



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:	15.4.2013 – 29.5.2013
Navštívené pracoviště:	Queen's University Belfast, United Kingdom Imperial College London, United Kingdom
Zahraniční garant:	Mauro Paternostro, Ph. D. Prof. Myungshik Kim, Ph. D.
Účastník stáže:	Mgr. Petr Marek, Ph.D.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Quantum Technology at Queen's je relativně mladá vědecká skupina, která je součástí Centra pro teoretickou atomovou, molekulární a optickou fyziku na Queen's University Belfast. Jedná se o teoretickou skupinu s velice širokým záběrem, sahajícím od kvantového zpracování informace a studia fundamentálních vlastností kvantové fyziky, přes fyziku mnoha částic a kvantovou optomechaniku, až po fyziku kvantových plynů a ultra-strudených atomů. Obzvláště v oblasti kvantové optomechaniky, neboli fyziky popisující interakci světla a hmotného mechanického oscilátoru, se jedná o jedno z předních světových pracovišť, což potvrzují nedávné články publikované v předních světových vědeckých časopisech (*Laura Mazzola, Mauro Paternostro (2011) Activating optomechanical entanglement, Scientific Reports 1, p. 1-5., Mauro Paternostro (2011) Engineering Nonclassicality in a Mechanical System through Photon Subtraction, Physical Review Letters 106 (183601)*).

Skupina obsahuje celkem 22 členů, z čehož polovinu tvoří doktorští studenti a druhou polovinu vědeckí pracovníci na pozicích post-doců a vyšších. Díky tomuto složení je návštěva skupiny jedinečnou příležitostí rozšířit si obzory pomocí diskusí s odborníky zabývajícími se širokou škálou problémů v rámci kvantové fyziky. V rámci mého pobytu jsem takto diskutoval se všemi staršími členy týmu, ale těžiště mé činnosti spočívalo hlavně ve spolupráci s Maurem Paternostrem, Laurou Mazzolou, Gabrielem De Chairou a Carlem Di Francem.

Imperial College London je přední vědeckou univerzitou Spojeného království a vytrvale se řadí i mezi přední světové univerzity. Controlled Quantum Dynamics Theory Group (CQDTG) je součástí vědecké skupiny Quantum Optics and Laser Science. CQDTG je

teoretická skupina zabývající se studiem kontroly a manipulace kvantových systémů se zaměřením na aplikace v oblasti kvantových operací a komunikace. Výzkum je rovněž zaměřen na fundamentální aspekty kvantových systémů, jakými jsou například kvantová nekласičnost či kvantové korelace, a na studium jejich vlivu na běžné chování kvantových systémů. Některé nedávné prestižní výsledky publikované v těchto oblastech jsou například články: *Vanner MR, Aspelmeyer M, Kim MS (2013), Quantum State Orthogonalization and a Toolset for Quantum Optomechanical Phonon Control, Physical Review Letters 110 (010504)*; *Pikovski I, Vanner MR, Aspelmeyer M, Kim MS, Brukner C (2012), Probing Planck-scale physics with quantum optics, Nature Physics 8 (393)*.

Skupina obsahuje celkem 26 členů, z čehož polovinu tvoří doktorští studenti a zbytek jsou vědeckí pracovníci na úrovni postdoců a vyšších. Skupina se pravidelně setkává seminářích, během kterých se členové navzájem průběžně seznamují s dosaženými vědeckými výsledky, což poskytuje návštěvníkovi jedinečnou možnost učinit si ucelený obrázek o studovaných tématech. Těžiště mé spolupráce spočívalo převážně ve spolupráci s profesorem M. S. Kimem, Marcem Genonim a Catherin Hughes.

Průběh stáže

V průběhu části stáže probíhající na Queen's University Belfast jsem s doktorem Paternostrem a jeho kolegou diskutoval několik volně souvisejících témat.

Tím prvním byla možnost využití bezšumových zesilovačů pro testy Bellových nerovností, které mají potenciál zodpovědět fundamentální otázky týkající se platnosti kvantové mechaniky a jednalo se o pokračování spolupráce navázané během předchozího pobytu. S doktorem Paternostrem a jeho kolegou, doktorem De Chiarou, jsme dokončili společnou publikaci (Phys. Rev. A 87, 052512), ve které jsme ukázali, že bezšumové zesílení lze použít pro testy Bellových nerovností pomocí koherentních stavů a že v těchto případech tento zesilovač umožňuje kompenzovat omezenou detekční účinnost použitých detektorů. Dále jsme diskutovali možnost rozšíření tohoto principu na další typ nerovností.

Dalším tématem byla spolupráce s doktorem Paternostrem a doktorkou Laurou Mazzolou. Tato spolupráce, rovněž pokračující již od předchozího pobytu, se týkala interakce mezi světlem a mechanickým oscilátorem. Jmenovitě jsme studovali model, kdy světlo reprezentováno jedním módem elektromagnetického pole uzavřeného v rezonátoru zprostředkovává interakci dvou mechanických oscilátorů reprezentovaných hmotnými zrcátky, které tento rezonátor tvoří. Naším cílem bylo najít takový režim parametrů, ve kterém je interakci mezi těmito systémy možné popsat jako událost lokalizovanou v čase. Ukázalo se však, že k takovému popisu jsou nutné aproximace, které se navzájem vylučují. Bylo tedy nutné hledat takový režim, ve kterém se parametry potkávají na půl cesty, a přesto je dosaženo, alespoň přibližně, požadovaného efektu. Pro toto bylo rovněž nutné najít vhodné míry, které popisují dosaženou operaci a které kvantifikují, jak moc je dotyčná operace podobná ideální operaci, kterou požadujeme.

Na posledním společném tématu jsem během návštěvy spolupracoval s doktorem Paternostrem a nově s doktorem Di Francem. Jednalo se o obecnou analýzu pasivní purifikace kvantových systémů. Pasivní purifikace se dá klasifikovat jako operace, při níž kvantový systém, zatížený určitým šumem, interaguje s jiným kvantovým systémem pomocí vhodné interakce. Tento pomocný kvantový systém je následně ignorován. V nedávné

publikaci (C. Di Franco, M. Paternostro, Scientific Reports 3, 1387 (2013)) bylo ukázáno, že pro stav dvouhladinového systému existují pevné limity omezující tento přístup. Jmenovitě, fidelitu stavu nelze navýšit vůbec a čistotu stavu lze navýšit pouze za současného dramatického snížení fidelity. V naší spolupráci jsme se zaměřili na testování tohoto principu pro jiné než dvouhladinové systémy. Předběžná analýza ukázala, že obecně tento princip neplatí! Že pro určité systémy je možné navýšit čistotu pouze za cenu malého snížení fidelity, nebo že je dokonce možné zvýšit fidelitu i čistotu společně. Důsledky tohoto zjištění jsou v současnosti intenzivně studovány.

V druhé části stáže, kterou jsem strávil na Imperial College v Londýně, jsem se převážně seznamoval s novým pracovištěm. V rámci užší spolupráce jsem pak s profesorem Muynghshik Kimem a jeho studenty a kolegy spolupracoval na dvou tématech.

S profesorem Myuingshikem Kimem a Catherin Tate jsem spolupracoval na tématu implementace negaussovských operací pro dvoumódové stavy světla. Negaussovské operace jsou nutnou podmínkou pro plnohodnotné kvantové zpracování informace. Bez negaussovských operací nelze implementovat řadu protokolů, mezi kterými nechybí ani kvantové počítání, nebo destilace kvantové provázanosti. Z toho důvodu byla implementaci negaussovských operací věnována velká pozornost. Doposud se ale vědecká veřejnost většinou zaměřovala na negaussovské operace prováděné na jednom módu s tím, že rozšíření na více módů lze pak vždy provést pomocí operací gaussovských. Zůstává ale otázkou, zda je tento postup efektivní a zda není výhodnější implementovat vícemódové negaussovské operace přímo. A právě toto bychom v rámci této navázané spolupráce chtěli zjistit.

Poslední téma mé stáže, na kterém jsem spolupracoval s Profesorem Kimem a doktorem Genonim, se týkalo analýzy nekласičnosti negaussovských kvantových stavů vzhledem ke ztrátám. Negaussovské kvantové stavy jsou stejně důležité jako negaussovské kvantové operace. Jsou s nimi přímo spojené. A ztráty jsou každodenní realitou, se kterou se experimentátoři zabývající se kvantovou optikou musí potýkat. Je tedy za potřebí detailně pochopit, jakou přesně hrají ztráty roli, jak ovlivňují negaussovské kvantové stavy a jejich schopnost být využity v kvantově infromatických protokolech. Jen takto bude tedy možné ztrátám buďto přímo předejít, nebo sestavit nové protokoly tak, aby byly vůči ztrátám necitlivé. Jedním z důležitých kroků tímto směrem bude i nalezení vhodné míry nekласičnosti (a negaussovosti) s jejíž pomocí bude možné vliv ztrát možné analyzovat.

V rámci stáže jsem také podnikl jednodenní návštěvu University of Oxford, kde jsem si zájmem prohlédl laboratoře zabývající experimenty se světlem na úrovni jednotlivých fotonů.

Přednášky na navštíveném pracovišti

P. Marek: *Towards experimental implementation of cubic nonlinearity*

Tuto přednášku jsem přednesl na dvou seminářích, jednom konaném na Queen's University Belfast, druhém na Imperial College London. Na seminářích jsem shrnul výsledky vědecké činnosti katedry optiky, které se týkaly realizace nekласického negaussovského hradla a na kterých jsem se v uplynulých letech aktivně podílel. Konkrétně se jednalo o hradlo s takzvanou nelinearitou třetího řádu. Jedná se o operaci, která v současnosti není v kvantovém režimu dosažitelná. Nicméně přesně tato operace by se dala použít pro některé z úkolů univerzálního kvantového zpracování informace. Náš přístup, který počítá s realizací

hradla pomocí precizní kontroly jednotlivých fotonů, je sice náročný, ale nedávné pokroky v manipulaci s kvantovými stavy světla na University of Tokyo naznačují, že experimentální realizace je v dohledném obzoru proveditelná.

Shrnutí stáže

Stáž splnila svůj účel. Na Queen's University Belfast pokračovala spolupráce na dvou tématech z minulé návštěvy a byla zahájena nová spolupráce na novém tématu s novým členem týmu. Dále byla nově navázána spolupráce s prestižní Imperial College v Londýně. V rámci stáže jsem prohloubil své znalosti týkající se popisu interakce světla a mechanických systémů, tematiky Bellových nerovností, nelineární manipulace s kvantovými systémy a popisu neklasických vlastností kvantových systémů. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině projektu formou odborných seminářů.

