ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Nanoparticle-Assisted Laser Wakefield Electron Acceleration**
Jméno autora:	**Bc. Alžběta Špádová**
Typ práce:	diplomová práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra fyzikální elektroniky
Oponent práce:	Ing. Vojtěch Horný, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	ELI Nuclear Physics, Măgurele, Rumunsko

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání — náročnější

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Zadání sestává ze tří bodů a je sepsáno v rámci tradice na katedře, tj. (dle mého názoru až příliš) podrobný teoretický úvod, potom řešení úkolu a diskuse. Úkolem je optimalizace laserového urychlování elektronů (LWFA) injektovaných z nanočástice pro konkrétní konfiguraci terče a laserového impulzu na pracovišti vedoucích.

Splnění zadání — splněno

Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.

Zadání práce je splněno zcela.

Zvolený postup řešení — vhodný

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Samotnému řešení předcházela důkladná rešerše možných přístupů. Volba cylindrické geometrie a její výhody a také přístup ke 3D simulacím v kapitole 5.2 jsou jasně odůvodněny.

Odborná úroveň — výborná

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Po odborné stránce je práce napsána výborně. Teoretické kapitoly představují vhodně zvolené jevy z oblasti LWFA a PIC simulací. První kapitola představuje užitečnou databázi vzorců z oblasti fyziky laserového plazmatu.

Formální a jazyková úroveň — výborná

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je psaná anglicky. Jazyková úroveň je výborná. Typograficky je velmi dobrá, nicméně objevil jsem několik překlepů. Rušivě působí časté chybné ne-psaní velkých písmen v bibliografii (např. khz, 3d, fdtd, warp, fourier, …).

Výběr zdrojů, korektnost citací — výborné

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Volba záznamů v literatuře je rozumně podložená, téměř polovina záznamů je novějších než 10 let. Studentka využila relevantní zdroje, žádný zásadní mi tam nechybí. Převzaté prvky jsou řádně odlišeny od vlastních úvah. Bibliografické citace jsou úplné a v souladu se zvyklostmi a normami.

Další komentáře a hodnocení
Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Hlavním výsledkem je numerická parametrická studie vlastností urychlených elektonových svazků injektovaných z nanočástice pro konkrétní konfiguraci LWFA na experimentu ALFA na ELI Beamlines. Závěrem práce je nedoporučení tohoto přístupu pro tuto konkrétní situaci. Z tohoto pohledu se jeví výsledky málo obecné, nicméně přesně toto je požadováno v zadání.
Přístup se jeví vhodnější pro experiment ELBA s větší ohniskovu vzdáleností, avšak vzhledem k objektivní náročnosti potřebných simulací jsou prozatímní nadějné výsledky pouze předběžné. Autorka ovšem prokázala potřebné kompetence pro provádění a zpracovávání těchto náročnějších simulací v budoucnosti.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Diplomová práce Bc. Alžběty Špádové se věnuje atraktivnímu tématu urychlování elektronů na brázdové vlně generované intenzivními laserovými impulsy (LWFA) a využívá nanočástice jako rezervoár pro zachycení a následné urychlení elektronů na relativistické energie. Výhodou této metody je fakt, že všechny zachycené elektrony vstupují do plazmové vlny ve stejné fázi a ve stejný čas, což vede k nízkému energetickému rozptylu.

Struktura práce je dobře organizovaná. První dvě kapitoly poskytují užitečný přehled fyziky LWFA a simulací pomocí metody částicových simulací (PIC). Třetí kapitola hodnotí pokročilé přístupy simulací PIC a jejich vhodnost pro řešení daného problému. Výběr simulačního přístupu ve čtvrté kapitole je výborně odůvodněn. Autorka porovnává možnosti simulací v cylindrické geometrii (kvazi-3D) i v úplném 3D prostoru. Zvláště užitečné je odvození vztahu (4.7), který srovnává numerickou náročnost obou přístupů. Je pochopitelné, že autorce a jejím kolegům se nepodařilo správně zprovoznit PIC kód WarpX s pokročilou funkcí jemného navzorkování simulační mřížky ve zvolené oblasti kolem původní pozice nanočástice, což by ještě více zvýšilo relevantnost těchto simulací.

Výsledky jsou prezentovány v páté kapitole. Metodika výzkumu a volba studovaných parametrů jsou velmi dobře provedeny - zkoumá se závislost vlastností zachyceného elektronového svazku na počáteční poloze, velikosti a materiálu nanočástice při konkrétních parametrech laserového impulzu a hustotního průběhu plazmatu. Je třeba poznamenat, že v této konkrétní konfiguraci (experiment ALFA) s krátkou Rayleighovou délkou je závislost na počáteční podélné poloze nanočástice spíše závislostí na stavu laserového impulzu v okamžiku setkání s nanočásticí. Obecně by toto srovnání mělo být provedeno i pro případy stabilizované a vedené plazmové vlny (experiment ELBA), ale rozumím objektivním obtížím a náročnosti simulace.

Ve závěrečné kapitole mi chybí diskuse o vlivu počáteční příčné polohy nanočástice, možných interakcích s několika nanočásticemi a z toho vyplývající opakované injekci v různých fázích urychlování, stejně jako náznak popisu praktické implementace zkoumaného schématu.

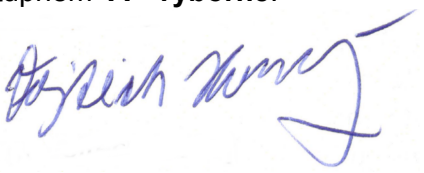
ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Otázky:

1. Mohla byste zhodnotit objektivní překážky schématu pro praktickou realizaci? (Příčná pozice nanočástice, interakce s několika nanočásticemi, vliv těchto na stabilitu urychlovaných elektronových svazků, …)
2. V sekci 5.1.3 mi chybí grafické znázornění srovnávající vlastnosti elektronových svazků (energie, rozptyl, náboj) na poloze a velikosti nanočástice. Mohla byste jej pro obhajobu připravit i s obsažením simulací neprezentovaných v textu (na které je odkazováno na str. 39)?
3. Jak jste v grafech s hustotou elektronů a elektrickým polem oddělovala elektrické pole laserového impulzu a plazmové vlny?

Celkově hodnotím předloženou závěrečnou práci klasifikačním stupněm **A - výborně**.



Datum: 18. května 2023 v Magurele Podpis:

Poznámka: Na str. 41 se diskutuje velmi velké elektrické pole v okolí nanočástice a na str. 44 se hodnotí, že větší elektrické pole je generováno v okolí menší nanočástice a že příčina tohoto chování je nejasná. Jelikož jsem se podobnému tématu věnoval [Horný, V., & Veisz, L. (2021). Generation of single attosecond relativistic electron bunch from intense laser interaction with a nanosphere. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, *63*(12), 125025.], dovolím si odkázat na práci [Liseykina, T. V., Pirner, S., & Bauer, D. (2010). Relativistic attosecond electron bunches from laser-illuminated droplets. *Physical Review Letters*, *104*(9), 095002.], která se fenoménu zesilování elektrického pole na nanočástici věnuje.