

**Hallo daar!**

*Voor mijn fantastische moeder*

Ben Moore

# Hallo daar!

De zoektocht naar leven  
elders in het universum

Nieuw Amsterdam *Uitgevers*

Vertaling Eddy Echternach

© 2014 Kein & Aber AG

Oorspronkelijke titel *Da draußen*

Oorspronkelijke uitgever Kein & Aber AG

© Eddy Echternach en Nieuw Amsterdam *Uitgevers*

Alle rechten voorbehouden

Tekstredactie Leo Polak

Register Ansfried Scheifes

Ontwerp omslag Paul Pollmann

Ontwerp binnenwerk Yulia Knol

Illustraties omslag en binnenwerk Katharina Blansjaar

NUR 917

ISBN 978 90 468 1912 8

[www.nieuwamsterdam.nl/moore](http://www.nieuwamsterdam.nl/moore)



# Inhoud

Voorwoord 7

- 1 Een planeet voor ieder van ons 13
  - 2 Wat is leven? 41
- 3 De oorsprong van het leven 69
- 4 Vroege aarde en vroeg leven 93
- 5 Leven op het scherp van de snede 119
  - 6 Leven bij de burens 143
  - 7 Dromen van aliens 169
  - 8 Eerste contact 193
- 9 Buitenaardse anatomie 221
- 10 Leven tussen de sterren 247

Dankwoord 270

Verklarende woordenlijst 271

Legenda's bij de illustraties 285

Noten 287

Register 290



## Voorwoord

Tussen de sterren wemelt het van de werelden die op de onze lijken. Dat is een ongelooflijke gedachte. Maar hoeveel van deze werelden zijn dor en leeg, en hoeveel zijn vol van leven? Naar mijn mening is de vraag niet óf ergens daarbuiten leven is, maar hoe dat leven eruit zou kunnen zien.

Om vragen als deze te kunnen beantwoorden, begin ik bij het begin – bij de aard en oorsprong van het leven. Ik zal definiëren wat leven is, uitleggen hoe het functioneert en de theorieën nalopen die het ontstaan ervan proberen te verklaren. De vroege aarde was misschien wel een te vijandige omgeving voor de ontwikkeling van leven uit een oersoep. Persoonlijk neig ik dan ook naar het idee dat het leven elders in het zonnestelsel is ontstaan; mijn denkbepelden daarover zal ik nader toelichten.

In 2013 hebben astronomen ontdekt dat onze aarde mogelijk slechts een van ontelbare rotsachtige planeten in onze Melkweg is. Veel van deze werelden zullen op onze thuisplaneet lijken, andere zijn ongetwijfeld heel anders. Sommige werelden zullen volledig met een oceaan bedekt zijn – zouden wezens als dolfijnen de stap van steentijd naar industriële revolutie en ruimtevaarttijdperk kunnen maken? Andere werelden hebben eeuwig daglicht – zouden wezens op zulke werelden nooit slapen of dromen?

We maken een reis naar het front van de astrobiologie – het interdisciplinaire onderzoeksgebied dat zich bezighoudt met het leven op aarde en elders in het heelal. Astrobiologen proberen antwoorden te vinden op Grote Vragen als: Waar komen we vandaan? Waar

gaan we naartoe? En zijn we alleen in het heelal? Zelf geef ik een college astrobiologie aan de Universiteit van Zürich, waarin ik de laatste resultaten uit onder meer de astronomie, biologie, chemie, geofysica, natuurkunde en planeetwetenschappen samenvat.

Dit boek heb ik geschreven omdat ik ervan overtuigd ben dat het verhaal van het leven het grootste van alle verhalen is. De twee meest gedrukte boeken aller tijden gaan over de oorsprong van het leven. Het moet wel een interessant onderwerp zijn, want deze boeken zijn meer dan tien miljard keer gelezen. Maar ik wil u een alternatieve zienswijze bieden – een die is voortgekomen uit wetenschappelijk onderzoek. Er zijn het afgelopen decennium zo veel spannende ontwikkelingen geweest dat ik popel om te beginnen. Ik zal u alles vertellen over de laatste wetenschappelijke ontdekkingen en ideeën. En ik zal proberen dat op een luchtige manier te doen, op een niveau dat iedereen die geïnteresseerd is in deze onderwerpen kan begrijpen.

Maar ik wil nog een stapje verder gaan. Hoe zouden aliens eruit kunnen zien en welke eigenschappen hebben ze? Hoe geavanceerd zouden hun beschavingen kunnen zijn? Hebben we dezelfde emoties en ethische beginselen? Zouden we kunnen genieten van elkaars kunst en muziek? Kunnen buitenaardse beschavingen het tot een vreedzaam Utopia hebben gebracht?

De sciencefiction schetst een bepaald beeld van aliens. Is die voorstelling realistisch of kan de werkelijkheid heel anders zijn? De beschrijving van buitenaardse wezens in kunstwerken, boeken en films prikkelt ons voorstellingsvermogen. Maar in hoeverre is zij wetenschappelijk verantwoord en in hoeverre verzonnen? De werkelijkheid zou er weleens heel anders kunnen uitzien dan onze fantasie. Ik zal proberen u ervan te overtuigen dat buitenaards leven vaardigheden en eigenschappen kan hebben ontwikkeld die zich met niets op aarde laten vergelijken.

Uiteindelijk willen we meer te weten komen over die verre werelden en achterhalen of er leven is of niet. Ik zal uitleggen wat we vanaf de aarde kunnen ontdekken en welke verrassingen we de komende decennia kunnen verwachten. Er staan ambitieuze ruimtemissies op het programma en er wordt gewerkt aan krachtige nieuwe tele-



scopen. Ze hebben maar één doel: het onderzoek van die verre werelden.

Mijn onderzoeksactiviteiten aan de Universiteit van Zürich hebben betrekking op de numerieke astrofysica en kosmologie. Met behulp van de grootste supercomputers ter wereld bootsen we het ontstaan en de evolutie van planeten en sterrenstelsels na. Mijn onderzoeksgroep maakt deel uit van een netwerk van Zwitserse universiteiten dat een ambitieus tienjarenprogramma is gestart, om meer te weten te komen over de vele werelden in onze Melkweg.

Gezien door onze grootste telescopen is een aardeachtige planeet die om een andere ster draait slechts een onooglijk lichtpuntje. Maar astronomen hebben technieken ontwikkeld waarmee we de eigenschappen van zo'n planeet kunnen meten, zijn atmosfeer kunnen onderzoeken en zelfs zijn klimaat en weerpatronen kunnen waarnemen. Het is denkbaar dat we binnen twintig jaar de signatures van leven op zulke planeten kunnen detecteren. Dat klinkt ontzagwekkend – en dat is het ook.

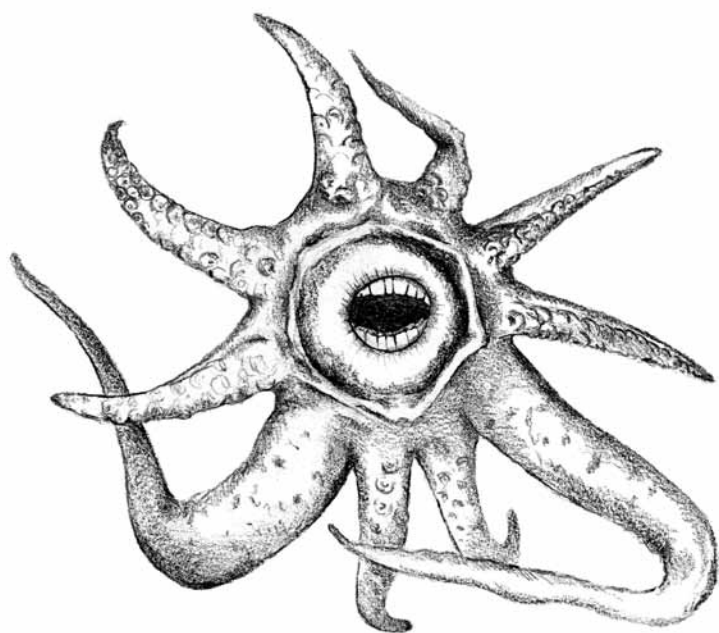
Ben Moore, Zürich 2014

### **AARDS OF BUITENAARDS? – RAAD MEE!**

Elk hoofdstuk van dit boek opent met een afbeelding van een opvallend wezen. Vijf van deze wezens komen voor op aarde, de overige vijf zijn bedenksels uit de sciencefiction. De oplossing staat aan het eind van dit boek.



1





## EEN PLANEET VOOR IEDER VAN ONS

Gedurende ontelbare duizenden jaren hebben mensen naar de nachtelijke hemel gekeken en zich afgevraagd wat zich daarbuiten in de onmetelijke erten van onze Melkweg afspeelt. Onze aarde lijkt geknipt voor het ontstaan van leven. Maar beperkt dat leven zich tot de aarde of kunnen er rond die sterren nog andere werelden als de onze bestaan? Aan deze bespiegelingen is kortgeleden een einde gekomen door de ontdekking dat planeten zoals onze aarde talrijk zijn, en dat is een van de belangrijkste ontdekkingen in de geschiedenis van de wetenschap. De volgende keer dat je omhoogkijkt naar de twinkelende sterren, sta er dan even bij stil dat rond de meeste van die sterren planeten draaien.

De astronomie maakt al sinds het ontstaan van het schrift deel uit van de menselijke cultuur. Meer dan tweeduizend jaar geleden gebruikten de oude Grieken eenvoudige waarnemingen, driehoeksmetkunde en logica om de plaats van onze aarde in het zonnestelsel te bepalen. Ze ontdekten dat onze bakermat een groot, bolvormig object is dat om onze veel grotere zon draait. Aristarchos van Samos (300 v.Chr.) was de eerste die de afstanden van de aarde tot de zon en van de aarde tot de maan met en de afmetingen van deze hemellichamen berekende. Dat was lang voor de uitvinding van telescopen en rekenmachines. Is dat niet opmerkelijk?

De oude Grieken vroegen zich ook af of onze aarde uniek is. De Griekse filosoof Demokritos (ca. 400 v.Chr.) was ervan overtuigd dat 'er ontelbare werelden van uiteenlopende afmetingen bestaan. Sommige werelden kennen zon noch maan, in andere zijn deze gro-

ter dan de onze, en weer andere hebben er meer dan één. De afstanden tussen deze werelden zijn ongelijk, in de ene richting groter dan in de andere; sommige floreren, andere zijn in verval. Hier ontstaan ze, daar verdwijnen ze; ze worden verwoest door onderlinge botsingen. Op sommige van deze wereld zijn dieren noch planten noch water.<sup>21</sup>

Niet iedereen was deze mening toegedaan. Aristoteles (350 v.Chr.) behandelde de veelheid aan werelden uitgebreid in zijn belangrijkste kosmologische werk, *De Caelo* ('Over de hemelen'), en kwam tot de conclusie dat 'er niet meer dan één wereld kan zijn'.

Tijdens de 'wetenschappelijke drooglegging' – van het begin van het Romeinse Rijk tot de zestiende eeuw – werd weinig voortgang geboekt omtrent ons begrip van onze oorsprong en onze plaats in het heelal. De aarde was het onwrikbare middelpunt van alles en de zon bewoog langs de hemel door de wilskracht van een mythische god. Wie er andere ideeën op na hield, speelde met zijn leven.

De Italiaanse monnik, filosoof en astronoom Giordano Bruno hield zich in de zestiende eeuw bezig met allerlei kwesties die in ongenade waren gevallen. Zo was hij ervan overtuigd dat er oneindig veel sterren zijn waar planeten zoals onze aarde omheen draaien. Zijn in 1584 verschenen *De l'Infinito, Universo e Mondi* ('Over het oneindige, het heelal en de werelden') is een verwijzing naar Demokritos. Dat Bruno zijn ideeën niet wilde herroepen, leidde uiteindelijk tot zijn doodvonnis. In 1600 belandde hij op de brandstapel wegens 'misdaden tegen de kerk'.

De technologische en wetenschappelijke ontwikkeling die in de zestiende en zeventiende eeuw op gang kwam, werd aangespoord door de wens om de uurwerkachtige werking van ons zonnestelsel te begrijpen. Langzaam maar zeker brak een wetenschappelijke renaissance aan. Dankzij onderzoekers als Galileo Galilei, René Descartes en Isaac Newton ontstond een explosie van kennis die uitmondde in het wetenschappelijke inzicht en de technologie van nu, die we vanzelfsprekend zijn gaan vinden.

De ideeën van Aristarchos en de oude Grieken werden verder uitgewerkt door de Poolse wiskundige en astronoom Nicolaus Copernicus. In 1543 (het jaar van zijn dood) publiceerde Copernicus *De*

*revolutionibus orbium coelestium* ('Over de omwentelingen der hemellichamen'). Zich baserend op oude teksten en de bewegingen van de planeten betoogde hij dat de zon en de planeten niet allemaal om onze aarde draaiden. In plaats daarvan draaiden alle planeten om de zon. Zo begon een paradigmaverschuiving terug naar het oude Griekse idee dat de aarde geen bijzondere plaats inneemt in de ruimte.

Dankzij de opkomst van een technologie die het mogelijk maakte om verre objecten dichterbij te halen, lukte het de mens om nog meer te weten te komen over de kosmos. Het besef dat onze zon slechts een van vele sterren is, ontstond pas na de uitvinding van de telescoop, aan het begin van de zeventiende eeuw. Het inzicht dat onze Melkweg ontelbare soortgenoten heeft, ontstond zelfs pas drie eeuwen later. En nu, aan het begin van de eenentwintigste eeuw, hebben astronomen de spectaculaire ontdekking gedaan dat onze aarde verre van uniek is. Vermoed wordt dat er alleen al in ons eigen Melkwegstelsel miljarden sterren zijn waar aardeachtige planeten omheen cirkelen.

### **Een principekwestie**

De kern van ons huidige begrip van het heelal wordt gevormd door het beginsel dat wij daarin geen bijzondere positie innemen. Dat het heelal op elke plek dezelfde eigenschappen bezit en er in alle richtingen hetzelfde uitziet, is een van de basisprincipes van de moderne kosmologie. Dat betekent dat het deel van het heelal dat wij kunnen waarnemen een representatieve steekproef is van een mogelijk veel groter heelal. Het betekent bovendien dat de sterrenstelsels die we over de ruimte en over de kosmische tijd verdeeld zien niet wezenlijk verschillen van ons eigen stelsel. En dat de sterren aan de nachtelijke hemel volgens dezelfde natuurkundige wetten werken die ook onze zon tot stralen brengen. Tot nu toe voldoet alles wat we van de astrofysica en de kosmologie hebben geleerd aan dit grondbeginsel.

Dit moderne kosmologische beginsel kan kortweg worden samengevat met de woorden 'de mens is geen bevoorrechte waarne-

mer van het heelal'. Dit concept staat centraal in onze kennis van het heelal en van de oerknalkosmologie. Het werd in deze bondige vorm in 1952 voor het eerst geformuleerd door de Oostenrijks-Britse kosmoloog Hermann Bondi, die het beginsel vernoemde naar Copernicus.

Dat onze zon en onze Melkweg geen unieke plaats innemen in het heelal is inmiddels een astronomisch feit. Onze ster is slechts een van de enkele honderden miljarden sterren van het Melkwegstelsel, dat op zijn beurt enkele honderden miljarden soortgenoten heeft in het voor ons waarneembare heelal. De ultieme bevestiging van het copernicaanse beginsel was de ontdekking, in de jaren zestig, van de bijna volmaakt gelijkmatig verdeelde reststraling van de oerknal – de kosmische achtergrondstraling.

Dit niet-aflatende streven naar een beter begrip van onze oorsprong bereikte in 2013 zijn voorlopige hoogtepunt met de bevestiging van de speculaties van Demokritos. Door de ontdekking dat aardeachtige planeten heel talrijk kunnen zijn, ontstaat de zeer reële mogelijkheid dat er ook elders in ons Melkwegstelsel leven is ontstaan – misschien zelfs vele malen en op vele plaatsen.

Een soortgelijk concept zou van toepassing kunnen zijn op een nog fundamenteeler vlak: dat van het leven zelf. Door de geschiedenis heen waren velen ervan overtuigd dat onze aarde bijzonder is, dat wij mensen bijzonder zijn. En dat zijn we ook. We zijn allemaal uniek doordat we leven en in staat zijn om onze prachtige planeet, die voor ons gemaakt lijkt, te kunnen waarderen. In dat opzicht moeten alle levende wezens op onze planeet als bijzonder worden beschouwd. Maar, zoals we zo dadelijk zullen zien, onze planeet is een veelvoorkomende planeet. In een Melkweg dat wemelt van de bakermatten van leven zou het arrogant zijn om te veronderstellen dat het leven zich beperkt tot één enkele wereld.

De ultieme bevestiging van dit opmerkelijke lesje in onbeduidendheid zou de ontdekking van leven op andere planeten zijn. De zoektocht naar de unieke signaturen van leven bij andere sterren is in volle gang. Misschien krijgt de enige overgebleven speculatie van Demokritos – dat we niet alleen zijn in het heelal – al binnen enkele tientallen jaren bevestiging.



Dat de sterren verre zonnen zijn, is al honderden jaren bekend. Waarom liet de ontdekking dat onze aarde een gewone planeet is tot de eenentwintigste eeuw op zich wachten?

### **Wanneer is een planeet een planeet?**

Toen astronomen op zoek gingen naar planeten bij andere sterren, waren hun ideeën over wat ze zouden aantreffen gebaseerd op ons eigen zonnestelsel. Daardoor kwamen ze voor nogal wat verrassingen te staan – zelfs binnen ons zonnestelsel, waar in 2005 Eris werd ontdekt. Eris is een ijzig, rotsachtig object dat iets groter is dan Pluto en ongeveer eenderde van de massa van onze aarde heeft. Het is momenteel tweemaal zo ver van ons verwijderd als Pluto, maar zijn elliptische baan zal hem binnen enkele honderden jaren ongeveer tot op Pluto-afstand brengen. Eris werd aanvankelijk de tiende planeet genoemd, maar inmiddels is hij – net als Pluto – tot ‘dwergplaneet’ gedegradeerd.

Het woord ‘planeet’ is afgeleid van het Griekse woord voor ‘zwerfer’, wat betekent dat planeten ruwweg waren gedefinieerd als objecten die zich merkbaar verplaatsten ten opzichte van de vaste sterren. Pluto werd in 1930 ontdekt en had tot aan het begin van de eenentwintigste eeuw geen concurrentie. Toen echter nog diverse andere zwerfende objecten van het kaliber Pluto waren opgespoord, besloten astronomen om het begrip ‘planeet’ een officiële definitie te geven.

De richtlijnen voor de naamgeving van hemelobjecten worden opgesteld door de Internationale Astronomische Unie. Tijdens de algemene vergadering van de IAU, die in 2006 in Praag werd gehouden, werden diverse voorstellen besproken en kwam het uiteindelijk tot een stemming. Het resultaat was dat een planeet nu formeel is gedefinieerd als een hemellichaam dat aan drie criteria voldoet: het draait om de zon, heeft genoeg massa om onder invloed van zijn eigen zwaartekracht de bolvorm aan te nemen en heeft de omgeving van zijn omloopbaan schoongeveegd (waardoor er op vergelijkbare afstand van de zon geen andere objecten van betekenis te vinden zijn). Op grond van dit laatste criterium werd Pluto gede-

gradeerd tot dwergplaneet – een aanduiding die alle hemellichamen behelst die alleen aan de beide eerste criteria voldoen.

Een van de problemen met deze definitie van een planeet is de vereiste dat het object om een ster moet draaien. Door ontmoetingen met langskomende sterren of door zwaartekrachtinteracties met andere planeten kunnen planeten echter uit hun zonnestelsel worden geslingerd. Dat klinkt onwaarschijnlijk, maar het komt best vaak voor. En, zoals we verderop zullen zien, de eerste planeetachtige objecten werden niet bij een ster ontdekt, maar bij een vreemdsoortig object dat een pulsar wordt genoemd.

De ondergrens voor de massa van een planeet of dwergplaneet wordt bepaald door de vereiste dat de eigen zwaartekracht van het hemellichaam sterk genoeg is om het materiaal waaruit het bestaat tot een bol te kneden. Op het oppervlak van een bol is de zwaartekracht overal even sterk, en als een object maar groot genoeg is, neemt het vanzelf deze vorm aan. In een mens is de zwaartekracht niet sterk genoeg om moleculaire bindingen te verbreken en ons van vorm te laten veranderen. Maar als je genoeg massa opstapelt, zal de zwaartekracht de spanning in het materiaal zo hoog opvoeren dat het verbreekt.

Het is de zwaartekracht die bepaalt hoe hoog de hoogste berg op een planeet kan worden. Als er te veel gesteente wordt opgestapeld, zorgt de zwaartekracht ervoor dat het gesteente verbreekt en instort. Afhankelijk van zijn samenstelling moet een object 500 tot 1000 kilometer groot zijn om de bolvorm aan te nemen. De ondergrens geldt voor een ijsachtig object, de bovengrens voor rotsachtig materiaal.

In feite weten we niet hoeveel dwergplaneten ons zonnestelsel telt. Ze zijn moeilijk waarneembaar, omdat ze op grote afstanden om de zon draaien. Astronomen vermoeden dat er honderden objecten groter dan 500 kilometer zijn die nog op ontdekking wachten. Het is zelfs mogelijk dat zich voorbij Pluto nog één of twee planeten schuilhouden die groter zijn dan de aarde.

Met hun telescopen kunnen astronomen sterrenstelsels detecteren die meer dan 13 miljard jaar oud zijn en zich dicht bij de rand van het waarneembare heelal bevinden, miljarden lichtjaren van

ons vandaan.<sup>2</sup> Waarom kost het dan zo veel moeite om planeetachtige objecten binnen ons eigen zonnestelsel te ontdekken? En waarom duurde het tot in de eenentwintigste eeuw voordat de eerste aardeachtige planeet bij een andere ster werd opgespoord?

### Op zoek naar een Death Star

Bij het zoeken naar planeten op grote afstand van de zon stuiten astronomen op diverse technologische moeilijkheden. En het opsporen van planeten nabij andere sterren is nog problematischer. Een aantal van deze knelpunten kan ik toelichten aan de hand van de vraag op welke afstand we een object van planeetformaat dat richting aarde beweegt zouden kunnen detecteren.

De Death Star ('Ster des Doods') is een verzonnen ruimtewapen ter grootte van een maan dat complete planeten kan verwoesten. In zijn volle omvang is het te zien in de film *Star Wars Episode IV: A New Hope* uit 1977. (Verderop zal ik uit de doeken doen of zo'n wapen überhaupt kan worden gebouwd en of het werkelijk in staat is om de aarde te vernietigen.)

Laten we aannemen dat een buitenaardse beschaving een Death Star heeft gebouwd en er plezier aan beleeft om planeten te slopen, ongeveer zoals er mensen zijn die voor de lol dieren afknallen. De werkelijke omvang is niet bekend, maar fans van *Star Wars* komen uit op afmetingen tussen 120 en 900 kilometer. Laten we er dus maar van uitgaan dat een complete Death Star een middellijn van 500 kilometer heeft – ongeveer de grootte van die talrijke dwergplaneten in ons zonnestelsel die nog op ontdekking wachten.

Dat is een enorm ruimteschip, dus zouden we het toch zeker van verre moeten zien aankomen – jaren voordat het de aarde kan bereiken. Niet dat we, met onze huidige technologie en het schrijnende gebrek aan internationale samenwerking, ook maar enig verweer zouden kunnen bieden. Maar vanaf welke afstand zouden we de structuur van de Death Star kunnen waarnemen en hem herkennen als vernietigingsmachine?

De planeten die we met het blote oog kunnen zien (Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus), geven van zichzelf niet veel licht.

Ze zijn zichtbaar omdat ze zonlicht weerkaatsen. Erg goede spiegels zijn het niet, doordat een deel van het zonlicht door hun atmosferen en oppervlakken wordt geabsorbeerd. Van al het zonlicht dat de aarde ontvangt, wordt maar ongeveer eenderde weerkaatst. Die fractie weerkaatst licht wordt het albedo genoemd. De aarde heeft een albedo van 0,3. Een planeet die geheel met ijs en sneeuw is bedekt, zou een albedo van 0,9 kunnen hebben. Een wereld met niets dan bomen zou uitkomen op een albedo van 0,1.

Maar waar is de Death Star van gemaakt? Ik vermoed dat buitenaardse wezens die slim genoeg zijn om zo'n ding te bouwen niet met een glimmend metaaloppervlak aan zullen komen. Ze zouden het zwart schilderen, zoals een *stealth*-vliegtuig. En ze zouden het zwartste materiaal gebruiken dat ze konden vinden. Het donkerste materiaal dat we kennen is een verf bestaande uit nanobuisjes van koolstof: minuscule, holle cilindertjes met wanden van koolstofatomen die een honingraatstructuur vormen. Dit materiaal absorbeert bijna al het licht: slechts 0,1 procent wordt weerkaatst – het albedo is dus 0,001. Wellicht bestaan er nog donkerdere materialen, maar als de Death Star met nanobuisjes van koolstof is bekleed, zou hij echt heel moeilijk te zien zijn.

Laten we er echter van uitgaan dat ze staal gebruiken, omdat ze graag indruk willen maken. Dan zou het ruimtewapen nog het meest weghebben van een ijsplaneet. We kunnen uitrekenen op welke afstand we zo'n glimmende Death Star met het blote oog of met de Hubble-ruimtetelescoop zouden kunnen zien. Dat geeft ons ook een idee van hoelang van tevoren we een dwergplaneet die vanuit de buitendelen van het zonnestelsel op de aarde afstormt zien aankomen!

Onze pupillen hebben een lichtopvangend oppervlak van hooguit een halve vierkante centimeter. De ooglens focuseert het binnenkomende licht op een vlekje van lichtgevoelige zenuwuiteinden – meer dan 100 miljoen in getal. In principe is elk van die detectoren al gevoelig voor één enkel lichtdeeltje. Experimenten laten echter zien dat onze ogen pas licht registreren als er binnen eentiende van een seconde ongeveer honderd van die fotonen zijn ontvangen.

Onze zon zendt per seconde meer dan  $10^{45}$  fotonen uit, die zich door de ruimte voortplanten en een steeds groter volume vullen.