

eli

beamlines



Optimalizace rozptylu iontových svazků urychlených laserem

Martina Žáková

13.1.2015, workshop Mariánská



evropský
sociální
fond v ČR



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



Plán prezentace

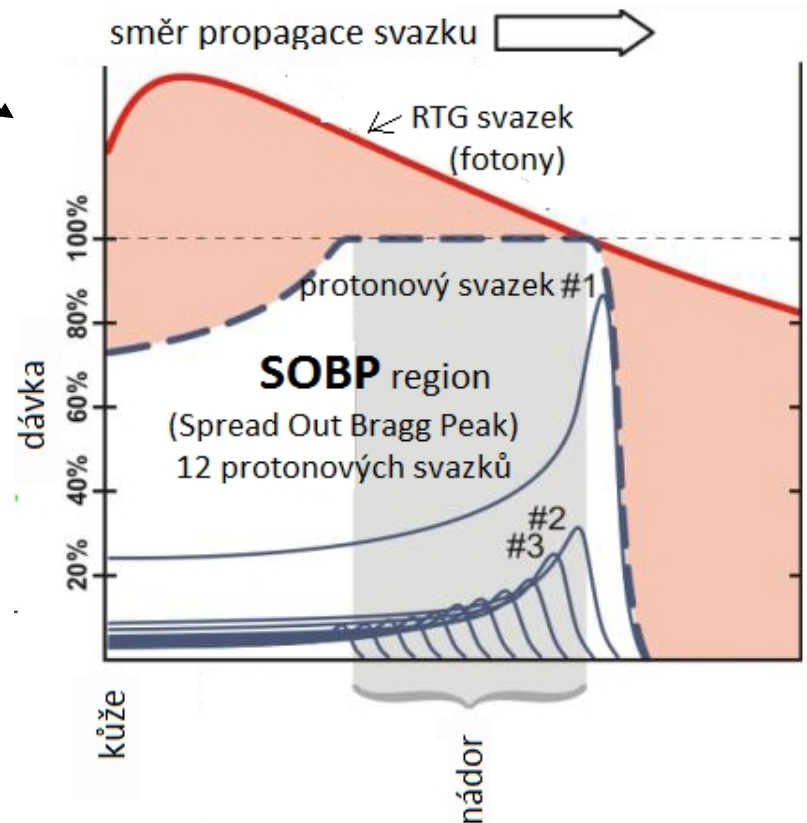
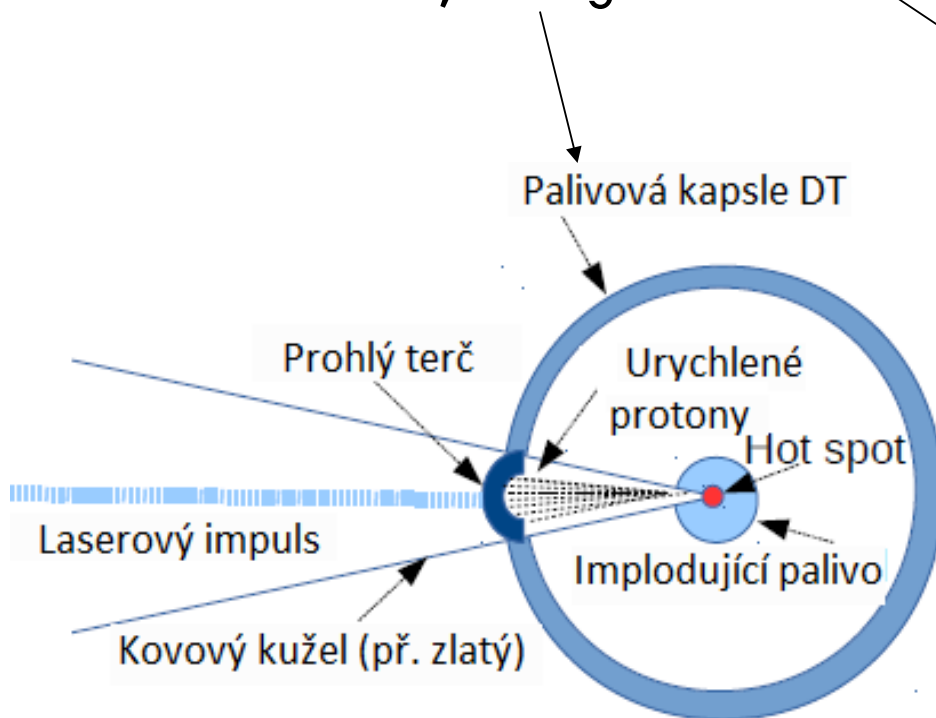
- Aplikace laserem řízených iontových svazků
- Urychlovací mechanismy, problémy k řešení
- Možnosti omezení divergence svazku
- Vlastní PIC simulace – design terčů s cílem omezení divergence
- Budoucí návaznost
- Souhrn

Laserem řízené iont. svazky – aplikace

Co to vlastně “Laserem řízený iontový svazek” je?

Aplikace laserem řízených iontových svazků

– medicína (hadronová terapie), jaderný výzkum, izochor. ohřev materiálů, fast ignition



Break Out-Afterburner (BOA) režim

Pro elektromagnetickou vlnu je $\epsilon_r^r(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} = 1 - \frac{n_e}{n_c}$, kde

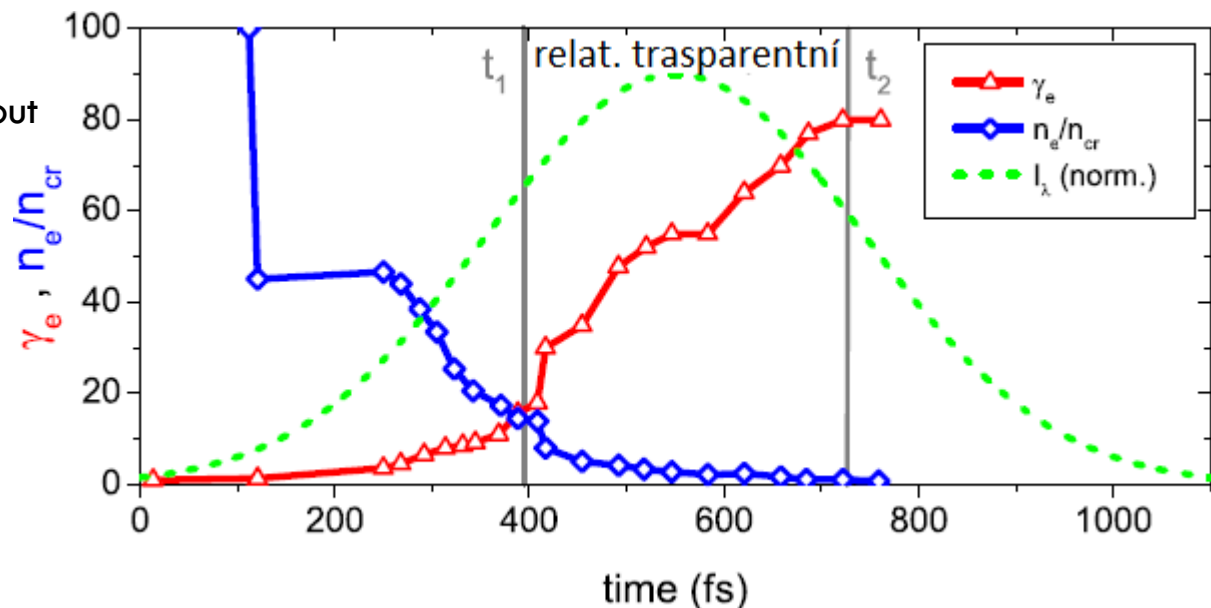
$n_c = \frac{\epsilon_0 m \omega^2}{e^2}$ je kritická hustota, disperzní vztah je $k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \epsilon_r^r = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$

pro $\omega < \omega_p \rightarrow k^2 < 0$ vlna se nešíří, do plazmatu proniká pouze skin-efektem
 pro $\omega \rightarrow \omega_{p+}$ $k \rightarrow 0$ a dochází k úplnému odrazu (mezí frekvence)

$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 n_0}{\epsilon_0 m_-}}$$

$$n_c: \omega_p = \omega$$

Čím menší ω_p je tím hlouběji laserový impuls (EM vlna) může do pevného terče proniknout > zvyšuje se populace horkých elektronů > pro nm – μm terč laserové pole přemění téměř všechny elektrony na ty horké a terč začíná být relativisticky transparentní (čas t_1 až t_2), platí $n_e/n_{crit} \gamma \approx 1$



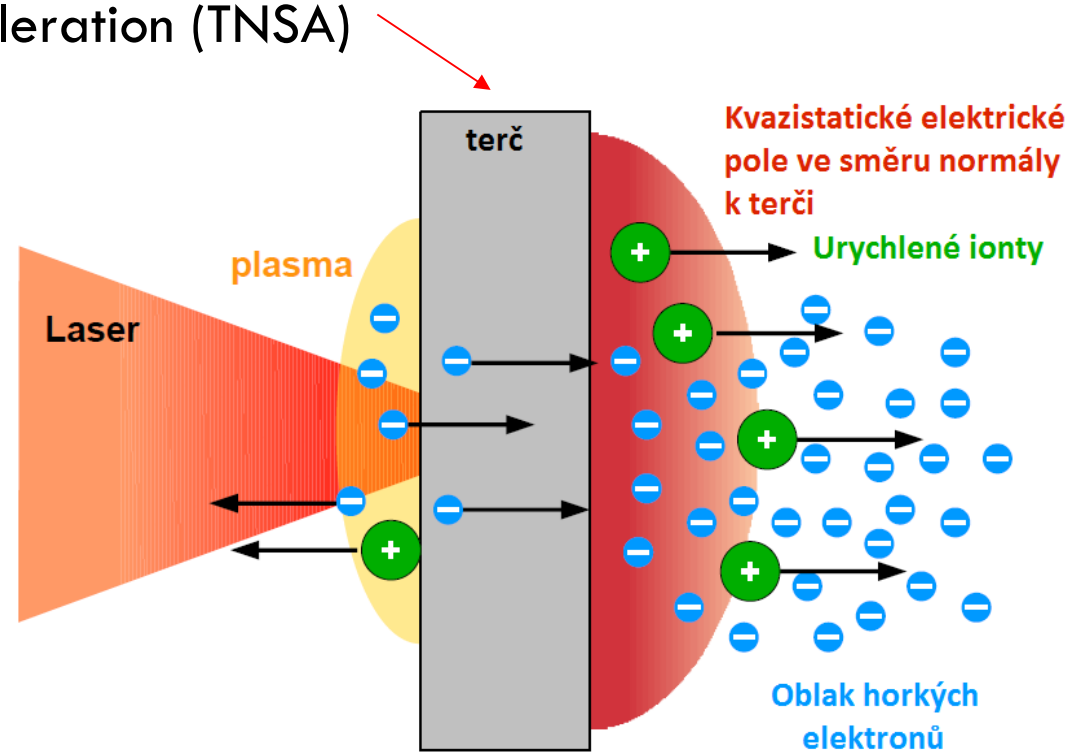
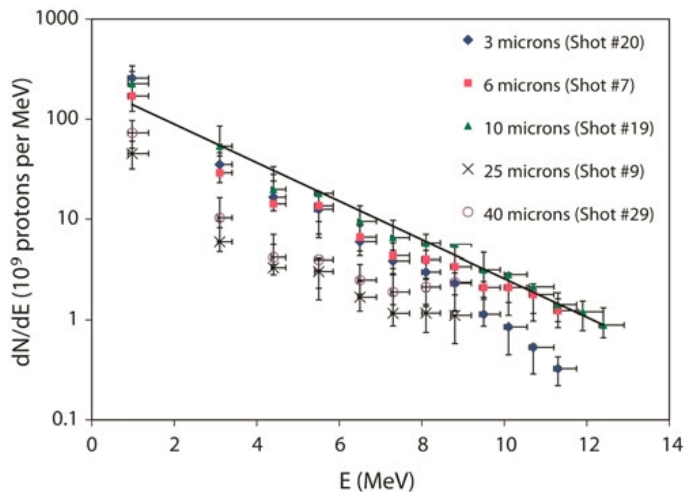
Break Out-Afterburner (BOA) režim

- Relativistický režim BOA (dosahované energie až 160 MeV !!!)
 - + vyšší maximální energie po urychlení iontů
 - + větší rozdíly mezi max. energiemi různě těžkých iontů (těžší více)
 - + silnější urychlovací pole, které navíc trvá i déle > větší efektivní urychl. vzdálenost, větší polní gradient
 - + exist. "ideální" tloušťky terče pro urč. parametry laseru a hustoty terče
 - poruš. úhlové symetrie – rychlé ionty nejsou terčem emitovány podél osy



Urychlovací mechanismy – TNSA, RPA

- Radiation Pressure Acceleration (RPA) + hybridní mechanismy
- Target Normal sheath acceleration (TNSA)

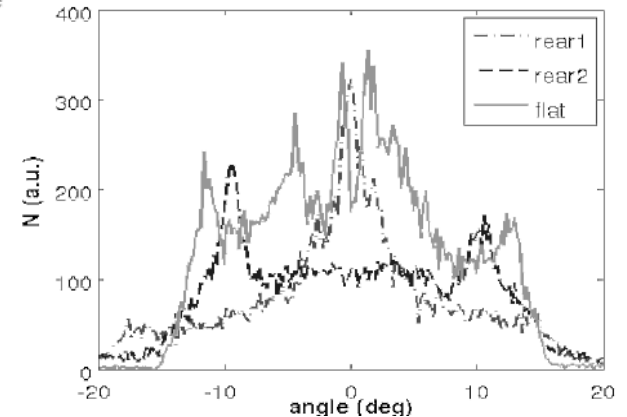
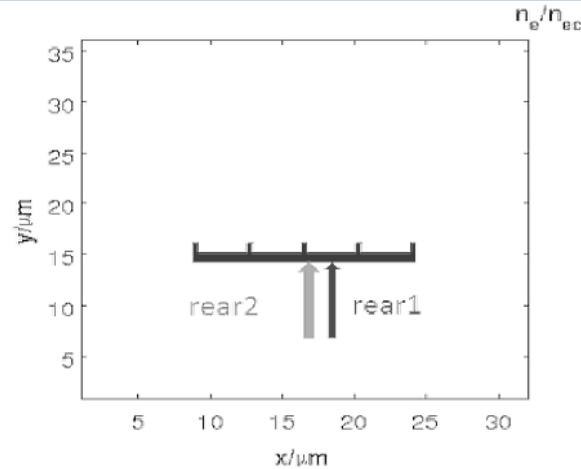


- Svazek z TNSA
 - divergence desítky stupňů
 - širokoenergetický
 - exponenciální pokles počtu částic s rostoucí energií

Možnosti omezení divergence svazku

□ Design terčů

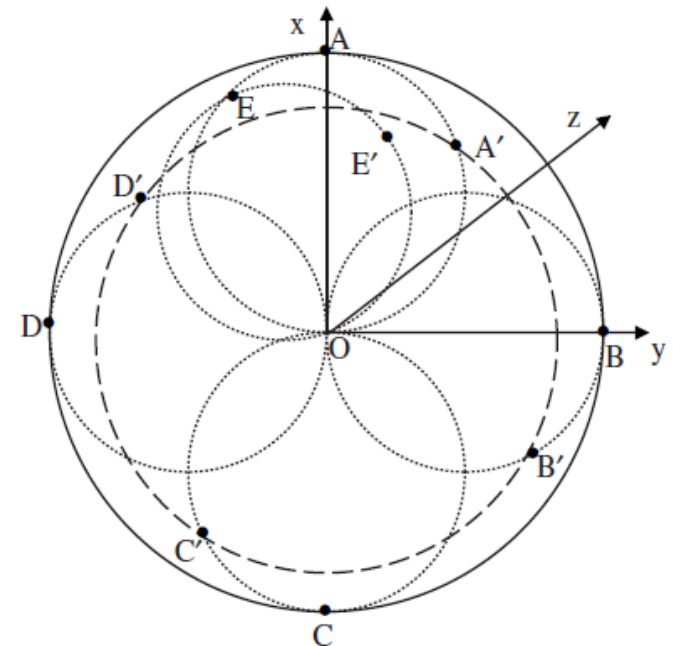
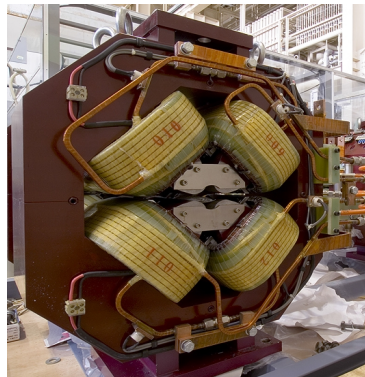
- ultra tenké (μm)
- prohnuté
- s mikrostrukturami na zadní straně
- složení nečistot



□ Magnetická zařízení vložená

do dráhy svazku

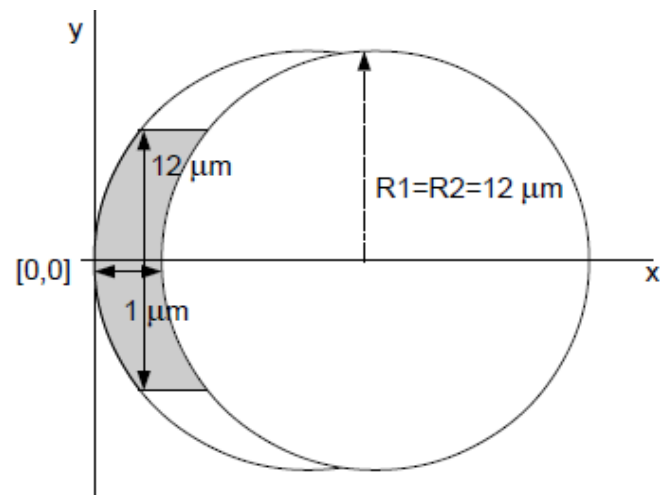
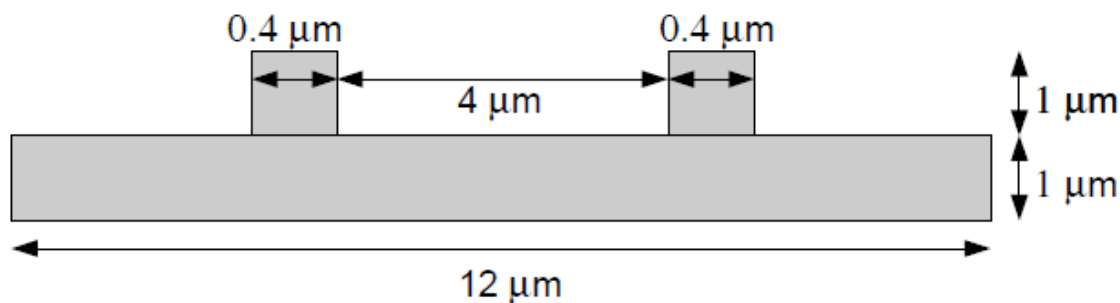
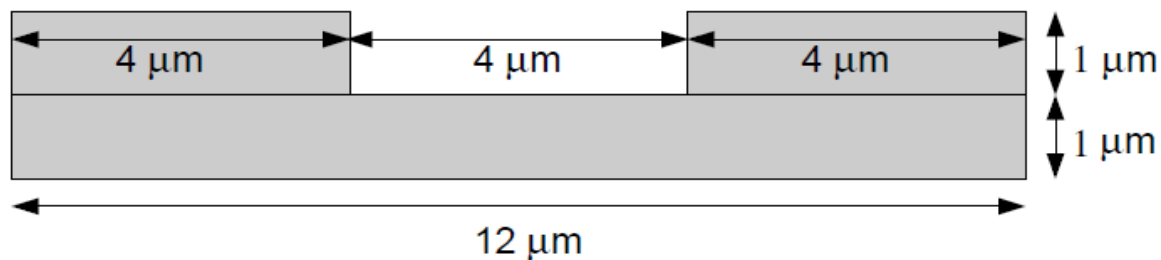
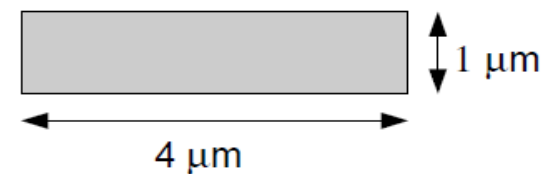
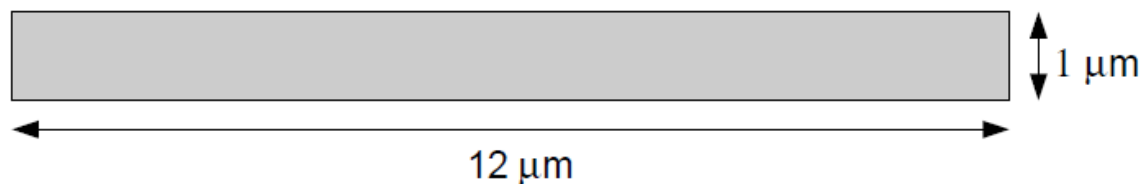
- magnetický solenoid
- kvadrupolové magnety



□ ... a další

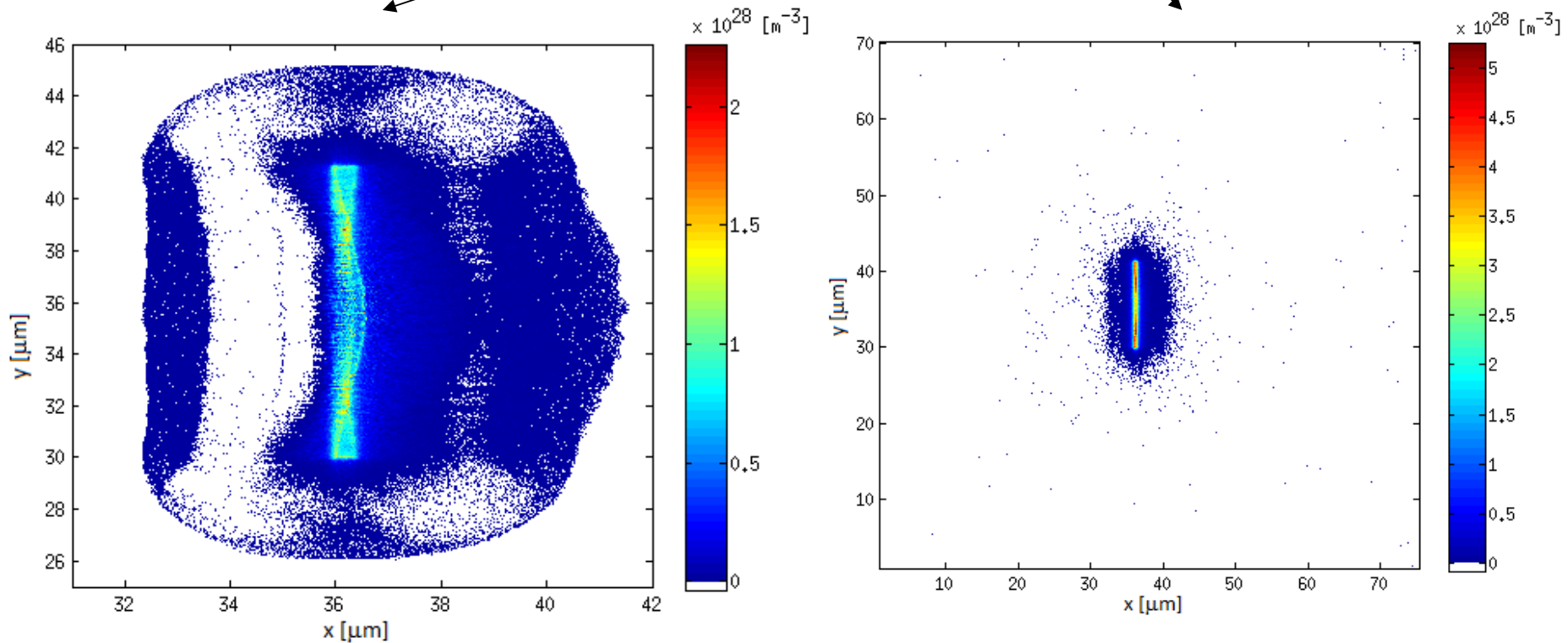


Druhy terčů (H, C⁴⁺, e⁻):



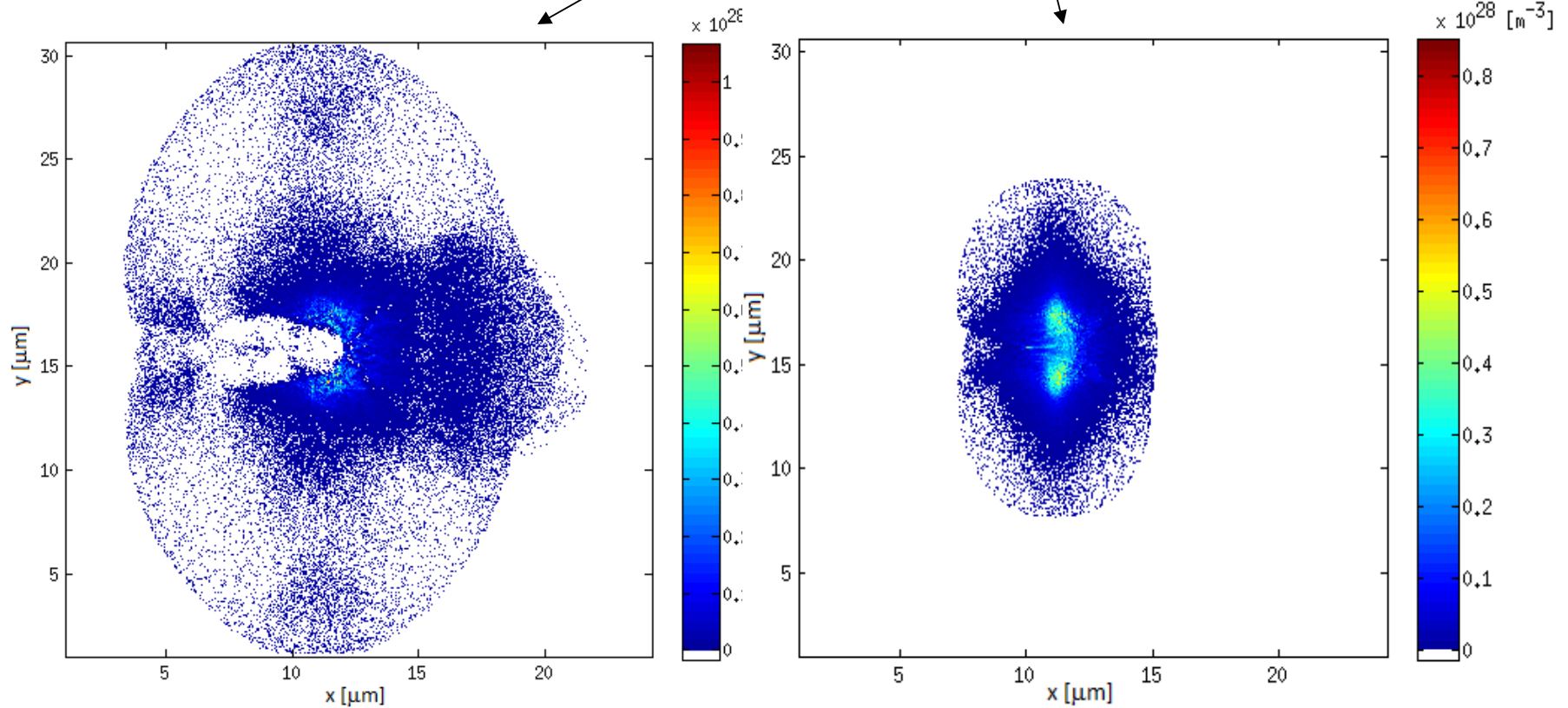
Terče, expanze

Rovný dlouhý terč; expanze protonů a elektronů v čase 300 fs



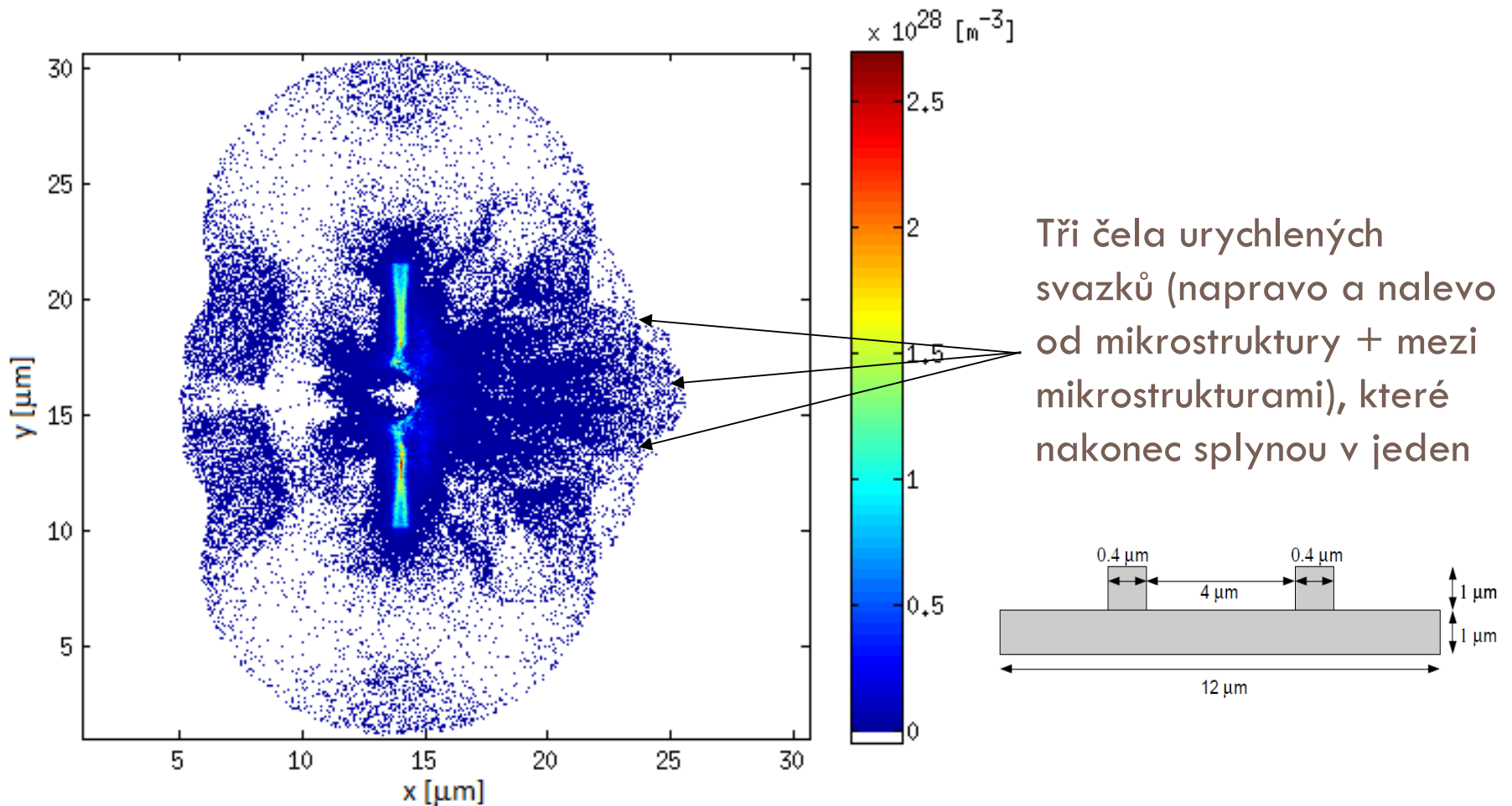
Terče, expanze

Rovný krátký terč; expanze protonů a C^{4+} iontů v čase 300 fs



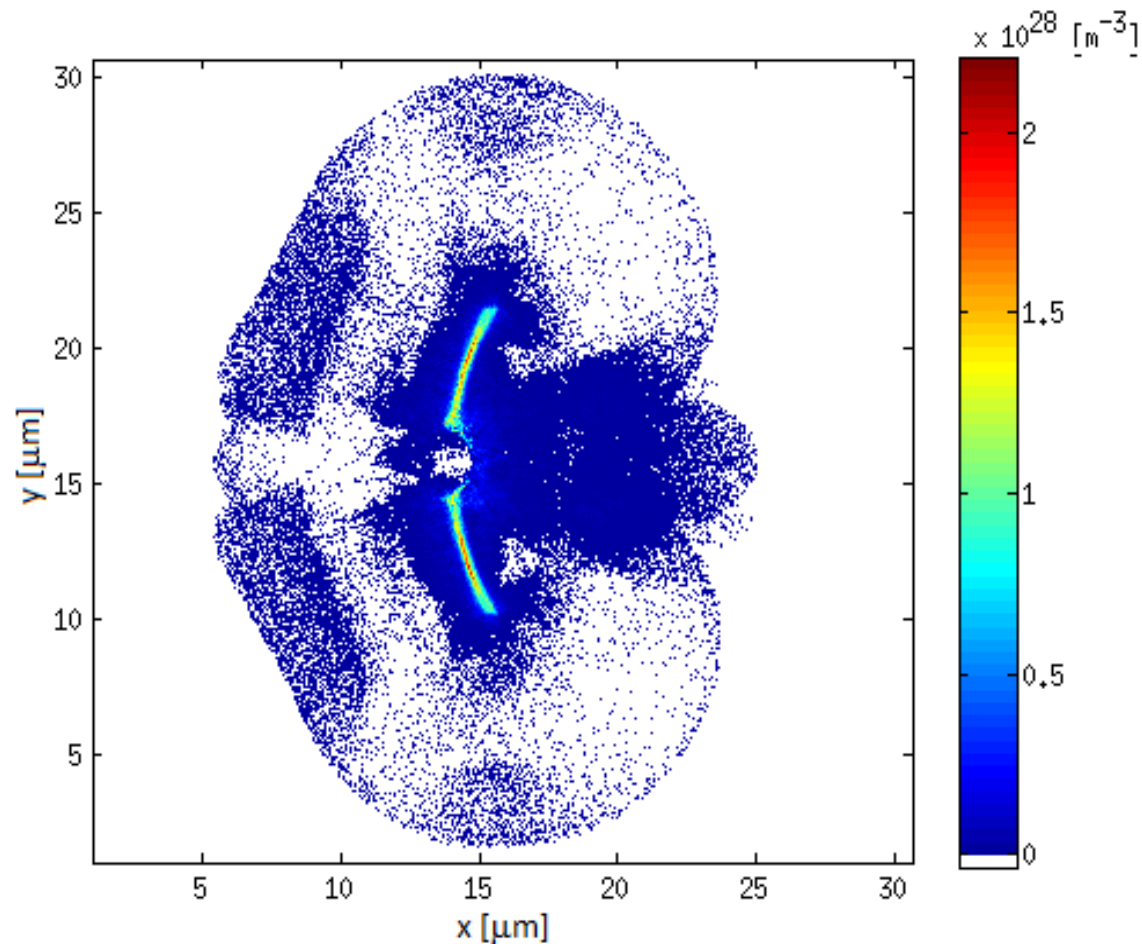
Terče, expanze

Terč s úzkými mikrostrukturami; expanze protonů v čase 300 fs



Terče, expanze

Prohnutý terč; expanze protonů v čase 300 fs



Terče, energetické spektrum

Long flat foil section:

$$E_{max}^{P^+}/u = 19.8 \text{ MeV/u,}$$

$$E_{max}^{C^{4+}}/u = 3.1 \text{ MeV/u.}$$

Short flat foil section:

$$E_{max}^{P^+}/u = 26.2 \text{ MeV/u,}$$

$$E_{max}^{C^{4+}}/u = 3.4 \text{ MeV/u.}$$

Foil with thick microstructures on its rear side:

$$E_{max}^{P^+}/u = 19.4 \text{ MeV/u,}$$

$$E_{max}^{C^{4+}}/u = 2.5 \text{ MeV/u.}$$

Foil with thin microstructures on its rear side:

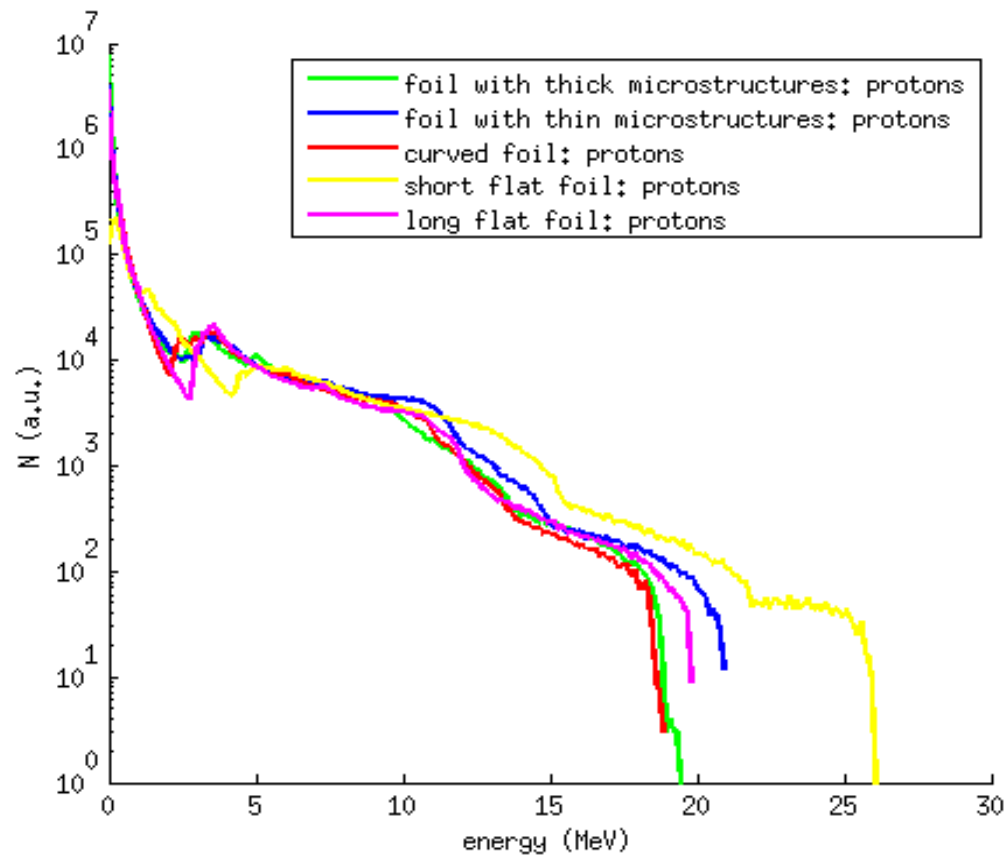
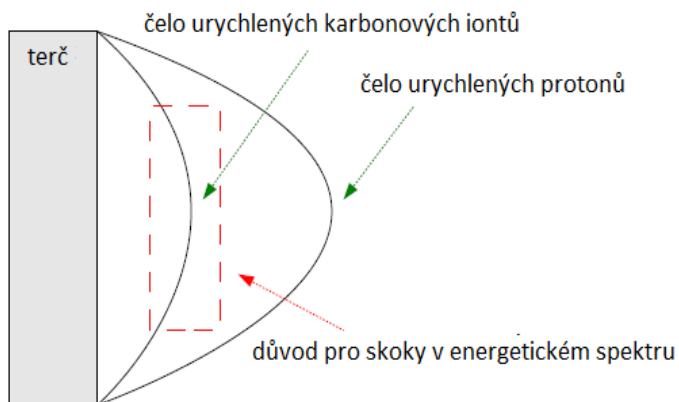
$$E_{max}^{P^+}/u = 20.9 \text{ MeV/u,}$$

$$E_{max}^{C^{4+}}/u = 3.0 \text{ MeV/u.}$$

Curved foil section:

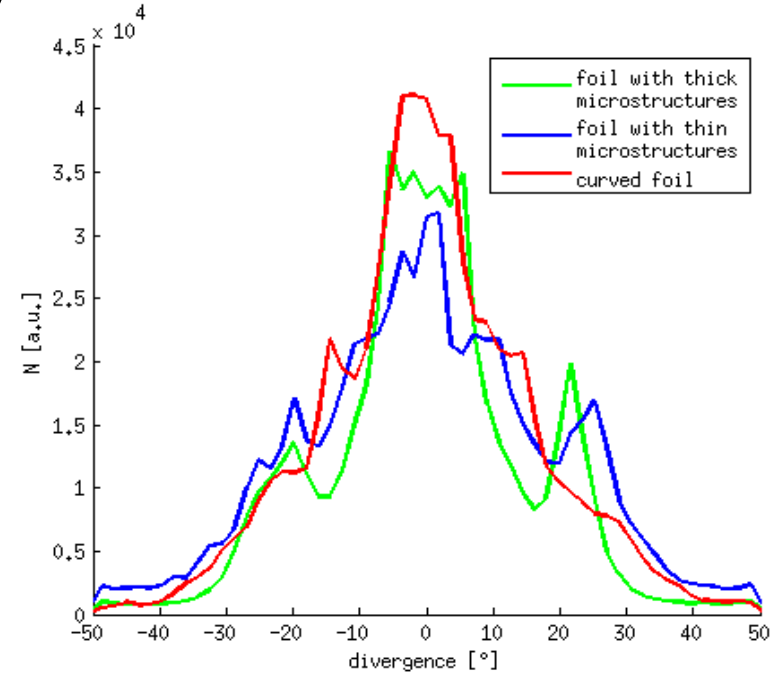
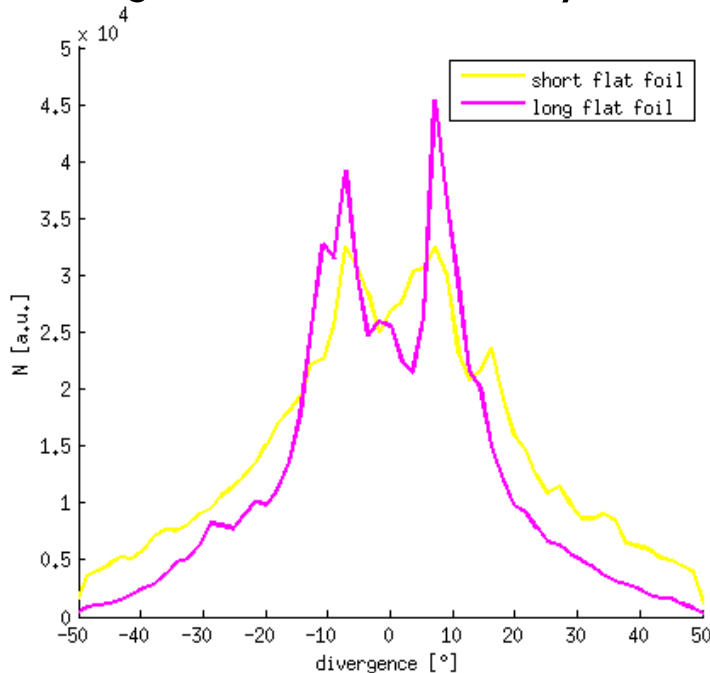
$$E_{max}^{P^+}/u = 18.8 \text{ MeV/u,}$$

$$E_{max}^{C^{4+}}/u = 2.6 \text{ MeV/u.}$$



Úhlový rozptyl pro různé designy terčů

Energie v simulaci brány od 0,5 MeV/u do maxima (!)



type of foil	left half angle divergence [°]	right half angle divergence [°]	average half angle [°]
flat long	-13.3	12.3	12.8
flat short	-18.7	19.7	19.2
thick micro	-9.0	8.4	8.7
thin micro	-13.5	13.8	13.7
curved	-9.4	12.2	10.8



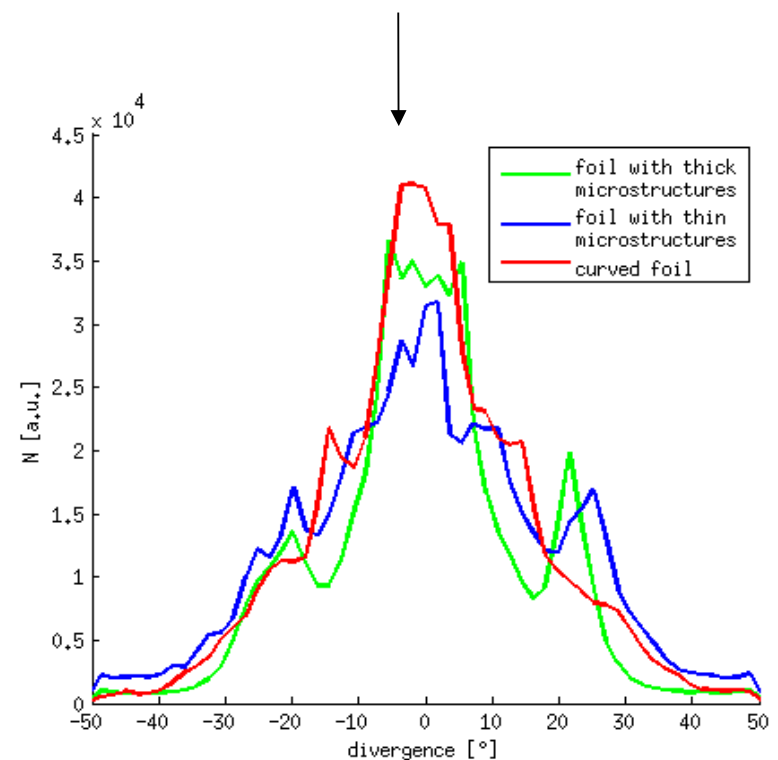
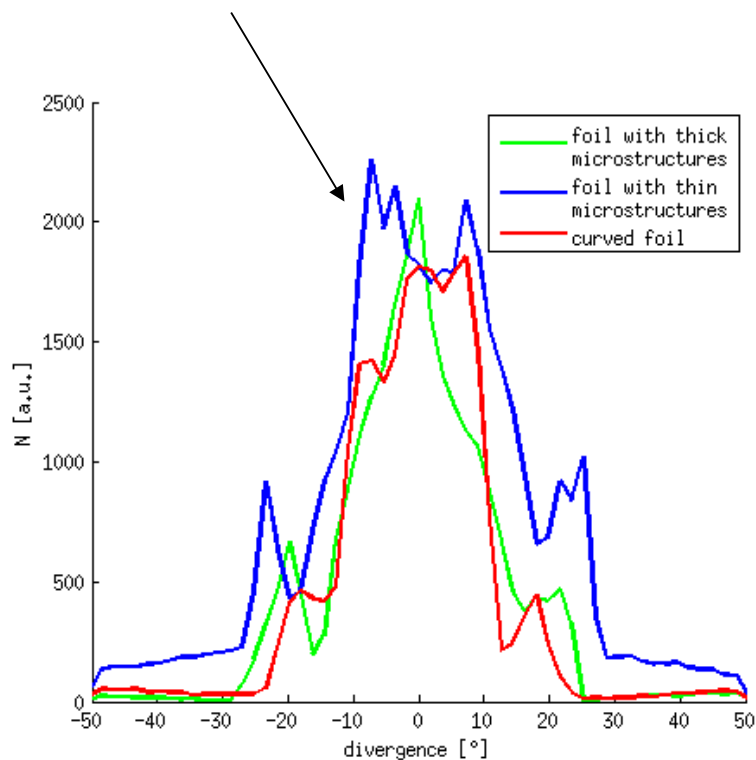
Úhlový rozptyl pro různé designy terčů

Na vybraném energetickém rozsahu velmi záleží!

Většinou vybíráme pouze největší energie, protože o ty nám jde v aplikacích

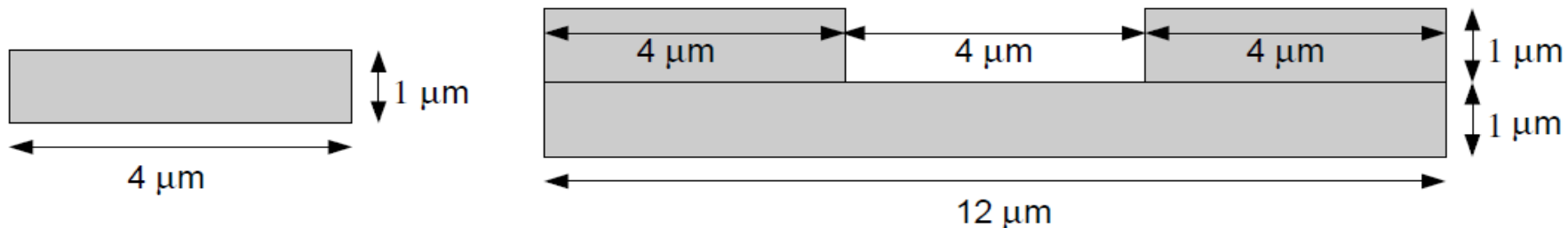
10 MeV/u – E_max

0.5 MeV/u – E_max



Souhrn výsledků ze simulací

- Nejnižší úhlový rozptyl – **terč s tlustými mikrostrukturami** na zadní straně půl-úhel $8,7^\circ$ ve FWHM pro energie $0,5 \text{ MeV/u} - E_{\text{max}}$ a půl-úhel $9,4^\circ$ ve FWHM pro energie $10 \text{ MeV/u} - E_{\text{max}}$
- Maximální urychlené energie pro protony ($26,2 - 18,8 \text{ MeV/u}$) a pro C^{4+} ionty ($3,4 - 2,5 \text{ MeV/u}$) se moc neliší; nejvyšší energie pro oba případy je dosažena pro **krátký rovný terč** (terč s tlustými mikrostrukturami na předposledním místě, rozdíly však velmi malé)
- Simulace počítají pouze s protony pohybujícími se v dopředném směru



Úhlové divergence:

Proč právě v tomto pořadí?

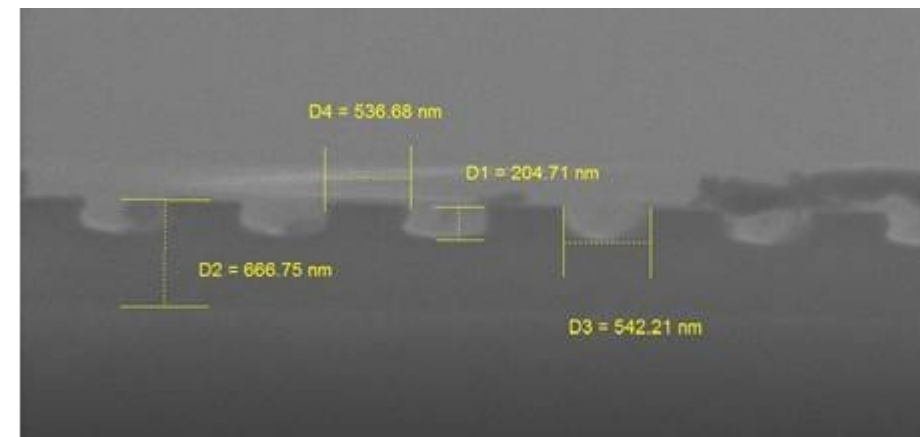
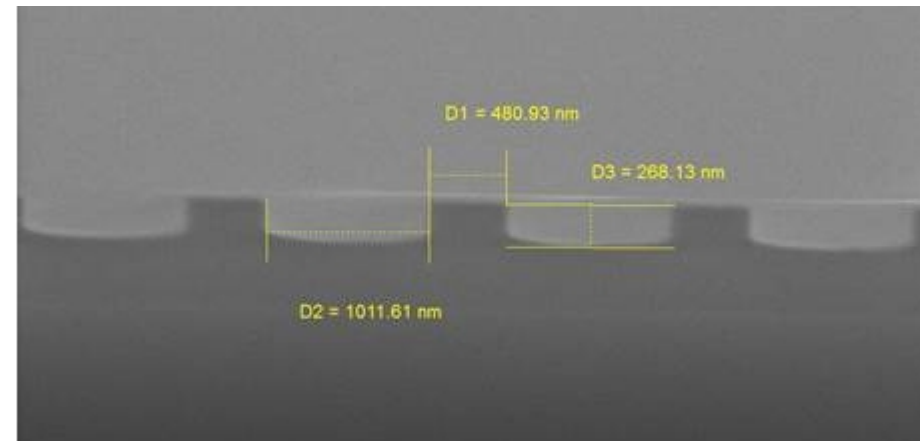
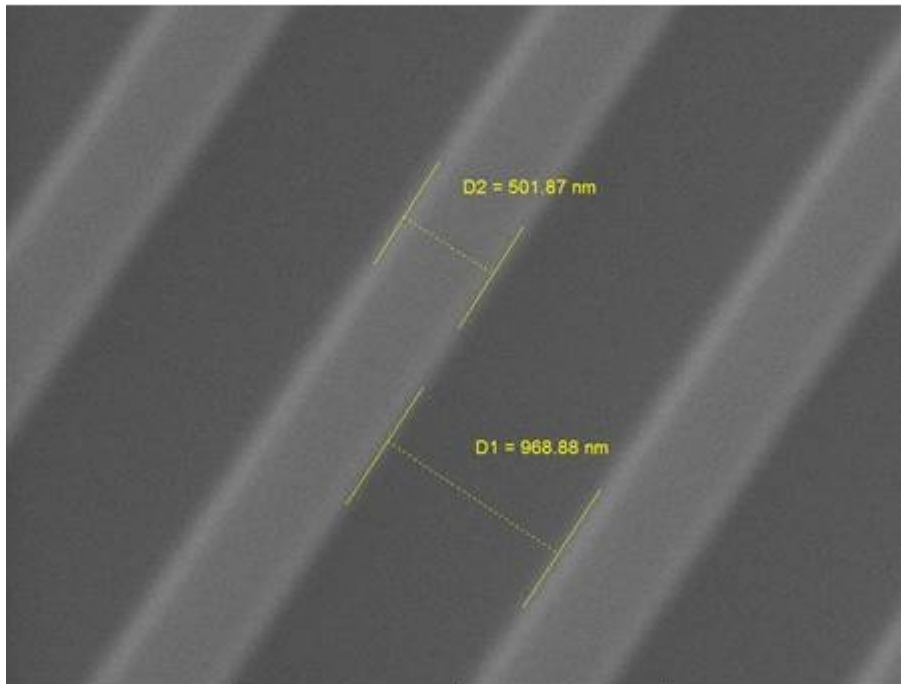
- (1) Terč s tlustými mikrostrukturami na zadní straně – mikro dostatečně tlusté, aby urychlování z nich/napravo/nalevo od nich bylo více zanedbatelné, hl. svazek “oříznou” a tím mu sníží divergenci
- (2) Zahnutý terč – snížení divergence díky urychlení ve směru kolmice k povrchu terče
- (3) Dlouhý rovný terč
- (4) Terč s úzkými mikrostrukturami na zadní straně – 3 svazky, kde se div měří? Těsně po spojení, může ještě klesat
- (5) Krátký rovný terč – expanze do prostoru

3
5
1
4
2

type of foil	left half angle divergence [°]	right half angle divergence [°]	average half angle [°]
flat long	-13.3	12.3	12.8
flat short	-18.7	19.7	19.2
thick micro	-9.0	8.4	8.7
thin micro	-13.5	13.8	13.7
curved	-9.4	12.2	10.8

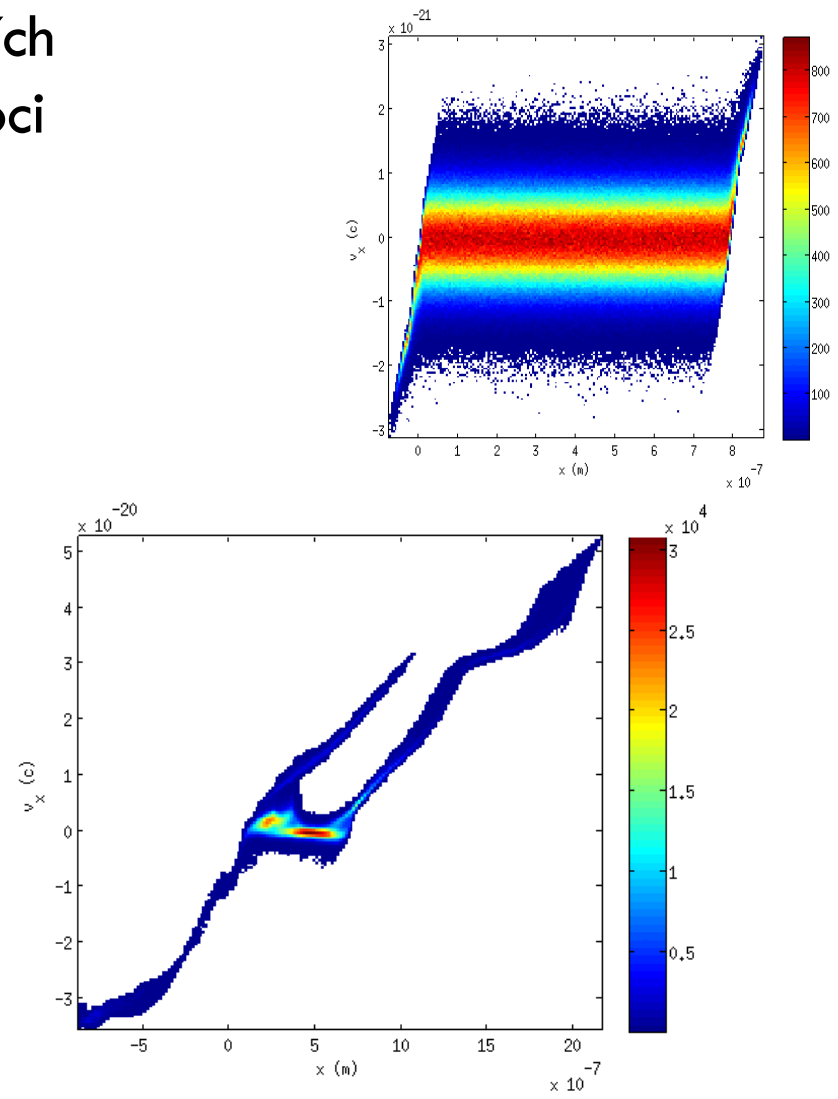
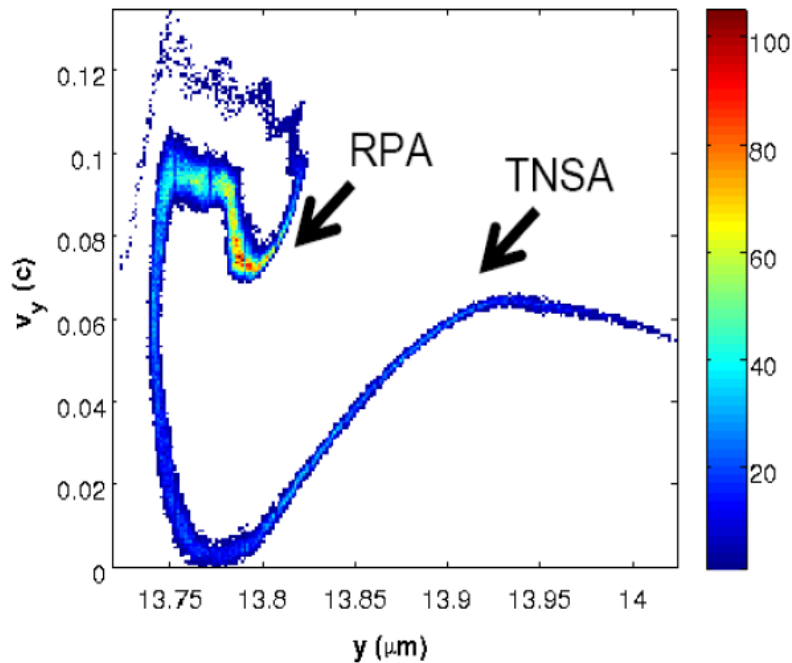
Předběžné testy terčů pro experiment

Předběžné testy terčů navržených na základě předchozích simulací pro experiment v Korei (výsledky dopomohou budoucím experimentům na ELIMED beamline)



Na čem momentálně pracuji...

- Studium hybridních urychlovacích režimů (TNSA + RPA) za pomoci PIC simulací a zobrazení ve fázovém prostoru



Závěrečné shrnutí

- Aplikace laserem řízených iontových svazků
- Urychlovací mechanismy
- Způsoby omezení divergence iontového svazku
- Výsledky PIC pro různé designy terčů
 - expanze terčů, hustoty částic
 - maximální urychlené energie
 - úhlové rozdělení a srovnání
- Studium hybridních režimů

eli

beamlines



Děkuji Vám za pozornost.

Tato práce je důležitá pro realizaci a optimalizaci budoucích experimentů v rámci projektu ELI-Beamlines, ale i experimentů prováděných v institutu GIST v Gwangju, Korea.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

