

# PARTICULELE ELEMENTARE

O **particulă elementară** este o particulă despre care nu se cunoaște dacă are o substructură, adică aceasta nu este formată din particule mai mici. Aceste particule, numite și elementare, sau fundamentale, sunt considerate "cărămizile" Universului.

Conceptul de elementar, fundamental a evoluat în ultima sută și ceva de ani. Inițial s-a crezut că atomul este o particulă elementară, care nu se mai poate divide, de unde și numele de atom,  $\alpha\tau\omicron\mu\omicron\varsigma$  = indivizibil.

Asta până s-a descoperit că și el, la rândul lui, era compus din electroni, protoni și neutroni. Electronii, protonii și neutronii erau acum particulele fundamentale. Au fost, cel puțin până când s-a descoperit că protonii și neutronii sunt compuși, la rândul lor, din alte particule mai mici, denumite cuarci.

Până astăzi, s-au descoperit peste 200 de particule, despre care se consideră că intră în alcătuire materiei (majoritatea ne fiind particule fundamentale).

Pentru a tine evidența acestor particule, ele au fost denumite cu litere din alfabetul grec și din latin, și a fost elaborat un model pentru a se explica cum au fost descoperite și care sunt proprietățile lor, care a primit numele de **modelul standard**.

**Modelul standard** este o teorie pe care fizicienii au dezvoltat-o pentru a stabili un consens asupra constituenților de bază ai materiei și a forțelor fundamentale care descriu interacțiunile dintre aceștia.

Modelul Standard este o teorie simplă și cuprinzătoare care explică cele peste 200 de particule și interacțiunea complexă dintre ele doar cu 6 cuarci, 6 leptoni și particule purtătoare de energie precum fotonul.

Modelul Standard este o teorie foarte bună. Experimentele au dovedit acuratețea predicțiilor cu o precizie incredibilă.

Deși toate particulele prezise de aceasta teorie au fost descoperite, ea nu explică totul. De exemplu, gravitația nu este inclusă în Modelul Standard.

Conform Modelului Standard, particulele elementare care alcătuiesc energia și materia în universul cunoscut sunt grupate în două categorii: **FERMIONI** și **BOSONII**

	Trei generații ale materiei (fermioni)			Bosoni ipotetici	
	I	II	III		
masă	2,4 MeV/c <sup>2</sup>	1,27 GeV/c <sup>2</sup>	171,2 GeV/c <sup>2</sup>	0	0
sarcină	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2
nume	<b>u</b> up (sus)	<b>c</b> charm (farmec)	<b>t</b> top (vârf)	<b>γ</b> foton	<b>G</b> graviton
Quarkuri					
masă	4,8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4,2 GeV/c <sup>2</sup>	0	7 GeV/c <sup>2</sup>
sarcină	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
nume	<b>d</b> down (jos)	<b>s</b> strange (ciudat)	<b>b</b> bottom (bază)	<b>g</b> gluon	<b>H</b> boson Higgs
Leptoni					
masă	<2,2 eV/c <sup>2</sup>	<0,17 MeV/c <sup>2</sup>	<15,5 MeV/c <sup>2</sup>	91,2 GeV/c <sup>2</sup>	80,4 GeV/c <sup>2</sup>
sarcină	0	0	0	0	±1
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1
nume	<b>ν<sub>e</sub></b> neutrिनul electronului	<b>ν<sub>μ</sub></b> neutrिनul miuonului	<b>ν<sub>τ</sub></b> neutrिनul taonului	<b>Z<sup>0</sup></b> boson Z	<b>W<sup>±</sup></b> boson W

**FERMIONI** – particule elementare aflate într-o stare de existență care nu le permite să fie prezente mai multe în același loc în spațiu și la același moment de timp.

Fermionii sunt constituenții materiei cu spinul semîntreg:  $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$ , etc.

Aceste particule sunt considerate particule de materie, de exemplu: electronii, protonii, neutronii. La rândul lor fermionii sunt împărțiți în **cuarci** și **leptoni**.

Tot ceea ce există, începând cu galaxiile și până la munți și molecule, sunt alcătuite din cuarci și leptoni. Cuarzii se comporta diferit față de leptoni, iar pentru fiecare particulă de materie există și o antiparticulă, particula corespunzătoare de antimaterie.

Antiparticulele arată și se comporta la fel ca și particula sa corespunzătoare, cu excepția că cele doua au încărcături electrice opuse, iar atunci când particula de materie se întâlnește cu cea de antimaterie, cele doua se anihilează rezultând energie pură.

**Cuarcul** este o particulă elementară care interacționează prin forța nucleară puternică și care constituie materia grea (numita și barionică). Ipoteza existenței cuarcului a fost propusa de fizicianul teoretician Murray Gell-Mann în 1964. Modelul Standard conține 6 arome de **cuarci**, numiți **up, down, charm, strange, top și bottom**.

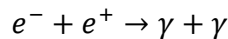
Masele lor cresc de la valori mici, cum este în cazul cuarcului up (doar o a mia parte din masa protonului) până la foarte greu (cuarcul top) fiind tot la fel de masiv ca un atom de aur, ceea ce este remarcabil pentru orice particulă elementară.

**Leptonii** sunt particule care nu se supun forței nucleare tari. Cel mai cunoscut lepton dintre toți este electronul, ce guvernează aproape toata chimia atomului.

– **Electronul** are sarcina electrică negativă și participă la interacțiuni electromagnetice, masa acestuia fiind de aproximativ  $\frac{1}{1836}$  din cea a protonului. Împreună cu nucleul atomic, electronii formează atomul. Interacțiunea lor cu nucleii adiacenți este principala cauza a legăturii chimice. 1

Antiparticula electronului este **antielectronul**, sau **pozitronul**.

Prin interacțiunea dintre un electron și un antielectron are loc o reacție de anihilare:



Conform Modelului Standard, în teoria particulelor elementare, fotonii nu interacționează cu așa numitul câmp Higgs, bosonul Higgs fiind particula elementara care pune în evidență existența acestui câmp răspunzător într-o bună măsură de masa "materiei grele". Fotonii nu au masă, nu interacționează cu câmpul Higgs și nici cu alte fenomene generatoare de masa și nu au sarcina electrică. Ca urmare a acestui fapt, ei călătoresc prin Univers în toate direcțiile, cu o viteză neschimbată, de 300.000 km/s. În lipsa proprietăților generatoare de masă, particulele de materie ar zbura la rândul lor în toate direcțiile prin Univers, asemenea fotonilor.

Un alt lepton este **electronul neutrino**, o particulă elementară ce nu are o sarcină electrică netă. Împreună cu electronul, formează **prima generație de leptoni**.

– **Miunul** este un alt lepton, similar cu electronul cu o sarcină electrică negativă (-1) și spin  $\frac{1}{2}$ . La fel ca și în cazul celorlalți leptoni, miunul se considera ca nu este format din alte substructuri mai mici.

– **Miunul neutrino**, asemenea electronului neutrino, nu are sarcină electrică netă. Împreună cu miunul, formează **a doua generație de leptoni**.

– **Particula tau** (numită uneori și tauon) este o altă particulă elementară similară electronului, cu o sarcină electrică negativă. Asemenea tuturor particulelor elementare, tauonul are o antiparticulă cu sarcina opusă, dar cu aceeași masă și spin, numită antitauon.

– **Tau neutrino**, sau tauonul neutrino, este un alt lepton, fără sarcină electrică netă.

Împreună cu particula tau formează **a treia generație de leptoni**.

**BOSONII** – particule elementare aflate într-o stare de existență care le permite să fie prezente mai multe în același loc în spațiu și la același moment de timp.

Bosonii sunt constituenții materiei cu spinul întreg: 0, 1, 2..., etc  
Aceste particule sunt considerate particule de forță, de exemplu: fotonul pentru forța electromagnetică, gluon pentru forța nucleară tare, bosonii  $W^+$ ,  $W^-$  și  $Z$  pentru forța nucleară slabă și gravitonul pentru forța gravitațională.

Bosonii sunt responsabili de interacțiunea nucleară slabă, numită și interacțiunea slabă, care la rândul ei este responsabilă pentru radioactivitate și care acționează asupra tuturor particulelor de materie cu spin semiîntreg (de exemplu protonii sau neutronii), dar nu acționează asupra particulelor cu spin întreg (cum sunt fotonii sau gravitonii).

În Modelul Standard, există patru tipuri de bosoni: **gluonul**, **bosonii W și Z**, și **fotonii**.  
Există și alți bosoni, precum cel mai recent descoperit, bosonul Higgs, sau gravitonul. Încă nu au fost incluși în Modelul Standard, gravitonul fiind încă un boson teoretic, iar așa numitul boson Higgs descoperit la CERN în anul 2012 nu prezintă toate proprietățile care erau prezise.

– **Gluonul** intermediază integrațiile tari dintre quarkuri. Are masa de repaus nulă, spinul 1 și este neutru din punct de vedere electric.

– **Bosonii W și Z** (împreună cunoscuți ca bosonii slabi) sunt particulele elementare ce intermediază interacțiunea slabă. Există două tipuri de bosoni W, bosoni  $W_+$  și bosoni  $W_-$ , diferențiați prin sarcina electrică +1 respectiv -1. Cele două tipuri de bosoni W sunt particula și antiparticula.

– **Bosonii Z** sunt similari cu bosonii W, doar că aceștia nu au sarcină electrică.

– **Fotonul**, numit și **cuanta de lumină**. Fotonul este o particulă elementară responsabilă pentru toate fenomenele electromagnetice. Toate formele de lumină (nu numai cea vizibilă) se compun din fotoni. Masa de repaus a acestuia este totdeauna zero, deoarece nu interacționează cu nici un fenomen generator de masă din Univers. Astfel, în absența oricărei interacțiuni viteza fotonului este viteza luminii și este aceeași în toate sistemele de referință.

### Particulele compuse

Particulele compozite, precum hadronii, sunt compuse din două sau mai multe particule elementare.

**Hadronii** sunt împărțiți în două mari familii: **barioni** și **mezoni**. Toți sunt constituiți din mai mulți cuarci ținuți împreună de forța nucleară tare (așa cum atomii și moleculele sunt ținuți împreună de forța electromagnetică).

Particulele compuse din cuarci sunt numite **hadroni**.

Deși cuarcii au sarcini electrice fracționale  $\pm \frac{1}{3}$ ,  $\pm \frac{2}{3}$ , ei se combină în așa fel încât hadronul să aibă sarcina electrică întreagă.,

#### I. Barioni

Barionii sunt hadroni compuși din 3 cuarci și sunt alcătuiți din mai multe tipuri de particule.

– **Neutronul** este particula din nucleul atomic care are masă și este neutru din punct de vedere electric. Atunci când un neutron se dezintegrează, acesta se separă într-un proton, un electron și un antineutrino:  ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}$

Acest proces se numește **generare de particule** și se produce ca urmare a transformării energiei în materie, conform rel. Einstein:  $E = m \cdot c^2$

– **Protonul** este particula din nucleul atomic, care are masă și cu sarcina electrică +1.

Între protoni apar forțele de interacțiune nucleare tari, forțe de atracție, transmise de mezoni.

Prin ciocnirea a doi protoni pot apărea diferite particule elementare, de exemplu generarea unui mezon.

– **Barionii  $\delta$**  au sarcini electrice +2, +1, 0 și -1. Barionii au spinul  $\frac{2}{3}$ .

– **Barionii  $\lambda$**  au sarcina electrică +1 sau neutră. Conțin diferiți cuarci: unul up, unul down și un al treilea care poate fi fie strange, sau charm.

– **Barionii  $\sigma$**  au sarcina electrică +2, +1, -1 sau neutră. Sunt compuși din trei cuarci: doi up, sau down și un al treilea, ce poate fi strange, charm, bottom sau up.

– **Barionii  $\xi$  (xi)** au sarcina electrică +2, +1, -1 sau neutră. Sunt compuși din trei cuarci: unul up sau down și alți doi cuarci grei. Barionii  $\xi$  sunt foarte instabili și se descompun rapid în alte particule mai ușoare.

– **Barionii  $\omega$**  au sarcina electrică +2, +1, -1 sau neutră.

## II. Mezoni

Mezoni conțin un cuarc și un anticuarc și sunt împărțiți în mai multe tipuri.

– **Pionii** sunt cei mai ușori mezoni și joacă un rol important în explicarea proprietăților energiei joase ale forței nucleare tari. Pionii sunt mezoni cu spin 0 și reprezintă **prima generație de cuarci**.

– **Mezonul  $\rho$**  – după pioni și kaoni, mezoni  $\rho$  sunt cei mai ușori, având masa de 770 MeV pentru toate cele trei stări ale sale.

– **Mezonul  $\eta$**  este alcătuit dintr-o mixtură de cuarci up, down și strange precum și anticuarcii lor.

– **Mezonul  $\phi$**  este format dintr-un cuarc strange și un anticuarc strange și are masa de 1,019 MeV.

– **Mezonul  $J/\Psi$**  sau psimezonul, este compus dintr-un cuarc charm și un anticuarc charm.

– **Mezonul  $\nu$**  (upsilon) este format dintr-un cuarc bottom și antiparticula sa

– **Kaonul** conține un cuarc strange sau un anticuarc, împreună cu un anticuarc up sau down.

Kaonul a jucat un rol important în stabilirea Modelului Standard, ducând la înțelegerea încălcării simetriei – fenomenul care a generat asimetria dintre materie și anti-materie în Univers.

– **Mezonul  $B$**  este compus dintr-un anticuarc bottom și un altul fie up, down, strange sau charm.

– **Mezonul  $D$**  este cea mai ușoară particulă ce conține cuarci charm și sunt studiați în special pentru a înțelege interacțiunea slabă.

## Interacțiuni fundamentale

Conform fizicii moderne există patru tipuri de interacțiuni fundamentale care controlează toate tipurile de interacțiuni descoperite în Univers.

Universul, așa cum îl știm, există deoarece particulele fundamentale interacționează între ele.

Aceste interacțiuni includ forțe de atracție și de respingere.

**a. Interacțiunea gravitațională.** Gravitația nu este chiar așa de simplă precum pare, o forță care atrage corpurile unul spre celălalt, ci este efectul unei deformări a spațiului și al timpului.

Interacțiunea gravitațională este descrisă de teoria relativității generalizate la scara microscopică, însă se poate explica cu mare exactitate și de legea atracției universale a lui Newton, din mecanica clasică.

Cuanta de câmp este gravitonul.

Ceea ce nu se știe deocamdată, este natura și motivul existenței acestei forțe, numita forță gravitațională. Deși este observat pretutindeni, fenomenul nu este elucidat.

**b. Interacțiunea electromagnetică.** Este interacțiunea care se manifestă între corpurile încărcate cu sarcină electrică. Cuanta de câmp este fotonul.

În anul 1785, fizicianul Charles Augustin de Columb a confirmat printr-un experiment ca sarcinile electrice se atrag sau se resping pe baza unei legi similare cu cea a gravitației.

Prima legătură între magnetism și electricitate a fost făcută datorită lui H. Ch. Oersted în anul 1819, iar ulterior, A. M. Ampere va demonstra ca doi conductori străbătuți de curent electric se vor comporta ca și cei doi poli ai unui magnet.

**c. Interacțiunea nucleară tare.** Interacțiunea nucleară tare mai este numită și forța nucleară tare, fiind una din cele patru interacțiuni fundamentale cunoscute.

Forța nucleară tare este cea mai puternică din aceste patru interacțiuni, fiind de  $10^{15}$  de ori mai puternică decât cea electromagnetică, de  $10^{13}$  ori mai puternică decât cea slabă și de  $10^{47}$  de ori

decât forța gravitațională. Forța nucleară tare face ca protonii și neutronii să rămână integri și stabili.

**d. Interacțiunea nucleară slabă.** Este o forță de contact. Forța nucleară slabă, sau interacțiunea slabă, este cauzată de schimbul de bosoni W și Z, care reprezintă cuantele câmpului forței slabe. Cel mai cunoscut efect este cel de dezintegrare beta precum și majoritatea proceselor de radioactivitate. Intensitatea forței nucleare slabe este de  $10^{13}$  ori mai slabă decât a forței tari și are o rază de acțiune foarte scurtă, aproximativ egală cu diametrul nucleului atomic.

**Legi de conservare.** Particulele elementare se supun legilor de conservare din Univers. În cazul particulelor elementare pe lângă legile de conservare cunoscute, legea conservării energiei, impulsului, masei, sarcinii, există și o serie de legi de conservare specifice, care se întâlnesc numai în studiul fizicii nucleare și al particulelor elementare, precum: legea conservării numărului de nucleoni, stranietății, sarcinii barionice și altele.