



Posudek disertační práce

Miroslav Urbanek: Modelling of Ultracold Gases in Multidimensional Optical Lattices

Předkládaná práce se zabývá teoretickým studiem ultrachladných atomárních systémů v optických mřížkách. Tato tematika je velmi aktuální zejména s ohledem na významné experimentální pokroky v relativně nedávné době a též s ohledem na potenciální aplikace např. v kvantové informatice a metrologii. Problematika optických mřížek je také velice zajímavá z fundamentálního pohledu, protože nám umožňuje studovat jevy charakteristické pro „normální“ krystaly na jejich mnohonásobně zvětšených modelech s řadou experimentálně laditelných parametrů. Pro teoretické studium atomárních systémů v optických mřížkách je přitom podstatné, že jde o systémy s mnoha stupni volnosti, jejichž plně kvantový popis a počítačová simulace se stanou nemožnými, jakmile je množství zkoumaných částic větší než velmi malé. Abychom tedy mohli předpovídat a plně chápat experimentální výsledky, je nezbytné mít vytvořené vhodné aproximativní metody, umožňující studovat dané jevy alespoň přibližně.

Hlavním přínosem předkládané disertace je vytvoření nového softwaru „TEBDOL“ pro simulaci časového vývoje bosonů v optických mřížkách založeného na metodice tensorových sítí (tensor networks). Tento software pak autor použil k modelování několika různých systémů. Výsledky týkající se dvousložkového atomárního systému v jednorozměrné mřížce autor publikoval ve Physical Review A, podrobnosti týkající se výpočetního přístupu pak v časopise Computer Physics Communications a v konferenčním sborníku z 8th European Lisp Symposium. Disertační práce z těchto publikací vychází, detailně pak rozebírá metodiku řešení problému, vysvětluje jednotlivé kroky výpočtů prostřednictvím tensorových sítí a vysvětluje jejich aplikaci na modelování fyzikálních jevů jako například fázových kolapsů a obnovení (phase revivals) či mnohačasticové lokalizace (many-body localization).

Dle mého názoru autor prokázal schopnost samostatné výzkumné práce a o svých výsledcích sepsal koherentní disertační práci, kterou mohu doporučit k obhajobě. Mám zároveň několik otázek a připomínek, jejichž diskusi bych uvítal u obhajoby:

- Smyslem počítačových simulací je nejen replikovat dosavadní experimentální výsledky (což je jistě také hodnotné a užitečné pro jejich lepší pochopení), ale zejména předpověď nových efektů. Předpokládám, že autor si při svých simulacích „hrál“ s parametry a zkusil dovést výsledné chování zkoumaného systému do krajností. Narazil přitom na něco, co mu přišlo po

fyzikální stránce zvláště zajímavé, a co by mohlo být inspirativní pro experimentátory?

- Možná by k takovýmto efektům mohla patřit anomálie zmiňovaná v článku v PRA jako pokles druhého píku při hodnotách $U_{BB}=1$ a $U_{AB}=1$ (obr. 5 v článku v PRA či obr. 6.2 v disertaci). Co by to znamenalo konkrétně pro experimentátora, pokud by chtěl tento efekt pozorovat? V disertaci to autor komentuje slovy „it is a sign of complex dynamics...“ a v článku v PRA říká, že to je „very complex and detailed analysis of this problem will require further study“. Došlo mezitím k nějakému posunu co se týče porozumění tomuto efektu, případně má autor nějakou hypotézu, jak to funguje?
- Nejnáročnější výpočty byly prováděny na superpočítači v centru IT4Innovations, zkoumané systémy přitom zahrnovaly několik desítek atomů. Jaké jsou momentálně meze stávající výpočetní techniky, co se týče počtu modelovaných částic u studovaných problémů a s využitím TEBDOLu?
- V poslední době se řada teoretických studií věnuje problematice „boson sampling“ (zejména Aaronson and Arkhipov, "The computational complexity of linear optics". Theory of Computing. 9: 143 (2013)), což je pro klasické počítače složitý problém pro souvislost s počítáním tzv. „permanentů“. Mohl by být autorův přístup k řešení mnohočásticových bosonových systémů relevantní pro získání předpovědí při boson-samplingu pro nějaký nevelký počet bosonů a pokud ano, do jakého počtu?

Na několika místech jsem pak narazil na nepříliš obratné výrazy či textaci, která by zasluhovala přeformulování:

- p8 Odstavec začíná slovy "Neutral atoms interact with each other" což vyznívá, jako by tak protiklady - tedy jonty - nečinily.
- p11 "Index permutation is analogous to matrix transposition." lepší by bylo asi „...generalization of matrix transposition“.
- p71: na prvním řádku 2_m^{33} by asi mělo být spíš $2^{33} \epsilon_m$.

Závěr: po diskusi nad výše zmíněnými otázkami doporučuji práci k úspěšné obhajobě.

V Olomouci 28. srpna 2017

prof. RNDr. Tomáš Opatrný, Dr.