

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/58471> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Buters, F.M.

Title: Where photons meet phonons

Issue Date: 2017-12-21

Samenvatting

In dit proefschrift is gekeken hoe stralingsdruk gebruikt kan worden om de beweging van een trampoline-resonator, een spiegeltje (80 micrometer diameter) vastgehaakt aan vier dunne siliciumnitride armpjes, te reduceren. Dit optisch koelen is interessant omdat een combinatie van optische en cryogene koeltechnieken het mogelijk maakt deze resonator af te koelen naar de kwantummechanische grondtoestand. Dit is een vereiste voor vervolgentoelagen waarin de precieze grens van de kwantummechanica en de wisselwerking met zwaartekracht kan worden onderzocht. Hoofdstuk 1 geeft een korte introductie van deze experimenten.

Omdat de stralingsdruk zelf erg zwak is, is de bewegende spiegel onderdeel van een optische trillingsholte. Hierdoor botst het licht duizenden malen tegen de spiegel. Het effect van de stralingsdruk kan beïnvloed worden door de frequentie van het licht aan te passen ten opzichte van de resonantiefrequentie van de optische trillingsholte. Afhankelijk van deze frequentie is de stralingsdruk voornamelijk een optische veer of een optische demper. Met een optisch dempende kracht is het mogelijk om de mechanische beweging te reduceren en daardoor de resonator af te koelen. Naast theorie geeft hoofdstuk 2 ook een kort overzicht van de optische opstelling en de trampoline-resonator zelf.

Behalve optisch koelen is het ook mogelijk om de mechanische beweging optisch te versterken. In hoofdstuk 3 is de dynamica onderzocht van dit optisch aandrijven. Het effect van de stralingsdruk kan weergegeven worden in een attractordiagram. Bij een vaste laserfrequentie is de optische kracht aandrijvend, dan wel dempend afhankelijk van de precieze amplitude van de trampoline-resonator. De overgang tussen beide gebieden leidt tot instabiele en stabiele punten (attractors). Dit attractordiagram is verkend door de laserfrequentie te variëren en het licht dat terug komt van de trillingsholte te bestuderen en te vergelijken met simulaties. Hierbij is het mogelijk om specifieke contouren te bewandelen in het attractordiagram.

Waar hoofdstuk 3 laat zien dat een enkele laser de resonator optisch kan aandrijven, wordt in hoofdstuk 4 een manier met twee lasers gedemonstreerd. Eén laser

("probe") is resonant met de optische trilholtte. De frequentie van de tweede laser (pomp) is precies de mechanische frequentie lager dan de eerste laser. De stralingsdruk in de trilholtte varieert hierdoor met het frequentieverschil tussen beide lasers en drijft de resonator aan. De beweging van de resonator moduleert het licht in de trilholtte, wat leidt tot destructieve interferentie tussen het gemoduleerde licht en de "probe"-laser. De mate van destructieve interferentie zegt iets over de sterkte van de optomechanische interactie. De in hoofdstuk 4 beschreven methode is een handige manier om de gehele optomechanische interactie te karakteriseren.

Een andere manier om de optomechanische interactie te meten is door optisch te koelen. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe, door de laserfrequentie een mechanische frequentie lager te zetten dan de optische resonantie frequentie, zijbandkoeling kan worden gedaan. Naast een laser om te koelen wordt gebruik gemaakt van een tweede laser voor de uitlezing van de beweging. Deze tweede laser is resonant met de optische trilholtte. Zowel de lengte van de trilholtte als de frequenties van de lasers variëren met de tijd. Om deze variaties tegen te gaan, wordt gebruik gemaakt van verschillende regelsystemen. De laser die gebruikt wordt voor de uitlezing wordt continu resonant gehouden met de trilholtte via een regelaar. De tweede laser wordt, via een andere regelaar, op variabele afstand gezet van de eerste laser. Door de frequentie van de tweede laser te variëren, is het effect van de laserfrequentie op de mechanische beweging onderzocht.

Naast intensiteit en frequentie kan ook de polarisatie van het licht aangepast worden. Dit kan interessant zijn wanneer de optische trilholtte zich anders gedraagt voor de ene polarisatie dan voor de andere. De spiegel op de trampoline-resonator is niet vlak maar een beetje bol door de stress in het materiaal van de spiegel. Samen met de vier siliciumnitride armpjes zorgt dit ervoor dat de bolle spiegel twee kromtestralen heeft die loodrecht op elkaar staan. Hierdoor heeft de optische trilholtte voor horizontaal en verticaal gepolariseerd licht een andere frequentie. In hoofdstuk 6 wordt beschreven en gedemonstreerd hoe deze opsplitsing gebruikt kan worden voor optomechanische experimenten.

Tijdens de metingen van hoofdstuk 5 is opgemerkt dat de analyse van de data aanzienlijk bemoeilijkt wordt door aanwezigheid van extra signalen. Dit is verder onderzocht in hoofdstuk 7. Numerieke simulatie van het volledige experiment laat zien dat laagfrequente lengteveranderingen van de optische trilholtte een groot effect kunnen hebben, maar dat deze in principe kunnen worden gecompenseerd door de laserfrequentie aan te passen. In het tweede deel van hoofdstuk 7 is onderzocht of het vastklemmen van het sample van invloed is op de mechanische eigenschappen. Door het sample in te klemmen tussen dun indiumfolie is een goed mechanisch contact mogelijk, waardoor de mechanische eigenschappen positief beïnvloed worden en de additionele signalen aanzienlijk worden onderdrukt. Hieruit is geconcludeerd dat mechanische bewegingen van het substraat de trampoline-resonator beïnvloeden. Door de trampoline-resonator te omringen met een grotere resonator (buiten-resonator) wordt de koppeling tussen het substraat en de trampoline-resonator (binnen-resonator) sterk gereduceerd.

Hoofdstuk 8 laat zien dat met deze dubbele resonator optisch koelen tot 23 mK vanaf kamertemperatuur mogelijk is. Daarnaast wordt in hoofdstuk 8 een model van de dubbele resonator besproken om te verklaren waarom voor sommige laser-

frequenties de beweging van de resonator niet stabiel is. Dit heeft geleid tot de implementatie van een elektrische methode om de buiten-resonator te stabiliseren, beschreven in hoofdstuk 9. Via een elektrode, vlak achter de dubbele resonator, is het mogelijk om een elektrische veldgradiënt aan te brengen waarmee electrostatisch een kracht op de buiten-resonator kan worden uitgeoefend. Hierdoor is zogenaamde actieve "feedback"-koeling mogelijk, alsmede het stabiliseren van de lengte van de trilholtte.

In hoofdstuk 10 worden alle technieken van voorgaande hoofdstukken gecombineerd in een experiment bij lage temperaturen. De opstelling is vastgemaakt aan een trillingsisolatie-platform beschreven in het eerste deel van hoofdstuk 10. Dit geheel is geplaatst in een cryostaat. De mechanische beweging van de trampoline-resonator is uiteindelijk, via optisch koelen, afgekoeld tot 3 mK beginnende vanaf 6 Kelvin. De limiterende factor voor de eind-temperatuur blijkt de optische absorptie van het licht door de spiegel en de slechte warmtegeleiding door de siliciumnitride armpjes te zijn.

Het laatste hoofdstuk blikst vooruit naar een volgend experiment. Twee losse resonatoren kunnen optisch aan elkaar gekoppeld worden wanneer ze beide interactie hebben met de trilholtte. Hierdoor is het mogelijk om energie van de ene resonator door te geven aan de andere en weer terug. Dit is vooral interessant wanneer beide resonatoren zich in, of vlakbij, de kwantummechanische grondtoestand bevinden. De twee resonatoren kunnen dan zo aan elkaar gekoppeld worden dat er kwantumverstrengeling ontstaat. Een variant op dit experiment maakt gebruik van twee verschillende mechanische modes van één resonator. Dit heeft als voordeel dat een nieuw type resonator, een siliciumnitride membraan gebruikt kan worden. Niet alleen hebben zulke membranen uitstekende mechanische eigenschappen, door deze op een knoop midden in de trilholtte te plaatsen kan de optische absorptie geminimaliseerd worden. Hiermee kan het probleem beschreven in hoofdstuk 10 worden opgelost.

