

## **POPIS ŘEŠENÍ PROJEKTU v roce 2006**

Název projektu: Centrum moderní optiky  
Evidenční číslo projektu: LC06007

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

Příjemce: Ústav přístrojové techniky AV ČR (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 2006**

Řešení projektu bylo zahájeno 1. března 2006. V rámci Centra moderní optiky je prováděn základní teoretický a experimentální výzkum ve třech směrech, jež celosvětově patří k nejdůležitějším 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.

Jednotlivé dílčí směry výzkumu v roce 2006 odpovídaly jedenácti 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 2007 a naplňování požadovaných cílů poskytovatele.

#### **V001 Experimentální realizace různých typů nedifrakčních a vírových polí**

*Využití prostorových modulátorů světla ke generaci nedifrakčních a vírových polí s různým topologickým nábojem*

V roce 2006 bylo hlavní úsilí zaměřeno na jednotnou metodiku popisu vzniku, šíření a transformace kompozitních nedifrakčních a vírových polí a na realizaci příslušných experimentů. Byly diskutovány samozobrazovací efekty interference koherentních nedifrakčních svazků, vyšetřován prostorový vývoj singularit složených vírových polí a studován orbitální moment hybnosti, který svazky tohoto typu přenáší. V této oblasti probíhala spolupráce s prof. G.A. Swartzlanderem, Jr. (University of Tucson, Arizona, USA), která vyústila do společné publikace, jež je v současné době v tisku. V průběhu roku 2006 vykonal R. Čelechovský na tomto pracovišti měsíční pobyt, při němž se podílel na experimentu zaměřeném na částečnou korelaci světelných vln. Experiment má pokračování v laboratoři pracoviště UP Olomouc a jeho výsledky jsou slibné. V rámci experimentální činnosti jsme se zaměřili na propracování metod prostorové modulace světla při vytváření nestandardních typů světelných svazků. Za nejdůležitější výsledky v této oblasti lze považovat zvládnutí metodiky dynamické prostorové modulace a návrhu čistě fázových masek, které nahrazují činnost masek poskytujících

současnou amplitudovou a fázovou modulaci. Tímto způsobem bylo na UP Olomouc vytvořeno experimentální zázemí, které dává možnost přípravy světelných polí s předem definovaným 3D rozdělením intenzity a složených vírových polí tvořených vírovými svazky s různými topologickými náboji. Taková pole budou využívána pro nové způsoby přenosu informace a optické manipulace řešené v rámci projektu.

#### *Využití axikonů k získání nedifrakčních svazků mikrometrových rozměrů*

S využitím axiconu byly experimentálně dosaženy nevírové nedifrakční svazky, které měly nejmenší průměr intenzitního jádra 1,2 mikrom. Rovněž byly získány širší svazky s průměry jádra 12 mikrom a které existovaly na vzdálenosti až několik centimetrů. Tyto svazky byly experimentálně využity pro fotopolymerace dlouhých tenkých homogenních vláken, dutých rotačně-symetrických útvarů. Rovněž byla studována dynamika tvorby vláken v závislosti na parametrech svazků a použitém výkonu laseru. Prokázali jsme existenci efektu, kdy vytvořené vlákno slouží jako vlnovod, jehož konec se fotopolymerací sám prodlužuje a tím vzniká vlákno mnohem delší než oblast, kde původně existoval nedifrakční svazek.

V roce 2007 se zaměříme na experimentální generaci tenkých vírových svazků a na teoretický popis silových účinků ve vírových svazcích.

### **V002 Řízený pohyb a samouspořádávání mikroobjektů v nedifrakčních a vírových polích**

#### *Teoretická a experimentální analýza složených vírových struktur*

Pro činnost mikroelektromechanických systémů je významná možnost přenosu orbitálního momentu hybnosti (OMH) světelných vírů na mechanické objekty. Je známo, že u jednoduchého vírového svazku závisí jeho OMH na přenášeném výkonu a stoupání šroubovitě vlnoplochy vyjádřené topologickým nábojem. Pro složené vírové pole je situace složitější a je nutné pracovat s představou interference OMH dílčích svazků. Ta vede ke vzniku nehomogenního prostorového rozdělení OMH. Provedený popis složených vírových polí byl použit pro demonstraci možnosti ladění jejich OMH bez nutnosti změny topologických nábojů jednotlivých svazků. Pro ověření této možnosti byl navržen jednoduchý experiment.

S metodami cíleného formování OMH světla úzce souvisí problém objasnění vztahu mezi úhlovým rozdělením pole a OMH a otázka měření této fyzikální veličiny. Problematika byla v rámci projektu intenzivně studována ve spolupráci s prof. L.L. Sánchezem-Sotem (Universidad Complutense, Madrid). V práci byla provedena rigorózní formulace relací neurčitosti pro úhel a moment hybnosti, která je založená na disperzi jako korektní statistické míře odchylky. Bylo ukázáno, že stavy, které minimalizují součin neurčitostí úhlu a momentu hybnosti, mohou být vyjádřeny pomocí Mathieuových funkcí. Experimentální ověření odvozených relací neurčitosti bylo provedeno pomocí prostorové modulace světla.

V roce 2007 budou v laboratoři pracoviště UPOL probíhat experimenty s přenosem OMH světla složených vírových polí umožněné laserem Verdi s výkonem 2W, který byl z prostředků projektu opatřen. Pozornost bude rovněž věnována návrhu a realizaci pokročilejších metod měření OMH.

#### *Zachycení a řízený pohyb mikroobjektů s využitím protiběžných nedifrakčních svazků*

V oblasti využití nedifrakčních svazků k optickým manipulacím ÚPT pokračoval v experimentech s protiběžnými nedifrakčními svazky. Fáze jedné z protiběžných vln byla kontrolovaně měněna a tím se celá struktura intenzitních maxim a minim spolu se zachycenými submikrometrovými objekty pohybovala v prostoru. Toto zařízení je známé jako optický dopravník. Optimalizovaným uspořádáním byly získány dva protiběžné besselovské svazky, každý o poloměru intenzitního středu 1,2 mikrometru a o prodloužené oblasti jejich existence na 1 milimetr. Oba svazky se na této oblasti překrývaly a jejich interferencí vzniklo až 5000 optických pastí. Dosáhli jsme zachycení a současného

oboustranného přesunu až tisíce submikrometrových polystyrénových kuliček o nejmenším poloměru i 100 nm. Jedná se prozatím o celosvětově největší počet opticky zachycených a společně přemístěných submikrometrových částic na tak velkou vzdálenost.

Vlastní metoda založená na vázaných dipólech byla využita k parametrickému studiu interakce mezi dvěma objekty umístěnými v protiběžných nekoherentních nedifrakčních svazcích (tzv. optical binding). Byly nalezeny rovnovážné konfigurace pro různé šířky svazků a indexy lomu objektů.

Na březen 2007 je plánován společný experiment s kolegy ze St. Andrews v laboratořích ÚPT, který by měl verifikovat teoretické výsledky. Budeme pokračovat v teoretickém popisu se zaměřením na chování více objektů umístěných v nedifrakčním svazku.

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

V roce 2006 byla pozornost věnována zejména problematice potlačení šumu při generaci a přenosu stlačených stavů světla, u nichž jsou kvantové fluktuace určité kvadraturní složky pole sníženy pod úroveň vakuových fluktuací. Distribuce těchto stavů je nezbytná pro praktickou realizaci kvantové komunikace se spojitými kvantovými proměnnými na velké vzdálenosti. Jedním z významných zdrojů šumu představují fázové fluktuace, jež silně potlačují nekласičnost stlačených stavů. V praxi se může tento typ šumu vyskytnout např. v důsledku termálních fluktuací optických vláken, skrze něž je daný stav přenášen. Ve spolupráci se skupinou prof. R. Schnabela z Institutu Alberta Einsteina v Hannoveru byla navržena metoda, jak z několika kopií stlačených stavů porušených fázovými fluktuacemi získat s pomocí interference na děličích svazků, homodynní detekce a postselekce stav s vyšším stlačením i čistotou. Tato metoda byla úspěšně experimentálně demonstrována pro jednomódové stlačené stavy. Teoreticky bylo ukázáno, že tento postup lze úspěšně použít i pro potlačení vlivu fázových fluktuací při distribuci kvantově provázaných dvoumódových stlačených stavů mezi dva příjemce. V tomto případě lze potlačení šumu uskutečnit pouze pomocí lokálních kvantových operací na straně každého příjemce a klasické komunikace.

Ve spolupráci se skupinou prof. G. Leuchse z univerzity v Erlangenu byla vyvinuta metoda pro purifikaci stlačených stavů narušených náhodnými amplitudovými fluktuacemi. V tomto případě postačuje k purifikaci jedna kopie stavu. Malá část optického svazku je odražena pomocí nevyváženého děliče na homodynní detektor. Na základě výsledku měření lze s poměrně vysokou přesností identifikovat případy, kdy stlačený stav nebyl narušen fluktuací amplitudy, a tak výrazně redukovat šum. Tento protokol byl úspěšně experimentálně demonstrován na pracovišti v Erlangenu.

V roce 2007 plánujeme pokračovat v analýze purifikačních a destilačních protokolů pro stlačené stavy světla.

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

Byly zahájeny přípravné práce na stavbě nového zdroje páru korelovaných fotonů s využitím sestupné frekvenční parametrické konverze v nelineárním krystalu čerpaném laserovou diodou. Tomuto experimentu byla vyhrazena laboratoř s optickým stolem, jež byla v průběhu roku vybavena potřebným příslušenstvím. Byly pořízeny potřebné komponenty pro stavbu zdroje, zejména laserová dioda s výkonem 40 mW na vlnové délce 405 nm, jednofotonové detektory a detekční elektronika, lineární motorizované posuvy, optické a optomechanické komponenty a řídicí počítač.

Studenti doktorského studia Michal Mičuda a Lucie Bartůšková, kteří se na stavbě zdroje podílejí, se v roce 2006 zapojili i do dalších experimentálních aktivit, při nichž získávali cenné zkušenosti, jež budou využity při konstrukci zdroje. Lucie Bartůšková uskutečnila dva experimenty s páry fotonů interferujících ve vláknovém interferometru popsané dále v dílčích cílech V005 a V006. Michal

Mičuda absolvoval dlouhodobý studijní pobyt na ICFO v Barceloně ve skupině prof. J. Torrese. Zde se podílel na generaci frekvenčně korelovaných, anti-korelovaných či nekorelovaných párů fotonů pomocí parametrické frekvenční sestupné konverze. Použitá metoda spočívala v čerpání nelineárního krystalu femtosekundovým optickým pulsem odraženým od difrakční mřížky. V tomto uspořádání je možné dosáhnout požadovaného typu frekvenčních korelací mezi signálním a jalovým fotonem vhodnou volbou mřížkové konstanty a difrakčního maxima.

V roce 2007 bude uskutečněna vlastní stavba zdroje a následně bude provedena jeho charakteristika, testování a vyladění tak, aby byl připraven pro využití v následných experimentech.

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

Byly teoreticky zkoumány možnosti realizace různých kvantových logických hradel pro kvantové bity kódované do stavů jednotlivých fotonů. Je známo, že nelineární interakci mezi jednotlivými fotony potřebnou pro konstrukci optických kvantových hradel je možné simulovat s využitím pomocných fotonů, interference a jednofotonové detekce. Bylo ukázáno, jak s pomocí těchto prostředků implementovat dvě důležitá logická hradla mezi třemi kvantovými bity: kvantovou Toffoliho a Fredkinovu bránu. Výhodou navržené konstrukce kvantové lineárně-optické Tofoliho brány je, že využívá pouze interference na děličích svazku a post-selekce a nevyžaduje žádné pomocné fotony, takže toto schéma je experimentálně testovatelné v rámci současné technologie.

V experimentální oblasti byla úspěšně demonstrována komprese stavů dvou kvantových bitů do stavu jednoho kvantového tritu (třístavového kvantového systému) a následné dekódování jednoho libovolně zvoleného ze dvou vstupních kvantových bitů. V tomto experimentu bylo využito vláknových interferometrů a kódování do prostorových stupňů volnosti jednotlivých fotonů. To zejména umožnilo jednoduchou realizaci kvantového tritu jako stavu jednoho fotonu, který se současně šíří třemi jednomódovými optickými vlákny.

V roce 2007 plánujeme pokračovat v návrhu a analýze lineárně optických kvantových hradel a případně se pokusit i o jejich experimentální implementaci.

#### **V006 Kvantové kopírování a kvantové měření**

Fundamentální vlastností kvantových stavů je to, že z jedné kopie neznámého stavu nelze přesně určit, o jaký stav jde a nelze tento stav přesně kopírovat. Je ovšem možné kvantové stavy kopírovat přibližně. V roce 2006 bylo na olomouckém pracovišti úspěšně experimentálně implementováno optimální fázově-kovariantní kvantové kopírovací zařízení pro stavy jednotlivých fotonů. Korelované páry fotonů byly generovány pomocí spontánní sestupné frekvenční parametrické konverze v nelineárním krystalu čerpaném plynovým kontinuálním laserem a detekovány pomocí lavinových fotodiod. V prvním experimentu byly kopírovány polarizační stavy pomocí interference dvou fotonů na speciálním nevyváženém objemovém děliču svazku. Ve druhém experimentu bylo využito kódování kvantových bitů do stavů jednotlivých fotonů šířících se dvěma optickými vlákny a kopírování těchto stavů bylo uskutečněno pomocí soustavy propojených vláknových interferometrů. Výhodou přístupu založeného na vláknech je vysoká vizibilita jedno- i dvou-fotonové interference, jež umožnila dosáhnout velmi vysoké kvality generovaných kopií a těsně se přiblížit k teoretické limitě.

V oblasti kvantového měření byla studována optimální částečná estimace kvantových stavů světla, jež poskytuje maximální množství klasické informace o měřeném stavu pro dané množství šumu, jímž je kvantový stav narušen v důsledku měření. Bylo nalezeno optimální částečné měření pro koherentní stavy a bylo ukázáno, že toto měření nelze implementovat pouze pomocí lineární optiky, operace stlačení a homodynní detekce. Dále bylo určeno optimální částečné měření pro kvantové bity v případě, že je k dispozici  $N$  kopií měřeného stavu, a byla zkoumána optimální částečná diskriminace polarizačních stavů fotonů. Ve spolupráci se skupinou prof. De Martiniho v Římě bylo optimální

částečné měření polarizačních stavů jednotlivých fotonů realizováno experimentálně. Kromě toho byla rovněž zkoumána strategie optimálního odhadu kvantových stavů připouštějící možnost, že není poskytnut žádný odhad, a bylo ukázáno, jak najít příslušné optimální zobecněné kvantové měření.

V roce 2007 plánujeme pokračovat v experimentálních aktivitách se zaměřením na asymetrické kopírování polarizačních stavů jednotlivých fotonů a pokračovat v analýze optimální částečné estimace kvantových stavů. Rovněž zamýšlíme teoreticky studovat možnost optimálního kopírování páru ortogonálně polarizovaných stavů fotonů pomocí lineární optiky.

### **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 byly podniknuty první kroky pro absolutní stabilizaci syntezátoru optických frekvencí. Pro tento účel byl z investičních prostředků CMO zakoupen stabilizovaný systém, jehož základem je Nd:YAG laser a řídicí elektronika pro femtosekundový optický syntezátor. Uvedený systém vychází ze zkušeností s jodem stabilizovanými Nd:YAG lasery, jejichž dosahované stability se pohybují na úrovni  $10^{-13}$ , resp. dosahují pro delší integrační časy hladiny  $10^{-14}$ , čímž se velmi blíží přesnosti na úrovni cesiových hodin. Optickou syntézou prostřednictvím femtosekundových generátorů je možné překlenout rozsah dělicí radiofrekvenční a optické kmitočty a přenést stabilitu oscilátorů/laserů z jednoho pásma do druhého.

Na vlnové délce Nd:YAG laseru se zdvojnásobením frekvence (532 nm) je možné dosáhnout velmi dobrého poměru signál/šum na absorpčních čarách jodu, který je tradičním absorpčním prostředím pro stabilizaci laserů ve viditelné oblasti spektra a proto využijeme stabilizovaného Nd:YAG laseru jako reference pro optický syntezátor. V prvním roce řešení jsme započali práce na úpravách stabilizovaného laserového systému a v návaznosti na grant GAAV IAA 200650504 jsme se zabývali výzkumem absolutní přesnosti laserů stabilizovaných na hyperjemné absorpční komponenty molekulárního jodu. Vzhledem k hodnotám stability, jež lze očekávat v sestavě Nd:YAG laseru, hraje frekvenční offset spektrálních čar způsobený eventuálními nečistotami významnou roli na sub-kHz úrovni. Uvedli jsme do provozu také detekční řetězec a vlastní stabilizaci Nd:YAG laseru, sestavili jsme aparaturu pro nezávislé ověřování přítomnosti nečistot měřením indukované fluorescence, provedli vylepšení kompenzující nestabilitu čerpacího laseru a provedli ověření vlastností sady kyvet vyrobených v předešlých letech pro stabilizované lasery na našem pracovišti. Pro porovnávání absolutních optických frekvencí těchto laserů byl navržen a realizován detekční systém s rychlým fotodetektořem (PIN diodou) s příslušnými přizpůsobovacími obvody a kaskádou zesilovačů schopných pracovat ve frekvenčním rozsahu 150 až 1100 MHz. Zesílení a přizpůsobení signálu bylo navrženo tak, aby zaručilo spolehlivé měření kmitočtu čítačem.

### **V008 Zpracování kvantové informace využívající interakce záření s atomy.**

Byla studována kvantová paměť pro světlo, což je zařízení, které umožňuje lokálně na daném místě uchovat po určitou dobu kvantový stav původně nesený světelným svazkem a po zvolené době tento stav přenést zpět na světelný svazek. Toto zařízení je klíčové pro konstrukci tzv. kvantových opakovačů, které umožňují potlačení šumu a ztrát při distribuci kvantově provázaných stavů na velkou vzdálenost. Ve spolupráci se skupinou prof. E. Polzika z Institutu Nielse Bohra v Kodani byl navržen protokol pro čtení kvantové paměti tvořené oblačkem atomů cesia ve skleněné cele, jež nerezonančně interagují s optickým svazkem. Do kvantového stavu kolektivního spinu těchto atomů je možné zapsat stav módu optického pole pomocí průchodu světelného svazku skrze atomy, homodynní detekce prošlého optického svazku a zpětné vazby zprostředkované magnetickým polem. Navržený protokol pro čtení paměti využívá současného vícenásobného průchodu optického svazku atomovým oblakem. Po prvním průchodu je světelný svazek odražen soustavou zrcátek zpět a znovu prochází atomovým oblakem v kolmém směru. Výhodou tohoto protokolu oproti dříve navrženým postupům pro čtení

kvantové paměti je to, že je možné v principu dosáhnout perfektního transferu kvantového stavu z paměti na světelný svazek bez nutnosti použít stlačené stavy nebo provádět měření na atomovém oblaku.

Dále bylo navrženo schéma pro purifikaci a koncentraci zašuměných koherentních stavů světla pomocí atomové paměti. V tomto schématu je kvantový signál zatížený šumem a distribuovaný do několika optických pulsů koncentrován do jednoho módu, purifikován a současně uložen do atomové paměti. Výhodou tohoto protokolu s kvantovou pamětí je, že nemusí být a-priori známo, jaké jsou časové intervaly mezi jednotlivými optickými pulsy, mezi něž je na počátku signál rozložen.

V roce 2007 plánujeme pokračovat ve studiu interakce záření s oblakem atomů a mimo jiné budeme studovat možnost přípravy silně neklasických stavů kolektivního spinu atomového oblaku.

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

Byla rozvíjena metoda přenosu informace pomocí kompozitních vírových svazků. Kompozitní optické pole tvořené superpozicí vírových svazků různých topologických nábojů vytváří složitou prostorovou strukturu poskytující nové stupně volnosti pro zápis informace. V první fázi výzkumu byla metoda ověřována pomocí prostorových modulátorů světla (PMS) použitých jak pro kódování, tak i dekódování informace. Pro praktickou činnost v bezdrátových komunikacích je ale použití PMS neperspektivní vzhledem k jeho nízké obnovovací frekvenci. V roce 2006 byla proto navržena nová experimentální metoda, která umožňuje vytváření požadovaných kompozitních vírových svazků s modulační frekvencí obvyklou pro komunikační systémy. V tomto uspořádání je prostorový modulátor světla nahrazen jednoduchou fázovou maskou vyrobenou fotolitograficky. Informační kód je pak do vírového svazku zapsán pomocí standardní modulace prostorově rozloženého zdroje, který fázovou masku osvětluje. Tato modulace představuje dynamické spínání bodových zdrojů uspořádaných do vhodné geometrické konfigurace a lze ji provádět s dostatečně vysokou frekvencí. Pro realizaci experimentu bylo nutné řešit návrh modulačních fázových masek založený na numerických iteračních metodách a provést přípravu podkladů pro fotolitografickou realizaci masek a testování jejich kvality. V následném experimentu byly realizované fázové masky využity pro kódování a dekódování přenášené informace. Výsledky byly uspokojivé a prokázaly dobrý soulad s představou vytvořenou na základě numerických simulací. Získané výsledky dávají dobrý základ pro navazující experimenty a jsou připravovány k časopisecké publikaci.

V roce 2007 plánujeme další optimalizaci systému a jeho modifikaci s ohledem na potenciální využití v bezdrátových komunikacích. Tato činnost bude vycházet ze spolupráce se skupinou doc. O. Wilferta (FEKT VUT v Brně), kterou jsme v prvním roce řešení projektu navázali.

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

Výzkum v této oblasti byl orientován na nové metody měření vzdáleností a kvantifikaci indexu lomu vzduchu pomocí optických rezonátorů. U těchto metod se využívá stojaté vlny vzniklé v optickém rezonátoru, jehož délka musí být celistvým násobkem vlnové délky použitého laserového záření. Lze tak buď přizpůsobit délku rezonátoru stabilní vlnové délce použitého laseru nebo přeladit vlnovou délku záření generovaného laserem na takovou hodnotu, která odpovídá uvedené podmínce. Pokud je nastavena délka rezonátoru neznámé vzdálenosti, např. polohováním jednoho ze zrcadel rezonátoru, změnou vlnové délky laseru je dosaženo vytvoření stojaté vlny v rezonátoru. Podobně je to i u měření indexu lomu vzduchu, kdy optická délka rezonátoru je závislá na aktuální hodnotě tohoto indexu a přizpůsobením vlnové délky laseru je vliv indexu kompenzován. Vzhledem k tomu, že lze v obou případech měřit vlnovou délku laditelného laseru s vysokou přesností, např. záznějovým měřením

s normálem či syntezátorem optické frekvence, je určení neznámých hodnot vzdálenosti nebo indexu lomu vzduchu vysoce přesné.

V roce 2006 se nám podařilo navrhnout optickou sestavu pro experimentální ověření funkčnosti uvedené metody. Zaměřili jsme se nejdříve na teoretickou studii, ve které jsme provedli výpočty rozsahu možného měření vzdáleností při použití speciálního He-Ne laseru. V této studii jsme se věnovali výpočtu rozlišení metody a také i případným nelinearitám, které mohou vzniknout díky neideálnímu najustování zrcadel optického rezonátoru. Pro přesné měření aktuální frekvence laseru jsme připravili detekční řetězec, který zaznamenává hodnotu záznějové frekvence mezi přeladitelným laserem a laserovým normálem na bázi jodu. Závěrem roku jsme provedli pilotní experiment, kdy jsme byli schopni touto novou metodou proměřit rozsah vzdáleností v řádu několika mikrometrů. Z prvních dosažených hodnot vyplývá, že experimentálně dosažené rozlišení metody se blíží teoreticky stanovenému. Detailní popis metody jsme zahrnuli do článku, který jsme zaslali koncem roku 2006 do časopisu Measurement Science and Technology. V článku popisujeme rovněž i naměřené experimentální výsledky a představujeme směr dalšího výzkumu.

V následujícím roce se zaměříme na rozšíření uvedené metody. Půjde zejména o její převedení na oblast kvantifikace indexu lomu vzduchu. Dalším krokem bude nasazení femtosekundového generátoru hřebene optických frekvencí se stabilizací v infračervené oblasti. Díky prvním teoretickým rozborům, které jsme provedli na konci roku 2006, předpokládáme, že se budeme orientovat na stanovení metody pro generování etalonu délky se stabilitou danou opakovací frekvencí proudu pulsů femtosekundového generátoru.

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

Ve spolupráci se skupinou prof. K. Dholakii ze skotské university v St. Andrews jsme publikovali unikátní metodu, která využívá pouze světla k roztřídění objektů různých velikostí nacházejících se ve vodném prostředí. Tato metoda nevyžaduje pohyb kapaliny, směs objektů menších než mikrometr se osvítlí tzv. optickým dopravníkem vytvořeným ze dvou protiběžných nezářivých polí. Samovolné třídění objektů je založeno na odlišné citlivosti různě velkých objektů na pohybující se světelné pole. Některé velikosti objektů jsou pohybující se polem unášeny, jiné však toto pole necítí a následně by neměnily svou polohu. Proto laserový svazek dopadající z opačného směru, než se pohybuje optický dopravník, má mírně vyšší intenzitu a odtlačí objekty necitlivé na pohybující se pole. Popsaným mechanismem "optické Popelky" jsou obě velikosti objektů v řádu stovek nanometrů samovolně tříděny na opačné strany vzorku. Nejmenší dosažený rozdíl ve velikostech vytríděných objektů byl 60 nm.

Probíhalo teoretické i experimentální studium chování koloidních objektů v pohyblivých periodických potenciálových profilech. Jednalo se o teoretický popis silových interakcí, stochastického pohybu objektů v jednom rozměru a více rozměrech, studium dynamiky přeskoků mezi sousedními potenciálovými minimy a rychlost dopravení objektů v optickém dopravníku využívajícího nezářivých polí.

Systém tří laserových svazků, z nichž souběžné svazky interferují a protiběžný neinterferuje s předchozími dvěma, byl úspěšně použit na třídění mikrometrových objektů (polystyrénových kuliček) o poloměrech 2 a 5 mikrm.

V roce 2007 budeme testovat optické třídící metody na živých objektech ve spolupráci s MPI v Drážďanech, zdokonalovat popis chování objektů v optických dopravnících s cílem optimalizovat podmínky na rychlost nebo přesnost dopravy objektů.

## II. Personální a organizační zabezpečení

### Pracoviště UPOL

Řešitelský tým tvoří 2 profesoři, 5 docentů, 5 post-doktorských vědeckých pracovníků a 7 studentů doktorského studijního programu. Z toho 6 pracovníků bylo v roce 2006 přijato na dobu řešení projektu a jejich plat byl plně hrazen z dotace MŠMT. Na řešení projektu se v rámci svých diplomových prací podílejí i studenti magisterského studia. V listopadu 2006 doplnil řešitelský tým zahraniční post-doktorský pracovník Alexander Zhukov vybraný na základě mezinárodního konkurzu. Řízení výzkumu v jednotlivých směrech provádějí J. Fiurášek (kvantové zpracování informace), M. Dušek (experimentální kvantová optika), Z. Bouchal (singulární optika a bezdifrakční svazky) a Z. Hradil (estimace a rekonstrukce kvantových stavů). Tito členové řešitelského týmu 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 tři obhájili PhD v roce 2006 a 8 studentů doktorského studijního programu. Z toho 5 pracovníků je přijato na dobu řešení projektu a jejich plat byl 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 21. dubna 2006 se v Olomouci uskutečnil první pracovní seminář Centra moderní optiky s názvem *Kvantová a singulární optika a optická metrologie*, na němž oba řešitelské týmy prezentovaly své aktuální výzkumné aktivity a kde byly diskutovány konkrétní formy spolupráce mezi oběma týmy. Ve dnech 28. a 29. září se v Olomouci uskutečnil tradiční workshop *Classical and Quantum Interference*, na který přijala pozvání řada významných tuzemských a zahraničních partnerů a spolupracovníků, včetně členů řešitelských týmů CMO.

## III. Přístrojové vybavení a technické zabezpečení

### Pracoviště UPOL

V roce 2006 bylo doplněno přístrojové vybavení laboratoří s využitím investičních prostředků centra. Pro laboratoř singulární optiky byl pořízen laser Verdi o výkonu 2 W, který bude využit pro optické manipulace mikročástic, a Schack-Hartmannův senzor, který umožní provést přesnou charakterizaci vlnoploch generovaných optických svazků. Pro laboratoř kvantové optiky byla zakoupena zejména laserová dioda o výkonu 40 mW pro čerpání nelineárního krystalu, dále jednofotonové detektory, detekční elektronika, lineární motorizované posuvy, sada optických elementů a sada montážních mechanických komponent. V současné době jsou obě laboratoře vybaveny tak, aby mohly být uskutečněny experimentální aktivity plánované na rok 2007.

V roce 2007 bude za dostupné investiční prostředky pořízena zejména další detekční elektronika, vláknové fázové modulátory a motorizované rotační posuvy. Zvažuje se i možnost pořízení další laserové diody.

### Pracoviště ÚPT

Investiční prostředky byly použity na nákup laseru Verdi o výkonu 10W pro optické manipulace v nezářivých polích a nedifrakčních svazcích. Dále byla zakoupena rychlá CCD kamera, nezbytná pro analýzu stochastického pohybu koloidních částic v interferenčních světelných polích. Vláknový laser, zakoupený mimo plán a dotovaný z CMO ve výši 10 tis. Kč, bude využíván pro experimentální

studium samouspořádávání mikroobjektů v nedifrakčních svazcích. Další položkou investičních nákupů byl systém pro stabilizaci syntezátoru optických frekvencí, na který se podařilo získat institucionální příspěvek z rozpočtu Akademie věd ČR. Ušetřené prostředky byly po důkladném zvážení situace a všech okolností účelně využity k zakoupení femtosekundového generátoru hřebene optických frekvencí se stabilizací v infračervené oblasti od firmy Menlo Systems, který představuje další nezbytný článek řetězce syntézy optických frekvencí. Tento přístroj má velmi kompaktní charakter, umožňuje generování proudu femtosekundových pulsů se stabilní repetiční frekvencí a má automatické startování mode-lock režimu pulsního laseru. Zakoupený generátor efektivně bude využit v následujících letech v rámci aktivit, které se orientují na generování etalonu délky pomocí pulsních laserových svazků a optických rezonátorů a budou na něm založeny zcela nové metody měření indexu lomu vzduchu, které původně nebyly v rámci centra plánovány. Z tohoto důvodu bylo upuštěno od zakoupení původně plánovaného polarimetru.

Vybavení pracoviště je tak nyní na potřebné úrovni pro plnění cílů roku 2007.

#### **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, dohodly se vzájemné výměny pracovníků na rok 2007.

Na pracovišti UPOL se v září 2006 konal tradiční mezinárodní seminář s názvem Kvantová a klasická interference, jehož se zúčastnilo sedm pozvaných zahraničních hostů. Pracoviště UPOL je v současné době zapojené do dvou mezinárodních projektů 6RP EU COVAQIAL a SECOQC financovaných Evropskou komisí. Toto pracoviště je rovněž zapojeno do koordinační akce QUROPE, jež si klade za cíl koordinovat v celoevropském měřítku výzkum na poli kvantového zpracování informace. V roce 2006 bylo vyvíjeno úsilí o další upevnění mezinárodní spolupráce formou společných projektů. Byly podány dva návrhy na bilaterální grant GAČR/DFG s německými partnery v Erlangenu (prof. G. Leuchs) a Hannoveru (prof. R. Schnabel). Probíhaly intenzivní konzultace se skupinami prof. F. De Martiniho v Římě a prof. N. J. Cerfa v Bruselu o možnosti přípravy společných projektů v rámci zahajovaného 7RP EU. R. Filip strávil jako Humboldt Fellow 8 měsíců ve skupině prof. G. Leuchse na univerzitě v Erlangenu. M. Mičuda absolvoval několikaměsíční stáž na ICFO v Barceloně ve skupině prof. J. Torrese. Tento pobyt byl z větší části financován španělskou stranou. L. Bartůšková absolvovala několikátýdenní stáž ve Vídni u prof. A. Wintera a v Římě na univerzitě La Sapienza u prof. F. De Martiniho. R. Čelechovský absolvoval třítydenní stáž u prof. G. Swartzlandera Jr na University of Tucson v Arizoně.

Pracoviště ÚPT je jedním ze sedmi partnerů 6RP EU ATOM3D. Intenzivní je zejména spolupráce s Universitou v St. Andrews ve Skotsku (prof. Dholakia). Ve spolupráci s prof. Dholakiem a prof. G. Badenesem (z ICFO v Barceloně) byla podána jedna grantová žádost na projekt 6RP a jedna neúspěšná žádost o projekt ESF EUROCORES v rámci výzvy SONS. Úspěšná byla grantová žádost u ESF na vyhlášení nové akce COST s názvem Optical Micro-Manipulation by Nonlinear Nanophotonics.

Dále bylo podniknuto několik pracovních cest s cílem prohloubení mezinárodní spolupráce. Za nejvýznamnější akci v oblasti interferometrických technik (aktivita V010) a optické frekvenční syntézy (aktivita V007) lze považovat setkání zástupců několika evropských pracovišť v září 2006 v Paříži na technické univerzitě ESIEE. Na této akci byli dále přítomni zástupci několika ústavů ESIEE (Francie), Univerzity Marne-la-Vallee Paris (Francie), National Institute for Lasers, Plasma, and Radiation Physics (INFLPR) (Rumunsko), Universitatea din Craiova (Rumunsko) a VUT v Brně. Cílem bylo nalézt společné prvky výzkumu mezi pracovišti v rámci Evropské unie, které by se mohly stát předmětem žádosti o projekt v právě zahajovaném 7RP EU. Byl sestaven předběžný plán pro zřízení projektového konsorcia AMIES (Advance Materials for Informatics and Electronics Systems –

European consortium within the framework of the PCRD7), které by pak společně požádalo o podporu v některém ze sub-programů, které budou v rámci Rámcového programu vyhlášeny.

V neposlední řadě je na místě zmínit i účast na Symposium on Photonics Technologies for the 7th Framework Programme v polské Wroclawi (OPERA 2015) ve dnech 12.-14. 10. 2006, které bylo zaměřeno na podporu vzájemné komunikace v evropském výzkumném prostoru v oblasti fotoniky a optiky. Symposia se za řešitelský kolektiv zúčastnili J. Lazar a O. Číp a seznámili se s probíhajícími a plánovanými aktivitami a navštívili výzkumné pracoviště Wroclawské technické univerzity (Prof. J. Masajada) s cílem se společně účastnit 7RP EU.

Obě řešitelská pracoviště se v roce 2007 zaměří na možnost zapojení do mezinárodních projektů financovaných 7. Rámcovým programem EU.

## 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. J. Fiurášek prezentoval experimentální aktivity pracoviště UPOL na poli kvantové optiky na zasedání výboru Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou fyziku, které proběhlo dne 13. 10. 2006 v Praze. Pozornost byla věnována i popularizaci vědeckých aktivit prostřednictvím tradičních akcí jako je Olomoucký fyzikální kaleidoskop, 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 (9.-10. listopadu), během kterých ÚPT navštívilo 701 návštěvníků. O této akci rovněž referoval deník Rovnost dne 11. listopadu v článku *Vědci odhalovali tajemství*. Dvě vydání pořadu ČT1 České hlavy byla věnována problematice CMO s názvy *Optické třídění světlem* (7. dubna) a *Laserová měření v nanosvětě* (11. dubna).

V roce 2006 byly výsledky rovněž zveřejňovány na webových stránkách jednotlivých řešitelských skupin. V roce 2007 se chceme zaměřit na zkvalitnění a aktualizaci webových stránek, jež by měly přinášet aktuální a ucelené informace o činnosti Centra moderní optiky.

## VI. Seznam publikačních, přednáškových a popularizačních aktivit Centra moderní optiky za rok 2006

### Monografie a monografické kapitoly

N. J. Cerf and J. Fiurášek, *Optical Quantum Cloning*, in Progress in Optics **49**, Edited by E. Wolf, pp. 455-545, Elsevier, Amsterdam, 2006.

### Časopisecké publikace

1. Z. Hradil, J. Řeháček, Z. Bouchal, R. Čelechovský and L. Sánchez-Soto, *Minimum uncertainty measurements of angle and angular momentum*, Phys. Rev. Lett. **97**, 243601 (2006).
2. L. Bartůšková, A. Černocho, R. Filip, J. Fiurášek, J. Soubusta and M. Dušek, *Optical implementation of the encoding of two qubits to a single qutrit*, Phys. Rev. A **74**, 022325 (2006).

3. A. Černoch, L. Bartůšková, J. Soubusta, M. Ježek, J. Fiurášek and M. Dušek, *Experimental phase-covariant cloning of polarization states of single photons*, Phys. Rev. A **74**, 042327 (2006).
4. J. Heersink, Ch. Marquardt, R. Dong, R. Filip, S. Lorenz, G. Leuchs and U. L. Andersen, *Distillation of Squeezing from Non-Gaussian Quantum States*, Phys. Rev. Lett. **96**, 253601 (2006).
5. A. Franzen, B. Hage, J. DiGuglielmo, J. Fiurášek and R. Schnabel, *Experimental demonstration of Continuous Variable Purification of Squeezed states*, Phys. Rev. Lett. **97**, 150505 (2006).
6. L. Mišta, Jr., *Minimal disturbance measurement for coherent states is non-Gaussian*, Phys. Rev. A **73**, 032335 (2006).
7. L. Mišta and J. Fiurášek, *Optimal partial estimation of quantum states from several copies*, Phys. Rev. A **74**, 022316 (2006).
8. J. Fiurášek, *Optimal probabilistic estimation of quantum states*, New J. Phys. **8**, 192 (2006).
9. R. Filip, L. Mišta, Jr., F. De Martini, M. Ricci and F. Sciarrino, *Probabilistic minimal disturbance measurement of symmetrical qubit states*, Phys. Rev. A **74**, 052312 (2006).
10. J. Fiurášek, *Linear-optics Quantum Toffoli and Fredkin gates*, Phys. Rev. A **73**, 062313 (2006).
11. J. Sherson, A.S. Sorensen, J. Fiurášek, K. Molmer, and E.S. Polzik, *Light qubit storage and retrieval using macroscopic atomic ensembles*, Phys. Rev. A **74**, 011802(R) (2006).
12. J. Herec, and R. Filip, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, Phys. Rev. A **74**, 062306 (2006).
13. J. Peřina and J. Křepelka, *Multimode description of stimulated down-conversion*, Opt. Commun. **265**, 632 (2006).
14. V. Karásek, K. Dholakia, P. Zemánek, *Analysis of optical binding in one dimension*, Appl. Phys. B **84**, 149-156 (2006).
15. M. Šiler, T. Čiřmár, M. Šerý, P. Zemánek, *Optical forces generated by evanescent standing waves and their usage for sub-micron particle delivery*, Appl. Phys. B **84**, 157-165 (2006).
16. T. Čiřmár, M. Šiler, M. Šerý, P. Zemánek, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *Optical sorting and detection of submicrometer objects in a motional standing wave*, Phys. Rev. B **74**, 035105:1-6 (2006).
17. J. Ježek, T. Čiřmár, V. Neděla, P. Zemánek, *Formation of long and thin polymer fiber using nondiffracting beam*, Opt. Express **14**, 8506-8515 (2006).
18. P. Jedlička, J. Lazar, O. Číp, *Fully digital frequency stabilization of IR fiber-coupled laser*, Rev. of Scientific Instruments **77**, 063111:1-5 (2006)
19. J. Lazar, O. Číp, F. Petrů, P. Jedlička, B. Mikel, B. Růžička, Z. Buchta, V. Matoušek, *Laboratoř interferometrie a vysoce koherentních laserů*, Jemná mechanika a optika **51**, 4-6, (2006)

## Konference

### I. Přednášky

1. R. Čelechovský, *Optical vortices in free space communications*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
2. V. Kollárová, *Orbital angular momentum of mixed vortex beams*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
3. J. Herec, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
4. L. Bartůšková, *Experimental realization of the encoding of two qubits to one qutrit*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
5. L. Bartůšková, *Experimental realization of the encoding of two qubits to one qutrit*, 13th Central European Workshop on Quantum Optics, Vídeň, Rakousko, 23.-27. 5. 2006.
6. J. Fiurášek, P. Marek, R. Filip, R. Schnabel, *Experimentally feasible purification of continuous variable entanglement*, 15th International Laser Physics Workshop, Lausanne, Switzerland, July 24-28, 2006.
7. Z. Hradil, *Biased tomography schemes*, 15th International Laser Physics Workshop, Lausanne, Switzerland, July 24-28, 2006.
8. J. Fiurášek and N. J. Cerf, *Optimal many-copy asymmetric Gaussian cloning of coherent states*, Continuous Variable Quantum Information Workshop, Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark, May 19-22, 2006.
9. T. Čižmár, V. Kollárová, M. Šiler, P. Jákl, Z. Bouchal, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, P. Zemánek, *Non-diffracting beam synthesis used for optical trapping and delivery of sub-micron objects*. Photonics Europe 2006, Strasbourg, France, 3.-7.4.2006.
10. V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek, *Multistability of optically bound objects*, Photonics Europe 2006, Strasbourg, France, 3.-7.4.2006
11. P. Zemánek, M. Šiler, T. Čižmár, P. Jákl, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, V. Kollárová, Z. Bouchal: *Brownian dynamics in optical interference fields*. Nanobiophysics, Szeged, Hungary, 3-7.9.2006. zvaná plenární přednáška
12. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler: *Optical interference fields: an excellent tool kit to study Brownian dynamics*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006. zvaná přednáška v sekci
13. P. Jákl, T. Čižmár, M. Šilera, P. Zemánek, *Static sorting in 1D optical lattice*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006.
14. V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek: *Optical binding in non-diffracting beams*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006.

15. P. Zemánek: *Review of recent trends in optical micromanipulation*, Cytokinematics, Hradec Kralové, Česká republika, 10.-12.09.2006. zvaná plenární přednáška
16. T. Čižmár, M. Šiler, P. Zemánek, *Advanced optical micromanipulation devices for bio-applications*, Cytokinematics, Hradec Kralové, Česká republika, 10.-12.09.2006.
17. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, *How to use laser radiative and evanescent interference fields to control movement of the sub-micron objects*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006. zvaná plenární přednáška.
18. T. Čižmár, P. Zemánek, *Precise tracking of spherical particles in spatially periodical illumination fields*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
19. J. Ježek, T. Čižmár, P. Zemánek, *Manufacturing of extremely narrow polymer fibers by non-diffracting beams*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
20. V. Karásek, P. Zemánek, *What is it optical binding and how to study this phenomena*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
21. M. Šerý, P. Jákl, P. Zemánek, *Compact laser tweezers*, XV. Czech-Polish-Slovak optical conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec, 11.-15. 9. 2006.
22. T. Čižmár, M. Šiler, M. Šerý, V. Garcés-Chávez, V. Kollárová, K. Dholakia, Z. Bouchal, P. Zemánek, *Two-beam interference light-fields as a tool for confinement, delivery and sorting of micro-objects*, Frontiers in Optics 2006, 90 OSA Annual Meeting, Rochester, USA, 8.-12. 10. 2006.
23. M. Šiler, T. Čižmár, P. Zemánek, *Brownian surfer and swimmer in standing wave optical trap*, Frontiers in Optics 2006, 90 OSA Annual Meeting, Rochester, USA, 8.-12. 10. 2006.

## II. Postery

1. J. Herec, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, 13th Central European Workshop on Quantum Optics, Vídeň, Rakousko, 23.-27. 5. 2006.
2. J. Herec, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, 7th European QIPC Workshop Quantum Information Processing and Communication, Londýn, Velká Británie.
3. J. Herec, *Coherent-state information concentration and purification in atomic memory*, Continuous Variable Quantum Information Workshop, Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark, May 19-22, 2006.
4. J. Fiurášek, *Linear optics quantum Toffoli gate*, Gordon Research Conference on Quantum Information Science, Il Ciocco, Barga, Italy, May 7-12, 2006.
5. R. Filip, U.L. Andersen, M. Sabuncu, G. Leuchs, *How to measure a coherent state with minimal disturbance*, Gordon Research Conference on Quantum Information Science, Il Ciocco, Barga, Italy, May 7-12, 2006.

6. L. Mišta, Jr., R. Filip, and J. Fiurášek, *Minimal disturbance quantum measurements*, Gordon Research Conference on Quantum Information Science, Il Ciocco, Barga, Italy, May 7-12, 2006.
7. R. Filip, J. Heersing, R. Dong, O. Gloeckl, U.L. Andersen, G. Leuchs, *Quantum purification and distillation of continuous variable states*, Continuous Variable Quantum Information Workshop, Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark, May 19-22, 2006.
8. J. Fiurášek, P. Marek, R. Filip, and R. Schnabel, *Experimentally feasible purification of continuous variable entanglement*, Gordon Research Conference on Quantum Information Science, Il Ciocco, Barga, Italy, May 7-12, 2006.
9. T. Čižmár, P. Zemánek, *Precise determination of object position in 1D optical lattice*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006.
10. J. Ježek, T. Čižmár, P. Zemánek, *Narrow polymer fibers obtained as a combination of photopolymerization and optical confinement*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006.
11. M. Šiler, T. Čižmár, P. Zemánek, *Submicron-scale Brownian swimmer or surfer in 1D standing wave*, AM51 SPIE Optics and Photonics, San Diego, USA, 13.-17.8.2006.
12. V. Karásek, V. Garcés-Chávez, T. Čižmár, K. Dholakia, P. Zemánek, *Particle self-organization in non-diffracting laser beams*, Frontiers in Optics 2006, 90 OSA Annual Meeting, Rochester, USA, 8.-12. 10. 2006.
13. O. Číp, B. Mikel, J. Lazar, *Fast wavelength-scanning interferometry technique with derivative detection of quadrature signals*, Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology. Strasbourg(FR), 05.03.2006
14. J. Lazar, P. Jedlička, F. Petru, J. Hrabina, O. Číp, *Influence of iodine impurities onto optical frequency precision of iodine-stabilized lasers*, Solid State Lasers and Amplifiers II. Strasbourg(FR), 05.03.2006
15. B. Mikel, R. Helán, O. Číp, *Stabilization of semiconductor lasers by fiber Bragg gratings for absolute laser interferometry*, Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Strasbourg(FR), 03.04.2006-06.04.2006
16. P. Jedlička, J. Lazar, O. Číp, *Stabilized semiconductor laser master oscillator for a power pulsed laser*, Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Strasbourg(FR), 03.04.2006-06.04.2006.

### III. Příspěvky v konferenčních sbornících

1. T. Čižmár, V. Kollárová, M. Šiler, P. Ják, Z. Bouchal, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, P. Zemánek, *Non-diffracting beam synthesis used for optical trapping and delivery of sub-micron objects*. Proceedings of SPIE (Vol. 6195) Nanophotonics. Bellingham: SPIE, 2006. 619507:1-7. ISBN 0-8194-6251-9. ISSN 0277-786X. [Nanophotonics. Strasbourg(FR), 03.04.2006-05.04.2006]
2. V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek, *Multistability of optically bound objects*. Proceedings of SPIE (Vol. 6195) Nanophotonics. Bellingham: SPIE, 2006. 619509:1-9. ISBN 0-8194-6251-9. ISSN 0277-786X. [Nanophotonics. Strasbourg(FR), 03.04.2006-05.04.2006]

3. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler: *Optical interference fields: an excellent tool kit to study Brownian dynamics* Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 632604:1-11. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
4. V. Karásek, T. Čižmár, P. Zemánek: *Optical binding in non-diffracting beams*, Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 632608:1-9. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
5. P. Jákl, T. Čižmár, M. Šiler, P. Zemánek: *Static particle sorting in 1D optical lattice*, SPIE Proc. 6326, 131-137, 2006, Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 632613:1-7. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
6. T. Čižmár, M. Šiler, M. Šerý, P. Zemánek, *Precise determination of object position in 1D optical lattice* Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 632627:1-11. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
7. J. Ježek, T. Čižmár, P. Zemánek, *Narrow polymer fibers obtained as a combination of photopolymerization and non-diffracting beams*, Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 63262H:1-8. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
8. M. Šiler, T. Čižmár, P. Jákl, P. Zemánek, *Sub-micron scale Brownian swimmer or surfer in one dimensional standing wave optical traps* Proceedings of SPIE (Vol. 6326) Trapping and Optical Micromanipulation III: SPIE, 2006, 63262K:1-9. ISBN 0-8194-6405-8. ISSN 0277-786X. [Trapping and Optical Micromanipulation III. San Diego(US), 13.08.2006-17.08.2006]
9. O. Číp, B. Mikel, J. Lazar, *Fast wavelength-scanning interferometry technique with derivative detection of quadrature signals*, Proceedings of SPIE (Vol. 6188) Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology. Bellingham : SPIE, 2006. 61881F:1-7. ISBN 9780819462442. ISSN 0277-786X. [Optical Micro- and Nanometrology in Microsystems Technology. Strasbourg(FR), 05.03.2006]
10. J. Lazar, P. Jedlička, F. Petruš, J. Hrabina, O. Číp, *Influence of iodine impurities onto optical frequency precision of iodine-stabilized lasers*, Proceedings of SPIE (Vol. 6190) Solid State Lasers and Amplifiers II. Bellingham : SPIE, 2006. 61901D:1-6. ISBN 9780819462466. ISSN 0277-786X. [Solid State Lasers and Amplifiers II. Strasbourg(FR), 05.03.2006]
11. B. Mikel, R. Helán, O. Číp, *Stabilization of semiconductor lasers by fiber Bragg gratings for absolute laser interferometry*, Proceedings of SPIE (Vol. 6184) Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Bellingham : SPIE, 2006. 61841Y:1-8. ISBN 0-8194-6240-3. ISSN 0277-786X. [Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Strasbourg(FR), 03.04.2006-06.04.2006]
12. P. Jedlička, J. Lazar, O. Číp, *Stabilized semiconductor laser master oscillator for a power pulsed laser*, Proceedings of SPIE (Vol. 6184) Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Bellingham : SPIE, 2006. 61841S:1-7. ISBN 0-8194-6240-3. ISSN 0277-786X. [Semiconductor Lasers and Laser Dynamics II. Strasbourg(FR), 03.04.2006-06.04.2006]

## Nekonferenční přednášková činnost

1. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, V. Karásek, P. Jákl, J. Ježek, M. Šerý, *Prostorově tvarované světelné svazky a jejich využití k usměrnění pohybu mikroobjektů*, Univerzita Palackého v Olomouci, 21.4.2006.
2. P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, V. Karásek, P. Jákl, J. Ježek, M. Šerý, V. Kollírová, Z. Bouchal, V. Garcés-Chávez, N. K. Metzger, K. Dholakia, *Optical Fractionation and Motion Using Patterned Light Fields*, Thales Research & Technology, Paris, France, 29.05.2006.
3. P. Zemánek, *Brownian dynamics in optical interference fields*, Univerzita Palackého v Olomouci, 29.9.2006.
4. P. Zemánek, T. Čižmár, P. Jákl, J. Ježek, M. Šerý, V. Karásek, M. Šiler, *Advanced optical micromanipulation devices based on laser beams interference*, NIST, Gaithersburg, USA, 16.10.2006.
5. O. Číp, *Research in the field of fundamental laser metrology in the Institute of Scientific Instruments AS CR*, ESIEE, Paris, France, 18.09.2006.
6. J. Fiurášek, *Quantum Optics Experiments in Olomouc*, IUPAP Council Meeting, Charles University, Prague, Czech Republic, 13.10. 2006.
7. L. Mišta, Jr., *Minimal Disturbance Quantum Measurements*, University of St. Andrews, Scotland, 17.-19.10. 2006.
8. R. Filip, *How can measurement saturate fidelity trade-off?*, Queens University of Belfast, UK, 28.4. 2006.
9. R. Filip, *Probabilistic compression of quantum states: the other side of duality*, University of Erlangen, Germany, 17. 10. 2006.
10. R. Filip, *Quantum distillation versus error correction*, Department of Physics, Technical University of Denmark, 6.-10.11. 2006.
11. R. Filip, *Linear optical processing with squeezed states*, Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Rome, Italy, 10.-15. 12. 2006.

## Popularizační činnost ve sdělovacích prostředcích

1. ČT1, České hlavy: *Optické třídění světlem*, 7. 4. 2006.
2. ČT1, České hlavy: *Laserová měření v nanosvětě*, 11. 4. 2006.