

Posudek oponenta na bakalářskou práci Ondřeje Klímka „Bezšumové zesílení světla pomocí přidávání a odebírání jednotlivých fotonů“

Předložená bakalářská práce analyzuje metody zesílení koherentních stavů světla pomocí sériové aplikace anihilací a kreací jednotlivých fotonů. V úvodu autor velmi stručně pojednává o základním zesílení slabých koherentních stavů pomocí kreace jednoho fotonu a jeho následné anihilace publikované v referenci [4]. Po tomto úvodu následuje vlastní práce zaměřená na zlepšení sekvenčních metod pomocí kombinací vícenásobné kreace a anihilace fotonů. Autor se soustřeďuje na dvě základní charakteristiky: překryv (fidelitu) s ideálně zesíleným koherentním stavem a zisk zesilovače. Hlavním cílem je pak dosáhnout bezšumného zesílení pro silnější koherentní stavy s větší amplitudou, či lepšího zesílení pro koherentního stav s malou amplitudou.

Předkládaná práce splňuje nároky na bakalářskou práci. Analýza nepochybně obsahuje řadu zajímavých pozorování, které mohou být dále rozvedeny, pokud bude student v této práci pokračovat. Jako nejzajímavější bych označil případ 2.5.6 ($a^M a^+$), který dovoluje generovat sice malý amplitudový zisk 1.1-1.2, ale velmi rovnoměrně v intervalu $\alpha=0-2$ při velmi vysoké fidelitě. Otázkou je, zda je možné zvyšovat zisk při zachování vysoké fidelity a rovnoměrnosti zisku pro různé α , jestliže opakujeme sekvenci těchto operátorů. Ocenitelná je snaha intuitivně vysvětlit chování různých kombinací operátorů a, a^+ na koherentní stavy, což je důležité vzhledem k netriviálním modulacím koeficientů v rozvoji do Fockových stavů.

Práce nicméně obsahuje poměrně velkou řadu míst, kde by mohla být zlepšena či její text být mnohem jasnější či přesnější. To významně snižuje její hodnotu. Autor by měl během obhajoby vyjasnit, a pokud to bude potřeba, také k práci připojit korektury alespoň k následujícím bodům:

1. Str.1: vyjasnit definici jednoho módu.
2. Str. 1, rovnice (2) představuje transformaci, kterou pokud dosadíme do rovnice (6), pak nedostaneme rovnici (1).
3. Str. 1 před rovnicí (2) je napsáno „Při řešení této rovnice ...“, kterou rovnicí má autor na mysli?
4. Str.2, úplně chybí definice komutačních relací $[x,p]$.
5. Str.2, objevuje se pojem „početem operátorů“, jaký je jeho význam?
6. Str.2., „Označme nyní energii vlastního stavu N jako vlastním číslem n .“ by spíše měla být „Označme nyní energii vlastního stavu operátoru N jako vlastním číslem n .“
7. Str.3., po vzorci (15), „je číselný operátor“, vysvětlete tento pojem
8. Str.3, po vzorci (19), „generují právě takové pole“, spíše „generují právě takový stav“.
9. Str.4, co je to „modulování do fáze“ ?
10. Str. 4, vzorce jako $|\alpha_1| \geq 1$ nedávají smysl.
11. Str.4, jak závisí pravděpodobnost chyby na překryvu? Jaký je překryv a pravděpodobnost chyby pro $\alpha=\pm 1$?
12. Str.5, termín „zesilovač a, a^+ “ není vhodný, pokuste se jej vyjádřit jinak.
13. Str 5, číslování vzorců přestalo.
14. $a^+ | \alpha \rangle = \dots$ není vzhledem k normalizaci stavu správně. Autor by měl striktně uvádět, zda vzorce odpovídají normovaným kvantovým stavům, nebo jsou uvedeny až na normalizaci.

15. Str.5, pojem zesílení je definován poněkud vágně, přidáním fotonu se podmíněně může zvýšit energie. Pokud to má autor toto na mysli, měl by to přesně uvést. Autor by odlišit zvýšení energie a zesílení.
16. Str.6, závěrečná věta není jednoznačná. Nevíme, kdy zesílení nastane před procesem zesílení nebo nevíme, kdy nastalo i po něm?
17. Str. 7, autor zmiňuje Fano faktor, který nedefinuje ani nepoužívá.
18. Str. 7, popis fidelity a zisku není přesný, dosazením $\alpha=g \alpha_{IN}$ do fidelity dostaneme fidelitu se stavem $|g^2 \alpha_{IN}\rangle$. Obecně je fidelita funkce vstupní amplitudy α_{IN} a zisku g , což vede k 3D grafu. Mělo by být jednoznačně uvedeno, jak byly následující 2D grafy pro fidelitu a zisk získány, tj. jakých hodnot nabývala zbývající veličina.
19. Str. 8, norma stavu není definována.
20. Str. 8, značení a, a, a^+ pro případ a^+aa je silně matoucí, navrhuji používat jednotné značení a^+aa a zmínit, že je to sekvence operátorů která působí na stav zprava. Podobně dále použité značení pomocí 0,1 na straně 16 není rozumné.
21. Str.8, číslování osy na obr.1 by mělo být změněno.
22. Str.10, „přibližně 98,19%“ vyvolává dojem , že fidelita se v tomto případě určuje na mnoho desetinných míst.
23. Str.14, Obr.10, Saturuje se hodnota zisku pro malé amplitudy na hodnotě 5?

Dále práce obsahuje drobné jazykové nepřesnosti a chyby v symbolice.

Během obhajoby by měl autor vysvětlit některé aspekty, které podle mého názoru v práci chybí:

1. Jaký je rozdíl mezi procesem anihilace a kreace částice v klasické a kvantové fyzice?
2. Lze transformaci $|\alpha\rangle \rightarrow |g\alpha\rangle, g>1$ získat deterministicky, je to unitární transformace? Pokud není, jak se můžeme k ní přiblížit.
3. Jaký je rozdíl mezi laserovým zesilovačem využívajícím stimulovanou emisi a bezšumovým zesilovačem?
4. Jak lze realizovat operace a, a^+ ?

V souhrnu, práce obsahuje zajímavý základ, ve kterém student nepochybně prokázal schopnost se orientovat v problematice následované samostatným řešením zadaného problému. Získal tak řadu základních znalostí, použitelných pokud bude v tématice pokračovat. Na druhou stranu, práce obsahuje řadu nejasností a nepřesností, či nekompletních popisů ať už obecných aspektů či vlastních výsledků. Toto bohužel snižuje hodnotu práce, kterou student předkládá. **Navrhuji práci k obhajobě, nicméně s hodnocením C.** Mým doporučením do budoucna je věnovat větší pozornost jasné a přesné prezentaci základů práce i vlastních výsledků.

V Olomouci dne 15.5. 2012

doc. Radim Filip, Ph.D.