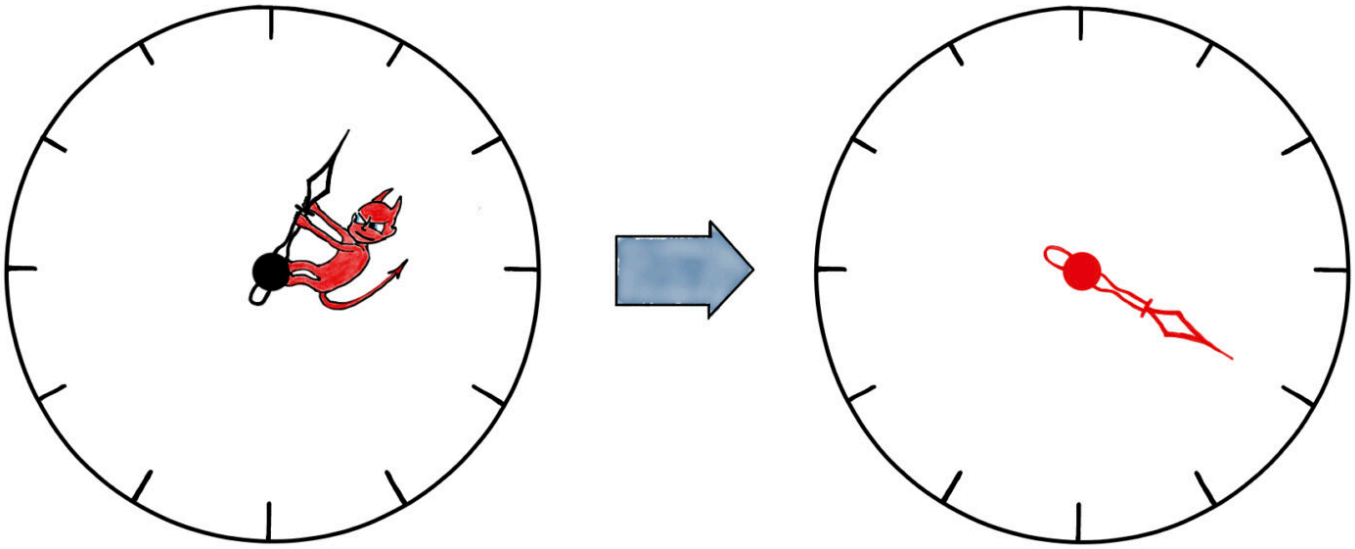
# Quantumrekenen met ruis, maar zonder fouten

**Onderzoekers Ludovico Lami (Universiteit van Amsterdam) en Mark M. Wilde (Cornell University) hebben een formule afgeleid die de effecten van omgevingsruis in berekeningen van quantumcomputers voorspelt. Het resultaat is cruciaal voor het ontwerpen en bouwen van quantumcomputers die in onze onvolmaakte wereld kunnen werken.**



**Afbeelding 1. Duivelse ruis.** Omgevingsruis, hier weergegeven als een klein duiveltje, kan de toestand van een quantumcomputer beïnvloeden door de fasen van verschillende vertakkingen van zijn golffunctie op onvoorspelbare wijze te veranderen; we noemen dit defaseren. Hier vertegenwoordigt de positie van de wijzer van de klok de fase van een bepaalde tak van de golffunctie. De verandering erin, die ons niet bekend is, zal de faserecombinatie beïnvloeden die nodig is voor een succesvolle quantumberekening. Afbeelding: L. Lami.

## De choreografie van een quantumberekening

Quantumberekeningen gebruiken de principes van de quantummechanica. In tegenstelling tot klassieke computers, waarvan de bits 0 of 1 kunnen zijn, gebruiken quantumcomputers

quantumbits, of *qubits*, die gelijktijdig in een superpositie van 0 en 1 kunnen staan.

Hierdoor kunnen quantumcomputers bepaalde soorten berekeningen veel sneller uitvoeren dan klassieke computers. Een quantumcomputer kan bijvoorbeeld zeer grote getallen ontbinden in een fractie van de tijd die een klassieke computer nodig zou hebben.

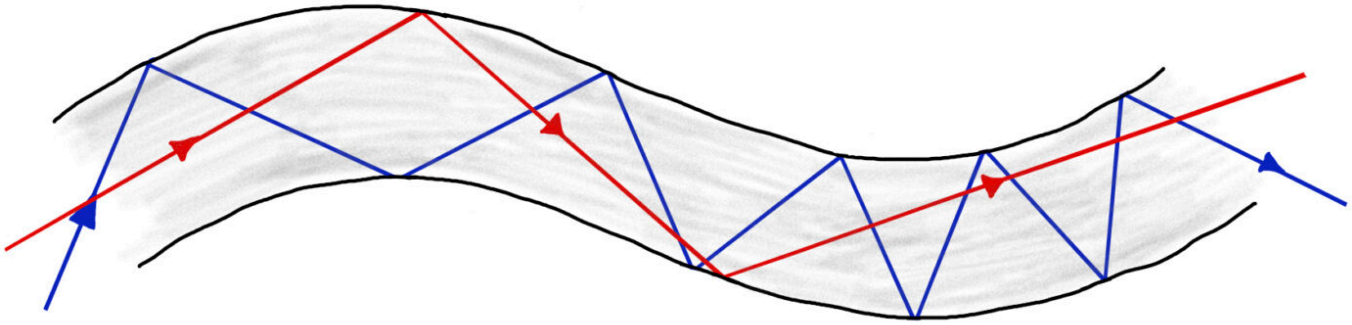
Hoewel je zo'n voordeel naïef zou kunnen toeschrijven aan het vermogen van een quantumcomputer om talloze berekeningen parallel uit te voeren, is de realiteit ingewikkelder. De fysieke toestand van een quantumcomputer wordt beschreven door zijn zogeheten golffunctie. Deze functie heeft verschillende vertakkingen met elk een eigen fase. Een fase kun je voor je zien als de positie van de wijzer van een klok.

Aan het einde van de berekening combineert de quantumcomputer de resultaten van alle berekeningen die hij gelijktijdig heeft uitgevoerd op verschillende takken van de golffunctie, tot één antwoord. "De fasen van de verschillende takken spelen een sleutelrol bij het bepalen van de uitkomst van dit recombinatieproces, vergelijkbaar met hoe de timing van de passen van een ballerina een sleutelrol speelt bij het bepalen van het succes van een balletvoorstelling", legt Lami uit.

## Storende omgevingsruis

Een belangrijk obstakel voor het rekenen met quantumcomputers is omgevingsruis. Dergelijke ruis kan worden vergeleken met een klein duiveltje dat de fasen van verschillende takken van de golffunctie op een onvoorspelbare manier verandert. Dit proces van knoeien met de fase van een quantumsysteem heet *defasering,* en kan een quantumberekening doen mislukken.

Defasering kan optreden in alledaagse situaties zoals in glasvezelkabels, die worden gebruikt om informatie over te dragen in de vorm van licht. Lichtstralen die door een glasvezel reizen kunnen verschillende paden volgen; aangezien elk pad is gekoppeld aan een specifieke fase, komt het niet kennen van het gevolgde pad neer op een effectieve defaseringsruis.



**Afbeelding 2. Licht in een glasvezelkabel.** Licht kan verschillende paden door een glasvezelkabel nemen. De onmogelijkheid om precies te weten welk pad een lichtstraal heeft afgelegd, leidt tot een effectieve defaseringsruis. Afbeelding: L. Lami.

In hun nieuwe publicatie in *Nature Photonics* analyseren Lami en Wilde een model, het zogeheten *bosonische defaseringskanaal*, om te bestuderen hoe ruis de overdracht van quantuminformatie beïnvloedt. Het model beschrijft de defasering die werkt op licht met een gegeven golflengte en polarisatie.

Het getal dat het effect van de ruis op quantuminformatie kwantificeert heet de *quantumcapaciteit*. De waarde ervan komt overeen met het aantal qubits dat veilig kan worden verzonden per gebruik van een glasvezelkabel. De nieuwe publicatie biedt een volledige analytische oplossing voor het probleem van het berekenen van de quantumcapaciteit van het bosonische defaseringskanaal, voor alle mogelijke vormen van defaseringsruis.

## Langere berichten verhelpen fouten

Om de effecten van ruis te ondervangen, kan redundantie in het bericht worden opgenomen om ervoor te zorgen dat de quantuminformatie nog steeds kan worden achterhaald aan de ontvangende kant. Dit is vergelijkbaar met het zeggen van “Alpha, Beta, Charlie” in plaats van “A, B, C” tijdens het telefoneren. Hoewel het verzonden bericht langer is, zorgt de redundantie ervoor dat het correct wordt begrepen.

Het nieuwe onderzoek kwantificeert precies hoeveel redundantie er aan een quantumbericht moet worden toegevoegd om het te beschermen tegen defaseringsruis. Dit is belangrijk omdat het onderzoekers in staat stelt de effecten van ruis op quantumberekeningen te kwantificeren en methoden te ontwikkelen om deze effecten te ondervangen.

# Publicatie

*Exact solution for the quantum and private capacities of bosonic dephasing channels*, Ludovico Lami en Mark M. Wilde. Nature Photonics 2023