

HOOKE, NEWTON JA KYSYMYS VALON PERUSLUONTEESTA

JOUNI HUHTANEN

Sir Isaac Newtonin (1642–1727) maine tieteenharjoittajana perustui alkuaan hänen vuonna 1672 esittämään valoteoriaan, jonka perustana olivat hänen prismalla tekemänsä kokeet valon taitto- ja heijastusominaisuuksien osoittamiseksi. Tämä työ on sittemmin nähty modernin optiikan keskeisenä lähtökohtana, mutta teorian julkaisun aikoihin sen ensisijaisena tavoitteena oli pyrkimys osoittaa vääräksi kartesiolainen valoteoria. Kyseinen pyrkimys ajoi Newtonin voimakkaisiin vastaväitteisiin varsinkin Robert Hooken (1635–1703) kanssa. Seuraavassa tarkastellaan sitä, miten kiista eteni ja millaisia seurauksia sillä oli 1600-luvun lopun optiikan kehitykselle.

Isaac Newton tunnetaan erityisesti hänen luonnomekaniikkaa käsittelevästä pääteoksestaan *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687). Työ on tietehistoriallisessa mielessä merkittävä, mutta se ei sisällä juuri minkäänlaisia huomioita Newtonin valo-opista. Newton oli monipuolinen tieteenharjoittaja, hän oli jo huomattavan varhain vuodesta 1664 lähtien kiinnostunut muun muassa optiikasta ja korpuskularistisesta (atomistisesta) aine teoriasta sekä lisäksi monista alkemian alaan liittyneistä ongelmista. *Principia* oli perustavanlaatuinen yritys löytää luonnomekaniikalle täsmällinen matemaattinen ilmaus, mutta Newtonin varhaisimmat tunnetut optiikan alan muistiinpanot ”Of Colours” todistavat hänen etsineen samansuuntaista matemaattista esitystapaa myös optiikalle ja aine teorialle. Muistiinpanot sisältävät merkittäviä huomioita valon taitto- ja heijastusominaisuuksien selvittämiseksi.¹

Tämä antaa aiheen olettaa, että Newton oli jo varhaisessa vaiheessa kiinnostunut menetelmällisistä yrityksistä liittämään kokeelliset ja matemaattiset ilmentymät yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Jonkinlaisen käsityksen Newtonin tieteellisestä monipuolisuudesta saa tutkimalla hänen ”ihmeelliseksi vuosiksi” (*annus mirabilis*) kutsuttua kehitysvaihettaan sekä hänen itsensä kyseisistä vuosista antamaansa lausuntoa. Newton oli Cambridgen yliopiston Trinity Collegesta vuonna 1665 valmistuttuaan ja sen jälkeen kotiinsa Lincolnshireen palattuaan työskennellyt kyseisen ja seuraavan vuoden erittäin intensiivisesti optiikan, mekaniikan, painovoiman ja infinitesimaalilaskennan parissa. Paluu Lincolnshireen oli välttämätön, koska Lontoossa riehunut paiserutto oli levinnyt Cambridgeen ja yliopisto jouduttiin sulkemaan.²

Omien sanojensa mukaan Newton oli löytänyt vuoden 1665 alussa menetelmän binomijakaumien laskemiseksi ja saman vuoden toukokuussa tangenttilaskujen menetelmän. Tämän jälkeen marraskuussa hän löysi menetelmän fluxioneille³, ja vuoden 1666

tammikuussa löytyi teoria väreille ja toukokuussa puolestaan fluksionien käänteislukujen laskemisen menetelmä. Samana vuonna hän alkoi pohtia myös Maan ja Kuun välistä vetovoimaa ja huomasi pian Keplerin lakeja apuna käyttäen veto- ja työntövoimien toimivan vastavuoroisesti ja planeettojen pysyvän gravitaatiovoiman ansiosta radoillaan.⁴

Tietävästi Newton oli 1670-luvun alkuun tullessa löytänyt monet matemaattiset menetelmänsä ja optiikanteoriansa keskeiset perusteet, mutta edellä esitettyyn varhaiskauden kuvaukseen on syytä suhtautua varauksellisesti. Todennäköisesti hänen varhaiskautensa tutkimukset sisälsivät monia merkittäviä hahmotelmia fysiikan ja mekaniikan kehittämiseksi, mutta hän tuntui liioittelevan saavutuksiaan selostaessaan niitä myöhemmin matemaattisissa papereissaan. Tosiasiassa hän ei ollut kyennyt saattamaan kyseisiä tutkimuksia lopulliseen muotoonsa ainakaan puheena olevan reilun puolentoista vuoden aikana. Newtonin laatiesä esimerkiksi 1680-luvulla käsikirjoitustaan ”De motu corporum in gyrum” (1684) hänellä ei ollut vielä täydellistä käsitystä painovoimasta.⁵

Ensimmäiset vakavat yritykset jonkinlaisen aine teorian hahmottelemiseksi Newton teki opiskellessaan Cambridgessä ja tutustuessaan tuolloin muun muassa Walter Charletonin (1619–1707) tutkimukseen *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana* (1654). Newton hyväksyi kyseisen tutkimuksen innoittamana jo suhteellisen varhaisessa vaiheessa ajatuksen luonnon materiaalisuudesta ja pyrki palauttamaan kaikki luonnossa vaikuttavat voimat aineellisten partikkelien keskinäisiin liikesuhteisiin.⁶ Charletonin tutkimuksen lisäksi jonkinlaista roolia Newtonin ajattelun kehityksessä näytteli muun muassa cambridgelaisen platonistin Henry Moren (1614–87) *Immortality of the Soul* (1659), mutta tietävästi tämän vaikutus oli epäsuorempi ja kohdistui pikemminkin Newtonin mekanistiseen filosofiaan kuin varsinaiseen aine teoriaan.⁷

nimitti ”fluenteiksi” (*fluents*). (Ks. Newton 1967, 344, 382–389; Newton 1976, 24–35, 64–65.)

1 University Library Cambridge (ULC), Portsmouth Collection MS Add. 3975: Notebook containing notes and experimental reports, mostly in English with some Latin and Greek, c. 1664–1696, 1–22.

2 Westfall 2010, 141–142.

3 Newton tarkoitti ”fluksioneilla” (*fluxions*) $x:n$ ja $y:n$ vaaka- ja pystysuoran nopeuksia, joita hän merkitsi aluksi symboleilla p ja q (myöhemmin hän alkoi käyttää pisteitä kyseisten koordinaattien päällä, eli $x = p$ ja $y = q$). *Integraaleja hän puolestaan*

4 University Library Cambridge (ULC), Portsmouth Collection MS Add. 3968: Papers relating to the dispute respecting the invention of fluxions, 1665–1727, 41.

5 University Library Cambridge (ULC), Portsmouth Collection MS Add. 3965: Papers connected with the Principia (mostly holograph), 1686–1725, 55–62.

6 Home 1993, 194.

7 Westfall 2010, 96–97.

Newton työskenteli kärsivällisesti aineen, voiman ja eetterin kysymysten parissa 1660-luvulta lähtien, mutta hänen tutkimustensa ongelmana tuntui olevan se, että ne etenivät paikoin huomattavan hitaasti. Osaltaan tämä johtui siitä, että hän työskenteli useiden kysymysten parissa samanlaisesti ja siirtyi aiheesta toiseen verrattain nopeasti saamatta juuri mitään kerralla valmiiksi. Vaikka hän aloitti esimerkiksi optiikan ja siihen liittyvän aine-teorian kehittelyn viimeistään vuoden 1666 alussa, eivät optiikan tutkimukset seuranneet toisiaan johdonmukaisesti, vaan hän käytti paikoin huomattavan paljon aikaa muihin tutkimuksiinsa. Newtonin vuonna 1672 raportoitu uusi valoteoria oli pitkän tutkimustyön tulos, mutta hän ei tuonut tätä tutkimuksessaan kovin näkyvästi esiin ilmeisesti siksi, että halusi suojella teoriaansa ja korostaa sen uutuusarvoa.⁸

Jonkinlainen murros Newtonin optiikan tutkimuksissa tapahtui 1660-luvun lopulla hänen tultuaan nimitetyksi Cambridgen yliopiston Lucasian professoriksi. Vuoden 1666 alussa hahmoteltu luonnos väreille muodosti suhteellisen johdonmukaisen alun Newtonin valoteorian kehitykselle, mutta hän tarkensi käsityksiään optiikasta merkittävästi aloitettuaan professorin viran ja siihen liittyneiden luentojen hoitamisen vuonna 1669. Newton piti kuuluisat matematiikkaa ja optiikkaa käsittelevät ”lukusialaiset luentonsa” ensimmäisen kerran lukukaudella 1669–70, minkä jälkeen hän luennoi optiikasta vielä vuosina 1671 ja 1672. Oppituolin nimellisenä alana oli matematiikka, mutta ilmeisesti Newton halusi seurata luennoissaan edeltäjänsä Isaac Barrowia (1630–77), joka oli esitelmöinyt optiikasta laajasti ja pyrkinyt kehittämään kyseistä tutkimusalaan ankaran matemaattisen ilmaisutavan suuntaan.⁹

Newton oli kuunnellut Barrowin luentoja jo vuonna 1664 ja omaksunut tuolloin jonkinlaiset perusteet soveltaa matematiikkaa fysiikan tutkimukseen. Myöhemmissä luennoissaan Barrow oli yrittänyt tarjota valon taitto- ja heijastusominaisuuksille täsmällisen geometrisen muotoilun, mutta ymmärtänyt valon taittumisen matemaattisessa mielessä väärin. Newton katsoi, että Bar-

rowin keksinnöt vaativat tältä osin kokeellista tarkentamista.¹⁰ Optiikka oli Newtonille perustavalla tavalla matemaattinen tiede samalla tavalla kuin mekaniikka, ja käytännössä hän vaati, että optiikan tuloksien tuli perustua täsmällisiin koeasetelmiin ja asianmukaisiin matemaattisiin mittatuloksiin.

Optiikka ei ollut kuitenkaan 1600-luvulla samanlainen kokeellis-matemaattinen luonnontiede kuin nykyisin. Newton ei ymmärtänyt valon luonnetta samalla tavalla sähkömagneettisena säteilynä kuin nykyfyysikot eikä hänen aikansa tiede tuntenut esimerkiksi valon aallonpituuden käsitettä. Niin ikään Newton ei ymmärtänyt sini- ja punasiirtymien roolia fysiikassa, mutta hänellä tuntui olevan jonkinlainen käsitys sinisen ja punaisen spektrin keskeisestä asemasta optiikassa.¹¹ Nämä seikat on syytä ottaa huomioon lähdeettäessä tarkastelemaan Newtonin optiikan perusteita sekä Newtonin ja Robert Hooken välisen opillisen kiistan kehityskulkua.

Newtonilaisen ja kartesiolaisen valoteorian lähtökohtia

Hooken ja Newtonin välisen kiistan lähtökohdan muodosti ensin mainitun edustaman aaltoteorian ja jälkimmäisen edustaman korpuskularismin välinen vastakkainasettelu. Aaltoteoria perustui René Descartesin (1596–1650) ja tämän kannattajien (eli kartesiolaisten) yrityksiin selittää värit valkoisen valon yhdenmukaisella taittumisella. Käsityksen perustana oli uskomus siitä, että värit muodostuivat valon kulkiessa eetterin (väliaineen) läpi.

Newton suhtautui jo alkuvaiheessa huomattavan kriittisesti tähän ajatukseen. Descartes piti paineen muutoksesta johtuvaa sykäyksellisyyttä valon perusominaisuutena ja uskoi värien syntyvän näin käyttäytyvän säteen ja eetterin välisessä mekaanisessa vuorovaikutuksessa. Väliaine muodostui yksittäisistä, kaikkialle leviävistä partikkeleista, jotka vastustivat säteen kulkua ja pyörähtivät säteen vaikutuksesta väliaineessa tuottaen siten spektrin eri sävyt. Väliaineen synnyttämän kitkan ollessa pienimmillään oli valolla taipumus taittua punaiseen ja kitkan ollessa suurimmillaan siniseen.¹²

8 Hall 1993, 35.

9 Iliffe 2004, 432.

10 Newton 1729, 77–81.

11 Shapiro 1992, 217; Shapiro 1993, 56.

12 Fara 2015, 3.

Teorian tunnetuin muotoilu löytyy Descartesin *Discours de la méthode*n liitteestä *La dioptrique* (1637). Käsitys perustui lähinnä kinemaattiseen tulkintaan, jonka mukaan valo kulki tiheässä väliaineessa (esimerkiksi lasissa) nopeammin kuin ohuessa väliaineessa (esimerkiksi ilmassa tai vedessä). Ongelmana oli kuitenkin se, ettei Descartes onnistunut tarjoamaan tälle juuri minkäänlaista teoreettista selitystä. Käsityksen ongelmat johtuivat pääosin siitä, ettei hän ollut tutkinut valon perusominaisuuksia ankaran empiirisesti, vaan johtanut ne osin intuitiivisten päätelmien ja metafysisien oletusten avulla. Newton arvosteli Descartesin käsityksiä ensimmäisen kerran varsinaisesti vasta optiikan luennoissaan, mutta todennäköisesti hän oli perehtynyt tämän teeseihin jo verrattain varhain 1660-luvun puolivälissä kirjastoonsa kuuluneen Descartesin teoksen avulla.¹³

Descartesin käsitykseen sisältyi merkittäviä ongelmia teorianmuodostuksen ja kokeellisen todentamisen osalta, mutta vähintään yhtä ongelmallinen oli Hooken teoria, jonka hän oli esittänyt laajasti erilaisia mikroskooppisia sovelluksia sisältävässä tutkimuksessaan *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon* (1665). Hooke oli kartesiolainen ja katsoi värien muodostuvan eri tavoin sävyttyneiden partikkelien levitessä transparentissa väliaineessa ja pyörähtäessä eri asentoihin sykäyksenkaltaisen säteen osuessa niihin. Erona Descartesin teoriaan oli kuitenkin se, että Hooke uskoi punaisen värin muodostuksen vaativan säteeltä hidasta liikettä (suurta kitkaa) ja sinisen muodostuksen nopeaa liikettä (pientä kitkaa) väliaineessa.¹⁴

Teorian lähtökohtana oli yritys tarjota asianmukainen tulkinta valon taittumiselle, mutta sii-

hen sisältyi yhtä hypoteettisia oletuksia kuin Descartesin tuloksiin. Hooke tutki taittumista veden pintaan osuvan säteen avulla ja uskoi, että säteen taipuessa veteen sinisen spektri voitiin havaita eri pisteessä kuin punaisen spektri. Kyseinen havainto antoi mahdollisuuden hahmottaa valopulssinomaisena kineettisenä liikkeenä, jossa jokainen heikompi sykäys synnytti vaikutelman sinisestä väristä ja jokainen voimakkaampi sykäys vaikutelman punaisesta väristä.¹⁵ Newton ei koskaan spekuloinut, että valolla voisi olla tällainen jaksoittaiseen värähtelyyn perustuva ominaisuus. Pikemminkin hän katsoi säteen käyttäytyvän perustavien mekaniikan lakien mukaisesti siten kuin hän oli jo varhaisissa hahmotelmissaan todennut.¹⁶

Edellä esitetyn lisäksi Hooke yritti tarjota asianmukaisen selityksen värien sekoittumiselle. Käsitys oli valon taittumista kuvaavan opin tavoin huomattavan hypoteettinen, mutta se erosi monista oman aikansa selostuksista siinä, että Hooke pyrki löytämään käsitykselleen ainakin jonkinlaisen kokeellisen todistuksen tutkimalla helmien, saippuakuplien, vesipisaroiden ja muiden vastaavien ”värittömien” aineiden pintarakenteita mikroskooppisesti. Kyseisten aineiden pinnalla heijastuvaa valoa riittävän tarkasti tutkittuaan hän tuli siihen tulokseen, etteivät värit muodostaneet selkeitä rajapintoja, vaan olivat yhtymäkohdiltaan epämääräisiä. Toisin sanoen niiden rajat olivat liukuvia ja ne muodostivat helposti toisiinsa sekoittuvia uusia värejä.¹⁷ Hooken mukaan kyseinen ilmiö selittyi ainakin osaltaan sillä, että vesipisaran kaltaiset ainekset taittoivat valoa läpäisemällä osan ja heijastamalla osan takaisin, mutta Newtonin mukaan Hooken muotoilu nojasi huomattavan epävarmaan hypoteettiseen selitykseen eikä ollut sellaisenaan kovin todistusvoimainen.¹⁸

Tietävästi Newtonin vastenmielisyys Des-

13 Newton ei lukenut Descartesin tekstejä ranskaksi, kyseessä oli latinankielinen kokoomateos *Geometria, à Renato Des Cartes anno 1637 Gallèe Edita* (1649; Hall 1993, 9). Descartesin ansiot olivat lähinnä siinä, että hän antoi tanskalaisen fyysikon Erasmus Bartholinin (1625–98) ohella alankomaalaisen matemaatikon Willebroad Snellin (1580–1626) mukaan nimetylle Snellin laille formaalin matemaattisen muodon ($\sin i / \sin r = k$) (Heilbron 2001, 130–131; Bechler 1973, 3–5). Descartes esitti teorialle mekanistisen muotoilun, mutta ongelmana oli se, että hän tutki valon ja näkösäteiden välistä yhteyttä osin fysiologisena tapahtumana ja uskoi valon olevan materiaallinen ärsyke aistielimessä. Tällöin kappale välitti säteen tai ”impulssin” ja tuotti aistihavainnon silmässä. (Hall 1993, 7–8.)

14 Hooke 1665, 68; ks. myös Shapiro 1993, 102–103.

15 Kohta on hieman hämärä, mutta itse ilmiö on helppo havaita auringonsäteiden osuessa esimerkiksi rantaveden altoihin. Hooke saattoi tehdä havaintonsa jonkin luonnonvesistön rannalla, jolloin pienikin aaltoilu pääsi vaikuttamaan veteen osuvan valon käyttäytymiseen. Hän ei väittänyt, että säde tai väliaine olisi ollut sinänsä punainen tai sininen, vaan hän puhui ihmisen havaintokyvystä ja uskoi vedestä vinosti havaittavan silmään osuvan valon tuottavan verkkokalvolla vaikutelman sinisen ja punaisen värin vuorottelusta. (Ks. tarkemmin Hall 1993, 18–19.)

16 Smith 2008, 205–206.

17 Hooke 1665, 48–49.

18 Smith 2008, 201.

cartesin ja Hooken esittämiä muotoiluja kohtaan oli syntynyt jo vuoden 1664 tai 1665 alkupuolella hänen opiskellessaan vielä Cambridgessa. Hän oli laatinut tuolloin laajat muistiinpanot Hooken *Micrographiasta* ja hyökännyt niissä erityisesti valon aaltoluonnetta vastaan. Keskeinen ongelma koski kysymystä siitä, miksi valo (sikäli kuin sen ajateltiin olevan eetterin värähtelyä) ei kynnnyt kääntämään kulkusuuntaansa samalla tavalla kuin ääniaalto, ja edelleen, mikä saattoi selittää sen, että heikko impulssi säilytti kulkusuuntansa vakaana huolimatta siitä, että sitä seurasi aina säännöllisesti voimakkaampi impulssi.¹⁹ Voimakkaamman sykäyksen olisi ilmeisesti pitänyt horjuttaa heikomman sykäyksen liikettä. Newtonin omien havaintojen mukaan näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan säde vaikutti kulkevan aina luoti-suoran linjan mukaisesti.

Keskeisen ongelman Hooken valon sykäyksiin ja niiden jaksottaiseen toistuvuuteen perustuvassa teoriassa (*pulse-frequency theory*) muodosti se, ettei se tarjonnut todellista kvantitatiivista selitystä värien muodostukselle. Hooke oli uskonut värien muodostuksen olleen ”dualistisen” tapahtuman, jossa kaikki värit syntyivät punaisen ja sinisen sekoituksena siten, että väliaine osallistui keskeisesti värien tuottamiseen edellä esitetyn mekanismin mukaisesti. Teoria vaati lähtökohtaisesti sekoittumattomien perusvärien ja toisiinsa sekoittuvien yhdistelmävärien erottamista toisistaan. Täysin selväksi ei kuitenkaan käynyt se, miten valkoisen valon sykäykset riittivät tuottamaan ensin sinisen ja punaisen perusvärit ja tämän jälkeen keltaisen, violetin ja vihreän yhdistelmävärit säteen kulkiessa väliaineen läpi.²⁰ Teoria oli empiirisen todennettavuutensa suhteen huomattavan heikko.

Newtonin teoria poikkesi näistä muotoiluista perustavalla tavalla siinä, että se väitti spektrin muodostavan rajattoman muuntelun violetin ja punaisen välille, mutta vaativan kuuden keskeisen värin olemassaoloa. Näin muodostuneet värit olivat todellisia fysikaalisia olioita, jotka saivat perimmäisen muotonsa spektriin sisältyvistä yk-

sittäisistä säteistä. Newton oli ajatellut jo vuonna 1665 tekemiensä alustavien havaintojen nojalla, että värit olivat valon yksi keskeinen fysikaalinen ominaisuus, eivät väliaineen aiheuttamaa taittumaa.²¹ Optiikan luennoissaan hän esitti ensimmäisen kerran vakavassa mielessä teorian sille, että värit eivät voineet kadota, lisääntyä tai muuttua toiseksi heijastumisen tai taittumisen ansiosta. Tämä päti kaikelle valolle ja se voitiin todistaa täysin selvästi erottamalla yhteenkietoutuneet eriväriset säteet toisistaan prisman avulla.²²

Prismalla suorittamisissaan kokeissa Newton teki lisäksi toisen valon hiukkasteorian ja spektroskopian suhteen merkittävän havainnon huomattessaan, että kahden prisman läpi heijastettu valkoinen valo säilytti perimmäisen luonteensa ensimmäisen prisman hajottaessa valon spektriiksi ja jälkimmäisen koostaessa sen takaisin yhtenäiseksi valkoiseksi valoksi. Tästä muodostui Newtonin valoteorialle keskeinen ”ratkaiseva koe” (*experimentum crucis*), joka näytteli sittemmin merkittävää roolia hänen vuoden 1672 paperissaan.²³ Newton oli hahmotellut kyseistä koetta jo edellä mainituissa ”Of Colours” -nimeä kantavissa muistiinpanoissaan, mutta tietävästi hän esitti sen ensimmäisen kerran jokseenkin täydellisessä muodossaan vasta ensimmäisissä, vuonna 1669 pitämässään optiikan luennoissa.²⁴

Kiista puhkeaa

Varsinainen kiista Newtonin ja Hooken välille puhkesi vuonna 1672 ja sen perustana oli Newtonin helmikuussa *Philosophical Transactionsissa* julkaistun artikkelin ”A Letter of Mr. Isaac Newton, Mathematick Professor in the University of Cambridge, Containing his New Theory about Light and Colours” (1672). Tekstin tarkoituksena oli esitellä New-

21 Hall 1993, 18–20.

22 Newton 1729, 117–119. Newtonin käsityksen mukaan kaikki valkoisen valon ”komponentit” olivat atomistisia, ne olivat mittaamattoman pieniä eivätkä muuttaneet fysikaalista luonnettaan koskaan toiseksi. Näistä kappaleista muodostuneet säteet jakautuivat prismassa lukemattoman moninaisiksi säteiksi, vaikka ihmisen silmän erottelu kyky havaitsi ne vain kuuden sateenkaaresta tutun sävyn mukaisena spektriasteikkona. Hooken oppi oli pyrkinyt parantamaan kokeellista tutkimusta ja kehittännyt osaltaan aikaisempaa parempia mikroskooppisia havaintoja, mutta se oli riittämätön ja käsittämätön selittäessään valon taittumisen yksivärisen valkoisen valon avulla. (Iliffe 2004, 438.)

23 Hall 1996, 69–71; Westfall 2010, 214–215.

24 Newton 1729, 117–125; Bechler 1973, 2–3.

19 University Library Cambridge (ULC), Portsmouth Collection MS Add. 3958: Early Papers by Newton, 1665–1672, 2; ks. myös Anstey 2004, 253; Hall & Hall 2009, 403.

20 Hooke 1665, 66–67; ks. myös Hall 1993, 19; Shapiro 1993, 55–56.

tonin kehittämän uuden valoteorian perusteet ja osoittaa valon taitto- ja heijastusominaisuuksille aikaisempaa täsmällisempi lähtökohta, mutta teksti oli muodoltaan huomattavan niukkasainen ja lyhyt ja monet sen keskeisistä väittämissä jäivät tästä syystä epäselviksi. Monien aikalaisten oli Hooken tavoin vaikea tai mahdoton seurata Newtonin selostusta tarkasti. Hooken esittämä kritiikki kohdistui merkittävältä osin väittämiin, jotka Newton oli jättänyt turhan epämääräisen dokumentoinnin varaan.

Newtonin teorian perustana toimi edellä mainittu ratkaiseva koe, mutta hän ei selostanut sitä juuri sen täsmällisemmin kuin optiikan luennoissaan. Koe oli keskeisiltä lähtökohdiltaan sama kuin luentomuistiinpanoissa: hän oli johtanut valonsäteen ensin yhden prisman läpi, mitannut spektriksi taittuneiden säteiden keskinäiset suhteet ja johtanut säteen lopuksi toisen prisman avulla takaisin yhtenäiseksi valkoiseksi valoksi. Himmennämällä huoneen riittävän hämäräksi ja käyttämällä sopivanlaista aukkoa (pienellä raolla varustettua himmenninlevyä) prisman edessä Newtonin oli onnistunut mitata eriväristen säteiden taittumet ja osoittaa, että valo koostui toisistaan täysin selvästi erottuvista ja eri tavoin taittuvista säteistä.²⁵

Newton oli käyttänyt mittauksissaan kuudenkymmenen asteen kulmalla varustettua prismaa ja saanut spektrin korkeudeksi $2 \frac{1}{3}$ tuumaa ja leveydeksi seitsemän tai kahdeksan tuumaa. Sinisen ja punaisen välimatka spektrissä oli $2 \frac{3}{4}$ tai kolme tuumaa sekä prisman ja heijastuspintana toimineen seinän keskinäinen etäisyys 260 tuumaa. Lisäksi hän oli laskenut prismassa taittuneiden säteiden sinikulmat ja saanut niiden vaihteluväliksi kahdestakymmenestä kolmeenkymmeneenyhteen kaariminuuttia. Kahden prisman kokeessa jokaisen yksittäisen, ensimmäisessä prismassa taittuneen säteen lähtökulma säilyi samana suhteessa jälkimmäisen prisman tulokulmaan.²⁶

Kyiseiset yksityiskohdat saattoivat olla monitulkintaisia ja kokonaisuuden suhteen osin jopa toisarvoisia, mutta teorian ymmärtämistä auttoi jonkin verran se, että Newton esitti tekstissään lopulta kolmetoistakohtaisen tiivistelmän keskeisis-

tä tuloksistaan. Kohdat sisältävät monin paikoin päällekkäisyyttä eikä niitä ole syytä käydä tässä läpi kokonaisuudessaan.²⁷ Newtonin perustavana lähtökohtana oli tutkia valon taitto-ominaisuuksia ja osoittaa kokeellisesti, että värien muodostus oli keskeisellä tavalla yhteydessä yksittäisten säteiden fysikaalisiin ominaisuuksiin. Näiden tekijöiden osoittaminen ei vaatinut minkäänlaisia hypoteettisia tai metafysisiä lisäoletuksia. Tulokset voidaan tiivistää seuraavaan neljään väittämään:

(a) yksittäinen valonsäde taittuu yhdenmukaisesti suhteessa sen väreihin ja tämä voidaan osoittaa täysin tarkkojen matemaattisten mittausten avulla; (b) tämä yhdenmukaisuus on muuttumaton; (c) perusvärit ovat muuttumattomia ja tasakoosteisia, yhdistelmävärit voidaan muodostaa niistä ja palauttaa tämän jälkeen uudelleen alkuperäisiin perusosiinsa; ja (d) valon heijastumisessa heijastava pinta palauttaa (emittoi) tietyt säteet (so. valon taajuudet) takaisin, mutta imee (absorboi) toiset itseensä. Tämä vaikuttaa keskeisesti heijastuvan valon laatuun.²⁸

Hooke tarttui näihin ongelmiin tekstissään ”Robert Hooke’s Critique of Newton’s Theory of Light and Colors” (1672), mutta kiistan tasapuolisuutta ajatellen ongelmana oli se, että teksti jäi aikanaan julkaisematta ja se painettiin vasta vuonna 1757 Thomas Birch’in (1705–66) ristiriitaisen vastaanoton saaneessa teoksessa *The History of the Royal Society of London* (4 vols., 1756–57). Newton pääsi vastaamaan Hooken esittämiin syytöksiin tuoreeltaan, koska Royal Societyn sihteeri Henry Oldenburg (1618–77) lähetti Hooken kirjelmän Newtonille asianmukaisesti muutaman päivän kuluessa Newtonin oman tekstin julkaisemisesta. Hooken teksti olisi pitänyt julkaista samassa numerossa Newtonin alkuperäisartikkelin kanssa tai viimeistään seuraavassa numerossa, mutta Royal Society jätti tämän tekemättä.²⁹

27 Ks. Newton 1672a, 3081–3085.

28 Hall 1993, 62.

29 Tapaus on herättänyt keskustelua sekä Oldenburgin että Royal Societyn asemasta kiistassa, mutta tutkijat eivät ole päässeet yksimielisyyteen tapausten kulusta. Erään varhaisen arvion mukaan Oldenburg suosi Newtonia tietoisesti ja loukkasi samalla Hookeä jättäessään tämän kirjelmän *Philosophical Transactionsissa* julkaisematta (Kuhn 1978, 38–39). Toisen arvion mukaan kysymys oli pikemminkin siitä, että Royal Society oli joutunut kiistassa hankalaan välikäteen kieltäytyessään Oldenburgin pyynnöistä huolimatta julkaisemasta Hooken ja Newtonin kirjoituksia samassa

25 Newton 1672a, 3076.

26 Newton 1672a, 3077–3078.

Näin aikalaiset eivät päässeet lukemaan Hoo-ken tekstiä, mutta he saattoivat ymmärtää kritiikin perehtymällä Newtonin marraskuussa 1672 julkai-semaan vastineeseen ”Mr. Isaac Newton’s Answer to Some Considerations [of Robert Hooke] upon his Doctrine of Light and Colors” (1672). Kritiikin keskeisenä lähtökohtana oli se, että Hooke oli pyrkinyt kiistämään Newtonin teorian fysikaalisen luonteen ja painottanut sen hypoteettisuutta. Hoo-ken alkuperäistekstin perusteella voidaan kuitenkin huomata, ettei hän ollut ymmärtänyt täysin Newtonin tieteen empiiristä luonnetta eikä lait-tanut juuri painoa sille, että tämän tulokset oli-vat nojanneet täsmällisesti määriteltyyn koease-temaan.³⁰

Erityisen ongelmallisena Hooke piti sitä, että Newton oli esittänyt vain muutamia kokeellisia vahvistuksia valon taittumiselle. Näyttö oli niin summittainen ja kokeet määrältään niin vähäi-siä, ettei valon jakautumista spektriksi voinut pi-tää niiden perusteella välttämättömänä tosiasia-na. Newtonin teorian ongelmana oli se, että se uskotteli jokseenkin perusteettomasti spektrin sis-ältävän rajattoman määrän värien eri vivahteita. Hoo-ken mukaan Newtonin oli suhteellisen helppo keksiä lisävärejä jakamalla löytämänsä säteet pris-man avulla yhä uusiksi sädekimpuiksi.³¹

Hoo-ken keskeisen teesin mukaan Newton oli lähinnä spekuloinut ja vastannut epäolennaisiin kysymyksiin esittämättä minkäänlaista kiistaton-ta matemaattista tai kokeellista todistetta, joka oli-si kumonnut hänen omat käsityksensä valon aal-toluonteesta ja värien muodostuksesta.³² Hooke väitti toistaneensa omat kokeensa useita satoja kertoja vakuuttuakseen siitä, että värit olivat va-lon taittumisesta johtuvia laadullisia tekijöitä, ei-vät todellisia fysikaalisia substansseja.³³

numerossa, kuten olisi ollut hyvän tavan mukaista. Olden-burgia ei ollut tässä mielessä syytä soimata. Royal Society esti Hoo-ken kirjeen julkaisun kaiketi siksi, että se katsoi tämän pyrkineen tietoisesti kumoamaan Newtonin saavu-tukset. Kymmenen vuotta seuran jäsenenä tuolloin ollut Hooke oli esiintynyt useissa yhteyksissä jo aiemmin tieteen jyrkkäsanaisena kriitikkona. Newton oli ollut kiistan syt-tyessä keväällä 1672 Royal Societyn jäsen vasta kaksi kuu-kautta. (Hall & Hall 1962, 482–485, 489–490; Westfall 2010, 247.)

30 Hall 1993, 63–64.

31 Hooke 1757, 12–13.

32 Hooke 1757, 10–11.

33 Iliffe 2004, 438.

Vastineensa alussa Newton puuttui Hoo-ken väitteisiin siitä, ettei hän olisi kyennyt mittaamaan valonsäteiden todellisia taittumis- ja taittumismuutoksia asianmukaisesti, vaan joutunut vaikeuksiin epäasiallisten koejär-jestelyjen vuoksi. Väite ei pitänyt paikkaansa, sillä Newton oli esittänyt asianmukaiset lukuarvot sekä koeasetelman teknisille ehdoille että valon fysikaal-ლისille ominaisuuksille.³⁴ Alkuperäinen teksti sisäl-si matemaattiset huomiot keskeisistä laskelmista, mutta Newton esitti puolustuksessaan vielä kes-keiset tuloksensa taulukkona.

Toinen ongelma koski Hoo-ken väitettä, jon-ka mukaan Newtonin teoria olisi ollut ainoastaan hypoteesi valon perusluonteesta. Newton ei kiis-tänyt sinänsä väitettä valon hypoteettisuudesta, mutta hän painotti puhuneensa valon todellisesta erivärisiin säteisiin jakautuvasta ominaislaa-dusta ”äärimmäisen uskottavana seurauksena”, ei niinkään hypoteesina.³⁵ Newtonin hypoteesikäsi-tys poikkesi keskeisellä tavalla Hoo-ken hypotee-sikäsituksesta. Tosiasiassa Newton oli vaatinut teorialtaan ankaraa empiiristä todennettavuutta ja perustanut sen tarkkojen matemaattisten mit-tausten lisäksi ”yleisiin mekanistisiin oletuksiin”. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että hän oli pyr-kinyt osoittamaan valon perusluonteen puhumalla siitä yleisin tieteellisin käsittein ja viittaamalla sii-hen samalla tavalla abstraktisti, kuten hän oli vii-tannut muissa yhteyksissä liikkeen ja paineen kal-taisiin mekanistisiin ilmiöihin.³⁶

Kolmanneksi Hooke oli arvostellut Newtonia siitä, että tämä olisi perustanut teorian värien muodostuksen osalta hänen itsensä alkuaan esit-tämiin oletuksiin. Väitettä oli kuitenkin vaikea hy-väksyä, sillä Hooke oli uskonut perusvärien olevan muuttumattomia ja ainoastaan yhdistelmävärien olevan perusluonteeltaan toisiinsa sekoittuvia. Hooke oli puhunut tekstissään valon säteen halkai-semisesta (*splitting*), mutta tarkoittanut sillä New-ntonin mukaan pikemminkin väliaineen sykäyksen (*aethereal pulses*) kuin valon säteen halkaisemista. Mikäli Newton olisi kopioinut Hoo-ken teorian, oli-si hänen pitänyt omaksua käsitys sekä väliaineen olemassaolosta että sen sykäyksellisyydestä, ja us-koa lisäksi, että yhtenäinen valkoinen valo koos-

34 Newton 1672b, 5085–5086.

35 Bechler 1973, 6.

36 Newton 1672b, 5086–5087; ks. myös Smith 2008, 205–206.

tui sekä kaikista muuttumattomista perusväreistä että kaikista muuttuvista yhdistelmäväreistä. Newtonin teoriaan ei tällaisia muotoiluja kuitenkaan sisältynyt.³⁷

Hooken artikkeli sisälsi joitain ansiokkaita huomioita väliaineen roolista valon taitumisessa, mutta teksti oli ongelmallinen tартtuessaan prisman perusominaisuuksiin. Newton ei ollut yrittänyt jakaa jo kerran jakamiaan säteitä uudelleen erilaisiksi sädekimpuiksi, vaan pikemminkin hän oli löytänyt kahden prisman avulla todistuksen sille, että valo voitiin erotella fysikaalisesti spektriiksi ja palauttaa toisen prisman avulla takaisin valkoiseksi valoksi. Ratkaiseva koe ei ollut yritys jakaa valoa loputtomasti pienemmiksi ja pienemmiksi yksiköiksi. Omien sanojensa mukaan Newton oli kokeillut kahdelle prismalle erilaisia kulmia ja vaihtoehtoisia asemia, mutta päätyneet aina artikkelissaan kuvaamaansa lopputulokseen. Minkäänlaisia Hooken ehdottamia epäsäännönmukaisuuksia ei ollut ilmaantunut huolimatta siitä, että hän oli toistanut koeasetelman useita kertoja useilla erilaisilla prismoilla.³⁸

Hooken hyökkäystä voitaneen arvostella siitä, että hän keskittyi kuvailemaan lähinnä prismalla hajotetun valon ominaisuuksista johtuvia ongelmia yrittämättä ymmärtää koeasetelman fysikaalista luonnetta. Newton ei ollut tukeutunut tutkimuksissaan metafysiisiin hypoteeseihin, vaan perustanut ne täysin selvästi dokumentoituihin kokeisiin. Siinä missä Hooke oli yrittänyt selittää Newtonin keksinnöt ainoastaan hypoteettisiksi ehdotuksiksi valon perimmäisestä luonteesta, oli Newton tosiasiaa löytänyt suhteellisen päteviä *materiaalisia* todisteita valon jakautumisesta erilaisiksi yksittäisiksi säteiksi. Niin ikään hänelle oli käynyt täysin selväksi näiden säteiden perustavanlaatuisen luonne: mikäli yksi prismalla taiteutunut valon säteistä poistettiin, sitä ei ollut mahdollista korvata toisella saman kokonaisvaikutuksen saavuttamiseksi.

Kohti nykyajan kokeellista luonnontiedettä

Hooken ja Newtonin välisessä kiistassa törmäsivät yhteen kaksi erilaista tieteentekemisen tapaa ja

kaksi erilaista käsitystä luonnon perimmäisestä luonteesta. Kumpaankin teoriaan sisältyi omat ongelmansa. Vaikka Newtonin teoria oli omana aikanaan edistysellinen, joutui se jonkinlaisiin vaikeuksiin pyrkiessään erottamaan valonsäteen (*monochromatic beam*) toisistaan riippumattomiksi spektrin sävyiksi. Hooken teoria painotti asianmukaisesti väreiksi jakautuvien aaltojen suhdetta sekä toisiinsa että ympäröivään eetteriin. Newtonin korpuskularismissa spektrin säteet olivat riippumattomia keskinäisistä suhteistaan. Newton pyrki kumoamaan Hooken edustaman värien leviämisen ja keskinäisen sekoittumisen teorian (*chromatic diffusion*) painottamalla toistuvasti kehittämänsä hiukkasteorian yhteismitattomuutta suhteessa kartesiolaiseen aaltoteoriaan.³⁹

Kiistan ensimmäinen perustavanlaatuisen kysymys koski prismaa tieteellisenä instrumenttina. Hooken kritiikki nojasi tältä osin siihen, ettei hän ollut onnistunut toistamaan Newtonin koetuloksia. Newton vastasi näihin syytöksiin tuttuun tapaan suoralla hyökkäyksellä. Hän uskoi, että mikäli Hooke ja hänen muut vastustajansa eivät olleet kyenneet toistamaan hänen kokeitaan, johtui se ainoastaan siitä, etteivät he olleet käyttäneet oikeanlaista instrumenttia. Newtonin argumentti ei ollut tältä osin täysin asianmukainen, sillä hän hyväksyi kokeen soveliaan suorittamisen perustaksi ainoastaan sellaiset välineet ja koeasetelmat, joita hän oli itse käyttänyt.⁴⁰

Toinen keskeinen ongelma koski teorianmuodostusta ja sen menetelmällisiä lähtökohtia. Newton oli tässä suhteessa huomattavan vahvoilla, sillä hän oli pyrkinyt esittämään teoriansa tueksi riittävän määrän sekä kokeellisia tuloksia että matemaattisia mitta-arvoja. Descartesin ja Hooken teorialat olivat lähinnä *ad hoc*-tyyppisiä hypoteeseja, joilla ei ollut todellista kokeellista tukea. Vaikka Newton oli käyttänyt niitä teoreettisena lähtökohdanaan, nojasivat hänen *Philosophical Transactionsissa* esittämänsä tulokset täysin täsmälliseen kokeelliseen näyttöön. Newton jakoi valon ensimmäisten joukossa prisman avulla spektriiksi ja esitti samalla, että spektrillä oli yksi kulku-suunta, mutta useita ”ilmenemismuotoja” sik-

37 Newton 1672b, 5090; ks. myös Hooke 1757, 12.

38 Newton 1672b, 5092–5095.

39 Shapiro 1993, 17–20.

40 Fara 2015, 7.

si, että jälkimmäiseen vaikuttivat valon aukko ja muut laadulliset tekijät. Nämä seikat oli jätetty aikaisemmin täysin huomiotta. Newton oli ymmärtänyt sekä varhaisessa muistikirjassaan että optiikan luennoissaan luonnollisen valkoisen valon jakautuvan perussävyiltään punaiseen ja siniseen, mutta vaihtelevan huomattavan paljon valon lähteen yksilöllisten ominaisuuksien mukaisesti.

Tämän lisäksi Newtonin aikalaisille tuli täydellisenä yllätyksenä, että valkoinen valo voitiin jakaa spektriiksi ja palauttaa toisen prisman avulla takaisin valkoiseksi valoksi. Kaikki spektrin sävyt olivat samalla tavalla ensisijaisia ja välttämättömiä tuottaessa valkoista valoa, mutta niiden keskinäisissä suhteissa voitiin havaita huomattavaa vaihtelua. Newtonin varhainen käsitys valon atomistisesta luonteesta perustui sen laadulliseen jakamattomuuteen: valo ei muuttunut perusteiltaan toiseksi – kuten Hooken teoria väitti – vaikka se hajotettiin prisman avulla spektriiksi. Newtonin teorian mukaan valonsäteet olivat suoraviivaisia ja läpileikkaukseltaan mittaamattoman pieniä, ja vaikka ne sekoittuivat ihmisen aistivaikutelmissa, ne eivät olleet toisiinsa yhdistyneitä. Newtonilla oli vahva usko siihen, että valolla ei ollut aaltoluonnetta huolimatta siitä, että hän saattoi ymmärtää joidenkin luonnonfilosofien pyrkimyksen kuvata valon perusluonnetta hypoteettisesti aaltoina.

Kiista synnytti vahvan vaikutelman siitä, että Hooken esittämät ideat kuuluivat menneisyyteen ja Newtonin esittämät tulevaisuuteen. Modernin optiikan kehitys tuntui nojaavan keskeisellä tavalla Newtonin kykyyn yhdistää kokeet, matematiikka ja luonto uudella tavalla toisiinsa. Kiista johtui huomattavalta osaltaan siitä, ettei Newton osannut vastata tyhjentävästi Hooken esittämään valon perimmäistä luonnetta koskeneeseen kysymykseen. Sen sijaan hän esitti faktat ja niiden tulkinnan modernille tieteelle ominaisesti yhtenäisenä koosteena ja analysoi kirjoituksissaan enemmän käyttämänsä instrumentin kuin tutkimuskohteen olleen luonnon teknisiä ominaisuuksia. Newton painotti monessa kohdassa, etteivät hänen esittämänsä väitteet nojanneet hypoteeseihin, vaan aitoihin matemaattisiin ja kokeellisiin tuloksiin. Newtonin tieteeseen saattoi sisältyä muodollisia ongelmia, mutta hänen tekemänsä kokeet tuntuivat olevan siinä mielessä nykyaikaisia, että niissä

tutkimuslaite oli itsessään olennainen osa tutkimustulosten rakentumista.

Kiistan jälkeen Newton jatkoi määrätietoisesti optiikanalan kokeilujaan uskoen loppuun saakka, että valo oli materiaallinen substanssi. Näihin myöhempiin kokeiluihin sisältyi perustavalla tavalla yritys kytkeä ainakin jonkinlainen aalto-ominaisuus osaksi valon perusluonnetta.⁴¹ Newtonin kannattajat eivät kuitenkaan hyväksyneet alkuvaiheessa tätä käsitystä, vaan etsivät valon korpuskularistiselle teorialle perimmäistä selitystä määrätietoisesti Newtonin suojatin John Desaguliersin (1683–1744) johdolla. Tutkimuksissaan he tukeutuivat näkyvästi Newtonin alkuperäisiin ideoihin vakuuttaakseen kilpailijansa valon hiukkasluonteesta ja selittääkseen sen avulla sekä valon heijastus- että taitto-ominaisuudet. Erilaiset aaltoluun ja värähtelyyn perustuvat teoriat alkoivat lisätä suosiotaan Newtonin kannattajien keskuudessa vasta 1600-luvun lopulle tultaessa. Osaltaan tämä johtui siitä, että Newton alkoi itse pitää painottoman näkymättömän eetterin olemassaoloa mahdollisena ja uskoi sen selittävän keskeisellä tavalla monet fysikaaliset ilmentymät luonnossa.⁴²

Seuraavan vuosisadan alussa kilpailu erilaisten aalto- ja hiukkasteorioiden välillä kiihtyi entisestään ja varsinkin ranskalaiset aaltoteorian kannattajat tarjosivat Newtonin edustamalle hiukkasteorialle hyvän vastuksen. Newton jatkoi määrätietoista työskentelyä optiikan kysymysten parissa, mutta ei ollut aina kovin näkyvästi esillä näissä keskusteluissa. Tämä saattoi johtua siitä, että monet gravitaatioteorian ongelmat vaativat häneltä merkittävästi aikaa ja kärsivällisyyttä varsinkin 1680-luvun puolivälistä lähtien, mutta todennäköisempi syy oli kuitenkin se, että hänen ja Hooken välinen kiista oli saanut merkittävästi julkisuutta ja hän tunsi itsensä huomattavan loukatuksi Hooken hyökkäyksen jälkeen. Ennen kaikkea tästä syystä johtuen New-

41 Newton oli pitänyt varhaisissa optiikan alan muistiinpanoissaan valoa hiukkasista koostuvana yhtenäisenä säteenä, mutta vuoden 1672 paperissaan hän jätti pois kaikki eksplisiittiset viittaukset valon yksittäisiin korpuskularistisiin mekanismeihin. Tämän jälkeen hän korvasi järjestelmällisesti kaikki geometriset muotoilut fysikaalisilla muotoiluilla ja vahvisti entisestään uskoaan siihen, että kokeellinen tutkimus todisti valon olevan perustavalla tavalla aina substanssi, ei kvaliteetti. (Ks. tarkemmin esim. Shapiro 1992, 213–216.)

42 Home 1993, 199.

ton julkaisi laajan optiikan perusteita käsittelevän teoksensa *Opticks: Or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light* (1704) vasta Hooken kuoleman jälkeen.

Lähteet

- Anstey, Peter R. (2004): The Methodological Origins of Newton's Queries. *Studies in History and Philosophy of Science* 35:2, 247–269.
- Bechler, Zev (1973): Newton's Search for a Mechanistic Model of Colour Dispersion: A Suggested Interpretation. *Archive for History of Exact Sciences* 11:1, 1–37.
- Fara, Patricia (2015): Newton Shows the Light: A Commentary on Newton (1672) 'A Letter... Containing his New Theory of Light and Colours'. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A* 373, 1–11.
- Hall, A. Rupert (1993): *All Was Light. An Introduction to Newton's Opticks*. Oxford: Clarendon Press.
- Hall, A. Rupert (1992/1996): *Isaac Newton. Adventurer in Thought*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Hall, A. Rupert & Boas Hall, Marie (1962): Why Blame Oldenburg? *Isis* 53:4, 482–491.
- Hall, A. Rupert & Boas Hall, Marie (1962/2009): *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*. Chosen, Edited and Translated by A. Rupert Hall and Marie Boas Hall. Cambridge, London and New York: Cambridge University Press.
- Heilbron, John L. (1999/2001): *The Sun in the Church. Cathedrals as Solar Observatories*. Cambridge (Mass.) and London: Harvard University Press.
- Home, Roderick W. (1993): Newton's Subtle Matter: The *Opticks* Queries and the Mechanical Philosophy, teoksessa *Renaissance and Revolution. Humanists, Scholars, Craftsmen and Natural Philosophers in Early Modern Europe*. Edited and Introduced by J. V. Field & Frank A. J. L. James. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 193–202.
- Hooke, Robert (1665): *Micrographia. Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon*. London: John Martyn.
- Hooke, Robert (1672/1757): Robert Hooke's Critique of Newton's Theory of Light and Colors (delivered 1672), teoksessa Thomas Birch, *The History of the Royal Society*, vol. 3. London: A. Millar, 10–15.
- Iliffe, Rob (2004): Abstract Considerations: Disciplines and the Incoherence of Newton's Natural Philosophy. *Studies in History and Philosophy of Science* 35:3, 427–454.
- Kuhn, Thomas S. (1958/1978): Newton's Optical Papers, teoksessa *Isaac Newton's Papers & Letters On Natural Philosophy and Related Documents*. Second Edition. Edited by I. Bernard Cohen. Cambridge (Mass.) and London: Harvard University Press, 27–45.
- Newton, Isaac (1672a): A Letter of Mr. Isaac Newton, Mathematick Professor in the University of Cambridge, Containing his New Theory about Light and Colors. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 80, 3075–3087.
- Newton, Isaac (1672b): Mr. Isaac Newton's Answer to Some Considerations [of Robert Hooke] upon his Doctrine of Light and Colors. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 88, 5084–5103.
- Newton, Isaac (1729): *Lectiones Opticae*. Londini: Apud Guil. Innys, Regiae Societatis Typographum.
- Newton, Isaac (1967): *The Mathematical Papers of Isaac Newton. Volume I (1664–1666)*. Edited by D. T. Whiteside. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Newton, Isaac (1976): *The Mathematical Papers of Isaac Newton. Volume VII (1691–1695)*. Edited by D. T. Whiteside. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Shapiro, Alan E. (1992): Beyond the Dating Game: Watermark Clusters and the Composition of Newton's *Opticks*, teoksessa

The Investigation of Difficult Things. Essays on Newton and the History of the Exact Sciences in Honour of D. T. Whiteside. Edited by P. M. Harman and Alan E. Shapiro. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 181–227.

Shapiro, Alan E. (1993): *Fits, Passions and Paroxysms. Physics, Method, and Chemistry and Newton's Theories of Colored Bodies and Fits of Easy Reflection*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Smith, Russell (2008): Optical Reflection and Mechanical Rebound: The Shift from Analogy to Axiomatization in the Seventeenth Century. Part 2. *The British Journal for the History of Science* 41:2, 187–207.

Westfall, Richard S. (1980/2010): *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge, London and New York: Cambridge University Press.

Kirjoittaja on Oulun yliopiston tieteiden ja aatteiden historian jatko-opiskelija.

PALKITTUJA

Kulttuurirahaston suurpalkinnot ovat saaneet elintarviketieteen tohtori **Reetta Kivelä** ja professori **Risto Saarinen**. Kivelä on kaurapohjaisen kasviproteiinituotteen, nyhtökauran, toinen kehittäjä. Saarinen on Helsingin yliopiston eku-meniikan professori, joka on johtanut lukuisia tutkimushankkeita, viimeksi Suomen Akatemian tutkimuksen huippuyksikköä ”Reason and Religion Recognition”.

KAKS – Kunnallisanalan kehittämissätiö on valinnut Vuosikymmenen kuntatutkijaksi Tampereen yliopiston professorin **Arto Haverin** ja Vuosikymmenen kuntatueksi filosofian tohtori **Arto Kosken**.

Vaasan yliopisto on nimennyt soveltavan filosofian professorin **Tommi Lehtosen** Vuoden tiedeviestijäksi. Lehtonen sai palkinnon ansiokkaasta tieteen yleistajuistamisesta ja osallistumisesta yhteiskunnalliseen keskusteluun. Kunniamaininnan onnistuneesta tiedeviestinnästä sai yliopistonlehtori, dosentti **Harri Raisio**.

Vuoden tiedekirja -palkinto 2019 on myönnetty filosofian tohtori **Kirsi Lehdolle** teoksesta *Astrobiologia. Elämän edellytyksiä etsimässä* (Ursa). Kunniamaininnan sai kauppatieteiden tohtori **Christer Lindholm** kirjasta *Totuudenjälkeinen talouspolitiikka – Thatcherista Trumpiin* (Vastapaino). Palkinnon jakavat Suomen tiedekustantajien liitto ja Tieteellisten seurain valtuuskunta.

Helsingin yliopisto on myöntänyt J.V. Snellmanin nimeä kantavan tiedonjulkistamisen palkinnon viestinnän professori **Anu Kantolalle** ansiokkaasta toiminnasta tieteellisen tiedon välittäjänä.