



Posudok školiteľa na bakalársku prácu:

Koherentní efekty v rozptylu světla na souborech několika atomů

autor práce: **Daniel Babjak**

Predložená práca sa zaoberá analýzou kolektívnej optickej emisie zo súboru atomárnych iónov zachytených v Paulovej pasci. Práca je motivovaná možnosťou zefektívnenia kolekcie fluorescencie z iónov zachytených vo voľnom priestore využitím koherentného rozptylu svetla na deterministicky kontrolovateľnej kryštalickej štruktúre iónov. Hlavné výsledky zodpovedajú teoretickej analýze kolekcie optickej emisie z lineárnych iónových reťazkov a experimentálnej demonštrácii základného predpokladu pre jej realizáciu - nerozlišiteľnej detekcií fluorescencie z iónového súboru.

Výsledky

Práca uvádza základné fyzikálne princípy fungovania lineárnej Paulovej pasce a analýzu polôh iónov v odpovedajúcom efektívnom elektrickom potenciáli. Teoretický rozbor interferenčného obrazca z iónového reťazku v ďalekom poli sľubuje navýšenie kolekčnej účinnosti vďaka mnohonásobnej interferencii až o dva rády pre reálne kolekčné optické zostavy, čo predstavuje pozitívny výsledok s ohľadom na vzájomné vzdialenosti atomárnych iónov mnohonásobne vyššie ako uvažovaná vlnová dĺžka rozptyľovaného svetla.

Experimentálna časť práce demonštruje možnosti praktického splnenia základného predpokladu pre pozorovanie takéhoto navýšenia pomocou rozptylu svetla na iónovom súbore. Nerozlišiteľnosť pozorovanej optickej emisie je posudzovaná pomocou merania a analýzy intenzitnej korelačnej funkcie na jednofotónovej úrovni. Uvedený teoretický model uvažuje fázovo nekoherentný rozptyl svetla na konečnom súbore nerozlišiteľných častíc. Pozorované zhukovanie fotónov v Hanbury Brownovom a Twissovom detekčnom usporiadaní zo súboru jednofotónových emitov-iónov zodpovedá dosiaľ nepozorovanému režimu emisie svetla z atomárnych obláčikov s malým konštantným počtom atómov.

Hodnotenie

Študent pristupoval k práci svedomito a s vysokým nasadením. Bol veľmi aktívny pri riešení oboch častí bakalárskej práce, pri numerických simuláciách priestorových emisných rozložení i pri experimentálnej realizácii pozorovania nerozlišiteľnosti svetla rozptýleného na súbore atómov.

Prezentované teoretické simulácie vyžadovali predovšetkým správnu parametrizáciu uvažovaných stupňov voľnosti a optimalizáciu numerických algoritmov pre výpočet priestorových a polarizačných usporiadaní atómov. Výsledky týchto simulácií budú využité pri realizáciách pozorovaní smerovej emisie z lineárnych iónových kryštálov.

V experimentálnej časti práce študent optimalizoval stabilitu zachytených iónových kryštálických štruktúr pri súčasnej maximalizácii detekovateľného signálu v jednomódovom optickom vlákne. Stabilitu kryštálu dosahoval pomocou nastavení elektrického potenciálu Paulovej pasce a parametrov laserového Dopplerovského chladenia. Študent realizoval prezentované detekčné usporiadanie a zaoberal sa možnosťami aproximatívnej estimácie polôh iónov v trojdimenziálnom iónovom usporiadaní.

Dosiahnuté výsledky v oboch uvedených častiach sú z pohľadu štúdia interakcie žiarenia a látky na konečnom súbore atómových emitovateľov zaujímavé a stimulujúce pre ďalší výskum a praktické využitie súvisiacich kolektívnych atómových efektov.

Spôsob prezentácie týchto výsledkov má však významné nedostatky. V práci sa vyskytuje veľké množstvo nejasných formulácií a občas i nesprávnych vysvetlení uvažovaných fyzikálnych javov a prezentovaných výsledkov. Závěry a koncepčné popisy pozorovaných efektov buď úplne chýbajú, alebo sú veľmi všeobecné a nepojednávajú dostatočne o kvalitatívnej a kvantitatívnej zhode pozorovaní s predpokladaným modelom.

Obmedzím sa na dva konkrétne príklady:

1. Tabuľka č. 4 na strane 39 zhrnujúca parametre fitovacích funkcií nameraných intenzitných korelačných funkcií zrejme obsahuje niekoľko základných nezrovnalostí, ktoré nie sú diskutované. Výrazná zmena γ_{sp} medzi jednotlivými meraniami nie je vysvetlená, rovnako i obrovská neurčitost v rozladiení laseru $\Delta\omega$ v prvom meraní. Nie je diskutovaná štatistická vierohodnosť určenia výsledného parametru N zodpovedajúceho počtu prispievajúcich častíc. Zdá sa, že neurčitosti uvedené v tabuľke zodpovedajú neurčitostiam fitu v daných parametroch. Nejde teda o samotné neurčitosti určenia daných parametrov zodpovedajúce prezentovaným meraniam. Nie sú uvedené jednotky parametrov a to ani v popisoch zodpovedajúcich grafov. Predpokladám, že v tabuľke sú prvé tri fitované veličiny v [Hz] a uvažované s faktorom $(2\pi) \times 10^6$, čo nie je uvedené, δ_t/δ_τ nie sú definované.

2. Tabuľky zhrnujúce výsledky simulácií na strane 19 prezentujú optimalizované konfigurácie iónových kryštálov s maximálnymi relatívnymi intenzitami. Z týchto výsledkov ale nie je priamo zrejmý relatívny zisk kolektívnej účinnosti oproti jednému zachytenému iónu vo voľnom priestore. Chýba tiež zodpovedajúce základné porovnanie s alternatívnymi metódami zvyšovania kolektívnej účinnosti. V závere práce je uvedené jedno zaokrúhlené číslo relatívneho zisku (faktor 100), avšak bez uvedeného prepočtu. Nie je teda napríklad zrejmé, či i u referenčného jedného atómu bola uvažovaná smerovosť zodpovedajúca dipólovej emisii. U numerických simulácií by mohli byť podrobnejšie uvedené ich parametre a postupy, teda napríklad použité vzorkovania, alebo samotné optimalizačné algoritmy. Nie je tiež dostatočne zdôvodnené, prečo sa numericky integruje po uhol β_{min} .

Obsah jednotlivých kapitol je dostatočne zrozumiteľný, nie však obsah práce ako celku, kde často chýba vysvetlenie súvislostí medzi jednotlivými kapitolami. Zoznam referencií nazhŕňa niektoré významné vedecké články pozorujúce koherentný rozptyl na súbore iónov v Paulovej pasci.

Záver

Práca je i napriek uvedeným prezentačným nedokonalostiam hodnotná predovšetkým kvôli samotným dosiahnutým výsledkom, ktoré by nebolo možné dosiahnuť bez významnej aktivity, technickej zdatosti a pracovitosti študenta. Prácu odporúčam k obhajobe a navrhujem udeliť známku **C (dobře)**.

V rámci obhajoby by som poprosil študenta o vysvetlenie základného konceptu motivujúceho predloženie práce na elementárnom príklade zodpovedajúcom rozptylu svetla na dvoch vzájomne neinteragujúcich atómov. Prosím o vysvetlenie princípov dosahovania smerovosti emisie pri uvažovaní koherentného Rayleighovho rozptylu a pri procese spontánnej emisie.

V Olomouci 23. 8. 2021

Mgr. Lukáš Slodička, Ph.D.