

Posudek vedoucího diplomové práce

Autor práce: Bc. Martin Šach
Název práce: Hydrodynamické simulace generování a propagace rentgenového záření v laserovém plazmatu
Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Kuchařík, Ph.D.
Konzultanti: Ing. Jan Nikl
Ing. Miroslav Krůs, Ph.D.

Popis práce: Předkládaná diplomová práce studenta Bc. Martina Šacha se zabývá numerickými algoritmy pro modelování laserového plazmatu v kontextu lagrangeovských hydrodynamických metod. Hlavní motivací je studium plazmatu jako média vhodného k zesilování rentgenového záření.

Na základě předchozí práce studentů KFE využívá diplomant hydrodynamický popis plazmatu založený na metodě konečných prvků. V tomto rámci se pak hlouběji zabývá modely, které během diplomové práce vyvinul nebo rozšířil, hlavně pak:

1. modelem šíření záření v plazmatu založeném na principu raytracingu, který je v práci využit jednak pro modelování absorpce laserového svazku v plazmatu, a dále pro studium difrakčních jevů v oblastech generování rentgenového záření;
2. modelem pro výpočet koeficientu zisku založeném na N-hladinovém popisu neonu-podobných iontů, který umožňuje realisticky popsat profil koeficientu zisku v plazmatu a určit následné zesílení vygenerovaného rentgenového záření.

Celá práce zahrnuje 74 stran textu a obsahuje 33 odkazů na literaturu. Po krátkém úvodu je ve druhé kapitole detailně popsán hydrodynamický model plazmatu založený na konečných prvcích, stejně jako další nezbytné součásti popisu plazmatu (modely tepelné vodivosti, kolizní frekvence, umělé viskozity a postup pro časovou integraci rovnic). Třetí kapitola je věnována modelu raytracingu, který diplomant implementoval a otestoval na řadě různých výpočetních sítí pro ověření robustnosti, a který porovnal s analytickým řešením pro vybraný profil hustoty plazmatu. Další kapitola popisuje různé modely absorpce energie laseru v plazmatu, včetně nově vyvinutého modelu založeného na řešení Fresnelových rovnic, který poskytuje realističtější absorbovaný profil na počátku simulace. Následuje popis přesnějšího N-hladinového modelu pro výpočet koeficientu zisku, který diplomant zobecnil z dříve publikovaného tříhladinového modelu, a jehož vlastnosti v práci ověřuje na typických hodnotách hustot a teplot plazmatu. Kapitola 6 je věnována metodám pro výpočet gradientu hustoty na hranách výpočetní sítě z diskrétních buněčných hodnot, jehož přesná hodnota je nezbytnou součástí modelu raytracingu, ovlivňující směr průchodu paprsků mezi buňkami. Student popisuje tři různé metody výpočtu a analyzuje jejich konvergenci a také jejich vliv na trajektorii paprsků. V kapitole 7 je model raytracingu porovnán s jednodušším modelem WKB, který byl ve zvoleném hydrodynamickém kódu dostupný, a také s obdobnou implementací raytracingu v odlišném kódu založeném na metodě konečných diferencí. Konečně v kapitole 8 se student dostává k realistickým simulacím interakcí vícepulzového laserového svazku s terčem, na kterých student ukazuje vliv šířky pulzu na výsledný profil koeficientu zisku. Následně je jeden z těchto profilů využit v poslední kapitole pro demonstraci difrakčních efektů při průchodu paprsků takto vygenerovaným plazmatem v zóně zisku, které jsou verifikovány pomocí semi-analytického přístupu.

Úroveň práce: Práce je technicky vypracována na vysoké úrovni. Je napsána v anglickém jazyce a až na několik nevýznamných drobností (chybějící členy nebo čárky mezi větami) nemám k jazykové stránce větší připomínky.

Obsahově považuji práci také za velmi zdařilou a přínosnou. Za zásadní výsledek považuji hlavně vyvinutí a implementaci robustní metody raytracingu, umožňující v používaném kódu simulovat nejen realističtější absorpci laseru, ale i průchod a zesilování generovaného rentgenového záření. Všechny modely, kterými se práce zabývá, jsou detailně a přehledně popsány a jejich chování je analyzováno a demonstrováno na typických příkladech. Předložená diplomová práce je tak dalším krokem k praktickému modelu generování rentgenového záření a přispívá k větší realističnosti hydrodynamických simulací.

Připomínky k práci: Práci hodnotím jako velice kvalitní a připomínku k ní mám pouze jedinou. Po popisu všech modelů, na kterých strávil diplomant obrovské množství času, je pak škoda, že je v numerické sekci ukázán vlastně jen jeden typ realistické simulace. Vyvinutý kód lze nyní aplikovat na širokou škálu problémů a nějaký další vybraný problém mohl být v práci ukázán. Stejně tak mohla být některá simulace provedena na větší výpočetní síti, i když na druhou stranu naprosto chápu zmiňované problémy s provedením čistě lagrangeovské simulace na jemné síti. V kontextu celé práce však tyto nedostatky nejsou zásadní a vzhledem k rozsahu a obsahu práce je považuji za akceptovatelné.

Do diskuze navrhuji následující dotaz. Prezentované výsledky jsou simulovány ve 2D kartézské geometrii. Mohl by student zhodnotit, jak obtížné by bylo rozšíření modelů na 2D cylindrickou geometrii, a také rozšíření modelu raytracingu do 3D ?

Hodnocení: Předložená práce vyhovuje požadavkům kladeným na diplomovou práci, splňuje všechny cíle uvedené v jejím zadání a přináší nové, dosud nepublikované poznatky. Doporučuji práci k obhajobě a navrhuji ji klasifikovat stupněm **A (výborně)**.

V Praze, 8. srpna 2021

doc. Ing. Milan Kuchařík, PhD.