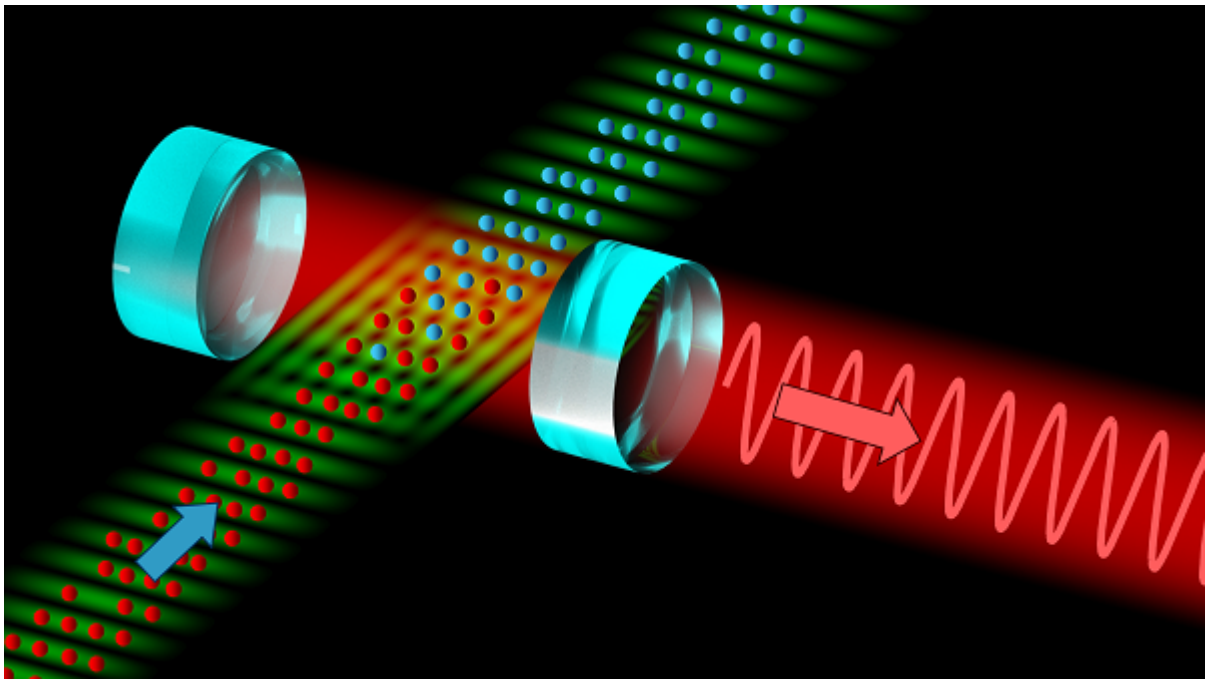
Een quantumklok voor iedereen

Klokken zijn belangrijke instrumenten – niet alleen in het dagelijks leven, maar ook in de wetenschap en voor technologische toepassingen. Daarbij is het van groot belang dat tijd nauwkeurig gemeten kan worden. De GPS in een auto werkt bijvoorbeeld alleen doordat die wordt aangestuurd door extreem nauwkeurige atoomklokken. Als het mogelijk zou zijn om nóg nauwkeuriger klokken te bouwen, en die bovendien zo klein te maken dat ze gemakkelijk te vervoeren zijn, zouden allerlei nieuwe technologische en wetenschappelijke toepassingen binnen bereik komen. Met behulp van de nieuwste ontwikkelingen in de quantummechanica, en door kennis uit de wetenschap en het bedrijfsleven bij elkaar te brengen, hoopt het nieuwe Europese consortium iqClock deze twee doelen te verwezenlijken.



Afbeelding 1. Een superradiante klok.Een schematische weergave van de optische klok die door het iqClock-consortium ontwikkeld zal worden. De blauwe pijl geef een continue invoer van strontiumatomen aan; de uitvoer (rode pijl) is een laserstraal met een enorm nauwkeurige frequentie, die gebruikt kan worden om een optische klok aan te sturen.

Tijd speelt in ons dagelijks leven, vol met afspraken en bijeenkomsten, een belangrijke rol. Ook voor technologische toepassingen is een steeds nauwkeuriger tijdsmeting nodig. Navigatiesystemen zoals GPS kunnen je bijvoorbeeld alleen maar naar je volgende afspraak brengen omdat de satellieten waarmee het systeem communiceert ingebouwde atoomklokken bevatten, die het apparaatje in de auto of je telefoon in staat stellen om zijn locatie tot op een paar meter nauwkeurig te bepalen. Om je reisdoel te vinden is die precisie meer dan genoeg, maar voor veel andere toepassingen is dat niet het geval. Daarom blijven wetenschappers wereldwijd zoeken manieren om steeds betere klokken te construeren.

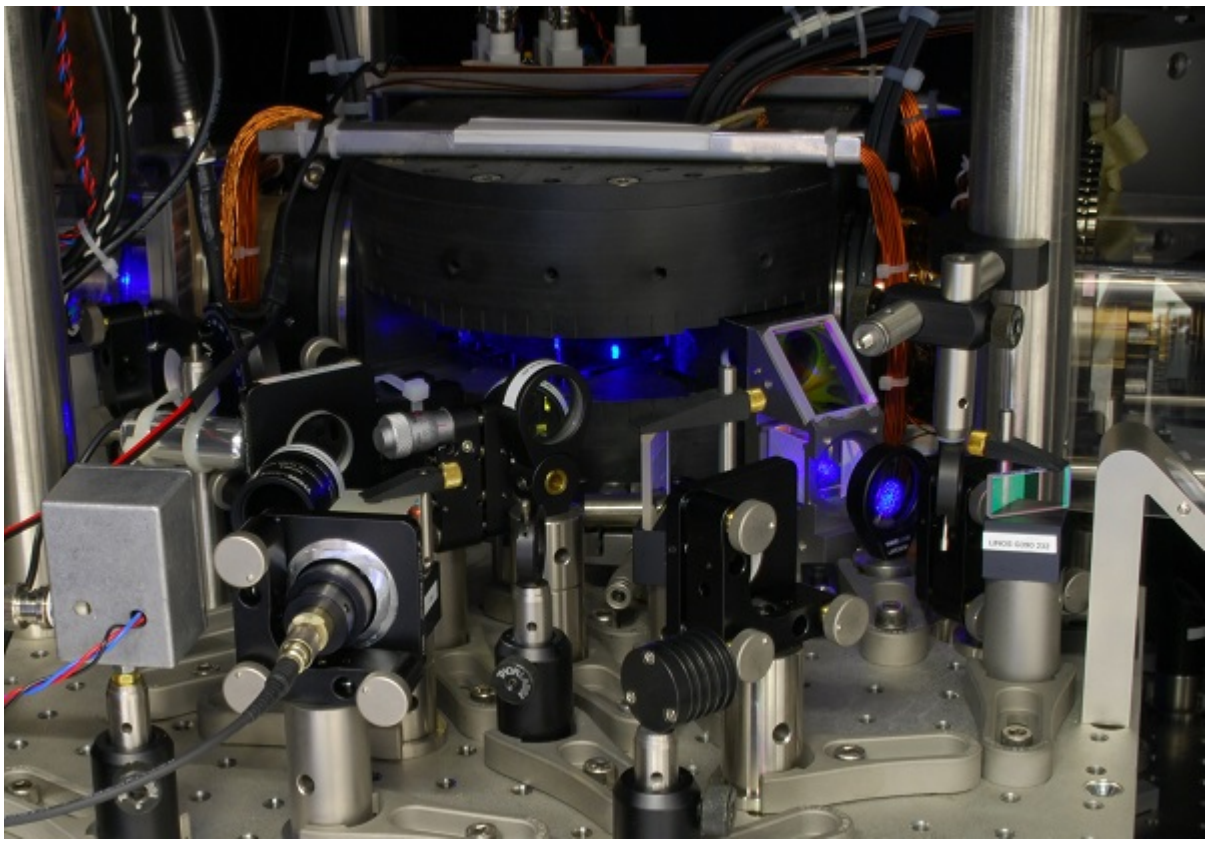
State of the art

In sommige laboratoria bestaan zulke klokken al: de zogeheten *optische atoomklokken*. Dergelijke klokken zijn de meest precieze wetenschappelijke instrumenten die de mensheid tot op de dag van vandaag heeft geproduceerd. Als zo'n klok gedurende de hele leeftijd van het heelal zou lopen, zo'n veertien miljard jaar, zou hij nog steeds maar één seconde fout lopen.

Net als in "gewone" atoomklokken worden in deze optische equivalenten de trillingen van een atoom gebruikt als referentie om de tijd te meten – eenvoudigweg omdat de frequentie waarmee een bepaald soort atoom trilt overal in het heelal en op elk moment exact hetzelfde is. Wat een optische klok zoveel preciezer maakt dan een traditionele atoomklok is dat de gebruikte frequentie meer dan duizend keer zo hoog is – zo hoog, dat die frequentie overeenkomt met de trillingen van zichtbare lichtgolven. Daardoor wordt het mogelijk om de trillingsfrequentie van de atomen te vertalen in die van een optische laser – vandaar de naam "optische klok" – en die laser kan vervolgens gebruikt worden om het tikken van de klok aan te sturen.

Hoe mooi zulke optische atoomklokken ook zijn, ze hebben twee grote nadelen. Ten eerste: het is heel moeilijk om ze te bouwen. Ten tweede vullen de eindproducten complete laboratoriumzalen: de klokken zijn groot, zwaar, en niet erg stevig. Een consortium van

Europese universiteiten en bedrijven wil nu allebei deze nadelen verhelpen, met als doel om ultra-precieze atoomklokken ook in de maatschappij beschikbaar te maken.



Afbeelding 2. Ultrakoude atomen maken.Een ultrakoude wolk van strontiumatomen wordt gevangen in een vacuümkamer, omgeven door elektromagneten en optica voor laserkoeling. Deze en soortgelijke opstellingen worden gebruikt in het iqClock-onderzoek.

Superradiante klokken

Kunnen optische klokken vereenvoudigd worden? Recente ontwikkelingen laten zien dat het antwoord “ja” is. In normale optische klokken wordt de fequentie van de laser gefinetuned door met de laserstraal op de trillende atomen te schijnen, te observeren hoe die atomen reageren, en de laserfrequentie bij te stellen tot de twee trillingen perfect samengaan. Natuurkundigen hebben nu echter een nieuwe manier gevonden om dit laser-idee veel eenvoudiger te implementeren, namelijk door simpelweg de atomen *zelf* de laserstraal te laten vormen. Dat wil zeggen: de geproduceerde laserstraal ontstaat uit exact dezelfde atomen die ook de referentietrillingen produceren die de klok laten tikken; een constructie die bekend staat als een *superradiante laser*. Het dubbele gebruik van dezelfde atomen zou

het veel makkelijker moeten maken om optische atoomklokken te bouwen: de atomen leveren niet alleen heel stabiel licht, maar dit licht heeft ook nog eens automatisch de juiste frequentie.

Dit idee zou het eerste nadeel van optische klokken verhelpen – het feit dat ze zo ingewikkeld zijn – maar tot nu toe is er nog nooit een superradiante klok gebouwd. De belangrijkste bouwsteen, een continue bron van ultrakoude atomen – strontiumatomen van een paar miljoensten van een graad boven het absolute nulpunt, om precies te zijn – werd echter onlangs voor het eerst gerealiseerd door een team van onderzoekers aan de Universiteit van Amsterdam, onder leiding van Florian Schreck. Rond dezelfde tijd, aan de universiteit van Birmingham, lanceerde natuurkundige Yeshpal Singh een initiatief om optische atoomklokken voor de industrie te gaan maken, met als doel om ook het tweede nadeel – de enorme grootte en breekbaarheid van de bestaande klokken – weg te nemen. Niets leek de weg van atoomklokken naar ons alledaagse leven meer te blokkeren.

Een consortium wordt opgericht

Het omzetten van een ‘proof of concept’ in een werkende klok is echter een lang en lastig proces, waarvoor nauwe samenwerking tussen wetenschap en industrie nodig is. Schreck en Singh zochten contact met een grote groep collega’s uit Torun, Kopenhagen, Wenen en Innsbruck, om te zien of een dergelijk samenwerkingsverband haalbaar was. In het bedrijfsleven waren ook diverse partners geïnteresseerd in het uitwerken van de ideeën: Teledyne e2v, Chronos en British Telecom in Groot-Brittannië, Toptica in Duitsland, NKT Photonics in Denemarken, en Acktar in Israel. Toen bleek dat de belangstelling bij zowel academische als industriële partners aanwezig was, werd besloten om een breed Europees onderzoeksconsortium op te richten met als doel om optische klokken op de markt te brengen. Het consortium sleepte vervolgens een subsidie in de wacht als een van de eerste projecten in het Flagship-initiatief voor quantumtechnologieën, een breed 10-jarig programma waarvoor de Europese Unie een bedrag van een miljard euro heeft uitgetrokken. Uit dit budget kreeg het iqClock-consortium, zoals het samenwerkingsverband werd gedoopt, een eerste subsidie van 10 miljoen euro voor de komende drie jaar.

Afbeelding 3. Florian Schreck.Het team van Schreck slaagde erin om aan te tonen dat een continue bron van ultrakoude strontiumatomen mogelijk is, en opende daarmee de weg naar nog nauwkeurigere quantumklokken.

Navigatie, geologie en astronomie

Het doel van het consortium is om de technologie van optische klokken volledig transportabel te maken, zodat die tegen het eind van het 10-jarige programma gebruikt kan worden in bijvoorbeeld satellieten. Dat is geen eenvoudig proces, maar de kansen die het oplevert zijn enorm. Zodra de nieuwe klokken breed verkrijgbaar zijn, kunnen ze bijvoorbeeld gebruikt worden om de nauwkeurigheid van navigatiesystemen te verbeteren tot enkele centimeters, waarmee de manier waarop bijvoorbeeld geologen de aarde meten revolutionair zal veranderen. Maar we kunnen ook omhoogkijken in plaats van omlaag: in de astronomie worden atoomklokken gebruikt om telescopen over de hele planeet te synchroniseren tot wat effectief één telescoop is, zo groot als de aarde zelf. Vervoerbare optische klokken zijn ook geweldige instrumenten om zwaartekrachtgolven mee te meten, met behulp van gesynchroniseerde satellieten die zich vele duizenden kilometers van elkaar af bevinden. Een meer praktische toepassing ligt in de synchronisatie van telecommunicatienetwerken, waardoor die netwerken veel beter kunnen presteren. En ten slotte is er natuurlijk altijd het

onverwachte: als nieuwe technologieën op brede schaal beschikbaar worden, vindt de industrie onvermijdelijk manieren om die technologie in te zetten – manieren die we ons op dit moment nog niet eens kunnen voorstellen.

Zoals Florian Schreck het zelf zegt: “Over tien jaar komen we waarschijnlijk nog steeds te laat zijn voor onze afspraken, maar supernauwkeurige klokken zullen in de maatschappij zijn doorgedrongen, en zullen de manier waarop we naar onze planeet en het heelal kijken hebben veranderd.”