

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA FIZIKU

DIPLOMSKI RAD

ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA ANTI-KOMPTONSKOG SPEKTROMETRA

MENTOR:
DR. ISTVAN BIKIT

KANDIDAT:
VESNA TOMIĆ

NOVI SAD 1991. GOD.

Zahvaljujem se osoblju laboratorije za nuklearnu fiziku Instituta za fiziku u Novom Sadu na pomoći koju su mi pružili u toku izrade diplomskog rada.

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	ZASTITA Ge DETEKTORA.....	3
2.1	IZVORI FONNA.....	3
2.2	INTERAKCIJA ZRACENJA SA MATERIJOM.....	3
2.3	PASIVNA ZASTITA.....	5
2.4	AKTIVNA ZASTITA.....	7
2.5	ZASTITA UPOTREBLJENOG Ge DETEKTORA U EKSPERIMENTIMA.....	9
3.	KARAKTERISTIKE NUKLEARNE ELKTRONIKE U EKSPERIMENTU.....	11
3.1	PREDPOJACAVACI.....	11
3.2	POJACAVACI.....	12
3.3	JEDNOKANALNI ANALIZATOR (TIMING SCA).....	13
3.4	VREMENSKI ANALIZATOR.....	14
3.5	BRZI DISKRIMINATOR.....	15
3.6	ANALOGNO DIGITALNI KONVERTOR (ADC).....	15
4.	PRAVE I SLUCAJNE KOINCIDENCIJE.....	20
4.1	ODREDIVANJE ODNOSA PIK-KOMPTON.....	21
5.	EKSPERIMENTALNI REZULTATI.....	23
5.1	EKSPERIMENTALNO ODREDIVANJE REDUKCIJE FONNA.....	23
5.2	EKSPERIMENTALNO ODREDIVANJE ODNOSA PIK-KOMPTON.....	27
5.3	ODREDIVANJE VREMENA RAZLAGANJA KOINCIDENTNOG KRUGA.....	36
5.4	UPOREDIVANJE DIREKTOG I ANTI-KOINCIDENTNOG SPEKTRA STANDARDNOG UZORKA FOSFATA	40
	ZAKLJUČAK.....	43

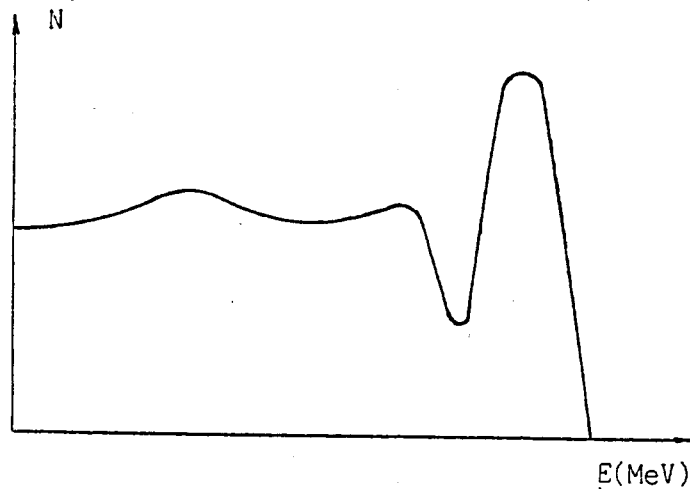
1. UVOD

U spektroskopiji γ -zraka najčešće se koriste poluprovodnički detektori i to Ge detektor, zato što u poređenju sa drugim detektorima, npr. scintilacionim, imaju mnogo bolju moć razlaganja.

Usled interakcije zračenja sa materijom javice se jedan od tri efekata:

1. fotoelektrični efekat
2. komptonsko rasejanje
3. par-efekat

Sve spektralne informacije se dobijaju iz vrha totalne apsorpcije koji se dobija kad γ zrak svu svoju energiju ostavi u detektoru, a posledica je ili fotoelektričnog efekta, par-efekta ili višestrukog komptonskog rasejanja. Ali pored vrha totalne apsorpcije u spektru se uvek nalazi i komptonski kontinuum koji nastaje kad γ zrak u detektoru ostavi samo deo svoje energije, a posledica je komptonskog rasejanja. Zato nam spektar za jednu liniju energiju ima oblik kao na slici 1.1.



SLIKA 1.1

U merenjima se teži da odnos vrha totalne apsorpcije, tj. pika, prema komptonskom kontinuumu bude što veći, i ostvaruje se na taj način što se Ge detektor opkoljava velikim NaJ(Tl) štitom. Ako ovaj



detektorski sistem podesimo da radi anti-koincidentno, Ge detektor će beležiti samo one događaje koji se dese u Ge detektoru a ne dese se istovremeno i u NaJ(Tl) štitu. U idealnom slučaju beleži samo one događaje koji su posledica totalne apsorpcije γ zraka u Ge detektoru. Ovakva spega NaJ(Tl) i Ge detektora redukuje i fon u Ge detektoru. Naime zračenje iz okoline se delimično putem fotoefekta apsorbuje u NaJ(Tl) detektoru, a komptonski rasejani γ kvanti u NaJ(Tl) detektoru koji dospevaju u Ge detektor i koincidentni gama zraci od kojih jedan dospeva u Na(Tl) a drugi u Ge detektor bivaju elektronski odbačeni u antikoincidentnom režimu rada.

Cilj ovog rada je da se odrede sledeće karakteristike anti-komptonskog spektrometra:

- redukcija kontinuma i redukcija intenziteta pojedinih linija u fonu
- uticaj anti-koincidentnog režima na odnos pik-kompton
- vreme razlaganja koincidentnog kruga i u okviru njega prodiskutovati prag detekcije u koincidentnom režimu
- merenje performansi u anti-koincidentnom režimu na kalibracionom uzorku

2. ZAŠTITA Ge DETEKTORA

2.1. IZVORI FONNA

Zbog stalnog bombardovanja zemlje kosmičkim zračenjem kao i zbog postojanja prirodne radioaktivnosti, svi detektori daju neki signal, tzv. fon. Odbroj u fonu varira u zavisnosti od veličine i tipa detektora kao i od energetskog intervala koji se posmatra, i za energije od 30 keV do 3 MeV se kreće u širokom intervalu, od 1000 odb/s pa do manje od 1 odb/min.

Sve izvore fona možemo svrstati u pet grupa:

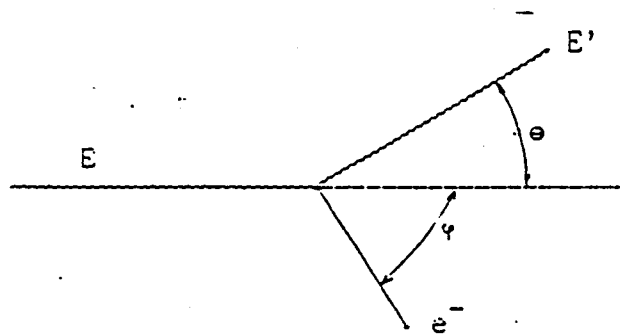
- prirodna radioaktivnost materijala od kojeg je napravljen detektor
- radioaktivnost koja potiče od ostale opreme (podupirača, držača, zaštitnog omotača...)
- prirodna radioaktivnost zemljišta i zida laboratorije
- prirodni gasoviti radioaktivni elementi
- primarne i sekundarne komponente kosmičkog zračenja.

Posto intenzitet fona određuje prag zračenja koje se može detektovati važno je dobiti što niži fon, a što se može obezbediti izvesnim stepenom zaštite detektora.

2.2. INTERAKCIJE ZRAČENJA SA MATERIJOM

Pri interakciji zračenja sa materijom imamo tri efekata:

1. Fotoelektrični efekat kod kojeg foton svu svoju energiju predaje čvrsto vezanom elektronu. Deo energije fotona se troši na oslobađanje elektrona iz atoma a ostatak energije ostaje kao kinetička energija slobodnog elektrona.
2. Komptonovo rasejanje kod kojeg foton deo svoje energije predaje elektronu i skreće sa prvobitnog pravca za ugao θ dok elektron izmiče pod uglom ϕ . Ovaj događaj je prikazan na slici 2.20

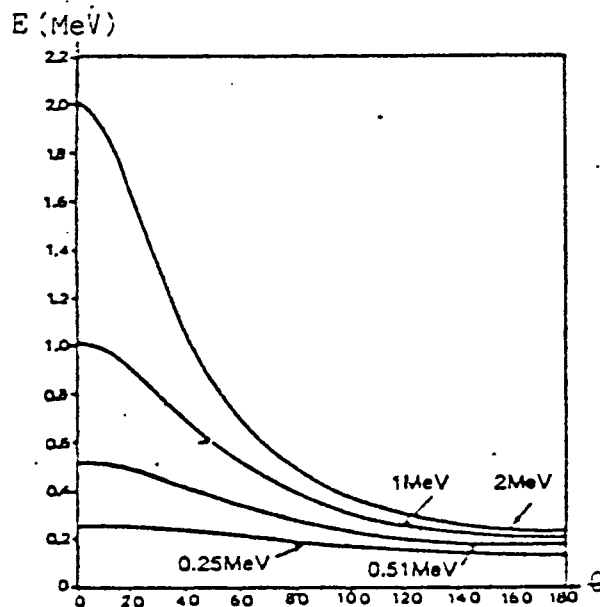


SLIKA 2.20

Energija rasejanog fotona se menja po formuli:

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{0.511} (1 - \cos\theta)} \quad (\text{MeV})$$

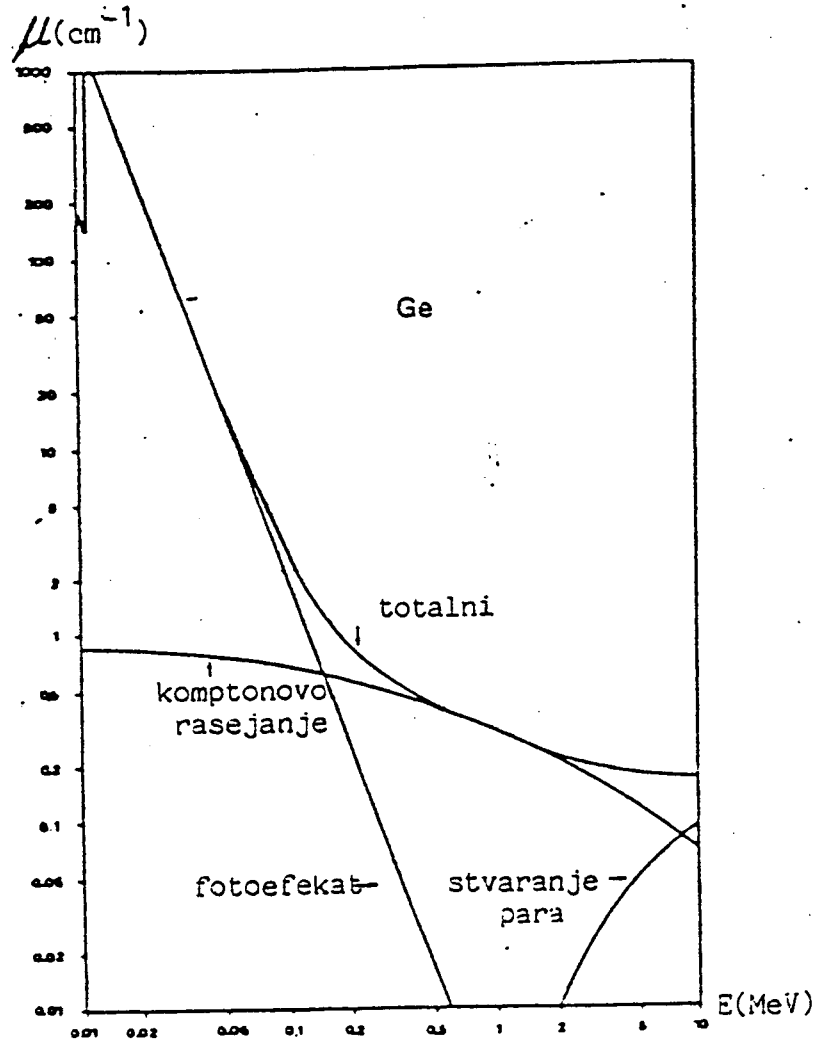
Iz ovog izraza se vidi da energije rasejanog fotona zavise od ugla rasejanja. Ova zavisnost za nekoliko energija upadnog fotona je data na slici 2.21



SLIKA 2.21

3. Par-efekat. Ovaj efekat se dešava tako što visokoenergetski foton troši svu svoju energiju na kreiranje dve naelektrisane čestice, elektrona i pozitrona. Da bi došlo do ovog efekta mora da postoji polje sa kojim će foton da interaguje kako bi stvorio par elektron-pozitron, a to znači da se ovaj efekat ne može desiti u praznom prostoru. Najmanja energija potrebna za kreiranje para elektron-pozitron je 1.022 MeV.

Verovatnoća za ova tri procesa u Ge detektoru je prikazana na slici 2.22.



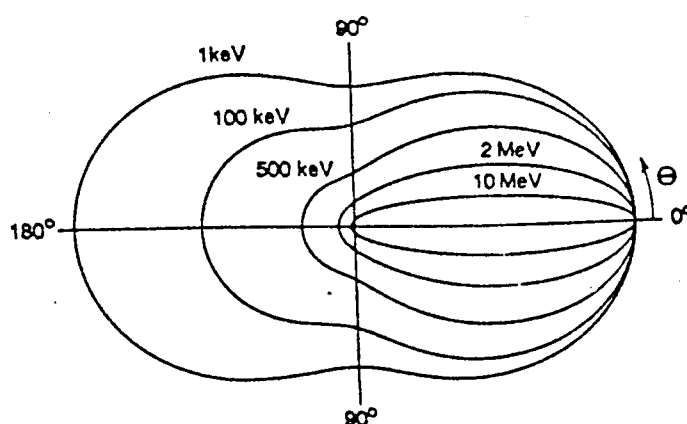
SLIKA 2.22

2.3. PASIVNA ZAŠTITA

Da bi se detektor zaštitio od zračenja okoline oko detektora se postavlja pasivna zaštita u vidu komore. Komora treba da je napravljena od materijala sa velikom specifičnom težinom kako bi zastavila i fotone sa velikom energijom. Materijali od kojih se komore obično prave su Pb i Fe. Idealan zaštitni materijal ne sme da sadrži radioaktivne elemente.

Pošto je zaustavni put visokoenergetskih fotona velik potrebno je da i debljina komore bude što veća. Tako npr. da bi zaustavili visokoenergetske fotone iz kosmičkog zračenja potrebno je detektor smestiti i nekoliko desetina i stotina metara pod zemlju.

Ova pasivna zaštita međutim pokazuje i neke nedostatke. Ako razmotrimo grafik verovatnoće komptonskog rasejanja i funkciju ugla rasejanja, za nekoliko različitih energija upadnog fotona koji je dat na slici 2.23, možemo doći do sledećih zaključaka. Najveća verovatnoća je za rasejanje unapred, mada postoji i verovatnoća za rasejanje unazad. Ova verovatnoća za rasejanje unazad je veća što je energija upadnog fotona manja.



SLIKA 2.23

Nedostaci pasivne zaštite se ogledaju u tome što ona povećava komptonski kontinuum kad imamo rasejanje unazad jer se zraci iz ispitivanog izvora u uzorku pri rasejanju unazad mogu odbiti od zida komore. Ovaj efekat je dosta izražen kod malih komora, dok je kod velikih komora neznatan.

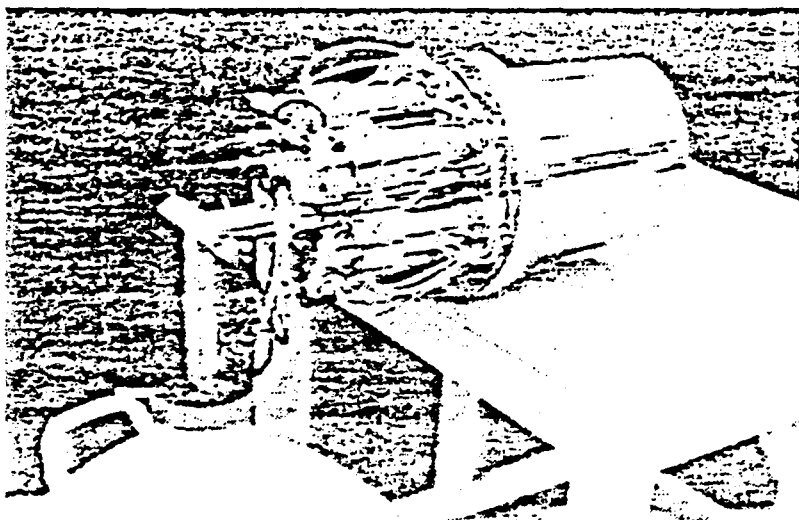
Zatim veliki deo komptonski rasejanih fotona beži iz detektora ostavljajući komptonski kontinuum koji povećava fon. Postavljanjem pasivne zaštite oko Ge detektora ne postiže se nikakva zaštita od ovog komptonskog kontinuma. Za njegovo smanjenje potrebno je postavljanje aktivne zaštite oko Ge detektora.

2.4. AKTIVNA ZAŠTITA

Aktivna zaštita se ostvaruje postavljenjem velikog scintilacionog detektora tzv. omotača oko Ge detektora. Na slici 2.40 su data dva velika scintilaciona detektora koja se obično koriste za aktivnu zaštitu. To su pod a) NaJ(Tl) detektor a pod b) BGO detektor.

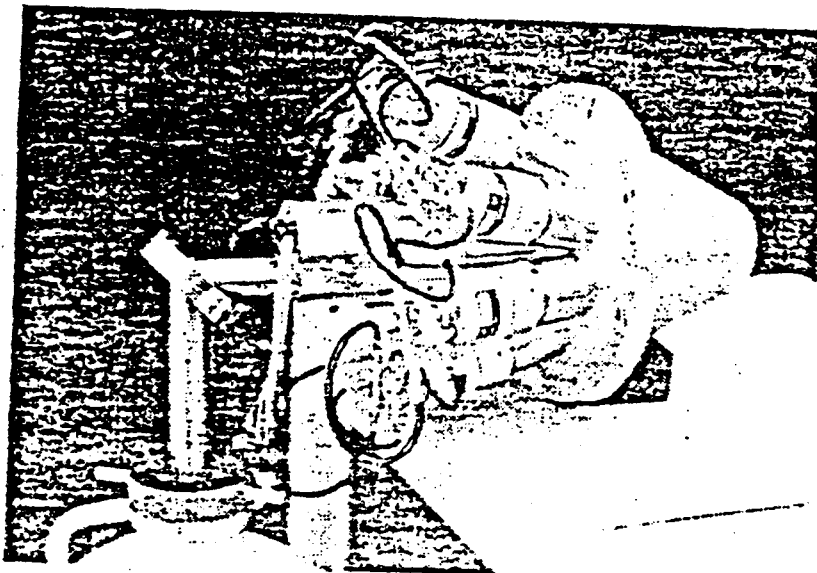
Ako sad u ovom sistemu dođe do komptonkog rasejanja i rasejani foton pobjegne iz efikasne zapremine Ge detektora, on će interagovati sa omotačem. Jedno elektronsko kolo obezbeđuje registrovanje energije posebno iz detektora i posebno iz omotača. Ako na njemu podesimo da radi anti-koincidentno onda će ono registrovati samo događaje koji se dese u detektoru a ne dese se istovremeno i u omotaču ili događaje koji se dese u omotaču a ne dese se istovremeno i u detektoru. A ako podesimo da radi koincidentno, onda će registrovati samo one događaje koji se istovremeno dese i u detektoru i u omotaču.

Znači ako detektorski sistem podesimo da radi anti-koincidentno elektronsko kolo neće beležiti komptonski rasejane fotone, jer će oni stvarati signal i u detektoru i u omotaču. I na ovaj način se ostvaruje smanjenje komptonskog kontinuma.



a)

SLIKA 2.40



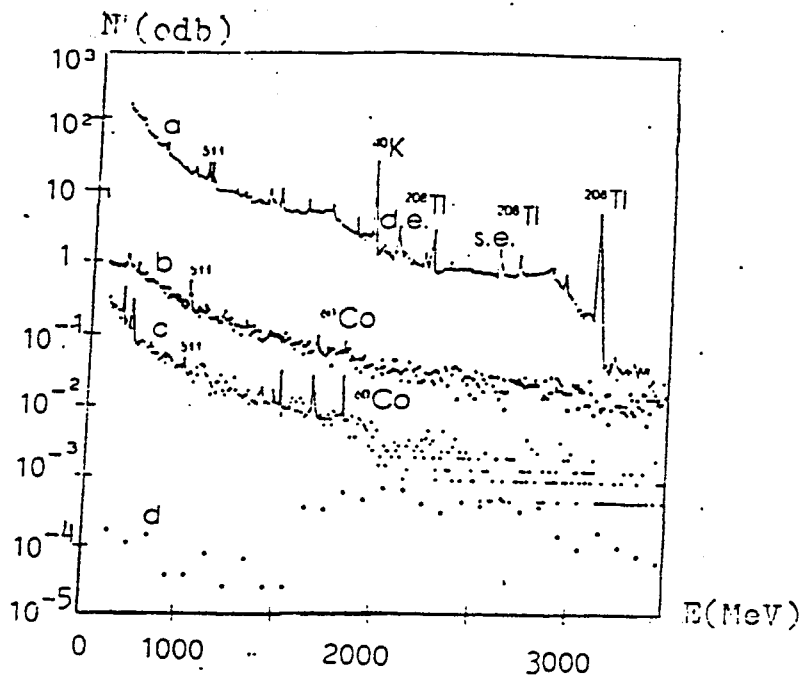
b)

SLIKA 2.40

Da bi ovaj detektorski sistem radio što efikasnije treba da ima sledeće karakteristike:

- odgovarajuće dimenzije NaJ(Tl) ili BGO omotača koji će obezbediti dovoljnu verovatnoću interakcije rasejanih fotona kroz štiti. Iz grafika sa slike 2.23 vidi se da se najveći broj fotona rasejava unapred zato je potrebno ostvariti veliku zaštitu u pravcu prostiranja fotona a mnogo manju zaštitu za pravac unazad.
- optimalnu orijentaciju Ge detektora u odnosu na omotač i u odnosu na upadni snop γ zraka.
- maksimalno smanjenje mrtvog sloja Ge detektora
- najmanju apsorpcionu površinu kod Ge detektora i omotača

Da bi ilustrovali prednost aktivne zaštite Ge detektora pomoću NaJ(Tl) omotača analiziracemo sliku 2.41.



SLIKA 2.41

Kriva a je snimljena sa nezaštićenim Ge detektorom, kriva b sa istim Ge detektorom koji je bio smešten u olovnoj komori debljine 10 cm, dok je kriva c snimljena takode sa istim Ge detektorom, koji je pored olovne komore bio zaštićen i anti-koincidentnom vezom sa NaJ(Tl) omotačem. Kriva d je snimljena isto sa Ge detektorom koji je sa NaJ(Tl) omotačem podešen da radi koincidentno, a ceo ovaj detektorski sistem je bio u istoj olovnoj komori.

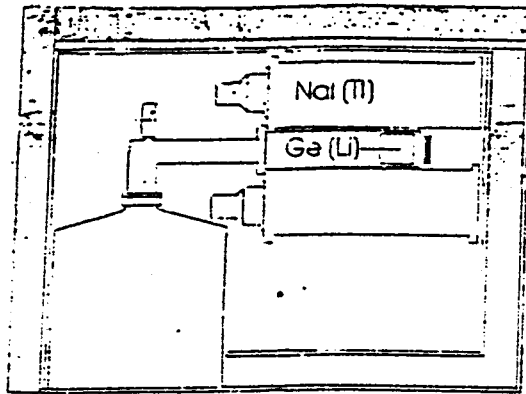
2.5. ZAŠTITA UPOTREBLJENOG Ge DETEKTORA U EKSPERIMENTIMA

U cilju smanjenja fona i komptonskog kontinuma mi smo na upotrebljeni Ge detektor primenili dve vrste zaštite tj. i pasivnu zaštitu i aktivnu zaštitu.

Pasivna zaštita se sastoji od gvozdene komore debljine 0.25 m. Ova debljina gvozdene komore je ekvivalentna olovnoj komori debljine 0,1 m.

Aktivnu zaštitu pretstavlja veliki NaJ(Tl) detektor dimenzija 9x9 inča, koji okružuje Ge detektor. NaJ(Tl) detektor se sastoji od omotača koji ima šest multiplikatorskih cevi, i od čepa koji ima jednu multiplikatornu cev.

Izgled ovog NaJ(Tl) detektora dat je na slici 2.40a, a konfiguracija sa dvostrukom zaštitom na slici 2.50



SLIKA 2.50

3. KARAKTERISTIKE NUKLEARNE ELEKTRONIKE U EKSPERIMENTU

Svi merni uredaji koji smo koristili u šemi su "CANBERRA" elektronski uredaji.

3.1. PREDPOJAČAVACI

Signal koji izlazi iz detektora ima veoma visoku impedancu koju je neophodno transformirati u nisku, ova transformacija se vrši u predpojačavačima.

U našem detektorskom sistemu smo koristili tri predpojačavača, dva predpojačavača za scintilacioni NaJ(Tl) detektor (jedan za, omotač a drugi za čep) tipa 2005 i jedan predpojačavač za poluprovodnički Ge detektor tipa 2001.

2001

Tip 2001 je prvenstveno napravljen za spektroskopiju γ zraka. Vreme trajanja impulsa je 50 μ s, konverzioni faktor iznosi ili 100 mV/MeV ili 500 mV/MeV.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

Prima i pozitivne i negativne signale koje skuplja Ge detektor. Nominalna vrednost je 5 pC/V. Ulazna impedanca je 93 Ω .

IZLAZ

1. Energetski izlaz

Obezbeduje unipolarne impulse. Amplituda ulaznog signala je do 10 V. Ulazna impedanca je 93 Ω .

2. Vremenski izlaz

Obezbeduje unipolarne signale, sa parametrima signala koji su isti kao kod energetskog izlaza

2005

Tip 2005 je posebno prilagođen za korišćenje kod scintilacionih detektora. Vreme trajanja impulsa je 50 μ s, konverzioni faktor je ili 4.5 mV/pC ili 22.7 mV/pC a nivo šuma je manji od 1 pC.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

1. Detektorski ulaz

Prima rasporene naelektrisane impulse iz scintilacionog detektora. Granična vrednost za ulaz je ± 100 V jednosmernog napona.

2. Test ulaz

Prima i pozitivne i negativne signale. Nominalna vrednost je 33 pC/V. Naponski doprinos za ulaz je ili 150 mV/V ili 750 mV/V. Ulazna impedanca je 93 Ω .

IZLAZ

Obezbeđuje unipolarne impulse. Amplituda ulaznog signala je do 10 V. Ulazna impedanca je 93 Ω .

3.2. POJAČAVACI

Pojačavač treba da linearno pojača signal kao i da ga uobliči, da bi dobijeni signal na izlazu mogli lakše da analiziramo. U našem detektorskom sistemu smo koristili dva pojačavača, jedan pojačavač za scintilacioni NaJ(Tl) detektor tipa 2021 i jedan za poluprovodnički Ge detektor tipa 2021-4.

2021

Tip 2021 ima veoma dobar odnos signal-šum, poseduje i unipolarni i dipolarni izlaz, a vreme trajanja signala je 40 μ s za jedan opseg ili 100 μ s za drugi opseg.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

Prima i pozitivne i negativne signale iz predpojačavača čija je amplituda do 10 V. Impedanca je $\sim 1 \text{ k}\Omega$.

IZLAZ

Za pozitivne unipolarne signale čija je amplituda 10 V izlaz se kalibriše na $0 \pm 5 \text{ mV}$.

Za bipolarne signale i to za njihov pozitivan deo sve je isto kao i za unipolarne signale, dok se negativan deo pojačava za 70% pojačanja pozitivnog signala. Izlazna impedanca je 93Ω .

2021-4

Tip 2021-4 koji se koristi za pojačanje signala koji stizu iz predpojačavača tipa 2001, i od pojačavača tipa 2021 se razlikuje samo u tome što ima mogućnost da zakasni signal za $4 \mu\text{s}$.

3.3. JEDNOKANALNI ANALIZATOR (Timinig SCA)

2037 A

Jednokanalni analizator tipa 2037 A vrši i energetske i vremenske analize signala koji dolazi iz pojačavača. Energetski diskriminator je oštar i stabilan i obično se koristi energetski prozor širine 1 V.

Pri našim merenjima prozor je bio otvoren do suma i propuštao je sve signale tako da je ovaj jednokanalni analizator radio kao diskriminator.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

Radi i sa unipolarnim i sa bipolarnim signalima u opsegu od 0.1 do 10.0 V jednosmernog napona. Ulazna impedanca je $1 \text{ k}\Omega$.

IZLAZ

SCA(+) Amplituda signala je 5 V, širina signala je 0.5 μ s a vreme porasta i vreme pada signala je <25 ns. Izlazna impedanca je 50 Ω .

SCA(-) Dobiya se nagtivan signal od 16 mA, širina signala je 20 ns a vreme uspostavljanja signala je <5 ns. lazna impedanca je 50 Ω .

3.4. VREMENSKI ANALIZATOR

1443

Tip 1443 u sebi sadrži pretvarač vremena u amplitudu (TAC) i jednokanalni analizator. Vreme rezolucije je manje od 0.01% za bilo koje vremensko područje (50, 100, 200, 500 i 100 ns). Amplituda izlaznog signala je proporcionalna vremenu između prihvaćenog start i stop izlaza.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

START

Prima signale čija je minimalna amplituda -250 mV a maksimalna \pm 10 V. Minimalna širina impulsa je 2 ns a ulazna impedanca je 50 Ω .

KAPIJA

Prima pozitivne impulse sa amplitudom većom od 3 V a maksimalnom \pm 20 V. Širina impulsa je veća od 100 ns a izlazna impedanca je \sim 1 k Ω .

IZLAZ

TAS

Kašnjenje impulsa je od 1 - 10 μ s, širina je od 0.5 do 5 μ s a vreme porasta signala je 500 ns. Izlazna impedanca je < 1 Ω .

SCA

Dobija se pozitivan signal od 5 V. Vreme porasta i vreme pada signala je ≤ 25 ns. Izlazna impedanca je $> 25 \Omega$.

3.5. BRZI DISKRIMINATOR (ARC TIMING)

1427

Tip 1427 kompenzuje amplitudu i vreme porasta signala, pa signal na izlazu ne zavisi od oblika i visine ulaznog signala. U sebi sadrži i pojačavač i brzi diskriminator. Širina dinamičkog opsega mu je: 100:1, a režim rada je nizak $\leq \pm 180$ ps, dok je za Ge(Li) sistem ± 1 ns.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

Prima i pozitivne i negativne signale. Vreme porasta signala je od 1 - 200 ns a mrtvo vreme je 500 ns.

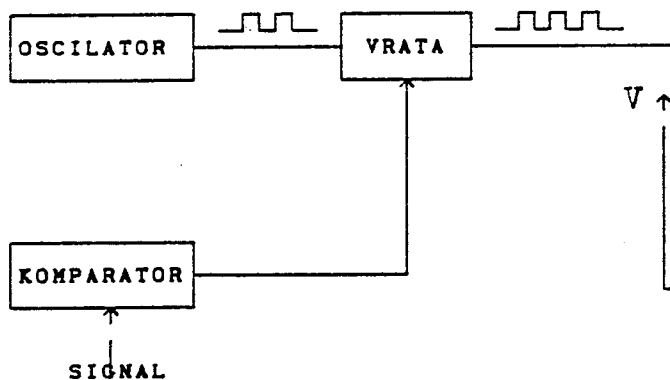
IZLAZ

Na izlazu imamo brze negativne signale i spore pozitivne čija je amplituda 5V.

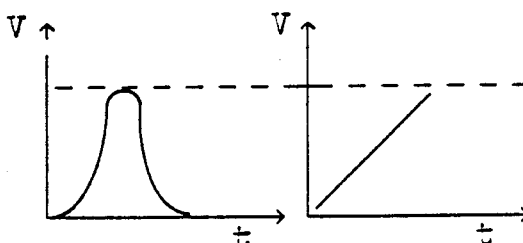
3.6. ANALOGNO DIGITALNI KONVERTOR (ADC)

8075

Analogno digitalni konveretor je uređaj koji omogućuje brojanje svih signala istovremeno.



SLIKA 3.60



SLIKA 3.61



Principijalna šema je data na slici 3.60 . Kada signal stigne na vrata ona se otvaraju i počinju da propuštaju signale iz oscilatora. Komparator upoređuje visinu signala sa jednim rastućim naponom. Napon raste sve dok mu se visina ne izjednači sa visinom signala (slika 3.61) i u trenutku kad se izjednači vrata se zatvaraju. Broj propuštenih signala iz oscilatora je proporcionalan visini ulaznog signala.

KARAKTERISTIKE

ULAZ

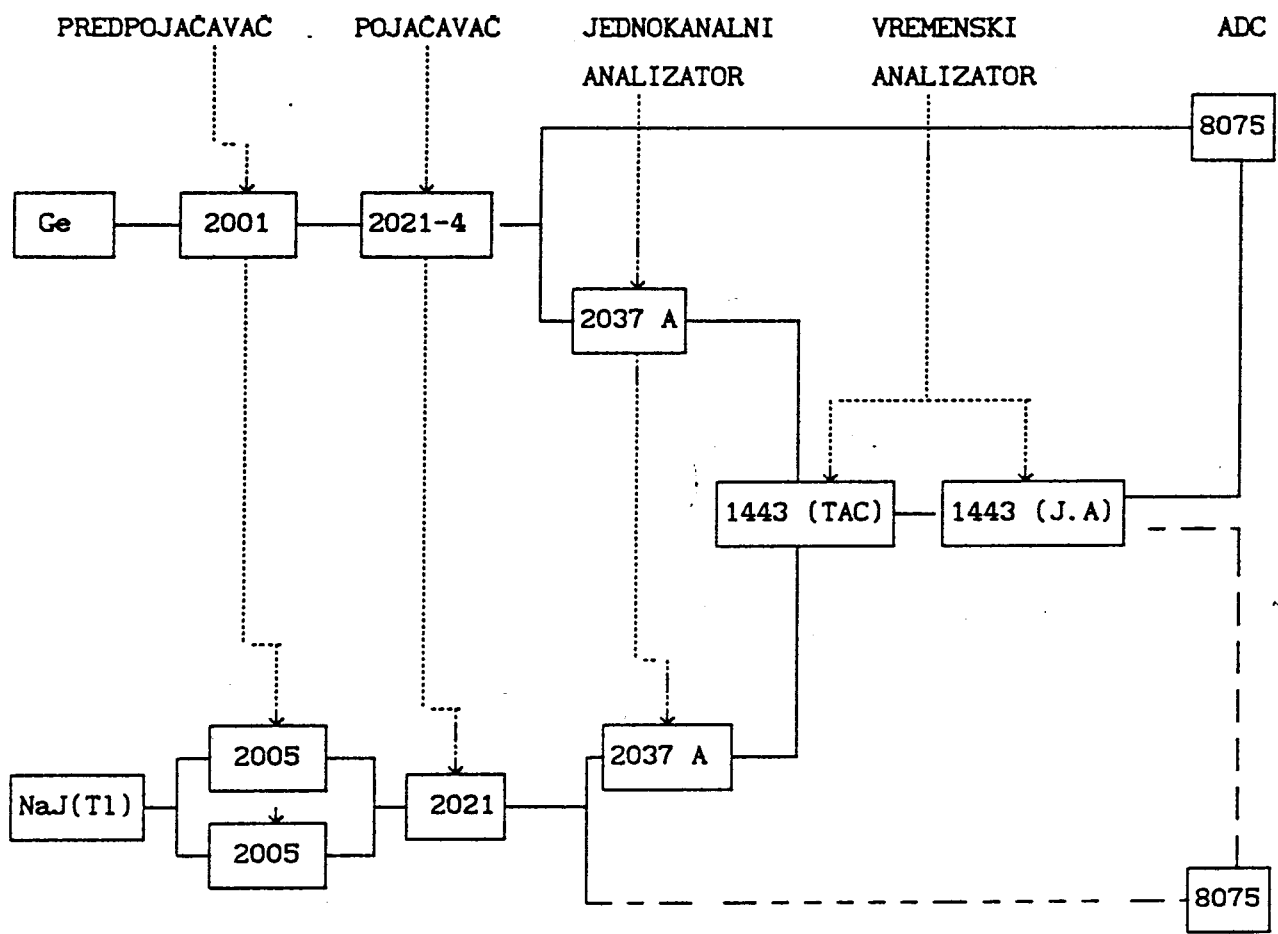
Radi i sa unipolarnim i sa bipolarnim signalima u opsegu od 0 - 10 V. Vreme porasta signala je od 0.25 - 100 μ s, sirina signala je 0,5 μ a ulazna impedanca je 1 k Ω .

ULAZNA VRATA

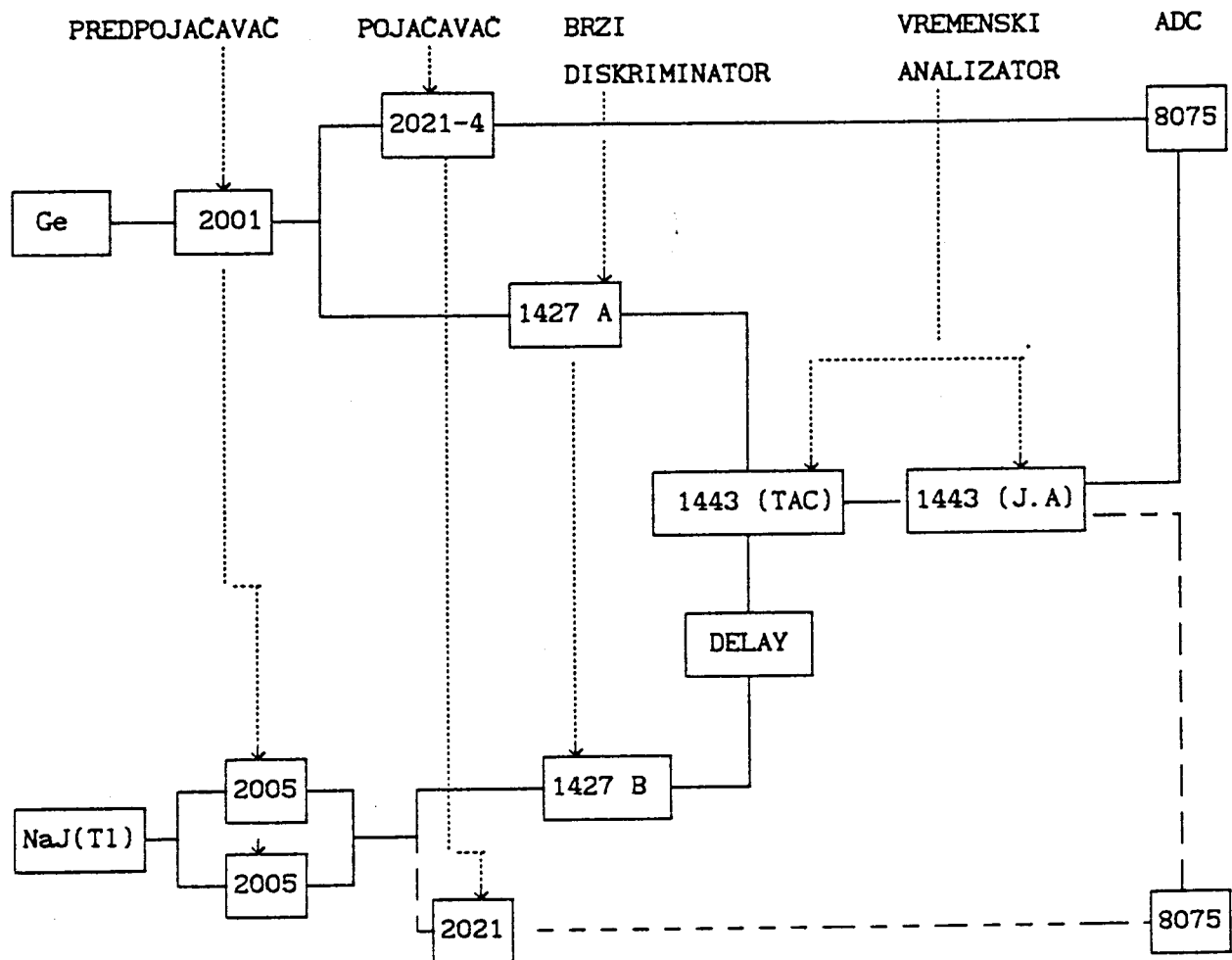
Primaju signale čija je amplituda od 2,5 - 7 V. Na njima se nalazi preklopnik za koincidentni i anti-koincidentni režim rada.

IZLAZ

Izlaz je stabilan a stabilizacija se vrši do ± 5 V. Impedanca je 1 k Ω .



ŠEMA MERNOG UREDAJA ZA SLUČAJ SPORIH KOINCIDENCIJA



ŠEMA MERNOG UREDAJA ZA SLUČAJ BRZIH KOINCIDENCIJA

I u slučaju sporih i u slučaju brzih koincidencija položaji na pojedinim elementima iz šeme su bili isti i iznosili su:

POJAČAVAČ 2021-4

FG = 738
CG = 30
SH = 4 μ s

VREMENSKI ANALIZATOR 1443 (TAC)

START - Ge
STOP - NaJ(TL)
RANGE = 1000 ns

POJAČAVAČ 2021

FG = 474
CG = 100
SH = 0.5 μ s

JEDNOKANALNI ANALIZATOR

T = 20
 Δ T = 770

BRZI DISKRIMINATOR 1427 A

G = 7
RTR = 12

BRZI DISKRIMINATOR 1427 B

G = 9
RTR = 0

DELAY

D = 31 ns

4. PRAVE I SLUČAJNE KOINCIDENCIJE

Koincidentni nuklearni događaji su oni događaji koji se dešavaju ili istovremeno ili unutar vremena razlaganja koincidentnog kruga. Možemo ih podeliti na prave i na slučajne koincidentne događaje.

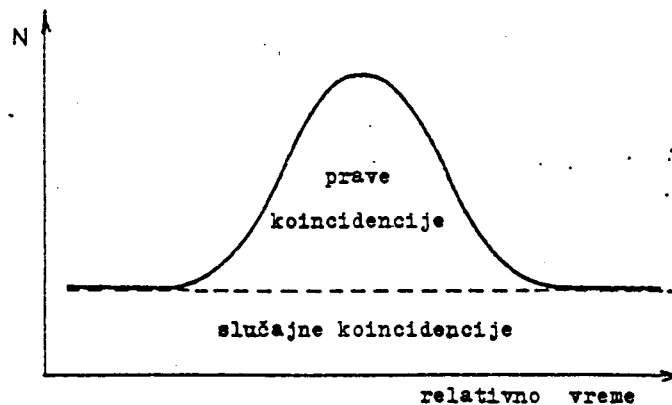
Prave koincidentne događaje, tj. prave koincidencije imamo u sledećim slučajevima:

- fotoni emitovani u kaskadnom γ raspadu
- γ kvanti proizvedeni anihilacijom pozitrona
- dva produkta iste nuklearne reakcije

A slučajne koincidentne događaje, tj. slučajne koincidencije u sledećim:

- istovremeni raspad dva jezgra
- ako u trenutku raspada jezgra do detektora stigne i foton iz kosmičkog zračenja ili okoline

Pri merenjima koincidentni ulaz će uvek propustiti i neki broj slučajnih koincidencija, tako da je ukupan broj koincidentnih događaja isto jednak zbiru pravih i slučajnih koincidencija. Ovo je prikazano na slici 4.0.



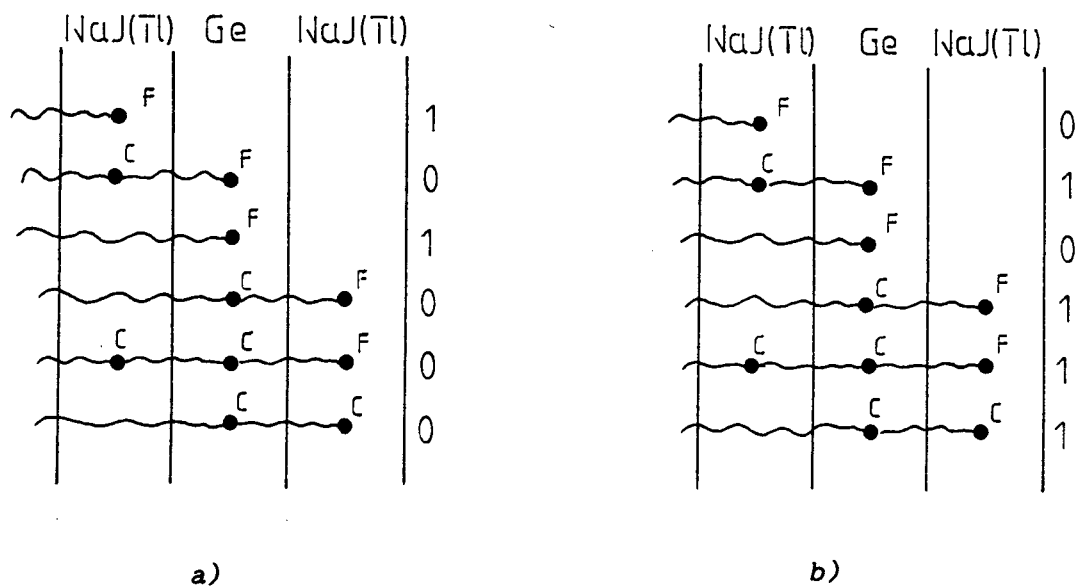
SLIKA 4.0

Za naš detektorski sistem koincidentni događaj je i komptonско rasejanje γ kvanta, jer γ kvant interaguje i sa Ge detektorom i sa NaJ(Tl) omotačem u okviru vremena razlaganja koincidentnog kruga.

Grafik događaja koji će biti zabeležen za slučaj kad detektorski sistem podesimo da radi anti-koincidentno je dat na slici 4.1.(a).

a grafik događaja koji će biti zabeležen za slučaj kad detektorski sistem podesimo da radi koincidentno je dat na slici 4.1.(b).

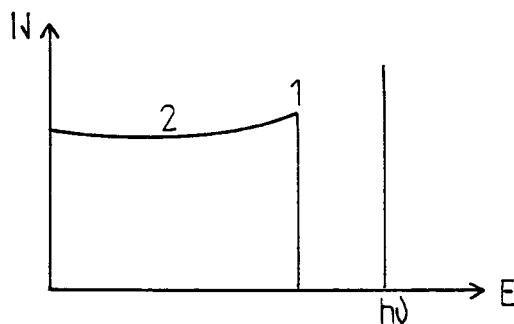
Sa 0 smo obeležili događaje koje detektorski sistem neće zabeležiti a sa 1 događaje koje hoće. Pored ovih oznaka uveli smo i oznake za fotoelektrični efekat (F) i komptonovo rasejanje (C).



SLIKA 4.1

4.1. ODREĐIVANJE ODNOSA PIK-KOMPTON

Idealan spektar γ zraka za jednu energiju ima oblik kao na slici 4.10.



SLIKA 4.10

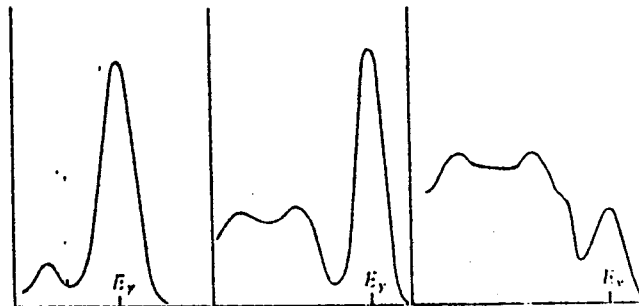
Pik na energiju $h\nu$ se događa kada γ zrak svu svoju energiju ostavi u detektoru i naziva se vrh totalne apsorpcije, dok kontinuum sa leve strane pika potiče od γ zraka koji su u detektoru ostavili samo deo svoje energije. Ovaj kontinuum predstavlja komptonski kontinuum.

U komptonskom kontinuumu razlikujemo komptonsku ivicu (na slici 4.10 označen sa 1)) i plato (na slici 4.10 označen sa 2)). Komptonska ivica se dobija kada rasejani foton uzme minimum energije tj. kad se upadni foton raseje pod uglom od 180° . U svim ostalim slučajevima rasejani foton će uzimati više energije pa se javlja signal u oblasti 2).

Položaj komponske ivice se računa po izrazu:

$$E = h\nu \left[\frac{2 \frac{h\nu}{m_0 c^2}}{1 + 2 \frac{h\nu}{m_0 c^2}} \right] \quad 4.10$$

Ovaj izraz nam je potreban za izračunavanje odnosa pik-kompton, a svim merenjima se teži da ovaj odnos bude što veći. Na slici 4.11 su dati spektri γ zraka za jednu liniju ali u različitom odnosu pik-kompton



SLIKA 4.11

Izraz za izračunavanje odnosa pik-kompton su:

$$\text{pik/kopm. (za plato)} = \frac{\text{najveći odbroj u kanalu za } h\nu}{\text{prosečan odbroj po kanalu u platu}} \quad 4.11$$

$$\text{pik/kopm. (za ivicu)} = \frac{\text{najveći odbroj u kanalu za } h\nu}{\text{prosečan odbroj po kanalu u komptonskoj ivici}} \quad 4.12$$

$$\text{pik/kopm.} = \frac{\text{pik/komp. (za plato)} + \text{pik/komp. (za ivicu)}}{2} \quad 4.13.$$

Što je odnos pik-kompton veći merenja su preciznija, jer se povećanjem ovog odnosa greška određivanja površine vrha totalne apsorpcije smanjuje.

5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

5.1. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE REDUKCIJE FONIA

Da bi eksperimentalno odredili redukciju fona, i to redukciju kontinuma i redukciju pojedinih linija u fonu, merenja smo vršili na tri načina.

U prvom slučaju smo merili fon sa Ge detektorom oko koje bila postavljena samo pasivna zaštita u vidu velike gvozdene komore. Merenje je vršeno u toku 100 ks, a rezultati No ovog merenja su dati u trećoj koloni tabele 5.10.

U drugom slučaju takode smo merili fon sa Ge detektorom ali oko kojeg je bila postavljena dvostruka pasivna zaštita. Prvu zaštitu je predstavljala velika gvozdena komora kao i u prvom slučaju a drugu veliki NaJ(Tl) štit koji neposredno okružuje Ge detektor. Merenje je vršeno isto u toku 100 ks, a rezultati ovih merenja su dati u četvrtoj koloni tabele 5.10.

I na kraju u trećem slučaju smo merili fon sa Ge detektorom ali u ovom slučaju on je bio anti-koincidentno vezan sa NaJ(Tl) štitom, tako da smo na ovaj način ostvarili aktivnu zaštitu. Oko ovog anti-koincidentnog sistema se nalazila gvozdena komora kao pasivna zaštita. U ovom slučaju merenje je takode vršeno u toku 100 ks ali na dva načina.

U prvom slučaju elektronska šema je bila takva da smo imali spore ko incidencije, a u drugom slučaju takva da smo imali brze ko incidencije. Rezultati ovih merenja u slučaju sporih ko incidencija su dati u petoj koloni a rezultati merenja u slučaju sporih ko incidencija u šestoj koloni tabele 5.10.

Ukupni integral za sva tri načina merenja je dat kao poslednja vrednost u koloni.

ANALIZA REZULTATA IZ TABELE 5.10

Ako uporedimo rezultate iz treće i četvrte kolone uočljivo je da se ukupni integral u četvrtoj koloni veoma malo smanjio, dok smo mi očekivali da dode do značajnog smanjenja. A ako zatim uporedimo i

TABELA 5.10

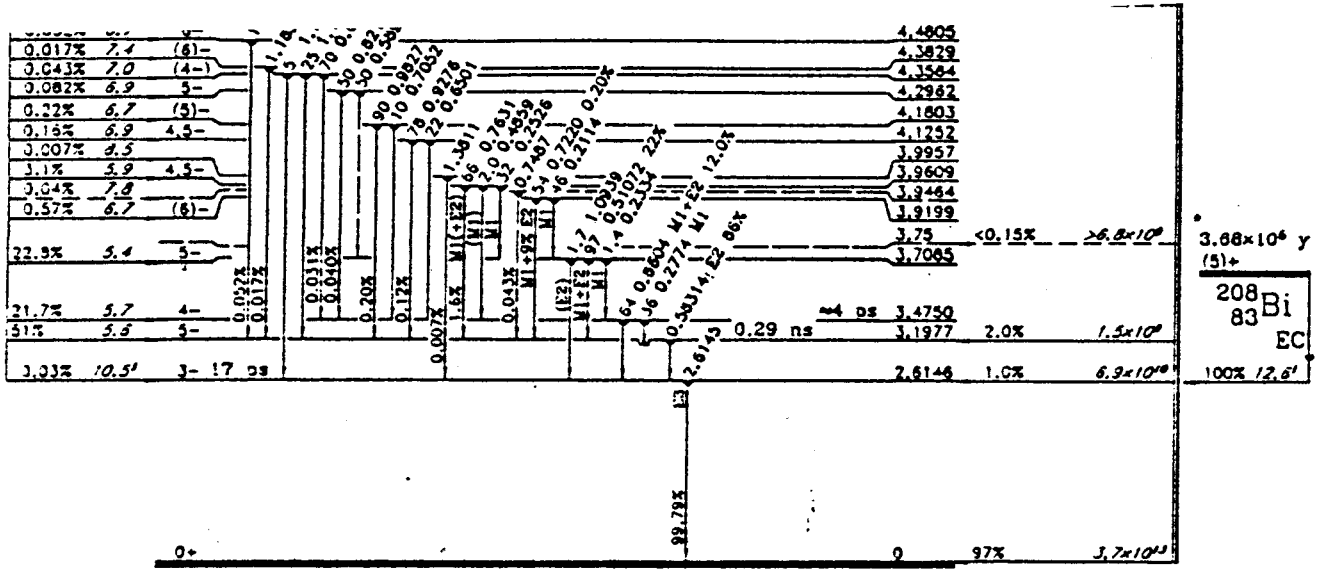
	E(keV)	N_o (odb/kS)	N_p (odb/kS)	N_B (odb/kS)	N_S (odb/kS)
U-238/Pb-210 *	46.40 (17)	2.9 (4)	4.0 (8)	3.3 (5)	3.4 (4)
U-238/Th-234	63.29 (16)	3.1 (4)	5.0 (9)	4.8 (4)	4.7 (4)
U-238/Th-234	92.5 (3)	7.1 (23)	8.4 (30)	9.4 (10)	12.1 (7)
U-238/Ra-226	185.64 (23)	4.8 (6)	6.4 (5)	6.3 (4)	6.4 (4)
U-238/Th-227	235.97 (12)	0.7 (4)	-0.13 (27)	0.24 (19)	0.40 (19)
Th-232/Pb-210 *	238.57 (12)	5.9 (8)	12.5 (6)	12.8 (5)	13.3 (5)
Th-232/Th-228	240.76 (15)	0.7 (4)	1.27 (31)	1.16 (24)	1.6 (2)
U-238/Pb-214 *	241.92 (12)	1.4 (5)	1.39 (33)	1.25 (23)	1.4 (2)
U-238/Pb-214 *	295.16 (17)	2.0 (4)	2.73 (35)	2.15 (20)	3.1 (3)
U-238/Pb-214 *	351.92 (12)	4.3 (4)	4.15 (35)	3.78 (26)	4.1 (3)
Th-232/Tl-208 *	583.12 (13)	2.0 (3)	3.97 (33)	1.87 (23)	1.71 (18)
Cs-134	604.72 (7)	0.33 (15)	0.11 (17)	0.13 (15)	0.08 (9)
U-238/Bi-214 *	609.32 (7)	3.18 (23)	3.70 (29)	2.32 (24)	1.36 (15)
Cs-137	661.71 (11)	2.58 (30)	0.61 (18)	0.77 (17)	0.88 (15)
Sb-124	722.57 (17)	0.10 (11)	-0.24 (13)	-0.00 (10)	-0.01 (8)
Th-232/Bi-212 *	727.03 (18)	0.82 (17)	1.05 (27)	0.83 (27)	0.69 (19)
U-238/Bi-214 *	768.35 (8)	0.18 (16)	0.32 (17)	-0.01 (12)	-0.03 (10)
Cs-134	795.6 (4)	0.48 (16)	0.56 (17)	0.17 (12)	0.24 (7)
Th-232/Ac-228	911.23 (23)	0.49 (14)	1.92 (26)	1.84 (16)	1.53 (17)
Th-232/Ac-224	968.97 (13)	0.19 (14)	0.99 (21)	0.83 (15)	1.19 (14)
U-238/Pa-234	1000.96 (28)	0.31 (12)	0.68 (25)	0.75 (11)	0.35 (10)
U-238/Bi-214 *	1120.37 (19)	0.72 (13)	0.92 (22)	0.42 (10)	0.44 (10)
Co-60	1332.50 (17)	0.17 (10)	-0.11 (9)	0.05 (6)	0.05 (8)
K-40	1460.91 (22)	1.57 (17)	6.5 (39)	5.3 (4)	5.1 (3)
U-238/Bi-214 *	1763.9 (6)	0.52 (4)	0.88 (23)	1.1 (4)	0.45 (10)
UKUPNI INTEGRAL (odb/s)		1.551 (4)	1.514 (3)	0.620 (25)	0.735 (4)

intenzitete pojedinih linija videćemo da je kod nekih linija došlo čak i do značajnog povećanja intenziteta. Pošto je ovo povećanje intenziteta linije usledilo kada smo oko Ge detektora postavili NaJ(Tl) stit kao pasivnu zaštitu, povećanje intenziteta ovih linija se pripisuje NaJ(Tl) stitu a potiče od toga što kristal NaJ u sebi ima radioaktivnih primesa. Tako npr. K je element koji prati Na i sigurno ga ima u kristalu NaJ, a u K ima K-40 koji je radioaktivan i koji podiže intenzitet kalijumove linije čak za faktor 4. Pored povećanja intenziteta K linije uočljivo je povećanje linija torijuma (Th) za faktor 2 kao i uranovih (U) linija za faktor 1.3.

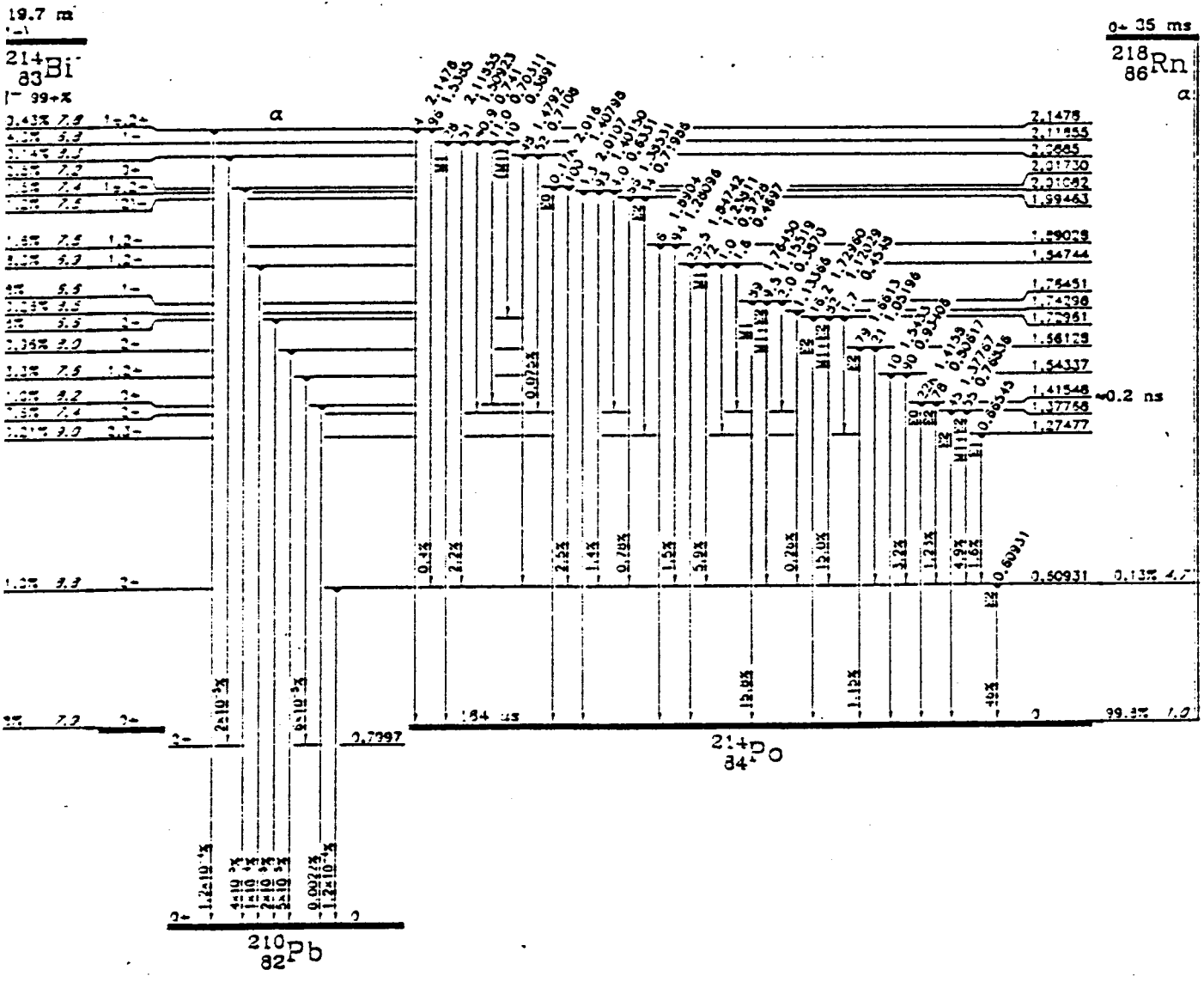
Postavljanjem NaJ(Tl) stita kao pasivne zaštite došlo je do povećanja intenziteta pojedinih linija, a ukupni integral se veoma malo promenio. Ovo je moguće jedino ako je istovremeno sa povećanjem intenziteta pojedinih linija došlo do smanjenja intenziteta nekih drugih linija. Linija čiji se intenzitet znatno smanjio je Cs-137 i to smanjenje je za faktor 4.

Ako sad uporedimo rezultate pete i šeste kolone koje smo dobili iz anti-koincidentnog načina merenja, vidimo da se ukupni integral veoma malo menja za slučajeve kada imamo spore i brze koincidencije. Ali je zato ukupni integral za ova merenja oko 2,5 puta manji u poređenju sa ukupnim integralom koji se dobija za merenja kada je NaJ(Tl) stit samo pasivna zaštita. Ovo smanjenje je najveće za linije Tl-208 i Bi-214 i to na energijama od 583,12 keV i 609,32 keV a objašnjava se time što su ove linije koincidentne sa nekim linijama iz raspada Tl-208 i Bi-214, pa se njihov intenzitet u anti-koincidentnom režimu znatno smanjuje. Na strani 26 se nalaze seme raspada Tl-208 i Bi-214 na kojima je ova pojava jasno uočljiva.

I na kraju ako uporedimo rezultate iz treće kolone sa rezultatima iz četvrte i pete kolone vidimo da se ukupni integral smanjio kad smo imali anti-koincidentna merenja, za faktor koji je uobičajen za ove sisteme (H. Clucke, J. Beetz "Proceedings of the Third International Conference Low Radioactivities '85" Bratislava 1985. god. str. 150).



^{208}Pb



Pri posmatranju prve kolone može se videti da su neke linije obeležene sa zvezdicama. Ove zvezdice znače da su obeležene linije posle radonske linije. Ovo nam je bitno iz sledećeg razloga. Rn je inertan i gasovit radioaktivni element iz uranovog niza koji je prisutan u atmosferi a time i u vazduhu oko detektora. Usled njegovog raspada javljaju se produkti koji nisu ni gasoviti a ni inertni i oni se talože svuda u komori i tako podižu fon. Redukcija ovih linija u spektru bi bila mnogo veće kada bi ventilacija u komori bila bolja.

5.2. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ODNOSA PIK-KOMPTON

Pri eksperimentalnom određivanju odnosa pik-kompton kao izvor smo koristili Co-60 koji ima dve linije i to na energijama od 1173 keV i 1332,5 keV. Pre početka merenja prema izrazu 4.10 izračunali smo položaje komptonskih ivica za linije od 1173 keV i 1332,5 keV i dobili smo sledeće vrednosti:

E (keV)	POLOŽAJ KOMPTONSKE IVICE (keV)
1173	963
1332,5	1118

Od dobijenih vrednosti za položaje komptonskih ivica oduzeli smo 30 keV i tako dobili tačke na platou. Zatim smo oko položaja komptonskih ivica i dobijenih tačaka na platou markirali 30 kanala na višekanalnom analizatoru i u tom intervalu očitavali odbroje. Ali pošto u izrazima 4.11 i 4.12 figurise prosečan odbroj po kanalu u platou i prosečan odbroj po kanalu u komptonskoj ivici dobijene vrednosti u odbrojima (odb) je potrebno podeliti sa 30 da bi dobili rezultate u odbrojima po kanalu (odb/kan).

Na kraju smo markirali i po jedan kanal na energijama od 1173 keV

i 1332,5 keV da bi dobili odbroje u piku. Koristeći izraze 4.11, 4.12 i 4.13 izračunali smo odnose pik-kompton na nekoliko različitih načina.

I NAČIN

Prvo merenje smo vršili sa Ge detektorom oko kojeg se nalazio NaJ(Tl) štit kao pasivna zaštita, a izvor je od Ge detektora bio udaljen 1 m. Rezultati ovog merenja su sledeći:

1332,5 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p=850$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 28,3$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i=708$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 23,6$ odb/kan

-odbroj u piku: $N=1535$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 54.2$$

Greška za pik/kompton (za plato) je:

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = \left[\left[\frac{\partial \text{p/k (p)}}{\partial N} \right]^2 (\Delta N)^2 + \left[\frac{\partial \text{p/k (p)}}{\partial N_p'} \right]^2 (\Delta N_p')^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

a krajnji izraz je oblika:

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = \frac{1}{N_p'} \left[N + \left[\frac{N}{N_p'} \right]^2 (\Delta N_p')^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 5.2.0$$

Vrednosti potrebne za izračunavanje ove greške su:

$$N_p' = 28.3 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p} = 0.97$$

$$N = 1535 \text{ odb/kan}$$

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.0 dobijamo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 2.33 \quad 5.2.1$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 54.2 \pm 2.33$$

Odnos pik/kompton za komptonšku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 65$$

Greška za pik/kompton (za ivicu) je

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = \left[\left[\frac{\partial \text{p/k}(i)}{\partial N} \right]^2 (\Delta N)^2 + \left[\frac{\partial \text{p/k}(i)}{\partial N_i'} \right]^2 (\Delta N_i')^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

a krajnji izraz je oblika

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{1}{N_i'} \left[N + \left[\frac{N}{N_i'} \right]^2 (\Delta N_i')^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 5.2.2$$

Vrednosti potrebne za izračunavanje ove greške su:

$$N_i' = 23.6 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i} = 0.89$$

$$N = 1535 \text{ odb/kan}$$

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 2.96 \quad 5.2.3$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 65 \pm 2.96$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = \frac{\text{pik/kompton (za plato)} + \text{pik/kompton (za ivicu)}}{2} \quad 5.2.4$$

$$\text{pik/kompton} = 69.6$$

Greška za pik/kompton je:

$$\Delta \text{pik/kompton} = \left[\left[\frac{\partial \text{p/k}}{\partial \text{p/k}(p)} \right]^2 (\Delta \text{p/k}(p))^2 + \left[\frac{\partial \text{p/k}}{\partial \text{p/k}(i)} \right]^2 (\Delta \text{p/k}(i))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Krajnji izraz je oblika:

$$\Delta \text{pik/kompton} = \left[\frac{1}{2} \left[(\Delta \text{p/k}(p))^2 + (\Delta \text{p/k}(i))^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad 5.2.5$$

Zamenom vrednosti iz 5.2.1 i 5.2.3 dobijamo:

$$\Delta \text{pik/kompton} = 2.66$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 59.6 \pm 2.66$$

1173 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p = 1300$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 43,3$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i = 1274$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 42,5$ odb/kan

-odbroj u pik: $N = 1731$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 39.9 \quad 5.2.6$$

Grešku za pik/kompton (za plato) dobijamo iz izraza 5.2.0 i ona je:

$$N_p' = 43.3 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p'} = 1.2$$

$$N = 1731 \text{ odb/kan}$$

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 1.5 \quad 5.2.7$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 39.9 \pm 1.5$$

Odnos pik/kompton za komptonsku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 40.7 \quad 5.2.8$$

Grešku za pik/kompton (za ivicu) dobijamo iz izraza 5.2.2 i ona je

$$N_i' = 42.5 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i'} = 1.2$$

$$N = 1731 \text{ odb/kan}$$

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 1.5 \quad 5.2.9$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 40.7 \pm 1.5$$

Odnos pik/kompton dobijamo koristeći izraz 5.2.4 i rezultate iz 5.2.6 i 5.2.8, i on iznosi:

$$\text{pik/kompton} = 40.3$$

Grešku za pik/kompton dobijamo ako koristimo izraz 5.2.5 i rezultate iz 5.2.7 i 5.2.9, i ona iznosi

$$\Delta \text{pik/kompton} = 1.5$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 40.3 \pm 1.5$$

II NAČIN

Drugo merenje smo vršili isto Ge detektorom oko kojeg se nalazio NaJ(Tl) štit kao pasivna zaštita, izvor je od Ge detektora udaljen 1 m ali se sad nalazi unutar kolimatora. Kolimator je napravljen od nekoliko olovnih ploča koje u sredini imaju otvor. Uvođenjem kolimatora dobija se kolimisani snop koji smo usmerili da pada samo na Ge detektor. Na ovaj način se smanjuje rasejanje u NaJ(Tl) štitu. Rezultati ovog merenja su:

1332,5 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p = 329$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 10,9$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i = 272$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 9,1$ odb/kan

-odbroj u pik: $N = 576$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 52,8 \quad 5.2.10$$

Grešku za pik/kompton (za plato) dobijamo iz izraza 5.2.0 i ona je:

$$N_p' = 10,9 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p} = 0,6$$

$N = 576$ odb/kan

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 3,6 \quad 5.2.11$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 52,8 \pm 3,6$$

Odnos pik/kompton za komptonsku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 63,3 \quad 5.2.12$$

Grešku za pik/kompton (za ivicu) dobijamo iz izraza 5.2.2 i ona je

$$N_i' = 9,1 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i} = 0,5$$

$N = 576$ odb/kan

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 4,4 \quad 5.2.13$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 63,3 \pm 4,4$$

Odnos pik/kompton dobijamo koristeći izraz 5.2.4 i rezultate iz 5.2.10 i 5.2.12, i on iznosi:

$$\text{pik/kompton} = 58,05$$

Grešku za pik/kompton dobijamo ako koristimo izraz 5.2.5 i rezultate iz 5.2.11 i 5.2.13, i ona iznosi

$$\Delta \text{pik/kompton} = 4,0$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 58,05 \pm 4,0$$

1173 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p = 539$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 17.9$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i = 476$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 15.86$ odb/kan

-odbroj u piku: $N = 636$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 35.5 \quad 5.2.14$$

Grešku za pik/kompton (za plato) dobijamo iz izraza 5.2.0 i ona je:

$$N_p' = 17.9 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p} = 0.77$$

$N = 636$ odb/kan

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 2.1 \quad 5.2.15$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 35.5 \pm 2.1$$

Odnos pik/kompton za komptonsku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 40.1 \quad 5.2.16$$

Grešku za pik/kompton (za ivicu) dobijamo iz izraza 5.2.2 i ona je

$$N_i' = 15.86 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i} = 0.73$$

$N = 636$ odb/kan

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 2.4 \quad 5.2.17$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 40.1 \pm 2.4$$

Odnos pik/kompton dobijamo koristeći izraz 5.2.4 i rezultate iz 5.2.14

i 5.2.16, i on iznosi:

$$\text{pik/kompton} = 37.8$$

Grešku za pik/kompton dobijamo ako koristimo izraz 5.2.5 i rezultate iz 5.2.15 i 5.2.17, i ona iznosi

$$\Delta \text{pik/kompton} = 2.25$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 37.8 \pm 2.25$$

III NAČIN

Kod trećeg merenja izvor se takode nalazio unutar kolimatora, na rastojanju od 1 m od Ge detektora, ali NaJ(Tl) stit nije više postavljen kao pasivna zaštita već je anti-koincidentno vezan sa Ge detektorom. Spektar smo uzimali samo iz Ge detektora. Rezultati ovog merenja su sledeći:

1332,5 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p = 117$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 3,9$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i = 220$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 7.3$ odb/kan

-odbroj u pik: $N = 919$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 235.6 \quad 5.2.18$$

Grešku za pik/kompton (za plato) dobijamo iz izraza 5.2.0 i ona je:

$$N_p' = 3.9 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p} = 0.36$$

$N = 919$ odb/kan

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 23.1 \quad 5.2.19$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 235.6 \pm 23.1$$

Odnos pik/kompton za komptonsku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 125.8 \quad 5.2.20$$

Grešku za pik/kompton (za ivicu) dobijamo iz izraza 5.2.2 i ona je

$$N_i' = 7.3 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i} = 0.49$$

$N = 919$ odb/kan

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 9.4 \quad 5.2.21$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 125.8 \pm 9.4$$

Odnos pik/kompton dobijamo koristeći izraz 5.2.4 i rezultate iz 5.2.18 i 5.2.20, i on iznosi:

pik/kompton = 180.7

Grešku za pik/kompton dobijamo ako koristimo izraz 5.2.5 i rezultate iz 5.2.19 i 5.2.21, i ona iznosi

$$\Delta \text{pik/kompton} = 17.6$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 180.7 \pm 17.6$$

1173 keV

-odbroj u 30 kanala na platou: $N_p = 122$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na platou: $N_p' = \frac{N_p}{30} = 4.1$ odb/kan

-odbroj u 30 kanala na komptonskoj ivici: $N_i = 184$ odb

-prosečan odbroj u kanalu na komptonskoj ivici: $N_i' = \frac{N_i}{30} = 6.1$ odb/kan

-odbroj u piku: $N = 818$ odb/kan

Odnos pik-kompton za plato je

$$\text{pik/kompton (za plato)} = \frac{N}{N_p'} = 199.5 \quad 5.2.22$$

Grešku za pik/kompton (za plato) dobijamo iz izraza 5.2.0 i ona je:

$$N_p' = 4.1 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_p' = \frac{1}{30} \sqrt{N_p} = 0.4$$

$N = 818$ odb/kan

$$\Delta \text{pik/kompton (za plato)} = 7.0 \quad 5.2.23$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za plato)} = 199.5 \pm 7.0$$

Odnos pik/kompton za komptonsku ivicu

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = \frac{N}{N_i'} = 134.1 \quad 5.2.24$$

Grešku za pik/kompton (za ivicu) dobijamo iz izraza 5.2.2 i ona je

$$N_i' = 6.1 \text{ odb/kan} \quad \Delta N_i' = \frac{1}{30} \sqrt{N_i} = 0.45$$

$N = 818$ odb/kan

Zamenom ovih vrednosti u izraz 5.2.2 dobijemo:

$$\Delta \text{pik/kompton (za ivicu)} = 10.9 \quad 5.2.25$$

dakle

$$\text{pik/kompton (za ivicu)} = 134.1 \pm 10.9$$

Odnos pik/kompton dobijamo koristeći izraz 5.2.4 i rezultate iz 5.2.22 i 5.2.24, i on iznosi:

$$\text{pik/kompton} = 166.8$$

Grešku za pik/kompton dobijamo ako koristimo izraz 5.2.5 i rezultate

iz 5.2.23 i 5.2.25, i ona iznosi

$$\Delta \text{pik/kompton} = 9.2$$

Odnos pik/kompton je

$$\text{pik/kompton} = 166.8 \pm 9.2$$

Tabele pregleda odnosa pik/kompton

$$E = 1332.5 \text{ keV}$$

OZNAKA NACINA	PIK/KOMPTON
I	59.6 ± 2.66
II	58.05 ± 4.0
III	180.7 ± 17.6

TABELA 5.20

$$E = 1173 \text{ keV}$$

OZNAKA NACINA	PIK/KOMPTON
I	40.3 ± 1.5
II	37.8 ± 2.25
III	166.8 ± 9.2

TABELA 5.21

ANALIZA REZULTATA IZ TABELA 5.20 I 5.21

Ako uporedimo rezultate koji su dobijeni I i II načinom merenja vidimo da je odnos pik-kompton isti u oba slučaja, a odstupanja koja se javljaju su u okviru greške. Ipak malo smanjenja odnosa pik-kompton

u II načinu merenja možemo pripisati pojavi komptonskog rasejanja u kolimatoru koji zatim povećava komptonski kontinuum u spektru.

A ako uporedimo rezultate koji su dobijeni I i III načinom merenja vidimo da je odnos pik-kompton u III načinu veći što ukazuje da se kolimacija zračenja iz ispitivanog izvora u anti-koincidentnom spektru izvršno poboljšava odnos pik-kompton. Zato je ova tehnika merenja pogodna za detekciju niskoenergetskih γ prelaza u prisustvu mnoštva visokoenergetskih fotona.

5.3. ODREĐIVANJE VREMENA RAZLAGANJA KOINCIDENTNOG KRUGA

Vreme razlaganja koincidentnog kruga smo određivali iz vremenskog spektra dobijenog iz TAC-a. To smo radili na taj način što smo odredili širinu na polovini visine vremenske krive i ta vrednost na pretstavlja vreme razlaganja koincidentnog kruga. Ali pošto su vrednosti na ordinati vremenske krive date u kanalima prvo smo morali da odredimo koliko ns je vrednost jednog kanala. To smo uradili tako što nam širina celog vremenskog spektra u kanalima iznosi 1000 ns, pa kad 1000 ns podelimo sa brojem kanala koje zauzima spektar dobijamo koliko je ns vrednost jednog kanala i na kraju smo sa tom vrednošću pomnožili broj kanala na polovini visine vremenske krive.

Mi smo odredili dva vremena razlaganja koincidentnog kruga i to vreme razlaganja koincidentnog kruga za brze koincidencije i vreme razlaganja koincidentnog kruga za spore koincidencije.

U skladu sa našim očekivanjima dobili smo da je vreme razlaganja koincidentnog kruga za brze koincidencije mnogo manje od vremena razlaganja koincidentnog kruga za spore koincidencije. Rezultati su dati na strani 37 a spektri su priloženi na stranama 38 i 39.

Pored vremena razlaganja koincidentnog kruga iz vremenske krive smo odredili i odnos i pravih i slučajnih koincidencija. Ovaj odnos za brze koincidencije smo određivali na dva načina.

Kod prvog načina smo određivali odnos tako što smo integralili samo površinu ispod pika, a repove koji potiču od elektronskih smetnji smo izbacili, i na taj način smo dobili broj pravih i slučajnih koincidencija. Zatim smo za isti broj kanala van krive izvršili integraljenje i tako dobili broj slučajnih koincidencija. I na kraju smo od broja pravih i slučajnih koincidencija ispod pika

oduzeli broj slučajnih koincidencija van krive i tu razliku smo podelili sa brojem slučajnih koincidencija van jkrive. Dobijena vrednost pretstavlja odnos pravih i slučajnih koincidencija.

Kod drugog načina smo integralili ceo vremenski spektar uključujući i repove koji potiču od elektronskih smetnji i ovaj broj je pretstavljao broj pravih i slučajnih koincidencija. I opet smo od broja pravih i slučajnih koincidencija ispod krive oduzeli broj slučajnih koincidencija van krive i tu razliku smo podelili sa brojem slučajnih koincidencija van krive.

Odnos pravih i slučajnih koincidencija za spore koincidencije smo određivali samo na jedan način i to je drugi način određivanja odnosa pravih i slučajnih koincidencija za brze koincidencije.

Rezultati su na strani 37 a spektri su priloženi na stranama 38 i 39.

I_{CH} - integral vremenskog spektra u kanalima

T/C - odnos pravih i slučajnih koincidencija

τ - vreme razlaganja koincidentnog kruga

-BRZE KOINCIDENCIJE-

$$I_{CH} = 1593 = 1000 \text{ ns}$$

$$I_{CH} = \frac{1000}{1593} = 0.6277 \text{ ns}$$

$$\tau = 5CH = 3.1 \text{ ns}$$

I način

$$T/C = \frac{58349 - 186}{186} = 312$$

II način

$$T/C = \frac{104384 - 1769}{1769} = 58$$

-SPORE KOINCIDENCIJE-

$$I_{CH} = 3895 = 1000 \text{ ns}$$

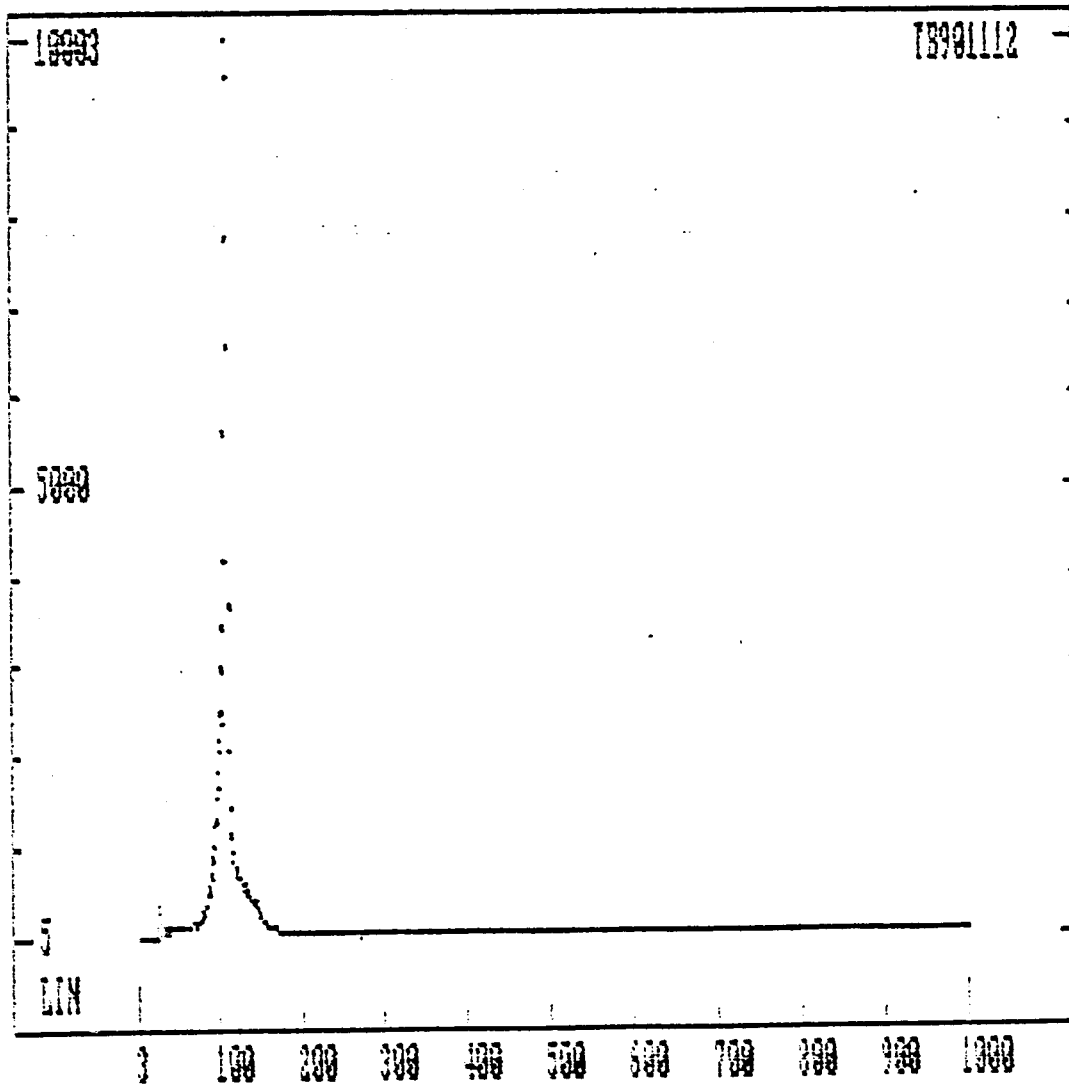
$$I_{CH} = \frac{1000}{3895} = 0.2568 \text{ ns}$$

$$\tau = 587CH = 148 \text{ ns}$$

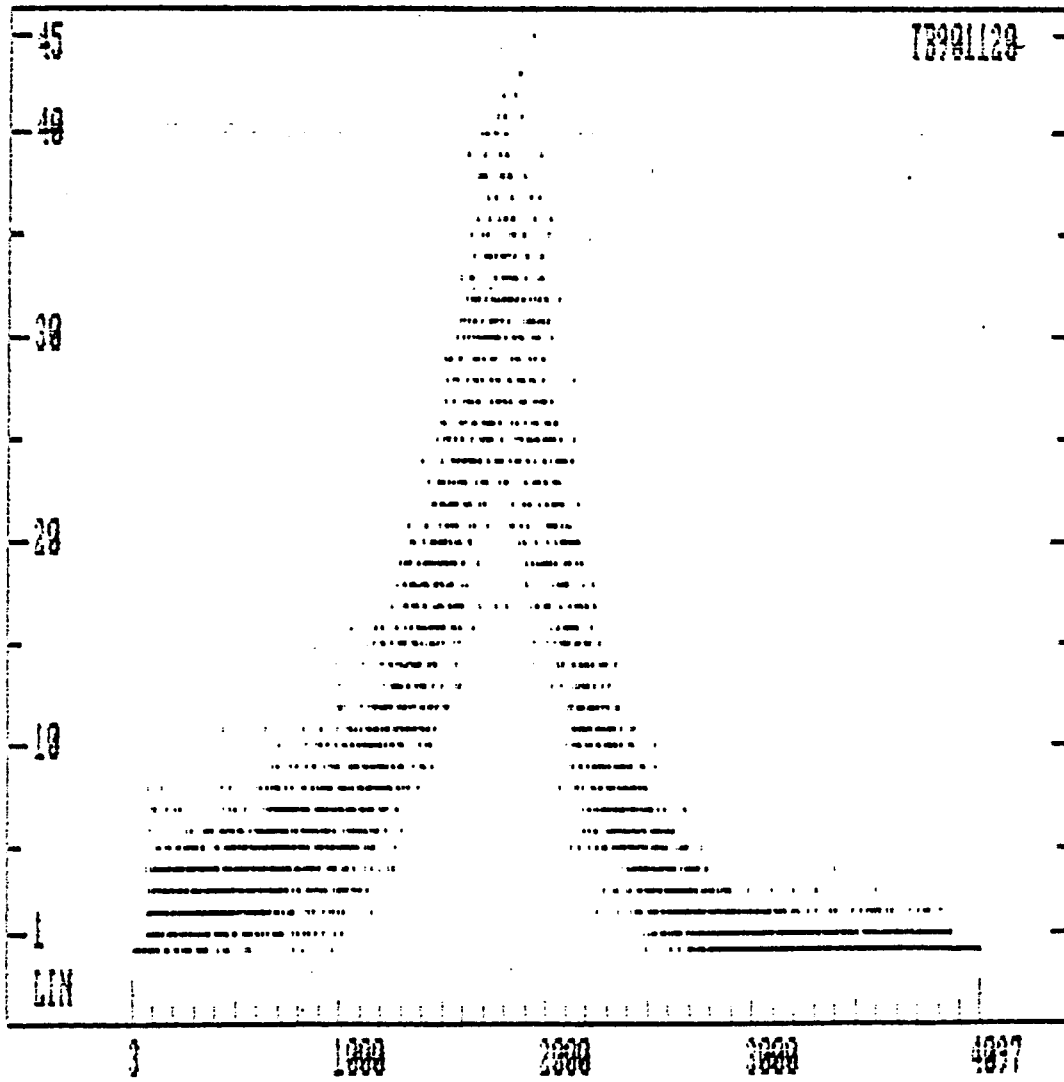
II način

$$T/C = \frac{26469 - 1178}{1178} = 21.5$$

VREMENSKI SPEKTAR ZA BRZE KOINCIDENCIJE



VREMENSKI SPEKTAR ZA SPORE KOINCIDENCIJE



Vrednost vremena razlaganja koincidentnog kruga je bitna jer u izrazu za prag detekcije kod koincidentnog načina merenja figurise.

Izraz za prag detekcije kod koincidentnog načina merenja je:

$$A_{\text{m}}^c = \frac{4.5}{E \cdot t - 36\tau} \left[1 + \sqrt{1 + 1.78 \frac{\tau \cdot \beta_G \cdot \beta_N (E \cdot t - 36\tau)}{E}} \right] \quad 5.30$$

gde je

τ - vreme razlaganja koincidentnog kruga

t - vreme merenja

$E = \varepsilon(G) \cdot p(G) \cdot \varepsilon(N) \cdot p(N)$

$\varepsilon(G)$ - efikasnost Ge detektora

$p(G)$ - γ prinos u Ge detektoru

$\varepsilon(N)$ - efikasnost NaJ(Tl) omotača

$p(N)$ - γ prinos u NaJ(Tl) omotaču

β_G - komptonski kontinuum ispod linije u Ge detektoru

β_N - komptonski kontinuum ispod linije u NaJ(Tl) omotaču

Iz izraza 5.30 se vidi da je prag detekcije kod koincidentnog načina merenja proporcionalan sa vremenom razlaganja koincidentnog kruga.

5.4. UPOREĐIVANJE DIREKTOG I ANTI-KOINCIDENTNOG SPEKTRA STANDARDNOG UZORKA FOSFATA

Da bi eksperimentalno odredili redukciju kod fosfata merenje smo vršili na dva načina.

U prvom slučaju smo merenje vršili sa Ge detektorom oko kojeg je bila postavljena dvostruka pasivna zaštita, prva je bila gvozdna komora a druga NaJ(Tl) stit. Merenja smo vršili 100 ks, a rezultati N_p ovog merenja su dati u drugoj koloni tabele 5.40. A u drugom slučaju smo merenje vršili sa Ge detektorom oko kojeg je bila postavljena aktivna zaštita u vidu NaJ(Tl) omotača. Ge detektor i NaJ(Tl) omotač su bili anti-koincidentno vezani, a elektronska šema je bila takva da smo imali spore koincidencije. I u ovom slučaju merenje su vršena 100 ks, a rezultati N_s su dati u trećoj koloni tabele 5.40.

TABELA 5.40

E(keV)	N_p' (odb/ks)	N_s' (odb/ks)	$N_p' - N_p$ (odb/ks)	$N_s' - N_s$ (odb/ks)
46.36 (6)	66 (3)	71 (4)	62 (8)	67.6 (6)
63.16 (5)	232 (7)	229 (10)	227 (11)	224.3 (11)
121.12 (3)	2 (2)	1.3 (24)	1.64 (23)	1.34 (33)
185.93 (20)	688 (10)	667 (13)	681.6 (11)	660.6 (14)
235.99 (5)	59 (2)	43.0 (16)	59.13 (27)	42.6 (25)
238.594 (23)	50 (2)	41.6 (17)	37.5 (6)	28.3 (18)
240.78 (10)	7 (2)	3.8 (18)	5.73 (31)	2.2 (18)
241.94 (4)	590 (7)	584 (10)	588.6 (34)	582.6 (10)
295.17 (3)	1251 (13)	1273 (20)	1248.27 (37)	1269.9 (30)
300.114 (23)	12.7 (18)	14.2 (20)	11.95 (27)	12.05 (28)
350.16 (24)	11 (2)	9.3 (20)	10.75 (19)	9.27 (24)
583.22 (16)	7.8 (13)	3.5 (5)	3.83 (34)	4.09 (19)
609.285 (21)	1492 (11)	300 (4)	1488.3 (31)	298.64 (15)
661.68 (3)	0.9 (6)	0.80 (25)	0.29 (19)	-0.08 (29)
665.44 (4)	42.0 (10)	1.26 (25)	41.93 (15)	0.98 (28)
726.63 (10)	2.5 (13)	0.0 (4)	2.2 (13)	0.0 (6)
727.25 (5)	2.6 (13)	1.8 (4)	1.55 (13)	1.11 (19)
765.78 (3)	12.0 (10)	10.3 (12)	11.96 (14)	10.26 (16)
768.34 (4)	135 (2)	14.4 (13)	134.68 (17)	14.43 (16)
794.79 (11)	1.5 (6)	0.1 (3)	0.94 (27)	-0.14 (8)
810.792 (24)	1.3 (14)	0.3 (4)	-0.62 (24)	0.2 (10)
911.01 (11)	8.0 (7)	5.9 (4)	6.08 (27)	4.37 (17)
969.06 (15)	5.9 (7)	3.6 (4)	4.91 (22)	2.41 (15)
1001.12 (6)	23.3 (8)	23.6 (7)	22.62 (26)	33.95 (12)
1120.37 (5)	308 (3)	34.3 (9)	307.08 (22)	33.86 (13)

TABELA 5.40

E(keV)	N_p' (odb/ks)	N_s' (odb/ks)	$N_p' - N_p$ (odb/ks)	$N_s' - N_s$ (odb/ks)
1332.50 (6)	1.1 (5)	0.14 (21)	1.21 (10)	0.09 (22)
1460.96 (13)	7.4 (6)	6.8 (4)	0.9 (39)	1.7 (5)
1764.41 (14)	242 (6)	231 (8)	241.12 (24)	230.5 (13)
UKUPNI INTEGRAL (odb/s)	44.10 (2)	22.459 (15)		

U četvrtoj i petoj koloni tabele 5.40 su vrednosti za linije iz ove tabele ali kojima je oduzet fon na osnovu rezultat iz tabele 5.10.

ANALIZA REZULTATA IZ TABELE 5.40

Upoređenjem rezultata iz druge i treće kolone vidi se da se ukupni integral smanjio za faktor dva kada smo merenje vršili u anti-kincidenciji. Najizrazitije smanjenje je na linijama od 609,285 keV za faktor 5, 665,44 keV za faktor 33, 768,34 keV za faktor 9 i na 1120,37 keV za faktor 9.

Ovo smanjenje intenziteta pojedinih linija potiče od toga što su te linije koincidentne sa nekim linijama iz raspada pa se u anti-koincidentnom režimu ne javlja njihov pravi intenzitet. Zbog ovog smanjenja intenziteta, koincidentnih linija interpretacija izmerenih spektara postaje složena. Naime efikasnost detekcije se mora odrediti za svaki radionukleid posebno.

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata možemo izvesti sledeće zaključke:

NaJ(Tl) omotač u sebi sadrži određenu količinu radioaktivnih supstanci koje podižu intenzitet pojedinih linija kao što su torijumove i uranove linije, kao i liniju K. Ali te količine radioaktivnih supstanci ne ograničavaju nisko fonsku primenu upotrebljenog anti-komptonskog spektrometra.

Ukupni integral se u anti-koincidentnom režimu smanjio za faktor 2, što je uobičajeno za ove sisteme (H. Clucke, J. Beetz "Proceedings of the Third International Conference Low Level Radioactivities '85" Bratislava (1985) str. 150).

U brzom koincidentnom režimu se dobija vreme razlaganja $\tau=3,1$ ns, što ukazuje na mogućnost dobijanja veoma niskih granica detekcije u koincidentnom režimu.

U anti-koincidentnom režimu se izvrsno poboljšava odnos pik-kompton, i to za faktor 3 u poređenju sa odnosom pik-kompton koji se dobija korišćenjem samo Ge detektora.

U anti-koincidentnom režimu rada neke linije iz spektra standardnog uzorka fosfata kao i neke linije iz spektra fona pokazuju značajno smanjenje intenziteta. Ovo smanjenje intenziteta pojedinih linija je posledica toga što su one koincidentne sa nekim linijama iz raspada.

LITERATURA

1. GLENN F. KNOLL -RADIATION DETECTION AND MEASUREMENT-
JOHN WILEY AND SONS (1979),NEW YORK
2. L. MARINKOV -OSNOVI NUKLEARNE FIZIKE- PMF (1976),NOVI SAD
3. W. E. BURCHAM -NUKLEARNA FIZIKA, UVOD (SA FIZIKOM ČESTICA)-
NAUČNA KNJIGA (1974)),BEOGRAD
4. CANBERRA APPLICATION NOTE AN-D-8901
5. KATALOG HARSHAW/FILTROL -LOW LEVEL COUNTING COMPTON SUPPRESSION-
6. M. CLUCKE, J. BEETZ -PROCEEDINGS OF THIRD INTERNATIONAL
CONFERENCE LOW RADIOACTIVITIES '85- BRATISLAVA 1985.GOD.
7. CANBERRA 77-COPYRIGHT 1977 BY CANBERRA INDUSTRIES,
INC. MERIDEN, CT
8. CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -SPECTROSCOPY PREAMPLIFIER-
MODEL 2001/2001A
9. CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -SCINTILLATION DETECTOR PREAMPLIFIER-
MODEL 2005
- 10.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -AMPLIFIER- MODEL 2021
- 11.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -AMPLIFIER- MODEL 2021-4
- 12.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -ARC TIMING- MODEL 1427
- 13.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -TIME ANALYZER- MODEL 1443
- 14.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -ADC- MODEL 8075
- 15.CANBERRA INSTRUCTION MANUEL -EDGE/CROSSOVER TIMING SCA-
MODEL 2037A