

## Posudok školiteľa bakalárskej práce

*Autor práce:* David Gregocki

*Názov práce:* Charakterizace plazmových vln generovaných intenzívnými laserovými impulzmi

Predložená bakalárska práca sa venuje technike urýchľovania elektrónov brázdovou vlnou vybudenu intenzívnym laserovým impulzom, známej viac pod anglickým názvom „laser wakefield acceleration“. Pri tomto type urýchľovania sa ultrakrátky vysokointenzívny laserový impulz, s trvaním len pár desiatok femtosekúnd, šíri opticky transparentnou plazmou. Impulz vytláča z oblasti vysokej intenzity elektróny tak, že za sebou vybudzuje plazmovú, tzv. brázdovú vlnu s pozdĺžnym elektrickým poľom periodicky meniacim polaritu. Elektróny z plazmového pozadia, ktorým je udelená správna počiatočná hybnosť, sa môžu v urýchľovacej časti brázdovej vlny zachytiť a ďalej urýchľovať. Táto metóda urýchľovania umožňuje dosiahnuť relativistické energie elektrónov až na tisícnásobne kratších vzdialenostiach než konvenčné urýchľovače, vďaka čomu je urýchľovanie na brázdovej vlne aktuálne veľmi populárnou výskumnou oblasťou. Jednou z hlavných výziev súčasného výskumu je i vizualizácia štruktúry brázdovej vlny, ktorá pomáha objasniť mnohé fyzikálne procesy spojené s urýchľovaním. Na túto problematiku nadväzuje práca študenta, ktorá sumarizuje momentálne používané zobrazovacie techniky a na základe ich analýzy navrhuje, ako by sa najvýhodnejšie dal zrekonštruovať profil plazmovej hustoty vytvorený brázdovou vlnou, ktorý nie je priamo pozorovateľný.

Bakalárska práca je napísaná v slovenskom jazyku. Delí sa na úvod, štyri kapitoly, záver, zoznam literatúry a tri obrázkové prílohy. V prvej kapitole sa autor zoznamuje so základným princípom fungovania laserov. Špeciálne sa zamerá na spôsoby generácie vysokointenzívnych laserových impulzov s ultrakrátkym trvaním. Následne sa zaoberá základnými vlastnosťami plazmového skupenstva. V závere kapitoly opisuje základné charakteristiky interakcie vysokointenzívnych impulzov a plazmy. V druhej kapitole je podrobne opísané produkovanie plazmovej brázdovej vlny. Študent takisto zahrnul urýchľovanie elektrónov brázdovou vlnou do kontextu ostatných metód urýchľovania elektrónov v plazme, pričom zvýraznil práve výhody urýchľovania brázdovou vlnou. Veľmi vhodné bolo i doplnenie krátkeho prehľadu spôsobov, akým sa injektujú krátke elektrónové zväzky do brázdovej vlny. V tretej kapitole sa už autor sústreďuje konkrétne na techniky zobrazovania profilu hustoty plazmy vytvoreného brázdovou vlnou, a to predovšetkým na optické metódy.

Na základe poznatkov získaných pri písaní tretej kapitoly autor vo štvrtej kapitole zisťuje, že spomedzi opísaných metód sa tieňografia javí ako najvhodnejšia pre experimentálnu diagnostiku brázdovej vlny. Zároveň navrhuje, že by sa mohol pri diagnostike použiť tomografický prístup, t. j. získať viacero 2D tieňografických projekcií a z toho zrekonštruovať 3D obraz brázdovej vlny. Autor najprv zdôvodňuje svoju voľbu a následne popisuje použité rekonštrukčné algoritmy, vrátane ich ukážky na príklade jednoduchého obrázku. Ďalej sa už pokúša určiť koľko tomografických projekcií a aké rozloženie by sme potrebovali na rekonštrukciu profilu hustoty modulovaného brázdovou vlnou. V rámci bakalárskej práce sa zatiaľ zamerá len na dva dvojdimenzionálne profily hustoty plazmy. Tie získal z výsledkov tzv. particle-in-cell numerických počítačových simulácií, ktoré boli publikované v rámci iných štúdií. Použitie vlastnej simulácie by bolo síce vhodnejšie, tento aspekt však nebol súčasťou zadania práce.

Problematickým pri spracovaní výsledkov sa javí prístup pri určovaní rozloženia a počtu projekcií. Autor na prvej simulácii ukazuje, ako by vyzerala rekonštrukcia brázdovej vlny pri použití určitého počtu projekcií. Pritom ale nekomentuje, aké sú uhlové vzdialenosti medzi jednotlivými projekciami. Z textu sa dá dovŕtiť, že sa pravdepodobne jedná o projekcie s rovnomerným uhlovým rozstupom  $1^\circ$ . Čítanie práce by sprehľadnilo jednoduché schematické grafické

znázornenie rozloženia projekcií. Študentov komentár ku konfiguráciám projekcií sa vylepšuje pri analýze druhej simulácie, kde uvádza celkový uhlový rozsah pozorovania, ako i uhlové rozstupy medzi jednotlivými projekciami. Sám prichádza na spôsoby rozloženia uhlov, ktoré vedú k menšiemu, a teda experimentálne výhodnejšiemu počtu projekcií, pričom stále obsahujú dostatočné množstvo informácie. Zároveň vyberá najlepšiu konfiguráciu na základe hodnoty indexu štruktúrálnej podobnosti (skrátene SSIM), ktorá určuje podobnosť medzi pôvodným obrazom a jeho rekonštrukciou. Tento postup by mohol byť dobrou metódou na identifikáciu presnosti rekonštrukcie, pretože prihliada na ľudské vnímanie štruktúrálnej informácie v obraze. V práci však chýba nejaká systematická ukážka, ktorá by potvrdila, že táto voľba je na určovanie kvality obrazu skutočne vhodná, napr. vynesenie závislosti SSIM na počte projekcií pre rôzne rozsahy pozorovacích uhlov do grafu, kde by mohla byť prípadná závislosť zreteľnejšia. Vo všeobecnosti nie je z textu jasné, prečo analyzoval práve tie uhlové rozpätia, ktoré sú ukázané v texte. V závere autor zhrňa výsledky svojho výskumu. Oceňujem študentovu analýzu pri sumarizácii výsledkov a obsiahlu polemiku nad možnými budúcimi vylepšeniami.

Z formálneho hľadiska nemám k bakalárskej práci veľa pripomienok. V práci sa často objavuje gramatická chyba v podobe chýbajúcej či prebytočnej čiarky, čo trochu znižuje prehľadnosť v texte. V konečnom dôsledku sa ale práca číta príjemne a je z nej poznať, že študent sa problematikou zaoberal dopodrobna. Zároveň sú kapitoly a podkapitoly roztriedené logicky. Ku grafickému prevedeniu tiež nemám všeobecne výhrady. Domnievam sa ale, že použitie niektorých obrázkov je nadbytočné. Napr. Obr. 4.4 a Obr. 4.7 sú úplne identické. Chápem pri tom autorov zámer porovnávať daný obrázok s iným obrázkom v rámci jednej strany, to sa však dalo vyriešiť i iným spôsobom, napr. umiestnením troch obrázkov vedľa seba. Mierne rušivo tiež pôsobia niektoré typografické nepresnosti, ako napr. nadrozmerná veľkosť písma v názvoch niektorých podkapitol v obsahu. Nepovažujem to však za zásadný faktor pri hodnotení práce. Zoznam literatúry obsahuje 100 odkazov, čo pokladám v bakalárskej práci za nadpriemerné.

Študent prejavil počas písania práce veľký záujem o danú odbornú oblasť, často uvažoval i nad rámec jeho aktuálnej úlohy. Celkovo by som vyzdvihla študentovu schopnosť pracovať s literatúrou. Počas tvorby rešerše nemal najmenší problém s orientáciou v zahraničných zdrojoch, dokázal ich samostatne spracovať a pospájať do celistvej formy. Bolo vidieť, že si načítal veľké množstvo publikácií. Je však škoda, že si študent nevyhradil dostatok času i na výsledkovú časť práce, a to i na úkor niektorých detailov v teoretickej časti. Uvedené výsledky sa dali určite lepšie metodicky spracovať a zároveň mohli byť podľa môjho názoru viac rozšírené. Napriek spomenutým výhradám má ale podľa môjho názoru bakalárska práca celkovo veľmi dobrú úroveň a spĺňa navrhnuté zadanie. Prácu jednoznačne k obhajobe odporúčam a navrhujem známku **B (veľmi dobre)**.

V Prahe dňa 23.8.2021

Ing. Dominika Mašlárová