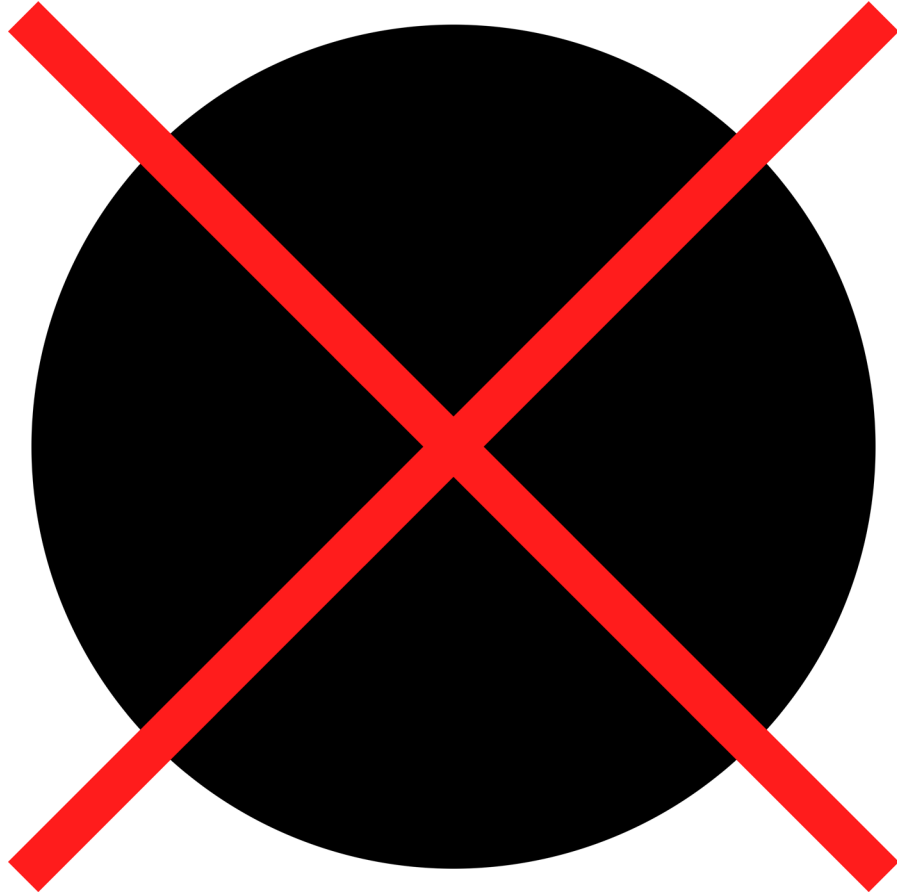


Zwarte gaten...



bestaan niet!

Zwarte gaten...
bestaan niet!

ANDERE PUBLICATIES

De 2T Theorie van de Tijd (verwacht in 2025)

De Theorie van Traagheid en Zwaartekracht (verwacht in 2026)

Zwarte gaten... bestaan niet!

Peter Damen

New Paradigm Physics

1^e druk, juni 2025

Uitgeverij: New Paradigm Physics / Tilburg / Nederland

E-mail: info@new-paradigm-physics.com

Voor meer informatie over dit werk en andere werken, zie www.new-paradigm-physics.com

Druk- en bindwerk: to be determined

ISBN: 00-000-00000-00-0

NUR: 925

Een aantal tekeningen en grafieken in dit boekje zijn gemaakt door de auteur. Veel illustraties zijn gegenereerd door diverse AI programma's, waaronder ChatGPT, Copilot, Gemini en NightCafé.

© Peter Damen / New Paradigm Physics

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Tekst- en datamining van (delen van) deze uitgave is uitdrukkelijk niet toegestaan.

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 wettelijke verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl)). 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.

Voor mijn moeder en vader, die mij altijd gestimuleerd hebben kennis te vergaren en inzicht te verkrijgen, maar dit resultaat helaas niet meer hebben mogen meemaken.

VOORWOORD

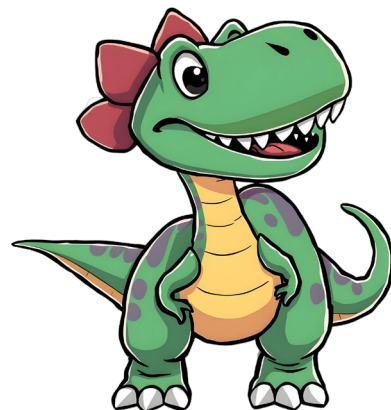
Dit boekje is een populair wetenschappelijk boekje voor eigenlijk iedereen die geïnteresseerd is in zwarte gaten, en die wellicht verrast is dat deze fascinerende hemellichamen helemaal niet blijken te bestaan. Waarschijnlijk ben jij ook zo iemand. Er wellicht heb jij, net als vele anderen, eigenlijk helemaal geen idee wat zwarte gaten nou precies zijn, terwijl ze toch regelmatig in de media voorbij komen.

Dan ben je hier aan het juiste adres. Ook ik ben al vele tientallen jaren gefascineerd door die mysterieuze zwarte gaten. Ik beschouw ze een beetje als de dinosauriërs van de natuurkunde. Daarmee bedoel ik dat ik de aantrekkingskracht die dino's hebben op mensen, en vooral kinderen, ook zie bij hun interesse in zwarte gaten.

Maar nog meer dan in zwarte gaten, ben ik al mijn hele leven gefascineerd geweest door de tijd. En zwarte gaten hebben met de tijd te maken, zoals duidelijk zal worden verderop in dit boekje. Door mijn interesse in de tijd ben ik dan ook tot de ontdekking gekomen dat zwarte gaten helemaal niet kunnen bestaan, en dat de wetenschappelijke onderbouwing van hun bestaan gewoonweg niet klopt. Waarom deze wetenschappelijke onderbouwing niet klopt zal verderop ook uitvoerig behandeld worden.

Wellicht bekruipt je nu het gevoel dat het allemaal best wel eens ingewikkeld kan worden. De eerlijkheid gebied mij toe te geven dat de materie inderdaad best wel ingewikkeld is. Het is dan ook niet voor niets dat alle vooraanstaande natuurkundigen in het wetenschapsgebied van de zwarte gaten al zo'n 60 jaar denken dat zwarte gaten bestaande objecten zijn. En dat er zelfs in 2020 een Nobelprijs voor de Natuurkunde voor is uitgereikt!

Maar laat ik je nu ook meteen geruststellen. De vaak ingewikkelde stof wordt in dit boekje op een eenvoudige, begrijpelijke manier uitgelegd, én zonder de waarheid tekort te doen. Om dit boekje zowel toegankelijk te maken voor de geïnteresseerde leek, maar ook voor degenen die wat meer natuurkundige (basis)kennis hebben, heb

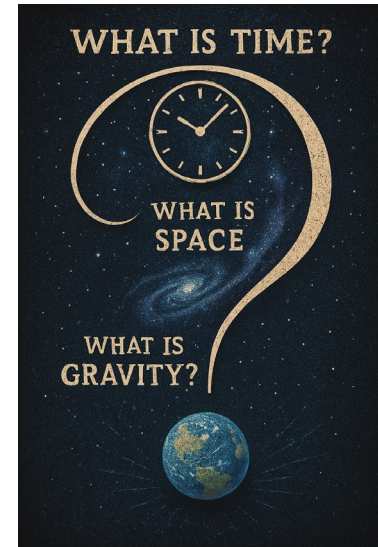


ik voor deze tweede groep lezers in de rechtermarge een aantal rode tekstblokken opgenomen, waarin op bepaalde zaken wat dieper wordt ingegaan. Het is echter voor de loop van het verhaal niet nodig om deze tekstblokken te lezen. De keuze om ze wel of niet door te lezen is aan jou. En snap je een rood tekstblok niet, dan is dat dus geen enkel probleem.

Ik hoop dat eenieder die dit boekje helemaal doorleest aan het einde een mooie reis in de natuurkunde van zwarte gaten heeft ervaren, dat duidelijk is dat én waarom zwarte gaten niet bestaan, en dat je wellicht (nog) meer interesse in de fundamentele vragen van de natuurkunde hebt gekregen.

Als dat is gebeurd ben ik in ieder geval in mijn opzet geslaagd. Want behalve dat ik een grote interesse in allerlei fundamentele levensvragen heb, word ik ook altijd erg blij als ik deze kennis over kan dragen, én die andere personen ook kan enthousiasmeren.

Ik zeg weleens dat het opdoen van kennis, en deze kennis ook echt begrijpen, mij een gevoel van verlichting geeft. Of dat nu wel of niet zo is, het krijgen van inzicht in hoe de wereld om me heen functioneert geeft mij in ieder geval wel rust. En ik hoop dat dit boekje hieraan ook voor jou een beetje bij kan dragen, al is het maar een heel klein beetje.



MIJN AVONTUUR

Voor mij is het zoeken naar, en het verzamelen van de inzichten die ik in dit boekje beschrijf één groot avontuur geweest, dat nu nog steeds voortduurt. Vroeger, als kind, las ik veel avonturenboeken. Ik wilde dan ook, zoals velen, een avontuurlijk leven leiden. Van dat avontuur is aan het begin niet veel terecht gekomen.

Vrij recentelijk, om precies te zijn op dinsdag 26 oktober 2021, om 13:33 uur (het was een epifaan moment, en dat besepte ik terdege, vandaar dat ik het nog zo precies weet), lag ik in bed tijdens een van m'n depressieve perioden, en had ik plotseling een eureka-moment. Ik begreep ineens wat tijd precies is. Ik ben daar al vanaf toen ik een jochie van 7 jaar oud was naar op zoek. Hoe vaak ik niet 's nachts op de bank heb gelegen, starend naar het witte plafond, en me afvragend wat het nou is dat ervoor zorgt dat er zoiets onwerkelijks, maar gelijktijdig angstwekkend reëel als de tijd verstrijkt. Wat is dat nou?

Maar ineens zag ik het dus. Achteraf gezien waren er nog diverse andere eureka-momenten nodig, die ik gelukkig ook had, voordat ik een sluitende theorie over wat tijd natuurkundig gezien precies is heb kunnen opstellen. Over deze theorie van de tijd gaat dit boekje niet (maar over dat avontuur verwacht ik binnen afzienbare tijd ook een boekje te publiceren).

Waar dit boekje wel over gaat is een inzicht dat ik heb verkregen over de realiteit van zwarte gaten, dankzij die theorie van de tijd dus. Want wat over zwarte gaten werd verteld, en überhaupt het bestaan van zwarte gaten, klopte niet met mijn theorie van de tijd. Als geoefend wetenschapper besepte ik dat dit twee dingen kan betekenen: 1) Mijn theorie van de tijd klopt (helaas) niet, of 2) De theorie van zwarte gaten klopt niet.

Gelukkig kreeg ik weer een eureka-moment, en wel op vrijdag 11 oktober 2024, om 15:03 uur, wederom in bed (dat komt dus vaker voor, en laat zien dat in bed liggen wel degelijk productief kan zijn...), toen ik aan het nadenken was over de waarnemingshorizon (wat dit



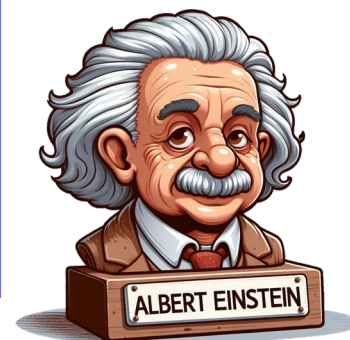
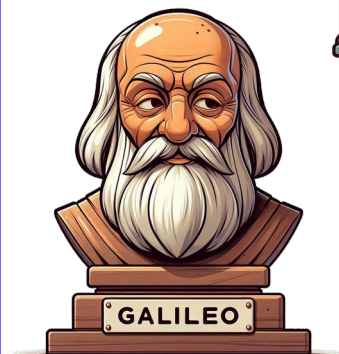
precies voor een onderdeel van zwarte gaten is wordt uitgebreid uitgelegd in dit boekje). Toen besepte ik dat mijn theorie over de tijd wel klopte, maar dat zwarte gaten, met de huidige natuurkundige kennis, niet kunnen bestaan.

Hoe dit in elkaar steekt wordt in dit boekje uitgebreid beschreven. En uiteraard wordt ook uitgelegd wat de huidige wetenschap verstaat onder zwarte gaten.

Nog even terug naar die dinsdag 26 oktober 2021, om 13:33 uur precies. Dat moment zie ik als het begin van echt avontuur in mijn leven. Stel je eens voor hoe het voelt om te beseffen dat je iets begrijpt waar de mensheid al duizenden jaren naar op zoek is. De Griekse wijsgeer Aristoteles was al voor onze jaartelling op zoek naar wat tijd precies is. Later volgden bekende natuurkundigen zoals Galileo, Isaac Newton en Albert Einstein. Het gevoel dat me op dat moment overviel: “zou ik misschien in de voetsporen van deze grootheden kunnen stappen, en een wezenlijke bijdrage kunnen leveren aan ons begrip van de werkelijkheid, en zelfs een stap dichterbij een zogenaamde theorie van alles”. Ja, dat voelde, en voelt nog steeds, als een ontzettend groot avontuur. Een avontuur waar ik zelfs nog niet van durfde te dromen! En nu leek dat voor mij, een man van bijna 60 jaar, maar met een absolute leeftijd (kernleeftijd) van slechts 17 jaar, ineens werkelijkheid te worden.

Graag wil ik iedereen die dit boekje leest deelgenoot maken van mijn fantastische avontuur. Omdat dit een ingewikkeld avontuur is (veel mensen hadden en hebben moeite met natuurkunde op de middelbare school), leg ik iedere stap van dit avontuur in eenvoudige, begrijpelijke taal uit, echter zonder de waarheid geweld aan te doen.

En nu, op naar het avontuur!



INLEIDING

Zwarte gaten. Fascinerend. Ze spreken dan ook enorm tot de verbeelding van veel mensen. Het zijn een soort magische objecten. Maar als je de gemiddelde persoon op straat vraagt wat een zwart gat is, krijg je over het algemeen niet meer dan iets van "dingen die alles opslokken" en vergelijkbare antwoorden.

Voordat we gaan kijken waarom zwarte gaten helemaal niet bestaan, is het wel belangrijk dat we weten waarover we het hebben. Want als we niet precies weten waarover we het hebben, wordt het natuurlijk onmogelijk om te zeggen dat datgene niet zou bestaan. We gaan dus eerst kijken wat zwarte gaten volgens de huidige natuurkunde precies zijn. Vervolgens gaan we die huidige natuurkunde gebruiken om wetenschappelijk onderbouwd aan te tonen dat die zwarte gaten helemaal niet gevormd kunnen worden. Want, iets dat niet gevormd kan worden, kan vanzelfsprekend ook niet bestaan. En we sluiten af met wat er dan wel gevormd wordt, en hoe dat in het plaatje past dat we heden ten dage hebben van de natuurkunde.

Mysterieuze objecten die de fantasie stimuleren

Voor veel mensen zijn zwarte gaten mysterieuze, en soms zelfs magische objecten. Er worden dan ook allerlei meer of minder exotische eigenschappen aan toegedicht. Zo zouden ruimte en tijd in een zwart gat omdraaien (wat dat ook moge betekenen). Ook wordt wel beweerd dat zwarte gaten zogenaamde wormgaten bevatten, een soort ruimtetunnels waardoor je in een oogwenk naar een totaal ander heelal zou kunnen reizen. Dit geeft ook voer aan het idee van parallele universa, heelallen die in verborgen dimensies zouden bestaan en waar wij geen weet van hebben. Al deze universa zouden dan onderdeel zijn van het zogenaamde multiversum, een soort overkoepelend super-universum.



Parallele universa

Behalve fascinerend, kunnen zwarte gaten ook wel als enigszins enge, angstaanjagende objecten worden gezien. Het worden ook wel stofzuigers van het universum genoemd, die alles wat in hun buurt komt onherroepelijk opslokken. Een soort monsters van het heelal. Zelfs licht kan niet aan de greep van zwarte gaten ontsnappen. Nou, dan weet je het wel...

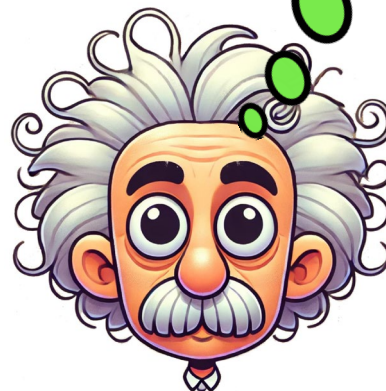
Uit deze opsomming moge het wel duidelijk worden dat zwarte gaten de fantasie sterk kunnen prikkelen. En niet alleen van leken, maar ook van ontzettend veel natuurkundigen. Deze offeren zelfs het bestaan van zogenaamde witte gaten (waarop ik hier niet in zal gaan, omdat ze toch niet bestaan). Er is dan ook een complete onderzoeksdiscipline ontstaan omtrent zwarte gaten en aanverwante natuurkundige structuren en fenomenen.

Wiskunde en wiskundige formules

Voordat we verder gaan, kort even iets over wiskundige formules. Het aantal formules in dit boekje is bewust tot een minimum beperkt. Want was het niet Albert Einstein zelf die in 1909 heeft gezegd *"Sinds de wiskundigen de relativiteitstheorie hebben overgenomen, begrijp ik hem zelf niet meer"*. Echter, om natuurkundige fenomenen en processen te beschrijven is het gebruik van wiskunde niet alleen heel makkelijk en duidelijk, het is gewoonweg noodzakelijk. Net zoals we dat in het dagelijks leven ook doen. Als we bijvoorbeeld een muur willen verven, meten we de lengte en de breedte van die muur, berekenen vervolgens met de formule " $A = l \times b$ " het oppervlak, en weten zo hoeveel potten verf we nodig hebben (alhoewel je daarvoor natuurlijk ook weer een, weliswaar eenvoudige, formule nodig hebt).

De wiskunde zou in de natuurkunde een zelfde soort ondersteunende rol moeten spelen. Echter, de afgelopen eeuw heeft de wiskunde een wel heel prominente plek in de natuurkunde ingenomen. Ik durf zelfs wel te stellen dat in een aantal gevallen de rol van de wiskunde te prominent is geworden, en dat dit ten koste is gegaan van het begrip van de onderliggende natuurkunde. De wiskunde lijkt regelmatig niet ondersteunend aan de natuurkunde te

*Sinds de
wiskundigen de
relativiteitstheorie
hebben
overgenomen,
begrijp ik hem
zelf niet meer...*



Albert Einstein (1879 – 1955)

zijn, maar min of meer los te staan van de natuurkunde die zij zou moeten beschrijven. Een in mijn ogen goed voorbeeld is bijvoorbeeld de zogeheten snaartheorie (zie infobox). Ik durf het dan ook wel aan om te spreken van de zogenaamde oververwiskundiging van de natuurkunde. Dit zie ik op meerdere deelgebieden van de natuurkunde, waaronder de hiervoor al genoemde stringtheorie, maar ook bij Einsteins relativiteitstheorie (wat hij zelf dus ook zag), en met betrekking tot het veronderstelde bestaan van zwarte gaten, het onderwerp van dit boekje.

Zoals gezegd is het aantal formules in dit boekje dus tot een minimum beperkt. En de enkele formules die opgenomen zijn, worden allemaal in begrijpelijke taal uitgelegd, zodat iedereen de essentie van wat deze formules beschrijven kan begrijpen.

Wat is een zwart gat nou precies

Zoals al gezegd hebben de meeste mensen eigenlijk geen enkel idee wat een zwart gat nou precies is. Daarom gaan we dat hier kort, maar duidelijk vertellen.

Soorten zwarte gaten

Je hebt om te beginnen allerlei typen en soorten zwarte gaten.

Je kunt zwarte gaten indelen naar hun grootte ofwel gewicht. Zo heb je vrij kleine zwarte gaten, de zogenaamde stellaire zwarte gaten. Deze zijn ongeveer 5 tot 10 maal zo zwaar als onze zon. Zij zouden zijn ontstaan nadat zware sterren zijn opgebrand waarna ze imploderen tot een zwart gat. Dan heb je middelgrote zwarte gaten. En je hebt superzware zwarte gaten. Een voorbeeld hiervan is het zwarte gat dat in het midden van ons melkwegstelsel ligt, Sagittarius A*.

Je kunt zwarte gaten ook indelen op andere kenmerken, namelijk of ze rond hun as draaien of niet, en of ze elektrisch geladen zijn of niet. Volgens deze indeling heb je Schwarzschild zwarte gaten. Dat zijn de eenvoudigste zwarte gaten die er bestaan. Zij draaien niet

De snaartheorie

De snaartheorie is een theorie in de natuurkunde die probeert de fundamentele deeltjes niet als puntvormig, maar als trillende snaren te beschrijven. De trillingstoestanden van deze snaren bepalen de eigenschappen van deeltjes, zoals massa en lading. De theorie vereist extra ruimtelijke dimensies, wel 10 of 11 in plaats van de 4 die wij kennen (de drie ruimtelijke dimensies, lengte, breedte en hoogte, en de dimensie tijd), om de realiteit zoals wij die kennen te beschrijven en alles kloppend te krijgen. Een belangrijk doel is het verenigen van de kwantummechanica en de algemene relativiteitstheorie in een zogenaamde theorie van kwantumzwaartekracht.

Hoewel volgens sommigen veelbelovend, ontbreekt experimenteel bewijs, en is het nog onduidelijk of de snaartheorie daadwerkelijk de fundamentele natuurwetten beschrijft.

Het vereist weinig fantasie om te begrijpen dat als je heel veel gegevens (datapunten) hebt, je daar een grafiek doorheen kunt trekken als je maar meer en meer dimensies toevoegt aan je formule. Je kunt je dan afvragen of die uiteindelijke formule nog wel iets zegt over de werkelijkheid zoals wij die ervaren....

Infobox

rond hun as en zijn niet elektrisch geladen. Dan heb je Reissner-Nordström-zwarte gaten. Die draaien niet rond hun as maar zijn wel geladen. Vervolgens heb je Kerr zwarte gaten, die roteren rond hun as, maar hebben geen lading. En tenslotte heb je Kerr-Newman zwarte gaten, die zowel rond hun as draaien én elektrisch geladen zijn. In de praktijk denkt men dat Schwarzschild en vooral Kerr zwarte gaten het meest voorkomen in het heelal. Deze namen mag je overigens meteen vergeten, behalve die van Schwarzschild, die nog veel zal terugkomen in dit boekje.

In dit boekje gaan we ons namelijk richten op het meest simpele zwart gat, het zogeheten Schwarzschild zwart gat. Hoewel dit type zwart gat niet is beschreven of ontdekt door de Duitse natuurkundige en astronoom Karl Schwarzschild, is het wel dankzij zijn oplossing van de wiskundige formule van Einstein die de algemene relativiteitstheorie beschrijft, dat dit eenvoudige type zwarte gaten beschreven kon worden.

Hoe ziet een zwart gat er nou uit

We gaan nu kijken hoe het meest simpele zwarte gat eruit ziet. Dat Schwarzschild zwarte gat blijkt uit maar enkele onderdelen te bestaan, zoals hiernaast te zien is.

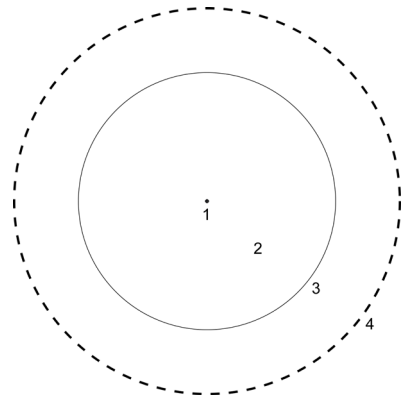
In de tekening is het meest simpele zwart gat te zien. Dit Schwarzschild zwart gat is een eenvoudig bolvormig, niet-draaiend, ongeladen zwart gat. Het bestaat uit een in het midden gelegen ontzettend klein puntje (met een moeilijk woord: singulariteit) (1), omgeven door een lege ruimte (2), en omhuld door een zogeheten bolvormige waarnemingshorizon (3). Buiten de waarnemingshorizon bevindt zich nog de, eveneens bolvormige fotonsfeer (4). En tenslotte kan er ook nog een zogeheten accretieschijf rondom een zwart gat zitten (niet aangegeven in de tekening).

We gaan nu deze onderdelen apart bespreken zodat alles wat duidelijker wordt.

Centraal puntje (singulariteit)



Karl Schwarzschild (1873 – 1916)



Schwarzschild zwart gat

Zoals hierboven vermeld ontstaat een zwart gat doordat een ster die uitgebrand is (omdat de brandstof op is) onder zijn eigen gewicht in elkaar zakt. De zwaartekracht die materie op elkaar uitoefent trekt alles naar elkaar toe. Door dat in elkaar zakken komt de massa van de uitgebrande ster natuurlijk dichter bij elkaar. Als de massa dichter bij elkaar komt, wordt de zwaartekracht weer sterker zodat alles nog sneller nog dichter bij elkaar komt. Het proces van deze implosie, want dat is het natuurlijk, versterkt zichzelf dus. Je krijgt dus dat de ineenstorting van de uitgebrande ster steeds sneller gaat. En dit gaat volgens de wiskundige formules oneindig lang door, tot je een puntje krijgt dat oneindig klein is, waarin alle massa van de uitgebrande ster zich zou bevinden. Omdat dit puntje volgens de wiskunde oneindig klein is, is dit puntje niet op schaal getekend (omdat je het dan simpelweg niet zou kunnen zien).

Om een klein beetje een idee te geven hoe klein dat puntje is zie je hiernaast een deel van de zon afgebeeld (een hapje met een flauwe curve) en wat uiteindelijk overblijft nadat de zon is opgebrand en geïmplodeerd, waarbij ik eerlijkheidshalve moet toegeven dat ook dit nog lang niet op schaal is. Want de zon, die een diameter heeft van 1,4 miljoen km, zou namelijk imploderen tot een zwart gat met een diameter van nog geen 6 km. En de aarde, met een diameter van meer dan 12.000 km, zou imploderen tot een zwart gat van nog geen 2 cm in diameter. En let op, die 6 km en 2 cm zijn de diameters van de veel grotere waarnemingshorizon. Het centrale kleine puntje is dan nog eens onnoemelijk veel kleiner. Het zou zo klein zijn, dat we dit als mensen gewoonweg niet kunnen begrijpen.

Later zal duidelijk worden dat dit ook niet hoeft, omdat deze singulariteiten (zoals deze oneindig kleine puntjes met een moeilijk woord genoemd worden), net als zwarte gaten, dus helemaal niet bestaan. Overigens wil ik voor de volledigheid vermelden dat zowel de zon als de aarde volgens de huidige modellen niet tot een zwart gat kunnen imploderen, omdat ze daar simpelweg te weinig massa voor hebben. Het proces van de zichzelf versterkende implosie, zoals hierboven is beschreven, zou al stoppen bij minder zware hemellichamen (zoals de zon) voordat een zwart gat gevormd kan worden, of het proces zou zelfs helemaal niet op gang komen (zoals bij onze aarde). Het zichzelf versterkende proces van ineenstorting

de zon voor implosie

de zon na implosie

heeft dan te weinig massa om een singulariteit te vormen waarin die ineenstorting door zou gaan tot een oneindig klein puntje.

Lege ruimte

Omdat alles waaruit een zware ster oorspronkelijk bestond in dat ene onnoemelijk kleine puntje zit, zit er een hele grote compleet lege ruimte rondom dat kleine puntje. Een zwart gat bestaat dus volgens de huidige principes uit voornamelijk lege ruimte rondom het centrale puntje, dat alle massa van het zwarte gat zou bevatten. Dat een zwart gat uit voornamelijk lege ruimte bestaat is overigens de reden waarom er over zwarte *gaten* gesproken wordt. Zwarte gaten zijn letterlijk gaten in de ruimte.

Waarnemingshorizon

Nu komen we wellicht op het moeilijkste, maar ook het meest interessante deel van een zwart gat, namelijk de zogeheten waarnemingshorizon. Dit is wel een heel bijzonder natuurkundig fenomeen, wat eigenlijk (wederom) niet te begrijpen valt. En omdat dit niet te begrijpen valt, leidt het ook tot de meeste problemen bij het onderzoek naar zwarte gaten. Zo zou dat onnoemelijk kleine centrale puntje volgens natuurkundigen alle massa van een zwart gat bevatten. Desondanks wordt niet dat kleine puntje, maar de waarnemingshorizon over het algemeen als de grens van een zwart gat gezien.

Dus ja, wat is dat nou, de waarnemingshorizon? Kortweg kun je de waarnemingshorizon als een doodlopende weg zien waarin je niet om mag, of beter gezegd niet om kunt draaien. Dat wordt mooi verbeeld in het plaatje hiernaast. Zodra je dit straatje inrijdt, wat volgens de bebording is toegestaan, kom je er nooit meer uit. Je mag tenslotte maar één kant oprijden (volgens het onderste blauwe bord), en het betreft een doodlopende weg (volgens het bovenste blauwe bord)....

Een andere vergelijking betreft die van een rivier waarin een waterval voorkomt. Hoe dichterbij de waterval je komt, hoe harder het water gaat stromen en hoe moeilijker het wordt om om te draaien en weg te roeien van de waterval. Maar zodra je de rand van de waterval over



bent, is er echt geen weg meer terug, en stort je onherroepelijk naar beneden. De rand van de waterval kan dus gezien worden als een soort waarnemingshorizon, waarna er ook geen weg meer terug is.

Tenslotte nog één vergelijking. Voor mensen die wat meer van elektrotechniek weten, kunnen we de vergelijking met een diode noemen. Dat is een halfgeleider waar stroom maar in één richting kan lopen, wat dus ook vergelijkbaar is met hoe een waarnemingshorizon verondersteld wordt te functioneren.

Behalve de éénrichtingsweg die de waarnemingshorizon zou vormen, is er nog een ander aspect aan de waarnemingshorizon dat essentieel is voor ons verhaal. En dat is dat op de waarnemingshorizon de tijd stil staat, vanwege de enorme zwaartekrachtvelden die hier aanwezig zijn. Dit klinkt fascinerend, en vormt dan ook de reden dat ik in dit hele zwarte gatenverhaal gedoken ben. Voor nu is het alleen belangrijk om te onthouden dat op de waarnemingshorizon de tijd stilstaat.

Fotonsfeer

De fotonsfeer is een onderdeel van een zwart gat, of in ieder geval onderdeel van de natuurkunde waarvan verondersteld wordt dat die beschrijft wat er in en rond zwarte gaten gebeurt.

Wellicht eerst maar eens uitleggen wat een foton is. Dat is vrij simpel, want dat is een zogeheten lichtdeeltje. Zonder er diep op in te gaan, kun je licht zien als een stroom van deeltjes, net zoals dat alles om ons heen, inclusief onszelf, ook bestaat uit deeltjes. Wij en alle materie om ons heen bestaan uit atomen, die moleculen kunnen vormen. Zo bestaat water uit deeltjes, de zogeheten watermoleculen. En zo'n watermolecuul bestaat weer uit één zuurstofatoom en twee waterstofatomen. En op een vergelijkbare manier bestaat licht dus ook uit deeltjes, maar dan geen atomen die moleculen kunnen vormen, maar fotonen die wij als licht waarnemen (of als warmte, of als radiogolven, of röntgen- of magnetronstraling). Het grote verschil tussen atomen en moleculen enerzijds, en fotonen anderzijds, is dat je met de eerste dingen kunt bouwen, en met de tweede niet. Zo simpel is het.

Dubbel karakter van licht

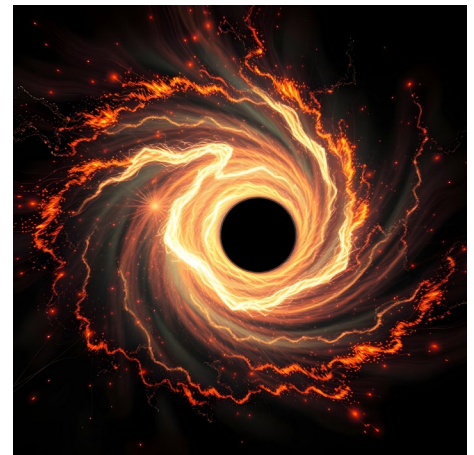
Hiernaast staat beschreven dat licht uit deeltje, genaamd fotonen bestaat. Dit is echter niet helemaal correct. Licht kan namelijk ook als een golf gezien worden.

Dat is raar, want wat is het nu? Bestaat licht uit deeltjes, of uit golven?

Nou, beide. Of anders gezegd, we weten het niet precies. Wat we wel weten, is dat in sommige natuurkundige experimenten licht zich gedraagt alsof het uit deeltjes bestaat. En in andere experimenten lijkt licht uit golven te bestaan.

Om deze zogenaamde dualiteit te verklaren is de kwantummechanica opgesteld.

Infobox



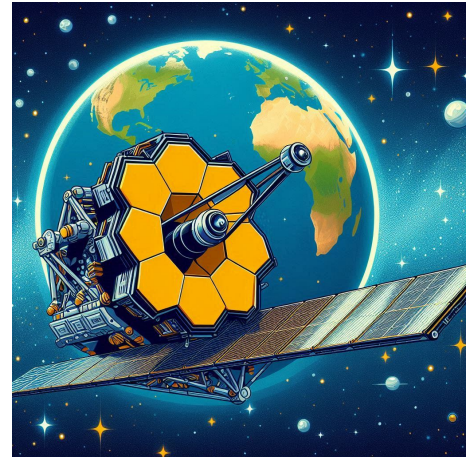
Impressie van licht binnen de fotonsfeer

Nou, nu terug naar die fotonsfeer. Dat is het gebied waar fotonen rondjes kunnen draaien om een zwart gat heen, net zoals satellieten rondom de aarde. Maar zodra een lichtdeeltje binnen die fotonsfeer komt, zal het steeds kleinere rondjes gaan draaien en uiteindelijk door het zwarte gat onherroepelijk verzvolgen worden (zoals in het plaatje mooi te zien is).

Waarom is dit relevant, zul je wellicht denken. Nou, dat heeft ermee te maken dat een zwart gat een *zwart* gat heet. Dat een zwart gat zwart is komt omdat het verondersteld wordt dat een zwart gat geen enkel licht uitstraalt, zoals bijvoorbeeld een ster wel doet. Daarom kunnen wij wel onnoemelijk veel sterren zien met gevoelige telescopen (denk bijvoorbeeld aan de onlangs gelanceerde James Webb telescoop (de opvolger van de roemruchte Hubble telescoop, ook een telescoop die in de ruimte zweeft)). Daarentegen kunnen we geen enkel zwart gat zien. Ja, zul je nu denken, maar ik heb toch echt gezien dat er foto's zijn gemaakt van zwarte gaten. Daarop kom ik direct hieronder terug.

Accretieschijf

Een accretieschijf is een onderdeel van een zwart gat (of van een ander hemellichaam dat een erg grote dichtheid heeft, zoals een witte dwerg en neutronenster). Deze schijf is een draaiende, platte structuur van gas, stof en ander materiaal dat rondom een massief object, zoals een ster of zwart gat, wordt verzameld. Dit gebeurt onder invloed van de zwaartekracht van het hemellichaam. Het materiaal in de schijf beweegt in een spiraalvormige baan naar het centrale object toe. Omdat door wrijving tussen de deeltjes in de schijf het materiaal extreem heet kan worden, kan de schijf licht uitstralen. En het is dat licht waarvan foto's gemaakt zijn. Technisch gezien zijn er dus geen foto's gemaakt van een zwart gat, maar van materie die er omheen draait. En uiteindelijk ga ik je uitleggen dat zwarte gaten helemaal niet bestaan, en dat waar die beelden van gemaakt zijn dus ook geen zwarte gaten zijn.



De James Webb Space Telescope



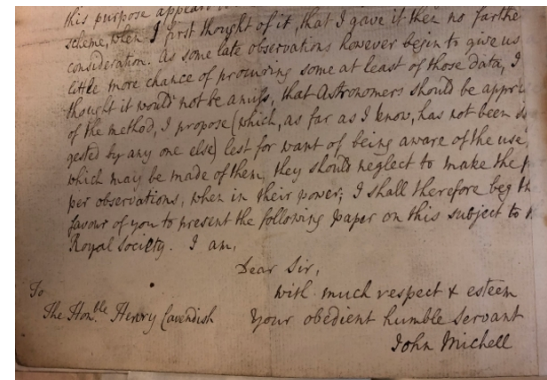
Impressie van een accretieschijf

EEN STUK(JE) GESCHIEDENIS

In dit hoofdstuk gaan we kijken hoe men tot de conclusie is gekomen dat er zoiets als zwarte gaten bestaan. We gaan dit doen aan de hand van een aantal pioniers die hieraan een bijdrage hebben geleverd.

John Michell (1783) en Pierre-Simon Laplace (1796)

De eerste beschrijving van een zwart gat wordt over het algemeen toegeschreven aan de Engelsman John Michell in zijn brief van 26 mei 1783 aan Henry Cavendish. Met behulp van klassieke mechanica (de mechanica van Isaac Newton) beschreef Michell de theoretische mogelijkheid dat er voorwerpen zo massief zouden kunnen bestaan dat zelfs licht niet aan hun enorme zwaartekrachtveld kon ontsnappen. In 1796 beschreef de Fransman Pierre-Simon Laplace, naar verluidt onafhankelijk van Michell, hetzelfde idee en noemde deze hemellichamen 'corps obscurs', vertaald als 'donkere lichamen' of 'donkere sterren'. Interessant genoeg voorspelde Laplace toen al dat deze hemellichamen de belangrijkste objecten van de toekomstige astronomie zouden worden....



Einde van de brief van Michell aan Cavendish

Albert Einstein (1915)

De naam Albert Einstein is al een paar keer voorbij gekomen in dit boekje. Nu gaan we kijken naar wat toch wel als zijn belangrijkste bijdrage aan de natuurkunde wordt gezien, en dat is natuurlijk de algemene relativiteitstheorie. Dit is een ontzettend ingewikkelde theorie. Maar desondanks valt de essentie van deze theorie in een paar zinnen uit te leggen. Samen met de speciale relativiteitstheorie vormde deze theorie een omwenteling in het denken over de realiteit. Waar voorheen eeuwenlang de natuurkunde van Isaac Newton als leidend gold, vormt de algemene relativiteitstheorie van Einstein,

samen met de kwantummechanica, de twee pilaren waarop de hedendaagse natuurkunde is gebaseerd.

De algemene relativiteitstheorie is in eerste instantie een theorie die beschrijft hoe zwaartekracht ontstaat, en zegt dat dit niet een echte kracht is zoals bijvoorbeeld de aantrekkingskracht tussen positief en negatief geladen deeltjes (waardoor een kompas magneet altijd naar het noorden wijst). Volgens de algemene relativiteitstheorie vormt de ruimte om ons heen, die uit drie dimensies bestaat (lengte, breedte en hoogte), samen met de tijd (die als een vierde dimensie wordt gezien), de zogenaamde ruimtetijd.

Dat klinkt ingewikkeld en ongetwijfeld kun je je er niet echt een voorstelling van maken. Want wat betekent dat nou? En wat is dan ruimte, en wat is dan tijd? En hoe kan ik voorstellen dat die samen een structuur vormen, die ruimtetijd wordt genoemd? Nou, je bevindt je in goed gezelschap, want niemand kan dat voorstellen (ja, echt waar). Het idee is oorspronkelijk trouwens helemaal niet door Einstein bedacht, maar door zijn wiskundeprofessor, Hermann Minkowski (die overigens Einstein maar een luie leerling vond). Einstein wilde er aan het begin ook niets van weten (zie zijn uitspraak op p. 16), juist omdat het niet te begrijpen is. Later moest hij er toch mee gaan werken, omdat hij anders zijn relativiteitstheorie niet kloppend kon krijgen.

In het wiskundig model dat de algemene relativiteitstheorie in feite is, wordt die vierdimensionale ruimtetijd vervormd door zware objecten zoals de maan, de aarde, de zon, en in het bijzonder ook zwarte gaten. Uiteindelijk vervormt alle massa de ruimtetijd, alleen vervormt de ruimtetijd amper door bijvoorbeeld jouw massa, of de massa van jouw koffiemok. En door die vervorming ontstaat dan wat wij ervaren als zwaartekracht, waardoor dingen op de grond vallen (d.w.z. door de aarde worden aangetrokken), maar ook waardoor de aarde rond de zon draait.

Voor ons verhaal over zwarte gaten is een specifiek onderdeel van de algemene relativiteitstheorie belangrijk, en dat is dat zware massa's zoals de aarde en de zon, maar helemaal zwarte gaten, de tijd doen vertragen. Dit betekent dat hoe dichter je je bij een zware massa



Impressie van de ruimtetijd

bevindt, hoe trager je tijd verloopt. Je kunt dat voorstellen als een film die in slow-motion wordt afgespeeld. Dat dit werkelijk zo is heeft men kunnen aantonen met heel nauwkeurige klokken, zogeheten atoomklokken. Die atoomklokken zijn zo nauwkeurig, dat als je twee dezelfde klokken hebt, en beide naast elkaar op een tafel zet, maar eentje op een boek van zeg een centimeter hoog, de klok op het boek sneller loopt dan de andere, omdat de klok op het boek net iets verder weg van de aantrekkingskracht van de aarde is dan de andere atoomklok. En zo geldt dat voor iemand die op een berg woont de tijd ook sneller verloopt dan voor iemand die in het dal woont. Deze zogenaamde gravitationele tijdvertraging (van ‘gravitatie’, dat een moeilijk woord is voor ‘zwaartekracht’) klonk ten tijde van dat Einstein deze theorie wereldkundig maakte niet echt geloofwaardig, maar allerlei experimenten hebben overtuigend aangetoond dat dit toch echt plaatsvindt.

Hoewel dit wellicht allemaal al vrij ingewikkeld klinkt, moet ik nog iets toevoegen dat nog ongeloofwaardiger klinkt. Want gravitationele tijdvertraging vind altijd samen plaats met gravitationele uitrekking. Dit betekent dat als door een grote massa de tijd vertraagd wordt, de ruimte waarin dat gebeurt uitrekt. Met andere woorden, de afstanden worden dan groter. En hier geldt wederom, dat niemand kan voorstellen hoe dat dan allemaal werkt. Je moet het dan ook meer zien als een wiskundig iets waarmee je natuurkundige fenomenen en metingen kunt berekenen. De algemene relativiteitstheorie is dan ook een zogenaamde black box theorie. Je stopt er iets in (getalletjes dus), en je krijgt er iets uit (wederom getalletjes). De theorie werkt super, maar geeft helaas geen inzicht in hoe dit natuurkundig allemaal werkt.

De basis voor de algemene relativiteitstheorie vormen de zogeheten veldvergelijkingen van Einstein. Dit zijn de formules die ten grondslag liggen aan Einstein’s algemene relativiteitstheorie. Het zijn ontzettend ingewikkelde formules die Einstein zelf ook niet precies kon oplossen. Hij dacht dan ook dat ze niet precies op te lossen waren.

Hij kon toen ongetwijfeld ook niet bedacht hebben dat de wetenschappelijke zoektocht naar het mogelijke bestaan van zwarte



gaten, die dus weliswaar al aan het eind van de 18^e eeuw was begonnen, door de ontdekking van de algemene relativiteitstheorie pas een serieuze impuls zou krijgen. Sterker nog, hij geloofde zelf helemaal niet in zwarte gaten, zoals je hieronder kunt lezen.

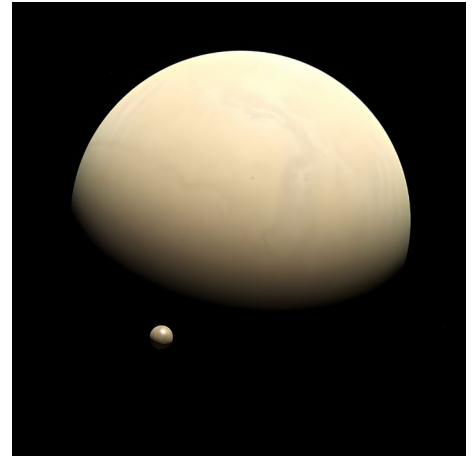
Karl Schwarzschild (1915)

Einstein dacht dat zijn ingewikkelde veldvergelijkingen niet precies op te lossen waren, maar had daarbij buiten de uiterst bekwame wiskundige en natuurkundige kwaliteiten van de Duitse natuurkundige en astronoom Karl Schwarzschild gerekend. Destijds was Schwarzschild directeur van het astronomisch observatorium in Potsdam, en diende gelijktijdig bij de Duitse artillerietroepen tijdens de Eerste Wereldoorlog, waar hij artilleriebanen berekende. En slechts luttele weken nadat Einstein zijn veldvergelijkingen had gepubliceerd had Schwarzschild al een exacte oplossing gevonden in zijn spaarzame vrije tijd aan het Russische front.

Schwarzschild loste de Einstein-veldvergelijkingen op voor een relatief eenvoudige situatie, namelijk voor een niet-draaiend, ongeladen, bolvormig hemellichaam dat door een voorwerp wordt benaderd. Deze oplossing zou uiterst belangwekkend blijken te zijn voor de rest van de historie van zwarte gaten, maar ook van die van de algemene relativiteitstheorie, zoals later in dit verhaal duidelijk zal worden.

Albert Einstein (1939)

In 1939 publiceerde Einstein een artikel waarin hij specifiek onderzocht of dat de oplossing van Schwarzschild zou kunnen lijden tot gravitationele ineenstorting en het concept van singulariteiten. Met gravitationele instorting wordt bedoeld dat een ster die is opgebrand, door de zwaartekracht van de massa die de ster bezit steeds verder in elkaar gedrukt wordt, tot er een oneindig klein puntje overblijft. Jawel, dat is hetzelfde puntje dat het centrum van



uit te leggen)). Maar hoe verder weg het ruimteschip vliegt, hoe kleiner de invloed van de aarde wordt. Dus hoe groter de afstand, hoe kleiner de zwaartekracht.

Wat zijn coördinatenstelsels

Coördinatenstelsels. Dat klinkt ingewikkeld. Toch is het minder ingewikkeld dan het klinkt, en gebruikt iedereen wel op de een of andere manier coördinatenstelsels, vaak zelfs zonder dit te beseffen.

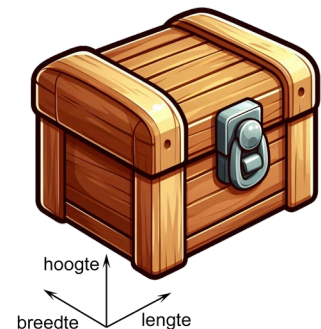
Simpel gezegd is een coördinatenstelsel een wiskundige manier om posities van voorwerpen in een ruimte aan te duiden, zodat je de afstand tot zo'n voorwerp kunt bepalen en bijvoorbeeld de afmetingen.

Denk bijvoorbeeld aan een schatkaart. En dat op z'n schatkaart staat beschreven waar een schat ligt (uiteraard!). Er staat bijvoorbeeld dat je 100 passen vanaf de steiger naar de waterval moet lopen, en dan net voor de palmboom rechtsaf, dan 30 passen verder naar links en voor de rots die op een doodshoofd lijkt naar boven moet kijken. Daar in een nis in de rotswand, op een hoogte van drie mannen, ligt de schat. Wat hier beschreven wordt is een omslachtige manier om een bepaalde positie aan te duiden. Tegenwoordig gaat dat gelukkig een stuk makkelijker met GPS coördinaten van je navigatiesysteem op je telefoon.

Het coördinatensysteem dat gebruikt is op de schatkaart is nogal onduidelijk, en niet voor iedereen hetzelfde, want jouw paslengte zal bijvoorbeeld niet precies hetzelfde zijn als die van mij. Daarom hebben wetenschappers manieren bedacht om eenduidig een positie in de ruimte aan te duiden. Twee van die systemen kent eigenlijk iedereen, en deze worden hieronder kort besproken omdat ze van belang zijn om het verhaal dat hierna volgt te kunnen begrijpen.

Het Cartesiaanse coördinatenstelsel

Denk om dit coördinatenstelsel te begrijpen aan een doosje. Dat heeft een lengte, breedte en hoogte. Dit wordt met een duur woord



het Cartesiaanse coördinatenstelsel genoemd. Het is vernoemd naar de Fransman René Descartes, die dit stelsel bedacht heeft. Descartes (Cartesius in het toen gangbare Latijn in de wetenschap) was een wiskundige en filosoof uit Frankrijk, die overigens lang in Nederland heeft gewoond, en ook wel bekend staat als de vader van de moderne filosofie. Wellicht ken je een van zijn bekende uitspraken: “*Ik denk, dus ik besta*”.

Het Cartesiaanse coördinatenstelsel gaat uit van drie assen die loodrecht op elkaar staan, met een maatverdeling ernaast (bijvoorbeeld centimeters, meters, of Engelse inches). Die drie assen vertegenwoordigen de lengte, breedte en hoogte van het eerder genoemde doosje. Met deze drie coördinaten, die vanuit een zogeheten oorsprong (het beginpunt van metingen) beginnen, kun je alle posities in de ruimte aanwijzen. En dat beperkt zich niet tot de aarde, maar op deze manier kun je ook aangeven waar de maan zich bevindt, of de zon. De oplettende lezer zal wellicht denken dat de maan en de zon bewegen (en de aarde natuurlijk ook), waardoor je nog een vierde coördinaat nodig hebt, de tijd. Zo heb je uiteindelijk een compleet coördinatenstelsel, van de zogenaamde ruimtetijd van Einstein (maar die eigenlijk in 1908 bedacht is door zijn wiskunde professor, de toch wel ondergewaardeerde Hermann Minkowski).

Het polaire coördinatenstelsel

Denk om dit coördinatenstelsel te begrijpen aan een wereldbol. Een wereldbol heeft zogeheten lengte- en breedtegraden. Hiermee konden ontdekkingsreizigers vroeger al hun positie bepalen en wisten zo waar ze zich bevonden, zelfs als dat op volle zee was. Dit coördinatenstelsel gaat uit van de nulmeridiaan, de lengtegraad die over de sterrenwacht in het dorpje Greenwich in Engeland loopt. Als je over deze nulmeridiaan naar het noorden loopt verandert die meridiaan op de Noordpool ineens van 0 graden naar 180 graden (zie de afbeelding op de volgende pagina die een vogelperspectief van de Noordpool laat zien), en loop je aan de “achterkant” van de aarde gewoon door over de 180 graden meridiaan. Die overgang merk je zelf overigens niets van. Je loopt dan aan de “achterkant” van de aarde gewoon verder naar Siberië. Dit is dus puur een theoretische



Hermann Minkowski (1864 – 1909)



Wereldbol met lengte- en breedtegraden

overgang; een overgang in het systeem dat wij mensen bedacht hebben om posities op aarde aan te wijzen (zodat o.a. onze navigatiesystemen goed werken).

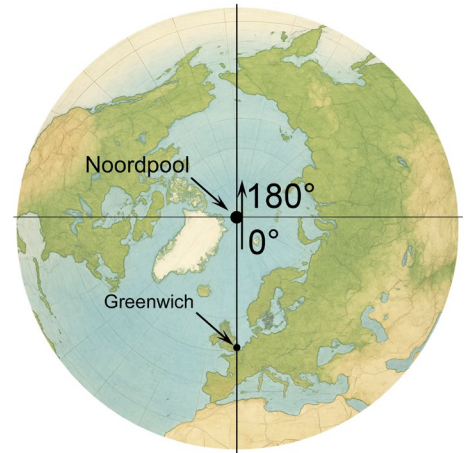
Behalve lengtegraden die van de Noord- naar de Zuidpool lopen, heb je ook breedtegraden, die daar loodrecht bovenop staan en dus van west naar oost lopen. De bekendste breedtegraad is ongetwijfeld de evenaar, die midden over de aarde loopt. En sommigen zullen van de aardrijkskundeles misschien nog de Kreefts- en Steenbokskeerring kennen, de uiterste breedtegraden waar de zon eenmaal per jaar precies recht boven het aardoppervlak staat.

De lengte- en breedtegraden worden, zoals de namen al zeggen, uitgedrukt in graden. Als je over de evenaar een rondje rond de aarde loopt heb je 360 graden afgelegd (één hele cirkel), net zoals dat als je van de Noord- naar de Zuidpool loopt, bijvoorbeeld door over de eerder genoemde nulmeridiaan te lopen, en terug via de 180 graden-meridiaan.

Zoals gezegd, als je een rondje rond de aarde beweegt door over de nulmeridiaan (0^0) te gaan lopen, zul je dus merken dat die op de Noord- en Zuidpool ineens overgaat in de 180^0 meridiaan. Dit soort plotselinge overgangen geven vaak problemen in wiskundige formules. Zo'n plotselinge overgang wordt ook wel een singulariteit of oneindigheid genoemd. Zo zou de beroemde natuurkundige Stephen Hawking eens hebben gezegd “Wat ligt er ten noorden van de Noordpool?”. We weten allemaal dat dit een onzinvraag is, maar dit illustreert wel een beetje hoe de wiskunde hiermee omgaat (of niet...).

Problemen in dit soort situaties hebben tot onduidelijkheden geleid over de vraag of zwarte gaten nu wel of niet echt bestaan, zoals later in dit boekje wordt uitgelegd.

Behalve lengte- en breedtegraden heb je om alle posities in de ons bekende driedimensionale ruimte te kunnen aanwijzen in het polaire coördinatenstelsel ook nog de straal nodig (zie plaatje volgende pagina). De straal van een bol is de afstand van het middelpunt van de bol tot aan het oppervlak (dat is dus de helft van de diameter van



Overgang van 0^0 naar 180^0 meridiaan

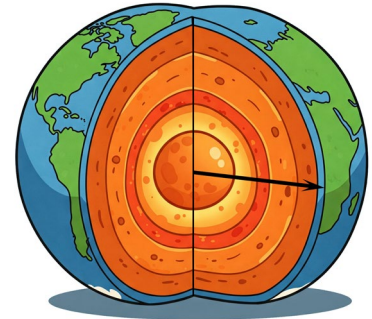


Stephen Hawking (1942 – 2018)

een bol). Besef dat je met alleen de lengte- en breedtegraden, dus zonder de straal, wel alle posities aan het oppervlak van een bol kunt aanwijzen, maar niets daarbuiten. En als je een straal aan je coördinaten toevoegt kun je bollen van ongeacht welke grootte maken. Door bijvoorbeeld de straal van de maan te pakken kun je alle posities op het maanoppervlak aanwijzen. En je kunt natuurlijk ook posities die niet op een daadwerkelijk oppervlak, zoals het aard- of maanoppervlak liggen, aanwijzen, door de straal groter of kleiner te kiezen dan de straal van de aarde of de maan. Op deze manier kun je dus met dit polaire coördinatenstelsel alle posities in onze driedimensionale ruimte benoemen, net zoals met het Cartesiaanse coördinatenstelsel.

Wellicht vraag je je nu af waarom we het polaire coördinatenstelsel gebruiken als dit nadelen in de wiskunde geeft, en niet gewoon altijd het Cartesiaanse coördinatenstelsel. Nou, omdat het polaire coördinatenstelsel ook bepaalde voordelen in de wiskunde heeft. Een heel belangrijk voordeel treedt op als je natuurkundige processen of fenomenen wilt bestuderen die rondom een symmetrische bolvorm plaatsvinden. Het maakt dan niet uit vanuit welke positie je deze bolvorm benadert, het enige dat van belang is, is de afstand tot deze bol. Dit betekent dat je in plaats van drie coördinaten in het Cartesiaanse coördinatenstelsel (lengte, breedte en hoogte), maar ook in het volledige polaire coördinatenstelsel (lengte- en breedtegraad, en dus de straal), je twee coördinaten kunt weglaten (de lengte- en breedtegraden in het polaire coördinatenstelsel), en alleen de afstand tot de bol (het coördinaat “ r ” van radius (=straal)) nodig hebt om bepaalde processen die bolsymmetrisch plaatsvinden te beschrijven en onderzoeken.

Neem als voorbeeld een lamp die in alle richtingen evenveel licht uitstraalt (bijvoorbeeld als model om een ster die licht uitstraalt na te bootsen). Dan maakt het niet uit vanuit welke positie je de lamp benadert. Het enige dat belangrijk is, is de afstand tot de lamp. Of je de lamp nou van de voorzijde, zijkant, bovenkant, onderkant (in het plaatje natuurlijk niet, omdat aan de onderkant de lamphouder het licht blokkeert) of van de achterkant benadert, de lichtsterkte die je meet is overal hetzelfde, en alleen maar afhankelijk van de afstand, en niet van de richting. Als je dichterbij de lamp komt, ongeacht



Wereldbol met straal (pijl)



vanuit welke richting, zul je een grotere lichtsterkte meten. De lichtsterkte van een lamp die in alle richtingen evenveel licht uitstraalt is dus alleen maar afhankelijk van de afstand tot de lamp (de straal “ r ”). Je zult begrijpen dat door maar één coördinaat te gebruiken, in plaats van drie, de wiskunde om een proces te beschrijven een stuk eenvoudiger wordt (en bovendien zijn vele wiskundige berekeningen zelfs niet mogelijk met alle coördinaten).

Oneindigheden

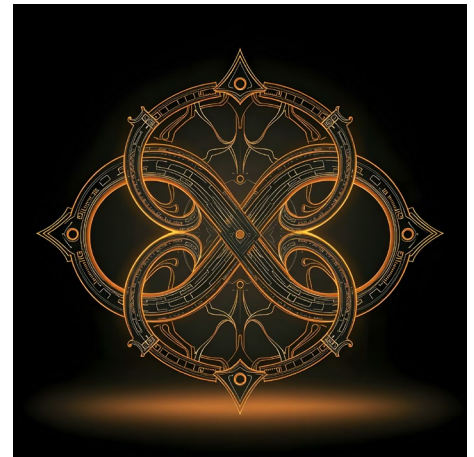
Al weer zo’n vaag begrip, denk je nu wellicht. Maar net als met bijvoorbeeld coördinatenstelsels heb je hier in de praktijk ook wel eens van gehoord.

Simpel gezegd betekent oneindig, juist ja, dat ergens nooit een einde aan komt. Als je bij de tandarts in de stoel zit heb je wellicht ook wel eens gedacht dat dat oneindig duurde. Gelukkig bleek dat niet het geval te zijn.

In de wis- en natuurkunde komen oneindigheden (ook wel met een moeilijk woord infiniteiten genoemd) in verschillende vormen voor. De bekendste is ongetwijfeld dat als je gaat tellen, 1, 2, 3, 4, 5, 6, enz., je oneindig door kunt blijven tellen. Er bestaat gewoonweg geen grootste getal. We hebben daar ook een symbool voor, het oneindigheidssymbool ∞ , wat mensen wel eens op hun lichaam getatoeëerd hebben.

Behalve deze eenvoudige oneindigheid zijn er allerlei andere oneindigheden. Voor ons verhaal zijn er twee die belangrijk zijn, en dat zijn de zogeheten progressieve oneindigheid, en de regressieve oneindigheid.

Laat ik aan de hand van eenvoudige voorbeelden, waar je wellicht eerder van gehoord hebt, deze moeilijke termen uitleggen, zodat je je daar iets bij voor kunt stellen.



Progressieve oneindigheden

Een progressieve oneindigheid kun je vergelijken met als je iets eet en iedere volgende hap twee keer zo groot is als de vorige. Voor je het weet zou je een hap hebben die niet alleen niet in je mond past, maar ook niet in bijvoorbeeld een vrachtwagen, of zelfs een zwembad. Een van de bekendste voorbeelden van een progressieve oneindigheid wordt beschreven in het verhaal van koning Midas. Deze wilde een uitvinder belonen. De uitvinder vroeg het aantal rijstkorrels dat nodig was om op ieder volgend vakje van een schaakbord het aantal rijstkorrels te verdubbelen dat hij aan de uitvinder wilde geven (de reeks: 1, 2, 4, 8, 16, 32 etc.). Als je dit narekent zul je zien dat dit betekende dat hij meer dan een half miljoen (!) voetbalstadions zoals de Arena gevuld met rijstkorrels zou moeten geven, een schier onmogelijke opgave die de kracht van de progressieve oneindigheid, ook wel bekend als exponentiële groei, mooi laat zien.

In wiskundige termen is een progressieve oneindigheid een zelf-versterkende oneindigheid, wat inhoudt dat een toename zorgt voor een nog grotere toename, die vervolgens weer zorgt voor een nog weer grotere toename, ofwel een exponentiële toename. Dit begrip kennen velen wellicht nog wel van de coronapandemie, waarbij 1 virus, 2 virussen wordt, en die worden 4 virussen, en die vervolgens 8, die dan weer 16 worden, waarna 32, 64, 128, 256, 512, 1024 enz. volgen.

Regressieve oneindigheden

Een regressieve oneindigheid is precies het tegenovergestelde van een progressieve oneindigheid. Bij het eten van happen zou dat betekenen dat iedere volgende hap de helft is van de vorige hap. Voor je het weet is je volgende hap zo klein geworden dat je die zelfs niet meer kunt zien. En beseft dat als je dit zo doet, je nooit meer dan de hoeveelheid van twee oorspronkelijke happen binnenkrijgt. Je krijgt zelfs geen twee happen binnen, want $1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 \dots$ is altijd (net) iets kleiner dan 2 (reken maar na)! Het



bekendste voorbeeld van een regressieve oneindigheid is ongetwijfeld het verhaal van de schildpad en de haas, waarbij de haas de schildpad nooit in zou kunnen halen in een van de bekendste paradoxen van Zeno, een oude Griekse wijsgeer. Deze paradox van Zeno wordt in de infobox uitgelegd.

In deze paradox wordt de essentie van een regressieve oneindigheid goed zichtbaar, namelijk dat ondanks dat je ontelbaar ofwel oneindig veel stappen neemt (die weliswaar steeds halveren), je je doel nooit kunt halen.

De oneindigheid van de regressieve oneindigheid zit hem dus niet in het eindpunt dat oneindig ver weg lijkt te zijn (maar het niet is), maar in het aantal stappen dat nodig is om bij dat eindpunt te komen. Dat aantal stappen is namelijk wel oneindig groot, waarna je het doel nog steeds niet hebt bereikt omdat je staplengte steeds kleiner en kleiner wordt.

In de werkelijkheid neem je natuurlijk niet steeds kleinere stapjes waardoor je nooit twee hele stappen kunt zetten. Je neemt iedere keer (ongeveer) dezelfde staplengte. En in de realiteit haalt de haas de schildpad dan ook snel in. De denkfout in de paradox is dat op een steeds kleiner stukje van de beweging wordt ingezoomd, en dus ook op een steeds kleiner stukje van de tijd. Dat zie je goed in het voorbeeld van de steeds kleinere happen, waardoor je nooit tot twee oorspronkelijke happen komt. In het geval van de paradox van Zeno zoom je in op steeds kleinere stukjes afstand, met de daarbij behorende steeds korter durende tijdsperiode. In de werkelijkheid loopt de tijd natuurlijk gewoon door.

Wellicht zie je de relatie tussen deze verhalen en zwarte gaten even niet. Maar wat dit allemaal betekent voor zwarte gaten wordt later duidelijk uitgelegd.

De paradox van Zeno

Stel dat een snelle haas een race houdt tegen een trage schildpad. Omdat de haas veel sneller is, krijgt de schildpad een voorsprong, laten we zeggen 10 meter.

De wijsgeer Zeno redeneert als volgt:

- 1. Wanneer de haas begint te rennen, moet hij eerst de 10 meter naar de plek van de schildpad afleggen.*
- 2. Tegen de tijd dat hij daar aankomt, is de schildpad echter een klein stukje verder gekropen.*
- 3. Nu moet de haas dat nieuwe stukje inhalen, maar opnieuw zal de schildpad ondertussen een klein beetje vooruitgaan.*
- 4. Dit proces blijft zich herhalen: elke keer als de haas een vorige positie van de schildpad bereikt, is de schildpad alweer iets verder.*

Volgens deze redenering, die de essentie van een regressieve oneindigheid mooi weergeeft, lijkt de haas de schildpad nooit helemaal in te halen, omdat er altijd nog een nieuw stukje afstand te overbruggen is, hoe klein ook.

Infobox

BOEKENTIPS

Hieronder staan per moeilijkheidsgraad (hoewel dat uiteraard subjectief is) enkele boekentips voor mensen die geïnteresseerd zijn geraakt en graag meer over dit soort onderwerpen willen lezen.

Besef dat de hieronder weergegeven boeken allemaal (nog) uitgaan van het bestaan van zwarte gaten. Hoewel je in deze boeken dus diverse argumenten voorgeschoteld krijgt die het veronderstelde bestaan van zwarte gaten zouden bevestigen, heb je in dit boekje kunnen lezen dat hier toch enige onjuistheden in zijn geslopen, en dat er zeer overtuigende argumenten zijn die laten zien dat deze betoverende hemellichamen, die de natuurwetten tarten, toch echt in het rijk der fabels thuishoren.

Tenslotte, dit is slechts een zeer kleine, en zeker niet objectieve selectie. Duik dus zelf de boekhandel in en struin de kasten af naar interessante boeken!

Eenvoudig

Hart-Davis, Adam. *Het verhaal van de tijd*, Amsterdam, Nederland: Fontaine Uitgevers, 2011

Hawking, Stephen. *De antwoorden op grote vragen*. Houten, Nederland: Het Spectrum, 2018

Hekkenberg, Ans. *Gaten in het heelal. Een duik in zwarte gaten, witte gaten en wormgaten*. Amsterdam, Nederland: Veen Media (New Scientist Pocket Science), 2023

Smethurst, Becky. *A brief history of black holes and why nearly everything you know about them is wrong*. London, UK: Pan Books, 2022

Vaas, Rüdiger. *Simpeľweg Einstein! Geniale gedachten eenvoudig te begrijpen*. Utrecht, Nederland: Kosmos Uitgevers, 2019

Gemiddeld

Cox, Brian en Forshaw, Jeff. *Black holes*. London, UK: William Collins, 2022

Darling, David. *Zwaartekracht. Van Aristoteles tot Einstein en verder*. Diemen, Nederland: Uitgeverij Veen Magazines B.V., 2006

Harrison, Edward Robert. *Cosmology. The science of the universe*. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012

Hawking, Stephen en Mlodinov, Leonard. *Een korte geschiedenis van de tijd*. Amsterdam, Nederland: Uitgeverij Prometheus, 2024

Rezzolla, Luciano. *De onweerstaanbare aantrekking van de zwaartekracht. Een ontdekkingsreis naar zwarte gaten*. Amsterdam, Nederland: Veen Media (in samenwerking met New Scientist), 2023

Uitdagend

Carroll, Sean M. *Spacetime and geometry: An introduction to general relativity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2019

Carroll, Sean M. *The biggest ideas in the universe. Space, time, and motion*. New York, NY, US: DUTTON (Penguin Random House LLC), 2022

Davies, Paul. *About time. Einstein's unfinished revolution*. New York, NY, US: Simon & Schuster Paperbacks, 1995

D'Iverno, Ray, Vickers, James. *Introducing Einsteins relativity - A Deeper Understanding*. 2nd ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 2022

Greene, Brian. *The elegant universe. Superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory*. London, UK: Vintage, 1999

Misner, Charles W., Thorne, Kip S., Wheeler, John A. *Gravitation*. Princeton, NJ, US: Princeton University Press, 2017

OVER DE AUTEUR

Peter Damen (13-6-1965; gevoelsleeftijd: 17 jaar) is in Goirle geboren, onder de rook van Tilburg, waar hij (vrijwel) zijn hele leven woont.

Na het voltooien van de basisschool begon hij in 1977 aan het VWO (atheneum B) van het St. Odulphuslyceum in Tilburg. Na het cum laude afronden van deze opleiding startte hij met de studie biologie, met een specialisatie in medische biologie, aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Ook deze studie sloot hij cum laude af, waarna hij aan dezelfde universiteit promotieonderzoek verrichtte op het gebied van de ontwikkelingsbiologie. Dat heeft in 1994 geresulteerd in het proefschrift met de titel “Cell-lineage, and specification of developmental fate and dorsoventral organisation in the mollusc *Patella vulgata*”, waarin Damen aspecten van de vroege ontwikkeling van een slakkensoort beschrijft.

Vervolgens heeft hij een kort uitstapje gemaakt naar het Verenigd Koninkrijk, alwaar hij aan het University College London onderzoek heeft gedaan naar de ontwikkeling van Schwann cellen (een bepaald type cel dat voorkomt in het zenuwstelsel).

Damen heeft een brede interesse, wat heeft geleid tot diverse carrièrepaden, waaronder in de farmaceutische dienstverlening (IPC-Holland), karate (Enso Karate-do), fotografie (Red Eye Photography) en als bijlesdocent (Exact op weg).

Sinds eind 2021 is Damen verwoed, en volgens sommigen zelfs enigszins obsessief bezig om de natuurkundige tijd en alles wat daarmee samenhangt te doorgronden (zie ook hoofdstuk “Mijn uitdagingen”). In dit boekje wordt het eerste resultaat hiervan in eenvoudige taal uitgelegd voor geïnteresseerde lezers die geen specifieke natuurkundige kennis bezitten.

Damen voelt zich al zijn gehele leven 17 jaar oud en denkt dat zijn jonge absolute leeftijd in belangrijke mate heeft bijgedragen aan zijn drive om dit alles te onderzoeken en te begrijpen.

Zwarte gaten spreken tot de verbeelding — mysterieuze kosmische verschijnselen die alles in hun buurt zouden verslinden als een onstilbare galactische draaikolk. Of misschien zelfs poorten naar een onbekende realiteit, waar tijd en ruimte op onvoorstelbare wijze vervormen, zoals vaak gesuggereerd in films als Interstellar. Maar wat als alles wat we denken te weten over zwarte gaten niet klopt?

In dit rijk geïllustreerde en toegankelijk geschreven boek neemt de auteur u mee op een verrassende wetenschappelijke ontdekkingsreis. Op basis van baanbrekend onderzoek uit 2024 laat hij zien waarom zwarte gaten — zoals we ze kennen — niet kunnen bestaan. Stap in de wereld van de moderne natuurkunde en ontdek hoe de grenzen van ons begrip van ruimte en tijd werkelijk in elkaar zitten.

Bent u klaar om uw blik op het universum voorgoed te veranderen?



Mijn naam is Peter Damen (1965) en mijn leven lang ben ik gefascineerd door de tijd en haar mysteries. Zwarte gaten werden lange tijd beschouwd als exotische hemellichamen die de tijd laten bevriezen — een idee dat mij intrigeerde, maar ook vragen opriep. Hoe kon dit in overeenstemming zijn met Einsteins speciale en algemene relativiteitstheorie?

Gedreven door deze paradox verdiepte ik mij grondig in de natuurkunde achter zwarte gaten. Wat ik ontdekte was zowel onverwacht als onthutsend: zwarte gaten kunnen eenvoudigweg niet ontstaan en bestaan dus niet.

In dit boek neem ik u mee op mijn wetenschappelijke zoektocht — een reis vol verrassingen die niet alleen onze kijk op zwarte gaten, maar ook op de fundamenteën van ruimte en tijd uitdaagt.

