

Raport sintetic 2011-2014

Unul dintre obiectivele principale ale proiectului isi propune studiul unor stari izomere in nucleele de $^{72,75}\text{Cu}$. Printre obiectivele propuse in acest sens se afla determinarea coeficientilor de conversie ale starilor excitate din aceste nuclee. Tehnica experimentală ce a fost utilizată este de separare a fragmentelor prin metoda timp de zbor și implantarea nucleelor de interes în folie subtire (fapt ce presupune încetinirea fragmentelor prin utilizarea unor grosimi suplimentare de material). Încetinirea fasciculului are drept consecință creșterea stragglingului energetic și unghiular, acesta din urmă concretizându-se în dimensiuni considerabile (de ordinul centimetrilor) ale distribuțiilor nucleelor de interes în plan vertical. În acest context, o parte din activitățile de pregătire a experimentului sunt reprezentate de calcule privind grosimile detectorilor și materialelor suplimentare necesare în identificarea, încetinirea și implantarea fragmentelor, iar pe de altă parte de optimizarea geometriei de detecție și simulări privind eficacitățile de detecție pentru o geometrie dată. În vederea stabilirii grosimilor detectorilor și ale materialelor utilizate s-a folosit codul LISE++ ce permite printre altele modelarea pe calculator a unor posibile aranjamente experimentale, având în bază sa de date numeroase configurații de linii de fascicul de la diverse laboratoare precum GANIL, Dubna, GSI, NSCL, Riken. În plus, codul este un adevărat “handbook” electronic oferind posibilitatea efectuării de numeroase calcule de fizică nucleară. Printre configurațiile disponibile în cadrul codului se afla și spectrometrul LISE2000 de la GANIL ce va fi utilizat în acest experiment. Cu ajutorul acestei configurații au fost efectuate o serie de calcule care au vizat optimizarea parametrilor spectrometrului pentru o cât mai bună transmisie a fragmentelor de interes, estimarea ratelor de producere a acestora și nu în ultimul rând determinarea grosimilor detectorilor și materialelor utilizate. Un prim detector (E1D6) are principalul rol în identificarea fragmentelor pe baza unei matrici de tip pierdere de energie versus timp de zbor (între accelerare și detectorul respectiv). Acesta este un detector de siliciu, având dimensiunile 50mm X 50mm X 150mm. Al doilea detector, având aceleași dimensiuni ca cel de mai sus, furnizează informații privind pierderea de energie, oferind în același timp poziția fragmentelor în plan vertical, suprafața sa activă fiind de 63mm X 63mm. O astfel de informație este deosebit de utilă în reconstruirea distribuției de implantare a fragmentelor în folia de kapton. Folia de aluminiu cu o grosime de 115μm situată între acești doi detectori are rolul de a diminua energia fasciculului, fiind deci utilizată pentru controlul implantării fragmentelor de interes în folie. Aceasta folie poate fi rotită în jurul axei orizontale în vederea varierii grosimii efective, permițând un control fin al adâncimii de implantare. Pentru folia de implantare s-a ales Kaptonul, cu o grosime de 75μm. Ultimul detector de direcția de propagare a fasciculului este un “veto” de siliciu de 500μm grosime, ce este utilizat pentru a rejecta evenimentele asociate fragmentelor care nu s-au implantat în folia de Kapton. Deasupra foliei de kapton se afla un detector de Ge de tip LEPS folosit pentru detecția razelor gamma de joasă energie. În partea de jos este prezent un detector de Si(Li) pentru detecția electronilor de conversie ce apar în dezexcitarea starilor studiate. Alegerea atât a unghiului de înclinare al foliei cât și a pozițiilor detectorilor de electroni și de gamma a fost făcută în urma unor calcule și simulări privind eficacitatea geometrică și cea totală de detecție. Primele calcule realizate au vizat doar eficacitatea geometrică, au fost efectuate cu un program ce utilizează librării ale codului ROOT și au fost folosite pentru optimizarea pozițiilor detectorilor de electroni și raze gamma. Principala problemă a fost reprezentată de calcularea eficacităților de detecție, având în vedere faptul că distribuția de implantare a nucleelor de interes va acoperi câteva centimetri

patrati in planul foliei de kapton. Dimensiunile acestei distributii vor fi comparabile cu dimensiunile si distantele pana la detectorii de electroni si cei de gamma, ceea ce necesita simulari cu programe Monte Carlo pentru determinarea eficientei. Pentru efectuarea acestor simulari a fost utilizat codul Geant4 dezvoltat la CERN, bazat pe tehnicile de programare obiecte in limbajul C++, compatibil din toate punctele de vedere cu programul ROOT dezvoltat tot la CERN folosit pentru analiza datelor ce vor fi achizitionate in experiment. In cadrul simularii a fost definta integral geometria de detectie.

O etapa esentiala a pregatirii experimentului ce face subiectul acestui raport consta in optimizarea ratelor de productie a nucleelor de interes. Pentru a asigura succesul acestui experiment o prima conditie necesara a fost utilizarea intensității maxime a fascicolului primar de ^{86}Kr . In ultimii ani, împreuna cu lansarea de noi proiecte si cu dezvoltarea celor existente, la GANIL au aparut noi reguli de securitate. Din aceasta cauza la inceputul acestui an am efectuat un test ce a avut ca scop studiul difuziei căldurii la nivelul tubului de fascicul din primul dipol (D31).

In urma interactiei fascicolului primar cu ținta de Be o parte din nucleele de ^{86}Kr captează unul sau mai mulți electroni. Acest proces are o rata de productie ce nu este neglijabila astfel incat fascicolul emergent de tip +1 se vor opri in tubul de fascicul ducand la incalzirea lui, limita acceptata fiind fixata la +2 grade. In urma testelor efectuate s-a observat o incalzire de maxim 0.8 grade ceea ce a validat alegerea rigidității magnetice a dipolului D31 pentru producerea optima a nucleului de ^{75}Cu .

Modificarea camerei de implantare pentru experimentul de spectroscopie combinata gamma si electroni.

Odata cu definitivarea simulărilor de tip Monte Carlo efectuate pentru optimizarea geometriei detectorilor de Germaniu si a detectorului de SiLi, o etapa importanta in desfasurarea proiectului a constat in modificarea camerei de implantare. Pentru acest lucru elementele lipsa au fost desenate folosind programe de tip CAD

Astfel a fost proiectate subansamblele ce permit conectarea detectorului de electroni cu camera si capacele ce vor fi folosit in fata detectorilor de particule gamma, o atenție deosebita fiind acordata optimizarii grosimii peretilor de aluminiu pentru a obtine o eficienta sportita pentru razele gamma de energie mica.

Subansamblele au fost de catre institutul nostru folosind o masina de tip CNC (Computer Numerical Control) . Piesele rezultate au fost testate pentru a putea fi folosite in regim de vid (10^{-6} mBar).

Toate pregătirile de mai sus au permis programarea si efectuarea experimentului propriu-zis de spectroscopie combinata gamma si electroni pentru stari izomere in nuclee exotice din zona $Z=28$.

Efectuarea experimentului de spectroscopie electoni de conversie

Nucleele de interes au fost produse prin fragmentarea fascicolului de ^{86}Kr la o energie de 60.4 MeV/A. Fragmentele de interes au fost separate folosind spectrometrul LISE2k si identificate folosind informatia pierdere de energie si timp de zbor.

Datorita energiei relativ scăzute a fasciculului primar, producerea de stări de sarcina ale nucleelor nu a fost neglijabila ceea ce a dus la suprapunerea a doua nuclee in matricea de identificare (de exemplu nucleul ^{72}Cu (+1) se suprapune cu nucleul de ^{75}Cu complet stripat). Nucleele astfel produse au fost implantate in folia de Kapton cu o grosime de 75um inclinat la 80 de grade. Pentru detectia gamma au fost folosiți trei detectori de Ge din care unul de tip LEPS. Pentru detectia de electroni a fost folosit un detector de SiLi racit la temperatura azotului lichid (Fig.1)

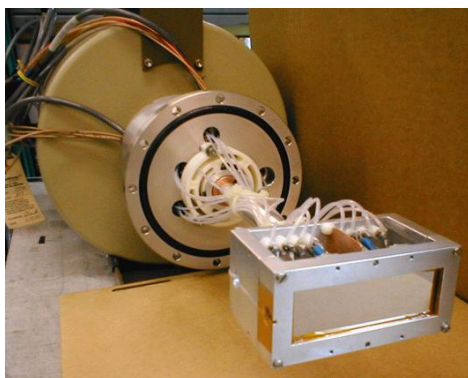


Fig. 1. Detectorul de electron de tip SiLi racit cu N_2 lichid.

In Fig2 este prezentat spectrul gamma conditionat cu implantarea in folia de Kapton a nucleelor de ^{75}Cu . In comparatie cu [1], spectrul obtinut prezinta o statistica imbunatatita, fapt ce a putut pune in evidenta faptul ca cele doua raze gamma din nucleul de ^{75}Cu nu sunt in coincidenta.

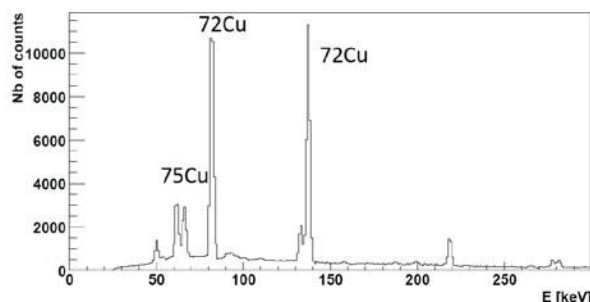


Fig.2. Spectrul gamma obtinut dupa implantarea nucleelor de ^{72}Cu si ^{75}Cu

Una dintre caracteristicile principale ale nucleului de ^{75}Cu este faptul ca prezinta o inversie a orbitalilor $p_{3/2}$ cu $f_{5/2}$. Scopul acestui experiment a fost de a determina succesiune, spinul si paritatea primelor trei nivele din acest nucleu. Pentru acest lucru au fost masurate cu precizie timpii de viata ai primelor doua stari excitate. In Figura 3. Sunt prezentati timpii de viata ale tranzitiilor gamma de 66,2 keV si 61,7 keV

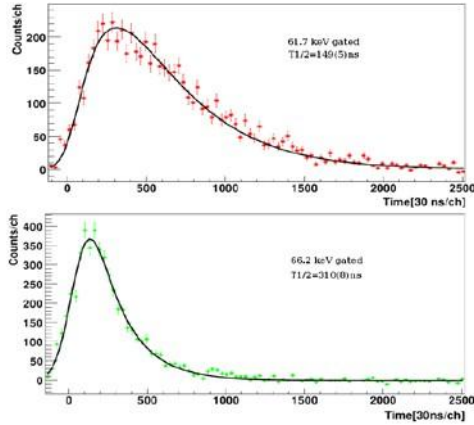


Figura 3. Spectrul de timp pentru cele doua tranzitii observate in nucleul de ^{75}Cu , 66.2 keV si 61.7 keV.

In Fig4 este prezentat spectrul obtinut cu ajutorul detectorului de SiLi. Statistica obtinuta este net inferioara celei asteptate. Acest lucru se poate explica printr-un zgomot de fond asociat cu fascicolul secundar ce nu a putut fi eliminat si care a dus la timp mort foarte mare.

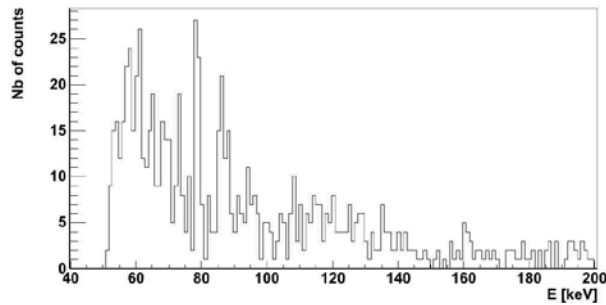


Fig.4. Spectrul de electroni obtinut dupa implantarea nucleelor de ^{72}Cu si ^{75}Cu

Pe baza acestor rezultate doua scenarii sunt posibile pentru determinarea spinilor si paritatilor in aceste nuclee. Ele sunt reprezentate in figura 5.

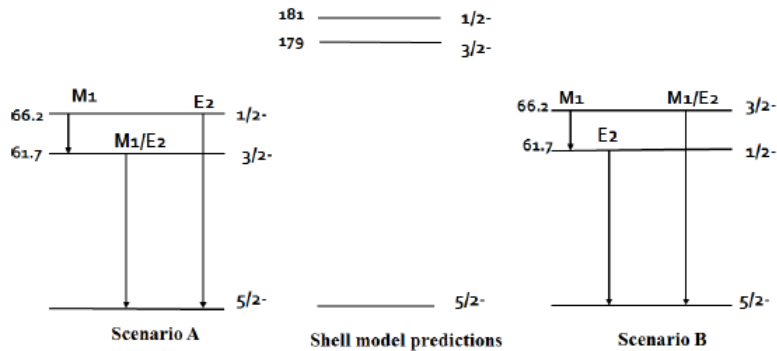


Figura 5. Schema experimentală a nucleului de ^{75}Cu pentru cele doua scenarii. In mijloc este prezentata o schema obtinuta pe baza modelului in paturi.

Studiul izotopilor de Cupru folosind reacția de transfer.

Un alt obiectiv important al proiectului este legat de studiul izotopilor de Cupru obținuți prin reacții de transfer. Avantajul major al folosirii acestor reacții constă în măsurarea directă a multipolarității stărilor populate în reacție prin măsurarea distribuției unghiulare a particulelor emergente. Structura nucleară a nucleului de ^{69}Cu a fost investigată folosind reacția de transfer ($d, ^3\text{He}$). Experimentul a avut loc la acceleratorul tandem de la Orsay ce a furnizat un fascicul de deuteroni la o energie de 27 MeV ce a fost trimis pe o țintă de ^{70}Zn . Nucleele de ^3He ce provin din această reacție au fost detectate folosind spectrometrul „Split-Pole” reglat la diferite unghiuri pentru a putea obține distribuția unghiulară a acestor nuclee. Măsurătorile au fost efectuate la următoarele unghiuri în sistemul de referință al laboratorului: 4,6,9,12,15,18,21 și 24 grade pentru reacția de transfer și au inclus și unghiurile de 30 și 40 de grade pentru împrăștierea elastică. Rezoluția energetică obținută folosind ansamblul experimental mai sus amintit a fost de aproximativ 18 keV (σ). Datorită oxidării rapide a țintei de Zn s-a putut observa o contaminare cu nuclee de Oxygen. De asemenea a mai fost observată și o contaminare cu nuclee de Siliciu.

O figura schematică reprezentând curbele cinematice pentru ^{70}Zn și pentru diferiți contaminanți din această țintă sunt reprezentate în figura 6.

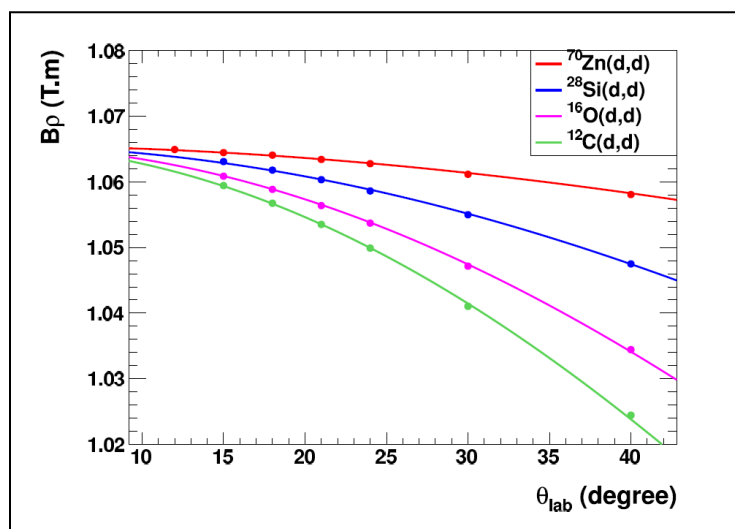


Fig.: Curbele cinematice pentru ^{70}Zn și pentru diferiți contaminanți ai țintei. Punctele reprezintă datele experimentale iar liniile reprezintă rezultatele calculelor teoretice.

Poziția particulelor detectate în planul focal al spectrometrului este proporțională cu rigiditatea $B\rho$. Măsurând această valoare și cunoscând unghiul de detecție în sistemul de referință al laboratorului putem deduce spectrul energiilor de excitație ale nucleului de ^{69}Cu . Analiza datelor experimentale este în curs urmând ca la finalizarea lor să se extragă factorii spectroscopici pentru diferitele nivele populate în această reacție.

Diseminarea rezultatelor

In aceasta perioada rezultatele au fost prezentate la urmatoarele conferinte:

A) Sesiunea Anuala de Comunicari Stiintifice a Facultatii de Fizica, „Gamma spectroscopy of isomers in neutron-rich nuclei: ^{75}Cu and ^{78}Ga .”

B) Carpathian Summer School of Physics: Exotic Nuclei and Nuclear/Particle Astrophysics(IV) From Nuclei to Stars, „Study of isomeric states using gamma spectroscopy around N=40”

C) „Dynamics of open nuclear systems”- Summer school, „Low energy isomeric levels of nuclei near N=40”

D) Zakopane Conference on Nuclear Physics, “Gamma spectroscopy of isomeric states in neutron-rich nuclei: ^{75}Cu and ^{78}Ga ”

Deasemenea datele experimentale au fost folosite la teza de doctorat a Cristinei Petrone.

Referinte

- 1) *J.M.Daugas et al. PHYSICAL REVIEW C Volume: 81 Issue: 3 Article Number: 034304*
DOI:
10.1103/PhysRevC.81.034304 Published: MAR 2010