

Vedecká rada Fakulty matematiky, fyziky a informatiky
Univerzity Komenského
v Bratislave



Mgr. Stanislav Antalic

Autoreferát dizertačnej práce

**Synthesis and properties of neutron deficient
isotopes of elements around $Z=100$**

Na získanie vedecko-akademickej hodnosti *philosophiae doctor*
v odbore doktorandského štúdia:
11–24–9 Jadrová a subjadrová fyzika

Bratislava 2005

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre jadrovej fyziky a biofyziky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky, Univerzity Komenského v Bratislave.

Predkladateľ:

Mgr. Stanislav Antalic
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky
FMFI UK, Mlynská dolina
842 15 Bratislava

Školiteľ:

prof. RNDr. Štefan Šáro, DrSc.
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky
FMFI UK, Mlynská dolina
842 15 Bratislava

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o hod
na FMFI UK, Mlynská Dolina, 842 48 Bratislava, miestnosť číslo pred komisiou pre
obhajobu dizertačnej práce doktorandského štúdia vymenovanou dňa predsedom
spoločnej odborovej komisie vo vednom odbore 11-24-9 jadrová a subjadrová fyzika.

Predseda spoločnej odborovej komisie:
prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky FMFI UK
842 15 Bratislava

Obsah

1	Úvod a motivácia	3
2	Experiment	4
2.1	SHIP - Separator for Heavy Ion reaction Products	4
2.2	Charakteristika experimentov	6
3	Výsledky a diskusia	7
3.1	Rozpadový reťazec ^{247}Md	7
3.2	Rozpadový reťazec izotopu ^{246}Md	8
3.3	Rozpadový reťazec ^{255}Lr	10
3.4	Rozpadový reťazec ^{254}Lr	11
4	Záver	13
5	Conclusion and Outlook	14
6	Zoznam publikácií	18
6.1	Publikácie v časopisoch	18
6.2	Vybrané Konferenčné Príspevky	19
6.3	Reporty a Preprinty	20

1 Úvod a motivácia

Predkladaná práca bola motivovaná poslednými experimentami v oblasti superťažkých prvkov. Po úspešnej syntéze prvkov s protónovými číslami od 107 do 112 v GSI Darmstadt (Nemecko) [Mun81a],[Mun84],[Mun82],[Hof95a],[Hof95b, Hof01],[Hof96, Hof01] na konci minulého storočia boli postupne v JINR Dubna (Rusko) [Oga99a, Oga99b, Oga99c, Oga00a, Oga00b, Oga01a, Oga01b, Oga02, Oga04] a v Rikene (Japonsko) [Mor04] syntetizované nové prvky od 113 do 116. Popri tom, postupný vývoj experimentálnej techniky umožnil spektroskopickú štúdiu izotopov až do prvku Hassium - $Z = 108$.

Mnohé fyzikálne veličiny, nevyhnutné pri realizácii experimentov, musia byť v súčasnosti získavané pomocou semiempirických a empirických modelov. Väčšina týchto modelov vyžaduje nastavenie mnohých empirických parametrov, ktoré sa získavajú fitovaním experimentálnych údajov. Cieľom práce bolo získanie nových informácií, ktoré doplnia databázu týchto experimentálnych údajov. Nové údaje navyše umožňujú priamu konfrontáciu s výsledkami teoretických modelov a ich postupné vylepšenie. Mnohé teoretické modely sa totiž v predpovedaní jednotlivých vlastností superťažkých prvkov navzájom odlišujú a jedine experiment umožní ich zhodnotenie a upresnenie výpočtov v okrajových oblastiach.

Experimenty opísané v tejto práci boli realizované v rámci dlhodobého projektu štúdia spektroskopických vlastností transuránov a superťažkých prvkov. Všetky študované izotopy - ^{246}Md , ^{247}Md , ^{254}Lr a ^{255}Lr - boli po prvý krát syntetizované pred dlhším časom, avšak doposiaľ nebolo uskutočnené detailné meranie zamerané na štúdium ich rozpadových charakteristík. Z pohľadu spektroskopických dát boli preto tieto izotopy bielymi miestami v tabuľke izotopov.

Pri analýze dát boli využité metódy α a $\alpha - \gamma$ koincidenčnej spektroskopie kombinovanej s $\alpha - \alpha$ a Recoil - α korelačnou metódou. Výsledky ukázali, že použité metódy v kombinácii s účinným separátorom produktov ťažkoiónových reakcií sú silným nástrojom na štúdium rozpadových vlastností izotopov s krátkym polčasom rozpadu (dolný limit je $\approx 10 \mu\text{s}$) a malým účinným prierezom reakcie potrebnej na ich produkciu (dolný limit je $\approx 1 \text{ nb}$).

Ako už bolo spomenuté, experimenty boli realizované na rýchlostnom filtri SHIP [Mun79] v GSI Darmstadt v rámci dlhodobej kolaborácie s tamojšou experimentálnou skupinou. Pri analýze dát bol využitý analyzačný software GO4 [GO4] s analytickou nadstavbou GO4SHIP umožňujúcou analyzovať experimentálne dáta získané na spomínanom experimentálnom zariadení. Táto analyzačná časť bola vyvinutá a spravovaná skupinou na katedre jadrovej fyziky FMFI UK v Bratislave. Správnosť výsledkov bola overená vo viacerých experimentoch, pri ktorých bola vykonávaná paralelná analýza s programovým balíkom GOOSY [GOO].

2 Experiment

2.1 SHIP - Separator for Heavy Ion reaction Products

Všetky experimenty opísané v predkladanej dizertačnej práci boli realizované na separátore SHIP. Tento sa nachádza na línii urýchlovača ťažkých iónov UNILAC (skratka z UNiversal Linear ACcelerator) v GSI Darmstadt v Nemecku. Spomínaný urýchlovač poskytuje zväzky pre všetky prvky až po urán s relatívne vysokými intenzitami (3.0 pμA pre $^{40}\text{Ar}^{8+}$, 1.2 pμA pre $^{58}\text{Fe}^{8+}$ a 0.4 pμA pre $^{82}\text{Se}^{12+}$)¹. Relatívna presnosť energie zväzku je ± 0.003 MeV/u a absolútna presnosť je približne ± 0.01 MeV/u. Táto presnosť umožňuje uskutočniť precízne merania aj pri reakciách s úzkymi excitačnými funkciami, ako je to v prípade 1n a 2n kanálov pri produkcii najťažších jadier ($Z > 100$). [Hof00]

Rýchlostný filter SHIP [Mun79] bol navrhnutý tak, aby dával vysoké výťažky separovaných produktov reakcií ťažkých iónov, špeciálne reakcií úplnej syntézy. Separátor akceptuje rýchlosti do hranice $\pm 5\%$ od strednej hodnoty a náboj iónov $\pm 10\%$.

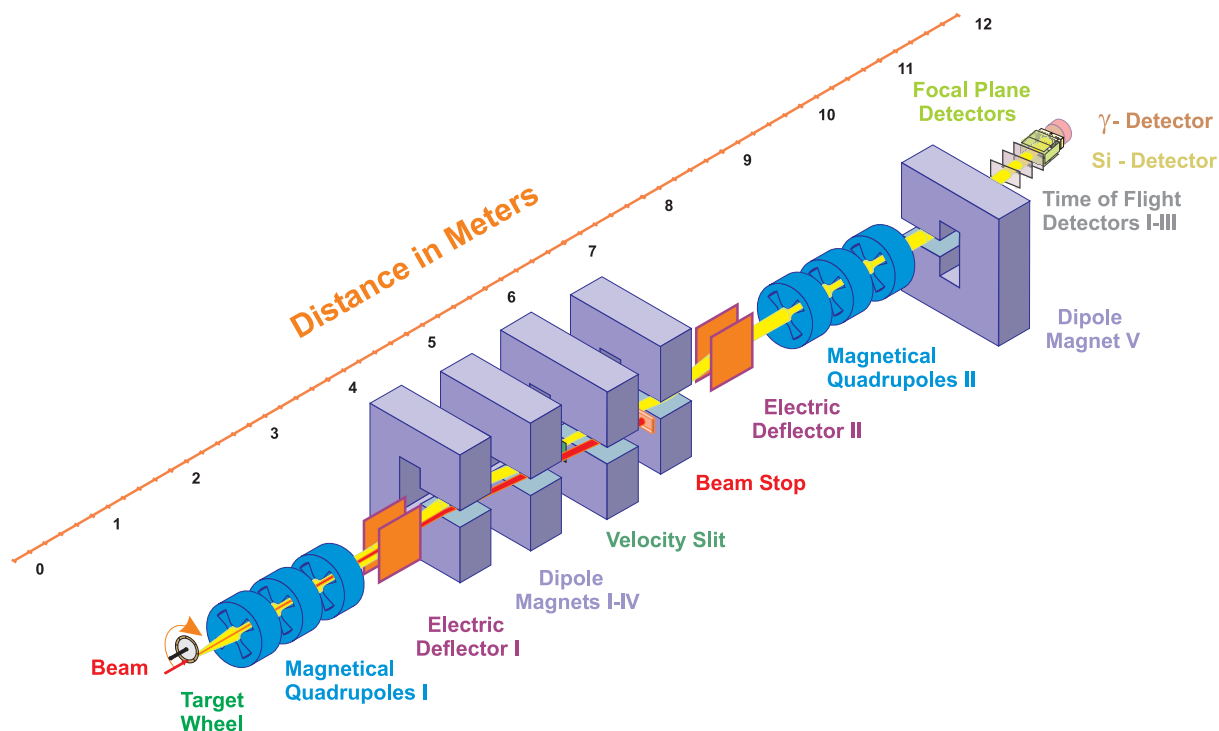
Pri syntéze ťažkých a supertažkých jadier s oloveným alebo bizmutovým terčikom je tento terčik (zvyčajne s hrúbkou $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) naparený na tenkej podkladovej uhlíkovej fólii ($40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a pokrytom ešte ďalšou uhlíkovou vrstvou s hrúbkou ($15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) na obmedzenie radiačného poškodenia terča a zvýšenie emisivity. Keďže olovo aj bizmut majú veľmi nízku teplotu topenia (olovo 327.5°C , bizmut 271.3°C), používa sa na zväčšenie ožiareného povrchu a na rozloženie deponovanej energie rotačný terčik tvorený kruhom s polomerom 155 mm, skladajúci sa z ôsmich "banánových" terčov, ktorý rotuje zosynchronizovane s pulzným režimom urýchlovača (5.5 ms pulz a 14.5 ms pauza) s frekvenciou 18.75 Hz [Hof00].

Za terčom sa nachádza strhávacia fólia, ktorej úlohou je zrovnovážiť nábojové stavy produktov. Táto je zvyčajne tvorená 40 - 60 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ uhlíkovou fóliou. Produkty reakcií po prechode strhávacou fóliou vstupujú do separátora, ktorý je kombináciou dvoch rýchlostných filtrov so separovanými elektrickými a magnetickými deflekčnými polami. Každý filter je tvorený z jedného elektrostatického deflektora a dvoch magnetických dipólov. Triplet magnetických kvadrupólov na začiatku SHIPu zbiera odklonené odrazené jadrá a fokusuje ich do 'rýchlostného otvoru' v prostriedku separátora, kde je primárny zväzok odseparovaný od recoil jadier. Druhý triplet kvadrupólov fokusuje vyseparované jadrá do systému detektorov nachádzajúcim sa za SHIPom. Pred detekčnou časťou je ešte umiestnený malý vychylovací magnet, ktorý vychyluje produkty reakcie približne o $7,5^\circ$ a zaisťuje dodatočné potlačenie pozadia o faktor 10-50 [Hof00]. Celkové potlačenie pozadia pozdĺž celého energetického spektra je $10^{10} - 10^{11}$.

Systém detektorov za separátorom je zložený z TOF systému tvoreného tromi detektormi, siedmymi 16 stripovými kremíkovými detektormi (jedným finálnym a šiestimi spätnými detektormi), gama detektorom a veto detektorom.

TOF systém sa skladá z troch identických detektorov (jeden "štart"detektor a dva "stop"detektory), ktoré majú spolu účinnosť registrácie 99,8 % a rozlíšenie približne 700 ps. Každý z nich tvoria dve samonosné uhlíkové fólie s hrúbkou cca $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ [Sar96]. Medzi týmito fóliami je vysoké napätie (4 kV) určené na urýchlenie elektrónov vyrazených z fólií prechádzajúcimi ťažkými iónmi. Vyrazené elektróny sa zbierajú na mikrokanálové

¹1 pμA = 6.24×10^{12} častíc/s



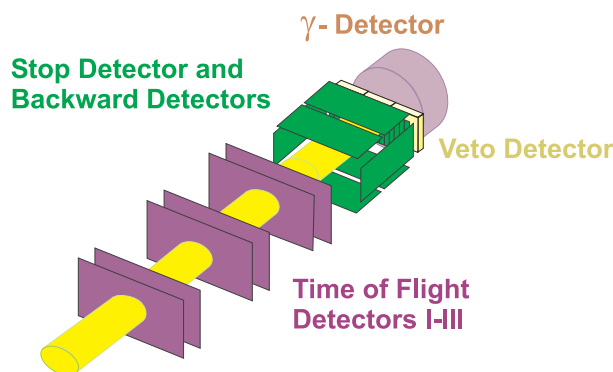
Obrázok 1: Rýchlostný filter SHIP. Systém koncových detektorov je detailnejšie znázorený na obrázku 2

doštičky, z ktorých sa odoberá signál, kde vzniká lavína elektrónov. Antikoincidenčným zapojením TOF systému od finálneho detektora je možné rozlíšiť signály pochádzajúce z rozpadov vo finálnom detektore a signály tvorené implantáciou iónov prichádzajúcich zo smeru separátora.

Aktívna plocha jedného silikónového detektora je $80 \times 35 \text{ mm}^2$. Každý strip je 5 mm široký a pozíčne citlivý vo vertikálnom smere s relatívnym rozlíšením (FWHM) $150 \mu\text{m}$ pre α rozpad, čím vzniká ekvivalent systému detektorov tvorený 3700 samostatnými detektormi s rozmermi $5 \times 0,15 \text{ mm}$. Energetické rozlíšenie pre externý α zdroj - ^{241}Am - je 14 keV. Šesť detektorov tvorí zadný detektor, ktorý registruje unikajúce α častice alebo štiepne fragmenty s uhlom zachycujúcim 80 % z 2π . Všetky spomenuté detektory sú chladené na teplotu 263 K.

Dodatočný veto detektor nachádzajúci sa za finálnym detektorom je využívaný na potlačenie pozadia tvoreného protónmi prichádzajúcimi z urýchlovača. Germániové gamma detektory merajú žiarenie X alebo gama, ktoré sú v koincidencii so signálmi z kremíkového detektora.

Na potlačenie nízkoenergetického pozadia tvoreného pomalými ťažkými iónmi je možné umiestniť pred finálny detektor hliníkové (prípadne mylarové) fólie s klinovitým alebo rovnomerným profilom, ktorých hrúbku je možné meniť s krokom $0,5 \mu\text{m}$.



Obrázok 2: Zjednodušené zobrazenie usporiadania detekčnej časti za separátorom SHIP tvorenej TOF systémom, finálnym detektorom, spätnými detektormi, gamma detektorom a veto detektorom.

2.2 Charakteristika experimentov

Na výskum izotopov ^{246}Md , ^{247}Md , ^{254}Lr a ^{255}Lr boli zamerané 2 experimenty²:

1. *RUN 211*

Realizácia experimentu: 7.4.2003 - 11.4.2003

Reakcia: $^{40}\text{Ar} + ^{209}\text{Bi}$

Energie zväzku: $E_{beam} = 4,67 \text{ AMeV}$ a $E_{beam} = 4,95 \text{ AMeV}$

Celková dóza: $7,76 \times 10^{17}$ projektilov pri energii $E_{beam} = 4,67 \text{ AMeV}$ a

$1,65 \times 10^{18}$ projektilov pri energii $E_{beam} = 4,95 \text{ AMeV}$

Test reakcie: $^{40}\text{Ar} + ^{169}\text{Tm}$, $^{40}\text{Ar} + ^{176}\text{Yb}$, produkty transfer reakcie $^{40}\text{Ar} + ^{209}\text{Bi}$

2. *RUN 210*

Realizácia experimentu: 24.2.2003 - 11.3.2003³

Reakcia: $^{48}\text{Ca} + ^{209}\text{Bi}$

Energie zväzku: $E_{beam} = 4,69 \text{ AMeV}$ a $E_{beam} = 4,81 \text{ AMeV}$

Využitá dóza zväzku: $3,5 \times 10^{16}$ projektilov pri energii $E_{beam} = 4,69 \text{ AMeV}$ a

$1,165 \times 10^{18}$ projektilov pri energii $E_{beam} = 4,81 \text{ AMeV}$

Test reakcie: $^{48}\text{Ca} + ^{170}\text{Er}$

²V septembri 2001 bol na experimentálnom zariadení SHIP realizovaný experiment zameraný na syntézu izotopov ^{246}Md a ^{247}Md . Pre problémy s meraním energie zväzku však nebolo možné nastaviť optimálnu energiu a boli produkované oba izotopy súčasne. Nakoľko majú podobné rozpadové charakteristiky bolo nemožné ich jednoznačne odlíšiť a detailná analýza nebola zrealizovaná. Preto tento experiment nebol do predkladanej dizertačnej práce zahrnutý.

³Tento experiment bol uskutočnený s využitím parazitického zväzku počas iného experimentu, zameraného na výskum chemických vlastností prvku 112, čo bolo príčinou dlhej doby jeho realizácie.

3 Výsledky a diskusia

3.1 Rozpadový reťazec ^{247}Md

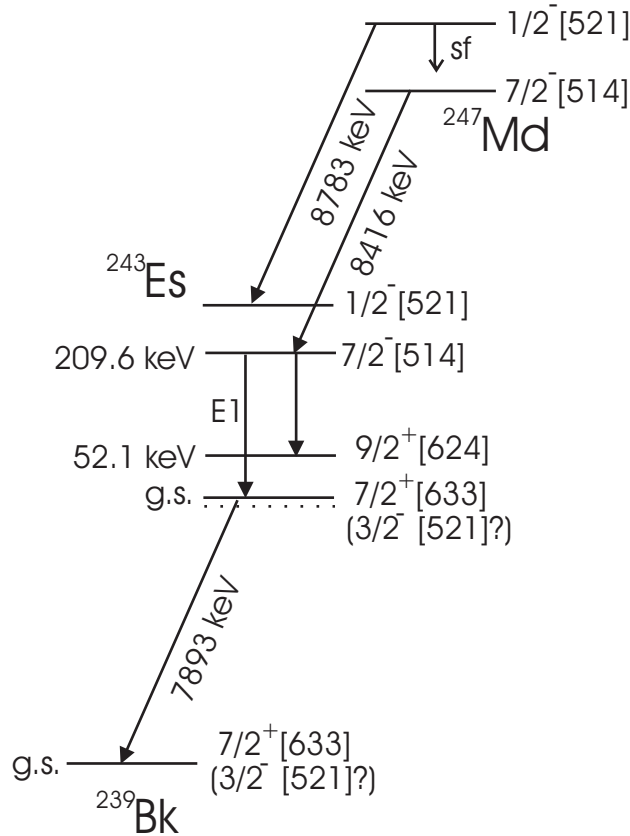
V tejto časti experimentu boli potvrdené známe dáta pre α rozpad izotopu ^{247}Md . α rozpad s energiou $E_\alpha = 8416 \pm 10$ keV bol priradený rozpadu zo základného stavu $7/2^- [514]$ Nilssonovho levelu izotopu ^{247}Md . Taktiež bol po prvý krát nameraný α prechod s energiou $E_\alpha = 8660 \pm 20$ keV ktorý bol predbežne priradený prechodu medzi základnými stavmi ^{247}Md a ^{243}Es .

Izotop	E_α [keV]	$T_{1/2}$ [s]	b_α	E_γ [keV]	b_{SF}	Ref.
^{247}Md	8416 ± 10	1.3 ± 0.1		209.6 ± 0.5 157.5 ± 0.5		Táto práca
	8660 ± 20^A					Táto práca
	8424 ± 20	1.12 ± 0.22				[Hof94]
^{247m}Md	8783 ± 40	0.257 ± 0.033 $0.23^{+0.19}_{-0.12}$	≈ 0.77		≈ 0.23 $\approx 1^B$	Táto práca [Hof94]
^{243}Es	7893 ± 10	22.9 ± 2.2	≈ 0.6			Táto práca
	7860 ± 20^A					Táto práca
	7895 ± 20	40^{+40}_{-20}				[Hof94]
	7939 ± 10	21 ± 5				[Hat89]
	7899 ± 3					[Hat89]

Tabuľka 1: Zhrnutie získaných údajov o rozpade $^{247,247m}\text{Md}$ a ^{243}Es a porovnanie s niektorými známymi údajmi. ^{A)} - priradenie je, v dôsledku nízkej štatistiky, iba predbežné ^{B)} počas merania boli jednoznačne registrované iba 3 spontánne štiepenia.

Po prvý krát bol registrovaný aj α rozpad z izomerického stavu ^{247m}Md s polčasom rozpadu $T_{1/2} = 0.257 \pm 0.033$ s a s energiou $E_\alpha = 8783 \pm 40$ keV. Tento level bol priradený stavu $1/2^- [521]$. Doposiaľ bol tento izomerický stav predpokladaný iba na základe dvoch štiepení registrovaných pri produkcii tohto izotopu s polčasom $T_{SF} = 0.23^{+0.19}_{-0.12}$ s [Hof94].

Po prvý krát boli registrované gamma prechody s energiami $E_\gamma = 209.6 \pm 0.5$ keV a $E_\gamma = 157.5 \pm 0.5$ keV v koincidencii s α rozpadom ^{247}Md . Tieto prechody boli priradené prechodom z nízko ležiacich vzbudených hladín izotopu ^{243}Es , ktorých spiny a parity boli určené: $7/2^- [514]$ pre hladinu s excitačnou energiou $E_{exc} = 209.6$ keV a $9/2^+ [624]$ pre hladinu s excitačnou energiou $E_{exc} = 52.1$ keV. Taktiež je α rozpadom ^{247m}Md obsadzovaný stav $1/2^- [521]$. Základnému stavu a/alebo nízkoľiacemu vzbudenému stavu izotopu ^{243}Es môže byť priradený stav $7/2^+ [633]$ a/alebo $3/2^- [521]$. Dôvodom je predpokladaná existencia oboch stavov v tesnej blízkosti. V prípade izotopu ^{251}Es bola hladina $7/2^+ [633]$ lokalizovaná s excitačnou energiou $E_{exc} = 8.3$ keV [Ahm00]. Existencie hladiny



Obrázok 3: Rozpadové schéma ^{247}Md a ^{243}Es navrhnutá na základe analyzovaných dát. Priradenie spinu a parity základnej hladiny ^{243}Es nie je jednoznačné (viď text).

v okolí $E_{exc} \approx 0$ keV pre ostatné neutrónovo deficitné izotopy existencie je okrem jej lokalizácie pre ^{251}Es založené na fakte, že teória predpovedá túto hladinu pre všetky izotopy v rozmedzí ^{243}Es - ^{257}Es s približne rovnakou excitačnou energiou $E_{exc} \approx 270 - 300$ keV [Cwi94]. Spomínané teoretické výpočty ako aj ich porovnania s niektorými experimentálnymi výsledkami sú zobrazené na obrázku 7. Pre úplnosť treba dodať, že detekčné zariadenie na separátore SHIP zvyčajne neumožňuje jednoznačne odlíšiť od seba existenciu dvoch hladín vzdialených od seba iba niekoľko keV z dôvodu vysokého prahu γ detektorov a rozlíšenia α detektorov na úrovni 10 - 20 keV.

V prípade α rozpadu izotopu ^{243}Es bola potvrdená iba jedna (z dvoch) publikovaných energií rozpadu [Hat89] $E_\alpha = 7893 \pm 10$ keV. Očakávaný α rozpad s energiou 7939 keV nebol sledovaný, avšak bol registrovaný prechod s energiou $E_\alpha = 7860 \pm 20$ keV.

Všetky získané dáta sú sumarizované v tabuľke 1. Návrh rozpadovej schémy je zobrazený na obrázku 3.

3.2 Rozpadový reťazec izotopu ^{246}Md

Pre tento izotop je typický silný vplyv sumovania energie α rozpadu s energiou elektrónu vznikajúceho pri vnútornej konverzii. Energetické spektrum α rozpadu ^{246}Md možno

rozdeliť na tri oblasti. Prvou je oblasť od 8250 keV do 8690 keV s polčasom $T_{1/2} = 1.3 \pm 0.4$ s. Druhou oblasťou je okolie čiary s energiou 8744 ± 10 keV a s polčasom $T_{1/2} = 0.75 \pm 0.18$ s. Obe oblasti sú priradené rozpadu zo základnej hladiny ^{246}Md .

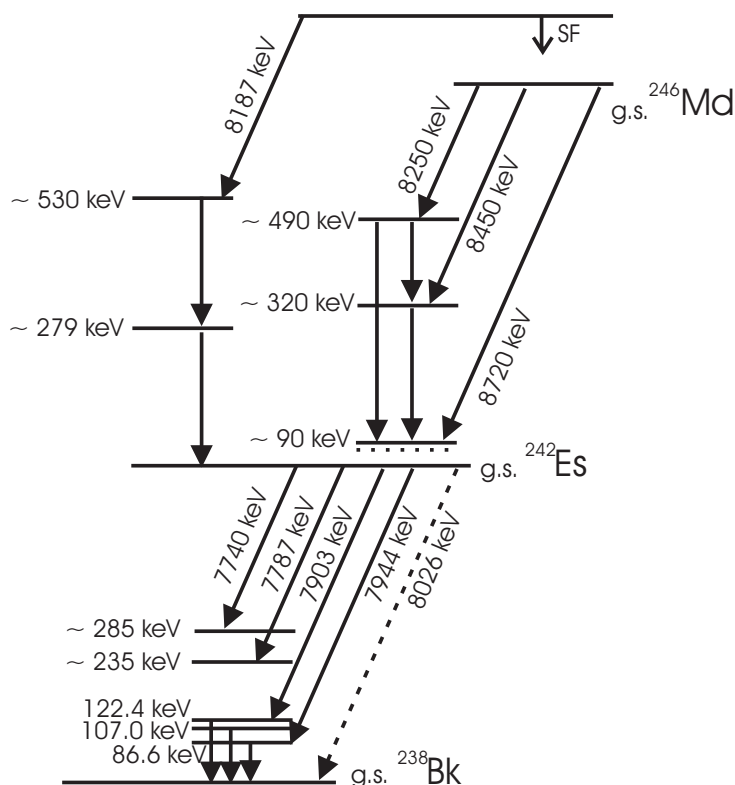
Izotop	E_α [keV]	$T_{1/2}$ [s]	b_α	E_γ [keV]	b_{SF}	Ref.
^{246}Md	8250-8690 ^C	1.3 ± 0.4	≈ 0.74	169.0	≈ 0.3	Táto práca
				232.5 ^A		
				252.0		
	8744 \pm 10	0.75 ± 0.18			Táto práca [Nin96]	
	8500-8560					
	8740 \pm 20					
^{246m}Md	8178 \pm 10	4.4 ± 0.8			Táto práca	
^{242}Es	7780-7960 ^C	17.8 ± 1.6	0.456 ± 0.026^B	86.6	≈ 0.3	Táto práca
				107.0		
				122.4		
	8025 \pm 20 ^A	$22^{+1.6}_{-9.9}$			Táto práca [Nin96]	
	7920 \pm 20	16^{+6}_{-4}				

Tabuľka 2: Zhrnutie získaných údajov o rozpade $^{246,246m}\text{Md}$ a ^{242}Es a porovnanie s niektorými známymi údajmi. ^{A)} - priradenie je, v dôsledku nízkej štatistiky, iba predbežné ^{B)} Predbežne bola popri α a EC rozpade identifikovaný aj ECDF rozpad s vetviacim pomerom $0.67^{+0.61}_{-0.39}$ %. ^{C)} V dôsledku nemožnosti rozlíšiť jednotlivé α čiary je daný iba energetický interval.

Ďalej bol po prvý krát sledovaný α rozpad s energiou $E_\alpha = 8178 \pm 10$ keV a polčasom $T_{1/2} = 4.4 \pm 0.8$ s. Tento α rozpad bol priradený rozpadu z izomerického stavu ^{246m}Md .

Podobne, ako v prípade α rozpadu ^{246}Md , taktiež pre α rozpad izotopu ^{242}Es je evidentný silný vplyv sumovania energie s konverznými elektrónmi. Oblasť α rozpadu pre tento izotop leží od 7780 keV do 7960 keV. Pre vetviaci pomer EC rozpadu bola získaná hotnota $b_{EC} = 54.4 \pm 2.6$ %.

V koincidencii s α rozpadom izotopov ^{246}Md a ^{242}Es boli pozorované viaceré γ prechody. Všetky získané výsledky sú sumarizované v tabuľke 2. Návrh rozpadovej schémy pre ^{246}Md a ^{242}Es je zobrazený na obrázku 4. V dôsledky komplikovanej energetickej štruktúry α rozpadu oboch izotopov a nemožnosti merať energie konverzných elektrónov ako aj nedostatku záchytných bodov potrebných pri zostavovaní rozpadovej schémy však nebolo možné priradiť spin a paritu jednotlivým stavom a je potrebné brať danú rozpadovú schému len ako predbežný návrh.



Obrázok 4: Rozpadové schéma ^{246}Md a ^{242}Es navrhnutá na základe analyzovaných dát. Treba upozorniť, že najmä časť zameraná na opis α rozpadu ^{246}Md a exitačných hladín ^{242}Es treba brať iba ako predbežný návrh.

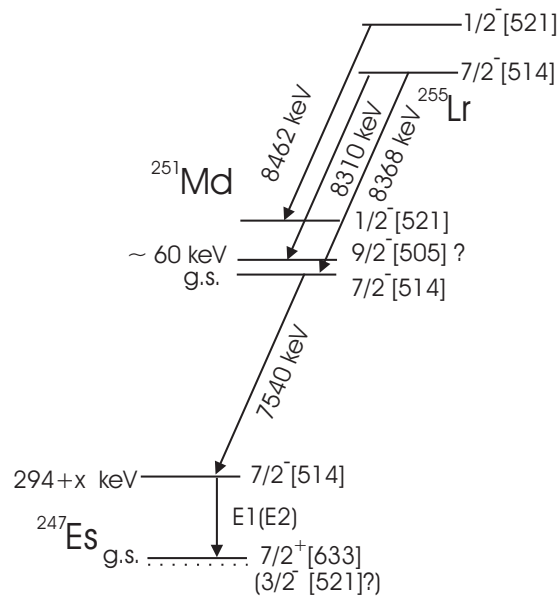
3.3 Rozpadový reťazec ^{255}Lr

Spin a parita základného stavu ^{255}Lr bola priradená stavu $7/2^-$ [514]. Taktiež bol po prvý krát registrovaný α rozpad s energiou $E_\alpha = 8310 \pm 10$ keV priradený, na základe jeho polčasu rozpadu, α prechodu zo základného stavu ^{255}Lr na vzbudený stav ^{251}Md s energiou $E^* \approx 60$ keV. Bolo zistené, že oba doposiaľ známe α rozpady smerujú z rôznych energetických hladín. Rozpad s energiou $E_\alpha = 8462 \pm 10$ keV bol priradený rozpadu z izomerického stavu $1/2^-$ [521] s polčasom rozpadu $T_{1/2} = 2.56 \pm 0.25$ s. Pre rozpad s energiou $E_\alpha = 8369 \pm 10$ keV bol nameraný polčas $T_{1/2} = 19.9 \pm 5.3$ s a bol prisúdený rozpadu základného stavu tohto izotopu.

Pre izotop ^{251}Md bol po prvý krát registrovaný γ prechod s energiou 294 keV a s charakterom E1 príp. E2 prechodu, v koincidencii s α rozpadom s energiou $E_\alpha = 7535 \pm 10$ keV. Level v izotope ^{247}Es produkovaný týmto α rozpadom bol priradený stavu $7/2^-$ [514]. Získané výsledky pre tento izotop boli potvrdené aj nezávislým experimentami realizovanými v Jyväskylä (Fínsko) and v GANILE (Francúzsko) [Hes04].

Izotop	E_α [keV]	$T_{1/2}$ [s]	b_α	E_γ [keV]	b_{SF}	Ref.
^{255}Lr	8369 ± 10	19.9 ± 5.3	$>0.62 \pm 0.02$		<0.0003	Táto práca
	8310 ± 20	$24.2^{+5.1}_{-3.6}$				Táto práca
^{255m}Lr	8462 ± 10	2.56 ± 0.25	$>0.4 \pm 0.02$			Táto práca
^{251}Md	7535 ± 10	420 ± 90	0.902 ± 0.009	294	<0.0004	Táto práca
	7550 ± 20	240 ± 30				[Hes85]
^{247}Es	7310 ± 20	273 ± 16				Táto práca
	7323 ± 1					[Hes85]

Tabuľka 3: Zhrnutie získaných údajov o rozpade $^{255,255m}\text{Lr}$, ^{251}Md a ^{247}Es a porovnanie s niektorými známymi údajmi.



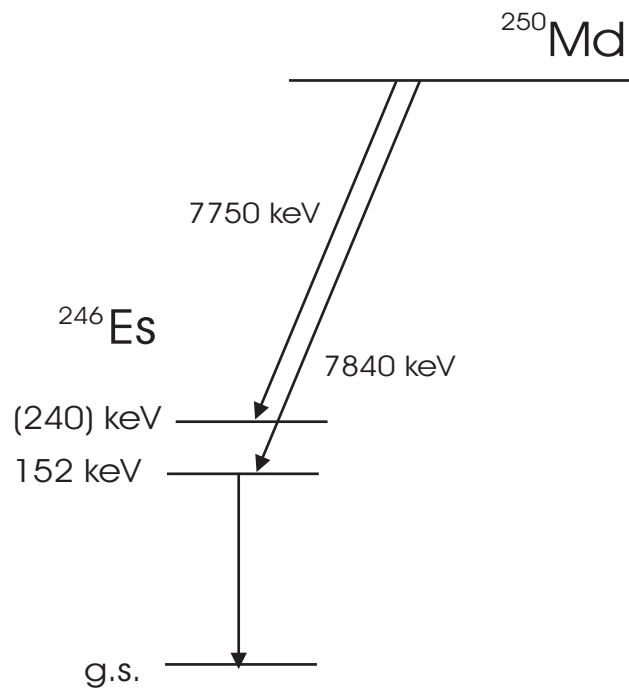
Obrázok 5: Rozpadová schéma ^{255}Lr a ^{251}Md navrhnutá na základe analyzovaných dát.

3.4 Rozpadový reťazec ^{254}Lr

V koincidencii s α rozpadom izotopu ^{254}Lr boli po prvý krát registrované γ prechody s energiami $E_\gamma = 42.3$ keV, $E_\gamma = 209.2$ keV a $E_\gamma = 305.1$ keV. V dôsledku malej získanej štatistiky a kvôli komplikovanej rozpadovej štruktúre nebolo možné zostaviť rozpadovú schému ani získať ďalšie údaje o tomto izotope.

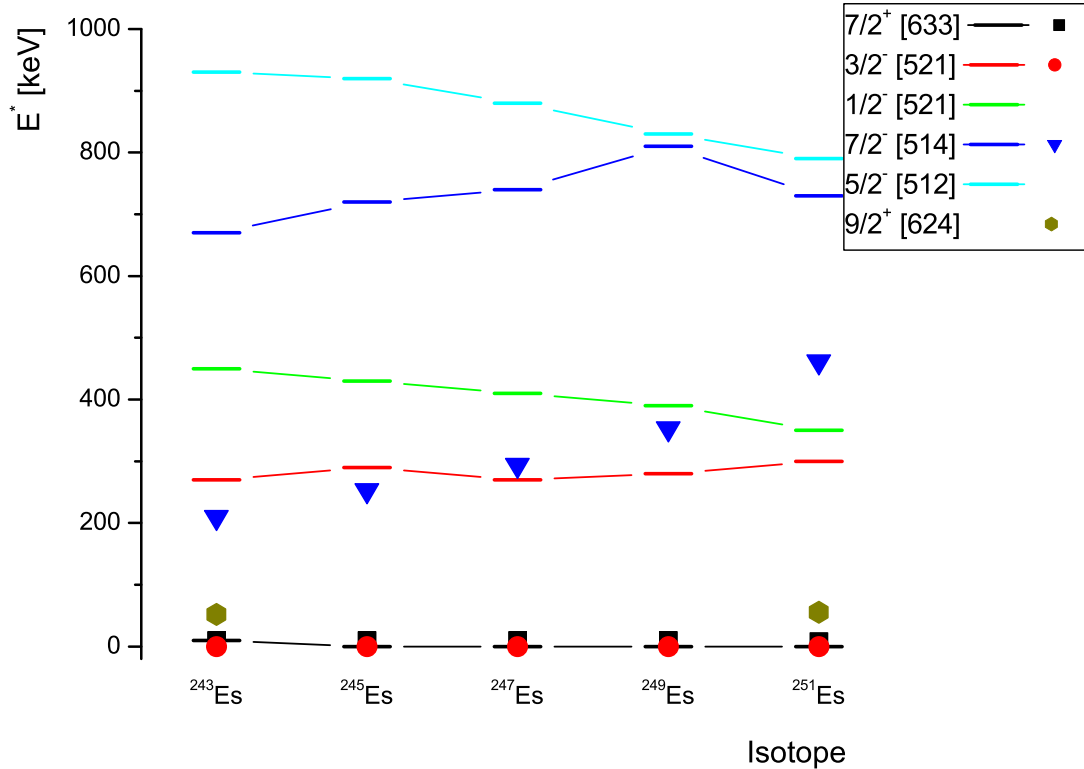
Izotop	E_α [keV]	$T_{1/2}$ [s]	b_α	E_γ [keV]	b_{SF}	Ref.
^{254}Lr	8460 ± 20	13 ± 2	0.78 ± 0.06		< 0.0016	[FiS96]
	8408 ± 20 $8300 - 8550$	18.4 ± 1.8	0.72 ± 0.02	42.3 209.2 305.1		Táto práca
^{250}Md	7830 ± 20	52 ± 6	0.07 ± 0.03			[FiS96]
	7750 ± 20					
	7840 ± 40 7750 ± 20	50^{+10}_{-7}	0.070 ± 0.008	152		Táto práca

Tabuľka 4: Zhrnutie získaných údajov o rozpade ^{254}Lr , ^{250}Md a porovnanie s niektorými známymi údajmi.



Obrázok 6: Rozpadová schéma ^{250}Md navrhnutá na základe analyzovaných dát.

Predbežný návrh rozpadovej schémy možno zostaviť pre izotop ^{250}Md (viď obrázok 6). Pre tento izotop bol zaregistrovaný prechod $E_\gamma = 152 \text{ keV}$ ako časť reťazca $\text{Re-}\alpha\text{-}\alpha\text{-}\gamma$. Pre tento izotop boli potvrdené obidve doposiaľ známe energie α rozpadu [FiS96]



Obrázok 7: Porovnanie niektorých experimentálnych výsledkov a teoretických výpočtov pre nízko ležiace Nilssonove hladiny izotopov einsteinia. Teoretické hodnoty sú prebraté z *S. Cwiok et al.* [Cwi94]. Experimentálne hodnoty pre ^{251}Es sú prebraté z *I. Ahmad et al.* [Ahm00]. Výsledky pre ^{243}Es a ^{247}Es boli získané v rámci tejto dizertačnej práce. Hodnoty pre ^{245}Es a ^{249}Es boli získané v ďalších experimentoch realizovaných na separátore SHIP.

4 Záver

Predkladaná práca bola motivovaná najmä nedostatkom známych údajov o uvedených izotopoch, ktoré by mohli poskytnúť viac informácií o správnosti existujúcich teoretických modelov opisujúcich vlastnosti ťažkých a superťažkých prvkov.

V práci boli zhrnuté najnovšie výsledky získané analýzou dát reakcií $^{40}\text{Ar} + ^{209}\text{Bi}$ a $^{48}\text{Ca} + ^{209}\text{Bi}$ vedúcich na syntézu izotopov ^{246}Md , ^{247}Md , ^{254}Lr a ^{255}Lr a ich dcérskych produktov.

Ako už bolo spomenuté, uvedené reakcie boli realizované v rámci dlhodobého projektu spektroskopickkej štúdie prvkov s protonovým číslom 100 a vyšším. Do budúca sú plánované ďalšie experimenty, ktoré by mali doplniť prehľad a systematiku údajov pre izotopy z tejto oblasti. Tieto experimenty narážajú na viacero problémov, ktoré sa ukázali byť limitujúcim faktorom aj v tejto práci. Je to napr. vplyv de-excitácie jadra vnútornou konverziou, keď dochádza k sumácii energie α častice a emitovaného elektrónu. Tento problém sa dá čiastočne riešiť využitím spätných detektorov na meranie energie týchto elektrónov, tak ako to je realizované napr. detekčným systémom GREAT (Gamma Recoil Electron Alpha Tagging) na separátore RITU v Jyväskylä (Fínsko). Ďalším limitujúcim faktorom je vysoká početnosť syntetizovaných izotopov potrebná pri tomto type experimentov. Tu narážame na problém s nedostatočnou intenzitou zväzku pre niektoré druhy projektilov alebo tepelnou záťažou terča. Problém tepelnej záťaže terčov bol na separátore SHIP čiastočne riešený využitím chemických zlúčenín olovených príp. bizmutových terčov na báze oxidov a sulfidov (výborné výsledky boli dosiahnuté napr. s terčom na báze PbS [Kin00],[Lom02]. Taktiež sľubne vyzerajú prvé testy zamerané na testovanie aktívneho chladenia terčov héliom [Ant04].

5 Conclusion and Outlook

This work was motivated by recent experiments on the synthesis of heavy and super-heavy elements performed in the region of elements with proton number around 100, and heavier. For most of the isotopes in this region only basic data, obtained by means of α spectroscopy, are available. Usually, there is no γ spectroscopy information available for the isotopes in this region. Experiments discussed in this work were performed with intention to obtain a spectroscopic data of better quality for some isotopes of odd elements around $Z=100$. The results presented in this work deliver valuable information on the nuclear structure and help to enlarge the basis of experimental data as support for the various theoretical models.

The results, presented here, were obtained using a method of α and $\alpha - \gamma$ coincidence spectroscopy combined with $\alpha - \alpha$ and recoil - α correlation search. These results show that used spectroscopy method, combined with using of the separator of heavy ion reaction products, is powerful tool for study of decay properties of products with very low cross-section - around 1 nb - and short lifetime - with lower limit of few μ s. Using the $\alpha - \gamma$ spectroscopy method, energy differences between the low-lying excited levels can be obtained with high precision - in the order of few keV.

The obtained data were studied as a part of long-term project of spectroscopy studies of superheavy elements. This project is primarily aimed to the study of elements with odd proton number around $Z > 100$.

Decay chains of four isotopes were described in this work:

1. *The decay chain of ^{247}Md .* The already known data about α decay of ^{247}Md were confirmed with an improved precision. The α decay with a energy of $E_\alpha = 8416 \pm 10$ keV was assigned to originate from a ground-state $7/2^-$ [514] Nilsson level of ^{247}Md . Additional α decay with the energy of $E_\alpha = 8660 \pm 20$ keV (tentatively assigned to a g.s. - g.s. transition) was detected for this isotope.

The α decay of the isomeric state with a lifetime of $T_{1/2} = 0.257 \pm 0.033$ s and energy of $E_\alpha = 8783 \pm 40$ keV was observed for the first time. This level was assigned to $1/2^-$ [521] Nilsson level. Until now only tentative indication based on a few fission events were known [Hof94].

The gamma transitions with energies of $E_\gamma = 209.6 \pm 0.5$ keV and $E_\gamma = 157.5 \pm 0.5$ keV were observed in coincidence with α decay of ^{247}Md . These transitions were attributed to the direct de-excitation from low lying excited levels of ^{247}Md daughter product - ^{243}Es . The spin and parity for low-lying Nilsson levels of ^{243}Es was assigned to $7/2^-$ [514] at $E_{exc} = 209.6$ keV and $9/2^+$ [624] at $E_{exc} = 52.1$ keV. Additionally a level of energy $1/2^-$ [521] is populated by an α decay of ^{247m}Md . The Nilsson levels of $7/2^+$ [633] and $3/2^-$ [521] can be assigned as a ground-state level and/or first excited levels of ^{243}Es - tentatively located close to the ground state (see discussion in section ??).

In case of ^{243}Es α decay only one of the known line was confirmed by α decay with energy of $E_\alpha = 7893 \pm 10$ keV. The previously reported α decay with energy of 7939 keV was not observed. An additional line - tentatively assigned to decay of ^{243}Es - at the energy of $E_\alpha = 7860 \pm 20$ keV was detected.

All known data are summarized in the table 1. Based on new data - evaluated in this thesis work - the level assignment and decay scheme was drawn (see figure 3).

2. *The decay chain of ^{246}Md .* The complicated α decay energy structure reported before [Nin96] was confirmed. Recent measurements analyzed and described in this thesis work show the existence of three separated α decay groups. The area of α decay energy from 8250 keV to 8690 keV with half-life of $T_{1/2} = 1.3 \pm 0.4$ s and the line of the $E_\alpha = 8744 \pm 10$ keV with a half-life of $T_{1/2} = 0.75 \pm 0.18$ s are attributed to ground-state decay of ^{246}Md .

An additional α decay of energy $E_\alpha = 8178 \pm 10$ keV and a half-life of $T_{1/2} = 4.4 \pm 0.8$ s was observed for the first time. This α activity was assigned to a decay of isomeric state ^{246m}Md . The spontaneous fission branch ($b_{SF} < 30$ %) of this isomeric state can be also the explanation for the higher number of fission events detected for this isotope - compare to value expected from known fission branch of ^{246}Fm ⁴.

Similarly as for ^{246}Md , also for α decay of ^{242}Es a strong influence of energy summing with conversion electrons was observed. The α decay assigned to ^{242}Es are spread over a region from 7780 keV to 7960 keV. The EC branch of ^{242}Es was evaluated to value of $b_{EC} = 54.4 \pm 2.6$ %.

Several γ transitions were observed in coincidence with α decay of ^{246}Md and α decay of ^{242}Es . All spectroscopic data for ^{246}Md and its daughter products are summarized in table 2. A tentative decay scheme was drawn for ^{246}Md and ^{242}Es (see figure 4). Due to a complicated decay structure of the ^{246}Md and ^{242}Es it was not possible to assigned spin and parity to suggested levels.

⁴The unexpected high number of fission events was previously ascribed to ECDF branch - $b_{ECDF} \approx 6\%$ - of ^{246}Md [Nin96].

3. *The decay chain of ^{255}Lr .* The ^{255}Lr and ^{251}Md were a blank spot in the nuclear chart. Although both isotopes were known around 30 years [EsP73] there were no detailed α spectroscopy experiment performed until now⁵. The α spectroscopy data were measured with better precision. The spin and parity of ^{255}Lr ground-state was assigned to $7/2^-$ [514] Nilsson level. An additional α line of energy $E_\alpha = 8310 \pm 10$ keV was identified as an α decay of ^{255}Lr and attributed as the decay to ^{251}Md excited level of $E^* \approx 60$ keV. The α decay of $E_\alpha = 8462 \pm 10$ keV was assigned to the decay from an isomeric state ($1/2^-$ [521]) in ^{255}Lr with a decay half-life of $T_{1/2} = 2.56 \pm 0.25$ s. For ^{251}Md the quality of the data was improved too. An 294 keV γ line, of E1 or E2 character, transition was identified in coincidence with α decay of energy $E_\alpha = 7535 \pm 10$ keV for the first time. The level populated by this α decay was tentatively assigned to a $7/2^-$ [514] Nilsson level.
4. *The decay chain of ^{254}Lr .* The γ lines with the energies of $E_\gamma = 42.3$ keV, $E_\gamma = 209.2$ keV and $E_\gamma = 305.1$ keV were observed to be in coincidence with ^{254}Lr α decays. Due to the low statistics collected in this experiment and complicated decay structure it is not possible to propose any decay scheme based on these data. Some tentative decay scheme can be drawn in case of ^{250}Md α decay (see figure 6). For this isotope a new transition of energy $E_\gamma = 152$ keV was observed as a part of Re- α - α - γ chain.

As was already mentioned, this work is a part of long-term and continuous project and further spectroscopy investigation of the superheavy region is planed at SHIP in the future. The aim is to continue with study of more neutron deficient nuclei and also the isotopes of heavier elements with higher proton number.

For odd-even elements the measurements using existing setup of SHIP detectors give a good possibility to evaluate the decay scheme and spin - parity characteristic of low lying Nilsson levels. For odd-odd isotopes the situation is more difficult due to a strong effect of energy summing with electrons coming from internal conversion process. To improve the situation, it is necessary to measure the energy spectrum of escaped electrons in coincidence with α decay. These measurements are already realized on some other experimental setup, e.g. at RITU in Jyväskylä (Finland), where the detector device GREAT (Gamma Recoil Electron Alpha Tagging) is used.

To observe the α decays and γ transitions of low intensity it is necessary to increase a collected statistics for the isotopes of our interest. It is necessary to increase the total efficiency of the current experimental setup, improve reliability of analysis technique, increase beam intensity delivered by accelerator, improve a target properties etc. These changes require lot of effort and beam time.

For example, one of the obstacles is a low melting point of the lead and bismuth targets what is a limiting factor for an increasing of the beam intensity. Recently, this problem was partially solved by applying of the chemical compounds of lead and bismuth with sulfur or fluoride with higher melting point [Lom02],[Kin00]. Experiments with other

⁵As was already mentioned, beside the SHIP experiment aimed to the study of ^{255}Lr , an additional two experiments were performed in Jyväskylä (Finland) and GANIL (France) [Hes04]. The results of these experiments were in agreement with the conclusion of this thesis work.

projectile-target combinations seem promising. Recently the production of superheavy elements with platinum target was tested successfully [Cag02]. The other possibility, for the increase of beam intensity accepted by target, is the target cooling. The active cooling with Helium atmosphere was tested in last years with promising results [Ant04].

Necessary technical development will allow not only the production of new isotopes and study of the elements synthesized in last years but also the research of nuclear structure in case of superheavy elements. This is stringent test and base of theoretical calculation which needs to be improved, as was clearly shown in this thesis work.

Referencie

- [Ahm00] I. Ahmad, R.R. Chasman, P.S. Fields, Phys. Rev. C**61** (2000), 044301
- [Ant04] S. Antalic, et al. Nucl. Instrum. and Methods A **530** (2004), 185-193
- [Cag02] P. Cagarda *Thesis work*, FMFI UK, Bratislava (2002).
- [Cwi94] S. Cwiok, S. Hofmann, W. Nazarewicz, Nucl. Phys. A**573**, (1994), 356-394
- [GO4] H.G. Essel, *GSI Object Oriented On-line Off-line system*, GSI Darmstadt (2002); URL: <http://go4.gsi.de>
- [GOO] H.G. Essel, *GOOSY Data Acquisition and Analysis*, GSI Darmstadt (1988); URL: <http://www-gsi-vms.gsi.de/anal/home.html>
- [EsP73] Eskola P., Phys. Rev. C**7** (1973), 280-289
- [FiS96] R.B. Firestone and V.S. Shirley (Editors), *Table of Isotopes*, 8th edition, (John Wiley and Sons, New York, 1996).
- [Hat89] Y. Hatsukawa, et al. Nucl. Physics A**500** (1985), 90-110
- [Hes85] F.P. Heßberger, et al. Z. Phys. A **322** (1985), 557-566
- [Hes04] F.P. Heßberger, *private communication* (2004).
- [Hof94] S. Hofmann, et al. GSI Scientific Report 1993 (1994), 64
- [Hof95a] S. Hofmann, et al. Z. Phys., A**350** (1995), 277-280
- [Hof95b] S. Hofmann, et al. Z. Phys., A**350** (1995), 281-282
- [Hof96] S. Hofmann, et al. Z. Phys., A**354** (1996), 229-230
- [Hof00] S. Hofmann and G. Münzenberg, Rev. Mod. Phys. **72** (2000), 733.
- [Hof01] S. Hofmann, F.P. Hessberger, et al. Eur.Phys. J. A**10** (2001), 5.
- [Kin00] B. Kindler, et al. *CP576, Proceedings to the 16th Int. Conference on Application of Accelerators in Research and Industry*, Denton, Texas, Npv. 1-5. 2000, Edited by J.L. Duggan and I.L. Morgan.

- [Lom02] B. Lommel, et al. Nucl. Instrum. and Methods A **480**, (2002), 16-21
- [Mor04] K. Morita et al. J. Phys. soc. Jpn **73**, (2004), 2593-2596
- [Mun79] G. Münzenberg, W. Faust, S. Hofmann, P.Armbruster, Nucl. Instrum. and Methods **161**, (1979) 65-82
- [Mun81a] G. Münzenberg, et al. Z. Phys. A **300**, (1981), 107-108
- [Mun82] G. Münzenberg, P.Armbruster, *et al.*, Z. Phys. A **309**, (1982), 89
- [Mun84] G. Münzenberg, P.Armbruster, *et al.*, Z. Phys. A **317**, (1984), 235
- [Nin96] V. Ninov, F.P. Hessberger, et al. Z. Phys. A **356**, (1996), 11-12
- [Oga99a] Yu.Ts. Oganessian, et al. Nature **600**, (1999), 242
- [Oga99b] Yu.Ts. Oganessian, et al. Phys. Rev. Lett. **83**, (1999), 3154-3157
- [Oga99c] Yu.Ts. Oganessian, et al. Eur. Phys. J. A **5**, (1999), 63-68
- [Oga00a] Yu.Ts. Oganessian, et al. Phys. Rev. C **62** (2000), 041604(R).
- [Oga00b] Yu.Ts. Oganessian, et al. Phys. Rev. C **63** (2000), 011301(R).
- [Oga01a] Yu. Ts. Oganessian, et al. Nucl. Phys A **682** (2001), 108c-113c.
- [Oga01b] Yu.Ts. Oganessian, Nucl. Phys. A **685** (2001), 17c.
- [Oga02] Yu.Ts. Oganessian, Eur. Phys. J. A **13** (2002), 135.
- [Oga04] Yu.Ts. Oganessian, et al. Phys. Rev. C **69** (2004), 021601(R)
- [Sar96] Š. Šáro, et al. Nucl. Inst. and Meth. A **381**, (1996) 520.

6 Zoznam publikací

6.1 Publikácie v časopisoch

1. S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, S. Antalic, P. Cagarda, S. Cwiok, B. Kindler, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, G. Munzenberg, A.G. Popeko, S. Saro, H.J. Schott, A.V. Yeremin
The New Isotope 270-110 and Its Decay Products 266Hs and 262Sg
Eur.Phys.J. **A10** (2001) 5.
2. F.P.Hessberger, S.Hofmann, I.Kojouharov, D.Ackermann, S. Antalic, P.Cagarda, B.Kindler, B.Lommel, R.Mann, A.G.Popeko, S.Saro, J.Uusitalo, A.V.Yeremin
Radioactive decay of 217Pa
Eur.Phys.J. **A 15**, (2002), 335

3. S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, G. Munzenberg, S. Antalic, P. Cagarda, B. Kindler, J. Kojouharova, M. Leino, B. Lommel, R. Mann, A.G. Popeko, S. Reshitko, S. Saro, J. Uusitalo, A.V. Yeremin, New result on elements 111 and 112, Eur. Phys. J. A14 (2002) 147.
4. A.N. Andreyev, D. Ackermann, S. Antalic, H.J. Boardman, P. Cagarda, J. Gerl, F. P. Hessberger, S. Hofmann, M. Huyse, D. Karlgren, A. Keenan, H. Kettunen, A. Kleinbohl, B. Kindler, I. Kozhoukharov, A. Lavrentiev, C. D. O'Leary, M. Leino, B. Lommel, M. Matos, C.J. Moore, G. Munzenberg, R.D. Page, S. Reshitko, S. Saro, H. Schaffner, C. Schlegel, M. J. Taylor, K. Van de Vel, P. Van Duppen, L. Weissman α -decay spectroscopy of light odd-odd Bi isotopes - I: $^{188,190}\text{Bi}$ nuclei Eur.Phys.J. **A 18**, (2003) 39-54
5. D.Ackermann, S. Antalic, M.Axiotis, D.Bazzacco, S.Beghini, G.Berek, L.Corradi, G.De Angelis, E.Farnea, A.Gadea, F.P.Hessberger, S.Hofmann, M.G.Itkis, G.N.Kniajeva, E.M.Kozulin, A.Latina, T.Martinez, R.Menegazzo, G.Montagnoli, G.Munzenberg, Yu.Ts.Oganessian, C.Rossi Alvarez, M.Ruan, R.N.Sagaidak, F.Scarlassara, A.M.Stefanini, S.Szilner, M.Trotta, and C.Ur Reaction mechanism studies using the CN/ER spin distribution Eur.Phys.J. **A20** (2004) 151-152
6. S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, S. Antalic, P. Cagarda, B. Kindler, P. Kuusiniemi, M. Leino, B. Lommel, O.N. Malyshev, R. Mann, G.M. Munzenberg, A. G. Popeko, S. Saro, B. Streicher, A. Yeremin Properties of heavy nuclei measured at the GSI SHIP Nucl. Phys. **A734** (2004) 93-100
7. S. Antalic, P.Cagarda, D. Ackermann, H.-G.Burkhard, F.-P. Hessberger, S. Hofmann, B. Kindler, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, S. Saro, H.-J.Schött Target cooling for high current experiments at SHIP Nucl. Instr. Meth. **A530**, (2004) 185-193

6.2 Vybrané Konferenčné Príspevky

1. B. Kindler, S. Antalic, H.-G. Burkhard, P.Cagarda, D. Gembalies-Datz, W. Hartmann, S. Hofmann, J. Kojouharova, J. Klemm, B. Lommel, R. Mann, H.-J. Schött, J. Steiner, Status of the target Development for the Heavy Element Program, Proceedings of the 16th International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry edited by J.L. Duggan and I.M. Morgan, American Institute of Physics 0-7354-0015-6/01, p.1148-1151. (2001)
2. P. Cagarda, S. Antalic, S. Saro, S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, B. Kindler, B. Lommel, J. Kojouharova, R. Mann, H.-J. Schött, A.V. Yeremin, A.G. Popeko, J. Uusitalo, The new isotopes ^{233}Cm and ^{234}Cm , to be published in the Proceedings of the 4th International conference on the Dynamical Aspect in Nuclear Fission '01, Casta-Papiernicka, Slovakia, 23 - 27 October 2001 , World Scientific pub.

3. S. Antalic, S. Saro
Possibilities and limits for mass measurement of heavy evaporation residues
Proceedings of the 5th International conference on the Dynamical Aspect in Nuclear Fission, , World Scientific pub. (2002), 524-533
4. S. Hofmann, F.P. Heberger, D. Ackermann, S. Antalic, P. Cagarda, B. Kindler, P. Kuusiniemi, M. Leino, B. Lommel, O.N. Malyshev, R. Mann, G. Münzenberg, A.G. Popeko, S. Saro, B. Streicher, A.V. Yeremin
Properties of heavy nuclei measured at the GSI SHIP
Proceedings of the VIII International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2003)

6.3 Reporty a Preprinty

1. S. Hoffmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, P. Armbruster, H.G. Burkhard, B. Kindler, B. Lommel, R. Mann, G. Munzenberg, S. Reshitko, H.J. Schott, A.Yu. Lavrentiev, A.G. Popeko, A.V. Yeremin, S. Antalic, P. Cagarda, S. Saro, M. Leino
The Reaction $86\text{Kr} + 208\text{Pb}$ to $294-118^*$ Studied at SHIP
GSI Sci.Rep. 1999, (2000) p.7.
2. S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, B. Kindler, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, G. Munzenberg, S. Reshitko, H.J. Schott, A.G. Popeko, A.V. Yeremin, S. Antalic, P. Cagarda, S. Saro, H. Kettunen, M. Leino, J. Uusitalo
Results on Element 111 and 112
GSI Sci. Rep. 2000, (2001), p.1 - 2.
3. S. Hofmann, F.P. Hessberger, D. Ackermann, B. Kindler, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, G. Münzenberg, H.J. Schött, A.G. Popeko, A.V. Yeremin, S. Antalic, P. Cagarda, S. Saro, S. Cwiok, The New Isotope 270-110 and its Decay products 266Hs and 262Sg, GSI Sci.Rep. 2000, GSI 2001-1, (2001) p.3.
4. B. Kindler, S. Antalic, H. Burkhard, P. Cagarda, D. Gembalies-Datz, W. Hartmann, J. Klemm, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, H. Schött, J. Steiner, D. Ackermann, F.P. Hessberger, S. Hofmann
Improvements of the Target Durability for the Heavy Element Production
GSI Sci.Rep. 2000, (2001) p.204 - 205.
5. F.P. Hessberger, S. Hofmann, I. Kojouharov, D. Ackermann, S. Antalic, P. Cagarda, B. Kindler, B. Lommel, R. Mann, A.G. Popeko, S.Saro, J. Uusitalo, A.V. Yeremin, Alpha decay studies of 217g-Pa and 217m-Pa , GSI Sci.Rep. 2001, (2002) p.12.
6. K. Van de Vel, A.N. Andreyev, D. Ackermann, S. Antalic, H.J. Boardman, P. Cagarda, J. Gerl, F.P. Hessberger, S. Hofmann, M. Huyse, D. Karlgren, B. Kindler, I. Kozhoukharov, M. Leino, B. Lommel, G. Munzenberg, C. Moore, R.D. Page, C. Schlegel, P. Van Duppen
Fine structure in the alpha decay of neutron-deficient polonium isotopes
GSI Sci.Rep. 2001, (2002) p.14.

7. P. Cagarda, S. Antalic, D. Ackermann, F.P. Hessberger, S. Hofmann, B. Kindler, J. Kojouharova, B. Lommel, R. Mann, A.G. Popeko, S. Saro, J. Uusitalo, A.V. Yeremin
New isotopes ^{234}Cm and ^{233}Cm
GSI Sci.Rep. 2001 (2002) p.15.
8. D. Ackermann, G. Berek, S. Antalic, M. Axiotis, D. Bazzacco, S. Beghini, L. Corradi, G. De Angelis, E. Farnea, A. Gadea, F.P. Heßberger, S. Hofmann, M.G. Itkis, G.N. Kniajeva, E.M. Kozulin, A. Latina, T. Martinez, N. Marginean, R. Menegazzo, G. Montagnoli, G. Münzenberg, D.R. Napoli, Yu.Ts. Oganessian, C. Rossi-Alvarez, M. Ruan, R.N. Sagaidak, F. Scarlassara, A.M. Stefanini, S. Szilner, M. Trotta, C. Ur
 γ -Multiplicities to Study Reaction Mechanism Close to the $Z=82$ p-Shell
Laboratori Nazionali di Legnaro, Annual Report 2002, (2003) 33-34
9. S. Hofmann, D. Ackermann, S. Antalic, H.G. Burkhard, P. Cagarda, F.P. Heßberger, B. Kindler, I. Kojouharov, P. Kuusiniemi, M. Leino, B. Lommel, O.N. Malyshev, R. Mann, G. Münzenberg, A.G. Popeko, S. Saro, H.J. Schött, B. Streicher, B. Sulignano, J. Uusitalo, A.V. Yeremin
Search for Element 113
GSI Sci.Rep. 2003, (2004), p.1
10. F.-P. Heßberger, S. Hofmann, D. Ackermann, S. Antalic, P. Cagarda, I. Kojouharov, P. Kuusiniemi, R. Mann, S. Saro
Nilsson Levels in Odd Mass Odd Z Nuclei in the Region $Z = (99-105)$
GSI Sci.Rep. 2003, (2004), p.3
11. R. Mann, D. Ackermann, S. Antalic, H.-G. Burkhard, P. Cagarda, D. Gembalies-Datz, W. Hartmann, F.-P. Heßberger, S. Hofmann, B. Kindler, P. Kuusiniemi, B. Lommel, S. Saro, H.-J. Schött, J. Steiner
On-line Target control
GSI Sci.Rep. 2003, (2004), 224
12. A.N. Andreyev et al. incl. S. Antalic
New isotopes $^{186,187}\text{Po}$ and 192
GSI Sci.Rep. 2004, (2005).