



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

Zpráva z účasti na stáži

Datum konání stáže:	18.7.2011 – 18.8.2011
Navštívené pracoviště:	Aarhus University, Aarhus, Dánsko
Zahraniční garant:	prof. Klaus Mølmer
Účastník stáže:	prof. RNDr. Tomáš Opatrný, Dr.

Stručný popis navštíveného pracoviště

Aarhuská univerzita je druhá největší a druhá nejstarší univerzita v Dánsku, byla založena v roce 1928, v současné době má cca 32 tis. studentů a zaujímá 167. místo na žebříčku Times Higher Education World University Ranking. Má velmi výrazné postavení v oblasti fyziky - jak teoretické tak experimentální, probíhající výzkum se týká ultrachladných atomů v optických mřížkách, Bose-Einsteinovy kondenzace, kvantové informatiky, interakce atomů a elektromagnetického záření, atd. Ústav, který jsem navštívil, „Department of Physics and Astronomy“, má cca 36 profesorů a docentů, cca 50 technických a administrativních pracovníků a ročně na něj přichází cca stovka nových studentů fyziky. Externí výzkumné granty přinášejí ústavu ročně cca 50 mil. EUR.

Průběh stáže

S prof. Mølmerem jsme se zabývali především otázkou rydbergovské blokády v systému chladných atomů interagujících s laserovým světlem. Vnitřní spinové stavy atomů mohou být např. nositeli kvantové informace, případně může být oscilace spinových stavů využita pro přesné měření času (princip atomových hodin) nebo k přesné interferometrii sloužící k dalším metrologickým účelům. U atomárních systémů může být velmi užitečné využít kolektivních spinových stavů (tzv. spinově stlačené stavy), u kterých je potlačena některá složka šumu, což následně umožňuje dosahovat ještě vyšší přesnosti měření, než kdyby se uplatňoval každý atom zvlášť. Teoreticky je tak možné pracovat na samé hranici pro přesnost - na tzv. Heisenbergově limitu. Problémem ovšem je, jak takovéto kolektivní spinové stavy připravit. Atomy by měly na jedné straně zůstat ve velmi dobré izolaci, aby na ně rušivým vlivem nepůsobilo okolí. Na druhé straně je nutné indukovat mezi nimi vhodné interakce, které způsobí, že si původně nekorelované atomy „uspořádají“ své spiny tak, že v součtu je šum jejich spinů potlačen. Takovýto případ si lze představit v analogii házení mincemi: orientace

spinu atomu - např. nahoru či dolů, může odpovídat náhodné orientaci hozené mince. Hodíme-li stovkou mincí, očekáváme, že v průměru padesát jich dopadne lícem nahoru a padesát dolů, ovšem tato hodnota bude fluktuovat: nejčastěji se bude pohybovat někde v intervalu od 45 do 55. Jeden ze spinově stlačených stavů by přitom odpovídal situaci, kdy by hozená stovka mincí pokaždé dopadla tak, že přesně padesát mincí by bylo lícem vzhůru a přesně padesát dolů. Každá konkrétní mince by pokaždé dopadla s náhodnou orientací, ale počet těch, které by dopadly orientovány lícem vzhůru, by byl stále stejný. Tato situace je ovšem velmi citlivá na některé vstupní parametry - jakmile bychom je jen trochu změnili, poměr by se výrazně změnil. Právě tato vlastnost pak umožňuje tyto parametry velmi přesně měřit. V naší práci jsme se soustředili na otázku, jak využít efektu tzv. rydbergovské blokády k přípravě atomárních stavů s podobnými (a dalšími velmi zajímavými) vlastnostmi. Ukazuje se, že při ozáření takového souboru atomů laserovým svazkem s vhodnými vlastnostmi může dojít k tomu, že právě jeden atom přejde do vysoce excitovaného, tzv. Rydbergova stavu, který svým polem brání tomu, aby se do stejného stavu dostaly i ostatní atomy. Takovýto atomární systém se pak chová jako jistá analogie tzv. Jaynesova Cummingsova (JC) modelu známého z kvantové optiky. Lze tedy u něj předpovědět některé vlastnosti analogické JC modelu, ovšem je zde i řada odlišností, které dávají vznik řadě dalších vysoce zajímavých efektů. Podařilo se nám tedy najít způsob, jak v takovýchto atomárních systémech generovat spinové stlačení, případně stavy odpovídající tzv. Schroedingerovým kočkám, velmi podobně, jak jsou tyto stavy generovány v JC modelu. Ovšem navíc díky různým možnostem, na kterých atomárních přechodech lze rydbergovskou blokádu realizovat, lze dosahovat i efektů, které původní JC model neumožňuje - např. adiabatického přechodu atomárního systému ze stavu s dobře definovanou orientací spinu (tzv. spinově koherentního stavu) do stavu maximálně spinově stlačeného. V současné době máme rozepsaný článek, ve kterém popisujeme své výsledky.

- V průběhu stáže aarhuské pracoviště navštívil též prof. Kunal Das z Kutztown University v Pennsylvanii v USA, se kterým dlouhodobě spolupracuji na problematice adiabatického transportu atomů. Na aarhuské univerzitě nyní studuje i můj bakalářský student Miroslav Gajdacz, který je spoluautorem jednoho ze článků se mnou a K. Dasem, a se kterým dále spolupracujeme na problému adiabaticky laditelné interakce dvou atomů v pasti. Během návštěvy K. Dase v Aarhusu jsme na této problematice dále pracovali.

Přednáška na navštíveném pracovišti

T. Opatrný: *Second law and heat engines, big and small: from atoms to black hole*

Přednáška uskutečněná 15. 8. se týkala otázek platnosti druhého termodynamického zákona v různých systémech a jeho zdánlivého narušení tzv. Maxwellovým démonem. Prezentovány byly vlastní výsledky, jednak některé starší a jednak i právě přijatý článek „Black hole heat engine“ o tepelném stroji na bázi černých děr, který vyjde v American Journal of Physics.

Publikace rozpracované během stáže

V přípravě je publikace „Spin squeezing and Schroedinger cat generation in atomic samples with Rydberg blockade“ (autoři T. Opatrný a K. Mølmer), kterou chystáme pro Physical Review A. Kromě toho je rozpracovaná práce (zatím ve stadiu výpočtů) na téma vzájemného působení atomů v pasti (autoři M. Gajdacz, T. Opatrný a K. Das).

Navázání kontaktů

Stáž významně přispěla k posílení a prohloubení vědeckých kontaktů - na aarhuském pracovišti jsem měl jednak možnost diskutovat řadu teoretických otázek s K. Mølmerem, G. Bruunem a též navštívit laboratoř ultrachladných atomů a diskutovat s J. Arltem, J. Shersonem a dalšími.

Shrnutí stáže

Stáž byla pro mne velice přínosná, především proto, že jsem se mohl zase jednou naplno věnovat vědě, využít kontaktů s mimořádně erudovanými teoretiky i se špičkovými experimentátory a částečně i proto, že Aarhus je dostatečně daleko, takže jsem alespoň na chvíli mohl přenechat některé administrativní záležitosti někomu jinému (svým laskavým kolegům tímto děkuji).