



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název projektu: Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost

Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/20.0060

Zpráva z účasti na stáži

Datum konání stáže:	1. 7. 2013 – 30. 7. 2013
Navštívené pracoviště:	Centre for Quantum Photonics, University of Bristol, UK
Zahraniční garant:	Prof. Jeremy O'Brien
Účastník stáže:	Mgr. Ivo Straka

Stručný popis navštíveného pracoviště

Centre for Quantum Photonics při Bristolské univerzitě je jedním z předních výzkumných pracovišť na poli kvantové optiky. Skupina profesora Jeremyho O'Briena se zabývá kvantovým počítáním a zpracováním informace, kvantovou metrologií a kvantovou komunikací. V roce 2012 demonstrovala faktorizaci čísla 21 variantou Shorova protokolu, což je dosud nejvyšší číslo faktorizované kvantově informačním algoritmem. Skupina je také známa výzkumem v oblasti optických vlnodů integrovaných do čipu. Tyto kompaktní součástky umožňují provádět kvantově logické operace v mnohem menším měřítku, což je podstatnou vlastností pro budoucí využití fotonických obvodů. S využitím integrovaných děličů světla a teplotních mikrosoučástek ovládajících fázi lze provádět obecné logické operace na kvantových bitech, které jsou kódovány do drah jednotlivých fotonů. Díky těmto operacím byla skupina prof. O'Briena schopna demonstrovat například generaci a měření entanglovaných stavů, které jsou nepostradatelné v mnoha oblastech kvantového zpracování informace, nebo ověření kvantového delayed-choice experimentu, který umožňuje pozorování superpozice částicové a vlnové povahy fotonu v závislosti na míře, v jaké se nechají interferovat.

Průběh stáže

Na úvod stáže jsem absolvoval exkurze po laboratořích, kde jsem byl seznámen s experimentální činností skupiny. Z oblasti kvantové metrologie se jednalo o měření fáze s využitím multikanálových detektorů rozlišující počet detekovaných fotonů. Rovněž jsem se seznámil se zmiňovaným optickým čipem a s bristolskými kolegy jsme diskutovali o použitých zdrojích fotonových párů, kterým se věnuji i na domácím pracovišti v Olomouci.

Experiment, na němž jsem spolu s týmem místních doktorandů pod vedením dr. Lainga pracoval, se týkal konstrukce zdroje jednotlivých fotonů, jejichž přítomnost je hlášena fotonem v jiném kanálu. Principem takovýchto heraldovaných zdrojů jednoho fotonu je spontánní rozpad fotonu čerpacího laserového svazku v nelineárním krystalu na pár korelovaných fotonů o nižší energii. Detekce jednoho z nich časově vymezuje přítomnost druhého. Kvantový stav tohoto hlášeného fotonu vykazuje silně neklasický charakter a jako takový je významným prvkem pro experimentální kvantové zpracování informace. Fyzikálním limitem tohoto systému je proces konverze, který má pravděpodobnostní charakter, a tak nelze eliminovat příspěvky dvou a více fotonů. Velikost těchto nežádoucích příspěvků roste s pravděpodobností generace jednoho fotonu. V návrhu zmiňovaného experimentu je tento nežádoucí trend potlačován multiplexováním zdrojů fotonových párů. Při každé heraldovací události je pak nastaven optický spínač tak, aby byl foton z příslušného zdroje přiveden do výstupního módu. Experimentálně je multiplexování realizováno v čase s pulzním čerpáním o 936 nm. Puls je přiveden do systému děličů a zpožďovacích linek, kde je rozdělen na čtyři pulzy o nižší energii, a ty pak čerpají periodicky pólovaný krystal LiNbO₃. Heraldovací fotony na 671 nm jsou pak detekovány na lavinových fotodiodách a výstupní signál přepíná zpožďovací smyčky u fotonů generovaných na 1550 nm. Tyto smyčky jsou tvořeny děliči s optickými spínači. Tento systém má dva vstupní porty. Proto je parametrický oscilátor čerpán i odraženým čerpacím svazkem v konfiguraci „double-pass“. Tento postup umožňuje zvýšit pravděpodobnost výskytu jednoho fotonu v jednom módu při omezení dvoufotonových příspěvků v porovnání s klasickým přístupem.

V době mé práce v laboratoři byl experiment ve fázi výstavby zpožďovacích linek, optimalizace parametrického oscilátoru a ověření hong-ou-mandelovské interference fotonů z dvou párů vzniklých z jednoho odraženého pulzu. Linka s optickými spínači nebyla zatím do schématu uvedena. Na všech těchto procesech jsem spolupracoval s místními doktorandy a podařilo se nám zkonstruovat vláknové zpožďovací smyčky potřebné pro interferenci generovaných fotonů, omezit šum navazovaný do heraldovacích ramen a zkonstruovat zpožďovací multiplex pro čerpací pulzy. Dalším krokem bude nalezení hong-ou-mandelovské interference u heraldovaných fotonů a kalibrace časového multiplexu, aby bylo možné do experimentu zapojit optické spínače.

Během stáže jsem dostal možnost si prakticky vyzkoušet práci s pulzním zdrojem korelovaných fotonových párů s periodicky pólovaným krystalem. Získané poznatky a zkušenosti budou zúročeny v dalším výzkumu v laboratoři kvantové optiky KO v Olomouci, kde se rovněž věnují konstrukci podobných zdrojů. Z hlediska využitých technologií jsem se prakticky seznámil s problematikou svařování jednomódových optických vláken, s používáním jednofotonových detektorů InGaAs v infračervené oblasti či s využitím FPGA pro vyhodnocování časových korelací detekovaných fotonů.

Během svého pobytu v Bristolu jsem na přednášce s diskusí seznámil zahraniční skupinu s našim výzkumem v Olomouci.

24. července jsem navštívil skupinu profesora Iana Walmsleyho v Oxfordu. Absolvoval jsem prohlídku laboratoří, kde je rovněž zkoumáno zpracování informace na optickém čipu nebo ukládání kvantového stavu do kolektivních excitací atomů Cesia a jeho čtení. Diskutovali jsme o poznatcích našeho výzkumu kvantové negaussovskosti a neklasičnosti a aplikaci těchto kritérií na stav emitovaný kvantovou pamětí. Bohužel tento stav vykazuje hodnoty intenzitní korelační funkce $g_2(0) > 1$, a tedy pravděpodobně nebude splňovat kritérium neklasičnosti. Existuje však možnost použití detektorů rozlišující počet fotonů, která by

mohla poskytnout bližší informace o měřené statistice a případně potvrdit neklasický charakter emitovaného světla. Další způsoby evaluace kvantové statistiky světla jsou předmětem výzkumu na Katedře optiky a díky této stáži mohou sloužit k budoucí vědecké spolupráci.

Shrnutí stáže

Stáž prohloubila experimentální spolupráci se skupinou profesora O'Briena a umožnila mi získat zkušenosti uplatnitelné v laboratorní praxi. Byl zoptimalizován pulzní double-pass zdroj jednotlivých fotonů a zkonstruován časový multiplex. Tyto zkušenosti využiji ve své další výzkumné práci a získané poznatky o aktuálních experimentech na poli kvantové



