

POPIS ŘEŠENÍ PROJEKTU v roce 2007

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 2007

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 2007 probíhalo plně v souladu s plánem a se změnami navrženými v periodické zprávě za rok 2006 a schválenými MŠMT. Jednotlivé dílčí směry výzkumu v roce 2007 odpovídaly jedenácti dílčími cíli 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 2008 a naplňování požadovaných cílů poskytovatele.

V001 Experimentální realizace různých typů nedifrakčních a vírových polí

Byl připraven experiment, který umožňuje využití laseru VERDI (532 nm, 2W) pro vytváření optických pastí pomocí fázového prostorového modulátoru světla BOULDER 512x512 pixelů. Dílčím úkolem aktivity byla kalibrace prostorového modulátoru, který měl fázový zdvih výrobcem nastaven pro vlnovou délku 632 nm. V průběhu řešení projektu byl navržen systém, který umožňuje cílenou fázovou modulaci vstupního laserového svazku, jeho prostorovou filtraci a navedení do opticko-mechanického systému laserové pinzety. Realizovaná sestava byla testována a byla ověřena její využitelnost pro přenos hybnosti a momentu hybnosti světla na dielektrické mikročástice pomocí svazků formovaných fázovou prostorovou modulací. Byly navrženy a optimalizovány metody, které umožňují realizaci počítačem generovaných fázových masek využitelných pro vytváření složených vírových svazků. V návaznosti byly realizovány experimenty, které umožnily separaci vírových módů tvořících složený vírový svazek a měření jejich orbitálního momentu hybnosti. Navržený a realizovaný systém bude v dalším průběhu řešení projektu využíván pro systematické studium prostorové struktury orbitálního momentu hybnosti světla vytvořeného interferujícími vírovými svazky případně superpozicí ortogonálně polarizovaných vírových svazků.

Během studijního pobytu u prof. K. Dholakii na University of St. Andrews realizovala V. Kollárová ve spolupráci Dr. Čižmárem experiment s opticky adresovatelným prostorovým modulátorem, který umožnil generaci matice nedifrakčních mikrosvazků využitelnou pro biologický výzkum. S experimentální sestavou se v současné době pracuje na University of St. Andrews a připravují se výsledky pro publikaci.

Experimentálně i teoreticky byl studován vliv zaoblení hrotu axiconu, kterým jsou generovány nedifrakční svazky o vysoké intenzitě. Tvar hrotu byl aproximován rotačním hyperboloidem a tento tvar velmi dobře souhlasil s experimentálně změřeným tvarem. Teoretické simulace prokázaly, že zaoblení hrotu v řádu desítek mikrometrů výrazně modifikuje výsledné rozložení pole za axiconem a způsobí oscilace osově intenzity vzniklého nedifrakčního svazku. Tyto oscilace znemožňují využít unikátních vlastností těchto svazků a jejich zanedbání může způsobit chybnou interpretaci pozorovaných výsledků (např. u níže popsaného samouspořádávání mikročástic). Proto byla zvolena prostorová filtrace clonkou, která ze spektra rovinných vln vzniklého svazku odstranila složky o nízké prostorové frekvenci. Získaný svazek měl nižší intenzitu, existoval na kratší vzdálenosti, ale jeho prostorové rozložení již vykazovalo potřebné vlastnosti nedifrakčního svazku. Takto upravený svazek byl použit při studiu samouspořádávání mikročástic v protiběžných nedifrakčních svazcích.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a výsledkům dosaženým v roce 2006 tak bylo v plánovaném termínu 31.12.2007 úspěšně dosaženo tohoto dílčího cíle. V průběhu řešení projektu se přitom objevily nové perspektivní směry dalšího výzkumu v této oblasti. Proto i v roce 2008 plánujeme pokračovat ve výzkumných aktivitách v tomto směru a zaměřit se na analýzu jevů souvisejících s prostorovým rozložením orbitálního momentu hybnosti (OMH) smíšených vírových svazků a na realizaci experimentu, který prokáže možnost cílených změn OMH složené vírové struktury. Očekáváme, že dosažené výsledky budou dále využity v rámci řešení dílčích cílů V002 a V009.

V002 Řízený pohyb a samouspořádávání mikroobjektů v nedifrakčních a vírových polích

Byly odvozeny analytické vztahy popisující chování dvou indukovaných dipólů vložených do nedifrakčního svazku a experimentálně i teoreticky byl studován fenomén optického samouspořádávání mikročástic v nedifrakčních nekoherentních protiběžných svazcích v důsledku tzv. optického vázání. Nedifrakční svazky byly zvoleny proto, že jejich osová změna intenzity na vzdálenosti několika mikrometrů je zanedbatelná a tak samouspořádávání mikroobjektů je způsobeno pouze interakcí (rozptylem záření) mezi částicemi bez rušivého vlivu tzv. gradientních optických sil dopadajících svazků. Experimentálně jsme vytvořili řetízek dlouhý 200 mikrometrů ze samouspořádaných polystyrénových mikročástic. Řetízková struktura byla vytvořena z pravidelných skupin pravidelně vzdálených mikročástic. Vzdálenosti mezi sousedními mikročásticemi skupiny se pohybovaly v jednotkách mikrometrů, skupiny od sebe byly vzdáleny desítky mikrometrů. Experimentální studium kuliček o průměru 600, 802 a 1070 nm prokázalo, že vzdálenosti mezi sousedními kuličkami a i mezi shluky těchto kuliček jsou dobře definované a citlivě závisí na šířce jádra Besselovského svazku a velikosti kuliček. Rovněž se odhalilo, že existuje maximální počet objektů, které ještě vytvoří stabilní opticky vázanou strukturu. Experimentálně pozorované efekty velmi dobře souhlasily s náročnými teoretickými simulacemi chování mikročástic metodu vázaných dipólů. Tato práce probíhala ve spolupráci se skupinou z University of St. Andrews (prof. K Dholakia, V. Garcés-Chávez).

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

Byly podrobně analyzovány protokoly pro purifikaci a destilaci kvantových stavů spojitých kvantových proměnných. Tyto protokoly lze využít pro redukci šumu při kvantové komunikaci se stlačenými a koherentními stavy světla. Uvažovaná schémata využívají interference několika kopií

stavu na děličích svazku, měření na výstupních portech děličů a postselekcce na základě výsledku měření. Pozornost byla věnována zejména destilaci stlačených stavů, které byly narušeny náhodnými fázovými fluktuacemi. Byla teoreticky i experimentálně studována závislost účinnosti a pravděpodobnosti úspěchu destilace na různých parametrech protokolu. Standardní iterativní schéma bylo zobecněno na kolektivní purifikační schéma pro libovolný počet kopií stavu. Získané poznatky umožnily optimalizovat jednotlivé parametry protokolů tak, aby byla maximalizována čistota, stlačení či kvantová provázanost výstupních stavů pro danou pravděpodobnost úspěchu. Teoretické závěry byly ověřeny experimentálně ve spolupráci se skupinou prof. R. Schnabela v Hannoveru a bylo dosaženo vynikajícího souhlasu mezi teorií a experimentem.

Ve spolupráci se skupinou prof. G. Leuchse v Erlangenu byla experimentálně demonstrována bezšumová filtrace koherentních stavů, které byly s určitou pravděpodobností náhodně nahrazeny vakuem v důsledku poruchy na kvantové komunikační lince. Rovněž byla studována purifikace koherentních stavů generovaných několika zdroji s různou úrovní termálního šumu. Bylo ukázáno, že s využitím měření a postselekcce lze dosáhnout lepších výsledků než s dříve navrženými deterministickými či klasickými purifikačními procedurami.

Byla studována distribuce kvantové provázanosti spojitých kvantových proměnných mezi dvěma uzly kvantové komunikační sítě. Byl navržen protokol umožňující generaci kvantové provázanosti mezi dvěma optickými módy A a B pomocí přenosu třetího módu C z jednoho uzlu sítě do druhého. Specifickým rysem tohoto protokolu je to, že v každém okamžiku je celkový třímódový stav separabilní vzhledem k dělení AB|C. V jistém smyslu tak dochází k distribuci kvantové provázanosti pomocí separabilního stavu a protokol tak ilustruje zajímavé vlastnosti multipartitních kvantově provázaných stavů. Bylo ukázáno, že toto schéma lze experimentálně realizovat s využitím stlačených Gaussovských stavů světla a homodynní detekce.

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

Byl úspěšně zkonstruován a důkladně otestován zdroj párů korelovaných fotonů pracující na principu spontánní setupné parametrické frekvenční konverze v nelineárním krystalu čerpaném kontinuální laserovou diodou CUBE o výkonu 50 mW. Bylo použito krystalu LiIO_3 , kde dochází k nekolineární sestupné frekvenční parametrické konverzi typu I. Vzhledem k tomu, že použitá čerpací laserová dioda emituje záření na vlnové délce 407 nm, oproti nominální hodnotě 405 nm, byly korelované páry generovány na vlnové délce 814 nm, což ovšem nijak negativně neovlivňuje použití zdroje v dalších aplikacích. Generované páry fotonů byly navázány do jednomódových vláken a korelace mezi signálním a jalovým fotonem byly charakterizovány pomocí měření dvoufotonových koincidenčí. Typicky bylo pozorováno okolo 2300 koincidenčí za sekundu. Nerozlišitelnost fotonů byla ověřena pomocí interference fotonů ve vyváženém vláknovém děliči svazku. Naměřená vizibilita Hong-Ou-Mandelova dipu činila 98%. Rovněž byla studována interference fotonů na objemovém děliči svazku. V tomto případě bylo pozorováno okolo 1300 koincidenčí za sekundu a vizibilita HOM dipu činila 89%. Dosažené parametry svědčí o vysoké kvalitě zkonstruovaného zdroje a jsou plně postačující pro plánované experimenty.

Dále byl realizován nový zdroj časově korelovaných párů fotonů generovaných pomocí procesu spontánní sestupné frekvenční parametrické konverze v nelineárním krystalu BBO čerpaném pulzním femtosekundovým titan-safírovým laserem. Výhodou tohoto zdroje oproti zdrojům čerpaným kontinuálními lasery je přesná časová synchronizace generovaných párů fotonů s fotony v primárním laserovém pulzu. Pokud je tento pulz dostatečně atenuován tak, že střední počet fotonů v pulzu je mnohem menší než 1, může tento slabý koherentní stav pro určité aplikace nahradit jednofotonový stav. Časová synchronizace přitom umožňuje dosáhnout dostatečného překryvu módů těchto fotonů a pozorovat jejich interferenci. V roce 2007 byly úspěšně detekovány třífotonové koincidence signalizující současnou přítomnost signálního a jalového fotonu a jednoho fotonu v primárním pulzu.

Dále byla demonstrována interference mezi signálním a jalovým fotonem na vyváženém vláknovém děliči svazku, přičemž bylo dosaženo vizibility Hong-Ou-Mandelova dipu ve výši 96%.

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

V návaznosti na aktivitu A0605 pokračoval výzkum v oblasti optického zpracování kvantové informace pomocí interference fotonů. Bylo navrženo a experimentálně realizováno schéma pro symetrické fázově-kovariantní kopírování polarizačních stavů fotonů, které využívá kombinace interference na vyváženém vláknovém děliči svazku a polarizačního filtru. Tímto způsobem byly generovány vysoce kvalitní kopie, jejichž fidelita převyšovala maximální fidelitu dosažitelnou pomocí optimálního univerzálního kvantového kopírovacího přístroje.

Bylo navrženo a úspěšně experimentálně ověřeno schéma pro realizaci částečné záměny (SWAPu) polarizačních stavů dvou fotonů pomocí lineární optiky. Tuto transformaci lze podmíněně uskutečnit pomocí speciálního Machova-Zehnderova interferometru zkonstruovaného ze čtyř vyvážených děličů svazku. Po technické stránce byla zvládnuta konstrukce a stabilizace objemového Machova-Zehnderova interferometru s využitím slabých signálů na jednofotonové úrovni. Naměřené vizibility jedno- a dvou-fotonové interference činily 97% a 98%, což umožnilo dosáhnout fidelity kvantového procesu v průměru 92%. Bylo teoreticky ukázáno, že jednoduchým přidáním variabilního atenuátoru do jednoho ramene interferometru lze realizovat operaci částečné symetrizace polarizačního stavu dvou fotonů. Tuto transformaci lze dále spolu s pomocnými maximálně kvantově provázanými páry fotonů a vyváženými děliči svazku použít k amplifikaci vstupního páru fotonů s laditelným ziskem bez nutnosti přímé injekce tohoto páru fotonů do optického zesilovače.

Bylo teoreticky navrženo schéma pro podmíněnou generaci libovolných multimódových dvoufotonových stavů. Toto schéma využívá párů kvantově provázaných fotonů generovaných pomocí procesu spontánní sestupné parametrické frekvenční konverze v nelineárním krystalu a následné interference těchto fotonů v lineárním multiportovém interferometru. Bylo ukázáno, jak analyticky určit parametry jednotlivých komponent interferometru tak, aby bylo dosaženo generace požadovaného stavu a jak provést optimalizaci interferometru za účelem maximalizace pravděpodobnosti úspěšné přípravy stavu.

V006 Kvantové kopírování a kvantové měření

Bylo zkoumáno, jak využít kvantové měření pro kvantové zpracování informace a kvantovou komunikaci. Jeden ze směrů výzkumu představovala analýza optimálního částečného měření koherentních stavů s nejednotkovým ziskem. Bylo navrženo optimální Gaussovské měřicí schéma, které poskytuje přibližný odhad vstupního stavu a také zašuměnou výstupní kopii, jejíž amplituda je zesílená daným ziskem g . Přitom pro dané množství šumu ve výstupním kvantovém stavu dosahuje toto schéma minimální nejistoty v odhadu stavu. Ve spolupráci se skupinou prof. G. Leuchse v Erlangenu bylo toto schéma experimentálně realizováno pomocí homodynní detekce a dopředné vazby.

Dále byla pozornost věnována tzv. lokalizovatelné kvantové provázanosti. Byl uvažován multimódový kvantově provázaný Gaussovský stav světla a bylo studováno, kolik kvantové provázanosti mezi dvěma módy lze získat pomocí lokálních Gaussovských kvantových měření na ostatních módech a klasické komunikace. Bylo ukázáno, že pro čisté Gaussovské stavy a pro smíšené symetrické Gaussovské stavy je optimální provést na každém módu homodynní detekci, tj. projekci na nekonečně stlačený stav. Bylo také ukázáno, že negaussovská měření jako detekce jednotlivých fotonů obecně umožňují lokalizovat více kvantové provázanosti než Gaussovská měření.

Rovněž byl experimentálně implementován programovatelný diskriminátor koherentních stavů světla. Toto zařízení umožňuje s určitou pravděpodobností bezchybně rozlišit dva neortogonální koherentní stavy, přičemž informace o tom, které stavy se mají rozlišovat, je předána ve formě kvantových kopií

těchto stavů - tzv. kvantového programu. Při realizaci tohoto experimentu bylo s výhodou využito vláknové optiky a předchozích zkušeností s vláknovými interferometry.

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

V rámci tohoto cíle pokračovala na pracovišti ÚPT práce na experimentální sestavě primárního etalonu optické frekvence, pomocí kterého má být v dalších krocích ověřena metoda absolutní stabilizace syntezátoru optických frekvencí. Základem tohoto etalonu je speciální nízkošumový laditelný Nd:YAG laser se zdvojnásobením optické frekvence, který je svou vlnovou délkou 532 nm v koincidenci s nejsilnějšími absorpčními čarami hyperjemné struktury molekulárního jódu. Tato kombinace nabízí dosažení vysokého poměru signál/šum v detekci absorpčních čar a následně i vysokou stabilitu.

První experimenty se stabilizovaným laserem prokázaly dosažení relativní stability na úrovni 3×10^{-14} pro integrační čas 100 s, což potvrzuje předpoklady. Následně bylo naše úsilí zaměřeno na absolutní přesnost optické frekvence normálu. Absolutní hodnota optické frekvence je ovlivněna mnoha faktory především technického charakteru souvisejícími s konstrukcí laseru a elektronickým systémem detekce a stabilizace. Klíčovým technologickým problémem jsou absorpční kyvety, u nichž podíl nečistot ovlivňuje přímo absolutní frekvence spektrálních čar. Vývoj technologie výroby a plnění absorpčních kyvet má na našem pracovišti dlouholetou tradici a naše kyvety jsou známé v metrologických kruzích v celém světě svou kvalitou. Soustředili jsme se v tomto roce řešení na přípravu systému pro komplexní studium vlivů nečistot nezávislými metodami – měřením absolutního frekvenčního posuvu vůči normalizovaným frekvencím a metodou nepřímého určení přítomnosti nečistot prostřednictvím měření indukované fluorescence. Aparaturu pro měření indukované fluorescence postupně vylepšujeme a zlepšujeme reprodukovatelnost metody, abychom byli schopni postihnout frekvenční posuvy pod hladinou rozdílu 1 kHz.

Přímé měření absolutního frekvenčního posuvu realizujeme na sestavě dvou Nd:YAG stabilizovaných laserů z nichž jeden považujeme za referenční a v tomto roce řešení jsme jej připravili ke kalibraci na pracovišti Českého metrologického institutu, v laboratořích primární metrologie v Praze. Cílem snažení bylo jeho srovnání s laserem, jenž byl kalibrován vůči světovým primárním etalonům. Podařilo se nám dosáhnout dobré relativní stability a absolutního frekvenčního posuvu na úrovni 2 kHz, což je hodnota zahrnující vliv frekvenčního posuvu kyvety i technických offsetů celého systému.

Pro vlastní měření vlivu nečistot absorpčního média jsme připravili vícenásobně přepřehovanou kyvetu a druhý stabilizovaný laserový systém v otevřeném laboratorním uspořádání s vyměnitelnou kyvetou. Ten bude sloužit pro vlastní měření frekvenčních posuvů testovaných kyvet porovnáváním s kalibrovaným referenčním laserovým systémem.

V008 Zpracování kvantové informace využívající interakce záření s atomy.

Bylo zkoumáno, jak lze využít interakce světelných svazků s oblakem atomů k manipulaci stavu uloženém v atomové paměti. Byly navrženy dvě metody zápisu specifických silně neklasických kvantových stavů světla do atomové paměti s využitím kvantově nedemoliční interakce mezi atomy a světlem, homodynní detekce na výstupním optickém svazku a dopředné vazby či postselekce. První metoda je deterministická, přičemž zapsaný stav je porušen pouze ztrátami. Vhodnou volbou parametrů protokolu je ovšem eliminován přidaný termální šum. Druhý navržený postup je podmíněný, to zda zápis úspěšně proběhl je dáno výsledkem měření. Tímto způsobem je možné do paměti zapsat s vysokou fidelitou silně neklasické stavy jako jsou jednofotonový stav či koherentní superpozice dvou koherentních stavů.

Současně byla studována možnost implementace negaussovských operací na kvantovém stavu atomového oblaku. Bylo navrženo schéma využívající pomocný stlačený stav světla, kvantově nedemoliční interakci světla s atomy, jednofotonovou detekci, homodynní detekci a postselekcí. S těmito prostředky lze na stavu atomů realizovat operaci obdobnou odečtení fotonu z módu pole, což představuje základní nástroj pro další možné aplikace jako je generace různých silně neklasických stavů atomové paměti a purifikace a destilace kvantově provázaných stavů dvou atomových pamětí.

Byla analyzována relace komplementarity (vztah mezi částicovými a vlnovými vlastnostmi kvantových objektů) pro modelový případ Mach-Zehnderova interferometru, za předpokladu, že vstupním stavem interferometru je stav atomu či jiné částice s kvantově provázanými vnitřními a vnějšími stupni volnosti. Standardní relace komplementarity pro nekorelované vstupní stavy byla přeformulována pro jiné veličiny, vhodné i k popisu korelovaných stavů. Pro tyto nové veličiny byla odvozena obecnější relace komplementarity vhodná pro popis chování námi uvažovaného typu stavů, přecházející v limitě slabé korelace ve standardní relaci.

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

Řešení projektu v roce 2007 navazovalo na předchozí výsledky a bylo zaměřeno zejména na experimenty s vírovým přenosem informace a na studium rozdělení orbitálního momentu hybnosti vírových svazků v závislosti na jejich prostorové struktuře.

Jedním ze základních cílů aktivity je prozkoumat možnost zvýšení hustoty přenosu informace pomocí kódování informace do prostorové struktury optických vírových svazků. Ve standardních optických komunikacích je informační kód reprezentován sledem impulsů, přičemž jednotlivé impulsy mohou reprezentovat 2 stavy (0 nebo 1). V případě smíšených vírových stavů světla vytvořených v N - rozměrné bázi vírových módů je možné do prostorové struktury impulsu zapsat N dodatečných bitů informace. Atraktivnost metody je zvýšena tím, že dimenze použité báze nemá fyzikální omezení, existují jen limity technické. V návaznosti na experimentální ověření metody vírového přenosu informace provedené pomocí prostorové modulace byl v roce 2007 navržen a realizován pokročilý vírový komunikační řetězec, který svou strukturou a parametry mnohem lépe vyhovuje podmínkám praktického použití. Kódování a dekódování informace je provedeno pomocí fotolitograficky připravených fázových masek, které nahrazují nákladné a relativně pomalé prostorové modulátory světla. Fázové masky byly vyrobeny v ÚPT AV ČR v Brně. Jsou to 8 úrovně masky, které mají 1500×1500 pixelů na ploše 3×3 mm². Dynamického přenosu informace je dosaženo standardním spínáním svazků matice laserových diod (635 nm, 5 mW), které osvětlují kódovací fázovou masku. Přenos informace byl úspěšně ověřen v laboratorních podmínkách. Pro demonstraci přenosu informace volným prostorem na vzdálenost 6 m byla použita čtyřdimenzionální vírová báze. Experimentální výsledky byly v dobrém souladu s výpočtním modelem a byly publikovány v časopise New J. Phys.

V rámci analýzy prostorových stupňů volnosti vírových svazků byla hlavní pozornost zaměřena na studium kanonicky sdružené dvojice proměnných úhlu a orbitálního momentu hybnosti, které mají klíčový význam při přenosu informace. Ve spolupráci s prof. L.L. Sánchezem-Sotem z University of Madrid byla provedena teoretická analýza tzv. inteligentních stavů. Tyto stavy jsou realizovatelné pomocí Mathieuových svazků a poskytují optimální rozdělení přenášené informace mezi úhel a moment hybnosti. Teoretické výsledky byly verifikovány pomocí zdokonalené experimentální sestavy, která umožňuje generaci Mathieuových svazků a měření orbitálního momentu hybnosti s využitím prostorové modulace. Byla dosažena velmi dobrá shoda mezi teorií a experimentem a výsledky byly zpracovány k publikaci a odeslány do Phys. Rev. A.

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 využití stojaté vlny laserového záření. První oblastí bylo použití optických rezonátorů pro měření indexu lomu vzduchu a druhá byla orientována na zkoumání metod generování přesné geometrické délky pomocí kombinace optického rezonátoru a femtosekundového pulsního laseru.

V první oblasti jsme se v roce 2007 zaměřili na ověření metody teoreticky navržené a z části realizované koncem roku 2006, která je založena na kontinuálním monitorování změny optické délky rezonátoru pomocí frekvence externího laditelného laseru. Porovnávali jsme ji s klasickou metodou využívající refraktometru s čerpanou kyvetou umístěnou v referenčním rameni Michelsonova interferometru. Tato klasická metoda je považována za referenční, protože se vyznačuje vysokou reprodukovatelností. Ze získaných výsledků vyplývá, že rozdíl mezi hodnotami indexu lomu naměřeného metodou optického rezonátoru a metodou klasickou je v řádu 10^{-9} . Srovnání rovněž potvrdilo vynikající stabilitu rezonátorové metody, neboť standardní odchylka pro integrační čas 3 minuty je také až v řádu 10^{-9} .

V druhé oblasti jsme pokračovali v návrhu metody pro generování etalonu délky prostřednictvím pasivního optického rezonátoru, jehož stabilita délky je řízena stabilitou repetiční frekvence proudu pulsů femtosekundového laseru. Dle plánu jsme provedli pilotní experiment, ve kterém jsme se pokusili nastavit délku rezonátoru přesně do maxima interference femtosekundových pulsů. Vzhledem k velmi malé délce pulsu (několik desítek mikrometrů) bylo toto nastavení vysoce kritické a museli jsme použít pomocnou metodu pro měření délky rezonátoru. Použili jsme dva laditelné He-Ne lasery, které jsme navázali na dva sousední vrcholy interferenčních maxim periodického modového spektra rezonátoru. Současně jsme sledovali frekvenční hodnotu záněže mezi těmito dvěma lasery udávající mezimodovou frekvenci rezonátoru. Dle tradičního vztahu pro výpočet délky rezonátoru jsme tak mohli ze znalosti mezimodové frekvence nastavit délku rezonátoru tak přesně, aby se interference femtosekundových pulsů projevila. Toto se úspěšně podařilo a získali jsme první naměřený záznam. Dále jsme provedli první verifikační měření, kdy jsme vzájemně porovnávali repetiční frekvenci femtosekundových pulsů generátoru a mezimodovou vzdálenost měřenou pomocí dvou laditelných laserů. První výsledky ukazují vzájemnou korelaci v řádu až 10^{-6} , což je v podmínkách měření v atmosféře velmi uspokojivý výsledek.

Detailní popis navržených a již experimentálně ověřených metod jsme prezentovali formou posterů a několika přednášek na konferencích a připravujeme nyní publikaci časopiseckou. Dále byly výsledky metod s optickými rezonátory určenými pro odměřování geometrických veličin publikovány v časopise Measurement Science and Technology.

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

Experimentálně byla ověřena unikátní metoda třídění heterogenních suspenzí ve statickém světelném interferenčním poli, která je založena na nerovnováze radiačních tlaků působících na mikročástice různých velikostí. Mikroobjekt vložený do interferenčního pole dvou svazků je v závislosti na své velikosti a indexu lomu lokalizován svým středem buď v interferenčním maximu nebo minimu. Třetí protiběžný a neinterferující laserový svazek o vhodné intenzitě zajistí, že částice různých velikostí jsou tlačeny opačnými směry podél interferenčních proužků. Tato metoda byla úspěšně testována k třídění směsi polystyrénových kuliček o průměrech 1, 2, 5,2 a 7 mikrometrů a živých kvasinek.

Ve spolupráci s University of St. Andrews, University of Dundee a Universidad Nacional Autónoma de México jsme přispěli k objasnění netypického chování mikročástic v nedifrakčním svazku. Výsledky našeho teoretického modelu byly konfrontovány s jiným teoretickým modelem a srovnány s experimentálními pozorováními. Shoda obou modelů s experimentem byla uspokojivá a vysvětlila lokalizaci mikroobjektů určité velikosti mimo jádro nedifrakčního svazku.

II. Personální a organizační zabezpečení

Pracoviště UPOL

Řešitelský tým tvoří 5 profesorů, 3 docenti, 5 post-doktorských vědeckých pracovníků a 6 studentů doktorského studijního programu. Z toho 6 pracovníků je v současné době přijato na dobu řešení projektu a jejich plat je plně hrazen z dotace MŠMT. Na řešení projektu se v rámci svých diplomových prací podílejí i studenti magisterského studia. 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, 12 vědeckých pracovníků s PhD, z nichž jeden obhájil PhD v roce 2007 a 7 studentů doktorského studijního programu. Z toho 5 pracovníků bylo přijato na dobu řešení projektu a jejich plat je plně hrazen 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 18. září 2007 se v Brně na Ústavu přístrojové techniky uskutečnil druhý 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 2007 bylo stávající přístrojové vybavení laboratoří doplněno s využitím investičních prostředků centra. Pro laboratoř kvantové optiky byla zakoupena detekční elektronika potřebná pro měření dvoufotonových koincencí, lineární a rotační motorizované posuvy nezbytné pro justáž a automatizovaná měření, fázové modulátory pro experimenty s vláknovými interferometry a laserová dioda CUBE o výkonu 50 mW pro čerpání nelineárního krystalu. Rovněž byly pořízeny další potřebné drobné optické a mechanické komponenty. V současné době jsou laboratoře vybaveny tak, aby mohly být uskutečněny experimentální aktivity plánované na rok 2008.

V průběhu roku 2008 plánujeme pořídit další optické, elektronické a mechanické komponenty potřebné pro plánované experimenty, zejména pro nově zahájenou aktivitu zaměřenou na generaci trojic časově korelovaných fotonů a multifotonovou interferenci. V souvislosti s plánovaným přesunem pracoviště do nové budovy Přírodovědecké fakulty UP v létě 2008 bude z prostředků FRIMu zakoupen pro laboratoř kvantové optiky nový optický stůl.

Pracoviště ÚPT

V roce 2007 nebyly laboratoře dovybaveny z investičních prostředků centra. Byly zakoupeny nezbytné polohovací a justážní elementy pro optické komponenty, elektronika a optické prvky pro realizaci experimentů probíhajících v roce 2007.

V roce 2008 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 2008.

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.

Na pracovišti UPOL se v průběhu podzimu 2007 konal formou série zvaných přednášek tradiční mezinárodní seminář s názvem Kvantová a klasická interference, jehož se zúčastnilo celkem pět pozvaných přednášejících, z toho tři zahraniční. Pracoviště UPOL je v současné době zapojené do jednoho mezinárodního projektu 6RP EU SECOQC a v srpnu 2007 bylo úspěšně ukončeno řešení projektu 6RP EU COVAQIAL. Toto pracoviště se dále podílí na koordinační akci QUROPE, jež si klade za cíl koordinovat v celoevropském měřítku výzkum na poli kvantového zpracování informace. V červenci 2007 bylo zahájeno řešení bilaterálního grantu GAČR/DFG s německými partnery v Erlangenu (prof. G. Leuchs). V roce 2007 bylo vyvíjeno intenzivní úsilí o další upevnění mezinárodní spolupráce formou společných projektů. Evropské komisi byly podány celkem čtyři návrhy společných projektů v rámci zahajovaného 7RP EU: COMPAS (koordinátor prof. N.J. Cerf, Brusel), NOPAQII (koordinátor prof. F. DeMartini, Řím), AQUA (koordinátor C. Monyk, ARC, Vídeň) a SPUC (koordinátor A. Poppe, University of Vienna). Z těchto návrhů byl úspěšný projekt COMPAS zaměřený na problematiku kvantového zpracování informace se spojitými proměnnými, jehož řešení bude zahájeno v první polovině roku 2008. L. Mišta působil půl roku jako post-doktorský vědecký pracovník ve skupině prof. N. Korolkové na University of St. Andrews. L. Bartůšková absolvovala několik kratších pobytů ve Vídni u prof. A. Zeilingera. V Kollárová absolvovala měsíční studijní stáž u prof. K. Dholakii na University of St. Andrews.

Pracoviště ÚPT bylo jedním ze sedmi partnerů projektu 6RP EU ATOM3D, který úspěšně skončil v červnu 2007. Intenzivní spolupráce pokračuje s Universitou v St. Andrews ve Skotsku (prof. Dholakia), která vyústila ve dvě společné publikace a další grantovou přihlášku projektu 7RP EU s názvem PHOTONANO, která však nebyla úspěšná. Úspěšná byla grantová žádost u ESF na vyhlášení nové akce COST s názvem Optical Micro-Manipulation by Nonlinear Nanophotonics, která byl podána již v roce 2006, ale v květnu 2007 byla spuštěna. Sdružuje téměř všechna pracoviště v Evropě, která se zabývají optickými mikromanipulacemi a nelineární fotonikou a má podpořit jejich spolupráci. P. Zemánek zastupuje Českou republiku v Řídícím výboru Akce. Dále bylo neúspěšně žádáno o projekty: RENEPHOT v rámci Marie Curie Initial Training Networks 7RP EU, projekt CALAS 7RP EU (koordinátor Dr. D. Apostol, Bukurešť) a projekt AMIES (Advance Materials for Informatics and Electronics Systems) 7RP EU (koordinátor Dr. Ch. Florea, Univerzita Marne-la-Vallee Paříž, Francie). Pracoviště bude i nadále využívat vhodných možností, jak se zapojit do projektů 7RP EU a předpokládá se, že témata, která byla zahrnuta do uvedených žádostí o výzkumné projekty s podporou 7RP EU, budou případně podány v dalších kolech tohoto programu.

Dále bylo podniknuto několik pracovních cest s cílem prohloubení mezinárodní spolupráce. T. Čižmár absolvoval třítydenní pobyt na Universitě v St. Andrews. J. Hrabina, R. Šmíd a J. Lazar se zúčastnili týdenní letní školy „17th International Travelling Summer School on Microwaves and Lightwaves“ na Universitě v Pforzheimu v Německu, kde byla diskutována budoucí spolupráce v oblasti výzkumu nových interferometrických metod pro měření geometrických veličin se skupinou Prof. F. Mohra. Dále O. Číp, R. Šmíd a J. Lazar navštívili pracoviště firmy Menlosystems v Mnichově, což je spin-off skupiny kvantové optiky Prof. Häsche z Max-Planck Institute for Quantum Optics, s cílem rozvíjet spolupráci v oblasti femtosekundových laserů a optických normálů frekvence. Členové týmu O. Číp, J. Lazar, J. Hrabina, R. Šmíd a Z. Buchta se zúčastnili pracovního semináře „Lasery a optika“, který

uspořádali kolegové z pracoviště Laserových měření Ústavu merania Slovenské akademie věd ve dnech 29.-31. října 2007 a kde proběhla série přednášek z oblasti laserové interferometrie a spektroskopie.

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. V rámci akce Týden vědy pořádaný AV ČR se v ÚPT uskutečnily již tradiční Dny otevřených dveří (8.-9. listopadu), během kterých ÚPT navštívilo 697 návštěvníků. V rámci téže akce proběhly dvě popularizační přednášky v Technickém muzeu v Brně určené široké veřejnosti: „Interferometrie - měření světlem“ (J. Lazar) a „Jak využít světla k ovládní mikrosvěta aneb od světelné plachetnice k optické pinzetě“ (P. Zemánek). M. Dušek se pak zúčastnil kulatého stolu „Podivuhodné možnosti využití světla“ pořádaného v Praze AV ČR.

Ke zviditelnění výzkumných aktivit významně přispěla i dvě prestižní ocenění, která získali členové řešitelského týmu. R. Filipovi bylo uděleno Zvláštní uznání předsedy GA ČR za projekt 202/03/D239 – *Redukce dekoherence při kvantovém přenosu a zpracování informace*. M. Ježkovi byla udělena Cena Václava Votruby za nejlepší disertační práci v teoretické fyzice za rok 2007.

VI. Seznam publikačních, přednáškových a popularizačních aktivit Centra moderní optiky za rok 2007

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. R. Čelechovský and Z. Bouchal, *Optical implementation of the vortex information channel*, New J. Phys. **9**, 328 (2007).
2. J. Fiurášek, P. Marek, R. Filip, and R. Schnabel, *Experimentally feasible purification of continuous-variable entanglement*, Phys. Rev. A **75**, 050302(R) (2007).
3. B. Hage, A. Franzen, J. DiGuglielmo, P. Marek, J. Fiurášek, and R. Schnabel, *On the distillation and purification of phase-diffused squeezed states*, New J. Phys. **9**, 227 (2007).
4. P. Marek, J. Fiurášek, B. Hage, A. Franzen, J. DiGuglielmo, and R. Schnabel, *Multiple-copy distillation and purification of phase-diffused squeezed states*, Phys. Rev. A **76**, 053820 (2007).
5. P. Marek and R. Filip, *Probabilistic purification of noisy coherent states*, Quant. Inf. Comp. **7**, 609 (2007).

6. J. Fiurášek and L. Mišta, Jr., *Gaussian localizable entanglement*, Phys. Rev. A **75**, 060302(R) (2007).
7. J. DiGuglielmo, B. Hage, A. Franzen, J. Fiurášek, and R. Schnabel, *Experimental characterization of Gaussian quantum-communication channels*, Phys. Rev. A **76**, 012323 (2007).
8. L. Bartůšková, M. Dušek, A. Černocho, J. Soubusta, and J. Fiurášek, *Fiber-Optics Implementation of an Asymmetric Phase-Covariant Quantum Cloner*, Phys. Rev. Lett. **99**, 120505 (2007).
9. J. Soubusta, L. Bartůšková, A. Černocho, J. Fiurášek, and M. Dušek, *Several experimental realizations of symmetric phase-covariant quantum cloners of single-photon qubits*, Phys. Rev. A **76**, 042318 (2007).
10. J. Fiurášek and N.J. Cerf, *Optimal multicopy asymmetric Gaussian cloning of coherent states*, Phys. Rev. A **75**, 052335 (2007).
11. M. Sabuncu, L. Mista, J. Fiurášek, R. Filip, G. Leuchs, and U.L. Andersen, *Nonunity gain minimal-disturbance measurement*, Phys. Rev. A **76**, 032309 (2007).
12. M. Hendrych, M. Mičuda, and J.P. Torres, *Tunable control of the frequency correlations of entangled photons*, Opt. Lett. **32**, 2339 (2007).
13. M. Kolář, T. Opatrný, N. Bar-Gill, N. Erez, and G. Kurizki, *Path-phase duality with intraparticle translational-internal entanglement*, New J. Phys. **9**, 129 (2007).
14. M. Šiler and P. Zemánek, *Optical forces acting on a nanoparticle placed into an interference evanescent field*, Opt. Commun. **275**, 409 (2007).
15. V. Karásek and P. Zemánek, *Analytical description of longitudinal optical binding of two nanoparticles*, J. Opt. A. **9**, S215 (2007).
16. P. Jákł, M. Šerý, J. Ježek, M. Liška, and P. Zemánek, *Axial optical trap stiffness influenced by retro-reflected beam*, J. Opt. A. **9**, S251 (2007).
17. T. Čižmár and P. Zemánek, *Optical tracking of spherical micro-objects in spatially periodic interference fields*, Opt. Express **15**, 2262 (2007).
18. K. Dholakia, M. P. MacDonald, P. Zemánek, and T. Čižmár, *Cellular and colloidal separation using optical forces*, Methods in Cell Biology **82**, 467 (2007).
19. G. Milne, K. Dholakia, D. McGloin, K. Volke-Sepulveda, and P. Zemánek, *Transverse particles dynamics in a Bessel beam*, Opt. Express **15**, 13972 (2007).
20. O. Číp, F. Petrů, Z. Buchta, and J. Lazar, *Small displacement measurements with subatomic resolution by beat frequency measurements*, Measurement Science and Technology **18**, 2005 (2007).
21. J. Hrabina, F. Petrů, P. Jedlička, O. Číp, and J. Lazar, *Purity of iodine cells and optical frequency shift of iodine-stabilized He-Ne lasers*. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, **1**, 202 (2007).

Konference

I. Přednášky

1. J. Fiurášek, P. Marek, B. Hage, A. Franzen, J. DiGuglielmo, and R. Schnabel, *Distillation and purification of phase-diffused squeezed states of light*, Continuous Variable Quantum Information Processing Workshop, St Andrews, UK, 13.-16. 4. 2007.
2. J. Fiurášek, *Linear optics quantum Toffoli and Fredkin gates*, SPIE Europe Optics and Optoelectronics Conference, Prague, 16.-19. 5. 2007.
3. J. Fiurášek and M. Ježek, *Optimal discrimination and estimation of quantum states with inconclusive results*, Identifying quantum states and operations: theory and applications, Budmerice, Slovakia, 20.-24. 6. 2007.
4. J. Fiurášek, P. Marek, B. Hage, A. Franzen, J. DiGuglielmo, and R. Schnabel, *Distillation and purification of phase-diffused squeezed states of light*, International Conference on Quantum Information Processing and Communication, Barcelona, Spain, 15.-19. 10. 2007.
5. J. Fiurášek, L. Mišta and R. Filip, *Optimal partial estimation of quantum states*, Applied Quantum Measurement Workshop, Lorentz Center, Leiden, The Netherlands, 5.-9. 11. 2007.
6. L. Bartůšková, A. Černochoch, J. Soubusta, M. Dušek and J. Fiurášek, *Experimental realization of symmetric and asymmetric phase-covariant cloner using fibre optics*, SPIE Europe Optics and Optoelectronics Conference, Prague, 16.-19. 5. 2007.
7. M. Dušek, L. Bartůšková, A. Černochoch, J. Soubusta, and J. Fiurášek, *Various experimental realizations of symmetric and asymmetric phase-covariant quantum cloners*, Central European Workshop on Quantum Optics (CEWQO07), Palermo, Italy, 1.-5. 6. 2007.
8. M. Dušek, L. Bartůšková, A. Černochoch, J. Soubusta, and J. Fiurášek, *Various experimental realizations of symmetric and asymmetric phase-covariant quantum cloners*, Identifying quantum states and operations: theory and applications, Budmerice, Slovakia, 20.-24. 6. 2007.
9. M. Kolář, T. Opatrný, and G. Kurizki, *Orbital angular momentum single photon interferometry with which-path detection*, ICSSUR 2007, Bradford, UK, 31.3.-4.4. 2007.
10. P. Zemánek, *Employment of interference fields for delivery and sorting of Brownian particles*, ESF Trends in Optical Micromanipulation, Obergurgl, Rakousko, 4.-9.2. 2007.
11. V. Karásek, *Optical binding – applications of DDA*, DDA-Workshop, IWT, Bremen, SRN, 23.3.2007.
12. P. Zemánek, *New methods of optical sorting and manipulations in interference fields*, ATOM3D Workshop, Cambridge, UK, 8.-12. 5. 2007.
13. T. Čižmár, P. Zemánek, *Advanced optical manipulations usány non-diffracting beams*, ATOM3D Workshop, Cambridge, UK, 8.-12. 5. 2007.
14. V. Karásek, P. Zemánek, *Simulation of longitudinally bound micro-bead chains by CDM*, Latsis Symposium, Švýcarsko, 25.-27.6. 2007.
15. P. Zemánek, *Microparticle behaviour in travelling optical interference fields optical delivery, sorting and hops*, COST Group and management meeting, Ancona, Itálie, 25.-28.10.2007.

16. P. Zemánek, *Advanced techniques of optical micro-manipulations*, New Trends in Physics, Brno, 15.-16.11.2007.
17. P. Zemánek, *What are optical micromanipulations techniques and what do they offer*, CECE 2007, Brno, 15.-16.2007.
18. P. Jákł, *Device for static sorting of dielectric microparticles and living cells*, 2nd EOS topical meeting – Optical Microsystems, Capri, Itálie, 30.9.-3.10.2007.
19. O. Číp, Z. Buchta, F. Petrů, J. Lazar, *On-line monitoring of the refraction index of air for ultra-precise length measurements in the nano-world*, IEEE conference - Africon07, Windhoek, Namibia, 26.-28.9.2007.
20. J. Lazar, Z. Buchta, O. Číp, *High-Power Extended Cavity Narrow Linewidth Laser*, IEEE conference - Africon07, Windhoek, Namibia, 26.-28.9.2007.
21. O. Číp, *The refraction index of air as the limiting factor of sub-nanometer length measurement*, seminář „Lasery a optika“, Kongresové centrum Slovenské akademie věd Smolenice, Slovenská republika, 29.-31.10. 2007.
22. R. Šmíd, *Precise length etalon controlled by stabilized frequency comb*, seminář „Lasery a optika“, Kongresové centrum Slovenské akademie věd Smolenice, Slovenská republika, 29.-31.10. 2007.
23. J. Hrabina, *Methods of measurement and verification of purity of I cells for laser stabilization*, seminář „Lasery a optika“, Kongresové centrum Slovenské akademie věd Smolenice, Slovenská republika, 29.-31.10. 2007.
24. J. Lazar, *Nanometrology and scanning probe microscopy*, seminář „Lasery a optika“, Kongresové centrum Slovenské akademie věd Smolenice, Slovenská republika, 29.-31.10. 2007.
25. R.Šmíd, *Generation of precise length controlled by femtosecond stabilized comb*, ITSS 17 International Travelling Summer School on Microwaves and Lightwaves, Pforzheim, SRN, 07.07.2007 - 13.07.2007.
26. J.Hrabina, *Measurement of iodine purity in absorption cells for laser frequency stabilization*, ITSS 17 International Travelling Summer School on Microwaves and Lightwaves, Pforzheim, SRN, 07.07.2007 - 13.07.2007.
27. J.Lazar, *Metrology of time and length – a question of radio and optical frequencies*, ITSS 17 International Travelling Summer School on Microwaves and Lightwaves, Pforzheim, SRN, 07.07.2007 - 13.07.2007.

II. Postery

1. M. Mičuda, M. Hendrych and J.P. Torres, *Generation of the different types of the frequency correlations of entangled photon pairs*, European Young Scientists Conference on Quantum Information (EYSCQI), Vienna, Austria, 27.-31. 8. 2007.
2. K. Lemr and J. Fiurášek, *Preparation of entangled states of two photons in several spatial modes*, European Young Scientists Conference on Quantum Information (EYSCQI), Vienna, Austria, 27.-31. 8. 2007.

3. L. Slodička and M. Ježek, *Controlling the spatial modes in correlated photon generation*, European Young Scientists Conference on Quantum Information (EYSCQI), Vienna, Austria, 27.-31. 8. 2007.
4. L. Mišta, J. Fiurášek, R. Filip, M. Sabuncu, G. Leuchs and U. L. Andersen, *Nonunity gain minimal-disturbance measurement*, Continuous Variable Quantum Information Processing Workshop, St Andrews, UK, 13.-16. 4. 2007.
5. R. Filip, C. Wittmann, D. Elser, U.L. Andersen, P. Marek, and G. Leuchs, *Filtering of continuous variable quantum information*, Continuous Variable Quantum Information Processing Workshop, St Andrews, UK, 13.-16. 4. 2007.
6. V. Karásek and P. Zemánek, *One dimensional self-arrangement of microobjects via optical binding*, ESF Trends in Optical Micromanipulation, Obergurgl, Rakousko, 4.-9.2. 2007.
7. T. Čižmár and P. Zemánek, *Optical tracking of spherical micro-objects in spatially periodic interference fields*, ESF Trends in Optical Micromanipulation, Obergurgl, Rakousko, 4.-9.2. 2007.
8. M. Šiler, T. Čižmár and P. Zemánek, *Brownian surfer and swimmer in periodic potential landscape*, ESF Trends in Optical Micromanipulation, Obergurgl, Rakousko, 4.-9.2. 2007.
9. M. Šiler, T. Čižmár and P. Zemánek, *Particle escape over a potential barrier in periodical interference optical traps*, ATOM3D Workshop, Cambridge, UK, 8.-12. 5. 2007.
10. V. Karásek and P. Zemánek, *Simulation of longitudinally bound micro-bead chains by coupled dipoles method*, ATOM3D Workshop, Cambridge, UK, 8.-12. 5. 2007.
11. P. Zemánek, P. Jákl, M. Šiler, and T. Čižmár, *Particle behaviour in 3-beam interference field*, Latsis Symposium, Švýcarsko, 25.-27.6. 2007.
12. M. Šiler, T. Čižmár, and P. Zemánek, *Brownian surfer and swimmer in an optical conveyor belt near surface*, Latsis Symposium, Švýcarsko, 25.-27.6. 2007.
13. O. Číp, R. Šmíd, J. Lazar, F. Petru, Z. Buchta, and M. Čížek, *An ultra-stable generator of absolute length based on femtosecond mode-lock laser and optical resonator*, TimeNav07 – Frequency control conference, Geneve, Švýcarsko, 29.5-1.6.2007.
14. R. Šmíd, O. Číp, and J. Lazar, *Precise length etalon generator controlled by femtosecond mode-locked laser*, Optics and Photonics 2007, Sandiego, USA, 26.-30.8.2007.
15. J. Lazar, J. Hrabina, F. Petru, P. Jedlička, O. Číp, and R. Šmíd, *Absolute frequency shifts of iodine cells for laser stabilization*, Optics and Photonics 2007, Sandiego, USA, 26.-30.8.2007.
16. Z. Buchta, O. Číp, O. Wilfert, and J. Lazar, *Narrow-band high-power semiconductor lasers for optical communication*, Optics and Photonics 2007, Sandiego, USA, 26.-30.8.2007.
17. B. Mikel, R. Helán, and O. Číp, *Fiber Bragg gratings for laser interferometry with VCSEL diode at 760 nm wavelength*, Optics and Photonics 2007, Sandiego, USA, 26.-30.8.2007.

III. Příspěvky v konferenčních sbornících

1. J. Herec and R. Filip, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of

- Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
2. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, V. Kollárová, and Z. Bouchal, *How to use laser radiative and evanescent interference fields to control movement of the sub-micron objects*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, 660902:1-14, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
 3. Z. Bouchal, V. Kollárová, P. Zemánek, and T. Čižmár, *Orbital angular momentum of mixed vortex beams*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, 660907:1-8, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
 4. R. Čelechovský and Z. Bouchal, *Design and testing of the phase mask for transfer of information by vortex beams*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
 5. V. Karásek and P. Zemánek, *What is it optical binding and how to study this phenomena?*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, 660909:1-11, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
 6. J. Ježek, T. Čižmár, and P. Zemánek, *Manufacturing of extremely narrow polymer fibers by non-diffracting beams*, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, 66090J:1-7, Bellingham, WA (2007). ISBN 9780819467485
 7. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, P. Jákl, M. Šerý, V. Karásek, and O. Brzobohatý, *Advanced techniques of optical micro-manipulations*, in Proceedings of the Conference - New Trends in Physics 2007, Brno, Brno University of Technology, 2007. S. 8-12. ISBN 978-80-7355-078-3.
 8. O. Číp, R. Šmíd, J. Iazar, F. Petruš, Z. Buchta, and M. Čížek, *An ultra-stable generator of absolute length based on femtosecond mode-lock laser and optical resonator*, in Proceedings - TimeNav'07, 659-662 (2007) ISBN 1-4244-0647-1
 9. J. Hrabina, F. Petruš, P. Jedlička, O. Číp, and J. Lazar, *Measurement of iodine purity in absorption cells for laser frequency stabilization*, in Proceedings of 17th International Conference Radioelektronika, 377-381 (2007) ISBN 978-80-214-3390-8.
 10. J. Hrabina, F. Petruš, P. Jedlička, O. Číp, and J. Lazar, *Purity of iodine cells in relation to frequency shift of iodine stabilized Nd:YAG laser*, in Optical Measurement Systems for Industrial Inspection V., Proceedings of SPIE Vol. 6616, 661646:1-6, Bellingham, WA (2007) ISBN 9780819467584
 11. O. Číp, Z. Buchta, F. Petruš, and J. Lazar, *On-line monitoring of the refraction index of air for ultra-precise length measurements in the nano-world*, in Proceedings of Africon 2007, Windhoek, Namibia, ISBN: 978-1-4244-0987-7, pp. 1-4
 12. J. Lazar, J. Hrabina, F. Petruš, P. Jedlička, O. Číp, and R. Šmíd, *Absolute frequency shifts of iodine cells for laser stabilization*, in time and Frequency Metrology, Proceedings of SPIE Vol. 6673, 66730P:1-6., Bellingham, WA (2007) ISBN 9780819468215

13. J. Lazar, J. Hrabina, F. Petrů, P. Jedlička, O. Číp, and R. Šmíd, *Absolute frequency shifts of stabilized Nd:YAG Lasers - a question of iodine cell technology* in Proceedings - TimeNav'07. Danvers : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2007. S. 115-118. ISBN 1-4244-0647-1. ISSN 1075-6787.
14. R. Šmíd, M. Čížek, Z. Buchta, B. Mikel, J. Lazar, and O. Číp, *Measurement of index of refraction of air by optical frequency method*, in Optical Measurement Systems for Industrial Inspection V., Proceedings of SPIE Vol. 6616, 66164C:1-7, Bellingham, WA (2007) ISBN 9780819467584.

Nekonferenční přednášková činnost

1. L. Bartůšková, A. Černoch, J. Soubusta, M. Dušek and J. Fiurášek, *Asymmetric phase-covariant 1->2 quantum cloning of optical qubits: Experiment*, Toshiba Cambridge, UK, 14. 3. 2007.
2. L. Bartůšková, A. Černoch, J. Soubusta, M. Dušek and J. Fiurášek, *Various experimental realizations of symmetric and asymmetric phase-covariant quantum cloner*, Katedra chemické optiky a fyziky MFF UK, Praha, 6.11.2007.
3. P. Zemánek, *Advanced optical micromanipulation devices based on laser beams interference*, MPI of Molecular cell and genetics, Dresden, 24.1.2007.
4. P. Zemánek, *Pokročilé metody optických manipulací*, Nanoteam meeting, Ústí nad Labem, 19.4.2007.
5. P. Zemánek, *Optical tweezers and its advanced applications*, Ústav fyzikální biologie, Nové Hradky, 8.6.2007.
6. P. Zemánek, *Optical tweezers and its advanced applications*, Katedra fyzikální elektroniky, ČVUT, Praha, 13.6.2007.