

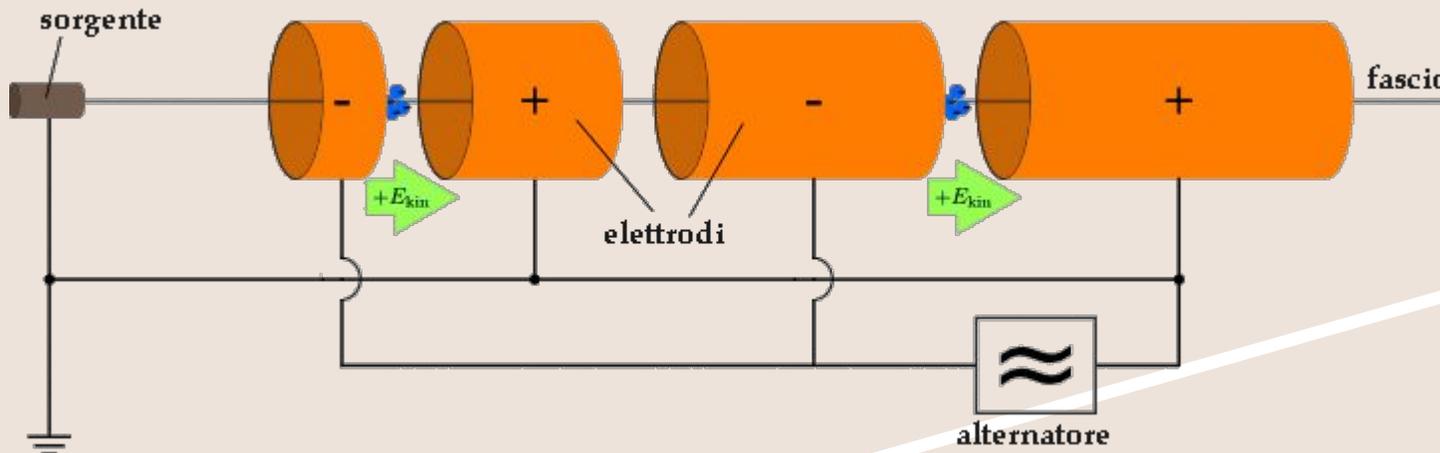
La fisica delle particelle

Gli acceleratori di particelle,
le particelle elementari,
il modello a quark,
il colore dei quark,
l'elettrodinamica quantistica.

Virginia Elena Scandroglia

Gli acceleratori di particelle: LINAC

Per accelerare le particelle è possibile utilizzare una successione di campi elettrici, i quali accelerano le particelle usando tante spinte successive:

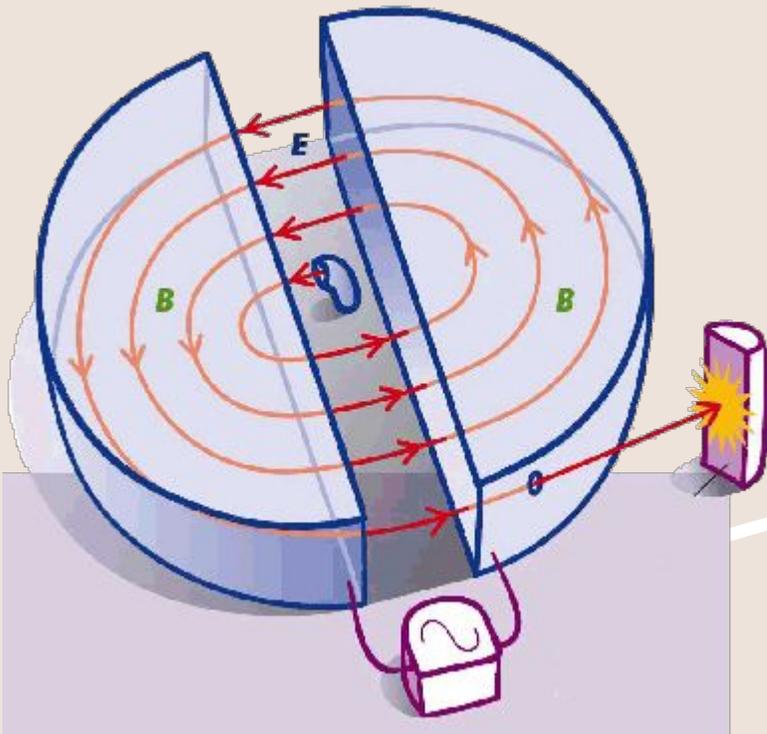


si realizza una successione di **conduttori cilindrici cavi**, posti lungo lo stesso asse e collegati alternativamente ad un generatore di corrente alternata ad alta frequenza.

Il più grande acceleratore lineare oggi esistente è noto come **SLAC** (Stanford Linear Accelerator Center) e opera presso l'Università di Stanford. Gli studi presso lo SLAC hanno portato a tre premi Nobel per la fisica: la scoperta del **quark charm** (1976), la struttura dei quark all'interno di protoni e neutroni (1990) e la scoperta del **leptone tau** (1995).

Gli acceleratori di particelle : il ciclotrone

Il fisico americano **Ernest Orlando Lawrence** (1901-1958) nel 1930 inventò il **ciclotrone**.



Esso utilizza solo **due elettrodi**, detti in gergo "**dees**". Al centro di queste strutture vi è una sorgente di particelle elettricamente cariche.

È presente un campo magnetico **B** perpendicolare alla superficie dei due dees, per cui la particella carica **q**, in moto con velocità **v**, avverte una forza detta **forza di Lorentz**:
$$\mathbf{F}_L = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

La forza centripeta **F_c** avvertita dalla particella è pari alla forza di Lorentz **F_L** e quindi vale l'equazione:
$$m \frac{v^2}{R} = q v B$$

Da cui si ricava il raggio **R** della traiettoria a spirale costituita da semicirconferenze :
$$R = \frac{m v}{q B}$$

Gli acceleratori di particelle : LHC (CERN)

L'**LHC** (Large Hadron Collider) è l'acceleratore di particelle più grande e potente finora realizzato: può accelerare adroni, ossia protoni e ioni pesanti, fino al **99,999999 %** della velocità della luce e farli successivamente scontrare, con un'energia che ha raggiunto i **13 TeV**.



Nelle collisioni vengono prodotte, grazie alla trasformazione di una parte dell'altissima energia in massa, molte particelle le cui proprietà vengono misurate dai rivelatori di ciascun esperimento. Questo superacceleratore ha consentito finora la scoperta del **plasma di quark e gluoni** (2010), del **Bosone di Higgs** (2012), di due stati eccitati della **particella Λ_b^0** (2016) e del **barione Csi_{cc}^{++}** (2017).

Uno 'zoo' di particelle subatomiche

La più semplice classificazione fu fatta usando la **massa**:

BARIONI (particelle più pesanti)	protone, neutrone, iperoni
MESONI (particelle di massa intermedia)	muoni, pioni, kaoni
LEPTONI (particelle più leggere)	elettrone, neutrino

Un'altra importantissima suddivisione tra le particelle è quella in base allo **spin**:

FERMIONI (spin semintero e Statistica di Fermi-Dirac)	protone, neutrone, elettrone, muone
BOSONI (spin intero e Statistica di Bose-Einstein)	fotone, gluone, bosoni W e Z

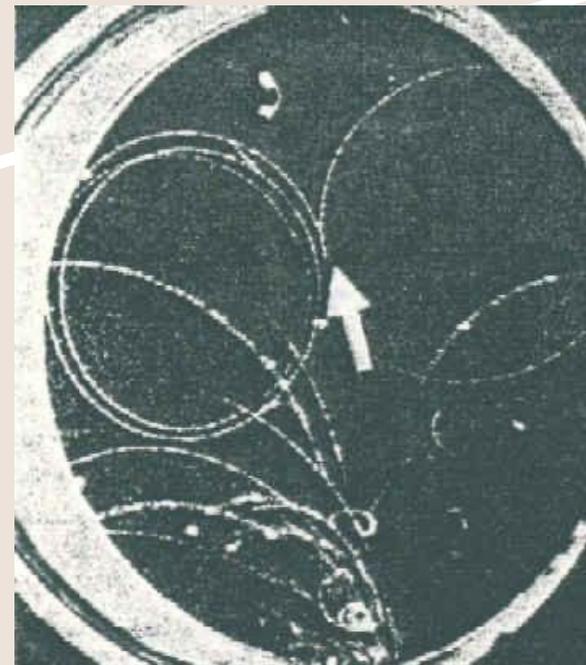
Le particelle elementari

Le indagini sui tubi catodici compiute a fine Ottocento da **William Crookes** (1832-1919) fecero comprendere che gli atomi degli elementi chimici non sono indivisibili, ma hanno a loro volta dei costituenti:

- l'**elettrone**, scoperto nel 1897 da **Joseph John Thomson** (1856-1940),
- il **protone** scoperto nel 1919 da **Ernest Rutherford** (1871-1937),
- il **neutrone** scoperto nel 1932 da **James Chadwick** (1891-1974),
- il **fotone**, introdotto nel 1905 da **Albert Einstein** (1879-1955).

Le loro antiparticelle, ossia particelle in tutto identiche a quelle di materia ordinaria, ma con carica elettrica esattamente opposta:

- il **positrone**, scoperto nel 1932 da **Carl Anderson** (1905-1991),
- l'**antiprotone**, scoperto nel 1955 **Emilio Segrè** (1905-1989) e **Owen Chamberlain** (1920-2006),
- l'**antineutrone**, scoperto nel 1956 **Bruce Cork** (1916-1994).

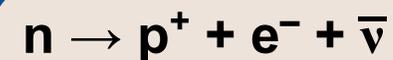


Le particelle elementari

- 1) Nel decadimento beta di **Enrico Fermi** l'energia associata ai prodotti di reazione era inferiore a quella che ci si sarebbe aspettati in base al calcolo del difetto di massa;
- 2) Nelle reazioni nucleari lo spin complessivo dei reagenti deve essere uguale a quello complessivo dei prodotti, come conseguenza della conservazione del momento magnetico.

Soluzione:

- il **neutrino**, particella subatomica, priva sia di carica che di massa e con spin **1 / 2**, proposta nel 1931 dal fisico **Wolfgang Pauli** (1900-1958) e verificata nel 1956 nel 'Progetto Poltergeist';
- e la sua antiparticella: l'**antineutrino**.



Le particelle elementari : esercizi

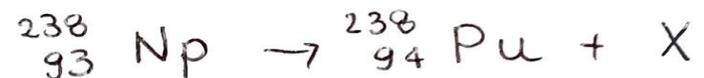
- ESERCIZIO 32 PAGINA 1068



→ ENERGIA PRODOTTA DURANTE IL DECADIMENTO DEL PIONE NEGATIVO

$$\Delta E = \Delta E_{IN} - \Delta E_{FIN} = 139,6 \text{ MeV} - (105,7 + 0,19) \text{ MeV} = 33,71 \text{ MeV}$$

- ESERCIZIO 16 PAGINA 1070



$$X = e^-$$

Il modello a quark

Ciascuno dei sei tipi di quark conosciuto prende il nome di "sapore" dei quark ("flavour").

Murray Gell-Mann (1929-2019) e George Zweig (1937-) nel 1964 elaborarono il **Modello a Quark**:

- i tre quark iniziali erano indicati con le lettere **u**, **d**, **s**, diminutivi rispettivamente di **up**, **down** e **strange**, con riferimento ai due stati di spin e alla carica di stranezza.

Essi hanno carica frazionaria: il quark **u** $+ 2 / 3 e^-$ e i quark **d** ed **s** $- 1 / 3 e^-$,

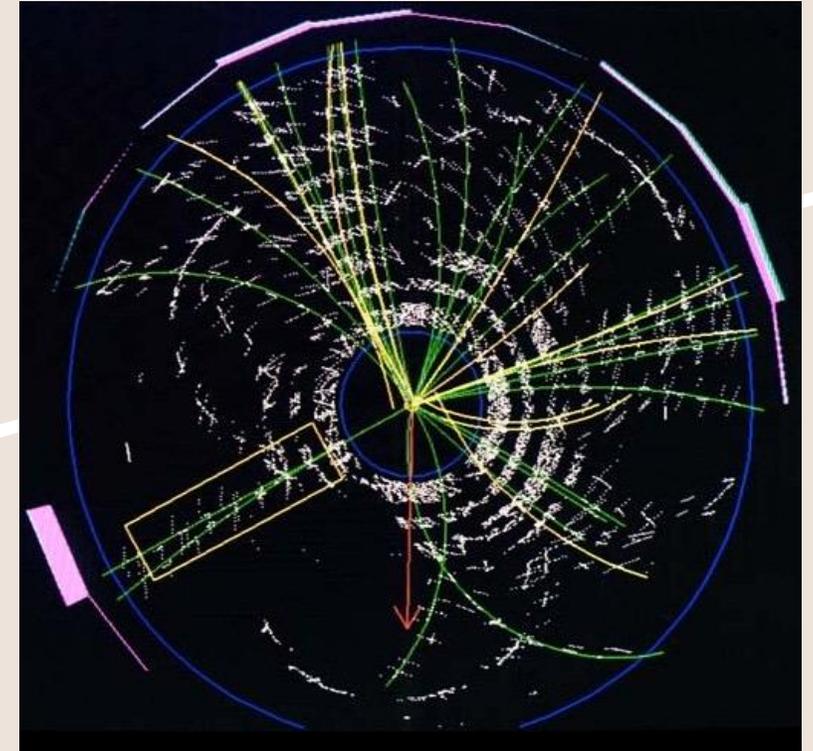
- i tre **antiquark**: \bar{u} , \bar{d} , \bar{s} .

TABELLA ADRONI: *barioni e *mesoni.

protone	p^+	u u d
neutrone	n	u d d
antiprotone	p^-	$\bar{u} \bar{u} \bar{d}$
antineutrone	\bar{n}	u d d
lambda	Λ	u d s
sigma più	Σ^+	u u s
sigma meno	Σ^-	d d s
sigma zero	Σ^0	u d s
pione più	π^+	u \bar{d}
pione meno	π^-	$\bar{u} d$
pione zero	π^0	u \bar{u} o d \bar{d}
kaone più	K^+	u \bar{s}
kaone meno	K^-	$\bar{u} s$
kaone zero	K^0	d \bar{s}

Il modello a quark

- Il quark **c**, detto **quark charm**, possiede il numero quantico di **charm** (tra gli adroni con il quark c: i mesoni **D**, e il barione Λ_c),
- Il quark **b**, detto prima "beauty", poi **quark bottom**, possiede il numero quantico di **"bottomness"** (tra gli adroni con il quark b: i mesoni **B** e il barione Λ_b),
- Il quark **t** detto prima "truth", poi **quark top (t)**, possiede il numero quantico di **"topness"** (il quark t non fa in tempo a legarsi con altri quark a formare adroni: decade velocemente).



- Questi sei quark interagiscono tra loro con la forza elettromagnetica o con la forza nucleare forte.
Quest'ultima ha sede nelle 'cariche di colore' (red, blue and green).

L'elettrodinamica quantistica (QED): Feynman

Richard Phillips Feynman (1918 –1988) formulò la **Teoria Quantistica dei Campi**:

l'interazione elettromagnetica si svolge attraverso lo **scambio tra due corpi di una particella intermedia**, chiamata **mediatore di forza** o quanto di forza o bosone vettore, la cui massa risulta inversamente proporzionale alla distanza di interazione. (fotone virtuale).

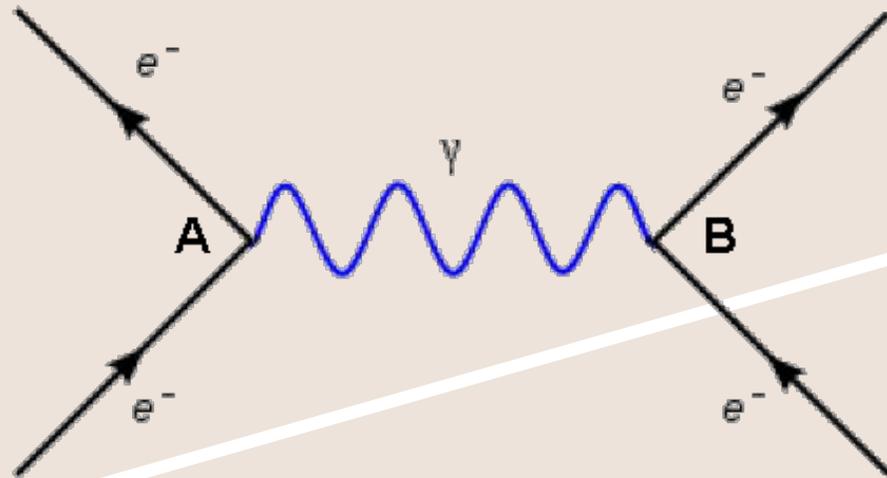


Diagramma di Feynman:

1. e^- di sinistra che trova in **A**, emette un fotone virtuale, e perciò **cambia direzione e velocità**,
2. il fotone γ viene assorbito in **B** dal secondo elettrone che cambia direzione.

→ ogni particella carica è circondata da una **"nuvola" di fotoni virtuali**, emessi e continuamente riassorbiti, che in presenza di altre particelle cariche interagiscono con esse, dando vita all'attrazione o alla repulsione tra cariche.

Sitografia e bibliografia:

- www.fmboschetto.it ,
- www.physics.cern,
- Cutnell, Johnson, Young, Stadler, 'I problemi della Fisica, volume 3', ed. Zanichelli.

Virginia Elena Scandroglio