

Rezultate Etapa 2016:

Pentru prelucrarea datelor experimentale a fost folosit pachetul de programe GASPware, care a fost folosit atât în etapa de sortare a datelor, cât și în prelucrarea efectivă.

Pentru construirea schemelor de nivele, selecția tranzițiilor γ de interes se face în acest tip de experimente prin construirea de spectre multidimensionale (matrici) în coincidență HPGe-HPGe și HPGe-HPGe-HPGe. În vederea identificării multipolarității tranzițiilor gama, și deci pentru a găsi spinul și paritatea stărilor excitate, s-au determinat rapoarte DCO (corelații direcționale în stări orientate). Pentru aceasta, în sortarea off-line a datelor s-au construit matrici bidimensionale asimetrice de coincidență γ - γ corespunzând anumitor unghiuri – în cazul nostru 90 și 35 grade. Din prelucrarea datelor experimentale s-au obținut scheme noi de nivele pentru nucleele ^{92}Zr și ^{91}Zr .

În cazul ^{92}Zr identificarea stărilor excitate a pornit de la prima tranziție cunoscută, de 934.5 keV, $2^+ \rightarrow 0^+$; folosind condiționări energetice au fost deduse tranzițiile în coincidență; poziția nivelelor excitate a fost suplimentar confirmată prin identificarea unor tranziții inter-benzi. Trebuie specificat faptul că existența, ordinea și modul de dezexcitare a nivelelor cu energii de 2743, 2340, 2398, 4214, 3998 keV nu ar fi putut fi dovedită fără folosirea coincidențelor triple, care a permis pe lângă identificarea acestor nivele noi, să infirmăm o serie de rezultate prezentate în articole publicate de către alți autori. Față de rezultatele existente în literatura de specialitate la data experimentului, aceasta a dus la corectarea energiei nivelelor excitate și obținerea unei scheme de nivele corecte. Energia nivelelor a fost stabilită prin determinarea energiei gamelor ce le dezexcită, prin fitarea peak-urilor respective în spectru. În stabilirea ordinii tranzițiilor gama într-o structură tip bandă s-a ținut cont, pe lângă relațiile de coincidență, de intensitățile acestor tranziții. Pentru completitudine, acolo unde a fost posibil au fost determinate rapoarte DCO.

În cazul izotopului ^{91}Zr trebuie ținut cont de faptul că nivelul $21/2^+$ cu energia de 3167 keV este un nivel izomer cu $T_{1/2} = 6.2 \mu\text{s}$ și datorită existenței acestui izomer destul de lung, schema de nivele trebuie investigată separat, pentru nivelele excitate cu energie inferioară stării izomere și pentru nivelele excitate cu energie superioară acesteia. De un interes deosebit din punct de vedere al tematicii și obiectivului general al proiectului sunt însă stările de energie joasă, aici așteptându-ne să identificăm tranziții E3 de pe stări datorate cuplajului particulă – fonon octupolar. Prin prelucrarea datelor experimentale s-a obținut schema de nivele excitate a ^{91}Zr la energii joase; au

fost identificate o serie de tranziții gama și nivele excitate noi, în principal tranziții de intensitate mică dar pentru care statistica a fost suficient de mare pentru a fi observate. Ca și în cazul anterior, energia nivelelor a fost stabilită prin determinarea energiei gamelor ce le dezexcită prin fitarea peak-urilor respective în spectru, iar acolo unde a fost posibil au fost determinate rapoarte DCO.

Determinarea timpilor de viață ale nivelelor nucleare reprezintă un obiectiv experimental esențial pentru înțelegerea structurii nucleelor. Procedeu utilizat în cadrul prezentului proiect se adresează timpilor de viață nucleari cu valori cuprinse între 0.05 ns și 100 ns, folosește o metodă directă de măsurare a diferenței de timp dintre momentul producerii și cel al dezexcitării nivelului nuclear studiat și are avantajul că este efectuat *in beam*. După ce datele au fost calibrate, corectate pentru deplasarea amplificării (ca poate varia în cazul detectorilor de LaBr₃ cu rata de numărare) și pentru walk, datele obținute cu detectorii de LaBr₃ au fost sortate în cuburi $E_{\gamma 2} - E_{\gamma 1} - \Delta T$. Aceste matrici de coincidență asimetrice au fost apoi folosite pentru a obține spectrele de timp pentru anumite tranziții gama, spectre ce au fost fitate în vederea determinării timpului mediu de viață pentru nivelele investigate. O primă etapă a avut ca scop măsurarea unori timpi de viață cunoscuți pentru care s-a considerat că este necesară confirmarea valorii sau corectarea valorii cunoscute: cel al stării yrast 4+ din ⁹²Zr, care fusese anterior măsurat cu metoda β - γ -fast-timing, valoarea obținută în experimentul de dezintegrare β a ⁹²Y fiind de $\tau = 147$ ps, respectiv a stării yrast 8+ din ⁹²Zr ce fusese măsurat într-un experiment tip Plunger și pentru care valoarea era de 1.7 ns. Pentru starea excitată yrast 4+ de energie 1495.5 keV din ⁹²Zr, s-a obținut un timp de viață de $\tau=149$ ps, în bun acord cu valoarea anterior cunoscută de 147 ps. Trebuie menționat faptul că valoarea de 147 ps fusese obținută folosind un cristal plastic scintilator de BaF₂, ceea ce de obicei asigură o acuratețe foarte bună a măsurărilor, mai bună decât în cazul LaBr₃; concordanța valorii obținute în cadrul prezentului experiment cu valoarea măsurată cu BaF₂ ne indică faptul că măsurătorile și procedura de lucru pe care le-am folosit au performanțe deosebit de bune. Pentru starea excitată yrast 8+ de energie 3309.6 keV din ⁹²Zr s-a obținut un timp de viață de $\tau=1.13$ ns, valoare relativ depărtată de rezultatul cunoscut anterior, de 1.7 ns. Cu toate acestea, considerăm ca valoarea obținută de noi prezintă încredere, atât deoarece am testat metoda în cazul stării 4+, cât și datorită faptului că este posibil ca în raportarea valorii anterioare pentru 8+ să se fi strecurat o greșeală, ținând cont de faptul că pentru $T_{1/2}=1.7$ ns valoarea timpului de viață ar fi de $\tau=1.18$ ns, în acord cu valoarea determinată în urma

experimentului nostru. Pasul următor a constat în determinarea timpului de viață al nivelului 11/2- din ^{91}Zr care se dezexcită printr-o radiație gama de tip E3 și care deci este un bun candidat pentru a fi un nivel construit prin cuplaj cu un fonon octupolar. Pentru aceasta, semnalul de start va fi dat de tranziția cu energia de 89 keV, iar cel de stop de tranziția cu energia de 2170 keV. Timpul de viață obținut în premieră pentru nivelul 11/2- este de 500 ± 16 ps. Această valoare corespunde unei tării $B(E3) \approx 20$ W.u., ceea ce ne indică concluzia că există corelații ocupolare semnificative atât în ^{91}Zr cât și în miezul ^{90}Zr .

În concluzie, se poate spune că rezultatele preconizate au fost atinse, din prelucrarea datelor experimentale pentru nuclee din zona ^{90}Zr fiind obținute scheme de nivele și realizate determinări de timpi de viață a unor stări excitate, rezultatele urmând a fi interpretate și discutate în etapa următoare.

Trebuie menționat faptul că a fost publicat 1 articol ISI în revista Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A și au fost făcute 2 comunicări orale la conferințe internaționale.

Results obtained in 2016:

For the processing and analysing of the experimental data, the GASPware software package was used for both sorting and data analysis.

In order to build level schemes for our type of experiment, the selection of the γ transitions of interest is made by first sorting the data into multidimensional coincidence spectra (matrices) HPGe-HPGe and HPGe-HPGe-HPGe. In order to identify the gamma multipolarity, which leads to the spin and parity of excited states, DCO ratios can be used. In this respect, during the off-line data sorting, coincidence bidimensional asymmetric matrices γ - γ corresponding to detectors at 90 and 35 degrees were produced. By then analysing the sorted data, new level schemes for the ^{92}Zr and ^{91}Zr nuclei were obtained.

In the case of ^{92}Zr , the identification of excited states started with the lowest known gamma transition of 934.5 keV energy, $2^+ \rightarrow 0^+$; by using successive energy conditions (gates), the transitions in coincidence were deduced; the position of the excited levels was supplementary confirmed by identifying inter- and intra-bands transitions. It must be mentioned the fact that the order and deexcitation pattern of the levels having energies of 2743, 2340, 2398, 4214, and 3998 keV was possible only due to the use of triple

gamma coincidences, which allowed to identify these new levels and also to invalidate some results already present in the literature. By comparing our results with those published before the date of our experiment, we can say we were able to correct the excited states energy and thus to obtain an accurate level scheme. The energy of each level was obtained by accurately get the energy of the gamma rays deexciting it through a fit procedure of the respective peaks in the spectra. In order to establish the order of the levels inside a band-type structure we took into account not only coincidence relations between gammas but also their intensity. The obtained information was completed with levels spin values, deduced from DCO.

In the case of the ^{91}Zr we had to take into account the fact that the $21/2^+$ level of 3167 keV energy is an isomer with $T_{1/2} = 6.2 \mu\text{s}$ and due to the existence of this long-lived isomeric state, the level scheme should be investigated separately for the levels with lower than 3167 keV energy and for the levels with higher than 3167 keV energy. From the point of view of the scientific general objective of this project, the excited states of low energy are of interest, because among them we expected to find E3 gamma transitions deexciting states built due to the particle - octupolar phonon coupling. Following the experimental data analysis, the low-energy excited levels scheme was obtained for ^{91}Zr . We have identified some new gamma transitions and new excited states that deexcite mainly by low-energy gamma rays of low intensity. As in the case of ^{92}Zr , the levels energy was established by fitting in the spectra the energy of the gamma rays deexciting them, and whenever the statistics was sufficient to make it possible, DCO ratios were calculated.

Nuclear levels lifetime measurement is very important in order to understand the structure of specific nuclei. For the purpose of the present project we used a lifetime measurement procedure that address nuclear lifetimes in the range of 0.05 ns and 100 ns, uses the direct measurement of the time difference between the production and the deexcitation of the studied nuclear level and has the advantage to be *in beam*. After the experimental data were calibrated, corrected for the walk and for the amplification variation (due to the fact that the amplification can vary with the counting rate in the case of LaBr3 detectors), the obtained data were sorted into asymmetrical coincidece cubes $E_{\gamma 2} - E_{\gamma 1} - \Delta T$ for the LaBr3 detectors. These matrices were further used in order to obtain the time spectra of gamma transitions of interest, spectra from which the lifetime values for the investigated states were obtained thorough a fit procedure. In the beginning we tested the procedure by analysing some states of lifetimes already known

or not so accurately known. In this case we selected: the yrast 4+ state in ^{92}Zr , for which the lifetime $\tau = 147$ ps was previously measured with the β - γ -fast-timing method, a very accurate method, in a ^{92}Y β -decay experiment; and the 8+ yrast state in ^{92}Zr for which the lifetime $\tau = 1.7$ ns was previously measured in a Plunger experiment. For the 4+ yrast state of 1495.5 keV energy in ^{92}Zr we obtained a lifetime value of $\tau = 149$ ps, in very good agreement with the previously known value. As the value of 147 ps was measured using a BaF_2 plastic scintillator that usually ensures the highest possible accuracy for the lifetime measurements, the agreement with our measured value leads to the conclusion that our measurement procedure and data processing method has the same very high accuracy. For the 8+ yrast excited state of 3309.6 keV energy in ^{92}Zr a lifetime value of $\tau=1.13$ ns was obtained, in disagreement with the previously known value of 1.7 ns. Taking into account that we already proved the accuracy of our method and the fact that, if we consider the half-life as being $T_{1/2}=1.7$ ns the lifetime would be $\tau=1.18$ ns in agreement with ours, we consider that we obtained the correct value and an error was made in the reporting of the results of the previous Plunger experiment.

We continued our work by studying the 11/2- excited state in ^{91}Zr that deexcites through a gamma radiation of E3-type – so this state can be a candidate to be a level due to a particle – octupolar phonon coupling. In order to obtain the lifetime of this state, in analysing the data the start signal was selected to be the gamma ray of 89 keV energy, while the stop will be given by the gamma ray of 2170 keV energy. The lifetime value, obtained for the first time for the 11/2- state is 500 ± 16 ps. This value corresponds to a strength of $B(E3) \approx 20$ W.u., which indicates that there are significant octupolar correlations both in ^{91}Zr and in the ^{90}Zr core.

In conclusion the expected results were obtained: by analysing the experimental data for nuclei in the region close to ^{90}Zr levels schemes and excited states lifetimes were obtained, these results to be subsequently theoretically interpreted and discussed in the next stage of the project.

We mention that 1 scientific article was published in the ISI journal Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A and 2 oral communications at international conferences were made.