

# PRODUKCE A DETEKCE ANTIVODÍKOVÝCH ATOMŮ V EXPERIMENTU AEGIS

(ANALÝZA OBRAZU A DAT Z EXTERNÍCH SCINTILÁTORŮ V EXPERIMENTU AEGIS)

Alena Zemanová

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Vojtěch Petráček, CSc.

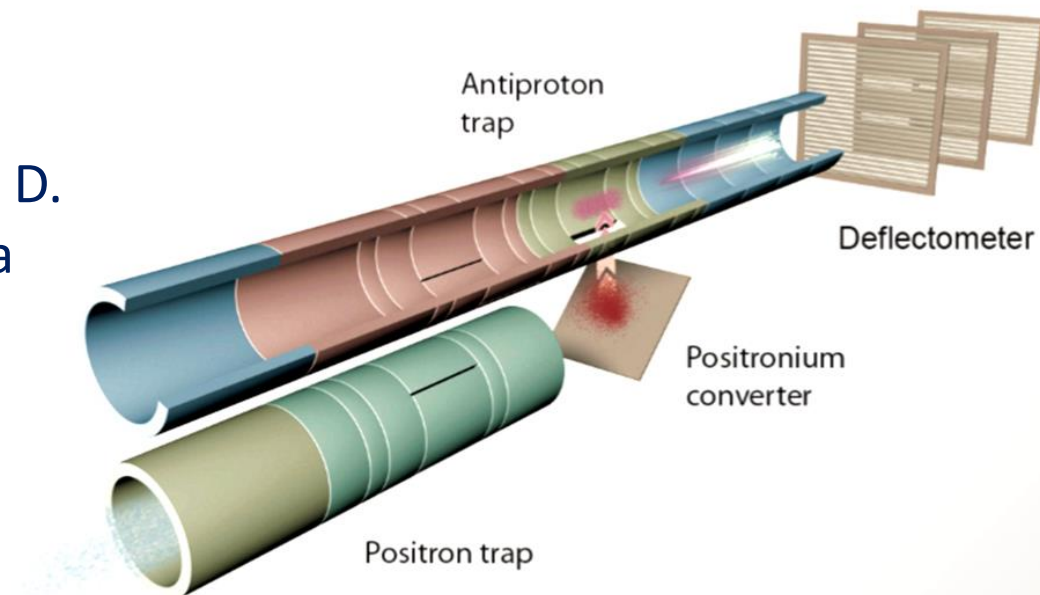
Konzultanti:

Daniel Krasnický, Ph. D.

Dr. Gemma Testera  
(INFN Genova)

17.1.2019

WEJČF 2019



# Obsah

- Experiment AEgIS – princip a základní aparatura
- Produkce antivodíku
- Detekce antivodíku pomocí scintilátorů
- Detekce antivodíku pomocí detektoru FACT

# Experiment AEgIS

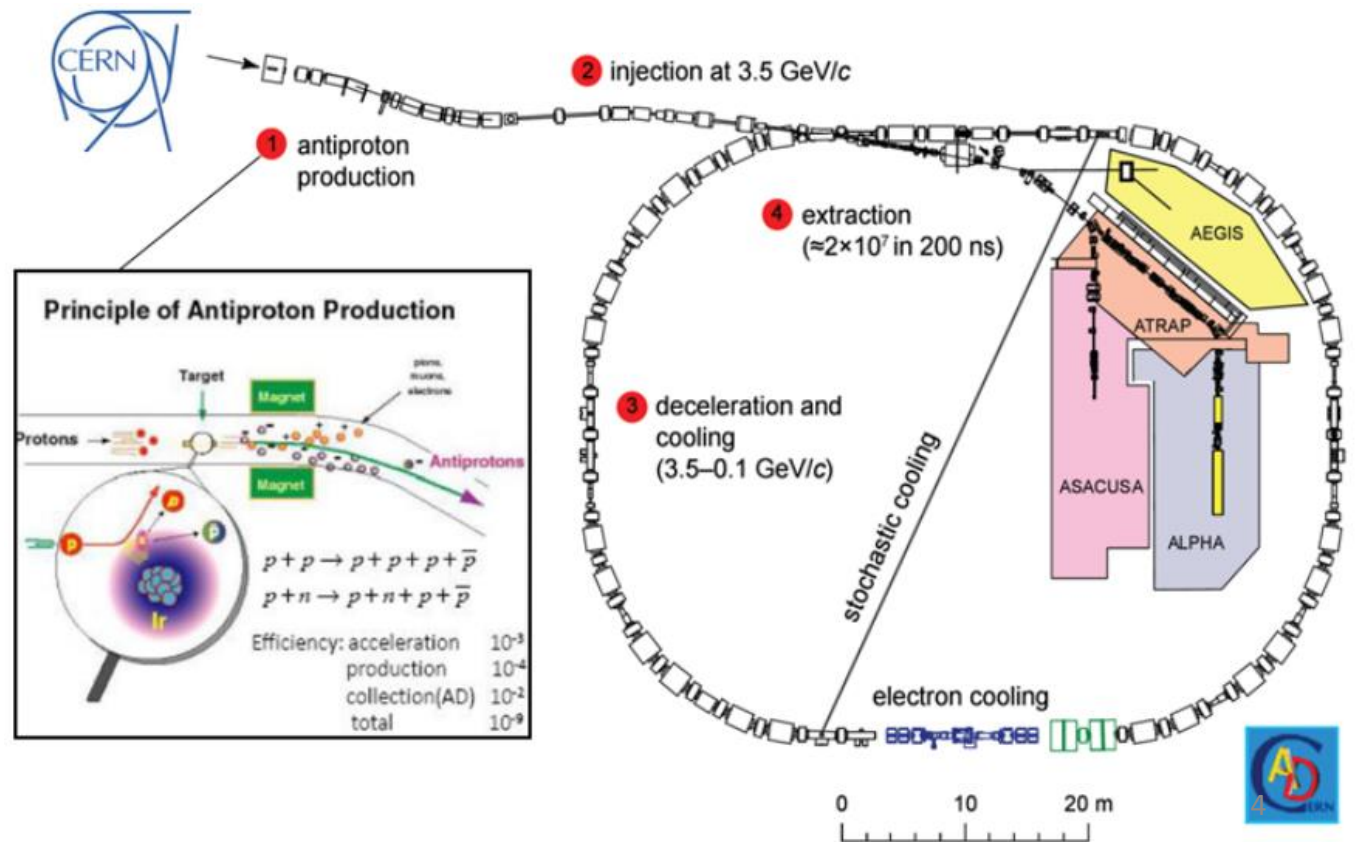
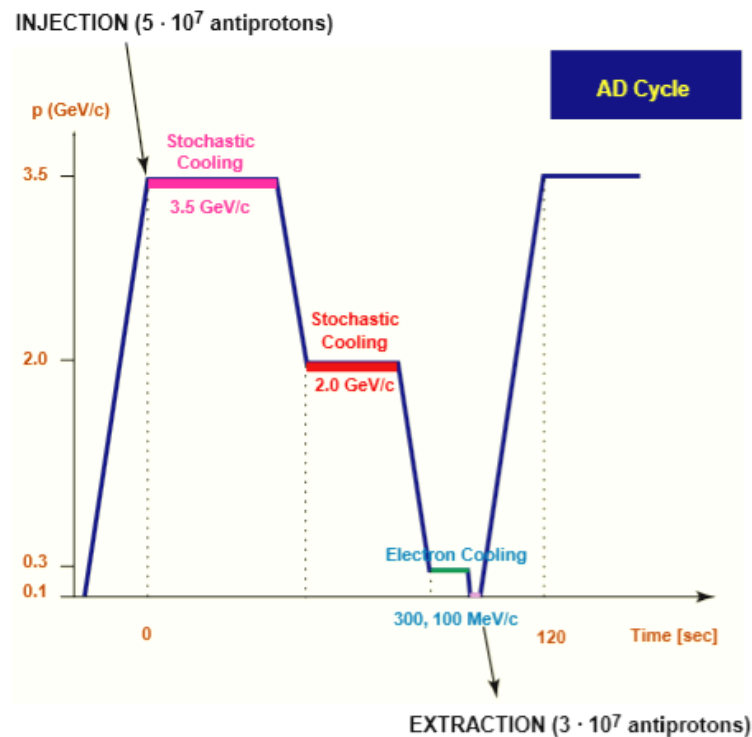
Umístění: AD hala, CERN

Cíle experimentu:

- Poprvé v historii přímo změřit gravitační zrychlení  $g$  antiprotonu  $\bar{p}$  (s přesností 1%)
- Spektroskopické měření na letícím antiprotonu

# Antiprotonový decelerátor

- Jediný zdroj chladných antiprotonů na světě
- PS (26 GeV) → iridiový terčik → antiprotony (3,5 GeV)
- Stochastické a elektronové chlazení → 5,3 MeV
- ELENA → 100 keV



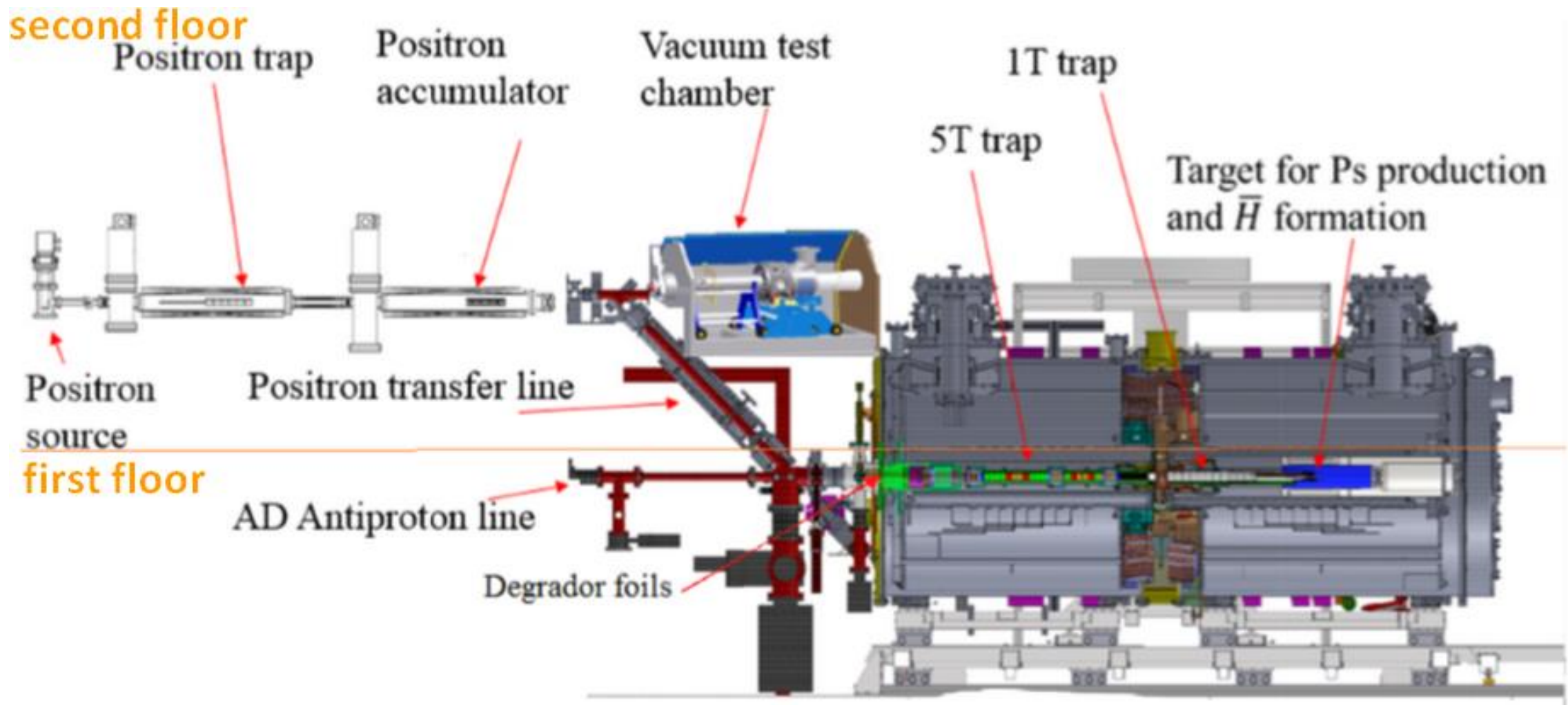


# Experiment AEgIS

## Sedm základních kroků:

1. Zachycení antiprotonů z antiprotonového decelerátoru (AD) v Penningově pasti --> elektronové chlazení;
2. Produkce pozitronů  $e^+$  pomocí Beta-rozpadu z  $^{22}\text{Na}$  zdroje;
3. Produkce pozitronia Ps;
4. Excitace Ps do Rydbergova stavu s  $n = 25-35$ ;
5. Rekombinace H pomocí nábojové výměny mezi Rydbergovským Ps a studenými antiprotony;
6. Formace svazku H pomocí urychlení Starkovým polem;
7. Měření svislého gravitačního zrychlení  $g$ ;

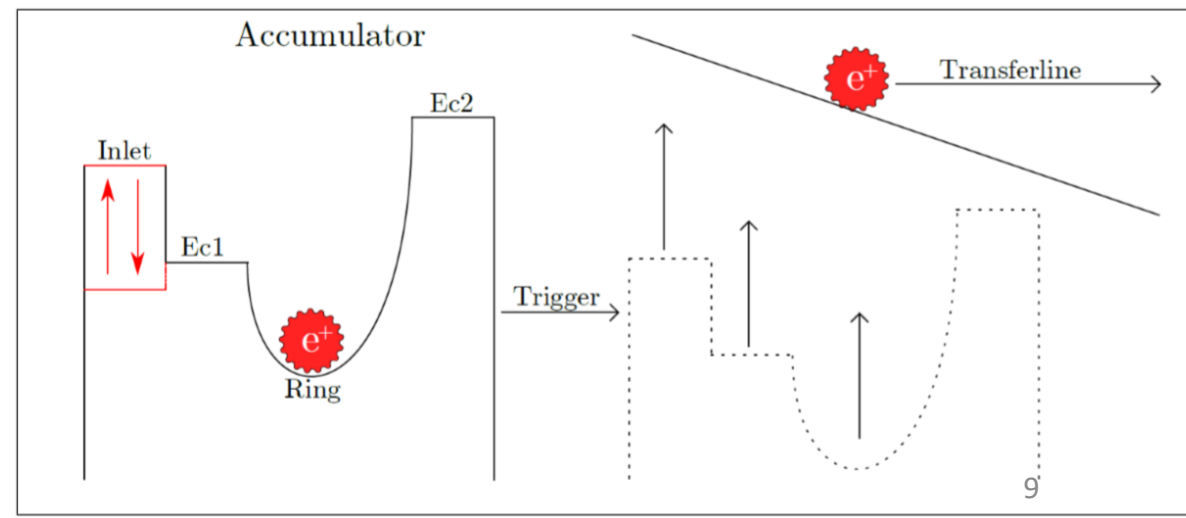
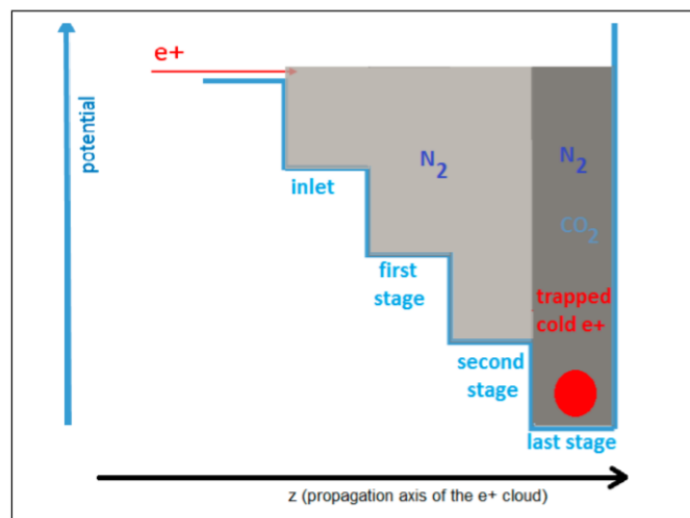
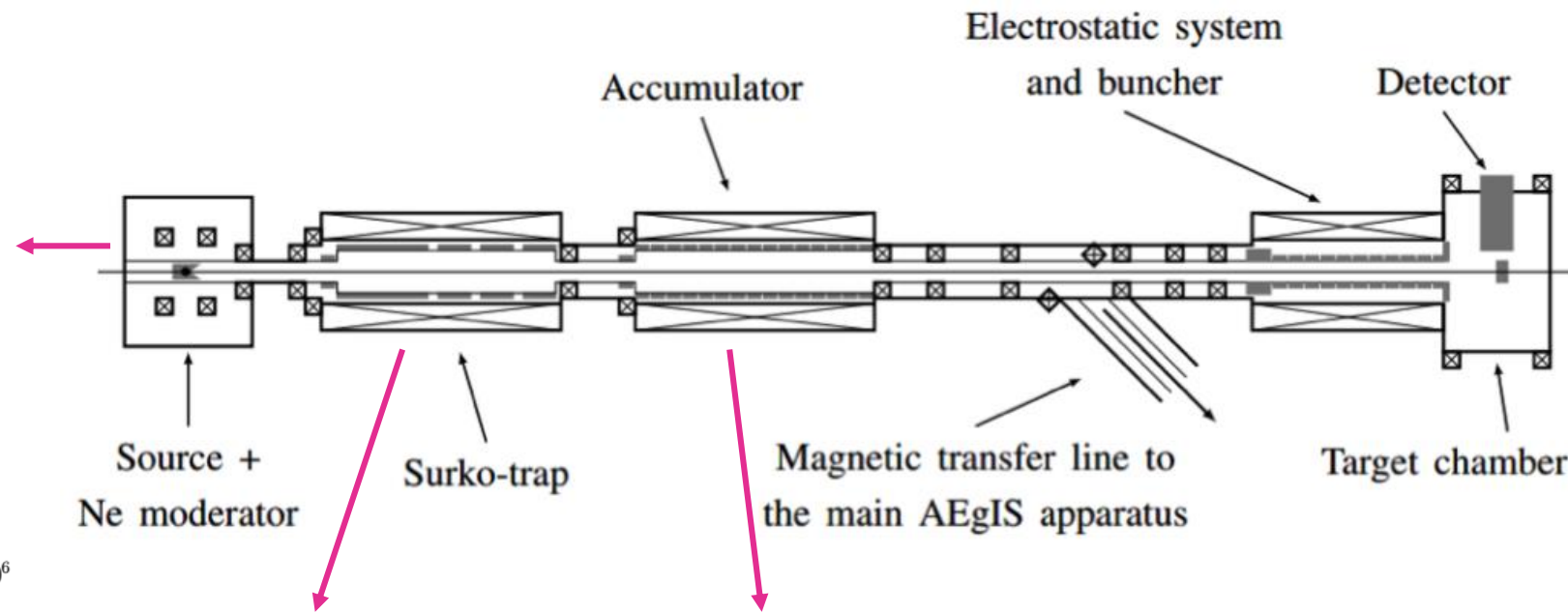
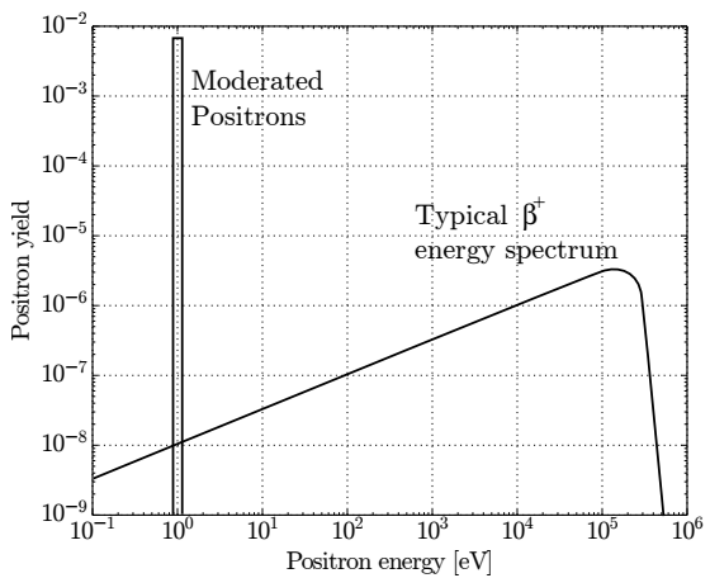
# Experiment AEgIS - aparatura







# Práce s pozitrony

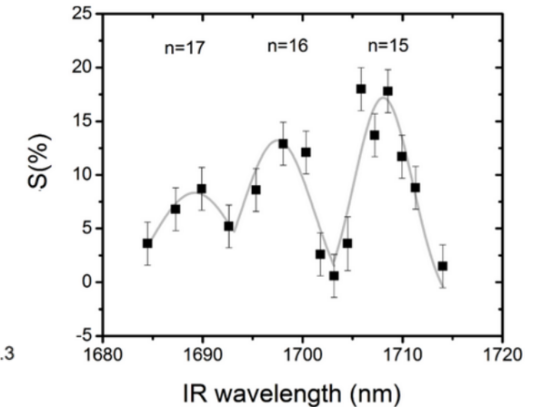
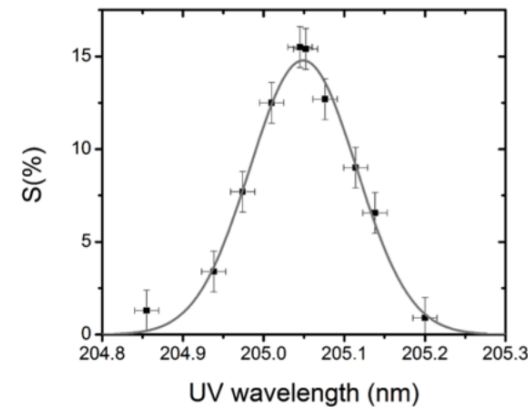
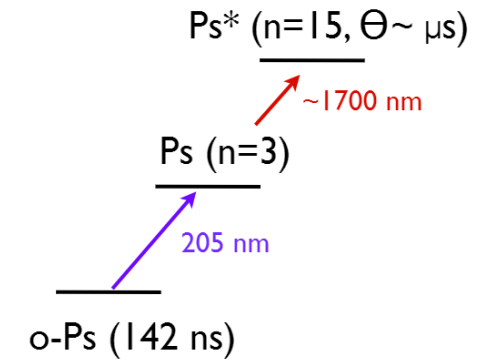
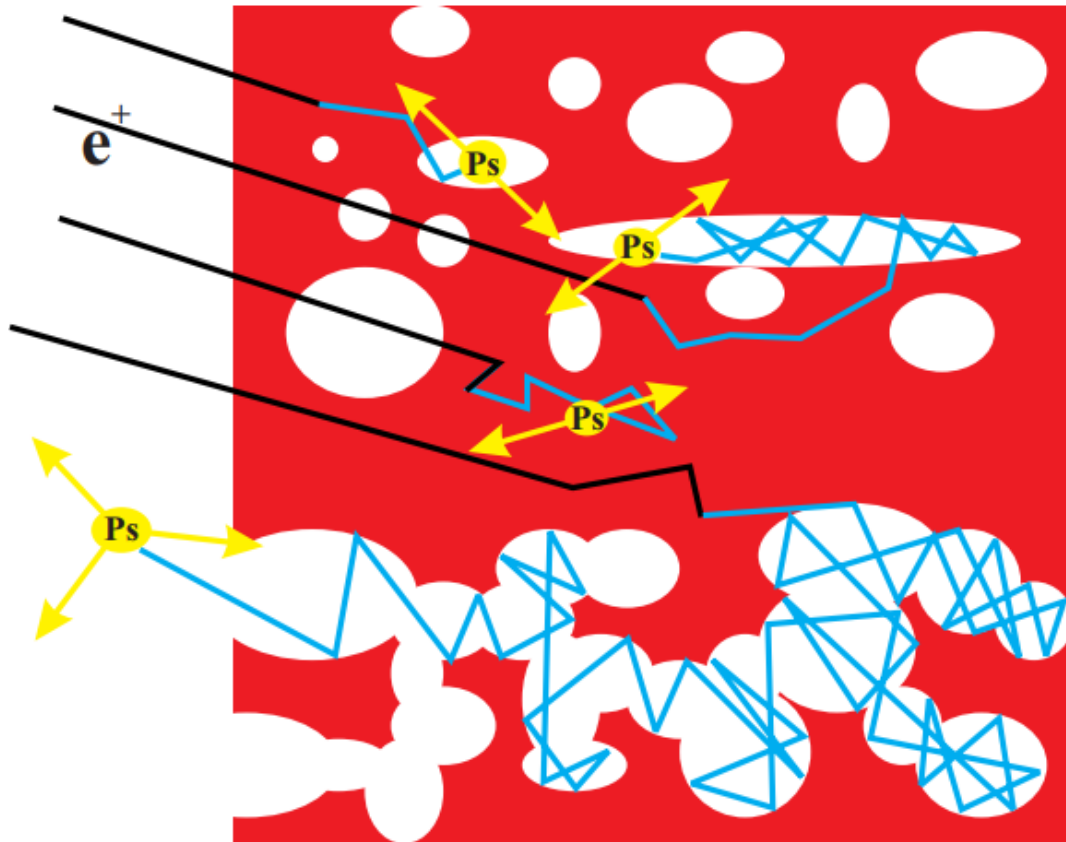


# Produkce + excitace Ps

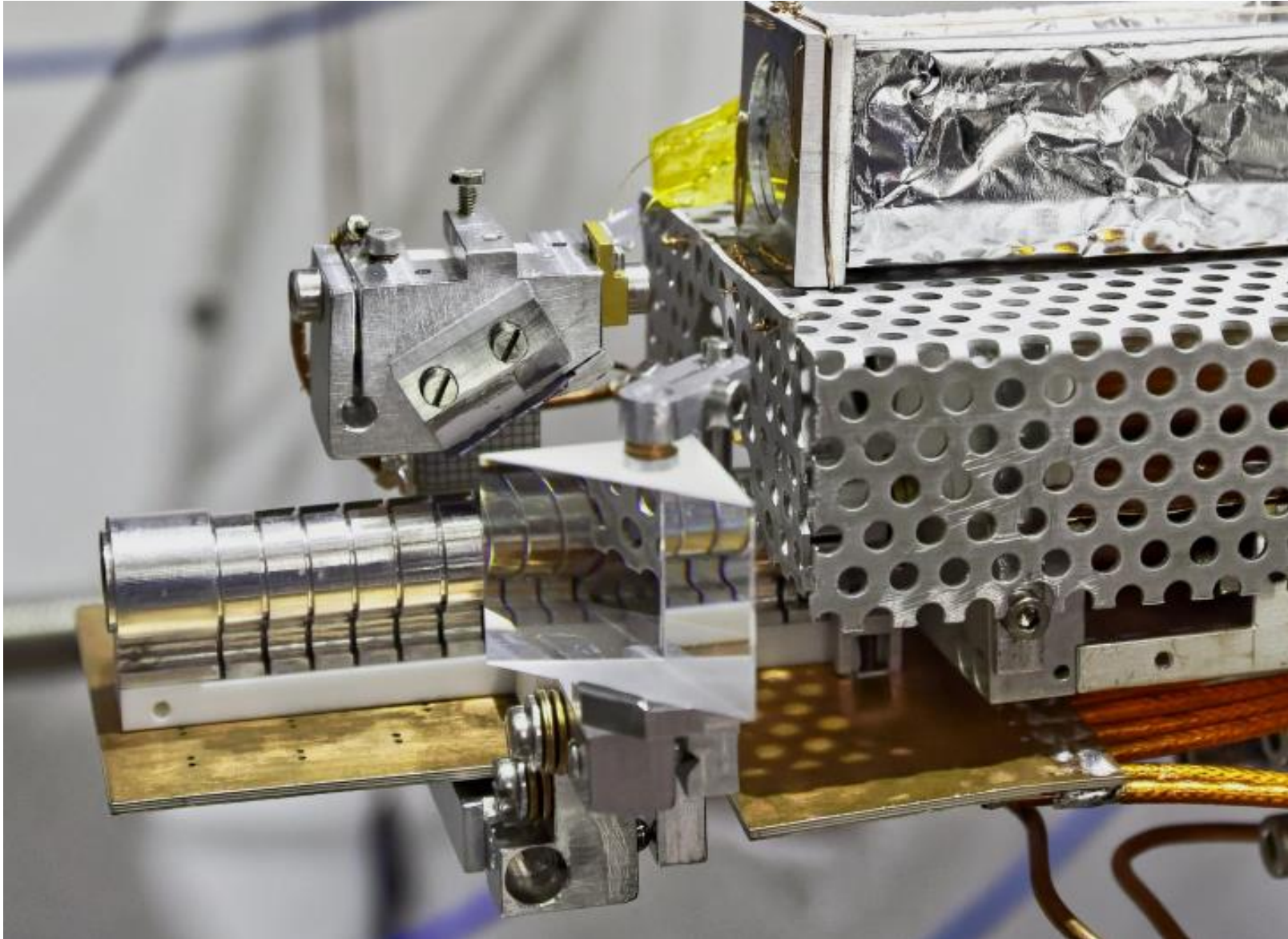
Křemíkový nanoporézní terčik

para-pozitronium (25%, 1125 ps)

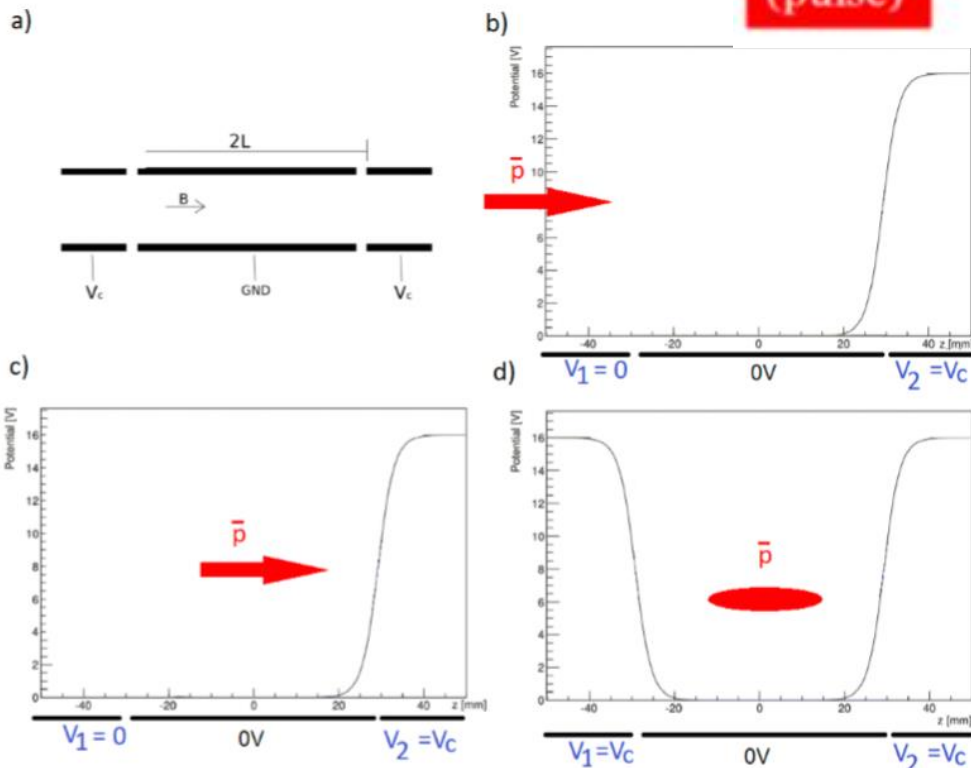
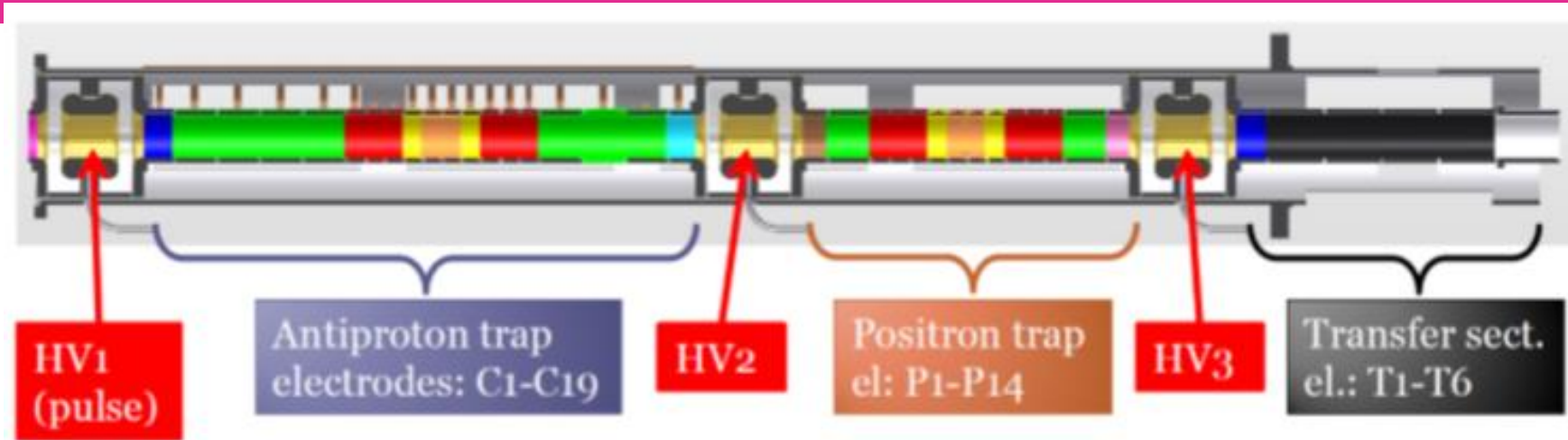
orto-pozitronium (75%, 152 ns – 15 ns v 1T)



# Produkce Ps



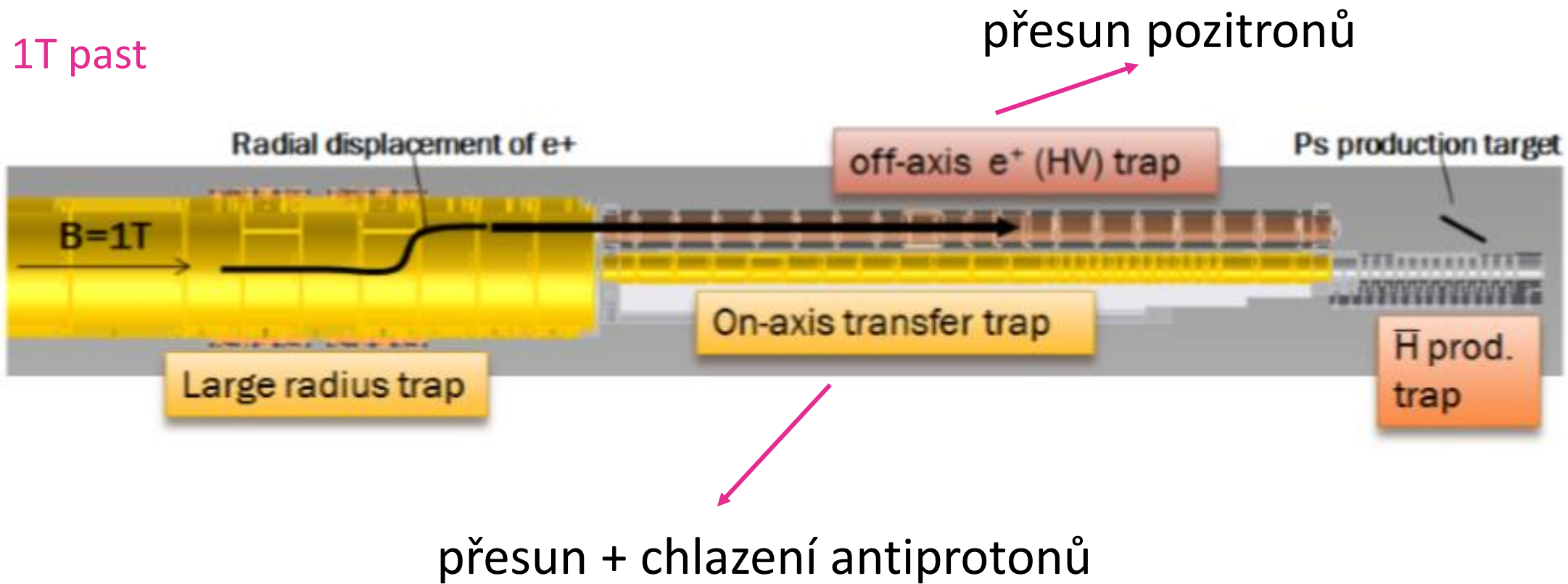
# Práce s antiprotony



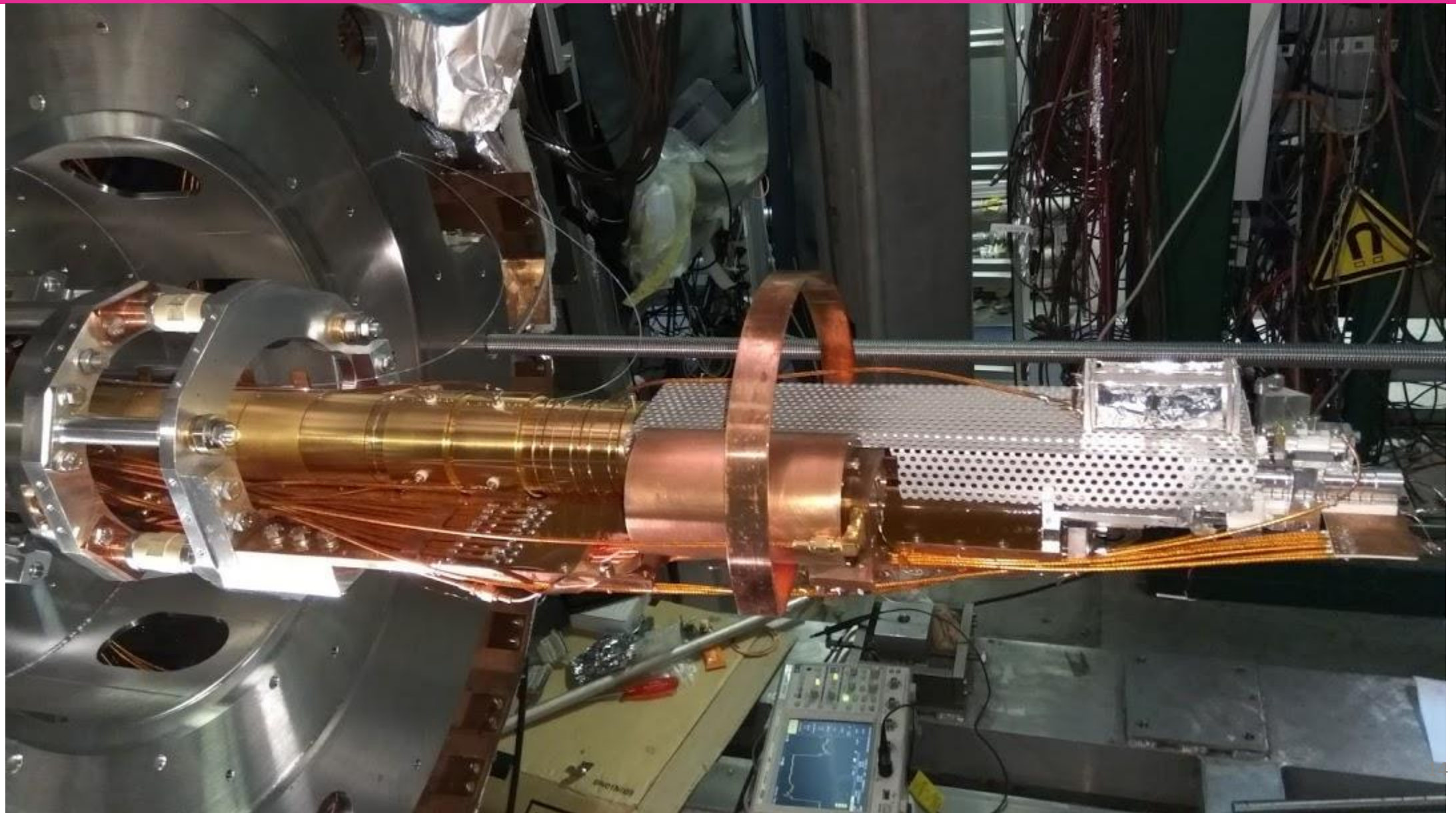
## 5T past

- Zachycení a elektronové chlazení antiprotonů
- Zachycení elektronů

# Práce s antiprotony



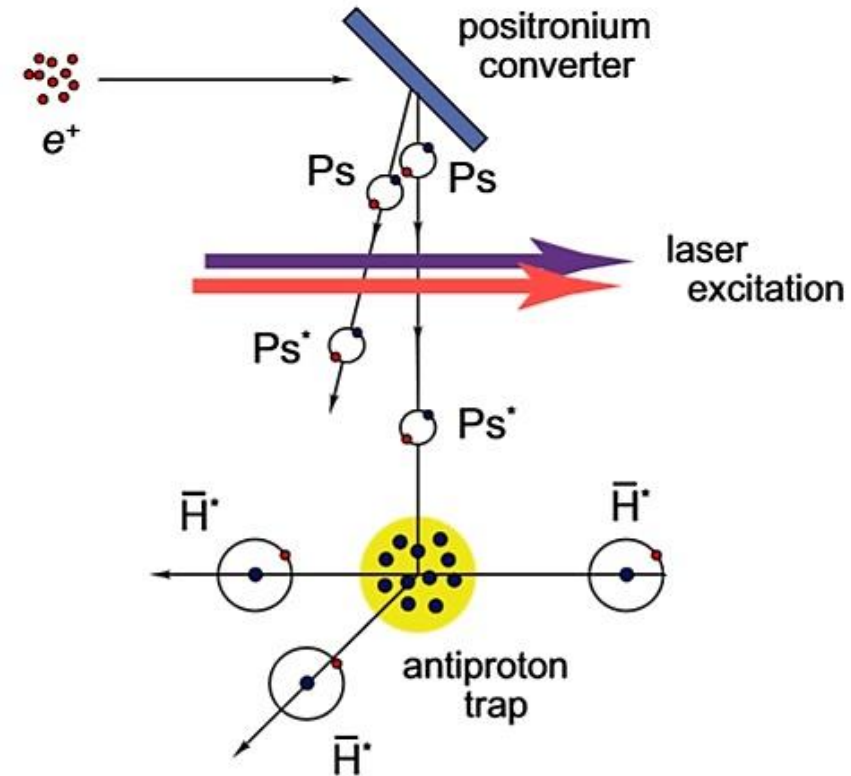
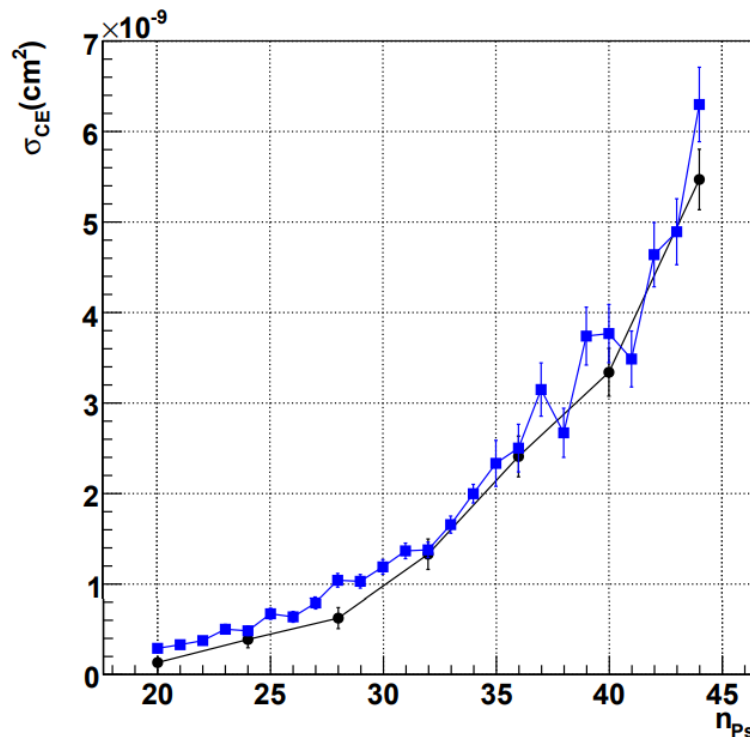
# Práce s antiprotony – 1T past



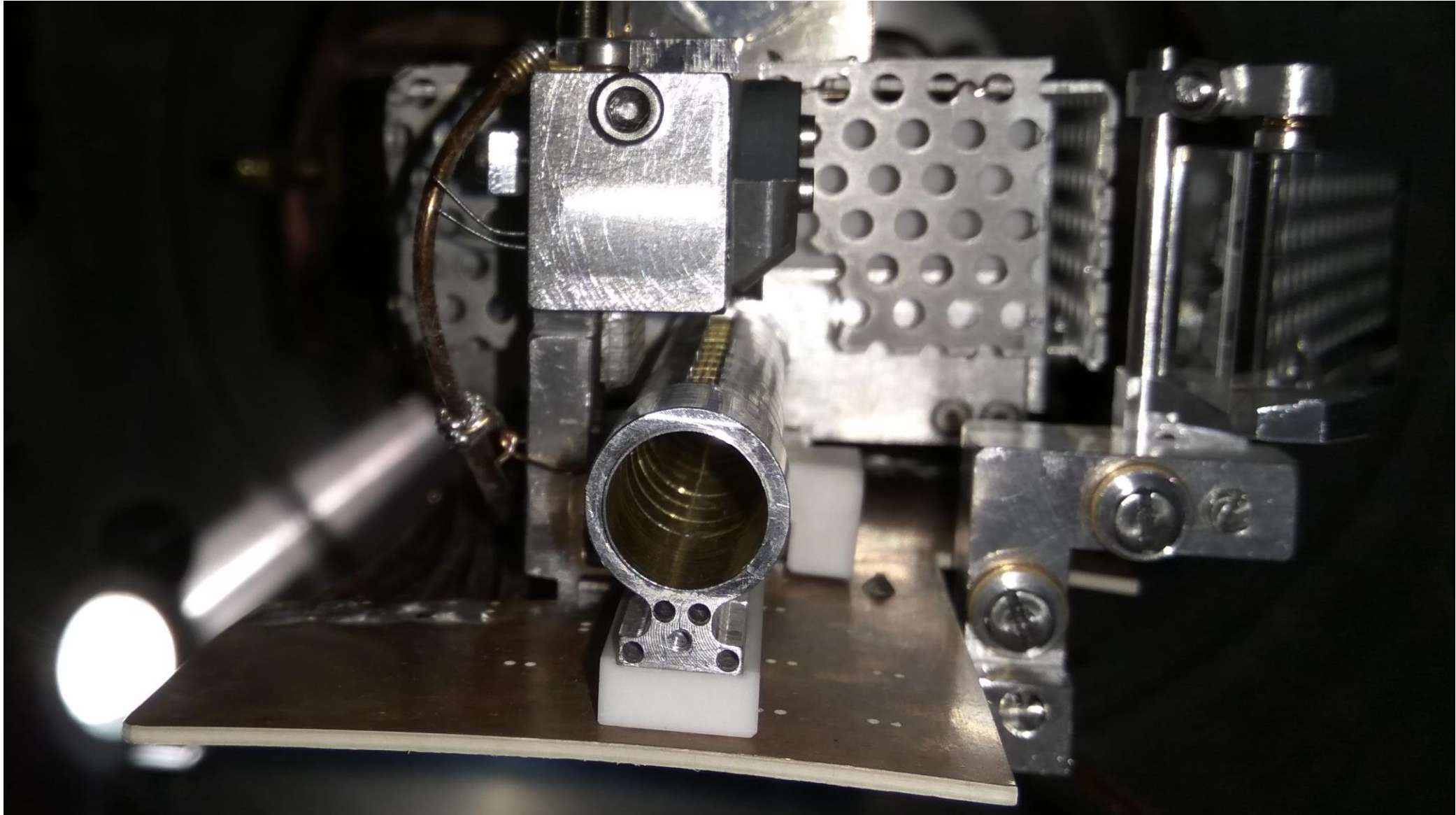
# Produkce antivodíku



- Pulsní produkce
- Teplota anti-H je dána teplotou antiprotonů
- $n_H = \sqrt{2}n_{Ps}$
- $\sigma \sim a_0 n_{Ps}^4$ , kde  $a_0 = 0,05 \text{ nm}$



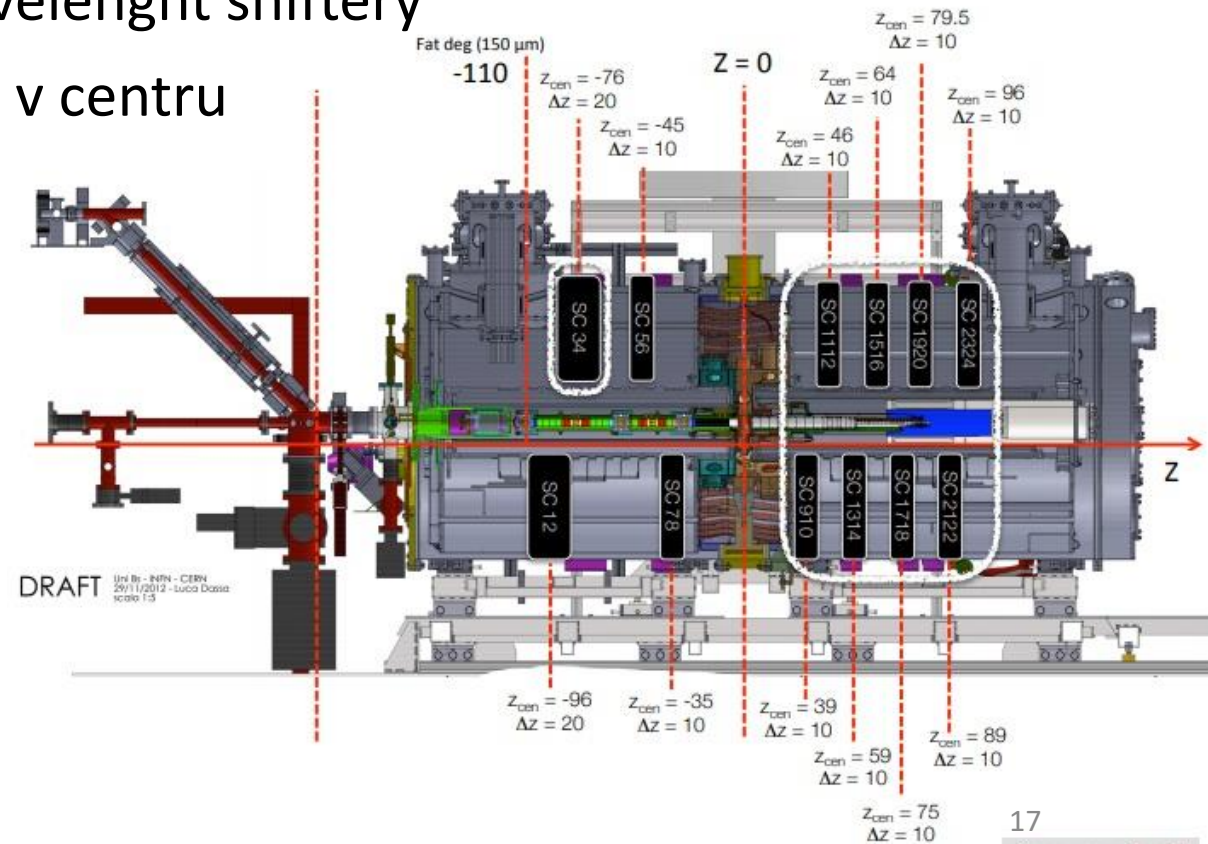
# Produkce antivodíku



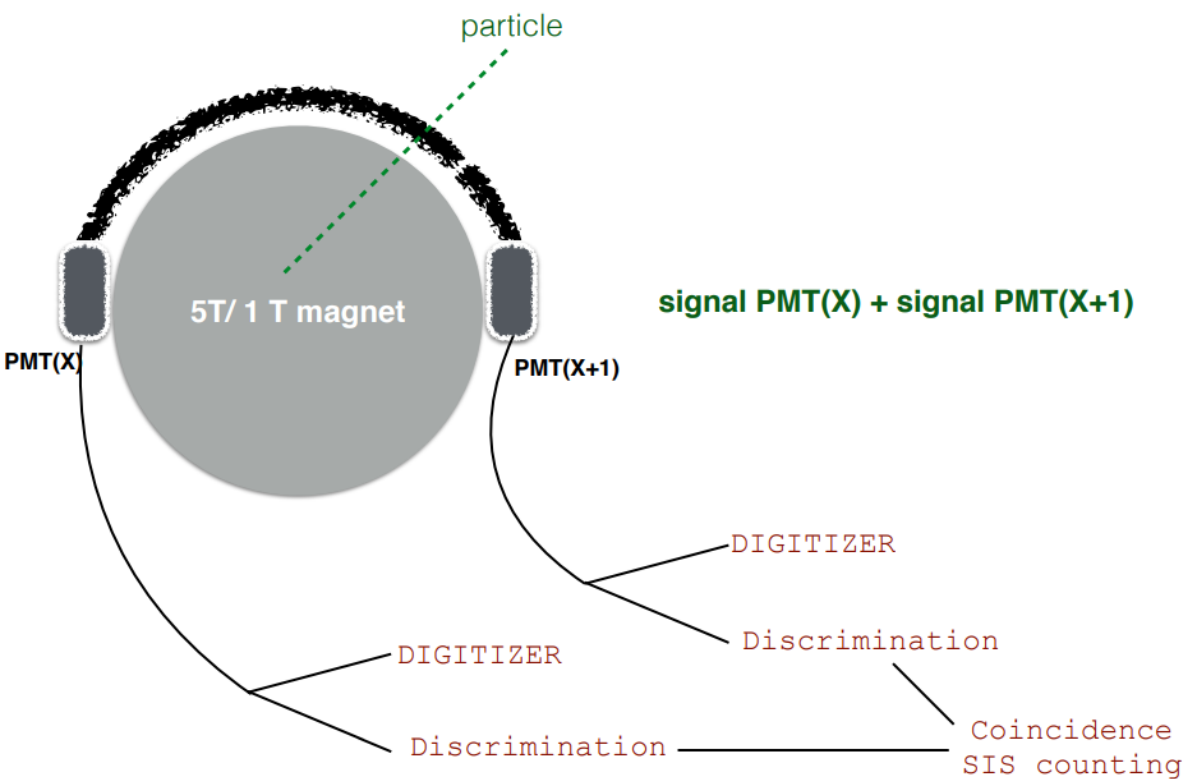


# Detekce pomocí scintilátorů

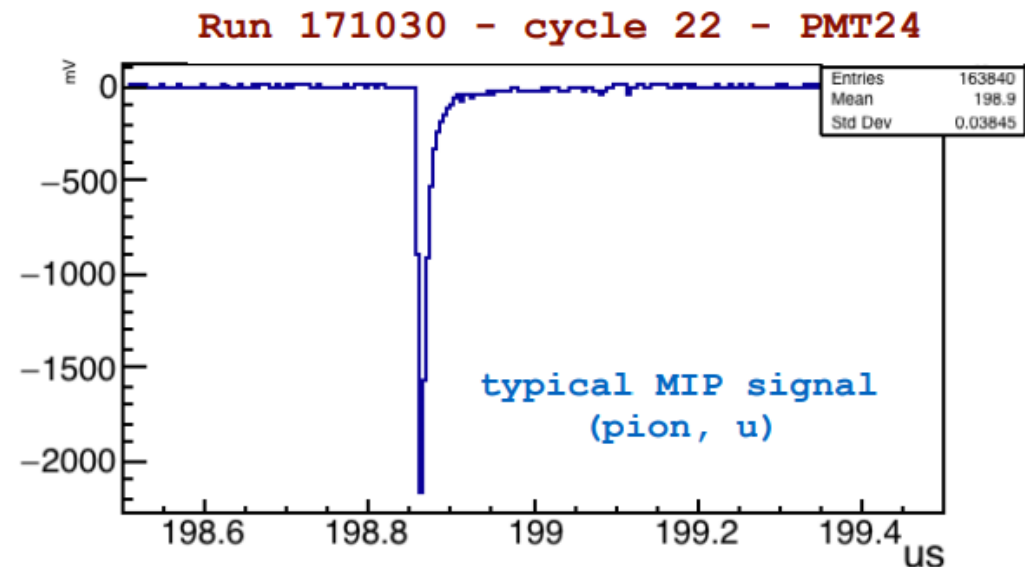
- 12 externích scintilátorů
- 100 mm šířka, 20 mm hloubka
- Plastický polystyren dopovaný POPOP wavelength shiftery
- Pokrývají cca 3%, pokud anihilace probíhá v centru
- Ke každému připojeny dva PMT



# Detekce pomocí scintilátorů



1. Nález času příletu pozitronů
  2. Hledání koincidence (okno 40 ns):
    - Peak\_threshold\_single = 25.; // (mV)
    - peak\_threshold\_sum = 75.; // (mV)
    - t\_win\_for\_coinc\_us = 0.04; /// < 40 ns
- pion/mion, nikoliv pbar



# Detekce pomocí scintilátorů

Jaká data sbíráme?

Počet cyklů

<code>HBAR DATA SET: pbars   positrons   laser ON</code>	2 292
<code>HBAR DATA SET: pbars   positrons   <del>laser OFF</del></code>	1 250
<code>BCK DATA SET: pbars   <del>positrons</del>   laser ON</code>	2 995
<code>POSI DATA SET: <del>pbars</del>   positrons   laser ON/<del>laser OFF</del></code>	2 074
<code>MUON DATA SET: <del>pbars</del>   <del>positrons</del>   <del>laser</del></code>	12 360

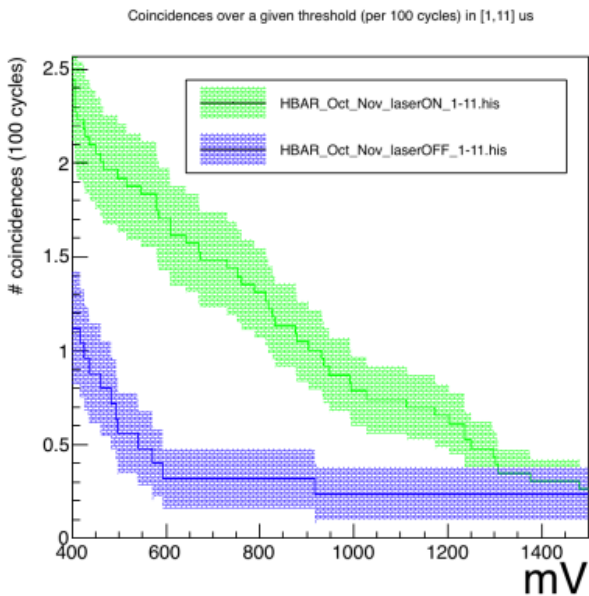
Co hledáme?

Počet koincidenčí nad daným limitem v daném časovém intervalu po příletu pozitronů

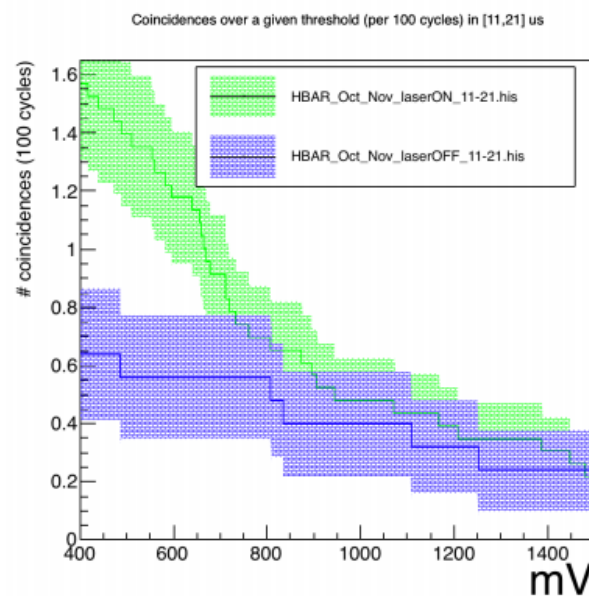
# Detekce pomocí scintilátorů

Jaký časový interval vybrat?

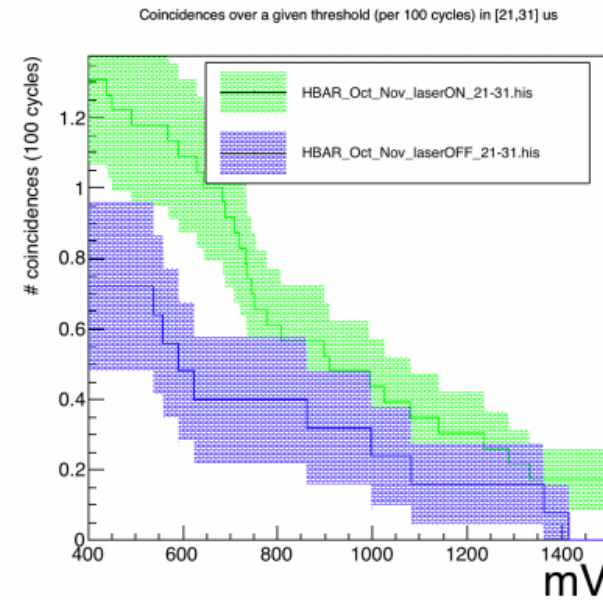
[1-11] us



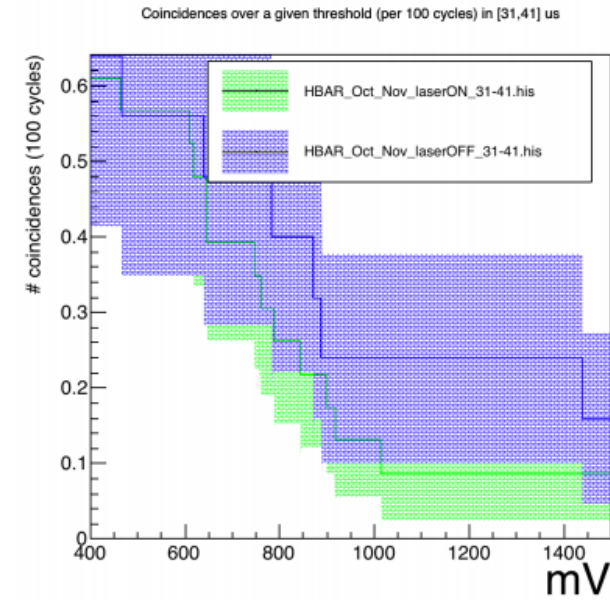
[11-21] us



[21-31] us



[31-41] us



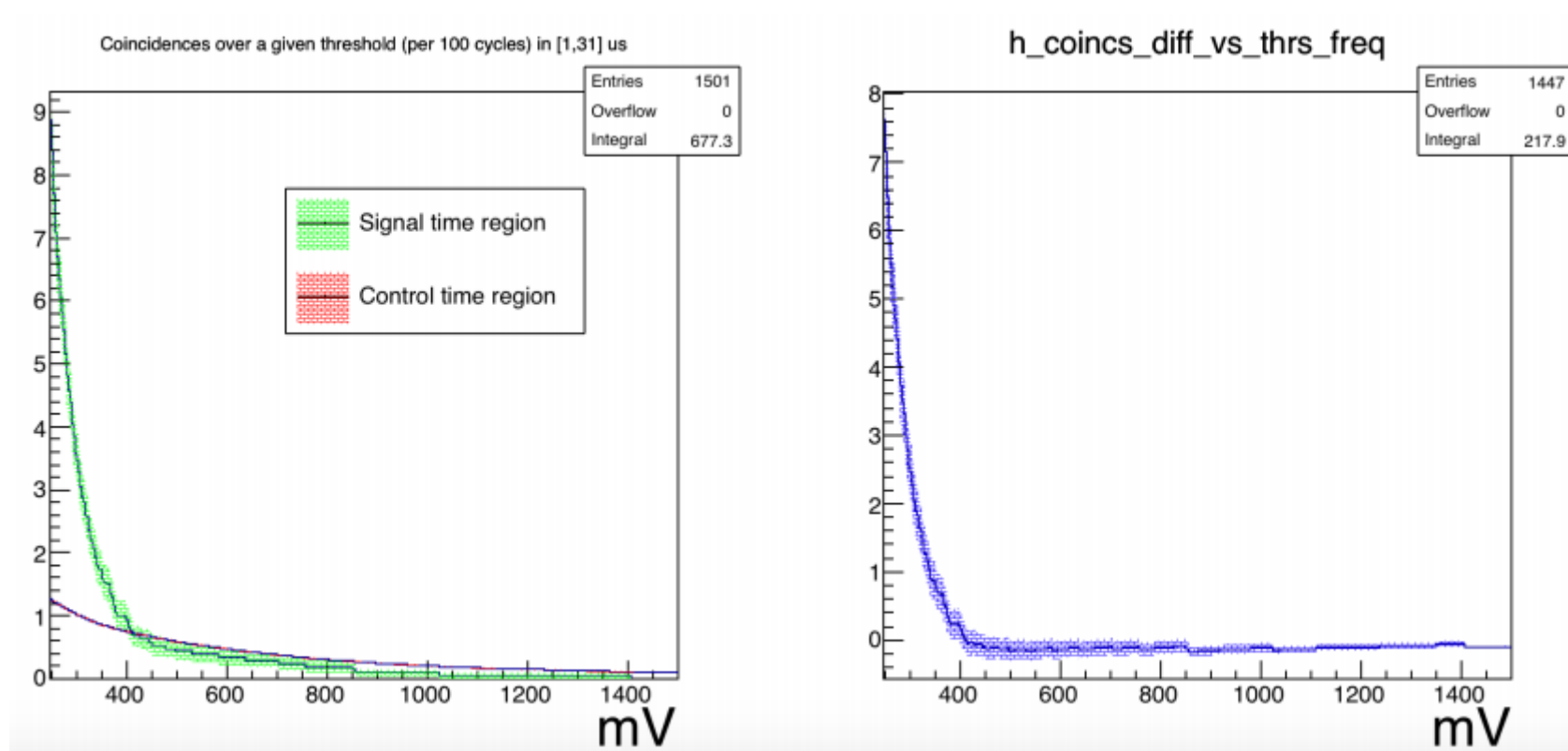
Mezi 31-41 již není rozdíl mezi laser ON a laser OFF měřením

→ pracujeme v intervalu 1-31 = signal time region (zbytek control time region)

# Detekce pomocí scintilátorů

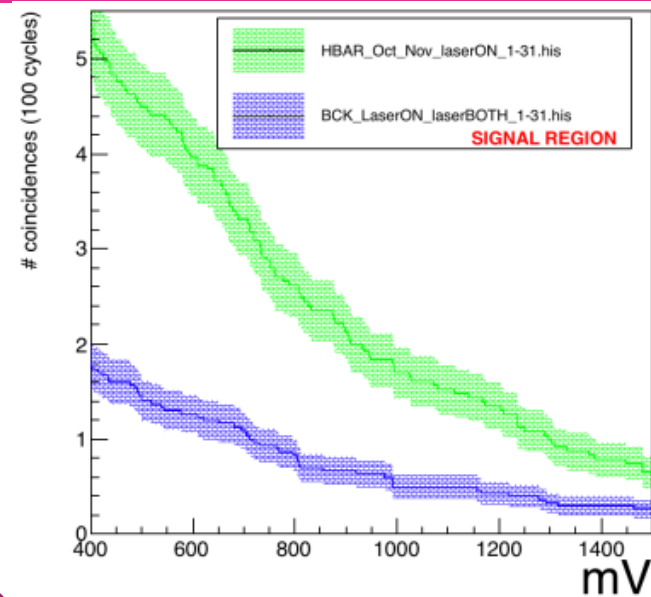
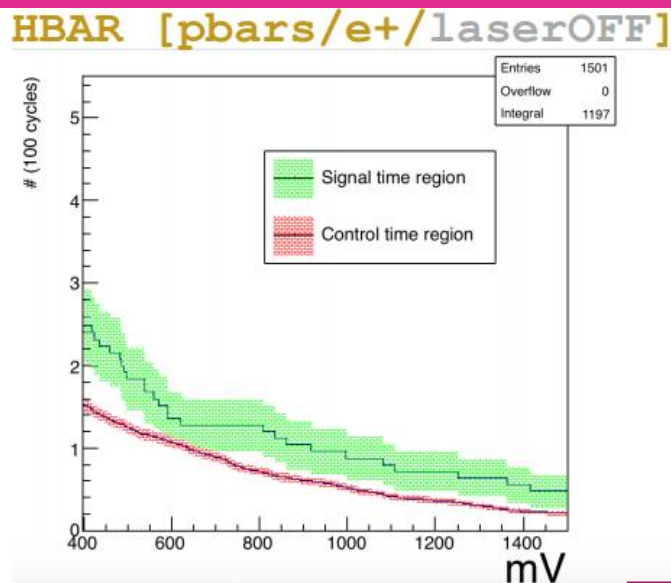
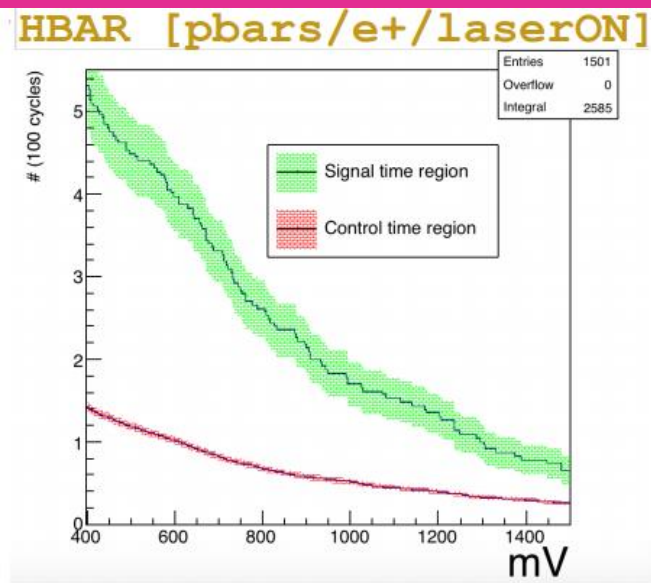
Jakou hranici napětí vybrat?

- Určení ze sběru dat pouze pozitronů



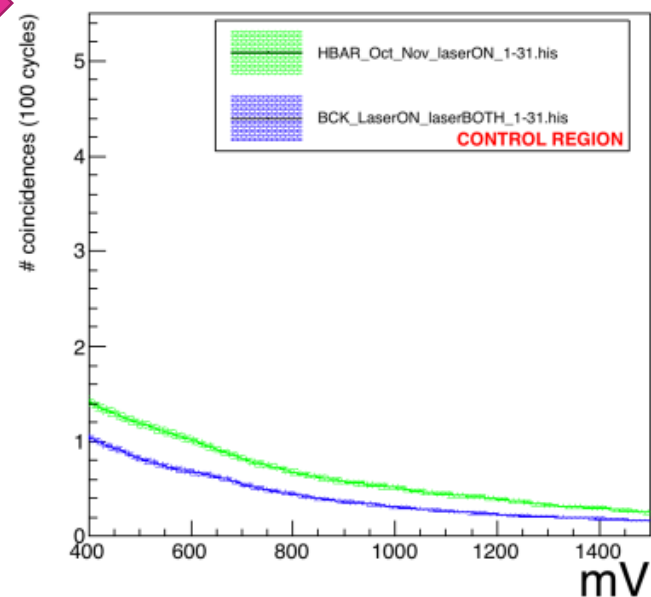
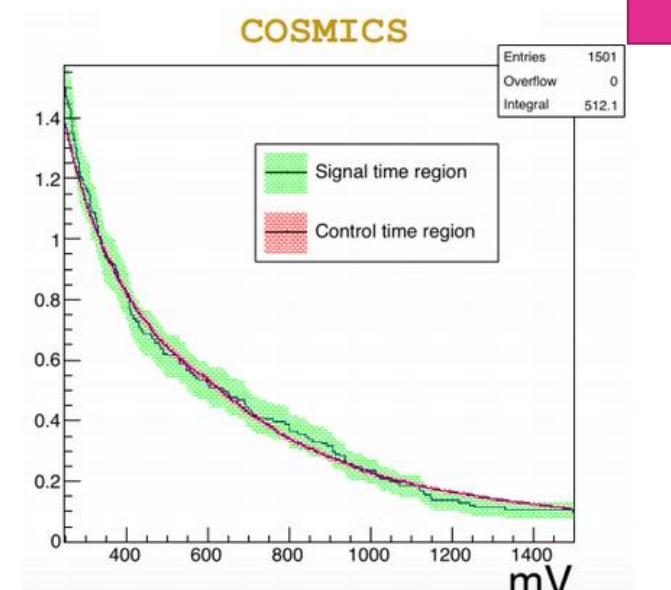
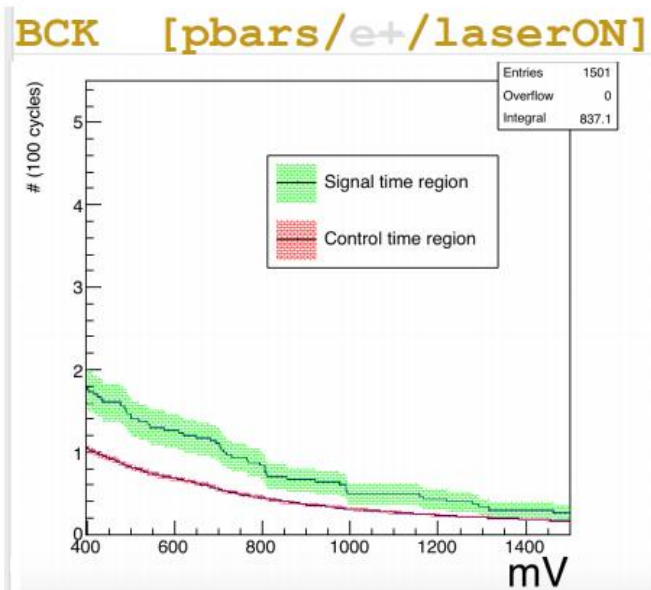
Nad 400 mV je pozadí zanedbatelné

# Detekce pomocí scintilátorů



Číselně:

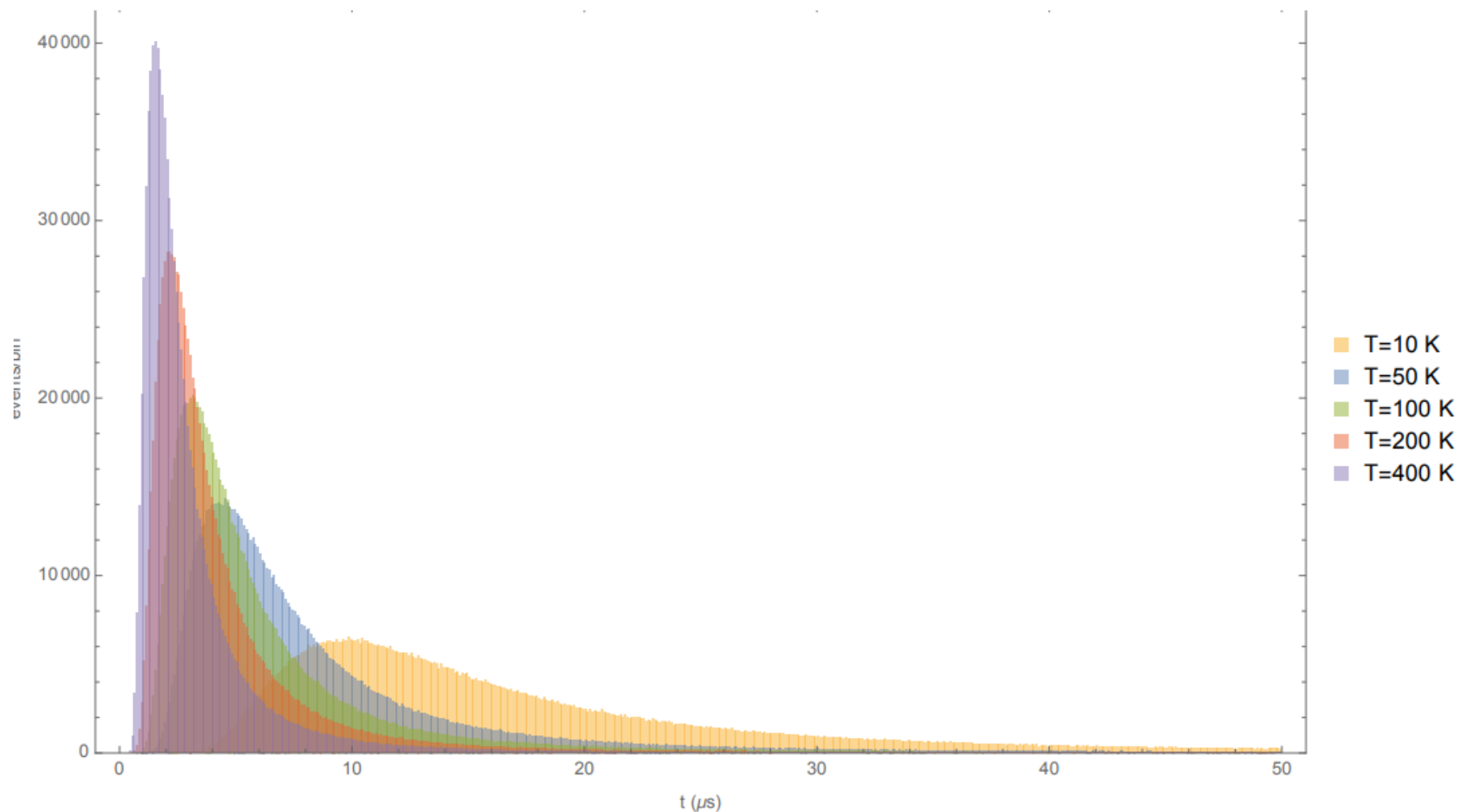
$2.40 \pm 0.51$   
(na 100 cyklů)



$0.91 \pm 0.43$   
(na 100 cyklů)

# Detekce pomocí scintilátorů

Časová distribuce → teplota?



# Detekce pomocí scintilátorů

## Problémy:

- Cykly neprobíhaly za stejného počtu částic
- Velmi těžko lze ovlivnit stav plazmy uvnitř pastí (ztráty pbar)
- Během cyklů se měnila hloubka potenciálové jámy u antiprotonů (zamezení ztrátám)
- Pbar a Hbar anihilace jsou stejné u tohoto typu měření
- “counting experiment” – musí se vzít v úvahu všechny typy pozadí
- Velmi malý počet eventů → nedostatečná statistika



# Detekce pomocí FACT

## The Fast Annihilation Cryogenic Tracking detector

### Účel:

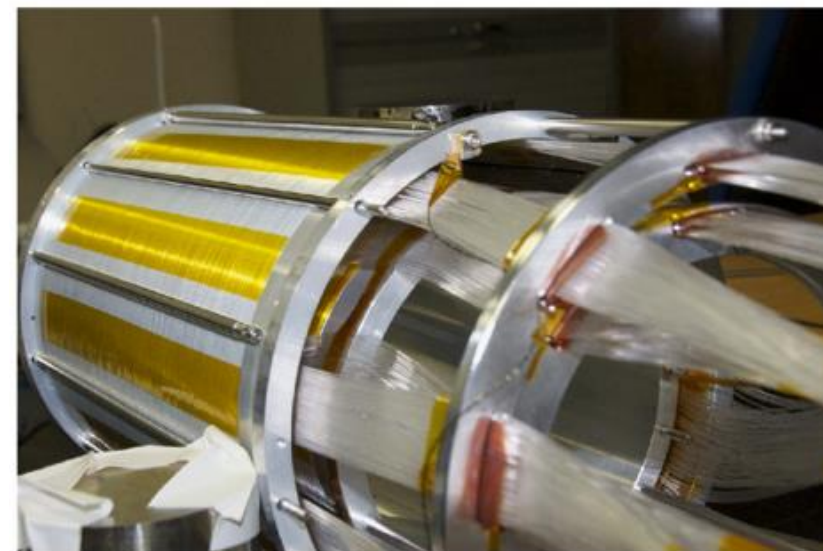
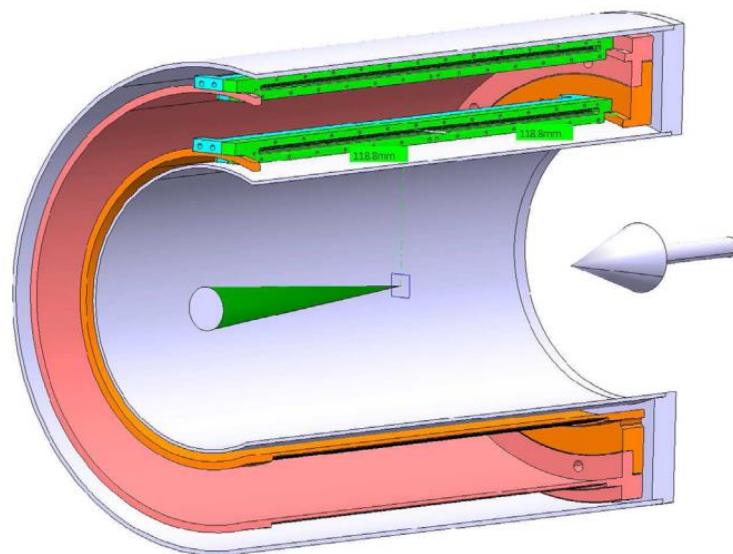
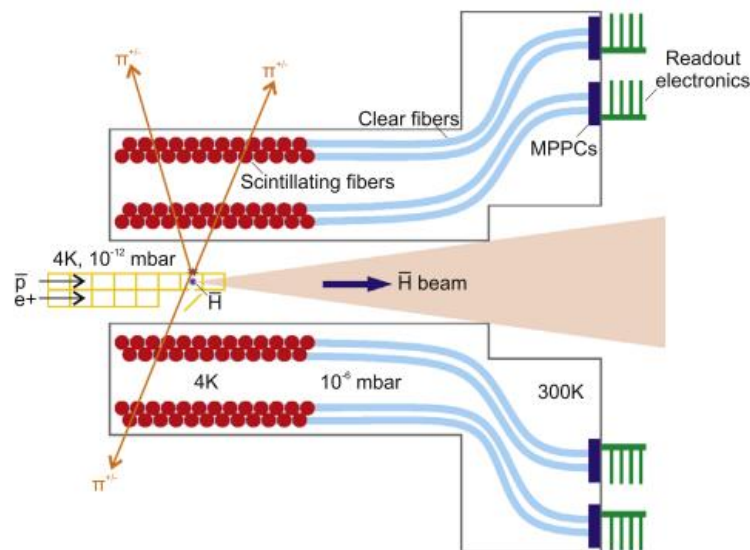
- Detekce
- Teplota
- Formace Hbar svazku

### Požadavky:

- Dostatečná rychlost na detekování stovky anihilací v intervalu 1 ms
- Schopnost pracovat při teplotě 4 K v 1 T magnetu (a přitom neprodukovat více než 10 W)
- Schopnost pracovat v izolovaném vakuu ( $10^{-6}$  mbar) v cylindrickém objemu o velikosti vnitřního poloměru 68 mm a vnějšího 103 mm

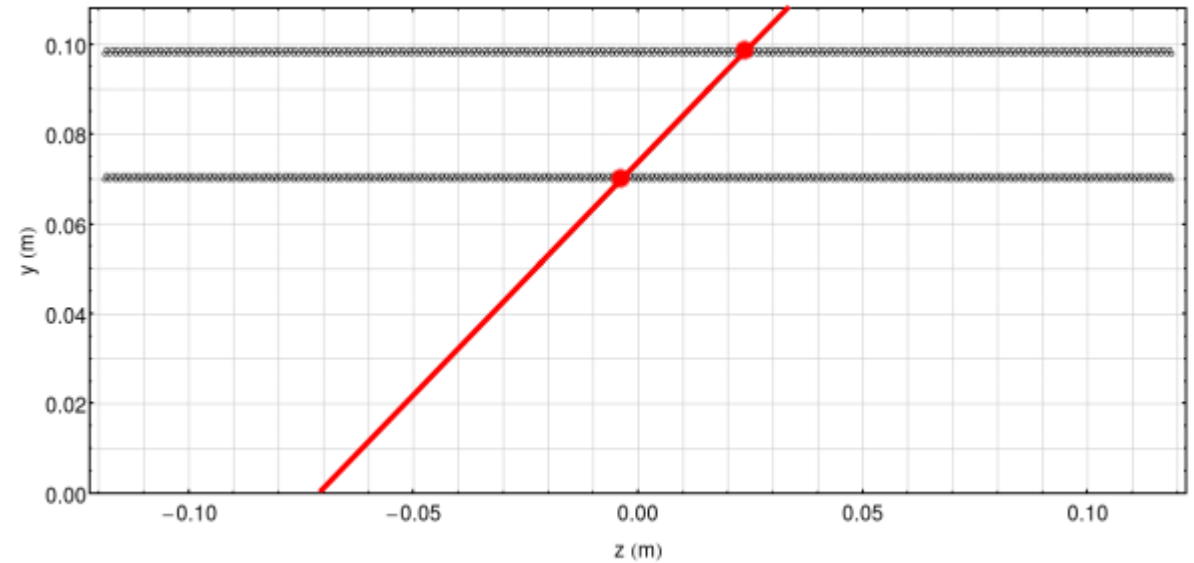
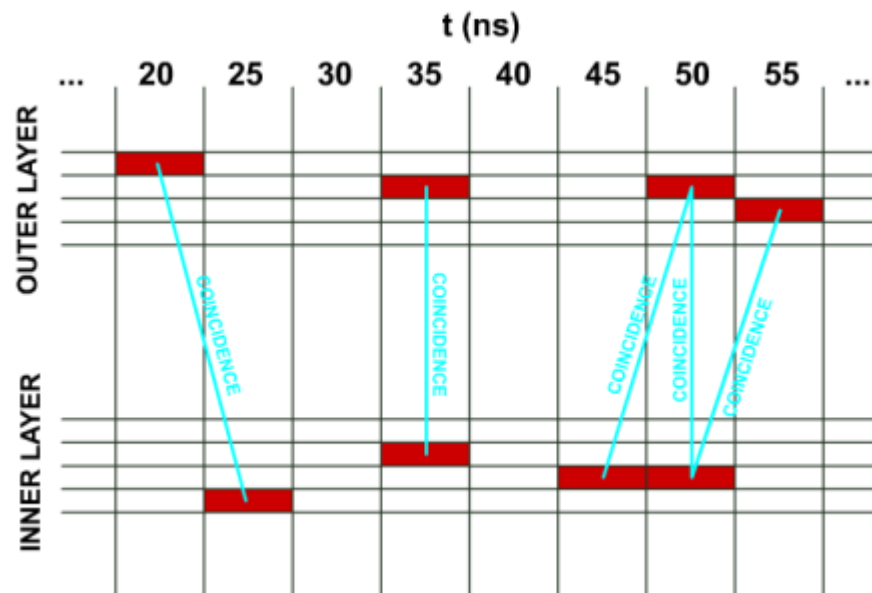
# Detekce pomocí FACT

- Scintilační vlákna v kruzích jsou umístěny ortogonálně k ose svazku
- Dvě vrstvy – 70 mm a 98 mm
- Každá vrstva = 400 vláken ve vzdálenosti 0,6 mm
- Vyčítání do pokojové teploty – vlákna o délce 2 m



# Detekce pomocí FACT

- Koincidence → rekonstrukce vertexu



# Detekce pomocí FACT

Tři způsoby analýzy dat:

## Ratio Normalization

- Sčítá se počet koincidenčí v tzv. Golden zone a normalizuje se vydělením počtem koincidenčí v normalizačním regionu

## Difference

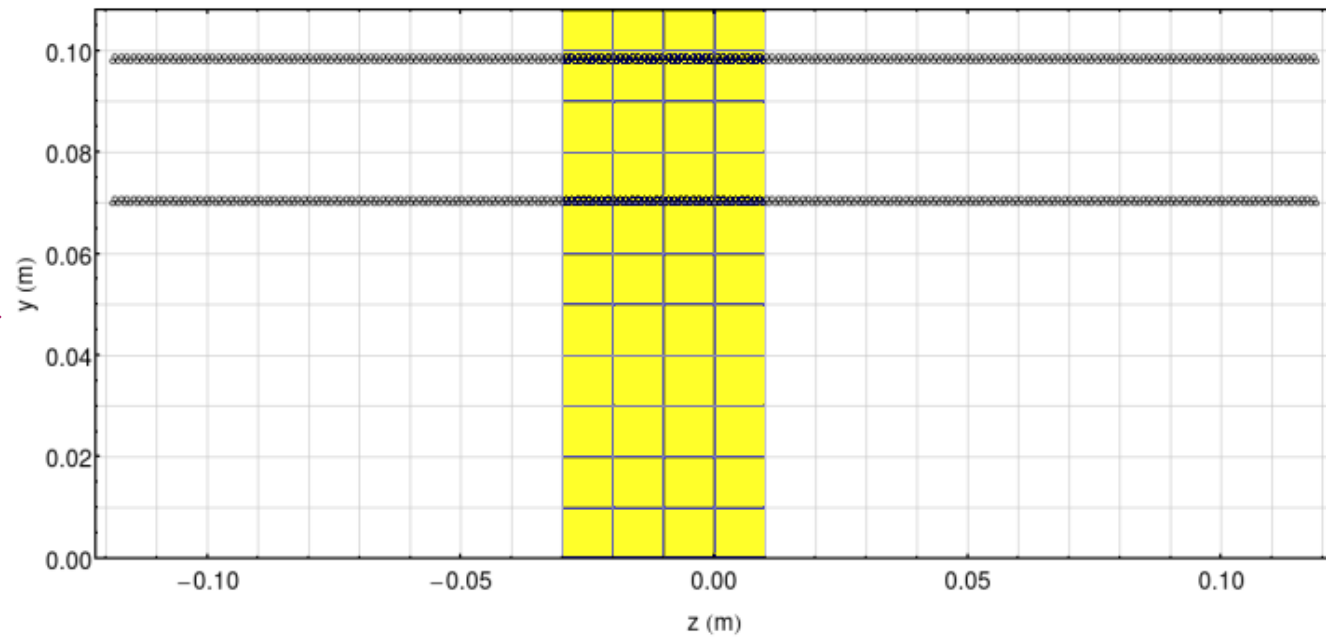
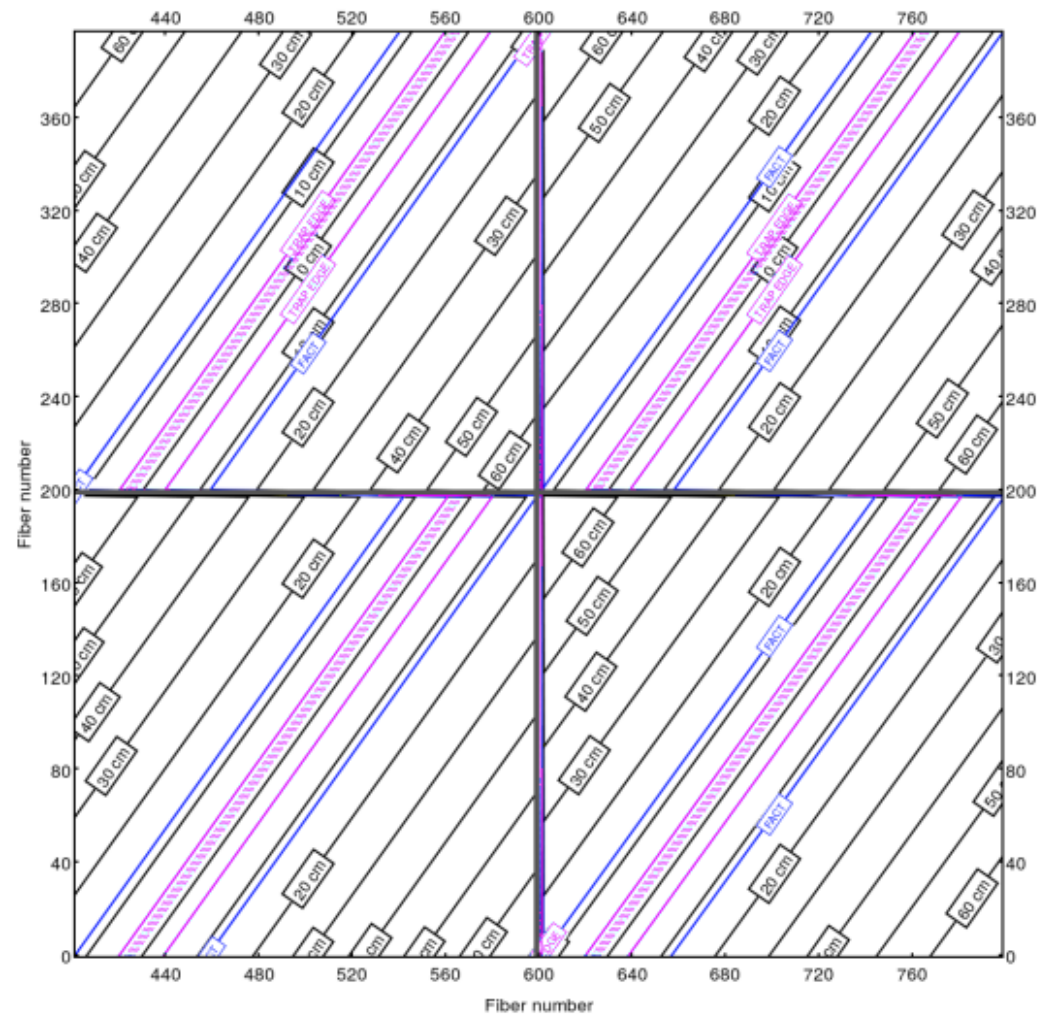
- Využití dat z normalizačního regionu k určení toho, kolik se odečte od Golden zone

## Activity

- Žádný cut v ose z, pouze se přímo určí počet eventů z detektoru (jako u scintilátoru)

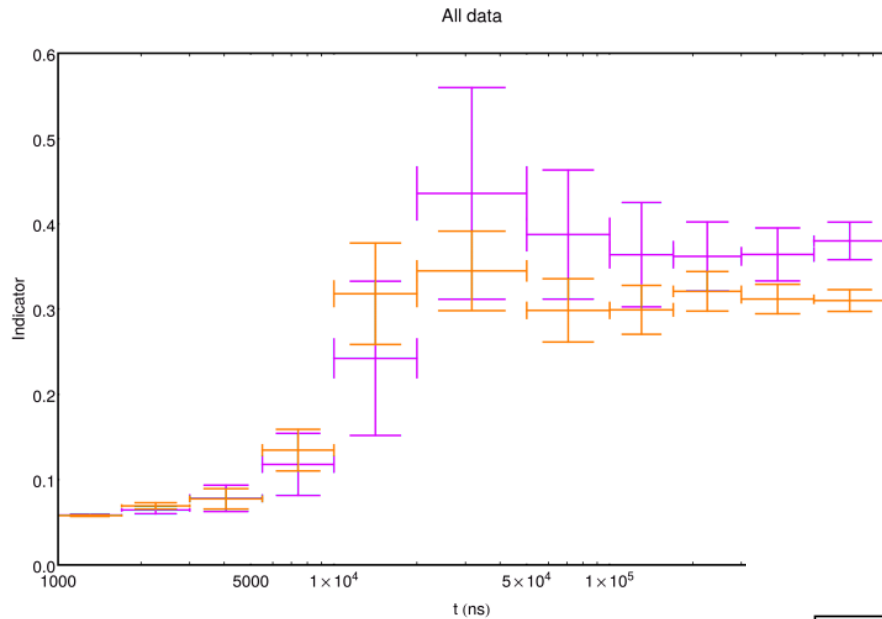
# Detekce pomocí FACT

Golden zone:



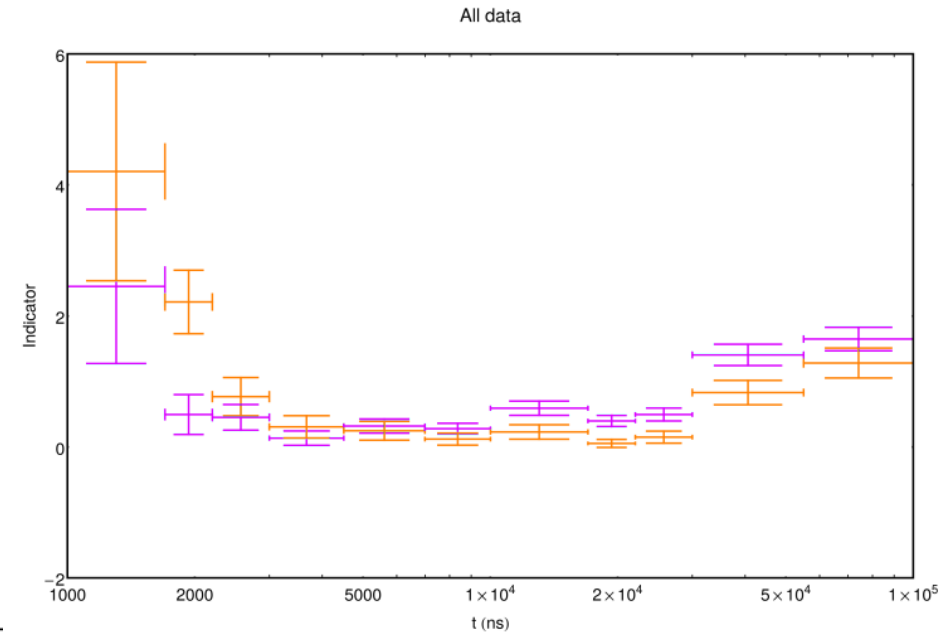
# Detekce pomocí FACT

## Ratio Normalization:



Laser ON Laser OFF

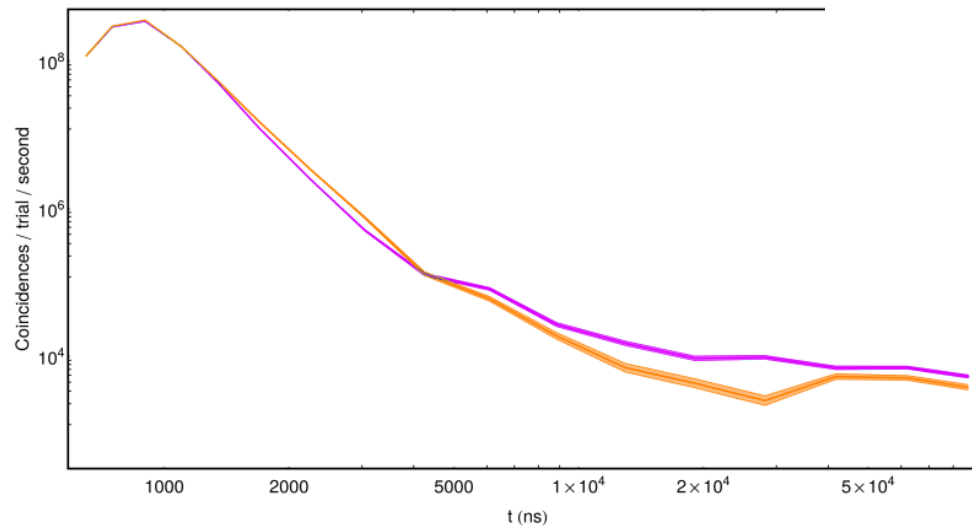
## Difference



Laser ON Laser OFF

Activity  
*Rate of coincidences (log timescale)*

All data – Coincidences



Laser ON Laser OFF

# Další postup detekce

- Spojení obou principů
  - Druhotná kontrola všech kroků analýzy
  - Systematické chyby
- 
- Je všechno toto měření kompatibilní s použitou metodou tvorby antivodíku?

# Další postup experimentu

- Připojení k decelerátoru ELENA
- Přestavění celé aparatury
- Zlepšení tvorby antivodíku
  
- Formace velmi chladného svazku  $\hbar$
  
- Gravitační měření
- Spektroskopické měření atomů antivodíku v letu