



Universiteit Utrecht

Historiografie van het experiment in de zeventiende eeuw

Een vergelijking tussen Steven Shapin en andere historici vanaf 1980

BACHELORSRIPTIE

Auteur:

RUIRT BOSMA

Studentnummer:

3492230

Begeleider:

DRS. LODEWIJK PALM

19 JUNI 2013

FACULTEIT BETAWETENSCHAPPEN/ DEPARTEMENT NATUUR- EN STERRENKUNDE
INSTITUUT VOOR DE GESCHIEDENIS EN GRONDSLAGEN VAN DE WISKUNDE EN
NATUURWETENSCHAPPEN (IGG)

Inhoudsopgave

1	Introductie	2
2	Ervaring, expertise en het maken van feiten	3
3	De overgang naar experimentele natuurfilosofie	8
4	Het instrument	10
5	Sociale aspecten	14
6	Conclusie	18

1 Introductie

De rol die het experiment heeft in de moderne wetenschap lijkt vaak vanzelfsprekend. Dit was echter niet altijd het geval, voor de wetenschappelijke revolutie was er namelijk geen rol weggelegd voor het experiment zoals we deze nu kennen. Deze rol begon zich te ontwikkelen aan het eind van de zestiende eeuw en de ontwikkeling was in de tweede helft van de zeventiende eeuw op zijn hoogtepunt. Het werk van verschillende historici over deze ontwikkeling in de rol van het experiment is wat hier besproken zal worden. De focus van dit onderzoek ligt bij Steven Shapin. Shapin is Amerikaans historicus en socioloog van de wetenschappen en op het moment professor in de wetenschapsgeschiedenis aan Harvard University. In vele behandelingen van het experiment ten tijde van de wetenschappelijke revolutie (ongeveer van 1500 tot 1700) wordt verwezen naar werken van Shapin en in het bijzonder naar *Leviathan the Air-pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*¹ van Shapin en Simon Schaffer uit 1985. In het werk van Shapin ligt veelal de nadruk op de rol die sociale aspecten speelden. Ik zal hier het werk van Shapin over het experiment in de zeventiende eeuw met de werken van enkele andere historici over dit onderwerp vergelijken. Eerst zullen we kijken naar de problemen die ontstonden bij de nieuwe waarnemingen die niet meer pasten in de natuurfilosofie van voor de wetenschappelijke revolutie, het aristotelisme. In het aristotelisme was de waarneming belangrijk voor het verkrijgen van kennis, maar het beïnvloeden van de natuur om nieuwe verschijnselen te zien speelde geen rol. Volgens Francis Bacon (1561-1626) zorgde het aristotelisme echter niet voor vooruitgang in de kennis over de natuur. Deze kennis kon volgens Bacon verkregen worden door experimenten te doen en daarmee de natuurlijke historie te beschrijven. Bacon zorgde ervoor dat in Engeland een experimentele traditie ontstond. In de studie naar het experiment in de zeventiende eeuw ligt dan ook doorgaans de focus op de natuurfilosofen in Engeland, ook bij de historici die hier besproken worden is dat het geval. In 1660 werd door een groep natuurfilosofen, die waren beïnvloed door de nieuwe ideeën van Bacon, de ‘Royal Society of London’ opgericht. In 1662 en 1663 verkreeg deze officieel de Koninklijke handvesten en ging verder onder de naam ‘The Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge’. De Royal Society hield zich bezig met natuurlijke historie en het experimenteren op een systematische manier. Robert Hooke (1635-1703) werd aangesteld als experimentator van de Royal Society en was daarmee de eerste experimentator van beroep. Eén van de invloedrijkste leden van de Royal Society was Robert Boyle (1627-1691). Zijn nauwkeurige en zeer uitgebreide manier van experimenteren, werd in de Royal Society gezien als de juiste methode. De experimenten die Boyle deed met zijn luchtpomp zijn hier een goed voorbeeld van. Over deze experimenten met de luchtpomp en over de juiste manier van experimenteren binnen de natuurfilosofie heeft Boyle erg veel geschreven. Boyle en de luchtpomp komen dan ook bij veel historici terug als het gaat over het experiment in de zeventiende eeuw. Dit is ook zeker het geval bij Shapin die in vele werken Boyle als voorbeeld gebruikt. Het meest bekende lid die de Royal Society gehad heeft is Isaac Newton (1642-1727), tevens voorzitter van de Royal Society van 1703 tot 1727. Het werk van Newton wordt veelal gezien als het hoogtepunt van de wetenschappelijke revolutie. De geschiedschrijving van het experiment in de zeventiende eeuw is dan ook niet compleet zonder Newton. We zullen zien dat in de overgang naar de experimentele natuurfilosofie die plaatsvond aan het einde van de zeventiende eeuw Newton een belangrijke rol had.²³⁴

In het volgende hoofdstuk kijken we naar het werk van Peter Dear. We zullen laten zien dat

¹Shapin 1985

²Shapin 1996 p.117

³Hall 1983 pp. 281-282

⁴Dear 2001 p.144

het werk van Dear invloed heeft gehad op Shapin's werk en dat er andersom ook invloeden van Shapin terug te vinden zijn bij Dear. Aan de hand van enkele natuurfilosofen laat Dear zien hoe de rol van ervaringen veranderde en geloofwaardigheid van de natuurfilosoof belangrijk werd bij het overbrengen van deze ervaringen. Op eenzelfde wijze schrijft Shapin over hoe ervaringen overgebracht en feiten gemaakt werden. In hetzelfde werk erkent Dear de invloed van Shapin op de historiografie van de experimentele natuurfilosofie in Engeland tijdens de zeventiende eeuw en beschrijft zelf Newton en zijn wiskundige-experimentele natuurfilosofie. We zullen zien hoe Shapin de rol van Boyle beschrijft en hoe volgens Boyle universele kennis wordt verkregen. Volgens Dear maakt Boyle deze stap naar universele kennis niet, maar doet Newton dit wel. In een later werk beschrijft ook Shapin deze stap van Newton. Boyle en Newton zorgden ervoor dat de natuurfilosofie veranderde in een experimentele natuurfilosofie.

Hoofdstuk 3 behandelt deze verandering in de natuurfilosofie. John A. Schuster en Graeme Watchirs stellen dat in de historiografie van eind zeventiende- en achttiende eeuw de dynamiek in het ontstaan van de experimentele natuurfilosofie centraal moet staan. We bekijken de discussie tussen Boyle en tijdgenoot Thomas Hobbes (1588-1679) zoals deze beschreven wordt door Shapin en de kritiek van Schuster en Watchirs hierop. Volgens Schuster en Watchirs ontbreekt namelijk in het bestuderen van deze enkele discussie de dynamica van het ontstaan van de experimentele natuurfilosofie. Daarnaast is het belang van sociale en politieke factoren waarop Shapin zich toespitst bij de discussie tussen Boyle en Hobbes volgens Schuster en Watchirs niet bepalend bij de ontwikkeling van de experimentele natuurfilosofie.

De nieuwe experimentele natuurfilosofie zorgde voor vele veranderingen, waaronder die van de rol van het instrument. Het belang van deze instrumenten in de historiografie van het experiment wordt onder andere door Willem Hackmann gesteund. In hoofdstuk 4 wordt gekeken naar hoe de rol van het instrument terugkomt bij Shapin en Shaffer. Zij beschrijven de problemen met het overbrengen van de verschijnselen die geproduceerd worden door de luchtpomp van Boyle. De sociale problemen hiervan die Boyle moest overwinnen zijn ook terug te zien in Schaffers beschrijving van de prisma's die Newton gebruikte bij zijn optische experimenten.

In het laatste hoofdstuk komen de prisma experimenten van Newton uit hoofdstuk 4 terug, deze keer bij A. Rupert Hall. Er zal besproken worden hoe Hall experimenten in de zeventiende eeuw behandelt, waarbij het prisma experiment van Newton als voorbeeld gebruikt wordt. Geprobeerd wordt om aan de hand van het prisma experiment te laten zien dat de manier waarop Hall over het experiment praat verschilt van die van Schaffer en Shapin. Deze manier, waarbij er nauwelijks gekeken wordt naar de sociale invloeden van het experiment wordt door Shapin in één van zijn eerdere werken bekritiseerd. In de eigen werken van Shapin ligt hier juist de nadruk op. Om het contrast met Hall te verduidelijken wordt kort beschreven deze sociale invloeden volgens Shapin bij Boyle zijn terug te vinden.

2 Ervaring, expertise en het maken van feiten

In het begin van de zeventiende eeuw werden, meer dan eerder, nieuwe ervaringen van de natuur beschreven. Hierbij kan gedacht worden aan de waarneming van zonnevlekken, de bloedcirculatie en de verschillende brekingshoeken van licht. Peter Dear stelt in *Discipline & Experience*⁵ dat deze nieuwe ervaringen in de zeventiende eeuw zorgden voor problemen met de manier waarop men kennis hoorde te verkrijgen. Het gebruik van deze nieuwe ervaringen om kennis te creëren betekende dat de algemene ervaringen die men al had hergestructureerd moesten worden. Dear laat in *Discipline & Experience* aan de hand van enkele zeventiende-eeuwse natuurfilosofen zien

⁵Dear 1995

hoe men met deze nieuwe ervaringen probeerde zekere kennis te verkrijgen over de natuur. Eén van deze natuurfilosofen is de natuurfilosofie docent Niccolò Cabeo, zijn werk over magnetisme in de eerste helft van de zeventiende eeuw laat zien hoe hij vond dat deze nieuwe ervaringen behandeld dienden te worden. Om ervaring te verkrijgen uit de waarnemingen, op een manier die in overeenstemming was met het aristotelisme, herhaalde Cabeo zijn experimenten vele malen. Daarnaast zorgde Cabeo dat er bij experimenten meerdere waarnemers aanwezig waren om de ervaringen te observeren. Cabeo gebruikte dus, aldus Dear, “getuigenis om aannemelijk te maken dat discrete experimentele gebeurtenissen integrale onderdelen van de methodologische aard van zijn ‘magnetische filosofie’ zijn”.⁶ Van Roderigo Arriaga, een tijdgenoot van Cabeo, verscheen in 1632 in *Cursus philosophicus* een discussie over vallende lichamen. In het aristotelische denken wist men dat zwaardere objecten sneller vallen dan lichte objecten. Arriaga twijfelt hieraan en probeert het zelf aangezien dit niet moeilijk te testen is. Arriaga vindt in zijn experimenten dat alle voorwerpen ongeacht grote, vorm, gewicht even snel vallen en steunt deze claim met een enkele zelf meegemaakte ervaring van dit verschijnsel. Zo had Arriaga gezien dat een droge broodkorst van enkele centimeters even snel viel als een steen, die zo groot was dat Arriaga deze nauwelijks kon dragen. Hij zegt er wel bij dat hij dit vaak heeft gedaan en net als Cabeo in het bijzijn van meerdere mensen, aldus Dear.⁷ Door te melden dat hij de verschijnselen vaak heeft waargenomen probeert Arriaga meer geloofwaardigheid te krijgen voor zijn conclusies over deze waarnemingen. Hij beschrijft, echter, geen van deze ‘discrete’ waarnemingen. In 1646 heeft ook Cabeo het over experimenten met vallende lichamen. Over deze vallende lichamen doet Cabeo uitspraken als “ik heb altijd waargenomen” en “ik en ook andere hebben dit met vele experimenten geprobeerd”.⁸ Net als Arriaga laat Cabeo weten dat niet alleen hij maar ook anderen het experiment vaak hebben gezien, hiermee probeert hij, aldus Dear, van zijn claims over de natuur universele ervaringen te maken. Astronoom Giovanni Riccioli gaf in zijn werk van 1651 kritiek op de werkwijze van Arriaga en Cabeo. Zo geeft Cabeo bij de val-experimenten, die hij zo vaak heeft gedaan, niet aan vanaf welke hoogte hij dit heeft gedaan. Riccioli doet dit zelf wel en vindt in tegenstelling tot Arriaga en Cabeo een verschil in valtijd van twee ballen met verschillend gewicht. Ervaringen moesten volgens Riccioli niet alleen zeker zijn maar ook evident. Volgens Dear maakte de kritiek op Cabeo en Arriaga het nodig voor Riccioli dat hij zijn lezers ervan probeerde te overtuigen dat hij over de juiste ‘expertise’ beschikte, omdat hij zelf vond dat hij een beter idee had van hoe “legitieme wetenschappelijke ervaring”⁹ gemaakt diende te worden.

In Shapins *The Scientific Revolution*¹⁰ uit 1996 is de invloed van Dear op Shapin duidelijk terug te vinden. Op zijn beurt is ook de invloed van *The Scientific Revolution* in een later werk van Dear terug te vinden, namelijk in *Revolutionizing the Sciences*¹¹ uit 2000. Over *The Scientific Revolution* zegt Shapin zelf dat “enige originaliteit over de opvatting van dit boek, komt mogelijk uit de manier waarop deze georganiseerd is”.¹² *The Scientific Revolution* bestaat uit drie delen: ‘What was Known’, ‘How was it known’ en ‘What was the knowledge for’. Het is juist deze ‘originiele’ indeling die in enige mate terug te zien is in Dear’s *Revolutionizing the Sciences*. Zo begint Dear in *Revolutionizing the Sciences* met de vraag “what was worth knowing in 1500” en gaat een later hoofdstuk over “Experiment: How to learn things about Nature in the seventeenth century”, hier worden dus op dezelfde manier vragen gesteld als in de eerste

⁶Dear 1995 p. 66

⁷Dear 1995 p. 68

⁸Dear 1995 p. 70

⁹Dear 1995 p. 75

¹⁰Shapin 1996

¹¹Dear 2000

¹²Shapin 1996 p. 12

twee hoofdstukken van Shapins *The Scientific Revolution*. Shapin beschrijft in *The Scientific Revolution* de overgang van natuurfilosofie naar moderne natuurfilosofie. In ‘How was it known’ ontfermt Shapin zich onder andere over de vraag hoe deze moderne natuurfilosofen omgingen met ‘ervaringen’. De moderne natuurfilosofen waren van mening dat men ervaringen zelf moest verkrijgen. Dit in contrast met de eerdere natuurfilosofen die uitgingen van het aristotelisme. Ervaringen moesten gebruikt worden om het filosoferen over de natuur te sturen en vormden de basis voor het verkrijgen van wetenschappelijke kennis¹³. Hoe deze ervaring verkregen en hoe daarmee verder geredeneerd moest worden, was onder de moderne natuurfilosofen onderdeel van discussie. Eén van de manieren waarop dit werd gedaan was door middel van demonstratie, dit was populair bij zowel de moderne natuurfilosofen als bij de ‘oude’. Shapin verwijst naar Dear als hij stelt dat de term “ervaring” tijdens de zeventiende eeuw verwees naar een “universele constatering van een feit”¹⁴ Een dergelijk feit werd volgens Shapin verkregen door middel van vele waarnemingen, we zien hier dus de ideeën van Cabeo, Arriaga en Riccioli terug.

Naast dat Dear’s *Discipline & Experience* duidelijk invloed heeft gehad op Shapins tweede hoofdstuk ‘How was it known’ in *The scientific revolution*, heeft andersom Shapin ook Dear’s *Discipline & Experience* beïnvloed. Dear erkent in *Discipline & Experience* het belang van de ‘experimentele filosofie’ in Engeland en de rol van Robert Boyle hierin en noemt dat dit belang zeker na *Leviathan and the Air-Pump*¹⁵ duidelijk is geworden.¹⁶ Hij schrijft vervolgens in *Discipline & Experience* over de status van het experiment in de Royal Society en over de ‘wiskundig-experimentele lichtfilosofie’ van Newton. In de Royal Society was het belangrijk om zelf de waarnemingen te observeren, men diende gebruik te maken van een enkele zelf geobserveerde ervaring bij het presenteren van inzichten verkregen binnen de context van de mathematische wetenschappen. Eerder werden deze ervaringen niet gebruikt om een claim over de natuur te onderbouwen, maar om de expertise van de spreker aan te tonen, zoals bij Riccioli het geval was. Hoe deze procedure universele kennis kan vastleggen is minder duidelijk, aldus Dear. De manier van rapporteren over de ervaringen in de Royal Society zorgde ervoor dat het doel niet meer was om de expertise, maar om het feit zelf aan te tonen. Over Boyle schrijft Dear vervolgens dat deze soms terug viel op de positie dat “op zijn minst konden ze claimen dat ze een verzameling van feiten verzamelden”¹⁷, hiermee vermeden ze de noodzaak om te verklaren hoe ze uit deze feiten ‘universele filosofische waarheden’ konden verkrijgen.

In *Pump and Circumstance*¹⁸ laat Shapin zien hoe Boyle dacht dat een dergelijk experimenteel feit gemaakt kon worden. Shapin verwijt historici dat dat ze het vormen van experimentele feiten vaak zien als zelf evident en probeert in *Pump and Circumstance* te laten zien hoe bij Boyle deze experimentele feiten gevormd werden en hoe hiermee universele kennis verkregen kon worden.¹⁹ Boyle’s experimenten waren, aldus Shapin, een revolutie voor de wetenschappelijke kennis. Voorheen heerste onder Engelse natuurfilosofen steeds vaker het idee dat de enige kennis die verkregen kon worden met experimenten, van probabilistische aard was. Net als anderen voor hem, erkende Boyle het belang van getuigen bij het experiment, een ervaring die slechts door één iemand werd waargenomen kon geen feit genoemd worden. Shapin gebruikt voor het beschrijven van de manier waarop Boyle feiten maakte drie technologieën: de materiële, de literaire en de sociale. De materiële technologie heeft betrekking op de manier waarmee Boyle’s feiten gemaakt werden. Boyle gebruikte voor zijn experimenten een luchtpomp, de feiten werden

¹³Shapin 1996 p. 80

¹⁴Shapin 1996 p. 81

¹⁵Shapin 1985

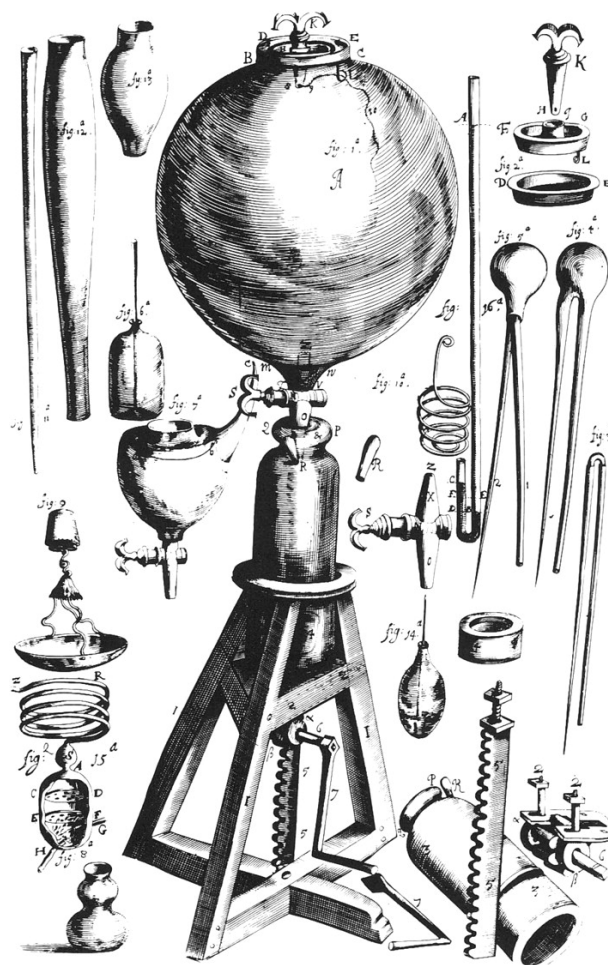
¹⁶Dear 1995 p. 8

¹⁷Dear 1995 p. 231

¹⁸Shapin 1984

¹⁹Shapin 1984 p. 483

dus gemaakt met een machine. De luchtpomp was in de tijd van Boyle iets nieuws en technologisch erg hoogstaand, dit betekende dat maar weinig mensen direct toegang hadden tot de feiten die door deze machine geproduceerd werden. De experimenten met de luchtpomp werden vaak gehouden in de publieke ruimtes van de Royal Society, waar mensen zich vervolgens konden intekenen dat ze getuige waren geweest van het experiment. Daarnaast spoorde Boyle anderen aan om de experimenten na te doen, mede doordat de technologie van de luchtpomp nog erg ingewikkeld was lukte het echter zelden om dezelfde resultaten te krijgen. Het aantal getuigen bleef hierdoor te beperkt, de literaire technologie, en volgens Shapin de belangrijkste, brengt hier verandering in door het verkrijgen van ‘virtuele getuigen’. Boyle maakte in beschrijvingen van de experimenten gebruik van erg gedetailleerde afbeeldingen van de werkelijke opstelling, deze hielpen de lezer te geloven dat het experiment ook daadwerkelijk uitgevoerd was en op de manier die beschreven was. Deze erg gedetailleerde afbeeldingen waren echter duur en tijdrovend om te laten maken.



Figuur 1: Boyle's gedetailleerde tekening van zijn luchtpomp zoals deze is weergegeven in *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air and its Effects* uit 1660

De oplossing lag in de manier van het beschrijven van het experiment: “Elaborate sentences, with circumstantial detail encompassed within the confines of one grammatical entity, might mimic that immediacy and simultaneity of experience afforded by pictorial representations”.

²⁰ Boyle beschreef ook mislukte experimenten om de lezer ervan te verzekeren dat hij geen ongewenste waarnemingen verdoezelde, maar trouw was aan de realiteit. Daarnaast hielp dit ook om eventuele experimentalisten die Boyle's experimenten probeerden te repliceren niet te ontmoedigen als het niet meteen lukte. Voor Boyle was de belangrijkste literaire technologie het experimentele feit. Boyle sprak in zijn werken over veel dingen met onzekerheid, behalve over deze feiten. Hij deed dit omdat kennis over de natuurlijke oorzaken probabilistisch was, maar de experimentele feiten dienen als basis voor 'correcte filosofie', hierover moest dus met zekerheid gesproken worden. Boyle legitimeerde dit door te stellen dat deze experimentele feiten niet zelf bedacht worden, maar deze worden "eerder ontdekt dan uitgevonden".²¹

Met behulp van het experimentele feit probeerde Boyle universele kennis te verkrijgen, aldus Shapin in *Pump and Circumstance*.²² Volgens Dear zet Boyle deze stap, van experimentele feiten naar universele filosofische waarheden, echter niet. Deze stap wordt volgens hem door Newton met zijn 'fysisch-wiskundige' methode wel gemaakt.²³ Newton gebruikte experimenten tijdens zijn lezingen om het publiek te overtuigen van de waarheid van zijn verhaal, zo maakte hij bijvoorbeeld gebruik van een prisma bij zijn verhaal over licht en kleur. Hij besprak met de studenten eerst de theorie van het verschijnsel en vertelde dan wat ze te zien kregen om het vervolgens te laten zien. Rond dezelfde tijd, schrijft Newton in een brief aan de Royal Society over licht en kleur op een manier die sterk verschilt van de methode gebruikt tijdens zijn lezingen. Newton begint in de brief op enigszins dramatische wijze te vertellen over een ervaring die hij had met licht dat door een kleine opening in een donkere kamer viel op een prisma en blijft een historische toon aanhouden, tegen het einde van de brief stapt Newton over op enkele wiskundige voorstellen, maar geeft hier geen demonstraties van, dit was voorheen wel de gewoonte in de Royal Society. Daarna volgde een voorbeeld van een experiment die deze voorstellen kon testen. Dear gebruikt het voorbeeld van de brief om aan te tonen hoe Newton zorgde voor verandering in de Royal Society. Hij zegt hierover dat de "onderzoekende experimentele filosofie werd vervangen door een zekere, vooraf bepaalde wiskundige wetenschap".²⁴ In *The Scientific Revolution* beschrijft ook Shapin Newtons experimenten met de prisma's, waarin Newton ziet dat wit licht bestaat uit een mix van gekleurd licht. In hoeverre en met welke zekerheid uit dit experiment een correcte theorie van licht volgde verschilden de meningen. Ook Shapin noemt de stukken die Newton schreef aan de Royal Society over zijn experimenten met prisma's. In deze stukken werd, in tegenstelling met Boyle's verslagen, niet erg gedetailleerd gesproken over de omstandigheden en specificaties van het experiment. Newton zei hierover: "De historische verslaglegging van deze experimenten zou de verhandeling te langdradig en verwarrend maken, daarom laat ik eerst de doctrine zien en vervolgens geef ik een voorbeeld of twee van de experimenten, als indicatie voor de rest"²⁵ Newton claimde de werkelijke oorzaak van het optische verschijnsel, met zekerheid, gevonden te hebben. Voor Newton was het dus mogelijk om met zekerheid te spreken over een theorie, maar dit was alleen mogelijk als ze met wiskundige zekerheid afgeleid waren vanaf het experiment. Nu zien we dus ook bij Shapin in *The Scientific Revolution* de stap die Boyle niet maakte, maar Newton wel.

²⁰Shapin 1984 p. 493

²¹Shapin 1984 p. 496

²²Shapin 1984 p. 482

²³Dear 1995 p. 232

²⁴Dear 1995 p. 235

²⁵Shapin 1996 p. 114

3 De overgang naar experimentele natuurfilosofie

In *Natural Philosophy, Experiment and Discourse*²⁶ beargumenteren John A. Schuster en Graeme Watchirs dat historici de experimentele natuurfilosofie moeten bestuderen als er gekeken wordt naar de geschiedenis van Europese wetenschap en de oorsprong van het experiment, eind zeventiende en begin achttiende eeuw.²⁷ De geschiedenis van de wetenschappelijke revolutie is volgens hun de geschiedenis van de conflicten tussen de verschillende natuurfilosofieën, denk hier bijvoorbeeld aan de aristotelische en de mechanische natuurfilosofie. Uit deze strijd tussen de verschillende natuurfilosofieën om overmacht te krijgen op het gebied van kennis en sociale acceptatie ontstond aldus Schuster en Watchirs de experimentele natuurfilosofie. Elk van deze natuurfilosofieën beschreef waaruit alles bestaat, hoe deze materie zich gedraagt, wat verandering is en waarom deze plaatsvindt, maar elke natuurfilosofie beschreef ook hoe ze op een antwoord kwamen in deze kwesties en waarom dit antwoord verantwoord was. Natuurfilosofie was echter meer dan dat, een natuurfilosoof hield zich ook bezig met theologie, politiek en cultuur. Dit alles had te maken met het hebben van de ‘juiste’ kijk op de natuur.²⁸ Van een juiste natuurfilosofie werd verwacht dat deze leidde naar een voorsprong in kennis en een grotere sociale acceptatie. Over de wetenschappelijke revolutie zeggen Schuster en Watchirs vervolgens: “The Scientific Revolution may be viewed as a process of change and displacement within the field of competing systems of natural philosophy.”²⁹ In de zestiende eeuw begon het aristotelisme minder in trek te raken en begonnen alternatieve natuurfilosofieën zich te vormen, Schuster en Watchirs noemen deze periode de ‘wetenschappelijke renaissance’.³⁰ Het einde van de zestiende eeuw en de eerste helft van de zeventiende eeuw werden gekenmerkt door discussie over de nieuwe mechanische natuurfilosofie en de andere natuurfilosofieën. In de tweede helft van de zeventiende eeuw, was de discussie over de vorm van de mechanische filosofie en de opkomst van het newtonianisme het proces waarin de natuurfilosofie overging naar de experimentele natuurfilosofie. Een mechanische natuurfilosofie waarin het experiment een belangrijke rol had werd steeds meer geaccepteerd in de tweede helft van de zeventiende eeuw. Het was de opkomst van de newtoniaanse natuurfilosofie die de doorslag gaf van de mechanische natuurfilosofie, waarin het experiment een rol had, maar niet centraal stond, naar de experimentele natuurfilosofie. Dit betekent overigens niet dat er voor de mechanische filosofie in de tweede helft van de zeventiende eeuw geen experimenten gedaan werden. In *The scientific revolution reasserted* noemt Richard S. Westfall als voorbeeld hiervan Galilei’s observatie dat water niet hoger dan 10 meter geheveld kan worden. Deze experimentele observatie zou vervolgens via Evangelista Torricelli in Italië en Blaise Pascal in Frankrijk bij Robert Boyle in Engeland terecht komen.³² Het was toen echter nog geen algemeen geaccepteerde praktijk in de natuurfilosofie. Ook aan het eind van de tweede helft van de zeventiende eeuw was dit zeker nog het geval. In 1648 doet Pascal een experiment met een kwikbarometer, hij verwacht dat als deze barometer, bedacht door Torricelli, naar een andere hoogte gebracht zou worden het kwik niveau zou veranderen. Hij deed dit experiment omdat hij ervan overtuigd was dat de luchtdruk zorgt voor de hoogte van het kwik in de barometer. Pascal beschreef het idee, wat er zou moeten gebeuren, doet numerieke voorspellingen en zegt dan dat het experiment dat gedaan is overeenkomt met wat werd verwacht, maar geeft

²⁶Schuster en Watchirs 1990

²⁷Schuster en Watchirs 1990 p. 11

²⁸Schuster en Watchirs 1990 p. 15

²⁹Schuster en Watchirs 1990 p. 16

³⁰A. Rupert Hall gebruikt deze term ook in *The Revolution in Science 1500-1750* p. 238. Dit is een herziende versie van zijn *The Scientific Revolution* uit 1954, het eerste boek waarin de term ‘wetenschappelijke revolutie’ in de titel wordt gebruikt.³¹

³¹Shapin 1990 p. 2

³²Westfall 2000 pp. 48–49

vervolgens geen details of specifieke resultaten van het experiment.³³ Er was in de eerste helft van de zeventiende eeuw dus nog geen grote filosofische rol weggelegd voor het experiment. In de tweede helft van de zeventiende eeuw begon dit te veranderen en het experiment begon een steeds belangrijkere rol te krijgen in de mechanische natuurfilosofieën. Het verschil tussen de mechanische natuurfilosofie in de tweede helft van de zeventiende eeuw en de experimentele natuurfilosofie was het grotere belang van ‘ervaring’ en het experiment en de rol die deze speelden in de experimentele natuurfilosofie.

In Schuster en Watchirs’ model van hoe deze experimentele natuurfilosofie ontstond wordt nadruk gelegd op hoe de relatie tussen instrument of experimentele apparatuur en communicatie over het experiment door natuurfilosofen gebruikt werd om hun natuurfilosofie te steunen. De interesse van de historici moet liggen bij hoe deze instrumenten gebruikt werden om de natuurfilosofie te steunen en niet bij technische details van deze instrumenten. Zoals bij de discussie om de luchtpomp zoals beschreven door Shapin en Schaffer in *Leviathan and the air-pump*³⁴ waar beide partijen de relatie tussen de experimentele apparatuur en communicatie over het experiment al gebruiken om hun natuurfilosofie te steunen. In Schuster en Watchirs’ model waarin experimentele natuurfilosofie het gevolg is van de strijd om cognitieve en sociale dominantie tussen de natuurfilosofieën wordt een beeld geschetst van de opkomst van experimentele wetenschap aan het eind van de wetenschappelijke revolutie. Uit het model van Schuster en Watchirs volgt volgens hen echter dat de geschiedenis van de experimentele natuurfilosofie niet beschreven kan worden aan de hand van een beschrijving van een enkele discussie, zoals de discussie tussen Thomas Hobbes en Boyle die beschreven wordt in *Leviathan and the air-pump*. Eén van de belangrijkste punten van kritiek van Hobbes op Boyle was dat hij vond dat de experimentele methode geen filosofie genoemd kon worden, omdat met deze methode, volgens Hobbes, nooit zekerheid over de natuur verkregen kon worden. Boyle stelde juist dat het experiment en de experimentele feiten die hiermee verkregen werden essentieel waren om op correcte manier natuurfilosofische kennis te verkrijgen.³⁵ In zijn in 1660 gepubliceerde *New Experiments Physico-Mechanical* zegt Boyle dat een natuurfilosofie waarin het experiment de basis is de enige manier is waarop een goede natuurfilosofie kan bestaan. Hobbes reageert hierop en op de in toenemende mate voorkomende experimentele natuurfilosofie in *Dialogus physicus de natura aeris* uit 1661. Naast dat hij vond dat de experimentele methode geen filosofie was, omdat deze niet demonstreerde hoe verschijnselen ontstonden of hoe de oorzaak van verschijnselen kon worden afgeleid in de experimentele methode, zag Hobbes ook het nut niet in van het systematisch herhalen van experimenten, want als men de oorzaak uit het verschijnsel kon afleiden dan zou een enkel experiment volstaan. Ook vond Hobbes kunstmatige experimenten overbodig, kennis over de oorzaken van veel voorkomende verschijnselen in de natuur was voor Hobbes genoeg. In *The scientific revolution* zegt Shapin over Hobbes het volgende: “A program of systematic fact collection could form a register of natural and artificial effect: it could count as natural history. But Hobbes insisted on the traditional construal of natural philosophy as the quest for secure knowledge of nature’s causes..... and he saw no secure way of proceeding from a pile of particulars to causal knowledge that possessed the certainty appropriate to philosophy.”³⁶ De praktijken van Boyle en zijn collega’s konden dus volgens Hobbes gezien worden als natuurlijke geschiedenis, maar zeker niet als natuurfilosofie. Nog een punt dat Hobbes maakte tegen de experimentele methode van Boyle was dat bij alle experimenten er theoretische aannames gedaan moesten worden met betrekking tot het experimentele instrument.³⁷ Dit laatste punt

³³Dear 2001 p. 131

³⁴Shapin 1985

³⁵Shapin 1985 p. 22

³⁶Shapin 1996 p. 110

³⁷Shapin 1985 p. 112

van kritiek toont een overeenkomst met de stelling van wetenschapshistorici en filosofen Pierre Duhem en Willard van Orman Quine, dat het niet mogelijk is om met een experiment een enkele hypothese te testen, maar het is alleen mogelijk om het hele systeem van hypothesen en aannames die gedaan worden bij het experiment te testen³⁸ In *The aim and structure of physical theory*³⁹ maakt Duhem onderscheid tussen twee soorten experimenten: ‘experiments of application en ‘experiments of testing’. In experimenten van de eerste soort wordt niet geprobeerd om te testen of een geaccepteerde theorie correct is, maar wordt gebruik gemaakt van instrumenten die deze theorie legitimeren en worden experimenten gedaan die in overeenstemming zijn met de theorie. Dit zijn niet het soort experimenten die beschreven worden door Duhem en Quine. De tweede soort experimenten zijn experimenten waarin de wetenschapper een experimenteel feit voorspelt van de theorie die wordt getest. Vervolgens wordt gekeken of het experimentele feit wordt waargenomen in het experiment waaruit deze volgens de theorie zou moeten volgen. Als dit niet het geval is kan volgens Duhem alleen gezegd worden dat het totaal aan aannames dat in deze theorie gedaan is niet correct is. Waar de fout ligt is niet af te leiden uit dit experiment. Dit is ook Hobbes punt van kritiek als hij Boyle bekritiseert over de aannames die gedaan moeten worden bij het gebruik van de luchtpomp.

De discussie tussen Boyle en Hobbes over deze punten is een reconstructie van een moment aan het begin van de experimentele natuurfilosofie, maar laat volgens Schaffer en Watchirs niet zien hoe experimentele natuurfilosofie ontstond. De details van deze ‘lokale discussie werden niet bepaald door de nieuwe experimentele natuurfilosofie, maar deze discussie vond wel plaats in de context van de door de experimentele natuurfilosofie ontstane beperkingen en mogelijkheden.⁴⁰ Schuster en Watchirs merken daarnaast op dat niet overal het doen van experimentele natuurfilosofie in een dergelijke context gebeurde zoals in het zeventiende-eeuwse Engeland. Ook in momentopnamen zoals de discussie tussen Hobbes en Boyle moet, in hun model, de experimentele natuurfilosofie en beperkingen en mogelijkheden die daarbij horen als uitgangspunt genomen worden. Het model van Schuster en Watchirs stelt ook dat de sociale en politieke aspecten zoals deze voorkomen in *Leviathan and the air-pump* slechts factoren zijn die bijdragen aan ontwikkelingen in de natuurfilosofie, maar deze waren geen doorslaggevende factoren. De sociale en politieke context met daarin de discussie tussen natuurfilosofen over de sociale richtlijnen van het experiment, komt in hun model niet voor. De periode wordt door Schuster en Watchirs als volgt samengevat: “There was no consensus in natural philosophy in the sense of a dominant style or site of experiment, ontological commitment, or characteristic attention to discourses of religion and politics. There was, at the level of primary process, only the field and its dynamics played in and through local sites and struggles”⁴¹ Het was deze dynamica die leidde tot de experimentele natuurfilosofie. Het is de beschrijving van deze experimentele natuurfilosofie die volgens Schuster en Schaffer gebruikt moet worden om de geschiedenis van de wetenschap te herschrijven. -

4 Het instrument

De overgang van de natuurfilosofie naar de experimentele natuurfilosofie bracht een nieuwe rol voor de wetenschappelijke instrumenten, die nodig waren door de nieuwe rol van de experimenten, met zich mee. De rol die het experiment kreeg in de zeventiende eeuw zorgde voor een

³⁸Galison 1987 p. 2

³⁹Duhem 1954

⁴⁰Schuster en Watchirs 1990 p. 38

⁴¹Schuster en Watchirs 1990 p. 41

enorme uitbreiding van de hoeveelheid beschikbare instrumenten, denk hierbij aan de opkomst van microscopen, telescopen, baro- en thermometers, de prisma's die Newton gebruikte en de luchtpomp van Boyle.⁴² In de zeventiende eeuw werden wetenschappelijke instrumenten onmisbaar voor het verzamelen en beschrijven van natuurlijke verschijnselen. In de traditie van het aristotelisme was het gewoon om de natuur te observeren met alleen de eigen zintuigen. De instrumenten die werden gebruikt waren erg simpel, veranderden niks aan de verschijnselen in de natuur zelf en werden slechts gebruikt om de bekende verschijnselen beter waar te nemen en te documenteren. Dit veranderde aan het begin van de zeventiende eeuw met de komst van de telescoop.⁴³ Naar de rol, die deze nieuwe instrumenten hadden op de opkomende experimentele natuur filosofie is, volgens Willem Hackmann in *Scientific Instruments*⁴⁴, tot kort voor 1989 weinig onderzoek gedaan. In de studie naar deze instrumenten moet gekeken worden naar hoe deze gebruikt werden in experimenten die natuurlijke processen uit de 'echte wereld' nabootsen in een laboratorium. Deze studie is volgens Hackmann erg complex en uiteenlopende manieren van aanpakken zijn dan ook nodig, van "single detailed historical case studies" tot "sociological analyses of experimentation as a group activity".⁴⁵ Zo zou het volgens Hackmann nuttig kunnen zijn om Newtons prisma experimenten te herhalen. Hackmann maakt in the *Scientific Instruments* onderscheid tussen twee verschillende soorten instrumenten; passieve en actieve. Passieve instrumenten zijn instrumenten die gebruikt worden om mee te meten en te observeren, denk hierbij bijvoorbeeld aan een klok of een telescoop. Actieve instrumenten, zoals de luchtpomp, produceren nieuwe verschijnselen die anders niet zomaar in de natuur waargenomen worden. Eén van de belangrijkste nieuwe passieve instrumenten was de telescoop die in het begin van de zeventiende eeuw werd ontwikkeld. Met de telescoop gemaakt door Galilei, die ongeveer 30 maal, kon vergroten kon Galilei zien dat de maan een ruw oppervlak met bergen had net als de aarde, hij zag dat er vele sterren waren die met het blote oog niet waargenomen konden worden en vond dat er om Jupiter net als de maan om de aarde objecten cirkelden en noemde deze 'Medicean Stars'.⁴⁶ De verschijnselen die deze telescopen lieten zien waren aan het begin van de zeventiende eeuw onderdeel van discussie, omdat deze verschijnselen vaak niet gerelateerd konden worden aan eerdere ervaringen. Galilei demonstreerde, aldus Hackmann, dat de beelden die de telescoop liet zien in de 'echte werel' bestonden en niet geproduceerd werden door de telescoop zelf.⁴⁷ Pas halverwege de zeventiende eeuw werden deze telescopen algemeen gebruikt en observaties gedaan met deze instrumenten werden meer vertrouwd. Instrumenten als de telescoop hebben echter geen 'actieve' interactie met de natuur. Deze interactie met natuur die de nieuwe actieve instrumenten hadden gaf de instrumenten een nieuwe filosofische betekenis. De nieuwe (actieve) filosofische instrumenten, zoals de luchtpomp, maakten het mogelijk om verschijnselen te isoleren in een gecontroleerde omgeving of laboratorium. Bij deze instrumenten werd in de loop van de achttiende eeuw algemeen geaccepteerd dat ze 'echte' natuurlijke processen lieten zien. Er was daarvoor echter wel discussie over de herhaalbaarheid van dergelijke instrumenten. Zoals we al zagen bij de luchtpomp van Boyle in hoofdstuk 2 was het reproduceren van de verschijnselen soms erg lastig. Daarnaast was er ook discussie over de experimentele methode zelf, bijvoorbeeld de discussie tussen Boyle en Hobbes.⁴⁸

Over deze discussie tussen Boyle en Hobbes en over de moeilijkheden met de herhaalbaarheid van de experimenten met de luchtpomp schrijven Steven Shapin en Simon Schaffer in *Leviathan*

⁴²Westfall 2000 p. 49

⁴³Helden 1983 pp. 49–50

⁴⁴Hackmann 1989

⁴⁵Hackmann 1989 p. 33

⁴⁶Hall 1983 p. 123

⁴⁷Hackmann 1989 p. 40

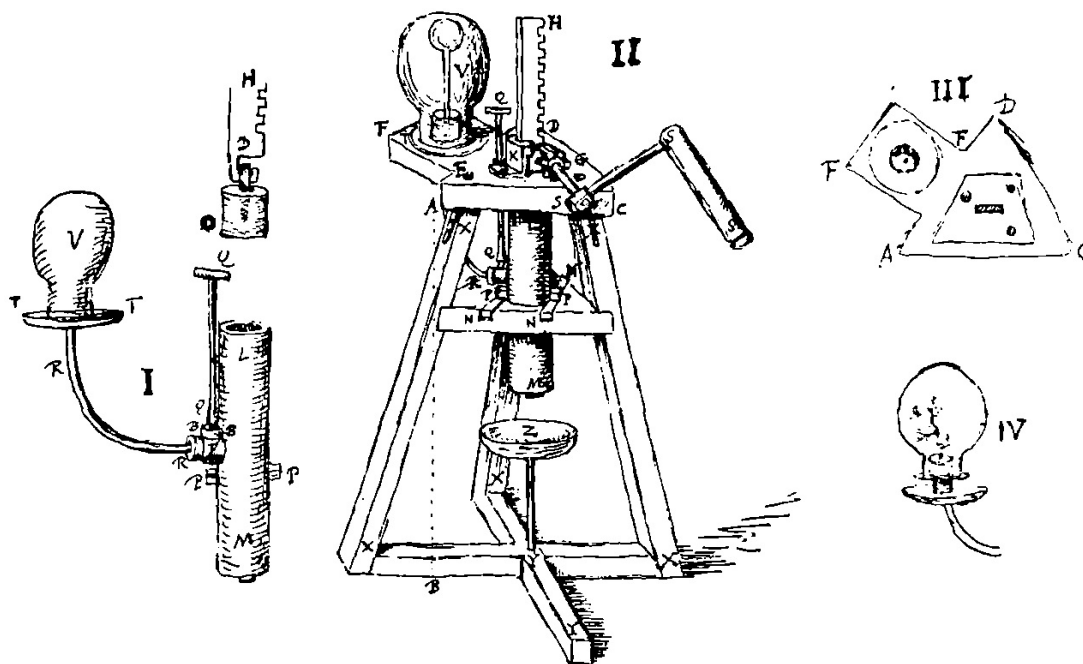
⁴⁸Hackmann 1989 p. 41

and the air-pump. Zoals we zagen in hoofdstuk 2 was de manier waarop een experimenteel feit gemaakt moest worden erg belangrijk in Boyle's experimentele filosofie. Een feit werd hier iets sociaals, een onderdeel van de publieke kennis.⁴⁹ Eén van de manieren waarop een feit overging van een waarneming in het privé-domein naar een feit over de natuur waar men in het publieke domein getuige van was, is door de herhaling van het experiment door anderen. Het herhalen van de experimenten, waarmee het aantal getuigen van het verschijnsel vergroot werd en zo het experimentele feit vastgesteld kon worden, was echter erg problematisch. In het geval van Boyle was het nodig om de luchtpomp na te maken om van de verschijnselen die Boyle had waargenomen feiten te maken door het aantal getuigen te vergroten. De enige manier voor de natuurfilosoof om te beoordelen of de luchtpomp met succes was nageemaakt was om te kijken of het dezelfde verschijnselen produceerde als de luchtpomp van Boyle. Als dit het geval was, dan was het een goede luchtpomp. Oftewel Boyle's verschijnselen moesten geaccepteerd worden als experimentele feiten, voordat beoordeeld kon worden of de machine goed werkte. Of deze feiten geaccepteerd konden worden moest juist blijken uit de verschijnselen van een goed werkende luchtpomp. In de jaren zestig van de zeventiende eeuw was de Nederlander Christiaan Huygens de enige natuurfilosoof die een luchtpomp maakte zonder dat de bouw hiervan onder leiding van Boyle of Hooke stond. Huygens besloot over te gaan op de bouw van een luchtpomp nadat hij in 1661 de luchtpompexperimenten en de discussie hierover bezocht in de Royal Society en de dag erna met Boyle hierover gediscussieerd had.⁵⁰ Huygens was van plan om met zijn luchtpomp nieuwe experimenten te proberen en daarnaast enkele van Boyle's waarnemingen te repliceren. Hij maakte enkele aanpassingen en deed vervolgens Boyle's kalibratietests om te kijken of hij een goede luchtpomp had gemaakt. Eén van deze tests was het plaatsen van een met lucht gevulde blaas in de luchtpomp, deze hoorde net als bij Boyle's luchtpomp erg langzaam leeg te lopen. Bij Huygens luchtpomp bleef de blaas een hele nacht vol, waaruit Huygens concludeerde dat zijn luchtpomp beter was dan die van Boyle en hij ging vervolgens over op andere manieren om zijn luchtpomp te testen.⁵¹

⁴⁹Shapin 1985 p. 225

⁵⁰Shapin 1985 p. 236

⁵¹Shapin 1985 p. 238



Figuur 2: De aangepaste luchtpomp van Huygens zoals deze gepresenteerd werd aan de Académie Royale des Sciences in 1668. Opvallend is het verschil in detail tussen de simpele weergave van de luchtpomp van Huygens en de erg gedetailleerde tekeningen van Boyle's luchtpomp. uit Huygens. *Oeuvres*. vol. XIX. p. 202 in Shapin 1985 p. 270

Uiteindelijk hing het, volgens Shapin, van een verzameling van meningen af of een luchtpomp succesvol was nageemaakt. Er was geen eenduidig antwoord op de vraag of een luchtpomp een goede replica was. Elke luchtpomp die in de zeventiende eeuw werd nagebouwd werd gemaakt door mensen die al ervaring hadden met het bouwen en opereren van dergelijke pompen. Een luchtpomp gebouwd op enkel geschreven instructies volstond niet als een succesvolle replica die feiten kon maken. Dit betekende dat als de replicatie werd gebruikt om kennis te maken, “dan hangt kennisproductie niet alleen af van de abstracte uitwisseling van papier en ideeën, maar van de praktische sociale omgang van man en machine”.⁵² Hiermee werd het probleem van de vicieuze cirkel van het accepteren van de experimentele verschijnselen geproduceerd met de luchtpomp en een ‘goede’ luchtpomp te maken om die verschijnselen te controleren een sociaal probleem. Dit maakte dat, om de verschijnselen te kunnen accepteren als experimentele feiten, er een noodzaak was voor een groep natuurfilosofen om “gedeelde sociale conventies” te hebben.

In *Glass Works: Newtons Prisms and the uses of experiment*⁵³ van Schaffer is de vicieuze cirkel van de luchtpomp terug te vinden. Schaffer schrijft hierin over de discussie over hoe autoriteit verkregen kon worden. Deze discussie laat, volgens Schaffer, iets zien over hoe de experimenten gebruikt werden om overeenstemming te vinden en over de centrale rol van het ‘experimentele instrument’ hierin.⁵⁴ In *Glass Works* gebruikt Schaffer de discussie rond Newton's werk over licht en kleur in de tweede helft van de zeventiende eeuw tot het begin van de achttiende eeuw als de controverse waarmee hij iets wil laten zien over de rol van het instrument. We kwamen dit experiment al tegen in hoofdstuk 2 bij Dear en Shapin en de manier waarop Newton communiceerde met de Royal Society. Newtons experimenten met de prisma's, ook wel ‘experimentum

⁵²Shapin 1985 p. 281

⁵³Schaffer 1989

⁵⁴Schaffer 1989 p. 67

crucis' omdat er volgens Newton experimenten tussen zaten die doorslaggevend bewijs gaven voor zijn theorie en hiermee 'cruciaal' waren. Andere natuurfilosofen verkregen andere resultaten dan Newton met hun versie van Newtons experiment met de prisma's. Zij waren het er mee eens dat de experimenten 'cruciaal' waren, de afwijkende resultaten zorgden er echter voor dat ze deze gebruikten tegen Newtons theorie. Er waren ook natuurfilosofen die wel dezelfde resultaten verkregen als Newton, Robert Hooke bijvoorbeeld, hij dacht echter dat deze niet cruciaal waren. Centraal in deze discussie stond de kwaliteit en het gebruik van de instrumenten, de prisma's zelf. In het cruciale experiment werden 'primitieve' lichtstralen gemaakt met behulp van een prisma, één van deze primitieve lichtstralen ging vervolgens door een tweede prisma. Deze primitieve lichtstraal werd volgens Newton niet verder gescheiden als deze door de tweede prisma ging. Anderen die het experiment nadeden vonden vaak dat de lichtstraal wel verder gescheiden werd als deze door het prisma ging. De reactie van Newton hierop was dat het ze niet gelukt was om een primitieve straal te maken, omdat deze door hem gedefinieerd werd als een lichtstraal die niet verder in kleur scheidde als deze door een prisma ging. Oftewel een prisma werd gezien als een 'goed' prisma als deze dezelfde verschijnselen liet zien als die Newton had waargenomen met zijn prisma's. We zien hier dezelfde vicieuze cirkel als bij Boyle en de luchtpomp. Dit probleem wordt door Schaffer als volgt mooi verwoord: "The criterion of a good experiment was that it produced the matter of fact which Newton sought to establish. Experimenters had to be convinced of this matter of fact before they could share this criterion."⁵⁵ Als men eenmaal ervan overtuigd was dat deze experimentele feiten juist waren dan is de manier waarop deze primitieve lichtstralen gemaakt werden evident. Schaffer argumenteert dat wetenschappelijke instrumenten de doorslaggevende rol spelen in de evaluatie van het experiment, omdat als deze overtuiging bereikt is het instrument ervoor zorgt dat uit de experimenten overeenstemming komt over wat gezien kan worden als feiten over de natuur.

5 Sociale aspecten

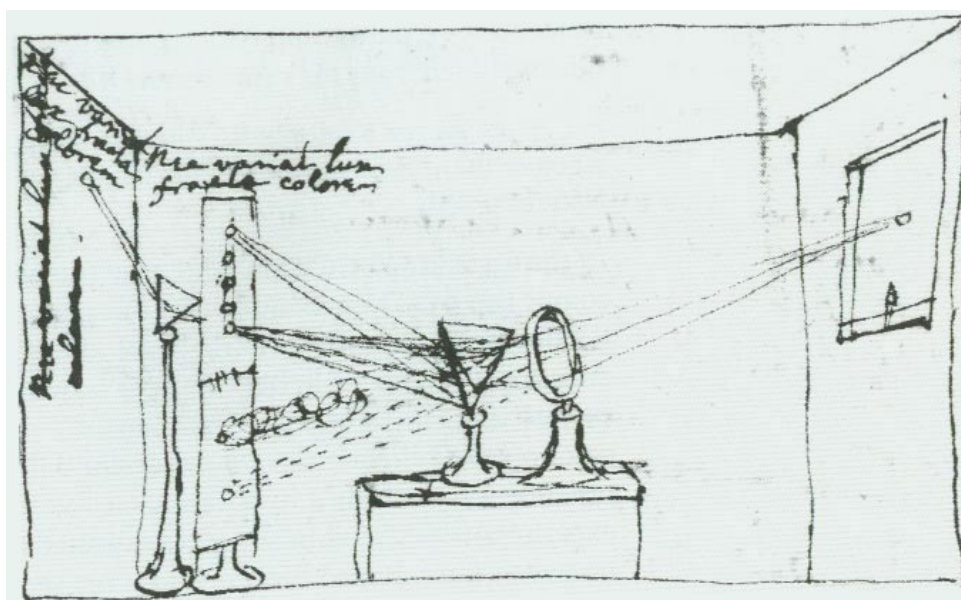
In *The Revolution in Science 1500–1750*⁵⁶ schrijft A. Rupert Hall onder andere over de voortgang van het experiment. Ook hij beschrijft hierbij Newtons prisma's als voorbeeld van een controversieel experiment. De moeilijkheden met de herhaalbaarheid van de prisma experimenten en de discussie over wat een goed prisma is, zoals beschreven door Schaffer in *Glass Works*, komen hier echter niet in voor. Sterker nog, Hall noemt Newtons experimenten met de prisma's als voorbeeld van experimenten waarbij de ontdekking en de demonstratie hetzelfde zijn. In tegenstelling tot het onderscheid tussen de ontdekking en de demonstratie in de wetenschap, waar aldus Hall door filosofen vaak nadruk op wordt gelegd. Hij zegt vervolgens over een 'elementaire ontdekking van een feit' gedaan door Newton met de prisma's dat "the demonstration of the effect is simply the repetition of the original experiment, which may be varied infinitely to show that it holds in all cases."⁵⁷ Er zit dus geen moeilijkheid in het herhalen van het experiment en het verkrijgen van dezelfde resultaten. Deze moeilijkheid zagen we wel bij Boyle's luchtpomp experimenten beschreven door Shapin en Schaffer en ook bij de de prisma experimenten van Newton zoals deze beschreven werden door Schaffer. Volgens Hall zat er echter geen moeilijkheid in het demonstreren van het experiment, maar deze moeilijkheid zat in het demonstreren van de verklaring van het verschijnsel. In het geval van Newton en de prisma's is dit de overtuiging dat de verschillende brekingshoeken van het licht een eigenschap van de lichtstraal zelf zijn en dat elke lichtstraal uit het prisma ook daadwerkelijk een elementair onderdeel is van wit

⁵⁵Schaffer 1989 p. 70

⁵⁶Hall 1983

⁵⁷Hall 1983 p. 256

licht, oftewel een primitieve lichtstraal is, zoals we zagen in het vorige hoofdstuk. De experimenten die Newton doet met prisma's en lichtstralen vanaf 1664 beschrijft Newton samen met zijn theorie in zijn bekende werk *Opticks* uit 1704. Hall noemt Newtons prisma experimenten de “greatest experimental investigation in all seventeenth-century physical science – indeed, one of the greatest of all time”⁵⁸. Het grote belang van *Opticks* zit volgens hem in de nauwkeurigheid en volledigheid van de experimenten die Newton deed en het sterke verband tussen de theorie en het experiment. Hall beschrijft vervolgens hoe Newton zijn prisma experimenten begon. Newton keek eerst door het prisma alsof hij door een lens keek en het leek erop dat blauwe licht stralen meer refractie (lichtbreking) vertoonden dan rode lichtstralen. Vervolgens verduisterde hij de kamer waarin hij het experiment deed en liet zonlicht door een klein gat naar binnen. Het spectrum was nu veel beter te zien, maar het waargenomen spectrum stond loodrecht op de as van het prisma en was niet rond zoals het gat waardoor het licht de kamer in kwam. Dit bewees voor Newton dat blauwe lichtstralen inderdaad meer refractie vertoonden dan rode lichtstralen. Met behulp van een tweede prisma en een scherm met daarin nog een rond gat zag Newton dat de individuele lichtstralen niet verder gescheiden werden als deze door het tweede prisma gingen.



Figuur 3: Newton's 'experimentum crucis' met de twee prisma's . Uit Fauwel, John. *Let Newton Be!: A New Perspective on His Life and Works*. Oxford University Press. 1989 p. 87

Newton kwam door zijn experimenten met de prisma's tot de conclusie dat elke kleur, volgens Newton waren er zeven, in het spectrum een primitieve lichtstraal was. Newton realiseerde zich dat dit betekende dat het niet mogelijk was om met een lens wit licht perfect te focussen in een punt en dat dit de verklaring was voor de gekleurde verstoringen aan de randen van een lens. Newtons eerste optische werk schreef hij in 1672 nadat hij een kleine bronzen parabolische spiegel had ontworpen die dertig keer kon vergroten, even goed als de beste telescopen uit de tijd van Galilei.⁵⁹ Dit werk maakte Newton beroemd en de discussie over zijn theorie begon. Net als Schaffer schrijft Hall dat de critici, onder wie Hooke en Huygens, verdeeld waren in zij die stelden dat de prisma experimenten andere verschijnselen lieten zien en zij die stelden dat de experimenten wel klopten, maar dat de conclusies die getrokken werden niet juist waren. Over

⁵⁸Hall 1983 p. 268

⁵⁹Hall 1983 p. 269

de moeilijkheden met de prisma experimenten schrijft Hall vervolgens alleen dat Newton enkele verschijnselen, zoals newtonringen, in eerste instantie niet kon verklaren, omdat hij geloofde in een deeltjes theorie van licht en daarom deze verschijnselen niet beschreef in zijn optische werk uit 1672. Mede door de kritiek van Huygens werd de theorie van Newton pas in het begin van de achttiende eeuw geaccepteerd. Het belangrijkste van Newtons nieuwe wetenschappelijke methode was, aldus Hall, dat Newton “did not merely show that a theory roughly agreed with a selected group of facts, but that a group of theoretical propositions could be associated with a range of experimental facts, carefully checked and often repeated.”⁶⁰

Op eenzelfde manier beschrijft Hall, als het gaat over de voortgang van het experiment tijdens de zeventiende eeuw, ook andere experimenten zoals die van Hooke en Boyle. Het zijn net als bij de beschrijving van Newton en zijn prisma's nauwkeurige beschrijvingen van hoe de experimenten gedaan werden en hoe deze de theorieën beïnvloedde, sociale invloeden zoals deze bij Shapin en Schaffer te zien zijn spelen echter geen rol bij Hall. Zo komt de vicieuze cirkel waarbij een instrument werd beoordeeld als een goed instrument aan de hand van de verschijnselen die deze juist moest testen, zoals bij Schaffer in *Glass Works* en Boyle's luchtpomp, beschreven door Schaffer en Shapin niet voor bij Hall. Hiermee komen ook de sociale aspecten zoals de communicatie over het experiment en het verkrijgen van betrouwbaarheid, waarin volgens Shapin en Schaffer de oplossing van het probleem lag bij Boyle en de luchtpomp in *Leviathan and the air-pump* niet voor. De nadruk bij Hall over het experiment ligt bij de logische redenering vanaf de verschijnselen en de invloed van andere theorieën, de sociale aspecten van het experiment komen niet voor. In *Social Uses of Science*⁶¹ bekritiseert Shapin het gebrek aan sociale inslag bij historici over de wetenschap aan het eind van de zeventiende en begin achttiende eeuw. In 1983, drie jaar na *Social Uses of Science* en in het jaar dat Rupert Hall *The Revolution in Science 1500–1750*, de herziende versie van *The Scientific Revolution* uit 1954, publiceert draagt Hall ook bij aan *The Uses of Science in the Age of Newton*⁶² van John G. Burke. In de introductie van dit boek wordt Shapins *Social Uses of Science* besproken.⁶³ en bekijkt de essays in het boek in de context van Shapins *Social Uses of Science* In het boek staan essays die verschillende onderdelen van de wetenschap en technologie in de zeventiende- en begin achttiende eeuw behandelen of het 'nut van de wetenschap' zoals deze traditioneel werd gebruikt evalueren. Of Hall in 1983 geweten heeft van Shapins *Social Uses of Science* bij het schrijven van *The Revolution in Science 1500–1750* en ervoor gekozen heeft om de sociale aspecten van het experiment niet toe te voegen bij zijn herschreven boek over de wetenschappelijke revolutie is niet te zeggen. Shapin verwijt in *Social Uses of Science* historici dat ze stellen dat de sociale aspecten los gezien kunnen worden van de wetenschap en dat deze vermeden in plaats van beschreven worden⁶⁴ Over dergelijke historiografie, zoals misschien ook wel *The Revolution in Science 1500–1750* van Hall schrijft Shapin: “God said “Let Newton be”, and all was light’ is passable poetry, but lazy historiography.”⁶⁵ Zo kan, volgens Shapin, in een evaluatie van de newtoniaanse natuurfilosofie de politiek vanaf 1680 tot begin achttiende eeuw niet ontbreken. We zagen in hoofdstuk 3 al dat volgens Schuster en Watchirs in *Natural Philosophy, Experiment and Discourse* er voor het beschrijven van de status van het experiment eind zeventiende en de achttiende eeuw gekeken moet worden naar de opkomst van de experimentele natuurfilosofie aan het eind van de zeventiende eeuw. Shapin beargumenteert in *Social Uses of Science* dat de correcte vraag voor de geschiedschrijving van deze periode gaat over de sociale condities waarin

⁶⁰Hall 1983 p. 271

⁶¹Shapin 1980

⁶²Burke 1983

⁶³Burke 1983 p. xi

⁶⁴Shapin 1980 p. 94

⁶⁵Shapin 1980 p. 95

de newtoniaanse natuurfilosofie ontstond. Zo was volgens de natuurfilosofen uit de zeventiende eeuw de sociale betekenis van hun natuurfilosofie belangrijk en waren natuur en maatschappij sterk met elkaar verbonden. Daarnaast waren er, aldus Shapin, grote verschillen tussen de natuurfilosofieën van groepen met verschillende sociale ideeën: “groups with conflicting social interests developed and sustained interestingly different natural philosophies; moreover, these philosophies were often produced explicitly to combat and refute those of rival groups.”⁶⁶ Deze sociale en ook de politieke context van het ontstaan van de natuurfilosofie werd in 1980 in het algemeen nog niet gezien als een noodzakelijke aanpak. Deze aanpak is er wel geweest met betrekking tot de metafysische en religieuze context van de wetenschappelijke revolutie, maar deze is volgens Shapin niet geplaast in de overkoepelende sociale en culturele context. Historici die keken naar de metafysische en religieuze context vonden dat er voor de natuurfilosofen zelf geen sterke scheiding was tussen natuurfilosofie en religie. Volgens Shapin is er door historici zelf een dergelijke grens wel ontstaan tussen religieuze en politieke context, maar: “Whether such boundaries between religion and political concerns in fact represent actors’ categories of thought seems doubtful. In the case of Boyle’s writings, it now appears quite certain that they do not, and in the case of Newton increasingly unlikely”.⁶⁷ Het is niet zo dat historici beargumenteerd hebben dat sociale en politieke invloeden niet belangrijk zijn, deze context werd gewoonweg niet behandeld, en als deze al genoemd werd was het in een voetnote of kanttekening. Niet alleen de sociale aspecten zijn verwaarloosd, Shapin stelt dat ook het belang van het technologische en praktische nut van wetenschappelijke kennis tijdens de wetenschappelijke revolutie erg is onderschat. De belangrijkste conclusie die Shapin vervolgens trekt is: “there is no empirical support for the view that scientific knowledge is ‘first’ generated in a disembodied context of pure contemplation, and ‘then’ put to practical, technical and social uses”⁶⁸ In één van de essays in *The Uses of Science in the Age of Newton* stelt Richard Westfall dat de wetenschappelijke revolutie, niet gestuurd werd door externe invloeden, maar door interne factoren.⁶⁹ Het is dan ook niet verassend dat Westfall door Shapin wordt genoemd in *Sociale Uses of Science* als een historicus die de het sociale nut van wetenschap los ziet van de productie van deze wetenschap.

We hebben al gezien hoe volgens Shapin enkele sociale aspecten een rol speelden bij Boyle en zijn luchtpomp experimenten. We zagen bijvoorbeeld in hoofdstuk 2 dat bij Boyle de manier van communiceren over het experiment erg belangrijk was en in hoofdstuk 4 zagen we dat het bij het repliceren van een luchtpomp sociale conventies van belang waren. In *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*⁷⁰ gaat Shapin verder in op rol die de sociale factoren hadden en hoe de sociale context eruit zag in Engeland tijdens de wetenschappelijke revolutie en maakt hierbij weer gebruik van Boyle als voorbeeld. De nieuwe verschijnselen die in de zeventiende eeuw werden waargenomen door middel van experimenten, bracht het probleem van autoriteit en geloofwaardigheid met zich mee dat er in het aristotelisme niet was⁷¹. In het aristotelisme werden voor het verkrijgen van kennis over de natuur alleen de verschijnselen gebruikt die algemeen bekend waren. De natuurfilosoof sprak over verschijnselen die door iedereen geloofd werden of gemakkelijk zelf gezien konden worden. In de zeventiende eeuw veranderde dat met de komst van instrumenten zoals de telescoop en nog meer met de ‘actieve’ instrumenten zoals de luchtpomp die verschijnselen maakte die in de natuur niet aanwezig waren. Deze nieuwe verschijnselen konden anderen niet zomaar waarnemen en dus was het aan de experimentator om zichzelf geloofwaardig te maken. Eén van de manieren waarop

⁶⁶Shapin 1980 p. 101

⁶⁷Shapin 1980 p. 108

⁶⁸Shapin 1980 p. 133

⁶⁹Burke 1983 p. xviii

⁷⁰Shapin 1994

⁷¹Zie ook hoofdstuk 2

dit probleem opgelost werd is, aldus Shapin in *A Social History of Truth*, het zijn van een gentleman. Het was als experimentator belangrijk om een bepaalde identiteit aan te nemen, om op die manier geloofwaardigheid te krijgen over de resultaten van de experimenten. Dit was precies wat Boyle deed door levensstijl en manier van communicatie. Boyle had autoriteit omdat hij een gerespecteerde experimentator, christen en vooral ook een gentleman was. Van een gentleman werd gedacht dat hij niet zou liegen, een gentleman was immers een integer persoon. Dat Boyle gezien werd als gentleman blijkt uit wat tijdgenoten over hem schreven: “He could neither lie, nor equivocate” en “What comes forth in the name of Mr. Boyle, and is genuinely his, needs no farther recommendation”⁷². Volgens Shapin maakte het zijn van een gentleman van Boyle een “transparant spokesman for reality”.⁷³

6 Conclusie

In het vorige hoofdstuk hebben we gezien dat A. Rupert Hall in *The Revolution in Science 1500–1750* uit 1983 de experimenten in de zeventiende eeuw nauwkeurig beschrijft. Deze manier van beschrijven gaat echter niet in op de sociale factoren die een rol speelden bij het doen van deze experimenten en de problemen met het algemeen vaststellen dat de resultaten van deze experimenten feiten waren. In *Social Uses of Science* uit 1980 bekritiseert Steven Shapin het gebrek hieraan in de historiografie van de opkomst van de experimentele natuurfilosofie. Het is mogelijk dat Hall dit artikel van Shapin heeft gelezen in *The Uses of Science in the age of Newton* van John Burke, maar enige invloed van Shapin met betrekking tot het experiment is niet terug te vinden in *The Revolution in Science 1500–1750*. Shapin laat zien dat de sociale aspecten niet los gezien kunnen worden van de wetenschap en deze moeten dus ook behandeld worden. In 1984 is dit precies wat Shapin zelf doet in *Pump en Circumstance: Robert Boyle’s Literary Technology* waarin hij behandelt hoe deze aspecten een rol speelden bij Boyle en zijn experimenten met de luchtpomp. Dit artikel is een greep uit *Leviathan and the Air-pump* van Shapin samen met Simon Schaffer een jaar later gepubliceerd in 1985. Dit werk wordt gezien als het belangrijkste werk van Shapin en in de meeste werken over de wetenschappelijke revolutie en het experiment, en zeker in de werken over de experimentele traditie in Engeland en Boyle, wordt naar dit werk verwezen. Een voorbeeld hiervan is *Discipline & Experience* waarin Peter Dear deze invloed erkent. Deze invloed is bij hem terug te vinden in de beschrijving van de interactie van Newton en Boyle met de Royal Society. Dear legt echter meer nadruk op de belangrijke stappen die Boyle niet, maar Newton wel maakte voor de ontwikkeling van de experimentele natuurfilosofie. In *Pump en Circumstance* noemt Shapin juist dat Boyle van experimentele feiten natuurfilosofische waarheden probeerde te maken, de stap die volgens Dear door Newton wordt gemaakt.

Willem Hackman beargumenteert in *Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery* uit 1989 het belang van het instrument tijdens de ontwikkeling van de experimentele natuurfilosofie. In *Leviathan and the Air-pump* is deze belangrijke rol terug te vinden bij de luchtpomp. Naast dat de luchtpomp een nieuwe technologische verdienste was, zorgde deze ook voor nieuwe manieren waarop over experimenten gecommuniceerd werd en veranderde deze de rol van het instrument. De problemen met het herhalen van de luchtpomp experimenten en het maken van de luchtpomp zelf leidden tot een vicieuze cirkel, de oplossing lag in de manier van schrijven over de experimenten, maar ook in de persoonlijke sociale interactie. In 1989 laat Schaffer in *Glass Works: Newtons Prisms and the uses of experiment* zien dat dezelfde proble-

⁷²Shapin 1994 p. 191

⁷³Shapin 1994 p. 192

men er waren bij de experimenten van Newton met zijn prisma's.

Er was echter ook kritiek op de manier waarop Shapin en Schaffer in *Leviathan and the Air-pump* de discussie tussen Boyle en Hobbes behandelen. In *Natural Philosophy, Experiment and Discourse: Beyond the Kuhn/Bachelard Problematic* uit 1990 leggen John Schuster en Graeme Watchirs nadruk op de rol van de ontwikkelingen in het ontstaan van de experimentele natuurfilosofie. Volgens Schuster en Watchirs kan deze ontwikkeling niet beschreven worden aan de hand van een enkele discussie, maar moet gekeken worden naar het geheel. Ook de sociale invloeden op de ontwikkeling van de experimentele natuurfilosofie krijgen bij Schuster en Watchirs niet de grote rol die deze in *Leviathan and the Air-pump* heeft.

In *A Social History of Truth* uit 1994 gaat Shapin juist nog verder in op de sociale aspecten van het experiment tijdens de zeventiende eeuw en in het bijzonder de experimenten van Boyle en wat het betekende om een gentleman te zijn. Twee jaar later in 1996 publiceert Shapin *The Scientific Revolution* een algemene behandeling van de wetenschappelijke revolutie die niet zozeer de nadruk legt op Boyle. De rol van ervaring in de zeventiende eeuw die Shapin in *The Scientific Revolution* beschrijft komt overeen met de manier waarop Dear deze beschreef in *Discipline & Experience* alleen dan zonder de voorbeelden van Arriaga, Cabeo en Riccioli. De nieuwe rol van ervaring die Dear beschrijft, waarbij het noodzakelijk was dat de verschijnselen vaak en door meerdere personen werden waargenomen, waren de eerste stappen naar een nieuwe rol voor het experiment en de experimentele natuurfilosofie. In *The Scientific Revolution* is dit ook bij Shapin het geval; eerst veranderde de rol van de ervaring voor het vaststellen van feiten, gevolgd door het experiment en hoe daarmee feiten gemaakt konden worden. De wisselwerking tussen Shapin en Dear is ook weer terug te vinden in *Revolutionizing the Sciences: European Knowledge and Its Ambitions, 1500 – 1700* van Dear uit 2001. Waarbij de indeling die Shapin hanteert in *The Scientific Revolution*, en die Shapin het enige originele noemt, in enige mate terug te vinden bij Dear. Zo lijken de vragen 'What Was Known?' en 'How Was It Known?' uit the Scientific Revolution sterk op 'What was worth knowing' en 'How To Learn Things About Nature in the Seventeenth-Century' uit *Revolutionizing the Sciences*. Shapin heeft duidelijk een grote invloed gehad op de historiografie van het experiment tijdens de wetenschappelijke revolutie. Shapins beschrijvingen van hoe de sociale aspecten een rol speelden bij de experimenten van Boyle zijn terug te zien bij historici vanaf de jaren 80, maar ook werden deze bekritiseerd. Vooral na *Leviathan and the air-pump* is bij historici de erkenning dat sociale invloeden van belang zijn bij het beschrijven van het ontstaan van de experimentele natuurfilosofie gegroeid.

Referenties

- [1] Burke, John G. . *The Uses of science in the age of Newton*. University of California Press. 1983
- [2] Dear, Peter. *Discipline & Experience: the mathematical way in the scientific revolution*. The University of Chicago Press. 1995
- [3] Dear, Peter. *Revolutionizing the Sciences: European knowledge and its ambitions, 1500 – 1700*. Princeton University Press. 2009. First W.D. Hackmann edition published in 2001
- [4] Duhem, Pierre. *The aim and structure of physical theory*. Translated by Wiener, Philip P. Princeton University Press. 1954.
- [5] Galison, Peter. *How Experiments End*. The University of Chicago Press. 1987.
- [6] Hackmann, W.D. . *Scientific Instruments: Models of Brass and aids to discovery*. In *The uses of experiment: studies in the natural sciences*. Edited by D. Gooding, T Pinch & S. Schaffer. Cambridge University Press. 1989
- [7] Helden, Albert van. The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550 – 1700. In Burke, John G. *The Uses of science in the age of Newton*. University of California Press. 1983
- [8] Hall, A. Rupert . *The Revolution in Science 1500–1750*. Longman Group Ltd. 1983. Original version published in 1954.
- [9] Schaffer, Simon . *Glass Works: Newtons Prisms and the uses of experiment*. In *The uses of experiment: studies in the natural sciences*. Edited by D. Gooding, T Pinch & S. Schaffer. Cambridge University Press. 1989
- [10] Schuster, John A. & Watchirs, Graeme. Natural Philosophy, Experiment and Discourse: Beyond the Kuhn/Bachelard Problematic. In Le Grand, H.E. *Experimental Inquiries: Historical, Philosophical and Social Studies of Experimentation in Science*. Kluwer Academic Publishers. 1990
- [11] Shapin, Steven. *Social Uses of Science*. In *The Ferment of Knowledge: Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science*. Edited by S Rousseau & R Porter. Cambridge University Press. 1980. pp. 93–139
- [12] Shapin, Steven. Pump and Circumstance: Robert Boyle’s Literary Technology. *Social Studies of Science*. Vol. 14. No. 4.. 1984. pp. 481–520.
- [13] Shapin, Steven. & Schaffer, Simon *Leviathan and the air-pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University Press. 2011. First edition published in 1985
- [14] Shapin, Steven. The House of Experiment in Seventeenth-Century England. *Isis*. Vol. 79. No. 3.. 1988. pp. 481–520.
- [15] Shapin, Steven. *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*. The University of Chicago Press. 1994
- [16] Shapin, Steven. *The Scientific Revolution*. The University of Chicago Press. 1996
- [17] Westfall, Richard S. . *The scientific revolution reasserted*. In *Rethinking the Scientific Revolution*. Edited by Osler, Margaret J. . Cambridge University Press. 2000.