

## Kritische bibliografie

### WAT WE VAN NEWTON HEBBEN GELEERD

*Leo Apostel*

P.B. Scheurer & G. Debrock (ed.), *Newton's Scientific and Philosophical Legacy*. Dordrecht, Kluwer, 1988, 402 blz., Hfl. 185, ISBN 90 247 3723 0.

Dit boek bevat de acta van een colloquium dat, driehonderd jaar na het verschijnen van Newtons *Philosophiae Naturalia Principia Mathematica* (1667), de wetenschappelijke en wijsgerige persoonlijkheid van Isaac Newton aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen herdacht. Het colloquium moet boeiend geweest zijn, zodat de lectuur van het boek een fascinerende aangelegenheid wordt. Eminente analisten van Newtons werk, zoals I. Bernard Cohen (Harvard), Gale Christianson (Indiana State), mevrouw B. J. T. Dobbs (Northwestern), Richard H. Popkin (UCLA) en Mordechai Feingold (Boston University) waren aanwezig. Zoals te verwachten zijn hun bijdragen belangrijk geworden, en ook de overige teksten verdienen grote aandacht. Mij troffen onder velen het werk van A. Drago over Newtons wiskunde, en van H.H. Kubinga over Newtons theorie van de stoffelijkheid (een voortzetting van A. Thackray's *Atoms and Powers - an Essay on Newtonian Matter-Theory*). Dat ik op de bijdragen van de tot nu toe genoemde auteurs in de eerste plaats terugkom, werpt zeker geen schaduw op de overige artikelen. Terloops zal ik trouwens enkele van deze andere bijdragen vermelden, omdat ze het lezen meer dan waard zijn. Ik moet wel twee uitzonderingen maken: Peter Fongs *Ethics, Politics and Sociology as Newtonian Sciences* (blz. 343-354) blinkt uit door oppervlakkigheid en verwarring; dit stuk kan best ongelezen blijven. A. Giuculescu's *Isaac Newton's Legacy*, hoewel iets beter, verdient ook niet in deze bundel te worden opgenomen. Maar dit zijn uitzonderingen in een reeks, waarvan de meeste bijdragen ons iets, en verschillende veel, leren.

Isaac Newton blijft nog steeds een onopgelost raadsel. Een eenzaam, wantrouwig en neurotisch man (zie: G. Christianson, *Newton, the Man-Again*, eerst Lucasian Professor te Cambridge, later 'Master of the Mint', wijdde hij zich aan verschillende wetenschappen: theologie, alchimie, mechanica, optica en wiskunde. Dank zij zijn wiskunde bouwt hij een indrukwekkende reputatie op en oefent hij een buitengewone invloed uit; naast de onafhankelijke originator Leibniz is hij een van de ontdekkers van de differentiaal en integraal calculus. Belangrijk is hij ook voor de mechanica: zijn afleiding uit drie basispostulaten van Keplers drie wetten<sup>1</sup> van de bewegingen van de maan, van de getijden, en van Galilei's wetten voor worp en val uit drie basispostulaten<sup>2</sup> unifiëert de toenmalige astronomie met de toen bekende statica en dynamica - dit is een

unieke prestatie. Ook zijn *Optica* heeft aandacht getrokken, hoewel de 'stijl' ervan duidelijk van die van de *Principia* verschilt. Hier stelt zich al het eerste probleem van de *Newton-Forschung*: het raadsel van de verhoudingen tussen de twee denkstijlen, actief in de *Optica* en in de *Principia*.

### Alchimie en theologie

Hoe schaamden zich destijds Newtons vurigste bewonderaars over de theologie en de alchimie van hun idool! Richard H. Popkin (blz. 82) vertelt de volgende tragi-komische geschiedenis: Isaac Newton gaf zijn theologische en alchimistische manuscripten niet uit - we zullen later zien waarom. De familie, en later de erfgenamen, trachtten tot in de twintigste eeuw (sic) deze manuscripten aan de *Royal Society* of aan de universiteit van Cambridge te schenken. Deze instelling zond echter deze onschatbare documenten terug met de vaderlijke raad ze aan *niemand te tonen!* In 1936 worden ze openbaar bij Sotheby verkocht. De belangrijkste kopers zijn John Maynard Keynes, de bekende econoom en een rijke joodse hoogleraar Arabische talen, A. S. Yahuda, die ze als ondersteuning van zijn eigen onorthodoxe exegeses zou gebruiken en zijn aanwinsten testamentair aan de Universiteit van Jerusalem heeft overgelaten. J. M. Keynes heeft de theologische manuscripten aan King's College overhandigd, dat ze, ongetwijfeld onder Keynes' 'zachte druk', uiteindelijk heeft uitgegeven. Nu blijkt dat Isaac Newton, die eigenlijk *meer* tijd aan theologie en alchimie dan aan mechanica en wiskunde heeft besteed, zijn exegetisch werk uit voorzichtigheid niet heeft publiek gemaakt. Hij is op exegetische gronden anti-trinitair en Ariaan. Hij vindt in de Bijbel niets van de Drievuldigheid terug en bijgevolg evenmin iets van de Goddelijkheid van Jezus. Alle christelijke kerken moesten daarom van vervalsing beschuldigd worden - en dat doet hij ook. Newton bezat en anoteerde de vroege bijbelkritiek van Simon en van Spinoza, en gebruikte zowel filologische als astronomische methodes om het 'ware Bijbelverhaal' te reconstrueren. Een methodologische vergelijking van zijn exegetische met zijn astronomische methode bestaat echter nog niet<sup>3</sup>. Het tweede grote probleem van de Newton-studie is dus zeker het begrijpen van de relatie tussen Newtons theologie en zijn mechanica. Voor de Newton, die door de Verlichting aanbeden en door de Romantiek verguisd wordt (zie voor dit laatste bijvoorbeeld William Blake, en hier, in het besproken boek, de bijdrage van M. Feingold, blz. 291-308), bestaat er geen essentieel verband tussen de mechanica en de theologie. Voor Newton zelf is dit verband evident: 1) als aanhanger van een absolute tijd en van een absolute ruimte zoekt hij het (*ontologische*) statuut van deze twee uiterst vreemde entiteiten; Newton stelt ze voor als het *Sensorium Dei*, te begrijpen als het intuïtief orgaan waarmee God het heelal schouwt; 2) als verwerper van het *perpetuum mobile* zoekt hij een waarborg voor de stabiliteit van de astronomische systemen (die immers, als ze geen energie scheppen - wat bij ontstentenis van 'perpetuum mobile' niet kan - door hun beweging continu energie moesten verliezen en dus uiteindelijk

vernietigd worden) in een voortdurende 'correctie' door God, van het energieverlies dat, bij ontstentenis van een *perpetuum mobile*, de gravitationele beweging moest leiden tot zelfdestructie.

Zulke fundamentele aspecten, als de absolute tijd, de absolute ruimte en de duurzame stabiliteit hangen volgens Newton zelf van God af. Waarom moesten dan de volgende generaties deze overtuiging miskennen? Waarom Newton partieel verheerlijken en de andere helft van zijn geestelijk leven verdringen? Plausibele redenen dienen zich aan: 1) Is God voor Newton 'transcendent' of is Newton eerder een pan-entheïst 'avant la lettre'. (In dit boek blz. 73 lezen we: "Zijn (= Gods) intimiteit is werkelijk niet traditioneel en bepaalt dat Newtons God ook verwantschap met het goddelijke rationele beginsel van de pre-socratici, van Philo en van de stoïcijnen vertoonde" (B.J.T. Dobbs, blz. 73)<sup>3</sup>. Als men bevestigend op de laatste vraag antwoordt, past Newtons theologie bij geen enkele godgeleerdheid van de zeventiende of achttiende eeuw (noch als object van aanval, noch als object van verdediging). 2) Newtons onmiddellijke leerlingen (onder andere Bentley en Clark) zoeken de hand van God in door Newton *niet verklaarde* aspecten van de cosmos: de actie op afstand van de gravitatie zelf, het feit dat alle planeten in één zelfde richting rond de zon wentelen, en het feit dat de vlakken, waarin ze zich bewegen, zeer kleine hoeken vormen met elkaar. In deze materie heeft Newton zelf met de grootste vastbeslotenheid een tegengestelde *dubbele houding* aangenomen: *esoterisch*, in eigen denken en in brieven aan intimi, zoekt hij een *natuurlijke* causale verklaring van deze feiten, en weigert ze aan God toe te schrijven (ze hebben voor hem duidelijk een ander statuut dan de absolute ruimte, tijd en stabiliteit). Deze eerste houding *verbergt* hij. Zijn tweede houding daarentegen heeft een enorme historische impact: zij is *exoterisch*. Newton trekt zich vanaf de tweede uitgave van de *Principia* in een empirisch 'Hypotheses non fingo' terug. Met andere woorden: hij gedraagt zich naar buiten toe, lichtgeraakt als hij is en gekwetst door de aanvallen van de cartesianen - waarvan de grootste, Christiaan Huyghens, de enige tijdgenoot is die hij de eretitel 'Summus' geeft - alsof zijn mechanica niet naar oorzaken zoekt, maar slechts naar mathematische regelmatigheden - wat niet met zijn eigen denken en privaat schrijven overeenkomt, zoals we *nu* weten uit brieven, theologie en alchimie.

Wie Newton persoonlijk kende, kon dus geen sympathie voelen voor het oppervlakkig apologetisch gebruik dat Bentley en Clark van hem maakten. Wie hem slechts in zijn uitgegeven werken benadert, beschouwt hem snel als een formalistisch empirist, die het enorm pragmatisch succes van zijn gravitatietheorie als argument gebruikt om het zoeken naar oorzaken af te wijzen (en dus zeker het apologetisch gebruik - op zo'n zoeken naar oorzaken gebaseerd - dat men van zijn resultaten maakt, verwerpt).

Gezien binnen de context van de tijdsgeest, verklaart dit alles wellicht enigszins de verdringing die de theoloog Newton te beurt is gevallen. De eenheid van de twee delen van zijn persoonlijkheid is echter zo groot dat hij *zijn* astronomie gebruikt om de boeken van het Oud Testament te dateren. De

teksten die we vóór ons hebben, spreken zich echter niet duidelijk uit over de *heuristische* (respektievelijk *legitimerende*) rol die de theologie van Newton in zijn astronomie, en omgekeerd zijn astronomie in zijn theologie en exegese speelt. Hier blijft duidelijk nog ruimte voor nieuw werk, uit te voeren door astronomen, wiskundigen, exegeten en theologen samen !

Newton is echter niet alleen astronoom en theoloog; hij is ook alchemist. B.J.T. Dobbs en H.H. Kubbinga behandelen dit aspect in het hier besproken werk. Dit stelt ons voor een *derde groot probleem* van de Newton-interpretatie: de relatie tussen alchimie, gravitatie en theologie.

Voor ik dit probleem meer specifiek in relatie tot Newton behandel, moet ik even op de inherente spanning tussen alchimie en theologie wijzen. De alchemist schrijft aan de stof een eigen spontane activiteit toe, die de externe tussenkomst van uiterlijke oorzaken (waaronder God) niet nodig heeft. In Query 31 van 1717/1718 *Opticks* rekent Newton gravitatie tot de zelfde soort krachten als gisting en interne samenhang van lichamen. De zoektocht naar de oorzaken van de gravitatie schijnt dus bij Newton geleid te hebben tot de overtuiging dat de interne constitutie van de stof, die tegelijk haar samenhang en ook haar gisting verklaart, ook voor de gravitatie verantwoordelijk is. Hoe vollediger echter de stof zichzelf verklaart, des te minder heeft zij de interventie van een God nodig. Het informatieve artikel van Kubbinga toont ons dat Newton een theorie van verschillende stoffen ontwikkelt, die hij uit delen, delen van delen, enzovoort (niet *oneindig* deelbaar) samengesteld ziet, gekarakteriseerd door variabele proporties van leegte en volheid, die specifiek zijn voor de verschillende stofsoorten.

De studie van de alchemistische geschriften (waarvan Dobbs de voorgangster is) is echter blijkbaar nog niet ver genoeg gevorderd om van de graad van autonomie en van heteronomie, die de stof in Newtons visie kenmerkt, een definitieve balans te kunnen opmaken. Dit betekent ook dat de relatie tussen theologie en alchimie nog niet volledig duidelijk is, hoewel - na Dobbs en Popkin - zeker blijkt dat beide disciplines voor Newton zelf in een intrinsiek verband met zijn mechanica staan.

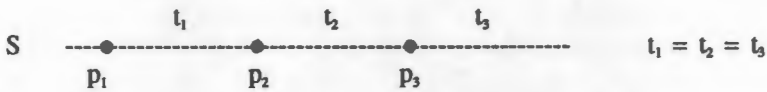
### Ontledingsmethode

Ik vond tot nu drie hoofdproblemen van de *Newton-Forschung*: (1) relatie optica-mechanica; (2) relatie theologie-mechanica; (3) relatie alchimie-mechanica. Op alle drie wordt licht geworpen door het meesterlijke artikel van I. Bernard Cohen *Newton's Third Law and Universal Gravity* (blz. 25-53). Cohen overtuigt er mij volledig van dat Newton inderdaad niet de empirist is waarvoor hij zich heeft uitgegeven en waarvoor de twee volgende eeuwen hem hebben gehouden. Cohen toont dit op de meest eenvoudige manier aan: hij ontleedt *hoe* Newton tot zijn bewijs van de gravitatiewet is gekomen. Het hier besproken boek toont dat in 1670-1680 Christopher Wren, Halley, Hooke en vele anderen er van overtuigd waren dat de gravitatiewet de vorm  $\frac{m_1 m_2}{r^2}$  moest hebben en dat dit

met de elliptische vorm van de planetenbanen in verband staat, maar dat niemand zag *hoe* dit te bewijzen was. Halley bezoekt Newton in 1684 om hem te vragen, het probleem op te nemen. Newton heeft de oplossing al sedert 1666; zonder haar te publiceren had C. Huygens de oplossing trouwens ook sedert 1773 (zie hier blz. 47). Newton geeft de afleiding in zijn *De Motu*, meegedeeld door Halley aan de *Royal Society* in het jaar van zijn bezoek (nota 7).

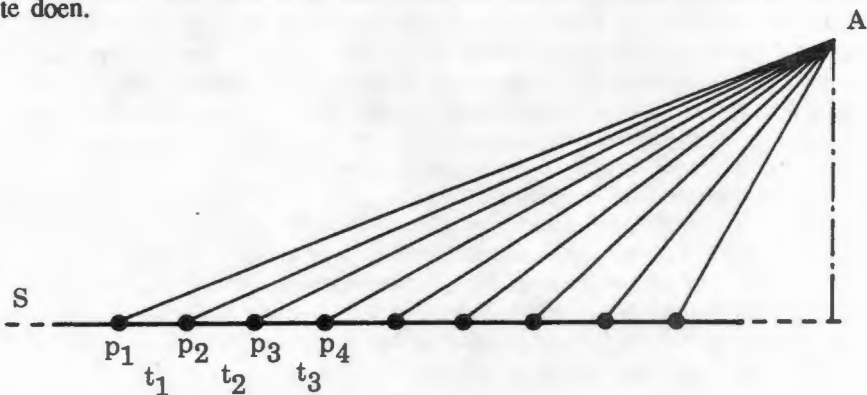
Volgens I.B. Cohen werkt Newton in stadia:

(1) Hij begint met een inertiale beweging te postuleren: een lichaam, waarop geen krachten werken, legt in rechte lijn, in een gelijke tijd, gelijke afstanden af. Deze inertie-wet is Newtons postulaat I. Als S een lichaam is, is figuur 1 een voorstelling van een inertiale beweging



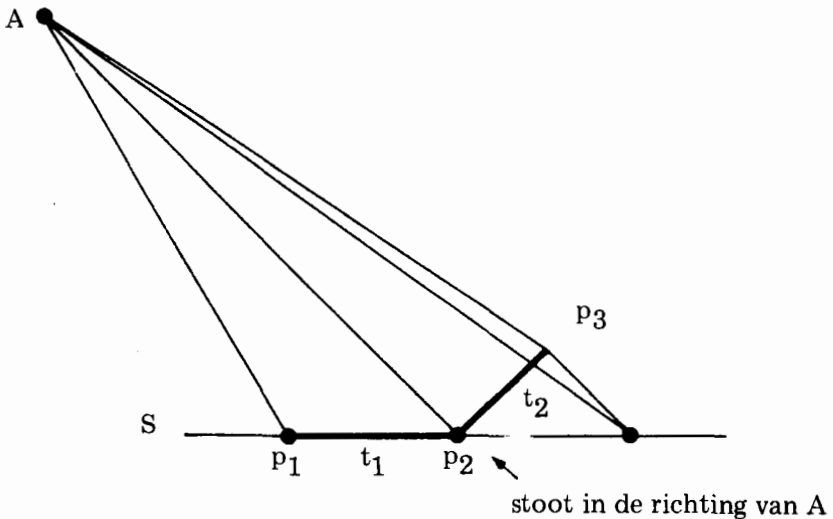
figuur 1

(2) Dan voert Newton een punt T in, buiten de rechte door S en laat lijnsegmenten neer op  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  en  $p_4$ . Elementaire meetkunde laat toe te bewijzen dat de oppervlakten van de driehoeken gelijk zijn:  $\text{Opp}(A t_1 p_2) = \text{Opp}(A t_2 p_3) = \text{Opp}(A t_3 p_4)$ . Men heeft slechts de formule voor de oppervlakte van de driehoeken, en de gelijkheid van de basissen en van de gemeenschappelijke hoogte ( $t_1 = t_2 = t_3$ ) te gebruiken om dit in te zien. Dit legt een even eenvoudig als sensationeel verband tussen de tweede wet van Kepler en het inertie-beginsel, (blz. 31) alleen door gebruik te maken van de euclidische meetkunde en zonder een beroep op de analytische meetkunde van Descartes te doen.



figuur 2

(3) Dan veronderstelt Newton dat op  $p_2$  het lichaam een plotselinge stoot in de richting van A ondergaat. Dit geeft dan een baan als in figuur 3. Als  $t_1 = t_2$ , dan kan men weer meetkundig bewijzen dat:  $\text{Opp}(A p_1 t_1 p_2) = \text{Opp}(A p_2 t_2 p_3)$ .



figuur 3

Als  $t_1 = t_2$  en het inertiebeginsel gelden, dan is  $\text{Opp}(A p_1 t_1 p_2) = \text{Opp}(A p_2 t_2 p_3)$

(4) Wat één keer gebeurt, kan een onbeperkt aantal keren gebeuren en  $t_i$  ( $t_1, t_2, t_3, \dots$ ) kan willekeurig klein worden. Newton heeft tot nu toe uitsluitend euclidisch gewerkt, maar nu gebruikt hij een limietovergang: de curve wordt nu glad en de kracht werkt continu. Dit leert stelling 1 van de *Principia*. In stelling 2 bewijst Newton de converse: als in een gebogen en gesloten pad de straal van een lichaam in gelijke tijden, gelijke oppervlakten beschrijft (gemeten vanuit een punt A), dan moet het lichaam aan een kracht onderworpen zijn die in de richting van A werkt, omgekeerd evenredig met  $r^2$ .

Samengevat: in *volledige* algemeenheid werden (niet alleen voor kegelsneden en dus a fortiori niet alleen voor ellipsen) de geldigheid van Keplers oppervlaktewet (zijn tweede wet) en zijn periodewet (zijn derde wet) samen een noodzakelijke en voldoende voorwaarde voor het bestaan van een gecentreerd krachtveld. Terecht onderstreept Cohen dat dit reeds een geniale ontdekking is (blz. 34). Voor Newton is het dynamisch verklaren van Keplers wetten echter slechts een begin.

(5) Tot nu toe handelt hij inderdaad slechts over rechten en punten. A is een punt, het pad van S een rechte. Lichamen verschijnen nog niet. In een betere benadering - zeker noodzakelijk wanneer men het heeft over grotere planeten zoals Jupiter in haar relatie met de zon, of over planeten en hun satellieten, zoals bij de maan en de aarde - moeten zowel het centrum als het bewegend lichaam *zelf* allebei uitgebreide lichamen zijn; ook moet het centrum zelf bewegen. Bovendien mogen we niet bij één centrum en bij één bewegend lichaam blijven staan, maar moeten we  $n$  lichamen invoeren die alle tegelijk passief en actief zijn, bronnen van gravitatie en ontvangers van gravitatie. Om dit moeilijke *concrete* probleem aan te kunnen (wij weten nu, anno 1989 - dat het in volle algemeenheid onoplosbaar is), geeft Newton zich voor het probleem van zon, aarde en maan (alle drie in voortdurende beweging ten opzichte van elkaar) een minimale vereenvoudigde voorwaarde: de impact van a op b is groter dan die van a op c (zoals die van b op c groter is dan die van a op c), zodat we elk drie-lichamen-probleem als een twee-lichamenprobleem kunnen behandelen met van buiten komende 'storingen'. (Wat voor drie lichamen geldt, wordt tot  $n$  lichamen veralgemeend).

#### Classificatie van de denkstadia

Na deze korte beschrijving van het begin van de *Principia* kan ik de denkstadia van Newton klasseren:

- (i) In het eerste stadium voert Newton een mathematische constructie uit, die van de uitgebreidheid van A abstractie maakt, maar niet van de interactie tussen A en S, en dus ook niet van het begrip 'kracht'. De 'abstractie' blijft *zeer* dicht bij het aanschouwelijke.
- (ii) Later, in het tweede stadium, zet hij een stap verder in de richting van het concrete: T wordt een lichaam, maar tegelijk wordt bij dit ingewikkelder worden een vereenvoudiging ingevoerd (actie = reactie). Newtons denken behoudt steeds evenwicht tussen concreetheid en abstractie, tussen complexiteit en eenvoud (*Principia Mathematica*, sectie 11, deel I). Daaruit volgt dan een verbetering van Keplers wetten (blz. 29). Later worden *vele* lichamen ingevoerd. Isaac Newton begint met drie lichamen die alle drie bolvormig zijn, en waarvan de impact ongelijk blijft, om het vermeld denkevenwicht te behouden, maar ook anderzijds om tot het concrete te naderen. (De lezer moet hier wel inzien dat bij Newton met iedere vergroting van de complexiteit, ook een vereenvoudiging gepaard gaat). Later zullen dan (in boek II) de lichamen met meer ingewikkelde vormen (1), die zich bewegen doorheen weerstand biedende media (2), bestudeerd worden. In boek I zijn A en S bolvormig en bewegen ze zich in de lege ruimte.
- (iii) In een derde stadium worden deze (gewijzigde abstracties' (die alle in de richting van het concrete gaan) samengevoegd om tot een concrete beschrijving van de bestaande cosmos te komen.
- (iv) In een vierde stadium erkent Newton (Besluit van de *Principia*) dat hij er

niet in geslaagd is voor zijn kracht op afstand een verklaring te vinden. *Dit sluit in dat hij zo'n verklaring nodig acht.* Over de gravitatie heeft hij dan ook 'gespeculeerd': zij zou soms toe te schrijven zijn aan electriciteit, soms aan de ether, soms aan alchemistische krachten (Fabio, zie Dobbs, blz. 60). Sambursky, Kubric en Dobbs (blz. 72) wijzen er ook op dat de 'Pneumà' der Stoïcijnen, geactualiseerd door Justus Lipsius, ook in de periode van Newtons denken als een allesdoordringende substantie een hypothetisch verklarende rol heeft gespeeld.

Newtons methode in de vier benoemde stadia is *noch* inductief (hij vertrekt zeker niet van empirische veralgemeningen, maar integendeel wel van zeer algemene wetten), *noch* hypothetisch-deductief (hij leidt Keplers wetten niet af van algemene veronderstellingen, maar *verandert* Keplers wetten als ze met zijn grondpostulaten niet volledig in overeenstemming blijken te zijn). Newton vormt zich een geschematiseerd beeld van de essentiële kenmerken van de fenomenen die hij wil beschrijven *en* verklaren, een geschematiseerd beeld dat een grote vorm van symmetrie en regelmatigheid bezit, (actie = reactie, inertiewet, proportionaliteit van kracht met massa x versnelling) en tracht dan in verschillende stappen, *zonder* de symmetrie en de regelmatigheid te verliezen, dichter bij de concrete verschijnselen te komen. Noch Carnap, noch Popper, maar eerder Wertheimer en de Gestaltpsychologie (verbonden met Jean Piaget) verklaren deze wijze van werken. Deze werkwijze van Newton in zijn Principia gelijkt ontzettend veel op die van Karl Marx in *Das Kapital*, hoewel bij Marx het voorbereidend werk van een Kepler ontbreekt. Het fundamenteel artikel van Cohen over Newtons methode zou aan belang hebben gewonnen, indien hij de opmerking, die ik hier maak (en die insluit dat Newtons methode in de *Principia* *noch* inductief, *noch* hypothetisch deductief is), uitdrukkelijk zou hebben geformuleerd. Dat hij dit niet doet, toont echter de nefaste gevolgen van de intellectuele arbeidsdeling aan: zelfs vooraanstaande vertegenwoordigers van de wetenschapsgeschiedenis raken van de wetenschapsfilosofie, van de wetenschapspsychologie en -sociologie geïsoleerd. Voor mij dringt zich de verwantschap tussen Newtons methode en Peirces 'abductie' op.

Waarom heeft Christiaan Huyghens, naar Newtons eigen zeggen Newtons gelijke, Newtons weg niet kunnen volgen? Het antwoord is dat Huyghens, zoals hij zelf heeft bekend, te sterk in de ban van het mechanische wereldbeeld, alles door worp en stoot wou verklaren en een 'actie op afstand' als een 'magische absurditeit' heeft beschouwd. Het is indrukwekkend dat Newtons *Principia*, dat als de triomf van het mechanisch wereldbeeld wordt gezien, er juist de weerlegging van realiseert! De weerstand tegen Newton is alleen vanuit dit perspectief begrijpelijk. Zowel Descartes (en zijn beste leerling Huyghens), als Newton geloven dat de mathematische orde van het heelal uit het wezen van God volgt. Voor Newton, gewend om in de alchimie en in de theologie met het verborgene om te gaan, is het aanvaardbaar dat hij de grote orde zou kunnen schouwen zonder ze te begrijpen; in het hier besproken boek toont het artikel van C. Hakfoort (blz. 103-104) dit duidelijk. Daartegenover vertrekt een



cartesiaan zoals Huyghens van het wezen van God om op een *evidente* en *inzichtelijke* manier de dynamica af te leiden. Voor zo'n eis blijft de *actio in distans* een schandaal, een steen des aanstoots, onaanvaardbaar !

Hoewel de auteurs van dit verzamelwerk het niet in zoveel woorden zeggen, blijkt toch uit de meerdere keren gemaakte vergelijking tussen Isaac Newton en Christiaan Huyghens, dat ze beiden zowel natuurkundigen als wijsgeren zijn, en dat, niettegenstaande de prachtige resultaten van beiden, Newtons superioriteit niet aan diens wiskundig meesterschap moet worden toegeschreven ! Essentieel is Newtons vast geloof in de kosmische orde (zelfs als ze *niet* intuïtief verklaard kan worden), eigen aan zijn alchimie en theologie. Hiermee in overeenstemming hoeft het niemand te verbazen dat een aantal medewerkers van het colloquium zoals E. Dellian (blz. 227-237) en Donovan (blz. 219-225) Newton eerder tot de Oudheid rekent en 'de moderne wetenschap' eerder met Lavoisier (Donovan) of Laplace (Dellian) laat beginnen. Hiertegenover sta ik sceptisch: op dit congres hoort men begrijpelijkerwijs Newton-specialisten en geen Lavoisier- of Laplace-specialisten. Maar zelfs hier, zoals in F.H. van Lunteren, *Gravitation and the 19th Century Worldviews* (blz. 161-173), wordt soms zichtbaar dat wie grondig op latere stadia van het wetenschappelijk werk in de natuurkunde ingaat, daar evenmin als bij Newton een zuivere beschrijvende en metende aanpak vindt, maar steeds de wil tot verklaren door oorzaken in te voeren om tot een intuïtieve modelbouw te komen, alsook tot een begrijpen en een construeren van een geünifieerde kosmos. Deze tendens blijft tot op vandaag, niettegenstaande alle protesten, de wetenschappen beheersen. Misschien is Newton, precies in zijn afwijking van een pseudo-moderniteit, die wel steeds (maar dan slechts episodisch of bij epigonen) bestaat, *toch* modern.

Niet alleen uit Newtons methode, uit zijn niet aflatend, maar onsuccesvol, zoeken naar de oorzaak van de gravitatie, uit zijn unitaire theorie van de stof (waarvan de samenstelling tegelijk met zijn alchimistisch geloof in de transformabiliteit van alle stoffen in elkaar - alchimie en gravitatie vervullen dezelfde unifiërende functie in zijn denken -, en met zijn opbouwen van stof en beweging uit infinitesimalia moet overeenkomen), maar ook uit zijn bepaling van kracht (tweede wet) en uit zijn bepaling van inertie (eerste wet), blijkt zijn nood aan een verklarend en zijn afwijzen van een zuiver beschrijvend denken. Newton *loochent* uitdrukkelijk dat de inertiale kracht *identisch* zou zijn met de rechtlijnig eenparige beweging, of dat kracht *identisch* met het product van massa en versnelling zou zijn. Inertie en kracht zijn beide oorzaken, *vis insita* (inertie) en *vis impressa* (andere krachten) die wel meetbare grootheden zijn, maar werken als oorzaken van dat waarmee latere commentatoren ze gelijkstellen. Een verdienste van Dellian (zie boven) bestaat erin dat hij dit alles klaar uiteen zet.

Zoals de lezer al heeft kunnen merken, is dit colloquiumboek boeiend - alleen al door de typische newtoniaanse stijl en om het verband tussen dynamica, wijsbegeerte, theologie en alchimie te begrijpen. Zelfs voor de

Newton-specialist blijven er echter nog andere onopgeloste raadsels over dan degene die ik hier heb aangeraakt en die slechts gedeeltelijk begrepen zijn; (i) wat is het verband tussen Newtons optica en zijn dynamica ? (ii) wat is het verband tussen Newtons wiskunde en zijn dynamica ?

C. Hakfoort belicht zeer degelijk de relatie tussen de *Optica* en de *Principia* (zie het essay: *Newton's Optics and the Incomplete Revolution*, blz. 99-112). Daartegenover behandelt deze bundel de methodologische verdiensten van de 'Optics' heel stiefmoederlijk. Hakfoort is het met Cohens beeld van Newtons stijl eens. Slechts in een *lâdt* stadium stelt Newton causale vragen, terwijl zijn idealiserend-regulariserende aanpak, die in getrapte vorm voortschrijdt en zo dicht mogelijk bij de fenomenen blijft, altijd in de eerste plaats wordt gehanteerd om de kosmische orde duidelijk te maken. In de 'Optics' gebeurt dit slechts eenmaal bij de afleiding van de wet van Snell<sup>4</sup>. Om in dit werk systematisch zijn methode uit de *Principia* te gebruiken, zou Newton echter een 'ontologisch model' van het licht (ofwel als golf, ofwel als partikel) moeten aanvaard hebben. Maar dat betekent dat hij het late causale stadium (iv) van zijn methode vóór stadium (ii) en (iii) zou moeten hebben ingeschakeld. Dit weigert Newton steeds. Huyghens daartegenover, die van in het begin causaal-ontologisch denkt, komt in zijn *Traité de la lumière* dan ook veel verder dan Newton en zijn theorie van het licht - om dezelfde reden die hem (Huyghens) in de dynamica *verhinderd* heeft, de gravitatie-theorie op te stellen ! Dit inzicht vervolledigt ons beeld van de interactie tussen de extern 'symmetriserende' en de intern-causale methode (beide aanwezig bij Newton en Huyghens, maar bij Huyghens onerkend vanaf het begin in iedere probleemstelling, en bij Newton de eindclimax en apotheose), die ik bij het bespreken van de vorige aspecten van Newton heb uitgewerkt.

Het colloquium doet echter de meesterlijke strategie van Newtons prisma-experimenten onrecht aan door ze, zoals Cohen dat durft, zuiver 'baconiaans' te noemen. De doelgerichte stijl van Newton is even zichtbaar in de opeenvolging van zijn lichtanalyses, als in de opeenvolgende benaderingen van het planetenstelsel. Alleen wordt zijn *rigiede* opeenvolging van denkstadia hier een grotere hinderpaal dan in de mechanica, omdat zelfs de fenomenologische wetten slechts ontdekt konden worden door het invoeren van hypothesen over wat licht is - een houding waartoe Newton niet bereid was, hoewel hij mystisch nieuwsgierig was, maar, als gevolg van zijn ariaanse theologie, het esoterische van het exoterische streng wilde scheiden. Het uitdenken van hypothesen en zich daarop 'ab initio' baseren, aanvaardt hij *niet*; het tonen van essentiële symmetrieën en het zich daarop 'in fine' causaal steunen, aanvaardt hij wel.

### Newton's wiskunde

Deze bespreking sluit ik af met een korte commentaar over de wiskunde van Newton. Zoals vóór twintig jaar Newtons causaal denken, zichtbaar in zijn zoeken naar gravitatiemodellen, in zijn theologie en in zijn alchimie, uit eerbied

voor de grote man, met medelijdende neerbuigendheid werd verzwegen, zo hebben we de gewoonte om over Newtons 'fouten' te spreken in verband met de gedeeltelijk door hem gecreëerde infinitesimaalrekening (voorbereid door zijn leermeester Isaac Barrow). Antonino Drago (blz. 240-252) heeft in dit colloquium de grote verdienste erop te wijzen dat zowel bij Descartes, als bij Galilei en bij Newton het probleem rond het bestaan van actuele oneindigheden in het opstellen van de bewegingsleer een grote rol spelen. Dit kan ook niet anders. We nemen aan dat lichamen continue paden beschrijven door de ruimte met verschillende en veranderende snelheden. Eens we dit aannemen, stellen we ons natuurlijk de vraag naar de snelheid van een lichaam op één punt, op een ogenblik. Als  $f$  een functie is die de plaats van een lichaam aangeeft en  $x$  de tijd, dan is  $f(x + t) - f(x)$  een natuurlijke maat voor de verplaatsingssnelheid over tijdsinterval  $t$ . Om de snelheid op één ogenblik te meten, moeten we ofwel *limieten* invoeren  $\lim_{t \Rightarrow 0} [ \frac{f(x+t) - f(x)}{t} ]$  (2) waarbij  $t \Rightarrow 0$  (1) ofwel *zeer lange*, eindige reeksen (waar  $t$  steeds kleiner wordt zonder 0 te naderen) (2), ofwel 'infinitesimale'  $[ \frac{f(x+t) - f(x)}{dx} ]$  (als  $dx$  geschreven door Newton), als verschillend van nul, maar oneindig klein en toch niet verdwijnende grootheden invoeren (3).  $[ \frac{f(dx + t) - f(dx)}{t} ]$  dus  $d(dx)$  behandelt Newton steeds als nul.

Newtons beslissing om optie 3 te kiezen die tot schitterende resultaten heeft geleid, die echter schijnbaar op tegenstrijdige uitgangspunten steunen, lijkt wel de minst coherente van de drie mogelijkheden. Na Berkeley's ongenadige kritiek durfde niemand ze nog aanvaarden, en bijgevolg bleef die differentiaal- en integraalrekening, precies zoals de duistere 'actio in distans' als een supremum nuttig, maar intellectueel obscuur instrument gehanteerd totdat Cauchy, in de negentiende eeuw, de limietbepaling van de afgeleide, en dus van de snelheid op één ogenblik en op één punt invoerde (optie 1). Zoals Drago echter doet opmerken, was het mogelijk Newtons eigen keuze ten voordele van oneindig kleine, en toch niet nul, grootheden coherent uit te werken. Dit gebeurt echter pas in 1960 (sic!) door Abraham Robinson (zie zijn *Non Standard Analysis*, Amsterdam, North Holland). Drago voelt daarentegen zelf meer voor de tweede optie, die met Galilei en Descartes iedere actueel oneindige grootheid verwerpt, zowel als ze oneindig groot is (optie 1) (de limiet-theorie van Cauchy heeft uiteindelijk Cantors theorie der oneindige verzamelingen nodig), dan als ze oneindig klein is (optie 3) (Newton, Robinson). Drago, die op basis van E. Bishops niet radicaal finitistische, maar wel constructivistische wiskunde, delen van de natuurkunde herformuleert, maakt het belangrijke onderzoeksproject actueel, een gravitatie-theorie te ontwikkelen die niet langer aan de klassieke wiskunde gebonden blijft, maar ofwel Robinsons Niet Standaard Analyse (die het dichtst bij Newtons oorspronkelijke intuïtie blijft), ofwel Bishops constructieve analyse (ofwel, zou ik eraan toevoegen: Van Bendegems finitistische analyse gebruiken zou). Het valt te betreuren dat Drago, die nochtans duidelijk moet begrijpen dat Robinsons Niet Standaard Analyse het dichtst bij Newton staat, geen moeite doet om Robinson expliciet met Newton te verbinden. Zoals zo vaak gebeurt, gebruikt hij zijn bijdrage als springplank

om zijn eigen, op Bishops gesteunde, constructivistische methode aan te prijzen, zonder ze nochtans uitdrukkelijk op Newtons problemen toe te passen. (Ik mag echter niet te veeleisend zijn; hier wordt immers toch een rijk programma aangeboden).

De lezer zal mij nu misschien verwijten dat ik hier de wijsbegeerte achter mij gelaten heb en dat ik mij in technisch-mathematische problemen heb verdiept. Niets is minder waar. Thackray (blz. 329) in *Atoms and power: an Essay on Newtonian matter-theory and the development of Chemistry* (Cambridge, M.A., 1970) en Kubbinga in *La première spécification dite moléculaire de l'atomisme épicurien (Isaac Beeckman) et le concept d'individu substantiel* (Lias, 11(2) blz. 287-306 (1984) besluiten: "Zoals bij Newton, bestaat er in het werk van Leibniz een hechte relatie tussen de mathematische ideeën en de fysische doctrine ... de newtoniaanse theorie van de stof staat precies op de zelfde manier haaks op de theorie van Leibniz als haar leer van de zogenaamde 'fluxions' tegenover de doctrine van de infinitesimalia staat".

Ik besluit deze bespreking die echt niet alleen over gedateerde onderwerpen spreekt. In de twintigste eeuw *blijft* de gravitatie-theorie de steen des aanstoots van de natuurkunde. Met veel scherpere instrumenten en met veel rijker feitenmateriaal poogt de natuurkunde een unificatie te bereiken van Newtons koppige gravitatie, met de 'hernieuwde alchimie' (quantum electro-dynamica en chronodynamica) en de 'hernieuwde theologie' (cosmologie). Of deze onderneming adequaat of misleidend is, of ze een causale verklaring zal brengen of slechts een mathematische integratie, hangt af van de visie op de wetenschapsmethodologie, die men slechts kan ontwikkelen door ze in de diepte te bestuderen bij de grote meesters zoals Newton, Huyghens, Maxwell, Lorenz, Einstein, Bohr, Schrödinger, Dirac en anderen. Ik raad dus de lectruur van dit congresboek sterk aan, maar ik geloof wel dat het slechts volle vruchten kan dragen als het gevolgd wordt door de studie van Cohen, Dobbs, Popkin, Christianson, Manuel, Westfall, Jacob (en zelfs van Drago, Robinson en Bishop). Deze aanmoediging is één van de grote verdiensten van deze 'Acta'.

## Noten

<sup>1</sup>Even ter herinnering de derde wet van Kepler: als men de lengte van de baan van twee planeten vergelijkt met de lengte van hun periode (= de tijdsinterval, nodig om na omwenteling rond de zon tot een zelfde punt terug te keren) dan blijken de periodes evenredig met de derde machten van de lengte van de baan. Aangezien de ellipsen, die de planeten beschrijven, bijna cirkels zijn, mogen we dit ook als volgt uitdrukken (we meten de lengte van de baan door de lengte van de grootste doormeter van de elliptische baan, die men de grote as noemt): de tweede machten van de periodes van twee planeten zijn evenredig aan de derde machten van de grote assen van hun baan. Ik herinner ook nog even aan de tweede wet van Kepler: de straal van de zon tot planeet doorloopt gelijke oppervlakten in gelijke tijdsintervallen.

<sup>2</sup>Ter herinnering even Newtons drie basiswetten:

(i) Een lichaam, waarop geen krachten werken, beschrijft een rechte lijnige eenparige beweging.



(ii) Als een kracht  $F$  op een massa  $m$  werkt, dan is de sterkte van die kracht gelijk aan  $d(mv)/dt$ , waar  $v$  de snelheid van  $m$  meet, en  $d(mv)/dt$  de verandering in snelheid van  $m$  per tijdseenheid  $t$ . Dit wordt ook geschreven als  $F = ma$  ( $a$  = versnelling).

(iii) Actie is gelijk aan reactie. Concreet betekent dit dat een koppel van twee partikels met elkaar overeenkomende componenten van wederzijdse interactie hebben, gelijk in grootte en tegengesteld in richting. Bij uiterst ongelijke massa's, zoals zon-aarde, aarde-maan, onze lichamen-aarde, observeren we uiterst *ongelijke* actie en reactie. Dit is geen logenstraffing van de wet, maar het gevolg van het feit dat een lichaam zeer veel meer stofeenheden bevat dan het andere waarop het werkt. Voor de twintigste eeuwse lezer is het belangrijk te noteren dat Newtons wetten *niet* zeggen dat inertiale kracht *identisch* is met eenparig rechtlijnige beweging, en *niet* zegt dat kracht in het algemeen identisch is met massa  $\times$  versnelling, evenmin als hij elders zegt dat zwaartekracht identisch is met  $(\frac{m_1 m_2}{r^2})$ . Wie zich in de lectuur van de wetten zo zou vergissen, zou zowel Newtons denken misverstaan, als de resultaten van de Newton-filologie totaal miskennen, misleid door de verkeerde interpretatie van twee eeuwen.

<sup>2</sup>Terloops wil ik opmerken dat de twintigste eeuwse exegeten niet enthousiast zijn als ze Newtons werk op hun domein ter kennis nemen. Newton blijkt zich vooral te baseren op de apocalyptische literatuur, die zowel in de canonnieke als apocriefe 'Evangelies' welig bloeide. Newton schijnt - misschien onder invloed van zijn obsessieel-angstige natuur - een zeer letterlijke en fundamentalistische bijbellesing aan te hangen. Hij wil uit de Apocalyps (Daniël en Openbaring) letterlijke besluiten trekken voor een cosmische eschatologie. Niets staat verder af van de hedendaagse, door de 'Formgeschichte' van Bultmann en vele anderen, getekende exegese. Ik dank Prof. dr. Peter Schmidt voor deze aanwijzingen. Toch blijf ik van mening dat een detailstudie van de relatie tussen Newtons mechanica, zijn astronomie, zijn exegese en zijn theologie belangrijk licht kan werpen op zijn gehele werk.

<sup>4</sup>Laten we licht beschouwen dat eerst doorheen lucht, en daarna doorheen water voortbeweegt. Als  $\theta_i$  de hoek is van de lichtstraal in lucht en  $\theta_r$  de hoek van de lichtstraal in water, dan zegt Snell's wet dat  $\sin \theta_i = \sin \theta_r$ , een eigenschap die deductief afleidbaar is van Fermats beginsel volgens hetwelke licht het pad volgt dat de kortst mogelijke tijd vraagt om de afstand af te leggen.