

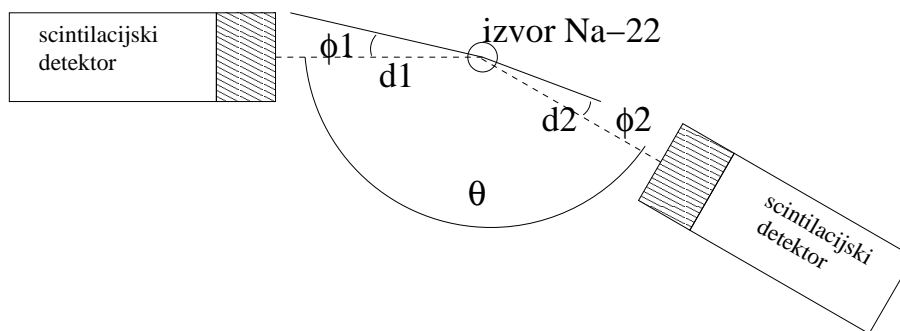
# Kotna korelacija anihilacijskih žarkov $\gamma$

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Naloga</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Anihilacija pozitrona</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Koincidenčno vezje</b>	<b>3</b>
3.1	Določitev ločljivosti koincidenčnega vezja . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Potek dela</b>	<b>7</b>
4.1	Meritev zakasnitvene krivulje koincidenčne enote . . . . .	7
4.2	Meritev zakasnitvene krivulje pri merjenju koincidenčnih dogodkov, ki pripadajo anihilacijskim žarkom $\gamma$ . . . . .	7
4.3	Meritev kotne korelacije anihilacijskih žarkov $\gamma$ . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Seznam uporabljenih enot</b>	<b>8</b>

## 1 Naloga

1. Izmeri zakasnitveno krivuljo koincidenčnega vezja in dobljeno časovno ločljivost primerjaj z vrednostjo, ki jo dobiš iz meritve slučajnih koincidenč
2. Izmeri kotno korelacijo anihilacijskih žarkov  $\gamma$



Slika 1: Eksperimentalna postavitve.

## 2 Anihilacija pozitrona

Pozitron  $e^+$ , ki je po Diracu luknja v morju pozitivnih energij, se pri srečanju s svojim antidelcem elektronom  $e^-$  anihilira. Energija, ki se pri tem sprosti, se razširi v prostor v obliki elektromagnetnega valovanja.

Ko si skušamo natančneje predočiti približevanje elektrona in pozitrona, nas zanima, ali morda ne pride najprej do nastanka vodikovemu atomu podobne tvorbe v kateri elektron kroži okrog pozitrona in se delca anihilirata šele pozneje.

Raziskave so pokazale, da tak vezan sistem  $e^+ - e^-$  res obstaja. Imenovali so ga pozitronij. Oglejmo si njegovo osnovno stanje, v katerem sta pozitron in elektron najbližje drug drugemu. Kot pri vodikovemu atomu ima to stanje tudi pri pozitroniju orbitalno vrtilno količino  $l=0$ . Glede na to, da imata elektron in pozitron spin  $1/2$ , se osnovno stanje razcepi na dve podstanji: eno ima vrtilno količino 0 (singlet), drugo pa ima vrtilno količino 1 (triplet). Vezalna energija osnovnega stanja je 6,8 eV. Tripletno stanje je za okrog  $10^{-3}$  eV manj vezano kot singletno stanje.

Poglejmo si anihilacijo v singletnem stanju. Predpostavimo, da pozitron miruje (če se giblje obravnavamo njegovo anihilacijo v težiščnem sistemu, nato pa količine preračunamo v laboratorijski sistem). Ker je vrtilna količina sistema enaka 0, so si v prostoru vse smeri enakovredne. Pri anihilaciji nastali foton lahko odleti v katerokoli smer. Vendar pa zaradi ohranitve gibalne količine pri anihilaciji ne more nastati en sam foton istočasno mora nastati še eden in odleteti v nasprotno smer kot prvi. Le tako je pred anihilacijo in po njej gibalna količina sistema enaka 0.

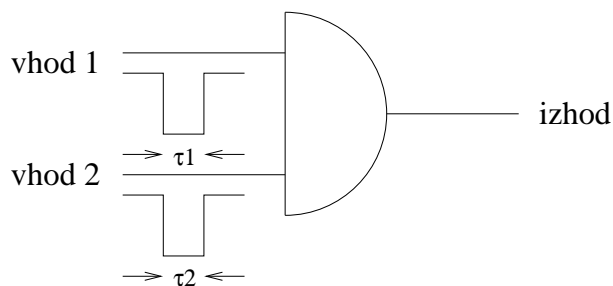
Kako pa je z vrtilno količino? Da tudi ta ostane za ves sistem po anihilaciji enaka 0, morata biti oba fotona ali levo ali pa desno cirkularno polarizirana.

Pri anihilaciji v tripletnem stanju ohranitve gibalne količine niti vrtilne količine ne moremo doseči samo z dvema fotonoma  $\gamma$ . Nastati morajo najmanj trije fotoni  $\gamma$ .

Z ozirom na to, da je verjetnost, da najdemo pozitronij v singletnem stanju  $1/4$  in verjetnost, da ga najdemo v tripletnem  $3/4$ , bi pričakovali, da bomo bolj pogosto opazili anihilacijo v tri fotone  $\gamma$  kot v dva fotona  $\gamma$ . V resnici pa ni tako. Upoštevati je namreč treba, da je življenska doba pozitronija ni ista v obeh stanjih. V singletnem stanju je okrog  $10^{-10}$  s v tripletnem pa približno 1000 krat daljša, to je okrog  $10^{-7}$  s. V tem času pa pozitronij doživi trke z atomi in pri tem iz tripletnega stanja preide v singletno.

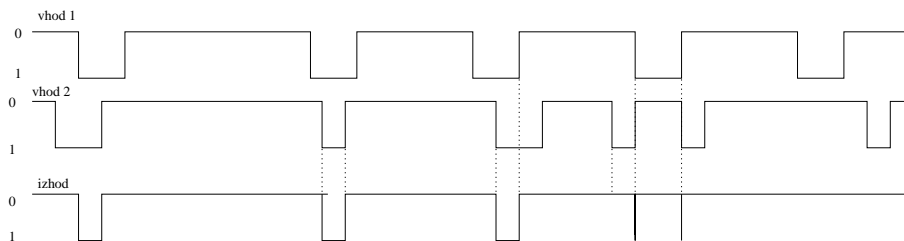
### 3 Koincidenčno vezje

Koincidenčno vezje je tako vezje, ki se sproži le v primeru, da pridejo sunki na vse njegove vhode v časovnem razmiku, ki je manjši od karakterističnega časovnega intervala  $\tau$ , ki je določen z ločljivostjo vezja. Običajno je  $\tau$  veliko manjši od povprečnega razmika med sunki, ki prihajajo na vhode. Zato pravimo, da s koincidenčnim vezjem ločimo istočasne dogodke od ostalih. Enostavno izvedbo koincidenčnega vezja predstavljajo elektronska vrata, ki se odprejo le kadar sta na vhodu istočasno dva sunka (slika 2).



Slika 2: Elektronska vrata.

Na sliki 3 je narisani časovni diagram izhodnih sunkov za koincidenčno vezje z dvema vhomoma in kaže odvisnost izhodnih sunkov od časovnega razmika med sunkom na vhodu 1 in sunkom na vhodu 2.

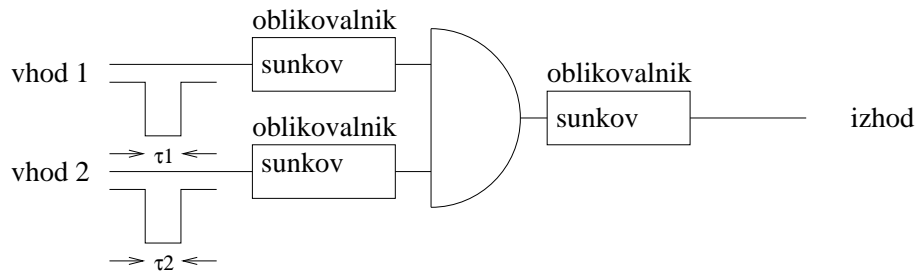


Slika 3: Časovni diagram sunkov koincidenčnega vezja.

Če so sunki, ki pridejo na vhod 1 oz. 2 uniformirani (višine  $V_0$  in širine  $\tau_1$  oz.  $\tau_2$ ) in je  $\tau_1 > \tau_2$ , so najširši izhodni sunki široki  $\tau_2$  in jih dobimo tedaj, ko se sunka z obeh vhomov popolnoma prekrijeta. Pri delnem prekritju je izhodni sunek ožji; če pa se sunka sploh ne prekrijeta, izhodnega signala ni. Definirajmo razmik med sunkoma kot časovno razdaljo med njunima čeloma. S Slike 2 takoj vidimo,

da se sunka 1 in 2 prekrivata oz, da dobimo na izhodu signal, če npr. pride sunek 2 največ  $\tau_1$  prepozno, ali pa največ  $\tau_2$  prezgodaj kot sunek 1. Koincidenčno vezje je torej odprto v času  $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ . Ta čas imenujemo časovna ločljivost koincidenčnega vezja.

Običajno sunki iz detektorjev ionizirajočega sevanja niso tako dobro definirani, kot na sliki 1. Zaradi tega na vhoda dodamo oblikovalnika sunkov. Tudi na izhodu iz koincidenčnega vezja bi želeli dobiti sunke vedno iste širine, da bi z njimi poganjali npr. števec. To dosežemo tako, da tudi na izhod dodamo oblikovalnik sunkov. Tako izpopolnjeno koincidenčno vezje kaže slika 4.

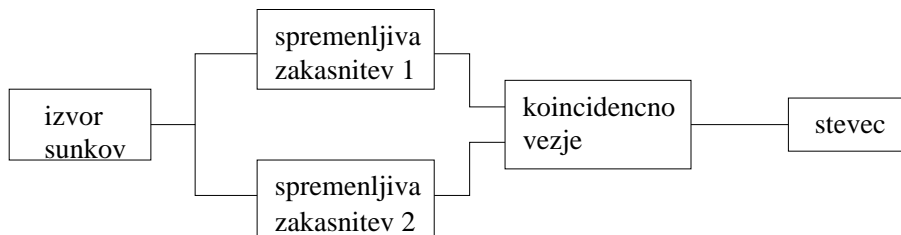


Slika 4: Z oblikovalniki sunkov izpopolnjeno koincidenčno vezje.

Če želimo, da sta veji 1 in 2 simetrični, morata biti sunka na izhodu obeh oblikovalnikov iste višine in širine. Običajno uporabljamo za oblikovalnike uni-vibratorje.

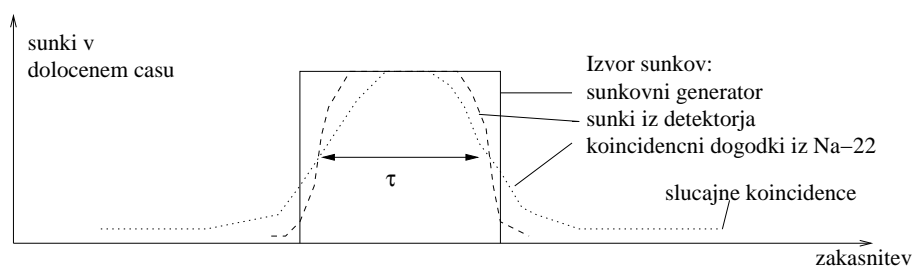
### 3.1 Določitev ločljivosti koincidenčnega vezja

Ločljivost koincidenčnega vezja določimo tako, da na oba vhoda pripeljemo sunke iz istega izvora preko zakasnilnih sistemov (slika 5) in pri posameznih zakasnitvah opazujemo število koincidenčnih signalov v določenem času.



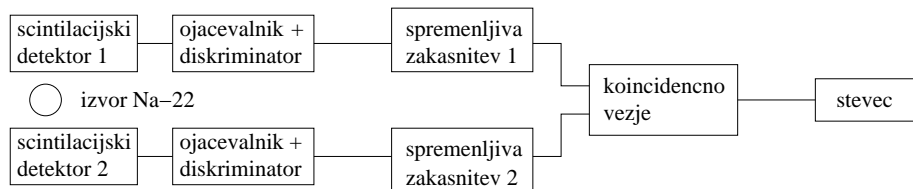
Slika 5: Sistem za merjenje časovne ločljivosti koincidenčnega vezja.

Pri meritvi zakasnjujemo npr. sunke v veji 1 nasproti sunkom v veji 2 in nato še obratno. Rezultat je s polno črto izvlečena krivulja na sliki 6. Pri majhnih zakasnitvah ostane število koincidenčnih signalov nespremenjeno; pri dani zakasnitvi pa naenkrat pade na nič. Čim bolj idealni (pravokotni) so uporabljani sunki in čim bolj je stabilno elektronsko vezje, tem bolj stopničasta je zakasnitvena krivulja koincidenčnega vezja. Temu se najbolj približamo, če kot izvor sunkov uporabimo sunkovni generator pravokotnih sunkov. Če kot izvor uporabimo sunke iz kakega detektorja ionizirajočega sevanja, je krivulja zaobljena. Ločljivost koincidenčnega vezja je v tem primeru definirana kot širina vrha pod koincidenčno krivuljo na njegovi polovični višini.

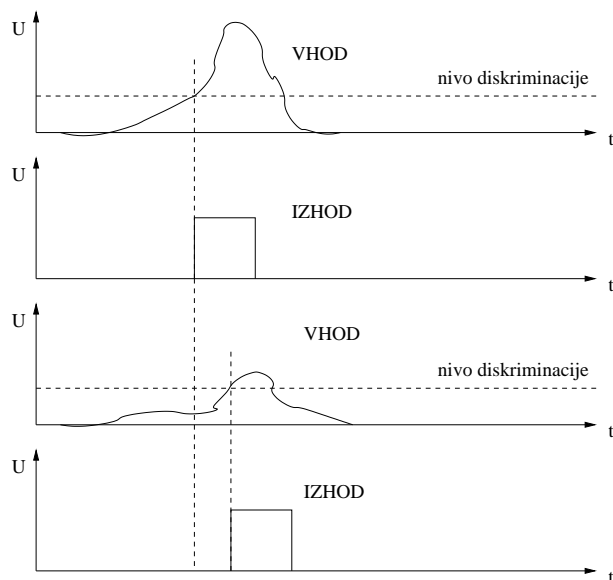


Slika 6: Zakasnitvena krivulja koincidenčnega vezja.

Še bolj zaobljeno zakasnitveno krivuljo pa dobimo pri opazovanju koincidenčnih dogodkov. V ta namen uporabimo sistem, ki ga kaže slika 7. Zaobljenje zakasnitvene krivulje nastopi zato, ker istočasnim dogodkom v izvoru sevanja ustrežni električni sunki niso več popolnoma istočasni, ampak je njihova časovna povezava razmazana. Razmazanost je delno posledica raznih stohastičnih pojavov, ki spremljajo detekcijo ionizirajočega sevanja. Še posebej je velika, če opazujemo koincidence žarkov  $\gamma$ , v vezju opa uporabljamo diskriminator, ki daje na izhodu sunek v trenutku, ko vhodni signal preseže diskriminacijski nivo.



Slika 7: Sistem za merjenje koincidenčnih dogodkov



Slika 8: Časovno stresanje pri navadnih diskriminatorjih

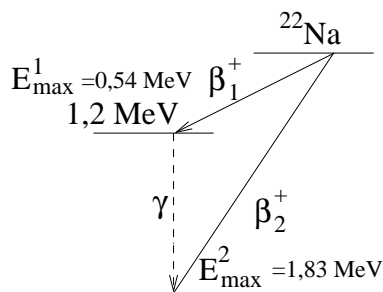
To pa se zgodi pri visokih signalih prej kot pri nizkih (glej sliko 8). Detektorji žarkov  $\gamma$  (razen G.M. cevi) pa za monoenergetske žarke  $\gamma$  dajo zvezni spekter sunkov. Če v sistemu uporabimo modernejše diskriminatorje, pri katerih omenjeni pojav ne nastopa, se časovna razmazanost zmanjša. Pri merjenju zakasnitvene krivulje za koincidenčne dogodke opazimo nekaj sunkov tudi pri velikih zakasnitvah (glej sliko 6), ko se koincidenčni sunki prav gotovo več ne prekrivajo. Govorimo o naključnih koincidencah. Na izhodu dobimo sunek, ker se na vhodu naključno pojavita dva sunka v časovnem razmaku, ki je manjši od  $\tau$ . Število naključnih koincidenč  $N_{12}$  pri  $N_1$  sunkih na vhodu 1 in  $N_2$  sunkih na vhodu 2 v enoti časa in pri časovni ločljivosti vezja  $\tau = \tau_1 + \tau_2$  dobimo z naslednjim premislekom: Zaradi sunkov na vhodu 1 je koincidenčno vezje pripravljeno na prihod sunkov po veji 2 v povprečju  $N_1\tau = t_1$ . V tem času pride na vhod 2 v povprečju  $N_2\tau_1$  sunkov, ki koincidenčno vezje zares sprožijo. Število slučajnih koincidenč je torej:

$$N_{12} = N_2\tau_1 = N_1N_2\tau \quad (1)$$

Vidimo, da je število slučajnih koincidenč sorazmerno časovni ločljivosti koincidenčnega vezja, medtem ko število pravih koincidenč od nje ni odvisno vse dokler čas zakasnitve ni večji od časa, ki ustreza ravnemu delu koincidenčne krivulje.

## 4 Potek dela

Vse meritve opraviš s sunki iz enega oziroma dveh scintilacijskih spektrometrov žarkov  $\gamma$ . Kot izvor žarkov  $\gamma$  uporabiš  $^{22}\text{Na}$ , katerega razpadna shema je prikazana na sliki 9. Jedra  $^{22}\text{Na}$  sevajo žarke  $\beta^+$  z maksimalno energijo 1,83 MeV in 0,54 MeV ter žarke  $\gamma$  energije 511 keV. S sunki iz fotovrha, ki pripada tem žarkom  $\gamma$ , opraviš vse poizkuse. Od ostalih sunkov jih ločiš s pomočjo diskriminatorja tako, da nastaviš njegov nivo na vrednost, ki v spektru ustreza dolini pod fotovrhom. Določiš jo z opazovanjem sunkov na osciloskopu.



Slika 9: Razpadna shema  $^{22}\text{Na}$

### 4.1 Meritev zakasnitvene krivulje koincidenčne enote

V ta namen napelji ojačene in diskriminirane sunke iz enega izmed obeh detektorjev na vhod zakasnilne enote (Ortec GG8000), ki ti služi za razdelilec sunkov. En izhod pelje na vhod koincidenčne enote (CAEN N455) preko druge zakasnilne enote, drug izhod pa pelje naravnost na drugi vhod koincidenčne enote. S pomočjo izvijača nastavi dolžino signalov (WIDTH)  $\tau_1$  in  $\tau_2$  enkrat na 200 ns in drugič na 400 ns. Zakasnitveno krivuljo izmeri s spreminjanjem zakasnitve (DELAY) s pomočjo izvijača.

### 4.2 Meritev zakasnitvene krivulje pri merjenju koincidenčnih dogodkov, ki pripadajo anihilacijskim žarkom $\gamma$

Ojačena in diskriminirana izhoda iz obeh scintilacijskih detektorjev napelji preko zakasnilne enote (ORTEC GG8000), kjer jima nastaviš dolžino  $\tau_1$  in  $\tau_2$ , na vhoda koincidenčne enote (CAEN N455). Opravi meritev pri obeh časovnih ločljivostih

vezja 200 ns in 400 ns. Prepričaj se, da je v delovni točki sredi vrha zakasnitvene krivulje število pravih koincidenč neodvisno od ločljivosti koincidenčnega sistema. Pri meritvi morajo biti izvor  $^{22}\text{Na}$  in oba scintilatorja na isti premici. Da boš dobil zadostno število koincidenč, naj bosta scintilatorja nameščena čim bližje izvora.

Slučajne medsebojne zakasnitve izmeri pri maksimalni medsebojni zakasnitvi sunkov v obeh vejah koincidenčne enote.

Izmeri tudi  $N_1$  in  $N_2$  in se prepričaj o veljavnosti enačbe  $N_{12} = N_2\tau_1 = N_1N_2\tau$  ( $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ ). To napravi pri obeh ločljivostih koincidenčne enote.

Pazi: Količine  $N_1$ ,  $N_2$  in  $N_{12}$  morajo biti preračunane na enoto časa - sekundo, ki je tudi enota za  $\tau$ .

### 4.3 Meritev kotne korelacije anihilacijskih žarkov $\gamma$

Pri tem uporabiš sistem ki si ga umeril pod 4.2, le da scintilatorja nekoliko oddaljiš od izvora (s tem povečáš kotno ločljivost naprave) in spreminjaš kot med njima.

## 5 Seznam uporabljenih enot

- Visokonapetostni izvor [5]
- Ojačevalnik z diskriminatorjem ORTEC 9302[2]
- Zakasnilna enota ORTEC GG8000 [3]
- Koincidenčna enota CAEN N455 [1]
- Števec sunkov CAEN N145 [4]

## Literatura

[1] CAEN N455 <http://www.caen.it/nuclear/product.asp?id=105>

[2] ORTEC 9302 <http://www.ortec-online.com/electronics/amp/9302.htm>

[3] ORTEC GG8010 <http://www.ortec-online.com/electronics/delay/gg8010.htm>

[4] CAEN N145 <http://www.caen.it/nuclear/product.asp?id=112>



[5] CAEN N471 <http://www.caen.it/nuclear/product.asp?id=239>