Raport stiintific sintetic 2011-2016

Prezentul raport are *doua parti*: principalele activitati in anul 2016 si concluzii generale referitoare la realizarile proiectului, ca si cateva observatii rezultate din derularea activitatilor la acest proiect.

Principalele activitati in anul 2016

In anul 2016 ne-am concentrat asupra finalizarii prelucrarilor de date, obtinerea unor date suplimentare pentru unele clarificari (ex. sectiunea canalului cu captura de deuteriu) si interpretarea rezultatelor obtinute.

Metoda transmisiei

Rezultatele experientelor din anul precedent au indicat unele dificultati in privinta monitorarii. Este vorba de cupa Faraday (FC) intrebuintata care trebuie sa nu dea un fond gama inregistrabil de catre detectorul NaI de volum mare. Primele doua experiente (^{6}Li+^{27}Al si ^{4}He+^{27}Al) nu au ridicat probleme intrucat cupa a fost captusita cu tantal, element cu Z ridicat pentru care energiile din experienta (max. 10 MeV pentru Li si 9 MeV pentru alpha) se aflau mult sub bariera coulombiana si deci toate canalele de reactie erau inchise, nedand nastere la fond gama. Nu acelasi lucru a avut loc pentru reactia ^{6}Li+^{194}Pt unde energiile au fost peste bariera coulombiana. Studiul acestei ultime reactii a fost, asa cum s-a mentionat in precedentul raport intrerupt de o defectiune la Tandem insa timpul de fascicol utilizat a fost suficient pentru a trage anumite concluzii. Nivelul fondul a fost unul ridicat din doua motive: pe de o parte energia fascicolului deasupra barierei coulombiene pentru teactii pe Ta si pe de alta parte straggling-ul unghiular. Pentru a impiedica razele gama produse de cusca Faraday sa ajunga la detectorul de NaI, cupa a fost plasata in aval de detector la cca 1.5m. Tinta de platina a avut o grosime destul de mare (3 microni) astfel incat straggling-ul unghiular a determinat o divergenta a fascicolului, facand posibile interactii ale acestuia cu extensia tubulara in care a fost plasata cupa. Concluziile acestei experiente au dus la o serie de imbunatatiri constructive: o cupa Faraday cu o deschidere mai mare, dar si cu o adancime mai mare si ranforsarea ecranarii detectorului de NaI fata de posibilele gamele emise de la nivelul cupei Faraday. In plus, un detector de siliciu cu piste circulare si cu o gaura in centru a fost prevazut a fi plasat inainte de cupa, permitand astfel o monitorare suplimentara a fascicolului incident prin inregistrarea imprastierii elastice la unghiuri mici. Pentru experientele ulterioare, tintele vor trebui sa aiba grosimi mai mici astfel incat straggling-ul sa fie diminuat. Luam in consideratie si plasarea in aval de detectorul circular de Si a unei folii subtiri de Au si inversarea detectorului astfel incat monitorarea sa se faca

prin inprastiere Rutherford la unghiuri inapoi. Aceasta solutie protejaza detectorul de fascicolul incident intens si da poasibilitatea de a lucra du curenti pe tinta mai mari, compensand astfel grosimea mai mica a tintelor utilizate.
Sectiunile masurate in reactia ^{6}Li+^{27}Al au fost comparate cu calcule de model intrebuintand codul CCFULL (fara cuplaj, simpla bariera de potential) dezvoltat de Zagrebaev- Figura 1 (http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/fusion). De la cod nu ne-au interesat rezultatele diverselor canale de fuziune-evaporare ci doar suma tuturor contributiilor acestora. Previziunile codului pentru energii in jurul barierei au fost net sub valorile masurate. Faptul e complet explicabil prin aceea ca CCFULL nu include canalele de breakup ale proiectilului care in cazul ^{6}Li care e slab legat dau o contributie importanta, asa cum s-a putut constata din studiul reactiei ^{6}Li+^{194}Pt prin activare.

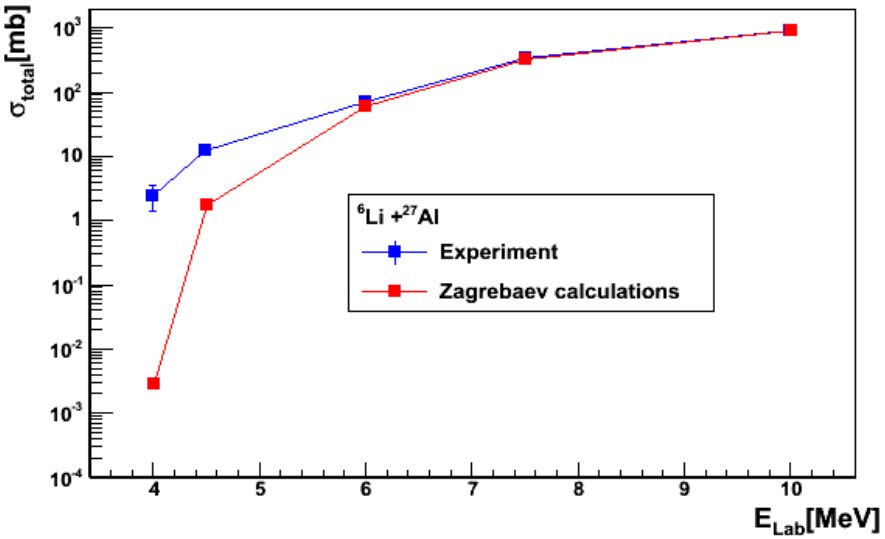

Figura 1: Comparatia dintre sectiune totale de reactie cu predictiile teoretice oferite de CCFULL.

Metoda activarii

Utilizarea unui sistem digital de achizitie in care fiecare eveniment (puls in detectorii de Ge) a fost inregistrat cu energia sa si timpul la care a sosit, a permis a se observa coincidente dar si evolutia in timp a popularii unor picuri de interes, in acest fel fiind confirmati timpii de viata ai nucleelor ce se dezintegreaza dupa activare. S-au putut deasemenea inregistra coincidente cu razele X caracteristice ale nucleului ce se dezintegreaza. Aceste coincidente au dat in unele cazuri posibilitatea obtinerii unor spectre cu fond redus si deci extragerea informatiei spectroscopice, in ciuda diminuarii generale a statisticii. S-au urmarit atat canalele de fuziune-evaporare (izotopi ai Tl) din reactia ^{6}Li+^{194}Pt cat si canale de fuziune-evaporare din reactii in care numai o parte din proiectilul ^{6}Li a fuzionat cu tinta de ^{194}Pt, in mod special canalele de breakup-fusion: d+^{194}Pt si ^{4}He+^{194}Pt. In cazul capturii particulei alpha, nucleele populate sunt izotopi ai mercurului. Canalul cu evaporate de doi neutroni care e cel dominant la energiile masurate duce la un izotop stabil: ^{196}Hg, fiind deci inaccesibil masuratorilor prin activare. Din pacate si canalele 1n si 3n sunt poluate de dezintegrarea beta a nucleelor de Tl activate prin fuziune completa cu evaporare de neutroni si de prezenta unui izomer, asa ca aceste sectiuni de breakup nu au putut fi determinate. In schimb,

fuziunea ^{194}Pt cu deuteriu a putut fi masurata prin activare desi izotopul ^{195}Au rezultat din canalul 1n si care da contributia cea mai importanta are un timp de viata foarte lung: 187 zile. S-a asteptat ca prin dezintegrarile de viata scurta activitatea tintelor sa diminueze substantial si in 2016 s-au efectuat masuratorile cu ajutorul spectrometrului gama cu fond redus al IFIN-HH instalat in Salina Unirea (jud. Prahova), al carui responsabil este Dr. R. Margineanu. Rezultatele au fost cu adevarat spectaculoase, picurile de interes au aparut dupa doar cateva minute de startul masuratori, dupa cum se poate observa si in Figura 2.

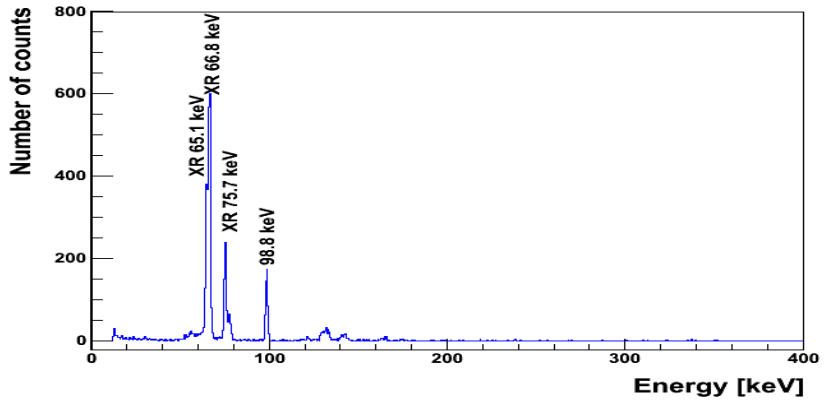

Figura 2: Spectrul de energie al dezintegrarii β al nucleului ^{195}Au obtinut la Laboratorul IFIN-HH din Salina Unirea (jud. Prahova)

Dupa prelucrarea tuturor datelor, rezultatele au fost comparate cu calcule de model si cu alte masuratori similare, in particular cu masuratori de activare pentru reactia ^{6}Li+^{198}Pt tot in jurul barierei efectuate de un grup indian. Datele obtinute au constat in: sectiuni de fuziune completa pentru canalele 1,2 si 3n (Figura 3), sectiuni de fuziune incompleta cu deuteriu, canalele cu evaporate de 1,2 si 3n. Calculele au fost facute cu codul de canale cuplate CCFULL cu diferite cuplaje.

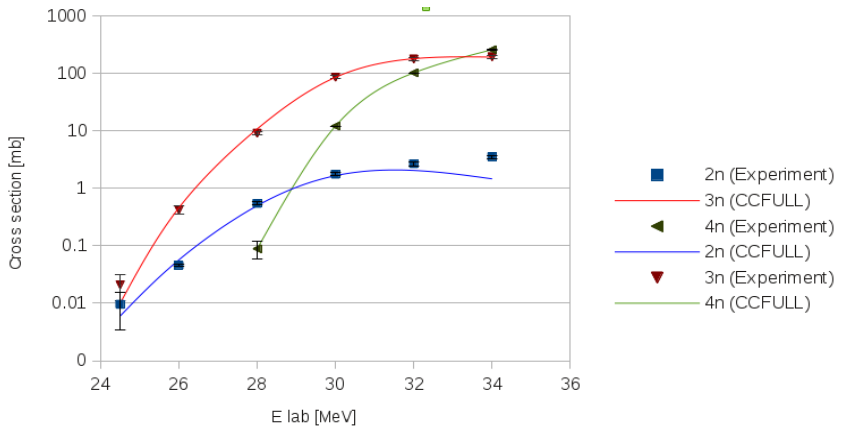

Figura 3: Sectiunile de fiziune evaporare de 1, 2 si 3 neutroni in reactia ^{6}Li+^{194}Pt comparate cu valorile prezise de CCFULL.

Vom prezenta pe scurt cele mai importante concluzii rezultate din comparatea cu calculele de model si cu reactia similara pe ^{198}Pt. S-a observat o diferenta flagranta intre comportarea la bariera a

sistemelor $^{6}Li+^{194}Pt$ si $^{6}Li+^{198}Pt$-Figura 4. In prima reactie (cea studiata de noi), la energii sub bariera, valorile sectiunilor sunt mult mai mici decat in cazul celei de a doua reactii (cu alte cuvinte, caderea sectiunii de fuziune sub bariera e mult mai abrupta in cazul nostru decat in cazul ^{198}Pt). Este un efect determinat exclusiv de structura diferita a celor doi izotopi ai platinei. O astfel de comportare a mai fost raportata in literatura pentru reactia de fuziune-evaporare a ^{16}O pe izotopi ai samariului (^{144}Sm si ^{152}Sm). Si in acel caz, izotopul mai greu a prezentat valori mult crescute ale sectiunii sub bariera, desi proiectilul a fost in acel caz ^{16}O, nucleu dublu magic puternic legat. O interpretare a datelor pe Sm aparuta in literatura (V.V.Sargsyan et al. Phys.Rev. Lett. 85 01762 (2012)) arata ca in cursul apropierii celor doua nuclee, deformarea nucleului greu se poate schimba brusc din oblate in prolate, facilitand cuplajul starilor excitate deformate nou aparute in faza de apropiere cu stari ale proiectilului. In cazul nostru, ^{194}Pt, spre deosebire de ^{198}Pt, este un nucleu tipic pentru simetria O(6) a modelului IBM. N.Zamfir et al (Phys. Rev. C 57, 427 (1998)) arata ca la numarul de neutroni N=116 (cazul 194Pt), nucleele devin gamma-soft si in aceasta situatie tranzitia observata in ^{198}Pt nu mai are loc. De remarcat ca in studiul reactiei pe tinta de ^{198}Pt, pentru fitarea rezultatelor s-a tinut cont si de deformarea proiectilului, in timp ce calculele noastre pentru ^{194}Pt nu au necesitat acest lucru.

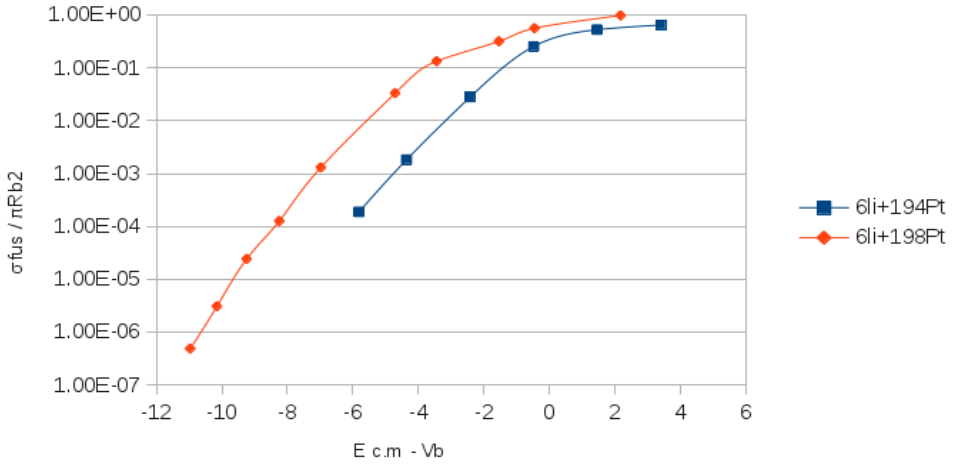

Figura 4: Comparatie intre sectiunile totale de fuziune evaporare obtinute in reactiile $^{6}Li+^{194}Pt$ si $^{6}Li+^{198}Pt$.

Un alt rezultat important este sectiunea de breakup fusion cu captura de deuteriu. Aceasta sectiune a fost comparata cu un calcul CCFULL pentru sistemul $d+^{194}Pt$ la energii ale deuteriului luate ca fiind o treime din energia ^{6}Li (ceea ce corespunde la impartirea energiei proportional cu masa fragmentelor dupa breakup-ul ^{6}Li, aproximatie valabila in cazul unei energii de legatura mici, 1.4 MeV in cazul ^{6}Li). Asa cum se poate observa din Figura 5, sectiunea calculata eeste mai mica decat datele noastre iar deviatia e cu atat mai mare cu cat coboram sub bariera. E un rezultat firesc ce reflecta faptul ca in experienta, brakup-ul Li ce produce deuteriu care fuzioneaza din ce in ce mai putin la energii sub bariera in timp ce calculul e facut pentru un flux constant de deuteriu. Fenomenul e mult diminuat in cazul reactiei pe ^{198}Pt, din nou fiind vorba in exclusivitate de un efect izotopic.

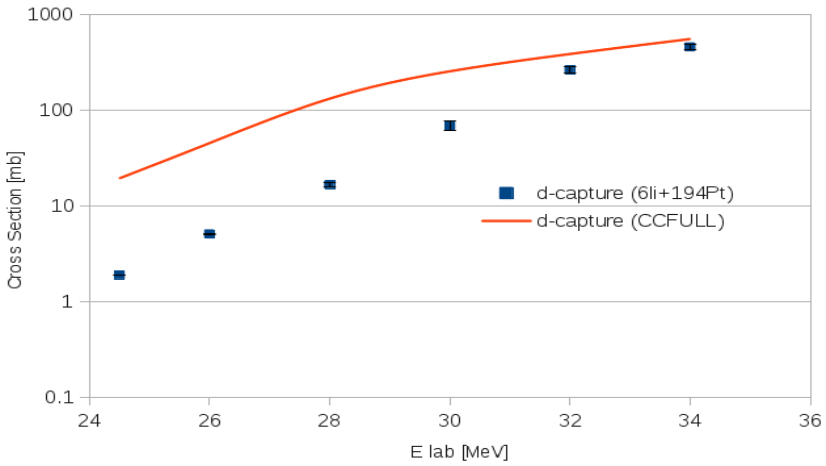

Figura 5: Sectiunile experimentale obtinute pentru canalele ce corespund fuziunii cu deuteriu comparate cu predictiile teoretice date de CCFULL.

Rezultatele au fost prezentate in detaliu la Simpozionul International EXON 2016, manifestare traditionala dedicata nucleelor exotice si vor aparea in Proceedings (World Scientific). Prezentarea face parte din strategia comuna de diseminare a rezultatelor stabilita cu partenerii din IUCN-Dubna.

Concluzii finale, observatii

Fiecare din cele doua activitati principale au condus la rezultate interesante. *Metoda transmisiei* va fi dezvoltata in continuare in cadrul unui program de masurare a sectiunilor totale de reactie, sectiuni care in multe cazuri sunt putin cunoscute, dupa cum au relevat dezvoltatorii unui important cod de simulari pentru calcule de reactori, MCNPX.
Metoda activarii a produs date de calitate, relevand rolul important al compozitiei izotopice in reactiile de fuziune si fuziune incompleta (breakup fusion), rol care mai fusese semnalat numai odata in literatura (cazul izotopilor samariului) si relevand caracterul impredictibil al acestor reactii.

Ca *observatii generale* la realizarea proiectului as mentiona ca o anumita rigiditate in deplasarea cheltuielilor de la un capitol la altul (deplasari ce nu au putut fi prevazute de la inceput) au facut, in particular, imposibila finantarea partiala a salariilor unui numar insemnat de cercetatori, ingineri, tehnicieni si muncitori a caror contributie la realizarea proiectului a fost deosebit de importanta si carora le multumesc pe aceasta cala, ca si sefului departamentului DFN si sefului departamentului Acceleratori pentru disponibilitatea de a sprijini realizarea proiectului. Colaborarea cu partenerii din IUCN-Dubna nu a fost finantata din proiect ci printr-un protocol de colaborare dedicat acestor activitati. Apreciez aceasta colaborare colegiala, ca si sprijinul colegilor din IUCN cu unele elemente tehnologice (de exemplu detectorul cu microcanale). Rezultatele obtinute in comun prin aplicarea metodei transmisiei si folosirea de fascicole radioactive obtinute la separatorul ACCULINA au fost deosebit de interesante si *ele fac parte integranta din realizarile acestui proiect*. Ca si celelalte rezultate ele au fost communicate la Simpozionul EXON (editia 2014). Diseminarea rezultatelor in cadrul prestigioaselor simpozioane internationale EXON organizate de IUCN este deasemenea apreciata.

Nota finala

Proiectul lasa in urma o linie de fascicol complet echipata pentru studii de sectiuni totale de reactii, mijloace de detectie sofisticate (detectorii cu microcanale, detectorul de siliciu cu piste circulare), un detector de NaI de volum mare complet refacut (contacte optice, divizori de tensiune, echilibrarea cailor) ce poate servi ca Total Absorption Spectrometer (TAS), o tehnica verificata de diminuare controlata a intensitatii fascicolelor la Tandemul IFIN-HH pana la valori de cateva mii de particule pe secunda, un sistem de achizitie digital care in afara experientelor proiectului a servit in multe alte experiente.

Poate ca aspectul cel mai important al activitatilor din cadrul proiectului a fost acela al *participarii tinerilor cercetatori*: un masterand, doi doctoranzi (unul actualmente doctor), un tanar cercetator, actualmente CS3, doi angajati postdoc, care prin aceasta participare au putut sa invete si sa puna in valoare multe lucruri noi, largindu-si astfel orizontul profesional.

Activitatea in cadrul proiectului a stimulat si activitati colaterale terminate cu publicatii, pentru care au fost aduse multumiri. Site-ul proiectului a fost in permanenta tinut la zi cu ultimele rezultate.

Director proiect,

Dr. Catalin Borcea