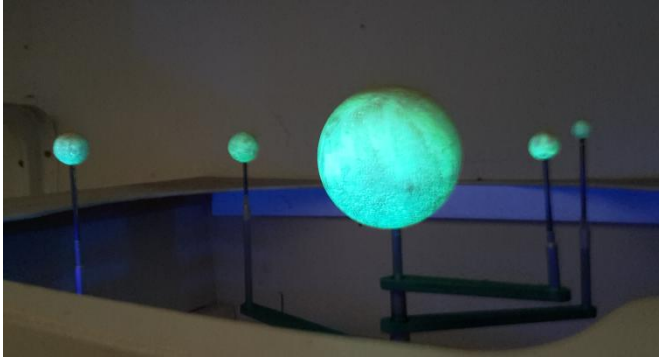


Jupiter en zijn Galileïsche manen



Jupiter en de Galileïsche manen in Toldijk

In de koepel van de Zuidelijke Hemel heeft Henk Olthof het mechaniek van Jupiter met vier van zijn manen opgesteld. Bij rondleidingen laten we dit gebouw meestal met rust. De rondleiding zou te lang duren als we bezoekers ook nog rondleiden in deze koepel. Misschien moeten we ons programma maar eens aanpassen, want afgelopen zomer kwam van onder de kast waarop het mechaniek staat te pronken, een bijzonder raderwerk te voorschijn.

Waarom heeft Henk Olthof dit mechaniek gemaakt? Zeker weten zullen we het nooit, maar er is alle reden om aan deze manen bijzondere aandacht te besteden. De ontdekking van deze manen rond 1610 maakt deel uit van een fundamenteel andere manier van denken van de mens over de plaats van de aarde in het heelal. Daarom eerst een uitstapje terug in de tijd.

"Eppur, si muove!" ("En toch beweegt zij!")

Dit waren de woorden die Galilei Galileo in 1633 gezegd zou hebben, toen hij veroordeeld werd om zijn voor die tijd ketterse gedachte dat de aarde om de zon draait. Tot rond 1550 was er niemand die eraan twijfelde dat de aarde het middelpunt van het heelal is en dat de zon, de maan, de planeten en de sterren om de aarde draaien.

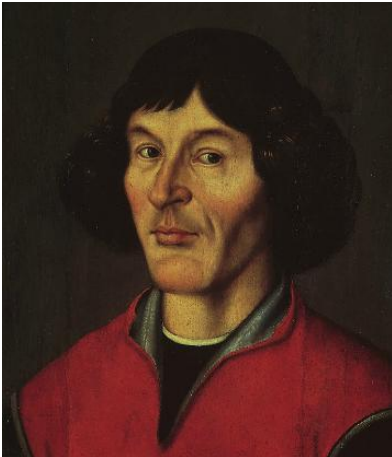
Een niet zo verwonderlijke gedachte. Immers, je ziet het toch: de zon draait in de loop van de dag van het oosten naar het westen en de sterren doen hetzelfde zonder dat ze onderling van plaats veranderen. Daarbij, als de aarde om de zon zou draaien, moet je het toch voelen, je haren moeten wapperen in de wind. (Hoe de atmosfeer werkt, was nog niet bekend.) Vervolgens zorgt de zwaartekracht van de aarde er ook nog eens voor dat alles naar de aarde toevalt. Een appel valt nu eenmaal naar de grond en verdwijnt niet richting de zon.

Goed, er bleef één probleem over: de retrograde beweging¹ van de planeten. De Grieken noemden deze merkwaardig "dolende sterren" aan het firmament dan ook "planetes" ("zwerfers"). Zo komen we aan de term planeet.

Eeuwenlang twijfelde niemand aan dit wereldbeeld; het was vanzelfsprekend dat God de mens in het centrum van het universum had geplaatst (geocentrisch wereldbeeld). Maar rond 1550 veranderde de kijk op het heelal drastisch.

¹ Een hemellichaam is **retrograad** als het zich vanaf de aarde gezien in tegengestelde richting beweegt ten opzichte van de meerderheid van de naburige hemellichamen. Meestal bewegen alle planeten zich in dezelfde richting, maar zo af en toe is de beweging tegengesteld. Het voert te ver om nu in te gaan op de oorzaak hiervan. Bij het bestuderen van de beweging van de planeten aan de hemel, moeten we er ons van bewust zijn dat die schijnbare terugwaartse beweging het gevolg is van de omwenteling van de aarde rond de zon én de omwenteling van een van de andere planeten rond de zon.

Niklas Koppernigk (1473 – 1543)



Nicolaas Copernicus (foto: Pearson Education)

Nicolaas Copernicus (Niklas Koppernigk), geboren in Pruisen, was kanunnik aan de kathedraal van Frauenburg. Hij was een groot geleerde: kerkelijk jurist, arts, econoom, astronoom en diplomaat.

Zijn boek "De revolutionibus orbium coelestium" (Over de omwenteling van de hemellichamen) wordt beschouwd als één van de grote werken in de wetenschapsgeschiedenis. In dit boek formuleert Copernicus een nieuw model van ons zonnestelsel, waarbij de zon in het centrum van het universum wordt geplaatst (heliocentrisch wereldbeeld). Het is niet de zon die om de aarde draait, maar de aarde die samen met de andere planeten om de zon draait. (Een eerste uitgave van dit boek is dichtbij te bewonderen: in de Librije in Zutphen.)

Met zijn boek werd hij de grondlegger van de theorie van het heliocentrische wereldbeeld. In de Oudheid was de Griek Aristarchos van Samos al op dezelfde gedachte gekomen. Maar zijn ideeën hebben nooit opvolging gehad en waren allang in de vergetelheid geraakt.

Copernicus publiceerde zijn werk vlak voor zijn dood. Er wordt beweerd dat dat uit angst was voor represailles van de Kerk van Rome. Immers het heliocentrische wereldbeeld strookte niet met de kerkelijke leer. Meer waarschijnlijk is echter dat hij zijn werk pas zo laat publiceerde, omdat hij bang was voor kritiek, omdat het bewijs van de juistheid van de theorie nog niet sluitend was. Pas door tussenkomst van zijn leerling Rheticus stemde Copernicus uiteindelijk in met de publicatie.

We zullen nog vijftig jaar moeten wachten voordat het bewijs van de juistheid van de heliocentrische theorie geleverd zou worden. Daar was eerst de uitvinding van een kijker voor nodig. En dat leidt tot een uitstapje naar Middelburg.

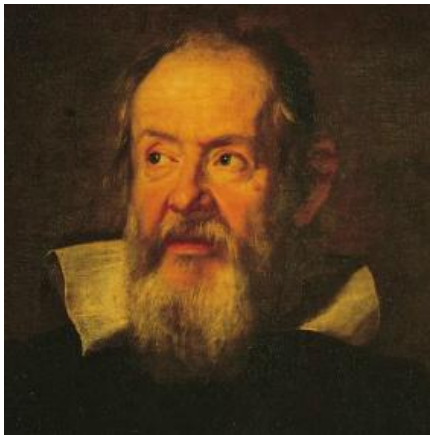
Hans Lipperhey (1570 – 1619)

Daar, in Middelburg, woonde een beroemde, onbekende Nederlander, die om een onverklaarbare reden onze geschiedenisboekjes nooit heeft gehaald: de brillenmaker Hans Lipperhey. In 1607 ontdekte hij in zijn werkplaats bij toeval dat als je twee lenzen achter elkaar plaatst, je een vergroot beeld van de verte te zien krijgt. (De anekdote wil dat zijn twee zonen in de werkplaats aan het spelen waren met de lenzen op de werkbank en dat zij voor het eerst, zonder het te weten, door een 'telescoop'² hebben gekeken.) Hoe dan ook, zeker is dat Hans Lipperhey voor zijn 'seecker instrument omme verre te sien' naar Den Haag ging om daar op 2 oktober 1608 octrooi aan te vragen voor zijn uitvinding van een kijker, die het beeld niet meer dan 3 à 4 keer vergrootte. Hij toonde zijn kijker ook aan prins Maurits, die wild enthousiast was over de vinding, want - zo staat het in een geschrift in de Koninklijke Bibliotheek in De Haag vermeld - hij kon vanaf het Binnenhof de kerkklok van Delft zien 'op anderhalf-uur gaans'. Verder dan een strategische waarde van het instrument kwam Prins Maurits niet. Die had zijn handen vol aan de 80-jarige oorlog en dan komt zo'n kijker goed van pas: je kunt de vijand eerder zien aankomen.

² Voor het gemak wordt hier het woord 'telescoop' gebruikt. Dit woord is echter pas een paar jaar na de uitvinding bedacht (telescopium = het verziend instrument). Ten tijde van de uitvinding heette het instrument 'het instrument omme verre te sien'.

Maurits was zo enthousiast dat hij de nieuwe vinding aan de Spaanse markies Spinola liet zien. Deze op zijn beurt heeft waarschijnlijk de uitvinding doorverteld aan de pauselijke nuntius Bentivoglio. Zo is door de loslippigheid van prins Maurits de uitvinding de Venetiaan Galilei Galileo ter ore gekomen. Deze heeft onmiddellijk begrepen hoe Lipperhey de telescoop gemaakt heeft en hij bouwde vervolgens een veel betere kijker, waarmee hij niet op zoek ging naar de vijand, maar waarmee hij naar boven keek, naar de sterren en planeten, met name naar Jupiter, Venus en Saturnus.

Galilei Galileo (1564 - 1642)



Galileo Galilei (foto: Pearson Education)

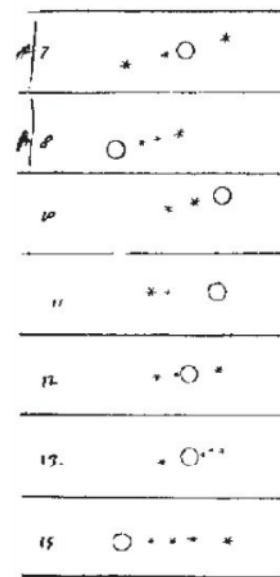
In augustus 1609 bouwde Galilei een kijker die achtmaal vergrootte en enkele maanden later een telescoop die twintig keer vergrootte. Het legde hem geen windeieren, want hij kreeg van de Venetiaanse Senaat een verdubbeling van zijn salaris en een vaste aanstelling aan de universiteit.

Met zijn telescoop zocht Galilei niet naar de vijand, maar hij keek ermee naar de hemel en hij zag vier 'sterren', die niet om de aarde, maar om Jupiter draaiden. Hij vernoemde ze naar zijn broodheren: de 'Medici-sterren'. En deze 'sterren' verschaften hem munitie om het wereldbeeld volgens Copernicus te kunnen bevestigen; het bewijs dat niet alle hemellichamen om de aarde draaien, was geleverd. En hoewel Galilei nog meer bewijs

aandroeg voor de juistheid van de theorie van Copernicus, zijn deze vier manen, de 'medici-sterren', de symbolen geworden van een nieuw wereldbeeld. Later zijn de manen – van binnen naar buiten Io, Europa, Ganymedes, Callisto – naar Galilei vernoemd: de Galileïsche manen.

De Galileïsche manen van Toldijk

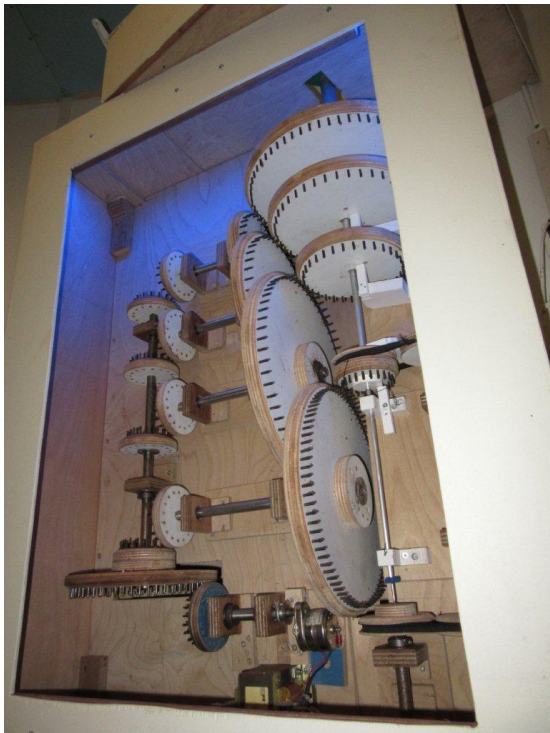
Henk Olthof heeft de bezoekers aan zijn planetarium ongetwijfeld duidelijk willen maken dat de manen van Jupiter, die met zijn telescoop in z'n achtertuin aan de Hoogstraat bij helder weer prima te zien zijn, bakens in de ontwikkeling van de astronomie zijn geweest. Op de hem vertrouwde wijze heeft hij de loop van de manen gevisualiseerd met een wel heel uitzonderlijke kijkdoos. In de koepel van de Zuidelijke Hemel staat een klein planetarium waar Jupiter en zijn vier Galileïsche manen in de duisternis oplichten met fluorescerend licht. Een sprookjesachtig gezicht, een fraai instrument, waarbij een elektromotortje het mechaniek van hout en ijzeren pinnen aandrijft.



Tekening van Jupiter en de manen, opgetekend door Galilei

De resonantie

Een twintigtal raderen zorgen ervoor dat de vier manen om Jupiter draaien, waarbij Jupiter ook nog eens om zijn eigen as draait. Op zich al een constructie om vol bewondering naar te kijken. Maar er komt meer om de hoek kijken: de manen draaien niet zomaar op eigen houtje, in eigen tempo om Jupiter. Ze draaien met een zekere regelmaat om de planeet: resonantie. Daarom eerst aandacht voor deze wetmatigheid in de natuur.



Het mechaniek van Jupiter en zijn manen in de Zuidelijke Hemel.

Het is deze omloopverhoudingen die we terugvinden in het mechaniek van Henk Olthof.

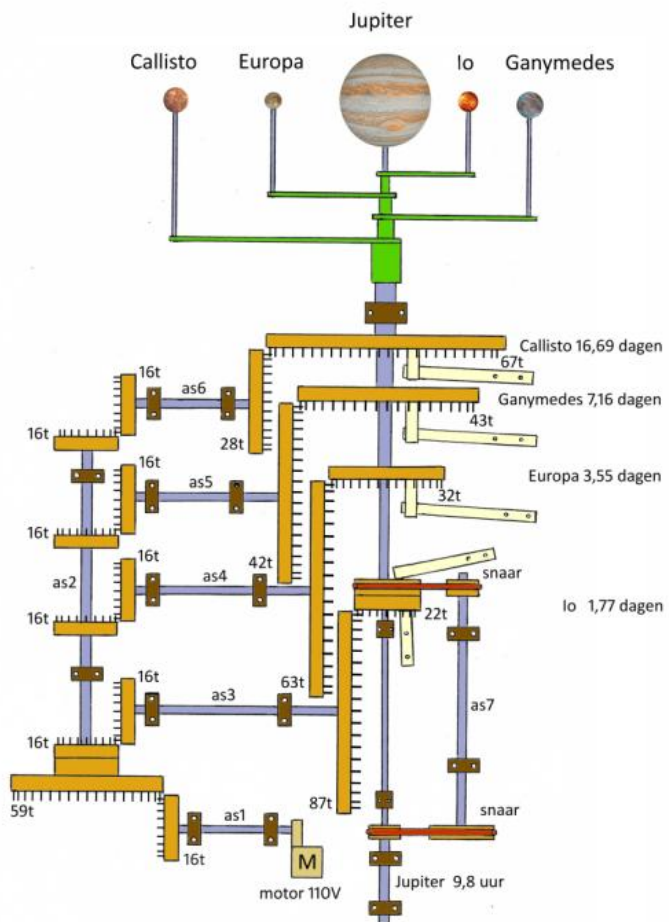
De Galileïsche manen van Jupiter in Toldijk

Hoe Henk Olthof deze juiste omlooptijden heeft berekend, ziet u in de werktekening hiernaast. Bovenin ziet u Jupiter en de vier Galileïsche manen. Onderin het motortje M dat het mechaniek aandrijft. De motor drijft de vier raderen links aan. De linker as vertraagt enkel de snelheid van het motortje (16/59e; van as 1 naar as 2). Vervolgens wordt de kracht verdeeld over de vier schijven die de manen aandrijven (assen 3 t/m 6). Nu is er genoeg ruimte gewonnen om de schijven van verschillende doorsnee elkaar te laten aandrijven. Tellen we het aantal tanden

Baanresonantie is het verschijnsel dat twee planeten om een ster of twee manen om een planeet omlooptijden hebben, die zich bij benadering verhouden als eenvoudige hele getallen. De twee planeten en manen komen dan ook regelmatig bij elkaar langs en ondervinden zo periodiek op dezelfde plaats elkaars zwaartekracht. Dit helpt het systeem van draaien een bepaalde regelmaat te geven. (Net zoals u vroeger op een schommel bleef zwaaien als een van uw ouders u telkens op hetzelfde punt een duw gaf. Als u op onregelmatige momenten een duw had gekregen, was het mis gegaan en kwam u niet aan schommelen toe.)

Er zijn vele voorbeelden in ons zonnestelsel van deze resonantie. Zo verhouden de omlooptijden van Neptunus en Pluto zich als 2 staat tot 3, en Jupiter en Saturnus als 2 staat tot 5. Ook bij de drie binnenste manen van Jupiter is er sprake van resonantie.

Ganymedes, Europa en Io draaien rond Jupiter in de verhouding 1 : 2 : 4. Deze van elkaar afhankelijke omlooptijden geven deze manen hun stabiele baan.



tekening: Henk Stermerding

van elke schijf dan vinden we al gauw de verhouding in omlooptijden van Io, Europa en Ganymedes terug:

- Io verhouding 87 naar 22 4/1
- Europa verhouding 63 naar 32 2/1
- Ganymedes verhouding 42 naar 43 1/1

Voor de rekenliefhebbers

De raderen van Io en Europa missen één tand voor bovenstaande verhoudingen (Io: $4 \times 22 = 88$ terwijl het tweede tandwiel maar 87 tanden telt; ook Europa: $2 \times 32 = 64$ terwijl het tweede wiel maar 63 tanden telt.) Bij Ganymedes hebben we daarentegen één tand teveel. Beslist geen vergissing van Henk Olthof! Integendeel, het getuigt van een uitzonderlijke opmerkingsgave en rekenvaardigheid van hem! Hij is bij zijn ontwerp heel precies te werk gegaan.

Wat blijkt? De verhouding tussen de omlooptijden van de manen is in werkelijkheid niet exact $4 : 2 : 1$, maar iets afwijkend. Als we de omlooptijd van Ganymedes op 1 stellen, is die voor Europa 2,0143 en voor Io 4,0444. De natuur geeft er blijk van niet altijd van hele getallen te houden.

Door bovenstaande, op het eerste oog merkwaardige tandwielverhoudingen te nemen, komt Henk Olthof in de Zuidelijk Hemel tot bijna exact dezelfde omloopverhouding als aan de hemel bij Jupiter plaatsvindt. Aan de hand van de tabel hieronder kunt u het narekenen. U ziet in de linkerkolommen de omlooptijden van de manen met de berekening van de verhouding tussen deze omlooptijden. In de rechterkolommen ziet u achtereenvolgens de tandwielverhoudingen van het manenmodel in Toldijk, de versnelling die met deze verhoudingen bereikt wordt (Ganymedes kleiner dan 1, immers het aantal tanden neemt toe) en uiteindelijk de verhouding tussen de versnellingen waarbij de omlooptijd van Ganymedes op 1 gesteld is.

	verhouding	omlooptijden manen Jupiter					Achterhoeks Planetarium			
		dagen	uren	minuten	totaal aantal minuten	verhouding	tanden		versnelling	verhouding
							rad 1	rad 2		
Io	4	1	18	28	2547,6	4,0440	87 / 22	3,954545	4,0487	
Europa	2	3	13	15	5114,6	2,0144	63 / 32	1,968750	2,0156	
Ganymedes	1	7	3	43	10302,6	1,0000	42 / 43	0,976744	1,0000	

Callisto doet niet mee aan deze regelmatige carrousel, zijn omlooptijd is 16,69 dagen wat bereikt wordt met de tandwielverhouding 28/67. Ten slotte draait Jupiter nog eens om zijn eigen as. Om deze rotatie te bereiken heeft Henk Olthof twee snaren gebruikt (rechtsonder) die ervoor zorgen dat het tandwiel van de maan Io as (nr) 7 aandrijft, waardoor de lange binnenstaaf ervoor zorgt dat Jupiter in 9,8 uur om zijn as wentelt. Tenslotte zorgen de gele staafjes ervoor dat de schijven iets geremd worden, zodat de manen gelijkmatig ronddraaien en niet schokken bij het wisselen van tand bij het ronddraaien.

En zo gunt Henk Olthof het ons om een prachtige kijk te hebben op vier astronomisch bijzondere manen, die mede het bewijs leverden van ons huidige wereldbeeld. Eigenlijk zijn het symbolen van de nieuwe tijd die aanbrak, de Renaissance.