

NICOLAE SFETCU

**FIZICA ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ  
FENOMENOLOGICĂ**

# FIZICA ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ FENOMENOLOGICĂ

Nicolae Sfetcu

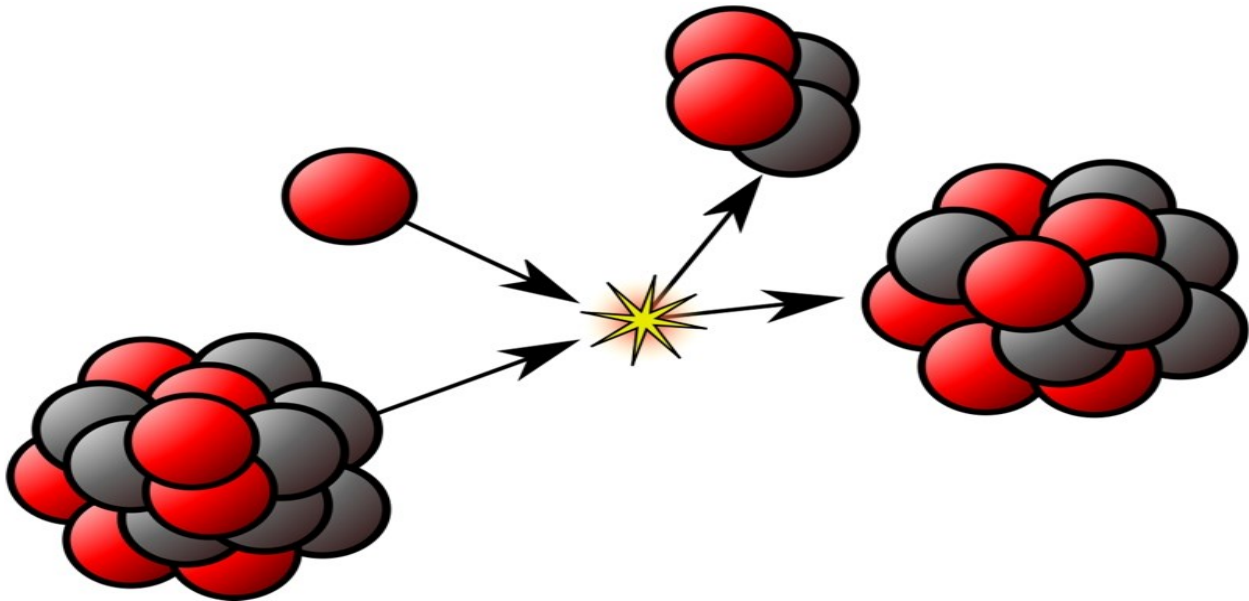
Publicat de Nicolae Sfetcu

Copyright 2018 Nicolae Sfetcu

PREVIZUALIZARE CARTE

## Fizica atomică

Fizica atomică este domeniul fizicii care studiază atomii ca un sistem izolat format din electroni și un nucleu atomic. Este în primul rând preocupată de aranjarea electronilor în jurul nucleului și de procesele prin care aceste aranjamente se schimbă. Aceasta cuprinde ioni, și atomi neutri. Dacă nu se specifică altfel, se poate presupune că termenul *atom* include ionii.



( O parte din diagrama ciclului CNO, pentru ilustrarea reacțiilor nucleare. Sursa: Kjerish, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:NuclearReaction.svg>, CC Attribution-Share Alike 4.0 International license)

Termenul *fizică atomică* poate fi asociat cu energia nucleară și cu armele nucleare, datorită utilizării sinonime a *atomilor* și a *nucleelor*. Fizicienii fac distincția între fizica atomică - care se

ocupă de atom ca un sistem alcătuit dintr-un nucleu și electroni - și fizica nucleară, care ia în considerare numai nucleele atomice.

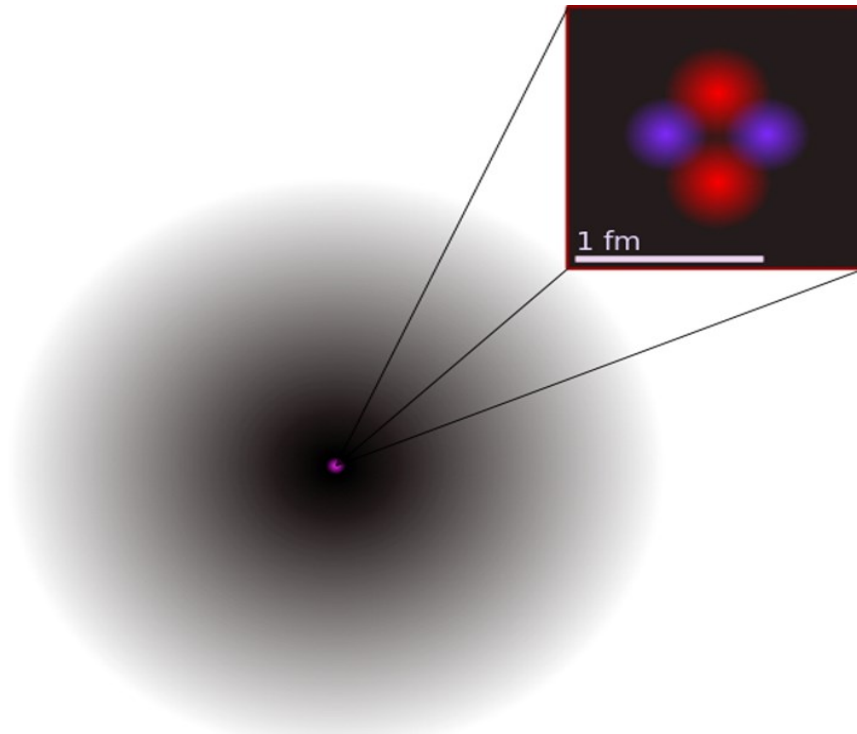
Ca și în multe domenii științifice, delimitarea strictă poate fi extrem de controversată, iar fizica atomică este adesea luată în considerare în contextul mai larg al fizicii atomice, moleculare și optice. Grupurile de cercetare în domeniul fizicii sunt de obicei clasificate astfel.

Fizica nucleară este domeniul fizicii care studiază nucleele atomice și constituenții și interacțiunile lor. Sunt studiate și alte forme de materii nucleare.

Descoperirile în fizica nucleară au dus la aplicații în multe domenii. Acestea includ energia nucleară, armele nucleare, medicina nucleară și imagistica prin rezonanță magnetică, izotopii industriali și agricoli, implantarea ionilor în ingineria materialelor și datarea cu radiocarbon din geologie și arheologie. Astfel de aplicații sunt studiate în domeniul ingineriei nucleare.

Fizica particulelor a evoluat din fizica nucleară, iar cele două domenii sunt de obicei predate în asociere strânsă. Astrofizica nucleară, aplicarea fizicii nucleare la astrofizică, este crucială în explicarea funcționării interioare a stelelor și a originii elementelor chimice.

## Natura atomică a materiei



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$

(Structura atomului de heliu, Sursa: Yzmo, [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium\\_atom\\_QM.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium_atom_QM.svg), CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license)

Atomul este cel mai mic constitutiv ireductibil al unui sistem chimic. Cuvântul este derivat din limba greacă, *atomos*, indivizibil, format din particula *a-*, nu, și *tomos*, divizare. Acesta reprezintă de obicei atomi chimici, componentele de bază ale moleculelor și materia obișnuită. Acești atomi nu sunt divizibili prin reacții chimice, dar sunt acum cunoscuți a fi compuși din particule subatomice chiar mai mici. Dimensiunile acestor atomi sunt în general în intervalul de la 22 până la 100 pm.

## **Ipoteze atomice**

Marea varietate de materie cu care ne confruntăm în experiența de zi cu zi este formată din atomi. Existența unor astfel de particule a fost propusă pentru prima dată de către filosofii greci, precum Democrit, Leucippus, și epicurienii, dar fără niciun argument real, astfel încât conceptul a dispărut. Aristotel argumenta împotriva indivizibililor lui Democritus (care diferă considerabil de utilizarea istorică și modernă a termenului "atom"). Conceptul atomic a fost reînviat de Rudjer Bosovich în secolul XVIII, și apoi aplicat în chimie de John Dalton.

Rudjer Bosovich și-a bazat teoria pe mecanica newtoniană și a publicat-o în 1758 în lucrarea sa *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Conform lui Bosovich, atomii sunt puncte fără structură internă, care prezintă forțe de respingere și atracție între ele, în funcție de distanță. John Dalton a folosit teoria atomică pentru a explica de ce gazele se combina întotdeauna în raporturi simple. Abia odată cu studiile lui Amedeo Avogadro, în secolul XIX, oamenii de știință au început să se facă distincția între atomi și molecule. În timpurile moderne atomii au fost observați și experimental.

După cum s-a constatat ulterior, atomii sunt făcuți din particule mai mici. De fapt, aproape tot atomul este spațiu gol. În centru este un nucleu pozitiv mic compus din nucleoni (protoni și neutroni), iar restul atomului conține numai norii de electroni destul de flexibili. De obicei atomii sunt neutri electric, cu un număr egal de electroni și protoni. Atomii sunt clasificați în general prin numărul atomic, care corespunde numărului de protoni din atom. De exemplu, atomii de carbon sunt acei atomi care conțin 6 protoni. Toți atomii care au același număr atomic partajează o varietate largă de proprietăți fizice și prezintă același comportament chimic. Diferitele tipuri de atomi sunt prezentate în tabelul periodic. Atomi având același număr atomic, dar diferite mase atomice (datorită numărului lor diferit de neutroni), se numesc izotopi.

În 1827, botanistul Robert Brown a folosit un microscop pentru a privi praful care plutea în apă printr-o mișcare la întâmplare ("browniană") concluzionând că aceasta se datorează moleculelor de apă. În 1905, Albert Einstein a demonstrat realitatea acestor molecule și a mișcărilor lor prin producerea primei analize fizice statistice a mișcării browniene. Fizicianul francez Jean Perrin a folosit lucrarea lui Einstein pentru a determina experimental masa și dimensiunile atomilor, confirmând astfel în mod concludent teoria atomică a lui Dalton.

Cel mai simplu atom este atomul de hidrogen, având numărul atomic 1, și constând dintr-un proton și un electron. Acesta a fost subiect de mare interes în domeniul științei, în special în dezvoltarea timpurie a teoriei cuantice.

Comportamentul chimic al atomilor se datorează interacțiunilor dintre electroni. În special electronii din orbitele exterioare, numiți electroni de valență, au cea mai mare influență asupra comportamentului chimic. Electronii nucleului (cele care nu aparțin de mantaua exterioară) joacă și ei un rol, dar de obicei în funcție de un efect secundar datorat screening-ului sarcinii pozitive din nucleul atomic.

Există o tendință puternică la atomi de a umple complet (sau goli complet) învelișul de electroni exterior în care, în hidrogen și heliu, există loc pentru doi electroni, iar în toți ceilalți atomi există loc pentru opt electroni. Acest lucru este realizat fie prin schimbul de electroni cu atomii vecini, fie prin îndepărtarea completă a electronilor de la alți atomi. Când electronii sunt partajați se formează o legătură covalentă între cei doi atomi. Legăturile covalente sunt cel mai puternic tip de legături atomice.

Când unul sau mai mulți electroni sunt complet eliminați dintr-un atom de către alt atom, se formează ioni. Ionii sunt atomi care posedă o sarcină diferită de zero, ca urmare a unui dezechilibru în numărul de protoni și electroni. Ionul care a luat electronul se numește *anion*, și este încărcat negativ. Atomul care a pierdut electronul este numit *cation*, și este încărcat pozitiv. Cationii și anionii sunt atrași unul de celălalt datorită forțelor coulombiene între sarcinile pozitive și negative. Această atracție este numită legături ionice, și este mai slabă decât legăturile covalente.

După cum s-a menționat mai sus, legătura covalentă implică o stare în care electronii sunt împărțiți în mod egal între atomi, în timp ce legătura ionică presupune că electronii sunt complet îndepărtați de anion. Cu excepția unui număr limitat de cazuri extreme, niciuna dintre aceste imagini nu este complet corectă. În cele mai multe cazuri de legături covalente, electronul este comun în mod inegal, petrece mai mult timp în jurul atomului mai electronegativ, rezultând că legătura covalentă are un oarecare caracter ionic. În mod similar, în legătura ionică electronii petrec adesea o mică parte din timp în jurul atomului mai electropozitiv, rezultând un oarecare caracter de covalență pentru legătura ionică.

Modele istorice de atomi:

- Modelul lui Democrit
- Modelul budincă de prune
- Modelul Bohr
- Modelul mecanicii cuantice

## Proprietățile atomilor

### Proprietăți nucleare

Prin definiție, oricare doi atomi cu un număr identic de *protoni* în nucleele lor aparțin aceleiași element chimic. Atomii cu un număr egal de protoni, dar cu un număr diferit de *neutroni* sunt *izotopi* diferiți ai aceleiași element. De exemplu, toți atomii de hidrogen admit exact un proton, dar există izotopi fără neutroni (hidrogen-1, de departe cea mai comună formă, de asemenea numit protium), un neutron (deuteriu), doi neutroni (tritiu) și mai mult de doi neutroni .

Elementele cunoscute formează un set de numere atomice, de la un singur element de protoni până la elementul cu 118 protoni. Toți izotopii cunoscuți ai elementelor cu numere atomice mai mari de 82 sunt radioactivi, deși radioactivitatea elementului 83 (bismut) este atât de ușoară încât este practic neglijabilă.

Aproximativ 339 de nuclizi se găsesc în mod natural pe Pământ, dintre care 254 (aproximativ 75%) nu s-au observat că se descompun și sunt denumiți "izotopi stabili". Cu toate acestea, numai 90 dintre acești nuclizi sunt stabili față de orice tip de dezintegrare, chiar și în teorie. Un alt număr de 164 (care aduc totalul la 254) nu s-a observat să se dezintegreze, chiar dacă teoretic este posibil din punct de vedere energetic. Acestea sunt, de asemenea, clasificați oficial drept "stabili". Un număr de 34 de nuclizi radioactivi au un timp de înjumătățire mai mare de 80 de milioane de ani, suficient de mult timp pentru a fi prezenți de la nașterea sistemului solar. Această colecție de 288 de nuclizi este cunoscută ca nuclizi primordiali. În cele din urmă, se știe că alți 51 de nuclizi de scurtă durată apar în mod firesc, ca produse rezultante ale dezintegrării nucleului primordial (cum ar fi radiațiile din uraniu) sau ca produse ale proceselor energetice naturale de pe Pământ, cum ar fi bombardarea cu raze cosmice (de exemplu, carbon-14).

Pentru 80 dintre elementele chimice există cel puțin un izotop stabil. De regulă, există doar o mână de izotopi stabili pentru fiecare dintre aceste elemente, media fiind de 3,2 izotopi stabili per element. Douăzeci și șase de elemente au doar un singur izotop stabil, în timp ce cel mai mare număr de izotopi stabili observat pentru orice element este de zece, pentru elementul staniu. Elementele 43, 61 și toate elementele numerotate 83 sau mai mari nu au izotopi stabili.

Stabilitatea izotopilor este afectată de raportul dintre protoni și neutroni, precum și de prezența anumitor "numere magice" de neutroni sau protoni care reprezintă benzile cuantice închise și umplute. Aceste benzi cuantice corespund unui set de niveluri de energie în cadrul modelului de bandă al nucleului; benzile umplute, cum ar fi banda umplut cu 50 de protoni pentru staniu, conferă o stabilitate neobișnuită asupra nuclidului. Dintre cei 254 nuclizi cunoscuți stabili, doar patru au atât un număr impar de protoni, cât și un număr impar de neutroni: hidrogen-2 (deuteriu), litiu-6, bor-10 și azot-14. De asemenea, numai patru nuclizi există natural, nuclizii radioactivi impar-impar au un timp de înjumătățire de peste un miliard de ani: potasiu-40, vanadiu-50, lantan-138 și tantal-180m. Cei mai mulți nuclizi impari sunt foarte instabili în ceea ce privește dezintegrarea beta, deoarece produsele de dezintegrare sunt par-par și, prin urmare, sunt legate mai puternic, datorită efectelor de împerechere nucleară.

## **Masa**

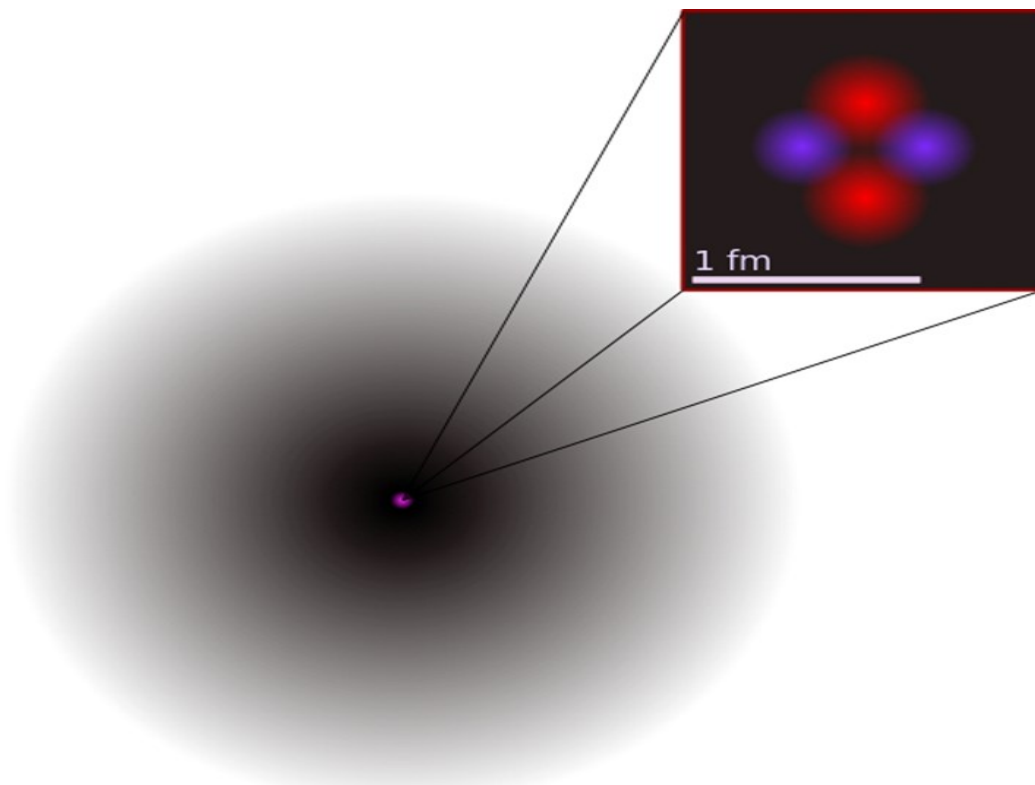
Marea majoritate a masei unui atom vine de la protoni și neutroni care îl compun. Numărul total al acestor particule (numite "nucleoni") într-un atom dat este numit numărul de masă. Este un întreg pozitiv și fără dimensiuni (în loc să aibă dimensiunea masei), pentru că exprimă un număr. Un exemplu de utilizare a unui număr de masă este "carbon-12", care are 12 nucleoni (șase protoni și șase neutroni).

Masa reală a unui atom în stare de repaus este adesea exprimată folosind unitatea de masă atomică unificată (u), numită și dalton (Da). Această unitate este definită ca o doisprezecime din masa unui atom neutru liber de carbon-12, care este de aproximativ  $1,66 \times 10^{-27}$  kg. Hidrogenul-

1 (cel mai ușor izotop al hidrogenului, care este de asemenea nucleul cu cea mai mică masă) are o greutate atomică de 1,007825 u. Valoarea acestui număr se numește masa atomică. Un atom dat are o masă atomică aproximativ egală (în limita a 1%) cu numărul său de masă ori unitatea de masă atomică (de exemplu, masa unui azot 14 este de aproximativ 14 u). Cu toate acestea, acest număr nu va fi exact un întreg, cu excepția cazului carbonului 12 (a se vedea mai jos). Cel mai greu atom stabil este plumb-208, cu o masă de 207,9766521 u.

Deoarece chiar și atomii cei mai masivi sunt mult prea ușori pentru a lucra direct cu ei, chimiștii folosesc în schimb unitatea *mol*. Un mol de atomi din orice element are întotdeauna același număr de atomi (aproximativ  $6,022 \times 10^{23}$ ). Acest număr a fost ales astfel încât, dacă un element are o masă atomică de 1 u, un mol de atomi ai aceluia element are o masă aproape de un gram. Datorită definiției unității de masă atomică unificată, fiecare atom de carbon 12 are o masă atomică exactă de 12 u și astfel un mol de atomi de carbon 12 are o greutate exactă de 0,012 kg.

## Atomul și cuanta



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$

*Structura atomului de heliu, Sursa: Yzmo,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium\\_atom\\_QM.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helium_atom_QM.svg), CC Attribution-Share Alike 3.0  
Unported license)*

Un atom este cea mai mică unitate constitutivă a materiei obișnuite care are proprietățile unui element chimic. Fiecare solid, lichid, gaz și plasmă este compus din atomi neutri sau ionizați. Atomii sunt foarte mici; mărimile tipice sunt în jur de 100 de picometri (zece miliardimi de metru).

Atomii sunt suficient de mici încât încercarea de a prezice comportamentul lor folosind fizica clasică - ca și cum ar fi bile de biliard, de exemplu - să dea pronosticuri incorecte din cauza efectelor cuantice. Prin dezvoltarea fizicii, modelele atomice au încorporat principii cuantice pentru a explica și anticipa mai bine comportamentul.

Fiecare atom este compus dintr-un nucleu și unul sau mai mulți electroni legați de nucleu. Nucleul este format din unul sau mai mulți protoni și de obicei un număr similar de neutroni. Protonii și neutronii sunt numiți nucleoni. Mai mult de 99,94% din masa atomului se află în nucleu. Protonii au o încărcătură electrică pozitivă, electronii au o sarcină electrică negativă, iar neutronii nu au nicio sarcină electrică. Dacă numărul de protoni și electroni este egal, atomul este neutru din punct de vedere electric. Dacă un atom are mai mulți sau mai puțini electroni decât protonii, atunci are o încărcătură globală negativă sau pozitivă, respectiv, și se numește ion.

Electronii unui atom sunt atrași de protonii dintr-un nucleu atomic prin această forță electromagnetică. Protonii și neutronii din nucleu sunt atrași unul de altul printr-o forță diferită, forța nucleară, care este de obicei mai puternică decât forța electromagnetică acționând ca forță de respinge între protonii încărcăți pozitiv. În anumite circumstanțe, forța electromagnetică respingătoare devine mai puternică decât forța nucleară, iar nucleonii pot fi eliminați din nucleu, lăsând în urmă un alt element: apare fenomenul de dezintegrare nucleară care duce la transmutarea nucleară.

Numărul de protoni din nucleu definește la ce element chimic corespunde atomul: de exemplu, toți atomii de cupru conțin 29 de protoni. Numărul de neutroni definește izotopul elementului. Numărul de electroni influențează proprietățile magnetice ale unui atom. Atomii se pot atașa la unul sau mai mulți alți atomi prin legături chimice pentru a forma compuși chimici cum ar fi moleculele. Capacitatea atomilor de a asocia și de a disocia este responsabilă pentru majoritatea schimbărilor fizice observate în natură și este subiectul chimiei ca disciplină.

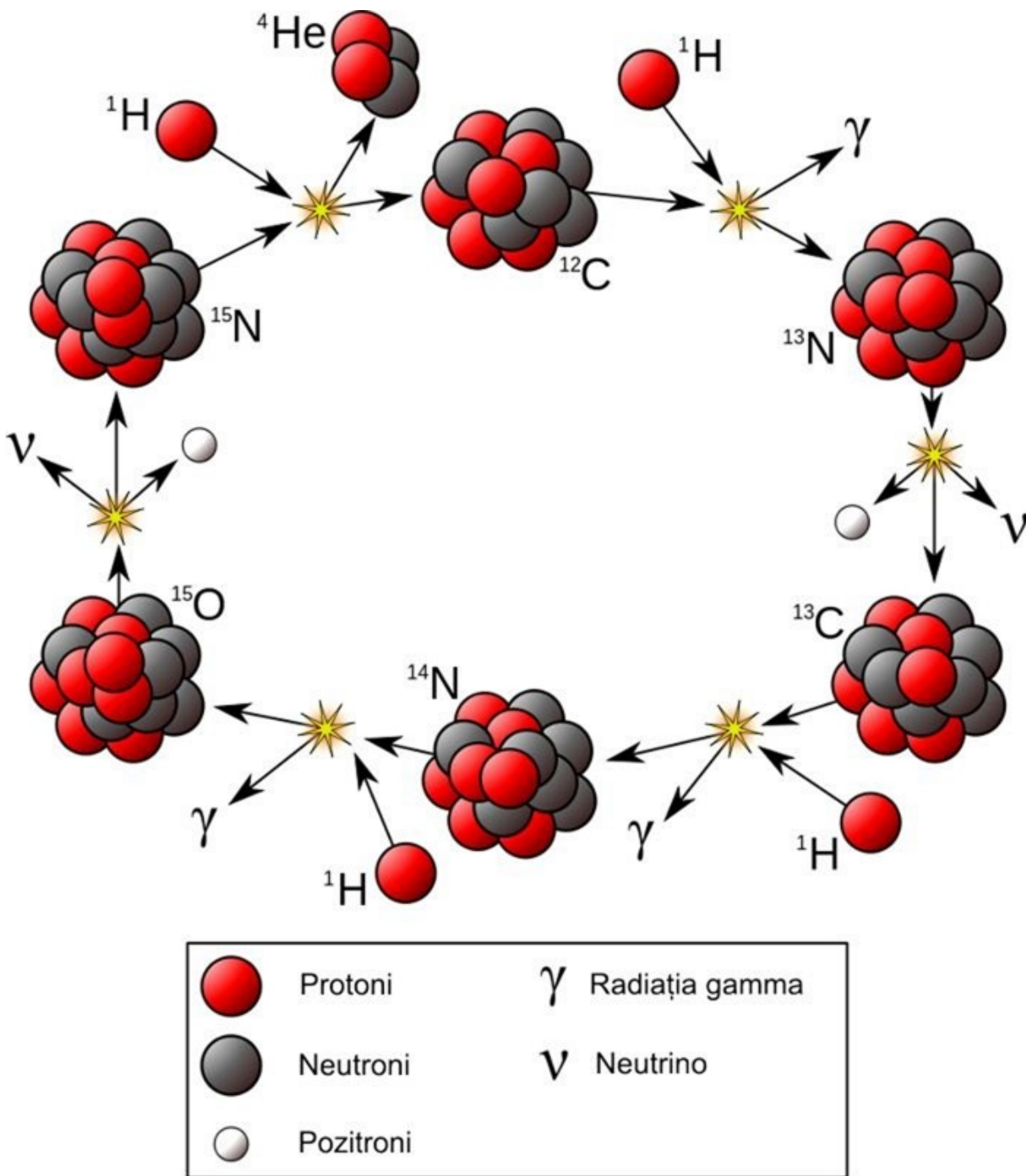
## Descoperirea nucleului atomic

Centrul unui atom se numește **nucleu**. Acesta este compus din unul sau mai mulți *protoni* și de obicei câțiva *neutroni*. Numărul de protoni din nucleul unui atom determină *numărul atomic*, și ce *element* este atomul (de exemplu hidrogen, carbon, oxigen, etc).

Termenul nucleu este din cuvântul latin *nucleus*, un diminutiv al *nux* ("miez", "nucă"), adică nucleu (adică "nucă mică") în interiorul unui tip de fruct apos (ca o piersică). În 1844, Michael Faraday a folosit termenul pentru a se referi la "punctul central al unui atom". Sensul modern atomic a fost propus de Ernest Rutherford în 1912. Adoptarea termenului "nucleu" pentru teoria atomică, cu toate acestea, nu a fost imediată. În 1916, de exemplu, Gilbert N. Lewis a declarat, în celebrul său articol *Atom și moleculă*, că "atomul este compus din *nucleu* și un atom sau *înveliș exterior*"



Deși protonii încărcăți pozitiv exercită o forță electromagnetică de respingere între ei, distanțele dintre particulele nucleare sunt suficient de mici pentru ca interacțiunea puternică (care este mult mai puternică decât forța electromagnetică, dar scade mai rapid cu distanța) să predomină. (Atracția gravitațională este neglijabilă, fiind de 1036 ori mai slabă decât această repulsia electromagnetică.)



(Ciclul reacțiilor nucleare din stelele mai grele decât Soarele. Sursa: Borb, [https://en.wikipedia.org/wiki/File:CNO\\_Cycle.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:CNO_Cycle.svg), CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Nucleul a fost descoperit în 1911, ca urmare a eforturilor lui Ernest Rutherford de a testa modelul de "budincă cu stafide" (cunoscut și ca "budincă cu prune") al atomului Thomson. Electronul fusese deja descoperit mai devreme de J.J. Thomson însuși. Știind că atomii sunt neutri din punct de vedere electric, Thomson a postulat că trebuie să existe și o sarcină pozitivă. În modelul de budincă cu stafide, Thomson a sugerat că un atom constă din electroni negativi împrăștiați într-o sferă de încărcare pozitivă. Ernest Rutherford a realizat mai târziu un experiment cu partenerul său de cercetare Hans Geiger și cu ajutorul lui Ernest Marsden, care a implicat devierea particulelor alfa (nuclei de heliu) îndreptate spre o foaie subțire de folie metalică. El a argumentat că dacă modelul lui Thomson ar fi corect, particulele alfa încărcate pozitiv ar trece cu ușurință prin folie, cu o abatere foarte mică în căile lor, deoarece folia ar trebui să acționeze ca neutră din punct de vedere electric dacă încărcăturile negative și pozitive sunt atât de intim amestecate încât să o facă să apară neutră. Spre surprinderea lui, multe dintre particule au deviat la unghiuri foarte mari. Deoarece masa unei particule alfa este de aproximativ 8000 de ori mai mare decât cea a unui electron, a devenit evident că trebuie să existe o forță foarte puternică dacă ar putea deflecta particulele alfa masive și rapide. El a realizat că modelul de budincă cu stafide nu poate fi corect și că devierile particulelor alfa nu pot fi explicate decât dacă încărcăturile pozitive și negative au fost separate una de alta și masa atomului a fost un punct concentrat de încărcare pozitivă. Aceasta a justificat ideea unui atom nuclear cu un centru dens de încărcare și masă pozitivă.

## Descoperirea electronului

Grecii antice au observat că chihlimbarul atrage obiecte mici atunci când este frecat de blană. Împreună cu fulgerele, acest fenomen este una dintre cele mai vechi experiențe înregistrate de omenire în domeniul energiei electrice. În textul său din 1600, *De Magnete*, omul de știință englez William Gilbert a inventat noul termen latin *electricus*, referindu-se la această proprietate de a atrage obiecte mici după ce a fost frecat. Atât *electric*, cât și *electricitate*, sunt derivate din latinul *ēlectrum*, care provine din cuvântul grecesc pentru chihlimbar, ἤλεκτρον (*ēlektron*).

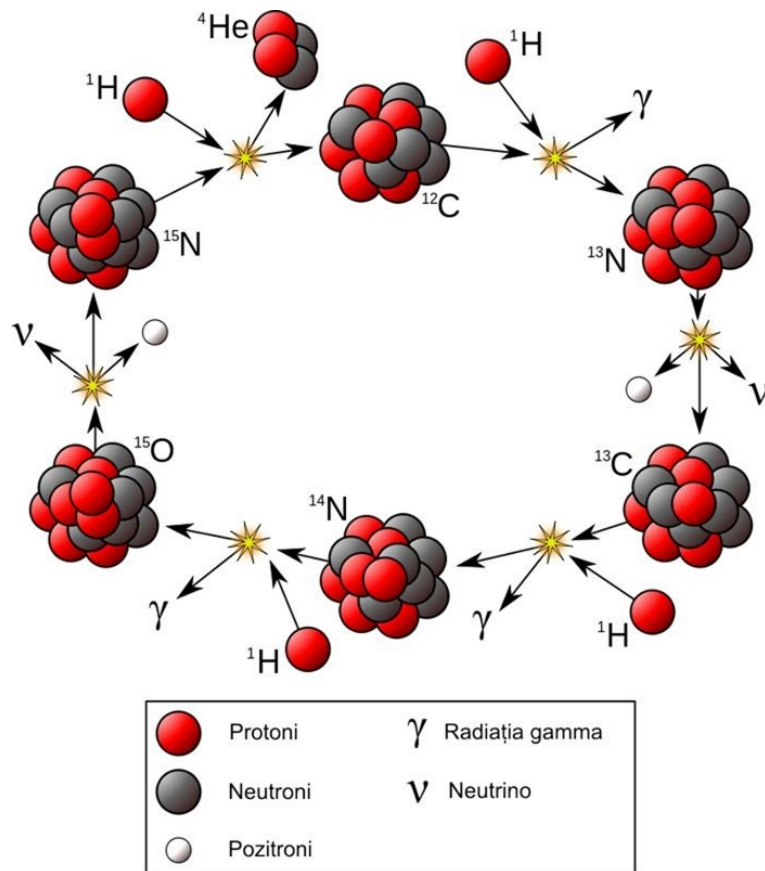
La începutul anilor 1700, Francis Hauksbee și chimistul francez Charles François du Fay au descoperit în mod independent ceea ce credeau că erau două tipuri de electricitate prin fricțiune - una generată de sticlă prin frecare, cealaltă din rășină prin frecare. Din aceasta, du Fay a susținut că electricitatea constă din două fluide electrice, vitreoase și rășinoase, care sunt separate prin frecare și care se neutralizează reciproc atunci când sunt combinate. Omul de știință american Ebenezer Kinnersley mai târziu a ajuns, de asemenea, independent la aceeași concluzie. Un deceniu mai târziu, Benjamin Franklin a propus ca electricitatea să nu fie din diferite tipuri de lichid electric, ci dintr-un singur lichid electric care prezintă un exces (+) sau un deficit (-). El le-a dat numele modern de sarcini pozitive și negative respectiv. Franklin s-a gândit la transportul de sarcini ca fiind pozitiv, dar nu a identificat în mod corect care situație este un surplus al transportului de sarcini și care este un deficit.

Între anii 1838 și 1851, filosoful natural britanic Richard Laming a dezvoltat ideea că un atom este compus dintr-un nucleu de materie înconjurat de particule subatomice care au încărcături electrice unitare. Începând cu anul 1846, fizicianul german William Weber a susținut că electricitatea este compusă din fluide încărcate pozitiv și negativ, iar interacțiunea lor este guvernată de legea inverselor pătratice. După studierea fenomenului de electroliză din 1874,

fizicianul irlandez George Johnstone Stoney a sugerat existența unei "cantități singulare definite de energie electrică", sarcina unui ion monovalent. A fost capabil să estimeze valoarea acestei încărcări elementare  $e$  prin legile lui Faraday de electroliză. Totuși, Stoney credea că aceste sarcini sunt atașate permanent atomilor și nu puteau fi îndepărtate. În 1881, fizicianul german, Hermann von Helmholtz, a susținut că atât sarcinile pozitive cât și cele negative sunt divizate în părți elementare, fiecare dintre ele "se comportă ca atomi de energie electrică".

Stoney inițial a inventat termenul *electrolion* în 1881. Zece ani mai târziu, el a trecut la *electron* pentru a descrie aceste sarcini elementare, scriind în 1894: "... s-a făcut o estimare a valorii reale a celei mai remarcabile unități fundamentale de energie electrică, pentru care de atunci m-am aventurat să sugerez numele de *electron*". O propunere de schimbare la *electron* din 1906 a eșuat, deoarece Hendrik Lorentz a preferat să păstreze *electronul*. Cuvântul *electron* este o combinație a cuvintelor *electric* și *ion*. Sufixul *-on* care este folosit acum pentru a desemna alte particule subatomice, cum ar fi un proton sau un neutron, este la rândul său derivat din electron.

## Nucleul atomic și radioactivitatea



(Ciclul reacțiilor nucleare din stelele

mai grele decât Soarele. Sursa: Borb, [https://en.wikipedia.org/wiki/File:CNO\\_Cycle.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:CNO_Cycle.svg), CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Nucleul a fost descoperit în 1911, ca urmare a eforturilor lui Ernest Rutherford de a testa modelul de atom tip "cozonac cu stafide" al lui Thomson. Electronul a fost deja descoperit mai devreme de J.J. Thomson însuși. Știind că atomii sunt neutri din punct de vedere electric, Thomson a postulat că trebuie să existe și o sarcină pozitivă. În modelul de budincă cu stafide, Thomson a sugerat că un atom constă din electroni negativi împrăștiați întâmplător într-o sferă de sarcină pozitivă. Ernest Rutherford a realizat mai târziu un experiment cu partenerul său de cercetare Hans Geiger și cu ajutorul lui Ernest Marsden, care a implicat deflecția particulelor alfa (nuclei de heliu) îndreptate către o foaie subțire de folie metalică. El a argumentat că dacă modelul lui Thomson ar fi corect, particulele alfa încărcate pozitiv ar trece cu ușurință prin folie, cu o abatere foarte mică în drumurile lor, deoarece folia ar trebui să acționeze ca fiind neutră din punct de vedere electric dacă sarcinile negative și pozitive sunt atât de intim amestecate încât să o facă să apară neutră. Spre surprinderea lui, multe dintre particule au deviat la unghiuri foarte mari. Deoarece masa unei particule alfa este de aproximativ 8000 de ori mai mare decât cea a unui electron, a devenit evident că trebuie să existe o forță foarte puternică dacă a putut deflecta particulele alfa masive și rapide. El a realizat că modelul de budincă cu stafide nu poate fi corect și că deflecțiile particulelor alfa nu pot fi explicate decât dacă sarcinile pozitive și negative sunt separate una de alta și masa atomului este un punct concentrat de sarcină pozitivă. Aceasta a justificat ideea unui atom nuclear cu un centru dens de sarcină și masă pozitivă.

Termenul de *nucleu* derivă din cuvântului latin *nucleus*, un diminutiv al *nux* ("nuci"). În 1844, Michael Faraday a folosit termenul pentru a se referi la "punctul central al unui atom". Sensul modern atomic a fost propus de Ernest Rutherford în 1912. Adoptarea termenului "*nucleu*" pentru teoria atomică, cu toate acestea, nu a fost imediată. În 1916, de exemplu, Gilbert N. Lewis a declarat, în celebrul său articol *Atomul și molecula*, că "atomul este compus din kernel și un atom sau *înveliș* exterior"

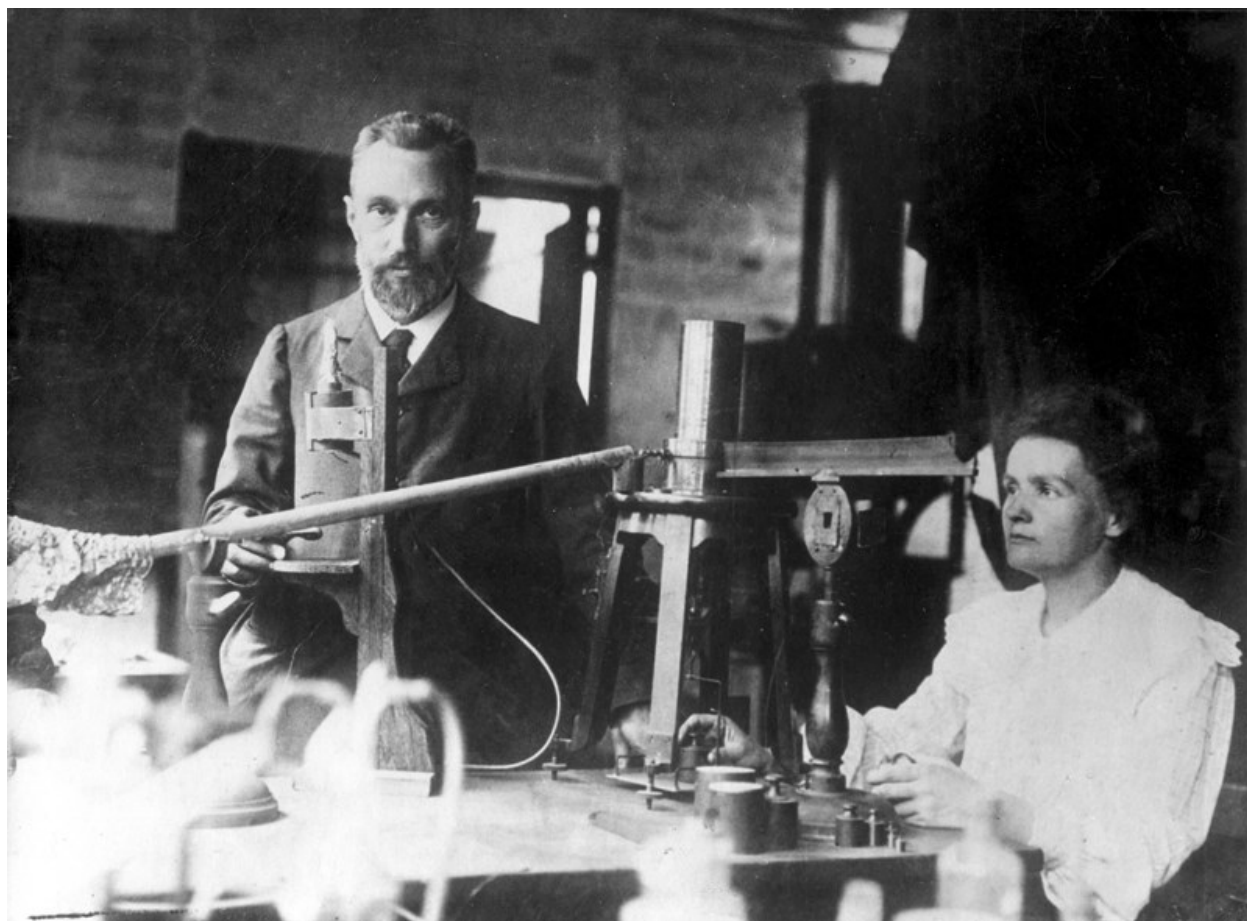
Radioactivitatea a fost descoperită în 1896 de cercetătorul francez Henri Becquerel, în timp ce lucra cu materiale fosforescente. Aceste materiale strălucesc în întuneric după expunerea la lumină și bănuia că strălucirea produsă în tuburile cu catod prin raze X ar putea fi asociată cu fosforescența. El a înfășurat o placă fotografică în hârtie neagră și a pus pe ea diferite săruri fosforescente. Toate rezultatele au fost negative până când a utilizat săruri de uraniu. Sărurile de uraniu au provocat o înnegrire a plăcii, în ciuda faptului că placa este învelită în hârtie neagră. Aceste radiații au fost denumite "Radiații Becquerel".

Curând a devenit clar că înnegrirea plăcii nu are nimic de a face cu fosforescența, deoarece înnegrirea a fost produsă și de săruri non-fosforescente de uraniu și uraniu metalic. Din aceste experimente a devenit clar faptul că există o formă de radiație invizibilă care ar putea trece prin hârtie și ar determina reacția plăcii ca și cum ar fi expusă la lumină.

La început, se părea că noua radiație era similară cu razele X descoperite recent. Studiile ulterioare efectuate de Becquerel, Ernest Rutherford, Paul Villard, Pierre Curie, Marie Curie și alții au arătat că această formă de radioactivitate este semnificativ mai complicată. Rutherford a fost primul care a realizat că toate aceste elemente se descompun în conformitate cu aceeași formulă exponențială matematică. Rutherford și studentul său, Frederick Soddy, au fost primii care și-au dat seama că multe procese de dezintegrare au dus la transmutarea unui element în

altul. Ulterior, legea privind deplasarea radioactivă a lui Fajans și Soddy a fost formulată pentru a descrie produsele dezintegrărilor alfa și beta.

Cercetătorii timpurii au descoperit că multe alte elemente chimice, pe lângă uraniu, au izotopi radioactivi. O căutare sistematică a radioactivității totale în minereurile de uraniu a determinat, de asemenea, pe Pierre și Marie Curie să izoleze două elemente noi: poloniu și radium. Cu excepția radioactivității radiului, similitudinea chimică dintre radium și bariu a făcut ca aceste două elemente să fie greu de distins.



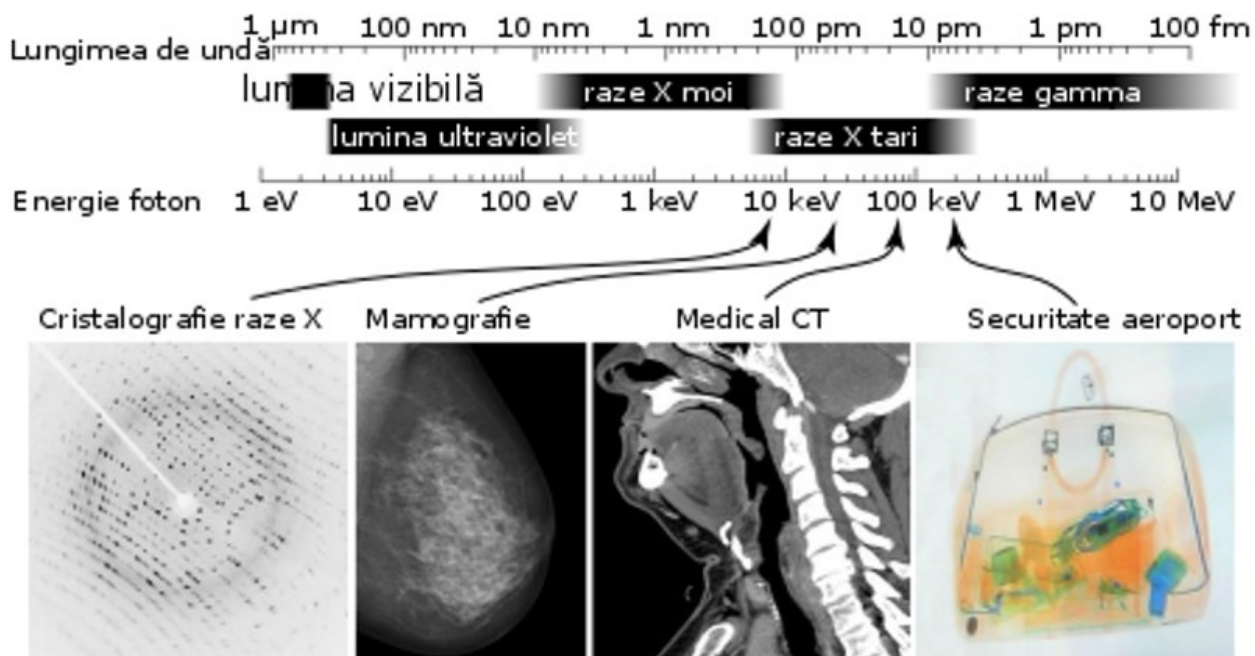
*(Pierre și Marie Curie în laboratorul lor din Paris, înainte de 1907)*

Studiul radioactivității al lui Marie și Pierre Curie este un factor important în știință și medicină. După ce cercetările lor despre radiația Becquerel i-au condus la descoperirea atât a radiului, cât și a poloniului, au inventat termenul "radioactivitate". Cercetarea lor asupra radiațiilor penetrante în uraniu și descoperirea radiului a lansat o epocă de utilizare a radiului pentru tratamentul cancerului. Explorarea radiului ar putea fi văzută ca prima utilizare pașnică a energiei nucleare și începutul medicinei nucleare moderne.

O mare parte din cercetările actuale în domeniul fizicii nucleare se referă la studiul nucleelor în condiții extreme. Cele mai grele nuclee sunt cele din stelele neutronice. Nucleele pot fi, de asemenea, caracterizate prin forme extreme, sau prin rapoarte extreme de neutroni-protoni. Experimentatorii pot utiliza, de asemenea, fuziunea indusă artificial la energii mari pentru a crea

nuclee la temperaturi foarte ridicate, și există semne că aceste experimente au produs o fază de tranziție de la materia nucleară normală la o stare nouă, *plasma cuarc-gluonică*, în care cuarcii se amestecă între ei, în loc să fie separați în tripleți ca neutroni și protoni.

## Razele X



*(Razele X fac parte din spectrul electromagnetic, cu lungimi de undă mai scurte decât lumina vizibilă. Aplicații diferite utilizează diferite părți ale spectrului de raze X. Sursa: Ulfund, [https://en.wikipedia.org/wiki/File:X-ray\\_applications.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:X-ray_applications.svg), CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)*

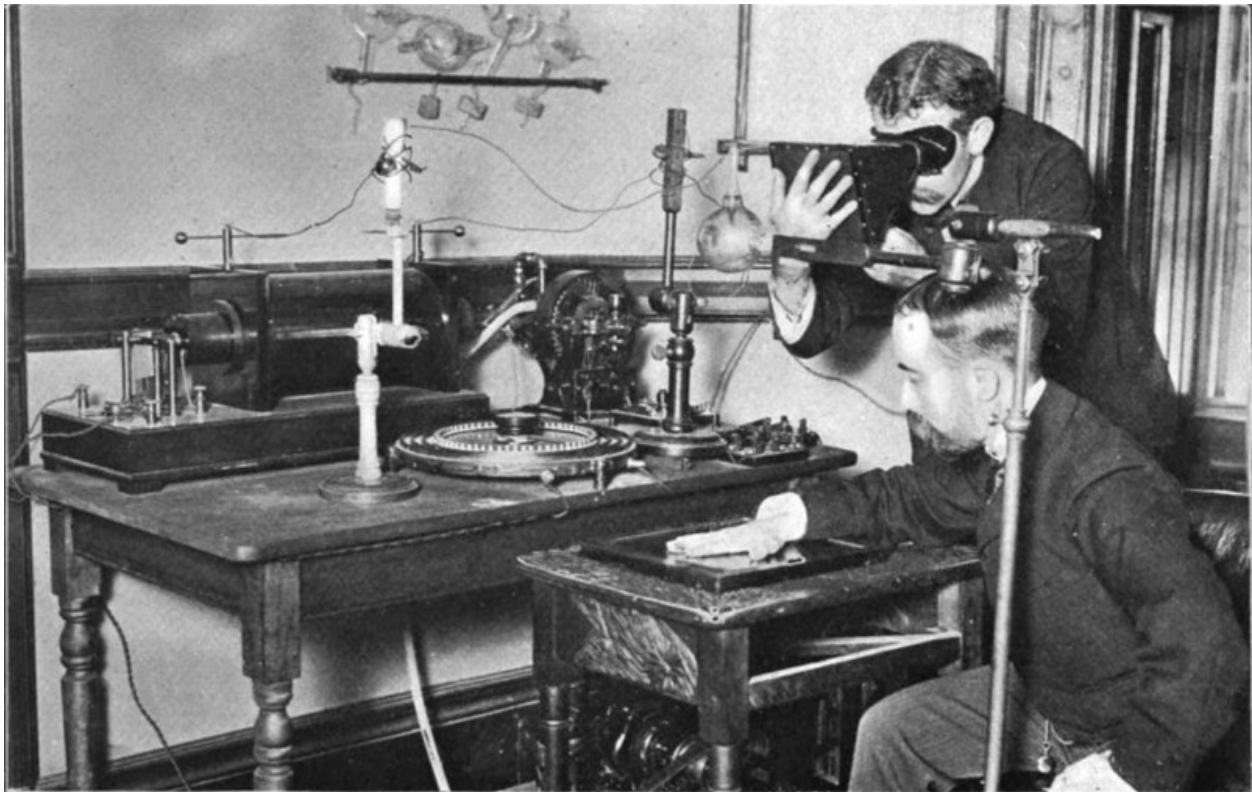
Razele X formează radiația X, un tip de radiație electromagnetică. Cele mai multe raze X au o lungime de undă cuprinsă între 0,01 și 10 nanometri, corespunzând frecvențelor cuprinse între 30 petahertz și 30 exahertz ( $3 \times 10^{16}$  Hz -  $3 \times 10^{19}$  Hz) și energii cuprinse între 100 eV și 100 keV. Lungimile de undă cu raze X sunt mai scurte decât cele ale razelor UV și de obicei sunt mai lungi decât cele ale razelor gamma. În multe limbi, radiația X este menționată cu termeni care denotă radiația Röntgen, după omul de știință german Wilhelm Röntgen, care de obicei este creditat ca descoperitor și care a numit-o radiația X pentru a semnifica un tip de radiație necunoscut.

## Istorie

Fizicianul german Wilhelm Röntgen este de obicei creditat ca descoperitor de raze X în 1895, deoarece el a fost primul care le-a studiat sistematic, deși nu este primul care a observat efectele. El este, de asemenea, cel care le-a dat denumirea de "raze X" (semnificând o m[rimă necunoscută]), deși mulți alții le-au menționat ca "raze Röntgen" (și radiografiile asociate cu raze

X ca "Rontgenograme") timp de câteva decenii după descoperirea lor și chiar și până în prezent în unele limbi, inclusiv în limba germană a lui Röntgen.

Cel mai vechi experimentator care se crede că a produs (în necunoștință de cauză) raze X, a fost William Morgan. În 1785 a prezentat o lucrare Societății Regale din Londra, care descrie efectele trecerii curenților electrici printr-un tub de sticlă parțial evacuat, producând o strălucire creată de raze X. Această lucrare a fost explorată în continuare de către Humphry Davy și asistentul său Michael Faraday.

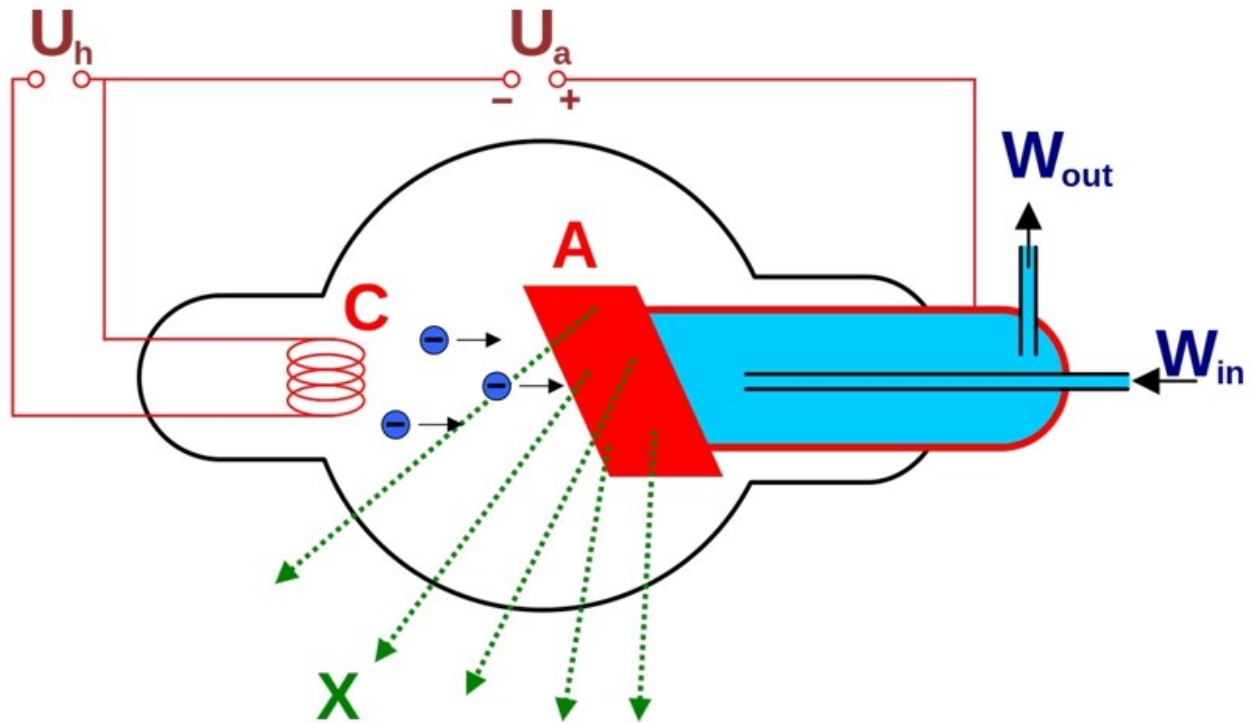


*(Imagistica cu raze X cu aparate de tuburi Crookes timpurii, la sfârșitul anilor 1800. Tubul Crookes este vizibil în centru. Omul în picioare își vede mâna cu un ecran cu fluoroscop. Omul așezat face o radiografie a mâinii prin plasarea ei pe o placă fotografică. Nu sunt luate măsuri de precauție împotriva expunerii la radiații; pericolele sale nu erau cunoscute în acel moment.)*

La 8 noiembrie 1895, profesorul german de fizică Wilhelm Röntgen a dat peste raze X în timp ce experimenta cu tuburile Lenard și Crookes și a început să le studieze. El a scris un raport inițial "Cu privire la un nou tip de raze: o comunicare preliminară", iar la 28 decembrie 1895 a prezentat-o revistei Societății Fizico-medicale din Würzburg. Aceasta a fost prima lucrare scrisă despre raze X. Röntgen s-a referit la radiații ca "X", pentru a indica faptul că era un tip necunoscut de radiații. Numele a rămas, deși (peste obiecțiile mari ale lui Röntgen) mulți dintre colegii săi au sugerat să le numim razele Röntgen. Acestea sunt încă menționate ca atare în multe limbi. Röntgen a primit primul premiu Nobel pentru fizică pentru descoperirea sa.

În 1895, Thomas Edison a investigat capacitatea materialelor de a produce fluorescență atunci când sunt expuse la raze X și a constatat că tungstatul de calciu este cea mai eficientă substanță.

În jurul lunii martie 1896, fluoroscopul pe care l-a dezvoltat a devenit standard pentru examinările medicale cu raze X. Cu toate acestea, Edison a renunțat la cercetarea cu raze X în jurul anului 1903, chiar înainte de moartea lui Clarence Madison Dally, unul dintre sticlari. Dally avea obiceiul de a testa tuburile cu raze X pe mâini și a dobândit un cancer în ele atât de tenace încât ambele brațe au fost amputate într-o încercare inutilă de a-și salva viața.



(O diagramă simplificată a tubului cu raze X răcit cu apă)

Odată cu descoperirea în 1895 de cercetători, medici și inventatori, au apărut numeroase povestiri despre arsuri, căderea părului, și alte simptome mai rele, în revistele tehnice ale timpului. În februarie 1896, profesorul John Daniel și dr. William Lofland Dudley de la Universitatea Vanderbilt au raportat căderea părului după ce Dr. Dudley a fost radiografiat. Un copil care a fost împușcat în cap a fost adus la laboratorul Vanderbilt în 1896. Înainte de a încerca să găsească glonțul, a fost încercat un experiment, pentru care Dudley "cu devotamentul său caracteristic științei" s-a oferit voluntar. Daniel a raportat că 21 de zile după ce a făcut o fotografie a craniului lui Dudley (cu o durată de expunere de o oră), el a observat o pată cheală de 2 inci (5,1 cm) în diametru, pe capul său în zona cea mai apropiată de tubul cu raze X: a fost fixat suportul de placă cu plăcile spre partea laterală a craniului și o monedă între craniu și cap. Tubul a fost fixat de cealaltă parte la o distanță de jumătate de centimetru de păr.

Multe aplicații ale razelor X au generat imediat un interes enorm. Atelierele au început să producă versiuni specializate ale tuburilor Crookes pentru generarea de raze X, iar aceste tuburi de raze X cu catod rece sau Crookes au fost utilizate până în 1920.

.....



# Fizica particulelor

Fizica particulelor este o ramură a fizicii care studiază componentele elementare ale materiei și radiațiile, precum și interacțiunile dintre ele. Este, de asemenea, numită fizica energiilor înalte, pentru că multe particule elementare nu apar în mod independent în natură, și pot fi detectate doar în timpul coliziunilor dintre particule energetice mai mari, așa cum se întâmplă în acceleratoarele de particule.

Cercetare modernă în fizica particulelor este axată pe particule subatomice, care sunt mai mici decât atomii. Acestea includ elemente constitutive atomice, cum ar fi electroni, protoni, și neutroni (protonii și neutronii sunt de fapt particule compuse, formate din cuarci), precum și particule produse prin procese radiative și de împrăștiere, cum ar fi fotonii, neutrinii și muonii.

Strict vorbind, termenul de *particulă* este un termen impropriu. Obiectele studiate de fizica particulelor ascultă principiile mecanicii cuantice. Ca atare, ele prezintă dualitatea undă-particulă, afișând un comportament de particule, în anumite condiții experimentale, și un comportament de undă în alte condiții. Teoretic, ele nu sunt descrise nici ca unde, nici ca particule, ci ca stări vectoriale într-un spațiu abstract Hilbert. În urma convenției din fizica particulelor, vom folosi termenul de "*particulele elementare*" pentru a ne referi la obiecte precum electroni și fotoni, cu înțelegerea că aceste "particule" au și proprietăți de undă.

Toate particulele observate până în prezent au fost catalogate într-o teorie a câmpului cuantic numită Modelul Standard, care este adesea considerată ca cea mai bună realizare a fizicii particulelor până în prezent. Modelul conține 47 de specii de particule elementare, dintre care unele se pot combina pentru a forma particule compozite, reprezentând sute de alte specii de particule descoperite încă din anii 1960. Modelul Standard a fost găsit ca fiind de acord cu aproape toate testele experimentale efectuate până în prezent. Cu toate acestea, cei mai mulți fizicieni cred că aceasta este o descriere incompletă a naturii, și că o teorie mai fundamentală așteaptă să fie descoperită. În ultimii ani, măsurătorile de masă pentru neutrino au furnizat primele abateri experimentale de la Modelul Standard.

Fizica particulelor a avut un impact mare asupra filosofiei științei. Ideile reduționiste care motivează multe din activitățile în acest domeniu au fost criticate de către diverși filozofi și oameni de știință.

## Istoria

Ideea că materia este compusă din particule elementare datează cel puțin din secolul al 6-lea î.Hr. Doctrina filosofică de "atomism", a fost studiată de către filozofii greci antici, cum ar fi Leucippus, Democrit, și Epicur. Deși Isaac Newton în secolul al 17-lea a crezut că materia este alcătuită din particule, a fost John Dalton, care a declarat în mod oficial în 1802 că totul este format din atomi mici.

Primul tabel periodic al lui Dmitri Mendeleev în 1869 a ajutat la cimentarea punctului de vedere, răspândit de-a lungul secolului XIX, că materia este formată din atomi. Lucrările lui J.J.

Thomson au stabilit că atomii sunt compuși din electroni ușori și protoni masivi. Ernest Rutherford a stabilit că protonii sunt concentrați într-un nucleu compact. Nucleul a fost inițial gândit ca fiind compus din protoni și electroni dispersați în interior (pentru a explica diferența dintre sarcina nucleară și numărul de masă), dar mai târziu a fost dovedit că nucleul este compus din protoni și neutroni.

Explorările din secolul XX ale fizicii nucleare și fizicii cuantice, culminând cu dovezi ale fisiunii nucleare și ale fuziunii nucleare, a dat naștere la o industrie activă de generare a unui atom dintr-un alt atom, chiar făcând posibil (deși nu este economic), transmutarea plumbului în aur. Aceste teorii au prezis cu succes armele nucleare.

De-a lungul anilor 1950 și 1960, o varietate uimitoare de particule au fost descoperite în experimentele de împrăștiere. Acest lucru a fost menționat ca "grădina zoologică a particulelor". Acest termen a fost descurajat după formularea Modelului Standard din anii 1970, în care numărul mare de particule a fost explicat prin combinații ale unui număr (relativ) mic de particule elementare.

## Modelul Standard

Clasificarea actuală a particulelor elementare este numită "Modelul Standard". Acesta descrie forțele fundamentale tari, slabe, și electromagnetice, folosind bosoni de mediere cunoscuți ca "bosoni gauge". Printre speciile de bosoni gauge sunt fotonii, bosonii  $W^-$  and  $W^+$ , bosonii  $Z$ , și gluonii. Modelul conține, de asemenea, 24 de particule fundamentale, care sunt elementele constitutive ale materiei. În cele din urmă, el prezice existența unui tip de boson cunoscut sub numele de bosonul Higgs, care a fost confirmat de curând.

## Fizica particulelor experimentale

În fizica particulelor, cele mai importante colaborări internaționale sunt:

- CERN, la granița franco-elvețiană în apropiere de Geneva. Principalele facilitățile ale sale sunt LEP, Large Electron Positron Collider și LHC, sau Large Hadron Collider.
- DESY, situat în Hamburg, Germania. Principala sa facilitate este HERA, care ciocnește electronii sau pozitronii cu protonii.
- SLAC, situat în apropiere de Palo Alto, Statele Unite ale Americii. Facilitatea sa principală este PEP-II, care ciocnește electroni și pozitroni.
- Fermilab, situat în apropiere de Chicago, Statele Unite ale Americii. Facilitatea sa principală este Tevatron, care ciocnește protoni și antiprotoni.
- Brookhaven National Laboratory, situat pe Long Island, Statele Unite ale Americii. Facilitatea sa principală este Relativistic Heavy Ion Collider, care ciocnește ioni grei, cum ar fi ionii de aur (este primul accelerator de ioni grei) și protoni.

Exista multe alte acceleratoare de particule.

## Obiecții

În cadrul fizicii în sine, există unele obiecții cu privire la abordarea extrem de reduționistă în încercarea de a explica totul în termeni de particule elementare și interacțiunea lor. Aceste obiecții sunt de obicei ridicate de fizicienii materiei solide. În timp ce Modelul Standard în sine nu este contestat, este de reținut că testarea și perfecționarea modelului nu este aproape la fel de important ca și studierea proprietăților atomilor și moleculelor, precum și a ansamblurilor statistice deosebit de mari ale acestora. Aceste critici susțin că chiar și o cunoaștere completă a particulelor elementare de bază nu va oferi cunoștințe complete despre atomi și molecule, cunoștințe care, fără îndoială, sunt mult mai importante pentru noi.

Reduționiștii susțin de obicei că toate progresele în științe au implicat într-o anumită măsură reduționismul.

## Politici publice

Rezultatele experimentale în fizica particulelor sunt investigate folosind acceleratoare de particule enorme care costă de obicei multe miliarde de dolari, și necesită valori mari de finanțare de către guverne. Din acest motiv, cercetarea în fizica particulelor implică probleme de ordine publică.

Mulți au susținut că potențialele rezultate nu justifică banii cheltuiți, și că, de fapt, fizica particulelor ia banii unor studii mult mai importante în cercetare și educație. În 1993, Congresul SUA a oprit Superconducting Super Collider din cauza unor astfel de preocupări, după ce 2 miliarde dolari au fost deja cheltuiți pentru construcția sa. Mulți oameni de știință, atât partizanii cât și adversarii SSC, cred că decizia de a opri construcția SSC s-a datorat în parte sfârșitului Războiului Rece, care a eliminat concurența științifică cu Uniunea Sovietică ca o justificare în cheltuirea de sume mari de bani pe SSC.

Unele comunități științifice cred că fizica particulelor a fost, de asemenea, afectată în mod negativ de îmbătrânirea populației. Credința este că populația mai în vârstă este mult mai preocupată de problemele imediate ale sănătății lor și părinților lor, și că acest lucru a îndepărtat finanțarea științifică de fizică, apropiind-o de științele biologice și medicină. În plus, mulți oponenți pun la îndoială capacitatea unei singure țări de a sprijini cheltuielile cu rezultate în fizica particulelor și dau vina pe SSC pentru că nu se caută o mai mare finanțare internațională.

Susținătorii acceleratoarelor de particule afirmă că investigarea teoriilor cele mai fundamentale merită o finanțare adecvată, și că de acest lucru vor beneficia și alte domenii ale științei în diverse moduri. Ei subliniază că toate acceleratoarele de azi sunt proiecte internaționale și pun la îndoială afirmația că banii cheltuiți pe acceleratoare ar fi bine să fie utilizați în alte scopuri științifice sau educative.

## Particule elementare

### Modelul Standard al particulelor elementare

trei generații de materie (fermioni)

	I	II	III		
masa	$\approx 2.4 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 172.44 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 125.09 \text{ GeV}/c^2$
sarcina	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
<b>CUARCI</b>	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.67 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
<b>LEPTONI</b>	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 1.7 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	$\pm 1$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
					<b>BOSONI GAUGE</b>
					<b>BOSONI SCALARI</b>

(Particulele elementare incluse în Modelul Standard)

Acest articol include o listă a diferitelor tipuri de particule atomice și sub-atomice găsite sau presupuse a exista în întregul univers clasificat după tip. Proprietățile diferitelor particule enumerate sunt de asemenea date, precum și legile pe care le urmează particulele.

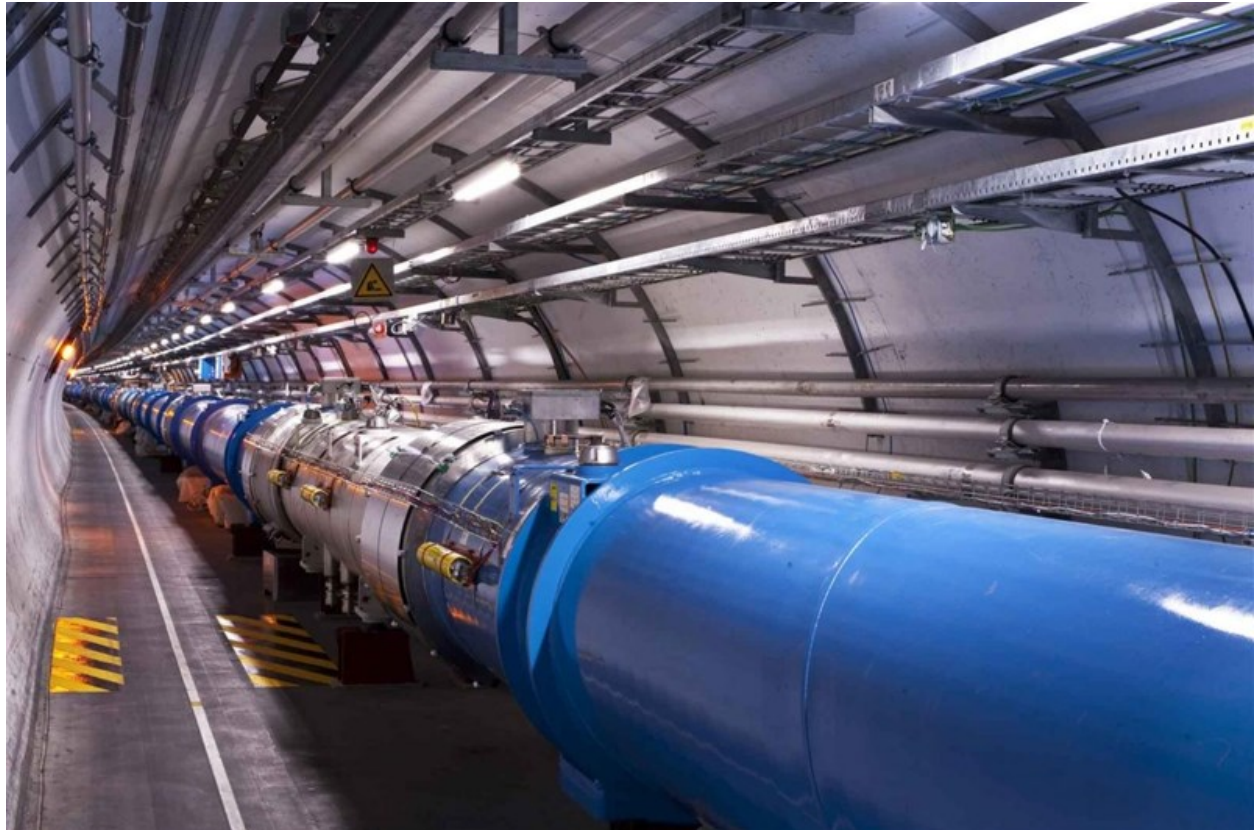
## Particule elementare

Particulele elementare sunt particule fără structură internă măsurabilă; adică, nu se știe dacă ele sunt compuse din alte particule. Acestea sunt obiectele fundamentale ale teoriei câmpului cuantic. Există multe familii și sub-familii de particule elementare. Particulele elementare sunt

clasificate în funcție de spinul lor. Fermionii au spin semi-întreg în timp ce bosonii au spin întreg. Toate particulele modelului standard au fost observate experimental, recent incluzând bosonul Higgs. Multe alte particule elementare ipotetice, cum ar fi gravitonul, au fost propuse, dar nu au fost observate experimental.

.....

## Fisiunea și fuziunea nucleară



*(Acceleratorul de particule Large Hadron Collider de la CERN - Foto CERN)*

Fizica nucleară este domeniul fizicii care studiază nucleele atomice și constituenții și interacțiunile lor. Sunt studiate și alte forme de materii nucleare. Fizica nucleară nu trebuie confundată cu fizica atomică, care studiază atomul ca întreg, inclusiv electronii săi.

Descoperirile în fizica nucleară au dus la aplicații în multe domenii. Acestea includ energia nucleară, armele nucleare, medicina nucleară și imagistica prin rezonanță magnetică, izotopii industriali și agricoli, implantarea ionilor în ingineria materialelor și radiocarbonul datând din geologie și arheologie. Astfel de aplicații sunt studiate în domeniul ingineriei nucleare.

Fizica particulelor a evoluat din fizica nucleară, iar cele două domenii sunt de obicei predate în asociere strânsă. Astrofizica nucleară, aplicarea fizicii nucleare la astrofizică, este crucială în explicarea funcționării interioare a stelelor și a originii elementelor chimice.

## Istorie

Istoria fizicii nucleare ca disciplină distinctă de fizica atomică începe cu descoperirea radioactivității de către Henri Becquerel în 1896, în timp ce investighează fosforescența în sărurile de uraniu. Descoperirea electronului de către J. J. Thomson un an mai târziu a fost o indicație că atomul avea structură internă. La începutul secolului al XX-lea, modelul acceptat al atomului era modelul "budincă cu stafide" al lui J. J. Thomson, în care atomul era o minge încărcată pozitiv, cu electroni încărcăți negativ mai mici încorporați în el.

În anii care au urmat, radioactivitatea a fost investigată pe scară largă, în special de Marie și Pierre Curie, precum și de Ernest Rutherford și colaboratorii săi. La începutul secolului, fizicienii au descoperit, de asemenea, trei tipuri de radiații emise de atomi, pe care le numesc radiații alfa, beta și gamma. Experimentele lui Otto Hahn din 1911 și ale lui James Chadwick în 1914 au descoperit că spectrul de dezintegrare beta este mai degrabă continuu decât discret. Adică, electronii sunt evacuați din atom cu o gamă continuă de energii, mai degrabă decât cantitățile discrete de energie observate în dezintegrările gamma și alfa. Aceasta a fost o problemă pentru fizica nucleară la vremea respectivă, pentru că părea să indice că energia nu este conservată în aceste dezintegrări.

Premiul Nobel pentru fizică din 1903 a fost acordat în comun lui Becquerel pentru descoperirea sa și lui Marie și Pierre Curie pentru cercetările lor ulterioare privind radioactivitatea. Rutherford a primit Premiul Nobel pentru Chimie în 1908 pentru "investigațiile sale privind dezintegrarea elementelor și chimia substanțelor radioactive".

În 1905 Albert Einstein a formulat ideea de echivalență a energiei cu masa. În timp ce lucrările privind radioactivitatea ale lui Becquerel și Marie Curie preced acest lucru, o explicație a sursei energiei radioactivității a trebuit să aștepte descoperirea că nucleul în sine era compus din constituenți mai mici, nucleonii.

## Descoperirea nucleului

În 1906, Ernest Rutherford a publicat "*Întârzierea particulelor  $\alpha$  din rادیu la trecerea prin materie*". Hans Geiger a extins această lucrare într-o comunicare către Societatea Regală cu experimente pe care el și Rutherford le făcuseră, trecând particule alfa prin aer, folie de aluminiu și de aur. Mai multe lucrări au fost publicate în 1909 de Geiger și Ernest Marsden, iar lucrările mult mai extinse au fost publicate în 1910 de către Geiger. În 1911-1912, Rutherford a mers în fața Societății Regale pentru a explica experimentele și a propune noua teorie a nucleului atomic așa cum o înțelegem acum.

Experimentul cheie din spatele acestui anunț a fost efectuat în 1910 la Universitatea din Manchester: echipa lui Ernest Rutherford a realizat un experiment remarcabil în care Geiger și Marsden sub supravegherea lui Rutherford au tras cu particule alfa (nuclei de heliu) într-un film subțire de folie de aur. Modelul de budincă cu stafide a prezis că particulele alfa ar trebui să iasă din folie, traiectoriile lor fiind doar eventual puțin deviate. Dar Rutherford a instruit echipa să caute ceva mai special: astfel, s-a observat că unele particule au fost împrăștiate în unghiuri mari, chiar complet în unele cazuri. Descoperirea, cu analiza lui Rutherford a datelor din 1911, a

condus la modelul lui Rutherford al atomului, în care atomul avea un nucleu foarte mic și dens, care conținea cea mai mare parte a masei sale și constă din particule încărcate pozitiv, greu, cu electroni încorporați pentru a echilibra încărcarea (deoarece neutronul nu era cunoscut). De exemplu, în acest model (care nu este cel modern) azotul-14 consta dintr-un nucleu cu 14 protoni și 7 electroni (21 particule totale), iar nucleul era înconjurat de 7 electroni pe orbite.

În jurul anului 1920, Arthur Eddington a anticipat descoperirea și mecanismul proceselor de fuziune nucleară în stele, în lucrarea sa "*Constituția internă a stelelor*". În acel moment, sursa energiei stelare era un mister complet; Eddington a speculat corect că sursa era fuziunea hidrogenului în heliu, eliberând o enormă energie conform ecuației lui Einstein  $E = mc^2$ . Aceasta a fost o evoluție deosebit de remarcabilă, deoarece la acel moment fuziunea și energia termonucleară și chiar faptul că stelele sunt în mare parte compuse din hidrogen, nu erau încă descoperite.

Modelul Rutherford a funcționat destul de bine până când studiile de spin nuclear au fost realizate de Franco Rasetti la Institutul de Tehnologie din California în 1929. Până în 1925 se știa că protonii și electronii au câte un spin de  $1/2$ . În modelul de azot-14 al lui Rutherford, 20 din cele 21 de particule nucleare ar fi trebuit să se anuleze pentru a-și anula reciproc spinul, iar particula finală impara ar fi trebuit să părăsească nucleul cu un spin net de  $1/2$ . Rasetti a descoperit totuși că azotul-14 are un spin de 1.

### **Descoperirea neutronului**

În 1932, Chadwick a realizat că radiația observată de Walther Bothe, Herbert Becker, Irène și Frédéric Joliot-Curie se datorează de fapt unei particule neutre de aproximativ aceeași masă ca protonul pe care a numit-o neutron (după o sugestie de la Rutherford despre necesitatea unei astfel de particule). În același an, Dmitri Ivanenko a sugerat că nu există electroni în nucleu - doar protoni și neutroni - și că neutronii sunt particule de spin  $1/2$  care explică masa care nu se datorează protonilor. Spinul de neutroni a rezolvat imediat problema spinului de azot-14, deoarece protonul fără pereche și un neutron fără pereche în acest model au contribuit fiecare cu câte un spin de  $1/2$  în aceeași direcție, dând un spin total final de 1.

Odată cu descoperirea neutronului, oamenii de știință puteau să calculeze, în cele din urmă, ce fracțiune are fiecare nucleu din energia de legătură, comparând masa nucleară cu cea a protonilor și a neutronilor care o compun. Diferențele dintre masele nucleare au fost calculate în acest fel. Atunci când au fost măsurate reacțiile nucleare, s-a constatat că acestea sunt în conformitate cu calculul Einstein de echivalență a masei și a energiei în intervalul 1% față de 1934.

### **Câmpul bozonic**

Alexandru Proca a fost primul care a elaborat și a raportat ecuațiile câmpului masiv vectorial bozonic și o teorie a câmpului mezonice al forțelor nucleare. Ecuațiile lui Proca erau cunoscute de Wolfgang Pauli care a menționat ecuațiile în adresarea lui la primirea premiului Nobel, și au fost, de asemenea, cunoscute lui Yukawa, Wentzel, Taketani, Sakata, Kemmer, Heitler și Fröhlich care au apreciat conținutul ecuațiilor lui Proca pentru dezvoltarea unei teorii a nucleului atomic în fizica nucleară.

## Mezoni

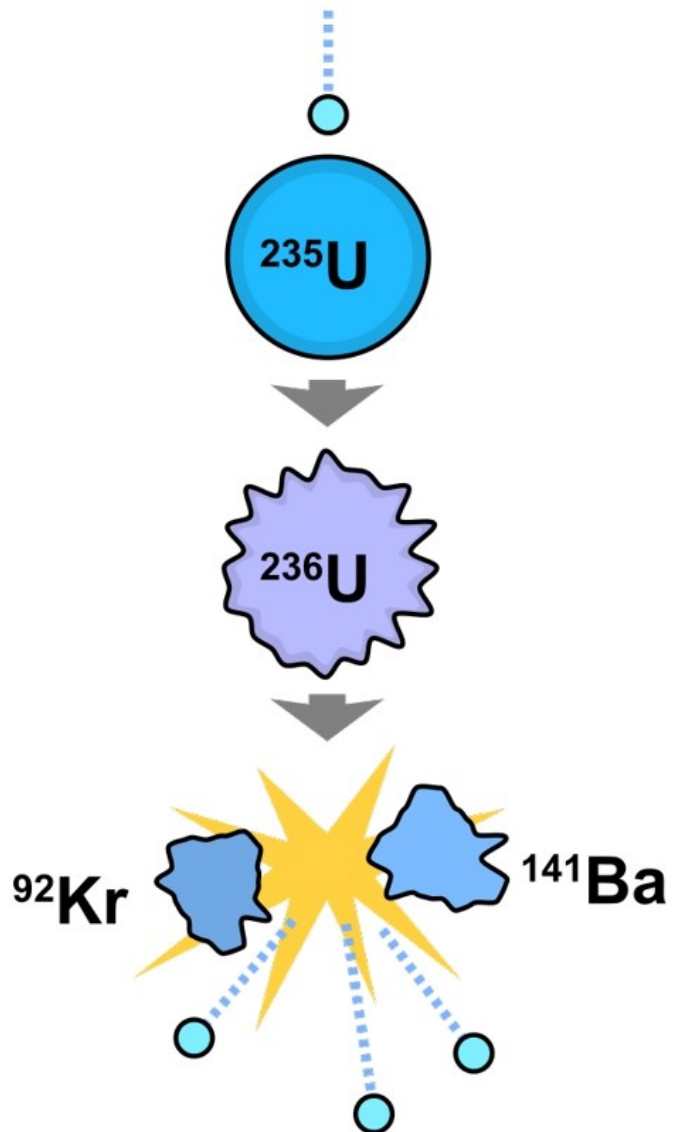
În 1935, Hideki Yukawa a propus prima teorie semnificativă a forței tari pentru a explica modul în care nucleele se află împreună. În interacțiunea Yukawa, o particulă virtuală, denumită mai târziu mezon, mediază o forță între toți nucleonii, inclusiv protonii și neutronii. Această forță a explicat de ce nucleele nu se dezintegrează sub influența repulsiei protonilor și au explicat și de ce forța atractivă puternică are o arie de acțiune mai limitată decât repulsia electromagnetică dintre protoni. Mai târziu, descoperirea mezonului și a arătat că acesta are proprietățile particulei lui Yukawa.

Cu lucrările lui Yukawa, modelul modern al atomului a fost complet. Centrul atomului conține o minge strânsă de neutroni și protoni, care este ținută împreună de forța nucleară puternică, dacă nu este prea mare. Un nucleu instabil poate suferi o descompunere alfa, în care emite un nucleu de heliu energetic sau o dezintegrare beta în care scoate un electron (sau pozitron). După una dintre aceste descompuneri, nucleul rezultat poate să rămână într-o stare excitată și în acest caz se dezintegrează în starea sa de bază prin emiterea de fotoni de energie înaltă (dezintegrare gamma).

Studiul forțelor nucleare puternice și slabe (cel din urmă explicat de Enrico Fermi prin interacțiunea lui Fermi în 1934) a făcut fizicienii să ciocnească nucleele și electronii cu energii tot mai mari. Această cercetare a devenit știința fizicii particulelor, bijuteria coroanei fiind modelul standard al fizicii particulelor care descrie forțele puternice, slabe și electromagnetice.

## Fisiunea nucleară

*(O reacție de fisiune indusă. Un neutron este absorbit de un nucleu de uraniu-235, transformându-l rapid într-un nucleu de uraniu-236 excitat, cu energia de excitație furnizată de energia cinetică a neutronului plus forțele care leagă neutronul. Uraniu-236, la rândul său, se sparge în elemente mai ușoare care se deplasează rapid (produse de fisiune) și eliberează o cantitate mică de neutroni liberi. În același timp, se produc și una sau mai multe "raze gamma prompte" (nerepresentate).)*





În fizica nucleară și în chimia nucleară, fisiunea nucleară este fie o reacție nucleară, fie un proces de dezintegrare radioactivă în care nucleul unui atom se împarte în părți mai mici (nuclee mai ușoare). Procesul de fisiune produce deseori neutroni liberi și fotoni gamma, și eliberează o cantitate foarte mare de energie chiar și prin standardele energetice ale dezintegrării radioactive.

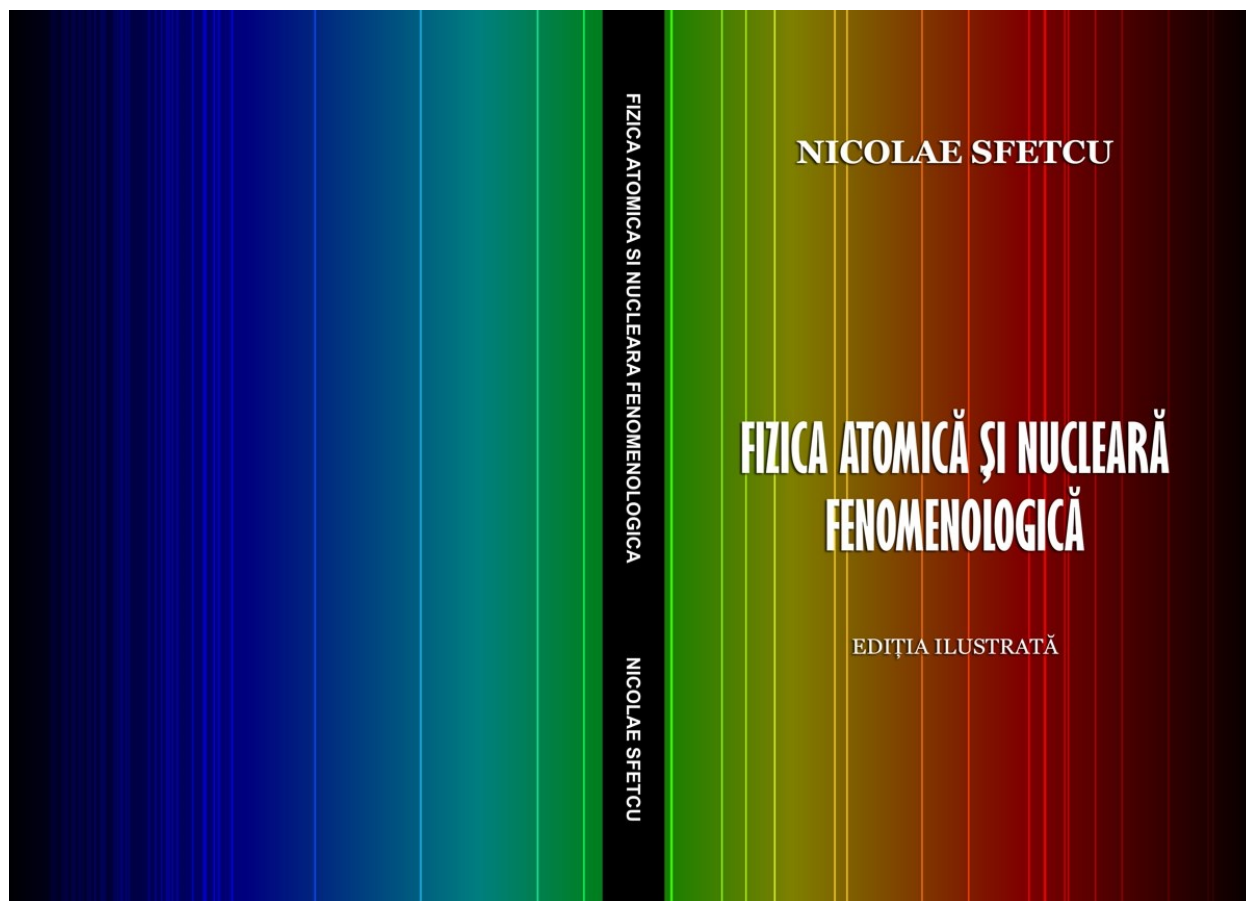
.....

## Cartea

Cartea abordează bazele fenomenologice din fizica atomică, fizica nucleară, radioactivitatea, fizica particulelor, fisiunea, fuziunea și energia nucleară.

Conținutul oferă o perspectivă modernă a domeniului, simultan cu o retrospectivă istorică a dezvoltării sale.

Fiecare capitol pune accent pe explicațiile fizice ale fenomenelor, ocurența naturală, măsurare, și utilizarea practică a fenomenelor respective.



Ediția MultiMedia Publishing <https://www.telework.ro/ro/e-books/fizica-atmica-si-nucleara-fenomenologica/>

# Cuprins

## Fizica atomică

- Natura atomică a materiei
- - Ipoteze atomice
- - Proprietățile atomilor
- - - Proprietăți nucleare
- - - Masa
- - - Forma și dimensiunea
- - - Dezintegrarea radioactivă
- - - Momentul magnetic
- - - Nivelurile energetice
- - - Valența și comportamentul legăturilor
- - - Stări
- - Imagistica atomică
- - Structura atomului
- - - Particule subatomice
- - - Nucleul
- - - Norul de electroni

## Atomul și cuanta

- Descoperirea nucleului atomic
- Descoperirea electronului
- - Descoperirea
- Spectroscopia atomică - Linii spectrale
- - Teorie
- - Atomii
- - Linii spectrale
- - - Tipuri de spectre de linii
- Modelul Bohr al atomului
- - Origine
- - Mărimea relativă a atomilor (Raza atomilor)
- - - Definiții
- - - Raze atomice măsurată empiric
- - - Raze atomice calculate
- - Nivele energetice cuantificate: Undele electronilor (Nivele energetice)
- - - Explicație
- - - Tranziții ale nivelelor de energie
- Mecanica cuantică
- - Istorie
- - Formulări matematice
- Principiul corespondenței
- - Mecanica cuantică

## Nucleul atomic și radioactivitatea

- Razele X
- - Istorie

- - Proprietăți
- - - Interacțiunea cu materia
- - Producere
- - - Detectoare
- - - Utilizări medicale
- - Radiații alfa, beta și gama
- - Radiații ionizante
- - - Radiația alfa
- - - - Utilizări
- - - Radiația beta
- - - - Utilizări
- - - Radiația gama
- - - - Utilizări
- - Nucleul atomic
- - - Structura nucleară
- - - Compoziție și formă
- - - Forțe
- - - - Forța nucleară slabă
- - - - Forța nucleară tare
- - Izotopi
- - - Izotop vs. nuclid
- - - Definiția
- - - Notație
- - - Izotopi radioactivi, primordialii și stabili
- - - Dezintegrarea radioactivă
- - - Baza teoretică a fenomenelor de dezintegrare
- - - Apariție și aplicații
- - - Originea nuclizilor radioactivi
- - - Timpul de înjumătățire
- - - Detectoare de radiații (Detectoare de particule)
- - - Detectoare de ionizare gazoasă
- - - Detector de urme nucleare în stare solidă
- - - Calorimetre
- - - Detectoare plate cu microcanale
- - - Detectarea neutronilor
- - - Detectoare moderne
- - - - Detector ermetic
- - - Instrumente de protecție împotriva radiațiilor
- - - - Instrumente instalate
- - - - Instrumente portabile
- - - Detectoare de particule în cercetare
- - - Transmutarea elementelor (Transmutarea nucleară)
- - - Istorie
- - - - Alchimie
- - - - Fizica modernă
- - - Transmutarea naturală (Transmutarea în univers)

- - Transmutarea artificială (Transmutarea deșeurilor nucleare)
- - - Tipurile de reactoare
- - - Tipuri de combustibil
- - - Motivația din spatele transmutării
- - - Produse de fisiune cu durată lungă de viață
- Izotopi radioactivi (Radionuclizi)
- - Origine
- - - Natural
- - - Fisiunea nucleară
- - - Sintetic
- - Utilizări
- Datarea radiometrică
- - Bazele datării radiometrice
- - - Dezintegrarea radioactivă
- - - Precizia datării radiometrice
- - - Temperatura de închidere
- - - Ecuația vârstei
- - Datarea cu carbon
- - - Detaliile fizice și chimice
- - - Principii
- - - Considerații privind datarea
- - Datarea cu uraniu
- - - Metoda de datare cu uraniu-plumb
- - - Metoda de datare cu uraniu-toriu
- Efectele radiațiilor asupra oamenilor
- - Efectele asupra sănătății
- - Expunerea la radiații
- - - Expunerea profesională
- - - Expunerea publică
- - - Zborul în spațiu
- - - Transportul aerian
- - - Semne de avertizare privind pericolele de radiație
- - Dozarea radiațiilor
- - - Măsurare
- Fizica particulelor
- Istoria
- Modelul Standard
- Fizica particulelor experimentală
- Obiecții
- Politici publice
- Particule elementare
- - Particule elementare
- - - Fermioni
- - - - Cuarci
- - - Cuarci
- - - - Leptoni

- - - Leptoni
- - - Bosoni
- - - Particule ipotetice
- - Particule compuse
- - - Hadroni
- - - Barioni
- - - Mezoni
- - - Nuclee atomice
- - - Atomi
- - - Molecule
- - Substanțe condensate
- - Alte particule
- - Extensii ale Modelului Standard
- - - Marea unificare
- - - Supersimetria
- - - Teoria corzilor
- - - Teoria preonilor
- Protoni
- Neutroni
- - Istoric
- - - Evoluția actuală
- Electron
- - Clasificare
- - Proprietăți fundamentale
- Cuarci
- Fotoni
- Gluoni
- Bosoni W și Z
- - Bosonul Higgs
- Neutrino
- - Neutrino, noul sistem de comunicații
- - Telefonul – particulă
- - Comunicații cu submarinele
- - Mesaje pentru călătoria în timp
- Fizica acceleratoarelor
- - Accelerarea și interacțiunea particulelor cu structuri RF
- - Dinamica fluxului
- - Coduri de modelare
- - Diagnosticările fluxului
- - Toleranțele mașinii
- Fiziunea și fuziunea nucleară
- Istorie
- - Descoperirea nucleului
- - Descoperirea neutronului
- - Câmpul bozonic
- - Mezoni

- Fisiunea nucleară
- - Mecanismul
- - Reactoare de fisiune nucleară
- - - Mecanism
- - - - Fisiunea
- - - - Generarea de căldură
- - - - Răcirea
- - - - Controlul reactivității
- - - - Generarea de energie electrică
- - Reactoare nucleare cu apă grea presurizată - CANDU
- - - Scopul utilizării apei grele
- - - Avantaje și dezavantaje
- - - Emisiile de tritium
- - - Reactorul CANDU
- - - Centrala Nucleară de la Cernavodă
- - - - Reactoarele
- - - - Incidente
- - Plutoniul
- - - Proprietăți fizice
- - Reactoare nucleare reproducătoare
- - - Eficiența combustibilului și tipurile de deșeurile nucleare
- - - Raportul de conversie, raportul de rentabilitate, raportul de reproducere, timpul de dublare și arderea
- - - Tipuri de reactoare reproducătoare
- - Energia de fisiune
- - - Centrale nucleare
- - - Probleme de mediu
- - - Energia nucleară în România
- - Echivalența masă-energie în reacțiile nucleare
- - - Istorie
- - - Exemplu practic
- - - Eficiența
- Fuziunea nucleară
- - Procesul
- - Controlul fuziunii (Energia de fuziune)
- - - Descriere
- - - - Mecanism
- - - - Secțiunea transversală
- - - - Criteriul Lawson
- - - - Produs triplu: densitate, temperatură, timp
- - - - Comportamentul plasmei
- - - - Captarea energiei
- Probleme nerezolvate
- Fizica nucleară
- Fizica particulelor / Fizica energiilor înalte
- Referințe

Despre autor

- Nicolae Sfetcu

- - De același autor

- - Contact

Editura

- MultiMedia Publishing

## Despre autor

### Nicolae Sfetcu

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel național și european

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți al Asociației Române pentru Industrie Electronica și Software Oltenia

Inițiator, cofondator și președinte al Asociației Române pentru Teleducă și Teleactivități

Membru al Internet Society

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți a Asociației Generale a Inginerilor din România

Inginer fizician - Licențiat în fizică, specialitatea Fizică nucleară. Master în Filosofie.

### Contact

Email: [nicolae@sfetcu.com](mailto:nicolae@sfetcu.com)

Facebook/Messenger: <https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu>

Twitter: <http://twitter.com/nicolae>

LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu>

YouTube: <https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu>

# Editura

## MultiMedia Publishing

*web design, comerț electronic, alte aplicații web \* internet marketing, seo, publicitate online, branding \* localizare software, traduceri engleză și franceză \* articole, tehnoredactare computerizată, secretariat \* prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video \* conversie, editare și publicare cărți tipărite și electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: [office@multimedia.com.ro](mailto:office@multimedia.com.ro)

MultiMedia: <http://www.multimedia.com.ro/>

Online Media: <https://www.telework.ro/>

Facebook: <https://www.facebook.com/multimedia.srl/>

Twitter: <http://twitter.com/multimedia>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/>

Google Plus: <https://plus.google.com/+MultimediaRo>