

Oponentní posudek na diplomovou práci posluchače Matěje Dvořáčka na téma

Generace vysokých harmonických frekvencí v hustotně modulovaném prostředí

Předložená diplomová práce pana Bc. Matěje Dvořáčka, vykonaná na pracovišti Fyzikálního ústavu AV ČR (ELI Beamlines), ve spolupráci s Katedrou fyzikální elektroniky FJFI ČVUT v Praze, je věnována teoretickým základům a numerickým simulacím, na základě tříkrokového modelu, generace vysokých harmonických frekvencí (HHG), spolu s experimentálním ověřením, jakožto perspektivního zdroje koherentního rentgenového záření. Práce se zabývá jednak úvodní rešerší dané problematiky, dále vlastním tříkrokovým modelem, jeho vysvětlením a aplikací, ve formě vytvořeného numerického nástroje (v prostředí Matlab), představením a diskuzí řady získaných zajímavých výsledků a experimentální realizací. Takováto problematika představuje dnes vysoce perspektivní a efektivní oblast výzkumu v oblasti laserové techniky a nelineární optiky, nejenom z pohledu nových znalostí, ale i díky perspektivním aplikacím. Jedná se tedy o téma diplomové práce velmi aktuální.

Posuzovaná diplomová práce je psána v anglickém jazyce, má střední rozsah - 58 stran, obsahuje 34 obrázků, několik tabulek, odkazů na literaturu je v závěru práce uvedeno 23 (zde bych očekával bohatší seznam literatury, ve vztahu k tématice). Práce je členěna do 7 hlavních, číslovaných kapitol, spolu s nečíslovaným úvodem a závěrem práce, seznamem literatury, součástí je též český a anglický abstrakt, a 2 přílohy, zahrnující jednak tabulky relevantních parametrů, jednak výpisy vytvořených počítačových kódů. Po velmi stručném úvodu (který je až příliš stručný, uvítal bych standardní přehlednější a podrobnější strukturu – motivace, cíle práce, členění práce), je v 1. kapitole představena úvodní rešerše možností generace vysokých harmonických – HHG, které jsou předmětem této práce. Je zde krátce představen 3-krokový model a podmínka fázového synchronizmu. Zde bych uvítal podrobnější zmínku o aktuálním stavu v oblasti generace HHG. Další druhá kapitola se již podrobně věnuje představení modelu šíření HHG v plynu, pozornost je věnována popisu evoluce fáze, šíření v kombinovaném prostředí, spolu se základními charakteristickými veličinami (absorpce prostředí, koherenční délka). Toto je základem pro vytvoření programu pro HHG simulace (v prostředí MATLAB, kapitola 3), kde jsou postupně diskutovány jednotlivé aspekty – procedury algoritmu, jako akustické modulace tlaku v cele, výpočet signálu harmonických vln, spolu s grafickou reprezentací celého kódu, dále analýza fáze a vlnového čísla, v neposlední řadě vlastní testování programu (*benchmarking*). V následující 4. kapitole autor popisuje optimalizaci generace jednotlivé samostatné frekvence, pomocí variace jednotlivých klíčových parametrů (poměr absorpce a koherenční délky, evoluce fáze, geometrická disperze, závislost ionizace na harmonické modulaci). Jsou diskutovány též aspekty absorpce HHG a monochromacity v rámci kvazifázového přizpůsobení, výsledky jsou prezentovány. Další důležitá (pátá) kapitola se věnuje návrhu impulzu pro kvazifázový synchronizmus v hustotně modulovaných terčích (ionizace optickým impulzem, návrh svazku, návrh optického uspořádání). Další šestá kapitola diskutuje výsledky získané pro hustotně modulované plynové terče. Je zde porovnán případ stojaté akustické vlny a plynových jetů, z praktického pohledu. V této části bych uvítal větší podrobnost, porovnání s alternativními pohledy, apod., byť je zřejmé již přímé směřování k experimentu v 7. kapitole. 7. kapitola se věnuje experimentální implementaci hustotně modulovaných terčů, s využitím Besselova-Gaussova svazku. Je představeno a diskutováno experimentální schéma, jak pro čistě Gaussův svazek, tak pro Besselův-Gaussův svazek, spolu s výsledky XUV spektrometru. Výsledky jsou krátce diskutovány, uvítal bych bohatší diskuzi, porovnání s literaturou, apod., pokud je možné. Práce je formálně uzavřena závěrem (zcela nevhodně je kapitola nazvána, stejně jako předchozí, Závěr a diskuze, ačkoliv zde již žádná diskuze obsažena není. Práce je dále uzavřena seznamem použité literatury, jak jsem již zmiňoval, seznam mohl být, domnívám se, poměrně významně rozšířen. I při takto krátkém seznamu však autor nevěnoval vůbec pozornost formalitám zápisu a jednotlivé položky uvedl tak, jak je zřejmě zkopíroval, bez další editační péče. Např. jména autorů jsou zde uvedena nejméně třemi různými způsoby. Ani u citovaných studentských prací, resp. skript není správně zapsáno, např. chybí nakladatel, tedy ČVUT, dále chybí popis, „o co se jedná“ (např. diplomová práce, skripta, apod.), názvy časopisů jsou někde psány ve zkratkách, někde rozepsány, v příští práci již tomuto bude jistě věnována patřičná pozornost. Práce je dále formálně zakončena dodatky: 1) tabulkový přehled parametrů – zde bych uvítal alespoň nějaký komentář k tabulkám, jde o hodnoty z literatury, či o hodnoty autorem získané, apod. 2) Výpis kódů (Matlab): *hhg82gf.m* a *sound2.m*. Zde bych doporučil (je zřejmé, že zřejmě nezbyval čas v závěru práce) následný podrobnější komentář přímo do kódů programů, pro snazší budoucí využití.

Co se týče formální stránky, práce je vypracována kvalitním způsobem, obsahuje poměrně malá množství formálních chyb a překlepů, které není třeba jmenovat. Anglický jazyk, pokud mohu posoudit, je na velmi dobré úrovni. Zápis citované literatury je bohužel velmi odbytý, viz komentář výše, také v pořádku. Dle mého názoru je struktura vlastního textu zvolena vhodně, text je vyváženou kombinací obecného úvodu, teorie a rešerše a následně vlastních výsledků. U některých efektů bych přesto uvítal podrobnější popis.

Pokud se jedná o věcnou stránku, je zřejmé, že cíle předložené náročně zadané diplomové práce splněny, jednalo se o komplexnější zadání, s návazností na budoucí možné experimenty v rámci ELI Beamlines. Z odborného hlediska, pro další rozvoj problematiky, tak považuji diplomovou práci za velmi přínosnou a užitečnou. Jsem přesvědčen, že výsledky mohou být významné pro další pokračování, student dle mého názoru zvládl náročnou teoretickou i navazující experimentální problematiku velmi dobře. V dalších návazných aktivitách bude možno na tuto práci jistě dobře navazovat.

K předložené diplomové práci mám následující dotazy, resp. připomínky, ke kterým by se autor mohl v rámci obhajoby (pokud časové možnosti dovolí) vyjádřit:

- 1) Jaké jsou výhody využití Besselova-Gaussova svazku oproti prostému Gaussovu svazku, viz obr. 2 v textu práce? V práci mi poněkud chybí alespoň zmínka o matematickém popisu BG svazku, prosím o komentář.
- 2) Dále bych poprosil o podrobnější vysvětlení rovnice (34), která je použita jako analytický výsledek pro porovnání s numerickými simulacemi dle vytvořeného kódu.
- 3) V souvislosti s kapitolou 4, ohledně optimalizace generované harmonické frekvence, bych uvítal, pokud již nebude představeno v úvodní prezentaci, obecnější syntetický pohled na celý optimalizační problém, včetně vah (důležitosti) parametrů, resp. jejich zanedbání, volby pořadí, apod., pro získání finálního optima.
- 4) Obdobně jako v otázce 4, bych dále poprosil o komentář k rovnici (39), popisující aproximaci rychlosti ionizace, tzv. ADK model, v souvislosti s výsledkem uvedeným na obr. 20 (porovnání případu Gaussova impulsu a ADK modelu).
- 5) Poprosil bych o vysvětlení funkčnosti návrhu trysky na obr. 28 a 29, případně s možnostmi dalšího vylepšení?
- 6) Na obr. 34-c), poprosil bych o komentář, co způsobuje změnu charakteru závislosti (monotónně vzrůstající, resp. vykazující saturaci – maximum), pro dané řády generace HHG?
- 7) Konečně, plánuje student pokračovat v dané či příbuzné problematice i v rámci doktorského studia?

Závěrem lze konstatovat, že předložená diplomová práce pana Matěje Dvořáčka dle mého názoru splnila zadání, ve všech bodech, student zvládl zejména pochopení fyzikálního modelu a jeho numerickou implementaci, spolu s experimentální realizací, dosáhl již několika zajímavých výsledků, čímž splnil i veškeré požadavky na tento typ práce kladené. I po formální stránce dosahuje práce velmi dobré kvality. Jelikož předpokládám také pozitivní reakce na vybrané dotazy a připomínky, jakož i kvalitní vlastní prezentaci, práci doporučuji k obhajobě. V rámci mého hodnocení práce mezi A – B se nakonec, díky zmiňovaným formálním prohřeškům a místy přílišné stručnosti, přikláním spíše k **velmi dobře (B)**, student tak bude mít možnost přesvědčit komisi svým výkonem o lepším hodnocení.

.....
doc. Ing. Ivan Richter, Dr.
Katedra fyzikální elektroniky
FJFI ČVUT v Praze