

Quantumfotonen bij kamertemperatuur

Bose-Einsteincondensaten zijn een puur quantummechanische toestand van materie. Het is om die reden zeer aantrekkelijk om deze systemen te bestuderen als je door middel van experimenten meer wilt leren over quantummechanica. De voorbeelden van Bose-Einsteincondensaten die we in het vorige artikel in deze serie zagen, zoals helium, bestaan pas bij een miljoenste graad boven het absolute nulpunt van temperatuur of minder. Deze eigenschap maakt deze systemen zeer kwetsbaar en moeilijk realiseerbaar. In dit artikel bespreken we de vraag “Kunnen we op kamertemperatuur condenseren?” Het antwoord luidt: “Ja, met behulp van fotonen”.



Afbeelding 1. Licht. Kunnen we lichtdeeltjes laten condenseren? Afbeelding: Zouavman Le Zouave.

Fotonen condenseren niet

In het artikel “[Quantummechanica zien met het blote oog](#)” hebben we Bose-Einsteincondensaten van bosonische atomen besproken. De temperatuur waarop een Bose-Einsteincondensaat kan bestaan, wordt hoger naarmate de massa van de individuele bosonen lager is. Met deeltjes die een voldoende lage massa hebben kunnen we zodoende proberen op kamertemperatuur een Bose-Einsteincondensaat te creëren. Nu is het zo dat fotonen, lichtdeeltjes, *massaloze* bosonen zijn. Je verwacht dan dus een heel hoge condensatietemperatuur. Maar helaas, fotonen kunnen niet condenseren. Toch kunnen we fotonen gebruiken om bij kamertemperatuur een Bose-Einsteincondensaat te creëren!

Het aantal fotonen is niet behouden

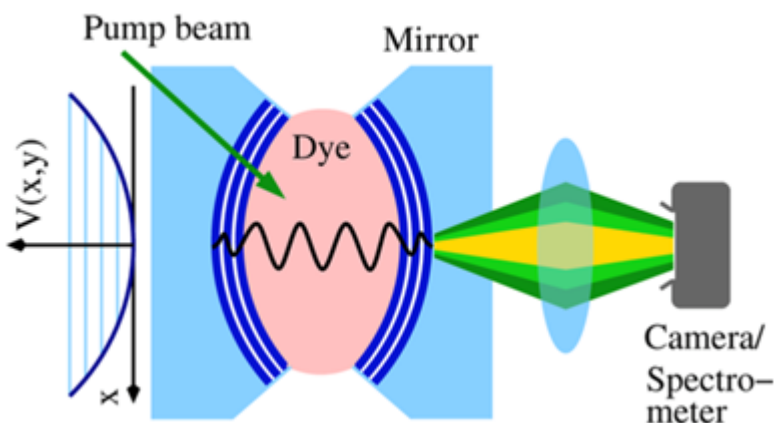
Waarom kan een fotoncondensaat niet bestaan? Dat heeft ermee te maken dat je het aantal fotonen niet constant kunt houden. Als je een doos neemt en die volstopt met fotonen, dan zullen deze fotonen atomen in de rand van de doos aanslaan. Dit aanslaan houdt in dat de energie van het foton gebruikt wordt om een elektron van een kortere baan, om het atoom, in een langere baan te brengen. Deze aangeslagen atomen zullen na verloop van tijd weer vervallen, het elektron zal van de langere baan weer terugkeren naar de kortere baan en deze energie komt dan vrij in de vorm van fotonen – maar niet per se de oorspronkelijke hoeveelheid fotonen. De totale hoeveelheid *energie* van de fotonen in de doos blijft wel gelijk, maar het *aantal* fotonen niet.

Met andere woorden: er is geen manier om controle te hebben over het aantal fotonen in een systeem. Nu blijkt dat deze eigenschap roet in het eten gooit als je fotonen probeert te condenseren: het aantal fotonen blijkt af te nemen naarmate je de temperatuur laat afnemen. Aangezien de condensatietemperatuur evenredig is met het aantal deeltjes in het condensaat, zul je zo nooit de condensatietemperatuur bereiken. Een fotoncondensaat proberen te krijgen is dus een tantaluskwelling. Hoe hard je ook probeert je doel te bereiken,

dat doel zal je altijd net iets te slim af zijn.

Quasideeltjes met massa

We bekijken nu het volgende experiment. Met een laser pomp je fotonen in een speciale holte met een vloeistof. De holte fungeert als een val voor de deeltjes, waaruit ze (bijna) niet kunnen ontsnappen. De vloeistoftemperatuur kan van buitenaf worden aangepast. In de vloeistof zit een bepaalde kleurstof opgelost waarmee fotonen wisselwerken. Door deze wisselwerking ontstaan in de holte bosonische aangeslagen toestanden met een kleine massa. Deze bosonische aangeslagen toestanden heten *quasideeltjes* en zijn in zekere zin fotonen met massa. De massa van deze quasideeltjes hangt af van de sterkte van de interacties van de fotonen met de kleurstof.



Afbeelding 2. Een val voor fotonen. De kleurstofoplossing (dye) zit in een val die zo goed mogelijk omsloten is met spiegels. De staande golf die is afgebeeld in deze holte stelt aangeslagen toestanden voor. Afbeelding: J. Klaers, J. Schmitt, F. Verwinger, en M. Weitz.

De quasideeltjes kunnen nu een Bose-Einsteincondensaat vormen. Hoewel er deeltjes langzaam uit de holte kunnen lekken, wordt het aantal deeltjes in het condensaat constant gehouden door een continue aanvoer van fotonen door middel van de laser.

Door een specifieke wisselwerkingsterkte af te dwingen (bijvoorbeeld door een bepaalde

concentratie kleurstof te kiezen in de vloeistof) kan de effectieve massa van de quasideeltjes zo gekozen worden dat ze op kamertemperatuur condenseren. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld helium waar condensatie bij een miljoenste graad boven het absolute nulpunt optreedt. Dit condensaat van quasideeltjes wordt, een beetje misleidend, een *fotonencondensaat* genoemd. In 2010 is het voor het eerst gelukt om bij kamertemperatuur zo'n fotoncondensaat te creëren in een laboratorium.

Fotonencondensaten zijn voor de experimentele natuurkundige dus geweldige systemen. Waar we Bose-Einsteincondensaten vroeger alleen met ingewikkelde koeltechnieken voor superkoude atomaire systemen konden bestuderen, kan dat nu in een veel eenvoudiger laboratorium, gewoon bij kamertemperatuur.

Meer weten?

- Katia Moskvitch, [New State of Light Revealed With Photon-Trapping Method](#).