

Studija mogućnosti mjerenja $ESS\nu SB$ toka neutrina promatranjem elastičnih raspršenja neutrina na orbitalnim elektronima

Kaja Krhač¹
Mentor: Budimir Kliček²

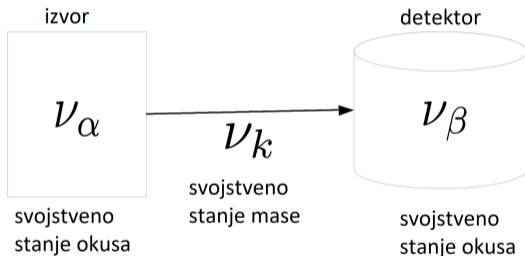
¹Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu

²Znanstveni centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, Institut Ruđer Bošković, Zagreb

30. siječnja 2020.

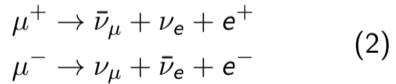
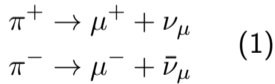
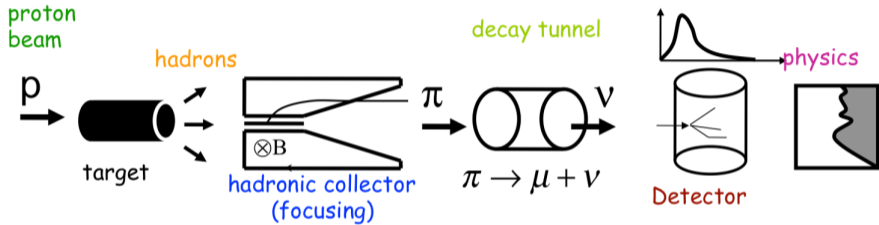
Motivacija

- mjerenje CP narušenja u leptonskom sektoru uspoređujući $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ i $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ oscilacije neutrina



- znanje o energiji i čestičnom sastavu snopa neutrina je ograničeno zbog neodređenosti u produkciji hadrona, čijim raspadom nastaju neutrina

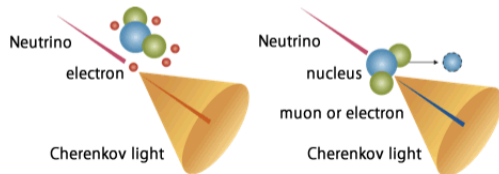
Produkcija snopa neutrina



Fluks

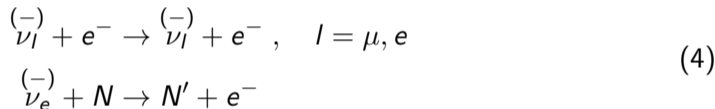
$$R(t) = \int_0^{\infty} \frac{dL(t)}{dE} \sigma(E) dE \quad (3)$$

- poznavajući udarni presjek i stopu interakcije moguće je odrediti fluks
- neutrini se u Čerenkovljevom detektoru raspršuju na jezgrama vodika i kisika i njihovim orbitalnim elektronima



Elastična raspršenja neutrina na elektronima

- udarni presjek za raspršenje neutrina na elektronima je barem 2000 manji od udarnog presjeka raspršenja neutrina na jezgrama
- pozadina od raspršenja ostalih okusa neutrina:



- dominantni pozadinski proces su $\bar{\nu}_e N$ raspršenja putem nabijene (eng. charged current) slabe sile

Analiza

- ROOT je programski paket za analizu, procesiranje i vizualizaciju podataka temeljen na C++
- interakcije neutrina simulirane su upotrebom GENIE (Generates Events for Neutrino Interaction Experiments) Monte Carlo generatora baziranog na ROOT-u
- u GENIE su inkomponirani različiti fizikalni modeli potrebni za opis modova raspršenja neutrina i informacije o udarnim presjecima

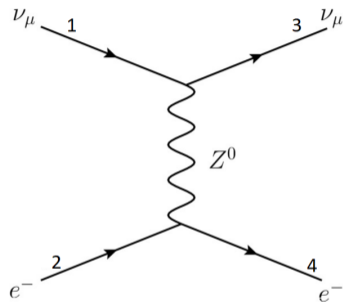
Analitički izraz za drvasti (eng. tree-level) udarni presjek

$$g_+ \equiv c_V^e + c_A^e, \quad g_- \equiv c_V^e - c_A^e$$

$$c_V^e = -\frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_W, \quad c_A^e = -\frac{1}{2}$$

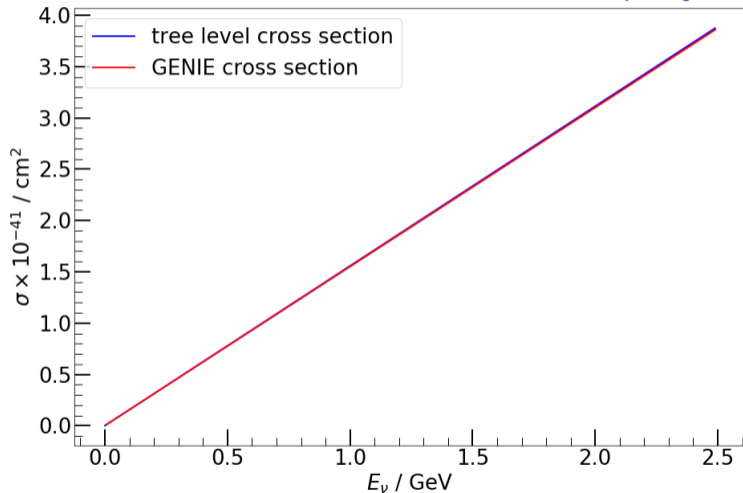
$$\sin^2\theta_W = 0.231\,22(4)$$

$$G_F = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{g^2}{m_W^2} = 1.166\,378\,7(6) \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

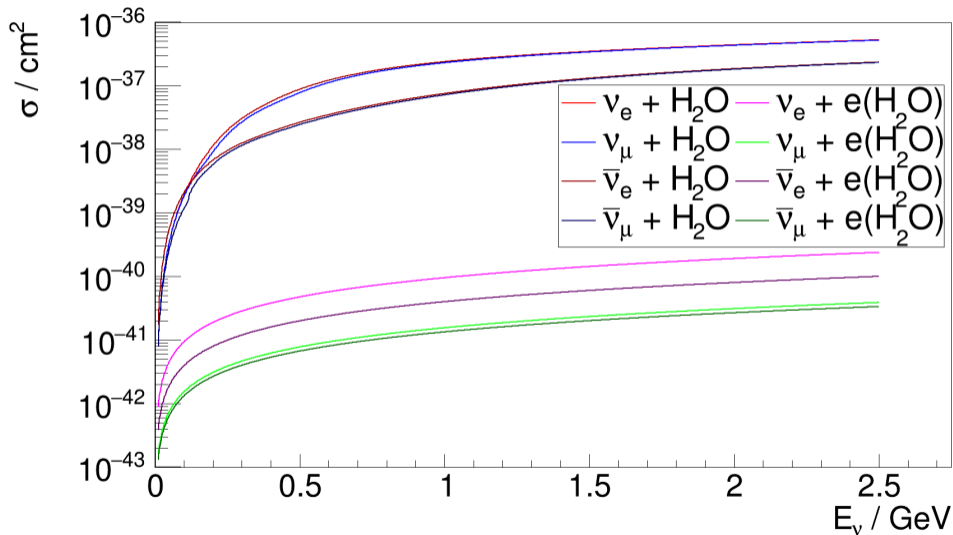


$$\sigma = \frac{G_F^2}{2\pi} E_\nu m \left[g_+^2 \left(1 - \frac{m}{2E_\nu + m} \right) + \frac{g_-^2}{3} \left(1 - \left(\frac{m}{2E_\nu + m} \right)^3 \right) - 2g_+g_- \frac{E_\nu m}{(2E_\nu + m)^2} \right]$$

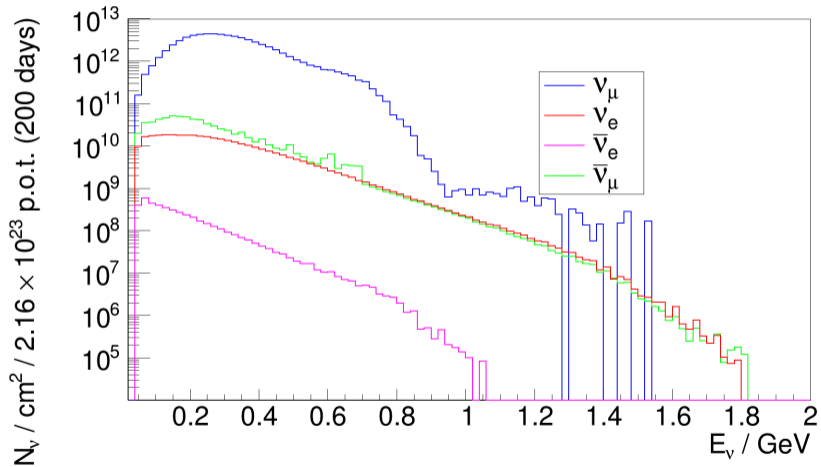
Usporedba GENIE modela udarnog presjeka s drvastim udarnim presjekom



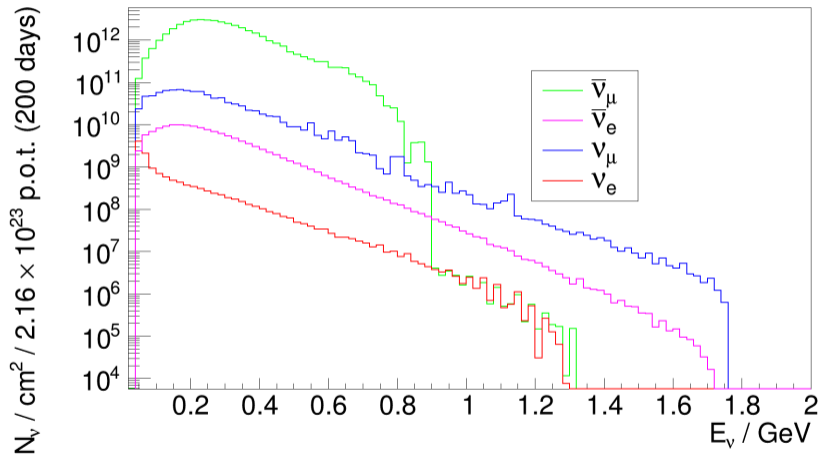
Udarni presjek



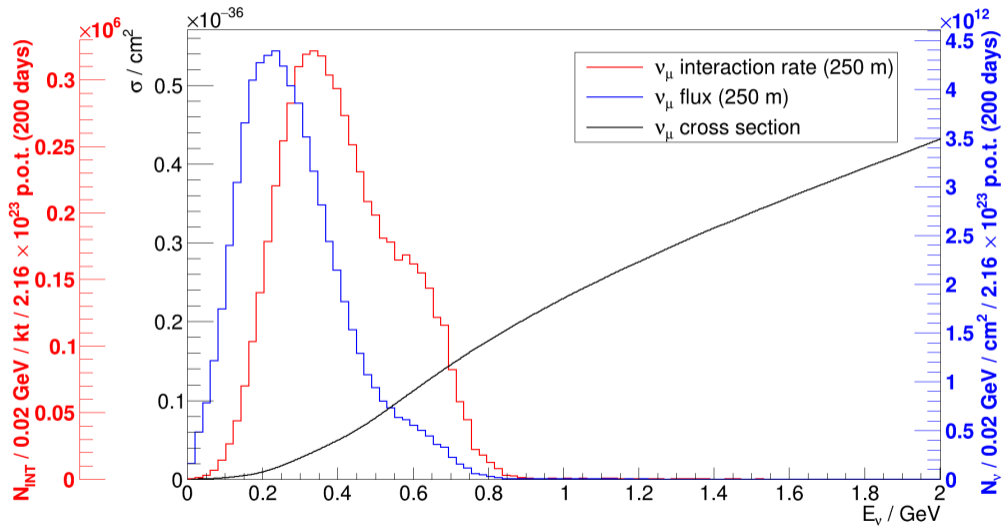
Fluks - pozitivni polaritet



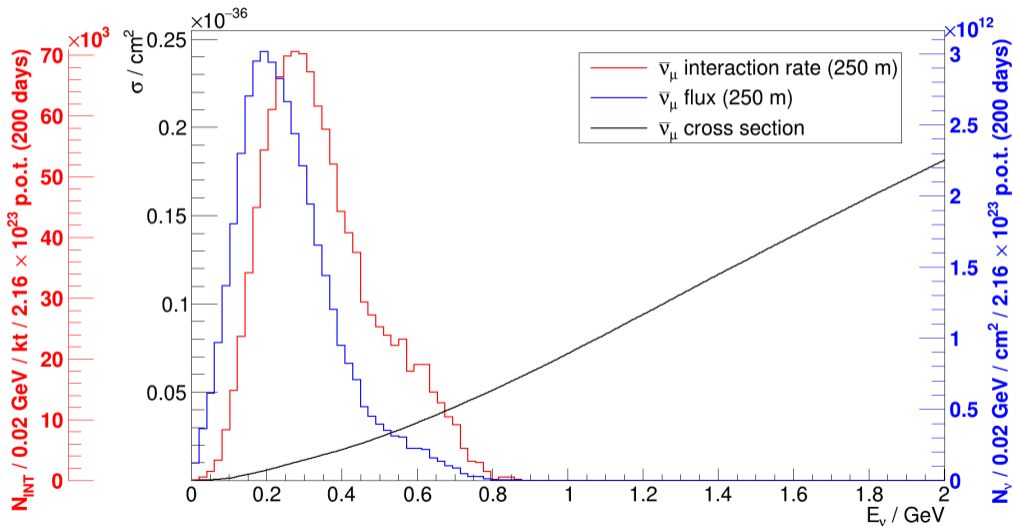
Fluks - negativni polaritet



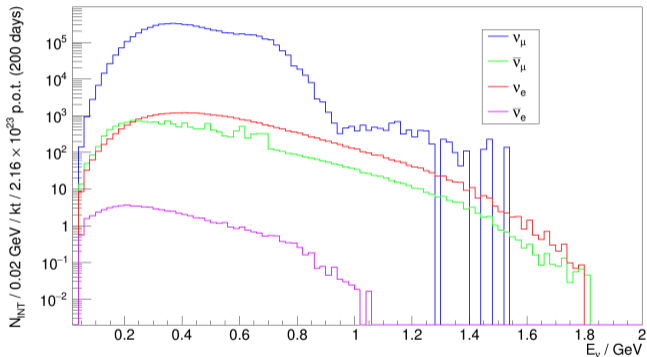
Mionski neutrini - pozitivni polaritet



Mionski antineutrini - negativni polaritet



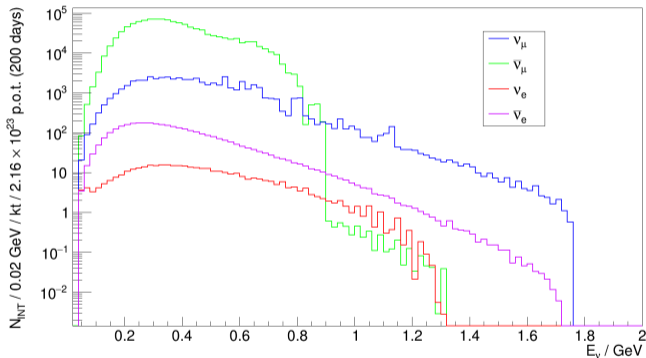
Očekivani broj događaja - pozitivni polaritet



Tablica: Očekivani broj događaja u 1 kt vode u 200 dana.

	očekivani broj događaja
ν_μ	6 017 320
ν_e	29 987
$\bar{\nu}_\mu$	15 896
$\bar{\nu}_e$	69

Očekivani broj događaja - negativni polaritet



Tablica: Očekivani broj događaja u 1 kt vode u 200 dana.

	očekivani broj događaja
ν_μ	57 151
ν_e	390
$\bar{\nu}_\mu$	1 153 000
$\bar{\nu}_e$	3 410

Očekivani broj raspšenja na elektronima

Tablica: Očekivani broj raspšenja na elektronima u 1 kt vode u 200 dana za pozitivni polaritet.

	očekivani broj događaja
ν_μ	817
ν_e	22
$\bar{\nu}_\mu$	5
$\bar{\nu}_e$	0

Tablica: Očekivani broj raspšenja na elektronima u 1 kt vode u 200 dana za negativni polaritet.

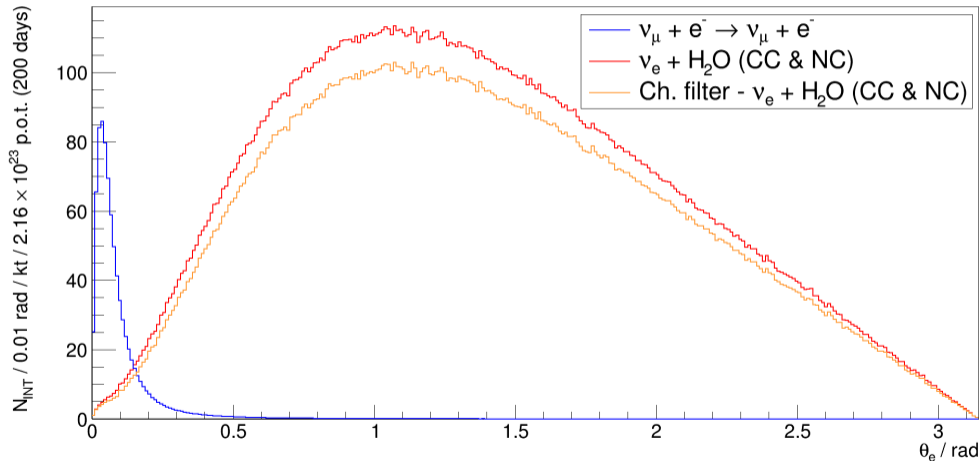
	očekivani broj događaja
ν_μ	9
ν_e	0
$\bar{\nu}_\mu$	387
$\bar{\nu}_e$	3

Pozadinski procesi

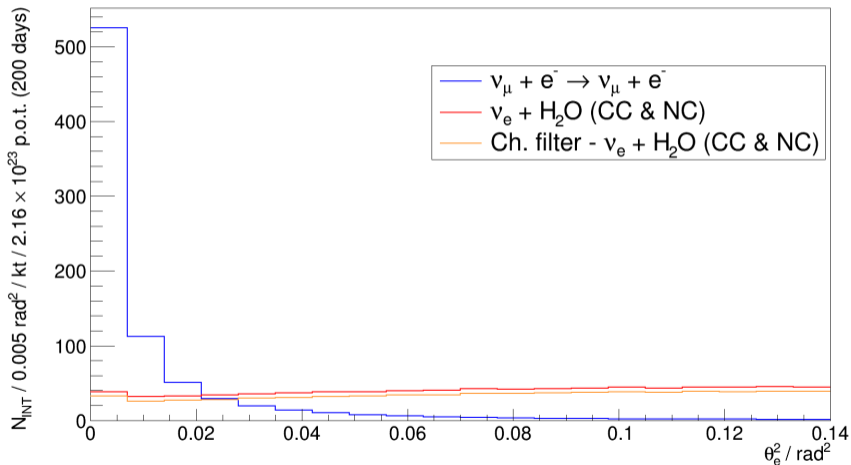
Tablica: Mogući procesi raspršenja neutrina u kojima je izlazna čestica elektron. Raspršenje na jezgri označeno je s N, odnosno N'.

proces	vrsta interakcije
$\nu_{\mu} + e^{-} \rightarrow \nu_{\mu} + e^{-}$	NC
$\nu_e + e^{-} \rightarrow \nu_e + e^{-}$	CC-NC interferencija
$\nu_e + N \rightarrow N' + e^{-}$	CC
$\bar{\nu}_{\mu} + e^{-} \rightarrow \bar{\nu}_{\mu} + e^{-}$	NC
$\bar{\nu}_e + e^{-} \rightarrow \bar{\nu}_e + e^{-}$	CC-NC interferencija
$\bar{\nu}_e + N \rightarrow N' + e^{+}$	CC

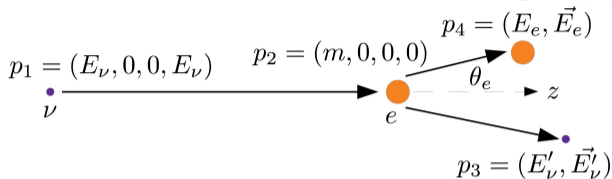
Raspodjela kuta izlaznog elektrona - pozitivni polaritet



Raspodjela kvadrata kuta izlaznog elektrona - pozitivni polaritet



Omedenost $\theta_e^2 E_e$ varijable



Za URL elektrone

$$E_e = \frac{mE_\nu}{E_\nu(1 - \cos\theta_e) + m} \quad (5)$$

Ako definiramo $y = E_e/E_\nu$, slijedi

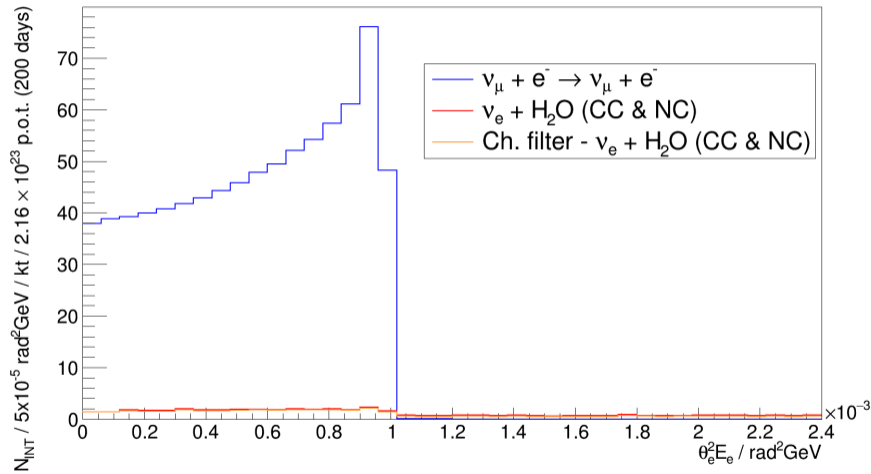
$$1 - \cos\theta_e = \frac{m}{E_e}(1 - y) \quad (6)$$

U URL limesu:

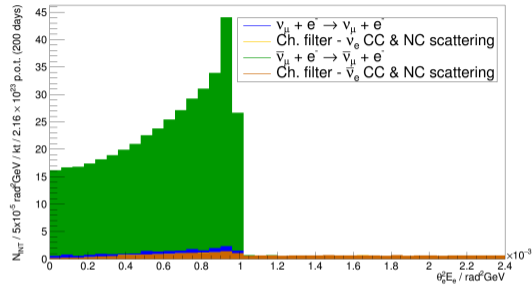
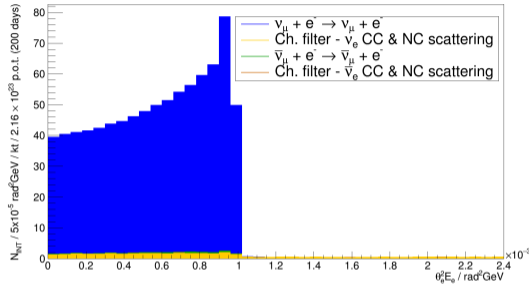
$$E_e\theta_e^2 \approx 2m(1 - y) \leq 2m \quad (7)$$

Kad $\theta_e = 0$, $y = 1$, dok za $\theta_e = \pi$, $y = \frac{m}{2E_\nu + m} \approx 0$, jer $E_\nu \gg m$.

Raspodjela $\theta_e^2 E_e$ - pozitivni polaritet



Zaključak



- omjer pozadine i signala je 3.4 % za ν_μ i 3.5 % za $\bar{\nu}_\mu$ ako se $\theta_e^2 E_e$ upotrebljava za odbacivanje pozadine
- potrebno je uključiti π^0 pozadinu
- kako bi se zaključilo je li ovakva rekonstrukcija izvediva u praksi, još je potrebno uzeti u obzir odziv i rezoluciju detektora