

Den første udforskning af elektromagnetismen: Ørsted og Ampère

Anja Skaar Jacobsen

Det er ikke trivielt at lave eksperimenter. Som gymnasie- og hf-lærer ved man, at kursister og elever skal lære, hvad det egentlig er, de skal observere, når de laver et givent eksperiment. Hvad kursisterne ser, afhænger af, hvad de tror, de ser, og det er som regel det, læreren har fortalt dem, at de skal se. Der er en pendant hertil i fysikhistorien, for fysikere laver som oftest kun forsøg, der er styret af deres teoretiske overbevisning, og de har en forventning om, hvad det er, de skal se i et givent forsøg. At give en teoretisk forklaring på ens eksperimentelle observationer kan være svært nok, selvom man har en teori, men hvad nu hvis fænomenet er ukendt og uventet, og man selv skal opfinde en teori? Det er den situation, vi skal forestille os pionererne H. C. Ørsted og André-Marie Ampère stod ansigt til ansigt med i den tidlige fase af elektromagnetismens historie. I det følgende vil jeg fortælle lidt af den historie. Undervejs vil jeg belyse nogle forskelle og ligheder mellem de to fysikers eksperimentelle metoder og teoretiske overvejelser.

Ørsted

Ørsted lagde aldrig skjul på, at hans syn på verden var kraftigt inspireret af de tyske filosoffer Immanuel Kant og Friedrich Schelling. Ifølge dem var stof dynamisk og bestod af kræfter. Derfor afviste Ørsted på det bestemteste idéen om atomer som stofs bestanddele. Schelling havde fremført den idé, at verden var en levende organisme gennemtrængt af vital ånd, som alle naturens kræfter kunne tilbageføres til. Ikke bare stof, men også fænomener som elektricitet, magnetisme, lys og varme var i sidste ende intimt forbundne manifestationer af den samme universelle ånd eller sjæl, om man vil. Fysiske og kemiske fænomener blev skabt af konstant vekselvirkende modsatte kræfter. I overensstemmelse med disse idéer, blev målet med videnskaben for Ørsted at søge efter de underliggende forbindelser og vekselvirkninger mellem alle fysiske fænomener og forklare dem med fundamentale polære kræfter. De mest fundamentale kræfter bestemte den kemiske sammensætning af stof. Ørsted kaldte dem tændkraft og brændkraft [1]. Andre kræfter, såsom to modsatte elektriske kræfter, kunne reduceres til de mere fundamentale kemiske kræfter. I 1812 beskrev han, hvordan alle legemer indeholder elektriske kræfter, men fordi de er i balance, bemærker vi dem ikke [2, s. 347].

Når Ørsted skulle forklare det, vi i dag kalder elektrisk strøm i en leder, brugte han sin forestilling om, hvad han kaldte en "elektrisk Vexelkamp," dvs. en konflikt mellem de modsatte elektriske kræfter, der til stadighed forsøger at komme i ligevægt. Han forestillede sig, at den elektriske strøm foregår som en form for polær forstyrrelse af kræfterne gennem lederen. Som han selv beskrev det, anså han "ikke overførsel af elektricitet gennem en leder som en jævn strøm, men som en rækkefølge af afbrydelser og genoprettelser af ligevægt på en sådan måde, at de elektriske kræfter i strømmen ikke var i rolig ligevægt, men i en tilstand af stadig vekselkamp" [3, bind II, s. 357]. Med vores skelnen i dag mellem jævnstrøm og vekselstrøm in mente, kan det virke forvirrende, når Ørsted forklarer en jævn strøm med en vekselkamp. Men vi skal huske

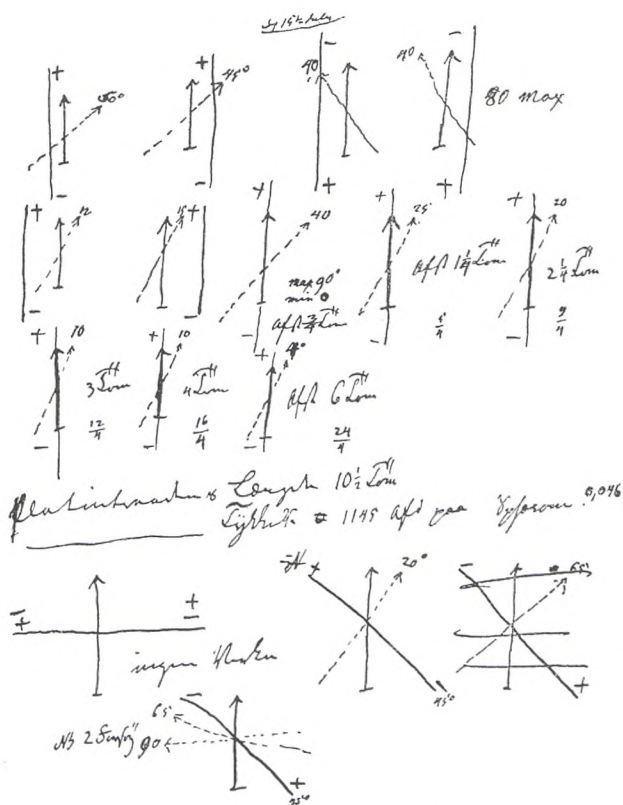
på, at Ørsted afviste at forklare strøm som en form for partikler, der bevæger sig. Han forestillede sig som sagt i stedet en vekselvirkning mellem modsatrettede kræfter, der stræber efter at skabe en balance.

Effekten af den elektriske strøm afhang ifølge Ørsted af både den elektriske styrke, dvs. intensiteten af de ophobede kræfter, f.eks. på to forskellige metaller anbragt i kontakt med hinanden – som han også benævnte spændingen – og mængden af elektriciteten, som vi måske lidt anakronistisk kan oversætte med elektrisk strøm [2, s. 349].

I overensstemmelse med sit naturfilosofiske forskningsprogram, fremsatte Ørsted allerede i 1812 den hypotese, at der måtte være en virkning fra elektriciteten på en magnet. At det tog ham otte år, før han observerede effekten, kan undre retrospektivt, men det skyldtes formentlig flere årsager. Som professor havde han travlt med at undervise og skrive lærebøger i kemi og mekanik, så sandsynligvis var det svært at finde sammenhængende tid til at foretage en større undersøgelse. Forstyrrelser af magnetnåle ved lynnedslag under tordenvejr var et velkendt fænomen. Ørsted troede derfor i lang tid, at der skulle store elektriske udladninger til for at skabe effekten. Han forestillede sig derfor, at hvis der skulle vise sig en effekt fra et kemisk batteri, skulle dens poler forbindes med en leder, hvori den elektriske konflikt var så stor, at lederen blev glødende. Vi kan med nutidens sprogbrug oversætte det til en leder, der var tynd og dermed havde høj elektrisk modstand. Hvis den elektriske effekt blev skabt af en form for radial udstråling fra lederen, som en glødende ledning antyder, har Ørsted sandsynligvis forestillet sig, at en nål ville blive enten tiltrukket af eller frastødt fra lederen, men den opstilling viste ingen effekt. En anden hypotese var, at den magnetiske effekt ville være parallel med den elektriske leder, men det gav heller ingen effekt [4]. Alligevel kan det virke underligt, at han aldrig skulle have afprøvet en opstilling med leder og nål over hinanden før i 1820. Første gang han lavede denne opstilling og dermed opdagede den elektromagnetiske effekt, fandt sted midt under en fore-

læsning om elektricitet og magnetisme i vinteren 1820. Apparaturet var gjort klart, men han havde ikke lige fået det afprøvet inden forelæsningen. Således gik det til, at han første gang demonstrerede virkningen omgivet af sine studerende. Virkningen var dog lille og forvirrende, netop fordi han brugte en tynd platintråd og et mindre batteri, men Ørsted havde noteret sig effekten. Først tre måneder senere fik han dog tid til at udforske sin opdagelse nærmere, hvilket også efterfølgende faktisk undrede ham selv.

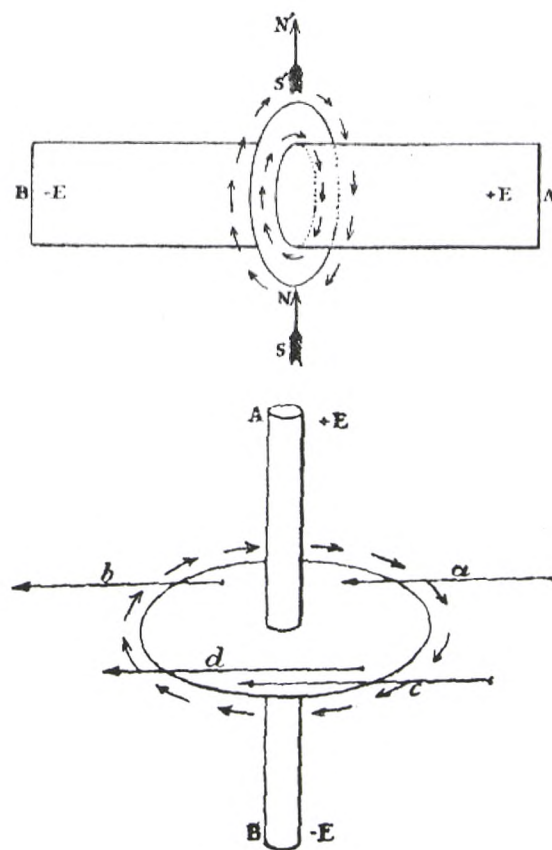
Ørsted var en kompetent og omhyggelig eksperimentalfysiker. Som det antydes af hans senere publicerede optegnelser på figur 1, foretog Ørsted en lang række systematiske forsøg, der skulle udforske effekten fra den elektriske leder på magnetnålen. Magnetnål og leder blev placeret i varierende afstand og over og under hinanden. Han undersøgte også, om effekten kunne skærmes ved at indsætte forskellige materialer mellem nålen og lederen. Faktisk undersøgte Ørsted også effekten af en lille strømløkke på en magnet, og snart lavede han også det inverse forsøg, dvs. undersøgte magnetens virkning på et bevægeligt galvanisk apparat [5].



Figur 1. Et ark fra Ørsteds noter fra de første undersøgelser af den elektromagnetiske effekt [3, bind I, s. LXXXII].

Ørsteds forsøg viste ham, at den såkaldte "Vexelkamp" mellem de modsatte elektriske kræfter ikke var begrænset til at foregå i lederen, men også udbredte sig i rummet uden for lederen [3, bind III, s. 292-293]. Efter en lang række forsøg, nåede Ørsted frem til en beskrivelse af, hvordan den elektromagnetiske kraft (den "elektriske Vexelkamp") måtte rotere om den strømbærende leder og dermed dannede en spiralformet symmetri om denne. En sådan cirkulær kraft var fuldstændig uventet og syntes uforklarlig, men han formulerede nogle regler, der er ækvivalente med

højrehandsreglen, som vi i dag finder i lærebøger om elektromagnetismen.



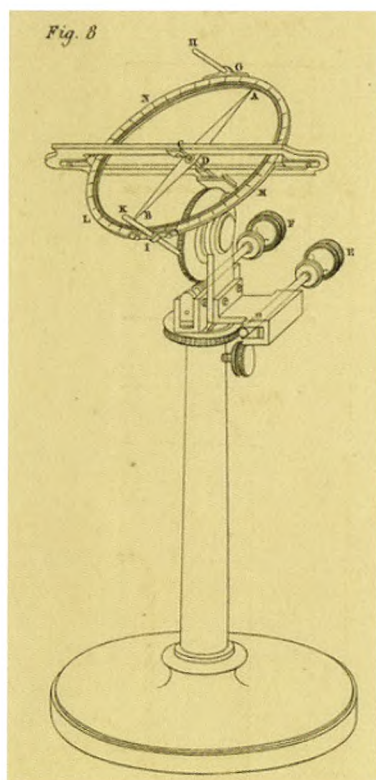
Figur 2. Illustrationer af den elektromagnetiske krafts roterende effekt omkring den strømbærende ledning. På billederne er BA den strømførende leder, hvori retningen af strømmen er AB. Der er placeret magnetnåle i nærheden af lederen betegnet med SN, S'N', og a,b,c,d [3, bind II, s. 361-362].

Opdagelsen af elektromagnetismen var en kæmpe triumf for Ørsted. Det var kulminationen på det årelange naturfilosofiske forskningsprogram, han havde påbegyndt sammen med sin ven Johann Wilhelm Ritter i 1802. Hvad ånden lover, det holder naturen, skrev Ørsted senere. Ørsted var med det samme klar over, at det skulle gå stærkt med publiceringen af opdagelsen, før en anden forsker ved et tilfælde faldt over sammenhængen. Han ilede derfor med at udsende sin første lille pamflet om opdagelsen på en lidt utraditionel vis; pamfletten var skrevet på latin og var uden tegninger af forsøgene. Den var trykt privat, og han sendte den med kurér til sine kolleger rundt om i Europa. Opdagelsen skabte med det samme en kæmpe sensation i forskerverdenen. Med ét slag blev Ørsted verdensberømt, og hans navn blev uødeliggjort. Ørsted var i 1820 43 år, og det år blev hans lykkeligste i hans videnskabelige liv, som han senere skrev [6].

At der skulle være en direkte forbindelse mellem elektriciteten og magnetismen, var mærkeligt nok, set retrospektivt, en fremmed tanke blandt de ledende fysikere i Paris, som var datidens vigtigste, videnskabelige centrum. Godt nok søgte man i Paris også efter en form for enhedsteori for alle fysiske fænomener. Men den laplacienske fysik, som det franske forskningsprogram

er blevet kaldt efter dens ledende skikkelse Pierre-Simon Laplace, fokuserede ikke på at finde forbindelser mellem de forskellige fænomener. For de forskellige fænomener, som f.eks. elektricitet og magnetisme, blev anset for at have fuldstændig forskellige årsager. I stedet arbejdede man i Paris, og indtil da med stor succes, på at reducere beskrivelsen af alle fysiske fænomener til den samme matematiske model baseret på fjernvirkende centralkræfter mellem partikler ud fra en analogi til Newtons massetiltrækning [7].

Nyheden om virkningen af den elektriske strøm på en magnet blev mødt med stor skepsis i Paris, som dog hurtigt blev gjort til skamme, så snart forskerne gentog Ørstedes forsøg. Da måtte også de undre sig over, hvorfor ingen før havde lavet et lignende forsøg. Som Ampère skrev til en ven: "De har ganske ret i at sige, at det er ubegribeligt, at der igennem tyve år ikke var nogen der afprøvede Voltasøjles virkning på en magnet. Jeg tror imidlertid, at jeg kan angive en grund til dette; den ligger i Coulombs hypotese om den magnetiske virknings natur; denne hypotese blev troet som om den var en kendsgerning, og den afviste enhver idé om en virkning mellem elektricitet og magnetisme. Denne hindring var så stærk, at da hr. Arago talte om disse nye fænomener i Akademiet, blev de afvist ... Alle mente, at de var umulige" [5, s. 75-76].



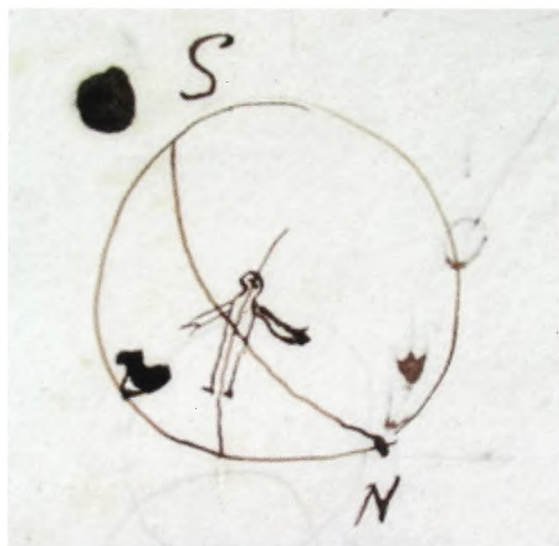
Figur 3. Ampères astatiske nål [8].

Ampère

Ampère var en 45-årig matematikprofessor, der ligesom Ørsted havde filosofiske tilbøjeligheder og en interesse for kemi. Han havde ikke tidligere gjort sig bemærket inden for fysik. I sommeren 1820, mens undervisningen på École Polytechnique var sat på pause, kastede han sig imidlertid med stor iver ind i den eksperimentelle

undersøgelse af den elektromagnetiske effekt, som den var beskrevet af Ørsted. Den første fase i Ampères forsøgsrække var, ligesom Ørstedes, rent udforskende, dvs. det var forsøg, der ikke var styret af teoretiske forskrifter, men af generelle metodologiske retningslinjer såsom variabelkontrol. Ørstedes eksperimenter var relativt lette at reproducere, men svære at forstå. Magnetnålens tendens til at svinge ud i en vinkel i forhold til ledningen var i direkte modstrid med det centrale dogme i den laplacienske fysik om centralkræfter, der kun afhang af afstanden. Så meget desto mere underligt var det, at nålen svingede ud til den modsatte side, når den var placeret under lederen i modsætning til, når den var placeret over ledningen. Ørsted havde formuleret det sådan, at man skulle forstå den "electriske Vexelkamp" som noget, der udbredte sig i cirkler rundt om lederen; men idéen om en cirkulær virkning var meget fremmed for Ampère (og de fleste andre).

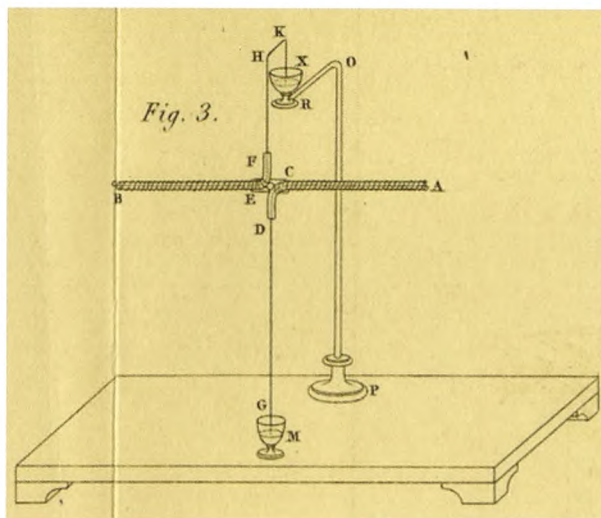
Ørsted havde undersøgt effekten fra lederen på magnetnålen uden at adskille denne virkning fra jordmagnetismens virkning på magnetnålen. For at separere de to magnetiske virkninger, konstruerede Ampère som den første en såkaldt astatisk nål, der sørgede for, at magnetnålens rotationsakse var parallel med inklinationen.



Figur 4. Ampères skitse af gigantiske strømme i Jordens indre. Man skal forestille sig Ampères iagttagere liggende på ryggen med et kompas over sig. Hans venstre arm peger i kompasnålens retning mod Jordens magnetiske nordpol. Ifølge Ampère ville strømmen rundt langs ækvator løbe i retningen fra øst til vest, altså fra mandens fødder til hans hoved, delvist skitseret [8].

Ampère gentog efterfølgende Ørstedes forsøg med at variere den relative position af leder og nål og ved at ændre på styrken og polariteten af batteriet. Ved et tilfælde opdagede Ampère, at ikke bare lederen, men også batteriet var magnetisk aktivt. Den virkning havde Ørsted ikke beskrevet i sin pamflet. Det ledte Ampère til en forståelse af strøm som noget, der udbredte sig både gennem batteriet og lederen i en kontinuert lukket kreds. Idéen om et lukket elektrisk kredsløb, der involverer både leder og batteri, er så velkendt og selvindlysende for os i dag. Det er tankevækkende, at det først blev formuleret af Ampère. Fordi den magnetiske virkning fra batteriet og fra lederen var hinan-

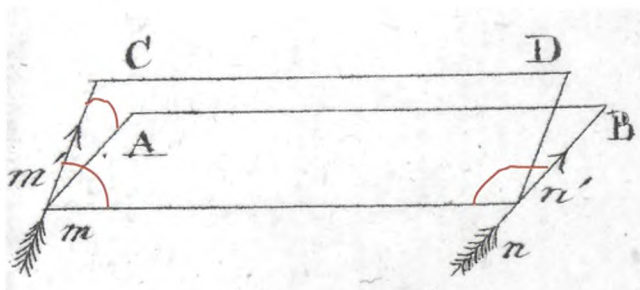
Den idé ledte ham omvendt til den langt mere vovede hypotese – der skulle gøre ham verdensberømt – at al magnetisme kan spores tilbage til elektriske strømme i magnetens indre. Mens der var god ræson i, at der kunne opstå elektriske strømme i Jordens heterogene indre, gav det umiddelbart ingen mening, at der skulle opstå elektriske strømme i homogene metalliske magneter. Men Ampère var nu blevet ansporet til at gøre alt, hvad der stod i hans magt for at understøtte sin hypotese, i hvert fald indirekte; han ville efterabe magneter ved hjælp af arrangementer, der kun involverede elektriske strømme og på den måde opnå empirisk støtte for sin hypotese. Hans idé var, at hvis der var elektriske strømme inden i magneten, måtte det omvendt betyde, at elektriske strømme skulle opføre sig som magneter.



Fra da af gik Ampères forskning ind i en ny fase. Hans eksperimenter blev nu til lykkede testforsøg, der var stramt styret af hans hypotese [7, s. 12-13]. Ampère udtænkte og fik udviklet spidsfindige apparater, der skulle demonstrere de magnetiske egenskaber af elektriske strømme. Ét apparat skulle demonstrere, at en spiralformet leder ville virke som en stangmagnet (figur 5).

Ligesom Ørsted, publicerede Ampère hurtigt og løbende sine opdagelser og næsten på ugebasis orienterede han sine kolleger i Académie des Sciences. På blot et halvt år lagde han grundstenen til den teori, som han kaldte elektrodynamikken. Navnet understreger hans idé om, at magnetiske og elektromagnetiske virkninger

kan beskrives som vekselvirkninger mellem elektriske strømme.



Figur 7. Illustration af to vekselvirkende, infinitesimale strømelementer mm' og nn' med vilkårlig retning i rummet. Pilene antyder strømretningen. Undertegnede har indtegnet de tre vinkler med rødt [10].

Ørsted versus Ampère

Ørsteds kraftlære egnede sig ikke til at blive sat på matematisk form, og Ørsted var heller ikke nogen god matematiker. Det spillede naturligvis en rolle for hans videnskabelige metode og hans syn på brugen af matematiske beskrivelser i fysikken. Han brød sig ikke synderligt om matematiseringen af fysikken, som han så den komme til udfoldelse blandt de franske fysikere. Det var der flere årsager til. Men først og fremmest kunne et matematisk udgangspunkt ifølge Ørsted lede til de forkerte anskuelser af de fysiske fænomener. Derfor skulle man også være påpasselig med at bruge den matematiske beskrivelse i fysikundervisningen [11]. På grund af Ørsteds med tiden magtfulde position i videnskabens og kulturens København, kom dette synspunkt beklageligvis til at påvirke fysikundervisningen på Københavns Universitet i mange år frem [12].

På sin triumftur rundt i Europa i 1822-1823, besøgte Ørsted Ampère af flere omgange for at se hans eksperimentelle demonstrationer og diskutere teorien om elektromagnetismen med ham. Apparaterne ville imidlertid ikke som Ampère ville, og Ørsted var ikke imponeret over Ampères evner ud i eksperimentalfysikken. Ørsted fik også det indtryk, at Ampère manglede oratoriske evner i deres videnskabelige diskussion, som han skrev til sin bror [13]. Ampère blev omvendt irriteret på Ørsted over, at han ikke lod sig overbevise om hans kraftlovs fortrin fremfor Ørsteds teori. Men Ørsted fastholdt sin kritik af Ampères teori både af fysiske grunde og ud fra erkendelsesteoretiske betragtninger. Ørsted mente, at magnetismen skulle tilskrives en egen ontologisk status, fordi den magnetiske og den elektriske virkning var så forskellige. For eksempel udbredte den magnetiske virkning sig uhindret gennem glas, mens elektrisk ledning ikke kan forekomme i glas. Ørsted fastholdt også, at hans teori i modsætning til Ampères gav en umiddelbar, direkte og intuitiv forståelse af den elektromagnetiske effekt og derfor var langt mere anskuelig og hensigtsmæssig i formen. Han kritiserede således (og med rette) Ampères teori for, at den ikke anskueliggjorde rotationssymmetrien i elektromagnetismen. Ifølge Ørsted satte hans kvalitative kraftteori ånden fri, dvs. naturforskeren blev i stand til at forestille sig det pågældende fænomen "i Aanden," som han udtrykte det. Det var med andre ord lettere at visualisere

fænomenet med Ørsteds forklaring end med Ampères, ifølge Ørsted. Ørsted kendte ikke til den tankeproces, der lå forud for Ampères teori om at reducere magnetisme til elektriske strømme, og sandsynligvis ville det heller ikke have gjort nogen forskel for Ørsteds opfattelse af Ampères teori. Ifølge Ørsted var Ampères teori om strømme i magneten et godt eksempel på, at naturforskeren, når han tog udgangspunkt i de matematiske formler, kunne blive fastlåst i ånden og ledt til et "forkert" billede af fænomenerne [11]. Den på forhånd fastlagte matematiske ramme, som dikterede Ampères forsøg, kunne derudover forhindre forskeren i at opdage andre sider af fænomenet, en kritik som Ørsted ikke var ene om at fremsætte. Ampère var på sin side af den overbevisning, at hans kraftlov altid ville stå tilbage som en kendsgerning, uafhængigt af hvilke fysiske anskuelser af elektromagnetismen man måtte have. Den profeti viste sig at gå i opfyldelse, for Ampères formel blev en essentiel grundsten til alle senere elektrodynamiske teorier [7]. Ampères matematiske teori og syn på magnetismen som skabt af små strømløkker i magneten er genkendelig i den elektrodynamik, der undervises i i dag. Lidt forsimplet kan man sige, at Ørsteds opfattelse af elektromagnetismen som et rotationsfænomen blev videreudviklet af Michael Faraday til den feltteori, der senere blev matematiseret af James Clerk Maxwell.

Litteratur

- [1] H. C. Ørsted, Kraftlæren, i A. S. Jacobsen, A. D. Jackson, K. Jøved og H. Kragh (red.) (2003) Ørsted's Theory of Force. An unpublished textbook in dynamical chemistry, Historisk-filosofiske Meddelelser, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, København.
- [2] H. C. Ørsted (1812) View of the Chemical Laws of Nature Obtained Through Recent Discoveries, i K. Jøved, A. D. Jackson og O. Knudsen (red.) (1998) Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted, Princeton University Press, Princeton, s. 347.
- [3] K. Meyer (red.) (1920) H. C. Ørsted Naturvidenskabelige Skrifter, bind I-III, Andr. Fred. Høst & Søn, København.
- [4] R. de Andrade Martins, "Resistance to the Discovery of Electromagnetism: Ørsted and Symmetry of the Magnetic Field.
- [5] O. Knudsen (1987) "Fysikeren", i F. J. Billeskov Jansen, E. Snorrason og C. Lauritz-Jensen (red.), Hans Christian Ørsted, IFV-energi I/S (Isefjordværket), s. 55-84.
- [6] A. S. Jacobsen og S. Larsen (2002) H. C. Ørsteds Selvbiografi, Steno Museets Venner.
- [7] O. Darrigol (2000) Electrodynamics from Ampère to Einstein, Oxford University Press, Oxford.
- [8] C. Blondel og B. Wolff (September 1820-January 1821) Ampère lays the foundations of electrodynamics.
- [9] F. Steinle (2016) Exploratory Experiments: Ampère, Faraday, and the Origins of Electrodynamics, University of Pittsburgh Press.
- [10] A.-M. Ampère og J. Babinet, (1822) Darstellung der neuen Entdeckungen über die Electricität und den Magnetismus von Oerstedt, Arago, Ampère, H. Davy, Biot, Erman, Schweigger, de la Rive u.s.w., Leopold Voss, Leipzig, Tabel I.