



## 200 vuotta sähkövirtaa

Heikki Nevanlinna

**Useimmat tuntevat kotitaloudessa käytettävät 10 ampeerin sulakkeet ja tietävät, että pistorasiassa vallitsee 220 voltin jännite. Kovin tuttuja ovat tavalliset 60 watin hehkulamppu, sähköllä käyvät kodinkoneet, televisiot ja kännykät. Harva tulee ajatelleeksi näiden arkipäiväisten kojeiden taustoja: mihin fysikaalisiin ilmiöihin ne oikeastaan perustuvat tai minkälainen kehityshistoria noilla tuki tavallisilla sähkölaitteilla on takanaan?**



Noin 200 vuotta sitten, syyskuussa 1800, Pavian yliopiston fysiikan professori Alessandro Volta (1745-1829) esitti Lontoon Royal Societylle osoitetussa tutkimuksessaan aivan uuden keksinnön sähkövirran tuottamiseksi. Kyseessä oli kaikkien nykyään käytössä olevien akkujen esiaste, ns. Voltan pylväs, joka kemiallisesti tuotti sähkövirtaa tai kuten siihen aikaan ilmaistiin, galvanismia. Keksintö herätti suurta huomiota tiedemaailmassa ja Volta, joka jo ennen tätä innovaatiotaan oli maineikas tiedemies, tuli entistä kuuluisammaksi. Voltan keksintö perustui toisen italialaisen tutkijan Luigi Galvanin (1737-1798) tutkimuksiin; metallielektrodeilla aikaansaatuihin sammakon reisien nytkähtelyyn. Galvani uskoi löytäneensä yhteyden "elämänvoimaan" animaalisien sähkön kautta, mutta Volta osoitti, että galvanismia voidaan tuottaa myös keinotekoisesti.



Tietyt sähköiset ilmiöt olivat tunnettuja jo vuosisatojen ennen Voltaa ja Galvania, lähinnä ns. hankaussähkö ja sen aiheuttamat sähköstaattiset voimavaikutukset. Itse sähkösanapalautuu kreikankielen ilmaisuun "elektron", joka tarkoittaa meripihkaa. Meripihkapalaa hankaamalla saatiin heikkoja voimavaikutuksia aikaan. Ilmiö tiedettiin siis jo antiikin aikana. Toinen vanhastaan tunnettu kaukovoimavaikutus liittyi magneetteihin; sekin oli Kreikan filosofien tiedossa. Salamankaltaisia staattisen sähkön purkauksia osattiin tuottaa jo 1700-luvun fysiikan kabineteissa, mutta niiden tieteellinen ja käytännöllinen merkitys jäi suhteellisen vähäiseksi. Voltan kehittämä patteri oli sikäli käänteentekevä, että se mahdollisti sähkövirran jatkuvan tuoton ja antoi alun sähködynamiikan ja -tekniikan tutkimukselle. Voltan kunniaksi sähköjännitteen yksikön nimi on voltti.



### Sähkön ja magnetismin yhteys: sähkömagnetismi

1800-luvun alun luonnontutkijoille oli tyypillistä pitää kaikkia luonnonvoimia, niin elollisia kuin elottomiakin, samojen lainalaisuuksien ilmentyminä. Luonnonvoimien "identiteetti" on sama, vaikka niiden ilmiasu voi olla erilainen. Erityisesti Saksassa vallitsi Naturphilosophie-koulukunta, joka edusti unitaarista luonnonfilosofista maailmannäkemyttä. Tämän ajattelutavan mukaan kaikkia luonnonilmiötä hallitsee kaksi voimaa: poistovoima (repulsio) ja vetovoima (attraktio). Attraktiosta tunnettiin gravitaatiovoima. Veto- ja poistovoimia edustivat magneettiset ja sähköiset (sähköstaattiset) voimat. Immanuel Kantin luonnonfilosofia noudattaa tätä ajatustapaa ja hänen mukaansa itse materia väliytyy kokemusmaailmaan voimavaikutuksen kautta: vastakkaisten voimien kohdatessa syntyy "konflikti", joka aiheuttaa systeemiin liiketilän. Tämä periaate voi toteutua yhtä hyvin luonnon biologisissa tai fysikaalisissa järjestelmissä kuin sellaisissakin immateriaalisissa vuorovaikutuksissa, jotka ohjaavat ihmismieltä.



Monistinen näkemys luonnonvoimien ykseydestä sai mullistavan voiton, kun tanskalainen Hans Christian Ørsted (1777-1851) keksi vuonna 1820, kuinka Voltan patsaalla aikaansaatu sähkövirta metallijohtimessa poikkeuttaa magneettineulan suunnastaan. Ørstedin eksperimetti vaikuttaa ensialkuun varsin triviaalilta - eihän sen demonstroituihin tarvita kuin virtalähde, johtimen pätkä ja kompassineula (kyseinen koe esitetään nykyään fysiikan lukiokursseilla samalla varsin yksinkertaisella laitteistolla). Ørstedin havainto, jonka väitetään syntyneen itse asiassa vahingossa, on kuitenkin fysiikan tutkimuksen eräitä riippumattomana pidettyä ilmiötä, magnetismi ja sähkö, ovatkin



saman luonnonvoiman, sähkömagnetismin, ilmentymiä. Monistinen luonnonfilosofia sai näin empiiristä vahvistusta.

Ørsted argumentoi näkemyksiään kuuluisassa kirjassaan *Der Geist in der Natur* (1852), joka oli 1800-luvun alun luonnonfilosofisen perinteen tunnetuimpia teoksia. Suomessa Ørstedin monistinen luonnonfilosofia oli akateemikko Eino Kailan (1890-1958) esikuvana hänen filosofisissa ja psykologisissa tutkimuksissaan.

Ørstedin tulkinta magneettineulan liikkeen syystä oli kantilaisen ajatustavan mukaan se, että sähkövirta synnyttää sähköisen "konfliktin", joka heilauttaa magneettineulaa. Nykterminologian mukaan "konflikti" on yksinkertaisesti sähkövirran synnyttämä magneettikenttä, joka saa kompassineulan poikkeamaan suunnastaan. Näin oli luotu perusta sähkömagnetisille, jonka termin Ørsted otti käyttöön. Uusi lisä voimakäsitteeseen tuli Ørstedin kokeen kautta siitä, että havaittu sähköinen "konflikti" vaikuttaa tangentiaalisesti pitkin johdinkeskistä ympyräviivaa, vaikka vallalla olevan newtonilaisen mekaniikan mukaan kaikkien voimavaikutusten tulisi tapahtua suoraviivaisesti voimakäsitteitä yhdistävällä janalla.

### Sähkömagnetismin nousu

Tieto Ørstedin havainnosta levisi nopeasti alan tiedeyhteisöön ja vielä samana vuonna ranskalainen André-Marie Ampère (1775-1836) toisti ja vahvisti Ørstedin kokeen. Hänen lisäkontribuutiossa oli havainto, että Ørstedin ympyräkonflikti pätee myös toisinpäin: ympyräilmukan muotoinen sähkövirta tuottaa saavamagneettia muistuttavan magneettikentän, mikä antoi luontevan analogian sähkövirran aiheuttaman "konfliktin" - magneettikentän - ja kompassineulan napamagneettisuuden välille. Mikrotasolla magneettikenttä selittyy ilmukan muotoisten sähkövirtojen summavaikutuksesta. Tämä oli jo merkittävä lisätieto magnetismin ja sähkövirran välisestä yhteydestä.

Sähkömagnetismin tutkimus edistyi nopeasti 1800-luvun alkukymmeninä. Kaikki merkittävät sähkömagnetismin empiiriset lainalaisuudet keksittiin runsaassa kymmenessä vuodessa. Eräs tärkeimmistä alan tutkijoista oli englantilainen Michael Faraday (1791-1867), jota alan kirjallisuudessa kutsutaan arvonimellä "Father of electricity". Faradayn induktiolain (1832) mukaan sähkövirtaa syntyy magneettikentän muutoksista eli Ørstedin havainnon käänteisilmion kautta. Sähkömagnetismin ja sitä sivuavien tutkimusalojen kasvu näkyy myös julkaisujen ja alan oppikirjojen määrän nopeassa kasvussa: vuosina 1820-1860 näiden alojen julkaisujen määrä kaksinkertaistui aina viiden vuoden välein. Tähän kasvulukuun ylettiin fysiikan tutkimuksessa seuraavan kerran vasta 1960-luvulla.

Sähkömagnetismin tutkimus huipentui James Clerk Maxwellin (1831-1879) luomaan Maxwellin yhtälöinä tunnettuun kenttäteoriaan (1873), joka yhtenäisellä formalismilla kuvaa kaikki tunnetut sähkömagneettiset ilmiöt ja niiden väliset vuorovaikutukset. Maxwellin yhtälöt ovat ilman muuta 1800-luvun teoreettisen fysiikan suurin saavutus. Niiden merkitys sähkömagnetismissä on sama kuin Newtonin liikeyhtälöllä mekaniikassa. Maxwellin yhtälöistä on suora tie suhteellisuusteoriaan. Einsteinin tavoite harmonisoida Maxwellin yhtälöt Newtonin mekaniikkaan johtivat (suppeaan) suhteellisuusteoriaan vuonna 1905.

Sähkömagnetismin tutkimus olisi saattanut jäädä pelkästään fyysikoiden harrastukseksi ilman teknologisia sovellutuksia, joita saatiin varsin pian sähkömagnetismin peruslakien keksimisen myötä. Ensimmäinen keksintö, eikä suinkaan vähäisin, oli lankalennätin (1833) ja sittemmin langaton lennätin, joka perustui Heinrich Hertzin (1857-1894) kokeisiin sähkömagneettisilla aalloilla. Ensimmäinen (tai ainakin tunnetuin) onnistunut langaton radioyhteys Atlantin yli tapahtui vuonna 1901. Näistä kokeista on suora yhteys seuraavina vuosikymmeninä käynnistyneisiin säännöllisiin radio- ja TV-lähetysiin. Tämän päivän kännykkäkommunikaatio tapahtuu sekun Hertzin sähkömagneettisilla aalloilla.

Sähkömagnetismin perustuva lennätin ja puhelin olivat Gutenbergin kirjapainotaitoon verrattava saavutus, aikansa telefaksi ja Internet, joka mullisti tiedonvälityksen ja antoi sille vähitellen globaalin ulottuvuuden. Sähkön käyttö valaistuksessa (Edison) ja sen käyttö energian lähteenä yhdessä muiden



sähkötekniikan innovaatioiden kanssa antoivat aivan uudenlaisia mahdollisuuksia kaikille elämän aloille. Tämän päivän sähköisen viestinnän fyysikaalinen perusta on näiden pioneeriaikojen keksintöjen suora jälkeläinen. Koko moderni tietoyhteiskunta perustuu pitkälti Maxwellin yhtälöille ja ilman sähkömagnetismia nykyinen tekninen kulttuurimme olisi tyystin toisenlainen.



### Sähkömagnetismin tulo Suomeen



Suomeen sähkömagnetismin tutkimus tuli jo varhain. Sen ensimmäinen varsinainen edustaja oli Suomen Aleksanterin yliopiston fysiikan adjunkti (apulaisprofessori) Johan Jakob Nervander (1804-1848). Hänen väitöskirjansa *In doctrinam electro-magnetism momenta* (1829) käsittelee sähkövirran mittaamista laitteella, jota nykyään kutsutaan galvanometriksi.



Nervander teki laajoja matkoja Euroopan tieteen keskuksiin 1830-luvulla. Hän tapasi henkilökohtaisesti sellaiset keskeiset sähkömagnetismin tutkijat kuin Ørstedin ja Ampèren.



Nervanderin galvanometristä julkaistiin tutkimus Pariisin Tiedekatemian annaaleissa (1833). Nervander oli mukana toteuttamassa suurta kansainvälistä yhteistyöhanketta maailmanlaajuisen magneettisten observatorioiden verkoston aikaansaamiseksi. Observatoriohankkeen innokas edistäjä oli kuuluisa saksalainen luonnontutkija Alexander von Humboldt (1769-1859), joka edusti aitoa ørstediläistä luonnonfilosofiaa. Englannin ja Ranskan tiedekatemioiden toimesta perustettiin näihin maihin ja niiden merentakaisiin siirtomaihin useita kymmeniä magneettis-meteorologisia observatorioita. Venäjä huolehti oman laajan valtakuntansa kattamisesta observatorioverkolla, Suomi mukaan lukien. Saksassa Gauss teki käänteentekeväää työtä geomagnetismin teorian parissa ja kehitti ensimmäiset toimivat magnetometrit. Turhaan ei tiedehistorian anglosaksisessa kirjallisuudessa käytetä kyseisestä aikakaudesta (1830-1850) nimitystä "The Magnetic Crusade", jona aikana geomagnetismin observatorioaate vietiin eri puolille maapalloa. Tähän kansainväliseen "ristiretkeen" osallistui siis Suomikin omalla panoksellaan Helsingin magneettis-meteorologisen observatorion perustamisen kautta.



Ørstedin ja Ampèren sähkömagneettisista havainnoista saatiin aivan uudet paradigmat maapallon magneettisuudelle ja erityisesti sen vaihteluille: geomagnetismi aiheutuu maapallon sisäosien sähkövirroista ja itse virrat syntyvät Auringon lämpösäteilyn kautta. Samoilla periaatteilla ajateltiin löytyvän selitykset ilmakehän muille sähköisille ilmiöille kuten salamille ja revontulille. Ilmakehän lämpöilmiöiden tutkimus yhdisti meteorologian ja geomagnetismin ja näiden kahden geofysikaalisen kohteen havaintoja tehtiin erityisissä magneettis-meteorologisissa observatorioissa. Suomeen tällainen observatorio perustettiin vuonna 1838 ja siitä kehittyi myöhemmin nykyinen Ilmatieteen laitos, kuten monissa muissakin maissa. Nervander toimi observatorion ensimmäisenä johtajana.



### Luonnonvoimien ykseys



Sähkömagnetismin ja -tekniikan huima kehityskulku 1800-luvulta pitkälle 1900-lukua merkitsi ørstediläisen metafysisten aspektien häviämistä itse fysiikasta. Tiede ja tekniikka auttoivat ihmistä ottamaan luonnon entistä tehokkaammin haltuunsa ja vallalle nousi käsitys siitä, että aineelliset ja eksaktit mitattavat kohteet ovat ensisijaisia ja henkiset ilmiöt toissijaisia. Vasta kvanttifysiikan myötä 1920-luvulta fyysikot alkoivat uudelleen pohtia, mikä on oikeastaan se todellisuus, jota fysiikka kuvaa. Nykyfysiikkojen pyrkimys yhdistää fysiikan kaikki tunnetut neljä perusvoimaa yhtenäisteoriaan on aivan realistinen tavoite. Näin Ørstedin monistinen näkemys on toteutumassa, vaikkakaan ei sen 1800-luvun alun luonnonfilosofian mukaisessa universaalisessa laajuudessa.




### KIRJALLISUUTTA



Caneva, K. L. (1997): "Physics and 'Naturphilosophie': A reconnaissance". *History of Science* 35, 35-106.

Cawood, J. (1979): "The magnetic crusade: Science and





politics in early Victorian Britain". ISIS 70, 493-518.


Lindborg, R. (1998): Anden i naturen. Naturfilosofen Hans Christian Ørsted - experimentalfysiker, Nya Doxa. 213 s.



Lindell, I. (1994): Sähkötekniikan historia. Otatieto, 377 s.


Nevanlinna, H. (1998): "J. J. Nervanderin tieteellisistä saavutuksista". Arkhimedes 6/98, 26-28.

Rydman, J. (toim.) (1997): Maailmankuvaa etsimässä. Tieteen päivät 1997. WSOY 616 s.



Williams, P. (1989): "André-Marie Ampère". Scientific American 1/1989, 72-79.

von Wright, G. H. (1992): Minervan pöllö. OTAVA, 208 s.



*Kirjoittaja toimii tutkimuspäällikkönä Ilmatieteen laitoksen geofysiikan tutkimusosastolla*