

Časový detektor pro CERN

Libor Nožka



Univerzita Palackého
v Olomouci



Úvod

Předmět přednášky

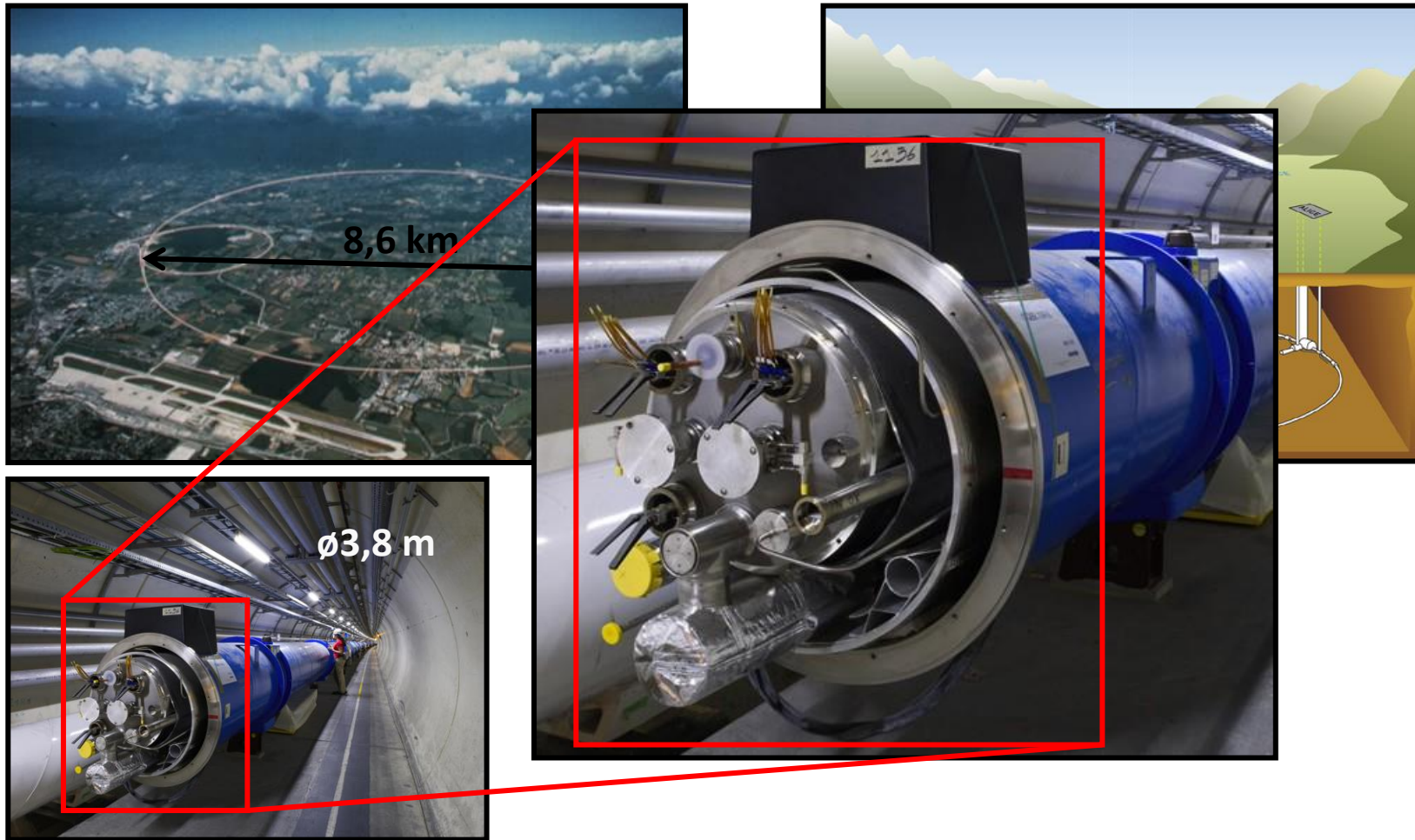
Představení detektoru měření času průletu protonů o vysokých energiích odchýlených při vzájemných srážkách v detektoru ATLAS v CERNu, časové rozlišení 20 ps

Předmětný projekt

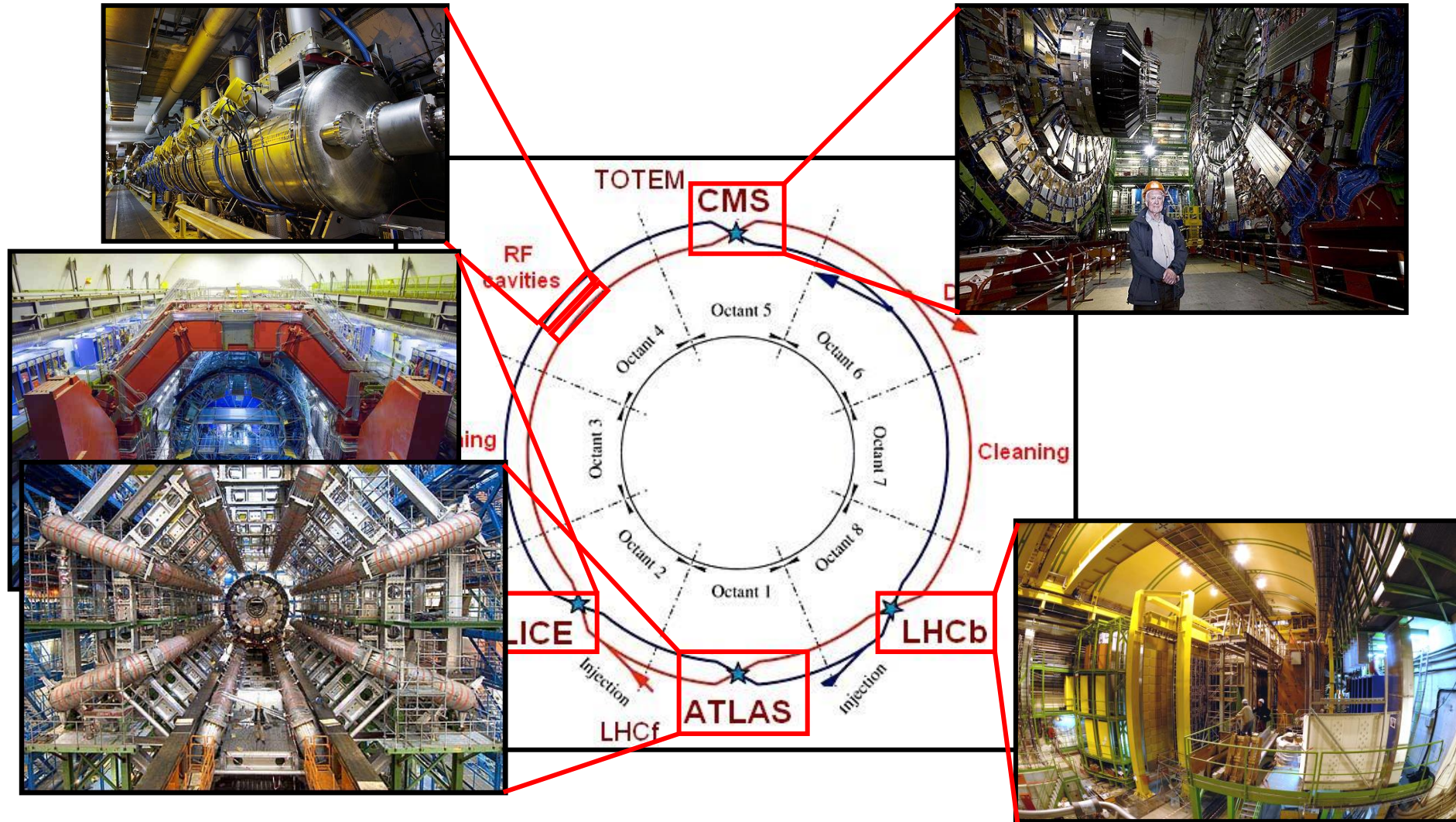
Projekt AFP (ATLAS Forward Proton) – čtveřice detektorů instalovaných na urychlovači LHC v dopředné oblasti detektoru ATLAS

Mezinárodní spolupráce: Španělsko, ČR, USA, Polsko, Srbsko, Německo

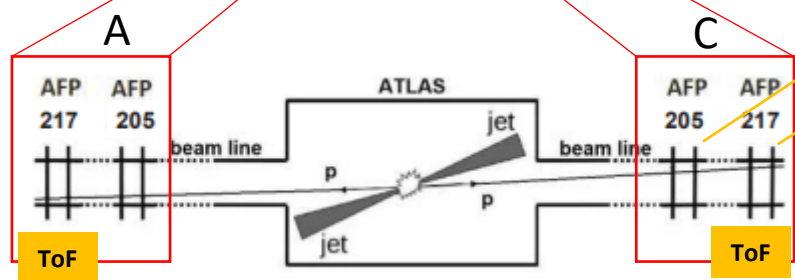
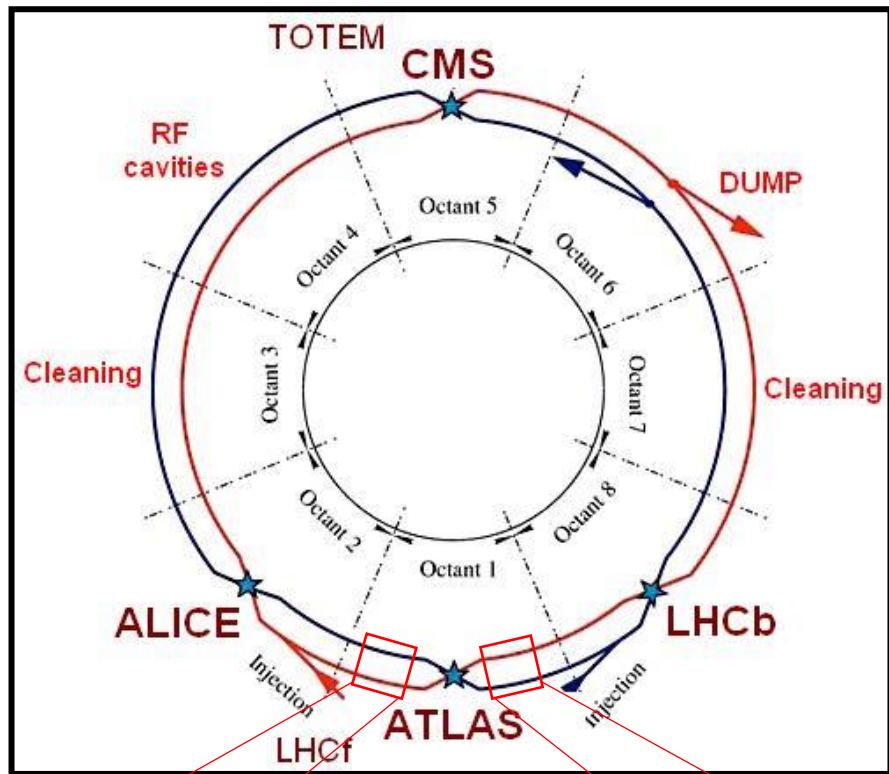
Srážeč LHC v CERNu



Detektory na LHC



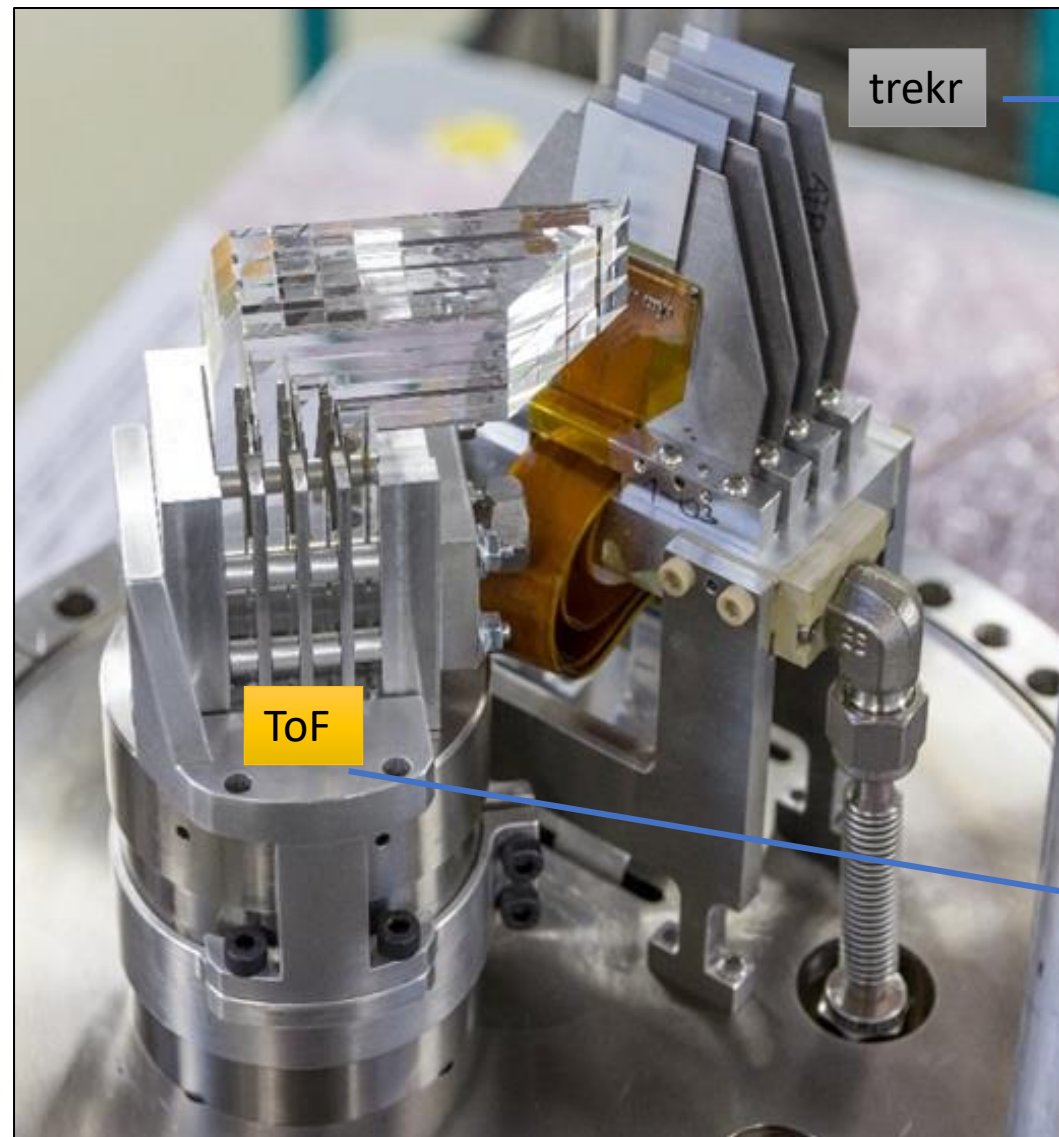
Detektory projektu AFP



Detektory jsou zasouvány do pozic, ve kterých jsou vzdáleny od hlavního svazku 1 mm (v místě hlavního svazku by se okamžitě vypařily)

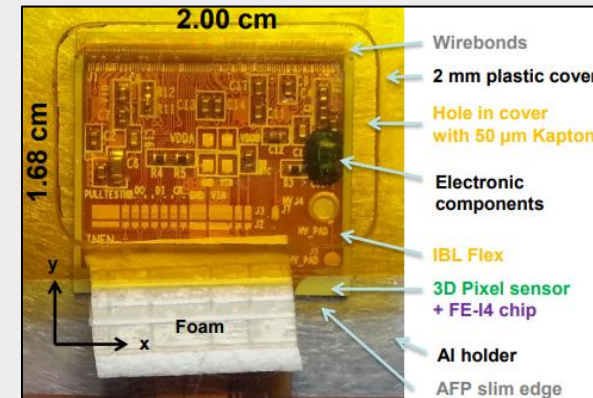
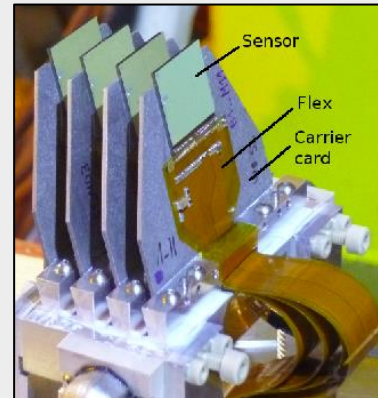
Registrují se pouze svazky protonů odchýlené srážkami

Detektory projektu AFP



Křemíkový trekr

- ❑ Čtyři plošné senzory měřící pozici přilétajících částic
- ❑ Každý sensor obsahuje matici 80x336 pixelů (250x50 μm)
- ❑ celkové prostorové rozlišení 2,8 μm
- ❑ instalace na všech čtyřech detektorech

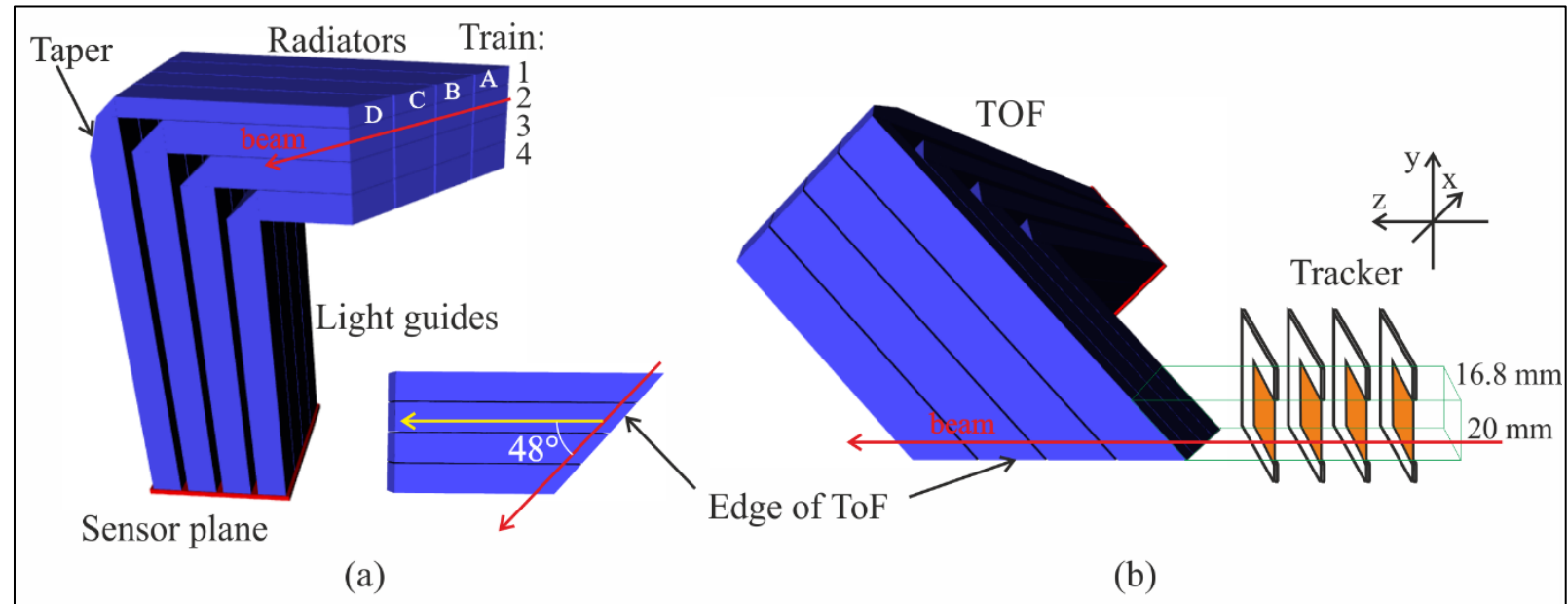
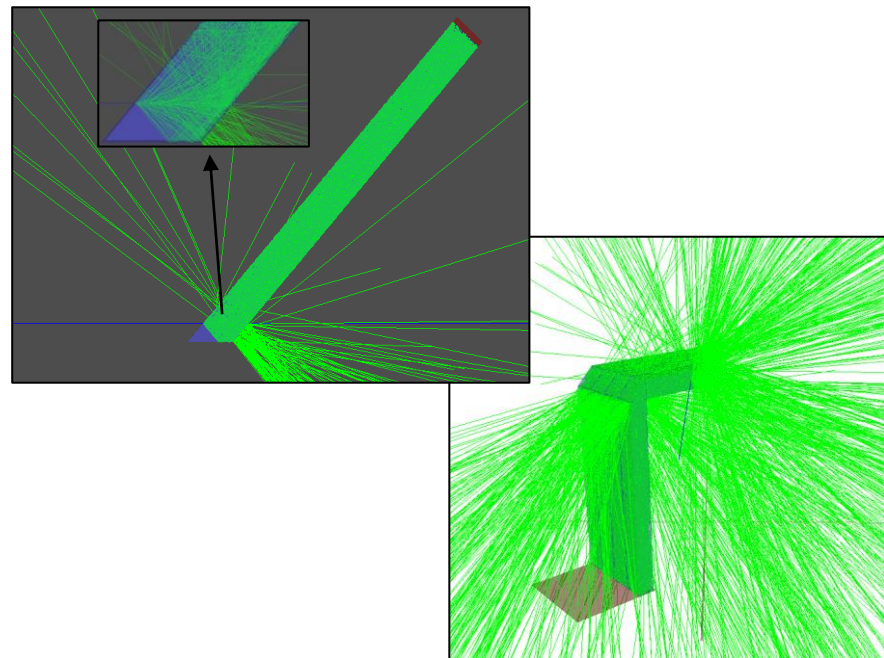


Detektor ToF

- ❑ Matice 4x4 křemenných tyčinek s fotonásobičem měřící čas průletu
- ❑ instalace pouze na vzdálenějších stanicích (zdroj spršek => pozadí)
- ❑ *více v následujících slajdech ...*

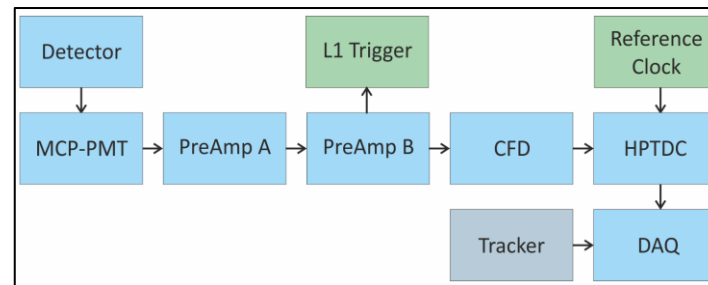
Detektor ToF energetických částic

- ❑ ToF = Time of Flight, detektor měření času průletu energetických částic
- ❑ Princip měření: indukční, změna kapacitance, scintilační, tvorba Čerenkovova záření
- ❑ Uplatnění: pozitron-elektronová tomografie, hmotnostní spektrometry, filtrace významných produktů srážek na urychlovačích
- ❑ Požadavek na AFP: časové rozlišení prolétávajících protonů do 20 ps v silném radiačním prostředí => čerenkovský detektor s křemenným sklem, signál v oblasti 200-400 nm



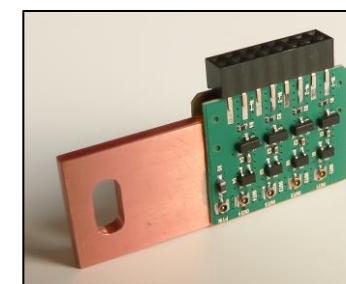
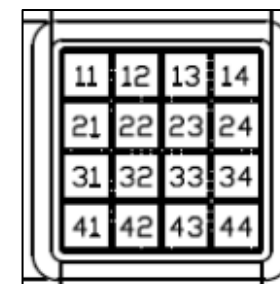
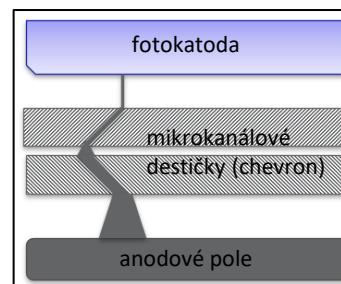
Detektor ToF/AFP – 1. verze do roku 2017

umístění ve vakuu 10 Pa – 300 Pa



Fotonásobiče a elektronika

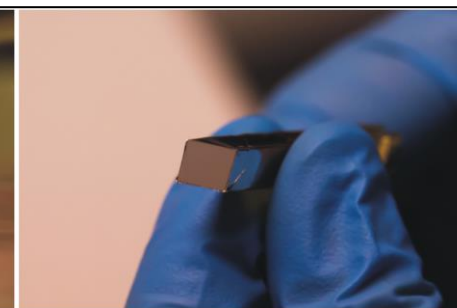
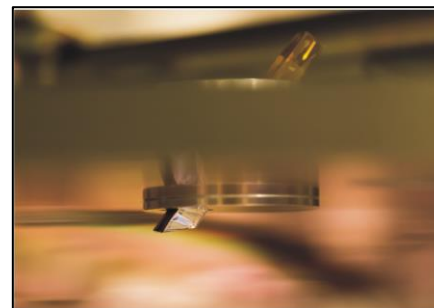
Fotonásobič Photonis XPM85112



Křemenné tyčinky

zrcadlová vrstva Al/SiO₂

lepeno lepidlem Epotek 305
(transparentní v UV)



Detektor ToF/AFP – 1. verze do roku 2017

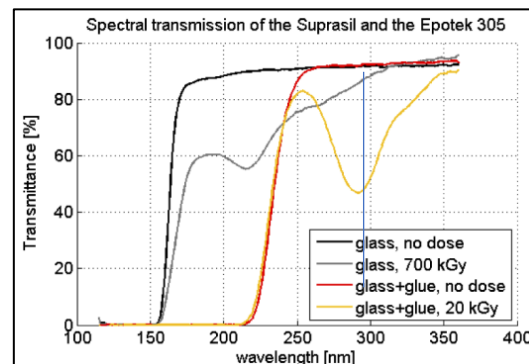
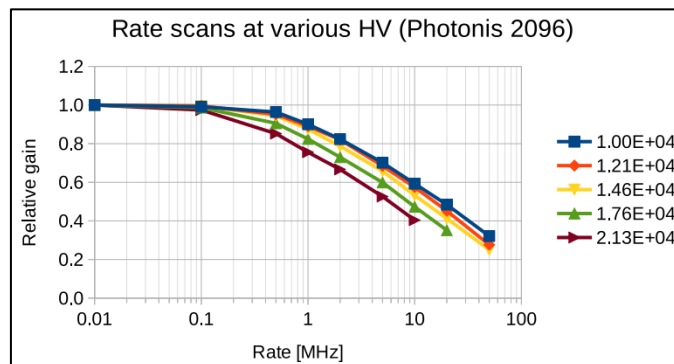
Nasazení 03/2017 – 12/2017

$$\sigma_{\text{FAR-A}}^{\text{ToF}} = 20.2 \pm 4.0 \text{ ps} \quad \sigma_{\text{FAR-C}}^{\text{ToF}} = 25.7 \pm 4.7 \text{ ps}$$

Velmi dobré rozlišení, ovšem za cenu nízké účinnosti 3% !

Nedostatky

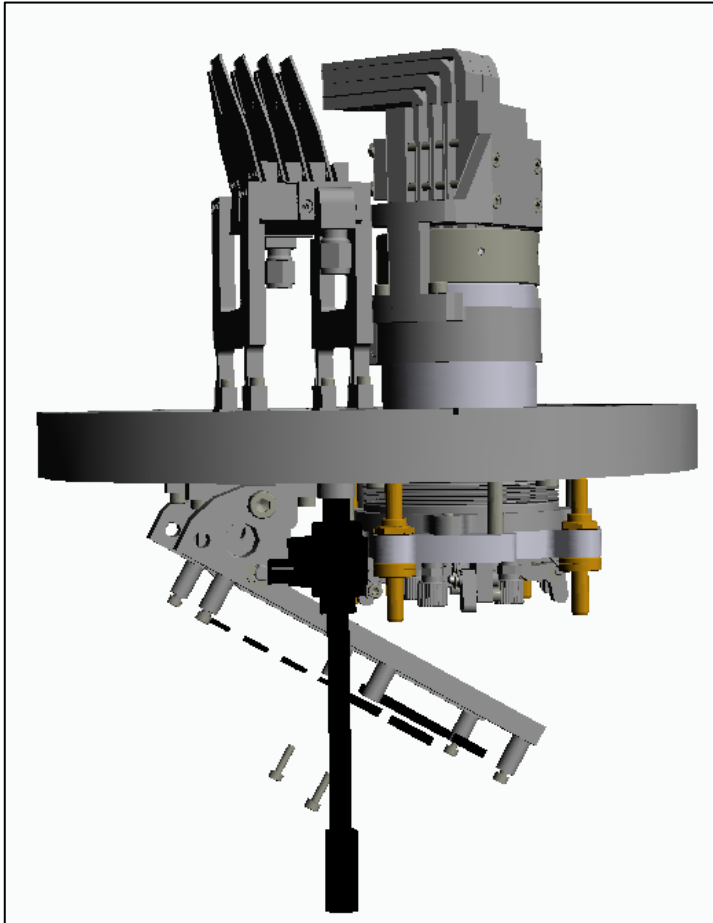
- ❑ Fotonásobiče v oblasti rotačního vakua (riziko vzniku výboje na VN 2kV),
- ❑ Zesílení fotonásobičů klesá s frekvencí přicházejících protonových pulzů (4 MHz),
- ❑ Celková degradace fotonásobičů – celkový náboj 10 C (!),
- ❑ Lepené tyčinky – lepidlo časem slepne vlivem radiace,
- ❑ Nedostatečná izolace od vnějšího rušení – snížené SNR



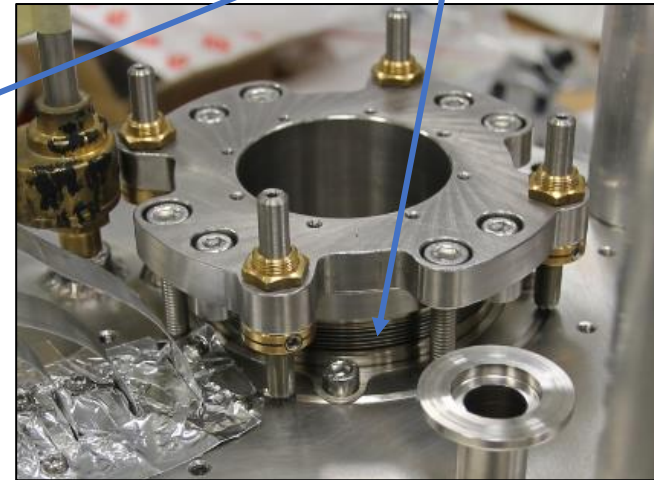
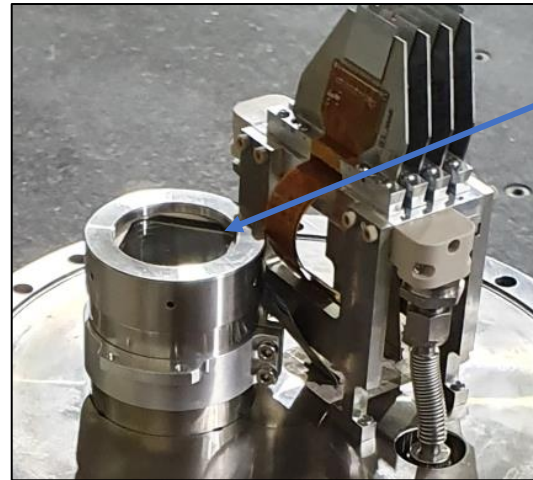
Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

- ❑ Hlavním úkolem bylo odstranit nedostatky první verze,
- ❑ Příprava na přibližně 5-násobné zvýšení intenzity svazku, tj. 20 MHz frekvenci LHC

Úprava geometrie



- ❑ Fotonásobič umístěn v tubusu a oddělen od vakua křemenným sklíčkem
- ❑ Zdvojené oddělení vakuové části o-kroužky a vlnovcem (fy Mewasa)



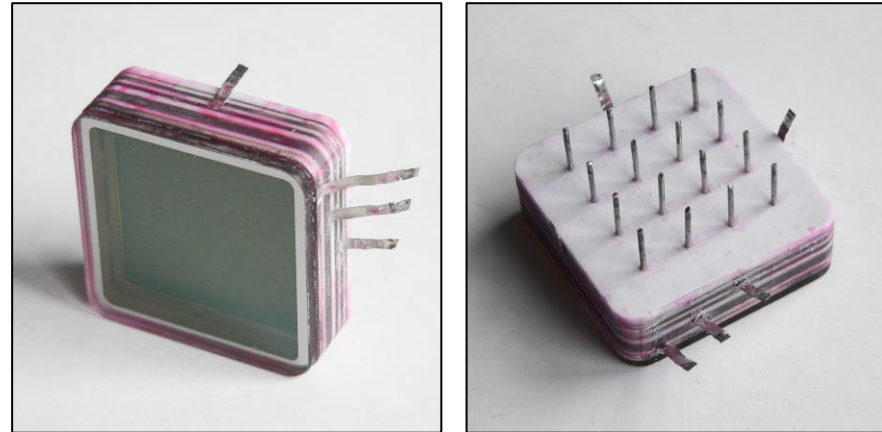
- ❑ Zavedení světelného pulzeru pro diagnostická měření během nasazení na LHC

Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Nové fotonásobiče

- ❑ Chevron fotonásobičů ošetřen ALD vrstvou (R2D2) Al_2O_3 popř. MgO ke zvýšení životnosti (utlumení jevu, kde zmnožené elektrony vrážení na stěnách chevronu kladné ionty, které zpětně bombardují fotokatodu a tím ji odprašují),
- ❑ snížený odpor pro práci s nízkým zesílením (v řádu 10^3),
- ❑ nevýhodou je horší TTS (40 ps oproti 30 ps dřívějších fotonásobičů)

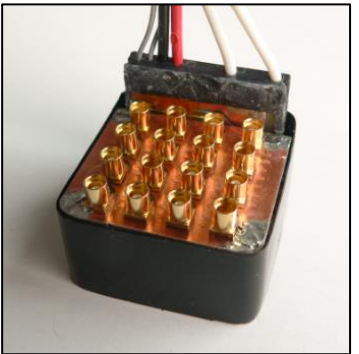
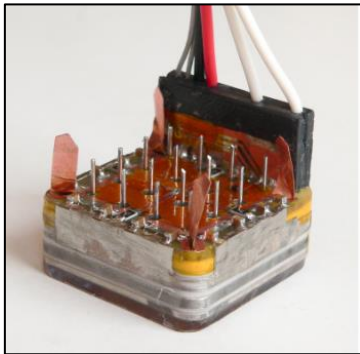
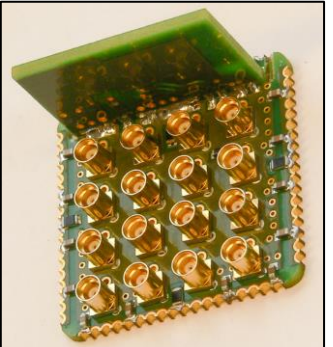
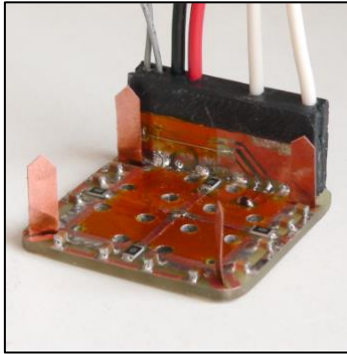
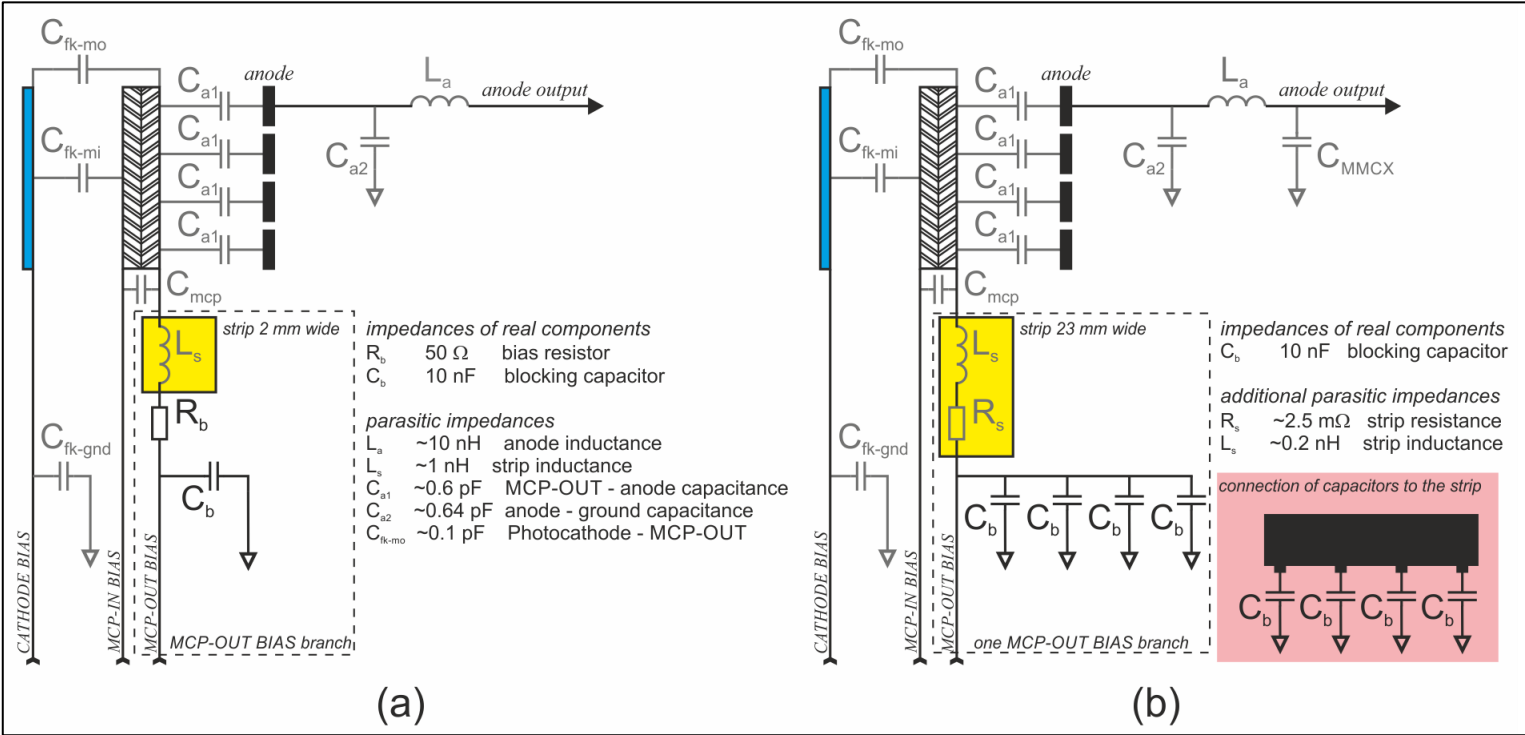
Obnažené pouzdro fotonásobiče Photonis XPM85112



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Nové fotonásobiče

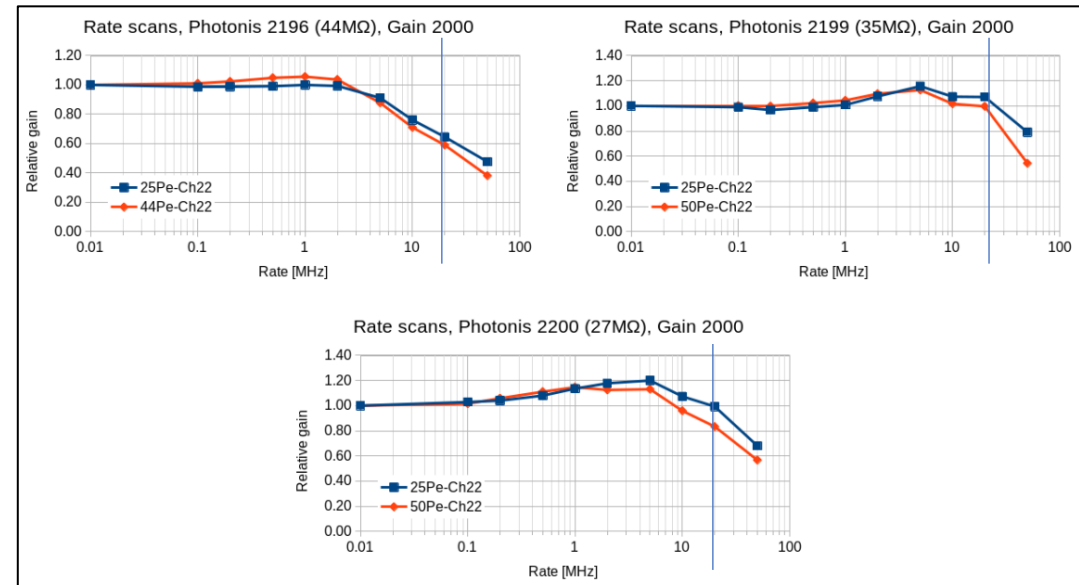
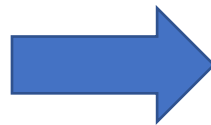
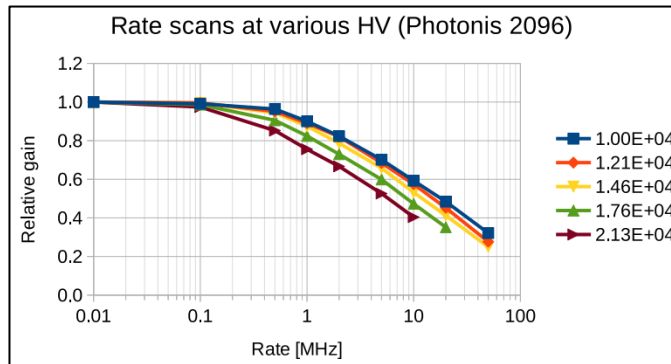
zapracování námi navržené a vyrobené zadní elektroniky fotonásobičů pro omezení přeslechů mezi kanály a zlepšení odolnosti vůči vnějšímu rušení



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Nové fotonásobiče

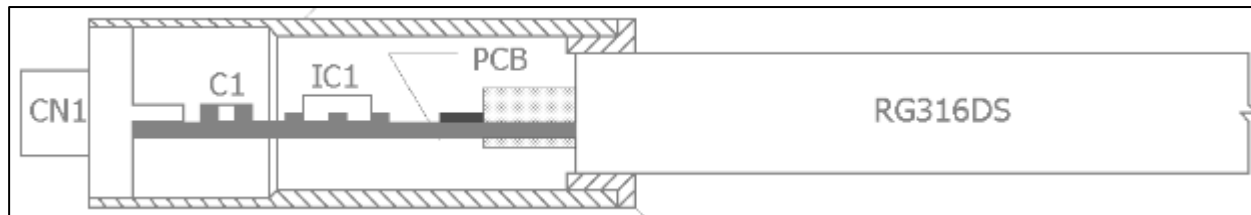
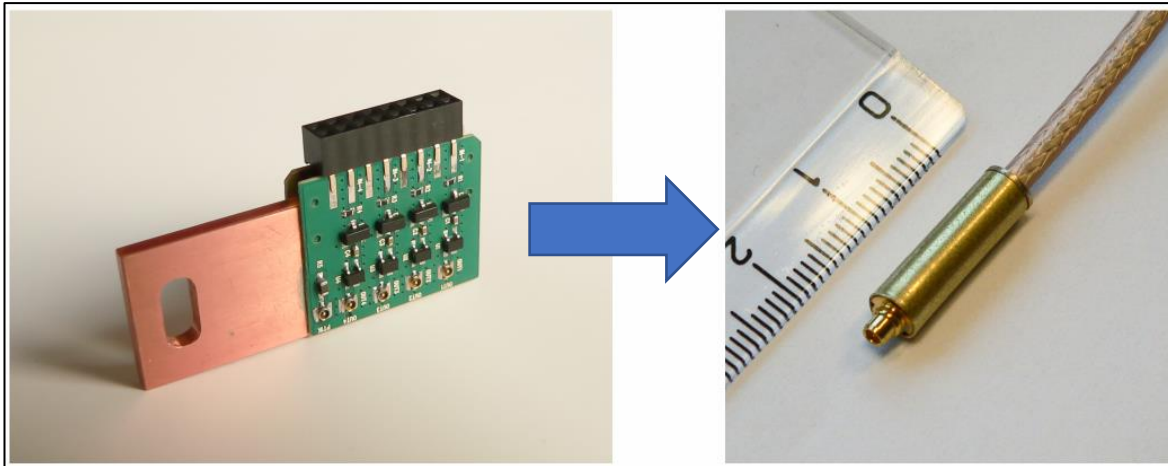
☐ ověřovací měření na laseru v našich laboratořích ukázala podstatné zlepšení odezvy na vysokých frekvencích



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Nová zesilovací elektronika – 1. stupeň

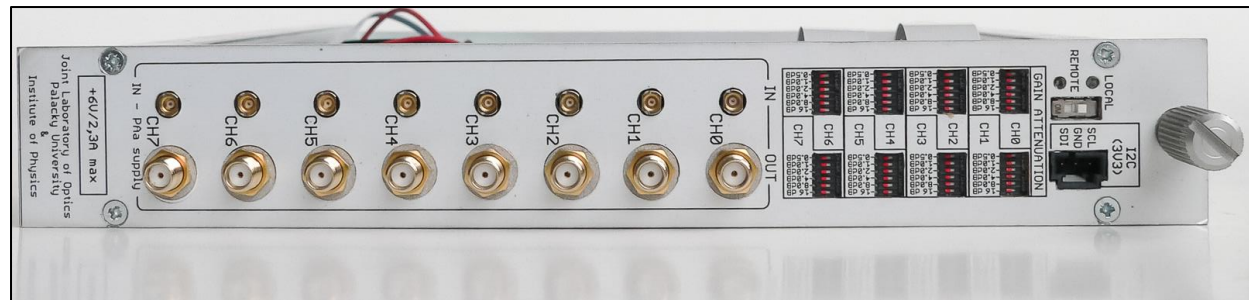
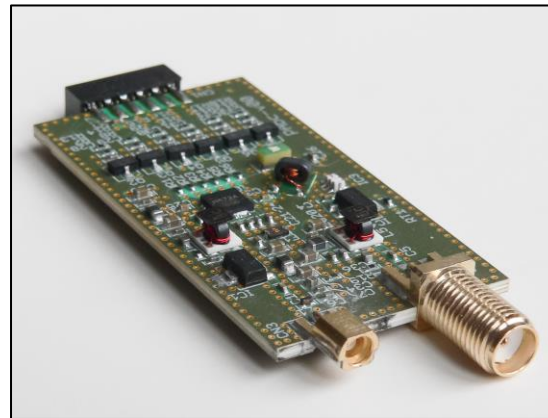
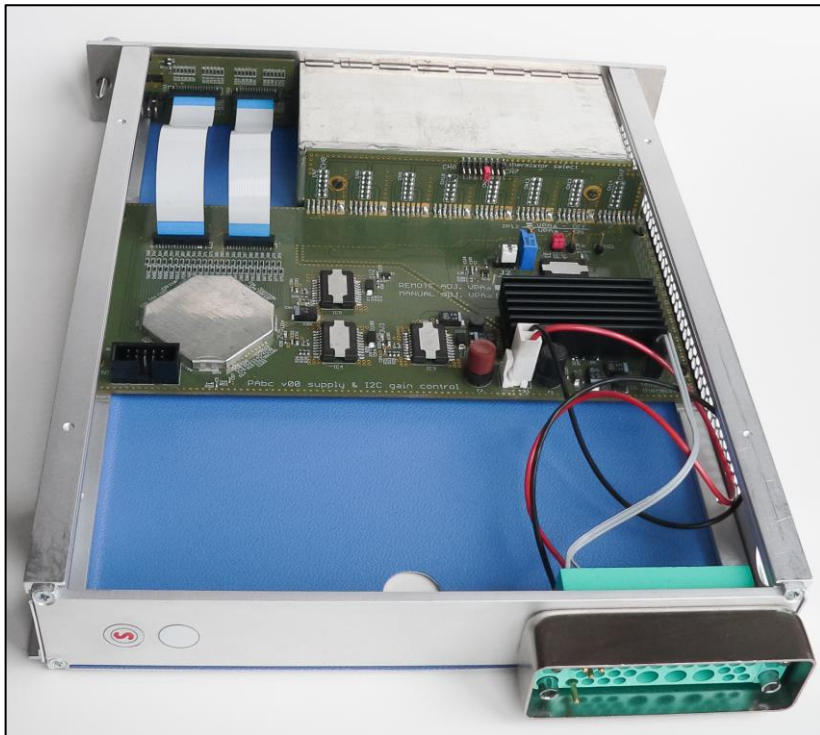
- ❑ přechod z osmikanálových zesilovacích jednotek PA-a na jednonálové kvůli snadnější výměně a lepšímu odvodu tepla
- ❑ lepší ochrana proti vnějšímu rušení



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Nová zesilovací elektronika – 2. stupeň

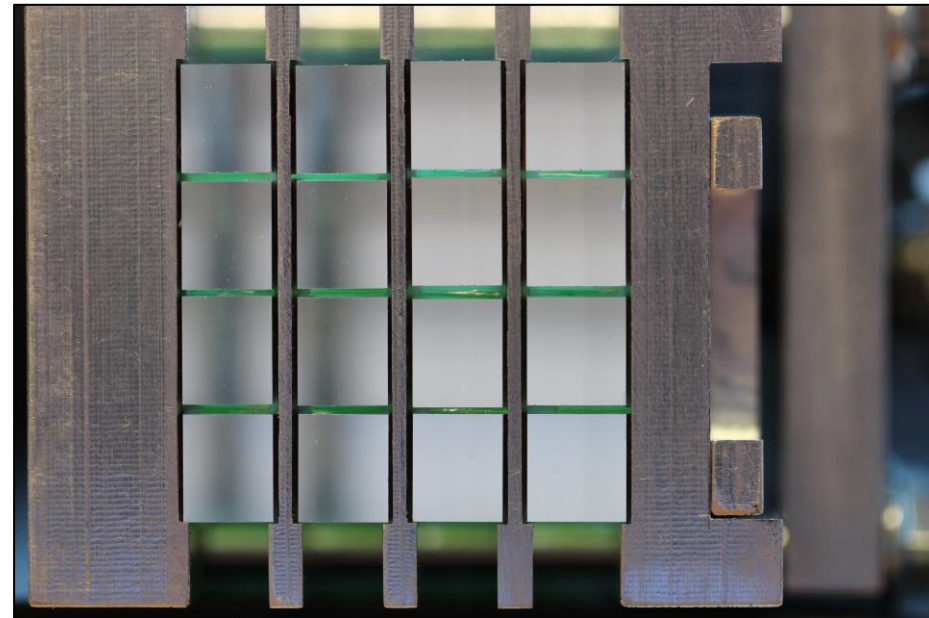
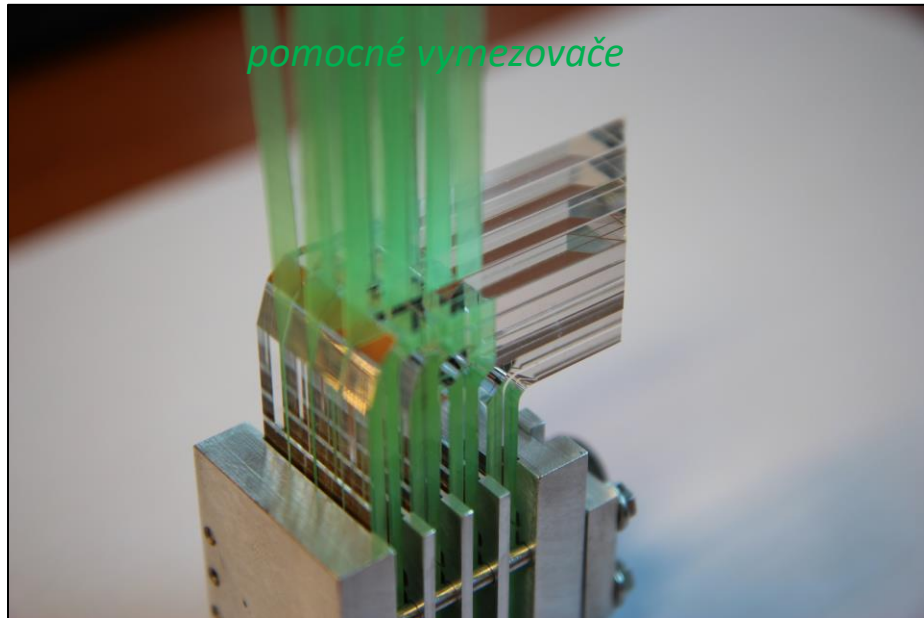
- ❑ 8-kanálové jednotky standardu NIM
- ❑ zvýšení zesílení z 10 na 100 pro kompenzaci sníženého zesílení fotonásobičů,
- ❑ nově vzdálené nastavování zesílení přes I²C, možnost digitální filtrace na 1 GHz (zatím vypnuto)



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Optická část

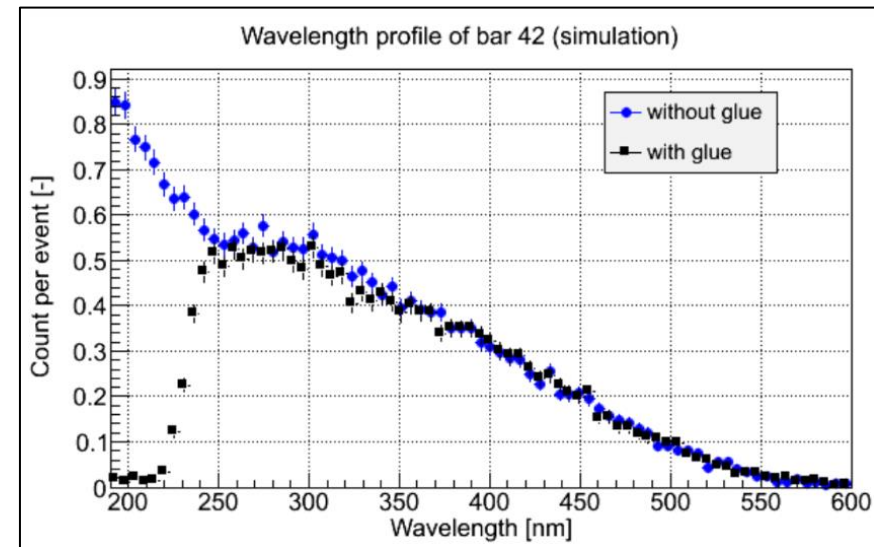
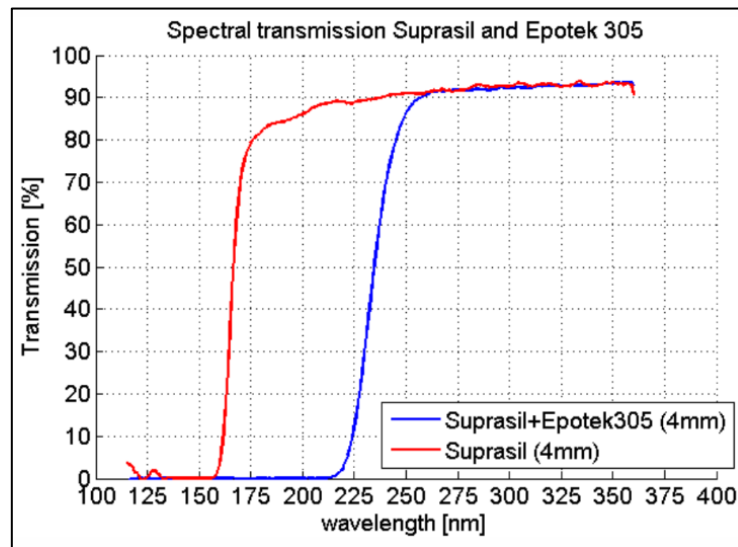
- ❑ vyvinutí techniky výroby tyčinek z jednoho kusu (nelepené)
- ❑ zlepšení celkové geometrie optické části detektoru (matice tyčinek 4x4)



Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Optická část

- ☐ zvýšení propustnosti o 60% v hluboké UV oblasti,
- ☐ časové rozlišení lepší o 5 ps

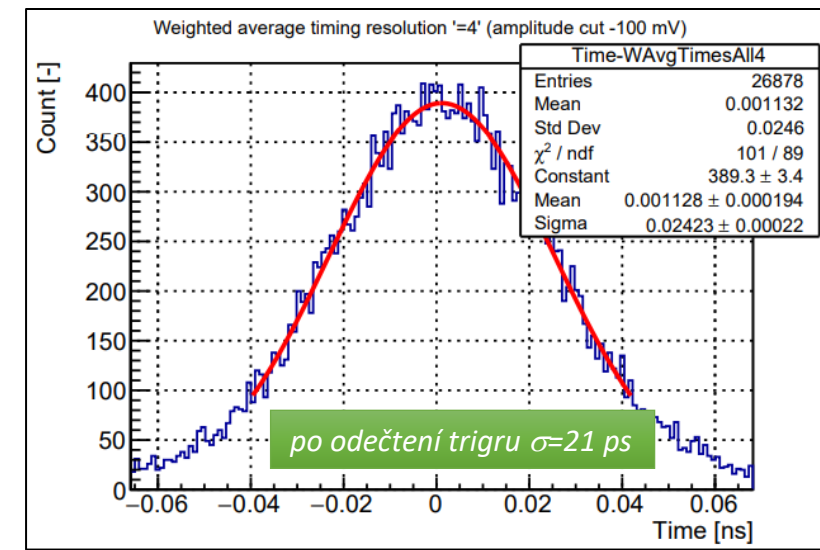
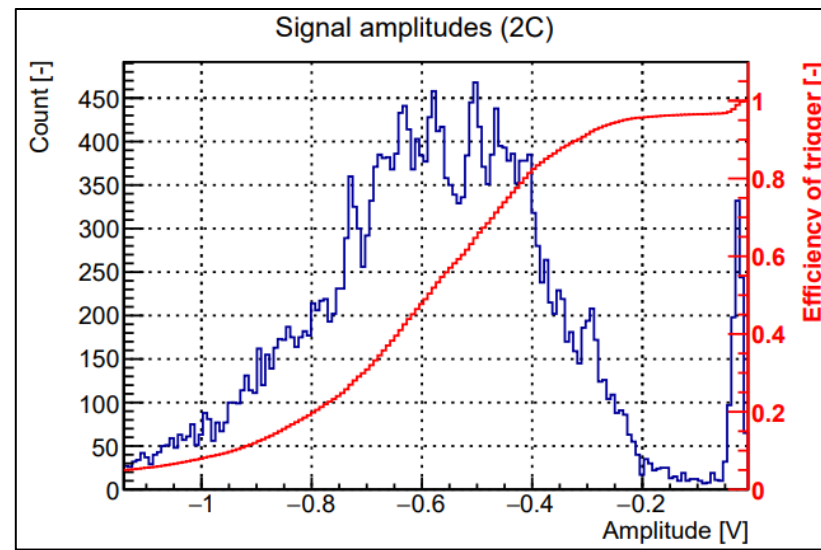
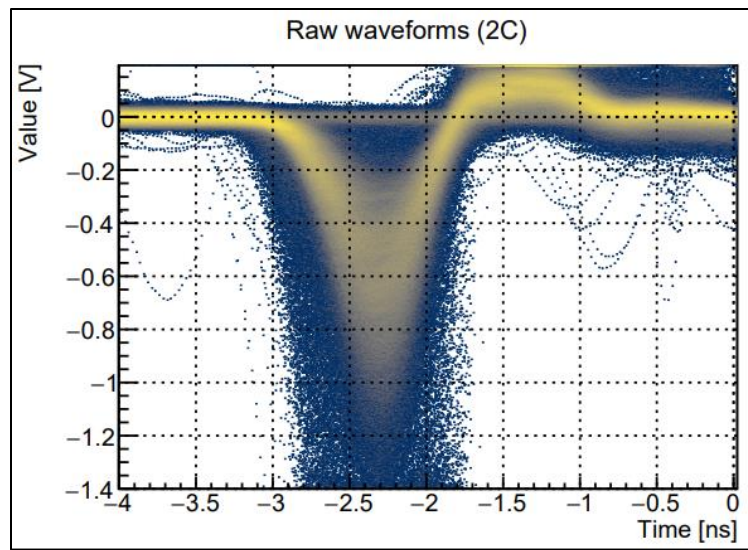


Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

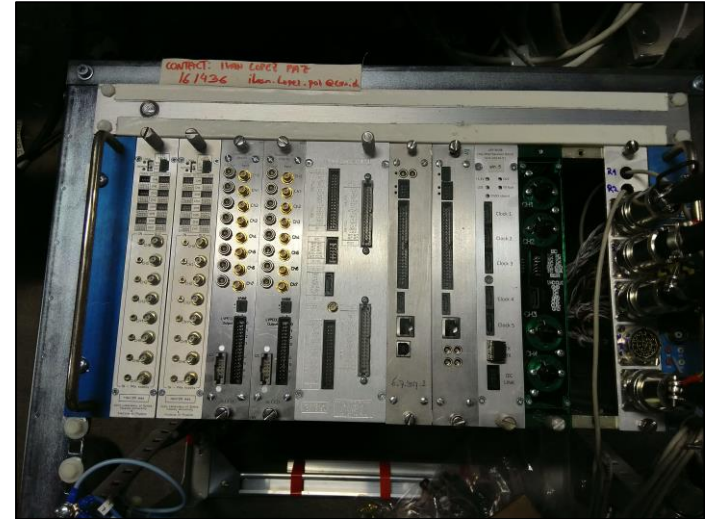
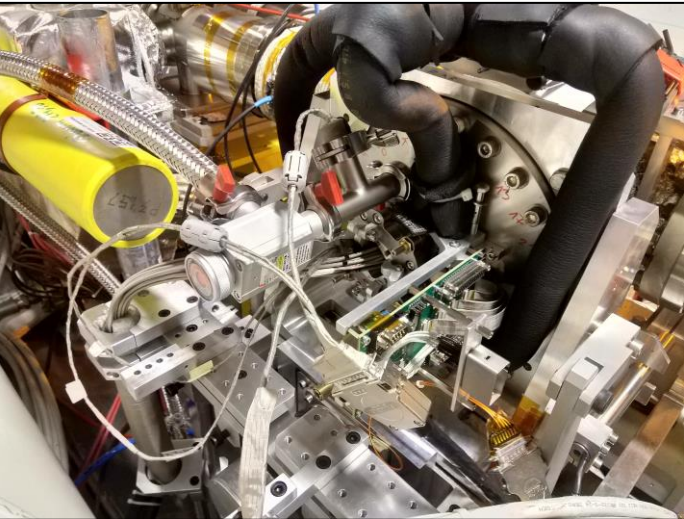
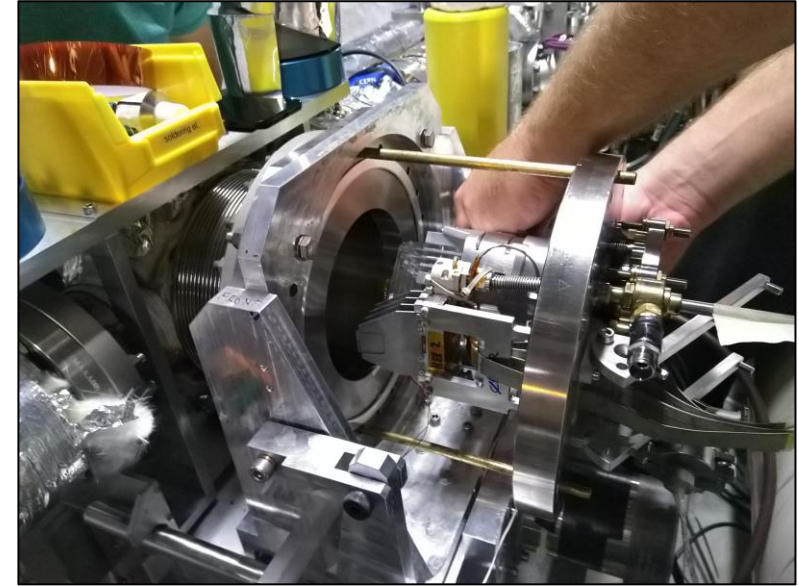
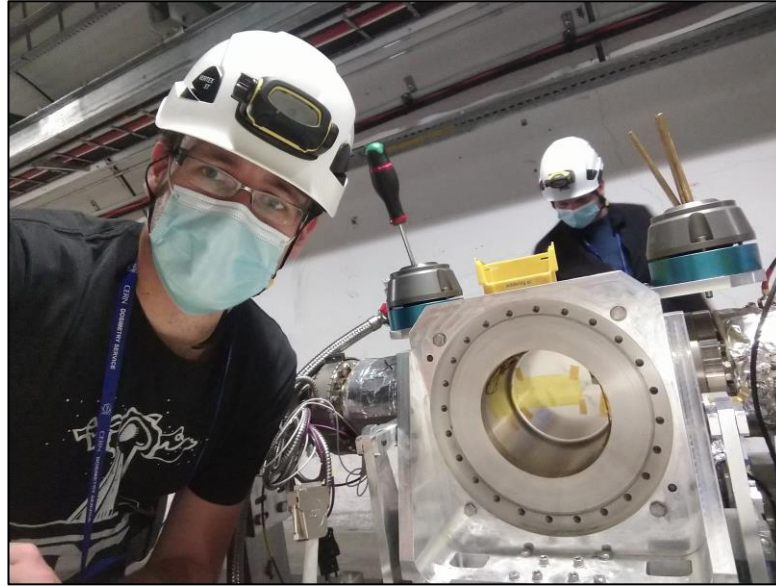
Ověřovací měření

- ❑ Na svazku π^+ 120 GeV v CERNu, frekvence pulzů v desítkách kHz
- ❑ časové rozlišení 21 ps na sníženém zesílení fotonásobičů ($g=2000$),
- ❑ při standardním zesílení v řádu 10^4 časové rozlišení 16 ps (při TTS=40 ps),
- ❑ při použití fotonásobičů s TTS=30 ps je časové rozlišení 12 ps

LHC ovšem nedovolí ToF detektoru takového rozlišení dosáhnout (příliš ho zahltí přicházejícími svazky protonů)



Instalace září 2021



Závěr

- ❑ Detektor ToF pro projekt AFP se začal vyvíjet od roku 2014 – požadavky na vysoké rozlišení v prostředí s vysokou radiací a omezeným prostorem vyústilo v nestandardní řešení optické částí a problémy s fotonásobiči,
- ❑ První verze detektoru trpěla mnohými nedostatky, které prostředí urychlovače LHC rychle odhalilo,
- ❑ Druhá verze je po technické stránce podstatně robustnější při zachování požadovaného časového rozlišení 21 ps,
- ❑ První výsledky očekáváme po spuštění LHC z kraje příštího roku



Podpořeno z projektu OP VVV „Partnerská síť v oblasti výzkumu a vývoje zobrazovací a osvětlovací techniky a optoelektroniky pro optický a automobilový průmysl“, registrační číslo: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008422.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Záloha

Detektor ToF/AFP – 2. verze od roku 2018

Optická část

souběžnost ploch

