

# Panu Turunen

## Romantiikan luonnonfilosofian vaikutus

# Sähkömagnetismin keksimiseen

Sähkömagnetismin keksiminen oli yksi tieteenhistorian merkittävimmistä tapahtumista, sillä se avasi tien nopealle teknologiselle kehitykselle. Sähkön ja magnetismin välisen yhteyden selvittänyt tanskalainen Hans Christian Ørsted oli idealistisen filosofian kannattaja. Vaikuttiko filosofinen näkemys hänen työhönsä fyysikkona? Oliko romantiikan luonnonfilosofialla osuutensa siihen, että Ørsted onnistui tutkimustyössään?

**F**yysikot ovat filosofiselta näkemykseltään usein materialisteja. Belgialainen fysiikan professori Jean Bricmont toteaa, että fysiikka on tiede, joka tutkii liikkeessä olevaa materiaa. Jos fyysikolta kysytään hänen ontologista kantaansa, hän saattaa vastata: ”on olemassa vain ainetta (materiaa) liikkeessä”. Tosin ei ole olemassa mitään sellaista täsmällistä aineen käsitettä, josta fyysikot olisivat yhtä mieltä ja johon teolliset selitykset mukautuisivat. Bricmont kirjoittaa: ”Luonnolla ei kerta kaikkiaan ole mitään velvoitusta olla rakastettava meille tai tehdä itsensä käsitettäväksi niillä termeillä, jotka soveltuvat sille pienehkölle eläimelle, jota kutsutaan ihmiseksi.”<sup>1</sup>

Vaikka materia on ongelmallinen käsite, voitaneen sanoa, että materialistinen näkemys ja fysiikka sopivat hyvin yhteen. Onkin yllättävää huomata, että fysiikan historiasta voidaan löytää merkkihenkilöitä, jotka ovat olleet idealistisen ontologian kannalla. Tunnettu esimerkki on tanskalainen Hans Christian Ørsted (1771–1851), joka vuonna 1820 selvitti sähkön ja magnetismin välisen yhteyden. Jo ennen Ørstedia oli pitkään tiedetty, että sähkö ja magnetismi saattoivat liittyä toisiinsa joil-

lakin tavoilla. Ørsted itse mainitsee 1700-luvulla tehdyn havainnon siitä, että salamaiset vaikutukset ukonilmalla magneettineulan asentoon. Mutta vasta hän onnistui huolellisilla koejärjestelyillä selvittämään yksityiskohtaisesti sähkön ja magnetismin välisen yhteyden. Hän asetti kompassin päälle sähköjohdon kompassineulan suuntaisesti. Kun johtoon kytkettiin virta, kompassineula heilahti sivulle. Ørsted kykeni osoittamaan, että sähkövirta synnyttää ympärilleen magneettikentän. Yllätys oli se, että magneettikenttä ei ole sähkövirran suuntainen, vaan kohtisuorassa sitä vastaan.<sup>2</sup>

### Romantiikan luonnonfilosofiasta

Kuten sanottu, Ørsted oli idealistisen filosofian kannalla, tarkemmin sanottuna sellaisen filosofian, jonka jälkimaailma tuntee romantiikan luonnonfilosofian<sup>3</sup> nimellä. Tämän filosofian ominaispiirteistä mainittakoon seuraavat. Ensiksikin se suhtautui kriittisesti valistusfilosofiaan, joka tulkitsi ja julisti newtonilaisen luonnontieteen mekanistista maailmankuvaa. Tämän tilalle se pyrki kehittämään maailmankuvaa, jossa luonto

” Schellingin mukaan jokainen luonnontieteellinen koe on luonnolle esitetty kysymys, johon luonto pakotetaan vastaamaan. Mutta jokainen kysymys sisältää kätketyn apriorisen arvostelman. Siksi tiedämme vain sen, mitä olemme itse tuoneet esiin (*das Selbsthervorgebrachte*).”

tulkitaan suureksi organismiksi, mihin liittyi ajatus koko luonnon ykseydestä.

Toiseksi romantiikan luonnonfilosofia korosti Kantin näkemystä apriorisen tiedon tärkeydestä luonnontieteessä. Kant kirjoitti vuonna 1786: ”Rationaalinen luonnonoppi ansaitsee siis luonnontieteen nimen vain sikäli kuin luonnonlait, jotka ovat sen perustana, tiedostetaan *a priori*, ts. ne eivät ole pelkkiä kokemuseräisiä lakeja (*Erfahrungsgesetze*).”<sup>4</sup> Romantiikan luonnonfilosofialle näin ilmaistu apriorisen tiedon ensisijaisuus ei kuitenkaan riittänyt, vaan Friedrich Wilhelm Joseph Schelling, suuntauksen tärkein edustaja, radikalisoi Kantin ajatuksen. Schellingin mukaan jokainen luonnontieteellinen koe on luonnolle esitetty kysymys, johon luonto pakotetaan vastaamaan. Mutta jokainen kysymys sisältää kätketyn apriorisen arvostelman. Siksi tiedämme vain sen, mitä olemme itse tuoneet esiin (*das Selbsthervorgebrachte*). Tietäminen ankarimmassa mielessä on näin ollen puhdasta tietämistä *a priori*.<sup>5</sup> Siksi Schelling tekee johtopäätöksensä: kaikki, mitä luonnontieteessä tiedetään, tiedetään absoluuttisen apriorisesti.<sup>6</sup> Näin ollen luonnonfilosofi kykenee luomaan sellaisen korkeamman näkemyksen luonnosta, johon empiriaan sidottu luonnontutkija ei kykene. Tuollainen ylimielisyys, joka oli Kantille vierasta, sai osakseen paljon kritiikkiä.

Kolmanneksi romantiikan luonnonfilosofiaa voidaan luonnehtia lyhyesti ja ytimekkäästi Schellingin sanoin: se on spinozismia fysiikan tutkimuksessa.<sup>7</sup> Spinozan mukaan luonto on kaksikasvoinen, niin kuin Juhani Pietarinen osuvasti toteaa kirjassaan *Ilon filosofia*. Luonto on toisaalta luotu luonto (*natura naturata*), toisaalta luova luonto (*natura naturans*).<sup>8</sup> Romantiikan luonnonfilosofiassa käytetään saksankielisiä sanoja *Produkt* (tuote; tulos) ja *Produktivität* (produktiivisuus) tämän saman ajatuksen ilmaisemiseen. Schelling korosti, että luonnon luovuus on ensisijaista, ja tästä luovuudesta on luonnonfilosofian lähdettävä. Hän ajatteli kuten Spinoza: luonto on mentaalinen. Filosofian historioissa on tapana kertoa saksalaisen idealismin syntyneen Kantin filosofian kritiikkinä. Spinozan vaikutus usein unohdetaan, vaikka Friedrich Heinrich Jacobin Spinozaa käsittelevät kirjeet Moses Mendelssohnille, jotka julkaistiin 1785, ja Johann Gottfried Herderin panteistinen teos *Gott* (1787) vaikuttivat idealismin syntyyn merkittävällä tavalla.

Romantiikan luonnonfilosofia vaikutti erityisesti fyysiikkaan ja biologiaan. Sven-Eric Liedman on kirjoittanut tärkeän tutkimuksen sen vaikutuksesta biologiaan.<sup>9</sup>

### Luonnonfilosofian vaikutus luonnontieteeseen

Tieteen edistykseen ja tieteellisiin keksintöihin vaikuttavat ilman muuta monet asiat, mm. miten yhteiskunnassa suhtaudutaan tieteelliseen tutkimukseen ja kannustetaan sitä, millaista on tekninen kehitys (esim. onko kehitetty riittävän tarkkoja mittauslaitteita), millaista taloudellinen kehitys (esim. onko laboratorioilla varaa ostaa laitteita) ja niin edelleen. Mutta tunnetusti myös filosofisilla ideoilla on oma osuutensa. Ne vaikuttavat joskus julkilausuttuina

virikkeiden antajina, joskus huomaamatta, tutkijan ehkä jopa itsestäänselvinä pitäminä oletuksina. Onko Schellingin filosofia vaikuttanut Ørstedin tutkimustyöhön? Vaikka tieteen ja filosofian historioitsijat yleensä myöntävätkin Ørstedin saaneen vaikutteita romantiikan luonnonfilosofiasta, monet myöntävät tilanteen ikään kuin pitkin hampain. Romantiikan luonnonfilosofia kritisoi newtonilaista fysiikkaa ja sen maailmankuvaa, mikä on aiheuttanut sellaisen mielikuvan, että romantiikka oli tieteenvastaista. Siksi moni kirjoittaja mieluummin tulkitsisi tilanteen sellaiseksi, että Ørstedin kiinnostus romantiikan aatteisiin oli vain nuoren miehen innostuneisuutta uusiin asioihin ja ajan trendeihin – harha, josta hän vapautui vanhempana. Oliko näin? Tähän kysymykseen vastaaminen on ollut pitkään ongelmallista, koska Schellingin luonnonfilosofiaa ja sen vaikutusta tieteen kehitykseen ei ole tutkittu kovin paljon.

Hans Jörg Sandkühlerin Schelling-bibliografia kattaa vuodet 1953–1969: 309 kirjallisuusviiteestä vain 7 käsittelee luonnonfilosofiaa. Vuonna 1996 saatiin kaikki Schellingin teokset elektroniseen muotoon, mikä mahdollisti sana-analyysien tekemisen tekstistä. Sandkühler kertoo, että sana *Natur* (luonto) esiintyy aineistossa yli 5000 kertaa, vertailun vuoksi sana *Geschichte* (historia) alle 800 kertaa. Siksi hän toteaaakin tyytyväisenä, että viime vuosikymmenet osoittavat selvän käänteen tapahtuneen Schelling-tutkimuksessa: bibliografia vuosilta 1970–1987 sisältää jo 88 kirjallisuusviitettä luonnonfilosofiasta.<sup>10</sup> Käänteen ansiosta saamme todenmukaisemman kuvan Schellingin filosofinlaadusta. Aika on kypsä myös Schellingin luonnonfilosofian ja Ørstedin fysiikan välisen suhteen pohtimiselle.

Kolme vuotta keksintönsä jälkeen (1823) Ørsted kirjoitti vaimolleen Ranskan ja Saksan luonnontieteen erillaisuudesta:

”Saksassa minulla on usein kiusaus protestoida luonnonfilosofiaa vastaan, kun näen sitä sovellettavan virheellisesti. Sitä vastoin Ranskassa mieleni tekisi puolustaa sitä, tai pikemminkin tunnen perustavanlaatuisen eron luonnontieteellisessä ajattelussa, jonka en olisi kuvitellut olevan niin suuri, jos en olisi niin usein tuntenut sen olevan elävästi läsnä.”<sup>11</sup>

1700-luvun lopulla ja 1800-luvun alussa Ranska oli luonnontieteen kehityksen johtotähti. Luonnontiedettä tutkittiin Newtonin suuntaviivojen mukaan, valistuksen hengessä. Ørsted tunsikin oman aikansa tieteen huiput ja teki tutkimustyötä myös Pariisissa. Ørsted arvosti Ranskan empiiristä luonnontiedettä, mutta sai vaikutteita myös romantiikan luonnonfilosofiasta.

Ørstedin ystävä Johann Wilhelm Ritter kirjoitti pyrkivänsä yhdistämään ”die strengste Empirie mit der klärsten Speculation” (ankarimman empirian selkeimpään spekulatioon).<sup>12</sup> Tuo tunnuslause kuvaa hyvin myös Ørstedin tavoitteita.

On väitetty, että Ørstedin keksintö oli onnekkaan satuman tulos. Seuraavassa luvussa esittelen dokumentteja, jotka osoittavat väitteen paikkansapitämättömäksi. Toi-

saalta on väitetty, että romantiikan luonnonfilosofia johti sähkömagnetismin keksimiseen. Näin muotoiltuna väite on liioittelua, sillä mikään filosofia yksinään ei voi johtaa luonnontieteelliseen keksintöön. Pyrin kuitenkin osoittamaan, että romantiikan luonnonfilosofian panos siinä tapahtumaketjussa, joka johti sähkömagnetismin keksimiseen, oli merkittävä.

### Huomasiko Ørsted sähkömagnetismin sattumalta?

Väite onnekkaasta sattumasta esitetään usein. Jotta sitä voitaisiin arvioida, on kysyttävä ensin: mitä sähköstä ja magnetismista tiedettiin? Jo antiikin Kreikassa, jossa Thalesen kerrotaan olleen ensimmäinen kokeilija, hangattiin meripihkan palasta ja huomattiin, että villakuidut tarttuvat siihen. Saman ilmiön voi kokea ilman meripihkaakin: vaatteet voivat hankautua nahkatuolia vasten, ja lasisauvaa voidaan hangata kankaanpalalla. Hangattaessa syntyvää sähköä kutsutaan staattiseksi sähköksi. Tuolloin tiedettiin myös, että eräät aineet ovat magneettisia. Magneettineulan käytön kompassin tapaisessa laitteessa keksivät kiinalaiset n. 2000 vuotta sitten.<sup>13</sup>

Sähkövirran tutkijana kunnostautui Stephen Gray (1670–1736). Vuonna 1729 hän huomasi, että on olemassa aineita, jotka johtavat sähköä, mutta on olemassa myös eristeitä. 1700-luvun sähköoppi oli kuitenkin pääasiassa staattisen sähkö tutkimusta.<sup>14</sup>

Sähkö vaikutusta magneettisuuteen alettiin tutkia vähitellen. Vaikutusta ei havaittu, koska staattinen sähkö ei vaikuta kompassineulaan. Sähkövirran vaikutusta tutkittiin myös, mutta vaikutusta ei havaittu, koska virta oli yleensä liian heikko. Sähkövirran tutkimus alkoi toden teolla italialaisen fyysikon Alessandro Voltan keksittyä vuonna 1780 galvaanisen elementin, jossa oli vuorotellen sinkki- ja kuparilevyjä ja niiden välissä rikkihapolla kostutettuja kankaanpalasia<sup>15</sup>. Voltan laitteen avulla voitiin

” Vaikka tieteen ja filosofian historioitsijat yleensä myöntävätkin Ørstedin saaneen vaikutteita

romantiikan luonnonfilosofiasta, monet myöntävät tilanteen ikään kuin pitkin hampain. Romantiikan luonnonfilosofia kritisoi newtonilaista fysiikkaa ja sen maailmankuvaa, mikä on aiheuttanut sellaisen mielikuvan, että romantiikka oli tieteenvastaista.”

” Ørstedia innosti romantiikan näkemys siitä, että luonnossa on jotain korkeampaa kuin mitä mekanistis-materialistiset luonnontieteelliset selitykset meille kertovat.”

tutkia sähkövirtaa paremmin kuin ennen. Kun tietö Voltan keksinnöstä tuli Kööpenhaminaan, Ørsted valmisti tuollaisen laitteen.<sup>16</sup>

Hannu Karttunen kirjoittaa: ”Mahdollisesti Ørsted huomasi ilmiön sattumalta, mutta joka tapauksessa hän alkoi tutkia sitä, kunnes pystyi antamaan sille johdonmukaisen kuvauksen.”<sup>17</sup> Karttunen pitää sattumaa mahdollisena. Vuosien varrella moni kirjoittaja on ottanut jyrkemmän kannan ja katsonut, että keksintö todellakin tehtiin sattumalta. Saksalainen fyysikko Ludwig Gilbert kirjoitti pian keksinnön jälkeen: ”Se, mitä moninaiset kokeet ja ponnistelut eivät olleet onnistuneet osoittamaan, onnistui Kööpenhaminassa toimivalle professori Ørstedille sattumalta hänen luennoissaan sähköstä ja magnetismista viime talvena.”<sup>18</sup> Ørsted itse kiisti tämän välittömästi, mutta Gilbertin näkemys on jäänyt elämään. Ørsted totesi, että hänen ensimmäinen raporttinsa, joka ilmestyi alun perin latinaksi, oli liian tiivis ja suppea (vain 4 sivua). Siksi se antoi monelle lukijalle sellaisen kuvan, että Ørsted oli tehnyt keksintönsä helposti, sattumalta. Keksijä korjasi tämän väärinkäsityksen ja totesi, että ensimmäinen raportti on tiivistelmä yli 60 eri kokeen tuloksista.<sup>19</sup> Ørsted julkaisi myös laajemman jatkoraportin, mutta se on jäänyt monelta kommentaattorilta lukematta.

Norjalainen fyysikko Christopher Hanseen kirjoitti vuonna 1857 kirjeen Michael Faradaylle, kuuluisalle englantilaiselle fyysikolle, joka jatkoi sähköntutkimusta Ørstedin viitoittamalla tiellä. Hansteenin mukaan keksintö oli onnekas sattuma. Tämä kirje putkahti julkisuuteen 1870 teoksessa *Life and Letters of Faraday*. Kirjeessään Hansteen kertoi, että hän oli toiminut Ørstedin assistenttina, mikä piti paikkansa, ja selosti sähkömagnetismin keksimistä sujuvaan tyyliin ja niin seikkaperäisesti, että lukijalle saattoi syntyä kuva, että Hansteen oli ollut silminnäkijänä. (Hansteen ei kuitenkaan väittänyt olleensa silminnäkijä.) Ørstedin mukaan keksintö tehtiin huhtikuussa 1820. Käytettävissä olevan todistusaineiston mukaan Hansteen ei ollut tuolloin Kööpenhaminassa. Hän oli ollut Kööpenhaminassa tammi- ja helmikuussa, mutta maaliskuun alussa 1820 hän oli palannut Kristianiaan (Osloon). Hansteen kirjoitti myöhemmin vuonna 1820 Karl Rümkerille: ”Tein kokeita täällä Kristianissa seitsemän tai kahdeksan kertaa päivässä marraskuussa ja

joulukuussa 1819 sekä maaliskuussa, huhtikuussa ja toukokuussa 1820...”<sup>20</sup> Ørsted puolestaan kirjoitti Kööpenhaminasta 22. heinäkuuta 1820 Hansteenille: ”Minulla on erityinen mielihyvä lähettää sinulle, korkeasti kunnioitettu ystäväni, sähkövirran magneettisia vaikutuksia koskeva tiedonantoni. Minusta näyttää siltä, että keksintöni saattaa vaikuttaa hyvin laajalti. Kerro mielipiteesi tästä pian.”<sup>21</sup>

Tämä osoittaa, että Hansteen ei ollut paikalla silminnäkijänä. Hansteenin 37 vuotta keksinnön jälkeen kirjoittama kirje ei kelpaa todistusaineistoksi sille, että keksintö tehtiin sattumalta. Kuitenkin Gilbertin ja Hansteenin lausuntoja käytettiin tieteen historiankirjoituksessa jatkuvasti. Esimerkiksi materialistifilosofi ja tieteenhistorioitsija Wilhelm Ostwald kirjoitti vuonna 1895:

”Tärkeä keksintö, jonka hän [Ørsted] oli riittävän onnekas tekemään, osoittaa miten luonto toisinaan kuiskaa salaisuuksiaan mitä absurdeimmilla tavoilla. Samalla olemme tietoisia siitä, että harvinaislaatuinen keksintö voi osua jonkun tielle onnenpotkuna, mutta keksinnön tieteellinen arviointi vaatii toisenlaisia voimia.”<sup>22</sup>

Ostwald ihmetteli, miksi tuollainen onni osui idealistifilosofin eikä materialistifilosofin kohdalle. Yhteenvetona voidaan sanoa, että käsitykselle onnekaasta sattumasta ei voida esittää kunnollisia todisteita.

## Kantin luonnonfilosofia

Kantin *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (Luonnontieteen metafysisiä alkuperusteita) ilmestyi 1786, *Puhtaan järjen kritiikin* 1. ja 2. painoksen (1781 ja 1787) välissä. Kant oli tarkoittanut teoksen täydentämään *Puhtaan järjen kritiikkiä*, joka tutkii ihmisen tietokykyä ja sen rajoja, kun taas *Anfangsgründe* tutkii tiedon mahdollisuutta luonnontieteissä, erityisesti fysiikassa.

Kiinnostava oli Kantin pohdiskelu materiasta. Materian ensisijainen ominaisuus on, että sillä on voima täyttää tila: ”materia on sellaista liikkuvaa, joka täyttää tilan.”<sup>23</sup> Voima, jolla materia täyttää tietyn tilan, on repulsiivinen. Repulsiivisen voiman (*repulsive Kraft*) nimi tulee latinan kielestä: latinassa *repulsus* on ”takaisin ponnahtus”. *Re-pulsus* tarkoittaa yksinkertaisesti, että ”pulssi lyö takaisin”. Tällainen takaisin työntävä voima estää muita kappaleita ottamasta tilaa haltuunsa. Toki jokin voima voi pakottaa materian pienempään tilaan kuin minkä se on aikaisemmin vallannut – tätä tosiasiaa Kant ja hänen jälkeensä Ørsted kutsuivat materian ”elastisuudeksi”.<sup>24</sup>

Jos ajattelisimme materiaalisilla kappaleilla olevan vain repulsiivista voimaa, silloin kaikki kappaleet valtaisivat äärettömän suuren tilan. Siksi tarvitaan myös veto-voima. ”Veto-voima on se liikuttava voima, jonka ansiosta materiaallinen kappale voi olla syy sille, että toiset kappaleet lähestyvät sitä.”<sup>25</sup> Jos ajattelisimme materiaalisilla kappaleilla olevan vain veto-voima, silloin se tila, jonka ne valtaisivat, supistuisi äärettömän pieneksi. Kant katsoi

materiaalisen kappaleen koostuvan vetovoiman ja takaisintyöntävän voiman tasapainosta.

Yleensä ajatellaan, että materian ensisijainen ominaisuus on, että se täyttää kolmiulotteisen tilan. Kant ajatteli toisin: ensisijaista on se, että materiaalilla on voima täyttää tila. Kreikan kielen sana *dynamis* tarkoittaa voimaa, siksi puhutaan dynamistisista teorioista, joihin myös Kantin teoria luetaan. Dynamististen teorioiden kanssa kilpailivat 1700-luvulla atomistiset teoriat. Esimerkiksi Antoine Lavoisier (1743–1794) katsoi, että materian perusaineita ovat ne yksinkertaisimmat aineet, jotka voidaan saada tuloksina kemiallisessa analyysissä. Kuten tiedetään, atomismi selviytyi voittajaksi teorioiden kilpailussa, mutta myös dynamismi vaikutti tieteen kehitykseen.

### Kantin vaikutus Ørstediin

Dynamismi otettiin innostuneesti vastaan Tanskassa. 1700- ja 1800-lukujen vaihdetta kutsutaan Tanskan oppihistoriassa kantilaiseksi ajanjaksoksi. Ørsted puolusti vuonna 1799 filosofian väitöskirjaansa *Dissertatio de forma metaphysices elementaris naturae externae*, joka käsitteli ulkomaailman elementtien eli perusaineiden metafysisistä muotoa. Kirja tarkasteli ja kehitti Kantin luonnonfilosofiaa. Jo vuotta aikaisemmin Ørsted oli liittynyt lyhytikäiseksi jääneen filosofisen aikakauslehden, *Philosophisk Repertorium for Faedrelandets nyeste Litteratur*, toimituskuntaan. Lehden tarkoituksena oli tehdä tunnetuksi ja puolustaa Kantin filosofiaa. Ørstedin väitöskirja ilmestyi myös tanskankielisenä, laajennettuna versiona (*Grundtraekken af naturmetaphysiken tildeels efter en nye plan*<sup>26</sup>), jonka ansiosta Kantin filosofia tuli entistä tunnetummaksi Tanskassa. Ørstedin tieteelliseen kirjeenvaihtoon sisältyy suuri määrä kirjoituksia atomismista ja dynamismista. Vielä vuonna 1820, jolloin atomismi oli selvästi jo voitolla, Christian S. Weiss kirjoitti Ørstedille: ”...wir alten Kantischen Dynamiker...” (me vanhat kantilaiset dynamistit).<sup>27</sup>

Todisteet puhuvat selvää kieltään. Kukaan ei voi kiistää Kantin luonnonfilosofian suurta merkitystä Ørstedille. Kantin dynamistinen näkemys materiasta inspiroi sekä romantiikan luonnonfilosofiaa että Ørstedää. Siksi on väitetty, että Schelling ei vaikuttanut Ørstediin, vaan osa heidän käsityksistään luonnosta ja luonnontutkimuksesta ovat lähellä toisiaan yksinkertaisesti sen takia, että he ovat molemmat oppineet uimaan siinä virrassa, jonka alkulähde oli Kant. Tällaista näkemystä on puolustanut Timothy Shanahan, jonka mukaan Ørsted oli kantilainen. Sitä vastoin romantiikan luonnonfilosofiaa Ørsted kritisoi, vaikka arvostikin sen luontosuhdetta ja esteettistä asennetta. Shanahanin mukaan juuri kantilainen dynamistinen teoria auttoi Ørstedää selvittämään sähkön ja magnetismin välisen yhteyden.<sup>28</sup> Epäilemättä Shanahan on oikeassa korostaessaan Kantin merkitystä, mutta hänen tulkintansa Schellingin merkityksestä perustuu Ørstedin väitöskirjan vääryyden tulkintaan.

### Ørstedin väitöskirjasta

Väitöskirjansa tanskankielisessä editiossa *Grundtraekken af naturmetaphysiken tildeels efter en nye plan* (1799) Ørsted kommentoi lyhyesti myös Schellingin kahta kirjaa, *Ideen zu einer Philosophie der Natur* ja *Von der Weltseele*:

”Nämä kaksi kirjaa ansaitsevat epäilemättä huomiomme niiden kauniiden ja suurten ideoiden ansiosta, joita niistä löydämme, mutta sen ei kovin ankarana metodinsa johdosta, jota käyttäen tekijä punoo toisiinsa empiirisiä väitteitä erottamatta niitä riittävästi apriorisista väitteistä, kirjat menettävät suuren osan arvostaan, vallankin kun empiiriset väitteet, joita tekijä esittää, ovat usein epätosia.”<sup>29</sup> (NS I, s. 77)

Jo vuonna 1799 Ørsted löysi Schellingin luonnonfilosofian heikon kohdan, johon moni muukin on sittemmin kiinnittänyt huomiota. On mielenkiintoista huomata, että tämä lausunto lisättiin Ørstedin kirjan tanskankieliseen editioon – sitä ei ole latinankielisessä väitöskirjassa. Miksi? Voidaan esittää vain oletuksia. Ehkä Tanskan kantilaiset toivoivat, että kirjan loppuun saataisiin ajankohdaisia kommentteja, jotka pitäisivät lukijan ajan tasalla uusien filosofisten virtausten suhteen. Vasta 23-vuotiaana Schellingin teokset olivat aiheuttaneet Saksassa vilkasta keskustelua, jota seurattiin ulkomaillakin. Ihmeteltiin, oliko taistelu Kantin filosofisesta perinnöstä alkanut. Ehkä Tanskan kantilaiset toivoivat tässä tilanteessa Ørstedin kirjoittavan kirjaansa oikeaoppisen kantilaiset kommentit.

Ennen kaikkea on huomattava, että edellä lainattu lausunto ei ollut Ørstedin viimeinen sana tästä aiheesta, vaan hän antoi myöhemmin Schellingin luonnonfilosofiasta myönteisiä lausuntoja, joista enemmän jäljempänä. Ørsted lähti ulkomaanmatkalle kaksi vuotta väitöskirjansa ilmestymisen jälkeen ja tutustui henkilökohtaisesti joihinkin saksalaisen idealismin avainhenkilöihin. Se, mitä hän tuon opinto- ja tutkimusmatkansa jälkeen kirjoitti (mikä perustui siihen, mitä hän oli itse kokenut filosofisissa keskusteluissa ja laboratorioissa), antaa luotettavamman kuvan Ørstedin suhtautumisesta romantiikan luonnonfilosofiaan kuin se, mitä hän kirjoitti ennen tuota matkaa.

### Ørstedin opintomatka

Vuonna 1801 Ørsted lähti apurahan turvin opintomatalle Saksaan ja Ranskaan. Mukaansa hän otti Voltan galvanisen elementin pienemmän variantin, joka helpotti hänen mahdollisuuksiensa päästä tekemään tutkimustyötä Saksan laboratorioihin. Ørsted oli kiinnostunut paitsi luonnontieteestä myös taiteesta ja laajemminkin kulttuurista. Vuoden 1802 alussa hän ilmoittautui Berliinissä saksalaisen idealismin merkkimiehen Johann Gottlieb Fichten yksityisoppilaaksi, ja kerrotaan, että kunnioitus opettajan ja oppilaan välillä oli molemminpuolista. Erityisesti Ørstedää kiehtoi se, että Fichte oli henkilökoh-

” Ørstedin korostama luonnon ykseys, jonka perustana on alkuperäinen perusvoima, on kiinteä osa Schellingin luonnonfilosofiaa. Luonnon ykseys nähdään siinä, että koko luonto on produktiivinen.”

” Meitä varoitettiin kovasti luonnonfilosofiasta (*Naturphilosophie*), aivan kuin jostakin aaveesta... Siitä seurasi tietysti, että me olimme sitäkin innokkaampia tutustumaan tuohon aaveeseen.”

taisesti tavannut ”kuolemattoman” Immanuel Kantin. Ørsted nautti Fichten opetusta yhden lukukauden ajan.<sup>30</sup>

Berliinissä Ørsted tutustui myös romantiikan suuriin nimiin Friedrich ja August Wilhelm Schlegeliin, joiden *Europa*-aikakauslehteen hän kirjoitti romantiikan hengessä artikkeleita luonnontieteestä. Ørstedia innosti romantiikan näkemys siitä, että luonnossa on jotain korkeampaa kuin mitä mekanistis-materialistiset luonnontieteelliset selitykset meille kertovat.

Jenassa Ørsted tutustui apteekkari ja fyysikko Johann Wilhelm Ritteriin. Nuorilla miehillä oli sama tausta, apteekkarin koulutus ja apteekin antamat perustaidot laboratoriotekniikoissa. Heitä yhdisti vahva innostus luonnontieteelliseen tutkimukseen kuten myös teoretisointiin (niin kuin tuohon aikaan sanottiin: spekulatioon) romantiikan luonnonfilosofian hengessä. Ørsted kirjoitti *Europa*-lehden Ritterin tutkimuksista: ”Tämä valpas innostus, tieteellisten ennakkoluulojen rohkea halveksunta ja jonkin korkeamman syväinen aistiminen ... näyttävät meille uuden luovan työn alkukohdan.”<sup>31</sup>

Ørsted ja Ritter tutkivat Ritterin laboratoriossa kolme viikkoa erityisesti Luigi Galvanin teorian mukaista ”eläinsähköä”. Sitten Ørstedin opintomatka jatkui, mutta hän oli Ritterin kanssa vilkkaassa kirjeenvaihdossa tämän kuolemaan (1810) asti. Ørstedin tieteellinen kirjeenvaihto on julkaistu Kööpenhaminassa 1920 kahtena niteenä. Vaikka Ritter kuoli nuorena, hänen kirjeitään on tuossa teoksessa 260 sivua eli enemmän kuin keneltäkään muulta fyysikolta, kaikkiaan yli neljäsosa koko kirjeenvaihdosta.

Sen sijaan Ørstedin kirjeet Ritterille ovat hävinneet.<sup>32</sup> Siksi ei voida tyhjentävästi selvittää, millainen Ritterin vaikutus Ørstediin oli. Käytettävissä olevat elämäkertatiedot viittaavat kuitenkin siihen, että vaikutus oli merkittävä. Lokakuun lopussa 1802 Ørsted matkusti Pariisiin, jossa hän solmi kontakteja luonnontieteilijöihin. Eräässä tieteellisessä seurassa hän raportoi maaliskuussa 1803 Ritterin urauurtavasta löydöstä, ultraviolettivalosta, ja saman vuoden toukokuussa Ritterin galvanismikokeista. Ørsted myötävaikutti siihen, että Ritterin löydöistä raportoitiin myös Ranskan Tiedeakatemia sarjassa, ja hän käänsi Ritterin selostuksen ranskaksi. Tiedeakatemia julkaisi yksityiskohtaisen selostuksen Ritterin kokeista, mutta jätti pois suurimman osan hänen luonnonfilosofisista pohdinnoistaan.<sup>33</sup> Näyttää siltä, että Ørsted ja Ritter olivat kiinnostuneita samoista ongelmista ja tukivat toisiaan tutkimustyössä. Uusi sähkökemian kiinnosti heitä erityisesti.

### Schellingin luonnonfilosofian vaikutus Ørstediin

Yhteenvetona voidaan sanoa, että niissä piireissä, joissa Ørsted liikkui, keskusteltiin vilkkaasti idealistisesta filosofiasta, erityisesti Schellingin luonnonfilosofiasta. H. A. M. Snelders tiivistää: ”Ørsted oli Kantin kriittisen filosofian kannattaja, mutta häneen vaikutti myös [Schellingin] spekulatiivinen luonnonfilosofia.”<sup>34</sup> Samalla kannalla

ovat Stauffer (1953 ja 1957), Lindborg (1998) ja Friedman (2006).

R. C. Stauffer kirjoittaa: ”Sähkömagnetismin keksiminen ei johtunut sattumasta, vaan [Schellingin] luonnonfilosofiasta.”<sup>35</sup> Staufferin mukaan sekä filosofia että kokeellinen tiede olivat Ørstedin pysyvän mielenkiinnon kohteita. Sähkömagnetismin keksimistä voidaan pitää spekulatiivista ja kokeiden hedelmällisen yhdistymisen tuloksena. Stauffer viittaa siihen, mitä Ørsted lausui itsestään:

”Koko kirjallisen uransa ajan hän piti kiinni näkemyksestä, että magneettiset ilmiöt ja sähköilmiöt ovat samojen voimien tuottamia. Tähän näkemykseen hän ei päätenyt niinkään niillä perusteilla mihin yleensä viitataan, vaan sen filosofisen periaatteen vaikutuksesta, jonka mukaan sama alkuperäinen voima tuottaa kaikki ilmiöt.”<sup>36</sup>

Muuan Ørstedin oppilas kirjoitti opettajansa kertoneen hänelle vuoden 1810 paikkeilla:

”Olen lujasti vakuuttunut siitä, ja luennoissani se käy ilmi, että suuri perustavanlaatuisen ykseys on vallitsevana koko luonnossa; mutta juuri kun siitä tullaan vakuuttuneiksi, on sitäkin tärkeämpää suunnata mielenkiinto maailman moninaisuuteen, jossa yllämainittu totuus saa vahvistuksensa. Ellei sitä tehdä, ykseys sinänsä pysyy hedelmättömänä ja tyhjänä ideana, joka ei johda todellisiin tietoihin.”<sup>37</sup>

Kaikille Schellingin luonnonfilosofiaan tutustuneille tuollainen puhe on tuttua. Ørstedin korostama luonnon ykseys, jonka perustana on alkuperäinen perusvoima, on kiinteä osa Schellingin luonnonfilosofiaa. Luonnon ykseys nähdään siinä, että koko luonto on produktiivinen. Mutta luonnon produktiivisuus synnyttää tuloksia (*Produkte*), jotka muodostavat Ørstedin korostaman moninaisuuden. Joitakin vuosia ennen kuolemaansa hän vakuutti olevansa kiitollinen Schellingin antamasta virikkeestä (*Anregung*), joka johti sähkömagnetismin keksimiseen.<sup>38</sup>

Se, mitä tähän mennessä on tullut esille, valaisee Schellingin luonnonfilosofiaa kuitenkin vasta melko yleisellä tasolla. Kuten johdannossa todettiin, sille on ominaista mekanistis-materialistisen maailmankuvan kriittikki, apriorisen tiedon korostaminen ja käsitys kaksikasvoisesta luonnosta (luonto produktiivisuutena ja luonto tuotteena tai tuloksena). Yleensä kommentaattorit tyytyvät korostamaan ajatusta luonnon ykseydestä. Esimerkiksi Snelders toteaa, että Ørstedin keksintö oli seurausta ”hänen metafysisestä uskostaan kaikkien luonnonvoimien ykseyteen.”<sup>39</sup> Tällä Snelders viittaa siihen, että luova luonto eli luonnon produktiivisuus (kaksikasvoisen luonnon tärkeämpi osa) ilmentää Schellingin mukaan koko luonnossa vaikuttavaa perusvoimaa.<sup>40</sup>

## Magnetismi, sähkö ja kemiallinen prosessi

Mielestäni kommentaattorit eivät ole tuoneet kunnolla esille sitä, että Schellingin luonnonfilosofiassa puhutaan paljon fysiikasta (erityisesti magnetismista ja sähköstä) ja kemiasta. Otaksuttavasti juuri fysiikkaa ja kemiaa koskevat spekulatiot ovat tehneet vaikutuksen Ørstediin. Siksi tarkastelen seuraavaksi Schellingin spekulatioita magnetismista, sähköstä ja kemiasta.

Schelling korosti sähköilmiöiden tärkeyttä: ”Sähköilmiöt ovat yleinen skeema materian konstruktiolle ylipäätään...”<sup>41</sup> Hiukan hankalasti sanottu, mutta Schelling tarkoitti seuraavaa. Luonnonfilosofi ”konstruoi” luonnon ja materian, sillä – kuten edellä todettiin – tiedämme vain sen, mitä olemme itse tuoneet esiin (*das Selbsthergebrachte*). Luonnonfilosofi kykenee tuomaan esiin eli konstruoimaan luonnon niin, että saamme siitä tietoa. Sähkö on tärkein ilmiö luonnossa, mutta myös magnetismi ja kemiallinen prosessi ovat tärkeitä: ”Magnetismi, sähkö ja kemiallinen prosessi ovat luonnon alkuperäisen konstruktion kategoriat.”<sup>42</sup>

Schellingin mukaan luonnonfilosofin ei tarvitse selittää sitä, että luonto on produktiivinen. Sen sijaan hänen pitää selittää se, että luonnossa on pysyvyyttä. Luonto on virtausta ja konfliktia, se taistelee kaikkea pysyvyyttä vastaan.<sup>43</sup> Magnetismi ja sähkö ilmentävät luonnon dynaamisuutta hienolla tavalla. Kemiallinen prosessi on ongelmallisempi, koska kemiallisten reaktioiden tuloksena voi syntyä pysyvyyttä. Schelling kutsui dynaamiseksi prosessiksi kolmen tason prosessia, joka etenee seuraavasti:

Ensimmäinen taso: tuotteen ykseys – magnetismi.

Toinen taso: tuotteen kaksinaisuus – sähkö.

Kolmas taso: tuotteiden ykseys – kemiallinen prosessi.<sup>44</sup>

Schelling kirjoitti: ”Tässä edetään teesistä antiteesiin ja siitä synteisiin. Materian viimeinen synteisi sulkeutuu kemiallisessa prosessissa, ja jos yhdistyminen jatkuu, niin tämänkin kehän on jälleen avauduttava.”<sup>45</sup> Dialektiikan lisäksi Schellingin luonnonfilosofialle oli leimaa-antavaa karkäs analogioiden etsiminen.

Toisessa samana vuonna ilmestyneessä luonnonfilosofian kirjassaan *Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie* Schelling tarkasteli orgaanisen luonnon dialektiikkaa ja esitti sille analogian epäorgaanisesta luonnosta. Orgaanisessa luonnossa ilmenee sveitsiläisen luonnontutkijan Albrecht von Hallerin mukaan ärtyvyyttä (*Irritabilität*) ja aistiherkkyyttä (*Sensibilität*). Ärtyvyys on sellaista herkkyyttä, joka ei perustu sielun toimintaan. Haller kirjoitti suorittamiensa kokeiden osoittaneen, että ”ärtyvyys säilyy niissä ruumiinosissa, jotka on irrotettu ruumiista ja jotka eivät enää ole sielun käskyvallan alaisuudessa.”<sup>46</sup> Aistiherkkyyks on mahdollista vain, jos eliöllä on sielu. Schellingin mukaan orgaanisen luonnon aistiherkkyyttä vastaa epäorgaanisen luonnon magnetismi, kun taas ärtyvyyttä vastaa sähkö. Tätä analogiaa hän perusteli sillä, että sähkö esiintyminen on yhtä laajalle levinnyttä kuin är-

tyvyyden: "...ei ole olemassa kappaletta, joka olisi täysin vailla sähköä, niin kuin mikään organismi ei ole täysin vailla ärtyvyyttä."<sup>47</sup> Sen sijaan magnetismia ja aistiherkkyyttä ei löydetä luonnosta yhtä helposti: magnetismia havaitaan vain harvoissa substansseissa ja aistiherkkyyttä vain sielullisissa olioissa.

Schelling täydensi analogiaa käyttämällä hyväkseen saksalaisen biologin Johann Friedrich Blumenbachin samalla vuosikymmenellä esittämää teoriaa kehitysvoimasta (*Bildungstrieb*). Kehitysvoima "muodostaa edeltävän sukupolven muotoutumattomasta suvunjatkamisaineesta (*Zeugungsstoff*) uuden eliön."<sup>48</sup> Kaikilla kappaleilla on kemiallisia ominaisuuksia, eli ne ovat osa kemiallista prosessia. Vastaavasti kaikissa elollisissa olioissa on kehitysvoima. Schelling katsoi siis, että orgaanisen luonnon aistiherkkyyttä, ärtyvyyttä ja kehitysvoimaa vastaavat epäorgaanisen luonnon magnetismi, sähkö ja kemiallinen prosessi. Schellingin rohkea analogia sai 1800-luvun alussa paljon huomiota.

On huomionarvoista, että Schelling liitti kemian sähkön yhteyteen. Schelling seurasi tarkasti aikaansa ja tiesi, että syntymässä oli uusi tieteenala, sähkökemian. Dynaamisen prosessin toinen taso, jolle sijoittuu sähkö, edeltää Schellingillä kolmatta tasoa, kemiaa. 1700-luvun lopussa, kun sähkötekniikka oli kehittynyt riittävän pitkälle, huomattiin Royal Societyssa (työssä olivat kemistit Nicholson ja Carlisle), että vesi voidaan hajottaa elektrolyysin<sup>49</sup> avulla vedyksi ja hapeksi. Tämä oli huomattava edistysaskel tieteessä – nyt voitiin nähdä, että kemia, jota monet teoreetikot (mm. Kant) pitivät vähempiarvoisena käytännön taitona (tai jonkinlaisena tavaraoppina), alkoi ripeästi kehittyä tieteeksi. Kemiassakin on yleisiä lainalaisuuksia.

Ørsted otti Kantin kemiaa koskevan haasteen vakavasti. Kantin mukaan kemia on kehitettävä pelkästä aineita koskevasta havaintokokoelmasta tieteeksi. Kemiasta tulee tiede vasta sitten kun empiiristen yleistysten sijasta voidaan esittää välttämättömiä lainalaisuuksia. Siksi Kantin ajan kemiaa "pitäisi nimittää pikemminkin systemaattiseksi taidoksi kuin tieteeksi"<sup>50</sup>. Kant ei voinut ennakoita, miten nopeaa kemian kehitys tulisi olemaan, eikä sitä, että oli syntymässä uusi kemian ala, sähkökemian.

Tätä taustaa vasten on ymmärrettävää, että Ørsted, fysiikan historian merkkihenkilö, julkaisi niin paljon tutkimuksia kemiasta. Ørsted sai innostavia ideoita Schellingiltä, joka liitti magnetismin, sähkön ja kemian kiinteästi toisiinsa. Ørstedin tärkein kemiaa käsittelevä tutkimus oli vuonna 1812 Berliinissä julkaistu *Ansicht der chemischen Naturgesetze durch die neueren Entdeckungen gewonnen* (Uudempien tutkimusten muodostama näkemys kemian luonnonlaeista). Kirjassa hän myönsi, että kemiasta tiedetään paljon, mutta siitä puuttuu vielä "suuri, yhdistävä periaate, josta kokonaisuus saisi sisäisen rikkautensa, järjestyksensä ja voimansa".<sup>51</sup> Ørstedin mukaan kemiasta oli tullava voimaoppi (*Kraftlehre*).<sup>52</sup> Sähköilmiöt ja kemialliset ilmiöt muodostavat suuren yhteyden tai jatkuvuuden (Ørsted käytti sanaa *Zusammenhang*).<sup>53</sup> Se

oli kantava ajatus kirjassa, jonka yksi luku oli otsikoitu paljonpuhuvalla tavalla: "Sähköiset voimat tulkittuina kemiallisiksi voimiksi". Ørsted totesi, että samat voimat saavat aikaan kemiallisia ilmiöitä ja sähköilmiöitä.<sup>54</sup>

Michael Friedman esittää selkeän yhteenvedon. Juuri kun luonnonfilosofia Kantin esittämässä muodossa oli ikään kuin kypsä laajennettavaksi kemian puolelle, uudet löydöt sähkökemiassa tarjosivat hedelmällisen maaperän filosofeille ja fyysikoille. Schellingin mukaan koko luonto, jopa yksinkertainen järjestynyt materia, oli mentaalinen. "Tämän lumoavan vision keskiössä on uusi sähkökemian." Ørsted valitsi parhaat palat kahdesta maailmasta: hän omaksui romantiikan luonnonfilosofian vision ja tunsikin luonnontieteen uusimmat tulokset.

## Lopuksi

Tämän artikkelin referee muistuttaa, että romantiikan luonnonfilosofiaan "on suhtauduttu melkoisen torjuvasti ja pidetty sitä pelkkänä tieteestä irrallisena spekulatona."<sup>56</sup> Siksi on kiinnostavaa huomata, että monet arvostetut luonnontutkijat olivat jossakin uransa vaiheessa tuon filosofian vaikutuspiirissä. Ørsted ei ollut ainoa. Embryologian perustajiin lukeutuva Karl Ernst von Baer muisteli opiskeluaikojaan Tartossa 1810-luvun alussa: "Meitä varoitettiin kovasti luonnonfilosofiasta (*Naturphilosophie*), aivan kuin jostakin aaveesta... Siitä seurasi tietysti, että me olimme sitäkin innokkaampia tutustumaan tuohon aaveeseen."<sup>57</sup> Hän jatkaa: "Tuumailin, että Schellingin filosofia ei voi olla niin tyhjää kuin mitä jotkut väittävät, koska monet tiedemiehet kokevat sen säteiden lämmittävän heitä. Pyynti tutustumaan siihen..."<sup>58</sup> Würzburgissa Baer sai tutkimustyönsä ohjaajaksi luonnonfilosofiasta vaikutteita saaneen professori Döllingerin, jonka mukaan oli yritettävä löytää sellaisia alkuhahmoja (*Urbilder*), joista elollisten olioiden moninaisuus voitaisiin johtaa. Baer kiinnostui ajatuksesta ja keskittyi vertailevaan anatomiaan. Mutta se on jo toinen tarina.

## Viitteet

1. Bricmont 2005.
2. Karttunen 2004, 43.
3. Romantiikka oli kulttuurihistoriallinen aikakausi, joka tunnetaan kirjallisuudesta, kuvataiteestaan ja musiikistaan. Romantiikan filosofiasta puhuminen on jossain määrin ongelmallista, sillä Jenan romantikot (Novalis, Hölderlin ja Friedrich Schlegel) eivät olleet filosofeja vaan runoilijoita (ja esteetikkoja). Kuitenkin filosofi Schelling "hyväksyttiin varhaisromantikkojen piiriin jäseneksi, ja häntä kannustettiin hyvin ystävällisessä hengessä" (Frank 2004, 35). Hölderlin ja Schelling tunsivat toisensa jo ennestään, sillä he olivat opiskelutovereita Tübingenin pappisseminaarissa, joka toimi sisäoppilaitoksena. (Frank 2004, 35) Samassa tuvassa asuneet opiskelijat laativat yhdessä tekstin, jolle on myöhemmin annettu nimi *Das älteste Systemprogramm des deutschen Idealismus* (Vanhin tunnettu ohjelma saksalaisen idealismin järjestelmäksi). Sen filosofista ideoista vastasi todennäköisesti pääasiassa Schelling. Kerrotaan, että kolmantena kirjoittajana olisi ollut Hölderlinin ja Schellingin kämpäkaveri, opiskelija nimeltä Hegel. Tuota ohjelmaa pidetään varhaisromantiikan avaintekstinä (Braun 2007). Näyttää siltä, että Schelling oli jo Tübingenissa alkanut saada mainetta romantiikan filosofina.

- Sana *Naturphilosophie* on siinä määrin vakiintunut tarkoittamaan romantiikan idealistista luonnonfilosofiaa, että se jätetään usein kääntämättä. Romantiikan luonnonfilosofian perusti Schelling, toteavat Grabert ja Mulot (1961, 259). Sven-Eric Liedman (1966, 64) kirjoittaa: ”On täysin kiistatonta, että Schelling on romantiikan luonnonfilosofian keulakuva (*den romantiska naturfilosofins förgrundsgestalt*).”
4. Kant 1909 (1786), 191.
  5. Schelling 1799a, 276.
  6. Schelling 1799a, 277.
  7. Schelling 1799a, 273.
  8. Pietarinen 1994, 143–172.
  9. Liedman 1966.
  10. Sandkühler 1996, 113.
  11. Ørsted, NS I, CXIV.
  12. Ritterin kirje on julkaistu kirjassa Friedrich Klemm (toim.), *Briefe eines romantischen Physikers* (1967). Siteerattu Sneldersin (1967, 583) mukaan.
  13. Karttunen 2004, 41.
  14. Karttunen 2004, 42–43.
  15. Volta kertoi keksinnöstään Royal Societylle 26. kesäkuuta 1780 lähettämässään kirjeessä. (Wetzels 1990, 208.)
  16. Lindborg 1998, 57.
  17. Karttunen 2004, 43.
  18. *Annalen der Physik*, 66 (1820), 292. Siteerattu Staufferin (1953, 308) mukaan.
  19. Ørsted, NS II, 358. Tieto on julkaistu alun perin teoksessa *The Edinburgh Encyclopedia* (1830), Ørstedin kirjoittamassa hakusana-artikkelissa ”Thermo-Electricity”.
  20. Stauffer 1953, 309.
  21. Ørsted, C I, 120.
  22. Wilhelm Ostwald, *Electrochemistry* (1895), 174. Siteerattu Christensenin (1995, 184) mukaan.
  23. Kant 1909 (1786), 227.
  24. Kant 1909 (1786), 231–232.
  25. Kant 1909 (1786), 230.
  26. Ørsted, NS I, 33–78.
  27. Ørsted, C I, 267.
  28. Shanahan 1989, 289–294.
  29. Ørsted, NS I, 77.
  30. Lindborg 1998, 69–71.
  31. NS I, XXIX.
  32. Christensen 1995, 177.
  33. Klengel 2001, 255.
  34. Snelders 1990, 238.
  35. Stauffer 1953, 310.
  36. Ørsted, NS II, 356.
  37. Johannes Carsten Hauch, *H. C. Oersted's Leben* (1853), 13. Siteerattu Staufferin (1957, 39) mukaan.
  38. Wilhelm Beetz, *Der Antheil der k. bayerischen Akademie der Wissenschaften an der Entwicklung der Electricitätslehre* (1873), 17. Siteerattu Staufferin (1957, 35) mukaan.
  39. Snelders 1990, 238.
  40. Schelling 1799a, 272–273.
  41. Schelling 1799a, 299.
  42. Schelling 1799a, 321.
  43. Schelling 1799a, 289–290.
  44. Schelling 1799a, 317.
  45. Schelling 1799a, 317–318.
  46. Albrecht von Haller, *De partibus corporis humani sensibilibus et irritabilibus* (1753, 57). Siteerattu Junkerin (2004, 54) mukaan.
  47. Schelling 1799b, 253.
  48. Johann Friedrich von Blumenbach, *Über den Bildungstrieb* (1791, 32). Siteerattu Junkerin (2004, 63) mukaan.
  49. Elektrolyysillä tarkoitetaan sähkövirran aiheuttamia kemiallisia reaktioita sen kulkiessa nesteeseen. (Karttunen 2004, 45.)
  50. Kant 1909 (1786), 191.
  51. Ørsted, NS II, 38.
  52. Ørsted, NS II, 38.
  53. Ørsted, NS II, 40.
  54. Ørsted, NS II, 104.
  55. Friedman 2006, 58.
  56. Kiitän referettä, *niin & näin* -lehden toimitusta ja Juha Hartikaista hyödyllisistä huomautuksista.
  57. Baer 1976, 21.
  58. Baer 1976, 26–27.
- ## Kirjallisuus
- Baer, Karl Ernst von, [Otteita teoksista]. Koostaja T. Ilomets. Eesti Raamat, Tallinn 1976.
- Braun, Michael, Von Herder zu Heidegger. *Tagesspiegel*, 29.8.2007.
- Bricmont, Jean, Mitä on tieteellinen materialismi? Suomentanut Hannu Reime. Osoitteessa [www.lausti.com/articles/science&education/bricmont.html](http://www.lausti.com/articles/science&education/bricmont.html) (2005)
- Christensen, Dan Ch., The Ørsted-Ritter Partnership and the Birth of Romantic Natural Philosophy. *Annals of Science*, vol. 52, 153–185, 1995.
- Frank, Manfred, Das verklärte und das gekränkte Ich. *Die Zeit*, 19.8.2004.
- Friedman, Michael, Kant – *Naturphilosophie* – Electromagnetism. Teoksessa Michael Friedman (ed.), *Kantian Legacy in Nineteenth-Century Science*. MIT Press, Cambridge 2006, 51–79.
- Grabert, W. ja Mulot, A., *Geschichte der deutschen Literatur*. 7. p. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München 1961.
- Junker, Thomas, *Geschichte der Biologie*. Beck, München 2004.
- Kant, Immanuel, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. Sämtliche Werke*, Band VII, 187–320. Meiner, Leipzig 1909. [1786]
- Karttunen, Hannu, *Tiedettä kaikille. Fysiikka*. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki 2004.
- Klengel, Bernd, Ultraviolette Strahlen und Ladungssäule. Zur Rezeption von Entdeckungen Johann Wilhelm Ritters in Frankreich. Teoksessa Olaf Breidbach (Hrsg.), *Naturwissenschaften um 1800*. Böhlau, Weimar 2001, 248–257.
- Liedman, Sven-Eric, *Det organiska livet i tysk debatt 1795–1845*. Göteborgs universitet, Göteborg 1966.
- Lindborg, Rolf, *Anden i naturen. Naturfilosofen Hans Christian Ørsted – experimentalfysiker*. Nya Doxa, Nora 1998.
- Pietarinen, Juhani, *Ilon filosofia. Spinozan käsitys aktiivisesta ihmisestä*. 2. p. Yliopistopaino, Helsinki 1994.
- Ritter, Johann Wilhelm, *Lettres de J. W. Ritter à H. C. Ørsted*. Teoksessa Ørsted, C II, 1–260.
- Romanticism and the sciences*. Ed. by Andrew Cunningham and Nicholas Jardine. Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- Sandkühler, Hans Jörg, Naturphilosophie, Naturforschung und Naturwissenschaft – Schelling. *Dialektik*, 113–122, 1996.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph: Einleitung zu dem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie (1799a), teoksessa *Schriften von 1799–1801*.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph: Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie (1799b), teoksessa *Schriften von 1799–1801*.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph: *Schriften von 1799–1801*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1990.
- Shanahan, Timothy, Kant, *Naturphilosophie*, and Oersted's Discovery of Electromagnetism: a Reassessment. *Studies of the History and Philosophy of Science*, vol. 20, 287–305, 1989.
- Snelders, H. A. M., [Book Review] Friedrich Klemm (ed.), *Briefe eines romantischen Physikers*. *Isis*, vol. 58, 582–583, 1967.
- Snelders, H. A. M., Oersted's Discovery of Electromagnetism. Teoksessa *Romanticism and the sciences*, 228–240.
- Stauffer, R. C., Persistent Errors Regarding Oersted's Discovery of Electromagnetism. *Isis*, vol. 44, 307–310, 1953.
- Stauffer, R. C., Speculation and Experiment in the Background of Oersted's Discovery of Electromagnetism. *Isis*, vol. 48, 33–50, 1957.
- Wetzels, Walter D., Johann Wilhelm Ritter: Romantic Physics in Germany. Teoksessa *Romanticism and the sciences*, 199–212.
- Ørsted, H. C., *Ansicht der chemischen Naturgesetze durch die neueren Entdeckungen gewonnen*. Realschulbuchhandlung, Berlin 1812. Teoksessa NS II, 35–169.
- Ørsted, H. C., [C] *Correspondance de H. C. Ørsted avec divers savants*. Tome I–II. Aschehoug, Copenhagen 1920.
- Ørsted, H. C., [NS] *Naturvidenskabelige skrifter. Scientific Papers*. Vol. I–II. Aschehoug, Copenhagen 1920.