

## **Oponentní posudek na bakalářskou práci posluchačky Veroniky Rečkové na téma** *Quantum hydrodynamics described by Lagrangian formalism*

Předložená bakalářská práce slečny Veroniky Rečkové, vykonaná na pracovišti Katedry inženýrství pevných látek FJFI ČVUT v Praze, je věnována teoretickým základům kvantového hydrodynamického modelu a možnostem jeho analytického řešení. Takovýto model je vhodný pro popis chování elektronového systému v metalických nanočásticích a představuje další významný krok, upřesňující možnosti popisu, směrem od klasických modelů k modelům kvantovým, umožňujícím popis a pochopení kvantových interakcí elektronů. Takováto problematika představuje dnes perspektivní a efektivní oblast výzkumu, řešenou mj. na katedře inženýrství pevných látek ve spolupráci s katedrou fyzikální elektroniky, v rámci projektu GAČR. Jedná se tedy o téma bakalářské práce velmi aktuální.

Posuzovaná bakalářská práce je psána v anglickém jazyce, je středního rozsahu - 52 stran, obsahuje 39 obrázků, resp. grafů, několik tabulek, odkazů na literaturu je v závěru práce uvedeno 11. Práce je členěna do 9 hlavních, bohužel ne všech číslovaných kapitol (úvod, závěr, přehled literatury), součástí je též anglický abstrakt (český abstrakt chybí). Po velmi stručném úvodu (který je dle mého názoru až příliš stručný), je v další kapitole (1. číslované) představen úvod do problematiky kvantových hydrodynamických rovnic, diskutovaný s pomocí techniky Lagrangianu. V další 2. kapitole je tento Lagrangian přesně vyčíslen, s pomocí předpokládaného řešení. V následující 3. kapitole je řešen základní stav elektronového systému. Další kapitola se již věnuje nalezení vlastních frekvencí odezvy elektronové hustoty na excitující světelné záření – tzv. dipólový a dýchací mód, pomocí numerické Rungeho – Kuttovy metody. Poslední dvě věcné kapitoly se po řadě věnují případu přiloženého externího oscilujícího elektromagnetického pole (kapitola 5) a hustotě proudové hustoty (kapitola 6). Práce je formálně zakončena stručným závěrem a velice stručným přehledem použité literatury (11 položek).

Co se týče formální stránky, práce je vypracována standardním způsobem, jelikož byla jistě finišována pod časovým tlakem, obsahuje i určité množství formálních chyb a překlepů, vesměs drobnějšího rozsahu. Práce je psána v anglickém jazyce, pokud mohu posoudit, jeho úroveň je velmi dobrá, s minimem chyb a prohřešků. V obsahu v úvodu práce tak např. zcela chybí úvodní (*Introduction*) a závěrečná (*Conclusions*) kapitola, nejsou zde uvedeny ani reference (přehled literatury, *References*). Zápis citované literatury je formálně v pořádku, v některých případech je ale neúplný (např. položka [2] je chybně zapsána – co vlastně představuje, časopis, odbornou knihu?). U takto zajímavé aktuální problematiky bych osobně také uvítal tento seznam literatury bohatší. Chybí také český abstrakt práce. Dle mého názoru je struktura vlastního textu zvolena vhodně, text je kombinací obecného úvodu, detailního popisu modelu a postupu jeho řešení, spolu s následnou interpretací a diskuzí výsledků. U některých efektů bych přesto uvítal podrobnější popis a detailnější vysvětlení. Odborná / technická terminologie je v textu adekvátně používána.

Pokud se jedná o věcnou stránku, je zřejmé, že cíle předložené bakalářské práce splněny, jednalo se o komplexnější zadání, zřejmě s návazností na budoucí výzkum na KIPL a KFE. Z odborného hlediska, pro další rozvoj problematiky, tak považuji bakalářskou práci za velmi přínosnou a užitečnou. Jsem přesvědčen, že výsledky mohou být významné pro další pokračování, studentka dle mého názoru zvládla poměrně náročnou problematiku. V dalších budoucích aktivitách bude možno na tuto práci jistě dobře navazovat. Škoda jen, že se v rámci práce nepodařilo též pokusit se porovnat získané výsledky s výsledky klasických modelů, je však zřejmé, že detailní porovnání by vydalo na samostatnou práci. Toto tedy nijak nesnižuje kvalitu předložené práce.

K předložené bakalářské práci mám následující dotazy, resp. připomínky, ke kterým by se autorka mohla v rámci obhajoby (pokud časové možnosti dovolí) vyjádřit:

- 1) V grafech v práci jsou často používány tzv. atomové jednotky, prosím o jejich upřesnění.
- 2) Na str. 14 (rovnice (2.1)) je uvedeno předpokládané řešení pro elektronovou hustotu, které bylo vybráno dle literatury jako vhodné. Jaké další možnosti řešení by bylo možné / rozumné uvažovat a jak by to ovlivnilo výsledné řešení a jeho interpretaci?
- 3) Prosím o vzájemné porovnání výsledků na obr. 2.2 a 2.3, pro derivace  $V_i$ , resp.  $V_e$ , jaká je zde korespondence?
- 4) V bakalářské práci je jako vhodný testovací materiál uvažováno zlato (FCC struktura). Jsou výsledky analytického modelu aplikovatelné i pro jiné metalické / plazmonické materiály?

- 5) Pokud již tak nebude provedeno v rámci samotné prezentace, prosím o komentář ke grafu 4.5, vyjadřující vlastní frekvence dipólového i dýchajícího módu (zde spolu s grafem 4.8).
- 6) Pro možnosti porovnání s klasickým model by bylo užitečné vyjádřit na základě výsledků QHM příslušné materiálové parametry – mikroskopickou polarizovatelnost (a následně pomocí Classiusovy Mossotiho rovnice) i relativní dielektrickou permitivitu. Bylo by toto jako extrapolace modelu možné?
- 7) Konečně, plánuje studentka pokračovat v dané či příbuzné problematice i v rámci magisterského studia?

**Závěrem** lze konstatovat, že předložená bakalářská práce slečny Veroniky Rečkové dle mého názoru splnila náročné zadání, studentka zvládla zejména náročný teoretický popis a možnosti řešení, které následně detailně provedla a získané výsledky analyzovala a interpretovala. Dosáhla tak již několika zajímavých výsledků, čímž zcela splnila i požadavky na tento typ práce kladené, na tyto výsledky bude možné dále navazovat. Po formální stránce práce vykazuje minimum drobnějších nedostatků, které se jistě v příštích aktivitách studentky podaří eliminovat. Jelikož předpokládám také pozitivní reakce na vybrané dotazy a připomínky, jakož i kvalitní vlastní prezentaci, práci doporučuji k obhajobě a hodnotím stupněm **výborně (A)**.

.....  
doc. Ing. Ivan Richter, Dr.  
Katedra fyzikální elektroniky  
FJFI ČVUT v Praze

V Praze dne 15. srpna 2022