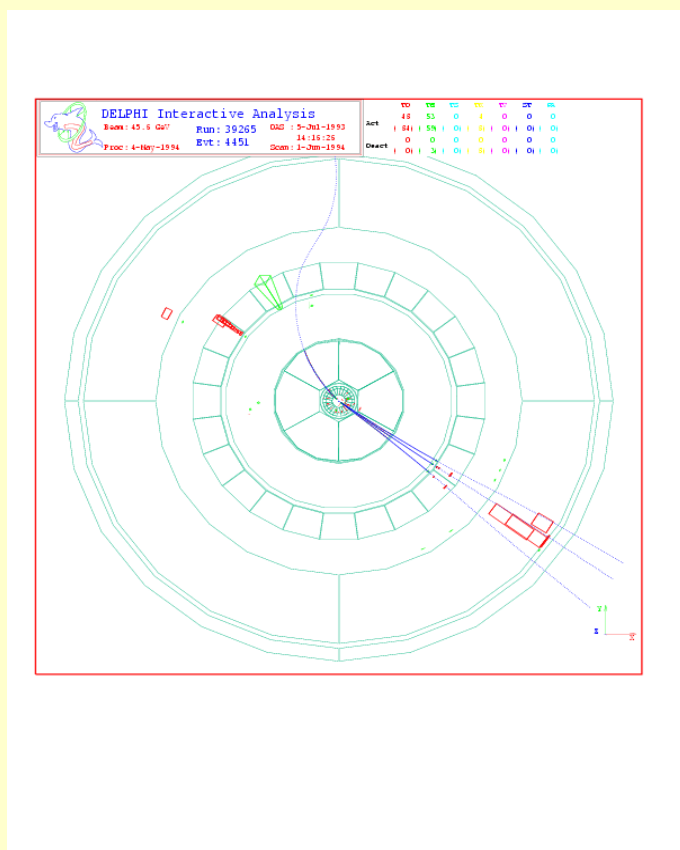


- Decadimento a due corpi
- Si distingue perche' le due tracce attraversano tutto il rivelatore e vengono osservate nelle camere piu' esterne

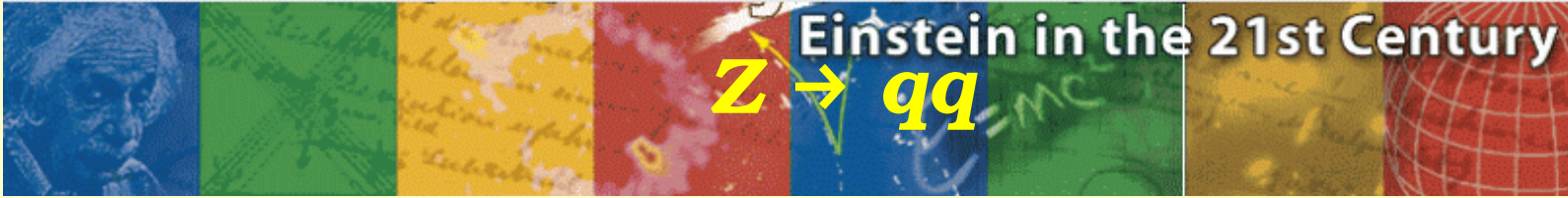




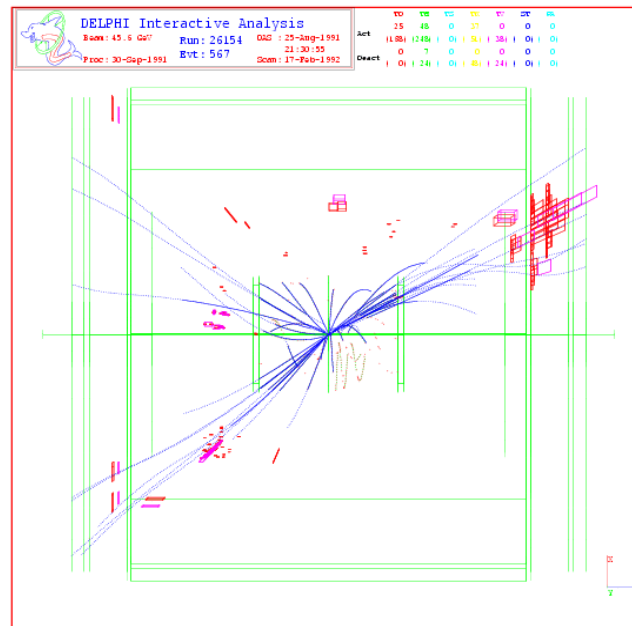
- Il  $\tau$  decade in adroni o leptoni, producendo neutrini
- Da' luogo a getti con poche tracce osservabili (bassa molteplicita') e molta energia mancante ( $\nu$  non rivelati).







- I quark adronizzano, producono cioè fiotti (getti) di adroni ( $\pi, K, p \dots$ )
- Si distingue per l'alta molteplicità nello stato finale





- Vi proponiamo due tipi di misura:
  - **Misura della vita media dei mesoni B**
  - **Misura dei rapporti di decadimento della Z**
- In entrambi i casi analizzerete dati effettivamente raccolti da esperimenti tuttora funzionanti (CDF @Tevatron ) o che solo di recente hanno ultimato la loro funzione (DELPHI @ LEP )
- Utilizzerete semplici pacchetti di analisi dati (quali EXCEL )



- Procedura di base:
  - selezionare campione di  $B^+$
  - lettura dei dati (formato ASCII per EXCEL)
  - $\forall$  evento:
    - calcolo del tempo proprio  $t$
    - riempimento dell'istogramma
  - interpolazione con una esponenziale e calcolo di  $\tau$
  - calcolo dell'errore  $\delta(\tau)$  (pag 11)



- ... a chi avanzasse del tempo:
  - ripetere con campione di  $B^0$
  - calcolo del rapporto  $R = \tau(B^+)/\tau(B^0)$  e dell'errore  $\delta(R)$ :

$$\delta(R)/R = \{(\delta\tau^0 / \tau^0)^2 + (\delta\tau^+ / \tau^+)^2\}^{1/2}$$



- ... e se avanzasse ancora del tempo:
  - dividere il campione originario in  $n$  ( $=20$ ) sottocampioni indipendenti e calcolare i rispettivi  $\tau_i$
  - calcolare valor medio, RMS ed errore degli  $n$  esperimenti

$$\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

$$\sigma(\tau) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau)^2}$$

$$\delta(\tau) = \frac{\sigma(\tau)}{\sqrt{n}}$$

- confrontare con i risultati precedenti (pag 26)





# Misura dei rapporti di decadimento della Z

Einstein in the 21st Century



- Gli eventi sono rappresentati direttamente sul display
- Dovrete distinguere visivamente il tipo di decadimenti ( $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ ,  $qq$ ) e contare quanti eventi trovate in ciascuna categoria
- Calcolare il rapporto di decadimento per ciascuna specie come:

$$B_i = \frac{n_i}{\sum_{k=1}^4 n_k}$$



Einstein in the 21st Century

**In conclusione**



***BUON LAVORO A TUTTI***