

Posudek školitele na doktorskou disertační práci Ing. Miroslava Urbanka

Modelling of Ultracold Gases in Multidimensional Optical Lattices

Doktorská disertační práce Ing. Miroslava Urbanka se zabývá teoretickým modelováním velmi chladných plynů v optických mřížkách. Cílem práce bylo vytvořit počítačový programový balík, který by umožňoval popis časového vývoje těchto kvantových systémů v jedné a více dimenzích.

Pro úspěšné dokončení projektu Ing. Urbanek musel nejdříve zvládnout nastudovat různé implementace vysoce netriviální metody „Time Evolution Block Decimation“ (TEBD) řešení časového vývoje Boseho-Hubbardova modelu, kterou použil k popisu evoluce velmi chladných plynů v optických mřížkách. Poté musel vytvořit počítačový program, kde tyto metody jsou implementovány, což vyžadovalo ovládnutí programovacího jazyka Common Lisp a také jeho provázání s knihovnamy LAPACK a BLAS. Program musel být samozřejmě optimalizován, neboť všechny netriviální vícečásticové úlohy jsou výpočetně extrémně náročné. Ukázalo se také, že v 1D případě je vhodné některé algoritmy použité v programu paralelizovat, což vyžadovalo zvládnutí provázání jazyku Common Lisp s prostředím Message Passing Interface (MPI).

Na začátku projektu se Ing. Urbanek zaměřil na jednodimenzionální optické mřížky, neboť tyto jsou již do značné míry prozkoumány teoreticky i experimentálně a poskytují tak vhodný referenční materiál. Zvolenou metodou byla TEBD v implementaci „Matrix Product States“ (MPS) a zvoleným vyšším programovacím jazykem byl Common Lisp. Obě volby byly učiněny s ohledem na plánované modelování velmi chladných plynů ve vícedimenzionálních optických mřížkách. Přirozeným rozšířením MPS do více dimenzí je totiž popis pomocí tenzorových sítí a právě Common Lisp umožňuje, mimo jiné, velmi elegantní práci s tenzory. Jakmile byl 1D program, nazvaný TEBDOL, otestován, byl použit k první „ostré“ studii zaměřené na zkoumání obnovování fáze (v prostoru kvazihybností) v binární směsi velmi chladných atomů po náhlé změně parametrů 1D optické mřížky. Tato originální studie byla opublikována v časopise *Physical Reviews A*. Poté byla dokončena paralelizace programu a jeho základní vlastnosti byly popsány v článku uveřejněném v časopise *Computer Physics Communications*.

Poté Ing. Urbanek přistoupil k rozšíření programu na dvojdimenzionální optické mřížky. Pro tento účel byla vybrána implementace „Tree Tensor Networks States“ (TTNS), která je vhodným zobecněním MPS, protože neobsahuje síťové cykly. Po otestování 2D programu byly provedeny tři experimentálně motivované studie zaměřené a) na obnovování fáze v unárním plynu velmi chladných atomů po náhlé změně parametrů 2D optické mřížky; b) na expanzi velmi chladných bosonických atomů při snížení potenciálu 2D optické mřížky; c) na vícečásticovou lokalizaci ve 2D optické mřížce obohacené o náhodný nepravidelný potenciál. Články shrnující výsledky těchto studií jsou momentálně v přípravě.

S celkovým přístupem Ing. Urbanka jsem velmi spokojen - byl aktivní, pracoval samostatně a iniciativně. Pro vytvoření fungujícího programu musel ošetřit mnoho důležitých detailů, které se v člancích vůbec nepublikují. A s klidným svědomím mohu prohlásit, že bez jeho vynikajících programovacích schopností by nyní náš projekt nebyl zdaleka v tak pokročilém stádiu. Za zmínku rovněž stojí skutečnost, že moje úloha při psaní článků byla redukována pouze na editační úroveň. Je také sympatické, že kandidát sepsal detailní práci, která bude hodnotným zdrojem informací pro studenty i pracovníky, kteří se budou tímto tématem zabývat.

Disertační práce Ing. Urbanka je napsána v angličtině, obsahuje úměrně překlepů a celkově působí na čtenáře velmi dobrým dojmem. Je základem pro nejméně čtyři publikace v impaktovaných časopisech (dvě již byly publikovány a jedna byla právě odeslána). Ve všech případech je/bude Ing. Urbanek hlavním/prvním autorem. Ing. Urbanek prezentoval stěžejní výsledky rovněž na několika mezinárodních konferencích, kde se jeho příspěvky setkaly vždy s kladným ohlasem.

Závěrem mohu zodpovědně konstatovat, že disertační práce Ing. Urbanka skutečně přináší nové poznatky v oblasti modelování velmi chladných plynů v optických mřížkách. Jsem přesvědčen o tom, že disertační práce Ing. Urbanka splňuje všechny požadavky kladené na doktorskou práci, a proto navrhuji udělit Ing. Urbankovi titul *philosophiæ doctor* (Ph.D.) v oboru 4F6 Kvantová optika a optoelektronika.

V Praze dne 25. 8. 2017

doc. Ing. Pavel Soldán, Dr.