

Urychlování částic Laserem

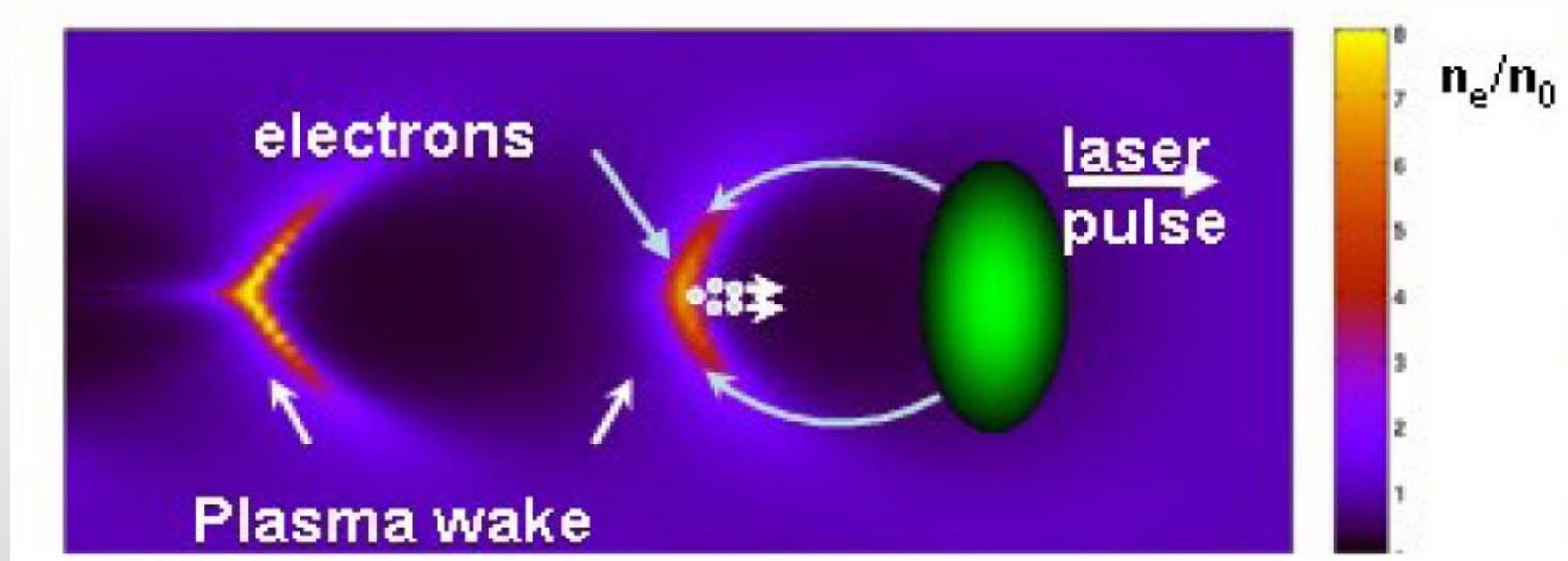
Jan Prokúpek

Stručná historie

- 1979 Tajima & Dawson navrhli urychlování elektronů založené na interakci laserového záření s plazmatem
(Tajima, T. & Dawson, J. M. Laser electron accelerator. *Phys. Rev. Lett.* – 1979)
- Experimenty v 90 letech prokázali urychlení elektronů na energie řádu MeV (Modena et al. *Nature* – 1995)
- Pokrok v laserové technologii založené na CPA
- 170 MeV elektrony v Laboratoire d'Optique Appliquée ve Francii 2004 (Faure, J. et al. A laser-plasma accelerator producing monoenergetic electron beams. *Nature* – 2004)
- Energie elektronů překračující 1 GeV za použití a „kapilárním plazmovém vlnovodu“ v Lawrence Berkley National Laboratory.
(Leemans, W. P. et al. GeV electron beams from a centimetre-scale accelerator. *Nature* – 2006)

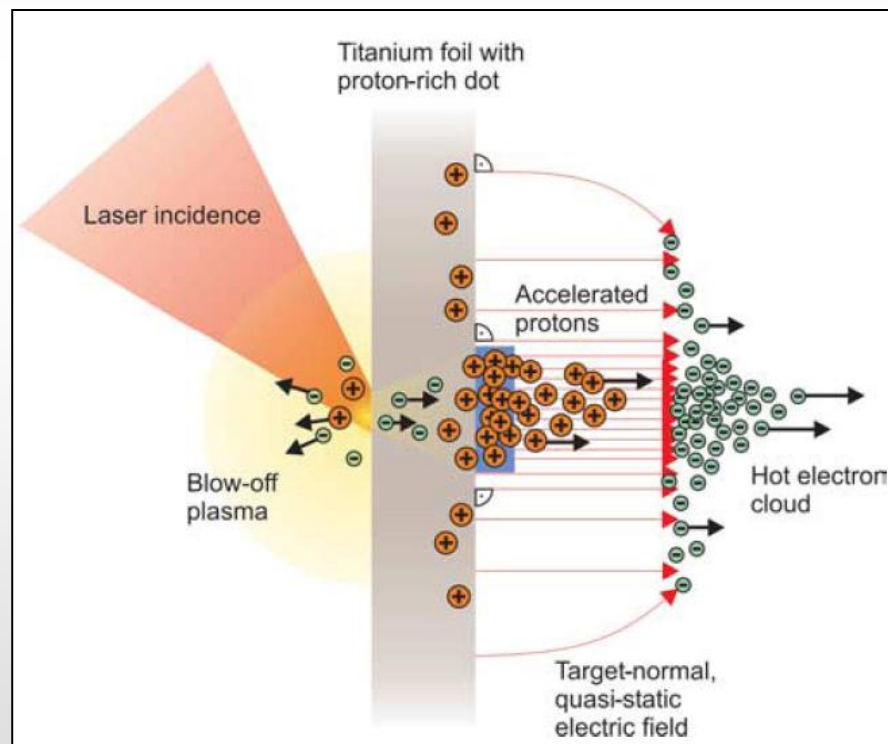
Urychlování elektronů

- Postupující impuls laserového svazku odděluje elektrony od iontů díky ponderomotorické síle a vytváří za sebou postupující elektrické pole
- elektrony jsou urychlovány potenciálem v plazmatu za laserem
- při překročení jisté hodnoty intenzity dojde k formování oblasti zbavené elektronů
- vysoká kvalita kvazimonoenergetických elektronových svazků

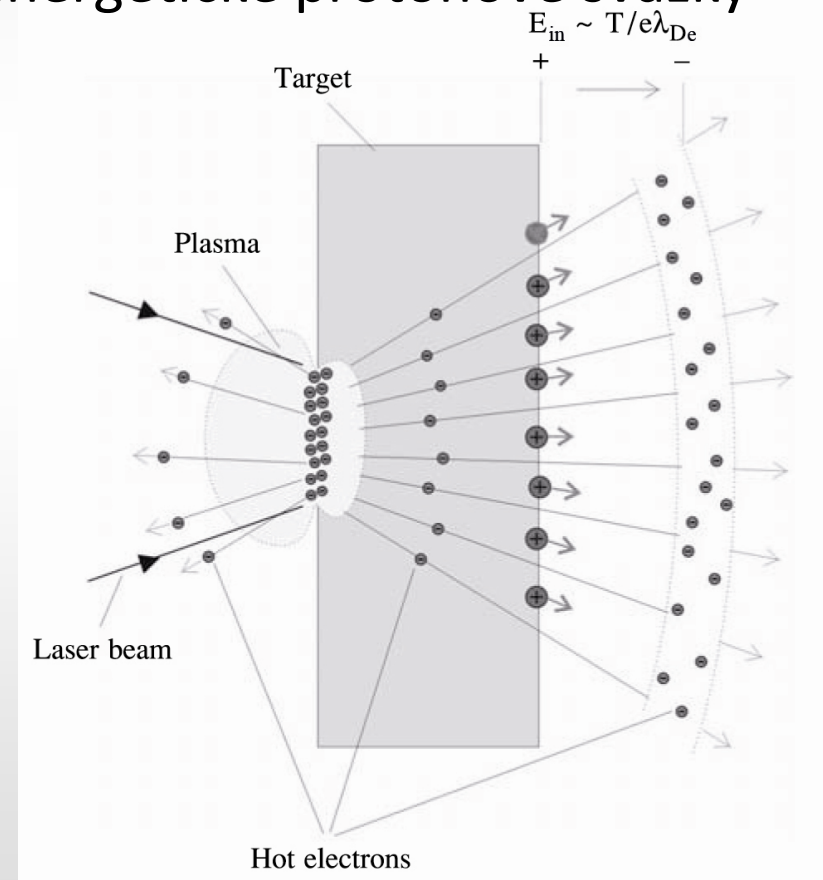


Urychlování iontů/protonů směrem vpřed - TNSA

- intenzita laseru $>10^{17}$ W/cm² – teplota elektronů >10 keV
- horké elektrony vytvářejí na zadní straně terče Debyeův obal
- urychlování iontů ve směru normály
- možnost použití dvouvrstvých terčů pro urychlení protonů nebo mikrostrukturovaných terčů pro kvazimonoenergetické protonové svazky



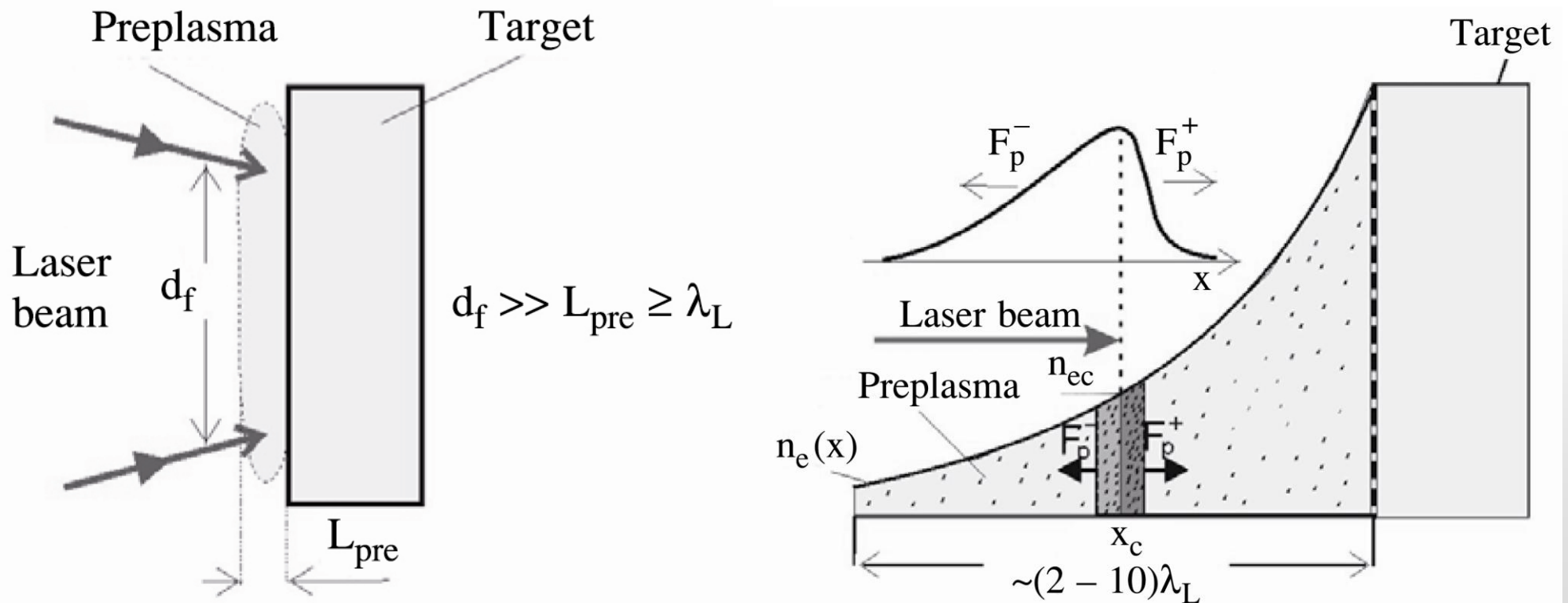
Schwoerer, H. et al., *Nature* – 2006



Badziak, J. Laser-driven generation of fast particles. *Opto-Electron. Rev.* – 2007

Urychlování iontů směrem vzad - SLPA

- před-puls ionizuje přední stranu terče
- intenzita před-pulzu musí být značně menší než intenzita hlavního impulsu
- vysoký gradient hustoty indukuje dvě protichůdné ponderomotorické síly
- vysoká hustota proudu

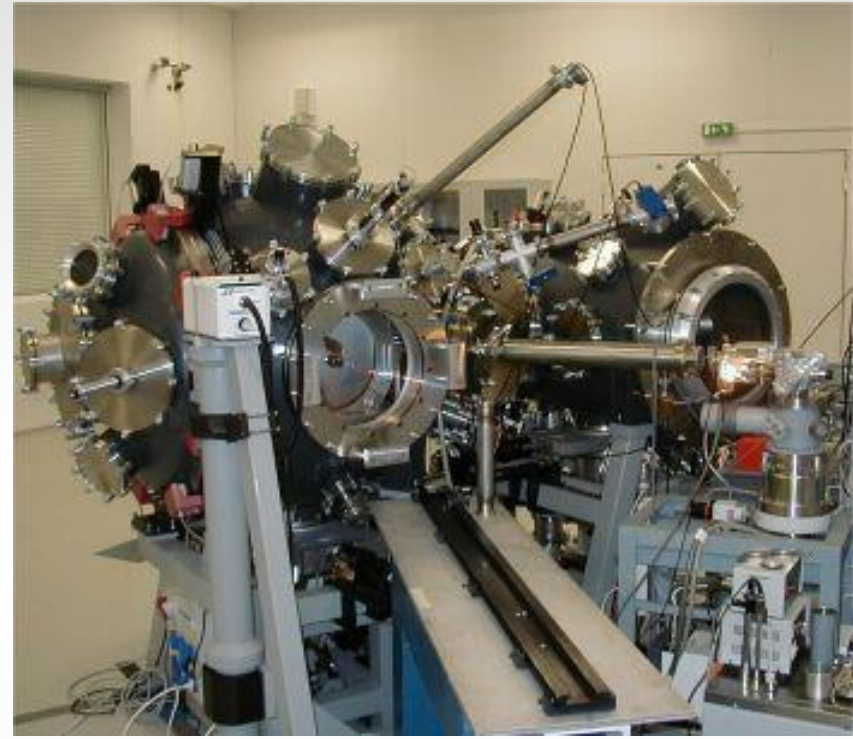


20 TW titan-safírový laser na PALSu



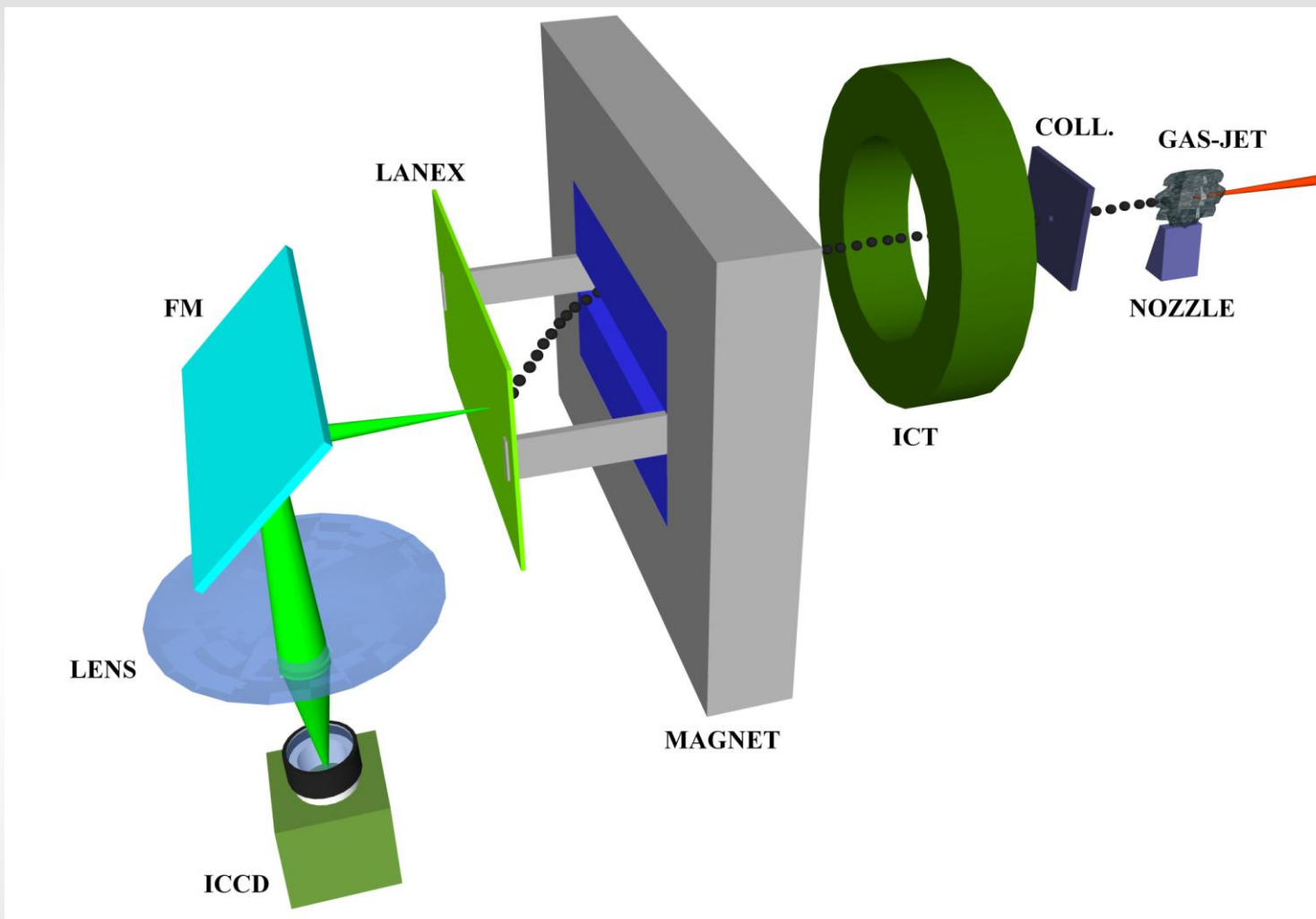
- › maximální výkon 20 TW
- › energie impulsu 600 mJ
- › délka pulsu < 40 fs
- › centrální vlnová délka 800 nm
- › frekvence výstřelů 10 Hz

Kilojouleový pětistupňový jódový laser a interakční komory na PALSu



- › maximální výkon 3 TW
- › energie impulsu 1 kJ
- › délka pulsu 300 ps
- › základní vlnová délka 1315 nm
- › vlnová délka na vyšší harmonické 438 nm

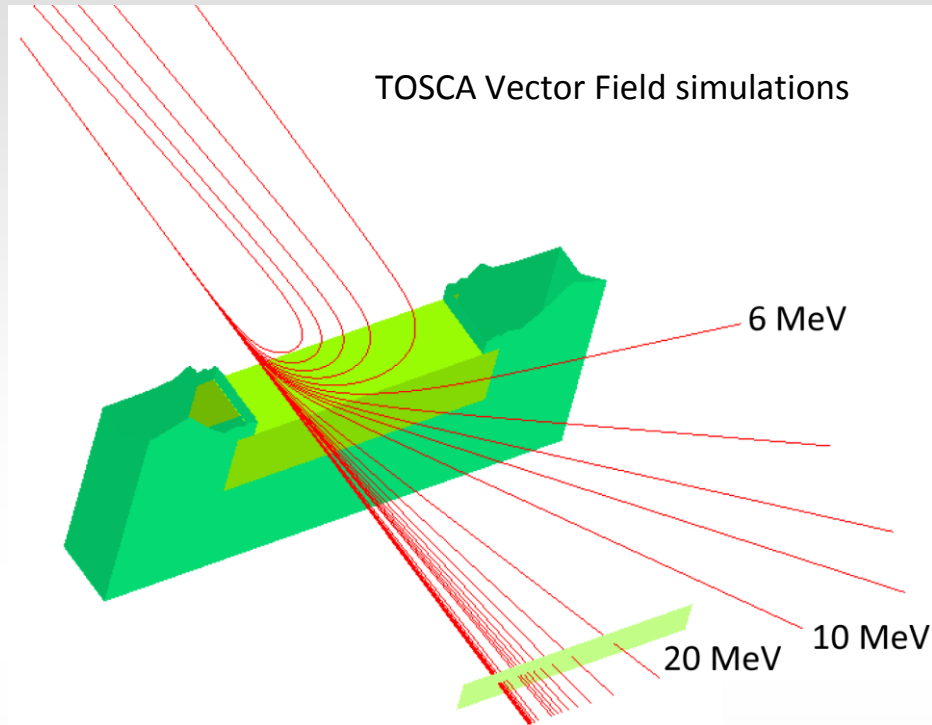
Schéma experimentálního uspořádání na urychlování elektronů



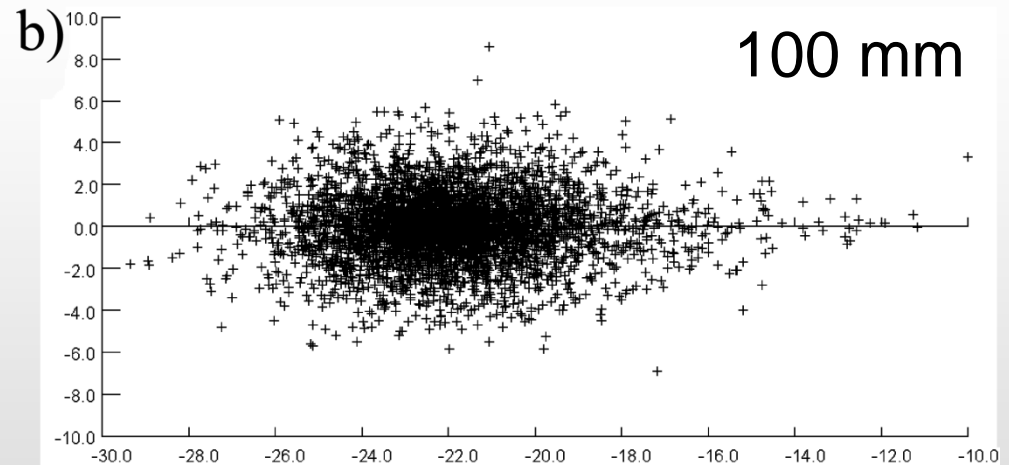
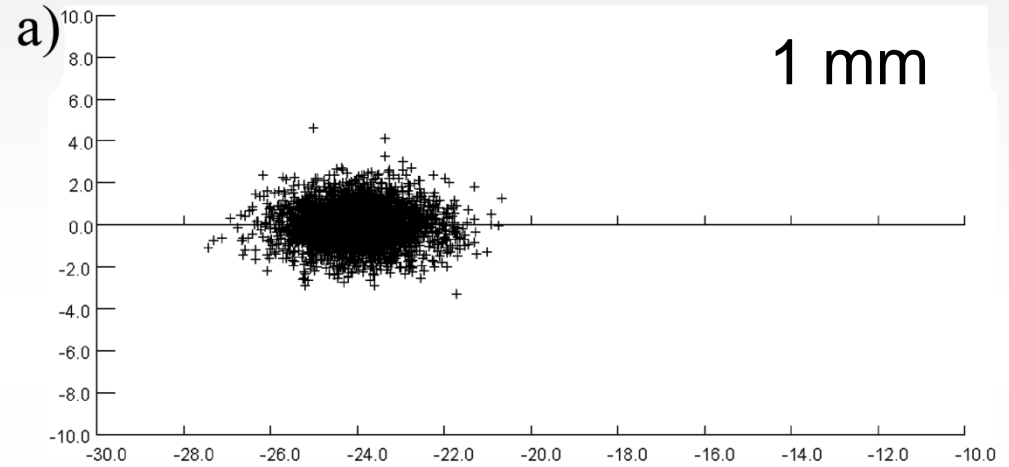
pro 30 μm fokus je Rayleighova délka 884 μm a intenzita laseru $2.1 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$
pro 15 μm fokus je Rayleighova délka 221 μm a intenzita laseru $8.5 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$

Elektronový spektrometr

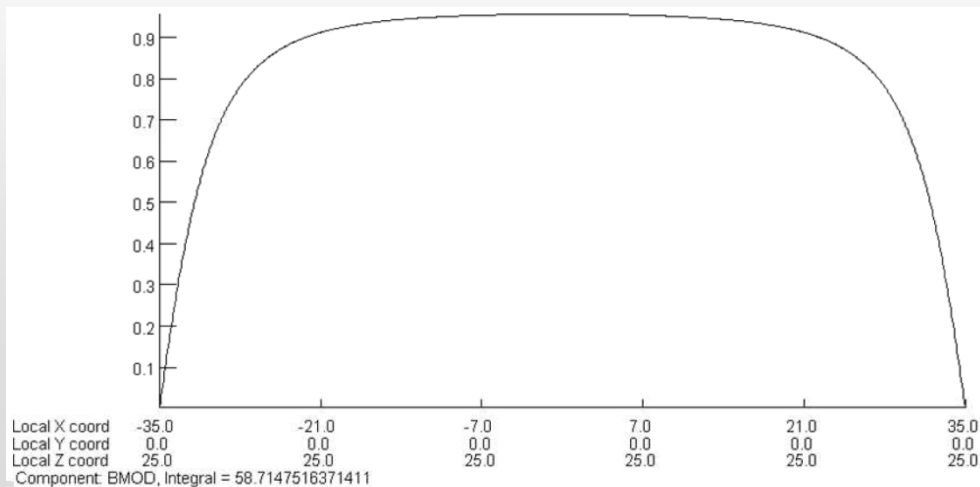
Vychýlení elektronového svazku magnetickým polem



Prostorové rozdělení svazku elektronů
na LANEXovém stínítku ve dvou
vzdálenostech za magnetem

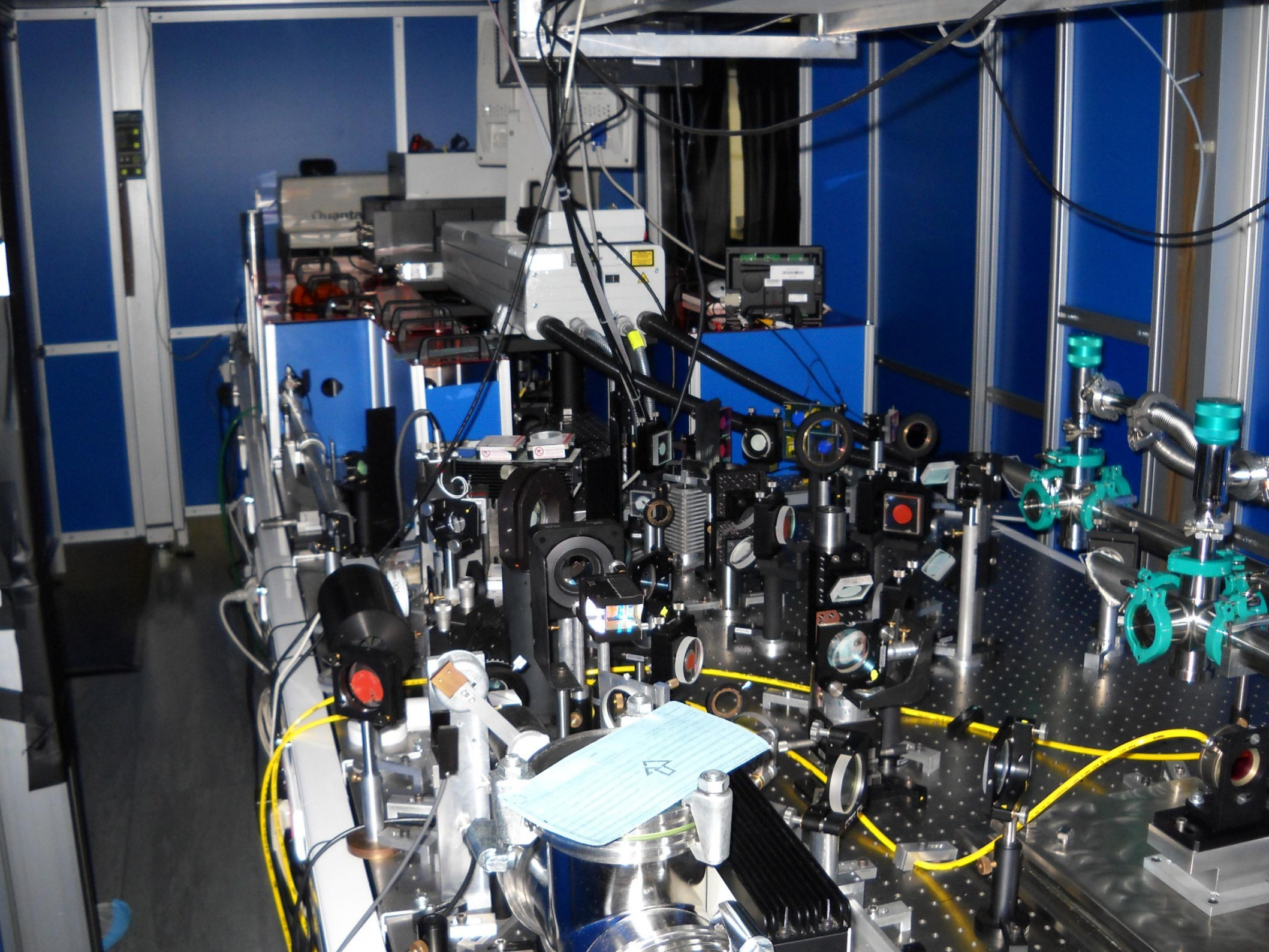


Průběh pole mezi magnety





Až 100 TW laserový systém v LOI



Experimentální uspořádání urychlování elektronů

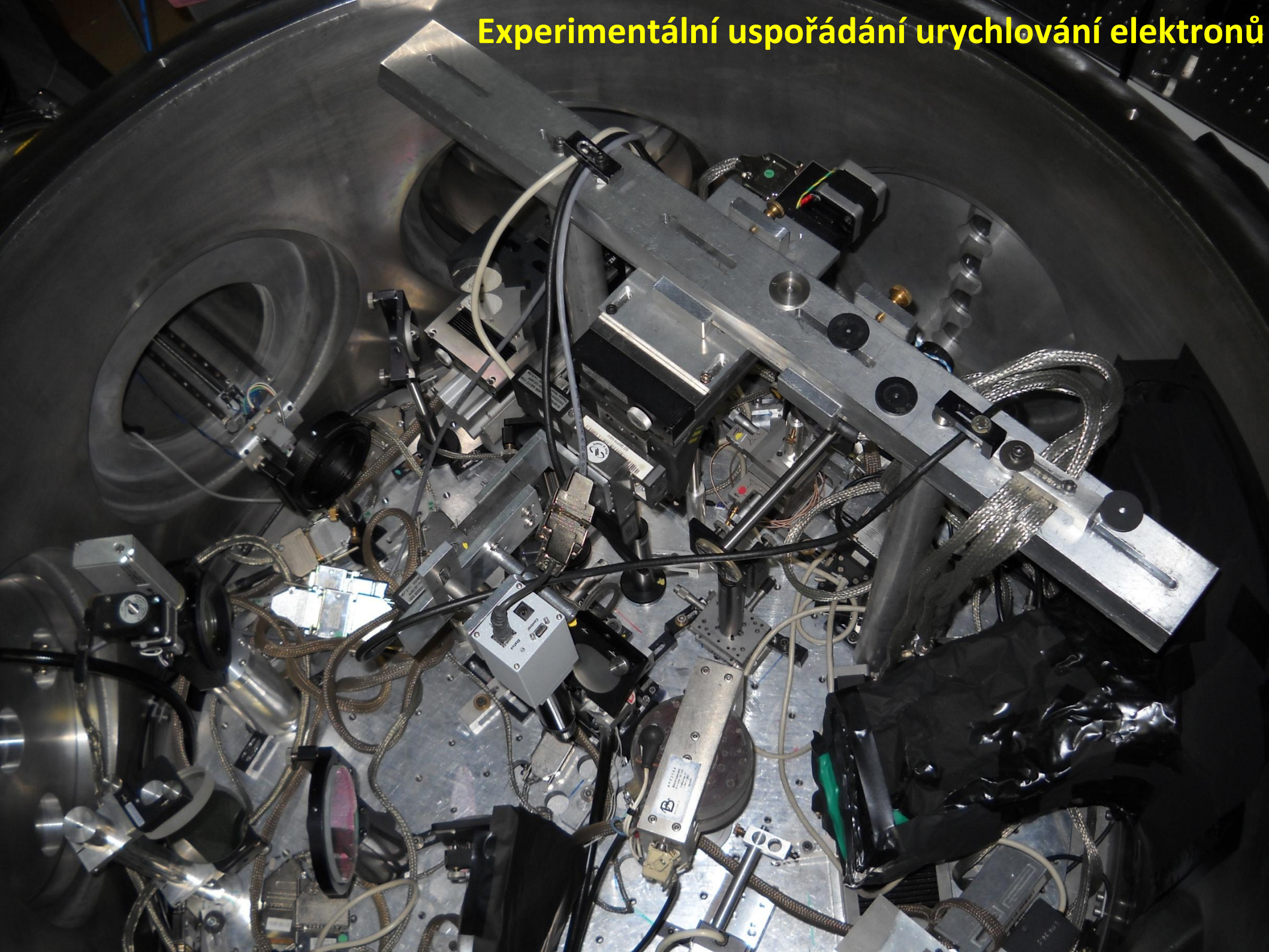
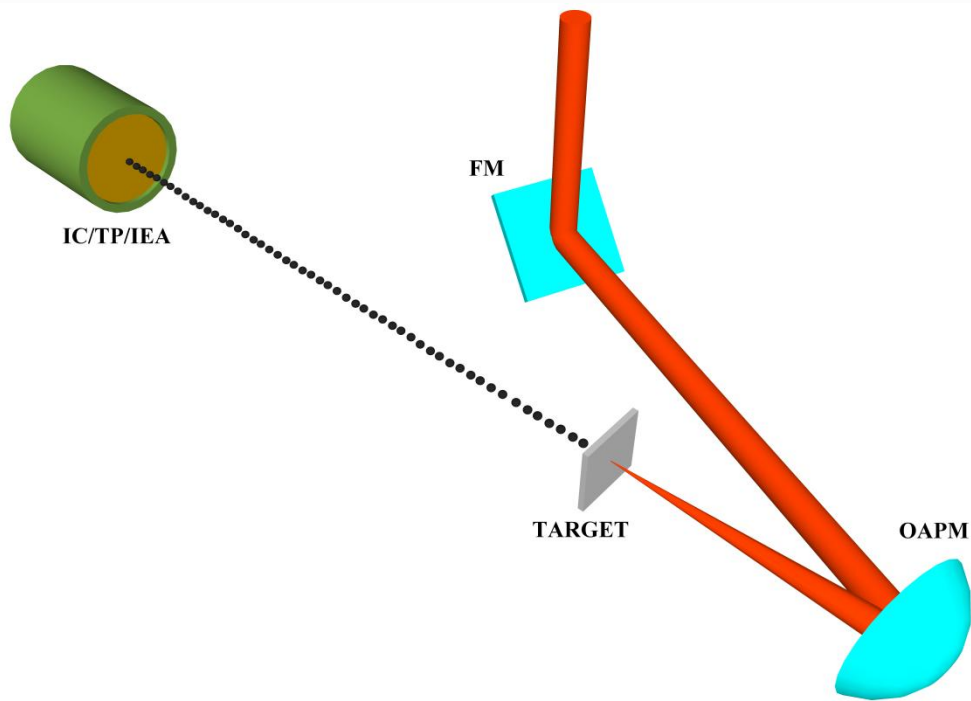


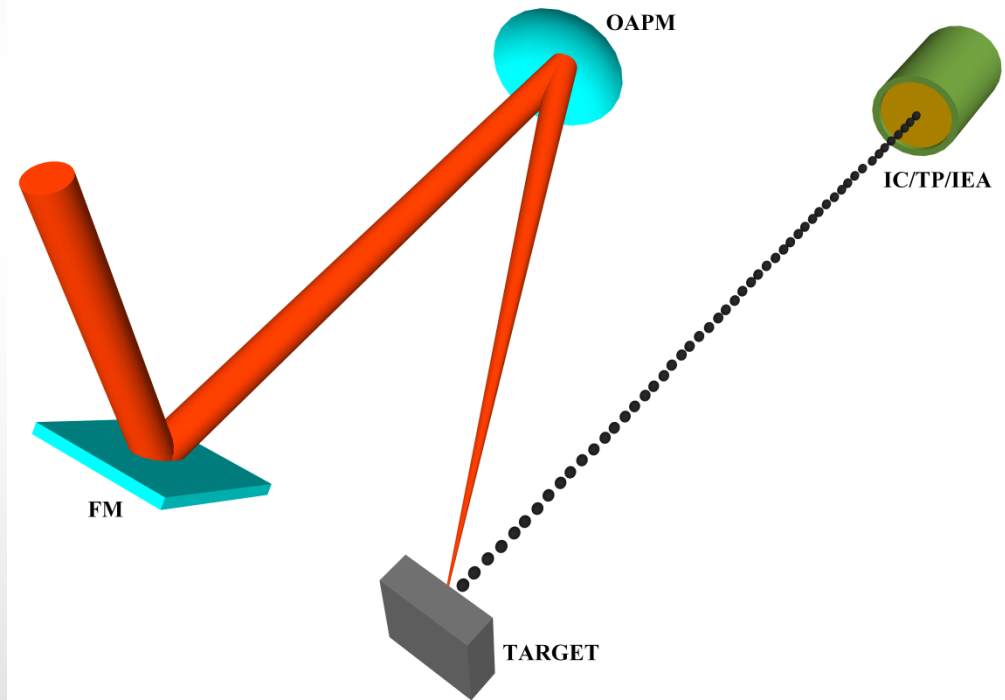


Schéma experimentálního uspořádání na urychlování iontů

TNSA metoda
(jeden impuls)

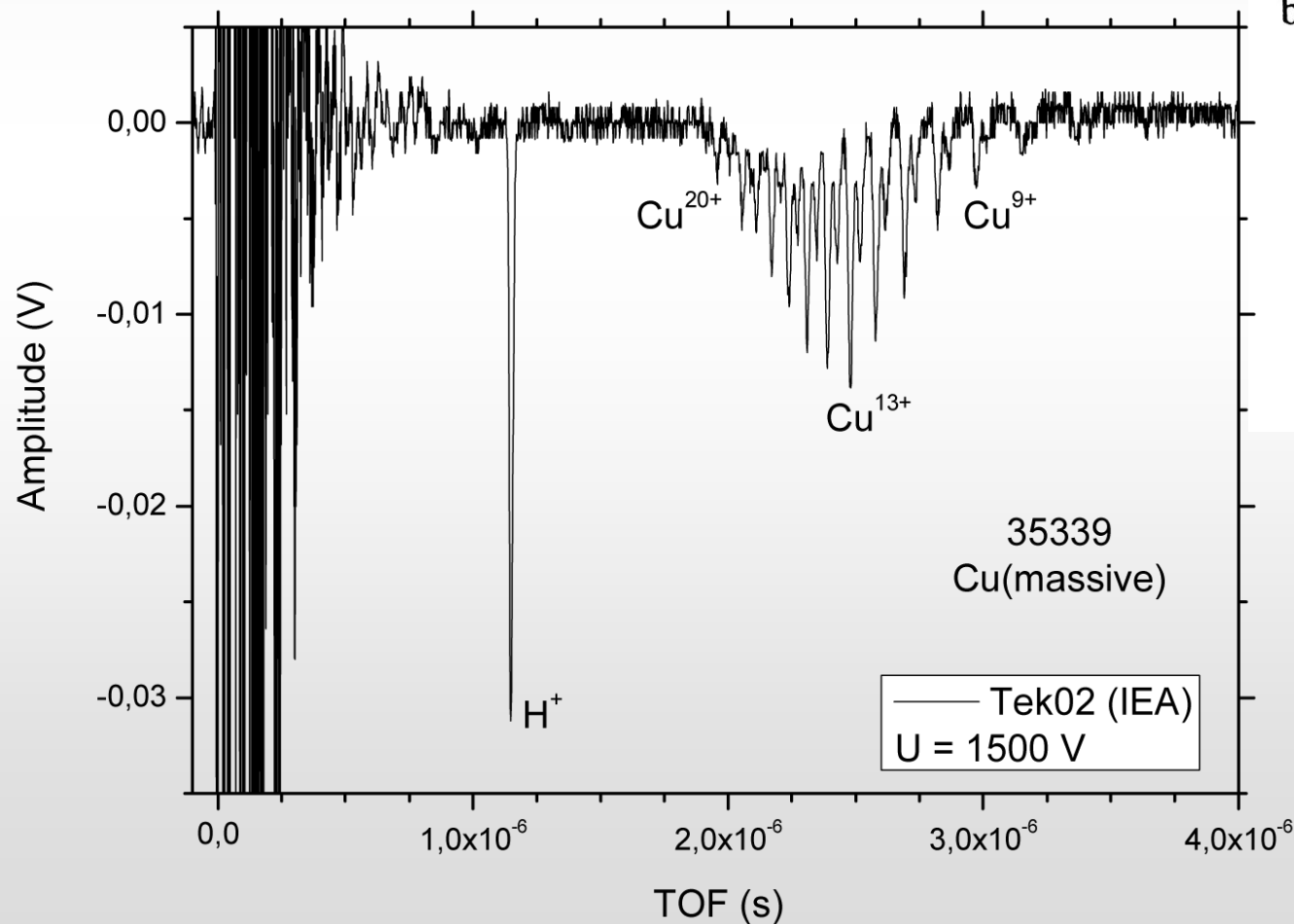
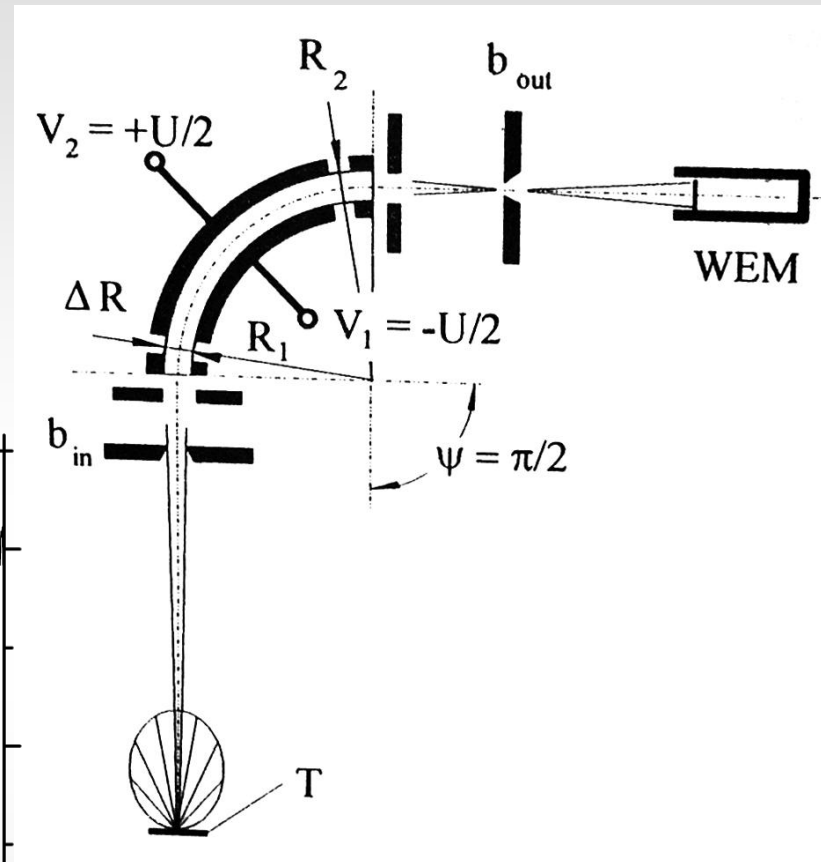


SLPA metoda
(opakovací frekvence výstřelů)



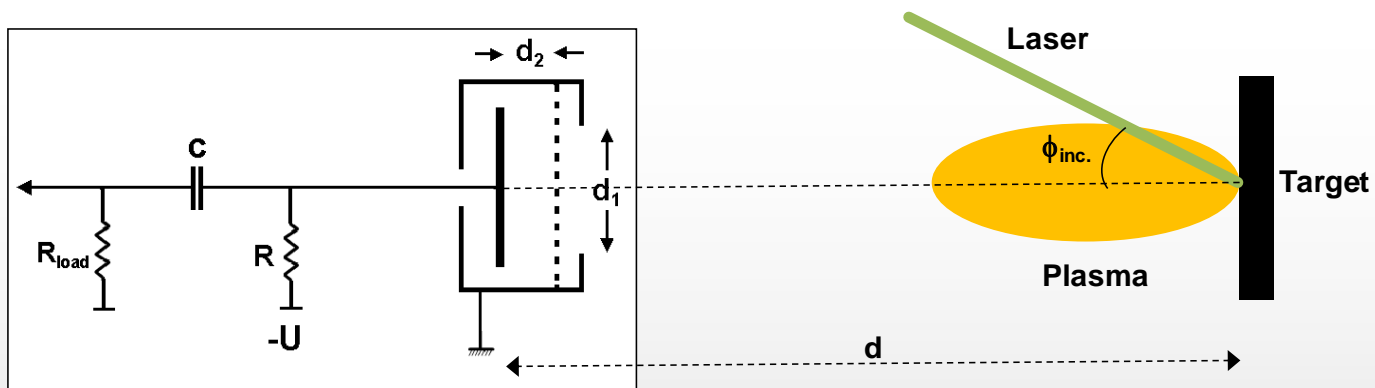
TOF měření – Iontový energetický analyzátor

- Maximální napětí na každé elektrodě 11 kV
- Maximální měřitelné energie do 1 MeV
- Měření poměru E/Z

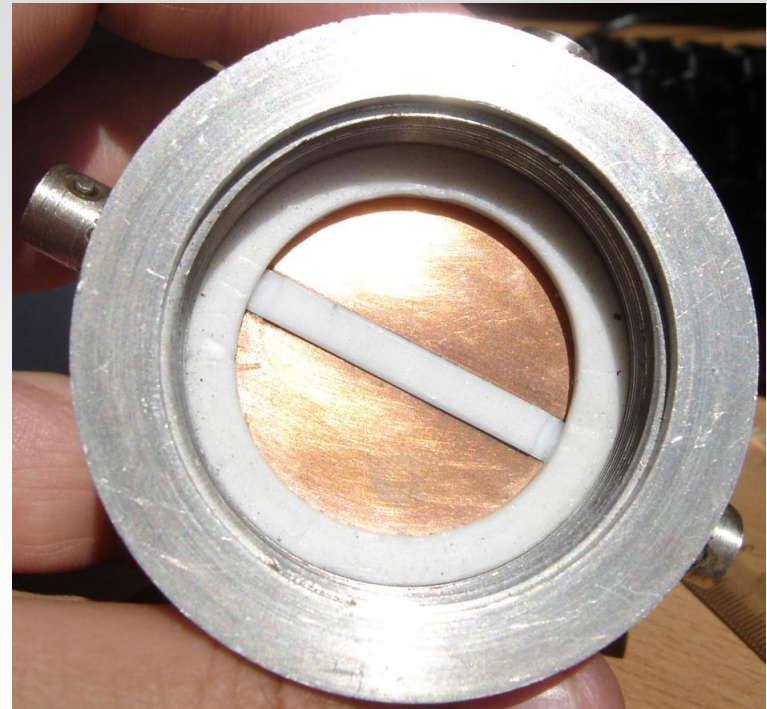


TOF měření – Iontové kolektory

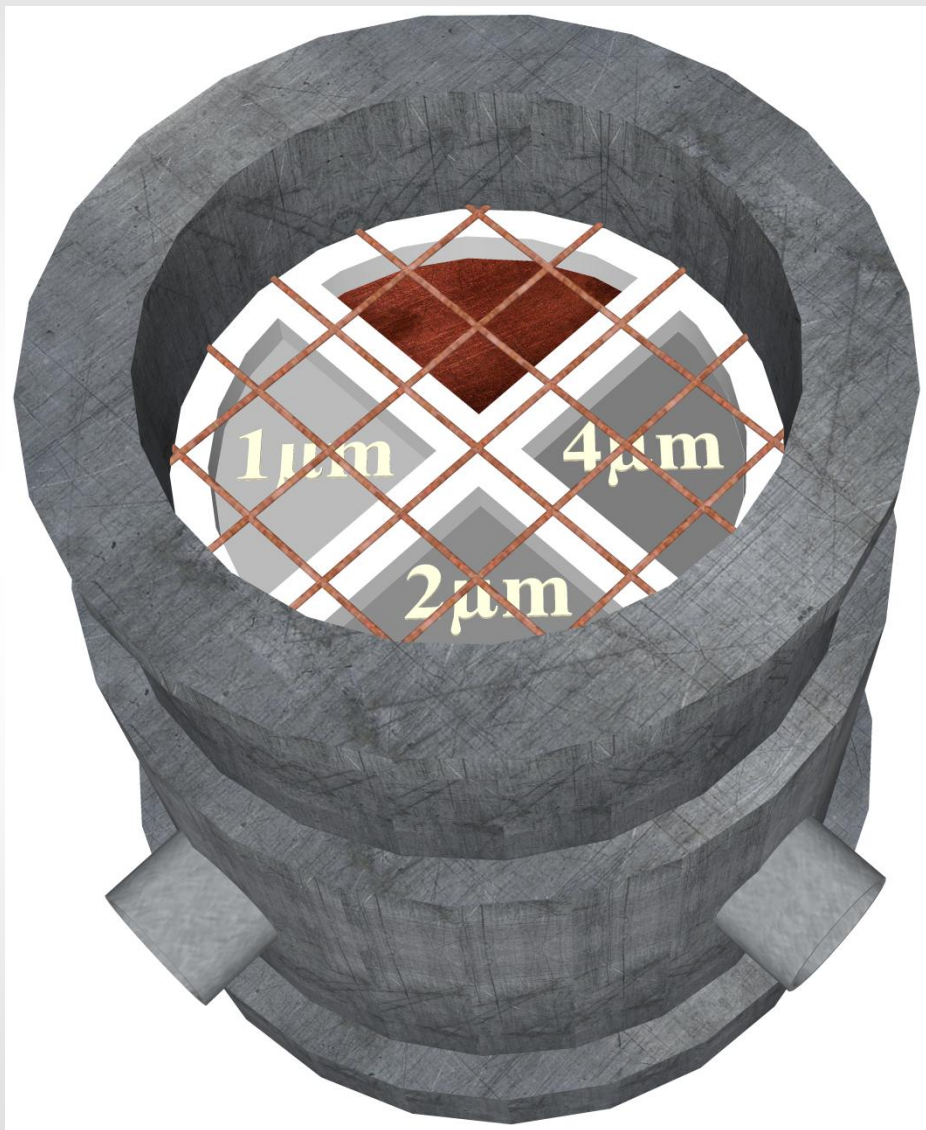
- Standardní iontový kolektor
- Citlivost pro fotony s energií menší než 600 eV



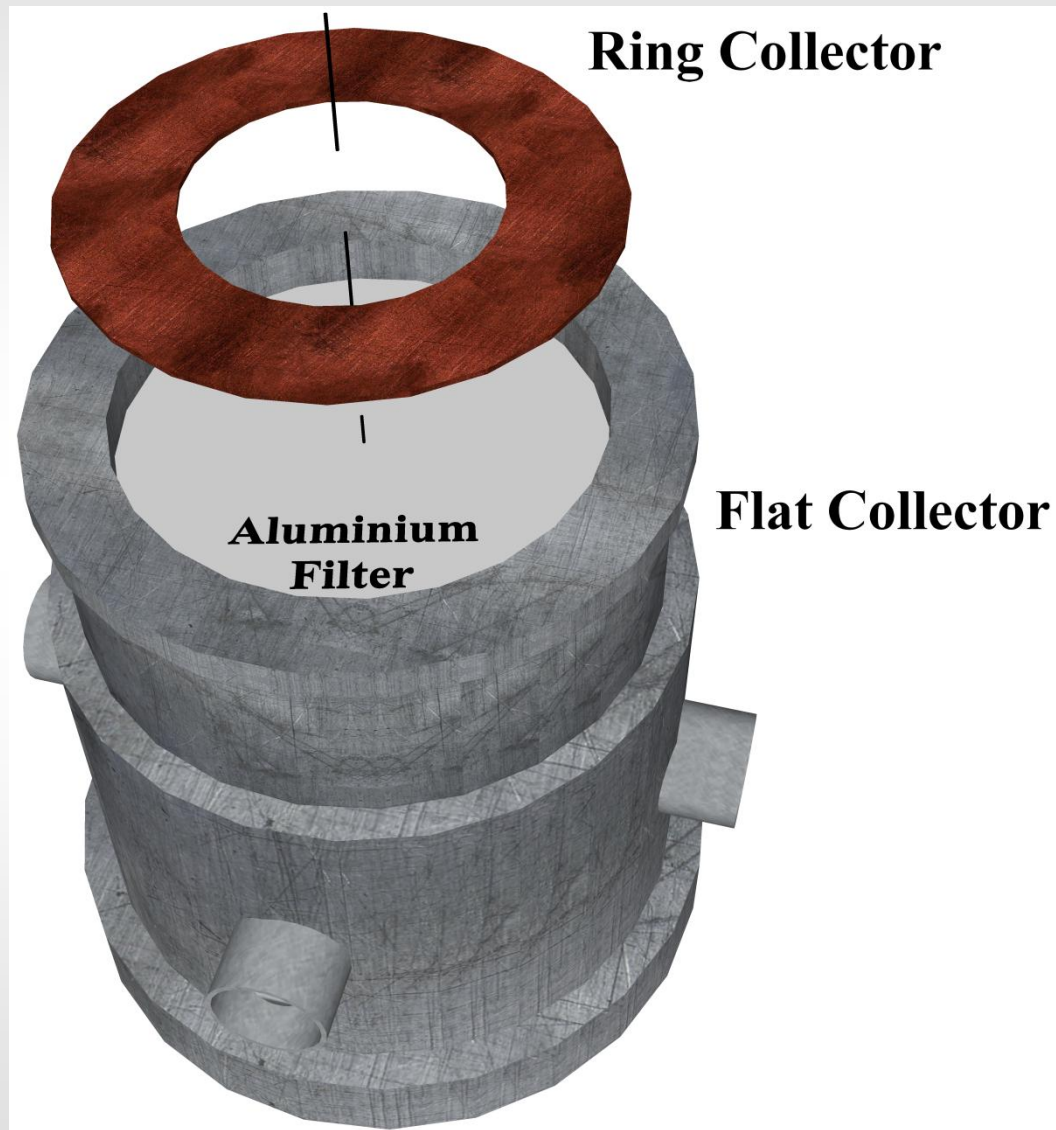
➤ Iontový kolektor - dělený



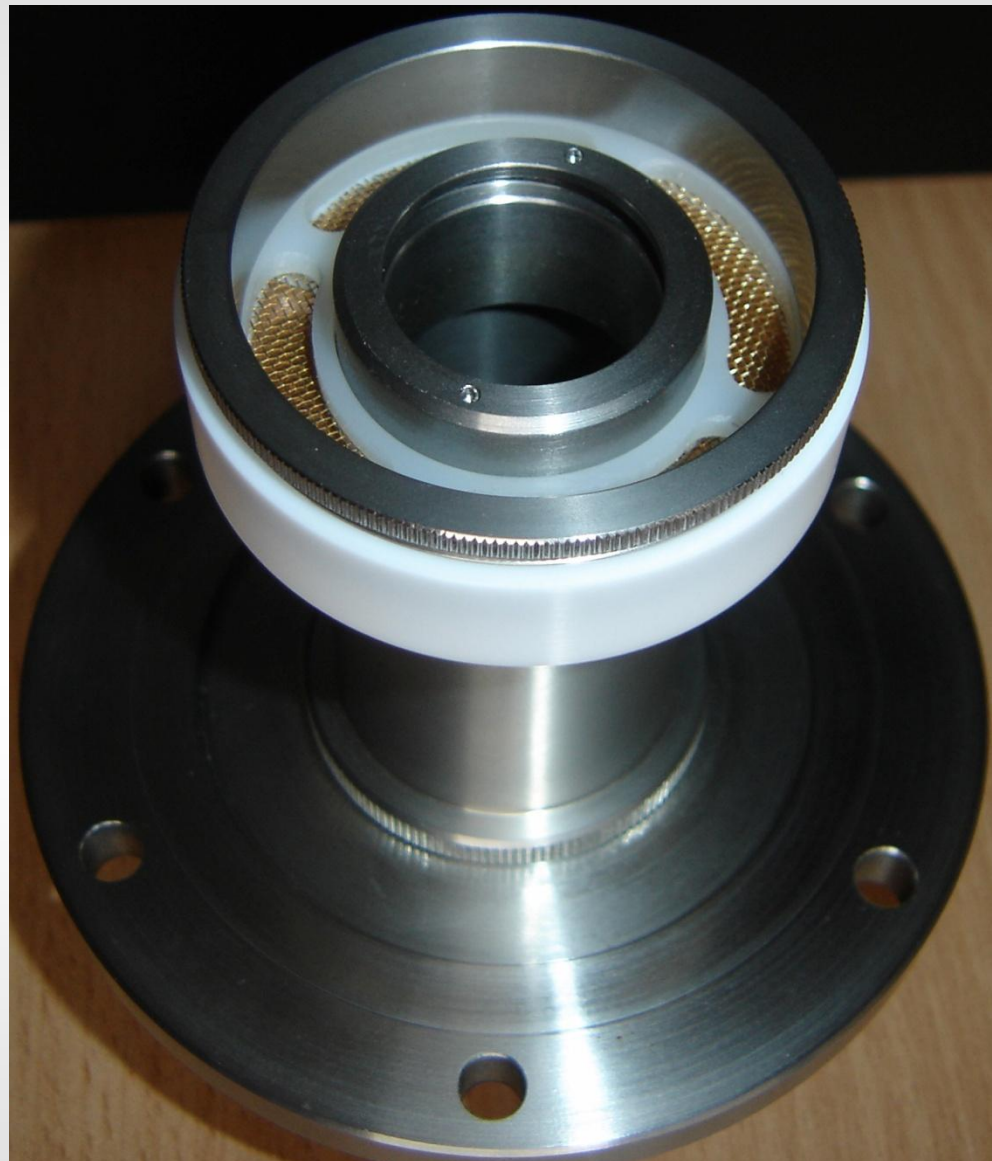
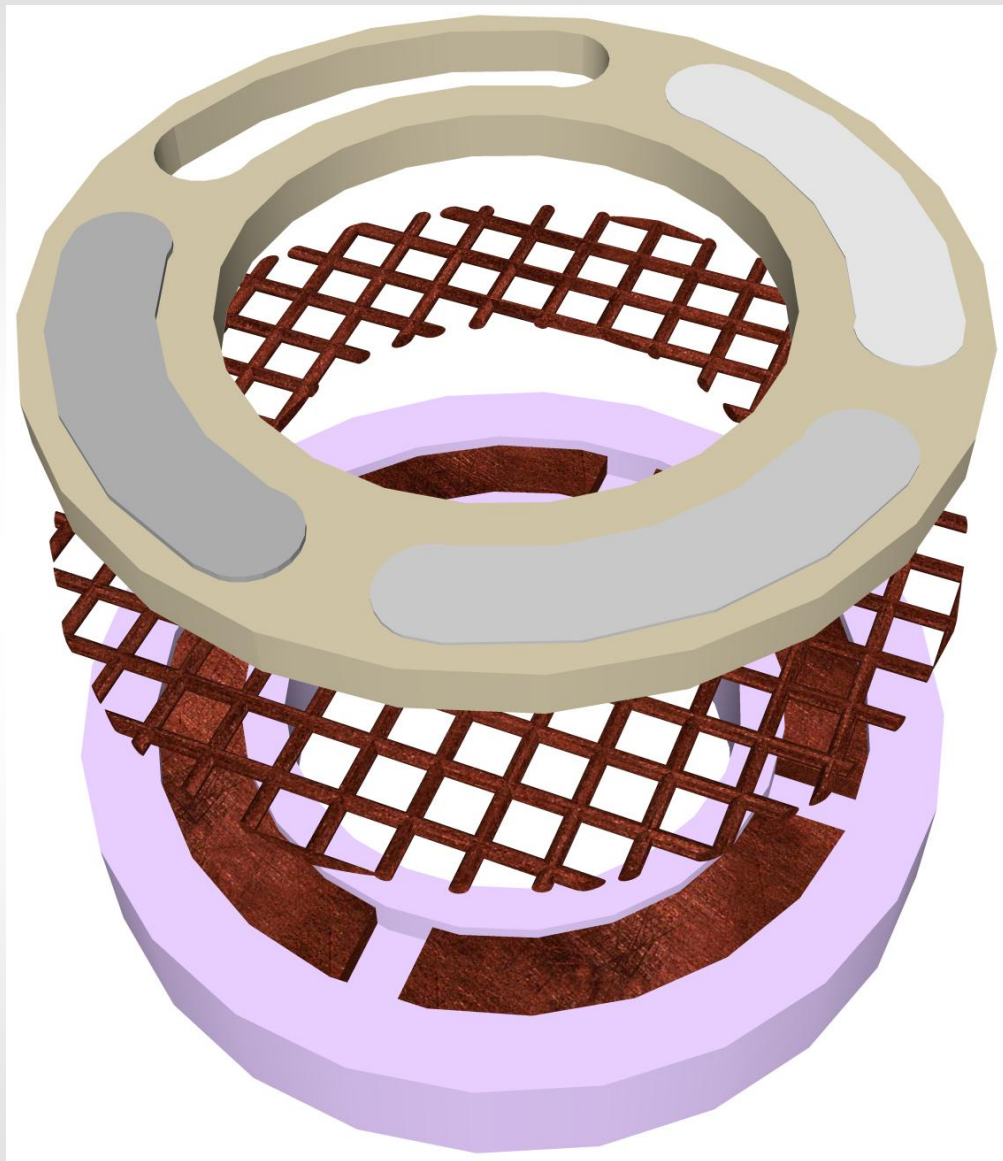
- Iontový kolektor - dělený



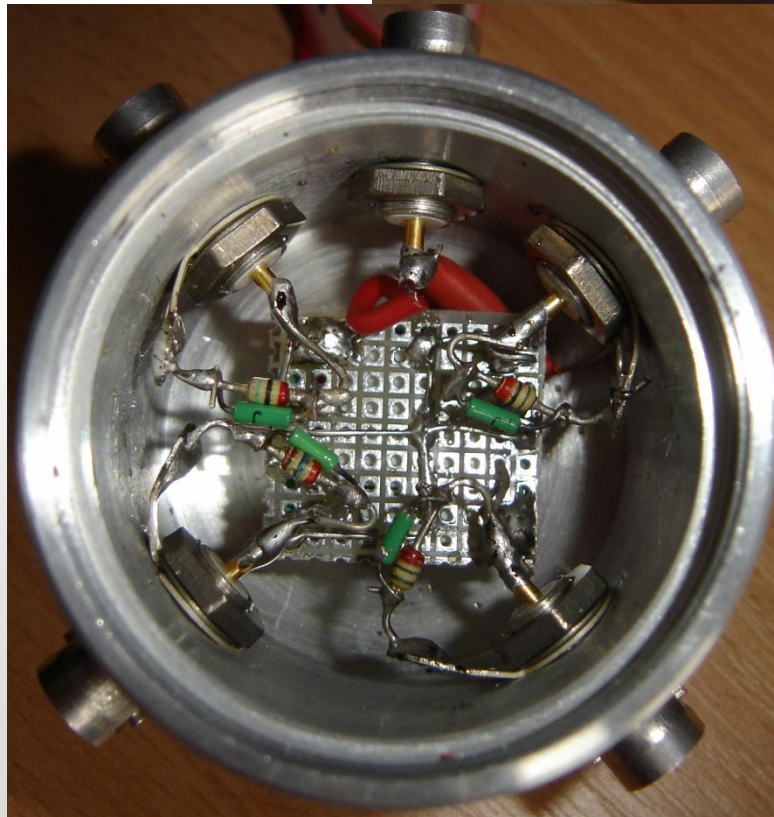
- Dva kolektory za sebou plochý a ringový

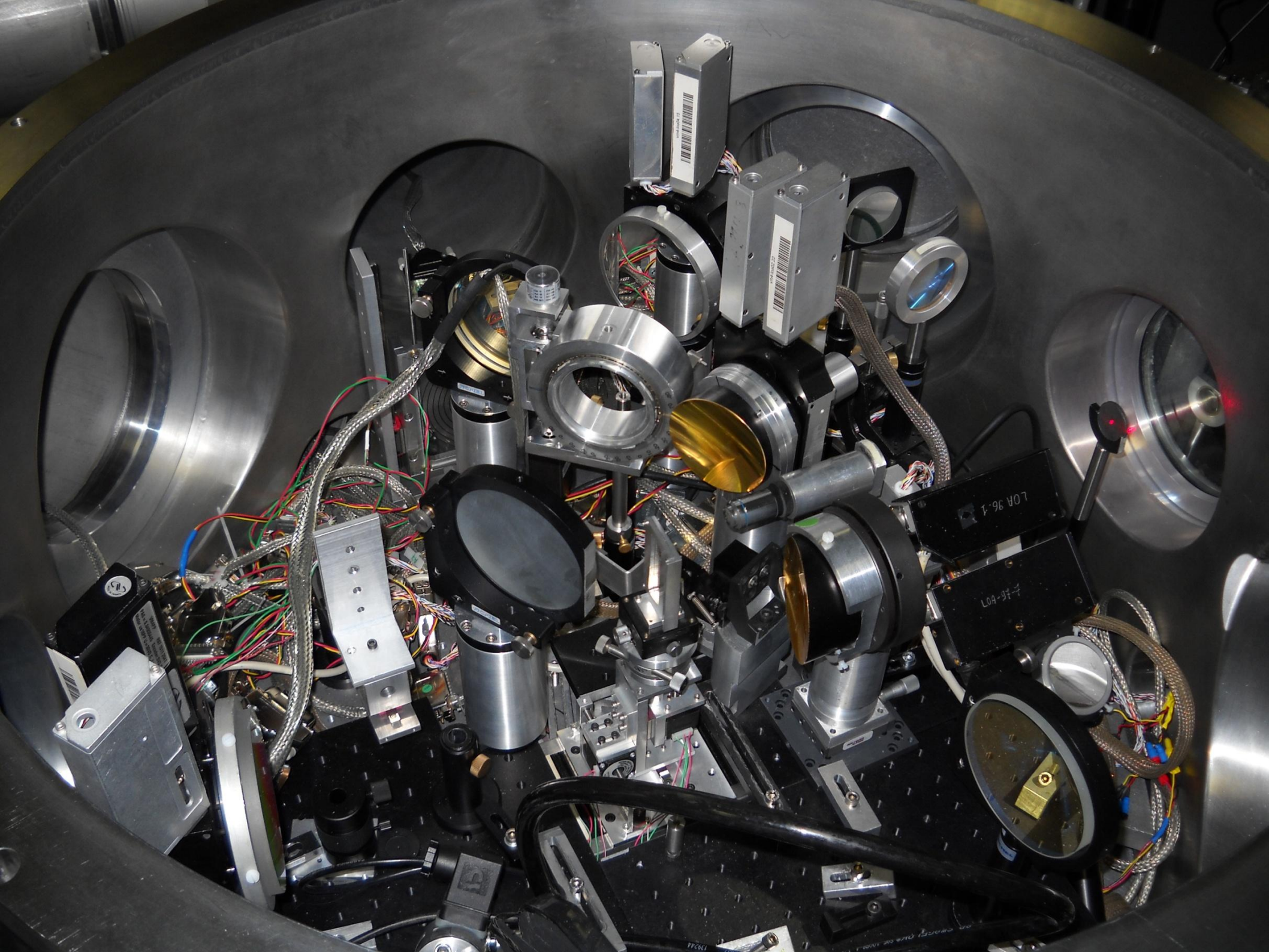


➤ Ringový kolektor - dělený

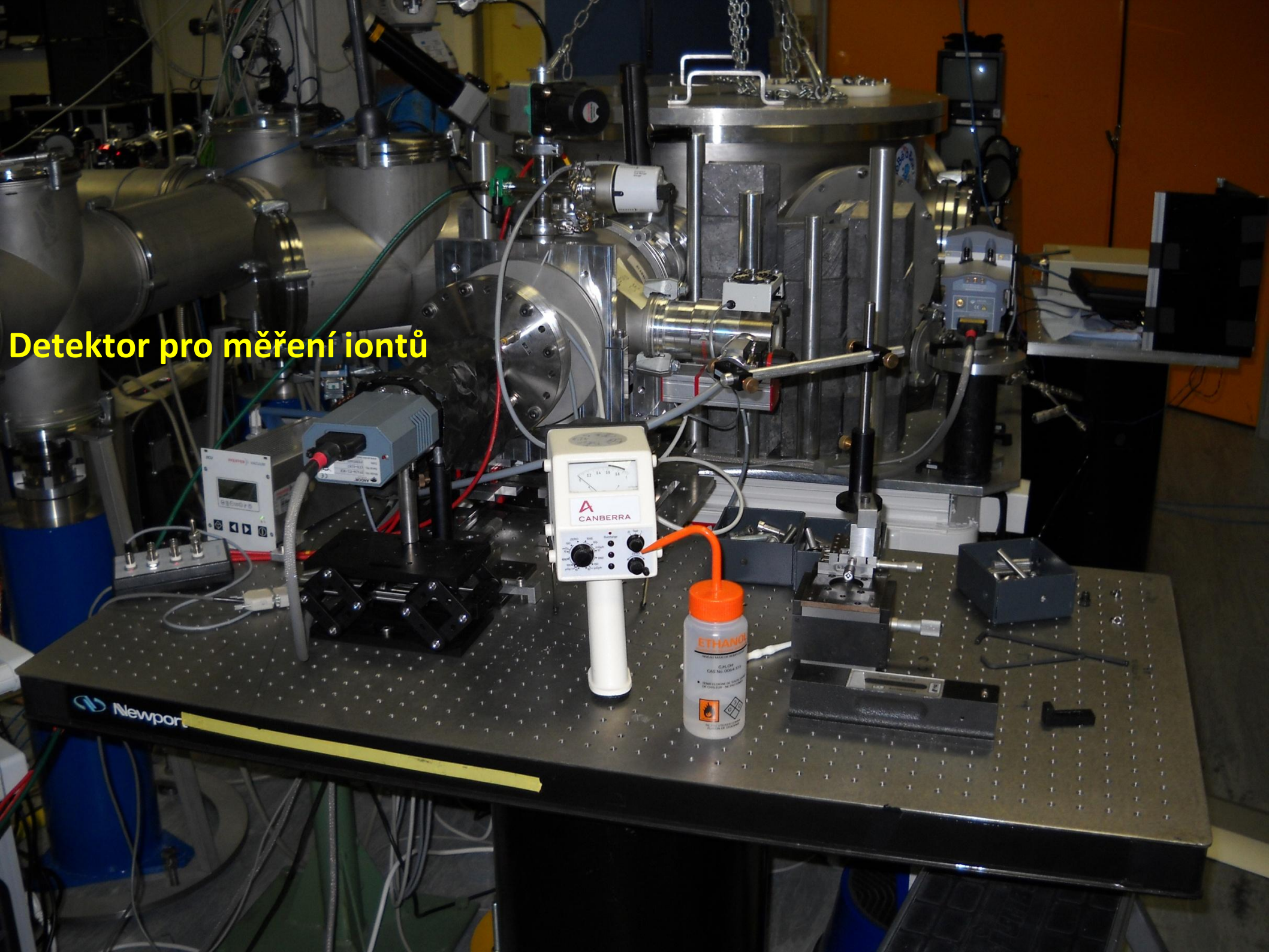


- Ringový kolektor
- Doplňující elektronika





Detektor pro měření iontů



Aparatura pro měření dalších jevů probíhajících
v plazmatu během interakce s laserem



Exotická fyzika s laserovými urychlovači?

- Jevy předpovězené kvantovou elektrodynamikou
- Vysoká intenzita laserových polí, silně nelineární jevy
- Vysoký gradient zrychlení
- Možnost detekce Unruhova záření
- Možnost prokázání Einsteinova principu ekvivalence?