

✚ EETTERIKOKEISTA EETTERISKEPTISYYTEEN

MICHELSONIN JA MORLEYN VUODEN 1887 KOKEESTA LODGEN EETTERIKOKEISIIN

Ari J. Tervashonka

Paljon kirjoitetusta Michelsonin ja Morleyn eetterikokeesta on puhuttu ja sitä on tutkittu lähinnä tieteen viitekehityksessä. Tarkastelen tässä kirjoituksessa kokeen aiheuttamaa teknistä kehitystä eetterin tutkimuksessa Oliver Lodgen koejärjestelyiden valossa. Artikkelissa pyritään vastaamaan siihen, mihin suuntaan ja miksi Michelsonin ja Morleyn alkuperäinen vuoden 1887 koe kehittyi eetterin tutkimuksessa 1900-luvun alussa.

Tieteen viitekehityksen muutos Isaac Newtonin absoluuttisesta järjestelmästä kohti Albert Einsteinin suhteellista oli vähittäinen prosessi, niin teoreettiselta kuin käytännön kokeidenkin kannalta. Artikkelini käsittelee tätä historiallista prosessia teknisten kokeiden kehityksen kannalta. Tunnetumman koesarjan, Michelsonin ja Morleyn vuoden 1887 kokeen vaikutus ei yksinomaan ollut eetteriskeptisyyttä lisäävä, vaan eetteriä pyrittiin tutkimaan vielä laajemmilla koejärjestelyillä. Tällaisesta koejärjestelystä on hyvänä esimerkkinä vähemmän tunnettu Oliver Lodgen (1851–1940) koejärjestely, jossa pyrittiin todentamaan eetterin olemassaolo. Maailman kaiken tilan kattavana väliaineena eetteri oli luonnontieteilijöiden tieteellisen viitekehityksen ytimessä satojen vuosien ajan. Sillä pyrittiin selittämään teoreettisesti miten valo ja lämpö toimivat, sekä millä tavalla sähkö liittyy magneettisiin ilmiöihin. Lodgen koe perustui paljolti Michelsonin ja Morleyn kokeen tekniseen toteutukseen, jonka lisäksi kokeella pyrittiin kattamaan laajempaa skaalaa eri ilmiöitä Michelsonin ja Morleyn kokeen optiikan lisäksi. Artikkelissa argumentoidaan, miten teknisen toteutuksen muodot kehittyivät puhtaasti optisesta Michelsonin ja Morleyn kokeesta monimuotoisempaan suuntaan.

Eetterin konseptin todentamiseksi tehtiin huomattava määrä kokeita, joista keskeisempää Albert Michelsonin (1852–1931) ja Edward Morleyn (1838–1923) optista koetta on monesti pidetty kynnyksenä eetteriskeptisyyden kasvuksi fysiikan tieteissä 1900-luvun alussa. Koejärjestelyt olivat muodoltaan optisia, tieteen historiallisesti omana aikanaan yksi tarkimpia kokeita. Kokeen tavoitteena oli löytää valonaallon optinen poikkeama, joka olisi todentanut August Jean Fresnelin (1788–1827) 'ether drag'¹⁾, eli hypoteesin eetterivedon ilmiöstä. Koska muutosta valon liikkeelle ei havaittu, MM-kokeen tulokset näyttivät negatiiviselta suhteesta teoretisoituun eetteriin. Artikkelissa esitetään miten Michelsonin ja Morleyn vuoden 1887 koe vaikutti eetteritutkimukseen yleisellä tasolla. Kokonainen historia tältä osin vaatisi kirjan, mutta Oliver Lodgen kokeet ovat rajatumpi, mutta silti keskeinen esimerkki siitä tavasta, millä MM-koe vaikutti eetterin tutkimisen tapoihin jo ennen 1900-luvun alkua.

Eetterin ominaisuuksien tutkimisessa 1800- ja 1900-lukujen taitteessa oli kyse eetterin kokeellisesta todentamisesta. Erilaisien eetterihypoteesien varassa oli tutkittu huomattava määrä eri tyyppisiä fysikaalisia ilmiöitä. Nämä ilmiöt olivat mm. lämmön,

sähkön, magnetismin, optiikan sekä mekaniikan tutkimuskohteita, nimetäkseni muutamia. Eetterihypoteesit olivat kilpailuvia ajatusperheitä, joiden varassa pyrittiin mieltämään aiemman luonnonfilosofian, myöhemmin fysikaalisten tieteiden tieteellistä viitekehystä. Eetteri, eli fysikaalinen väliaine eri ilmiöiden selittävänä tekijänä, oli selitysmallina Newtonin absoluuttisen viitekehysten ja havainnoidun suhteellisen maailman välillä. Toisin sanoen koska ilmiöitä pyrittiin määrittämään monesti mekaanisesti newtonilaisella perinteellä, uusien ilmiöiden tutkiminen noudatti absoluuttisen ja suhteellisen mekaanista kahtiajakoa, jossa valittu eetterihypoteesi oli selittävänä tekijänä näiden kahden välillä.

Michelsonin ja Morleyn kokeen tutkimuksessa on yleisesti esitetty näkökantoja esimerkiksi koelaitteiden kehityshistorian puitteissa tai pyritty tuomaan esiin kokeen synnyttämiä muutoksia fysikaalisille tieteille. MM-koetta² on myös kohdeltu rajana klassisen ja modernin fysiikan välillä, joskin tätä asetelmaa on problematisoitu huomattavasti, kuten Gooday&Mitchell (2013). Myös itse kokeesta on kirjoitettu paljon, Swenson (1972), sekä Hunt (1986). Eri aikoina on kiinnitetty huomiota eri kokeisiin liittyviin näkökulmiin, mutta kokeiden suhde oman aikansa tieteelliseen viitekehukseen eetterin osalta on yleensä ollut viitetasolla. Viitekehys ei kuitenkaan ole tieteessä viitetasoa vaan se on keskeinen vaikutin ja reunaehto tutkimukselle. Tämän vuoksi artikkeliin on koottu syitä eri laitevalintoihin sekä avattu laitteistojen teknistä järjkeilyä suhteessa eetterin viitekehukseen. Michelsonin ja Morleyn kokeen kohdalla tältä osin käsittely on kevyempi, koska eetteri ei ollut ensisijainen tutkimuksen aihe, vaan aiheeseen liittyvät hypoteesit. Lodgen kuusi vuotta kestäneiden kokeiden kohdalla MM-kokeen tekninen perinne muokkautui interferometriikan kehityksen lisäksi, eetteritutkimuksen tarpeisiin moninaistuneilla teknisillä tarpeilla.

Näitä tarpeita Lodge kattoi mm. magneettisten ja sähkön ilmiöiden mittaamisella.

On totta, että monissa eetteriin liittyvissä koejärjestelyissä pyrittiin ensisijaisesti todentamaan jokin eetterihypoteesin selitysmalli empiirisesti havaittavalla todisteella. Michelsonin ja Morleyn vuosien 1880–1887 koejärjestelyissä päätavoitteena oli määrittää eetterin vaikutuksia valon kulkunopeudelle optisesti, valon aallonpituuksien interferenssiä mittaamalla. Vastaavia optisesti eetteriä tutkivia kokeita olivat tehneet myös Hoek (1868), sekä Mascart ja Jamin (1874). Samalla on huomionarvoista, että jos eetterin olemassaoloon viittaavaa suoraa evidenssiä olisi löytynyt, koe olisi ollut ensimmäinen eetterin olemassaolon empiirisesti todennut koe. Tätä varsinaista oman aikansa tieteellistä pääpalkintoa ei kannata unohtaa kun kokeiden syitä tarkastellaan historiallisesti. Tältä osalta näkökantani poikkeaa esimerkiksi The Ethereal Aether tekijän Loyd S. Swensonin argumentoinnista, jonka mukaan Michelsonin ja Morleyn kokeessa ei pyritty pääasiassa todentamaan eetterin olemassaoloa. Tämä on totta retrospektiivisesti ajatellen, mutta aikalaisittain katsottuna kokeen tarkoitus olisi todisteiden löytyessä muuttunut merkittävästi. Jokaisessa eetterin ominaisuuksia edes välillisesti tutkivassa kokeessa oli tuona aikana kyse toisaalta pääasiallisesta tutkimuskohteesta, mutta myös välillisesti eetterin ominaisuuksien kartoittamisesta ja tai todentamisesta. Siten kokeiden tarkoituksenmukaisuuden pääsisällöt eivät poista tätä fysiikan tieteiden laajempaan viitekehukseen liittyvää argumenttia, että eetteriin liittyvissä kokeissa usein välillisesti tutkittiin eetterin olemassaoloa.³

Tässä artikkelissa aiheen pääasiallisena tutkimusmenetelmänä on käytetty systemaattista analyysiä. Menetelmä perustuu osittain yleiseen systeemitteoriaan ja systemaattiseen ajatteluun. Yleisestä systeemitteoriasta poiketen systemaattista analyysiä käytetään ns. pehmeiden kysymysten, eli

laadullisiin kysymyksiin, joita ei voida arvioida eksakteilla mittareilla. Menetelmää käytetään laaja-alaisesti eri muunnelmin käsite, funktio ja rakenne analyysissä oikeustieteen, kasvatustieteen, filosofian ja teologian aloilla mainitakseni muutamia. Menetelmänä systemaattisessa analyysissä hajotetaan systemaattisesti asioita osiin ja kootaan niistä funktionaalista, parhaimmillaan käytännöllisesti kerrottavaa analyysia tutkimuksen kohteesta. Menetelmän käyttö on ollut hyödyllinen väline arvioitaessa erilaisten tutkimusjulkaisujen teoreettista sisältöä erilaisten eetteriin liittyvien hypoteesien näkökulmasta. Aiheen kannalta tutkimusprosessissa olennaista on ollut kokeita koskevan alkuperäiseen tutkimusjulkaisuun tutustumisen, rakentava dekonstruktio, eli ensimmäisenä systemaattisen analyysin työvaiheena mennään aiheen perusteisiin ja rakennetaan vasta jälkeenpäin vaiheittainen kokoava analyysi termeistä, teorioiden rakenteista ja niiden yhteyksistä.

Aiheen kannalta systemaattinen analyysi on hyvä työkalu, kun pyritään rakenteellisesti tai funktionaalisesti ymmärtämään erilaisten järjestelmien toimintaa, oli kyse sitten eri tieteen perinteiden historiallisista tai filosofisista sisällöistä, sekä yksittäisistä teorioista. Menetelmällä on ensisijaisesti pyritty täyttämään aiheen käsittelyn kannalta olennaisia laadullisuuden ja selkeyden tarpeita. Nämä menetelmälliset tarpeet ovat tutkimuskysymyksen kannalta sivukysymyksiä siitä, miten eri teoriapohjat muodostuivat suhteessa tehtyihin kokeisiin ja millä tavalla teoriapohja vaikutti kokeiden järjestelyihin. Vaikka ensisijaisena tarkoituksena on osoittaa miten Michelsonin ja Morleyn koe muutti eetterin kokeellista tutkimusta, on tärkeää toteuttaa analyysi niin, että siinä otetaan huomioon myös viitekehyksen historiaa. Jotta kokeiden toiminnallinen logiikka paljastuu paremmin, aiheen käsittelyssä analysoidaan kokeisiin liittyvää viitekehyksellistä puolta. Aiheen tutkiminen tällä ta-

valla antaa paremmat laadulliset eväät tarpeelliselle kokonaisvaltaiselle tarkastelulle.⁴

Kokeet ovat hyvin dokumentoituja ja varsinkin Michelsonin ja Morleyn kokeista on tehty paljon tutkimusta. Lodgen koejärjestelyä on tutkittu paljon vähemmän eikä eetterikokeiden kehittymistä ole juuri tutkittu. Syynä tähän on monesti se oletus, että Michelsonin ja Morleyn kokeen vuoden 1887 tuloksettomuus olisi suoraan poistanut eetteriltä tuen fysiikan teorianmuodostuksessa. Toisin kuitenkin kävi. Vielä 1900-luvun alussa tehtiin paljon työtä eetterin teoretisoinnin parissa, jonka vuoksi on mielestäni tärkeää jatkaa tutkimusta myös koejärjestelyiden kehittymisen näkökulmasta. Lodgen koejärjestelyt vuosina 1891–1897 osoittavat hyvin, miten suhteessa eetterin teoreettiseen kehitykseen aiheen tekniset kokeet suuntautuivat.

MICHELSONIN JA MORLEYN KOKEIDEN TAUSTAA

Henkilöinä Albert A. Michelson (1852–1931) ja Edward W. Morley (1838–1923) olivat sekä tekemisen tavoiltaan että luonteeltaan hyvin erilaisia. Tiedemiehinä heitä yhdisti pyrkimys tarkkuuteen ja varmuuteen, huolimatta siitä, ettei kumpikaan ollut matemaattisesti yhtä lahjakas kuin monet heidän koettaan arvioineet.⁵ Sen sijaan Michelson ja Morley pystyivät yhdistämään vahvuuksiaan optisen ja mekaanisen taitavuuden sekä Morleyn kemiallisen osaamisen avulla. Michelsonin kohdalla lahjakkuudessa ei ollut kyse ainoastaan käytännöllisestä mekaanisesta osaamisesta vaan myös mekaanisesta intuitiosta. Vastaavanlaista luonnetta voi löytää lähemmin Nikola Teslalta tai Michael Faradaylta. He ovat Michelsonin lisäksi hyviä esimerkkejä fysiikkaa tieteenä edistäneistä henkilöistä, jotka eivät päätyneet tuloksiinsa pääasiassa matematiikan vaan fysikaalisen intuition ja

mekaanisen osaamisensa ansiosta. Retro-spektiivisesti ajatellen Michelsonin mekaaninen intuitio ilmeni parhaiten tavassa, jolla hän käytti kehittämäänsä interferometriä lähestyäkseen vanhoja optisia ongelmia uusilla tavoilla.⁶

Morleyn kädenjälki puolestaan näkyy kokeen kemiallisissa ratkaisuissa, joihin palataan vuoden 1887 kokeen yhteydessä. Kuitenkin on heti alkuun todettava, ettei koetta olisi tehty ilman Morleyn apua. Osa kokeen ratkaisuista ja ideoista tuli Morleylta, mutta hän myös kantoi tutkimuksellista päävastuuta, esimerkiksi vuoden 1885 kokeen kohdalla. Vaikka Michelson oli laajemmin suunnitellut interferometrin kokonpanoa, Michelsonilla oli vuonna 1885 mielenterveydellisiä ongelmia, joiden vuoksi hän joutui lepäämään noin kaksi kuukautta. Swenson käyttää ilmaisua ”nervous breakdown”. Morley oli kirjoittanut isälleen Michelsonin ”aivojen pehmenemisestä” ja epäillyt vahvasti tuleeko vuoden lepo riittämään Michelsonille. Kuitenkin Michelson toipui ja palasi töihin jo kahden kuukauden jälkeen lokakuussa 1885. Michelsonin perhe-elämä oli ajoittain hankalaa; vuonna 1877 alkanut ensimmäinen avioliitto päättyi eroon 1898. Vaikka Morley ei ollut alun perin vakuuttunut siitä, palaisiko tai toipuisiko Michelson, hän jatkoi kokeita Michelsonin toipumiseen saakka. Kokeita jatkettiin vielä vuosia sattumusten jälkeen, joten luottamus ja kunnioitus säilyivät hankaluuksista huolimatta.⁷

Michelsonin ja Morleyn kokeiden teoreettisen taustan kannalta eetteri tarjosi fysiikan viitekehyksenä raameja valon kululle, sekä rajasi alkuoletuksia kokeiden tuloksista.⁸ Eetterin idea itsessään oli vähintään yli 3000 vuotta vanha ajatus materiaalista, jossa kaikki materia liikkuu. Kuitenkin tällä historiallisella eetterin idealla ja Michelsonin ja Morleyn viitekehyksen välillä on jo ideapohjalta huomattavia eroja. Vanha ajatus väliaineesta kehittyi skolastikkojen pohdintojen

kautta yleiseksi loogiseksi opetuksiksi tyhjiön mahdottomuudesta. Tyhjiö miellettiin loogisesti toimimattomana ja luonnottomana.⁹ Myöhemmin tiedon kehittyminen valon aaltomaisesta ominaisuudesta yhdistettiin tähän väliaineen ajatukseen. Huolimatta siitä, että tyhjiön tekemiseen alkoi olemaan jo työvälineitä ja tyhjiöpumppujen ansiosta voitiin hylätä ajatukset tyhjiön mahdottomuudesta, eetteri säilytti paikkansa pitkälti valoaaltojen väliaineena. Myös erilaisia teorioita muodostettiin magnetismiin, gravitaatioon ja lämpöilmiöihin nähden, mutta valon aaltoliike selkeimmin selitti eetterin tarvetta teoreettisena viitekehyksenä. Jos äänialto tarvitsi liikkeelleen ilman väliaineeksi, valoallon liikkeelle ei olisi ollut suoraa selitysmallia ilman eetteriä väliaineena.

Vaikka äänen ja valon analogiaa pyrittiin hylkäämään 1800-luvun lopulla eetterin kohdalla¹⁰, tällöinkään synnä ei ollut eetterin ajatuksen hylkääminen vaan eetteriteorian kehitys. Maxwellin kehittämä sähkömagneettinen yhdistelmäselitys Maxwellin yhtälöiden muodossa esitti näitä ilmiöitä yhtenäisesti toimivana kokonaisuutena, jonka viitekehyksenä oli eri ilmiöiden toimiminen väliaineen kautta. Ajatus etävuorovaikutuksesta, ”action at a distance”¹¹ oli edelleenkin myrkyä, joka haluttiin selittää pois väliaineajattelulla. Kyse ei ollut enää 1800-luvulla eetterin puolustamisesta skolastikkojen loogisena perintönä tieteelle¹², vaan mekanistisen maailmanselitystavan jatkamisesta. Eetteri mahdollisti eri ilmiöiden ajattelemista loogisesti, jolloin esimerkiksi etävuorovaikutus voitiin selittää pois väliaineen idean käytöllä. Tällöin maailmasta eri ilmiöineen tuli teoreettinen pelikenttä, jossa fysiikon tehtävänä oli etsiä kokonaisvaltaisesti selittäviä yhteyksiä eri ilmiöiden välillä. Tätä viitekehyksen loogista rakentamista olivat tehneet Maxwellin jalanjäljissä teoreetikot¹³, jotka käsittivät matemaattisen fysiikan olennaisena työkaluna tämänkaltaisen maailman mekanistisen selitettävyyden kannalta.

Michelsonin ja Morleyn eivät kehittäneet varsinaista eetterin teoriaa kokeen sisällön kautta. Viitekehysten esille nostamisella on kuitenkin merkittävä syy. Monesti käytetään nykyistä viitekehystä arvioitaessa menneisyyden tapahtumia. Viitekehys on kuitenkin tieteen teoriassa keskeinen sisältö teorianmuodostuksen kannalta. Siksi 1800-luvun ja 1900-luvun alun tieteellisen kehityksen arvioinnissa joudutaan käyttämään oman aikansa maxwellilaista viitekehystä, jonka keskeinen osa eetterin teoretisointi oli. Varsinkin suomenkielisessä aiheen tutkimuskirjallisuudessa tämä on jätetty vähemmälle huomiolle. Omana järjkeilynä tälle on se, että tutkimuksissa on käytetty enemmän modernia viitekehystä, kuin sen aikaista, mitä pyritään kuvaamaan.

Vaikka eetterin teorianmuodostuksen kannalta Michelsonin ja Morleyn panostus päättyi koejärjestelyyn, MM-kokeen vaikutuksia eetterin teorialle jatkokehittävät eetteriteoreetikot ympäri maailmaa. Käytännössä eetterin ajatuksen kehittäminen jatkui pitkälti 1900-alun jälkeen vielä kaksi vuosikymmentä, aluksi täysin huolimatta Einsteinin suhteellisuusteorian tarjoamasta vaihtoehtoisesta selitysmallista. Michelsonin ja Morleyn kokeella oli siten merkittävä rooli aiheen teoreettiselle kehitykselle, joka kulminoitui eetterin idean umpikujaan fyysikaalisissa tieteissä.

MM-KOKEEN TERMEISTÄ

Monesti kokeen suomennoksissa on epäselvyyttä siitä, mitä kokeessa pyrittiin mittaamaan ja miksi. Perustan nämä väitteeni sille, että yleisesti käytetty eetterituuli ei lyyrisyydestään huolimatta kuvaa kokeen käytännön funktioita, tarkoituseriä ja tuloksia. Tuuli antaa mielikuvia vapaasti vellovasta ilmapirrasta, mitä eetteri ei suinkaan ollut. Kokeessa pyrittiin mittaamaan ja sitä kautta todentamaan eetterin vaikutusta va-

lon nopeudelle. Optisesti kokeella pyrittiinkin todentamaan Augustin Jean Fresnelin (1778–1827) ether drag -hypoteesia. Toisin sanoen hypoteesissa oli kyseessä maapallon liikkeen synnyttämästä eetterivedon siirtymävaikutuksesta¹⁴ maapalloa ympäröivässä eetterissä.¹⁵

Fresnelin hypoteesista oli kuitenkin kulunut jo yli sata vuotta ja varsinaisista käytössä olleista eetterihypoteeseista valtaosa perustui James Clerk Maxwellin (1831–1879) teoriaperinteeseen sähkömagneettisella selitysmallilla varustetulle eetterille. Kannatetuista ja tutkituista eetterihypoteeseista ja niiden sisällöistä kannattaa tutustua aikalaiskirjallisuuden kannalta Whittakerin teokseen *A History of the theories of aether and electricity* (1909) tai tutkimuskirjallisuuden näkökulmasta Olivier Darrigolin *Electrodynamics from Ampère to Einstein* (2000).¹⁶

Eetterihypoteesin muoto ei kuitenkaan koskettanut Michelsonin ja Morleyn tutkimusta kuin viitteellisellä tasolla. Se oli fyysikantieteiden viitekehysten keskustelua, jota etupäässä kävivät kärkeilinjan teoreetikot, Maxwellin jalanjäljissä. Eetterituuli on terminä yksi ripaus tämän keskustelun populaarin puolen rippeitä, joka ajoittuu Fresnelin aikaan, ei Maxwellin jälkeiseen eetterihypoteesien monitieteellisen kehittämisen aikaan:

“Upon considering the phenomena of the aberration of the stars, I am disposed to believe that the luminiferous aether pervades the substance of all material bodies with little or no resistance, as freely perhaps as the wind passes through a grove of trees.”

Fresnel - Whittaker 1910, 115.

Fresnelin sanat olivat kaukana maxwellilaisesta eetterin jähmeämmästä mekaanisesta ajattelusta, oli sen muoto sitten nestemäinen, elastinen tai muu olomuodollinen variaatio. Maxwell itse käytti mieluummin eri tyyppisiä hybridimalleja ja yhdisteli eri

ideoita etterin mekaniikkaan liittyen. Fresnelin ajatukset olivat aiheen kannalta valon aaltomaisessa liikkeessä ja sen optisissa vääristymissä. Aiheen kommentaattorit ovat kuitenkin ottaneet tavakseen käyttää eetterituulta, huolimatta siitä että se ei tutkimuksellisesti ollut enää käytännöllinen termi.¹⁷

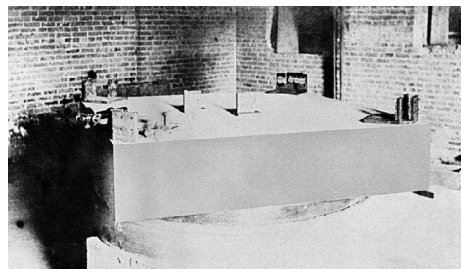
Toinen termi, joka kokeen osalta on suomalaisittain hankala kääntää, on varsinainen kokeen tutkimuskohde, eli ether drift. Sana kääntyy toiminnon kuvauksen kannalta karkeasti etterin aiheuttamaksi valon liukumavaikutukseksi. Vuoden 1887 kokeessa pyrittiin havainnoimaan Fresnelin eetterivedosta seurannut liukumavaikutus valolle, jolloin valo liikkuaan silloisen koetulkinnan mukaan aaltolina eetterissä, olisi viiveellisesti liukunut suoralta kurssiltaan maata ympäröivän etterin vaikutuksesta. Tällöin eetteri olisi muodostanut valonkululle optisen vääristymän. Tätä maata ympäröivää syrjäytyntä eetteriä kuvattiin sanalla displacement, kuten aiemmin Fresnelin kohdalla on todettu.

MICHELSONIN JA MORLEYN KOE

Jälkikäteen ajatella MM-kokeen voidaan oleen yksi kokeellinen jatkumo Michelsonin kokeille, aina vuodesta 1881 asti. Morley astui tähän jatkumoon mukaan tiivimmin vuoden 1885 kokeen tapauksessa, sekä seuraavan vuoden kokeessa. Tutkimukselliselta tulokulmaltaan kokeet olivat samantapaisia, niissä pyrittiin todentamaan optisesti maan absoluuttista suhdetta sitä otaksutusti ympäröivään eetteriin. Kuitenkaan kyseessä ei ollut koesarja, koska vuoden 1881 Michelsonin kokeessa pyrittiin tutkimaan maan liikettä eetterissä, vuonna 1885 pyrkimyksenä oli uusia Fizeaun koejärjestely¹⁸ tarkemmilla laitteilla. Seuraavan vuoden kokeen Michelson teki myös Morleyn kanssa, tällä kertaa he yrittivät löytää eetterin vaikutusta valon nopeudelle Fresnelin ether drag -hypoteesin

mukaisesti. Huolimatta siitä, että vuoden 1885 ja 1886 kokeissa oli tarkkuusongelmia, muutamat tunnetut teoreetikot, kuten amerikkalainen Josiah Willard Gibbs (1839–1903), hollantilainen Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928), englantilainen (Lordi Rayleigh) John William Strutt (1842–1919), vaikuttivat positiivisessa mielessä rakentavalla kritiikeillä koejärjestelyiden teoreettiseen kehitykseen. Interferometriä pidettiin hyvänä laitteena tulosten tarkkuuden kannalta, vaikka laitteen vakaus aiheutti jonkin verran ongelmia. Tämän vuoksi varsinkin Lorentz ja Rayleigh pysyivät vuoden 1886 kokeelle uusintaa korjauksin.¹⁹

Optisesti kokeessa pyrittiin löytämään poikkeamia valon aallonpituuksissa, kun eri kulmissa tehtyjen mittausten tuloksia verrattiin keskenään. Michelson suunnitteli interferometrin mittaamaan ja hyödyntämään Thomas Youngin (1773–1829) löytämää valon interferenssiä²⁰, eli hyödyntämällä valoaltojen häiriöitä Michelson pyrki tarkasti määrittelemään etterin vaikutusta valon nopeudelle. Kokeessa laatan kulmassa olevasta argand-lampusta ohjattiin valo koealustan keskelle puolihopeoituun peiliin, joka jakoi valonsäteen suoraan peilin läpi jatkavaksi ja 90 asteen kulmassa heijastuvaan valonsäteeseen. Näin lampusta tuleva valonsäde hajautettiin L-muotoisesti eri suuntiin. Kummassakin L-valonkulun reitin päässä oli peili, joka heijasti valon takaisin

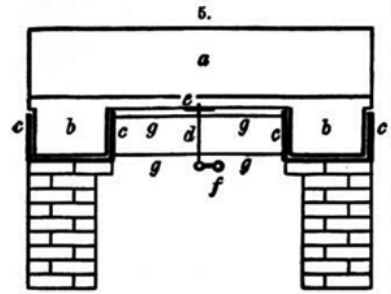


Michelsonin ja Morleyn vuoden 1887 interferometri Western Reserven kellarissa
Kuva: Case Western Reserve Archive

keskellä olevaa peiliä kohden. Tällöin puolihopeoitu peili päästi lävitseen aiemmin heijastetun valonsäteen ja matkaansa suoraan jatkanut valonsäde heijastettiin keskellä olevan peilin toiselta puolelta, jolloin valonsäteet yhdistyivät takaisin ennen teleskooppia. Michelson ja Morley olivat otaksuneet, että valonsäteiden yhdistyessä takaisin, riippuen kulmasta eetteriin nähden, toinen valonsäde olisi hitaampi, johtuen Fresnelin eetterive-tohypoteesista. Tällöin eetterin olisi pitänyt synnyttää vähintään noin 0.4 aallonpituuden vääristymän, eli kahden valon aallon interferenssi olisi pitänyt olla vaimenevaa.²¹

Interferometrin vakaana pitämiseksi Michelson ja Morley käyttivät moninaisesti rakennettua alustaa, jonka tärkeimpänä tehtävänä oli pitää laite vakaana koko mitausten aikana. Laitteen tuli siis olla vaakatasoltaan vakaa, jotta edellisten vuosien mitausvirheet eivät toistuisi. Laitetta jouduttiin myös kiertämään koejärjestelyssä 360 astetta, jotta saataisiin havainnoitua valon kulkua eri kulmissa otaksuttuun eetteriin nähden. Tämän takia laitteen vakaana pitäminen sekä koemittauksen että laitteen kääntämisen aikana oli äärimmäisen tärkeää.²²

Kuten Michelsonin ja Morleyn vuoden 1887 artikkelin havaintokuvasta voi päätellä, interferometrin alusta tehtiin kerroksittain. Ensimmäinen koealusta tosin tuhoutui Casen yliopiston päärakennuksessa ja koealusta jouduttiin uudelleenrakentamaan yliopiston toisen rakennuksen kellarissa. Ensimmäinen alempi osa oli kivinen jalusta, jonka päällä lepäsi rengasmaisen allas. Allas oli täytetty elohopealla, jota kokeessa oli käytetty n 200lb, eli n. 90.7 kg elohopeaa. Morleyn kemistintaustan huomioiden elohopea on suurella todennäköisyydellä ollut hänen lisäyksensä koejärjestelyyn. Elohopean tarkoituksena oli pitää interferometri käännösten aikana mahdollisimman vakaana. Allasrenkaan keskikohdalla oli kampi, josta pystyttiin kääntämään laitetta 360 astetta. On tosin huomionarvoista että



Interferometrin pohjatyöt alhaalta ylöspäin, tiilialustat, rengasallas c, elohopea b, hiekkakivilaatta a.
Kuva: Michelson&Morley 1887, 335.

kampea ei käännetty kokoajan vaan sillä annettiin tarpeellinen määrä voimaa laitteen kääntymiselle. Mikäli kampea olisi väännetty sen kääntämisestä aiheutuva nykivä liike olisi saattanut pilata kokeen tarkkuutta. Interferometriä tukeva hiekkakivilaatta kääntyi kokeen julkaisun mukaan kuudessa minuutissa koko 360 asteen kierroksen. Michelsonin aiempia kokeita olivat haitanneet esimerkiksi laitteen kääntämisestä tutkimustuloksille aiheutuneet häiriöt, joiden vuoksi laitteen vakauttamisen eteen nähtiin hyvin paljon vaivaa.²³

Optisten laitteiden pidikkeet olivat valuraudasta tehtyjä ja ne oli kiinnitetty tarkasti hiekkakivilaattaan. Kiinnikkeet, linssit ja peilit valmisti pittsburgilainen John A. Brashear, joka oli myös kehittänyt menetelmän kokeessa käytetyn puolihopeoidun peilin valmistamiseksi. Valonlähteenä käytettiin argandilamppua, joka natriumin avulla tuotti keltaisena tasaisesti palavan valon. Tasaisuus helpotti optisten osien sijoittamista niin, että voitiin hyödyntää valoallon pituuksia. Kokeen aikana käytettiin tosin valkoista valoa, koska siitä pystyi tarkemmin huomaamaan valoallonpituuksien poikkeamia.²⁴ Kuvassa interferometrin osien päälle oli rakennettu puusuoja, jonka tehtävänä oli estää ilmavirtaukset ja pitää lämpö mahdollisimman tasaisena. Koejärjestelyn

valmistuttua Michelson ja Morley tekivät viisipäiväisen mittauskokeen 8–12.7.1887, jossa he suorittivat 36 interferometrin kierrosta yhteensä noin kuuden tunnin aikana. Yli puolet kokeen ajasta kului siis hermostuttavan hitaaseen ja tarkkuutta vaativaan interferometrin alustan kääntelyyn.²⁵

Ennen koetta tulokseksi oli arvioitu eetterin aiheuttavan valolle noin 0.4 valon aallonpituuden vääristymän, mutta kokeessa havaittu vääristymä oli huomattavasti pienempi. Michelsonin ja Morleyn arviona oli vuoden 1887 julkaisussa, että vääristymä oli alle 20 kertaa pienempi kuin odotettu vääristymä ja hyvin todennäköisesti yli 40 kertaa pienempi kuin oletettu vääristymä. Koska vääristymä oli niin pieni, Michelson ja Morley kirjoittivat tutkimukseen, ettei Fresnelin hypoteesi valon vääristymästä voinut pitää paikkansa. Kokeessa ei siten havaittu eetterin aiheuttavan minkäänlaisia optisia häiriöitä valon nopeudelle.²⁶

Michelsonin ja Morleyn kokeen mekaniikan historian kannalta olennaisempaa oli interferometrin laitteen ja interferometriikan kehityksen jatkaminen Fizeaun vastaavasta laitteistosta. Laitteelle löytyi myös varsinkin Michelsonin käsissä uusia käyttötarkoituksia ja Michelson uudelleen nimesi eri kombinaatioina laitetta esimerkiksi valon säteiden käyttäminen metrin eksaktissa mittauksessa. Interferometrillä tuli siten yksi tarkimpia optisen mittauksen välineitä ja on vieläkin monelle alan ammattilaisella yksi funktionaalisesti kauneimpia laitteita. Jo Michelsonin omana aikana laitteen hyödyntäminen mittauksissa oli tarkkuudeltaan niin ilmeinen, että laitteen kehitys lähti räjähtävään kasvuun. Laitteesta tehtiin seuraavina vuosikymmeninä lukuisia variaatioita, mutta perusidea jäi hyvin samanlaiseksi.²⁷

LODGEN EETTERIKOKEET

Vastineena Michelsonin ja Morleyn vuoden 1887 kokeen tuloksille Oliver Lodge pyrki omilla koejärjestelyillä todentamaan eetterin olemassaoloa ja kartoittamaan eetterin ominaisuuksia sähkömagneettisesti ja optisesti. Koska MM-koe oli tarkkuudeltaan siihen asti etevimpiä optisia koejärjestelyitä, siitä voitiin johtaa suora, mutta aiempaan tietoon verrattaen ongelmallinen lopputulema. Michelson ja Morley joutuivat toteamaan että mikäli eetteri olisi olemassa, sillä ei olisi havaittavia optisia ominaisuuksia. Kokeen tarkkuus aiheutti pääosin kahdenlaista teoreettista jatkokehitystä. Ensimmäinen oli tunnetumpi eetteriskeptisyyden kasvu 1900-luvun alussa. Toisena vaikutuksena eetteriä koskevalle teorianmuodostukselle oli, että eetteriä koskevissa kokeissa pyrittiin löytämään erilaisia tulokulmia optisten kokeiden lisäksi. Oliver Lodgen kokeen järjestely oli hyvä esimerkki Michelsonin ja Morleyn kokeen vaikutuksista eetterin kokeelliselle tutkimukselle.²⁸

Koska MM-kokeen optinen tarkkuus oli erittäin tarkka, koe onnistui tyhjentävästi pysäyttämään suuren osan eetterin optisten ominaisuuksien spekuloinnista. Tältä osalta väitän, että koe itsessään aiheutti muutoksen siinä, kuinka eetteriä pyrittiin kokeellisesti tutkimaan seuraavina vuosikymmeninä. Väitettä tukevat Lodgen vuosien 1891–1897 kokeet. Lodge oli yksi keskeisistä maxwellilaisen eetterihypoteesin teoriaperinteen jatkajista. Moni näistä jatkajista oli lähes yksinomaan teoreetikkoja, mutta Lodge poikkesi tästä tekemällä monia eetterin ominaisuuksia tutkivia kokeita ja jatkamalla Michelsonin ja Morleyn interferometrin soveltamista. Tästä Lodgen kokeellisesta jatkumosta on Bruce Hunt kirjoittanut artikkelissa *Experimenting on the Ether: Oliver J. Lodge and the Great Whirling Machine* (1986).²⁹ Huntin argumentti on oikein, mitä tulee käytettyyn interferometrin

soveltamiseen Lodgen kokeissa. Lodgen koe oli sen kannalta suoraa jatketta Michelsonin ja Morleyn kokeelle. Ottamalla käyttöön laajan kirjon eri fysiikan osa-alueiden sovelluksia eetterin todentamiseen pyrkivissä kokeissaan vuosina 1891–1897, Lodge tutki peräänantamattomasti vuosien ajan erilaisia eetterin mahdollisia ominaispiirteitä ja mekanismeja.

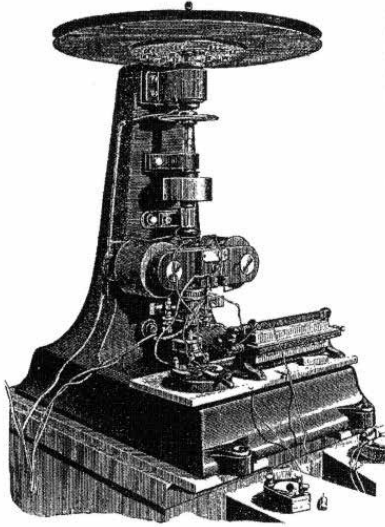
Lodgen koejärjestelyn tuloksena syntyi vuoden 1893 tutkimus valon vääristymän havainto-ongelmista suhteessa eetteriin. Samaa koetta käsittelevä myöhempi (1897) kertoo jo otsikossaan olennaisesti ongelman ytimen: ”Experiments on the absence of mechanical connexion between ether and matter”³⁰. Ongelma oli iso teoreettisesti, varsinkin koska Lodge seurasi eetterin suhteen maxwellilaista teoriaperinnettä³¹, jossa ydinajatuksena oli eetterin ja materian mekaaninen suhde. Suhdetta voidaan yleisesti kuvata sähköilmiöissä staattiseksi ja magneettisten ilmiöiden kohdalla kineettiseksi. Lisää maxwellilaisen eetterifysiikan hybridinomaisesta luonteesta on esittänyt Bruce Hunt kirjassa *Maxwellians* (2005), viitaten Maxwellin pyrkimykseen yhdistää sähköisiä ja mekaanisia ilmiöitä.

Maxwellin teoretisointi eetterin olomuodosta pohjautui hänen käsityksilleen sähköisten ja magneettisten ilmiöiden yhteydestä. Hän lainasi James MacCullaghin (1809–1847) ideaa elastisesta kiinteästä eetteristä magnetismin kohdalla ja sähköön kohdalla Maxwell käytti eetterin siirtymiä³² kuvaamaan sähköön syntyä eetterissä. Käytännössä Maxwellin ajatukset eetterin toiminnasta muokkasivat eetterin olomuotoa hybridinomaisella yhdistelevyydellään elastisen kiinteän ja fluidin³³ olomuodon ideoita. Maxwell ei kuitenkaan jättänyt jälkeensä eksaktia kokonaiskuvausta eetterin olomuodosta ja toiminnasta, vaan käytti eetteriä viitekehystenä tieteelliselle työlleen. Lodgen kohdalla tämä teoreettinen perintö vaikutti siihen, että Lodge etsiessään eetterin vaiku-

tuksia ei ainoastaan etsinyt eetterin olemassaoloa, vaan lähtökohtaisesti kaikki eetterin mahdolliset olomuodot ja ominaisuudet olivat avoimena.³⁴

Lodgen eetterin viskositeettia tutkiva koejärjestely oli mielenkiintoisen moninainen mekaaniselta toteutukseltaan, sekä koeosien teollisen tuotannon kannalta.³⁵ Lodgen kokeiden laitteistot tai niiden yksittäiset osat tilattiin teollisilta yhtiöiltä, toisin kuin MM-kokeen käsityönä valmistetut laitteiston osat.³⁶ Lodge yhdisti kokeissa eri tyyppisiä laitteita, joiden yhteistarkoituksena oli aiheuttaa ja todentaa eetterissä sähkömagneettisia tai optisia häiriöitä. Lodge on kirjoittanut kirjassansa *Ether of space* (1909) viidennessä luvussa selkeän koonnin koejärjestelystä. Kirja antaa myös hyvän kuvan siitä, millaiset olivat maxwellilaisten tutkijoiden ydinjoukon huolenaiheet ja tulkinnot Michelsonin ja Morleyn kokeesta 1900-luvun alussa.

Eetterin viskositeettia tutkiakseen Lodge rakensi ensin pyörrelaitteen³⁷, jonka tarkoituksena oli aiheuttaa jonkinasteista häiriötä ympäröivään eetteriin. Häiriön laatu ja mekaniikka riippui paljolti siitä, miten laitetta käytettiin. Pyörrelaite koostui Messrs. Mather & Platt:n toimittamasta dynamosta, eli nykyisin termein tasavirtaisesta sähkömoottorista. Moottori pyöritti saman suuntaisesti kahta halkaisijaltaan yhden jaardin, eli 0.9144 metrin kokoista teräskiekkoa, jotka oli asetettu päällekkäin. Niiden väliin oli jätetty yhden tuuman, eli 2,54cm verran tilaa, joka toimi kokeiden koekenttänä. Teräskiekkojen valmistaja, Sheffieldissä, pohjoisessa Britanniassa toiminut Seebohm & Dieckstahl, toimitti kiekot Lodgelle ohjeistuksella, että kiekot kestäisivät noin 8800 kierrosta minuutissa, jolloin niiden arvioitu lujuus oli 67 tonnia neliötuumalta. Täysiä kierroksia ei kuitenkaan voitu testata, koska kiinnikkeiden lujuus kesti arvioidusti noin 6000 kierrosta, eikä valmistaja tämän vuoksi suosittelut yli 4000 kierrosta minuutissa.



Havaintokuva eetteripyörrelaitteesta.
Kuva: Lodge 1909, 76.

Lodge käytti laitetta alle 3000 kierrosta minuutissa, suurimpana eksaktina mainintana, että hänen avustaja Benjamin Davies käytti laitetta 2800 kierroksen nopeudella.³⁸

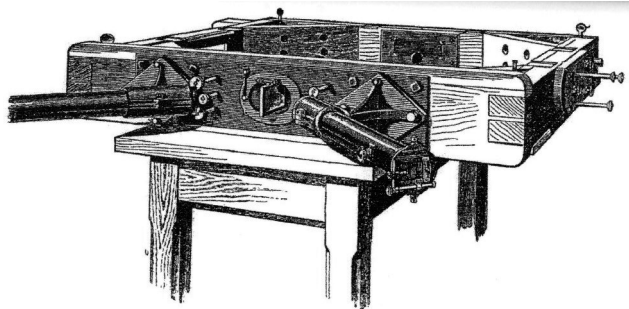
Koejärjestelyn kannalta tärkein osuus koejärjestelyssä ei ollut kiekkojen nopeus vaan kierrosten säännönmukaisuus ja tasaisuus. Tämän vuoksi laitetta käytettiin vaihdellen 800-1260 kierrosnopeuksien välillä. Pyörrelaitteen vakaus oli tärkeää, koska sen ympärille Lodge rakensi avustajansa kanssa optisen mittauslaitteen, joka oli suora muunnos Michelsonin ja Morleyn interferometrillä. Tämän laitteen tarkoituksena oli olla varsinainen kokeellinen mittauslaite, jolla voitaisiin mitata MM-kokeen tavoin eetterin aiheuttamia häiriöitä valon nopeudelle. Merkillepantavaa tosin oli että MM-kokeesta poiketen tämä optinen koe tehtiin 800-1260

Koelaitteiston optinen osa.
Kuva: Lodge 1909, 79.

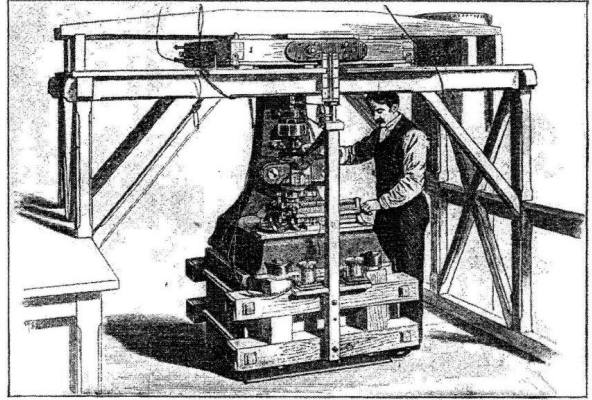
kierrosta minuutissa pyörivien, lähes metrin halkaisijan kokoisten teräskiekkojen välissä. Laitteen virrankulutuksesta Lodge on maininnut vuoden 1893 julkaisussa, että 1250 kierroksen nopeudella virtaa kulutuksen ja määrän 385 wattia, jännitteellä 27.5 volt. ja 14 ampeeria.³⁹

Perusteena teräskiekkojen käytölle oli eetterin arveltu kineettinen suhde materiaan nähden, jolloin kappaleen magnetisointuminen voitiin nähdä maxwellilaisen eetterihypoteesin mukaisesti olevan seurausta eetterin ja materiaan välisestä kineettisestä kitkasta. Tämän vuoksi Lodge teki välillä kokeita magnetisoimalla kiekot. Hän myös testasi kiekkojen varaamista sähköllä, jolloin eetterihypoteesin mukaan olisi pitänyt tapahtua kineettistä kitkaa pyörivien teräslavyjen välissä. Kumpikaan maxwellilainen hypoteesi eetterin toiminnasta ei kuitenkaan näillä kokeilla todentunut.⁴⁰

Kaikkien vaikeuksien, kuten kitkaa esittäen öljyn roiskumisen, laitteiden tärinän ja muiden epävakausongelmien jälkeen koelaitteisto saatiin toimimaan interferometrin tarkkuutta vaativalla tavalla. Yhtäältä Lodgen peräänantamattomuuden, toisaalta ulkoisen rahoituksen ansiosta projektia pystyttiin pitämään yllä kuuden vuoden ajan. Pääasiassa koetta rahoitti tiedettä tukenut menestynyt kauppias George Holt ja hänen veljensä Alfred. He rahoittivat valtaosan koelaitteiston 1000 punnan kuluista sekä tutkimuksen vuotuisista 300 punnan kuluista. Myös Royal Society auttoi vuosittain



Kokonaiskuva Lodgen eetterikoneesta.
Kuva: Lodge 1909, sivu V.



1890 jälkeen projektia 150 punnan tuella, joka oli tarkoitettu koeavustaja Benjamin Daviesin palkkaa varten. Rahoitus ei ollut itsestäänselvyys, tältä osin Bruce Hunt on kuvannut elähdyttävällä tavalla Lodgen edesottamuksia oman tieteellisen työn mainostamisessa. Lodge oli eläytyvä puhuja esitellessään tutkimuksiaan julkisissa puhetilaisuuksissa ja hän lähetti koetuloksiaan ympäri maailmaa arvostamilleen tiedemiehille ja vaikuttajille.⁴¹

Lodge sai Michelsonin ja Morleyn tavoin kaikista kokeistaan tyhjät tulokset, äärimmäisen tarkoista koejärjestelyistä huolimatta. Lodge oli kokeillut mm. kolme tuntia jatkuvaa tasaista kierrosta ennen varsinaisia valoallon interferenssimittauksia interferometrillä. Tällöin ideana oli, että mahdollinen kitka olisi voinut kertyä levyjen väliin kolmen tunnin aikana, suurentaen eetterin liukumavaikutusta valolle. Tällöin koe olisi voinut palauttaa Fresnelin ether drag -hypoteesin todennäköisten hypoteesien joukkoon. Myöskään kiekkojen magnetisointi tai sähköisesti varaaminen ei ollut tuottanut tulosta. Näiltä osin Lodge vei koettaan lähemmäs teoreettista katsantokantaansa, käyttämällä MM-kokeen optisten ominaisuuksien lisäksi magneettisia ja sähköisiä koejärjestelyitä todentaakseen eetterin mekaanista luonnetta.⁴²

Lodgen kokeiden tulkinta myötäili maxwellilaista tulkintaa, koetulosten teorianmukainen löytymättömyys johti suoraan negaatiolla selitettävään lopputulokseen, eli kun tuloksia ei löytynyt, oli se itsessään vain todiste eetterin ominaisuudesta, eikä eetterin olemassa olemattomuudesta. Lodge ei muuttanut kantaansa päinvastaisten todisteiden kasaantuessa 1900-luvun alussa. Lodge sai ensi alkuun nauttia koejärjeste-

lynsä kautta hyvästä maineesta. Vuonna 1898 hänet palkittiin Royal Societyn Rumford -mitalilla. Hänet myös aateloitiin vuonna 1902. Lodgen tieteellisen elämän kannalta nämä olivat hänen uransa huippuhetkiä.⁴³

Kuitenkin Lodgen elämä oli tätä yleistä fysiikan tarinaa värikkäämpi. Hänen jyrkät käsityksensä eetterin olemassaolosta ja teoriasta eivät järkkyneet edes suhteellisuusteorian vallatessa fysiikan kenttää. Sitä vastoin hänen käsityksensä eetteristä sekoittuivat filosofisiin ja uskonnollisiin pohdintoihin, joita hän julkaisi monografioina eläkepäivillään. Näitä julkaisuja ovat muun muassa *Reason and belief* (1910), sekä myöhempi teos *Ether and reality* (1925). Näistä julkaisuista voi havaita Lodgen näkemyksen kristallisoitumisen eetterin näkökulmasta uskonnollisempaan suuntaan. Tältä osin Lodgen myöhempi kirjallisuus filosofisena kannanottona vastaa filosofian, uskonnon ja mekaniikan sisällöltään hyvin läheisesti Gottfried Wilhelm Leibnizin (1646–1716) monadologista (1714) maailman selitystä. Lodgelle eetteri oli elämänsä loppuvuosina jotain suurempaa kuin vain teoreettinen materian väliaine:

"It is the primary instrument of mind, the vehicle of soul, the habitation of spirit. Truly it may be called the living garment of God."

Lodge 1925, 179.

JOHTOPÄÄTÖKSET

On huomionarvoista että eetteriteoreetikot ajattelivat eetteriin liittyvistä kokeista tietyllä alkuoletuksella, johon vaikutti usko eetterin olemassaoloon fysikaalisesti tärkeänä funktiona maailman toimintojen kannalta. Kun hypoteesia ei tietyistä eetterin ominaisuuksista pystytty kokeella löytämään, koe epäsuorasti todensi teoreetikkojen mielestä eetterin tiettyjä ominaisuuksia. Tämän epäsuoran todistamisen logiikalla eetterin tutkimuksessa 1900-luvulla eetterille annettiin hurjia ominaisuuksia. Jos eetteriä ei optisesti havaittu se oli näkymätön. Jos eetteristä ei aiheutunut aineen liikkeelle kitkaa, sen kitkakerroin oli nolla. Esimerkkejä syntyi 1900-luvun alussa runsaasti.

Michelsonin ja Morleyn kokeessa oli kyseessä käytössä olevien konseptien toimivuus. Koska Fresnelin hypoteesin mukaisia optisia havaintoja ei voitu suoraan saavuttaa, eetterin tutkiminen monimuotoistui. Ruvettiin etsimään uusia tulokulmia niin teoreettisesti kuin kokeellisesti. Tässä artikkelissa on esitetty yksi suurimpia kokeellisempia muutoksia. MM-kokeen aiheuttaman optisen varmuuden vuoksi ei enää pitäyditty yli sata vuotta vanhoissa hypoteeseissa, vaan alettiin hakea kokeellista varmuutta eetterin ominaisuuksista ja lopulta, eetterin olemassaolosta käyttämällä laajempaa kirjoa fysikaalisia menetelmiä.

Oliver Lodgen kokeet vuosina 1891–1897 olivat suuri yritys ratkaista ongelma erilaisilla magnetismin ja sähköilmiöiden yhdistelmillä, joita pyrittiin hyödyntämään yhteydessä mekaanisiin ajatusmalleihin eetterin mahdollisesta toiminnasta. Lodge laajensi siten huomattavasti kokeellista kattavuutta alkuperäisestä puhtaan optisesta kokeesta. Tämä toiminnan laajentuminen tuotti myös erilaisia ajatusperheitä eetterin tutkimuksen kannalta keskeisen maxwellilaisen perinteen lisäksi. Mainittavampia näistä ovat Joseph Larmorin *A dynamical*

theory of the electric and luminiferous medium. –Part II. Theory of electrons (1895), sekä myöhempi Hendrik Lorentzin *The theory of electrons* (1909). Michelsonin ja Morleyn koe siten avasi ongelmallisuudellaan fysiikan viitekehysten kehitykselle oven, jota käytettiin ei ainoastaan eetterin tutkimiseen vaan myös tulevaisuuden konseptien ja käsitteiden teoretisointiin.

Näiden perusteiden tutkimisessa, termien, menetelmien, ajatusmallien sekä eri yhteistyövaikutusten kannalta systemaattinen analyysi on hyvä menetelmä aukomaan uudelleen jo laajalti kirjoitetuista aiheista uusilla näkökulmilla. Menetelmällä voidaan tuoda käsittelyn kannalta parempaa tarkkuutta aiheen analyttiseen tarkasteluun ja laadulliseen historiankerronnalliseen rekonstruktioon menneistä teorioista sekä niiden kehittämisestä.

Anakronistinen tapa ajatella historiaa on kuitenkin puolittotuutta. Nykyisin on helppo sanoa, missä järjestyksessä toimivat teoriat ja ideat keksittiin ja unohtaa nämä historiallisesti tärkeät, mutta kokeelliselta logiikaltaan vähemmän mairittelevat kokeet. Tältä osin totaalihistoriallisen tutkimusperinteen suuntaan pyrkiminen toimii paremmin tutkimuksellisena lähtökohtana. Tällöin yksittäinen rekonstruktio on osa kokonaisuutta, kuten Michelsonin ja Morleyn koe osana teknillistä kehitysjatkumoa, ei ainoastaan interferometriikan kohdalla, vaan myös Lodgen eetterikokeiden kohdalla. Samasta syystä myös aiheen historiallisessa pohdinnassa joudutaan miettimään enemmän maxwellilaista teoriaperinnettä, kuin jälkepäin muodostunutta suhteellista fysiikan viitekehystä, jotta koejärjestelyiden kehityksissä käytetyt valinnat ja päämäärät selkeytyvät suhteessa oman aikansa viitekehukseen.

Myös kokeiden funktioiden suomen-tamisessa ja yhdistettävyydessä laajempaan fysiikan historiaan on töitä eetterin viitekehysten suhteen. Eetteritutkimus itsessään

oli yksi suurimpia tieteellisiä umpikujia, mutta sen aikana tuotettiin avainmenetelmiä nykyisen teoreettisen fysiikan ja yleisen fysiikan tarpeisiin. Tältä osalta aihetta on tarpeellista työstää laajemmin historiankirjoituksessa.

Kirjoittaja on FM ja YTM, joka tutkii väitöskirjassaan Maxwellin teoriaperinnettä ja kehittää systemaattisen analyysin menetelmää.



¹ Aiheesta käytetään vakiintuneita termejä Ether drag tai Fresnel drag coefficient.

² Käytän Michelsonin ja Morleyn kokeesta synonyyminä MM-koetta joka on kansainvälisesti vakiintunut lyhenne kokeesta.

³ Swenson 1972, 86–87, 89–90.

⁴ Hannula 2008, 116–122; Jolkkonen 2007, 5, 12–14; Varto 2005, 104–106.

⁵ Swenson 1972, 51.

⁶ Darrigol 2003, 316–318.

⁷ Swenson 1972, 46–47, 83–84.

⁸ Michelson & Morley 1887, 334–336, 341.

⁹ Reichenbach 1953. s.167.

¹⁰ Lodge 1909, 11.

¹¹ Maxwell 1920, 66–67.

¹² Glazebrook 2009, 108.

¹³ Kuten Oliver Lodge, George Francis FitzGerald, Joseph Larmor, Hendrik Antoon Lorentz.

¹⁴ Displacement.

¹⁵ Michelson & Morley 1887, 336: Displacement.

¹⁶ Lodge 1909, 66; Whittaker 1910, 131–137.

¹⁷ Hunt 2005, 22; Michelson & Morley 1887, 334; Whittaker 1909, 115–117.

¹⁸ Hippolyte Fizeaun (1819–1896) vuoden 1851 kokeessa mitattiin valon nopeuden eroja liikkuvassa vedessä. Fizeaun koejärjestelyssä hyödynnettiin valon interferenssiä, kuten MM-kokeessa, suurimpana erona kokeiden välillä oli suurempi tarkkuus koevälineistä johtuen. Osa Fizeaun kokeen interferenssillä saadusta valon vääritymästä aiheutui koelaitteistosta.

¹⁹ Michelson 1881, 120–122; Michelson & Morley 1886, 377–380; Michelson & Morley 1887, 333–335, 343–345; Swenson 1972, 84–88.

²⁰ Swenson 1972, 15

²¹ Michelson & Morley 1887, 335–340.

²² Michelson & Morley 1887, 336–339.

²³ Michelson 1881, 120–129; Michelson & Morley 1887, 337–341; Swenson 1972, 71, 76, 90–94.

²⁴ Michelson & Morley 1887, 338–339.

²⁵ Swenson 1972, 90–94.

²⁶ Michelson 1887, 340–341.

²⁷ Swenson 1972, 96.

²⁸ Michelson & Morley 1887, 341–342, Lodge 1893, 734; Lodge 1897, 164–165, Lodge 1909, 78–80.

²⁹ Hunt 1986, 133.

³⁰ Tutkimuksia mekaanisen yhteyden puuttumiselle eetterin ja materian välillä.

³¹ Käytän muotoilemani käsitettä maxwelliläinen teoriaperinne kuvaamaan eetterin kohdalla ensisijaisesti kolmea asiaa. Ensimmäiseksi eetterin käyttöä teoreettisena viitekehyksenä yhteydessä Maxwellin muotoilemaan mekaaniseen maailman mallintamisen tapaan. Tässä suhteessa toinen asia on tämän mekaanisen ajattelun lähtökohta Maxwellin ajatuksista magnetismista eetterin kineettisenä kitkana ja sähkön ilmiöt eetterin staattisena kitkana. Teorian perinteen sisällön kannalta tätä dualistista luonnetta muokattiin kunkin teoreetikon toimesta tarpeen mukaan, mutta keskeinen viitekehyksen ajattelumalli oli usein mekaaninen. Kolmanneksi, tämä mekaaninen ajattelutapa oli sidoksissa Newtonin absoluuttiseen viitekehykseen, ennen Albert Einsteinin suhteellisen viitekehyksen leviämistä fysiikan tieteissä.

³² Maxwell 1881, 4849, 98–99.

³³ Fluidi, väliaine jossa aineen sisäiset rakenteet voivat liikkua pääasiallisesti vapaasti toisiinsa nähden. Rakenteiden välillä on kuitenkin jäähmyttä kitkan muodossa. Fluidi voi olla eksaktilta olomuodoltaan nestemäinen, kaasumainen tai plasmaa. Fluidin eetterin olomuodon määritelmä yleistyi Oliver Lodgen eetterin viskositeetin tutkimusten jälkeen. (Lodge 1909, 70–80).

³⁴ Hunt 2005, 20–22.

³⁵ Hunt 1986, 118–119.

³⁶ Swenson 1972, 90; Lodge 1893, 757–758.

³⁷ Whirling machine.

³⁸ Lodge 1893, 757–761, 765, 767–770; Lodge 1897, 149–150; Lodge 1909, 70–77.

³⁹ Lodge 1893, 760.

⁴⁰ Maxwell 1920, 15–17, 26–27; Maxwell 1881, 98; Buchwald et. al. 2013, 735–736.

⁴¹ Hunt 1986, 114–115.

⁴² Lodge 1909, 77; Hunt 2005, 22.

⁴³ Lodge 1909, 88–100; Hunt 1986, 132–133.

LÄHTEET JA KIRJALLISUUS

- BUCHWALD, Jed & Fox Robert (Ed.). *The Oxford handbook of the history of physics*. Gooday, Graeme & Mitchell, J. Daniel. art. *Rethinking 'classical physics'*. Oxford University Press 2013, 735–736.
- DARRIGOL, Olivier. *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press 2003.
- DARRIGOL, Olivier. *A History of optics From Greek antiquity to the nineteenth century*. Oxford University Press 2016.
- GLAZEBROOK, Richard. *James Clerk Maxwell and Modern Physics*. Cassell and company, London 1896.
- LEIBNIZ, Gottfried, Wilhelm. *Filosofisia tutkielmia*. Kappale teoksesta *Monadologia (1714)*. Gaudeamus, Helsinki University Press, Helsinki 2011.
- HANNULA, Aino. Kappale *Systemaattinen tekstianalyysi, Kirjassa Avauksia laadullisen tutkimuksen analyysiin*. Tampereen yliopistopaino Oy–Juves Print, Tampere 2008.
- HUNT, Bruce. *The Maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca & London 2005.
- HUNT, Bruce. *Experimenting on the Ether: Oliver J. Lodge and the Great Whirling Machine, Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 16: 111–34, University of California Press, California 1986.
https://www.academia.edu/5724793/_Experimenting_on_the_Ether_Oliver_J._Lodge_and_the_Great_Whirling_Machine_Historical_Studies_in_the_Physical_and_Biological_Sciences_1986_16_111_34
- JOLKKONEN, Jari. *Systemaattinen analyysi tutkimusmetodina*. Joensuun yliopistopaino 2007.
https://www.uef.fi/documents/11461/898474/systemaattinen_analyysi_tutkimusmetodina.pdf/d8acbd26-3140-4168-ae70-9911eb89c8cc
- LINDELL, Ismo. *Sähkötekniikan historia*. Otatieto Oy, Espoo 1994.
- LODGE, Oliver. *The Ether of Space*. Kessinger legacy reprints versio, New York & London 1909.
- LODGE, Oliver. XV. Aberration problems. –A discussion concerning the motion of the ether near the earth, and concerning the connexion between ether and gross matter; with some new experiments. *Philosophical transactions of the Royal Society* 1893. <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/184/727.full.pdf>
- LODGE, Oliver. VI. *Experiments on the absence of mechanical connexion between ether and matter*. *Philosophical transactions of the Royal Society* 1897. <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/189/149.full.pdf>
- LODGE, Oliver. *Reason and belief*. William Clowes and sons, London & Beccles 1910.
- LODGE, Oliver. *Ether and reality*. Hodder and Stoughton, London 1925.
- MAXWELL, James. *An Elementary treatise on electricity*. Reprint 2011, Cambridge University press, Cambridge 1881.
- MAXWELL, James. *Matter and Motion*. Bibliolife reprint. Macmillain CO, New York 1920.
- MICHELSON, Albert & Morley, Edward. art. *On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether*. *American journal of science*, vol. XXXVI: 333–345, Yale University 1887. http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/origins/michelson.pdf
- MICHELSON, Albert & Morley, Edward. art. *Influence of Motion of the Medium on the Velocity of Light*. *American journal of science*, vol. XXXVI: 377–386, Yale University 1886. <https://archive.org/details/americanjournal233unkngoog>
- MICHELSON, Albert art. *The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*. *American journal of science*, vol. XXII: 120–129, Yale University 1881.
<https://archive.org/stream/americanjournal62unkngoog#page/n142/mode/2up>
- PRESTON, Samuel, Tolver. *Physics of the ether*. (Reprint Lightning source UK ltd, Milton Keynes, Iso-Britannia) E&F. N. Spon, London & New York 1875.
- REICHENBACH, Hans. *The Rise of scientific philosophy*, University of California press, Berkley & Los Angeles 1953.
- VARTO, Juha. *Laadullisen tutkimuksen metodologia*. Elan Vital, Lahti 2005.
http://arted.uiah.fi/synnyt/kirjat/varto_laadullisen_tutkimuksen_metodologia.pdf
- WHITTAKER, Edmund Taylor. *A History of the theories of aether and electricity: From the age of Descartes to the close of the nineteen century*, Longmans, Green and CO. London & New York 1910.