



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Název projektu:** Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost

**Registrační číslo:** CZ.1.07/2.3.00/20.0060

### Sumární report organizátorů

**Název akce:** Mezinárodní workshop PHOTONS BEYOND QUBITS 2014 (PBQ2014)

**Datum:** 14. dubna 2014 – 17. dubna 2014

**Místo konání:** Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

**Počet účastníků:** 15 akademických a vědeckých pracovníků a 18 studentů

---

#### ***Průběh workshopu a popis práce s cílovou skupinou:***

V rámci projektu Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost se uskutečnil třetí z plánované série mezinárodních workshopů zaměřených na problematiku fyziky a informace. Obdobně jako předchozí ročníky, workshop PHOTONS BEYOND QUBITS 2014 byl zaměřen na oblasti kvantového zpracování informace využívající kromě malého množství kvantových bitů i systémy, pro něž jsou charakteristické kolektivními stavy velkého množství fotonů. Workshopu se zúčastnilo 24 zahraničních hostů: Ulrik L. Andersen, Christoph Baune, Marco Bellini, Benjamin Brecht, Maria Chekhova, Luca S. Costanzo, Vincenzo D'Ambrosio, Michael Förtsch, Vitus Haendchen, Boris Hage, Kun Huang, Timur Ishakov, Julien Laurat, Hanna Le Jeannic, Kai-Hong Luo, Christoph Marquardt, Morgan W. Mitchell, Ana Predojevic, Melanie Mraz, Christian S. Jacobsen, Fabio Sciarrino, Takahiro Serikawa, Gregor Weihs, Jun-ichi Yoshikawa. Z těchto zahraničních účastníků jich 13 předneslo přednášku, zbylých 11 pak prezentovalo poster. Jednotlivé příspěvky je možné rozdělit do tří tematických skupin:

- Sources of nonclassical light
- Hybrid quantum systems
- Advanced processing of quantum states

V oblasti Sources of nonclassical light byly prezentovány nové experimentální výsledky týkající přípravy stavů světla s neklasickými vlastnostmi, které hrají velice důležitou roli ve všech aplikacích teorie kvantové informace. Byly představeny nové zdroje jednotlivých fotonů jak v polovodičových vlnovodech a kvantových tečkách (G. Weihs), tak v optických mikrorezonátorech (Ch. Marquardt). Byly také představeny nové metody generování neklasických vícemódových stavů, s aplikací v kvantové metrologii, pomocí parametrické sestupné konverze v optickém rezonátoru (M. W. Mitchell). V oblasti mnohafotonových stavů

*Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Název projektu: Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost**

**Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/20.0060**

světla byla prezentována detailní analýza nového zdroje stlačeného, ale stále vysoce intenzivního světla (M. Chekova).

V rámci tohoto panelu byly naplánovaná a diskutována pokračující experimentální spolupráce na nových testech zdrojů neklasického světla z jednofotonových zdrojů na Universitě v Innsbrucku (G. Weihs) a Universitě v Tokyu (J. Yoshikawa) a makroskopických stavů světla na MPL Erlangen (M. Chekhova, Ch. Marquardt)

Další skupina příspěvků, Hybrid quantum systems, se týkala kombinace kvantových systémů s různou dimenzí. Tato oblast sjednocuje přístupy systémů diskrétních, jakými jsou jednotlivé fotony nebo atomy, a systémů spojitých, jako například módy elektromagnetického pole nebo harmonického oscilátoru, s cílem využívat výhody obou. V této oblasti byly představeny hned tři velice zajímavé experimenty týkající se přípravy kvantově provázaných stavů světla, kdy jeden systém byl reprezentován jednotlivým fotonem a druhý kolektivním módem mnoha fotonů (U. L. Andersen, M. Bellini, J. Laurat). Takovéto kvantové stavy mají jednak velký význam pro studium fundamentálních kvantových principů, ale jsou také nezbytnou součástí kvantových převodníků, které tyto rozdílné systémy propojují.

V rámci tohoto panelu byly naplánována a diskutována experimentální spolupráce na testech podmíněných kvantových operací se stlačeným světlem využívajících kombinace homodynních a jednofotonových detektorů. Hlavní pozornost byla věnována přípravě a testům stavů modelujících vlastnosti makroskopických superpozic (J. Laurat, M. Bellini, U. L. Andersen) a spolupráci na testech kvantových nelinearit na Universitě ve Florencii (M. Bellini).

Posledním tematickým celkem byl Advanced processing of quantum systems, ve kterém se příspěvky věnovaly pokročilé manipulaci s kvantovými systémy. Byl prezentován robustní komunikační protokol využívající kódování informace do momentu hybnosti fotonů (V. D'Ambrosio). Dále byla prezentována technologie umožňující přepis stavů světla mezi různými vlnovými délkami (V. Haendchen). Posluchači byli rovněž seznámeni s moderními aplikacemi kvantové metrologie a s rolí, kterou v ní hrají stlačené stavy světla (B. Hage). V neposlední řadě byly představeny i nejnovější výsledky na poli integrovaných optických čipů, které díky své inherentní stabilitě budou bezesporu hrát velice důležitou roli v budoucnosti kvantové optiky (B. Brecht, F. Sciarrino).

V rámci tohoto panelu byla hlavní pozornost věnována novým experimentálním možnostem v oblasti integrovaných optických technologií na Sapienza University v Římě (F. Sciarrino, V. D'Ambrosio), pokračování spolupráce na optických frekvenčních konvertorech (dr.

*Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Název projektu: Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost**

**Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/20.0060**

Haendschen) a možném zahájení spolupráce s Universitou v Rostocku (B. Hage) a s Universitou v Paderbornu (B. Brecht).

Přednášky zahraničních účastníků byly doplněny přednáškami Miroslava Ježka o aktuálních výsledcích v laboratoři kvantové informace na katedře optiky PŘF UP a K. Bartkiewitze o výsledcích výzkumu bezšumových kvantových zesilovačů ve Společné laboratoři optiky UP a FZÚ AV ČR. Na úvod workshopu doc. Fiurášek seznámil účastníky s projektem MCIN a Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost. V rámci workshopu byly kontinuálně prezentovány postery účastníků, které tematicky doplňovaly přednášky a umožňovaly účastníkům workshopu seznámit se s technickými detaily prezentovaných experimentů. Také proběhly exkurze v laboratořích katedry optiky a SLO. Všichni účastníci se během workshopu aktivně zapojili do diskusí a přispěli tak k úspěšnému průběhu workshopu.

Během panelových diskusí a dalších jednání se zahraničními účastníky workshopu vyplynul následující plán spolupráce se zahraničními partnery pro další období: Spolupráce s Univerzitou v Tokyu (prof. Furusawa) a Univerzitou ve Florencii (prof. Bellini) bude pokračovat v oblasti zkoumání vyšších nelineárních jevů na kvantové úrovni a testování kvantových hybridních protokolů, jak pravděpodobnostních tak deterministických. Spolupráce s MPL v Erlangenu (prof. Leuchs) bude pokračovat především v oblasti kvantové distribuce klíče se spojitými proměnnými a macroscopických kvantových stavů světla. Spolupráce se Univerzitou v Lyngby (prof. Andersen) bude zaměřena na experimenty demonstrující kvantové převodníky a kvantové principy manipulace s informací. Spolupráce s Univerzitou v Innsbrucku (prof. Weihs, prof. Blatt) bude zaměřena na testy kvantových vlastností stavů generovaných z atomových a pevnolátkových zdrojů světla. Právě započatá spolupráce s Univerzitou v Paříži (UMPC, prof. Laurat) bude zaměřena na testování makroscopických hybridních superpozic kvantových stavů a současně i testy podmíněných nelineárních operací. Spolupráce s Univerzitou v Římě (dr. Sciarrino) bude zaměřena na experimenty v oblasti integrované kvantové optiky. Spolupráce se skupinou prof. R. Schnabela na Albert Einsteinově Institutu v Hannoveru bude zaměřená na generaci silně neklasických stavů světla pomocí detekce jednotlivých fotonů a frekvenční konverzi těchto silně neklasických stavů.

*Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Název projektu: Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost**

**Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/20.0060**

Organizace workshopu probíhala bez komplikací. V souhrnu lze konstatovat, že workshop PHOTONS BEYOND QUBITS 2014 plně splnil následující cíle:

- umožnil podpořeným osobám osobní odborný kontakt se zahraničními odborníky ve třech hlavních směrech současného vývoje optického kvantového zpracování informace
- zapojení podpořených osob do širší mezinárodní spolupráce
- vytvoření předpokladů pro rozšíření účasti pracovníků PřF UP v grantech EU
- zapojení nové laboratoře kvantové informace na katedře optiky do mezinárodní spolupráce

Po zhodnocení workshopu realizačním týmem byly shrnuty získané zkušenosti a bylo zahájeno rámcové plánování příštího ročníku. V roce 2015 bude workshop spojen s letní (respektive v roce 2014 zimní) školou Summer School on Quantum Physics and Quantum Information. Výsledná několikadenní akce bude obsahovat přednášky zaměřené na kvantovou fyziku a kvantovou teorii informace s jednotlivými fotony i se složitějšími systémy. Část přednášek bude naučného rázu a bude obsahovat základy daného tématu, zbytek přednášek pak bude věnován aktuálním vědeckým tématům. Stejně jako v předchozích ročnících budou k přednášení pozváni přední zahraniční odborníci na danou tematiku. I v příštím roce bude zachované tematické zaměření na jednotlivé fotony doplněné o vícedimenzionální kvantové systémy a spojitě kvantové proměnné. Plánový termín je jaro 2015. Organizace workshopu bude obdobná jako v letošním roce.

Příloha č. 1 – prezenční listiny

Příloha č. 2 – použité výukové materiály

Příloha č. 3 – program workshopu

*Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.*

## 'PHOTONS BEYOND QUBITS' WORKSHOP, OLOMOUC 2014

|                        |       |                                                     |                                                                                                     |
|------------------------|-------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monday,<br>April 14    | 9:00  | Jaromír Fiurášek                                    | Opening remarks                                                                                     |
|                        | 9:15  | Gregor Weihs                                        | Photon sources and the foundations of quantum mechanics                                             |
|                        | 10:15 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 10:45 | Miroslav Ježek                                      | Experimental quantum information processing at the Department of Optics                             |
|                        | 11:45 | Morgan W. Mitchell                                  | "Spin squeezing" for photons                                                                        |
|                        | 12:45 | <b>Lunch</b>                                        |                                                                                                     |
|                        | 14:45 | Maria Chekhova                                      | Towards single-mode source of bright squeezed vacuum                                                |
|                        | 15:45 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 16:15 | <b>Poster session / Panel discussion / Lab tour</b> |                                                                                                     |
| Tuesday,<br>April 15   | 9:00  | Karol Bartkiewicz                                   | Qubit amplifiers                                                                                    |
|                        | 10:00 | Julien Laurat                                       | Entangling particle-like and field-like optical qubits                                              |
|                        | 11:00 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 11:30 | Ulrik L. Andersen                                   | Hybrid optical systems                                                                              |
|                        | 12:30 | <b>Lunch</b>                                        |                                                                                                     |
|                        | 14:30 | Christoph Marquardt                                 | A closer look at quantum states: From "classical entanglement" to single mode single photon sources |
|                        | 15:30 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 16:00 | <b>Poster session / Panel discussion / Lab tour</b> |                                                                                                     |
| Wednesday,<br>April 16 | 9:00  | Fabio Sciarrino                                     | Boson sampling with integrated photonics                                                            |
|                        | 10:00 | Marco Bellini                                       | Hybrid quantum-classical entangled states                                                           |
|                        | 11:00 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 11:30 | Vitus Haendchen                                     | From squeezing to quantum networks                                                                  |
|                        | 12:30 | <b>Lunch</b>                                        |                                                                                                     |
|                        | 14:30 | Boris Hage                                          | Things to do with squeezed light                                                                    |
|                        | 15:30 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 16:00 | <b>Poster session / Panel discussion / Lab tour</b> |                                                                                                     |
| Thursday,<br>April 17  | 9:00  | Benjamin Brecht                                     | Ultrafast integrated quantum optics                                                                 |
|                        | 10:00 | Vincenzo D'Ambrosio                                 | Orbital angular momentum qubits in quantum information and fundamental quantum mechanics            |
|                        | 11:00 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 11:30 | Jun-ichi Yoshikawa                                  | Storage and on-demand release of single photons by means of concatenated cavities                   |
|                        | 12:30 | <b>Lunch</b>                                        |                                                                                                     |
|                        | 14:30 | <b>Poster session / Panel discussion</b>            |                                                                                                     |
|                        | 15:30 | <b>Coffee break</b>                                 |                                                                                                     |
|                        | 16:00 | <b>Poster session / Panel discussion / Lab tour</b> |                                                                                                     |



european  
social fund in the  
czech republic



EUROPEAN UNION



MINISTRY OF EDUCATION,  
YOUTH AND SPORTS



OP Education  
for Competitiveness

INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT

## 'PHOTONS BEYOND QUBITS' WORKSHOP, OLOMOUC 2014

### LIST OF POSTERS:

C. Baune, A. Schönbeck, A. Samblowski, J. Fiurášek, and R. Schnabel: *Frequency Up-Converted Single Photons*

M. Förtsch, G. Schunk, J.U. Fürst, D.V. Strekalov, T. Gerrits, M.J. Stevens, F. Sedlmeir, H.G.L. Schwefel, S.W. Nam, G. Leuchs, Ch. Marquardt: *A versatile single mode photon source*

O. Morin, K. Huang, J. Liu, H. Le Jeannic, J. Ruaudel, C. Fabre, J. Laurat: *Single-photon Heralded Generation of Non-gaussian Resources*

T. Sh. Iskhakov, V. C. Usenko, R. Filip, I.V. Dyakonov, S.P. Kulik, M. V. Chekhova, and G. Leuchs: *Quantum state engineering*

O. Morin, K. Huang, J. Liu, H. Le Jeannic, C. Fabre, J. Laurat: *Remote creation of hybrid entanglement between particle-like and wave-like optical qubits*

K. H. Luo, H. Herrmann, S. Krapick, B. Brecht, R. Ricken, V. Quiring, H. Suche, W. Sohler and C. Silberhorn: *A integrated single-mode single photon pairs with narrow bandwidth*

M. Mraz, J. Sperling, W. Vogel, and B. Hage: *Quantification of nonclassicality*

C. S. Jacobsen, L. S. Madsen, V. Usenko, U. L. Andersen, and R. Filip: *Quantum Key Distribution using Squeezed States of Light*

T. Serikawa, J. I. Yoshikawa, K. Makino, and A. Furusawa: *Broadband Squeezed State Generated in Ring-shaped Optical Parametric Oscillator*

A. Coelho, L.S. Costanzo, C. Polycarpou, K. N. Cassemiro, A. Zavatta, and M. Bellini : *Shaping Ultrashort Single Photons*

T. Huber, A. Predojevic, M. Khoshnagar, D. Dalacu, P. J. Poole, H. Majedi, and G. Weihs: *Polarization entangled photons from quantum dots embedded in nanowires*



europa  
european  
social fund in the  
czech republic



EUROPEAN UNION



MINISTRY OF EDUCATION,  
YOUTH AND SPORTS



OP Education  
for Competitiveness

INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT