

Acceleratoare de particule

- **Acceleratorul de particule** este o instalație complexă, folosită pentru a accelera particule elementare.
- Se accelerează în mod direct doar *particulele încărcate electric*, folosind ca principiu de accelerare: **interacțiunea particulelor cu câmpuri electrice și magnetice**.
- Cea mai simplă posibilitate de accelerare a unei particule încărcate este de a o trece printr-o diferență de potențial U , ceea ce duce la creșterea energiei sale cu:

$$\Delta E = q U$$

q = sarcina electrică a particulei

U = tensiunea de accelerare

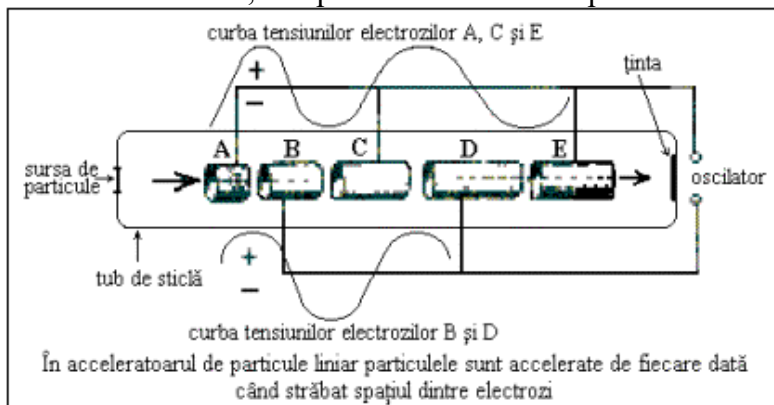
- După modul de accelerare:
 - *Electrostatici*
 - *Electromagnetici*
- După forma traiectoriei particulei accelerate:
 - *Liniari*
 - *Ciclici*
- După forma traiectoriei particulei accelerate:
 - *Liniari*
 - *Ciclici*
- energia particulelor accelerate:
 - *Energie medie*
 - *(zeci de MeV/nucleon)*
 - *Energie înaltă*
 - *(sute de MeV/nucleon)*
 - *Energie foarte înaltă (GeV/nucleon)*

Acceleratorul liniar *acceleratorul liniar* este constituit din mai mulți electrozi cilindrici, așezați unul după altul, centrați, de lungime crescândă și legați prin bare de alimentare la un generator de înaltă frecvență.

- Primul accelerator liniar a fost imaginat în 1931, de D. Sloan și E. Lawrence.

Mecanismul de funcționare:

- se injectează fasciculul de particule care trebuie accelerate în lungul axei comune a electrozilor cilindrici
- În interiorul cilindrilor, câmpul electric este nul, iar în spațiul dintre doi cilindri succesivi, există un câmp electric alternativ, cu o frecvență egală cu frecvența generatorului
- Lungimile electrozilor sunt calculate astfel încât, la fiecare trecere a particulei prin intervalul dintre doi electrozi, câmpul electric să aibă o polaritate care să accelereze particula



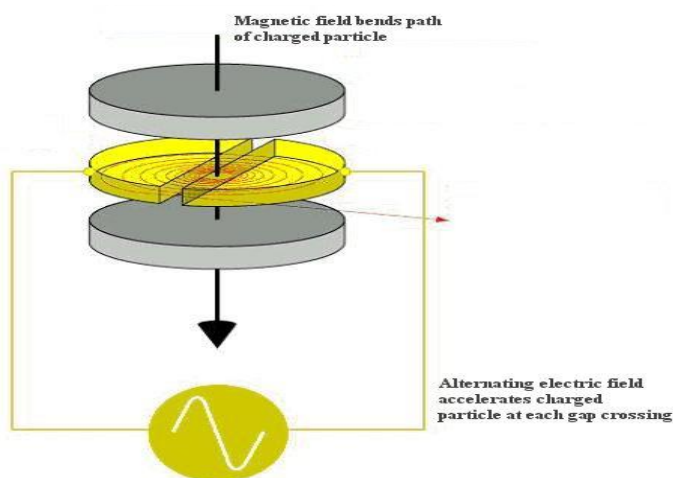
- Timpul necesar străbaterii distanței dintre două intervale de accelerare este:
 $t = L/v$, unde L reprezintă lungimea unui cilindru și v este viteza particulei
- Pentru ca particula să ajungă în intervalul accelerator o dată cu schimbarea polarității, timpul t trebuie să fie egal cu jumătate din perioada T și depinde de frecvența ν a generatorului de înaltă frecvență:
 $t = T/2 = 1 / (2 \nu)$
- Unul dintre cele mai importante acceleratoare liniare din lume este SLAC (Stanford Linear Accelerator), care are 3,2 km lungime și accelerează electroni până la 20000 MeV.
- Acceleratorii liniari sunt folosiți în medicină, în radioterapie și în chirurgia cu unde radio. Acceleratoarele liniare folosite în medicină folosesc un klystron (generator de microunde) și un aranjament complex de magneți, care produc o rază cu o energie de 6-30 de milioane de electron-volți (MeV). Electronii pot fi folosiți direct sau pot fi ciocniți de o țintă pentru a produce raze X. Siguranța, flexibilitatea și acuratețea razei produsă, au înlocuit vechea utilizare a terapiei cu Cobalt-60 ca instrument de tratament.

Ciclotronul

- Ciclotronul este un accelerator ciclic de rezonanță în care particulele se mișcă circular, folosindu-se în acest scop, câmpuri magnetice omogene.
- Ciclotronul a fost inventat în 1929 de Ernest Lawrence la Universitatea California (Berkeley). Primul dispozitiv funcțional a accelerat protoni (în 1931) la o energie maximă de 1 MeV (un milion de electronvolți).
- Ciclotronul este constituit din două piese metalice numite duanți, legați la un generator de înaltă frecvență și plasați într-un câmp magnetic uniform, generat de un electromagnet, perpendicular pe traiectoria particulei încărcate.

Mecanismul de funcționare

- La mișcarea prin duant particula este supusă numai acțiunii câmpului magnetic, asupra sa acționând forța Lorentz care o obligă să descrie o traiectorie circulară.
- La trecerea dintr-un duant în altul, câmpul electric are o astfel de polaritate încât accelerează particula și energia sa cinetică crește cu $\Delta E = q U$. Pe măsură ce energia cinetică crește se mărește și raza R a traiectoriei.



- Particula parcurge jumătate din traiectoria sa circulară, printr-un duant, în jumătate din perioadă. Relația dintre perioada T și frecvența ν este:
 $q = \text{sarcina electrică a particulei accelerate};$
 $m = \text{masa particulei accelerate};$

R = raza cercului traiectoriei; V = viteza particulei;
 B = inducția câmpului magnetic

$$T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{1}{\vartheta}$$

- Relația arată că pentru viteze nerelativiste frecvența nu depinde de viteza particulei
 - Energia maximă (E_{max}) pe care o poate atinge o particulă în ciclotron depinde de raza maximă a duanților (R_{max}):

$$E_{max} = \frac{mV_{max}^2}{2}$$

$$V_{max} = \frac{qBR_{max}}{m}$$

V_{max} = viteza maximă pe care o poate atinge particula

- Ciclotronii pot accelera particule încărcate electric până la energii de ordinul sutelor de GeV.
- La viteze mari, relativiste, nu se mai respectă condiția de sincronism între mișcarea particulei încărcate și inversarea

polarității câmpului electric din spațiul dintre duanți, astfel încât particula nu mai poate fi accelerată. Pentru menținerea condiției de sincronism putem să variem frecvența generatorului (sincrociclotron) sau să variem inducția câmpului magnetic (sincrotron).

- Ciclotronii sunt foarte utili pentru aplicațiile cu energie mică
-

Betatronul

- Betatronul este un accelerator de electroni de tip inductiv, care funcționează pe principiul transformatorului electric în care secundarul este un tor vidat în care se pot mișca electronii injectați în acest spațiu. Deoarece aici nu există rezistență electrică, energia transmisă din primar, prin inducție, va crește energia electronilor.
- Electronii descriu o traiectorie circulară de rază fixă, într-un câmp magnetic cu vectorul inducție magnetică perpendicular pe viteză. Creșterea inducției duce la accelerarea electronilor. Când câmpul magnetic atinge valoarea maximă, electronii sunt trimiși pe o țintă în care produc radiație X dură de frânare.



- Spre deosebire de un ciclotron sau un sincrotron, betatronul este un dispozitiv asincronic (frecvența de oscilație a câmpului magnetic nu este direct legată de frecvența de rotație a particulelor în camera de vid).
 - Primul betatron funcțional (de 2,3 MeV) a fost construit în anul 1940 de Donald W. Kerst la Universitatea Illinois (Urbana-Champaign). Un prototip comercial (de 24 MeV) a fost fabricat de General Electric în 1941.

- Avantajul betatronului consta în posibilitatea accelerării de electroni (cu o masa de repaus relativ redusă) la energii mult peste energiile la care masa acestora crește apreciabil (un efect de relativitate restrânsă la energii comparabile cu masa de repaus a particulei respective).
- Un dezavantaj al acestui accelerator este că energia electronilor nu poate atinge o valoare prea mare, deoarece electronii de viteză mare care se mișcă accelerat pe traiectorii circulare, emit fotoni, își micșorează energia și își modifică traiectoria.
- În aplicațiile de cercetare betatronul a fost înlocuit de sincrotron.