

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název projektu: Mezinárodní centrum pro informaci a neurčitost

Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/20.0060

Zpráva z účasti na stáži

Datum konání stáže:	27.9.2013 - 2.12.2013
Navštívené pracoviště:	Quantum information with cold atoms and non-classical light ICFO – The Institute of Photonic Sciences Mediterranean Technology Park Av. Carl Friedrich Gauss, 3 08860 Castelldefels (Barcelona), Španielsko
Zahraniční garant:	prof. Morgan W. Mitchell
Účastník stáže:	Mgr. Lukáš Slodička, Ph.D.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Vedecká skupina okolo profesora Morgana W. Mitchella experimentálne študuje kvantovo-optické a kvantovo-informačné procesy s vychladenými atómami a neklasickými zdrojmi svetla, predovšetkým kvantové procesy týkajúce sa vzájomnej interakcie svetla a atómov. Hlavné vedecké aktivity skupiny zahŕňujú manipuláciu chladných atómových obláčikov, prípravu stlačených spinov a generácie previazanosti medzi atómami a svetlom, generáciu stlačených, previazaných a jednofotónových stavov svetla rezonančných s atómovými prechodmi.

Skupina prof. Mitchella je jednou z mála tímov, ktoré zvládajú náročné spektrum experimentálnych techník týkajúcich sa atómových dipólových pascí, magneto-optických pascí a chladienia neutrálnych atómov. V súčasnej dobe navyše buduje experiment s cieľom realizácie Bose-Einsteinovho kondenzátu Rubídia-87. Pre tieto experimenty používajú lasery s úzkou frekvenčnou šírkou a so spektrom vlnových dĺžok od 397,5 nm do 1030 nm, a výkonmi až do 25 W.

Experimentálna skupina prof. Mitchella pozostáva z 12 členov, 1 stály člen, (M. W. Mitchell), 3 pracovníci na pozícii postdoktoranta (Robert Sewell, Natali Martínez de Escobar, Thomas Vanderbruggen) a 8 doktorských študentov (Federica Beduini, Naeimeh Behbood, Giorgio Colangelo, Vito Giovanni Lucivero, Ferran Martin, Silvana Palacios, Joanna Zielinska, Simon Coop).

Průběh stáže

Počas celých dvoch mesiacov pobytu na pracovisku ICFO som pracoval v tíme Prof. Morgana Mitchella. Zaoberal som sa experimentom, ktorého cieľom bola realizácia radiofrekvenčného magnetometru so systémom pozostávajúcim z obláčku Rubídiových atómov v optickej dipólovej pasci. Cieľom experimentu bolo pozorovať zvýšenie citlivosti magnetometru vďaka stlačeniu kolektívneho spinu atómového obláčku. Počas pobytu som tiež spolupracoval na teoretickom návrhu schémy pre mapovanie fotonického entanglementu na kvantové registre pozostávajúce z reťaziek chytených iontov.

V rámci pobytu som sa naučil mnoho nových experimentálnych techník z oblasti chytania, manipulácie a chladenia neutrálnych atómových obláčkov. Ide hlavne o stabilizáciu diódových laserov na atómový prechod Rubídiového plynu držaného v sklenenej cele pri pokojovej teplote, nové elektronické obvody pre rýchle spínanie stabilizovaných elektrických prúdov pre generáciu magnetických polí, či realizáciu a meranie koherentných operácií na kolektívnom kvantovom stave spinu atómov. Rozšíril som si tiež znalosti z oboru radiofrekvenčnej elektroniky pri realizácii klasického radiofrekvenčného magnetometru s vysokou citlivosťou.

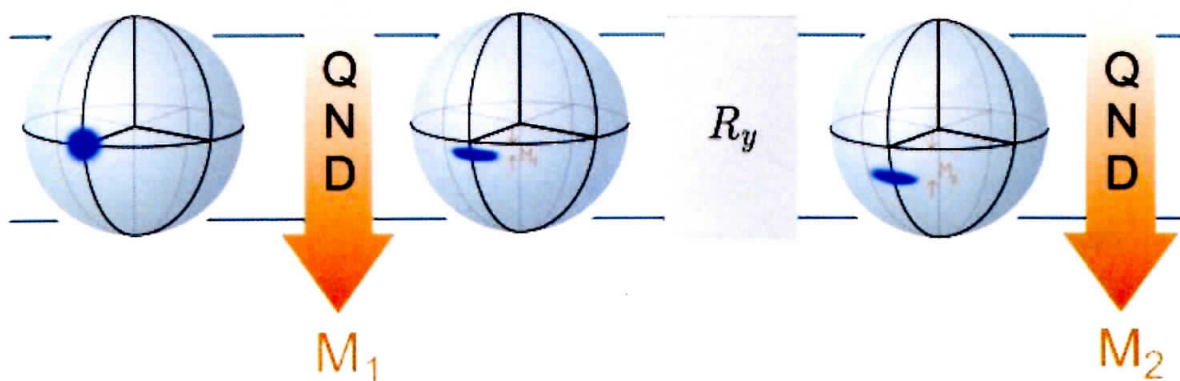
Počas mojho pobytu som nadviazal spoluprácu s väčšinou pracovníkov skupiny profesora Mitchella, hlavne však s Robertom Sewellom a Ferranom Martinom v rámci experimentálnej spolupráce a s Federicou Beduini pri práci na teoretických návrhoch.

Radiofrekvenční magnetometrie s obláčkem uchlazených Rubídiových atomů

V skupině prof. Mitchella som mal možnosť zapojiť sa do realizácie senzitívneho magnetometra v radiofrekvenčnej oblasti využívajúceho stlačenia spinov atómov.

Atómové obláčky sa môžu využívať ako citlivé detektory amplitudy magnetického poľa – magnetometru. Náš experiment využíva komplexného experimentálneho usporiadania na prípravu uchlazeného atómového obláčika v dipólovej pasci na teplotu okolo 20 μK s maximálnou optickou hustotou okolo $OD \sim 3$. Atómy sú polarizované pomocou excitácie polarizovaným laserovým zväzkom pozdĺž kvantizačnej osi definovanej aplikovaným konstantným magnetickým poľom s amplitudou v ráde niekoľko stoviek mG pozdĺž osi obláčika. Magnetometer je realizovaný na radiofrekvenčnom prechode medzi Zeemanovými stavmi. Princíp je založený na excitácii týchto prechodov meraným magnetickým poľom a estimácii tejto excitácie nedestruktívnym meraním na bázi Faradayovej rotácie. Pre zvýšenie citlivosti magnetometru je spin preklopený pomocou jediného $\pi/2$ pulzu do roviny, v ktorej je najvyššia zmena jeho projekcie do meraných stavov. Jednou z hlavných úloh bola kalibrácia a meranie šumu magnetického poľa v okolí experimentu na rádiových frekvenciách a výber intervalu s čo najnižším šumovým pozadím. Pre tento účel sme zostrojili niekoľko elektronických obvodov zahrnujúcich efektívne radiofrekvenčné antény. Tieto obvody boli tiež použité pre samotnú excitáciu radiofrekvenčných atómových prechodov.

Dôležitým krokom pro kalibraci magnetometru a estimaci jeho citlivosti bylo měření variance projekce spinů do měřených stavů po realizaci $\pi/2$ pulzu. Cílem bylo nastavit experimentální parametry tak aby úroveň šumu v měření byla limitovaná iba kvantovým projekčním šumem závislejícím na počtu atomů a Poissonovským šumem probovacího svazku. Dál sme se snažili redukovat hladinu šumu pomocí stlačení stavu spinů atomů kvantovými nedemoličními měřeními a ověřit, že podmíněná variance šumu je nižší jako hladina projekčního šumu, viz obrázek 1.



Obrázek 1: Schéma realizace radiofrekvenčního magnetometru vylepšeného stlačením kolektivních stavů spinů atomového obláčku pomocí Poincarého sféry. Spin atomů je polarizovaný a aplikací $\pi/2$ pulzu převeden do rovníkové roviny sféry. První kvantové nedemoliční měření připraví stlačený stav. Nasleduje rotace tohoto stavu okolním magnetickým polem a měření úhlu rotace pomocí dalšího nedemoličního měření.

Po ukončení moje stáže na cílovém pracovišti sa na tomto experimentu dál pracuje. Ukázalo se, že realizace experimentu na mnohem vyšších frekvencích (kolem 10 MHz) umožňuje zvýšit Rabiho frekvenci a tím i přesnost aplikovaného $\pi/2$ pulzu, který v terajej konfigurácii predstavuje limit na dosažitelnou přesnost realizovaného magnetometru. Předpokladaný výstup z tohoto experimentu je publikace v impaktovaném časopise.

Mapování fotonického entanglementu na iontové řetězky

Okrem rozšíření svojich experimentálních dovedností som na cílovém pracovišti spolupracoval s profesorem Mitchellom na teoretickom návrhu mapování fotonického entanglementu na vzdálené iontové řetězky. Schéma využívá intenzivní svazky fotonů entanglovaných v polarizačním stupni volnosti. Tieto svazky interagujú s iontami na dvoch vzdálených místach a pomocí procesu Ramanovské spontánní emise mapují stav fotonů na elektronické stavy jednotlivých iontů. Hlavní výhodou schématu v porovnání s dalšími návrhy zaoberajúcimi se distribucí a generací entanglementu mezi vzdálenými chycenými ionty je, že neobsahuje žádné interferenčné uspořádání. To podstatne usnadňuje možnou experimentální realizaci a umožňuje zvýšení absorpčnej a mapovacej účinnosti použitím řetězku iontov v každom z cílových registrov.

Po ukončení moje stáže na cílovém pracovišti na tomto návrhu dál spolupracujeme. Předpokladaný výstup z tejto práce je publikace v impaktovaném časopise.

Další aktivity

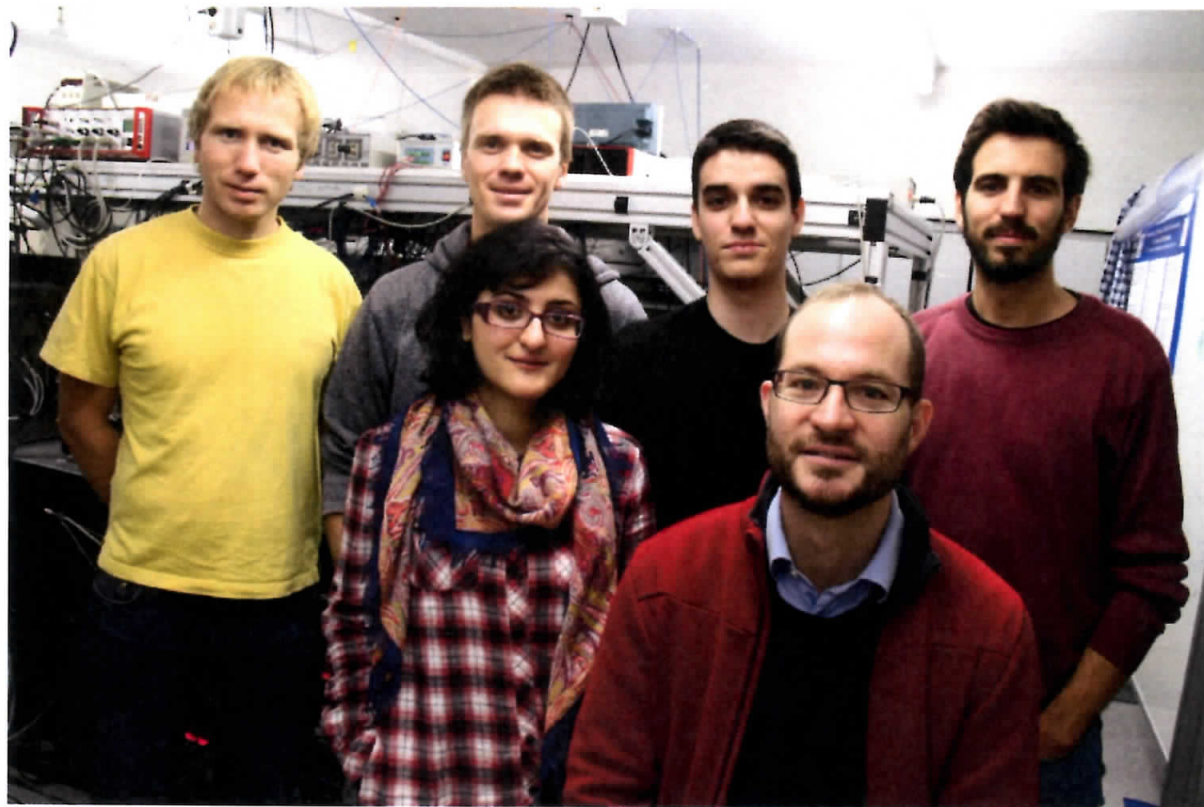
Během stáže jsem se aktivně účastnil pravidelných porad skupiny, přednášek pořádaných v rámci semináře organizovaného v spolupráci se skupinou profesora Hugues de Riedmattena a dalších aktivit spojených s činností skupiny profesora Mitchella.

V rámci pobytu som predniesol prednášku s názvom *Single ion-single photon interactions in free space*.

Navázání kontaktů

Stáž významně přispěla k posílení a prohloubení vědecké spolupráce se skupinou profesora Mitchella. Rozpracované témata a získané experimentální dovednosti mají potenciál uplatnění na domácím experimente v Olomouci v rámci experimentálních aktivit zaměřených na studium interakce atomových obláčků s existujícími zdroji korelovaných párů fotonů.

Fotografická dokumentace



Obrázek 2: Fotografie zachycující experimentální skupinu na ICFO v laboratoriu pre výzkum magnetometrie s chladnými atomovými obláčikami. Na snímku (zľava): Lukáš Slodička, Robert Sewell, Naeimeh Behbood, Ferran Martín Ciurana, Morgan Mitchell, Giorgio Colangelo.

Lukáš Slodička