

RAPORT ȘTIINȚIFIC

Descriere științifică:

Prima etapă a proiectului, *Pregătirea experimentelor*, este împărțită în două activități:

- Activitatea 1.1 - *Pregătirea experimentului $^{56}\text{Fe}(n,n')$ la GELINA, EC-JRC, Geel*
- Activitatea 1.2 - *Pregătirea experimentului $^{56}\text{Fe}(p,p')$ la Tandem 9 MV, IFIN-HH*

Având ca rezultat etapa:

Propunerile celor două experimente $^{56}\text{Fe}(n,n')$ și $^{56}\text{Fe}(p,p')$ acceptate de PAC. Obținerea celor două ținte folosite în experimente și pregătirea ansamblurilor experimentale.

Mai jos este realizată descrierea științifică a acelor două activități cu punere în evidență a rezultatelor etapei și gradul de realizare a obiectivelor.

Activitatea 1.1: Pregătirea experimentului $^{56}\text{Fe}(n,n')$ la GELINA, EC-JRC, Geel

În cadrul acestei activități s-a pregătit realizarea experimentului de împrăștiere inelastică a neutronilor pe ^{56}Fe .

Experimentul va avea loc la sursa de neutroni Geel Electron Linear Accelerator (GELINA) [1] a Comisei Europene situată în Geel, Belgia, folosind spectrometrul Gamma Array for Inelastic Neutron Scattering (GAINS) [2, 3]. GAINS este instalat la 100-m distanță față de sursa de neutroni și este alcătuit din 12 detectori HPGe de volum mare dispuși la 3 unghiuri diferite [110° , 150° și 125° cu câte 4 detectori la fiecare unghi (vezi Figura 1)]. Detectorii sunt așezați la unghiuri înapoi pentru a minimiza contribuția venită din împrăștierea Compton pe țintă a radiației gama produsă la generarea fascicolului de neutroni. Datele de la detectori vor fi colectate folosind un sistem de achiziție complet digital (Struck SIS3316-250-14 SADC) cu 16 biți rezoluție pentru determinarea amplitudinii, 250 MHz și 16 canale de intrare [4]. Pentru monitorizarea fluxului incident de neutroni vom folosi o cameră de fisiune cu depozite de ^{235}U [5], deci, datele de reacție raportate vor fi extrase relativ la secțiunea eficace standard de fisiune a neutronilor pe ^{235}U [6].

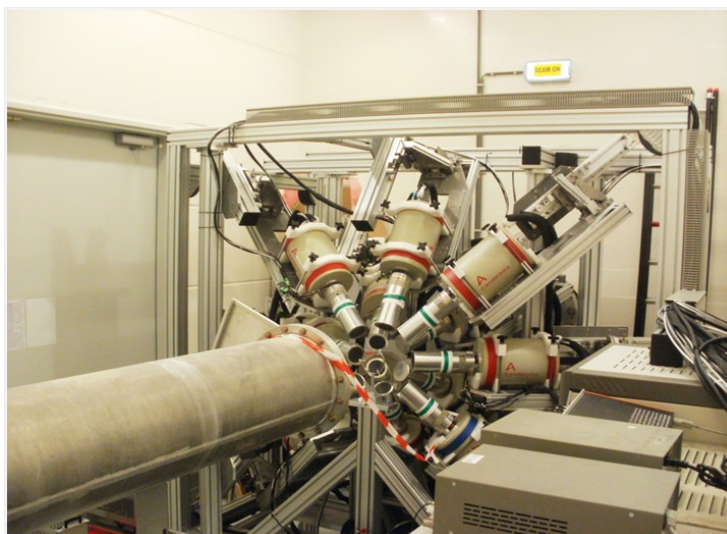


Figura 1 Spectrometrul GAINS instalat în cabina de măsurători de la 100 m a sursei de neutroni GELINA.

Plănuim, de asemenea, să verificăm și metoda noastră uzuală de determinare a fluxului incident printr-o dublă procedură de normalizare: pe lângă camera de fisiune cu ^{235}U menționată mai sus, vrem să folosim, cel mai probabil, și o țintă de ^{10}B [secțiunea eficace a reacției $^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)$ este și ea un standard între 125 keV și 1 MeV]. În interiorul cabinei de măsuratori, fasciculul de neutroni are un diametru de 61 mm iar energia neutronilor produși de GELINA variază în intervalul 100 keV - 20 MeV. Vom folosi o țintă îmbogățită izotopic de ^{56}Fe (îmbogățire 99.77(1)%) cu diametru de 70 mm și grosime de 1 mm corespunzătoare unei densități areale de 0.8 g/cm^2 . Ținta este deja disponibilă la EC-JRC Geel.

O altă etapă importantă în pregătirea experimentului a constat în efectuarea de calcule teoretice folosind codul TALYS 1.96 [7] pentru a estima secțiunile eficace ale canalelor de reacție relevante în intervalul de energii de neutroni 100 keV - 20 MeV (vezi Figura 2) dar și secțiunile eficace inelastice ale tranzițiilor de interes.

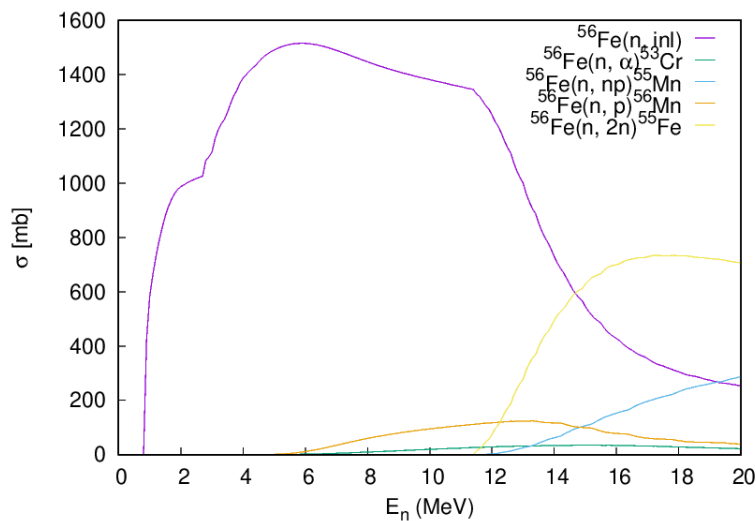


Figura 2 Cele mai importante canale de reacție pe ^{56}Fe în intervalul de energii de neutroni 100 keV - 20 MeV conform codului de calcul TALYS 1.96.

Figura 2 prezintă secțiunile eficace ale celor mai importante canale de reacție atunci când o țintă de ^{56}Fe este bombardată cu neutroni de energii până la 20 MeV estimate folosind codul de calcul TALYS 1.96 [7]. Se poate observa deschiderea mai multor canale de reacții cu secțiuni eficace de valori maxime cuprinse între 50 mb și 700 mb. Principala dificultate este dată de posibilele contribuții ale altor reacții în peak-urile tranzițiilor γ provenite din împrăștierea inelastică. Cea mai mare secțiune eficace, după secțiunea de împrăștiere inelastică, este a reacției $^{56}\text{Fe}(n, 2n)^{55}\text{Fe}$. Nucleul rezidual ^{55}Fe se dezintegrează β^+ cu un factor de schema de 100% pe nivelul fundamental al nucleului stabil ^{55}Mn . Din păcate, reacția $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$ va polua însă prima tranziție din ^{56}Fe deoarece nucleul rezidual al acestei reacții se dezintegrează β^- cu un factor de schema de 56.6% pe prima stare excitată din ^{56}Fe . Aceasta contribuție apare doar pentru energii ale neutronilor mai mari de 6 MeV când, conform TALYS [7], secțiunea canalului (n,p) atinge valori relevante (vezi figura 2). Celelalte canale prezentate în figura 2 produc nucleele reziduale ^{53}Cr și ^{55}Mn , amandoua stabile și fără tranziții γ cu energii apropiate de energiile tranzițiilor de interes din ^{56}Fe .

Scopul experimentului este de a măsura cu incertitudini foarte mici ($\sim 5\%$ pentru prima tranziție) secțiunea eficace de producere pentru toate tranzițiile observate în urma reacției de împrăștiere inelastică a neutronilor pe ^{56}Fe . Se estimează observarea a minim 10 tranziții γ , cea mai importantă fiind cea cu $E_\gamma = 846.7$ keV. Deoarece schema de niveluri a ^{56}Fe este relativ bine cunoscută, o să putem calcula de asemenea - plecând de la datele noastre - și secțiunea eficace inelastică totală dar și pe cele de producere a unor niveluri excitate din ^{56}Fe .

Folosind toate detaliile de mai sus a fost pregătită propunerea de experiment. **Aceasta a fost analizată de către Programme Advisory Committee (PAC) EUFRAT și acceptată, urmând ca experimentul să se realizeze la începutul anului 2023. Ansamblul experimental a fost optimizat, ținta este disponibilă, deci totul este pregătit pentru începerea experimentului.**

Activitatea 1.2: Pregătirea experimentului $^{56}\text{Fe}(p,p')$ la Tandem 9 MV, IFIN-HH

În cadrul acestei activități s-a pregătit realizarea experimentului de împrăștiere inelastică a protonilor pe ^{56}Fe .

Experimentul va avea loc la acceleratorul Tandem de 9 MV din cadrul Departamentului de Fizică Nucleară (DFN) al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară “Horia Hulubei” (IFIN-HH). Ansamblul experimental ce va fi folosit constă în 2 detectori HPGe de volum mare dispuși la 110° și 150° în raport cu direcția fascicolului de protoni, și o cupă Faraday pentru a monitoriza fluxul de protoni (vezi figura 3).

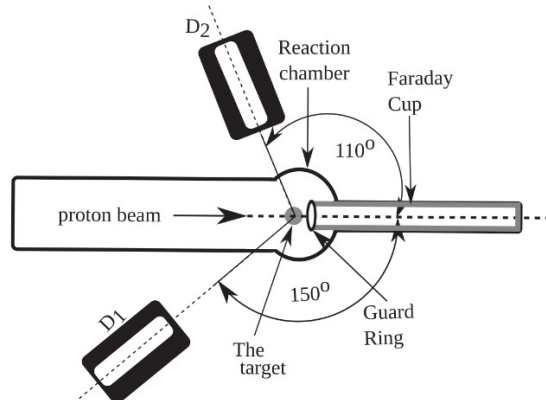


Figura 3 Ansamblul experimental folosit pentru măsurarea secțiunilor eficace de împrăștiere a protonilor pe ^{56}Fe .

Achiziția de date este complet digitală și se bazează pe digitizoarele FASTER [8] (folosite de noi și la experimentele precedente). Se vor folosi 2 ținte de ^{56}Fe cu densități areale de ≈ 0.3 mg/cm² și ≈ 3 mg/cm². Ținta mai subțire va fi folosită, în intervalul de energie a protonilor 2-10 MeV cu pași de 25 keV, pentru observarea rezonanțelor din nucleul compus ^{57}Co . Ținta mai groasă va fi folosită, pe întreg intervalul energetic 2-18 MeV în pași de 500 keV în energia protonilor, pentru măsurarea cu o incertitudine cât mai mică a secțiunilor eficace a tuturor tranzițiilor observabile provenite din împrăștierea inelastică a protonilor pe ^{56}Fe .

Figura 4 prezintă secțiunile eficace ale principalelor canale de reacție generate la bombardarea unei ținte de ^{56}Fe cu protoni de energie între 0.1-20 MeV calculate folosind codul TALYS 1.96 [7]. Se poate observa că cel mai puternic canal este cel inelastic urmat de (p,n), (p,d) și (p, α).

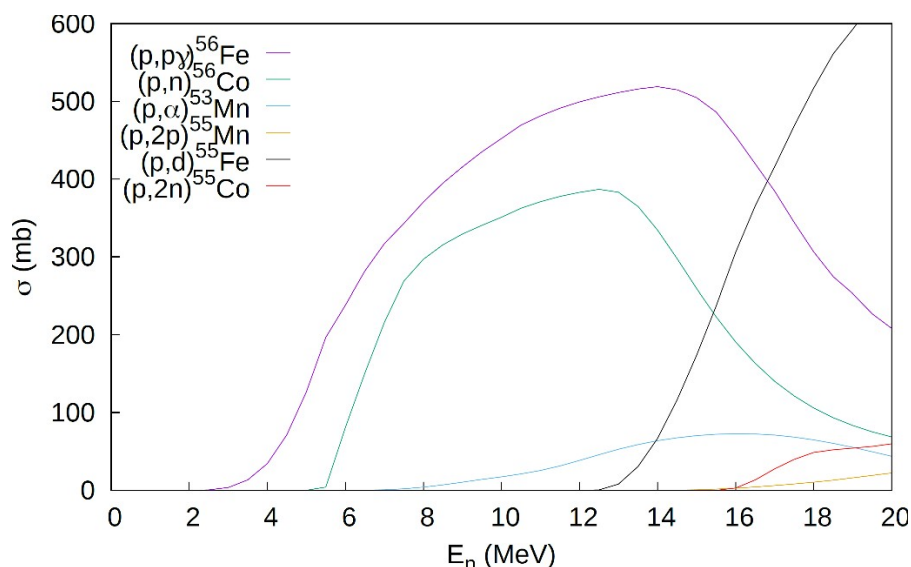


Figura 4 Cele mai importante canale de reacție pe ^{56}Fe în intervalul de energii de protoni până la 20 MeV conform codului de calcul TALYS 1.96 [7].

Principala dificultate este dată de contribuția provenită din reacția $^{56}\text{Fe}(p,n)^{56}\text{Co}$. Nucleul rezidual ^{56}Co se dezintegrează β^+ cu un timp mediu de viață de 77.2(2) zile cu factori de schemă relativ mari (10-20%) pe câteva niveluri excitate din ^{56}Fe , care ulterior populează nivelul de 846.7 keV. Această contribuție poate fi estimată și apoi scăzută prin măsurătorile de activare pe care le vom efectua după fiecare energie incidentă. Celelalte canale de reacție nu reprezintă motive de îngrijorare. O altă dificultate experimentală va fi dată de contribuția în peak-ul primei tranziții ($E_\gamma=846.7$ keV) din ^{56}Fe din cauza suprapunerii acestuia cu peak-ul provenit din ^{27}Al (prima tranziție din acest nucleu are $E_\gamma=843.7$ keV). Pentru a minimiza această contribuție și contrar experimentelor precedente, nu o să mai realizăm suportul de țintă din Al (cel mai probabil vom folosi tantal).

Folosind toate detaliile de mai sus a fost pregătită propunerea de experiment. **Aceasta a fost analizată de către Programme Advisory Committee (PAC) ARIEL și acceptată, urmând ca experimentul să se realizeze pe parcursul anului 2023. Ansamblul experimental și ținta de ^{nat}Fe sunt disponibile, deci totul este pregătit pentru începerea experimentului.**

Rezultatele etapei, conform planului de realizare, au fost îndeplinite cu succes.

Sumar al progresului

Pe parcursul acestei etape au fost realizate următoarele livrabile: propunerile celor două experimente și realizarea paginii web a proiectului. Ca indicatori de rezultat menționăm acceptarea propunerilor celor două experimente. La capitolul diseminare amintim două prezentări orale, din care una invitată, la cea mai importantă conferință internațională din domeniul de cercetare al proiectului (15th International Conference on Nuclear Data for Science and Technology -ND2022). Cele două prezentări au fost:

- A. Negret, et al., A new measurement on $^{56}\text{Fe}(n, \text{inl})$ using GAINS at GELINA
- A. Olacel, et al., The past and the future of the GAINS spectrometer @ GELINA

Rezumat executiv

Prima etapă a oricărui experiment constă în scrierea unei propuneri de experiment care să fie prezentată unei comisii numite “Programme Advisory Committee (PAC)”, formată, de obicei, din experți în domeniul din care face parte propunerea. După acceptarea propunerii de către PAC, se începe efectiv pregătirea experimentului prin punerea la punct a ansamblului experimental ce urmează a fi folosit. La data când acest raport este scris, au fost deja acceptate propunerile ambelor experimente incluse în proiect. Deasemenea, ținta pentru experimentul de împrăștiere inelastică a neutronilor pe ^{56}Fe este deja achiziționată de colaboratorii de la EC-JRC Geel. Țintele pentru experimentul de împrăștiere inelastică a protonilor pe ^{56}Fe au fost realizate folosind Fe natural. Intenționăm ca anul viitor să cumpărăm material îmbogățit izotopic cu ^{56}Fe . Detectorii ce urmează să fie folosiți în ambele masuratori sunt disponibili și au fost testați. O bună parte din activitățile asociate pregătirii unui experiment sunt făcute încă din faza scrierii propunerii de experiment, deoarece în propunere trebuie estimate valorile mărimilor de interes ce urmează a fi măsurate, dimensiunile și caracteristicile țintelor, trebuie stabilit ansamblul experimental optim pentru măsuratoarea în cauză, timpul de fascicol necesar, etc...La finalul acestei etape au fost îndeplinite rezultatele menționate în propunerea de proiect.

Referinte:

- [1] W. Mondelaers and P. Schillebeeckx, Not. neutr. luci sinc. 11, 19 (2010).
- [2] D. Deleanu, C. Borcea, P. Dessagne, M. Kerveno, A. Negret, A. J. M. Plompen, and J. C. Thiry, Nucl. Instrum. Methods A 624, 130 (2010).
- [3] A. Olacel et al., “The past and the future of the GAINS spectrometer @ GELINA” in Proceedings of the 15th International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2022), to be published online in the European Physics Journal Web of Conferences.
- [4] <https://www.struck.de/sis3316.html>
- [5] C. Rouki et al., Nucl. Instrum. Methods A 672, 82 (2012).
- [6] A. Carlson et al., Nucl. Data Sheets 110, 3215 (2009).
- [7] A. Koning, S. Hilaire, and M. Duijvestijn, Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (EDP Sciences, France, 2007).
- [8] <http://faster.in2p3.fr/>

Director proiect
Dr. Alexandru Negret