

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> posudek vedoucího | <input checked="" type="checkbox"/> posudek oponenta |
| <input type="checkbox"/> bakalářské práce  | <input checked="" type="checkbox"/> diplomové práce  |

Autor: **Josef Kadlec**

Název práce: **Optické nelinearity terahertzového záření**

Studijní program a obor: **Fyzika – Optika a optoelektronika**

Rok odevzdání: **2020**

Jméno a tituly oponenta: **Mgr. Hynek Němec, Ph.D.**

Pracoviště: **Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.**

Kontaktní e-mail: **nemec@fzu.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/oponenta:**

S vývojem dostupných zdrojů intenzivního terahertzového záření se dostává do popředí otázka nelineární terahertzové odezvy materiálů. Ačkoliv lze silnou nelineární odezvu očekávat v polovodičových nanočásticích, jejímu popisu doposud nebyla věnována velká pozornost. Kvantově-mechanický přístup pro výpočet terahertzové nelineární vodivosti polovodičových nanočástic, který ve své práci diplomant vyvinul a použil, tak představuje významný originální přínos pro vědeckou komunitu.

Diplomant rozvinul jednoduchý přístup pro výpočet nelineární vodivosti libovolného řádu pomocí poruchového počtu; ten následně aplikoval především ke stanovení vodivosti třetího řádu, zahrnující třífotonové procesy typu  $\omega + \omega + \omega \rightarrow 3\omega$ ,  $\omega + \omega - \omega \rightarrow \omega$ , a  $\omega + 0 + 0 \rightarrow \omega$ . Vodivost byla zkoumána v závislosti na všech důležitých parametrech, jako velikost nanokrystalů, teplota, nábojová hustota nebo rychlost rozptylu; na závěr byla spektra vodivosti srovnána s existujícími výsledky semi-klasických výpočtů metodou Monte-Carlo. Získané výsledky mohou sloužit jako solidní základ pro interpretaci spekter, jejichž měření lze očekávat v brzké budoucnosti.

Velmi dobrý dojem z vědecké stránky práce je bohužel pokazen nevyhovujícím slohem. Sled myšlenek lze sledovat jen obtížně; k tomu se přidává řada nepřesností (například označovat 16-nanometrovou krychličku GaAs za krystal může být pro leckoho zavádějící) a enormní používání hantýrky (jednotlivá fráze jako „Rychlost rozptylu budeme chtít limitit do nuly“ může v malém množství působit jako osvěžující koření, ale při četnosti odstavců<sup>-1</sup> už je dosažen vysoce nelineární režim, charakterizovaný zápornou odezvou oponenta).

Práce byla sepisována v nesmírně obtížných podmínkách protiepidemických opatření; za těchto okolností je nutné vysoce ocenit už samotné dokončení práce. Vzhledem k omezeným kontaktům lze pochopit, že je omezená hlubší fyzikální diskuse výsledků (nedotažená je zejména v posledních odstavcích, 7.1 – 7.4): toto je věc, která se zpravidla tříbí právě při osobních diskusích se školitelem. V práci schází rozhled a nadhled, což ilustruje mj. pouhých 9 referencí. Bez ohledu na okolnosti by nicméně absolvent Matematicko-fyzikální fakulty měl být shopen kulturního písemného projevu v mateřském jazyce. Grafická úprava práce je velmi kultivovaná; jenom čitelnost grafů obsahujících více křivek by bylo možné vylepšit použitím kontrastnějších barev nebo odlišnými styly čar; větší péči by zasloužily i grafy se sekundární osou.

Diplomová práce po odborné stránce jednoznačně splňuje požadavky kladené na diplomovou práci a zasluhovala by spíše stupeň *výborně*. S ohledem k jazykové úrovni se nicméně přikláním k celkovému hodnocení stupněm *velmi dobře*.

### **Práci**

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Hynek Němec

Praha, 30. června 2020

### Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

- V soustavě rovnic (2.1) jsou zanedbány členy typu  $[H', \rho^{(m)}]$ . Můžete diskutovat, nakolik a proč je toto přiblížení dostatečné? Jaká jsou další nejdůležitější přiblížení použita ve Vašich poruchových výpočtech? Jakým způsobem se v rovnici (2.7) objeví difúzní koeficient?
- Můžete ze svých výpočtů odhadnout, pro jaká elektrická pole je pro interakci typu  $\omega + \omega - \omega \rightarrow \omega$  dostatečný rozvoj do třetího řádu?
- Čím je určeno znaménko reálné části rezonancí ve vodivostech  $\sigma^{(3)}$ ? Můžete pomocí hladinového schématu srozumitelně kvalitativně vysvětlit, jak by se s rostoucí nábojovou hustotou vyvíjela spektra vodivostí  $\sigma^{(3)}$  (jedná se mi především o tvorbu a zánik píků a o možnou změnu jejich znaménka, vše v limitě slabého rozptylu,  $\gamma \rightarrow 0$ ).
- Reálná část vodivosti  $\sigma^{(1)}(\omega) + \sigma^{(3)}(\omega + \omega - \omega \rightarrow \omega)$  ilustrované na obrázku 8.2 popisuje, jaký proud o frekvenci  $\omega$  je generován polem na stejné frekvenci. Z obrázku je patrné, že uvedená vodivost je pro 9 kV/cm na nízkých frekvencích záporná. Je tento výsledek v souladu s předpokladem, že se jedná o neziskové prostředí? Jaká je příčina tohoto jevu?
- Můžete popsat způsob, jak by se daly zkoumané nelinearity pozorovat experimentálně? Jak intenzivní terahertzové záření je potřeba? Jak velký signál se dá očekávat (stačí nejjednodušší srovnání nelineární a lineární vodivosti)?