

## Posudok školiteľa bakalárskej práce

*Autor práce:* Patrik Puškáš

*Názov práce:* Měření délky elektronového svazku urychleného laserem generovanými plazmovými vlnami

Predložená bakalárska práca sa venuje technike urýchľovania elektrónov brázdovou vlnou vybudenou 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 svojej 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 poľa brázdovej vlny zachytiť a naďalej urýchľovať. Injektované elektróny formujú kompaktné elektrónové zväzky s typickou dĺžkou v ráde pár femtosekúnd. 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 samotná detekcia ultrakrátkych javov. Na túto problematiku nadväzuje práca autora, ktorá sa zaoberá meraním dĺžky elektrónového zväzku. Sústreďuje sa predovšetkým na metódu koherentného prechodového žiarenia produkovaného pri prechode elektrónového zväzku tenkou kovovou fóliou, ktorá sa zatiaľ ukázala ako najspolahlivejšia pri určovaní dĺžky elektrónových zväzkov. Práca ukazuje, aké faktory je potrebné zvážiť pri použití tejto diagnostiky v reálnom experimente.

Bakalárska práca je napísaná v slovenskom jazyku. Delí sa na úvod, štyri kapitoly, záver a zoznam literatúry. V prvej kapitole sa študent zoznamuje so základným princípom fungovania laserov. Špeciálne sa sústreďuje na spôsoby generovania vysokointenzívnych laserových impulzov s ultrakrátkym trvaním. Druhá kapitola je zameraná na interakciu plazmy a laserového impulzu, a to predovšetkým na urýchľovanie brázdovou vlnou. Autor najprv sumarizuje základné vlastnosti plazmového skupenstva a charakteristiky interakcie vysokointenzívnych impulzov a plazmy. Následne logicky nadväzuje fyzikou produkovania plazmovej brázdovej vlny. Urýchľovanie brázdovou vlnou je taktiež zahrnuté do kontextu ostatných metód urýchľovania elektrónov v plazme, s ktorými ju v krátkosti porovnal. V tretej kapitole sa už autor konkrétne sústreďuje na techniky merania dĺžky elektrónových zväzkov. Podrobne rozoberá hlavne metódu koherentného prechodového žiarenia a vysvetľuje, prečo je táto technika najvhodnejšou pre danú diagnostiku.

Štvrtá kapitola je zacielená priamo na výsledky. Autor najprv študuje vlastnosti žiarenia generovaného elektrónovými zväzkami s typickými profilmi hustoty, ktoré si matematicky zadefinoval. Následne na základe analýzy pomocou vlastného kódu v Matlabe určuje, aké vlastnosti vykazuje spektrum generované z elektrónových zväzkov s jednotlivými rozdeleniami hustoty. V texte je uvedené, že všetky grafy zobrazujúce tieto rozdelenia na Obr. 4.1. sú normované k jednej. Na prvý pohľad je ale zrejmé, že asymetrické Gaussovo rozdelenie má maximálnu hodnotu vyššiu ako jedna. Táto chyba mohla mať dopad i na priebeh finálneho frekvenčného spektra. Kladne ale hodnotím rozbor maxim v spektre pri rovnomernom profile elektrónového zväzku, kde študent navrhuje, ako by sa rovnomerné rozdelenie dalo odlišiť od ostatných ukázaných rozdelení s postupným voľnejším poklesom hustoty na okrajoch. Detekcia rovnomerného rozdelenia hustoty urýchľovaného zväzku je z praktického hľadiska urýchľovania veľmi prínosná, pretože takýto zväzok spôsobuje moduláciu brázdovej vlny s rovnomerným urýchľovacím gradientom. V druhej časti štvrtej kapitoly sa študent zaoberá možnosťou rozlíšenia jednotlivých za sebou urýchľovaných elektrónových zväzkov v rôznych periódach brázdovej vlny. Okrem viacerých ideálne zadefinovaných prípadov analyzuje i realistický prípad v nedávno publikovanom článku. Počet zväzkov v tomto článku bol určený len na základe rozdielu ich energií. Študent v práci ukazuje, ako

by práve doplnenie metódy koherentného prechodového žiarenia pri tomto experimente mohlo pomôcť jednoznačnejšej diagnostike. Výsledkovú časť práce hodnotím ako veľmi prínosnú s veľkým potenciálom na ďalšie rozšírenie. V závere autor zhŕňa výsledky svojho výskumu a navrhuje, na aký frekvenčný rozsah by sa mala diagnostika v reálnom experimente zamerať. Zároveň diskutuje limity svojej doterajšej práce a predstavuje nápady na vylepšenie. Vo všeobecnosti oceňujem študentovu analýzu a interpretáciu získaných výsledkov.

Z formálneho hľadiska je práca na veľmi dobrej úrovni. Text je prehľadne a logicky členený. Obsahuje relatívne malé množstvo preklepov. Niekedy sa v práci objavujú drobné gramatické a štylistické nedostatky, ako použitie veľkého písmena „L“ v slove laser, či použitie anglických názvov v texte pred ich neskorším slovenským uvedením (napr. zosilnenie kmitočtovo rozmetaného impulzu, angl. chirped pulse amplification). Použité symboly sú vo väčšine prípadov riadne vysvetlené v rámci textu. V niektorých grafoch sa objavuje veľmi obvyklá chyba, kde je symbol  $\mu$  v jednotke pre mikrometer napísaný kurzívou. V hlavnom texte sa však tejto chybe študent vyvaroval. Celkovo sa v práci dobre orientuje. Graficky pôsobí príjemne a zahŕňa veľké množstvo obrázkov vhodne doplňujúcich text. Zoznam literatúry obsahuje 41 riadne citovaných odkazov a je v rámci zadania a dĺžky tejto práce dostačujúci. Autor cituje dobre známe významné publikácie, ako aj prelomové aktuálne štúdie v danom odbore a používa jednotnú citačnú normu. Pri oddeľovaní mien dvoch autorov by som sa ale vyhla anglickému „and“ v prípade použitia slovenskej citačnej normy.

Študent sa po celý čas prípravy bakalárskej práce živo zaujímal o problematiku a reagoval na navrhnuté podnety. Dokázal samostatne pracovať, v prípade nejasností kládol vhodné otázky. Navyše budú výsledky jeho práce pravdepodobne aplikované pri diagnostike v rámci plánovaných experimentov na Ústave fyziky plazmatu AV ČR. V prípade úspešnej obhajoby a prijatia na nadväzujúce magisterské štúdium autor práce sám plánuje túto diagnostiku realizovať. Študent sa bakalárskej práci venoval pravidelne, do budúcnosti mu ale odporúčam vymedziť si viac času na opravy prípadných chýb, ktoré zbytočne znižujú jej výslednú kvalitu. Napriek tomu má bakalárska práca celkovo veľmi dobrú úroveň a vyhovuje všetkým podmienkam na pripustenie k obhajobe. Zároveň spĺňa vopred navrhnuté zadanie. Prácu preto k obhajobe odporúčam a navrhujem známku **B (veľmi dobre)**.

V Prahe dňa 23.8.2021

Ing. Dominika Mašlárová