

Posudek externího školitele specialisty na disertační práci
Ing. Lukáše Indry

Laserové zesilovače ultrakrátkých pulsů na principu optického parametrického zesílení

V předkládané disertační práci jsou shrnuty výsledky výzkumné práce Ing. Lukáše Indry zabývající se zejména studiem generace stabilního superkontinua z pikosekundových pulsů s vlnovou délkou 1030 nm. Jedná se o převážně experimentální práci, která probíhala na Fyzikálním ústavu AV ČR v rámci projektu ELI Beamlines během jeho doktorandského studia na katedře fyzikální elektroniky FJFI ČVUT v Praze.

Cílem této práce bylo nalézt praktický způsob jak výrazně zjednodušit čelo vysokorepeticčního femtosekundového laserového systému (tzv. Front End) pomocí generace superkontinua ve vhodném krystalu. Laserový systém L1 ALLEGRA využívá Ti:safírový oscilátor, jehož výstup je frekvenčně rozšířen pomocí CFBG a 6 fs je takto prodloužen na 3 ps pulsy. Tyto pulsy jsou pak následně širokospektrálně zesíleny v parametrických zesilovačích (OPCPA), které musí být synchronně čerpány opět 3 ps pulsy z čerpacích laserů na bázi Yb:YAG, což vyžaduje poměrně složitou synchronizaci mezi těmito optickými pulsy. Lukáš Indra ve své práci ukázal, že Ti:safírový oscilátor lze nahradit tím, že část energie čerpacího 3 ps pulsu se pomocí generace superkontinua využije ke generaci širokopásmového výstupu, který se pak přímo zesílí pomocí stejného čerpacího pulsu v OPCPA a odpadne tak i nutnost optické synchronizace čerpacího laseru s Ti:safírovým oscilátorem. V předchozích pracích byly ke generaci stabilního superkontinua vždy používány femtosekundové pulsy. Lukáš Indra jako první ukázal, že dostatečně stabilní superkontinuum z hlediska energie, spektra a fáze lze generovat i z pikosekundových pulsů v 130 mm dlouhém YAG krystalu. Následně se pak věnoval velmi detailnímu systematickému zkoumání parametrů, které mají vliv na reprodukovatelnost a stabilitu výsledného superkontinua upravoval k tomu účelu i tři různé regenerativní zesilovače. Velmi zajímavým výsledkem je také to, že stabilita energie generovaného širokospektrálního pulsu ve viditelné a NIR oblasti je za určitých podmínek výrazně vyšší než stabilita čerpacího pulsu.

Tyto velmi zajímavé výsledky považuji za hlavní vědecký přínos této disertační práce. Výsledky prvotně publikoval již v roce 2017 v časopise Optics Letters. Od té doby měla tato publikace již 20 citací (bez autocitací). Následně se jeho výzkum zabýval zejména další charakterizací procesu generace superkontinua a snaže pochopit důvody vysoké stability. Výsledkem je společná publikace s Alexandrem Špačkem roce 2020 nazvaná „*Stability mechanism of picosecond supercontinuum in YAG*“. Autor prezentoval své výsledky také na mezinárodní konferencích CLEO 2017 a jako spoluautor je uveden na dalších 13-ti příspěvcích. Seznam všech publikací a konferenčních příspěvků je uveden v závěrečné části dizertace.

Výsledky výzkumu generace superkontinua autor aplikoval přímo do nově vyvíjených femtosekundových systémů na ELI Beamlines. S ohledem na složitost těchto laserových systémů pracoval autor na těchto projektech již v širším vědeckém týmu a výsledku jsou tedy v disertační práci popsány jen stručně v kapitole 5, ale představují rozsáhlou experimentální a technickou práci. Samostatně a dlouhodobě pracoval zejména na vývoji celého čela řetězce pro L2-DUHA laser (kapitola 5.1), kde vylepšil existující regenerativní zesilovač a zdvojnásobil jeho opakovací frekvenci na 2 kHz a zároveň i energii v pulsu a tento výstup pak použil na generaci superkontinua a stabilních NIR pulsů v YAG krystalu a na jejich parametrické zesílení. Pomocí generace rozdílové frekvence byly pak úspěšně generovány MIR pulsy s centrální vlnovou délkou 2200 nm s délkou pulsu méně jak 50 fs. Podobně pro L2-DUHA laser zprovoznil i stabilní generaci superkontinua a předzesílení NIR pulsů s vysokým pikosekundovým kontrastem nezbytně nutným pro PW lasery. Pro nový L1-FSYNC laserový systém (kapitola 5.2) plně synchronizovaný

s L1-ALLEGRA opět postavil a zoptimalizoval zdroj NIR ps pulsů na bázi stabilního superkontinua s výrazně lepšími výsledky než by tomu bylo při použití Ti: safírového oscilátoru.

Ing. Lukáš Indra přistupoval k doktorandskému studiu po celou dobu s nadšením pro tuto problematiku postupoval vždy systematicky a cílevědomě. Během studia získal dle mého názoru obrovské množství praktických zkušeností s vývojem a provozem velkých laserových systémů a obecně se složitou experimentální technikou.

Celkově lze konstatovat, že výsledky prezentované v disertační práci splňují stanovené cíle a představují nové vědecké poznatky. Proto doporučuji, aby bylo zahájeno řízení obhajoby disertační práce a aby po úspěšném obhájení byla Ing. Lukáši Indrovi udělena vědecká hodnost „Ph.D“.

V Praze dne 24. března 2023
Externí školitel specialista

ing. Pavel Bakule, DPhil.