

FARADAYN, KELVININ JA MAXWELLIN LÖYTÄMÄ UUSI TODELLISUUS

ASKEL MEKAANISESTA MAAILMANKUVASTA
DYNAAMISEEN

Päiviö Latvus

Raportti SF 18
Helmikuu 1995

ISBN 951-22-2489-5
ISSN 0787-4685
TKK OFFSET

Tiivistelmä

Faradayn, Kelvinin ja Maxwellin yhteistyön tulos merkitsi fysiikan historian käännekohtaa. Newton vielä tutki kappaleen - materiaan - kaukovaikutusta toiseen kappaleeseen, mutta nyt fysiikan tutkimuksen kohteena oli itse vaikuttava kenttä. Faraday loi perustan opille voimakentästä. Newtonin painovoimakenttä oli vielä sidoksissa materiaan, mutta Faradayn paljastama uusi todellisuus, sähkömagneettinen kenttä, esiintyi avaruudessa riippumattomana sen lähettäneestä materiasta. Kelvinin osuus Faradayn innovoijana, löytöjen tulkitsejana ja tunnetuista fysikaalisista ilmiöistä johdettavien analogioiden muovaajana on ollut merkittävä. Hänen osuutensa Ranskan fyysikoilta ja matemaatikoilta tulleen informaation suodattajana ja hyödyntäjänä on niin ikään ollut oleellinen. Maxwell taas teki monimutkaisen arkkitehtonisen osuuden prosessissa sekä matematisoi lopputuloksen. Erääksi fysiikan historian paradokseista voidaan sanoa sitä, että vaikka Ranska oli luonnontieteiden johtava maa Örstedin virikkeiden saapuessa Pariisiin 1820, sen fyysikot eivät, työn alkuun vaikuttanutta panosta lukuunottamatta, kyenneet viemään eteenpäin tutkimusta sähkömagnetismista.

Kiinan tieteellisen kehityksen pysähtyminen on vastaavasti laajemmissa puitteissa paradoksaalinen. Kiinan tiede, joka eteni Aristoteleen aikoina voimakkaasti, jäykistyi seuraavina vuositasoina. Magneettipitoisten malmien ja kompassin 2000 vuoden takainen keksiminen ei houkuttanut kiinalaista luonnon edelleen tutkimiseen. Kiinalainen oppinut totesi vielä 1900-luvun alussa, "ettei Kiina tarvitse omista arvoperusteistaan johtuen lainkaan tiedettä". Uteliasta eurooppalaista möinen toteamus askarruttaa. Mitä sitten on tämä länsimainen luova uteliaisuus? Se on ensinnäkin empatiaa tutkittavaa luomakuntaa kohtaan, uskoa sen kaoottisuudessa piilevään logiikkaan. Se on myös empatiaa, avoimuutta tiedeyhteisöä ja sen tuloksia kohtaan. Se on lopulta empatiaa koko ihmiskuntaa kohtaan. Dynaamisen maailmankuvan kartoittajien Faradayn, Kelvinin ja Maxwellin olemus paljastaa lisää näitä dynaamisia piirteitä.

The New Reality, discovered by Faraday, Kelvin and Maxwell - Abstract

The result of the joint research work of Faraday, Kelvin and Maxwell led to the turning point in the history of physics. Newton was still investigating the action at distance of the invisible field on material particles - but now the object of the physical research was the field of action itself. Faraday laid the foundation to the field of force theory. Newton held for a certain period of time to the idea of passivity of materia and activity of the aether, but Faraday held firmly to his new position - the new reality the electromagnetic field was independent of the matter which generated it. Kelvin was the decisive inspirer and interpreter of Faraday and the moulder of the analogues derived from new physical phenomenon. Kelvin also channelled and filtered for Faraday the results of French research. Maxwell in turn finally formed the construct of the idea of electromagnetic field and the mathematical equations thereof.

The stagnation of French development in the theory of electromagnetism and the actual fall of the development of French physics for decades after the glorious time of Laplace remains a paradox. The impact of Fresnel, Fourier and Ampère was an exception. The stagnation of the whole development of the natural sciences in China is another paradox, considering especially the enormous progress of the scientific mind of Mohists around 400 B.C. The Chinese already discovered magnetic minerals, terrestrial magnetism and the compass 2000 yers ago. The Chinese even claim to have magnetized a piece of iron by means of the terrestrial magnetic field, but they never penetrated to the question of electricity and the magnetic field itself. They were also not interested to get more information on these discoveries in the West. Even at the beginning of this century the Chinese confirmed, that they do not need science at all.

This kind of attitude fills the curious European with wonder. What is this western curiosity all about? It means first of all an empathy towards nature, the matter we face in life - the object of our research. It means also empathy, courage and openness towards scientific society and its results. It means finally empathy towards the whole of mankind. These characteristics were absent from the Confucian spirit. Only Taoists were empathetic towards nature - they became thoroughly submerged in it - but without any logic. Nature was too rich to be understood by the human being. The nature of Mohists was like the scientifically optimal combination of the Confucian and Taoist nature. They had empathy towards nature, but also towards logic. Moreover, they had a rare universal love towards the whole of mankind, as did the Christians the succesful researchers. Mohists also had the courage to take part in scientific dialogue, which Taoists abhorred

Rationalisms pervasive influenced upon the French spirit has probably led to a reticent attitude, similar that of the Chinese, towards the new paradigms which are to be confronted in this novel dynamic nature. Laplacians as well as the German physicists withheld the Newtonian view of action at distance. Laplacians did not believe, that man could ever penetrate the depths of primary causes. Just as during several decades Einstein's theory of relativity was strange for the rest of the scientific community, so were the new views of the Faraday world of fields strange to the French and German scientists. Transl. **Ronnie Lappin**

ASKEL MEKAANISESTA MAAILMANKUVASTA DYNAAMISEEN

Ihmismieli ei voi levätä tyytyväisenä pelkkää ilmiötä katsellen vaan on pakotettu etsimään ilmiöön kätkeytyneitä voimanlähteitä, ja nämä perusvaikuttajat pakottavat meidät myöntämään, että materian ja mielen lait ovat peräisin samasta, kaiken viisauden ja totuuden lähteestä. ^(Maxwell)
Luovuutta on se, kun ihmismieli löytää kaaoksesta syvän, uuden yhtenäisyyden. ^(Bronowski)²

Sähkön, magnetismin ja valon käyttäytymisen lainalaisuuksien selvittäminen lie tiedemiesten rohkeimpia askeleita tuntemattomaan. Ne ovat myös merkinneet suurinta kumulatiivisen kehityksen alkua luomakunnan edelleen tutkimisessa ja hyödyntämisessä. Prosessi on ollut huiman nopea: sata vuotta **Galvanin** kokeista sammakonjaloilla, ja elektronin massan ja sen varauksen keskinäinen suhde oli jo **J.J. Thomsonin** tiedossa - **William Thomsonin** (lordi **Kelvin**) ja **Ernst Rutherfordin** vuorostaan rakentaessa ensimmäisiä malleja atomien rakenteista.

Tämä kehitysprosessi on voimakkaasti aaltoileva ketju maailmankuvien leikkiä - metafysiisiä kuvauksia ja väitteitä luomakunnan ja etenkin sen perusrakenteiden ominaisuuksista. Prosessi käsittää lukuisia virhearvioita, niiden julkisia myöntämisistä ja hypoteesien peruutuksia, oikeita huomioita ja kaikesta huolimatta usein jopa paluuta aiempaan, todellisuudessa vääraan teoriaan. Tutkijan rohkeus liikkua yli näkemysrajojen ei ole yksin todistus hänen kyvyistään, vaan myös hänen maailmankuvastaan.

Kiihdytysvaiheen lähtölaukauksen ampui tanskalainen **Örsted** ja seuraavan sysäyksen, ranskalaisten panokset, antoivat lähinnä **Arago, Ampère, Biot, Fresnel** ja **Fourier**. Kehityksen moottoriksi voidaan nimetä **Michael Faradayn**, Kelvinin ja **James Clerk Maxwellin** luovuuden panokset. Heidän työnsä loi perustan sähkömagneettisen säteilyn kokonaiskuvan löytymiselle ja hyödyntämiselle. Se johti ratkaisevaan askeleeseen materian olemuksen tutkimisessa.

Vaikka Maxwellin teoria ei kyennyt ratkaisemaan aineen olemusta atomitasolla, se oli niin täydellinen, että sen uskottiin antavan vastauksen kaikkeen klassisessa fysiikassa. Lopulta juuri teoriassa ilmenneet muutamat pienet aukot johtivat 50 vuodessa atomiongelman ratkaisuun uudella syvällisellä tasolla. Ilman Maxwellin teoriaa **Einstein, Max Planck** ja muut modernin fysiikan kehittäjät eivät olisi osanneet keskittää panostustaan oikeaan suuntaan - tämän teoriassa havaittuihin aukkoihin.

Einstein arvioi Maxwellin ryhmän tulosta suorastaan vallankumoukseksi, **Ludwig Boltzmann** taas huudahti niiden äärellä: ”Jumalako nämä on kirjoittanut!” Monet vastaavat arviot herättävät kysymyksen, miten ja miksi juuri tämän brittiryhmän ajatustyö johti heidät näkemään nämä lainalaisuudet - kauan ennen muita.

Tieteen kehityksessä on paljon selittämätöntä, stokastisuutta tai tavanomaista aaltoilua, johon rationaalisuuden nimissä ei yleensä oteta kantaa. Tieteen filosofia voi tulla tässä avuksi. Kuten Faraday ja Maxwell avasivat uuden oven tuntemattomaan, niin myös heidän projektinsa tarkastelu voi avata uuden, metafysisen ulottuvuuden, joka vuorostaan voi vaikuttaa omaan tulevaan kehitykseen. Maxwell itse koki tieteen kehityksen historian kaikista oppiaineista mielenkiintoisimmaksi.³

Miksi siis tällä kertaa juuri britit? Koska kiinalaiset keksivät magneettipitoiset malmit ja kompassin jo 100-luvulla, on syytä myös kysyä, miksi heidän fysiikkansa kehitys aikoinaan pysähtyi. Kun **Einsteinilta** kysyttiin, miksi Kiinasta ei tullut monien keksintöjensä kautta tieteen

johtavaa kansaa vaan länsimaista, hän vastasi: ”Mielestäni ei ole ihmeellistä, etteivät Kiinan viisaat astuneet tätä askelta. Hämmästyttävää on, että nämä keksinnöt yleensä on tehty.”

Kun muslimit ajoivat 900-luvulla luonnontieteissä ohi kristittyjen, heidän johtava ajatuksensa oli: ”Epäile kaikkea!” Tämän mukaan myöskään Einsteinin sinänsä oikealta näyttävään arvioon ei tulisi tyytyä. Eurooppalaisilla - ja tässä tapauksessa briteillä - näyttää olleen jotain tai jopa moniakkin etuja, joiden avuin he etenivät muista poikkeavasti luonnontieteissä jättäen kauas taakseen myös muslimit. Erityisesti Kiinan osalta korostuu kytkentä fyysikon ajatusratojen ja hänen maailmankuvansa välillä.

Poikkeuksia Euroopassa ja Britanniassa

Miksi **Laplacen** ajan ranskalaisten osuus pysähtyi Ampèreen? Ranska oli vielä 1800-luvun alussa fysiikan johtava maa ja Laplace sen valovoimainen johtava tiedemies, mutta nyt kehitys sammui vuosikymmeniksi. Saksan tiede oli heräämässä ja sähködynamiikan kehitys jopa loisteliasta, mutta myös Saksan fyysikoiden ajatukset alkoivat urautua.

Maxwellin lopullisen teorian julkaisu paljasti entistä suurempia kansallisia eroja. Vielä 20 vuotta tämän jälkeen, 1885, kun **Michael Pupin** kiersi Amerikan mannerta saadakseen apua Maxwellin yhtälöiden ymmärtämiseen, kukaan ei osannut selittää Maxwellia. Euroopassa Pupin etsi opastusta Cambridgestä, jossa Maxwell oli aiemmin opettanut, mutta turhaan. *Maxwellistejä* hän ei epäonnekseen tavannut. Jostain syystä kysymys ei kiinnostanut muita brittifysikoita. **Max Planckin** myöhemmän arvion mukaan Saksassa ajatus siitä, ettei dynaaminen sähkökenttä lainkaan hyödyntäisi newtonismin mukaista *kaukovaikutusta*, oli niin outo, että Maxwellin teorialat jäivät kauaksi aikaa saksalaisten ymmärryksen ulkopuolelle, jopa ilman heidän huomioon. Lopulta vasta **Ludwig Boltzmann** Berliinissä kykeni auttamaan Pupinia.

Olisiko ehkä koko sähkökenttäteorioiden kehitysprosessi tuntuvasti viivästynyt ilman kyseisiä britejä? Faradayn itsepintainen, vuosia kestänyt ja ahdistukseen saakka johtanut pitäytymisen linjassaan, fyysikkojen enemmistöä vastaan, on osoitus yksilöllisten visioiden merkityksestä tieteen vallankumouksissa. Faradayn löydöt eivät olleet kuin ilmassa - kenen tahansa poimittavina. Amerikkalaisen fyysikon **Joseph Henryn**, Faradayn kanssa samaan aikaan löytämä induktio-ilmiö on kuin poikkeus Faradayn löytöjen sarjassa. Tieteen kehitys ei ole itsestäänselvyys eikä useinkaan pakon sanelema. Sähköakun satavuotinen, liki täydellinen kehittämättömyys sitten **Edisonin** antaa aihetta moiseen kysymykseen. Sähkönkäytön kehityksen historia Faradayn ja Maxwellin panosten jälkeen vuosisadan vaihteessa osoittaa, ettei Maxwellin ryhmän työhön ollut pakottavaa syytä, jota sähköauton kehityksen tarve sen sijaan on viime aikoina jo osoittanut.

Toinen poikkeuksellisuutta osoittava piirre ilmenee tarkkailtaessa Maxwellin ryhmän henkilöhistoriaa. Faraday, tieteen tuhkimona Lontoon slummeista, teki löytönsä vailla mitään korkeampaa koulutusta. Maxwell, skotti, sai koulutuksensa Edinburghissa. Kelvin, irlantilainen, kävi tosin koulunsa Glasgowissa, mutta kouliintui merkittävästi kuitenkin skottien maailmankuvan mukaan.

Myös Cambridgen erityistestin 1800-luvun alkupuolella läpäisseiden matemaatikkojen, ”*wranglerien*”, kokoonpano viittaa alueelliseen jakaumaan. Vain **George Green**, oli englantilainen, loput olivat joko skotteja tai irlantilaisia. Maxwellin teorioita edelleen kehittäneiden oppineiden, ”maxwellistien” tausta on myös poikkeava. Vain **Lodge** oli englantilainen fyysikko, **FitzGerald** ja **Larmor** vähäteltyjä irlantilaisia, **Heaviside** lennätinmies Lontoosta, ja **Gibbs** juuri syntyneen U.S.A.:n ensimmäisiä matemaatikoita. Paradoksi on myös se, että vain Heavisidesta tuli Gibbsin vektorimatematiikan markkinoija ja Maxwellin yhtälöiden viimeistelijä.

Heinrich Hertz, joka vihdoin 1888 osoitti kokemukseräisesti Maxwellin teorian oikeaksi, oli hänkin poikkeus - edustaja saksanjuutalaisesta suvusta, joka halusi ”modernisoitua”.

Maailmankuvan arvaamaton vaikutus

Kansalliset erot tieteen kehityksessä leimataan usein taloudellisten ja korkeakoulupoliittisten tekijöiden summaksi. Mutta syitä tulisi etsiä myös syvemmältä - eroista kansojen kulttuureissa ja maailmankuvissa. Kiinalaisiin nähden maailmankuvan ero on selviö, mutta myös Euroopan sisällä on löydettävissä aaltoilua. Ranskan häviö Britannialle haastaa kysymyksen tarkasteluun. Ranska oli juuri läpikäynyt huiman kehityksen kuningasvallasta kansalaisvaltioon siirtyen samalla kristittyjen Jumalan palvonnasta järjen palvontaan. Osa saksalaisista yhtyi **Holbachin** tavoin Ranskan älymystön uskontunnustukseen: ”Oi luonto, sinä kaikkien olentojen hallitsija, ja te hänen tyttärensä, Hyve, Järki ja Totuus, olkaa te aina meidän ainoat jumaluutemme.”

Ranskalaisten ajatuskehitelmiä voi karkeasti luonnehtia rationalismiin ja ateismiin huipentuneen valistuksen hedelmiksi. Tieteen saavutusten vauhdittamana **Comte** loi vielä teorian positivismista, jonka mukaan, vuosisatojen myötä, ihmiskunnan rationaalinen ajatelukyky oli kehittynyt tarunomaisesta asiain ymmärtämisestä luonnon kokemiseen metafyyssisenä. Vihdoin viimeisessä kehitysvaiheessa, rationalismin aikakautena, ihminen siirtyi ”positiiviseen”, ymmärrettävien havaintojen tekoon.

Ranskalaiset olivat **Newtonin** ja ennen kaikkea tämän avaaman fysiikan menestyksen lumoissa - briteistä ja saksalaisista poikkeavalla tavalla. Etenkään **Humen** ja **Kantin** käynnistämä kritiikki järjen yliarvostusta vastaan ei saanut Ranskassa sijaa. Ranskalaiset olivat luoneet 1700-luvun lopulla pohjaa modernin tieteen nousulle ollen todellisia *newtonisteja*, Newtonin perillisiä ilman tämän Jumalaa. Laplace loi onnistuneesti uutta matematiikkaa sitä mukaa kuin hän tarvitsi sitä selittääkseen nopeasti laajenevaa kuvaa kosmologiasta. Laplacen ryhmä muovasi molekyyelifysiikan malleja sekä kartoitti merkittävästi, kokemukseräisen fysiikan keinoin sähkön ja magnetismin staattisten tilojen lainalaisuuksia. Kaikki tämä näytti toimivan vielä Newtonin maailmankuvaa ja erityisesti gravitaatiolain analogiaa hyödyntäen, kuten esimerkiksi kapillaari-ilmiössä tai **Coulombin** laissa.

Laplacen mekaanis-molekyläärinen koulukunta vaikutti myös sähkökenttäteorian muovaantumiseen, erityisesti aineen elastisuudesta tekemiensä löytöjen kautta. Avainhenkilöitä olivat **Poisson**, **Navier** ja **Cauchy**. Tutkiessaan elastisten aineiden värähtelyä Navier huomasi, että elastisuus oli seuraus pienistä muutoksista intermolekyläärissä kokoonpanossa. Kuten kapillaari-ilmiössä, myös tässä molekyyliit vaikuttivat toinen toisiinsa Newtonin gravitaatiolain mukaisesti - nyt lyhyeltä etäisyydeltä. Hydrostaattiseen paineeseen liittyen Cauchy otti käyttöön mielikuvan jännitystilasta ja huomasi liikeyhtälöiden yhdistävän voimat jännityskomponentteihin.

Itsetietoisin ryhmän jäsen, Poisson rakensi elastisuusteoriaansa suorastaan materiapisteiden ja näiden välisten veto- ja työntövoimien varaan. Poissonin ryhmä oletti menetelmässään ensin hypoteettisesti materian rakenteen ja siihen liittyvän kasauman molekyläärivoimia. Näistä lähtökohdista käsin piti päätellä ilmiön käytös, jota sitten verrattiin kokemukseräiseen tulokseen.⁴

Sähköstatiikka oli toinen alue, jolla Poisson rohkeasti kiinteytti linkkiä Coulombin fysikaalisen kuvan ja Laplacen analyttisen metodin välillä. Hän kuvitteli sähkön ”neste-kerrokseksi”, joka peittää johtimen pinnan kuin kuori appelsiinin - kerros ei ulottunut johtimen sisälle. Kerroksen paksuuden ollessa tiedossa voitiin kahden johdon välille käyttää yksinkertaisesti Laplacen markkinoimaa molekyylien veto- ja poistovoimalakia. *Teorian hyväksyivät miltei kaikki muut paitsi Faraday*. **Robert Murphystä** tuli sen edelleen kehittäjä Britanniassa.⁵

Ranskalainen oli materialistina tulkinnut ja hyödyntänyt tietoteoriassaan erityisesti niitä elementtejä **Principian** sanomasta, joiden kirjoittamista Newton itse katui. Newtonia ahdisti mm. ajatus, että jähmeillä kappaleilla itsellään olisi kyky vaikuttaa toinen toisiinsa. Newtonismi sitoi atomistisen, keskeisvoimien hallitseman maailmankuvan myötä useimpien ranskalaisten fyysikoiden, kuten Poissonin ajatusradat.

Örstedin huomio magneettivoiman rengasmaisesta ilmenemisestä sai kuitenkin Ampèren havahtumaan. Ampère havaitsi kompassineulan asettuvan kohtisuoraan virtajohtoon nähden jos maan magneettisuus kyettiin kokeessa eliminoimaan. Hän nimesi uuden instrumentin *galvanometriksi*. Sillä voitiin ulkoa käsin havaita johdossa kulkeva sähkövirta. Oivallinen laite paljasti Ampèrelle, että virta kulki myös virtalähteen sisällä - ja synnytti myös täältä käsin magnetismia. Idea suljetusta virtapiiristä magnetoijana tuli toisaalta edistämään, mutta myös rajoittamaan hänen teorianensa kehitystä.

Ampère ja magnetismin sekundärisyys

Vaikka Ampère oli poikkeava, ajatusradoissaan mukautuva ranskalainen, urautui hän silti kokeidensa tulkinnoissa. Örsted arvioi hänet kokeilijana ja väittelijänä hyvin avuttomaksi, mutta ajattelijana niin salaman nopeaksi, että hän ei ehtinyt kirjata löytöään paperille, kun jo uusi idea valtasi hänet. Idea suljetusta virtapiiristä magnetismin ytimenä johti Ampèren ajatukseen, että myös maapallon sisällä, päiväntasaajalla, kiersi sähkövirta. Kun hän kiersi virtajohtoon solenoidiksi, se näytti toimivan kuin sauvamagneetti. Kaksi solenoidia taas näytti vetävän toisiaan puoleensa kuten kaksi magneettia. Tästedes Ampèrelle kaikki magnetismi oli yksinomaan sähkövoimien tulosta. Magnetismi oli hänen mukaansa myös sauvamagneetissa vain sähköisten koaksiaalivirtojen tulosta. Myöhemmin, de la Riven kanssa tekemänsä kokeen jälkeen, hän arvioi magnetismin *molekylärisen pienten rengasmaisten sähköpyörteiden tulokseksi*. Pyörteet joko hylkivät tai vetivät puoleensa solenoidien tavoin ja sen mukaan, mikä niiden pyörimissuunta oli. Pyörteet taas indusoi koejärjestelyn primääri sähkövirta.

Toisaalta Ampèren ajatukset etenivät myös oikeaan suuntaan. Kun Arago magnetoï virtajohtolla rautahiukkasia Ampère oivalsi myös teräsneulan magnetoituvan jos johto kierrettiin solenoidiksi sen ympärille. Kokeet solenoideilla ja etenkin spiraaleilla johtivat hänet havaintoon kahden suoran johtimen keskinäisestä voimasta. Hän muovasi nyt matemaattiseen muotoon näiden keskinäisen voimavaikutuksen lain. Biot ja **Savart** vuorostaan selvittivät virtajohtoon ja magneettineulan keskinäisen voimavaikutuksen lain. Mutta Newtonin gravitaatiolain analogia oli silti edelleen ilmeinen. Induktioilmiön ”paljastuminen” oli niin ikään hiuskarvan varassa Ampèren ja sveitsiläisen **de la Riven** kokeessa heidän tulkittuaan *odottamattomat tulokset* väärin.

Huolimatta Ampèren omaperäisestä arviosta magnetismista hänen laskelmansa näyttivät oikeilta. Mutta muuten hänen urautumisensa seuraukset olivat kohtalokkaat. Kun Faraday koki kuin elämän tehtäväkseen *muuttaa magnetismi sähköksi*, Ampèrella ei tätä tarvetta ollut, johtuen juuri magnetismin sekundärisyydelle asettamastaan määritelmästä. Kokemusperäisen tieteen ankkuri Faraday oli osoittava, että koe ja kokemus oli vain välittävä tekijä oikeaan lopputulokseen pääsemisessä. Oleellista oli kokeen tulkinta - ja tulkinnastakin oli uskallettava peräytyä. *Faraday oli yksi harvoja tiedemiehiä, joka uskalsi jopa julkistaa virheensä.*

Ero Ampèren ja tämän kokeita seuranneen Faradayn ajatuksellisissa lähestymistavassa oli myös ilmeinen. Matemaattikkona Ampèrea virittivät lähinnä teoriat, kuten vaikutuksen ja vastavaikutuksen periaatteet. Faradayta taas puhuttelivat ilmiön piirteet, kuten lineaarinen tai rengasmaisen voima. Ampèrelle kumpikaan magnetismin piirre ei ollut primäärinen, mutta

André Marie Ampère

Ampèren koe virtajohtojen keskinäisestä voimavaikutuksesta

lineaarinen voima oli helpommin matematisoitavissa. Faradaylle taas rengasmaisuus oli yksinkertaisempi ja näin alkuperäinen.⁶

Faraday todisti Ampèren magnetismi-ilmion luonteen vääräksi eräällä merkittävimmistä kokeistaan. Häntä ohjasi tähän osaksi kriittisyys Ampèren hypoteesia kohtaan, osaksi **Wollastonin** virittämä huomio virtajohtoa ympäröivän magneettivoiman rengasmaisuudesta. Kiertäisikö vapaa sauvamagneetti virtajohtoa tämän renkaan mukaisesti kehässä? Faraday onnistui konstruimaan tuon hänelle itselleen paljon paljastavan kokeen. Mutta Ampère arvioi, että tämäkin tulos voitiin johtaa hänen teoriastaan keskeisvoimiin perustuvasta magnetismista.

Faraday suoritti seuraavan kokeen osoittaakseen entistä selvemmin, että Ampère oli väärässä. Hän osoitti, että sauva- ja sähkömagneettien napojen sijainti poikkesi toisistaan. Samalla hän esitti Ampèren hypoteesille vastapainoksi uuden mullistavan ajatuksen. Magnetismissa ei lopultakaan olisi kyse napojen tai vielä vähemmän pyörteiden keskinäisistä voimista.

Teräsmagneeteilla koe näytti Ampèren olevan ehkä oikeassa, mutta *pitkän, pituusakseliaan myöten veteen upotetun solenoidin sisään vapaasti purjehtivan magneettineulan pohjoisnapa ei pysähtynytkään solenoidin etelänapaan, vaan jatkoi matkaa läpi solenoidin. Faraday uskoi neulan jatkavan matkaa edelleen solenoidin toisesta päästä ulos, jos hän kykenisi konstruimaan yksinapaisen magneettineulan. Jos taas magneettineulan annettiin vapaasti purjehtia kohti magnetisoitua, solenoidin mitoin tehtyä terässylinteriä, neula pysähtyiikin nyt sylinterin etelänapaan.*⁷ Magneettineula kiersi putkimaista sulkeutuvaa kehää, jonka Faraday nimesi voimaviivaksi. Uusi fysikaalinen käsite oli syntynyt.

Eetteri- ja kenttäteorian paradigma

Kriittisyys Ampèren hypoteesia kohtaan oli yksi Faradayn, kuten muutaman muunkin britin ajatusten ohjaajista, mutta britit olivat ranskalaisten tavoin silti vielä pitkään sidoksissa Newtonin mekaaniseen kuvaan kaukovaikutuksesta. Eetteri- ja kenttäteorioiden kehittelystä tuli yksi erottava prosessoija kilpailijoiden välille. Se oli myös linjaava koko 1800-luvun ajattelua materiaksitteestä. Mekaaninen maailmankuva luovutti nyt alueita dynaamiselle. Ranskalaiset jakautuivat kahtia ja lähinnä vain Laplacen ryhmästä eronneet Fresnel ja Arago vaikuttivat oleellisesti teorian kehitykseen muodostaen Ampèren ja Fourierin kanssa viimeisen linkin Ranskasta britteihin ja saksalaisiin sähködynamiikan nimimiehiin. Tämä ryhmä edusti lähinnä

italialaisen, Ranskassa vaikuttaneen **Lagrangen** *analyttistä* ja *dynaamista* ajatuslinjaa.

Perusta maailmankuvan muutokselle löytyy jo Newtonin ja tämän opponentin, **Leibnizin** poikkeavista teorioista 1600-luvulta. Leibnizille aine ei ollut kuollutta vaan paremminkin dynaamista ja voima oli aineen luontainen ominaisuus. Myös avaruus oli dynaaminen, aineen voimien jatkumo. Leibnizin maailman jokainen piste tai ”*monaadi*” käsitti itsessään koko universumin - jokainen osa oli dynaamisessa suhteessa kokonaisuuteen. Newtonille taas materia oli passiivinen ja eetteri aktiivinen.

Newtonin ajatus materian passiivisuudesta oli kuitenkin ristiriidassa hänen profeetallisen valoteoriansa kanssa. Hän arvioi mm., että *valo koostuisi ehkä hiukkasista, joita valonlähde emittoi, ja tämä taas oli seurausta valoa emittoivan kappaleen osasten värähtelystä*. Newton epäili myös, että kappaleet vaikuttaisivat vetovoimallaan valonsäteen kulkuun. Vaikka maailmankaikkeuden läpäisevä ”ohut” eetteri olikin jossain vaiheessa Newtonin teoriassa värähtelyjen eteenpäin välittäjä, hän palasi lopulta ajatuksen kaukovaikutuksesta.

Kant ja **Boscovich** pyrkivät 1700-luvulla sovittamaan Newtonin ja Leibnizin kuvat keskenään. Boscovich dematerialisoi Newtonin atomin ja otti käyttöön käsitteen voiman pistemäisistä keskuksista siroteltuina läpi avaruuden. Vaikka hän säilytti Leibnizin käsitteen väliaineen jatkumosta, hänelle kuitenkin materia oli peräisin voimaväliaineesta ja väliaine itsessään oli voiman alkulähde. Vaikutus nousi pisteatomeista - äkillisenä kaukovaikutuksena - ei voiman jatkeen muodossa, kuten Leibniz ajatteli.

Myös Kantille materia oli dynaamista, mutta sen alkulähde ei ollut voima, kuten Leibnizille. Kant otti käyttöön ajatuksen rajallisesta voiman jatkumosta, jonka mukaan materian atomi ei ollut pistemäinen eikä vaikutukseltaan myöskään omannut ääretöntä ulottuvuutta.

”Elektrotonisuus”

Fresnel, Arago ja britti **Thomas Young** käynnistivät 1800-luvun eetteri- ja aaltoteoriakeskustelun. Young esitti ajatuksen, että valo eteni aaltomaisesti. Keksittyään valon interferenssi-ilmiön hän arvioi myös, että valo eteni jaksollisesti. Young hyödynsi Newtonin laskelmia ja sai spektrin eri väreille erilaisia aallonpituuksia. Fresnel tuli hänelle nyt avuksi omine löytöineen - taisteluun atomistista newtonismia vastaan.

Fresnel uskoi *valon ja lämmön siirtyvän värähtelemällä erityisen elastisen väliaineen avulla*. Hän ihastui luonnon taloudellisuuteen, miten se pyrki mahdollisimman moniin efekteihin mahdollisimman vähin uhrauksin, yksinkertaisin keinoin. Myös monet briteistä, kuten **John Herschel**, kokivat näin ja uskoivat lämmön, valon ja muiden luonnon painottomien vaikuttajien olevan vain tämän elastisen eetterin liikkeen erilaisia ilmenemisiä. Oleellinen tieto optiikan kehitykselle ja kaikelle siihen liittyvälle oli Fresnelin mielestä se, *muodostuuko valo partikkeleista vai eetterin värähtelystä*. Hänen johdolla, Laplacen ryhmän vastustuksesta huolimatta, 1820-luvulla Newtonin partikkeliteoria korvattiin vihdoinkin aaltoteorialla. 1827 Faraday alkoi kiinnostua Fresnelin ajatuksista. Myös Aragon koe ja Fourierin virikkeet tulivat vielä vaikuttamaan Faradayn teorioihin, mutta 1830-luvulla Ranskan anti oli jo loppumassa. Suuret nerot kuolivat pois, Fourier ja Ampère viimeisinä.

Faradayn mielikuva kauttaaltaan sähköisesti varautuneesta, ”*elektrotonisessa*” tilassa olevasta väliaineesta oli johdannainen Fresnelin värähtelevästä väliaineesta, jossa kaksi erilaista sähköpurkausta kyllästäivät toinen toisensa. Hänen oma mallinsa oli väliaineen jännitystila, jonka *sähkönsiirtoprosessi ei edellyttänyt materian siirtämistä paikasta toiseen*. Faraday arvioi, että sähkövirta oli vain nopea elektrotonisen tilan rakentumis- ja häviämisprosessi - tätä vahvisti hänen aiempi ajatuksensa sähkövirrasta jännitysaaltona. *Kaikki sähköinen toiminta oli sidoksissa intermolekyläriiseen jännitykseen - elektrotoniseen tilaan*. Metalleissa jännitystila ei pysynyt

helposti yllä ja epästabilius, elektrotonisen jännitystilän nopea nousu ja lasku, synnyttivät helposti sähkövirran.

Faraday, aaltoteoria ja sähkömagneettinen induktio

Jotta Faradayn uusi käsite voimaviiva olisi toimiva, hän arvioi, että myös metafyyssisen kuvan avaruudesta ja materiasta oli muututtava. Fresnelin ja Herschelin, Faradayn läheisen tukijan välittämä ajatus valon, äänen ja sähköän analogisuudesta oli ratkaiseva virike. Britanniassa aaltoteoriaa olivat kannattaneet ja edelleen kehittäneet erityisesti **George Airy** ja **William Whewell**. Fresnel antoi valoteorian avulla Faradaylle myös ajatuksen voiman siirtämisestä ilman materiaa. Faradayn *voimaa välittävä kenttä otti materian paikan*, kun sen sijaan saksalaiset, kuten **Gauss** vielä pitkään uskoivat ainoastaan atomististen, jäykkien kappaleiden keskinäiseen voimansiirtoon.⁸ Uusi ajatus oli myös se, että voimansiirto vuoputkissa tapahtuisikin aaltoliikkeenä, kuten Fresnelin valoteoriassa.

Faraday oli aiemmin keskittynyt lähinnä vain staattisen sähköän ja sähköistyneen väliaineen, elektrotonisuudeksi nimeämänsä tilan tutkimiseen. Nyt huomio aaltoliikkeen dynaamisuudesta johti hänet muutosilmiöiden tarkasteluun ja aaltoliikkeen löytämiseen myös sähkökentässä.⁹

Jos muuttuva sähkökenttä aaltoilisi, niin eikö silloin myös sähköisellä muutosilmiöllä synnytetty magneettinen aaltoliike muuttuisi aaltomaisesti! Faradayn mukaan se tapahtuisi vuoputkissa. Solenoidissa tämä aaltoliike etenisi siis myös solenoidin sisään asetetussa rautasydämessä - aaltoliikkeenä. Faradayn hollantilainen ystävä **Moll** oli juuri kiinnittänyt huomiota sähkömagneetin kykyyn muuttaa nopeasti napaisuuttaan virran muuttuessa käänteiseksi. Faraday arvioi, että jos rengasmaiselle rautasydämelle asetettaisiin toinen käämi, tuo aaltoliike kulkisi kohta sen läpi ja muutos voitaisiin havaita tuossa sekundäärikäämissä - ja niinhän se tapahtui. Seuraava koe oli vain rutiinia; sähkömagneettinen induktio syntyi myös liikkuvan teräsmagneetin synnyttämästä magneettiaallosta solenoidin sydämessä. Myös fyysikkojen seitsemän vuotta kummeksuma Aragon mysteeri, magneettineulan tahdissa pyörivä kuparilevy, sai nyt välittömästi selityksensä Faradaylta. Magneettineulan kenttä indusoi virtoja kuparilevyyn, jotka taas aiheuttivat oman magneettikentän, joka vuorostaan tarrautui pyörivän magneettineulan kenttään.

Sähkömagneettisen induktioilmiön löytö 1831 ei ollut Faradaylle sattuman vaan määrätietoisien ponnistelun ja informaation loogisen hyödyntämisen seuraus. Ampèren 1822 ja **Colladon** 1825 tekemät kokeet, jos olisivat onnistuneet, olisivat olleet sattumia. Ampèren tutkimusta häiritsivät nimenomaan hänen teoriansa magnetismista sähköpyörteinä. Huomio sekundäärikäämin liikahtuksesta ei voinut johtaa *noissa ajatusradoissa* Ampèrea eteenpäin.¹⁰ Faradayn kärsivällisyys vuosien prosessiin vuorostaan nousi hänen näyстään muuttaa magnetismi sähköksi.

Magnetosähköinen induktio osoitti hänelle, että voiman, joka indusoi elektrotonisen tilan, mitä se sitten olikin, täytyi ulottua magneetin partikkeleiden ulkopuolelle. Huomattuaan lisäksi induktiossa oleellisiksi suureiksi magneetin tai johdon liikkeen suunnan ja nopeuden, hän selvitti nyt entistä rohkeammin myös kysymystä voimaviivojen todellisuudesta ja merkityksestä.¹¹

Fourier

Fourier oli Fresnelin rinnalla yksi Laplacen linjan murtajia ja brittien innoittajia. Hän oli ensimmäisiä **Eulerin** synnyttämän ja Lagrangen edelleen kehittämän matemaattisen analyysin, rationaalisen mekaniikka-ajatuksen hyödyntäjiä. Fourier väitti, että ilmiöiden alkusyiden ollessa tuntemattomia fysiikka ei voinut pohjautua yksin mekanistiseen, kuten Poissonin malliin.

Mekanistisessa lähestymismallissa, esimerkiksi lämmön siirtymistä laskettaessa, oletettiin ensin, että lämpö säteilee kaloorisena nesteenä, yksittäisistä molekyyleistä kaukovaikutuksena suoraan yli etäisyyden. Makroskooppiseen lakiin päästiin integroimalla yli kaikkien alueella vaikuttavien molekyylien.

Fourier lähti lämmön makroskooppisesta käyttäytymisestä. Hän vältti hypoteesin muodostamista itse lämmöstä. Mekaanisen, erillisten molekyylien muodostaman kuvan sijasta hän oletti vain lämpökerrosten kontaktipintojen välittävän lämpöä suoraan. Lämpösäteily tapahtui vain molekyylistä tai tasapotentialipinnasta toiseen - ei pitkältä etäisyydeltä.¹² Vaikka Fourierin analyyttisen ratkaisun selvyys ja varmuus teki vaikutuksen, Cambridgen tiedeyhteisö ei kuitenkaan Fourierin tavoin halunnut korvata fysiikka yksinomaan matematiikalla.

Staattisen sähkön voimaviivat

Faraday keskittyi 1830-luvulla väliaineen tutkimiseen. Häntä innostivat siihen erityisesti hänen sähkökemiasta ja -statiikasta löytämänsä analogiat. Uuteen kehitykseen vaikuttivat erityisesti ranskalaisten *dynamistien*, kuten Fourier'n teoriat. Dynamistista luonnon tarkastelutapaa voisi kuvata lyhyesti ihmismielen kokonaisvaltaisemmaksi osallistumiseksi tutkimusprosessiin. Faraday ei ollut matemaatikko, ja siksi hänen tarvitsemansa tiedon oli tultava Britannian omien dynamistien välittämänä. Dynamisteja olivat skotit, irlantilaiset ja Englannista lähinnä Whewell, josta tuli yksi Faradayn lähimmistä auktoriteeteista ja Faradayn käyttöönottan, paljon puhuvan terminologian kehittäjä.¹³

Polaarisuus oli käsite, jonka Faraday nosti yhdeksi tutkimiansa ilmiöiden pääperiaatteeksi. Sähkö, magnetismi ja valo saivat ilmiöinä häneltä erityisen polaaraisuuden hallitseman leiman. Tämä, kuten elektrotonisuus-mielikuva, ohjasivat hänen ajatuksiaan myös sähkökemiassa, joka oli **Davyn** laboratoriossa saamansa koulutuksen ydin.

Faradayn kokeet pallokondensaattorilla johtivat uuden käsitteen löytöön. Väliaineen ominais-induktiivisuus, kyky välittää induktiota, *dielektrisyys*, osoitti hänelle, että sähköinduktio oli riippuvainen etäisyyden lisäksi myös väliaineesta. Induktio näytti olevan väliainepartikkeleiden läpi ja niissä itsessään tapahtuva prosessi. Sähkövoimansiirto partikkelista viereiseen ei tapahtunut kosketuksen vaan polaaristen voimien vaikutuksesta. Eliminoidakseen määrätietoisesti kaukovaikutus-käsitettä Faraday arvioi partikkeleiden sijaitsevan ”herkällä”, kuten esim. ”puolen tuuman” etäisyydellä toisistaan. Kysymys etäisyydestä oli hänelle lopulta kuitenkin hypoteettinen. 1838 kiteytynyt induktioteoria vahvisti Faradayn aiempaa linjaa sähköstä jännitystilana - erityisesti polaarisenä jännitystilana.¹⁴

Pallokondensaattorikokeet osoittivat myös, että johtavuus oli jatkuvasti vaihteleva ominaisuus. Myös tämä havainto tuki ajatusta, että kyseessä oli jännitystila eikä virtaava aine. Voimaviivat taas välittivät tuon jännitystilaa, johon aaltoliike oli sidoksissa. Kuten magneettisessa, myös sähköstaattisessa induktiossa prosessoivat voimaviivat olivat sekä suorita että käyriä. Tämän hän uskoi ilmenneen siinä, että induktio tavoitti myös kulman taakse, katveeseen jäävän väliaineen.¹⁵

Voimaviiva oli 1830-luvulla Faradayn mielestä vain polarisoituneiden partikkeleiden suuntautumisen ilmentymä, mutta nyt hänen hypoteesinsa muuttui radikaalisti. *Materiaan rakennetta ja sen aktiviteettiä ilmensivät tästedes paremminkin itse voimaviivat* - teoria elektrotonisuudesta sai väistyä. Malli oli kuitenkin tehnyt tehtävänsä ja vahvistanut Faradayn käsitystä sähköstä voiman ja aaltojen levittäjänä - yleistä käsitystä vastaan sähköstä kahtena ”nesteenä”.

Myös polaaraisuus sai nyt päämerkityksen juuri voimien kenttään sijoittuvien voimaviivojen suunnan ilmaisijana. Voimaviivat saivat perusolemuksen Faradayn luomakunnassa kuvaten vahvasti fysikaalista todellisuutta.¹⁶

Faradayn ajatuksellinen joustavuus tulee hyvin esille hänen tavassaan jättää ajoittain rohkeasti omia teorioitaan syrjään, pian taas palatakseen niihin. Rohkeutta ilmentää myös se, että vaikka hänellä oli ehdoton kokemuksellinen etumatka Ampèreen nähden, hän yhä piti tämän teoriaa parhaana, vaikka epäilikin sitä vakavasti.

Michael Faraday

William Thomson (Kelvin)1846

ja 1870

Kelvin ja ranskalaiset

Kelvinistä tuli merkittävin välittäjä ranskalaisten ja brittien ajatusten välillä. Hän tutustui ensin Laplacen mekaniikkaan. Seuraava ihastuksen kohde oli Fourier'n teoria. Pyrkinessään löytämään oman, Fourier'n teoriaa yksinkertaisemman ratkaisun, jossa hyödynnetään myös Laplacen teoriaa, Kelvin tutustui 1840, esimerkkinä vetovoimateoriasta, Murphyn ja Poissonin sähköteoriaan. Gaussin matemaattisen potentiaalifunktion sovellutus vetovoimateoriaan kiinnitti Kelvinin huomion 1841. Nyt sähköteoria sitoi jo hänen ajatuksiaan. Huomattuaan Murphyn teoriassa ristiriidan olemassaolon mahdollisuuden hän kiinnostui alueesta.

Murphyn mallissa johtimen pinnan varauskerros pysyi yllä ympäröivän ilman paineen alaisena, kun taas eristeen pinnalla sitä ylläpiti ilman ja sähköpartikkeleiden välinen kitka. Varauksen kasvaessa sähkökerros kasvaa ja syrjäyttää tieltään ilmaa. Siksi tasapainon muuttuessa sähköinen kappale liikauttaa ympäristöönsä nähden. Vaikka Kelvin kritisoiakin mallia, hän ei kuitenkaan löytänyt teoriasta ratkaisevaa virhettä. Vasta 1845 **Samuel Earnshaw** valotti kysymystä uudesta näkökulmasta. Hän kytki yhteen ajatuksen sähköpartikkeleista ja niiden värähtelystä ja väitti, että mitkään kaksi molekyyliä eetterissä eivät voi toimia Newtonin vetovoimallain mukaisesti välittäessään poikittaista värähtelyä - olematta samalla epästabiileja. Kelvin tuli nyt epävarmaksi sähköön nestemäisyyden suhteen, sillä Murphyn sähkökerrosta ei voisi vahvistaa - sähkö oli ehkä paremminkin atomistisen ohut kerros painotonta väliainetta.

Green oli seuraava Poissonin linjan murtaja. Tarttumatta lainkaan kysymykseen sähkökerroksesta Green analysoi matemaattisesti sähköön käyttäytymisen. Hänen jo 1828 yksityisesti julkaisemansa työ näytti Kelvinistä hämäävältä. Kelvin oli tähän asti pitänyt Laplacen ja Fourier'n teorioita keskenään sopusointuisina. Vaikka Greenin teoria oli kehitelty Poissonin teoriasta sähköstä ja magnetismista, sen omaksuma metodi oli hengeltään paljon lähempänä

Fourier’ta kuin Poissonia. Kelvin rinnasti nyt tämän hengen ja oman sympatiansa Fourier’een. Kun Poisson rakensi teoriasa sähköisen nesteen molekyylien keskinäiseen veto- ja poistovoimaan, Greenin perusta oli *potentiaalifunktio*, jonka määritteli makroskooppinen, kokemusperäisesti huomioitu polarisaatio. Poisson oli edennyt integroimalla hypoteettisia mikroskooppisia toimintoja. Green taas käytti differentiaaliyhtälöitä kuten Fourier ja oletti, että makroskooppiset huomioidut voitettiin soveltaa myös mikroskooppiselle tasolle.¹⁷

Kelvin kohtaa Faradayn

Kelvin oli tähdännyt sähköstatiikan teorian kehittämissään mahdollisimman yksinkertaiseen ratkaisuun. Hän oli ajatuskehittelmissään sidoksissa toisaalta ranskalaisten, toisaalta juuri löytämänsä Faradayn tulkintoihin, joissa hän ei aluksi nähnyt oleellista eroa. Tämän vuoksi hän oli valmis kaikkien mahdollisten ratkaisujen, kuten Poissonin kuvan hyödyntämiseen. Muistuttihan esimerkiksi Poissonin tasaisesti varautunut johdepinta Fourier’n isotermistä pintaa.

Kelvinin arvostamassa Fourier’n teoriassa lämpövirtaus riippui vain väliaineen lämpötilagradientista eikä lämmön lähteestä. Tämä pakotti terminologian muutokseen pistemäisistä voimista ja kaukovaikutuksesta väliaineeseen. Myöskään Poissonin ajatus kaukovaikutuksesta ei näyttänyt enää teoriaan sopivalta.¹⁸ Sähkö ei nesteenä omaisi mahdollisuutta varauksen vahvistumiseen ja lisäksi jos sähkö oletetaan voimapisteiksi, kerroksen paksuuden ollessa olematon tällaisen nesteen tulisi olla kokoonpuristuva ja kimmoton. Kelvin luopui lopullisesti nestemallista.¹⁹

Kelvinin analyysi Faradayn tuloksista innoitti hänet johtamaan matemaattisen analogian sähköstaattisen kaukovaikutuksen ja Fourier’n lämpöteorian välille. Tällä hän pyrki sovittamaan yhteen Faradayn teorian induktion käyristä voimaviihoista ja käsitteen dielektrisestä väliaineesta, jonka osat toimivat kaukovaikutteisesti.²⁰ Kelvin huomioi myös, että sähköteorian matemaattinen kehittäminen potentiaaleina ja pintoina paremminkin kuin varattuina partikkeleina toi käsitteellisesti lähemmäs mahdollisuuden nähdä sähkönen eteneminen jatkuvana aaltojen leviämisenä.²¹

Kelvin oli vaikutettu huomattuaan, että sekä Fourier’n että Faradayn mallit tarvitsivat välittävän elementin. Lämmön matemaattisen teorian myötä Kelvin vihdoinkin alkoi käsittää, mitä yhteyksiä Faradayn induktioviivoilla oli matemaattiseen teoriaan.²²

Kelvin ja ratkaiseva magneto-optinen koe

Huomio väliaineen sähköisestä kyvystä välittää induktiota oli haastanut Faradayn analogisen ilmiön etsimiseen magnetismin piiristä. Murros kysymyksen selviämiseen käynnistyi 1845. Nuoresta Kelvinistä tuli hänelle tällöin läheinen työtoveri, jonka omaa ajatustyötä kasvavassa määrin ohjasi juuri Faradayn ajatus sähkövoimaa välittävästä väliaineesta.

Tasapotentiaalipintojen käsitteestä ja oivalluksesta, että kentän vaikuttava virtaus tai voima oli aina niitä vastaan kohtisuorassa, tuli myöhemmin Faradaylle merkittävä apu. Matematisoidessaan Faradayn teorioita sähköstatiikasta Kelvin oli joutunut mielenkiintoisiin johtopäätelmiin. Jos Faradayn teorian olivat oikeat, silloin sähköisesti aikaansaadut jännitykset lasissa aiheuttaisivat mekaanisten jännitysten tapaista polarisoitumista sen läpi kulkevaan valoon. Faraday ei onnistunut Kelvinin esittämässä kokeessa (teoria osoitettiin oikeaksi vasta 1875). Faraday päätti kokeilla sähkömagneetilla analogista ilmiötä ja saavutti toivotun tuloksen. Kun valo tuli vahvasti taittavan optisen lasin läpi magneettikentän suunnassa, sen polarisaatiotaso kiertyi. Hän osoitti myös, että polarisaatiotason kiertyminen riippui sekä valon kulkemasta matkasta väliaineesta että mahdollisesti myös kentän voimakkuudesta.²³

Faradaylle koe oli ensimmäinen todiste magnetismin ja sähkön keskenään analogisesta vaikutuksesta dielektrisiin aineisiin. Magneetikentän suunnan merkittävyys vahvisti edelleen Faradayn uskoa voimaviivoihin. Magneto-optinen koe oli osoittanut magnetismista uusia piirteitä läpinäkyvissä materiaaleissa.

Vire uudesta todellisuudesta

Faradayn visio sähkövoimaa välittävästä väliaineesta ja hänen Kelvinin kehoituksesta suorittamansa magneto-optinen koe ovat olleet - Maxwellin ja Hertzin panokset huomioiden - vallankumouksellisia käännekysymyksiä. *Teoria universaalista, uudesta käsitteestä, sähkömagneettisesta aaltoliikkeestä lie näin ollut idussaan Faradayn ja Kelvinin ajatusmaailmassa.* Liittyen kysymykseen optisen voiman siirrosta, Faraday otti 1846 käyttöön käsitteen jatkuvasti polarisoidusta voimaviivasta argumenttina erityistä hiukkas-eetterimallia vastaan. Päätös on seuraus huomiosta, jonka **Stokes**, yksi hydrodynamiikan uranuurtajista lienee välittänyt ystävänsä Kelvinin kautta Faradaylle. Stokesin mukaan eetterin ei tarvitse olla molekyyläärinen välittääkseen valoaltoja (vrt. Fresnel- Faraday).

Magneto-optinen koe rohkaisi Faradayn jatkotutkimuksiin Ampèren jo aiemmin teoretisoiman *diamagneettisuuden* olemassaolon varmistamiseksi. Faraday halusi itse asiassa romuttaa Ampèren epämielikkäältä näyttävän teorian, joka perustui ”sähködynamiisiin molekyyleihän”: tämä näyttää lopullisesti urautuneen niiden hyödyntämiseen.²⁴

Magneto-optisen kokeen tuloksista johtuen lasi oli nyt indikaattorimateriaali. Koe osoitti näiden diamagneettisten indikaattoreiden käyttäytyvän oudosti magneetikentässä - ja kääntyvän aksiaalisesti kohtisuoraan magneetikenttää vastaan. Tämä osoitti ikään kuin erityisten diamagneettisten voimaviivojen olemassaolon, jotka asettuivat kuin väkinäisesti varsinaisten magneettiviivojen päälle. Faraday kuitenkin kieltäytyi uskomasta tällaiseen ”epätoivottuun” johtopäätökseen. Koska luonto oli rakentunut yksinkertaiseksi, lopullisessa selityksessä tulisi voimaviivoja olla vain yksi joukko. Teoria luonnon taloudellisuudesta auttoi myös tässä ja Faraday päätyi ratkaisuun, joka osoitti diamagneettisten partikkeleiden siirtyvän vain sellaiseen kohtaan ja asentoon, jossa ne olisivat vähiten haitaksi magneetikentän etenemiselle.

Kokeet osoittivat Faradaylle oleellisen eron diamagneettisten ja sähkökentän prosessoimien dielektristen partikkeleiden välillä. Hän väitti, että diamagneettiset eivät polarisoituneet. Saksalainen **Wilhelm Weber** sen sijaan kehitti Ampèren teoriaa diamagnetismista ja väitti polarisoitumisen tapahtuvan. Weberin teoria oli lopulta vain jatkoa Faradayn omalle Ampèren teorian spekuloinnille.²⁵

Kiteet ja valo

Plücker informoi Faradaylle 1847 uudesta ”havainnostaan”, että magneetin navat olivat uuden voiman keskuksia, jotka toimivat yhdessä kiteiden optisen akselin kanssa, ja että tuon voiman teho, siirryttäessä kauemmas navoista, väheni nopeammin kuin magneettiset tai diamagneettiset voimat. Samoin hän selitti, että kide voi käyttäytyä sekä magneettisesti että diamagneettisesti riippuen sen etäisyydestä navoista. Faraday ei uskonut tulkintaa oikeaksi. Hän arvioi, että kyse oli magneto-optisen efektin ja diamagneettisen kiteen yhteisestä käyttäytymisestä. Faraday osoitti, että navat eivät vedä eivätkä hylji kiteitä, vaan että kiteet pyrkivät vain asettumaan oikeaan linjaan kentän suhteen ja liike käynnistyi vain, jos suuntautuminen oli aiemmin estetty. Kiteen pisin avaruuslävistäjä pyrki asettumaan kentän suuntaisesti.²⁶

Hän tiesi, että tässä asennossa optinen akseli, linja jolla tuleva valo voi läpäistä kiteen ilman, että tapahtuu kahtaistaittumista, on kohtisuorassa kenttää vastaan. Kun hän käänsi akselin kentän

suuntaiseksi polaroidun valon magneettinen efekti hävisi. Kide sen sijaan hyökkäsi aseen.

Koe oli Faradaylle myös osoitus luonnon taloudellisuudesta. Tämä löytö yhdistettynä Helmikuu 19 havaintoon magneettivoimien suvereeniudesta johti universaaliin päätelmään; materian, kuten kiteiden, on käännettävä kentän vaatimaan suuntaan auttaakseen tätä maksimisuoritukseen, tai materian oli väistyttävä alueelle, jossa siitä on kentän suorittamalle työlle mahdollisimman vähän haittaa.

Voimaviivojen eteneminen tyhjiössä

Faraday ja Kelvin olivat nyt etenemässä ajatusradoissaan, tosin tilapäisesti, mutta kuin enteellisesti ulos mekanistisesta maailmankuvasta. Faradayn tulkinta diamagneettisista kokeista johti kauaskantoiseen ja vallankumoukselliseen ajatukseen magneettivoimien siirrosta tyhjiössä. Ajatus voimansiirrosta tyhjiössä ei gravitaatiovoiman vuoksi ollut uusi, ja se erosi mekanistisesta ja esim. saksalaisia hallitsevasta kuvasta vain siinä, että *magneettivoimien vaikuttajina eivät enää olleet kappaleet*. Faradayn *magnetismi ei tarvinnut edetäkseen polarisoituvia partikkeleita*. Paramagneettiset aineet tosin johtivat magneettivoimia hyvin, mutta nekään eivät olleet välttämättömiä. Faradayn jo vuosia aiemmin saama ajatus voimaviivoista, jotka eivät olleet sidoksissa itse magneettiin, siivitti edelleen hänen ajatteluaan. Hän oli jälleen tulossa tienhaaraan, nyt vastassaan Weberin lisäksi monet muutkin fyysikot - Kelviniä ja Stokesia lukuunottamatta.

Faradayn voimaviivojen täyttämä avaruus ei ollut silti sama kuin tyhjiö. Hän hylkäsi 1846 eetterin partikkeleineen, mutta ei ajatusta sen värähtelevästä luonteesta. Optisen voiman välittäjäksi riittäisi jatkuva, polarisoitu - esim. poikittaisesti värähtelevä voimaviiva. Faraday arvioi voimaviivan toisessa päässä tapahtuvan muutoksen saavan aikaan vasteen toisessa päässä. 1851 Faraday oli vakuuttunut, että voimaviiva ei pääty magneetin napaan eikä se liiku magneetin mukana. Uutta ei ollut enää se, että voimaviivat esiintyvät tyhjiössä avaruudessa, vaan että ne esiintyvät vain siellä ja ovat *riippumattomia magneetista*. Hän spekuloi myös kysymystä, tarvitsisivatko kaikki säteilymuodot tietyn ajan siirtyäkseen vai tapahtuisiko prosessi samassa hetkessä. Voimaviivateoria ei merkinnyt Faradaylle vain toiminnallista mallia, vaan häntä jäi loppuun asti askarruttamaan kysymys aineesta: ovatko voimaviivat ehkä materian ”tunteva osa”, ja mikä on materian ja voiman keskinäinen suhde? Aineisto brittien dynaamisen ohjelman voimakkaalle kehitymiselle oli - alitajunnan tasolla - nyt koossa ja sen prosessoijaksi oli noussut Faraday.

Faradayn tutkimustyön oleellisista piirteistä

Faradayn, Kelvinin ja Maxwellin kartoittama uusi ulottuvuus on ollut tutkimuskohteena vaikeudessa vertaansa vailla. Vaikka Faraday ei ollutkaan fyysikko, matemaatikko tai filosofi, hän kuitenkin vaikutti ratkaisevasti dynaamisen linjan läpimurtoon newtonismin kyllästämässä länsimaisessa tieteellisessä maailmankuvassa. Monien uusien ilmiöiden herkkä tulkinta ja hyödyntäminen sekä mahdollinen toinen toisiinsa yhdistäminen on merkinnyt ehtymätöntä valintojen tekoa.

Gooding on myöhemmin huomionnut, että Faradayn kokeilla oli useita, erilaisia ilmiöitä yhteenliittäviä rooleja. Toisinaan ne paljastivat uusia ilmiöitä, mutta useimmiten hän käytti niitä osoittaakseen todeksi havaittavien suureiden olemassaolon ja kehittääkseen teoreettista ymmärrystä noista havaittavista suureista - termein, jotka liittyivät hänen otaksumiinsa luonnosta. Nämä samanaikaiset prosessit johtivat luonnon analogioiden ja taloudellisuuden demonstrointiin. Faradayn kokeista tuli lopulta huomioimisen apuvälineitä. Uudet löytyneet kuvaukset olivat

ymmärrykselle vahvistus siitä, että se oli tavoittamassa jotain oleellista, sillä niiden vastaavuus havaittavien suureiden kanssa osoitti, että sellaiset ominaisuudet, kuin taloudellisuus olivat niissä ilmeisiä. Faradayn oletukset ja mielenkiinto suuntautuivat vahvistamaan hänen päätelmiään, että jotkut havainnot olivat merkittävämpiä kuin toiset ja että hänen omat kuvauksensa niistä ilmensivät paremmin todellisuutta. Myös hänen viittauksiensa ohjaamana huomioitua ilmene- mistä prosesseissa kuvasivat todellisuutta ilmeikkäämmin.

Gooding korostaa, että Faradayn panos kenttäfysiikkaan ei ollut pelkkien uusien tosiasioiden löytämistä kuvattuna neutraalilla tarkkailukielellä. Hänen todellisia aikaansaannoksiaan olivat paremminkin havaittaviin suureisiin liittyvä kieli, kuten akselin mukaan suuntautuminen ja voimaviivat. Tämä kieli antoi aiheen sähköisen ja magneettisen ilmiön uudenlaiseen lähestymiseen, jossa jopa peruskäsitteen kuten voiman merkitys muovautui uudelleen. *Uudet termit varjelivat uusia löytöjä, ilmiöön liittyviä, ajatuksia herättäviä näkökohtia, jotka muuten olisi kadotettu, koska kilpailevat selitystrategiat eivät niitä tarvinneet.*²⁷

James Clerk Maxwell

Faradayn magneto-optinen koe

Maxwell astuu kuvaan

Maxwell oli 1854, nuorena Cambridgen fyysikkona, alkanut kiinnostua Faradayn työstä. Murphyn oppikirja ei vakuuttanut häntä. Tähän arvioonsa hän luotti huolimatta kokemattomuudestaan. Kun Kelvin pyrki kaikin keinoin sovittamaan yhteen Faradayn teorian ja ranskalaisten markkinoiman kaukovaikutuslain, Maxwell sen sijaan ihastui alusta pitäen Faradayn tuloksiin. Oppilailleen hän vakuutti, että vaikka jokaisen tuli lukea Ampèren teoksia, myös Faradayhin tuli tutustua tieteellisen hengen harjoittamisen mielessä.

Maxwell ihastui Faradayssa mm. tämän dynaamiseen tutkimusasetteeseen, jossa etsitään kokonaisratkaisua. Maxwellia voimakkaimmin johtaneet ajatukset Faradayn tutkimuksessa olivat elektrotonisuus, magneettivoimaviivat, jotka vaeltavat magneetin materiaasta riippumattomina läpi avaruuden sekä polaarisuuden ja jännityksen luonnehtima väliaine.

Huolimatta Kelvinin vahvasta panoksesta hänen keinonsa ja ulottuvuutensa osoittautuvat Maxwellin rinnalla selvästi rajallisemmiksi. Vaikka Maxwell oli matematiikkansa puolesta paljossa velkaa Kelvinille heidän lähestymistapansa Faradayn työhön nähden olivat täysin erilaiset.

Kaksi erilaista tiedemiestä

Kelvin huomasi Faradayn työn merkityksen, mutta suhtautui torjuvasti tämän pohdiskelemaan, jopa uhkarohkeaan osaan fysikaalisessa lähestymistavassa. Kelvin lähti matemaattisesta kaavasta ja pyrki sisällyttämään Faradayn työn elementit siihen. Maxwell sen sijaan kävi suoraan Faradayn fysikaalisen asenteen sydämeen ja pääsi nopeasti vauhtiin kehittämällä geometrian tai visuaalisen yhtälön magneettisesta polarisaatiosta - sukua vuoviivoille ja pinnoille lämpöanalogiassa. Maxwell näki Ampèren esityksen universaalista sähköpyörteestä mahdolltomaksi pohjaksi yleisen ratkaisun löytymiselle. Myöskään Weberin teoria, sen paremmin kuin mitkään muutkaan mannermaiset yritykset eivät tuottaneet Maxwellille fysikaalista ymmärrystä kuvattavasta ilmiöstä tai horjuttaneet hänen lähestymistapaansa.²⁸

Kelvin oli kehittänyt matemaattisen esitystavan termein, joilla sähkö ja magnetismin peruskäyttäytyminen voitiin kuvata, mutta kuvaukset olivat mekaanisia, eivät geometrisia. Hän ei pyrkinyt kuvamaan mitään, mitä ei voinut kuvata ja esittää mekaanisesti. Kelvin ei myöskään sisällyttänyt analogioihinsa mitään Faradayn mielikuvia, kuten voimaviivat, magneettinen polariteetti tai elektrotoninen tila, joiden pohjalle taas Maxwellin analogiat oli nimenomaan rakennettu.

Vaikka Kelvin lähestymistapa oli dynaaminen vuosisadan alun termein, sen voidaan katsoa olleen kuitenkin mekaaninen vuosisadan lopun hengen mukaan. Vaikka Kelvin oli itse yksi uuden ortodoksisen dynaamisen linjan perustajista, oli hän kuitenkin itse kyvytön omaksuma valtointa mekaanisten mallien ja muiden hypoteettisten mielikuvien käyttöä, jotka olivat luonteenomaisia Maxwellille.

Ystävyydestään huolimatta Kelvin tuli kasvavassa määrin kriittiseksi Maxwellin sähkömagneettiseen teoriaan liittyvää lähestymistapaa kohtaan. Hän ailahteli jatkuvasti linjassaan Laplace ja Maxwellin välillä palaten lopulta Maxwellin linjalle jäädäkseen sinne, kunnes heilahti vihdoin kvanttimekaniikan perustajien vielä dynamistisempiin näköaloihin.²⁹

Suvereeni Maxwell

Ampèren lait toimivat toki myös Maxwellin mukaan moitteettomasti, ja siksi hän kuvasikin elektrotonisuuden selvittelyä eräänlaiseksi paradoksiksi. ”On myös hyvä, jos meillä on kaksi tapaa tarkastella ilmiötä”, hän arveli ja osoitti ilmeistä suvereeniutta fysiikan teorioiden arvioijana pitäessään Ampèren lakia vain *lopulliseen* ratkaisuun sopivasti ohjaavana. Maxwellin ajatuksellista joustavuutta kuvaa myös hänen kykynsä hyödyntää fysikaalisia ideoita ja analogioita sitoutumatta silti ideaan liitettyyn teoriaan.

1855 Maxwell oli jo luonut sähköstä ja magnetismista matemaattisen yleiskuvan, joka pohjautui Kelvinin lämpöanalogiaan elastisessa aineessa. Sähkö ja magnetismin keskinäinen ykseys sekä polarisaatio olivat Maxwellin johtolankoja hänen selvittäessään eteenpäin kuvausta voimaviivakentistä. Hän määritteli magneettisen polarisaation voimaviivojen ja niitä vastaan kohtisuorassa olevien tasapotentialipintojen avulla - analogisesti lämpövirtauksen kanssa. Jakamalla pinnat elementteihin hän määritteli voimaviivat, jotka kiersivät läpi avaruuden voimälähteestä sen ulostulopisteeseen. Voimaviivat osoittivat voiman suunnan. Maxwell ei kuitenkaan hyväksynyt Faradayn ajatusta voimaviivoista kuin materian elimellisinä jatkeina eikä nähnyt tätä kysymystä edes Faradayn voimaviivojen oleellisena ehtona.³⁰

Maxwell oli aloittanut eetteriä koskevan voimaviivaesityksensä kuvittelemalla eetterin putkissa virtaavaksi nesteeksi. Tätä kuvausta hän tarvitsi erityisesti voiman intensiteetin määrittämiseen. Magnetismia kuvatakseen hän jakoi magneetin ulkopuolelle jäävän avaruuden yksikköputkiin, joiden kautta kulkeva *magneetivuo* oli niiden jokaisessa poikkileikkauksessa vakio.

Vuon virtaus putkien seinämien läpi oli nolla. Jakamalla koko putkien täyttämän avaruuden yksittäisiin soluihin hän määritteli osa-alueiden polaarisaatioltaan ja potentiaaliltaan eritasoiset putkien elementit. Sähkökenttä muodostui analogisesti magneettikentän kanssa.

Maxwell osoitti, että Faradayn voimaviivoilla voitiin kuvata sähköön, magnetismin sekä galvanismin käyttäytyminen. Samoin Faradayn erottelemat suureet sähkömäärä ja intensiteetti saivat nyt kumpikin tärkeän paikan kentässä.

Tutkimus elektrotonisuudesta 1856 johti kuuteen lakiin, joihin Maxwell sisälsi määritelmät

1. magneettisesta ja sähkömagneettisesta induktiosta, jonka määrää ilmensi elektrotonisuuden intensiteetti mitattavassa tasossa
2. magneettisesta intensiteetistä, joka on riippuvainen magneettisen induktion määrästä
3. pinnan magneettisen intensiteetin riippuvuudesta sen läpi kulkeman virran suuruuteen
4. sähköisen johtavuuden yhtälöiden muodostamasta yhteydestä sähkövirran määrälle ja intensiteetille
5. suljetun piirin sähkömagneettisesta kokonaispotentiaalista virran ja elektrotonisuuden tulona
6. elektrotonisuudessa tapahtuvan intensiteetin muutoksen suhteesta väliaineen läpi kulkevan johtimen sähkömotoriseen voimaan.

Lämmöstä fysiikan yhdistävä tekijä

Kelvin oli antanut Maxwellille oleellisia virikkeitä Faradayn elektrotonisuuden määritelmiin sekä vuoputkijärjestelmän geometriseen konstruointiin. Maxwellin edessä nyt dynaamisen kentän visualisointiin Kelvin oli jälleen nouseva ajatusten virittäjäksi. Tätä edelsi kuitenkin valmisteleva prosessi. Kelvin oli kauan etsinyt ymmärrystä ranskalaisen **Sadi Carnot'n** lämpökoneiden teoriaan, kunnes puolalaisen **Clausiuksen** yksinkertaistettu lämpöteoria avasi hänelle uuden maailman. Kelvin oli itse asiassa ensimmäisenä nostanut esiin Carnot'n teorian, jotka olivat olleet tämän kuoleman jälkeen 15 vuotta unohtuneita. Clausius taas oli etsimässä staattisen lämpöteorian tilalle dynaamista. Siihen häntä innoitti **Joulen** löytö, mekaanisen työn ja lämmön ekvivalentti. Kaikki tämä viritti Kelviniä, joka tähtäsi nyt vielä pidemmälle.

Kelvinin haave oli rakentaa dynaaminen fysiikan lähestymistapa, joka perustui *energiaperiaatteen käyttämiseen kaiken yhdistävänä tekijänä*. Tähän kehittelyyn hän rohkaisti myös **William Rankinen**. Sen sijaan, että Kelvin olisi tyytynyt vain termodynamiikan lakeihin hän halusi myös ymmärtää, miten näiden lakien edustama prosessi olisi kuvattavissa mekaanisesti. Dynaamisuuden sijasta hän oli jossain mielessä mekanisoimassa termodynamiikkaa vaikka kaihtoiakin mekanistisia hypoteeseja. Lopulta Faradayn magneto-optinen koe houkutti Kelvinin kuningasajatukseen: *yhdistää myös magnetismi fysiikan universaaleihin mekaanisiin kehyksiin*.

Eetterikysymyksen paradoksi

Faradayn magneto-optiset kokeet ja niiden tulkinnat käynnistivät myös perinteisen materiakäsityksen uudelleen arvioinnin eetterikysymyksen innovoimana. Siitä huolimatta, että Faradayn ennakoima ajatus sähkömagneettisen aallon etenemisestä tyhjiössä julistettiin aikanaan totuudeksi, spekulointi eetterikäsitteellä oli osoittautuva hedelmälliseksi - jopa välttämättömäksi kehitysvaiheeksi. Boschovichin ja Leibnizin eetterikuvausten keskinäistä leikkiä vauhdittivat 1850-luvulla Faradayn lisäksi aluksi Rankine ja Kelvin. Rankine arvioi, Boschovichin tavoin, eetterin muodostuvan atomistisista, kaukovaikutteisista voimakeskuksesta kun taas Kelvinin eetterin olemusta kuvasi Leibnizin avaruus, joka oli dynaaminen, aineen voimien jatkumo.

Kelvin arveli, että koska auringon lämpö tulee valon muodossa läpi tyhjiön, meidän on oletettava valonsiirron yhteyteen väliaine, jota vain valo hyödyntää. Kyetäkseen välittämään värähtelevää valoa, elastisen väliaineen tuli Rankinen mukaan rakentua värähtelevistä, pyörteisistä atomeista. Polaaraisuus väliaineessa merkitsi ominaisuutta, joka pakotti koon ja muodon muutoksiin atomin aktiivisella alueella. Karttaakseen "*mekanistista filosofiaa*" Rankine arvioi liikkeen välittyvän atomin ja tätä ympäröivän "atmosfääriin" (aineen) ja toisten atmosfäärien välillä.

Kelvin väitti, että Faradayn magneto-optinen koe oli osoitus Leibnizin mallin mukaisesta yhtäjaksoisesta eetteristä. Kyetäkseen selittämään materiapartikkeleiden ja valoa välittävän magneettikentän keskinäistä suhdetta myös Kelvin tarvitsi pyörteistä atomimallia. **Hermann Helmholtz**ilta aiemmin saamassaan ideassa Kelvinin atomit olivat ytimiä ideaalisessa kokoonpuristuvassa "nesteessä".

Faradayn magneto-optisesta kokeesta on löydettävissä *alkusysäys sekä eetterin että materian pyörteisen atomiteorian kehittelylle*. 1856 Kelvin selitti magneto-optisuuden olevan ilmaus elastisesta reaktiosta eetterissä. Eetteri oli Kelvinille nyt heterogeeninen, näkymättömien, eri suuntiin pyörivien pyörteiden täyttämä värähtelevä, elastinen väliaine. Magneto-optista pyörimistä tämä rakenne ei kuitenkaan selittäisi sillä Faradayn kokeen onnistumisen edellytys oli valon oikea tulosuunta. Valonsäteen pyörimisen täytyi olla elastinen reaktio värähtelevässä materiapartikkeleiden pyörreatomi- rakenteessa - yhdistyneenä näiden omaan pyörimisliikkeeseen. Pyörreatomi edusti materiapartikkeleiden ja kentän keskinäistä suhdetta.³¹

Maxwell koki 1857 siirtyvänsä analogiavaiheesta konstruktiiiviseen oivallettuaan erään Kelvinin väitteen hyödyllisyyden ajatusprosesseilleen. Kelvinin mukaan magneettikentässä täytyi olla *jollain tavalla kyse pyörimisestä*, koska se pystyi vaikuttamaan valon polarisaatioon. 1860 Kelvin toisti Faradayn oman, aiemman johtopäätöksen kokeistaan, että sähköä ei tule ymmärtää vain joksikin luonnon oikuksi vaan suorastaan *materian ytimeksi*. Kelvin päätteli magneto-optisesta kokeesta, että "oli sähkö mitä tahansa, näyttää melko varmalta, että liikkueksaan se on lämpöä, ja että pyörimisakselien määrätyillä suuntauksilla tämä liike on magnetis-mia". Näin Ampéren sähköpyörteitä sivuttiin jälleen kerran.

Kelvin kehitti pyörteisen atomin mallista edelleen hypoteesin kaasujen kinematiikasta. Liittyen Youngin teoriaan valon spektristä, sen viittauksesta valon moniin aallonpituuksiin, Kelvin esitti dynaamisen teorian, joka edellytti "yksinkertaisten värähtelevien kappaleiden" omaavan yhden tai useampia värähtelyn perusjaksoja. Vasta 1875 Maxwell hyväksyi Kelvinin teorian värähtelevästä pyörreatomista korvaamaan aiemman ajatuksen molekyylien värähtelystä spektrin synnyttäjänä.

Sisäisen värähtelykykynsä ansiosta vain Kelvinin esittämä pyörreatomi sopi Maxwellin mukaan valon ja magnetismin keskinäisen suhteen perustaksi. On jopa arvioitu, että jos Kelvin ei olisi aiemmin korvannut Newtonin atomistista eetteriä Leibnizin ratkaisulla, ehkä koko pyörreatomiteoriaa ja edelleen myöskään kenttäteoriaa ei olisi koskaan syntynyt.³²

Pyörreatomit ja elektrotonisuus

Maxwell arvioi, että magneettinen vaikutus synnyttää väliaineen mekaanisissa olosuhteissa vaihtelevia prosesseja; virtoja, värähtelyjä, siirrostoiloja, jännitteitä tai rasituspaineita. Näiden muutosten taas oli vaikea kuvitella olevan seurausta magneettien veto- ja poistovoimista, joiden mukaan toki saatiin samat, yhtenevät tulokset. Sen sijaan voimaviivat indikoivat selvästi resultanttivoimia osoittaessaan väliaineessa syntyvän minimirasituksen suuntaa tutkitussa pisteessä.

Seuraava askel oli kehitellä mekaaninen malli, jossa kuvitellut prosessit voisivat toteutua. Hypoteesissa pyörreatomien pyörimisakselit olivat yhdensuuntaisia magneettikentän voimaviivojen kanssa (tai itse voimaviivoja). Väliaineessa esiintyvät paine-erot Maxwell kuvasi seuraukseksi pyörreatomien pyörimisestä eri suuntiin. Suunta taas riippui voimaviivan polariteetista.

William Rankine

Maxwellin mekaaninen malli

Sähkövirta synnyttää voimaviivoja ja magnetismin voimasta taas voidaan määrittellä sähkövirran suuruus, mutta miten pyörteiden tietynlainen käyttäytyminen tuottaa sähköä? Pyörreatomien analogiakuva, joka liittyi magnetoidun väliaineen jännitetiloihin, oli monella tavalla puutteellinen. Mm. vierekkäisten, samaan suuntaan pyörivien pyörteiden toisiaan hipovat ulkokehät liikkuvat nimittäin vastakkaisiin suuntiin. Vaikka tämä ei huolettanut Kelviniä, se nousi Maxwellille ensin pulmaksi ja *kääntyi lopulta uudeksi virikkeeksi*.

Hän huomasi, että sijoittamalla pyörteiden väliin pyöreitä partikkeleita nämä uudet elementit alkoivat pyöriä paikallaan pyörteiden avulla. Sen sijaan alueella, jossa vierekkäisten voimaviivojen polariteetti oli vastakkainen, vastaavat pyörteet pyörivät eri suuntiin, mutta niiden toisiaan hipovat kehät taas samaan suuntaan. Tällöin välitilaan sijoitettu partikkelijono (välillä A-B) oli pakotettu liikkumaan sivusuunnassa - kohtisuoraan voimaviivoja vastaan. Liikkuva partikkelijono kuvasi jatkuvaa sähkövirtaa, joka oli näin rajana kentän polariteetin vaihtumiselle.

Mekaaninen energia säilyi niin kauan kuin partikkelit pyörivät paikallaan pyörteen yhteydessä. Energiaa taas menetettiin voimaviivojen polarisaation muutosalueella, jossa partikkelit liikkuvat sivusuunnassa pyörteeltä toiselle. Jos ulkoa ei tuotu kenttään muutosta, virta hävisi.

Elastisen dielektrisyyden ja tyhjiössä vaikuttavan kentän analogia

Muutokset pyörteiden nopeuksissa eli magneettikentän voimaviivoissa aiheuttivat siis virran, joka ilmeni ja välittyi hetkessä koko kentän vaikutusalueelle. Johteissa magnetismi sai partikkelit siirtymään pyörteestä toiseen helpommin kuin eristeessä. Muutos dielektrisen aineen sähkökentässä taas aiheutti varauspartikkeleihin vain pienen liikkeen - ehkä vain saman pyörteen alueella - aiheuttaen pienelle alueelle väliainetta eräänlaisen vääristymän, polarisaation, joka palautui kun kenttä hävisi. Ajatus dielektrisestä aineesta elastisena johti päätelmään, että ulkoisen kentän kadottua polarisaation palautuminen merkitsi vastakkaisen sähkömotorisen voiman purkausta.

Mekaaninen malli oli antava Maxwellille vielä erään ratkaisevan virikkeen. Hän oli tyytymätön tutkimuksen tilaan erityisesti siinä, että sekä magnetismista että sähköstä luodut matemaattiset kaavat pysyivät yhä keskenään irrallisina - puhumattakaan yhteydestä muuhun tieteeseen. Maxwell tähtäsi täydellisempään ratkaisuun. Hän arvioi mm. Ampèren kaavaa virran ja kentän voimakkuuden keskinäisestä suhteesta epätäydelliseksi. Se kuvasi Ampèren kokeiden tuloksia vain vakiovirralla ja suljetun virtapiirin tapauksessa. Differointi avasi mahdollisuuden uusille termeille - olematta silti ristiriidassa aiemman kanssa. Avoimesta virtapiiristä Maxwellilla ei ollut mitään koeaineistoa. Sysäys lain yleisen ratkaisun muovaamiseen, ajatus siirrosvirrasta, syntyi paradoksina - ”mallin pakottamana”.

Elektrotonisuus oli saamassa siirrosvirrassa uuden vahvistuksen. Merkitsihän elektrotonisuus juuri varausten uudelleen asettumista. Maxwell vakuuttui siitä, että *siirtymä* - vääristyminen - syntyi myös tyhjiössä tapahtuvan *elektrotonisuuden muutosten vaikutuksesta*. Hän uskoi kentän käyttäytyvän täälläkin elastisesti. Siirrosvirta oli itse asiassa kentän itsensä synnyttämä virta, muutos sähkökentässä.

Weber oli 1857 kehitellyt dynaamista teoriaa sähkömagnetismista ja muovannut lausekkeen liikkuvien sähkövarausten välisille voimille, mutta se perustui edelleen Coulombin kaukovaikutuslakiin. Kaavassa oli käytetty vakiona arvoa, jonka Weber sai kokeissa magneetti-ilmiön nopeudelle. Maxwell huomioi, että se oli erehdyttävän lähellä yleisessä tiedossa olevaa arvoa valon nopeudesta. Weber ei nähnyt tässä mitään virikettä, mutta Maxwell sen sijaan kirjoitti pian Kelvinille: ”*Voimme tuskin välttää päätelmää, että valo koostuu saman väliaineen poikittaisesta aaltoliikkeestä, joka myös aiheuttaa sähkö- ja magneetti-ilmiön*”.

Maxwell oli Weberiä universaalimpi myös siinä, että hänellä *teorian kokoava tekijä oli kentässä siirtyvä energia*. Lämmön ja valon säteilyn yhdistelmä oli hänelle vakuutus energian siirrosta. Vuosien takainen ratkaisu tukeutua Faradayn ideoihin, sai lisää vakuuttavuutta Ampèren vaihtoehtoista näkökulmaa vastaan. Eetterin oleellisen osuuden puolesta puhui mm. se, että osan kappaleen emitoimasta energiasta täytyi matkalla kohteeseensa olla liikkeen muodossa ja osan taas varastoituneena elastisen eetterin kimmoisuudessa.

”Minun väliaineeni on elastinen, kaikissa elastisissa väliaineissa esiintyy aaltoja, siis myös minun väliaineessani” päätteli Maxwell. Hänen magnetisoitu väliaineensa oli kuin solurakenne, jossa elastisina väliseiminä toimivat sähköä edustavat partikkelit. Partikkeleiden liike vääristi solurakennetta ja tämä prosessi eteni kuin värähtely solusta toiseen. Weberin laskelmia hyödyntäen hän määrittä tämän väliaineen kimmoisuuden sähkömagneettisen kentän vaikuttaessa ilmassa. Laskiessaan näillä arvoilla värähtelyjen etenemisnopeuden kuvittelemassaan solurakenteessa hän sai tulokseksi valon nopeuden luokkaa olevan arvon. Maxwellin jo 1856 määrittelemät lausekkeet elektrotonisuudesta alkoivat muovautua nyt lopullisiksi yhtälöiksi kuvaamaan sähkömagneettisessa kentässä tapahtuvia prosesseja.

Maxwellin yhtälöiden roottorielementti ”curl”

Maxwellin oman mallin merkitys kasvoi huomasti, kun hän oivalsi elektrotonisuutta kuvaavan jännitystilän - alueellisten paine-erojen - selittyvän keskipakoisvoiman aiheuttamista paineeroista pyörteen akselin ja kehän välillä. Oivallus näkyi myös malliin liittyvän matematiikan kehitymisessä. Maxwellin nimeämä ja yhtälöissään käyttämä ”curl”, *roottorielementti* sai syntyinsä sysäykset Helmholtzin ja W.R.Hamiltonin tuoreista löydöistä. Helmholtz oli havainnut Eulerin ja Lagrangen nestevirtaukseen liittyvien matemaattisten teorioiden puutteen pyörteiden osalta ja muovasi 1858 matemaattiset kuvaukset nestepyörteestä.

$$\alpha = dv/dz - dw/dy, \quad \beta = dw/dx - du/dz, \quad \gamma = du/dy - dv/dx$$

α, β, γ ovat nesteen pyörteen nopeuskomponentit pisteessä x, y, z

(α, β, γ) : n resultantti taas ilmaisee pyörteen akselin suunnan

u, v, w ovat nesteen nopeuden komponentit pisteessä x, y, z

Maxwell sovelsi nyt Helmholtzin kuvausta pyörreatomiin ja muovasi Ampèren lain differentiaalimuotoon.

$$p = 1/4\pi (d\gamma/dy - d\beta/dz)$$

$$q = 1/4\pi (d\alpha/dz - d\gamma/dx)$$

$$r = 1/4\pi (d\beta/dx - d\alpha/dy)$$

Siirrosvirta ilmeni lisäterminä - kentän aikaderivaattana. Sähkövirran komponenttia kuvasi lopulta

$p = 1/4\pi (d\gamma/dy - d\beta/dz - 1/\epsilon^2 dP/dt)$, vakiovirralla siirrostermi osoittautui nolllaksi, vakion ϵ muovasi **Hooken** laki (dielektrinen aine oletettiin elastiseksi)

α, β, γ edustavat *magneettisen kentän intensiteetin komponentteja*

p, q, r edustavat *sähkövirran tiheyden komponentteja* ja P *sähkömotorisen voiman intensiteettiä*

Yhtälö toteutui hänen mukaansa seuraavin piirtein:

Jos α, β, γ edustavat lineaarista nopeutta, silloin p, q, r edustavat pyörteistä nopeutta

Jos α, β, γ sen sijaan edustavat pyörteistä nopeutta, silloin p, q, r edustavat suoraviivaista, teoriassa oletettujen partikkeleiden virtaustiheyttä.

Elektrotonisuus oli toinen käsite, joka sai siirrosvirran myötä Maxwellin kasvavan arvostuksen. Hän kuvasi sitä - ilman määrittystäkin - *sähkömagnetismin perussuureeksi*. Nyt hän määritteli elektrotonisuuden = *magnetisoitumisen intensiteetin*, matemaattiseksi suureeksi, *sähkömagneettiseksi momentiksi A* (komponentit F, G, H). *Magneettisen induktion* ($\mu\alpha, \mu\beta, \mu\gamma$) ja A :n suhteen hän taas määritteli

$$\mu\alpha = dG/dz - dH/dy, \quad \mu\beta = dH/dx - dF/dz, \quad \mu\gamma = dF/dy - dG/dx$$

Hamilton oli kehittänyt 1860-luvulla uutta matemaattista operaattoria korvatakseen Lagrangen yhtälöissä esiintyvän hankalan komponenttirykelmän *kvaterniolla*. Maxwellista tuli yhtälöiden - kautta kvaternion ensimmäinen käytännön hyödyntäjä. Hän huomioi *potentiaalilin* ja *vektorin keskinäisen suhteen geometrisen luonteen* ja kutsui kvaterniota operaattoriksi, jonka avulla vektori voidaan johtaa potentiaalista. Elektrotonisuutta A kuvasi nyt uusi nimitys, *vektoripotentiaali*.

Yhtälöt muuttuivat ulkonaisesti ja nyt magneettinen induktio $\mathbf{B} = \text{curl } \mathbf{A}$
 Hamiltonin vektori-idea oli löytö, jonka Gibbs ja Heaviside perivät Maxwellin yhtälöistä ja kehittivät edelleen - ja pian em. Maxwellin yhtälöistä voitiin kirjoittaa muotoon:

$$\mathbf{J} = 1/4 \pi \nabla \times \mathbf{H} + d\mathbf{D} / dt \qquad \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$$

Sähkömagneettinen aaltoliike ja energian siirto avaruudessa

Magneto-optisen kokeen tulos lie rajannut vuodesta 1845 lähtien Faradayn näköalaa sähkökentästä. Hän ei tällöin kyennyt toteuttamaan Kelvinin esittämää koetta sähkökentällä. Osaksi ehkä juuri tämän vuoksi hänen teorian valon luonteesta lähti kehittymään eri linjalle kuin Maxwellin myöhemmin esittämä valoteoria. Faraday oletti valon olevan magneettiaallon tulosta, kun taas Maxwellin mukaan valolla oli sähkömagneettisen kentän luonne. Maxwell osoitti, että pelkkä magneettiaalto häviää nopeasti. Sen sijaan *sähkö- ja magneettikenttien keskinäiset muutokset, niiden aallot, aktivoivat toinen toisiaan, ja tällaisen kombinaatioaallon voima säilyy kauemmin.* Ajatus siirrosvirrasta nousi näin todelliseksi avaintekijäksi. Se oli itse asiassa kentän itsensä synnyttämää virtaa, joka vahvisti magneettikenttää. *Kentän etenemisen - koko aaltoteorian kannalta - yhdistävä ja välttämätön tekijä oli löytynyt.*

Vaikka Maxwell saikin Kelviniltä lopullisen sysäyksen energian osuuden korostukseen kentässä, hänen todellinen innoittajansa oli Faradayn kentäteorian energettinen ilme. Lisäksi, kun Kelvin luonnehti esim. sähköä aiheuttamaa "häiriöprosessia" eetterissä fysikaaliseksi, ilmaisivat Faraday ja Maxwell "häiriön" itsessään sähköksi. Maxwellin mukaan materia on vain energiaa vastaanottava, säilyttävä ja lähettävä astia. Tämä salainen kyky on löydettävissä vain materiasta, sen sisimmästä olemuksesta. Kelvin uskoi 1871, että Maxwellin löydöt antaisivat ihmiskunnalle pian *vastauksen kysymykseen atomin rakenteesta.*

On ilmeistä, että Maxwell ei itse nähnyt teorian arvoa. Hän uskoi valon olevan sähkömagneettinen ilmiö, mutta hän tuskin uskoi sähkömagneettisten aaltojen olevan synnyttävissä laboratoriossa. Kysymys kentän ja sähkömagneettisen lähteen fysikaalisesta suhteesta ei ehtinyt nousta hänen ajatuksiinsa. Maxwellin elämä päättyi Einsteinin syntymävuonna 1879 - juuri ennen amerikkalaisen **David Hughesin**, ilmeisesti Lodgein innostamana suoritetun, onnistunutta koetta. Lodge oli samana vuonna saanut idean aaltojen synnyttämisestä sähkömagneettisesti. Kondensaattorista, Leidenin pullosta, tulisi avain tähän kokeiluun - sen jännite värähteli purkauksessaan piirin kautta, jonka vastus oli pieni. "Jos se värähtelisi riittävän nopeasti, se emittoisi valoa." Hughesin kokeen indikaattorina toimi 100 metrin etäisyydellä puhelimen kuulokkeeseen asennettu hiilikärki.³³

Varsinaisesti vasta 1880-luvulla maxwellistit Lodge, FitzGerald, Heaviside ja Larmor havahtuivat näkemään oppi-isänsä teorioiden arvon. He alkoivat rakentaa omia pyörreatomimallejaan ja haltioituneet huudahdukset Maxwellin teorioiden ääressä tulivat yhä yleisemmiksi. Vuoden lopulla Helmholtz julisti Berliinin Akatemian kilpailun Maxwellin teorian toteuttamiseksi - ja odotti Hertzin ottavan haasteen vastaan, mutta kilpailuaika kului umpeen. 1884 Heaviside ilmoitti kokeidensa osoittavan, että sähkövirrasta osa todella varastoituu avaruuteen johtimen ympärillä ja virran katkaisun yhteydessä pyrkii takaisin johtimeen - myös muihin lähistöllä oleviin johtimiin.

Fyysikoiden vähäpätöiseksi leimaama teoria siirrosvirrasta oli saanut jo 1883 vahvistuksen **J.H.Poyntingin** ansiosta. Hänet oli havahduttanut Faradayn spekulointi romahtavista kentistä ja energian virtauksesta avaruudessa. Oikoen maxwellistien monimutkaisia ajatuksia kenttämalleistaan hän esitti teorianensa energian virtauksesta paikasta toiseen - se oli yksinkertaisesti sähkö- ja magneettikentän vektoritulo. Koska kenttää kantava siirrosvirta pääsi oikeuksiinsa juuri kentän suurilla muutosnopeuksilla, sen olemassaolo ja merkitys tuli Poyntingin laskujen avulla tukemaan Heavisiden huomiota. Energia ei siirtynytään johtimen sisällä vaan sitä ympäröivässä avaruudessa. Maxwellisteilta, kuten FitzGeraldilta, puuttui kuitenkin jotain oleellista - kentässä etenevän prosessin indikaattori. FitzGerald kehitti Lodgen ajatusta eteenpäin teoriatasolla ja oli Heavisiden tavoin kiinteästi yhteydessä Hertziin tämän jo innostuttua asiasta. Hertz onnistui siinä, mihin brittien usko ei riittänyt - riittävän suuritajuinen lähettävä virta todellakin synnytti havaittavan kipinän vastaanottimen kärkivälissä.³⁴ Hertzin tutkimus huipentui vuosiin 1887-8.

Faradayn ahdistuksen kauaskantoinen hedelmä

Hertz antoi kokeidensa onnistumisen myötä myös ”lopullisen” kuoliniskun kaukovaikutusteorialle, jonka korvasi *uusi todellisuus, teoria sähkömagneettisesta kentästä*. Kenttäteorian historiallinen todistaminen nostaa kuriositeettina muiston Faradayn 1849 kaikessa hiljaisuudessa suorittamista kokeista gravitaatiokentän mahdollisesta yhteydestä sähkökenttään. Faraday oli loppuun saakka uskollinen ajatukselle kenttäteoriasta. Hän oli miltei alituisessa, ajoittain myös masennukseen johtaneessa kamppailussa vallankumouksellisine ajatuksineen, ikään kuin koko tiedemaailman sisäistä sovittua hiljaisuutta vastaan.

Miten kenttäteoria olisi kehittynyt, jos Faraday kaukovaikutusteorian ehdottomana ja pitkään ainoana vastustajana Britanniassa olisi luopunut linjastaan ja uskonut ranskalaisia? Kelvin, jo muutenkin labiili linjassaan, olisi ollut entistä yksinäisempi. Faradayn ja Kelvinin mahdollisesti Maxwellille tarjoamat virikkeet olisivat olleet täysin toisenlaiset. Juuri Faradayn kenttäteoria oli se työkalu, jota käyttäen Maxwell johti kauaskantoiset yhtälönsä.

Uusi todellisuus ei vain merkitsee uutta näkökulmaa luomakunnasta. Sen löytymisen vakuudeksi Todellisuuden käsite muuttui Maxwellin ryhmän löytöjen myötä havaittavien kappaleiden mekaniikasta *selittämättömien, jatkuvien kenttien kuvaamaan todellisuuteen. Einstein arvioi tämän muutoksen todellisuuskäsitteessä syvällisimmäksi ja hedelmällisimmäksi, mitä fysiikassa on koettu sitten Newtonin*. Mutta Kelviniä ja monia muita fyysikoita Maxwellin yhtälöt eivät tyydyttäneet. Ne eivät sisältäneet mitään konkreettista - ne olivat kuin maagiset apuvälineet, jotka vain johtivat oikeaan ratkaisuun. Hertz huomautti: *”Emme voi paeta tunnetta, että näillä yhtälöillä on todellisuus ja älykkyys itsessään, että ne ovat viisaampia kuin me olemme, jopa viisaampia kuin keksijänsä, ja että me saamme niistä enemmän irti kuin mitä niihin on alunperin sijoitettu.”*

Faraday, Kelvin ja Maxwell olivat monessa mielessä omalla kentällään suvereneja tämän 40-vuotisen prosessin aikana. Heidän, kuten myös Newtonin henkilökuvaan on siksi syytä palata myöhemmin, mutta kolmikön saama apu ranskalaisilta ja näiden täydellinen katoaminen 1830-luvulla ansaitsee ensin oman tarkastelunsa.

FYYSIKON OMA DYNAAMISUUS JA HÄNEN MAAILMANKUVANSA

Jumalaiset löydöt eivät tapahdu sen paremmin mekaanisissa, loogisissa päätelmissä kuin transkendentiaalissa mietiskelyssäkään. Psykiatri Rollo May nimeää sen sijaan *luovuudessa konfliktin "kaiken" kuninkaaksi ja isäksi, ja arvioi luovien yksilöiden maksavan ahdistuksesta korkean hinnan turvattomuuden ja herkkyyden muodossa - "mutta he kestävät sen"*.

Nämä paradoksaaliset, suurten luomistekojen edellytykset piirtyvät selvästi esiin Faradayn olemuksesta. Olkoot ne siksi virittämässä myös ranskalaisten ja brittien - heidän olemustaan muovanneiden maailmankatsomusten ja -kuvien tarkastelua.

Mitkä voisivat olla perustekijöitä ranskalaisten jäämisessä vuosikymmeniksi sivuun modernin fysiikan tutkimuksissa? Ranskalaisten rasite ei lie ollut lopultakaan pelkkä newtonismiin urautuminen. Juuret ovat syvemmällä. Liittyen oman analyttisen metodinsa hyödyntämiseen fysiikassa Lagrange jakoi jo 1781 d'Alembertille huolensa: "Ellemme löydä (kaivoksestamme) uusia esiintymiä, meidän on hylättävä se ennen pitkää." Lagrange uskoi matemaattisen analyysin saavuttaneen jo hyödynnettävyytensä rajat.³⁵

Yksi oleellinen merkki muutoksesta Ranskan hengessä oli se, että Fourier, epäilyksistä huolimatta, kykeni hyödyntämään menestyksellä Eulerin ja Lagrangen kehittämää analyttistä työkalua. Fourier oli Britanniassa suuresti arvostettu - Green mm. rakensi oman sähköteoriaansa Fourier'n innoittamana. Brittien hengen erilaisuus ilmenee silti myös Fourier'n kohdalla, sillä Maxwell kritikoi häntä vuorostaan fysikaalisen ilmiön kaventamisesta pelkäsi matemaattiseksi luurangoksi.

Fourier oli myös ensimmäinen ranskalainen, joka onnistui murtautumaan ulos Laplace'n siteistä. Samalla lämpöteorian rakentamisessa oli siirrytty uuteen näkemystapaan. Fresnel oli toinen Laplacea vastaan kapinoinut ja ratkaisevasti brittejä eteenpäin auttanut fyysikko.

Maailmankuva vai Newtonin malli

Se, mitä Lagrange jäi ehkä odottamaan ja mikä jo toteutui Fourier'ssa ja Fresnelissä oli uusi lähestymistapa luomakuntaa tutkittaessa. Laplace ja häntä edeltävä, itse asiassa koko länsimainen tiedeyhteisö oli vanhan, mekanistisen maailmankuvan sitoma. Uusi, 1800-luvun alussa Euroopassa virinnyt maailmankuva ja asenne luonnon tutkimiseen oli dynaaminen.

Mekaaninen ja dynaaminen malli ovat vuorotelleet kautta historian. Kreikan atomismin uudelleen syntyminen mm. **Gassendin** ajatusten myötä loi pohjan mekanistisen filosofian nousulle hallitsemaan valistuksen tieteitä. **Francis Bacon** ja **Galilei** on luokiteltu mekanisteiksi, ja ovatkin sitä verrattuna renessanssin edeltäjiinsä. **Kepler** oli vahvasti uusplatonisti ja dynaaminen filosofi.

Viime vuosina myös käsitys Newtonin ajatuksista on muuttumassa monivivahteisemmaksi. Hänen johdonmukaisimmat elementtinsä ovat paremminkin matemaattisia ja teologisia kuin fysikaalisia ja filosofisia. Newtonin mielikuva ja käsitteistö oli dynaaminen hyljätessään mekanismit ja kannattaessaan käsitteitä aktiivisista perusteista - voimista tai voimien syistä, jotka *levittäytyvät läpi avaruuden ja olivat toisaalta fysikaalisia, mutta toisaalta aineettomia*. Newto-

nin teoria painottomasta nesteestä loi 1700-luvulla jo **Benjamin Franklinille** sähköteoriaan liittyviin kokeisiin arvokkaan käsitteellisen työkalun.³⁶

Sen sijaan, että Newton itse olisi ollut syyllinen ns. *newtonismin* syntyyn, tämän tutkimuslinjan *muovaaja oli paremminkin valistuksen ajan henki*. Newtonin löytöjen tuoma into loi 1700-luvulla todellisuudessa *kaksi newtonismia; toisen fyysikaaliseen, toisen ihmistuntemuksen maailmaan*. Valistus ilmaisi todellisuuden tavoitettavuuden *aistiperäisenä*, mutta tuloksiin olisi suhtauduttava *skeptisesti*.

Newtonin ja Locken opit muuttuivat matkalla yli kanaalin

Newtonin ystävän, filosofi **John Locken** teoriat aistien rajaamasta todellisuudesta olivat saaneet Ranskan valtoihinsa. Matemaatikko **d'Alembert** arvioi, että tieteet voitiin pelkistää yhteen tosiasiaan, jumalalliseen ymmärtämiseen, ja että matematiikan ja kaikkien tieteiden osalta *totuus oli identtinen itsensä kanssa*. Condillacille kaikki ajatukset olivat muunnettuja aistielämyksiä ja d'Alembert ylisti Lockeä siitä, että hän oli luonut metafysiikasta sellaisen ulottuvuuden, joka oli lopulta vain ihmismielen kokemusperäistä askartelua. Älyperäiset ideat olivat vain muistista nousevia aistikuvia - ja muistia taas vartioi mielihyvä. *Tieteen kehitys oli ranskalaisille tästedes vain tekninen kysymys. "Suurmiehiä, jotka nyt ovat harvinaisia, voidaan tuottaa lainsäädännön ja tehokkaan kasvatustjärjestelmän avulla niin paljon kuin haluamme"*, arvioi **Helvetius**, jonka valistusaika nimesi "ihmistuntemuksen Newtoniksi".³⁷

D'Alembertin ja myöhempien ranskalaisten, kuten Laplacen tietoteoriasta tuli lopulta mielikuvitusta rajoittava ja ehdottoman aistipohjainen. D'Alembert salli tiedemiehen ottaa huomioon vain ne aistiperäiset elementit, joilla oli selvä geometrinen muoto. **Condillacin** perintö oli tätäkin hallitsevampi. Koska ilmiöiden käyttäytymisen analysointi paljastaa luonnon lait, hän suorastaan varoitti kaikista ilmiöiden alkusyiden tutkimisesta. *Aistit ovat ainoat apuvälineemme - niiden antaman kuvan tuolta puolen emme käsitä mitään*.³⁸

Perustan varsinaiselle newtonismille loivat fyysikaalisessa maailmassa Newtonin eetterispekulaatiot ja matemaattiset teoriat gravitaatiosta yhdessä Locken mekanistisen luonnon lähestymistavan kanssa.

Ranskalaisten sokea into ajoi oleellisessa asiassa kuitenkin ohi Locken. Tämä osoitti nimittäin itse, skotlantilaisen **David Humen** tavoin, aistien kyvyt rajalliseksi. Hume ajautui suorastaan skeptisyyteen kysymyksessä ajatuksen suhteesta todellisuuteen. Locke oli kartoittanut ihmistä paljon syvemmin kuin d'Alembert. Hän osoitti Baconin kokemusperäisyyden ja Descartesin rationalismin heikkoudet, etenkin niiden liian varmat ja nopeasti vedetyt väitteet tavoitetusta "totuudesta".

Dynamistisen tieteenfilosofian synty

Kun *mekanistinen filosofia* eteni Englannissa ja Ranskassa newtonismin ja Locken virittämänä, muovautui samaan aikaan kilpaileva, *dynaaminen linja* Skotlannissa ja Saksassa. Se pohjautui Newtonin maailmankuvan dynamistisille osalle.

Prosessin käynnistäjä oli Hume. Hänen kritiikkinsä oli uhka kristittyjen uskolle, mutta myös tieteen mekaanisen varmalle arviolle tietojen objektiivisuudesta. *Pelkkä järki ja kokemus ei kykenisi kuvaamaan todellisuutta*. Samoin synn ja seurauksen periaatteet kyseenalaistettiin.

Humen tueksi tuli saksalainen filosofi **Immanuel Kant**, joka hyväksyi kriittisyyden järjen mekaanista käyttöä kohtaan, mutta hyväksyi myös subjektiivisuuden todellisena voimavarana. Sen sijaan, että etsisimme universaaleja lakeja kokemusperäisesti vain luonnosta, meidän on

Kantin mukaan *etsittävä luontoa, sen säännöllisyyttä, oman kokemuksemme mahdollisuuden ehdoilla, jotka ovat herkkyydessämme ja ymmärryksessämme*. Kantin korostamasta ihmismielen osuudesta tieteessä tuli dynaamisen tradition avain. Hän pelasti myös Humen riepottelemat syyn ja seurauksen elementit takaisin tieteen käyttöön.³⁹

Romantiikan aallon myötä Kantin ajatukset levisivät myös Britanniaan. S.T. Coleridge arvioi tieteen tavoitteeksi luonnonlakien johtamisen, ja nämä lait edustivat ihmismielessä alunperin olevia totuuksia - ei huomioista tehtyjä yhteenvetoja. Uuden, dynaamisen luonnon lähestymisen linjan olivat omaksuneet myös monet fyysikot ja matemaatikot, kuten Leibniz ja Boschovich.

Skotteja ohjasi lisäksi **Thomas Reidin** muovaama *common sense*. Reid oli Humen vastustaja ja lisäsi Kantin arvioon kokemastamme luonnon lainmukaisuudesta sen, että *kausalisuus ei ollut yksin ihmismielen tuote vaan se todella esiintyi myös luonnossa*. Reidin ansioksi on laskettava myös analogisen metodin käyttöönotto skotlantilaisten tieteessä.

William Whewell

John Herschel

Hermann Helmholtz

Whewell ja ”induktion kipinä”

Brittien dynaamisen linjan varsinainen auktoriteetti oli filosofi, pappi ja fyysikko William Whewell. Induktio ja sen merkki, intuition inspiroiva kipinä oli hänelle kaikkien tieteellisten löytöjen perusta. *Intuitio tai kyky uusien totuuksien löytämiseen ei ollut vapauttavissa harjoituksella*, vaikka matemaattisen deduktion kautta oppilaat voitiin toki opettaa järjestelemään ja arvioimaan löytöjään.

Epätieteellisen intuition markkinoinnista huolimatta Whewell teki silti enemmän kuin yksikään toinen nostaakseen matematiikan arvoonsa Cambridgen insinöörien opetuksessa. Hän osoitti myös korostetusti näkemyseronsa induktion olemuksesta vastapelurin, **John Stuart Millin** kanssa. Whewellin mukaan *myöskään induktio ei ollut opetettavissa vaan se on paremminkin osa tutkijaa itseään*. Mill uskoi luonnosta suoraan löydettävän selviä muuttumattomia lakeja. Mutta Whewellin ratkaisu ei ollut yksiselitteinen havaintojen summa vaan monipolvinen oivallus, johon tutkija yltää tuntiessaan jo ennestään tutkimaansa ilmiöön liittyviä

ajatuksia; “Sillä induktion prosessiin kuuluu mysteerinen askel, jonka avulla me siirrymme yksityiskohdista yleistyksen.”

Whewell huomioi matemaattisia neroja nousevan ihmiskunnasta paljon useammin kuin Faradayn tapaisia luonnontieteellisiä löytäjiä. Näiden kahden tyyppin mielen rakenne oli Whewellin mukaan selvästi toisistaan poikkeava. Ampèren hän nosti vuorostaan esimerkiksi uuden aallon edustajana, joka Fourier'n ja Fresnelin tavoin vastusti aistien rajaamaa tietoteoriaa Ranskassa. Whewell totesi, että Laplacen ryhmä, joka omaksui tämän Locken innoittaman linjan brittejä täydellisemmin, rajasi myös metafyyysiset komponentit tietoteoriastaan. Juuri *intuitiota korostetusti arvostaneesta Ampèrestä* muodostui välittävä rengas ketjussa Örstedistä Faradayhin ja saksalaisiin sähködynamiikan nimimiehiin.

Fyysikot, kuten Green, Stokes ja Kelvin seurasivat Whewellin esimerkkiä dynaamisesta tutkimustavasta. Maxwellin opettajista merkittävin oli skotti, fyysikko **James Forbes**, hänkin Whewellin vaikutuspiiristä. **William Rowan Hamilton**, *kvaternion, vektorin edeltäjän* keksijä oli niin ikään dynaamisen linjan vahva edustaja. Maxwell oli sekä ystäviensä että opettajiensa taholta täydellisesti dynaamisten näkemysten piirtämä. Maxwellin dynaamisuutta kuvaa selvästi hänen ajatuksensa, että materian ja mielen lait nousivat samasta, kaiken viisauden ja totuuden lähteestä.

Dynaamisuuden lisäksi Forbes, Stokes ja Kelvin ruokkivat kaikin keinoin Maxwellin tieteellistä luovuutta matemaattisella ja kokeellisella alueella. Maxwell huomasi syvenevää kiintymystä metafysiikkaan, jossa hän arvioi vaeltavansa kymmenen kertaa ylempänä Whewelliä kuin mitä tämä on Milliiä, tai Comte taas Millin alapuolella. Mill sovelsi juuri Maxwellin elinvuosina ihailemansa Comten *positivismia* muovatakseen 1800-luvun lopulla brittien tieteenfilosofiaa - jälleen mekanistiseksi ja mahdollisimman tämänpuoleiseksi.

Valistuksesta dynaamisuuteen

Valistuksen vuosisata 1700-luku oli ravistellut filosofien lisäksi perusteellisesti myös tiedemiesten maailmankuvaa. Silti “jokaista jumalatonta matemaatikkoa kohti löytyi edelleen yksi jumalinen - jokaista d'Alembertia vastasi yksi **Euler**”, kuten uuspakanuuden nousua kuvaava filosofi **Peter Gay** sen ilmaisi. Laplace ajautui determinismiin matematisoidessaan Jumalan “Älyksi, joka tietynä hetkenä tuntisi kaikki luonnossa vaikuttavat voimat ja kaikkien maailman rakennusosasten aseman, kykenisi yhteen ainoaan kaavaan mahdollittamaan suurimpien kappaleiden liikkeen avaruudessa ja pienimpien atomien retket. Tältä älyltä ei mikään olisi salattua, vaan sekä tulevaisuus että menneisyys olisivat avoinna sen katseille.” Laplace ei toki voinut sijoittaa Jumalaa kaavoihinsa, jota puutetta **Napoleonin** sanotaan häneltä tivanneen, mutta hänellä ei lie ollut mitään syytä olla *kunnioittamatta* opettajiaan, benediktiinimunkkeja - vielä vähemmän rakkaan isänsä kristillistä maailmankuvaa.⁴⁰ Laplace pyrki kuitenkin huomiota herättävällä tavalla peittelemään taustaansa. Ainoastaan Cauchy, jota on myös arvioitu ensimmäiseksi, ”selkeästi nykyaikaiseksi” Ranskan matemaatikoksi, tunnustautui Laplacen ryhmässä kristityksi.

On paradoksaalista, että vaikka dynaamisuuden syntyyn eniten vaikuttaneita henkilöitä, Humea ja Kantia, on luonnehdittu miltei ateisteiksi, dynaamisen linjan markkinoijat ja hyödyn-täjät ovat olleet pääsääntöisesti uskonnollisia, vahvasti kristillisen maailmankuvan hallitsemia tiedemiehiä. 1800-luvun ”jumaliset” tiedemiehet olivat lähinnä brittejä ja saksalaisia. Saksalaista fyysikköä ohjasi valistuksen sijaan usein lapsuuden ja nuoruuden kokemus kristillisyydestä ja ihmisestä osana kosmosta. Juuri Ranskasta itsenäistyneet saksalaiset kokivat: “Me kuulumme eri maailmaan! Saksalainen ‘Vernunft’ ei ole samaa kuin heidän järkensä eikä ‘Einbildungskraft’

kuten heidän mielikuvituksensa.” Myös subjektiivisuus löysi vuosisatojen jälkeen tiensä yksilön olemukseen. Romantiikka sekä **Rousseau** ja **Pestalozzin** uudet opetuslinjat nousivat vaikuttajiksi yksilön kehityksessä Saksassa ja Britanniassa kaksi sukupolvea ennen Ranskaa.

Ranskalaisten mekanistisen linjan edustajien maailmankuva taas oli tulos 1700-luvun kehityksestä, joka huipentui vallankumouksen aikoihin ateismiin ja järjen palvontaan. Ranskalaisten humaltuminen *mesmerismiin* - sekini tieteen kehityksen innoittamana - osoittaa, ettei metafysiikan kiinnostuksesta ollut pulaa. Oleellista oli sen laatu - se oli irti läntisestä, ja näin myös kristillisestä maailmankuvasta.

Kun Laplacen linjasta hakeuduttiin 1830-luvulla uusiin uomiin, muutokseen vaikutti myös Comten positivistinen henki. Positivismi ei kuitenkaan ollut tekijä, mikä vapautti ”tieteen totalitarismista”. Luottamus positivismiin oli lähinnä oire ja seuraus vapautumisesta ja innostumisesta Fourier’n ja Fresnelin löydöistä. Positivismiin on arvioitu olleen suorastaan ranskalaisten tappion syy.⁴¹ Innostus ja luottamus katosivat kuitenkin nopeasti. Pian myös agnostismi leimasi maailmankuvan kehitystä.

Ranskan lama Ampéresta Bergsoniin

Vastareaktio järjen palvonnalle ja positivismille oli kuitenkin syntynyt jo ennen Ampéren nousua - itse asiassa hänen virittäjäkseen. Muutamat filosofit näkivät Kantin löytäneen Kopernikuksen tavoin jotain vallankumouksellista. Eräs heistä oli **Mme de Staël**. Tieteen historiaan viitaten hän lainasi **Lutheria** ja huomioi ihmisen horjuneen loputtomasti kahden luontonsa välillä. ”Milloin hänen ajatuksensa hallitsevat häntä, milloin taas hänen tunteensa... Minusta näyttää, että nyt on tullut vakaan opin aika... Meidän on asetettava sielumme takaisin keskipisteeseen, auringon tavoin...”

Ampéren ja Fresnelin innoittaja, **Maine de Biran** luonnehti *metafysiikkaa alkulähteiden tieteeksi, jossa työkaluna toimii intuitio*. Ihmisen henki, joka ei voi hahmottaa mitään asioita muuten kuin suhteuttaessaan niitä toisiin asioihin, pyrkii silti etsimään absoluutteja - ehdottomuuksia. Biran kytki ihmisen tiedon löytämisprosessin kahteen napaan; minään ja Jumalaan. Myös Fourierin mailmankuva sivuaa jossain määrin Biranin linjoja, sillä ennen fysiikan tutkimuksiaan hän opiskeli papiksi.

Ranskan tieteiden *uuden nousun* keulahahmo **Pasteur** osoittautuu hänkin kristityksi. **Pierre Duhem**, Pasteurin oppilas, yksi Einsteinin löytöjen johtavia tulkitsijoita, oli niin ikään heräävän kristillisen Ranskan neroja. **Henri Bergson** lopulta kruunasi ranskalaisen ajattelun paluun *intellektualismista intuition*.

Mutta aika Amperesta Duhemiin ja Bergsoniin oli pitkä. Vielä 1871 Pasteur huokasi: ”Maani! Sinä, joka niin kauan olet pitänyt ajatuksen valtiikkaa, miksi nyt laiminlyöt jaloimmat saavutuksesi? Jumalaisen soihdun tavoin ne valaisevat maailmaa, ne ovat jaloimpien tunteiden lähteet ja varjelevat meitä uhraamasta kaikkea aineelliselle tyydytykselle.” ”Nykyisessä sivistyksen tilassa tieteen korkeimpien tasojen viljely on ehkäpä välttämättömämpää kansakunnan moraalille kuin sen aineelliselle hyvinvoinnille.”

Faradayn maailmankuvasta

W.R.Hamilton näki dynamiikan muodostuvan kahdesta erilaisesta, toisiinsa yhdistyneestä tieteestä: fysikaalisesta ja metafysisestä. Tieteen aksioomat voitiin Hamiltonin mukaan johtaa sekä fysikaalisesta maailmasta että ihmismielen rationaalisista peruseriaatteista, koska mieli ja fysikaalinen maailma olivat yhdistyneinä Jumalassa. Hamilton ihastui suuresti löytäessään Faradaysta kaltaisansa anti-materialistin, jonka maailmaa hallitsivat jumalaista alkuperää olevat voimat.

Faradaylle tieteen perimmäinen tavoite oli tutkia ja esitellä luomakunnan rakennetta ja sen kautta korostaa Jumalan kunniaa. Ihmismielen ymmärrys oli samalla kasvava. Järjellä oli kuitenkin vain rajoitettu tehtävä. Intuitio oli paremminkin Faradayn työkalu tieteessä. Faradayn Jumala oli luonut kaiken täydelliseksi. Luonnossa ajoittain esiintyvän näennäisen kaaoksen takana oli Jumalan mielekäs suunnitelma - analogisesti Raamatussa annettujen moraalilakien kanssa. Totuus oli yksinkertaisuutta. Luonto oli taloudellinen kaikissa prosesseissaan - mikään osa rakenteesta ei ollut turha. Luonto ei silti ollut Faradaylle Laplacen deterministinen kone. Luonto on kautta aikain koettu feminiiniseksi ja tutkija maskuliiniseksi, mutta Faraday ei halunnut dominoida luontoa vaan olla yhteistyössä sen kanssa.

Faraday oli tutkimustyönsä ohessa pienen vapaaseurakunnan saarnaaja. Hän ei sitoutunut mihinkään sosiaaliseen tai intellektuaaliseen tiederyhmään ja kieltäytyi myös tarjotusta puheenjohtajuudesta Royal Societyssä - ”Tahdon olla vain Michael Faraday”. Sosiaaliset tapahtumat olivat ajan tuhlausta. Faraday oli toki sosiaalinen ja arvosti etenkin naisia ja rakasti lapsia, joihin hän identifioitui, mutta oli *arka maskuliinisia arvoja korostavassa seurassa*. Hän halusi tiedeyhteisön jakavan löytönsä koko kansan varustukseksi ja aloitti itse luennot, valaisevin kokein, myös lapsille.

Faraday säilytti läpi elämänsä lapsen mielen, jonka herkkyyks oli vailla vertaa. Fantasiat veivät hänet usein ajatuskehitelmiin, joissa hän pelkäsi menettävänsä kosketuksen todellisuuteen. Huiman rohkea ja silti varuillaan oleva, siinä tärkeä osa Faradayn poikkeavasta luonteesta. Vaikka Faradaylle faktat olivat luonnossa kaikki kaikessa, silti hän kiteytti: ”*Voimme olla varmoja faktoista, mutta meidän tulisi epäillä tulkintaamme niistä ...*” **Kohlrausch** näki Faradayn miehenä, joka haistoi totuuden.⁴² Osan hypoteeseistaan Faraday testasi - toiset, kuten voimaviivat, olivat vain avaamassa uutta tietä universumin ymmärtämiseen. Toisia hypoteeseja hän hyödynsi apuvälineenä, vaikka spekuloiakin niitä yhtenä, kuten elektrotonisuutta. Raamatun mukaan asioita *on aika spekuloida ja aika pidättyä tästä - kaikki riippuu mielen tilasta*.⁴³

Epävarmuus ja ahdistus, suurten nerojen seuralaiset, muuntuivat Faradayssa aina nopeasti kristillisen uskon ja sen avaaman turvallisen maailmankuvan myötä iloksi, joka viritti ajatukset uuteen löytöön. Faradayhin liittyen on syytä huomioda myös Joseph Henry, itseinduktio-ilmion keksijä, joka onnistui muutama päivä ennen Faradayta sähkömagneettisen induktion synnyttämässä. Henry oli Faradayn tavoin aktiivi kristitty, jolla oli jatkuva visio näkymättömästä.

Kelvin, Stokes ja Joule

Faradayn tavoin Kelvinin ja Stokesin tieteellisen luovuuden erityispiirteet rakentuivat osaltaan heidän rohkeasta uskostaan ja samalla varuillaan olost. *Cautious realism* kuvaa heidän äärimmäistä varovaisuuttaan olla tietämättä liikaa todellisuudesta, jota ei voinut aistein tavoittaa, mutta joka silti oli realismia.

Kelvinillä oli kristillinen maailmankuva, mutta Faradayn tai Stokesin tavoin hän ei tuonut uskoaan julki arjessa. Hän myönsi Raamatun arvovalan ja luomakunnan Herran ilmestymisen ihmisille sen kautta. Ajattelukyvyyn lisäksi *tunne* oli Kelvinille osoitus hänen omasta olemassaolostaan. Kelvinin ja Stokes'n tieteellinen maailmankuva ilmeni *direktionismina*, vastapainona materialismille ja Darwinin juuri ilmestyneen kirjan synnyttämälle spekuloinnille. Direktionismi oli mielikuva, joka heille syntyi ”ohjaavan tahdon” ilmentymästä luomakunnassa. Jumala ei ollut ainoastaan luonut ihmismieltä juuri soveliaaksi ja halukkaaksi ymmärtämään luontoa, vaan hän kykeni myös puuttumaan suoraan ihmisen ajatuksiin. Ihmistä ohjataan induktion avulla luonnon havainnoista sen näkymättömän osan tutkimiseen. Jumala ei antanut heidän mukaansa suoranaisia sanoja, mutta näkymiä ja unia, jotka ohjasivat oikeaan suuntaan, läpi pitkien prosessien - ikään

kuin järjestellen ihmisen oman mielen tietoa.⁴⁴ Tämä kokemus lienee jossain määrin analoginen Einsteinin ajatukselle ”suunnasta”, jonka hän koki ohjanneen oman hypoteesinsa kehitystä. Tyypillisena dynamistina myös Einsteinille ”maailman ikuinen mysteeri on sen ymmärrettävyyden... se on ihme.” ”Tietämyksemme lisääntymisen myötä tämä ihme tulee yhä syvemmäksi.”

Kelvinistä tuli Joulen ihailija ja ystävä tämän termodynamiikan ja maailmankuvan myötä. Myös Joulelle tieto Jumalasta ja kuuliaisuus hänen tahdolleen olivat elämän ydin. ”Seuraavaksi meidän tuli tietää jotain hänen viisautensa, voimansa ja hyvyytensä ilmentymistä luomakunnassa.”⁴⁵ Maxwell arvosti suuresti Joulen intoa ja keskittymiskykyä totuuden - uusien tuntemattomien lainalaisuuksien selvittämisessä. Joulen mielikuvitus ja luottamus kokeidensa tuloksiin olivat poikkeukselliset. Faradayn tavoin hän usein tiesi etukäteen tiettyjen, ratkaisevien kokeiden antavan hänen etsimänsä vastauksen.

Arvoituksellinen Maxwell

W. R. Hamilton, Forbes, Stokes ja Whewell - siinä Maxwellin merkittävimpiä opettajia ja ystäviä. Maxwellin ihastus luonnon tutkimiseen juontuu jo lapsuudesta, eikä hän koskaan menettänyt ihastelevaa asennettaan lapsiin, luonnon ihmeisiin ja eläimiin. Kiinnostus nousi merkittävästi äidin lukemista Raamatun Psalmeista. Teknisesti orientoitunut isä ohjasi rikkaan mielikuvituksen omaavan poikansa fysiikan alkeisiin, mutta vaikka Maxwell Kelvinin tavoin hyödynsi teknologista kenttää, oli hän skeptinen sen arvon suhteen. Siinä yksi lähtölaukauksista materian modernin teorian kehitykselle. *Kelvinin nerouden on sanottu kuuluneen hänen aikaansa, kun taas Maxwellin, Faradayn ja Newtonin neroutta on luonnehdittu ajattomaksi.*⁴⁶

James Clerk Maxwellin mielikuvituksen rikkautta on verrattu **Shakespeareen** lahjoihin.⁴⁷ Skotlantilaisten nerojen luonteissa on nähty kahdenlaisia vastakkaisia piirteitä: järjestyksen hengen ja kekseliäisyyden hengen ilmentymiä. Jamesin isässä, Clerkien ja Maxwellien kautta, näiden molempien edustajat yhtyivät. Voimakastahtoisen äidin geenit toivat lisäpiirteitä Jamesin luonteeseen. Perimistään vahvoista piirteistä huolimatta Jamesista tuli kuitenkin herkästi tunteva luonne.⁴⁸ ”Jos lapsella on vähääkään piilevää kykyä luonnon tutkimiseen, tutustumisesta todelliseen tiedemieheen tämän laboratoriossa voi tulla lapselle elämän käännepeiste.” Erityisesti tiedemiehen näkemä vaiva, kärsivällisyys ja peräänantamattomuus puhuttelivat 15-vuotiasta Jamesia. Jamesin harrastukset eivät olleet pallon peluu tai päivälliset - hän kaipasi nähdä pajoja ja laboratorioita. Kelvinistä kehittyi seurapiiri-ihminen, kun taas Maxwell oli vapautunein tieteen ääressä. Maxwell Faraday ja toki myös Kelvin osoittivat kaikki erityisen syvää kiintymystä vaimoihinsa - siitäkkin huolimatta, että avioliitot olivat lapsettomia.⁴⁹

Välittömyydestään huolimatta Maxwellista kehittyi ujo. Mutta hänen ajatuksensa olivat sitäkin vilkkaammat. Hänen sanalliset esityksensä vaikuttivat paradoksien ja epäsuorien ilmausten vuoksi usein epä-älykkäiltä. Ujous tai hetkellisen innostuksen synnyttämien assosiaatioiden kompleksisuus vei hänet usein epätoivoon - hän ei tullut ymmärretyksi. Maxwell ei ollut hyvä opettaja, mutta älykkäille tai vireille oppilaille hän oli verraton, rikkaiden assosiaatioiden lähde.⁵⁰

Maxwellille kommunikaatio oli silti kehityksen avain. Totuus niin kuin rikkaruohotkin tuli kaivaa esiin. Tieteen, filosofian ja uskonnon tuli yhdessä palvella kokonaisuutta. ”Ihmisen johtava päämäärä on kirkastaa Jumalaa ja iloita hänestä ikuisesti.” Virkaanastujaispuheessaan Aberdeenissa hän sanoi mm. ”Eikö ole valtavaa, että ihmisen järjen annetaan arvioida Jumalan töitä.”⁵¹ Maxwell koki Newtonin tavoin, että tiedemies voi olla Jumalan työtoveri - osana suurta kokonaisuutta. Silti hän koki ainoastaan kristityn olevan vapaan tutkimaan luomakuntaa ilman ”pyhänhäväistystä”, johon tiedemies syllistyisi esim. panteismissa.

Miksi eivät sitten kiinalaiset...?

Maxwellin kristinuskosta löytämä, tiedemiestä rohkaiseva elementti palauttaa ajatukset maailmankuviin. Rakentuuhan länsimaisen tiedeyhteisön maailmankuva oleellisesti juuri kristinuskon perustalle. Kiinan tieteen historian merkittävin tutkija **Joseph Needham** arvioi, että modernin tieteen läpimurtoihin vaikuttaneet **Kepler, Descartes, Boyle** ja Newton tekivät löytönsä siksi, että uskoivat paljastaneensa Korkeimman, supra-rationaalisen Olennon, antamia julistuksia. Ateistina Needham huomioi, että vaikka näiden miesten kokemus onkin myöhemmin ”todettu vain metaforaksi”, se ei merkitse sitä, etteikö sillä olisi ollut suurta heuristista, keksimiseen johtavaa arvoa modernin tieteen alussa.

Newtonin jälkeen voitaisiin lisätä Needhamin nimeämään sarjaan Maxwellin ryhmä. Needhamin huomio saa lisätukea siitä, että seuraavat termodynamiikan luojien isät ovat olleet syvällisiä kristittyjä. **Sadi Carnot**'n insinööri-isä **Lazare**, joka opetti pojalleen kaiken matemaatikasta hydrodynamiikkaan ja ohjasi tämän mielenkiinnon lämpökysymykseen, pysyi opiskelijatovereidensa pilkasta huolimatta poikkeavan rohkeana kristittyinä. Clausius oli puolalaisen papin poika. Saksan dynamisteista Helmholtzin, kuten myös Weberin isä oli teologian professori ja **Fechnerin** isä pappi. **Neumann ja Grassmann** taas saivat ratkaisevia vaikutteita **Schleiermacherilta**. Verrattuna Laplacen pidättelevään asenteelliisuuteen, saksalaiset olivat vahvasti empaattisia.⁵² Islamin hallitsemien, 800-1200-luvun, tiedeyhteisön henki **muslimien, juutalais-** **ten** ja kristittyjen kesken on niin ikään ollut poikkeavan empaattinen.

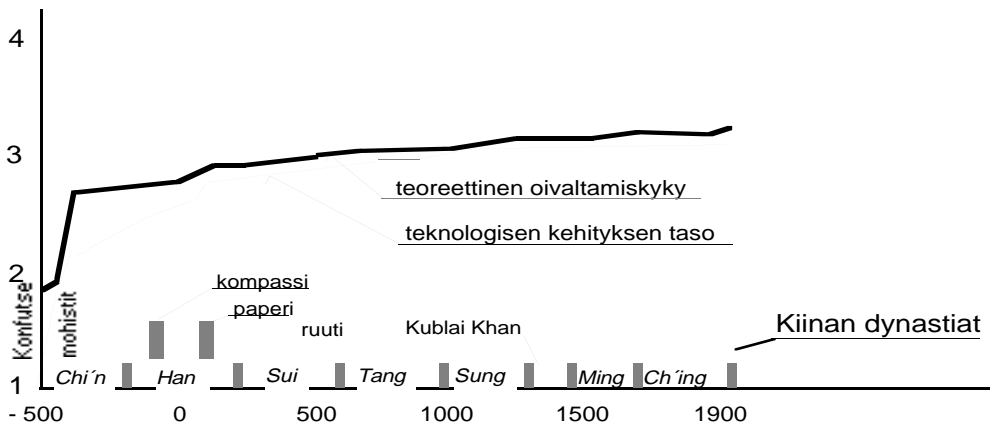
Mitä kaikkea juutalaiskristillinen maailmankuva onkaan vaikuttanut rationaaliseen luovuuteen, on laaja kysymys. **Jean Paul Sartre** totesi: ”Me kaikki olemme kristittyjä, tänäänkin. Radikaaleinkin epäusko on kristillistä ateismia. Se säilyttää kielteisestä voimastaan huolimatta ne johtavat ajatuskuviot, joiden juuret on löydettävissä kristillisyyden vuosisadoista, joiden perillisiä me joka tapauksessa olemme.”

Voisivatko ajatusratamme sitten poiketa niin oleellisesti esimerkiksi aasialaisista ajatusraidoista, että se selittäisi etumatkamme heihin nähden luonnontieteissä? Käsitteestä *ajan lineaarisuus* löytyy yksi länsimaisista, kristittyjen, juutalaisten ja muslimien työkaluista - ilmeisenä etuna verrattuna aasialaiseen *sykliseen maailmankuvaan*.

Onko Laplacen ajan ranskalaisessa kehityksessä vastaavasti nähtävissä askel kiinalaiseen suuntaan? Kiinalaiset olivat yhteisönä ja monine keksintöineen yksi Ranskan 1700-luvun filosofien ihastuksen kohteista. Kiinalaisia on pidetty ajatuksiltaan rationaalisin - tämänpuoleista hallitsevina mestareina - mutta he ovat silti pysyneet yhä ”*magian puutarhan kaitsijoina*”.

On huomattava, että lännessä *magia hävisi lopullisesti vasta mekanististen filosofioiden*, Descartesin, **Boyle**n ja Newtonin ponnistelujen myötä. Jotta tiede olisi edennyt uuteen ulottuvuuteen, tarvittiin paradoksaalinen *paluu mekanistisesta dynamistiseen* maailmankuvaan.

Kiinan tieteellisessä, eurooppalaisittain ajatellen rationaalisen ajattelun kehityksessä on havaittavissa jyrkkä nousu, joka ajoittuu **mohistien** runsaan 100 vuoden hallintoaikaan, jolloin myös Aristoteles loi läntisen tieteen pohjaa. Täältä löytyvät viitteet lineaarisesta ajankuvasta, joka ilmaantui myös läntiseen kulttuuriin monoteistisen maailmankuvan myötä. Ajan ja avaruuden yhteydessä mohistit osoittavat löytäneensä myös käsitteen *ääretön*. Heidän ajatusmaailmansa tavoitti ajan ja avaruuden mieltämisen myötä edelleen liikkeen ja materian käsitteet. Fysiikka, erityisesti optiikka sekä mekaniikka herätti heidän mielenkiintonsa. Mohistien jälkeen optiikan tutkimus kuihtui yli tuhanneksi vuodeksi heräten vasta **Sung**-kauden alussa. Mohistit toivat kulttuuriinsa - ehkä ensimmäisinä ihmiskunnassa - ajatuksen ”*objektiivisesta todellisuudesta*”. He tekivät kokeita nesteeseen upotetuilla kappaleilla jo 150 vuotta ennen **Arkimedestä**, mutta heidän tutkielmansa saivat kiinnostusta osakseen vasta yli 2000 vuotta myöhemmin - tieteen historioitsijoilta.



Kiinan tieteellinen ja teknologinen kehitys

Tekijät: **Jin Guantao, Fan Dainian, Fan Hongye, Liu Qingfeng**

Julkaisussa: *Time, Science and Society in China and the West* (1986)

Fyysikko **Wen-yan Qian** toteaa kiinalaisilta puuttuneen kautta vuosisatojen motivaation syvälliseen fysikaaliseen tutkimukseen. Kiinan kulttuuri on painottanut lähinnä *käytännön teknologiaa*. Matematiikastaan ylpeillyt Kiina menestyi tälläkin alueella vain määrättyinä vuosisatoina. Piin lukuarvo tarkentui 200-luvulla j.Kr. yhdestä kolmeen ja 400-luvulla kuudenteen desimaaliin “aikana, jolloin *konfutselaisuuden* ote oli hellittänyt”, kommentoi Qian. Vuoden pituus laskettiin tällöin jo 50 sekunnin tarkkuudella. Sitten innovaatiot vähenivät. Tieteellisestä kiinnostuksesta on havaintoja vielä 1240-luvulta, mutta Sung-kauden jälkeinen rappio oli nopea ja täydellinen.⁵³

Etsittäessä selitystä mohistien hakeutumiseen syvällisiin, suurten linjojen kysymyksiin, nähdään yhtäläisyyksiä heidän ja Euroopan dynamistien, etenkin Maxwellin ryhmän maailmankuvassa. Metafysiikalla oli merkittävä osuus mohistien ajatusrakenteissa - toisin kuin konfutselaisuudella. Huomio kiintyy myös mohistien toteamukseen: ”Aika on kiintymystä ikuiseen, universaaliin rakkauteen. Ei ole vaikeata ulottaa rakkauttamme koskemaan kaikkia maailman ihmisiä.” Se on dynaamisuuteen liittyvän *empathian* ilmaus, joka kuuluu kristittyjen julistukseen. Mutta konfutselaisista tämä tapa sopi vain eläimille - niillä ei ollut isää eikä veljeä. Isän valta satoi pojan ajatusradat niin antiikin Kiinassa, Roomassa kuin keskiajan kristillisessä Euroopassakin.

Kiinan tieteellisen kehityksen nousu taipui pian mohistien jälkeen murto-osaansa. Samaan aikaan kiinalaisten maailmankuva alkoi muuttua, kuten Comten Ranskassa, yhä tämänpuoleisemmaksi - syvenevään varmuuteen ihmisen osuudesta kohtalonsa ohjaajana. Ihmisjärjen ja kokemuksen painottaminen alkoi nostaa ihmiskeskeistä kosmologiaa. 200-luvulla j.Kr. ajattelijat pohtivat jo: “Jos Luoja on olemassa (ollen yksi näistä olennoista), hän ei ole voinut luoda olentojen kaikkeutta. Kaikki olennot ovat itsensä esineellistymiä. Ei ole mitään, mikä ei olisi itse itsensä luoma, eikä mikään riipu mistään toisesta. Luomisella ei ole herraa. Tämä on aivan normaalitila maailmankaikkeudessa.” 1000-luvun ajattelijat sanoivat entistä selvemmin: “Onko kukaan koskaan kuullut Taivaan puhuvan?” “Neljä vuodenaikaa tulevat kukin ajallaan ja laskematon määrä olentoja syntyy ja kasvaa; sanooko Taivas mitään?”⁵⁴

Needham paljastaa: “*Ei niin etteikö kiinalaisten luomakunnassa olisi ollut järjestystä, mutta se ei ollut heille järjellisen ja olevaisen persoonan valmistama.*” Needham tulkitsee, “*etteivät kiinalaiset uskoneet ihmisen voivan käsittää vajavuudessaan jumalallisia, aiemmin määrättyjä lakeja.*”⁵⁵

Kaksi rationaalisuutta

Tiedemiehen maailmankuvalla on ilmeinen vaikutus hänen kykyynsä hahmottaa todellisuutta. Persoonallisen Luoja-käsitteen merkityksellisyyden tueksi nousevat myös muslimitiedemiehet, jotka olivat luonnontieteissä vuosisatoja ylivoimaisia kristittyihin nähden. Suurille neroille, kuten **Avicenna** tai **al-Biruni**, luomakunta oli **Allahin** nerokkaan työn tulos. Myös juutalaisten nerokkuus on suuresti sidoksissa heidän jumalakuvaansa **Jahvesta** kaiken luoja. Näiden kolmen monoteistisen, luonnontieteissä voittoisan yhteisön ajatusmaailmaa muovaa selkeä perusta. Jo lapsuudessa tietoisuuteen murtautuu ajatus: “*Jotain on tehty...*”.

Newtonin, Kelvinin, monen muun kristityn fyysikon, kuten myös Avicennan vastaavat kokemukset antavat tukea kristittyjen Jumalan lupaukselle jakaa ymmärrystä niille, jotka sitä häneltä anovat. Kristitty fyysikko on rohkaistunut tästä ajatuksesta, mutta kiinalainen sen sijaan on alistunut luonnon käsittämättömyyden edessä. Needham löytää vain *taolaisuudesta* Kiinan tieteen toivon. Taolaisuus oli ytimään myöten dynaaminen - sen kannattaja suorastaan sulautui luomakuntaan, mutta hän ei samalla sitoutunut logiikkaan. Rationaalisen mielen perusta on valmius kuunnella toisten argumentteja sekä hyväksyä ja tarkistaa niiden voima. Mutta taolainen ei koskaan käynyt dialogiin, kuten empaattiset mohistit.⁵⁶ Dialogi edellyttää rohkeutta, todellisuuden kohtaamista sen omilla ehdoilla - konflikteihin ja ahdistukseen asti. Länsimainen tiedemies uskaltaa astua ”riivaajien laaksoon” ja jopa tutkia ”riivaajia”, ahdistavia fysikaalisia kysymyksiä ja *kyseenalaistaa vallitsevia paradigmoja*, kuten Faraday, Kelvin ja Maxwell.

Kristittyjä, mutta etenkin juutalaisia pidetään ryhminä, jotka kohtaavat todellisuuden kaikkein rohkeimmin. Tunnettu huomio protestanttien etevämyydestä modernin tieteen edistäjinä saa tukea myös Needhamilta. Hän huomioi - taolaisiin viitaten - naturalistisen mystiikan ja rationaalisuuden liiton epäonnistuneen myös Euroopassa, mutta myöntää uskonpuhdistuksen tuoneen ratkaisevan parannuksen tähän. Maxwellin ryhmän *kyky kestää luovissa konflikteissa* - se on yksi heidän salaisuuksistaan.

Max Weber arvioi konfutselaisten vain sovittautuvan järkipäisesti maailmaan kun taas kristityn *puritaanin* rationaalisuus merkitsi järkipäistä maailman herruutta. Rationaalinen selvyys yhdistyi Weberin mukaan niin puritaaneissa, kuin kristityissä munkeissakin valtavaan innostukseen, joka puuttui täysin konfutselaisilta. Kiinalainen ilmaus “*sivistynyt mies ei ole työkalu*” merkitsi, että hän oli tavoite itsessään - ei väline erityiseen hyödylliseen tarkoitukseen. **Chu Hsi**, yksi Kiinan johtotähdistä, arvioi 1100-luvulla, että jokaisesta itseään kehittävstä tulee pyhimys. Kristitty, askeetikonakin, sen sijaan toivoi voivansa olla vain Jumalan työkalu - tässä hän etsi arvoaan. Mohistin arvio omista töistään puhuu samaa; “*Ne ovat käyttöä, ei näyttöä varten.*”

Weber huomioi myös *analogian konfutselaisen ylpeän, maskuliinisen, rationaalisen ja harkitsevan hengen sekä roomalaisen mielenlaadun välillä*. Roomalaisten kyvyttömyys Aristoteleen työn jatkajina on silmiinpistävä. Roomalainen luovuus oli vain soveltavaa. Weberin huomio nostaa esiin erään, usein länsimaisessa neroudessa ja juuri Faradayssa ilmenevän piirteen: halun pysyä erossa maskuliinisen hengen hallitsemasta ilmapiiristä. **G.Holtonin** mukaan harvat merkittävistä fyysikoista tai biologeista ovat pitäneet sosiaalitaantumista - he ovat

arkoja poikia. Lapsen utelias, empaattinen uskallus ja vapaus yhdistettynä opittuun rajallisuuden tunteeseen - siinä yksi Faradayta ja Einsteinia, länsimaistunutta juutalaista yhdistävistä vahvoista siteistä. Einsteinin löydön prosessoija oli kyky esittää itselleen kysymyksiä, joita vain lapsi tekee. Faradayn seuraama **Jeesus Nasaretilainen** itse sanoi *vain lapsen näkevän taivaan valtakuntaan - siis tuonpuoleiseen.*

Länsimainen tutkija ja insinööri on ollut koko modernin - myös aasian - tiedeyhteisön esikuva. Hän ei ole arkaillut liata käsiään työssään: hän on oppinut ymmärtämään sen kautta. On sävähdyttävää, että kun puritaanien luoman Suur-Britannian teollinen laskukausi alkoi, sitä edelsi puritaanisen elämäntavan vaihtuminen 1870-luvulla *intelligentsiaksi*. Kun puritaani sijoitti tuottaviin koneisiin, nyt herrasmies osti pojalleen mieluummin aateliskartanon kuin osoitti hänelle tien kokeellisiin luonnontieteisiin, puhumattakaan insinöörin urasta rasvaisine koneineen. Britannian sähkö- ja autoteollisuus kärsivät tästä vuosikymmeniä Saksan, USA:n ja pian myös Ranskan ajaessa ohi.⁵⁷

Japani ja koko Aasia ovat kuromassa länsimaiden taloudellista ja teknologista etumatkaa umpeen - paljolti konfutselaisessa kurinalaisuudessa. Korea saavutti jo Englannin. Mutta Aasia, kuten koko moderni ihmiskunta, on astunut huimaan luomakunnan hyödyntämiseen vain muutamien länsimaisten nerojen työn ansiosta.

Kvantti- ja suhteellisuusteoria nostivat Needhamin mielestä taolaisen epäloogisen, luontoperäisen ajattelun suorastaan tulevaisuuden fyysikon työkaluksi. Olihan jo antiikin kiinalaisessa ajattelussa jotain profeetallista; "Taivas, maa ja suunnattomat määrät olioita on luotu olevaisesta; olevainen taas on ei-olevaisen tuotetta." Qian spekuloi Needhamin vaihtoehtoa, jossa kiinalaiset olisivat selvittäneet sähkömagnetismin lainalaisuudet euroopalaisten sijasta. He olisivat tehneet sen astumalla suoraan kenttäfyysiikkaan - ohi mekanistisen biljardipallo- vaiheen. Ajatusratojen kehitys olisi ollut täysin erilainen. Qian osoittaa tämän mahdottomaksi ja toteaa, että *Newtonin mekaniikka oli ainoa tie ihmisymmärrykselle käsittää ympärillämme tapahtuvat liikkeet. Se oli myös ainoa pohja kenttäteorian kehittelylle kaukovaikutuksen mysteeristä huolimatta - suoraan osaksi tämän mysteerin vuoksi.*

Maxwell vai Hawking?

Needhamiin verraten **Stephen Hawkingin** ajatuskehissä taas on annos konfutselaista ja ranskalaista tämänpuoleisuutta ilman dynaamista heittäytymistä. Toisaalta häntä houkuttaa "täydellisen teorian" löytäminen - Hawking uskoo tällöin tietävänsä, "mitä Jumalalla on mielessä". Maxwellin ryhmä hyödynsi tutkimuksissaan ajatusta luonnon taloudellisuudesta. Sinetiksi kokonaisuuden mielekkyydelle muodostui sen ymmärrettävyys ja ajoittain kuin rohkaisuna koettu johdatus. Hawking taas ei näe luonnon mielekkäässä rakentumisessa muuta kuin, että se on tehnyt mahdolliseksi meille olla kerran tätä kaikkea katselemassa. "Luoja voidaan olettaa tarpeelliseksi niin kauan kuin uskomme, että kaikella on ollut jokin alku", mutta "miksi nähdä tämä olemassaolon vaiva?"⁵⁸

Olisiko Hawking voinut korvata Maxwellin? On huikaisevan paljon helpompaa spekuloida 100 vuotta sitten hyväksytyyn paradigman sisällä kuin murtautua aikoinaan Faradayn ja Maxwellin tavoin tähän uuteen paradigmaan! Hawkingiläisen tendenssin hedelmät tulevaisuudessa, aasialaisiin ajatusrakenteisiin yhä vankemmin ihastuvassa lännessä, eivät ole ongelmattomat. Ne ovat enteitä paluusta positivismiin. Säilyykö, merkittävästi juuri protestanttisuuden muovaama, länsimainen, jossain mielessä suorastaan *arka rationaalisuutemme* tulevaisuudessa - kerran opittuna, kuten Max Weber uskoi?

Viitteet

- 1 Theerman
- 2 Bronowski / 59
- 3 Hendry / 64
- 4 Kargon / 425-
- 5 Buchwald / 101-
- 6 Hendry / 74
- 7 Williams / 307
- 8 Agassi / 111
- 9 Hendry / 76
- 10 Williams
- 11 Hendry / 78
- 12 Hendry / 35 + Harman: Energy / 29
- 13 Hendry / 41-,79-
- 14 Buchwald / 107, 123
- 15 Hendry / 81
- 16 Harman: Energy / 78
- 17 Hendry / 95
- 18 Hendry / 97
- 19 Buchwald / 118
- 20 Hendry / 98
- 21 Hendry / 101
- 22 Doran / 153 + Buchwald / 124
- 23 Hendry / 84
- 24 Hendry / 89
- 25 Hendry / 90
- 26 Gooding / 57
- 27 Gooding / 46-
- 28 Hendry / 126
- 29 Hendry / 143-
- 30 Harman: Metaphysics / 88
- 31 Doran / 179-
- 32 Doran / 189-
- 33 Goldman / 197
- 34 Hunt / 112-
- 35 Hankins /17-
- 36 Hendry / 11
- 37 Harré
- 38 Friedman / 92
- 39 Hendry / 23
- 40 Sarton / 311
- 41 Wilson / 102
- 42 Agassi
- 43 Cantor
- 44 Wilson / 93, 122
- 45 Crowther / 138, 180
- 46 Randall / 22
- 47 Crowther / 261-
- 48 Everitt / 81
- 49 ibid / 71
- 50 ibid / 132
- 51 Goldman / 87
- 52 Caneva / 150-
- 53 Qian
- 54 Needham
- 55 ibid / 581
- 56 ibid / 183
- 57 Wiener / 11-
- 58 Hawking

Kirjallisuus

- J. Agassi: *Faraday as a Natural Philosopher*. Chicago: The University of Chicago Press, 1971.
- J. Bronowski: *Scientific American* 1958 Vol. 199 Number 3
- J.Z. Buchwald: William Thomson and the Mathematization of Faraday's Electrostatics. *Historical studies in Physical Sciences*, Vol. 8 ss. 101-136
- Kenneth L. Caneva: From Galvanism to Electrodynamics: The Transformation of German Physics and Its Social Context. *Historical studies in Physical Sciences* Vol. 9. ss. 63-159
- G. Cantor: *Michael Faraday*. MacMillan Academic and Professional Ltd, London 1991
- C.W.F. Everitt: Maxwell's Scientific Creativity. *Springs of Scientific Creativity*. Ed. R. Aris, H.T. Davis, R.G. Stuewer. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983
- Barbara Giusti Doran: Origins and Consolidation of Field Theory in Nineteenth Century Britain: From Mechanical to the Electromagnetic View of Nature. *Historical studies in Physical Sciences*, Vol. 6 ss.133-260
- R.M. Friedman: The Creation of New Science: Joseph Fourier's Analytical Theory of Heat. *Historical studies in Physical Sciences*, Vol. 8 ss. 73-99.
- M. Goldman: *The Demon in the aether: the story of James Clerk Maxwell*, Edinburgh: Paul Harris Publishing, 1983
- D. Gooding: Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday's Physics. *ISIS* Vol. 73 . ss.46-
- T.L. Hankins: Science and Enlightenment, Cambridge: Cambridge University Press 1985
- P.M. Harman: *Energy, Force and Matter*. Cambridge, Cambridge University Press, 1982
- P.M. Harman: *Metaphysics and Natural Philosophy*. Sussex: The Harvester Press Ltd, 1982
- Rom Harré: Knowledge. *Ferment of the Knowledge*, Ed. Rousseau & Potter, ss. 12-54. Cambridge: Cambridge University Press 1980
- Stephen Hawking: *Ajan lyhyt historia*. WSOY, Helsinki 1988
- J. Hendry: *James Clerk Maxwell and the Theory of Electromagnetic Field*, Bristol: Adam Hilger, 1986
- Bruce J. Hunt: *The Maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca, New York, 1991
- Robert Kargon: Model and Analogy in Victorian Science: Maxwell's Critique of the French Physicists. *Journal of the History of Ideas*. Vol. 30 ss. 423-436
- Joseph Needham: *Science and Civilization in China*, Vol. 2 Sections 8-18. Cambridge 1956
- Wen-yuan Qian: *The Great Inertia; Scientific Stagnation in Traditional China*. Dover, New Hampshire: Croom Helm 1985
- John Randall: Aspects of the Life and Work of James Clerk Maxwell. *Clerk Maxwell and Modern Science*, Ed. C.Domb. London: The Athlone Press, University of London 1963 ss. 1-25
- G. Sarton: Laplace's Religion. *ISIS* Vol. 33 ss. 309-312
- Paul Theerman: James Clerk Maxwell and Religion. *American Journal of Physics*, 1986 Vol 54 / 312
- L.P. Williams: *American Journal of Physics* 54, April 1986
- Martin. J. Wiener: *English Culture and the Decline of the Industrial Spirit, 1850-1980*. Cambridge: Cambridge University Press. 1981
- L.P. Williams: Why Ampère did not discover electromagnetic induction. *American Journal of Physics* 54, April 1986
- David B. Wilson: *Kelvin and Stokes*. Bristol: Adam Hilger, 1987

Muuta lähdeaineistoa

- A.M. Bork: Maxwell and the Vector Potential. *ISIS* Vol 58 ss. 210-222
- Philip P. Hallie: Hume, Biran and the Méditatifs Intérieurs. *Journal of the History of Ideas*. Vol. 18 ss. 295-312
- Rollo May: *Courage to Create*. Toronto 1975
- D.M. Siegel: Completeness as a Goal in Maxwell's Electrimagnetic Theory. *ISIS* Vol. 66 ss. 361-368
- R.H. Silliman: William Thomson: Smoke Rings and Nineteenth-Century Atomism. *ISIS* Vol. 54
- L.P. Williams: What were Ampères Earliest Discoveries in Electrodynamics? *ISIS* Vol. 74
- M. Crosland and C. Smith: The Transmission of Physics from France to Britain: 1800-1840. *Historical studies in Physical Sciences*, Vol. 9 ss. 1-61
- Robert Fox: The Rise and Fall of Laplacian Physics. *Historical studies in Physical Sciences*, Vol. 4 ss. 89-
Wranglers and Physicists; Studies on Cambridge physics in nineteenth century. Ed. P.M. Harman, Manchester: Manchester University Press 1985