

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Kotna korelacija anihilacijskih žarkov γ

2. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

Avtor: Marko Urbanč (28191096)
Asistent: Martin Rigler

2.1.2022

Kazalo

1	Uvod	2
2	Potrebsčine	2
3	Naloge	2
4	Meritve	3
5	Obdelava podatkov	3
6	Izračuni	3
6.1	Ločljivost časovno-digitalnega prevornika	3
6.2	Porazdelitev časovnih intervalov med razpadi radioaktivnega vira ^{22}Na	4
6.3	Koincidence anihilacijskih žarkov γ	5
6.4	Kotna korelacija žarkov γ	7

1 Uvod

Pozitron e^+ se pri srečanju s svojim antidelcem elektronom e^- anihilira. Energija, ki se pri tem sprosti se razširi v prostor v obliki elektromagnetnega valovanja. Zanima nas natančnejša obravnava te anihilacije. Zanima nas ali morda ne pride najprej do nastanka v vodikovem atomu podobne tvorbe v kateri elektron in pozitron krožita okoli skupnega težišča in se anihilirata šele pozneje. Izkaže se, da takšno vezano stanje res obstaja in se imenuje **positronij**.

V osnovnem stanju positronija sta si delca najbližje skupaj. Kot pri vodikovem atomu ima to stanje orbitalno vrtilno količino $l = 0$. Glede na to, da imata elektron in pozitron spin $1/2$, se osnovno stanje razcepi na singletno stanje z vrtilno količino 0 in tripletno stanje, ki ima vrtilno količino 1. Vežalna energija osnovnega stanja je 6.8 eV. Tripletno stanje je za okoli 1 meV manj vezano od singletnega.

Predpostavimo, da positronij miruje (sicer bi pa obravnavali v CMS in bi nato pretvorili v LAB) in da je v singletnem stanju. Ker je vrtilna količina sistema enaka 0, so si v prostoru vse smeri enakovredne. Pri anihilaciji nastali foton lahko torej odleti v katerokoli smer. Zaradi oranjanja vrtilne količine pa mora nastati še en foton, ki odleti v v nasprotno smer. Oba fotona sta ali levo ali desno cirkularno polarizirana.

Za ohranjanje vrtilne količine pri anihilaciji v tripletnem stanju bi potrebovali, da nastanejo najmanj 3 fotoni. To ni tak problem zaradi razlike v življenski dobi obeh sranj. V tripletnem stanju je 1000-krat daljša. V tem času pa positronij doživi trke z atomi in iz tripletnega stanja preide v singletno.

Pri vaji se uporablja ^{22}Na , ki preko β^+ razpada služi kot vir pozitronov. Ta se anihilira z elektronom pri čemer nastaneta dva kolinerarna fotona z energijo 511 keV.

2 Potrebščine

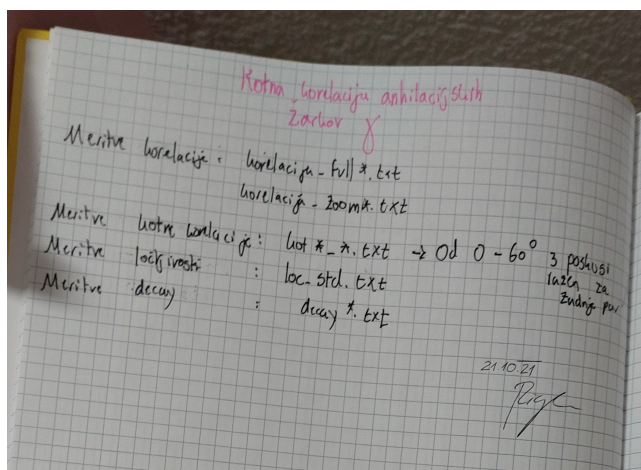
- ^{22}Na sevalec
- 2 scintilacijska detektorja
- časovno-digitalni pretvornik Red Pitaya
- 2 modula ORTEC 9302 (ojačevalec in diskriminator)
- 8-kanalni razdelilec z zakasnilno enoto GG800

3 Naloge

- Inicializiraj časovno-digitalni prevornik na plošči Red Pitaya in opravi kalibracijo.
- Izmeri ločljivost časovno-digitalnega pretvornika
- Izmeri porazdelitev časovnih intervalov med razpadi radioaktivnega vira
- Poišči koincidence anihilacijskih žarkov γ in izmeri njihovo kotno korelacijo

4 Meritve

Meritve so vse v digitalni obliki, ker sem vse meril z računalnikom. Vseeno priložim, kar je zapisano v laboratorijskem dnevniku. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.



Slika 1: Zapis v laboratorijskem dnevniku

5 Obdelava podatkov

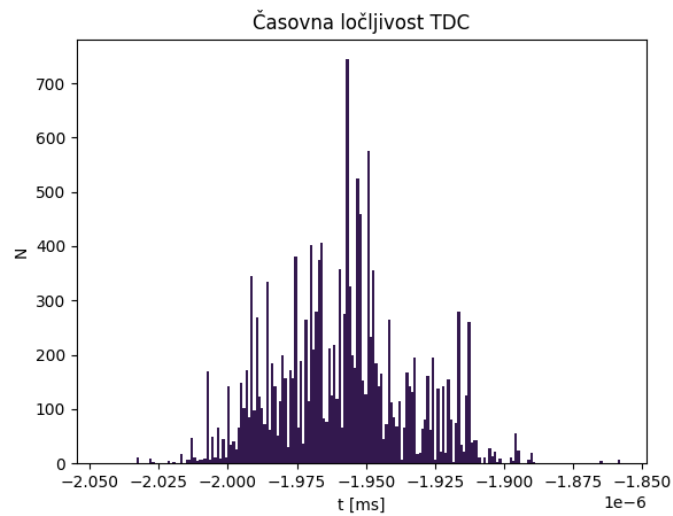
Vso obdelavo podatkov sem opravil v Pythonu s pomočjo knjižic `matplotlib` in `NumPy`. Prilagajanje krivulje sem naredil s `scipy.optimize.curve_fit()`

6 Izračuni

6.1 Ločljivost časovno-digitalnega prevornika

Po kalibraciji časovno-digitalnega pretvornika (TDC) z pomočjo računalnika, sem pogledal kolikšna je medkanalna ločljivost TDCja. Meril sem 60 s. Nekako sem dobil precej zašumljeno Gaussovo krivuljo. Program na računalniku, pa je poročal, da je:

$$\sigma = 24.4 \cdot 10^9 \text{ ps}.$$

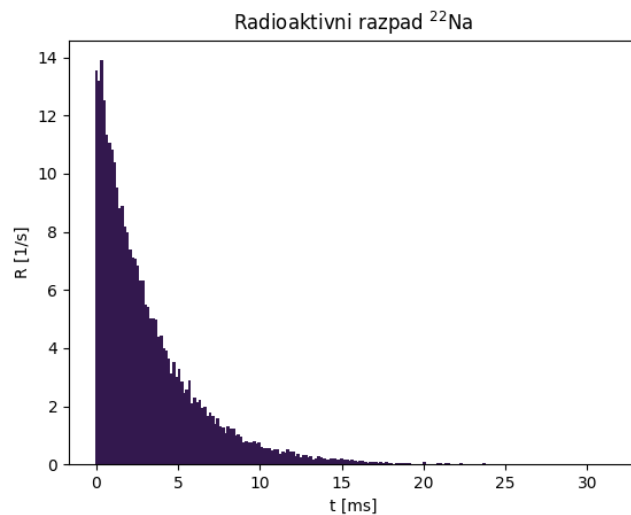


Slika 2: Medkanalna časovna ločljivost TDCja

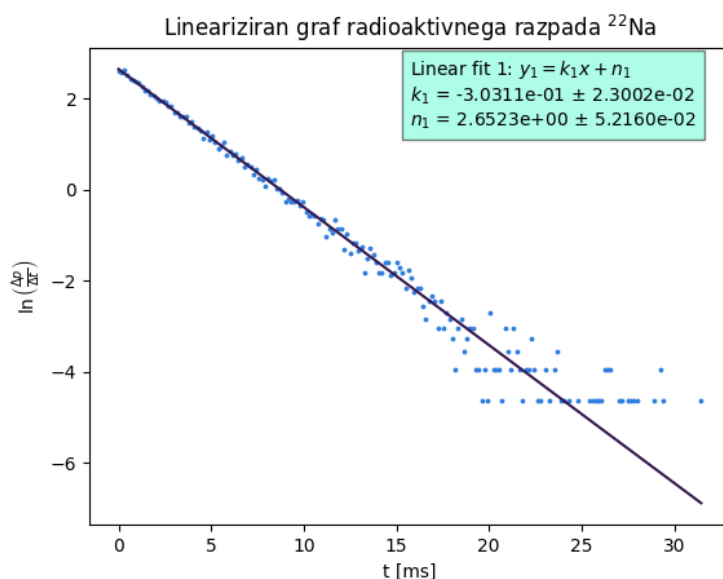
6.2 Porazdelitev časovnih intervalov med razpadi radioaktivnega vira ^{22}Na

Pomeril sem porazdelitev časovnih intervalov med razpadi vira. Meril sem na kanalu TDC0 103.6 s. Zanima nas če je porazdelitev res Poissonova. To lahko naredimo tako, da lineariziramo krivuljo in ji prilagodimo premico:

$$\ln\left(\frac{dp}{dt}\right) = \ln R' - Rt$$



Slika 3: Poissonske razpad



Slika 4: Prileganje premice

Iz prirejene premice sem dobil vrednost:

$$R = (303 \pm 23) \text{ s}^{-1}$$

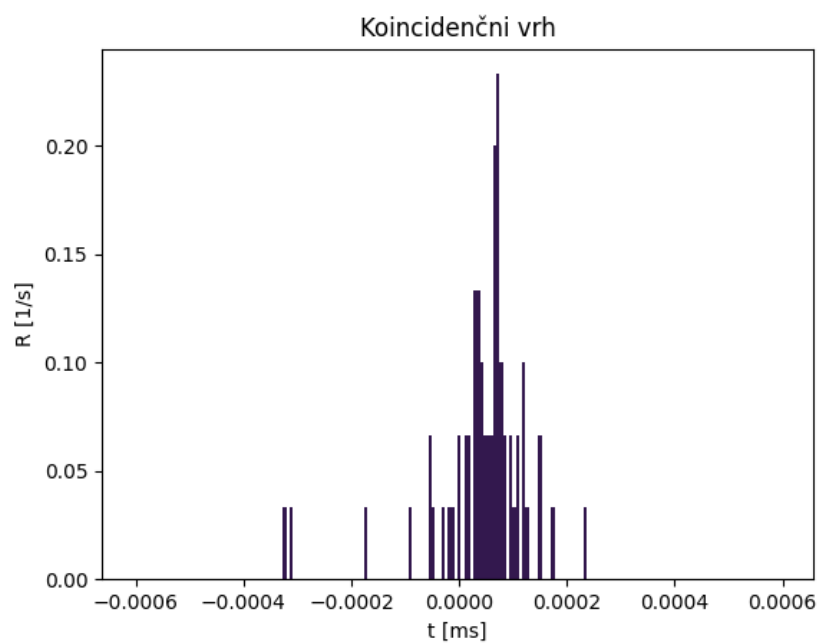
Iz meritev direktno preko zveze $R = \bar{N}/t$ pa dobim:

$$R = (302 \pm 17) \text{ s}^{-1}$$

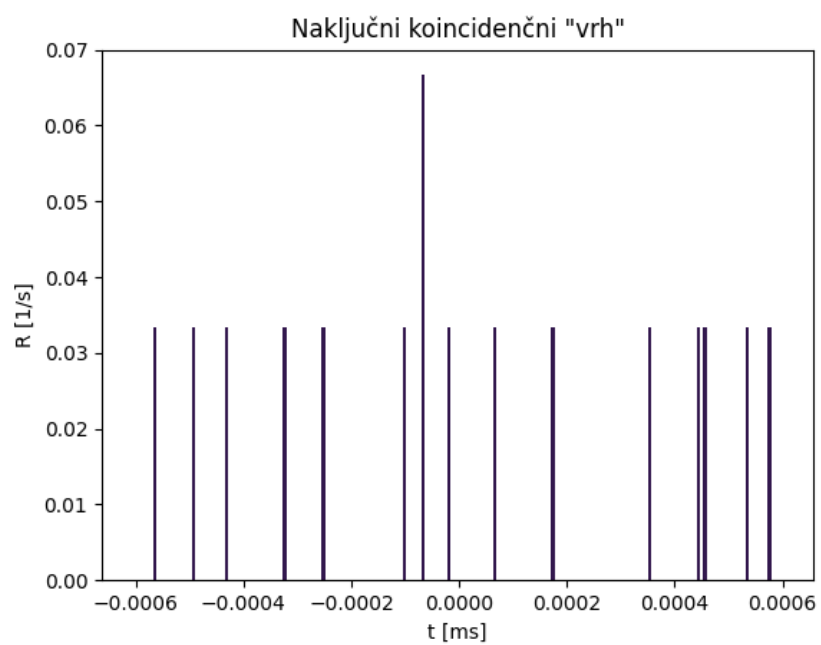
Torej se meritvi ujemata v okviru napake.

6.3 Koincidence anihilacijskih žarkov γ

Z zamikom koincidenčnega vrha tako da povečamo zamik med kanaloma, lahko vidimo le še naključne koincidence. Zelo malo število naključnih koinciden ($R \approx 0.05 \text{ s}^{-1}$) je verjetno prvi pokazatelj, da se je pri meritvah začelo dogajati nekaj čudnega. Možno je, da sem meril preozko območje koinciden, ker je koincidenčni vrh prišel lepši na nepovečani sliki. Možno je tudi, da je imel kanal na katerem sem delal takrat že nastavljen nek zamik in se jaz tega nisem zavedal.



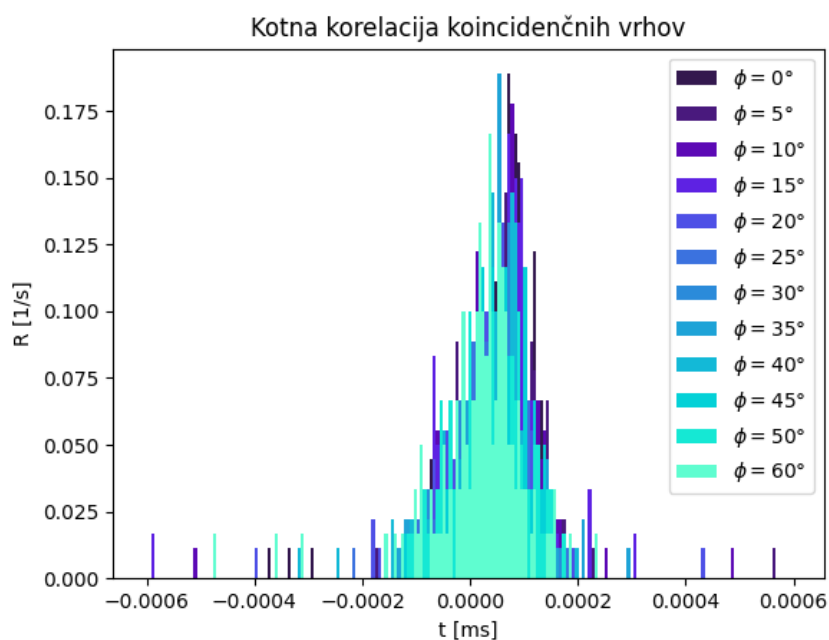
Slika 5: Koincidenčni vrh



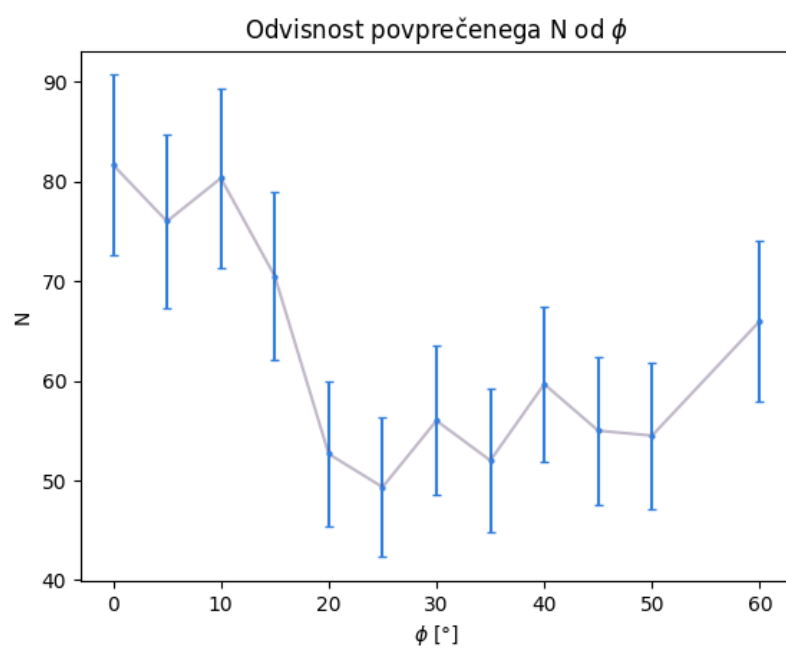
Slika 6: Naključne koincidence

6.4 Kotna korelacija žarkov γ

Za zadnji del vaje sem izmeril še kotno korelacijo žarkov z zamikanjem enega od scintilacijskih detektorjev. Meril sem v intervalu $\phi \in [0, \pi/3]$ kjer je (razen tik pred koncem) interval med vsako meritvijo 5. Za vsak kot sem 3x opravil meritev. Prikazujem povprečenje. Pričakovano je, da je število koincidenč močno odvisno od kota. Pri mojih meritvah pa je moralo priti do napake, ker te odvisnosti ni moč takoj jasno opaziti. Nekoliko se res zmanjša število koincidenč, ampak ne zelo znatno. Mogoče sem imel scintilacijska detektorja predaleč narazen in sem pravzaprav v resnici ves čas meril samo naključne korelacije.



Slika 7: Koincidenčni vrhovi pri različnih kotih



Slika 8: Odnosnost R od ϕ