

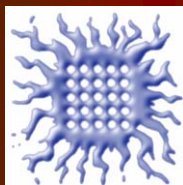


Fundamentalne interakcije Srbija-2007

Septembar 26-28, 2007, Iriški venac, Novi Sad, Srbija

# Sumacioni efekti u spektrometriji gama zračenja

D. Novković, M. Djurašević, A.  
Kandić, I. Vukanac, Z. Milošević



*Institut za Nuklearne Nauke "Vinča",*

*POB 522, Beograd, Srbija*

# Uvod

- Efekat koincidentnog sumiranja X- i gama zraka kod germanijumskih detektora predstavlja jedan od najvažnijih problema u gama spektrometriji.
- Jedan od načina kako se do sada taj problem rešavao je tzv. matrični formalizam [Semkow, Korun].
- Za jezgra koja imaju veći broj pobuđenih nivoa matrični formalizam ne daje zadovoljavajuće rezultate, pošto ne obuhvata jedan broj koincidentnih sumiranja.

- U ovom radu datom problemu se pristupa na nov način i oslanja se na prethodne metode samo u početnoj fazi.
- Razvijeni postupak je pogodan za dobijanje jednačina brzine brojanja svih pikova u spektru u prisustvu koincidentnog sumiranja.
- Postupak je primenjen na raspad  $^{139}\text{Ce}$  (samo teorijski), a  $^{57}\text{Co}$  i  $^{133}\text{Ba}$  (teorijski i eksperimentalno).

➤ Polazeći od:

-matrice verovatnoće prelaza

➤ Određuju su:

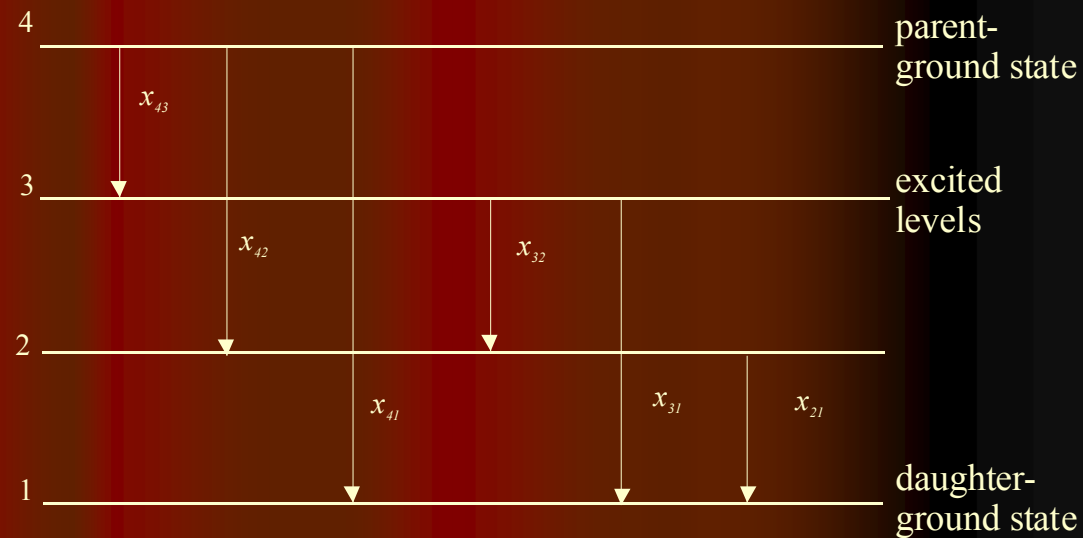
-sve putanje raspada kojim jezgro pretka dospeva do osnovnog stanja jezgra potomka

-svi mogući ishodi svake od putanja raspada

# Matrica verovatnoće prelaza

➤ Prikazana je šeme raspada jednog jezgra sa dva ekscitirana nivoa.

➤ Osnovni nivo jezgra roditelja se elektronskim zahvatom raspada u jezgro potomka.



Slika 1. Opšta šema raspada

➤ Matrica verovatnoće prelaza za prikazanu šemu glasi:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{21} & 0 & 0 & 0 \\ x_{31} & x_{32} & 0 & 0 \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

pri čemu su:

$x_{4i}$  ( $i=1, 2$  i  $3$ ) - verovatnoće elektronskog zahvata sa prelaskom na ekscitirane i osnovni nivo jezgra potomka, a

$x_{ij}$  ( $i=2, 3$  ;  $j=1, 2$ ) - normalizovane verovatnoće prelaza u jezgru potomka.

# Putanje raspada

- Putanje raspada su određene kaskadnim prelazima od osnovnog stanja jezgra roditelja do osnovnog stanja jezgra potomka.
- Da bismo odredili sve moguće putanje raspada, uvodimo matricu  $Y$ :

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_{21} & 0 & 0 & 0 \\ y_{31} & y_{32} & 0 & 0 \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

gde matrični element  $y_{ij}$  označava prelaz sa nivoa  $i$  na nivo  $j$

- Matrični element  $[Y]_{41} = y_{41}$  predstavlja putanju raspada u jednom koraku.
- Pomoću matričnog elementa  $[Y^2]_{41} = y_{42}y_{21} + y_{43}y_{31}$  se nalaze dve putanje raspada u dva koraka  $y_{42}y_{21}$  ( $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ) i  $y_{43}y_{31}$  ( $4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ )
- Dizanjem matrice  $Y$  na treći stepen nalazimo i jednu putanju od tri koraka,  $y_{43} y_{32} y_{21}$  ( $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ ).



# Ishodi raspada

- Sa tačke gledišta spektrometrijske detekcije X- i gama fotona svaki nivo je tačka grananja pošto posledice prelaza na niži nivo mogu biti različite
- Prelaz sa nivoa 4 na niži nivo (elektronski zahvat) je praćen sa jednim od tri moguća događaja: detekcijom  $K_\alpha$  ili  $K_\beta$  fotona emitovanog pri elektronskom zahvatu, ili bez detekcije bilo kakvog fotona:

$$y_{4i} = [p_{\alpha 4i}, p_{\beta 4i}, q_{4i}] \quad i < 4$$

- Prelaz sa nivoa 3 i 2 na niži nivo praćen je sa četiri događaja: detekcijom  $K_\alpha$  ili  $K_\beta$  fotona emitovanog pri unutrašnjoj konverziji, ili detekcijom gama fotona ili bez detekcije bilo kojeg fotona:

$$y_{ij} = [p_{\alpha ij}, p_{\beta ij}, \gamma_{ij}, q_{ij}] \quad j < i < 4$$

- Da bismo obuhvatili sve ove mogućnosti moraju se matični elementi koje sadrži jedna putanja raspada zameniti sa prethodno datim matricima a potom izvršiti direktno (ili Kronekerovo) množenje.

➤ Na primer, putanja raspada od dva koraka daje novu matricu–vrstu:

$$y_{4i} y_{ij} \Rightarrow y_{4i} \otimes y_{ij} =$$

$$\begin{bmatrix} p_{\alpha 4i} p_{\alpha ij}, p_{\alpha 4i} p_{\beta ij}, p_{\alpha 4i} \gamma_{ij}, p_{\alpha 4i} q_{ij}, p_{\beta 4i} p_{\alpha ij}, \\ p_{\beta 4i} p_{\beta ij}, p_{\beta 4i} \gamma_{ij}, p_{\beta 4i} q_{ij}, q_{4i} p_{\alpha ij}, q_{4i} p_{\beta ij}, q_{4i} \gamma_{ij}, q_{4i} q_{ij} \end{bmatrix}$$

➤ Da bismo utvrdili koje su sve moguće energije deponovane u detektoru pri ovim prelazima uvodimo:

$$z_{4i} = [E_{\alpha}, E_{\beta}, 0], \quad i < 4,$$

$$z_{ij} = [E_{\alpha}, E_{\beta}, E_{\gamma_{ij}}, 0], \quad j < i < 4,$$

gde su :

- $E_{\alpha}$  i  $E_{\beta}$  energije  $K_{\alpha}$  i  $K_{\beta}$  fotona emitovanih pri elektron zahvatu ili internoj konverziji,
- $E_{\gamma_{ij}}$  je energija fotona emitovanog pri prelazu ,
- 0 označava da nije deponovana energija u detektoru.

➤ Ako se matični elementi u putanji raspada  $4 \rightarrow i \rightarrow j$ ,  $y_{4i}$  i  $y_{ij}$  zamene sa  $z_{4i}$  i  $z_{ij}$  i izvrši direktno (Kronekerovo) sabiranje dobija se nova matrica - vrsta od 12 elemenata, tj. 12 deponovanih energija u detektoru:

$$z_{4i} + z_{ij} \Rightarrow z_{4i} \oplus z_{ij} =$$

$$\begin{bmatrix} 2E_{\alpha}, E_{\alpha} + E_{\beta}, E_{\alpha} + E_{\gamma_{ij}}, E_{\alpha}, E_{\beta} + E_{\alpha}, \\ 2E_{\beta}, E_{\beta} + E_{\gamma_{ij}}, E_{\beta}, E_{\alpha}, E_{\beta}, E_{\gamma_{ij}}, 0 \end{bmatrix}$$

# Grupisanje članova po energijama i formiranje jednačina brzine brojanja

- Svaki ishod raspada ima svoju matricu-vrstu čiji elementi mogu biti ili proizvodi verovatnoće detekcije (ili ne detekcije), ili deponovane energije u detektoru

- Grupisanjem svih matrica-vrsta čiji su elementi proizvodi verovatnoće detekcije (ili ne detekcije) dobija se nova matrica-vrsta  $\mathbf{P}$ :

$$\mathbf{P} = [p_1, p_2, \dots, p_N]$$

- Grupisanjem svih matrica-vrsta čiji su elementi deponovane energije u detektoru dobija se nova matrica-vrsta  $\mathbf{E}$ :

$$\mathbf{E} = [e_1, e_2, \dots, e_N].$$

- Veći broj ishoda ima za posledicu istu deponovanu energiju u detektoru, zbog čega veliki broj članova matrice-vrste  $\mathbf{E}$  imaju istu vrednost.
- Redukcijom  $\mathbf{E}$  na matricu-vrstu gde nema ponavljanja energija, dobija se nova matrica-vrsta,  $\mathbf{E}_r$
- Energije navedene u  $\mathbf{E}_r$  pokazuju položaj svih pikova koji se mogu pojaviti u spektru



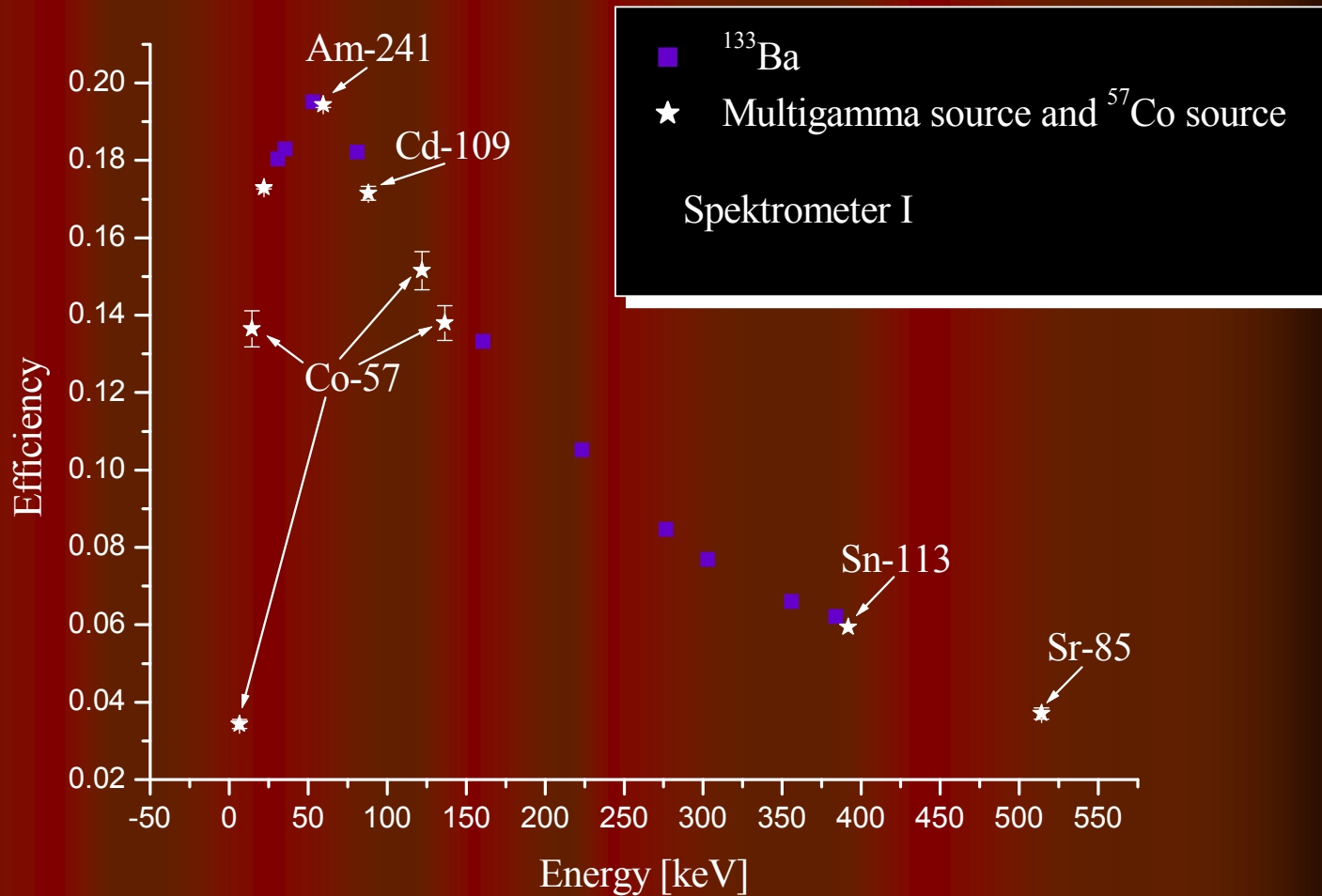
- Sabiranjem svih članova matrice-vrste  $P$  koji imaju isti energetski ishod i množenjem sa aktivnošću izvora,  $R$ , dobija se teorijska jednačina brzine brojanja za tu energiju
- Nepoznate veličine u ovim jednačinama su:
  - pik efikasnosti,
  - totalne efikasnosti
  - aktivnost
- Veličine kao što su unutrašnji konverzioni koeficijent, fluorescentni prinos za K-ljusku i verovatnoća elektron zahvata za K-ljusku uzimaju se iz nuklearnih podataka

# Eksperiment

- U eksperimentu su korišćeni tačkasti izvori Co-57, Ba-133 i jedan multi-gama izvor
- Merenja su urađena na dva spektrometra:
  - spektrometar I (HPGe detektor, Canberra BEGe 5020, relativne efikasnosti od 50% sa proširenim energetske opsegom od nekoliko keV do 3000 keV)
  - spektrometar II (HPGe detektor, Schlumberger, relativne efikasnosti od 15% i energetske opsega osetljivosti od 30 keV do 3000 keV)

# Diskusija i zaključak

- Kod Co-57 se nalaze 2 putanje raspada, 60 ishoda i 25 jednačina za brzinu brojanja, pri čemu je 6 jednačina korišćeno za rešavanje sistema.
- Kod Ba-133 se nalazi 11 putanja raspada, 1788 ishoda i 168 jednačina za brzinu brojanja, pri čemu je za rešavanje sistema korišćeno 13 jednačina.
- Ostale jednačine se koriste za proveru stabilnosti sistema



Slika 2. Efikasnost u funkciji energije

## ➤ Za Co-57:

Izvor	Referentna aktivnost [Bq]	Izračunata aktivnost [Bq]	Odstupanje [%]
1	2910	2889	0.7
2	3534	3570	1.0
3	2118	2122	0.2

## ➤ Za Ba-133:

		Spektrometar I		Spektrometar II	
		1	2	3	1
Aktivnost [Bq]	Referentna	323	2559	973	327
	Izračunata	322	2555	962	331
Odstupanje [%]		0.4	0.1	1.1	1.2

- Najvažnija karakteristika ovog metoda je da se na osnovu postavljenih jednačina mogu odrediti efikasnosti detekcije i aktivnost izvora a takođe je moguće predvideti, kvalitativno i kvantitativno, sve pikove nastale koincidentnim sumiranjem.
- Nikakava ograničenja u pogledu složenosti šeme raspada jezgra koje se analizira ne postoje.