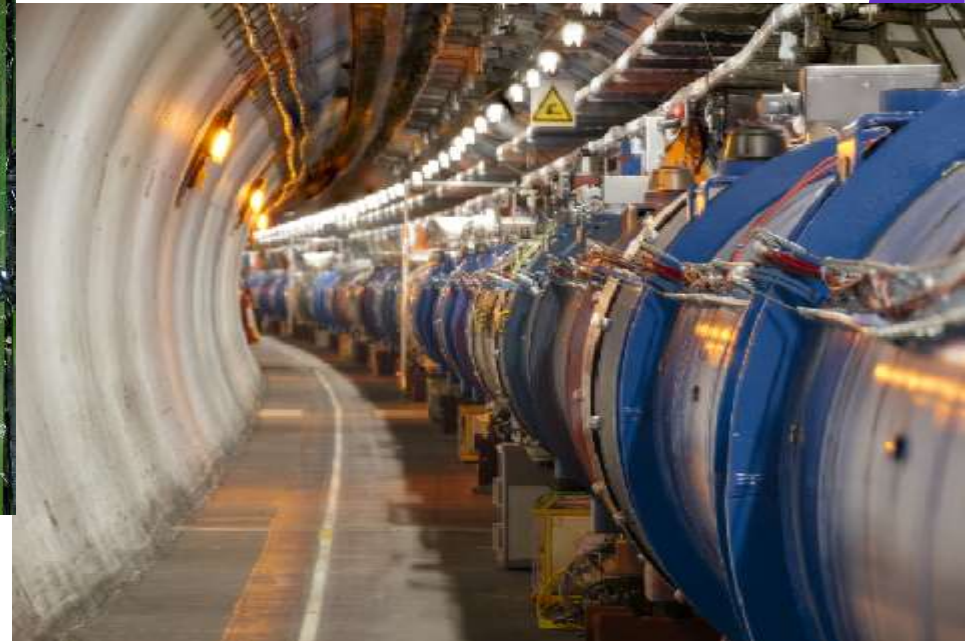
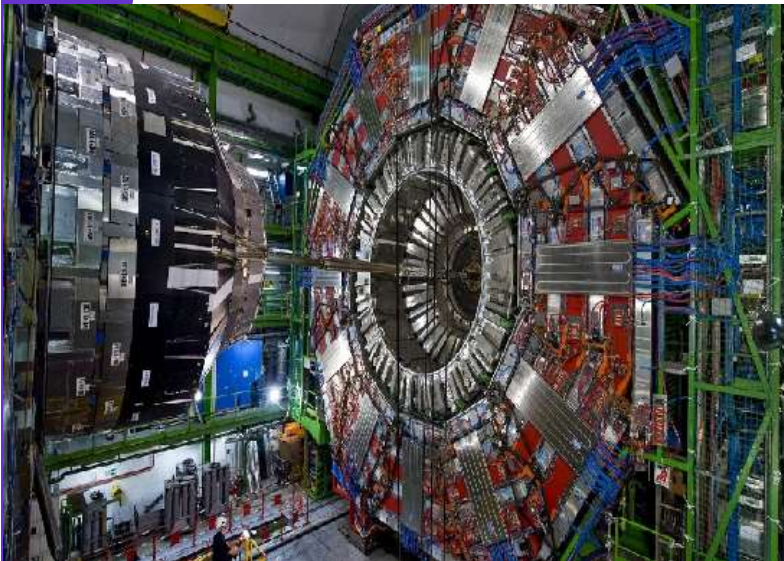


ACCELERATOARE DE PARTICULE



NOȚIUNI INTRODUCȚIVE

- **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

CLASIFICAREA ACCELERATOARELOR DE PARTICULE

După modul de
accelerare:

Electrostatici
Electromagnetici

După forma
traectoriei
particulei
accelerate:

Liniari
Ciclici

După tipul
particulelor
accelerate:

*Acceleratori de
electroni,
protoni,
ioni grei*

După energia
particulelor
accelerate:

Energie medie
(zeci de MeV/nucleon)

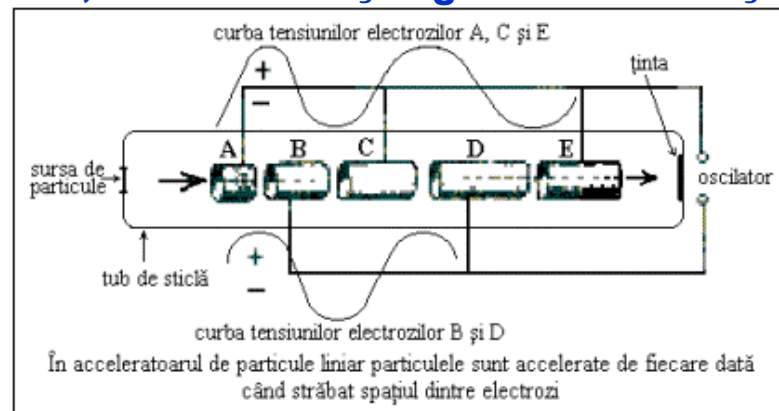
Energie înaltă
(sute de MeV/nucleon)
Energie foarte înaltă
(GeV/nucleon)

Altă clasificare a acceleratoarelor de particule

Tipul	Denumirea	Câmp magnetic	Particulele accelerate
Acceleratori electrostatici	Transformatorul de înaltă tensiune	-	Orice particulă încărcată electric
	Tip Cockroft -Walton		
	Tip Van de Graaff		
Acceleratori liniari	Liniar	-	Particule grele
Acceleratori de rezonanță	Ciclotronul	Constant	p, d, α , ioni
	Sincrociclotron (fazatron)	Constant	p, d, α
	Sincrotron	Variabil	e
	Sincrofazotron (cosmotron, sincrotron de protoni)	Variabil	p, d
Acceleratori prin inducție	Betatronul	Variabil	e

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.
- 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.

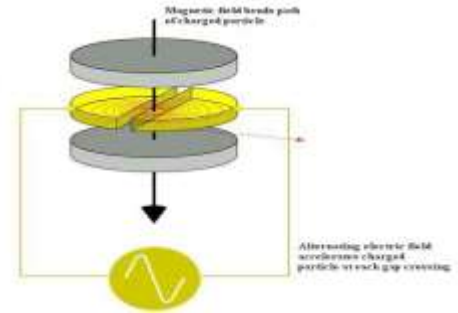
Acceleratorul ciclic. Noțiuni generale

- În **acceleratorul ciclic** particula trece în mod repetat prin același interval de accelerare și este obligată să parcurgă o traiectorie circulară prin introducerea unui câmp magnetic, perpendicular pe viteză.
- Asupra particulei care se deplasează în câmpul magnetic uniform acționează forța Lorentz care joacă rolul de forță centripetă: $mv^2 / R = q v B$
În această relație m este masa particulei, v viteza sa, q sarcina electrică a particulei, B inducția magnetică și R este raza traiectoriei circulare.
- Pe traiectoria circulară se plasează intervalele de accelerare în care energia cinetică a particulei crește cu valoarea $\Delta E = q U$, unde U este diferența de potențial aplicată.
- Frecvența câmpului accelerator trebuie să fie reglată astfel încât particula să ajungă între electrozi în momentul în care câmpul are valoarea maximă și sensul necesar pentru accelerare.
- **Avantajul** acceleratorului ciclic față de cel liniar este că topologia circulară permite accelerarea continuă, astfel încât particulele pot tranzita la infinit. Un alt avantaj este că acceleratorul circular este mai mic decât cel liniar în comparație cu puterea lor.
- În funcție de puterea și accelerația particulelor, acceleratoarele ciclice au un **dezavantaj**: particulele emit radiații ale sincrotronilor. Când o particulă încărcată este accelerată, ea emite radiații electromagnetice și emisii secundare. Așa cum o particulă, care se deplasează în cerc, accelerează tot timpul către centrul cercului, ea emite în continuu radiații către tangenta la cerc. Această radiație se numește „lumină sincrotron” și depinde în mare parte, de masa particulei. Unele acceleratoare, precum sincrotronul sunt create special pentru a produce acea lumină sincrotron, adică raza X.



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 = sarcina electrică a particulei accelerate;

m = masa particulei accelerate;

R = raza cercului traiectorie; V = viteza particulei;

B = inducția câmpului magnetic

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

- 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}):

$$E_{max} = \frac{mV_{max}^2}{2} \quad V_{max} = \frac{qBR_{max}}{m}$$

- 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 ene



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 constă în posibilitatea accelerării de electroni (cu o masă 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.



LARGE HADRON COLLIDER

(Acceleratorul din laboratorul CERN)

- Large Hadron Collider este, la ora actuală, cel mai puternic accelerator de particule de care dispun fizicienii. El se află în laboratorul CERN (Laboratorul European pentru Fizica Particulelor Elementare), situat între Franța și Elveția., la câteva zeci de metri sub pământ, întins pe o distanță de 25 km și au lucrat la el peste 7000 de savanți și fizicieni.
- LHC este cel mai mare experiment din istoria fizicii particulelor, va ajunge la energii de 1 TeV (trilioane de electroni-volți), de 7 ori mai mari decât cele obținute în prezent de cel mai mare accelerator de particule în funcțiune.
- LHC va fi folosit la accelerarea și ciocnirea protonilor la energii niciodată atinse până acum, cam 30 de milioane de ciocniri pe secundă. În fiecare dintre aceste ciocniri vor fi produse noi particule, unele, probabil, încă necunoscute.
- Fizicienii speră ca LHC să ofere răspunsuri la cele mai discutate provocări ale prezentului: misterioasa “materie întunecată” sau bosonii Higgs, “particulele lui Dumnezeu”, despre care cercetătorii spun că se află la originea maselor tuturor corpurilor din Univers.
- Patru detectori gigant, de dimensiunea unei catedrale stau la baza celor șase experimente esențiale la care este folosit LHC. Patru dintre aceste experimente vor răspunde la cele mai importante întrebări ale fizicii actuale: “Care este originea masei?”, “Ce este materia întunecată?” și “Cum arăta lumea imediat după Big-Bang?”

