

Ari Korhonen

IHMETYSTÄ, PELKOA JA POHJATONTA UTELIAISUUTTA

SÄHKÖLLÄ TEHTYJÄ TIETEELLISIÄ KOKEITA PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONSIN SIVUILLA VUOSINA 1757-1777

Yleisen historian Pro gradu-tutkielma

Historian laitos

Jyväskylän yliopisto

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Tiedekunta HUMANISTINEN	Laitos HISTORIAN
Tekijä ARI KORHONEN	
Työn nimi IHMETYSTÄ, PELKOA JA POHJATONTA UTELIAISUUTTA Sähköllä tehtyjä tieteellisiä kokeita Philosophical Transactionsin sivuilla vuosina 1757-1777.	
Oppiaine YLEINEN HISTORIA	Työn laji PRO GRADU
Aika 2002	Sivumäärä 103
Tiivistelmä - Abstract <p>Sähköntutkimus nousi 1700-luvun puolivälissä todella suosituksi tutkimusalueeksi tutkijoiden keskuudessa. Tuohon aikaan se oli vielä varsin uusi alue luonnontieteiden joukossa, ja siinä saatiin nopeasti tuloksia aikaiseksi. Kun vielä 1700-luvun alussa sähköstä ei tiedetty juuri mitään, vuosisadan lopulla perusasioista oltiin päästy yksimielisyyteen. Lähestyttäessä 1800-lukua tutkijoiden kiinnostus alkoi siirtyä kohti kemiaa ja kaasujen koostumuksen selvittämistä Sähköntutkimus oli kokeellista luonnontiedettä edustavimmillaan.</p> <p>Tutkimukseni ei keskity niinkään sähkön teorian tutkimiseen ja kehittymiseen. Tarkastelen enemmänkin tutkijoiden käyttämiä metodeja sekä mitkä olivat kulloisenkin tutkijan motivaatiot tutkimuksen tekemiseen. Pysin myös tutkimaan millaista, ja millä foorumeilla, tieteellistä keskustelua käytiin tiedeyhteisössä tuohon aikaan. Pääpaino tutkimuksessani on tieteellisen yhteisön toiminnassa ja sen selvittämisessä.</p> <p>Tutkijoiden välinen yhteistyö lisääntyi varsinkin luonnontieteiden parissa 1700-luvun aikana suuresti. Tiedeyhteisön jäsenet olivat varsin tiiviissä kanssakäymisessä keskenään. Tieteellinen seura oli tutkijoille erittäin tärkeä yhdysside muihin tutkijoihin. Samalla seuran kokouksissa kuuli viimeisimmät uutiset tiedemaailmasta. Tieteellisten seurojen myötä luonnontieteellinen tutkimusprosessi alkoi muuttua kohti nykyistä muotoaan: Ryhmätyö lisääntyi, tutkimusraportit tarkentuivat ja kokeiden toistettavuus nousi tärkeäksi seikaksi.</p>	
Asiasanat sähkön historia – Joseph Priestley – tieteelliset seurat – empiirinen luonnontiede	
Säilytyspaikka Historian laitos	
Muita tietoja	

1. JOHDANTO	1
2. SÄHKÖN MATKA TIETEEKSI	6
2.1. Tieteellinen vallankumous ja tieteelliset seurat	6
2.2. Royal Society	10
2.3. Sähkötutkimus ennen vuotta 1700.....	13
2.4. 1700 – luku sähkön tutkimuksessa	15
3. VUODESTA 1757 ETEENPÄIN	19
3.1. Wilsonin kolme artikkelia	19
3.2. Sähkön tutkimista silkkisukilla	23
3.3. Vaikuttaako kappaleen lämpötila sen sähköisiin ominaisuuksiin?.....	30
3.4. Wilson vastaan Æpinus	32
3.5. Kappaleet vastustavat sähkön kulkua	37
4. SÄHKÖN TUTKIMUKSEN HISTORIA JA NYKYPÄIVÄ PRIESTLEYN SILMIN VUONNA 1767.....	39
4.1. Priestleyn sähkön historia.....	39
4.2. Sähkön tutkimuksen tila Priestleyn mukaan.....	44
4.3. Priestleyn ajatuksia tieteestä ja sen tekemisestä	48
4.4. Neuvoja ja vihjeitä	51
5. SÄHKÖN TUTKIMUS PRIESTLEYN TEOKSEN JÄLKEEN	54
5.1. Sähkön tutkimuksessa käytettävien välineiden kehittäminen.....	54
5.2. Priestleyn jatkotutkimukset sähkön parissa	58
5.3. Henry Cavendish sähkön teorian kimpussa	62
6. ILMASSA ON SÄHKÖÄ	65
6.1. Salamoiva sähkö.....	65
6.2. Kumpi on parempi, tylppä vai terävä pää?	68
6.3. Tutkimuksia sähköisestä ilmasta	72
7. SÄHKÖÄ ELÄVISTÄ JA ELÄVIIN	75
7.1. Sähkörauskun arvoitusta ratkaisemassa.....	75
7.2. Ankeriaskin on sähköinen!	78
7.3. Keinotekoinen rausku sekä kuolettava sähkö	80
7.4. Sähkön parantava voima	83
8. TIEDEYHTEISÖ TOIMINNASSA.....	87

LÄHTEET

1. JOHDANTO

Joskus neidon kammatessa pitkiä hiuksiaan ne saattavat nousta pystyyn ja pyrkiä kohti kampa vaikka se olisikin usean sentin päässä hiuksista. Jos aviomies kävelee avojaloin villamatolla ja sen jälkeen koskettaa aviovaimoaan, voivat molemmat tuntea kosketushetkellä ihollaan pienen säväyksen. Kuivalla talvisäällä uuden ajan gentlemannin riisuessa silkkiä pitkiä alushousujaan saattoi kuulua outoa, hiljaista rätinää ja ihokarvat nousta pystyyn samalla kun kalsongit tuntuvat tarttuvan ihoon kiinni. Kun antiikin kreikkalainen pyrki kankaan palalla hankaamalla kiillottamaan esim. meripihkaa tai timanttia, se veti puoleensa ruohonkorsia ja muita kevyitä esineitä. Salama iski korkeaan kirkontorniin ja rikkoi sen tuhansiksi pieniksi ja nokisiksi palasiksi tai suureen puuhun iskiessään syytti koko metsän palamaan.

Kaikki edelliset esimerkit ovat olleet tunnettuja ilmiöitä jo useiden vuosisatojen ajan. Kyseiset ilmiöt olivat askarruttaneet, hämmästyttäneet, huvittaneet ja pelottaneet ihmismieltä aikaisemminkin ja niitä oli yritetty selittää usealla eri tavalla. Sen sijaan vasta 1700 – luvulla ryhdyttiin epäilemään josko sittenkin näiden ilmiöiden takana on yhteinen ilmiö tai luonnonvoima, sähkö.

Tieteen historian tutkimuksen suosio on parin edellisen vuosikymmenen aikana nauttinut melkein yhtä jyrkää noususuhdanteesta kuin osakekurssit Helsingin pörssissä viime vuosisadan lopussa. Viime aikoina tieteen historian tutkimusalueet ovat myös laajentuneet, perinteisten luonnontieteiden historian tutkimuksen rinnalle on noussut mm. lääketieteen historian tutkiminen. Kun aikaisemmin keskityttiin tutkimaan ainoastaan tieteen suurmiehiä kuten Galileita, Newtonia tai Darwinia, nykyään huomioidaan myös pienemmät tieteen tekijät. Valtaosa niin nykyisestä kuin aikoinaankin tapahtuneesta tieteellisestä tutkimuksesta on sellaista, joka on merkitykseltään pientä tai jopa tuloksiltaan tai lähtökohdiltaan väärää. Varsinkin luonnontieteissä on ollut aikojen kuluessa useita teorioita, joita on pidetty oikeina (ja oikeiksi todistettuina) mutta jotka on jouduttu myöhemmin heittämään romukoppaan

niiden osoittauduttua uusien, paremmin perusteltujen ja hyväksytyjen, teorioiden myötä täysin huuhaaksi. Esimerkeistä ensimmäisenä mieleen tulee aurinkokuntamme ja koko maailmankaikkeuden rakenne. Käsitksemme siitä on muuttunut radikaalisti vuosisatojen aikana. Voiko kukaan siis sanoa että nykyinen käsityksemme on varmasti oikea? Etteivät lastenlastenlapsemme joskus tulevaisuudessa hymähtele meille ja meidän käsityksillemme niin kuin me hymähtelemme Maata maailmankaikkeuden keskipisteenä pitäneille esillemme?

Tieteen historian tutkimus ei kuitenkaan ole mikään uusi historian tutkimuksen ala, vaan sitä on tehty reilun parin vuosisadan ajan. Vuonna 1767 ilmestyneessä teoksessaan *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments* Joseph Priestley (1733 – 1804) kuvaa tieteen historian tutkimista seuraavasti:

”Tieteen historia nauttii, jossain määrin, sekä ihmisten että luonnon historian tutkimisen eduista ja iloista, jonka vuoksi se on myös vapautettu siitä mikä on kaikkein tylsintä ja inhottavinta näissä molemmissa.”¹

Ja jatkaa hiukan myöhemmin:

”Ihmismielen kekseliäisyyden ja mielikuvituksen tutkiminen on huomattavasti mielenkiintoisempaa kuin sotilaiden toimien ja suunnitelmien.”²

Priestleyn sanat ovat jyrkkiä, mutta huomattavasti ymmärrettävämpiä kun ottaa huomioon, ettei hän ole varsinaisesti historioitsija vaan nimenomaan luonnontieteilijä, joka teki paljon myös omaa tutkimusta.

¹ Priestley, 1767, s. iii-iv. ”The history of philosophy enjoys, in some measure, the advantages both of civil and natural history, whereby it is relieved from what’s most tedious and disgusting in both...”

² Priestley, 1767, s. iv. ”...exploring the ingenuity and imagination of human mind is more interesting than plans and acts of military.”

Itse pyrin työssäni parhaani mukaan välttämään turhaa jälkiviisautta ja sen perusteella mahdollisesti tehtävää lähteiden karsintaa tai ylenkatsomista. Pro gradu – työssäni tutkin sähköllä tehtyjä ja sähköön liittyviä tieteellisiä tutkimuksia ja kokeita 1700-luvun kolmannella neljänneksellä. Pyrin erityisesti selvittämään tutkijoiden käyttämiä metodeja ja välineitä sekä mitkä olivat kulloisenkin tutkijan motivaatiot tutkimusten tekemiseen. Minkä vuoksi hän ryhtyi tutkimaan juuri näitä asioita ja millaisia ennakko-oletuksia hänellä mahdollisesti oli? On myös erittäin mielenkiintoista tutkia millaista, ja millä foorumeilla, tieteellistä keskustelua käytiin tiedeyhteisössä tuohon aikaan.

Alkuperäislähteenä olen työssäni käyttänyt Lontoon kuninkaallisen tiedeseura *Royal Society of London*in pääasiassa vuosittain (siis tutkimuksen aikarajauksen sisällä) ilmestyneen tiedejulkaisun *Philosophical Transactions of the Royal Society* volyymeja 50 – 67 vuosilta 1757 – 1777. Kyseiset numerot on siirretty alkuperäismuodossaan internetiin osoitteeseen www.bodley.ox.ac.uk ja tämä on antanut minulle luonnollisesti aika tiukan aikarajauksen. Tämä ajanjakso on kuitenkin nimenomaan sähkön tutkimuksen ”kulta-aikaa”, ja siksi sen sisällä julkaistut numerot toimivat erinomaisena materiaalina tutkimukseni kannalta. Koska en pyrikään tutkimaan varsinaisesti sähkön teorian historiaa, ei ole mielestäni tarpeellista lähteä laajentamaan lähdemateriaalia ajallisesti kumpaankaan suuntaan.

Royal Society oli tarkasteluajanjaksolla ehdottomasti arvostetuin tiedeseura, ja sen jäsenyys oli suuri kunnia. Seura oli kansainvälinen eli sen jäsenistö koostui useista eri kansallisuudesta ja jäseniä asui eripuolella maailmaa, pääosa jäsenistä oli toki englantilaisia tutkijoita. Varsinkin seuran alkuaikoina jäseneksi pääsi paitsi ansioitunut tiedemies, myös arvostettu (eli rikas ja ennenkaikkea antelias) tieteen tukija, myöhemmin jäsenyyssehtoja tiukennettiin. *Philosophical Transactions* taas oli puolestaan arvostetuin tieteellinen julkaisu. Toisin kuin nykypäivän tieteelliset aikakauslehdet, se oli kaikkialainen eikä erikoistunut mihinkään tiettyyn tieteen alaan. Pääpaino oli kuitenkin kokeellisessa luonnontieteessä ja siihen liittyvien artikkelien ja kirjeiden julkaisussa. Kaikkea *Philosophical Transactions*issa julkaistua ei suinkaan kirjoitettu nimenomaan lehteä varten, vaan siinä julkaistiin myös tiedemiesten toisilleen lähettämiä kirjeitä, jos niitä katsottiin sen arvoisiksi. Lehdessä julkaisiin myös

esitelmiä, joita oli julkisesti kaikille kiinnostuneille pidetty tai esitetty Royal Societyn kokoontumisissa.

Käyttämistäni artikkeleista iso osa on puhtaasti fysikaalisesti sähköä ja sen ominaisuuksia tutkivia kirjoituksia. Niissä on pyritty suorittamaan kokeita joiden avulla voitaisiin mahdollisesti luoda jokin yhtenäinen teoria, jonka avulla pystyttäisiin selittämään sähkön käyttäytymistä ja luonnetta. *Philosophical Transactions*issa julkaistiin kuitenkin paljon myös käytännönläheisimpiä artikkeleja. Sähkön vaikutusta ihmisiin, eläimiin ja kasveihin tutkittiin paljon, samoin kuin eläinkunnan tuottamaa sähköä. Sähkön avulla pyrittiin jo tuolloin parantamaan ihmisiä erilaisista sairauksista, samalla huomattiin myös sähkön olevan isoina annoksina tappavan vaarallista. Salaman ja sähkön keskinäinen suhde ja erityisesti rakennuksien suojaaminen salamoinnin aiheuttamilta tuhoilta huolestutti niin tutkijoita kuin tavallista tallaajaakin.

Tärkeä lähde tutkimukselleni on myös jo mainitsemani Joseph Priestleyn teos *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*. Kirja oli ilmestyessään erittäin suosittu paitsi tutkijoiden myös tieteestä muuten kiinnostuneiden henkilöiden keskuudessa. Priestley kokoaa kirjaansa hyvin yhteen sen hetkisen käsityksen sähkön teoriasta ja antaa kattavan selvityksen sähkön tutkimuksen historiasta. *The History and Present State of Electricity* on selkeästi kuitenkin luonnontieteellinen teos, eikä tieteen historiallinen tutkimus vaikka historiaa on iso osa kirjasta. Pääpaino Priestleyllä on kokeiden järjestelyjen selvittämisessä sekä tulosten ja teorioiden käsittelyssä. Kyseinen teos ilmestyi vuonna 1767, eli se tukee loistavasti *Philosophical Transactions*in artikkeleja antaen hieman laajemman kokonaiskuvan.

Tutkimusaiheestani on ollut sen spesifisyyden vuoksi hieman vaikeaa löytää varsin tarkkaa ja edustavaa tutkimuskirjallisuutta, varsinkin Suomesta. Laatu on kuitenkin korvannut määrän. Pari edustavaa, tosin hieman vanhempaa (mikä ei kuitenkaan laske niiden arvoa), historiallista tutkimusta sähköstä olen löytänyt ja ne ovatkin osoittautuneet varsin hyödyllisiksi. Etenkin Heilbronin *Electricity in the 17th and 18th Centuries* on ollut korvaamaton apu. Kuten nimestäkin voi päätellä, se antaa varsin kattavan ja perusteellisen kuvan juuri tutkimaltani

ajanjaksolta ja myös siitä, kuinka sähkön tutkiminen alkutaipaleillaan kehittyi. Käytössäni ollut parin vuoden takainen toinen painos ei eroa ensimmäisestä, parikymmentä vuotta vanhemmasta, painoksesta millään tavalla. Sähkön tutkimisen historiaa selvittäessäni apuna ovat olleet myös Homen artikkelikokoelma *Electricity and the Experimental Physics in 18th century Europe* ja Meyerin hiukan koulukirjamainen teos *A History of Electricity and Magnetism*. Sähkön hyödyntämisestä lääketieteessä (ja hiukan myös biologiassa) käsittelee Rowbottomin ja Susskindin tutkimus *Electricity and Medicine. History of their Interaction*. Luonnontieteiden puolella kirjoitetut, niiden omaa historiaa käsittelevät teokset ovat olleet lähinnä suurmiehiin ja läpimurtoihin keskittyneitä, eikä niistä ole ollut itselleni apua.

Sähkön tutkimusta 1700-luvun puolenvälin jälkeen olen yrittänyt liittää yhteen myös yleisemmin luonnontieteiden tutkimiseen ja kokeellisen luonnontieteen nousuun melkein pä 'ainoaksi oikeaksi' arvostetuksi tieteeksi. Siihen tieteellisen ja kulttuurisen ajattelun muuttumiseen mikä tapahtui niin sanotun tieteellisen vallankumouksen yhteydessä. Tässä olen käyttänyt apuna useita yleisemmin luonnontieteiden kehittymisestä kertovia tutkimuksia. Eniten iloa oli Goodmanin ja Russelin toimittamasta teoksesta *The Rise of Scientific Europe 1500 – 1800* ja Cohenin kirjasta *Revolution in Science*. Apunani on ollut myös lukion laajan oppimäärän sisältävä fysiikan kirja, mikä oli korvaamaton apu sähkön tieteellistä puolta muistellessa.

Aluksi käyn lyhyehkösti läpi tieteellisten seurojen, ja erityisesti Royal Societyn, syntyä ja historiaa, minkä jälkeen siirryn sähköön ja siihen kohdistuneeseen tutkimukseen aina 1700-luvun puoleenväliin saakka. Sen pidemmälle meneminen ei ole tarpeellista oman tutkimukseni aikarajauksen vuoksi. Tämä ensimmäinen osio on ihan tietoisesti keskittynyt muutamiin suurlöytöihin ja niiden kehittäjiin, jotta se ei pääsisi venymään liian pitkäksi. Pyrin kuitenkin tuomaan myös esille tiedemiesten tieteenfilosofista puolta. Tämän pohjustuksen jälkeen siirryn varsinaiseen tutkimukseeni, ja pyrin selvittämään kuinka tiedeyhteisö toimi 1700-luvun puolenvälin jälkeen. Erityistarkkailussa on kysymys siitä, kuinka paljon tieteellistä keskustelua käytiin *Philosophical Transactions*in sivuilla. Käyn läpi kokeita ja tutkimuksia joiden avulla tutkijat yrittivät laatia sähkölle teoriaa, minkä avulla sen ominaisuudet ja käyttäytyminen voitaisiin selittää. Miksi tutkijoiden tulokset poikkesivat niin

paljon toisistaan? Näkyvätkö tutkijoiden väliset erimielisyydet lehden palstoilla? Mitkä aineet johtavat sähköä ja miksi? Voitaisiinko sähköä mahdollisesti jotenkin hyödyntää jokapäiväisessä elämässä? Miten paljon ja millä tavoin tutkijat tekivät yhteistyötä vai olivatko tiedemiehet laboratorioihinsa linnottautuneita erakoituneita yksinäisiä susia? Lopuksi tarkastelen, kuinka tiedemiehet tutkivat sähköä biologian ja lääketieteen piirissä. Pystyvätkö tietyt eläimet tuottamaan sähköä? Kuinka ihmeessä sähkön tuottaminen elimistössä on mahdollista? Miten sähkö vaikuttaa kasveihin, eläimiin ja ihmisiin? Voisiko sähköstä olla apua joidenkin sairauksien parantamisessa?

2. SÄHKÖN MATKA TIETEEKSI

2.1. Tieteellinen vallankumous ja tieteelliset seurat

Tieteellinen vallankumous on käsite, jota käytetään reilun parin vuosisadan ajanjaksosta, joka ulottuu suurinpiirtein 1500-luvun alkupuolelta (yleisesti sen katsotaan alkaneen Kopernikuksen ja Vesaliuksen julkaistua mullistavat tutkimustuloksensa vuonna 1543) 1700-luvun loppupuolelle. Kyse ei siis ole mistään yhtäkkisestä suuresta mullistuksesta, vaan hitaasta ja pitkästä prosessista jonka aikana tapahtui niin kokeellisen luonnontieteen nousu kuin uskonnon vahvan määräysvallan hidaskureminen tieteen suhteen. Siksi onkin hiukan outoa puhua vallankumouksesta, mutta termi on jäänyt yleiseen käyttöön kuvaamaan tätä kehitystä. Tieteellinen vallankumous onkin nimenomaan luonnontieteellinen vallankumous. 1600-luvulta eteenpäin luonnontieteet ovat alkaneet kehittyä yhä vain kiihtyvällä nopeudella, jolle ei näy loppua tänä päivänäkään.³

Francis Bacon oli empirismin ja induktiivisen päättelyn (yksittäisten havaintojen perusteella voidaan luoda yhtenäinen teoria) todellinen äänitorvi ja kirjoitti myös sen puolesta, että

³ Esim. vain muutama kuukausi sitten (23.11.2001) kerrottiin uutisissa Yhdysvaltalaisien tiedemiesten kloonanneen ihmisalkion ja nykytieteen esittämä atomimalli on sellainen, ettei sitä moni pysty ymmärtämään kunnolla edes vuosien opiskelun myötä.

tieteestä ja sen tuloksista on ehdottomasti oltava ihmisille hyötyä. 1600-luku oli myös kilpailevan ajattelusuunnan, kartesiolaisuuden, aikaa. Kehittäjänsä René Descartesin mukaan nimetyssä tietoteoriassa painotettiin rationaalisen ajattelun tärkeyttä. Deduktiivinen päättely (yleisistä ja varmoista totuuksista voidaan päätellä yksittäisiä tapauksia ja yksityiskohtia) oli hänen mielestään ainoa varma tapa pysyä totuudessa. Kartesiolaisuus joutui myöhemmin väistymään empirismin tieltä, vaikka Ranska olikin varsin pitkään sen viimeisenä linnakkeena.

Koko tieteellisen vallankumouksen ja erityisesti fysiikan suurimmaksi nimeksi on aina yleisesti tunnustettu Isaac Newton (1642 – 1727). Kuten tuohon aikaan suurin osa tieteen tekijöistä, myös Newton oli monialainen tutkija. Aikansa tiedeyhteisössä hän tuli ensimmäiseksi tunnetuksi optiikan alalla mm. kehittämällä kaukoputkea tehokkaammaksi ja tutkimalla valon rakennetta. Se oli myös syy miksi hänet aikanaan kutsuttiin Royal Societyn jäseneksi.⁴ Yleinen painovoimalaki ja sen kehittäminen on kuitenkin se teoria, jonka vuoksi Newton on jäänyt aikakirjoihin. Newton julkaisi teoriansa vuonna 1687 ilmestyneessä teoksessa *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Newtonin mukaan jokainen kappale vetää puoleensa muita kappaleita tietyllä voimalla, joka on riippuvainen kyseisen kappaleen massasta. Tämän teorian avulla on myös selitettävissä kaikkien taivaankappaleiden liikkeet sekä liikeratojen ellipsisyys, jota eivät Kepler tai Galilei olleet pystyneet selittämään (vaikka molemmat olivat havainneet taivaankappaleiden kiertävän ellipsin muotoisilla radoilla).

Newtonin ansiot eivät suinkaan jääneet tähän. Hän kehitti edelleen Galilein ajatuksia kappaleiden liikkeistä ja tiivisti teoriansa mekaniikan kolmeksi peruslakeksi. Edelleenkin lukiolaiset aloittavat mekaniikan opiskelunsa opettelemalla käyttämään näitä peruslakeja. Hän oli myös ensimmäinen fyysikko, joka teki selkeän eron massan ja painon välillä. Newton selvitti valon koostumusta onnistumalla jakamaan sen prisman avulla sateenkaaren värisiin valoihin ja kokoamalla värit takaisin valkoiseksi valoksi. Matematiikan alalla Newton kunnostautui mm. kehittämällä differentiaalilaskentaa. Mutta Newtonillakin oli toinen

⁴ Goodman & Russell, s. 221.

puolensa, muiden aikalaistensa tavoin hän harrasti ahkerasti alkemiaa, varsinkin myöhempinä elinvuosinaan.⁵

Bacon oli ensimmäinen, joka esitti ajatuksen pelkästään tieteelle ja sen tekemiselle omistautuneesta yhteisöstä. Vuonna 1626 ilmestyneessä teoksessaan *The New Atlantis* hän hahmotteli omaa ihannevaltiotaan, jossa toimisi myös tieteen tekemisen keskipiste, Salomonin talo. Tässä talossa toimisi 36 tiedemiestä, jotka tekisivät ryhmätyötä yhdessä tai pienemmissä ryhmissä. Salomonin talossa tutkijoilla olisivat kaikki tarpeelliset välineet, laboratoriot ja rakennelmat tutkimuksia varten. Voidaankin sanoa, että kaikki kolme Francis Baconin perusajatusta (tieteelle omistautunut yhteisö, keskittyminen empiiriseen luonnontieteeseen ja ajatus siitä että tieteestä tulee olla hyötyä jokapäiväisessä elämässä) yhdistyvät ja ilmenevät melkein kaikissa 1700-luvulla voimissaan olleissa tieteellisissä seuroissa.⁶

Erilaisia tieteellisiä seuroja oli useita. Ne erosivat niin jäsenistöltään, organisaatioiltaan kuin toiminnaltaankin. Joukossa oli varmasti monia itseään tieteelliseksi seuraksi kutsuvaa herrasmiesten kerhoa, joiden tieteellisyys oli lähinnä uusista keksinnöistä ja saavutuksista keskustelemisen ohella tehdä erilaisia viihdyttäviä ja näyttäviä kokeita. Yleisesti ottaen seuraa voidaan pitää tieteellisenä silloin, kun sen jäsenet ovat jotenkin tekemisissä tieteen tutkimuksen tai kehittämisen kanssa, oli sitten kysymyksessä itse tehty tieteellinen tutkimus tai sen rahoittaminen.

Tieteellisten seurojen esi-isinä voidaan pitää aatelisten ja porvarien kirjallisuusseuroja, joihin kokoonnuttiin lukemaan lehtiä ja keskustelemaan paitsi päivän tapahtumista myös filosofiasta ja tieteestä. Näissä kerhoissa alkoivat monesti erottua tieteistä enemmän kiinnostuneet, ja ehkäpä jo sen parissa toimivatkin, henkilöt omaksi pienemmäksi piirikseen. Ensimmäisenä varsinaisena tieteellisenä seurana pidetään Fiorentiinaan vuonna 1657 perustettua *Accademia del Cimento*.⁷ Royal Society perustettiin vuonna 1660 ja Ranska sai oman kuninkaallisen

⁵ Cohen, 1985, s. 161-2.

⁶ Goodman & Russell, s. 205.

⁷ Goodman & Russell, s. 229.

tiedeseuransa kuusi vuotta myöhemmin.⁸ 1700-lukua voidaan pitää tieteellisten seurojen kulta-aikana, silloin niitä perustettiin nopeaan tahtiin eri puolelle Eurooppaa. Seurojen perustamisen innokkuuteen vaikutti paitsi se, että pelättiin kehityksen kyydistä putoamista (etenkin sodankäynnin alalla), myös se, että oma kuninkaallinen tiedeseura oli itsevaltiuden ajalla hallitsijalle myös statuskysymys.

Yhdellä tärkeällä tavalla tieteelliset seurat erosivat muista 1600- ja 1700-lukujen tiedeyhteisöistä. Edeltävät yhteisöt oli perustettu joko opetusta varten (kuten yliopistot⁹) tai suojelemaan jonkun tietyn ammattiryhmän etuja. Tieteelliset seurat perustettiin nimenomaan tukemaan tieteellistä tutkimusta ja uuden tiedon etsimistä, sekä kehittämään erilaisia keinoja hyödyntää tieteellistä osaamista jokapäiväisessä elämässä.¹⁰

Tärkein vaikutus tieteellisillä seuroilla on ollut tieteelliseen kehitykseen siinä, että itse luonnontieteellinen tutkimusprosessi kehittyi suuresti. Kun seuroissa raportoitiin ja keskusteltiin jonkun tutkimustyöstä ja –ajatuksista, ne joutuivat jatkuvasti toisten tutkijoiden kriittisen tarkastelun ja ristitulen eteen. Omat ajatukset ja tutkimustulokset oli pystyttävä todistamaan oikeiksi aidoilla kokeilla, usein vieläpä jäsenten valvovien silmien alla. Vähintäänkin oli pystyttävä antamaan sellainen raportti tutkimuksistaan, että muut jäsenet pystyivät halutessaan myös tekemään samat kokeet. Oma merkityksensä tieteen kehittymiseen on myös sillä, että tieteelliset seurat Baconin esimerkkiä seuraten saattoivat rakentaa jäsenistönsä käyttöön laboratorioita ja kirjastoja. Tutkijoiden tekemä yhteistyö myös kasvoi seurojen myötä.

Seuroilla oli myös toinen puolensa, nimittäin ”seuraelämä” sosiaalisen toimintana. Monet tiedemiehet olivat jatkuvasti uppoutuneita työhönsä, jolloin sosiaalinen elämä saattoi jäädä aika köyhäksi. Seuran kokouksissa pystyi paitsi puhumaan tieteestä myös keskustelemaan muusta maailman menosta samanhenkisten ihmisten kanssa, syödä päivällistä ja ylipäättänsä harrastaa kaikenlaista sosiaalista toimintaa, mikä katkaisee arjen aherruksen. Lisäksi

⁸ Goodman & Russell, s. 231 ja 237.

⁹ 1600– ja 1700-luvuilla yliopistot eivät olleet, kuten nykyään, uuden tieteellisen tutkimuksen kehtoja, vaan ennemminkin vanhan tieteen ylläpitäjiä ja opettajia.

¹⁰ Valle 1999, s. 94.

arvostetun tiedeseuran jäsenyys toi sosiaalista arvostusta myös muiden kuin tiedemiesten silmissä.

1700 – luvulla tieteellinen maailmankäsitys alkoi (samalla kuin maallistuminenkin) levitä entistä enemmän myös muiden kuin varsinaisten tiedemiesten keskuuteen. Fysiikassa ei enää tehty mitään suuria ja järjestyttäviä löytöjä Newtonin jälkeen, enemmänkin hänen mallinsa mukaan tehtiin töitä eri fysiikan alojen parissa. Newton oli varsinkin brittiläisille tutkijoille SE suuri esikuva aina 1900–luvulle saakka, tämä tulee erittäin selvästi esille myös tutkimissani *Philosophical Transactions*in artikkeleissa. ”Suuri Isaac Newton” mainittiin aina kun puhuttiin fysiikan tai luonnontieteen historiasta. Suurimmat edistysaskeleet luonnontieteessä otettiin ehkä kemian puolella, varsinkin vuosisadan loppupuolella, jolloin kaasujen tutkiminen nousi oikeastaan suosituimmaksi tieteen alaksi. Siis vaikka tiede kehittyi koko ajan eteenpäin, tieteellisten tulosten hyödyntäminen käytännössä oli vielä aika vähäistä.

2.2. Royal Society

Royal Society sai alkunsa suurin piirtein vuonna 1645, jolloin ryhmä nimenomaan kokeellisesta luonnontieteestä kiinnostuneita henkilöitä alkoi kokoontua, enemmän ja vähemmän säännöllisesti, Gresham Collegien tiloissa Lontoossa. Kokoontumiset olivat epävirallisia ja –muodollisia tapaamisia, joissa tutkijat vaihtoivat mielipiteitään, keskustelivat tutkimuksistaan ja antoivat yleisiä luentoja tieteestä kiinnostuneille, sekä latinaksi että englanniksi. Tämä tutkijoiden ryhmä, johon kuului niin tutkijoita Gresham Collegesta kuin Oxfordin yliopistostakin, virallistettiin viitisoista vuotta myöhemmin Lontoon kuninkaalliseksi tiedeseuraksi.¹¹

Toiminta Royal Societyssä oli vastaavaa kuin muissakin tiedeseuroissa. Kokoontumisia oli suurin piirtein viikoittain ja jäsenet osallistuivat niihin innokkaasti. Näissä kokoontumisissa, varsinkin alkuaikoina, suoritettiin kokeita yleisön (eli muiden tutkijoiden) edessä, myöhemmin nämä demonstraatiot vähenivät ja ne korvautuivat yksityiskohtaisemmillä

tutkimusraporteilla. Erilaisten raporttien ja kirjeiden lukeminen ja niistä keskusteleminen oli Royal Societyn kokoontumisissa jokakertaista.

Baconilainen ja newtonilainen kokeellinen luonnontiede kukoisti Royal Societyssa. Baconin perusajatukset tieteellisen tiedon kokoamisesta, empirismistä ja hyötyajattelusta olivat jo Gresham Collegeen kokoontuneiden tutkijoiden sisäistämiä ajatuksia. Royal Societyn jäsenistö ansioitui erityisesti matematiikassa, fysiikassa, astronomiassa, kemiassa, biologiassa sekä lääketieteessä.

Päästäkseen jäseneksi Royal Societyyn halukas tarvitsi itselleen suosittelijan, joka ehdotti uutta jäsentä vanhalle jäsenistölle. Jäsenistö äänesti aina uusista jäsenistä, enemmistön puolelleen saanut kutsuttiin jäseneksi. Lisäksi uuden tulokkaan oli suoritettava liittymismaksu, joka oli varsin suuri summa. Tällainen jäsenmenettely aiheutti varsinkin seuran alkuaikoina sen, että jäsenistö oli varsin aristokraattinen. Aatelisia myös otettiin helpommin jäseneksi, sillä sen toivottiin tuovan seuralle lisää arvostusta ja taloudellista turvallisuutta.¹²

Royal Societyssa vallitsikin jatkuvasti krooninen rahapula. Seuralla ei ollut mitään säännöllistä tulonlähdettä, sillä uusien jäsenten suorittamia jäsenmaksuja ei sellaiseksi voi laskea. Seuran toiminta olikin täysin riippuvaista olemassaolevien jäsentensä lahjoituksista seuralle. Tämän vuoksi seuran jäsenistöä pyrittiin pitämään mahdollisuuksien mukaan niin laajana kuin vain kyettiin ja jäsenistöön otettiin helposti anteliaita tieteenharrastajia tai ihan harrastumattomia herrasmiehiä. Kaikki ”oikeat” tiedemiehet eivät tästä tietenkään olleet innostuneita. 1700-luvun puolella välissä jäseniä oli lähes 350, vuosisadan loppuun mennessä määrä oli kasvanut miltei viiteen ja puoleen sataan.¹³

Huolimatta siitä, että Royal Society oli perustettu myös tukemaan nimenomaan brittiläistä valtakuntaa, sen jäsenistössä oli paljon ulkomaalaisia tutkijoita. Seuran säännöstössä sanottiin myös, että jäsenten täytyy ottaa säännöllisesti osaa seuran kokoontumisiin Lontoossa.

¹¹ Valle, 1999, s.95-96 ja Goodman & Russell, 1991, s. 231-232.

¹² Goodman & Russell, 1991, s. 234.

¹³ Valle, 1999, s. 101 ja Goodman & Russell, 1991, s. 236.

Ulkomaalaisjäsenten osuus oli noin kymmenen prosentin luokkaa, mutta heidän merkityksensä korostuu kun huomioidaan, että suurin osa heistä oli aikansa huippututkijoita. Rahoittajien osuus ulkomaalaisten jäsenten joukossa oli pieni, toisin kuin brittiläistä alkuperää olevien jäsenten keskuudessa.¹⁴

Royal Society oli varsin löysästi johdettu järjestö. Vaikka seuralla olikin nimetty puheenjohtaja, kokoukset eivät olleet virallisesti johdettuja. Puheenjohtaja oli ennemminkin keulakuva, jonka tärkein tehtävä oli pitää yllä hyviä suhteita kaikkiin vähäisiin rahanoihin. Siksi puheenjohtajaksi usein valittiinkin tunnettu ja näkyvä hahmo, mm. Newton toimi pitkään Royal Societyn puheenjohtajana. Seuran asioiden hoito oli vielä pitkään 1800 – luvulle saakka vapaaehtoisuuteen perustuvaa ja siksi usein varsin lyhytjännitteisesti suunniteltua.¹⁵

Vapaaehtoisuuteen perustui myös *Philosophical Transactionsin* toimittaminen ja julkaiseminen. Kun *Philosophical Transactionsia* ryhdyttiin vuonna 1665 julkaisemaan, se ilmestyi pääasiassa kuukausittain. Painavista syistä, kuten heti kesän 1665 Lontoon ruttoepidemian vuoksi, johtuen lehti saattoi olla pitkänkin aikaa ilmestymättä. Laajuus vaihteli kahdeksasta kolmeenkymmeneen kahteen sivuun, lehden ollessa yleensä kuusitoista sivuinen. Lehteä toimitti ja painoi, ”Jumalan ylistykseksi, näiden kuningaskuntien edun vuoksi ja kunniaksi sekä koko ihmiskunnan hyväksi”¹⁶ omassa kirjepainossaan Henry Oldenburg. Pian, jo parin vuoden jälkeen, julkaisutiheys muuttui vuosittaiseksi ja muoto ohuesta läpyskästä montasataa sivua paksuksi kirjaksi.¹⁷ Royal Societyn löyhää johtamistapaa kuvaa hyvin se, että virallisesti seura otti lehensä julkaisemisen omaan hoitoonsa vasta 1700 –luvun puolessa välissä.¹⁸ Seuran vahva brittiläisyys tulee erittäin selvästi esille siinä seikassa, että *Philosophical Transactions* julkaistiin alusta alkaen englanninkielisenä, kaikki

¹⁴ Goodman & Russell, 1991, s. 234.

¹⁵ Goodman & Russell, 1991, s. 234.

¹⁶ Henry Oldenburg *Philosophical Transactionsin* ensimmäisessä numerossa vuonna 1665. Tässä lainattu: Valle, 1999, s. 176.

¹⁷ Valle, 1999, s. 176.

¹⁸ Goodman & Russell, 1991, s. 235.

ulkomaisilta tutkijoilta peräisin olleet artikkelit pyrittiin kääntämään englannin kielelle.¹⁹ Varsin nopeasti *Philosophical Transactions* nousi kansainvälisesti arvostetuimmaksi ja luetuimmaksi tieteelliseksi julkaisuksi, mikä entisestään nosti myös Royal Societyn jäsenyyden arvostusta. 1700-luvulla lehteä käännettiin niin latinan, ranskan, italian kuin saksankin kielelle.²⁰

*Philosophical Transactions*issa julkaistujen artikkelien aihepiiri vaihteli tieteen laidasta laitaan. Tieteen määritelmäkin poikkeaa suuresti nykyisestä, varsinkin aivan lehden alkuaikoina julkaistiin myös artikkeleja, jotka ovat ennemminkin alkemian, mystiikan ja taikuuden alueelta. Kokeellinen luonnontiede oli kuitenkin hallitsevin aihe julkaistuissa artikkeleissa, etenkin 1700-luvun alusta alkaen. Erittäin paljon on myös lyhyehköjä kertomuksia erikoisista luonnon ilmiöistä, kuten meteoriiteista ja pallosalamoista. Samoin kaukaisiin maihin tehdyiltä matkoilta raportoitiin löydettyistä uusista, tuntemattomista ja mielenkiintoisista kasvi- ja eläinlajeista.²¹

2.3. Sähköntutkimus ennen vuotta 1700

Ensimmäisen kerran sähköisiä ilmiöitä mainitaan tieteellisessä mielessä tutkittaneen antiikin Kreikassa. Filosofi Thalesin (n. 640 – 546 eKr.) kerrotaan tutkineen meripihkaa ja sen hämmästyttä herättäneitä ominaisuuksia. Hän huomasi, että kun meripihkaa hankaa esimerkiksi kankaanpalalla, se ryhtyy vetämään puoleensa keveitä esineitä, kuten esimerkiksi kuivaa heinää ja hiuksia. Tätä alkuperää on myös englannin kieleen (ja moneen muuhunkin kieleen melkein vastaava) sähköä tarkoittava termi *electricity*. Kreikan kielellä meripihka on *elektron*.²² Ensimmäisenä termiä englannin kielessä käytti Elisabeth I:n hovissa viihtynyt tiedemies William Gilbert (1544 – 1603). Hän tutki myös meripihkaa ja muita sähköistyviä

¹⁹ Tähän ei kuitenkaan täysin kyetty, vielä 1700 – luvun lopullakin joukossa on muutamia ranskan ja latinankielisiä artikkeleja.

²⁰ Valle, 1999, s. 179.

²¹ Valle, 1999, s.117-118.

²² Meyer, 1971, s. 4.

aineita.²³ Sen sijaan suomen kielen sana sähkö on mitä ilmeisemmin peräisin sähköpurkausten yhteydessä joskus kuultavasta 'sähinästä'.

Ensimmäisenä sähkössä huomattiin nimenomaan sen ominaisuus vetää esineitä puoleensa. Pian havaittiin myös mahdollinen hylkimisvoima. Koko sähkön tutkimuksen alkuaikojen aina 1800-luvun alkuun saakka tiedemiehet pyrkivät selvittämään, mikä oikein aiheuttaa nämä veto- ja hylkimisvoimat.

Aluksi sähköä tuotettiin juuri hankaamalla jotain helposti sähköistyvää ainetta, kuten lasia tai meripihkaa. Lasiputki oli yleisin väline tähän tarkoitukseen. Ensimmäisen alkeellisen sähkön tuottamiseen tarkoitetun kojeen kehitti saksalainen Otto von Guericke (1602 – 1686), jota voidaan myös pitää koko 1600-luvun suurimpana sähkön tutkijana. Von Guericke'n koje muodostui rikkipäälysteisestä pallosta, jonka läpi kulki rautainen akseli. Akseli oli kiinnitetty puiseen telineeseen, siten että palloa pystyi helposti pyörittämään kammien avulla. Kun palloa pyöritettiin ja samalla pidettiin kangasta sen pinnalla, varautui palloon sähköä.²⁴ Sähkön tuottamiseen käytettyjen koneiden rakennus ja toimintaperiaate säilyi pitkään samanlaisena. Von Guericke'n koneesta vain kehiteltiin tehokkaampia versioita joko lisäämällä erilaisten hihnojen ja pyörien avulla pallon (tai myöhemmin vanteen) pyörimisnopeutta, lisäämällä hankauspintoja tai näitä molempia keinoja yhdistelemällä.²⁵

Sähkökoneen kehittäminen helpotti huomattavasti sähkön tutkimista, sillä nyt pystyttiin vaivattomasti tuottamaan tieteellisten kokeiden tarvitsema sähkö. Kun koneen rakenne oli lisäksi erittäin yksinkertainen ja halpa, oli niitä helppo halukkaiden ja tarvitsevien tutkijoiden itselleen hankkia tai rakentaa. Koneensa avulla von Guericke tutki sähköisiä veto- ja hylkimisvoimia (mm. lennätti höyhentä ilmassa pitkiä aikoja varatun pallon avulla) ja todisti ensimmäisenä sähkön johtuvuuden. Hän kosketti varatulla pallollaan metallitankoa, jonka päässä oleva lanka hakeutui välittömästi kosketuksen tapahtuessa kohti langan lähelle asetettuja esineitä.²⁶

²³ Heilbron, 1999, s. 169.

²⁴ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 3.

²⁵ Meyer, 1971, s. 12.

²⁶ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 3.

1600-luvulla ei sähkön tutkijoilla (jotka olivat vielä aika harvassa) ollut minkäänlaista käsitystä siitä, mitä sähkö oikeastaan loppujen lopuksi on. Miksi jotkut aineet niitä hangatessa alkavat vetämään tai hylkimään muita esineitä? Kun kuitenkin ei esineiden välillä ei ollut mitään yhteyttä, ainoastaan ilmaa. Yleisimmin tarjottiin selitystä jonkin tuntemattoman, ihmeellisen ja näkymättömän aineen olemassaoloa. Tämä aine yhdistäisi nämä kappaleet kiinteästi toisiinsa aiheuttaen tutkittavat ilmiöt. Tällaisen 'aineettoman aineen' olemassaololla epäselviksi jääneiden ilmiöiden selittäminen oli tuohon aikaan muissakin tieteissä kuin sähkön tutkimuksessa hyvin tavallista, muun muassa lämpöä ja magneettisia ilmiöitä selitettiin samoin periaattein.

2.4. 1700 – luku sähkön tutkimuksessa

Vuosisadan vaihteen jälkeen johtavuuden tutkimista jatkoi ansiokkaasti englantilainen Stephen Gray (1695 – 1736). Gray sai selville, että sähkö johtuu aikalaisten näkökulmasta katsoen uskomattoman pitkiä matkoja. 1729 hän esitteli tutkimustuloksiaan Royal Societylle. Eristettyjen silkkilankojen varassa roikkuvassa metallijohdossa sähkö johtui 270 metrin matkan päähän, missä lankaan ripustettu lasipallo veti puoleensa maassa olevaa paperisilppua.²⁷ Gray myös jaotteli eri aineita johtimiin ja eristimiin.²⁸ Hän selvitti myös sen, että sähkö etenee mieluiten lyhintä reittiä paikasta toiseen. Samoin Gray huomasi sähkön voivan kulkea suljetussa renkaassa täyden ympyrän ja myös liikkua renkaasta toiseen.²⁹ Enemmän huomiota suurelta yleisöltä sai hänen Sähköinen poika – esityksensä. Hän oli tietävästi ensimmäinen, joka (siis tarkoituksellisesti) sähköisti ihmisen. Poika laitettiin roikkumaan naruista ja sähköistetty lasiputki (joka oli edelleen ahkerasti käytetty tapa sähkön tuottamiseen, ainakin tällaisissa julkisissa esityksissä) tuotiin pojan jalkojen lähelle. Samalla paperin palat nousivat maasta pojan käsiin usean senttimetrin korkeuteen.³⁰ Tempu oli erittäin suosittu silloin ja pitkään sen jälkeenkin eri puolilla Eurooppaa, niin markkinarahvaan kuin hoviväenkin keskuudessa.

²⁷ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 4 ja Meyer, 1971, s. 16.

²⁸ Gray ei kuitenkaan vielä käyttänyt termiä eriste (engl. insulator). Hän puhui ei-johtimista (engl. non-conductors)

²⁹ Heilbron, 1999, s. 248-9.

Seuraava keksintö, joka todella mullisti sähkön tutkimuksen, oli kondensaattori.³¹ Kondensaattorin syntyminen oli vahinko, mikä ei suinkaan ole tieteen historiassa mitenkään ainutlaatuista.³² Tutkijat olivat jo jonkin aikaa viihdyttäneet itseään ja yleisöään sähköisillä kipinöillä. Kipinöitä oli saatu vedellä täytetystä pullosta, joka oli eristetyllä alustalla, ja veteen johdettiin sähköä koneesta johtimen avulla. Kun ihminen sitten kosketti lasipullon pintaa, sai hän pienen säväyksen, ja kun koe suoritettiin pimeässä huoneessa, nähtiin kipinä sormen ja pullon välillä. Kerran ollessaan itsekseen ystävänsä laboratoriossa Andreas Cunaeus³³ piti ladattavaa pulloa huomaamattaan kädessään samalla kun hän varasi sitä sähköllä. Kun hän sitten kosketti pulloon menevää johdinta kädellään, hän sai ennenkuulumattoman voimakkaan sähköiskun ruumiiseensa. Laboratorion omistaja van Mussenbroek (1692 – 1761) suoritti itse edellisen kokeen kuultuaan siitä ystävältään ja sai huomata maavansa lattialla kivuisaan.³⁴ Myöhemmin hän kuvasi tapahtumia kirjeessä ”... käsi ja koko vartalo sai niin kammottavan iskun, etten voi sitä kuvailla. Luulin että kuolema tulisi.”³⁵ Kun uutiset kokeesta levisivät Eurooppaan, sitä kokeiltiin kaikkialla ja vastaavien kivun tuntemusten lisäksi saatiin aikaan nenäverenvuotoja, tilapäisiä halvaantumisia ja pyörytmisiä. Joku houkutteli vaimonsakin koekaniiniksi.³⁶ Kukaan ei kuitenkaan osannut selittää, mistä Leidenin pullon (nimitys tulee van Mussenbroekin asuinpaikan mukaan) kyky varata itseensä sähköä johtuu, saatikka sen kammottavaa voimaa.

Leidenin pullo oli sikäli merkittävä, että se mahdollisti uusia tutkimuksia, koska nyt pystyttiin keräämään suurempia sähkövoimia kokeita varten. Sähkön huomattiin johtuvan huomattavasti pidempiä matkoja kuin aikaisemmin oli havaittu. Useiden kilometrien pituisilla johdoilla tutkittiin myös sähkön kulkunopeutta, mikä havaittiin erittäin suureksi. Englannissa

³⁰ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 4.

³¹ Kondensaattorilla kyetään varaamaan sähköä ja näin tutkimuksessa käytettäviä jännitemääriä pystyttiin nostamaan.

³² Esimerkiksi penisiliinin ja radioaktiivisuuden keksimiset tapahtuivat vahingossa. Yleensä vahingossa keksitään jotain mullistavaa ja odottamatonta, sellaista jota ei ajan vallitsevien teorioiden mukaan pitäisi olla tai tapahtua.

³³ Cunaeus oli lakimies, eikä tehnyt ollenkaan tieteellistä tutkimusta. Hänellä oli, monen aikalaisensa tavoin, tapana huvitella erilaisilla kokeilla ystävänsä välineillä.

³⁴ Heilbron, 1999, s. 311-3 ja Rowbottom & Susskind, 1984, s. 7-8.

³⁵ Tässä Heilbron, 1999, s. 313. ”... but the arm and entire body are affected so terribly I can't describe it. I thought I was done for.”

³⁶ Heilbron, 1999, s. 314.

nopeudeksi pystyttiin ainoastaan arvioimaan enemmän kuin maili sekunnissa, Ranskassa kokeiden perusteella päätettiin sähkön etenevän ainakin 30 kertaa nopeammin kuin äänen.³⁷ Kun tiedemiehet kokeilivat iskua varpuseen, se kuoli välittömästi. Ruumiinavauksessa havaittiin sen sisäelinten olevan iskun jäljiltä samassa kunnossa kuin salaman iskuun kuolleella ihmisellä. Tämä vahvisti jo aikaisemmin esitettyjä epäilyjä salaman ja sähkön samasta alkuperästä.³⁸ Sähkön kulkua erilaisissa johtimissa pystyttiin myös tutkimaan paremmin entistä suuremmilla sähkömäärillä. Leidenin pullon avulla myös viihdytettiin ihmisiä aikaisempaa suuremmalla mittakaavalla: Ranskassa kuninkaan ja hovin tylsistymistä estettiin saamalla sähköiskun avulla vajaat parisataa vartijaa tai munkkia hyppäämään ja sätkimään tahdottomasti samanaikaisesti.³⁹

Pitkään täysin oikeana selityksenä Leidenin pullolle pidetyn teorian kehitti sähköntutkimuksen tärkeimmäksi henkilöksi yleisesti tunnustettu Benjamin Franklin (1706 – 1790), joka on vieläkin tunnetumpi valtio- kuin tiedemiehenä. Ennen kuin hän pystyi selittämään Leidenin pullon ilmiön, hän oli keksinyt, että sähköllä on kaksi erilaista varausta, plus- ja miinusvaraukset. Tähän tulokseen hän oli päässyt seuraavanlaisen kokeen perusteella: On kolme ihmistä, joista kaksi, henkilöt A ja B, seisovat eristetyillä alustoilla. A hankaa lasiputkea ja tulee siten varatuksi negatiivisella sähköllä. A:n sähköistäessä itseään B koskettaa lasiputken toista päätä ja tulee näin varatuksi positiivisella sähköllä. Jos henkilö C, jota ei ole mitenkään sähköisesti varattu, nyt koskettaa kumpaakaan henkilöistä A tai B, hän saa kummaltakin suurinpiirtein yhtäsuuren sähköiskun. Sen sijaan jos A ja B koskettavat toisiaan sähköistämisen jälkeen, he kokevat selkeästi voimakkaamman iskun kuin C:n koskettaessa heitä. Franklin teki tästä sellaisen johtopäätöksen, että sähköiskun voimakkuus riippuu varausten välisestä erosta.⁴⁰

Leidenin pullon arvoituksen kimppuun Franklin hyökkäsi pian keksittyään positiivisen ja negatiivisen sähkön. Näitä tutkimuksiaan hän teki erittäin intensiivisesti 1740-luvun

³⁷ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 9-10.

³⁸ Heilbron, 1999, s. 317-8.

³⁹ Heilbron, 1999, s. 318 ja Rowbottom & Susskind, 1984, s. 9.

⁴⁰ Heilbron, 1999, s. 328-9.

puolivälissä.⁴¹ Jos pulloon menee positiivista sähköä, eikä se lasin läpi pääse pois, niin mihin muodostuu negatiivinen varaus, joka liittyy välttämättömästi positiiviseen varaukseen? Franklin keksi, että negatiivinen varaus syntyy Leidenin pullon ulkopinnalle, positiivinen varaus vetää sen pulloa pitävästä miehestä ja maasta. Kun henkilö sitten koskettaa pulloon sisälle veteen menevää johtoa, purkautuvat varaukset voimakkaasti ja kivuliaasti pulloa pitelevän henkilön ruumiin lävitse.⁴² Pullon kapasiteetti varata sähköä riippuu sen ulkopinnan pinta-alasta.

Plus-miinus –teorian avulla pystyttiin myös selittämään sähköön veto- ja hylkimisvoimia. Samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan, mutta erimerkkiset (tai neutraali ja kumman tahansa varauksen omaava) varaukset vetävät toisiaan puoleensa. Franklin ei kuitenkaan välittömästi havainnut tätä yhteyttä näiden kahden asian välillä, vaan keksi sen muutamaa vuotta myöhemmin.⁴³ Tavallaan sitä oli kuitenkin tiedostamatta sovellettu ensimmäisissä alkeellisissa sähkömittareissa, joiden toiminta perustui hylkimisvoimaan. Franklinin ajatukset eivät suinkaan saaneet heti varauksetonta kannatusta kaikkien muiden tutkijoiden keskuudessa, mutta kun eri kokeet alkoivat tuottaa teorioita tukevia ajatuksia alkoi vastarinta hiljentyä.

Sähköisten voimien ja ilmiöiden selittäminen osoittautui tutkijoille erittäin vaikeaksi. Tämä johtui hyvin paljon sähköllä tehtyjen kokeiden ja niiden avulla saatujen havaintojen yllättävyydestä ja ristiriitaisuuksista. Osittain nämä suuret epäselvyydet ja ristiriitaisuudet (usein eri tutkijat saattoivat, periaatteessa samoista kokeista, saada aivan päinvastaisia tuloksia) voidaan pitkälti selittää koeolosuhteiden ja –välineiden erilaisuudella. Käytetyt sähkömäärät olivat aluksi hyvinkin pieniä ja sähkömäärien suhteelliset erot ovat silloin suuria. Tämän vuoksi jotkut kokeet vaativat onnistuakseen otolliset olosuhteet, kuten esimerkiksi

⁴¹ Heilbron, 1999, s. 327.

⁴² Heilbron, 1999, s. 330-1.

⁴³ Home, 1992, luku IX, s. 133. Tässä on samalla paikallaan selvittää Homen teoksen sivunumerointia. Käyttämäni kirja on koottu Homen kirjoittamista artikkelista, jotka on julkaistu aikaisemmin joissain tieteellisissä julkaisuissa. Muiden tutkijoiden mahdollisten aikaisempien viittausten vuoksi artikkelien painomuoto, ja siten myös sivunumerointi, on jätetty tässä kirjassa alkuperäiseen julkaistuun asuunsa. Tämän vuoksi mainitsen omissa viittauksissani myös sen monesko luku kyseinen artikkeli on käyttämässäni kirjassa.

kuivan pakkasilman, eikä sama koe onnistu vähänkään kosteammalla ilmalla. Kuitenkin vielä 1700 – luvullakin jotkut tutkijoista uskoivat kostean ilman johtavan sähköä paremmin kuin kuivan, mikä aiheutti vaikeuksia yhtenäisten teorioiden muodostamisessa.

Kun kokeissa käytetyt välineet olivat yleensä itsetehtyjä ja rakennettuja (ja usein tuttavilta tai kirjoista saadut teko-ohjeet ja –neuvot olivat varsin epäselviä ja ylimalkaisia), oli koevälineissä nykytieteen standardein katsottuna huiman suuria eroja. Ja kun kaiken tämän päälle vielä kiisteltiin sähkön syntyperästä ja teoriasta (Mitä sähkö oikeastaan on?), on 1700–luvun puoleenväliin mennessä saavutettu kehitys sähkön tutkimuksessa jälkikäteen arvioituna yllättävänkin nopeata. Vuonna 1700 ei sähköstä tiedetty oikeastaan mitään, pystyttiin vain esittämään erilaisia arvailuja. Sen sijaan vuosisadan puolivälin jälkeen tärkeimmät perusasiat alkoivat olla jo tutkijoiden tiedossa.⁴⁴

3. VUODESTA 1757 ETEENPÄIN

3.1. Wilsonin kolme artikkelia

Graduni varsinaiset käsittelyluvut jakaantuvat viiteen päälukuun, jotka ovat luvut kolmesta seitsemään. Ensimmäisessä käsittelyluvussa käsitellään sähköä fysikaalisena ilmiönä tutkivia artikkeleja *Philosophical Transactions*issa ennen Priestleyn *History and Present State of Electricity* – teoksen ilmestymistä. Toinen luku käsittelee tätä Priestleyn kirjaa ja kolmas luku koostuu vuoteen 1777 mennessä julkaistuista, erityisesti sähköä fysikaalisena ilmiönä ja sen ominaisuuksia tutkivista, artikkeleista. Neljäs luku koostuu ilmakehässä tapahtuvia sähköisiä ilmiöitä tutkivista artikkeleista, ja viidennessä luvussa tutkin sähköllä tehtyjä biologisia ja lääketieteellisiä kokeita ja tutkimuksia. Tällainen jako on mielestäni perusteltua hyvän otteen saamiseksi lähdemateriaalista. Priestleyn kirja oli aikoinaan suosittu teos tutkijoiden keskuudessa ja se varmasti vaikutti tutkijoiden ajatteluun ja työhön. Ilmassa luonnostaan tapahtuvien sähköisten ilmiöiden, kuten salamoinnin (ja rakennusten suojaamisen sen

⁴⁴ Heilbron, 1999, s. 4-6.

aiheuttamilta tuhoilta) ja ilmakehässä vallitsevien sähköisten varausten, tutkiminen oli 1770-luvulla erittäin suosittua. Niinpä siitä aiheesta julkaistiin myös runsaasti kirjoituksia *Philosophical Transactions*sissa. Biologiset ja lääketieteelliset kokeet taas muodostavat oman selkeän kokonaisuutensa, joten niidenkin käsitteleminen omassa luvussaan on tarkoituksenmukaista.

Tutkimukseni aikarajauksen sisällä *Philosophical Transactions* ilmestyi pääsääntöisesti vuosittain. Poikkeuksen tekevät niin ensimmäinen volyymi 50, joka ilmestyi kahdessa osassa vuosina 1757 ja 1758, kuin myös volyymi 51, joka ilmestyi vuosina 1759 ja 1760. Numerossa 50 ei kuitenkaan ole sähköä fysikaalisessa mielessä käsitteleviä artikkeleja, ensimmäiset löytyvät seuraavasta volyymista.

Benjamin Wilsonin nimiin laitettu artikkeli on tyypillinen esimerkki siitä kuinka monen käden kautta *Philosophical Transactions*iin päätynyt artikkeli on kulkenut ja kuinka sitä ei ole aluksi tarkoitettu lehdessä julkaistavaksi. Wilsonin teksti on alun perin kirje Royal Societyn sihteerille, mutta hän ei suinkaan itse ole kirjeessä kerrottujen kokeiden tekijä. Kokeet oli suorittanut Edward Delaval (1729 – 1814), Wilson oli ainoastaan ollut katsomassa kokeita ja menee kirjeessään takuuseen niiden aitoudesta.⁴⁵

Delaval tutki kokeissaan eri aineiden sähkön johtavuutta silloin kun ne ovat jauhemaisia. Hän laittoi lasiputkiin erilaisia jauheita ja johti toisesta päästä sähköä putkiin. Toiseen päähän kiinnitetystä johdossa oli sähkömittari⁴⁶, jonka avulla Delaval tarkkaili johtavuuksia. Hän huomasi aluksi, että jauheena mitkään aineet eivät johda sähköä. Eivät edes metallit, jotka normaalisti ovat hyviä sähkön johtimia. Paitsi erilaisilla normaaleilla metalleilla ja aineilla, Delaval teki kokeita myös eläin- ja kasvijauheilla.⁴⁷

⁴⁵ Wilson, 1759a, s. 83.

⁴⁶ Mitään asteikkoa sähkön mittaamiseen ei minun tutkimukseni aikarajauksen aikana pystytty kehittämään. Sähkömittarit olivat epätarkkoja, hylkimisvoimiin perustuvia mittareita, niiden avulla pystyttiin ainoastaan suurin piirtein arvioimaan sähkön voimakkuutta.

⁴⁷ Wilson, 1759a, s. 84.

Delaval teki selvän huomion metallien ja ”rikkisten” aineiden eroavaisuuksista. Rikkisillä aineilla hän tarkoitti ei-johtimia, ja ne varautuivat hänen mielestään eri merkkisesti kuin metallit:

”...on olemassa huomattava ja hyvin tiedossa oleva eroavaisuus näiden kahden luokan sähköistymisessä; maalliset (kuten lasi ja kivet) sähköistyvät positiivisesti ja rikkiset aineet puolestaan negatiivisesti.”⁴⁸

Eikö näiden kahden pitäisi yhdistettynä tasapainottua ja neutralisoitua, pohti Delaval, mutta ei kuitenkaan tehnyt lainkaan asiaan liittyviä kokeita. Jatketuaan tutkimuksia hän kuitenkin huomasi aivan hienoksi pulveriksi jauhetun metallin johtavan sähköä hyvin. Sen sijaan ruoste ei johda sähköä lainkaan. Tutkittuaan erään kivilaadun sähköjohtamista hän teki mielestään erittäin merkittävän havainnon huomattuaan johtavan aineen lämpötilan vaikuttavan huomattavasti sen kykyyn johtaa sähköä. Hän huomauttikin tässä olevan paljon tutkittavaa jatkossakin.⁴⁹

Benjamin Wilson teki erittäin paljon itsekin kokeita sähköllä, hänen mielestään sähkön tutkiminen oli yksi tapa paljastaa luonnon yksinkertaisuutta.⁵⁰ Wilson (1721 – 1788) oli päällisin puolin täysi amatööri sähkön tutkijana. Hän oli köyhistä oloista noussut yhteiskunnassa korkeampaan asemaan taiteellisen lahjakkuutensa (hän ”harrasti” maalausta) ansiosta. Luonnontieteestä ja erityisesti sähkön tutkimuksesta hän innostui 1740-luvun puolivälissä ja Royal Societyn jäsen hänestä tuli 1751. Wilson osallistui joillekin järjestetyille luonnontieteen kursseille ja oli hyvä ystävä John Smeatonin kanssa, joka oli eräs aikansa tunnetuimmista insinööreistä mutta oli muuten täysin itseoppinut.⁵¹

⁴⁸ Wilson, 1759a, s. 85. ”... that there is a remarkable and well-known opposition in the electrical effects of these two classes; the earthy one (as glass and stones) electrifying plus, and the sulphureous one minus.”

⁴⁹ Wilson, 1759a, s. 85-88.

⁵⁰ Wilson, 1759b, s. 308.

⁵¹ Heilbron, 1999, s. 301-302.

Wilson yhtyi Benjamin Franklinin ajatuksiin plus- ja miinussähköstä ja sen avulla selitetystä veto- ja hylkyvoimien synnystä. Positiivisesta ja negatiivisesta sähköstä keskusteleminen oli Wilsonin mielestä ajankohtaista, ja selvitettävää riitti vielä paljon.⁵² Tässä artikkelissa selvittämissään kokeissa hän tutki juuri sähkön eri varauksia, mutta havaitsi myös sähköistyneen kappaleen ympärille muodostuvan sähköisen kentän. Tämä ulottui ainoastaan hyvin pienen etäisyyden päähän kappaleesta ja se havaittiin parhaiten tyhjiössä. Tyhjiön hän sai aikaan lasiputkeen elohopean avulla ja suoritti sitten kokeita tässä putkessa.⁵³ Tutkiessaan näitä kappaleiden pinnalle muodostuneita sähkökenttiä Wilson tuli myös sellaiseen tulokseen, että sähkövirtaa on kaikkialla maailmassa ja ilmassa ja sen on mahdollista kulloisellekin aineelle sopivissa olosuhteissa myös kulkea kaikkialla.⁵⁴

Franklinin kanssa Wilson oli kuitenkin eri mieltä lasin varauskyvyn suhteen. Hän sai erittäin voimakkaan sähkövirran kulkemaan lasin lävitse. Sähkömittarilla mitatessa lasilevyn molemmat puolet olivat plusmerkkisesti varautuneet, eikä reunoillakaan ollut mitään varauksia.⁵⁵ Tieteellisesti ajateltuna artikkelin tärkein anti oli Wilsonin havainto siitä, kuinka kappaleiden varautuminen määräytyy. Wilson tuli tutkimuksissaan siihen tulokseen, että hangatessa kahta esinettä kovempi ja sähköisesti voimakkaampi varautuu positiivisesti, kun sen sijaan pehmeämpi ja sähköisesti heikompi esine varautuu negatiivisesti.⁵⁶

Positiivisesta ja negatiivisesta sähköstä käyty keskustelu näkyi myös Wilsonin artikkelissa ja tutkimuksissa. Hän kertoi kirjeessään kahden muun tutkijan, Æpinuksen ja de Noyan, välisistä mielipide-eroista koskien sähkön varautumisesta esineen (tässä tapauksessa erään sähkölle herkän kivilajin kappaleiden) pinnalle. Æpinus oli tullut omissa tutkimuksissaan sähkövarausten asettumisessa kiven pinnalle vastaaviin tuloksiin kuin Franklin lasipulloa tutkiessaan. Kiveä varattaessa Æpinuksen mukaan toiselle puolelle litteähköä kiveä muodostui positiivinen varaus negatiivisen varauksen taas asettuessa vastakkaiselle puolelle. De Noyan mielestä molemmille puolille kiveä muodostui positiivinen varaus, mutta toisella

⁵² Wilson, 1759b, s. 317 ja 309.

⁵³ Wilson, 1759b, s. 309-310.

⁵⁴ Wilson, 1759b, s. 338.

⁵⁵ Wilson, 1759b, s. 313-314.

⁵⁶ Wilson, 1759b, s. 331.

puolella varaus oli pienempi. Varausten ollessa erisuuruiset kivi näyttäisi ulospäin sähköisesti varatulta. Wilson suoritti kivillä omia kokeita ja mittauksia pyrkien ratkaisemaan epäselvän asian ja tuli Æpinuksen kanssa samaan lopputulokseen.⁵⁷

Wilson jatkoi tutkimuksiaan ja niistä *Philosophical Transactions*issa selon tekemistä vielä kolmannessakin artikkelissa tässä samassa numerossa. Volyymin 51 toisessa osassa hän julkaistussa artikkelissa hän edelleen tutkii positiivisia ja negatiivisia varauksia ja niiden syntymistä ja asettumista kappaleiden pinnalle. Wilson tuli siihen tulokseen, että sähkö läpäisee lasia ainoastaan tietyissä olosuhteissa. Tähän vaikutti hänen mielestään ainakin sähkövirran voimakkuus, muiden kappaleiden läheisyys ja se millä aineella lasi oli mahdollisesti päällystetty.⁵⁸ Wilson kertoi myös oppineensa halutessaan tekemään niin positiivista kuin negatiivistakin sähköä. Sähkön merkin syntymiseen vaikutti eniten materiaalit, joilla sähköä tuotettiin, samoin kuin mitä materiaalia aiottiin varata. Muita vaikuttavia seikkoja olivat hänen mielestään paine, sähköistettävien kappaleiden muoto ja pintojen tasaisuus.⁵⁹

3.2. Sähkön tutkimista silkkisukilla

Hyvä esimerkki siitä, kuinka arkipäiväisistä asioista tutkija saattoi saada herätyksen tieteellisiin tutkimuksiinsa, on Robert Symmerin neliosainen artikkeli volyymissa 51. Riisuessaan pitkiä sukkaa Symmer havaitsi rätinöintiä ja pientä kipinöintiä. Nämä ilmiöt olivat hänen mielestään aivan vastaavia, mitä havainnoitiin sähköllä tehtyjen kokeiden yhteydessä. Ja koska tätä rätinää ja kipinöintiä esiintyi ainoastaan tietyissä, nimenomaan sähköisille ilmiöille edullisissa, olosuhteissa, se vain vahvisti hänen epäilyksiään. Kun Symmer puhui tästä ilmiöstä ystävilleen, nämä kertoivat havainneensa silloin tällöin aivan samanlaisia asioita. Kukaan ei kuitenkaan ollut tutkinut tätä asiaa tieteellisesti. Symmerin

⁵⁷ Wilson, 1759b, s. 315-316.

⁵⁸ Wilson, 1760, s. 898.

⁵⁹ Wilson, 1760, s. 901.

mielestä ilmiön alkuperän selvittäminen oli erittäin tärkeää, sillä olihan kyse kuitenkin ihmisestä.⁶⁰

Vaikka Symmerin (n. 1707 – 1763) nyt käsittelemäni tutkimuksen lähtökohdasta voisi päätellä, että hänen tutkimuksillaan ei olisi mitään tieteellistä arvoa ja hän ei olisi ollut vakavasti otettava tiedemies, ei niin ole asia. Hän oli skotlantilainen ja suorittanut tutkinnon Edinburgh'n yliopistossa. Lontooseen asetuttuaan hän hankki elantonsa toimien virkamiehenä valtion hallinnossa tutkien kuitenkin samalla ahkerasti luonnontieteitä. Royal Societyn jäseneksi hänet hyväksyttiin vuonna 1752.⁶¹

Tutkimuksensa Symmer aloitti pyrkimällä selvittämään, mitkä materiaalit sähköistyvät ja kuinka voimakkaasti. Hän havaitsi, että puuvilla ei sähköisty lainkaan, sen sijaan silkki ja kampavilla jonkin verran. Ne eivät kuitenkaan sähköistyneet mitenkään voimakkaasti; hän pystyi havaitsemaan ainoastaan hieman vetovoimia ja napsahdusta. Symmer kokeili myös erilaisia sukkia päällekkäin, muttei kuitenkaan havainnut muita eroja kuin sen, että silkki ja kampavilla oli erittäin voimakkaasti sähköistyvä yhdistelmä.⁶²

Kokeiden onnistumisen kannalta oli Symmerin mielestä välttämätöntä, että sää oli otollinen sähköisille ilmiöille. Koska sukissa havaitut sähköiset voimat olivat niin pieniä, niiden aikaansaaminen ja havaitseminen muulloin kuin kylmällä ja erittäin kuivalla ilmalla oli mahdotonta. Lisäksi sukat oli riisuttava oikealla tavalla, jotta ne ylipäättänsä voisivat sähköistyä.⁶³ Symmer myös havaitsi sähkön olevan jollain tapaa riippuvainen sukkien väristä, mustan ja valkean sukan yhdistelmällä sähkövoimat näyttivät olevan huomattavasti voimakkaammat kuin muilla yhdistelmillä.⁶⁴

Symmerin kokeet silkkisukilla (näitä kokeita hän suoritti paljon, niistä lisää hiukan myöhemmin) ovat tosiaan loistava esimerkki siitä, kuinka käytännönläheisistä asioista tutkijat

⁶⁰ Symmer 1759, s. 340.

⁶¹ Heilbron, 1999, s. 431-432.

⁶² Symmer, 1759, s. 342.

⁶³ Symmer, 1759, s. 343.

⁶⁴ Symmer, 1759, s. 346.

saattoivat saada inspiraation tutkimuksiinsa. Ne ovat myös esimerkki siitä, kuinka päällepäin hyvinkin epätieteellisen näköisistä lähtökohdista aloittaen päädyttiin tekemään tarkkoja tieteellisiä kokeita. Symmerin koeselostukset ovat huomattavasti tarkempia ja yksityiskohtaisempia kuin suurimmassa osassa muista lukemistani *Philosophical Transactions*in artikkeleista.

Symmer jatkoi tutkimuksiaan eriväristen sukkien sähköistymisestä, pyrkien tarkemmin selvittämään sen alkuperän. Mustan ja valkean sukan herkkyydessä sähkön kanssa oli huomattavia eroja. Värierojen suuruus vaihteli ainakin valmistusmateriaalin suhteen, mustien ja valkeiden kampavillaisten sukkien välillä ei ollut juuri minkäänlaista eroa. Sen sijaan silkisillä sukilla erot olivat suuria, ja Symmer keskittyikin tekemään kokeita mustilla ja valkeilla silkisukilla.⁶⁵

Enää Symmer ei sähköistänyt sukkia laittamalla ja riisumalla niitä jalkoihinsa ja jaloistansa. Helpompaa oli hangata sukkia käsivarteen.⁶⁶ Apuna tutkimuksissaan hän käytti Cantonin mallin mukaan valmistettua sähkömittaria, mikä oli kyseiseen aikaan yleisin käytössä ollut malli. Sen avulla pystyttiin katsomaan onko kappale sähköistynyt positiivisella vai negatiivisella sähköllä.⁶⁷

Symmer huomasi mustan sukan varautuvan helpommin ja voimakkaammin kuin valkean sukan. Kahta sukkaa päällekkäin sähköistäessään hän huomasi kahden mustan tai kahden valkean sukan ollessa päällekkäin niiden varautuvan heikommin kuin yhden sukan. Sen sijaan valkea-musta yhdistelmä varautui erityisen voimakkaasti. Syy tähän oli hänen mielestään yksinkertainen: erivärisiä sukkia päällekkäin hangatessa valkeaan sukkaan muodostui positiivinen varaus ja mustaa negatiivinen. Saman värisiä sähköistäessä molempiin sukkiin syntyi samanmerkinen varaus. Tämä oli todettavissa myös siten, että samanväriset sukat hylkivät toisiaan, kun taas eriväriset sukat vetivät toisiaan puoleensa.⁶⁸

⁶⁵ Symmer, 1759, s. 349.

⁶⁶ Symmer, 1759, s. 349.

⁶⁷ Symmer, 1759, s. 351.

⁶⁸ Symmer, 1759, s. 350-355.

Päällekkäin olevat musta ja valkea silkkisukka muodostivat Symmerin mielestä eräänlaisen Leidenin pullon. Toinen puoli sukista varautui positiivisesti ja toinen puoli negatiivisesti ja kun ne olivat tiiviisti toisiinsa takertuneita, näyttivät ne ulospäin täysin neutraaleilta sähkön suhteen. Symmer suorittikin näin asetetuilla sukilla samanlaisia kokeita, joita tehtiin Leidenin pullon avulla saaden vastaavia tuloksia. Hän onnistui myös lataamaan oikean Leidenin pullon sukkien avulla tuotetulla sähköllä.⁶⁹ Mitään selitystä sille, miksi eriväriset sukat varautuivat erimerkkisesti ja eri voimakkuudella Symmer ei osannut antaa.⁷⁰ Hän arveli, että se voisi johtua esimerkiksi valosta, väristä, sukkien ainesosasta tai näiden jonkinlaisista yhdistelmistä. Kokeiden onnistumisen kannalta (otollisen sään lisäksi) tärkeäksi hän mainitsi sen, että sukkien tuli ehdottomasti olla puhtaita.⁷¹

Symmerin koesarja, joka jatkuu vielä kahdella erilaisella osalla, näyttää hyvin sen millaiseksi tutkimustyö alkoi tieteellisten seurojen myötä muuttua. Tämä Symmerin artikkeli muodostuu tavallaan neljästä erillisestä työpaperista, jotka aikoinaan esitettiin Royal Societyn kokouksissa. Symmer esitteli aina aika ajoin tutkimustensa edistymistä seuran muille jäsenille ja sai varmaankin tutkijakollegoiltaan kommentteja. Jokaisen paperin lopussa hän lyhyesti esitti mielessään pyörineitä ajatuksia, joita aikoi jatkossa selvittää. Ja seuraavassa paperissa niitä asioita hän sitten käsittelevä. Symmerin tutkimus muistuttaa siis huomattavasti nykyaikaista tutkimusprosessia.

Edellisen työpaperinsa lopussa Symmer ilmoitti halustaan tutkia tarkemmin sähköisiä vetovoimia sekä niiden riippuvuutta väreistä. Kolmannen osan alussa hän kuitenkin valitteli sitä, ettei ollut edistynyt tutkimuksissaan kovinkaan paljoa. Töidensä paikallaan junnaamista hän perusteli muilla kiireillä sekä sähkökokeiden kannalta katsottuna epäedullisilla sääoloilla.⁷²

⁶⁹ Symmer, 1759, s. 356-357.

⁷⁰ Lienee paikallaan selvittää, että värillä sinänsä ei ole kappaleen sähköistymisen kannalta mitään merkitystä. Sen sijaan sillä voi olla merkitystä, kuinka eri värit on materiaaliin (tässä tapauksessa sukkiin) saatu aikaiseksi. Valmistamiseen käytetyt materiaalit tai erilaiset väriaineet voivat selittää tulosten eroavaisuudet.

⁷¹ Symmer, 1759, s. 348-349.

⁷² Symmer, 1759, s. 359.

Symmer lähti tutkimaan sähköisen vetovoiman voimakkuutta seuraavanlaisella koejärjestelyllä. Hän kiinnitti sukan puntariin ja tasapainotti vaa'an nollassoon. Kun hän toi sähköistetyn sukan tämän sukan lähelle, alkoivat ne vetää toisiaan puoleensa. Vaa'asta Symmer pystyi lukemaan millä voimalla (tarkemmin sanoen millaisella painolla) toinen sukka veti toista puoleensa. Aluksi hän hämmästeli seitsemäntoista unssin⁷³ painon lisäystä, mutta sai jatkotutkimuksissaan aikaan jopa kaksikertaa suurempia tuloksia.⁷⁴

Ilmeisesti Symmer oli saanut muilta tutkijoilta kommentteja tutkimuksistaan, sillä hän otti esille Charles Francois Du Fayn⁷⁵ miltei kolmekymmentä vuotta aikaisemmin suorittamat kokeet sähkön yhteydestä väreihin. Vaikka Du Faykin oli aluksi ollut sitä mieltä, että sähköistettävien kappaleiden värillä on väliä, hän oli kuitenkin myöhemmissä tutkimuksissaan (Du Fay oli käyttänyt kokeissaan apunaan mm. prismaa ja erivärisiä kukkia) tullut päinvastaiseen tulokseen.⁷⁶ Vaikka Royal Societyn muilla tutkijoilla olikin ollut suuria vaikeuksia toistaa Symmerin tekemiä kokeita, Symmer itse seiso i tiukasti omien tulostensa takana. Symmer itse arveli näiden kokeiden toistamisen vaikeuksien johtuvan esimerkiksi sukkien epäpuhtauksista. Tätä tilannetta hän vertasi likaisella lasiputkella sähkön tuottamiseen, mikä ei onnistu. Symmerin mielestä muut tutkijat eivät myö s ehkä olleet valmistelleet kokeita tarpeeksi huolellisesti, esimerkiksi kokeissa käytettävien sukkien tuli ehdottomasti olla kuivat ja mielellään myös lämmitetyt.⁷⁷

On huomattava, että Symmer ei omassa tekstissään kuitenkaan suoraan tyrmännyt Du Fayn tutkimuksia ja tuloksia. Hän kuitenkin pysyi omissa päätelmissään ja vetosi niiden oikeellisuuden puolesta nimenomaan empiirisiin kokeisiinsa nojaten. Syitä hänen ja Du Fayn tulosten erilaisuuteen hän ei arvioinut lainkaan. Toisten tutkijoiden suorittamia kokeita todellakin matkittiin ja tarkistettiin paljon, ja niiden uudelleen onnistuminen oli tärkeää. Tästä oli hyvänä osoituksena Symmerin antamat, aikaisempaa huomattavasti tarkemmat, ohjeet

⁷³ Yksi unssi on n. 28 grammaa.

⁷⁴ Symmer, 1759, s. 360-363.

⁷⁵ Du Fay esiintyy tutkimuskirjallisuudessa myös nimellä Dufay.

⁷⁶ Symmer, 1759, s. 366-368.

⁷⁷ Symmer, 1759, s. 369-370.

kokeiden suorittamiseksi sen jälkeen kun kolleegoilla oli ollut niiden toistamisessa vaikeuksia.

Neljännessä paperissaan Symmer vaihtoi sukat huomattavasti tarkempaan ja sähkön luonnetta fysikaalisesti tarkastelevampiin kokeisiin. Kun Benjamin Franklin julkaisi teoriasa positiivisesta ja negatiivisesta sähköstä, alkoi kiivas keskustelu siitä mikä aiheuttaa tämän sähkön kaksinaisluonteen. Onko kyse yhdestä ja samasta sähköstä, vai onko sähköllä kaksi erilaista ja erillistä ”fluidia”? Franklin itse tuli jatkotutkimuksissaan siihen tulokseen, että kyse on yhdestä ja samasta ”eetteristä”, positiivinen ja negatiivinen varaus vain johtuvat sähköeetterin epätasaisesta jakaantumisesta.

Symmer tuli kuitenkin erilaiseen johtopäätökseen kuin Franklin hiukan myöhemmin. Hänen mielestään sähkö ei ollut yksi voima vaan kaksi erillistä ja aktiivista voimaa jotka vaikuttivat toisiinsa ja toisiaan kohti. Benjamin Franklinin esittämä teoria Leidenin pullosta tuki Symmerin mukaan nimenomaan kahden voiman teoriaa.⁷⁸ Symmerin paperista käy ilmi, että hän myös keskusteli ahkerasti muiden tutkijoiden kanssa tehden myös jonkin verran yhteistyötä heidän kanssaan. Lisäksi hän erityisesti kiittää Frankliniä (joka on myös Royal Societyn jäsen) siitä, että tämä on antanut hänelle lainaksi erittäin hyvän laitteen sähkökokeita varten.⁷⁹

Myös ranskalaisen Abbé Nolletin mielipiteet erosivat Symmerin ajatuksista. Abbé Nollet oli tullut siihen johtopäätökseen (siis jo ennen Franklinia), että positiivinen ja negatiivinen sähkö eivät ole mitään erillisiä aineita. Nolletin mielestä positiiviset ja negatiiviset kappaleet eivät sähköisty eri aineista vaan toinen sähköistyy voimakkaammin kuin toinen. Symmer taas ajatteli siten, että kaikissa kappaleissa on tasapainossa molempia sähköjä, positiivista ja negatiivista. Kun kappaleeseen virtaa lisää jommankumman merkkistä sähköä, sen määrä kasvaa suuremmaksi ja kappale sähköistyy sen merkkiseksi.⁸⁰ Omien mielipiteidensä oikeellisuutta Symmer oli mielestään jo hyvin todistellut kokeidensa avulla:

⁷⁸ Symmer, 1759, s. 371-373.

⁷⁹ Symmer, 1759, s. 374.

”Näissä asioissa mielipiteemme [Abbé Nolletin kanssa] eroavat. Kumpi on oikeassa onkin ihan toinen kysymys. Kokonaisuus näyttää oleva kiinni yhdestä asiasta, nimittäin siitä, onko olemassa vain yksi vaiko kaksi erillistä sähköä. Tässä paperissa en voi tilan puutteen vuoksi keskustella asiasta täydellisesti. En kuitenkaan voi muuta kuin mainita, että kokonainen koesarja jonka olen käynyt aikaisemmissa papereissani läpi näyttäisi osoittavan kahden erillisen sähköön suuntaan. Että on olemassa keskeinen ero (mikä sitten aiheuttaakin tuon eron) positiivisen ja negatiivisen sähköön välillä.”⁸¹

Symmer suoritti vielä teoriansa tueksi lisäkokeita lasista ja tinapaperista tehdyillä kondensaattoreilla ja niiden välisillä vetovoimilla. Edellinen lainaus Symmerin perusteluista osoittaa hyvin sen, kuinka varovaisia oltiin täydellisesti tuomitsemaan toisen tutkijan mielipiteitä vaikka itse oltiinkin täysin erimieltä asiasta. Omista ajatuksista kuitenkin pidettiin tiukasti kiinni ja niiden oikeellisuus pyrittiin perustelemaan. Perusteluina Symmerkin käyttää suorittamiaan empiirisiä kokeita. Sama lainaus on myös esimerkki siitä, millaista tieteellinen keskustelu saattoi *Philosophical Transactionsin* sivuilla olla. Aikaisempien tutkijoiden tuloksia ja mielipiteitä esitettiin ensin, minkä jälkeen esitettiin ja perusteltiin omia (ja omasta mielestään ainakin enemmän oikeita) kokeita ja ajatuksia. Varmasti varsinainen ajatustenvaihto keskittyi ennemminkin seuran kokouksiin ja tutkijoiden väliseen yhteistyöhön ja kirjeenvaihtoon. Symmerin työpapereiden sarja, ja varsinkin loppuosan mietinnät yhden ja kahden sähköön teorioista, osoittaa myös sen kuinka epäselvää sähköön luonne ja kuinka vaikeaa sen tieteellinen selittäminen olivat tutkijoille vielä 1700 –luvun puolivälin jälkeenkin.

⁸⁰ Symmer, 1759, s. 380-382.

⁸¹ Symmer, 1759, s. 382. ”In those respects we differ in opinion. Who is in the right is another question. The whole seems to turn on a single point, namely, whether there be but one, or if there are two distinct kinds of electricity. The bounds of this paper do not permit me to enter upon a full discussion of the point. I cannot, however, but observe, that the whole series of experiments mentioned in the preceeding papers, tends to confirm the distinction, formerly made, of electricity into two kinds; and to show, that there is an essential difference (whatever it be that constitutes that difference) between what is commonly called positive electricity, and negative.”

Tieteellisten seurojen käyttämää vahvistus- ja varmistuskäytäntöä edustavimmillaan oli Andrew Mitchellin (1708 – 1771) lyhyt artikkeli, joka julkaistiin heti Symmerin artikkelin perään. Mitchell oli ollut tarkkailemassa Symmerin tekemiä ja Royal Societylle raportoimia kokeita. Hän selvitti tarkasti koeolosuhteita ja –järjestelyjä aina sukkien lämmittämisestä kokeiden aikana vallinneisiin sääolosuhteisiin. Mitchell vahvisti, että Symmerin kokeet todellakin olivat onnistuneet siten kuin Symmer itse oli niistä kertonut. Hän oli myös samaa mieltä Symmerin kanssa sähköä kahdesta erillisestä fluidista.⁸²

Artikkelin perusteella Mitchell oli lähinnä Symmerin ”Joojoo-mies”, joka vain myötäili täysin Symmerin ajatuksia. Tätä tukee myös se seikka, että tässä Mitchellin muutenkin varsin lyhyessä artikkelissa oli vielä alaviitteissä runsaasti Symmerin jälkikäteen tekemiä huomautuksia, tarkennuksia ja lisäyksiä. Tuntuukin siltä, että Mitchell kirjoitti artikkelin lähinnä sen vuoksi että muilla jäsenillä oli suuria vaikeuksia toistaa Symmerin kokeita, eivätkä he näin kyenneet todentamaan hänen väitteitään. Symmerin väitteet lienevät kuitenkin herättäneet muiden tutkijoiden mielenkiintoa, sillä hänen tuloksensa erosivat joiltakin osin täysin joidenkin erittäin tunnustettujen tiedemiesten (kuten Abbé Nollet) tuloksista. Tällainen varmistusartikkelien ja oikeiksi todistavien kirjeiden julkaiseminen ei kuitenkaan ollut mitenkään harvinaista *Philosophical Transactions*issa. Yleensä niin kuitenkin tehtiin lähinnä ulkomaisten kirjoittajien osalta, sillä lähellä asustavien tutkijoiden kokeita oli jonkun seuran jäsenistöstä helppo mennä paikan päälle seuraamaan. Monesti myös tutkija itse mainitsee joidenkin muiden paikalla olleiden henkilöiden nimiä, niin että muut tietävät näiden voivan tarvittaessa todistaa kokeiden aitouden puolesta.

3.3. Vaikuttaako kappaleen lämpötila sen sähköisiin ominaisuuksiin?

Tutkijat olivat havainneet, että kun kappaleita kuumentaa niin ne ovat yleensä herkempiä erilaisille sähköisille kokeille. Yleisesti ajateltiin syyn tähän olevan se, että kappaletta lämmitettäessä siitä haihtuu kosteus, jolloin se johtaa sähköä paremmin. Edward Delaval oli

⁸² Mitchell, 1759, s. 390-393. Termille fluid ei oikein ole olemassa suomenkielistä vastinetta, siksi olen käyttänyt alkuperäistä termiä.

jatkanut, jo aikasemmin käsittelemiäni, tutkimuksiaan lämmön vaikutuksesta kappaleiden sähkönjohtavuuteen. Delaval oli kuitenkin eri mieltä kuin muut tutkijat ja sitä todistellakseen suoritti pienehkön koesarjan kuumentäen ja kylmentäen eri materiaaleja, muunmuassa kristallia. Delaval ei selostanut kokeitaan, saatiikka johtopäätelmiinsä päätymistä, tässä artikkelissa kovinkaan tarkasti, mutta sanoi niiden tulosten osoittavan selkeästi, ettei ilmiö voi johtua kosteudesta.⁸³

Samassa volyymissa julkaistiin myös John Cantonin samaa aihetta käsittelevä artikkeli. Canton (1712 – 1772) oli tietoinen Delavalin tutkimuksista ja tuloksista ja pyrki kiistämään niiden oikeellisuuden heti tuoreeltaan. Molemmat olivat yhtä mieltä siitä, että monet materiaalit ovat erittäin hyviä johtamaan sähköä hyvin kuumina ja erittäin kylminä. Canton tuli omien kokeidensa perusteella seuraavanlaiseen selitykseen: Kun kappale on oikein kylmä, sähkö johtuu herkästi kappaleen pinnalle tiivistynyttä kosteutta pitkin. Sen sijaan kappaleen ollessa erittäin kuuma, johtaa sähköä aivan kappaleen pinnan yläpuolella oleva kuuma ilma. Kuumun ilman herkkyyden sähkölle Canton pyrki todistamaan kokeilla, jossa hän johdatti varatun kappaleen pinnalle kuumaa ilmaa. Tällöin kappale menetti sähköisen varauksensa. Cantonin mielestä erot eri materiaalien välillä lämmön vaikutuksesta sähkönjohtavuuteen johtuivat niiden herkkyydestä luopua ja kerätä kosteutta.⁸⁴

Sekä Canton että Delaval suorittivat suurin piirtein samanlaisia kokeita, ja päätellen siitä mitä kohtalaisen epäselvistä koeselostuksista selviää, kokeet myös onnistuivat miltei samalla tavalla. Kuitenkin he tulivat täysin päinvastaisiin tuloksiin. Kumpikin tutkijoista tavallaan lähti omista johtopäätelmistään käsin etsien omille ajatuksilleen tukea kokeista. Ja kumpikin tulkitsi näitä koetuloksia nimenomaan siitä omasta lähtökohdastaan käsin. Tällöin kokeita suoritettaessa helposti havaitaan vain omaa ajattelua tukevat ilmiöt ja tapahtumat. Tällainen tutkimus ei ole sitä, mitä kokeellisella luonnontieteellä tarkoitetaan, mutta tällaista tutkimusta kyllä varmasti esiintyy edelleenkin.

⁸³ Delaval, 1761, s. 354-356.

⁸⁴ Canton, 1761, s. 457-459.

Näiden täysin päinvastaisia tuloksia esittävien artikkelien ilmestyminen samassa *Philosophical Transactions*in numerossa on mielenkiintoinen seikka. Se osoittaa, että lehden toimitus ei ainakaan kaikissa epäselvissä ja kiistanalaisissa asioissa ottanut kantaa tai valinnut puoltaan. Se osoittaa myös sen, että erimielisyyksiä ratkottiin paitsi seuran kokouksissa myös lehden palstoilla. Tässä tapauksessa molemmat artikkelit julkaistiin ja lukijat saivat itse tehdä päätelmänsä siitä kumpi tutkijoista onkaan oikeassa. Tosin varmasti sillä oli painoarvoa, että Cantonin artikkelin alussa Benjamin Franklin kertoi suorittaneensa samat kokeet ja tulleen samoihin johtopäätelmiin kuin Canton.⁸⁵

*Philosophical Transactions*issa julkaistiin silloin tällöin myös kirja-arvosteluja ja -esittelyjä. Volyymissa 52 William Watson esitteli lyhyehkösti yhden aikansa tärkeimmistä sähköntutkijoista, jo mainitsemani Abbé Nolletin, teosta *Lettres sur l'Electricite*, Kirjeitä sähköstä. Watson kertoi Nolletin töitä esitellyn aikaisemminkin Royal Societyssa ja kehui suuresti hänen ansioitaan sähkön tutkimisen parissa.⁸⁶ Watson toivoi esityksensä ohjaavan aiheesta kiinnostuneen tutkijan mahdollisesti löytämään haluamaansa tietoa hiukan helpommin.

3.4. Wilson vastaan Æpinus

Benjamin Wilson jatkoi tutkimuksiaan sähkön parissa ahkerasti ja hänen tutkimuksiaan myös julkaisiin paljon *Philosophical Transactions*issa. Hän suoritti kokeita eri jalokivillä, jotka vielä poikkesivat toisistaan muodon suhteen. Lisäksi osa oli hiottuja, osa hiomattomia. Kun Wilson oli sähköistänyt kiven, hän tutki positiivisen ja negatiivisen varauksen asettumista eri kivissä. Kokeet vahvistivat hänen mielestään aikaisemmin esitettyä teoriaa sähkön kulkemisesta yhtä suoraa linjaa pitkin.

Tämä suora linja tuntui Wilsonin kokeiden perusteella kulkevan aina nimenomaan jalokiven rakenteen mukaisesti, sen kiteiden suuntaisesti. Wilson arveli tämän johtuvan siitä, että

⁸⁵ Canton, 1761, s. 456.

⁸⁶ Watson, 1761, s. 336.

kiteiden myötäisesti sähkö on helpompaa kulkea kuin poikittaiseen suuntaan. Eli kappaleen vastustus sähkönkulkua kohtaan on tällöin pienintä. Vastustuksen ja sähkö kulkeutumista oli Wilsonin mielestä tutkittava lisää, ja hän lupasikin palata vielä asiaan.⁸⁷

Seuraavassa numerossa Wilson lunastikin lupauksensa mutta keskittyi vastuksen tutkimista enemmän lämmön vaikutukseen sähkö johtumiseen ja asettumiseen kappaleessa. Aluksi hän viittasi edellisessä volyymissa julkaistuihin tutkimuksiinsa ja kertasi aikaisemmat päätelmänsä sekä sen, miksi oli päätyntä juuri tällaisiin johtopäätöksiin.⁸⁸ Wilsonin vuonna 1763 julkaistun, tämän jatkotutkimuksia selvittävän, artikkelin rakenne oli tavallaan nurinkurinen, sillä aluksi hän vertaili omia ja Æpinuksen suorittamia kokeita ja tutkimustuloksia. Omiin päätelmiinsä johtaneet kokeet hän selvitti vasta artikkelin loppuosassa. Lukijan olisi ehkä helpompi seurata Wilsonin ajatuksen juoksua ja perusteluja, jos hän olisi ensin kokeiden avulla perustellut omat johtopäätelmänsä ja vasta sitten ryhtynyt vertailemaan omia ajatuksiaan Æpinuksen ajatuksiin. Melkein kaikki *Philosophical Transactions*in artikkelit noudattelivatkin tällaista kokeista päätelmiin rakennetta. Tämä Wilsonin käyttämä rakenne on ymmärrettävämpi kun ottaa huomioon sen seikan, että Wilsonin artikkeli on alun perin hänen itsensä kirjoittama kirje Æpinukselle jossa hän puolusteli omia näkemyksiään. Tämä artikkeli ei kuitenkaan ole Wilsonin alkuperäinen kirje, sillä alaviitteissä on paljon Æpinuksen tekemiä ranskankielisiä huomautuksia Wilsonin kokeista. Ei ole mitenkään yllättävää, että näissä alaviitteissä Æpinus edelleenkin seisoo omien tulostensa takana.

Franz Æpinus (1724 - 1802) oli Balttian saksalaisia ja toi oman mausteensa sähköstä ja sen teoriasta vallinneeseen keskusteluun. Hän tavallaan oli puolueeton tarkkailija ja tutkija Englannissa, Ranskassa ja Italiassa käytyihin keskusteluihin suorittaen toki omiakin kokeita ja tutkimuksia. Hän yhdessä tutkijatoverinsa Johan Wilcken (1732 – 1796) kanssa tutkivat sekä Nollétin ja Franklinin teorioita sähköstä ja havaitsivat molemmissa olevan suuria puutteita (ja

⁸⁷ Wilson, 1761, s. 444-445.

⁸⁸ Wilson, 1763, s. 436.

hyviäkin puolia), vaikka Franklinin teoria olikin heidän mielestään parempi ja todellisempi.⁸⁹ Æpinus toimi viroissa sekä Berliinin Akatemiassa että professorina Pietarin yliopistossa.⁹⁰

Wilsonin suorittamat kokeet eivät ole tutkimukseni kannalta artikkelin kiintoisinta antia. Hän kävi tarkasti läpi tutkimuksiaan erilaisilla kivillä, kuinka hän kuumensi ja sähköisti niitä. Wilson selvitti myös Æpinuksen kokeita ja toisti niitä itse päätyen kuitenkin aina omiin tuloksiinsa. Suurin eroavaisuus heidän tuloksissaan ja kokeissaan koski sitä, kuinka sähkövaraus (plus- ja miinusvaraukset) asettui kiveen sitä kuumennettaessa. Kummankin mielestä ne asettuivat aina samalla tavalla, mutta positiivisen ja negatiivisen varauksen paikoista oli kiistaa. Wilson teki kokeita myös lasilla ja palloilla tutkien veto- ja hylkyvoimia sekä vastusta. Mitään tieteellistä selitystä vastukselle ja sen erosta eri materiaaleilla Wilson ei osannut antaa. Hän ainoastaan arveli sen olevan monen erilaisen ilmiön yhteinen aikaansaannos.⁹¹

Mielenkiintoista Wilsonin artikkelissa, tai siis pikemminkin kirjeessä, on nimenomaan sen alkuosa, jossa Wilson pyrki perustelemaan omia tuloksiaan. Wilson ja Æpinus olivat ennen tätä kirjettäkin olleet yhteydessä toisiinsa keskustellen tutkimuksistaan ja tuloksistaan.

”Tätä kiveä käsittelevä tutkielmanne, joka julkaistiin vuonna 1762, näyttäisi olevan sama kuin se josta mainitsitte aikaisemmin minulle kirjeessänne.”⁹²

Koska Wilson oli jo silloin ollut ilmeisesti eri mieltä Æpinuksen kanssa ja tämä oli kuitenkin julkaissut tutkimuksensa, katsoi Wilson olevansa velvoitettu vieläkin perustelemaan omia tuloksiaan.

⁸⁹ Heilbron, 1999, s. 384.

⁹⁰ Heilbron, 1999, s. 390.

⁹¹ Wilson, 1763, s. 447-465.

⁹² Wilson, 1763, s. 436. ”Your treatise upon this stone, published in 1762, seems to be same you formerly mentioned in a letter to me.”

”...olen siten pakotettu sanomaan jotain omien kokeideni ja päätelmieni puolustukseksi. Toivon, että nämä saavat huomionne ja poistavat omia vaikeuksianne.”⁹³

On huomattava, että Wilson käytti puhuessaan tutkimustensa johtopäätelmistä englannin kielistä termiä ”deduction”. Deduktiolla tarkoitetaan logiikassa etenemisestä yleisistä, totuudenmukaisista, lauseista kohti yksittäistapausten perustelua. Deduktio oli tuohon aikaan nimenomaan kartesiolaista ajattelua, mikä oli täysin vastakkaista newtonilaiselle induktiiviselle ajattelulle. Induktiivisessa ajattelussa edetään yksittäisistä havainnoista ja totuuksista kohti suurempia yleisiä lakeja. Induktiivinen päättely on aina yhdistetty kokeelliseen luonnontieteeseen, minkä tarkoituksiin se hyvin sopiikin. Wilsonin käyttämässä termissä ja hänen päättelyssään on selkeä ristiriita, koska hän kuitenkin selkeästi pyrkii perustelemaan omia johtopäätöksiään induktiivisesti, suorittamiinsa kokeisiin ja niistä tehtyihin havaintoihin nojaten. Hän jopa eräässä kohdassa kirjittää vaatii Æpinukselta nimenomaan kokeita tämän päätelmien tueksi.

” Koska te ette ole näyttäneet mitään erityistä koetta todistaaksenne ja pitääksenne kiinni ajatuksistanne tässä asiassa, antanette siksi minulle oikeuden eri mielipiteeseen teidän kanssanne.”⁹⁴

Käydessään läpi Æpinuksen alkuperäisiä kokeita Wilson löysi niistä yhden perustavanlaatuisen virheen. Kun Æpinus kuumensi kiveä, hän kuumensi sitä hiilien päällä tai kuumalla raudalla koskettamalla. Tämä kosketuspinnan käyttäminen Wilsonin mielestä tämä johti kiven sähköistymisen kannalta virheellisiin tuloksiin.⁹⁵ Mutta huolimatta siitä, että Æpinus noudatti Wilsonin neuvoa, hän ei saanut kokeistaan samoja tuloksia kuin Wilson.

⁹³ Wilson, 1763, s. 436. ”... I am obliged therefore to say something in the defence of my own experiments and deductions which I hope will merit your attention, and remove your difficulties.”

⁹⁴ Wilson, 1763, s. 439. ”As you have not given any particular experiment to prove what you assert in this case, you will therefore give me leave to differ from your opinion.”

⁹⁵ Wilson, 1763, s. 445.

Wilsonissa tämä herätti suurta ihmetystä, varsinkin kun Æpinus edelleenkin pysyi sitkeästi omien tulostensa takana:

”...ja kuitenkin vetoatte siihen että kokeet päättävät sen [erimielisyytemme], ja samalla lisäätte, *että kokeet määräävät ja päättävät teidät julistamaan oman sääntönne olevan se ainoa joka pätee ... aina kokeet tukevat teidän sääntöänne, eivätkä kertaakaan minun.*”⁹⁶

Wilson pyrki ahkerasti selvittämään, minkä ihmeen vuoksi hänen ja Æpinuksen kokeiden tulokset edelleen erosivat täysin. Hän löysi hieman eroja koelaitteistossa, mutta totesi samalla, ettei niillä eroavaisuuksilla pitäisi olla merkitystä lopputuloksen kannalta. Tosin hän huomautti Æpinukselta varmasti löytyvän laitteet myös kokeen suorittamiseksi täsmälleen samalla tavalla kuin Wilson oli sen tehnyt. Wilson päätyi lopulta siihen tulokseen, että eron oli pakko johtua heidän käytössään olleista kivistä (ne olivat toki samaa kivilajia), sillä Æpinus käytti ainakin viisi kertaa pienempiä kiviä kokeissaan kuin Wilson itse. Tällöin Æpinuksen kivet helposti kuumuivat kuumemmiksi kuin Wilsonilla, kokeen onnistumisen, siten kuin Wilson sen oli onnistunut tekemään, kannalta oli tärkeää että kivet olivat noin ”veren lämpöisiä”.⁹⁷

Wilsonin arvostelu Æpinusta kohtaan voi meistä tuntua aika normaalilta tieteelliseltä keskustelulta. Verrattuna muihin *Philosophical Transactions*issa käytyihin keskusteluihin eri tutkijoiden mielipide-eroista tämän kaltainen julkinen hyökkääminen toisen arvostetun tutkijan tulosten kimppuun oli varsin rankkaa tekstiä. Esimerkkinä voidaan mainita edellä käsittelemäni Robert Symmerin artikkeli, jossa hän vertasi omia ja Abbé Nolletin ajatuksia toisiinsa. Vaikka Wilsoninkin käyttämä kieli oli kohteliasta ja hän pyrki perustelemaan kaikki tuloksensa kokeiden avulla, hän ei kertaakaan miettinyt, olisiko hänen omassa

⁹⁶ Wilson, 1763, s. 446. ”...and then you appeal to the experiment which is to decide it: adding at the same time, *it is experiment that obliges and authorizes you to declare, that rule advanced by you, is the only one that agrees therewith. ...you have always found the event agreeable to your rule, and not one single time to mine.*”

⁹⁷ Wilson, 1763, s. 446-447.

koejärjestelyissään tai johtopäätelmissään mahdollisesti virheitä. Näin jälkikäteen katsottuna (tosin aikalaistenkin olisi ainakin voinut olettaa huomanneen tämän seikan), kumpikin tutkijoista oli yrittänyt muodostaa tutkimustensa perusteella uuden tieteellisen säännön tai lain joka pitäisi aina paikkansa. Mutta kiistellessään siitä, kumman laki pitää paikkansa he eivät huomanneet tosiasiasa kumonneensa, täysin erilaisilla koetuloksillaan, koko kyseisen lain olemassaolon. Ainakin juuri sellaisena kuin kumpikaan heistä oli sitä ajatellut, sillä eivät tutkimusten lähtökohdat suinkaan eronneet aivan täydellisesti toisistaan. Sillä kuitenkin molemmat heistä tutkivat samaa materiaalia ja samaa teoriaa.

3.5. Kappaleet vastustavat sähköän kulkua

Samassa numerossa, jossa Wilson ja Æpinus selvittelivät mielipide-erojaan julkaistiin myös tarkemmin sähköän vastustusta käsittelevä artikkeli. Ebenezer Kinnersley oli tehnyt monipuolisia kokeita, joista oli raportoinut Benjamin Franklinille kirjeen välityksellä. Osittain Kinnersleyn kokeet käsittelivät myös magnetismia. Hän kiinnitti kevyesti ohuita metallisia neuloja puuhun ja sen jälkeen toi sähköä neulojen lähistölle. Tällöin kaikki neulat asettuivat samanlaiseen asentoon, mitä Kinnersley odottikin tapahtuvan. Tosin neulojen asento poikkesi ennakkoon oletetusta.⁹⁸

Nämä kokeet liittyivät Kinnersleyn tutkimuksiin ja pohdintoihin ilman⁹⁹ sähköisyydestä. Moni tutkija tutki samoja asioita: pitkään selvitettiin sitä, onko salama sähköä vai jotain aivan muuta. Tuohon aikaan alkoi jo selkeästi olla voitolla se kanta, että salama ja sähkö ovat samaa ainetta. Kinnersley yritti sähköistää vesihöyryä siinä kuitenkaan onnistumatta. Franklin oli omissa tutkimuksissaan tullut siihen tulokseen, että pilvet ovat varautuneet negatiivisella sähköllä. Kinnersley tutki myös sähköän siirtymistä varsin yksinkertaisella ja käytännönläheisellä koejärjestelyllä. Hän sähköisti henkilön päässä olleen hatun ja sen jälkeen

⁹⁸ Kinnersley, 1763, s. 85-86.

⁹⁹ Näihin aikoihin tutkijoille alkoi selvitä ettei ilma suinkaan koostu yhdestä aineesta vaan on usean eri aineen yhdistelmä. Eri kaasuja pystyttiin erottamaan toisistaan ensimmäisen kerran 1750 – luvulla, jolloin Black ”löysi” hiilidioksidin.

siirsi sen toisen ihmisen päähän. Tällöin tähän toiseen henkilöönkin siirtyi hatun mukana pieni sähkövaraus.¹⁰⁰

Huomattavasti edellisiä kokeita tärkeämpiä sähkön tutkimuksen kehittymisen kannalta olivat Kinnersleyn tutkimukset sähkön vastustuksesta kappaleiden sisällä ja vastuksesta muodostuvan lämmön havaitseminen. Aluksi hän ei havainnut tutkimuksissaan minkäänlaista lämmön nousua johtimen läheisyydessä olevassa ilmassa, kuten ei itse johtimessakaan. Kinnersleyllä käytti tutkimuksissaan apuna lämpömittaria, välillä se oli kiinni johtimessa, välillä ilmassa lähellä johdinta. Mutta kun hän lisäsi sähkön määrää huomattavasti, alkoi nousta sekä johtimen että johdinta ympäröivän ilman lämpötila jonkin verran, ei kuitenkaan mitenkään valtavasti. Kinnersley arveli tämän lämmön nousun sähkön määrää lisättäessä johtuvan siitä, että suuri määrä sähköä tarvitsee huomattavasti suuremman määrän tilaa liikkua kuin pienempi määrä. Eli kun johdin vastustaa sähkön kulkua paljon, syntyy myös paljon lämpöä.¹⁰¹

Tätä johtimen lämpenemistä sähkön vuoksi hän alkoi tutkia tarkemmin. Kinnersley laittoi varsin ohuen metallisen johtimen koukusta roikkumaan ja kiinnitti sen päähän vielä painon, jotta johdin pysyisi suorassa ja paikallaan. Kun hän sitten johti tähän johtimeen sähköä, se kuumeni pikkuhiljaa tulikuumaksi, jolloin paino alkoi venyttää sitä. Tarpeeksi kuumettuaan johdin katkesi painon vaikutuksesta kahteen osaan. Tämä katkeaminen vain vahvisti Kinnersleyn päätelmiä siitä, että ohuessa johtimessa liikkeessaan sähkö kuumentaa sen, koska se ei pääse kulkemaan niin vapaasti kuin sen täytyisi päästä.¹⁰²

Näiden koetulosten täytyi Kinnersleyn mielestä viimeistään varmistaa se seikka, että salama on erittäin voimakas sähköpurkaus. Hän perusteli väitettään kahdella eri teesillä. Ensimmäkin salama monesti iskiessään metsään tai puiseen taloon syytti sen palamaan. Tässä oli Kinnersleyn mukaan kyse samasta ilmiöstä kuin hänen tutkimuksissaan vastuksella. Puu tai puinen talo huonona johtimena vastustaa salaman sähköä niin paljon että se syttyy samantien palamaan. Hehkuihan metallinenkin lanka ja kuitenkin huomattavasti pienemmällä

¹⁰⁰ Kinnersley, 1763, s. 84-85.

¹⁰¹ Kinnersley, 1763, s. 89-91.

sähkömäärällä. Toinen seikka oli se, että joihinkin rakennuksiin asennettuihin ukkosenjohtimiin oli muodostunut selkeitä jälkiä salamaniskuista. Nämä jäljet ja merkit muistuttivat niitä jälkiä, joita muodostui johtimiin kun Kinnersley johti niihin suuria sähkömääriä. Kinnersley olikin hiukan huolissaan siitä, kuinka ukkosenjohtimet oikein kestävät salamointia ajan kanssa.¹⁰³

Kinnersley artikkeli osoitti taas sen seikan, kuinka monimuotoista sähkön tutkimusta saattoi esiintyä samassa artikkelissa, samalta kirjoittajalta ja tutkijalta. Ensin hän teki kokeita sähköistämällä hattua ja siirtämällä sitä päästä toiseen ja myöhemmin teki tarkkoja kokeita sähkön lämpöä tuottavasta ominaisuudesta. Kinnersleyn havainto sähköstä ja lämmöstä oli tärkeä, varsinkin kun hän jo päätteli sen johtuvan johtimen aiheuttamasta vastustuksesta. Nykyäänhän tätä ominaisuutta hyödynnetään jokapäiväisessä elämässä monin eri tavoin, vedenkeittimistä lattialämmitykseen. Tosin elektroniikkateollisuudessa sen haittapuolien kanssa taistellaan jatkuvasti.

4. SÄHKÖN TUTKIMUKSEN HISTORIA JA NYKYPÄIVÄ PRIESTLEYN SILMIN VUONNA 1767

4.1. Priestleyn sähkön historia

Joseph Priestley (1733 – 1804) julkaisi vuonna 1767 noin 800-sivuisen tiiliskiven *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*. Jo teoksen nimestä voidaan päätellä hänellä olleen aika kunnianhimoinen tavoite saattaa kansiin koko siihen astinen sähkön tutkimisen historia unohtamatta sitä, mitä sähköllä kirjan ilmestymisen aikoihin ymmärrettiin. Sähkön historian osuus kirjasta on sivumäärässä mitattuna runsaat puolet ja aloitankin tästä kirjan osiosta. En kuitenkaan käy kovinkaan tarkasti lävitse kaikkia Priestleyn

¹⁰² Kinnersley, 1763, s. 92-93.

¹⁰³ Kinnersley, 1763, s. 93-96.

mainitsema tutkimuksia ja suurmiehiä, sillä sinänsä sähköön tutkimuksen kertaaminen ei ole oman tutkimukseni kannalta tarpeellista.

Mutta ensin muutama sana itse kirjan kirjoittajasta. Joseph Priestley syntyi köyhän vaatturiperheen ensimmäisenä lapsena ja sai varsin tiukan uskonnollisen kasvatuksen. Hän opiskeli ahkerasti kieliä ja hallitsikin englannin ja latinan lisäksi ranskaa, saksaa, italiaa, kreikkaa ja hepreaa. Varsinaista luonnontieteellistä koulutusta hän hankkinut paljoa. Priestley opiskeli myös teologiaa ja luennoikin siitä. Hän kirjoitti erittäin paljon teologisia kirjoituksia, eivätkä läheskään kaikki niistä olleet kirkon mieleen kuten jo *History of the Corruption of Christianity* teoksen nimestäkin voi päätellä. Poliittiseen elämään hän ei juurikaan osallistunut.¹⁰⁴

Tieteen historiassa Priestley on parhaiten tunnettu työstään kemian parissa: hänen suurimpana tieteellisenä tekonaan pidetään hänen ”keksimistä”. Hän ei kuitenkaan itsekään ymmärtänyt omien havaintojensa ja tutkimustensa tärkeyttä, sillä hän uskoi aivan loppuun saakka flogiston-teoriaan¹⁰⁵. Mutta jo hänen elinaikanaan hänen työnsä arvo nimenomaan erilaisten kaasujen tutkimuksessa huomattiin. Priestley alkoi tehdä, useiden aikansa herrasmiesten tavoin, tieteellisiä kokeita aluksi ihan vain omaksi huvikseen, mutta ajan myötä harrastelijasta kehittyi vakavasti otettava tiedemies. Hän kirjoitti myös toisen tieteen historian teoksen, *The History of the Present State of Discoveries relating to Vision, Light, and Colours*, joka ilmestyi vuonna 1772.¹⁰⁶

Ajatuksen sähköön tutkimuksen historian kirjoittamiseen hän sai hyvin tuntemaltaan Benjamin Franklinilta vuonna 1766. Sähköä Priestley tutki intensiivisesti vain muutaman vuoden ajan, sillä jo vuonna 1770 hän siirtyi enemmän tutkimaan kemiaa. Ilmeisesti Priestley suunnitteli jonkinlaisen yleisteoksen kirjoittamista luonnontieteen historiasta ja sähköön historiasta piti tulla osa tätä laajempaa teosta. Tämän sähköön historian tutkimisen myötä hän alkoi tehdä

¹⁰⁴ DNB, s. 357-363.

¹⁰⁵ Flogistonia uskottiin olevan kaikissa palavissa aineissa ja että se vapautuu aina palamisen yhteydessä. Ajateltiin kasvien pystyvän ottamaan flogistonia talteen ja sitomaan sen jotenkin maaperään.

¹⁰⁶ DNB, vol. XVII s. 375.

entistä enemmän luonnontieteellisiä kokeita, ja nimenomaan kokeita sähköllä. Franklin ja eräs toinen tunnettu tiedemies John Canton avustivat Priestleytä jonkin verran *The History and Present State of Electricityn* kirjoittamisessa ja sen vaatimien sähköisten kokeiden tekemisessä.¹⁰⁷

Priestley eteni kirjassaan kronologisesti eli aloitti sähkön historiasta kertomisen aivan sen alusta, antiikin Kreikasta. Hän lyhyesti kertoi sähköisyyden olleen jo kauan ihmisten tuntema ilmiö: jo vuosituhsia sitten huomattiin meripihkan sähköistyvän kun sitä hangattiin. Sähköistynyt meripihka veti mm. ruohonkorsia puoleensa. Myös sanan sähkö englannin kielisen etymologian Priestley selvitti, ensimmäisenä hänen mukaansa termiä ”electricity” käytti englantilainen, yksi ensimmäisistä huomattavista uuden ajan sähkön tutkijoista, William Gilbert.¹⁰⁸

Otto von Guericke Priestley nosti esille koska tämä oli ensimmäinen joka kehitti jonkinlaisen sähkön tuottamiseen tarkoitetun kojeen. Lisäksi Priestley mainitsee Guericken sähköisiä veto- ja hylkimisvoimia tutkivista kokeista sähköistetyllä rikkipallolla ja höyhenellä.¹⁰⁹ On mielenkiintoista, että Priestley mainitsi Guericken rinnalla myös Robert Boylen ja Isaac Newtonin. Boylen hän sanoi olleen tärkeä hahmo sähkön tutkimisen alkutaipaleen kannalta. Newtonin hän nosti esille sanoen hänen olleen koko kokeellisen luonnontieteen kannalta ylivoimaisesti tärkein henkilö tieteen historiassa. Priestley tunnusti kuitenkin, ettei Newton loppujen lopuksi ole mikään sähkön tutkimisen suurmies.¹¹⁰ Newton oli kuitenkin tuohon aikaan, varsinkin englantilaisten tutkijoiden keskuudessa, niin suuri guru että hänen nimensä ja vaikutuksensa tieteen tekemiseen tuli mainita miltei jokaisessa varteenotettavassa tutkimuksessa.

Priestley kävi varsin tarkasti lävitse 1700 –luvun alkupuolen sähkön tutkimuksen suurmiesten kokeita, ajatuksia, päätelmiä ja tuloksia. Suurimmiksi nimiksi hän nosti Francis

¹⁰⁷ DNB, vol. XVII s. 371-372.

¹⁰⁸ Priestley, 1767, s. 1-3.

¹⁰⁹ Priestley, 1767, s. 8-10.

¹¹⁰ Priestley, 1767, s. 4-7 ja 11-14.

Hawkesbeen¹¹¹, Stephen Greyn¹¹² ja Francois Du Fayen. Hän ylisti myös ranskalaista Jean Desaguiliersia ennen kaikkea siitä, että tämä ensimmäisenä ymmärsi, kuinka suuri osuus vallitsevalla säätilalla saattoi olla kokeiden onnistumisen kannalta. Ja että nimenomaan kuivalla ja kylmällä talvisäällä kannattaa tehdä kaikkein herkimpiä kokeita, jotta ne saataisiin onnistumaan.¹¹³

Leidenin pullon keksiminen oli Priestleyn mielestä sähkön tutkimisen kannalta täysin mullistava keksintö. Priestley kuvasi pullon keksimiseen johtaneita tapahtumia varsin pitkästi ja hartaasti. Hän tiesi Cunaeuksen tehneen keksinnön täysin vahingossa. Priestley kertoi kuinka Leidenin pullolla tehdyissä tutkimuksissa ja kokeissa pelko sen valtavasta voimasta sekoittui tutkijoiden keskuudessa ennennäkemättömän suureen intoon yrittää selvittää pullon arvoitus. Kirjassa onkin varsin paljon kuvauksia kokeista, joilla pyrittiin selittämään Leidenin pullon hirveä voima.¹¹⁴

Leidenin pullo oli Priestleyn mielestä mullistava keksintö nimenomaan sen takia, että nyt pystyttiin tekemään paljon uusia ja erilaisia kokeita, koska käytettävissä oli paljon suuremmat sähkömäärät kuin ennen. Priestley otti esimerkiksi mm. Greyn suorittamat johtumiskokeet, joissa koejärjestelyt saattoivat olla todella mittavia. Maastoon viriteltiin useiden kilometrien mittaisia johtimia, joiden avulla pyrittiin tutkimaan, kuinka pitkän matkan sähkö oikein voikaan johtua.¹¹⁵

Benjamin Franklin oli Priestleyn mielestä sähkön tutkimuksen kannalta tärkein yksittäinen tutkija. Tätä hän perusteli nimenomaan Franklinin tutkimustuloksilla, mainiten erityisesti hänen työnsä positiivisen ja negatiivisen sähkön selvittämiseksi ja Leidenin pullon arvoituksen selvittämiseksi. Myös salaman iskujen ja sähkön yhteyden tutkimisesta Priestley ylisti Franklinia.¹¹⁶ Franklin asusteli ja teki tutkimuksiaan pitkään Amerikassa (Lontooseen Franklin muutti vuonna 1757 ja takaisin, silloin jo itsenäistyneisiin, Yhdysvaltoihin vuonna

¹¹¹ Hawkesbee esiintyy myös kirjoitusasussa Haukesbee.

¹¹² Grey tunnetaan kaikessa käyttämässäni tutkimuskirjallisuudessa nimellä Gray.

¹¹³ Priestley, 1767, s. 64-69.

¹¹⁴ Priestley, 1767, s. 81-85.

¹¹⁵ Priestley, 1767, s. 104-107.

1785, vain muutamaa vuotta ennen kuolemaansa)¹¹⁷, hänen ajatuksensa levisivät aluksi vanhalle mantereelle ennen kaikkea kirjeiden välityksellä. Franklinin kirjeitä ja niiden sisältämiä tutkimuksia luettiin myös Royal Societyn kokouksissa aina vain kun hän lähetti uusia.¹¹⁸

Franklinin tulosten saamasta, varsinkin aluksi erittäin tyrmävästä, vastaanotosta Priestley ei kertonut historiassaan juuri ollenkaan. Brittiläisistäkin tutkijoista kuitenkin Wilson omine kannattajineen piti niitä täysin virheellisinä ja Watson omia tutkimuksiaan ja tuloksiaan vastaavina, mikä ei kuitenkaan pitänyt täysin paikkaansa. Nämä tutkijat myös toivat mielipiteensä voimakkaasti ilmi Royal Societyn tapaamisissa.¹¹⁹ Tämä vastakkaisten ajatusten puuttuminen kokonaan tästä Priestleyn kirjasta ei ole kuitenkaan yllättävää kun muistaa, että Franklin oli omakätisesti varsin paljon Priestleyn apumiehenä kirjaa koostettaessa. Kuitenkin Franklin oli pystynyt hyvin puolustamaan omia mielipiteitään niin kirjeitse kuin Royal Societynkin kokouksissa, ilmeisesti tätä varsin laajaa keskustelua ei kuitenkaan yksinkertaisesti vain haluttu painaa kirjaan. Muutenkaan Priestley ei, varsinkaan sähkön tutkimisen historiaa käsittelevässä osuudessa, käsitellyt virheellisinä pidettyjä teorioita vaan keskittyi sitäkin tarkemmin kaikkein tärkeimpiin virstanpylväisiin ja suurmiehiin sähkön tutkimusten historiassa.

Sen sijaan kirjan viimeisessä osiossa on mukana myös tavallaan epäonnistuneita kokeita. Teoksen viimeisessä luvussa Priestley itse suoritti (siis Franklinin ja Cantonin avustuksella) aivan ennen kirjan ilmestymistä, vuonna 1766 tehtyjä, Englannissa ja muualta maailmasta Lontooseen saakka kiirineitä sähkökokeita ja –tutkimuksia. Epäonnistuneilla kokeilla Priestley tarkoitti sellaisia kokeita, joiden pohjalta ei saatu uutta tietoa tai ei voitu muodostaa uutta teoriaa. Hän ei kuitenkaan väheksynyt tällaisia kokeita, sillä hänen mielestään ne saattoivat, tutkijoilla päänvaivaa aiheutettuaan, johtaa uusiin kokeisiin ja sitä kautta mahdollisesti uusiin tuloksiinkin. Priestley myös tiedosti suuren osan tieteellisestä tutkimuksesta kautta aikojen olleen (ja yhä edelleen olleen) tällaista epäonnistunutta

¹¹⁶ Priestley, 1767, s. 162-172.

¹¹⁷ Dictionary of Scientific Biography, vol. V, s. 130 ja 138.

¹¹⁸ Priestley, 1767, s. 158-159.

¹¹⁹ Heilbron, 1999, s. 344.

tutkimusta.¹²⁰ Myös Watson oli ollut Priestleyn apuna joitakin teoreettisia epäselvyyksiä ratkottaessa.¹²¹

Kaiken kaikkiaan Priestleyn kirjoittama *The History and Present State of Electricity* (ja erityisesti kirjan historiallinen osuus) on ansiokas ja tarkka kuvaus siitä kuinka sähkö tutkiminen oli hänen päiviinsä saakka kehittynyt. Ja se on hämmästyttävän yhdenmukainen nykyisiin sähkön historiasta tehtyihin tutkimuksiin. Heilbronin *Electricity in the 17th and 18th Centuries* on toki huomattavasti tarkempi ja tuo tutkijoiden väliset erimielisyydet ja ristiriidat sähkön teorian muodostamisessa monipuolisemmin esille. Mutta samat nimet sekä Priestley että Heilbronin nostavat suuriksi tutkijoiksi ja täytyy muistaa Heilbronin huomattavasti suurempi aikaperspektiivi tutkittaviin tapahtumiin. Priestley käytännössä kuitenkin kirjoitti nykyhistoriaa.

Vielä enemmän on yhtenäisyyttä Priestleyn ja Meyerin *History of Electricity and Magnetism* välillä. Meyerä lukiessa tuntui, että hän olisi kirjoittanut historiansa melkein pä suoraan Priestleyä tulkiten. Sillä välillä jopa Meyerin sanavalinnat olivat miltei samoja kuin Priestleyn, vaikka kirjojen ilmestymisajankohdilla on eroa noin kaksisataa vuotta. Pitkä aikaperspektiivi käsiteltäviin asioihin ei näy Meyerin teoksessa juuri ollenkaan. Meyerin kirja onkin hiukan koulukirjamainen, eikä siinäkään, Priestleyn tapaan, tuoda esille tutkijoiden välisiä erimielisyyksiä vaan keskitytään tiedettä eteenpäin vieneisiin tutkimuksiin ja tutkijoihin.

4.2. Sähkön tutkimuksen tila Priestleyn mukaan

Muutamien kirjan ilmestymistä edeltävien vuosien aikana sähkön tutkimuksen määrä oli Priestleyn mielestä kasvanut ja tutkimuksen alueet laajentuneet. Erityisen ilahtunut hän oli uusien tutkijoiden tulosta sähkön tutkimuksen pariin, näin myös tutkijoiden joukko oli laajentunut. Hän uskoikin piakkoin sähkön tutkimuksen ottavan huomattavasti aikaisempaa

¹²⁰ Priestley, 1767, s. 577-578.

¹²¹ Priestley, 1767, s. 582.

nopeammin askeleita eteenpäin.¹²² Oman aikansa huomattavimmiksi sähkön tutkijoiksi Priestley nosti Franklinin, Cantonin ja Watsonin lisäksi Æpinuksen, Symmerin, Delavalin ja Wilcken.

Mitä sähköstä sitten Priestleyn mukaan tiedettiin vuonna 1767? Yhtä mieltä oltiin lähinnä kahdesta suuresta seikasta. Ensinnäkin kaikki aineet oli jaoteltavissa sähkön johtavuuden kannalta joko johtimiksi tai ei-johtimiksi. Johtimia olivat ainakin kaikki metallit ja puolimetallit, melkein kaikki loput olivatkin sitten ei-johtimia. Viimeisimmät tutkimukset olivat kuitenkin vahvistaneet sen, että mikään aine ei ole täysin johdin tai ei-johdin. Herkimmätkin johtimet vastustivat sähköä jonkin verran, samoin kuin täysin ei-johtimina pidetyt päästivät hiukan sähköä lävitseen. Ainakin kun sähkön määrää nostettiin tarpeeksi suureksi.¹²³

Toinen seikka joka tunnustettiin oli sähkön kaksi erilaista voimaa, positiivinen ja negatiivinen sähkö. Samoin oli tiedossa se, että positiivinen ja negatiivinen sähkö vetivät toisiaan puoleensa ja samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan.¹²⁴ Priestley nosti Watsonin Franklinin rinnalle positiivisen ja negatiivisen sähkön teorian kehittäjänä.¹²⁵ Aluksihan Watson piti Franklinin teoriaa samanlaisena kuin mitä hän oli itse hiukan aikaisemmin kehittänyt, mikä ei kuitenkaan aivan pitänyt paikkaansa. Myöhemmin nämä tutkijat tekivät varsin paljon yhteistyötä. Priestley selkeästi piti tätä Franklinin ja Watsonin selitysmallia oikeana, vaikka mainitsikin tutkijoiden keskuudessa olleen paljon erimielisyyksiä positiivisen ja negatiivisen sähkön selittämisessä.¹²⁶

Tutkituin - ja samalla tutkijoiden keskuudessa kiistellyin - tutkimusaihe *The History and Present State of Electricity* ilmestymisen aikoihin oli kysymys siitä, millaista ainetta oli sähkövirta. Priestley itse kallistui Franklinin tavoin yhden sähköisen nesteen teorian kannalle.

¹²² Priestley, 1767, s. 193-195.

¹²³ Priestley, 1767, s. 433-437.

¹²⁴ Priestley, 1767, s. 437-440.

¹²⁵ Priestley, 1767, s. 455.

¹²⁶ Priestley, 1767, s. 465.

Ja tämä sähköinen neste¹²⁷ olisi aikalailla eetterin kaltaista, täysin näkymätöntä ja tavallaan ei-konkreettista ainetta:

”...se [sähköinen neste] on kuin eetteri, äärimmäisen hienojakoista ja juoksevaa, itseään hylkivä, muut aineet vetävät sitä puoleensa (toisin kuin eetteriä).”¹²⁸

Osa tutkijoista oli kuitenkin sitä mieltä, että positiivinen ja negatiivinen sähkö olisivat kumpikin oman kaltaistaan sähköistä nestettä. Näin positiivisen ja negatiivisen sähkön olemassaolo olisi aika yksinkertaista selittää. Kun jotain sähköistyvää ainetta (esim. lasiputkea) hangattaisiin, tämä hankaaminen erottaisi positiivisen ja negatiivisen nesteen toisistaan ja kappale sähköistyisi. Sähköinen vetovoima olisi selitettävissä sillä, että nämä kaksi ainetta pyrkisivät takaisin yhteen.¹²⁹ Yhden nesteen teoriassa sähköinen varautuminen selitettiin nesteen epätasaisella jakaantumisella kappaleen sisällä. Jokaisessa kappaleessa on sähköistä nestettä, mutta sen hankaaminen (tai sähköistäminen) sai nesteen siirtymään epätasapainoon kappaleessa. Tällöin kappale olisi ulospäin sähköisesti varautunut. Joidenkin mielestä nestettä myös siirtyi kappaleesta ja materiaalista toiseen. Näin esim. lasiputkea kankaalla hangatessa lasiputken varautuminen olisi selitettävissä sillä, että osa sähköisestä nesteestä siirtyisi lasiputkesta kankaaseen (tai toisin päin). Vaikka Priestley itse kannattikin yhden nesteen teoriaa, hän myönsi molemmilla teorioilla olevan vahvat ja heikot puolensa ja kohtansa. Kummankaan avulla ei hänen mielestään kyetty täysin selittämään sähkön käyttäytymistä.¹³⁰

Yhden tai kahden nesteen teorioiden oikeellisuuksien selvittäminen olikin Priestleyn mielestä tärkein seuraava tavoite sähkön tutkijoille. Hän myös kertoi muista omasta mielestään tärkeimmistä tulevaisuuden tutkimuskohteista ja -aloista. Priestley toivoi, että tutkijat ottaisivat hänen neuvoistaan vaarin, ja todellakin ryhtyisivät tutkimaan mm. seuraavia

¹²⁷ Engl. 'electric fluid' tai 'electrical fluid'.

¹²⁸ Priestley, 1767, s. 461. "...it [electric fluid] is like ether, extremely subtle and elastic, repulsive of itself, attracted by other matter (unlike ether)."

¹²⁹ Priestley, 1767, s. 468-469.

¹³⁰ Priestley, 1767, s. 474.

seikkoja: Oli ensinnäkin selvitetävä, mistä oikein loppujen lopuksi johtui se, että toiset aineet olivat johtimia ja toiset eivät? Mikä on lämpötilan vaikutus sähköön ja miksi? Onko väreillä minkäänlaista yhteyttä sähköön? Johtuuko sähkö kappaleiden sisällä vai niiden pinnalla? Ja vaikuttavatko tuulet jotenkin Maan ilmakehän sähköisyyteen?¹³¹

Sähköä oli Priestleyn mukaan kaikkialla ympärillämme. Sähköiset ilmiöt olivat vastuussa monesta maapallolla tapahtuvasta sattumasta ja ilmiöstä. Hänen mukaansa oli jo moneen kertaan todistettu, että salama oli sähköä.¹³² Ja niin oli moni muukin luonnonilmiö. Revontulet olivat sähköisistä purkauksista johtuvaa valoa. Samoin tähdenlentojen pyrstö oli Priestleyn mukaan sähköinen.¹³³ Magnetismi aiheutti Priestleylle, kuten muillekin hänen aikalaisilleen, päänvaivaa. Joiltain osiltaan magneettiset ilmiöt muistuttivat sähköisiä ilmiöitä ja joskus niitä esiintyikin samanaikaisesti.¹³⁴ Toisaalta ilmöiden välillä oli täysin erilaisia piirteitä. Magnetismi olikin Priestleyn mielestä myös sellainen tieteenala, joka vaatisi paljon lisätutkimusta.¹³⁵

Priestley laittoi myös maanjäritykset sähköisten purkausten piikkiin ja perusteli mielipidettään varsin tarkasti. Nykytieteen perusteella selityksen tieteellisyydestä voitaisiin olla montaa mieltä, mutta aikanaan tieteessä oli hyvin yleistä ja oikeana metodina pidetty seuraavanlainen, analogioiden perusteella tehty teorioiden muodostaminen. Priestley oli havainnut, että kosteassa pohjoisessa maanjärityksiä esiintyi huomattavasti vähemmän, sen sijaan eteläisessä kuivassa ja sähkölle otollisemmassa ilmastossa niitä esiintyi huomattavasti tiheämmin.¹³⁶ Maanjäritysten yhteydessä oli myös havaittu esiintyvän huomattavasti tavallista runsaammin pallosalamoja, mikä viittasi sähköiseen aktiivisuuteen. Sähköisissä purkauksissa kuuluva räjähtely ja pauke muistutti Priestleyn mielestä erittäin paljon maanjäritysten yhteydessä kuultavaa jyrinää. Lisäksi ihmisillä oli samanlaisia oireita (vapinaa ja pahoinvointia) maanjäritysten jälkeen kuin heillä oli voimakkaiden

¹³¹ Priestley, 1767, s. 487-500.

¹³² Priestley, 1767, s. 398-399.

¹³³ Priestley, 1767, s. 374-377.

¹³⁴ Nykyään jo tiedetään, että sähkö aiheuttaa magneettiset ilmiöt.

¹³⁵ Priestley, 1767, s. 430-432.

¹³⁶ Priestley tarkoitti pohjoisesta ja eteläisestä puhuessaan selkeästikin pohjoista ja eteläistä Eurooppaa.

sähköiskujenkin jälkeen.¹³⁷ Sähkön yhteys maanjärityksiin mietitytti tutkijoita jatkossakin, sillä vuonna 1772 Priestley raportoi *Philosophical Transactions*issa William Henleyn pyrkineen jollain tapaa imitoimaan maanjäritystä sähköllä jonkinlaista miniatyyriä apunaan käyttäen.¹³⁸ Tutkijoiden mielenkiintoa 1700 –luvun puolenvälin jälkeen nimenomaan maanjärityksiin ja niiden syntyyn lisäsi varmasti Lissabonissa vuonna 1755 tapahtunut erittäin tuhoisa maanjäritys, jossa kuoli ilmeisesti yli 30 000 ihmistä.

4.3. Priestleyn ajatuksia tieteestä ja sen tekemisestä

Priestleyn mielestä tieteen tehtävänä oli selittää maapallolla tapahtuvat ilmiöt. Hänen mukaansa ihmismieltä on yleensäkin kautta historian leimannut suuri kiinnostus ilmiöiden syihin. Ihminen on aina pyrkinyt selittämään näkemänsä, kuulemansa tai muuten kokemansa jollakin pätevällä selityksellä.¹³⁹ Selitystavat ja perustelut vain ovat vaihdelleet huomattavasti ajan myötä.

Newtonilaisen luonnontieteen tutkimuksen Priestley oli sisäistänyt täysin. Hänen mielestään kokeiden tekeminen oli ehdoton edellytys ylipäättänsä tieteen tekemiselle. Näiden kokeiden pohjalta tehdyistä havainnoista pystyttiin sitten johtamaan teorioita. Priestleyn mukaan tiede eteni nimenomaan yksittäisestä ilmiöstä yleiseen teoriaan. Ja edelleen, hänen mielestään jokainen ilmiö oli oma yksittäinen tapahtumansa, yleistyksiset olivat ainoastaan apuvälineitä muistille, havainnoille ja ymmärrykselle.¹⁴⁰ Teorian avulla vain voitiin tutkijan parhaan kyvyn mukaan yrittää ennustaa tuloksia parhaillaan suunnitelluista ja suoritettavista kokeista ja tutkimuksista.¹⁴¹

Hypoteesissä piili Priestleyn mielestä myös erittäin suuri vaara. Jos hypoteesiä pidetään itsestään selvyytenä, ei asioita aina katsota riittävän laajasta näkökulmasta. Kuitenkin historia on opettanut, että täysin oikeanakin pidetty hypoteesi voi osoittautua vääräksi. Teorioita täytyi

¹³⁷ Priestley, 1767, s. 380-395.

¹³⁸ Priestley, 1772, s. 364.

¹³⁹ Priestley, 1767, s. 441.

¹⁴⁰ Priestley, 1767, s. 442.

Priestleyn mukaan pystyä muokkaamaan tutkimusten perusteella kohti lopullista ja oikeaa tietoa. Sillä kuitenkin silläkin hetkellä voimassa oleva hypoteesi oli muodostettu kokeiden ja havaintojen pohjalta. Kokeiden perusteella sitä täytyi myös pystyä muuttamaan uusia ja parempia havaintoja vastaavaksi.¹⁴²

1700 –luvulla luonnontieteiden tekijöiden, ja varsinkin englantilaisten tutkijoiden keskuudessa, vallitsi suuri kehitysusko.¹⁴³ Uskottiin että erityisesti luonnontieteiden avulla voitaisiin selittää luonnonilmiöt matemaattisesti ja erilaisten lakien avulla. Tieteen kehitykselle ei nähty olevan minkäänlaisia rajoja, tutkijoiden keskuudessa vallitsi suuri optimismi. Tämä optimismin ilmapiiri ruokki koko ajan itseään, kun vuosisadan mittaan kuitenkin jatkuvasti saatiin tuloksia aikaiseksi kaikilla tieteen eri aloilla. Spadaforan mukaan 1700 – luvun puolivälin jälkeen onkin aina vain enemmän ja enemmän merkkejä havaittavissa kehitysuskon laajenemisesta.¹⁴⁴

Myös Priestley uskoi luonnontieteiden avulla pystyttävän paremmin selittämään maailman eri ilmiöitä. Hän myös uskoi tieteen pystyvän koko ajan kehittymään aina vain paremmaksi ja tarkemmaksi.

”Hänellä [luonnontieteilijällä] on myös koko ajan kannustimenaan ajatus mahdollisesta asteittaisesta kehityksestä...”¹⁴⁵

Priestleyn mielestä kehitys oli asteittaista, eivätkä hän aikailaisineen suinkaan vielä ollut kehityksen huipulla. Hänen mukaansa tiedon määrä kasvaa koko ajan uusien tutkimusten ja löytöjen myötä.¹⁴⁶ Spadafora onkin sitä mieltä, että Priestley oli yksi niistä tuon ajan

¹⁴¹ Priestley, 1767, s. 443.

¹⁴² Priestley, 1767, s. 445.

¹⁴³ Engl. termi 'idea of progress'.

¹⁴⁴ Spadafora, 1990, s. 212.

¹⁴⁵ Priestley, 1767, s. iii. ”He [naturalist] is likewise entertained with a prospect of gradual improvement...”

¹⁴⁶ Priestley, 1767, s. iii-v.

kirjoittajista joiden teksteissä kehitysajatus ilmeni selkeimmin. Tämän huomasivat myös Priestleyn oman ajan tutkijat.¹⁴⁷

Baconilaisen hengen mukaisesti Priestleyn mielestä tieteen tuli myös hyödyttää ihmisten jokapäiväistä elämää parhain mahdollisin tavoin. Sähköä ei hänen mukaansa vielä osattu juurikaan hyödyntää, ainoastaan lääketieteen parissa oli saatu joitakin hyviä tuloksia.¹⁴⁸ Mutta Priestley näki kuitenkin sähköstä varmasti olevan joskus tulevaisuudessa ihmiskunnalle suurestikin hyötyä.¹⁴⁹ Myös näissä Priestleyn ajatuksissa näkyy hyvin selvästi 1700 –luvulle tyypillinen usko tieteen jatkuvaan kehittymiseen. Näin jälkikäteen voidaan helposti sanoa, että hän oli varmasti enemmän oikeassa kuin uskoikaan, mutta tuskin hän kuitenkaan pystyi ajattelemaan lähellekään sitä, miten pitkälle nykypäivänä on yhteiskunnassa sähkön hyödyntämisessä menty.

Kehityksen nopeuttaminen olikin yksi syy Priestleylle kirjoittaa *The History and Present State of Electricity*. Hän uskoi tieteen historian kirjoittamisen auttavan tieteen kehittymistä eteenpäin.¹⁵⁰ Edellisten tutkijoiden virheistä (ja myös onnistumisista) pystyi hänen mukaansa oppimaan paljon, ja niistä myös piti ottaa oppia: Mitkä seikat johtavat kokeiden onnistumiseen tai epäonnistumiseen? Mitä seikkoja on jo tutkittu läpikotaisin, tai mitä tutkimussuuntia on ylenkatsottu? Mitä teorioita on löydetty vahingossa, ja mitä on mahdollisesti kehitetty jo olemassa olevista teorioista johtamalla ja pääättelemällä? Muun muassa näihin seikkoihin tuli Priestleyn mielestä jokaisen tiedettä tutkivan henkilön perehtyä. Tällöin oli paljon helpommin odotettavissa hyviä tuloksia ja onnistumisia omista tutkimuksista.¹⁵¹

Nykyään, varsinkin luonnontieteiden parissa, on jo itsestäänselvyys, että tutkijaksi aikovan täytyy opiskella vuosikausia oman tieteenalan historiaa ja nykytilaa ennen kuin pystyy tekemään itse täysin uutta tiedettä. Kuitenkaan 1700 –luvulla tilanne ei ollut lähellekään

¹⁴⁷ Spadafora, 1990, s. 389.

¹⁴⁸ Priestley, 1767, s. 419-420.

¹⁴⁹ Priestley, 1767, s. 194.

¹⁵⁰ Priestley, 1767, s. xv.

¹⁵¹ Priestley, 1767, s. 483-487.

sama, oli paljon ns. herrasmiestutkijoita. Heidän määräänsä oli lisännyt paljon myös se, että 1700 –luvun alkupuolelta saakka kaikille halukkaille oli ollut tarjolla erilaisia kursseja ja koulutusta. Yleensä tällainen koulutus oli käytännönläheistä mekaniikkaa.¹⁵² Herrasmiestutkijat eivät olleet täyspäiväisiä tiedemiehiä (itse asiassa sellaisia ei ollut kovinkaan paljoa) vaan tekivät erilaisia kokeita lähinnä omaksi huvikseen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteivät he mahdollisesti olisi saaneet hyviä tuloksia aikaiseksi. Läheskään kaikki tieteet eivät olleet kehittyneet niin paljoa, ettei varsin lyhyessäkin ajassa ollut mahdollista omaksua siihen saakka löydetty tieto. Näin voidaan sanoa olleen erityisesti sähkön tutkimuksessa. Priestley sanoikin sähkön tutkimuksessa olevan paljon tilaa uusille löydöille, koska kyseessä on varsin tuore ala luonnontieteiden parissa. Näin ollen se ei myöskään vaatinut tutkijoiltaan hirveästi pohjatietoa.¹⁵³

4.4. Neuvoja ja vihjeitä

Yksi Priestleyn tavoitteista *History and Present State of Electricityn* kirjoittamisessa oli siis opastaa ja neuvoa sähkön tutkijoita oikeaan suuntaan. Tätä tarkoitusta selkeästi palvelee parikin kirjan lukua. Ensinnäkin hän neuvoi tutkijoita oman sähkön tuottamiseen tarkoitettun kojeen rakentamisessa, sillä Priestley oli sitä mieltä ettei todelliselle tutkijalle olisi juurikaan hyötyä muiden valmistamista standardivälineistä.¹⁵⁴

Hän kävikin varsin yksityiskohtaisesti lävitse kojeiden rakentamisessa tarvittavia materiaaleja. Materiaalien valinta riippui tutkijan tarvitsemasta sähkön määrästä. Se ratkaisi kannattiko lasipalloa tai –levyä päällystää jollain toisella materiaalilla. Tutkijan laboratorion koko vaikutti tietenkin siihen, kuinka suuri koje oli mahdollista rakentaa. Suurimmat kojeet saattoivat olla normaalin huoneen suuruisia, toki pienellä pöytämallillakin pystyi kokeita tekemään. Priestley neuvoi myös, kuinka pystyi rakentamaan sähkön varaamiseen käytettäviä pattereita¹⁵⁵, jolloin tutkija kykeni tekemään suurempia kokeita. Pattereina käytettiin tuohon

¹⁵² Jacob, 1997, s. 87.

¹⁵³ Priestley, 1767, s. xi.

¹⁵⁴ Priestley, 1767, s. 506-507.

¹⁵⁵ Jo tuolloin käytettiin englanninkielistä termiä 'battery'.

aikaan useita toisiinsa kytkettyjä lasipulloja, joissa oli nestettä sisällä.¹⁵⁶ Mitään valmiita piirustuksia sähkökojeen rakentamiseksi ei Priestley kirjaansa kuitenkaan sisällyttänyt, ja jos lukija ei ollut koskaan aikaisemmin omin silmin nähnyt vastaavaa kojetta, jäi näiden ohjeiden perusteella sellainen kyllä rakentamatta.

Sähköisten koneiden rakentamisen ja niiden vaatiman melko jatkuvan huoltamisen vuoksi Priestley suosittelikin sähköä tutkivien tutkijoiden harjaannuttavan itseään myös mekaniikassa. Priestleyn mielestä ei sähkön tutkijakaan voinut keskittyä pelkästään sähkön tutkimiseen vaan hänen tuli opiskella myös muita tieteenaloja. Mekaniikka olikin hänen mielestään tärkein näistä sähkön tutkijan aputieteistä. Kemia oli toinen tärkeä luonnontiede, sitä tarvittiin varsinkin eri sähköistettävien aineiden ominaisuuksien tietämiseksi ja hallitsemiseksi.¹⁵⁷

Matematiikan, jota ei vielä 1700-luvulla juurikaan käytetty sähkön tutkimuksessa apuna, osaamisen Priestley arveli ihan lähitulevaisuudessa nousevan aivan välttämättömäksi taidoksi sähkön tutkijoille.¹⁵⁸ Tämä liittyy läheisesti koko tieteellisen maailmankuvan matematisoitumiseen, kehitykseen, joka oli huipentunut Newtonin työhön. Newton loi fysiikkaan perustavanlaatuiset matemaattiset lait, joiden avulla pystyttiin laskemaan niin planeettojen liikkeitä kuin maanpäällistenkin kappaleiden käyttäytymistä. Sähkön tutkimuksen matematisoimisessa oli kuitenkin se suuri ongelma, ettei tutkijoilla oikein ollut mitään matematisoitavaa. Matematiikan puolella kaikki tarvittava osaaminen olisi kyllä ollut kehitetty. Sähköä ei kuitenkaan osattu mitata kuin silmämääräisesti veto- ja hylkimisvoimiin perustuvilla alkeellisilla mittareilla. Priestleyn kirjan julkaisemisen aikaan tutkijat eivät myöskään olleet tietoisia, että sähköllä ylipäätensä olisi kaksi mitattavaa suuretta, virta ja jännite. Ensimmäiset sähkömittarit mittasivat nimenomaan jännitettä. Sähkön matematisoituminen tapahtuikin muihin fysiikan aloihin verrattuna varsin myöhään, vasta 1800-luvun puolella.

¹⁵⁶ Priestley, 1767, s. 508-521.

¹⁵⁷ Priestley, 1767, s. 502-507.

¹⁵⁸ Priestley, 1767, s. 504-506.

Tieteen tekeminen ei ollut 1700-luvulla mitenkään ryppyotsaista puuhaa. Suuri osa tutkijoistakin tutki luonnontieteitä harrastuksenaan, varsinaisen leipätyön ollessa jonkinasteiset valtionvirkamiehen tehtävät tai vaikkapa lääkärin toimi. Papiston jäsenet olivat edelleen ahkeria tieteen tekijöitä. Vaikka tavoitteena tieteenkin oli yleensä uuden tiedon löytäminen ja sitä kautta tieteellisen tiedon lisääminen, oli tieteellä viihteellinenkin puolensa. Kansaa viihdytettiin tottakai myös erilaisilla sähköisillä sirkustempuilla.

Tämä tieteen viihdyttävän puolen huomioi myös Priestley kirjassaan. Yksi kokonainen luku on omistettu ”kaikkein viihdyttävimpien sähköisten kokeiden kuvaamiseen”, kuten Priestley itse asiaa kuvasi.¹⁵⁹ Sähköllä voitiin hänen mielestään viihdyttää usealla eri tavalla; vain mielikuvitus oli esteenä mietittäessä sitä, kuinka sähkö aiheuttamaa valoa, ääntä tai iskua voitaisiin tempuissa¹⁶⁰ hyödyntää. Priestley katsoikin asiakseen tässä muitakin ohjeita ja neuvoja sisältävässä kirjassaan neuvoa tutkijoita myös tällä tieteen osa-alueella, ettei vaan juhlien mahdollinen keskipiste joutuisi yllättäen kaikkien naurun ja pilkan kohteeksi. Yleisten neuvojen lisäksi hän kertoi yksityiskohtaisesti, kuinka suorittaa muutamia näyttäviä ja suosittuja tempuja. Näitä olivat mm. höyhenen lennättäminen, paperinukkien tanssittaminen, kellojen soittaminen ja kynttilän sytyttäminen sähköän avulla. Ehtymätön riemun ja ilon lähde oli, totta kai, sähköiskujen antaminen yhdelle tai useammalle henkilölle samanaikaisesti. Erityisen hauskana Priestley piti sitä, jos iskut annetaan täytenä yllätyksenä, esimerkiksi piilottamalla johtimet maton alle.¹⁶¹

History and Present State of Electricity oli siis varsin monipuolinen teos. Sitä lukivat niin aloittelevat tutkijat kuin kaikki kyseisen ajan sähköän tutkimuksen gurutkin. Aloittelijoille kirja tarjosikin hyvät pohjatiedot, samoin kirja toimi myös yleisesityksenä tieteestä ja sähköstä ylipäättänsä kiinnostuneille herrasmiehille. Koko sähköän tutkimuksen historian lisäksi teos, nimensä mukaisesti, summasi myös sähköän tutkimuksen senhetkisen tilan sekä vallitsevat ja kiisteltyt teoriat. Varsinaisesti mitään uutta tietoa, sellaista mitä alan

¹⁵⁹ Priestley, 1767, s. 547. ”A description of the most entertaining experiments performed by electricity.”

¹⁶⁰ Priestley ja muut hänen aikalaisensa käyttivät myös näistä viihdyttämiseen tarkoitetuista näytöksistä termiä ’koe’, engl. experiment.

¹⁶¹ Priestley, 1767, s. 547-572.

huippututkijat eivät olisi tienneet, ei Priestleyn kirjassa ollut. Mutta kirjan lukenut pysyi taatusti tämän alan keskusteluissa mukana seuraavassa herrasmiesklubin kokouksessa. *History and Present State of Electricity* oli varsin suosittu teos aikalaistensa keskuudessa, sillä siitä otettiin vuonna 1794 jo viides painos.¹⁶²

5. SÄHKÖN TUTKIMUS PRIESTLEYN TEOKSEN JÄLKEEN

5.1. Sähkön tutkimuksessa käytettävien välineiden kehittäminen

Tutkijoiden kiinnostus sähkön tutkimukseen alkoi vähitellen laskea kun tultiin 1770-luvulle. Edelliset parikymmentä vuotta, alkaen Leidenin pullon keksimisestä, se olikin ollut yksi suosituimmista tutkimusalueista luonnontieteiden parissa. Vuosisadan lopulla luonnontieteissä keskityttiin aikaisempaa enemmän kemiaan ja erityisesti kaasujen ja niiden ominaisuuksien tutkimiseen. Se näkyy selvästi myös sähkön tutkimuksen parissa, sillä 1770-luvulla tutkittiin erittäin paljon sähkön ilmenemistä ilmakehässä ja siitä aiheesta julkaistiin *Philosophical Transactions*issa runsaasti artikkeleja. Näitä artikkeleja tutkin graduni kuudennessa luvussa. Tietenkin sähkön tutkimista jatkoi useakin tutkija, enemmänkin on kyse siitä, että ns. harrastelijatutkijat siirtyivät nyt seuraavaan ”hittialueeseen” luonnontieteen tutkimuksessa. Samoin kuin sähkön tutkimus oli ollut 1700-luvun puolivälissä, oli vuosisadan lopulla kaasujen tutkiminen uusi ja mielenkiintoinen alue. Tällainen uusi alue ei vaadi hirveästi pohjatietoja, ja tutkijoilla on paljon löydettävää, joten se on tiedettä vain harrastuksenaan tekeville tutkijoille paljon palkitsevampaa. Sähkön tutkiminen alkoi olla Priestleyn kirjan julkaisemisen aikoihin jo niin pitkälle kehittyntä, että uutta keksiäkseen täytyi olla jo melkoinen tekijä.

Sähkön tuottamiseen tarkoitettut kojeet olivat pysyneet toimintaperiaatteeltaan samanlaisina jo von Guericken päivistä saakka. Lasista palloa tai levyä (tai useampia) pyöritettiin kammien avulla, jolloin sen pintaa koskettavaan materiaaliin (esim. kankaaseen) syntyi hankaussähköä.

¹⁶² DNB, vol. XVII, s. 375.

Kojeisiin tehtiin lähinnä erilaista pientä hienosäätöä sähköntuottotehon lisäämiseksi. Kojoiden kehittämistä koskevia artikkeleja ei ollut paljoa myöskään *Philosophical Transactions*issa. Vuonna 1767 julkaistiin ranskalaisen tutkijan L'Espinassen artikkeli, jossa hän esitteli omia parannuksiaan sähkökojeisiin.

L'Espinassen idea oli yksinkertainen. Hän keksi vuorata lasipallon sisäpinnan eräänlaisella vahalla. Tällä menetelmällä valmistetulla kojeella saatiin aikaiseksi enemmän sähköä kuin ilman sisäpinnan vuorausta olevalla kojeella. Tällöin kokeiden suorittamisessa ei oltu enää yhtä riippuvaisia sään vaikutukselle, jos kokeissa ei haluttu käyttää Leidenin pulloja sähkön varaamiseen. Vahalla vuoratut lasipallot kestivät myös aikaisempaa paremmin sähköisiä kokeita rikkoutumatta. Käyttöturvallisuutta lisäsi sekin seikka, että sisäpinnaltaan vuoratuista palloista ei lähtenyt yhtä paljon vahinkopurkauksia. Myös ihan käsin tehtävässä sähkön tuottamisessa lasiputkella ja kankaan palalla L'Espinassen keksintö toimi vastaavasti kuin kojeessakin. Samat hyödyt saatiin kun lasiputken sisäpinta vuorattiin samalla tavalla vahalla kuin lasipallonkin.¹⁶³

Sähkökojeiden kehittämisen jäämisen vähälle huomiolle tutkijoiden keskuudessa oli huomannut myös tohtori Nooth. Lisäksi hänen mielestään niiden valmistaminen oli aivan liian epätarkkaa työtä. Osa sähköstä, joka tuotettiin pyörítettävän lasipallon ja hankaavan palan avulla, meni aina hukkaan. Sen sijaan, että kaikki sähkö olisi saatu lasin kautta johdetuksi talteen, osa meni hankaavan kappaleen kautta hukkaan.¹⁶⁴

Noothin ratkaisu tähän oli asentaa eriste koskettamaan lasin pintaa pyörimissuunnassa ennen hankaavaa kappaletta. Hyvänä eristeenä tähän käyttötarkoitukseen hän mainitsi paksun silkkikankaan tai jonkin mehiläisvahalla pinnoitetun kappaleen. Silkki oli kuitenkin hänen oma valintansa, sillä mehiläisvaha on eristeenä hiukan heikompi. Kun vielä heti hankaavan, sähköä tuottavan, kappaleen jälkeen (pyörimissuunnassa) asennettiin sähköä johtava metallikappale, nousivat laitteen tehot huomattavasti korkeammiksi kuin aikaisemmin. Metallinkappale tavallaan veti puoleensa, ja sitä kautta lasiin ja käyttöön otettavaksi,

¹⁶³ L'Espinasse, 1767, s. 186-188.

¹⁶⁴ Nooth, 1773, s. 333-335.

huomattavan suuren osan sitä sähköä, joka aikaisemmin oli mennyt hankaavan kappaleen kautta hukkaan.¹⁶⁵

Myös Nooth perusteli sähkökojeiden tehokkaammaksi kehittämistä sillä, ettei tutkijoiden tarvitsisi enää välittää säätilasta kokeita suorittaessaan. Kaikki tutkijat eivät halunneet käyttää apunaan Leidenin pulloja sähkömäärien nostamiseksi, sillä niiden käyttöön liittyi kuitenkin aina pieniä riskejä. Pullot itsessään saattoivat särkyä tai tutkija huolimattomuuttaan saada itse voimakkaita sähköiskuja. Lisäksi oli huomattavasti vaivattomampaa suorittaa kokeita, kun tarvitsemansa sähköä sai suoraan koneesta johtimeen, eikä tarvinnut varaila mahdollisesti useitakin pulloja aina jokaista koetta varten uudestaan ja uudestaan.

Sähkömittareita yritettiin koko ajan parannella. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, ei sähköä osattu 1700-luvulla mitata minkäänlaisella asteikolla. Mittareista pystyttiin vain silmämääräisesti katsomaan varauksen voimakkuutta suuripiirteisesti. Mitattavan suureen puuttuminen oli myös suurin sähköä tutkimuksen matematisoitumista jarruttanut tekijä. Tämän tunnustivat myös aikalaiset. Sähköä tutkineen T. Lanen mukaan oli itsestään selvää, että sähköä mittaaminen edes joten kuten tarkasti helpottaisi sähköä tutkimista huomattavasti.¹⁶⁶

Lane kehitteli eräänlaista sähkömittaria, joka tuli kiinni suoraan itse sähköä tuottavaan kojeeseen. Mittarin sijasta hän tuli keksineeksi tavan, jolla pystyi suurin piirtein säätämään kojeesta annettavan iskun voimakkuutta. Hän kiinnitti kojeeseen ylimääräisen johdon, jonka etäisyyttä itse kojeesta muuttamalla pystyi säätämään kojeen antamaa iskua.¹⁶⁷ Lanen kojeen toimintaperiaate oli ilmeisesti seuraava: Kun lasipalloon oli kertynyt tarpeeksi sähköä, se purkautui irti pallosta olevan johtimen kautta haluttuun kohteeseen. Mitä suurempi oli välimatka lasipalloon, sitä suurempi purkaus johtoa myöten purkautui. Tällainen tapa ei ole mitenkään tarkka tapa säädellä purkauksen voimakkuutta, sillä riippuen esimerkiksi säätilasta tai johtimen päästä purkauksen määrä saattaa vaihdella. Mutta kyllä näin voidaan määritellä joten kuten purkausten voimakkuutta.

¹⁶⁵ Nooth, 1773, s. 336-337.

¹⁶⁶ Lane, 1767, s. 451.

Muutamaa vuotta myöhemmin Joseph Priestley raportoi kirjeessään Benjamin Franklinille ystävänsä William Henleyn¹⁶⁸ kehittämästä sähkömittarista. Priestley viittaa maininneensa jo *History and Present State of Electricity*ssa, kuinka tärkeää olisi kehittää kunnollinen sähkömittari, jotta voitaisiin luotettavasti vertailla eri kojeita ja aina kertoa tutkimusten yhteydessä käytetty sähkön määrä. Sähkömittari olikin Priestleyn mielestä eräs tärkeimmistä apuvälineistä sähkön tutkimuksessa.¹⁶⁹

Henleyn mittari perustui, kuten aikaisemmatkin sähkömittarit, sähköiseen hylkimisvoimaan. Ohut metallitanko on kiinnitetty lähelle paksumpaa tankoa siten, että sen yläosassa on akseli, jonka varassa ohuempi tanko pääsee nousemaan pystysuorasta asennostaan. Tämän ohuen tangon päässä on korkkipallo. Kun paksumpaan tankoon johtuu sähköä, korkkipallo, varaukseltaan neutraalina kappaleena, pyrkii kauemmaksi paksusta tangosta. Ohuemman tangon takapuolelle on kiinnitetty levy, joka näyttää, montako astetta ohuempi tanko poikkeaa pystysuorasta. Näin ei enää oltu ihan pelkästään silmämääräisen arvioinnin armoilla varausten suuruuksia määritettäessä.¹⁷⁰

Edellisiin mittareihin verrattuna Henleyn mittarilla oli yksi suuri etu puolellaan. Se voitiin kytkeä suoraan johtimeen ilman, että se häiritsi mitenkään kokeen suorittamista. Tällöin voitiin koko ajan hyvin seurata varauksen kehittymistä. Lisäksi se oli helppo kiinnittää pysyvästi sähkökojeeseen, jolloin se oli aina valmiina kokeita varten. Priestley antoikin Henleyle suuret kiitokset ja ihmetteli samalla suuresti, kuinka kukaan ei ole aikaisemmin tullut keksineeksi näin yksinkertaista ja toimivaa laitetta.¹⁷¹

¹⁶⁷ Lane, 1767, s. 452-454.

¹⁶⁸ Henleyn nimi esiintyy jossain artikkeleissa myös muodossa Henly. Itse käytän tekstissäni kaikessa tutkimuskirjallisuudessa esiintyvää muotoa Henley. Mutta sen sijaan jos hänet on merkitty jonkin artikkelin kirjoittajaksi muodossa Henly, olen jättänyt sen lähdeviittauksissa siihen muotoon.

¹⁶⁹ Priestley, 1772, s. 359.

¹⁷⁰ Priestley, 1772, s. 360-361.

¹⁷¹ Priestley, 1772, s. 361-362.

5.2. Priestleyn jatkotutkimukset sähköön parissa

Priestley jatkoi sähköön tutkimista ahkerasti vielä muutaman vuoden ajan *The History and Present State of Electricity*n ilmestymisen jälkeen. Vuosien 1768, -69 ja -70 *Philosophical Transactionseissa* julkaistiin yhteensä neljä Priestleyn kirjoittamaa artikkelia, joissa hän pohti sähköisiä ilmiöitä. Ensimmäinen artikkelin aiheena oli sähköön aiheuttamat värimuutokset iskun kohteeksi joutuneessa kappaleessa. Kerran Priestley sattui huomaamaan, kuinka sellaisen metallilevyn pinnalla, johon oli annettu sähköisku, oli havaittavissa iskukohdan ympärillä värimuutoksia. Nämä värimuutokset olivat helposti kankaalla hangattavissa pois. Hän antoi lisää iskuja messinkiseen metallilevyyn, aina samalle kohdalle. Pian levyn väri iskukohdan ympäriltä muuttuikin huomattavan punaiseksi verrattuna levyn alkuperäiseen väriin.¹⁷²

Kun Priestley sitten tutki punaiseksi muuttunutta kohtaa tarkemmin mikroskoopin avulla, hän huomasi iskukohdan ympärillä kaikki prisman värit ja vieläpä samassa järjestyksessä kuin sateenkaaressa. Väririnkien määrä ja leveys riippui iskualueen koosta, ja annettaessa useampi isku värejä ei enää saanut pyyhittyä pois kankaalla. Ne hävisivät ainoastaan naarmuttamalla metallin pinta pois. Jatkotutkimuksissaan Priestley havaitsi prisman värien muodostuvan myös muidenkin metallien pinnalle.¹⁷³

Newtonin nimi nousi esille tässäkin tutkimuksessa. Priestley mainitsi tutkivansa Newtonin *Opticsin* pohjalta värien syntyä. Hän epäilikin tutkimustensa pohjalta, että värien syntyminen olisi jotenkin sähköistä alkuperää.¹⁷⁴ Tähän saakka sateenkaaren värit oli saatu kokeellisesti aikaan lähinnä hajoittamalla valoa prismalla. Lisäksi Priestley kirjoitti myös Cantonin tutkineen tätä samaa asiaa. Myös Canton oli saanut aikaiseksi värejä metallilevyihin, mutta hiukan erilailla. Cantonin sekalaisemmat ja laajemmat värikuviot oli helposti selitettävissä sillä, että hän ei ollut antanut levyyn iskuja tarkasti samaan pisteeseen kuten Priestley, vaan

¹⁷² Priestley, 1768, s. 69.

¹⁷³ Priestley, 1768, s. 69-73.

¹⁷⁴ Nykytutkimuksen mukaan eri värit syntyvät valohiukkasten värähdellessä erilaisilla aaltopituuksilla.

hajanaisemmin.¹⁷⁵ Cantonin ja Priestleyn tiivis yhteydenpito (ainakin tieteellisissä kysymyksissä) tuntuu siis jatkuneen vielä *History and Present State of Electricity*n kirjoittamisen jälkeenkin.

Seuraavan vuoden numerossa julkaistiin kaksi Priestleyn kirjoitusta. Salaman oli joskus havaittu liikuttaneen ja siirtäneen sekä ihmisiä että esineitä paikasta toiseen, joskus jopa täysin vahingoittumattomina. Koska salama oli sähköä, eikö silloin sähkölläkin tulisi olla tällainen samanlainen ominaisuus? Priestley oli pohtinut tätä seikkaa ja teki sitä selvittelevän koesarjan. Hän huomasi kevyiden esineiden liikkuvan todella helposti sähköiskujen voimasta, painavimmat kappaleet vain todella voimakkaiden iskujen myötä. Ruuti ei yleensä räjähtänyt, vaan lensi ympäri huonetta. Samoin käyttäytyivät erilaiset metallijauheet. Tärkeimmät kappaleiden liikkumiseen vaikuttaneet seikat olivat Priestleyn mielestä luonnollisestikin liikuttavan kappaleen paino ja sille annettavan sähköiskun voimakkuus.¹⁷⁶

Priestleytä kummastutti kovasti se seikka, etteivät iskun voimasta liikkuneet kappaleet olleet ollenkaan sähköistyneitä. Tämän vuoksi hän arvioikin ilmiön johtuneen kokonaan ilman liikkeistä. Sähköinen purkaus pakotti johtimen pään lähellä olevan ilman nopeasti kauemmas purkautuvan sähkön tieltä. Tämä purkautuva ilma sitten lennätti matkalla olleet kappaleetkin kauemmaksi. Selvittäessään teoriansa oikeellisuutta Priestley pyrki tekemään kokeita myös tyhjiössä. Aivan täydellistä tyhjiötä hän ei kuitenkaan onnistunut tätä koetta varten muodostamaan. Hänen ihmetyksekseen ilmiö ei kuitenkaan heikentynyt tyhjiössä lähellekään niin paljoa kuin hän etukäteen ajatteli. Priestley arveli tämän johtuvan siitä, että sähkö itsessään vaikutti tyhjiössä tehokkaammin kuin normaalissa ilmassa.¹⁷⁷

Priestley kokeili teoriaansa myös itseensä, ei kuitenkaan suuressa mittakaavassa. Antaessaan itselleen sähköiskun sormeensa hän tunsu (kuten varmasti kaikki sähköiskun saaneet) sormessaan ”potkaisun” joka työnsi sormea pois iskun antaneesta johtimesta. Kun Priestley piti kämmenellään puun lehteä antaessaan iskua, lehti rikkoontui iskun voimasta.¹⁷⁸ Priestleyn

¹⁷⁵ Priestley, 1768, s. 74.

¹⁷⁶ Priestley, 1769a, s. 57-59.

¹⁷⁷ Priestley, 1769a, s. 60-61.

¹⁷⁸ Priestley, 1769a, s. 62.

tutkimusten lähtökohta oli, kuten monilla muillakin tutkijoilla, luonnonilmiön ihmettely. Ihmeteltävää ilmiötä ryhdyttiin useimmiten analogioiden pohjalta vertaamaan johonkin toiseen vastaavanlaiseen ilmiöön, ja näin yhdistelemällä löytämään selitys sekä alkuperäiselle että sille toisellekin ilmiölle. Alkuperäistä ilmiötä saattoi olla vaikeaa tutkia kunnollisesti, saati laboratorio-oloissa. Tällöin toisen ilmiön avulla pyrittiin imitoimaan alkuperäistä ilmiötä, kuten Priestley oli pyrkinyt tässä tutkimuksessaan toimimaan. Toinen tällaiseen tutkimiseen kannustanut seikka saattoi olla se, että sille toiselle ilmiölle oli olemassa tieteellisesti hyväksytty selitys. Kun alkuperäinen tutkittava ilmiö sitten osoitettaisiin vastaavaksi, voitaisiin se alkuperäisenkin ilmiö selittää samalla lailla kuin se toinenkin ilmiö.

Toisessa artikkelissaan Priestley tutki sähkön johtumista. Aluksi hän laittoi johtimen kulkemaan kaalinlehden päältä ja johti siihen sitten sähköä. Iskun jälkeen kaalinlehti muutti väriään, samoin sen rakenne murtui johtimen reitin kohdalla. Lehti muuttui iskun myötä johdon kohdalla joustavaksi. Kun kaalinlehti asetettiin iskua annettaessa lasilevyn päälle, hajosi lasi kahteen kappaleeseen. Korkkilevyyn puolestaan tuli uurre. Tärkeämpää oli kuitenkin Priestleyn huomio siitä, että sähkö johtui lehdessä sen syitä pitkin kaikkein helpoimmin.¹⁷⁹

Tästä Priestley sai herätteen ryhtyä tutkimaan, mitä reittiä sähkö kulkee. Hän teki erilaisia kokeita johtimien ja sähkömittareiden avulla antaen johtimeen erisuuruisia sähköiskuja. Johtimen haarautumisen määrää ja laatua vaihtelemalla Priestley selvitteli sähkön kulkeutumista, kiinnittäen jokaiseen mahdollisena pitämäänsä sähkön reittiin oman sähkömittarinsa. Hän huomasi, että suurin osa sähköstä meni lyhintä mahdollista reittiä paikasta toiseen, jos johtimet ovat muuten vastaavia. Osa sähköstä meni kuitenkin aina myös pidempää reittiä pitkin. Priestley havaitsi tutkimuksissaan myös sen, että vaikka olisi hyvä johdin, niin silti osa sähköstä purkautui vaikka ilman kautta.¹⁸⁰

¹⁷⁹ Priestley, 1769b, s. 63-64.

¹⁸⁰ Priestley, 1769b, s. 65-70. Nykyään tiedetään sähkön kulkeutumisen paikasta toiseen riippuvan eri reittien vastuksesta. Sähköä kulkee jokaista reittiä pitkin, mutta enemmän sitä reittiä pitkin, missä vastus on kaikkein vähäisintä.

Priestley jatkoi samasta aiheesta seuraavan vuoden *Philosophical Transactions*issa. Tutkimustensa myötä Priestley huomasi, että jatkaakseen matkaansa katkonaisessa johtimessa sähkö tavallaan hyppäsi ilman lävitse, katkoksen yli. Samalla sähkö voima kuitenkin heikkeni selkeästi, koska sitä purkautuu muuallekin. Priestley kokeili myös sähkö siirtymistä johtimesta toiseen. Jos tällaisen katkonaisen johtimen lähesyyteen tuotiin toinen johdin, hyppäsi sähkö mielellään myös sinne. Näin tapahtui siis, jos matka tähän toiseen johtimeen oli lyhyempi kuin alkuperäisessä johtimessa oleva katkos.¹⁸¹ Priestley mainitsi Wilsonin saaneen vastaavanlaisia tuloksia. Wilson oli omissa tutkimuksissaan havainnut piiriin kosketuksissa tai sen lähellä olevien kappaleiden ottavan osan iskusta vastaan. Priestley myös sanoi saaneensa useasti pienen sähköiskun käteensä, vaikkei se ollutkaan suorassa kosketuksessa mihinkään johtimeen.¹⁸²

Priestley päivitteli kovasti eri sähkö tutkimusjohtimien suorittamien kokeiden vertailemisen vaikeutta. Eri paikkakunnilla, saati sitten eri puolilla maailmaa, vallitsivat täysin erilaiset olosuhteet sään puolesta. Suuri syy oli kuitenkin se, että kun jokainen tutkija valmisti kokeissa käyttämänsä välineet itse, tuli tutkimuksiin väkisin eroavaisuuksia. Toisen tutkijan sähkö tuottamiseen käyttämä koje saattoi antaa aivan erilaisia sähkömääriä kuin toisen, vaikka ne olisikin valmistettu periaatteessa saman ohjeen mukaan. Priestley kuitenkin kertoi kykenevänsä antamaan kokeissaan aina haluamansa määrän sähköä.¹⁸³ Onkin syytä epäillä, että hänellä olisi käyttänyt Lanen pari vuotta aikaisemmin kehittelemää tapaa säädellä kojeen antamaan sähköiskua.¹⁸⁴

Kokeillaan Priestley arveli olevan hyvinkin paljon hyötyä sähkö tutkimuksen kannalta. Hänen käyttämiensä koejärjestelyjen avulla pystyttäisiin aika helposti tutkimaan eri aineiden johtokykyjä. Tutkiessaan johtavuuksia hän laittoi joskus katkokseksi johtimeen jotakin hyväksi eristeeksi tiedettyä materiaalia sen sijaan, että olisi vain leikannut johtimen poikki. Mitä suurempi vastus on johtimeen katkokseksi laitettavalla tutkittavalla aineella, sitä

¹⁸¹ Priestley, 1770, s. 199-201.

¹⁸² Priestley, 1770, s. 192.

¹⁸³ Priestley, 1770, s. 201-202.

¹⁸⁴ Kts. luku 5.1.

huomattavampi osa sähköstä purkautuisi viereiseen johtimeen.¹⁸⁵ Eri aineiden johtavuudet olivat kyllä jo tämän kirjoituksen aikaan hyvinkin selvillä, kuten Priestley itsekin oli muutamia vuosia aikaisemmin kirjoittanut. Sitä sen sijaan ei tiedetty, mistä erot eri aineiden välillä sähkön johtavuudessa johtuivat.¹⁸⁶

5.3. Henry Cavendish sähkön teorian kimpussa

Henry Cavendish (1731 – 1810) on yksi 1700-luvun lopun tunnetuimmista englantilaisista tiedemiehistä. Hän oli aatelista alkuperää ja myös hänen isänsä oli tutkinut luonnontieteitä, erityisesti fysiikkaa. Cavendishin tausta oli erikoinen, sillä hän opiskeli pitkään Cambridgen yliopistossa. Yliopistokoulutus oli tuohon aikaan varsinkin englantilaisilla tiedemiehillä varsin harvinaista, tosin Cavendishkaan ei loppujen lopuksi valmistunut. Hän matkusteli ympäri Eurooppaa ja alkoi omatoimisesti opiskella luonnontieteitä. Tieteellisen työnsä hän teki Lontoossa, jonne hän varusti oman laboratorionsakin.¹⁸⁷ Hän oli ensimmäisiä sähkön tutkijoita, jotka alkoivat soveltaa matematiikkaa sähkön tutkimukseen, kuitenkin lähinnä erilaisten suhteiden laskemiseen. Sähkön lisäksi hän tutki muutenkin fysiikkaa.

Cavendish aloitti vuonna 1771 julkaistun, todella laajan artikkelinsa selvittämällä tutkimustensa tarkoitusta ja metodeja. Hän kertoi kehittäneensä ja vienneensä eteenpäin Æpinuksen ajatuksia ja teorioita. Hänen oma tieteellinen metodinsa oli seuraavanlainen: aluksi luotiin hypoteesit, joita sitten pohdittiin tiukan tieteellisesti ja matemaattisesti. Lopuksi hypoteesien paikkaansa pitävyyttä testattiin erilaisilla ja laajoilla kokeilla.¹⁸⁸ Cavendishin käyttämä metodi oli yleinen tapa tehdä luonnontieteitä 1700-luvun loppupuolella ja on säilynyt pitkään sen jälkeenkin. Aivan perinteisestä induktiivisesta päättelystä se poikkeaa siten, että tässä metodissa kokeita tehdään hypoteesien oikeellisuuden selvittämiseksi. Tiukasti induktiivisessä päättelyssä hypoteesit muodostetaan vasta kokeista tehtyjen

¹⁸⁵ Priestley, 1770, s. 210.

¹⁸⁶ Priestley, 1767, s. 433-437.

¹⁸⁷ Heilbron, 1999, s. 477.

¹⁸⁸ Cavendish, 1771, s. 584.

havaintojen perusteella. Kuitenkin tutkijalla on käytännössä aina oltava jokin syy ryhtyä tekemään tietynlaisia kokeita.

Cavendishilla oli tutkittavat hypoteesinsa myös tässä artikkelissa. Hänen mukaansa sähkö ei ollut mitään aineellista ainetta vaan jotain ihan muuta. Sähkö ei siten painanut mitään. Sähkö vaikutti siihen kappaleeseen, jossa sitä oli, ja kappale myös vaikutti sähköön. Kun kappale oli kyllästetty sähköllä, sen varaus oli tasapainossa. Kappale pystyi olemaan myös ylivarattu, jolloin siinä oli liikaa sähköä, tai alivarattu, jolloin siitä oli poistunut sähköä.¹⁸⁹

Hänen mielestään myös poikkeamat sähköisestä kyllästymispisteestä selittivät sähköiset veto- ja hylkimisvoimat. Yli- ja alivaratut vetävät toisiaan puoleensa, mutta samalla lailla kyllästymispisteestä poikkeavat kappaleet hylkiät toisiaan. Sen sijaan Cavendishin mielestä sähköllä kyllästetyt kappaleet eivät millään tapaa reagoineet varaukseltaan poikkeavien kappaleiden kanssa. Jos kaikki kappaleet olivat kyllästyneitä, ei sähköä siis liikkunut mihinkään. Sen sijaan jos sähköä riitti juuri ja juuri kyllästämään kaikki kappaleet, mutta se oli jakautunut epätasaisesti, se tasaantui tasaisesti kaikkiin kappaleisiin.¹⁹⁰ Ylivarattu kappale on Cavendishin mielestä aina positiivisesti varautunut.¹⁹¹

Cavendish oli tosiaan lukenut Newtoninsa huolella. Hänen ideansa mukaan sähköisen vetovoiman vaikutus toiseen kappaleeseen riippuu kappaleiden keskinäisestä välimatkasta. Nimenomaan sillä tavalla, että kappaleen sähköinen vaikutus toiseen kappaleeseen on kääntäen verrannollinen välimatkan neliöön.¹⁹² Tämä on täysin samanlainen ajatus kuin Newtonin *Principiassa* julkaisema teoria siitä, kuinka kahden kappaleen vaikutus toisiinsa riippui kappaleiden massojen lisäksi niiden etäisyyden käänteisestä neliöstä. Cavendishin mukaan vain toisiaan lähellä olevien kappaleiden sähköiset voimat vaikuttivat toisiinsa.¹⁹³ Tämä on seurausta myös matemaattisesti edellä mainitusta laista.

¹⁸⁹ Cavendish, 1771, s. 585.

¹⁹⁰ Cavendish, 1771, s. 589-591.

¹⁹¹ Cavendish, 1771, s. 650.

¹⁹² Cavendish, 1771, s. 607.

¹⁹³ Cavendish, 1771, s. 588.

Tähän tulokseen Cavendish tuli pitkien matemaattisten päätelmien perusteella. Hän pyrki miettimään tarkasti, kuinka sähkö liikkuisi suljetussa, muilta ulkopuolisilta voimilta suojatussa, tilassa. Tutkittavan tilanteen kuvittelemisen suljetuksi avaruudeksi on fysiikassa yleistä tutkittavan asian tutkimisen helpottamiseksi tai ylipäättänsä mahdolliseksi tekemiseksi. Cavendish käytti myös muita tilanteen tulkitsemisen ja laskemisen helpottamiseksi käytettyjä menetelmiä. Hän teki erilaisia oletuksia ja jonkin suureen vakioksi määrittelemisiä. On kuitenkin muistettava, ettei Cavendishilla ollut käytettävissä mitään konkreettisia suureita sähköön laskemiseksi. Edelleenkin sähköä ei osattu mitata minkään suureen avulla, joten Cavendishkin laski vain sähköön suhteellisuuksia erilaisissa tilanteissa. Näitä erilaisia tilanteita hän kävi runsaasti lävitse, niin kappaleiden kokoa, lukumäärää, varausta kuin välimatkaakin muuttelemalla.¹⁹⁴

Pitkän päättelyn jälkeen Cavendish siirtyi kokeiden tekemisen pariin. Hän varaili erikokoisia ja –painoisia palloja tutkien kuinka, ne sitten käyttäytyivät. Cavendish löysikin kokeista tukea edellä mainituille ajatuksilleen. Muunmuassa muusta maailmasta eristetyt kaksi kappaletta varautuivat täsmälleen samalla tavalla hänen johdettua jompaankumpaan niistä sähköä. Etukäteen mietittyjen hypoteesien lisäksi hän pystyi kokeiden perusteella muodostamaan uusiakin. Saman suuruinen sähköinen varaus purkautui sitä nopeammin mitä pienempi sähköistetty kappale on tilavuudeltaan, ja terävien pisteiden kautta sähkö purkautui kaikkein mieluummin. Hän totesi myös ilman erittäin hyväksi eristeeksi; sen sijaan tyhjiö johti sähköä todella hyvin.¹⁹⁵

Toisin kuin matemaattisia päättelyjään, Cavendish ei tässä artikkelissa selittänyt kokeitaan ja niiden järjestelyjä kovinkaan tarkasti. Se on hiukan yllättävää, sillä hän kuitenkin teki paljon kokeita tutkien useita erilaisia mahdollisia tilanteita ja omia päätelmiään niiden avulla. Ja koska hän kuitenkin pyöritteli ajatuksia ja matemaattisia kaavojaan todella tarkasti. Cavendishin itsensä kuvailemassa metodissahan kokeilla kuitenkin oli erittäin tärkeä rooli päätelmien vahvistajana.

¹⁹⁴ Cavendish, 1771, s. 592-619.

¹⁹⁵ Cavendish, 1771, s. 649-665.

6. ILMASSA ON SÄHKÖÄ

6.1. Salamoiva sähkö

Kaasujen tutkimisen noustessa tutkijoiden suosikkiaiheeksi tutkittiin tietenkin myös ilmaa ja siinä tapahtuvia ilmiöitä. Sähkön avulla pyrittiin selittämään monia arkipäiväisiä ilmiöitä, joita ilmacehässä tapahtui. Salamoiden tiedettiin olevan voimakkaita sähköpurkauksia ja vallitseva säätila vaikutti sähköisten kokeiden onnistumiseen. Mihin kaikkeen muuhun sähkö oikein ilmassa vaikutti?

William Heberden oli suorittanut mittauksia kahdella samanlaisella sademittarilla, jotka oli aukealla paikalla asetettu lähemmäs mutta eri korkeuksille, eron ollessa noin pari metriä. Korkeammalla olevaan mittariin kertyi jatkuvasti vähemmän vettä kuin alempana olevaan, mikä kummastutti Heberdeniä suuresti. Hän arveli sähköllä ehkä olevan vaikutusta, mutta minkä vuoksi ja miten? Tähän hän ei itsekään osannut vastata mutta pohti seuraavaa teoriaa: Silloin kun ilma oli sähköinen, sei kuiva, eikä juuri koskaan satanut. Sähköllä siis oli vaikutusta sateen määrään, ehkäpä sähkön määrä vaihteli eri korkeuksilla ilmaa?¹⁹⁶ Mitään tukea päätelmilleen sähkön osuudesta näihin tuloksiin Heberden ei kuitenkaan artikkelissaan pystynyt osoittamaan. Eikä hän sitä mitenkään kokeellisesti tutkinutkaan.

Thomas Ronayne tutki Irlannissa ilman sähköisyyttä käyttäen tutkimuksissaan apunaan Cantonin kehittelemää sähkömittaria. Hän huomasi Irlannin ilman olevan talvisin positiivisesti varautunut, tosin varaus oli aika heikko. Kesäisin ilma sähköistyi vain erityisen kylminä ja sumuisina öinä ja iltoina, silloinkin positiivisesti. Näistä tuloksista Ronayne päätteli, että kylmyys jotenkin sähköistää ilman positiivisesti. Päättely jatkui siten, että jos Irlantiin muodostui positiivinen varaus, jonnekin muualle maailmalle oli pakko muodostua

¹⁹⁶ Heberden, 1769, s. 359-362.

negatiivinen varaus.¹⁹⁷ Tämä oli johdettavissa ihan sähkön perusteoriasta, ei ole positiivista varausta ilman negatiivista.

Muiden tutkijoiden tavoin myös Ronayne oli huomannut kokeissaan kosteuden johtavan sähköä. Näin kävi esimerkiksi silloin kun kosteus tiivistyi lasin tai silkkilangan pinnalle. Tällöin sähkö kulki nimenomaan tiivistynyttä kosteutta pitkin. Tällöin sähkön täytyi helposti kulkea myös sumussa. Ronaynen kokeissa tuli ilmi myös se seikka, että myrskyjen aikana ilman sähköisyys vaihteli suunnattomasti ja koko ajan. Myrskyjen syntymisessä olikin sähköllä ilmeisesti oma osuutensa. Oman tukensa näille Ronaynen ajatuksille antoi William Henley, joka artikkelin lopussa olevassa lisäyksessä vahvistaa saaneensa omissa kokeissaan vastaavat tulokset kuin Ronayne.¹⁹⁸ Cavendish oli vuotta aikaisemmin ilmestyneessä artikkelissaan miettinyt sitä, vetävätkö sähköistyneet ilmahiukkaset toisiaan puoleensa?¹⁹⁹ Ronayne ehdotteli itsekkin näiden asioiden lisätutkimista, vieläpä mieluiten ryhmässä, sillä sitä ne hänen mielestään tosiaan vaativat.²⁰⁰ Ryhmässä asioiden tutkiminen ei ollut enää tuohon aikaankaan mitenkään harvinaista; nykypäivänähän se on luonnontieteissä käytännössä ainut tapa tehdä tutkimusta.

1700-luvun puolenvälin jälkeen ryhdyttiin rakentamaan ensimmäisiä ukkosenjohdattimia, idean kehittäjänä kunnostautui Benjamin Franklin. Ukkosenjohdattimiin suhtauduttiin varsinkin aluksi skeptisesti, sillä niiden uskottiin olevan paitsi epäluotettavia myös houkuttelevan entistä enemmän salamoita iskemään ukkosenjohdattimella varustettuun rakennukseen. 1770-luvulla *Philosophical Transactions*issa ilmestyi useita ukkosenjohdattimia käsitteleviä kirjoituksia.

William Henley raportoi tapauksesta, jossa salama oli iskenyt talon katolla olleeseen koristeeseen. Koriste oli ollut metallia, kun taas muu katto jotain muuta materiaalia. Tämä vahvisti hänen mielestään Franklinin teoriaa ukkosenjohtimesta, jonka mukaan salama iskee kaikkein mieluiten metallisiin osiin katolla. Salaman sähkö oli sitten kulkenut rakenteita

¹⁹⁷ Ronayne, 1772, s. 138-140.

¹⁹⁸ Ronayne, 1772, s. 141-145.

¹⁹⁹ Cavendish, 1771, s. 647.

²⁰⁰ Ronayne, 1772, s. 144.

pitkin maahan, ja pahaksi onneksi eräs henkilö oli ollut sähkön kulkureitillä. Hän oli kuollut saamiinsa vammoihin, sillä salamanisku oli aiheuttanut useita haavoja ja palojälkiä. Huomattavaa oli sekin, että kaikki henkilöllä mukanaan olleet metalliset esineet olivat iskun jäljiltä täysin vahingoittumattomia. Toisin kuin esimerkiksi henkilöllä yllään olleet vaatteet, jotka olivat pahasti kärsineitä ja palaneita.²⁰¹

Edward King oli, aivan samoin kuin Henleykin, huomannut salamoiden iskeneen mieluiten rautaisiin kohteisiin rakennuksissa. Hänen mielestään rauta olikin erittäin vaarallista rakennusten rakenteissa, jos ukkosenjohdatinta ei ollut asennettu. Tutkiessaan erästä rakennusta hän havaitsi rakennuksen rautaosissa selviä merkkejä salamaniskuista, kun taas muualla rakennuksessa ei niitä näkynyt. Hän oli huomannut salaman myös liikkuvan johtimia pitkin aivan kuten Franklin oli havainnutkin.²⁰²

Mielenkiintoisen kokeen miniatyyrin avulla teki William Hamilton. Ensin hän raportoi tässä kirjeessään Royal Societyn sihteerille siitä, kuinka kesken eräiden juhlien oli pallosalama lyönyt taloon ja kulkenut sen lävitse. Salama oli kulkenut useiden huoneiden poikki sääkyttään juhlaväen täysin. Hamilton myös kertoi useilla henkilöillä olleen salamaniskun jälkeen samanlaisia oireita kuin sähköiskun saaneilla ihmisillä. Myrskyn tauottua Hamilton oli noussut katolle tutkimaan vaurioita ja huomannut yhden metallisista koristetuista sulaneen täysin. Hän arveli salaman kulkeutuneen sitä kautta taloon sisälle.²⁰³

Jälkeenpäin hän kertoi rakentaneensa pienoismallin salamaniskun kohteeksi joutuneesta talosta. Siitä kuinka tarkka kyseinen pienoismalli oli, hän ei kertonut tarkasti. Samanlaiset huoneet siinä oli ja materiaalit noudattelivat alkuperäisiä. Tämän jälkeen hän oli antanut pienoismallilleen sähköpurkauksia samaan kohtaan mistä hän oli salamankin arvelleen tulleen sisälle taloon. Hamilton sai etukäteen odottelemansa tuloksen: sähkö nimittäin kulki miniatyyrissa samaa reittiä kuin salama oli talossa kulkenut.²⁰⁴ Hamiltonin koe pienoismallin avulla on tavallaan poikkeuksellinen, muttei ainutlaatuinen, tapa tutkia salaman ja sähkön

²⁰¹ Henly, 1772, s. 131-136.

²⁰² King, 1773, s. 231-233.

²⁰³ Hamilton, 1773, s. 324-327.

²⁰⁴ Hamilton, 1773, s. 331-332.

yhteyttä. Pienoismallien ja sähkön avulla oli pyritty imitoimaan ainakin maanjärjestyksiä.²⁰⁵ Harmi vain, ettei hän kovinkaan yksityiskohtaisesti selittänyt, kuinka tarkka hänen rakentamansa pienoismalli oli. Kuitenkaan ajatus siitä, että sähkön avulla pyrittiin imitoimaan salamalle tyypillisiä ilmiöitä, ei ollut poikkeava. Jo paljon Hamiltonia aikaisemmin tehtiin kokeita, joissa sähkönpurkausten avulla pyrittiin saamaan aikaan samanlaisia valonvälähdyksiä ja jyrinää, joita esiintyi salamoinnin yhteydessä. Tässä onnistuttiinkin.

6.2. Kumpi on parempi, tylppä vai terävä pää?

Ukkosenjohtimia kehiteltiin ja rakennettiin ahkerasti, eikä asian tiimoilla selvitty ilman erimielisyyksiä. *Philosophical Transactions*in sivuilla kiisteltiin siitä, onko ukkosenjohtimen katolle tuleva korkein kohta, sen pää, parempi olla muodoltaan terävä vai tylppä. Tästä asiasta julkaistuissa neljässä artikkelissa tulevat varmaankin kaikkein selvimmin esille tutkijoiden erimielisyydet. Artikkelien sarja lähti liikkeelle ruutimakasiineja salamoilta suojelemista kehrittelemään perustetun komitean julkaistua ehdotuksensa.

Ruutivarastojen suojeleminen oli huomattu tärkeäksi sen jälkeen kun Bresciassa oli salamaniskun vuoksi sattunut tuhoisa onnettomuus ruudin räjähdettyä.²⁰⁶ Tällainen komiteoissa järjestelyjen miettiminen oli ilmeisesti aika yleistä, sillä esim. muutamaa vuotta aikaisemmin *Philosophical Transactions*issa julkaistiin Watsonin, Franklinin, Wilsonin, Cantonin ja Delavalin muodostaman komitean ehdotus St. Paulin katedraalin suojelemiseksi. He ehdottivat todella mittavia järjestelyjä, sillä katedraali oli rakenteensa ja sijaintinsa vuoksi erittäin altis salamaniskuille.²⁰⁷

Mittavia järjestelyjä vaativat osakseen komitean mielestä myös ruutimakasiinit. Ruutien varastoimisessa käytettyjen tynnyreiden ympärillä olevat kuparirenkaat muodostivat yhdessä rautapalkkisten rakennusten kanssa epätäydellisen²⁰⁸ johtimen. Salamaniskun kulkiessa tässä

²⁰⁵ Kts. s. 48.

²⁰⁶ Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773a, s. 44.

²⁰⁷ Watson, Franklin, Wilson, Canton & Delaval, 1769, s. 162-165.

²⁰⁸ Epätäydellinen johdin on sellainen, jossa hyvin sähköä johtavassa johtimessa on pieniä katkoksia.

epätäydellisessä johtimessa syntyisi kipinöitä, jotka helposti sytyttäisivät ruudin. Komitea vaatikin ehdottomasti rautapalkkien poistamista rakennuksista ja niiden korvaamista jollakin muulla materiaalilla. Rakennusten katon yläpuolelle tuli asentaa teräväpäiset ukkosenjohtimet ja niistä normaaliin tapaan johtimet maahan. Rakennusten sijainnin ja maaperän vuoksi komitea suositteli johtimien kaivamista syvemmälle maahan kuin normaalisti, yleensä ukkosenjohdin ulottui noin metrin syvyydelle. Lyijyn arveltiin sopivan parhaiten materiaaliksi maahan upotettavaan osaan, sillä se ei ruostu niin helposti kuin rauta, jota kyllä suositeltiin maan yläpuolisiin osiin johtimesta.²⁰⁹

Mielenkiintoisin osa komitean raportista löytyy sen lopusta, jossa ilmeisestikin komiteassa ainakin aluksi mukana ollut Benjamin Wilson esitti komitean mietinnöstä eroavan mielipiteensä. Hänen mielestään ukkosenjohtimien ei tulisi suinkaan päättyä pistemäisesti, sillä silloin ne houkuttelevat salamankujuja puoleensa. Sen sijaan tylppäpäiset johtimet eivät hänen mielestään auttaisi salamankemistä johtimeen, vaan myrskyt jatkaisivat matkaansa iskemättä mihinkään.²¹⁰

Tarkemmin ajatuksiaan Wilson perusteli heti komission raportin perässä olleessa artikkelissaan. Hänen mielestään ei yksinkertaisesti voinut olla hiljaa näin tärkeässä asiassa, sähkö oli edelleenkin iso tuntematon. Sähköllä tehdyissä kokeissa oli havaittu, että tylpän muotoinen pää johtimessa oli arviolta noin kaksitoista kertaa heikompi ottamaan vastaan sähköpurkauksen kuin terävän muotoinen johdin. Tästä Wilson päätteli, että myös myrskyn täytyisi olla sen kaksitoista kertaa lähempänä suojattavaa kohdetta ylipäättänsä iskeäkseen kyseisen rakennuksen johtimeen.²¹¹

Tämä olisi hänen mielestään huomattavasti vaarattomampaa kuin salamoiden houkuttelu hyvillä johtimilla. Salamoiden voimasta ei kuitenkaan ollut varmaa tietoa. Lisäksi ukkosenjohtimien oli havaittu kärsineen salamoiden iskuista. Näiden seikkojen vuoksi Wilsonin mielestä täytyisi rakennuksiin myös asentaa aikaisempaa paksumpia johtimia. Wilson myös huomauttaa, että aina ennenkään ei oltu asennettu ukkosenjohtimien päihin

²⁰⁹ Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773a, s. 42-45.

²¹⁰ Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773a, s. 48.

teräviä piikkejä.²¹² Tukea ajatuksilleen siitä, että ukkosenjohtimen päätä ei tulisi nostaa huomattavasti korkeammalle kuin rakennusten katot, olivat hän sai myös Delavalilta. Kiistaan johtimen pään muodosta hän ei kuitenkaan ottanut kantaa.²¹³

Wilsonia huolestutti se, että hän oli esittänyt ajatuksensa jo komiteassa, mutta niitä ei ollut siellä huomioitu. Syytä tähän välinpitämättömyyteen hän ei osannut kertoa. Hän kuitenkin uskoi, että kaikki komitean jäsenistä eivät olleet edes miettineet asiaa kunnolla. Hänen mielestään myös Franklinin sanat voisi kääntää häntä itseään vastaan. Franklin oli huomannut, että sellaiset talot, joiden katto oli metallista ja joissa oli vedenpoistoputket aina maahan saakka, eivät koskaan joutuneet salamaniskujen kohteiksi. Metallinen katto jos joku oli tylppäpäinen johdin. Esimerkkinä tällaisesta rakennuksesta Wilson mainitsi British Museumin.²¹⁴

Komitea oli hyvin tietoinen Wilsonin kritiikistä heidän tuloksiaan kohtaan. *Philosophical Transactions*issa julkaistiinkin Wilsonin artikkelin jäljessä komitean lyhyt vastine Wilsonin kritiikkiin. Tässä vastineessa Cavendish, Watson, Franklin ja Robertson ilmoittivat seisovansa täysin oman raporttinsa lopputulosten takana huolimatta Wilsonin arvostelusta.²¹⁵ Vaikuttaakin siltä, että kyllä Wilsonin mielipiteitä oli mietitty jo komiteassa. Komitea oli selvästi kuitenkin todennut terävät ukkosenjohtimet tylppäpäisiä paremmiksi. Wilson näyttikin olevan aika yksin omien ajatustensa kanssa.

On huomattava näiden kirjoitusten pohjalta, että *Philosophical Transactions*in toimitus yleensäkin ei ottanut kantaa tutkijoiden välisiin erimielisyyksiin. Jo aikaisemmin vastaan on tullut esimerkki siitä, kuinka tutkijat selvittelivät näkemyserojaan myös lehden palstalla.²¹⁶ Vaikka varmastikin suurimmat kiistat käytiin yksityisesti esimerkiksi kirjeiden välityksillä tai sitten seuran kokouksissa keskustelemalla, jolloin ulkopuolisetkin saattoivat ottaa osaa

²¹¹ Wilson, 1773, s. 50-51.

²¹² Wilson, 1773, s. 55-61.

²¹³ Wilson, 1773, s. 65.

²¹⁴ Wilson, 1773, s. 63-64.

²¹⁵ Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773b, s. 66.

²¹⁶ Cantonin ja Delavalin kiista kappaleen lämpötilan vaikutuksesta sen sähköjohtavuuteen. Kts. s. 30-32.

keskusteluun. Tämä osoittaa toimittajien olleen ainakin joissain asioissa puolueettomia jättäen lukijoille itselleen päätöksen siitä kumman puolelle asettuu. Toinenkin hyvä puoli tästä käytännöstä oli, sillä näiden erimielisyyksien julkaiseminen saattoi johtaa muiden tutkijoiden tekemiin lisätutkimuksiin kyseisestä asiasta. Näin kävi myös tässä tapauksessa, sillä seuraavan vuoden *Philosophical Transactions*issa julkaistiin artikkeli, jossa William Henley tutki terävä- ja tylppäpäisten johtimien välisiä eroavaisuuksia.

Henleyllä oli käytössään kaksi johdinta, toinen oli teräväpäinen ja toisen pää oli pallomainen. Kun johtimet vietiin yhtä aikaa sähköjohtimen lähelle, varautui teräväpäinen johdin sähkömittarin mukaan kaksi kertaa voimakkaammin kuin pallopäinen. Henley päättelikin teräväpäisen johtimen houkuttelevan huomattavasti helpommin puoleensa sähköä. Salama johtuisikin teräväpäiseen johtimeen helpommin, eikä suinkaan muualle rakennukseen. Toisessa kokeessa hän pyrki johtimilla purkamaan Leidenin pullon latausta. Pallopäinen johdin ei pullon varausta purkanut, sen sijaan teräväpäinen johdin tyhjensi pullon aina kun se tuotiin pullon lähelle. Teräväpäisen johtimen paremmuudesta oli selvä todiste sekin, että varaus purkautui mieluummin terävään johtimeen kuin pallopäiseen vaikka pallopäinen johdin olisi lähempänä purettavaa varausta kuin teräväpäinen.²¹⁷ Henley huomautti, että sähköllä varautunut pilvi on kuitenkin aivan eri asia kuin metallinen johdin. Pilven korvikkeena hän käytti tutkimuksissaan varattua härän rakkoa. Teräväpäinen johdin purki varauksen helposti ja vaurioitta, sen sijaan sähköön purkautuessa pallopäiseen johtimeen rakko tuhoutui.²¹⁸ Rakon käyttäminen tässä tutkimuksessa osoittaa taas sen, kuinka tutkijat aina pyrkivät imitoimaan tutkittavia olosuhteita myös laboratorio-oloissa. Kun se ei suoraan ollut mahdollista, käytettiin runsaasti mielikuvitusta.

Henley uskoikin pallopäisen ukkosenjohtimen olevan suorastaan vaaraksi niille rakennuksille, joihin sellainen asennettaisiin. Kun salama sitten iskee tällaiseen johtimeen, se iskisi täydellä voimallaan. Sen sijaan teräväpäinen johdin purkaa jo huomattavasti pienempiä ja vaarattomampia sähkömääriä. Henley ei kuitenkaan uskonut teräväpäisen johtimen houkuttelevan ukkospilviä kauempaa puoleensa niin kuin jotkut tutkijat olivat arvelleet

²¹⁷ Henley, 1774a, s. 134-136.

²¹⁸ Henley, 1774a, s. 142-143.

käyvän.²¹⁹ Henley suositteli teräväpäisten johtimien käyttämistä kaikkialla missä vain tarvittiin salamalta suojautumista.²²⁰

Henley teki selvästi tutkimuksensa ratkaistakseen edellisessä *Philosophical Transactions*issa julkaistuja erimielisyyksiä. Salamoilta suojautuminen varmasti katsottiin niin tärkeäksi asiaksi, että sitä tutkittiin ja siihen haluttiin selvyys. Henleyn mielipiteestä ei jäänyt epäselvyyksiä: hänen tutkimuksensa oli tehty huolellisesti ja päätelmänsä hyvin perusteltuja. Tämän artikkelin jälkeen ei enää kiistely ukkosenjohtimien pään muodosta, Wilson lienee jäänyt mielipiteidensä kanssa aika itsekseen. Henleyn mukaan hänen kokeitaan tukivat myös Thomas Ronaynen ja Edward Nairnen tutkimukset.²²¹ Hauska yksittäinen kappale tässä artikkelissa oli lopussa ollut, ilmeisesti Benjamin Franklinilta peräisin ollut, lyhyt suojautumisohje salamoilta luonnossa liikkujalle. Ukkosen yllättäessä täytyi pyrkiä pois täysin aukeilta alueilta, oikea paikka olisi n. 10-15 metrin päässä suuresta puusta. Missään nimessä ei saisi mennä puun alle suojaan.²²² Ohjeet olivat suurin piirtein samanlaiset kuin nykyäänkin lapsillekin opetetaan, matka suureen puuhun vain saisi olla hiukan suurempi. Ja tulee muistaa myös kyykistyä!

6.3. Tutkimuksia sähköisestä ilmasta

Henleyltä julkaistiin vuoden 1774 *Philosophical Transactions*issa myös toinen sähköä ja ilmaa käsittelevä artikkeli. Aluksi hän tutki, kuinka kaasut toimivat sähkön johtimina. Hän laittoi suljettuun tilaan varattuja kappaleita, minkä jälkeen hän johti tähän tilaan kaasuja. Sekä vesihöyry että savu purkivat varaukset kappaleista nopeasti, savu nopeammin. Sekä savu että vesihöyry olivat siis johtimia, molemmat tosin aika huonoja sellaisia.²²³ Tutkiessaan, kuinka varaukset vaikuttivat tulen liekkiin, hän huomasi liekin taipuvan aina sähköisten varausten mukaisesti.²²⁴

²¹⁹ Henley, 1774a, s. 138.

²²⁰ Henley, 1774a, s. 147.

²²¹ Henley, 1774a, s. 142.

²²² Henley, 1774a, s. 151.

²²³ Henly, 1774b, s. 390-396.

²²⁴ Henly, 1774b, s. 398.

Ukkosenjohtimista Henley kirjoitti myös tähän artikkeliin. Hänen mielestään ukkosenjohtimen maahan tulevan osan tuli olla lyijystä, jottei se ruostuisi. Muu osa voisi olla rautaa tai kuparia, mutta katolle tuleva osa kannattaisi joka tapauksessa päällystää kuparilla. Ukkosenjohtimen tuli olla yhteydessä joko kaivoon, aina kosteaan maahan tai sitten talon päävesiputkeen; tällöin salamanisku purkautuisi vaarattomasti. Näillä ohjeilla rakennettu johdin olisi Henleyn mielestä paitsi toimiva myös erittäin kestävä.²²⁵ Hän myös viittasi omiin kokeisiinsa terävä- ja pallopäisillä johtimilla. Teräväkärkinen johdin oli kaikin puolin parempi, sillä se purkasi sähkövarausta pilvestä vähitellen jo ennen salamaniskua. Henley ehdotti muutoksia myös laivojen salamansuojauksiin: hänen mielestään pysyvät metallijohtimet olisivat parempi suoja kuin silloin yleisesti käytössä olleet myrskyn tullessa mastoon nostettavat ketjut.²²⁶

Henley otti osaa myös keskusteluun siitä, ovatko valo ja sähkö samaa alkuperää. Hän esittikin kysymyksen, eikö tällöin sähköisten kokeiden tulisi onnistua parhaiten päivänvalossa?²²⁷ Kuitenkin kokemus oli osoittanut, ettei valon määrällä ollut kokeiden onnistumisen kannalta mitään merkitystä. Joitakin ilmiöitä voitiin tarkkailla paremmin erilaisessa valaistuksessa, mitään muuta merkitystä ei valolla oltu havaittu olevan. Sen sijaan hän oli havainnut kuuman ilmavirran avulla pystyttävän sähköistämään sähkölle herkkiä aineita kuten meripihkaa. Hän mittaili myös ilman sähköisyyksiä ja havaitsi sähköä olevan ilmassa erityisesti pakkasella.²²⁸

Sähkön tutkimuksen Henley sanoi kaipaavan huomattavasti lisätutkimusta. Nimenomaan sellaista huipputiedemiesten toimesta, jotka voisivat keskittyä sähkön tutkimiseen ihan päätoimisesti. Sillä paljon olisi varmasti vielä löydettävänä. Vain silloin voitaisiin hänen mielestään päästä siihen pisteeseen, että sähköstä saataisiin suurta hyötyä koko ihmiskunnalle.²²⁹ Tutkijoiden keskuudessa kyllä uskottiin siihen, että sähkö saataisiin joskus valjastettua hyötykäyttöön, mutta se päivä ei vielä ollut heidän mielestään lähellä. Epätoivoon

²²⁵ Henly, 1774b, s. 402-403.

²²⁶ Henly, 1774b, s. 410-412.

²²⁷ Henly, 1774b, s. 419-420.

²²⁸ Henly, 1774b, s. 421-423.

²²⁹ Henly, 1774b, s. 431.

ei kuitenkaan oltu vaivuttu, vaan kuten Henleykin kirjoitti, kovalla työllä se olisi jopa todennäköistä.

Cavallo tutki ilman sähköisyyttä leijan narun päähän kiinnittämänsä sähkömittarin avulla. Lehden sivuille hänen tutkimuksensa päätyivät Watsonille lähetetyn kirjeen myötä. Myös Cavallo huomasi ilman sähköistyvän voimakkaasti myrskyn aikana siitä huolimatta, ettei myrskyn yhteydessä salamoinutkaan. Leijan langan kautta välittyi pieniä sähköpurkauksia sitä pitelevälle henkilölle.²³⁰ Cavallon tutkimukset jatkuivat *Philosophical Transactions*in seuraavassa volyymissa. Cavallo oli rakentanut ilman sähköisyyttä mittaavan kojeen. Edelleenkin mittarina toimivat ohen johtimen varassa roikkuva korkkipallo. Tällä laitteellaan hän teki mittauksia ja tuli seuraavanlaisiin johtopäätöksiin: Ensinnäkin ilmassa on aina sähköä, joka on yleensä positiivista. Poikkeuksena on tummien pilvien yhteydessä esiintyvä voimakas negatiivinen varaus. Vahvimmillaan sähköiset varaukset ovat sankassa sumussa, heikoimmillaan kevyesti pilvisellä säällä. Vuorokaudenajalla ei ole ilman sähköisyyteen minkäänlaista vaikutusta.²³¹

Cavallo rakensi myös sateen sähköisyyden tutkimiseksi tarkoitetun kojeen. Koje keräsi satavan veden ja johdatti sen sähköisen johtimen luo. Tämä johdin oli kytketty sähkömittariin, josta sitten näki veden sähköisyyden. Cavallo havaitsi sadeveden olevan aina negatiivisesti varautunutta ja usein jopa erittäin voimakkaasti varautunutta.²³² Cavallon nikkaroidut ilman ja sadeveden sähköisyyttä mittaavat kojeet olivat ajalle tyypillisiä, itse kehitettyjä ja väkerrettyjä tutkimuslaitteita. Kun ei ollut olemassa valmiita kaupoista ostettavia laitteita, vaadittiin tutkijoilta paljon mielikuvitusta ja käden taitoja, jotta sai ennen tutkimusten aloittamista rakennettua itselleen tutkimusvälineet.

Salamoilta suojauduttiin muutenkin kuin ukkosenjohtimien avulla. Pitkillä laivamatkoilla oli huomattu, että öljyyn tai tervaun sotketulla noella päällystettyihin laivanmastoihin salama ei iskenyt. Henley halusi tehdä ilmiölle myös tieteellisiä kokeita. Hän päällysti nokiöljyllä mm. lasiputkia, paperia ja puukappaleita. Antaessaan näille kappaleille sähköiskuja Henley

²³⁰ Watson, 1776, s. 407-411.

²³¹ Henley, 1777a, s. 48-50.

huomasi saman ilmiön kuin laivan mastoissa, eli sähkö ei vaikuttanut tutkittaviin esineisiin ollenkaan. Henley päättelikin, että sähkö kulkee pääasiassa kappaleiden pinnalla.²³³

Henleyn mielestä nokiöljy soveltuisi hyvin pienten ja ohuiden puurakennusten suojaamiseksi salamoilta. Laivojen mastoissa se kuitenkin vaati metallisen johtimen avukseen, sillä muuten laivan miehistö olisi suuressa vaarassa joutua suoran salamaniskun kohteeksi. Henley suositteli, että miehistö aina myskyn iskiessä pitäisi sadevaatteitaan yllä, sillä ne suojasivat hänen mielestään aika hyvin salamaniskuilta. Mutta vain silloin kun pidetään myös sadehattua päässä.²³⁴ Tämä ei ollut mitään puutaheinää, sillä sadeasujen materiaali oli sähköltä suojaava. Jos ei käyttänyt päähinettä, tarjosi päänupillaan salamalle erittäin otollisen väylän purkautua.

7. SÄHKÖÄ ELÄVISTÄ JA ELÄVIIN

7.1. Sähkörauskun arvoitusta ratkaisemassa

Sähkörauskuja²³⁵ on kautta aikain jäänyt kalastajien verkkoihin, ja on selvää, että sen erikoislaatuinen ominaisuus antaa pieniä sätkyjä on ollut yhtä kauan tunnettu kalastajien keskuudessa. Tämä hämmästyttävä ja hiukan pelottavakin ominaisuus oli aiheuttanut esimerkiksi sen, että sähkörauskun syöminen oli joissain kaupungeissa ja maissa kielletty, vaikka sen lihaa pidettiinkin hyvän makuisena.²³⁶ Kuitenkin vasta 1700-luvun puolivälin jälkeen ryhdyttiin tutkimaan, olisikohan sähkörauskun ominaisuudessa kyse sähköstä. Ensimmäisen kerran *Philosophical Transactions*issa julkaistiin sähkörauskun sähköisiä ominaisuuksia tutkivia artikkeleita vuonna 1773. Silloin julkaistiin John Walshin eläimen

²³² Henley, 1777a, s. 51-52.

²³³ Henley, 1777b, s. 85-91.

²³⁴ Henley, 1777b, s. 92-93.

²³⁵ Sähkörauskua (engl. electrical ray) ei tietenkään kutsuttu tällä nimellä ennen kuin sen todella todettiin kykenevän tuottamaan sähköä. Englanninkieliset tutkijat käyttivät eläimestä aikaisemmin nimeä 'torpedo'.

²³⁶ Walsh 1774, s. 466.

sähköisyyttä tutkiva artikkeli sekä John Hunterin selonteko rauskulle tekemästään anatomisesta tutkimuksesta.

Walsh suoritti useita erilaisia kokeita sähkörauskulla. Hän huomasi, että isku oli voimakkain, kun eläintä tartuttiin toisella kädellä selästä ja toisella vatsapuolelta.²³⁷ Iskun pystyi tosin tuntemaan myös tarttumalla molemmilla käsillään mihin tahansa osaan rauskua tai pitämällä toista kättä vedessä samalla kun kosketti rauskua toisella kädellään. Paitsi että isku tuntui aivan samalta kuin Leidenin pullosta saatu isku (tosin huomattavasti teholtaan heikommalta), isku johtui aivan vastaavia johtimia pitkin kuin sähkökin.²³⁸

Iskun antamisen pystyi havaitsemaan eläimen silmistä, joista pystyttiin tarkkailemaan milloin rausku mahdollisesti antoi sähköiskun, vaikka tutkija ei iskua omassa ruumiissaan tuntenutkaan.²³⁹ Walsh huomasi rauskun tuottavan sähköiskun tai –iskuja stressaavissa tai uhkaavissa tilanteissa. Tällaisia olivat muun muassa se kun eläintä tartuttiin tai sitä nostettiin ja laskettiin vedestä. Häntä harmitti se kun he eivät oikein voineet tutkia, millaisissa tilanteissa rausku luonnossa ollessaan käytti ominaisuuttaan. Rausku pystyi antamaan sähköiskuja niin vedessä kuin ilmassakin. Ilmassa annetut iskut Walsh arvioi noin neljää kertaa voimakkaammiksi kuin vedessä annetut. Ilmeisesti rausku kykeni tahtonsa mukaan antamaan joko yhden voimakkaamman tai sitten useita pieniä iskuja peräjälkeen. Jälkimmäistä kykyä Walsh vertaa mahdollisesti joskus kehitettävään konemuskettiin.²⁴⁰

Walsh pyysi²⁴¹ tutkijaystäväänsä Hunteria suorittamaan rauskulle anatomisen tutkimuksen, jotta saataisiin selville, kuinka rausku kykenee tuottamaan sähköä ruumiissaan. Hunter löysikin rauskusta epätavallisen paljon hermokudosta ja arveli, että sähkö oli näiden hermokimppujen, joita oli kaksi paria, tuottamaa. Hänen päätelmänsä tukivat Walshin tutkimukset, joiden mukaan rausku kykeni kontrolloimaan sähköntuottoaan. Sen sijaan

²³⁷ Walsh, 1773, s. 462.

²³⁸ Walsh, 1773, s. 463 ja s. 472-473.

²³⁹ Walsh, 1773, s. 464.

²⁴⁰ Walsh, 1773, s. 469-470.

²⁴¹ Walsh, 1773, s. 471.

Hunterille jäi epäselväksi, kuinka nämä hermot loppujen lopuksi tuottavat sähköiskun. Kuten hän itse muotoilee:

”Kuten tämä liittyy hermoihin ja niiden voimaan yleensä tai kuinka pitkälle se voi johtaa niiden toiminnan selittämiseen, sen voivat vain aika ja tulevat tutkimukset ja löydöt vasta täysin selittää.”²⁴²

Tässä Hunterin tekstissä näkyy erittäin selvästi tutkijoiden usko tieteen kehitykseen, ja siihen että tulevaisuudessa varmasti tehdään lisää löytöjä. Se oli hänen mielestään vain ajan kysymys. Hermojen toiminta oli 1770-luvulla tutkijoille arvoitus. Kului vielä parikymmentä vuotta ennen kuin Luigi Galvani (1737 – 1798) vuonna 1791 julkaisi kuuluisat sammakkokokeensa, joilla hän todisti sähkön ohjailevan hermoja ja niiden välityksellä lihaksia.²⁴³ Walsh oli kuitenkin Hunterin ruumiinavauksen jälkeen varma, että jotenkin rausku tuotti 'sähköelimillään' eli Hunterin löytämällä hermokimpuilla sähköä. Rauskun ylä- ja alapinta saivat erimerkkisen varauksen ja toimivat siten kuin Leidenin pullo. Sähkörauskun purkauksen yhteydessä Walsh ei koskaan havainnut kipinöitä tai ääntä. Tämä olikin ainoa suurempi ero, minkä Walsh huomasi Leidenin pullosta otetun ja sähkörauskun tuottaman purkauksen välillä.²⁴⁴ Huolimatta siitä, että oli itse täysin varma omista tuloksistaan, Walsh ei pitänyt mitenkään itsestään selvänä sitä, että hänen ajatuksensa saisivat varauksettoman hyväksynnän muiden tutkijoiden keskuudessa.²⁴⁵

Heti seuraavassa volyymissa saivat *Philosophical Transactions*in lukijat luettavakseen lisää sähköisistä eläimistä kertovia artikkeleita. Niistä kolme käsitteli sähköankeriasta, mutta ennen kuin menen niihin, käyn läpi vielä yhtä sähkörauskua käsittelevää kirjoitusta. John Ingenhousz palkkasi Walshin tutkimusten innoittamana joukon merimiehiä, vuokrasi aluksen ja lähti pyydystämään itselleen sähkörauksia tutkimuksia varten. Hän antoi merimiehille pieniä sähköiskuja ennen merille lähtöä, jotta miehet osaisivat kertoa, olivatko rauskun

²⁴² Hunter, 1773, s. 487. ”How far this may be connected with the power of the nerves in general, or how far it may lead to an explanation of their operations, time and future discoveries alone can fully determine.”

²⁴³ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 37-38.

²⁴⁴ Walsh, 1773, s. 472.

antamat iskut samanlaisia kuin pullosta saadut. Miesten mielestä ne olivat vastaavia. Ingenhousz tuli tutkimuksissaan hyvin pitkälti samoihin tuloksiin kuin Walshkin oli tullut. Rausku kykeni jotenkin säätelemään iskujensa tehoa, kestoja ja väliä.²⁴⁶ Erojakin varatulla pullolla ja rauskulla Ingenhouszin mielestä oli: hän oli Walshin tavoin havainnut, ettei rauskun yhteydessä koskaan esiintynyt valoa tai ääntä, eikä rauskun iskun avulla voitu ladata Leidenin pulloa. Tehdessään rauskulle ruumiinavauksen Ingenhousz löysi samat hermokimput kuin Hunterkin oli löytänyt. Hän arveli, että rausku synnytti sähköpurkauksen jotenkin näitä hermokimppuja supistamalla.²⁴⁷

Edellisen lisäksi Ingenhousz ihmetteli, miksei rauskun isku johtunut metallia pitkin. Tälle oli kuitenkin yksinkertainen selitys: Ingenhousz oli käyttänyt kokeessaan metalliketjua, jota ei ilmeisesti ollut laitettu tarpeeksi tiukalle. Näin lenkkien väliin oli jäänyt ilmaa, eivätkä rauskun iskut olleet tarpeeksi voimakkaita purkautumaan ketjun lenkistä toiseen. Jos ketju olisi ollut yhtenäinen, olisi isku johtunut koko ketjun läpi.²⁴⁸ Edellinen selitys oli lisätty lehdessä julkaisun yhteydessä alaviitteeseen, ja se oli jonkun muun kuin Ingenhouszin tekemä lisäys. Tämä huomautus osoittaa, että *Philosophical Transactions*in toimittajat tekivät muutoksia ja huomautuksia lehdessä julkaistaviin kirjoituksiin, kun ne sitä vaativat.

7.2. Ankeriaskin on sähköinen!

Kun Walsh todisti melko aukottomasti, että sähkörausku oli todellakin sähköinen, ryhtyivät tutkijat epäilemään, että toisenkin poikkeuksellisen eläimen kohdalla kyse olisi sähköstä. *Philosophical Transactions*in numerossa 65 ilmestyikin kolme sähköankeriasta²⁴⁹ koskevaa artikkelia. Sähköankerias ei elä luonnossa Euroopassa, vaan sitä oli löydetty Amerikasta ja Afrikasta, eikä niitä ollut montaa kappaletta vanhalla mantereella. Ankerias oli Williamsonin mukaan erittäin herkkä olosuhteiden muutoksille, minkä vuoksi sitä oli hankala saada elävänä

²⁴⁵ Walsh, 1773, s. 469.

²⁴⁶ Ingenhousz, 1775, s. 1-2.

²⁴⁷ Ingenhousz, 1775, s. 3.

²⁴⁸ Ingenhousz, 1775, s. 3-4.

²⁴⁹ Sähköankeriaita kuten sähkörauskujakin on useita eri lajeja.

Eurooppaan saakka. Kalojen omistajatkään eivät olleet kovin innokkaita antamaan erikoisia lemmikkejään tutkijoiden 'kiusattavaksi'.²⁵⁰

Alusta asti tutkijoille oli selvää, että ankeriaan antama sähköisku oli huomattavasti voimakkaampi kuin rauskun. Isku tuntui selvästi kovempaan eläimeen tartuttaessa ja kanto vedessä pidemmälle kuin sähkörauskun.²⁵¹ Williamson suoritti sähköankeriaalla pitkän sarjan erilaisia kokeita. Hän huomasi ankeriaan käyttävän sähköiskuja paitsi puolustautumiseen myös hyökkäysaseena ja ruoanhankkimisen apuvälineenä. Kun ankeriaan asuttamaan isoon astiaan heitettiin pieniä kaloja, se välittömästi lamaannutti ne sähköiskulla (Williamson piti kättään vedessä ja tunsu sähköiskun samalla kun pikkusintit taintuivat) ja nieli ne kokonaisina. Aluksi Williamson luuli, että ankeriaan isku jopa tappoi sintit, mutta kun hän keräsi ne pois ennen kuin ankerias ehti syömään ja laittoi ne toiseen astiaan, kalat virkosivat muutaman minuutin kuluttua. Ankerias kykeni tainnuttamaan isompiakin kaloja, mutta jätti ne rauhaan, kun havaitsi niiden olevan liian suuria syötäviksi. Jos kala ei taintunut ensimmäisellä iskulla, ankerias antoi toisen, edellistä voimakkaamman iskun.²⁵²

Näistä havainnoista Williamson päätteli, että sähköiskun antaminen ja sen voimakkuus on täysin ankeriaan tahdonalainen toiminto. Hän päätteli myös eläimen liikkeistä, tai pikemminkin liikkeen puutteesta, sen antaessa sähköiskua, ettei ominaisuus voinut olla lihasperäistä. Hänen kokeidensa avulla tehtyjen havaintojen perusteella ankeriaan antamat iskut vastasivat yhtä puutetta lukuunottamatta (Williamsonkaan ei saanut ladattua Leidenin pulloa eläimen antamasta iskusta) ominaisuuksiltaan sähköä. Näin ollen sen täytyi hänen mielestään myös olla sähköä.²⁵³ Jo aikaisemminkin mainitsemani analoginen ajattelu näkyy Williamsoninkin päättelyssä.

Ilmeisesti täysin Williamsonista riippumatta Alexander Garden²⁵⁴ tuli omista tutkimuksissaan vastaaviin tuloksiin hänen kanssaan. Gardenin tutkima ankerias oli peräisin Surinamista, kun

²⁵⁰ Williamson, 1775, s. 94.

²⁵¹ Williamson, 1775, s. 94.

²⁵² Williamson, 1775, s. 97-98.

²⁵³ Williamson, 1775, s. 101.

²⁵⁴ Garden teki tutkimuksensa Amerikan mantereella.

taas Williamsonin ankerias oli kotoisin Guineasta.²⁵⁵ Williamsonin kokeet olivat hyvä esimerkki varhaisesta kokeellisesta tieteestä useistakin syistä. Hän suoritti varsin pitkän ja järjestelmällisen koesarjan, ja teki siitä saaduista tuloksista johtopäätelmiä. Hänen havainto-päätely-perustelu-ketjunsä toimi varsin nykyaikaiseen malliin. Koko koesarjansa ajan hän oli varsin tiiviissä yhteistyössä John Walshin kanssa.²⁵⁶

Jo sähkörauskulle anatomisen tutkimuksen suorittanut John Hunter teki samanlaisen tutkimuksen myös sähköankeriaalle. Artikkelinsa alussa hän antoi vuolaasti kiitosta ja kunniaa ystävälleen Walshille tämän antamasta inspiraatiosta ja siitä, että Walsh ensimmäisenä keksi 'eläinsähkön'. Anatomisessa tutkimuksessaan hän jakoi ankeriaan kahteen eri osaan, tavalliseen ja erikoiseen, jotka olivat kuitenkin tiiviissä yhteistyössä keskenään.²⁵⁷ Ankeriaasta löytyi melkein samanlaiset hermokimput kuin rauskustakin oli löytynyt. Sähköelimiä oli ankeriaallakin kaksi paria, suuret ja pienet, ja ne kulkivat koko ruumiin läpi pituussuunnassa.²⁵⁸ Ankeriaan sähköelimiä Hunter tutki todella tarkkaan ja huomasi niiden koostuvan ohuista, litteistä kalvoista, joita oli päällekkäin useita satoja. Nämä kalvot olivat yhteydessä toisiinsa eräänlaisten risteysten välityksellä.²⁵⁹ Hunter huomautti sähkörauskun hermokimpuksen olevan jakaantuneempi kuin ankeriaan ja arveli eron iskujen voimakkuudessa johtuvan jotenkin tästä. Lisäksi eläimen aivoista lähti hermo, jollaista hän ei ollut havainnut millään muilla kaloilla. Hunter uskoi tämän hermon olevan ainoastaan iskujen antamista varten. Hunter huomautti myös tullessaan täysin varmaksi siitä, ettei verisuonilla ollut minkäänlaista osuutta sähköntuottoon.²⁶⁰

7.3. Keinotekoinen rausku sekä kuolettava sähkö

Pyrkiessään selvittämään sähkörauskun arvoitusta Henry Cavendish lähti liikkeelle täysin toisesta näkökulmasta kuin edelliset eläinten tuottamaa sähköä tutkineet tutkijat. Sen sijaan,

²⁵⁵ Garden 1775, s. 102-103 ja Williamson 1775, s. 95.

²⁵⁶ Williamson, 1775, s. 94-101.

²⁵⁷ Hunter, 1775a, s. 395.

²⁵⁸ Hunter, 1775a, s. 396.

²⁵⁹ Hunter, 1775a, s. 398-399.

²⁶⁰ Hunter, 1775a, s. 402-405.

että yrittäisi selvittää miten eläinsähkö muistutti 'oikeaa' sähköä, hän pyrki tuottamaan sähkön avulla samanlaisia ilmiöitä kuin rauskua (ja ankeriasta) tutkittaessa oli havaittu. Tätä tutkimusta varten hän rakensi keinotekoisen rauskun nahkasta, johtimista ja eristeistä. Cavendish oli huomattavasti paremmin perillä sähköän ominaisuuksista kuin muut eläinten sähköisyyttä tutkineet henkilöt. Hän tiesi erittäin hyvin sähköän johtuvuudesta ja selitti muutaman Walshille ja kumppaneille epäselväksi jääneen asian.

Tutkijoiden ihmettelemälle valon ja äänen puutteelle rauskun sähköiskun yhteydessä oli Cavendishin mielestä olemassa yksinkertainen selitys. Valoa ja ääntä muodostava purkaus vaatii sekä katkoksen johtimessa että niin suuren voiman²⁶¹, että sähkö voi hypätä tämän katkoksen ylitse. Eikä rausku kyennyt johtamaan johtimiin niin suurta voimaa.²⁶² Samoin se, miksi sähköisku oli voimakkaampi ilmassa kuin vedessä, oli helposti selitettävissä. Sähkö pyrkii aina johtumaan helpointa reittiä (sellaista, jossa olisi vähiten vastusta) pitkin, mutta sitä kulkee joka tapauksessa myös muita reittejä myöten. Kun rausku oli vedessä, kulki osa sähköstä vedessä eri reittejä pitkin rauskun pluspuolelta miinuspuolelle, ja vain osa ihmisen ruumiin lävitse. Ilma sen sijaan on erittäin huono johdin verrattuna meriveteen, jolloin selkeästi suurempi osa sähköstä johtui koehenkilön läpi. Rauskun antama isku oli siis samansuuruinen ilmassa ja vedessä, mutta ilmassa rauskua pidettäessä sähköstä osui suurempi osuus ihmisen kohdalle. Sekä vedessä että ilmassa annetussa iskussa huomattava osa sähköstä kulki suoraan rauskun ruumiin sisällä eikä näin ollen ollut ollenkaan havaittavissa.²⁶³

Cavendish oli kokeidensa jälkeen aivan varma, että sähkörausku tuottaa aivan samaa sähköä kuin Leidenin pullostakin saadaan.²⁶⁴ Cavendish viittasi Hunterin tekemiin anatomisiin tutkimuksiin ja huomautti rauskussa (ja sen sähköelimissä) olevan tilaa suurellekin patterille, nimenomaan sellaiselle joka vastasi useita rinnakkain asetettuja Leidenin pulloja. Hänen laskujensa ja arvioidensa (hän päätteli analogisesti ladatun pullon pinta-alan ja sähköelimistä löytyneiden kalvojen vastaavan toisiaan) mukaan rausku kykeni jopa neljätoistakertaisesti

²⁶¹ Cavendish käytti termiä "force". Hän tarkoitti sillä luultavasti nykyään jännitteenä pitämäämme sähköän ominaisuutta.

²⁶² Cavendish, 1776, s. 200-201.

²⁶³ Cavendish, 1776, s. 197-199.

²⁶⁴ Cavendish, 1776, s. 220.

vahvempaan sähköpurkaukseen kuin hän itse pystyi omilla välineillään saamaan aikaiseksi. Cavendishin mukaan myös Williamsonin tutkimukset tukivat hänen johtopäätelmiään.²⁶⁵ Cavendish oli ensimmäinen ja ainoa tässä tutkimuksessa tutustumistani tutkijoista, joka käytti minkäänlaisia matemaattisia kaavoja apunaan. Matemaattisia kaavoja hän käytti jo muutama vuosi aikaisemminkin ilmestyneessä sähköä tutkineessa artikkelissaan.²⁶⁶ Tutkiessaan rauskun sähköiskun jakaantumista eri kulkureittien välillä hän käyttää vertailevia, suhteita laskevia, matemaattisia kaavoja. Mittauksissaan hän käytti apunaan samoja alkeellisia sähkömittareita kuin muutkin tutkijat.²⁶⁷

Tutkijoita kiinnosti myös sähköön vaikutus eläimiin ja kasveihin. 1700-luvulla ei meidän silmin katsottuna brutaalejakaan eläinkokeita pidetty mitenkään tuomittavina. Niitä teki myös Joseph Priestley, vaikka arvostelikin niiden oikeellisuutta:

”Sitä paitsi, tulee kalliiksi tieteellisille löydöille, että ne ostetaan ihmisyyden kustannuksella.”²⁶⁸

Omissa kokeissaan Priestley antoi tappavia sähköiskuja niin rotalle kuin kissanpennullekin. Antaessaan iskun täysikasvuiselle kissalle se taintui mutta hengitti kuitenkin. Puolen tunnin ajan Priestley odotti virkoaisiko kissa, mutta se ei pystynyt liikuttamaan muuta kuin päätään ja etujalkojaan. Lopulta hän antoi kissalle tappavan suuruisen sähköiskun. Kun hän antoi koiralle vahvan sähköiskun päähän, meni siltä vähäksi aikaa taju pois, mutta pian se virkosi. Koira ei kuitenkaan ollut täysin kunnossa, siltä oli mennyt näkökyky. Sammakoilta Priestley avasi rintakehän ennen kuin antoi sähköiskuja. Näin hän pyrki tutkimaan sähköön vaikutusta sisäelimiin. Keuhkot painuivat iskun vaikutuksesta heti kasaan, sydän jatkoi lyöntejään, tosin erittäin heikosti ja hitaasti. Sammakko kuitenkin toipui iskusta.²⁶⁹

²⁶⁵ Cavendish, 1776, s. 223-224.

²⁶⁶ Kts. s. 61.

²⁶⁷ Cavendish, 1776, s. 208-212.

²⁶⁸ Priestley, 1767, s. 658. ”Besides, it is paying dear for philosophical discoveries, to purchase them at the expence of humanity.”

²⁶⁹ Priestley, 1767, s. 653-657

Edward Nairne antoi voimakkaita sähköiskuja useille eri linnuille. Kiinnitettyään jalat johtimeen hän antoi ankalle sähköiskun päähän, minkä vuoksi ankalla oli tahdottomia kouristuksia parin minuutin ajan. Kalkkunalle ja kukolle Nairne kiinnitti johtimen selän alaosaan ja kaulaan toivoen sähköiskun kulkevan selkärankaa pitkin. Kumpikin eläimistä kuoli saamaansa iskuun. Nairne teki kokeita myös kasveilla ja havaitsi, että ne kuolivat siltä matkalta, missä sähkö oli kulkenut. Kasvit eivät kuitenkaan kuolleet välittömästi, vaan siihen saattoi mennä kasvusta riippuen useita vuorokausiakin. Ideansa näihin kasvella tehtyihin kokeisiin Nairne sai pohtiessaan sitä, miksi rungoltaan täysin terveessä puussa saattoi olla yksi oksa jossa ei ollut lehtiä. Hän arveli tällaisten puiden ehkä joutuneen salaman iskemiksi.²⁷⁰ Hunter tuli samoihin tuloksiin omissa tutkimuksissaan sähköistetyistä kasveista. Hän vertasi sähköllä tapettua kasvia kylmyyteen kuolleeseen: lehdet putosivat ja kasvin kovatkin osat muuttuivat joustaviksi.²⁷¹

7.4. Sähkön parantava voima

Tutkijoiden saamat iskut Leidenin pullosta olivat tehneet erittäin selväksi sen, että sähköllä oli vaikutusta ihmiskehoon. Tilapäisten halvausten, pakkoliikkeiden ja nenäverenvuotojen jälkeen osattiin myös varoa liian suuria latauksia ihmisillä tehtävien kokeiden aikana. Pakkoliikkeet saivat tutkijat kuitenkin miettimään, olisiko mahdollista saada halvaantuneet raajat sähkön avulla uudelleen liikkumaan. Olisivatko vaikutukset mahdollisesti pysyviä vai ainoastaan väliaikaisia?

Ensimmäiset merkinnät kokeellisista sähköhoidon yrityksistä ovat Ranskasta vuodelta 1746, jolloin Abbé Nollet kokeili sähköhoitoja kahden kirurgin avustuksella. He eivät kuitenkaan saaneet mitään tuloksia aikaan. Pari vuotta myöhemmin Jean Jallabert (1712 – 1768) ilmoitti ensimmäisenä onnistuneesta sähköterapiasta. Hän hoiti yhdessä lääkärin kanssa seppää, joka oli neljätoista vuotta aikaisemmin työskennellessään halvaantunut oikealta puoleltaan. Ennen sähköhoitoja hän oli saanut hoitoa mm. kylpylöissä, ja hän pystyikin kävelemään nilkuttaen ja

²⁷⁰ Nairne, 1774, s. 83-84.

²⁷¹ Hunter, 1775b, s. 456.

hiukan liikuttamaan oikeaa kättään muttei sormiaan. Huomattuaan että sähköllä oli tarkasti iskuja annettaessa vaikutus täsmälleen iskun saaneeseen lihakseen Jallabert päätti käyttää hoidossaan erilaista metodia kuin aikaisemmat yrittäjät. Suurien yksittäisten iskujen sijaan hän antoi potilaalle useita heikompia sähköiskuja. Hoitokerrat kestivät puolitoista tuntia päivässä, ja Jallabert kävi läpi kaikki lihasryhmät vuorollaan. Sähköhoidon lisäksi kättä pidettiin lämpimässä ja hierottiin sekä ennen hoitoja että niiden jälkeenkin.²⁷²

Jallabertin saavuttamat tulokset hämmästyttivät tutkijoita. Jo kahden viikon päästä oli havaittavissa edistymistä, potilaan käsi oli oiennut ja hän kykeni liikuttamaan vaivalloisesti rannettaan ja useimpia sormiaan. Käden tuntokin oli jo palannut. Hoitoa jatkettiin vielä vajaan kahden kuukauden ajan Jallabertin antaessa sähköä ja potilaan nostellessa painoja ja heitellessä palloa voiman ja koordinaation palauttamiseksi. Hoidon päättyessä käsi oli täysin parantunut. Tiedot tästä onnistumisesta levisivät nopeasti läpi Euroopan, ja sähköhoitoja ryhdyttiin kokeilemaan eri puolilla mannerta. Hoitojen onnistumisista saatiin ristiriitaisia tietoja. Joitakin onnistumisia saatiin aikaiseksi, mutta pääasiassa hoidot epäonnistuivat.²⁷³

Syitä epäonnistumisiin lienee monia: vammat saattoivat olla sellaisia, joita ei voitu sähköön avulla parantaa. Tällainen on esimerkiksi aivoihin kohdistuneen vamman jälkeen tapahtunut halvaantuminen. Aina ei maltettu tai tiedetty käyttää tarpeeksi pitkiä hoitajaksoja, unohdettiin sähköhoitoa tukevat toiminnot kuten lämpö, hieronta ja voimisteleminen, tai potilaat eivät kestäneet sähköiskuista johtuvia kipuja vaan luovuttivat hoidon kesken. Huomattiin kuitenkin, että hoito oli tehokkainta sellaisissa halvaantumistapauksissa, jotka johtuivat onnettomuudesta; syntymästään saakka halvaantuneita ei saatu parannettua.²⁷⁴ Lääketiede oli pitkään ollut eri tieteistä se, joka ei ollut kehittynyt paljoakaan tieteellisen vallankumouksen myötä. Se selittää varmasti osaltaan, miksi oltiin innokkaita yrittämään sähköhoitoja. Yritys soveltaa sähköä lääketieteeseen on oiva esimerkki siitä kuinka 1700-luvulla pyrittiin baconilaisittain saamaan tieteistä konkreettisesti hyötyä. Lääketiede olikin ainut ala, ukkosenjohditen lisäksi, jonka piirissä sähköä edes jossain muotoa hyötykäytettiin ennen 1800-lukua.

²⁷² Rowbottom & Susskind, 1984, s. 15-16.

²⁷³ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 16-17.

Sähköllä vaivojen parantaminen oli siis vielä varsin uusi hoitomuoto vuonna 1757, vuosi josta lähtien tässä tutkimuksessa on käytetty *Philosophical Transactionsin* numeroita. Volyymissa 50 ilmestyi kaksi Patrick Brydonen (1736 – 1818) kirjoitusta sähköterapiasta. Potilas oli tullut Brydonen luo valittaen tunnottomuutta vasemmalla puolella vartaloaan, ja puhekin alkoi olla vaikeaa. Brydonen hoitometodi oli huomattavan aggressiivinen. Potilaalle annettiin päivän aikana noin kaksisataa kohtalaisen voimakasta iskua siten, että potilas piti varattua pulloa oikeassa ja johdinta vasemmassa kädessään. Iskujen voima piti kuitenkin olla sen verran heikko, että potilas kesti parikin sataa iskua päivässä. Kuuri kesti ainoastaan kolme päivää, jonka jälkeen potilaan katsottiin olevan täysin parantunut. Potilas tuli kuitenkin kolmen päivän päästä uudelleen valittaen tunnottomuutta vasemmassa kädessään. Brydone antoi päivän ajan lisää sähköä potilaalle ja kirjoitti, ettei potilaalla ollut enää tämän jälkeen minkäänlaisia vaivoja. Brydonen artikkelin mukana julkaistiin myös vahvistukset hoidon onnistumisesta.²⁷⁵ Ilmeisesti Royal Society vaati vahvistuksen joltakin luotettavalta henkilöltä (esimerkiksi alueen johtaja tai tunnettu lääkäri), ellei hoidettavia tapauksia ollut todistamassa seuran jäseniä.

Brydonen toisessa artikkelissa oli lisää halvaantumistapauksia. Eräs nainen tuli hänen puheilleen kuultuaan edellisestä onnistuneesta hoidosta. Naisen jalka ei ollut toiminut vuoteen. Tällä kertaa hoito kesti melkein kaksi kuukautta, ja iskuja annettiin polveen päivittäin vähintään 50 kappaletta. Jalka suoristuikin, mutta siihen ei palautunut kunnolla voimaa. Naiselle määrättiin lisähoidoksi kylmiä kylpyjä, aivan päinvastoin kuin esim. Jallabert, joka oli omissa hoidoissaan määrännyt lämpöhoitoa. Hoitojen jälkeen potilaan tila palautui entiselleen ja pian alkoi pahentua, eikä jalan suhteen ollut mitään tehtävissä. Brydone mainitsi myös muutamia muita tapauksia, joissa tulokset olivat olleet hyviä. Kaikki onnistumiset hän oli saanut aikaan lyhyillä, vain muutaman päivän mittaisilla ja voimakkailla hoitopaketeilla. Brydone kirjoitti parantaneensa myös useita reumaattisia tapauksia.²⁷⁶

²⁷⁴ Rowbottom & Susskind, 1984, s. 17-21.

²⁷⁵ Brydone, 1757, s. 392-394.

²⁷⁶ Brydone, 1758, s. 695-698.

Myös Benjamin Franklin intoutui kokeilemaan sähköterapiaa luettuaan siitä lehdistä mutta huonoin tuloksin. Franklin antoi potilailleen ainoastaan muutaman todella voimakkaan iskun halvaantuneisiin osiin päivittäin. Potilaat kokivat olonsa iskujen jälkeen lämpimäksi, ja yleensä heidän kunnossaan tapahtuikin edistymistä muutamina ensimmäisinä hoitopäivinä. Parantumisen kuitenkin pysähtyi noin viidennen päivän kohdalla huolimatta siitäkin eteenpäin jatkuneista iskuista, minkä potilaatkin huomasivat. Ilman näkyvää edistymistä ei haluttu kokea todella kivuliaita sähköiskuja, vaan potilaat jäivät mieluummin kotiin ja hoidon puutteessa palautuivat alkutilaansa. Franklin pohti jälkikäteen, että pysyvää hyötyä olisi saatu todennäköisemmin, jos olisi sähkön tukena käytetty lääkitystä ja voimistelua. Omasta metodistaankaan hän ei ollut varma, vaan arveli että Brydonen toimintamallilla (hänen iskujaan heikommalla latauksella, mutta suurempi iskujen määrä) voitaisiin saada parempia tuloksia aikaiseksi.²⁷⁷

Riikassa Tri. Himsel oli päättänyt kokeilla halvaantuneeseen potilaaseen samanlaista hoitoa kuin Jallabert oli Genevessä käyttänyt. Hän antoi 20-vuotiaalle miehelle, joka ei ollut pystynyt käyttämään oikeaa kättään viisivuotiaasta lähtien, aluksi heikompia, sitten voimakkaampia iskuja. Hän antoi iskut koko vartaloon, eikä pelkästään potilaan käteen. Lisähoitona mies sai hierontaa käsivarteensa. Seuraavana päivänä iskuja voimistettiin entisestään, mutta kolmantena päivänä Himsel muutti hoitometodiaan. Seuraavan kolmen päivän ajan potilas sai sähköiskuja 'täsmähoitona' käsivarteensa. Hieronnan lisäksi hoito-ohjelmaan otettiin voimistelu. Mies pystyi jo itse nostamaan kättään niin, että kykeni riisumaan hattunsa. Sormien ja kyynärpään jäykkyyden kanssa oli ongelmia, varsinkin kun tunnon palatessa käsivarteen potilas ei enää kestänyt niin voimakkaita iskuja kuin aikaisemmin vaan saattoi pyörtyä. Hoidon loppuessa noin kuukauden kuluttua sen alkamisesta käden koordinaatio oli kehittynyt niin paljon, että hän kykeni jo kirjoittamaan.²⁷⁸

Ilmeisesti sähköterapiassa ei saatu lopullista läpimurtoa tehtyä ja tulokset vaihtelivat, sillä *Philosophical Transactionsin* sivuilla oli vuosikymmenen mittainen tauko ennen kuin seuraava (ja omalla tarkasteluajanjaksollani viimeinen) aiheesta käsittelevä artikkeli julkaistiin.

²⁷⁷ Franklin, 1758, s. 481-482.

²⁷⁸ Himsel, 1759, s. 179-185.

Tohtori Edward Spry hoiti sähköllä potilasta, jonka oikea puoli oli halvaantunut lantiosta alaspäin. Lisäksi leuka oli lukkiutunut niin tiukasti kiinni, ettei sitä saanut auki kiilaamallaakaan. Hoidon aluksi Spry laski potilaalta hiukan verta, eli suoneniskua käytettiin edelleen hoitomuotona. Ensimmäisen viikon ajan hän antoi potilaalle päivittäin kevyitä iskuja halvaantuneeseen jalkaan. Jalan voimat alkoivat palata, ja potilas kykeni vaivalloisesti kävelemään. Tämän jälkeen Spry ryhtyi hoitamaan potilaan leukaa antamalla sähköiskuja leuan alle ja poskien taakse. Iskujen voima sai pään heilumaan puolelta toiselle, mutta Spry lisäsi edelleen iskujen voimaa. Ne olivat erittäin tuskallisia potilaalle ja saattoivat aiheuttaa tilapäisiä halvaantumisia, mutta paranemistakin tapahtui. Kun suuta saatiin auki, ryhtyi hän antamaan iskuja myös potilaan kieleen. Hoito kesti yhteensä noin kuukauden ajan, ja potilas parani täysin. Spry pani iskuja antaessaan, että potilaan pulssi kohosi selvästi iskujen aikana.²⁷⁹

Priestley huomioi sähkön historiassaan myös sähkön käytön lääketieteessä. Sähköstä oli hänen mielestään hyötyä lääketieteessä kahdella eri tavalla. Toinen oli nimenomaan sen käyttö halvaantumisten parantamisessa. Sähkön avulla oli saatu paljon tuloksia aikaiseksi, vaikka aina ei ollutkaan takeita hoidon onnistumisesta. Hänen mukaansa siitä ei ollut ainakaan mitään haittaa, jos iskujen aiheuttamaa kipua ei lasketa.²⁸⁰ Pakkoliikkeiden lisäksi sähköiskut aiheuttivat iskun uhreille voimakasta hikoilua. Tätä käytettiin lääketieteessä Priestleyn mukaan hyväksi siten että lääkettä nauttineelle potilaalle annettiin sähköiskuja. Tällöin potilas alkoi hikoilla, ja uskottiin että lääke levisi hyvin ruumiin joka puolelle. Todisteena tästä oli iskujen jälkeen huoneeseen leviävä lääkkeen tuoksu.²⁸¹

8. TIEDEYHTEISÖ TOIMINNASSA

Newtonilainen kokeellinen luonnontiede oli selvästi tehnyt läpimurtonsa viimeistään 1700 – luvun toisella puoliskolla, ainakin *Philosophical Transactionsin* sivuilla. Valtaosa lehden artikkeleista käsitteli empiiristä luonnonfilosofiaa, ja sähkön tutkiminen oli sellaista

²⁷⁹ Spry, 1767, s. 88-91.

²⁸⁰ Priestley, 1767, s. 412-421.

puhtaimmillaan. Priestleyn tieteenfilosofia *History and Present State of Electricity*ssa kuvaa kyseessä olevan ajan ajattelua ehkä parhaiten. Kaikki tulokset täytyi pystyä perusteamaan kokeiden perusteella tehdyistä havainnoista, ja ne täytyi selittää, esittää ja selvittää mahdollisimman hyvin. Tarkoituksena oli, että ellei kokeiden alkuperäinen suorittaja itse pääsisi esittelemään kokeitaan seuran jäsenille, jokainen pystyisi selvityksen perusteella itse tekemään vastaavat kokeet ja siten vahvistamaan toisten tuloksia. Toistettavuus on yhä edelleen tänä päivänäkin arvostettujen, ja ylipäättänsä hyväksytyjen, luonnontieteellisten kokeiden peruseräaatteita.

1700 – luvulla tiede ei ollut vielä eriytynyt tuhansiksi erikoisaloiksi kuten nykypäivänä. Sama henkilö saattoi hyvinkin olla huippututkija monella eri luonnontieteen alalla ja alueella, esimerkkinä mainittakoon vaikka Joseph Priestley. Lisäksi tiede oli monelle huippututkijallekin tavallaan harrastus, mutta intohimoinen sellainen. Varsinainen elanto hankittiin kuitenkin jollakin muulla tavoin kuin tiedettä tekemällä. Nämä kaikki seikat näkyvät selvästi myös *Philosophical Transactions*in sivuilla: lehti ei ollut erikoistunut mihinkään tieteenalaan, samat kirjoittajat kirjoittivat artikkeleita monelta eri tieteenalalta, ja usein impulssi tutkimuksen aloittamiseksi saatiin jostakin hyvin arkisesta asiasta tai ihmetyksen kohteesta. Tällainen seikka saattoi olla vaikka sukkien tarttuminen toisiinsa kiinni. Tutkijoita myös kiinnostivat kaikenlaiset erikoisuudet ja kummallisuudet, kuten sähköistetyt munkit tai poika.

Tällainen harrastuneisuus ja tieteellisten pelisääntöjen keskeneräisyys näkyy jonkin verran myös julkaistuissa artikkeleissa. Muistiinpanojen tekeminen tutkimuksen aikana tuntuu olleen aika harvinaista, tutkimusraportti lienee laadittu useimmiten vasta tutkimuksen loputtua. Tutkijat eivät osanneet kertoa tarkalleen antamiensa sähköiskujen määrää kuin parinkymmenen tarkkuudella, hoitajaksojen pituudet saatettiin antaa parin päivän haarukan sisään jäävällä tarkkuudella, olosuhteet ja määrät ilmoitettiin suurin piirtein, tai sähköistettävästä kappaleesta ei kerrottu muuta kuin mitä ainetta se oli. Tekstit eivät myöskään olleet mitenkään yksiselitteisiä. Ainakin itselleni tuotti välillä suuriakin vaikeuksia pysyä koko ajan tutkijan koejärjestelyjen ja ajatuskulun mukana. Artikkelien

²⁸¹ Priestley, 1767, s. 149-154.

yksityiskohtaisuus ja selvyys kuitenkin parani huomattavasti tutkimani kahdenkymmenen vuoden kuluessa.

Käytännöllisyys ja arkipäiväisyys näkyi hyvin koejärjestelyissäkin. Kokeiden olosuhteet pyrittiin useimmiten saamaan samanlaisiksi kuin ne olivat luonnossakin. Todellisuuden jäljitteleminen laboratoriossa vaati tutkijoilta erittäin paljon mielikuvitusta ja käden taitoja. Hyviä esimerkkejä tästä ovat erilaiset pienoismallit ja keinotekoiset rauskut, joita he tutkimuksiaan varten rakensivat. Tutkijoiden värkkäämistä pienoismalleista ja muista viritelmistä tulevatkin mieleen elokuvan alkutaipaleen erikoistehostemiehet: puutteellisilla resursseilla piti luoda totuudenmukainen kuva todellisuudesta. Tieteen ja käytännön elämän yhteyden tärkeys tuon ajan tutkijoille näkyy useissa teksteissä toisellakin tavalla. He pitivät tavallaan itsestäänselvänä, että jonakin päivänä sähköstä olisi käytännön hyötyä ihmiskunnalle. 1700-luvun aikana sähkön tutkimusta opittiin hyödyntämään lääketieteessä ja ukkosenjohtimissa.

Osin edellä mainituista puutteista johtuen tutkijoille aiheutti hämmennystä se, ettei tutkijaystävän kokeita läheskään aina onnistuttu toistamaan omassa laboratoriossa. Lisäksi koevälineissä oli suuria eroavaisuuksia, rakennettiin ja suunniteltiinhan ne ainakin suurimmaksi osaksi itse. Kun rakennusohjeet oli mahdollisesti saatu hieman epätarkasti, saattoi välineisiin tulla joidenkin kokeiden kannalta ratkaisevan suuria eroavaisuuksia. Säällä ja lämpötilallakin saattoi olla merkitystä kokeen onnistumisessa, eikä näistä olosuhteista ole artikkeleissa useimmiten minkäänlaisia merkintöjä. Kun tähän kaikkeen lisätään vielä se, että tutkijoilla ei ollut täydellistä yksimielisyyttä sähkön todellisesta luonteesta ja ominaisuuksista, ei ole ihme että joskus eri tutkijoiden tuloksissa oli suuriakin eriävyyksiä.

Vaikka Newton olikin käytännössä jo 1600-luvun puolella matematisoinut maailmankaikkeuden, ei matematiikkaa vielä 1700-luvulla kovinkaan paljoa käytetty sähkön tutkimuksessa. Tämä ei suinkaan voinut johtua matematiikasta, sillä sen puolelta kaikki tarvittava (mm. geometria, suhteellisuus- ja integraalilaskenta) oli jo tiedossa. Sähkössä matematiikan mukaantuloa hidasti erityisesti se, ettei sähkö osattu mitata tarkasti. Aluksi sähkön määrää mitattiin koneella tehtyjen pyöräytysten mukaan, mikä ei ymmärrettävästikään

ollut mitenkään tarkka mittaustapa edes yhdellä ja samalla koneella, saati sitten eri koneilla. 1700-luvulla kehitettiin jo sähkön hylkimisvoimaan perustuvia mittareita, mutta nekään eivät olleet mitenkään tarkkoja. Niiden avulla kuitenkin pystyttiin arvioimaan auttavasti sähkön voimaa eri tutkimuskerroilla suurin piirtein samaan suuruusluokkaan. Sähkön mittaaminen oli vaikeaa niin pitkään kunnes keksittiin sähköllä olevan kaksi erillistä mitattavaa perussuuretta, jännite ja virta.

Tiedeyhteisön jäsenet olivat 1700-luvun jälkipuoliskolla varsin tiiviissä kanssakäymisessä keskenään. He tapasivat toisiaan melko säännöllisesti paitsi 'vapaa-aikanaan', myös tiedeseuran kokouksissa. Näissä kokouksissa tutkijat esittivät omia tuloksiaan ja kokeitaan muille jäsenille, jotka usein esittivät kysymyksiä, mielipiteitään ja tulkintojaan kolleegoidensa töistä. Vähätellä ei voi myöskään kokouksissa esiintynyttä vapaata keskustelua, jonka aiheina varmasti olivat päivän polttavien puheenaiheiden lisäksi eri tieteelliset teoriat ja tutkimukset. Toki seuran kokoukset olivat tutkijoille myös sosiaalinen tapahtuma samanhenkisten ihmisten seurassa ja vaihtelua omassa laboratoriossa työskentelemiseen, mikä monesti oli varsin yksinäistä puuhaa.

Tutkijoiden välinen yhteistyö alkoi 1700-luvun puolenvälin tienoilla kasvaa selvästi. Kun aikaisemmin oltiin yksinäisinä ja erakoituneina tehty kokeita omassa laboratoriossa, ryhdyttiin silloin työskentelemään yhä enemmän pareittain tai ryhmässä. Joskus yhteistyötä tekivät saman alan tutkijat, kuten eri komiteoissa, jotka oli muodostettu pohtimaan salamalta suojautumista. Myös eri tieteenalojen tuntijat saattoivat tutkia yhteisesti samaa asiaa tuoden mukanaan omien alojensa erilaiset näkökulmat. Hyvä esimerkki tällaisesta oli Hunterin ja Walshin tutkimukset sähkörauskulla. Sähköntutkijat olivat julkaistujen artikkelien pohjalta jatkuvasti avustamassa toistensa kokeita ja koejärjestelyjä. Tämä varmasti edisti tieteen kehittymistä, sillä aina neljä silmää havaitsee enemmän kuin kaksi. Puhumattakaan kahden aivon yhteistyön ylivertaisuudesta verrattuna yhteen aivoon. Tätä kautta myös tieteelliset uutiset ja tieto liikkuvat tutkijalta toiselle hyvinkin nopeasti. Samoin oli tieteellisten laitteiden ja tutkimusvälineiden kanssa, ne levisivät hyvin paljon tutulta tutulle. Osittain tutkijat tällä tavoin myös tarkkailivat toisiaan, sillä seura usein vaati tutkimuksille ja tuloksille todistajan ennen kuin sitä julkaistiin.

Royal Societyn tilaisuuksissa luettiin myös maailman eri kolkista kiirineitä tietoja tieteellisistä saavutuksista ja tuloksista. Osa näistä tuloksista oli jonkin tutkijan jo kirjaksi saakka jalostaneita tutkimuksia, mutta suurin osa tiedoista saatiin kirjeiden välityksellä. Eri puolilla maata ja maailmaa asuneet tutkijat olivatkin enimmäkseen yhteydessä toisiinsa kirjeiden avulla. Postilaitoksen kehittyminen ja postin kulun nopeutuminen mahdollistivat kohtalaisen nopean tiedonvälityksen jopa maasta ja mantereesta toiseen. Varsinkin eurooppalaiset tutkijat olivat paljon tekemisissä toistensa kanssa kirjeitse. Kirjeissään tutkijat käsitelivät niin omiaan kuin muidenkin tutkijoiden tutkimuksia. Omia tuloksia ja koejärjestelyjä raportoitiin muille samanalan tutkijoille kommentoitavaksi ja hämmästeltyväksi.

Kirjeenvaihdon runsaus ja tärkeys tutkijoiden työssä näkyy myös *Philosophical Transactions*in sivuilla. Noin puolet tutkimuksessani käyttämästäni lehdessä julkaistuista artikkeleista olivat alun perin kirjeitä, jotka oli lähetetty yksityiseltä henkilöltä toiselle. Niitä ei suinkaan ollut kirjoitettu suoraan lehden toimittajille, saati kirjoitettu suoraan lehtiartikkeleiksi. Jos kirjeen saanut tutkija arveli sen sisältävän sellaista tutkimustietoa että sen voisi julkaista, hän saattoi ehdottaa sitä lehden toimittajalle. Varmasti tutkijat tiesivät kirjeiden voivan päätyä lehden sivuille, ja varmasti jotkut kirjeet saatiin kirjoittaja jo julkaisua silmällä pitäen. Tuntemattomalle tutkijalle, sellaisella joka ei vielä ollut esimerkiksi Royal Societyn jäsen, tämä saattoi olla ainut väylä saada tutkimuksensa lehden sivuille. Lisäksi saatiin ajatella, että oli tavallaan vaatimattomampaa kirjoittaa kirje tutkijatoverille kuin suoraan lehden toimitukselle. Kun joku toinen ehdotti tutkimusten julkaisemista, sillä oli jo jonkinlaista arvostusta ja saattoi tietysti helpommin ylittää julkaisukynnyksen. Toki paljon kirjoitettiin myös artikkeleja suoraan *Philosophical Transactions*in sivuille.

Suurin osa tutkijoiden välisistä kiistoista selviteltiin joko ihan kasvotusten keskustelemalla, kirjeiden välityksellä tai tieteellisen seuran kokouksissa. Jonkin verran erimielisyyksiä pääsi myös *Philosophical Transactions*in sivuille. Enimmäkseen ne olivat pinnan alla kyteviä erimielisyyksiä suurista teoreettisista kysymyksistä, ihan lähtien siitä, mitä sähkö oikeastaan oli. Selviä väittelyjä oli vain muutama, mutta ne ovat hyvä osoitus siitä, ettei tieteellinen keskustelu ollut 1700 – luvullakaan yksimielistä kehittymistä ja eteenpäin menoa. Se että kiistojakin julkaistiin lehden sivuilla kertoo toimittajien olleen ainakin jossain määrin

puolueettomia. Näin ollen lukijoille itselleen jäi päätös siitä, kumpi tutkijoista olikaan oikeassa.

Philosophical Transactions ei ollutkaan varsinaisesti mikään uuden tieteellisen tiedon kanava, vaan uusista kokeista, tutkimuksista ja tutkimussuunnista kertova julkaisu. Se ei myöskään ollut mitenkään kehittynyt tieteellisen keskustelun foorumi, mikä on tietysti pääteltävissä lehden ilmestymistiheydestäkin. Kerran vuodessa ilmestyvän lehden palstoilla tieteellinen keskustelu olisi auttamattomasti liian hidasta. *Philosophical Transactions* olikin enemmän vuosikirja, johon oli koottu jäsenten vuoden aikana tehty työ. Tiedemiesten monialaisuudesta johtuen he olivat kiinnostuneita monella eri aloilla tapahtuvasta kehityksestä. Lisäksi *Philosophical Transactions* oli erittäin suosittu ei-tutkijoidenkin keskuudessa, sillä aikaansa seuraavan herrasmiehen oli hyvä olla perillä myös ympärillä tapahtuvasta tieteellisestä kehityksestä. Eikä tiede ollut vielä kehittynyt niin pitkälle, ettei sivistynyt henkilö olisi lehden artikkeleista mitään ymmärtänyt.

LÄHTEET

Alkuperäislähteiden kieliasu on jätetty niiden alkuperäiseen muotoon. Sen vuoksi artikkelien nimissä on useita poikkeavaisuuksia nykyisen englanninkielen kirjoitusasuun.

ALKUPERÄISLÄHTEET

Brydone, Patrick, 1757: An Instance of the Electrical Virtue in the Cure of a Palsy. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 50.

Brydone, Patrick, 1758: A further Account of the Effects of Electricity in the Cure of some Diseases. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 50.

Canton, John, 1761: A Letter from John Canton, M.A. and F.R.S. to Benjamin Franklin, L.L.D. and F.R.S. containing some Remarks on Mr. Delaval's electrical Experiments. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 52.

Cavendish, Henry, 1771: An Attempt to explain some of the principal Phenomena of Electricity, by means of an elastic Fluid: By the Honourable Henry Cavendish, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 61.

Cavendish, Henry, 1776: An Account of some Attempts to imitate the Effects of the Torpedo by Electricity. By the Hon. Henry Cavendish, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 66.

Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773a: A Report of the Committee appointed by the Royal Society, to consider of the Method for securing the Powder Magazines at Purslet. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Cavendish, Watson, Franklin & Robertson, 1773b: A Letter to Sir John Pringle, Bart.Pr.R.S. on pointed conductors. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Delaval, Edward, 1761: An Account of several Experiments in Electricity. In a Letter to Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. By Edward Delaval, esq; F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 52.

Franklin, Benjamin, 1758: An Account of the Effects of Electricity in paralytic Cases. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 50.

Garden, Alexander, 1775: An Account of the Gymnotus Electricus or Electrical Eel. In a Letter from Alexander Garden M.D. F.R.S. to John Ellis, Esq. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 65.

Hamilton, William, 1773: Account of the Effects of a Thunder-Storm, on the 15th of March 1773, upon the House of Lord Tylney of Naples. In a Letter from the Honourable Sir William Hamilton, Knight of the Bath, his Majestys Envoy Extraordinary at the Court of Naples, and F.R.S. to Mathew Maty, M.D. Sec. R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Heberden, William, 1769: Of the different Quantities of Rain, which appear to fall, at different Heights, over the same spot of Ground. By William Heberden, M.D. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 59.

Henley, William, 1774a: Experiments concerning the different Efficacy of pointed and blunted Rods, in securing Buildings against the Stroke of Lightning; by William Henley, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 64.

Henley, William, 1777a: An Account of some new Electrical Experiments. By Mr. Tiberius Cavallo: communcated by Mr. Henley, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 67.

Henly, William, 1774b: An Account of some new Experiments in electricity, containing, 1. An Enquiry wheter Vapour be a conducton fo Electricity. 2. Some Experiments to ascertain the Direction of the Electric Matter, in the Discharge of the Leyden Bottle: with a new Analysis of the Leyden Bottle.3. Experiments on the lateral Explosion, in the Discharge of the Leyden Bottle. 4. The Description, and the Use, of an new Prime-conductor. 5. Miscallenous

Experiments, made principally in the Years 1771 and 1772. 6. Experiments and Observations on the Electricity of Fogs, &c. in Pursuance of those made by Thomas Ronayne, Esq, with Plan of an Electrical Journal, &c. By William Henly, F.R.S.

Henly, William, 1772: An Account of the Death of a Person destroyed by Lightning in the Chapel in Tottenham – Court-Road, and its Effects on the Building; as observed by Mr. William Henly, Mr. Edward Nairne and Mr. William Jones. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 62.

Henly, William, 1777b: Experiments and Observations in Electricity. By William Henly, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 67.

Himsel, 1759: The Case of paralytic Patient cured by an electrical Application. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 51.

Hunter, John, 1773: Anatomical Observations on the Torpedo. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Hunter, John, 1775a: An Account of the Gymnotus Electricus. By John Hunter, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 65.

Hunter, John, 1775b: Experiments on Animals and Vegetables, with respect to the Power of producing Heat. By John Hunter, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 65.

Ingenhousz, John, 1775: Extract of a Letter from Dr. John Ingenhousz, F.R.S. to Sir John Pringle, Bart. P.R.S. containing some Experiments on the Torpedo, made at Leghorn, January 1773 (after having been informes of those by Mr. Walsh) Dated Salzburg March 27, 1773. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 65.

King, Edward, 1773: Accounts of the Effects of Lightning at Steeple Ashton and Holt, in the County of Wilts, on the 20th of June, 1772, contained in several Letters, communicated by Edward King, Esq; F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Kinnerley, Ebenezer, 1763: New Experiments in Electricity: In a Letter from Mr Ebenezer Kinnerley, to Benjamin Franklin, LL.D. F.R.S. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 53.

Lane, T., 1767: Description of an Electrometer invented by Mr. Lane; with an Account of some Experiments made by him with it: In a Letter to Benjamin Franklin, LL.D., F.R.S. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 57.

L'Epinasse, C., 1767: Description of an improved Apparatus for performing Electrical Experiments, in which the Electrical Power is increased, the Operator intirely secured from receiving any accidental shocks, and the whole rendered more convenient for Experiments than heretofore: By C. L'Espinasse, F.R.S. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 57.

Mitchell, Andrew, 1759: A Letter to the Reverend Dr. Birch, Secretary to the Royal Society, concerning the Force of Electrical Cohesion. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 51.

Nairne, Edward, 1774: Electrical Experiments by Mr. Edward Nairne, of London, Mathematical Instrument maker, made with a Machine of his own Workmanship, a description of which is prefixed. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 64.

Nooth, 1773: An Extract of a Letter from Dr. Nooth to Dr. Franklin, F.R.S. on some Improvements in the Electrical Machine. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 63.

Priestley, Joseph, 1772: An Account of a new Electrometer, contrived by Mr. William Henly, and of several Electrical Experiments made by him, in a Letter from Dr. Priestley F.R.S. to Dr. Franklin, F.R.S. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 62.

Priestley, Joseph, 1768: An Account of Rings consisting of all the Prismatic Colours, made by Electrical Explosions on the Surface of Pieces of Metal, by Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. *Julkaistu Philosophical Transactions* vol. 58.

Priestley, Joseph, 1770: An Investigation of the lateral Explosion, and of the Electricity communicated to the electrical Circuit in a Discharge: By Joseph Priestley LL.D. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 60.

Priestley, Joseph, 1767: The History and Present State of Electricity, with Original Experiments. Lontoo.

Priestley, Joseph, 1769a: Experiments on the lateral Force of Electrical Explosions. By Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 59.

Priestley, Joseph, 1769b: Various Experiments on the Force of Electrical Explosions. By Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 59.

Ronayne, Thomas, 1772: A Letter from Thomas Ronayne, Esq; to Benjamin Franklin, LL.D. F.R.S. inclosing on Account of some Observations on Atmospherical Electricity; in regard of Fogs, Mists &c. with some Remarks; communicated by Mr William Henley. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 62.

Spry, Edward, 1767: Account of a locked Jaw, and Paralysis, cured by Electricity. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 57.

Symmer, Robert, 1759: New Experiments and Observations concerning Electricity: by Robert Symmer, Esq; F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol 51.

Walsh, John, 1773: Of the Electric Property of the Torpedo. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 63.

Walsh, John, 1774: Of Torpedos found on the Coast of England. In a Letter from John Walsh to Thomas Pennant. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 64.

Watson, William, 1761: An Account of a Treatise in French, presented to the Royal Society, intituled, "Lettres sur l'Electricite" by the Abbé Nollet, Member of the Royal Academy of

Sciences &c. &c. By Willam Watson, M.D. R.S.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 52.

Watson, William, 1776: Extraordinary Electricity of the Atmosphere observed at Islington on the Month of October, 1775. By Mr. Tiberius Cavallo. Communicated by William Watson, M.D.V. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 66.

Watson, Franklin, Wilson, Canton & Delaval, 1769: Report from the Committee appointed to consider of the properest means to secure the Cathedral of St. Paul's from the effects of Lightning. Addressed to James West, Esquire, President of the Royal Society. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 59.

Williamson, Hugh, 1775: Experiments and Observations on the Gymnotus Electricus, or Electrical Eel. By Hugh Williamson M.D. Communicated by John Walsh, Esq. F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 65.

Wilson, Benjamin, 1759a: A Letter from Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. to the Rev. Tho. Birch, D.D. Secret.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol 51.

Wilson, Benjamin, 1759b: Experiments on the tourmalin, by Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. In a Letter to Dr. William Heberdan, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol 51.

Wilson, Benjamin, 1760: Farther Experiments in Electricity; by Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol 51.

Wilson, Benjamin, 1761: Observations upon some Gems similar to the Tourmalin; by Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 52.

Wilson, Benjamin, 1763: A Letter from Mr. Benjamin Wilson, F.R.S. and Member of the Royal Academy at Upsal, to the Mr. Æpinus, Professor of Natural Philosophy in the Imperial Academy of Sciences at St. Petersburg, and Member of the Academies of Berlin, Stockholm and Erfurth. Julkaistu Philosophical Transactions vol. 53.

Wilson, Benjamin, 1773: Observations upon Lightning, and the Method of securing Buildings from its Effects: In a Letter to Sir Charles Frederick, Surveyor-General of His Majesty's Ordnance and F.R.S. By Benjamin Wilson, F.R.S. & Ac.R.Ups.Soc.

TUTKIMUSKIRJALLISUUS

Cohen, I. Bernard, 1985: Revolution in Science. Harvard University Press.

Dictionary of National Biography. Oxford University Press, 1949-1950.

Dictionary of Scientific Biography. New York, 1972.

Goodman, David & Russell, Colin A (eds.), 1991: The Rise of Scientific Europe 1500 – 1800. Kent.

Heilbron, John L., 1999: Electricity in the 17th and 18th centuries. A Study in Early Modern Physics. New York.

Home, R. W., 1992: Electricity and Experimental Physics in 18th Century Europe. Hampshire.

Jacob, Margaret C., 1997: Scientific Culture and the Making of the Industrial West. O.U.P., New York.

Meyer, Herbert W., 1971: A History of Electricity and Magnetism. The Colonial Press Inc, USA.

Rowbottom, Margaret & Susskind, Charles, 1984: Electricity and Medicine: History of Their Interaction. San Francisco.

Spadafora, David, 1990: *Idea of Progress in Eighteenth-Century Britain*. Yale University Press.

Valle, Ellen, 1999: *A Collective Intelligence: The Life Sciences in the Royal Society as a Scientific Discourse Community, 1665 – 1965*. Turku.