

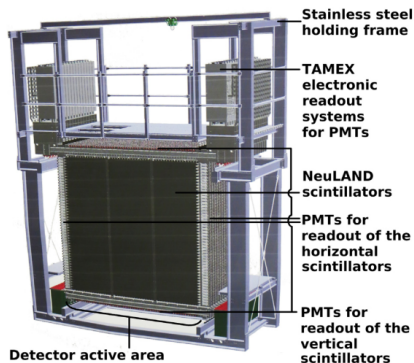
# Simulacije odziva detektora NeuLAND na nabijene čestice

Ivana Lihtar

PMF, Fizički odsjek

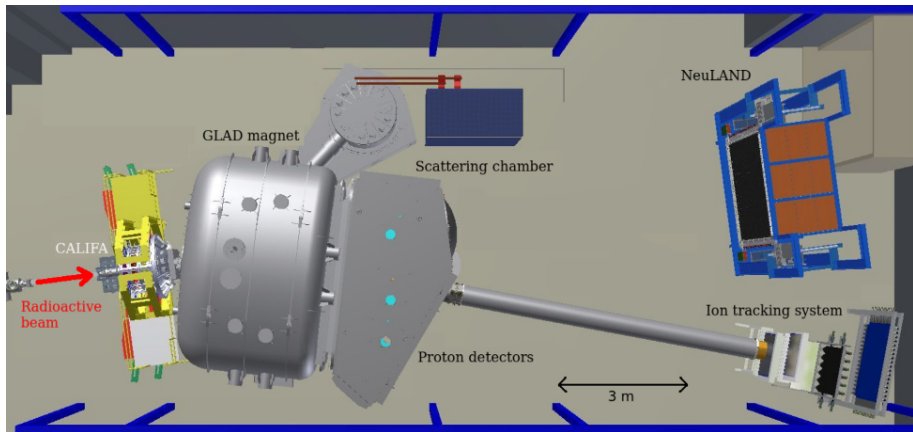
*Mentor: dr.sc. Igor Gašparić, Institut Ruđer Bošković*

January 30, 2020



- GSI → FAIR → R3B
- NeuLAND - detektor vremena preleta neutrona
- organske scintilatorske šipke ( $5 \times 5 \times 250 \text{ cm}^3$ )
- dvostruke ravnine - 50 horizontalno + 50 vertikalno orijentiranih šipki
- u izgradnji - konačni cilj: 30 dvostrukih ravnina ( $2.5 \times 2.5 \times 3 \text{ m}^3$ )
- Kako se svojstva nuklearnih sustava mijenjaju ovisno o izospinu?

# R3B eksperimentalni postav



## Reactions with Relativistic Radioactive Beams

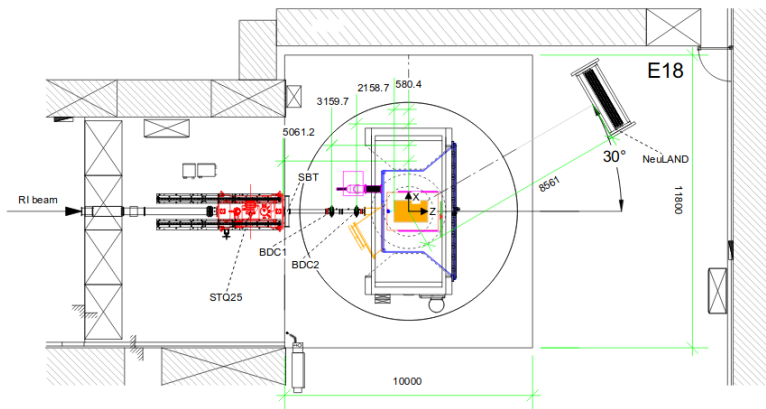
- proučavanje asimetričnog člana nuklearne jednadžbe stanja (EoS) - odnosno energije simetrije  $S(\rho)$

$$E(\rho, \delta) = E(\rho, \delta = 0) + S(\rho)\delta^2$$

$$\delta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p}$$

- opis fenomena poput eksplozija supernova i neutronske zvijezde
- sudari teških iona - postizanje dva do tri puta veće gustoće nuklearne tvari od gustoće saturacije ( $0.16 \text{ fm}^{-1/3}$ )
- opservable koje ovise o jačini asimetričnog člana u EoS: omjeri multipliciteta i spektralnih raspodjela izospinskih parova (p/n, t/ $^3\text{He}$ ...)

# RIKEN eksperimentalni postav



$^{108}\text{Sn}$  on  $^{112}\text{Sn}$  and  $^{112}\text{Sn}$  on  $^{124}\text{Sn}$  pri 270 A MeV  
 $^{132}\text{Sn}$  on  $^{124}\text{Sn}$  and  $^{124}\text{Sn}$  on  $^{112}\text{Sn}$  pri 270 A MeV

- NeuLAND Demonstrator (4 duple ravnine)- detekcija nabijenih čestica
- detektor VETO - ispred NeuLAND-a, za identifikaciju nabijenih čestica
  - 8 scintilatorskih ploča dimenzija  $15 \times 190 \times 1 \text{ cm}^3$
  - orijentirane vertikalno s preklopom od 1 cm
- testiranje odziva detektora!



- teške nabijene čestice - elektromagnetska interakcija →  
Bethe-Blochova formula

$$-\frac{dE}{dx} = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$

- gubitak energije u NeuLAND-u

$$E = \int_0^L \frac{dE}{dx} dx$$

- neutroni - jaka sila; veza vremena preleta i energije iz izraza za kinetičku energiju

$$E = (\gamma - 1)m_n c^2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - L^2/(tc)^2}} - 1 \right) m_n c^2$$

- transmisija svjetlosti → gubici na površini, apsorpcija u materijalu → **atenuacija**

$$L(x) = L_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

- prolazak čestice → ekscitacija → scintilacija ili drugi mehanizmi → **prigušenje** (Birkov zakon)

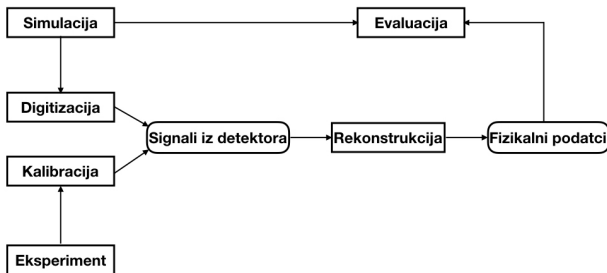
$$\frac{dL}{dx} = S \frac{\frac{dE}{dx}}{1 + kB \frac{dE}{dx} + C \left(\frac{dE}{dx}\right)^2}$$

- naboj koji proizvodi signal u PMT-ju nelinearno ovisi o proizvedenoj svjetlosti → **saturacija**

$$Q = \frac{L}{1 + \kappa L}$$

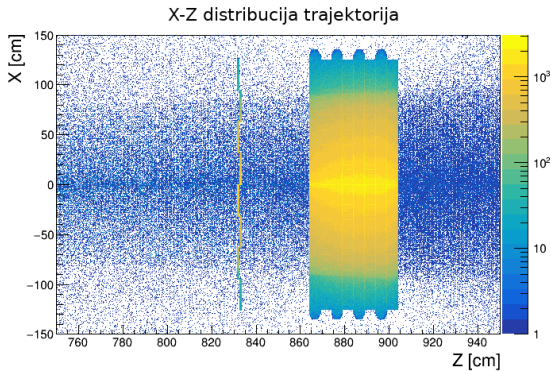
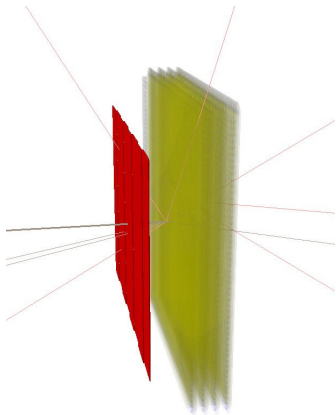


- FairRoot → R3BRoot
  - geometrija detektora
  - primarne čestice - generator događaja (engl. event generator)
  - Monte Carlo "stroj" s implementacijom fizikalnih procesa GEANT4 (GEometry AND Tracking)
- dva stadija procesa: simulacija i digitizacija



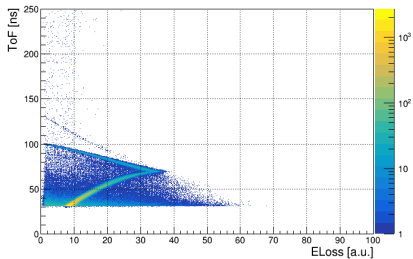
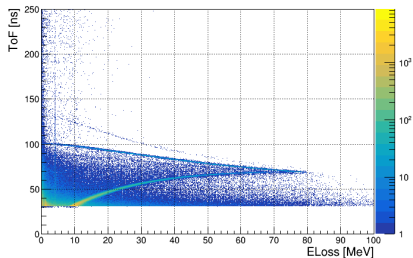
- u simulacije implementiran VETO - geometrija, digitizer i ostalo
- generirane čestice - produkti reakcija i opažene u eksperimentu: p, d, t,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ , n,  $\gamma$ ,  $\mu$
- energijski raspon: 0.01 - 1.5 GeV
- $\theta \in [0^\circ, 6^\circ]$ ,  $\phi \in [0^\circ, 360^\circ]$
- kozmički mioni (kalibracija detektora) u energijskom rasponu: 3.9 - 4.1 GeV
- ukupan broj generiranih događaja:  $10^6$

# Rezultati - geometrija detektora

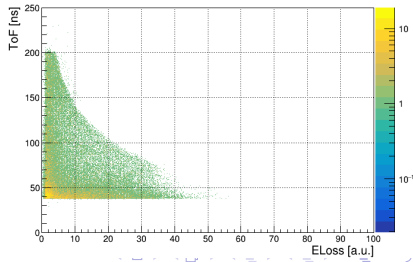
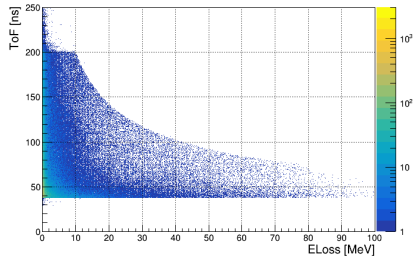


# Rezultati - trag u NeuLAND-u (prva ravnina)

● protoni

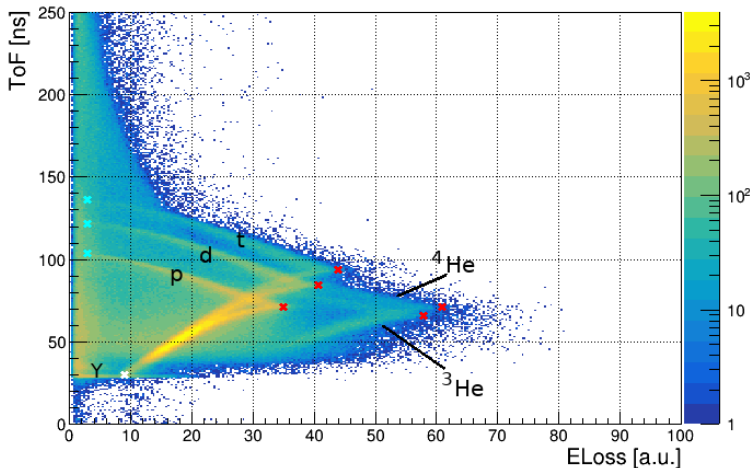


● neutroni

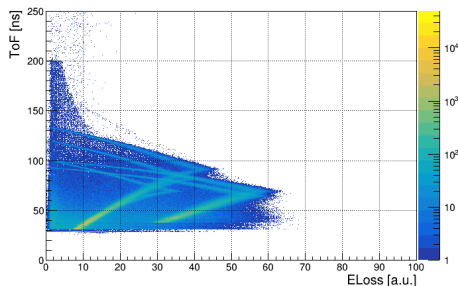
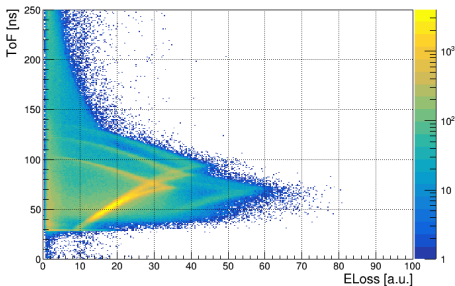


# Rezultati - usklađivanje s eksperimentom

- × točke probijanja
- × točke maksimalnog vremena preleta
- × mionski vrh



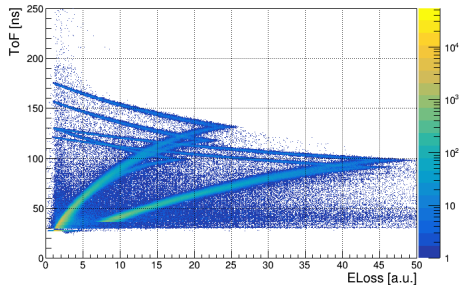
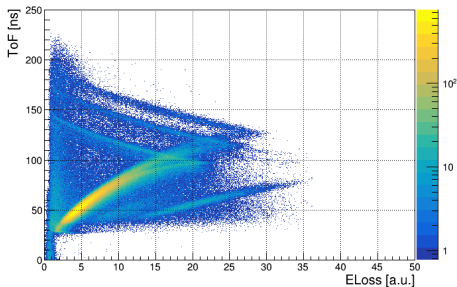
# Rezultati - NeuLAND



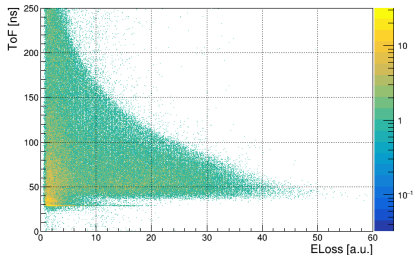
Vrijeme preleta [ns] i energija [a.u.]

Čestica	ToF <sub>pt,exp</sub>	ToF <sub>pt,sim</sub>	ToF <sub>max,exp</sub>	ToF <sub>max,exp</sub>	E <sub>pt,exp</sub>	E <sub>pt,sim</sub>
proton	71.5	69.5	103	101	35	36
deuteron	84.5	82.5	122	120	40.8	41
triton	93.5	91.5	136	134	44	44
<sup>3</sup> He	66	65	-	200	59	60
α	71	69.5	-	93.5	61	62
γ	28.9	28.9	-	100	9	8.5

- linije jezgri  ${}^3\text{He}$  i  $\alpha$  vidljive u simulacijama  $\rightarrow$  elektroničko ograničenje na max. vrijednost signala u VETO-u
- lošije slaganje - ne možemo koristiti kozmičke mione za kalibraciju

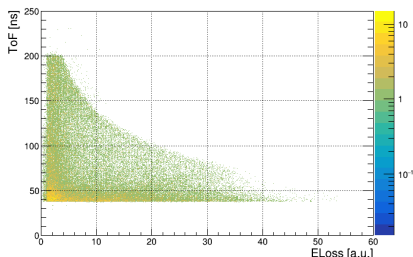
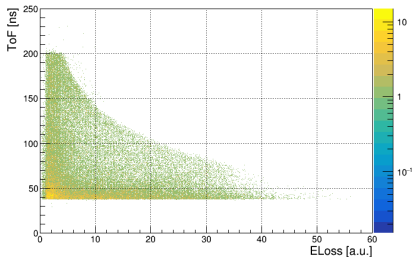


# Rezultati - neutroni



- smanjen energijski raspon generiranih neutrona
- izmjena Birkovih koeficijenata

RP408	kB $[\text{gcm}^{-2}\text{MeV}^{-1}]$	C $[\text{g}^2\text{cm}^{-4}\text{MeV}^{-2}]$
R3BRoot	0.013	$9.6 \times 10^{-6}$
Jian-Fu et al.	0.015	$8.4 \times 10^{-6}$





- EoS eksperimenti iskrišteni za proučavanje odziva detektora NeuLAND
- detektor VETO implementiran u simulacije
- simulacije odziva NeuLAND-a za nabijene čestice usklađene s eksperimentom
- moguća detaljna analiza događaja
- ostaje detaljnije uskladiti odziv neutrona s eksperimentom
- rekonstruirati spektralne raspodjele izospinskih parova koji nastaju u reakcijama u eksperimentu  $\rightarrow S(\rho)$

Hvala na odzivu! :D