

# Vývoj diagnostiky ubíhajících elektronů na bázi křemíkových stripových detektorů

Autor: Marek Tunkl  
Vedoucí práce: Ing. Michal Marčišovský, Ph.D

30. června 2021

- Polovodičové a scintilační detektory ionizujícího záření
- Vývoj detekční instrumentace pro detekci ubíhajících elektronů
- Analýza experimentálních dat a srovnání s existujícími metodami diagnostiky

## 1 Teorie

- Ubíhající elektrony
- Polovodičové detektory

## 2 Stripový detektor

- Přehled
- Zpracování dat
- Výsledky měření

## 3 Simulace

- Geant4
- Předběžné výsledky

## 4 LYSO

# Ubíhající elektrony

Ubíhající elektrony  
(runaway electrons – RE)  
vznikají v GOLEMU při:

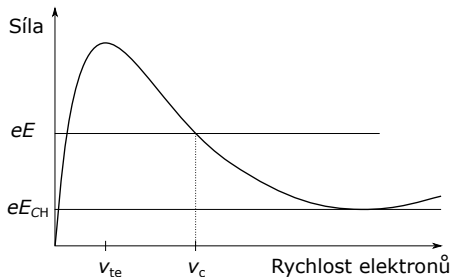
- nízká hustota plazmatu
- silné toridální elektrické pole

Pohybová rovnice<sup>1</sup>

$$m_e \frac{\partial v_e}{\partial t} = eE_{tor} - eE_{CH} F(v_e)$$

kde:

$$E_{CH} = \frac{n_e e^3 \ln \Lambda}{4\pi \epsilon^2 m_e c^2}$$



Obr.: Síly působící na elektron

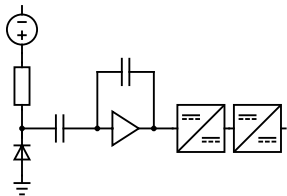
<sup>1</sup>J. Connor, Relativistic Limitations on REs, Nucl. Fus. (1975)



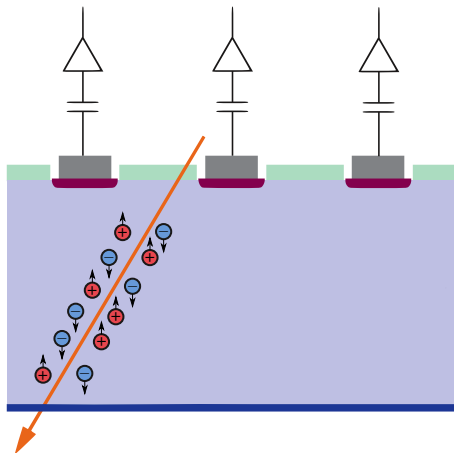
# Polovodičové detektory

Princip:

- dioda s napětím v závěrném směru
- ionizující záření ( $E > 3.6 \text{ eV}$  pro Si) vytvoří pár elektron díra
- elektrické pole pár rozdělí
- drift k opačným stranám detektoru
- → měřitelný signál



Obr.: Schéma detektoru s elektronikou



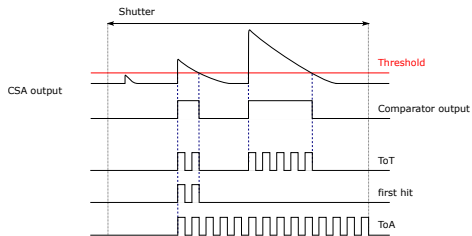
Obr.: Schéma biasované diody

- 1 Teorie
  - Ubíhající elektrony
  - Polovodičové detektory
- 2 Stripový detektor
  - Přehled
  - Zpracování dat
  - Výsledky měření
- 3 Simulace
  - Geant4
  - Předběžné výsledky
- 4 LYSO

# Detektor s čipem PH32

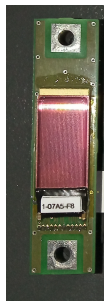
Stripový detektor s 32 kanály čipe PH32 a USB vyčítáním.  
módy kanálů PH32

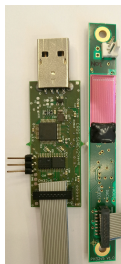
- hit count
- Time over Threshold (ToT)
- first hit Time over Threshold (fToT)
- Time of Arrival (ToA)



Senzor:

- tloušťka 512  $\mu\text{m}$
- 32 stripů
  - 250  $\mu\text{m} \times 18 \text{ mm}$





Obr.: Strip detektor

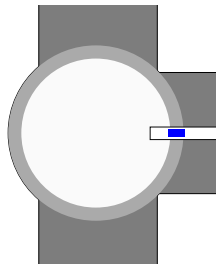
Dlouhý detektor zasahoval do plazmatu.



Obr.: Strip detektor



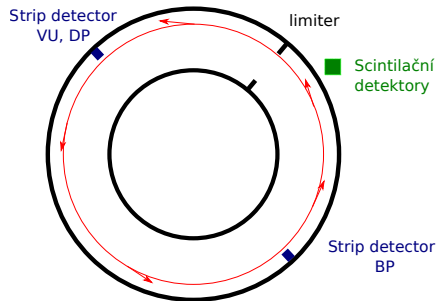
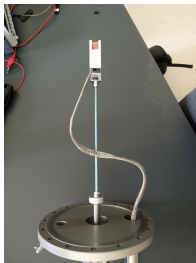
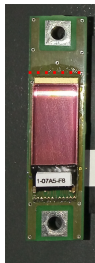
Obr.: Detektor na manipulátoru



Obr.: "Rys" portu s detektorem

Dlouhý detektor zasahoval do plazmatu.

# Detektor v. 2 a umístění



Obr.: Schéma experimentu

Pro porovnání výbojů

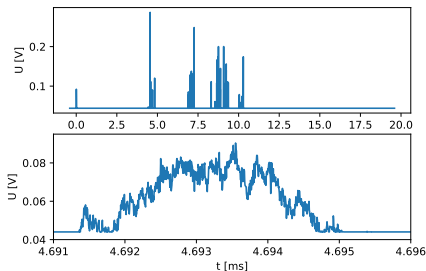
- odhad deponované energie

$$E_{HXR} \sim \int U_{HXR}(t) dt$$

$$E_{PH32} \sim \sum ToT$$

Problémy

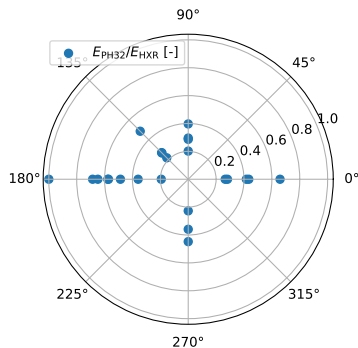
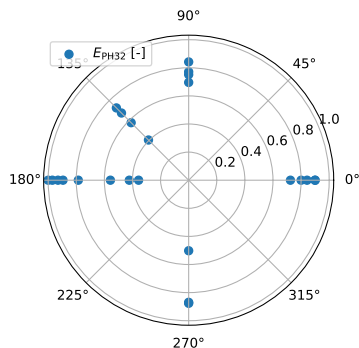
- sčítání peaků na HXR sondách
- saturace stripového detektoru
- (ne)reprodukovatelnost výbojů



Obr.: Výstup z NaI(Tl)

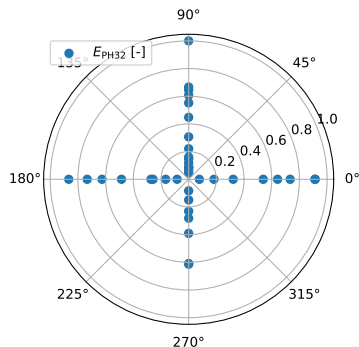
# Výsledky měření

- závislost energie RE na směru
- data z kampaní pro BP



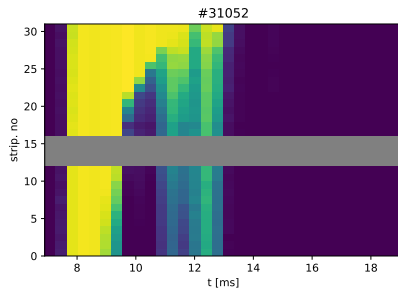
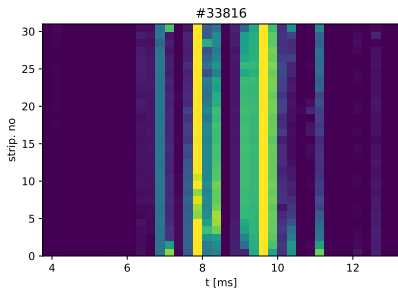


- data z kampaní pro VU



- nezávislé na směru
- Proč?

- srovnání jednotlivých výbojů



- filamentární struktura RE

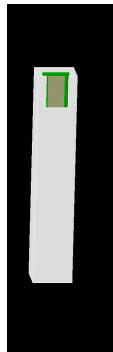
- 1 Teorie
  - Ubíhající elektrony
  - Polovodičové detektory
- 2 Stripový detektor
  - Přehled
  - Zpracování dat
  - Výsledky měření
- 3 Simulace
  - Geant4
  - Předběžné výsledky
- 4 LYSO

## Geant4 (= GEometry ANd Tracking)

- Monte Carlo simulace průchodu částic látkou
- používaná v HEP
- toolkit C++

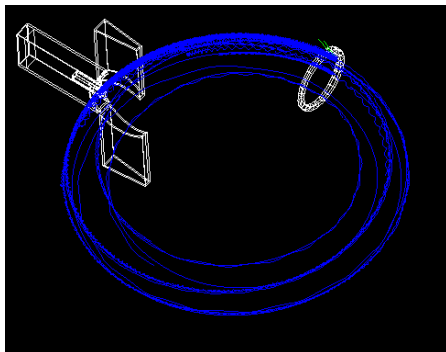
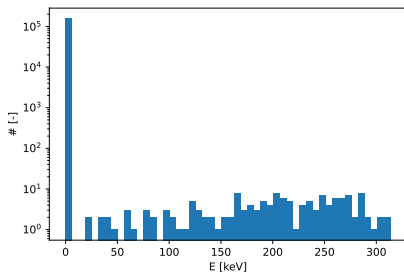
model:

- strip detektoru
  - lineru
  - limiteru
  - portu
- jakou roli hrají odrazy
- návrh stínění



# Předběžné výsledky

- odraz od limiteru
- beam 350 keV



- 1 Teorie
  - Ubíhající elektrony
  - Polovodičové detektory
- 2 Stripový detektor
  - Přehled
  - Zpracování dat
  - Výsledky měření
- 3 Simulace
  - Geant4
  - Předběžné výsledky
- 4 LYSO

# LYSO a SiPM

Scintilační detektor složený z krystalu LYSO a křemíkového fotonásobiče

## LYSO

Krystal z  $\text{Lu}_{1.8}\text{Y}_{0.2}\text{SiO}_5:\text{Ce}$  o velikosti  $3 \times 3 \times 5 \text{ mm}^3$

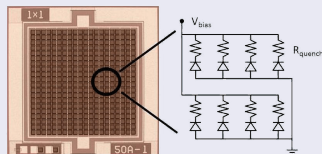
Parametry s porovnáním s ostatními scintilátory na GOLEMu:

scintilator	zisk [photons/MeV]	rozpadový čas [ns]	hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
Nal(Tl)	38 000	230	3.67
YAP	18 000	27	5.37
CeBr	60 000	20	5.1
LYSO	27 600	45	7.1

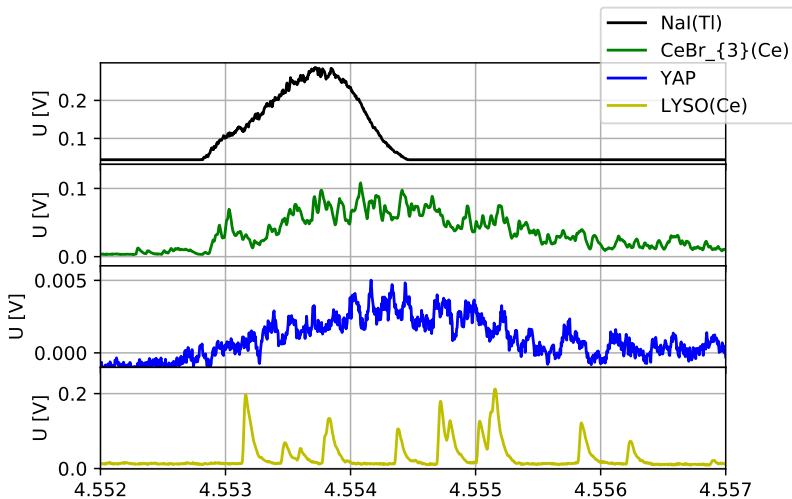
## Křemíkový fotonásobič

= silicon photomultiplier - SiPM:

- pole lavinových diod se zhášecím rezistorem
- společný výstup



# Srovnání HXR sond





Děkuji za pozornost

Zdroje:

- Dreicer, H.: Theory of Runaway Electrons, P/2292, Vol. 31
- J. W. Connor, Relativistic Limitations on Runaway Electrons, Nuclear Fusion, 1975
- G. F. Knoll, Radiation detection and measurement, New York Wiley, 2000