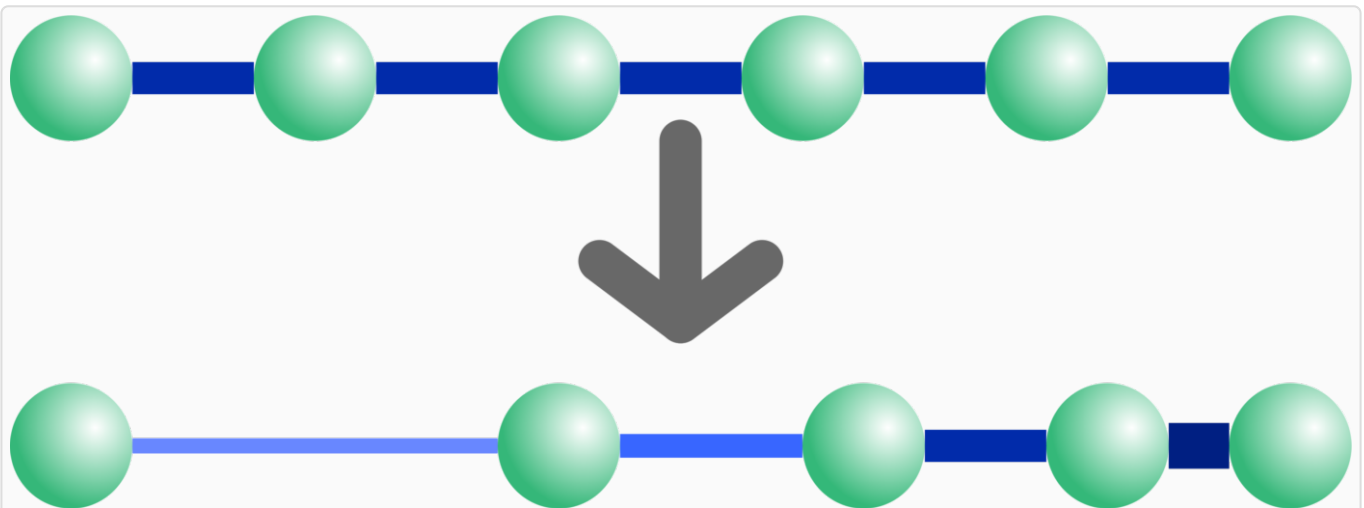


Synthetische zwarte gaten stralen als echte

Zwarte gaten zijn de meest extreme objecten in het universum. Ze proppen zoveel massa in zo weinig ruimte dat niets – zelfs geen licht – aan hun zwaartekracht kan ontsnappen wanneer het dichtbij genoeg komt. Recent onderzoek heeft aangetoond dat ongrijpbare straling afkomstig van zwarte gaten ook kan worden bestudeerd door deze in het laboratorium na te bootsen.



Een synthetisch zwart gat. Om een synthetisch zwart gat te maken, neem je een keten van atomen (groen), en verander je hoe gemakkelijk het voor een elektron is om tussen de verschillende atomen te springen – hier weergegeven door de kleur en breedte van de blauwe interatomaire bindingen. De gevarieerde bindingssterkte in de onderste keten bootst de kromming van de ruimtetijd in de aanwezigheid van een zwart gat na. Op deze manier kan de ongelooflijke fysica van zwarte gaten worden onderzocht in een laboratorium op aarde.

De fysica van zwarte gaten is de sleutel tot het ontrafelen van de meest fundamentele wetten van de kosmos, omdat die de grenzen vertegenwoordigt van twee van de belangrijkste natuurkundige theorieën: de algemene relativiteitstheorie, die de zwaartekracht beschrijft als het resultaat van de (grootschalige) kromtrekking van ruimtetijd door zware objecten, en de theorie van de quantummechanica, die de fysica op de kleinste lengteschalen beschrijft. Om zwarte gaten volledig te beschrijven, zouden we deze twee

theorieën aan elkaar moeten hechten en een theorie van quantumzwaartekracht moeten vormen.

Stralende zwarte gaten

Om dit doel te bereiken, moeten we misschien kijken naar wat erin slaagt te ontsnappen uit zwarte gaten, in plaats van wat wordt ingeslikt. De waarnemingshorizon is een denkbeeldig oppervlak dat een grens vormt rond elk zwart gat, van waarbinnen er geen mogelijkheid is om eruit te komen. Stephen Hawking ontdekte echter dat elk zwart gat een kleine hoeveelheid thermische straling moet uitzenden vanwege kleine quantumfluctuaties rond de horizon.

Helaas is deze straling nooit direct gedetecteerd. De voorspelde hoeveelheid Hawkingstraling die uit elk zwart gat komt is zo klein, dat het (met de huidige technologie) onmogelijk is om die tussen alle straling van alle andere kosmische objecten te detecteren.

Kunnen we, als alternatief, hier op aarde het mechanisme bestuderen dat ten grondslag ligt aan het ontstaan van Hawkingstraling? Dit onderzochten wetenschappers van de Universiteit van Amsterdam en IFW Dresden. En het spannende antwoord is “ja”.

Zwarte gaten in het lab

“We wilden de krachtige instrumenten van de fysica van gecondenseerde materie gebruiken om de onbereikbare natuurkunde te onderzoeken van deze ongelooflijke objecten: zwarte gaten”, zegt auteur Lotte Mertens.

Om dit te doen, bestudeerden de onderzoekers een model gebaseerd op een eendimensionale keten van atomen, waarin elektronen van het ene atoom naar het andere kunnen ‘springen’. Het kromtrekken van de ruimtetijd als gevolg van de aanwezigheid van een zwart gat wordt nagebootst door in te stellen hoe gemakkelijk elektronen tussen de verschillende locaties kunnen springen.

Met de juiste instelling zal een elektron dat van het ene uiteinde van de keten naar het andere beweegt zich precies gedragen als een brok materie dat de horizon van een zwart gat nadert. En analoog aan Hawkingstraling heeft het modelsysteem meetbare thermische excitaties in aanwezigheid van een synthetische horizon.

Leren van analogieën

Ondanks het ontbreken van werkelijke zwaartekracht in het modelsysteem, geeft het onderzoeken van deze synthetische horizon belangrijk inzicht in de fysica van zwarte gaten. Het feit dat de gesimuleerde Hawkingstraling bijvoorbeeld, voor een specifieke keuze van ruimtelijke variatie van hoe gemakkelijk elektronen rond kunnen springen, alléén thermisch is (wat betekent dat het systeem een vaste temperatuur lijkt te hebben), suggereert dat echte Hawkingstraling ook alleen in bepaalde situaties zuiver thermisch zal zijn.

Bovendien treedt de Hawkingstraling alleen op wanneer het modelsysteem begint zonder enige ruimtelijke variatie van spring-waarschijnlijkheden, waarbij platte ruimtetijd wordt nagebootst zonder enige horizon, voordat het wordt veranderd in een systeem dat een synthetisch zwart gat herbergt. De opkomst van Hawkingstraling vereist daarom een *verandering* in de kromming van de ruimtetijd, of een verandering in hoe een waarnemer die op zoek is naar de straling deze kromming waarneemt.

Ten slotte vereist Hawkingstraling dat een deel van de keten aan de andere kant van de synthetische horizon bestaat. Dit betekent dat het ontstaan van de straling nauw verbonden is met de quantummechanische eigenschap van *verstrengeling* tussen objecten aan weerszijden van de horizon.

Omdat het model zo eenvoudig is, kan het in verschillende experimentele opstellingen worden geïmplementeerd. Denk aan afstembare elektronische systemen, spinketens, ultrakoude atomen of optische experimenten. Door zwarte gaten naar het laboratorium te brengen, komen we een stap dichterbij het begrijpen van de wisselwerking tussen zwaartekracht en quantummechanica, op weg naar een theorie van quantumzwaartekracht.

Publicatie

Lotte Mertens, Ali G. Moghaddam, Dmitry Chernyavsky, Corentin Morice, Jeroen van den Brink en Jasper van Wezel: *Thermalization by a synthetic horizon*. Phys. Rev. Research 2022, 4, pp. 043084.