



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:	2.7.2013 - 23.7.2013
Navštívené pracoviště:	Skupina QPIT (Quantum Physics and Information Technology), katedra fyziky Dánské technické univerzity (DTU Physics), Fysikvej, Building 309, 2800 Kgs. Lyngby, Dánsko
Zahraniční garant:	prof. Ulrik L. Andersen
Účastník stáže:	Mgr. Miroslav Ježek, Ph.D.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT) na Dánské technické univerzitě v Lyngby u Kodaně byla založena prof. Andersenem v roce 2007, původně jako Skupina kvantové informatiky (QUIN). Během několika málo let dosáhla světové úrovně na poli experimentální kvantové optiky, zpracování informace podléhající kvantové neurčitosti a nových integrovaných zdrojů fotonů. Pracoviště řešitele již s touto skupinou spolupracuje v oblasti teoretické kvantové informatiky (především člen řešitelského týmu MCIN Doc. Radim Filip, Ph.D.) a nově v oblasti experimentální kvantové optiky (člen řešitelského týmu Mgr. Miroslav Ježek, Ph.D. od roku 2009). Cílem spolupráce se skupinou prof. Andersena je udržení a kvalitativní stejně jako kvantitativní rozvíjení odborných kontaktů, transfer technologií a další aktivity nezbytné k zařazení našeho pracoviště do celoevropské sítě vědeckých skupin v dané oblasti.

Sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT) se orientuje na výzkum v oblasti kvantové optiky, kvantové informace a interakce záření a látky. Hlavními tématy jsou: zpracování kvantové informace přenášené spojitým optickým polem (tzv. spjité kvantové proměnné), generace neklasických stavů světla a jejich využití pro kvantové počítání a kvantovou metrologii, generace jednotlivých fotonů novými integrovanými pevnolátkovými systémy na bázi NV center v diamantu a jejich přenos plazmonovými vlnovody a dalšími mikro-vlnovodnými strukturami. Nově jsou studovány mikro-toroidní rezonátory a planární mikrozonátory na bázi SiN.

Sekce QPIT má v současnosti 14 pracovníků a společně s dalšími pěti sekcemi tvoří Institut fyziky Dánské technické univerzity (DTU Physics). Hlavním těžištěm výzkumu Institutu

fyziky jsou oblasti biofyzikálních a dalších složitých systémů, fyzika nanomateriálů a povrchových jevů a kvantová fyzika. Vedle Institutu fyziky funguje na Dánské technické univerzitě také Institut fotoniky, který se specializuje na optické komunikace, optické vlastnosti nových materiálů a aplikace optických technologií v biologii a medicíně.

Další vědečtí pracovníci z cílového pracoviště

Alexander Huck, Ph.D. (postdoc), Bo Melholt Nielsen, Ph.D. (postdoc), Jonas Schou Neergaard-Nielsen, Ph.D. (postdoc), Shailesh Kumar (postdoc), Adriano Berni (dokterský student), Ulrich Busk Hoff (dokterský student), Amine Laghaout (dokterský student), Niels Israelsen Kristiansen (dokterský student), Hugo Kerdoncuff (dokterský student).

Průběh stáže

V rámci stáže ve skupině QPIT jsem se seznámil s novou technologií a experimentálními metodami integrované fotoniky a nano-optiky. Jmenovitě jsem sledoval a diskutoval následující projekty: (1) NV centra v diamantu a plazmonové vlnovody, spintronika NV center, (2) vláknové mikro-rezonátory a (3) optomechanika s mikro-toroidními rezonátory. Dále jsem pokračoval v dříve započaté spolupráci na projektech: (4) využití koherentní detekce a optimalizace zpracování dat pro zvýšení fázového rozlišení při zobrazení fázových objektů.

Seznámení s novými projekty související s integrovanou fotonikou a nano optikou:

(1) 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 vyžářit 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 absolvoval prohlídku laboratoře NV center a diskutoval možnosti a technické problémy využití NV center a plazmonových vlnovodů s pracovníky skupiny QPIT zabývající se tímto tématem. Dále jsem se seznámil s možnostmi ovládání stavu kvantového spinu NV centra a diskutoval možnosti jeho využití pro kvantové zpracování informace. Spinový systém NV centra je extrémně odolný vůči termálním fluktuacím diamantu a vykazuje až milisekundové doby života.

(2) Jinou metodou dosažení směrovosti emise je využití optických mikrореzonátorů. Nová laboratoř dr. Neergaard-Nielsena se věnuje možnostem přípravy mikrореzonátoru tvořených rovinným zrcadlem na jedné straně a konkávním povrchem čela optického vlákna na straně druhé. Optické vlákno je nataveno CO₂ laserem a následně povrstveno částečně reflexní vrstvou. Nanokrystal diamantu s NV centrem bude po umístění v rezonátoru vyzařovat primárně do optických módů rezonátoru. Cílem projektu je navýšení navazovací účinnosti emitovaných fotonů do optického vlákna.

(3) Skupina QPIT, ve spolupráci se skupinou prof. Warwicka Bowena (Brisbane), testuje možnosti zvýšení citlivosti spektroskopie mechanických módů mikro-toroidního rezonátoru s využitím neklasického stlačeného světla. V kombinaci s chlazením využívajícím zpětnovazebně ovládaného elektrického pole by následně bylo možné snížit optický výkon nutný k laserovému chlazení do základního stavu příslušného mechanického modu. V rámci odborné stáže jsem získal základní znalosti o mikro-toroidních rezonátorech, adresaci jednotlivých mechanických vibračních módů a seznámil jsem se se souvisejícími experimentálními technikami. Tyto znalosti budou předány cílové skupině a dále využity a rozvíjeny v průběhu navazující odborné stáže ve skupině prof. Bowena na Univerzitě Queensland v Brisbane.

Využití koherentní detekce a optimalizace zpracování dat pro zvýšení fázového rozlišení:

(5) V rámci stáže také pokračovala diskuse na téma zvýšení rozlišení optické fáze s využitím koherentní homodynní detekce a pokročilého zpracování dat. Předchozí spolupráce v této oblasti vyústila společným experimentálním projektem demonstrující rozlišení fázových struktur lepší než Rayleighův limit, a to při zachování sensitivity měření a s využitím pouze klasických zdrojů. V průběhu roku 2012 pokračoval projekt rozšířením teorie na fázové super-rozlišení při současném vylepšení sensitivity za rámec klasického měření a experimentální realizací tohoto měření. Během stáže jsem diskutoval zpracování dat a nutné podmínky pro překročení standardní kvantové limity měření.

Další aktivity

Během stáže jsem se aktivně účastnil pravidelných porad skupiny, přednášek pořádaných v rámci neformálního semináře a dalších aktivit spojených s činností skupiny QPIT.

Publikace dokončené během stáže

Spolupráce v oblasti kvantové metrologie optické fáze vyústila ve společnou publikaci:

Emanuele Distante, Miroslav Ježek, Ulrik L. Andersen, Deterministic Superresolution with Coherent States at the Shot Noise Limit, Phys. Rev. Lett. 111, 033603 (2013).

Článek byl publikován dne 17. 7. 2013.

Navázání kontaktů

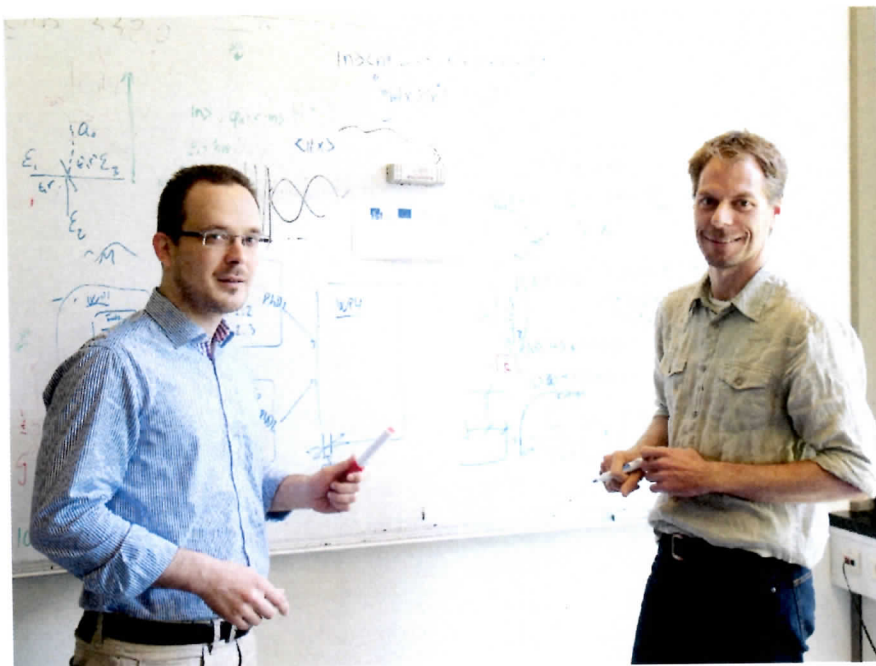
Stáž významně přispěla k posílení a prohloubení vědecké spolupráce se skupinou prof. Ulrika Andersena. Byla stanovena a rozpracována témata, na něž bude vzájemná spolupráce dále orientována.

Shrnutí stáže

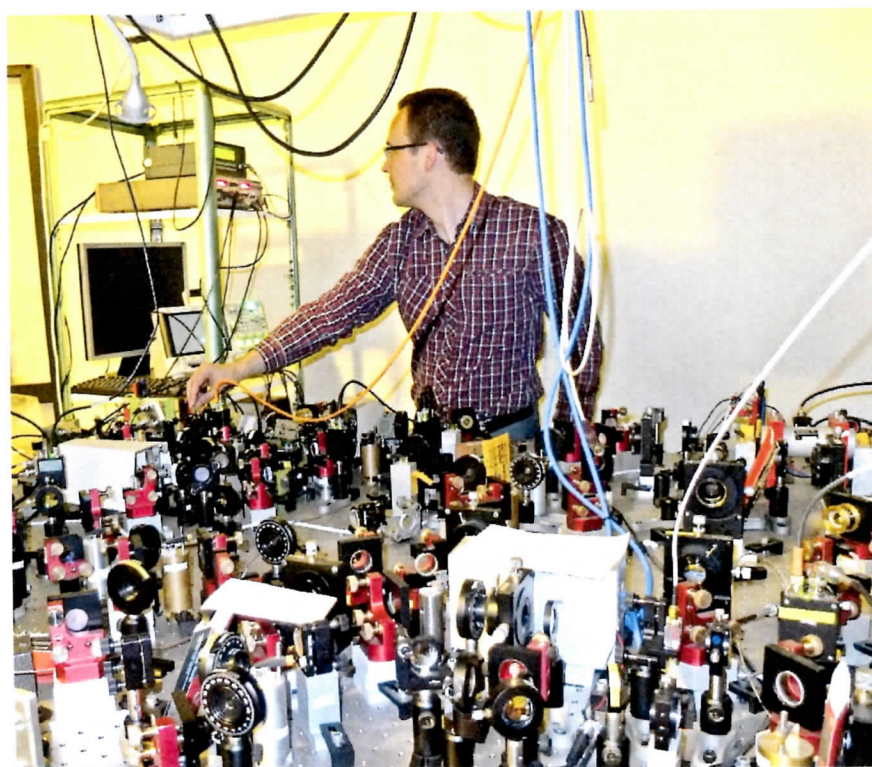
Stáž plně splnila svůj účel. Došlo k posílení vědecké spolupráce se špičkovým vědeckým pracovištěm v oblasti experimentální kvantové optiky a optického kvantového zpracování informace. V rámci stáže jsem získal řadu nových poznatků a doplnil si znalosti o aktuálních trendech v dané oblasti výzkumu. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině formou odborných seminářů.



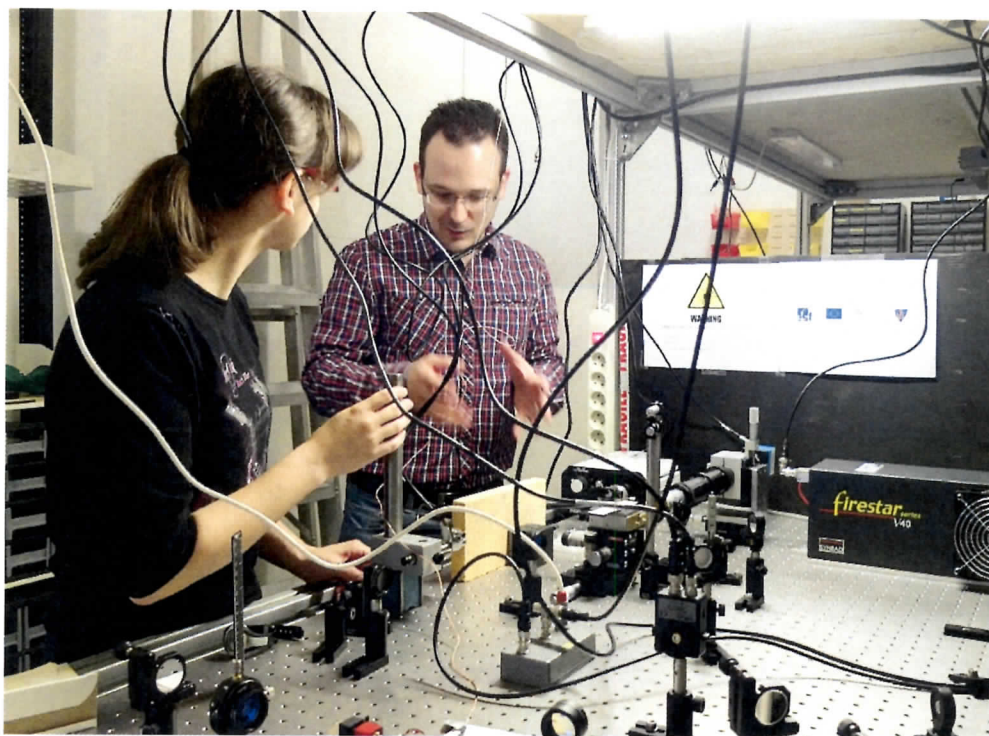
Fotografická dokumentace



Fotografie zachycující diskuzi aktuálních projektů Sekce kvantové fyziky a informačních technologií (QPIT). Na snímku Miroslav Ježek (vlevo) a Ulrik L. Andersen (vpravo).



Fotografie z laboratoře spojených kvantových proměnných Sekce QPIT v průběhu spolupráce na projektu zvýšení fázového rozlišení při zobrazení fázových objektů. Na snímku Miroslav Ježek.



Fotografie zachycující diskusi v laboratoři vláknových mikrorezonátorů.

Chia-fu

