



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Beyond photon pairs

Yorulmaz, S.Ç.

Citation

Yorulmaz, S. Ç. (2014, June 10). *Beyond photon pairs*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/25981>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/25981>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/25981> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Yorulmaz, Saim Çiğdem

Title: Beyond photon pairs

Issue Date: 2014-06-10

Samenvatting

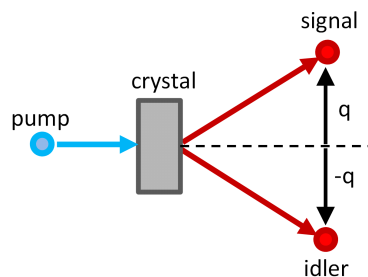
In de klassieke optica wordt licht beschreven als een golfverschijnsel, en het beroemde dubbelspleet-experiment van Young wordt vaak gezien als een mijlpaal in het aantonen van het golfkarakter van licht. Een volledig quantummechanische beschrijving van licht moet zowel dit golfkarakter omvatten alsook de notie van gequantiseerde lichtdeeltjes. Het vakgebied quantumoptica omvat onder andere het onderzoek naar de kansverdeling van de aantallen fotonen (de aantalverdeling) en correlaties tussen fotonen. Deze twee concepten zijn belangrijk voor het onderzoek naar gestimuleerde emissie van fotonparen dat beschreven wordt in dit proefschrift.

Meer in het bijzonder onderzoeken we de aantalverdeling en correlaties van fotonen die gecreëerd worden door het niet-lineaire proces van parametrische down-conversie opstelling. Bij lage intensiteit van de pomplaser produceert dit proces individuele paren via een spontaan proces. Als de pompintensiteit verhoogd wordt neemt de kans op emissie van meer dan één paar tegelijk toe. Het gestimuleerde proces wordt daarmee belangrijker, wat de aantalverdeling van fotonen beïnvloedt. In onderzoek naar gestimuleerde down-conversie zijn zowel het aantal toestanden (modes) dat beschikbaar is voor de fotonen als het aantal toestanden dat beschikbaar is in de detectie belangrijk. Het aantal beschikbare modes in het down-conversieproces kan worden gecontroleerd door de grootte van de pumpbundel te variëren, en kan geminimaliseerd worden door een nauwkeurige keuze van de lengte van het kristal en de afmeting van de pomp. Het aantal toestanden in het detectieproces kan worden beperkt door kleine diafragma's te plaatsen voor de detectoren waarmee de paren worden gedetecteerd. De prijs die hiervoor wordt bepaald is een sterke vermindering in de telsnelheid. De experimenten in dit proefschrift, die gericht zijn op het waarnemen van gestimuleerde down-conversie, zijn daarom zorgvuldig ontworpen om het aantal toestan-

den in het conversie en detectie proces precies klein genoeg te maken zodat het effect kan worden waargenomen zonder daarbij de telsnelheid onnodig laag te maken.

Spontane en gestimuleerde down-conversie

Spontane parametrische down-conversie (spontaneous parametric down-conversion (SPDC)), vindt plaats in een niet-lineair kristal. De wisselwerking van intens licht met een dergelijk kristal kan ervoor zorgen dat één van de pompfotonen uiteenvalt in twee sterk gecorreleerde tweelingfotonen. Deze fotonen worden gecreëerd in optische toestanden die kunnen worden aangeduid door gebruik te maken van de loodrechte impuls-component $\vec{q}$ en $-\vec{q}$, zoals aangegeven in figuur 1. De fysische eigenschappen van deze fotonen zijn gecorreleerd via zowel behoud van energie als impuls. Dit laatste wordt bewerkstelligd door de conditie dat alle bijdragen uit het niet-lineaire proces in fase zijn zodat er constructieve interferentie optreedt (phase-matching).



Figuur 1: Schematische weergave van het SPDC-proces, waarbij een blauw pomp-foton wordt opgesplitst door het niet-lineaire kristal in paren van fotonen. $\vec{q}$ en $-\vec{q}$ geven de transversale component van de impuls aan voor beide fotonen. De tekening is niet op schaal; in het werkelijke experiment is de openingshoek slechts enkele graden.

Als het niet-lineaire proces aangedreven wordt door een continue laser worden alle fotonparen spontaan gegenereerd en zijn zij allemaal onderling onafhankelijk. Deze onafhankelijkheid ontstaat omdat de coherentietijd van de down-conversiefotonen ($\ll 1$ ps) veel kleiner is dan de coherentietijd van de laser ($\gtrsim 0.1$ μ s). Om correlaties tussen de paren te bereiken - dat wil zeggen: om hun onafhankelijkheid op te heffen - moeten deze twee tijden vergelijkbaar gemaakt worden. Dit is relatief eenvoudig te bereiken door een ge-

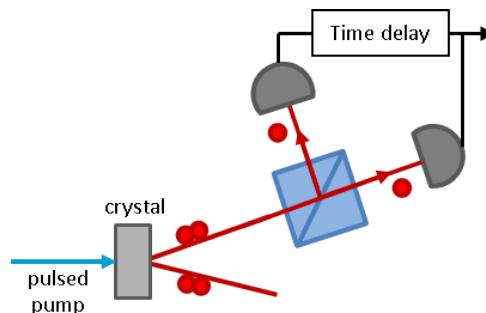
pulste laser als bron te gebruiken, met een coherentietijd van ongeveer 1 ps. Bovendien is het piekvermogen van zo'n laser typisch ordes van grootte hoger dan dat van een continue laser. Hierdoor wordt de kans op gestimuleerde emissie sterk verhoogd. In hoofdstuk 2 wordt een gepulste parameterische down-conversieopstelling gebaseerd op een periodiek gepoold KTP-kristal gekarakteriseerd.

De bijdrage van gestimuleerde emissie

Om de gestimuleerde emissie waar te nemen is een zorgvuldig ontwerp van het experiment nodig om ervoor te zorgen dat het totaal aantal beschikbare toestanden beperkt is. Twee aspecten spelen hierbij een rol: enerzijds is er het aantal toestanden waarin de paren door de bron uitgezonden kunnen worden, anderzijds is er het aantal toestanden dat bij het detectieproces betrokken is. De eerste kwestie wordt opgelost door de juiste keuze van bundeldiameter en kristallengte, waardoor het aantal ruimtelijke toestanden in het emissie proces beperkt wordt tussen de ~ 1 en 10.

Om de rol van het aantal toestanden in de detectie te begrijpen is het cruciaal dat we ons realiseren dat wij slechts twee één fotondetectoren gebruiken om de gestimuleerde paren te detecteren. In een niet-colineaire down-conversie geometrie worden deze detectoren gebruikt om twee fotonen te detecteren die in dezelfde richting uitgezonden worden. De twee bijbehorende fotonen die de andere kant op gaan worden niet gedetecteerd. Omdat de detectoren geen onderscheid kunnen maken tussen enkele en dubbele fotonen plaatsen we een bundelsplitser in het optisch pad. Als beide detectoren tegelijk afgaan dan wordt deze gebeurtenis geregistreerd en spreken we van een coincidentie. Door deze gelijktijdige gebeurtenissen waar te nemen kunnen we afleiden dat de beide fotonen hetzij in dezelfde toestand zaten, en daarom bij een gestimuleerd paar behoren, hetzij in een verschillende toestand zaten, en daarom bij twee onafhankelijk geproduceerde spontane paren behoren. Dit laatste proces is voor dit onderzoek weinig relevant en de bijdrage ervan aan de totale telsnelheden moet bij voorkeur laag gehouden worden. Dit kan bereikt worden door een diafragma voor de detectoren te plaatsen, waarmee een bepaalde ruimtelijke toestand voorgetrokken kan worden. Hierdoor wordt zowel de absolute telsnelheid als de fractie van detectiegebeurtenissen die behoren bij onafhankelijke paren verlaagd. **Hoofdstuk 3** introduceert

deze toestandsselectie door ruimtelijke en spectrale filtering alsook een experimentele techniek om gestimuleerde en spontane emissie van paren in het experiment van elkaar te onderscheiden. De detectoren meten een bijdrage die veroorzaakt wordt door fotonen in dezelfde toestand. Door de gemeten telsnelheid van fotonen in verschillende toestanden hiervanaf te trekken kan de totale bijdrage van vierfotonprocessen vastgesteld worden.



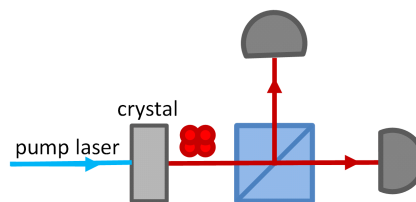
Figuur 2: Schematische weergave van coincidentie metingen van fotonen in een niet-colineair down-conversieproces, waarbij twee fotonparen in dezelfde puls gegenereerd worden. Een instelbare tijdsvertraging stelt ons in staat om gebeurtenissen in dezelfde puls te vergelijken met gebeurtenissen tussen twee opeenvolgende pulsen.

Figuur 2 geeft het down-conversieproces weer dat vierfotontoestanden genereert. Het laat zien hoe de coincidentie metingen gedaan worden door middel van een bundelsplitser en twee detectoren. In een van beide detectoren wordt een tijdsvertraging aangebracht om de telsnelheid van coincidenties voor gestimuleerde fotonparen in dezelfde laserpuls te vergelijken met de telsnelheid van coincidenties voor onafhankelijke paren in afzonderlijke pulsen. Deze techniek wordt in het hele proefschrift gebruikt om gestimuleerde vierfotontoestanden te onderscheiden van spontaan gegenereerde dubbele paren.

Zichbaarheid van de vierfotonbijdrage

De verhouding tussen de bijdrage door gestimuleerde en spontane gebeurtenissen definieert de zichbaarheid van de vierfotonbijdrage en is een directe meting van het aantal optische toestanden dat meedoet in het downconversieproces. **Hoofdstuk 4** bevat de karakterisatie van deze zichtbaarheidsparemeter in experimenten waarbij verschillende focuscondities, kristallengtes

en ruimtelijk-temporele filters gebruikt worden. Een universele uitdrukking voor de zichtbaarheid van de vierfotontoestand wordt geïntroduceerd. Deze uitdrukking kwantificeert de invloed van de afmeting van de pompbundel die gebruikt wordt om het SPDC-licht te maken, ten opzichte van de grootte van het diafragma dat gebruikt wordt om de fotonen te detecteren.



Figuur 3: Schematische weergave van het colineaire down-conversieproces. Ononderscheidbare fotonen worden gecreëerd in dezelfde optische toestand.

Hoofdstuk 5 richt zich op een colinear parametrisch down-conversieproces, dat geïllustreerd wordt in figuur 3. In een colineaire geometrie worden alle fotonen in dezelfde optische toestand uitgezonden, waardoor de eigenschappen van het gestimuleerde proces veranderen. In dit geval worden alle fotonen ononderscheidbaar en wordt er een speciale quantumtoestand gecreëerd. De metingen in dit hoofdstuk vormen een eerste experimentele studie die laat zien dat er in de colineaire richting onverwachte, extra, coincidenties worden waargenomen. Deze piek ontstaat door gestimuleerde emissie van vier fotonen, maar wordt niet voorspeld door de standaard theorie van gedrongen toestanden (squeezed states). Op basis van berekening sluiten we uit dat asymetrie in de bundelsplitser en detectoren een dergelijk groot effect kan verklaren. Het effect kan wel verklaard worden als we aannemen dat de transmissie van fotonen door een diafragma vergroot wordt naarmate er grotere aantallen fotonen in dezelfde toestand zitten.

