

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA FIZIKU

D I P L O M S K I R A D

KARAKTERISTIKE KOINCIDENTNOG GAMA SPEKTROMETRA

MENTOR:
DR ISTVAN BIKIT

KANDIDAT:
GORDANA RADOVANOV

NOVI SAD, 1991. GOD.

*Najtoplje zahvaljujem prof. dr Ištvanu Bikitu
na korisnim savetima i sugestijama kojima je
značajno doprineo sadržaju i kvalitetu rada*

SADRŽAJ

UVOD.....	1
1.0 KOINCIDENTNA SPEKTROSKOPIJA	2
1.1 Osnovni pojmovi	2
1.2 Koincidentna elektronika	5
1.3 Koincidentna istraživanja sema raspada	15
1.4 Angularne korelaciјe	18
1.5 Merenje perioda poluraspada pobudnih stanja ..	21
1.6 Apsolutno merenje aktivnosti	23
2.0 MERNA TEHNIKA	24
3.0 REZULTATI MERENJA	28
3.1 Test ARC-pragova	28
3.2 Određivanje vremena razlaganja brzog koincidentnog kruga	34
3.3 Određivanje koincidentne efikasnosti za brzo-spori koincidentni krug	37
3.4 Određivanje praga detekcije koincidentnog sistema	43
4.0 ZAKLJUČAK	50
LITERATURA	51

UVOD

Istraživanja nuklearne strukture danas imaju već dugu tradiciju, ali saglasnost između eksperimentalnih rezultata i teorije je još daleko od zadovoljavajućeg nivoa. Posebno u oblasti nuklearnih procesa sa malom verovatnocom su eksperimentalni podaci nepotpuni i nepouzdani. Za detekciju malo verovatnih procesa i za testiranje teorije na ovim procesima su neophodni sve osetljiviji merni instrumenti.

Spektrometrija sa jednim detektorom daje informaciju o energiji i intenzitetu zračenja iz izvora, ali ne može da odredi da li registrovani kvanti potiču iz raspada jednog jezgra tj. daje samo indirektnе informacije o semama raspada. Direktne informacije o načinima raspada jezgra i o odnosima grananja između razlicitih načina deekscitacije daje samo koincidentna spektroskopija kod koje se sa dva ili više detektora prati sukcesivna emisija kvanata iz jezgra. Koincidentnom tehnikom se mogu dobiti i podaci o periodu poluraspada pobudenih nuklearnih stanja, a preko ugaone zavisnosti koincidentnih dogadaja i o spinovima stanja i multipolnosti zračenja. Osim ovih primena kod kojih se direktno mere parametri nuklearne strukture, koincidentna tehnika je nezamenjiva kada se istražuje mali broj nuklearnih dogadaja, od interesa, u prisustvu velikog broja dogadaja koji stvaraju fon u detektorima.

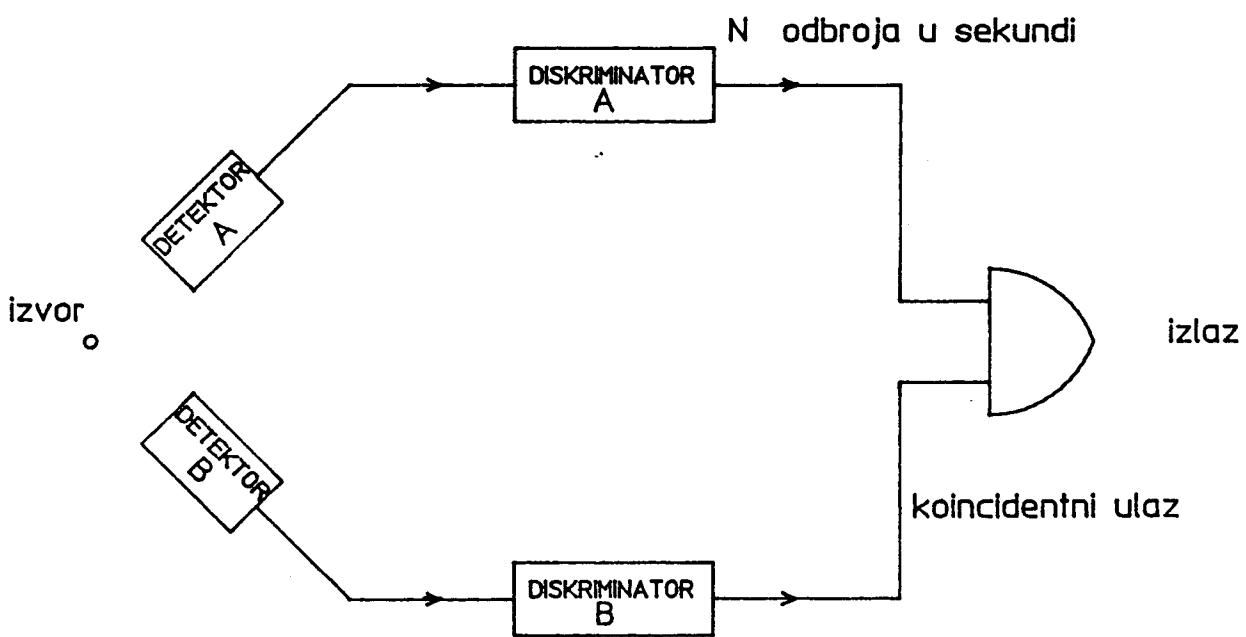
Osnovni zadatak ovog rada je istraživanje koincidentnih karakteristika mernog sistema koji se sastoji od visokorezolucionog Ge spektrometra smestenog unutar NaJ(Tl) scintilacionog detektoru velike zapremine. U osnovi NaJ(Tl) detektor je projektovan kao aktivna zastita od fona Ge detektora u jednodetektorskoj spektroskopiji, te je bilo od interesa da se ispitaju mogućnosti ovog sistema u koincidentnim merenjima.



1.0 KOINCIDENTNA SPEKTROSKOPIJA

1.1 Osnovni pojmovi

Koincidentni dogadaji se mogu registrovati sistemom od najmanje dva detektora povezana sa koincidentnim kolom (slika 1.). Koincidentno kolo koje je u vezi sa detektorima prima samo one signale na koje oba detektora reaguju unutar određenog vremenskog intervala. Signali iz pozadine ili neželjeni fenomeni, koji su nasumično raspoređeni u vremenu, neće ispuniti postavljene uslove koincidenca i uklanjaju se.



slika 1.

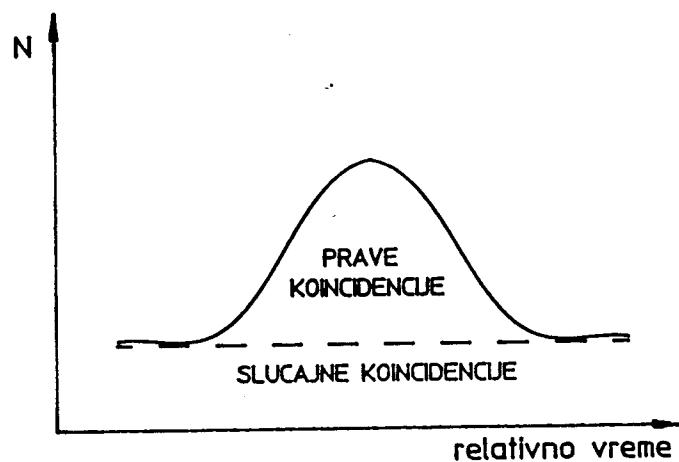
Koincidentni dogadaji su oni dogadaji koji se desavaju istovremeno tj. unutar vremena razlaganja koincidentnog kruga. Moramo razlikovati prave koincidencije od slučajnih koincidencija.

Prave koincidencije su najčešće posledice sledećih nuklearnih dogadaja:

- foton i čestice emitovane u istom radioaktivnom raspodu
- produkti iste nuklearne reakcije
- γ -kvanti proizvedeni anihilacijom pozitrona

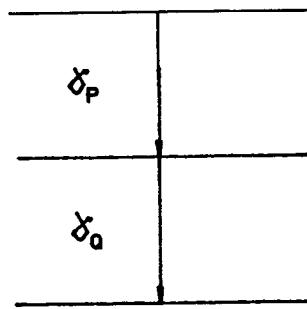
Slučajne koincidencije potiču od istovremenog raspada dva jezgra ili ako u trenutku raspada jezgra do detektoru stigne i foton iz kosmičkog zračenja ili okoline.

Pri merenjima koincidentni ulaz će propustiti i određeni broj slučajnih koincidencija. Na slici 2. je prikazan ukupan broj koincidentnih dogadaja koji je jednak zbiru pravih i slučajnih koincidencija.



slika 2.

Analizirace se slučaj kaskadne emisije dva γ -kvanta (slika 3.). Ako detektor P registruje samo gama kvante γ_p absolutnog intenziteta p_p sa efikasnošću ϵ_p ,



slika 3.

a detektor Q samo gama kvante γ_q absolutnog intenziteta p_q sa efikasnoscu ϵ_q broj dogadaja u detektorima ce za vreme T biti:

$$N_p = \epsilon_p A T p_p ; \quad N_q = \epsilon_q A T p_q \quad (1.1)$$

gde je A aktivnost izvora.

Kada se svaki koincidentni par dogadaja zabelezi, broj pravih koincidencija je:

$$N_{pq} = \epsilon_p \epsilon_q A T p_p p_q \quad (1.2)$$

Broj slucajnih koincidencija definisemo kao:

$$N_s = 2\tau A^2 \epsilon_p \epsilon_q T p_p p_q \quad (1.3)$$

gde je 2τ - vreme rezolucije koincidentnog sistema

Ukupan broj izmerenih koincidentnih dogadaja je znači zbir pravih i slucajnih koincidencija:

$$N_u = N_s + N_{pq} \quad (1.4)$$

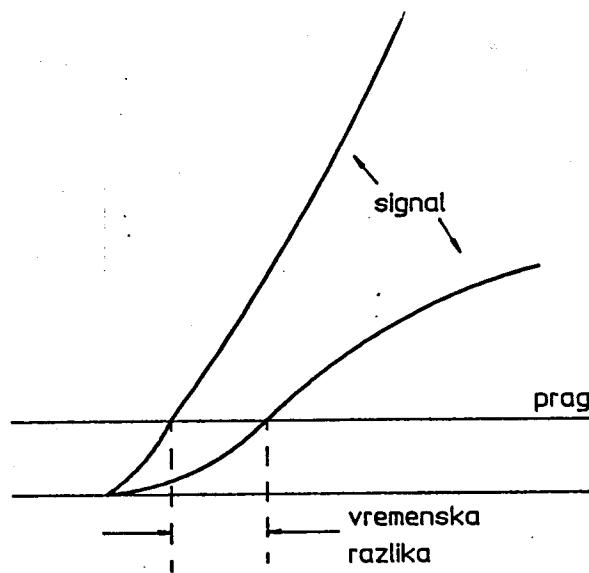
1.2 Koincidentna elektronika

Naponski impuls iz detektora, odnosno iz predpojačavača, sadrži u sebi informaciju kako o energiji tako i o trenutku registracije upadnog kvanta. Visina ovog analognog signala je proporcionalna energiji detektovanog kvanta, a vreme pojave signala zavisi od trenutka detekcije. Da bi se vremenska informacija mogla korelirati sa vremenskom informacijom iz drugog (ili ostalih) detektora neophodno je da se vreme pojave signala transformise u logican signal koji će biti koreliran sa trenutkom detekcije. Deo koincidentnog kola u kojem se stvaraju ovi logicki signali naziva se brzi diskriminator. Da bi se vreme interakcije sto tačnije definisalo koriste se razliciti metodi za definisanje vremena pristizanja analognog signala na ulaz diskriminatora. Koincidentna kola, najčešće sadrže sledeće osnovne elemente, odnosno komponente.

a) Brzi diskriminator sa okidanjem na vodecu ivicu

LEADING EDGE DISCRIMINATOR (L.E.D.)

Kod diskriminatora ovog tipa se izlazno kolo okida što ranije, odmah nakon pristizanja analognog impulsa. To znači da se prag diskriminacije postavlja neposredno iznad sume i izlazni signal se stvara u trenutku kada vodeća ivica analognog signala pređe ovaj nivo. Obzirom da vodeće ivice analognih signala razlicitih visina dostizu ovaj nivo u razlicitim vremenskim intervalima (slika 4.) vreme nastanka izlaznog signala će zavisiti od visine ulaznog signala.

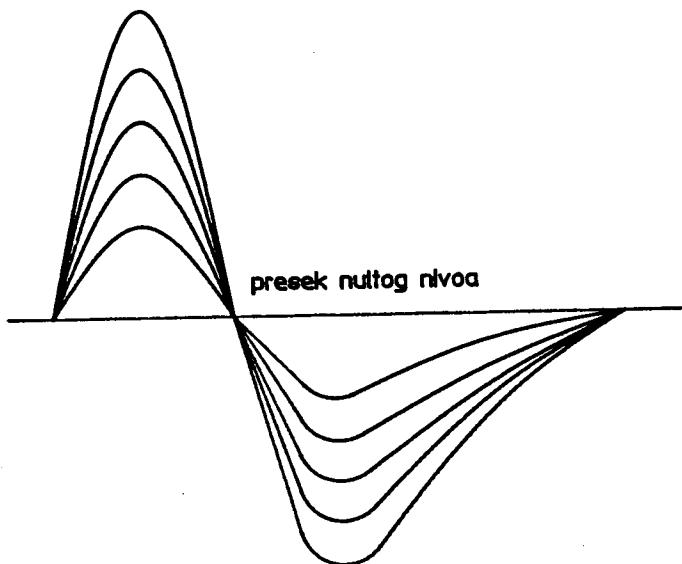


slika 4.

Ovo vremensko "setanje" izlaznog signala znatno ogranicava mogucnost primene ove tehnike dobijanja vremenske informacije u slucajevima kada na ulazu postoji signali bitno razlicitih visina, znaci ovaj tip diskriminatora je pogodan za rad samo kada se u detektoru stvaraju impulsi sличne amplitude.

b) Brzi diskriminator sa okidanjem na presek nultog nivoa
CROSS - OVER DISCRIMINATOR (C.O.D.)

Kada se u detektorima stvaraju impulsi bitno razlicitih visina vremensko "setanje" izlaznih signala se moze smanjiti tehnikom okidanja na presek nultog nivoa. Ova tehnika koristi cinjenicu da dvostruko diferencirani analogni impulsi konstantnog oblika presecaju osnovni nivo u odredenom vremenu posle nastanka signala nezavisno od njihove amplitude (slika 5.). Ova nezavisnost bi mogla poslužiti za siroku primenu ovog metoda.



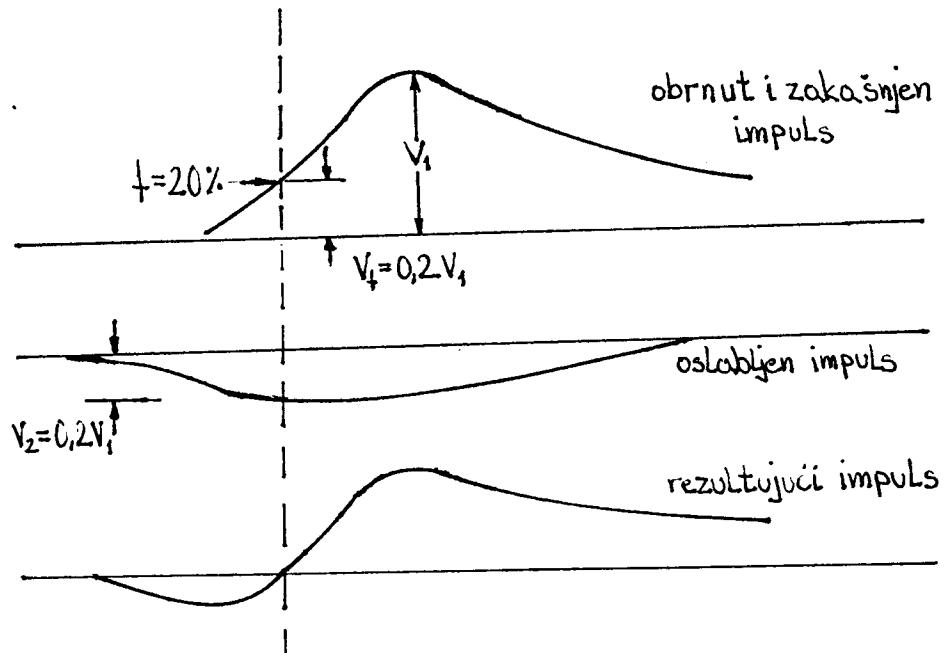
slika 5.

Medutim, tačka preseka nultog nivoa zavisi od tačnosti merenja vremena koje je neophodno da se sakupi 50% ukupnog nanelektrisanja oslobođenog u detektoru. To znači da statističke varijacije u vremenu porasta impulsa unoše mnogo više vremenskog "setanja" kod ove tehnike, nego kod tehnike okidanja na vodeću ivicu gde se samo 5-10% visine analognog signala mogu koristiti za definisanje referentnog vremena. Znači i ova tehnika pokazuje znatno vremensko "setanje", ali za sirok opseg ulaznih amplituda daje bolje rezultate od tehnike okidanja na vodeću ivicu.

c) Brzi diskriminator sa okidanjem na konstantnom delu visine impulsa

CONSTANT FRACTION DISCRIMINATOR (C.F.D.)

Ovaj metod u sebi obuhvata sve najbolje osobine prethodna dva metoda. Signal koji koristi je suma dva impulsa dobijena od impulsa detektora.



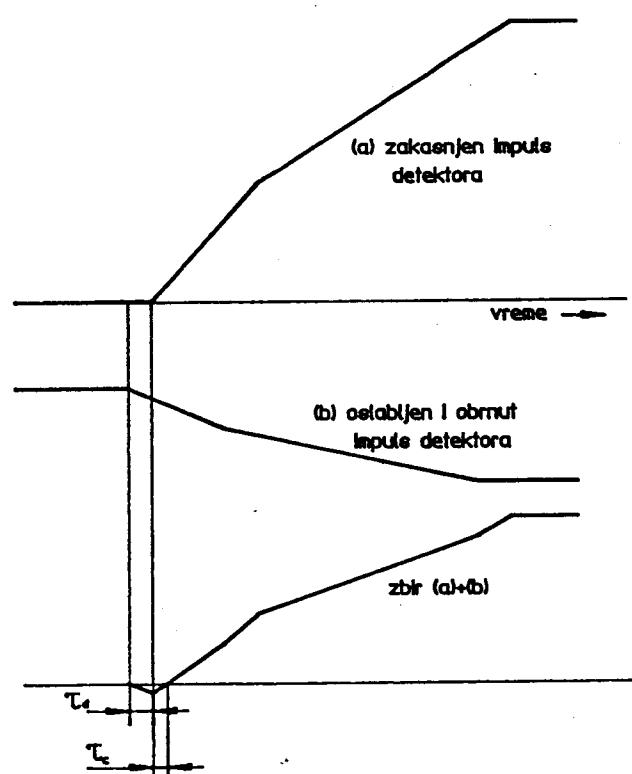
slika 6.

Jedan signal je nezakašnjen i oslabljen do onog dela visine impulsa na kome treba da se vrši okidanje, a drugi je zakašnjen impuls detektora obrnutog polariteta (slika 6.). Okidno kolo okida na tački nultog nivoa, koja se podudara sa trenutkom stizanja istog dela nanelektrisanja bez obzira na amplitudu impulsa. Ovaj metod da je nisko vremensko "setanje".

d) Brzi diskriminator koji kompenzuje amplitudu i vreme uspona impulsa

AMPLITUDE AND RISE TIME COMPENSATED DISCRIMINATOR (A.R.C.)

Jedna od varijanti tehnika okidanja na konstantnom delu visine impulsa je diskriminator koji ispravlja razlike u merenju vremena prouzrokovane različitim amplitudama impulsa detektora i varijacija u vremenu uspona impulsa (slika 7.).



slika 7.

Metod se sastoji u tome da se jedan signal zakasni za vreme τ_d i sabere sa oslabljenim nezakasnjениm signalom, obrnutog polariteta. Na izlazu dobijamo logički impuls u momentu kad rezultujući signal ima vrednost nula.

Odabiranjem malog vremena kašnjenja τ_d omogucujemo da vremenski interval τ_c bude sto kraci. Nulti presek ne zavisi, ni od amplitute ulaznog impulsa ni od strmine uzlazne ivice.

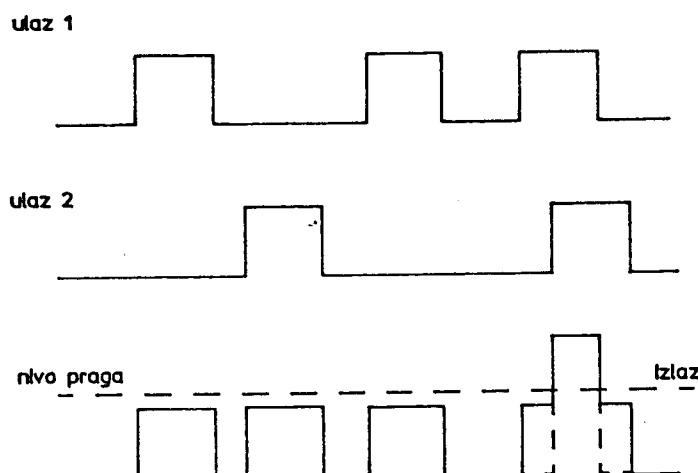
e) Jednokanalni analizator sa vremenskom informacijom TIMING TSCA

Relativno slabo definisana vremenska informacija se može dobiti i iz određenih tipova jednokanalnih analizatora. U ovim uređajima se izlazni logički signal stvara kada se amplituda ulaznog signala nalazi između donjeg i gornjeg praga diskriminacije. Vreme nastanka ovog signala se može definisati tehnikama okidanja na vodeću

ivici ili okidanja na presek nultog nivoa. Obzirom da ovakav izlazni signal u sebi sadrži informaciju i o energiji i o vremenu detekcije kvanata, ovaj uredaj je nezamenljiv deo sporih koincidentnih kola.

f). Koincidentni uredaj

Koincidentno kolo stvara jedan izlazni impuls kada primi ulazne impuse od oba diskriminatora unutar zadatog vremena razlaganja τ . Princip rada koincidentnog kola preklapajućeg tipa dat je na slici 8.



slika 8.

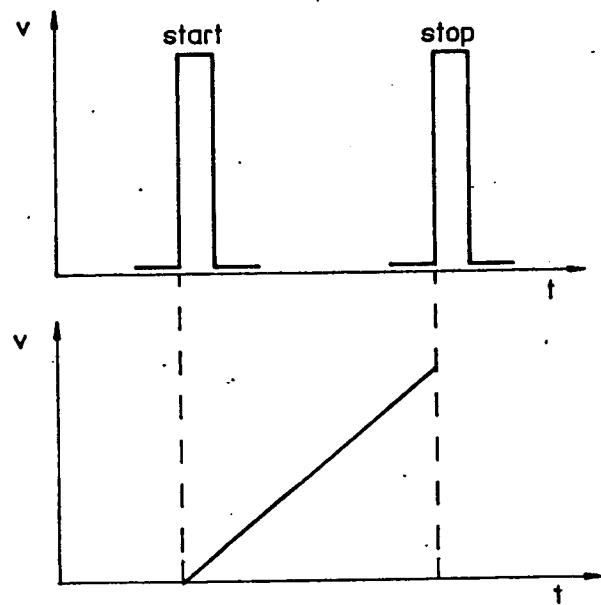
Impuls iz dva diskriminatora dovodimo na ulaz koincidentnog kola i sabiramo. Ako su impusi istovremeni tada će se oni preklopići, a rezultujući impuls će prevazići prag okidnog kola koje tada isporučuje jedan izlazni impuls. Vreme razlaganja koidentnog kruga ne može biti manje od sirine ulaznih impulsa.

g) Pretvarač vremena u amplitudu TIME TO AMPLITUDE CONVERTOR (T.A.C.)

Ovaj uredaj ima dva ulaza na kojima prima logičke signale iz diskriminatora koji se konvencionalno nazivaju start, odnosno stop. Vremensku razliku između start i stop signala T.A.C. pretvaraju vi-

sinu izlaznog analognog signala. U stvari, T.A.C. stvara spektar impulsa čija je visina uvek povezana sa vremenskom razlikom između start i stop signala.

Princip rada ovog uređaja se može prikazati na sledeći način; Start impuls pokreće akumulaciju nanelektrisanja na kondenzatoru tako da se napon na oblogama linearno povećava u funkciji od vremena (slika 9.).

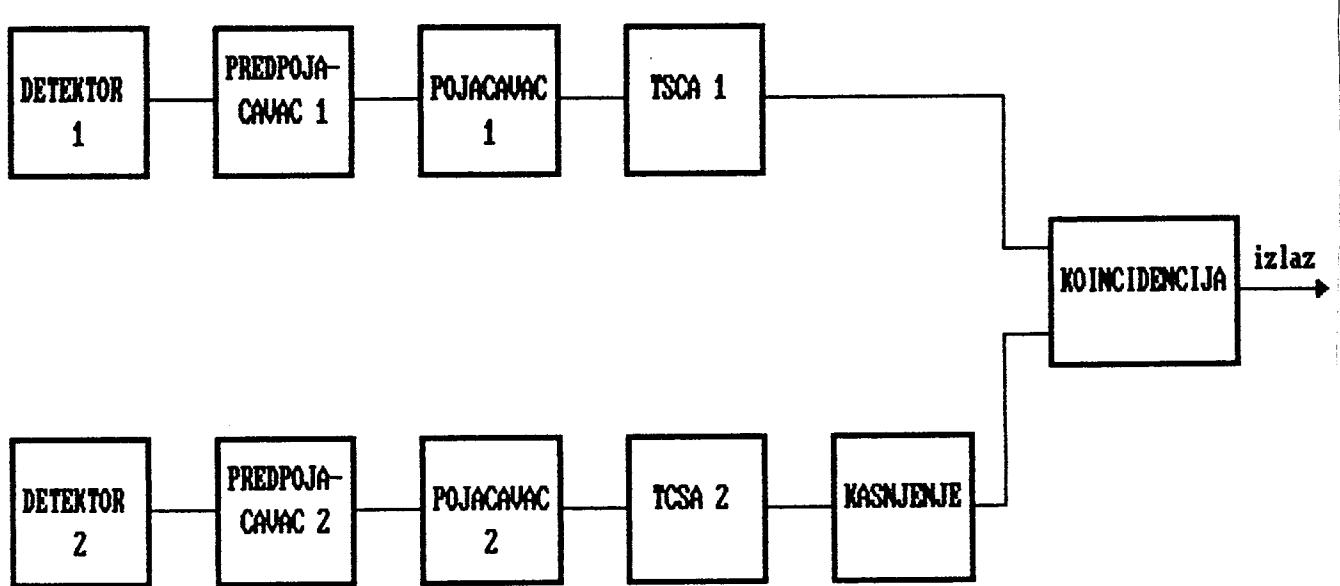


slika 9.

Stop signal prekida dalje akumuliranje nanelektrisanja, a na izlazu TAC-a se generise analogni signal čija je visina proporcionalna generisanim naponu.

h) Koincidentna kola

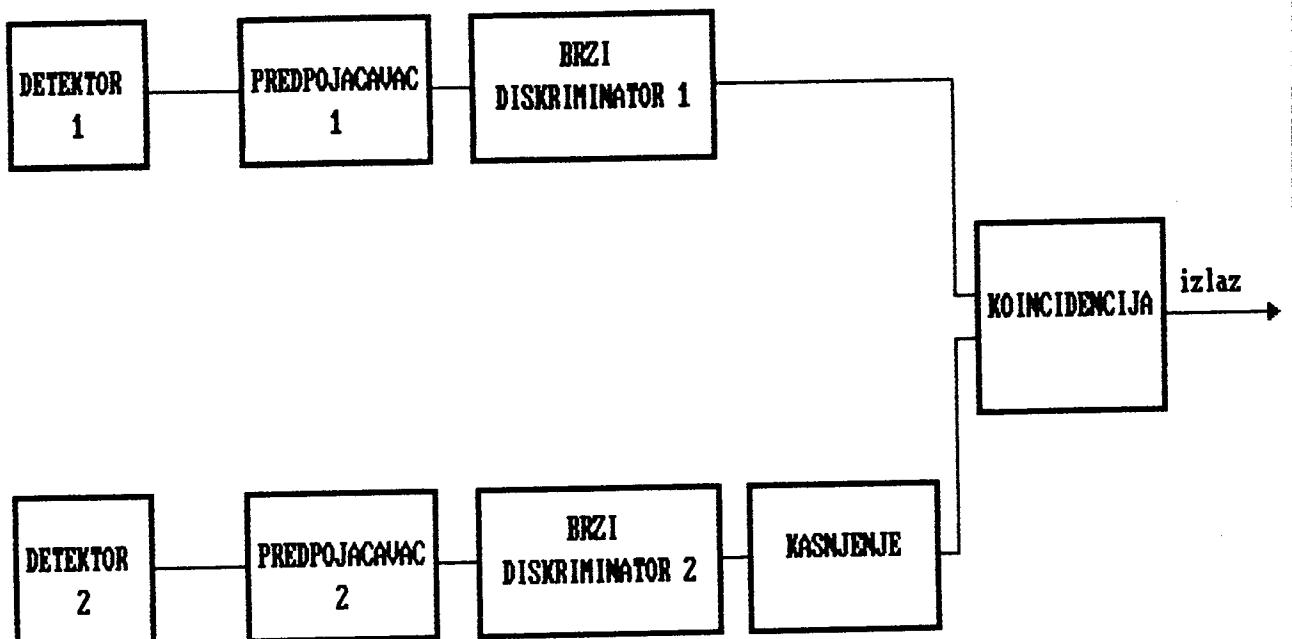
Kod koincidentnih merenja potrebno je znati energiju γ -kvantata između kojih se desio koincidentni dogadjaj i vremensku razliku između trenutaka njihove detekcije. Obe ove informacije se ne mogu dobiti iz jednog prostog koincidentnog kola. Naime, koincidentno kolo koje daje informaciju o energiji kvanata (slika 10.)



slika 10.

u sebi mora da sadrži glavne pojčavače i spore diskriminatore (TSCA), te je u njima relativno vreme detekcije kvanata jako loše definisano. Ovakva koincidentna kola, po pravilu imaju velika vremena razlaganja (τ reda veličine ms) i zbog toga se nazivaju sporim koncentnim kolima.

Za razliku od ovih kola brza koincidentna kola (slika 11.)

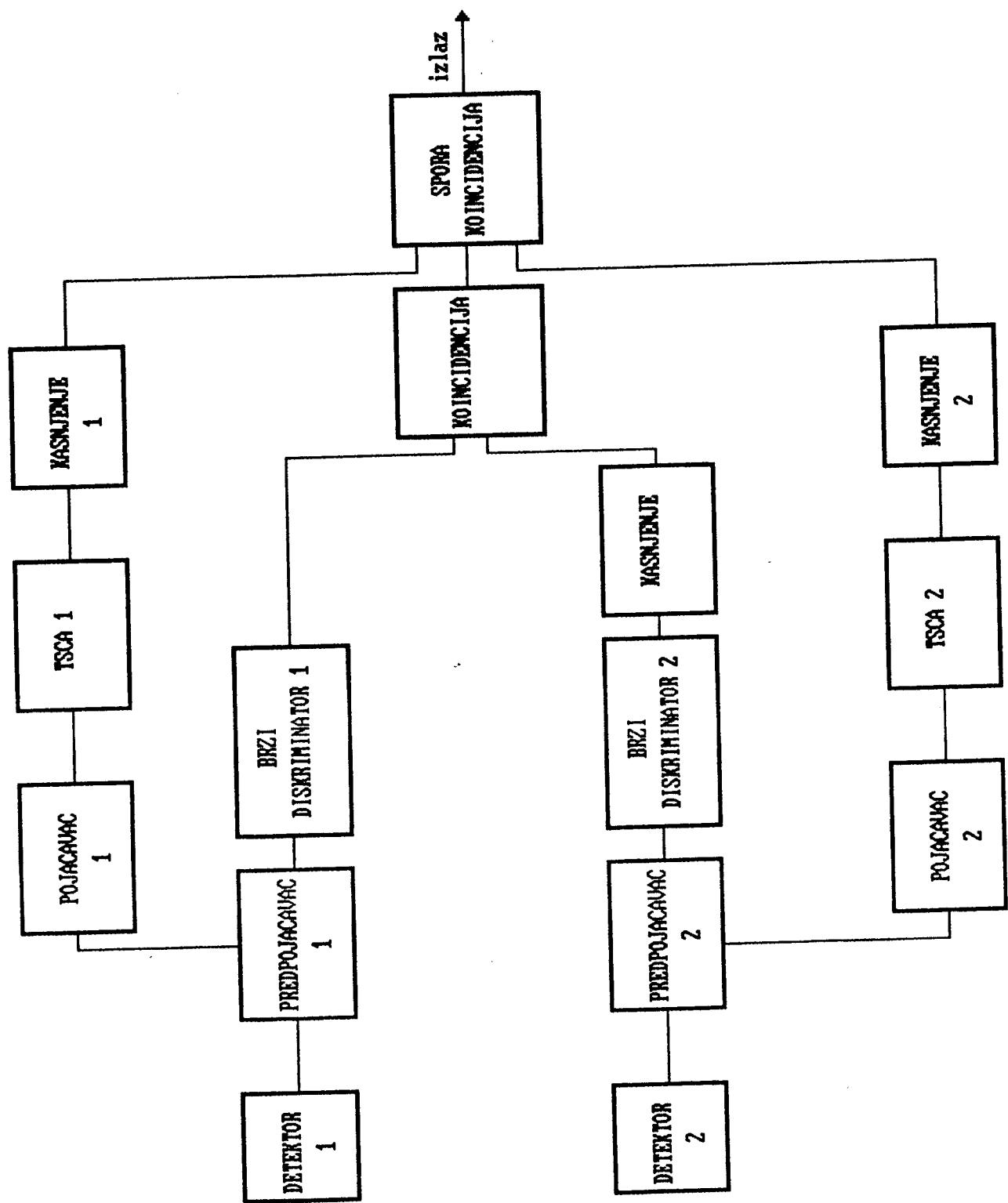


slika 11.

vremensku informaciju stvaraju pomocu brzih diskriminatora, tako da je u njima relativno vreme detekcije kvanata dobro definisano. U zavisnosti od vrsta detektora vreme razlaganja brzih koincidentnih kola može da se kreće u ps ili ns oblasti. Naravno izlaz iz brzog koincidentnog kola ne sadrži u sebi informaciju o energiji koincidentnih kvanata.

Kompletna informacija o koincidentnim dogadajima se po pravilu dobija pomocu brzo-sporih koincidentnih kola (slika 12.)

Navedena sema brzo-sporog koincidentnog kola predstavlja jednu od brojnih mogućnosti realizacije elektronskog kola koje daje preciznu informaciju, kako o energiji registrovanih kvanata tako i o relativnom vremenu njihove detekcije. U navedenom primeru brzo-sporog koincidentnog kola energija γ -kvanata je odredena pomocu "prozora" jednokanalnih analizatora, a vreme razlaganja celog kola određeno je vremenom razlaganja brzog koincidentnog kruga.



slika 12

1.3 Koincidentna istraživanja Šema raspada

Jedino se koincidentnim merenjima može direktno eksperimentalno utvrditi suksesija emisije kvanata ili prilikom radioaktivnog raspada. Šeme raspada pojedinih radionuklida se mogu smatrati definitivno potvrđenim samo na osnovu koincidentnih merenja. Osim ove izuzetno važne oblasti primene koincidentna tehnika je takođe bitna kod merenja intenziteta veoma slabih γ prelaza, odnosno kod merenja vrlo niskih nivoa radioaktivnosti. Naime, za jezgra koja se raspadaju kaskadom γ zračenja registracijom samo koincidentnih dogadaja između članova kaskade mogu se eliminisati uticaji drugih prelaza u jezgru, odnosno uticaj zračenja iz okoline. Bez obzira koliko su intenzivni nekoincidentni γ prelazi ili zračenje iz okoline njihov uticaj na broj koincidentnih dogadaja je obično zanemarljiv.

Prag koincidente detekcije za radionuklide koji se raspadaju kaskadom γ zračenja može se izračunati na sledeći nacin. Predpostavimo da se gama kvant γ_a sa efikasnoscu ϵ_a registruje samo u Ge detektoru, a gama kvant γ_N se registruje samo u NaJ detektoru sa efikasnoscu ϵ_N . Tada je broj pravih w_T i slučajnih koincidencija w_C zadat formulama:

$$w_T = \epsilon_a p_a \epsilon_N p_N A_0 t = EA_0 t \quad (1.5)$$

$$w_C = 2\tau(EA_0^2 + \beta_1 \beta_2) t \quad (1.6)$$

gde su :

p_a, p_N - kvantni prinosi kvanata γ_a i γ_N

A_0 - aktivnost izvora

τ - vreme razlaganja koincidentnog kruga

t - vreme merenja

β_1, β_2 - površine kontinuma ispod foto vrha

EA_0^2 - potice od slučajnih koincidencija između foto vrhova

$\beta_1 \beta_2$ - potice od slučajnih koincidencija zbog kontinuma ispod foto vrhova



Ukupan broj koincidencija je jednak zbiru

$$w_R = w_T + w_C \quad \rightarrow \quad w_T = w_R - w_C \quad (1.7)$$

a zbog toga je greska za w_T

$$\Delta w_T = \sqrt{(\Delta w_R)^2 + (\Delta w_C)^2} = \sqrt{w_R + w_C} = \sqrt{w_T + w_C + w_C} = \sqrt{w_T + 2w_C}$$

Možemo smatrati da je broj registrovanih koincidencija statistički značajan, ako je ispunjen uslov $\frac{\Delta w_T}{w_T} \leq \frac{1}{3}$ i iz tog uslova odrediti prag detekcije.

$$\frac{\Delta w_T}{w_T} = \frac{\sqrt{E A_o t + 4\tau(E A_o^2 + \beta_1 \beta_2) t}}{E A_o t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{E A_o t + 4\tau(E A_o^2 + \beta_1 \beta_2) t}{(E A_o t)^2} = \frac{1}{9}$$

$$9E A_o t + 36\tau E A_o^2 t + 36\tau \beta_1 \beta_2 t = (E A_o t)^2$$

$$(E t)^2 - 36\tau t E A_o^2 - 9E t A_o - 36\tau \beta_1 \beta_2 t = 0$$

$$A_o^2 + \frac{9E t}{36\tau t E - E^2 t^2} A_o + \frac{36\tau \beta_1 \beta_2 t}{36\tau t E - E^2 t^2} = 0$$

$$A_o^2 + \frac{9}{36\tau - E t} A_o + \frac{36\tau \beta_1 \beta_2}{E(36\tau - E t)} = 0$$

Resavanjem kvadratne jednačine dobija se

$$A_{o(1,2)} = -\frac{9}{2(36\tau - E t)} \pm \sqrt{\left(\frac{9}{2(36\tau - E t)}\right)^2 - \frac{4 \cdot 36\tau \beta_1 \beta_2}{2^2 E (36\tau - E t)}}$$

nakon sredivanja

$$A_{0(1,2)} = \frac{4.5}{(E t - 36\tau)} \pm \frac{4.5}{(E t - 36\tau)} \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 36\tau \beta_1 \beta_2 (E t - 36\tau)}{81 E}}$$

Za jedno resenje jednačina nema fizickog smisla, te se konačno dobija

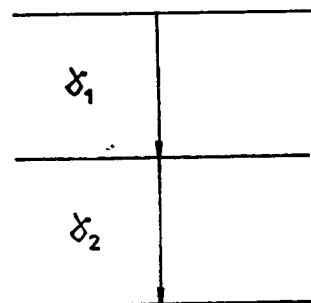
$$A_m^c = \frac{4.5}{(E t - 36\tau)} \left[1 + \sqrt{1 + 1.78 \frac{\tau \beta_g \beta_N (E t - 36\tau)}{E}} \right] \quad (1.8)$$

Vidi se da prag detekcije zavisi od efikasnosti detektora, kvantnih prinosa, vremena merenja i povrsina kontinuma ispod foto vrhova.

1.4 Angularne korelacije

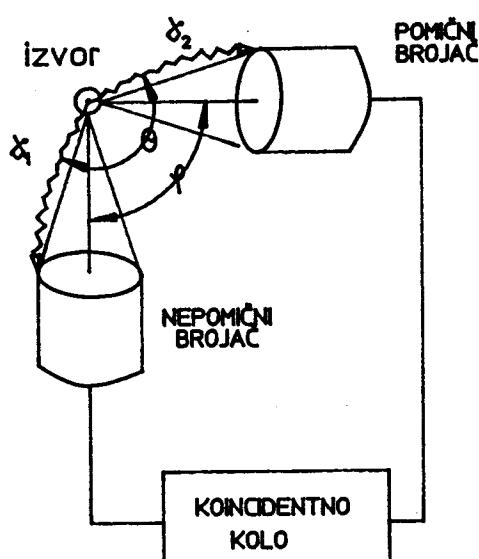
Verovatnoca emisije jedne cestice ili kvanta iz radioaktivnog jezgra zavisi od ugla izmedu ose nuklearnog spina i pravca emisije. Pod normalnim okolnostima, ukupna radijacija iz radioaktivnog uzorka je izotropna, jer su jezgra nasumično orijentisana u prostoru. Anizotropna radijacija može se desiti samo kod grupe jezgara koja nisu nasumično orijentisana.

Jedna od metoda dobijanja takve grupe jezgara sastoji se u izboru samo onih jezgara čiji se spinovi nalaze u željenom pravcu. Ovaj slučaj se može realizovati ukoliko se jezgra raspadaju putem sukcesivne emisije dve radijacije R_1 R_2 (slika 13).



Slika 13.

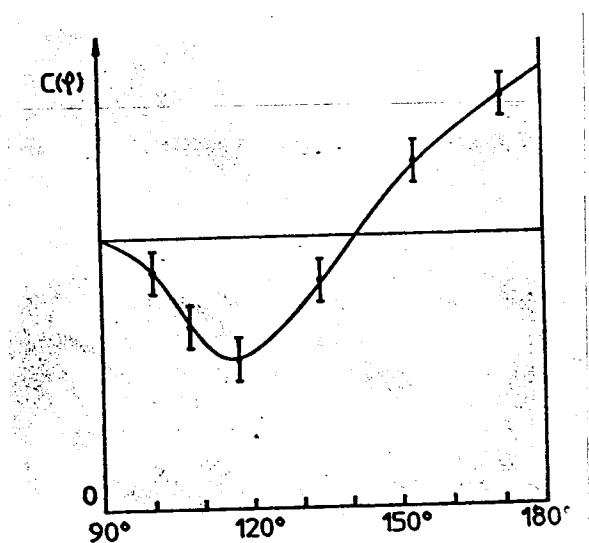
Posmatranje radijacije R_1 u utvrđenom pravcu k_1 vrši izbor grupe jezgara koja ima neizotropnu distribuciju orijentacije spinova. Radijacija R_2 koja sledi iza toga pokazuje definitivnu korelaciju s obzirom na k_1 . Navedeni metod naziva se angularna korelacija. On obuhvata direkcijsku korelaciju i polarizacionu korelaciju. Kod direkcijske korelacije posmatraju se samo pravci dve radijacije, dok kod polarizacione korelacije odreduje se linearne ili cirkularne polarizacije jedne ili obe radijacije. Aparatura je prikazana na slici 14.



slika 14.

Kod angularne korelacije jezgro emituje u kratkim razmacima dva γ -zraka, γ_1 i γ_2 . Trazi se relativna verovatnoca $W(\Theta)d\Omega$ da je γ_2 emitovano u prostornom uglu $d\Omega$ pod uglom Θ u odnosu na k_1 (pravac prostiranja prvog kvanta u kaskadi).

Teoretska vrednost za koreACIONU funkciju $W(\Theta)$ za γ -zrake zavisи od spinova i parnosti nuklearnih stanja i multipolnosti zračenja. Eksperimentalno se beleži broj koincidencija između γ_1 i γ_2 kao funkcija ugla φ (ugao između osa dva brojaca), $C(\varphi)$. $C(\varphi)$ predstavlja srednju vrednost prave korelacije $W(\Theta)$ nad uglovima Θ raspoređenim oko φ (slika 15).



slika 15.

Zbog toga moramo izvršiti korekciju $C(\phi)$ na konačno ugaono razlaganje detektora da bi se dobilo $W_{exp}(\theta)$. Poredenjem $W_{exp}(\theta)$ sa teorijskom vrednosti konačno dobijamo informaciju o svojstvima nuklearnih nivoa i radijacijama.

1.5 Merenje perioda poluraspada pobudenih stanja

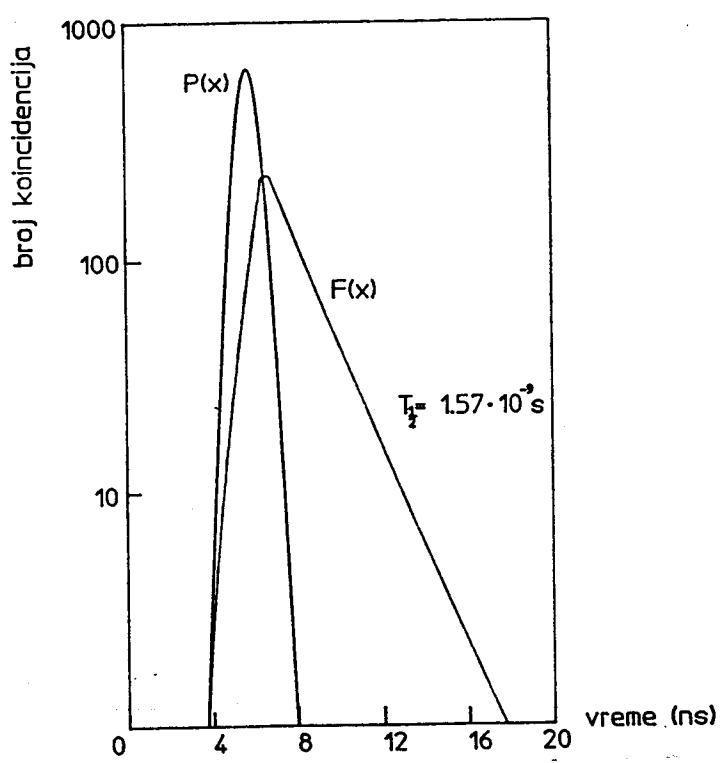
Vremenski spektar koincidentnih dogadaja ima simetrican maksimum (koji odgovara pravim koincidentijama) u slučaju kada je period poluraspada intermedijalnog nuklearnog stanja τ_i znatno manji od vremena razlaganja koincidentnog kruga τ . U slučajevima kada je τ_i istog reda veličine kao τ raspod intermedijalnog stanja uzrokovace asimetričnost vremenske krive.

Broj koincidentija između dva kvanta od kojih jedan puni nivo sa periodom poluraspada τ_i , a drugi se emituje sa tog nivoa menja se po zakonu:

$$w(t) = w(0) e^{-\frac{t}{\tau} \ln 2}$$

gde je $w(0)$ broj koincidentija na maksimumu koincidentne krive.

Ukoliko je $\tau_i > \tau$ raspod intermedijalnog nivoa se jasno manifestuje u eksponencijalnom "repu" vremenske krive (slika 16.).



slika 16.

Na slici 16. $P(x)$ predstavlja vremensku krivu za "trenutne" koincidencije (merene na kaskadi za koje je $\tau_i \ll \tau$). Širina ove krive na poluvisini određuje vreme razlaganja brzog koincidentnog kruga. Kriva $F(x)$ predstavlja raspad pobudenog stanja Yb^{170} sa energijom od 84 keV-a. Analizom eksponencijalnog "repa" krive $F(x)$ direktno je određen period poluraspada ovog nivoa $\tau = 1,57 \cdot 10^{-9}$ s.

1.6 Apsolutno merenje aktivnosti

Merenje aktivnosti radioaktivnih izvora se relativno jednostavno može izvršiti komparativnom metodom kod koje se aktivnost nepoznatog izvora direktno uporeduje sa aktivnošću referentnog (standardnog) izvora. U slučaju gama spektrometrijskog merenja aktivnosti je moguce odrediti krivu efikasnosti detektora na osnovu niza referentnih izvora, a na osnovu te krive se može meriti aktivnost bilo kog nepoznatog izvora, (naravno kalibracioni izvori i izvor nepoznate aktivnosti moraju imati isti oblik i moraju se meriti pod istim geometrijskim uslovima). Kod ovakvih merenja se aktivnost izvora računa iz formule:

$$A = \frac{N_R(E)}{\epsilon(E) p_\gamma(E)} \quad (1.9)$$

gde je $N_R(E)$ broj registrovanih kvanata energije E u jedinici vremena, $p_\gamma(E)$ je broj emitovanih kvanata energije E po raspodu, a $\epsilon(E)$ je efikasnost detekcije odredena pomocu referentnih izvora.

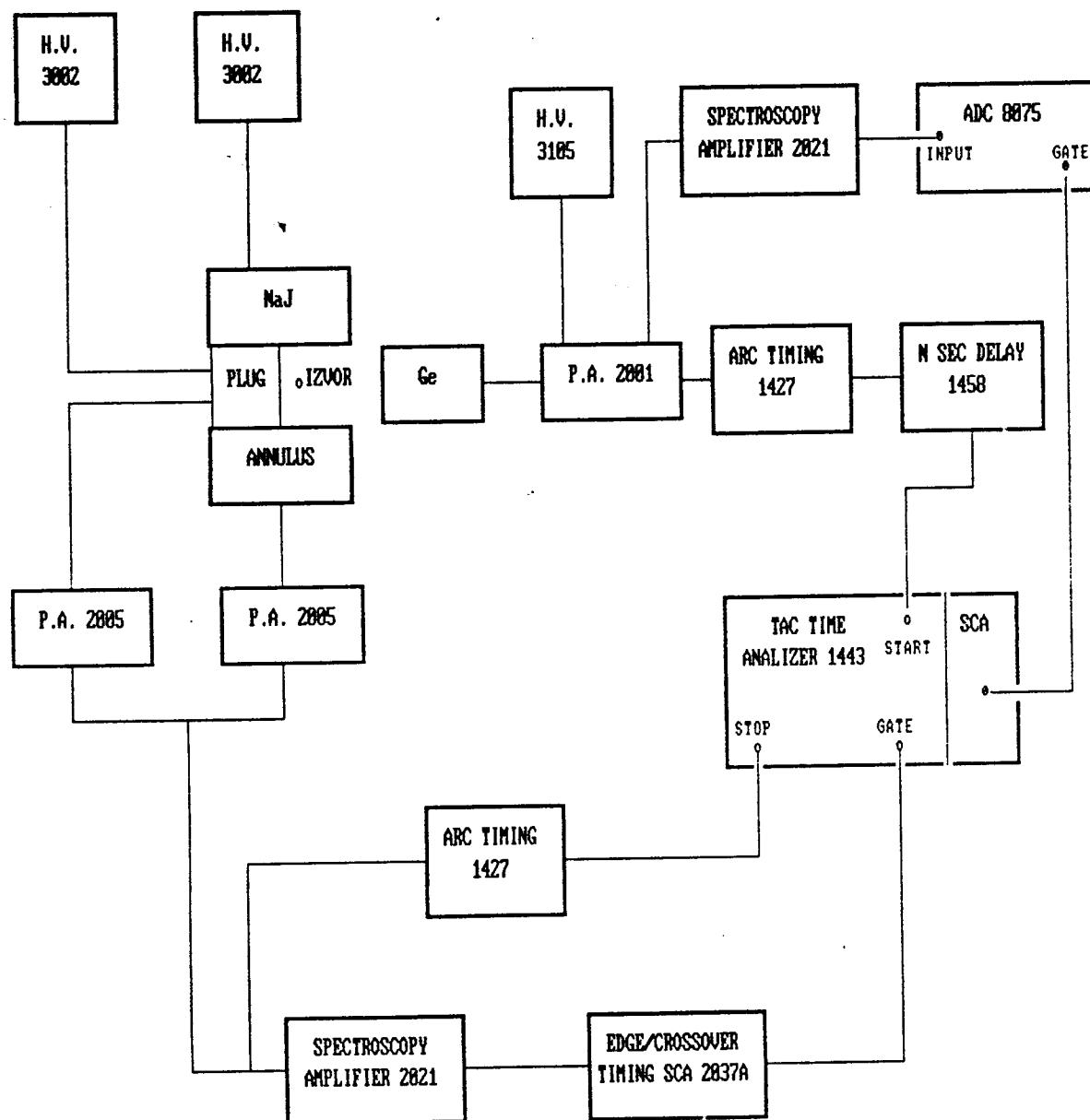
Znaci, tačnost merenja nepoznate aktivnosti bitno zavisi od tačnosti određivanja efikasnosti detekcije, odnosno od tačnosti aktivnosti referentnog izvora. Ovaj nedostatak relativnih merenja se može izbeci ili koriscenjem detektora čija se efikasnost može pouzdano izračunati ili pak koriscenjem takvih mernih tehniku kod kojih se aktivnost može odrediti i bez poznavanja efikasnosti detekcije. Kod izvora koji emituju kaskadno γ -zračenje apsolutno merenje aktivnosti se može izvršiti tehnikom γ - γ koincidencija. Ako detektor P sa efikasnošću ϵ_p registruje samo prvo zračenje u kaskadi, a detektor Q sa efikasnošću ϵ_q samo drugo zračenje u kaskadi, tada se koriscenjem formula (11 i 12 na stranici 4.) za aktivnost izvora dobija izraz

$$A = \frac{N_p N_q}{N_{pq} t} \quad (1.10)$$

u kojem ne figurise efikasnost detektora. Naravno ova formula je egzaktna samo u slučaju kada je broj slučajnih koincidencija u eksperimentu zanemarljiv i kada je koincidentna efikasnost sistema 100% .

2.0 MERNA TEHNIKA

Koncidentno kolo je sastavljeno od sistema detektora NaJ, Ge detektora i mjerne tehnike (slika 17.)



slika 17.

U merenjima je koriscen NaJ detektor u obliku jame dimenzije 9" x 9".

Detektor oblika jame je izgraden od dva scintilaciona detektora, tzv. omotača (sa 6 fotomultiplikatora) i čepa (sa 1 fotomultiplikatorom) koji su podešeni tako da rade kao jedan detektor. Signali sa 6 fotomultiplikatora su povezani i daju jedan izlazni signal. Da bi smo postigli dobru rezoluciju signali iz fotomultiplikatora treba da imaju istu visinu. Zbog toga se na njih dovodi visok napon, pri čemu su oni paralelno vezani, tako da na svakom imamo isti napon. Istu visinu izlaznog signala podešavamo menjanjem pojačanja fotomultiplikatora. Nakon što se podeše visine signala iz fotomultiplikatora treba uskladiti da čep i omotač funkcionišu kao jedan detektor. Ovo uskladivanje je izvršeno promenom visokog napona.

Kolo je sastavljeno iz brze i spore grane. Brza grana omogućava registrovanje koincidencija svih signala iz NaJ i Ge detektora, bez obzira na energiju. Spora grana daje energetsku informaciju o signalima.

Iz NaJ detektora dobija se signal sa velikom impedancijom. Sistemom predpojačavaca transformise se impedanca. Signal se grana i jedan deo prolazi kroz pojačavač, a drugi kroz brzi diskriminator. Signal iz brzog diskriminatora se vodi na ulaz TAC-a. Pomoću pojačavaca linearno se pojačava i uobičjava signal radi lakse analize. Jednokanalnim analizatorom bira se odgovarajuća energija kojom zelimo da ispitamo koincidenciju.

Signal iz Ge detektora koji prolazi brzom granom (predpojačavač i brzi diskriminator) ulazi u TAC. U TAC-u dobijamo koincidentije između svih signala iz Ge detektora i svih signala iz NaJ detektora. Vrata TAC-a rade u koincidentnom režimu. Vrata se otvaraju signalom iz jednokanalnog analizatora u sporom delu kola NaJ. Kroz otvorena vrata će proći samo oni koincidentni dogadaji koji odgovaraju izabranoj energiji u NaJ. TAC u izlaznom delu sadrži jednokanalni analizator. Pomoću prozora ovog analizatora biramo prave ili slučajne koincidentne dogadaje (po pravilu se ovaj prozor postavlja oko maksimuma vremenske krive kada se iz jednokanalnog analizatora dobijaju signali koji odgovaraju pravim i slučajnim koincidentijama).

Analogni signal iz Ge se preko predpojačavaca i pojačavača vo-

di u ulaz analognog digitalnog konvertora, dok se vrata konvertora u koincidentnom rezimu otvaraju sa logickim signalima iz jednokanalnog analizatora TAC-a. U ovakvoj vezi visekanalni analizator registruje γ -kvante detektovane u Ge koji su koincidentni sa izabranom linijom u NaJ. U ovako registrovanom Ge spektru se mogu pojaviti i druge linije zbog slučajnih koincidentija.

Kod kalibracionih merenja su elektronske komponente podešene na sledeći način:

-izvori visokog napona

H. V. 3002 - na PLUG-u 1050 V

H. V. 3002 - na ANUULUS-u 856 V

H. V. 3105 - na Ge 4000 V

- SPECTROSCOPY AMPLIFIER 1413 - pojačavač na NaJ

COARSE GAIN: 300

FINE GAIN: 0

SHAPING TIME nsec: 0.5

RANGE: 10 V

POLARITY: POSITIVE

INPUT POLARITY: POSITIVE

RESTORER: HI

-EDGE/CROSSOVER TIMING SCA 2037A - Jednokanalni analizator na NaJ

$$SCA = \begin{cases} E = 90 \\ \Delta E = 40 \end{cases}$$

DELEY: 0

-ARC TIMING 1427 - brzi diskriminator na NaJ

GAIN: 10

RTR: 0.12

CL: 8m

-SPECTROSCOPY AMPLIFIER 2021 -pojačavac na Ge

TIME GAIN: 8.68

SHAPING TIME: 4 μ s

COARSE GAIN: 10

-ARC TIMING 1427 - brzi diskriminator na Ge

RTR: 0.32

GAIN: 5

CL: 3m

-n sec DELAY - uređaj za kašnjenje

RANGE: 100ns

-TIME ANALYZER 1443 - TAC

T = 0.3

Δ T = 7

RANGE: 200

GATE MODE: ANTICOINC

-ADC 8075

COINC GAIN: 8192

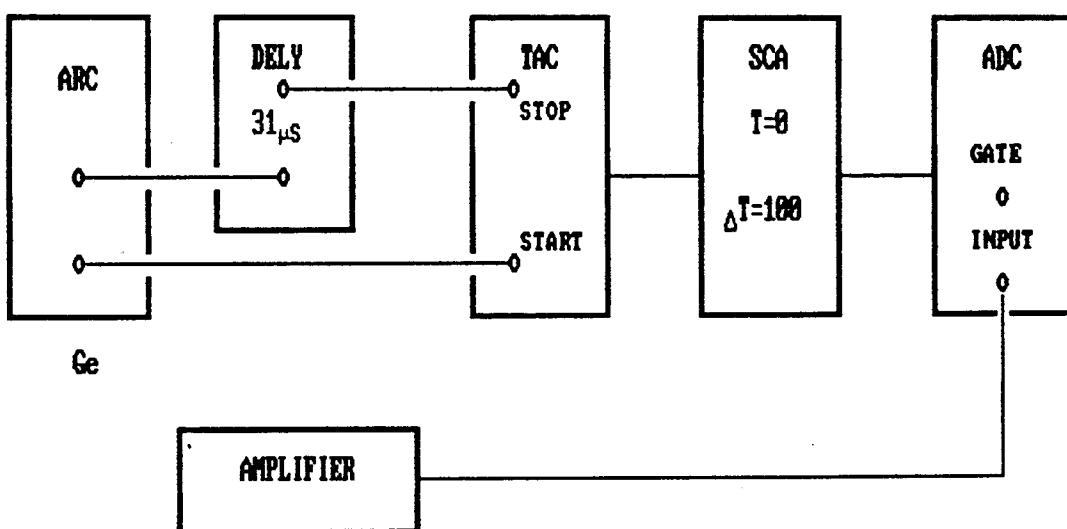
GATE: COINC

3.0 REZULTATI MERENJA

3.1 Test ARC-pragova

Pravilan, odnosno, optimalan rad brzih diskriminatora najznačajnije utiče na performanse brzog koincidentnog kruga.

U uredajima tipa ARC se pomocu nivoa diskriminacije odstranjuju ulazni signali sa dužim vremenima porasta (RISE TIME REJECTION - RT); što je ovaj prag vislje postavljen dobija se bolje vreme rezolucije koincidentnog kruga, ali se pri tome izvestan broj (posebno niskih signala) gubi. Optimizacija rada ovog uredaja predstavlja, u stvari, traženje najboljeg kompromisa između vremena razlaganja koincidentnog kruga i koincidentne efikasnosti. Ovaj uredaj sadrži liniju (kabl) za kašnjenje čijim pogodnim izborom se, također, utiče na iznalaženje najboljeg kompromisa između navedenih parametara. Testiranje i podešavanje diskriminatora urađeno je koriscenjem uređaja predstavljenog sematski na slici 18.



slika 18.

Pomoću koincidentnog kruga predstavljenog na slici se signali iz jednog detektora okidaju sami sa sobom, naime spektar iz pojачivača se analizira samo tada kada se iz diskriminatora dobija

istovremeni signal.

Rezultati merenja predstavljeni su u sledećim tabelama:

ENERGETSKI INTERVAL	50-70	200-230	400-420	940-960	1100-1120	1169-1182	1327-1344
direktan	14836	22911	10629	23684	14603	88624	76912
koinciden- tan RT 358	516	2950	2485	10427	6559	49760	45809
koinciden- tan RT 200	6385	9609	4999	13277	8140	53905	49214
koinciden- tan RT 100	11823	16641	6994	13867	8401	52616	45365

	koincidentan direktan (%)						
RT 358	3.48	12.87	23.38	44.02	44.91	56.15	59.59
RT 200	43.04	41.94	47.03	56.06	55.74	60.82	62.69
RT 100	79.69	72.63	65.80	59.55	57.53	59.37	58.98

tabela 1. Test ARC (Ge)

Predstavljeni rezultati su dobijeni iz Ge detektora sa izvorom Co,
aktivnosti $10\mu\text{Ci}$, vreme merenja je 100s, a dužina kabla 1.5m.

ENERGETSKI INTERVAL	50-70	200-230	400-420	940-960	1100-1120	1169-1182	1327-1344
direktan	7023	10507	4402	8660	5013	32777	28450
koincidentan RT 358	414	1909	1361	4171	2598	20041	17812
koincidentan RT 200	3506	4848	2290	5123	3103	20240	17569
koincidentan RT 100	5623	7908	3010	5160	3108	19790	17197

	koincidentan % direktan						
RT 358	5.89	18.17	30.92	48.16	51.82	61.14	62.61
RT 200	49.92	46.14	52.02	59.16	61.90	61.75	61.75
RT 100	80.06	75.26	68.38	59.58	62.00	60.38	60.45

tabela 2. Test ARC (Ge)

Predstavljeni rezultati su dobijeni iz Ge detektora sa izvorom Co,
aktivnosti $0.4\mu\text{Ci}$, vreme merenja je 100s, a duzina kabla 1.5m.

ENERGETSKI INTERVAL	50-70	200-230	400-420	940-960	1100-1120	1169-1182	1327-1344
direktan	6755	9600	4398	8260	4936	30964	27071
koinciden- tan RT 358	228	2156	1818	5539	3441	25127	23012
koinciden- tan RT 200	2540	4675	4043	5854	3523	25129	22587
koinciden- tan RT 100	5087	6727	2704	5052	2972	19792	17133

	koincidentan direktan (%)						
RT 358	3.37	22.45	41.33	67.05	69.71	81.14	85.00
RT 200	37.60	48.69	54.63	70.87	71.37	81.15	83.43
RT 100	75.30	70.07	61.48	61.16	60.21	63.91	63.28

tabela 3. Test ARC (Ge)

Predstavljeni rezultati su dobijeni iz Ge detektoru sa izvorom Co,
aktivnosti $0.4\mu\text{Ci}$, vreme merenja je 100s, a duzina kabla 3m.

energet. interval	30- 60	69- 192	202- 271	400- 600	915- 990	1068- 1127	1167- 1178	1326- 1340	TAC	
direktan	10978	43045	30515	43523	27340	10217	32745	28535	I	A
RTR 250	34	851	1347	2592	1292	1294	9395	553	29483	28928
RTR 240	43	875	1366	2566	1251	1300	9420	567	29226	29226
RTR 230	51	942	1334	2669	1274	1280	9328	520	29109	29109
RTR 220	49	1014	1481	2620	1256	1263	9212	538	29416	29416
RTR 210	68	957	1421	2598	1229	1209	8958	576	28802	28247
RTR 200	54	1067	1480	2651	1267	1162	8909	557	28809	28254
RTR 190	66	1024	1420	2547	1253	1118	8619	520	27907	27352
RTR 180	78	1065	1511	2570	1137	1094	8307	519	27447	26892
RTR 170	83	1091	1467	2327	1065	1065	7675	506	25905	25350
RTR 160	93	1048	1407	2201	985	980	7024	523	24161	23050
RTR 150	100	1019	1227	2033	916	852	6438	457	22530	21419
RTR 140	89	962	1137	1852	800	765	5795	412	20628	18406
RTR 130	77	876	1000	1584	678	672	4785	330	17927	16261
RTR 120	78	810	900	1316	616	582	4222	315	16321	14655
RTR 100	81	631	677	1004	409	378	2783	236	12001	9224

tabela 4. Test ARC praga (Ge) pomocu kompletнnog koincidentnog kruga

I - totalni integral koincidentnog vrha

A - cista povrsina koincidentnog vrha

energet. interval	30- 60	69- 192	202- 271	400- 600	915- 990	1088- 1127	1167- 1178	1326- 1340
direktna	10978	43045	30515	43523	27340	10217	32745	28535
samokoi. RTR 220	7214	29871	21499	30803	19753	7439	23701	20293
samoko. % direkt.	65.7	69.3	70.4	70.7	72.2	72.8	72.3	71.11

tabela 5. Test ARC (Ge) za RTR 220

ENERGETSKI INTERVAL	49-94	421-467	861-906	2113-2161	2488-2531	2648-2676	3014-3052
direktna	6014	13564	12004	11031	31372	25008	27176
koincidentna RT 0	4703	11197	10251	9546	27004	21461	23517
koincid. % direkt.	78.20	82.55	85.40	86.54	86.05	85.82	86.53

tabela 6. Test ARC (NaJ)

Predstavljeni rezultati su dobijeni iz NaJ detektora sa izvorom Co,
aktivnosti $0.4\mu\text{Ci}$, vreme merenja je 100s, a duzina kabla 1.5m

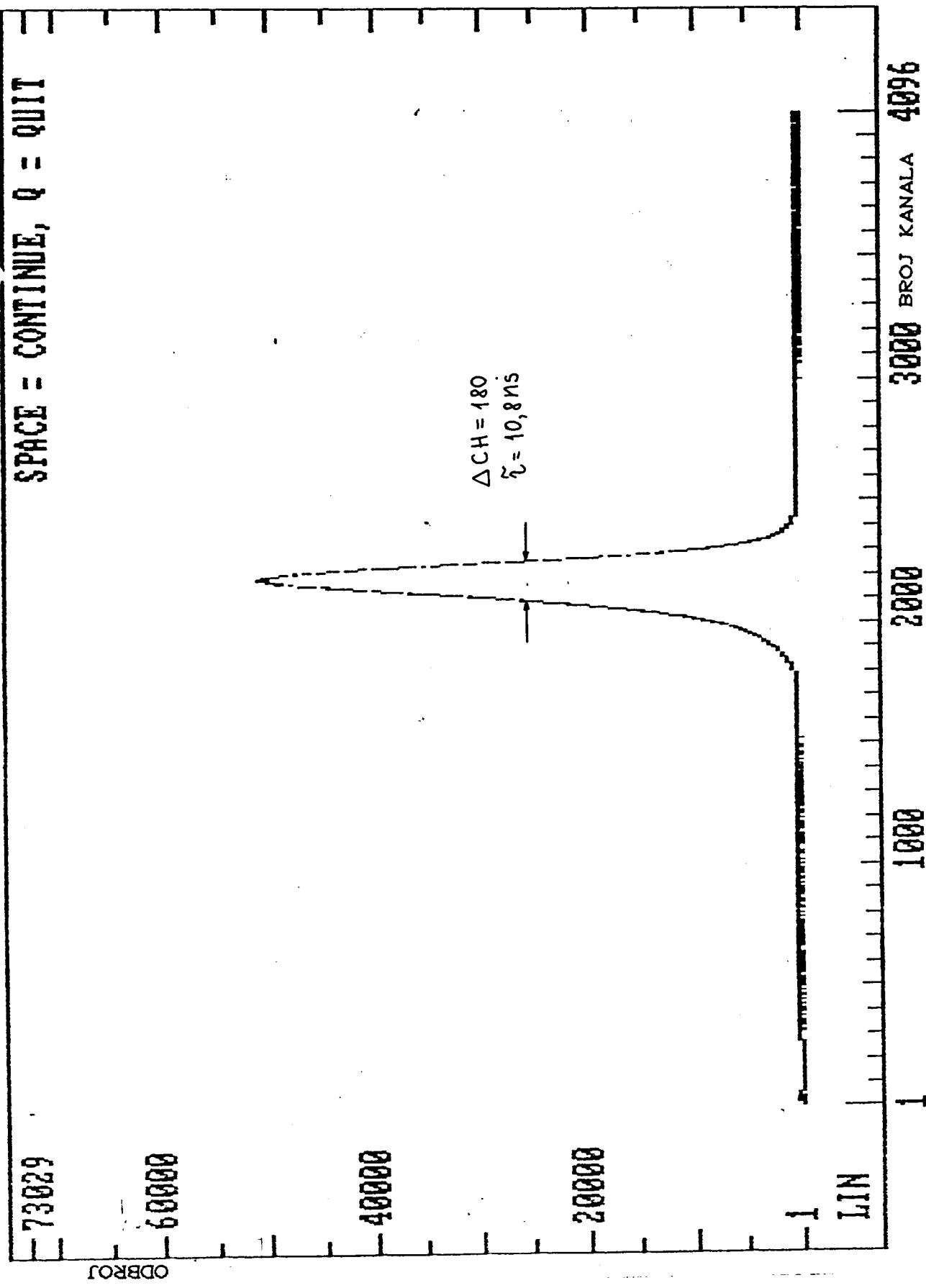
Tabele od 1.-3. sadrže rezultate testiranja praga (RTR) ARC diskriminatora za Ge. Relativno veliki sum ovog detektora je onemogućio jasnu diskriminaciju niskih impulsa od suma, te je testiranje izvršeno za dve jačine izvora, dve duzine kabla za kašnjenje i nekoliko položaja potenciometra za prag diskriminacije. Jačina izvora nije bitno uticala na odnos koincidentnih prema direktnim dogadajima. Najmanja energetska zavisnost odnosa koincidentnih prema direktnim dogadajima dobijena je za RTR 100 pri duzini kabla 3m. Za ovaj nivo diskriminacije se "propusnost", koincidentna efikasnost, di-

skriminstora kretala oko 70%. Međutim, testiranje ovog diskriminatora u sklopu kompletног brzo-sporog koincidentnog kruga (tabela 4.) pokazuje da pri položaju RTR 100 znatan deo sume okida diskriminatator, što znatno redukuje izmereni broj pravih koincidentacija. Iz rezultata u tabeli 4. je zaključeno da za siroki energetski interval gama kvanata od 30-1400 keV-a prag ARC-a ne sme biti manji od 220. Rezultati testa praga Ge detektora za RTR 220 su prikazani u tabeli 5. Signal NaJ detektora je po vremenu porasta bio mnogo jasnije razdvojen od suma tako da je nulti nivo diskriminacije (RTR 0) omogućio kompletну eliminaciju suma uz prihvatlјiv nivo propustanja signala od oko 80%.

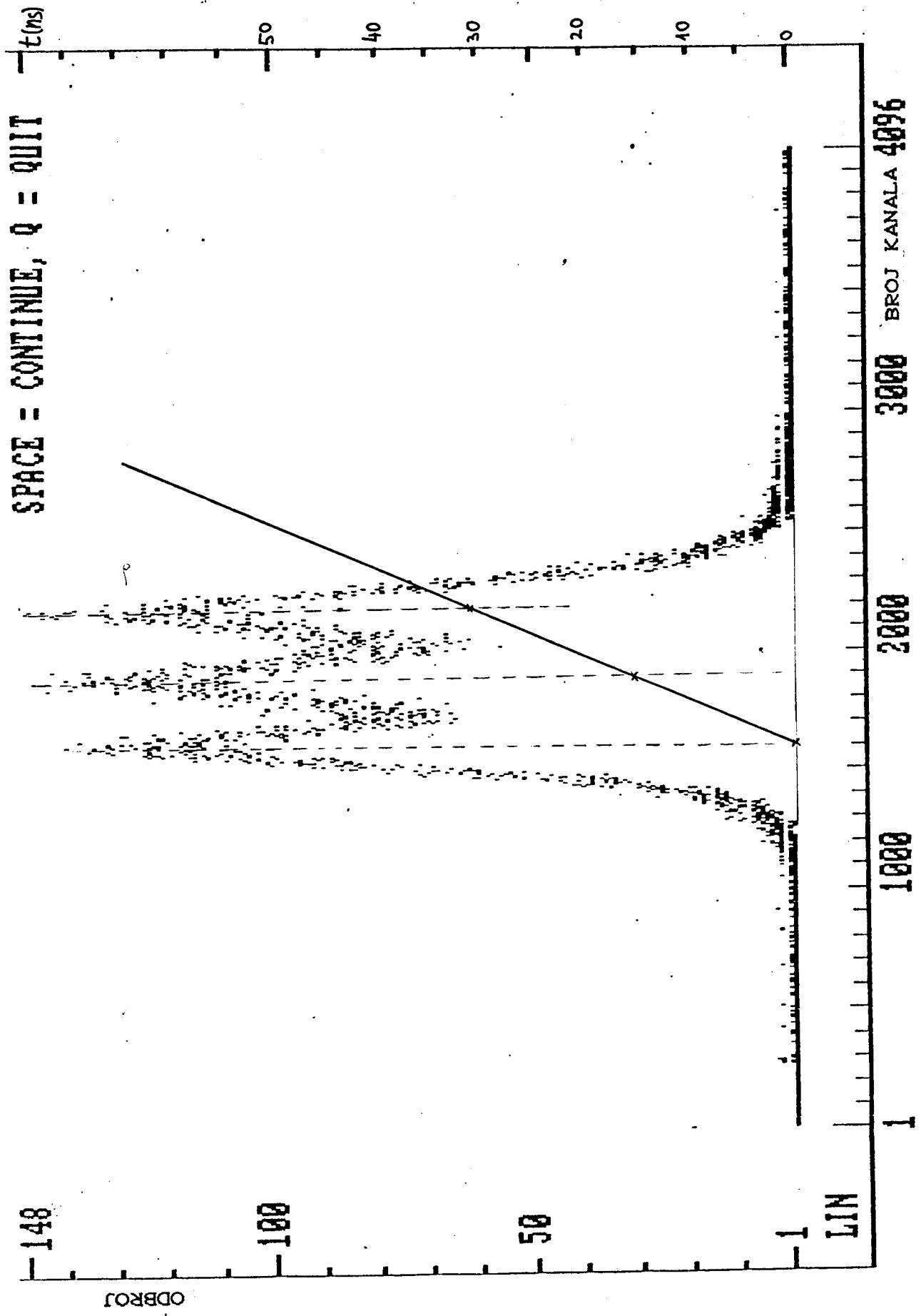
3.2 Određivanje vremena razlaganja brzog koincidentnog kruga

Vreme razlaganja koincidentnog kruga je određeno sa ranije odbraanim nivoima praga diskriminacije na brzim diskriminatorima (RTR (Ge) = 220, RTR (NaJ) = 0). Znaci, praktično su registrovani koincidentni dogadaji između γ -kvanata sa energijama vecim od 30keV-a. Merenja su izvršena sa izvorm ^{60}Co . Izmerena vremenska kriva je prikazana na slici 19. Kalibracija vremenske ose izvršena je ubacivanjem kasnjenja od po 16ns u granu Ge detektora. Iz kalibracione krive (slika 20.) se vidi da je kalibraciona konstanta $K = 0.06 \text{ ns/ch}$, tj. da je vreme razlaganja koincidentnog kruga $\tau = 10.8 \text{ ns}$. Ovaj rezultat pokazuje da i pored problema sa eliminisanjem suma u Ge detektoru koriscenje ARC diskriminatora daje izuzetno dobro vreme razlaganja koincidentnog kruga (tipična vremena razlaganja brzih koidentnih krugova Ge-Ge sistema za sirok interval impulsa obično se kreće oko 100ns). Broj slučajnih koincidentacija izmeren sa izvorom ^{60}Co u vremenskom spektru bio je zanemarljiv (manji od 1%).

SPACE = CONTINUE, Q = QUIT



slika 19. Vremenska kriva



slika 20. Kalibraciona kriva

3.3 Određivanje koincidentne efikasnosti za brzo-spori koincidentni krug

Formulama (1.2) i (1.3) određen je broj pravih i slučajnih koincidentija u idealizovanom koincidentnom eksperimentu. Kod realnih koincidentnih uređaja se mogu očekivati odstupanja od predviđanja formula (1.2) i (1.3) zbog nekoliko razloga:

- detektori ne registruju samo kvante željene energije, jer se u prozorima jednokanalnih analizatora mogu naci i impulsi od komptonskih detektovanih γ kvanata visih energija ili zbog sabiranja kaskadno emitovanih kvanata u detektorima velike zapremine

- prave koincidentije mogu nastati i rasejanjem zračenja između detektora

- elementi u koincidentnom krugu mogu imati određeno "mrtvo" vreme, što smanjuje broj registrovanih koincidentija kod velikih brzina brojanja.

Znaci izmereni koincidentni dogadaji se mogu kvantitativno interpretirati samo ako se eksperimentalno utvrdi odstupanje datog koincidentnog sistema od idealizovanog slučaja. Koincidentna efikasnost za prave, odnosno slučajne koincidentije se može definisati na sledeći način:

$$E_C = \frac{R_C^*}{R_C} = \frac{R_C^*}{A P_P P_Q \epsilon_P \epsilon_Q} \quad (3.1)$$

$$E_S = \frac{R_S^*}{R_S} = \frac{R_S^*}{A^2 P_P P_Q \epsilon_P \epsilon_Q 2\tau} \quad (3.2)$$

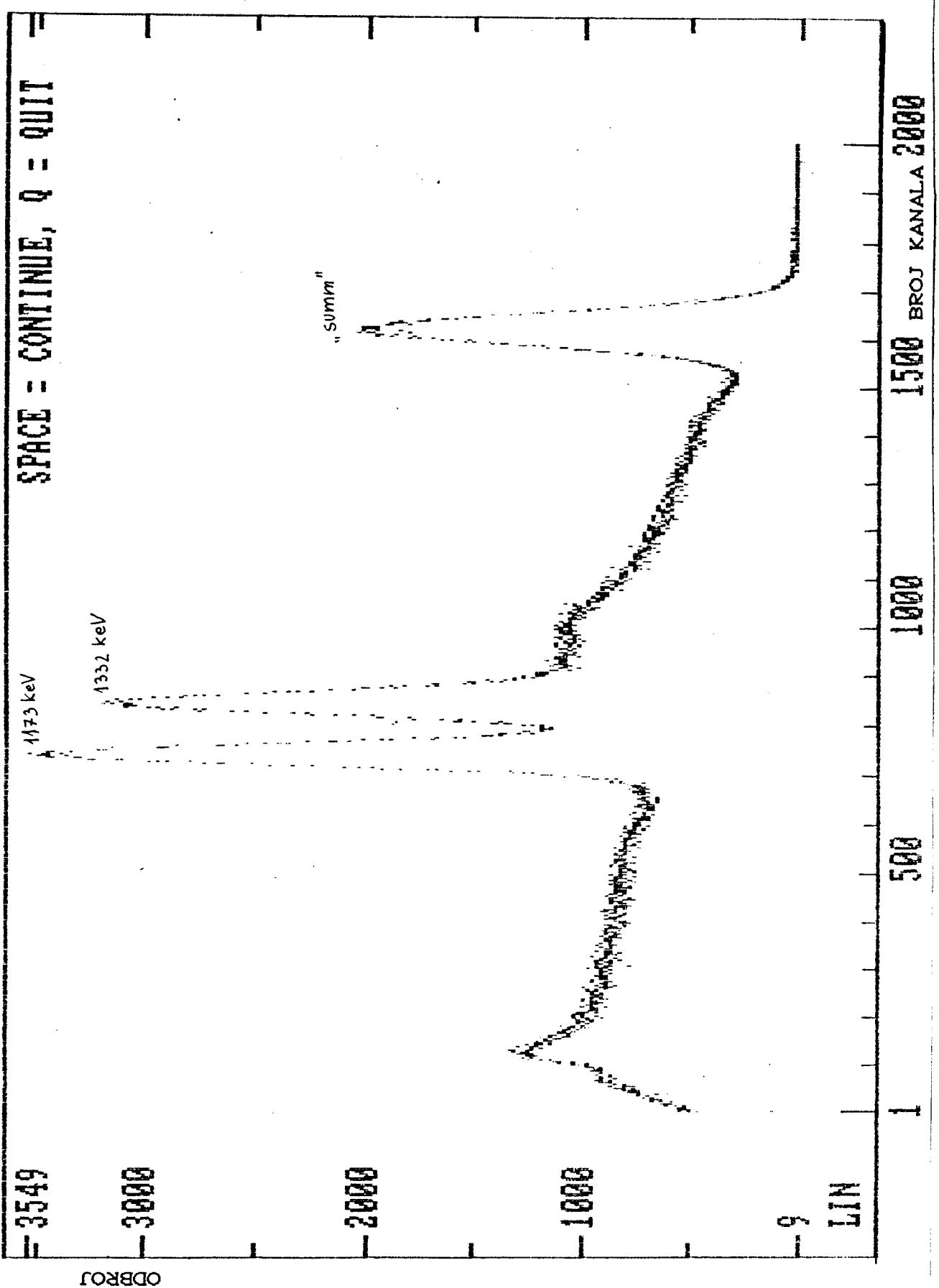
gde su R_C^* i R_S^* izmerene brzine brojanja pravih, odnosno slučajnih koincidentija.

Ovako definisane koincidentne efikasnosti sa jedne strane ukazuju na sve nedostatke realnih koincidentnih uređaja, a sa druge strane omogućuju da se eksperimentalni podaci kvantitativno interpretiraju. Kao što se vidi, iz prethodno navedenih formula, za o-

dredivanje koincidentnih efikasnosti neophodno je poznavanje efikasnosti detektora. Direktno odredivanje efikasnosti detekcije sa izvorom ^{60}Co poznate aktivnosti je u slučaju detektora velike zapremine složen problem. Naime, sabiranje "summing" kaskadnih kvanta u detektoru onemogućuje jasno odredivanje povrsine foto vrhova od 1173 i 1332 keV-a. Ovaj problem je bio najmanje izrazen u Ge detektoru, dok su u oba dela NaJ detektora (P i A) efekti "summing"-a znacajni. Iz slika 21. i 22. se vidi da je za anualni detektor povrsina "summ" vrha čak veća nego povrsine pojedinačnih foto vrhova. Izmerene vrednosti za efikasnosti detektora su prikazane u tabeli 7. Korektna vrednost za efikasnost NaJ detektora je zbog "summing"-a dobijena integraljenjem celog spektra od početka fotovrha od 1173 keV-a do kraja "summ"-o vrha. Ova vrednost je u tabeli 7. označena oznakom NaJ_{TOT} , pri čemu je odredena približna srednja efikasnost za kvante od 1173 i 1332 keV-a.

U koincidentnom eksperimentu koriscen je izvor ^{60}Co od $0.4\mu\text{Ci}$ i prozor jednokanalnog analizatora u sporom koincidentnom krugu postavljen je na liniju od 1332 keV-a u NaJ, a ceo koincidentan spektar Ge detektora je registrovan u višekanalnom analizatoru. U ovakvoj postavci intenzitet linije od 1173 keV-a treba da bude mera za broj pravih koïncidencija, a intenzitet linija od 1332 keV-a u idealnom slučaju potiče samo od slučajnih koïncidencija. Koincidentne efikasnosti su merene posebno za "cep" P i kompletan NaJ detektor P+A.

U koloni $(\text{P}+\text{A})_{\text{TOT}}$ su za izračunavanje teorijskih vrednosti za broj koïncidencija upotrebljene efikasnosti NaJ_{TOT} iz tabele 7. Iz tabele 8. se može zaključiti da je koincidentna efikasnost sistema (za prave koïncidencije) pri RTR = 220 veća od 70%. Izmerene vrednosti za E_s jasno pokazuju da linija od 1332 keV u spektru se ne javlja samo zbog slučajnih koïncidencija.



slika 21.

=1017

1173 keV

SPACE = CONTINUE, Q = QUIT =

1332 keV

ODBROJ

-500

1 LIN

"Summ"

BROJ KANALA

1000

500

1

slika 22.

	A(1173)	I(1173)	IF(1173)	ΔA(1173)	ε(1173)	Δε
Ge	167613	180288	12675	424.60	0.023	0.0023
NaJ(P)	161723	202687	409064	755.50	0.022	0.0022
NaJ(P+A)	565602	1191018	625416	1091.34	0.070	0.007

	A(1332)	I(1332)	IF(1332)	ΔA(1332)	ε(1332)	Δε
Ge	149880	154640	4760	393.24	0.024	0.0024
NaJ(P)	151535	170558	19023	412.99	0.021	0.0021
NaJ(P+A)	502493	1339463	836970	1157.35	0.068	0.0068

	A(1173+1332)	I(1173+1332)	IF(1173+1332)	ΔA	ε	Δε
NaJ _{TOT}	4052501	6013096	1960595	2452.16	0.276	0.0027

tabela 7. Efikasnosti detektora

A - čista povrsina vrha totalne apsorpcije

I - ukupna povrsina vrha totalne apsorpcije

	RTR = 100			RTR = 220	
	P	P+A	(P+A) TOT	P	(P+A) TOT
AC1173)	773	10322			
IC1173)	773	10905		519	9212
AC1332)	13	325			
IC1332)	13	405		158	538
TAC A	1046	25964		2849	29416
TAC I	5410	48616		2849	29416
t(s)	1000	1000	500	100	100
R _c	7.08	22.95	91.03	7.08	91.03
R _s	2.25 10 ⁻⁹	7.29 10 ⁻⁹	0.0295	2.25 10 ⁻⁹	0.0295
R _c ^e	0.773	10.322		5.19	92.12
R _s ^e	0.013	0.325		1.58	5.38
E _c	0.109	0.45	0.113	0.737	1.02
E _s	5.77	44.58	11.02		

tabela 8. Koincidentne efikasnosti

3.4 Određivanje praga detekcije koincidentnog sistema

Pri određivanju praga detekcije koristili smo ranije izvedenu formulu (1.8). Za efikasnosti ϵ_G i ϵ_N , za korisene Ge i NaJ detektore na srednjim energijama, korisene su tipčne vrednosti od 1% i 50%. Proizvod $p_G p_N$ uzima tri vrednosti, kao i vreme merenja. Vreme razlaganja koincidentnog kruga je 10ns.

Rezultati su dati u tabelama za tri različite vrednosti proizvoda $\beta_G \beta_N$. Na osnovu njih je prikazana zavisnost praga detekcije od veličine E i vremena merenja (na slikama 23., 24. i 25.). Radi bolje preglednosti pri crtanjtu grafika korisena je semilogaritamska raspodela.

$$A_m^c = \frac{4.5}{(E t - 36\tau)} \left[1 + \sqrt{1 + 1.78 \frac{\tau \beta_G \beta_N (E t - 36\tau)}{E}} \right]$$

$$\beta_G, \beta_N = 0; 100; 1000$$

$$E = \epsilon_G p_G \epsilon_N p_N$$

$$\epsilon_G = 1\%$$

$$\epsilon_N = 50\%$$

$$\epsilon_G = 0.01$$

$$\epsilon_N = 0.5$$

$$\epsilon_G \epsilon_N = 0.005$$

$$p_G p_N = 0.1; 0.5; 1$$

$$t = 50; 100; 1000 \text{ ks}$$

$$\tau = 10 \text{ ns} = 10 \cdot 10^{-9} = 10 \cdot 10^{-8}$$

$\beta_a, \beta_n = 0$; E=0.0005

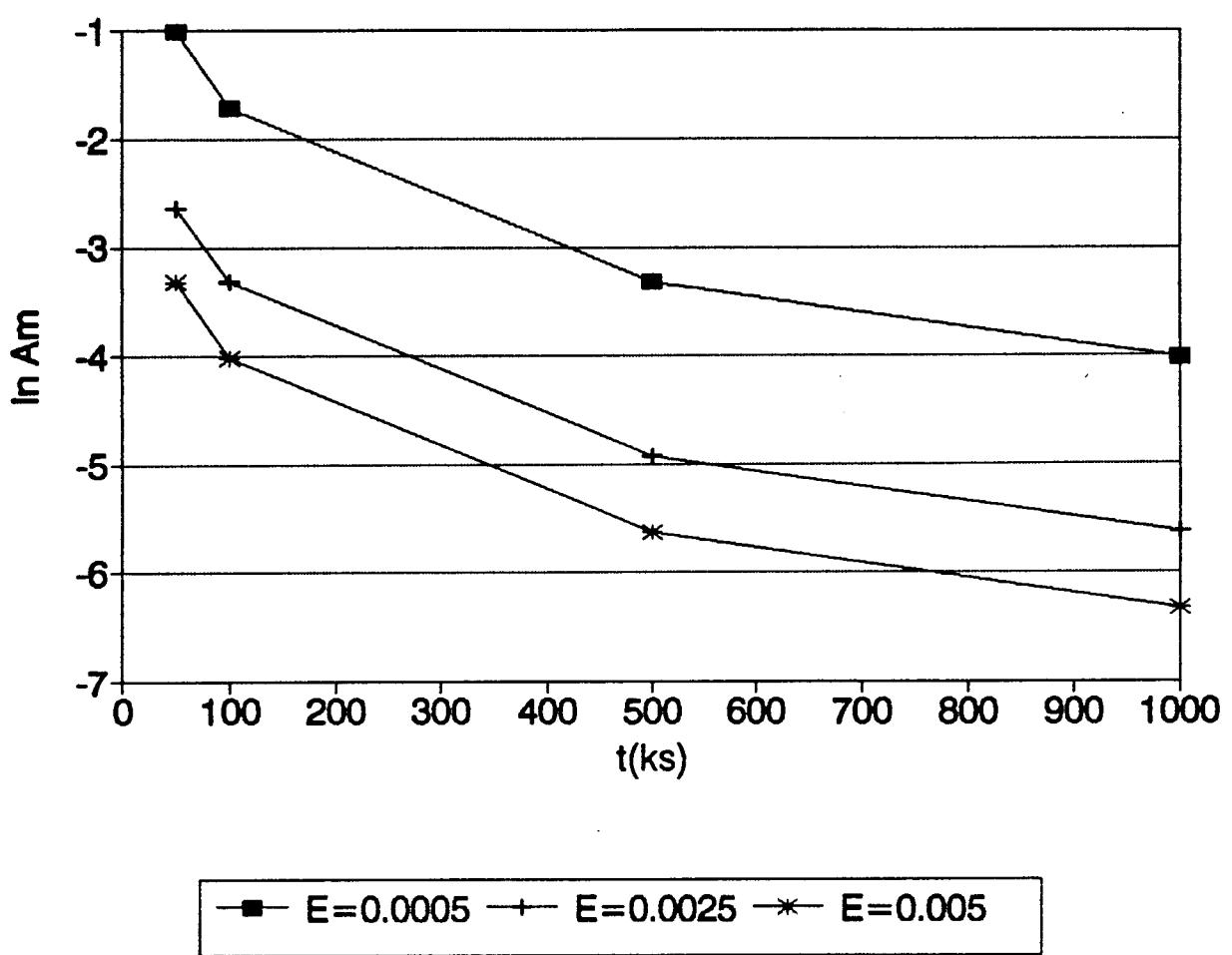
t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.36	-1.021
100	0.18	-1.714
500	0.036	-3.321
1000	0.018	-4.017

E=0.0025

t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.072	-2.631
100	0.036	-3.324
500	0.0072	-4.933
1000	0.0036	-5.626

E=0.005

t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.036	-3.324
100	0.018	-4.017
500	0.0036	-5.626
1000	0.0018	-6.319



slika 23. Prag detekcije za $\beta_a \beta_N = 0$

$\beta_a, \beta_n = 100$; E=0.0005

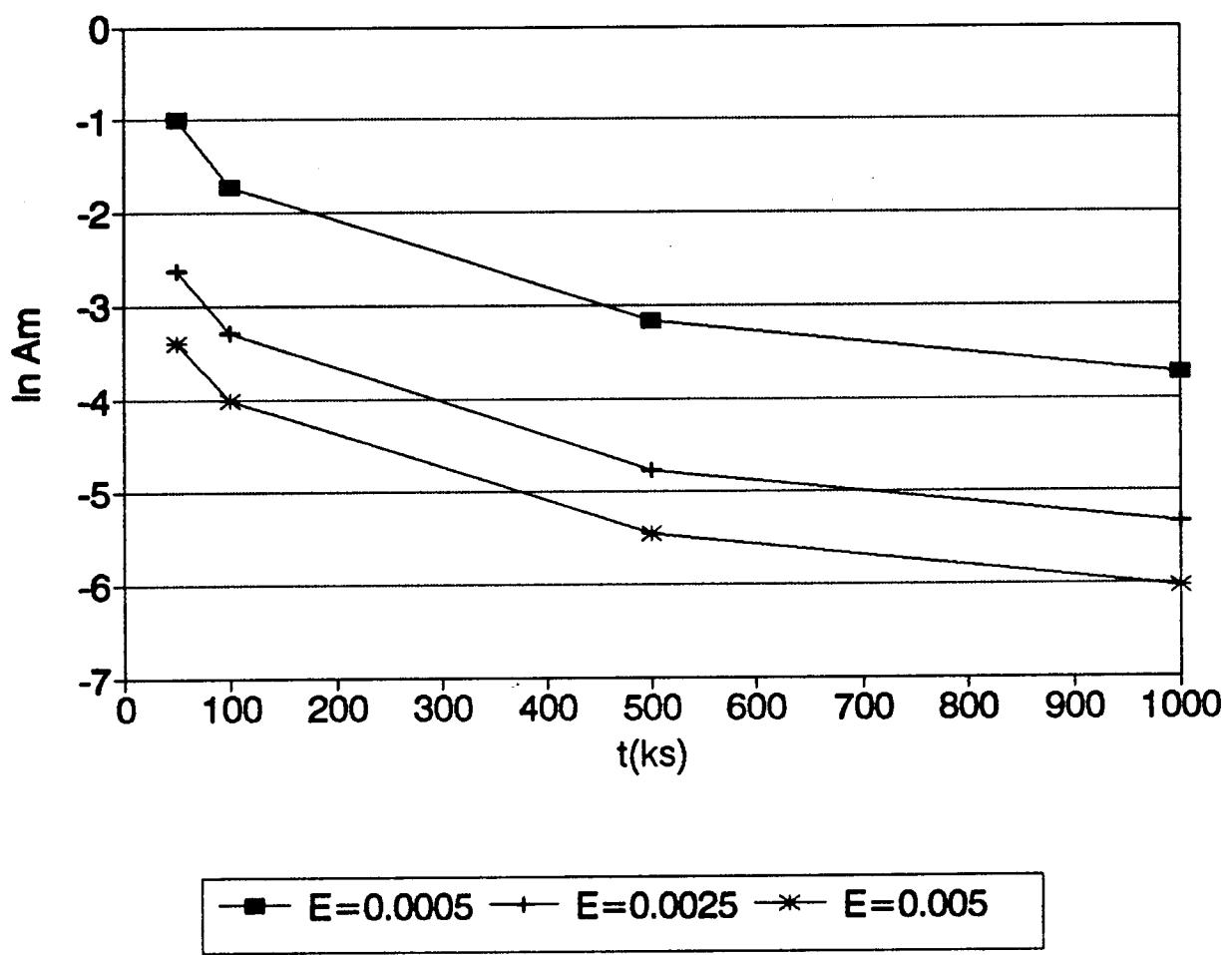
t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.37	-0.994
100	0.18	-1.714
500	0.0427	-3.153
1000	0.024	-3.729

E=0.0025

t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.073	-2.617
100	0.037	-3.296
500	0.0085	-4.767
1000	0.0048	-5.339

E=0.005

t(ks)	$A_m^c(s^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.037	-3.296
100	0.018	-4.017
500	0.0042	-5.456
1000	0.0024	-6.032



slika 24. Prag detekcije za $\beta_g\beta_N = 100$

$\beta_a, \beta_n = 1000$; $E=0.0005$

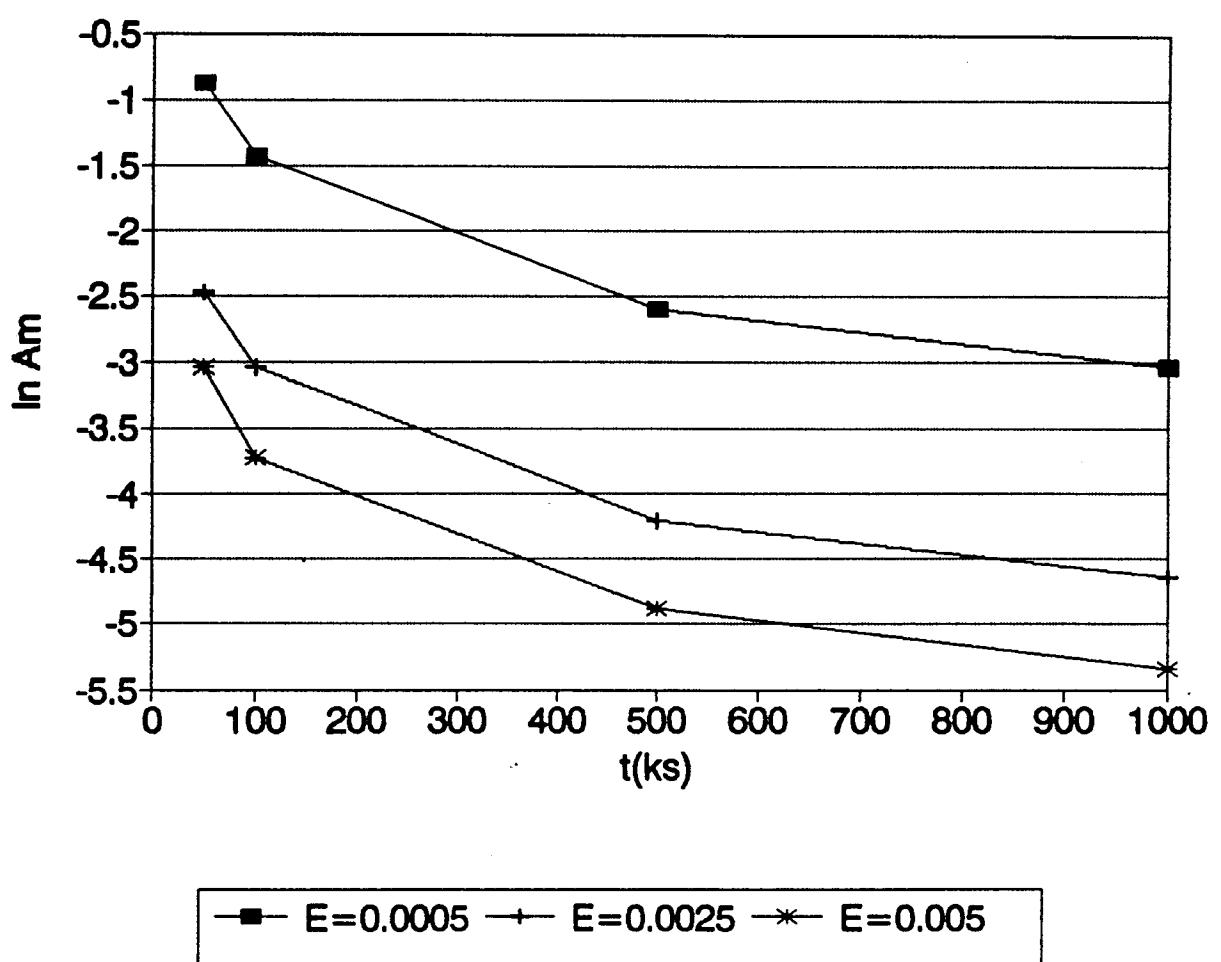
$t(\text{ks})$	$A_m^c(\text{s}^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.42	-0.867
100	0.24	-1.427
500	0.048	-2.603
1000	0.024	-3.036

$E=0.0025$

$t(\text{ks})$	$A_m^c(\text{s}^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.085	-2.465
100	0.048	-3.036
500	0.0149	-4.206
1000	0.0096	-4.645

$E=0.005$

$t(\text{ks})$	$A_m^c(\text{s}^{-1})$	$\ln A_m^c$
50	0.048	-3.036
100	0.024	-3.729
500	0.0076	-4.879
1000	0.0048	-5.339



slika 25. Prag detekcije za $\beta_g \beta_N = 1000$

ZAKLJUČAK

U ovom radu su izloženi preliminarni rezultati testiranja Ge-NaJ koincidentnog sistema. Prvi rezultati optimalizacije parametara koincidentnog kruga pokazuju da se vrlo dobra vremena razlaganja mogu dobiti za sirok dijapazon energija u oba detektora. Na koincidentnu efikasnost sistema dominantno utiče nemogućnost preciznog razdvajanja sume od signala u ARC diskriminatoru sa Ge detektorom. Konstantovano je da nestabilnost sume ovog detektora značajno utiče na rezultate koincidentnih merenja. Svi rezultati dobijeni su sa izvorom ^{60}Co na kaskadi 1173 - 1132 keV-a i ne mogu se direktno kvantitativno primeniti za analizu koincidentnih dogadaja na drugim energijama. Međutim, brojni tabelarno prikazani rezultati testova omogućuju kvalitativno planiranje eksperimenta na drugim izotopima i na drugim kaskadama.

LITERATURA

1. BIKIT I.: Uloga električnih monopolnih prelaza u tumačenju prirode pobudenih stanja atomskog jezgra, Doktorska disertacija, PMF, Novi Sad 1976.
2. BURCHAM W.E.: Nuklearna fizika (Uvod, sa fizikom čestica), Naučna knjiga, Beograd 1974.
3. KNOLL G.F.: Radiation detection and measurement, John Wiley and sons, New York 1979.
4. MARINKOV L.: Osnovi nuklearne fizike, PMF, Novi Sad 1976.
5. NICHOLSON P.W.: Nuclear electronics, John Wiley, New York 1974.
6. SIEGBAHN K.: $\alpha \beta \gamma$ ray spectroscopy, North Holland Publishing Company, Amsterdam 1965.
7. ANIČIN I.: Nuclear instruments and methods, 1987.