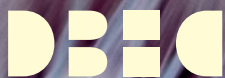


VAN DE MAKERS VAN
NewScientist

Dichter bij het zwarte gat



Dutch Black Hole
Consortium

DISCOVERY
MUSEUM

Nikhef



Einstein
Telescope



rijksmuseum
boerhaave

Voorwoord

In de tentoonstelling *Dichter bij het zwarte gat*, te zien in Rijksmuseum Boerhaave, ligt een brief die niets met zwarte gaten te maken heeft. Hij is afkomstig van kunstenaar M.C. Escher en gericht aan mathematisch fysicus Roger Penrose. De brief bevat tekeningetjes waarmee Escher laat zien dat hij een puzzel heeft weten op te lossen die Penrose hem stuurde.

Deze brief ligt er natuurlijk niet voor niets. Escher, de grootmeester van het valse perspectief, was een grote bron van inspiratie voor Penrose, die begin jaren zestig het concept van het zwarte gat goeddeels vormgaf. Maar de beïnvloeding was wederzijds. Penrose bracht ook Escher op ideeën, zelfs voor zijn bekendere werken.

Deze kruisbestuiving tussen kunst en wetenschap laat zien dat zelfs onderzoek naar de vreemdste objecten die we kennen, zwarte gaten, baat heeft bij een blik over de schutting bij andere disciplines en vice versa. Zwarte gaten staan midden in de wereld die we onderzoeken, duiden en een beetje beter proberen te maken.

In het Dutch Black Hole Consortium, het samenwerkingsverband voor zwartegatenonderzoek dat in 2021 een aanvraag voor de Nederlandse Wetenschapsagenda gehonoreerd zag, komt dit alles bij uitstek terug. Hier staan specialisten in optische en cryogene (extreem koude) technieken, geologen en pedagogen schouder aan schouder met fysici en astronomen. Nederland moet leidend blijven op het gebied van het zwartegatenonderzoek, maar andere deelgebieden profiteren volop mee. Er blijkt toch van alles uit zwarte gaten te komen – in de vorm van kennis en innovaties.

Annelore Scholten,
plaatsvervangend
directeur
Rijksmuseum
Boerhaave,
en Ad Maas,
conservator
Rijksmuseum
Boerhaave



OMSLAG: OFFFF BRANDING STUDIO



- 03 Gatengraffiti** Robbert Dijkgraaf over zijn muurschildering.
- 04 Die ene foto** Heino Falcke blikt terug op het eerste beeld van een zwart gat.
- 06 Talent** Ilham Bouisaghoulane helpt leerlingen te verwerken wat ze hebben geobserveerd.
- 07 Golvengevaarte** Stan Bentvelsen is het boegbeeld van de Einstein Telescope.
- 08 Einsteineducatie** Discovery Museum maakt scholieren enthousiast voor zwaarte-krachtgolven.
- 11 Beste Albert** Martijn van Calmthout schrijft een brief aan Einstein.
- 12 Onzichtbaar?** Zo brengen wetenschappers zwarte gaten in beeld.
- 14 Infographic** De Einstein Telescope uitgelegd.
- 16 Samen sterk** Het Dutch Black Hole Consortium brengt gemeenschappen bijeen om zwarte gaten te onderzoeken.



- 18 Nieuwe blik** Michael Wise, directeur van ruimteonderzoeksinstituut SRON, over ruimtetelescoop ATHENA.
- 19 Talent** Peter Pang voegt verschillende datastromen samen om neutronensterren te begrijpen.
- 20 Spiegelinterview** Sera Markoff en Peter Jonker over hun onderzoeks- en outreachwerk.
- 22 Spiegelinterview** Ad Maas en Jeroen van Dongen presenteren de highlights van *Dichter bij het zwarte gat*.
- 25 Column** Amito Haarhuis, directeur van Rijksmuseum Boerhaave, ziet ons steeds dichter bij zwarte gaten komen.
- 26 Talent** Jildou Hollander gaat natuurkundige problemen te lijf met het holografisch principe.
- 27 Ype en Ionica** De ambitieuze expositie

COLOFON

Deze special is gemaakt door de redactie van *New Scientist* in opdracht van Rijksmuseum Boerhaave, Discovery Museum, Nikhef en het Dutch Black Hole Consortium. Hij verschijnt als bijlage bij *New Scientist* 122 die op 20 mei in de winkels ligt.

Hoofdreductie Jim Jansen

Eindredactie Jean-Paul Keulen

Aan dit nummer werken mee Maïke Abbink, Bram Belloni, Bob Bronshoff, Martijn van Calmthout, Ype Driessen, Fenna van der Grient, Amito Haarhuis, Peter de Jong, Ad Maas, Maïke Putman, Kim Scheltes, Annelore Scholten, Ionica Smeets, Maureen Voestermans, Bruno van Wayenburg, Mieke Zijlmans

Basisontwerp Sanna Terpstra (Twin Media bv)

Vormgeving Frank de Both (Twin Media bv)

CONTACT NEW SCIENTIST

Mail redactie@newscientist.nl (voor persberichten), info@newscientist.nl (uitsluitend voor vragen aan redactie), klantenservice@newscientist.nl

Tel +31-(0)85-6202600

Adres (post en bezoek) Oostenburgervoorstraat 166, 1018 MR Amsterdam

Brandmanager Iben Reurs (iben@newscientist.nl)

Marketing en sales Alex Sieval (alex@newscientist.nl)

WEBSITES

Rijksmuseum Boerhaave

www.rijksmuseumboerhaave.nl

Discovery Museum

www.discoverymuseum.nl

Nikhef www.nikhef.nl

Dutch Black Hole Consortium www.dbhc.nl

Druk Senefelder Misset Doetinchem B.V.

ISSN 2214-7403

De uitgever is niet aansprakelijk voor schade als gevolg van druk- en zetfouten.

COPYRIGHT Niets uit deze uitgave mag op enigerlei wijze worden overgenomen of in een geautomatiseerd gegevensbestand worden opgenomen zonder schriftelijke toestemming van de uitgever. Het logo en overige handelsmerken van *New Scientist* zijn eigendom van *New Scientist Ltd*. De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten van de illustraties volgens de wettelijke bepalingen te regelen. Zij die menen nog zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich wenden tot de uitgever.





KUNST EN WETENSCHAP

Schilderachtig gat

'*Last moment panic!* Dat heb je niet alleen nodig in de wetenschap, maar ook als je een kunstwerk moet maken. Ik was directeur van Princeton en bij de collega's in Harvard zou The Black Hole Initiative worden geopend. Of ik een schilderij voor die opening wilde maken, was de vraag van hun directeur. Ik had blijkbaar ja gezegd, want weken later belde hij me met de vraag hoe het stond met het schilderij. Om daaraan toe te voegen dat niemand minder dan Stephen Hawking het zou onthullen. Avondenlang en ook het hele weekend heb ik doorgeschilderd. Uiteindelijk heeft Hawking het resultaat daadwerkelijk onthuld.

Centraal in het beeld staat een superzwaar zwart gat, dat je vindt in het centrum van elk sterrenstelsel. Het gat in onze eigen Melkweg heeft miljoenen sterren opgeslokt, maar in een sterrenstelsel wat verder weg, M87, staat er een zwart gat waar een *miljard* sterren in is verdwenen.

Dit schilderij dateert uit 2016 en de eerste foto van een zwart gat is gemaakt in 2019. Voordat ik begon te schilderen, heb ik allemaal wetenschappelijke artikelen hierover gelezen en me proberen voor te stellen hoe zo'n zwart gat eruit zou kunnen zien. Toen de foto op 10 april 2019 aan de wereld werd getoond, dacht ik: niet slecht gedaan.

Op het schilderij zie je ook twee kleinere zwarte gaten die om elkaar heen draaien. Daarbij geven ze zwaartekrachtgolven af; het meten daarvan was een andere recente wetenschappelijke doorbraak. Verder zie je nog een microscopisch zwart gat met allemaal kleine snaartjes eromheen. Dat is mijn persoonlijke visualisatie van hoe je in de quantumtheorie zwarte gaten kunt beschrijven. Tot slot een fles. Mijn *message in a bottle*. Niet in de zee, maar in het universum. In de fles zit een briefje met Einsteins formule van een zwart gat.'

Tekst: Jim Jansen

'Zwarte gaten zijn nog steeds een hel voor natuurkundigen'

Vijf jaar geleden haalde hij wereldwijd de voorpagina's: de eerste foto van een zwart gat. Hoogleraar radioastronomie en astrodeeltjesfysica **Heino Falcke** speelde een sleutelrol bij de totstandkoming daarvan. Momenteel doet hij onderzoek naar hawkingstraling – die volgens hem niet alleen zwarte gaten, maar álles in het heelal op termijn laat verdampen.

Interview: Jim Jansen
Fotografie: Bob Bronshoff

Er gebeurde iets magisch. Het gevoel alsof je een grote geliefde, met wie je al twintig jaar brieven schrijft, maar die je nooit hebt gezien, voor het eerst ontmoet. En ze is nog mooier dan je al die tijd had verwacht. Overweldigend. Fantasie werd werkelijkheid.

Aldus Heino Falcke, die op verzoek terugblijkt op het moment dat hij in het voorjaar van 2018 voor het allereerst een foto zag van een zwart gat. 'Wetenschappelijk gezien was dit wel het mooiste moment van mijn leven. Het eerste moment dat ik de gegevens zag, kun je vergelijken met het moment dat je bij de verloskundige voor het eerst je kind ziet. Ook de dag na de persconferentie, april 2019, was prachtig. Van *The New York Times* tot de *Frankfurter*

Allgemeine Zeitung: overal stond de foto op de voorpagina.'

Aan metaforen had u destijds geen gebrek. U had het over 'de poorten van de hel', 'het einde van de ruimte en tijd'...

'Die termen zijn nog steeds van toepassing. Sommigen noemden het een donut; daar heb ik persoonlijk iets minder mee, maar *the ring of fire* vind ik wel treffend. Kijk eens naar de foto (op pagina 13, red.) en realiseer je wat er gebeurt. De duisternis waar het licht in de schaduw verdwijnt. De grens waaruit niets meer voortkomt, wat ik de poort naar de hel noem. En nog steeds is het een hel voor natuurkundigen. Ze kunnen van alles bedenken, maar ze weten nog altijd niet wat daar precies gebeurt.'

We zijn nu vijf jaar verder. Wat is er in de tussenliggende periode gebeurd?

'Heel veel, en zeker niet alleen pieken. Vooral het eerste jaar was er veel media-aandacht. Daarna verscheen ook mijn boek *Licht in de duisternis* over dit

onderwerp. Dat werd een internationale bestseller en is inmiddels in dertien talen verschenen. Nog steeds geef ik bijna wekelijks een praatje, vooral ook buiten mijn vakgebied; ik voel me echt een ambassadeur van de wetenschap. Maar ondanks alle successen was het heel lastig om het nieuwe onderzoek gefinancierd te krijgen. Dat leverde veel stress op. Gelukkig hebben we samen met mijn collega Sera Markoff van de Universiteit van Amsterdam en Rob Fender van de Universiteit van Oxford vorig jaar een nieuwe ERC Grant gekregen (een Europese beurs voor wetenschappelijk onderzoek, red.) en heeft de Radboud Universiteit ons gesteund. We waren al in 2015 begonnen met de bouw van een nieuwe telescoop in Namibië. Afrika ontbrak namelijk nog in het wereldwijde netwerk van de Event Horizon-telescoop, waarmee we de zwarte-gat-foto maakten. In Namibië zal de allereerste Afrikaanse millimetergolf-radiotelescoop gebouwd worden die kleurenfilms van zwarte gaten gaat maken. Mooie bijvangst bij dit pro-

‘Na een heel lange periode zal uiteindelijk alles in het heelal verdampen’

GV

ject was dat ik me realiseerde dat sterrenkunde echt leeft in Afrika. Er stromen meer studenten in, we hebben de allereerste Namibische promovendi in de sterrenkunde daar kunnen aannemen, en ik kan ook nog een extra *fellowship* voor Namibische studenten opzetten.’

Wat was voor u het verschil tussen de foto die in 2019 de voorpagina's haalde en die uit 2022, de eerste foto van het zwarte gat in het hart van de Melkweg?

‘We hebben ze tegelijk waargenomen, maar de tweede foto, het zwarte gat in het centrum van ons Melkweg, is eigenlijk mijn eerste liefde. De foto van M87* was wat makkelijker te maken en daarom hebben we die als eerste gepubliceerd. Het zwarte gat op de tweede foto, Sagittarius A*, is 4 miljoen keer zo zwaar als de zon. Het bevindt zich op zo'n 27.000 lichtjaar van de aarde. M87* is 6 miljard keer zo zwaar als de zon en is 55 miljoen lichtjaar van ons verwijderd. Eigenlijk zijn het twee zussen; een grote en een kleine.’

Zo'n foto kun je alleen maken met een wereldwijde samenwerking van telescopen.

‘Zonder samenwerking was die foto er inderdaad nooit gekomen. Ook toen we onze eerste ERC Grant kregen, konden we niet alles zelf doen. Wij waren verantwoordelijk voor een groot deel van de kernactiviteiten en daaromheen sloten groepen zich aan, met bijvoorbeeld specifieke kennis die wij niet hadden. Vergelijk het met het bouwen van een auto. Wij hadden het stuur en de motor, maar daaromheen miste van alles. Die kennis en tijd kregen wij van mensen van elders.’

Waar houdt u zich de komende tijd mee bezig?

‘Ik word momenteel heel enthousiast van ons onderzoek naar hawkingstraling (straling die zwarte gaten volgens Stephen Hawking uitzenden, waardoor ze langzaam verdampen, red.). We hebben een nieuwe manier gevonden om de hawkingstraling af te leiden. Daarbij kwamen we erachter dat niet alleen zwarte gaten, maar ook res-

Heino Falcke (Keulen, 26 september 1965) is hoogleraar radioastronomie en astrodeeltjesfysica aan de Radboud Universiteit in Nijmegen. Ook is hij lekenpredikant in zijn woonplaats Frechen (Duitsland). Falcke kreeg grote bekendheid vanwege zijn sleutelrol bij de totstandkoming van de eerste foto van een zwart gat, die in april 2019 wereldnieuws werd. Zijn boek hierover, *Licht in de duisternis*, werd een internationale bestseller. Falcke won een groot aantal wetenschappelijke prijzen waaronder de Spinozapremie (2011) en de Balzanprijs (2023).

tanten van dode sterren en andere grote objecten in het heelal dit soort straling produceren. Daardoor zal na een heel lange periode alles in het heelal uiteindelijk verdampen. Dit verandert niet alleen ons begrip van hawkingstraling, maar ook onze kijk op het heelal en zijn toekomst.’ ■

JONG TALENT

'Het gaat me niet om vernieuwen, maar om verbeteren'

Leerlingen leggen niet zomaar een link tussen wat ze zien en de wetenschappelijke concepten daarachter. Ilham Bouisaghouane werkt als promovendus aan het Dutch Black Hole Consortium mee aan een digitale omgeving die ze daarbij helpt.

Je promoveert op onderzoek naar natuurkunde-onderwijs. Hoe kwam je daar terecht?

'Door het geven van tutorbegeleiding, werkcolleges en examentrainingen is mijn liefde voor het lesgeven ontstaan. Na het behalen van mijn masters in theoretische natuurkunde en educatie besloot ik het onderwijs in te gaan. Het onderwijsveld is enorm divers en er is veel ruimte voor verbetering en innovatie. Het is een flinke klus voor docenten om lesdoelen efficiënt te behalen, leerlingen te betrekken bij hun eigen leerproces en daarbij ook nog geavanceerde wetenschappelijke innovatie op te nemen in de lesstof. Met ons project proberen wij te onderzoeken hoe complexe wetenschappelijke onderwerpen kunnen worden ingezet als didactisch hulpmiddel bij wetenschappelijk denken en conceptontwikkeling.'

Om dit te onderzoeken hebben jullie het software-programma *Minds On* ontwikkeld. Wat is dat?

'Het zinvol implementeren van wetenschap- en technologie in het basisonderwijs is een serieuze uitdaging. Er is nu nog een te grote focus op het ontwerp en uitvoering van een onderzoek, *hands-on learning*, en nog te weinig op het verwerken van dat wat is geobserveerd: *minds-on learning*. Het is niet vanzelfsprekend dat leerlingen zonder hulp de link leggen tussen waargenomen fenomenen en onderliggende wetenschappelijke concepten. Daarvoor is in een standaardles vaak onvoldoende tijd en aandacht. In samenwerking met scholen ontwikkelen wij nu het interactieve digitale hulpmiddel *Minds On* dat leerlingen ondersteunt bij het verwerken en begrijpen van natuurkundige verschijnselen met behulp van interactieve kennisrepresentaties. In deze digitale omgeving kunnen wij onderzoeken wat het leerproces van leerlingen stimuleert, maar ook hoe we redeneervaardigheden en begrip efficiënt kunnen bevorderen.'

Is het vernieuwen van het onderwijs echt je passie?

'Ik vind verbetering belangrijker dan vernieuwing. Er is al zoveel onderzoek, er zijn zoveel data beschikbaar, maar die worden nog vaak onvoldoende ingezet en geïmplementeerd. Het ultieme doel is het creëren van een 'kanaal' voor relevant wetenschappelijk onderzoek en het herformuleren ervan in begrijpelijke termen voor zowel docenten als studenten. Even belangrijk is het onderzoek en de ontwikkeling van benodigde lesmaterialen om docenten en studenten te ondersteunen bij het bereiken van dit doel. Dit is een opdracht waar ik graag tijd aan besteed.'

Tekst: Maureen Voestermans



'Het wordt één groot symfonieorkest'

De Einstein Telescope moet de overtreffende trap worden van de huidige detectoren voor zwaartekrachtgolven. 'Straks horen we continu zwarte gaten op elkaar botsen.'

Tekst: Peter de Jong
Foto: Bob Bronshoff

Tien jaar voor de verwachte ingebruikname wordt de Einstein Telescope (ET) al voorzichtig in de steigers gezet. Het gelijknamige projectbureau in Maastricht werkt met een 27-koppig team – samen met onderzoekers, overheden en bedrijven uit Nederland, België en Duitsland – aan de haalbaarheidsstudie van dit unieke megaproject. Boegbeeld is Stan Bentvelsen. Hij koppelt zijn ruime bestuurlijke ervaring als directeur van het instituut Nikhef aan zijn praktijkervaring als onderzoeker bij een ander grensverleggend project: deeltjesversneller LHC van CERN. Nu heeft hij zich op een volgend avontuur gestort: een gevaarte dat de zwaartekrachtgolven in kaart brengt en zo het heelal inkleurt.

Nieuw zintuig

'De ET is een verbeterde versie van de huidige zwaartekrachtgolfdetectoren LIGO en Virgo', zegt Bentvelsen. 'De tunnels zijn drie keer zo lang, waardoor de zwaartekrachtgolven nog zuiverder kunnen worden gemeten. Verder ligt de ET 250 meter

onder de grond, zodat de tunnels vrijwel trillingsvrij zijn. De meetapparatuur wordt bovendien afgekoeld tot -250 graden Celsius, om warmtetrillingen te voorkomen. De ET speurt de ruimte tien keer zo nauwkeurig af als zijn voorgangers. Straks horen we continu zwarte gaten op elkaar botsen. Het wordt één groot symfonieorkest.'

Millennia lang hebben we onze kennis van het heelal ontleend aan het licht van de sterren, vervolgt Bentvelsen. 'Met de ET hebben we nu een nieuw zintuig om het universum waar te nemen. We gaan heel veel leren; niet alleen waar de zwarte gaten en neutronensterren zich bevinden, maar ook wanneer ze zijn ontstaan: kort na de oerknal of veel later in de 13,8 miljard jaar dat de kosmos bestaat. En misschien ontdekken we nog wel meer, zoals een wormgat.'

Enorme betekenis

In een cleanroom in Maastricht staat al een kleine versie van de ET: de ETpathfinder. 'Daar kunnen we alvast de meetapparatuur uittesten die straks in de ET wordt gebruikt, zoals de spiegels, het laserlicht en de koeling', vertelt Bentvelsen. 'Als de ET eenmaal werkt, blijft de ETpathfinder bestaan, om

nieuw ontwikkelde technologie te testen, die we later weer in de ET gaan gebruiken. Want die gaat misschien wel meer dan een halve eeuw mee.'

'We zijn nu bezig met de haalbaarheidsstudie voor een *bidbook*. Daarin schetsen we niet alleen het kostenplaatje, maar ook de enorme betekenis voor de wetenschap en het bedrijfsleven in de Euregio Maas-Rijn. Een rustig gebied, omringd door prachtige steden als Aken, Leuven en Eindhoven, met veel innovatiekracht. Ook ASML is geïnteresseerd. Misschien kan dat bedrijf later met onze precisietechnologie nog kleinere chips maken.'

'Eind 2026 zullen de deelnemende landen de knoop doorhakken waar de ET komt. Ook Sardinië bereidt namelijk een *bid* voor. Als wij groen licht krijgen, moet er nog een jaar of tien gebouwd worden. Rond 2035 is de ET dan operationeel. Ik heb er alle vertrouwen in dat het lukt. Nederland heeft al een substantiële bijdrage geleverd via het Nationaal Groeifonds. België en Duitsland zullen naar verwachting snel volgen.' ■

Zie pagina 14 en 15 voor een infographic van de Einstein Telescope!

'Uiteindelijk zal de Einstein Telescope een boel opleveren'

Om leerlingen meer grip te laten krijgen op natuurkunde en ze te enthousiasmeren voor bètaopleidingen, bouwt Discovery Museum in Kerkrade het Einstein Telescope Experience & Education Centre.

Directeur **Hans Gubbels** en coördinator productontwikkeling **Mischa Horninge** vertellen wat daar straks te beleven is.

Interview: Maike Abbink
Fotografie: Bob Bronshoff

Mogelijk komt er in de grensregio van België, Nederland en Duitsland een observatorium dat zwaartekrachtgolven kan meten: de Einstein Telescope. Zo'n twintig minuten rijden vanaf de beoogde locatie bevindt zich Discovery Museum. Daar is de ontwikkeling en bouw van het Einstein Telescope Experience & Education Centre (ETEC) in volle gang. Vanaf september 2024 kunnen bezoekers hier in een interactief programma leren over de wetenschap en techniek achter deze toekomstige telescoop. Algemeen directeur Hans Gubbels en coördinator productontwikkeling Mischa Horninge geven tekst en uitleg.

Voor wie is het ETEC bedoeld?

Horninge: 'We ontwikkelen het ETEC in eerste instantie voor het onderwijs. Het is uniek dat zo'n groot, hoogtechnologisch

project als de Einstein Telescope aansluit bij de lesstof die havo- en vwo-leerlingen in de bovenbouw krijgen. Voor jongeren is het heel leuk om te zien dat de theorie die zij op school leren over bijvoorbeeld relativiteit en trillingen ook daadwerkelijk door wetenschappers wordt gebruikt.'

Waarom richt u zich op scholieren?

Gubbels: 'Voor scholieren is de relativiteitstheorie best een moeilijk onderwerp. Daarom ontwikkelen wij het ETEC als extra tool voor docenten. Daarnaast heeft het bedrijfsleven meer mensen met een bèta-achtergrond nodig – zeker als de Einstein Telescope daadwerkelijk hier in Nederland komt.'

Kan het algemene publiek ook terecht bij het ETEC?

Gubbels: 'Het ETEC heeft een minder algemene instelling dan de rest van ons wetenschapsmuseum. Wel gaan we één keer per maand een Einsteindag organiseren waar iedereen zich voor kan inschrijven. Die mensen krijgen een rondleiding en een deel van het scholierenprogramma.'

Hoe zal dat scholierenprogramma eruitzien?

Horninge: 'De scholieren krijgen een dagvullend programma dat bestaat uit vier verschillende onderdelen. We beginnen met een algemene introductiefilm. Daarin belichten we welke soort vragen we kunnen beantwoorden door te kijken naar het heelal en specifiek naar zwaartekrachtgolven. Ook gaan we in op hoe die golven diep in het universum ontstaan door botsende zwarte gaten. Vervolgens zoomen we in op hoe we zwaartekrachtgolven kunnen meten met de Einstein Telescope en wat we daarvan kunnen leren. Na de film gaan de leerlingen naar een interactief demonstratiecollege, waarin we met proefjes dieper ingaan op de techniek en de te beantwoorden vragen.'

Het volgende programmaonderdeel bestaat uit workshops. De leerlingen gaan in vier groepen uiteen met elk een andere workshopopdracht. Eén workshop behandelt het trillingsvrij ophangen van mechanieken. De tweede gaat over het laserapparaat waar de Einstein Telescope op gebaseerd is. In de derde workshop duiken

interview



CV

Hans Gubbels (Roermond, 1960, links op de foto) is algemeen directeur van Discovery Museum. Hij moet onder andere het ETEC-project mogelijk maken.

Mischa Horninge (Amsterdam, 1988) houdt zich als coördinator productontwikkeling bezig met de concrete invulling van tentoonstellingen, programma's en evenementen van Discovery Museum.

de leerlingen in de bodemeigenschappen en het trillingsvrij opbergen van de telescoop onder de grond. En in de vierde workshop onderzoeken de leerlingen hoe ze zwaartekrachtgolven kunnen filteren uit ruissignalen. Aan het eind van de workshopssessie ontdekken de scholieren dat alles wat ze in de workshops hebben gedaan van invloed op elkaar is.

We sluiten de dag af in een studio om te reflecteren op wat de leerlingen gedaan hebben. Hier kunnen ze hun creativiteit de vrije loop laten om een presentatie te maken met video, podcast, muziekstukje, poster, dans enzovoort. Daarmee mogen ze zelf expressie geven aan wat ze hebben geleerd.

Jullie ontwikkelen ook een programma voor basisschoolleerlingen uit groep 7 en 8 en de onderbouw van de middelbare school. Hoe gaan jullie kinderen uit deze leeftijdsgroep al enthousiasmeren voor zwaartekrachtgolven?

Horninge: 'Voor die jongere groep gaat het veelal over de fascinatie voor natuurkunde en sterrenkunde in algemenere zin.'

Gubbels: 'Ook zij krijgen de film te zien over de basis van zwarte gaten en zwaartekracht. Daarna gaan de leerlingen het museum in, buiten het ETEC, om allerlei dingen te ontdekken die te maken hebben met het thema.'

Horninge: 'Verder gaan ze naar een interactieve show rondom natuurkunde, waar van alles gebeurt, naar beneden valt, ontploft, misgaat en goed gaat.'

Gubbels: 'Met zwaartekrachtproefjes zoals: wat valt sneller, een licht object of een zwaar object?'

Jullie hebben het ETEC ontwikkeld omdat de regio rond Zuid-Limburg een van de mogelijke locaties is voor de Einstein Telescope. Waarom juist hier?

Gubbels: 'Dat heeft voornamelijk te maken met de bodem. Er is een ontzettend trillingsvrije ondergrond nodig. De golven die we willen meten, zijn zó klein dat de geringste trilling de meting zou verstoren. Om die reden zijn deze regio en het Itali-

aanse eiland Sardinië mogelijke locaties. Daarnaast moet een regio er geld in willen steken. De provincie Limburg heeft miljoenen vrijgemaakt om een testopstelling te bouwen. Die is er inmiddels: de ETEPathfinder in Maastricht. Daar worden alle technieken ontwikkeld die nu nog niet bestaan, maar wel nodig zijn voor de Einstein Telescope. Ook heeft de Nederlandse overheid ruim 800 miljoen gereserveerd, mocht het project van in totaal 3 miljard hier doorgaan. Uiteindelijk zal de Europese Commissie beslissen welke regio er het beste voor staat qua geld en potentieel aan – al dan niet toekomstige – wetenschappers.'

Waarom wilt u graag dat de telescoop hier komt?

Gubbels: 'Wetenschappers vinden het niet erg als de telescoop in Sardinië komt. Dan gaan ze wel daarnaartoe. Maar voor de regionale economische ontwikkelingen is de locatie heel belangrijk. Het zou voor deze streek een enorme opsteker zijn als de telescoop hier zou komen.'

Ook als die 3 miljard kost?

Gubbels: 'Dat is inderdaad een ongelooflijke berg geld, maar het project zal ons uiteindelijk veel opleveren. Neem het onderzoeksinstituut CERN in Genève. Als daar toentertijd niet zoveel geld voor was vrijgemaakt, dan hadden we niet of pas later het *world wide web* gehad. Dat is daar ontwikkeld, omdat wetenschappers de grote hoeveelheid meetgegevens niet lokaal op een computer kwijt konden. Hun oplossing: wereldwijd computers aan elkaar hangen. Dat is de basis geweest voor het internet zoals wij dat kennen.'

Wat zal de Einstein Telescope opleveren?

Gubbels: 'Met de Einstein Telescope gaan wetenschappers onder andere de aard van het heelal direct na de oerknal onderzoeken om te ontdekken hoe alles om ons heen is ontstaan. Ook willen ze de voorspellingen van Einsteins relativiteitstheorie ermee testen.'

Horninge: 'Bij fundamenteel onderzoek weet je vaak van tevoren niet precies wat je

gaat vinden. Het doel is in elk geval om een heel gevoelig apparaat te bouwen dat heel kleine botsende zwarte gaten kan meten en misschien zelfs eventuele achtergrondstraling van de oerknal. Daarmee zouden wetenschappers terug in de tijd kunnen kijken tot vóór het punt dat er licht ontstond na de oerknal.'

Wanneer is de telescoop af?

Horninge: 'Rond 2026 beslist de Europese Commissie of de telescoop hier of in Sardinië komt. Naar verwachting zal de telescoop rond 2035 operationeel zijn.'

En tegen die tijd hopen jullie een hoop jongeren gefascineerd te hebben en misschien zelfs gestimuleerd te hebben om een bètastudie te kiezen dankzij het ETEC. Is er een bepaald onderdeel van de plannen voor het ETEC waar jullie zelf het meest trots op zijn?

Horninge: 'Ik ben vooraf nog niet het meest trots op één onderdeel, maar ik hoop kinderen te enthousiasmeren voor dit onderwerp door het samenspel van de



Over Discovery Museum

Discovery Museum in Kerkrade is een groot wetenschapsmuseum voor iedereen die nieuwsgierig is. In de interactieve exposities komen onder andere wetenschap en techniek in het dagelijks leven, stoommachines en Limburgse innovaties aan bod. Ook biedt het museum films en workshops aan over wetenschap en duurzaamheid.

onderdelen. Welk onderdeel daar het meest aan zal bijdragen, moeten we nog gaan zien.'

Gubbels: 'Er zijn een paar unieke dingen die ik heel mooi vind. Een voorbeeld daarvan is de film in het Aarde Theater. Dat theater is een put van 9 meter diep en 7 meter doorsnede, die één groot projectieoppervlak is. Daar word je echt het heelal in gezogen. Daarnaast is het de eerste keer dat we afsluiten met een evaluatie waarbij leerlingen zelf een creatieve uiting kunnen geven aan wat ze geleerd hebben. Dat zijn de ingrediënten die dit gerecht bijzonder maken.' ■

Zeer geachte professor Einstein,

Staat u me toe een brief te schrijven over een kwestie die me van het hart moet. U weet het vast niet meer, maar een jaar of tien geleden ontmoetten wij elkaar in Brussel. In Hotel Métropole spraken we, samen met uw geachte collega Niels Bohr, over natuurkunde. Dat u beiden al decennia dood was, hoefde geen bezwaar te zijn. Tijd en ruimte zijn immers flexibel. En uw beider gedachten leven nog altijd voort. Dus dronken we de voortreffelijke koffie in de brasserie, namen we een lichte lunch en dineerden we tegen de avond, met sigaren toe, steeds diep in gesprekken verwickeld. Bohr en u spraken, argumenteerden, kibbelden, ruzieden. Net als tijdens de beroemde Solvay-conferentie van 1927 op dezelfde plek. Ik noteerde alles en maakte er een boekje van. Maar er was een vraag die ik u destijds in Métropole eigenlijk had willen stellen, ware het niet dat die toen niet op zijn plaats was. In de brasserie ging het over quantumfysica, terwijl mijn vraag ging over de zwaartekracht, en dan nog over de meest extreme versie daarvan: het zwarte gat.

Na een bovenmenselijke mathematische worsteling schreef u in 1915 uw algemene relativiteitstheorie op, die de zwaartekracht onmaskert als een kromming van ruimte en tijd samen, waardoorheen massa's als planeten en sterren, en zelfs het licht, de kortste weg zoeken.

Niet uzelf, maar een collega die als artillerie-soldaat zijn rekenwerk deed in een modderige loopgraaf in Duitsland, gebruikte uw theorie om te laten zien dat de ontsnappingssnelheid in de buurt van heel compacte massa's groter wordt dan de lichtsnelheid. Kort gezegd: zelfs licht kan niet meer ontsnappen. Laat staan materie. Een zwart gat slok alles op. Definitief lijkt het. Er is geen weg terug, in elk geval op papier.

Ik weet dat u als theoreticus verheugd was over dit inzicht. Maar ik heb me altijd afgevraagd of u ook geloofde dat ze werkelijk bestonden: zwarte gaten in het heelal. Theorie is één ding, maar het universum is aan de *Lieber Herr Gott*.

Waarbij ik eigenlijk stiekem hoopte dat u 'nee' zou antwoorden en vervolgens verbaasd

was geweest over wat we anno nu over zwarte gaten weten. Dat ze echt bestaan, dat ze elkaar soms opslokken en daarbij het heelal doen beven. Er zijn zelfs foto's van gemaakt; iconische beelden die ik destijds meteen op een T-shirt heb laten drukken. Omdat ze prachtig zijn. Maar vooral omdat ze een visuele ode zijn aan uw magistrale werk over zwaartekracht.

Hoe mooi, waarde heer Einstein, zou het zijn om daar nog eens over verder te praten. Wellicht vindt u Hotel Métropole in Brussel wel weer een goed idee. Zegt u maar wanneer. Ik zal er zijn, te herkennen aan mijn zwarte-gat-shirt. En ik betaal de lunch.

Allerhartelijkste groet,
Martijn van Calmthout

Martijn van Calmthout is natuurkundige en Einstein-kenner. In 2015 schreef hij het boek 'Echt quantum', over een denkbeeldige ontmoeting met Albert Einstein en Niels Bohr. Hij werkt als communicator bij het onderzoeksinstituut Nikhef.





Het onzichtbare in beeld

De Deense wetenschapshistoricus **Emilie Skulberg** doet onderzoek naar de visuele representatie van zwarte gaten. Als *scholar-in-residence* bij Rijksmuseum Boerhaave in Leiden werkte ze mee aan de nieuwe tentoonstelling *Dichter bij het zwarte gat*. Ze neemt ons mee op een korte reis door de geschiedenis van zwarte-gatenvisualisaties.

Tekst: Kim Scheltes

Hoe zagen de eerste afbeeldingen van zwarte gaten eruit?

‘In het begin van de jaren zeventig begonnen onderzoekers tekeningen te maken die de ruwe vormen van zwarte gaten lieten zien. Pas aan het einde van dat decennium gingen wetenschappers gedetailleerdere visuele representaties ontwikkelen. Deze afbeeldingen toonden contrasten tussen licht en donker in het gebied rondom zwarte gaten. Zo kon je fenomenen als een accretieschijf (een plek waar gas en stof zich ophoopt rondom het zwarte gat, red.) duidelijker weergeven. Een eerste voor-

beeld hiervan is een tekening gemaakt door astrofysicus Jean-Pierre Luminet. Daarop geeft de donkere halve schijf in het midden de schaduw van een zwart gat weer. Het grote heldere gebied is licht van de dunne accretieschijf. Die lijkt helderder aan de linkerkant, vanwege het dopplereffect en de gravitationele roodverschuiving.’

Waarom maakte Luminet zo’n gedetailleerde tekening?

‘Op zestienjarige leeftijd inspireerde het werk van M.C. Escher hem om zelf tekeningen en lithografieën te maken. Tijdens zijn promotieonderzoek in Parijs deelde hij die

met zijn begeleider. Die moedigde hem aan om een tekening te maken van een zwart gat. Dat deed hij op basis van natuurkundige en wiskundige simulaties. Dit was een van de eerste gedetailleerde afbeeldingen van een zwart gat op basis van een simulatie.’

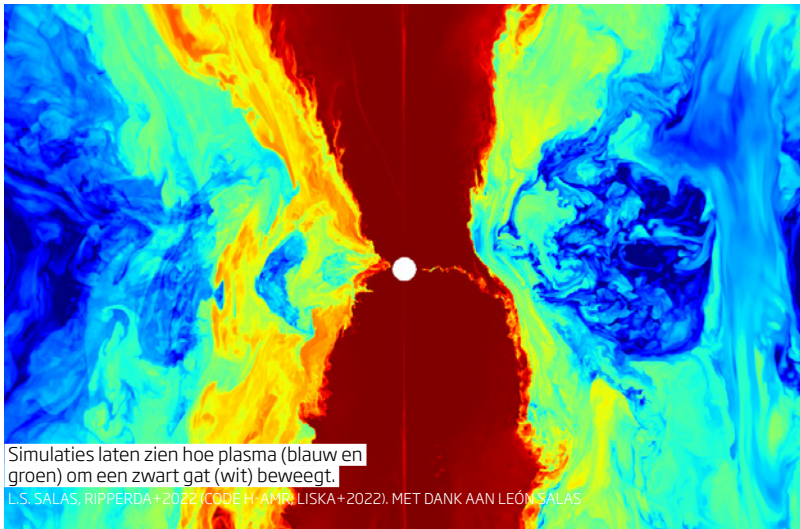
Wanneer ontstond het idee om een foto van een zwart gat te maken?

‘Vanaf midden jaren negentig beweerden astronomen als Heino Falcke, Fulvio Melia en Eric Agol steeds vaker dat het mogelijk was om de schaduw van een zwart gat waar te nemen. In 2000 berekenden ze hoe het zwarte gat in het centrum van ons eigen sterrenstelsel eruit zou zien als je het

Astrofysicus Jean-Pierre Luminet maakte deze gedetailleerde afbeelding van een zwart gat.
JEAN-PIERRE LUMINET



Deze beroemde foto was het eerste beeld van de schaduw van een zwart gat dat volledig gebaseerd was op observaties.
EVENT HORIZON TELESCOPE COLLABORATION/CC BY 4.0 DEED



Simulaties laten zien hoe plasma (blauw en groen) om een zwart gat (wit) beweegt.
L.S. SALAS, RIPPERDA+2022 (CODE H-AMR, LISKA+2022). MET DANK AAN LEÓN SALAS



Ook deze natuurkundige simulatie toont hoe plasma om een zwart gat draait.
L.S. SALAS (CODE BHOSS; YOUNSI+2019). MET DANK AAN LEÓN SALAS

vanaf de aarde zou waarnemen met behulp van *very-long-baseline interferometry* (een techniek waarbij je meerdere telescopen die ver uit elkaar liggen gebruikt om een object waar te nemen, red.). Zo probeerden ze de astronomische gemeenschap ervan te overtuigen dat het mogelijk was om een zwart gat te observeren.'

Waarom moest de astronomische gemeenschap overtuigd worden?

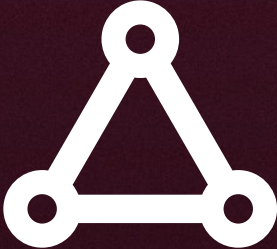
'Het was een ambitieus doel om een zwart gat waar te nemen. Sommigen dachten dat het misschien niet mogelijk zou zijn. Anderen dachten dat ze hoogstens iets met de vorm van een pinda zouden zien.'

Toch wilden ook veel wetenschappers wél zo'n foto maken.

'Een veelgehoorde rechtvaardiging was: zien is geloven. Visueel bewijs wordt vaak gezien als superieur aan elke andere vorm van bewijs. Het in beeld brengen van een zwart gat is extra interessant omdat het niet alleen gaat over het zichtbaar maken van het onzichtbare. Bij zwarte gaten wilden wetenschappers juist bewijzen dat iets ónzichtbaar is; dat er in het heelal gebieden zijn waar geen licht aanwezig is. Dat noemen we ook wel de schaduw van het zwarte gat.'

Toen kwam in 2019 eindelijk de lang-verwachte eerste foto. Wat voor impact had die?

'Die eerste foto veroorzaakte een belangrijke verschuiving in hoe we zwarte gaten visualiseren. Het was het eerste beeld van de schaduw van een zwart gat dat volledig gebaseerd was op observaties. Dit leidde tot flink wat media-aandacht. Sommige toeschouwers vonden de afbeelding nogal wazig, terwijl de resolutie in feite ongelooflijk goed is. Mensen hadden nu eenmaal bepaalde verwachtingen van hoe een zwart gat eruit zou zien. Die verwachtingen werden onder andere gevormd door films zoals *Interstellar* en andere artistieke interpretaties. Zo zie je dat de lange geschiedenis van hoe we zwarte gaten afbeelden ook invloed had op de ontvangst van die eerste echte waarneming.' ■



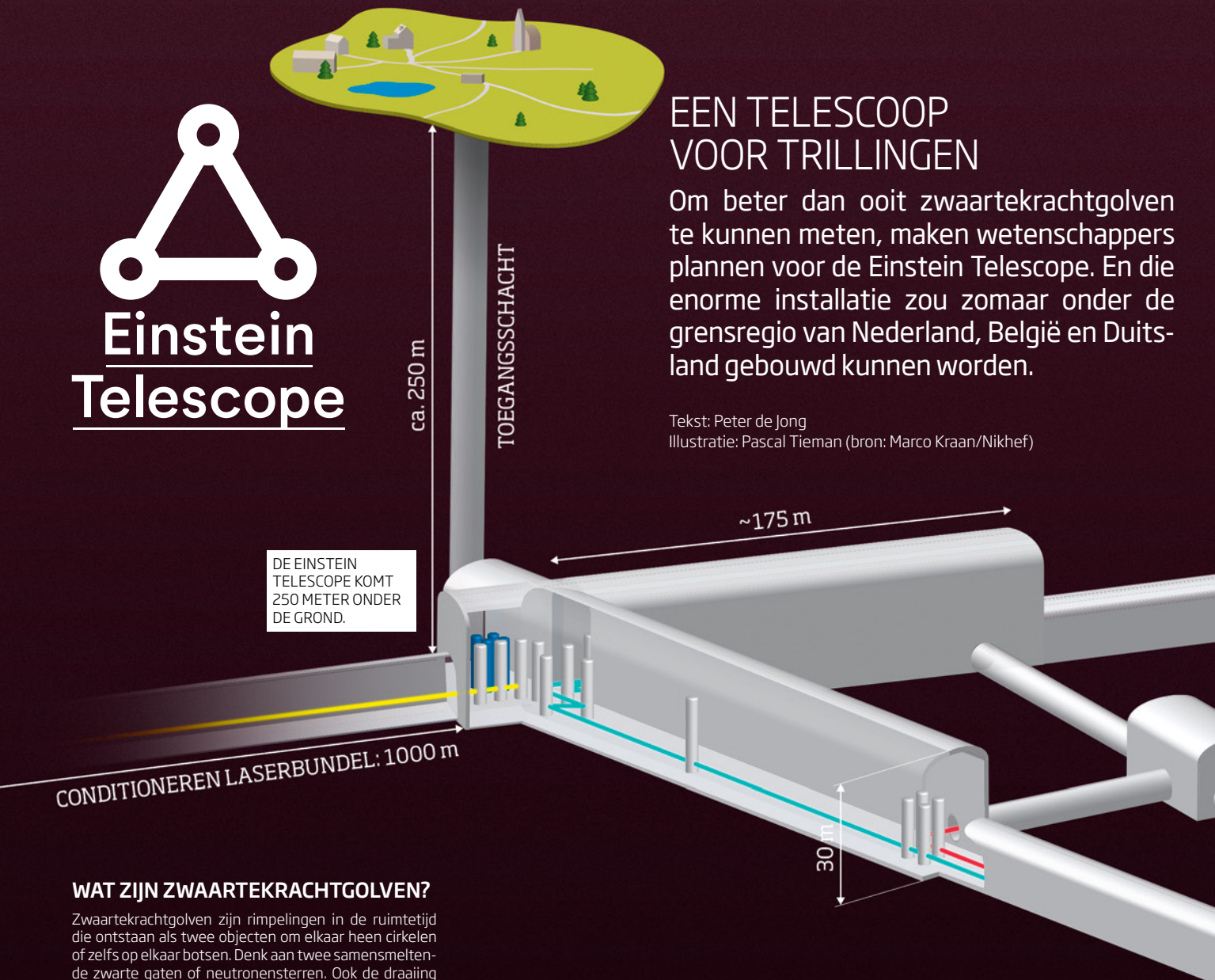
Einstein Telescope

EEN TELESCOOP VOOR TRILLINGEN

Om beter dan ooit zwaartekrachtgolven te kunnen meten, maken wetenschappers plannen voor de Einstein Telescope. En die enorme installatie zou zomaar onder de grensregio van Nederland, België en Duitsland gebouwd kunnen worden.

Tekst: Peter de Jong

Illustratie: Pascal Tieman (bron: Marco Kraan/Nikhef)



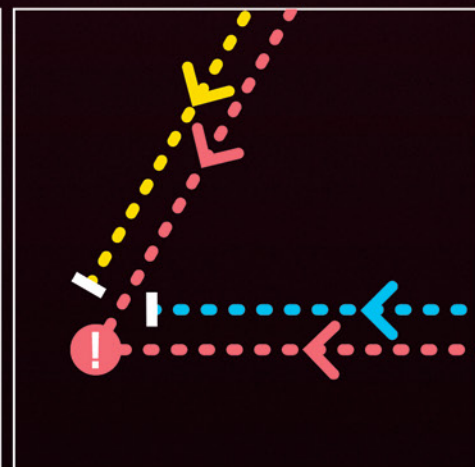
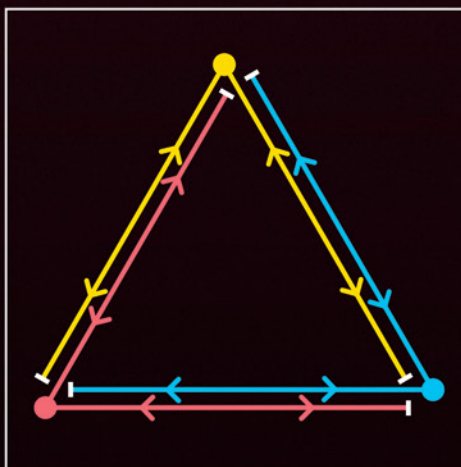
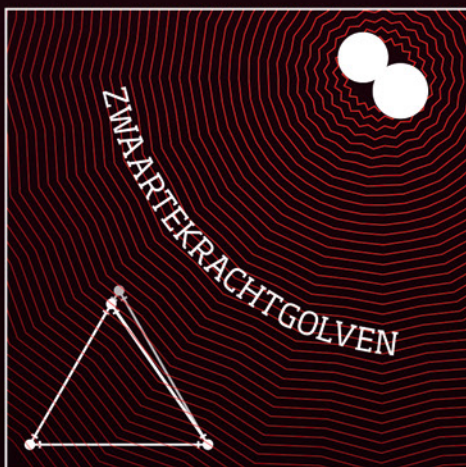
WAT ZIJN ZWAARTEKRACHTGOLVEN?

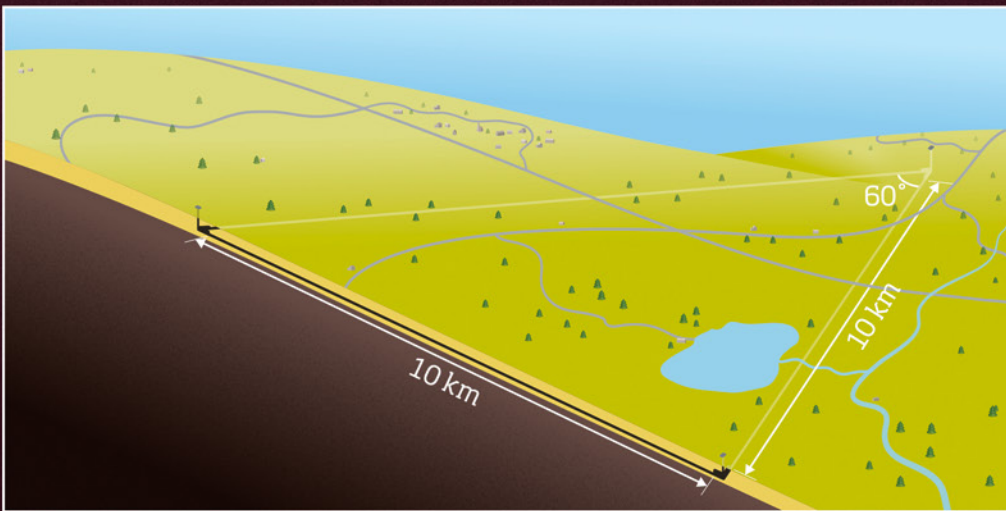
Zwaartekrachtgolven zijn rimpelingen in de ruimtetijd die ontstaan als twee objecten om elkaar heen cirkelen of zelfs op elkaar botsen. Denk aan twee samensmelten-de zwarte gaten of neutronensterren. Ook de draaiing van de aarde om de zon veroorzaakt zwaartekrachtgolven, alleen zijn die te zwak om waar te nemen. Zwaartekrachtgolven gaan dwars door alles heen; ze laten zich nergens door tegenhouden. Gevolg: de ruimte krimpt even ineen enrekt daarna weer uit, met een afstand die kleiner is dan de kern van een atoom.

HOE MEET DE EINSTEIN TELESCOPE ZWAARTEKRACHTGOLVEN?

In de Einstein Telescope wordt vanaf elk van de drie hoekpunten laserlicht de gangen in geschoten naar spiegels bij de andere hoekpunten. Een interferometer vergelijkt de terugkerende lichtgolven en maakt zo zicht-

baar wanneer de afstand tussen de spiegels krimpt of uitzet door een passerende zwaartekrachtgolf. Daarbij verandert namelijk het interferentiepatroon tussen de lichtgolven uit de twee gangen.





DE TELESCOOP BESTAAT UIT DRIE TUNNELS VAN 10 KILOMETER LANG.

WAAR KOMT DE EINSTEIN TELESCOPE?

De precieze locatie is nog niet bekend. Zowel het Italiaanse eiland Sardinië als de grensregio van België, Nederland en Duitsland zijn in de race. De bodem van het grensgebied is ideaal voor de Einstein Telescope. Op een diepte van 250 meter rust de telescoop in een stevige steenlaag. Daarboven ligt een losse, zachte mergellaag. Die dempt de trillingen van de bovenwereld, veroorzaakt door bijvoorbeeld mensen, bedrijven en treinen. Vergelijk het met een tapijt, dat het getik van hoge hakken bij de bovenburen beter dempt dan een harde granieten vloer. In en rond ons grensgebied liggen bovendien allerlei kennisinstellingen en hightechbedrijven die willen meewerken aan de Einstein Telescope. Er worden nu al proefboringen gedaan en prototypes gemaakt van de instrumenten in de telescoop.

LASERTUNNEL

WAT HEBBEN WE ERAAN?

In eerste instantie is het onderzoek dat wordt gedaan met de Einstein Telescope fundamentele wetenschap. Maar kijk naar een vergelijkbaar project als het deeltjeslab CERN. Dat heeft aan de basis gestaan van betere supergeleiders, het *world wide web* en touchscreens. Wie weet wat de Einstein Telescope ons straks gaat opleveren aan praktische toepassingen?

WAT ZIJN DE KOSTEN?

De levensduur van de Einstein Telescope wordt geschat op vijftig jaar. Met het hele project is een bedrag van zo'n 3 miljard euro gemoeid. Dat wordt niet alleen opgebracht door Nederland, Duitsland en België, maar ook door andere deelnemende landen, zoals Frankrijk, Hongarije, Italië, Oostenrijk, Polen, Spanje en het Verenigd Koninkrijk. Nederland heeft 42 miljoen euro vrijgemaakt voor huidig onderzoek, Vlaanderen 21 miljoen. Als de telescoop in onze grensstreek komt, heeft Nederland 870 miljoen euro gereserveerd voor de bouwfase.

OM TRILLINGEN VAN ATOMEN IN DE LASERTUNNELS TE VOORKOMMEN, ZIJN DIE VACUÛM GEPOMPT.

LASERTUNNEL

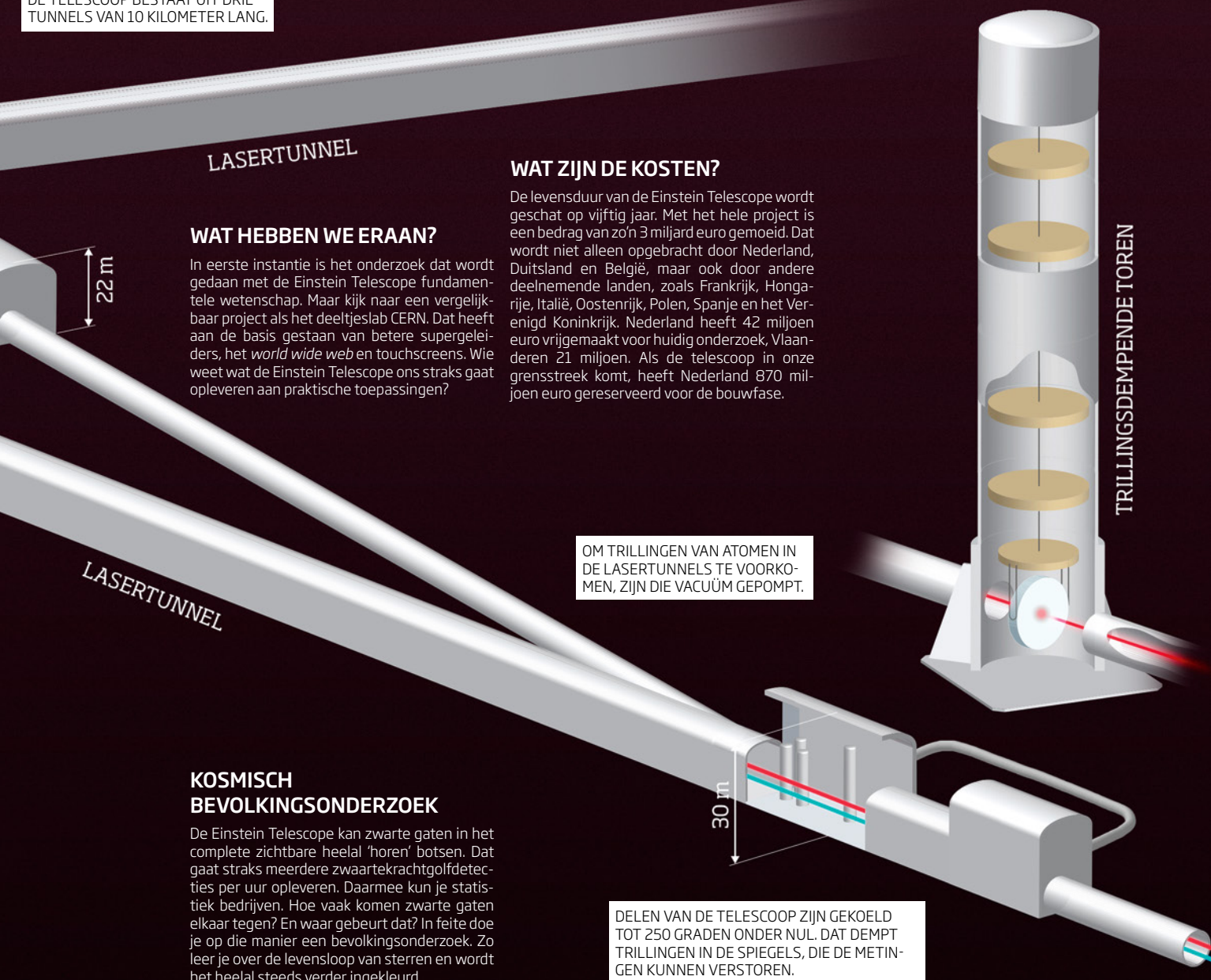
KOSMISCH BEVOLKINGSONDERZOEK

De Einstein Telescope kan zwarte gaten in het complete zichtbare heelal 'horen' botsen. Dat gaat straks meerdere zwaartekrachtgolfdetecties per uur opleveren. Daarmee kun je statistiek bedrijven. Hoe vaak komen zwarte gaten elkaar tegen? En waar gebeurt dat? In feite doe je op die manier een bevolkingsonderzoek. Zo leer je over de levensloop van sterren en wordt het heelal steeds verder ingekleurd.

30 m

DELEN VAN DE TELESCOOP ZIJN GEKOELD TOT 250 GRADEN ONDER NUL. DAT DEMPT TRILLINGEN IN DE SPIEGELS, DIE DE METINGEN KUNNEN VERSTOREN.

TRILLINGSDEMPENDE TOREN





Antwoorden in zicht?

Een eeuw lang waren zwarte gaten vooral theoretische objecten, maar sinds 2015 worden ze ook direct waargenomen. De mogelijkheid om metingen te doen aan deze mysterieuze zwaartekrachtmonsters luidt een nieuw tijdperk in voor theoretisch natuurkundigen, zegt Stefan Vandoren.

Tekst: Bruno van Wayenburg

Er is nog een grote afstand te overbruggen tussen wat we nu kunnen zien met experimenten, van zwaartekrachtgolvendetectoren tot en met de Event Horizon Telescope, en waar we als theoretisch natuurkundigen aan kunnen rekenen, zegt Stefan Vandoren, als hoogleraar theoretische natuurkunde aan de Universiteit Utrecht gespecialiseerd in zwarte gaten. 'Het is een worsteling. Daarom hebben we het Dutch

Black Hole Consortium opgericht: om verschillende onderzoeksgemeenschappen bij elkaar te brengen.'

Op 14 september 2015 nam de Amerikaanse detector LIGO voor het eerst zwaartekrachtgolven waar, afkomstig van twee botsende zwarte gaten. Inmiddels zijn daar ruim tachtig nieuwe detecties op gevolgd. En in 2019 publiceerden de onderzoekers achter de Event Horizon Telescope, een combinatie van aardse telescopen, voor het eerst een afbeelding van een zwart gat – of eigenlijk: van de ring van heet gas eromheen. Het zwarte gat zelf is niet zichtbaar.

En er zit nog meer in het vat. In 2035 moet LISA gelanceerd worden, een zwaartekrachtgolvendetector in de ruimte. Vandoren is ook betrokken bij de plannen voor de Einstein Telescope, een ondergrondse zwaartekrachtgolvendetector gepland in Limburg en aangrenzend Duitsland en België (zie ook pagina's 7 en 14). De metingen betekenen een omwenteling in het onderzoek naar zwarte gaten en zwaartekracht. 'Wat alle nieuwe apparaten gemeenschappelijk hebben, is dat we er uiteindelijk de zwaartekrachttheorie mee willen testen,' zegt Vandoren.

'Als we iets vinden dat afwijkt van Einsteins theorie, wordt het pas echt spannend'

Redelijk kaal

Einsteins algemene relativiteitstheorie uit 1915, die de ruimte en tijd beschrijft als een soort rekbaar rubber, voorspelt de verschijnselen die wij kennen als de zwaartekracht. De extreemste vorm daarvan zijn massaconcentraties waaraan zelfs licht niet kan ontsnappen: zwarte gaten. In de loop van de eeuw sinds de publicatie van Einsteins theorie bleken die zwarte gaten ook echt te bestaan. Zware sterren exploderen aan het eind van hun levens-

loop, wat overblijft stort in tot een zwart gat. In het centrum van de meeste sterrenstelsels schuilt een monsterlijk zwart gat met een massa van miljoenen tot miljarden zonnen. Die zwarte gaten krijgen we nu eindelijk in beeld en de metingen kloppen nog altijd precies. 'Maar eigenlijk hopen we iets te vinden dat afwijkt van de theorie die we van Einstein hebben gekregen,' zegt Vandoren, 'Dan wordt het pas echt spannend.'

Hoe immens en onzichtbaar ook, volgens Einsteins theorie zijn zwarte gaten in zekere zin extreem eenvoudig, vertelt hij. 'In de jaren zeventig bewees Jacob Bekenstein de *no-hair*-stelling. Die houdt in dat een zwart gat, als je alle vergelijkingen oplost, wordt beschreven door slechts drie getallen: de massa, de spin – een soort draaisnelheid – en de elektrische lading. Daarmee weet je alles wat er over het zwart gat te zeggen is.' Een zwart gat is dus redelijk kaal; vandaar de natuurkundigengrap 'een zwart gat heeft geen haar'.

Maar na honderd jaar willen natuurkundigen graag voorbij Einsteins theorie kijken. Misschien heeft een zwart gat toch haar. Zo werken Vandoren en andere natuurkundigen aan theoretische modellen van zogenoemde scalaire velden. 'Daarbij heeft een zwart gat een soort wolk om zich heen die bestaat uit deeltjes die we nu nog niet kennen: een soort higgs-deeltjes, maar dan vele malen lichter.'

Scalaire velden zouden ook een rol kunnen spelen bij de verklaring van donkere materie, de onzichtbare materie waarvan het bestaan is af te leiden uit astronomische waarnemingen. 'Je kunt berekenen of scalaire velden – als ze echt bestaan – een effect hebben op de profielen van de zwaartekrachtgolven die we nu meten. Misschien zijn die dan een beetje verschoven, of neemt de amplitude iets sneller af dan Einsteins theorie voorspelt.' Als

het aantal detecties van zwaartekrachtgolven toeneemt, zal duidelijk worden of zulke afwijkingen er ook echt zijn.

Verdampende gaten

Het is maar één voorbeeld van de theoretische vragen over zwarte gaten waarop dankzij de nieuwe waarnemingsmethodes eindelijk een antwoord in zicht komt. Andere vragen gaan over de minimale massa's van zwarte gaten: tot nog toe is 3,5 zons-massa's de kleinste die is gezien, terwijl neutronensterren – de gewichtsklasse onder zwarte gaten – maximaal 2,3 zons-massa's wegen.

Een grote openstaande vraag is ook de hawkingstraling, de extreem zwakke straling die zwarte gaten uitzenden, voorspeld door theoretisch natuurkundige Stephen Hawking. 'Door hawkingstraling wordt energie uit de zwarte gaten weggevoerd. Daardoor 'verdampen' zwarte gaten langzaam,' vertelt Vandoren. 'Voor gewone zwarte gaten is de straling extreem zwak en duurt het verdampen 10⁶⁰ jaar. Maar als er kort na de oerknal heel lichte primordiale zwarte gaten zijn ontstaan, verdampen die veel sneller. Uiteindelijk eindigen die met een soort explosie van licht. En dat signaal is in principe wel waarneembaar.'

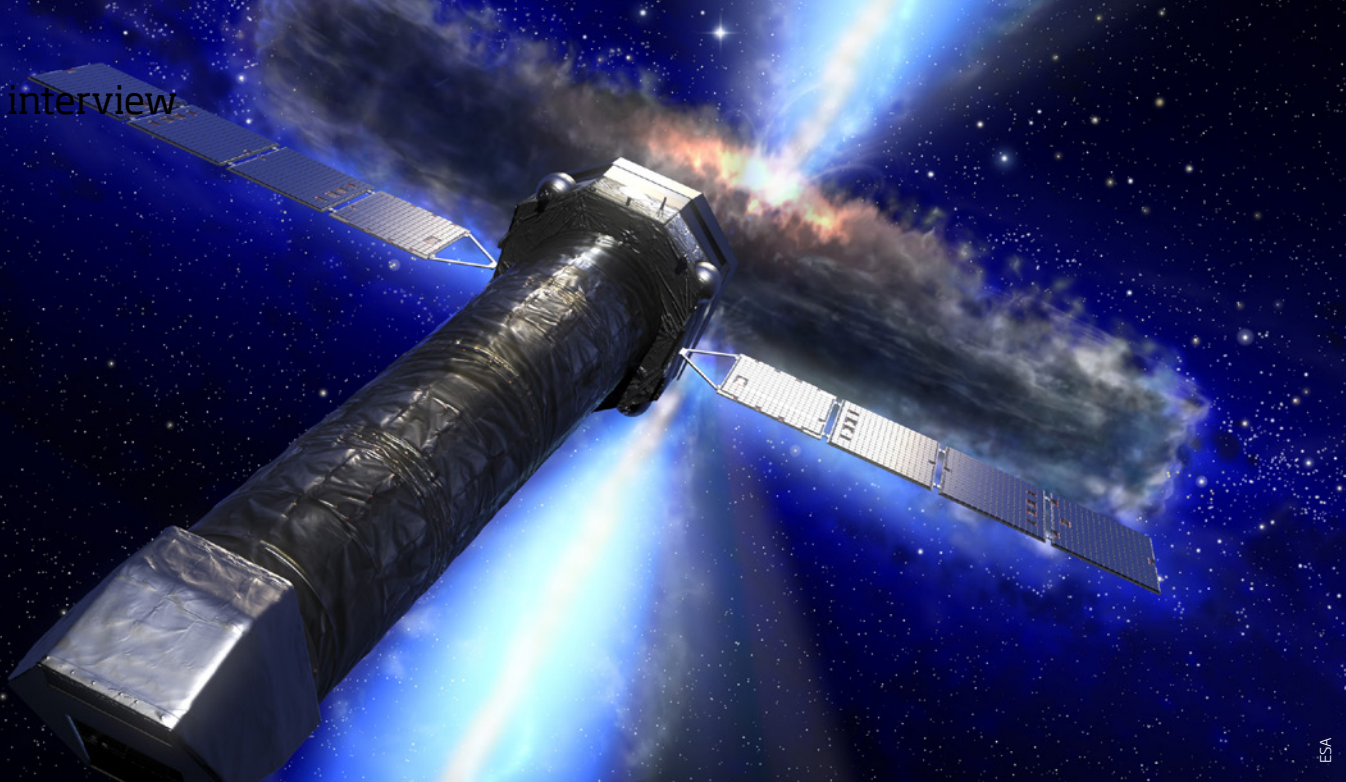
Dat biedt hoop: een detectie van hawkingstraling – nog ver weg maar niet ondenkbaar – zou weer meer informatie kunnen opleveren over wat er in een zwart gat gebeurt. Vandoren: 'Volgens Hawking zelf zat er geen informatie verstopt in de hawkingstraling, maar de laatste theoretische ontwikkelingen met hulp van het holografisch principe wijzen erop dat er toch informatie in zit. En aan die straling kun je in principe metingen doen om iets te weten komen over het binnenste van het zwarte gat.'

Die metingen zouden weer een richtingaanwijzer kunnen zijn naar de aard van quantumzwaartekracht, de combinatie van quantummechanica en algemene relativiteit die natuurkundigen al een halve eeuw najagen, onder andere met de snaartheorie. 'Dat is erg spannend voor een theoretisch natuurkundige,' zegt Vandoren. 'Uiteindelijk zijn we daarnaar op zoek.' ■



Hawkingstraling voert energie weg uit zwarte gaten.

BRAM BELLONI



‘Beelden geven je niet het hele plaatje’

Dankzij eerdere röntgentelescopen weten we dat in de centra van sterrenstelsels superzware zwarte gaten te vinden zijn. Het in 2037 te lanceren ruimte-observatorium ATHENA gaat ons daar meer over vertellen, zegt SRON-directeur Michael Wise.

Tekst: Peter de Jong

Aan het hoofd van SRON, het Nederlands instituut voor ruimteonderzoek, staat de Amerikaan Michael Wise (Texas, 1964). Een gouden greep: niet alleen is hij een vooraanstaand astrofysicus, ook heeft hij veel internationale contacten. ‘Samenwerking is belangrijk voor Nederland en essentieel voor het ruimteonderzoek. We hebben geweldige wetenschappers en hoogontwikkelde technologie, maar geen eigen raketten. Geen probleem, want we werken heel goed samen in de Europese ruimtevaartorganisatie ESA’, zegt Wise. Enthousiast vertelt Wise over het paradepaardje van SRON: het 12 meter lange, 7000 kilo zware röntgenruimteobservatorium ATHENA (Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics). Kosten: 1,5 miljard euro. Met twee belangrijke instrumenten: de Wide Field Imager, een camera die foto’s maakt van de röntgenhemel, en de X-ray Integral Field Unit (X-IFU), een spectrograaf. ‘Dit apparaat ontleedt het licht van sterren in individuele

golflengtes, waardoor je informatie krijgt over hun chemische samenstellingen, temperaturen en bewegingen in de ruimte’, zegt Wise. ‘We bouwen de spectrograaf hier in Nederland, samen met de Fransen en andere internationale partners, waaronder NASA. De spiegels worden ook in Nederland gemaakt. En laten we eerlijk zijn: wat is een telescoop zonder spiegels?’

Enorme impact

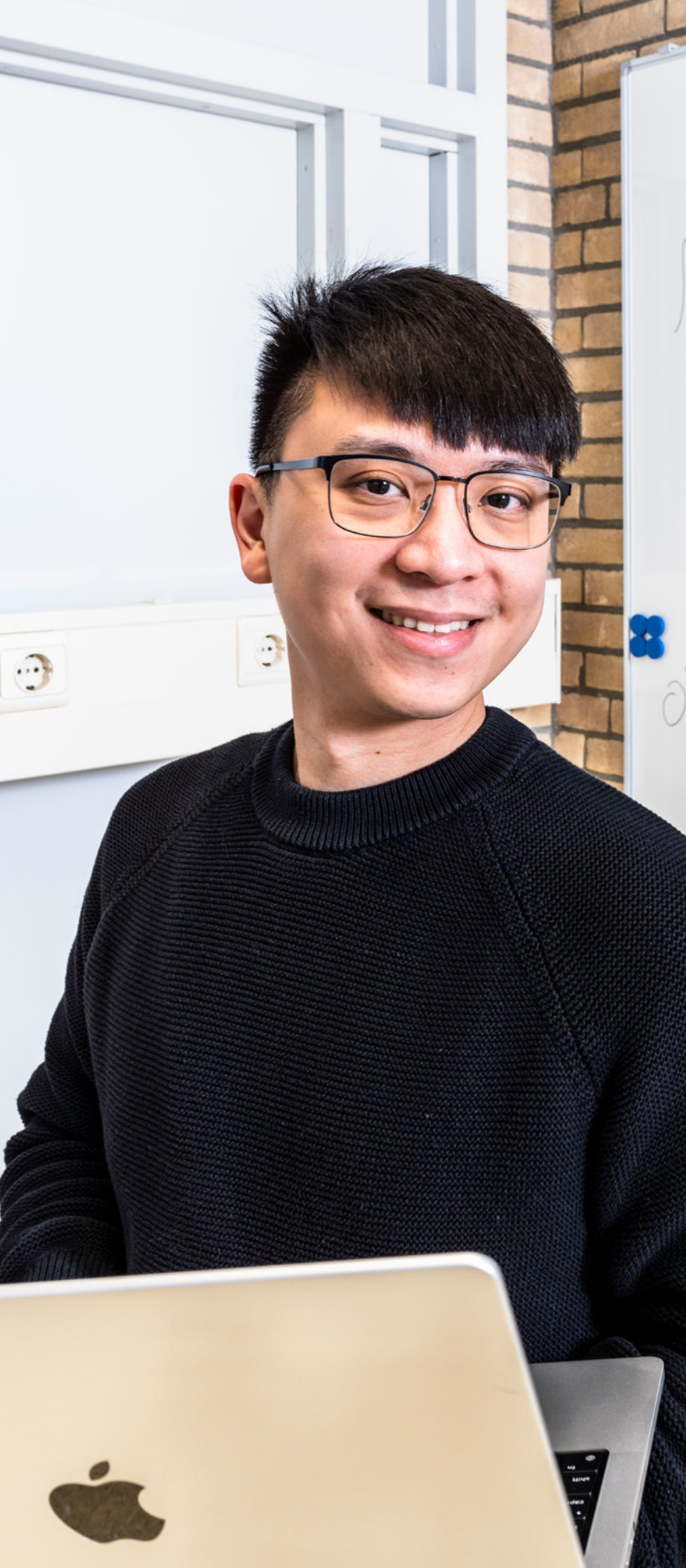
‘ATHENA is een prachtige aanvulling op de faciliteiten die we al hebben om het heelal te onderzoeken’, vervolgt Wise. ‘We weten al veel door alleen maar naar het licht te ‘kijken’ met allerlei telescopen. Maar beelden, zelfs als die licht van veel verschillende golflengtes bevatten, geven je niet het hele plaatje. We weten bijvoorbeeld dat je de vorm van de sterrenstelsels niet alleen kunt verklaren door de zwaartekracht die lichamen op elkaar uitoefenen. Afbeeldingen van sterrenstelsels geven ons

aanwijzingen over wat er nog meer aan de hand zou kunnen zijn, maar met ATHENA zullen we het ontbrekende stukje van de puzzel kunnen begrijpen.’

‘Dankzij eerdere röntgentelescopen weten we nu dat bijna elk sterrenstelsel een superzwaar zwart gat in zijn centrum heeft. Zulke zwarte gaten zijn miljoenen of zelfs miljarden keren zo zwaar als onze zon. Zo’n gat zuigt niet alleen veel materie op, maar spuit ook enorme straalstromen van energie, materie, straling, deeltjes en wind het heelal in. Die hebben een enorme impact op de vorm en groei van het sterrenstelsel. ATHENA gaat ons daar meer over leren.’

‘We verwachten de ATHENA in 2037 te lanceren, in een baan anderhalf miljoen kilometer hiervandaan, waar hij niet wordt beïnvloed door de zwaartekracht van de aarde en de zon’, zegt Wise. ‘Je zou dan verwachten dat de resultaten pas komen na 2037. *No science without the data, right?* Maar bij de bouw van ATHENA maken we al volop gebruik van de resultaten die we binnenkrijgen van de huidige generatie röntgentelescopen. Zoals XRISM, een mini-ATHENA die sinds augustus 2023 door de ruimte zweeft en waarvoor SRON ook hardware heeft geleverd.’

‘Met de komst van ATHENA, de ruimte-zwaartekrachtgolvendetector LISA en de op de grond gestationeerde Einstein Telescope bouwen we geleidelijk aan een compleet beeld van het heelal, door de signalen van al deze instrumenten te combineren. Met Nederland in het middelpunt van deze wetenschappelijke vooruitgang!’



'Wat ik doe, is nog nooit eerder gedaan'

Eigenlijk heeft hij meer met neutronensterren dan met zwarte gaten, geeft hij voorzichtig glimlachend toe. 'Neutronensterren zijn zoveel complexer! Daarmee vergeleken zijn zwarte gaten best simpel', zegt postdoc Peter Pang (29). Aan de Universiteit Utrecht en Nikhef in Amsterdam promoveerde hij op een proefschrift met de titel *From Spacetime to Nucleus*. Daarmee won hij zelfs de prijs voor het beste proefschrift in de astrodeeltjesfysica in Nederland.

Je proefschrift gaat over multimessenger science.

Wat is dat?

'Dat is een manier om verschillende boodschappen uit één bron in het heelal gelijktijdig waar te nemen en te verwerken in één model. Daarvoor moet je gigantische datastromen uit verschillende disciplines verwerken, van kernfysica tot astrofysica.'

Waarom is multimessenger science zo interessant?

'Om bijvoorbeeld een neutronenster écht te kunnen begrijpen, moet je die op verschillende niveaus bestuderen. Bijvoorbeeld met zwaartekrachtgolven en elektromagnetische golven van radio tot röntgen – maar ook via botsingen van zware ionen van goudkernen. Die botsen na wat er in het binnenste van zo'n neutronenster gebeurt. Door al die metingen te verwerken in een model, begrijp je zo'n object op een veel dieper niveau.'

Bouw je dan eigenlijk een soort software-programma?

'Ja, inderdaad. Ik schrijf een programma in Python, *NMMA*, waarin allerlei datastromen samenkomen.'

Hoe haal je alle ruis uit zoveel data?

'Het is niet zozeer ruis wegnemen als wel het opgraven van informatie uit die ruis. Dat is vrij lastig, want het is niet altijd helemaal duidelijk wat ruis is en wat niet.'

Kunnen andere vakgebieden ook gebruikmaken van jouw nieuwe model?

'Dat hoop ik wel. Wat ik nu doe, is nog nooit eerder gedaan, en ik merk dat er veel interesse voor is. Mijn fascinatie zit misschien nog wel meer in het stroomlijnen van gegevens in het algemeen dan in heel specifieke gevallen zoals alleen neutronensterren. Maar die zijn een mooi beginmodel, dat ik met steeds meer astrofysische bronnen hoop te kunnen uitbreiden.'

Zoals zwarte gaten?

'Nou, we hebben met mijn model wel laten zien hoe je een zwart gat met een lage massa kunt onderscheiden van een neutronenster wanneer er geen licht wordt waargenomen. Sowieso hebben we aangetoond hoe je een exotisch compact object kunt onderscheiden van een zwart gat. Dat bleek een heel directe toepassing!'

Tekst: Maureen Voestermans

Van onderzoek tot outreach

Tekst: Mieke Zijlmans
Foto's: Bram Belloni

Wat voor onderzoek doet u?

Sera Markoff: 'Heel kort door de bocht: ik onderzoek zwarte gaten in samenhang met andere verschijnselen. Zwarte gaten in hun eentje zie je niet, want er kan geen licht uit ontsnappen. Je neemt ze alleen waar als eromheen zichtbaar materiaal te vinden is. Ik ontwikkel nieuwe theorieën voor wat we zien, hoe dat komt en welke krachten daarbij een rol spelen.'

U bent betrokken bij de tentoonstelling *Dichter bij het zwarte gat* in Rijksmuseum Boerhaave. Wat is dat?

'Een tentoonstelling waarin we aan een breed publiek uitleggen wat zwarte gaten zijn. Samen met studenten en collega's adviseer ik over wat zo'n tentoonstelling moet laten zien. We hebben teksten geschreven en geholpen met visualisaties.'

Waarom is het belangrijk burgers bij wetenschap te betrekken?

'Wetenschap is geworteld in de samenleving en wordt betaald door de gemeenschap. Dan is het goed om te laten zien wat je doet met dat geld. Daarnaast is het zinvol de mensen enthousiast te maken voor wetenschap die is gebaseerd op onderzoek en aantoonbare feiten, in deze tijd van misinformatie.'

Het onderzoek van **Sera Markoff**, hoogleraar aan de Universiteit van Amsterdam, bevindt zich op het raakvlak van astrofysica en deeltjesfysica. Ze maakt onder meer deel uit van het team dat met de Event Horizon Telescope de allereerste foto van een zwart gat maakte.

U vindt outreach erg belangrijk. Wat doet u bijvoorbeeld?

'Ik leid een team studenten die vrijwillig lesgeven aan groep 6, 7 en 8 van een basisschool in de Indische Buurt, naast het Amsterdam Science Park. Daar wonen veel

mensen met een niet-westerse achtergrond die zijn ondervertegenwoordigd in de STEM-velden (Science, Technology, Engineering, Mathematics, red.). Activiteiten zoals sterrenkijkavonden voor buurtbewoners helpen om meer kinderen en

Sera Markoff



Peter Jonker



hun ouders aan te moedigen kennis te maken met de wetenschap. Misschien gaan ze zelfs wel een STEM-opleiding volgen.'

Waarmee gaat u zich de komende jaren bezighouden?

'Onder andere met een nieuwe telescoop op een berg in Namibië. De telescopen die deel uitmaken van de Event Horizon Telescope, in onder andere Chili, Hawaï en Mexico, mogen we maar twee weken per jaar 'lenen'. Bovendien heeft het telescopennetwerk een blinde vlek boven Afrika. Dankzij de Namibische telescoop zullen we veel meer en veel betere afbeeldingen van zwarte gaten kunnen maken. Bovendien willen we hiermee de wetenschap door Namibiërs zelf ondersteunen.'

Wat voor onderzoek doet u?

Peter Jonker: 'Ik onderzoek snelle röntgenflitsen, een soort signaal dat ik heb ontdekt. Ze komen van vrij grote afstand, wat betekent dat er veel energie mee gemoeid is. Dit soort signalen wijst vermoedelijk op de vorming van of een gebeurtenis bij een zwart gat.'

U bent ook betrokken bij www.blackholefinderproject.org. Wat is dat?

'Een burgerwetenschapsproject waarvan ik de geestelijk vader ben. We zijn op zoek naar lichtflitsen die worden uitgezonden bij gebeurtenissen die ook zwaartekrachtgolven produceren. De zwaartekrachtgolfdetectoren kunnen de richting van die golven aan de hemel vrij slecht bepalen. Liefhebbers kunnen ons helpen door mee te kijken naar de opnames van de BlackGEM-telescopen en het onmiddellijk door te geven als ze iets zien, en in welke richting.'

In 2023 kreeg sterrenkundige **Peter Jonker** een ERC Advanced Grant: een Europese onderzoeksbeurs van 3 miljoen euro. Die worden gegeven aan onderzoekers die opvallen door belangrijke wetenschappelijke prestaties.

Waarom is het belangrijk burgers bij wetenschap te betrekken?

'Het is voor ons echt fijn dat mensen dit doen; het levert wetenschappelijke inzichten op. Daarnaast merken we dat mensen er behoefte aan hebben om een bijdrage te leveren. Daar wil ik graag in voorzien. Ook hebben we goodwill nodig: we willen uitleggen waar we geld aan uitgeven.'

U vindt outreach belangrijk. Kunt u daar voorbeelden van geven?

'Het Dutch Black Hole Consortium bijvoorbeeld. Ook geef ik interviews. En in

Nijmegen is er elke maand een open sterrenkijavond met telescopen op het dak, waar per keer maar honderd mensen naartoe kunnen. Mensen die beneden moeten blijven, kunnen dan naar een lezing luisteren. Ik heb zo'n lezing gegeven en vind dat heel inspirerend. Het is relevant dat anderen ook begrijpen waar je mee bezig bent.'

Waar gaat u zich de komende jaren mee bezighouden?

'Voor het onderzoek naar röntgenflitsen ben ik een team aan het opzetten; de satelliet die dit verschijnsel moet gaan waarnemen, is net gelanceerd. Binnenkort begint de operationele fase. Dan worden heel voorzichtig een voor een alle instrumenten aangezet en getest. En als er dan straks een flits wordt gevonden, moeten wij snel kunnen reageren. Dat ben ik dus nog aan het voorbereiden.' ■

'Einstein geloofde niet dat zwarte gaten echt bestaan'

In Rijksmuseum Boerhaave in Leiden is de tentoonstelling *Dichter bij het zwarte gat* te bewonderen. Conservator Ad Maas en gastcurator Jeroen van Dongen vertellen over zeven topstukken.

Tekst: Fenna van der Grient

Hoe meer je erin duikt, hoe vreemder en ontzagwekkender zwarte gaten worden, zegt Ad Maas, conservator bij Rijksmuseum Boerhaave. Dat gevoel van ontzag wil hij overbrengen op de bezoekers van de tentoonstelling *Dichter bij het zwarte gat*. Samen met Jeroen van Dongen, hoogleraar wetenschapsgeschiedenis aan de Universiteit van Amsterdam, en Emilie Skulberg, postdoc wetenschapsgeschiedenis aan diezelfde universiteit (zie pagina 12), bracht hij bijzondere objecten van over de hele wereld naar Leiden. Die objecten laten zien hoe het zwarte gat van een abstract wiskundig fenomeen langzaam uitgroeide tot iets steeds concreters, dat onderzoekers uiteindelijk zelfs op beeld hebben kunnen vastleggen. Maas en Van Dongen vertellen het verhaal achter zeven topstukken uit de collectie.

Onmogelijke terugkeer

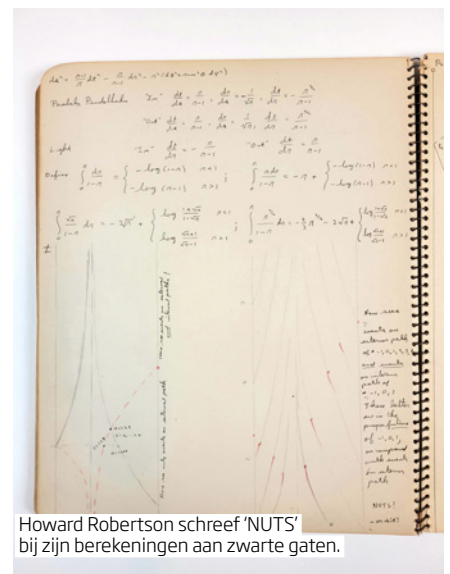
Een van die topstukken is de vulpen van Albert Einstein. 'We weten dat hij hiermee zijn belangrijkste artikelen over de algeme-

ne relativiteitstheorie schreef', zegt Van Dongen. Later gaf Einstein de pen aan zijn Leidse boezemvriend, natuurkundige Paul Ehrenfest. Toen die overleed, schonk zijn weduwe de pen aan het museum.

Uit Einsteins relativiteitstheorie volgde het mogelijke bestaan van zwarte gaten. 'Volgens de relativiteitstheorie trekken hemellichamen met hun massa de ruimte krom', zegt Van Dongen. 'Als je zijn vergelijkingen oplost voor bijvoorbeeld een imploderende ster, blijkt dat je de ruimte zo krom kan trekken dat zelfs licht er niet meer uit kan ontsnappen. Er ontstaat dan een zwart gat. Hoewel zijn theorie ze mogelijk maakte, geloofde Einstein uiteindelijk zelf niet dat zwarte gaten daadwerkelijk konden bestaan. Daarin was hij vrij conservatief.'

Howard Robertson, een collega van Einstein in Princeton in de jaren dertig, geloofde aanvankelijk dat zwarte gaten wél konden bestaan. In een schrift werkte Robertson uit wat voor gevolgen dat zou hebben. Naast een van zijn tekeningen pende hij het woord 'NUTS' neer. Het is niet helemaal duidelijk welk aspect van zwarte gaten hij zo *nuts* vond. 'Mogelijk slaat dit op het besef dat deeltjes die door

de waarnemingshorizon van een zwart gat zijn gegaan onmogelijk nog kunnen terugkeren naar onze kant van het heelal', zegt Van Dongen. Uiteindelijk liet Robertson zich door Einstein overtuigen en geloofde hij niet meer dat het heelal daadwerkelijk zwarte gaten bevat.



Howard Robertson schreef 'NUTS' bij zijn berekeningen aan zwarte gaten.



Met deze vulpen tekende Einstein zijn algemene relativiteitstheorie op.

'Van die vroege geschiedenis van de zwarte gaten hebben we vooral dit soort documenten', vertelt Maas. 'Dat is niet het aller-spetterendste tentoonstellingsmateriaal, maar het gevoel dat we willen overbrengen, is dat iedereen het een heel vreemd idee vond. Veel van onze bezoekers zullen denken: 'Wat gek! Snap ik dit allemaal wel?' Dan is het leuk om te laten zien dat wetenschappers vroeger precies datzelfde gevoel hadden.

Heilige graal

Naast zwarte gaten kwam er nog een ander bijzonder fenomeen uit Einsteins relativiteitstheorie rollen: zwaartekrachtgolven. Kosmische objecten met een grote massa zouden met hun bewegingen rimpelingen in de ruimtetijd veroorzaken, net zoals een voorbijrazende speedboot het wateroppervlak laat golven. Aanvankelijk was Einstein ook sceptisch over het bestaan van zwaartekrachtgolven. Later stelde hij dat ze wel bestaan, maar te zwak zouden zijn ze om ooit te kunnen meten. De Leidse natuurkundige Giorgio Frossati dacht daar anders over. Eind jaren negentig ontwikkelde hij een ambitieus plan om met een massieve metalen bol de trillingen in de ruimtetijd

op te vangen. Hij doopte zijn project GRAIL (Gravitational Radiation Antenna In Leiden). 'Die bol moest volgens zijn berekeningen een diameter van 2,6 meter hebben', vertelt Maas. 'Maar daarvoor kreeg hij de financiering niet rond. Hij moest het doen met een prototype van 68 centimeter doorsnee: miniGRAIL. Die is te bewonderen in de tentoonstelling. Helaas is het Frossati niet gelukt om hiermee zwaartekrachtgolven op te vangen.' Die primeur ging in 2015 naar de Amerikaanse zwaartekrachtgolfdetector LIGO. Frossati is ervan

overtuigd dat als de bouw van GRAIL door was gegaan, hij al ruim voor die tijd zwaartekrachtgolven had waargenomen.

Vals perspectief

Een naam die je misschien niet verwacht in een tentoonstelling over zwarte gaten, is die van de Nederlandse kunstenaar Maurits Cornelis Escher. Toch vormde hij een belangrijke inspiratiebron voor zwarte-gatenonderzoekers. 'De kromming van de ruimtetijd zorgt dat lichtstralen afbuigen', zegt Maas. 'In de buurt van zwarte gaten raken lichtstralen heel extreem afgebogen. Daardoor krijg je een 'lachspiegelwerking': objecten lijken te vervormen en er gebeuren bijzondere dingen met het perspectief. En als iemand een meester was in het spelen met perspectief, dan was het Escher.' Een voorbeeld van het spelen met perspectief is Eschers bekende werk *Klimmen en dalen*. Hierop zie je een trap waarop je eindeloos omhoog of omlaag kunt lopen, afhankelijk van in welke richting je loopt – iets wat in de echte wereld onmogelijk lijkt. 'Dit noem je in de kunstwetenschap vals perspectief', zegt Van Dongen.

Een van de onderzoekers die zich lieten inspireren door de perspectieffrucs van



Bij het maken van de foto van het zwarte gat werden honderden harddisks gebruikt.

Escher was de Franse astrofysicus en kunstenaar Jean-Pierre Luminet. 'Die stelde zichzelf de vraag: als ik een denkbeeldige telescoop op een zwart gat zou richten, wat zou ik dan zien?', zegt Van Dongen. 'Hij realiseerde zich dat vals perspectief hier ook een rol speelt. Alleen is in de ruimte rondom een zwart gat de kromming van het licht zo extreem dat het niet langer om zinsbegoocheling gaat, zoals bij Escher, of een of ander optisch effect. De wereld is echt zo. Stel bijvoorbeeld dat achter jou een schilderij hangt, en dat tussen jou en het schilderij een zwart gat zit. Het zwarte gat kan de lichtstralen vanaf dat schilderij dan zodanig afbuigen dat ik het schilderij vóór jou zie verschijnen.'

Waar Escher je met zijn valse perspectief op het verkeerde been zet in zijn kunstwerken, is de ruimte rondom een zwart gat dus echt zo krankjorum dat voor en achter kunnen omwisselen. Met dit in het achterhoofd maakte Luminet in 1979 een tekening van een zwart gat. 'Als hulpmiddel gebruikte hij een computer die nog met ponskaarten werkte', zegt Maas. 'Met de algemene relativiteitstheorie berekende hij hoe licht zich om het zwarte gat zou buigen en welk beeld je dan overhoudt', voegt Van Dongen toe. 'Het eerste echte beeld dat de Event Horizon Telescope in 2019 van een



Met kunstwerken zoals *Klimmen en dalen* inspireerde Escher zwartegatenonderzoekers.



Deze bol van koper en aluminium was het prototype van een beoogde zwaartekracht-golfdetector met een diameter van 2,6 meter.

zwart gat maakte, liet zien dat de tekening van Luminet verrassend accuraat was.'

Geboetseerd beeld

Die allereerste foto van een zwart gat prijkte destijds op talloze voorpagina's van kranten. In de tentoonstelling illustreren Maas en Van Dongen de totstandkoming van deze mijlpaal met een *disk pack*. Deze set van acht harddisks bevat data van de James Clerk Maxwell-telescoop op Hawaïi, een van de telescopen die deel uitmaken van de Event Horizon Telescope (EHT). 'Je kunt je afvragen: waar zit nou de essentie van de EHT?', zegt Maas. 'Zit die in de radioschotels? In de computers? Of in de software?'

Uiteindelijk vond Maas dat dit disk pack de essentie goed vangt. Hij erkent dat de set harddisks het meer van het verhaal eromheen moet hebben dan van de uitstraling van het object zelf. 'De hoeveelheid data die de EHT-telescopen opvingen was zo enorm, dat je die niet door een kabel of door de ether kon sturen', vertelt Maas. 'De disk packs moesten dus fysiek worden vervoerd naar rekencentra in Boston en Bonn, waar ze werden gecombineerd met de data van andere telescopen. Bij een van de observatoria op Antarctica zorgde dat voor problemen. De onderzo-

kers moesten wachten tot de winter voorbij was voordat ze de disk packs op de plaats van bestemming konden krijgen.'

Een interessant discussiepunt is wat de waarde van die beroemde foto was, zowel voor de wetenschap als voor de buitenwereld. 'Je zou kunnen zeggen dat het duurste PR-plaatje ooit was, maar dan wordt iedereen boos op ons', lacht Maas. 'Sommige wetenschappers zeggen: dit is het eerste directe bewijs voor het bestaan van zwarte gaten, anderen zeggen dat het meer indirect bewijs is', vervolgt van Dongen. 'Hoe dan ook denk ik dat we hiermee op de drempel staan van enorm belangrijke wetenschap. Wie weet lukt het op een gegeven moment zelfs om dingen te zien waarvan we al vijftig jaar denken dat we ze misschien wel nooit zullen kunnen waarnemen, zoals hawkingstraling.'

Achter de horizon

Die vorm van straling stelde de Britse natuurkundige Stephen Hawking voor in 1974. Als hij quantummechanische effecten meenam in zijn berekeningen aan zwarte gaten, dan bleken zwarte gaten een kleine hoeveelheid straling uit te zenden. Dat klinkt vreemd; niets kan toch aan deze kosmische monsters ontsnappen? Desalniettemin had Hawking hier een beeld bij.

Door quantumfluctuaties ontstaan overal in de ruimte af en toe heel kort paren van een deeltje en zijn antideeltje. 'Normaal gesproken komen die twee vervolgens weer bij elkaar en vernietigen ze elkaar,' zegt Van Dongen. 'Maar als zo'n deeltjespaar vlak bij de horizon van een zwart gat verschijnt, kan de een achter de horizon verdwijnen en de ander ontsnappen.' Alle ontsnapte deeltjes samen vormen een straling vanaf het zwarte gat: de hawkingstraling.

Hawking had vele baanbrekende inzichten over zwarte gaten, maar deze hawkingstraling was toch wel het belangrijkste, vinden Maas en Van Dongen. De meeste kosmologen zijn ervan overtuigd dat hawkingstraling bestaat, maar ze is nog nooit waargenomen. Misschien gaat de EHT daar in de toekomst verandering in brengen.

In de tentoonstelling eren Maas en Van Dongen Stephen Hawking met een van zijn eerste spraaksynthesizers. 'Met die spraaksynthesizer beelden we zijn relatie met de buitenwereld uit. 'Je zou Hawking kunnen zien als iemand die zelf langzaam achter de horizon van een zwart gat verdween,' zegt Van Dongen. 'Een van de aspecten van een zwart gat is dat iemand die erin valt vertraagt. Zijn klok wordt vanuit jouw perspectief alsnog langzamer, en als je een signaal op hem af stuurt, duurt het steeds langer voordat je antwoord krijgt. Zo ging het ook bij Hawking. Zijn bewegingen en zijn spraak werden alsnog trager. Ik ben als student weleens op conferenties geweest waar hij ook was. Soms, als iemand hem dan een vraag stelde, hoorde je eerst een halfuur niets. Vervolgens kwam er ineens toch nog iets uit die spraaksynthesizer. Het was alsof Hawking langzaam in een zwart gat verdween en af en toe nog een woord terugstuurde.' ■

Vanaf de jaren tachtig communiceerde natuurkundige Stephen Hawking via spraaksynthesizers.



Steeds dichterbij

Dichter bij het zwarte gat is de naam van de tentoonstelling over zwarte gaten die tot en met 5 januari 2025 te zien is in Rijksmuseum Boerhaave. Een goed gekozen naam. Zwarte gaten zijn misschien wel de meest mysterieuze fenomenen in ons universum. Probeer die maar eens op een toegankelijke manier uit te leggen. Dat is bijna niet te doen. Je hebt er een onorthodoxe benadering voor nodig, zoals het perspectief van de kunstenaar. Zo ervaart de bezoeker dat zij of hij steeds iets dichterbij het zwarte gat komt.

Albert Einstein was de aanstichter van dit alles. Zijn algemene relativiteitstheorie beschrijft hoe massa's met een extreem hoge dichtheid zelfs lichtstralen kunnen afbuigen, waardoor die als een knikker in een putje rollen. Hieruit volgt dat er in theorie zwarte gaten kunnen bestaan waaraan niets kan ontsnappen, zelfs licht niet.

Toch kan Einstein het zelf niet meteen geloven. Eind jaren dertig berekent Robert Oppenheimer – die van de atoombom – dat een zware ster onder zijn eigen gewicht kan instorten tot een punt. Geen licht zou hier meer uit kunnen ontsnappen. Zouden zwarte gaten dan echt kunnen bestaan? Einstein gelooft er op dat moment nog steeds geen snars van.

De kunst van Maurits Cornelis Escher blijkt in de jaren veertig erg belangrijk voor wetenschappers om het onvoorstelbare voorstelbaar te maken. De manier waarop hij met perspectief speelt, helpt de wetenschappers om grip te krijgen op de bijzondere fenomenen die spelen rondom een zwart gat. Een van die wetenschappers was de Franse astrofysicus (en kunstenaar) Jean-Pierre Luminet. In 1979 maakte hij het eerste realistische beeld van een zwart gat. Inmiddels hebben wetenschappers zelfs de eerste foto's van zwarte gaten gemaakt. En zo komen we steeds weer een stukje dichterbij.



Amito Haarhuis,
directeur Rijksmuseum Boerhaave

JONG TALENT

'Onderschat nooit de waarde van fundamenteel onderzoek'

Toen ze op de middelbare school zat, haalde Jildou Hollander (25) hoge cijfers voor natuurkunde en wiskunde. Toch zeiden veel mensen tegen haar: 'Geneeskunde, is dat niet iets voor jou?' Inmiddels promoveert ze aan het Dutch Black Hole Consortium. Jildou zou graag willen zien dat meisjes op school óók weten dat ze kunnen kiezen voor heel exacte vakken, zoals zijzelf deed. In eerste instantie had ze een iets grotere liefde voor wiskunde dan voor natuurkunde, maar toch werkt ze nu met veel plezier aan een natuurkundig concept: holografie.

Wat is dat, holografie?

'Nou, dat is best lastig uit te leggen, want het is heel abstract - maar iets wat je daarmee kunt doen, is proberen natuurkundige paradoxen op te lossen. De theorie waar ik aan werk, heet AdS/CFT. Daarbij staat AdS voor Anti-de-Sitter-ruimte; die kun je zien als de ruimtetijd in ons heelal, maar dan met een negatieve kromming. CFT staat voor *conformal field theory*, een theorie zonder zwaartekracht. Zwarte gaten zijn bijvoorbeeld mooie modellen om met AdS/CFT aan te rekenen. Natuurkundige Stephen Hawking heeft ontdekt dat zwarte gaten straling produceren, waardoor ze niet alleen alles om zich heen opslokken, maar ook iets uitzenden. Dat levert een paradox op zodra het zwarte gat is verdampt: het lijkt alsof zwarte gaten informatie vernietigen, terwijl er wetten zijn die zeggen dat informatie altijd behouden moet blijven. Via AdS/CFT kun je dan uitzoeken hoe je die paradox kunt oplossen.'

Hou je vooral van het puzzelen, van problemen oplossen?

'Jazeker! Het is leuk werk om steeds weer iets nieuws te onderzoeken. Soms levert je denkrichting niets op en dan ineens weer wel. Buiten de wetenschap hou ik ook wel van escaperooms trouwens, haha! Maar je moet niet vergeten wat er bij dat abstracte puzzelen allemaal aan de zijlijn kan ontstaan. Zo is het *world wide web* op CERN bedacht, als een toevallig bijproduct van de deeltjesfysica. Je moet de waarde van fundamenteel onderzoek nooit onderschatten.'

Is er iemand die je extra heeft geïnspireerd in deze richting?

'Ik vind het sowieso heel erg fijn bij de Universiteit van Amsterdam. We zijn een leuke club mensen en wereldwijd staan we aan de top van dit onderzoeksgebied. Een persoon die mij extra heeft geïnspireerd, is Alejandra Castro. Zij is niet alleen een heel fijne en goede wetenschapper, ze zet zich ook extra in voor vrouwen en minderheden. Dat gaat al de goede kant op, zeker hier aan de Universiteit van Amsterdam, maar het blijft belangrijk!'

Tekst: Maureen Voestermans

YPE & IONICA

De ambitieuze expositie



Ype Driessen is fotostripmaker
Ionica Smeets is hoogleraar wetenschapscommunicatie in Leiden

Maar hoe
gaat dat
dan?

Dat je
naar buiten komt
en er 10.000 jaar
verstreken
zijn?



Of dat je
helemaal nooit
meer naar buiten
komt?



Of geplet
wordt?



Of gespaghettificeerd?



Of alleen
maar zwart
ziet?



Of hoe
moet ik me dat
voorstellen, zo'n
immersieve ervaring
van een zwart
gat?

Ga nou
maar gewoon
naar die ten-
toonstelling!



