De herhalingstijd van ons universum

Wacht lang genoeg, en fysische systemen zullen altijd terugkeren naar hun begintoestand. Voor tastbare systemen zoals gasdeeltjes in een kleine container kunnen we dit nagaan door middel van experimenten en simulaties, maar wat als we naar ons gehele universum kijken? In dit artikel verdiepen we ons in de zogenaamde 'Poincaréherhalingen' die fysische systemen kunnen ondergaan.

Afbeelding 1. Herhaalt het universum zich? Foto: superk8nyc.

Laten we beginnen met een simpel voorbeeld. Stel dat we een pak kaarten nemen en beginnen te schudden. Deze kaarten kunnen dan in veel verschillende volgordes terechtkomen (wel $52!=52 \times 51 \times \ldots \times 2 \times 1 \simeq 10^{68}$, om precies te zijn). Maar hoe groot dit getal ook is, het is niet oneindig groot. Dit betekent dat – na lang genoeg schudden – er een herhaling van de volgorde van de kaarten moet plaatsvinden. Na $52!$ keer schudden hebben we, als er daarvoor al niet een herhaling is geweest, alle volgordes precies één keer gehad, wat betekent dat er daarna onherroepelijk een “oude” volgorde moet gaan voorkomen. In het Engels staat dit bekend als het “pigeonhole principle”: wanneer we duiven in hokjes willen plaatsen en er meer duiven dan hokjes zijn, betekent dit dat er in minstens één hokje met meerdere duiven moet zijn. In ons geval proberen we de verschillende volgordes van de kaarten te verdelen over de keren dat we het pak kaarten geschud hebben, en wanneer we vaak genoeg schudden moeten we bepaalde volgordes meerdere keren tegenkomen.

De Franse natuurkundige Henri Poincaré besefte rond 1890 dat een soortgelijk principe moet gelden voor fysische systemen. Het maakt hierbij niet uit of een systeem zich heel erg chaotisch gedraagt: uiteindelijk zal het altijd terugkeren naar een oude toestand. Neem bijvoorbeeld gasdeeltjes, opgesloten in een container, die alle kanten op bewegen. Aan het begin stoppen we ze samen in een hoek, maar daarna beginnen ze zich vanzelf te verspreiden over de doos. Wat de *herhalingsstelling van Poincaré* ons nu vertelt, is dat na lang genoeg wachten de deeltjes toch weer samen zullen komen in de hoek waar ze begonnen.

Er zijn twee dingen die de stelling van Poincaré bijzonderder maken dan wat we bij het pak kaarten zagen gebeuren. Ten eerste zegt de stelling dat *elke* begintoestand weer terug zal keren. Bij het pak kaarten hoeft dat niet het geval te zijn. Stel dat je bij de eerste keer schudden één kaart van boven naar beneden verplaatst, maar elke keer daarna steeds twee. Je kunt jezelf ervan overtuigen dat de allereerste toestand dan nooit meer terug zal komen – al zullen alle ándere toestanden zich wel regelmatig herhalen. In de natuur gebeurt dit niet: als het systeem aan bepaalde wiskundige eisen voldoet zal elke toestand terugkeren. Een tweede bijzonderheid van de natuurkunde is dat de toestand van een systeem vaak het hele daaropvolgende tijdsverloop bepaalt. Als een toestand dus eenmaal is teruggekeerd zal in veel systemen alles wat daarná gebeurt ook weer precies hetzelfde zijn – een soort natuurkundige variant op de film ‘Groundhog Day’.

Op het eerste gezicht lijkt het nu misschien alsof er een tegenspraak is met de [tweede hoofdwet van de thermodynamica](). Deze wet vertelt ons dat de *entropie* van fysische systemen, ruwweg de mate van wanorde in het systeem, nooit kan afnemen. Sterker nog, in veel gevallen zal de entropie alleen maar toenemen. Voeg bijvoorbeeld koude melk toe aan een kop hete koffie. Dan mixen de deeltjes van deze vloeistoffen met elkaar en zal de entropie – de mate van wanorde in ons glas – alleen maar toenemen. Aan de andere kant vertelt de herhalingsstelling van Poincaré ons dat systemen altijd weer in een oude toestand zullen terugkeren, en dat daarbij de entropie dus weer de oude waarde zal aannemen. Deze ogenschijnlijke paradox wordt opgelost door het feit dat de herhalingsstelling niet voor ieder fysisch systeem geldt, maar alleen voor *gesloten systemen* die aan bepaalde wiskundige eisen voldoen. Voor dit soort systemen is de entropie vrijwel altijd constant. Er kan wel heel even een afname in de entropie zijn – zoals in het voorbeeld van alle deeltjes in de hoek van een gascontainer – maar al snel zal de entropie dan weer toenemen naar de oude evenwichtswaarde. Op lange termijn neemt de gemiddelde entropie dus niet af, maar ook niet toe – en dat is volgens de tweede hoofdwet uitstekend.

Maar wat nu als we de herhalingsstelling op een veel grotere schaal willen toepassen, bijvoorbeeld voor ons heelal? Deze vraag stelde de Amerikaanse natuurkundige Don Page zichzelf in de jaren 90 ook. Hij berekende de herhalingstijd die universa zouden hebben volgens de stelling van Poincaré, en zo kwam hij tot een bijzonder groot getal, nog veel immenser dan de 10^{68} keer dat we ons kaartendek moesten schudden. Hij ontdekte namelijk dat de herhalingstijd van ons universum van de orde van 10^{120} *jaar* moest zijn. Voorlopig hoeven we een herhaling dus nog niet te verwachten, want ons universum is (pas) 14 miljard, ofwel 14×10^{9}, jaar oud. Voor wie geïnteresseerd is in de berekening van dit getal geeft het youtubekanaal Numberphile hier een interessante afleiding van. Ruwweg is het idee dat we ons eerdere voorbeeld – botsende gasdeeltjes opgesloten in een container – kunnen vervangen door planeten en sterren die bewegen door ons heelal. De schaal van ons systeem is van een hele andere orde, maar de principes achter Poincaréherhalingen lijken nog steeds van toepassing.

We moeten wel een paar kanttekeningen plaatsen bij het toepassen van de herhalingsstelling van Poincaré voor ons heelal. Zo geldt de herhalingsstelling zoals gezegd alleen voor gesloten systemen die aan bepaalde wiskundige eisen voldoen, maar ons universum voldoet daar niet helemaal aan. Ons heelal dijt bijvoorbeeld langzaamaan uit, en als mocht blijken dat het daar nooit meer mee ophoudt schendt het heelal één van de wiskundige eisen. Daarbovenop zit ons heelal vol met exotische objecten zoals zwarte gaten waarvan we de natuurkunde nog niet helemaal begrijpen, laat staan wat voor effect ze kunnen hebben op de Poincaréherhalingen. Of de stelling ook op de schaal van het heelal strikt waar is weten we dus nog niet zeker. Desalniettemin geeft de herhalingsstelling van Poincaré ons een interessante manier om over het gedrag van fysische systemen na te denken. Vind je het lastig om aan het idee van een herhalend heelal te wennen, maak je dan geen zorgen: wie weet leest je dit artikel over 10^{120} jaar wel weer opnieuw!