

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/67538> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Snijders, H.J.

**Title:** Quantum dot microcavity control of photon statistics

**Issue Date:** 2018-12-20

# Samenvatting

In dit proefschrift bestuderen we, op fundamenteel niveau, de interactie van licht met materie door gebruik te maken van een optische trilhaolte met daarin een halfgeleider kwantumdot. Specifiek vestigen we in dit proefschrift onze aandacht op hoe we de statistiek van het licht kunnen veranderen en geven we een beschrijving van de vormen van licht die vervolgens ontstaan.

Het preparaat waarmee wij werken bestaat uit een chip met daarop alternerende laagjes van materiaal met een verschillende brekingsindex waardoor het geheel fungeert als een spiegel. Boven op de spiegel bevindt zich een (gallium arsenide) laag met in het midden een (indium arsenide) kwantumdot die functioneert als een kunstmatig atoom. Een kwantumdot is een eilandje, met nanometerschaal afmetingen, dat net als een gewoon atoom individuele fotonen kan uitzenden. Als laatste stap wordt er een tweede spiegel bovenop de kwantumdotstructuur aangebracht. Hierdoor ontstaat een optische trilhaolte met de kwantumdot in het midden. Deze optische trilhaolte is nodig om de interactie van licht met de kwantumdot maximaal te versterken. Door de hoge kwaliteit van de spiegels gaat het licht ongeveer tienduizend keer heen en weer, voordat het de trilhaolte verlaat. Hierdoor wordt de kans dat het licht interactie met de kwantumdot heeft, bijna tienduizend keer groter ten opzichte van een kwantumdot die niet in een trilhaolte zit.

In hoofdstukken 2 en 3 introduceren we de verschillende modellen die een beschrijving geven van het samenspel tussen licht en een kwantumdot in een trilhaolte. Deze fysische modellen zijn opgedeeld in klassieke modellen en kwantummodellen. In de theorie laten we zien dat een kwantummodel noodzakelijk is om effecten als kwantumcorrelaties en bepaalde vormen van defasering mee te nemen. De basis voor deze modellen is een vergelijking die de “quantum master equation” wordt genoemd. Hier wordt door middel van operatoren de interactie tussen licht en de kwantumdot beschreven.

Een fysische beschrijving van licht, die helpt om de statistiek van het licht te verklaren, is dat licht bestaat uit “energiedeeltjes”, zogenoemde fotonen. Deze fotonen komen in verschillende toestanden voor, waarbij elke toestand een bepaald aantal fotonen bevat. Ter verduidelijking, de eerste 3 toestanden zijn: de één-fotontoestand bestaande uit een individueel foton, een twee-fotontoestand waar twee fotonen bij elkaar zitten en de drie-fotontoestand. Met behulp van een waarschijnlijkheidsverdeling geven we aan wat de kans is om een bepaalde fotontoestand van het licht te detecteren. Voor laserlicht is de waarschijnlijkheidsverdeling een Poissonverdeling. Het is deze waarschijnlijkheidsverdeling die bepaalt hoe het licht zich gedraagt.

In hoofdstukken 4, 5 en 6 rapporteren we over verscheidene experimenten die de fotonstatistiek veranderen en voeren we simulaties uit om de waargenomen statistiek te verklaren en te begrijpen. We vertellen in hoofdstuk 4 hoe je de één-foton toestand

uit het licht kan filteren, waardoor er een lichttoestand ontstaat die de fotonen effectief doet samenklonteren, waarbij zogenaamd ‘‘bunched-light’’ ontstaat. In hoofdstuk 5 tonen we door middel van een alternatieve methode aan hoe men een lichtbron kan maken die alleen één-fotontoestanden uitstraalt. Deze methode wordt ‘unconventional photon blockade’ genoemd, waarbij door interferentie de twee-fotontoestanden weg worden gefilterd. In hoofdstuk 6 bespreken we het samendrukken van bepaalde licht toestanden. Dit is te beschouwen als het samendrukken van de waarschijnlijkheidsverdeling, waardoor de standaarddeviatie kleiner wordt. Ook de andere vormen van ‘‘squeezing’’ of samendrukken van licht worden hier besproken. In hoofdstuk 7 laten we zien hoe je fibers aan ons preparaat koppelt, zodat de lichtbron van individuele fotonen als een ‘‘plug and play’’ apparaat te gebruiken is. Tevens karakteriseren we hier ons preparaat door te laten zien dat de één-fotontoestanden zuiver en niet van elkaar te onderscheiden zijn.

Het gecontroleerde gebruik van enkel en meer fotontoestanden komt steeds dichterbij en biedt allerlei mogelijkheden voor nieuwe toepassingen in spectroscopie, kwantumnetwerken of andere apparaten die werken op basis van fotonen, in plaats van elektronen. Hoe haalbaar en succesvol al deze toepassingen zijn, zal de toekomst moeten uitwijzen. Het voornaamste doel van dit proefschrift is om inzicht te krijgen in de fysische eigenschappen van het licht en deze proberen te relateren aan, en beschrijven met, klassieke, semi-klassieke en kwantummodellen.