

Christiaan Huygens 1629-1695

Bekijk dit boekje liefst beeldvullend .

Blader met toetsenbordpijltes of met

. Raadpleeg de helppagina voor
het knippen en plakken van tekst en afbeel-

dingen. Klik op items in de inhoudsopgave

of gebruik de index . Zoek namen
en woorden of ga rechtstreeks naar een
bepaalde pagina **1 / 55**.

Voor meer informatie: bezoek de website

Museum Boerhaave: Algemene

Natuurwetenschappen (ANW) .

Voorwoord

Christiaan Huygens: leven en werk

De wetenschap in
Parijs
Terug naar Den Haag
Wetenschappelijk werk
Basis-ideeën
Techniek

Slingeruurwerken

Export van slingerklokken
Pieter Visbagh en Johannes van Ceulen
Invloed uit Engeland

Zee-uurwerken

Lengtebepaling
Slingeruurwerk
Zee-uurwerk
Onrust
Twintigduizend pond sterling

Theorie van het licht

Huygens' lichttheorie
Newtons lichttheorie
19e eeuwse lichttheorie

Telescopische astronomie

Saturnus
Buisloze kijker
Sirius

Wiskunde

De kettinglijn – een test-case

De cycloïde –
onverwachte ontmoetingen
Kans

Theorieën over muziek

Vrije kunsten
Het stemmingsprobleem
31-toonsstelsel
Verklaring van de consonantie

Mechanica

Botsing
Centrifugale kracht
Postume publicatie
Wetenschappelijke methode
Newton

Kosmologie

Copernicanisme
Bewondering voor de Schepping
Postume uitgave

Microscopie

Lenzen
Verbeterd oculair
Waarnemingen

Technische vondsten

Buskruitmotor
Toverlantaarn

Literatuur

Voorwoord

Christiaan Huygens is één van Nederlands grootste geleerden geweest, zo niet de allergrootste. Toch is zijn werk niet gemakkelijk onder één noemer te brengen: daarvoor is het te veelzijdig. Er is geen gebied van de 17e eeuwse natuurwetenschap te bedenken waarop hij niet tal van nieuwe vondsten heeft gedaan, of het nu gaat om de tijdmeting door middel van slingers, de ring van Saturnus, de verklaring van het licht, de eigenschappen van allerlei krommen of de uitvinding van een buskruitmotor. Maar van geen enkele van die ontdekkingen kun je zeggen: dit is de belangrijkste, hier heeft het uiteindelijk om gedraaid. Deze veelzijdigheid van Christiaan Huygens is in dit boekje terug te vinden.

Na een inleidend hoofdstuk over zijn leven en zijn wetenschappelijk werk, volgen tien losse verhalen over even zo vele van zijn onderzoeksgebieden.

De teksten verschenen eerder als losse vouwbladen bij de tentoonstelling 'Een Quaestie van tijd', die het Museum Boerhaave in 1979, naar aanleiding van de 350e geboortedag van Christiaan Huygens, inrichtte in Parijs en vervolgens in Leiden. Voor deze heruitgave zijn de teksten op enkele punten licht gewijzigd; in de literatuurverwijzingen zijn de belangrijkste sindsdien verschenen nieuwe studies opgenomen.

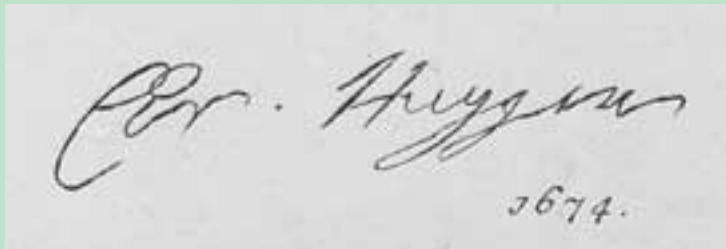
Colofon

Deze online uitgave is gebaseerd op Mededeling 224 van het Museum Boerhaave te Leiden.

Realisatie: Infofilm, Leiden

© 2000 Museum Boerhaave, Leiden

Herkomst van illustraties staan in elk bijschrift vermeld.



Christiaan Huygens: leven en werk



De familie Huygens was niet van de straat. Integendeel. Christiaan Huygens (de grootvader van de held van deze geschiedenis) was secretaris van stadhouder Willem I van Oranje en na diens vermoording door Balthasar Gerardts in 1584 werd hij één van de belangrijkste adviseurs van Prins Maurits. Zijn zoon Constantijn was secretaris van Prins Frederik Hendrik en later van Willem II. Het zou dan ook niet vreemd zijn geweest als Constantijns zoon Christiaan op zijn beurt zijn vader zou zijn opgevolgd. Maar dat ging niet door, want ten eerste was er sinds 1650, toen Christiaan 21 jaar was, geen stadhouder meer, en ten tweede zag Christiaan een dergelijke loopbaan ook bepaald niet zitten. Zijn belangstelling en talenten sloten meer aan bij een andere traditie in de familie. Constantijn Huygens was namelijk gewend alle vrije tijd die hij naast zijn politieke werk maar overhield, aan kunsten en wetenschappen te besteden. Hij

was een groot dichter, die op voet van gelijkheid omging met collega's als Hooft en Vondel; zijn toneelstuk *Trijntje Cornelisd.* wordt nog steeds van tijd tot tijd opgevoerd. Ook als musicus en componist presteerde hij bijzondere dingen; hij bemoeide zich uitvoerig met de toen hevig omstreden kwestie of de Protestantse gemeentezang al dan niet door het orgel begeleid mocht worden, en hij publiceerde een bundel prachtige *Pathodia sacra et profana* (expressieve gezangen, gewijde en wereldlijke). Tenslotte was hij hevig geïnteresseerd in schilderkunst (hij was de 'ontdekker' van de jeugdige Leidse schilder R. van Rijn), filosofie en wetenschappen. René Descartes kwam regelmatig bij de familie Huygens over de vloer, en met een veelzijdig wetenschapsman als Marin Mersenne onderhield Constantijn een uitgebreide correspondentie.

*De familie Huygens,
Constantijn in het midden,
Christiaan links boven*



In 1646 nam Christiaan aan die briefwisseling deel, in de vorm van een schrijven waarin hij, als jongen van 17 jaar, de oude heer Mersenne haarfijn uitlegde waarom een hele reeks door Mersenne voorgestelde valwetten onmogelijk geldig kon zijn. Zo jong al was Christiaan een virtuoos in de wiskunde; zijn vader noemde hem 'mijn kleine Archimedes' en schreef in zijn familiechroniek:

'A.° 1643. Begreep hy met een sonderlinge promptitude, al hetgeen de mechanique ofte eenigh ander deel van de Mathesis mogte aengaen; ook stracks raedt wetende, om by modelofte ander hantwerk voor den dagh te brengen, 'tgeen hy maer ergens van sulks geleesen, of door andere gehoort hadde ...'

'A.° 1644. Begon hy de Mathematique te leeren onder Stampioen met sonderling succes, niet alleen alles ligt begrijpende en onthoudende, maer selfs dagelyks alderhande konstige dingen inventeerende tot een yegelyks verwonderinge. Leerde danssen ende te Paerde ryden.'

De wetenschap in

In 1645 ging Christiaan rechten en wis-

kunde studeren aan de universiteit van Leiden, maar daar kon men hem niet veel nieuws meer bijbrengen. Van 1647 tot 1649 bracht hij twee jaar door aan het door zijn vader opgerichte Oranje-college in Breda. Meteen na die studie nam hij nog deel aan een diplomatieke reis naar Denemarken, maar toen had hij er ook voorgoed genoeg van: met een forse toelage van zijn vader als enige bron van inkomsten ging hij zich voortaan wijden aan de wiskunde en de natuurwetenschappen.

Hoewel het zeker toen voor mensen van nette familie niet erg gebruikelijk was met hun handen te werken, was Christiaan er dol op. Tot zijn dood toe zou hij, die als jongen van 14 al tot ergeris van zijn gouverneur een draaibank had geconstrueerd, zich naast en in verband met zijn theoretische werk steeds ook met instrumenten, apparaatjes enz. bezig houden. Zo sleep hij bijvoorbeeld zelf de lenzen, die hij gebruikte voor zijn telescopische waarnemingen. Een aantal daarvan is in het Museum Boerhaave tentoongesteld; degene waarmee hij als eerste de maan van Saturnus heeft waarge-

Christiaan Huygens
Gravure door Fr. Ottens
(uit: Ch. Huygens-Opera Varia, 1724)

nomen, in het Utrechts Universiteitsmuseum.

In 1655 maakte hij met zijn broer Lodewijk zijn eerste reis naar Parijs, waar hij kennis maakte met tal van geleerden uit de kring van de inmiddels overleden Mersenne. Terug in Den Haag ontdekte hij, in 1656, het principe van het slingeruurwerk, waarvan hij door Salomon Coster de eerste exemplaren liet maken.

Parijs

In de volgende jaren reisde Christiaan nog herhaalde malen naar Parijs, en ook naar Londen, waar hij tot lid van de net opgerichte Royal Society werd gekozen. In 1664 werd hij namens Colbert, de eerste minister van Lodewijk XIV, uitgenodigd om gesalarieerd lid te worden van een op te richten Académie Royale des Sciences (Koninklijke Academie van Wetenschappen), waar hij dan leider van het wetenschappelijk programma zou worden. Hij nam het aanbod aan en vestigde zich in 1666 in het gebouw van de Académie, waar hij 15 jaar zou blijven. Gedurende die tijd hield hij zich bezig met allerlei terreinen van wetenschap: lichttheorie, mechanica, trilling en tijdmeetkunde, enz. Zijn meesterwerk Horologium Oscillatorium (Het Slinger-

uurwerk, 1673) droeg hij op aan zijn hoogste baas, Lodewijk XIV. Maar het was niet alles theorie wat de klok sloeg. Hij vond een nieuw middel uit om een uurwerk te reguleren: de onrust. Samen met zijn leerling Oenis Papin (de uitvinder van de snelkookpan) construeerde hij een buskruitmotor. En in aansluiting op zijn idee om het octaaf in 31 gelijke delen te verdelen, liet hij het niet bij de berekening van de overeenkomstige snaarlengten, maar ontwierp hij ook een naar die berekening ingericht clavecymbel met verschuifbaar toetsenbord, waar hij naar eigen zeggen met veel plezier op heeft gespeeld.



Over zijn persoonlijk leven is niet erg veel bekend. Getrouwd is hij nooit. Hij had geen sterke gezondheid en kwam ook in zijn Parijse tijd enige malen terug naar Den Haag om uit te zieken. Ondanks het vriendelijke hoofd dat ons vanaf zijn portretten aankijkt, schijnt hij in de omgang een lastig persoon te zijn geweest. Zo moet hij eens, toen zonder dat hij het wist zijn vriend, de Nationale Bibliothecaris De Carcavy, zijn koets had geleend en die in verre van onberispelijke staat had teruggebracht, zich onmiddellijk tot eerste minister Colbert persoonlijk hebben gewend om zich over deze schandelijke behandeling bitter te beklagen.

Terug naar Den Haag

In 1672, het 'rampjaar', kreeg de Republiek der Nederlanden weer een stadhouder: Willem III. Constantijn jr. (Christiaans broer) werd zijn secretaris, en naarmate de stadhouder een meer anti-Franse politiek voerde, werd het klimaat in Parijs voor Christiaan onprettiger. In 1681 keerde hij voorgoed naar Den Haag terug. Daar verbleef hij 's winters in het familiehuis aan het Plein, en 's zomers in

het familiebuiten Hofwyck bij Voorburg (nu Huygens-museum), waar hij overigens nogal een hekel aan had. In 1689 reisde hij nog naar Londen, waar hij Newton ontmoette, met wie hij het niet eens kon worden over diens zwaartekracht-theorie. Zijn laatste jaren waren eenzaam. Hij overleed in 1695, wel beroemd, maar toch ook een tikje miskend. Zijn populairste boek, de Kosmotheoros (Beschouwer van het heelal) verscheen na zijn dood. Voor de Nobelprijs was hij nog een paar eeuwen te vroeg geboren.

Wetenschappelijk werk

Meer dan enig ander Nederlander heeft Christiaan Huygens bijgedragen tot de omwenteling die in de 17e eeuw in de natuurwetenschappen plaats vond. Hij was weliswaar niet een pionier als Galilei (1564-1642), die door zijn ontdekkingen die omwenteling mee op gang bracht. Hij was ook niet als Newton (1642-1727), die aan het eind van die omwenteling de verworven kennis vanuit één beginsel tot een totaalvisie samenvatte. Huygens' werkzame leven lag als het ware ingeklemd tussen die beide grote geleerden.



En het was zeker zijn verdienste om, door toepassing van de methoden van de een - Galilei - op een groot aantal nieuwe gebieden, beslissend bij te dragen tot de grondslag waarop de ander - Newton - later tot zijn totaalvisie kon komen.

Basis-ideeën

Bij dit alles ging Huygens uit van twee basis-ideeën. Het ene was dat van de wiskundige behandeling van de natuurkunde. Tot de 17e eeuw toe was het denken over de natuur om ons heen altijd een kwestie van redeneren geweest. De oude Grieken en de Middeleeuwers hadden zich wel afgevraagd waarom een boven de aarde losgelaten voorwerp naar beneden valt, maar zich nooit verdiepte in het probleem dat moet worden opgelost vóór die eerste vraag met succes kan worden beantwoord, nl. hoe dat voorwerp valt. Men zag wel dat het voorwerp versneld valt, maar in de aard van die versnelling verdiepte men zich niet. Galilei was de eerste die inzag dat men het valverschijnsel alleen kon begrijpen als men afzag van de werking van de luchtweerstand, en kwam zo tot de eerste exacte

beschrijving ervan, nl. als een eenparig versnelde beweging, waarbij dus de snelheid op elk willekeurig moment evenredig is met de verlopen tijd, en de afgelegde weg met het kwadraat van die tijd. Zo werd het mogelijk met een natuurverschijnsel als de val te gaan rekenen.

Huygens heeft, volgens deze methode van Galilei, en met behulp van alle wiskundige technieken die in zijn tijd ter beschikking stonden, een groot aantal andere natuurverschijnselen zodanig behandeld, dat het rekenen ermee mogelijk werd. Hij formuleerde de wetten die gelden bij de werking van middelpuntvliedende en middelpuntzoekende krachten; hij gaf aan, door welke wetten de beweging van slingers van verschillende typen werd beheerst; hij beschreef wat er gebeurt met massa en snelheid van volkomen veerkrachtig tegen elkaar botsende lichamen.

Dit laatste onderzoek was van het grootste belang voor het tweede basis-idee waarvan Huygens uitging. De taak van de wetenschapsbeoefenaar, zo zag men dat in die periode, was de natuurverschijnselen te beschrijven als gevolgen van stoot



en druk van materiedeeltjes. Dit idee van Descartes (1596-1650) was ook volgens Huygens 'de ware filosofie, waarin men de oorzaak van alle natuurverschijnselen mechanisch opvat. Want wie dat niet doet, zal naar mijn mening iedere hoop moeten laten varen om ooit enig natuurverschijnsel te begrijpen'. Descartes zelf had dit wetenschappelijk programma trachten uit te voeren op een manier die volgens Huygens te ver af stond van de werkelijke verschijnselen. Huygens paste het nu volgens de bovenomschreven wiskundige methode toe, niet alleen op de botsing, maar ook bijv. op het verschijnsel van het licht. In zijn *Traité de la lumière* (Verhandeling over het licht, geschreven in 1678) ontwikkelde hij de theorie dat het licht, voortgebracht door een uit snel bewegende lichtdeeltjes bestaande lichtbron, zich voortplant doordat de door die lichtdeeltjes geraakte materiedeeltjes eromheen zelf als lichtbron gaan fungeren, zodat een golffront ontstaat. Huygens laat zien hoe uit deze theorie de wetten kunnen worden afgeleid die Willebrord Snellius omstreeks 1621 had ontdekt over de bre-

king van licht bij de overgang van het ene naar het andere medium (bijv. van lucht naar water).

Techniek

Huygens was niet alleen een uiterst veelzijdig wetenschapsbeoefenaar, hij begaf zich ook voortdurend op een terrein dat vele theoretisch ingestelde geleerden schuwden: dat van de praktijk, van de techniek. Steeds kan men bij Huygens constateren dat hij niet stil blijft staan bij een theoretisch bevredigende oplossing van een bepaald probleem. Zo goed als men, wanneer het principe van de verbrandingsmotor eenmaal bedacht is, nog geen auto heeft. omdat die motor ook nog gekoeld en gesmeerd moet worden, en de auto ook bochten moet kunnen maken en tot stilstand kunnen worden gebracht, zo goed was voor Huygens het probleem van een nauwkeurige tijdmeting niet opgelost met de ontdekking van de slingerwetten. Hij ging door, tot hij inderdaad het rechtstreeks construeerbare ontwerp van een nauwkeurig lopend slingeruurwerk gereed had. Een aantal van die uurwerken, waaronder de eerste (een

*Vader Tijd, door H. Carré in 1735
geschilderd ter verheerlijking van
Huygens' ontdekking van de cycloïdale
slinger en van Saturnus' maan en ring*



'Costerklokje' van 1657), voorts een door Huygens zelf ontworpen planetarium, door hemzelf geslepen lenzen en een door hemzelfvervaardigde en gebruikte astronomische kijker, zijn bewaard gebleven. Zij zijn nu tentoongesteld in het Museum Boerhaave, om daar te getuigen

van de combinatie van theoretisch vernuft en de praktische vindingrijkheid, die Christiaan Huygens tot een unieke figuur maakt in de geschiedenis van de natuurwetenschappen.

*Scheveningen, tekening door Huygens
(uit Universiteitsbibliotheek Leiden,
Hug 14 fol. 6 v - 7 r)*



Slingeruorwerken

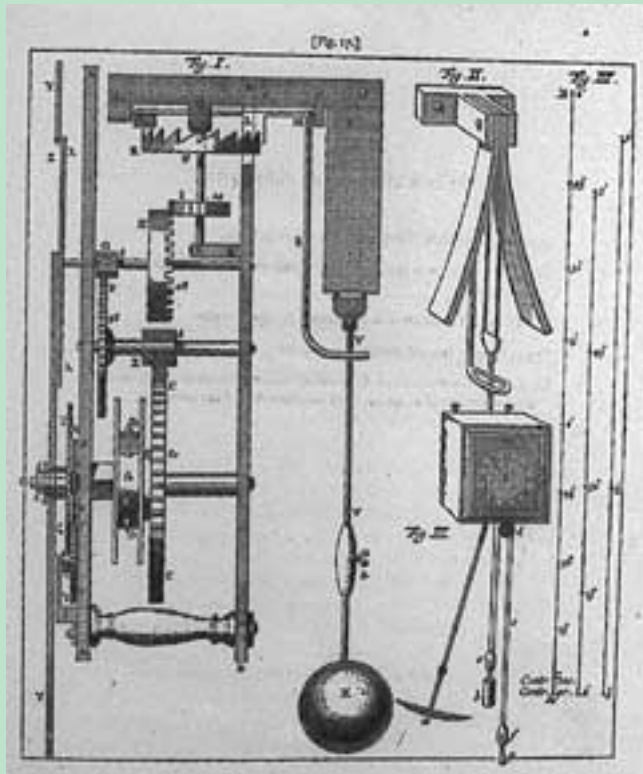
Men hoort wel eens spreken van wetenschappelijke onderzoekers die in een ivoeren toren zouden leven, zonder contact met de dingen van alledag. Zo deze mensen al bestaan, behoorde Christiaan Huygens in ieder geval niet tot dat gezelschap. Toen hij in december 1656 het slingeruurwerk uitvond, begreep hij dat velen graag zo'n klok zouden willen kopen, omdat hij de tijd veel nauwkeuriger aangaf dan alle klokken die eerder waren gemaakt. Aan de Haagse klokkenmaker Salomon Coster gaf Huygens het alleenrecht - vastgelegd in een officieel octrooi, gedateerd 16 juni 1657 - om deze nieuwe vinding in de handel te brengen. Het in de collectie van het Museum Boerhaave aanwezige exemplaar laat zien hoe eenvoudig die eerste slingerklokken waren uitgevoerd. Uit een prijslijstje in een brief van Christiaan Huygens weten we dat zo'n klok toen f 80,- kostte. Dat mag nu een redelijke prijs lijken, maar het betekende in die tijd een aanzienlijk bedrag.

Als we naar dit historisch zo interessante

klokje van Coster kijken, dan moet het ons wel opvallen dat er in de meer dan drie eeuwen die ons van de uitvinding scheiden, in feite weinig meer aan klokken is veranderd. In één opzicht is de latere klok een vereenvoudiging. De boogjes waartussen aan een draadje de slinger is opgehangen, zijn karakteristiek voor Huygens; we komen erop terug in de hoofdstukken 'Zee-urwerken' en 'Wiskunde'. Daar ze de nauwkeurigheid van de klok echter nauwelijks vergroten, zijn ze na ca. 1710 niet meer toegepast.

Export van slingerklokken

Christiaan Huygens was erg trots op zijn uitvinding en publiceerde er in 1658 een brochure over onder de titel Horologium. Vooral uit Parijs, dat hij in 1655 had bezocht, kwamen vele bestellingen voor een klokje van Coster binnen. Uit de briefwisselingen tussen Huygens en zijn Parijse relaties kunnen we concluderen dat van 1658 tot 1660 minstens elf klokken van Salomon Coster in Parijs terecht kwamen. Daar betekende de nieuwe klok



een uitdaging voor de vele uitstekende horlogemakers, die deze uurwerken onmiddellijk gingen nabouwen.

Verskillende van deze klokjes, compleet met boogjes, zijn in de laatste jaren nog van oude Franse zolders tevoorschijn gekomen.

Niet alleen naar Parijs werden klokjes van Coster gestuurd. We weten dat reeds in september 1657 een exemplaar naar Florence werd gebracht, waar men echter weigerde Huygens als de uitvinder van het slingeruurwerk te erkennen en deze eer voor de beroemde Florentijnse natuuronderzoeker Galileo Galilei opeiste. Ook al kan Galilei inderdaad beschouwd worden als degene die als eerste de weg gewezen heeft, toch mogen we Christiaan Huygens blijven huldigen als de persoon die de slingerklok op geniaal-eenvoudige wijze heeft gereali-seerd en hiermee de stoot heeft gegeven tot de hele verdere ontwikkeling.

In december 1659 overleed Salomon Coster, en Huygens wendde zich tot andere klokkenmakers in Den Haag. De uur-werken die hij voor zijn eigen experimen-

ten nodig had, liet hij meestal bij Severijn Oosterwijck maken. Voor de voortduren-de vraag naar klokken uit Parijs wendde Huygens zich voornamelijk tot Claude Pascal, die waarschijnlijk afkomstig was uit Geneve. Uit de brieven weten we dat verschillende klokken kapot in Parijs aan-kwamen, en dat ze dan gerepareerd wer-den door Isaac Thuret, een van de bekendste Parijse klokkenmakers. Nadat Christiaan Huygens zich in 1666 op uitno-diging van koning Lodewijk XIV in Parijs had gevestigd, had hij nog vaak contact met Thuret. Hiervan getuigt o.a. de klok van Thuret met een lange slinger, die Huygens later mee naar ons land bracht en die nu in het Museum Boerhaave hangt.

Pieter Visbagh en Johannes van Ceulen

De weduwe van Salomon Coster deed de klokkenwinkel in november 1660 over aan Pieter Visbagh, die van haar man het vak geleerd had, maar zich daarna in Middelburg had gevestigd. Gedurende de volgende kwart eeuw was Visbagh de belangrijkste klokkenmaker van Den

Secundeslinger

(uit: Ch. Huygens - *Horologium Oscillatorium*; 1673)



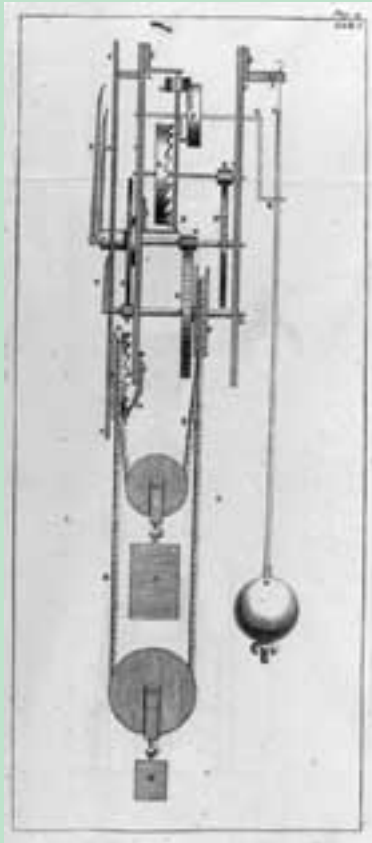
Haag. De afgebeelde klok heeft de typische gedaante die wij van de 'Haagse' klokken gewend zijn. Het uurwerk bevat zowel een gaand werk als een slagwerk, beide door één veer aangedreven. Dat is een voor die tijd kenmerkende constructie van vele Haagse -en Parijse -klokken, die volgens Huygens reeds door Coster werd toegepast.

Rond 1685 kwamen uit Frankrijk, in verband met het opheffen van het edict van Nantes over de godsdienstvrijheid, vele protestantse klokkenmakers naar Nederland. Zij lieten zien dat de ontwikkeling daar niet had stilgestaan. Men maakte in Parijs al enige jaren uurwerken met twee veertonnen, dus met gescheiden aandrijving van het gaande werk en het slagwerk. In Den Haag had inmiddels een jonge ambitieuze klokkenmaker van zich laten horen: Johannes van Ceulen. In 1682, na de terugkomst van Christiaan Huygens uit Parijs, had hij een planetarium volgens Huygens' voorschrift gebouwd, en vanaf 1685 werd hij langzamerhand de belangrijkste klokkenmaker van de stad. De tentoongestelde klok van zijn hand is voorzien van een uurwerk met twee veertonnen, gezien de uitvoering ongetwijfeld gemaakt door een

Franse vluchteling.

Invloed uit Engeland

Tot nog toe is Londen niet genoemd. dat zich naast Parijs ontwikkelde tot een centrum van bedrijvigheid op het gebied van de slingerklokken. Uit een contract is bekend dat reeds in september 1657 de Londense uurwerkmaker van Vlaamse afkomst Ahasverus Fromanteel zijn zoon John naar Salomon Coster stuurde om daar de kunst te leren. Fromanteel werd zo voor de eerstvolgende jaren de belangrijkste klokkenmaker van Londen. later vestigde Johns broer Ahasverus jr. zich als klokkenmaker in Amsterdam. Diens dochter Anna trouwde in 1694 met Christopher Clarke. en onder de naam Fromanteel & Clarke werd de zaak voortgezet. Vooral veel staande klokken. voorzien van een lange slinger en uitgerust met de sinds ca. 1670 bekende anker-gang. zijn door deze firma gemaakt. Het Museum Boerhaave bezit hiervan een fraai exemplaar. dat laat zien hoe binnen een halve eeuw de eenvoudige slingerklok was uitgegroeid tot een volwassen vorm die vooral in ons land in de achttiende eeuw bijzonder populair is geworden



Zee-uurwerken

Vóór 1761 was het niet goed mogelijk aan boord van een schip de aardrijkskundige lengte te bepalen. In dat jaar construeerde Harrison zijn beroemde chronometer, die het mogelijk maakte de plaats van een schip buiten zicht van het vasteland te berekenen. Vooral de zeevarende naties stimuleerden onderzoekers hun krachten aan het probleem van de lengtebepaling te wijden, en voor een oplossing loofden zij grote geldbedragen uit. Philips III van Spanje was in 1598 de eerste, en spoedig volgden Holland, Venetië, Engeland en Frankrijk. Vooral de Engelse prijs van £ 20.000 voor een methode waarbij de aardrijkskundige lengte bepaald kon worden met een nauwkeurigheid van een halve graad, was aanzienlijk.

Lengtebepaling

Het was opmerkelijk dat niet alleen geleerden, maar ook handwerkslieden en zeevarenden zich inspanden om het pro-

bleem op te lossen. Eén van de voorgestelde oplossingen was gebaseerd op het feit dat de magnetische pool van de aarde niet met de aardrijkskundige pool samenvalt. De hoek tussen twee polen - de variatie - is op iedere breedtegraad afhankelijk van de aardrijkskundige lengte waarop het schip zich bevindt, en kan worden gemeten door een kompasnaald. In principe zou het dus mogelijk zijn geweest uit de variatie de aardrijkskundige lengte te bepalen, ware het niet dat de variatie van jaar tot jaar, met een tot op heden niet ontdekte periodiciteit verandert. Een principiële andere mogelijkheid tot het bepalen van de aardrijkskundige lengte ligt in het tijdsverschil dat tussen de verschillende lengtegraden bestaat. De plaatselijke tijd wordt vastgesteld op het moment waarop de zon zijn hoogste stand heeft bereikt. Als men nu bovendien een standaard-tijd kent, – bijvoorbeeld de tijd in de haven waaruit het schip vertrok, of de tijd op een vastgestel-

Slingeruurwerk
(uit: Ch. Huygens - *Horologium*
Oscillatorium; 1673)



de meridiaan (die van Greenwich), – dan kan men uit het tijdsverschil tussen plaatselijke tijd en standaardtijd de aardrijkskundige lengte berekenen: elk uur tijdsverschil staat voor 15° verschil in lengte. In 1530 suggereerde Gemma Frisius de standaardtijd te bepalen door aan boord van het schip een uurwerk mee te nemen. In zijn tijd beschikte men echter bij lange na niet over een uurwerk met de vereiste nauwkeurigheid van 3 seconden per dag.

Slingeurwerk

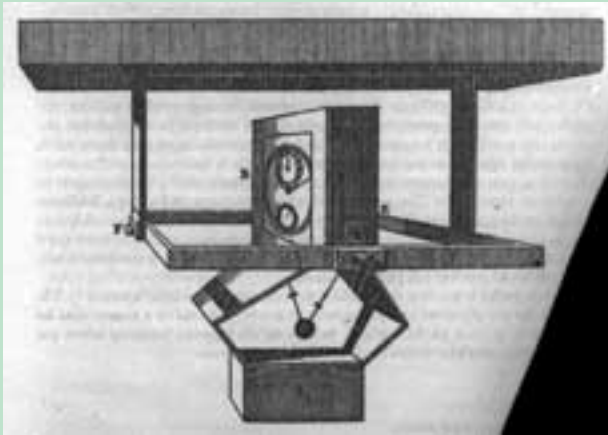
Zoals we hebben gezien ontwierp Huygens in 1656 zijn beroemde slingeruurwerk. Hij had twee doelstellingen voor ogen: ten eerste was een goede tijdmeting noodzakelijk om nauwkeuriger astronomische waarnemingen te kunnen verrichten, en ten tweede dacht hij langs deze weg het probleem van de lengtebepaling op zee te kunnen oplossen. Dit laatste probleem heeft hem zijn leven lang beziggehouden. In 1657 maakte Salomon Coster naar ontwerp van Huygens de eerste slingeruurwerken. Ze werden aangedreven door een veer of een gewicht.

De aandrijvende kracht werd op de slinger overgebracht via een aantal tandraden. De eigen karakteristieke periode van de slinger, die onafhankelijk was van zijn uitslag, werd hierdoor aan het uurwerk meegedeeld. Dit uurwerk, met zijn reguleer-mechanisme, beschreef Huygens in zijn *Horologium* (1658).

Later merkte Huygens dat de slingertijd van een slinger slechts bij benadering onafhankelijk is van de uitslag: bij grote uitslagen neemt hij toe, zodat de klok langzamer gaat lopen. Huygens ontdekte dat, teneinde de slingertijd onafhankelijk van de uitslag te maken, het slingergewicht niet een cirkelboog moest beschrijven, maar een cycloïde. Dit is de curve die beschreven wordt door elk willekeurig punt van een rollende hoepel. Om een slingergewicht volgens een cycloïde te laten bewegen, is het noodzakelijk dat de slingerlengte kleiner wordt naarmate de uitslag van de slinger toeneemt. Huygens plaatste daarom bij de ophanging van de slinger twee cycloïdale boogjes.

Zee-uurwerk

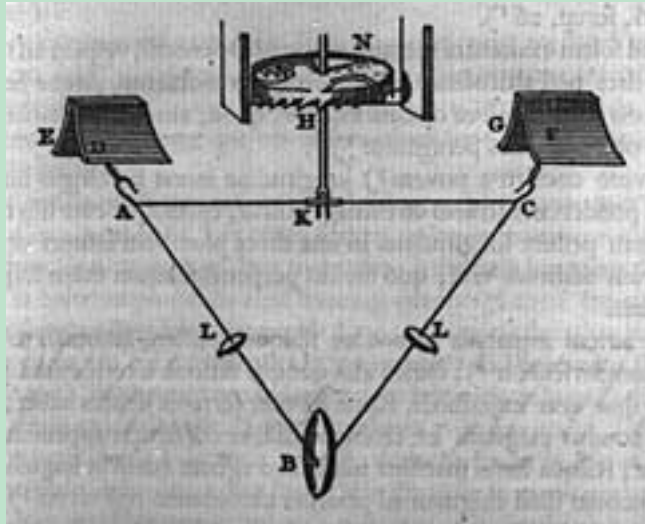
In 1660 ontwierp Huygens zijn eerste zee-



uurwerk, en enkele exemplaren werden meegegeven aan boord van schepen. Door het rollen en stampen van het schip werd de slingerbeweging zeer onregelmatig en kwam de slinger zelfs vaak tot stilstand. Om deze slingeringen van het schip te compenseren ontwierp Huygens diverse ophangmethoden. Het bekendste is wel zijn uit 1672 stammende ontwerp, waarbij het slingeruurwerk cardanisch was opgehangen. De slinger had een drie-hoekige vorm, en was aan twee punten opgehangen, teneinde het slingergewicht in één vlak te laten slingeren. Naast het ophangprobleem was er ook een mechanisch bezwaar tegen het gebruik van slingeruurwerken aan boord van een schip. Als namelijk de temperatuur stijgt, neemt de slingerlengte, en daarmee de slingertijd toe. De klokken moesten dus gecompenseerd worden voor de temperatuursveranderingen die optraden bij reizen naar warmere gebieden. Nu was Huygens zich er inderdaad van bewust dat een slinger onregelmatig liep aan boord van een schip, maar tot 1667 wist hij niet dat metalen bij stijgende

temperatuur uitzetten. En zelfs in 1690 dacht hij nog dat de uitzetting zo klein zou zijn, dat de tijdmeting met zijn klokken er nauwelijks door zou worden beïnvloed.

Om nu de onregelmatige gang van de klokken te ondervangen, trachtte hij de slinger te vervangen door andere draaiende of trillende lichamen met een eigen karakteristieke periode. Uit 1659 stammen zijn ontwerpen van klokken met een conische, respectievelijk een parabolisch-conische slinger. Bij de eerste is de slingertijd afhankelijk van de elevatiehoek (de hoek die de slinger maakt met de verticale as). Indien deze hoek door een of andere oorzaak tijdens het draaien verandert, wordt de slingerlengte aangepast door middel van een compensatie, die bestaat uit een vlinder-vormig balansje en een contragewicht. Bij het tweede ontwerp is deze compensatie niet meer nodig. De metalen wangen die meedraaien met de slinger en waaraan de slinger is opgehangen, zijn zodanig berekend dat de slingertijd onafhankelijk is van de elevatiehoek. Vermeldenswaard is



ook dat deze klokken géén echappement nodig hebben.

In 1664 ontwierp Huygens het 'horloge remontoir', waarvan hij dacht dat het bijzonder bruikbaar zou zijn aan boord van een schip. In dit uurwerk wordt de slinger aangedreven door een klein gewichtje, dat iedere halve minuut opgewonden wordt door het grote gewicht. Hierdoor wordt de gang van de klok onafhankelijk van de onregelmatigheden in de tandwiel. Maar waarom Huygens dit principe telkens aanbeval voor de constructie van zee-uurwerken, is niet duidelijk.

Onrust

In 1675 ging Huygens ertoe over het uurwerk te reguleren door middel van een balans met spiraalveer, de onrust. Deze bleek echter nog sterker afhankelijk van de temperatuur dan de slinger. Bijna een eeuw later zou Harrison er in slagen, deze temperatuurs-invloed te compenseren, en hij paste de onrust dan ook met succes toe in zijn prijswinnende scheeps-chronometer. Huygens was hiertoe niet in staat, zodat hij zijn experimenten met de onrust weer staakte. Wel paste hij hem later nog

toe in het planetarium, dat Johannes van Ceulen in 1682 voor hem bouwde en dat in het Museum Boerhaave te zien is.

En hij bleef geboeid door het principe. In 1683 ontwierp hij een klok met een onrust zonder de spiraalveer, die zoveel moeilijkheden had gegeven bij veranderingen van temperatuur.

De klok werd geregeld door een metalen cilinder die opgehangen was aan drie draden. Als de cilinder in draaiende beweging wordt gebracht, beweegt hij periodiek op en neer. De cilinder draait dus als een onrust, maar beweegt, in tegenstelling tot de onrust, onder invloed van de zwaartekracht. Eén jaar voor zijn dood ontwierp hij nog een klok die gereguleerd werd door een speciaal geconstrueerde balans. Zijn bewijs dat ook deze constructie een slingertijd heeft die onafhankelijk is van de uitslag, was wiskundig uiterst gecompliceerd.

Twintigduizend pond sterling

Al deze klokken waren niet of nauwelijks geschikt gebleken om de tijd aan boord van een schip te meten. In de 17e eeuw is het niet gelukt een nauwkeurig zee-uur-

*Zee-uurwerk met cardanische ophanging
(uit: Ch. Huygens - Horologium Oscillatorium; 1673)*



werk te construeren, zodat het probleem van de lengtebepaling op zee bleef bestaan.

De problemen van het stampen van het schip en van de temperatuurscompensatie bleven voorlopig onopgelost.

Het heeft tot 1761 geduurd voor uiteindelijk Harrison erin slaagde een chrono-

meter te construeren, waarmee de aardrijkskundige lengte binnen een halve graad bepaald kon worden. Het is dan ook Harrison geweest die, zij het na jaren ruzie, tenslotte de prijs van £ 20.000 in ontvangst heeft genomen.

*Onrust in het planetarium
door Van Ceulen*

Theorie van het licht

In 1665 verscheen postuum in Bologna een boek *Physico-mathesis de lumine, coloribus, et iride* (Wis- en natuurkunde van het licht, de kleuren en de regenboog) van de Italiaanse jezuïet Francesco Grimaldi. In dit werk vinden we de ontdekking beschreven van de buiging van het licht, waaruit de schrijver de conclusie trekt dat 'het licht iets vloeibaars schijnt te zijn, dat zeer snel en, soms althans, ook in golven zich door doorzichtige lichamen verbreidt'. Ook de Engelse geleerde Robert Hooke publiceerde in 1665 in zijn *Micrographia* een golftheorie van het licht, gebaseerd op interferentieverschijnselen in dunne laagjes (interferentie is het verschijnsel dat onder bepaalde omstandigheden licht bij licht gevoegd duisternis kan opleveren). Huygens kende zowel Grimaldi's als Hooke's werk, en vatte het licht eveneens op als een soort golfbeweging. De resultaten van zijn onderzoekingen (vanaf 1672) publiceerde hij in 1690 in zijn klassieke *Traité de la lumière*.

Huygens' lichttheorie

De lichttheorie van Huygens is eigenlijk geen golftheorie, maar een 'pulstheorie'. De gehele wereldruimte is volgens hem gevuld met een middenstof, de licht-ether, die bestaat uit harde, tegen elkaar rustende bolletjes. De snel bewegende deeltjes van een lichtgevend lichaam botsen tegen de deeltjes van de licht-ether, die hierdoor in 'trilling' raken. Ieder 'trillend' etherdeeltje zendt in alle richtingen pulsen uit, zodat door samenstelling van de talloze kleine golffronten een bolvormig golffront ontstaat (figuur 1): 'En allereerst volgt uit wat gezegd is over het ontstaan van licht, dat ieder klein gebied van een lichtgevend voorwerp, zoals de zon, een kaars of gloeiende kolen, zijn eigen golven uitzendt, zodanig dat dat gebied er het centrum van is'. Dan vraagt Huygens zich af, hoe het mogelijk is dat deze golven door elkaar lopen zonder in de war te raken en elkaar uit te doen. Volgens hem is het duidelijk dat eenzelfde materiedeeltje tegelijk deel kan heb-

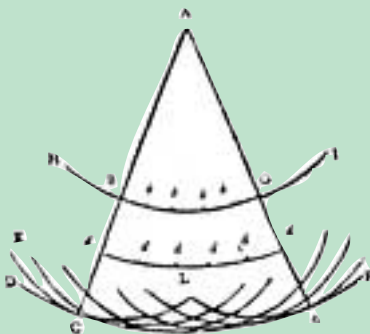


Figuur 1

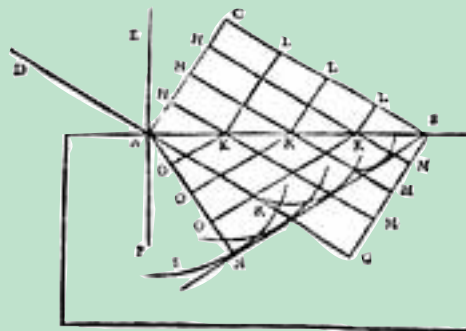
Titelpagina *Traité de la lumière* (1690)



Figuur 2



Figuur 3



Figuur 4

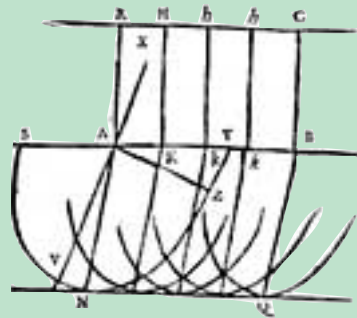
ben aan meer golven, die van verschillen-
de of zelfs van tegenover elkaar liggende
kanten komen. Als voorbeeld neemt hij
een rij harde, even grote bollen (figuur 2).
Tegen deze rij stoten nu op hetzelfde
moment de (aan de andere gelijke) bollen
A en D.

We zien dat ze beide met dezelfde snel-
heid terugspringen. De rij bollen blijft op
zijn plaats, hoewel de beweging er in de
lengte tweemaal doorheen is gegaan.
Iedere bol in de rij deukt in, levert veer-
kracht naar beide kanten, en kan zo op
hetzelfde ogenblik dienen om de twee
bewegingen door te geven.

Huygens formuleert nu als beginsel: *‘Wat
betreft de uitbreiding van die golven
moet verder worden overwogen, dat
ieder deeltje van de stof waarin een golf
zich uitbreidt, zijn beweging niet alleen
behoeft over te dragen aan het naastlig-
gende deeltje dat ligt op de rechte lijn,
getrokken vanuit het lichtende punt,
maar dat het die [beweging] noodzakelijk
ook overdraagt aan alle andere [deeltjes]
die het aanraken...’*. Het licht komt dus
tot stand door een golfbeweging met ein-
dige voortplantingsnelheid, waarbij ieder
punt dat door de golf wordt bereikt, een
nieuwe bron van golfbeweging is (figuur
3). Om ieder deeltje ontstaat een golf

waarvan dit deeltje het middelpunt is. Uit
A komt de golf DCF. Een deeltje B binnen
de bol D CF zal een eigen golf KCL voort-
brengen, die de golf DCF raakt in C op
het ogenblik dat de hoofdgolf, uitgaande
van A, DCF heeft bereikt. Alle punten b
zijn centra van bolvormige golffronten uit
A, en leveren gezamenlijk een omhullend
golffront CF.

De lichttheorie van Huygens is geen tril-
lingstheorie, maar een pulstheorie, want
de stoten die de deeltjes van een lichtge-
vend lichaam aan de aangrenzende ether-
deeltjes geven zijn niet periodiek. De the-
orie bevat dan ook geen begrippen als
golflengte en frequentie. Omdat de
etherdeeltjes een zeer grote hardheid en
elasticiteit hebben, verloopt de voortplan-
ting longitudinaal (de pulsen staan in het
verlengde van de voortplantingsrichting).
Uitgaand van dit beginsel was Huygens in
staat, alle geometrische eigenschappen
van het licht te verklaren: niet alleen
terugkaatsing en breking (figuur 4), maar
ook de in 1669 door de Deense arts
Erasmus Bartholinus ontdekte dubbele
breking in een kalkspaat-kristal (waarin
behalve de regelmatige breking ook een
‘onregelmatige’ voorkomt). Huygens ver-
klaarde dit verschijnsel uit de werking van
twee golffronten die zich met verschillen-
de snelheden uitbreiden: de gewone



Figuur 5

straal bolvormig en de buitengewone
straal sferoïdaal (figuur 5).

Huygens kon echter niet verklaren waarom de voortplanting van het licht rechtlijnig verloopt. Hij moest aannemen dat de golfbeweging buiten de lichtkegel onmerkbaar is. Ook het optreden van kleuren viel buiten de verklarende werking van zijn theorie. Kleuren vonden echter wel een plaats in de emissietheorie van Isaac Newton (1642-1727).

Newton's lichttheorie

Newton deed vanaf 1666 proeven met licht. De eerste samenvatting van zijn resultaten verscheen in 1672; de definitieve publiceerde hij in de *Opticks* (1704). Newton bewees experimenteel dat kleuren zuiver en onvermengd licht zijn, en dat wit licht een mengsel is van alle kleuren. Het licht zelf bestaat volgens hem uit zeer kleine deeltjes die door lichtgevende lichamen worden uitgezonden en die rechtlijnig voortsnellen.

Hij verwierp een golftheorie van het licht, omdat lichtgolven om een hindernis heen zouden moeten gaan, hetgeen in strijd is met de rechtlijnige voortplanting van het licht (analogie met watergolven). Bij de breking van licht bij de overgang van

lucht naar glas trekt het glas de lichtdeeltjes aan. Het optreden van kleuren wordt verklaard door aan te nemen dat er lichtdeeltjes zijn van verschillende grootte. Omdat grotere deeltjes minder sterk worden aangetrokken (gebroken) dan kleine, moet worden aangenomen dat de rode stralen uit de grootste deeltjes bestaan, en de violette uit de kleinste.

Het nadeel van Newton's theorie was dat hij voor ieder verschijnsel nieuwe hypothesen moest invoeren. Buiging is een gevolg van aantrekking en afstoting van de deeltjes door de rand van het lichaam waarlangs het licht passeert. Dubbele breking verklaart Newton doordat de verschillende zijden van de 'lichtstraal' verschillende eigenschappen hebben. Kleureffecten bij dunne plaatjes, en de 'Newtonse ringen' (een optisch effect dat optreedt wanneer men een zeer flauw gekromde planconvexe lens tegen een vlakke plaat aandrukt en de tussen beide ingesloten luchtlaag in opvallend en doorvallend licht bekijkt) worden verklaard met behulp van een aetherisch medium dat in de nabijheid van een weerkaatsend of brekend medium in trilling wordt gebracht.

Zowel Newton's als Huygens' lichttheorie

vertoonde dus (onderling verschillende) gebreken. Maar de overheersende positie van Newtons mechanica en sterrenkunde maakte ook zijn emissietheorie van het licht tot het begin van de 19e eeuw tot de algemeen aanvaarde. Beide theorieën komen echter hierin overeen, dat ze een mechanistische verklaring van het licht gaven. Merkwaardig daarbij is dat het begrip periodiciteit niet voorkomt in de emissietheorie van Newton.

19e eeuwse lichttheorie

Pas in het begin van de 19e eeuw werd door de studie van interferentie- en buigingsverschijnselen de golftheorie nieuw leven ingeblazen, en wel door de Engelse arts Thomas Young en de Franse fysicus Augustin Jean Fresnel. Nieuwe ontdekkingen als de polarisatie (1808) en de chromatische polarisatie (1811) van het licht konden zij verklaren met de golftheorie. Het probleem was echter, dat men moest aannemen dat lichtgolven transversaal (loodrecht op de voortplantingsrichting) en niet longitudinaal worden voortgeplant, iets dat pas door James Clerk Maxwell in zijn elektromagnetische theorie van het licht (1882) werd opgelost. Voor het maken van een keuze tussen golf- en deeltjes-theorie kon men in de eerste helft van de vorige eeuw in feite

alleen kijken naar de voortplantingssnelheid van het licht: volgens de emissietheorie moest bij de overgang van lucht naar glas de lichtsnelheid groter worden, maar volgens de golftheorie juist kleiner. Proeven van Armand Hippolyte Fizeau (1849) en Jean Baptiste Louis Foucault (1850) toonden aan dat de lichtsnelheid in lucht groter was dan in glas, en hiermee was de onhoudbaarheid van Newtons theorie aangetoond. Het zou tot 1924 duren, eer de Franse fysicus Louis Victor de Broglie de hypothese opstelde dat licht een dualistisch karakter bezit: afhankelijk van de omstandigheden kan het zich nu eens manifesteren als deeltjes-, dan weer als golfverschijnsel.

Telescopische astronomie



Geen instrument symboliseert de nieuwe natuurwetenschap van de 17e eeuw beter dan de telescoop. Met behulp van dit wonderbaarlijke en toch vrij eenvoudige apparaat kon nu elke sterfeling dingen zien waarvan de Ouden het bestaan nimmer hadden vermoed.

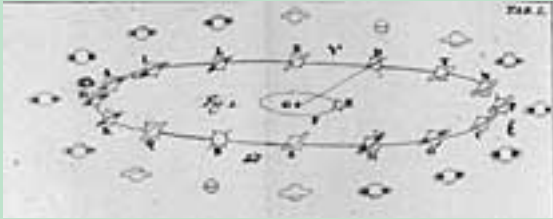
Toen Christiaan Huygens rond 1650 zijn aandacht op de telescoop richtte, was men al overal druk bezig uit te proberen hoe het instrument verbeterd kon worden -vooral wat de vergrotingscapaciteit betreft -, in de stellige verwachting dat deze inspanningen met nieuwe ontdekkingen zouden worden beloond. Pas kort tevoren was een zware hindernis genomen: de 'Hollandse' kijker, die als gevolg van zijn holle oculair maar een beperkt gezichtsveld had, waardoor vergrotingen van meer dan 20x in de praktijk niets meer opleverden, was vervangen door de 'astronomische' kijker, die van een bol-oculair was voorzien en daardoor een veel groter gezichtsveld bood. Dit bete-

kende dat de mate van vergroting nu afhankelijk werd van de vraag, hoe groot men de brandpuntsafstand van de objectieven kon maken. Immers, de lenskromming moest zo klein mogelijk worden gehouden om de storende gevolgen van de sferische en chromatische aberratie (zie voor deze begrippen het boekje Klein-kijkerij) te vermijden. In de verlenging van de brandpuntsafstand lag dus de enige mogelijkheid tot het bereiken van hogere vergrotingswaarden. Zo werden de telescopen steeds langer.

Saturnus

Na de telescopen van anderen te hebben onderzocht besloten in 1654 Christiaan en zijn oudere broer Constantijn (1628-1697) zelf telescopen te gaan maken. Met hun allereerste product, een instrument van 3,5 meter met een vergroting van ca. 50x, dat in maart 1655 werd voltooid, wist Christiaan al meteen een spectaculaire ontdekking te doen: een satelliet van

Saturnus, tekening door Huygens
(Uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, brief van Huygens aan Hodierna 24 september 1658)



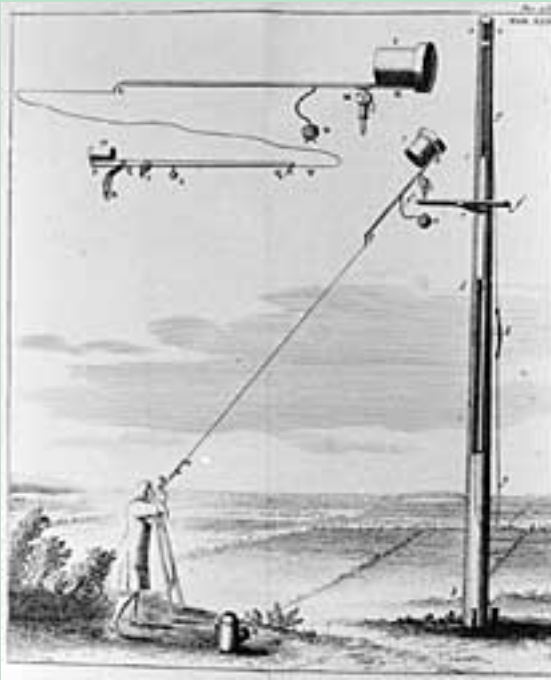
Saturnus, nu Titan genoemd. Het objectief van deze telescoop met het erin gegraveerde anagram (waarmee Huygens zijn prioriteit waarborgde) wordt bewaard in het Utrechts Universiteitsmuseum.

Aangemoedigd door dit succes maakten de gebroeders Huygens een nog langere kijker van maar liefst 7 meter, die ca. 100x vergrootte. Maar nog vóór dit instrument in het begin van het jaar 1656 op de hemel werd gericht, had Christiaan al bewezen dat er voor het doen van ontdekkingen aan de hemel meer nodig is dan een goede telescoop. Want in de loop van de winter van 1655/1656 loste hij een raadsel op dat al een halve eeuw oud was: dat van de vreemde verschijningsvormen van Saturnus. Door Galilei als eerste ontdekt, hadden de 'aanhangers' van deze planeet iedere poging tot verklaring weerstaan. Huygens loste dit probleem op, en wel juist in de maar eens per 15 jaar voorkomende periode waarin de mysterieuze 'handvatten' onzichtbaar zijn!

Zijn adembenemend fraaie oplossing was dat alle waargenomen verschijningsvor-

men van de planeet konden worden verklaard door de veronderstelling dat Saturnus omgeven was door een dunne platte ring, die het oppervlak van de planeet nergens raakte. Huygens onderbouwde zijn oplossing vervolgens zorgvuldig door waarnemingen en publiceerde pas in 1659 zijn *Systema Saturnium*. Dit was het belangrijkste werk over telescopische astronomie sinds Galilei's *Sidereus nuncius* (Sterrenbode; 1610). Het bevatte niet alleen een volledige uiteenzetting van de ringtheorie alsmede gedetailleerde gegevens over de door hem ontdekte satelliet, maar ook de beschrijving van een primitieve micrometer. Hiermee mat Huygens de schijnbare diameters van de planeten. Om hun feitelijke omvang in vergelijking tot die van de aarde vast te stellen, was het nodig de afstand van de zon tot de aarde te kennen.

Deze schatte Huygens op 12.543 maal de doorsnee van de aarde, oftewel ca. 160 miljoen kilometer. Deze afstand, die minder dan 7% afwijkt van de thans aanvaarde, was veel groter dan tot dan toe ooit vermoed was, en bleef meer dan



honderd jaar de nauwkeurigste schatting. Uit een conflict met de Italiaanse telescopemaker Eustachio Divini en de Franse jezuïet Honoré Fabri, die niet alleen hem aanvielen op de kwaliteit van zijn kijkers, maar ook zijn ringtheorie en zijn Copernicaanse overtuiging verwierpen, kwam Huygens als overwinnaar tevoorschijn. Aan de lijst van zijn ontdekkingen had hij ook nog een aantal kenmerken van het oppervlak van Mars toegevoegd, waaruit hij een vrij nauwkeurige aswentelingsperiode van die planeet afleidde. Maar dit resultaat heeft hij nooit gepubliceerd.

Buisloze kijker

Huygens' slingeruurwerk was een absoluut onmisbaar onderdeel geworden van het arsenaal van de beroepssterrenkundige. Maar zelf was hij geen astronoom van het type dat nacht in nacht uit met grote zorgvuldigheid de posities van sterren en planeten meet, teneinde een beter beeld te krijgen van de bewegingen der planeten en nauwkeuriger tabellen op te stellen. Dat liet hij aan anderen over. Zijn sterke punt was het doen van ontdekkin-

gen aan de planeten zelf, en hiervoor waren steeds betere telescopen nodig. Hij bleef zich zowel praktisch als theoretisch inspannen om het instrument verder te verbeteren. Toen in het begin van de 60-er jaren de kijkerlengten de 15 meter begonnen te naderen, vormde het krimpend gezichtsveld dat het gevolg was van de steeds hogere vergrotingen (tegen de 200x) opnieuw een hinderpaal. Het gebruik van een veldlens vóór het oculair, waardoor het gezichtsveld sterk werd verruimd, werd nu algemeen gangbaar. Nauwkeurig deze nieuwe lenzencombinatie analyserend, ontdekte Huygens een speciale opstelling, die tevens de chromatische aberratie ophief. Deze combinatie, die bekend werd onder de naam 'Huygens-oculair', wordt nog steeds gebruikt. Het gebruik van dit samengestelde oculair maakte weer een verdere vergroting van de kijkerlengten, tot meer dan 30 meter mogelijk. Maar nu ontstond het probleem, hoe een smalle houten buis nog zo gehanteerd kon worden dat ze niet doorboog onder haar eigen gewicht en zwaaide in de wind. Huygens loste het op door eenvoudig de



hele buis af te schaffen.

Vóór zijn dood hadden hij en zijn broer Constantijn telescopen van meer dan 60 meter gemaakt, en een aantal objectieven (haast belachelijk klein naar moderne maatstaven) van hun instrumenten maakt nu deel uit van de Huygens-collectie in het Museum Boerhaave, als stille getuigen van hun grote inspanningen.

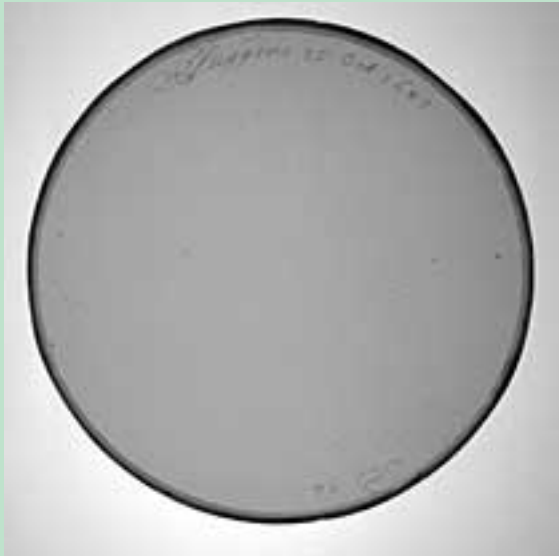
De enige complete Huygens-telescoop in het bezit van dit museum is een verrekijker die hij maakte in 1683. Hij bestaat uit vijf uitschuifbare buizen, waarvan de langste een objectieflens met een brandpuntsafstand van 3,80 m bevat, en de kortste het uit drie lenzen samengestelde oculair. Geheel uitgetrokken is de telescoop 5,30 m lang. Het object verschijnt rechtop en ca. 50 maal vergroot.

Sirius

Na 1665 verliep Huygens' jacht op nieuwe ontdekkingen aan de hemel frustrerend. Iedere keer weer werd hij verslagen door Giovanni Domenico Cassini, in wiens handen de superieure telescopen van Giuseppe Campani een voortdurende stroom van nieuwe ontdekkingen ople-

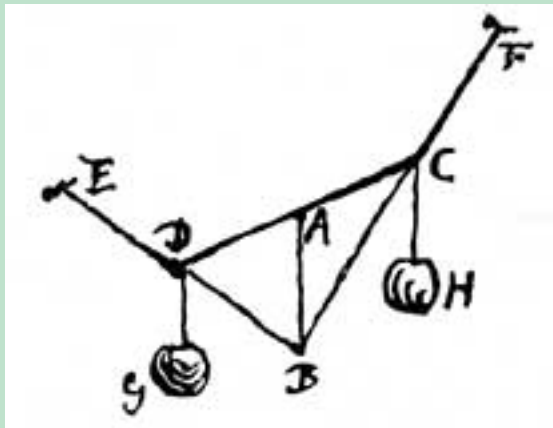
verden. Huygens' voornaamste bijdrage aan de sterrenkunde vanaf 1665 was het stevig wiskundig funderen van de theorie van de telescoop.

In zijn postuum uitgegeven Kosmotheoros (Beschouwer van het heelal: 1698) vatte Huygens 's mensen kennis van het heelal samen en speculeerde hij vrij-uit over de eigenschappen van eventuele bewoners van andere planeten. In dit boek verscheen ook zijn laatste briljante bijdrage tot de sterrenkunde, een schatting van de afstand van de ster Sirius tot de aarde in vergelijking met de zonsafstand. Daartoe liet Huygens een miniem stukje van de zonnescijf toe in zijn overigens verzegelde kijker. Hij paste de grootte van deze opening net zolang aan tot het doordringende licht gelijk leek aan dat van Sirius zoals te zien door de onbedekte kijker. Hij rekende uit dat dit kleine gaatje slechts 1/27.664 deel van de zondiameter doorliet, en concludeerde, in de veronderstelling dat Sirius en de zon in werkelijkheid even groot waren, dat Sirius 27.664 maal zo ver van de zon stond als de aarde. Ofschoon deze schatting behoorlijk wat te laag was, doordat Huygens uitging

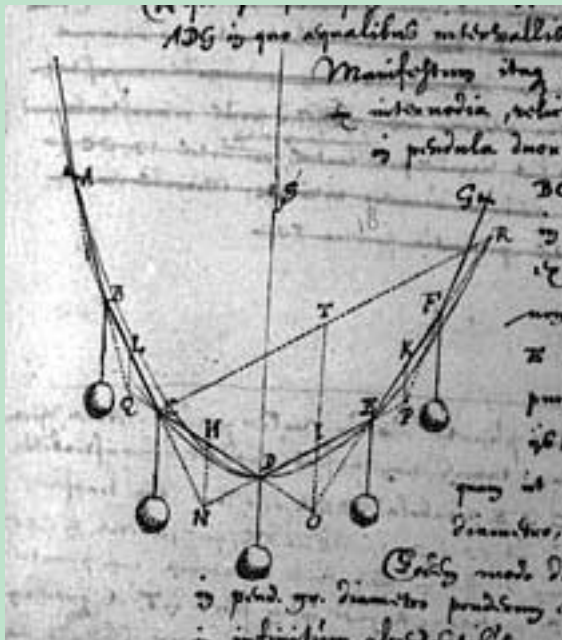


van een veronderstelling die nadien
onjuist is gebleken (Sirius is veel groter
dan de zon), gaf zij toch de orde van
grootte goed aan en bleef ze meer dan
een eeuw lang de beste waarover men
beschikte.

*Door Christiaan Huygens geslepen lens (25 oktober
1683)*



Figuur 1



Figuur 2

Wiskunde

De introductie van Christiaan Huygens in de wetenschappelijke wereld is verlopen via de vriendschap die zijn vader Constantijn verbond met de Franse pater Mersenne. Beiden hadden grote belangstelling voor de stormachtige nieuwe ontwikkelingen in de exacte wetenschappen van hun tijd.

In 1646 schreef Constantijn aan zijn vriend over de wiskundige studies van zijn 17 jaar oude zoon Christiaan. Mersenne toonde zich zeer geïnteresseerd, en zo zond Christiaan hem één van zijn meest recente vondsten, een studie over de vorm van een hangende ketting of koord. Mersenne las het stuk en was enthousiast. Waar ging het over?

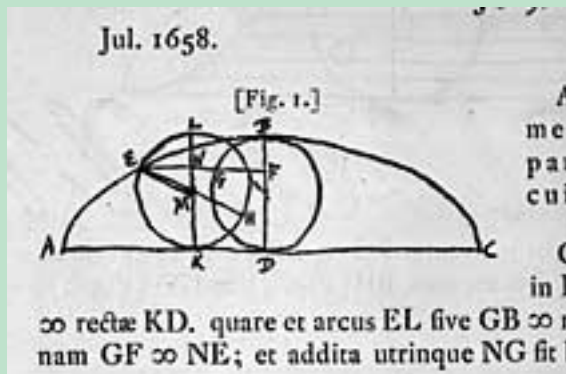
De kettinglijn – een test-case

Galilei had beweerd dat een hangende ketting de vorm aanneemt van een parabool. Maar bewezen was dat niet. Christiaan liet zien waarom niet: omdat het niet zo is. Hij deed dat zo: hij vatte

een ketting op als een serie gelijke gewichten, op gelijke afstanden hangend aan een gewichtsloos koord. Hij leidde af dat dan bij twee opeenvolgende gewichten D en C (zie figuur 1) het snijpunt B van de koorden ED en CF recht onder het midden A van DC komt. Nu stelde hij zich een ketting voor met gewichten, symmetrisch hangend in B, C, D, E en F (figuur 2). Als de kettinglijn inderdaad een parabool was, dan zou, zei Christiaan, door de punten B, C, D, E en F een parabool kunnen worden getrokken. Hij kon echter laten zien dat dat in het geval van de ketting niet kan. Conclusie: de kettinglijn is géén parabool.

Op het eerste gezicht een negatief resultaat, maar daarom niet minder diep. Wiskundige thema's die voor Huygens steeds centraal hebben gestaan, spelen er al in mee: de toepassing van wiskundige methoden in de natuurwetenschap (de kettinglijn is een probleem uit de continuum-mechanica), en limietprocessen.

(Figuur 2) Kettinglijn, tekening door Huygens
(Uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, Hug 17 fol. 18r)



Wat dit laatste betreft: Huygens stelde zich het koord of de ketting voor als een serie gewichten aan een gewichtsloos koord. Dat klopt natuurlijk niet; het is een benadering. Die benadering wordt beter naarmate je meer gewichten op kortere onderlinge afstand neemt. In het limietgeval, zegt de wiskundige, komt deze benadering overeen met de exacte oplossing. Dit soort limietproblemen kan snel en met formules behandeld worden in de differentiaal- en integraalrekening. Deze werd ontwikkeld door Newton (ca. 1667) en Leibniz (ca. 1675). Huygens heeft deze nieuwe methoden op het eind van zijn leven leren kennen.

Hij heeft er nooit goed mee overweg gekund, want hij had intussen eigen, meetkundige methoden ontwikkeld. Die waren ingewikkelder dan de nieuwe, maar dankzij zijn wiskundige virtuositeit kwam hij er bijna even ver mee als Leibniz en Newton zelf.

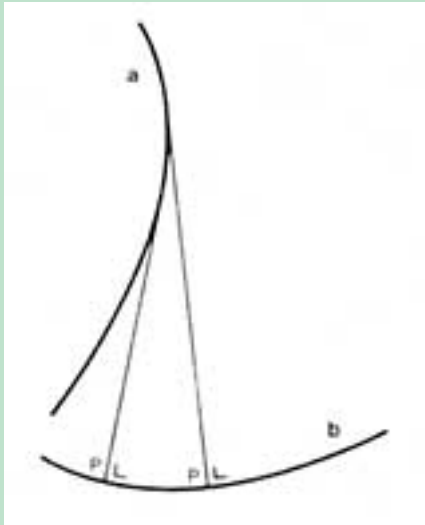
Dat bleek in 1691-1693, toen diezelfde kettinglijn nog eens Huygens' wiskundige pad kruiste. Jakob Bernoulli had namelijk aan de geleerde wereld de vraag voorgelegd, wat dan wél de vorm van een han-

gende ketting is als het, zoals Huygens had bewezen, geen parabool is. Leibniz en Jakobs broer Johann losten het probleem op met de nieuwe methoden; Huygens vond met zijn eigen meetkundige methoden een gelijkwaardige oplossing. [Hoewel de drie oplossingen verschillen van vorm, zijn ze alle equivalent met de kettinglijnformule $y = -\frac{a}{2} (e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}})$.] Zo was de kettinglijn tweemaal een test-case voor Huygens: in 1646 om te laten zien wat hij als jong wiskundige waard was; in 1691-1693 om te laten zien dat hij met zijn toen conservatieve methoden nog in staat was zich te meten met jonge wiskundige genieën. Dat ging toen nog net; korte tijd later zouden problemen worden gesteld in de wiskunde en de natuurwetenschappen, die niet meer met Huygens' methoden te behandelen waren.

De cycloïde – onverwachte ontmoetingen

De cycloïde is de kromme beschreven door een punt op de rand van een rollende cirkel. Huygens kwam haar voor het eerst tegen in 1658, toen Pascal proble-

Onderzoek naar de eigenschappen van de cycloïde, tekening door Huygens (uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, Hug 10 fol. 12r)



Figuur 2

men erover aan de wiskundigen van zijn tijd had voorgelegd; een aantal daarvan werd door Huygens opgelost. Een jaar later ontmoette hij deze kromme opnieuw. Dat kwam zo: in Huygens' slingerklok dient de slinger ertoe de klok regelmatig te laten lopen. De slingertijd is namelijk bij grote en bij kleine slingeringen vrijwel dezelfde. Maar niet helemaal. Huygens wist dat, en vroeg zich af hoe het slingergewicht zou moeten bewegen om werkelijk steeds dezelfde slingertijd te hebben. Niet in een cirkel, zo vond hij, maar in een baan die iets boven de cirkel moest liggen. Dat kon dus gebeuren door het slingerkoord op te laten lopen tegen kromme 'wangen'. In 1659 vond Huygens de precieze vorm van de gevraagde baan in een knappe berekening, waarin hij Galilei's valwet en meetkundige limietargumenten gebruikte. Eén van de eigenschappen van de gezochte kromme bleek identiek te zijn met een door Huygens het jaar tevoren opgemerkte kenmerkende eigenschap van de cycloïde, dus was de gezochte baan een cycloïde. Deze nieuwe ontmoeting is Huygens altijd als zijn grootste wiskundige ontdekking blijven beschouwen. Er volgde nog zo'n ontmoeting. Huygens stelde namelijk de vraag welke vorm de 'wangen' moesten hebben om de baan van het slingergewicht pre-

cies de vorm van een cycloïde te geven. Het bleek hem, dat die wangen ook cycloïdaal van vorm moesten zijn. Dat was een verrassend resultaat, dat Huygens vervolgens bracht tot een algemene theorie over het afwikkelen van krommen. In figuur 3 is uitgelegd waar dat om gaat: langs een kromme a, de 'evoluut', is een koord gespannen, dat er geleidelijk af wordt gewikkeld. Punt P op dat koord beschrijft dan een kromme b, een 'evolvent' van a. Met Huygens' theorie kan bij gegeven evolvent de evoluut worden bepaald (en in sommige gevallen ook omgekeerd). Dit is niet zomaar een speelse, op zich zelf zinloze wiskundige theorie; zij wordt ook toegepast, onder meer in de optica en de elasticiteitsleer.

Kans

In 1656 hoorde Huygens over Pascals interesse in de wiskunde van kansspelen. Hij werkte er zelf ook aan, en publiceerde er in 1657 een studie over in het Latijn; in 1660 verscheen de Nederlandse tekst onder de titel *Tractaet handelende van Reeckening in Speelen van Geluck*. Dit was het eerste, en voor meer dan vijftig jaar het enige boek over kansrekening. Huygens laat erin zien hoe je met kansbegrippen kunt rekenen, en hij behandelt het moeilijke probleem hoe de pot van



een kansspel moet worden verdeeld als het spel vóór het eind wordt afgebroken. Je moet dan namelijk berekenen hoe de kansen van de spelers er op dat moment voorstaan.

Dit zijn maar een paar grepen uit Huygens' vele wiskundige studies. Ze laten zien dat hij tal van nieuwe theorieën heeft uitgewerkt en dat hij virtuoze meetkundige methoden heeft ontwikkeld voor de behandeling van limiet-processen. Maar bovenal heeft Huygens laten zien hoe de wiskunde met vrucht in de nieuwe natuurwetenschap en in de techniek kon worden toegepast.

Theorieën over muziek



In de 22 dikke delen Volledige Werken van Christiaan Huygens zitten zo'n 150 bladzijden die gewijd zijn aan muziek. Het mag op het eerste gezicht vreemd lijken dat een typische bèta als Huygens zich met zoiets onexacts als muziek heeft beziggehouden. Maar er bestaat wel degelijk een nauw verband tussen muziek en bepaalde aspecten van de wiskunde en de natuurkunde -een verband dat in de 17e eeuw tal van wetenschapsmensen (behalve Huygens onder meer ook Kepler, Mersenne, Descartes en Galilei) tot het bestuderen van zekere muzikale problemen heeft gebracht. En bovendien: net als Galilei was Huygens de zoon van een componist, was zijn hele opvoeding van muziek vervuld en bespeelde hij ook zelf verschillende instrumenten, zoals de luit en de fluit. Over de plaats van de muziek in de chique kringen waarin de familie Huygens zich bewoog, worden we ingelicht door brieven uit Parijs van Christiaan aan zijn oudere broer Constantijn, voor wie hij braaf de laatste chansons overschreef wanneer broerlief weer eens op

deze of gene freule Sophie of Amélie indruk wilde gaan maken. Maar Christiaans hoofdbezigheden met de muziek betroffen toch duurzamer zaken dan luit en indirecte postillon d'amour spelen.

Vrije kunsten

De twee problemen waar Huygens' muziek-theoretische onderzoeken betrekking op hebben, waren ook in zijn tijd al eeuwen oud. De behandeling ervan maakte deel uit van het vak 'musica' zoals dat aan de Middeleeuwse universiteiten werd gedoceerd. Die 'musica' was één van de zeven artes liberales (vrije kunsten), die samen de verplichte basisopleiding van elke student uitmaakten. Als universitair vak had 'musica' niets te maken met huidige conservatoriumvakken als compositie, harmonie, enz.; het was een soort 'wiskundige muziektheorie', die zich o.m. bezighield met speculaties over muzikale harmonie als weerspiegeling van een goddelijke, in het heelal tot uitdrukking gebrachte kosmische harmonie.

75^a
*Dijsje Olfact in
partes 11. d.
quatuor.*

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
N 37106490	50000	U ⁺	C ⁺	50000	46989700043
46989700043	51111				
47056505421	52222				
47181313941	53333	Se	B ⁺	71459	47181313941
47311313131	54444				
473781131843	55555	SA	B	55555	474744150158
474744150158	56666	*	*	57141	47577440674
47577440674	57777	LA	A	59814	47778024924
47666644193	58888				
47766644193	59999				
47866644193	61111				
47966644193	62222	Sol ⁺	G ⁺	62222	47966644193
48066644193	63333				
48166644193	64444	Sol.	G	64444	48166644193
48266644193	65555				
48366644193	66666	FA ⁺	F ⁺	71574	48366644193
48466644193	67777				
48566644193	68888	FA	F	74767	48566644193
48666644193	69999				
48766644193	71111				
48866644193	72222				
48966644193	73333	Ma	E	80000	48966644193
49066644193	74444				
49166644193	75555	Ma	E ⁺	81591	49166644193
49266644193	76666	*	*	85590	49266644193
49366644193	77777	Rx	D	85443	49366644193
49466644193	78888				
49566644193	79999	*	*	91459	49566644193
49666644193	81111	U ⁺	C ⁺	97704	49666644193
49766644193	82222				
49866644193	83333	U ⁺	C	100000	50000000000
49966644193	100000				

Iets concretere zaken kwamen in dit kader naar voren in de loop van de 16e eeuw, en daartoe behoorden onder meer de twee problemen van de stemming van toetsinstrumenten en de oorzaak van de consonantie.

Beide problemen vinden hun oorsprong in de omstandigheid, dat die intervallen (samenklanken van verschillende tonen) die onze oren het plezierigst, het zuiverst aandoen, precies degene zijn die overeenkomen met de eenvoudigste getalsverhoudingen.

Wanneer wij de toon horen die wordt voortgebracht door een snaar aan te raken, en vlak daarna of tegelijkertijd de toon van een identieke, maar tweemaal zo lange snaar, dan horen we een bijzonder zuivere samenklank, octaaf geheten, die dus overeenkomt met een snaarlengte-verhouding van 1:2. Eveneens het oor zeer zuiver aandoende intervallen (wegens hun welluidendheid consonanten genoemd) zijn bijv. de kwint (verhouding 2:3), de grote terts (4:5) enz.

Nu doet zich bij dit alles een aantal problemen voor. Het ene is het probleem van de oorzaak van deze consonantie: hoe

komt het dat de aandoening van onze oren, dus een concrete, zintuiglijke ervaring, correspondeert met iets abstracts als een getalsverhouding? In zekere zin is deze vraag de kern van het natuurwetenschappelijk denken over muziek, en zoals dat met meer schijnbaar eenvoudige problemen het geval is: het is nog altijd niet tot algemene bevrediging opgelost. Een tweede probleem is praktischer van aard. Het komt erop neer dat er geen enkel toonsysteem denkbaar is, waarin de verschillende consonanten octaaf, kwint, terts enz. met elkaar te verenigen zijn.

Het stemmingsprobleem

Dit valt als volgt aannemelijk te maken. Ga op een piano vanuit c vier kwinten omhoog: c-g, g-d', d'-a', a'-e". De afstand c-e" beslaat dus vier kwinten, maar tevens twee octaven en een grote terts: c-c', c'-c", c"-e". Als nu octaaf, kwint en terts van de piano alle drie volmaakt zuiver waren, dan zou de omvang van vier kwinten: $\frac{2}{3} \times \frac{2}{3} \times \frac{2}{3} \times \frac{2}{3}$, gelijk zijn aan de omvang van twee octaven en een grote terts ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{4}{5}$). Maar in werkelijkheid is $(\frac{2}{3})^4 = \frac{16}{81}$, en $(\frac{1}{2})^2 \times \frac{4}{5} = \frac{1}{5} = \frac{16}{80}$,

dus is er een hoorbaar verschil van $\frac{80}{81}$ ' dat we ervaren als een uiterst onaangename wanklank (dissonant). De ene e" is dus ongelijk aan de andere, en het feit dat we op de piano er maar één horen, is dan ook aan niets anders te danken dan aan het feit dat op de piano noch de kwint, noch de terts (noch trouwens enig ander interval behalve het octaaf) echt zuiver is gestemd. En zo zitten we midden in het probleem: de onverenigbaarheid van de consonanten kan alleen worden opgelost door ze een tikje onzuiver te stemmen, en de vraag was, en is: welke, en in hoe hoge mate? Op onze moderne piano is het probleem opgelost door de ruimte binnen het octaaf in 12 precies gelijke delen te verdelen, in de zgn. gelijkzwevende stemming. Als gevolg daarvan is elk interval binnen het octaaf enigszins onzuiver, niet erg, en we zijn eraan gewend, maar als je bijv. de gelijkzwevende terts (verhouding $\frac{3,9668}{5}$) vergelijkt met de zuivere ($\frac{4}{5}$), dan hoor je het verschil wel degelijk. En dat is dan ook de reden, dat men in Huygens' tijd niet aan die gelijkzwevende stemming wilde (die Simon Stevin voor het eerst berekend had), maar dat de musici aan een ander systeem de voorkeur gaven, waarin en octaaf en grote terts zuiver zijn, en alleen de kwint wat wordt aangepast. Dit stelsel

heet middentoonstemming, en is van de 16e eeuw af, tot de opkomst van de piano sinds het midden van de 18de eeuw, algemeen in gebruik geweest voor toetsinstrumenten als orgel, clavecymbel enz.

Het grote voordeel is ook het grote nadeel ervan: de zwarte toetsen zijn maar voor één doel bruikbaar (of cis of des, maar niet beide, zoals bij de gelijkzwevende stemming). Maar de componisten van de vroege Barok, waartoe ook Christiaans vader Constantijn behoorde, streefden juist naar ruimere expressiemogelijkheden door uitbreiding van het aantal toonsoorten: zij wilden bijv. in staat zijn om niet alleen van D naar A, maar ook van A naar E over te gaan (dus te musiceren met vier kruisen).

31-toonsstelsel

Dit nu is de problematiek die Christiaan Huygens heeft proberen op te lossen. Hij hield vast aan de zuivere grote terts, en verwierp dus de gelijkzwevende stemming. Het nieuwe was, dat hij liet zien hoe bij een verdeling van het octaaf in 31 gelijke delen niet alleen alle zuiverheden van de middentoonstemming intact bleven, maar tegelijk ook het spelen van alle gewenste toonsoorten mogelijk werd. Daarmee was theoretisch het vraagstuk

opgelost waarmee de musici van zijn tijd worstelden. Praktisch rees er natuurlijk een nieuw probleem: een klavier met 31 toetsen tussen c en c' zou erg lastig te bespelen zijn. Dat zag Huygens zelf ook heel goed in. De oplossing heeft hij gezocht in een verschuifbaar gemaakt toetsenbord. Niets dan een schetsje en een beschrijving is daarvan overgebleven. Wel zegt hij zelf dat hij er in zijn Parijse tijd met veel plezier op heeft gespeeld. Theoretisch is het 31-toonsstelsel interessanter, temeer omdat voor de berekening ervan logaritmen nodig zijn, en Huygens één der eersten is geweest die die betrekkelijk nieuwe rekenwijze op de muziek hebben toegepast.

Verklaring van de consonantie

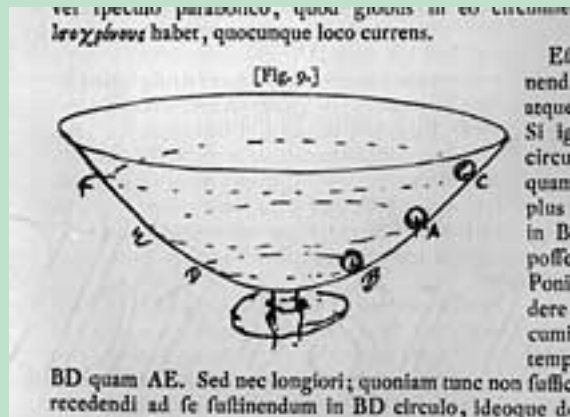
Voor wat de verklaring van de consonantie betreft, begon Huygens met zich aan te sluiten bij de oplossing die in de generatie vóór hem was bedacht. Consonantie, zo zeiden Galilei, Beeckman en Mersenne, doet zich voor wanneer de stoten, of pulsen, die een trillende snaar aan de lucht meedeelt met grote regelmaat samenvallen. Bij de prime (1:1) is dat het vaakst het geval.

Dan komt het octaaf (2:1), want daar valt elke tweede 'slag' van de korte snaar samen met één van de lange. Daarop vol-

gen de kwint, de kwart, en zo verder, tot de kleine sext (8:5) toe. Een probleem van deze verklaring is, dat dan een interval als 7:4 ook consonant zou zijn, terwijl die in de muziekpraktijk juist werd gemeden als de pest. Huygens' bijdrage aan de theorie van de consonantie is nu tweemaal geweest. Hij heeft aangetoond dat, zowel in zijn 31-toonsverdeling als in de middentoonstemming, de intervallen met 7 nagenoeg zuiver voorkomen. En hij heeft, als eerste in de muziekgeschiedenis, gesteld dat als je goed luistert die intervallen met 7 eigenlijk heel fraaie samenklanken opleveren.

De invloed van Huygens' ideeën over muziektheorie is zeer gering geweest. Dat komt voornamelijk doordat hij er bijna niets van heeft gepubliceerd: slechts één artikel van 5 bladzijden over het 31-toonsstelsel. Dit was waarschijnlijk een gevolg van het feit dat de oplossingen die hij gevonden heeft voor de grote wiskundige/fysische muziekproblemen toch wat fragmentarisch zijn gebleven. Bij dit alles valt echter wel te bedenken dat het ene probleem nog altijd niet is opgelost, en dat van het andere de oplossing die wij nu accepteren een concessie van de kant van het muzikaal gehoor vergt, die Huygens nooit bereid is geweest voor lief te nemen.

Mechanica



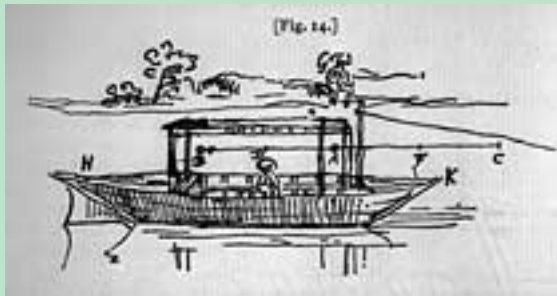
In 1668 stelden de leden van de Royal Society tijdens een vergadering vast, dat het noodzakelijk was om botsingsverschijnselen te onderzoeken en de resultaten van dit onderzoek aan de leden mee te delen. Twee onderzoekers gaven onmiddellijk gehoor aan deze oproep: de wiskundige John Wallis en de architect Christopher Wren. Daarnaast nodigde de secretaris van het genootschap, Henry Oldenburg, Christiaan Huygens uit mededeling te doen van zijn botsingstheorie. Reeds in het najaar van 1668 en het begin van 1669 kon Oldenburg de oplossingen van deze drie onderzoekers in het tijdschrift van de Royal Society, de *Philosophical Transactions* publiceren. Huygens gaf in zijn bijdrage de wetten van de volkomen elastische botsing, die ook gedeeltelijk werden gegeven door Wren. Wallis stelde daarentegen de wetten op van de volkomen onelastische botsing.

Botsing

Hoewel dit Huygens' eerste publicatie was over zijn botsingstheorie -in hetzelfde jaar publiceerde hij zijn botsingsregels ook in het *Journal des Sçavans* -is het uit zijn nagelaten werk duidelijk geworden dat hij al vanaf 1652, tot 1657 toe, aan zijn botsingstheorie had gewerkt. In beide artikelen uit 1669 gaf hij uitsluitend zijn botsingsregels. Deze weerlegden de zeven botsingsregels die Descartes had opgesteld in zijn *Principio philosophiae* (Beginselen der natuurwetenschap) van 1644.

In tegenstelling tot die van Descartes waren ze in overeenstemming met de waarneming. Zo had Descartes in zijn vierde botsingsregel gesteld dat, indien een klein bolletje met welke snelheid dan ook op een grote bol botst, het kleine bolletje wordt teruggekaatst, terwijl de grote onbeweeglijk op zijn plaats blijft. Huygens antwoordde met zijn derde botsingsregel, waarin hij stelde dat een lichaam, hoe groot ook, door elk bewe-

*Proef met centrifugale kracht, tekening door Huygens
(uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, Hug 26 fol. 6r)*



gend lichaam, hoe klein ook, en ongeacht de snelheid ervan, in beweging zal worden gebracht.

Ondanks herhaald aandringen van andere onderzoekers heeft Huygens de afleiding van zijn regels nooit gepubliceerd, al had hij deze vastgelegd in een op zichzelf persklaar manuscript *De motu corporum ex percussione* (Over de beweging van lichamen bij botsing), dat tenslotte in 1703 postuum is uitgegeven.

Centrifugale kracht

Ook Huygens' zeer fundamentele werk over de centrifugale kracht die een lichaam ondervindt als het bewogen wordt langs een cirkelvormige baan - in 1659 neergelegd in het manuscript *De vi centrifuga* (Over de centrifugale kracht) - is in 1703 postuum gepubliceerd. De belangrijkste resultaten had Huygens, zonder de bewijsvoering uit het manuscript, in 1673 in zijn *Horologium oscillatorium* publiek gemaakt. Het belangrijkste resultaat betreft de twee krachten die werken op een lichaam dat aan een koord wordt rondgeslingerd. Huygens leidde af dat een naar buiten gerichte

kracht (de centrifugale kracht) die naar het middelpunt gerichte spanning van het koord opheft. Deze centrifugale kracht is evenredig met het kwadraat van de snelheid en omgekeerd evenredig met de straal van de cirkel. Theoretisch werd het hierdoor duidelijk, dat voor het instandhouden van een cirkelvormige beweging van een stoffelijk punt constant een kracht moet werken. Definitief was hiermee Galilei's gedachte weerlegd, dat een lichaam dat zich in een eenparigcirkelvormige beweging bevindt, zonder invloed van uitwendige krachten in deze beweging zal volharden.

Postume publicatie

Het merkwaardige feit dat Huygens geen van beide manuscripten publiek heeft gemaakt, wordt begrijpelijker als men zich het doel realiseert dat hij zich gesteld had. Evenals Descartes achtte hij het noodzakelijk om de natuur te beschrijven als een mechanisme, hetgeen wil zeggen dat alle natuurlijke verschijnselen verklaard moesten worden met behulp van mechanische wetten. Voor de afleiding van deze mechanische wetten was geen

*Illustratie van botsingswetten, tekening door Huygens
(uit: Universiteitsbibliotheek Leiden,
Hug 26 A fol. 30r)*

ander uitgangspunt aanvaardbaar dan de beweging van materiedeeltjes van verschillende vorm en grootte. De botsingswetten en de behandeling van de centrifugale kracht, zoals Huygens die in zijn manuscripten had neergelegd, waren voor hem niet meer dan wiskundige beschrijvingen van de natuur zoals hij die had waargenomen. Ze werden weliswaar door de natuur bevestigd, maar een mechanische verklaring op basis van bewegende materiedeeltjes kon hij niet geven. Dit ontbreken van een mechanische verklaring was voor hem reden genoeg zijn belangrijke afleidingen aan de wetenschappelijke wereld te onthouden, en slechts de resultaten van zijn onderzoek in de vorm van stellingen bekend te maken.

Wetenschappelijke methode

Zoals boven reeds terloops vermeld, trachtte Huygens op dezelfde mechanische grondslagen als Descartes de natuur te verklaren. Maar in een ander opzicht verschilde hij fundamenteel van zijn grote voorganger. Descartes had een heilig vertrouwen in de rede. Hij geloofde dat het gebruik van de rede de enig juiste manier was om tot een ware beschrijving van de natuur te komen. De experimentele bevestiging van zijn theorieën was voor

hem minder belangrijk. Zo kon Descartes van zijn botsingsregels zeggen, dat het hem niet verontrustte dat zij schijnbaar niet in overeenstemming waren met de waarneming. Voor hem waren zij afgeleid van de enig denkbare, en dus per definitie juiste basisveronderstellingen. Mochten zij niet door de ervaring worden bevestigd, dan was het noodzakelijkerwijs beter op onze rede dan op onze zintuigen te vertrouwen. Huygens verwierp deze gedachte. Hij achtte het niet mogelijk absolute zekerheid te krijgen bij de studie der natuur, hoewel er natuurlijk graden van zekerheid bestaan. Eén van de methoden om tot een dieper inzicht in de natuur te komen, was voor hem juist de experimentele toetsing van een theoretisch model. Daarbij moet men wel bedenken dat, naarmate de verklaring van een natuurlijk verschijnsel verder kan worden teruggebracht tot de uiteindelijke gezochte mechanische verklaring, de waarschijnlijkheid ervan toeneemt.

Newton

In 1687 publiceerde Isaac Newton zijn beroemde *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Wiskundige grondbeginnelsen van de natuurwetenschap). In dit belangrijkste boek dat in de natuurkunde



ooit is geschreven, stelde Newton de algemene aantrekkingskracht voor. Hij maakte deze algemeen heersende kracht tot de basis van zijn natuurbeschouwing. Voor Newton was het voldoende dat zijn wet op ervaring steunde en dat ze kon worden behandeld op een wiskundige manier. De algemene aantrekking was voor hem een verschijnsel waarvoor nog geen mechanisch model gegeven kon worden.

Huygens aanvaardde Newtons resultaten, maar hij vond wel dat de algemene aantrekking een leeg begrip was, zolang het niet voorzien werd van een verklaring. Zonder een dergelijke verklaring op basis van deeltjes en beweging was de aantrekkingskracht voor hem onaanvaardbaar. Wat deze fundamentele kwestie betreft, is Huygens, die met zijn behandeling van de centrifugale kracht en van het botsingsprobleem afstand had genomen van de filosofie van Descartes, een Cartesiaan gebleven. Descartes had al in 1646 de suggestie van Roberval dat er mogelijk een wederzijdse aantrekking tussen materiële deeltjes zou kunnen bestaan, belachelijk gemaakt, door te stellen dat in dat

geval het deeltje een ziel en een geheugen zou moeten hebben, zodat het zou weten wat er in de ruimte aanwezig was waarop het dan op een of andere duistere manier zijn invloed kon uitoefenen. Huygens zelf heeft de invloed van Descartes op zijn denken als volgt omschreven. Toen hij nog jong was, dacht hij in gevallen dat hij in het werk van Descartes op moeilijkheden stuitte, dat het aan hemzelf lag als hij het niet begreep. Maar op latere leeftijd, nadat hem keer op keer duidelijk was geworden dat Descartes ongelijk had, kon hij in Descartes' natuurkunde en filosofie ten slotte niets meer ontdekken dat nog zijn goedkeuring kon wegdragen. Toch was de opmerking dat hij niets meer kon aanvaarden van Descartes, een illusie, want van de indruk die Descartes op de jonge Huygens gemaakt had, is hij nooit meer geheel losgekomen.



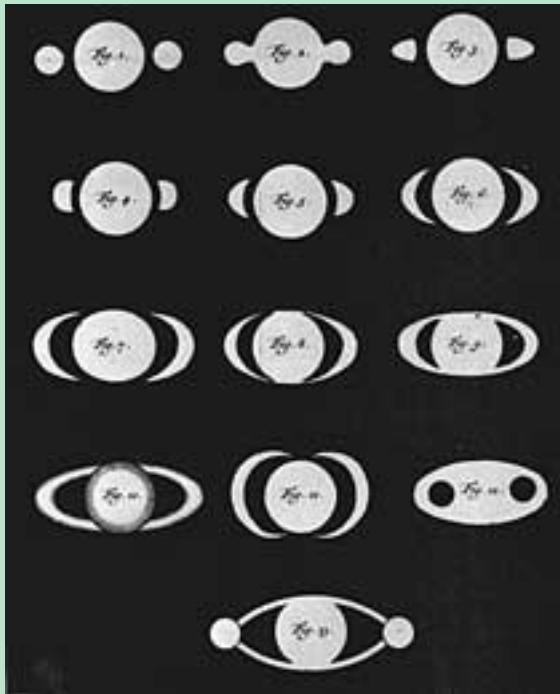
Kosmologie

De 'Gissingen over de Hemelsche Aardklooten', zoals Huygens die aan het eind van zijn leven neerschreef in de Kosmotheoros, zijn laatste boek, hebben in veelopzichten het karakter van de zogenaamde 'laatste stelling' van een proefschrift. Ze zijn speculatief, ze hebben tenminste de schijn van geleerdheid, ze zijn vermakelijk, en bovenal: ze weerspiegelen een persoonlijke opvatting van de schrijver. In zijn Kosmotheoros laat Huygens geen enkele twijfel bestaan omtrent zijn eigen mening ten aanzien van het mogelijk voorkomen van leven op andere planeten, want daar gaat het om in dit boekje. Hij is zich echter wel degelijk het vrijblijvende karakter van zijn beweringen bewust. In de Inleiding zegt hij daarover (in de Nederlandse vertaling van 1699): 'Des stellen wy hier niets voor wis en zeker (want hoe kan dat geschieden?) maar wy gaan alleen te werk met gissingen over welker waarschijnlijkheid het een yder vry staat naar zijn zin te oordeelen'. Na dit voorbehoud zet Huygens

zijn schroom opzij, en begint een lang betoog, waarin hij wel een hoge graad van waarschijnlijkheid voor zijn gissingen bepleit. Hij gebruikt daarbij zowel wetenschappelijke als metafysische argumenten, en het zijn vooral de laatste waar de Kosmotheoros zijn historische waarde aan ontleent.

Copernicanisme

Het wetenschappelijke argument in Huygens' pleidooi berust op de opvatting, ontleend aan het wereldbeeld van Copernicus, dat de aarde als hemellichaam geen uitzonderingspositie in het heelal inneemt. In dit wereldbeeld, dat ook het onze is, draait immers de aarde als één van de planeten zonder veelopzien te baren rond de zon. In ieder ander stelsel zal volgens Huygens de interpretatie van de in zijn tijd waargenomen hemelverschijnselen tot absurde consequenties leiden. In het bijzonder denkt hij daarbij aan de manen van Jupiter en Saturnus, en aan de beweging van de pla-

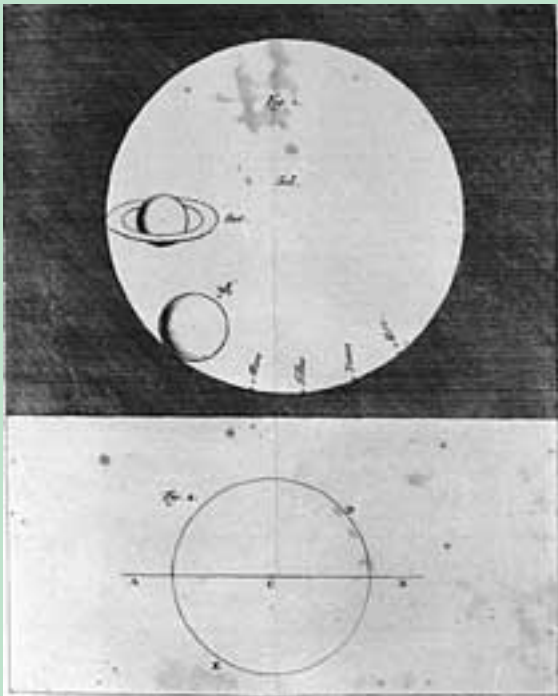
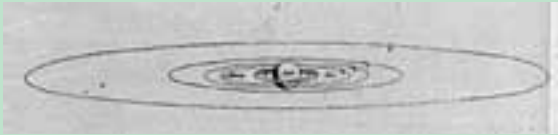


neten in hun door Kepler aangetoonde ellipsbanen, waarbij de zon zich in een der brandpunten bevindt. De eenvoud van de ordening van de planeetbanen rond de zon in het stelsel van Copernicus heeft Huygens gedemonstreerd in een door hemzelf ontworpen en door Johannes van Ceulen gebouwd planetarium, waarin hij alle toen bekende gegevens verwerkte, zoals 'de verrekening der grootheden, waar mede de lichamen der Dwaalstarren onder elkanderen, en met de Zon, vergeleken worden; 't welk ook in het zelve Kunstwerk gemerkt staat'. In zijn vergelijking van de eigenschappen van de aarde met die van de andere hemellichamen (wolken, zwaarte, enz.) komt Huygens tot de conclusie dat de aarde niet wezenlijk anders is dan de andere planeten. En daarom is het ook hoogst onwaarschijnlijk dat er op aarde wel en op de andere planeten geen vormen van leven zouden voorkomen.

Bewondering voor de Schepping

Huygens gebruikt in de Kosmotheoros ook metafysische argumenten om dit standpunt over het leven op andere pla-

neten te ondersteunen: 'wien kan het nu in zijn herssens komen, dat van alle de Klooten, die rondom de Zon draaijen, in dit ons Aardklootje alleen al het cieraad word gevonden, alle dieren, en alle de schepselen, die de dingen des Hemels met verwondering beschouwen? En dat de Maker der dingen aan de anderen niets daar van heeft gegeven, en zulke overgroote gevaartens van lichamen ten geen anderen einde geschapen, dan op dat wy menschjes derzelve ligt zouden zien, en misschien haar loop nasporen?' Uit deze benadering van Huygens blijkt duidelijk dat hij de mogelijkheid, dat God met de andere planeten wel eens een andere, voor hemzelf niet navolgbare reden of bedoeling kan hebben gehad, buiten beschouwing laat. Hij is ervan overtuigd dat God de mens heeft geschapen om de grootheid van Zijn schepping te bewonderen en te begrijpen. En dus kan God geen voor Huygens ondenkbare bedoeling hebben gehad met de schepping van de andere planeten. Het is dit argument dat in het boekje steeds weer naar voren komt, en voor alle volgende speculaties als leidraad fungeert. Dit blijkt



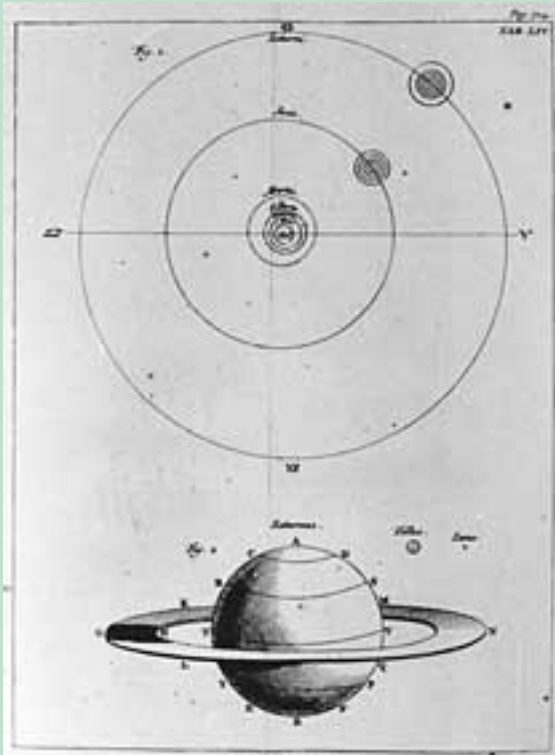
bijvoorbeeld op die plaats, waar Huygens betoogt dat er op de andere planeten aan de mens analoge, met rede begaafde 'Dieren' moeten voorkomen. Immers, een ieder met een beetje gezond verstand moet toch begrijpen dat God zulke schitterende planeten als Jupiter en Saturnus niet zou hebben gemaakt 'indien daar meê niet beoogt was, dat ze van iemand zouden gezien werden, die haar fraayheid konde bezeffen, teffens de vrugt daar van trekken, en de wijsheid des hoogsten Werkmeesters met verwondering beschouwen.' Huygens' bewondering voor al het geschapene is groot en gaat zelfs zover dat hij bij de vergelijking van de met rede begaafde wezens op de andere planeten met de aardse mens tot conclusies komt als 'de Dwaalstarrelingen hebben geen andere Reden, als wy', 'hunne Zinnen zijn niet anders als de onze' en 'zij hebben ook het zelve vermaak, en dezelve wellusten, als wy', kortom zij zijn als wij. Het belangrijkste argument dat Huygens hierbij aanvoert, berust op zijn stellige overtuiging dat de aardse vorm van het leven volmaakt is, vanaf de bouw van de ogen, de oren, het gevoel,

de reuk en de geur tot de voortplanting toe. Op grond daarvan lijkt het hem nauwelijks zinvol te veronderstellen dat God, na eenmaal het volmaakte aardse leven te hebben uitgevonden, de andere planeten zou voorzien van andere, en dus lagere vormen van leven. Hij neemt niet aan dat God, die handelt in overeenstemming met redelijke wetten, nog iets anders zou maken dat minstens even goed zou zijn. Voor Huygens is God zonder enige twijfel de Grote Instrumentmaker, maar ondoordringelijk is Hij niet.

Postume uitgave

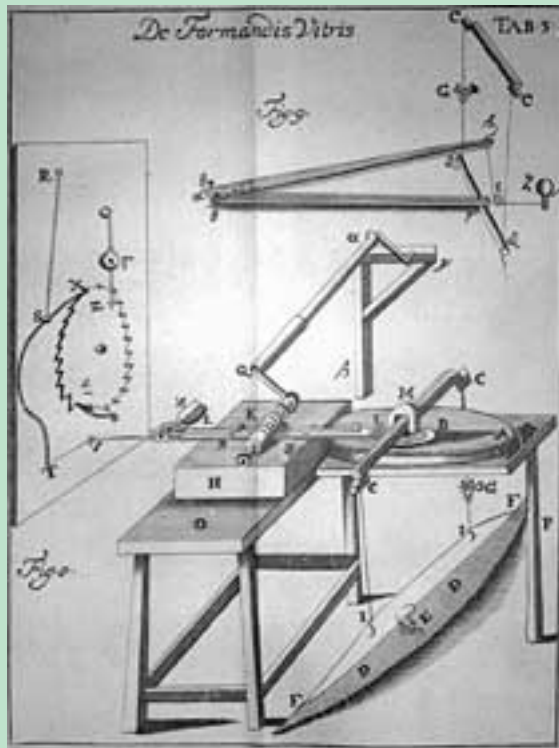
Waarschijnlijk zou Huygens, als hij de Kosmotheoros nog tijdens zijn leven zou hebben uitgegeven, wel zijn aangevallen op zijn religieuze opvattingen, want het orthodoxe geloof had in zijn tijd nog een overwegende invloed op de openbare meningsvorming. Huygens zelf had daar ook weinig twijfel over, zoals blijkt uit een opmerking aan zijn schoonzuster 'dat de menschen, hoorende van sijn opiniën en sentimenten omtrent de religie, hem soudon verscheuren'. Misschien ligt hier één van de redenen dat hij de

Relatieve grootte van de planeten ten opzichte van de zon
(uit: Ch. Huygens - Kosmotheoros; 1698)



Kosmotheoros pas aan het eind van zijn leven heeft geschreven, en een zekere weerzin vertoonde om het boekje in de openbaarheid te brengen (bij testamentaire beschikking liet hij zijn broer Constantijn voor de uitgave zorgen). Maar ook moet hij conflicten gevreesd hebben op grond van zijn Copernicanisme (dat in zijn tijd buiten de wetenschappelijke wereld nog maar weinig aanhang had gevonden), getuige zijn verzuchting in de tot zijn broer gerichte Inleiding van de Kosmotheoros: 'Het ware te wenschen, niet dat ik het mijn aan alle man mogt verhalen, maar dat het my vry stond, behalven u, lezers na mijn willekeur te verkiezen, die in de kennis der Starreloop, en beste Wijsbegeerte niet onbedreven waren; van welken ik konde vertrouwen dat zy mijn onderneming lichtelijk zouden goed keuren, zonder dat ze, nieuwheids-halven, behoefde verdedigt te werden.' Bij gebrek aan zo'n select publiek, heeft Huygens er de voorkeur aan gegeven het boek tijdens zijn leven maar zonder publiek te laten, weinig vermoedend dat het uiteindelijk van al zijn boeken veruit het grootste publiek zou trekken.

Zonnestelsel en Saturnus met ring
(uit: Ch. Huygens - Kosmotheoros; 1698)



Microscopie

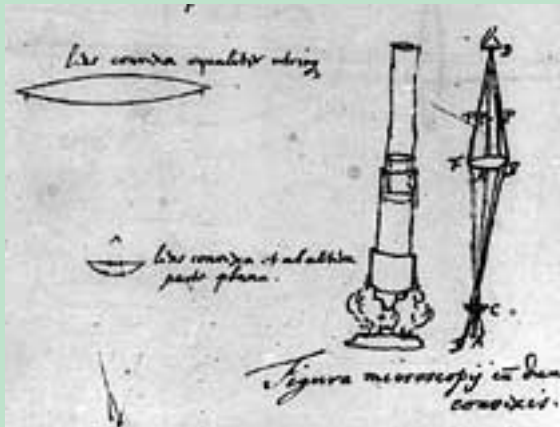
De belangstelling voor de microscoop is Christiaan Huygens als het ware met de paplepel ingegoten. Zijn vader Constantijn had al in 1621, toen de microscoop amper 10 jaar bestond, bij Cornelis Drebbel, hofuitvinder van de Engelse koning Jacobus I, uitvoerig een microscoop bekeken. Zijn beschrijving van deze gebeurtenis vormt één van de schaarste bekende feiten uit de vroegste jaren van dit nieuwe wetenschappelijke instrument. Christiaans belangstelling voor de microscoop heeft zich gedurende zijn gehele leven bij tussenpozen geuit, zowel in de studie van de optische eigenschappen ervan als in de bestudering van microscopisch kleine plantjes en diertjes.

Lenzen

In navolging van Descartes bestudeerde Huygens de gang van de lichtstralen door lenzen van verschillende vorm. Voortbouwend op de brekingswetten berekende hij de mate van vergroting door en de scherptediepte van bepaalde

lenzen en van uit twee of meer lenzen samengestelde lenzenstelsels. Hij zag en beschreef de belangrijkste lensfouten: sferische en chromatische aberratie (zie hiervoor het boekje Klein-kijkerij). Hoewel Huygens theoretisch een oplossing aangaf om de sferische aberratie op te heffen, bleek deze moeilijk te verwezenlijken, voornamelijk doordat het slijpen van lenzen van de vereiste vorm toen nauwelijks mogelijk was. Juist om zijn studie van de optische eigenschappen van lenzen zo goed mogelijk te kunnen uitvoeren, leerde Christiaan samen met zijn broer Constantijn de techniek van het lenzenslijpen. In 1683 ontwikkelden beide broers hiervoor nieuwe apparatuur, die jaren later nog door anderen is toegepast. Zijn techniek van lenzen slijpen beschreef Christiaan in 1685 in een handgeschreven stuk, getiteld: *Memorien aengaende het slijpen van glazen tot verrekijckers*. Dit manuscript is pas jaren na zijn dood in een Latijnse bewerking uitgegeven in de *Opuscula postuma* (1703).

Lenzenslijpmachine
(uit: Ch. Huygens - *Commentarii de formandis poliendisque vitris ad telescopia*, in: *Opuscula postuma*; 1703)



Verbeterd oculair

De lenzen die Christiaan en Constantijn slepen, gebruikten zij om er telescopen en microscopen mee samen te stellen. Deels naar aanleiding van theoretische berekeningen en deels door te proberen praktische problemen op te lossen, heeft Christiaan een aantal belangrijke bijdragen geleverd tot de verbetering van de microscoop en ook van de telescoop. Theoretische overwegingen hadden Huygens geleid tot de overtuiging, dat het combineren van twee lenzen in het oculair (d.i. de lens het dichtst bij het oog) grote voordelen zou bieden. Het gezichtsveld zou ermee verruimd worden en ook zou het beeld minder vervormd moeten zijn. Toen Huygens een dergelijk oculair geconstrueerd had en het in 1662 probeerde, werd hij niet teleurgesteld in zijn verwachtingen. Dergelijke oculairen staan sindsdien bekend onder de naam Huygens-oculair.

Eén van de praktische problemen van de microscopie lag erin, dat het te bekijken voorwerp voldoende belicht moest zijn om er iets aan te kunnen waarnemen.

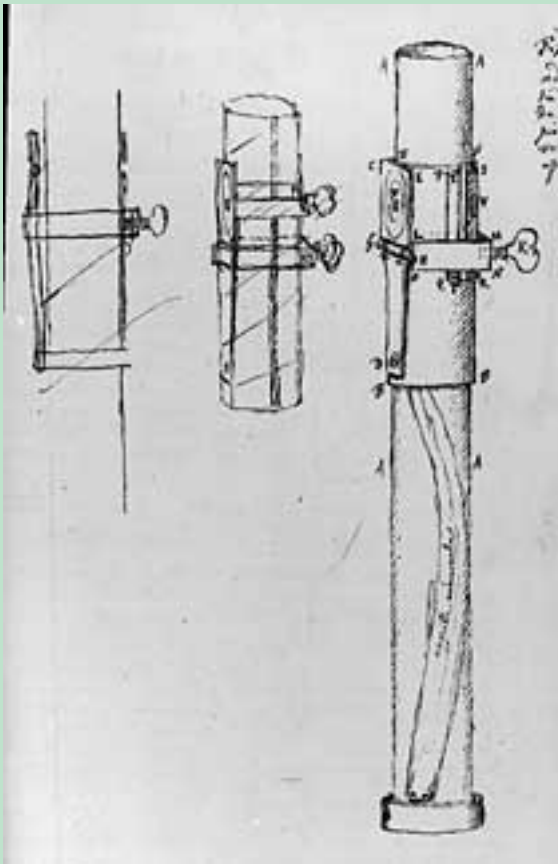
Huygens paste daarom in 1678 een zgn. condensorlens toe. Dit is een lens die licht van bijvoorbeeld een kaars opvangt en concentreert op het voorwerp, dat door een andere lens bekeken wordt. Dit idee is een aantal jaren later door Nicolaas Hartsoeker en vervolgens door de Engelse instrumentmaker Wilson uitgewerkt. Wilsons microscopen werden in de 18e eeuw door geheel Europa verkocht en genoten door hun hoge kwaliteit grote bekendheid.

Huygens ontwierp ook een speciale microscoop om de haarvaten in vissestaarten te kunnen bekijken, de zgn. aalkijker. Deze vaten, die de slagaders met de aders verbinden, vormden de bevestiging van Harvey's theorie over de bloedsomloop. Daar ze het beste waar te nemen zijn in levende dieren, was een daartoe geschikte microscoop onontbeerlijk.

Waarnemingen

Hoewel Huygens al vanaf de tijd dat hij zijn eerste microscoop vervaardigde -zo rond 1653- af en toe door de kant en klare instrumenten kleine beestjes en plantjes bekeek, werd zijn interesse in de

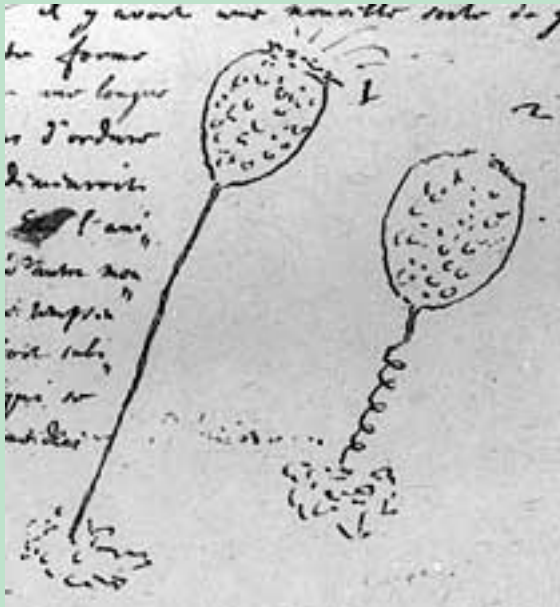
*Samengestelde microscoop met stralengang, tekening door Huygens
(uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, Hug 17 fol. 67r)*



studie van de levende natuur pas goed gestimuleerd door de ontdekkingen van Antoni van Leeuwenhoek. Het feit dat Christiaan op verzoek van zijn vader voor de Académie Royale des Sciences een Franse samenvatting vervaardigde van de eerste brief van Van Leeuwenhoek over micro-organismen (1676), zal daartoe zeker hebben bijgedragen. Huygens' eerste notities dateren tenminste van februari 1678. In datzelfde jaar liet hij ook aan zijn mede-leden van de Académie zaad- diertjes en diverse micro-organismen zien met een door hemzelf ontworpen en vervaardigde microscoop.

Verschillende onderwerpen die destijds sterk in de belangstelling stonden, heeft Huygens onder de loep genomen, zoals infusoria, spermatozoa en haarvaten. Hij legde niet alleen zijn waarnemingenvast in zijn talrijke aantekenboeken, maar filosofeerde ook over de betekenis van hetgeen hij waarnam, en wisselde daarover van gedachten met verscheidene van zijn talrijke correspondenten. Onder de verzamelnaam infusoria worden tal van micro-organismen gerangschikt. Deze worden 'gekweekt' door een aftreksel (infusie) te

koken van een of ander plantaardig materiaal -thee, peperkorrels (deze waren favoriet bij Huygens), gemberwortel of iets dergelijks -en dit enige tijd aan de lucht bloot te stellen. Na verloop van tijd konden in het aftreksel met behulp van de microscoop allerlei levende wezens worden waargenomen. Huygens vroeg zich ook af waar al die organismen die hij zag vandaan kwamen. Hij opperde dat zij vanuit de lucht in het aftreksel terecht kwamen, aangetrokken door de geur ervan. Deze gedachte werd hem ingegeven door het feit dat in de verschillende aftreksels zoveel dezelfde organismen voorkwamen. Huygens trachtte zijn idee te bevestigen door de aftreksels naderhand nog eens te koken, en door een deel van een aftreksel in van de lucht afgesloten vaten te bewaren. Na een tweede maal koken bleek hem dat de organismen verdwenen waren, maar enkele dagen later weer tevoorschijn kwamen. Bij vergelijking van open en gesloten vaten zag hij, dat in de gesloten vaten minder organismen langzamer tevoorschijn kwamen. Een verklaring voor deze verschijnselen kon hij echter niet



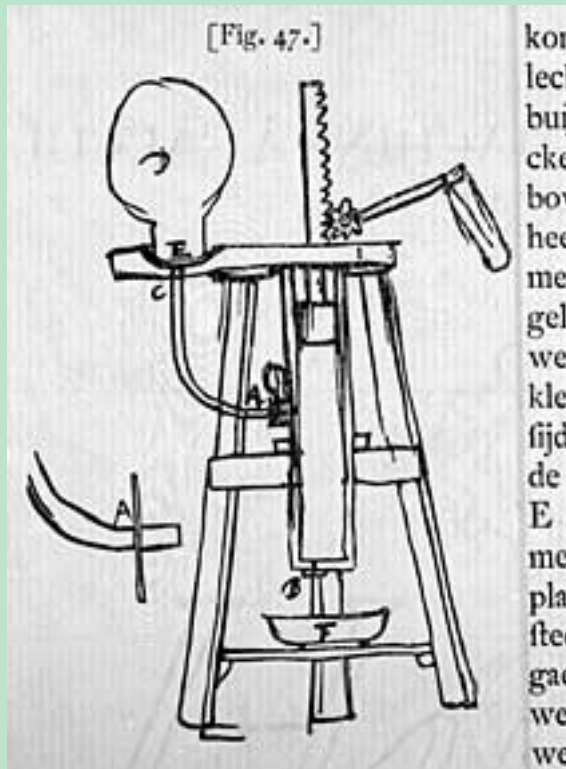
geven. Dit is bepaald niet verwonderlijk voor een tijd waarin het onderzoek van deze organismen net op gang was gekomen en de levenscyclus ervan totaal onbekend was. De hitte-bestendige sporen die de oorzaak zijn van deze verschijnselen, waren nog niet ontdekt.

Zaaddiertjes (spermatozoa) zijn voor het eerst waargenomen in 1677 door de student Johan Ham. Deze stapte met zijn ontdekking naar Van Leeuwenhoek, die de waarneming bevestigde en er een brief over schreef aan de Royal Society. In 1678 heeft ook Huygens in zijn notitieboek een aantal spermatozoa getekend. Evenals Van Leeuwenhoek vatte hij ze op als kiemen van nieuw leven, in tegenstelling tot de school der 'ovisten', die juist de eicel in de voortplanting centraal stelden.

In het algemeen kan worden vastgesteld, dat ook Huygens' microscopisch werk, waarbij hij zowel rekenend en construerend als waarnemend en interpreterend bezig is geweest, getuigt van zijn veelzijdigheid.

*Micro-organismen, tekening door Huygens
(uit: Universiteitsbibliotheek Leiden, Hug 9 fol. 75v)*

Technische vondsten

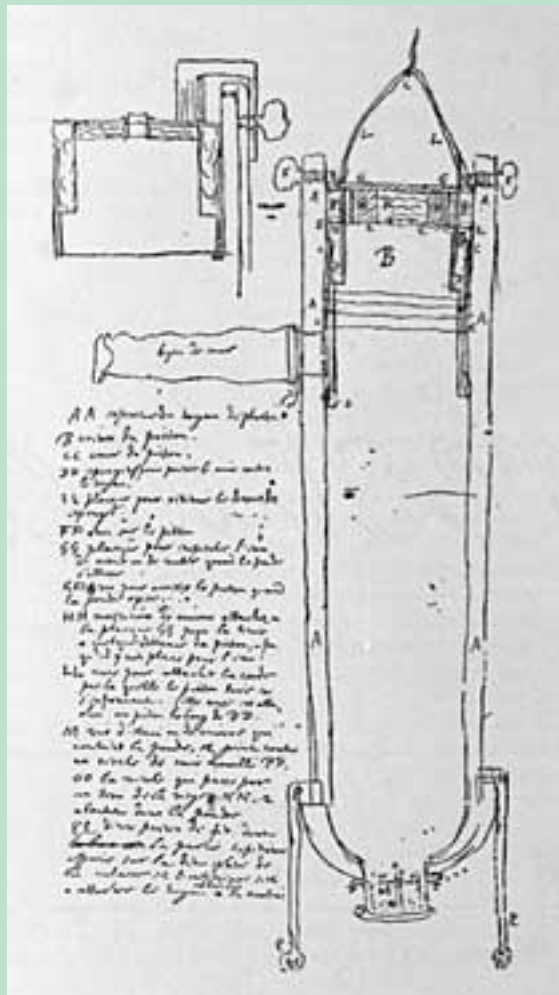


Christiaan Huygens was een man met een enorm brede belangstelling. Hij interesseerde zich niet alleen voor strikt wetenschappelijke zaken als wiskunde en sterrenkunde, maar ook voor alles wat met techniek te maken had. In zijn manuscripten zijn van de meest uiteenlopende zaken schetsen en ontwerpen te vinden. Sommige nieuwe toestellen -of verbeteringen van bestaande -ontwierp hij speciaal ten dienste van zijn eigen wetenschappelijk onderzoek, bijv. de verrekijker en de luchtpomp. Andere apparaten die Huygens heeft uitgevonden, zoals de zeeuurwerken en de 'buskruitmotor', zijn daarentegen alleen bedoeld voor praktische toepassing. Veel van Huygens' technische prestaties vallen binnen het kader van een bepaald gebied van onderzoek, en zijn al in de desbetreffende hoofdstukken beschreven. Maar Huygens' onderzoekprogramma was nooit zo scherp begrensd. Van de vele incidentele ontwerpen die hij heeft gemaakt, voor een barometer, een waterpas, de fontein van de

koninklijke tuinen te Versailles, de vering van koetsen, een luchtpomp, een buskruitmotor en een toverlantaarn, zullen hier alleen de laatste twee in enig detail worden beschreven. Deze twee illustreren duidelijk Huygens' technische benadering van alles wat maar zijn aandacht trok.

Buskruitmotor

'Wy hebben ook het Buskruid, een stoffe, met zwavel en salpeter gemengd, en wy kennen daar van 't verscheiden gebruik, 't welk men met regt mag twijfelen ofhet meer goed dan quaad doet', schreef Huygens in zijn Kosmotheoros, de meest beschouwelijke van al zijn publicaties. Hij was een uitgesproken voorstander van het vreedzaam gebruik van nieuwe ontdekkingen en uitvindingen. Dit bleek onder meer, toen hij op 26 augustus 1673 in een vergadering van de Académie Royale des Sciences zijn uitvinding van een buskruitmotor aankondigde. Want het ging daarbij om een machine waarmee de krachten die vrijkomen bij de ont-



ploffing van een hoeveelheid buskruit onder controle konden worden gebracht (zoiets als het vreedzaam gebruik van kernenergie nu). De machine die Huygens beschrijft, bestaat uit een cilinderbuis met een zuiger. Bovenaan de buis zijn slappe leren buizen bevestigd voor de afvoer van lucht. De werking van het apparaat wordt door Huygens zo verklaard- dat door ontsteking van een beetje buskruit in de cilinder, de zuiger omhoog wordt gestoten, waarbij de lucht via de leren buizen uit de cilinder wordt weggeblazen. Tengevolge van dit wegblazen zal de luchtdruk afnemen, zodat de leren buizen slap zullen gaan hangen en daardoor automatisch de cilinder afsluiten. De druk van buiten zorgt ervoor dat de zuiger dan zal dalen. Door middel van katrollen e.d. kan die dalende beweging van de zuiger dan worden benut voor de verplaatsing van zware voorwerpen. Het beeld dat Huygens hiermee schetst, wijkt in alle details af van de verklaring van een buskruitmotor zoals we die nu zouden geven. Daarin is immers de afkoeling van het bij de explosie ontstane gasmengsel de oorzaak van de daling van de cilinder.

Voor Huygens ligt de oorzaak in het leegblazen van de cilinderbuis, en hij beseft kennelijk niet dat de buis na de explosie nog verre van leeg is. In zijn experimenten met de buskruitmachine concentreerde hij zich voornamelijk op het meten van de geleverde krachten en op mogelijke toepassingen daarvan. Zijn uitvinding, zo meende hij, kon worden gebruikt om 'grote stenen voor gebouwen op te hijsen, obelisksen op te richten, water in fontein en omhoog te spuiten en molens te laten gaan om koren te malen, bij gelegenheden waar men niet de mogelijkheid heeft, of niet genoeg plaats, om zich van paarden te bedienen. En deze motor heeft het voordeel dat hij in onderhoud niets kost gedurende de tijd dat hij niet gebruikt wordt.'. Op langere termijn zag hij ook de mogelijkheden voor de aandrijving van wagens, boten en zelfs vliegtuigen met behulp van zijn machine. Hij besepte echter zeer goed dat zijn buskruitmotor nog in het experimentele stadium verkeerde. En daarbij is het voor Huygens gebleven.

Het idee van de buskruitmotor is later van

directe invloed geweest op de ontwikkeling van de stoommachine. In 1690 construeerde Denis Papin, met wie Huygens in Parijs had samengewerkt bij de verbetering van de luchtpomp en de constructie van de buskruitmotor, een soortgelijk apparaat, waarin het buskruit was vervangen door stoom. Na tal van verbeteringen door o.m. Savery, Newcomen en vooral Watt, is de stoommachine op het eind van de 18e eeuw een geweldig succes geworden. Het idee van de explosiemotor is rond 1800 opnieuw ter hand genomen en verder ontwikkeld.

Toverlantaarn

Iedereen heeft in zijn jeugd wel eens geprobeerd om door beweging van handen en vingers in een lichtbundel schaduwbeelden te maken. De toverlantaarn is een apparaat waarmee eenzelfde effect kan worden nagestreefd, namelijk vergroting van afbeeldingen door middel van de schaduwwerking van het licht. In de 17e eeuw werd van dit effect druk gebruik gemaakt. In een primitieve vorm behaalde de toverlantaarn grote successen op kermis en jaarmarkten door de projectie van angstaanjagende voorstellingen. Ook in de betere kringen werd het griezen met de toverlantaarn niet ver-

smaad. De vader van Christiaan Huygens, Constantijn, was er kennelijk ook erg op gesteld. Niet alleen dat hij in 1621 Cornelis Drebbel eens een voorstelling bij hem thuis in Den Haag liet geven; ook toen zijn zoon Christiaan in Parijs zo'n toestel had gebouwd, vond hij het zo prachtig, dat hij er onmiddellijk mee naar het Franse hof wilde gaan. Waarschijnlijk vond Christiaan het best leuk om zijn vrienden ermee te vermaken -hij maakte er zelfs een tekening voor met een aantal macabere figuren -, maar hij stond zijn vader niet toe het apparaat aan het hof te demonstreren. Misschien wilde hij zijn reputatie als serieus onderzoeker geen geweld aandoen, mogelijk ook wilde hij voorkomen dat zijn vader zich belachelijk maakte.

In elk geval heeft hijzelf de toverlantaarn nooit serieus genomen. Toch had hij met de bouw van zijn toverlantaarn door toepassing van lenzen en spiegels, waarmee een grote winst aan lichtsterkte werd verkregen, een belangrijke verbetering bewerkstelligd. Het gebruik van optische hulpmiddelen voor de beeldvorming was in die tijd bij toverlantaarns nog geheel onbekend. Voor Huygens zelf is dit echter naar alle waarschijnlijkheid een volkomen vanzelfsprekende verbetering geweest, ingegeven door zijn werk met verrekijkers



en microscopen. Hoewel hij met enig recht de uitvinder van de projectielantaarn genoemd zou kunnen worden, is het, gezien de geringe belangstelling die hijzelf voor zijn verbeterde toverlantaarn aan de dag heeft gelegd, onwaarschijnlijk dat zijn uitvinding van betekenis is geweest voor de latere ontwikkeling ervan.

Literatuur

Huygens' verzamelde werken zijn gepubliceerd in:

Huygens. Chr., *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*. La Haye. Nijhoff. 1888-1950. 22 delen in 23 banden

Een plaatsbepaling geeft:

Hooykaas. R., *Experientia ac ratione. Huygens tussen Descartes en Newton*. Leiden, Museum Boerhaave, 1979 (Mededeling 201)

Huygens' veelzijdigheid wordt recht gedaan in:

Bos. H.J.M., *Studies on Christiaan Huygens. Invited papers from the Symposium on the life and work of Christiaan Huygens*. Amsterdam, 22-25 August 1979. Ed. by H.J.M. Bos e.a. Lisse, Swets and Zeitlinger, 1980

Aansluitend bij de verschillende hoofdstukken in dit boekje zijn voorts nog te vermelden:

Uurwerken

Plomp, R., *Spring-driven Dutch pendulum clocks 1657-1710*. Schiedam, Interbook International, 1979

Plomp, R., *Octrooi op de tijd. Slingeruurwerken(1657-1710) geconstrueerd naar de uitvinding van Christiaan Huygens*. Leiden, Museum Boerhaave, 1979 (Mededeling 200)

Wiskunde

Yoder, J.G. *Unrolling time*. Cambridge, University Press, 1988

Muziek

Cohen, H.F. *Quantifying music*. Dordrecht (etc.), Reidel, 1984, met name hoofdstuk 6

Huygens, Chr. *Le cycle harmonique* (Rotterdam 1691); *Novus Cyclus harmonicus* (Leiden 1724). With Dutch and English translations ed. by Rudolf Rasch. Utrecht, Diapason Press, 1986



Kosmologie

Dekker, E., *Sterrenkunde in de zeventien-
de eeuw*. In: DeZeventiende Eeuw,
2(1986)p. 84-100

Microscopie

Fournier, M., *Huygens' microscopical rese-
arches*. In: Janus, 68(1981)p. 199-209

Technische vondsten

Payen, J., *Huygens et Papin. Moteur ther-
mique et machine à vapeur au 17e siècle*.
In: Huygens et la France. Table Ronde du
Centre National de la Recherche
Scientifique Paris 27-29 Mars 1979. Ed. by
H.J.M. Bos e.a. Paris, Vrin, 1982. p. 197-
208

Nooten, S.I. van, *Nederlandse voorlopers
van de filmtechniek*. In: Spiegel Historiae,
6(1971)p. 235-243

Stroup, A., *Christiaan Huygens and the
development of the air pump*. In: Janus,
68(1981)p. 129-158

Bovengenoemde boeken en tijdschriftarti-
kelen zijn aanwezig in de bibliotheek van
het Museum Boerhaave.




Help


De knoppen verklaren zichzelf wanneer je er met de cursor overheen komt. Aanklikken van **Museum Boerhaave Algemene Natuurwetenschappen** opent automatisch je browser en surft naar de ANW-site van het Museum Boerhaave. Daar vind je alle informatie betreffende ANW (Algemene Natuurwetenschappen). Je vindt er het laatste nieuws, eventuele nieuwe publicaties, maar ook de instructies voor het maken van een werkstuk.


Het kopiëren van tekst en afbeeldingen

1. Selecteren

Toets "v". **Shift-v** verandert de cursor in respectievelijk:   en 

 dient voor het selecteren van tekst over de volle breedte van de pagina, neemt automatisch twee kolommen tegelijk mee;

 electeert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als tekst; ideaal om een (gedeelte uit een) kolom tekst te selecteren.

 selecteert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als afbeelding. Je kunt er afbeeldingen, maar ook tekst die je als fotootje wil gebruiken, mee selecteren.


2. Kopiëren

Nadat je de selectie gemaakt hebt kopieer je deze met het menu Wijzig > Kopieer, of toets Ctrl-C, of rechtsklik met de muis en kies Kopieer.

3. Plakken

Ga vervolgens naar je tekstverwerker (bijvoorbeeld Microsoft Word) en plak daar het gekopieerde in je werkstuk door middel van het menu Wijzig > Kopieer, of Ctrl-V, of rechtsklik > plak.

Terug naar normaal

Om terug te schakelen van de selectie-modus naar de normale lees-modus: toets "h" (van hand) en de cursor verandert weer in 

Tips

Gebruik Ctrl-pijltje naar links om terug te gaan naar eerder geraadpleegde pagina's en F5 om een extra venster te openen met klikbare gedetailleerde inhoudsopgave. Ctrl-1 om de weergave op 100% te stellen (dat is de beste weergavekwaliteit voor de afbeeldingen).



Index

klik op het paginanummer

aberratie 22, 24, 43	Leiden 4
Académie Royale 5, 45, 47	Lengtebepaling 13
astronomie 22, 23	lenzen 4, 9, 24, 25, 43, 44, 49
Botsing 35, 36, 37	licht 8, 18, 19, 20, 21, 25, 43, 44, 49
brandpuntsafstand 22, 25	Londen 5, 6, 12
breking 19, 20, 43	Mersenne 3, 4, 5, 27, 31, 34
buiging 18, 20, 21	microscoop 43, 44, 45
Buskruitmotor 2, 47, 48, 49	muziek 31, 32, 34
Campani 25	natuurkunde 7, 18, 38
Cassini 25	Newton 6, 7, 20, 21, 28, 37, 38
Colbert 5, 6	octaaf 32, 33, 34
Coster 5, 9, 10, 11, 12, 14	oculair 22, 24, 25, 44
cycloïde 14, 28, 29	Onrust 16
Den Haag 5, 6	Parijs 5, 6, 10, 11, 12, 31, 49
Descartes 3, 8, 31, 35, 36, 37, 38, 43	planeet 23, 24, 40
ether 18, 19, 20	Prins Maurits 3
familie 3, 4, 6	Royal Society 5, 35
Galilei 6, 7, 11, 23, 27, 29, 31, 34, 36	Saturnus 22, 23, 39, 41
golven 18, 19, 20, 21	secretaris 3
haarvaten 44, 45	slijpen 43
Harrison 13, 16, 17	slinger 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 24, 29
Hooke 18	Snellius 8
instrumenten 4	Ster 23, 24, 25, 47
interferentie 18, 21	telescoop 22, 23, 25, 44
kansspel 29	terugkaatsing 19
kijker 22, 23, 24, 25, 44, 47, 49	Thuret 11
klok 10, 11, 12, 14, 15, 16, 29	Titan 22
koets 6, 47	toon 32, 34
Leeuwenhoek 45, 46	



Toverlantaarn 49

uurwerk 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 24,
47

vergroting 22, 24, 43

Voorburg 6

Willem I 3

Willem II 3

Willem III 6

wiskunde 4, 10, 27, 29, 30, 31, 47

zaaddiertjes 45, 46