



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:	12.4.2012 – 12.5.2012
Navštívené pracoviště:	Queen's University Belfast, United Kingdom
Zahraniční garant:	Mauro Paternostro, 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(18)*)).

Skupina obsahuje celkem 12 členů, z čehož polovinu tvoří doktorští studenti a druhou polovinu vědečtí 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 a Gerardem McKeownem.

Průběh stáže

V průběhu stáže jsem s doktorem Paternostrem a jeho studenty a kolegy diskutoval několik volně souvisejících témat.

Tím prvním byla možnost využití bezšumových zesilovačů při testu Bellových nerovností. Bellovy nerovnosti byly navrženy jakožto arbit, který rozhodne vášnivou diskusi započatou

Einsteinem, Podolským a Rosenem (EPR) o tom, zda je kvantová fyzika schopná podat plnou informaci o fyzikální realitě. Základní premisou kvantové fyziky je totiž náhodnost – není možné předpovědět konkrétní výsledky jednotlivým měření, pouze jejich pravděpodobnosti. Podle EPR to tedy znamená, že popis pomocí kvantové teorie není kompletní, že musí existovat ještě nějaké další parametry, skryté proměnné nepopsané kvantovou fyzikou, které dokonale a deterministicky předpovídají výsledky měření a jejichž neznalost právě vede k pozorované náhodnosti. V odpověď na tuto diskuzi navrhl J. S. Bell nerovnosti pro výsledky konkrétní sady fyzikálních měření. Tyto nerovnosti jsou splněny každou fyzikální teorií založené na skrytých parametrech, zatímco kvantová fyzika předpovídá jejich porušení. Od svého uvedení byly Bellovy nerovnosti, ať už v podobě původní, nebo v některé z objevivších se alterací, mnohokrát experimentálně testovány a všechny výsledky doposud dávají za pravdu kvantové fyzice a její neodstranitelné náhodnosti. Stoprocentní jistotu však dosud nemáme, neboť doposud každý experiment obsahoval přinejmenším jednu koncepční skulinu, tzv. „loophole“. Takovýmito skulinami jsou například kompletní náhodnost při volbě konkrétních měření, dostatečná vzdálenost mezi jednotlivými měřícími stanovišti vylučující podsvětelnou komunikaci, nebo nutnost dostatečně vysoké detekční účinnosti. K dnešnímu dni byly všechny tyto skuliny v experimentech utěsněny, doposud však pouze jednotlivě, nikdy v rámci jediného experimentu. Má tedy stále smysl zabývat se novými druhy Bellových nerovností, které se mohou týkat nových fyzikálních systémů nenáchylných ke klasickým skulinám.

Má spolupráce se skupinou doktora Paternostra se týkala Bellových nerovností navržených pro provázané koherentní stavy. Základní ideou bylo použití bezšumového zesilovače v detekční části experimentu na porušení Bellových nerovností, kde by mohl sloužit ke zlepšení rozlišitelnosti koherentních stavů a tím k navýšení účinnosti detekce a případné kompenzace ztrát. Výhledově by tedy mohly být zesilovače použity k uzavření „skuliny detekční účinnosti“ (detection efficiency loophole). Naše práce se konkrétně zabývala teoretickou studií takovýchto případů. S doktorem Paternostrem a jeho studentem Gerardem McKeownem jsme analyzovali přínos různých druhů podmíněných bezšumových zesilovačů k porušení Bellových nerovností, kdy má orientace v oblasti bezšumových zesilovačů efektivně doplňovala tamní zaměření na Bellovy nerovnosti. Během spolupráce, která i po mém odjezdu stále pokračuje formou elektronické komunikace, jsem si osvojil techniky používané při práci s Bellovými nerovnostmi pro koherentní stavy.

Druhým tématem mé spolupráce s Belfastským týmem, jmenovitě s doktorem Paternostrem a postdocem Laurou Mazzolou, byla interakce světla s hmotným objektem. Fyzikálně může takovýto složený systém být realizován jakožto rezonátor, jehož jedno zrcadlo je relativně velice hmotné a může tedy být považováno za pevné, zatímco hmotnost druhého zrcadla, často pouze ultratenkého plíšku (cantilever) nebo membrány, je velice nízká, v důsledku čehož může být rozvibrováno pouze tlakem záření v rezonátoru. Vibrace tohoto zrcadla pak průběžně mění délku rezonátoru, což má zpětný vliv na vlastnosti světla v něm. Optický mód v rezonátoru a vibrační mód zrcadla je tedy možné považovat za svázané kvantové systémy, jejichž dynamiku je možné studovat pomocí řešení soustavy Liouvillových rovnic. Z matematického pohledu na věc je mechanický mód lehkého zrcadla popisován stejně jako optický mód světla v rezonátoru – jako kvantový mechanický oscilátor. Hlavní rozdíl je však v tom, že zatímco světlo je ze své podstaty málo interagující systém a jeho dynamiku je ve většině případů možno popsat pomocí unitární evoluce, mechanický mód je vázán na své okolí, které ho ovlivňuje mechanismem termálního Brownovského pohybu. Hlavním cílem naší spolupráce nebylo, na rozdíl od převážné většiny předchozích postupů, nalézt parametry vedoucí ke konkrétnímu stacionárnímu stavu, ať už základnímu stavu mechanického oscilátoru, nebo společnému entanglovanému stavu mechanického a optického oscilátoru.

Naším cílem bylo nalézt kontrolovaný režim, ve kterém je dynamiku vázaného systému optického a mechanického oscilátoru, případně dvou mechanických oscilátorů propojených jedním optickým (dva mechanické oscilátory tvořící rezonátor), možno popsat pomocí dobře definované dvoumódové operace QND typu.

Přednášky na navštíveném pracovišti

P. Marek: *Noiseless amplification of coherent states and other stories*

Tuto přednášku jsem přednesl na semináři uspořádaném za mého pobytu na Queen's University Belfast. V přednášce jsem shrnul výsledky vědecké činnosti katedry optiky z posledních let, na nichž jsem se spolupodílel. Jmenovitě se jednalo o bezšumové zesilování koherentních stavů světla, které se dá provést jak pomocí kontrolovaného přidávání a odebrání jednotlivých fotonů, tak i pomocí experimentálně mnohem snadnějšího přidání termálního šumu následovaného odebráním fotonů. Dále jsem mluvil o možnosti deterministické implementace nelineárního kubického hradla pro systémy se spojitými proměnnými, kde byla dosud nedostupná nelinearita třetího řádu nahrazena dostupnými nelinearitami druhého řádu a vhodným pomocným stavem zkonstruovaném pomocí tří jednofotonových operací.

Shrnutí stáže

Stáž splnila svůj účel. Stávající spolupráce byla rozšířena a dvě již zmíněná společná témata byla efektivně rozvíjena. V rámci stáže jsem získal řadu nových poznatků týkajících se práce s Bellovými nerovnostmi i řešení systémů obsahujících mechanické oscilátory. Tyto poznatky budou nedocenitelné jak v další práci na společných tématech s Queen's University Belfast, tak při práci na jiných problémech. Tyto poznatky budou dále předány cílové skupině projektu formou odborných seminářů.