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:	12.9.2011 – 16.9.2011
Navštívené pracoviště:	Albert Einstein Institute, Leibnitz Universität Hannover, SRN
Zahraniční garant:	prof. Roman Schnabel
Účastník stáže:	doc. Mgr. Jaromír Fiurášek, Ph.D.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Max Planck Institut for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute) a Institute for Gravitational Physics Leibnizovy Univerzity v Hannoveru představují dvě úzce spolupracující špičková vědecká pracoviště hrající zásadní roli při vývoji detektorů gravitačních vln. Hlavním posláním obou institucí je konstrukce, provozování a rozvoj detektoru gravitačních vln GEO600 tvořeného Michelsonovým interferometrem s délkou ramene 600 metrů. Dalším klíčovým dlouhodobým vědeckým projektem je příprava satelitní mise LISA, jež by měla umožnit interferometrickou detekci gravitačních vln pomocí trojice satelitů ve vesmíru. Vzhledem k výše uvedenému zaměření institutu se na tomto pracovišti uskutečňuje výzkum převážně v oblastech laserové fyziky, kvantové optiky, elektroniky a obecné teorie relativity.

Skupina profesora Romana Schnabela působící na Albert Einsteinově Institutu se dlouhodobě zabývá problematikou generace stlačených stavů světla a jejich využití pro zvýšení citlivosti interferometrických detektorů gravitačních vln. K největšímu úspěchu v této oblasti bezesporu patří zvýšení citlivosti detektoru GEO600 pomocí stlačeného vakua injektovaného do temného vstupního portu tohoto interferometrického detektoru. Tento výsledek byl publikován v září 2011 v časopise Nature Physics a v současné době je detektor GEO600 rutinně dlouhodobě provozován v režimu potlačení šumu pomocí injekce stlačeného vakua. K dalším výzkumným směrům skupiny profesora Schnabela patří využití stlačených stavů světla pro optickou kvantovou komunikaci a kvantové zpracování informace, využití optických rezonátorů pro manipulaci světla na klasické i kvantové úrovni a vývoj optických interferometrů a dalších zařízení založených na odrazných optických elementech, zejména optických mřížkách. Pod vedením profesora Schnabela působí v současné době 1 post-doc, 14 doktorandů a 6 diplomantů. V rámci své stáže jsem kromě profesora Schnabela spolupracoval zejména s jeho doktorandy Aikem Samblowskim a Christinou Vollmer.

Průběh stáže

V průběhu stáže jsem s profesorem Schnabelem a jeho studenty zejména diskutoval možnost využití optických rezonátorů pro manipulaci s kvantovými stavy párů fotonů generovaných v optickém parametrickém oscilátoru prostřednictvím nelineárního procesu degenerované sestupné frekvenční parametrické konverze. Páry fotonů generované tímto způsobem vykazují silné časové korelace, což je zjednodušeně řečeno způsobeno tím, že oba dceřiné fotony vznikají současně „rozdělením“ jednoho fotonu čerpacího svazku v nelineárním krystalu. Manipulace s časovými korelacemi fotonů je nejenom zajímavá z fundamentálního hlediska, ale může rovněž nalézt aplikace v optické kvantové komunikaci např. při manipulaci s kvantově provázanými stavy fotonů a potenciálně i v kvantové metrologii. Optické Fabry-Perotovy rezonátory tvořené dvojicí extrémně kvalitních zrcadel s velmi vysokou odrazivostí představují velmi účinné úzkopásmové optické spektrální filtry. Tyto rezonátory lze proto použít k modulaci sdružené spektrální amplitudy generovaných párů fotonů a tím i k ovlivnění časových korelací tohoto páru fotonů. Cílem provedených teoretických analýz bylo zejména zjistit, zda je možné pomocí optických rezonátorů dosáhnout efektivní časové anti-korelace páru fotonů. Za tímto účelem byl vyvinut a diskutován detailní matematický model uvažovaných experimentálních konfigurací. Z provedených analýz vyplynulo, že dosažení časových anti-korelací je komplikovanější, než se původně předpokládalo, a výsledný efekt lze primárně interpretovat jako zpoždění jednoho či druhého fotonu v důsledku přítomnosti optického rezonátoru. Nicméně tato teoretická analýza poskytla potřebný základ pro další analýzu možného využití optických rezonátorů v kvantové komunikaci. Jako perspektivní se jeví např. možnost jejich aplikace jako optických zpožďovacích linek či optických kvantových pamětí v celo-optických kvantových opakovačích nebo kvantových relé.

Dále jsme v průběhu stáže diskutovali o implementaci různých protokolů pro kvantové zpracování informace využívajících multimódové kvantově provázané Gaussovské stavy světla. Skupina profesora Schnabela nedávno úspěšně experimentálně demonstrovala generaci čtyřmódového Gaussovského stavu s vázanou kvantovou provázaností (tzv. bound entanglement). Ukázalo se, že experimentální techniky a metody analýzy dat vyvinuté v rámci tohoto protokolu by mohly být využitelné pro realizaci protokolu pro distribuci kvantové provázanosti Gaussovských kvantových stavů světla pomocí přenosu separabilního stavu. Tento protokol byl navržen mým kolegou doktorem Ladislavem Mišťou ve spolupráci s profesorkou Natalií Korolkovou z University of St. Andrew's a je založen na specifické a zajímavé struktuře kvantových korelací, kterou vykazují určité třímódové kvantové stavy světla. V debatě s profesorem Schnabelem a jeho studenty jsem prezentoval tento protokol a analyzovali jsme některé technické aspekty jeho možné experimentální realizace. Zejména se jednalo o otázku přípravy počátečního třímódového Gaussovského stavu se specifickou strukturou kvantových korelací, k čemuž jsou zapotřebí jednak zdroje stlačených vakuových stavů a rovněž operace lokálního koherentního posunutí pomocí injekce klasického koherentního laserového signálu. Pro úspěšnou realizaci experimentu je rovněž klíčové průkazné ověření Gaussovské statistiky generovaných stavů, k čemuž lze využít metody matematické statistiky a testování hypotéz.

Rovněž jsme v průběhu stáže hovořili o možnosti generace silně neklasických multifotonových stlačených stavů světla na telekomunikační vlnové délce 1550 nm. Uvažované schéma sestává ze dvou částí. Nejprve je generováno dvoumódové stlačené vakuum, přičemž jeden z módů je na vlnové délce 1550 nm a druhý na vlnové délce 810 nm.

Ze svazku na vlnové délce 810 nm by byla pomocí optického Fabry-Perotova rezonátoru odfiltrován úzký spektrální komponenta, a tento filtrovaný svazek by byl následně detekován jednofotonovými detektory. V důsledku silných počátečních kvantových korelací mezi svazky na vlnových délkách 810 nm a 1550 nm tato technika umožňuje přípravu multifotonových Fockových stavů na telekomunikační vlnové délce 1550 nm. Výhodou tohoto přístupu je, že jednofotonová detekce probíhá na vlnové délce 810 nm, kde jsou k dispozici vysoce účinné křemíkové lavinové diody s nízkým šumem. V další části schématu by byl multifotonový stav Na vlnové délce 1550 nm injektován do optického parametrického oscilátoru tvořeného nelineárním krystalem v optickém rezonátoru čerpaném laserovým svazkem. Na výstupu optického parametrického oscilátoru se obdrží požadovaný stlačený multifotonový stav, který by byl následně analyzován pomocí homodynního detektoru. Je známo, že potlačení ztrát v kvantové komunikaci na dlouhou vzdálenost vyžaduje jít za rámec Gaussovských stavů a operací. V tomto kontextu je problematika generace silně neklasických negaussovských stavů na telekomunikační vlnové délce 1550 nm mimořádně důležitá a aktuální. Diskuse uskutečněné v rámci mé stáže představují první důležitý kok směrem k dosažení tohoto cíle.

V rámci stáže jsem absolvoval i detailní prohlídku laboratoří, kde jsem se seznámil s aktuálními experimentálními aktivitami skupiny profesora Schanbela. Zejména se jednalo o generaci stlačení na vlnové délce 1550 nm a generaci kvantové provázanosti optických svazků na vlnových délkách 1550 nm a 810 nm. Dále jsem se seznámil s experimentálním setupem, který byl použit pro generaci čtyřmódového Gaussovského stavu s vázanými kvantovými korelacemi. Rovněž jsem si prohlédl experimentální uspořádání sloužící k vzestupné frekvenční parametrické konverzi. Cílem tohoto experimentálního projektu je demonstrovat vzestupnou frekvenční konverzi stlačených stavů světla a transformovat stlačení v infračervené oblasti spektra na stlačení ve viditelné oblasti spektra.

Přednášky na navštíveném pracovišti

J. Fiurášek: *Experimental Test of the Quantum Non-Gaussian Character of a Heralded Single-Photon State*

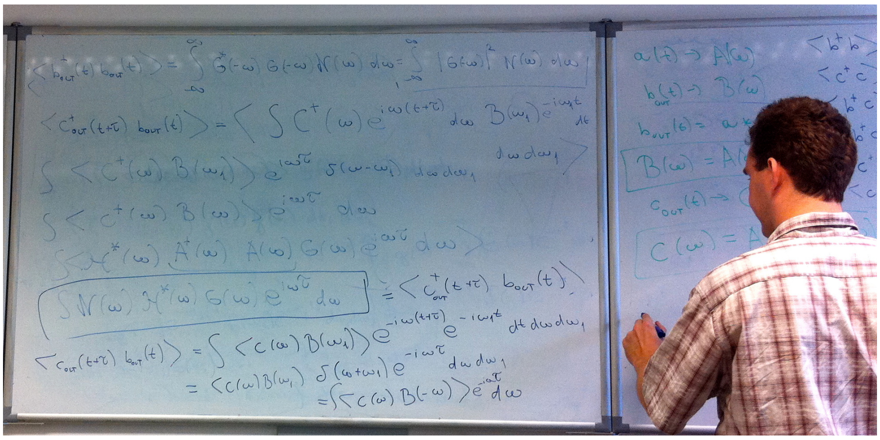
Tuto přednášku jsem přednesl na neformálním vědeckém semináři zorganizovaném v průběhu mé stáže na Albert Einsteinově Institutu. V průběhu přednášky jsem prezentoval aktuální experimentální výsledky získané na katedře optiky PřF UP. Jmenovitě se jednalo o úspěšné experimentální ověření kvantově negaussovského charakteru jednofotonových stavů podmíněně připravených pomocí detekce jalového fotonu z páru fotonů generovaných v procesu spontánní sestupné frekvenční parametrické konverze. Po přednášce následovala živá debata s posluchači, v jejímž rámci jsme zejména diskutovali o možnosti testování kvantového negaussovského charakteru kvantových stavů pomocí homodynní detekce.

Shrnutí stáže

Stáž plně splnila svůj účel. Došlo k posílení vědecké spolupráce se skupinou profesora Schnabela a byly definovány nové perspektivní směry společného výzkumu pro následující období. Profesor Schnabel rovněž předběžně přislíbil návštěvu PřF UP v průběhu roku 2011. V rámci stáže jsem získal řadu nových poznatků a doplnil si znalosti o aktuálních trendech v daných oblastech výzkumu. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině projektu formou odborných seminářů.

Fotografická dokumentace

Docent Fiurášek (zcela vpravo) s profesorem Schnabelem (zcela vlevo) a jeho doktorandy.



Docent Fiurášek při diskusi o možnostech ovlivnění časových korelací párů fotonů pomocí optických Fabry-Perotových rezonátorů.