

M. Krmar, M. Veskovic, J. Slivka, Lj. Conkic, I. Bikit
Institut za fiziku, PMF, Trg D. Obradovica 4., Novi Sad

KALIBRACIJA γ - γ KOINCIDENTNOG SPEKTROMETRA POMOCU IZVORA ^{60}Co γ - γ COINCIDENCE SPECTROMETER CALIBRATION BY ^{60}Co SOURCE

Sadržaj

Prikazana je konstrukcija i elektronska sema Ge-NaI(Tl) koincidentnog - antikoincidentnog spektrometra. Testiranje performansi sistema je izvršeno sa izvorom ^{60}Co . Izračunat je prag detekcije sistema u koincidentnom režimu. Pokazano je da se za intenzivne γ -kaskade prag detekcije ispod 1 Bq može postići za vreme merenja od oko 100 s, praktično nezavisno od intenziteta zračenja iz okoline.

Abstract

Construction and electronics scheme of gamma - gamma coincidence spectrometer is shown. System performance test is done by ^{60}Co . Detection threshold of system in coincidence mode is calculated. It is shown that for intensive gamma cascades detection threshold below 1 Bq is partially independent of background and can be reach in time interval of about 100 s.

UVOD

Prilikom istraživanja strukture jezgra, najdragocenije informacije je moguće dobiti koincidentnom spektroskopijom gde se sukcesivne emisije γ -kvanta iz jezgra prate sa dva ili više detektora. Iz asimetrije vremenskog spektra koincidentnih događaja moguće je odrediti [1] period poluraspada pobuđenih stanja jezgra, preko ugaone zavisnosti koincidentnih događaja mogu se odrediti [2] spinovi pobuđenih stanja jezgara i multipolnosti zračenja. Sema energetskih nivoa nekog jezgra je definitivno potvrđena tek onda kada se utvrdi da li se neki od prelaza odvijaju u kaskadi što je moguće izvesti jedino koincidentnim merenjem. Kada se posmatraju neki retki energetski prelazi u jezgru prilikom kojih dolazi do kaskadne emisije γ zračenja malog intenziteta moguće je sva druga pekoincidentna zračenja ispitivanog jezgra eliminisati koincidentnim merenjem bez obzira koliki su im intenziteti. Na taj način se može detektovati samo γ - zračenje od interesa koje se zbog slabog intenziteta ne bi primetilo u komptonki rasejanom zračenju intenzivnijih γ -zračenja.

Osnovna namena antikoptonskog koincidentnog spektrometra [3,4] je aktivna zaštita, tj. da u antikoincidentnom režimu rada odbija sve događaje koji potiču od komptonskih rasejanja pa se na taj način u

spektrima mogu detektovati i γ -linije malih intenziteta sto bi u direktnom spektru bilo nemoguće.

U ovom radu se ispituje mogućnost korišćenja jednog ovakvog detektora za γ - γ koincidentna merenja. Da bi se iskalibrisao jedan ovakav γ - γ koincidentni spektrometar potrebno je pomoću nekog dobro poznatog izotopa koji emituje γ -zračenje u kaskadi odrediti vreme razlaganja koincidentnog kruga, koincidentnu efikasnost i koincidentni prag detekcije.

2. EKSPERIMENT

2.1. Detektori

Detektorski sistem korišćen u eksperimentu sastoji se od središnjeg HPGe detektora relativne efikasnosti 25% energijske rezolucije od 1,9 keV na 1332 keV i NaI(Tl) detektora oblika jame, dimenzija 22,8 cm i 22,8 cm. Detektor oblika jame se sastoji od dva scintilaciona kristala, ovojnice (anulus) koji ima 6 fotomultiplikatora paralelno vezanih za izvor visokog napona i čepa (plug) sa jednim fotomultiplikatorom koji se posebno napaja. Oba kristala su podešena da rade kao jedan detektor. Maksimalna rezolucija se dobija kada se za određenu energiju na svim fotomultiplikatorima dobija signal iste visine. To je postignuto podešavanjem pojačanja na svakom pojedinačnom fotomultiplikatoru anulusa i izjednačavanje visine signala između anulusa i plaga izvedeno je uskladjivanjem visine napona napajanja ova dva detektora. Energijska rezolucija ovako podešenog detektora je bila 11,4% na 661,5 keV i 5,6% na 1332 keV.

Detektorski sistem je zaštićen sa 25 cm gvozdca i brzina brojanja Ge-detektora u energetskom intervalu od 30-2000 keV je 1,5 impulsa u sekundi.

2.2. Elektronika

Elektronika koja upotrebljava za standardna antikoincidentna merenja kada se NaI detektor koristi u svojoj osnovnoj nameni kao aktivna zaštita može se upotrebiti uz manje izmene i u γ - γ koincidentnim merenjima za različite energetske prozore. Detektorski signali se obrađuju u brzom i sporom kolu. Brzo kolo služi za vremensko registrovanje koincidencija između signala iz NaI i Ge detektora dok nam sporo kolo daje informaciju o energijama koincidentnih događaja.

U TAC vremenskom analizatoru dobijamo koincidencije između svih signala iz Ge i NaI detektora koji produ kroz grane brzog kola. Signali iz Ge detektora koji prolaze brzom granom kola nakon predpojačavača, brzog diskriminatora i modula za kašnjenje startuju TAC. Signali iz anulusa i plaga se nakon prolaska kroz odgovarajuća predpojačala sabiraju da bi se uveli u brzi diskriminator koji zaustavlja TAC.

Vrata TAC-a rade u koincidentnom režimu i otvaraju se signalom iz jednokanalnog analizatora u grani NaI-detektora u sporom kolu. Signal iz TAC-a otvara vrata ADC konvertora i propušta samo one signale spore grane Ge-detektora koji su koincidentni sa događajem detektovanom u NaI detektoru i odabranim jednokanalnim analizatorom. Izlazni signal iz TAC-a se postavlja oko maksimuma vremenske krive dobijene u brzom delu kola.

2.3. ^{60}Co

Za testiranje koincidentnih sistema potrebno je imati radioizotop u cijem spektru postoje barem dve γ linije dovoljno intenzivne da se mogu detektovati i da su koincidentne. Nakon β^- raspada ^{60}Co dolazi [5] do emisije dva para koincidentnih γ fotona. Nivo od 2505,7 keV ^{60}Ni sa kaskadno deeksitira na dva načina, preko prelaza od 1173,2 i 1332,5 keV čiji su kvantni prinosi 99,918 i 99,9989% i preko dva slaba prelaza od 346,9 i 2158,8 keV intenziteta 0,0076 i 0,00114 respektivno.

3. REZULTATI

3.1. Vreme razlaganja brzog koincidentnog kruga

Podizanjem nivoa diskriminacije brzih diskriminatora odbacuju se signali sa dužim vremenci porastom čime se eliminiše sum detektora i smanjuje broj slučajnih koincidencija. Ovom prilikom se gubi i izvestan broj signala, posebno niskih, što smanjuje koincidentnu efikasnost. Nakon odabiranja praga diskriminacije za sve energije veće od 30 keV snimljena je vremenska kriva. Kalibracija vremenske ose izvršena je ubacivanjem kašnjenja od 16 i 32 ns i utvrđeno je da je vreme razlaganja brzog koincidentnog kruga $\tau=10,8$ ns. Ovo je veoma dobra vrednost posto su tipična vremena razlaganja brzih koincidentnih krugova Ge-Ge sistema oko 100 ns. Broj slučajnih koincidencija je bio manji od 1%.

3.2. Koincidentna efikasnost

Broj pravih koincidencija u idealnom eksperimentu bi bio

$$N_{cp} = A \cdot t \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot p_{\gamma 1} \cdot p_{\gamma 2} \quad (1)$$

gde su A - aktivnost izvora, t - vreme merenja, ϵ_1 i ϵ_2 efikasnosti upotrebljenih detektora i $p_{\gamma 1}$ $p_{\gamma 2}$ kvantni prinosi koincidentnih γ fotona.

Kod realnih koincidentnih uredaja dolazi do odstupanja od predvidene vrednosti broja koincidentnih događaja. U prozoru jedno-kanalnog analizatora mogu se naći komptonski rasejani kvanti viših γ energija ili signali nastali sabiranjem dva ili više fotona nižih energija. Do pravih koincidencija može doći i između rasejanih fotona a i elementi u koincidentnom krugu imaju neko mrtvo vreme. Da bi se eksperimentalni podaci kvantitativno interpretirali na zadovoljavajući način potrebno je odrediti koincidentnu efikasnost koja se definiše kao odnos broja detektovanih koincidentnih događaja N_{cd} i teorijski predviđenog broja događaja

$$\epsilon_c = \frac{N_{cd}}{N_{cp}} = \frac{N_{cd}}{A \cdot t \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot p_{\gamma 1} \cdot p_{\gamma 2}} \quad (2)$$

U eksperimentu je upotrebljen tačkasti izvor ^{60}Co aktivnosti 14,4 kBq lociran između Ge-detektora i plaga. Prozor jedнокanalnog analizatora u sporom kolu u grani sa NaI detektorom je bio postavljen na 1332 keV pa se iz intenziteta linije od 1173 keV u Ge detektoru i od ranije poznatih vrednosti za efikasnost oba detektora $\epsilon_c(1173)=0,023$ i $\epsilon_c(1332)=0,276$ dobilo da je koincidentna efikasnost detektorskog sistema

$$\epsilon_c = 0,74 \pm 0,08$$

3.3 Koincidentni prag detekcije

Kako se koincidentnom tehnikom mogu meriti veoma slabi γ prelazi eliminisanjem neokoincidentnih γ - linija veoma je značajno za postojeći detektorski sistem odrediti prag detekcije, tj. minimalnu aktivnost izvora za koju se još sa zadovoljavajućom tačnošću može detektovati željena γ -linija u spektru.

Predpostavimo da se γ kvant, prinosa p_{γ} detektuje u Ge-detektoru sa efikasnošću ϵ_{Ge} a njemu koincidentan γ_1 kvant prinosa p_{γ_1} u NaI-detektoru sa efikasnošću ϵ_{NaI} . Broj pravih koincidencija međenjem izvora aktivnosti A u vremenu t se može izraziti pomoću formule (1)

$$N_{cp} = A \cdot t \cdot p_{\gamma_1} \cdot p_{\gamma_2} \cdot \epsilon_{Ge} \cdot \epsilon_{NaI} = E \cdot A \cdot t$$

broj slučajnih koincidencija je:

$$N_s = 2\tau(EA^2 + \beta_1\beta_2)t \quad (3)$$

gde je τ vreme razlaganja koincidentnog sistema a β_1 i β_2 površine kontinuuma ispod foto vrhova γ - linija.

Ukoliko je N_{cu} ukupan broj koincidencija određen iz intenziteta γ - linije u koincidentnom spektru broj pravih koincidencija je:

$$N_{cp} = N_{cu} - N_s \quad (4)$$

Možemo smatrati [6] da je broj registrovanih koincidencija statistički značajan ako je broj detektovanih događaja najmanje tri puta veći od greške detekcije, tj.:

$$\frac{\Delta N_{cp}}{N_{cp}} = \frac{1}{3} \quad (5)$$

Kako je:

$$\Delta N_{cp} = \sqrt{N_{cu} + N_s} \quad (6)$$

koriscenjem jednačina (1)-(6) dobija se za minimalnu aktivnost koja se može detektovati koincidentnom tehnikom

$$A_{min} = \frac{4,5}{(Et-36\tau)} \left[1 + \sqrt{1 + 1,78 \frac{\tau\beta_1\beta_2(E \cdot t - 36\tau)}{E}} \right] \quad (7)$$

Osim efikasnosti detektora, vremena razlaganja i kvantnih prinosa koincidentnih linija što su karakteristike detektorskog sistema i merenog izotopa donji prag detekcije zavisi i od vremena merenja kao i visina kontinuuma na kojem se nalaze posmatrane γ - linije.

Na primeru ^{60}Co koji ima dva para koincidentnih linija koje se veoma razlikuju po intenzitetu izračunat je prag detekcije u zavisnosti od vremena merenja za različite vrednosti parametara β_1 i β_2 (uzete su vrednosti 0,10,100 i 1000). U tabeli (3.1) date su vrednosti kvantnih prinosa i efikasnosti detekcija kobaltovih linija.

E [keV]	p_{γ}	ϵ
1173,2	99,918	0,023 (Ge)
1332,5	99,9989	0,276 (NaI)
346,9	0,0076	0,059 (Ge)
2158,8	0,00114	0,100 (NaI)

Na 4 i 5 prikazane su izračunate vrednosti praga detekcije za dve kaskade kobalta. Vrednost proizvoda $\beta_1\beta_2$ praktično ne utiče na prag detekcije kod intenzivne kaskade $1173^1 \rightarrow 1332$ (slika 4). Kod kaskade $346,9 \rightarrow 2158$ čije su γ linije veoma slabog intenziteta postoji vremenski prag od 72 ks ispod koga je nemoguće izvršiti detekciju. Što je veće pozadinsko zračenje, tj. proizvod $\beta_1\beta_2$ to je potrebna veća aktivnost izvora da bi se γ linije kaskade uopšte detektovale (slika 5). Sa izvorom ^{60}Co od $3,7 \cdot 10^5$ Bq su izvršena koincidentna merenja za kaskadu $346,9 \rightarrow 2158,8$ keV. Prozor jedнокanalnog analizatora u sporom kolu u grani NaI detektora je bio postavljen na 2158,8 keV a u Ge - detektoru je meren intenzitet linije od 346,9 keV. U dobijenom spektru se mogla primetiti linija na 346,9 keV ali nako merenja od 150 ks nije dobijena γ - linija dovoljno dobro statistički definisana što je u saglasnosti sa teorijskim izračunavanjima.

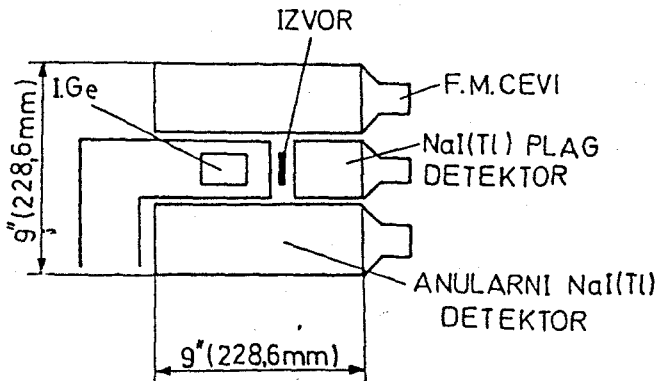
ZAKLJUČAK

Testiranjem karakteristika Ge-NaI(Tl) spektrometra izvorom ^{60}Co utvrđeno je da on ima veoma dobro vremensko razlaganje, i određena je koincidentna efikasnost detektorskog sistema.

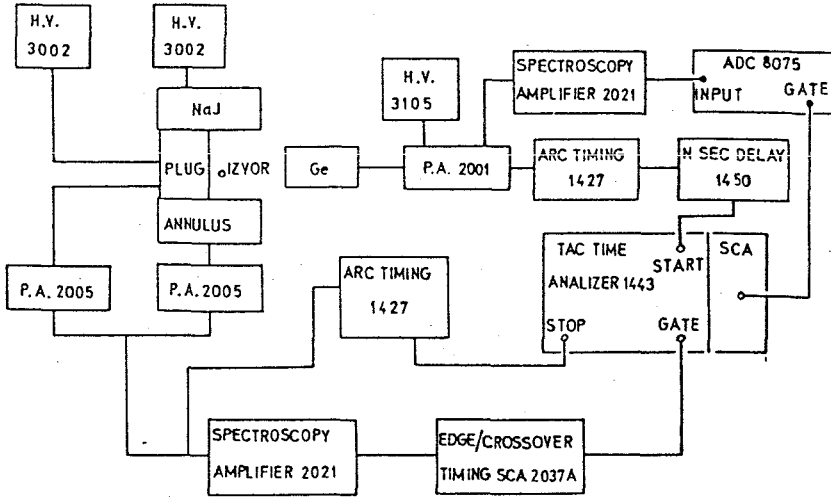
Ukoliko bi se ovaj detektorski sistem koristio za gama - gama koincidentna merenja za prelaze velikog kvantnog prinosa ($p_{\gamma} \approx 1$) moguće je dobiti statistički zadovoljavajuće γ -spektre i sa malim aktivnostima izvora (reda veličine Bq) za kratke vremenske intervale (oko 100 s) nezavisno od intenziteta okolnog zračenja. Za γ -linije malog intenziteta kao što je to slučaj u kaskadi $346,9 \rightarrow 2158$ keV kod izvora ^{60}Co prag detekcije je znatno viši i slabo zavisi od nivoa okolnog zračenja. Sa izvorima aktivnosti reda veličine μCi koji su upotrebljeni u ovom eksperimentu mogu se dobiti γ linije statistički dobro definisane u koincidentnim spektrima samo merenjem u vremenskim intervalima reda veličine 10^8 s.

LITERATURA

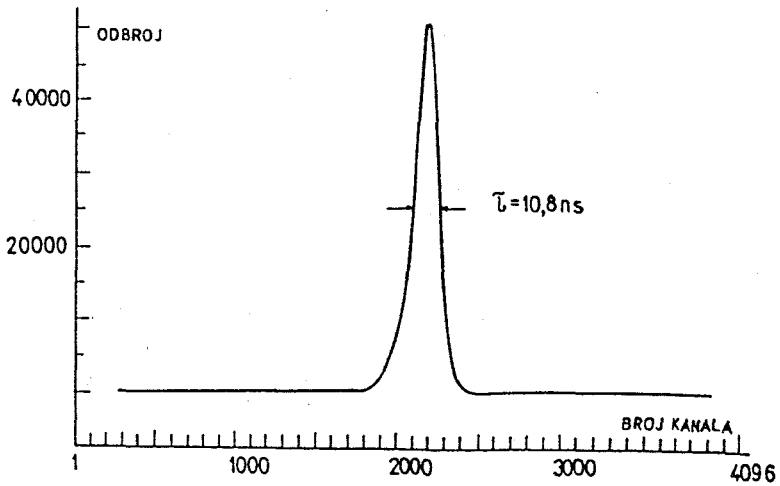
- 1) R. E. Bel, *Coincidence techniques and the measurement of shortmean lives in: α, β, γ Ray Spectroscopy* bi Kai Siegbahn, Nort Holland publishing company, Amsterdam (1965).
- 2) H. Franenfelder: *Angular distribution of nuclear radiation in: α, β, γ Ray Spectroscopy* by Kai Siegbahn. Nort Holland publishing company Amsterdam, (1965).
- 3) Massé, A. Adam and J. Laurec; Nucl. Inst. and Meth. A 309 (1991) 227
- 4) C. Chuang, L. J. Yuan and K. B. Shen; Nucl. Inst. and Meth. A 243 (1986) 102.
- 5) C. M. Lederer and V. S. Shirley; *Table of isotopes: John Wiley and Sons, Seventh Edition.*
- 6) I. Anicin and C. Yap; Nucl. Inst. and Meth. A 243 (1986) 227.



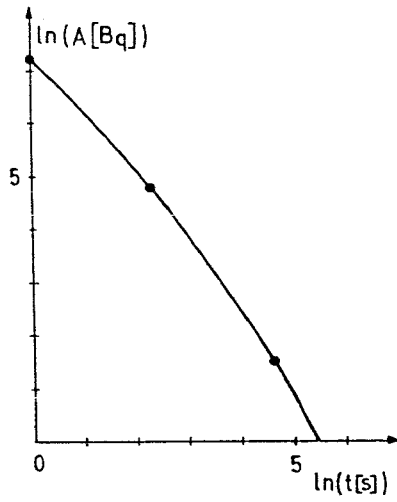
slika 1.: Antikomptonski koincidentni spektrometar



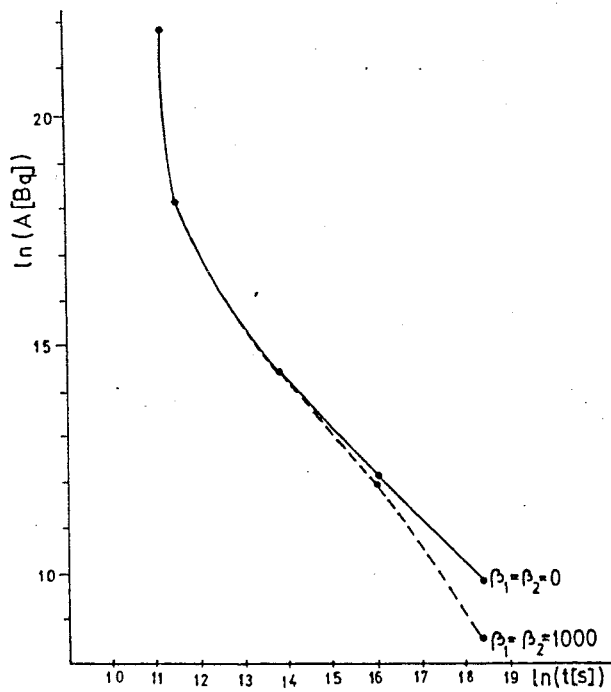
slika 2.: Blok-dijagram γ - γ koincidentnog spektrometra



slika 3.: Vremenska kriva



slika 4.: Prag detekcije za kaskadu 1173,2-1332,5



slika 5.: Prag detekcije za kaskadu 346,9-2158,8 keV