



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:	7. 10. 2012 – 12. 10. 2012
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. S touto problematikou souvisí i výzkum kvantových vlastností optomechanických oscilátorů reprezentovaných vibračními módy zrcadel optických rezonátorů. K hlavním cílům v této oblasti výzkumu patří ochlazení mechanického oscilátoru na základní kvantový stav a příprava neklasických a kvantově provázaných stavů vibračních módů zrcadel. K dalším výzkumným směrům skupiny profesora Schnabela patří využití stlačených stavů světla pro optickou kvantovou komunikaci a kvantové zpracování informace a využití optických rezonátorů pro manipulaci světla na klasické i kvantové úrovni. Skupina profesora Schnabela čítá okolo 20 členů, převážně doktorandů a post-doků.

Průběh stáže

V průběhu stáže jsme s profesorem Schnabelem a jeho studenty zejména provedli analýzu experimentálních dat, která jeho skupina naměřila při experimentální implementaci protokolu pro distribuci kvantové provázanosti gaussovských stavů světla pomocí pomocného módu, který není provázaný ani s módem odesilatele ani příjemce. Tento protokol využívá speciálních vlastností a struktury kvantových korelací tripartitního třímódového gaussovského stavu světla. Potřebný stav byl experimentálně generován pomocí interference stlačeného vakua a pseudotermálního silně zašuměného stavu na dvou vyvážených děličích svazku. Struktura kvantových korelací připraveného stavu byla ověřena pomocí kompletní tomografické rekonstrukce kovarianční matice tohoto stavu, na kterou byla následně aplikována známá kritéria pro separabilitu a provázanost třímódových Gaussovských stavů. V následné části experimentu byl pomocný mód na optickém stole distribuován od odesilatele k příjemci, kde došlo k interferenci pomocného módu s módem příjemce na dalším děliči svazku. Tímto posledním krokem bylo dosaženo přípravy kvantově provázaného stavu mezi odesilatelem a příjemcem, ačkoliv na počátku nesdíleli žádné kvantové korelace a pomocný mód také nebyl kvantově korelovaný s módy odesilatele a příjemce. Generace kvantové provázanosti byla ověřena pomocí standardního Duanova kritéria.

Při analýze experimentálních dat jsme se zaměřili zejména na ověření deklarovaných vlastností separability počátečního stavu jakožto i na jeho konsistenci s Heisenbergovými relacemi neurčitosti. Rovněž byla analyzována statistická neurčitost jednotlivých odhadnutých parametrů stavu. Dále jsme podrobně diskutovali možné zdroje negaussovského charakteru studovaného stavu a jejich vliv na detekci kvantových korelací pomocí kovarianční matice tohoto stavu. Jako hlavní možné vlivy byly identifikované ztráty a účinnost homodynní detekce nižší než 100%, fázové fluktuace a odchylky náhodné modulace použité k přípravě pseudotermálního stavu od gaussovské statistiky. Pomocí detailní analýzy se nám podařilo ukázat, že i když je zohledněn vliv těchto efektů, tak přesto experimentálně generovaný třímódový stav vykazuje požadovanou strukturu kvantových korelací. V průběhu stáže jsme započali přípravu společné publikace referující o získaných experimentálních výsledcích a jejich vyhodnocení.

V průběhu mé stáže jsme rovněž intenzivně diskutovali o dalších možných tématech spolupráce. Prezentoval jsem dva návrhy experimentů, které by mohla skupina profesora Schnabela realizovat ve svých laboratořích. První návrh se týká symetrizace dvoumódových kvantově provázaných gaussovských stavů pomocí lokální interference a heterodynní detekce. Navržené schéma je obdobou schématu pro gaussifikaci kvantových stavů světla, které již dříve skupina profesora Schnabela úspěšně experimentálně demonstrovala na základě mého teoretického návrhu. Oproti předchozím experimentům by však toto schéma vyžadovalo nahradit homodynní detekci heterodynní detekcí. To by znamenalo jednak nutnost použití dvou dalších homodynních detektorů a rovněž zvýšenou komplexnost použitého interferometrického uspořádání. Druhý návrh, který jsem prezentoval, byl proto motivovaný snahou o maximální experimentální jednoduchost. Jednalo se o emulaci protokolu pro gaussifikaci kvantových stavů světla pomocí vhodného zpracování experimentálních dat. Tento experiment by vyžadoval provést heterodynní detekci pouze na jedné kopii dvoumódového kvantově provázaného stavu. Operace na několika kopiích stavu, které vyžaduje gaussifikační protokol, by pak následně byly emulovány na experimentálních datech. Tato procedura může najít uplatnění například v kvantové kryptografii se spojitými

kvantovými proměnnými, kde může být použita k potlačení fázových fluktuací a navýšení délky generovaného tajného kryptografického klíče.

V rámci stáže jsem absolvoval i detailní prohlídku laboratoří, kde jsem se seznámil s aktuálními experimentálními aktivitami skupiny profesora Schnabela. Kromě experimentu demonstrujícího distribuci kvantové provázanosti pomocí separabilního pomocného módu se jednalo o vzestupnou frekvenční konverzi stlačeného stavu světla z vlnové délky 1550 nm do viditelné oblasti spektra a potlačení šumu v optické interferometrii pomocí injekce dvoumódového stlačeného vakua. Rovněž jsem krátce hovořil s profesorem Klemensem Hammererem, který nedávno získal permanentní pozici právě na univerzitě v Hannoveru a který se dlouhodobě věnuje problematice kvantové paměti pro světlo a kvantové optomechanice.

Shrnutí stáže

Stáž úspěšně navázala na mou předchozí stáž na tomto pracovišti, která se uskutečnila na podzim roku 2011 rovněž v rámci projektu MCIN. Došlo k dalšímu posílení vědecké spolupráce se skupinou profesora Schnabela, byla vyhodnocena experimentální data získaná díky naší vzájemné spolupráci, byla zahájena příprava společné vědecké publikace a byly definovány nové perspektivní směry společného výzkumu pro následující období. V rámci stáže jsem získal řadu nových poznatků a doplnil si znalosti o aktuálních trendech výzkumu v oblasti generace a aplikací stlačených stavů světla. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině projektu formou odborných seminářů.

Fotografická dokumentace



Docent Fiurášek při neformální diskusi s doktorandy profesora Schnabela.