

**Denumire Proiect:** Momente electromagnetice statice și dinamice  
pentru stări nucleare excitate

**Etapa 31.10.2008:** Structura stărilor de spin înalt în  $^{37}\text{Cl}$

## SINTEZA LUCRĂRII

### 1. Obiectivul etapei

Etapa prezentă are ca obiectiv realizarea unor studii complexe, experimentale și teoretice, în vederea elucidării structurii stărilor excitate în nucleul  $^{37}\text{Cl}$ . Acest studiu se încadrează într-un program de cercetări pe care l-am abordat recent într-o largă colaborare internațională, dedicat investigării nucleelor stabile sau apropiate de stabilitate din zona de masă  $A \approx 30-40$ . Posibilitatea populării acestor nuclee folosind reacții de fuziune-evaporare induse de ioni grei, precum și dezvoltările recente ale unor sisteme de detecție de mare eficiență, atât pentru radiațiile  $\gamma$  cât și pentru particulele încărcate, au creat premise pentru investigarea schemelor de nivele la spini și energii de excitație foarte mari. Interesul pentru aceste studii este în principal determinat de progresele recente ale modelului teoretic al păturilor nucleare, realizate atât prin îmbunătățirea interacțiilor efective, cât și prin extinderea considerabilă a spațiului de configurații. Datele experimentale privind excitațiile multiparticulă în nucleele ușoare cu  $A \approx 30-40$ , și în particular momentele electromagnetice dinamice, sunt esențiale pentru testarea calculului de model în pături și elucidarea interacțiilor efective în păturile  $sd$  și  $pf$ . În studii pe care le-am finalizat recent, au fost considerabil extinse informațiile experimentale în nucleele de  $^{31}_{15}\text{P}_{16}$  [1],  $^{34}_{16}\text{S}_{18}$  [2],  $^{35}_{17}\text{Cl}_{18}$  și  $^{35}_{18}\text{Ar}_{17}$  [3], și a fost realizată o analiză critică a interacțiilor efective dezvoltate recent pentru spațiul  $sd-fp$  [4-6]. Prezentul proiect are ca obiectiv extinderea acestor studii experimentale și teoretice la nuclee mai grele din zonă, în particular testarea interacțiilor efective la închiderea păturii neutronice  $N=20$ . În etapa anterioară stările de spin înalt din  $^{37}\text{Cl}$  au fost investigate pentru prima dată într-o reacție de fuziune-evaporare indusă de ioni grei, folosindu-se sisteme de detecție de mare eficiență, studiile fiind concretizate prin construirea schemei de nivele a acestui nucleu. Etapa actuală este dedicată determinării proprietăților stărilor excitate: spini, parități, timpi de viață, precum și comparării datelor experimentale cu prevederile unor calcule complexe de model în pături.

### 2. Activități desfășurate și rezultate obținute

#### Determinarea proprietăților stărilor excitate din $^{37}_{17}\text{Cl}_{20}$

Stările de spin înalt în nucleul  $^{37}\text{Cl}$  au fost populate în reacția  $^{24}\text{Mg}(^{16}\text{O},3p)$ , folosind un fascicol de  $^{16}\text{O}$  de 70 MeV și o țintă de  $^{24}\text{Mg}$  cu grosimea de  $500 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . În studiile spectroscopice a fost folosită o țintă autosuportată; pentru determinarea timpilor de viață prin metoda atenuării deplasării Doppler (DSAM), ținta a fost plasată pe un suport de  $^{197}\text{Au}$  cu o grosime de  $15 \text{mg}/\text{cm}^2$ . Fascicolul a fost furnizat de acceleratorul Tandem XTU al Laboratorului Național Legnaro, Italia. Pentru detecția razelor  $\gamma$  a fost folosit sistemul multi-detector GASP [7], iar particulele încărcate emise în reacție au fost detectate folosind sistemul ISIS [8].

Analiza detaliată a spectrelor de coincidențe  $\gamma$ - $\gamma$  ne-a permis stabilirea unei scheme de nivele complexe, conținând 28 nivele noi și 75 tranziții  $\gamma$  noi. Spinii și paritățile stărilor excitate au fost atribuiți pe baza multipolarităților tranzițiilor  $\gamma$  de dezexcitare, determinate din studiul distribuțiilor unghiulare. În acest scop au fost create matrici  $\gamma$ - $\gamma$  asimetrice, având pe una din axe detectorii plasați la unghiurile de  $34^\circ$ ,  $90^\circ$ , și respectiv  $146^\circ$ , iar pe a doua axă toți detectorii. Informații asupra anizotropiei s-au obținut din spectrele de coincidență cu porți pe axa corespunzând tuturor detectorilor. Intensitățile  $\gamma$  normale corespunzător au fost folosite pentru a forma raportul  $R_{ADO}$  al distribuțiilor unghiulare pentru stări aliniat, definit ca  $R_{ADO} = (I_\gamma(34^\circ) + I_\gamma(146^\circ))/2I_\gamma(90^\circ)$ . În condițiile prezentului experiment, acest raport este  $R_{ADO} \approx 0.8$  în cazul tranzițiilor dipolare pure întinse ( $I \rightarrow I-1$ ) și  $R_{ADO} \approx 1.35$  pentru tranziții cuadrupolare întinse ( $I \rightarrow I-2$ ). Pe baza multipolarităților razelor  $\gamma$  au fost atribuiți spini și parități pentru 34 nivele, și anume 18 nivele de paritate pozitivă și 16 nivele de paritate negativă. Rezultatele studiilor spectroscopice sunt sintetizate în Tabelul 1, iar schema de nivele completă este ilustrată în Figura 1. Pe partea de paritate pozitivă, schema de nivele a fost extinsă până la energia de excitație de 17008 keV și spin  $29/2^+$ , iar pe partea de paritate negativă până la energia de excitație de 15448 keV și spin  $27/2^-$ .

Datele înregistrate în experimentul DSAM au fost sortate în 7 matrici asimetrice, având pe una din axe detectorii plasați la unghiurile de  $34^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $108^\circ$ ,  $120^\circ$ , și respectiv  $146^\circ$ , iar pe a doua axă toți detectorii. Tranzițiile  $\gamma$  emise de nucleele redate și frânate în foia de aur prezintă forme de linie largite

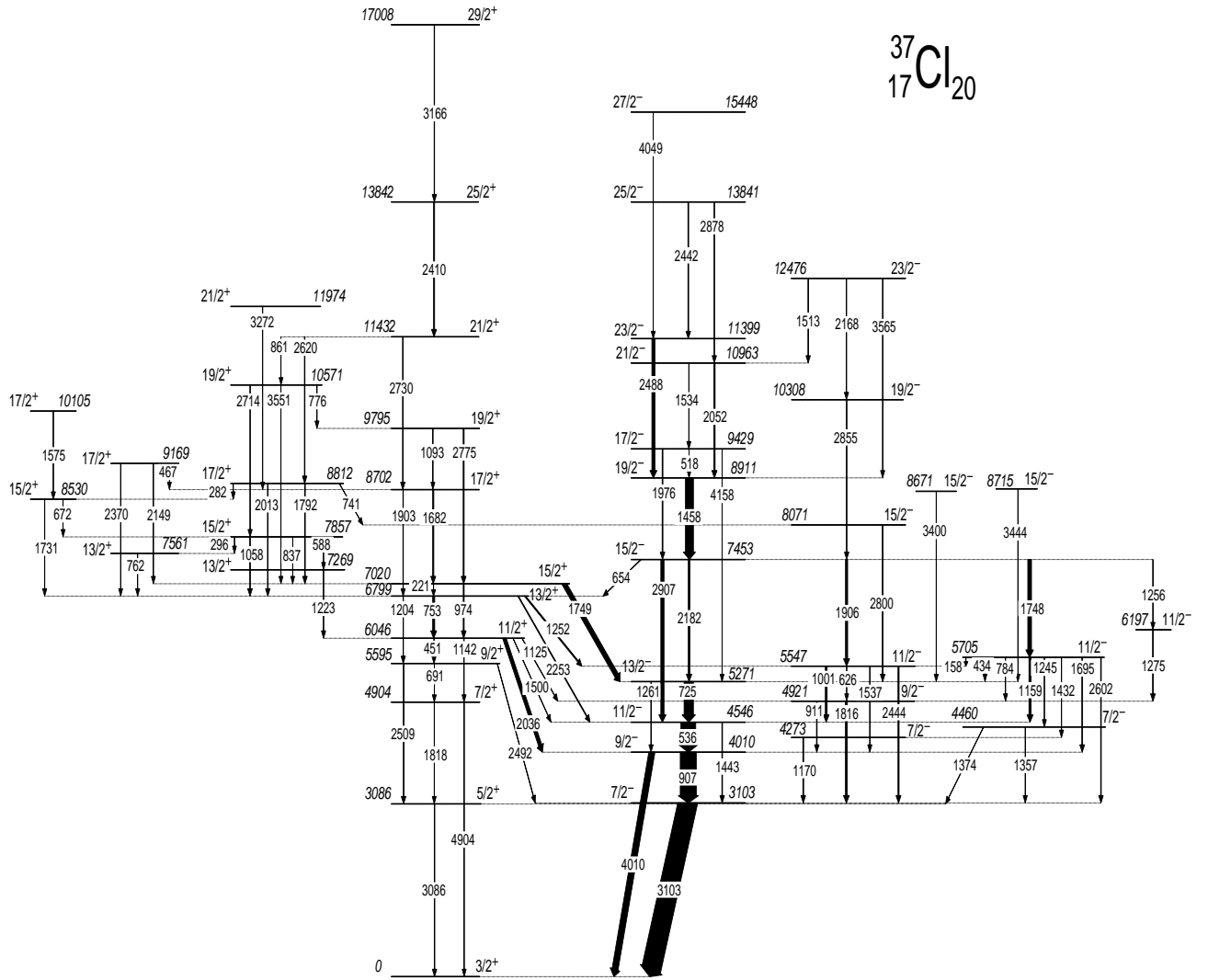


Figura 1: Schema de nivele a nucleului  $^{37}\text{Cl}$  determinată în studiul prezent.

Doppler. Timpii de viață ai stărilor excitate au fost determinați folosind codul LINESHAPE [9]. Frânarea nucleelor excitate de  $^{37}\text{Cl}$  în țintă și suport a fost simulată folosind tehnici Monte Carlo, și au fost create distribuțiile statistice ale proiecției vitezelor de recul față de direcțiile de detecție  $\gamma$ . În aceste simulări au fost folosite puterile de stopare corectate ale lui Northcliffe și Schilling [10]. Exemple ilustrative ale formelor de linie experimentale și calculate sunt prezentate în Figura 2. Domeniul timpilor de viață accesibili în experiment a fost  $0.1 \text{ ps} < T_{1/2} < 3 \text{ ps}$ . Au fost determinați timpii de viață pentru 7 stări excitate. Pentru timpii de viață ai nivelelor yrast de spin  $I^\pi \geq 17/2^+$  și  $I^\pi \geq 21/2^-$  a fost stabilită o limită superioară de 0.1 ps. Rezultatele experimentale privind timpii de viață ai nivelelor de spin înalt în  $^{37}\text{Cl}$  sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 1: Energii, intensități, rapoarte  $R_{ADO}$ , multipolarități și spinii atribuiți pentru tranzițiile  $\gamma$  în  $^{37}\text{Cl}$ .

$E_\gamma$ (keV)	$I_\gamma^{rel}$	$R_{ADO}$	Mult.	$E_x$ (keV)	$I_i^\pi \rightarrow I_f^\pi$
157.6(3)	2(1)			5705	$11/2_3^- \rightarrow 11/2_2^-$
220.9(1)	12(1)			7020	$15/2_1^+ \rightarrow 13/2_1^+$
281.6(3)	6(1)			8812	$17/2_2^+ \rightarrow 15/2_3^+$
296.1(2)	2(1)			7857	$15/2_2^+ \rightarrow 13/2_3^+$
434.4(1)	6(2)			5705	$11/2_3^- \rightarrow 13/2_1^-$
451.2(1)	27(2)	0.89(16)	M1	6046	$11/2_1^+ \rightarrow 9/2_1^+$
467.3(9)	2(1)			9169	$17/2_3^+ \rightarrow 17/2_1^-$
517.8(3)	5(2)			9429	$17/2_1^- \rightarrow 19/2_1^-$
535.7(1)	780(50)	0.84(2)	M1	4546	$11/2_1^- \rightarrow 9/2_1^-$
588.1(6)	4(2)			7857	$15/2_2^+ \rightarrow 13/2_2^+$
626.4(2)	5(2)			5547	$11/2_2^- \rightarrow 9/2_2^-$

$E_\gamma$ (keV)	$I_\gamma^{el}$	$R_{ADO}$	Mult.	$E_x$ (keV)	$I_i^\pi \rightarrow I_f^\pi$
653.6(2)	11(3)	0.78(11)	$E1$	7453	$15/2_1^- \rightarrow 13/2_1^+$
671.6(2)	6(3)			8530	$15/2_3^+ \rightarrow 15/2_2^+$
691.3(3)	8(2)	1.80(41)	$M1+E2$	5595	$9/2_1^+ \rightarrow 7/2_1^+$
724.6(1)	374(30)	1.01(8)	$M1+E2$	5271	$13/2_1^- \rightarrow 11/2_1^-$
741.5(3)	5(2)	0.69(21)	$E1$	8812	$17/2_2^+ \rightarrow 15/2_1^-$
753.4(1)	109(10)	0.87(11)	$M1$	6799	$13/2_1^+ \rightarrow 11/2_1^+$
761.6(2)	13(3)	1.45(20)	$M1$	7561	$13/2_3^+ \rightarrow 13/2_1^+$
776.1(9)	4(2)			10571	$19/2_2^+ \rightarrow 19/2_1^+$
784.4(3)	14(2)	0.98(18)	$M1$	5705	$11/2_3^- \rightarrow 9/2_2^-$
837.4(3)	6(2)			7857	$15/2_2^+ \rightarrow 15/2_1^+$
861.4(4)	5(2)			11432	$21/2_1^+ \rightarrow 19/2_1^+$
906.8(1)	846(30)	1.45(8)	$M1+E2$	4010	$9/2_1^- \rightarrow 7/2_1^-$
911.2(5)	35(5)			4921	$9/2_2^- \rightarrow 9/2_1^-$
974.4(1)	50(9)	1.68(38)	$E2$	7020	$15/2_1^+ \rightarrow 11/2_1^+$
1001.2(1)	96(10)	1.51(17)	$M1$	5547	$11/2_2^- \rightarrow 11/2_1^-$
1058.1(2)	45(5)	0.81(11)	$M1$	7857	$15/2_2^+ \rightarrow 13/2_1^+$
1093.3(6)	4(2)			9795	$19/2_1^+ \rightarrow 17/2_1^+$
1125.4(4)	14(4)	0.80(25)	$E1$	6046	$11/2_1^+ \rightarrow 9/2_2^-$
1142.4(2)	11(3)	1.60(51)	$E2$	6046	$11/2_1^+ \rightarrow 7/2_1^+$
1159.2(1)	116(4)	1.29(8)	$M1$	5705	$11/2_3^- \rightarrow 11/2_1^-$
1169.5(3)	44(5)	1.31(19)	$M1+E2$	4273	$7/2_2^- \rightarrow 7/2_1^-$
1204.4(2)	22(5)			6799	$13/2_1^+ \rightarrow 9/2_1^+$
1222.7(4)	20(4)	0.75(12)	$M1$	7269	$13/2_2^+ \rightarrow 11/2_1^+$
1244.6(6)	8(2)			5705	$11/2_3^- \rightarrow 7/2_3^-$
1252.4(3)	47(5)	0.83(10)	$E1$	6799	$13/2_1^+ \rightarrow 11/2_2^-$
1256.4(3)	17(5)			7453	$15/2_1^- \rightarrow 11/2_4^-$
1260.6(1)	24(5)			5271	$13/2_1^- \rightarrow 9/2_1^-$
1275.4(3)	44(5)	0.85(11)	$M1$	6197	$11/2_4^- \rightarrow 9/2_2^-$
1357.1(3)	16(2)	1.26(22)		4460	$7/2_3^- \rightarrow 7/2_1^-$
1374.4(2)	11(2)			4460	$7/2_3^- \rightarrow 5/2_1^+$
1432.4(5)	18(2)			5705	$11/2_3^- \rightarrow 7/2_2^-$
1442.6(1)	34(4)	1.74(33)	$E2$	4546	$11/2_1^- \rightarrow 7/2_1^-$
1458.1(1)	422(29)	1.47(11)	$E2$	8911	$19/2_1^- \rightarrow 15/2_1^-$
1500.1(3)	15(4)	1.55(35)	$E1$	6046	$11/2_1^+ \rightarrow 11/2_1^-$
1513.4(7)	24(3)	1.05(29)	$M1+E2$	12476	$23/2_2^- \rightarrow 21/2_1^-$
1534.2(3)	16(6)			10963	$21/2_1^- \rightarrow 17/2_1^-$
1537.2(2)	16(5)			5547	$11/2_2^- \rightarrow 9/2_1^-$
1574.6(3)	21(4)	0.85(21)	$M1$	10105	$17/2_4^+ \rightarrow 15/2_3^+$
1681.6(2)	62(4)	1.37(19)	$M1+E2$	8702	$17/2_1^+ \rightarrow 15/2_1^+$
1694.6(3)	45(3)	1.14(18)	$M1+E2$	5705	$11/2_3^- \rightarrow 9/2_1^-$
1730.6(1)	16(4)	0.82(22)	$M1$	8530	$15/2_3^+ \rightarrow 13/2_1^+$
1747.6(1)	196(21)	1.65(20)	$E2$	7453	$15/2_1^- \rightarrow 11/2_3^-$
1749.4(1)	210(21)	0.80(13)	$E1$	7020	$15/2_1^+ \rightarrow 13/2_1^-$
1791.6(3)	39(10)	0.51(14)	$M1+E2$	8812	$17/2_2^+ \rightarrow 15/2_1^+$
1816.6(3)	101(12)			4921	$9/2_2^- \rightarrow 7/2_1^-$
1818.1(4)	3(1)			4904	$7/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$
1903.2(5)	24(6)	1.50(38)	$E2$	8702	$17/2_1^+ \rightarrow 13/2_1^+$
1906.0(1)	114(11)	1.51(17)	$E2$	7453	$15/2_1^- \rightarrow 11/2_2^-$
1975.6(3)	41(8)	0.59(12)	$M1+E2$	9429	$17/2_1^- \rightarrow 15/2_1^-$
2012.7(3)	33(3)	1.37(22)	$E2$	8812	$17/2_2^+ \rightarrow 13/2_1^+$
2036.1(1)	172(12)	0.82(9)	$E1$	6046	$11/2_1^+ \rightarrow 9/2_1^-$
2051.6(2)	71(7)	0.32(5)	$M1+E2$	10963	$21/2_1^- \rightarrow 19/2_1^-$
2148.7(12)	15(3)	0.77(25)	$M1$	9169	$17/2_3^- \rightarrow 15/2_1^-$
2168.4(14)	22(11)			12476	$23/2_2^- \rightarrow 19/2_2^-$
2181.6(1)	83(8)	0.52(6)	$M1+E2$	7453	$15/2_1^- \rightarrow 13/2_1^-$
2253.4(2)	33(5)	0.77(13)	$E1$	6799	$13/2_1^+ \rightarrow 11/2_1^-$
2369.6(15)	7(2)			9169	$17/2_3^+ \rightarrow 13/2_1^-$
2410.4(7)	61(7)	1.61(21)	$E2$	13842	$25/2_1^+ \rightarrow 21/2_1^+$
2441.6(14)	40(9)			13841	$25/2_1^- \rightarrow 23/2_1^-$

$E_\gamma$ (keV)	$I_\gamma^{el}$	$R_{ADO}$	Mult.	$E_x$ (keV)	$I_i^\pi \rightarrow I_f^\pi$
2443.8(2)	60(11)			5547	$11/2_2^- \rightarrow 7/2_1^-$
2487.7(3)	158(33)	1.55(33)	$E2$	11399	$23/2_1^- \rightarrow 19/2_1^-$
2491.6(2)	22(2)			5595	$9/2_1^+ \rightarrow 7/2_1^-$
2508.9(2)	36(3)			5595	$9/2_1^+ \rightarrow 5/2_1^+$
2601.9(1)	35(4)			5705	$11/2_3^- \rightarrow 7/2_1^-$
2619.3(9)	31(5)	1.28(19)	$E2$	11432	$21/2_1^+ \rightarrow 17/2_2^+$
2713.6(9)	16(7)			10571	$19/2_2^+ \rightarrow 15/2_2^+$
2730.6(7)	29(8)	1.44(29)	$E2$	11432	$21/2_1^+ \rightarrow 17/2_1^+$
2774.6(6)	52(5)	1.35(20)	$E2$	9795	$19/2_1^+ \rightarrow 15/2_1^+$
2800.4(4)	44(5)	1.23(13)	$M1+E2$	8071	$15/2_2^- \rightarrow 13/2_1^-$
2855.3(14)	31(8)	1.57(41)	$E2$	10308	$19/2_2^- \rightarrow 15/2_1^-$
2878.3(8)	24(5)	1.52(33)	$E2$	13841	$25/2_1^- \rightarrow 21/2_1^-$
2906.8(1)	168(21)	1.42(19)	$E2$	7453	$15/2_1^- \rightarrow 11/2_1^-$
3086.2(5)	31(5)			3086	$5/2_1^+ \rightarrow 3/2_1^+$
3103.2(1)	1000(19)	1.20(4)	$M2+E3$	3103	$7/2_1^- \rightarrow 3/2_1^+$
3165.6(9)	25(5)	1.38(24)	$E2$	17008	$29/2_1^+ \rightarrow 25/2_1^+$
3271.8(13)	3(1)	1.22(24)	$E2$	11974	$21/2_2^+ \rightarrow 17/2_1^+$
3399.6(11)	17(3)	0.83(16)	$M1$	8671	$15/2_2^- \rightarrow 13/2_1^-$
3444.3(15)	16(3)	0.75(16)	$M1$	8715	$15/2_3^- \rightarrow 13/2_1^-$
3551.5(17)	10(3)	1.25(38)	$E2$	10571	$19/2_2^+ \rightarrow 15/2_1^+$
3564.6(14)	15(5)	1.5(6)	$E2$	12476	$23/2_2^- \rightarrow 19/2_1^-$
4009.6(1)	316(16)	1.43(9)	$E3$	4010	$9/2_1^- \rightarrow 3/2_1^+$
4048.6(25)	9(2)	1.6(4)	$E2$	15448	$27/2_1^- \rightarrow 23/2_1^-$
4158.4(13)	8(2)	1.5(4)	$E2$	9429	$17/2_1^- \rightarrow 13/2_1^-$
4903.7(23)	11(3)			4904	$7/2_1^+ \rightarrow 3/2_1^+$

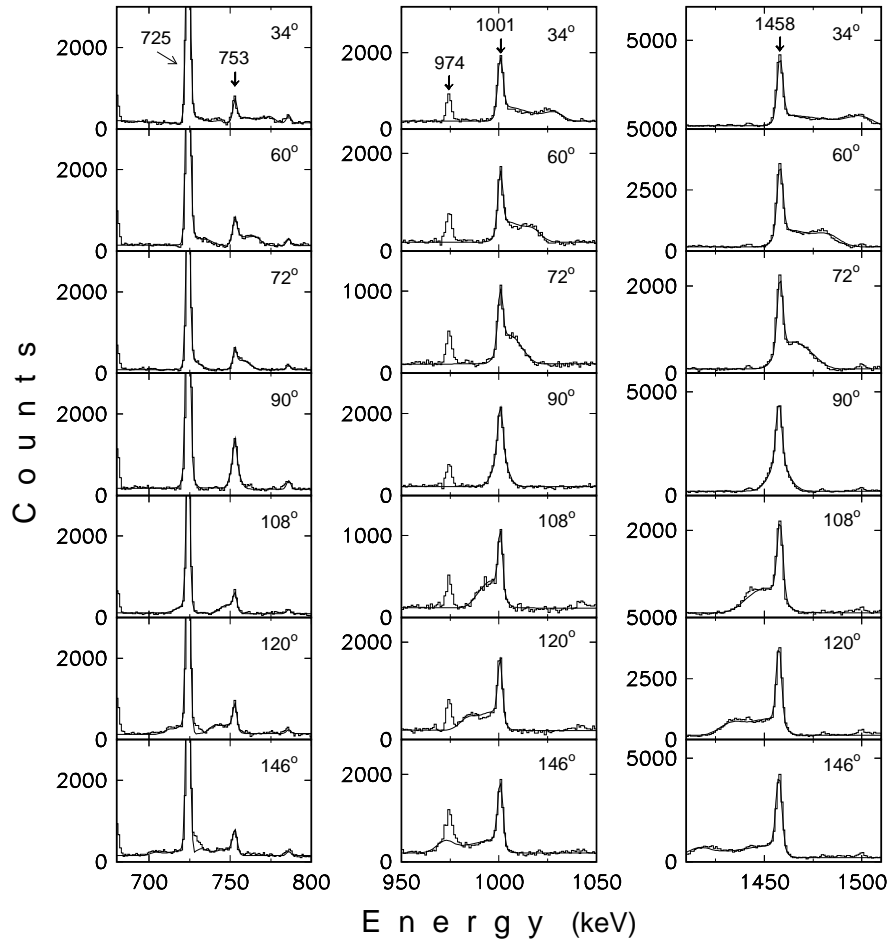


Figura 2: Forme de linie experimentale și calculate pentru razele  $\gamma$  de 725, 753, 1001 și 1458 keV, care dezexcită stările de 5271, 6799, 5547 și respectiv 8911 keV, în  $^{37}\text{Cl}$ .

Tabelul 2: Timpi de viață determinați experimental pentru stări excitate în  $^{37}\text{Cl}$ .

$E_x$ (keV)	$I^\pi$	$T_{1/2}$ (ps)
5547	$11/2_2^-$	0.14(5)
5705	$11/2_3^-$	0.16(5)
6799	$13/2_1^+$	0.41(7)
7453	$15/2_1^-$	0.13(4)
7857	$15/2_2^+$	0.85(15)
8812	$17/2_2^+$	0.38(11)
8911	$19/2_1^-$	0.68(8)

### Compararea datelor experimentale cu prevederile calculelor de model în pături

Calculule teoretice de model în pături în spațiul  $sd - fp$  au fost efectuate folosind codul ANTOINE [12]. O diagonalizare exactă pentru  $^{37}\text{Cl}$  s-a realizat în spațiul restrâns  $s_{1/2}d_{3/2}f_{7/2}p_{3/2}$ , care consideră miezul inert de  $^{28}\text{Si}$ , prin urmare nu au fost considerate excitații din orbitalul  $d_{5/2}$ . Interacția efectivă, denumită  $sdfp$  [4], a fost construită folosind interacțiile reziduale USD [13] și  $\text{KB}'$  [14] pentru păturile  $sd$  și respectiv  $fp$ , combinate cu interacția între pături, ale cărei elemente de matrice au fost calculate folosind matricea  $G$  a lui Kahanna, Lee și Scott [15].

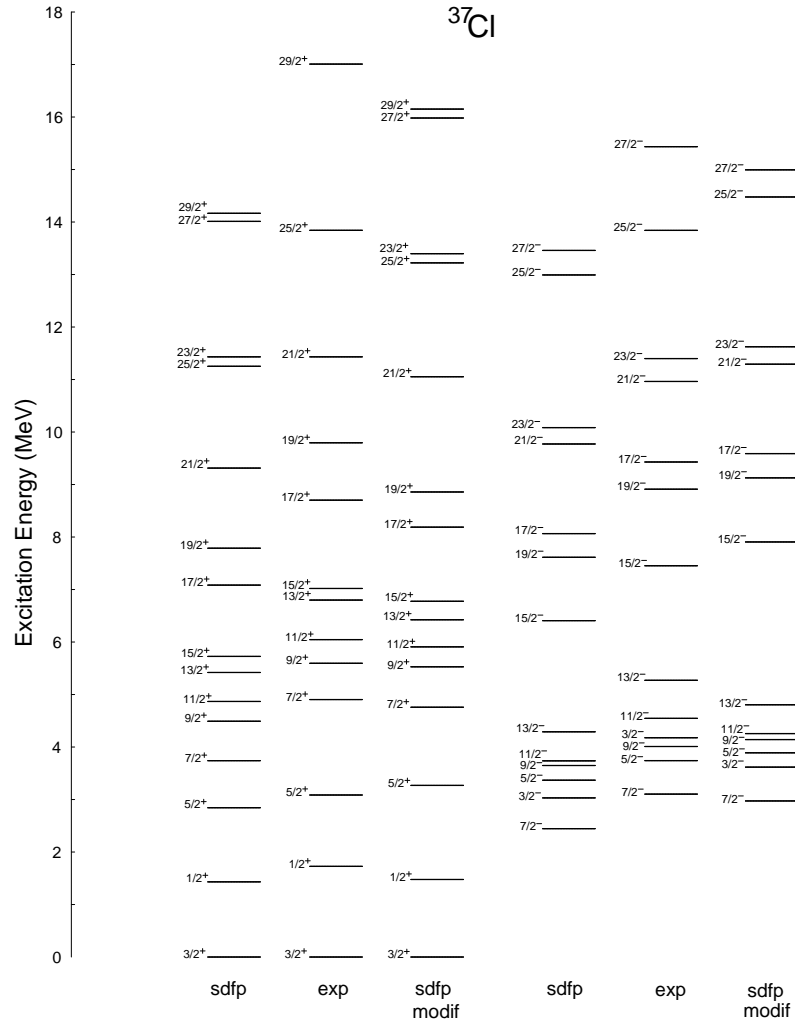


Figura 3: Nivele experimentale yrast în  $^{37}\text{Cl}$  comparate cu calculele de model în pături (detalii în text).

În Figura 3 nivelele experimentale yrast de paritate pozitivă și negativă sunt comparate cu cele calculate folosind interacția  $sdfp$ . Cu excepția nivelului  $3/2^-$ , care este calculat mai jos de nivelele  $5/2^-$  și  $9/2^-$ , în dezacord cu datele experimentale, ordinea nivelelor este corect prezisă de calculele teoretice. În particular, inversia observată pentru stările  $19/2^- - 17/2^-$  este remarcabil reprodusă. Se observă pe de altă parte că pentru toate nivelele energiile calculate sunt sistematic mai mici decât cele experimentale. În Tabelul 3 energiile nivelelor experimentale în  $^{37}\text{Cl}$  (din Ref. [11] și studiul prezent) sunt comparate cu valorile calculate cu codul ANTOINE în spațiul  $s_{1/2}d_{3/2}f_{7/2}p_{3/2}$  folosind interacția  $sdfp$ . Pentru toate stările sunt date numerele de ocupare calculate pentru neutroni ( $\nu fp$ ) și protoni ( $\pi fp$ ) în pătura  $fp$ . Analiza detaliată a compoziției

funcțiilor de undă calculate a relevat un fapt foarte interesant, și anume prezența excitațiilor intrus, în orbitale  $fp$ , în structura tuturor stărilor din  $^{37}\text{Cl}$ . În particular funcțiile de undă ale stărilor de paritate pozitivă cu valori de spin până la  $15/2^+$  conțin o pereche de neutroni în orbitale  $fp$ , în timp ce la spini mai mari apare și excitația protonică intrus. Această comportare diferă de cea observată în cazul nucleelor mai ușoare  $^{31}\text{P}$  [1] sau  $^{34}\text{S}$  [2], unde stările joase de paritate pozitivă nu conțin excitații intrus. În condițiile în care excitațiile intrus sunt prezente în structura tuturor stărilor, faptul că energiile calculate ale acestora sunt subestimate constituie o indicație că gap-ul energetic  $d_{3/2} - f_{7/2}$  produs de interacția  $sdfp$  este prea mic. Pentru testarea acestei ipoteze, am efectuat calcule ANTOINE crescând energia stărilor uniparticulă  $f_{7/2}$  și  $p_{3/2}$  cu o valoare de 0.5 MeV. În Figura 3 și Tabelul 3 sunt incluse și rezultatele calculelor realizate folosind această interacție modificată, denumită  $sdfp_{modif}$ . Se observă că toate energiile experimentale sunt mult mai bine reproduse de aceste calcule. Pe de altă parte, compoziția funcțiilor de undă nu este mult afectată de această modificare, numerele de ocupare ale orbitalelor  $f_{7/2}$  și  $p_{3/2}$  fiind similare în cele două calcule. O comparație între cele două descrieri teoretice este ilustrată în Figura 4, care reprezintă diferența dintre energiile stărilor yrast calculate și cele experimentale, cu roșu pentru interacția  $sdfp$  și cu albastru pentru interacția  $sdfp_{modif}$ . Imbunătățirea descrierii în cazul interacției  $sdfp_{modif}$  este remarcabilă. Studiul detaliat al nucleului  $^{37}\text{Cl}$  oferă astfel posibilitatea de a testa și rafina interacțiile care implică păturile majore  $sd$  și  $fp$ .

Tabelul 3: Energiile nivelelor experimentale în  $^{37}\text{Cl}$  comparate cu valorile calculate cu codul ANTOINE în spațiul  $s_{1/2}d_{3/2}f_{7/2}p_{3/2}$  folosind interacția  $sdfp$  și interacția modificată  $sdfp_{modif}$ . Pentru toate stările sunt date numerele de ocupare calculate pentru neutroni ( $\nu fp$ ) și protoni ( $\pi fp$ ). în pătura  $fp$ .

$I^\pi$	$E_x^{exp}$ (MeV)	$sdfp$			$sdfp_{modif}$		
		$E_x^{calc}$ (MeV)	$\nu fp$	$\pi fp$	$E_x^{calc}$ (MeV)	$\nu fp$	$\pi fp$
$1/2^+$	1.73	1.43	1.66	0.38	1.48	1.22	0.38
	4.23	3.56	1.96	0.32	4.33	2.08	0.25
$3/2^+$	0	0	1.01	0.20	0	0.81	0.18
	3.63	3.03	2.20	0.25	3.60	1.79	0.34
$5/2^+$	3.09	2.84	2.06	0.25	3.27	1.47	0.25
	4.80	4.19	2.31	0.30	4.90	1.90	0.21
$7/2^+$	4.90	3.74	2.34	0.21	4.76	2.30	0.19
$9/2^+$	5.59	4.49	2.28	0.24	5.53	2.24	0.22
$11/2^+$	6.05	4.87	2.28	0.28	5.91	2.23	0.26
$13/2^+$	6.80	5.42	2.19	0.42	6.42	2.12	0.39
	7.56	6.17	2.17	0.45	7.18	2.15	0.38
$15/2^+$	7.02	5.73	2.23	0.36	6.77	2.14	0.36
	7.86	6.46	1.73	0.81	7.48	1.69	0.76
$17/2^+$	8.70	7.08	1.94	1.06	8.19	1.66	1.02
	8.81	7.83	2.27	0.48	8.89	2.07	0.48
$19/2^+$	9.80	7.79	2.10	0.15	8.86	2.09	0.13
	10.57	9.10	2.22	1.02	10.24	1.72	0.94
$21/2^+$	11.43	9.31	2.90	1.08	11.05	2.50	1.07
$23/2^+$		11.43	3.01	1.14	13.40	3.01	1.13
$25/2^+$	13.84	11.25	3.03	1.10	13.22	3.03	1.10
$27/2^+$		14.01	3.03	1.10	15.98	3.03	1.10
$29/2^+$	17.01	14.17	3.07	1.05	16.15	3.06	1.05
$3/2^-$	4.18	3.03	1.37	0.66	3.62	1.14	0.59
	5/2^-	3.74	3.37	1.36	0.22	3.89	1.33
$7/2^-$	3.10	2.44	1.51	0.74	2.97	1.22	0.64
	4.27	3.56	1.98	0.59	4.36	1.51	0.48
$9/2^-$	4.46	4.06	1.55	0.36	4.57	1.49	0.31
	4.01	3.65	1.46	0.24	4.14	1.41	0.21
$11/2^-$	4.92	4.34	1.53	0.36	4.85	1.38	0.35
	4.55	3.74	1.42	0.24	4.26	1.38	0.20
$13/2^-$	5.55	4.58	2.40	0.80	5.22	1.42	0.27
	5.70	4.76	1.79	0.38	5.65	1.65	0.53
$15/2^-$	6.20	5.47	1.75	0.49	6.22	2.07	0.73
	5.27	4.29	1.45	0.15	4.80	1.39	0.13
$17/2^-$	7.45	6.41	2.59	1.01	7.91	2.41	0.99
	8.07	6.92	3.07	0.87	8.19	1.77	0.25
	8.67	7.52	2.57	0.55	8.60	2.79	0.72

$I^\pi$	$E_x^{exp}(\text{MeV})$	$sdfp$			$sdfp_{modif}$		
		$E_x^{calc}(\text{MeV})$	$\nu fp$	$\pi fp$	$E_x^{calc}(\text{MeV})$	$\nu fp$	$\pi fp$
17/2 <sup>-</sup>	9.43	8.06	2.63	0.82	9.59	2.54	0.82
19/2 <sup>-</sup>	8.91	7.61	2.36	1.09	9.13	2.30	1.08
	10.31	8.86	3.14	0.91	10.43	2.55	0.88
21/2 <sup>-</sup>	10.96	9.77	2.82	0.46	11.29	2.75	0.51
23/2 <sup>-</sup>	11.40	10.08	2.27	1.09	11.62	2.19	1.09
	12.48	10.66	2.34	1.10	12.18	2.26	1.09
25/2 <sup>-</sup>	13.84	12.99	2.17	1.08	14.48	2.14	1.07
27/2 <sup>-</sup>	15.45	13.46	2.18	1.06	14.99	2.12	1.06

Pe baza timpilor de viață experimental cunoscuți în  $^{37}\text{Cl}$  (din Ref. [11] și din lucrarea prezentă), au fost deduse probabilitățile reduse de tranziție  $B(M1)$  și  $B(E2)$ . Pentru tranzițiile cu multipolarități amestec,  $M1+E2$ , au fost calculate atât valori  $B(M1)$  cât și valori  $B(E2)$ . În calcul s-au folosit coeficienți de amestec  $\delta$  cunoscuți din literatură [11] pentru tranzițiile de 725, 907, 1170 și 3086 keV. Pentru tranzițiile noi de 1695, 1792 și 2182 keV au fost folosite valorile  $\delta=+0.17(7)$ ,  $-0.25(10)$  și respectiv  $-0.20(7)$ , determinate în prezentul studiu pe baza rapoartelor  $R_{ADO}$ . Valorile experimentale sunt comparate în Tabelul 4 cu valorile  $B(M1)$  și  $B(E2)$  calculate cu codul ANTOINE, folosind interacțiile  $sdfp$  și  $sdfp_{modif}$ . Rezultatele calculului pentru cele două interacții sunt asemănătoare, și oferă o descriere generală bună a valorilor experimentale. Având în vedere dependența probabilităților de tranziție de compoziția specifică a funcțiilor de undă, discrepanțele observate în anumite cazuri între calcul și experiment sunt explicate prin faptul că s-a utilizat un spațiu de configurații restrâns, fără considerarea excitațiilor din orbitalul  $d_{5/2}$ .

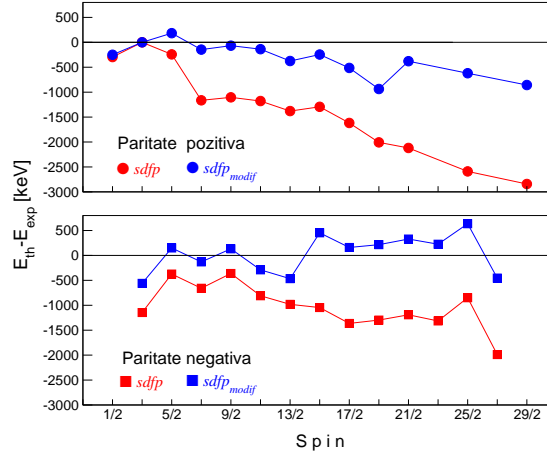


Figura 4: Diferența dintre nivelele yrast calculate și experimentale în  $^{37}\text{Cl}$  (detalii în text).

Tabelul 4: Probabilitățile de tranziție reduse  $B(M1)$  and  $B(E2)$  deduse experimental, comparate cu calculele de model în pături folosind codul ANTOINE și interacțiile efective  $sdfp$  și  $sdfp_{modif}$ . Pentru calculul valorilor  $B(M1)$  au fost folosiți factorii  $g$  ai nucleonilor liberi. Valorile teoretice  $B(E2)$  au fost obținute folosind sarcinile electrice efective  $e_\nu^{eff}=0.5e$  și  $e_\pi^{eff}=1.5e$ .

$E_{lev}^{exp}$ (keV)	$T_{1/2}^{exp}$ (ps)	$I^\pi$	$I_f^\pi$	$E_\gamma^{exp}$ (keV)	$BR_{exp}$ %	$B(M1)(\mu_N^2)$			$B(E2)(e^2 fm^4)$		
						exp	$sdfp$	$sdfp_{modif}$	exp	$sdfp$	$sdfp_{modif}$
3086	0.027(6) <sup>a</sup>	5/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	3/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	3086	100	0.032(7)	0.029	0.037	26(7)	35	38
4904	0.024(11) <sup>a</sup>	7/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	5/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	1818	21(7)	0.056(3)	0.009	0.003			
			3/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	4904	79(8)				7(4)	5	3
6799	0.41(7) <sup>b</sup>	13/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	11/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	753	52(2)	0.117(29)	0.109	0.145			
			9/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	1204	10(2)				54(16)	37	36
7020	2.1(11) <sup>a</sup>	15/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	13/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	221	4(1)	0.070(39)	0.001	0.002			
			11/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	974	10(2)				55(32)	31	31
7857	0.85(15) <sup>b</sup>	15/2 <sub>2</sub> <sup>+</sup>	13/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	1058	79(9)	0.031(8)	0.236	0.235			
8812	0.38(11) <sup>b</sup>	17/2 <sub>2</sub> <sup>+</sup>	15/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	1792	47(9)	0.008(5)	0.039	0.038	3(2)	6	3
			13/2 <sub>1</sub> <sup>+</sup>	2013	40(5)				18(7)	43	32
4273	0.075(30) <sup>a</sup>	7/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1170	100	0.336(174)	1.069	1.183	12(6)	17	9
4460	0.055(20) <sup>a</sup>	7/2 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1357	59(8)	0.164(66)	0.001	0.115			

$E_{lev}^{exp}$ (keV)	$T_{1/2}^{exp}$ (ps)	$I^\pi$	$I_f^\pi$	$E_\gamma^{exp}$ (keV)	$BR_{exp}$ %	$B(M1)(\mu_N^2)$			$B(E2)(e^2 fm^4)$		
						exp	$sdfp$	$sdfp_{modif}$	exp	$sdfp$	$sdfp_{modif}$
4010	23(2) <sup>a</sup>	9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	907	73(4)	0.0013(2)	0.036	0.049	6(1)	4	5
4921	0.055(30) <sup>a</sup>	9/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	911	26(6)	0.247(143)	0.000	0.008			
			7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1817	74(9)	0.089(50)	0.002	0.002			
4546	2.4(7) <sup>a</sup>	11/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	536	96(5)	0.103(60)	0.158	0.151			
			7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1443	4(1)				1.5(6)	0.0	0.4
5547	0.14(5) <sup>b</sup>	11/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	11/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1001	54(3)	0.152(61)	0.099	0.001			
			9/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	626	3(1)	0.034(17)	0.073	0.071			
			9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1537	9(3)	0.007(3)	0.016	0.095			
			7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	2444	34(8)				16(7)	48	21
5705	0.16(5) <sup>b</sup>	11/2 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	158	0.8(3)	0.506(295)	0.836	1.024			
			11/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1159	48(2)	0.076(25)	0.071	0.074			
			9/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	784	6(2)	0.029(15)	0.064	0.652			
			9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1695	18(2)	0.009(4)	0.035	0.056	1.3(7)	1.4	1.2
			7/2 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1245	3(1)				39(15)	1.8	2.6
			7/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1432	7(10)				44(17)	36	6
			7/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	2602	14(2)				4(2)	0.4	9
5271	2.4(6) <sup>a</sup>	13/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	11/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	725	94(2)	0.040(12)	0.166	0.148	13(5)	16	17
			9/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1261	6(2)				3(1)	10	11
7453	0.13(4) <sup>b</sup>	15/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	13/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	2182	12(2)	0.003(1)	0.000	0.001	0.4(2)	0.003	0.2
			11/2 <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1256	3(1)				42(15)	7	33
			11/2 <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1748	35(3)				92(33)	20	11
			11/2 <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1906	20(2)				35(11)	43	0.2
			11/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	2907	30(3)				6(2)	1	1
8911	0.68(8) <sup>b</sup>	19/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	15/2 <sub>1</sub> <sup>-</sup>	1458	100				126(15)	52	67

<sup>a</sup>Ref. [11].      <sup>b</sup>Studiul prezent.

### 3. Concluzii

A fost realizat un studiu complet, experimental și teoretic, pentru elucidarea structurii nucleului <sup>37</sup>Cl. Schema de nivele a fost considerabil extinsă la energii de excitație și spini mari. Au fost identificate 28 nivele noi și 75 tranziții noi. Pe baza multipolarităților razelor  $\gamma$  au fost atribuiți spini și parități pentru 34 nivele excitate. Aplicând metoda atenuării deplasării Doppler au fost determinați timpii de viață pentru 7 nivele noi. Structura nucleului <sup>37</sup>Cl a fost descrisă prin calcule extinse de model în pături în spațiul  $s_{1/2}d_{3/2}f_{7/2}p_{3/2}$ . A fost obținută o bună descriere a nivelelor energetice și a probabilităților de tranziție, confirmându-se valabilitatea interacției efective  $sdfp$  pentru descrierea nucleelor stabile din zona  $A \approx 30-40$ . Analiza efectuată a indicat faptul că gap-ul energetic  $d_{3/2} - f_{7/2}$  produs de interacția  $sdfp$  este subestimat, sugerându-se o creștere cu  $\approx 500$  keV a energiilor orbitalilor  $f_{7/2}$  și  $p_{3/2}$ . Studiul prezent a furnizat astfel posibilitatea de a îmbunătăți interacțiile care implică păturile majore  $sd$  și  $fp$ .

Obiectivele etapei au fost realizate integral. Rezultatele originale obținute constituie obiectul unei lucrări științifice în curs de publicare la revista Phys. Rev. C

## Bibliografie

- [1] M. Ionescu-Bujor, A. Iordachescu, D.R. Napoli, S.M.Lenzi, N. Marginean *et al.*, Phys. Rev. C **73**, 024310 (2006).
- [2] P. Mason, N. Marginean, S.M.Lenzi, M. Ionescu-Bujor, A. Iordachescu *et al.*, Phys. Rev. C **71**, 014316 (2005).
- [3] F. Della Vedova, S. M. Lenzi, M. Ionescu-Bujor, N. Marginean *et al.*, Phys. Rev. C **75**, 034317 (2007).
- [4] E. Caurier, K. Langanke, G. Martinez-Pinedo, F. Nowacki, P. Vogel, Phys. Lett. **B522**, 240 (2001).
- [5] Y. Utsuno, T. Otsuka, T. Mizusaki, M. Honma, Phys. Rev. C **60**, 054315 (1999).
- [6] Y. Utsuno, T. Otsuka, T. Glasmacher, T. Mizusaki, M. Honma, Phys. Rev. C **70**, 044307 (2004).
- [7] C. Rossi Alvarez, Nuclear Physics News **3**, nr.3, 10 (1993).
- [8] E. Farnea *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **400**, 87 (1997).
- [9] J.C. Wells și N.R. Johnson, Report No. ORNL-6689, 1991, p44.
- [10] L.C. Northcliffe și R.F. Schilling, Nucl. Data, Sect. A **7**, 233 (1970).
- [11] P.M. Endt, Nucl. Phys. A **521** (1990) 1 și referințele incluse.
- [12] ANTOINE code, E. Caurier, Strasbourg (1989).
- [13] B.A. Brown, B.H. Wildenthal, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **38**, 29 (1988).
- [14] A. Poves and A.P. Zuker, Phys. Rep. **70**, 4 (1981).
- [15] S. Kahana, H.C. Lee, C.K. Scott, Phys. Rev. **180**, 956 (1969).

DIRECTOR PROIECT,

Dr. Manuela IONESCU-BUJOR