

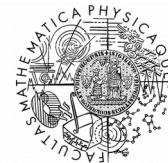
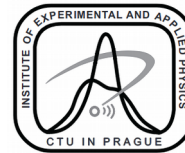
FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

System pro 3D lokalizaci zdrojů gamma záření Comptonovou kamerou založenou na detektorech Timepix3

Petr Mánek
pm@petrmanek.cz

Vedoucí práce: Filip Zavoral
zavoral@ksi.mff.cuni.cz

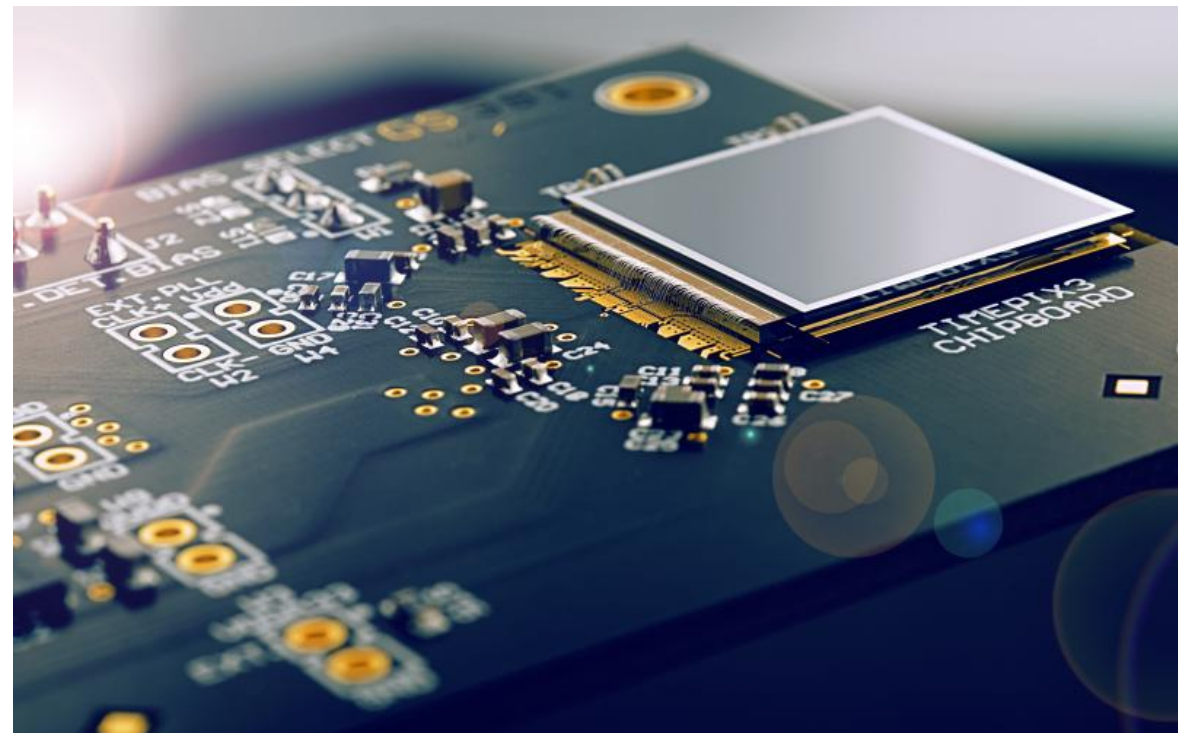
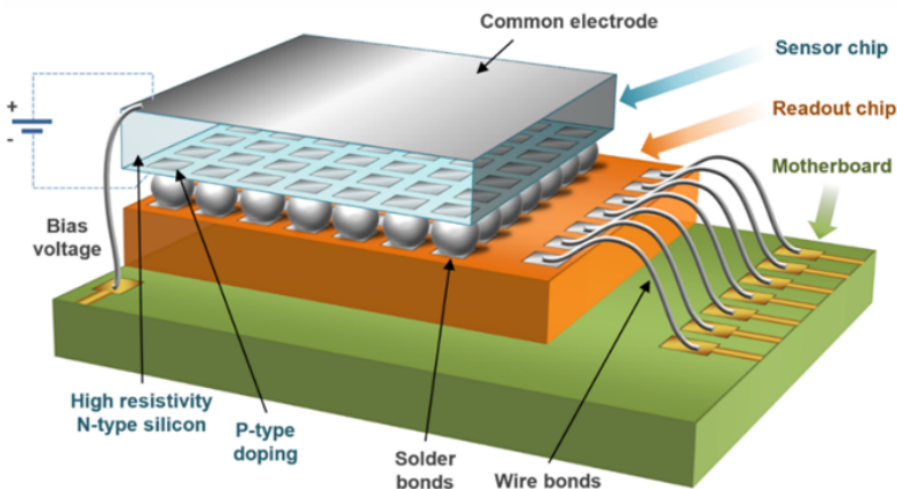
Timepix3



FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

- Sensor: vrstva polovodiče < 1 mm (Si, GaAs, CdTe)
- 256 x 256 pixelů s rozestupem $55\ \mu\text{m}$ (rozměr $\sim 1,41$ cm)
- Detektor měří souvisle a postupně hlásí aktivní pixely.
- Každý pixel zaznamená:
 - a) časové razítko ($\pm 1,25$ ns),
 - b) deponovanou energii.

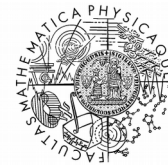
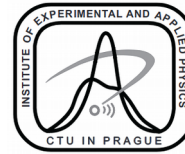
→ **výkyvy v množství dat,**
→ **velké objemy (až jednotky GB/s)**



(1) Komunikace

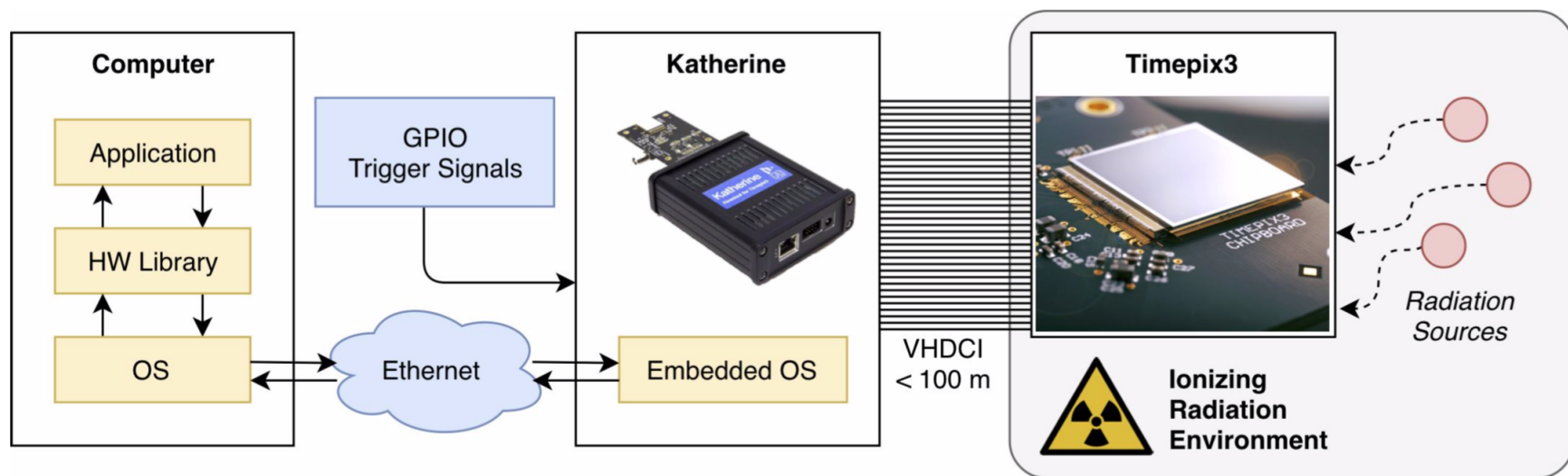


ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

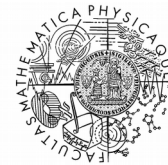
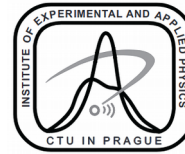


FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

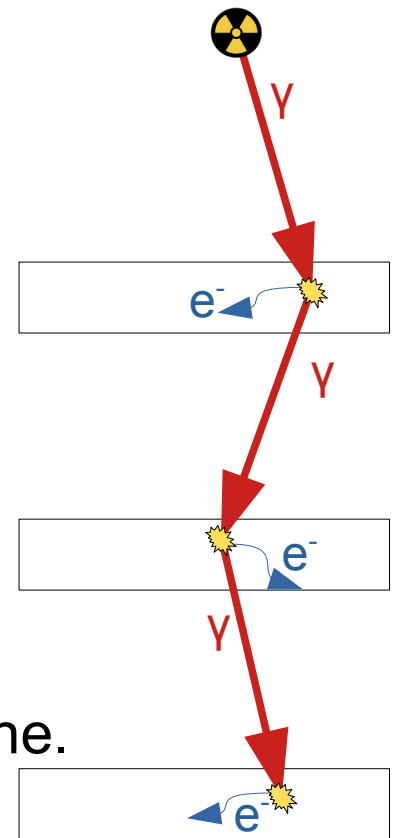
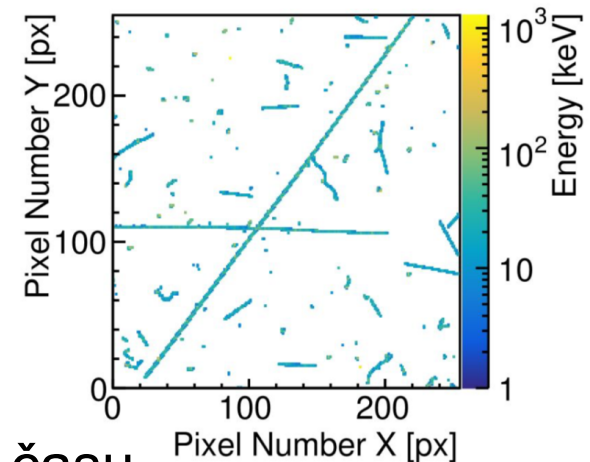
- Řídící program $\leftrightarrow$ HW knihovna $\leftrightarrow$ Timepix3
- Implementována knihovna pro vyčítací zařízení Katherine (ZČU v Plzni)
- Knihovna umožňuje:
 - a) konfiguraci detektoru,
 - b) monitoring a řízení akvizice,
 - c) rychlé zpracování dat v asynchronním režimu (teoreticky až 15M px/s).



(2) Zpracování měření

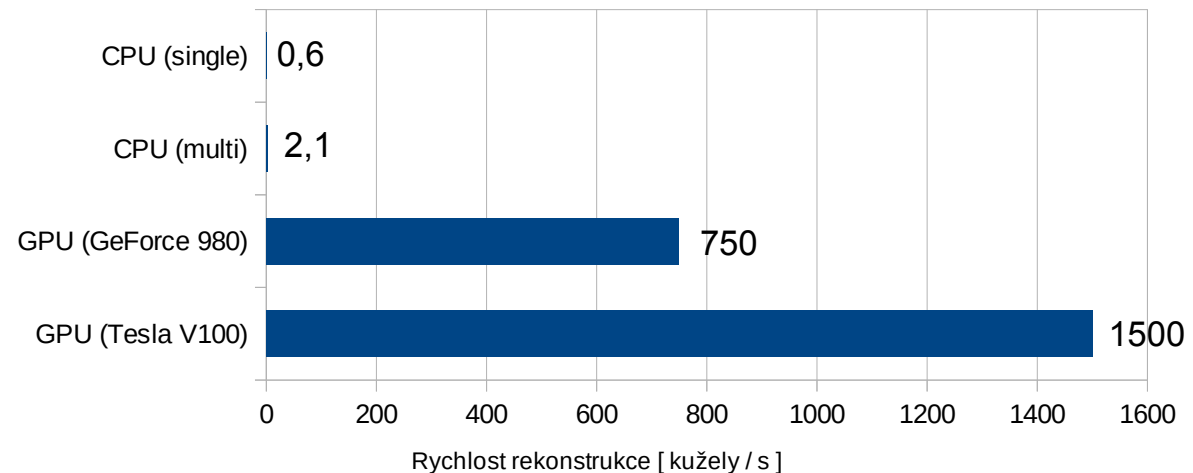
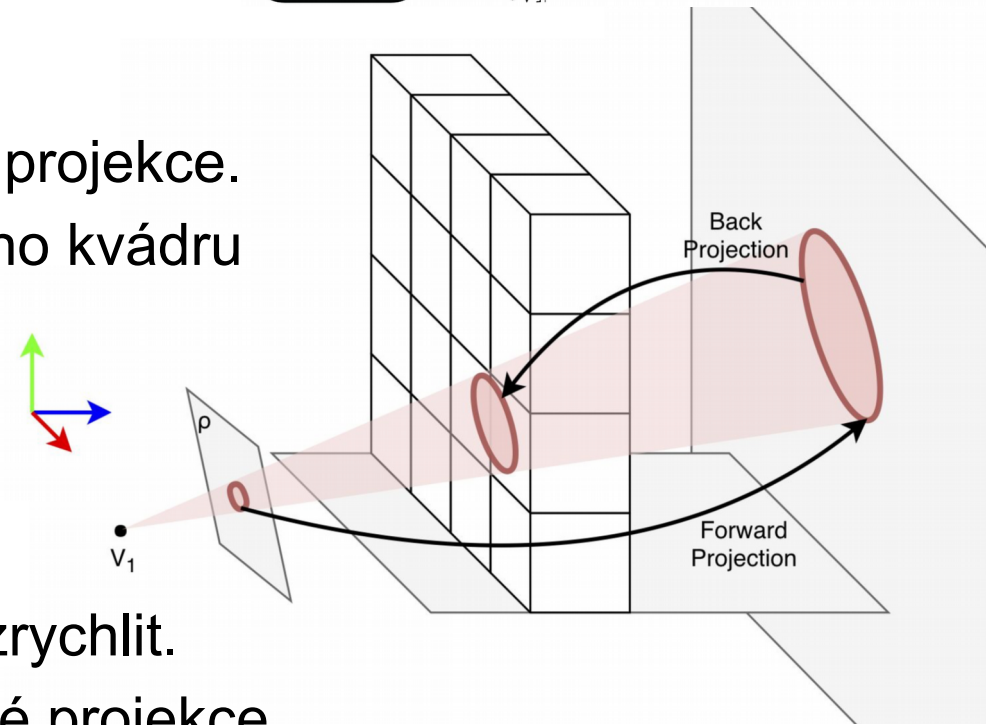


- Cíl: pozorovat elektron, kterému foton předá energii
- V detektoru: elektron ~ shluk pixelů (*cluster*)
- **Fáze 1:** shlukovací algoritmus
 - pixely jsou nejprve seřazeny v prioritní frontě podle času,
 - v geometrické DS jsou pixely propojeny do shluků.
- **Fáze 2:** synchronizace detektorů + párovací algoritmus
 - shlukování probíhá souběžně pro každý detektor zvlášť,
 - poté párování shluků s podobným časovým razítkem.
- Oba algoritmy:
 - dobře škálují (Katherine vyprodukuje až 15M px/s),
 - lze spustit *online* → jejich zřetězením získáme data pipeline.



(3) Rekonstrukce

- Implementován algoritmus dopředné projekce.
→ promítne kužely do diskretizovaného kvádru
- Počet buněk roste rychle.
- $N = 300 \rightarrow 27\text{M}$ buněk (~ 100 MB)
- Projekce do rovnoběžných rovin lze zrychlit.
→ odvozen rychlejší algoritmus zpětné projekce
- Další zrychlení:
 - paralelizace,
 - vyhledávací tabulky,
 - interpolace,
 - grafické karty (CUDA).

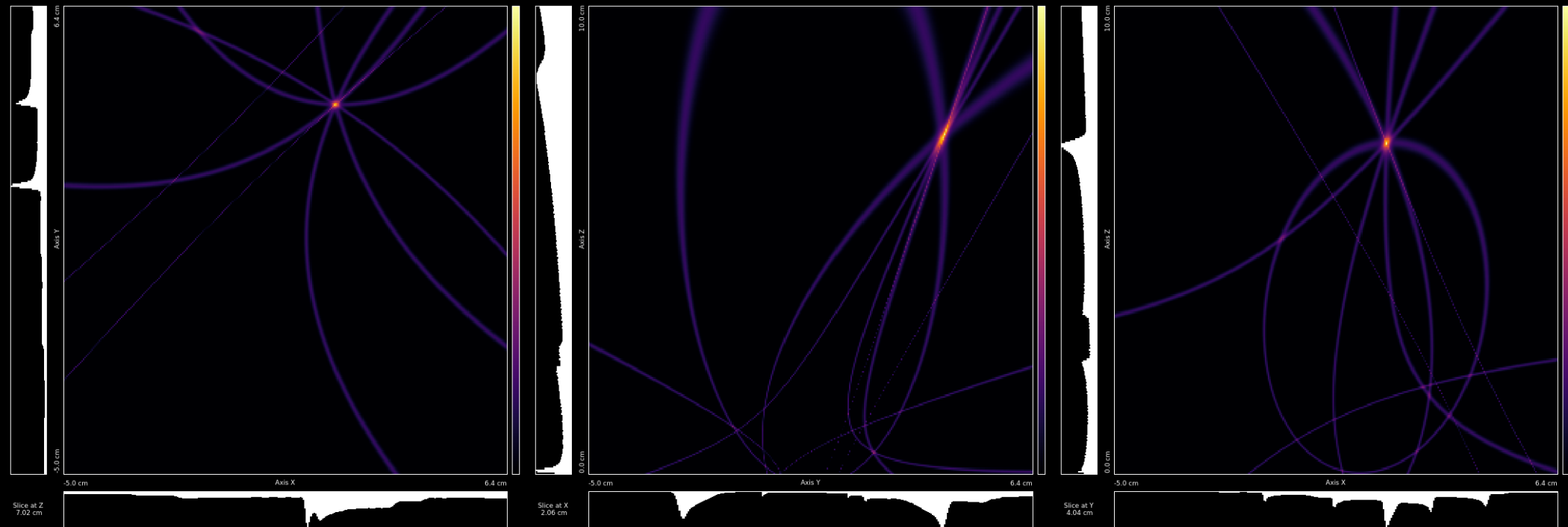


(3) Rekonstrukce

Pohled zepředu (XY)

Pohled ze strany (YZ)

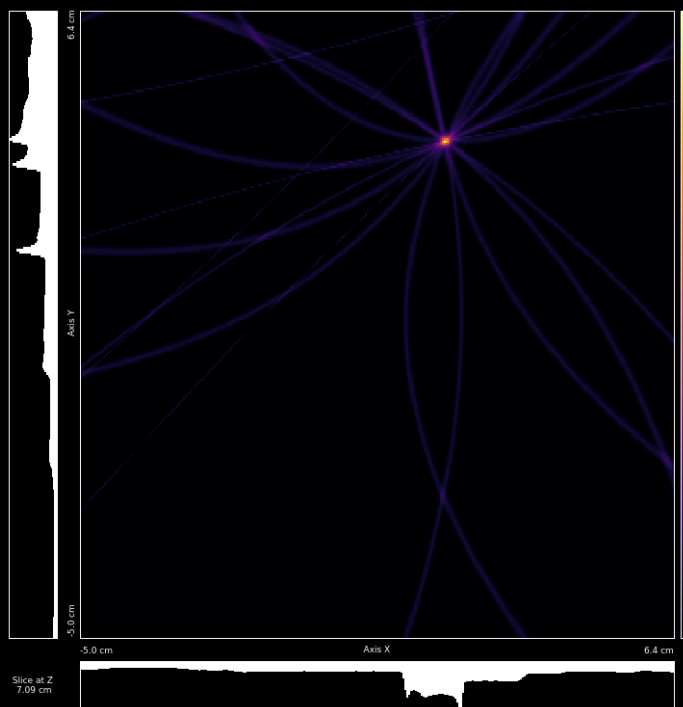
Pohled zvrchu (XZ)



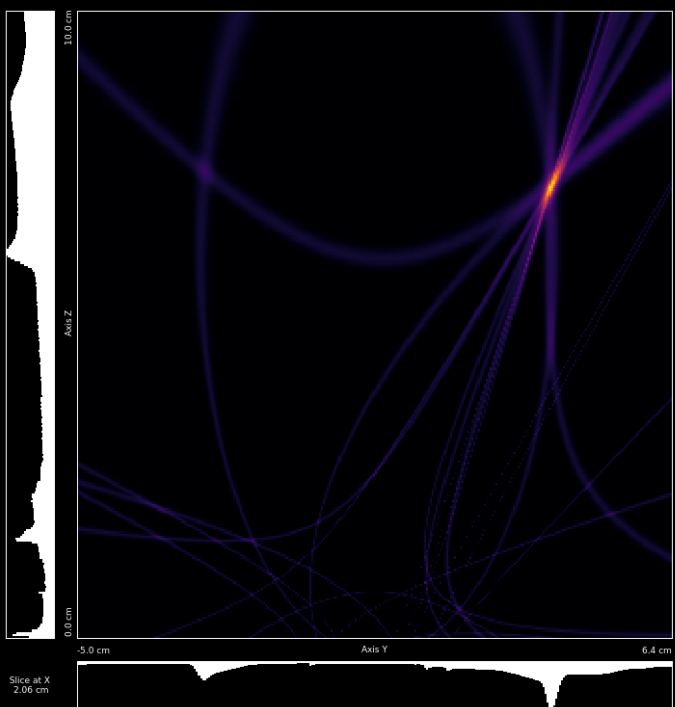
$N = 5$ kuželů

(3) Rekonstrukce

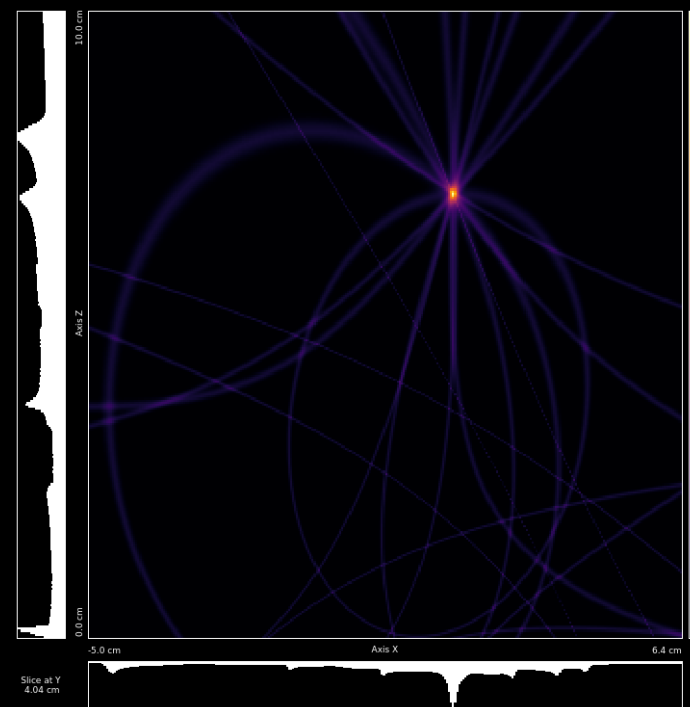
Pohled zepředu (XY)



Pohled ze strany (YZ)



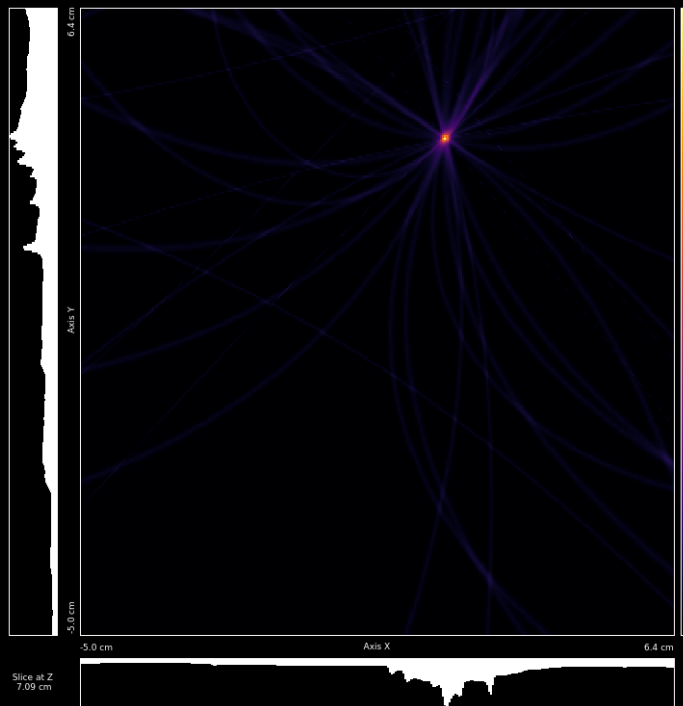
Pohled zvrchu (XZ)



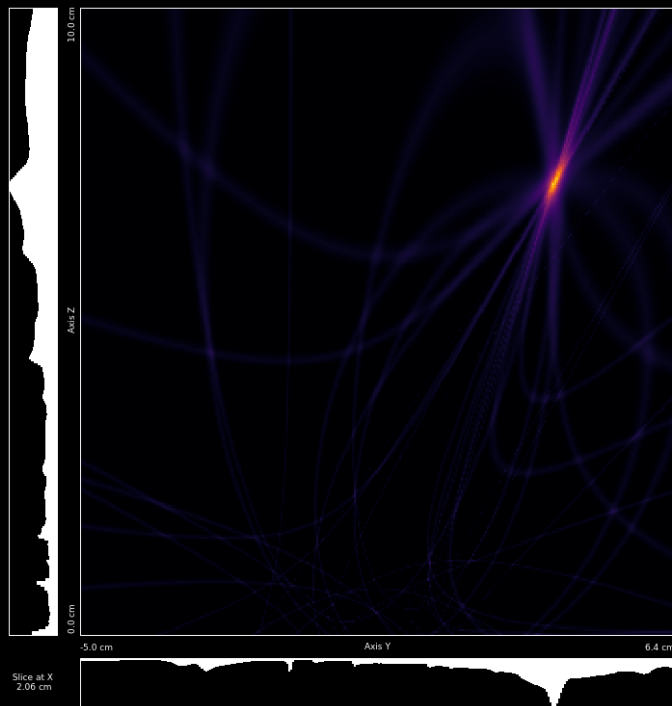
$N = 10$ kuželů

(3) Rekonstrukce

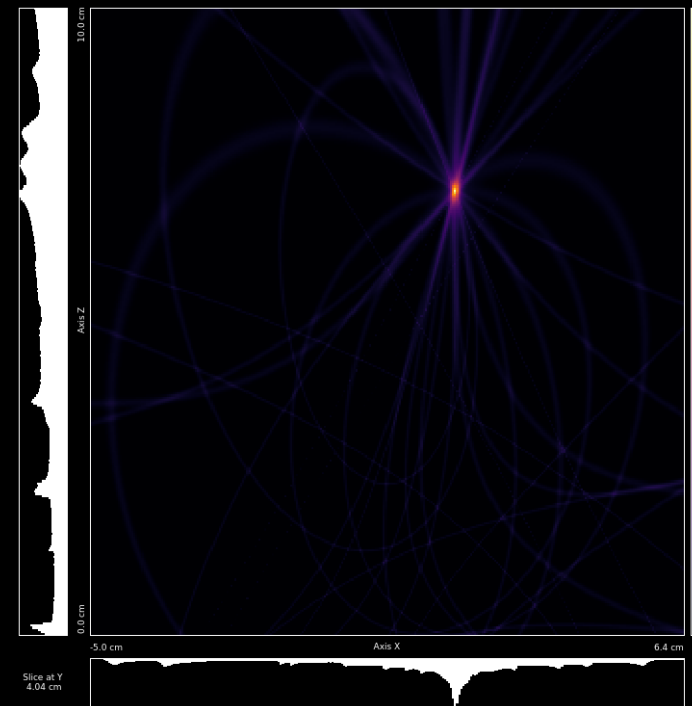
Pohled zepředu (XY)



Pohled ze strany (YZ)



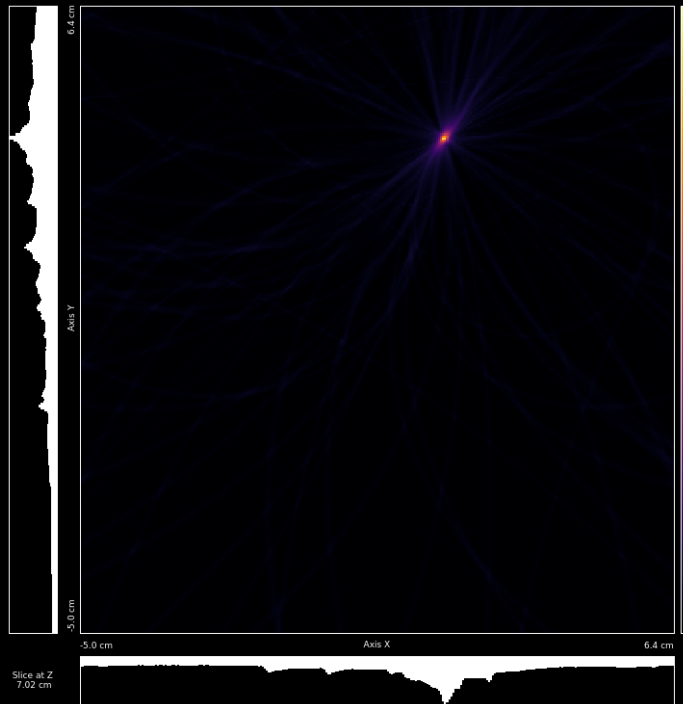
Pohled zvrchu (XZ)



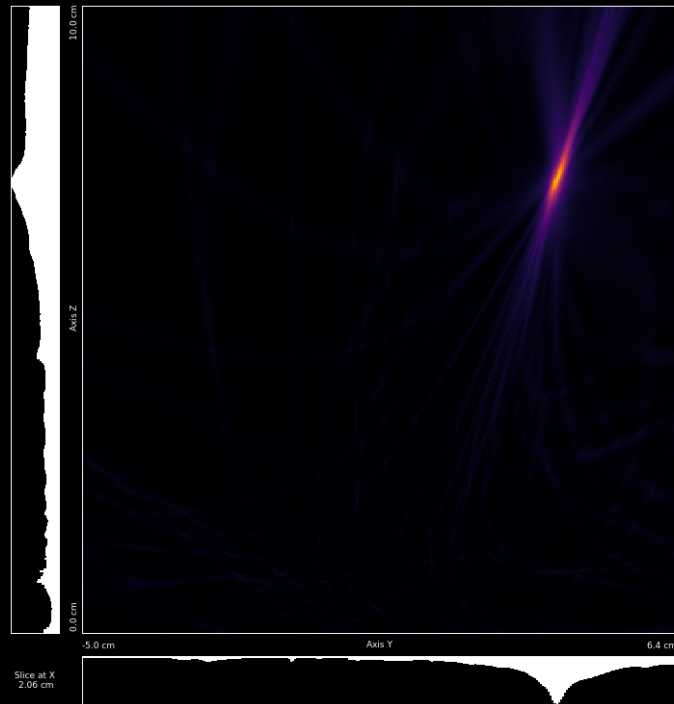
$N = 20$ kuželů

(3) Rekonstrukce

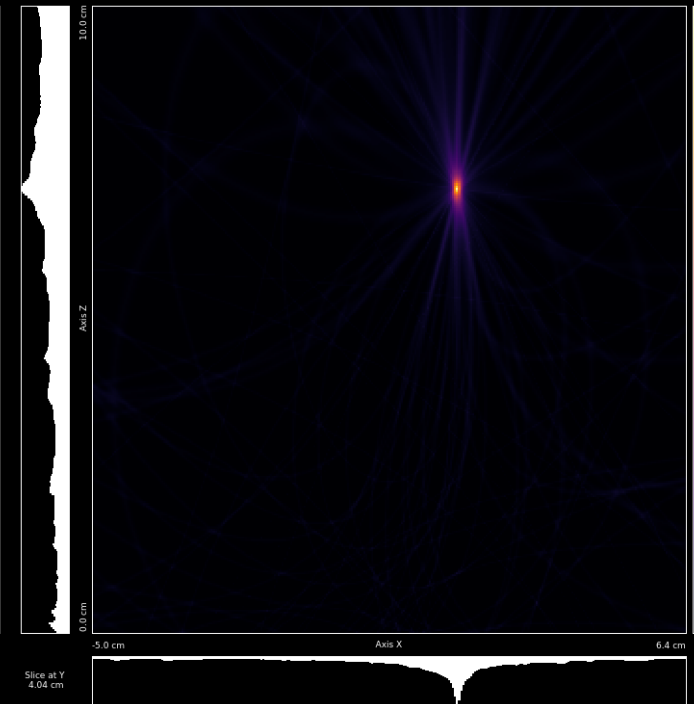
Pohled zepředu (XY)



Pohled ze strany (YZ)

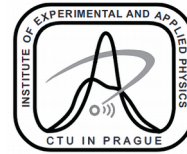


Pohled zvrchu (XZ)



$N = 50$ kuželů

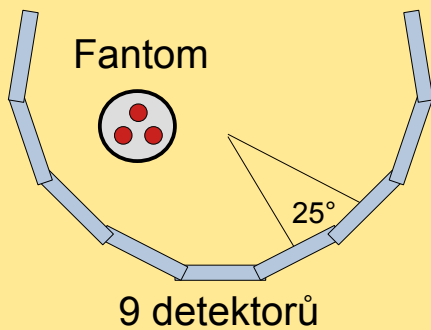
(4) Experimenty



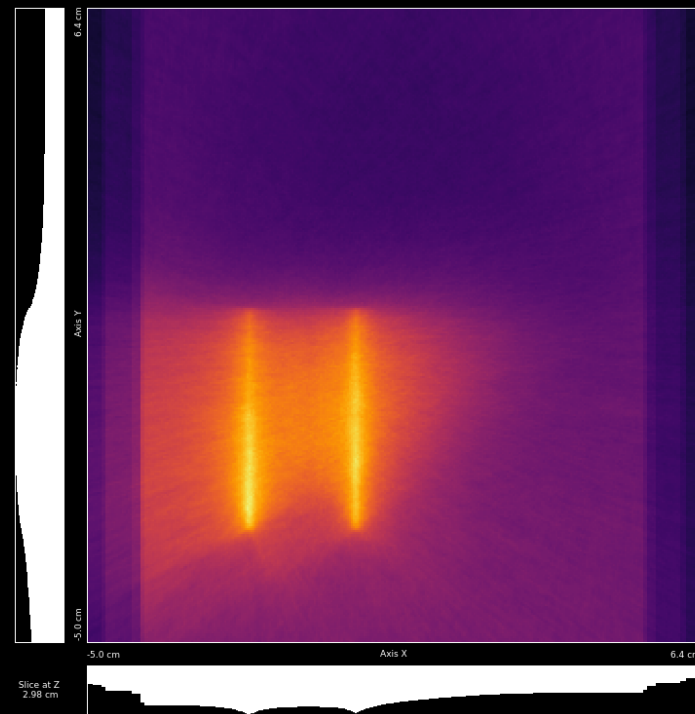
FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

- Rekonstrukce simulovaného fantomu s kapilárami.

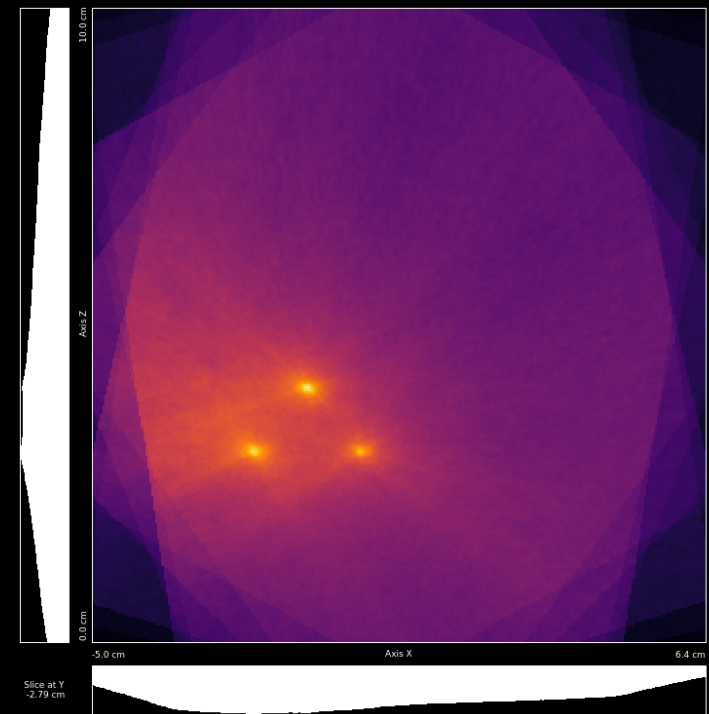
Schéma simulace



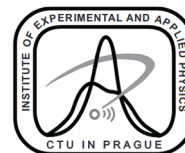
Pohled zepředu (XY)



Pohled zvrchu (XZ)



Shrnutí



FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

- Navržena nová γ -kamera, má potenciál překonat state-of-the-art.
- V rámci práce:
 - vytvořen SW pro vyčítání z Timepix3 (lze využít i pro další aplikace),
 - implementovány rychlé redukční a agregační algoritmy,
 - odvozen a implementován algoritmus pro rekonstrukci 3D obrazu,
 - provedena řada experimentů pro ověření správnosti.
- Podzim 2018:
 - zkonstruovány prototypy s detektory Si-Si, Si-GaAs,
 - veškerý SW převeden do paralelní podoby (CPU i GPU),
 - provedena základní měření v Praze a Freiburgu.

Kamera nevyžaduje mechanické usměrnění → **je menší, lehčí, účinnější.**
Vyšší energetické rozlišení Timepix3 → **vyšší úhlová přesnost kamery.**

Aplikace

(1) Lékařské zobrazování (SPECT)

- Zdroj: radioaktivní kontrastní látka
- Délka zobrazování ~ poškození pacienta.

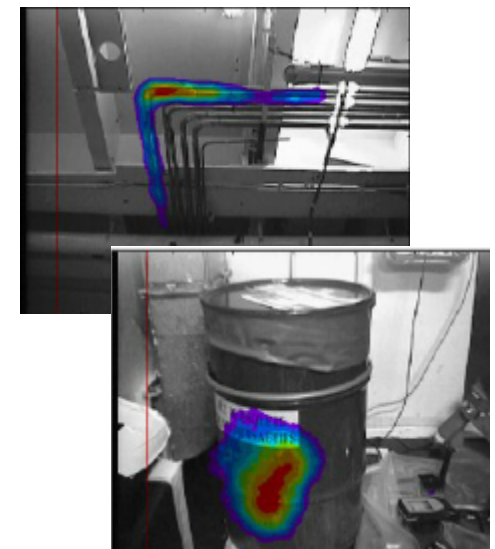
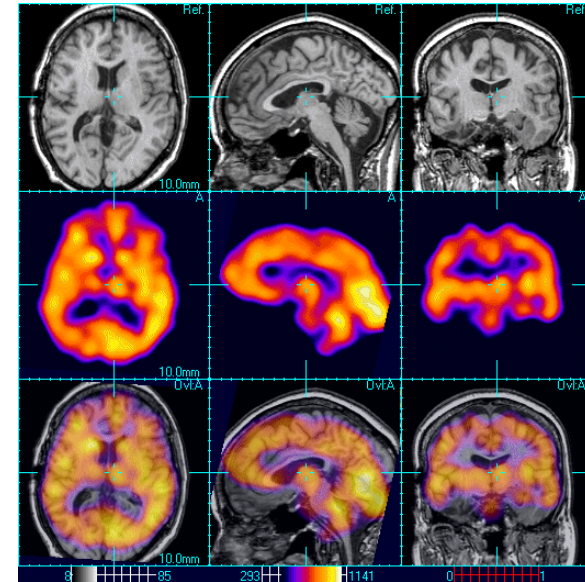
(2) Dekontaminace radioaktivních pracovišť

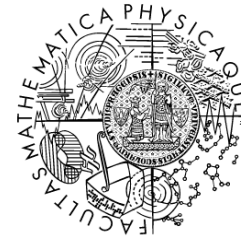
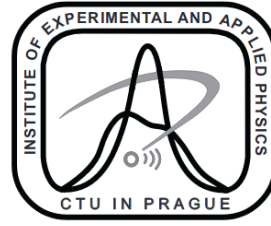
- Zdroj: škodlivá látka, kterou je třeba odstranit
- Není nutná přesná lokalizace (stačí směr).

(3) Bezpečnost (letiště, armáda, apod.)

- Zdroj: jaderné zbraně, palivo, nepovolené zářiče
- Klasifikační úloha: nachází se zdroj v prostředí?

(4) Kontrola kvality jaderného paliva





FACULTY
OF MATHEMATICS
AND PHYSICS
Charles University

Děkuji za pozornost!

Petr Mánek
pm@petrmanek.cz

Vedoucí práce: Filip Zavoral
zavoral@ksi.mff.cuni.cz

Poděkování: Martin Pichotka, Benedikt Bergmann, Moritz Weigt,
Petr Burian, Martin Kruliš, Jakub Yaghob