

Over zwaartekracht en de aantrekkingskracht van oude boeken

Fysicus Arno Keppens duikt in de geschiedenis van zijn vakgebied



Fysicus Arno Keppens (Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie - BIRA) krijgt de kans om in KBR door een selectie oude en zeldzame drukken uit zijn vakgebied te bladeren. Baanbrekende publicaties van Copernicus, Kepler of Newton: het zijn niet de namen die je spontaan verbindt met de nationale bibliotheek van dit land. KBR bewaart echter heel wat schatten, ook voor exacte wetenschappers.

'Velen zijn mij voorgedaan in het aanschouwen van deze schatten, en hopelijk volgen nog velen na mij. In tegenstelling tot wat sommigen misschien denken, is KBR dus ook een geschikt adres voor exacte wetenschappers.'

Weinig aspecten van ons dagelijks leven zijn zo bepalend en toch zo onvatbaar, letterlijk en figuurlijk, als de zwaartekracht. Hoe komt het dat we met onze voeten op de grond blijven? Is licht ook onderhevig aan de zwaartekracht? Waarom valt alles op aarde even snel naar beneden, los van de grootte van de massa? De grootste geesten uit onze geschiedenis hebben zich het hoofd gebroken over deze schijnbaar eenvoudige aantrekkingskracht. De beroemdste twee monumenten uit de natuurkunde, Isaac Newton en Albert Einstein, zijn niet toevallig net degenen die met revolutionaire zwaartekrachttheorieën voor de dag kwamen.

De geschiedenis binnen handbereik

Wanneer ik de kans krijg om in enkele van de originele historische werken over zwaartekracht te neuzen, aarzel ik geen moment. Als bibliofiel en 'library lover' voelt mijn bezoek aan KBR en haar immense doolhof van ondergrondse magazijnen aan als het betreden van een schatkamer. Gelukkig word ik gegidst, zodat ik met volle teugen kan genieten zonder te verdwalen. De schatten waarvoor ik hier ben, zijn op voorhand zorgvuldig uitgezocht en worden voorzichtig op speciaal daartoe bestemde kussens uitgesteld.



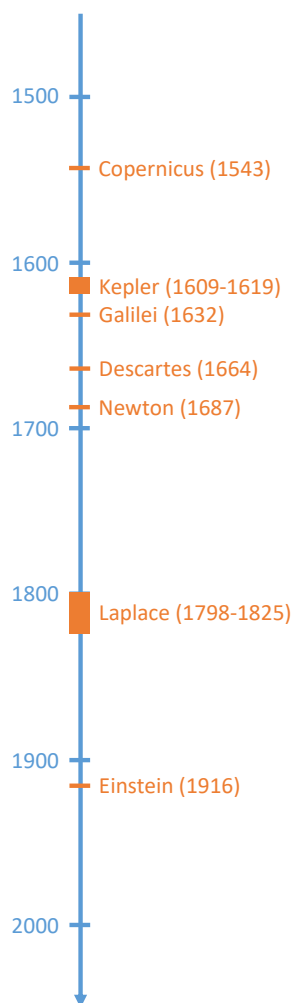
Fysicus Arno Keppens (BIRA) doorbladert een selectie oude drukken over de zwaartekracht in KBR.
© Vincent Lestienne

De geschiedenis van de zwaartekracht loopt onder meer via Galilei, Copernicus en Newton.
© Vincent Lestienne

De collectie Oude en kostbare drukwerken van KBR bevat oude boeken die gedrukt werden vanaf de uitvinding van de boekdrukkunst in Europa tot het ontstaan van België (1450-1830), een imposante collectie van zo'n 300.000 exemplaren. Mijn selectie van een tiental natuurkundige 'klassiekers' blijkt dus uiterst bescheiden. Toch is het een begeesterende ervaring om eeuwenoude eerste drukken die de toenmalige wereld op zijn kop zetten, in handen te houden en te doorbladeren. 'Holding History', zoals men dat dan in de Angelsaksische wereld mooi verwoordt. Bovendien kan je vaak uit aantekeningen op de titelpagina of elders in de kantlijn een leesgeschiedenis of een eigenaarschap afleiden. Velen zijn mij voorgegaan in het aanschouwen van deze schatten, en hopelijk volgen nog velen na mij. In tegenstelling tot wat sommigen misschien denken, is KBR dus ook een geschikt adres voor exacte wetenschappers.

Volgens sommige historici begint de renaissance met de publicatie van drie invloedrijke boeken in een tijdspanne van twee jaar (1543-1545): Cardano's *Artis Magnae* over de 'grote kunst' van de algebra zoals ontwikkeld door de Arabieren, Vesalius' - nota bene een Brusselaar - *De Humani Corporis Fabrica*, dat het menselijk lichaam gelijkstelt aan dat van (andere) dieren, en Copernicus' *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Over de Omwentelingen





der Hemelichamen), dat de zon in het centrum van het universum plaatst. Drie rake klappen in het gezicht van de gevestigde orde die uit machtsbehoud liever vasthield aan Bijbelse waarheden.

De sferen van Copernicus

Mijn snuisteren in KBR begint hier, bij het renaissancewerk van de Pruis Nicolaas Copernicus. Hij is niet de eerste die een heliocentrisch wereldbeeld (de aarde draait rond de zon) naar voren schuift. De Griek Aristarchus van Samos deed dit al omstreeks 250 v. Chr. (!) op basis van eigen waarnemingen. Zijn theorie moest echter de duimen leggen voor die van grotere intellectuele zwaargewichten zoals Aristoteles en later Ptolemaeus, die ook meer in de lijn lagen van de gangbare religieuze opvattingen. Maar de herintroductie van het heliocentrisme in het Westen op basis van nieuwe waarnemingen zorgt dus wel voor de zogeheten 'Copernicaanse revolutie' in de prille wetenschap en ver daarbuiten.

Het vernieuwende aan *De Revolutionibus* is de voorstelling van het universum als zeven concentrische sferen, met de stilstaande zon in hun centrum en de sterren op de buitenste sfeer. De (toen gekende) planeten bewegen rond de zon op de overige zes

sferen van Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter en Saturnus. Een kleine achtste sfeer houdt de Maan in een baan om de aarde. Bovendien wordt de beweging van de sterren volgens Copernicus veroorzaakt door de draaiing van de aarde om haar as. Hoewel dit wereldbeeld heel wat eenvoudige verklaringen biedt, staat daartegenover dat Copernicus de planeetbanen als perfecte cirkels beschouwt, en dus ironisch genoeg nog steeds epicykels (hulpcirkels) nodig heeft om de waargenomen planeetbeweging te verklaren...

De wetten van Kepler

Het is de Duitser Johannes Kepler die, vooral op basis van meetgegevens die de Deense astronoom Tycho Brahe over ons zonnestelsel verzamelde, de natuurfilosofie van haar kunstmatige epicykels kan verlossen. Daarvoor moet hij echter tegen zijn zin aannemen dat planeten bewegen op ellipsvormige in plaats van cirkelvormige banen. Deze onvermijdelijke aanname resulteert in Keplers formulering van drie elegante wiskundige wetmatigheden voor de beweging van de planeten, gepubliceerd in zijn *Astronomia Nova seu Physica Coelestis* (Nieuwe Sterrenkunde of Hemelnatuurkunde, 1609) en *Harmonice Mundi* (Wereldharmonie, 1619). Deze formules worden vandaag nog steeds 'de wetten van Kepler' genoemd.

Om enigszins te compenseren voor hun 'onnatuurlijke' ellipsbanen, doet Kepler zijn uiterste best om aan te tonen dat de planeten zich op afstanden tot de zon bevinden die een (voor hem) 'natuurlijke' en strikt wiskundige ordening volgen. Daarvoor gebruikt hij de eigenschappen van zowel regelmatige veelvlakken als klankharmonieën (vandaar de titel *Wereldharmonie*). Intussen weten we dat zijn verwoede pogingen tot weinig overtuigende resultaten zouden leiden.



De Revolutionibus Orbium Coelestium (Over de omwentelingen van de hemelichamen) van Copernicus. © Vincent Lestienne



Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo (Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen) van Galilei. © Vincent Lestienne

Galilei's observaties van de hemel

Opmerkelijk is dat de Copernicaanse revolutie pas bijna een eeuw na de publicatie van *De Revolutionibus* tot een hoogtepunt komt. Daar zorgt (nog meer dan Kepler) ene Galileo Galilei voor. In 1632 verschijnt zijn *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano* in Italië. De publicatie gebeurt in het Italiaans om de politieke heersers en een zo breed mogelijk (lokaal) publiek aan te spreken. Met deze eerder laagdrempelige 'dialogo over de wereldsystemen van Ptolemaeus en Copernicus' wil Galilei de ongeschoolde lezer overtuigen van het heliocentrisme zoals hij op basis van eigen waarnemingen had kunnen bevestigen.

Galilei's telescopische observaties van de nachtelijke hemel vonden plaats vanop het dakterras van zijn villa 'Il Gioiello' (Het Juweel) in de heuvels van Firenze. Deze plek is vandaag eigendom van de Italiaanse staat, en kan je trouwens nog steeds bezoeken. Meubels staan er niet meer, maar het betreden van de vierhonderd jaar oude vertrekken, en dan vooral Galilei's werkkamer en terras, heeft iets magisch.

Voorzichtig verpakt, toch verboden

Zoals de titelgravure van de *Dialogo* zeer mooi weergeeft, behandelt het boek een fictieve dialoog tussen Salviati - de redder - als verdediger van de ideeën van Copernicus en Galilei, Sagredo - de gewijde - als intelligente en aanvankelijk neutrale leek, en Simplicio - de eenvoudige - die de traditionele visie van Ptolemaeus en Aristoteles aanhangt.

Door zijn betoog voor het heliocentrisme op deze manier te verpakken, wil Galilei problemen met de Kerk vermijden, maar het mag niet baten. Galilei wordt door de pauselijke inquisitie ver-

plicht zijn ideeën af te zweren en zijn boek komt op de *Index Librorum Prohibitorum* (lijst van verboden boeken) terecht. Net na zijn proces zou hij voor de rechters de beroemde woorden 'E pur si muove' hebben gepreveld - 'En toch beweegt ze' -, doelend op de Aarde...

Descartes: gezond verstand en de werveltheorie

Amper vijf jaar na de publicatie van Galilei's *Dialogo* beroert René Descartes de wetenschappelijke gemoederen vanuit Frankrijk. Cartesius is zijn gelatiniseerde pseudoniem, denk maar aan het Cartesiaanse assenstelsel. Descartes' *Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences* (1637) is een toegankelijk en diepgaand werk, alweer geschreven in de volkstaal, dat in essentie het wetenschappelijke denken promoot. Het zal dan ook niet verbazen dat ook dit werk op de verboden lijst van de Kerk terecht komt.

De eerste zinnen van Descartes' *Discours* zijn meteen raak: 'Het gezond verstand is van alle dingen op de wereld het gelijkmatigst verdeeld. Want iedereen vindt dat hij er zo goed van voorzien is dat zelfs degenen die in iedere andere kwestie het moeilijkst tevreden te stellen zijn, er nooit meer van willen dan ze er al van hebben.' Nog bekender echter is het credo dat middenin verschijnt: 'Je pense, donc je suis.' Op basis van zijn typische 'methodische twijfel' komt Descartes tot de dualistische conclusie dat hij er niet zeker van kan zijn dat hij een lichaam heeft, maar wel dat hij een geest heeft.

De zwaartekrachttheorie van Descartes staat echter niet in zijn *Discours*. Die ontwikkelt hij in een *Traité du Monde* omstreeks

1630 en de jaren daarna, maar hij houdt de publicatie van dit werk tegen wanneer hij het nieuws over de veroordeling van Galilei verneemt. Descartes' zogenaamde werveltheorie wordt daarom pas postuum, in 1664, wereldkundig gemaakt: een wervelende 'ether' (een alomtegenwoordig medium) verklaart hoe planeten hun baan behouden. Het ether-concept wordt uiteindelijk door Einstein definitief ontkracht, maar Descartes' idee van overal aanwezige 'wervelingen' ruikt wel al naar moderne veldentheorieën.

Naar een universele gravitatiekracht met Newton

Tussen het verschijnen van Descartes' *Traité* en Newtons wereldberoemde *Principia* (1687) zitten slechts twee decennia. Isaac Newton werkt zich in deze periode naar de wereldtop, beginnend bij de anekdote met de vallende appel: tijdens de pestepidemie van 1666 moet Newton zijn studie in Cambridge onderbreken en keert hij terug naar de familieboerderij. In de boomgaard ziet hij een appel uit een boom vallen. Newton vermoedt dat de kracht die de appel naar de grond trekt weleens dezelfde zou kunnen zijn als de kracht die de maan in een baan om de aarde houdt. Deze toepassing van een identieke krachtwet op zowel 'hemelse' als 'aardse' verschijnselen betekent een diepe breuk met de tweeduizend jaar oude ideeën van de antieke natuurfilosofen.

Wist je trouwens dat er nog steeds een appelboom staat naast de werkkamer van Newton aan de Universiteit van Cambridge? Het zou bovendien gaan om een stek van de oorspronkelijke boom bij Newtons familieboerderij. Eenzelfde 'Newton apple tree' vind je ook in de Verenigde Staten, zoals ik zelf heb kunnen zien tijdens mijn postdoctoraal onderzoek aan het National Institute of Standards and Technology in Washington: 'This tree is a direct descendant of the original tree whose fruit gave inspirational impetus to Isaac Newton's theory of gravitational forces,' staat erbij te lezen.



Het concept van een 'universele gravitatiekracht' wordt door Newton uitgewerkt in zijn *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Wiskundige beginselen van de natuurfilosofie, kortweg *Principia Mathematica* of gewoon *Principia*), dat nog steeds wordt beschouwd als een van de invloedrijkste wetenschappelijke publicaties ooit. Het eerste gedeelte is een uitgebreid voorwoord waarin Newton onder meer de werveltheorie van Descartes bestrijdt. Daarop volgen twee kleinere stukken die een hele reeks definities en basisaxioma's bevatten, zoals de bewegingswetten van de klassieke mechanica. Pas in het derde en laatste deel leidt Newton uit de wetten van Kepler de gravitatiekracht af tussen twee planeten van ons zonnestelsel, om daarna het resultaat te veralgemenen voor elk tweetal massa's. De wiskundige formulering van zijn uiteindelijke gravitatiewet vind je met een kwinkslag terug op mijn website www.sciencescripts.be.

Het genie van Newton komt sterk tot uiting in de bekende figuur die hij (pas vanaf de tweede druk) aan deze afleiding toevoegt. Aangezien de maan volgens Newton steeds naar de aarde toe valt, zou ook een kanonskogel (aards) die met voldoende snelheid wordt afgeschoten in een baan rond de aarde (hemels) moeten terecht komen. Newton toetst de juistheid van deze veronderstelling door de centripetale versnelling van de maan te vergelijken met de gravitatieversnelling van voorwerpen nabij het aardoppervlak.

De wetenschappelijke revolutie

Newton zou de originele *Principia*, die duizenden handgeschreven pagina's telde, in twee jaar van dag- en nachtwerk hebben afgevoerd. En hoewel hij tijdens het formuleren van zijn natuurkundige theorieën een nieuw gebied binnen de wiskunde ontwikkelt (de differentiaal- en integraalrekening), maakt hij in de *Principia* vrijwel uitsluitend gebruik van meetkundige bewijzen die vandaag verstaanbaar zijn voor de gemiddelde scholier.

Ongetwijfeld speelt Newton een hoofdrol in de zogeheten wetenschappelijke revolutie. In alle natuurwetenschappen is het nu vanzelfsprekend om wiskundig modelleren en experimenteel toetsen te combineren. Deze combinatie is een innovatie die aan hem kan worden toegeschreven, al hebben Francis Bacon, Galileo Galilei en Blaise Pascal niet te negeren voorbereidend werk gedaan. Deze wetenschappelijke revolutie leidt er uiteindelijk toe dat de klassieke natuurfilosofie overgaat in de hedendaagse natuurkunde, die nog steeds bedreven wordt volgens de algemeen aanvaarde wetenschappelijke methode.

Het duurt nog meer dan een eeuw vooraleer iemand erin slaagt Newtons natuurwetenschap op ruime schaal toe te passen en uit te breiden. Die eer is voor de Fransman Pierre-Simon Laplace. Zijn vijfdelige *Traité de Mécanique Céleste* (gepubliceerd tussen 1798 en 1825) is een magnum opus dat alle toen bekende hemelmechanica verenigt en verder uitwerkt. De grootse ambities

van Laplace worden meteen uitgedrukt in de memorabele eerste zinnen van zijn werk: 'Newton publica, vers la fin du dernier siècle, la découverte de la pesanteur universelle. Depuis cette époque, les Géomètres sont parvenus à ramener à cette grande loi de la nature, tous les phénomènes connus du système du monde, et à donner ainsi aux théories et aux tables astronomiques, une précision inespérée. Je me propose de présenter sous un même point de vue, ces théories éparses dans un grand nombre d'ouvrages, et dont l'ensemble embrassant tous les résultats de la gravitation universelle, sur l'équilibre et sur les mouvements des corps solides et fluides qui composent le système solaire et les systèmes semblables répandus dans l'immensité des cieux, forme la Mécanique céleste.'

Zelfs Napoleon blijkt onder de indruk van het *Traité* van Laplace, maar vraagt zich af hoe iemand een diepgaand werk over het universum kan schrijven zonder God als de schepper daarvan te vermelden. Daarop spreekt Laplace de befaamde atheïstische woorden: 'Je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là.' Voor het eerst in de geschiedenis wordt wetenschap gezien als een studie van de natuur die los kan (of moet) staan van het bestaan van God of goden.

Daarmee komen we aan het einde van deze bloemlezing van pre-Belgische zwaartekrachtliteratuur. Gezien zijn belang in ons huidige begrip van de zwaartekracht, wil ik toch ook nog Albert Einstein vermelden - toevallig las ik tijdens het schrijven van dit artikel zijn uitvoerige biografie door Walter Isaacson (2007). Einstein zorgt voor de zoveelste paradigmaverschuiving in de natuurkunde door de zwaartekracht op een heel andere manier te benaderen dan zijn voorgangers. Volgens de algemene relativiteitstheorie wordt de zwaartekracht veroorzaakt door kromming van de vierdimensionale ruimtetijd, als gevolg van de daarin aanwezige massa. De benodigde wiskunde is niet bepaald weggelegd voor leken, maar Einstein doet een eerste en nog steeds zeer gewaardeerde poging tot vulgarisatie in zijn *Relativity: The Special and General Theory* (1916).

De heilige graal

Einsteins werkelijk verklarende zwaartekrachtmodel leidt tot nauwkeuriger resultaten dan de gravitatiewet van Newton, onder andere over de afbuiging van licht (dat inderdaad aan de zwaartekracht onderhevig is). Toch blijft het onderzoek naar de zwaartekracht onvoltooid. De heilige graal van de hedendaagse (theoretische) natuurkunde bestaat uit het dichten van de kloof tussen Einsteins algemene relativiteitstheorie en de wetten van de kwantummechanica. Dit gegeven geldt als typevoorbeeld van het feit dat wetenschappelijke ideeën voortdurend evolueren, soms zelfs in sprongen, maar het onderzoek nooit voltooid zal zijn. Wordt dus vervolgd, maar voor geïnteresseerden is de basis alvast beschikbaar in KBR...



De auteur

Arno Keppens is onderzoeker bij het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (www.aeronomie.be) van de Belgische Pool Ruimte (www.spacepole.be) en wetenschapsschrijver (www.sciencescripts.be).

© Vincent Lestienne

Boek zkt. wetenschapper

De Koninklijke Bibliotheek van België (KBR) is de nationale wetenschappelijke bibliotheek. Ze verzamelt alle Belgische publicaties en bewaart, beheert en bestudeert een omvangrijk cultureel en historisch patrimonium van ruim 8 miljoen documenten.

KBR bewaart historische publicaties uit zeer diverse disciplines. Historici en literatuurwetenschappers zitten in KBR al decennia met hun neus in de boeken, maar ook voor artsen, geologen, biologen en andere bètawetenschappers zijn er verborgen parels te ontdekken.

Benieuwd naar de sporen van het verleden uit uw vakgebied? Stuur een mail naar hanna.huyssegoms@kbr.be en misschien wordt u binnenkort ook een 'scientist in residence' die snuistert in oude drukwerken uit uw vakgebied.