

# Fisica delle Particelle: esperimenti

Fabio Bossi (LNF–INFN)  
fabio.bossi@Inf.infn.it

# Il processo scientifico di conoscenza

Esperimento



Teoria



Esperimento

Osservazione quantitativa di fenomeni riguardanti alcune particelle elementari

Enunciazione di possibili relazioni matematiche che descrivano questi fenomeni

Verifica quantitativa delle predizioni della teoria e/o misura di parametri fondamentali della stessa

## Il processo scientifico di conoscenza

Esperimento



Teoria



Esperimento

Osservazione delle correnti deboli neutre

Modello Elettrodebole,  
esistenza del bosone  $Z^0$

Produzione dello  $Z^0$  in  
collisioni  $e^+e^-$ , misura dei  
rapporti di decadimento in  
coppie di fermioni

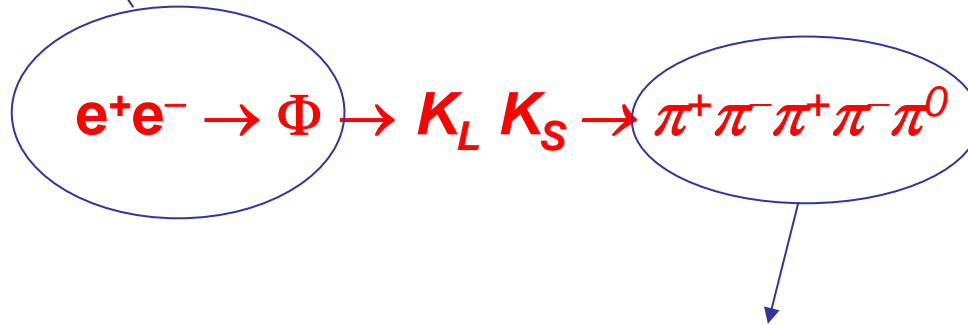
## Come funziona un esperimento di F.d.P.?

Acceleratore: produzione evento

Parametri cinematici noti:

*Energia della reazione*

*Punto di interazione*



Rivelatore: osservazione prodotti di decadimento

Parametri cinematici misurati:

*Energie delle particelle*

*Punti di produzione/decadimento*

Ricercatore: analizza i dati del rivelatore e tenta di ricostruire l'evento per estrarne informazioni sulla fisica che lo governa

# ACCELERATORI DI PARTICELLE

Un fascio di particelle che colpisce un bersaglio o collide con un altro fascio produce *reazioni nucleari*, *annichilazioni* e *creazione di nuove particelle*

Il tipo di reazioni prodotte e' determinato esclusivamente dalla *natura* delle particelle collidenti, dalla loro *energia*, e dalla *frequenza* della collisioni

In natura avvengono continuamente reazioni di questo tipo (*raggi cosmici*), ma in luoghi e tempi *non controllabili a priori*

I fisici hanno sviluppato tecniche per produrre in laboratorio ed accelerare fasci di particelle di vario tipo (*elettroni*, *protoni*, *pioni* ecc...) ad energie ed intensita' sempre piu' elevate

# ACCELERATORI DI PARTICELLE

Una particella carica sottoposta ad un potenziale elettrico  $V$ , varia la propria energia *proporzionalmente* a  $V$  ed alla sua carica  $q$

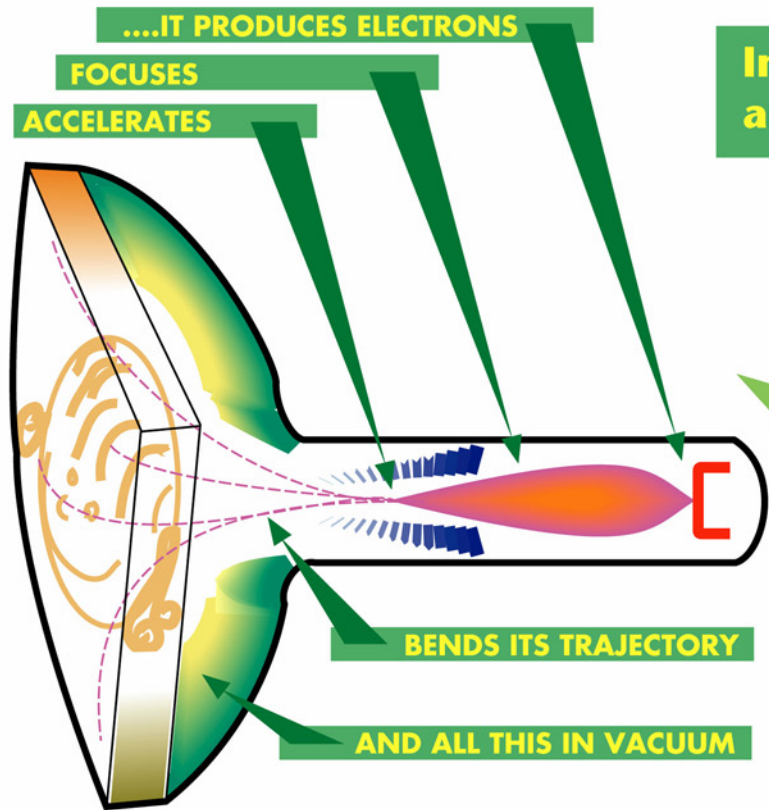
$$\Delta E = qV$$

Definiamo *elettronvolt* (**eV**), l'energia acquisita da un elettrone sottoposto ad un potenziale elettrico di 1 volt

Multipli dell'eV (molto usati in F.d.P) sono:

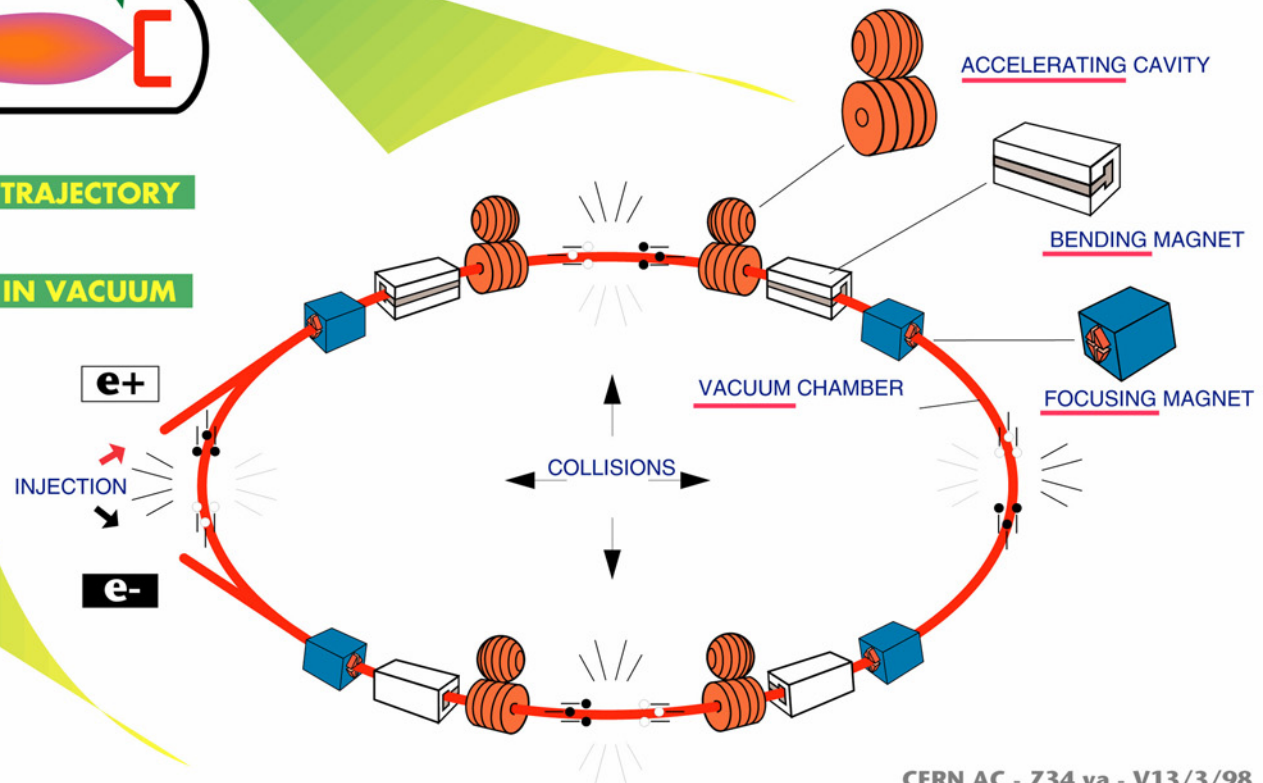
- Il *Megaelettronvolt* (**MeV**) =  $10^6$  eV
- Il *Gigaelettronvolt* (**GeV**) =  $10^9$  eV

# DID YOU KNOW YOUR TELEVISION SET IS AN ACCELERATOR ?



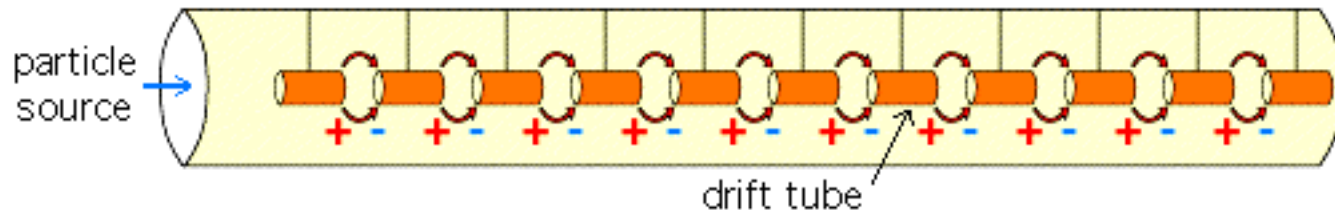
In your TV set, the electrons are accelerated to 20000 volts.

In LEP, they are accelerated to 100 000 000 000 volts.



# ACCELERATORI LINEARI (LINAC)

Come un enorme tubo catodico, un Linac e' costituito da una serie di elementi acceleranti disposti uno di seguito all'altro e opportunamente raccordati



Attualmente si riescono a produrre campi acceleranti di  
**20-30 MeV/m**

**I.L.C.** che aspira a raggiungere una energia di **500 GeV**  
dovra' essere lungo ~ **30 Km**

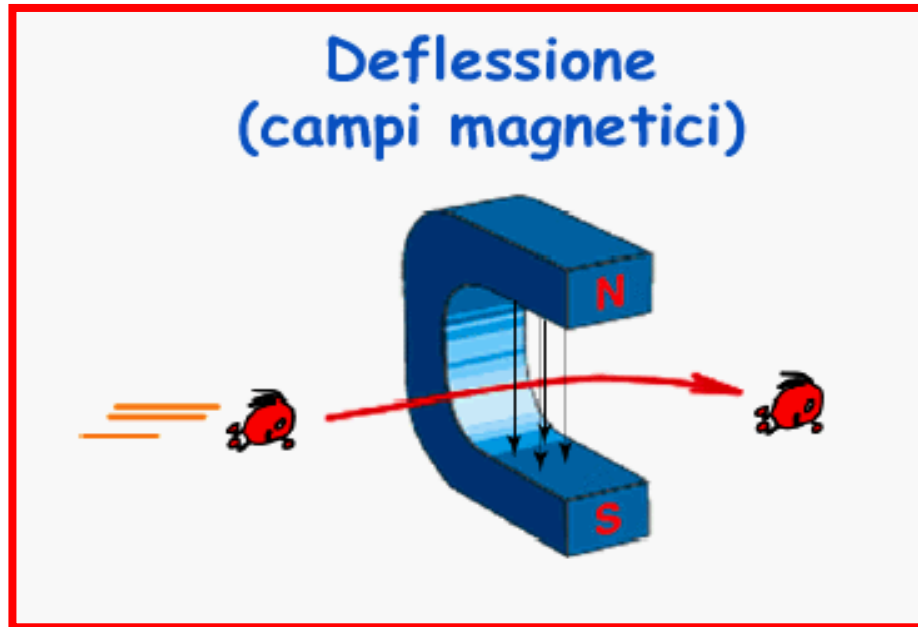


## IL LINAC DI DAΦNE A FRASCATI



$L \sim 60 \text{ m}$        $E_{\text{max}} = 750 \text{ MeV}$

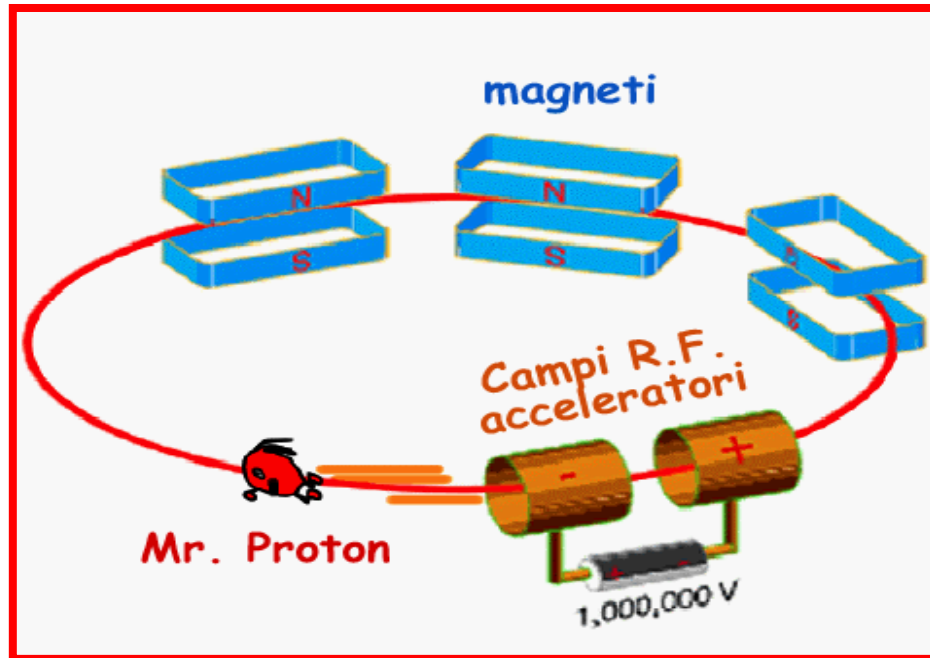
Una particella carica, sottoposta ad un *campo magnetico* perpendicolare alla sua direzione di moto, viene deflessa da una forza proporzionale alla sua velocità  $v$  e all'intensità del campo  $B$



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

Inoltre il *segno* della carica (+ o -) e la *direzione del campo* (in su o in giu') determinano se la deflessione avviene *verso sinistra* o *verso destra* rispetto alla direzione del moto

*Questo consente di mantenere le particelle lungo un'orbita circolare, sfruttando sempre i medesimi elementi acceleranti per il “rifornimento” di energia*



Inoltre consente di far circolare particelle di segno opposto (per esempio  $e^+$  ed  $e^-$ ) nello stesso anello, in direzioni opposte, facendole **collidere** in ben determinati punti dello stesso

Questo principio degli **anelli di accumulazione** e' stato sviluppato a Frascati negli anni 60 dal geniale fisico austriaco **Bruno Touschek**



Il primo anello di accumulazione (**Ada**) e' tuttora conservato in questo laboratorio

## Perche' un a.d.a. e' particolarmente efficiente?

In uno scontro tra due corpi (siano automobili o particelle elementari) *l'energia "di movimento" deve essere conservata*

Se, nello stato iniziale, essa e'  $\neq 0$ , lo dovra' essere anche nello stato finale, sottraendo cosi' energia "utile" (a sfasciare le automobili o a produrre nuove particelle)

In collisioni frontali l'energia di movimento e' nulla, e dunque tutta l'energia a disposizione e' utilizzabile

# UNA FORMULA FONDAMENTALE

La *frequenza* con cui avvengono le collisioni e' determinata da un parametro fondamentale dell'acceleratore: la **Luminosita'**

**Numero di particelle per fascio**

$$L = \frac{N^{e^+} N^{e^-}}{\sum_x \sum_y} \times f_c$$

**Frequenza degli incroci tra i fasci**

N.B. : non sempre ad un incrocio corrisponde una collisione!

**Dimensioni trasverse dei fasci**

La luminosita' si misura dunque in  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Generalmente si possono “impacchettare”  $\sim 10^{11}$   
particelle per fascio

La frequenza di rivoluzione dipende dalla lunghezza  
della macchina ed e' a DAΦNE di  $\sim 3 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$

Le dimensioni dei fasci sono minimizzate con l'uso di  
magneti speciali detti *quadrupoli*

A DAΦNE  $\Sigma_x \sim 2 \text{ mm}$   $\Sigma_y \sim 0.015 \text{ mm}$

$$\mathcal{L} = \frac{10^{11} \times 10^{11}}{0.2 \times 0.0015} \times 3 \times 10^6 = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Ma la probabilità con cui avvengono le collisioni utili dipende solo dal tipo di reazione prodotta (cioè sostanzialmente da Madre Natura)

Il parametro che quantifica questa probabilità è la cosiddetta sezione d'urto ( $\sigma$ ) che si misura in  $\text{cm}^2$

La frequenza  $f$  di eventi di sezione d'urto  $\sigma$ , prodotti da un collider di luminosità  $\mathcal{L}$  è dunque data da:

$$f = \mathcal{L} \times \sigma \quad \text{s}^{-1}$$

*dipende dal collider*                      *dipende dalla natura*



Le sezioni d'urto per processi nucleari o subnucleari sono generalmente molto piccole, dell'ordine di

$$10^{-30} \div 10^{-33} \text{ cm}^2$$

processo	$E(\text{GeV})$	$L(\text{m})$	$\mathcal{L}(\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\sigma(\text{cm}^2)$	$f(\text{s}^{-1})$	
$e^+e^- \rightarrow Z^0$	90	LEP	27000	$3 \times 10^{31}$	$3 \times 10^{-32}$	$\sim 1$
$e^+e^- \rightarrow \Phi$	1	DAΦNE	100	$10^{32}$	$3 \times 10^{-30}$	$\sim 300$

Attenzione: in generale in un collider vengono prodotti piu' processi fisici concorrenti alla stessa energia!

A DAΦNE per esempio, la frequenza complessiva di eventi fisici e' di circa  $1000 \text{ s}^{-1}$  (1 kHz)

Proprio in questi mesi e' in corso un esperimento su DAΦNE per provare un nuovo schema di interazione che potrebbe aumentare la sua luminosita' anche di un *fattore 10*

In pratica si dovrebbe essere in grado di ridurre le dimensioni trasverse dei fasci nel punto di interazione dell'opportuno fattore, semplicemente "giocando" con l'ottica di macchina (*cioe' senza dover spendere montagne di soldi in hardware ed energia elettrica*)

*Se l'esperimento avra' successo si potrebbe aprire una nuova stagione per la costruzione di acceleratori ad altissima luminosita' a Frascati e nel mondo*

## *In cosa consiste l'utilità delle collisioni a bersaglio fisso?*

Principalmente nel fatto che *i flussi di produzione* per molti tipi di particelle sono molto più elevati, il che risulta essere essenziale per lo studio di eventi *estremamente rari*

Per esempio al **SPS** del CERN di Ginevra  $2 \times 10^{11}$  protoni collidono sul bersaglio *ogni secondo* producendo circa  $10^5$   $K$  neutri di  $\langle P \rangle \sim 70$  GeV/c

Anche se una gran parte di queste particelle non possono essere rivelate, questo costituisce un numero assolutamente concorrenziale con i  $\sim 10^2$   $K$  al secondo prodotti da DAΦNE!

## *E' possibile produrre fasci di particelle neutre?*

Generalmente il metodo piu' utilizzato e' quello di sfruttare urti protone-protone e selezionare i prodotti di decadimento con opportune linee di trasporto



*Particelle cariche deflesse da campi magnetici*

In questo modo si possono selezionare fasci di  $K^0$ ,  $\nu$ ...



# CNGS CERN to Gran Sasso Neutrino Project

Un fascio di  $\nu_{\mu}$  viene  
prodotto al CERN di  
Ginevra e rivelato al Gran  
Sasso dopo un viaggio di  
**730 km**

