

Vícedimenzionální hydrodynamické simulace plazmatu a generace rentgenového záření

Martin Šach

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT

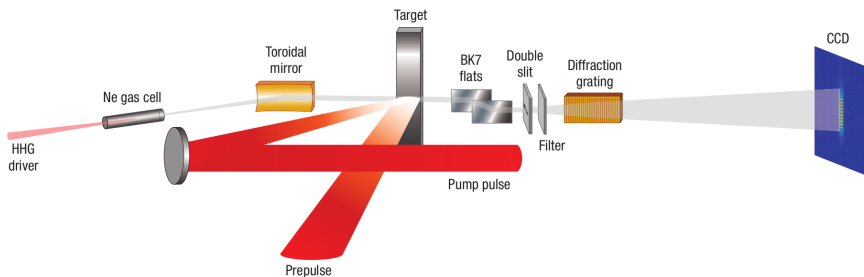
martin.sachin@gmail.com

20. ledna 2020

- 1 Úvod
 - Simulovaná situace
 - Shrnutí dosavadní práce
 - Aktuální cíle
- 2 Intenzita rentgenového záření
 - Model populací hladin
 - Určení koeficientu zisku
- 3 Trasování paprsků
 - Realizace
 - Využití při simulacích
- 4 Další postup práce
- 5 Shrnutí

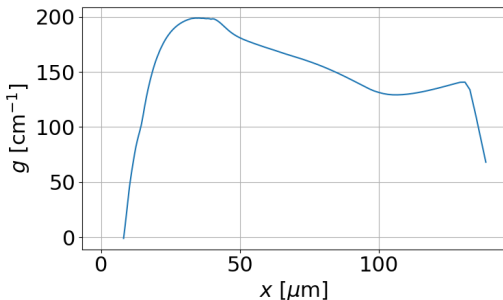
Úvod - simulovaná situace

- Proces generace intenzivního rentgenového laserového pulzu [5]:
 - Řídící pulz vytvoří plazma
 - Jiný slabý rentgenový pulz zesílen průchodem
- Konkrétně zesílení na $2p_{1/2}^5 3s_{1/2}, J = 1 \rightarrow 2p_{1/2}^5 3p_{1/2}, J = 0$ o vlnové délce 25,5 nm v iontech neonu podobného železa



Obrázek: Schéma možného způsobu generace intenzivního rentgenového pulzu [5]

- 1D simulace interakce pevného železného terče s třemi laserovými pulzy
- Replikování simulace [3]
- Model koeficientu zisku rentgenového záření
- Tříhladinový kvazi-stacionární model model
- Tento model byl použit na výsledky 1D hydrodynamické simulace

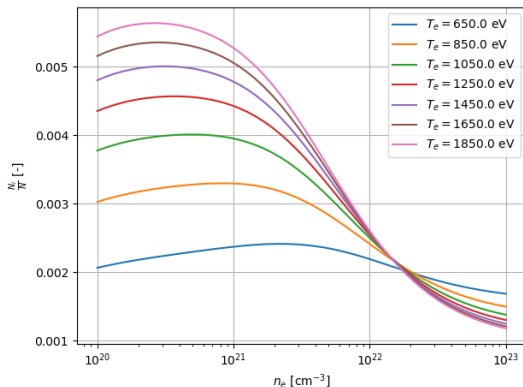


Obrázek: Prostorový profil koeficientu zisku

- Zobecnit model populace hladin pro N energetických hladin
- Použít model na určení koeficientu absorpce/zisku rentgenového záření
- Vytvořit kód, který bude sledovat trajektorii a intenzitu paprsku
- Použít kód pro simulaci absorpce laseru
- Použít kód a koeficienty pro simulaci propagace laserového záření
- Tyto prvky aplikovat do existujících hydrodynamických kódů (PALE, PETE2)

- Založen na FAC [1]
- Řešení systému N rychlostních rovnic ve kvazi-stacionárním přiblížení
- FAC obsahuje vše potřebné pro výpočet (Einsteinovy koeficienty, řešič systému)
- Můj obalovací kód:
<https://github.com/SachCZ/gain-calculator>

- Příklad dosavadních výsledků pro neonu podobné germánium
- Relativní populace na energetické hladině $[2p-]_1^1(1)[3p-]_1^1(0)$



Obrázek: Relativní populace hladin v závislosti na elektronové hustotě n_e při různých teplotách T

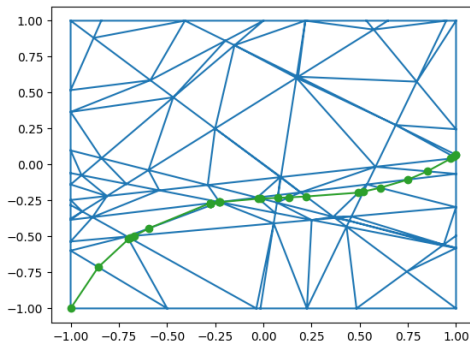
- Cíl - určit koeficient zisku/absorpce (gain/absorption coefficient)
- Charakteristika laserového média pro propagaci rentgenového záření
- Použit vzorec [2]:

$$g = \frac{\pi e^2}{cm_e} g_1 f_{1,2} \left(\frac{N_2}{g_2} - \frac{N_1}{g_1} \right) \frac{1}{\Delta\nu} \quad (1)$$

- Absolutní degenerované populace $\frac{N_i}{g_i}$ určeny právě pomocí navrženého modelu

- Oblast rozdělená na trojúhelníky/čtyřúhelníky nebo čtyřstěny/šestistěny (dále elementy)
- Vygenerování N paprsků podle daného prostorového a energetického rozdělení)
- Trasování jednotlivých paprsků - nalezení následujícího průsečíku s elementem
- Nezávislé řešení průběhu v elementu (lineární, parabolické)
- Vyřešení celého průběhu všech paprsků
- Výměna energie jako postprocessing (momentální postup)

- Příklad dosavadních výsledků pro trasování paprsku
- Zde směr paprsku dán v každém průsečíku funkcí (volba funkce zde není podstatná)



Obrázek: Průsečíky paprsku s výpočetní sítí

- Teoreticky nenáročné - prakticky mnoho drobných detailů
- Obdobný postup jako [4]
- Generace a trasování paprsků pro absorpci laseru:
 - Po částech konstantní profil hustoty - Snellův zákon a úsečky
 - Lineární profil hustoty - Snellův zákon a paraboly
 - Gassovský prostorový profil
 - Intenzita na základě brzděného záření a rezonanční absorpce

- Generace a trasování paprsků pro rentgenové záření
 - Lineární průběh
 - Obdélníkový prostorový profil
 - Intenzita na základě koeficientů z modelu populací hladin
 - Nezbytná integrace

- Postprocessing výsledků modelu populací hladin
- Srovnání nových výsledků s výsledky tříhladinového modelu
- Dokončení implementace algoritmu pro trasování paprsků
- Použití v kódech PALE a PETE
- Srovnání výsledků s vlastními 1D simulacemi a jinými 2D a 3D simulacemi

- Nastíněna simulovaná situace
- Shrnutí dosavadní práce a aktuální cíle
- Předveden nový N hladinový model populací hladin
- Prezentováno trasování paprsků plazmatem (absorpce, rentgenové záření)
- Navržen další postup práce

Děkuji za pozornost



M. F. Gu. "The flexible atomic code". en. In: *Canadian Journal of Physics* 86.5 (květ. 2008), s. 675–689. ISSN: 0008-4204, 1208-6045. DOI: 10.1139/p07-197. URL: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/p07-197> (cit. 19. 01. 2020).



Pierre Jaeglé. *Coherent Sources of XUV Radiation*. en. Sv. 106. Optical Sciences. New York, NY: Springer New York, 2006. ISBN: 9780387230078 9780387299907. DOI: 10.1007/978-0-387-29990-7. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-29990-7> (cit. 19. 01. 2020).



E. Oliva et al. "Hydrodynamic study of plasma amplifiers for soft-x-ray lasers: A transition in hydrodynamic behavior for plasma columns with widths ranging from 20 μ m to 2 mm". en. In: *Physical Review E* 82.5 (lis. 2010), s. 056408. ISSN: 1539-3755, 1550-2376. DOI: 10.1103/PhysRevE.82.056408. URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.82.056408> (cit. 19. 01. 2020).



J. Velechovský. "Modelování absorpce laserového záření v plazmatu". Výzkumný úkol. Praha: České vysoké učení technické v Praze Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, čvc 2010. (Cit. 01. 01. 2020).



Ph. Zeitoun et al. “A high-intensity highly coherent soft X-ray femtosecond laser seeded by a high harmonic beam”. en. In: *Nature* 431.7007 (zář. 2004), s. 426–429. ISSN: 0028-0836, 1476-4687. DOI: 10.1038/nature02883. URL: <http://www.nature.com/articles/nature02883> (cit. 19. 01. 2020).