

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:	11.7.2013 - 19.8.2013
Navštívené pracoviště:	Skupina Quantum Physics and Information Technology (QPIT), Katedra fyziky, Dánská Technická Univerzita (DTU Physics), Fysikvej, Building 309, 2800 Kgs. Lyngby, Dánsko
Zahraniční garant:	prof. Ulrik Lund Andersen
Účastník stáže:	Mgr. Martina Miková

Stručný popis navštíveného pracoviště

Dánská technická univerzita (DTU - Danmarks Tekniske Universitet) byla založena roku 1829 v Lyngby u Kodaně, jako státní univerzita. V dnešní době má 18 kateder a asi 7 dalších menších center. Jednou z osmnácti kateder je katedra fyziky, která má 6 oddělení a právě jedno z nich je sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT - Quantum Physics and Information Technology). Tato sekce byla založena prof. Ulrikem Lundem Andersenem v roce 2007, nejprve jako skupina kvantové informatiky (QUIN). Během několika let dosáhla tato skupina světové úrovně, nejen na poli experimentální kvantové optiky, integrovaných zdrojů fotonů, ale i v oblasti zpracování informace podléhající kvantové neurčitosti. Olomoucké pracoviště s touto skupinou již spolupracuje v oblasti teoretické kvantové informatiky (členové řešitelského týmu MCIN Doc. Radim Filip, Ph.D. a Vladyslav Usenko Ph.D.) a také v oblasti experimentální kvantové optiky (člen řešitelského týmu Mgr. Miroslav Ježek, Ph.D.). Cílem spolupráce se skupinou prof. Ulrika Lunda Andersena je udržení, rozvíjení a zkvalitnění odborných kontaktů, transfer technologií a další aktivity nezbytné pro zařazení našeho olomouckého pracoviště do celoevropské sítě vědeckých skupin v dané oblasti.

Sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT) se orientuje převážně na výzkum v oblasti kvantové optiky, kvantové informace a interakce záření a látky. Hlavními tématy sekce jsou: zpracování kvantové informace přenášené spojitým optickým polem (tzv. spojitá kvantová proměnná), generace neklasických stavů světla a jejich využití pro kvantovou metrologii a kvantové počítání, generace jednotlivých fotonů novými integrovanými pevnolátkovými systémy na bázi NV (Nitrogen vacancy) center v diamantu a jejich přenos

plazmonovými vlnovody a dalšími mikro-vlnovodnými strukturami. Nově jsou studovány mikro-toroidní rezonátory a planární mikrorezonátory na bázi SiN (silicon mononitride).

Vědeční pracovníci z cílového pracoviště

Sekce QPIT má v současnosti 15 pracovníků, 13 vědeckých a 2 administrativní pracovníky. Ulrik Lund Andersen (professor), Claus Schelde Jacobsen (Associate Proffessor), Jorn Otto Bindslev Hansen (Associate Professor), Alexander Huck, Ph.D. (postdoc), Jonas Schou Neergaard-Nielsen, Ph.D. (postdoc), Bo Melholt Nielsen, Ph.D. (postdoc), Shailesh Kumar (postdoc), Adriano Berni (Ph.D. student), Ulrich Busk Hoff (Ph.D. student), Amine Laghaout (Ph.D. student), Niels Israelsen Kristiansen (Ph.D. student), Hugo Kerdoncuff (Ph.D. student), Christian Scheffmann Jacobsen (magisterský student, od září nový Ph.D. student).

Průběh stáže

V rámci své stáže ve skupině QPIT jsem se seznámila s technologiemi a experimentálními metodami integrované fotoniky a nano-optiky, které využívají ve svých laboratořích. Jmenovitě jsem se účastnila na exkurzích a diskuzích u následujících projektů:

a) NV (Nitrogen vacancy) centra v diamantu a plazmonové vlnovody, spintronika NV center: Skupina QPIT, konkrétně laboratoře dr. Kumara a dr. Hucka, disponuje technikou generace jednotlivých fotonů z pevnolátkových struktur na bázi NV center v nanočásticích diamantu. Tato vakanční centra jsou schopná vyzařit jednotlivý foton po excitaci externím laserovým zdrojem. Významnou vlastností NV center je neschopnost dvojí excitace a tedy emise více fotonů v časovém intervalu daném přirozenou dobou života excitovaného stavu centra. Velkým problémem při využití jednotlivých fotonů generovaných NV centrem je prostorová emisní charakteristika: foton je emitován prakticky všesměrově a jeho navázání do cílového optického modu je komplikované. To vede k velmi nízké celkové účinnosti generace fotonu NV centrem v daném modu. Možným řešením je využití plazmonových vlnovodů založených na nanometrových kovových strukturách (Ag nano-drátky), které ovlivňují elektromagnetické pole ve své blízkosti. Emise světla z NV centra vykazuje odlišnou charakteristiku v přítomnosti plazmonového vlnovodu a generovaný foton je s vyšší pravděpodobností veden plazmonovým vlnovodem. Efekt lze demonstrovat jednak detekcí fotonu na konci plazmonového vlnovodu a jednak změnami doby života NV centra. V rámci stáže jsem absolvovala prohlídku laboratoře NV center a diskutovala možnosti a technické problémy využití NV center a plazmonových vlnovodů s pracovníky skupiny QPIT zabývající se touto oblastí. Dále jsem se seznámila s možnostmi ovládání stavu kvantového spinu NV centra a diskutovala možnosti jeho využití pro kvantové zpracování informace. Spinový systém NV centra je extrémně odolný vůči termálním fluktuacím diamantu a vykazuje až milisekundové doby života.

b) Vláknové mikro-rezonátory:

Další metoda k dosažení směrovosti emise je využití optických mikrorezonátorů. Nová laboratoř Jonase Schou Neergaarda-Nielsena, se věnuje možnostem přípravy mikrorezonátorů tvořených konkávním povrchem čela optického vlákna na jedné straně a rovinným zrcadlem na straně druhé. Optické vlákno je nataveno výkonovým CO₂ laserem a získá konkávní povrch, následně je povrstveno tenkou reflexní vrstvou (odrazivost použité tenké vrstvy by měla být okolo 99%). Nanokrystal diamantu s NV centrem bude po umístění v rezonátoru vyzařovat primárně do optických módů rezonátoru. Cílem je zachytit emitované fotony pomocí optického vlákna, které tvoří jednu stranu optického rezonátoru.

c) Optomechanika s mikro-toroidními rezonátory:

Skupina QPIT, také spolupracuje se skupinou prof. Warwicka Bowena (Brisbane, Austrálie). Testují zde možnosti zvýšení citlivosti spektroskopie mechanických módů mikro-toroidního rezonátoru s využitím neklasického stlačeného světla. V kombinaci s chlazením využívajícím zpětnovazebně ovládané elektrické pole by následně bylo možné snížit optický výkon nutný k laserovému chlazení do základního stavu příslušného mechanického modu. V rámci své odborné stáže jsem získala základní znalosti o mikro-toroidních rezonátorech, navazování světla do nich (pomocí taperovaných (zúžených) optických vláken), adresování jednotlivých mechanických vibračních módů a o souvisejících experimentálních technikách.

d) Dále jsem započala práci na projektu, který byl vytyčen v rámci spolupráce a mé stáže ve skupině QPIT na DTU:

Jednalo se o experimentální projekt orientovaný na rozlišení optické fáze. Kde při využití koherentního stavu světla, s malým počtem fotonů, jsme schopni dosáhnout určité citlivosti (sensitivity) - minimální optické fáze, kterou jsme schopni rozlišit. V takovýchto případech, kdy jsme limitováni malým počtem fotonů, nás limituje šum. Ovšem s využitím stlačeného stavu světla jsme schopni dosáhnout lepšího rozlišení fáze. Vhodně připravený stlačený stav světla může mít v jedné ze svých os potlačené fluktuace na úkor druhé osy - tohoto faktu se dá využít ke zlepšení rozlišení optické fáze při zachování počtu fotonů. K realizaci takového experimentu bylo zapotřebí sestavit experimentální zařízení pro měření optické fáze, vhodně upravit a přesměrovat optické zdroje a zautomatizovat měřicí a justážní procedury. S kolegy jsme navrhli fázovou masku, která bude tímto zařízením proměřována a na níž budou ověřeny základní principy tohoto experimentu. V rámci této spolupráce by měla vzniknout publikace v odborném časopise.

Další aktivity

Během stáže jsem se aktivně účastnila pravidelných porad skupiny (1x za 14 dní v pondělí ráno a každý týden v úterý odpoledne), přednášek pořádaných v rámci neformálních seminářů a dalších aktivit spojených s činností skupiny QPIT, jako například obhajoby diplomových prací, disertačních prací, atd..

Navázání kontaktů

Tato stáž významně přispěla k posílení a prohloubení vědecké spolupráce se skupinou prof. Ulrika Lunda Andersena. Byl rozpracován nový projekt, na nějž bude vzájemná spolupráce, z mé strany, dále orientována. Výstupem tohoto projektu by měla být odborná publikace.

Shrnutí stáže

Stáž plně splnila svůj účel. Došlo k dalšímu posílení vědecké spolupráce se skupinou profesora Ulrika Lunda Andersena, špičkovým vědeckým pracovištěm v oblasti experimentální kvantové optiky a optického kvantového zpracování informace. V rámci stáže jsem získala řadu nových poznatků a také přehled o aktuálních trendech v oblasti výzkumu skupiny QPIT. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině formou odborných seminářů.

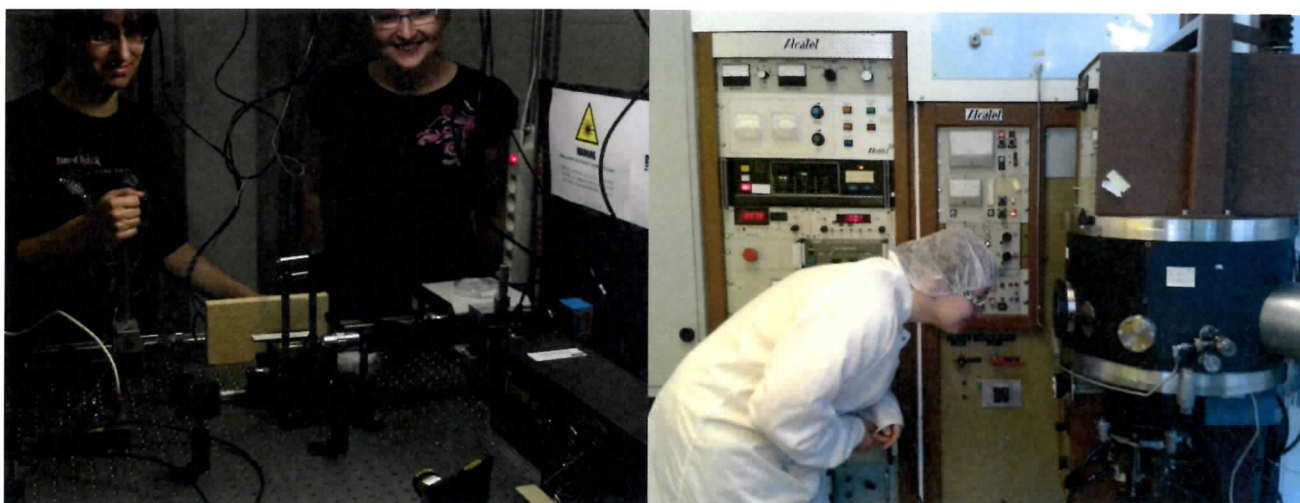
Fotografická dokumentace



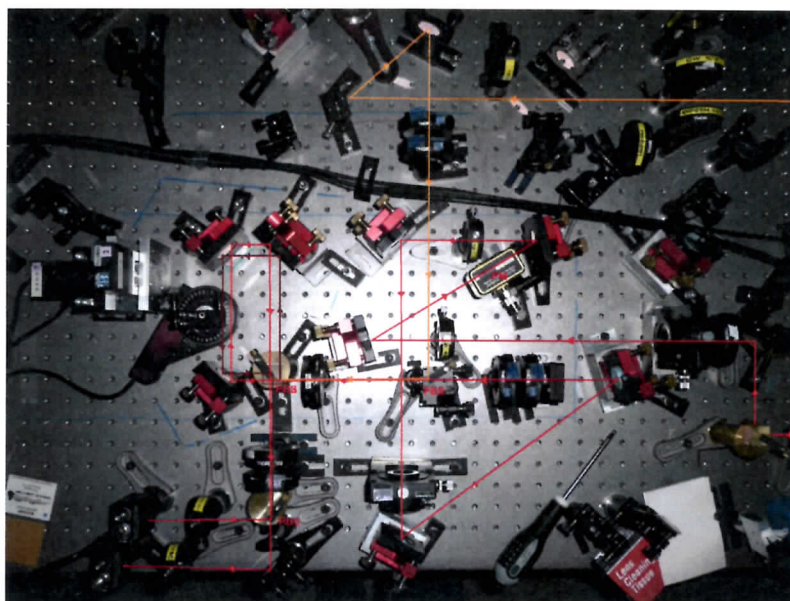
Fotografie zachycující diskuzi o aktuálním společném projektu Sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT) a Ketdry optiky (KO). Na snímku Ulrik Lund Andersen (vlevo) a Martina Miková (vpravo).



Fotografie z laboratoře spojených kvantových proměnných (skupiny QPIT) v průběhu spolupráce na projektu, justáži experimentu, zapojování elektroniky, diskuze. Na snímcích Martina Miková, Martina Miková, Martina Miková a Adriano Berni, Martina Miková a Bo Melholt Nielsen.



Fotografie zachycující diskusi se studentkou Elisou Da Ros, pracující na diplomové práci v laboratoři vláknových mikrorezonátorů - laboratoř Jonase Schou Neergaard-Nielsena, Ph.D.. Fotografie z exkurze do čistých prostor kde docházelo k napařování tenké vrstvy zlata na čela optických vláken. Tato exkurze navazovala na předchozí diskuze se studentkou Elisou Da Ros.



Fotografie experimentu, kde červenou čarou je znázorněna trajektorie koherentního stavu a oranžovou trajektorie stlačeného stavu, až po vstup do interferometru. Poté jsou ve dvou odstínech červené znázorněna dvě ramena Machova-Zehnderova interferometru (s navzájem ortogonálními polarizacemi) v Sagnacově uspořádání.

Michal

