Oude en nieuwe ideeën van Stephen Hawking

Een korte geschiedenis en een kijkje in de keuken

Aanstaande zondag, 8 januari, viert Stephen Hawking zijn vijfenzeventigste verjaardag. Als een van de bekendste theoretische natuurkundigen is Hawking voor velen een eerste gezicht van het vak geweest. Zijn ideeën blijven ook nieuwe generaties fascineren. Hieronder een overzicht van wat al eerder over Hawkings onderzoek op de Quantum Universe-website is verschenen, en een kijkje naar wat er recent uit zijn keuken is gekomen.



Afbeelding 1. Stephen Hawking.Foto: Philip Waterson, LBIPP, LRPS.

Zwarte gaten en singulariteiten

Wie vaker op deze website komt zal bekend zijn met het idee van zwarte gaten. Volgens Einstein kromt materie de ruimtetijd. Als er zich maar genoeg massa op een plek verzamelt, kan de kromming zo sterk worden dat er een zwart gat ontstaat. Zodra iets de horizon van zo'n zwart gat binnengaat, kan het onmogelijk nog terugkomen.

Deze vreemde oplossingen van Einsteins vergelijkingen waren al vroeg bekend. Het was echter lang onduidelijk of ze serieus genomen moesten worden, mede doordat er in het midden van een zwart gat een *singulariteit* van de ruimtetijd zit. Op een dergelijk punt houdt de ruimtetijd letterlijk op te bestaan en bereiken we de grens van wat Einsteins theorie kan beschrijven.

Als student in de jaren zestig werkte Hawking met Roger Penrose aan de theorie van zulke singulariteiten. Samen konden ze een wiskundig bewijs geven voor het feit dat binnen de theorie van Einstein singulariteiten *niet* iets exotisch zijn: met een paar redelijke aannames blijkt er *altijd* ergens in de ruimtetijd een singulariteit te ontstaan.

Ook het idee van een *oerknal*, een soortgelijke singulariteit aan het begin van het universum, stond in de jaren zestig uitgebreid ter discussie. Hawking en Penrose lieten in die tijd zien dat, met soortgelijke aannames, ook deze singulariteit een onvermijdelijk gevolg is van

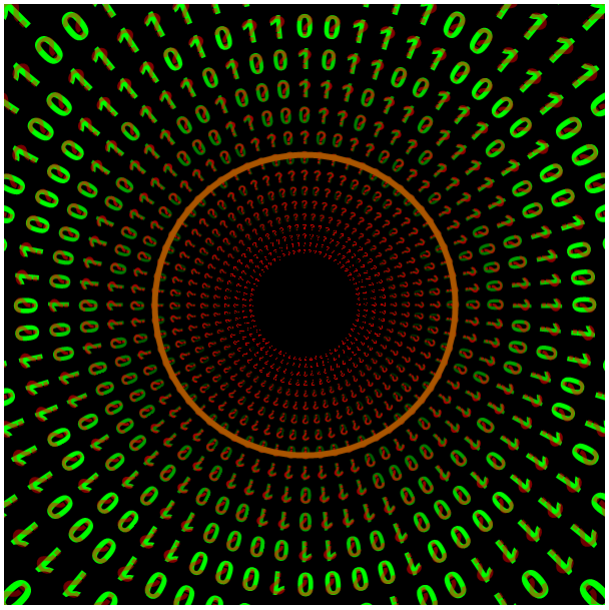
Einsteins theorie.

De thermodynamica van zwarte gaten

Er bleven echter nog veel vreemde haken en ogen aan zwarte gaten zitten. Zo liet Hawking zien dat de grootte van een zwart gat nooit kan verminderen. Materie met elektrische lading en impulsmoment (draaiing) kan eveneens worden opgeslokt, wat het zwarte gat extra lading geeft of sneller laat draaien. Wat je er ook in gooit, de oppervlakte van de horizon van het zwarte gat wordt echter alleen maar groter.

Voor een ruimdenkende geest zouden de vorige twee zinnen een belletje kunnen laten rinkelen. De benamingen van de diverse grootheden zijn misschien anders, maar wat er gezegd wordt lijkt veel op de eerste en tweede hoofdwet van de thermodynamica. Zo is er ook in de thermodynamica een grootheid die alleen maar groter wordt: de entropie van een systeem. Aan de hand van meer wiskundige hoogstandjes wist Hawking met James Bardeen en Brandon Carter te bewijzen dat deze analogie in detail door te voeren is. Een zwart gat is een thermodynamisch systeem!

Sinds het begin van de twintigste eeuw weten we dat objecten met een bepaalde temperatuur straling moeten uitzenden. Jacob Bekenstein voerde de analogie tussen zwarte gaten en thermodynamica nog verder door, en stelde voor dat zwarte gaten *ook* straling uitzenden. Hawking was het hier oorspronkelijk niet mee eens, maar tot veler verbazing bleek de uitkomst van een indrukwekkende berekening die hij deed Bekenstein toch gelijk te geven. Deze Bekenstein-Hawkingstraling van zwarte gaten is misschien wel Hawking's bekendste ontdekking. Zie de Quantum Universe-dossiers over zwarte gaten en entropie voor meer informatie over deze ideeën en de gerelateerde informatieparadox.



Afbeelding 2. De informatieparadox.Kan informatie door in zwarte gaten te vallen volledig uit het heelal verdwijnen?

Nieuwe ideeën voor een oude paradox

Tot op de dag van vandaag is er nog veel te doen over de informatieparadox. In het kort komt deze puzzel op het volgende neer. De temperatuur van een voorwerp, zoals een glas water, is een maat om de beweging te beschrijven van de deeltjes waaruit het voorwerp bestaat. Als we wat inkt in het glas water laten vallen zal de kleurstof zich door deze beweging langzaam over het glas verspreiden.

Waar we de inktmoleculen door hun kleur altijd kunnen blijven volgen, lijken zwarte gaten ondanks hun temperatuur echter heel anders te werken. Alles wat in een zwart gat valt is volgens Einstein immers voor altijd verdwenen. Waar we rode en zwarte inktmoleculen prima kunnen blijven onderscheiden in een glas water, kunnen we niet meer zien *wat* er precies in het zwarte gat is gegooid. Wanneer nu een zwart gat door zijn Bekenstein-Hawkingstraling helemaal ‘verdampt’ lijkt deze informatie voorgoed verdwenen uit ons heelal. Er lijkt dus informatie verloren te gaan – maar noch in de quantummechanica, noch in de relativiteitstheorie, kan informatie zomaar verdwijnen!

Een oplossing voor deze paradox zouden we kunnen vinden als we meer details van de singulariteit van het zwarte gat kunnen begrijpen, wat bijvoorbeeld mogelijk is binnen de snaartheorie. Daar hebben Andrew Strominger en Cumrum Vafa bijvoorbeeld zeer precieze

berekeningen over de ‘moleculen’ van een zwart gat gedaan.

Ook binnen de theorie van Einsten zelf blijft er nagedacht worden over manieren om meer ‘kleur’ van zwarte gaten te onderscheiden. Het verhaal gaat dat Hawking in Stockholm een praatje van dezelfde Strominger bijwoonde, die vertelde over een nieuwe soort behouden ladingen en hun verband met oude problemen uit de deeltjesfysica. Hier kan je overigens meer lezen over behouden ladingen en hun relatie met symmetrie.

Hawking zag in de ‘asymptotische ladingen’ waarover Strominger sprak een manier om zwarte gaten te onderscheiden, en werkte samen met hem en zijn collega Malcom Perry sindsdien aan de uitvoering van dat idee. In januari 2016 brachten ze een artikel uit over een elektromagnetische versie van zulke ladingen, en in december gaven ze ook een interpretatie aan asymptotische ladingen van zwaartekrachtsgolven.

Zeepbellen in het universum

De natuurkunde achter asymptotische ladingen is te vergelijken met die van zeepbellen. Stel je voor dat je uit ijzerdraad een lus maakt en deze door een bak zeepsop haalt. De vorm van de zeepbel die je dan krijgt wordt vastgelegd door de vorm van het ijzerdraad waarbinnen de bel ligt. Zoiets soortgelijks gebeurt er voor zwarte gaten in de vlakke ruimte: er is grofweg maar één manier waarop de ruimtetijd zich in een zwart gat kan wringen.

De zeepbel is echter niet *helemaal* uniek. Als je het ijzerdraad in een mooi vlakke cirkel hebt gebogen zal het zeep een platte schijf vormen, maar als je de draad tot een vierkant buigt ziet de oppervlakte van de zeepbel er van dichtbij precies hetzelfde uit. Alleen aan de rand van de bel is er verschil te zien. Op een soortgelijke manier maakt het voor zwaartekrachtstheorieën uit wat er zich op de *rand* van het universum afspeelt. Hawking, Strominger en Perry hebben die ‘vorm’ van de rand van de ruimte waar het zwarte gat in leeft onderzocht.

Het idee is dat deze rand wel eens de ‘missende’ informatie uit de informatieparadox kan bevatten. Hoewel de kennis van deze vorm waarschijnlijk niet genoeg is om álle informatie te redden die in een zwart gat kan verdwijnen, is het zeker een interessant idee

dat momenteel verder bestudeerd wordt.

Wat vast staat is dat er met recht veel aandacht besteed wordt aan oude én nieuwe ideeën van Stephen Hawking. De uitzonderlijke natuurkundige schijnt de belemmeringen van zijn fysieke beperkingen zo veel mogelijk op de achtergrond van zijn leven te willen houden, en slaagt daar ook prima in: het belang van zijn ontdekkingen spreekt voor zichzelf.