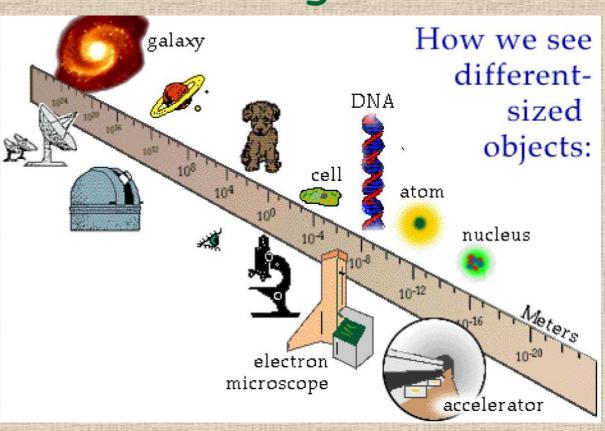
Gli acceleratori di particelle seconda parte

Corso di valorizzazione delle eccellenze in Matematica e Fisica
Liceo Statale Scientifico, Linguistico e Classico "Giolitti-Gandino"

Come facciamo a vedere gli atomi?

Gli atomi
 (e i nuclei,
 a maggior ragione)
 sono troppo piccoli
 per essere visti con
 gli occhi ...



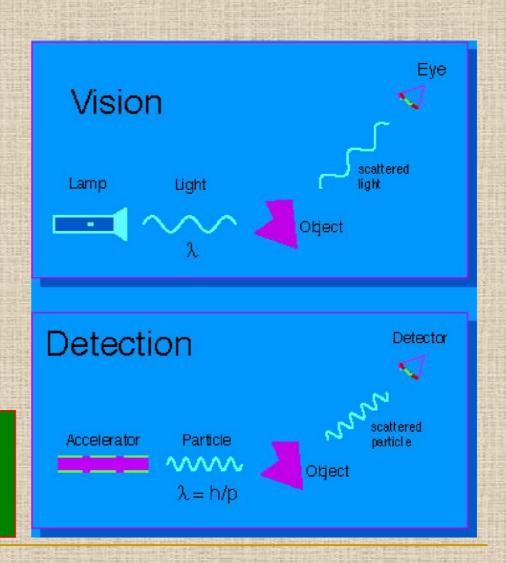
 ... si "bombardano" con delle particelle più piccole e si osserva come "rimbalzano" quando colpiscono l'atomo / il nucleo

Perchè accelerare le particelle?

Visione con una lampada e gli occhi.

Visione con un acceleratore ed un rivelatore di particelle.

> Aumentando l'energia della particella migliora la risoluzione con la quale si "vede" l'oggetto

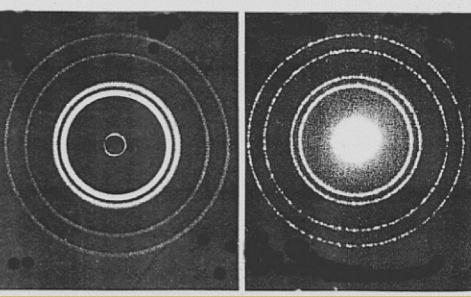


Dualismo-onda corpuscolo

Il carattere ondulatorio della materia fu analizzato a partire dal caso degli elettroni e fu messo in evidenza dimostrando che i fasci elettronici possono essere diffratti, comportandosi, di fatto,

come onde.

La figura di diffrazione a sinistra è stata prodotta da un fascio di raggi X che attraversa un sottile foglio di alluminio. La figura di diffrazione a destra è stata ottenuta per mezzo di un fascio di elettroni che attraversa lo stesso foglio di alluminio.



Dualismo-onda corpuscolo

Louis de Broglie sostenne che le particelle si dovessero tutte considerare in possesso di proprietà ondulatorie, e giunse a suggerire che la lunghezza d'onda associata all'«onda di materia» fosse inversamente proporzionale alla massa della particella, *m*, e alla sua velocità, *v*:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
 ovvero $\lambda = \frac{h}{p}$ con h = 6,6 10⁻³⁴ J/s

Prima degli acceleratori

- A partire da fine '800 lo studio della scarica elettrica nei gas porto' alle prime scoperte sulla struttura atomica e nucleare:
 - Roentgen (1895) raggi X
 - Becquerel (1896) radioattivita' naturale (U)
 - J. J. Thomson (1896) elettrone

 1º particella identificata
 - M. Curie (1898) elementi radioattivi Ra e Po
 - Rutherford, Soddy (1903) teoria del decadimento radioattivo

I primi proiettili utilizzati per sondare l'atomo erano:

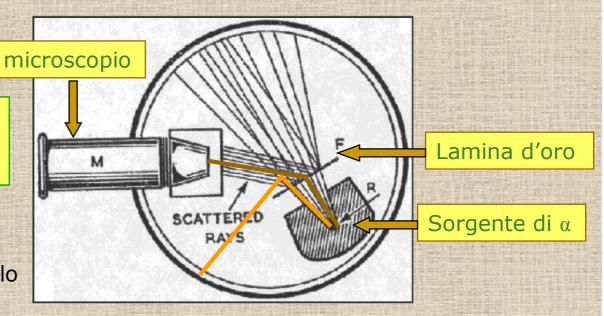
elettroni accelerati da campi elettrici, raggi α β e γ prodotti da decadimenti radioattivi naturali

L'esperimento di Rutherford (1911)

Rutherford, Geiger e Mardsen bombardarono con particelle α (nuclei di elio) una sottile lamina d'oro ed osservarono le particelle α deflesse su uno schermo scintillante:

una volta su 20000 le α avevano un angolo di diffusione > 90°

⇒ punto di partenza per il modello planetario dell'atomo (Rutherford) e il primo modello quantistico (Bohr, 1913)



Le particelle α (He⁺⁺) sono fortemente ionizzanti e quindi poco penetranti (pochi cm di aria), le loro energie vanno da 1 a 5 MeV

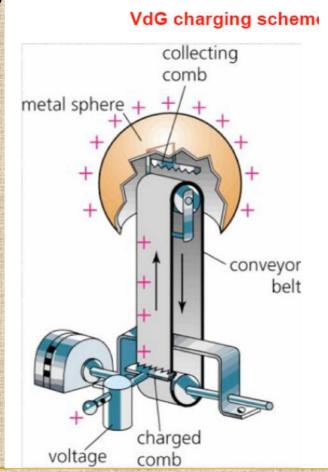
L'acceleratore Van de Graaff

Per ottenere energie piu' elevate: nuove idee per i sistemi

di carica e di isolamento

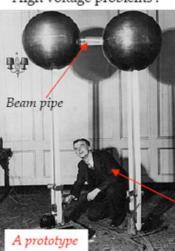
Una cinghia isolante raccoglie le cariche attraverso un "pettine" da un terminale e le trasferisce all'interno di una sfera conduttrice cava

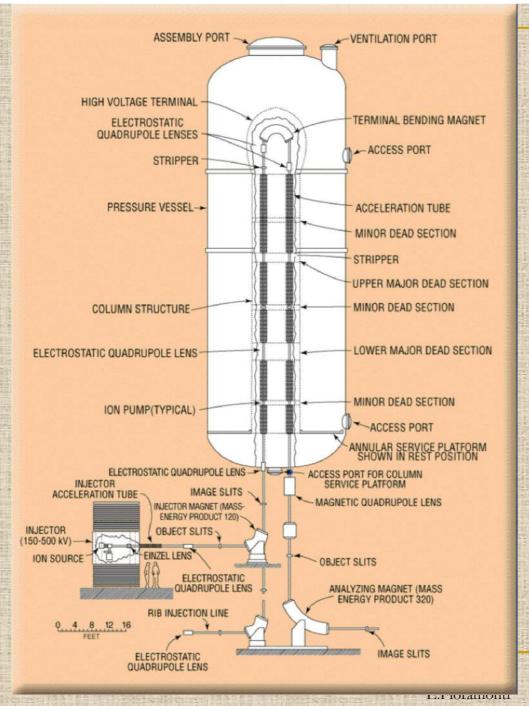
Alte tensioni ottenute: dapprima 5 MV, poi fino a 25 MV





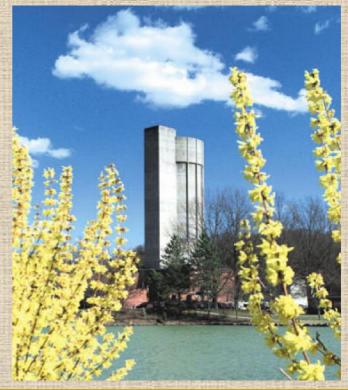
High voltage problems!





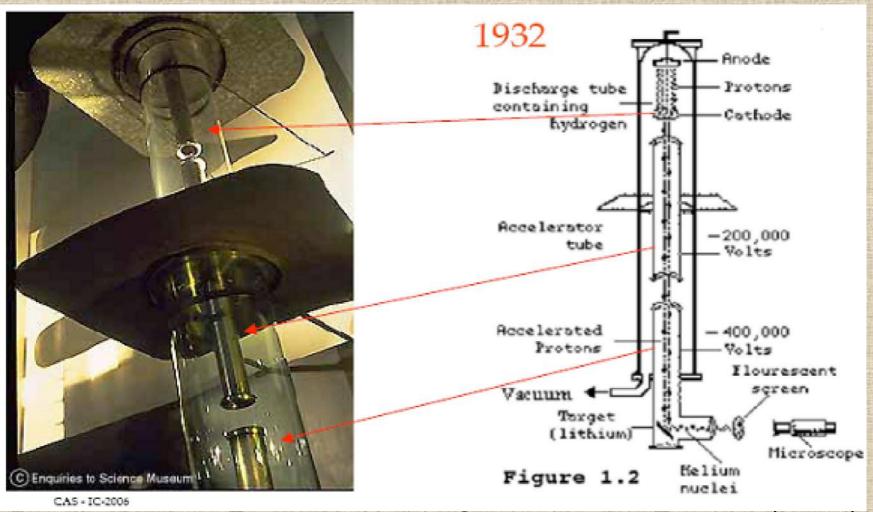


LNL INFN



Oak Ridge Nat. Lab. tandem 25 MeV

L'acceleratore Cockroft e Walton



Energia cinetica: $T = q \Delta V$ Limiti: Scarica in aria - Tensioni disponibili

Il moltiplicatore di tensione C-W

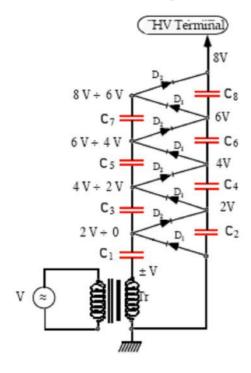
Cockroft & Walton voltage multiplier

Supplies a DC voltage.

$$V_N = 2 N V_o - [\langle i \rangle / (12 f_o C)] \cdot [8N^3 + 9 N^2 + N]$$

Main limitation is V ripple

$$\Delta V_N = \frac{(1/2) \ N(N+1)\langle i \rangle}{Cf}$$



E. Fermi - E. Amaldi first C&W ISS, Roma, 1936-1946



Now an exibit in Frascati



C&W machine at LBL

C&W accelerators are still in use as pre-injectors into larger ion accelerators but are rapidly being replaced by smaller, e.m. type machines (RF quadrupoles)



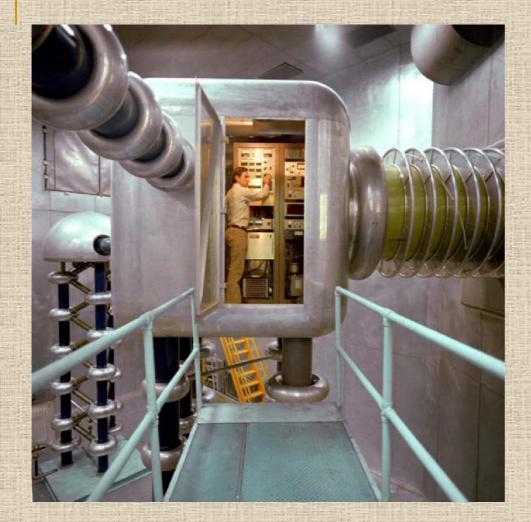
Pre-iniettore al Linac 2 del CERN

In molti moderni laboratori vengono utilizzati generatori di alta tensione Cockroft-Walton come primo stadio di accelerazione in sistemi complessi (pre-acceleratore).

Una d.d.p. fra la sorgente dei protoni ed un elettrodo in corrispondenza del punto di inizio di un nuovo acceleratore più potente fornisce l'energia di iniezione richiesta.

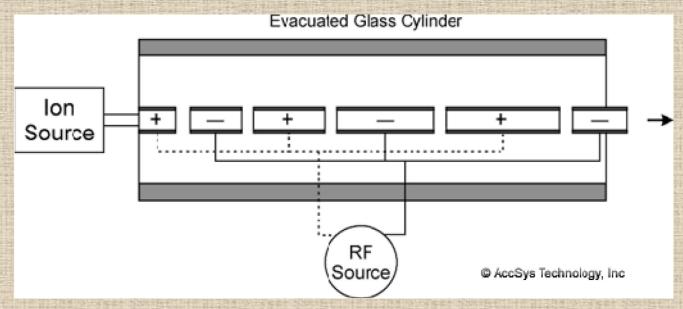
Sorgente di ioni idrogeno

Generatore da 750 KV



Courtesy: Fermilab

Interno della camera con la sorgente di ioni idrogeno al Laboratorio Fermi di Chicago Per aggirare la limitazione delle altissime tensioni, tra il 1930 e il 1940, in Germania, Rolf Wideröe progettò un raffinato sistema di accelerazione basato sulla successione di molte piccole "spinte" date al momento giusto, che non richiede l'impiego di tensioni molto elevate, ma beneficia della somma totale delle tensioni.

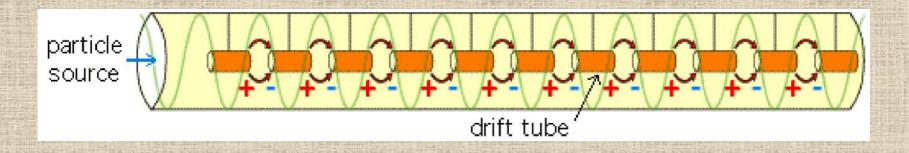


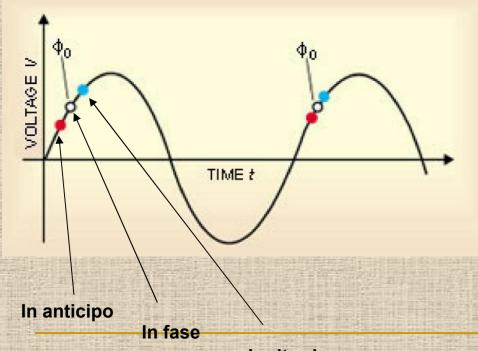


Notare che la lunghezza degli elettrodi cavi è di lunghezza variabile, per tener conto dell'aumento di velocità degli ioni accelerati. Se si usa un pre-iniettore le dimensioni diventano simili.

R. Wideröe

Acceleratore lineare - LINAC





Wideröe si accorge anche di un effetto fondamentale per il funzionamento di un acceleratore:

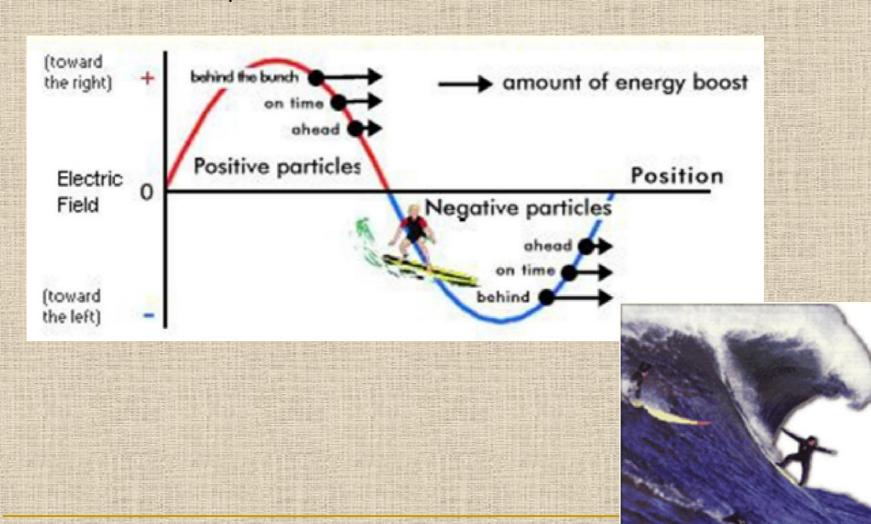
la stabilità di fase

Le particelle fuori fase tendono ad essere raggruppate in pacchetti (*raggruppamento di fase*) dopo aver oscillato, in modo smorzato, attorno alla particella in fase.

In ritardo

28

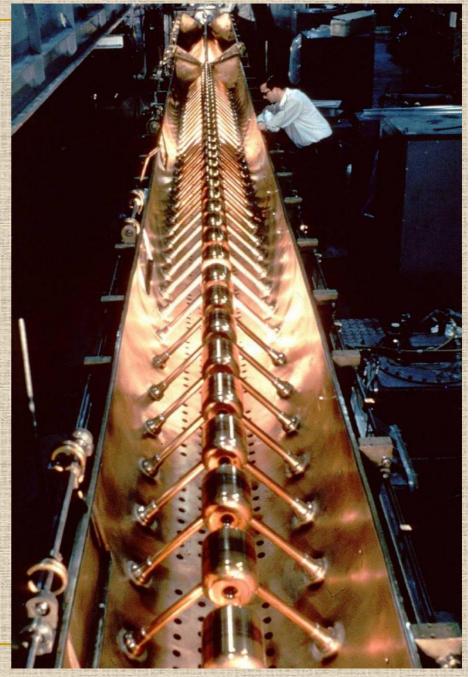
Pacchetti di elettroni sono accelerati in modo molto simile a come un surfer è spinto da un'onda.



Un acceleratore lineare del CERN

LINAC di Alvarez: radiofrequenza ~ centinaia di MHz

E = 50 MeV

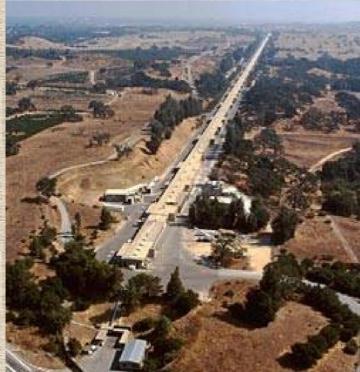


E.Fioramonti

30

Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), CA, USA.





Acceleratore lineare di elettroni, costruito fra il 1962 e il 1966. E_{max} = 30 GeV

