

Over echte en fictieve personen in de *Herscheping van de Wereld* van Floris Cohen: Ibn al-Haytham, al-Toesi, al-Kepler en al-Galilei.

Jan P. Hogendijk [\*]

De *Herscheping van de Wereld* van Floris Cohen is een prachtig boek over een van de wortels van de Westerse cultuur. Cohen behandelt de vraag, waarom de “wetenschappelijke revolutie” in het Europa van de zeventiende eeuw heeft plaatsgevonden en niet ergens anders. Volgens Cohen is men in de middeleeuws Islamitische wereld het dichtst bij zo’n ontwikkeling gekomen. De exacte wetenschappen ontwikkelden zich daar na 800 op basis van vertalingen uit het Grieks en Sanskrit. Omstreeks 1000 was er een grote bloei met als topfiguren Ibn al-Haytham en Al-Biroeni. Volgens Cohen was er echter kort na 1050 sprake van een steil verval. Als dat verval er niet geweest was, dan zou volgens hem een of twee generaties daarna een Islamitische Kepler en een Islamitische Galilei hebben kunnen optreden. In de Islamitische wereld had zich dan iets kunnen afspelen wat lijkt op de ontwikkeling in Europa tussen 1600 en 1640. Die ontwikkeling zou dan noodzakelijkerwijs, net als in Europa, in conflict gekomen zijn met het heersende wereldbeeld en de heersende religie, de Islam. En dan zou, volgens Cohen, de ontwikkeling hebben moeten stoppen. Hij geeft als redenen dat “de Islam niet over de geschikte hulpbronnen” beschikte “voor een ideologie die de fatale wereldbeschouwelijke gevolgen zou hebben kunnen helpen opvangen” (zoals de Baconiaanse ideologie in Europa). Dit heeft volgens Cohen ermee te maken dat “de Islam ... niet de wegen tot niet-lettelijke lezing” van de Koran kende. [1]

In deze discussiebijdrage zal ik in drie stellingen een alternatieve opvatting presenteren, maar eerst is het nodig, Cohen’s opvatting over het verval van de wetenschap in de Islamitische cultuur te relativiseren. Duizenden middeleeuws Arabische handschriften over wetenschappelijke onderwerpen zijn bewaard, en er worden steeds meer bestudeerd. Hierdoor ontstaat langzamerhand het inzicht dat de ontwikkeling in het Oosten van de Islamitische wereld na 1050 nog een paar eeuwen is doorgegaan, maar dat hiervan in het Westen in de middeleeuwen (en ook daarna) weinig is doorgedrongen. Een voorbeeld: In de algebra (trouwens een Arabisch woord) zijn in de negende eeuw kwadratische vergelijkingen behandeld door al-Khwarizmi. Zijn werk is in de middeleeuwen wel in het Latijn vertaald, en de naam van de man leeft voort in het woord algoritme. In de tiende eeuw slaagde men er in Iran voor het eerst in, één speciale derdegraads vergelijking op te lossen. Omstreeks

1075 schreef Omar Khayyam een boek over het meetkundig oplossen van alle typen derdegraads vergelijkingen. Hij ging niet in op de voorwaarden waaronder de wortels precies bestaan. Dit is moeilijker dan het oplossen van de vergelijkingen zelf, maar omstreeks 1200 werden deze voorwaarden afgeleid in Irak of Iran, en ook werden er procédés ontwikkeld om de wortels numeriek te benaderen. [2] Dit alles is wiskunde van een essentieel hoger niveau dan wat de eeuwen daarvoor gedaan werd. Daarna stagneert de ontwikkeling, althans voorzover we nu weten, maar in 1420 werd er nog een essentieel betere en snellere methode gevonden om de wortels van een bepaald type derdegraads vergelijkingen te berekenen. [3] Het tempo van de ontwikkeling in de algebra was tussen 1000 en 1200 grosso modo hetzelfde als tussen 900 en 1000. Er kunnen ook andere voorbeelden hiervan gegeven worden. Kortom, ik geloof niet zo erg in het steile verval na 1050. De invasie door de Mongolen en de daarmee samenhangende verwoesting van bibliotheken waren natuurlijk verschrikkelijk. Maar verval en wederopleving was kenmerkend voor de hele Islamitische traditie in de exacte wetenschappen. Dit werk was afhankelijk van steun door vorsten en hooggeplaatste personen, en zulke steun was van nature nogal grillig. Zodra de condities ergens weer goed waren, kwam er weer een opbloei, en in elk geval tot 1450 zijn bijzondere prestaties geleverd.

Cohen noemt als oorzaak voor het ontbreken van een Islamitische Al-Kepler en al-Galilei het veronderstelde steile verval na 1050, dat er volgens mij niet is geweest. Dat er toch geen Islamitische Al-Kepler en Al-Galilei waren, komt door twee andere redenen, die nu als discussiestellingen zullen worden geformuleerd. Daarbij zal ook aan de orde komen waarom er geen Al-Copernicus is geweest.

*Discussiestelling 1.* De boekdrukkunst was in Europa een essentieel voorwaarde voor het werk van Copernicus, Kepler en Galilei. Hoe essentieel deze was, is te zien aan de lotgevallen van Ibn al-Haytham's *Optica* in de Islamitische wereld.

Volgens Cohen was de boekdrukkunst geen essentiële voorwaarde voor de ontwikkeling van de wetenschap in de eerste helft van de zeventiende eeuw. [4] Een zelfde ontwikkeling had volgens hem ook in een handschriftencultuur kunnen plaatsvinden, omdat manuscripten in de Islamitische wereld goedkoop waren. Het gaat echter niet om goedkoop of duur, maar om verspreiding en kwaliteit van de teksten.

Als voorbeeld gebruik ik de *Optica* van Ibn al-Haytham in zeven delen,

geschreven omstreeks 1030. [5] Ibn al-Haytham ontrafelt in dit boek voor een deel het proces van het zien. Bijvoorbeeld, hoe het komt dat u het tijdschrift in uw hand kan zien, terwijl het toch geen licht geeft. Volgens Ibn al-Haytham komt dat, omdat er uit een primaire lichtbron (bijvoorbeeld: de zon) licht komt, dat zich volgens rechte lijnen voortplant. Wanneer dit op een ondoorzichtig voorwerp valt, wordt ieder punt van dit voorwerp een secundaire lichtbron, die op zijn beurt licht langs rechte lijnen naar alle kanten uitzendt. Dit secundaire licht komt op andere voorwerpen terecht die nu tertiaire lichtbronnen worden, en zo verder. Zo komt het licht uiteindelijk in uw oog terecht. Ibn al-Haytham toont dit alles aan met allerlei experimentele opstellingen. Zijn uitleg is correct en Ibn al-Haytham is de eerste in de geschiedenis die hem heeft gegeven.

In het eind van de dertiende eeuw wilde de Iraanse geleerde Kamal al-Din al-Farisi (1257-1319) graag aan optica werken. Zijn leraar Qutb al-Din al-Shirazi (gest. 1311) herinnerde zich dat hij in zijn jeugd een exemplaar van de *Optica* van Ibn al-Haytham gezien had in een bibliotheek in Iran. Qutb al-Din heeft met veel moeite een manuscript van Ibn al-Haytham's *Optica* laten komen uit een heel ver land (misschien wel Spanje). [6] Kamal al-Din schreef een commentaar op de *Optica*, en daaraan vastknopend gaf hij een correcte verklaring van de regenboog door breking en weerkaatsing van lichtstralen in regendruppels. Conclusie: een baanbrekend wetenschappelijk werk zoals de *Optica* van Ibn al-Haytham was anderhalve eeuw later voor een andere begaafde wetenschapper in de Islamitische wereld bijna nergens te vinden. Dit geval staat niet op zichzelf: een soortgelijk verhaal zou verteld kunnen worden over het grote werk van Abu Sahl al-Kuhi (ca. 970) over zwaartepunten, en over de verhandeling over lenzen van Al-<sup>c</sup>Ala ibn Sahl (ca. 980). Het is een wonder dat een manuscript van de *Optica* van Ibn al-Haytham in Spanje terecht gekomen is en in het Latijn is vertaald, zodat het boek in het middeleeuws Christelijke Europa bekend werd.

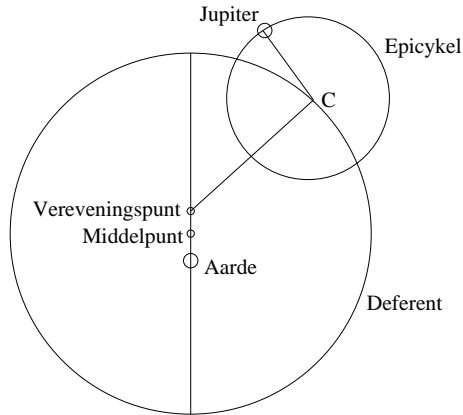
Na 1450 wordt in Europa alles anders door de ontwikkeling van de boekdrukkunst. Copernicus bijvoorbeeld gebruikte vele gedrukte boeken, [7] en van zijn eigen werk, *De Revolutionibus*, werden in 1543 omstreeks 500 exemplaren gedrukt en in 1556 nog eens 500 exemplaren. [8] Zoveel exemplaren van een controversieel en technisch boek waren in de Islamitische wereld ondenkbaar.

De kwaliteit van de teksten is ook belangrijk. Wanneer boeken gedrukt werden, werd er meestal eerst een drukproef gecorrigeerd door een deskundig persoon. [9] Hierdoor werd de kwaliteit van de hele oplage van de gedrukte

tekst gewaarborgd. Manuscripten werden gekopieerd door kopiïsten, die hun best deden, maar de teksten over wiskunde, sterrenkunde of optica meestal niet begrepen. Het gevolg hiervan waren fouten en dubbelzinnigheden in de kopieën, en in de meeste gevallen was er niemand aanwezig die de tekst kon corrigeren. Als dat wel zo was werd er maar één exemplaar gecorrigeerd, en niet 500 tegelijk. Als er diagrammen in de tekst voorkwamen werd alles vaak nog erger. Letters in de tekst die punten in deze diagrammen weergaven werden in Arabische teksten in het algemeen niet op eenduidige manier geschreven. En van een kopiïst kon niemand verwachten dat hij een technisch diagram, met vele lijnen en cirkels, helemaal correct kon weergeven. Om een middeleeuws Arabische wiskundige of sterrenkundige tekst te begrijpen is het meestal niet voldoende een manuscript te lezen. De lezer moet de bedoeling van de schrijver daarna nog reconstrueren. In de dertiende eeuw besteedde de beroemde geleerde Nasir al-Din al-Toesi (Iran) veel tijd aan het maken van een hele verzameling gereinigde versies van de standaard teksten van Euclides, Archimedes, Ptolemaeus, enz. Al dat werk was niet nodig geweest als hij deze teksten in gedrukte vorm had gehad. Ook tegenwoordig begint de studie van Arabische wetenschappelijke teksten met het maken van een kritische editie: vaak een hele klus. Een jaar geleden is de Iraanse wetenschapshistoricus Bagheri gepromoveerd in Utrecht op een tekst van de Iraanse sterrenkundige Kushyar ibn Labban (ca. 1000). Hoewel de Arabische manuscripten van goede kwaliteit waren, zijn hij en ik er niet in geslaagd alle diagrammen te reconstrueren. Kortom: de boekdrukkunst heeft zeker voor wiskunde en sterrenkunde een groot verschil gemaakt.

*Discussiestelling 2.* Een heliocentrisch [10] systeem met epicykels en berekeningen, zoals bij Copernicus (1543), is een noodzakelijke tussenstap tussen de geocentrische epicykels van Ptolemaeus (150 na Chr.) en de heliocentrische ellipsen van Kepler (1609). De Islamitische sterrekundigen hadden de kennis om zo'n heliocentrisch systeem met epicykels te ontwikkelen, maar ze zochten er niet naar. [11]

Ptolemaeus en de Islamitische sterrekundigen gingen uit van een geocentrisch universum waarin de zon en de planeten om de aarde bewogen. Elke planeet draaide op een epicykel, dat is een cirkel waarvan het middelpunt zelf weer in een andere cirkel draait, niet om de aarde maar om een punt daar vlakbij.



*Figuur 1. De planeet Jupiter draait met constante snelheid in een epicykel met middelpunt C. Het punt C draait in een cirkel met middelpunt in de buurt van de aarde. C draait met constante hoeksnelheid gezien vanuit het vereveningspunt.*

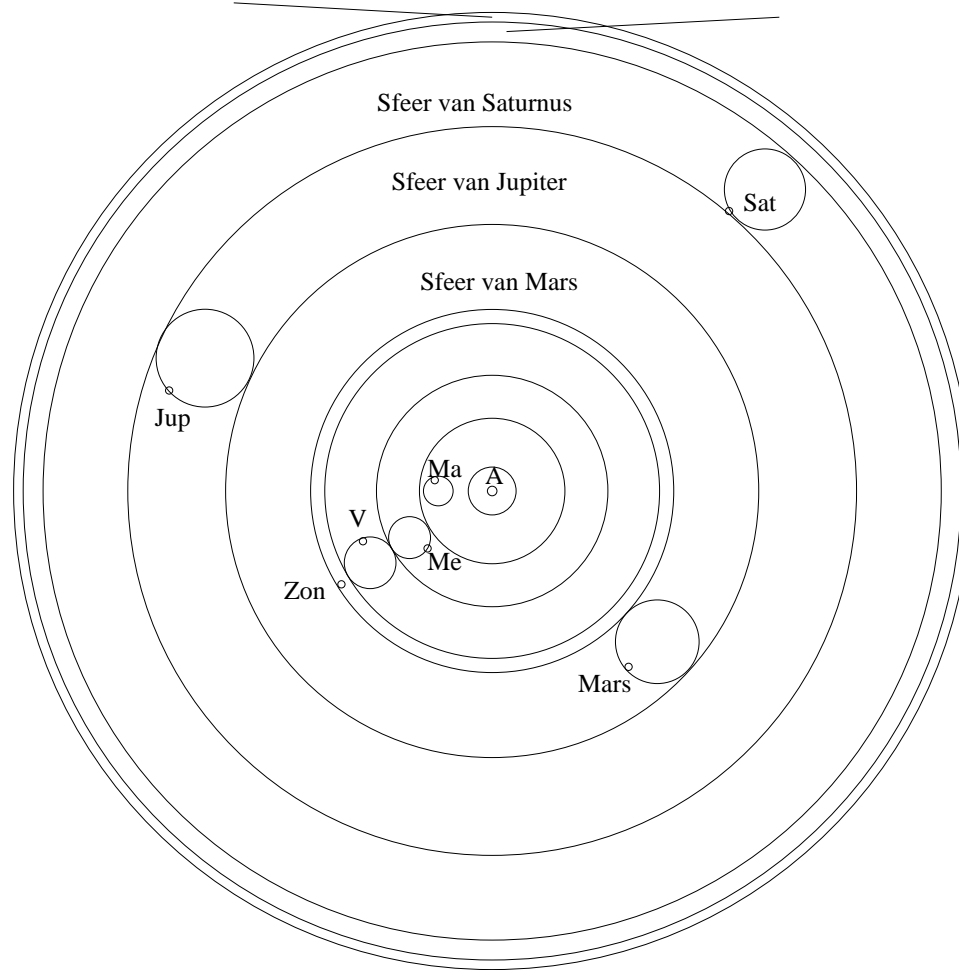
Dit systeem is “fout” vanuit modern fysisch oogpunt, en Cohen verwijt Ptolemaeus dat de cirkels in zijn systeem in “de realiteit” niet kunnen bestaan. [12] Ptolemaeus geloofde echter wel dat de planeten in de realiteit zo draaiden als hij in zijn modellen beschreef, ze zaten namelijk vast in draaiende sferen van hemelse substantie. [13] Hij laat ook zien dat je de afmetingen van die hemelse sferen zo kan maken dat alles past.

De modellen van Ptolemaeus waren zo goed dat de sterrenkundigen hiermee allerlei hemelverschijnselen konden voorspellen, zelfs het tijdstip en het verloop van zonsverduisteringen op een willekeurige plaats op aarde. Dit leverde een interessante confrontatie met de realiteit (voor Ptolemaeus en zijn Islamitische opvolgers), omdat een totale zonsverduistering slechts kort duurt. [14]

Copernicus ontwierp een systeem met epicykels waarbij de zon (en niet de aarde) in rust is. Hierdoor wordt het systeem eenvoudiger, de grote epicykels van de planeten zijn overbodig, en enkele “toevalligheden” in het systeem van Ptolemaeus worden verklaard. De zon staat vlakbij het middelpunt van het universum maar is zelf niet dat middelpunt. Pas Kepler heeft een nieuw systeem ontworpen waarin de planeetbanen ellipsen zijn met de zon in een brandpunt. Alle epicykels vallen nu weg en de zon krijgt een echte functie. Kepler koos pas voor zijn ellipsen na moeizaam rekenwerk aan de zeer goede waarnemingen van Tycho Brahe. Deze waarnemingen hadden een grotere nauwkeurigheid dan in de middeleeuws Islamitische wereld mogelijk was.

Buitenste sfeer (hemelequator, dierenriem)

Sfeer van de vaste sterren



*Figuur 2. Het heelal volgens Ptolemaeus.*

Er zijn dus twee stappen gemaakt: van geocentrisch naar heliocentrisch (door Copernicus), en van cirkels naar ellipsen (door Kepler). Deze twee stappen zijn te groot om tegelijk te doen. [15] Voordat je kan gaan nadenken over planeetbanen met de zon in een brandpunt moet je al een soort heliocentrisch systeem hebben. En daarmee bedoel ik niet een vage filosofische speculatie maar een systeem dat helemaal was doorgerekend, zoals bij Copernicus. Anders gezegd: als voorloper voor een Islamitische Al-Kepler zou er ook een Islamitische Al-Copernicus geweest moeten zijn. Er zijn twee rede-

nen waarom een heliocentrisch systeem niet in de Islamitische sterrenkunde ontwikkeld is.

De eerste reden is dat de Islamitische sterrenkunde zich na het jaar 1000 een andere kant uit ontwikkelde, meer in de richting van de natuurfilosofie. Ibn al-Haytham had gezegd dat de planeetbanen in overeenstemming moesten zijn met natuurfilosofische principes. Dat hoefden niet precies de principes van Aristoteles te zijn: bij de cirkelvormige beweging werd ook toegestaan dat het middelpunt niet de aarde was. Het mocht zelfs een bewegend punt zijn, mits dat punt zelf ook een cirkelvormige beweging had. De aarde bleef echter wel het uiteindelijke middelpunt van het heelal, en elke cirkelvormige beweging moest een constante snelheid hebben. Het systeem van Ptolemaeus voldeed daar zoals gezegd niet helemaal aan, maar in de 13e eeuw vond de al eerder genoemde al-Toesi een manier om met twee extra epicykeltjes deze oneffenheid uit het Ptolemaeisch systeem weg te werken. [16] Zo ontstonden uiteindelijk diverse geocentrische systemen die in overeenstemming waren met natuurfilosofische principes en ook met de waarnemingen die in die tijd beschikbaar waren. Als de Islamitische sterrenkundigen een heliocentrisch systeem met epicykels hadden willen ontwikkelen, hadden ze dat zonder moeite kunnen doen. Er waren geen nieuwe waarnemingen en ook geen nieuwe wiskunde voor nodig.

Er is een tweede verschil tussen de Islamitische en de Europese sterrenkunde. Copernicus kende diverse teksten van latere Griekse en Romeinse schrijvers die een heliocentrisch systeem noemen, of in elk geval een systeem waarbij Mercurius en Venus om de zon draaien. [17] Er zijn maar twee korte verwijzingen naar een heliocentrisch systeem bekend die uit het Grieks in het Arabisch vertaald zijn. Deze verwijzingen hebben in de Islamitische sterrenkunde geen aandacht getrokken. [18]

In de hele zestiende eeuw is er in Europa uitgebreid over het heliocentrische systeem gedebatteerd, waarbij de meesten er tegen waren. Maar dat er over gesproken werd, was natuurlijk wel belangrijk voor Kepler en Galilei. In de Islamitische sterrenkunde werd helemaal niet over een heliocentrisch systeem gesproken. Ook dat maakt het optreden van een Al-Kepler en Al-Galilei moeilijk denkbaar. [19] In moderne Islamitische landen krijg ik wel eens de vraag, waarom bepaalde kennis in 17e-eeuws Europa ontdekt is en niet bij hen. Daarop geef ik als antwoord: Omdat de boekdrukkunst niet in de Islamitische wereld ontwikkeld is (dit heeft te maken met het Arabisch schrift, dat niet op voor de hand liggende manier in losse letters kon worden verdeeld) en omdat in de Islamitische sterrenkunde geen heliocentrisch

systeem uitgewerkt is. Ik zoek het verschil niet in religie:

*Discussiestelling 3.* “De Islam” zou, net zo min als het Christendom, een essentiële belemmering zijn geweest voor de verspreiding van nieuwe wetenschap zoals die in Europa in de 17e eeuw is ontstaan. [20]

Omdat er geen Al-Kepler en Al-Galilei in de Islamitische wereld zijn geweest, is de vraag hoe de Islam hierop gereageerd zou hebben, van beperkt belang. Persoonlijk denk ik: niet veel anders dan het Christendom. Natuurlijk zouden er, net als in het Christendom, moeilijkheden gemaakt zijn. Maar in de Islamitische traditie bestaan ook wel degelijk mogelijkheden om op een niet-letterlijke manier met de tekst van de Koran om te gaan, net als in het Christendom met de bijbel. Kijken we eerst naar het Islamitisch erfrecht. Hiervoor worden in de Koran regels gegeven: [21] welk deel van de erfenis gaat naar zoon, dochter, ouders, enz. Deze regels zijn niet consistent. Het is gemakkelijk, familiesituaties te bedenken, waarin meer dan 100 procent van een erfenis uitgekeerd zou moeten worden als we de tekst letterlijk nemen. Natuurlijk is hier in de orthodoxe Islam iets op gevonden, dat inhoudt, dat je die teksten niet letterlijk neemt maar de getallen aanpast zodat er wel iets zinnigs uitkomt. Islamitische filosofen hebben trouwens ook beargumenteerd dat in de context van natuurwetenschappelijk onderzoek van een letterlijke interpretatie van de Koran kan worden afgeweken. [22]

Een tweede argument is dat “Islam” meer inhoudt dan orthodoxie. Ook in later eeuwen bestond kritiek op de vertegenwoordigers daarvan. Een mooi voorbeeld is Omar Khayyam (1048-1131), de al eerder genoemde wiskundige die ook dichter was, beroemd vanwege zijn kwatrijnen. Hij was trouwens ook Korangeleerde. In een van zijn kwatrijnen zegt hij: Je kan beter in de kroeg met een glas wijn je geheimen aan God blootleggen, dan dat je in de moskee zonder God aan het papagaaiengebed meedoet. In een ander kwatrijn heeft hij het vermoedelijk over een paar theologen. Hij zegt: als je bij deze mensen bent, kun je je het beste als een ezel gedragen. Want iedereen die niet net zo’n ezel is als zij, is volgens hen een ongelovige. [23] De kritische tendensen waren niet overheersend, maar daar gaat het niet om; aanwezig waren ze wel. In de Islamitische mystiek was men niet echt geïnteresseerd in orthodoxie. De mystieke poezie van Jalaluddin Roemi (1207-1273) is tegenwoordig razend populair in Amerika - waarbij de meeste lezers niet eens weten dat Roemi een Moslim was.

Mijn derde argument is het enthousiasme waarmee de westerse natuurwe-

tenschap tegenwoordig wordt omhelsd (je kunt het moeilijk anders noemen) in sommige streng-Islamitische landen, met name Saoedi-Arabië en Iran. Een goede bekende van mij in Saoedi-Arabië is imam, en tevens docent mechanica aan een technische universiteit. Blijkbaar is het voor hem geen probleem de Newtonse mechanica met de Islam te rijmen. Ik krijg het gevoel dat niemand in het tegenwoordige Iran zich zorgen maakt over een conflict tussen Islam en moderne natuur- en sterrenkunde. Enige jaren geleden was ik aanwezig op een bijeenkomst in het Ministerie van Islamitische begeleiding in Kerman, waar een film werd vertoond van Stephen Hawking over de geschiedenis en structuur van het universum. De film werd in het Perzisch vertaald en werd met grote belangstelling gevolgd door alle aanwezigen, waaronder veel vrouwen.

Conclusie: het zou in principe niet onmogelijk geweest zijn, “de Islam” met het werk van een Al-Kepler en Al-Galilei te harmoniseren. Structuren in de middeleeuws Islamitische maatschappij zouden uiteraard wel een belemmering geweest kunnen zijn, maar ik vind het niet erg zinvol hierover verder te speculeren (er waren immers geen Al-Kepler en Al-Galilei). [24]

Tot slot een opmerking terzijde: het Christendom is veranderd door de omgang met de wetenschap en haar producten. Nu in de Islamitische wereld miljoenen jonge mensen de Westerse natuurwetenschap bestuderen, heeft dit uiteraard gevolgen voor de Islamitische cultuur, en, naar ik verwacht, ook voor de Islamitische religie. Er is volgens mij in de huidige Islamitische wereld een interessant veranderingsproces aan de gang, dat zich onttrekt aan de invloed van Islamitische theologen en dat ook onbekend is in de Westerse media. Ook binnen de Islam is het leven uiteindelijk sterker dan de leer.

Utrecht, 4 april 2008.

[\*] Mathematisch Instituut, Faculteit Betawetenschappen, Universiteit Utrecht, Postbus 80.010, 3508 TA Utrecht; Mathematisch Instituut, Universiteit Leiden, Postbus 9512, 2300 RA Leiden.

[1] F. Cohen, *De herschepping van de wereld*, 187, 188.

[2] Zie voor alle verwijzingen: J.P. Hogendijk, 'Sharaf al-Din al-Tusi on the number of positive roots of cubic equations', *Historia Mathematica* 16 (1989) 69-85.

[3] Het gaat om de derdegraadsvergelijking met als wortel de sinus van één graad. Zie B.A. Rosenfeld, J.P. Hogendijk, 'A mathematical treatise written in the Samarqand observatory of Ulugh Beg', *Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften* 15 (2003) 25-65.

[4] Cohen (n. 1), *Herschepping*, 128.

[5] Matthias Schramm, *Ibn al-Haytham's Weg zur Physik* (Wiesbaden 1963).

[6] Zie A.I. Sabra, 'The "Commentary" that saved the text: the hazardous journey of Ibn al-Haytham's Arabic Optics', *Early Science and Medicine* 12 (2007) 117-133.

[7] Zie bijv. O. Neugebauer, N. Swerdlow, *Mathematical astronomy in Copernicus's De Revolutionibus* (New York 1984) Part 1, 50-56.

[8] Zie O. Gingerich, *Het boek dat niemand las* (Amsterdam 2004) 126-132.

[9] Bij *De revolutionibus* van Copernicus werd de drukproef van de eerste druk gelezen door zijn leerling Rheticus.

[10] De zon hoeft niet precies het middelpunt van het hele systeem te zijn, en daarom gebruiken moderne wetenschapshistorici soms de meer precieze term *heliostatisch*.

[11] Cohen (n. 1), *Herschepping*, 89-92.

[12] Cohen (n. 1), *Herschepping*, 26.

[13] Zie Bernard R. Goldstein, 'The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*', *Transactions of the American Philosophical Society* (Philadelphia 1967) 57 no. 4.

[14] In de negende en tiende eeuw probeerden Islamitische astronomen om deze voorspellingen te vergelijken met de waarnemingen, en de modellen zo te corrigeren dat de verschillen wegvielen. Zie bijvoorbeeld A.P. Caussin de Perceval, 'Le livre de la grande table Hakémité', *Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque Nationale et autres bibliothèques* 7.12 Paris (1803-1804), m.n. 100, 108, 130, 136, 180-184; herdrukt in F. Sezgin, ed., *Islamic Mathematics and Astronomy* 24 (Frankfurt 1997).

[15] Vgl. ook van Bernard R. Goldstein, Giora Hon, 'Kepler's Move from

Orbs to Orbits: Documenting A Revolutionary scientific concept', *Perspectives on Science* 13 (2005), 74-111, m.n. 79, 84-86.

[16] Zie O. Neugebauer, N. Swerdlow (n. 7), *Mathematical astronomy* Part 1, 41-48. Copernicus maakte ook gebruik van deze truc.

[17] Zie T.L. Heath, *Aristarchus: the ancient Copernicus* (Oxford 1913) 301-310, en Bernhard Goldstein, 'Copernicus and the Origin of his Heliocentric System', *Journal for the History of Astronomy* 33 (2005) 219-235. Het heliocentrisch systeem wordt ook genoemd in de *Zandrekenaar* van Archimedes, maar deze was onbekend aan Copernicus, en trouwens ook niet in het Arabisch vertaald.

[18] Zie Hans Daiber, *Aetius Arabus* (Wiesbaden 1980) 152-152, 158-161: "Sommige wiskundigen ... vinden dat de zon in het midden van het heelal is" (II 15,5) en "Aristarchus plaatst de zon onder de vaste sterren, en (hij zegt) dat de aarde in de baan van de zon beweegt" (*(wa-ammā Aristarkhus fa-innahu yada<sup>c</sup> al-shams ma<sup>c</sup>a al-kawākib al-thābita wa-'anna al-ard tataharraka fī falak al-shams)* (II 24,8; dit is een Arabische versie van de Griekse passage vertaald in T.L. Heath (n. 17), *Aristarchus* 305 regel 3-5).

[19] Er werd in de Islamitische wereld wel over de mogelijke rotatie van de aarde gesproken. Al-Biroeni zegt dat de sterrenkundigen niet kunnen uitmaken of de aarde wel of niet roteert, omdat alle verschijnselen op grond van beide hypothesen (roterende of stilstaande aarde) correct beschreven kunnen worden. Zie Eilhard Wiedemann, 'Über die Anschauungen der Araber über die Bewegung der Erde', *Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften* 11 (1912) 131. Herdrukt in Eilhard Wiedemann, *Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte* (Frankfurt 1985) vol. 2.

[20] Cohen (n. 1), *Herschepping*, 187-188.

[21] *Koran*, Soera 4, verzen 7, 11-14, 176. Zie ook Ulrich Rebstock, *Rechnen im islamischen Orient* (Darmstadt 1992) 219.

[22] Zie bijvoorbeeld Averroes, *Geloof en Wetenschap in de Islam: Averroes' 'Het beslissende woord'*, ingeleid en vertaald door Remke Kruk (Kampen 2006) m.n. 38-40.

[23] A. Arberry, *Omar Khayyam: A new version based on recent discoveries* (London, reprint ed., 1959) nos. 87, 238.

[24] Zie eventueel Toby Huff, *The rise of early modern science* (Cambridge 1993).