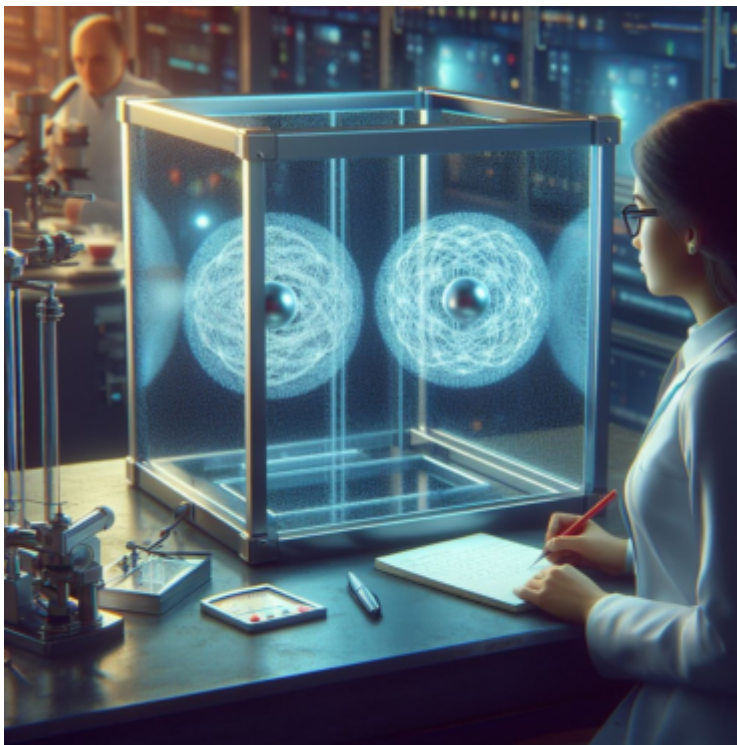


Het quantumgedrag van zwaartekracht

Zwaartekracht is een kracht die we dagelijks ervaren. Toch blijft het verschijnsel mysterieus: tot op de dag van vandaag begrijpen wetenschappers niet of de aard van de zwaartekracht meetkundig is, zoals Einstein zich voorstelde, of dat die kracht wordt geregeerd door quantummechanische wetten. Is het verschil in een experiment te meten?



Afbeelding 1. Quantumzwaartekracht in het lab. Afbeelding: AI-gegenereerd.

Alle experimentele voorstellen om de vraag naar het quantumgedrag van zwaartekracht te beantwoorden, gaan tot nog toe uit van het idee om het quantumverschijnsel van verstrengeling te creëren tussen zware, macroscopisch grote massa's. Maar hoe zwaarder een object, hoe meer het zijn quantumeigenschappen verbergt. Het object wordt 'klassiek', wat betekent dat het een grote uitdaging is om een zware massa zich als een

quantumdeeltje te laten gedragen. In recent onderzoek stellen onderzoekers een experiment voor waarmee deze problemen omzeild kunnen worden.

Klassiek of quantum?

Het succesvol combineren van de quantummechanica en de natuurkunde van de zwaartekracht is een van de grote uitdagingen in de hedendaagse wetenschap. Voortgang wordt bemoeilijkt doordat we geen experimenten kunnen doen op het grensvlak waar zowel quantum- als zwaartekrachtseffecten een rol spelen. Een fundamenteeler probleem, zoals Nobelprijswinnar Roger Penrose het formuleerde, is dat we zelfs niet weten of voor een gecombineerd model van zwaartekracht en quantummechanica het 'quantiseren van de zwaartekracht' nodig is, of juist het 'gravitiseren van de quantummechanica'. Met andere woorden: is de zwaartekracht in essentie een quantumkracht, waarvan de eigenschappen op de allerkleinste schaal bepaald worden, of gaat het om een 'klassieke' kracht, waarvoor een meetkundige beschrijving op grote schaal volstaat? Of zijn beide gezichtspunten onjuist?

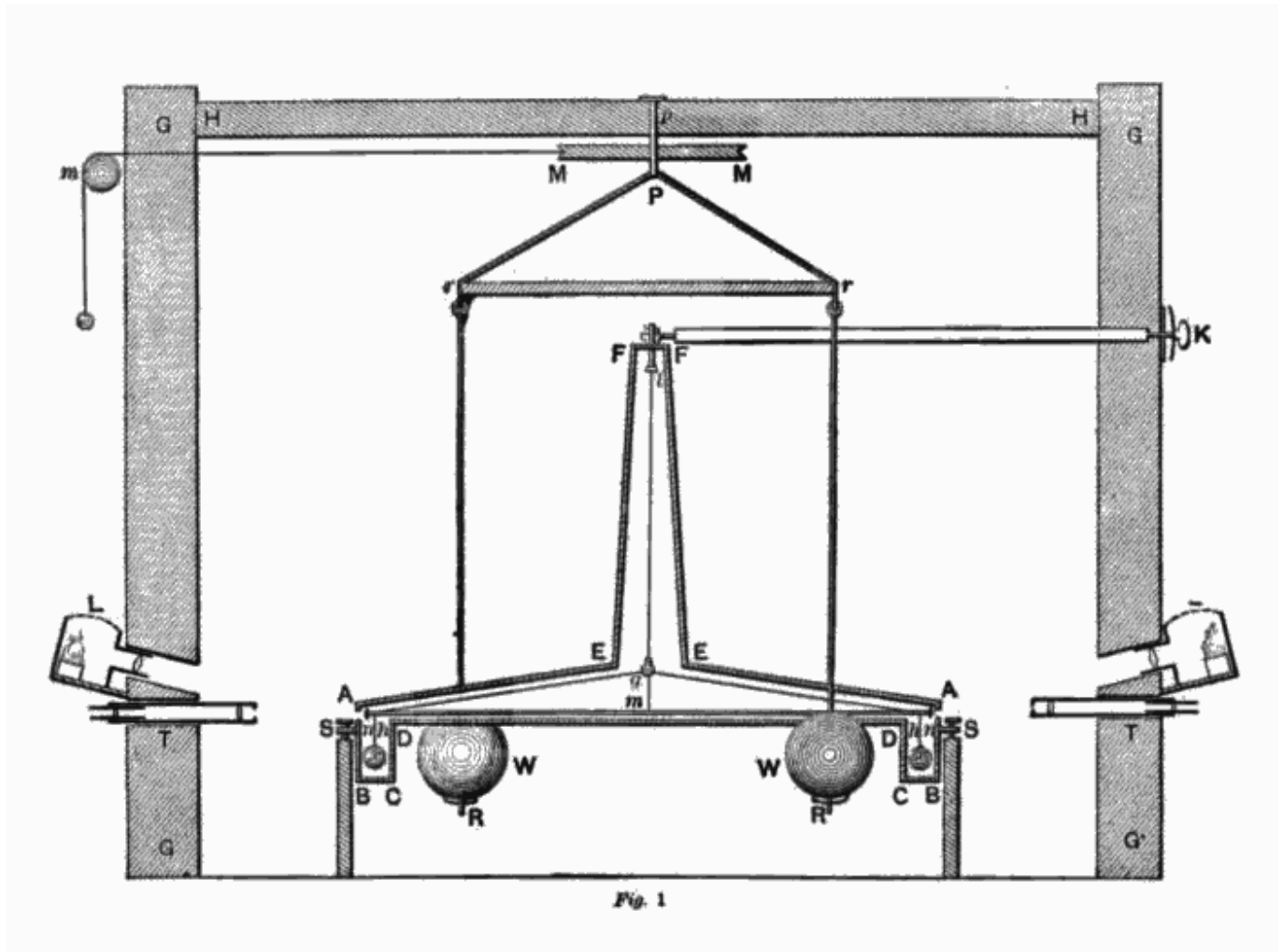
Het leek er altijd op dat bij het beantwoorden van die vragen het typische quantumfenomeen van *verstrengeling* een centrale rol zou spelen. Zoals Ludovico Lami, mathematisch fysicus aan de Universiteit van Amsterdam en QuSoft, het formuleert: "De kernvraag, oorspronkelijk gesteld door Richard Feynman in 1957, ligt in het begrijpen of het zwaartekrachtsveld rond een zwaar object in een zogeheten *quantum-superpositie* kan komen, waarbij het in verschillende toestanden tegelijkertijd zou zijn. Het belangrijkste idee waarmee men dat experimenteel kon onderzoeken was, voorafgaand aan ons werk, door te zoeken naar door de zwaartekracht veroorzaakte verstrengeling – een situatie waarin massa's op grote afstand met elkaar verbonden zijn door het delen van quantuminformatie. Het bestaan van zulke verstrengeling zou de hypothese ontkrachten dat het zwaartekrachtsveld puur plaatselijk en klassiek is."

Een nieuwe invalshoek

Het voornaamste probleem van eerdere voorstellen is dat zulke ver van elkaar verwijderde maar verbonden zware objecten – gedelocaliseerde toestanden genoemd – heel lastig te maken zijn. Het zwaarste object waarbij die quantum-delocalisatie tot nu toe is waargenomen, is een groot molecuul, véél lichter dan de kleinste massa waarvan we het zwaartekrachtsveld hebben kunnen waarnemen, iets onder de 100 mg – meer dan een

miljard miljard keer zwaarder. De hoop op een experimentele verificatie werd daarmee tientallen jaren naar de toekomst verwezen.

In de nieuwe publicatie beschrijven Lami en zijn collega's uit Amsterdam en Ulm – opvallend genoeg de plaats waar Einstein werd geboren – een mogelijke uitweg uit de impasse. Ze stellen een experiment voor dat het quantumgedrag van de zwaartekracht kan onthullen zonder verstrengeling te genereren. Lami: “We ontwierpen en onderzochten een hele klasse van experimenten waarin gebruik wordt gemaakt van een systeem van massieve ‘harmonische oscillatoren’ – bijvoorbeeld torsiebalansen, min of meer zoals degene die Cavendish gebruikte in zijn beroemde experiment uit 1797, waarin hij als eerste de grootte van de zwaartekracht wist te meten. We berekenden de wiskundige grens aan de grootte van bepaalde experimentele signalen voor quantumgedrag; klassieke meetkundige zwaartekracht zou niet boven die grens uit moeten komen. We hebben ook nauwkeurig geanalyseerd wat de omstandigheden zijn waarin we ons voorstel in de praktijk als experiment kunnen uitvoeren. Hoewel daarvoor nog enige technologische vooruitgang nodig is, kunnen zulke experimenten al heel snel binnen bereik zijn.”



Afbeelding 2. Cavendish-experiment. Een tekening van de torsiebalans die Henry Cavendish in 1797 gebruikte om de sterkte van de zwaartekracht te meten. Soortgelijke ‘harmonische oscillatoren’ kunnen nu worden gebruikt om het quantumgedrag van de zwaartekracht te onthullen. Afbeelding via Wikimedia Commons.

Een schaduw van verstrengeling

Verrassend genoeg moesten de onderzoekers, om het experiment te kunnen analyseren, alsnog de wiskundige machinerie van verstrengelingstheorie uit de quantuminformatiewetenschap uit de kast halen. Hoe dat kan? Lami: “De reden is dat verstrengeling, hoewel het niet daadwerkelijk aanwezig is, toch op de achtergrond een rol speelt - in een heel precieze wiskundige betekenis. Het gaat erom dat verstrengeling aanwezig had *kunnen* zijn.”

Het artikel waarin Lami en zijn collega’s hun ontdekkingen bespreken, werd deze week gepubliceerd in *Physical Review X*. De onderzoekers hopen dat dit artikel pas een eerste stap

is, en dat hun voorstel zal helpen bij het ontwerpen van experimenten die, veel eerder dan verwacht, de fundamentele vraag naar de quantumaard van de zwaartekracht kunnen beantwoorden.

Publicatie

[*Testing the quantum nature of gravity without entanglement*](#), Ludovico Lami, Julen S. Pedernales and Martin B. Plenio, Physical Review X.