

**HET GROTE
WETENSCHAPS
BOEK**

NOORDBOEK

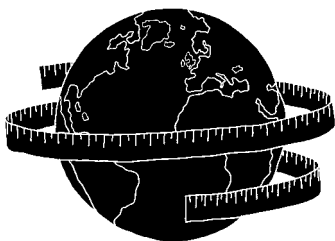
INHOUD

10 INLEIDING

HET BEGIN VAN DE WETENSCHAP

600 v.Chr.-1400 n.Chr.

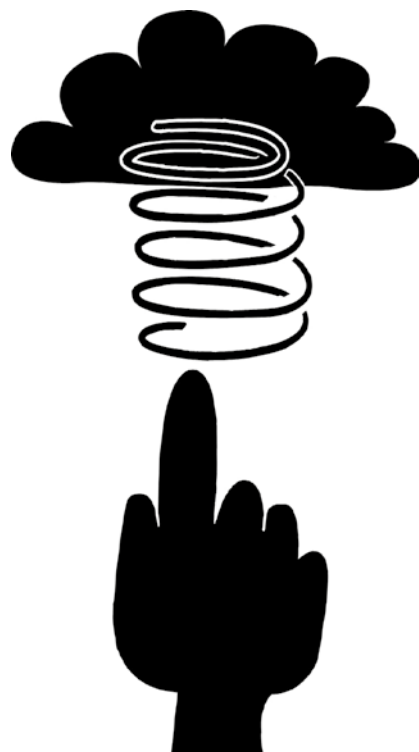
- 20 **Verduisteringen van de zon zijn te voorspellen**
Thales van Milete
- 21 **Verneem eerst de vier wortels van alle dingen**
Empedocles
- 22 **De omtrek van de aarde meten**
Eratosthenes
- 23 **De mens is verwant aan de lagere wezens** Al-Tusi



- 24 **Een ondergedompeld object verplaatst zijn eigen volume aan vloeistof** Archimedes
- 26 **De zon is als vuur, de maan is als water**
Zhang Heng
- 28 **Licht volgt een recht pad naar onze ogen**
Alhazen

WETENSCHAPPELIJKE REVOLUTIE 1400-1700

- 34 **In het midden van alles staat de zon**
Nicolaus Copernicus
- 40 **De baan van iedere planeet is een ellips**
Johannes Kepler
- 42 **De versnelling van vallende lichamen is constant** Galileo Galilei
- 44 **De aardbol is een magneet** William Gilbert
- 45 **Niet met argumenten, maar met proeven**
Francis Bacon
- 46 **De veerkracht van de lucht** Robert Boyle
- 50 **Is licht een deeltje of een golf?**
Christiaan Huygens
- 52 **De eerste waarneming van een Venusovergang**
Jeremiah Horrocks
- 53 **Organismen ontwikkelen zich in fasen**
Jan Swammerdam
- 54 **Alle levende wezens bestaan uit cellen**
Robert Hooke
- 55 **Steenlagen stapelen zich op elkaar**
Nicolaus Steno
- 56 **Microscopische observatie van dieren**
Antonie van Leeuwenhoek
- 58 **De snelheid van het licht meten**
Ole Rømer
- 60 **Een soort ontstaat nooit uit het zaad van een andere**
John Ray
- 62 **Zwaartekracht werkt in op alles in het heelal**
Isaac Newton



HORIZONS VERBREDEN

1700-1800

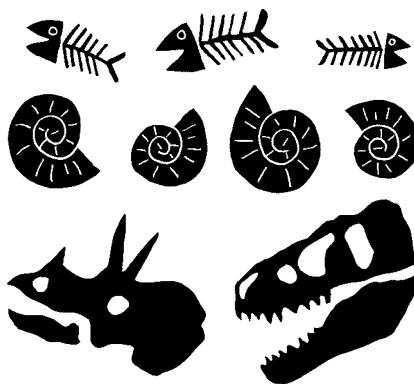
- 74 De natuur maakt geen sprongen**
Carl Linnaeus
- 76 Warmte die verdwijnt bij de omzetting van water in stoom gaat niet verloren**
Joseph Black
- 78 Ontvlambare lucht**
Henry Cavendish
- 80 Hoe dichter bij de evenaar, hoe oostelijker de winden** George Hadley
- 81 Er komt een sterke stroom uit de Golf van Florida**
Benjamin Franklin
- 82 Gedeflogisticeerde lucht**
Joseph Priestley
- 84 In de natuur ontstaat niets, gaat niets verloren, verandert alles**
Antoine Lavoisier
- 85 De massa van een plant komt uit de lucht**
Jan Ingenhousz
- 86 Nieuwe planeten ontdekken** William Herschel
- 88 De afname van de lichtsnelheid**
John Michell
- 90 Elektrische vloeistof in beweging brengen**
Alessandro Volta

- 96 Geen spoor van een begin en geen uitzicht op een eind** James Hutton
- 102 De aantrekkende kracht van de bergen**
Nevil Maskelyne
- 104 Het mysterie van de natuur in de structuur en bevruchting van bloemen**
Christian Sprengel
- 105 Elementen binden zich altijd op dezelfde manier**
Joseph Proust

EEN EEUW VAN VOORUITGANG

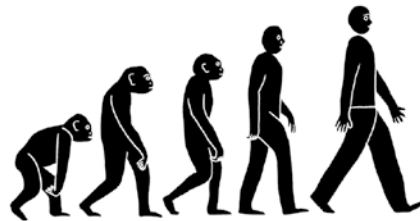
1800-1900

- 110 De experimenten kunnen met groot gemak worden herhaald als de zon schijnt**
Thomas Young
- 112 Het relatieve gewicht van de kleinste deeltjes**
John Dalton
- 114 Chemische effecten van elektriciteit** Humphry Davy



- 115 De gesteenten van een land in kaart brengen**
William Smith
- 116 Ze weet tot welke stam de botten behoren**
Mary Anning
- 118 Overerving van verworven eigenschappen**
Jean-Baptiste de Lamarck
- 119 Elke chemische binding bestaat uit twee delen**
Jöns Jakob Berzelius
- 120 Het elektrisch conflict blijft niet beperkt tot de stroomdraad**
Hans Christian Ørsted
- 121 Meneer, ooit kunt u hier belasting over heffen**
Michael Faraday
- 122 Warmte dringt door in elke stof in het heelal**
Joseph Fourier
- 124 Kunstmatig organische stoffen maken uit anorganische stoffen**
Friedrich Wöhler
- 126 Winden waaien nooit in een rechte lijn**
Gaspard-Gustave de Coriolis
- 127 Over het gekleurde licht van dubbelsterren**
Christian Doppler
- 128 De gletsjer was de grote ploeg van God** Louis Agassiz
- 130 De natuur is te beschouwen als een groot geheel**
Alexander von Humboldt

- 136 Licht beweegt in water minder snel dan in de lucht** Léon Foucault
- 138 Levende kracht kan worden omgezet in warmte** James Joule
- 139 Statistische analyse van moleculaire beweging** Ludwig Boltzmann
- 140 Het was niet mijn opzet om plastic uit te vinden** Leo Baekeland
- 142 Ik noem dit principe natuurlijke selectie** Charles Darwin
- 150 Het weer voorspellen** Robert FitzRoy
- 156 Omne vivum ex vivo – al wat leeft komt uit leven** Louis Pasteur
- 160 Een van de slangen beet in zijn eigen staart** August Kekulé
- 166 De duidelijke gemiddelde verhouding van drie op één** Gregor Mendel
- 172 Een evolutionaire schakel tussen vogels en dinosauriërs** Thomas Henry Huxley
- 174 Duidelijke regelmaat van eigenschappen** Dmitri Mendeleev
- 180 Licht en magnetisme zijn manifestaties van dezelfde substantie** James Clerk Maxwell



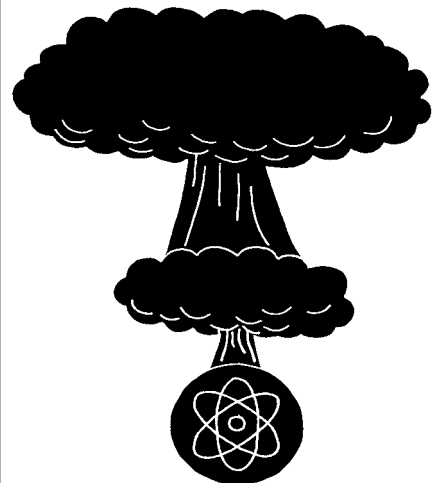
- 186 Er kwam een straling uit de buis** Wilhelm Röntgen
- 188 Binnen kijken in de aarde** Richard Dixon Oldham
- 190 Straling is een atomaire eigenschap van elementen** Marie Curie
- 196 Een besmettelijke levende vloeistof** Martinus Beijerinck

EEN VERSCHUIVING VAN PARADIGMA

1900-1945

- 202 Kwanta zijn afzonderlijke pakketjes van energie** Max Planck
- 206 Nu weet ik hoe het atoom eruitziet** Ernest Rutherford
- 214 Zwaartekracht is een vervorming in het ruimtetijdcontinuüm** Albert Einstein
- 222 De continentale verschuiving is een grillige legpuzzel** Alfred Wegener

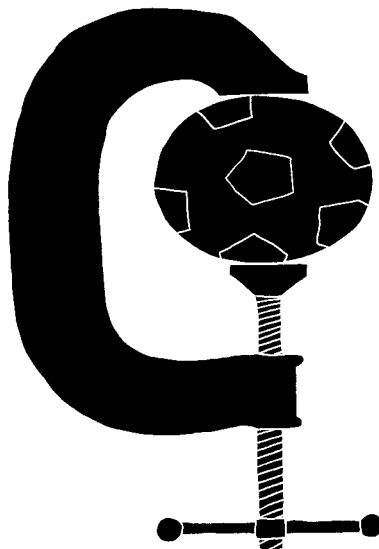
- 224 Chromosomen spelen een rol bij erfelijkheid** Thomas Hunt Morgan
- 226 Deeltjes hebben golfachtige eigenschappen** Erwin Schrödinger
- 234 Onzekerheid is onvermijdelijk** Werner Heisenberg
- 236 Het universum is groot... en wordt groter** Edwin Hubble
- 242 De straal van de ruimte begon bij nul** Georges Lemaître
- 246 Elk deeltje van materie heeft een antideeltje als tegenhanger** Paul Dirac
- 248 Er is een bovengrens waarboven de kern van een instortende sterrenketen instabiel wordt** Subrahmanyan Chandrasekhar



- 249 Het leven zelf is een proces van kennis verwerven**
Konrad Lorenz
- 250 95 procent van het universum ontbreekt**
Fritz Zwicky
- 252 Een universele rekenmachine**
Alan Turing
- 254 De aard van de chemische verbinding**
Linus Pauling
- 260 Er is een enorme kracht opgesloten in de kern van een atoom**
J Robert Oppenheimer

FUNDAMENTELE BOUWSTENEN 1945-HEDEN

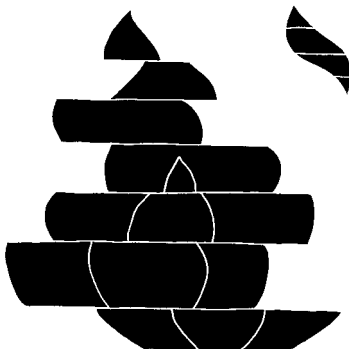
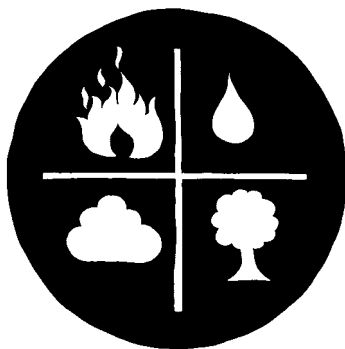
- 270 We zijn gemaakt van sterrenstof**
Fred Hoyle
- 271 Springende genen**
Barbara McClintock
- 272 De vreemde theorie van licht en materie**
Richard Feynman
- 274 Het leven is geen wonder**
Harold Urey en Stanley Miller
- 276 We willen een structuur voorstellen voor het zout van deoxyribosenucleïne-zuur (DNA)**
James Watson en Francis Crick



- 284 Alles wat kan gebeuren, gebeurt**
Hugh Everett III
- 286 Een perfect spelletje boter-kaas-en-eieren**
Donald Michie
- 292 De eenheid van fundamentele krachten**
Sheldon Glashow
- 294 Wij zijn de oorzaak van de opwarming van de aarde**
Charles Keeling
- 296 Het vlindereffect**
Edward Lorenz
- 298 Een vacuum is niet echt niets**
Peter Higgs
- 300 Symbiose is overal**
Lynn Margulis
- 302 Quarks zijn met z'n drieën**
Murray Gell-Mann
- 308 Een theorie van alles?**
Gabriele Veneziano
- 314 Zwarte gaten verdampen**
Stephen Hawking
- 315 De aarde en al haar levensvormen zijn samen één levend organisme, genaamd Gaia**
James Lovelock
- 316 Een wolk bestaat uit lagen op lagen**
Benoît Mandelbrot
- 317 Een kwantummodel van rekenen**
Yuri Manin
- 318 Genen kunnen van soort naar soort overgaan**
Michael Syvanen
- 320 De voetbal kan veel druk weerstaan**
Harry Kroto
- 322 Genen inbrengen bij mensen om ziekten te genezen**
William French Anderson
- 324 Nieuwe levensvormen ontwerpen op een computerscherm**
Craig Venter
- 326 Een nieuwe natuurwet**
Ian Wilmut
- 327 Werelden buiten het zonnestelsel**
Geoffrey Marcy
- 328 OVERZICHT**
- 340 BEGRIPPEN**
- 344 REGISTER**
- 352 DANKBETUIGING**

INLEIDING





Wetenschap is een eindeloze zoektocht naar de waarheid – een onophoudelijke strijd om te ontdekken hoe het heeel werkt, die begint bij de eerste beschavingen. Wetenschap wordt gedreven door nieuwsgierigheid en is gebaseerd op logica, observatie en experimenten. De bekendste Griekse filosoof, Aristoteles, schreef veel over wetenschap en legde de basis voor het werk dat volgde. Hij was een scherp observator maar hij vertrouwde volledig op zijn denkvermogen en berekeningen, hij deed geen experimenten. Hierdoor trok hij verkeerde conclusies. Zo stelde hij dat grote dingen sneller vallen dan kleine en dat een voorwerp dat twee keer zo zwaar is als een ander voorwerp, ook twee keer zo snel valt. Niemand trok deze onjuiste bewering in twijfel, totdat de Italiaanse astronoom Galileo Galilei haar in 1590 weerlegde. Tegenwoordig spreekt het vanzelf dat een wetenschapper empirisch bewijs moet zoeken, maar dat was niet altijd zo.

Methodiek

Begin 17de eeuw werkte de Engelsman Francis Bacon een logisch systeem uit voor het wetenschappelijk proces. Bacons methode, die voortbouwt op het werk van de

Arabische geleerde Alhazen van zeshonderd jaar eerder, en later werd gesteund door de Franse René Descartes, houdt in dat de wetenschapper observeert, een theorie vormt om de waarnemingen te verklaren en vervolgens een experiment uitvoert om de theorie te testen. Als de theorie lijkt te werken, worden de resultaten gedeeld met mensen uit hetzelfde vakgebied. Zij mogen de theorie weerleggen of het experiment herhalen om er zeker van te zijn dat het idee klopt.

Een toetsbare hypothese of voorspelling is altijd zinvol. Toen de Engelse astronoom Edmond Halley de komeet van 1682 waarnam, beseftte hij dat deze leek op kometen die in 1531 en 1607 waren gezien, en

opperde hij dat het om dezelfde komeet ging, die rondjes draaide om de zon. Hij voorspelde dat de komeet in 1758 zou terugkeren en hij kreeg net gelijk: op 25 december werd de komeet gezien – en later ‘de komeet van Halley’ gedoopt. Aangezien astronomen zelden experimenten kunnen uitvoeren, moet het bewijs komen uit observaties.

Experimenten kunnen een theorie toetsen of puur speculatief zijn. Toen de in Nieuw-Zeeland geboren natuurkundige Ernest Rutherford zag dat studenten alfadeeltjes op bladgoud afvuurden om kleine afbuigingen vast te stellen, kwam hij op het idee om de detector naast de bron te plaatsen. Tot hun verbaasjng stuiterden enkele alfadeeltjes terug vanaf de flinterdunne folie. Rutherford zei dat het was alsof een granaat tegen vloeipapier weerkaatste – en dit leverde hem een nieuw inzicht op over de structuur van het atoom.

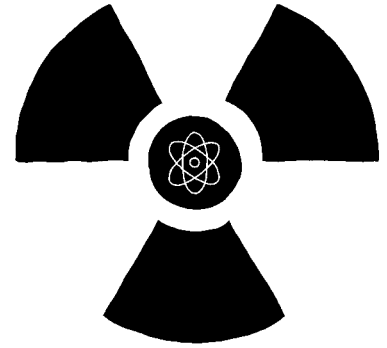
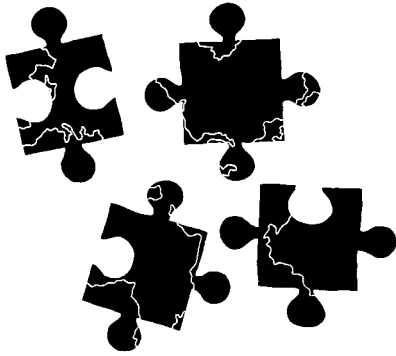
Een experiment is overtuigender als de wetenschapper, wanneer hij een nieuw proces of een theorie introduceert, de uitkomst voorspelt. Als die voorspelling blijkt te kloppen, ondersteunt dat de theorie. Toch kan wetenschap nooit bewijzen dat een theorie waar is. Zoals de 20ste-eeuwse wetenschapsfilosoof Karl Popper zei, kan wetenschap



Elke waarheid is eenvoudig te bevatten als ze eenmaal is ontdekt, de kunst is haar te ontdekken.

Galileo Galilei





alleen dingen weerleggen. Elk experiment dat voorspelde antwoorden oplevert, levert ondersteunende bewijzen, maar één experiment met een ander resultaat kan een hele theorie onderuithalen.

Door de eeuwen heen zijn concepten als een geocentrisch heelal, de vier *humores*, het vuurelement flogiston en het mysterieuze medium ether allemaal onjuist gebleken en vervangen door nieuwe theorieën. Die theorieën kunnen op hun beurt worden weerlegd, al is dat in veel gevallen onwaarschijnlijk gezien het vele ondersteunende bewijsmateriaal.

Voortschrijdend inzicht

Wetenschap volgt zelden simpele, logische stappen. Ontdekkingen worden soms gelijktijdig gedaan door los van elkaar werkende onderzoekers, maar bijna elke stap bouwt voort op eerdere onderzoeken en theorieën. Een reden voor de bouw van het enorme apparaat dat bekendstaat als de Large Hadron Collider, of LHC, was de zoektocht naar het Higgsdeeltje, waarvan het bestaan veertig jaar eerder, in 1964, was voorspeld. Die voorspelling berustte op decennia van theoretisch onderzoek naar de structuur van het atoom, dat begon bij Rutherford en de Deense natuurkun-

dige Niels Bohr in de jaren twintig, die weer voortbouwden op de ontdekking van het elektron in 1897, die op zijn beurt het gevolg was van de ontdekking van kathodestrallen in 1869. Die zouden niet zijn ontdekt zonder vacuümpomp en de batterij uit 1799 – en zo voert de keten eeuwen terug. Isaac Newton zei: 'Als ik verder heb gekeken, dan komt dat doordat ik op de schouders van reuzen sta.' Hij bedoelde in de eerste plaats Galileo, maar waarschijnlijk had hij ook een exemplaar van Alhazens *Optica* gezien.

De eerste wetenschappers

De eerste filosofen met een wetenschappelijke visie leefden in de oude Griekse wereld tijdens de 6de en 5de eeuw v.Chr. Thales van Milete voorspelde een zonsverduistering in 585 v.Chr.; Pythagoras stichtte vijftig jaar later een wiskundige school in Zuid-Italië en Xenophanes concludeerde, na de vondst van zeeschelpen op een berg, dat de hele aarde ooit met zee bedekt moet zijn geweest.

In de 4de eeuw v.Chr. stelde Empedocles op Sicilië dat aarde, lucht, vuur en water de 'vierledige wortels van alles' zijn. Hij nam zijn volgelingen mee naar de krater van de Etna en sprong erin, schijnbaar om te laten zien dat hij onsterfelijk

was – en het gevolg is dat we zijn naam nog steeds kennen.

Sterrenkijkers

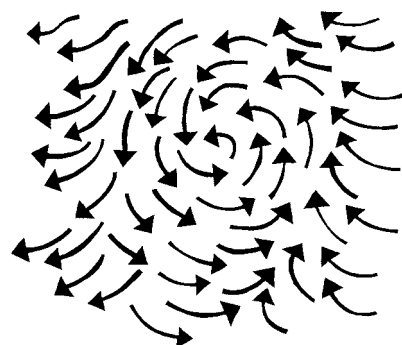
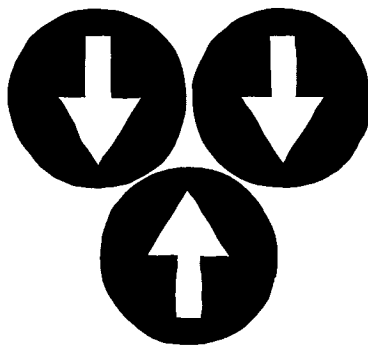
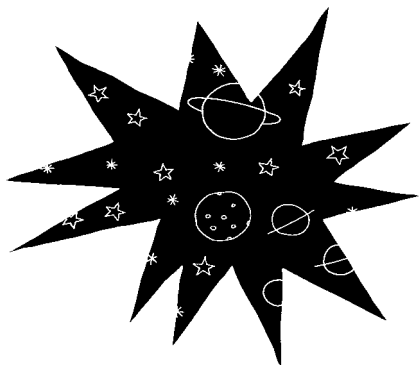
Ondertussen trachtten mensen in India, China en het Middellandse Zeegebied de bewegingen van de hemellichamen te begrijpen. Ze maakten sterrenkaarten en gaven sterren en sterrengroepen een naam. Ze constateerden dat sommige sterren onregelmatige paden volgden ten opzichte van de 'vaste sterren'. De Grieken noemden deze zwerfende sterren 'planeten'. De Chinezen zagen in 240 v.Chr. de komeet van Halley en in 1054 een supernova die tegenwoordig bekend staat als de Krabnevel. »



Als je echt de waarheid wilt vinden, moet je minstens één keer in je leven twijfelen aan, zo mogelijk, alles.

René Descartes





Huis der wijsheid

Eind 8ste eeuw n.Chr. stichtte het Abbasidische kalifaat het Huis der wijsheid, een imposante bibliotheek, in de nieuwe hoofdstad Bagdad. Daarmee raakte de ontwikkeling van de islamitische kennis en technologie in een stroomversnelling. Er werden vernuftige apparaten bedacht, zoals het astrolabium, een instrument om de posities van de sterren te bepalen. De alchemie bloeide op en technieken als destillatie zagen het licht. De geleerden die aan de bibliotheek verbonden waren, verzamelden boeken uit Griekenland en India en vertaalden die in het Arabisch. Zo herontdekte het Westen later de werken uit de oudheid en maakte het kennis met de uit India geïmporteerde 'Arabische' cijfers, inclusief de nul.

De moderne wetenschap

In 1543, in de periode dat het monopolie van de Kerk op de waarheid in de westerse wereld scheurtjes vertoonde, verschenen er twee baanbrekende boeken. De Belgische anatoom Andreas Vesalius schreef *De humani corporis fabrica*, over de ontleding van menselijke lichamen, en de Poolse arts Nicolaus Copernicus publiceerde *De revolutionibus orbium coelestium*, waarin hij aan-

toonde dat de zon het centrum van het heelal is en hij het duizend jaar oude aarde-gecentreerde model van Ptolemaeus verwierp.

In 1600 publiceerde de Engelse arts William Gilbert *De Magnete*, waarin hij uitlegde dat een kompasnaald naar het noorden wijst omdat de aarde zelf een magneet is. Hij betoogde zelfs dat de kern van de aarde uit ijzer bestaat. In 1623 legde een andere Engelse arts, William Harvey, uit dat het hart een pomp is die bloed door het lichaam drijft, waarmee hij de veertienhonderd jaar oude theorieën van de Grieks-Romeinse arts Galenus ontcrachtte. Rond 1660 schreef de Engels-Ierse scheikundige Robert Boyle een serie boeken, waaronder *The Skeptical Chymist* met een definitie van het scheikundige element. Zo verhief hij de scheikunde in één klap vanuit de mystiek van de alchemie naar de wetenschap.

Robert Hooke, ooit Boyles assistent, schreef in 1665 de eerste wetenschappelijke bestseller *Micrographia*. Zijn prachtige uitvouwbare gravures van onder meer een vlo en het vliegenoog openden een microscopische wereld die niemand had gezien. En in 1687 verscheen het volgens velen belangrijkste wetenschappelijke boek aller tijden: Isaac Newtons *Philosophiæ*

Naturalis Principia Mathematica, beter bekend als de *Principia*. Zijn bewegingswetten en het principe van universele zwaartekracht vormen de basis voor de klassieke natuurkunde.

Atomen en evolutie

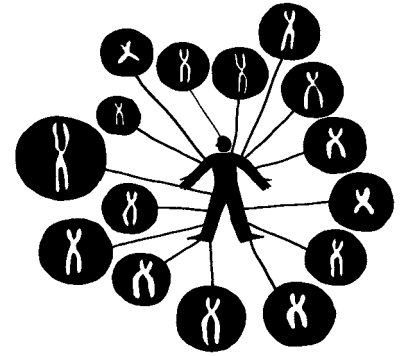
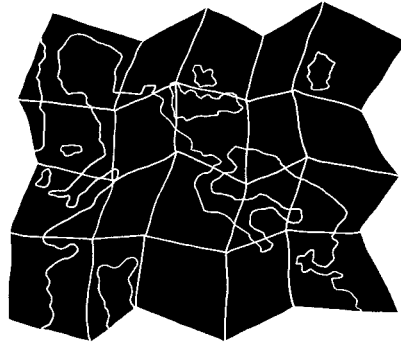
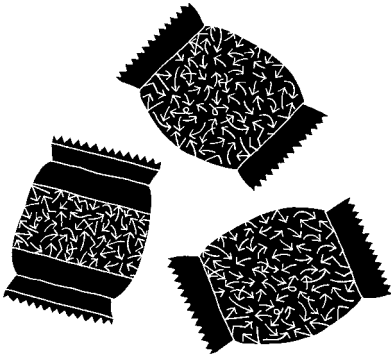
In de 18de eeuw ontdekte de Franse scheikundige Antoine Lavoisier de rol van zuurstof bij verbranding, waarmee hij de theorie van het flogiston naar de prullenbak verwees. Al snel werden allerlei nieuwe gassen met hun eigenschappen onderzocht. De Britse meteoroloog John Dalton dacht na over de gas-



In zie mezelf als een jongetje dat op het strand speelt en zich verheugt in de nóg iets gladdere steentjes die hij af en toe vindt ... terwijl de grote oceaan der waarheid onontdekt voor hem ligt.

Isaac Newton





sen in de atmosfeer en kwam op het idee dat elk element uit unieke atomen bestaat, en dat elk atoom een eigen gewicht heeft. Vervolgens ontwikkelde de Duitser August Kekulé de basis van de moleculaire structuur, terwijl de Russische uitvinder Dmitri Mendelejev het eerste algemeen aanvaarde periodiek systeem van de elementen opstelde.

De uitvinding van de batterij door Alessandro Volta in Italië in 1799 leidde tot nieuwe onderzoeksgebieden. De Deen Hans Christian Ørsted en tijdgenoot Michael Faraday ontdekten nieuwe elementen en het elektromagnetisme, wat leidde tot de uitvinding van de elektromotor. Intussen werden de ideeën uit de klassieke natuurkunde toegepast op de atmosfeer, de sterren, het licht en warmte, wat uitmondde in de thermodynamica.

Geologen reconstrueerden het verleden van de aarde. De paleontologie raakte in de mode toen er botten van uitgestorven dieren werden opgegraven. Mary Anning, een ongeschoold Brits meisje, vergaarde roem als fossielenverzamelaar. De vondst van dinosauriërs leidde tot nieuwe ideeën over evolutie, met name van de Britse bioloog Charles Darwin, en tot nieuwe theorieën over de oorsprong en de ecologie van het leven.

Onzekerheid, oneindigheid

Begin 20ste eeuw ontvouwde de jonge Duitser Albert Einstein zijn relativiteitstheorie, die de klassieke natuurkunde op zijn kop zette en een eind maakte aan het idee van absolute tijd en ruimte. Er werden nieuwe atoommodellen bedacht, licht bleek zowel een deeltje als een golf te zijn, en een andere Duitser, Werner Heisenberg, toonde de onzekerheid van het heelal aan.

Het meest indrukwekkende aan de afgelopen eeuw is echter dat de technische vooruitgang de wetenschap in staat heeft gesteld zich sneller te ontwikkelen dan ooit: de ideeën worden steeds nauwkeuriger en volgen elkaar razendsnel op. Steeds grotere deeltjesversnellers onthulden nieuwe stukjes materie. Sterkere telescopen lieten zien dat

het heelal uitdijt en met een oerknal begon. Het idee van zwarte gaten schoot wortel. Het heelal leek te zijn gevuld met donkere materie en donkere energie, wat dat ook mocht zijn, en astronomen ontdekten verre sterren met planeten waarop misschien leven voorkomt. De Britse wiskundige Alan Turing bedacht de universele rekenmachine, en nog geen vijftig jaar later hadden we personal computers, het internet en smartphones.

Geheimen van het leven

In de biologie werd aangetoond dat chromosomen de basis zijn van overerving en werd de structuur van DNA ontdekt. Dit was de aanzet tot het menselijkgenoomproject, gericht op het volledig ontrafelen van de DNA-structuur; het leek een onmogelijke taak, maar gaat geholpen door de digitalisering steeds sneller. DNA-sequencing is nu een routineklusje in het lab, gentherapie is realiteit geworden en het eerste zoogdier is gekloond.

Hedendaagse onderzoekers bouwen voort op deze en andere prestaties: de niet-aflatende zoektocht naar de waarheid gaat door. Er zullen altijd meer vragen dan antwoorden zijn, maar ook in de toekomst zullen ontdekkingen worden gedaan die ons versteld doen staan. ■



De werkelijkheid is een illusie,
maar wel een hardnekkige.

Albert Einstein



Thales van Milete voorspelt de **zonsverduistering** die een eind maakt aan de Slag bij de Halys.



585 v.Chr.

Xenophanes vindt zeeschelpen op bergen en concludeert dat **de hele aarde ooit bedekt was met water**.



ca. 500 v.Chr.

Aristoteles schrijft een reeks boeken over onder meer **natuurkunde, biologie en zoölogie**.



ca. 325 v.Chr.

Aristarchus van Samos beweert dat **de zon**, niet de aarde, **het middelpunt van het heelal is**.



ca. 250 v.Chr.

ca. 530 v.Chr.



Pythagoras sticht een **wiskundeschool** in Croton, in het huidige Zuid-Italië.

ca. 450 v.Chr.



Empedocles beweert dat alles op aarde is samengesteld uit combinaties van **aarde, lucht, vuur en water**.

ca. 300 v.Chr.



Theophrastus geeft de aanzet tot de **botanie** met zijn werken *Onderzoek naar planten* en *Over de oorzaak van planten*.

ca. 240 v.Chr.



Archimedes ontdekt dat de kroon van een koning niet puur goud is door **de opwaartse kracht van verplaatst water te meten**.

De studie van de wereld begon in Mesopotamië. Door de uitvinding van de landbouw en het schrift had men tijd om zich aan onderzoek te wijden en ook de middelen om de bevindingen door te geven aan de volgende generatie. Het eerste onderzoek richtte zich op het wonder van de nachthemel. Vanaf het vierde millennium v.Chr. bestudeerden Sumerische priesters de sterren en legden ze hun bevindingen vast op kleitabletten. Ze schreven niets over hun methoden, maar een tablet uit 1800 v.Chr. geeft blijk van hun kennis van rechthoekige driehoeken.

De oude Grieken

De oude Grieken zagen wetenschap niet als een aparte tak van de filosofie, maar de eerste wiens werk onmiskenbaar wetenschappelijk is,

is waarschijnlijk Thales van Milete, over wie Plato zei dat hij zo vaak droomde en naar de sterren keek dat hij een keer in een put was gevallen. Mogelijk op basis van gegevens van de Babyloniërs wist Thales een zonsverduistering in 585 v.Chr. te voorspellen, waarmee hij de kracht van de wetenschappelijke benadering aantoonde.

Griekenland was toen een verzameling stadstaten en Milete was de geboorteplaats van een aantal bekende filosofen. Ook in Athene werkten vele Griekse filosofen. Hier was Aristoteles een scherp waarnemer, maar hij deed geen experimenten; hij geloofde dat als hij genoeg slimme mannen kon samenbrengen, de waarheid aan het licht zou komen. De ingenieur Archimedes, die in Syracuse op Sicilië woonde, onderzocht vloeistoffen. Er ontstond

een nieuw centrum van kennis in Alexandrië, in 331 v.Chr. gesticht aan de monding van de Nijl door Alexander de Grote. Hier mat Eratosthenes de omvang van de aarde, maakte Ctesibius nauwkeurige klokken en vond Hero de stoommachine uit. Intussen verzamelden de bibliothecarissen in Alexandrië de beste boeken om de beste bibliotheek ter wereld te bouwen – die in de as werd gelegd toen de Romeinen en christenen de stad overnamen.

Wetenschap in Azië

In China maakte de wetenschap een eigen bloei door. De Chinezen vonden het buskruit uit – en daarmee vuurwerk, raketten en kanonnen – en maakten balgen om metaal te bewerken. Ze vonden ook de seismograaf en het kompas uit. In 1054 n.Chr. beschreven Chinese

Eratosthenes, een vriend van Archimedes, leidt **de omtrek van de aarde** af uit de schaduw van de zon om 12:00 uur op midzomerdag.



ca. 240 v.Chr.

Hipparchus ontdekt **de precessie van de equinoxen** en stelt de eerste westerse sterrencatalogus samen.



ca. 129 v.Chr.

De *Almagest* van Claudius Ptolemaeus wordt in het Westen de **maatgevende tekst over astronomie**, hoewel hij vol fouten staat.



ca. 150 n.Chr.

De Perzische astronoom Abd-al-Rahman Al Sufi actualiseert de *Almagest* en **geeft veel sterren de Arabische namen** die we nu kennen.



964

ca. 230 v.Chr.



Ctesibius bouwt clepsydra's – **waterklokken** – die eeuwenlang de betrouwbaarste tijdmeters zouden blijven.

ca. 120 n.Chr.



In China bestudeert Zhang Heng zons- en maansverduisteringen en stelt **een catalogus van 2500 sterren samen**.

628



De Indiase wiskundige Brahmagupta stelt de eerste regels op voor het gebruik van **het getal nul**.

1021



Alhazen, een van de eerste experimenteel onderzoekers, verdiept zich in **het gezichtsvermogen en optica**.

astronomen een supernova, die in 1731 werd geïdentificeerd als de Krabnevel.

In het eerste millennium n.Chr. kwamen enkele zeer geavanceerde technologieën, waaronder het spinnewiel, uit India, en er reisden Chinese missies naar dat land om de Indiase landbouwtechnieken te bestuderen. Indiase wiskundigen ontwikkelden wat we nu het 'Arabische' getalsysteem noemen, inclusief negatieve getallen en de nul, en definieerden de trigonometrische functies sinus en cosinus.

Islamitische Gouden Eeuw

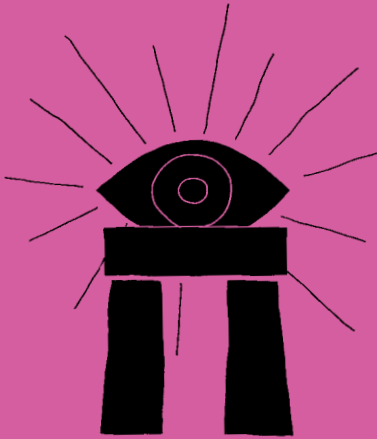
Halverwege de 8ste eeuw verplaatste het islamitische Kalifaat van de Abbasiden de hoofdstad van Damascus naar Bagdad. Gedreven door het devies uit de Koran 'De inkt van een geleerde is

heiliger dan het bloed van een martelaar' stichtte kalief Haroen ar-Rashid in Bagdad het Huis der Wijsheid, een bibliotheek en centrum voor onderzoek. Geleerden verzamelden boeken uit India en de oude Griekse stadstaten en India en vertaalden deze in het Arabisch. Via hen bereikten veel oude teksten later het Westen, waar ze in de Middeleeuwen veelal onbekend waren. Halverwege de 9de eeuw was de bibliotheek in Bagdad uitgegroeid tot een waardige opvolger van die in Alexandrië.

Onder degenen die zich door het Huis der Wijsheid lieten inspireren, bevond zich een aantal astronomen, zoals Al Soefi, die voortbouwden op het werk van Hipparchus en Ptolemaeus. Sterrenkunde was nuttig voor nomaden die 's nachts met kamelen door de woestijn trokken.

Alhazen, geboren in Basra en opgeleid in Bagdad, was een van de eerste experimenteel onderzoekers en zijn boek over optica geldt als even belangrijk als dat van Isaac Newton. Arabische alchemisten gebruikten destillatie en andere technieken, en bedachten woorden als alkali, aldehyde en alcohol. De arts al-Razi introduceerde zeep, definieerde het onderscheid tussen pokken en mazelen, en schreef in een van zijn vele boeken: 'Het doel van de geneesheer is om goed te doen, zelfs jegens onze vijanden'.

Al-Chwarizmi en andere wiskundigen vonden algebra en algoritmen uit, en mechanisch constructeur Al-Jazari ontwierp de zwengel, die nog steeds wordt gebruikt voor fietsen en auto's. Europese wetenschappers volgden pas eeuwen later met dergelijke vindingen. ■



VERDUISTERINGEN VAN DE ZON ZIJN TE VOORSPELLEN

THALES VAN MILETE (624-546 v.Chr.)

CONTEXT

VAKGEBIED
Sterrenkunde

ERVOOR

ca. 2000 v.Chr. Europese monumenten als Stonehenge zijn mogelijk gebruikt om verduisteringen te voorspellen.

ca. 1800 v.Chr. In Babylon stellen astronomen de eerste bewaard gebleven wiskundige beschrijvingen op van de beweging van hemellichamen.

2de millennium v.Chr.

Babyloniërs bedenken methoden om verduisteringen te voorspellen, maar ze baseren zich op hun waarnemingen van maangestalten, niet op wiskundige cycli.

ERNA

ca. 140 v.Chr. De Griekse astronoom Hipparchus ontwikkelt een systeem om verduisteringen te voorspellen aan de hand van de Saros-cyclus, de bewegingen van de zon en de maan.

Thales van Milete, geboren in een Griekse kolonie in Klein-Azië, wordt vaak gezien als grondlegger van de westerse filosofie, maar hij was ook een sleutelfiguur in de vroege ontwikkeling van de wetenschap. Hij genoot bij leven aanzien vanwege zijn ideeën over wis-, natuur- en sterrenkunde.

De bekendste prestatie van Thales is misschien wel zijn meest controversiële. Meer dan een eeuw nadien schreef de historicus Herodotus dat Thales een zonsver-

duistering had voorspeld, nu gedateerd op 28 mei 585 v.Chr., die een einde maakte aan de Slag bij de Halys.

Betwiste geschiedenis

Het kunststukje van Thales zou in de eeuwen die volgden niet worden geëvenaard, en er is veel discussie over de vraag hoe hij het voor elkaar heeft gekregen, en zelfs of het wel echt is gebeurd. Sommigen vinden het verhaal van Herodotus te vaag, maar veel schrijvers na hem, die zijn geschriften niet klakkeloos voor waar aannamen, beschouwden Thales' prestatie als feit. Het lijkt aannemelijk dat Thales een cyclus van 18 jaar had ontdekt in de beweging van de zon en de maan, bekend als de Saros-cyclus, die door latere Griekse astronomen werd gebruikt om verduisteringen te voorspellen.

Hoe het ook zij, de voorspelling had niet alleen gevolgen voor de Slag bij de Halys, in het hedendaagse Turkije, maar maakte ook een einde aan de jarenlange oorlog tussen de Meden en de Lydiërs. ■

“

... dag werd nacht, en deze verandering van de dag had Thales van Milete voorspeld ...

Herodotus

”

Zie ook: Zhang Heng 26-27 ■ Nicolaus Copernicus 34-39 ■ Johannes Kepler 40-41 ■ Jeremiah Horrocks 52



VERNEEM EERST DE VIER WORTELS VAN ALLE DINGEN

EMPEDOCLES (490-430 v.Chr.)

CONTEXT

VAKGEBIED
Scheikunde

ERVOOR

ca. 585 v.Chr. Volgens Thales bestaat de wereld uit water.

ca. 535 v.Chr. Anaximenes denkt dat alles uit lucht bestaat, en dat daaruit water en steen ontstaan.

ERNA

ca. 400 v.Chr. De Griekse denker Democritus beweert dat alles is opgebouwd uit ondeelbare deeltjes – atomen.

1661 In zijn werk *Sceptical Chymist* definieert Robert Boyle de elementen.

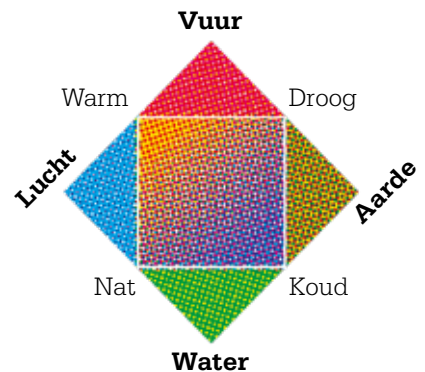
1808 De atoomtheorie van John Dalton stelt dat elk element atomen bevat met een specifieke massa.

1869 Dmitri Mendelejev publiceert een periodiek systeem dat de elementen groepeerd volgens hun gezamenlijke eigenschappen.

De natuur van materie hield veel oude Grieken bezig. Nadat hij water, ijs en mist had geobserveerd, meende Thales van Milete dat alles van water moest zijn gemaakt. Aristoteles beweerde dat 'vocht de voeding van alles is en dat zelfs het warme ontstaat uit het natte en daarvan leeft'. Anaximenes beweerde, twee generaties na Thales, dat de wereld uit lucht bestaat, vanuit de redenering dat er bij condensatie van lucht mist ontstaat, en vervolgens regen en uiteindelijk stenen.

De arts en dichter Empedocles, geboren in Agrigentum, Sicilië, kwam met een complexere theorie: dat alles is gemaakt uit vier wortels – hij gebruikte het woord elementen niet – namelijk aarde, lucht, vuur en water. Het vermengen van deze wortels zou verschijnselen opleveren als warmte en nattigheid, waaruit aarde, steen en alle planten en dieren voortkwamen. Oorspronkelijk vormden de vier wortels een volmaakte bol, bijeengehouden door liefde, de middelpuntzoekende kracht. Maar langzaam dreef strijd,

Empedocles zag de vier wortels van materie als twee paren van tegenstellingen, vuur/water en lucht/aarde, waaruit alles voortkomt wat we zien.



middelpuntvliedende kracht, ze uit elkaar. Volgens Empedocles waren liefde en strijd de krachten die het universum vormgaven. In deze wereld domineert doorgaans de strijd en daardoor is het leven zo moeilijk.

Deze relatief eenvoudige theorie beheerste het Europese denken – waarin werd gesproken over de 'vier humores' – tot het ontstaan van de chemie in de 17de eeuw. ■

Zie ook: Robert Boyle 46-49 ■ John Dalton 112-113 ■ Dmitri Mendelejev 174-179