

Welkom in het universum

Een korte rondleiding

Neil deGrasse Tyson

Michael A. Strauss

J. Richard Gott

Amsterdam University Press

Oorspronkelijke uitgave: Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss & J. Richard Gott, *A Brief Welcome to the Universe*. Princeton University Press, 2021. [ISBN: 978 03 9360 939 4]
Copyright © 2021 Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss & J. Richard Gott
Vertaling: Jan Willem Nienhuys

Ontwerp omslag: Studio Veen
Ontwerp binnenwerk: Crius Group, Hulshout

ISBN 978 90 4857 435 3
e-ISBN 978 90 4857 649 4 (toegankelijke ePub)
NUR 910

© Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss & J. Richard Gott / Amsterdam University Press B.V., Amsterdam 2026

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

De uitgeverij heeft ernaar gestreefd alle copyrights van in deze uitgave opgenomen illustraties te achterhalen. Aan hen die desondanks menen alsnog rechten te kunnen doen gelden, wordt verzocht contact op te nemen met Amsterdam University Press.

Inhoudsopgave

Bericht aan de lezer	7
1. Maten en schalen in het universum	9
<i>Neil deGrasse Tyson</i>	
2. Pluto's plaats in het zonnestelsel	21
<i>Neil deGrasse Tyson</i>	
3. Leven en dood van sterren	37
<i>Michael A. Strauss en Neil deGrasse Tyson</i>	
4. De zoektocht naar leven in de Melkweg	67
<i>Neil deGrasse Tyson</i>	
5. Onze Melkweg en zijn superzware zwarte gat	91
<i>Michael A. Strauss</i>	
6. Melkwegstelsels, het uitdijend heelal en de Oerknal	103
<i>Michael A. Strauss</i>	
7. Inflatie en het multiversum	133
<i>J. Richard Gott</i>	
8. Onze toekomst in het universum	169
<i>J. Richard Gott</i>	
Dankwoord	191

Bericht aan de lezer

Welkom in het universum. Een korte rondleiding is een destillaat van een groter project van dezelfde auteurs, namelijk *Welcome to the Universe: An Astrophysical Tour* (2016). Dat boek, met wel zesmaal zoveel tekst, was een copieus banket; hier worden enkele amuses opgediend die hopelijk de eetlust opwekken.

1. Maten en schalen in het universum

Neil deGrasse Tyson

We beginnen met het zonnestelsel. Daarna stijgen we op naar de sterren. Dan naar de Melkweg, het universum en nog verder.

Het universum. Dat is groter dan je denkt. Het is warmer dan je denkt. Het is dichter dan je denkt. En ijler. Alles wat je over het universum denkt, is minder buitenissig dan het werkelijk is. Laten we eerst maar eens wat getallen benoemen voor we beginnen. We beginnen met het getal 1. Dat heb je al eerder gezien. Er zitten geen nullen in. Als we exponentiële notatie gebruiken om het op te schrijven, krijgen we tien tot de nulde macht: 10^0 . Dat kleine nulletje heet de exponent. Er staan nul nullen rechts van de 1 die het getal één aangeeft. Daarom schrijven we nul in de exponent. Nu tien. Dat getal schrijven we als 10^1 , tien tot de eerste macht. Duizend heeft drie nullen, notatie 10^3 . Kilo is het voorvoegsel dat duizend betekent. Dus een kilogram is duizend gram, en een kilometer is duizend meter. Nog drie nullen erbij geeft ons een miljoen, 10^6 , en het bijbehorende voorvoegsel voor eenheden is mega. Wie weet, misschien konden ze niet verder tellen toen de megafoon werd uitgevonden. Als het voorvoegsel voor een miljard toen al bekend

was, zouden ze het ding misschien gigafoon genoemd hebben.

Weet je hoe groot een miljard is? Van wat voor soort dingen zijn er miljarden?

Op het ogenblik (2021) is de wereldbevolking bijna acht miljard.

Hoeveel geld heeft Jeff Bezos, de oprichter van Amazon? Meer dan 100 miljard dollar. Waar heb je 100 miljard gezien? Misschien in de reclame van McDonald's. 'Meer dan 99 miljard geserveerd.' Grotere getallen zul je niet zien in straatreclame. Nooit adverteerde McDonald's met het getal 100 miljard. Op dat reclamebord, waar de aantallen verkochte hamburgers stonden, was maar plaats voor twee cijfers. Toen ze meer dan 100 miljard verkocht hadden, stopten ze bij 99. Daarna imiteerden ze Carl Sagan en maakten ervan 'miljarden en miljarden', althans in de VS.

Neem 100 miljard hamburgers en leg die achter elkaar. Begin in New York en ga dan naar het westen. Haal je Chicago? Natuurlijk. Californië? Ja. Nu moet je iets bedenken om je hamburgers drijvend te houden. Voor deze berekening ga ik uit van hamburgers met een diameter van 10 centimeter, dus met het broodje erbij. Vervolg je ketting van drijvende hamburgers over de oceaan langs een grote cirkel. Je steekt de Stille Oceaan over, passeert Australië, de Indische Oceaan, Afrika, de Atlantische Oceaan en terug naar New York. Dat is een massa hamburgers. Maar je hebt er nog een paar over als je de hele Aarde rond bent geweest. Dus je maakt

nog een rondje, of beter 215 extra rondjes. Dan heb je er nog steeds wat over, maar je bent nu wel uitgekeken op alsmaar de Aarde rondgaan. Je maakt een hoge stapel van het overschot. Hoe hoog is die stapel? Je komt ermee tot de Maan en dan – aangenomen dat ze met broodje en al vijf centimeter dik zijn – kun je ook nog dezelfde afstand terug. Pas dan zijn je 100 miljard hamburgers op. Dat is waarom koeien zo bang zijn voor McDonald's. Bij wijze van vergelijking: de Melkweg heeft ongeveer 300 miljard sterren. Misschien maakt McDonald's zich op voor de kosmos.

Als je 31 jaar en 9 maanden oud bent, heb je ruim een miljard seconden geleefd. Ik was gek genoeg om het precieze tijdstip uit te rekenen (ik kwam op 31 jaar, 7 maanden, 9 uur, 4 minuten en 20 seconden) en dat dan te vieren met een snelle teug champagne.

We gaan verder. Wat is de volgende stap omhoog? Een biljoen: 10^{12} . Het bijbehorende voorvoegsel is *tera*. Je kunt niet tot een biljoen tellen. Als je elke seconde het volgende getal zou zeggen, zou het je duizend keer zoveel tijd kosten als 31 jaar, dus 31.000 jaar. Dat is waarom we je aanraden het niet te doen. Probeer het ook niet thuis. Een biljoen seconden geleden waren holbewoners bezig plaatjes te tekenen op de muren van hun huiskamers.

In het Rose Center of Earth and Space in New York is er een spiraalvormig hellend pad dat een tijdlijn voorstelt van het universum. Het begint bij de Oerknal en brengt 13,8 miljard jaar in beeld; de totale lengte is

die van een voetbalveld. Elke stap stelt 50 miljoen jaar voor. Je komt bij het eind en je vraagt waar wij zelf dan zijn. Waar is de geschiedenis van de menselijke soort? Die hele periode van ongeveer één biljoen seconden, gerekend vanaf graffiti-minnende holbewoners tot nu, vertegenwoordigt slechts de dikte van een menselijke haar (een kwart millimeter). Die haar hebben we in beeld gebracht aan het einde van die tijdlijn. Denk je dat wij al lang leven? Dat beschavingen lang duren? Nee. Niet in vergelijking met de kosmos.

En daarna? 10^{15} . Dat is een biljard (met een d), als voorvoegsel *peta*. Het aantal mieren op Aarde is tussen de 1 en 10 biljard, volgens Harvardbioloog E.O. Wilson.

Vervolgens hebben we 10^{18} , een triljoen, voorvoegsel *exa*. Denk aan het aantal zandkorrels op tien lange stranden.

Weer een factor 1000 omhoog brengt ons bij 10^{21} , een triljard (voorvoegsel *zetta*). We zijn van kilometers naar megafoons en hamburgers van McDonald's naar cro-magnonkunstenaars en naar mieren en zandkorrels op stranden gegaan en nu zijn we eindelijk bij meer dan tien triljard:

het aantal sterren in het waarneembare heelal.

Er zijn mensen die zomaar los rond mogen lopen en die beweren dat we alleen zijn in de kosmos. Die hebben gewoon geen flauw idee van grote getallen of van de afmetingen van de kosmos. Later zullen we meer

vernemen over wat er bedoeld wordt met het *waarneembare heelal*, het deel van het universum dat we kunnen zien.

Nu we toch bezig zijn, wat vind je van een getal dat veel groter is dan een triljoen, bijvoorbeeld 10^{81} ? Dat is het aantal atomen in het waarneembare heelal. Heb je ooit een getal nodig dat nog groter is? Wat 'ter wereld' zou je dan tellen? Wat vind je van 10^{100} , een *googol*? Dat is een mooi rond getal. Niet te verwarren met Google, het internetbedrijf dat opzettelijk 'googol' fout spelde.

Er zijn niet genoeg objecten in het universum om tot googol te kunnen tellen. Het is gewoon een getal voor de lol. We kunnen het als 10^{100} schrijven. Als je font niet beschikt over superscript, dan kun je ook noteren: 10^{100} . Dat werkt voor al onze grote getallen. Maar zulke grote getallen zijn in sommige situaties toch nuttig, namelijk als je geen *dingen* telt maar manieren waarop iets kan gebeuren. Bijvoorbeeld, hoeveel verschillende spelletjes schaak kun je spelen? Een schaakspel kan op verzoek van een speler in gelijkspel eindigen als precies dezelfde positie voor de derde keer herhaald is of wanneer er 50 zetten gedaan zijn zonder dat er een stuk geslagen of een pion verzet is, en ook als er niet voldoende stukken over zijn om een schaakmat te krijgen. Als we afspreken dat een speler gelijkspel eist als een van deze drie dingen zich voordoet, dan zijn er geen oneindige spellen, en kunnen we het aantal mogelijke schaakpartijen schatten. Rich Gott heeft dit gedaan (dat is het soort dingen dat hij leuk vindt) en kwam op minder dan $10^{(10^{4,4})}$,

zeg $10^{25.120}$. Dat is heel veel groter dan googol, dat immers slechts $10^{(10^2)}$ is. Nogmaals, je telt geen dingen maar mogelijke manieren om iets te doen. Zo kun je heel grote getallen krijgen.

Hier is een getal dat nog groter is. Googol is een 1 met 100 nullen erachter. Wat is dan een 1 met googol nullen erachter? Dat heeft een naam: googolplex. Kun je dat getal uitschrijven? Nee natuurlijk, want dan zou je googol nullen fysiek moeten uitschrijven, en een googol is al meer dan het aantal atomen in het universum. Je moet je behelpen met 10^{googol} , of $10^{10^{100}}$ of $10^{(10^{100})}$.

Maar we zijn hier niet om tijd te verknoeien. Hier is een getal dat groter is dan een googolplex. Jacob Bekenstein heeft een formule bedacht voor het maximum aantal kwantumtoestanden die ruwweg de totale massa en omvang hebben van ons waarneembare universum. Vanwege de kwantumonzekerheden zou dat het maximale aantal mogelijke verschillende waarneembare heelallen zijn zoals het onze. Dat is $10^{(10^{124})}$. Dat is een 1 met 10^{24} maal zoveel nullen als een googolplex. Deze $10^{(10^{124})}$ heelallen variëren van enge die voornamelijk met zwarte gaten gevuld zijn tot andere die bijna precies zo zijn als het onze, alleen dat er bij jou een zuurstofmolecuul minder in je neus zit, en een of ander buitenaards wezen een zuurstofmolecuul extra heeft.

Er is een stoere wiskundige stelling, in 1933 bewezen door ene Stanley Skewes, die het getal $10^{(10^{(10^{34})})}$ bevat. Dat getal heet daarom het getal van Skewes.

Vergeleken daarmee zijn alle bovenstaande getallen absurd klein.

Het wordt tijd dat we een gevoel krijgen voor hoe extreem het universum is.

Hoe staat het met dichtheid? Intuïtief heb je wel een idee van wat dichtheid is, maar laten we ons richten op kosmische dichtheden. Om te beginnen die van de lucht om ons heen. De lucht die je inademt bevat $2,5 \times 10^{19}$ moleculen per kubieke centimeter. Die lucht bevat 78 procent stikstof, 21 procent zuurstof en 1 procent 'anders'. Dichtheid is hier het aantal moleculen, atomen of losse deeltjes waaruit het materiaal in kwestie bestaat, gerekend per volume-eenheid.

Een dichtheid van $2,5 \times 10^{19}$ moleculen per kubieke centimeter is waarschijnlijk meer dan je dacht. Wat is het beste vacuüm dat in een laboratorium gemaakt kan worden? We zijn daar tegenwoordig behoorlijk goed in, en we kunnen de dichtheid verlagen tot 100 moleculen per kubieke centimeter. De interplanetaire ruimte is een stuk ijler. De zonnewind bestaat op aardafstand van de Zon uit ongeveer 10 protonen per kubieke centimeter. De interstellaire ruimte dan, de ruimte tussen de sterren? De dichtheid daarvan fluctueert afhankelijk van waar je bent, maar gebieden met maar 1 atoom per kubieke centimeter zijn niet ongewoon. In de intergalactische ruimte, dus tussen de sterrenstelsels, is de dichtheid nog veel minder: 1 atoom per kubieke meter.

Zulke extreme vacuüms kunnen we zelfs in onze beste laboratoria niet maken. Een oud gezegde is 'de