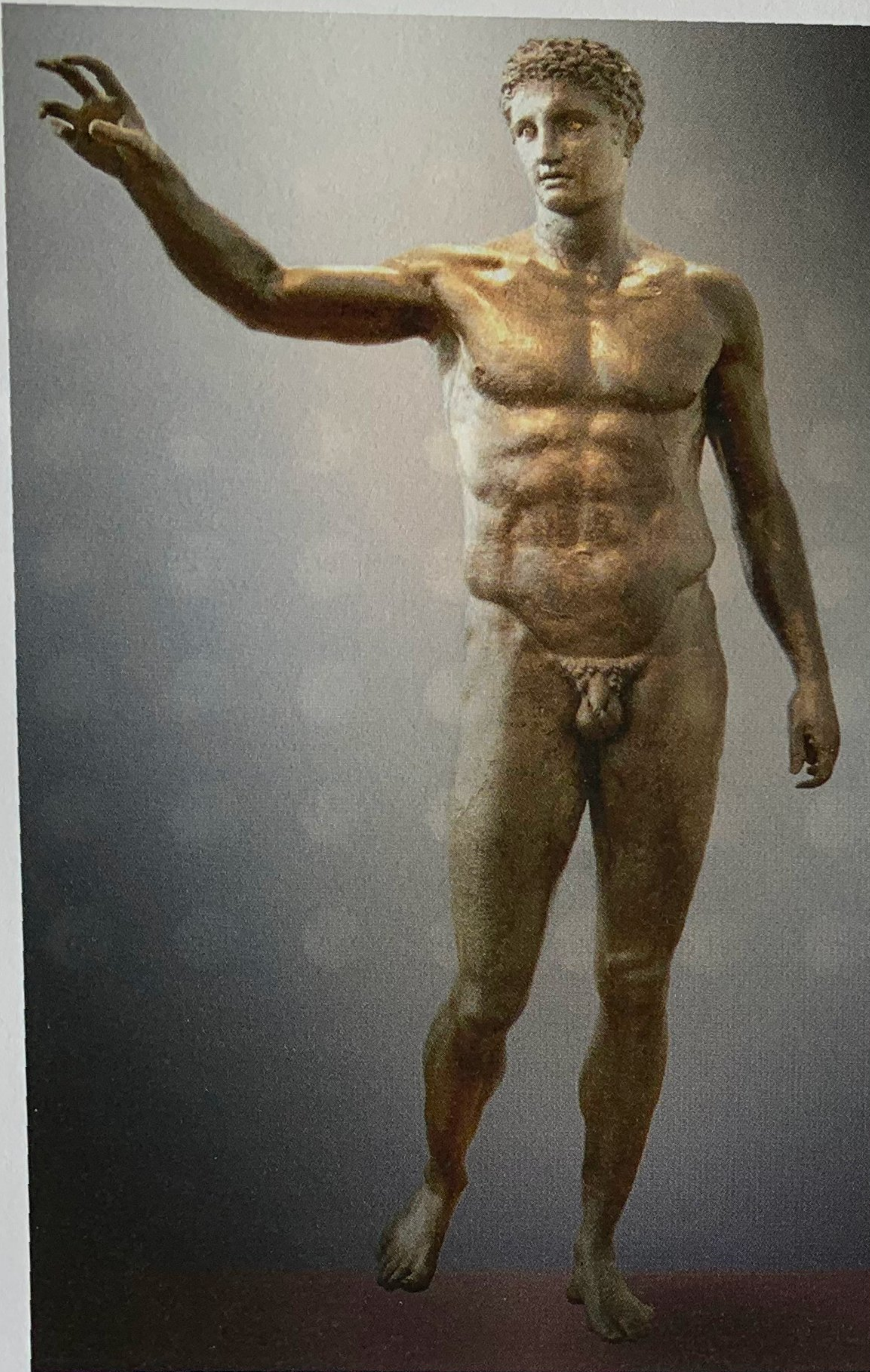


Het Antikythera-mechanisme: een wetenschappelijk wonder ▼

**Jan Dekker en
Lisanne Overduin**



Door een storm verloren en door een storm gevonden: het leven neemt zo nu en dan interessante wendingen. In het jaar 1900 werden twee boten met sponsduikers gedwongen voor een storm te schuilen bij het eiland Antikythera, dat tussen de Peloponnesos en Kreta ligt. Duikend in de buurt van het eiland vonden zij op 42 m diepte een bronzen arm,

en daarna andere bronsfragmenten. Het waren resten van de lading van een scheepswrak, een Romeins vrachtschip dat vermoedelijk rond 70-60 v.Chr. zonk. Het schip bleek een waardevolle lading te hebben gehad, zoals minstens vijf grote bronzen en 36 marmeren beelden, waaronder de Efebe van Antikythera en de Filosoof, munten, aardewerk en glas. Maar de belangrijkste vondst in het schip was waarschijnlijk toch wel een blok kalk. Op het eerste gezicht zag het er niet zo interessant uit, maar röntgenscans lieten zien dat er een complex mechanisme in de kalk verscholen zat. Dit mechanisme werd het Antikythera-mechanisme gedoopt en het blijkt een van de meest technisch ontwikkelde vondsten uit de oudheid te zijn. De restanten ervan worden bewaard in het Nationaal Archeologisch Museum van Athene. Minstens de helft van de ingegraveerde teksten ontbreekt nog, waardoor een aantal functies niet duidelijk is.

Kennis tot nu toe

Het onderzoek kwam pas écht op gang na 1974, toen Derek de Solla Price een grote studie over het mechanisme publiceerde op grond van het onderzoek dat hij in 1951 was begonnen. Dankzij de destijds vrij nieuwe röntgentechniek konden van de bekende fragmenten redelijk nauwkeurige foto's gemaakt worden. Hierdoor kon De Solla Price een eerste reconstructie maken van de tandwielreinen, reeksen van tandwielen die aan elkaar verbonden zijn. Een groot probleem was echter dat het mechanisme vrijwel direct nadat het was gevonden uit elkaar was gevallen en verbrokkeld. Er waren slechts fragmenten over, waarvan men niet wist hoe ze op elkaar hadden gelegen. Bovendien bleken fragmenten die noodzakelijk waren voor de reconstructies van bepaalde planeetbanen te ontbreken.

Met de oprichting van het Antikythera Mechanism Research Project (AMRP) in 2005 nam het onderzoek een grote vlucht. Zo werden er nieuwe inscripties en zelfs tandwielen gevonden en werden er allerlei belangrijke artikelen gepubliceerd. Ook

*Lisanne Overduin (student geneeskunde en klassieke talen) en Jan Dekker (student archeologie) hebben dit artikel geschreven op basis van hun profielwerkstuk in samenwerking met het Pre-University-programma van de Universiteit Leiden.
[antikytheramechanisme@gmail.com]*

De Efebe van Antikythera, de zogenaamde Paris of Perseus, uit 340-330 v.Chr. (Nationaal Archeologisch Museum, Athene).



organiseerde men nieuwe duikexpedities, met onder andere als doel het vinden van nieuwe fragmenten. Het onderzoek wist dankzij de nieuwste beeldvormingstechnieken steeds meer feiten boven tafel te krijgen. Intussen weet men dat er in totaal naar schatting zo'n 38

tandwielen waren, waarvan röntgenonderzoek er 29 heeft vastgesteld. De hamvraag blijft echter wat de functie van het Antikythera-mechanisme was.

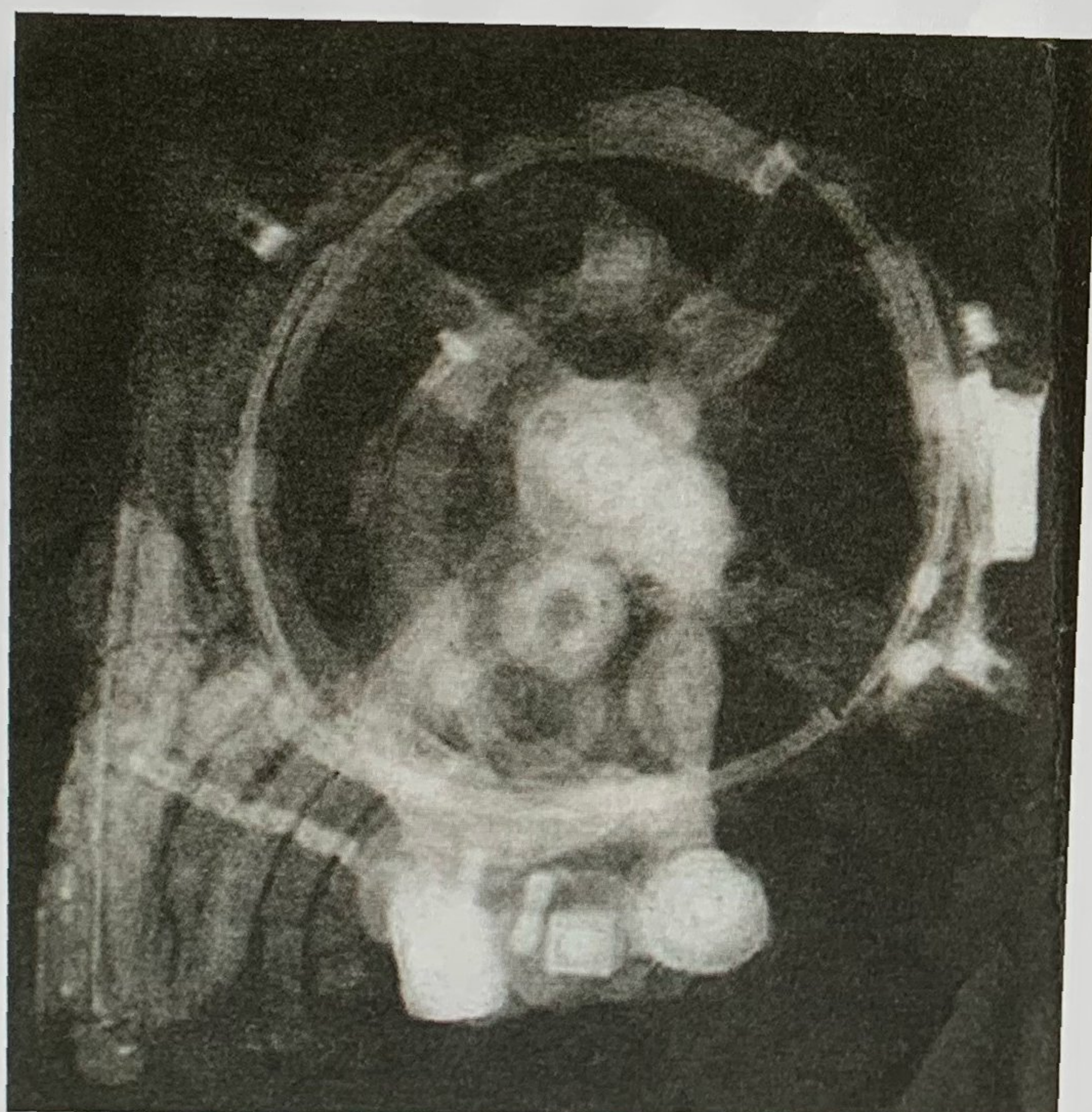
Hoe zag het mechanisme eruit?

Het Antikythera-mechanisme heeft geen goede moderne parallel. Het is in feite een kastje met in brons gegraveerde wijzerplaten aan de voor- en achterkant. De voorkant heeft een ring met de Egyptische kalender van 365 dagen en op de wijzerplaat staat het hemelgewelf, dat door de sterrenbeelden in twaalf gelijke delen is verdeeld. Nog aan de voorkant geven wijzers de plek aan die de zon en de maan aan de hemel innemen.

De achterkant heeft twee wijzerplaten. Eén geeft de Meton-kalender weer, de ander de Saros-cyclus. De Meton-kalender is een cyclus van negentien jaar, die het mogelijk maakt tussen de zon- en maankalender te rekenen. Na elke Meton-cyclus staan de zon en maan weer op precies dezelfde plek. De namen van de maanden zijn in Korinthisch dialect en hebben dus betrekking op die metropool of een van haar kolonies.

De Saros-cyclus is ongeveer achttien jaar lang (223 maanmaanden) en was ontworpen om eclipsen te voorspellen. Binnen de Saros-wijzerplaat bevindt zich nog een kleinere wijzerplaat van de Exeligmos-cyclus (met de duur van

Een röntgenfoto van het
Mechanisme



drie Saros-cycli, dus totaal 669 maanmaanden).

Binnen de wijzerplaat van de Meton-cyclus bevinden zich nog twee andere wijzerplaten: één geeft de Kalippos-cyclus van 76 jaar weer, de andere is de zogenoemde Olympische plaat, die aangaf welke van de vier Panhelleense Spelen (Olympia, Pythia, Isthmia en Nemea) dat jaar plaatsvond.

Werking

Door aan een knop aan de zijkant van het mechanisme te draaien werd het in gang gezet. Het tandwiel van de Egyptische kalender staat in direct contact met de draaiknop en wordt ook wel het centrale tandwiel genoemd. Van daar vertrekken drie tandwieltreinen. De eerste trein zet de wijzers op de wijzerplaat van de Saros- en Exeligmos-cyclus in werking, de tweede zorgt voor het ronddraaien van de wijzers op de Kalippos- en Meton-wijzerplaat en de derde verbindt de eerste en tweede met elkaar. Deze laatste tandwieltrain heeft het zogeheten pin-slotmechanisme, dat ervoor zorgt dat de veranderende baansnelheid van de maan meegenomen wordt in de 'berekeningen' van het mechanisme. De maan volgt immers een ellipsvormige baan rond de aarde (zie figuur 2) en gaat dus sneller op bepaalde stukken (in dit geval bijvoorbeeld AB) ten opzichte van andere stukken (in dit geval bijvoorbeeld CD), volgens de Perkenwet van Kepler.¹ Hierdoor doet de maan even lang over het volbrengen van deel AB als over het volbrengen van deel CD. Het pin-slotmechanisme werkte als volgt. Er waren twee tandwielen die met elkaar in verbinding stonden. Het ene tandwiel had een pin, het andere een gleuf. De pin zat afwisselend wel en niet in de gleuf, waardoor de afstand tussen de twee centra van de twee tandwielen steeds verschillend was. Dit zorgde voor een verschil in draaisnelheid van de tandwielen, waardoor de elliptische beweging van de maan weergegeven kon worden.

Functie

Waarom creëerden de Grieken nu zo'n complex mechanisme? Het is een vraag die veel onderzoekers bezighoudt, maar die wellicht nooit beantwoord zal kunnen worden. Er is veel speculatie over de functie van het mechanisme, maar geen enkele theorie kan hard gemaakt worden. We zullen hier de meest waarschijnlijke functies van het mechanisme bespreken.



Fig.1. Een digitale reconstructie van het Antikythera-mechanisme (Uit: Freeth, 2014).

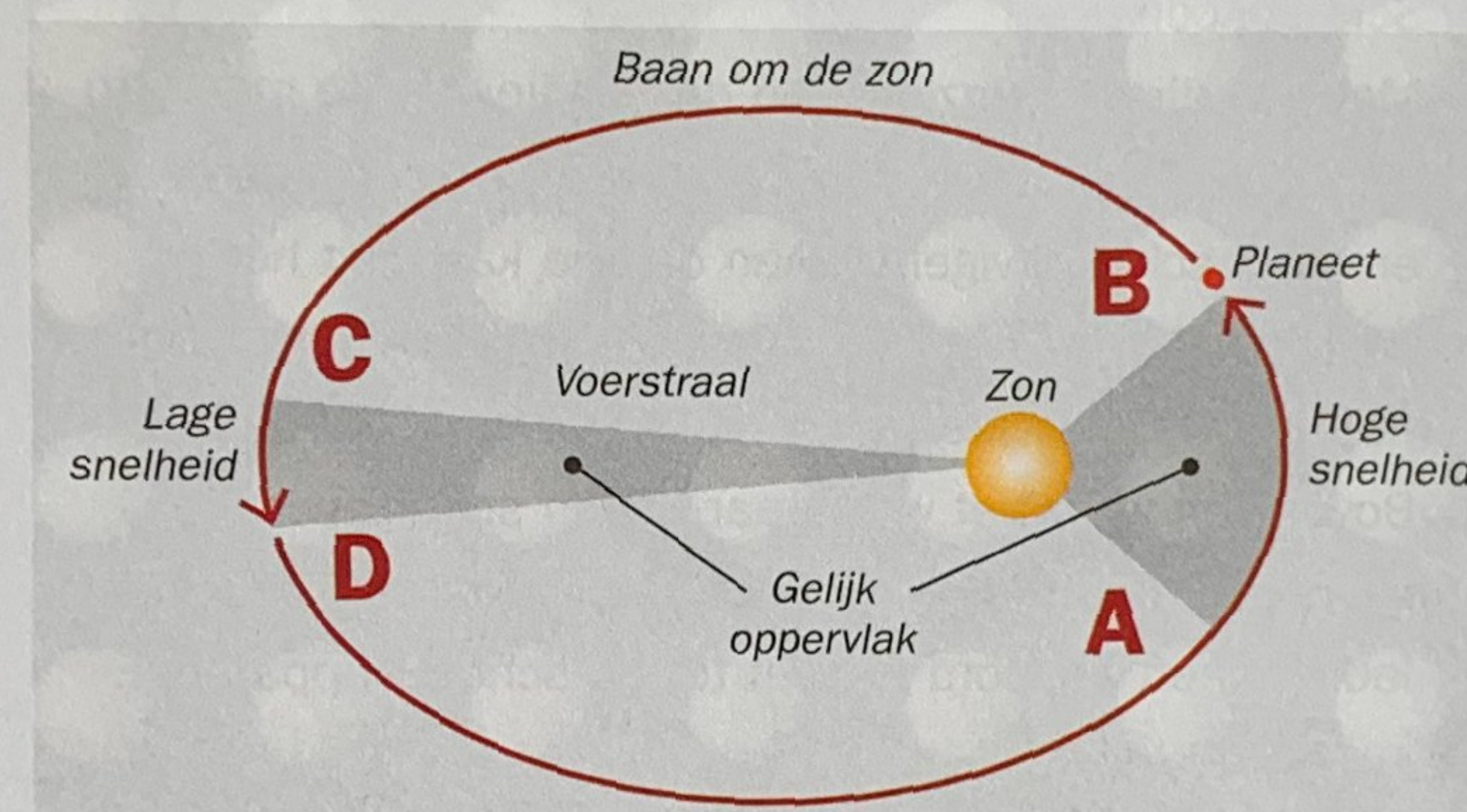


Fig.2. Weergave van een willekeurige ellipsvormige baan.

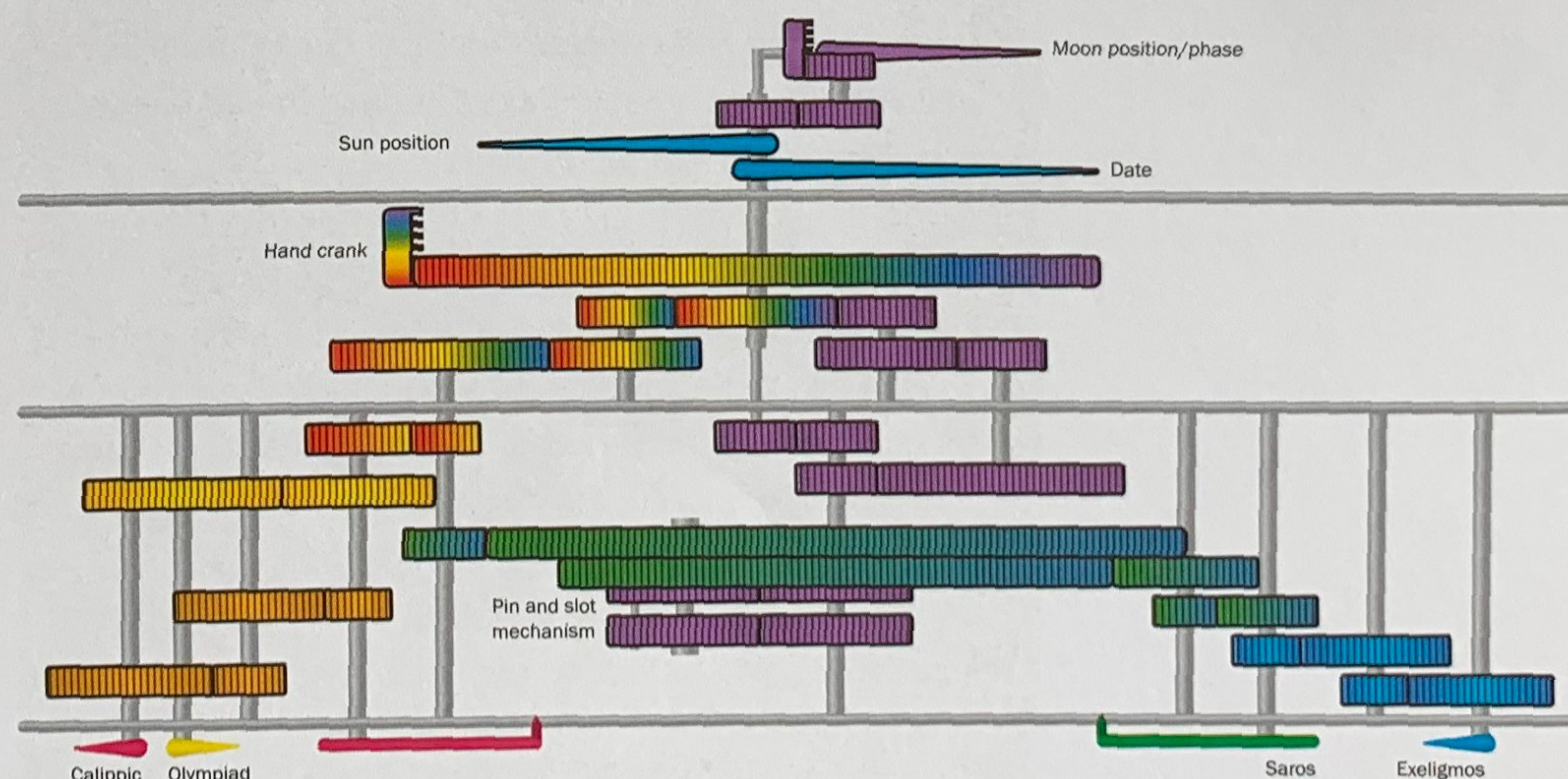


Fig.3. Schematische weergave van de tandwieltreinen in het mechanisme (Uit: Freeth e.a., 2006).

1. Astrologie

Ten tijde van het Antikythera-mechanisme bestond er nog geen strikte scheiding tussen astrologie en astronomie. Sterker nog, ze overlaptten elkaar behoorlijk. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat de toepassing van het mechanisme zich binnen de astrologie bevond. De Grieken gebruikten horoscopen om de levensloop van een persoon of om de afloop van een bepaalde gebeurtenis te voorspellen. Voor het maken van deze horoscopen was een overzicht van de stand van de hemellichamen nodig. Het Antikythera-mechanisme kan dit overzicht geboden hebben, zonder dat het nodig was om de hemel zelf te bestuderen.

2. Scheepscomputer

Met een direct overzicht van de positie van de maan en de zon op een bepaald tijdstip kon je je goed oriënteren en zo je schip navigeren. Aan de ene kant lijkt het mechanisme hiervoor bij uitstek geschikt. Anderzijds was het hiervoor juist een zeer onpraktisch voorwerp. Bovendien werd het weliswaar in een scheepswrak gevonden, maar is het zeer waarschijnlijk dat het tot de lading heeft behoord en niet tot de scheepsapparaten.

3. Wetenschap/onderwijs

Een andere optie is dat men het mechanisme gebruikte voor de astronomische wetenschap. Bovendien kon erover worden onderwezen: het was immers makkelijk uit elkaar te halen en het leende zich daarom uitstekend voor demonstraties aan publiek.

4. Sociaal/politiek

De ontdekking van de wijzerplaat met de Panhelleense Spelen had grote gevolgen voor de interpretatie van de functie van het mechanisme. De Spelen hadden immers een duidelijke sociale functie in de gemeenschap, die dankzij de wijzerplaat ook tot uiting komt in het mechanisme. Op deze manier kunnen menselijke acties (de Spelen) gerelateerd worden aan hemelse gebeurtenissen (de stand van de hemellichamen).²

De astronomische context

Tot nu toe ging het meeste onderzoek over het Antikythera-mechanisme uit naar de technische kant, naar de vraag hoe de tandwieltreinen in elkaar zaten en hoe het mechanisme precies werkte. Aan de andere aspecten is veel minder aandacht besteed, zoals de astronomische theorieën waarop het mechanisme is gebaseerd. Het Antikythera-mechanisme leert ons niet alleen veel over de technische vaardigheden van de Grieken, maar ook over hun begrip van het heelal. In de Griekse en Babylonische astronomie waren cycli erg belangrijk: alle astronomische fenomenen kwamen na een bepaalde periode weer terug. Deze cycli zijn cruciaal voor het begrip van het Antikythera-mechanisme en vormen de basis voor de mechanismes van de tandwieltreinen.

De Griekse astronomie had de traditie het universum te beschrijven in geometrische modellen (zie figuur 4). In het begin bestonden deze uit een platte aarde omringd door verschillende lagen met daarin de hemellichamen. Later ontwikkelden deze modellen zich tot ingewikkelde technische complexen zoals een armillarium. De astronoom wiens kennis waarschijnlijk het meest heeft bijgedragen aan het Antikythera-mechanisme is Hipparchos, een astronoom in de 2de eeuw v.Chr. uit Nicaea. Hipparchos bracht volgens sommige onderzoekers de Griekse astronomie op haar hoogtepunt. Zijn beroemdste prestatie is de ontdekking van precessie, het fenomeen van het veranderen van de oriëntatie van de aardas ten opzichte van het heelal. Hipparchos stelde ook theorieën op voor de bewegingen van de zon, maan en planeten. Hij liet daarbij de hemellichamen op epicycli om de aarde bewegen. Een epicyclus is een cirkelvormige baan, waarbij het middelpunt een denkbeeldig punt is dat zelf ook beweegt in een cirkelvormige baan rond een tweede middelpunt – in het geval van astronomie is dat de aarde. De bewegingen van objecten op een epicyclus lijken sterk op het gedrag van objecten die een elliptische baan volgen. Omdat modellen gebaseerd op epicycli zo goed de werkelijkheid weerspiegelden werden ze tot in de 16de eeuw gebruikt. Hipparchos was overigens niet de eerste die epicycli gebruikte. Die eer komt toe aan Apollonios van Perga, een astronoom uit de 3de eeuw v.Chr., geboren in het huidige Turkije.

De Grieken waren echter niet de enigen die astronomie

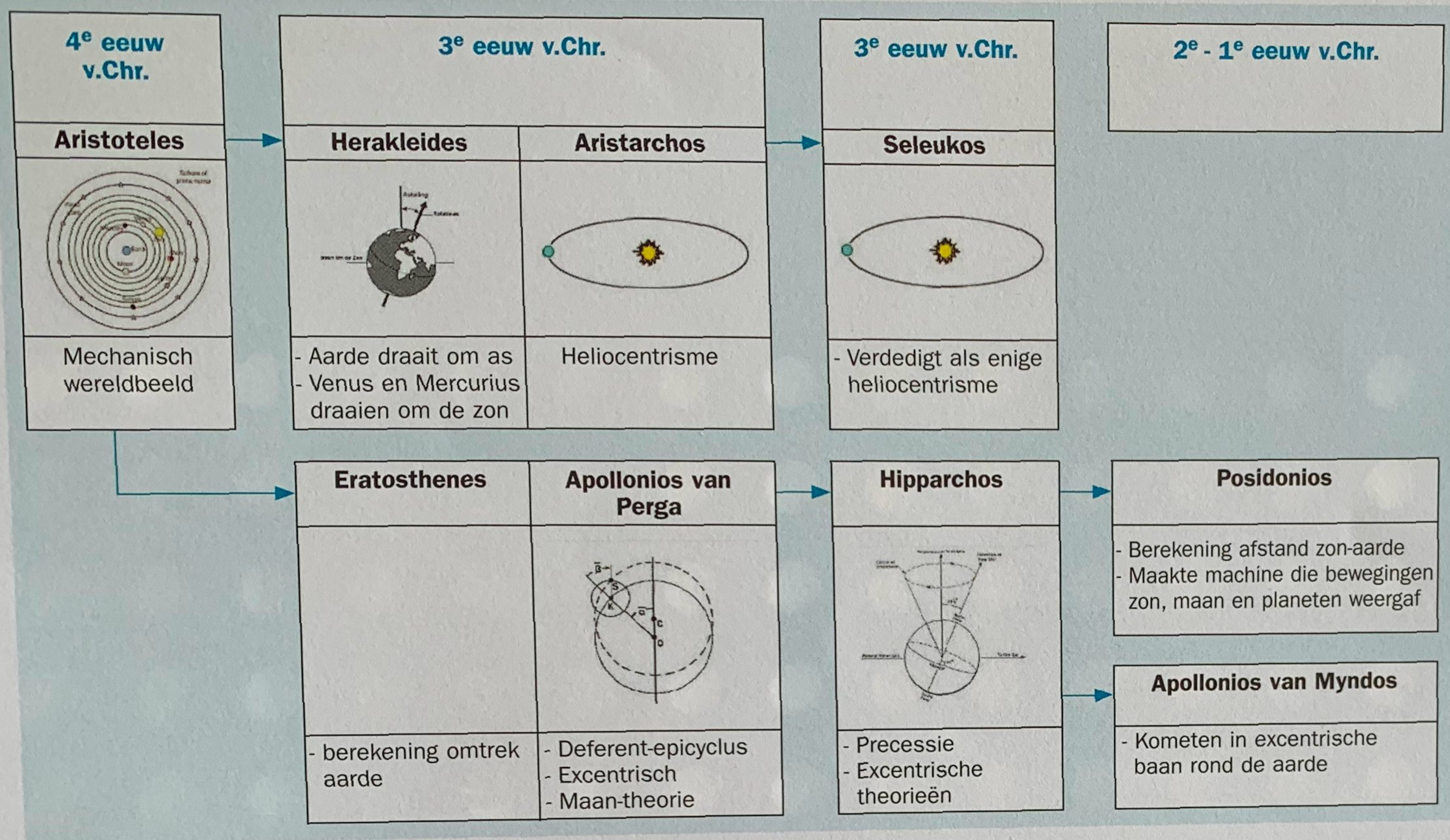


Fig.4. Het Griekse wereldbeeld.

bestudeerden. De Babyloniërs hadden een eigen traditie ontwikkeld, ouder zelfs dan de Griekse. In tegenstelling tot de Grieken was de Babylonische astronomie niet gebaseerd op geometrische modellen, maar alleen op rekenkunde. Ze schreven in vier verschillende genres over astronomie: astronomische dagboeken, doeljaarteksten, efemeriden en procedureteksten. De astronomische dagboeken zijn het oudste genre en misschien wel het belangrijkste. Zoals de naam al suggereert zijn het dagelijkse observaties van de nachtelijke hemel, waarbij bijvoorbeeld de eerste en laatste zichtbaarheid van planeten zorgvuldig werd bijgehouden. Dit genre is belangrijk omdat het heeft gezorgd voor een vrijwel continue stroom van data vanaf 748 v.Chr., het jaar waarin Nabonassar koning van Babylon werd. Veel Griekse astronomen maakten graag gebruik van al deze data. Het tweede genre, de doeljaarteksten, bestond uit voorspellingen van astronomische fenomenen voor een bepaald jaar.

Efemeriden zijn teksten waarin voorspellingen worden gedaan over de posities en bewegingen van planeten. Ze zijn erg belangrijk geweest voor ons begrip van de Babylonische astronomie, omdat deze teksten lieten zien dat de Babyloniërs theorieën voor de bewegingen van de planeten hadden opgesteld. De procedureteksten ten slotte zijn – eenvoudig gezegd – handleidingen voor het opstellen van efemeriden. Ze bevatten de theorie op basis waarvan de Babyloniërs hun voorspellingen maakten. Helaas is er geen enkele proceduretekst compleet teruggevonden.

Grieks en Babylonisch

Uit onderzoek is gebleken dat de bewegingen van de zon in het mechanisme waarschijnlijk door het model van Hipparchos of door een Babylonisch systeem worden uitgebeeld. Van de twee gangbare Babylonische systemen is bovendien juist de simpelere variant teruggevonden in het



Een van de vele reconstructies van het mechanisme (Nationaal Archeologisch Museum, Athene, foto Giovanni Dall'Orto).

Antikythera-mechanisme, terwijl men eigenlijk de complexere variant had verwacht, omdat die realistischer is. Een verklaring hiervoor is dat de simpelere variant eenvoudigweg makkelijker was om na te bootsen in een mechanisme. Het pin-slotmechanisme is een duidelijke indicatie dat voor de bewegingen van de maan het model van Hipparchos is gebruikt. Parameters die Hipparchos heeft vastgesteld, worden namelijk zo goed als exact weerspiegeld door het pin-slotmechanisme. De wijzerplaat van de Saros-cyclus is waarschijnlijk gebaseerd op een Babylonisch model, want de voorspellingen van het Antikythera-mechanisme bleken daarbij beter te passen dan bij een Grieks model.

Het Antikythera-mechanisme is dus duidelijk een Griekse uitvinding, met een sterke Babylonische invloed. Het is een geometrisch model en daarom in zijn kern Grieks. De Babylonische invloed is belangrijk voor de data waarop het Antikythera-mechanisme gemodelleerd is. Naast deze Babylonische invloed is ook de invloed van de theorieën van Hipparchos duidelijk. De oorsprong van de astronomische kennis van het Antikythera-mechanisme ligt dan ook bij een mengeling van Griekse (voornamelijk Hipparchos) en Babylonische bronnen.

Vanwege de Korinthische maandnamen op de Meton-cyclus meenden sommige onderzoekers dat Archimedes een rol in

de bouw van het Antikythera-mechanisme had. Zoals boven vermeld gebruikt het Antikythera-mechanisme de modellen van Hipparchos, die pas ruim een halve eeuw na de dood van Archimedes actief werd in de astronomie. Dit sluit enige invloed van Archimedes in het Antikythera-mechanisme uit.

Tot slot

Maar wat betekenen deze conclusies eigenlijk? Het feit dat er zoveel Babylonische invloed terug te vinden is in een Grieks mechanisme geeft aan dat er kennisuitwisseling tussen de Griekse en Babylonische wereld plaatsvond. Verder toont de invloed van Hipparchos aan dat het mechanisme na diens dood is gemaakt.

Het onderzoek naar het Antikythera-mechanisme is al een halve eeuw stevig aan de gang, maar veel vragen, zoals over een precieze datering, blijven nog onopgehelderd. Nieuwe data zijn vereist om deze vragen te beantwoorden. Duikexpedities naar het Antikythera-scheepswrak zijn nog recent uitgevoerd in een poging nieuwe fragmenten van het Antikythera-mechanisme te vinden.

Literatuur

- D. De Solla Price, *Gears from the Greeks: the Antikythera mechanism, a calendar computer from ca. 80 BC* (Philadelphia 1974).
- J. Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy* (Oxford 1998).
- T. Freeth, Y. Bitsakis e.a., Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism, *Nature* (2006) 587-591.
- T. Freeth e.a., Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, *Nature* (2008) 614-617.
- O. Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity* (Kopenhagen 1957).
- O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy* (Heidelberg & New York 1975).
- Das Schiffswrack von Antikytera, Titelthema, *Antike Welt* 5 (2015) 8-36.
- S. Stern, *Calendars in Antiquity: Empires, States, and Societies* (Oxford 2012).
- Website van het AMRP: www.antikythera-mechanism.gr



Detail van de inscripties op het mechanisme.

Noten

- 1 Zie voor uitgebreidere uitleg van de wetten van Kepler bijvoorbeeld www.fisme.science.uu.nl/nwd/nwd2006/handouts/Roelens.pdf.
- 2 Zie Freeth e.a. (2008) 614-617.