Licht in de duisternis

Heino
Falcke
met Jörg Römer

Licht in de duisternis

Zwarte gaten, het universum en wij

Vertaald door Roland Fagel

2020 Prometheus Amsterdam

Deze vertaling is gepubliceerd in overeenstemming met Literarische Agentur Michael Gaeb, Berlijn, in samenwerking met Marianne Schönbach Literair Agentschap, Amsterdam. Alle rechten voorbehouden.

Oorspronkelijke titel *Licht im Dunkeln*
© 2020 J.G. Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH, Stuttgart
© 2020 Nederlandse vertaling Uitgeverij Prometheus en Roland Fagel
Omslagontwerp Tessa van der Waals
Foto's omslag samengesteld beeld boven EHT Collaboration, onder NASA
Foto auteur Boris Brever
Lithografie afbeeldingen BFC, Bert van der Horst, Amersfoort
Zetwerk Mat-Zet bv, Huizen
www.uitgeverijprometheus.nl
ISBN 978 90 446 4523 1

Proloog

'En toch kunnen we ze zien…'

Plotseling wordt het donker in de grote perszaal van de Europese Commissie in Brussel. Het langverwachte ogenblik, waar we allemaal jarenlang naartoe hebben gewerkt, tot aan de rand van de uitputting, is eindelijk aangebroken. Het is dinsdag 10 april 2019, 15.06 uur – en 20 seconden. Nog 40 seconden en dan kan de hele wereld voor het eerst de opname van een kolossaal zwart gat bewonderen. Het bevindt zich op 55 miljoen lichtjaren van de aarde, in het centrum van het sterrenstelsel Messier 87, kortweg M87. Lange tijd leek het alsof de diepe duisternis van zwarte gaten voor altijd verborgen zou blijven voor onze ogen, maar vandaag treedt die voor het eerst in het volle licht van de openbaarheid.

De persconferentie is inmiddels begonnen, maar we hebben nog geen flauw benul van wat die allemaal los zal maken. Een duizendjarige ontdekkingsreis van de mensheid tot aan de grenzen van onze kennis, revolutionaire theorieën over ruimte en tijd, de modernste technologieën, het werk van de jongste generatie en mijn hele loopbaan als onderzoeker: dat alles komt vandaag samen in dit ene beeld van een zwart gat. Astronomen en andere natuurwetenschappers, journalisten en politici wachten in spanning op wat we hier en in andere wereldhoofdsteden gaan onthullen. Pas later hoor ik dat miljoenen mensen in de hele wereld aan hun beeldschermen gekleefd zaten en dat binnen een paar uur ongeveer vier miljard mensen onze opname onder ogen zouden krijgen.

Op de eerste rij zitten terecht al die collega's en jonge wetenschappers – vaak mijn eigen studenten – die dit mogelijk hebben gemaakt. Jarenlang hebben we intensief samengewerkt en iedereen heeft zichzelf – en mij – ver overtroffen. Velen van hen zijn, uitsluitend met dit doel voor ogen, naar de verste uithoeken van de aarde gereisd, soms zelfs met gevaar voor eigen leven. En vandaag staat het resultaat, dat het gevolg is van al hun inspanningen, in het middelpunt van wereldwijde belangstelling. Stuk voor stuk zou ik ze nu willen bedanken, want allemaal samen hebben ze deze doorbraak mogelijk gemaakt.

Maar de klok blijft doortikken. Indrukken vliegen aan me voorbij, zoals de rijwind aan een autocoureur. Het ontgaat me dat vanaf de derde rij de lens van een telefoon op mij gericht is. Het clipje duikt later op als 'Trending Topic' op een van de populairste websites voor kinderen, tussen platte grappen over het achterwerk van de Amerikaanse president en de joint van een bekende rapper. De gespannen aandacht van al die journalisten springt over op mij: uit elke blik spreekt verwachting. Mijn hart bonkt. Iedereen kijkt naar mij.

Vóór mij voerde Carlos Moedas het woord, de Eurocommissaris voor wetenschap. 'Houd het kort,' hadden we hem gemaand. Met zijn woorden prikkelt Moedas de nieuwsgierigheid van de aanwezigen. Hij rondt te snel af. Geïmproviseerd moet ik de vrijgekomen tijd opvullen en ik probeer mijn zenuwen te overschreeuwen.

Het is de bedoeling de opname overal ter wereld gelijktijdig te laten zien. Om 15.07 uur precies – Midden-Europese tijd – verschijnt HET BEELD op het reuzenscherm in deze zaal. En exact op dat moment staan ook mijn collega's in Washington, Tokio, Santiago de Chile, Sjanghai en Taipei klaar om deze allereerste afbeelding van een zwart gat te tonen, toe te lichten en er vragen van journalisten over te beantwoorden. Op elk continent staan servers klaar om precies op hetzelfde moment wetenschappelijke artikelen en persberichten de wereld in te sturen. De klok blijft onstuitbaar doortikken. Alles hebben we van tevoren gecoördineerd en gepland. De geringste afwijking van het schema zou alles in de war gooien. Maar ik ga meteen al de fout in.

Terwijl achter mij een film steeds sneller en steeds dieper inzoomt

op het hart van een sterrenstelsel, neem ik het woord. Uit pure opwinding begin ik met een domme verspreking. Ik haal lichtjaren en kilometers door elkaar en voor een sterrenkundige is dat geen peulenschil. Maar ik heb geen tijd om van schaamte de grond in te zakken. We moeten meteen door.

De elektronische tijdmelding klapt om: het is exact 15.07 uur. Uit de diepe, oneindige duisternis van het heelal, uit het hart van sterrenstelsel Messier 87, duikt een roodgloeiende ring op. Spookachtig tekenen zich de contouren af, ietwat vervaagd verstarren ze op het filmdoek. De ring licht op, grijpt de volle aandacht van alle toeschouwers en prikkelt de verbeelding. Dit beeld, waarvan men aannam dat het onmogelijk zou zijn het ooit op te nemen, heeft door middel van radiogolven een afstand overbrugd van 500 triljoen kilometer en eindelijk zijn weg naar de aarde weten te vinden.

Superzware zwarte gaten zijn de kerkhoven van het heelal. Ze ontstaan uit uitgebrande en uitdovende sterren die hun gloed aan het verliezen zijn. Maar het heelal voedt ze ook met gasnevels, planeten en sterren. Puur door hun massa krommen ze de lege ruimte op extreme wijze en ze lijken zelfs het voortschrijden van de tijd te kunnen laten stokken. Wat te dichtbij komt laten zwarte gaten nooit meer los – zelfs lichtstralen kunnen niet aan ze ontkomen.

Maar hoe kunnen we zwarte gaten dan überhaupt zien, als van daaruit zelfs geen lichtstraal tot ons kan doordringen? Hoe weten we dan dat dit zwarte gat 6,5 miljard keer de massa van de zon heeft samengeperst tot een supermassa? De gloeiende ring verbergt toch het diepzwarte binnenste waar geen lichtstraal en geen woord aan kunnen ontkomen?

'Dit is de allereerste afbeelding van een zwart gat,' zeg ik op het moment dat het beeld eindelijk in volle omvang op het filmdoek verschijnt.[1] In de zaal breekt een spontaan applaus los. Alle inspanningen van de afgelopen jaren glijden ineens van me af. Ik voel me bevrijd: eindelijk is het geheim verklapt. Een kosmische spookverschijning heeft een voor iedereen zichtbare vorm en kleur aangenomen.[2]

De volgende dag verkondigen de kranten dat we wetenschapsgeschiedenis hebben geschreven. Het zou ons gelukt zijn de mensheid

een gemeenschappelijk moment van vreugde en verwondering te schenken. Ze bestaan dus toch, die superzware zwarte gaten. Het zijn geen hersenspinsels van dolgedraaide sciencefictionauteurs.

Het maken van deze afbeelding was uitsluitend mogelijk omdat mensen uit de hele wereld, los van alle moeilijkheden en verschillen, jarenlang hetzelfde doel zijn blijven nastreven. Allemaal wilden ze de zwarte gaten op het spoor komen – een van de grootste raadsels van de hele natuurkunde. Deze afbeelding heeft ons naar de grenzen van onze kennis gevoerd. Hoe wonderlijk het ook klinkt: aan de rand van zwarte gaten eindigen onze mogelijkheden om te meten en te onderzoeken en het is nog maar zeer de vraag of we die grenzen ooit zullen kunnen overschrijden.

Hele generaties natuurwetenschappers voor ons hadden dit nieuwe hoofdstuk in natuurkunde en astronomie al opengeslagen. Twintig jaar geleden gold de wens om ooit een beeld op te vangen van een zwart gat nog als een overspannen droom. Op jacht naar zwarte gaten was ik destijds als jonge onderzoeker al verzeild geraakt in dit avontuur, dat me nog steeds in zijn greep houdt.

Hoe opwindend het zou worden, hoe het mijn leven zou bepalen en veranderen, kon ik op dat moment in de verste verte nog niet vermoeden. Het zou een expeditie worden naar het einde van ruimte en tijd, naar het hart van miljoenen mensen, ook al kreeg ik dat pas als allerlaatste door. Met behulp van de hele wereld was het ons gelukt dit beeld te maken en nu deelden we dit beeld met de wereld en die wereld omarmde het, veel heftiger dan ik ooit voor mogelijk had gehouden.

Voor mij begon het allemaal bijna een halve eeuw geleden. Sinds ik als klein jongetje voor het eerst naar het nachtelijke firmament keek, droomde ik van die hemel zoals alleen een kind daarvan dromen kan. De astronomie is een van de oudste en meest fascinerende wetenschappen en schenkt ons nog steeds dramatisch nieuwe inzichten. Sinds de oudste tijden hebben onderzoekers ons wereldbeeld steeds ingrijpend veranderd, gedreven door nieuwsgierigheid en noodzaak. Sindsdien onderzoeken we het universum met onze geest, met wis- en natuurkunde, en met steeds nieuwe telescopen. Met behulp van de modern-

ste techniek ondernemen we expedities naar de verste uithoeken van de aarde en zelfs naar het heelal, om het onbekende te onderzoeken. In de ondoorgrondelijke wereld, in het oneindige universum en in de goddelijke kosmos zijn wetenschap, mythen en mythologie, geloof en bijgeloof al vanouds zo hecht met elkaar verbonden, dat geen mens tegenwoordig nog kan opkijken naar de nachthemel zonder zich af te vragen wat ons uit deze duistere verten nog allemaal te wachten staat.

Over dit boek

Dit boek is een uitnodiging voor een persoonlijke reis door dit – ons – universum. In het eerste deel beginnen we op aarde, we vliegen maan en zon voorbij, passeren de planeten en trekken lering uit de geschiedenis van de astronomie, die tot op heden haar stempel drukt op ons wereldbeeld. In het tweede deel van dit boek maken we een reis door de kennis van de huidige astronomie. Ruimte en tijd worden relatieve begrippen. Sterren worden geboren, vergaan weer en vervallen soms tot zwarte gaten. Uiteindelijk verlaten we onze eigen Melkweg en krijgen we een onvoorstelbaar groot universum te zien, waarin het wemelt van sterrenstelsels en monsterlijke zwarte gaten. Sterrenstelsels vertellen ons over het eerste begin van ruimte en tijd, over de oerknal. Zwarte gaten staan voor het einde van de tijd.

De eerste afbeelding van een zwart gat was een wetenschappelijke krachtproef waarvoor honderden onderzoekers jarenlang hebben samengewerkt. Het idee voor deze afbeelding, dat van een bescheiden mosterdzaadje uitgroeide tot een grootschalig experiment, de spannende expedities naar radiotelescopen over de hele wereld, en die opwindende periode tot we eindelijk een beeld openbaar konden maken, mijn eigen belevenissen tijdens dit avontuur – dat alles beschrijf ik in het derde deel van dit boek.

In het vierde deel wagen we ons dan aan een paar van de laatste grote vragen van de wetenschap. Zijn zwarte gaten het eindpunt? Wat gebeurt er vóór het begin van ruimte en tijd? En wat aan het einde daarvan? Welke gevolgen heeft deze kennis voor ons kleine mens-

jes op deze onooglijke maar betoverende aarde? Betekent de triomf van de natuurwetenschap dat we binnen afzienbare tijd alles kunnen weten, meten en voorspellen? Is er dan nog plaats voor onzekerheid, hoop en twijfel – voor een God?

DEEL 1

Reis door ruimte en tijd

Kort overzicht van ons zonnestelsel en van de geschiedenis van de astronomie

1 De mens, de aarde en de maan

We beginnen op aarde. Angstaanjagend torent de raket omhoog uit het groene landschap. Argeloos fladderen vogels om dit paradepaardje van hedendaagse techniek. De drukkende stilte voor de storm: de lanceerbasis is nog gehuld in de duisternis van de nipt aanbrekende dageraad. De natuur heeft nog geen enkel vermoeden van het helse schouwspel dat hier over luttele seconden zal losbarsten.

Opgewonden maar nog steeds vermoeid verzamelen medewerkers en toeschouwers zich op een waarnemingsplatform. Vanaf deze hoogte lijken mensen en dingen piepklein, alsof het hele gebeuren zich afspeelt in een poppenhuis. Een van de toeschouwers streamt het tafereel met zijn telefoon: de hele internetpagina is bezaaid met Chinese karakters en blinkende logo's. Hoopvol en dankbaar volg ik deze streaming, vanuit de aangename bed & breakfast midden in de groene Ierse natuur waar ik verblijf, aan de andere kant van de wereld. Geboeid kijk ik naar wat er gaande is.

Plotseling begint er een onbegrijpelijke en schrille stem te krijsen, met een blikken klank die door merg en been snijdt. De countdown wordt monotoon opgezegd, bijna afgeraffeld, en hoewel ik de taal niet versta tel ik mee. Met een doffe dreun verscheurt een roodgele gloed aan de voet van de raket opeens de duisternis, het ontsteken van het aandrijfmechanisme ontketent zelfs in dit idyllische Ierland een oorverdovend lawaai – ook al komt al dat geluid alleen maar uit mijn notebook. De bodem trilt, de steigers zijn weggevallen, de raket

maakt zich los en stijgt majesteitelijk op, sleept als een omgekeerde komeet een felle hittestaart achter zich aan, verdwijnt uit beeld en schiet het heelal in.

Ik voel me alsof ik weer aanwezig ben bij de lancering van de spaceshuttle Discovery, die ik op de ochtend van 11 februari 1997 kon gadeslaan op Cape Canaveral, samen met mijn vermoeide maar opgetogen gezin. Nog steeds zie ik de trotse blik voor me van mijn vierjarige dochter, toen ze de dag ervoor de torenhoge raket vanuit de verte bekeek. Ik herkende het oplichten van haar ogen.

21 jaar later, op 20 mei 2018, zie ik slechts een verpixeld en schokkerig liveverslag uit China. Maar ik weet precies welke stemming daar nu heerst en het is bovendien een heel bijzondere start. Want aan boord bevindt zich iets van mijzelf: een experiment van mijn Nijmeegse team. Ik voel me weer als een kind. Ook het doel van de raket is bijzonder: de achterkant van de maan.

In gedachten vlieg ik mee, naar de maan en verder, zoals ik al zo vaak heb gedaan. Ik vlieg de richting in waar mijn verlangen me altijd al naartoe heeft gevoerd: het heelal.

In het heelal

Hemelse rust: wie aangekomen is in het heelal valt als eerste de grenzeloze stilte op. De aandrijfmotoren zijn uitgeschakeld, buiten sterft elk geluid weg. De Hubble Space Telescope zweeft op 550 kilometer boven de aarde – een hoogte van bijna zeventigmaal de Mount Everest – en glijdt door een atmosfeer die vijf miljoen keer ijler is dan aan het aardoppervlak.[1] Geluidsgolven – eigenlijk luchtbewegingen – zijn hier voor menselijke oren niet meer te horen. Geen woord, geen ruisje, zelfs de allerheftigste explosie op aarde zou je hier niet kunnen horen.

Als astronoom maak ik gebruik van ruimtetelescopen, ik luister naar de verhalen van ruimtevaarders die zelf ter plekke waren en bekijk de foto's die ze hebben meegebracht. In gedachten zweef ik schijnbaar gewichtloos zachtjes met ze mee, en ondertussen raas ik met een drieste snelheid van 27.000 kilometer per uur in een baan

om de aarde. Sterke middelpuntvliedende krachten zouden mij uit die baan kunnen slingeren, maar de machtige zwaartekracht van de aarde biedt voldoende tegenwicht om mij op koers te houden. Dat is het geheim van elke baan om een hemellichaam. Gewichtloosheid betekent niet dat je bevrijd bent van de zwaartekracht. In die baan houdt de zwaartekracht ons nog in zijn greep, maar we voelen ons gewichtloos omdat zwaartekracht en middelpuntvliedende kracht volledig tegen elkaar wegvallen. Eigenlijk bevinden we ons in een vrije val, maar we missen de aarde keer op keer, omdat we daar in een reusachtige cirkelvormige baan omheen draaien. Door af te remmen zouden die banen steeds krapper en steiler worden, tot die vrije val opeens zou eindigen in een inslagkrater op het aardoppervlak – iets wat we natuurlijk allemaal willen vermijden.

Het ruimteschip ontmoet nog maar zo weinig luchtweerstand dat we nog jaren zo om de aarde zouden kunnen blijven draaien, zonder onze raket ook maar één enkele keer te laten ontvlammen.[2]

Zolang we in die baan door de ruimte draaien, kunnen we genieten van een unieke aanblik van de aarde. Godgelijk zien we die blauwe parel afsteken tegen het zwarte fluweel van het universum. Werelddelen, wolken en zeeën ontketenen een ruig en rijkgeschakeerd kleurenspel. 's Nachts verlichten bliksemschichten, stralende steden en glinsterende poollichten op ronduit spectaculaire wijze het wereldschouwtoneel, grenzen vallen weg en met een alomvattende blik ervaren we de aarde als het gemeenschappelijke huis van alle mensen. Helder en scherp is de rand die ons scheidt van de kilte van de ruimte. Hoe dun de luchtlaag is die ons beschut tegen het levensvijandige heelal en het leven mogelijk maakt, dringt pas vanaf deze hoogte tot ons door. Weer en klimaat spelen zich af in een dunne schil om de aarde. Opeens oogt onze trotse planeet teer en broos. Dit soort fascinerende inzichten en uitzichten betreffende het heelal danken we aan de moderne technologie. Door ons meedogenloze gebruik van die techniek verwoesten we echter ook de grondslagen van ons bestaan op deze unieke blauwe planeet.

Bij het aanschouwen van deze wonderschone beelden van de aarde bespeur ik telkens ook de eenzaamheid en de leegte, het lijden

en de ellende die er heersen. 'God strekt het noorden uit boven de woeste leegte en hangt de aarde op – boven het niets,' riep de zwaarbeproefde Job duizenden jaren geleden uit.[3] Midden in het niets van de hemel, dat opgespannen is als een zwart tentdoek – onze aardbol! Deze blik van boven was de Bijbelauteur niet vergund en toch nam hij de aarde in zijn visioenen al waar als één geheel. Die oude visioenen van de mensheid worden tegenwoordig aangevuld met nieuwe beelden, aangeleverd door de huidige technologie. Een hele zwerm satellieten peilt permanent onze aarde en maakt adembenemend gedetailleerde beelden van wolken, werelddelen en zeeën. Job, die de aarde in het niets ziet hangen, beklaagt zich tegenover God over iets diep menselijks: het zinloze lijden. Ook tegenwoordig nog bestaan op deze planeet leed en schoonheid pal naast elkaar. Uit het heelal valt geen enkele individuele mens te zien. Lijden is alleen te begrijpen van dichtbij. Vanuit de verte ziet alles op aarde er verheven en uniek uit. Zelfs orkanen, overstromingen en bosbranden oefenen een morbide aantrekkingskracht uit. Vanuit het heelal is de afstand tot individueel leed, dat zich daarbeneden duizendvoudig voordoet, heel erg groot en maken onze aardse problemen een onbegrijpelijke indruk. Ziet deze 'almachtige blik' de mens zelf niet geregeld over het hoofd?

Het blijft raadselachtig hoe ingrijpend zelfs doorgewinterde ruimtevaarders veranderen door dit nuchtere technische onderzoek. Vrijwel alle 550 mensen die sinds 1957 in het voetspoor van kosmonaut Joeri Gagarin het heelal hebben aangedaan, hebben laten weten hoe diep ze onder de indruk zijn van de verheven kwetsbaarheid van de aarde: het heeft ze grondig veranderd. Door de aarde in één enkele blik te kunnen overzien schijn je als het ware in een soort roes te raken. 'Overview effect' heeft de Amerikaanse auteur Frank White dit verschijnsel gedoopt, dat hij heeft onderzocht en waar hij een indringende psychologische beschrijving van heeft gegeven. Wat maakt de aanblik van de aardbol in ons los? Hoe veranderen we daardoor? Hoe kunnen we dit effect benutten? Daar wordt van het begin af aan medisch onderzoek naar verricht. De aarde is uniek, voor zover wij weten bevindt zich in het heelal niets vergelijkbaars. Zo ervaren ruimtevaarders het ook. Als engelen over de aarde te zweven en alles

van boven te zien laat ons mensen niet onberoerd. Laten we ons dus laten inspireren door al deze nieuwe afbeeldingen uit het heelal en van het heelal, zonder de mens daarbij over het hoofd te zien.

Tijd is relatief

Zodra we in die baan om de aarde zijn geraakt verandert ook ons perspectief op ruimte en tijd. We verkrijgen niet uitsluitend een andere kijk op onze thuisplaneet aarde, maar ook op de manier waarop we dagen, maanden en jaren waarnemen. 'Want duizend jaren zijn in Uw ogen als de dag van gisteren' heet het in een beroemd psalmvers.[4] Tijd is relatief. Mensen voelen dat sinds oeroude tijden al aan, maar nergens ervaren we dat indringender dan in het heelal.

Bij het opstellen van mijn eerste waarnemingsprogramma voor de Hubble Space Telescope moest ik de instructies opdelen in blokken van 95 minuten, omdat de telescoop in anderhalf uur om de aarde draait. Elke 95 minuten ging de zon dus op en weer onder. Een dergelijke dag in het heelal duurt dus precies 95 minuten. Ook de bemanning van het internationale ruimtestation ISS leeft in dit ritme van een nieuwe zonsopgang in elke anderhalf uur – en ook ikzelf ervoer dit ritme terwijl ik achter mijn bureau dat waarnemingsplan aan het opstellen was en in gedachten door het universum zweefde.

De relativiteit van de tijd betekent echter veel meer dan uitsluitend een andere maat voor een etmaal. Ook al houdt bijna niemand het voor mogelijk: in het heelal lopen de klokken anders dan op aarde. In een baan van 20.000 kilometer boven de aarde lopen ze elke dag 39 microseconden sneller. Elke zeventig jaar lopen onze aardklokken dus een volle seconde achter op onze heelalklokken. Dat klinkt als weinig, maar dit minimale verschil kunnen we tegenwoordig moeiteloos meten. Juist dit futiele verschil onthult al een van de grondgedachten van Einsteins relativiteitstheorie: tijd is daadwerkelijk relatief. Deze theorie beschrijft niet alleen ons zonnestelsel, maar ook zwarte gaten en het ruimtetijdweefsel van het hele heelal.

De weg die tot dit inzicht leidde was uitzonderlijk lang en begint op macroniveau met de fundamentele ontdekkingen over structuur

en wetmatigheden van ons eigen zonnestelsel en reikt vanaf daar tot het inzicht in onze hele kosmos. Op microniveau begint deze weg naar de kennis met het doorgronden van het paradoxale gedrag van licht, dat zich niet alleen als golf maar ook als deeltje gedraagt. Vanzelfsprekend is deze hele weg hecht verbonden met Einsteins beroemde relativiteitstheorie.

De sleutel tot dit alles is een exact begrip van de merkwaardige eigenschappen van licht. En de allermerkwaardigste daarvan is de volgende: licht maakt niet alleen de visuele waarneming mogelijk, waarmee we aarde, maan en sterren hebben verkend en ontdekt, maar licht, ruimte, tijd en zwaartekracht blijken bovendien bijzonder nauw met elkaar verknoopt.

Laten we even terugdenken aan de geschiedenis van de moderne natuurkunde. Voor Isaac Newton, de grondlegger van de moderne theorie van de zwaartekracht, bestond het licht uitsluitend uit corpuscula, dus uit de allerkleinste deeltjes. Vervolgens ontwikkelde de Schotse natuurkundige James Clerk Maxwell, voortbouwend op het geniale pionierswerk van Michael Faraday, in de negentiende eeuw de theorie dat licht – en andere alle soorten straling – bestaat uit elektromagnetische golven. De straling van wifi, mobiele telefoons of autoradio's, de warmtestraling van nachtkijkers, de röntgenstraling waarmee we botten zichtbaar maken en zelfs het zichtbare licht dat onze ogen waarnemen: volgens deze theorie zijn dat allemaal trillingen van elektrische en magnetische velden. Ze onderscheiden zich slechts van elkaar door de frequentie van de trillingen en de wijze van opwekking en meting. In de kern geven al deze trillingen hetzelfde verschijnsel weer, namelijk het licht – radioflitsen, infraroodlicht, röntgenlicht en zichtbaar licht.

In het frequentiebereik van mobiele telefoons trillen die golven een miljard keer per seconde, met een golflengte van meer dan twintig centimeter. In het zichtbare licht trillen die golven triljarden keren per seconde en zijn ze honderd keer zo klein als de doorsnede van een haar. Aangezien lichtgolven van een specifieke kleur en frequentie altijd in hetzelfde ritme trillen, is licht ook de perfecte metronoom voor een klok en de ultieme maatstaf voor tijdmeting. De meest exac-