

Природно-математички факултет  
Радна заједница за научни послова

Пријатељ:	22. III 1979.
Организација:	Физика
Означеност:	Вредност

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

F I Z I K A



AČ FERENC

ŠEMA RASPADA  $^{207}_{83}$  Bi  $^{124}$

- diplomski rad -

Radjen u

Laboratoriji za nuklearnu fiziku

Prirodno-matematičkog fakulteta

U Novom Sadu

1979. god.

Srdačno se zahvaljujem dr. Lazaru Marinkovu i  
dr. Ištvanu Bikitu na datoј temi, nesebičnoј pomoći i objašnje-  
njima koja su mi pružili tokom rada.

Zahvaljujem se svim ostalim saradnicima labora-  
torije koji su mi pomogli svojim radom i sugestijama.

## S A D R Ž A J

### U V O D

#### 1. M O D E L I

1.1 Stabilnost jezgra	2
1.2 Elektromagnetne radijacije	5
1.3 Unutrašnja konverzija	7
1.4 Zaključak	8

#### 2. E K S P E R I M E N T A L N I R A D

2.1 Eksperimentalna oprema	9
2.2 Pripreme za eksperiment	10
2.3 Izvodjenje eksperimenta	11
2.4 Izračunavanje efikasnosti i obrada podataka	12
2.5 Energijски spektar i relativni intenziteti gama prelaza jezgra $^{207}_{82}\text{Pb}_{125}$	19

#### 3. Š E M A R A S P A D A $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$

3.1 Analiza i obrada podataka	21
3.2 Zaključak	29

## U V O D

U ovom radu je izvršena analiza šeme raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$  (analiza je dodirivala pitanje stabilnosti jezgra i opšte osobine koje se odnose na vrstu i karakter zračenja). Rad je predstavljen u tri dela:

u prvom delu sam izneo teorijski opis pojava, činjenica koje su bile u vezi postavljene tematike. Govorio sam o modelima jezgara i o elektromagnetskim prelazima.

U drugom delu sam detaljno opisao eksperimentalni rad koji se odnosio na prikaz merenja, energija i intenziteta elektromagnetskog zračenja. U sklopu toga odredio sam i krivu efikasnosti poluprovodničkog P-I-N Ge Li detektora.

U trećem delu rada sam izneo analizu šeme raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ . Analiza je vršena na bazi poznatih teorijskih razmatranja i izmerenih rezultata.

## M O D E L I

### Stabilnost jezgra:

Do danas su u nuklearnoj fizici izdiferencirana dva nuklearna modela. Jedan od njih je model jake interakcije, gde je jezgro skup čvrsto spregnutih nukleona sa manifestovanjem kolektivnih efekata. Drugi model je model nezavisne čestice, gde se nukleoni u nekom usrednjrenom potencijalu, nezavisno jedan od drugog, kreću. Predstavnik modela nezavisnih čestica je model slojeva (Shell-model).

### Model slojeva:

(Ovaj model će nešto detaljnije razmotriti jer sam ga koristio prilikom analize šeme raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ ). Detaljnim ispitivanjem atomskih jezgara ustanovljena je periodična promena osobina sa porastom broja nukleona. (Ova periodičnost podseća na periodične pojave kod atoma.) Ovo ukazuje na slojevitu strukturu jezgra. Model zasnovan na pretpostavci da jezgro ima slojevitu strukturu se naziva model slojeva ili Shell-model.

Prema modelu slojeva nukleoni u jezgru su razmešteni po nivoima koji obrazuju sloj. Ako u nekom sloju ima onoliko nukleona, koliko su magični brojevi, tj. 2, 8, 20, 28, 50, 82 i 126, kažemo da je sloj popunjen. Tada jezgro pored izuzetne stabilnosti poseduje i sferno simetričnu raspodelu nanelektrisanja, što uslovljava

nultu vrednost njegovog kvadrupolnog momenta. (Kvadrupolni moment je jednak nuli još i kad je vrednost totalnog momenta impulsa nula ili jedna polovina.)

Najprostija varijanta modela slojeva je jednočestični model slojeva. Prema ovom modelu nukleoni se kreću nezavisno u sferno simetričnom centralnom potencijalu. Najbitnija svojstva jezgra se objašnjavaju prisustvom preostalog nesparenog nukleona. Proširivanjem jednočestičnog modela nastaje kolektivni model. I to na sledeći način: daljnom popunom sloja nukleonima, povećava se deformacija jezgra i nastaje nesferno simetrična raspodela potencijala. U toku deformisanom potencijalu manifestuju se efekti kolektivnog kretanja (oni se superponiraju na već postojeće efekte jednočestičnog kretanja). Opis kolektivnog kretanja je veoma složen (zato ga neću ni iznositi), no uprave njegovim uvažavanjem rezultati kolektivnog modela su mnogo konkretniji i tačniji.

Dosadašnje razmatranje upućuje na složenost jezgra i na probleme koji ukazuju na njegovu stabilnost.

Razmotrimo sad stabilnost jezgra.

Jezgra su stabilna za određeni odnos broja protona ( $Z$ ) i neutrona ( $N$ ). Najstabilnija su ona jezgra, kod kojih je odnos broja neutrona i protona jednak jedinici, tj. kad je  $N/Z = 1$ . Povećanjem brojan nukleona  $A$  ( $A = N + Z$ ) odnos  $N/Z$  raste i jezgra kod kojih je  $N/Z \gg 1,46$  se spontano raspadaju emisijom alfa čestica ili beta raspadom. U nuklearnoj fizici poznata su tri načina beta raspada jezgra. Obično se prikazuju sledeće tri nuklearne reakcije:

Beta raspad

$$n = p + \beta^- + \bar{\nu}$$

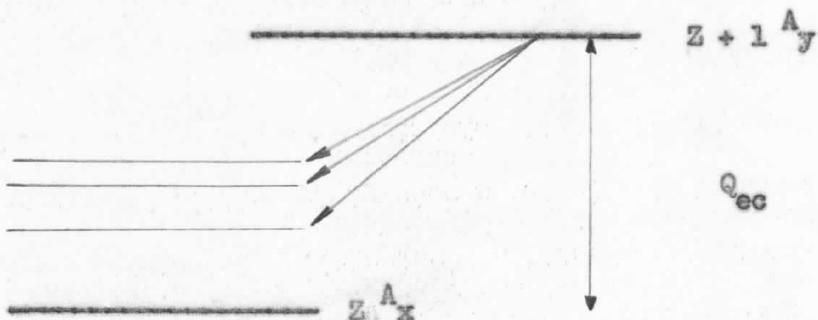
pozitronski raspad

$$p = n + \beta^+ + \nu$$

elektronski zahvat  $p + e^- = n + \nu$

Razmotrimo sad detaljnije raspad realizovan elektronskim zahvatom. (Ovo činim zato što će ovde navedene osnovne osobine koristiti u konkretnoj analizi šeme raspada  $^{207}_{83} Bi_{124}$ ).

Elektronski zahvat: je proces zahvatanja elektrona iz elektronskog omotača od strane jezgra. Jezgro prelazi u stabilno stanje pri čemu se broj protona promenio. Proces se ilustruje sledećom slikom:



(sa debele izvučenim linijama sam označio osnovna stanja jezgra, a sa tankim pobudjena)

$Q_{ec}$  - je razlika energija mirovanja osnovnih stanja jezgara  $Z + 1 A_y$  i  $Z A_x$  i naziva se  $Q$ -reakcijom. Ona je jednak  $Q_{ec} = (M_j(A, Z + 1) - M_j(A, Z)) c^2$

(1.0)

Proces predstavljen jednačinom je oblika:



Pojava je moguća samo pri uslovu

$$(M_j(A, Z+1) + m_e + \gamma^2) > M_j(A, Z)$$

ili

$$(M_{at}(A, Z+1) + \gamma^2) > M_{at}(A, Z)$$

$M_j(A, Z+1)$  i  $M_j(A, Z)$  - su mase jezgara pre i posle elektronskog zahvata

$m_e$

- je masa zahvaćenog elektrona iz elektronskog omotača
- je maseni ekvivalent energije vezivanja elektrona u omotaču izražen u (ajm)

Ako novonastalo jezgro  $Z^A_x$ , ne poseduje dovoljno energije za emisiju čestice, prelazi između kvantiziranih stanja će se realizovati putem elektromagnetskih zračenja.

#### Elektromagnetske radijacije

Opšte osobine elektromagnetskog zračenja se baziraju na pojmu elektromagnetskog polja. Interakcijom elektromagnetskog polja sa nanelektrisanjima i strujom u jezgru nastaju električna zračenja različitih multipolnosti (najzastupljenije električno zračenje je električno kvadrupolno zračenje). Magnetna multipolna radijacija nastaje interakcijom elektromagnetskog polja i magnetnog momenta (koji nastaje usled promene struje u jezgru i spina nukleona). Sa električnim radijacijama obrazuje polje zračenja različitih momenata impulsa i parnosti koje se naziva poljem multipola (multipolnost radijacije se određuje izrazom  $2^L$ ). Električne magnetne radijacije istog multipolnog reda

izdvajamo osobinom parnosti. Operatori parnosti za električnu i magnetnu multipolnu radijaciju su:

$$\begin{aligned} P_E &= (-1)^L \\ P_M &= (-1)^{L+1} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Ako je operator neparan, onda umnožak talasnih funkcija treba takođe da je neparan, tj. u prelazu se menja parnost. Parni operator traži da umnožak talasnih funkcija bude paran, obe talasne funkcije mogu biti parne ili neparne, što znači da se u prelazu ne menja parnost. Ovo objašnjenje se može prikazati i sledećom šemom:

Operator	Promena parnosti stanja
paran    M 1, E 2, M 3, E 4	NE
neparan    E 1, M 2, E 3, M 4	DA

U mnogim slučajevima radiacioni prelazi nisu čista multipolna zračenja, već se javljaju kao superpozicija zračenja multipola najnižeg reda / $I_1 = I_p$ / i sledećeg / $I_1 = I_p + 1$ , to su smeše M (L) + E(L + 1) ili redje E (L) + M (L + 1). Emisija smeše E (L) + M (L + 1) je manje verovatna (verovatnoća emisije radijacije smanjuje se sa povećanjem L, grubo, kao  $(R/\lambda)^{2L}$ ). Zapaženo je, da je verovatnoća emisije električnih multipolnih radijacija veća od odgovarajućih magnetnih (magnetne radijacije M (L) su redukovane faktorom v/c prema električnim radijacijama).

Elektromagnetski prelazi se mogu ostvariti i emisijom elektrona iz atomskog omotača. Proces emisije elektrona se naziva unutrašnjom konverzijom gama zraka.

Unutrašnja konverzija:

Pobudjeno jezgro, prelazeći iz višeg u niže pobudjeno ili osnovno stanje izbacuje virtualni foton (on predstavlja intermedijerno stanje) čijom absorpcijom elektron iz omotača napušta atom. Energija prelaza  $E_{\gamma}$ , koju bi inače odneo foton, se deli na kinetičku energiju i vezivnu energiju elektrona (da bi uopšte došlo do interakcije jezgra i orbitalnih elektrona, energija pobudjenog stanja jezgra mora biti veća od energije vezivanja elektrona).

$$T_e = E_{\gamma} = E_{\text{veze}}$$

Interna konverzija se kvalitativno definiše koeficijentom konverzije i predstavlja odnos verovatnoće unutrašnje konverzije i emisije gama kvanta. Koeficijent konverzije zavisi od multipolnog reda zračenja, uporedjenjem njegovih teorijskih i eksperimentalnih rezultata, mogu se dobiti informacije o multipolnosti radijacionih prelaza. Zato je tačno određivanje koeficijenta konverzije veoma važno i ja sam prilikom izračunavanja koristio sledeći metod: metod se koristi izrazom:

$$\mathcal{L} = \frac{N_e}{N_{es}} \cdot \frac{N_s}{N} \cdot \mathcal{L}_s$$

(1. 2)

Odnosi  $\frac{N_e}{N_{es}}$  (je odnos intenzivnosti konverzionalih linijskih izučavanog prelaza i prelaza koji je uzet za standard) i  $\frac{N_{\gamma}}{N_{\gamma s}}$  (je odnos intenzivnosti gama linijskih izučavanog prelaza i prelaza koji je uzet za standard) se određuje eksperimentalno (intenziteti konverzionalih linijskih se mere magnetnim, a redje poluprovodničkim spektrometrima, a intenziteti gama linijskih se mere poluprovodničkim GeLi detektorima ili primenom magnetne analize fotoelektrona).  $s$  se najčešće izračunava, najpogodnije izabrati teorijski koeficijent jednog intenzivnog prelaza koji ima čistu multipolnost. No može se uzeti i njena eksperimentalna vrednost.

Zaključak:

Ovaj kratak teorijski pregled je razmatrao veličine (tipovi i multipolnost elektromagnetskog zračenja, konverzionalni koeficijent, mešani multipolni prelazi) čijim poznavanjem možemo odrediti osnovne parametre pobudjenih stanja jezgra (ti parametri su: energija, spin, parnost i poluživot pobudjenog stanja).

Mereći energije prelaza, sastavljamo šemu pobudjenih nivoa, a određivanjem konverzionalnih koeficijenata, dobijajući na taj način informacije o multipolnosti prelaza, moguće je odrediti parnost i spin svakog pobudjenog stanja.

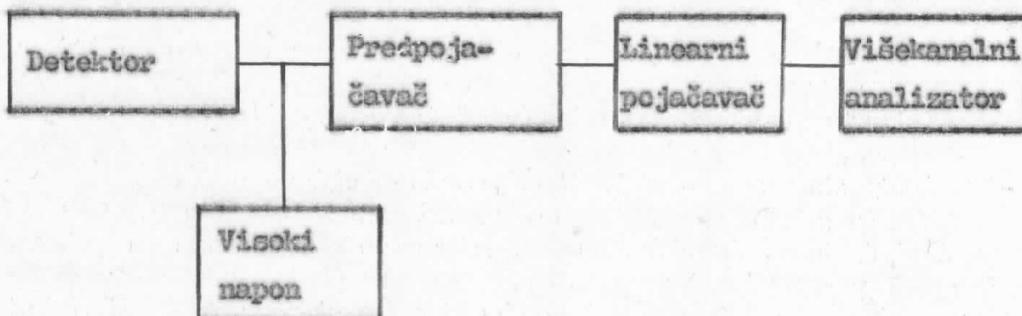
Ja u svom diplonskom radu nisam sprovedio ovako dosledan postupak, izvršio sam samo analizu, već postojeće šeme raspada. Za to je neophodno poznavanje eksperimentalnog dela rada. Pristupimo zato njegovom opisu.

## E K S P E R I M E N T A L N I   R A D

Tokom eksperimentalnog rada merio sam energije i relativne intenzitete pojedinih energetskih prelaza. Najpre pristupih odredjivanju energetske zavisnosti krive efikasnosti korišćenog detektor-a.

### Eksperimentalna oprema:

Blok Šema korištene aparature je na slici 1.



Slika 1.

Detektor je poluprovodnički GeLi detektor P-I-N tipa.

### Detektor P-I-N tipa:

Detekcija čestica se vrši u zaprečnom sloju nanelektrisanja. Uvećanjem zaprečnog sloja (ona se u opštem slučaju vrši inverznom

polarizacijom) povećava se i efikasno dejstvo, a u slučaju ovih detektora to se postiže posebnim postupkom difuzije Li u poluprovodnik P-tipa. Na taj način se izmedju P i N sloja obrazuje tzv. i-sloj, karakterisan ravnotežom donorskih i akceptorskih primesa koji dobija osobine kristala besprimesne čistoće. Prolaskom gama kvanata formiraju se elektroni i šupljine. Skupljući se na krajevima elektroda obrazuju strujni impuls koji se na radnom otporniku pretvara u naponski signal. Nastali naponski signal se izvodi na predpojačavač. On obezbeđuje njegov transport kroz kabl, tako da se njena forma i visina ne menjaju. Da bi impuls bio merljiv, pojačava se linearnim pojačavačem, sve dok se ne podesi za analizu. Tako se dovodi na 4096 kanalni analizator gde se i registruje.

Pripreme za eksperiment:

Bitan i sastavni deo eksperimentalne opreme je nosač izvora. Sačinjen od plastike onemogućavao je neželjena rasejanja sa svog tela, a time i promene u spektru koji se snimao. Izmena izvora se lako vršila (jedino se izvor  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$  nešto teže postavljao zbog svoje glomaznosti), a obezbeđivao je i očuvanje geometrije tokom celog snimanja. Nakon postavljanja izvora na željeno mesto (u jedan udubljeni plastični deo nosača Šijim pomeranjem se lako postizalo željeno rastojanje) pristupilo se regulisanju mernih uslova. Postavkom određenog pojačanja, odsecanjem odgovarajućeg broja kanala (sa kojim se u stvari vršilo uzdužno pomeranje spektra) obezbeđivali smo željeni

merni opseg (kod poluprovodničkih brojača donja granica merljivih energija određena je debljinom mrtvog sloja i šumom predpojačavača, dok gornja granica postoji zbog podložnosti kristala radijacionim oštećenjima). Vreme snimanja svakog spektra je posebno određivano prema aktivnosti izvora radi obezbeđivanja odgovarajuće statistike. Merenje energija linijskih totalnih absorpcija spektra se postiže energetskom kalibracijom spektrometra. Ona se vrši snimanjem spektara standardnih izvora (to su najčešći izvori  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , i  $^{60}\text{Co}$ ). Poznavanjem energetskim vrednostima i položaja linijskih (položaj linijske linije je određen brojnom vrednošću kanala pod njenim vrhom u spektru) određuje se kalibraciona prava (to je u stvari jednačina prave kroz dve tačke) čijim korišćenjem izračunavam energije nepoznatih gama zraka. Kalibraciona prava i spektar se snimaju uvek pod istim uslovima. Nakon svih ovih pripremних postupaka se pristupa snimanju.

Izvedjenje eksperimenta:

Merenje se sastoje u obradi spektra koju daje instrument. Služeći se kalibracionom pravom izdvajaju se tražene linijske linije i obeležavaju markerima (veoma često, to je posebno bilo izraženo kod izvora  $^{152}\text{Eu}$  i  $^{207}\text{Bi}$ , postoje linijske linije koje potiču od drugih izotopa ili zračenja koje u kojoj se vršilo merenje). Izračunavanje površina, tj. impulsa pod vrhovima, vršilo se na višekanalnom analizatoru, direktno, očitavanjem brojnih vrednosti. Nakon analize i obrade spektra pristupa se ponovnom merenju. Merenja sam vršio na rastojanjima od 5, 10, 15 i 20 cm sa standardnim izvorima. To su izvori čije energije gama prelaza

poznajemo. Koristio sam sledeće radicaktivne izvore:

- $^{241}_{\text{Am}}$  - Americijum sa energijom gama raspada od 60 KeV
- $^{133}_{\text{Ba}}$  - Barijum sa energijama gama raspada od 81, 276, 303,  
356 i 384 KeV
- $^{137}_{\text{Cs}}$  - Cezijum sa energijom gama raspada od 662 KeV
- $^{57}_{\text{Co}}$  - Kobalt sa energijama gama raspada od 122 i 136 KeV
- $^{60}_{\text{Co}}$  - Kobalt sa energijama gama raspada od 1173 i 1332 KeV
- $^{54}_{\text{Mn}}$  - Mangan sa energijom gama raspada od 835 KeV
- $^{22}_{\text{Na}}$  - Natrium sa energijama gama raspada od 511 i 1274 KeV
- $^{88}_{\text{Y}}$  - Itrium sa energijama gama raspada od 898, 1836 i 2734 KeV
- $^{152}_{\text{Eu}}$  - Europium sa energijama gama raspada od 122, 245, 344,  
411, 444, 779, 964, 1112 i 1408 KeV

Svi ostali podaci o korišćenim standardima, sm  $^{152}_{\text{Eu}}$ , su dati u tabeli 1.

Izračunavanje efikasnosti i  
obrada podataka:

Izračunavanje apsolutne  
efikasnosti:

Efikasnost detekcije spektrometra je odnos broja detektovanih fotona prema ukupnom broju upadnih fotona.

$$\xi_{\text{det}} = \frac{N_{\text{det}}}{N_{\text{up}}}$$

Ona je povezana sa ukupnom efikasnošću na sledeći način:

$$\varepsilon_u = \frac{\Omega}{4\pi} \cdot \varepsilon_{det} = \frac{\Omega}{4\pi} \cdot \frac{N_{det}}{N_{up}}$$

gde je

$$\frac{\Omega}{4\pi}$$

- geometrijska efikasnost i ona izražava činjenicu da samo određeni deo fluksa fotona pada na detektor

Znajući da je ukupan broj upadnih fotona  $N_e$  (Ne je ukupan broj emitovanih fotona) za ukupnu efikasnost se dobija

$$\varepsilon_u = \frac{N_{det}}{N_e}$$

(1.3)

Ja sam se koristio izrazom 1.3. pošto je izračunavanje geometrijske efikasnosti složeno. Izraz 1.3 se može napisati u sledećem obliku:

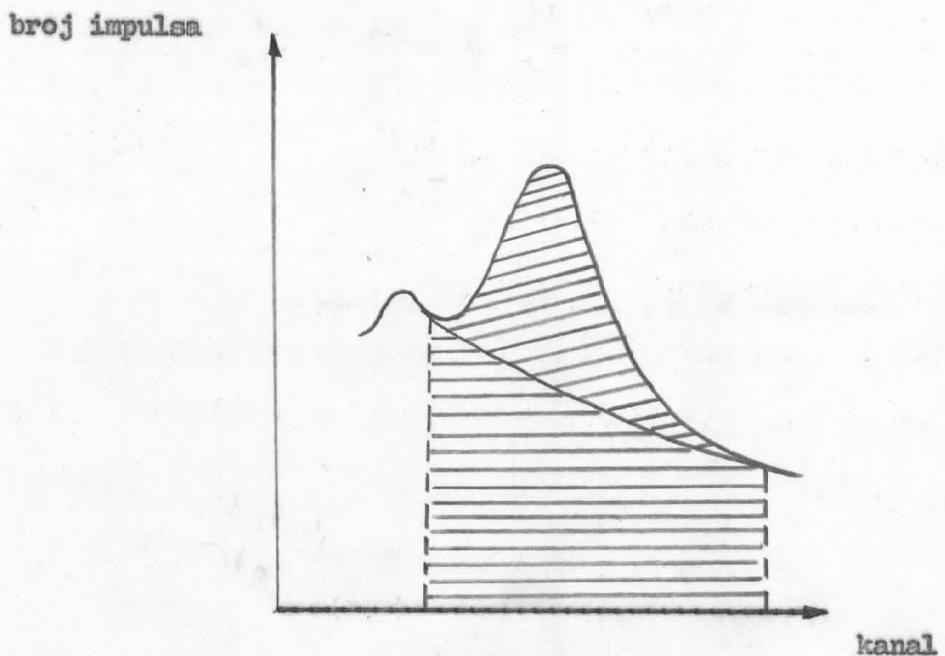
$$\varepsilon_u = \frac{P_t}{N_e}$$

gde je

$P_t$  - površina linije totalne absorbcije koja odgovara broju registrovanih gama kvanata u jedinici vremena

$N_e$  - je ukupan broj emitovanih gama kvanata u jedinici vremena

Površina linije totalne absorbcije se dobija razlikom ukupne površine i površine fona linije. (Slika br. 2)



Slika 2.

- kosim crtama označena površina je površina linije
- horizontalnim crtama označena površina je površina fona
- ukupna površina je zbir površina linije i fona

$$P_1 = P_{\text{ukupno}} = P_f$$

gde je

$$P_1 = \text{površina linije}$$

$$P_{\text{uk}} = \text{ukupna površina linije}$$

$$P_f = \text{površina fona linije}$$

Ukupna površina se očitava sa višekanalnog analizatora (ona je u stvari broj impulsa u svakom kanalu ispod posmatrane linije i sadrži u sebi i vrednost fona). Vrednost fona se izračunava povlačanjem krive fona. Na krivi fona se za svaki kanal određuje broj impulsa čijim sabiranjem dobijamo ukupnu vrednost fona. U slučaju da je kriva fona prava linija (slika br. 3), tad je fon konstantan i izračunavanje fona se vrši sledećim izrazom:

$$P_f = \frac{P_1 + P_2}{K_1 + K_2} \cdot K_u$$

gde je

$P_1$  - površina fona ispred linije

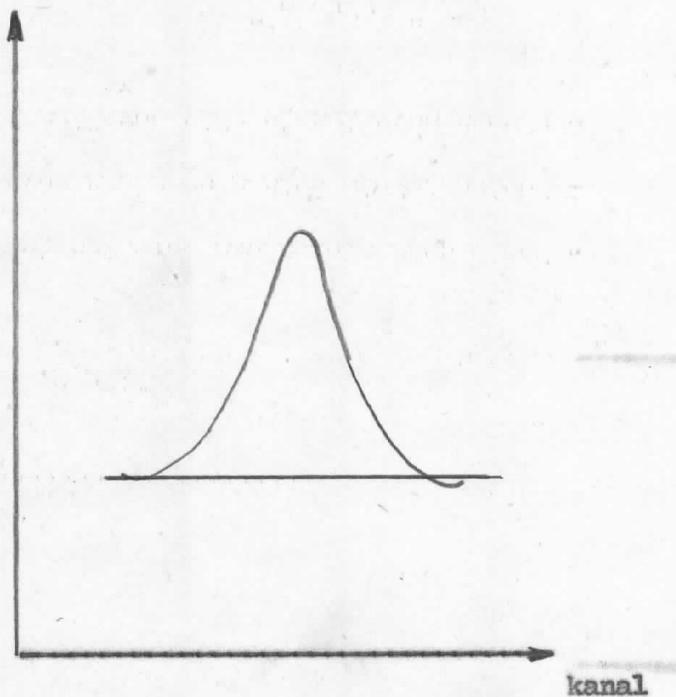
$P_2$  - površina fona iza linije

$K_1$  - broj kanala preko kojeg je izračunat  
fon ispred linije

$K_2$  - broj kanala preko kojeg je izračunat fon  
iza linije

$K_u$  - broj kanala ispod linije

broj impulsa



Slika 3.

Tako je površina linijske data izrazom:



$$P_1 = P_u = \frac{P_1 + P_2}{K_1 + K_2} \cdot K_u$$

Izmerene vrednosti površina linija totalne absorbcije sam prikazao u tabelama 2, 3, 4 i 5.

Broj emitovanih kvanata energije E u jedinici vremena se izračunava izrazom:

$$N_e(E) = A_t(E) \cdot f(E) \cdot t(E)$$

gde je  $A_t(E)$  - aktivnost izvora u trenutku snimanja. Izračunava se formulom  $A_t(E) = A e^{-\ln 2 \frac{t}{T}}$  gde su A - aktivnost koju daje proizvodjač standarda

t - proteklo vreme od ispitivanja do trenutka snimanja

T - period poluraspada

f(E) - broj emitovanih gama kvanata energije E po raspadu

t(E) - transmisioni faktor i daje korekciju za samoabsorbciju u izvoru

Dobijene vrednosti za aktivnost sam prikazao u tabelama 6 i 7.

Podaci za f(E) i t(E) su dobijeni od proizvodjača standarda.

Izračunate vrednosti za  $N_e$  su u tabelama 8 i 9. Tabele 7 i 9 se odnose na izvor  $^{133}\text{Ba}$ . Podatke za taj izvor sam prikazao za sebe pošto sam merenja sa tim izvorom, na odgovarajućim rastojanjima, vršio različitih dana.

Izračunavanje relativne efikasnosti:

Merenja relativne efikasnosti detektora smo vršili izvorom  $^{152}\text{Eu}$  (to je učinjeno zbog nepoznavanja njegove aktivnosti).

Relativna efikasnost je data izrazom

$$\epsilon_r = \frac{P(E)}{f(E)}$$

gde su

$P(E)$  - površina linije, tj. broj registrovanih gama kvanata u jedinici vremena

$f(E)$  - relativni intenzitet linije

Veličine  $P(E)$  sam odredjivao eksperimentalno i one se nalaze u tabelama 10, 11, 12 i 13. Relativne intenzitete linija  $f(E)$  sam uzimao iz reference 8. Korišćenjem datih veličina izračunao sam relativnu efikasnost, za svaki prelaz, a potom sam izvršio normiranje na vrednosti apsolutne efikasnosti. To sam učinio na sledeći način: deljenjem vrednosti apsolutne efikasnosti sa vrednostima relativne efikasnosti za svaki prelaz ponaosob sam odredio konstantu normiranja  $K_n$ . Srednja vrednost konstanata  $K_n$  je  $K_{sn}$ . Množenjem konstante  $K_{sn}$  sa vrednostima relativne efikasnosti dobijao sam vrednosti apsolutne efikasnosti  $\epsilon_{AP}$ . Vrednosti  $\epsilon_{AP}$  su u granici eksperimentalne greške ležale na krivi apsolutne efikasnosti (kriva apsolutne efikasnosti je dobijena snimanjem standardnih izvora).

Izračunavanje relativne efikasnosti i postupak normiranja za rastojanja od 5, 10, 15 i 20 cm sam prikazao u tabelama 14, 15, 16 i 17.

Vrednosti efikasnosti detektora, dobijene zaključnim izračunavanjem su u tabeli 18. Krive efikasnosti su na slici 4.

Izračunavanje greški:

Greške pri određivanju površine linija tražene su prema formuli:

$$P = \pm \sqrt{P_1 + K_u \left( 1 + \frac{K_u}{K_1 + K_2} \right) \cdot \bar{N}_f}$$

gde su

$P_1$  - površina linije

$K_u$  - broj kanala ispod linije

$K_1 + K_2$  - broj kanala preko kojih je računat fon

$\bar{N}_f$  - srednja vrednost fona

Greške pri određivanju broja emitovanih kvanata su tražene sledećim formulama:

$$\Delta N_e = f(E) \cdot t(E) \cdot \Delta A(t)$$

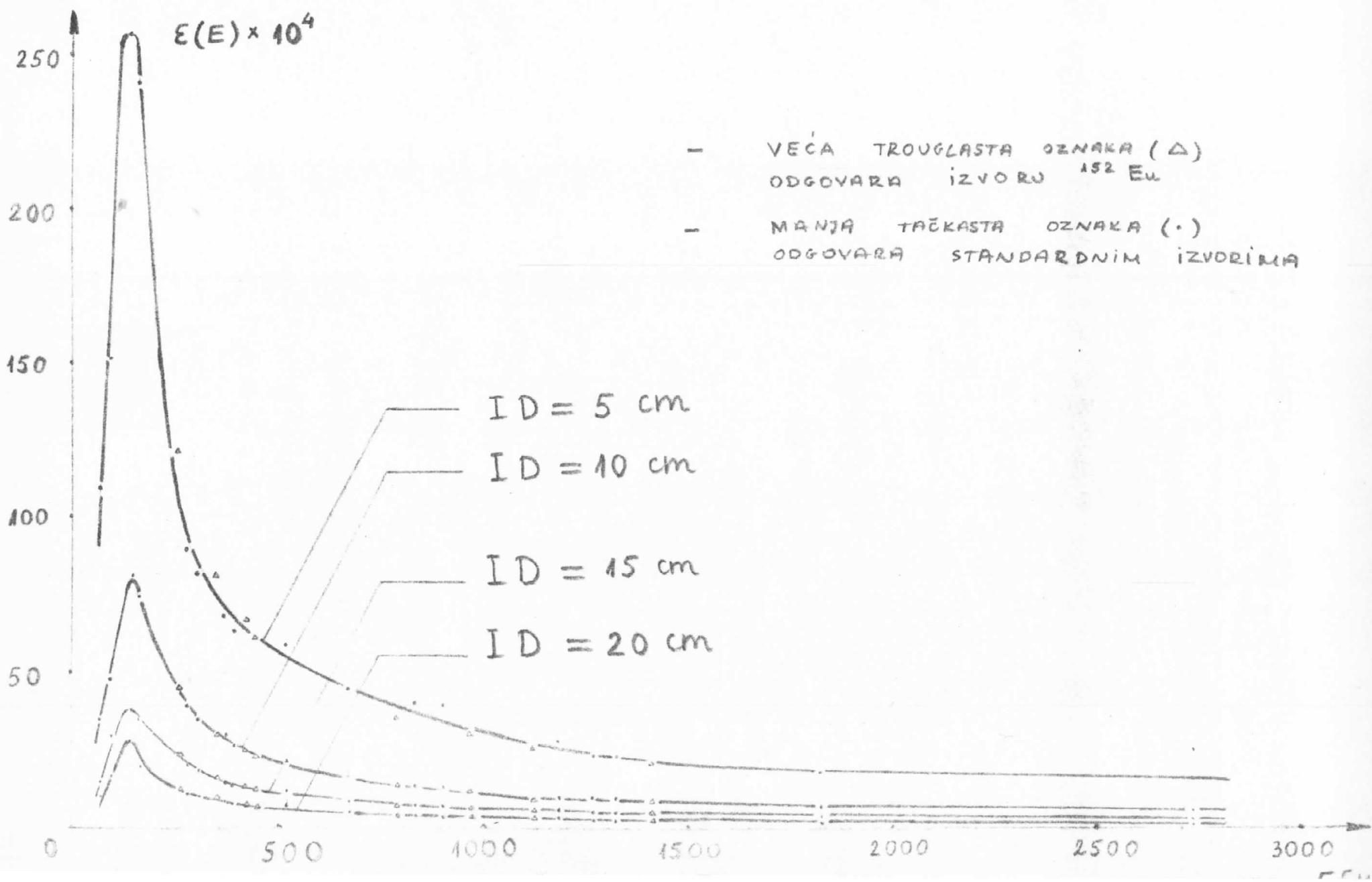
gde je

$$A(t) = e^{-\frac{t}{T}} \Delta A$$

$\Delta A$  - je procenjena standardna devijacija

Koristivši se odgovarajućim podacima i njihovim greškama, greške za efikasnost detektora sam računao formulama:

Slika 4.



$$\Delta \xi = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{N_e}\right)^2 \cdot \Delta P_1^2 + \left(-\frac{P_1}{N_e^2}\right)^2 \Delta N_e^2}$$

$$\Delta \xi = \pm K_{sn} (ID) 10^4 \sqrt{\left(\frac{1}{f(E)}\right)^2 \Delta P_1^2 + \left(-\frac{P_1}{f(E)^2}\right)^2 \Delta f(E)^2}$$

Gornju formulu sam koristio kod izvora čije su aktivnosti bile poznate, dok sam se sa donjom formulom služio kod izvora  $^{152}\text{Eu}$  čiju aktivnost nisam poznavao.

Nakon eksperimentalnog odredjivanja krive efikasnosti pristupio sam odredjivanju energija i relativnih intenziteta gama prelaza nastalih raspadom jezgra  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ .

#### Energijski spektar i relativni intenziteti

gama prelaza jezgra  $^{207}_{82}\text{Pb}_{125}$ :

Radijacioni gama prelazi su energija od 570, 897, 1063, 1442 i 1770 KeV. To sam utvrdio energetskom kalibracijom spektrometra. Opis energetske kalibracije spektrometra je na strani 11.

Odredjivanje relativnih intenziteta gama prelaza sam sprovedio:

1. odredjivanjem površina pod vrhovima
2. svodjenjem svih linija na iste vreme snimanja
3. korekcijom zbog promene efikasnosti brojača
4. relativnim izražavanjem intenziteta prelaza

1. postupak odredjivanja površina pod vrhovima sam već opisao (strana 15).

2. spektar sam snimao na rastojanjima od 5 i 15 cm sa različitim vremenima snimanja. Radi usporedbe rezultata (merenja na 5 i 15 cm treba da daju iste vrednosti što je u granici eksperimentalnih grešaka i dobijeno) vršio sam obračun po jedinici vremena i tako izvršio svestrano isto vreme.
3. Vrednosti efikasnosti detektora sam za svaku energiju odgovarajuće linije, za dato rastojanje, očitavao sa krive efikasnosti i sa njima delio izračunate površine linijskih (to je učinjeno zbog energetske zavisnosti efikasnosti detektora).
4. Relativni intenziteti linijskih su izraženi u procentima u odnosu na linijsku koja je najbolje definisana i unosi najmanju grešku. Normiranje sam izvršio u odnosu na linijsku od 1063 KeV, (ona je jedna od najintenzivnijih). Relativni intenziteti uporedjeni sa rezultatima reference 9 su u tabeli 20. Detaljni prikaz podataka i rezultata ovog računa je u tabeli 19.

#### Izračunavanje greški:

Izračunavanje greški intenzivnosti gama prelaza sam vršio izrazom:

$$\Delta N_e = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^2 \Delta P_1^2 + \left(-\frac{P_1}{\varepsilon^2}\right)^2 \Delta \varepsilon^2}$$

Vrednosti dobijene ovom formulom sam koristio u izrazu:

$$\Delta N_e(E) = \pm \sqrt{\left(\frac{100}{N_e(1063)}\right)^2 \Delta N_e^2(E) + \left(-\frac{N_e(E) \cdot 100}{N_e(1063)^2}\right)^2 \Delta N_e(1063)^2}$$

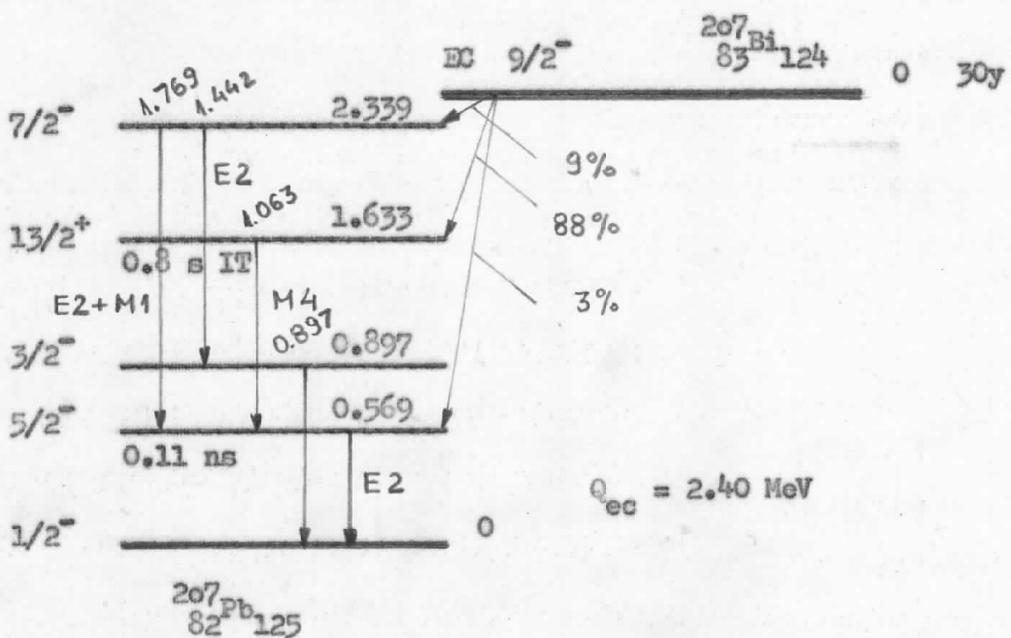
koji mi je služio za izračunavanje greški relativnih intenziteta gama prelaza.

Završetkom opisa eksperimentalnog dela rada možemo pristupiti analizi šeme raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}^*$ .

Š E M A R A S P A D A  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$

Analiza i obrada podataka:

Prikaz šeme raspada je na slici 5.



Jezgro  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ , čiji je period poluraspada 30 godina, elektronskim zahvatom se raspada u jezgro  $^{207}_{82}\text{Pb}_{125}$ .  $Q$  reakcija prelaza je

$$Q = (M_j(^{207}_{83}\text{Bi}_{124}) - M_j(^{207}_{82}\text{Pb}_{125})) \cdot 931.48$$

$$Q = (206.978474 - 206.975898) \cdot 931.48$$

i iznosi 2.40 MeV.

Jezgro  $^{207}_{82}\text{Pb}_{125}$  je jedinstven slučaj tipičnog predstavnika jednočestičnog modela. Spin osnovnog stanja mu je 1/2 (to ukazuje

da mu je kvadrupolni električni momenat jednak nuli), a iz schell-modela bi trebao biti  $\beta p_{1/2}$ , što se odlično slaže sa modelom.

Za svaki radijacioni gama prelaz sam odredio vrednost konverzionog koeficijenta. Prilikom izračunavanja sam se koristio formulom 1.2. Relativne intenzitete gama linija sam izmerio (opis toka merenja je na strani 20), a intenzitete konverzionalih linija sam uzeo iz reference 9. Konverzionalni koeficijenat za prelaz od 570 KeV sam odredio interpolacijom, koristeći se tabličnim vrednostima konverzionalih koeficijenata iz reference 10. Ovu vrednost koeficijenta sam koristio za izračunavanje konverzionalih koeficijenata ostalih prelaza koje sam merio. Za njega sam se opredelio, jer je poznato da je prelaz od 570 KeV čist E2 (reference 9). Vrednosti konverzionalih koeficijenata sam priložio u tabeli 21.

Koristivši selekciona pravila momenta impulsa i zakon održanja parnosti, mogu se predvideti multipolnosti i tipovi prelaza. Razmotrimo ovaj postupak ponosob za svaki gama prelaz.

570 KeV:

Ovaj prelaz se realizuje izmedju stanja  $5/2^+$  i  $1/2^+$ .

Znači gama kvant prema izbornom pravilu ima momente

$$\begin{aligned} |5/2 - 1/2| &\leq 1 \leq |5/2 + 1/2| \\ 2 &\leq 1 \leq 3 \end{aligned}$$

2 i 3 l. Do promene parnosti ne dolazi, to znači da operator parnosti mora biti paran. On će biti paran jedino za električnu kvadrupolnu i magnetnu oktopolnu radijaciju. No, uporedjeno teorijske i eksperimentalne vrednosti konverzionalog koe-

ficijenta ustanovio sam da je odnešeni momenat 2l, što uslovjava da je prelaz izvršen isključivo električno kvadrupolnom radijacijom. To, da je zračenje električno kvadrupolno zrače nje, je označeno i na Šemi, a to smo sad, kao što vidimo, i diskusijom potvrdili. Diskusiju sam izveo na bazi naših eksperimentalnih rezultata.

897 KeV:

Ovaj prelaz se realizuje izmedju stanja  $3/2^-$  i  $1/2^-$ .

Gama kvant prema izbornom pravilu ima momente

$$|3/2 - 1/2| \leq l \leq |3/2 + 1/2|$$

$$1 \leq l \leq 2$$

Orbitalni momenat može imati vrednosti  $l = 1, 2$ .

Pošto su oba dva stanja negativne parnosti, ne dolazi do promene parnosti, što znači da je operator parnosti paran, odakle sledi da se prelaz realizuje električno kvadrupolnim i magnetno dipolnim zračenjem. Uporedjujući teorijske vrednosti konverzionalih koeficijenata ( $\mathcal{L}_{\text{teor}}(E2)$  i  $\mathcal{L}_{\text{teor}}(M1)$ ) zaključujem da je zračenje mešano multipolnog reda i daljnji zadatak je određivanje zastupljenosti multipolnih komponenata u mešanom prelazu.

Zastupljenost multipolnih komponenata u mešanom prelazu se definiše odnosom:

$$\delta^2 = \frac{N(E2)}{N(M1)}$$

gde je

$N_{\gamma}(E2)$  - intenzitet E2 komponente zračenja

$N_{\gamma}(M1)$  - intenzitet M1 komponente zračenja

U slučaju prelaza tipa E2 + M1 izmereni konverzionalni koeficijent za i-tu ljudsku ili podljudsku se može izraziti kao

$$\alpha_i = \frac{\alpha_i(M1) + \delta^2 \alpha_i(E2)}{1 + \delta^2}$$

odakle je

$$\delta^2 = \frac{\alpha_i(M1) - \alpha_i}{\alpha_i - \alpha_i(E2)}$$

Za K ljudsku

$$\delta^2 = \frac{\alpha_K(M1) - \alpha_K}{\alpha_K - \alpha_K(E2)} \quad (1.3)$$

gde je

$\alpha_K$  - eksperimentalni konverzionalni koeficijent za dati prelaz

$\alpha_K(M1)$  - teorijski konverzionalni koeficijent zračenja tipa M1

$\alpha_K(E2)$  - Teorijski konverzionalni koeficijent zračenja tipa E2

Vrednost za  $\alpha_K$  sam merio, a teorijske vrednosti za  $\alpha_K(M1)$  i  $\alpha_K(E2)$  sam dobijao interpolacijom, koristeći se tabličnim vrednostima konverzionalnih koeficijenata iz reference 10.

Koristivši formulu 1.3 za veličinu  $\delta^2$  sam dobio negativnu vrednost. Negativna vrednost veličine  $\delta^2$  nema smisla. Očigledno je da se eksperimentalni rezultat ne slaže sa pretpostavkom da je smeša M1 + E2. Naš rezultat se međutim u okviru eksperimentalne greške slaže sa rezultatom iz reference 9. Ovo neslaganje izmedju naših rezultata i pretpostavljene smeše M1 + E2 je posledica ili eksperimentalnih grešaka u izmerenim vrednostima relativnih konverzionalih intenziteta za ovo jezgro, ili pak potiče od penetracionih efekata u M1 konverziji za

ovaj prelaz. Penetracioni efekat ili efekat prodiranja jeste uticaj nuklearne strukture na proces konverzije. Veličina penetracionih matričnih elemenata primetno raste pri radijacionim prelazima koji su jako usporeni. Nadovezujući se na malopredjašnju činjenicu, pristupio sam ispitivanju zabranjenosti M1 komponente datog prelaza. Zabranjeni prelazi su malo verovatni prelazi. Verovatnoća prelaza je obrnute proporcionalna periodu poluraspada pobudjenog stanja, tj. važi da je

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{V(s')} = \frac{6.6 \cdot 10^{-16}}{\Gamma_{\gamma^*}(\text{eV})} \quad (1.4)$$

gde je

$\Gamma_{\gamma^*}$  - parcijalna širina pobudjenog stanja sa kojeg se vrši prelaz

Prema jednočestičnom modelu parcijalna širina pobudjenog stanja za prelaz M1 tipa je

$$\Gamma_{\gamma^*}(\text{M1}) = 0.021 \cdot E^3 \quad (1.5)$$

tj.

$$\Gamma_{\gamma^*}(\text{M1}) = 0.021 \cdot (0.897)^3$$

$$\Gamma_{\gamma^*}(\text{M1}) = 1.52 \cdot 10^{-2} \text{ eV}$$

Period poluraspada prema formuli 1.4 je

$$t_{1/2} = \frac{6.6 \cdot 10^{-16}}{1.52 \cdot 10^{-2}} = 4.34 \cdot 10^{-14} \text{ sec}$$

Period poluraspada ovog stanja je kratak (obično se uzima da su sva stanja koja žive duže od  $10^{-9}$  sec izomerna tj. dugoziveća). Odatle zaključujem da je verovatnoća prelaza prilično velika.

Kao što vidimo, služeći se pretpostavkama jednočestičnog modela slojeva, nisam uspeo objasniti postojanost penetracionog

efekta. Zato pretpostavljam da neslaganje rezultata potiče od eksperimentalnih grešaka u izmerenim vrednostima relativnih konverzionih intenziteta za ovo jezgre.

1063 KeV:

Prelaz se realizuje izmedju stanja  $13/2^+$  i  $5/2^-$ .

Iz izbornog pravila sledi da je

$$|13/2 - 5/2| \leq 1 \leq |13/2 + 5/2|$$

$$4 \leq 1 \leq 9$$

Gama kvanti poseduju moment 4I (pošto se verovatnoća emisije smanjuje povećanjem momenta impulsa) i pošto dolazi do promene parnosti najverovatnije zračenje je magnetno heksa dekapolno zračenje. To se vidi i iz poređenja teorijske i eksperimentalne vrednosti konverzionog koeficijenta. Teorijsku vrednost koeficijenta  $\alpha(M4)$  sam dobio interpolacijom, koristeći se tabličnim vrednostima konverzionih koeficijenata iz reference 10.

Stanje  $13/2^+$  je izomerno, no to nije uslovilo promenu konverzionog koeficijenta, kao što bi se očekivalo na osnovu objašnjenja koje se odnosilo na postojanost penetracionog efekta.

1442 KeV:

Prelaz se realizuje izmedju stanja  $7/2^-$  i  $5/2^-$ . Istovetnom analizom zaključujem da je zračenje električno

kvodnopolno zračenje.

1770 KeV:

Prelaz se realizuje izmedju stanja  $7/2^+$  i  $5/2^+$ . Istim postupkom analize zaključujem da je i ovo zračenje mešanog multipolnog reda (zračenje je smeša zračenja E2 i M1 tipa). Veličina  $\delta^2$  je 0,6, znači E2 komponenta zračenja je nešto više zastupljena.

Analizu za svaki prelaz ponosob sam vršio na osnovu tabele 22, koja predstavlja srednjenu celinu teorijskih i eksperimentalnih vrednosti konverzionih koeficijenata.

Izračunavanje greški:

Izraz za određivanje greški konverzionih koeficijenata je

$$\Delta \alpha_K = \pm \sqrt{\left( \frac{1}{N_{es}} \cdot \frac{N_{ys}}{N_{ye}} ds \right)^2 \Delta N_{ek}^2 + \left( -\frac{N_{ek}}{N_{es}^2} \cdot \frac{N_{ys}}{N_{ye}} ds \right)^2 \Delta N_{es}^2}$$

$$\sqrt{\left( \frac{N_{ek}}{N_{es}} \cdot \frac{1}{N_{ye}} ds \right)^2 \Delta N_{ye}^2 + \left( -\frac{N_{ek}}{N_{es}} \cdot \frac{N_{ys}}{N_{ye}^2} ds \right)^2 \Delta N_{es}^2}$$

(u ovom izrazu sam smatrao da je  $\Delta \alpha_s = 0$ ).

Greška veličine  $\delta^2$  je tražena izrazom

$$\Delta \delta^2 = \pm \frac{\alpha_K(E2) - \alpha_K(M1)}{(\alpha_K - \alpha_K(E2))^2} \Delta \alpha_K$$

(naravno, nju sam koristio samo kod prelaza mešanog multipolnog reda).

Zaključak:

U ovom radu sam odredio krivu efikasnosti P-I-N GeLi detektora i analizirao šemu raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ . Tokom obrade rezultata prve serije merenja, zaključili smo da je izvor  $^{152}\text{Eu}$  suviše slab, te smo ponovili merenja s jačim izvorom. Rezultati su bili mnogo bolji, čak dobri, jedino se linija od 122 KeV nije usaglašavala prilikom normiranja. Odstupanje je bilo sistemske, povećavalo se smanjenjem rastojanja izvor-detektor. Uzimajući to u obzir i vršeći analizu na samom spektrometru, zaključili smo da je u pitanju "pile-up" efekat, tzv. nasedanje impulsa. Slično odstupanje smo primetili i za liniju 273 $\frac{1}{2}$  KeV koja potiče od izvora  $^{88}\text{Y}$ , no odstupanje se lako objasnilo analizom šeme raspada Y.

Krivu efikasnosti možemo smatrati tačnim, te smo ustavili tokom daljnjih merenja koje smo vršili radi analize šeme raspada  $^{207}_{83}\text{Bi}_{124}$ . Prilikom analize primenom zakona održanja parnosti i momenta impulsa objasnio sam tip i multipolnost zračenja i na taj način sam potvrdio ispravnost korišćene šeme raspada. Prelaz od 897 KeV nije objašnjen, mada sam ga prodiskutovao. Pri tome sam se i koristio nekim osnovnim zaključcima jednočestičnog modela slojeva, no dobijao sam protivurečne rezultate. Smatram da to proističe iz jednostavnosti modela i da on ne može u potpunosti objasniti složenost jezgra.

1.VI 1976	Obeležje	A ( $\mu$ G.)	%	ESD %
$^{241}$ Am	B 1519	11.16	5	1.5
$^{133}$ Ba	B 2372	11.23	4.8	1.6
$^{137}$ Cs	B 3435	11.36	3.7	1.3
$^{57}$ Co	B 4595	12.10	4.4	1.5
$^{60}$ Co	B 5403	10.40	1.9	0.7
$^{54}$ Mn	B 6488	10.53	3.7	1.3
$^{22}$ Na	B 8351	11.12	3.7	1.3
$^{88}$ Y	B 9525	11.92	5.0	1.7

Tabela 1.

ID = 5 cm

	E (KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P=P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>241</sup> Am	60	1 730 966	133 104	1 597 862	1597.86	14075.51	14.07
<sup>133</sup> Ba	81	1 845 311	283 953.5	1 561 337.5	1951.69	6676.84	8.34
	276	263 304	61 734.5	201 569.5	251.96	2921.59	3.65
	303	540 950	65 538	475 412	594.26	3164.04	3.95
	356	1 425 002	83 893.5	1 341 108.5	1676.38	3663.57	4.57
	384	230 342	50 396	179 946	224.93	2402.89	3.00
<sup>137</sup> Cs	662	629 892	33 733	596 159	1490.39	1865.56	4.66
<sup>57</sup> Co	122	1 717 408	51 479.5	1 665 928.5	1685.92	2080.91	2.08
	136	211 220	6 652	204 568	204.56	901.79	0.90
<sup>60</sup> Co	1173	969 611	128 743	840 868	840.86	2649.62	2.64
	1332	868 249	120 415	747 834	747.83	2823.60	2.82
<sup>54</sup> Mn	855	387 417	19 409.5	368 007.5	368.00	1177.71	1.11
<sup>22</sup> Na	511	2 811 707	129 242	2 682 465	2682.46	3679.50	3.67
	1274	628 133	30 689	597 444	597.44	2035.19	2.03
<sup>88</sup> Y	898	57 968	2 2 124.5	55 843.5	6.98	316.95	0.03
	1836	29 899	484	29 415	3.67	209.60	0.02
	2724	244	6.5	237.5	0.02	19.83	-

Tabela 2.

ID = 10 cm

	E (KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P=P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>241</sup> Am	60	1 080 369	92 232	988 137	494.06	11 197.16	5.59
<sup>133</sup> Ba	81	5 442 299	543 991.5	1 288 024.5	644.01	7 534.92	3.76
	276	257 547	22 742.7	234 804.3	117.40	1 504.66	0.75
	303	562 787	19 254.3	543 532.7	271.76	1 503.82	0.75
	356	1 567 236	19 515.5	1 547 720.5	773.86	1 917.13	0.95
	384	212 659	5 885.7	206 773.3	103.38	888.10	0.44
	662	493 445	17 628	475 817	594.77	1 360.44	1.70
<sup>57</sup> Co	122	1 098 801	32 225	1 066 576	533.28	2 232.02	1.11
<sup>60</sup> Co	136	138 527	7 183	131 344	65.67	923.70	0.46
	1173	686 835	76 697	610 138	305.06	1 927.78	0.96
	1332	609 749	66 089.5	543 659.5	271.82	1 927.68	0.96
<sup>54</sup> Mn	835	263 101	13 519.5	249 581.5	124.79	969.05	0.48
<sup>22</sup> Na	511	2 079 087	75 703	2 003 384	1 001.69	2 771.48	1.38
	1274	469 386	10 532.5	458 853.5	229.42	1 131.54	0.56
<sup>88</sup> Y	898	50 262	4 757	45 505	2.27	425.53	0.02
	1836	25 781	548.5	25 232.5	1.26	202.15	0.01
	2734	110	13.5	96.5	0.004	19.49	-

Tabela 3.

ID = 15 cm

	E (KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P=P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>241</sup> Am	60	1 035 739	105 568	930 171	232.54	11 109.48	2.77
<sup>133</sup> Ba	81	1 771 470	182 961	1 588 509	397.12	4 117.91	1.02
	276	264 655	27 849.4	236 805.6	59.20	1 702.91	0.42
	303	572 235	20 315.4	551 919.6	137.97	1 537.71	0.38
	356	1 586 554	16 920	1 569 634	392.40	1 785.38	0.44
	384	213 316	4 383	208 933	52.23	792.50	0.19
<sup>137</sup> Cs	662	396 436	9 164.5	297 271.5	297.27	964.16	0.96
<sup>57</sup> Co	122	1 041 131	34 894	1 006 236	251.55	2 161.06	0.54
	136	136 543	11 827.5	124 715.5	31.17	1 146.02	0.28
<sup>60</sup> Co	1173	694 635	72 362	622 273	155.56	1 826.43	0.45
	1332	616 137	61 183	554 954	138.73	1 793.43	0.44
<sup>54</sup> Mn	835	262 518	14 234	248 284	62.07	976.14	0.24
<sup>22</sup> Na	511	2 084 452	58 674	2 025 778	506.44	2 298.30	0.57
	1274	480 067	9 131	470 936	117.73	1 094	0.27
<sup>88</sup> Y	898	53 153	11 257	41 846	1.04	558.62	0.01
	1836	27 693	1 447.5	26 245.5	0.65	333.05	-
	2734	133	39	94	0.002	38.70	-

Tabela 4.

ID = 20 cm

	E (KeV)	$P_2$	$P_f$	$P=P_2-P_f$	P/sec	$\Delta P$	$\Delta P/\text{sec}$
<sup>241</sup> Am	60	1 232 254	146 840	1 085 414	135.67	12 281.34	1.53
<sup>133</sup> Ba	81	2 140 770	297 972.5	1 842 797.5	230.34	5 183.86	0.64
	276	317 867	33 671.10	284 195.9	35.52	1 813.42	0.22
	303	685 497	27 962.9	657 534.1	82.19	1 775.53	0.22
	356	1 898 928	21 856.1	1 877 071.9	234.63	2 027.63	0.25
	384	254 500	4 486.4	250 013.6	31.25	788.98	0.09
<sup>137</sup> Cs	662	220 433	6 383	214 050	178.37	797.07	0.66
<sup>57</sup> Co	122	1 216 416	52 275.5	1 614 140.5	201.76	2 635.57	0.32
	136	165 548	21 600	143 948	17.99	1 499.58	0.18
<sup>60</sup> Co	1173	850 331	99 472	750 908.5	93.43	2 220.07	0.27
	1332	749 335	81 907	667 478	83.43	2 144.53	0.26
<sup>54</sup> Mn	855	311 694	17 536	294 158	36.76	1 053.36	0.13
<sup>22</sup> Na	511	2 516 267	77 536	2 458 731	304.84	2 684.62	0.33
	1274	578 404	9 416.5	568 987.5	71.32	1 097.54	0.13
<sup>88</sup> Y	898	58 612	7 784	50 828	0.63	462.91	-
	1836	28 504	1 394.5	27 109.5	0.33	262.57	-
	2734	134	49	85	0.001	55.66	-

Tabela 5.

	$A (\mu\text{Ci})$	$T_{1/2}(\text{danna})$	$t(\text{danna})$	$A_t (\mu\text{Ci})$	$A_t (\text{raspad} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot 10^{-4}$
$^{241}\text{Am}$	$11.16 \pm 0.17$	158 045	667	$11.12 \pm 0.17$	$41.17 \pm 0.62$
$^{137}\text{Cs}$	$11.36 \pm 0.15$	10 986.5 843		$10.77 \pm 0.13$	$39.85 \pm 0.51$
$^{57}\text{Co}$	$12.10 \pm 0.18$	270.5 682		$2.10 \pm 0.01$	$7.80 \pm 0.05$
$^{60}\text{Co}$	$10.40 \pm 0.07$	1 923.5 686		$8.12 \pm 0.05$	$30.05 \pm 0.18$
$^{54}\text{Mn}$	$10.53 \pm 0.13$	312.5 683		$2.31 \pm 0.01$	$8.56 \pm 0.05$
$^{22}\text{Na}$	$11.12 \pm 0.14$	949 687		$6.73 \pm 0.02$	$24.91 \pm 0.25$
$^{66}\text{Y}$	$11.92 \pm 0.20$	106.6 840		$0.05 \pm -$	$0.18 \pm -$

Tabela 6.

	ID(cm)	$A (\mu\text{Ci})$	$T_{1/2}(\text{danna})$	$t(\text{danna})$	$A_t (\mu\text{Ci})$	$A_t (\text{raspad} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot 10^{-4}$
$^{133}\text{Ba}$	5	$11.23 \pm 0.18$	3942	842	$9.68 \pm 0.14$	$35.83 \pm 0.53$
	10	$11.23 \pm 0.18$	3942	659	$9.98 \pm 0.15$	$36.94 \pm 0.56$
	15	$11.23 \pm 0.18$	3942	681	$9.96 \pm 0.15$	$36.86 \pm 0.56$
	20	$11.23 \pm 0.18$	3942	676	$9.97 \pm 0.15$	$36.89 \pm 0.56$

Tabela 7.

	E(Kev)	$A_t(s) \cdot 10^{-4}$	f(E)	t(E)	$N_e(E) \cdot 10^{-4}$
$^{241}_{\Lambda}$ Am	60	41.17	0.353	0.989	$15.37 \pm 0.21$
$^{137}_{\Lambda}$ Cs	662	39.85	0.851	0.995	$33.74 \pm 0.43$
$^{57}_{\Lambda}$ Co	122	7.80	0.852	0.991	$6.58 \pm 0.04$
	136	7.80	0.111	0.991	$0.85 \pm -$
$^{60}_{\Lambda}$ Co	1173	30.05	0.9986	0.996	$29.89 \pm 0.18$
	1332	30.05	0.9998	0.996	$29.92 \pm 0.18$
$^{54}_{\Lambda}$ Mn	835	8.56	1.00	0.995	$8.52 \pm 0.05$
$^{22}_{\Lambda}$ Na	511	24.91	1.81	0.980	$44.19 \pm 0.44$
	1274	24.91	0.9995	0.996 0.986	$24.80 \quad 0.24$ $24.55 \quad 0.24$
$^{88}_{\Lambda}$ Y	898	0.187	0.932	0.996	$0.173 \pm 0.002$
	1836	0.187	0.994	0.997	$0.185 \pm -$
	2734	0.187	0.006	1	$0.00112 \pm 0.00001$

Tabela 8.

ID(cm)	E(Kev)	$A_t(s) \cdot 10^{-4}$	f(E)	t(E)	$N_e(E) \cdot 10^{-4}$
<sup>133</sup> Ba	81	35.83	0.36	1	$12.89 \pm 0.19$
	276		0.079	1	$2.83 \pm 0.04$
	303		0.204	1	$7.30 \pm 0.10$
	356		0.69	0.994	$24.57 \pm 0.36$
	384		0.099	1	$3.54 \pm 0.05$
	81	36.94	0.36	1	$13.29 \pm 0.20$
	276		0.079	1	$2.91 \pm 0.04$
	303		0.204	1	$7.53 \pm 0.11$
	356		0.69	0.994	$25.33 \pm 0.38$
	384		0.099	1	$3.65 \pm 0.05$
<sup>133</sup> Ba	81	36.86	0.36	1	$13.27 \pm 0.20$
	276		0.079	1	$2.91 \pm 0.04$
	303		0.204	1	$7.52 \pm 0.11$
	356		0.69	0.994	$25.28 \pm 0.38$
	384		0.099	1	$3.64 \pm 0.05$
	81	36.89	0.36	1	$13.28 \pm 0.20$
	276		0.079	1	$2.91 \pm 0.04$
	303		0.204	1	$7.52 \pm 0.11$
	356		0.69	0.994	$25.30 \pm 0.38$
	384		0.099	1	$3.65 \pm 0.05$

Tabela 9.

ID = 5 cm							
	E(KoV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>152</sup> Eu	122	5 199 522	1 294 836.7	3 869 152.66	967.28	9.328	2.33
	245	1 362 901	266 389	1 096 512	274.72	2 712.31	0.67
	344	3 088 388	439 395	2 648 993	662.24	10 912.77	2.72
	411	337 315	154 297.5	183 017.5	45.75	1 996.75	0.49
	444	386 543	154 493.6	232 049.4	58.01	2 010.20	0.50
	779	721 673	157 242.6	564 430.4	141.10	2 786.37	0.69
	964	630 240	110 949.9	519 290.01	129.82	2 078.29	0.51
	1112	545 137	113 149.3	431 987.7	107.99	2 382.13	0.89
	1408	573 431	41 431	532 000	133	1 500.46	0.37

Tabela 10.

ID = 10 cm							
	E(Kev)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P=P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>152</sup> Eu	122	3 277 280	226 455	3 021 842.16	755.46	2 848	0.71
	245	639 412	105 608.5	533 803.5	133.45	1 736.54	0.43
	344	1 395 084	102 675	1 292 409	323.10	3 806.06	0.95
	411	137 699	46 513.5	91 185.5	22.79	1 022.11	0.25
	444	162 261	45 890	116 371	29.09	1 028.16	0.25
	779	323 854	47 160.42	276 693.57	69.17	1 448.82	0.36
	964	285 484	28 670.5	256 813.5	64.20	1 029.36	0.25
	1112	258 809	27 561.5	211 247.5	52.81	1 032.30	0.25
	1408	268 371	7 697	260 674	65.16	761.64	0.19

Tabela 11.

ID = 15 cm							
	E(KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P <sub>2</sub> =P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>152</sup> <sub>Eu</sub>	122	1 678 803	120 085	1 545 001.28	386.25	2 060	0.51
	245	334 151	54 148	280 003	70	1 245.98	0.51
	344	730 228	43 987.5	686 240.5	171.56	1 585.44	0.39
	431	70 596	22 863.5	47 732.5	11.93	718.63	0.17
	444	82 917	22 278	61 639	15.40	719.95	0.17
	779	169 460	22 229.9	147 230.07	36.80	1 003.12	0.25
	964	149 687	13 041	136 646	34.16	708.37	0.17
	1112	223 592	12 412.5	111 179.5	27.79	704.24	0.17
	1408	141 507	2 626.5	138 880.5	34.72	497.87	0.12

Tabela 12.

ID = 20 cm							
	E(KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P=P <sub>2</sub> -P <sub>f</sub>	P/sec	Δ P	Δ P/sec
<sup>152</sup> <sub>Bu</sub>	122	993 135	78 189	915 970	226.49	1 632	0.40
	245	199 648	32 636	167 012	41.75	966.41	0.24
	344	437 553	25 672.5	411 880.5	102.97	1 926.34	0.48
	411	42 429	13 419	29 010	7.25	551.41	0.13
	444	50 203	13 140.5	37 062.5	9.26	553.57	0.13
	779	101 904	13 158	88 746	22.18	772.8	0.19
	964	89 659	7 511	82 148	20.53	540.79	0.13
	1112	75 055	6 860	68 195	17.04	529.95	0.13
	1408	85 122	1 318	83 804	20.95	372.15	0.09

Tabela 13.

ID = 5 cm							
E(KeV)	P/sec	f(E)	$\epsilon_r$	$K_n$	$K_{sn}$	$\epsilon_{AP} \cdot 10^4$	
122	967.28	136	7.11	0.0035		112.36	
245	274.12	35.9	7.63	0.0013		120.63	
344	662.24	127.7	5.18	0.0014		81.92	
411	45.75	10.7	4.27	0.0015		67.49	
444	58.01	14.9	3.88	0.0016	0.00158	61.43	
779	141.10	62.1	2.27	0.0017		35.89	
964	12.82	70	1.85	0.0017		29.29	
1112	107.99	64.8	1.66	0.0016		26.32	
14e3	153	100	1.53	0.0016		21.61	

Tabela br. 14.

ID = 10 cm							
E(KeV)	P/sec	f(E)	$\epsilon_r$	$K_n$	$K_{sn}$	$\epsilon_{AP} \cdot 10^4$	
122	755.46	136	5.55	0.0014		67.95	
245	153.45	35.9	3.71	0.0011		45.34	
344	323.10	127.7	2.53	0.0012		30.86	
411	22.79	10.71	2.12	0.0012		25.96	
444	29.09	14.92	1.94	0.0012	0.00122	25.77	
779	69.17	62.1	1.11	0.0012		13.57	
964	64.20	70	0.91	0.0011		11.18	
1112	52.81	64.8	0.81	0.0011		9.93	
14e3	65.16	100	0.65	0.0011		7.94	

Tabela br. 15.

ID = 15 cm						
E(KeV)	P/sec	f(E)	$\epsilon_r$	$K_n$	$K_{sn}$	$\epsilon_{AP} \cdot 10^4$
122	386.25	136	2.84	0.00134		34.93
245	70	35.9	1.94	0.00114		23.97
344	171.56	127.7	1.34	0.00122		16.51
411	11.93	10.71	1.11	0.00125		13.70
444	15.40	14.92	1.03	0.00125	0.00123	12.69
779	36.80	62.1	0.59	0.00126		7.28
964	34.16	70	0.48	0.00122		6
1112	27.79	64.8	0.42	0.00121		5.26
1408	34.72	100	0.34	0.00123		4.26

Tabela 16.

ID = 20 cm						
E(KeV)	P/sec	f(E)	$\epsilon_r$	$K_n$	$K_{sn}$	$\epsilon_{AP} \cdot 10^4$
122	226.49	136	1.66	0.00183		20.96
245	41.75	35.9	1.16	0.0011		14.53
344	102.97	127.7	0.80	0.0012		10.07
411	7.25	10.71	0.67	0.0012	0.00125	8.46
444	9.26	14.92	0.62	0.0012		7.76
779	22.18	62.1	0.35	0.0013		4.46
964	20.53	70	0.29	0.0012		3.66
1112	17.64	64.8	0.26	0.0012		3.28
1408	20.95	100	0.20	0.0011		2.61

Tabela 17.

		5	10	15	20
	E (KeV)	$\epsilon \cdot 10^4$	$\epsilon \cdot 10^4$	$\epsilon \cdot 10^4$	$\epsilon \cdot 10^4$
$^{241}\text{Am}$	60	$11.14 \pm 1.95$	$34.36 \pm 0.65$	$16.17 \pm 0.30$	$9.43 \pm 0.17$
$^{133}\text{Ba}$	81	$151.41 \pm 2.35$	$48.42 \pm 0.78$	$29.92 \pm 0.45$	$17.34 \pm 0.26$
$^{152}\text{Eu}$	122	$112.36 \pm 1.08$	$67.95 \pm 0.40$	$34.93 \pm 0.21$	$20.96 \pm 0.12$
$^{57}\text{Co}$	122	$255.94 \pm 1.74$	$80.95 \pm 0.56$	$38.18 \pm 0.26$	$22.09 \pm 0.21$
	136	$238.37 \pm 1.76$	$76.52 \pm 0.70$	$36.33 \pm 0.39$	$20.96 \pm 0.26$
$^{152}\text{Eu}$	245	$120.63 \pm 1.70$	$45.34 \pm 0.64$	$23.97 \pm 0.35$	$14.53 \pm 0.21$
$^{133}\text{Ba}$	276	$89.03 \pm 1.84$	$40.22 \pm 0.66$	$20.33 \pm 0.33$	$12.18 \pm 0.28$
	303	$81.30 \pm 1.32$	$36.06 \pm 0.55$	$18.34 \pm 0.28$	$10.92 \pm 0.16$
$^{152}\text{Eu}$	344	$81.92 \pm 0.88$	$30.86 \pm 0.32$	$16.51 \pm 0.16$	$10.07 \pm 0.11$
$^{133}\text{Ba}$	356	$68.22 \pm 1.03$	$30.54 \pm 0.46$	$15.52 \pm 0.23$	$9.27 \pm 0.14$
	384	$63.41 \pm 1.24$	$28.26 \pm 0.44$	$14.31 \pm 0.22$	$8.55 \pm 0.13$
$^{152}\text{Eu}$	411	$67.49 \pm 0.91$	$25.96 \pm 0.35$	$13.70 \pm 0.22$	$8.46 \pm 0.16$
	444	$61.43 \pm 0.75$	$23.77 \pm 0.29$	$12.69 \pm 0.17$	$7.76 \pm 0.13$
$^{22}\text{Na}$	511	$60.70 \pm 0.61$	$22.66 \pm 0.23$	$11.46 \pm 0.11$	$6.83 \pm 0.06$
$^{137}\text{Cs}$	662	$44.16 \pm 0.57$	$17.62 \pm 0.23$	$8.80 \pm 0.11$	$5.28 \pm 0.07$
$^{54}\text{Mn}$	835	$43.17 \pm 0.13$	$14.63 \pm 0.05$	$7.28 \pm 0.02$	$4.34 \pm 0.01$
$^{88}\text{Y}$	898	$40.12 \pm 0.23$	$13.24 \pm 0.12$	$6.05 \pm 0.07$	$3.65 \pm 0.02$
$^{152}\text{Eu}$	964	$29.29 \pm 0.21$	$11.18 \pm 0.07$	$6.00 \pm 0.04$	$3.66 \pm 0.03$
$^{152}\text{Eu}$	1112	$26.32 \pm 0.21$	$9.93 \pm 0.07$	$5.26 \pm 0.04$	$3.28 \pm 0.03$
$^{60}\text{Co}$	1173	$28.13 \pm 0.19$	$10.20 \pm 0.06$	$5.20 \pm 0.03$	$3.14 \pm 0.02$
$^{22}\text{Na}$	1274	$24.08 \pm 0.25$	$9.25 \pm 0.09$	$4.74 \pm 0.05$	$2.86 \pm 0.03$
		$24.33 \pm 0.25$	$9.34 \pm 0.09$	$4.79 \pm 0.05$	$2.89 \pm 0.03$
$^{60}\text{Co}$	1332	$24.98 \pm 0.17$	$9.08 \pm 0.06$	$4.63 \pm 0.03$	$2.78 \pm 0.01$
$^{152}\text{Eu}$	1408	$21.01 \pm 0.13$	$7.94 \pm 0.05$	$4.26 \pm 0.03$	$2.61 \pm 0.02$
$^{88}\text{Y}$	1836	$19.79 \pm 0.14$	$6.87 \pm 0.05$	$3.55 \pm 0.04$	$1.82 \pm 0.01$
	2734	$26.55 \pm 2.18$	$4.34 \pm 0.96$	$2.10 \pm 0.87$	$0.94 \pm 0.62$

Tabela 18.

ID = 5 cm						
E(KeV)	P <sub>2</sub>	P <sub>f</sub>	P <sub>r</sub>	P <sub>r</sub> /sec	ε 10 <sup>-4</sup>	N <sub>e</sub> 10 <sup>-4</sup>
570	2 848 214	211 723.5	2 636 490.5	659.12 <sup>±</sup> 0.86	52.5 <sup>±</sup> 0.6	12.55 <sup>±</sup> 0.20
897	36 220	33 614.5	2 605.5	0.65 <sup>±</sup> 0.14	34.5 <sup>±</sup> 0.23	0.01 <sup>±</sup> -
1063	1 165 158	111 334.9	1.053 823.05	263.45 <sup>±</sup> 0.97	29 <sup>±</sup> 0.21	9.08 <sup>±</sup> 0.09
1442	9 056	7 602	1 454	0.36 <sup>±</sup> 0.09	21 <sup>±</sup> 0.13	0.01 <sup>±</sup> -
1770	67 553	6 151	61 402	15.35 <sup>±</sup> 0.17	18 <sup>±</sup> 0.13	0.85 <sup>±</sup> 0.02
ID = 15 cm						
570	980 081	26 081	954 000	119.25 <sup>±</sup> 0.14	10.2 <sup>±</sup> 0.1	11.69 <sup>±</sup> 0.12
897	10 539	9 673	866	0.10 <sup>±</sup> 0.04	6.0 <sup>±</sup> -	0.01 <sup>±</sup> -
1063	408 092	6 534.84	401 562.16	50.19 <sup>±</sup> 0.09	5.4 <sup>±</sup> -	9.29 <sup>±</sup> 0.08
1442	2 381	1 782	599	0.07 <sup>±</sup> 0.02	4.2 <sup>±</sup> -	0.01 <sup>±</sup> -
1770	24 100	555.97	23 544.02	2.94 <sup>±</sup> 0.02	3.8 <sup>±</sup> -	0.77 <sup>±</sup> 0.01
Usrednjene vrednosti						
	N <sub>e</sub> sr . 10 <sup>-4</sup>				N <sub>e</sub> sr (n)	
570	12.12 <sup>±</sup> 0.16				131.89 <sup>±</sup> 2.19	
897	0.018 <sup>±</sup> 0.006				0.20 <sup>±</sup> 0.06	
1063	9.18 <sup>±</sup> 0.08				100.00 <sup>±</sup> 1.29	
1442	0.017 <sup>±</sup> 0.005				0.19 <sup>±</sup> -	
1770	0.81 <sup>±</sup> 0.02				8.84 <sup>±</sup> 0.22	

Tabela 19.

E(KeV)	N <sub>γ</sub>	N <sub>γ</sub> *
570	131.89	131.89
897	0.20	0.21
1063	100	100.23
1442	0.19	0.21
1770	8.84	10.55

Tabela 20.

E(KeV)	N <sub>ek</sub>	N <sub>γ</sub>	α <sub>k exp</sub>
570	21 ± 0.5	131.89 ± 2.19	0.016 ± -
897	0.06 ± 0.005	0.20 ± 0.06	0.030 ± 0.010
1063	100 ± 0.5	100 ± 1.29	0.100 ± 0.005
1442	0.009 ± 0.0001	0.19 ± 0.05	0.0049 ± 0.0014
1770	0.27 ± 0.005	8.84 ± 0.22	0.0030 ± 0.0001

Tabela 21.

E(KeV)	k exp	α <sub>k</sub> (E2)	α <sub>k</sub> (M2)	α <sub>k</sub> (M4)	δ <sup>2</sup>
570	0.016	0.016	-	-	-
897	0.030	0.0065	0.019	-	-
1063	0.100	-	-	0.097	-
1442	0.0049	0.0027	-	-	-
1770	0.0030	0.002	0.0036	-	0.6

Tabela 22.

## R E F E R E N C E

1. Lazar Marinkov: OSNOVI NUKLEARNE FIZIKE, Novi Sad 1976
2. Lazar Marinkov: DOKTORSKA DISERTACIJA, Vinča-Beograd, 1963
3. M. Mladjenović: NUKLEARNA FIZIKA I., Vinča, 1967
4. Bikit Ištvan: DOKTORSKA DISERTACIJA, Novi Sad, 1976
5. Bikit Ištvan: DIPLOMSKI RAD, PMF Novi Sad, 1967
6. Dragoljub Pečanac: DIPLOMSKI RAD, PMF Novi Sad, 1976
7. Mirjana German: DIPLOMSKI RAD, PMF Novi Sad, 1975
8. P. Christmas: PRIVATNO SAOPŠTENJE
9. C. M. Lederer,  
J. M. Hollander,  
I. Perlman:  
  
TABLE ISOTOPES, John Wiley sons inc New York  
London, Sydney, 1968
10. R. S. Hager:  
E. C. Seltzer:  
  
NUCLEAR DATA 14, 1, 2, 1968  
  
Internal conversions tables part I: K,-L,-M  
Shell conversion koeficients for z = 30 E = 103  
California Institute of Tehnology, Pasadena,  
California