



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:	21.1.2013 – 24.1.2013
Navštívené pracoviště:	INOA-LENS, Florencie, Itálie
Zahraniční garant:	prof. Marco Bellini
Účastník stáže:	doc. Mgr. Jaromír Fiurášek, Ph.D.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Evropská laboratoř pro nelineární spektroskopii (LENS) vznikla jako přední evropské výzkumné centrum, které poskytuje moderní laserová a spektroskopická zařízení pro vědecké pracovníky z evropských zemí a podporuje a usnadňuje výměnu vědeckých poznatků a technologií. Vedoucí výzkumní pracovníci jsou tvořeni profesory z univerzity ve Florencii a dalších významných vysokých škol. Oblasti výzkumu v LENS pokrývají široké spektrum témat od atomové fyziky po fotochemii, biofyziku a fotoniku.

Skupina profesora Marca Belliniho působící na LENS se dlouhodobě věnuje problematice experimentální kvantové optiky a optickému kvantovému zpracování informace. Pozornost týmu se zaměřuje na využití ultrakrátkých pikosekundových a femtosekundových laserových pulzů k čerpání nelineárních optických procesů a využití operací adice a subtrakce fotonů ke generaci silně neklasických stavů světla. Pro účely charakterizace generovaných kvantových stavů je používána časově rozlišená homodynní detekce s ultrakrátkými pulzy. Kromě profesora Belliniho v týmu dlouhodobě působí Dr. Alessandro Zavatta. V současné době se na experimentech podílí jako externista Ph.D. student profesora Mattea Parise z Milána a očekává se příchod dalšího Ph.D. studenta během jara roku 2013.

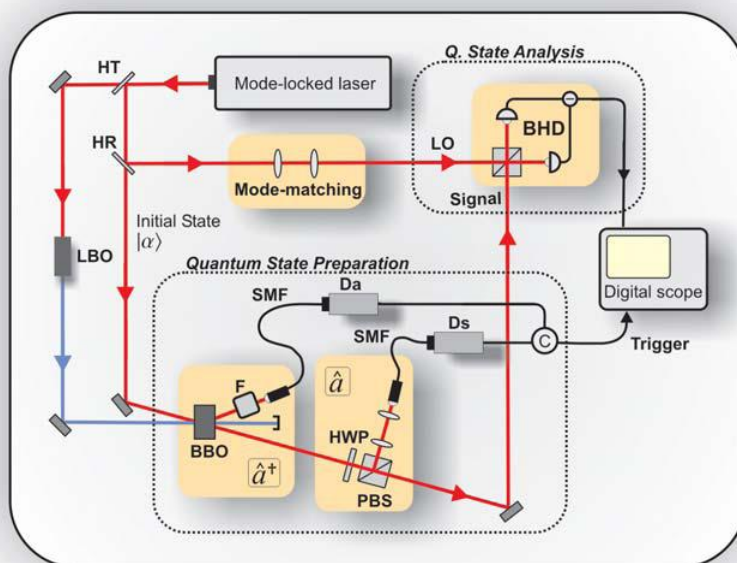
Průběh stáže

Během této krátkodobé vědecké stáže jsme se zejména zaměřili na diskusi možnosti experimentálního testování specifických vlastností operace podmíněné bezšumové atenuace světla. Jedná se speciální kvantový Gaussovský filtr, který utlumuje amplitudy Fockových stavů faktorem exponenciálně klesajícím s rostoucím počtem fotonů N . Tento kvantový filtr přitom nijak nenarušuje čistotu kvantového stavu a zachovává kvantovou koherenci. Ukazuje se, že pro negaussovské kvantové stavy světla může nastat zdánlivě paradoxní jev, kdy po bezšumové atenuaci dojde k zesílení komplexní amplitudy daného módu elektromagnetického

pole. Cílem našich debat a analýz bylo navrhnout schémata, jež by potenciálně umožňovala experimentální ověření tohoto překvapivého fenoménu.

Nejprve jsme se zaměřili na analýzu možnosti implementace bezšumové atenuace. Tuto operaci je možné realizovat pomocí děliče svazku s vhodným dělicím poměrem, jehož pomocný výstupní port je monitorován pomocí jednofotonového detektoru. Pokud tento detektor nezaregistruje žádný foton, dojde k projekci na vakuum, jež indikuje úspěšnou bezšumovou atenuaci. V praxi je ovšem toto podmiňování na „nekliknutí“ detektoru komplikováno nízkou celkovou detekční účinností. Byly proto zvažovány možnosti, jak tuto detekční účinnost maximalizovat. V úvahu přichází zejména odstranění úzkospektrálních filtrů či použití filtrů s větší šířkou, jež zajistí optimální kolekci signálu. Dále lze uvažovat o zvýšení závěrného napětí na lavinové diodě. To může vést ke zvýšení účinnosti při současném nárůstu temných kliků detektoru. To ovšem nevadí, protože události, kdy dojde k falešné detekci fotonu, jsou eliminované a jen mírně snižují celkovou pravděpodobnost úspěchu daného experimentu. Konečně je možné uvažovat o změně vlnové délky, protože se v laboratoři pracuje na vlnové délce 800 nm, zatímco maximum detekční účinnosti křemíkových lavinových fotodiod se nachází v oblasti cca 650 nm. Tato poslední možnost ovšem v laboratoři profesora Belliniho nepřichází v praxi v úvahu, protože by vyžadovala radikální přestavbu celého experimentu.

Místo lavinové fotodiody by bylo v principu možné použít rovněž dva homodynní detektory, s jejichž pomocí je možné provést projekci na koherentní stavy. Pokud je naměřená amplituda blízká 0, lze takovouto projekci považovat efektivně za projekci na vakuový stav. Použití dvou homodynních detektorů by ovšem vyžadovalo extenzivní zásahy do stávajícího experimentálního uspořádání, bylo by třeba dosáhnout vysoký módový překryv signálu s dalšími dvěma lokálními oscilátory, a navíc by výsledná efektivní pravděpodobnost úspěchu byla velice nízká. V dalších debatách bylo proto předpokládáno použití jednofotonových detektorů, které jsou buď již přímo zabudované ve stávajícím experimentálním uspořádání, anebo je lze relativně snadno do tohoto uspořádání doplnit.



Experimentální uspořádání kombinující operace přidání a odebrání fotonů z módu pole, které je k dispozici v laboratoři profesora Belliniho.

Pro generaci negaussovských stavů jsou v laboratoři profesora Belliniho k dispozici operace přidání a odebrání fotonu z módu pole, jež jsou obě realizované pomocí jednofotonových detektorů a dalších komponent. První schéma, které jsme navrhli a předběžně analyzovali, spočívalo v použití superpozice vakuového a jednofotonového stavu, v němž dominuje jednofotonová komponenta. Tento stav je možné připravit ze vstupního vakuového stavu pomocí kombinace koherentního posunutí a přidání fotonu do módu pole. Příslušné koherentní posunutí je možné prakticky docílit injekcí pomocného koherentního laserového svazku do jalového vstupního módu nelineárního optického krystalu používaného pro podmíněné přidání fotonu. Pokud by příprava i detekce stavu byly ideální, je možné pro tento vstupní stav pozorovat zesílení amplitudy pomocí bezšumové atenuace. Ukazuje se však, že pro pozorování tohoto jevu je nezbytná celková detekční účinnost nejméně 50%. Tento požadavek je v praxi velmi obtížné splnit, protože kvantová účinnost používaných detektorů činí něco málo přes 60% a další ztráty jsou způsobené jednotlivými optickými elementy a nedokonalým módovým překryvem.

Přistoupili jsme proto k hledání alternativního schématu, kde by byl použit složitější vstupní stav, a které by díky tomu bylo více robustní vzhledem k experimentálním nedokonalostem. Ukazuje se, že vhodným kandidátem je stav připravený pomocí kombinace přidání fotonu a koherentního posunutí z koherentního stavu s malou amplitudou. První výpočty a teoretické analýzy naznačují, že pro vhodně zvolené parametry by tento stav mohl umožnit pozorování výše specifikovaného efektu i při nízké detekční účinnosti a nedokonalé přípravě vstupního stavu, kdy přidání fotonu proběhne s určitou pravděpodobností do jiného módu pole než toho, který je následně měřen homodynním detektorem. Bylo dohodnuto, že po ukončení stáže bude pokračovat detailní teoretická analýza navržených experimentálních schémat.

V průběhu stáže jsme rovněž podrobně diskutovali průběh realizace experimentů, které byly naplánované během mé předchozí stáže v létě 2011. Potřebné experimentální uspořádání bylo zkompletováno, avšak v průběhu jeho testování se narazilo na řadu problémů, které byly postupně odstraňované. Největší úskalí představoval nesoulad mezi měřeními počtu fotonů pomocí jednofotonových detektorů a homodynního detektoru. V důsledku těchto komplikací nebylo možné provést korektní kalibraci detektorů a finální akvizici dat. Ve finále se ukázalo, že tento problém je s největší pravděpodobností zapříčiněn vadnými koaxiálními kabely a byla proto provedena kompletní výměna této kabeláže. Na jaře tohoto roku by měl do skupiny prof. Belliniho nastoupit Ph.D. student, který se bude věnovat realizaci tohoto experimentu. Pokud nenastanou další komplikace, lze očekávat první výsledky během letošního léta.

Přednáška na navštíveném pracovišti

J. Fiurášek: *Experimental demonstration of quantum non-Gaussian character of nonclassical states of light*

Na neformálním vědeckém semináři skupiny profesora Belliniho jsem prezentoval aktuální vědecké výsledky týkající se detekce a identifikace kvantově negaussovských stavů světla. V úvodní části semináře jsem definoval pojem kvantově negaussovských stavů světla a prezentoval jsem jednoduché kritérium pro jejich detekci pomocí měření pravděpodobnosti vakua a jednofotonového stavu v módu pole. Následně jsem pojednal o dvou experimentech, kde bylo toto kritérium aplikované na podmíněně generované silně neklasické stavy světla. V prvním experimentu, realizovaném na katedře optiky PřF UP, byl podmíněně generovaný

jednofotonový stav pomocí detekce jalového fotonu z páru korelovaných fotonů generovaných pomocí sestupné frekvenční parametrické konverze. Ve druhém experimentu, který uskutečnila skupina profesora U.L. Andersena v dánském Lyngby, byl generován negaussovský kvantový stav pomocí subtrakce fotonu z pulzního stlačeného vakuového stavu. V následné diskusi jsme hovořili zejména o možnosti aplikace tohoto kritéria na neklasické stavy generované v laboratoři profesora Belliniho.

Shrnutí stáže

Stáž vedla k posílení vazeb a rozvoji spolupráce s profesorem Bellinim. Bylo navrženo nové experimentální schéma pro testování specifických vlastností operace podmíněné bezšumové atenuace. V diskusích s prof. Bellinim a Dr. Zavattou jsem si doplnil nové poznatky z experimentální kvantové a nelineární optiky s ultrakrátkými optickými pulzy a jednofotonové a homodynní detekce. Tyto poznatky budou dále předávány cílové skupině prostřednictvím odborných seminářů.