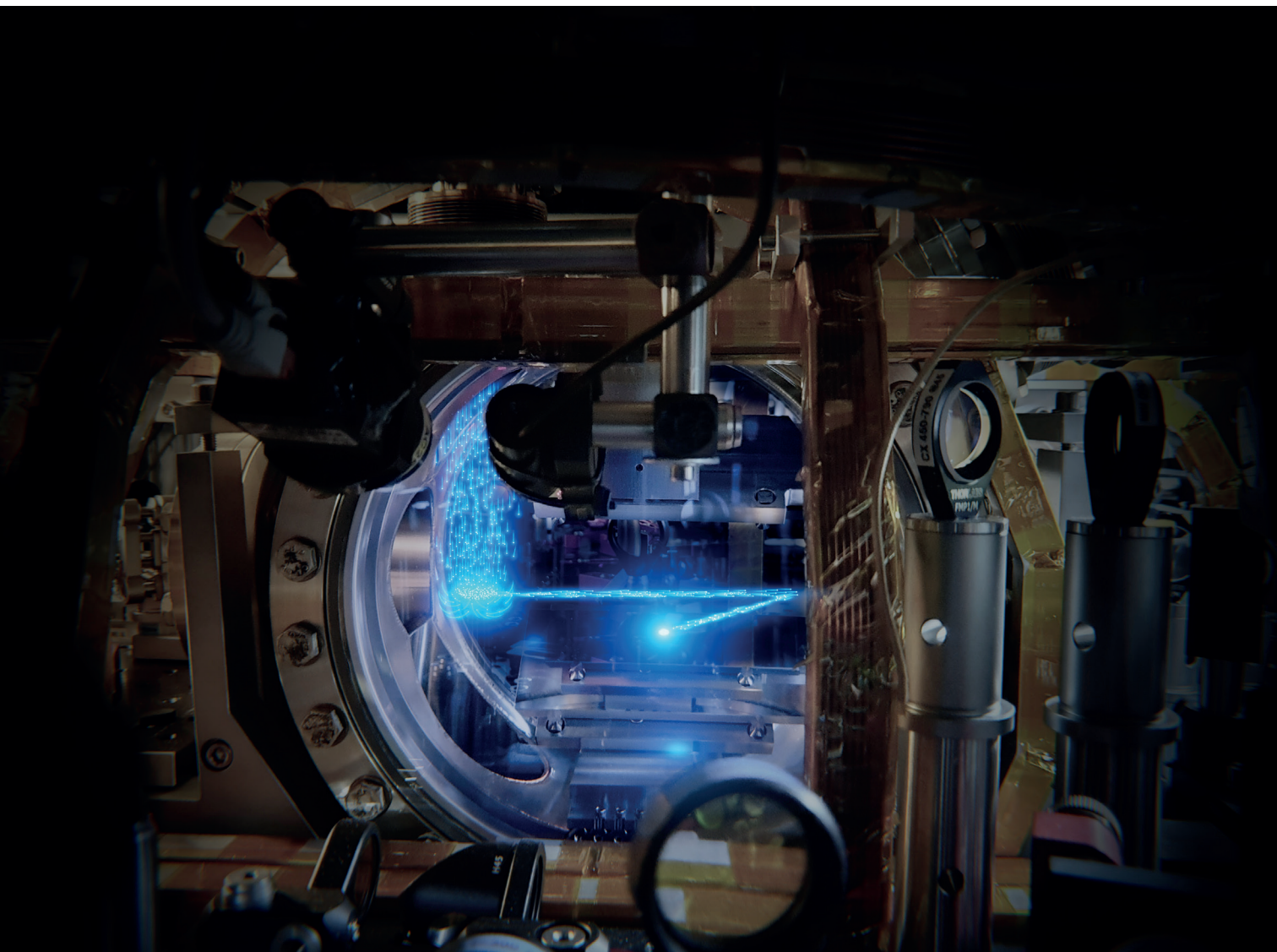


De continu-atoomlaser eindelijk in zicht dankzij 'oneindig' Bose-Einstein- condensaat

Het centrale deel van het experiment waarin de coherente materiegolven worden gecreëerd. 'Verse' atomen (blauw) condenseren en gaan naar het Bose-Einsteincondensaat in het midden. De atomen zijn uiteraard in het echt niet met het blote oog te zien. Afbeelding: Scixel.



Onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam hebben voor het eerst de basis van een continu-atoomlaser gelegd. Dit type lasers kan voor een doorbraak zorgen in ultra-precisiemetingen en kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor metingen aan zwaartekrachtgolven of voor het vinden van donkere energie en materie.

Atoomlasers

Lasers zijn niet meer weg te denken uit het dagelijkse leven. Ook voor de wetenschap zijn ze superbelangrijk, bijvoorbeeld voor precisiemetingen aan zwaartekrachtgolven. Lasers produceren coherent licht, wat betekent dat alle fotonen dezelfde frequentie, fase en richting hebben. Ook materie kan in een toestand gebracht worden waarin de quantummechanische materiegolven coherent zijn, door afkoeling tot nabij 0 Kelvin, waarbij bosonen condenseren in een Bose-Einstein-condensaat (BEC). Het bijzondere van het BEC is dat de atomen zich als een eenheid gedragen, waardoor er macroscopische materiegolven kunnen ontstaan. Hiervan kan een atoomlaser gemaakt worden: het equivalent van een 'normale' elektromagnetische laser. Deze lasers vormen de basis van een nieuwe klasse van quantumsensoren, aangezien hun golflengte vele malen kleiner is dan die van normale lasers, wat ze uitermate geschikt maakt voor ultragevoelige metingen en daarmee de deur opent naar toepassingen die voorheen nog niet mogelijk waren.

Atoomlasers zijn helaas niet makkelijk te maken. BEC's zijn uiterst gevoelig voor temperatuurschommelingen. Daarnaast zorgen atomen die zich samenvoegen tot moleculen voor verlies van de BEC-materie. Mede daardoor bestaan er tot dusver alleen gepulste atoomlasers, waarbij telkens een nieuw BEC wordt opgebouwd om een puls met

materie te geven. Dit werkt hetzelfde als in een normale gepulste laser, waarbij de energie zich opbouwt tot er één krachtige puls uit de laser komt. Een continu-atoomlaser, het 'atoomequivalent' van de normale continu-laser, zal een flinke stap voorwaarts zijn. Om deze te maken is het essentieel dat een BEC stabiel blijft.

Continu-BEC

Onderzoekers van de Universiteit van Amsterdam hebben nu voor het eerst een BEC gemaakt, dat in principe oneindig lang een bundel kan blijven produceren [1]. In hun opstelling wordt allereerst een gas van strontiumatomen gekoeld met een zogeheten *magneto-optical trap* (MOT), die de atomen door magnetevelden en laserbundels tot enkele microKelvin koelt. Daarna wordt continu een klein gedeelte van dit ultrakoude gas naar een reservoir geleid, waarna een laser, tegengesteld aan de richting van het gas, de snelheid van het gas vertraagt tot het daar stilstaat. In het reservoir wordt met een tweede laser lokaal een gebied met hoge dichtheid gevormd, waar een BEC ontstaat. Verliezen uit het BEC worden aangevuld vanuit het reservoir.

Transparant gas

De truc daarna is om het BEC voor langere tijd stabiel te houden. Lasers die het gas in het reservoir koelen, kunnen het BEC namelijk verstoren. Deze lasers hebben een frequentie die net iets onder een elektronische overgangsfrequentie zit. Gas dat naar de laser toe beweegt, ervaart een dopplerblauwverschuiving die het licht precies de juiste frequentie geeft om een elektron te exciteren. Het elektron vervalt daarna weer, maar geeft daarbij een foton van een hogere energie af dan het opnam. Dit proces zorgt voor koeling. Koeling is noodzakelijk voor het gas in het reservoir. Maar zodra het gas

in dichtheid toeneemt, zoals in een BEC, zal de kans toenemen dat de uitgezonden fotonen weer worden opgenomen door andere atomen. Hiermee wordt het BEC verwarmd in plaats van dat het wordt afgekoeld. De onderzoekers hebben hiervoor de volgende oplossing. Ze gebruiken een extra laser met een frequentie van een andere elektronische overgang dan die gebruikt wordt voor het koelen van het gas. Doordat het gas hiermee in een aangeslagen toestand komt, wordt de overgang voor het koelen bezet en daarom zullen de atomen in het BEC geen licht meer opnemen van de koelinglasers. Dit maakt het BEC dus transparant voor de koelinglasers en daardoor langer stabiel.

Een flinke stap vooruit!

En zo vormden de onderzoekers een robuust BEC dat door middel van een constante aanvoer van gas uit het reservoir en een hoge stabiliteit in principe tot in de oneindigheid kan blijven bestaan. Een unicum én een grote stap voorwaarts voor een atoomlaser. Nu het continuummedium bestaat, is de volgende stap om een continuummateriestroom te genereren. Volgens groepsleider Florian Schreck is het mogelijk om zeker 20% van het BEC als constante materiestroom uit te stoten. Schreck zegt dat ze de versterking (*gain*) nog iets moeten verhogen, maar dat het met de huidige resultaten zeker mogelijk moet zijn. Schreck besluit: "Onze continu-BEC's bestaan uit strontium, het element dat nu al in atoomklokken gebruikt wordt. Onze doorbraak kan dus voor de volgende generatie atoomklokken en atoominterferometers gaan zorgen."

REFERENTIES

- 1 C.C. Chen, R. González Escudero, J. Minár, B. Pasquiou, S. Bennetts en F. Schreck, *Continuous Bose-Einstein condensation*, *Nature* **606**, 683-687 (2022).