

POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název: Construction and characterization of a three-photon source
Autor: Bc. Vojtěch Trávníček

Cílem předkládané diplomové práce bylo sestavit zdroj časově korelovaných třífotonových stavů světla, který využívá femtosekundový laserový systém s generátorem druhé harmonické a nelineární krystal BBO. Dále se prováděla podrobná charakterizace vybudované experimentální sestavy a optimalizovaly se všechny volné parametry tak, aby generované třífotonové stavy byly použitelné v různých protokolech pro kvantovou informatiku. Získaná experimentální data ukazující vliv nastavení různých parametrů byla navíc porovnávána se závislostmi, které vyplývají z autorem prezentované teorie.

Práce je psaná v anglickém jazyce, její délka je 47 stran včetně citací. K práci je dále připojen článek arXiv:quant-ph/1704.07590v1, u něhož je diplomant prvním i korespondujícím autorem a ze kterého byly použity některé obrázky a části textu. Práce je psaná srozumitelně a řazení kapitol je logické. Po krátkém úvodu s motivací (kap. 1) a zavedení matematického popisu fyzikálních jevů (kap. 2) je hlavní část diplomantovy práce uvedena v kap. 3, 4 a 5. Závěry celé práce jsou shrnuty na jedné stránce v 6. kapitole.

K textu diplomové práce mám celou řadu dotazů a připomínek, nicméně z celkového pohledu mohu konstatovat, že předkládaná diplomová práce představuje kvalitní vlastní experimentální výzkum autora v oblasti kvantové optiky. Práci považuji za přínosnou po věcné i po grafické stránce, naplánované cíle se diplomantovi podařilo splnit. Proto práci doporučuji k obhajobě a navrhuji hodnocení stupněm A/B podle průběhu obhajoby.

K diplomové práci mám následující připomínky a dotazy:

1. Autor používá na některých místech práce značně dlouhé věty, které zahrnují několik vzorců na samostatných řádcích. Např. v textu na str. 7 dole je věta začínající: "Using the Coulomb gauge", která dále pokračuje přes čtyři vzorce (2.5) až (2.8). Pro lepší srozumitelnost bych doporučoval tak dlouhé věty rozdělit.
2. Autor se rozhodl používat pro označení vektorových veličin šipky a správně je použil ve vzorcích (2.1) až (2.7). Od vlnové rovnice (2.8) dále ale označení vektorů chybí, což způsobuje na některých místech nepřehlednost matematického zápisu.
3. V textu pod rovnicí (2.9) chybí u odkazu na vztah (2.8) závorky.
4. Ve vztahu (2.9) se používá celočíselný index k , který indexuje jednotlivé složky rozkladu vektorového potenciálu. Následně se ale provádí první kvantování, kdy se předpokládají módy elektromagnetického pole v krychli o straně L podle vztahu (2.11). Zde se zavádí pro popis všech povolených stavů kvantové číslo: vlnový vektor $\vec{k}$. Sumy (2.13), (2.14) a (2.15) tedy musí představovat sumaci přes všechny povolené stavy vlnového vektoru $\vec{k}$, které splňují periodické okrajové podmínky. Suma ve vztahu (2.9) je tedy jiná, než suma ve vztahu (2.13). Navíc k sumaci přes $\vec{k}$ se musí ještě doplnit druhá sumace přes dva povolené stavy polarizace $\vec{\epsilon}_{\vec{k}}$.
5. Na str. 11 nad rovnicí (2.36) je pro kvantování energie použit vztah s frekvencí pole f . Tato veličina ale není v textu zavedena. Bylo by asi vhodnější použít vztah s kruhovou frekvencí ω . Navíc na str. 34 se symbol f používá pro opakovací frekvenci laseru, což je ale zcela jiná veličina.
6. Ve vztahu (2.36) má být správně $|\alpha|^{2n}$. V textu práce ale spadlo n z exponentu na řádek.

7. V obrázku 2.1 je zavedeno λ jako střední počet fotonů koherentního stavu. Mohlo by zde být uvedeno, že $\lambda = |\alpha|^2$.
8. Autor používá nelineární krystal BBO. Jeho název uvedený na straně 13 má být správně β -barium borát.
9. Na straně 13 se popisuje kolineární a nekolineární geometrie SPDC. Jakým nejjednodušším způsobem lze v laboratoři přepínat mezi kolineárním a nekolineárním režimem generace fotonových párů?
10. Na straně 17 se uvádí, že fáze ϕ dvoufotonových stavů z Kwiatova zdroje je daná stavem čerpacího svazku. Tady by mohl autor přidat podrobnější vysvětlení, kterou vlastnost čerpacího svazku je třeba modifikovat pro nastavení požadované fáze. U zápisu dvoufotonového kvantového stavu navíc chybí normalizační faktor.
11. Ve vztahu (2.38) a v textu před ním se používají šipky od pole na výstupu děliče svazku k polím na vstupech tohoto děliče. Toto označení je mírně matoucí. Asi by úplně stačilo použít místo šipek jen rovnítko.
12. Na straně 24 ve třetí kapitole je uveden odkaz na obrázek 4.1. Na tomto místě měl být patrně odkaz na obrázek 3.1.
13. Autor tvrdí, že dosazením, $R = 1$, do (3.14) na straně 24 vyjde vztah (3.15). Mně ale vychází poloviční hodnota, $\text{SNR} = \sqrt{2}/|\kappa|$. Stejný faktor jedné poloviny potom vychází i pro vztah (3.16).
14. Na str. 29 je popis obrázku 4.2, který ukazuje závislost SNR na parametru vyvážení R . Je zde uvedeno, že teoretické křivky byly napočítány ze vztahu (3.8) se započítáním tří, čtyř a pěti členů rozvoje. Ve vztahu (3.8) je ale uveden rozvoj pouze do čtyř členů. V obrázku 4.2 jsou navíc jednotlivé křivky podle délky rozvoje označeny čísly 2, 3 a 4. To je dosti nejasné. Navíc parametr R je na straně 30 zapsán třemi různými způsoby, kde pouze jeden je správně.
15. Na straně 34 se počítá fidelita teleportace z hodnot měřených koincidenčí podle vztahu (4.3). Není ale jasné, proč se pravděpodobnosti ve vztazích (4.4) počítají jako poměr koincidenčí ku $4f$, kde f značí opakovací frekvenci laseru.
16. Finální obrázek kapitoly 4 (Fig. 4.5) ukazuje závislost fidelity na SNR. Obrázek je popsán v textu na str. 35. S větou: "We observe that the average fidelity drops only slightly with decreasing SNR." nemohu souhlasit. Obrázek přece ukazuje jasný pokles jak teoretické modré křivky, tak měřených experimentálních hodnot.
17. V kapitole 5 je velmi pěkná ukázka měření HOM dipů ve třífotonových koincidencích. S vylepšováním nastavení se postupně zlepšuje vizibilita dipu až na 74%. Při zlepšování vizibility se ale současně zužuje šířka dipu. Lze toto zužování nějak jednoduše vysvětlit?

Při obhajobě očekávám přiměřenou reakci diplomanta na dotazy s číslem 9, 10, 13, 15 a 17.

V Olomouci, dne: 30. května 2017

doc. Jan Soubusta, Ph.D.
Společná laboratoř optiky UP & FZÚ AVČR
17. listopadu 50a
77907 Olomouc