

Cursul 11.2 Acceleratoare de particule

Acceleratoarele de particule permit transferul de energie cinetică unui fasciclu de particule încărcate (protoni, deuteroni, particule α , ioni grei, etc.) prin aplicarea unui câmp electric cu scopul de a produce reacții nucleare. Caracteristicile esențiale ale fasciculelor de particule încărcate dintr-un accelerator sunt: i) particulele componente ale fasciculului au energie cinetică mult mai mare decât energia termică; ii) particulele au o împrăștiere mică în energie; iii) fasciculul de particule se mișcă preponderant într-o singură direcție. Procesul de accelerare (transferul de energie de la sarcinile externe la fasciculul de particule încărcate) are loc prin intermediul forțelor electromagnetice.

Tabelul 1. Componentele principale ale acceleratoarelor.

Componenta	Caracterizare
Sursa de ioni sau de electroni	
Camera vidată	Zona în care circulă particulele accelerate (10^{-6} ÷ 10^{-11} Torr);
Dispozitivul de ghidare și focalizare	În jurul traiectoriei de referință;
Sistemul de accelerare	Este bazat pe ajutorul unui câmp electric pentru a crește energia cinetică a particulelor și pentru a compensa pierderea de energie radiant;
Dispozitivele de măsurare și de corecție	Permit controlul intensității, poziției și dimensiunilor fasciculului în timpul accelerării și reglarea automată a acestora;
Țintele interne și sistemele de extracție	Pentru producția de fascicule secundare pentru experimente.

Tabelul 2. Clasificarea acceleratoarelor de particule.

Trasatură de clasificare	Clase de acceleratori
Modul de accelerare	Electrostatici – gradientul potențialului electrostatic
	Electromagnetici – variația în timp a câmpului electromagnetic
Forma traiectoriei particulelor accelerate	Liniari
	Ciclici
Tipul particulelor accelerate	Acceleratori de electroni (betatroanele)
	Protoni
	Ioni grei
Energia particulelor accelerate	Energia medie (pana la ordinul zecilor de MeV/nucleon)
	Energia înaltă (de ordinul sutelor de MeV/nucleon)
	Energia foarte înaltă (de ordinul miilor de MeV/nucleon adică GeV/nucleon).

Există o plajă largă de acceleratori de particule care produc fascicule cu intensități de la ordinal nanoamperilor (10^{-9} A) până la intensități de ordinal megaamperilor (10^6 A) și o plajă de accelerare cuprinsă între câțiva eV până la TeV (10^{12} eV). Speciile particulelor încărcate care sunt accelerate sunt cuprinse într-un domeniu larg de mase, pleacând de la electroni până la ioni grei, cu un factor de masa de circa 10^6 .

Acceleratorul liniar

Principiul de funcționare se bazează pe acțiunea câmpurilor electrice variabile în timp asupra sarcinii electrice. Pentru aceasta se folosesc tuburi de accelerare de mărimi crescătoare numite tuburi de drift. Accelerarea sarcinilor se face ciclic, pe o pe o traiectorie liniară cu condiția ca sarcina să fie în fază cu polaritatea câmpului electric.

În interiorul tuburilor de drift, câmpul electric este nul, iar în spațiile dintre doi electrozi consecutivi, câmpul este alternativ, cu o frecvență egală cu cea a generatorului de radiofrecvență. Energia cinetică câștigată de particulă după ce străbate n tuburi de drift:

$$E_c = n \cdot q \cdot U \quad (1)$$

Alimentarea tuburilor de drift poate fi făcută cu un generator de tensiune alternativă de înaltă frecvență sau cu un generator de microunde (magnetron) care lucrează în regim de undă progresivă.

L_n -este lungimea tubului de drift,
 v_n -viteza particulei în tubul respectiv
 λ -lungimea de undă a oscilației câmpului electric alternativ
 c -viteza luminii

$$\frac{L_n}{v_n} = \frac{\lambda}{2 \cdot c} = \text{const.}$$

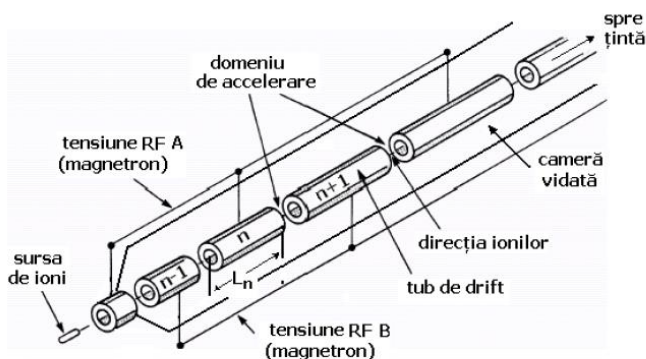


Fig. 1 Principiul de funcționare a acceleratoare liniar și o imagine a unui astfel de acceleratoare.

Ciclotronul

Acest accelerator duce la creșterea puterii de accelerare prin constrângerea fascicului de particule să treacă de mai multe ori prin câmpul de accelerare (traiectorii circulare). Dispozitivul de accelerare este caracterizat de traiectorii circulare, (Ernest O Lawrence și M. Stanley Livingston, 1929) a fost numit ciclotron, și poate accelera ioni grei la energii de circa 200 MeV/nucleon.

Parțial componente ale ciclotronului:

- Două sectoare circulare (duanți) plasate într-o camera vidată, în care se mișcă sarcinile, pe traiectorii spiralate.
- Camera –între polii unui magnet, a căror construcție face ca liniile de câmp magnetic, să fie totdeauna perpendicular pe traiectoria pe care urmează să o parcurgă sarcinile.
- Sursa de ioni, se află în centrul duanților și produce ioni pozitivi.
- Duanții sunt conectați la o sursă de tensiune de înaltă frecvență cu valoarea nominală V
- În spațiul dintre duanți, sarcinile sunt accelerate la o diferență de potențial constantă ($E_c = qE$)
- Câmpul magnetic constant și perpendicular pe viteza particulei, crează o forță centripetă:

$$\frac{mv^2}{r} = qvB \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \quad (2)$$

Ionul de sarcină q și masă m se va roti cu o frecvență

$$\nu = \frac{v}{2\pi r} = \frac{qB}{2\pi m} \quad (3)$$

Tensiunea de înaltă frecvență aplicată celor doi duanți are o frecvență de oscilație egală cu frecvența de rotație a sarcinii și își schimbă semnul după o perioadă.

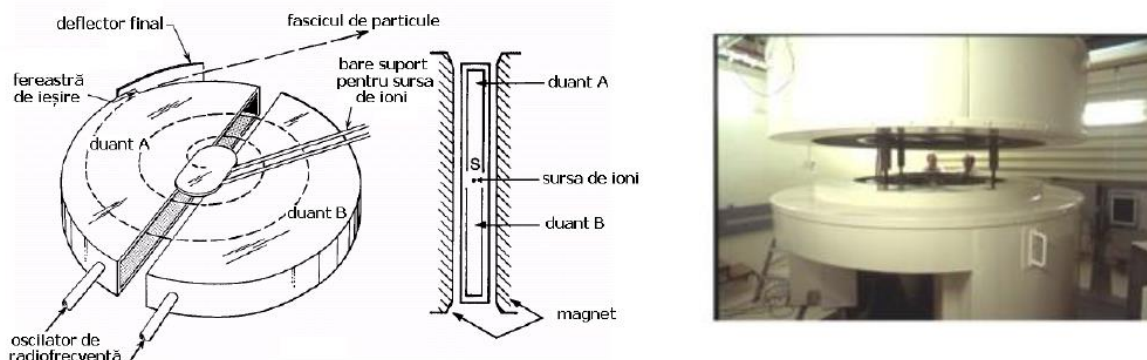


Fig. 2 Principiul de funcționare a ciclotronului și o imagine a unui astfel de accelerator.

Betatronu

Este un accelerator ciclic de electroni bazat pe legea inducției electromagnetice mai specific pe acțiunea unui câmp electric cu liniile de câmp circulare și închise, asupra fasciculului de electroni aflați în mișcare. Astfel perpendicular pe planul traiectoriei, există un câmp magnetic variabil în timp și cu o anumită configurație spațială care permite atât accelerarea electronilor cât și ghidarea lor, astfel încât traiectoria lor să se afle în permanență în lungul liniilor de câmp electric (vezi Fig. 3).

Structura de baza este un electromagnet care accelerează electronii și crează în același timp câmpul magnetic cu distribuția necesară focalizării și ghidării fasciculului de electroni. Între piesele polare ale electromagnetului (între-fierul) se găsește camera de accelerare sub forma unui tub toroidal construit dintr-un material izolator (ceramic sau sticlă) prin care circulă electronii. Electromagnetul conține o bobină primară alimentată direct la rețeaua de curent alternativ, iar rolul de bobină secundară, este îndeplinit de camera de accelerare. Accelerarea electronilor are loc în intervalul în care, atât câmpul magnetic cât și derivata acestuia în raport cu timpul, au același semn. Principiul de accelerare este următorul: datorită variației în timp a câmpului magnetic, ia naștere un câmp electric de inducție (rotațional) tangent tot timpul la traiectoria parcursă de electroni, care conduce la creșterea energiei lor cinetice. Stabilitatearazei traiectoriei circulare, este asigurată de faptul că, pe măsură ce crește energia cinetică a electronilor, crește și intensitatea câmpului magnetic director.

Electronii accelerați, sunt deflectați la sfârșitul perioadei de accelerare și focalizați pe o țintă metalică greu fuzibilă (de exemplu wolfram) și ca urmare a frânării se produc radiații X dure.

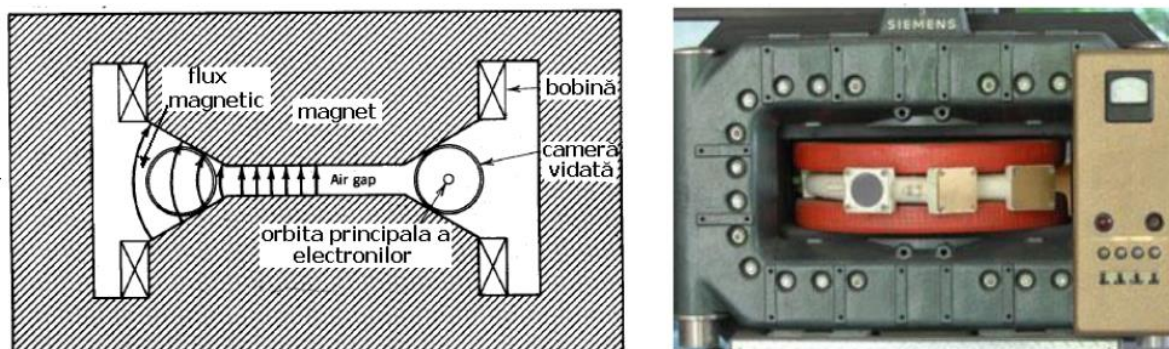


Fig. 3 Principiul de funcționare a betatronului și o imagine a unui astfel de accelerator.

Alte tipuri de acceleratori de particule

1. Acceleratori electrostatici (van de Graaff -1931);
2. Acceleratori în cascadă (Cockcroft-Walton; 1932);
3. Acceleratorul Tandem;
4. Sincrotronul;
5. Sincrociclotronul;
6. Sincrotronul de protoni.

Bibliografie

1. Prof. Dr. Grigore Damin, UBB, Note de curs Online, (Curs de Fizica Nucleara)
<http://www.phys.ubbcluj.ro/~grigore.damian/lectures.html>.
2. Simona Cornelia Nicoara, Fizica Mediului si Habitatului, Ed. Risoprint 2002.
3. Onuc Cozar, Note de curs, 1996.
4. Valdimir Znamirovski, Note de curs, 1995