Een eetbaar heelal?

Wat is de vorm van ons heelal? Als je ’s nachts naar de sterrenhemel kijkt is dat misschien niet de eerste vraag die bij je opkomt. Toch zijn astronomen enorm geïnteresseerd in dit vraagstuk. Er bestaat een verrassend voorstel voor het antwoord, namelijk dat ons heelal de vorm van een donut heeft. In dit artikel bespreek ik hoe je zo’n driedimensionaal donutuniversum ‘maakt’ én hoe het is om er in eentje te leven.

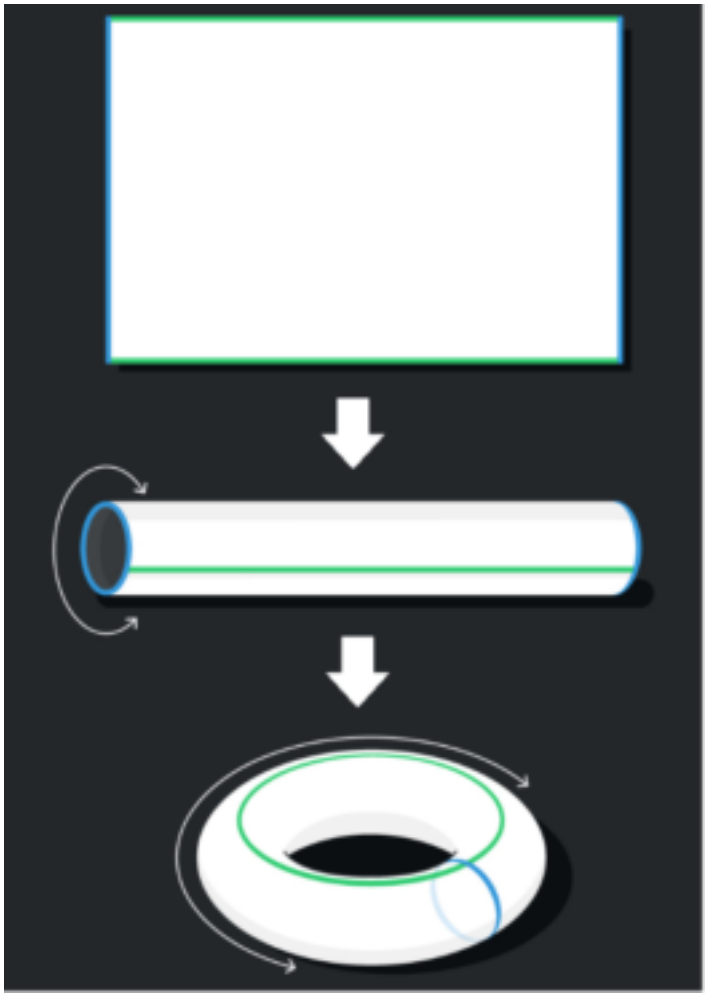
Afbeelding 1. Een donutuniversum? Foto: Salim Virji.

Het universum ziet er met het blote oog in alle richtingen grofweg hetzelfde uit – wat vooral opvalt is dat de ruimte enorm uitgestrekt is. Omdat we er middenin zitten is het niet makkelijk om over het universum als geheel na te denken. Wat bedoelen we überhaupt met de ‘vorm’ van het heelal? Het is goed om hier onderscheid te maken tussen twee verschillende begrippen, namelijk *meetkunde* en *topologie*. De meetkunde van het heelal is een lokaal begrip. Het gaat er hierbij om hoe we afstanden en hoeken meten op een

specifieke plek in het universum. Bij de topologie van het heelal gaat het om de grootschalige vorm – het kan zijn dat het heelal er op grote schaal anders uitziet dan we op grond van lokale waarnemingen zouden verwachten. Er was ook een tijd dat men dacht dat de aarde plat was, terwijl we nu weten dat de aarde de vorm van een bol heeft. Op dezelfde manier zou het heelal als geheel mogelijk een vorm zonder rand kunnen hebben, bijvoorbeeld die van een donut, maar dan wel in drie dimensies. Hoe ziet zo'n driedimensionale donut er eigenlijk uit?

Hoe maak je een donut?

Laten we kijken hoe we zo'n donutuniversum moeten maken – we geven hiervoor een soort wiskundig donutrecept. Met een donut bedoelen we hier altijd het óppervlak van de donut, dus zonder de inhoud. Allereerst is het goed om een kleine versimpeling te maken. Ons heelal heeft drie ruimtelijke dimensies – boven/ beneden, links/rechts en voor/achter. We vergeten hier even de tijd, die in de natuurkunde vaak als vierde dimensies wordt toegevoegd. Om het recept duidelijk uit te leggen vergeten we tijdelijk zelfs nóg een van deze dimensies: we nemen aan dat ons fictieve heelal twee dimensies heeft. Je kunt je zo'n universum voorstellen als een vierkant stukje papier. Neem twee van de tegenoverliggende kanten van het papier en plak ze aan elkaar. Het universum ziet er nu uit als een cylinder. De laatste stap is om de twee uiteinden van de cylinder aan elkaar te plakken. Dat valt met papier niet mee, maar met een vel rubber zou je dat prima kunnen doen. Het resultaat is een tweedimensionaal heelal in de vorm van een donutoppervlak. Hieronder is de procedure in plaatjes weergeven. Het is belangrijk om op te merken dat er in het donutmodel twee *periodieke richtingen* zijn: als je je in een van deze richtingen beweegt, kom je uiteindelijk weer terug op de plek waar je begon.



Afbeelding 2. Een donut in drie stappen. Van links naar rechts: je begint met een stukje papier, waarvan je twee kanten (groen) aan elkaar plakt. Dit geeft een cylinder. Als je vervolgens de twee overige kanten (blauw) aan elkaar plakt is het resultaat een donut. De donut heeft twee periodieke richtingen: twee gekleurde paden die weer bij zichzelf uitkomen. Afbeelding uit "What is the Geometry of the Universe?" van de Quanta Magazine-website.

Het bovenstaande donutrecept maakt gebruik van een versimpeling: twee in plaats van drie dimensies. Kunnen we iets soortgelijks doen voor ons eigen driedimensionale heelal? Om deze vraag te beantwoorden is het goed om een tweede kijk te hebben op de bovenstaande constructie. Een andere manier om over het donutuniversum na te denken is als volgt. Stel je het tweedimensionale heelal voor als het bovenaanzicht van een kamer, waarin je je vrij kunt

rondlopen. Er zit een deur in ieder van de vier muren. Het plakken van de tegenoverliggende kanten zie je hier als volgt: als ik door een van de vier deuren de kamer verlaat, kom ik door de tegenoverliggende deur dezelfde kamer weer binnen! Er zijn zo opnieuw twee periodieke richtingen. Op deze manier kun je het donutuniversum dus ook voorstellen als een hele reeks van dit soort identieke kamers die met elkaar verbonden zijn door de deuren. Dit herhalende patroon strekt zich uit in twee richtingen – de twee periodieke richtingen van de donut. De donutvorm hoeft daarom niet per se krom hoeft te zijn – alles speelt zich af in het platte vlak – en je ziet de globale vorm alleen door het universum als geheel te bekijken.

Deze tweede kijk heeft een natuurlijke veralgemenisering naar meer dimensies. In drie dimensies – dit is het aantal dimensies van ons eigen heelal – beginnen we niet met een platte vierkante kamer – het stukje papier – maar met een *kubus*vormige kamer. Om het donutuniversum te maken identificeren we nu alle tegenoverliggende kanten van deze kubus. Zodra ik aan een van de kanten het universum probeer te verlaten, kom ik er aan de tegenoverliggende kant weer binnen – dus ook het plafond van de kamer is verbonden met de vloer. Je kunt je de ‘driedonut’ dus voorstellen als een rooster van kubusvormige kamers, elk een kopie van de andere. Dit patroon herhaalt zicht tot in het oneindige in alle richtingen. Dit is hoe je een driedimensionale donut maakt!

Een spiegelhuis

Laten we nu bekijken hoe het is om in zo’n donutuniversum te leven. Het eerste wat je als inwoner opvalt is het volgende: als je in een van de periodieke richtingen kijkt zie iets heel bijzonders, namelijk een kopie van jezelf. En dat niet alleen: je ziet een oneindige reeks van zulke kopieën, eentje in iedere kubus. Daarom lijkt het donutuniversum een beetje op een spiegelhuis – waarbij je omringd wordt door je eigen spiegelbeelden[1]. Een duizelingwekkende ervaring!

Afbeelding 3. Een oneindige reeks van spiegelbeelden. Foto: Josh Staiger.

Er is echter een interessant verschil met het spiegelhuis. Waar je in het spiegelhuis een (bijna) exacte kopie van jezelf ziet, zie je in het donutuniversum een kopie van jezelf *uit het verleden*. Dit is het gevolg van een belangrijk natuurkundig feit: dat de lichtsnelheid eindig is. Een spiegel heeft dit effect natuurlijk óók, alleen is het tijdsverschil daar zo kort dat je het niet merkt. Stel dat we een lichtsignaal vanaf de aarde de ruimte insturen, dan kost het tijd voor dit signaal om een andere plek in de ruimte te bereiken – zo heeft het licht bijvoorbeeld een ruime acht minuten nodig om de afstand tussen de zon en de aarde af te leggen. In het donutuniversum heeft dit een gekke consequentie: als we de lichtstraal in een van de periodieke richtingen uitzenden komt deze uiteindelijk weer aan op aarde, maar pas nadat het licht de afstand van een heel universum heeft overbrugd! Het signaal komt daarom pas veel later aan dan toen het werd uitgezonden. Om die reden zien we niet een exacte kopie van onszelf, maar eentje uit het verleden. De inwoners van het donutuniversum hebben dus een bijzondere sterrenhemel: ergens tussen de lichtpuntjes zitten mogelijke kopieën van hun eigen melkwegstelsel, allemaal op verschillende tijdstippen in het verleden.

De vraag is natuurlijk of deze driedimensionale donut een goed model is voor ons eigen universum. Wat hierboven staat uitgelegd geeft astronomen een concrete waarneming om dit voorstel te testen: om in de sterrenhemel te zoeken naar herhalende patronen. In het donutmodel zou de sterrenhemel namelijk kopieën van zichzelf kunnen bevatten. Tot nu toe lijkt er in de astronomische data niet zo'n regelmaat te zitten – hier gebruiken natuurkundigen bijvoorbeeld metingen aan de CMB voor. Om die reden heeft het donutmodel nog niet veel achterban gevonden. Het zou natuurlijk wel kunnen dat de donut zó groot is, dat zelfs het licht van de eerste kopie ons ook in de 13,8 miljard jaar sinds het ontstaan van het heelal nog niet bereikt heeft.

We hebben in dit artikel gezien hoe we kunnen nadenken over de vorm van ons universum. En wel door een onverwacht model te bekijken waarin het heelal de vorm van een driedimensionale donut heeft – een vorm die je het hoofd doet duizelen als je erover probeert na te denken. Helaas wijzen de astronomische waarnemingen aan ons eigen universum nog niet direct naar dit voorstel – maar omgekeerd: we hebben óók geen bewijs voor het feit dat het heelal zich juist oneindig in alle richtingen uitstrekt. Het kan dus voor natuurkundigen zeker geen kwaad om met alle mogelijkheden rekening te houden. En bovendien: het is leuk (en leerzaam) om je voor te stellen hoe het is om in zo'n universum te leven, vooral wanneer je de volgende keer een hap uit een donut neemt.

---

[1] Om precies te zijn gaat het in het donutuniversum niet om spiegelbeelden. Als je in een van de periodieke richtingen kijkt zie je jezelf niet van voren (zoals in een spiegel) maar van achteren.