

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy v Praze

posudek vedoucího
 bakalářské práce

posudek oponenta
 diplomové práce

Autor: Oldřich Sedlák
Název práce: Kvantová termodynamika
Rok odevzdání: 2018

Jméno a tituly vedoucího: RNDr. Viktor Holubec, Ph.D.
Pracoviště: Katedra makromolekulární fyziky
Kontaktní e-mail: Viktor.Holubec@mff.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího:

Je možné zvýšit účinnost a výkon mikroskopických tepelných strojů díky využití kvantové interference? Tato otázka stála u zrodu tzv. „Kvantové termodynamiky“, která zažívá v posledních letech nebývalý teoretický i experimentální rozkvět. Inspirací pro tuto bakalářskou práci byla série publikací vytvořená ve skupině jednoho ze zakladatelů kvantové optiky, prof. Marlana Scullyho. V těchto pracích byl navržen způsob zvýšení výkonu v jednoduchém modelu solárního článku díky koherenci. Fascinující na tomto modelu je, že koherence v modelu vzniká samovolně, po připojení systému na tepelné rezervoáry o různých teplotách. Proto byla pojmenována jako „šumem indukovaná koherence“.

Šumem indukovaná koherence v systému vzniká, pokud tento obsahuje dvě a více velice blízkých, nejlépe degenerovaných hladin. V takovém případě není možné slepě popsat dynamiku systému s použitím standardní kvantově optické mistrovské rovnice (která platí pro dobře oddělené hladiny), ale je nutné tuto rovnici zobecnit. Vzhledem k tomu, že odvození mistrovské rovnice uvedené ve Scullyho publikacích není dostatečně průhledné, hlavní cíle bakalářské práce byly tyto:

- 1) Prozkoumat důsledky mistrovské rovnice použité v pracích prof. Scullyho, zejména to, jestli dává tato rovnice fyzikálně smysluplné výsledky.
- 2) V případě, že by tato rovnice byla fyzikálně špatně, pokusit se odvodit platnou mistrovskou rovnici popisující daný systém.
- 3) Prozkoumat důsledky opravené mistrovské rovnice a srovnat s výsledky Scullyho et al.

První úkol vyžadoval numerické řešení mistrovské rovnice a s využitím softwaru typu Mathematica je pro studenta 3. Ročníku MFF UK snadný. Druhý úkol vyžadoval proniknutí do detailů odvození kvantově optické mistrovské rovnice a byl velice netriviální, s pomocí školitele však zvládnutelný. Třetí úkol technicky opět spočíval v numerickém řešení mistrovské rovnice. Netriviální zde bylo najít zajímavé efekty plynoucí z rovnice, prozkoumat je a dobře je popsat v bakalářské práci. Celkově bylo vypracování bodů 1-3 se standardní pomocí školitele zvládnutelné za standardní dobu řešení bakalářské práce (cca půl roku).

Oldřich Sedlák začal na popsaných úkolech pracovat v říjnu roku 2015. Najít řešení a sepsat práci mu tak trvalo bez mála 3 roky, přičemž během posledního roku řešení práce jsem já, jeho školitel, pracoval na Univerzitě v Lipsku. Hlavním důvodem tohoto neobvykle dlouhého času řešení byla Oldřichova touha proniknout příliš hluboko do tajů dynamiky otevřených kvantových systémů, kam řešený model spadá. Díky tomu se v bakalářské práci často ztrácel a trvalo dlouho přimět ho věnovat se konkrétním dílčím problémům, místo bloumání mezi abstraktními pojmy kvantové teorie. Také Oldřichova docházka na konzultace nebyla z nejpříkladnějších. Práci nakonec vypracoval a dokončil v podstatě samostatně, pouze s minimální pomocí z mé strany, kdy jsem mu pomohl ověřit správnost programu na výpočet numerických výsledků. Důkazem Oldřichovy samostatnosti budiž mimo jiné naprostá nepodobnost jeho práce s článkem Holubec, V. & Novotný, T. *J Low Temp Phys* (2018) 192: 147, který mi letos vyšel na podobné téma.

Cíle práce byly splněny. Oldřich zjistil některé závažné nedostatky mistrovské rovnice použité ve Scullyho člancích (rovnice vedla k negativním pravděpodobnostem obsazení hladin) a s mírnou pomocí odvodil správnou dynamickou rovnici. Tuto rovnici zevrubně prozkoumal numericky jak z dynamického (časově závislé řešení), tak z hlediska stacionárního stavu. V určitých aproximacích našel i analytická řešení. Zejména jeho diskuze degenerace stacionárního stavu v režimu, kdy dochází v systému k dokonalé destruktivní interferenci je nová a zajímavá. Oldřich dále definoval a počítal termodynamické vlastnosti modelu a jejich závislost na míře kvantové interference v

systemu. I tato diskuze, zejména její část týkající se interference je nová. Získané výsledky i Oldřichovu samostatnost v boji s náročným úkolem oceňuji.

Práce je napsána dobrou angličtinou a je skvěle graficky zpracována. Za největší věcnou chybu pokládám fakt, že je v práci uvedeno, že odvozená mistrovská rovnice (2.8) platí pouze pro případ kdy spektrum systému obsahuje pouze dobře oddělené energetické hladiny, přičemž je v celé práci tato rovnice (správně) aplikována na systém s degenerovanými hladinami. Další věcné chyby jsou drobné (rovnice (3.24) platí jen ve stacionárním stavu a obsahuje překlep, v grafu 5.9 je uvedeno, že se na osu y vynáší pravděpodobnost (vždy kladná), ale ve skutečnosti je tam vynesena i záporná koherence).

S logickou strukturou a „sdílností“ práce je to poněkud horší. Za mírný nedostatek považuji to, že z abstraktu a úvodu není úplně jasná výše popsaná motivace práce pro zkoumání Sullyho modelu. Za další nedostatek považuji to, že z práce není zřejmé, které výsledky jsou dílem autora práce a které výsledky jsou přejaté. Práce je poměrně dobře čitelná pro člověka, který si přepočítá Scullyho články. Pro ostatní fyziky může její četba představovat značné problémy. Diskuze použité mistrovské rovnice je příliš stručná. Chybí zevrubnější fyzikální diskuze, která by čtenáři dodala intuici, co znamenají jednotlivé režimy parametrů diskutované v obrázcích. To je asi největší slabina práce, neboť čtenář, který nepochopí kapitolu 4.2, kde jsou tyto parametry představeny, nemá šanci pochopit zbytek práce. Dále chybí intuitivní vysvětlení limitní situace ze sekce 4.4, pro kterou jsou odvozeny některé analytické vzorce. Dalším nedostatkem je, že v práci není uvedeno jak byly řešena mistrovská rovnice popisující dynamiku diskutovaného systému. Tyto nedostatky v prezentaci jinak pěkných výsledků práci výrazně srážejí. Zde se objevuje odvrácená strana Oldřichovy samostatnosti. Pokud by mi hotovou práci poslal dříve, než den před odevzdáním, mohli jsme alespoň některé z nich snadno odstranit.

Shrnuto, vědecká úroveň práce je nadprůměrná i přes poněkud obtížné téma. Práce je však bohužel napsána tak, že tuto nadprůměrnou vědeckou úroveň mohou ocenit pouze odborníci znalí použitého modelu. Celkově se proto přikláním k ohodnocení *velmi dobře*.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1) Nemám otázky.

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího: V Lipsku, 17. 8. 2018

Viktor Kolubec