

Posudek oponenta diplomové práce
Bc. Martina Šacha

Hydrodynamic simulations of X-ray generation and propagation in laser-produced plasmas
Hydrodynamické simulace generování a propagace rentgenového záření v laserovém plazmatu

Pro mnoho vědeckých oborů je v současnosti důležitý vývoj zdrojů koherentního polarizovaného záření v rentgenové oblasti - rentgenových laserů. Takové lasery naleznou uplatnění v materiálovém inženýrství, biologii, chemii a v neposlední řadě i ve výzkumu neideálního plazmatu pravděpodobně se vyskytujícího v jádrech obřích planet, hnědých trpaslíků či malých hvězd. V posledních desetiletích bylo zkoumáno mnoho způsobů, jak získat koherentní rentgenové záření. Jedním z nich je i použití plazmatu vznikajícího při interakci intenzivního optického laserového svazku s pevným terčem jako zesilovacího média. Tato technika je také inspirací pro numerické simulace prezentované v předložené práci. Tyto simulace používají hydrodynamický kód, do kterého byl v rámci výzkumného úkolu přidán N-hladinový model pro výpočet koeficientu zisku a model sledování svazku, kterým se modeluje jak absorpce laserového impulzu tak i šíření a zesilování rentgenového záření. Diplomovým úkolem pak bylo implementovat a otestovat vyvinuté metody a otestovat různé způsoby výpočtu gradientu hustoty. Takto získaný kód měl být použit pro hydrodynamické simulace přípravy zesilujícího plazmatického prostředí, přičemž se měl zhodnotit vliv difrakce na zesilování a průchod rentgenového záření v plazmatu.

Předložená diplomová práce je napsána v angličtině, má 69 stran, 33 odkazů na literaturu a je rozdělena do deseti kapitol. Úvodní kapitola velmi stručně shrnuje možnosti konstrukce rentgenových laserů, přičemž se věnuje zejména metodě studované v dalším textu. Ve druhé kapitole je popsána metoda řešení Eulerových rovnic společně s dalšími fyzikálními modely i nefyzikálními procesy stabilizujícími výpočet implementovanými do použitého numerického kódu. Třetí kapitola je věnována teorii sledování svazku. Popsána je zde numerická implementace metody a diskutováno je její testování v náhodně generovaných trojúhelníkových sítích. Ve speciálním případě je zde analyticky vyřešena i eikonálová rovnice. Další kapitola pak rozšiřuje algoritmus sledování svazku o některé modely absorpce jako je inverzní brzdné záření nebo rezonanční absorpce. Pro procesy na kritické ploše je použit model Fresnelovy absorpce. N-hladinový model pro výpočet koeficientu zisku je popsán v páté kapitole. Šestá kapitola představuje několik možností výpočtu gradientu hustoty. Tyto metody jsou zde testovány z hlediska jejich konvergence i z hlediska jejich vlivu na algoritmus sledování svazku a tudíž i laserovou absorpci. Další kapitoly pak popisují výsledky dosažené navrženým numerickým modelem. Sedmá kapitola porovnává výsledky dosažené popsáním modelem s předchozími výpočty. V osmé kapitole je pak navrženou metodou studována realistická situace konstrukce rentgenového laseru pomocí plazmatu jako zesilovacího média vytvořeného interakcí optického laseru s pevným terčem, která byla již dříve popsána v literatuře. Vzhledem k tomu, že použitá metoda není schopna popsat reálnou situaci daného terčického experimentu, je vliv difrakce na průchod rentgenových svazků zrekonstruován pomocí zjednodušeného modelu. Výsledky tohoto modelu jsou diskutovány v deváté kapitole. Závěrečná kapitola pak shrnuje dosažené výsledky a autor v ní navrhuje možná vylepšení stávajícího numerického algoritmu.

Z předložené práce je zřejmé, že autor splnil diplomový úkol, implementoval model sledování svazku a metodu pro výpočet gradientu hustoty do stávajícího hydrodynamického kódu a provedl simulace přípravy plazmového zesilovacího média a simulace zesilování a průchodu rentgenového záření. Získané výsledky jsou velice povzbudivé pro další snahu o vývoj numerických metod pro hydrodynamické simulace v plazmatu. V souvislosti s předloženou prací bych měl následující dotazy:

- Do modelu je v odstavci 2.5 zavedena umělá viskozita, aby zabránila numerické nestabilitě ve výpočtu. Jaký je její vliv na výsledky simulací s ohledem na fyzikální realitu?
- V práci postrádám zmínku o jiných možnostech modelování průchodu záření skrz plazma. Jaká je výhoda metody sledování svazku oproti jiným metodám?
- Je škoda, že se nepodařilo přesně simulovat průchod rentgenového svazku skrz zesilovací médium. Plánujete pokračovat v práci v doktorském studiu a implementovat popsání algoritmy do pokročilejších simulačních metod?

Z formálního hlediska je práce na velmi dobré úrovni. Text je přehledně členěn, aby výstavba použitého modelu byla pro čtenáře dobře srozumitelná. Práce však neobsahuje příliš velké množství odkazů na aktuální literaturu, což by si vzhledem ke svojí inovativnosti rozhodně zasloužila. Formát referencí je jednotný, jen reference [13] je neúplná. Autor by se však měl vyvarovat překlepů a špatných formulací v angličtině. Namátkou vybírám rovnici (2.1), kde by konvektivní derivace měla být $\partial\alpha/\partial t + (\mathbf{v} \cdot \nabla)\alpha$, v rovnicích (2.49) a (2.50) nemá \mathbf{Y} na pravé straně index diskretizace času. Na straně 16 je pak permitivita v rovnici (3.4) značena ε , zatímco v (3.6) je značena ϵ . Tyto chyby však nemají na srozumitelnost textu významnější vliv. Práci hodnotím jako výbornou a navrhuji klasifikaci stupněm

A - výborně.

V Horních Beřkovicích dne 17. srpna 2021

RNDr. Martin Mašek, Ph.D.