

Oponentský posudek disertační práce
Lukáše Indry
„Generation and application of supercontinuum
for high power laser systems“

Předložená disertační práce Lukáše Indry se zabývá studiem generování superkontinua (širokospektrálního laserového záření) pomocí pikosekundových laserových impulzů a jeho následným parametrickým zesilováním. Jedná se o velmi aktuální téma, protože využití superkontinua jako zdroje signálu v optických parametrických zesilovačích zjednodušuje vysokovýkonové optické parametrické systémy tím, že odpadá komplexní synchronizace dvou nezávislých zdrojů laserových impulzů na úroveň desítek femtosekund. Jedná se o přístup, který je používán v menších systémech a systémech, kde je superkontinuum generováno z femtosekundových impulzů. Generování superkontinua z pikosekundových (~1 ps) impulzů je náročnější a obecně trpí zhoršenou stabilitou, či poškozením materiálu, ve kterém dochází ke generování superkontinua. Motivací práce, která byla prováděna na ELI Beamlines, byla realizace optických parametrických systémů zesilujících prodloužené impulzy (angl. optical parametric chirped pulse amplification – OPCPA).

Samotná sestava pro generování superkontinua je velmi jednoduchá. Svazek, který může být částečně oříznut kruhovou aperturou, je čočkou soustředěn do krystalu, ve kterém pak dochází k souhře nelineárních jevů a generování superkontinua. Ovšem vlastnosti výsledného superkontinua závisí na parametrech tohoto uspořádání. Postup optimalizace generovaného superkontinua v závislosti na parametrech uspořádání je v této práci názorně představen. Pozoruhodné je, že přestože se v procesu generování superkontinua uplatňuje několik opticky nelineárních jevů, tak se autorovi podařilo najít takové uspořádání, kdy energetická stabilita superkontinua převyšuje stabilitu energie vstupních impulzů. V navrženém uspořádání nedochází k poškození krystalu, čímž je umožněn dlouhodobý provoz zdroje superkontinua.

Vysoká stabilita superkontinua je klíčový výsledek pro jeho využití jako signálu v optických parametrických zesilovačích. Aby se vhodnost superkontinua jako signálu pro parametrické zesilovače ověřila, postavil autor systém se dvěma parametrickými zesilovači. Kompresí byly zesílené impulzy zkráceny na délku 22 fs a 13 fs v závislosti na spektrální oblasti, která byla zesilována. Tímto byla vhodnost superkontinua pro následné zesilování ověřena.

Na základě zkušeností s tímto ověřovacím systémem byly sestaveny dva další parametrické vysokovýkonové systémy využívající tento koncept, konkrétně systémy DUHA a F-SYNC, generující intenzivní femtosekundové impulzy. Systém DUHA poskytuje dva výstupy. První má střední vlnovou délku 820 nm. Druhý má vlnovou délku 2,2 μm a v jeho řetězci je generována rozdílová frekvence mezi superkontinuem a čerpacím impulzem, a proto tyto impulzy mají pasivně stabilizován posun mezi obálkou impulzu a fází nosné vlny (angl. carrier envelope offset). V systému F-SYNC je zesilována krátkovlnná část superkontinua.

Samotná disertační práce je čtivá a samotný popis sympaticky stručný a zaměřuje se na podstatné. Ale na několika místech bych uvítal více detailů. Členění práce je standardní. V teoretické části jsou představeny jednotlivé dílčí jevy, které se podílí na generování superkontinua. Jsou uvedeny názorné příklady, které dané jevy a jejich vliv na generování superkontinua ozřejmují. Teoretická část by si zasloužila i popis základních principů optického parametrického zesilování prodloužených impulzů (OPCPA). V experimentální části nejdříve autor popisuje používané pikosekundové čerpací lasery. Následuje klíčová část detailně charakterizující generované superkontinuum v závislosti na parametrech uspořádání. Poslední dvě části představují výsledky parametrického zesílení superkontinua a následné komprese impulzů. Po formální i grafické stránce je práce velmi zdařilá.

Otázky a připomínky:

- Str. 42: Stačí při hledání energeticky stabilní generace superkontinua posoudit směrnicí energetické závislosti prezentované např. na obr. 30? Nebo je vždy nutné posuzovat přímo výsledné fluktuace superkontinua? Rovněž se týká výsledků na stranách 47 a 61.
- Str. 43, obr. 31: Čím je způsobeno, že křivky začínají až na úrovni energie superkontinua cca 5 nJ?
- Str. 46, obr. 33: Minimum prahu generace superkontinua vychází pro pozici krystalu 340 mm. Je pro to nějaké zdůvodnění?
- Str. 48, obr. 35: Tento graf vypadá více zašuměle než jiné grafy. Jaká je příčina? Jaká zde byla pozice krystalu, délka impulzu, atd.?
- Str. 55: Jaký je průběh transmise používaného filtru Asahi Spectra XIS0960? Skutečně klesá intenzita superkontinua okolo vlnové délky 950 sama o sobě?
- Str. 62: Měnil se nějak profil čerpacího svazku se zvyšujícím se počtem oběhů impulzu v regenerativním zesilovači?
- Str. 68: Jaké byly parametry BBO krystalů? Jaké bylo zesílení v jednotlivých krystalech?
- Str. 70, obr. 60: Může autor diskutovat možnost zesilování celého spektra současně? Jaká by byla délka impulzu? Bylo by možné využít koherentní kombinaci impulzů z těchto dvou spektrálních oblastí, kdyby byly vybudovány dvě zesilující větve?
- Str. 76: Byla experimentálně ověřena stabilita posunu mezi obálkou a fází nosné vlny?
- Str. 76: Je navrženo použití objemového kompresoru impulzů ze Suprasil. Nebude problémem B-integrál komprimovaného impulzu?
- Str. 81: Jaká jsou zesílení v jednotlivých stupních parametrických zesilovačů? Jaké jsou vlnové délky dvou režimů, ve kterých pracuje svazek F-SYNC.

Shrnutí:

Cílů práce bylo dosaženo. Výsledky práce jsou originální a jsou velmi přínosné pro komunitu zabývající se ultrakrátkými výkonovými laserovými systémy. Důkazem toho je více než 30 citací autora článku: Lukáš Indra et al., "Picosecond pulse generated supercontinuum as a stable seed for OPCPA," Opt. Lett. 42, 843-846 (2017). Výsledky práce Lukáše Indry našly uplatnění v několika laserových systémech na ELI Beamlines.

Práci hodnotím velmi kladně a doporučuji k obhajobě.

V Praze, 22.09.2023

Ing. Ondřej Novák, Ph.D. (Fyzikální ústav AV ČR)