

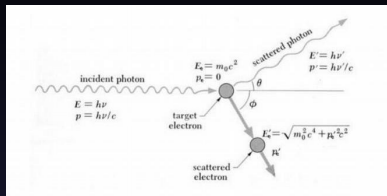
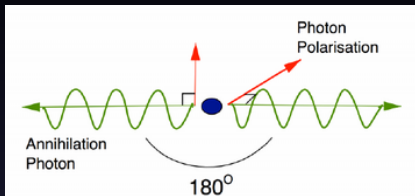
Opažanje polarizacije gama zračenja

Ana-Marija Kožuljević
Mentor: izv. prof. Mihael Makek

Fizički odsjek, PMF, Bijenička c.32, 10000 Zagreb

28. siječnja 2019.

Komptonско raspršenje

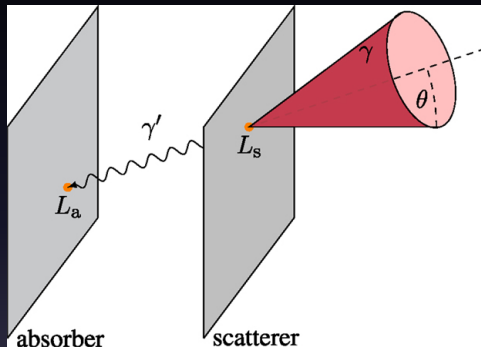


Slika: Komptonско raspršenje i polarizacija fotona nakon anihilacije [2]

Klein-Nishina formula:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} r_0^2 \left(\frac{k'}{k_0} \right)^2 \left(\frac{k_0}{k'} + \frac{k'}{k_0} - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \phi \right)$$

Komptonske kamere

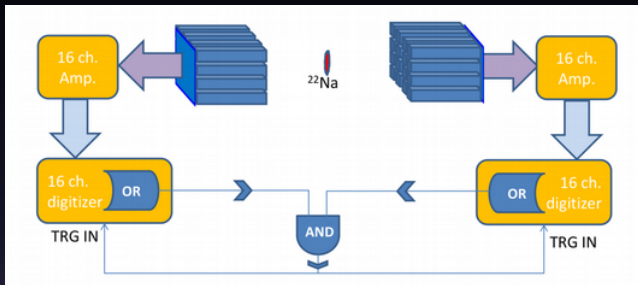


Slika: Komptonska kamera s dva sloja detektora. Preuzeto iz [3].

$$E_0 = E_1 + E_2$$

Eksperimentalni postav

- izvor ^{22}Na
- scintilacijski detektori - LSO anorganski kristali
- *Multipixel Photon Counter* (S13361-3050AE Hamamatsu)
- pasivni pojačivač (AiT instruments)
- digitalizator (CAEN V1743)



Slika: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [5].

Izvor zračenja

- Izotop ^{22}Na raspada se β -raspadom:



- Unutar materijala pozitron se anihilira s elektronom

→ nastaje par fotona energije 511 keV, okomitih polarizacija

Scintilacijski detektori

Efikasan scintilacijski detektor:

- ima visoku efikasnost konverzije energije pubuđenja u fluorescentno zračenje
- transparentan na vlastito fluorescentno zračenje
- emisija svjetla u suglasju sa spektralnim odgovorom fotomultiplikatora
- reemisijski puls ima kratko vrijeme raspada

Scintilacijski detektori

U ovom eksperimentu:

- LFS (*Lutetium Fine Silicate*) anorganski kristali
- Energijska rezolucija $\frac{\Delta E}{E}$ ovih kristala izmjerena na 511 keV iznosi 12%

LFS karakteristike

gustoća [gcm^{-3}]	7.35
efektivni Z	64
duljina atenuacije [cm]	1.15
vrijeme deekscitacije [ns]	<33

Tablica: Karakteristike LFS scintilacijskih kristala. Preuzeto iz [1].

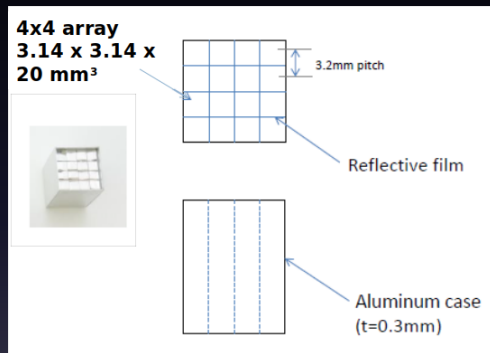
Koincencijska mjerenja

- Itecij-176 je radioaktivan
- β -raspadom emitira fotone energije $\sim 200 - 300$ keV

→ u mjerenjima postoji pozadinski šum

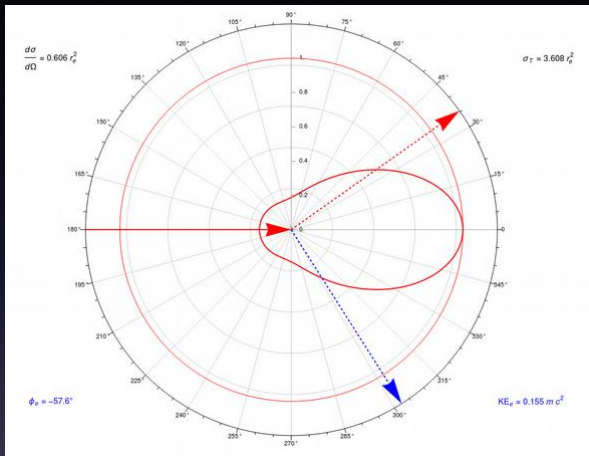
KOINCIDENCIJSKA MJERENJA → potisnuće ovog pozadinskog šuma mjerenjem samo signala koji okidaju oba detektora istovremeno

Scintilacijski detektori



Slika: Geometrija detektora korištenih u eksperimentu. Preuzeto iz [7].

Udarni presjek



Slika: Udarni presjek za energiju upadnog fotona od 511 keV naznačen je punom crvenom crtom. Slika dobivena pomoću Wolfram CDF Player-a

Geometrijska svojstva raspršenja na detektoru

Pretpostavke:

- upadni foton se raspršuje na 1.5 mm dubine
- raspršeni foton se zaustavlja na 18.5 mm dubine
- pomoću Pitagorinog poučka izračunali smo kuteve koji će biti dostupni za svaku pojedinu kombinaciju piksela
- iz energijske rezolucije detektora izračunate granice dostupnih energija za tražena raspršenja

Geometrijska svojstva raspršenja na detektoru

θ [rad]	E_e [keV]	E_2 [keV]
0.175	8 ± 3	503 ± 26
0.242	14 ± 4	497 ± 26
0.339	28 ± 6	483 ± 25
0.375	33 ± 7	478 ± 25
0.463	49 ± 8	462 ± 25
0.487	14 ± 4	503 ± 26
0.51	58 ± 9	453 ± 25
0.565	69 ± 10	442 ± 24
0.642	85 ± 11	426 ± 24

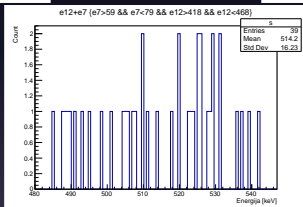
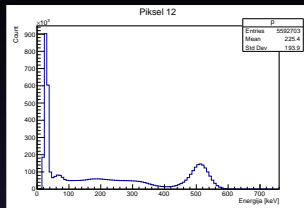
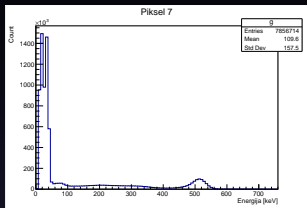
Tablica: Izračunate granične vrijednosti energija za kuteve dobivene iz geometrije detektora.

REZULTATI

Rezultati

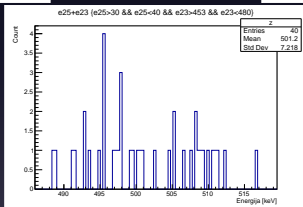
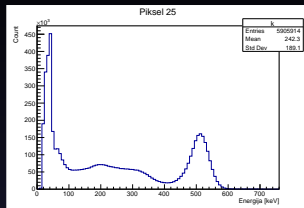
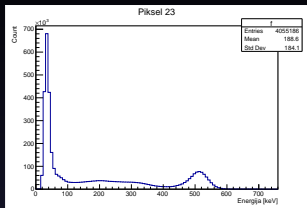
- analiza pomoću programskog paketa ROOT
- ukupni broj događaja: 12 275
- rekonstrukcija slike izvora pomoću programskih jezika C++ i Python - biblioteka *SymPy* i funkcije *plot_parametric*

Detektor 1



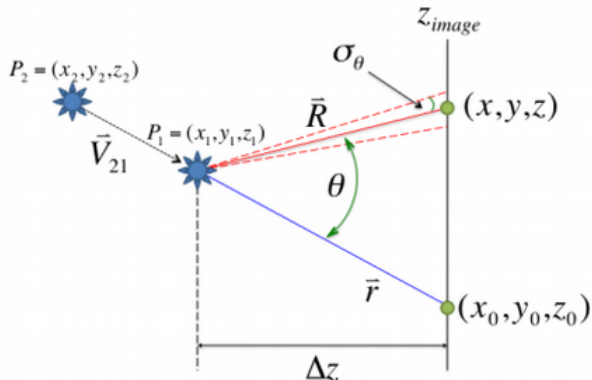
Slika: Energijski spektar dobiven rezanjem prema Tablici II. Ovo je rezultat za raspršenje pod kutem od 0.566 radijana. Broj događaja koji odgovaraju ovom rezu je 39.

Detektor 2



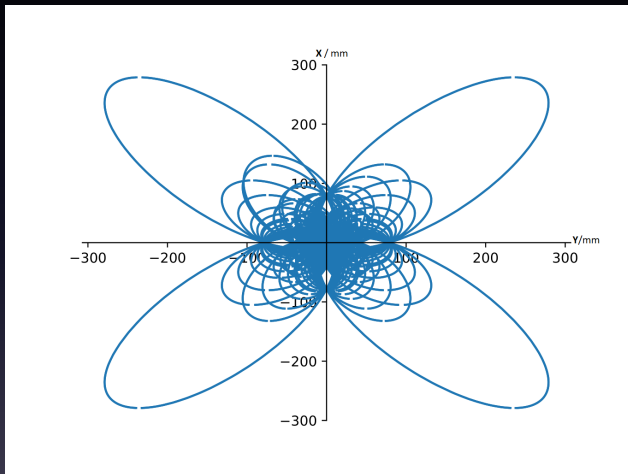
Slika: Energijski spektar dobiven rezanjem prema Tablici II. Ovo je rezultat za raspršenje pod kutem od 0.375 radijana. Broj događaja koji odgovaraju ovom rezu je 40.

Rekonstrukcija slike



Slika: Skica *back-projection* algoritma za rekonstrukciju događaja. Preuzeto iz [4].

Rezultat rekonstrukcije slike



Slika: Presjek konusa svih događaja.

Zaključak

- pomoću ovog mjernog postava može se rekonstruirati slika izvora zračenja
- postoji potencijal da se zamijene detektori u dva sloja → jednostavniji i jeftiniji jednoslojni detektori
- široka primjenjivost - razvoj komptonskih kamera u jednom sloju za primjenu u medicinskom i industrijskom oslikavanju, detekciju zračenja iz okoliša...
- rekonstrukcija slike se može unaprijediti korištenjem iterativnih algoritama

Hvala na pažnji!



LFS White Paper,
<http://www.zecotek.com/media/LFSWhitePaper.pdf>;



<http://universe-review.ca/I15-72-Compton1.jpg>;



https://www.frontiersin.org/files/Articles/170445/fonc-06-00080-HTML-r2/image_m/fonc-06-00080-g004.jpg






Tornga, Shawn. "A prototype Compton imager : simulations, measurements and algorithm development." (2010). http://digitalrepository.unm.edu/ne_etds/48



Performance of scintillation pixel detectors with MPPC read-out and digital signal processing, Makek et al., Acta Physica Polonica B, Vol. 48 (2017);

Hvala na pažnji!

-  Koincencijska mjerenja gama zraka scintilacijskim detektorima - priprema za vježbu iz praktikuma, http://www.phy.pmf.unizg.hr/ma-kek/nukl_prakt/vjezbe/np_vjezba06.pdf;
-  Compact Compton detectors in coincidence setup, Makek et al., 3rd Symposium on Positron Emission Tomography, Krakow 2018
-  Pavla Šenjug, Demonstracijski uređaj za mjerenje polarizacijskih korelacija u pozitronskoj anihilaciji, diplomski rad, PMF - Fizički odsjek, Zagreb, 2016.