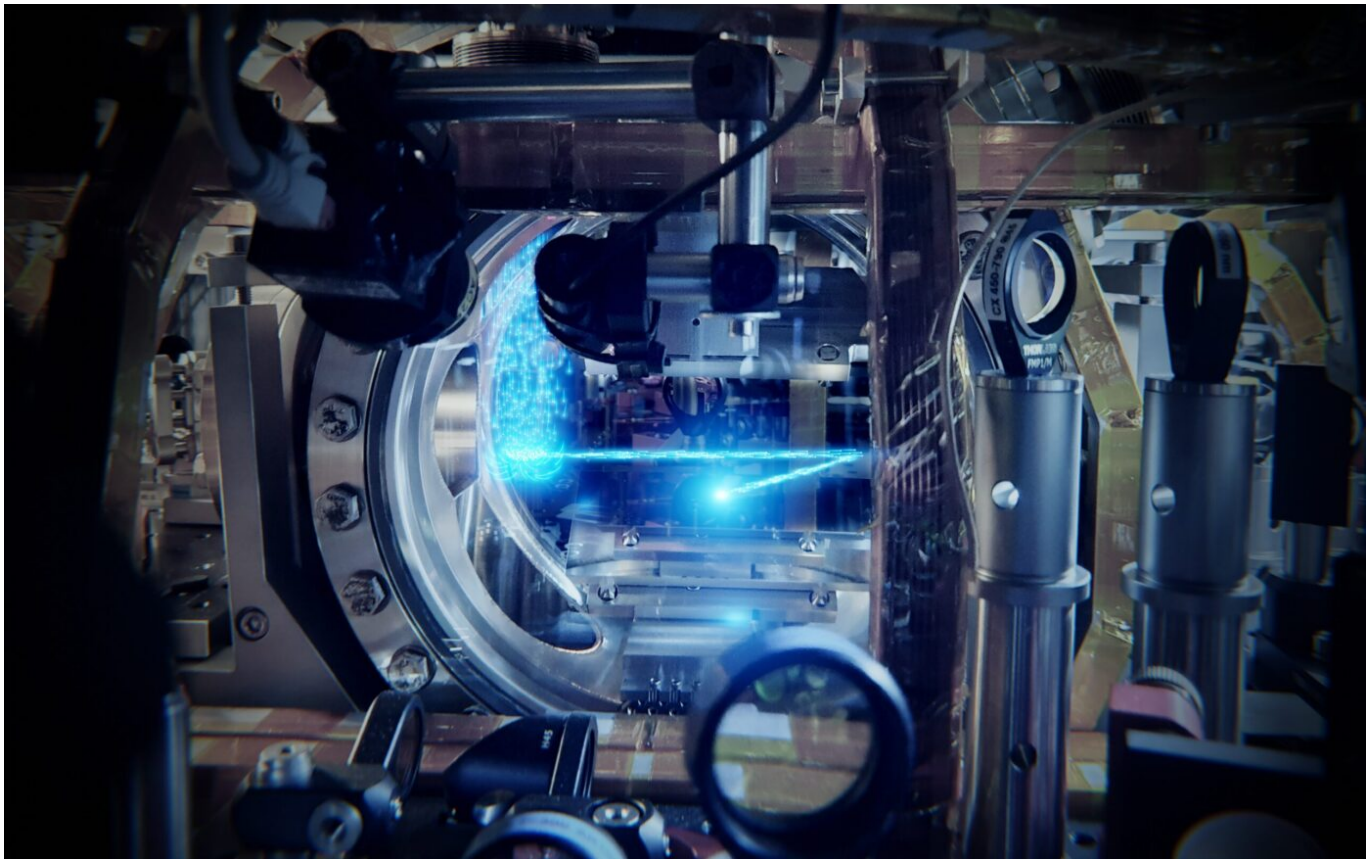
Eeuwige materiegolven

We kunnen ons het dagelijks leven nauwelijks zonder lasers voorstellen. We gebruiken lasers in printers, CD-spelers, laserpointers, meetapparatuur, enzovoort. Wat lasers zo speciaal maakt, is dat ze coherente lichtgolven gebruiken: al het licht in een laser golft volledig synchroon. Tegelijkertijd leert de quantummechanica ons dat we deeltjes zoals atomen óók als golven moeten zien. Daardoor kunnen natuurkundigen ook 'atomenlasers' maken, die coherente materiegolven bevatten. Maar kunnen ze die materiegolven in stand houden om ze in toepassingen te gebruiken? In onderzoek dat recent in Nature werd gepubliceerd, toont een team van Amsterdamse natuurkundigen aan dat het antwoord 'ja' is.



Het centrale deel van het experiment waarin de coherente materiegolven werden

gemaakt. Verse atomen (blauw) vallen het experiment in en gaan op weg naar het Bose-Einsteincondensaat in het midden. In werkelijkheid zijn de atomen niet met het blote oog zichtbaar. Beeldbewerking door Scixel.

Bosonen in het gelid laten lopen

Het concept dat aan de atomenlaser ten grondslag ligt, is het zogeheten *Bose-Einsteincondensaat*, of afgekort het BEC. Elementaire deeltjes komen in de natuur in twee soorten voor: fermionen en bosonen. Fermionen zijn deeltjes zoals elektronen en quarks – de bouwstenen van materie waar wij uit bestaan. Bosonen zijn heel anders van aard: ze zijn niet hard zoals fermionen, maar zacht: ze kunnen bijvoorbeeld zonder problemen dwars door elkaar bewegen. Het bekendste voorbeeld van een boson is het foton, de kleinst mogelijke hoeveelheid licht. Maar materiedeeltjes kunnen ook gecombineerd worden en zo bosonen vormen – sterker nog, hele atomen kunnen zich precies zo gedragen als lichtdeeltjes. Wat bosonen zo bijzonder maakt, is dat ze allemaal in exact dezelfde toestand kunnen zijn op exact hetzelfde moment, of in meer technische bewoordingen: ze kunnen ‘condenseren’ tot een coherente golf. Wanneer materiedeeltjes op zo’n manier condenseren noemen natuurkundigen de substantie die overblijft een Bose-Einsteincondensaat.

In het dagelijks leven komen we zulke condensaten nooit tegen. De reden daarvoor is dat het heel moeilijk is om atomen zover te krijgen dat ze zich allemaal hetzelfde gedragen. De boosdoener die de synchronie verstoort is temperatuur: als een substantie opwarmt, beginnen de onderliggende deeltjes te trillen, en wordt het vrijwel onmogelijk om ze zich als één geheel te laten gedragen. Pas bij extreem lage temperaturen, ongeveer een miljoenste graad boven het absolute nulpunt (zo’n 273 graden *onder* nul op de Celsiusschaal) wordt het mogelijk om de coherente materiegolven van een BEC te vormen.

Vluchtige uitbarstingen

Een kwarteeuw geleden werden de eerste Bose-Einsteincondensaten in natuurkundelaboratoria gemaakt. Daarmee was de weg vrij voor het maken van atomenlasers – apparaten die letterlijk bundels materie uitzenden – maar die apparaten konden slechts korte tijd functioneren. Zulke lasers konden pulsen van materiegolven produceren, maar zodra een dergelijke puls was uitgezonden moest eerst een nieuw BEC gemaakt worden voordat de volgende puls kon worden uitgezonden. Als eerste stap op weg

naar een atomenlaser was dat nog altijd niet slecht: ook gewone, optische lasers werden eerst in een puls-variant gemaakt voordat natuurkundigen in staat waren om *continue* lasers te maken. Maar waar de ontwikkelingen voor optische lasers heel snel waren gegaan, en de eerste continue laser binnen zes maanden na zijn puls-tegenhanger kon worden geproduceerd, bleef voor atomenlasers de continue variant 25 jaar lang een utopie.

Het was wel duidelijk waar het probleem lag: BECs zijn erg kwetsbaar, en worden al snel vernietigd als er licht op valt. De aanwezigheid van licht is echter cruciaal bij het vormen van het condensaat: om een substantie af te koelen tot een miljoenste van een graad moet je de atomen afkoelen met behulp van laserlicht. Het gevolg was dat BECs alleen gemaakt konden worden in vluchtige uitbarstingen, zonder mogelijkheid om ze coherent te behouden.

Een kerstcadeau

Een team van natuurkundigen van de Universiteit van Amsterdam is er nu in geslaagd om het ingewikkelde probleem van het maken van een continu Bose-Einsteincondensaat op te lossen. Florian Schreck, de teamleider, legt uit wat de truc was: “In eerdere experimenten werd het geleidelijk afkoelen van de atomen allemaal op één plek gedaan. In onze opstelling besloten we om de afkoelstappen niet in de tijd maar in de ruimte te verspreiden: we zorgen ervoor dat de atomen bewegen, terwijl ze stap voor stap de afkoelstadia doorlopen. Uiteindelijk arriveren ultrakoude atomen zo in het hart van het experiment, waar ze gebruikt kunnen worden om coherente materiegolven te vormen in een BEC. Maar terwijl deze atomen gebruikt worden, zijn er alweer nieuwe atomen op weg om het BEC aan te vullen. Zo kunnen we het proces gaande houden – in principe voor eeuwig.”

Hoewel het onderliggende idee betrekkelijk eenvoudig is, was de uitvoering ervan dat beslist niet. Chun-Chia Chen, eerste auteur van de publicatie in Nature, herinnert zich: “Al in 2012 wist het team – toen nog in Innsbruck – een techniek te bewerkstelligen die het mogelijk maakte om een BEC te beschermen tegen het koelende laserlicht, waarmee het voor het eerst mogelijk werd om laserkoeling helemaal in te zetten om te koelen tot de gedegenereerde toestand die nodig is voor coherente golven. Hoewel dat een goede eerste stap was op weg naar de langlopende uitdaging om een continue atomenlaser te maken, werd ook duidelijk dat er een toegewijde machine nodig zou zijn om de ontwikkeling te voltooien. Toen we in 2013 naar Amsterdam verhuisden, begonnen we met een sprong in het

diepe, geleend geld, een leeg laboratorium en een team dat volledig gefinancierd werd door persoonlijke subsidies. Zes jaar later, in de vroege uren van kerstochtend 2019, stond het experiment eindelijk op het punt van werken. We kregen het idee om een extra laserstraal toe te voegen, en dat loste de laatste technische problemen op – en onmiddellijk toonde elke afbeelding die we maakten een BEC, het allereerste BEC met een continue golf.”

Nu ze het langlopende open vraagstuk van het continue Bose-Einsteincondensaat hebben opgelost, hebben de onderzoekers al een volgend doel in het vizier: de laser gebruiken om een stabiele straal van materie te produceren. Zodra hun lasers niet alleen altijd aan kunnen blijven maar ook stabiele stralen kunnen produceren, staat niets meer in de weg van toepassingen in de technologie, en kunnen materie-lasers een even belangrijke rol in de techniek gaan spelen als gewone lasers op dit moment al doen.

Publicatie

Continuous Bose-Einstein condensation, Chun-Chia Chen, Rodrigo González Escudero, Jiří Minář, Benjamin Pasquiou, Shayne Bennetts en Florian Schreck. Nature **606**, 683–687 (2022).