Een paradox, tweede wet, en complexiteit

Sinds in 1915 de eerste vergelijkingen werden ontdekt die zwarte gaten beschrijven, hebben deze objecten wetenschappers verbaasd door hun mysterieuze eigenschappen. Zelfs nu, meer dan honderd jaar later, zijn veel vragen over zwarte gaten nog onbeantwoord. Misschien wel de bekendste vragen die nog wachten op een bevredigend antwoord, zijn de vraag wat er gebeurt bij de singulariteit in het centrum van het zwarte gat, en de informatieparadox – veelbesproken op deze website, zie bijvoorbeeld dit artikel. In 2014 kwam daar een nieuw raadsel bij, geformuleerd door Leonard Susskind.

Het nieuwe raadsel gaat over het volume van een zwart gat, maar voordat we de paradox kunnen formuleren, moeten we wat thermodynamica bespreken. Stel je voor dat je melk in je koffie schenkt. Vlak na het schenken beweegt de lichtgekleurde melk door de donkere koffie. Na een tijdje wachten, of met behulp van roeren, bereikt de koffie met melk een thermodynamisch evenwicht: de koffie is niet meer te onderscheiden van de melk en alle 'beweging' stopt. Dit wordt in de natuurkunde ook wel 'heat death' genoemd. Alle dynamiek verdwijnt uit het systeem als het een thermodynamisch evenwicht bereikt. Hetzelfde gebeurt op kosmische schalen. Als alle sterren zijn opgebrand en de restanten tot rust zijn gekomen, komt het universum tot eeuwige rust.

Maar in het geval van zwarte gaten is er meer aan de hand: in zwarte gaten lijken er zeker nog wel interessante dingen te gebeuren terwijl ze in thermodynamisch evenwicht zijn. Als je een zwart gat van veilige afstand bekijkt, zie je niets vreemds. Het gat groeit als er massa in valt, maar dit daargelaten gebeurt er niets: het gat is in thermodynamisch evenwicht. Het perspectief vanuit het binnenste van het zwarte gat is echter heel anders. Het volume van het zwarte gat, van binnen uit gezien, groeit volgens de klassieke wetten van zwarte gaten nog lang door nadat het thermodynamisch evenwicht is bereikt. Dit lijkt echter in strijd met

de wetten van de thermodynamica. Een object in evenwicht komt tot rust, en groeit niet voor eeuwig. Een paradox dus.

Susskind stelde de volgende oplossing voor. Het bepalen van het volume van zwarte gaten kan gezien worden als een meting van complexiteit, een begrip dat onder andere voorkomt in de studie van quantumcomputers. In het kort zegt de complexiteit hoeveel van een bepaalde verzameling basisstappen er nodig zijn om tot het resultaat te komen dat wordt waargenomen. Een goede analogie is te vinden als je kijkt naar LEGO-sets. Hoe meer stappen de instructie bevat om een bepaald bouwwerk te maken met legosteentjes, hoe complexer het resultaat. Susskind suggereert dat zelfs nadat zwarte gaten hun thermodynamisch evenwicht bereiken, hun complexiteit nog steeds doorgroeit.

Susskinds idee was een van de redenen dat een ‘nieuwe tweede wet’ werd geopperd: de tweede wet van complexiteit. Die naam is te danken aan de gelijkenis met de tweede wet van de thermodynamica, die zegt dat een andere natuurkundige grootheid – entropie – voor thermodynamische systemen alleen maar kan groeien. De nieuwe tweede wet stelt dat ook de complexiteit van zwarte gaten groeit, totdat er een toestand van maximale complexiteit wordt bereikt, het evenwicht, waarin het systeem écht tot rust komt.

Wil je meer weten over complexiteit in zwarte gaten? Bekijk dan onderstaande video van Quanta Magazine, en lees het bijbehorende artikel.