

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Jméno disertanta: Ing. Milan Burda

Název práce: Modelování nelokální plazmonické interakce

Disertační práce se zabývá problematikou nelokální odezvy kovu při interakci s elektromagnetickým polem. Zřejmým základním záměrem práce byl průzkum různých teoretických modelů nelokální odezvy, motivovaný případnou aplikací vhodného vybraného modelu ve vlastní Fourierově modální metodě sloužící k simulaci nanofotonických prvků ve frekvenční oblasti. V tomto smyslu byl stanoveny podle mého názoru poměrně rozsáhlé cíle, které jsou uvedeny na str. 4 a specifikují jednotlivé problémy, na které se disertační práce zaměřuje. Zvolenou tematiku pokládám za vysoce aktuální a zajímavou ať už z hlediska teoretického výzkumu (zabývá se dosud ne zcela vyřešenou problematikou spadající do velmi zajímavé oblasti na pomezí kvantové mechaniky a plazmoniky, související výpočty se projevují vysokou numerickou náročností, důsledkem je mj. potřeba vhodných aproximací) či praktických aplikací (jedná o významné aplikace plazmoniky např. v oblasti biosenzorů a integrované fotoniky).

Po prostudování práce mohu konstatovat, že náročnost řešené problematiky bezpochyby odpovídá požadavkům obecně kladeným na disertační práce. S určitou výhradou uvedenou níže konstatuji, že deklarované cíle práce byly splněny. Domnívám se, že dizertant zvládl danou problematiku v celé šíři a je schopen tvůrčí vědecké práce. Prezentovaný postup řešení i metody zpracování pokládám za adekvátní cílům práce; související dotazy a připomínky uvádím níže.

Zvolený postup se odráží i ve struktuře práce. V kap. 1 – 4 se autor systematicky zaměřoval na různé možnosti popisů nelokální odezvy. Kap. 5 popisuje nelokální model kovové vrstvy a dvojevrstvy. Konečně kap. 6 popisuje způsob zahrnutí nelokální interakce do Fourierovy modální metody. Domnívám se, že nejdůležitější původní výsledky práce se nalézají v kap. 5 a 6 a týkají se odvození přenosové matice a matice rozptylu pro popis prostředí (resp. rozhraní dvou prostředí) s nelokální odezvou. Ze hlavní odborný přínos práce pokládám využití získaných poznatků při již zmíněném rozšíření modální metody a následnou možnost aplikace metody ke studiu nelokálních plazmonických mřížek. Část těchto výsledků souvisejících s problematikou kap. 6 byla v době odevzdání práce publikována v renomovaném odborném časopise (JOSA B, 2023, viz reference [109]); další výsledky odpovídající kap. 4 byly publikovány později [Burda, M.; Richter, I. Nonlocal Hydrodynamic Model with Viscosive Damping and Generalized Drude–Lorentz Term. Photonics 2023, 10, 913. doi.org/10.3390/photonics10080913]. V tomto smyslu tedy považuji práci za přínosnou a užitečnou pro další navazující výzkum.

K samotnému textu práce i uvedeným výsledkům však mám několik připomínek.

1. Práce působí určitou nedotažeností.

Domnívám se, tato skutečnost souvisí s větším množstvím deklarovaných dílčích cílů, jejichž důsledné splnění považuji za nereálné. Např. jeden z kladených vedlejších cílů zní „posoudit ... možné využití [Lindhardova modelu] pro modelaci nelokálních jevů zasahujících do oblasti kvantových jevů“. Cíl se tedy týká komplexnějšího problému, který však už musel být řešen, protože, pokud je mi známo, v současnosti jsou preferovány pokročilejší modely. Nicméně takové posouzení, ať už na jakékoli úrovni, jsem v práci nenašel. Dále je také zřejmé, že Ing. Burda vynaložil velké úsilí k vysvětlení některých méně jasných aspektů diskutovaných modelů (kap. 1-4) či k odvození vlastních výsledků (kap. 5 a 6); uváděné výpočty se vyznačují vysokou mírou náročnosti. Naneštěstí toto úsilí není vždy v práci vhodně doloženo. Popis v práci se vyznačuje určitou fragmentací: často jsou klíčové úvahy zdůvodněny pouze odkazem

na literaturu, místy zdůvodnění vůbec chybí, stejně tak nejsou zařazeny některé vlastní výsledky či chybí jejich úplný popis. Tato skutečnost také snižuje hodnotu práce jakožto úvodního textu pro zájemce o danou problematiku, čtenář bude muset neustále vyhledávat v citované literatuře, což podle mého názoru souvisí se zvolenou strukturou práce. Práce samozřejmě obsahuje přehled současného stavu řešené problematiky; vzhledem k různorodosti jednotlivých kroků je výklad logicky rozdělen a uveden v různých kapitolách. Avšak domnívám se, že práce měla spíše obsahovat úvodní kapitolu, která by přehlednou formou shrnovala nejdůležitější vlastnosti jednotlivých modelů, provedla porovnání výhod různých přístupů a zdůvodnila motivaci pro řešení studovaných autorem. To by pak umožňovalo se v následujícím textu soustředit podrobně jen na vybraný model a poskytnout jeho ucelenou diskuzi na požadované úrovni.

2. Práce nespécifikuje dostatečně přesně vlastní přínosy autora.

Příklad: Závěr uvádí „byla odvozena Lindhardova teorie, což bylo obtížné, jelikož je velice těžko dohledatelné odvození teorie v literatuře. Do značné míry bylo tak nutno některé věci odvodit vlastní cestou, aby se jednalo o matematicky korektní odvození. Toto vnímám jako jeden z přínosů práce.“ Chybí specifikace kroků, které nejsou dohledatelné v literatuře a které Ing. Burda odvodil. Poznávám, že Lindhardův vztah je dvěma způsoby odvozen v citované monografii [49], odst. 5.5.2. Navíc původní práce [Lindhard J, 1954, Dan. Mat. Fys. Medd. 28, 8] není Ing. Burdou vůbec citována.

V této souvislosti mi není jasné, proč původní výsledky, které nalézám v kap. 6, nebyly plně publikovány. Domnívám se dále, že výsledky Ing. Burdy uvedené v práci [109] neodpovídají úplně výsledkům obsaženým v disertační práci v kap. 6.

Prosím Ing. Burdu, aby při se obhajobě k těmto tvrzením vyjádřil a přesně specifikoval vlastní přínosy.

3. Práce obsahuje větší množství nevhodných formulací a opomenutí.

Odhaduji, že text byl sepisován ve spěchu a nedošlo ke korekci pracovní verze ať už z jazykového hlediska (viz např. výše citovaná věta ze Závěru) či věcného obsahu a terminologie. Další příklady nevhodných formulací: „Z této úlohy označované jako kvazistatická aproximace...“, „...veličina polarizovatelnosti daného materiálu je disperzně závislá nejenom na vlnové délce...“ (správně by mělo znít např. „...polarizovatelnost materiálu závisí nejenom na vlnové délce...“), obě věty viz str. 4; pro kvantovou „provázanost“ (entanglement) je vzápětí použito označení „propletenost“ (str. 9); „Případem, kdy by docházelo k nějaké vazbě mezi poli \mathbf{E}_T a \mathbf{E}_L bych se velice rád zabýval v další části vlastní disertační práce.“ (str. 41).

Další výhrady dokládající výše uvedená tvrzení:

Odst. 1.6 se týká jevu tunelování. Nejprve je podrobně popsána teorie, která je však dobře známa ze základního kurzu kvantové mechaniky. Následuje rozbor známého numerického postupu, kdy se spojitý průběh potenciálu aproximuje po částech konstantní funkcí. Upozorňuji, že související vztah (1.45) neplatí (jsou zanedbány odrazy vlnové funkce). S takto podrobným popisem kontrastuje skutečnost, že následující klíčový vztah (1.50), který byl nejspíše použit pro získání prezentovaných výsledků (viz obr. 1.5 a 1.6; práce však použitý vztah nespécifikuje), byl převzat z literatury, navíc není ani podrobněji charakterizován model, ze kterého rov. (1.50) vyplývá.

Modely použité k výpočtu křivek na obr. 4.2. nejsou dostatečně specifikovány. Navíc číselné hodnoty účinného průřezu podle obr. 4.2(b) nesouhlasí s výsledky uvedenými v [57] pro tutéž částici.

V odst. 5.1 je provedeno odvození přenosové matice pro lokální odezvu (toto je dobře známo z literatury, viz např. [96] nebo [98]). Naproti tomu tvar nelokální přenosové matice je v dalším textu uveden bez odvození. Následně zmíněné rozdíly mezi číselnými výsledky vlastní formulace a formulace podle [89] nebyly dostatečně prozkoumány (je pouze uvedeno: „Rozdíl výsledků pravděpodobně souvisí s tím, že náš model nezanedbává vliv transversální proudové hustoty na celkovou nelokální odezvu.“, str. 56).

Závěrečné zhodnocení

Z obsahu i výsledků práce je zřejmé, že se její autor aktivně zapojil do výzkumu aktuální problematiky, jejíž náročnost bezpochyby odpovídá požadavkům kladeným na disertační práce. Přes zmíněné výhrady pokládám deklarované cíle za splněné. Zvolené metody zpracování odpovídají zaměření práce. Domnívám se, že práce obsahuje původní a přínosné části a splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce. Proto předloženou disertační práci **doporučuji k obhajobě**.

V Brně dne 21. 9. 2023

prof. RNDr. Jiří Petráček, Dr.
Ústav fyzikálního inženýrství
FSI VUT v Brně
Technická 2, 616 69 Brno
petracek@fme.vutbr.cz

Náměty k diskuzi

1. V kap. 5 prezentujete výsledky týkající se přenosové matice vrstvy a dvojevrstvy. Nebylo by jednodušší odvodit vztahy pro matici rozhraní a matici popisující pouze homogenní prostředí (vrstvu bez započteného rozhraní)? Ze znalostí těchto dvou základních matic je přece pak možné vypočítat přenosovou matici jakéhokoliv systému. Jakou výhodu přinášejí explicitní vztahy pro dvojevrstvu?
2. Při odvození vztahu (6.6) na str. 77 byl vynechán člen $\beta^2 \nabla \nabla \cdot \mathbf{J}_T$. Dále ve vztahu (6.7) byla zanedbána transversální složka vektoru $\beta^2 \nabla \nabla \cdot \mathbf{J}_L$. Zdůvodněte oba kroky.
3. Objasněte prosím tvrzení „byl využit Heisenbergův interakční obraz, čímž byl prostoro-časový vývoj vlnových funkcí převeden na námi vyhodnocovaný operátor.“ (str. 12).