

POPIS ŘEŠENÍ PROJEKTU v roce 2008

Název projektu: Centrum moderní optiky
Evidenční číslo projektu: LC06007

Příjemce-koordinátor: Univerzita Palackého v Olomouci (UPOL)
Řešitel-koordinátor: doc. Mgr. Jaromír Fiurášek, Ph.D.

Příjemce: Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i. (ÚPT)
Řešitel: doc. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D.

Centrum moderní optiky představuje projekt udělený v rámci programu MŠMT Centra základního výzkumu. Cílem tohoto programu je podpořit spolupráci špičkových vědeckých pracovišť v ČR a jejich spolupráci se zahraničními pracovišti tak, aby byla zvýšena jejich konkurenceschopnost v Evropském výzkumném prostoru, a přispět k výchově mladých odborníků.

I. Průběh řešení projektu v roce 2008

V rámci Centra moderní optiky je prováděn základní teoretický a experimentální výzkum ve třech směrech, jež celosvětově patří k nejvýznamnějším oblastem současného výzkumu v optice:

- (i) Kvantová optika, optické kvantové komunikace a kvantové zpracování informace
- (ii) Generace nedifrakčních a vírových optických polí a jejich využití pro manipulaci mikročástic a přenos informace
- (iii) Vývoj nových pokročilých interferometrických měřicích metod.

Řešení projektu v roce 2008 probíhalo plně v souladu s plánem. Jednotlivé dílčí směry výzkumu v roce 2008 odpovídaly dílčím cílům projektu. V rámci řešení každého dílčího cíle byly uskutečněny všechny plánované kroky, v duchu cílů projektu byla posilována spolupráce se zahraničím a probíhala výchova mladých vědeckých pracovníků, a byly dosaženy nové vědecké výsledky, jež jsou podrobněji specifikovány níže pro každý dílčí cíl. Tyto výsledky dávají velmi dobrý předpoklad pro úspěšné pokračování řešení projektu v roce 2009 a naplňování požadovaných cílů poskytovatele.

V001 Experimentální realizace různých typů nedifrakčních a vírových polí

Dílčího cíle V001 bylo úspěšně dosaženo v plánovaném termínu 31.12. 2007. V průběhu řešení tohoto dílčího cíle se ovšem objevily nové perspektivní směry dalšího výzkumu v oblasti nedifrakčních a vírových optických polí. Proto i v roce 2008 pokračovaly výzkumné aktivity v tomto směru v návaznosti na výsledky dosažené v předchozích letech.

Byl experimentálně rozpracován nový postup tvarování koherentního optického záření založený na fázové modulaci prostorového spektra nedifrakčního laserového svazku. V navrženém experimentu bylo spektrum nedifrakčního svazku vytvořeného axikonem fázově modulováno opticky adresovatelným prostorovým modulátorem světla. Experiment byl proveden ve spolupráci se skupinou prof. K. Dholakii z Univ. St. Andrews a prokázal možnost efektivní generace jednoduchých i vícenásobných nedifrakčních svazkových polí a čistých i smíšených vírových svazků, které přenášejí orbitální moment hybnosti. V experimentu je možné pomocí PC dynamicky ovládat 3D rozložení intenzity výsledného pole a využít ho pro zachycení a třídění elektricky neutrálních částic. Experiment vyústil do realizace bio-fotonické pracovní stanice, která představuje uživatelsky přístupnou alternativu holografické laserové pinzety.

Princip fázové modulace prostorového spektra nedifrakčního svazku byl rovněž využit pro optimalizovaný návrh kompaktního laserového konvertoru, který byl následně realizován ve spolupráci s odborníky podniku Meopta-optika, s.r.o. Systém umožňuje generaci svazků středního dosahu, které budou využívány k laboratorním testům metod bezdrátového přenosu informace. Laserový konvertor lze navázat na optickou pinzetu ve které jsou vytvořeny nedifrakční mikrosvazky s rozměrem jednotek mikrometrů a dosahem několika milimetrů. Pomocí konvertoru je možné svazky opticky plynule přemísťovat a dosáhnout tak technicky jednoduchého způsobu zachycení a dynamické manipulace částic. V provedených experimentech bylo ověřeno zachycení polystyrénových kuliček o průměru 5 μm a jejich plynulé přemístění v oblasti o rozměrech (40x40) μm^2 .

V002 Řízený pohyb a samouspořádávání mikroobjektů v nedifrakčních a vírových polích

Pokračovali jsme v aktivitách z minulých let, které jsme zaměřili na teoretické studium rovnovážné polohy v systému tří objektů ozářených protiběžnými nekoherentními nedifrakčními svazky. Využili jsme metodu vázaných dipólů a zvolili jsme parametry, které odpovídaly experimentálnímu uspořádání. Prokázali jsme existenci dalších rovnovážných poloh, ve kterých částice nejsou vůči sobě symetricky uspořádané. Metodu vázaných dipólů jsme dále zdokonalovali, jednalo se zejména o nalezení kritérií pro správný výpočet silového působení na absorbující (kovové) částice. Ukázalo se, že absorbující částice vyžadují mnohem větší počet dipólů, do kterých je objekt rozložen, a rovněž řádově více iteračních kroků. Správnost výpočtu byla ověřována vzhledem k výsledkům získaných zobecněnou mieovskou teorií rozptylu, kterou lze použít i na kulové absorbující objekty. Tento krok nám pomůže vysvětlit pozorované chování desítek zlatých částic o velikostech 150 nm a 200 nm v beselovské stojaté vlně. I přes existenci výrazných rovnovážných poloh jsme opět pozorovali shlukování částic do několika řetězků, podobně jako v případě optického vázání částic v nekoherentních protiběžných svazcích. Vytvořili jsme softwarový balík, který sloučil numerický výpočet sil s pohybovými rovnicemi pro každý objekt v systému a umožňuje sledovat časový vývoj z dané konfigurace (tento typ počítačových simulací se nazývá molekulární dynamikou).

Dále jsme experimentálně studovali chování více částic plošně ozářených širokým gaussovským svazkem. Pozorovali jsme několik zcela nových jevů souvisejících se samouspořádáním částic, které vytvořily opticky vázanou strukturu. Tato struktura se v ozářeném poli pohybovala nečekaným způsobem a na pochopení tohoto jevu intenzívně pracujeme právě s využitím výše zmíněné molekulárně dynamické metody vázaných dipólů.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a výsledkům dosaženým v letech 2006 a 2007 tak bylo v plánovaném termínu 31.12.2008 úspěšně dosaženo tohoto dílčího cíle.

V003 Návrh metod a protokolů pro kvantové zpracování informace se spojitými proměnnými.

V přímé návaznosti na předchozí výzkum v oblasti destilace a purifikace jednomódových stlačených stavů světla byly teoreticky analyzovány a ve spolupráci se skupinou prof. R. Schnabela v Hannoveru a prof. G. Leuchse v Erlangenu experimentálně demonstrovány dva protokoly pro destilaci a koncentraci kvantové provázanosti dvoumódových stlačených vakuových stavů světla. Tyto protokoly umožňují redukovat negativní vliv fázových či amplitudových fluktuací, jež nevyhnutelně narušují tyto stavy při jejich distribuci volným prostorem či optickými vlákny. Důležitým aspektem uvažovaných druhů šumu je, že transformují vstupní Gaussovské stlačené stavy světla na negaussovské stavy. Díky tomu je možné provést destilaci a purifikaci pouze pomocí Gaussovských operací, jmenovitě interference na děličích svazku a homodynní detekce. Na základě výsledku homodynních měření a klasické komunikace je stanoveno, zda destilace uspěla či nikoliv. Realizované experimenty představují celosvětově první experimentální implementaci protokolů pro destilaci kvantové provázanosti stavů spojitých kvantových proměnných. Byla rovněž teoreticky studována související problematika Gaussovské kvantové korekce chyb a bylo ukázáno, že pro Gaussovské kvantové kanály a Gaussovské stavy nelze realizovat kvantovou korekci chyb pouze pomocí

Gaussovských operací. Byla zavedena degradace kvantové provázanosti jako jednoduchá kvantitativní charakteristika schopnosti jednomódových gaussovských kanálů přenášet kvantovou provázanost.

Dále byla detailně analyzována problematika lokalizace kvantové provázanosti smíšených Gaussovských multimódových stavů do dvojice módů pomocí lokálních Gaussovských měření na ostatních módech. Byla nalezena optimální Gaussovská měření pro lokalizaci kvantové provázanosti multimódových stlačených stavů světla. Byl podán detailní důkaz, že pro symetrické stavy je optimální provést na každém z měřených módů homodynní detekci určité kvadratury. Pro libovolný třímódový smíšený stav byl problém nalezení optimální detekční strategie redukován na výpočet kořenů polynomu.

Konečně byla teoreticky studována příprava koherentních superpozic dvou stlačených koherentních stavů ze stlačeného světla. Bylo ukázáno, že s využitím opakované operace odečtení či přičtení fotonu je možné generovat stlačené superpozice koherentních stavů s fidelitou vyšší než 99% a amplitudou narůstající se zvyšujícím se počtem operací odečtení/přičtení fotonu.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a výsledkům získaným v letech 2006 a 2007 tak bylo v plánovaném termínu 31.12.2008 úspěšně dosaženo tohoto dílčího cíle.

V004 Realizace nových zdrojů párů korelovaných a entanglovaných fotonů a jejich využití pro experimenty v oblasti kvantové optiky a komunikace.

Kompaktní zdroj párů korelovaných fotonů tvořený nelineárním krystalem čerpaným laserovou diodou CUBE byl využit k experimentální realizaci programovatelného jednofotonového kvantového logického hradla. Toto zařízení umožňuje vnést libovolný fázový posuv mezi vertikálně a horizontálně polarizované stavy datového fotonu, přičemž velikost tohoto fázového posuvu je specifikována kvantovým stavem pomocného programového fotonu. Programovatelné kvantové hradlo bylo implementováno pomocí interference datového a programového fotonu na polarizačním děliči svazku a následné detekce programového fotonu. Byla provedena úplná tomografie výsledné jednofotonové kvantové operace pro různé hodnoty naprogramovaného fázového posuvu. Na základě získaných výsledků byla provedena kompenzace fixního fázového posuvu, který byl vnesen použitým polarizačním děličem. Bylo ukázáno a experimentálně ověřeno, že s použitím alternativní třídy programových stavů může dané zařízení fungovat rovněž jako programovatelný kvantový filtr, který částečně atenuuje buď horizontálně či vertikálně polarizované fotony. Experimentálně stanovená průměrná fidelita implementovaných kvantových operací převyšuje 97% a je limitována zejména nedokonalostmi použitého polarizačního děliče svazku.

Pokračovaly rovněž experimenty se zdrojem párů časově korelovaných fotonů generovaných v nelineárním krystalu čerpaném pulzním femtosekundovým titan-safírovým laserem. Pomocí detekce jalového fotonu byl podmíněně připraven signální pulz v jednofotonovém stavu. Následně byla studována interference tohoto fotonu s časově synchronizovaným fotonem z primárního koherentního čerpacího pulzu na vyváženém vláknovém děliči svazku. Byly měřeny třífotonové koincidence na výstupu vláknového děliče současně s detekcí jalového fotonu a byl pozorován Hong-Ou-Mandelův dip s vizibilitou 84%. Dále byla realizována podmíněná generace kvantově provázaných polarizačních stavů dvou fotonů pomocí interference signálního a jalového fotonu na vyváženém vláknovém děliči svazku a postselekce případů, kdy v každém výstupním portu děliče se nacházel jeden foton. Byla provedena úplná tomografie připraveného dvoufotonového stavu a bylo dosaženo fidelity 97% s maximálně provázaným singletním stavem. Byla úspěšně zvládnuta technika kompenzace náhodné transformace polarizačních stavů fotonů při šíření optickými vlákny. Použití optických vláken umožňuje dosažení velmi vysokého prostorového překryvu fotonů a tedy vysoké vizibility dvoufotonové interference. Kromě standardního pulzního režimu titan-safírového laseru s opakovací frekvencí 76 MHz byl úspěšně testován i nestandardní režim s dvojnásobnou opakovací frekvencí 152 MHz, což umožnilo zvýšit odstup signálu od šumu způsobeného falešnými detekčními událostmi. Výše popsané techniky byly následně zkombinovány, což vyústilo v úspěšnou experimentální realizaci kvantové teleportace polarizačního stavu jednoho fotonu. Průměrná fidelita teleportovaných stavů

činila 94%. Specifickým rysem implementovaného teleportačního schématu je, že ač využívá kódování kvantových bitů do polarizačních stavů fotonů, tak celé schéma je sestaveno z optických vláken a vláknových děličů svazku.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a výsledkům dosaženým v letech 2006 a 2007 tak bylo v plánovaném termínu 31.12.2008 úspěšně dosaženo tohoto dílčího cíle.

V005 Nové metody přenosu a zpracování informace využívající kvantové interference fotonů.

Byly zkoumány možnosti využití kombinace jedno- a více-fotonové interference pro realizaci různých lineárně optických kvantových logických hradel a filtrů pro tři kvantové bity zakódované do polarizačních stavů jednotlivých fotonů. Bylo teoreticky navrženo schéma pro realizaci lineárně optické kvantové Fredkinovy brány, jež je technicky výrazně jednodušší oproti předchozím schématům a vyžaduje stabilizaci pouze jednoho Machova-Zehnderova interferometru. Rovněž bylo navrženo lineárně optické schéma pro implementaci třídy kvantových hradel, jež představují zobecnění hradla pro částečnou výměnu stavů dvou kvantových bitů na tři kvantové bity.

Byl úspěšně experimentálně realizován laditelný kvantový filtr umožňující částečnou symetrizaci nebo anti-symetrizaci polarizačního stavu dvou fotonů pomocí interference v Mach-Zehnderově interferometru doplněném o další pomocné děliče svazku a variabilní atenuátory. Kvantový filtr byl detailně charakterizován pomocí úplné tomografie kvantového procesu a byla potvrzena vysoká kvalita implementovaných operací, fidelita procesu převyšuje 90% pro většinu stupňů symetrizace i anti-symetrizace. Významným technickým aspektem realizovaných kvantových filtrů je jejich snadná laditelnost, stupeň symetrizace/anti-symetrizace lze snadno měnit pomocí variabilních atenuátorů.

Ve spolupráci se skupinou prof. F. De Martiniho v Římě byla experimentálně demonstrována možnost redukce šumu při přenosu kvantově provázaných stavů dvou fotonů kvantovou komunikační linkou, kde dochází ke směšování signálního fotonu se šumovými fotony. Metoda je založena na měření výstupního stavu šumového fotonu a aplikaci korekční operace na signální foton. Funkčnost procedury pro potlačení šumu byla detailně ověřena pomocí tomografické rekonstrukce distribuovaných dvoufotonových stavů a bylo ukázáno, že tato technika umožňuje docílit úspěšné distribuce kvantové provázanosti i v případech, kdy původní komunikační linka přidávala tak velké množství šumu, že výsledný distribuovaný stav byl separabilní pro libovolný vstupní stav.

V006 Kvantové kopírování a kvantové měření

Byla experimentálně realizována dvě schémata pro optimální asymetrické fázově kovariantní kopírování polarizačních stavů fotonů. Obě uspořádání sestávají z dvoufotonové interference na objemovém či vláknovém děliči svazku následované částečnou polarizační filtrací pomocí dvojic nakloněných skleněných destiček. Stupeň polarizační filtrace přitom určuje asymetrii kopírovací operace. Obě klonovací zařízení byla detailně charakterizována měřením fidelit klonů pro řadu různých vstupních stavů a různých hodnot asymetrie. Uspořádání založené na vláknovém děliči svazku umožnilo generovat vysoce kvalitní kopie, jejichž fidelita převyšovala maximální fidelitu dosažitelnou pro daný stupeň asymetrie pomocí optimální univerzální kopírovací operace.

Ve spolupráci se skupinou prof. R. Schnabela v Hannoveru byla studována rekonstrukce kvantových stavů pomocí Bayesovské metody analýzy dat a algoritmu MCMC (Markov Chain Monte Carlo). Tato technika umožňuje stanovit posteriorní distribuce estimovaných parametrů a neurčitosti jejich odhadu. Metoda byla úspěšně aplikována na rekonstrukci stlačených stavů narušených náhodnými fázovými fluktuacemi z experimentálních dat získaných pomocí homodynní detekce.

Rovněž byla analyzována atomová magnetometrie založená na měření rotace kolektivního spinu oblaku atomů v magnetickém poli prostřednictvím kvantově nedemoliční interakce atomů s pomocným optickým svazkem, který je následně měřen self-homodynním detektorem. Pro libovolný časový průběh svazku byl nalezen optimální lineární estimátor hodnoty magnetické indukce z detekovaného signálu. Následně byl stanoven optimální časový profil svazku, který pro danou fixní

dobu měření a energii minimalizuje chybu měření. Bylo ukázáno, že prostřednictvím tvarování časového průběhu optického svazku je možné dosáhnout určitého snížení chyby měření, ale asymptotické škálování této chyby nemůže být zlepšeno ve srovnání s postupem využívajícím svazek s konstantní intenzitou.

V007 Studium a rozvoj metod stabilizace femtosekundového syntežátoru optických frekvencí a jeho návaznost na lasery vhodné pro přenos kvantové informace v telekomunikační spektrální oblasti (1550 nm).

V rámci této aktivity se podařilo dosáhnout konkrétních výsledků při srovnávání limitů absolutních frekvenčních offsetů u absorpčních kyvet pro stabilizaci frekvenčně zdvojnásobených Nd:YAG laserů. Měření probíhala na přepínatelné kyvetě pro různé podmínky evakuace, odplynění, purifikace a plnění ultra čistým jodem. V návaznosti byla tato data porovnána s hodnotami měření absolutních offsetů měřených srovnáním Nd:YAG laserů a měřením metodou indukované fluorescence. Z toho je možné vyvodit konkrétní závěry pro dosažitelné hodnoty nejen relativní nejistoty, ale i absolutní hodnoty optické frekvence etalonových jodem stabilizovaných Nd:YAG laserů. Tyto stabilizované laserové systémy představují v dnešní době nejpřesnější normál optické frekvence, který je prakticky použitelný v laboratorních podmínkách. Dosavadními výsledky této aktivity jsou tedy hodnoty absolutních frekvenčních posuvů a nepřímého určení čistoty jodových kyvet metodou indukované fluorescence v souvislosti s technologií přípravy kyvet. Tyto údaje popisují technologické možnosti výroby absorpčních kyvet pro stabilizaci základních etalonů optické frekvence a odhadovaný limit dosažitelné nejistoty.

V008 Zpracování kvantové informace využívající interakce záření s atomy.

Byla navržena metoda přípravy libovolných stavů atomové kvantové paměti tvořené oblakem atomů, kde informace je zapsána do stavu kolektivního atomového spinu či pseudospinu. Navržený protokol využívá kvantovou nedemoliční interakci atomů s pomocným optickým svazkem připraveným v silně neklasickém stavu a homodynní detekci výstupního optického svazku. Byl odvozen obecný vzorec pro kvantovou operaci provedenou na atomovém oblaku pro daný počáteční stav světelného svazku a výsledek homodynní detekce. S použitím neklasického stavu světla připraveného odečtením fotonu ze stlačeného vakua je možné realizovat silně neunitární transformaci stavu atomové paměti popsanou aplikací kvadraturního operátoru na tento stav. Bylo ukázáno, že s pomocí sekvence těchto elementárních transformací a operací koherentního posunutí, jež lze realizovat pomocí magnetického pole, lze vygenerovat celou třídu silně neklasických stavů atomové paměti, včetně Fockových stavů. Kvalitu generovaného stavu lze pro danou pravděpodobnost úspěchu přípravy výrazně zlepšit pomocí zpětné vazby ve formě koherentního posunutí závislého na výsledku homodynní detekce. Kromě přípravy silně neklasických stavů lze podmíněné negaussovské operace na atomovém oblaku použít rovněž ke koncentraci kvantové provázanosti stavů atomové paměti. Důležitým rysem navrženého protokolu je to, že všechny jeho ingredience, jako jsou potřebné silně neklasické stavy světla, kvantově nedemoliční interakce mezi světlem a atomy a koherentní posunutí stavu atomové paměti, byly již dříve úspěšně experimentálně realizovány.

V009 Nové metody přenosu informace využívající prostorové stupně volnosti nedifrakčních a vírových svazků.

V návaznosti na předchozí návrh metody vírového přenosu informace byla provedena podrobná analýza relací neurčitosti na kruhu pro kvantové proměnné popisující vírové stavy světla. Pozornost byla zaměřena na teoretické studium a experimentální ověření neurčitosti úhlového rozdělení amplitudy svazku a jeho orbitálního momentu hybnosti. Detailně byly studovány inteligentní stavy, které neurčitost úhlu a orbitálního momentu minimalizují. Teoretické výsledky, které byly získány ve spolupráci s prof. L.L. Sánchezem-Sotem z Univ. v Madridu, byly ověřeny na inteligentních stavech odpovídajících Mathieuovým svazkům. Provedené experimenty byly založeny na přípravě vírových stavů světla pomocí amplitudové modulace a na následné analýze spektra orbitálního momentu hybnosti. Experimentální analýza těchto stavů je limitována přesností metody použité pro měření

orbitálního momentu hybnosti vírových módů. Určení váhy jednotlivých vírových komponent analyzovaného pole je založeno na separaci vybraného módu s topologickým nábojem m a na následném určení jeho intenzity. Informace o celém spektru je získána opakováním tohoto postupu. Separace proměřovaného módu s topologickým nábojem m se provádí pomocí transformace testovaného pole fázovým prostorovým modulátorem světla, který eliminuje singularitu vlnoplochy vybraného módu a převádí ho na svazek běžného typu. Pro eliminaci vlnoplochy s topologickým nábojem m je nutné na prostorovém modulátoru vytvořit spirální fázovou strukturu charakterizovanou topologickým nábojem $-m$. V reálném experimentu nemůže mít spirální struktura spojitou úhlovou změnu fáze ale je vzorkována diskrétními úrovněmi jednotlivých segmentů. Způsob diskretizace spirální struktury vede k přeslechům při určování orbitálního momentu hybnosti vybraného módu. V provedených experimentech byl uplatněn optimalizovaný návrh fázových masek pro prostorový modulátor světla, který umožnil zmenšení přeslechů při určování orbitálního momentu hybnosti vírových módů tvořících analyzovaný svazek. Dílčím úkolem byla realizace pokročilé komunikace mezi systémy pro generaci a detekci světelných vřív, která umožnila automatizaci měření a určení spektra orbitálního momentu hybnosti v dostatečném rozsahu.

V010 Teoretický návrh a experimentální ověření pokročilých interferometrických metod měření geometrických veličin s využitím stojaté vlny a kvantové optiky.

Výzkum v této části byl zaměřen na další rozpracování metod využití stojaté vlny laserového záření. První oblastí bylo opět použití optických rezonátorů pro měření indexu lomu vzduchu a druhá byla orientována na zkoumání metod generování přesné geometrické délky pomocí femtosekundového pulsního laseru. V rámci první oblasti této aktivity jsme se zaměřili na rozšíření metody měření indexu lomu vzduchu pomocí soustavy pasivních optických rezonátorů. Vycházeli jsme z dosavadních metod, kdy je index lomu vzduchu měřen absolutně během zdoluhavé evakuace, nebo umožňují jen sledování změn. Návrh naší sestavy vychází z cíle mít k dispozici okamžitou absolutní hodnotu indexu lomu. Jako zdroj byl určen široce přeladitelný laser, monitorující změnu délky optického rezonátoru vlivem změny hodnoty indexu lomu vzduchu. V druhé oblasti, tj. generování etalonu délky pomocí optických rezonátorů, jsme vylepšili pilotní soustavu realizovanou v roce 2007. Jde zejména o inovaci z hlediska možnosti přeladění délky rezonátoru na vybrané jednotlivé komponenty frekvenčního spektra bílého kontinua, které generuje stabilizovaný femtosekundový laser. Rovněž byla na uvedená témata podána přihláška do druhé výzvy 7RP EU v kategorii Ideas - Starting Grant s názvem FEMTO-M (Modelocked femtosecond laser as a tool for ultra-precise measurement in the nanoworld and metrology of length). Vyhodnocení soutěže se předpokládá během roku 2009.

V011 Usměrnění stochastického pohybu koloidních částic s využitím prostorově tvarovaných světelných polí.

Pokračovali jsme v experimentálním a teoretickém sledování transportu jedné mikročástice případně submikrometrové částice v nezářivých světelných polích. Nezářivé pole jsme vytvářeli ve vodě nad povrchem polokulové čočky, která byla ozářena dvěma laserovými svazky dopadajícími pod úhlem větším než mezní. Zastíněním jednoho svazku jsme sledovali transport suspendované částice s využitím radiačního tlaku jedné evanescentní vlny. Odstínění svazku způsobilo interferenci obou protiběžných svazků a vytvoření stojaté evanescentní vlny. Řízená změna fáze jedné z vln zajistila pohyb interferenční struktury a spolu s ní i transport částic v tzv. optickém dopravníku. Stojatá vlna vytvořila periodický systém potenciálových minim, ve kterých částice mohla být lokalizována. Pohyb částice spolu se světelnou strukturou vyvolá ve viskózním prostředí stokesovskou sílu, která působí proti pohybu částice. Dojde k nahnutí periodického potenciálové profilu a v důsledku tepelného (brownovského) pohybu částic roste pravděpodobnost přeskočení částice do sousedního minima proti směru pohybu. Teoreticky a experimentálně jsme porovnali rychlosti transportu pro různě velké částice oběma výše zmíněnými metodami. Prokázali jsme, že polystyrénové částice menší než 220 nm jsou rychleji dopravovány optickým dopravníkem, naopak větší částice jsou rychleji přemísťovány radiačním tlakem jednoho svazku. Výsledky byly publikované v jedné impaktované publikaci a několika konferenčních sbornících. V protiběžném uspořádání svazků jsme se zaměřili na rychlost transportu skupiny stejně velkých částic. Experimentálně jsme prokázali, že více částic je dopravováno

rychleji než částice jediná. Zatím nemáme vhodný teoretický model, zahrnující výpočet optických sil na více objektů kombinovaný s hydrodynamickou silou působící na vytvořenou strukturu při laminárním proudění. Jsou dokončovány experimenty a připravována publikace.

Ke konci roku 2008 jsme sestavili další experimentální sestavu, která umožňuje studovat chování částic v interferenční struktuře vytvořené několika svazky. Tato sestava využívá prostorový fázový modulátor světla (SLM) a je unikátní v tom, že umožňuje bezdotykově a dynamicky měnit parametry optických struktur a sledovat změnu v chování mikročástic. Úspěšně jsme na pracovišti ÚPT vytvořili i vírové struktury a navázali tak na unikátní výsledky prof. Z. Bouchala z pracoviště UPOL. Další experimenty budou probíhat v roce 2009.

Dále jsme se zaměřili na popis silového působení na neseferické částice. Zvolili jsme částice s optickou hustotou blízkou okolnímu prostředí a tento krok umožnil použít analytický popis optických sil působících ve stojaté vlně. Studovali jsme dva tvary částic, které vznikly buď fúzí několika stejných kulových částic nebo sinusoidální modulací poloměru válce. Měnili jsme periodicitu částice a definovali parametry, které až o řád zvýšily axiální optickou sílu. Chování stejně tvarovaných částic o větším indexu lomu bylo studováno s využitím metody vázaných dipólů. Je dokončována publikace.

Na požádání editora časopisu Electrophoresis jsme připravili jeden z nejobsáhlejších přehledových článků o optických mikromanipulačních metodách a jejich aplikacích, který obsahuje 474 referencí. S partnery z COST Akce MP0604 "Optical Micro-Manipulation by Nonlinear Nanophotonics" jsme připravili žádost o projekt 7 RP ve výzvě FP7-PEOPLE-ITN-2008 s názvem "Optical control and manipulation at micron and nano scale". Žádost však nebyla úspěšná.

II. Personální a organizační zabezpečení

Pracoviště UPOL

Řešitelský tým tvoří 5 profesorů, 3 docenti, 6 post-doktorských vědeckých pracovníků a 8 studentů doktorského studijního programu. Z toho 6 členů týmu jsou pracovníci přijatí na dobu řešení projektu, jejichž mzda je plně hrazena z dotace MŠMT. Řízení výzkumu v jednotlivých směrech provádějí J. Fiurášek (kvantové zpracování informace), M. Dušek (experimentální kvantová optika) a Z. Bouchal (singulární optika a bezdifrakční svazky). Tito členové řešitelského týmu spolu s vedoucím katedry optiky Z. Hradilem tvoří kolegium, jež pod vedením řešitele-koordinátora J. Fiuráška dohlíží na průběh řešení projektu.

Pracoviště ÚPT

Řešitelský tým obsahuje jednoho docenta, 9 vědeckých pracovníků s PhD, z nichž dva obhájili PhD v roce 2008, 6 studentů doktorského studijního programu a jednoho odborného pracovníka vědy a výzkumu. Z toho 5 pracovníků bylo přijato na dobu řešení projektu a jejich mzda je plně hrazena z dotace MŠMT. Za činnost v oblastech optických mikromanipulačních technik je zodpovědný P. Zemánek, za oblast stabilizace laserů J. Lazar a pokročilých interferometrických metod O. Číp. Společně pod vedením P. Zemánka koordinují svou činnost s řešitelským týmem UPOL.

Kontakt a koordinace mezi oběma řešitelskými týmy probíhá zejména prostřednictvím e-mailové komunikace a krátkých pracovních pobytů na partnerských pracovištích. Dne 14. listopadu 2008 se v Olomouci na katedře optiky PřF UP uskutečnil třetí pracovní seminář Centra moderní optiky s názvem Kvantová a singulární optika, optické mikromanipulace a optická metrologie, na němž oba řešitelské týmy prezentovaly své aktuální výzkumné aktivity a kde byly diskutovány konkrétní formy spolupráce mezi oběma týmy.

III. Přístrojové vybavení a technické zabezpečení

Pracoviště UPOL

V roce 2008 bylo stávající přístrojové vybavení laboratoří doplněno o optické, elektronické a mechanické komponenty potřebné pro realizaci probíhajících experimentů. Z dalších prostředků katedry optiky bylo pořízeno investiční vybavení pro laboratoře v nové budově Přírodovědecké fakulty UP, do níž se katedra optiky přestěhuje během první poloviny roku 2009. Byly zakoupeny dva optické stoly o rozměrech 3x1,5 m. Dále byl zakoupen vláknový femtosekundový laser na telekomunikační vlnové délce 1550 nm doplněný o jednotku druhé harmonické generující femtosekundové pulzy na vlnové délce 775 nm. Pulzy jsou emitovány s opakovací frekvencí 76 MHz, typická délka pulzu činí 140 fs a průměrný výkon laseru je 140 mW. Rovněž byl pořízen jednofotonový detektor umožňující čítat fotony na vlnové délce 1550 nm. Toto investiční vybavení bude využito zejména pro generaci párů korelovaných fotonů na vlnových délkách 775 nm a 1550 nm a pro experimenty v oblasti vícefotonové interference.

V lednu 2009 již proběhlo stěhování optických stolů do nových laboratoří a v průběhu první poloviny roku je plánováno plné zprovoznění těchto laboratoří tak, aby v nich mohly být uskutečněny experimentální aktivity plánované na rok 2009. V průběhu roku 2009 bude laboratorní vybavení průběžně doplňováno z neinvestičních prostředků centra zejména o různé optické, elektronické a mechanické komponenty potřebné pro plánované experimenty.

Pracoviště ÚPT

Významným nákupem v oblasti investic je pořízení velmi stabilního generátoru radiofrekvenčního signálu 10 MHz, který je řízen atomovými hodinami, jejichž stabilita je přenášena prostřednictvím GPS systému. Tento přístroj byl použit jako základní element pro stabilizační elektroniku femtosekundového generátoru optických frekvencí. V souvislosti s pracemi na naplnění cíle V007 byly pořízeny komponenty pro přestavbu vakuové aparatury a především pak její doplnění o hmotový spektrometr, který posune naše snažení na poli spektroskopie a stabilizace laserů na kvalitativně vyšší úroveň. Dále byl zakoupen prostorový modulátor světla od firmy Hamamatsu, který umožnil zahájit nové typy experimentů s dynamickými interferenčními poli. Všechny tyto investiční akvizice byly získány z prostředků mimo rozpočet centra. V roce 2008 byly z prostředků centra realizovány zejména drobné materiálové nákupy zajišťující experimentální činnost např. optické, optomechanické a elektronické komponenty, mikročástice definovaných velikostí, počítačové komponenty, laserová dioda a chemikálie.

V roce 2009 budou z neinvestičních prostředků průběžně pokrývány drobné požadavky materiálové povahy a zakupovány potřebné optické a optomechanické komponenty pro budované experimentální systémy, aby pracoviště bylo na potřebné úrovni plnit cíle roku 2009.

IV. Spolupráce se zahraničními partnery

Aktivní formální i neformální spolupráce se zahraničními partnery tvoří integrální část vědecké činnosti na obou řešitelských pracovištích. Tuto spolupráci lze nejlépe dokumentovat řadou společných publikací se zahraničními partnery, viz příložený seznam publikací. Během konferencí probíhala řada neformálních setkání, uskutečnila se celá řada pobytů členů řešitelských týmů na zahraničních pracovištích a naopak.

Pracoviště UPOL je v současné době zapojené do jednoho mezinárodního projektu 7RP EU COMPAS, jehož řešení bylo zahájeno v dubnu 2008. V průběhu roku 2008 bylo úspěšně ukončeno řešení projektu 6RP EU SECOQC, věnovaného problematice kvantové kryptografie. Závěrečná konference projektu se uskutečnila v říjnu ve Vídni a její součástí byla demonstrace funkční kvantové

komunikační síť provozované na komerčních optických vláknových komunikačních linkách. Pracoviště UPOL se dále podílí na koordinační akci QUROPE, jež si klade za cíl koordinovat v celoevropském měřítku výzkum na poli kvantového zpracování informace. V roce 2008 pokračovalo řešení bilaterálního grantu GAČR/DFG s německými partnery v Erlangenu (prof. G. Leuchs). Bylo vyvíjeno úsilí o ještě intenzivnější zapojení do mezinárodních projektů výzkumu a vývoje. Pracoviště se v rámci 7RP EU podílelo na přípravě mezinárodního projektu HYTEQ (koordinátor prof. F. DeMartini, Řím). Tento projekt bohužel nebyl úspěšný, ale s partnery z Říma byly na konci roku 2008 zahájeny přípravy dalšího projektu ROQUS (Robust Quantum Sensing), který bude předložen Evropské komisi k posouzení na počátku roku 2009. R. Filip absolvoval dvouměsíční pracovní stáž v Kodani ve skupině prof. U. L. Andersena. M. Mičuda pokračoval v úspěšné spolupráci se skupinou prof. J.P. Torrese na ICFO v Barceloně, kde absolvoval dvouměsíční pracovní pobyt. Na pracovišti UPOL absolvovali v průběhu roku 2008 několikátýdenní výzkumnou stáž D. Menzies z University of StAndrews, D. Mogilevtsev z Fyzikálního institutu Běloruské národní akademie věd v Minsku a V. Usenko z Bogolyubovova Institutu v Kyjevě.

Pracoviště ÚPT intenzivně spolupracuje s Universitou v St. Andrews ve Skotsku (prof. Dholakia). Tato spolupráce vyústila do jedné společné publikace a tří společných příspěvků konferenčních sborníků SPIE. Rozvíjela se spolupráce s dalšími členy COST Akce MP0604: Optical micromanipulation by nonlinear nanophotonics formou výměnných pobytů nebo společných setkání. Spolu s dalšími osmi pracovišti jsme podali grantovou přihlášku v rámci výzvy Marie Curie Initial Training Networks FP7-PEOPLE-ITN-2008 s názvem Optical control and manipulation at micron and nano scale, která však byla neúspěšná. ÚPT navštívili dr. R. Quidant and prof. K. Dholakia, kteří zde přednesli přednášky a byly diskutovány směry další spolupráce. Dva týdny pobýval v našich laboratořích Kostas Iliopoulos z University Patras a seznamoval se s problematikou optických manipulací v interferenčních polích.

Dále bylo podniknuto několik pracovních cest s cílem prohloubení mezinárodní spolupráce pracoviště ÚPT. Na pozvání Dr. Pietra Ferrara, ředitele National Institute of Applied Optics (INOA), navštívili R. Šmíd, O. Číp a J. Lazar pracoviště této instituce v italské Neapoli, kde všichni tři v rámci workshopu přednesli přednášky z oblasti výzkumu laserové nanometrologie a spektroskopie. V rámci účasti na konferenci Laser Metrology 2008 v Singapore navštívili členové týmu ÚPT pracoviště prof. Datin Dr. Quek Ai Hwa na University of Malaya v Kuala Lumpur v Malajsii. Zde J. Lazar přednesl zvanou přednášku „Laser technology at the Institute of Scientific Instruments“ rovněž z oblasti základního výzkumu, který se řeší v rámci Centra moderní optiky. Tým pracoviště ÚPT dále navštívil konferenci NanoScale 2008, kterou pořádal Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (iNRI), Torino, Italy. Na tomto úzce specializovaném semináři bylo uskutečněno několik setkání s předními odborníky v oblasti nanoměření. Zejména proběhly konzultace v oblasti možností další spolupráce s PTB Braunschweig (prof. Gunter Wilkenning, SRN) a s metrologickým institutem MIKES z Helsinek (prof. Anti Lassila, Finsko).

V. Zpřístupnění výsledků a výstupů

Výsledky výzkumu byly zpřístupněny odborné komunitě zejména formou publikací v prestižních mezinárodních impaktovaných odborných časopisech. O těchto výsledcích bylo referováno na řadě konferencí a workshopů formou přednášek i posterů. Řada výsledků byla zpřístupněna široké vědecké komunitě pomocí e-printového serveru arXiv.org. Pozornost byla věnována i popularizaci vědeckých aktivit prostřednictvím tradičních akcí jako je Olomoucký fyzikální kaleidoskop a Jarmark chemie, fyziky a matematiky, jež přibližují výzkum na pracovišti široké veřejnosti a zejména potenciálním studentům. Pozornost řady českých i zahraničních médií přitáhla závěrečná konference evropského projektu SECOQC ve Vídni. Česká televize této události věnovala samostatný díl pořadu Planeta věda, v jehož rámci M. Dušek a další pracovníci katedry optiky PŘF UP informovali o výzkumných aktivitách na poli kvantového zpracování informace. M. Dušek také poskytl interview internetovému serveru aktualne.cz, kde hovořil o projektu SECOQC a s ním souvisejícím výzkumem na pracovišti UPOL.

V rámci akce Týden vědy pořádaný AV ČR se v ÚPT uskutečnily již tradiční Dny otevřených dveří (7.-8. listopadu), během kterých ÚPT navštívilo 830 návštěvníků. V rámci této akce byla přednesena popularizační přednáška v přednáškovém sále ÚPT určená široké veřejnosti a středoškolským studentům: „Interferometrie - měření světlem“ (J. Lazar) Součástí Dnů otevřených dveří byla též prezentace pro návštěvníky v podobě několika experimentů, které úzce souvisely s tematikou řešenou v rámci centra. Vybraným zájemcům byla umožněna návštěva laboratoří. Dále pracoviště ÚPT uspořádalo seminář „Přesná měření pro nanotechnologie“, který se uskutečnil 3.12.2008 v budově Akademie věd na Národní 3 v Praze. Seminář zahájil prof. Václav Pačes, předseda Akademie věd. Na semináři prezentovali O. Číp, B. Růžička, Z. Buchta a J. Lazar nejnovější poznatky z oblasti výzkumu přesného odměřování délky pomocí laserové interferometrie (tj. zejména aktivity a výsledky č. V007 a V010). Semináře se jako hosté zúčastnili zástupci Akademie věd, Jihomoravského kraje, Svazu průmyslu a obchodu, Českého metrologického institutu, ČVUT v Praze a novináři z Technického týdeníku, časopisu Metrologie, časopisu Jemná mechanika a optika. Členové týmu ÚPT rovněž připravili informační sdělení do časopisu Vesmír, který vyjde začátkem roku 2009.

VI. Seznam publikačních, přednáškových a popularizačních aktivit Centra moderní optiky za rok 2008

Monografie a monografické kapitoly

1. Z. Bouchal, R. Čelechovský, and G. Swartzlander, Jr., *Spatially Localized Vortex Structures, Monograph Localized Waves*, Edited by H. E. Hernández-Figueroa, M. Zamboni-Rached and E. Recami, J. Wiley & Sons, 2008 (ISBN: 978-0-470-10885-7).

Časopisecké publikace

1. T. Čižmár V. Kollárová, X. Tsampoula, F. Gunn-Moore, W. Sibbett, Z. Bouchal, and K. Dholakia, *Generation of multiple Bessel beams for a biophotonics workstation*, Optics Express **16**, 14024 (2008).
2. J. Řeháček, Z. Bouchal, R. Čelechovský, Z. Hradil, and L. Sanchez-Soto, *Experimental test of uncertainty relations for quantum mechanics on a circle*, Physical Review A **77**, 032110 (2008).
3. J. Fiurášek and N.J. Cerf, *Quantum cloning of a pair of orthogonally polarized photons with linear optics*, Physical Review A **77**, 052308 (2008).
4. R. Filip, *Excess-noise-free recording and uploading of nonclassical states to continuous-variable quantum memory*, Physical Review A **78**, 012329 (2008).
5. K. Lemr and J. Fiurášek, *Preparation of entangled states of two photons in several spatial modes*, Phys. Rev. A **77**, 023802 (2008).
6. P. Marek, H. Jeong, and M.S. Kim, *Generating "squeezed" superpositions of coherent states using photon addition and subtraction*, Physical Review A **78**, 063811 (2008).
7. B. Hage, A. Sambrowski, J. DiGuglielmo, A. Franzen, J. Fiurášek, and R. Schnabel, *Preparation of distilled and purified continuous-variable entangled states*, Nature Physics **4**, 915 (2008).

8. R. Dong, M. Lassen, J. Heersink, C. Marquardt, R. Filip, G. Leuchs, and U.L. Andersen, *Experimental entanglement distillation of mesoscopic quantum states*, Nature Physics **4**, 919 (2008).
9. M. Mičuda, M. Ježek, M. Dušek, and J. Fiurášek, *Experimental realization of a programmable quantum gate*, Physical Review A **78**, 062311 (2008).
10. J. Fiurášek, *Linear optical Fredkin gate based on partial-SWAP gate*, Physical Review A **78**, 032317 (2008).
11. A. Černocho, J. Soubusta, L. Bartůšková, M. Dušek, and J. Fiurášek, *Experimental Realization of Linear-Optical Partial SWAP Gates*, Physical Review Letters **100**, 180501 (2008).
12. J. Soubusta, L. Bartůšková, A. Černocho, M. Dušek, and J. Fiurášek, *Experimental asymmetric phase-covariant quantum cloning of polarization qubits*, Physical Review A **78**, 052323 (2008).
13. L. Mišta, and N. Korolkova, *Distribution of continuous-variable entanglement by separable Gaussian states*, Physical Review A **77**, 050302 (2008).
14. L. Mišta and Fiurášek, *Mixed-state localizable entanglement for continuous variables*, Physical Review A **78**, 012359 (2008).
15. M. Mičuda, O. Haderka, and M. Ježek, *High-efficiency photon-number-resolving multichannel detector*, Physical Review A **78**, 025804 (2008).
16. L. Bartůšková, A. Černocho, J. Soubusta, and M. Dušek, *Programmable discriminator of coherent states: Experimental realization*, Physical Review A **77**, 034306 (2008).
17. R. Filip, *Continuous-variable quantum key distribution with noisy coherent states*, Physical Review A **77**, 022310 (2008).
18. R. Filip, *Security of coherent-state key distribution through an amplifying channel*, Physical Review A **77**, 032347 (2008).
19. J. Fiurášek, *Optimal estimation of the magnetic field in atomic magnetometry with arbitrary shape of the probe light beam*, Physical Review A **77**, 045801 (2008).
20. M. Gavenda and R. Filip, *Quantum adaptation of noisy channels*, Physical Review A **78**, 052322 (2008).
21. M. Kolář, T. Opatrný, and G. Kurizki, *Path and phase determination for an interfering photon with orbital angular momentum*, Optics Letters **33**, 67 (2008).
22. O. Brzobohatý, T. Čižmár, and P. Zemánek, *High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon*. Optics Express **16**, 12688 (2008).
23. P. Ják, T. Čižmár, M. Šerý and P. Zemánek, *Static optical sorting in a laser interference field* Applied Physics Letters **92**, 161110 (2008).
24. A. Jonáš and P. Zemánek, *Light at work: The use of optical forces for particle manipulation, sorting, and analysis* Electrophoresis **29**, 4813 (2008).
25. V. Karásek, T. Čižmár, O. Brzobohatý, P. Zemánek, V. Garcés-Chávez, and K. Dholakia, *Long-Range One-Dimensional Longitudinal Optical Binding* Physical Review Letters **101**, 143601 (2008).

26. M. Šiler, T. Čižmár, A. Jonáš, and P. Zemánek, *Surface delivery of a single nanoparticle under moving evanescent standing-wave illumination*. *New Journal of Physics* **10**, 113010 (2008)
27. R. Šmíd, O. Číp, J. Lazar: *Precise length etalon controlled by stabilized frequency comb*, *Measurement Science Review* **8**, 114 (2008).
28. O. Číp, M. Čížek, Z. Buchta, B. Mikel, J. Lazar, J. Kůr, R. Wíttek, P. Konečný, D. Smutný, P. Balling, P. Křen: *Laserkomparator für die Kalibrierung von Langentastern*, *Jemná mechanika a optika* **53**, 301 (2008).
29. J. Hrabina, P. Jedlička, J. Lazar: *Methods for Measurement and Verification of Purity of Iodine*. *Measurement Science Review* **8**, 118 (2008).
30. J. Lazar, O. Číp, P. Jedlička, B. Mikel, B. Růžička, Z. Buchta, J. Hrabina, R. Šmíd, M. Čížek, *Laboratoř interferometrie a vysoce koherentních laserů*. *Jemná mechanika a optika* **53**, 16 (2008).

Konference

I. Přednášky

1. J. Fiurášek, A. Černocho, J. Soubusta, L. Bartůšková, and M. Dušek: *Experimental realization of linear-optical partial SWAP gates and partial symmetrization device for polarization states of photons*. 17th International Laser Physics Workshop, Trondheim, Norsko, 30.6.-4.7. 2008.
2. J. Fiurášek, P. Marek, R. Filip, B. Hage, A. Franzen, J. DiGuglielmo, and R. Schnabel: *Distillation and purification of phase-diffused squeezed states of light*. 16 Polish-Czech-Slovak optical conference: Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Polanica-Zdroj, Polsko, 8.9-12.9. 2008.
3. K. Lemr and J. Fiurášek: *Preparation of entangled states of two photons in several spatial modes*. 15th Central European Workshop on Quantum Optics, Bělehrad, Srbsko, 29.5. - 4.6. 2008.
4. R. Filip: *Quantum limited record, interference and interaction of light in quantum memory*, Workshop on modern trends in quantum optics and quantum information, Praha, Česká republika, 1.5.-4.5. 2008.
5. R. Filip: *Noiseless upload to continuous-variable quantum memory*. Advances in Foundations of Quantum Mechanics and Quantum Information with atoms and photons, Turin, Itálie, 19.5 - 23.5.2008.
6. L. Mišta, Jr. and J. Fiurášek: *Localizable entanglement for continuous variables*. 15th Central European Workshop on Quantum Optics, Bělehrad, Srbsko, 29.5. - 4.6. 2008.
7. J. Fiurášek: *Optické kvantové zpracování informace*. Optika a jemná mechanika 2008, Přerov, 24.09.2008 - 26.09.2008.
8. O. Číp, Z. Buchta, M. Čížek, R. Šmíd, J. Lazar: *Detection and active stabilization of beams position at a high-resolution laser interferometer*. Ninth International Symposium on Laser Metrology, Singapore. 30.6.-2.7.2008.
9. J. Lazar, O. Číp, M. Čížek, M. Šerý: *Interferometric displacement measurement for local probe microscopy*. ICPM 2008 - International Conference on Precision Measurement. Ilmenau : Technische Universität Ilmenau, Německo, 8.9 -11.9.2008.

10. J. Hrabina, P. Jedlička, O. Číp, J. Lazar: *Absolute Frequency Shifts of Iodine-Stabilized Laser Etalons in Relation to Iodine Purity in Absorption Cells*. IMEKO TC 2 Symposium on Photonic in measurements. Praha. 25.-26.8.2008.
11. J. Hrabina, P. Jedlička, O. Číp, J. Lazar: *Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -stabilized frequency-doubled Nd:YAG lasers and evaluation of frequency shifts caused by iodine cells*. Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology II, Photonics Europe, Strasbourg, Francie.8.-10.4.2008.
12. J. Hrabina, J. Lazar, P. Jedlička, O. Číp: *Influence of Iodine Cell Quality onto the Stability and Absolute Frequency Shifts of Laser Etalons*. In Ninth International Symposium on Laser Metrology. - LM 2008, Singapore. 30.6.-2.7.2008.
13. J. Lazar, P. Klapetek, O. Číp, M. Čížek, M. Šerý: *Local probe microscopy with interferometric monitoring of the stage nanopositioning*. In NanoScale 2008 - 8th Seminar on Quantitative Microscopy (QM) Torino: Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Itálie. 22.- 23.9.2008.
14. R. Šmíd, J. Lazar: *Precision metrology length standard based on femtosecond stabilized laser*. Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology II. Strasbourg, Francie. 8.-10.4.2008.
15. M. Šiler, T. Čižmár, J. Ježek, A. Jonáš, P. Zemánek, *Fast optical delivery of nanoparticles on the surface*, MP0604 Optical micromanipulation by nonlinear nanophotonics, Muenster, Německo, 21.- 22.2.2008.
16. P. Zemánek, *Optical forces: principles and applications*, International school on nanophotonics and molecular photonics, Santander, Španělsko, 16.-20.6.2008 (zvaná).
17. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, P. Jákl, M. Šerý, *Optical trapping in interfering laser beams: principles and applications*, PIERS 2008, Hangzhou, China, 24.-28.3. 2008 (zvaná).
18. V. Karásek, T. Čižmár, O. Brzobohatý, P. Zemánek, *Longitudinal optical binding in Bessel beams: theory vs. experiments*, PIERS 2008, Hangzhou, China, 24.-28.3. 2008.
19. O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *Stability and dynamics of self-arranged structures in longitudinal optical binding*, SPIE Optics & Photonics 2008, San Diego, USA, 10.-14.8.2008.
20. P. Zemánek, O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *Optically bound chain of microparticles*, Photonics Prague 2008, Prague, 27.-29.8.2008.
21. M. Šiler, T. Čižmár, A. Jonáš, P. Zemánek, *Delivery of Multiparticle chain by a optical conveyor belt*, Photonics Prague 2008, Prague, 27.-29.8.2008.
22. P. Zemánek, *Inteferometric trapping and optical sorting*, COST Action MP0604 Training School, Ischia, Itálie, 1.-6.9.2008.
23. O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *One-dimensional light-range self-arranged optically bound structures*, 16th Polish-Czech-Slovak Optical Conference, Polanica Zdroj, Polsko, 8.-12.9.2008.
24. R. Šmíd, O. Číp, J. Lazar, *Methods for generation of metrology length etalon based on femtosecond stabilized laser*, 16th Polish-Czech-Slovak Optical Conference, Polanica Zdroj, Polsko, 8.-12.9.2008.

25. P. Zemánek: *Pokročilé optické mikromanipulační techniky*. Optika a jemná mechanika 2008, Přerov, 24.09.2008 - 26.09.2008.

II. Postery

1. J. Fiurášek and L. Mišta, Jr., *Gaussian localizable entanglement*, Solvay Workshop "Bits, Quanta, and Complex Systems: modern approaches to photonic information processing," Brusel, Belgie, 30.4 – 3.5 2008.
2. K. Lemr and J. Fiurášek, *Preparation of entangled states of two photons in several spatial modes*, Solvay workshop "Bits, quanta and complex systems", Brusel, Belgie, 29.4. - 3.5. 2008.
3. L. Bartůšková, A. Černoch, J. Soubusta, M. Dušek, and J. Fiurášek, *Several experimental realizations of phase-covariant quantum cloning machines*, Solvay Workshop "Bits, Quanta, and Complex Systems: modern approaches to photonic information processing", Brusel, Belgie, 29.4. - 3.5. 2008.
4. L. Bartůšková, A. Černoch, J. Soubusta, and M. Dušek, *Experimental realization of programmable discriminator of coherent states*, Central European Quantum Information Processing Workshop (CEQIP), Telč, Česká republika, 5. - 8.6. 2008.
5. J. Herec, *Asymmetric cloning of complementary quadratures between atomic memories*, Solvay workshop "Bits, quanta and complex systems", Brusel, Belgie, 29.4. - 3.5. 2008.
6. J. Herec, *Asymmetric cloning of complementary quadratures into atomic memories*, 15th Central European Workshop on Quantum Optics, Bělehrad, Srbsko, 29.5. - 4.6. 2008.
7. R. Filip, *Quantum communication with noisy coherent states*, Solvay Workshop "Bits, Quanta, and Complex Systems: modern approaches to photonic information processing," Brusel, Belgie, 30.4 – 3.5 2008.
8. L. Mišta, Jr. and N. Korolkova, *Distribution of continuous-variable entanglement by separable Gaussian states*, Solvay Workshop on Bits, Quanta, and Complex Systems, Brusel, Belgie, 30.4.-3.5. 2008.
9. L. Mišta, Jr. and N. Korolkova, *Separable Gaussian states can be used to distribute continuous-variable entanglement*, QCMC 2008, University of Calgary, Kanada, 19.8.-24.8. 2008.
10. B. Mikel, R. Helán, O. Číp, P. Jedlička: *Stabilization of semiconductor lasers by fiber Bragg gratings*. Ninth International Symposium on Laser Metrology. Singapore.30.6.-2.7.2008.
11. O. Číp, Z. Buchta, M. Čížek, R. Šmíd, B. Mikel, J. Lazar: *High-resolution laser interferometer with stabilized spatial position of laser beams*. ICPM 2008 - International Conference on Precision Measurement. Ilmenau, Německo, 8.-11.9.2008.
12. O. Číp, R. Šmíd, Z. Buchta, M. Čížek, J. Lazar: *Digital control of beams position in high-resolution interferometer for calibration of precise length sensors*. In NanoScale 2008 - 8th Seminar on Quantitative Microscopy (QM) and 4th Seminar on Nanoscale Calibration Standards and Methods. Torino: Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Itálie 22.-23.9.2008.

13. O. Brzobohatý, T. Čižmár, P. Zemánek, *High quality, high intensity and narrow bessel beams*, PIERS 2008, Hangzhou, China, 24.-28.3. 2008.
14. M. Šiler, T. Čižmár, P. Zemánek, *Speed enhancement of many-body cluster of microparticles in optical conveyor belt*, PIERS 2008, Hangzhou, China, 24.-28.3. 2008.
15. O. Brzobohatý, T. Čižmár, P. Zemánek, *High quality quasi-Bessel beam generated by oblate-tip axicon*, 16th Polish-Czech-Slovak Optical Conference, Polanica Zdroj, Polsko, 8.-12.9.2008.

III. Příspěvky v konferenčních sbornících

1. O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *One-dimensional long-range self-arranged optically bound structures*, 16th Polish-Slovak-Czech Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 7141, 714113: 1-9. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7383-7.
2. O. Brzobohatý, T. Čižmár, and P. Zemánek, *Quasi-Bessel beam generated by oblate-tip axicon*, 16th Polish-Slovak-Czech Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics. Proceedings of SPIE 7141, 714126:1-10. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7383-7.
3. R. Šmíd, O. Číp, J. Lazar, *Methods for generation of metrology length etalon based on femtosecond stabilized laser*, 16th Polish-Slovak-Czech Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics. Proceedings of SPIE 7141, 714125: 1-9. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7383-7.
4. O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *Stability and dynamics of self-arranged structures in longitudinal optical binding*. Optical Trapping and Optical Micromanipulation V., Proceedings of SPIE 7038, 70380O: 1-9. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7258-8.
5. M. Šiler, T. Čižmár, A. Jonáš, P. Zemánek, *Delivery of multi-particle chains by an optical conveyor belt*, Photonics, Devices, and Systems IV., Proceedings of SPIE 7138, 713822: 1-6. Bellingham, WA (2008), ISBN 978-0-8194-7390-0.
6. P. Zemánek, O. Brzobohatý, V. Karásek, T. Čižmár, V. Garcés-Chávez, and K. Dholakia, *Optically bound chain of microparticles* Photonics, Devices, and Systems IV. Proceedings of SPIE 7138, 713825: 1-7, Bellingham, WA (2008). ISBN 978-0-8194-7390-0.
7. O. Číp, Z. Buchta, M. Čížek, R. Šmíd, J. Lazar: *Detection and active stabilization of beams position at a high-resolution laser interferometer*. Ninth International Symposium on Laser Metrology. Proceedings of SPIE 7155, 1-9 Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7398-1.
8. B. Mikel, R. Helán, O. Číp, P. Jedlička: *Stabilization of semiconductor lasers by fiber Bragg gratings*. Ninth International Symposium on Laser Metrology. Proceedings of SPIE 7155. 71552T: 1-10. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7398-1.
9. J. Lazar, O. Číp, M. Čížek, M. Šerý: *Interferometric displacement measurement for local probe microscopy*. ICPM 2008 - International Conference on Precision Measurement. Ilmenau : Technische Universität Ilmenau, 77-78 (2008) ISBN 978-3-938843-38-3
10. O. Číp, Z. Buchta, M. Čížek, R. Šmíd, B. Mikel, J. Lazar: *High-resolution laser interferometer with stabilized spatial position of laser beams*. ICPM 2008 - International

Conference on Precision Measurement. Ilmenau : Technische Universität Ilmenau, 109-110, (2008) ISBN 978-3-938843-38-3

11. J. Hrabina, P. Jedlička, O. Číp, J. Lazar: *Absolute Frequency Shifts of Iodine-Stabilized Laser Etalons in Relation to Iodine Purity in Absorption Cells*. In Proceedings of the 18th IMEKO TC 2 Symposium on Photonic in measurements. Praha : ČSSF, 2008. T2-O2: 1-4. ISBN 978-80-86742-24-3
12. J. Hrabina, P. Jedlička, O. Číp, J. Lazar: *Comparison of $^{127}\text{I}_2$ -stabilized frequency-doubled Nd:YAG lasers and evaluation of frequency shifts caused by iodine cells*. In Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology II. Proceedings of SPIE 6995, 69950O: 1-6 Bellingham, WA (2008), ISBN 978-0-8194-7193-2.
13. J. Hrabina, J. Lazar, P. Jedlička, O. Číp: Influence of Iodine Cell Quality onto the Stability and Absolute Frequency Shifts of Laser Etalons. In *Ninth International Symposium on Laser Metrology*. Proceedings of SPIE 7155, 715522: 1-9. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7398-1.
14. J. Lazar, P. Klapetek, O. Číp, M. Čížek, M. Šerý: *Local probe microscopy with interferometric monitoring of the stage nanopositioning*. In NanoScale 2008 - 8th Seminar on Quantitative Microscopy (QM) and 4th Seminar on Nanoscale Calibration Standards and Methods. Torino : Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, 2008. S. 20.
15. O. Číp, R. Šmíd, Z. Buchta, M. Čížek, J. Lazar: *Digital control of beams position in high-resolution interferometer for calibration of precise length sensors*. In NanoScale 2008 - 8th Seminar on Quantitative Microscopy (QM) and 4th Seminar on Nanoscale Calibration Standards and Methods. Torino : Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, 2008. S. 44.
16. R. Šmíd, J. Lazar: *Precision metrology length standard based on femtosecond stabilized laser*. In Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology II. Proceedings of SPIE 6995, 69950M: 1-8. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7193-2.
17. J. Lazar, O. Číp, M. Čížek, M. Šerý: *High-resolution interferometry with Nd:YAG laser for local probe microscopy*. In Ninth International Symposium on Laser Metrology. Proceedings of SPIE 7155, 71550L: 1-8. Bellingham, WA (2008) ISBN 978-0-8194-7398-1.

Nekonferenční přednášková činnost

1. J. Fiurášek, A. Černoch, J. Soubusta, L. Bartůšková, and M. Dušek, *Experimental realization of linear-optical partial SWAP gates and partial symmetrization device for polarization states of photons*, Quantum Physics and Quantum Information Division seminar, Hefei National Lab for Physical Science at Microscale, University of Science and Technology of China, Hefei, Čína, 25.7. 2008.
2. L. Slodička and M. Ježek, *Generation of three-photon correlated states*, Universitat Innsbruck, Rakousko, 23.4. 2008.
3. L. Slodička and M. Ježek, *Generation of three-photon correlated states*, University of Geneva, Ženeva, Švýcarsko, 8.5. 2008.
4. L. Slodička and M. Ježek, *Generation of three-photon correlated states*, Institut d'Optique, Palaiseau, Paříž, Francie, 13.5. 2008.

5. R. Filip, *Entanglement Distillation from Non-Gaussian noise*, University of Tokio, Japonsko, září 2008.
6. R. Filip, *Entanglement Distillation from Non-Gaussian noise*, Queens University Belfast, Severní Irsko, listopad 2008.
7. A. Jonáš: *Advanced techniques of optical micromanipulations: Interferometric trapping & Optical sorting*, Max Planck Institute for Dynamics and Self-organization, Goettingen, Německo, 19. 9. 2008.
8. O. Číp: *High-resolution laser interferometry and nanometrology*. Zvaná přednáška v rámci pracovního pobytu O. Čípa v Istituto Nazionale di Ottica Applicata, který se uskutečnil v dnech 28.července - 1. srpna 2008 v Neapoli v Itálii.
9. J. Lazar: *Nanometrology and scanning probe microscopy*. Zvaná přednáška v rámci pracovního pobytu J. Lazara v Istituto Nazionale di Ottica Applicata, který se uskutečnil v dnech 28.července - 1. srpna 2008 v Neapoli v Itálii.
10. R. Šmíd: *Femtosecond comb as novel metrology tool*. Zvaná přednáška v rámci pracovního pobytu J. Lazara v Istituto Nazionale di Ottica Applicata, který se uskutečnil v dnech 28.července - 1. srpna 2008 v Neapoli v Itálii.
11. J. Lazar: *Laser technology at the Institute of Scientific Instruments*. Zvaná přednáška v rámci návštěvy na University of Malaya v Kuala Lumpur v Malajsii, která se uskutečnila dne 8. července 2008.