

Introduzione ai rivelatori di particelle

Inizio del corso

Introduzione ai rivelatori di particelle

Organizzazione

- **Orario 2011/2012**
 - 5 ore alla settimana
 - Giovedì 15:30 - 17:15 Aula LUF2
 - Venerdì 14:30 - 17:15 Aula LUF2
- **Argomenti:**
 - Interazione della radiazione con la materia
 - Caratteristiche dei rivelatori di radiazione
 - Elementi sugli acceleratori di particelle
- **Prova d'esame: orale**
- **Materiale didattico**
 - http://www.pd.infn.it/~carlin/riv/introduzione_rivelatori.htm
- **Testi di consultazione:**
 - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments
 - W.R. Leo, Springer-Verlag
 - The Physics of Particle Detectors
 - Dan Green
 - The review of particle physics
 - <http://pdg.lbl.gov/>

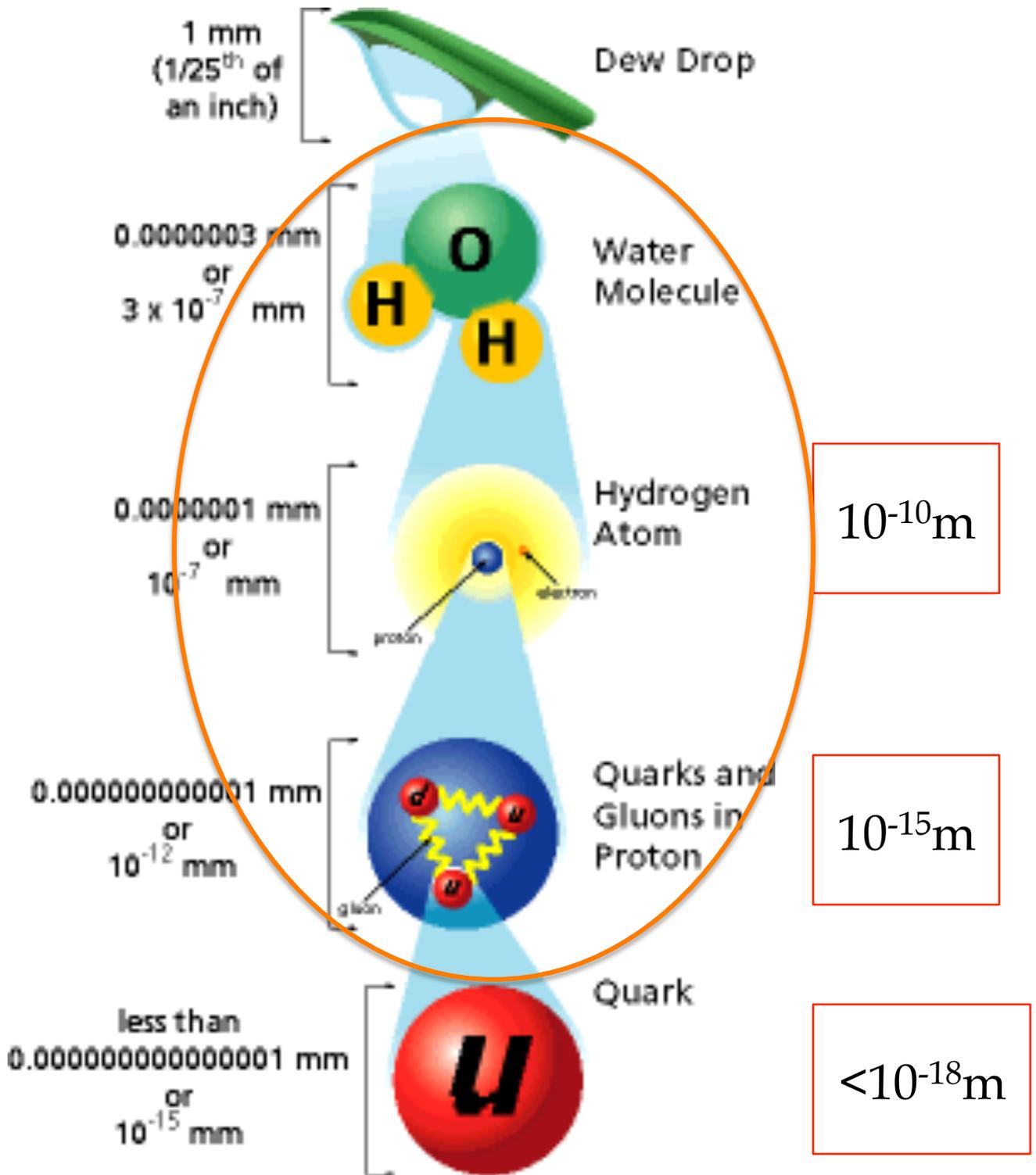
Introduzione ai rivelatori di particelle

Indice

1. Introduzione
2. Perdita di energia delle particelle cariche
Scattering multiplo
Bremsstrahlung
3. Interazione fotoni-materia
Radiazione Cerenkov, radiazione di transizione
4. Requisiti di un apparato di rivelazione
Risoluzione, risposta in tempo, sensibilità
5. Rivelatori a gas
Ionizzazione in un gas, diffusione, deriva, moltiplicazione
Camere a fili, camere a deriva, TPC
Tubi a streamer limitato, RPC
6. Contatori a scintillazione
Contatori Cerenkov
7. Rivelatori a Semiconduttore, rivelatori di neutroni, dosimetria
8. Misura della quantità di moto, rivelatori di traccia
9. Misura dell'energia
Sciame elettromagnetici, sciame adronici
Calorimetri
10. Elettronica di lettura e di trigger
11. **Introduzione agli acceleratori di particelle**

Introduzione ai rivelatori di particelle

La materia



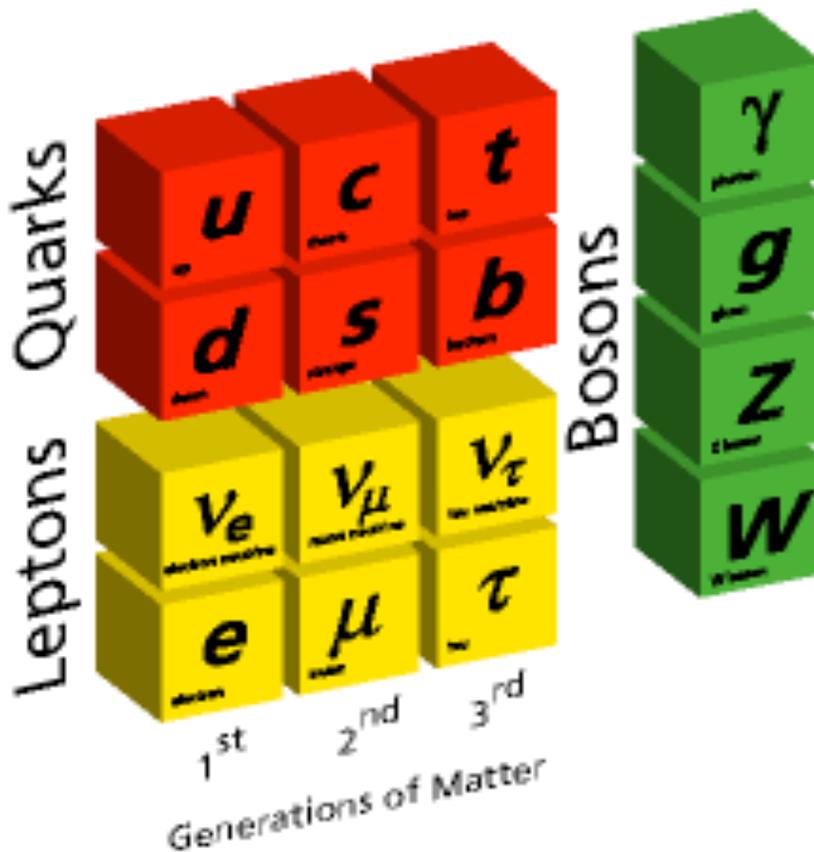
Introduzione ai rivelatori di particelle

Unità di misura

- **energia:** $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$
 - $eV = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $\text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$, $\text{GeV} = 10^9 \text{ eV}$, $\text{Tev} = 10^{12} \text{ eV}$
- **massa:**
 - $eV/c^2 = 1.783 \times 10^{-36} \text{ kg}$
- **quantità di moto (momento):**
 - $eV/c = 5.34 \times 10^{-28} \text{ kg m/s}$
- **Esempio:**
 - Massa del protone $m_p = 0.9383 \text{ GeV}/c^2$
=> energia a riposo del protone
 $m_p c^2 = 0.9383 \text{ GeV}$
- **NB spesso si usa $c=1$**
 - E, m, p si misurano in eV

Introduzione ai rivelatori di particelle

Attuali costituenti “elementari” Elementary Particles



- I quarks non si rivelano liberi ma costituiscono le particelle con interazione forte (adroni)
 - barioni (3 quarks)
 $p = uud$
 $n = udd$
 - mesoni (quark-antiquark)
 $\pi^+ = u\bar{d}$
 $k^+ = u\bar{s}$
- ad ogni particella è associata la sua antiparticella ($e^- \rightarrow e^+$ etc.)

Introduzione ai rivelatori di particelle

Particelle rilevanti per i rivelatori

- **Particelle stabili o con vita media sufficientemente lunga da percorrere distanze macroscopiche**
 - Nota che lo spazio medio percorso prima di un decadimento è $l = \beta\gamma c\tau$
 - Le particelle a vita media breve sono studiate dai loro prodotti di decadimento
- Particelle cariche (+ le loro antiparticelle)

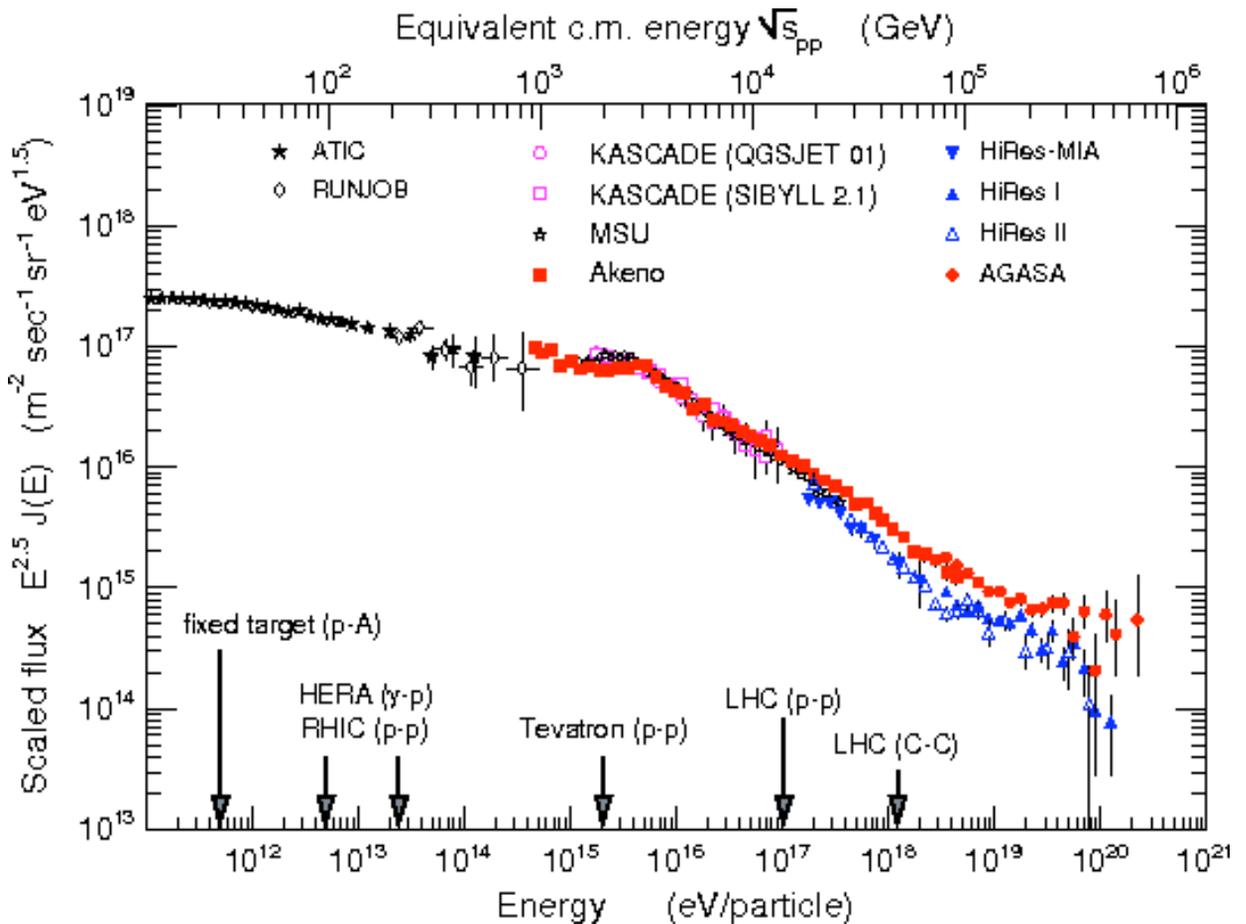
	massa (MeV/c ²)	vita media (s)	decadimento
p	938	stabile	
e ⁻	0.511	stabile	
μ ⁻	105.7	2.2 10 ⁻⁶	$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$
π ⁻	139.6	2.6 10 ⁻⁸	$\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$
k ⁻	493.7	1.2 10 ⁻⁸	$k^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$ (60%)

- Particelle neutre (+ le loro antiparticelle)

	massa (MeV/c ²)	vita media (s)	decadimento
n	939	886	$n \rightarrow pe^- \bar{\nu}_e$
γ	0	stabile	
ν	~0	stabile	

Introduzione ai rivelatori di particelle

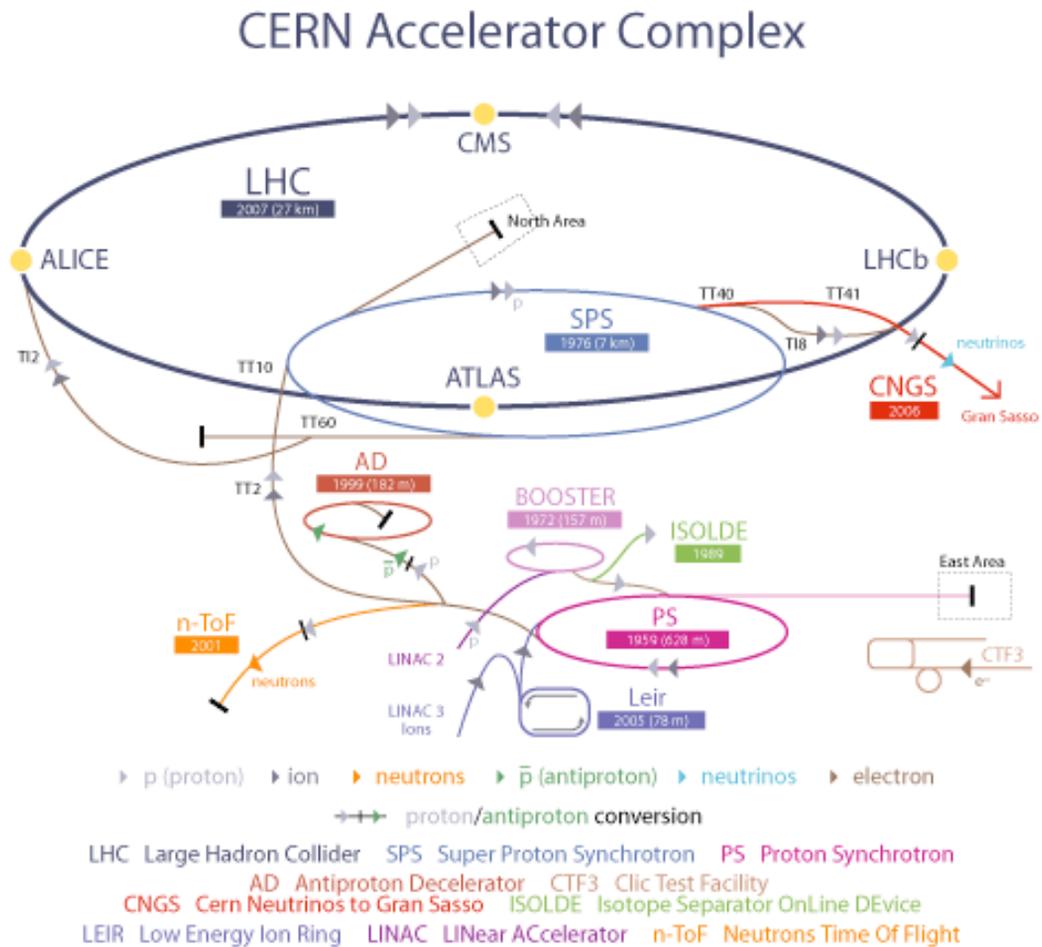
Sorgenti di particelle: raggi cosmici



- Piccoli flussi
 - Non utili per studi sistematici di particelle rare
- Interessanti per studi cosmologici
- Altissime energie (maggiori di quelle degli acceleratori)

Introduzione ai rivelatori di particelle

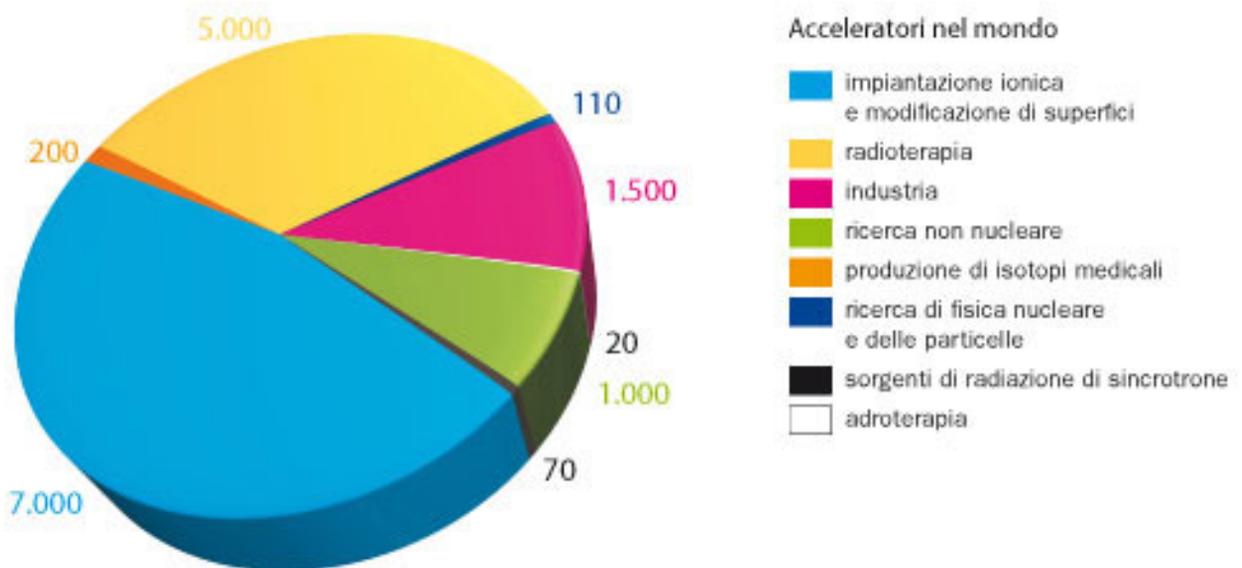
Sorgenti di particelle: acceleratori



- Grandi intensità
 - Possibilità di ricercare particelle rare
- Alte energie
 - Attualmente 7 TeV all'LHC (\rightarrow 14 TeV)
- Interazioni localizzate nello spazio e nel tempo
 - Ottimizzazione dei rivelatori

Introduzione ai rivelatori di particelle

Uso degli acceleratori

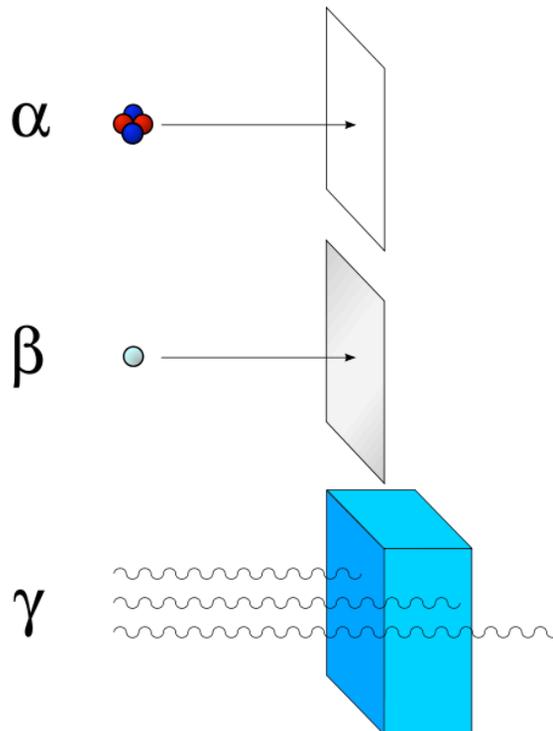


- Utilizzo
 - Piccola parte per ricerca
 - Gran parte usi industriali e medici
- In ogni caso uso di particelle, necessità di rivelatori

Introduzione ai rivelatori di particelle

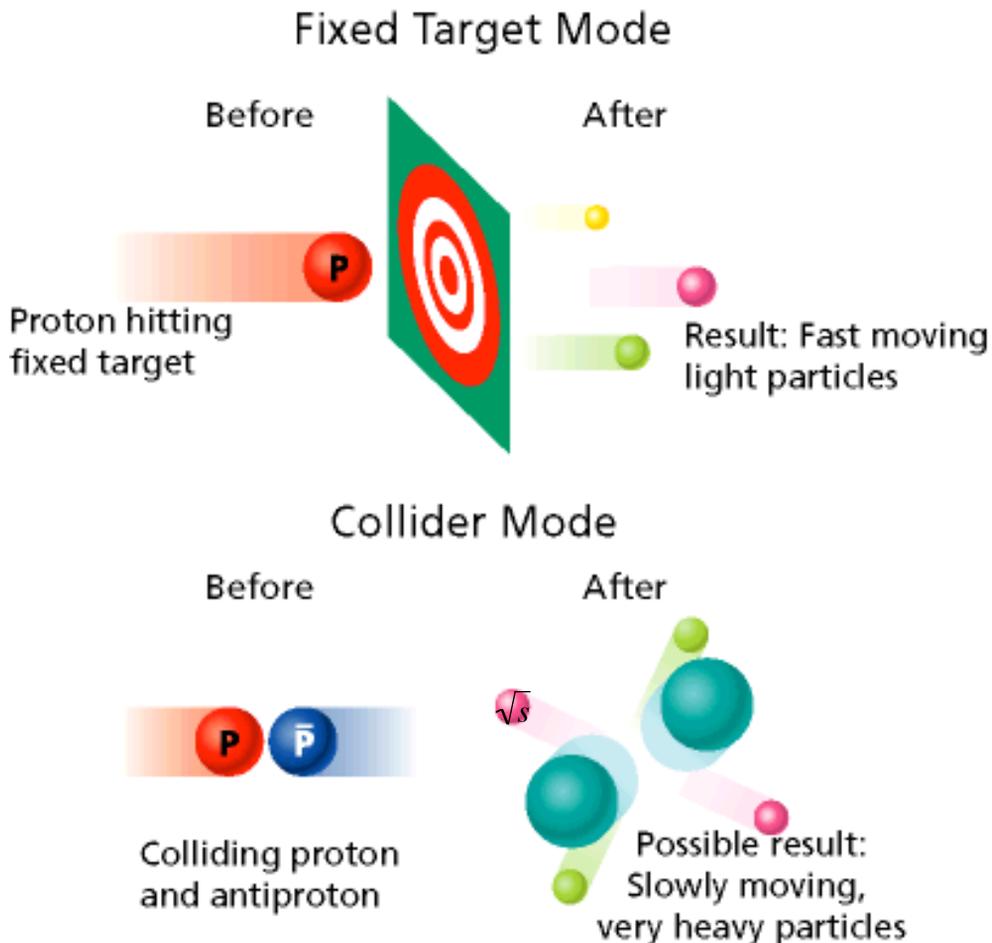
Sorgenti di particelle: decadimenti

- Rivelatori di radiazioni
 - Rivelazione di radioattività ambientale o indotta
 - Uso di radionuclidi in medicina
- Problemi diversi
 - Energie basse (keV - MeV)
 - Spesso interessa la dose integrata, non il singolo evento



Introduzione ai rivelatori di particelle

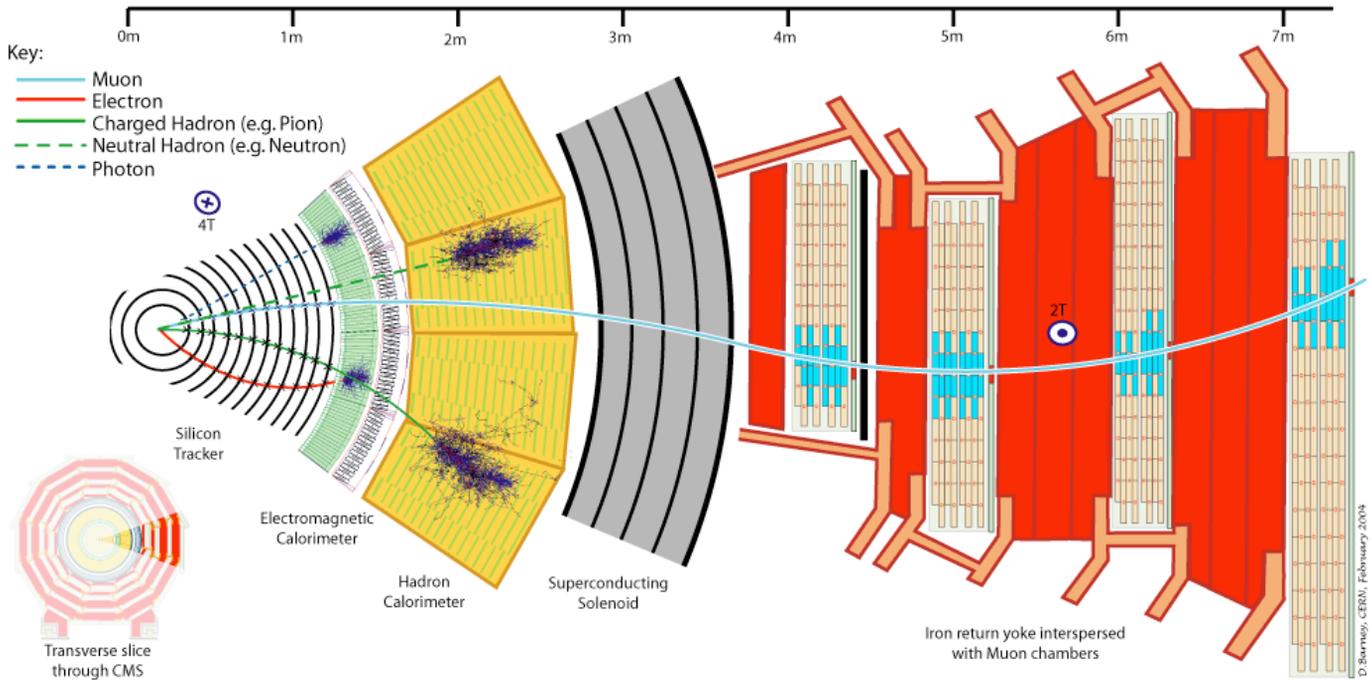
Apparati agli acceleratori



- Bersaglio fisso
 - Produzione in avanti
 - Energia disponibile limitata (\sqrt{s})
 - Alte intensità istantanee (fascio estratto)
- Collider
 - Massimo sfruttamento dell'energia
 - Rivelatori inseriti nell'anello dell'acceleratore
 - Necessaria alta "luminosità" nelle zone di interazione

Introduzione ai rivelatori di particelle

Un esperimento: CMS a LHC



- Insieme molto complesso di rivelatori
 - Molte tecnologie usate contemporaneamente
- Misure di topologia e quantità di moto vicino al vertice
 - Campo magnetico
 - Rivelatori precisi e leggeri
- Misure di energia all'esterno
 - Rivelatori pesanti che assorbono quasi tutto, filtrando le particelle penetranti
- Rivelatori ermetici
 - Misura indiretta di particelle (neutrini)

Introduzione ai rivelatori di particelle

definizione di sezione d'urto

- Consideriamo un flusso di particelle F (numero di particelle per unità di tempo e di area) che incide su un bersaglio
- Misuriamo il numero N_s di particelle diffuse per unità di tempo in un intervallo di angolo solido $d\Omega$
- Si definisce la sezione d'urto differenziale

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \Omega) = \frac{1}{F} \frac{dN_s}{d\Omega}$$

- che è la frazione di particelle diffuse ad un certo angolo per unità di flusso incidente
- nota che a cause delle dimensioni di F e N , la sezione d'urto ha una dimensione di area

- Unità di misura tipica è il barn (10^{-24} cm²)

- Sezione d'urto totale:

$$\sigma(E) = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$$

Introduzione ai rivelatori di particelle

Richiami di cinematica relativistica

- La velocità della luce nel vuoto $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ è la stessa in ogni sistema di riferimento inerziale.
 - bisogna sostituire le trasformazioni di Galileo con le trasformazioni di Lorentz in cui varia anche il tempo (O' si muove lungo x rispetto ad O):

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - \beta ct) & \beta &= \frac{v}{c} \\y' &= y \\z' &= z & \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ct' &= \gamma(ct - \beta x)\end{aligned}$$

- Da cui effetti come contrazione delle lunghezze e dilatazione dei tempi

$$\begin{aligned}L &= \frac{L'}{\gamma} & L' & \text{lunghezza a riposo in un} \\ & & & \text{sistema in moto, } \tau' \text{ intervallo} \\ \tau &= \gamma \tau' & & \text{di tempo tra eventi nello stesso} \\ & & & \text{punto del sistema in moto}\end{aligned}$$

- Una lunghezza misurata da un sistema non a riposo è più piccola, un intervallo di tempo è più grande
- Per esempio, la vita media di un muone è di $2.2 \mu \text{s}$, quindi alla velocità della luce percorrerebbe 660m. Invece arriva a terra dall'alta atmosfera
 - Dal punto di vista del muone, si contrae la distanza fino a terra
 - Dal punto di vista dell'osservatore a terra, si dilata la vita media del muone

Introduzione ai rivelatori di particelle

Richiami di cinematica relativistica

- Cambia anche la dinamica

$$E = \gamma m_0 c^2$$

$$p = \gamma m_0 v$$

$$\frac{p}{E} = \frac{v}{c^2} = \frac{\beta}{c}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

- Conseguenze:

- Quando $v \rightarrow c$ ($\beta \rightarrow 1$) l'energia di una particella con massa tende a infinito. Una particella con massa non può raggiungere la velocità della luce

- Per una particella di massa nulla

$$E = pc \Rightarrow \frac{p}{E} = \frac{1}{c} \Rightarrow \beta = 1$$

- Le particelle con massa nulla vanno alla velocità della luce