

DE KAT VAN SCHRÖDINGER

**EN 49 ANDERE REVOLUTIONAIRE
EXPERIMENTEN IN DE NATUURKUNDE**

ADAM HART-DAVIS

NOORDBOEK WETENSCHAP



Inhoud

Inleiding	6
1 VROEGE EXPERIMENTEN: 430 V.CHR.-1307	8
ca. 430 v.Chr. Is lucht 'iets'? – Empedocles	10
ca. 240 v.Chr. Waarom stroomt het bad over? – Archimedes	13
ca. 230 v.Chr. Hoe kunnen we de aarde meten? – Eratosthenes	17
1021 Hoe plant licht zich voort? – Alhazen	20
ca. 1307 Waarom heeft de regenboog regenboogkleuren? – Dittrich van Freiberg	23
2 DE VERLICHTING: 1308-1760	26
1581 Waar is het magnetische noorden? – Norman	28
1587 Groot of klein: wat valt sneller? – Galileo	31
1648 Is de lucht ijler op bergtoppen? – Pascal	34
1660 Waarom zijn banden met lucht gevuld? – Boyle en Hooke	37
1672 Is 'wit' een kleur? – Newton	40
1676 Heeft licht een eindige snelheid? – Romer	43
1687 Is het verhaal van de 'vallende appel' waar? – Newton	46
1760 Is ijs heet...? – Black	49
3 BLIKVERBREDING: 1761-1850	52
1774 Kun je de wereld wegen? – Maskelyne	54
1798 Kun je de wereld wegen (zonder een berg te gebruiken)? – Cavendish	57
1799 Batterijen niet inbegrepen? – Volta	60
1803 Wat gebeurt er als licht wordt ontrafeld? – Young	63
1820 Kunnen magneten elektriciteit vormen? – Ørsted en Faraday	66
1842 Kun je geluid uitrekken? – Doppler	69
1843 Hoeveel energie kost water verwarmen? – Joule	72
1850 Plant licht zich sneller voort in water? – Fizeau en Foucault	75
4 LICHT, STRALEN EN ATOMEN: 1851-1914	78
1887 Wat is de ether? – Michelson and Morley	80
1895 Hoe werden röntgenstralen ontdekt? – Röntgen en Becquerel	83
1897 Wat zit er in het atoom? – Thomson	86
1898 Hoe werd radium ontdekt? – Curie en Curie	89



1899	Kan elektriciteit door de ruimte reizen? – Tesla	92
1905	Is de lichtsnelheid altijd hetzelfde? – Einstein	95
1908-1913	Waarom is de wereld grotendeels leeg? – Rutherford et al.	98
1911	Hoe gedragen metalen zich bij het absolute nulpunt? – Kamerlingh Onnes	101
1911	Kun je een Nobelprijs winnen met je hoofd in de wolken? – Wilson	103
1913	Kun je de lading van een deeltje meten? – Millikan en Fletcher	106
191	Is kwantummechanica vreemder dan we ons voorstellen? – Franck en Hertz	110

5 DIEPER IN DE MATERIE: 1915-1939 114

1915	Houdt zwaartekracht verband met versnelling? – Einstein	116
1919	Kun je lood in goud veranderen? – Rutherford	119
1919	Is er bewijs dat Einstein gelijk heeft? – Eddington et al.	122
1922	Tollen deeltjes? – Stern en Gerlach	125
1923-1927	Kan een deeltje golven? – Davisson en Germer	128
1927	Is alles onzeker? – Heisenberg	131
1927-1929	Waarom dijt het heelal uit? – Friedmann et al.	134
1932	Bestaat antimaterie? – Anderson	137
1933	Hoe houdt zwaartekracht sterrenstelsels bijeen? – Zwicky	140
1935	Is de kat van Schrödinger dood of levend? – Schrödinger	143
1939	Hoe leidde kernfysica naar de atoombom? – Szilárd en Fermi	146

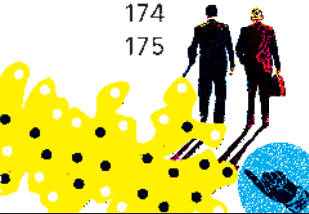
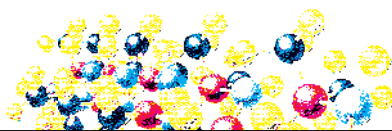
6 DOOR HET HEELAL: 1940-2009 150

1956	Is er een ster geboren? – Tamm et al.	152
1965	Had de oerknal een echo? – Penzias en Wilson	155
1967	Bestaan kleine groene mannetjes? – Bell	158
1998	Versnelt de uitdijing van het heelal? – Perlmutter et al.	161
1999	Waarom zijn we hier? – Rees et al.	163
2007	Zijn we alleen in het heelal? – Pollacco et al.	166
2009	Kan het higgsdeeltje worden gevonden? – Higgs et al.	169

Trefwoordenregister 172

Verklarende woordenlijst 174

Dankwoord en Literatuur 175





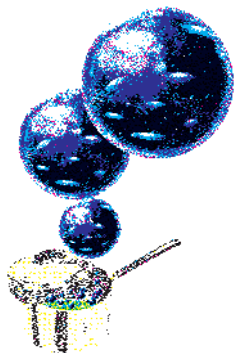
Inleiding



Natuurkunde kent een lange geschiedenis, en waarschijnlijk is het zelfs de oudste wetenschap. Mensen zijn altijd al nieuwsgierig geweest naar hoe dingen werken en een paar hebben er de moeite genomen serieus na te denken over proberen de geheimen van de natuur te ontdekken. Duizenden primitieve mensen moeten 's nachts hebben gezien hoe de maan en de sterren boven hen voortschreden en zich hebben afgevraagd wat er aan de hand was. Elke cultuur heeft haar eigen legende over de hemelen en over de schepping van de wereld, maar natuurkunde heeft geprobeerd met gebruik van logica, redeneren en bovenal experimenteren om de waarheid te ontrafelen.

Sterrenkunde heeft zich altijd in de voorste linie van de wetenschap bevonden; je kunt de hemelen waarnemen met het blote oog, en lijsten en atlassen van sterren samenstellen, de merkwaardige bewegingen van de planeten vaststellen en de schaarse verschijning van vallende sterren, kometen en supernova's. Door de uitvinding van de telescoop rond 1600 kon de sterrenkunde een flinke stap vooruit maken, maar sterrenkundigen voerden geen experimenten uit, daarom zijn er maar weinig van in dit boek.

Het verschil tussen het experiment van Empedocles met een emmer en Archimedes' ingeving in bad was een kloof van tweehonderd jaar, en een grote sprong voorwaarts in berekening en begrip. Nadat de Griekse beschaving wegwijkende, volgde een periode met maar weinig vooruitgang, tot de dageraad van de Gouden Eeuw van de islam, toen veel Arabische wetenschappers, bouwkundigen en alchemisten de wetenschap verder ontwikkelden. Maar daarop volgde nog een onproductieve periode, die voortduurde totdat Copernicus (in 1543) een boek produceerde over een heelal met de zon in het middelpunt, en Galilei besloot 67 jaar later het met hem eens te zijn, na het zien van de manen van Jupiter.



Galilei ondernam een reeks baanbrekende experimenten, en toen waren daar Robert Boyle en Isaac Newton die natuurkunde en scheikunde een stevige fundering gaven. Gewapend met nieuwe praktische en theoretische vaardigheden maten wetenschappers de snelheid van geluid en van licht, de massa van de aarde en de aerodynamica van vleugels. Het merendeel van het werk werd verricht in Europa, en vooral in Duitsland, maar toen begonnen de Amerikanen hun stempel erop te drukken en dat zijn ze sindsdien blijven doen.

Tegen het eind van de negentiende eeuw volgden verbazingwekkende ontdekkingen elkaar snel op – binnen vijf jaar verschenen daar röntgenstralen, radioactiviteit en elektronen, en dat leidde tot verdere ideeën, verdere theorieën en verdere experimenten; de beginjaren van de twintigste eeuw zagen een buitengewone vooruitgang in het begrip van de aard van de materie.

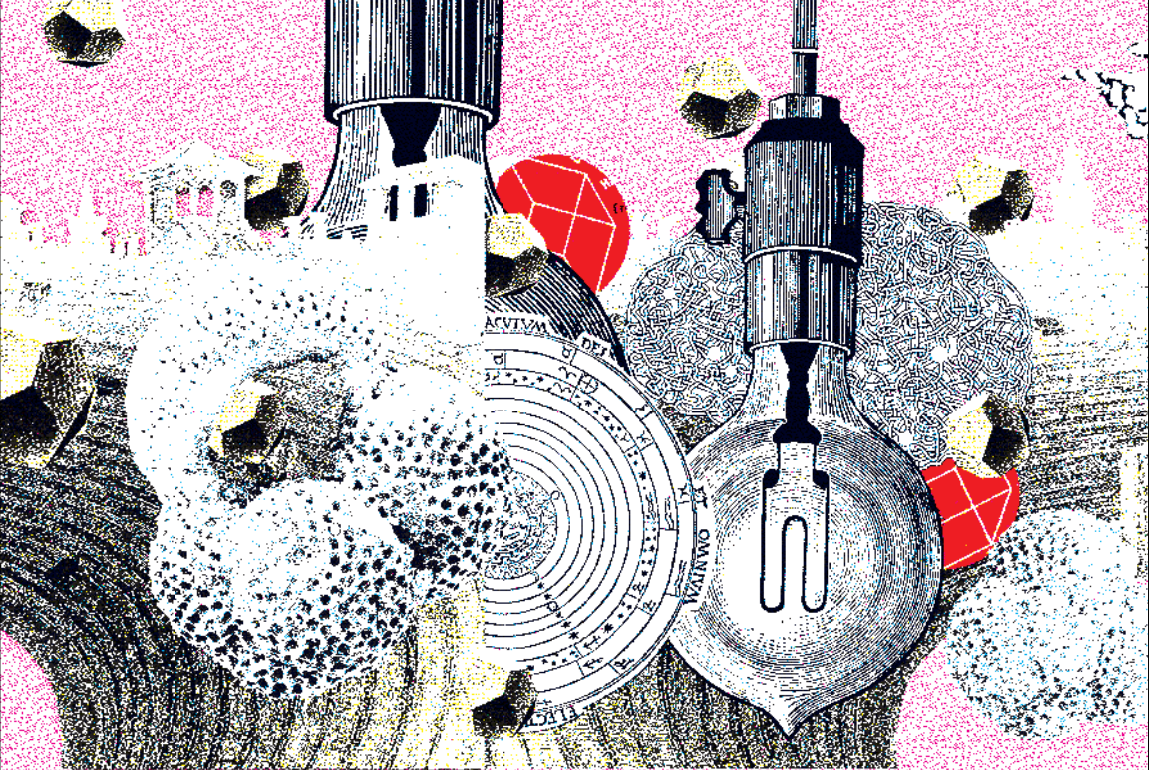
De twee wereldoorlogen kaapten onderzoekers weg om ze te laten werken aan militaire projecten, waaruit radar en microgolven, tokamaks en kernenergie voortkwamen. Na de oorlogen bloeide de fundamentele wetenschap echter weer op en met name sterrenkundigen, astrofysici en ruimtewetenschappers begonnen de aard van het heelal dieper te verkennen. Telescopen werden in de ruimte geplaatst en rekenkracht groeide volgens de wet van Moore, die stelt dat het aantal transistoren in compacte geïntegreerde schakelingen (en daarmee de kracht van computers) elke twee jaar verdubbelde.

De eenentwintigste eeuw is het tijdperk van Grote Wetenschap, met de grootste en allerduurste experimenten die ooit zijn uitgevoerd, sommige met de medewerking van duizenden natuurkundigen, en opgetuigd met vele supercomputers die de reusachtige gegevensstromen die ze opleveren analyseren.

Zelfs met al die inspanning zal natuurkunde nooit af zijn. Hoeveel experimenten er ook worden gedaan, elk daarvan zal weer nieuwe vragen doen rijzen; nieuwe vragen die wachten op antwoorden.

Adam Hart-Davis



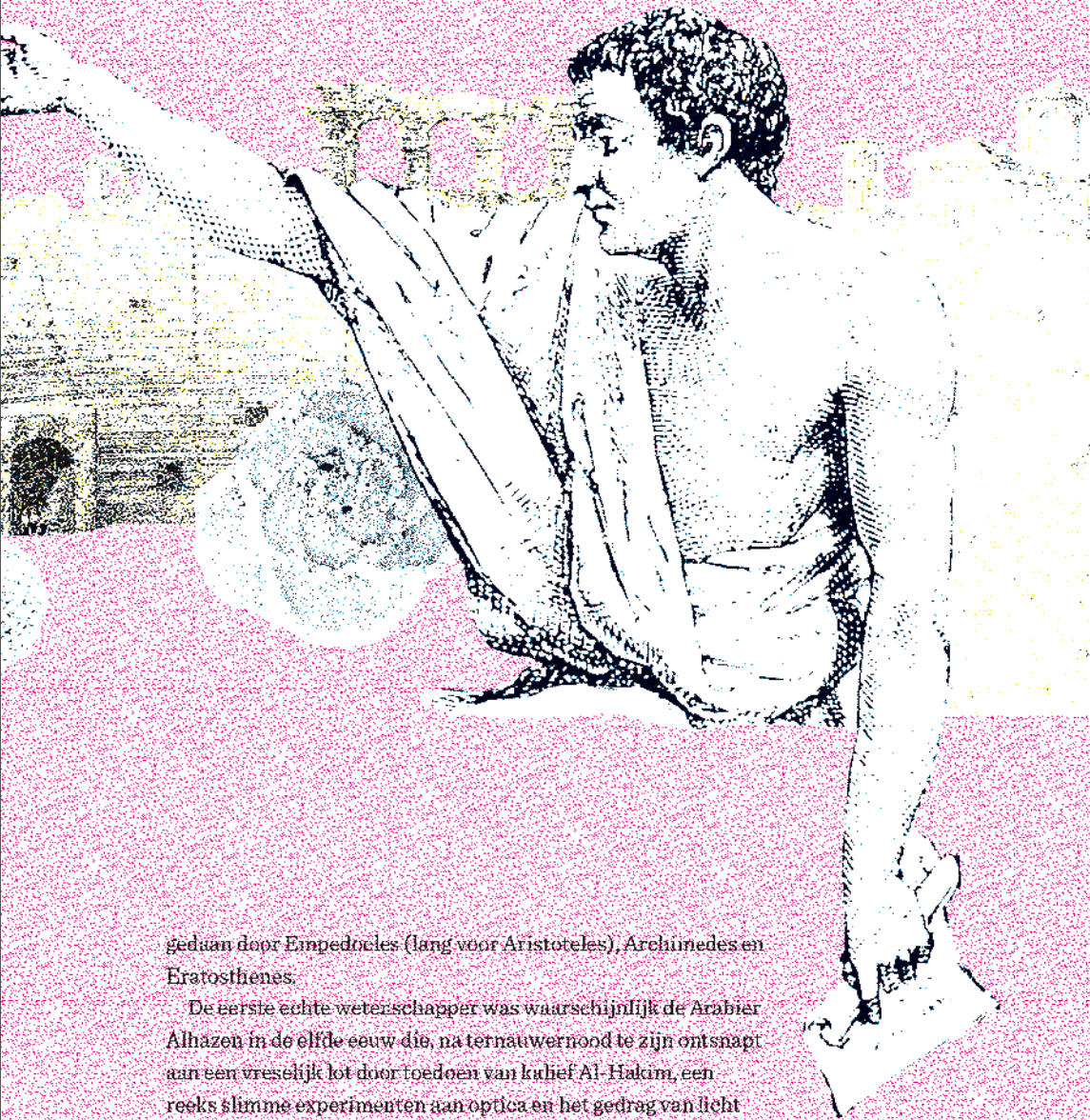


HOOFDSTUK 1: Vroege experimenten

430 v.Chr.-1307

De oude Chinezen waren grote uitvinders en kwamen op de proppen met zulke wonderen zoals het magnetische kompas, buskruit, papier, boekdrukkunst en Zhang Heng's uitmuntende seismometer, die een verre aardbeving waarnam. Ze hadden ook grote sterrenkundigen die al in 1054 een supernova observeerden.

De oude Grieken waren meer algemeen in wetenschap geïnteresseerd en met name Aristoteles schreef uitgebreid over natuurkunde, biologie, zoölogie en andere wetenschappen. Aristoteles voerde zelf geen praktische experimenten uit, maar enkele eenvoudige doch elegante experimenten werden



gedaan door Empedocles (lang voor Aristoteles), Archimedes en Eratosthenes.

De eerste echte wetenschapper was waarschijnlijk de Arabier Alhazen in de elfde eeuw die, na ternauwernood te zijn ontsnapt aan een vreselijk lot door toedoen van kalief Al-Hakim, een reeks slimme experimenten aan optica en het gedrag van licht uitvoerde, en een verhandeling over optica schreef. Ten slotte deed Dittrich van Freiberg een experimentele analyse van de regenboog die de juiste resultaten opleverde, al was dat om de verkeerde redenen.

ca. 430 v.Chr.

HET EXPERIMENT

ONDERZOEKER:

Empedocles

ONDERZOEKSGEBIED:

Pneumatiek

CONCLUSIE:

Lucht is een materiële
stof.

IS LUCHT 'IETS'?

DE SPEURTOCHT VAN EMPEDOCLES NAAR DE WORTELS VAN ALLES

De stad Agrigento, in het midden van de zuidwestkust van het eiland Sicilië, herbergt een paar van de mooiste Griekse tempelrestanten die er nog zijn; ze staan naast elkaar op een hoge klif, trots schitterend in het zonlicht. Er is ook een glorieus amfitheater. In de vijfde eeuw voor Christus leefde in de stad een Griekse filosoof genaamd Empedocles, die een van de vroegste bekende wetenschappelijke experimenten uitvoerde, ter ondersteuning van zijn theorie over de elementen.

Vier elementen

Al eeuwen hadden anderen nagedacht en gediscussieerd over waaruit dingen bestaan. Thales had water geopperd, omdat het kan veranderen in ijs en in stoom; misschien kan het dan wel in alles veranderen. Anderen hadden allerlei combinaties van substanties voorgesteld.

Empedocles verklaarde dat alles een mengsel

was van de vier elementen (of 'wortels'

zoals hij ze noemde) Aarde, Lucht, Vuur en Water, eenvoudig gecombineerd in allerlei verhoudingen.

Elk element, zo zei hij, wil terug naar waar het thuis hoort; aarde valt altijd omlaag;

water druppelt naar de zee; lucht-

bellen stijgen op in water; en vuur probeert

naar de zon te gaan. De elementen waren

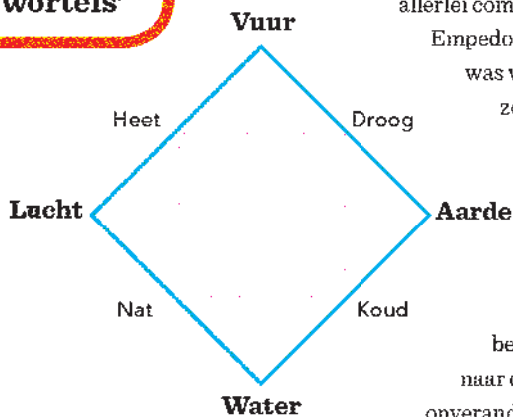
onveranderlijk. Ze waren samengebonden door

liefde, maar werden altijd uiteengetrokken door

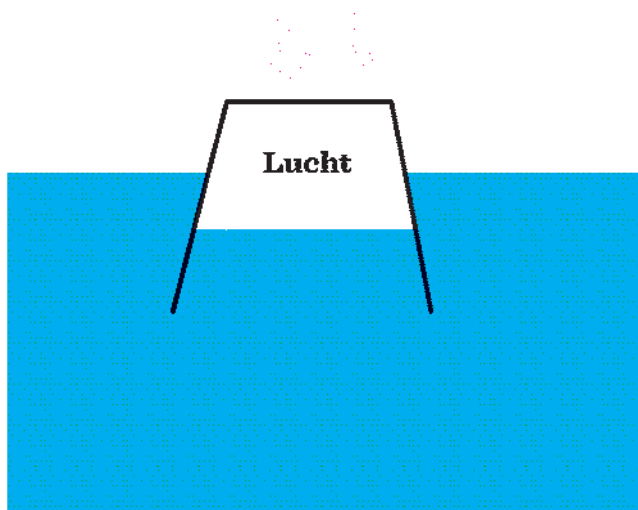
strijd; ze waren dus in een constante toestand van

verandering.

De vier 'wortels'



Er was echter een klein probleempje, want sommige sceptici zeiden dat lucht geen element kon zijn. Lucht was niets; het kon geen deel van iets uitmaken; het kon geen



wortel zijn. Empedocles wees erop dat luchtbellens in water opstijgen. Je kunt de bellen zien; ze moeten iets zijn. Dat overtuigde de critici niet, dus ontwikkelde hij een listig experiment.

De waterklok onderdompelen

Om tijd te meten, gebruikte hij een klepsydra – een waterklok – die bestond uit een keramische vaas met een gaatje in de bodem waardoor het water wegliep. Hij draaide zijn klepsydra om, plaatste zijn vinger op het gaatje en dompelde haar onder in de zee. Toen hij de vaas weer ophaalde, liet hij zien dat de binnenzijde op de bodem nog steeds droog was, daarmee aantonend dat iets het water erbuiten had gehouden. Dat iets moest de lucht zijn, en daarom was lucht inderdaad iets, en niet niets.

Het idee van de vier elementen Aarde, Lucht, Water en Vuur werd niet stevig uitgedaagd totdat tweeduizend jaar later Robert Boyle zijn begrip van het element herdefinieerde.

Een vurig einde

Empedocles geloofde dat hij onsterfelijk was en om dat aan zijn volgelingen te bewijzen, leidde hij ze naar de top van de Etna, de actieve vulkaan die uittorent boven de oostelijke kant van het eiland. Daar is hij naar verluidt in de rokende krater gesprongen.

Volgens een legende werd een van zijn sandalen uitgeworpen, maar werd hijzelf nooit meer gezien. Deze onbezonnen handeling lijkt een vergissing, maar daardoor weten we nog steeds wie hij was; misschien was het toch wel een goede manier om onsterfelijk te worden.



WAAROM STROOMT HET BAD OVER?

HET EUREKAMOMENT VAN ARCHIMEDES

Archimedes leefde van ongeveer 287 v.Chr. tot 212 v.Chr. in Syracuse, een stad op Sicilië, en hij werd gedood door een Romeinse soldaat tijdens de invasie van de stad. Hij was de beste wiskundige in de oudheid en waar hij het meest trots op was, was het bewijs, zonder de vergelijkingen die we tegenwoordig hebben, dat als een bol net past in een gesloten cilinder, zoals een sinaasappel in een klein blik, het volume van de bol twee derde van het volume van de cilinder is, en het oppervlak ook twee derde van dat van de cilinder is. Archimedes verlangde dat op zijn grafsteen een tekening van een bol in een cilinder zou worden gebeiteld, en die werd daadwerkelijk door de Romeinse orator Cicero 137 jaar later ontdekt.

Oorlogsmachines

Archimedes was ook een vaardige bouwkundige, en toen de Romeinse vloot in 212 arriveerde voor de invasie, organiseerde hij allerlei verdediging-machines. Daartoe behoorden blijkbaar katapulten, kranen ('klauw van Archimedes'), die een uiteinde van een schip uit het water tilden zodat



ca. 240 v.Chr.
HET EXPERIMENT

ONDERZOEKER:

Archimedes

ONDERZOEKSGBIED:

Hydrostatica

CONCLUSIE:

De ontdekking van de verplaatsing van vloeistoffen.



het kapseisde, en een dodelijke straal: een grote groep soldaten moest de gepolijste schilden onder de juiste hoek richten zodat ze de zonnestralen weerkaatsten naar een naderend schip en dat in brand staken.

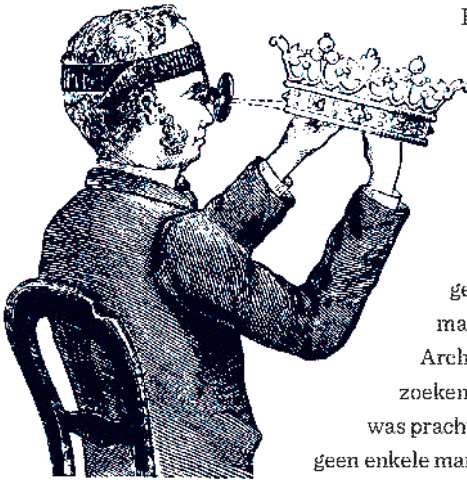
Hij heeft ook de wetten van hefboomen en katrollen uitgezocht, en slaagde erin een volledig beladen schip met behulp van een verzameling katrollen te bewegen. Een beroemde uitspraak van hem is: 'Geef me een hefboom die lang genoeg is en een plek om te staan, en ik zal de wereld bewegen.'

De verdachte kroon

De grootste triomf van Archimedes was echter het oplossen van het raadsel van de verdachte kroon. Koning

Hiëron II was een tiran die een nieuwe kroon had besteld bij de koninklijke edelsmid en hij gaf hem een zware klomp van puur goud om de kroon te maken.

Toen de prachtige kroon werd geleverd, vermoedde Hiëron dat de man een deel van het goud had gestolen en vervangen door een gelijk gewicht aan zilver. Het gewicht was hetzelfde als van de klomp, maar was het wel allemaal goud? Hiëron liet Archimedes komen en vroeg hem dat uit te zoeken. Dat was een moeilijke uitdaging. De kroon was prachtig versierd en Archimedes mocht die op geen enkele manier beschadigen. Terwijl hij peinsde over het probleem begaf Archimedes zich naar het publieke badhuis in de stad om daar een bad te nemen, wat geen alledaagse gewoonte van hem was.



Het allerbelangrijkste bad

Toen Aristoteles in het water stapte, bemerkte hij twee dingen: allereerst steeg het waterniveau een beetje toen hij zijn lichaam onderdompelde, en er klotste wat water over de zijkant van het bad. Ten tweede voelde hij zich licht, bijna gewichtloos. Op dat moment had hij een flits van inspiratie, en volgens de legende sprong hij uit bad en schreeuwde hij



'eureka' (wat 'ik heb het gevonden' betekent) terwijl hij spiernaakt helemaal naar huis rende.

De twee dingen die hij beseftte, waren:

1. Als een lichaam in het water zinkt, moet het water wegduwen – het verplaatst het water.
2. Elk lichaam voelt licht in het water omdat het een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van het verplaatste water voelt. Dat staat nu bekend als de wet van Archimedes.

In theorie kon hij een emmer helemaal tot aan de rand hebben gevuld, de kroon daarin hebben laten zakken en daarbij hebben gemeten hoeveel water er werd verplaatst en over de rand morste. Dat zou hem het volume van de kroon hebben gegeven, waaruit hij de dichtheid ervan kon afleiden aangezien dichtheid gelijk is aan massa gedeeld door volume.

Hij wist hoe groot het volume van het zuivere goud moest zijn. Hij wist ook dat het volume groter moest zijn als er zilver met het goud was vermengd, omdat de dichtheid van zilver geringer is dan die van goud – het volume van het zilver zou groter zijn dan het volume van hetzelfde gewicht aan goud.

De wet van Archimedes toepassen

Het precies meten van volumes is echter moeilijk, dus waarschijnlijk gebruikte hij zijn idee van opwaartse kracht. Hij leende een goudklomp met hetzelfde gewicht van de koning, hing de kroon en de nieuwe goudklomp aan een balkje zodat ze elkaar in evenwicht hielden en dompelde het geheel in een kuip vol water. Als de kroon onzuiver was, dan moest het volume daarvan groter zijn en dan zou die een grotere opwaartse kracht ondervinden, omdat de opwaartse kracht afhangt van het volume.

En ja hoor, de kroon bewoog omhoog. De maker had er lichter metaal in verwerkt en werd passend gestraft.

Archimedes schreef een aantal boeken, of verhandelingen, waarvan er een tiental zijn overgebleven. Een daarvan behandelde 'Over bol en cilinder', een andere 'Over drijvende lichamen' en weer een andere betrof 'Het zandgetal', een enorme berekening van hoeveel zandkorrels er nodig zijn om het heelal te vullen, en daarvoor moest hij een volslagen nieuwe verzameling getallen uitvinden.