



Gaten

IN HET

New Scientist
Pocket Science

heelal

• Een duik in zwarte gaten,
witte gaten en wormgaten

Ans Hekkenberg

Inhoud

Inleiding 7

Deel 1: Duik in het gat 11

1. Scheur in de ruimtetijd 13
2. Handleiding van het zwarte gat 22
3. Hoe bouw je een gat? 39

Deel 2: Gaten in onze kennis 49

4. Dampige gaten 51
5. Oergaten 59
6. Harige gaten 67

Deel 3: Nog gekkere gaten 77

7. Witte gaten 79
8. Wormgaten 89

Dankwoord 101

Index 103

Meer lezen? 107

Inleiding

De poorten van de hel. Einsteins monsters. De afgrond van de werkelijkheid. Er zijn door de jaren heel wat termen gebruikt om zwarte gaten te omschrijven, en de meeste daarvan zijn niet bepaald vleidend te noemen.

In dit boekje wil ik opkomen voor het zwarte gat en andere gaten in het heelal. Want laten we wel wezen, deze super-zware enigma's verdienen niets dan respect en bewondering. Ze slokken alles op, zelfs licht, en zijn daarmee veruit de spannendste objecten die we kennen. Wil je de natuurwetten testen onder de meest extreme omstandigheden? Een zwart gat is *the place to be*. Wil je naar een plek reizen waar onze alledaagse intuïtie afbrokkelt tot gruis? Jazeker, ook daarvoor kun je terecht in het hart van een zwart gat. Wil je een wormgat maken, en in een mum van tijd een doorsteekje maken naar een andere uithoek van het eindeloze universum? Dat... oké, dat wordt eerlijk gezegd best lastig, maar áls er een object in het heelal bestaat waarmee dat kan, dan is het een zwart gat. Met andere woorden: zwarte gaten zijn dé plekken waar ons voorstellingsvermogen op onovertroffen wijze op de proef wordt gesteld.

Reden genoeg dus om deze kosmische eindbazen eens diep in de ogen te kijken. En dat kunnen we sinds kort ook

daadwerkelijk. Meer dan een eeuw geleden beseften natuurkundigen voor het eerst dat deze bizarre objecten in theorie kunnen ontstaan. Pas in 2019 hadden we direct bewijs dat ze ook daadwerkelijk voorkomen in het heelal. Misschien staat het je nog bij: in dat jaar werd voor de eerste keer een zwart gat op de foto gezet. Het ging om een superzwaar exemplaar in het verre sterrenstelsel M87. Het plaatje van een donkere vlek, omringd door een vurige gloed, haalde wereldwijd alle kranten. In 2022 volgde de tweede foto: toen was het gat in het midden van ons eigen sterrenstelsel, de Melkweg, op beeld vastgelegd. Met deze foto's brak een nieuw tijdperk van zwarte-gaten-wetenschap aan. Voor het eerst kunnen we deze duistere plekken in de kosmos op plaatjes bestuderen.

De tijd is dus hartstikke rijp om in een zwart gat te duiken. Iets wat in het echte leven overigens niet aan te raden is. Alvast een kleine *spoiler*: een zwart gat is een enorm zwaar object. Daardoor oefent het geweldig veel zwaartekracht uit op alles wat in zijn buurt durft te komen. Stel je voor dat je op je dooie gemakje door de ruimte drijft in een ruimtepak – op je rug, met je voeten naar voren. Wanneer je zo richting een zwart gat beweegt, trekt het gat veel harder aan je voeten dan aan je hoofd. Het resultaat: je voeten worden al met veel geweld richting het gat geslurpt, terwijl je bovenkant nog even achterblijft. Je wordt onverbiddelijk uit elkaar getrokken, tot er niks van je over is behalve een lange dunne sliert mensenspul. De wetenschappelijke term voor dit gruwelijke vooruitzicht is – geen grapje – spaghettificatie. Als je een zwart gat op je pad ziet verschijnen, kun je dus beter de andere kant op zwemmen.

Figuurlijk het zwarte gat in duiken, dát kan natuurlijk wel. En dat gaan we dan ook doen. In dit boekje gaan we verder dan de oppervlakkige omschrijving van het zwarte gat ('zwaar ding dat zelfs licht niet laat ontsnappen'). Ik zal

beschrijven wat een zwart gat eigenlijk is, wat we erover weten en welke mysteries er nog rondom het gat tollen.

In de eerste drie hoofdstukken kijken we naar de bouwtekening van deze kosmische monsters. We doen net alsof dit een IKEA-handleiding is van onze nieuwe aankoop (de Svarthål, alleen verkrijgbaar in zwart) en bestuderen de verschillende onderdelen. Je zult ontdekken dat je met dezelfde componenten verschillende gaten-varianten kunt bouwen. In hoofdstuk 4 tot en met 6 tuimelen we door de diepste krochten van de natuurkunde. Welke geheimen houden zich in zwarte gaten schuil en welke paradoxen drijven natuurkundigen tot wanhoop? Tot slot vragen we ons af: welke gaten zitten er nog méér in het heelal? Wat is een wit gat? En kunnen we echt de kracht van een wormgat beteugelen om door de kosmos te reizen? Dat ontdek je in de laatste twee hoofdstukken.

Wie het zwarte gat en zijn soortgenoten wil doorgronden, moet uitdagende hersengymnastiek verrichten. Het zijn immers geen alledaagse objecten, dus het vergt geduld, tijd en aandacht om onze grijze massa om dit zwarte object te buigen. Maar het is de moeite waard, dat beloof ik. Het uitzicht vanaf de rand van een kosmisch gat is zowel beangstigend als prachtig. Na dit boekje hoop ik dan ook dat het onderwerp je heeft gegrepen en nooit meer los zal laten – zoals ware zwarte gaten dat doen.

Ans Hekkenberg

December 2022

1

Scheur in de ruimtetijd

Zwarte gaten zijn iets meer dan honderd jaar oud. Niet de daadwerkelijke exemplaren die in onze kosmos rondspoken natuurlijk. Sommige daarvan zijn bijna zo oud als het universum zelf. Nee, wat honderd jaar oud is, is ons besef dat zwarte gaten bestaan.

De man die als eerste het zwarte gat op het spoor kwam, was de Duitse astronoom Karl Schwarzschild. Zijn gemijmer over deze kosmische grootheden gebeurde onder bijzondere omstandigheden. De Eerste Wereldoorlog woedde op het Europese continent en in 1914 was Schwarzschild vrijwillig in dienst getreden van het Duitse leger. De 40-jarige directeur van het astronomisch observatorium in Potsdam was geen typische frontsoldaat. Terwijl jonge mannen om hem heen met bosjes tegelijk sneuvelden, berekende Schwarzschild in een veldtent de banen van projectielen zoals kogels en granaten.

Naast zijn gepuzzel met projectielen boog Schwarzschild zich over andere natuurkundige zaken. Recent was hij compleet in de ban geraakt van een nieuwe, revolutionaire theorie over zwaartekracht: de algemene relativiteitstheorie.

Albert Einstein had deze theorie in november 1915 afgerond. Al enkele weken later, in december, stuurde Schwarz-

schild vanaf het front een brief naar Einstein. Schwarzschild was zo onder de indruk van het werk van zijn landgenoot dat het voor hem zelfs de oorlog naar de achtergrond verdrong. ‘Zoals u ziet staat de oorlog het mij toe om, ondanks zwaar artillerievuur, een wandeling te maken in uw ideeënland-schap’, schreef hij.

Laten wij hetzelfde doen. We laten Schwarzschild en de oorlog voor nu even achter ons om het ideeënlandschap van Einstein in te duiken, waar de heuvels en de dalen worden beschreven door de algemene relativiteitstheorie.

Krom fundament

Hoewel de algemene relativiteitstheorie in het dagelijks taal-gebruik vaak synoniem is aan ‘moeilijke natuurkunde’, is wat de theorie dóét eigenlijk heel simpel: hij beschrijft hoe de zwaartekracht werkt. Ook vóór Einstein wisten natuurkundigen natuurlijk wel dat appels naar beneden vallen en dat planeten om de zon heen draaien. Met andere woorden, ze wisten al dat verschillende objecten aan elkaar trekken met de zwaartekracht. De aarde trekt aan je lijf, zodat je voeten stevig op het oppervlak blijven staan. Ondertussen trekt je lichaam terug aan de aarde. Maar doordat jij zo licht bent en de aarde zo zwaar, merk je van dat eerste effect veel meer dan van het tweede. Dit alles had Isaac Newton in de zeventiende eeuw al goed in de smiezen. Maar waaróm massa’s aan elkaar trekken, dat was toentertijd nog een raadsel. Hoe kan de zon aan de planeten trekken (of de planeet aan jouw voeten) zonder dat er touwtjes tussen gespannen zijn?

Einstein bedacht de oplossing. Daartoe introduceerde hij het idee van de ruimtetijd. Om een idee te krijgen wat Einstein daarmee bedoelde, nodig ik je uit om een wille-

keurig stuk heelal in gedachten te nemen. Stel je nu voor dat je dat stuk van het heelal helemaal leeg veegt. Je haalt er dus alle sterren en planeten uit, en ook alle kleine stofdeeltjes, gruis en losse moleculen. Als je nauwkeurig te werk gaat en elk deeltje te pakken krijgt, is wat je overhoudt *helemaal niks*. Leegte.

De enige twee dingen die nog bestaan in de leegte zijn de ruimte (je kunt erin naar links en rechts bewegen, naar voor en achter, en naar boven en beneden) en de tijd (die tikt gewoon door). Deze leegte noemen we dan ook de ruimtetijd.

Einstein stelde nu dat zelfs dit stuk niks stiekem toch *iets* is. Er is niks te zien, maar het *is* wel degelijk wat. Het is een soort onzichtbare structuur waarin je sterren en planeten kunt plaatsen; het fundament van ons heelal.

Het revolutionaire idee van Einstein was dat dit fundament van het heelal *vervormbaar* is. Je kunt het buigen, krommen, indrukken of uitrekken. En, net zoals je op een scheef fundament een scheef huis zou bouwen, heeft een scheve ruimtetijd gevolgen voor de planeten en sterren die zich door het heelal bewegen.

Maar wat zorgt ervoor dat het fundament kromt? Nou, stelde Einstein, de ruimtetijd wordt vervormd door datgene wat zich erin bevindt. Stel, we nemen ons leeggeveegde stuk universum en plaatsen daar een planeet in. Die deukt de ruimtetijd ter plekke een beetje in. Zetten we in plaats van een planeet een zwaarder object in de leegte – een ster bijvoorbeeld – dan deukt de ruimtetijd dieper in. Hoe massiever het object, hoe dieper de deuk.

Om daar een voorstelling van te maken, kun je de ruimtetijd zien als het doek van een trampoline. De lichte planeet, die kun je je voorstellen als een volleybal. Als je die op de trampoline legt, veroorzaakt die een kleine deuk in het doek.

Een zwaarder object, zoals een ster, gedraagt zich als een bowlingbal. Die deukt het trampolinedoek verder in. Kortom: objecten met veel massa krommen de ruimtetijd sterk, terwijl lichte objecten de ruimtetijd nauwelijks beïnvloeden.

Objecten in de ruimte veroorzaken de kromming dus, maar ervaren ook zelf de gevolgen ervan. Logisch: wanneer een bal over een ingedeukt trampolinedoek rolt, kan die natuurlijk niet anders dan de bestaande kromming volgen. Datzelfde geldt voor al het spul in de ruimte. Alles wat door de ruimtetijd vliegt, of dat nou een stofdeeltje of een planeet is, móét het kromme pad van de ruimtetijd volgen.

Een gevolg daarvan is dat lichte objecten onvermijdelijk naar het zwaarste ding in hun omgeving bewegen. Ga maar na: als een volleybal over de trampoline rolt, deukt hij het doek zelf in, maar zijn pad wordt voornamelijk bepaald door de diepe deuk rondom de bowlingbal. Dáár is de kromming het sterkst; dáár bevindt zich het laagste punt. Ofwel: daar willen lichtere objecten naartoe.

De zwaartekracht, stelde Einstein dus, is niks anders dan een *gevolg van de gekromde ruimte*. Zware objecten buigen de ruimtetijd om zich heen, waardoor lichtere objecten in hun richting glijden.

Puzzelen met formules

In 1915 had Einstein het idee van een ingedeukte ruimtetijd netjes opgetekend in zijn algemene relativiteitstheorie. Hij had het alleen niet, zoals wij, over trampolines en bowlingballen. De ruimtetijd die hij op papier zette, bestond uit formules: de zogeheten einsteinvergelijkingen.

Het waren die formules die het ideeënlandschap vormden waar Schwarzschild zo graag doorheen struinde terwijl om

7

Witte gaten

Een wit gat is, op zijn kortst gezegd, het tegenovergestelde van een zwart gat. Een zwart gat is een gebied in de ruimtetijd waar je in kunt vallen, maar waar je nooit meer uit kunt ontsnappen. Een wit gat is een gebied in de ruimtetijd waar niets tot kan doordringen, maar waar materie juist uit tevoorschijn spuit. Volgens sommige natuurkundigen ontstaat zo'n wit gat wanneer een zwart gat ouder wordt en onvermijdelijk binnenstebuiten keert.

Waarom zou een zwart gat binnenstebuiten keren? En hoe ziet zo'n omkering er überhaupt uit? Om die vragen te beantwoorden, gaan we in gedachten op een blok materie zitten dat een zwart gat in valt. Eenmaal voorbij de waarnemingshorizon racet ons blok richting het middelpunt. Wat ligt daar op ons te wachten?

Volgens de klassieke lezing, de theorie van Einstein, is dat de singulariteit: een oneindig klein gebied, een enkel punt, met een oneindig hoge dichtheid. Dat punt slaat een gat in de werkelijkheid dat ons blok materie in één klap weg zal vegen.

Maar behoorlijk wat natuurkundigen plaatsen zo hun vraagtekens bij de singulariteit. Volgens hen is Einsteins theorie namelijk helemaal niet in staat om het centrum van een zwart gat te beschrijven. Zij stellen dat de zwaartekracht

hier zo ongelofelijk sterk is dat er onvermijdelijk quantumeffecten opborrelen die niet zomaar te negeren zijn. We moeten de kern van een zwart gat dus niet beschrijven met de gewone zwaartekrachtstheorie van Einstein, maar met een theorie van quantumzwaartekracht, die in het vorige hoofdstuk al even om de hoek kwam kijken.

Geen gat

Als we quantumregels opleggen aan het zwarte gat, zal de ruimtetijd nooit zo ver instorten dat er daadwerkelijk een gat ontstaat, zo luidt het idee van witte-gaten-denkers. Quantum heeft er namelijk een handje van om spul uit het centrum te weren. In plaats daarvan zal al het spul dat naar dat ene enkele punt racet een soort tegendruk ervaren en zich net buiten het centrum verzamelen.

Vergelijk het met elektronen die om een atoomkern draaien. Volgens het klassieke beeld bevat een atoom een kleine kern, met daaromheen elektronen die in banen draaien zoals planeten om de zon. Een mooi plaatje, maar helaas compleet verkeerd. Want wat zou deze elektronen ervan weerhouden om naar binnen te vallen, de kern in? Elektronen zijn negatief geladen en de kern is positief. Die twee trekken elkaar aan, dus je zou denken dat elk elektron een snoekduik de kern in wil maken.

De enige reden dat dit niet gebeurt, is dat alle deeltjes (dus ook elektronen) quantumregels moeten volgen. De quantumtheorie voorspelt dat er voor elk deeltje een 'grondtoestand' bestaat, een toestand van minimale energie die het kan innemen. Die grondtoestand bevindt zich voor een elektron niet in het centrum van een atoom, maar een tikje daarbuiten. Daar zullen de elektronen zich dus netjes verzamelen.



Ans Hekkenberg studeerde natuur- en sterrenkunde en is redacteur bij *New Scientist*. In deze reeks verschenen van haar hand eerder *R.I.P. Heelal* (2020) en *Het multiversum* (2021). Je vindt haar op Twitter en Instagram als @GirlForScience.

Jury Cosmos Boekenprijs over *Het multiversum*: 'Fantastisch geschreven, heeft veel diepgang en laat je veel zelf nadenken. De grapjes erin maken het licht, zodat je in één stuk door wilt blijven lezen.'

New Scientist
Pocket Science

Zwarte gaten slokken alles op wat ze te pakken kunnen krijgen. In *Gaten in het heelal* geeft Ans Hekkenberg een cursus over deze kosmische veelvraten. Wat zijn zwarte gaten eigenlijk? Kun je ze ongedeerd binnenglippen? En kun je een zwart gat leegschudden? Ook komen mysteries en paradoxen aan bod. Hoe kan een gat bijvoorbeeld verdampen? En waarom denken natuurkundigen dat zwarte gaten hologrammen zijn?

Naast zwarte gaten staan ook hun nog mysterieuzere familieleden op het programma: microscopische oergaten, witte gaten die materie uitbraken en wormgaten die uithoeken van het heelal met elkaar verbinden. Bestaan deze vreemde gatenvarianten echt? En zullen we ze ooit gebruiken om het heelal door te racen?

Met dit boekje neem je een diepe duik in de gaten in het heelal – een onderwerp dat je nooit meer zal loslaten.

newscientist.nl | NUR 917

