



# Energetické ztráty nabitých částic v plazmatu

Petr Pokorný

školitel: Ing. Miroslav Krůs, Ph.D.

- Představení celku - Energetické ztráty v plazmatu
- Výsledky bakalářské práce
- Záměr výzkumného úkolu - Dynamika plazmatu explodující fólie

Proč se zabývat měřením energetickými ztrátami v plazmatu:

- pro energetické ztráty protonů v plazmatu existuje jen málo experimentálních ověření teorie
- pro elektrony neexistuje zatím žádná experimentální studie, přitom důležité, např: ICF ohřev paliva urychlenými elektrony
- obecně důležité pro potvrzení teorie, např: redukovaný režim energ. ztrát byl pozorován jen jednou

- Energetické ztráty definujeme následovně:

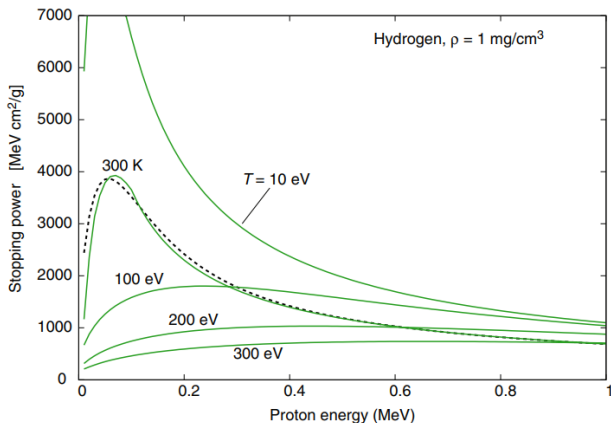
$$S = -\frac{dE_{kin}}{dx},$$

tedy změna kinetické energie  $E_{kin}$  na jednotce dráhy.

- Pro klasickou "chladnou" látku, Bethe - pro oblast energií 0,1-10 keV (pro těžké částice), ztráty především na vázaných elektronech.
- Pro nižší energie hrají roli i ztráty na jádrech atomů.
- U elektronů je třeba započítat zaměnitelnost elektronů.

# Energetické ztráty v plazmatu

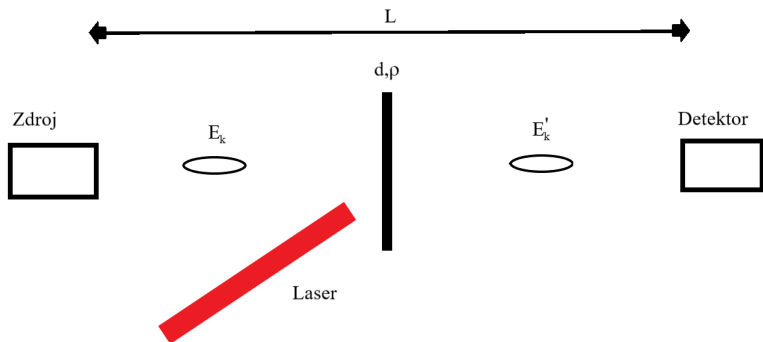
- Pro vysoké teploty zvýšený režim energetických ztrát
- Při dalším zvyšování teploty energetické ztráty klesají



S.N Chen, *Experimental evidence for the enhanced and reduced stopping regimes for protons propagating through hot plasmas*

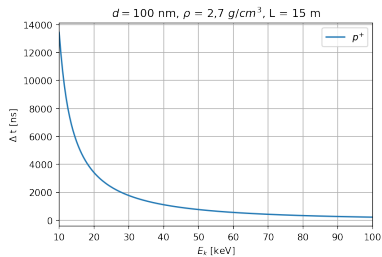
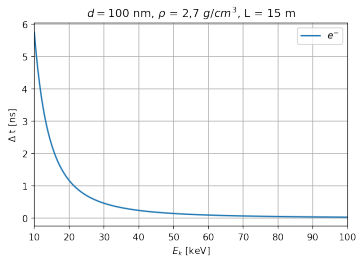
# Měření energetických ztrát

- Délka svazku musí být kratší než stovky ps, abychom mohli proměřovat plazma (rozpíná se a chladne na ns úrovni)



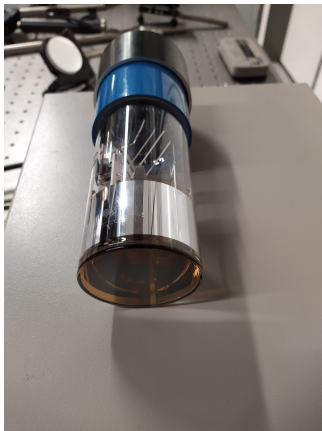
- Cílem je určit  $E'_k$  - metoda Time-of-Flight

# Metoda Time-of-Flight



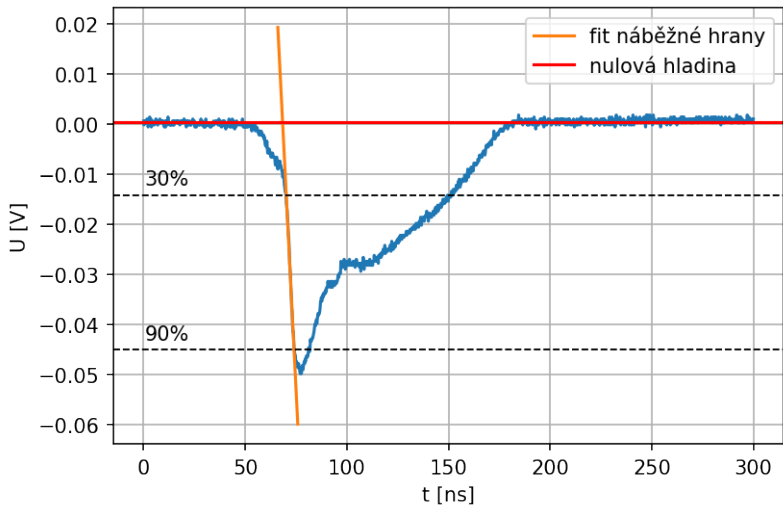
- Pro měření elektronů - desetiny ns.
- Pro měření protonů - stovky ns.

- Fotonásobič - ET Enterprise - 9266kb50

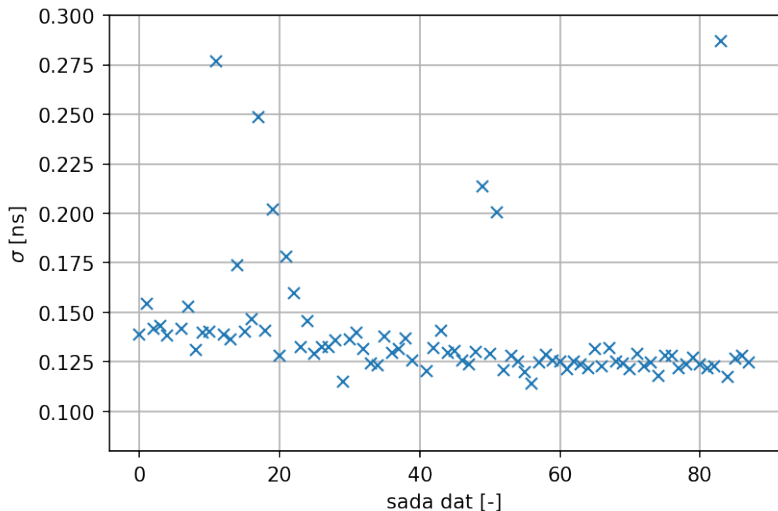




# Fluktuace náběžné doby



# Časové rozlišení

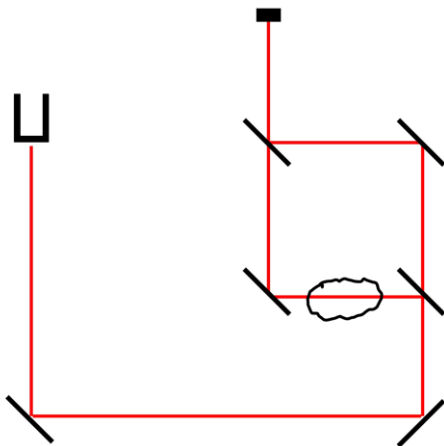


Časové rozlišení našeho fotonásobiče - 125-150 ps.

- Plazma budeme generovat metodou explodující fólie, tzn. plazma vzniklé ozářením velmi tenké fólie intenzivním laserem ( $10^{15}$  W/cm<sup>2</sup>), s délkou několik ps.
- Tloušťka fólií bude řádově 100 nm
- U fólie budeme sledovat vývoj několika veličin, které potřebujeme znát pro měření en. ztrát.
  - 1 Vývoj hustoty v čase (interferometrie)
  - 2 Vývoj teploty v čase (Thompsonův rozptyl)
  - 3 Stupeň ionizace

# Interferometrie

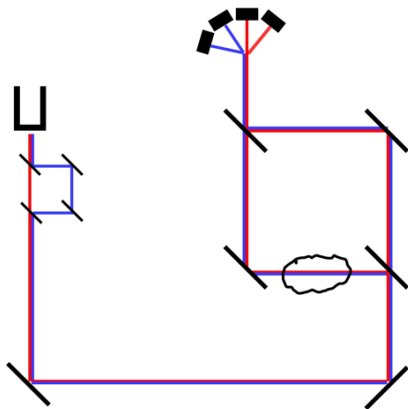
- Pro naše účely nejlépe poslouží Mach-Zehnderův interferometr.



- Pro vývoj však potřebujeme více časových snímků, potřebujeme zkoumat přibližně několik ns.

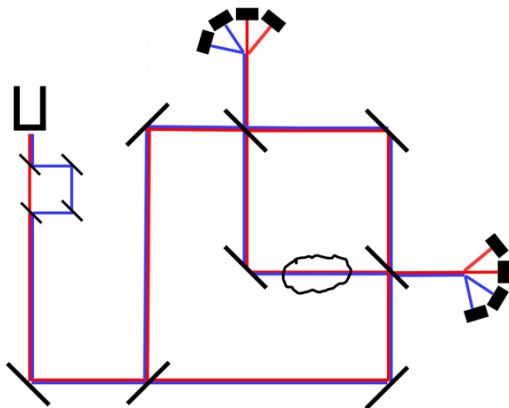
# Interferometrie

- Laserový svazek můžeme rozdělit podle polarizace, případně i podle vlnové délky. Jednotlivé části poté můžeme zpozdit, např. o 50 ps.



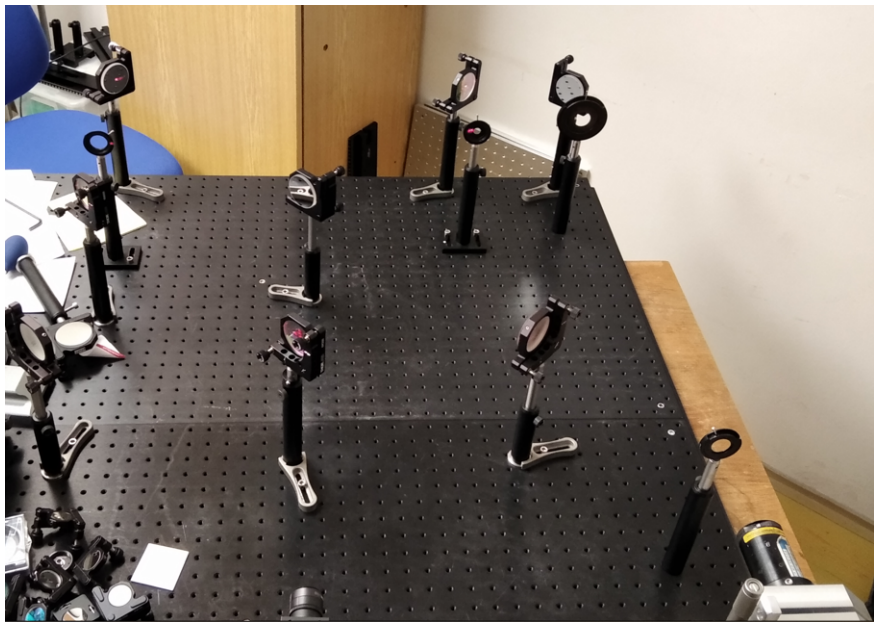
- Díky jedné vlastnosti Mach-Zehnderova interferometru můžeme jednoduše získat 2x snímků.

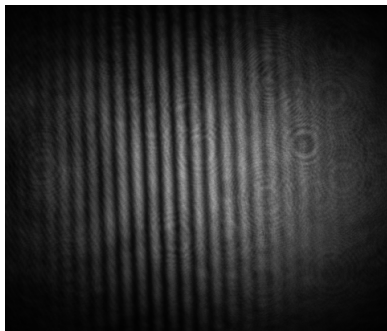
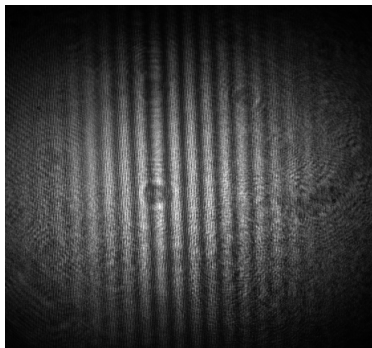
- Mach-Zehnder je symetrický -> dvojnásobek snímků.



- 8 snímků po 50 ps -> 400 ps.
- Tímto už máme poměrně dobře prozkoumaný vývoj hustoty.

# Interferometrie





- Na levo - přímý
- Na pravo - zpětný



- V BP jsem se zabýval časovým rozlišením fotonásobiče
- Ve VU se zabývám dynamikou explodující fólie
- Podařilo se nám využít symetrie Mach-Zehnderova interferometru
- Jako další je potřeba sestavit zpoždovací linku a rozdělit svazky
- Nakonec je potřeba určit také vývoj teploty v čase a stupeň ionizace

Děkuji za pozornost.