Memoriu de activitate

a) Descrierea narativă a celor mai importante trei realizări în tematica postului

Am absolvit Facultatea de Fizică a Universității din București în 2019 la programul Fizică în limba Engleză. Apoi am continuat studiile la aceeași facultate la programul de master Fizică Teoretică și Computațională, pe care l-am absolvit în 2021. Ambele cicluri de studiu au fost absolvite în calitate de șef de promoție. Activitatea mea de cercetare se situează în domeniul fizicii nucleare teoretice, cu accent pe studiul proceselor de captură electronică și pe dezvoltarea unor modele teoretice capabile să descrie cu precizie interacția dintre structura nucleară și structura atomică. Am avut ca obiectiv principal îmbunătățirea descrierii teoretice a procesului de captură electronică prin integrarea unor metode moderne de structură atomică și prin analiza sistematică a corecțiilor atomice relevante.

1. Dezvoltarea unui cadru teoretic auto-consistent pentru studiul capturii electronice

Prima realizare majoră constă în dezvoltarea unui cadru teoretic complet pentru calculul probabilităților de captură electronică și al distribuțiilor de energie asociate acestui proces. Modelul dezvoltat combină teoria dezintegrărilor beta nucleare cu metode moderne de structură atomică, permițând calculul probabilităților de captură din diferite subshell-uri electronice.

Un element central al acestui cadru este utilizarea metodei relativiste **Dirac–Hartree–Fock–Slater (DHFS)** pentru calculul funcțiilor de undă ale electronilor legați. Această abordare permite descrierea precisă a funcțiilor de undă, care este esențială pentru evaluarea amplitudinilor Coulomb. Metoda DHFS este implementată într-un regim auto-consistent și validată prin comparații sistematice cu alte metode utilizate în domeniu, precum aproximarea relativistă de densitate locală (RLDA) și metoda Krieger–Li–Iafrate (KLI).

Rezultatele obținute au demonstrat că modelul DHFS oferă o descriere mai fidelă a energiilor de legătură electronice, conducând la predicții mai precise ale probabilităților de captură. Astfel, cadrul teoretic dezvoltat constituie o bază solidă pentru calculul proprietăților observabile asociate proceselor de captură electronică într-o gamă largă de nuclee.

2. Introducerea unui tratament îmbunătățit incluzând corecții atomice în procesele de captură electronică

A doua realizare importantă constă în implementarea și analiza sistematică a corecțiilor atomice relevante pentru procesele de captură electronică. Modelele tradiționale tratează adesea electronul capturat ca o particulă independentă, însă experimentele moderne de mare precizie necesită o descriere mai detaliată a sistemului atomic.

În programele de calcul au fost incluse explicit corecții de **overlap și exchange** între funcțiile de undă electronice ale atomului inițial și ale celui final, precum și procesele de **shake-up și shake-off**. Aceste procese apar ca urmare a modificării bruște a sarcinii nucleare în timpul capturii electronice, a indiscernabilității electronilor, sau descriu excitația sau ionizarea electronilor „spectatori” din atom și pot modifica semnificativ probabilitățile de captură din diferite subshell-uri.

Prin includerea acestor efecte într-un cadru de calcul unificat, s-a obținut o descriere mai realistă a raporturilor de captură între diferite shell-uri atomice și a distribuțiilor de energie rezultate. Analiza efectuată a evidențiat rolul major al contribuțiilor de structură atomică în determinarea observabilelor experimentale.

3. Aplicarea modelului teoretic la nuclee de interes pentru fizica neutrinilor și medicina nucleară

A treia realizare majoră constă în aplicarea cadrului teoretic dezvoltat la mai multe nuclee de interes pentru experimente moderne din fizica fundamentală și aplicații interdisciplinare.

Au fost realizate calcule detaliate pentru izotopi utilizați în **medicina nucleară**, precum ^{67}Ga, ^{111}In și ^{123}I, ^{125}I, unde predicțiile teoretice privind probabilitățile de captură sunt relevante pentru estimarea dozelor de radiație și pentru optimizarea tehnicilor de terapie. Rezultatele obținute prezintă o concordanță îmbunătățită cu datele experimentale disponibile.

De asemenea, modelul a fost aplicat studiului distribuțiilor de energie rezultate în dezintegrarea prin captură electronică a unor nuclee candidate pentru determinarea masei neutrino-ului, precum ^{95}Tc, ^{97}Tc și ^{113}Sn. Aceste rezultate au fost comparate cu cazul bine cunoscut al izotopului ^{163}Ho, utilizat în experimente actuale de determinare a masei neutrino-ului. Analiza realizată evidențiază rolul important al shell-urilor sub-pragul energetic și al efectelor atomice în descrierea spectrului energetic măsurat experimental.

Prin aceste aplicații, cadrul teoretic dezvoltat în teză demonstrează relevanță atât pentru studiul fundamental al interacției slabe în nucleu, cât și pentru aplicații în fizica neutrinilor, experimente de detectare rară și domeniul medicinei nucleare.

b) Propunerea de dezvoltare a carierei științifice

Planul meu de dezvoltare a carierei științifice are ca obiectiv consolidarea și extinderea cercetărilor în domeniul fizicii nucleare teoretice, în special în studiul proceselor de captură electronică și al interacțiilor slabe în nucleu. Direcțiile principale de cercetare vor viza îmbunătățirea descrierii teoretice a proceselor de captură electronică prin integrarea unor metode avansate de structură atomică și prin dezvoltarea unor modele mai precise pentru descrierea efectelor atomice care influențează aceste procese.

O primă direcție de cercetare constă în îmbunătățirea tratamentului corecției de **shake-up**, care descrie excitația electronilor atomici ca urmare a modificării bruște a potențialului nuclear în timpul procesului de captură electronică. În cadrul cercetărilor viitoare îmi propun dezvoltarea unui formalism mai riguros pentru acest efect, bazat pe calculul explicit al stărilor finale atomice cu electroni excitați. În această abordare, configurațiile atomice finale vor fi determinate prin metode moderne de structură atomică, iar contribuția acestor stări va fi inclusă în mod explicit în calculul probabilităților de captură. De asemenea, balanța energetică a procesului va fi tratată într-un mod mai riguros prin luarea în considerare a energiei totale de legătură atomice corespunzătoare acestor configurații excitate. Această abordare permite o descriere mai realistă a spectrelor energetice asociate capturii electronice și poate conduce la îmbunătățirea predicțiilor teoretice pentru experimente de mare precizie.

O a doua direcție importantă de dezvoltare o constituie implementarea metodei **Multiconfiguration Dirac–Hartree–Fock (MCDHF)** pentru calculul funcțiilor de undă electronice și al energiilor de legătură atomice. În comparație cu metodele utilizate în prezent, această abordare permite includerea explicită a corelațiilor electronice, oferind o descriere mai precisă a structurii electronice a atomilor. Integrarea metodei MCDHF în modelul teoretic al capturii electronice ar permite calculul mai exact al funcțiilor de undă, precum și o determinare mai riguroasă a energiilor de legătură pentru diferitele subshell-uri atomice. Aceste îmbunătățiri sunt esențiale pentru obținerea unor predicții teoretice de înaltă precizie.

O direcție suplimentară de cercetare vizează extinderea cadrului teoretic pentru descrierea **capturii electronice din atomi parinte aflați inițial în stări ionizate**. În anumite contexte experimentale sau astrofizice, nucleele pot exista în medii în care configurația electronică este parțial sau puternic ionizată, ceea ce poate modifica semnificativ probabilitățile de captură și distribuțiile de energie ale particulelor emise. În acest sens, îmi propun dezvoltarea unui model teoretic care să permită calculul ratelor de captură electronică pentru diferite grade de ionizare ale atomului inițial, prin determinarea funcțiilor de undă electronice și a energiilor de legătură corespunzătoare acestor configurații. O astfel de abordare ar permite studierea sistematică a dependenței procesului de captură electronică de configurația electronică inițială și ar putea oferi predicții relevante pentru experimente efectuate în capcane ionice.

De asemenea, intenționez să dezvolt instrumente computaționale dedicate calculului proprietăților proceselor de captură electronică și ale spectrelor energetice asociate, care să poată fi utilizate atât în cercetarea fundamentală, cât și în aplicații interdisciplinare, precum medicina nucleară sau și pentru alte nuclee de interes din domeniile deja abordate.

Pe termen lung, obiectivul meu este consolidarea unei direcții de cercetare în domeniul interacțiilor slabe în nucleu și al proceselor rare, prin dezvoltarea unor modele teoretice avansate și prin integrarea acestora în colaborări internaționale cu grupuri experimentale implicate în experimente moderne de fizică nucleară și fizică a particulelor. În paralel cu activitatea de cercetare, îmi propun să contribui la formarea noilor generații de fizicieni prin implicarea în activități didactice și prin coordonarea proiectelor de cercetare ale studenților.

c) Rezultatele deosebite

1. **Școala de vară de Știință și Tehnologie de la Măgurele**; Co-organizator al programului recreativ: 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025
2. **Noaptea Cercetătorilor**; Expozant - 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026
3. **Prezentare orală la conferințe internaționale**: Carpathian Summer School of Physics (2020, 2023, 2025); MEDEX (Matrix Elements for the Double beta decay EXperiments) conference (2022, 2023, 2025); Physics Beyond the Standard Model in Leptonic & hadronic Processes and Relevant Computing Tools (2024)