Universiteit
Leiden
The Netherlands

Probing quantum puddles: nonlinear dynamics in superfluid film optomechanics

Raabe, L.D.

Citation
Raabe, L. D. (2026, September 8). *Probing quantum puddles: nonlinear dynamics in superfluid film optomechanics*. Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/4309261

Version:	Publisher's Version
License:	Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden
Downloaded from:	https://hdl.handle.net/1887/4309261

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

Samenvatting

Helium is een fascinerend element met unieke eigenschappen. In het dagelijks leven komen we het vooral tegen als gas om ballonnen te vullen of om grappige stemmetjes op te zetten. Heliumgas speelt echter ook een essentiële rol bij de productie van computerchips. Voor natuurkundigen doen zich enkele van de meest bijzondere verschijnselen voor wanneer heliumgas wordt afgekoeld tot extreem lage temperaturen. Helium wordt pas vloeibaar als laatste element, namelijk bij ongeveer -269 °C, oftewel slechts 4 °C boven het absolute nulpunt, de temperatuur waarbij er geen microscopische beweging meer plaatsvindt. In plaats van ijs te vormen of vast te worden wanneer het verder wordt afgekoeld, gaat helium over in een nieuwe vloeibare fase, supervloeibaar helium genoemd. In deze toestand stroomt het helium zonder viscositeit en richting warmtebronnen toe. Helium wordt nooit vast omdat de balans tussen de microscopische krachten die atomen aantrekken en afstoten net iets anders is dan bij andere elementen.

Natuurkundigen maken gebruik van de eigenschappen van helium om experimenten af te koelen tot extreem lage temperaturen, slechts een fractie van een graad boven het absolute nulpunt. Als we onze controle over supervloeibaar helium verder verbeteren, kunnen we het gebruiken om neutronensterren en zelfs bepaalde aspecten van de ontwikkeling van het vroege heelal te simuleren en beter te begrijpen.

Een van de meest nauwkeurige hulpmiddelen waarover natuurkundigen beschikken, is laserlicht. Individuele lichtdeeltjes, fotonen, dragen een zeer kleine hoeveelheid energie. Wanneer zij op een oppervlak worden teruggekaatst, kunnen zij energie aan een materiaal afgeven of eraan onttrekken. Vaak gaan fotonen echter door een materiaal heen zonder ermee te wisselwerken. Om de kans op interactie te vergroten, sluiten natuurkundigen de fotonen op tussen twee spiegels, een zogenoemde optische

holte (optical cavity), en plaatsen zij het materiaal dat onderzocht wordt tussen deze spiegels. Hierdoor kaatsen de fotonen herhaaldelijk heen en weer tussen de spiegels en neemt de kans toe dat zij met het materiaal interageren. Het onderzochte materiaal wordt vaak gevormd als een trampoline of een trommelvlies, zodat de beweging bestaat uit één of meerdere periodieke trillingen, de zogenaamde mechanische modi. Deze periodieke beweging wordt vervolgens overgedragen aan de fotonen in de optische holte. De studie van een dergelijk experimenteel systeem wordt cavity optomechanics genoemd. Net zoals fotonen kunnen worden opgesloten tussen twee spiegels, kunnen zij ook worden opgesloten in een ring door ze herhaaldelijk langs de buitenrand van die ring te laten weerkaatsen. In plaats van veel afzonderlijke spiegels kan de ring uit één materiaal worden vervaardigd, waarbij gebruik wordt gemaakt van het principe van totale interne reflectie. Zo ontstaat een optische ringresonator.

In dit proefschrift hebben we een optische ringresonator afgekoeld tot een fractie van een graad boven het absolute nulpunt en daarop een zeer dunne film van supervloeibaar helium gecondenseerd. Met deze opstelling kunnen we de dikte van de supervloeibare film meten met een nauwkeurigheid van een atoomdikte. Net als een trampoline of een trommelvlies, kan de supervloeibare film trillen en verschillende mechanische modi ondersteunen. Met behulp van slechts een klein deel van het vermogen dat een gloeilamp produceert, hebben we onderzocht wat er gebeurt wanneer de beweging van het supervloeibare helium tot grote amplitudes wordt aangedreven. We hebben een plotselinge sprong in de amplitude van een mechanische modus van het supervloeibare helium waargenomen, de zogenoemde mechanische laserwerking (mechanical lasing), en onderzocht hoe de temperatuur en de dikte van de film deze laserwerking beïnvloeden. Ten slotte hebben we de beweging van meerdere mechanische modi in de supervloeibare film zodanig gestuurd dat zij gezamenlijk gescheiden pulsen vormen. Dit wordt mode-locked lasing genoemd en is alleen mogelijk dankzij de directe interactie tussen de mechanische modi.

Met dit onderzoek hebben we een veelbelovende manier gepresenteerd om de beweging van supervloeibaar helium met behulp van licht te beheersen en hebben we aangetoond dat deze aanpak reproduceerbaar is. Hierdoor wordt het mogelijk om een grote verscheidenheid aan vormen en afmetingen van optische resonatoren en hun interactie met supervloeibaar helium te onderzoeken. Zo werken we bijvoorbeeld aan betere methoden om de beweging van supervloeibaar helium te beperken tot een specifiek gebied.