

POPIS ŘEŠENÍ PROJEKTU v roce 2011

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: prof. 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 2011

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, vírových a interferenčních optických polí a jejich využití pro manipulaci mikročástic a přenos informace
- (iii) Vývoj nových pokročilých interferometrických měřicích metod.

V roce 2011 byl projekt řešen v souladu s cíli prodlouženého Centra, které měly zachovat kontinuitu výzkumných týmů, prohloubit mezinárodní spolupráci a ve výzkumných aktivitách využít kvantových i klasických principů k navržení nových pokročilých metod optického zpracování a přenosu informace, optických mikromanipulací a nanometrologie.

V roce 2011 byly proto plně v souladu s plánem řešení projektu jednotlivé dílčí směry výzkumu zaměřeny na řešení dílčích cílů V012, V013, V014 a V015. V rámci řešení každého z těchto dílčích cílů 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 jednotlivé dílčí cíle.

V012 Pokročilé optické kvantové zpracování informace.

V rámci řešení tohoto dílčího cíle byly studovány nové protokoly pro zpracování kvantové informace nesené optickými svazky a pro charakterizaci silně neklasických stavů světla. Bylo navrženo nové schéma pro koncentraci kvantové provázanosti Gaussovských dvoumódových stlačených stavů, jež kombinuje operace podmíněného odebrání fotonu z módu pole s lokálním koherentním posunutím. Ukazuje se, že kombinací těchto technik je možné výrazně navýšit množství kvantové provázanosti a i pro velmi slabě kvantově korelované stavy je možné touto technikou podmíněně získat 1 ebit kvantových korelací. Ve spolupráci se skupinou profesora U.L. Andersena na DTU v Lyngby, Dánsko, bylo experimentálně demonstrováno kvantové Hadamardovo hradlo pro kvantové bity kódované do superpozic koherentních stavů. Tato implementace Hadamardova hradla byla teoreticky navržena v předchozím roce řešení projektu a je založena na kombinaci využití pomocného stlačeného stavu světla, odečtení fotonu a homodynní detekce. Bylo rovněž navrženo a experimentálně ověřeno

schéma pro podmíněné potlačení ztrát v optické kvantové komunikaci pomocí kombinace bezšumového kvantového zesilovače a bezšumového kvantového atenuátoru. Bylo ukázáno, že vhodnou kombinací bezšumové atenuace na vstupu ztrátového kvantového kanálu a bezšumového zesílení na výstupu kvantového kanálu je možné zkompenzovat ztráty, aniž by došlo k přidání jakéhokoliv dodatečného šumu.

V oblasti charakterizace silně neklasických stavů světla bylo navrženo kritérium pro detekci tzv. kvantově negaussovských stavů, což jsou stavy, které nelze vyjádřit jako směs gaussovských stavů. Navržené kritérium založené na analýze pravděpodobnostního rozdělení počtu fotonů bylo následně využito k experimentální charakterizaci podmíněného zdroje jednofotonových stavů. Byly studovány obecné kvantové korelace Gaussovských stavů nad rámec entanglementu a tyto korelace byly kvantifikovány pomocí optimalizace měřením indukované disturbance. Byla zkoumána existence tzv. Wernerova stavu s vázanou kvantovou provázaností pro spojitě kvantové proměnné. I přes rozsáhlou a detailní analýzu a aplikaci řady kritérií pro detekci tohoto speciálního typu kvantové provázanosti jako je např. realignment kritérium, kritérium založené na relacích neurčitosti nebo testování existence symetrických separabilních extenzí studovaného stavu, se nepodařilo nalézt žádný příklad tohoto stavu. To vede k domněnce, že uvažovaná třída Wernerových stavů obsahuje pouze NPT kvantově provázané stavy a separabilní stavy.

Technika kvantové dopředné vazby, jež byla v laboratoři Centra moderní optiky pilotně demonstrována v roce 2010, byla v roce 2011 využita pro zdvojnásobení pravděpodobnosti úspěchu jednoqubitového programovatelného kvantového logického hradla. Toto lineárně optické hradlo bylo zkonstruováno z optických vláknových komponent, což umožnilo jednoduchou implementaci hradla jako kombinace dvou provázaných vláknových Mach-Zehnderových interferometrů a rovněž elegantní realizaci potřebné optické zpožďovací linky vložím optického vlákna o délce cca 8 metrů. Toto optické vláknové uspořádání bylo následně rovněž využito k experimentální realizaci podmíněné bezchybné diskriminace dvou optických instrumentů, jmenovitě dvou vláknových děličů svazku s různými dělicími poměry. Demonstrováný protokol byl optimální v tom smyslu, že minimalizoval střední energii testovacího optického signálu, který procházel skrze analyzovaný vláknový dělič.

Bylo důkladně testováno lineárně optické schéma pro kvantové tří-qubitové Toffoliho hradlo založené na Mach-Zehnderově interferometru v Sagnacově konfiguraci. Při těchto testech se ukázalo, že použitá zrcátka mění polarizační stav fotonů a tento efekt je poměrně obtížné vykompenzovat. Bylo proto rozhodnuto implementovat kvantové Toffoliho hradlo v alternativní konfiguraci využívající inherentně stabilní interferometr tvořený dvěma anizotropními krystaly, v nichž dochází k transverzálnímu rozposunutí dvou ortogonálně polarizovaných optických svazků. Tento přístup je jednodušší na experimentální justáž a umožňuje velmi kompaktní konstrukci Toffoliho hradla. Bylo provedeno pilotní ověření funkčnosti Toffoliho hradla ve výpočetní bázi a úplná tomografická charakterizace tohoto hradla je plánovaná na jaro 2012.

Značným omezením lineárně optických kvantových hradel je skutečnost, že tato hradla typicky fungují pouze podmíněně., tedy s pravděpodobností menší než 1. Ve snaze odstranit toto omezení byla navržena deterministická implementace jednomódového optického hradla, jež emuluje optickou kubickou nelinearitu. Tento návrh využívá silně neklasický pomocný jednomódový optický stav, do něhož je zakódovaná informace o nelineární transformaci. Samotné hradlo spočívá v kvantově nedemoliční interakci mezi signálním a pomocným módem. Následně je provedena homodynní detekce na pomocném módu a na signální mód je aplikovaná opravná operace závislá na výsledku měření. Celé hradlo vyžaduje pouze lineární optické komponenty, zdroje stlačených stavů a homodynní detektory a je realizovatelné se současnou technologií.

V013 Navržení a realizace vícesvazkových metod pro optické manipulace s mikročásticemi.

Zdokonalili jsme výpočetní algoritmy pro parametrické studium optických sil v laserových svazcích šířícími se různými směry o různém prostorovém rozložení intenzity elektrického pole, včetně evanescentních vln.

Zprovozněnou experimentální sestavu jsme využili k experimentům v protiběžných laserových svazcích. Tato sestava využívá prostorový modulátor světla (SLM) a je řízena přes PC rozhraní v prostředí LabView. Zvolená koncepce umožňuje měnit parametry protiběžných svazků (šířku, prostorové rozložení intenzity ve svazku - gaussovský, bessellovský či vírový svazek, počet svazků) pouhou změnou parametrů na řídicím panelu PC. Tato experimentální sestava byla využita k celé řadě pilotních studií, z nichž některé byly první svého druhu. Prostorově jsme zachytili zlaté nanočástice o průměru 50 nm, manipulovali jsme s mikročásticemi ve vzduchu, objekty s nižším indexem lomu jsme zachytili v protiběžných neinterferujících vírových svazcích, změnou fáze jednoho z interferujících nedifrakčních svazků jsme vytvořili optický dopravník bez pohyblivých nechanických částí, využili jsme optické vazby mezi zachycenými submikrometrovými částicemi a vytvořili koloidní vlnovod 100 mikrometrů dlouhý v neinterferujících protiběžných gaussovských svazcích, pozorovali jsme zcela poprvé přenos momentu hybnosti z protiběžných interferujících vírových svazků na opticky samouspořádané mikročástice, které rotovaly kolem os svazků. Dále jsme vygenerovali několik párů protiběžných svazků, do kterých jsme zachytili živou řasu a otáčeli ji kolem dvou na sebe kolmých os. Stejnou sestavu jsme využili k experimentálnímu studiu optické interakce mezi více částicemi uspořádanými ve stojaté vlně protiběžných nedifrakčních svazků. Výsledky byly konfrontovány s teoretickými modely.

Druhá experimentální sestava využívá interference více svazků v předmětové rovině mikroskopového objektivu. Parametry jednotlivých svazků, t.j. jejich prostorové rozložení pole, optická intenzita a směr šíření, jsou opět dány fázovou maskou prostorového modulátoru světla, kterou lze měnit přibližně desetkrát za sekundu. Parametry jednotlivých svazků spolu s jejich polarizací pak určují prostorové rozložení výsledného interferenčního obrazce a následně i způsob chování mikročástic. Chování částic je komplexní a je dáno poměrem period interferenčního obrazce a velikosti částice a rovněž nekonzervativní povahou optických sil. Experimentálně jsme dosáhli rozřídění heterogenních suspenzí různě velkých mikročástic pohybem stolku nebo pohybem interferenční struktury.

V014 Experimentální charakterizace vírových optických svazků.

Byly dále rozvíjeny postupy experimentální charakterizace vírových svazků. Pozornost byla zaměřena zvláště na rekonstrukci funkce vzájemné koherence druhého řádu s využitím senzorů vlnoplochy. Metody kvantové tomografie rozvíjené v minulých letech řešení projektu byly přizpůsobeny pro analýzu detekce vlnoplochy.

Tato aktivita byla řešena ve dvou fázích. V první fázi byly metody kvantové tomografie rozvinuté v minulých letech řešení projektu přizpůsobeny pro analýzu detekce vlnoplochy. Byl navržen nový postup rekonstrukce kvantového stavu založený na současné maximalizaci entropie a věrohodnosti. Tento postup je vhodný pro rekonstrukci stavu složitých systémů, kdy nelze realizovat informačně úplné měření. V druhé fázi byl tento postup přizpůsoben pro analýzu detekce vlnoplochy a použit pro zpracování dat z Shackova-Hartmannova senzoru.

V015 Návrh a realizace nových metod interferometrie v nanometrologii.

Dle plánu výzkumné činnosti pro rok 2011 byly v rámci této aktivity práce zaměřeny na rozvoj interferometrických technik do dvou klíčových oblastí. První z nich rozvíjí metody převodu stabilní optické frekvence realizované femtosekundovým hřebenem na délku pasivního optického rezonátoru vyrobeného z materiálu s extrémně nízkou teplotní roztažností. Druhá z nich pak představuje rozvoj metod laserové interferometrie s využitím stojaté vlny generované pomocí dvou protiběžných svazků, jejichž výchozí polohy jsou fixovány pomocí zrcadel umístěných na základně vyrobené opět z materiálu s extrémně nízkou teplotní roztažností.

Na počátku této výzkumné aktivity proběhla úprava optické soustavy z roku 2010 pro měření stability délky pasivního rezonátoru vyrobeného z materiálu s extrémně nízkou teplotní roztažností při změně pracovní teploty v rozsahu až 15 K. Cílem této práce bylo zjistit průběh teplotní závislosti nízkoexpandního materiálu použitého v obou optických soustavách a nalezení vhodné teploty, při které budou otestovány obě rozvíjené měřicí metody. Měření úspěšně proběhlo a byla získána křivka

teplotní závislosti tohoto materiálu s reprodukovatelností v řádu desetiny nanometru na změnu teploty o 1 K. Tato dílčí část již byla publikována v impaktovaném časopise.

Dále proběhl teoretický návrh a experimentální realizace unikátního pasivního optického rezonátoru vybaveného paralelní implementací Michelsonova interferometru. Byl tak získán systém, kde optická délka rezonátoru je téměř shodná s optickou dráhou měřicího ramene Michelsonova interferometru. K tomuto systému byla připojena detekční technika s amplitudovým dělením interferenčního proužku s rozlišením desetiny nanometru. Délka optického rezonátoru byla nastavována pomocí fázového závěsu na jednotlivé komponenty optického frekvenčního hřebene metodou prezentovanou v rámci zprávy CMO za rok 2010. Při následném experimentu byl proměřen rozsah nastavení délky optického rezonátoru cca 700 nm. Byla tak zjištěna změna délky rezonátoru pomocí frekvenční metody s optickým rezonátorem a zároveň pomocí superjemného měření interferenční fáze Michelsonova interferometru. Tyto dva průběhy byly následně porovnány a výsledná chyba činila řádově několik nanometrů. Po následné analýze byl zjištěn hlavní zdroj chyby, tj. nelinearita stupnice Michelsonova interferometru způsobená nedokonalostí použitých optických komponent. Byla proto nasazena technika linearizace stupnice interferometru, která byl již dříve vyvinuta na pracovišti ÚPT pro přesná nanoměření. Po linearizaci stupnice byla již výsledná odchylka pod jeden nanometr. Zároveň bylo ověřeno, že průběh teoreticky zjištěné nelinearity stupnice Michelsonova interferometru pomocí metody linearizace je shodný s reálně změřeným průběhem odchylky tohoto interferometru od očekávané délky optického rezonátoru vázaného na optický hřeben. Tento výsledek je tak zcela novým ověřením funkčnosti metody, která je již dlouhodobě využívána v řadě experimentů v ÚPT a na dalších pracovištích ve světě. Tento nový výsledek byl prezentován na dvou konferencích (Laser Metrology Workshop 2011 - PTB Braunschweig a MacroScale 2011 - METAS Bern) a v recenzním procesu je publikace v časopise Measurement Science and Technology.

V roce 2011 byl realizován připravovaný experiment pro ověření metody kompenzace vlivu fluktuační indexu lomu vzduchu v interferometrii v atmosférických podmínkách. Díky výše zmíněné změřené závislosti délky nízkoexpanzního materiálu na teplotě byla zvolena vhodná teplota základové desky pro provedení tohoto ověřovacího experimentu. Konfigurace systému se dvěma protiběžnými interferometry byla nahrazena koncepcí se stojatou vlnou vybuzenou v pasivním F.-P. rezonátoru. Stabilita délky rezonátoru zde spoléhá na velmi malou teplotní roztažnost, pohybující se v optimální oblasti teploty prostředí hluboko pod úrovní vlivů způsobených změnami indexu lomu vzduchu. Optický kmitočet laseru je naopak stabilizován na jednu z rezonančních frekvencí rezonátoru, což představuje stabilizaci vlnové délky v atmosférickém prostředí. Měření polohy v rámci rozsahu vymezeném rezonátorem délkou rezonátoru ve stojaté vlně bylo realizováno speciálně vyvinutým transparentním fotodetektozem s malými ztrátami na průchod světla. Fotodetektor je vyroben technologií tenkých vrstev z polykrystalického křemíku a je navržen jako soustava antireflexních vrstev. Experimentálně byl ověřen princip metody měření polohy ve stojaté vlně se stabilizací atmosférické vlnové délky. Tento experiment byl prezentován na konferencích Laser Metrology Workshop 2011 - PTB Braunschweig a na konferenci Fotonika 2011 v Praze.

II. Personální a organizační zabezpečení

Pracoviště UPOL

Řešitelský tým tvořili 3 profesori, 3 docenti, 6 post-doktorských vědeckých pracovníků s Ph.D. 7 studentů doktorského studijního programu a 1 student magisterského studia. Řízení výzkumu v jednotlivých směrech prováděli J. Fiurášek (kvantové zpracování informace), M. Dušek (experimentální kvantová optika) a Z. Hradil (bezdifrakční a vírové svazky). Tito členové řešitelského týmu tvořili kolegium, jež pod vedením řešitele-koordinátora J. Fiuráška dohlíželo na průběh řešení projektu.

Pracoviště ÚPT

Řešitelský tým obsahoval jednoho profesora, jednoho docenta, 15 vědeckých pracovníků s Ph.D. a 6 studentů doktorského studijního programu. Za činnost v oblastech optických mikromanipulačních

technik byl zodpovědný P. Zemánek, za oblast stabilizace laserů J. Lazar a pokročilých interferometrických metod O. Číp. Společně pod vedením P. Zemánka koordinovali svou činnost s řešitelským týmem UPOL.

Kontakt a koordinace mezi oběma řešitelskými týmy probíhala zejména prostřednictvím e-mailové komunikace a krátkých pracovních pobytů na partnerských pracovištích.

III. Přístrojové vybavení a technické zabezpečení

Pracoviště UPOL

V roce 2011 bylo stávající vybavení doplněno o další přístroje a komponenty nezbytné pro realizaci probíhajících experimentů. Byla pořízena sada optomechanických komponent od firmy Thorlabs obsahující kromě drobných položek také tři přesné mikrometrické lineární posuvy s příslušenstvím a dále dva křemíkové foto detektory pro justážní a monitorovací účely. Od firmy Newport bylo pořízeno 20 kusů mechanických montáží pro polohování zrcátek a dalších optických prvků. Dále bylo pořízeno 16 kusů polarizačních děličů svazku od firmy CVI Melles Griot.

Pracoviště ÚPT

V roce 2011 byly nejnákladnější položkou nákupy nezbytných mechanických prvků pro polohování a justáž optických komponent v experimentálních sestavách. Dále byly zakoupeny optické prvky, monitor, komponenty pro laboratorní počítač, licence k softwaru Matlab.

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. Stejně jako v předchozích letech řešení projektu se uskutečnila se celá řada pobytů členů řešitelských týmů na zahraničních pracovištích a naopak, proběhla řada pracovních setkání a diskusí se zahraničními partnery během mezinárodních vědeckých konferencí.

Na katedře optiky PřF UP bylo v průběhu roku 2011 úspěšně ukončeno řešení projektu 7. Rámcového programu Evropské unie *Computing with Mesoscopic Photonic and Atomic States* (COMPAS), do něžž bylo zapojeno celkem 10 evropských pracovišť. Ve spolupráci se skupinou prof. A. Furusawy na University of Tokio pokračovalo řešení společného výzkumného projektu v rámci programu KONTAKT. Bylo zahájeno řešení projektu OP VK *Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost* zaměřeného na posílení mezinárodní vědecké spolupráce. Byly připraveny čtyři návrhy projektů 7. Rámcového programu EU typu STREP, které byly zaměřeny na oblast kvantového zpracování informace a předloženy do výzvy FET-OPEN. Jmenovitě se jednalo o návrhy projektů *Bright Squeezed Vacuum and its Applications* (koordinátor Dr. Maria Chekhova MPI Erlangen), *Quantum Information Processing with high-dimensional systems and sequential measurements* (koordinátor Dr. F. Sciarrino, Univ. La Sapienza, Řím), *Hybrid Optical Quantum Communication Networks* (koordinátor Dr. A. Porzio, CNR SPIN, Neapol) a *Resources for Quantum-Optical Information Technology* (koordinátor prof. F. Illuminati, Salerno). První z těchto návrhů postoupil do druhého evaluačního kola, u druhého návrhu zatím není znám výsledek evaluace a další dva návrhy bohužel nebyly úspěšné. Pokračovala spolupráce s řadou zahraničních partnerských pracovišť, zejména se skupinou prof. N.J. Cerfa na Université Libre de Bruxelles, skupinou prof. U.L. Andersena na DTU

Lyngby, skupinou Dr. F. Sciarrina na univerzitě la Sapienza v Římě, skupino prof. M. Belliniho na INOA-LENS ve Florencii a skupinou prof. N. Korolkové na univerzitě v St. Andrew's.

Pracoviště ÚPT pokračuje ve spolupráci s Univerzitou v St. Andrews ve Skotsku (prof. K. Dholakia, Dr. T: Čižmár) a společně publikovali 1 článek ve vědeckém časopise. Pokračovala spolupráce s Koc University v Istanbulu (prof. A. Kiraz) společnými experimenty v ÚPT na problematice emulsních mikrorezonátorů. ÚPT podal žádost do programu FP7 EU Capacities s názvem "Centre for Applied Physics and Advanced Instrumentation Technology". Pracoviště bude i nadále využívat vhodných možností, jak se zapojit do projektů 7RP EU. ÚPT se účastnil aktivit posledního roku akce COST s názvem Optical Micro-Manipulation by Nonlinear Nanophotonics, která sdružuje téměř všechna pracoviště v Evropě, která se zabývají optickými mikromanipulacemi a nelineární fotonikou. Část řešitelského týmu se významnou měrou podílí na výzkumných a realizačních aktivitách projektu VaVpI s názvem Aplikační a vývojové laboratoře pokročilých mikrotechnologií a nanotechnologií

Dále bylo podniknuto několik pracovních cest s cílem prohloubení mezinárodní spolupráce. M. Šiler a O. Brzobohatý navštívili laboratoře na Univerzitě v St. Andrews a věnovali se rozvoji algoritmů pro výpočet optických sil ve svazcích aberovaných otvorovou vadou a optickým zachytáváním mikročástic ve vzduchu. M. Šiler přednesl zvanou přednášku na Photonics North v Ottawě a na Univerzitě v Durhamu. P. Zemánek v přednesl zvanou přednášku na Universidad Nacional Autonoma de Mexico v Mexico City a na konferenci Medinano2011 v Římě, J. Lazar byl pozván k přednesení zvané přednášky na workshopu Metrological Atomic Force Microscope Instrumentation, Euramet and LNE, Trappes, Francie: „Interferometry with direct compensation of fluctuations of refractive index of air“. Seznam dalších konferenčních a nekonferenčních vystoupení je uveden v části VI.

K navštíveným pracovištím, kde cílem bylo navázání spolupráce lze přičíst LNE, Trappes ve Francii, pořadatel semináře Metrological Atomic Force Microscope Instrumentation, Euramet. V rámci semináře byly navštíveny laboratoře skupiny nanometrologie a diskutováno o potenciální spolupráci. Obdobně, bylo navštíveno pracoviště téže instituce v Paříži, SYRTE, Observatoire de Paris, (Dr. Ouali Acef) s nímž již probíhá úspěšná spolupráce na poli stabilizace frekvence laserů technikami saturační spektroskopie a metrologie s femtosekundovými lasery. Ing. Jan Hrabina, Ph.D. po té pracoviště znovu navštívil a byla provedena srovnávací měření na souboru jodových kyvet s cílem měření offsetu s šířky spektrálních čar. Další spolupráce je v běhu a rozvíjí se nadějně, další měření je plánováno na rok 2011.

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. O výsledcích vědecké činnosti byla rovněž informována široká veřejnost formou populárních přednášek a prezentací v rámci již tradičního Olomouckého fyzikálního kaleidoskopu a Jarmarku přírodních věd. O výsledcích výzkumu byla široká veřejnost informována rovněž v souvislosti se zprávami o významném vědeckém ocenění doc. Mgr. Radima Filipa, Ph.D., který obdržel Cenu předsedy GAČR za rok 2011.

ÚPT se účastnil dne 17.9.2011 a 18.6.2011 akcí Festival vědy a Den otců s opakujícím se seminářem Laser show, během kterého byly návštěvníkům formou experimentů seznámeni s vlnovou podobou světla, jeho interferencí, rozptylem a unikátními vlastnostmi laserového záření. V rámci akce Týden vědy a techniky pořádané AV ČR se v ÚPT uskutečnily již tradiční Dny otevřených dveří (10.-11. 11, 2011), během kterých laboratoře ÚPT navštívilo kolem 700 návštěvníků. V roce 2011 pracoviště ÚPT prezentovalo výsledky výzkumu ve své expozici na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně a též na odborném veletrhu Optonika v Brně.

VI. Seznam publikačních, přednáškových a popularizačních aktivit Centra moderní optiky za rok 2011

Časopisecké publikace

1. Brzobohatý, O. – Karásek, V. – Šiler, M. – Trojek, J. – Zemánek, P. *Static and dynamic behavior of two optically bound microparticles in a standing wave*. Opt. Express. **19** (2011) 19613-19626.
2. Čižmár, T. – Brzobohatý, O. – Dholakia, K. – Zemánek, P. *The holographic optical micro-manipulation system based on counter-propagating beams*. Laser Phys. Lett. **8** (2011), 50-56.
3. Hrabina, J. – Lazar, J.- Klapetek, P. – Číp, O. *Multidimensional interferometric tool for the local probe microscopy nanometrology*. Meas. Sci. Technol. **22** (2011) 094030:1-8.
4. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Suppression of Air Refractive Index Variations in High-Resolution Interferometry*. Sensors **11** (2011) 7644-7655.
5. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Standing Wave Interferometer with Stabilization of Wavelength on Air*. tm-Technisches Messen. **78** (2011) 484-488.
6. Šiler, M. – Zemánek, P. *Parametric study of optical forces acting upon nanoparticles in a single, or a standing, evanescent wave*. J. Opt. **13** (2011) 044016:1-9.
7. Zavatta, A. – Fiurášek, J. – Bellini, M. *A high-fidelity noiseless amplifier for quantum light states*, Nature Photonics **5** (2011) 52–56.
8. Fiurášek, J. *Improving entanglement concentration of Gaussian states by local displacements*, Phys. Rev. A **84** (2011) 012335.
9. Gavenda, M. – Čelechovská, L. – Soubusta, J. – Dušek, M. – Filip, R. *Visibility bound caused by a distinguishable noise particle*, Phys. Rev. A **83** (2011) 042320.
10. Marek, P. – Filip, R. – Furusawa, A. *Deterministic implementation of weak quantum cubic nonlinearity*, Phys. Rev. A **84** (2011) 053802.
11. Ježek, M. – Straka, I. – Mičuda, M. – Dušek, M. – Fiurášek, J. – Filip, R. *Experimental Test of the Quantum Non-Gaussian Character of a Heralded Single-Photon State*, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 213602.
12. Usenko, V.C. – Filip, R. *Squeezed-state quantum key distribution upon imperfect reconciliation*, New J. Phys. **13** (2011) 113007.
13. Tipsmark, A. – Dong, R. – Laghaout, A. – Marek, P. – Ježek, M. – Andersen, U.L. *Experimental demonstration of a Hadamard gate for coherent state qubits*, Phys. Rev. A **84** (2011) 050301(R).
14. Filip, R. *Coherent versus incoherent sequential quantum measurements*, Phys. Rev. A **83** (2011) 032311.
15. Mišta, L. Jr. – Tatham, R. – Girolami, D. – Korolkova, N. – Adesso, G. *Measurement-induced disturbances and nonclassical correlations of Gaussian states*, Phys. Rev. A **83**, (2011) 042325.

16. Miková, M. Fikerová, H. Straka, I. Mičuda, M., Fiurášek, J. Ježek, J. Dušek, M. *Increasing efficiency of a linear-optical quantum gate using electronic feed-forward*, Phys. Rev. A **85** (2012) 012305.
17. Dall'Arno, M. – Bisio, A. – D'Ariano, G.M. – Miková, M. – Ježek, M. – and Dušek, M. *Experimental implementation of unambiguous quantum reading*, Phys. Rev. A **85** (2012) 012308.

Konference

I. Přednášky

1. Šiler, M. – Karásek, V. – Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Zemánek, P. *Modelling of optical trapping*. Photonics North 2011. Ottawa (CA), 16.-18.5.2011 (zvaná přednáška)
2. Karásek, V. – Brzobohatý, O. – Zemánek, P.: *Optical binding in the asymmetrical configurations*, OSA Optics and Photonics Congress: Optical Trapping Applications, Monterey USA, 4.-6.4. 2011
3. Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Karásek, V. – Zemánek, P. *Advanced optical manipulation with tailored counter-propagating laser beams*. Photonics, Devices, and Systems V. Praha 24. - 26.8.2011
4. Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Karásek, V. – Zemánek, P. *Demonstration of multi-dimensional optical binding in counter-propagating laser beams with variable beam properties*. Conference on Optical Trapping and Optical Micromanipulation VIII. San Diego, USA, 21. -25.08.2011
5. Zemánek, P. *Classical and advanced methods of optical micromanipulations and their applications*, 7th International conference Structure and Stability of Biomacromolecules SBB2011, Košice, 6.-9.9.2011 (zvaná přednáška)
6. Brzobohatý, O. – Šiler, M. – Karásek, V. – Zemánek, P. – Čižmár, T. – Dholakia, K. *Advanced Optical Micromanipulations in Structured Counter-Propagating Laser Beams*, Frontiers in Optics 2011, San Jose, USA, 16.-20.10.2011
7. Brzobohatý, O. – Šiler, M. – Karásek, V. – Zemánek, P. – Čižmár, T. – Dholakia, K. *Advanced Optical Micromanipulations in Structured Counter-Propagating Laser Beams*, Medinano2011, Řím, 23.-25.10.2011 (zvaná přednáška)
8. Číp, O. – Šmíd, R. – Čížek, M. – Buchta, Z. – Lazar, J. *Study of the thermal stability of Zerodur glass ceramics suitable for a scanning probe microscope frame*, Seminář o metodách blízkého pole, Valtice, 2011.
9. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Standing Wave Interferometer with Stabilization of Wavelength on Air*, IMEKO TC2 symposium, Linz, Rakousko, 2011.
10. Lazar, J. – Číp, O. Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Interferometry with referencing of wavelength*. International Conference on Applications of Optics and Photonics, Braga, Portugalsko, 2011.
11. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Standing-Wave Interferometer with Stabilization of Wavelength on Air*. Proceedings of the 20th IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement, Braunschweig, Německo, 2011.

12. Fiurášek, J. *Simultaneous Distillation and Purification of Entangled Gaussian States*, 18th Central European Workshop on Quantum Optics, Madrid, 30.5.–3.6. 2011. (zvaná přednáška)
13. Fiurášek, J. *Simultaneous distillation and purification of entangled Gaussian states*, 20th International Laser Physics Workshop, Sarajevo, Bosna a Hercegovina, 11.-15.7.2011. (zvaná přednáška)
14. Fiurášek, J. *High-fidelity noiseless amplification of light*, Continuous variable quantum information processing (CV-QIP'11) mini-workshop, Telecom ParisTech, Paříž, 26.-27.9.2011. (zvaná přednáška)
15. Filip, R. *Detecting quantum states with positive Wigner function beyond mixtures of Gaussian states*, 18th Central European Workshop on Quantum Optics, Madrid, 30.5.-3.6. 2011. (zvaná přednáška)
16. Filip, R. *Detecting quantum states with positive Wigner function beyond mixtures of Gaussian states*, 20th International Laser Physics Workshop, Sarajevo, Bosna a Hercegovina, 11.-15.7.2011. (zvaná přednáška)
17. Filip, R. *Single photon nonclassicality revisited: theory and experiment*, The International Meeting on Quantum Foundations and Quantum Information 2011 (QFQI) Seoul, Korea, 16-17. 11. 2011. (zvaná přednáška)
18. Dušek, M. *Linear-optical quantum information processing: a few experiments*, 12th International conference on squeezed states and uncertainty relations, Foz de Iguacu, Brazílie, 2.-6. 5. 2011.
19. Dušek, M. *Experimental implementation of the optimal linear-optical controlled phase gate*, The 11th Asian Conference on Quantum Information Science, Busan, Jižní Korea, 23.-30.8.2011.
20. Dušek, M. *Quantum information transfer and processing*, SPIE International Symposium on Security + Defence, Praha, ČR, 19.-20. 9. 2011. (zvaná přednáška)
21. Hradil, Z. *Tomography, information, ignorance and uncertainties*, ICQI Ottawa, 5.-14.6. 2011.
22. Marek, P. *Towards implementation of deterministic cubic nonlinearity*, 18th Central European Workshop on Quantum Optics, Madrid, 30.5.-3.6. 2011.
23. Marek, P. *Noiseless amplification powered by noise*, 12th International conference on squeezed states and uncertainty relations and Feynman Festival 2011, Foz de Iguacu, Brazílie, 2.-6. 5. 2011.
24. Gavenda, M. *How much does a distinguishable particle destroy coherence of a quantum bit?*, 12th International conference on squeezed states and uncertainty relations and Feynman Festival 2011, Foz de Iguacu, Brazílie, 2.-6. 5. 2011.
25. Stoklasa, B. *The Shack-Hartmann tomography*, 20th International Laser Physics Workshop, Sarajevo, Bosna a Hercegovina, 11.-15.7.2011.

II. Postery

1. Šiler, M.- Karásek, V. – Zemánek, P.: *Optical forces near surface: full 3D Finite Element Method based calculations*, OSA Optics and Photonics Congress: Optical Trapping Applications, Monterey, USA, April 4.-6. 2011
2. Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Dholakia, K. – Zemánek, P.: *Flexible dual-beam geometry for advanced optical micromanipulation experiments*, EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2011, Mnichov, 23.-15.5.2011
3. Jákl, P – Arzola, A. – Zemánek, P. – Šiler, M. – Volke-Sepulveda, K. *Optical sorting of dielectric microparticles in dynamic interference patterns*, EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2011, Mnichov, 23.-15.5.2011
4. Trojek, J. –Zemánek, P. *Optical confinement and alignment of dielectric and metallic nanorod in single polarised scalar and vector Gaussian beam*, EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2011, Mnichov, 23.-15.5.2011
5. Jákl, P. – Šerý, M. – Zemánek, P. *Multiple Probe Photonic Force Microscopy*. NANOCON 2011. Brno (CZ), 21.-23.9.2011
6. Oulehla, J. – Šmíd, R. – Buchta, Z. – Čížek, M. – Mikel, B. – Jedlička, P. – Lazar, J. – Číp, O. *Evaluation of thermal expansion coefficient of Fabry-Perot cavity using an optical frequency comb*. Conference on Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII, Mnichov, Německo 2011.
7. Šmíd, R. – Čížek, M. – Buchta, Z. – Lazar, J. – Číp, O. *Evaluation of Fabry-Perot cavity length by the stabilized optical frequency comb and acetylene absorption*, 5th Joint Conference of the 65th IEEE International Frequency Control Symposium/25th European Frequency and Time Forum, IEEE International Frequency Control Symposium, San Francisco, USA 2011.
8. Marek, P. *Deterministic cubic nonlinearity*, The International Meeting on Quantum Foundations and Quantum Information 2011 (QFQI) Seoul, Korea, 16-17. 11. 2011.
9. Gavenda, M. *Visibility bound caused by a distinguishable noise particle*, Alberta Quantum-Nano Workshop, Red Deer, Alberta, Kanada, 6.7.2011.
10. Míková, M. *Programmable phase gate with electronic feed-forward*, Central European Quantum Information Processing workshop, Znojmo, ČR, 2.-5.6. 2011.
11. Stoklasa, B. *Experimental realization of the Shack-Hartmann tomography*, 18th Central European Workshop on Quantum Optics, Madrid, 30.5.-3.6. 2011.

III. Příspěvky v konferenčních sbornících

1. Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Karásek, V. – Zemánek, P. *Advanced optical manipulation with tailored counter-propagating laser beams*. Photonics, Devices, and Systems V (Proceedings of SPIE Vol. 8306). Bellingham : SPIE, 2011. 83061D:1-8. ISBN 978-0-81948-953-1.[Photonics, Devices, and Systems V. Praha (CZ), 24.08.2011-26.08.2011]
2. Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Karásek, V. – Zemánek, P. *Demonstration of multi-dimensional optical binding in counter-propagating laser beams with variable beam properties*. Optical Trapping and Optical Micromanipulation VIII (Proceedings of SPIE Vol. 8097). Bellingham :

- SPIE, 2011. 80970U:1-8. ISBN 978-0-81948-707-0. [Conference on Optical Trapping and Optical Micromanipulation VIII. San Diego (US), 21.08.2011-25.08.2011]
3. Buchta, Z. – Mikel, B. – Lazar, J. – Číp, O. *Light Source for Low-Coherence Interferometry*. Proceedings of the 20th IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement. Aachen : Shaker Verlag, 2011. S. 30-33. ISBN 978-3-8440-0058-0. [IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement /20./ Linz (AT), 16.05.2011-18.05.2011]
 4. Buchta, Z. – Mikel, B. – Řeřucha, Š. – Lazar, J. – Číp, O. *Light source for low-coherence interferometry surface diagnostics*. International Conference on Applications of Optics and Photonics (Proceedings of SPIE Vol. 8001). Bellingham : SPIE, 2011. 80013E:1-7. ISBN 978-0-81948-575-5. [International Conference on Applications of Optics and Photonics. Braga (PT), 03.05.2011-07.05.2011]
 5. Buchta, Z. – Mikel, B. – Čížek, M. – Lazar, J. – Číp, O. *System for Gauge Blocks Diagnostics*. 10th IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 (VDI-Berichte 2156). Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2011. S. 91-96. ISBN 978-3-18-092156-3. ISSN 0083-5560. [IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 /10./ Braunschweig (DE), 12.09.2011-14.09.2011]
 6. Číp, O. – Šmíd, R. – Čížek, M. – Mikel, B. – Buchta, Z. – Lazar, J. *High-Resolution Displacement Measurement using a Femtosecond Frequency Comb*. 10th IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 (VDI-Berichte 2156). Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2011. S. 313-319. ISBN 978-3-18-092156-3. ISSN 0083-5560. [IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 /10./ Braunschweig (DE), 12.09.2011-14.09.2011]
 7. Hrabina, J. – Lazar, J. – Klapetek, P. – Číp, O. *AFM nanometrology interferometric system with the compensation of angle errors*. Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII (Proceedings of SPIE Vol. 8082). Bellingham : SPIE, 2011. 80823U:1-6. ISBN 978-0-81948-678-3. [Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII. Munich (DE), 23.05.2011-26.05.2011]
 8. Hrabina, J. – Lazar, J. – Číp, O. – Klapetek, P. *Nanometrology Interferometric System for Local Probe Microscopy*. Proceedings of the 20th IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement. Aachen: Shaker Verlag, 2011. S. 17-20. ISBN 978-3-8440-0058-0. [IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement /20./ Linz (AT), 16.05.2011-18.05.2011]
 9. Jákl, P. – Šerý, M. – Zemánek, P. *Multiple Probe Photonic Force Microscopy*. NANOCON 2011. Conference Proceedings. Ostrava : Tanger Ltd, 2011. 1369:1-6. ISBN 978-80-87294-23-9. [NANOCON 2011. International Conference /3./ Brno (CZ), 21.09.2011-23.09.2011]
 10. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Interferometry with referencing of wavelength*. International Conference on Applications of Optics and Photonics (Proceedings of SPIE Vol. 8001). Bellingham : SPIE, 2011. 80010X:1-6. ISBN 978-0-81948-575-5. [International Conference on Applications of Optics and Photonics. Braga (PT), 03.05.2011-07.05.2011]
 11. Lazar, J. – Hrabina, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Buchta, Z. *Interferometry with Stabilization of Atmospheric Wavelength*. 10th IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 (VDI-Berichte 2156). Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2011. S. 303-309. ISBN 978-3-18-092156-3. ISSN 0083-5560. [IMEKO Symposium – Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2011 /10./ Braunschweig (DE), 12.09.2011-14.09.2011]

12. Lazar, J. – Číp, O. – Čížek, M. – Hrabina, J. – Buchta, Z. *Standing-Wave Interferometer with Stabilization of Wavelength on Air*. Proceedings of the 20th IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement. Aachen : Shaker Verlag, 2011. S. 25-29. ISBN 978-3-8440-0058-0. [IMEKO TC2 Symposium on Photonics in Measurement /20./. Linz (AT), 16.05.2011-18.05.2011]
13. Oulehla, J. – Šmíd, R. – Buchta, Z. – Čížek, M. – Mikel, B. – Jedlička, P. – Lazar, J. – Číp, O. *Evaluation of thermal expansion coefficient of Fabry-Perot cavity using an optical frequency comb*. Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII (Proceedings of SPIE Vol. 8082). Bellingham : SPIE, 2011. 80823Q:1-9. ISBN 978-0-81948-678-3. [Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII. Munich (DE), 23.05.2011-26.05.2011]
14. Šiler, M. – Karásek, V. – Brzobohatý, O. – Čižmár, T. – Zemánek, P. *Modelling of optical trapping*. Photonics North 2011 (Proceedings of SPIE Vol. 8007). Bellingham : SPIE, 2011. 80071C:1-10. ISBN 978-0-81948-581-6. [Photonics North 2011. Ottawa (CA), 16.05.2011-18.05.2011]
15. Šmíd, R. – Čížek, M. – Buchta, Z. – Lazar, J. – Číp, O. *Evaluation of Fabry-Perot cavity length by the stabilized optical frequency comb and acetylene absorption*. 2011 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium / European Frequency and Time Forum Proceedings. New York : IEEE, 2011. S. 345-348. ISBN 978-1-61284-110-6. ISSN 1075-6787. [Joint Conference /5./ of the IEEE International Frequency Control Symposium /65./ and European Frequency and Time Forum /25./. San Francisco (US), 01.05.2011-05.05.2011]

Nekonferenční přednášková nebo popularizační činnost

1. Zemánek, P. *Classical and advanced methods of optical micromanipulations and their applications*, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, 13.10.2011 (zvaná přednáška)
2. Lazar, J. *Interferometrie – měření světlem*, Science Café, Brno, 2.2.2011
3. Lazar, J. *Laser show*, Festival vědy, Brno, 17.9.2011
4. Lazar, J. *Laser show*, Den otců, Brno, 18.6.2011
5. Lazar, J. *Lasery a laserová interferometrie v měřicí technice*, veletrh Optonika, Brno.
6. Zemánek, P. *Silové účinky světla a jejich praktické využití*, veletrh Optonika, Brno.
7. Fiurášek, J. *Optické kvantové zpracování informace*, Celostátní kolo fyzikální olympiády, PřF UP Olomouc, 2.3.2011.
8. Fiurášek, J. *Optické kvantové zpracování informace*, seminář v rámci projektu Přírodovědec, PřF UP Olomouc, 15.4.2011.