

F. GRAELL I DENIEL

**UNA INTERPRETACIÓ
DE LA INTENSITAT ELÈCTRICA
DES DELS TREBALLS D'AMPÈRE**

ESCRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

QUADERNS DE FILOSOFIA

F. GRAELL I DENIEL

**UNA INTERPRETACIÓ
DE LA INTENSITAT ELÈCTRICA
DES DELS TREBALLS D'AMPÈRE**

ESRITS DE FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

57

QIADERNS DE FILOSOFIA

1ª edició desembre 2022

© F.Graell i Deniel
ISBN 978-84-123314-3-1

www.xtec.cat/~fgraell
www.quadernsdefilosofia.cat
E-mail: fgraell@xtec.cat

Podeu fer ús de l'adreça electrònica per a qualsevol correspondència amb
Quaderns de Filosofia.

Es prega de tenir en compte sempre de consultar si hi ha una nova edició dels
quaderns (que inclou canvis de vegades prou rellevants) en el web esmentat.

CONTINGUT

PRESENTACIÓ, 7

I

LA DESVIACIÓ DE L'AGULLA MAGNÈTICA PER UN CORRENT I LA SEVA MAGNETITZACIÓ

1. Una troballa important, 9.
2. Algunes aportacions immediates, 12.

II

ELS DESCOBRIMENTS D'AMPÈRE

A. MEMÒRIA DE LES COMUNICACIONS FETES EL 18 I EL 25 DE SETEMBRE DE 1820

1. Tensió elèctrica i corrent elèctric, 14.
2. La regla d'Ampère. L'efecte mutu entre dos corrents paral·lels i la comprensió de l'imant, 16.

B MEMÒRIA DE LES COMUNICACIONS FETES FINS AL 6 DE NOVEMBRE DE 1820

3. L'estudi de l'hèlix, 18.
4. La cerca de la llei general de l'acció mútua, 21.
5. Un resum de la centralitat del corrent elèctric, 22.

III

LES COMUNICACIONS DES DEL 4 DE DESEMBRE DE 1820 AL 28 DE NOVEMBRE DE 1825

1. Algunes precaucions preliminars, 26.
2. Les quatre experiències per a l'expressió matemàtica de la força entre conductors, 28.
3. La fórmula de l'acció mútua entre dos elements, 31.
4. La cerca dels valors de la constant i de la potència, 34.

IV

AL VOLTANT DE LA FÓRMULA D'AMPÈRE

1. Una conjectura per començar, 38.
2. La importància d'una expressió física formal, 39.
3. La fórmula d'Ampère i la interpretació de la matemàtica, 40.
4. Les nocions de corrent i d'intensitat, 41.
5. La quantificació de la intensitat, 44.
6. El lligam de quantificació i interpretació, 46.

IV

LES ACCIONS MAGNÈTIQUES SÓN PRODUÏDES PELS CORRENTS ELÈCTRICS, 49

V

LA BRÚIXOLA DE TANGENT DE POUILLET, 53

PRESENTACIÓ

Un dels reptes rau a saber si hi ha una filosofia de la ciència i, en el cas afirmatiu, respondre a què estudia. Com sigui que depèn de la comprensió la seva tasca, si més no aquí defensem per a la nostra disciplina una vocació de coneixement universal, l'adquisició de totes les informacions que es puguin abastar d'un qualsevol saber, i que el nostre treball, a més d'aquells temes que es mouen al marge de la ciència, descansa en cadascun dels seus coneixements, i àdhuc va, en una accepció, més enllà perquè vol explicitar afers adquirits que no necessiten d'algun repàs per a fer propi què hi contenen, però que el filòsof s'obliga a reelaborar per a eixamplar-ne els punts de vista, unes vegades per a discutir-ne l'abast, d'altres àdhuc per a reinterpretar les últimes novetats, si és el cas, tot dependent del seu coneixement de la ciència tractada. No hi hauria un desconixedor d'uns aspectes del saber, sinó algú que, conreant-lo pel cap baix en alguna mesura, no en tindria prou.

Deu ser la posició dominant del paper del filòsof fins al segle XIX. Però la dificultat d'aprendre i la multiplicació de disciplines no hauria de fer apaivagar l'actitud esforçada de dur-ho endavant, d'acord amb les possibilitats de cadascú, amb el clar benefici que a la llarga els fruits són no sols els d'abastar les mateixes adquisicions d'altres homes, sinó així mateix de gaudir d'unes dimensions abans tingudes per inexistent.

El tractament de la ciència des de fora per a comentar aspectes que no són els del seu mateix coneixement s'hauria mostrat estèril i no interessant, a més de fer-ne un galdós servei de prestigi.

D'altra banda, però, tampoc no es podria fer sense disposar per endavant de les suficients habilitats guanyades en un exercici independent de la ciència.

Cal superar prejudicis que duen a un cert menyspreu del que es treballa, i llavors s'abastarà ben bé quin és el lloc de la filosofia, i què fa la filosofia de la ciència.

2. El treball que oferim il·lustra amb discreció una mica aquesta doble cara de la filosofia de la ciència, perquè una part important més aviat exposa afers que són del mateix Ampère, exemplaritzant un estat de coneixements de principis del segle XIX, i és des de tot el que ens conta que s'hi indica alguna cosa que és específic de la nostra disciplina. No es faria això últim sense haver passat abans per un llenguatge que explica processos i narra experiències, amb el ben entès que el que hi afegim té en compte, si es vol parcialment, l'expressió establerta d'avui.

Aviat farà dos segles que definim la intensitat elèctrica per la quantitat de càrrega elèctrica que creua una secció de conductor en una unitat de temps. L'eficàcia, l'acceptació general indiscutible, i la seva simplicitat, no impedeix d'adonar-se de la dificultat de conjugar el que forma part, podríem dir, d'un tipus d'afers nociònals, per exemple, quan parlem d'intensitat d'un corrent, respecte d'altres del tall del d'una distància, quan els primers s'integrarien dins de la gran família dels exercicis teòrics, en concret del que formen part de la modelització comuna.

Llavors s'hi afegiria el fet que n'hi ha una quantificació, que per tant l'assumpte mereix un cop d'atenció com sigui que no es tracta d'una qüestió irrellevant.

Afers com aquests són també els que el filòsof explicita, no perquè hi introdueixi problemes aliens al desenvolupament de l'electricitat, sinó perquè hi introdueix una mirada diferent, en aquest cas, al que ja entra en el domini del seu coneixedor. En d'altres casos l'estudi dependrà de l'abast del coneixement científic del filòsof per tal de discutir el que demana nous esclariments o distincions.

Aquí hem assajat de ponderar la noció d'intensitat, hi hem guanyat dur-la una mica més enllà del llenguatge de la seva definició física, i presumit com s'hi ha arribat. Hi hauríem guanyat comprensió, no perquè la intensitat no es compregués al marge d'aquesta comprensió, sinó per la capacitat d'integrar-la en afers i circumstàncies no portats a col·lació en aquella definició física.

I

LA DESVIACIÓ DE L'AGULLA MAGNÈTICA PER UN CORRENT I LA SEVA MAGNETITZACIÓ

Començarem amb alguns apunts transcendents en la història de la ciència, i que convé de col·locar al lloc que ocupen en el temps.

1. Una troballa important.

Ja abans de Hans Christian Ørsted (1777-1851) s'havia intentat de relacionar l'electricitat i el magnetisme, però aquests primers assaigs havien tingut com a resultat que els experiments que ho volien mostrar foren rebuts amb prou escepticisme. Les troballes del danès, però, no foren un descobriment casual. De fet l'any 1806 ja mostrava el parer, a propòsit del corrent galvànic, de ser la interrupció i el restabliment d'un equilibri elèctric, la qual cosa el portà a pensar que l'electricitat, a través del conductor, podria mostrar d'altres efectes, àdhuc que les forces elèctriques podien ser vistes com les forces naturals universals. El 1812 el mou el supòsit que les forces elèctriques podrien produir alguns efectes sobre els imants (Ørsted hi pensava els efectes d'una descàrrega des d'una bateria molt potent).

Hi torna en les classes que fa a la primavera de 1820 a Copenhaguen sobre electricitat, galvanisme i magnetisme, i hi assaja de descabdellar aquests pensaments. Un dia que feia els preparatius dels experiments a dur a terme a l'hora de fer classe a la tarda, i ocupat en l'experiment de Canton de l'influx dels efectes químics en l'estat magnètic del ferro, s'adonà dels canvis de l'agulla magnètica mentre passava una tempesta, i manifestà la suposició que una descàrrega elèctrica podria tenir efectes en una agulla magnètica que es trobés fora de la cadena [és a dir, del generador]. Doncs bé: quan va voler fer l'experiment, li va ocórrer que, mentre ho iniciava tot, un fil de platí es va connectar a la cadena, allí on l'agulla es trobava sota: l'efecte fou manifest i alhora confús: Ørsted s'adonà de la importància del fet i en diferí la investigació per a quan tingués més temps. El

juliol la reprengué i, la resultant, la donà a conèixer en un treball de sis pàgines amb data del 21 de juliol de 1820 escrit en llatí¹.

El contingut d'aquest escrit es podria resumir amb les següents paraules d'Edmund Hoppe²:

«Com a font del corrent Ørsted usà vint dels seus vasos³ de dotze polzades de llarg i d'alçada, i dues polzades i mitja d'ample, de coure, que s'omplien amb aigua, la qual s'acidificà amb 1/60 d'àcid sulfúric i la mateixa quantitat d'àcid clorhídric; aquí hi introduí el zinc. Aquests elements connectats els uns amb els altres tancaven un circuit per mitjà d'un fil metàl·lic que, en una part feta recta, arquejant el fil, es col·locà per sobre o per sota d'una agulla magnètica suspesa paral·lela al fil. Llavors, quan l'agulla es trobava sota i l'electricitat negativa entrava per damunt del pol sud [*de l'agulla*]⁴, el pol sud de l'agulla es desvià cap a l'est; si l'agulla estava per sobre, la desviació es trobà cap al costat oposat⁵. El resultat era independent de la classe de

¹ Primerament es va publicar en forma de fulletó, que va circular restringit a físics i a societats científiques. Molt aviat, però, s'incloué en treballs científics, per exemple, al *Journal für Chemie und Physik* (Schweigger) 29, 1820, pàgs.275-281, encara en llatí. De seguida aparegueren traduccions.

² Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität*, Leipzig, Johann Ambrosius Bath., 1884, pàg.196.

³ Aquests vasos foren ideats pel danès (milloraven alguns inconvenients i augmentaven les superfícies dels metalls): cadascun era un vas quadrangular de coure, en la qual s'introduïa un disc gruixut quadrangular de zinc, que tenia en la part inferior final dos forats perquè dos peus de fusta hi fossin fixats i que impedissin el contacte directe entre el zinc i el coure. Per tal d'establir una cadena des d'aquest vas individual hi havia una brida en el vas de coure, brida soldada al disc de zinc del vas següent, amb els líquids usats que el text esmenta.

⁴ Aquí se suposa que la direcció magnètica nord-sud de l'agulla és paral·lela inicialment a la direcció del fil, de manera que el pol sud de l'agulla apunti el pol negatiu. Tant Ørsted (i Ampère) com el mateix Hoppe segueixen la teoria de dues electricitats.

⁵ L'experiència d'Ørsted es podria comprendre així:

1. L'eix magnètic nord-sud de l'agulla és paral·lel a la direcció del fil conductor.

2. Supposem, per exemple, i com esmenta Ørsted, que el corrent va del pol positiu al negatiu («electricitat negativa»), tal i com també fem avui.

conductor i independent de com s'havia suspès l'agulla [*tipus de fil, etc.*], així com del medi on l'agulla es movia. La desviació era, en la seva magnitud, depenent de la proximitat del fil metàl·lic i de la superfície dels metalls en els elements [*els vasos*], això és, de la força del corrent. Ørsted canvià la posició del fil metàl·lic, el col·locà en el mateix pla horitzontal que l'agulla, i resultà així una petita elevació del pol sud en la primera direcció del corrent [*pol elèctric positiu-pol negatiu*], un petit enfonsament en la segona; si el fil metàl·lic es trobava perpendicular al pla d'oscil·lació de l'agulla, llavors no hi havia desviació, llevat que el fil s'apropés molt al pol, en el qual cas, segons la direcció del corrent, ara s'hi feia una petita elevació, ara un petit enfonsament. Cap objecte posat entre l'agulla i el fil no destorbava l'efecte, en el cas que no pogués esdevenir magnètic. En acabant Ørsted desitjava que els físics volguessin convèncer-se experimentalment de la veritat de la seva observació».

El treball el va fer un físic molt famós. Poc després, en un escrit publicat ja en alemany⁶, defensà que no calia posar roent el fil elèctric perquè s'esdevingués el fenomen (com creia abans), i fou prou sortós d'observar el moviment d'un circuit elèctric per mitjà d'un imant fort, és a dir, el fet que un circuit tancat elèctric es posava en moviment

3. Quan passa electricitat, el pol sud de l'agulla gira cap a l'est, si es troba sota el fil.

4. Però es podria posar de sortida en paral·lel agulla i fil de molts maneres, seguint les posicions d'una circumferència al voltant del fil conductor, que faria de centre d'aquell cercle.

5. En totes les posicions el pol sud es desvia cap a la dreta, si mirem l'agulla des del seu nord cap al seu sud. Però a mesura que ha abandonat la posició inferior la desviació de l'agulla va fent-ho cap a la dreta, mentre la desviació sembla anar a l'encontre, pel cantó del sud geogràfic, d'un pla vertical del meridià magnètic.

6. Quan l'agulla s'hagi col·locat per damunt del fil conductor, i oposada a la primera posició 180°, el pol sud de l'agulla, que ha anat desviant-se a la dreta, aquesta vegada ho farà cap a l'oest.

7. Per això la regla d'Ampère dirà senzillament que, donades unes condicions d'observació, el pol nord de l'agulla es desviarà constantment cap a l'esquerra.

⁶ Journal für Chemie und Physik (Schweigger) 29, 1820, pàgs.364ss.

gràcies a la influència d'un imant fort, i circuit que girava d'acord amb les lleis de la repulsió.

A més hi assenyalà que l'efecte magnètic sobre l'agulla augmentava en la mesura que s'eixamplava la superfície dels discos — per contra l'afegiment de nous elements (per exemple, de vasos) no tenia efectes rellevants.

2. Algunes aportacions immediates.

Durant la resta del 1820 es van repetir arreu les experiències d'Ørsted, i una bona colla de treballs van anar apareixent en les revistes especialitzades. Molts no aportaven canvis significatius, però n'hi hagué de força interessants.

François Arago (1786-1853), amb el seu amic Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850), en lliuraren alguns. El resultat fou el descobriment que el corrent no sols desviava, sinó que també magnetitzava. En efecte feren passar una agulla d'acer per l'eix d'una espiral de ferro tancada en un circuit galvànic: després de deixar passar una estona el corrent, observaren que l'agulla s'havia magnetitzat. També pogueren comprovar que el mateix fil conductor feia d'imant perquè podia atraure llimadures de ferro.

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) magnetitzà una agulla d'acer de la següent manera: la feia passar per damunt d'un fil de coure, que seguia el meridià terrestre i per on hi havia un corrent. Si l'agulla ho feia d'oest a est, el cap apropat feia de pol sud; si passava en direcció contrària, aquest cap era el pol nord. També s'intercanviava l'ordre dels pols d'acord si se la feia passar per sota el fil o per sobre, o bé si es modificava la direcció del corrent. Seebeck interpretà el fil amb el corrent com un imant, i l'anomenà un imant electroquímic.

El també alemany Paul Erman (1764-1851) publicà el maig del 1821 una monografia sobre el magnetisme electroquímic, plena sobretot de consideracions teòriques que els anys van fer decaure.

També cal esmenar Johann Christian Poggendorff (1796-1877), que experimentà els efectes amb un conductor elèctric enrotllat en espiral deixant-lo sense res enmig (també ho feu Schweigger, que ho

donà a conèixer el novembre de 1820), aparell que durant un temps s'anomenà «multiplicador» pel fet que augmentava els efectes sobre una agulla magnètica col·locada enmig (el pla de les espiras en la vertical) perquè superposava els efectes de la part superior del fil que es trobava per damunt l'agulla, als de la part inferior, que seguia en aquest part una direcció contrària a la de la part superior. Schweigger va contruir-ne així mateix d'altres varietats: per exemple, fent agafar al fil metàl·lic la forma d'un 8, amb efectes magnètics contraposats.

Encara el següent: Schmidt, en la línia del que digué Ørsted a propòsit de l'augment de l'efecte, comprovà que, disposant de tres caixes amb elements (amb discos), amb un de sol l'agulla es desviava 17°; els tres connectat en sèrie (el disc de coure del primer element amb el disc de zinc del segon, etc.) lliurava un desviament màxim de 20°; si connectava tots els discos de coure per una banda, i els de zinc per l'altra, llavors amb dues caixes obtingué una desviació de 31°, amb tres una de 50°.

II

ELS DESCORBRIMENTS D'AMPÈRE.

Des que Arago li féu saber les troballes d'Ørsted, Ampère es posà immediatament a treballar, i a partir del 18 de setembre de 1820 fins al 6 de novembre no hi hagué reunió en l'Acadèmia de París que no hi mostrés noves recerques.

A. MEMÒRIA DE LES COMUNICACIONS FETES EL 18 I EL 25 DE SETEMBRE DE 1820

1. Tensió elèctrica i corrent elèctric.

Els seus treballs superen amb escreix totes les publicacions anteriors. Entre molts afers estableix (§1) que⁷:

«l'acció electromotriu es manifesta per dues classes d'efectes que crec que he de distingir primerament per una definició precisa. Anomenaré el primer *tensió elèctrica*, el segon *corrent elèctric*»⁸.

El primer ocorre entre dos cossos separats per no conductors, el segon quan formen part d'un circuit de cossos conductors.

En el primer cas la tensió pot ser constant o variable segons si l'acció és constant o variable.

En el segon no hi ha tensió elèctrica, no s'atreu cossos lleugers, l'electròmetre comú no pot indicar el que passa en el cos; però l'acció

⁷ Les citacions remetent a la *Mémoire présentée à l'Académie royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve compris le résumé de ce qui avait été lu à la même Académie les 18 et 25 septembre 1820, sur les effets des courants électriques*, Annales de Chimie et de Physique 15, 1820, pàgs.59-76. La memòria recull els resums de diferents dies sense distribuir-los en parts separades.

⁸ Es tractaria de la primera indicació de l'electrostàtica i de l'electrocinètica.

electromotriu continua: ho palesa la descomposició de cossos en una dissolució o la desviació de l'agulla imantada.

«Vegeu ara on es troba la diferència d'aquests dos ordres de fenòmens totalment distints, dels quals l'un consisteix en la tensió i les atraccions o repulsions conegudes de fa molt de temps, i l'altre en la descomposició de l'aigua i d'un gran nombre d'altres substàncies... Quan no hi ha continuïtat de conductors d'un dels cossos o dels sistemes de cossos entre els quals es desenvolupa l'acció electromotriu a l'altre, i que aquests mateixos cossos són conductors, com en la pila de Volta, hom no pot concebre aquesta acció més que com portant constantment l'electricitat positiva en l'un, i l'electricitat negativa en l'altre: en el primer moment, en el qual res no s'oposa a l'efecte que [aquella tensió] tendeix a produir, les dues electricitats s'acumulen, cadascuna a la part del sistema total vers la qual és portada; però aquest efecte s'atura des que la diferència de tensions elèctriques⁹ lliura a llur atracció mútua, que tendeix a reunir-les, una força suficient en l'equilibri de l'acció electromotriu¹⁰. Llavors tot resta en aquest estat, menys la pèrdua d'electricitat que pot haver passat a poc a poc a través del cos no conductor, l'aire, per exemple, que interromp el circuit; car sembla que no existeix un cos que sigui absolutament aïllant. A mesura que té lloc aquesta pèrdua, la tensió disminueix; però com des que és menor l'atracció mútua de les dues electricitats cessa d'equilibrar l'acció electromotriu, aquesta darrera força, en el cas que sigui constant, porta de nou electricitat positiva d'un costat, i electricitat negativa de l'altre, i les tensions es restableixen. És aquest estat d'un sistema de cossos electromotrius i conductors que anomeno *tensió elèctrica*....

«Però quan els dos cossos o els dos sistemes de cossos, entre els qual l'acció electromotriu té lloc, són a més en comunicació per cossos conductors... aquestes tensions desapareixen, o si més no esdevenen molt petites, i es produeix els fenòmens indicats dalt com caracteritzant aquest segon cas. Però com res a més no està canviat en l'arranjament dels cossos entre els quals es desenvolupa l'acció electromotriu, hom no pot dubtar que [l'acció electromotriu] continua actuant, i com l'atracció mútua de les dues electricitats, mesurada per la diferència de tensions elèctriques que ha

⁹ Quan la pila està aïllada, aquesta diferència és la suma de les dues tensions, l'una positiva, l'altra negativa: quan una de les seves extremitats comunicant amb el reservori comú [el terra] té una tensió nul·la, la mateixa diferència té un valor absolut igual a la de la tensió a l'altra extremitat [nota d'Ampère].

¹⁰ L'atracció es prou forta per a impedir fer créixer la tensió.

esdevingut nul·la, o ha disminuït considerablement, no pot més equilibrar aquesta acció¹¹, s'és generalment d'acord que aquesta continua portant les dues electricitats en els dos sentits en els quals les portava abans; de manera que en resulta un doble corrent, l'un d'electricitat positiva, l'altre d'electricitat negativa... És aquest estat de l'electricitat en una sèrie de cossos electromotrius conductors, el que anomenaré, per a abreujar, *corrent elèctric*»¹².

Ampère pensava en dues electricitats i en un doble sentit del corrent. Tanmateix introduí com a sentit a considerar quan es parla del corrent elèctric, el de l'electricitat positiva (esmenta el que va del pol positiu al negatiu fora de la pila, del negatiu al positiu dins seu).

Ampère vol circumscriure tensió i corrent d'una manera precisa: la tensió no pot descompondre un cos en una dissolució, no fa desviar l'agulla magnètica, atrau o rebutja cossos petits, es mesura amb l'electròmetre — el corrent fa els dos fenòmens primers i no els altres, ultra que esvaeix la tensió. Hi ha una comprensió dual de l'acció electromotriu: s'estableix un ordre en un tot que al cap i a la fi manifesta l'univers elèctric.

Tant la tensió elèctrica com el corrent expressen un respecteiu esdeveniment que se sap que duu a d'altres, àdhuc que es pot imaginar quelcom no lliurat mai perceptivament (el que sigui la mateixa electricitat). Hi ha una necessitat expressiva perquè hi ha hagut observacions, i s'ha imaginat: això valdria per al conjunt de les observacions elèctriques. Arreu es tractaria de nocions empíriques que no caldria que no suposessin vessants modèlics comuns.

2. La regla d'Ampère. L'efecte mutu entre dos corrents paral·lels i la comprensió de l'imant.

En el tercer apartat lliura la seva coneguda regla, que desplaça del tot la descripció d'Ørsted: una vegada col·locat un tros d'un conductor horitzontalment i en la direcció del meridià magnètic, i agafada una agulla imantada que es disposa per damunt o per sota

¹¹ La pila, malgrat que delmada la tensió, hi persevera: les atraccions elèctriques no poden fer que hi hagi un equilibri global.

¹² Ídem, pàgs.61-64

d'aquella conductor, per on passa un corrent, l'agulla es desvia més o menys segons si l'energia és més o menys gran. Llavors la regla diu:

«si hom es col·loca amb el pensament en la direcció del corrent, de manera que [*el corrent*] es dirigeixi des dels peus de l'observador al seu cap, i que aquest tingui la cara abocada cap a l'agulla, és constantment a l'esquerra que l'acció del corrent desviarà de la seva posició ordinària aquella de les seves extremitats [*de l'agulla*] que mira el nord».

Anomenà aquesta extremitat pol austral per ser el pol homòleg al pol (magnètic) austral de la Terra. També anomenà galvanòmetre aquest aparell (l'agulla imantada) amb què es mesurava la magnitud de la desviació perquè feia el mateix per al corrent elèctric que l'electròmetre per a l'electricitat de la màquina elèctrica.

«Penso que, per a distingir aquest instrument de l'electròmetre ordinari, cal donar-li el nom de *galvanòmetre*, i que convé d'usar-lo en totes les experiències sobre els corrents elèctrics, tal i com habitualment s'adapta un electròmetre a les màquines elèctriques per tal veure a cada instant si el corrent té lloc, i quina és la seva energia»¹³.

Assenyala que la regla de dalt és vàlida tant si es té en compte el conductor extern o la mateixa pila (això és, el pas de l'electricitat de l'extrem negatiu a l'extrem positiu). És a dir: si l'agulla és damunt de la pila es desvia en un sentit contrari a si és damunt del fil conductor perquè els corrents són en direccions contràries, els desviaments tot restant paral·lels quan l'agulla és damunt de la pila i per sota del conductor.

Al quart apartat de la seva memòria passà als efectes mutus entre dos corrents, i hi inclogué la important remarca que dos corrents paral·lels amb un igual sentit s'atrauen, i es repel·leixen si són paral·lels però amb sentits oposats. Ampère fou el primer a constatar-ho i descriu l'aparell per fer-ne l'observació.

També: un conductor mòbil en un pla paral·lel a un altre de fix, i que pot girar al voltant d'una perpendicular que els és comuna, i que

¹³ Ídem, pàg.67.

passa pel mig dels dos conductors, les meitats respectives atraient-se o rebutjant-se segons el sentit del respectiu corrent, tendirà a esdevenir paral·lel al conductor fix, de manera que els dos corrent vagin en el mateix sentit.

En aquest punt, afegeix Ampère, no caldria diferenciar massa l'acció entre dos trossos de corrent, i la que hi ha entre un corrent i un imant, que tendeixen a col·locar-se en direccions perpendiculars entre si:

«Passem ara a l'examen d'aquesta darrera acció, i de la de dos imants, l'un a l'altre, i veurem que [*les accions*] entren, l'una i l'altra, en la llei de l'acció mútua entre dos corrents elèctrics, quan es concep un d'aquests corrents establert a cada punt d'una línia traçada sobre la superfície d'un imant, d'un pol a l'altre, en els plans perpendiculars a l'eix [*de pol a pol*] d'aquest imant; de manera que no em sembla molt possible, després del simple apropament als fets, de dubtar que no hi hagi realment uns tals corrents al voltat de l'eix dels imants...

És així com s'arriba a aquest resultat desatès, que els fenòmens de l'imant són únicament produïts per l'electricitat, i que no hi ha cap altra diferència entre els dos pols d'un imant que llur posició respecte dels corrents que componen l'imant, de manera que el pol austral¹⁴ és aquell que es troba a la dreta d'aquests corrents, i el pol boreal el que es troba a l'esquerra»¹⁵.

B MEMÒRIA DE LES COMUNICACIONS FETES FINS AL 6 DE NOVEMBRE DE 1820

3. L'estudi de l'hèlix.

La concepció de l'imant a partir d'un agrupament de corrents elèctrics, perpendiculars al seu eix, el portà a experimentar amb

¹⁴ El que en l'agulla imantada es dirigeix cap al nord [*geogràfic*]; [*el pol austral*] és a la dreta dels corrents que componen l'imant, perquè [*aquest pol*] és a l'esquerra d'un corrent col·locat fora de l'agulla en la mateixa direcció [*inicial que l'agulla*], i que li fa costat. [*nota d'Ampère*]. [*S'extreu del fet que el pol nord de l'agulla es desplaça cap a l'esquerra, el sud cap a la dreta, per tant acomplint les lleis de la desviació*]

¹⁵ Ídem.74-76.

corrents que passaven per conductors en forma d'hèlix¹⁶ (imitaria els efectes de l'imant). Els extrems d'aquesta hèlix es comportaven com els pols d'una agulla magnètica quan se'ls apropava un imant (que fossin dirigits pel magnetisme terrestre, ho comprovà més tard). Reemplaçà doncs els fils rectilinis d'un aparell que en mantenia fix un, i mòbil l'altre, respectivament per hèlices.

Fent ús d'instruments d'aquest tipus, amb hèlixs, descobrí un fet nou i que es trobava d'acord amb d'altres fenòmens observats en l'acció mútua de dos corrents o d'un corrent i un imant; afegí¹⁷:

«cal, per a explicar-ho [*el fet nou*], admetre, com una llei general de l'acció mútua de corrents elèctrics, un principi que no he verificat encara més que respecte dels corrents en fils metàl·lics plegats en forma d'hèlix, però que crec vertader en general, quan es té en compte les porcions infinitament petites de corrent elèctric amb les quals s'ha de concebre, com a compost, qualsevol corrent d'una grandària finita, quan es vol calcular els efectes, sigui que tingui lloc segons una línia recta o una corba».

Per a fer-se una idea d'aquesta llei:

«cal concebre en l'espai una línia representant en magnitud i en direcció la resultant de dues forces que són de la mateixa manera representades per dues altres línies, i suposar, en la direcció d'aquestes tres línies, tres porcions infinitament petites de corrents elèctrics, en els quals les intensitats fossin proporcionals a la seva llargada. La llei de què es tracta consisteix en el fet que la porció [*infinitament*] petita de corrent elèctric, dirigida segons la resultant [*de la línia representant les altres*], exerceix, en la direcció que sigui, damunt d'un altre corrent o sobre un imant, una acció atractiva o repulsiva igual a la que resultaria, en la mateixa direcció, de la reunió de dues porcions de corrent dirigits segons els components».

¹⁶ En forma de solenoide, mot donat a conèixer pel mateix Ampère.

¹⁷ *Du mémoire sur l'action mutuelle entre deux courants électriques, entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et entre deux aimants*, pàg.174, a *Annales de Chimie et de Physique* 15, 1820, pàgs.170-218 : és la continuació de l'anterior.

S'hi afegeix que això es concep fàcilment quan es considera el cas del fil conductor plegat en forma d'hèlix

Llavors cada arc infinitament petit de la corba exerceix una doble acció, una paral·lelament a l'eix de l'hèlix, i una altra en els plans perpendiculars a aquest eix, cosa que ha de ser vàlida per a cada petita part de la corba.

«Se segueix del que acabem de dir relativament als corrents elèctrics en els fils plegats en hèlix, que l'acció produïda pel corrent de cada espiral es compon de dos altres, dels quals l'una seria produïda per un corrent paral·lel a l'eix de l'hèlix, representat en intensitat per l'altura d'aquesta espiral, i l'altra per un corrent circular representat per la secció feta perpendicularment a aquest eix en la superfície cilíndrica sobre la qual es troba l'hèlix; i com la suma de les altures de totes les espirals, presa paral·lelament a l'eix de l'hèlix, és necessàriament igual a aquest eix, se segueix que, a més a més de l'acció produïda pels corrents circulars transversals, que he comparat a la d'un imant, l'hèlix produeix alhora la mateixa acció que un corrent d'igual intensitat que tingués lloc en el seu eix».

Si es fa passar un corrent en un fil conductor pel mig de l'hèlix paral·lel a l'eix, i amb un sentit contrari al que equivaldria a la part de l'acció de l'hèlix que té lloc paral·lelament al seu eix, ocorreria que l'única acció restant fóra la dels corrents circulars transversals, «perfectament similars a la d'un imant». Si no hi feia passar aquell fil se li presentaven els efectes d'un conductor rectilini igual a l'eix de les hèlix, que era el fenomen principal pel fet que els radis de les espirals eren prou petits,

«fenomen que m'impressionà molt abans que hagués descobert la causa; encara havia de cercar-la, i volia, per noves experiències, estudiar totes les circumstàncies d'aquest fenomen, que havia observat primerament en l'acció de dos conductors plegats en hèlix»¹⁸.

¹⁸ Cf. Ídem, pàg.174-176. La descomposició presentada no correspon del tot a l'estudiada avui en l'acció d'un solenoide. Aquí compara els corrents circulars amb els imants, quan el camp magnètic del solenoide restaria anul·lat més enllà del que hi ha en la direcció de l'eix. Però de seguida trobem com ho expressarà en endavant: «d'on se segueix que un imant ha de

20

4. La cerca de la llei general de l'acció mútua.

Ampère vol anar, però, més enllà, a propòsit de l'acció mútua entre dos corrents:

«Des de les meves primeres recerques sobre el subjecte del qual ens ocupem, havia cercat de trobar la llei segons la qual varia l'acció atractiva o repulsiva de dos corrents elèctrics, quan llur distància i els angles que determinen llur posició respectiva canvien de valors. Vaig estar aviat convençut que no es pot concloure aquesta llei de l'experiència, perquè no se'n pot tenir una expressió simple més que considerant porcions de corrents d'una llargada infinitament petita, i que no es pot fer experiència d'uns tals corrents; llur acció, de la qual es pot mesurar els efectes, és la suma de les accions infinitament petites d'aquests elements, suma que no es pot obtenir més que per dos integracions successives, una de les qual s'ha de fer en tota l'extensió d'un dels corrents per a un únic punt de l'altre, i la segona executar-se sobre la resultant de la primera, presa entre els límits marcats per les extremitats del primer corrent, en tota l'extensió del segon; és el resultat d'aquesta darrera integració, presa entre els límits marcats per les extremitats del segon corrent, que pot sols ser comparat a les dades de l'experiència»¹⁹.

Planificà també la cerca de la llei per al cas de tractar-se d'un imant, les atraccions del qual s'han de comprendre a partir dels circuits elèctrics perpendiculars al seu eix; preveu també l'estudi per a l'acció mútua entre un imant i un corrent, o entre dos imants. Afegeix que:

considerar-se com un agrupament de corrents elèctrics que tenen lloc en els plans perpendiculars al seu eix... o, millor, aquests corrents s'estableixen primerament en l'imant seguint les corbes tancades més curtes, sigui d'esquerra a dreta, o sigui de dreta a esquerra, i llavors la línia perpendicular als plans d'aquests corrents esdevé l'eix de l'imant, i les seves extremitats fan els dos pols. Així, en cadascun dels pols d'un imant, els corrents elèctrics que el componen estan dirigits segons corbes tancada concèntriques; he imitat aquesta disposició en la mesura del possible amb un corrent elèctric plegant el fil conductor en espiral», pàg.207.

¹⁹ Ídem, pàgs. 177-178.

«No he acabat encara els càlculs relatius, sigui a l'acció d'un imant i d'un corrent elèctric, sigui a l'acció mútua entre dos imants, sinó sols aquells pels quals he determinat l'acció mútua de dos corrents rectilinis d'una grandària finita, en la hipòtesi que s'acorda millor amb els fenòmens que he observat i els resultats generals de l'experiència, relativament al valor de l'atracció o de la repulsió que té lloc entre dos porcions infinitament petites de corrents elèctrics»²⁰.

Ampère havia pensat no publicar aquesta fórmula fins que hagués pogut comparar els resultats amb experiències precises. Però explica l'aparell que ha utilitzat per a l'ocasió (per tal de fer-ne un cop d'ull, també per a remarcar per primer vegada l'acció del globus terraquí sobre els corrents elèctrics), i conclou que:

«es tractarà sols de veure si el conjunt d'aquests resultats s'acorden amb el càlcul dels efectes que han de ser produïts en cada circumstància, segons la llei d'atracció que s'haurà admès entre dues porcions infinitament petites de corrents elèctrics»²¹.

5. Un resum de la centralitat del corrent elèctric.

La memòria recull també el llegit el 30 d'octubre a l'Acadèmia reial de les Ciències, on feia saber els seus treballs sobre els efectes de l'acció del magnetisme terrestre²² en la direcció dels conductors elèctrics, i en descriguí l'aparell que hi ideà per a comprovar-ho, on es palesa que una espira per on passa un corrent es comporta com una agulla imantada.

Després passa a un repàs del que havia expressat el 18 de setembre²³.

Parlant de l'acció directriu de les relacions mútues entre un imant i un corrent, afegeix, a propòsit d'aquest darrer, «que s'acostuma a anomenar *el corrent galvànic*, denominació que he cregut haver de

²⁰ Ídem, pàgs.181-182.

²¹ Ídem, pàg.187.

²² Ídem, pàgs.188ss.

²³ Ídem, pàgs.196ss.

canviar per la de corrent elèctric»²⁴; i descriu el que anomena l'*agulla imantada estàtica* per a evitar l'acció del magnetisme terrestre.

Juntament amb l'acció directriu hi havia l'acció atractiva o repulsiva: un conductor i un imant, s'atrauen o es repel·leixen d'acord amb les posicions i la direcció del corrent. En aquest context formulà la hipòtesi d'explicar el magnetisme terrestre amb l'admissió en la Terra d'un corrent elèctric. Se l'imagina irregular:

«car no hi ha probablement res en el nostre globus que se sembli a un conductor continu i homogeni; però les matèries diverses de les quals està compost estan precisament en el cas [*com si fos*] d'un pila voltaica formada d'elements disposats a l'atzar, i que, tornant sobre si mateixa, formaria com un cinturó continu al voltant de la Terra»²⁵.

Malgrat tot Ampère estimà que hi havia encara una causa principal dels corrents elèctrics, i que explicaria en un altre lloc, del tot diferent a la col·locació a l'atzar de tota mena de materials (que no s'exclou que no calgués que fossin metàl·lics) per a la creació d'una feble tensió elèctrica.

Torna també a explicar el comportament d'un imant amb un altre imant en termes de conductors elèctrics, a observar les mútues accions entre un imant i una espiral per on passa un corrent elèctric, o entre dues espirals, i

«és així com he descobert que dos corrents elèctrics s'atreuen quan anaven en el mateix sentit, i es rebutjaven en el cas contrari»²⁶.

Conclougué per a tot el conjunt d'aquests afers elèctrics que:

«és evident que totes les circumstàncies d'aquests fenòmens són la necessària continuació de la disposició dels corrents elèctrics de què es componen, segons la manera en què aquests s'atreuen o es repel·leixen».

²⁴ Ídem, pàg.197

²⁵ Ídem, pàgs.203-204.

²⁶ Ídem, pàg.208.

Acabà la memòria amb un resum de la sessió del 25 de setembre a l'Acadèmia, on deduí nou conclusions a partir dels fets que havia exposat.

La darrera conclusió reblaria la identitat de les atraccions i repulsions dels corrents elèctrics i dels imants; recordà finalment que a la sessió del 9 d'octubre hi insistí i ho mostrà amb unes experiències.

III

LES COMUNICACIONS DES DEL 4 DE DESEMBRE DE 1820 AL 28 DE NOVEMBRE DE 1825

Mentrestant d'altres autors aportaren més experiències, algunes de les quals tingueren ressò en les noves memòries d'Ampère. Per exemple, Biot i Savart defensaren que la força en què actua un corrent elèctric sobre un pol magnètic (per exemple, d'una agulla magnètica) és perpendicular a la vertical que va des del pol magnètic al corrent, i perpendicular al corrent; és a dir, és perpendicular al pla determinat pel corrent i pel pol magnètic. La seva intensitat és proporcional a la distància del pol al corrent (Schmidt en lliurà una deducció independent). Val la pena d'esmentar també aquí Davy: experimenta col·locant diferents materials entre l'agulla magnètica i els fils metàl·lics, observa la distribució diferent de les llimadures de ferro en un imant i en un fil metàl·lic, fa desviar l'arc voltaic amb un imant, (a part d'això, molt important, ordena els metalls per la capacitat conductora d'un fil seu, que és inversament proporcional a la seva llargada, directament proporcional a la seva secció, i independent de la seva superfície total), fa girar imants al voltant dels caps metàl·lics que electritzen el mercuri d'una cubeta. D'altres autors observen els mateixos fenòmens amb l'electricitat de fregament: els cables amb corrent del mateix sentit s'atreuen (Schmidt), magnetitzen agulles d'acer (Ritter von Yelin, Böckmann). Faraday, que se serveix del calorimotor de Hare (una pila que cerca augmentar la superfície dels metalls que la componen i que permet grans efectes de calor en el seu ús, d'aquí el seu nom), defensa que el pol magnètic voldria girar al voltant del fil elèctric o, donades les condicions, mostra que el fil del corrent gira al voltant del pol (a través de les respectives experiències: Ampère també ho tractarà), per tant no hi hauria entre el pol i el corrent cap atracció directa o cap rebuig directe. Entre d'altres fets rellevants.

Ampère recollí aquestes comunicacions en forma d'un opuscle ordenat, que publicà tant en els *Annales*²⁷ com en un llibre a part²⁸.

²⁷ *Annales de Chimie et de Physique* 20, 1822, pàgs.60ss. (i en d'altres parts dels *Annales*).

²⁸ *Théorie des phénomènes électro-dynamiques, uniquement déduite de l'expérience*, par André-Marie Ampère, Chez Méquignon-Marvis, Paris,

S'hi troba una apel·lació a Newton i al seu mètode, cosa que li dóna peu per a dur a terme algunes observacions. Tot seguit presenta uns experiments, i l'exposició de la llei general de l'acció mútua entre corrents elèctrics.

1. Algunes precaucions preliminars.

Entre les observacions, s'hi troba l'explicació del propòsit que s'ha perseguit, i revisar, des de l'obtenció de la llei, allò que hi ha conduït.

«He consultat únicament l'experiència a l'hora d'establir les lleis d'aquests fenòmens, i n'he deduït la fórmula que pot representar ben bé les forces que han d'atendre; no faig cap recerca sobre la causa mateixa que es pot assignar a aquestes forces, ben convençut que qualsevol recerca d'aquest gènere ha de ser precedida per la coneixença purament experimental de les lleis, i de la determinació, únicament deduïda d'aquestes lleis, del valor de les forces elementals, la direcció de les quals és necessàriament la de la recta seguida pels punts materials entre els quals s'exerceixen».

S'hi repeteix la consigna newtoniana i el fet rellevant que ell tindrà en compte les forces la direcció de les quals és la recta que uneix les dues partícules entre les quals s'exerceixen.

Hi afegeix una consideració a fi de reivindicar també el que va ser vàlid per a d'altres autors:

«El principal avantatge d'aquestes fórmules que es conclouen immediatament d'alguns fets generals, donats per un nombre suficient d'observacions per tal que la certesa no en pugui ser contestada, és de restar independents, tant de les hipòtesis amb les quals els autors han pogut ajudar-se en la recerca d'aquestes fórmules, com de les que les poden substituir més endavant. L'expressió de l'atracció universal deduïda de les lleis de Kepler no depèn pas d'unes hipòtesis que alguns autors han provat de fer sobre una causa mecànica que volien assignar-li. La teoria de la calor descansa realment sobre fets generals donats immediatament per l'observació; i l'equació deduïda

1826, on remetem. També fou publicat a les Mémoires de l'Académie royal de l'Institut de France 1823, que aparegué el 1827, pàgs.284ss.

d'aquests fets trobant-se confirmada per l'acord dels resultats que se'n desprèn i d'aquells que lliura l'experiència, ha de rebre's igualment com a expressió de lleis verdaderes de la propagació de la calor, i tant per aquells que ho atribueixen a una radiació de molècules calorífiques, com per aquells que recorren per a explicar el mateix fenomen a les vibracions d'un fluid escampat per l'espai; cal sols que els primers mostrin com l'equació de què es tracta resulta de llur manera de veure, i que els segons la dedueixin des de fórmules generals dels moviments vibratoris; no perquè hagin d'afegir res a la certesa d'aquesta equació, sinó per tal que llurs hipòtesis respectives puguin subsistir. El físic que no ha pres partit en aquesta qüestió admet aquesta equació com la representació exacta dels fets, sense inquietar-se per la manera com pot resultar de l'una o de l'altra de les explicacions de què parlem; i si nous fenòmens i nous càlculs demostren que els efectes de la calor no poden ser realment explicats més que en el sistema de les vibracions, el gran físic que ha donat primerament aquesta equació, i que l'ha creada per a aplicar-la a les seves recerques de nous mitjans d'integració, no serà menys l'autor de la teoria matemàtica de la calor, com Newton l'és de la teoria dels moviments planetaris, malgrat que aquesta darrera no fos pas tan completament demostrada pels seus treballs que com ho ha estat després pels del seus successors»²⁹.

La hipòtesi seria allò que s'assumeix provisionalment, i que sols després s'acceptaria per la seva eficàcia, i les teories esmentades en el text serien les que han rebut alguna quantificació ratificada experimentalment.

La impossibilitat de sotmetre directament a l'experiència porcions infinitament petites del circuit voltaic obliga a agafar porcions d'una grandària finita, col·locant-les a diferents distàncies i posicions; llavors es fa la hipòtesi sobre el valor de l'acció mútua de dues porcions infinitesimals petites, se'n dedueix l'acció per a les finites, i es modifica la hipòtesi, si cal, fins que les previsions s'acordin amb les observacions («un treball en alguna manera d'endevinació, que és el fi de gairebé totes les recerques de física»³⁰).

Hi ha, però, una altra manera d'obtenir el resultat: la cerca experimental de l'equilibri d'un conductor mòbil entre dues forces o

²⁹ *Théorie des phénomènes électro-dynamiques*, pàgs.4-7

³⁰ Ídem, pag.9-10.

moments de rotació iguals; les formes i les mides dels conductors poden variar, sota les condicions que determini l'experiència, sense que es perdi l'equilibri: llavors es conclou directament pel càlcul quin hauria de ser el valor de l'acció mútua de dues porcions infinitament petites. És el procediment que seguí Ampère. Recorda la dificultat de mesurar aquestes forces quan hi ha un conductor mòbil pel fet que les parts que el posen en comunicació amb la pila també li exerceixen una força (ho superà, però, amb un aparell seu).

2. Les quatre experiències per a l'expressió matemàtica de la força entre conductors.

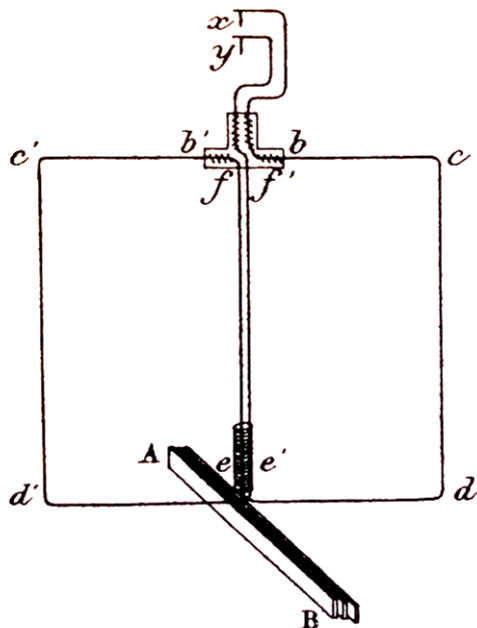
Ampère es disposa doncs a fer una descripció dels experiments amb els quals es pot arribar a l'obtenció del resultat que es desitja: la llei que regla l'acció entre conductors³¹

La primera experiència s'estintola en una constatació de l'equilibri resultant, que simplement s'observa, de dos fils conductors rectilinis, o dos curvilinis torçats conjuntament en forma de dos circuits iguals, recorreguts pel mateix corrent elèctric, l'un en un sentit i l'altre en sentit contrari: l'acció conjunta dels dos fils no exerceix

³¹ Ídem, pags.14-27. Maxwell comentà, a propòsit d'aquestes experiències que «l'equilibri d'Ampere consisteix en un marc lleuger capaç de girar sobre un eix vertical, i portar un filferro que forma dos circuits d'àrea igual, en el mateix pla o en plans paral·lels, en els quals el corrent flueix en direccions oposades. L'objectiu d'aquesta disposició és desfer-se dels efectes del magnetisme terrestre sobre el cable conductor. Quan un circuit elèctric és lliure de moure's tendeix a col·locar-se per tal d'abraçar el major nombre possible de les línies d'inducció. Si aquestes línies es deuen al magnetisme terrestre, aquesta posició, per a un circuit en un pla vertical, serà quan el pla del circuit estigui magnèticament d'est a oest, i quan la direcció del corrent s'oposi al curs aparent del sol.

En connectar rígidament dos circuits d'àrea igual en plans paral·lels, en els quals els corrents iguals corren en direccions oposades, es forma una combinació que no es veu afectada pel magnetisme terrestre, i per tant s'anomena combinació astàtica. Tanmateix les forces derivades dels corrents o dels imants hi estan tan a prop que actuen de manera diferent en els dos circuits.» *A treatise on electricity and magnetism*, vol. II, article 504.

cap acció sobre un conductor mòbil o sobre un imant. Això es pot també constatar en l'equilibri que hi ha en els dos conductors fixos $bcde$, $b'c'd'e'$, per on passa un corrent, respecte d'un conductor mòbil AB , independentment de l'angle format per la direcció dels primers respecte del segon: en aquest cas hi ha una igualtat d'accions entre, per exemple, les del conductor fix $bcde$ respecte d' AB , i les del conductor fix $b'c'd'e'$ respecte d' AB (les distàncies són simètriques).



Una segona experiència per a comprovar l'equilibri de forces rau a construir un aparell que manté dos fils metàl·lics instal·lats en dos llistons de fusta verticals, fils alimentats pel mateix corrent i amb el mateix sentit. En el pla vertical, i enmig, hi ha un conductor mòbil paral·lel, amb el mateix corrent, però en sentit invers. S'observa que, tot ben preparat, la part mòbil es manté exactament enmig dels dos llistons amb els fils, rebutjat igualment pels dos fils laterals (no importa que algun d'aquests fils contingui replècs en el seu muntatge

sobre el llistó): si se'l desplaça cap a un dels cantons recupera ràpidament la posició central.

Un tercer cas d'equilibri, el lliura un aparell que manté el corrent en un circuit horitzontal que inclou un tros d'arc de circumferència: l'aparell disposa de dos conductors que van des de l'arc a una part en direcció al centre de la circumferència de l'arc, es pot engrandir o empètir l'angle de l'arc, o àdhuc moure-ho tot de manera que l'arc abandoni el seu primer centre. Doncs bé: s'hi ha instal·lat més enllà del primer centre (i eix) de la circumferència de l'arc, i formant un sol circuit amb tot el que hem dit, el perllongament del circuit que tanca, és a dir, compost de dues parts oposades d'acord amb la pila, i llavors s'observa que l'arc (per on passa el corrent gràcies als braços esmentats) no es desplaça quan el seu centre coincideix amb el centre de la seva circumferència, però sí quan se l'ha corregut prèviament cap a un cantó o cap a l'altre, cosa que palesa que les dues porcions del circuit que tanca, i que tendeixen a fer girar en sentits contraris al voltant de l'eix, exerceixen sobre aquest arc moments de rotació el valor absolut dels quals és el mateix quan l'arc es troba centrat, però no quan no s'hi troba (la mateixa consideració valdria si es disposés d'un arc una mica més estret, perquè el seu moment de rotació, trobant-se centrat, també seria nul, i llavors també seria nul quan constés de dues parts molt petites, i per tant per a tot element de la circumferència el centre del qual sigui en l'eix). Això valent tant si l'arc és gran com petit (com infinitesimal, es diria), se segueix que, en aquest cas i quan hi ha equilibri, «la direcció de l'acció exercida pel circuit tancat sobre l'element [*aquí una porció infinitesimal*] passa per l'eix, i que aquella és necessàriament perpendicular a l'element»³².

³² La importància de l'experiment és en efecte que l'acció mútua es fa perpendicular a una porció (infinitesimal) de l'arc mòbil, que és quan hi ha equilibri d'aquesta part, i no hi ha desigualtat de moments (que farien moure en rotació l'arc de circumferència). És a dir, quan l'acció mútua es fa sobre la perpendicular a l'element no hi ha efectes mòbils de forces laterals.

D'aquí que, com diu més avall: el resultat d'aquest tercer experiment «demostra [*quan hi ha equilibri*] que la component de l'acció del circuit tancat qualsevol sobre l'element, segons la direcció d'aquest element, és sempre nul·la, sigui quina sigui la forma del circuit», ídem, pàg.36; és a dir.,
30

En el quart cas fa observar el següent: disposant de tres circuits circulars que segueixen un mateix corrent, col·locats sobre un pla horitzontal, amb el seu centres en línia, el segon mòbil, els radis dels quals estan en proporció geomètrica contínua, i els corrents dels tres següent, per exemple, el sentit de les agulles del rellotge, hi ha equilibri del segon circuit (el corrent connectat) quan les distàncies entre el centres es troben també en la mateixa relació de proporció geomètrica contínua: ho fan perquè els circuits es rebutgen de dos en dos, amb igual eficàcia (el corrent va en sentit oposat en les parts veïnes), altrament el circuit del mig es mostraria oscil·lant.

3. La fórmula de l'acció mútua entre dos elements.

Aquests casos d'equilibri permeten introduir-se en la fórmula per la qual Ampère representà l'acció mútua de dos elements (dues parts elementals) del corrent voltaic, d'acord amb els següents punts:

1. Ho fa mostrant que:

«és sols la força obrant seguint la recta que n'uneix els centres que pot acordar-se amb els dades de l'experiència».

Tot seguit afegeix:

«Per començar és evident que l'acció mútua de dos elements del corrent elèctric és proporcional a la seva llargada; car, quan se'ls suposa dividits en parts infinitament petites iguals a llur comuna mida, totes les atraccions o repulsions d'aquestes parts, podent ser considerades com a dirigides seguint una mateixa recta, s'ajunten necessàriament».

2. Uns altres factors de la fórmula són les intensitats dels corrents:

la simetria del circuit tancat faria que la seva acció conjunta sobre un element el mantingués en equilibri.

«Aquesta mateixa acció ha de ser també proporcional a les intensitats dels dos corrents.

Per tal d'expressar en nombre la intensitat d'un corrent qualsevol, es concebrà que s'hagi escollit un altre corrent arbitrari com a terme de comparació, que s'hagi pres dos elements iguals en cadascun d'aquests corrents [*dels quals parlava abans*], que s'hagi cercat la relació de les accions que exerceixen a la mateixa distància sobre un mateix element d'aquell altre corrent [*arbitrari*], en la situació on els és paral·lel i on la seva direcció [*de l'acció*] és perpendicular a les rectes que uneixen el seu centre amb els centres dels dos altres elements. Aquesta relació serà la mesura d'una de les intensitats, tot prenent l'altra com a unitat.

Designant doncs per i i i' les relacions de les intensitats de dos corrents donats amb la intensitat del corrent pres com a unitat, i per ds i ds' les llargades dels elements que es considera en cadascun d'aquells; llur acció mútua, quan són perpendiculars a la línia que uneix els seus centres, [*elements*] paral·lels entre si i situats a la unitat de distància l'un de l'altre, serà expressat per $ii'dsds'$; que ho agafarem amb el signe + quan els dos corrents, seguint el mateix sentit, s'atrauran, i amb el signe – en el cas contrari.

Si es volgués relacionar l'acció dels dos elements al pes, es prendria com a unitat de forces el pes de la unitat de volum d'un matèria convinguda. Però llavors el corrent pres com a unitat no seria arbitrari; hauria de ser tal que l'atracció entre dos dels seus elements ds , ds' , situats com acabem de dir-ho, poguessin sostenir un pes que fos a la unitat de pes com $dsds'$ és a 1. Aquest corrent una vegada determinat, el producte $ii'dsds'$ designaria la relació de l'atracció de dos elements d'intensitat qualssevol, sempre en la mateixa situació, al pes que s'hauria escollit com a unitat de força.».

3. Llur acció mútua dependrà també de la posició respectiva dels elements.

«Aquesta posició es pot determinar per mitjà de la llargada r de la recta que uneix els seus centres, dels angles θ i θ' que fan, amb un mateix perllongament d'aquest recta, les direccions dels dos elements presos en el sentit dels seus corrents respectius, i finalment de l'angle ω que fan entre si els plans traçats per cadascuna d'aquestes direccions i per la recta que uneix els centres dels elements».

La descomposició dels segments elements ds i ds' es fa tenint en compte dos aspectes:

«l'experiència³³ que mostra que l'atracció d'un element rectilini infinitament petit és la mateixa que la d'un altre element sinuós qualsevol, acabat als dos extrems del primer, i d'aquest teorema que vaig establir, a saber: que una porció infinitament petita de corrent elèctric no exerceix cap acció sobre un altra porció infinitament petita d'un corrent situat en un pla que passa pel seu centre, i que és perpendicular a la seva direcció.

En efecte les dues meitats del primer element produeixen sobre el segon unes accions iguals, l'una atractiva i l'altra repulsiva, perquè en una d'aquestes meitats el corrent va apropant-se, i en l'altre alluyant-se, de la perpendicular comuna. Endemés aquestes dues forces iguals fan un angle que tendeix als dos angles rectes a mesura que l'element tendeix a zero. Llur resultant és doncs infinitament petita en contrast amb aquestes forces, i cal consegüentment que sigui negligida en el càlcul».

Llavors descompon els respectius segments per les seves projeccions sobre la línia que uneix els seus centres, i per la projecció de cadascun d'aquells segments sobre la perpendicular del pla que passa pel respectiu centre i el segment oposat. Fet això en els dos segments, projecta les resultants d'un pla en l'altre per a contraposar-los. En conjunt fa, per dir-ho així, sengles circuits alternatius a ds i ds' , per tal de poder calcular amb una mica més de facilitat el factor, en l'acció mútua, que es deu a la diferent direcció entre circuits no paral·lels i que no es troben al mateix pla³⁴.

4. Finalment es considera la distància entre els elements:

«La consideració de les diverses atraccions o repulsions observades en la natura em portava a creure que la força de la qual cercava l'expressió obrava arreu en la raó inversa de la distància; la suposava, per més generalitat, en la raó inversa de la potència n^{ena} d'aquesta distància, n essent una constant a determinar».

³³ Cf. la primera i la segona experiències esbossades dalt, de les quatre que hi figuren.

³⁴ Cf. ídem, pàgs.30-32.

La fórmula resultant fa doncs:

$$\frac{ii' ds ds'}{r^n} (\cos \epsilon + h \cos \theta \cos \theta')$$

on $\cos \epsilon = \cos \theta \cos \theta' + \sin \theta \sin \theta' \cos \omega$; i h és $k-1$, on k és una constant positiva o negativa que representa la relació de l'acció de ds sobre ds' quan es troben en el mateix pla i direcció, respecte de ds i ds' quan es troben el mateix pla, però en direccions paral·leles, i la línia que uneix els seus punts mitjans els és perpendicular (llavors la fórmula es redueix a $\frac{ii' ds ds'}{r^n}$).³⁵

4. La cerca dels valors de la constant i de la potència.

1. Ampère necessità apropar-se al cas particular per a completar l'investida de la fórmula: s'havia introduït constants (k i h , lligades a través de $k-1 = h$) i una potència n a concretar.

Llavors cercà hàbilment un exemple d'equilibri (el tercer dalt descrit) que li permetés, des de les fórmules trobades, preveure que el component de l'acció d'un circuit sobre un element, seguint la direcció d'aquest element, fos nul·la³⁶, de manera que pugui trobar que en aquet cas $1 - n - 2k = 0$; una primera aproximació als valors de n i k .³⁷

Una segona experiència³⁸ molt senzilla li permet preveure, gràcies de bell nou a les conseqüències del càlcul, que k és negatiu³⁹.

³⁵ Cf. *Ibidem*, pàg.29. Ampère trobà, amb l'ajut d'altres experiències, que k és igual a $-\frac{1}{2}$ (cf. ídem, pàgs.59-60;151). La part angular és la resultat dels càlculs fets per la descomposició de ds i ds' (a ídem, pàgs.30-32, esmentat dalt).

³⁶ Ja s'ha comentat això en una nota anterior.

³⁷ Ídem, pàgs.36-37.

³⁸ Ídem, pàgs.37-39.

³⁹ Fa observar (pàgs.39-40) que la conseqüència d'això és que les parts d'un mateix corrent rectilini es repel·leixen ($\theta = 0$, $\theta' = 0$, per tant $\frac{kii' ds ds'}{r^n}$ és negatiu perquè ho és k). Doncs bé: mostra un experiment molt senzill que

En els dos casos no es tracta tant que l'experiència lliuri resultants concretes com el fet que l'observació va fent ajustar l'expressió quantitativa, amb diferencials i d'acord amb les fórmules que es van presentant des de la inicial. Per dir-ho així: tot això s'ha de considerar encara passes per a la confecció final de la fórmula.

Hi ha així mateix un fet rellevant: les aproximacions formals es fan des d'experiències individuals. Hi ha el convenciment que una experiència lliura com s'esdevé quelcom. S'és molt lluny d'una multiplicació de casos que permetrien inductivament una generalització. La realitat material permet, per dir-ho així, que se la fotografii: si no hi ha quelcom inadvertit, una experiència revela com és.

2. Sabent provisionalment que $n = 1 - 2k$ i partint de bell nou de la fórmula de l'inici, que ha transformat introduint-hi els diferencials parcials de l'acció mútua d'aquestes dos elements segons els tres eixos cartesianes, és capaç de desenvolupar el càlcul fins a arribar a una expressió que fa concloure que l'acció que exerceix un conductor, formant un circuit tancat, sobre un element del corrent elèctric és independent de la direcció que agafi aquest últim en el pla que es considera que es troba, i l'acció corresponent Ampère l'anomena l'acció exercida en aquest pla⁴⁰.

Això li serveix per a interpretar que la força amb la qual la Terra actua sobre una porció de conductor mòbil en un pla fix és la mateixa sense que tingui rellevància la direcció d'aquell conductor mentre es trobi en un mateix pla.

Una circumspecta experiència palesa que això és així⁴¹.

Tot seguit, per a servir d'exemple, aplica la fórmula trobada, a propòsit de l'acció resultant d'un conductor formant un circuit tancat, a un cas simplificat del sistema que es redueix a un sol corrent circular tancat⁴², fórmula que resta encara més simplificada quan el diàmetre

confirma aquest fet, per tant dóna suports als càlculs que s'han fet (i contribueix a la validesa de la fórmula inicial).

⁴⁰ Ídem, pàgs.40-45.

⁴¹ Ídem, pàgs.45-50.

⁴² Ídem, pàgs. 50-52.

del circuit circular és mot petit⁴³; ho aplica a un circuit pla tancat per una qualsevol corba, de dimensions petites i després grans⁴⁴.

Llavors passa al cas de dos circuits tancats en un mateix pla, primer suposant-hi dimensions molt petites, després d'una forma i mida qualsevol⁴⁵, que té com a resultat l'acció d'un conductor formant un circuit tancat sobre un altre conductor també constituint un circuit tancat. La seva acció serà:

$$\frac{n(n-1)}{2} \cdot \frac{ii'\lambda\lambda'}{r^{n+2}} \quad (\lambda \text{ i } \lambda' \text{ són les àrees dels dos circuits)}$$

Aquest darrer descabdellament permet determinar el valor de n :

«La fórmula que acabem de trobar, per a reduir l'acció mútua de dos circuits tancats i plans a les dels elements de les àrees dels circuits, duu a la determinació del valor de n . En efecte, si es considera dos sistemes semblants compostos [*respectivament*] de dos circuits tancats i plans, els elements semblants de les seves àrees seran proporcionals als quadrats de les línies homòlogues, i les distàncies d'aquests elements seran proporcionals a les primeres potències d'aquests mateixes línies. Anomenant m la relació de línies homòlogues dels dos sistemes, les accions de dos elements del primer sistema i dels seus [*de les accions*] corresponents del segon seran respectivament

$$\frac{n(n-1)}{2} \cdot \frac{ii'\lambda\lambda'}{r^{n+2}} \quad \text{i} \quad \frac{n(n-1)}{2} \cdot \frac{ii'\lambda\lambda' m^4}{r^{n+2} m^{n+2}};$$

llur relació, i per consegüent la de les accions totals serà doncs m^{2-n} . Ara bé, hem descrit precedentment una experiència [*la quarta*] per la qual es pot provar directament que aquestes dues accions són iguals; cal doncs que $n = 2$, i, en virtut de l'equació $1 - n - 2k = 0$, que $k = -\frac{1}{2}$ ⁴⁶

⁴³ Ídem, pàgs.52-53.

⁴⁴ Ídem, pàgs.53-57

⁴⁵ Ídem, pàgs.57-59.

⁴⁶ Ídem, pàgs.59-60. La quarta experiència era la igualtat d'acció d'un primer circuit i d'un tercer circuit sobre un segon circuit col·locat enmig: l'acció del primer sobre el segon, l'expressa el terme de l'esquerra, la del tercer sobre el segon el de la dreta: aquest tercer circuit té un radi rm^2 respecte del radi del primer circuit, mentre la distància del seu centre al centre del segon val rm , tal com diu la quarta experiència.

D'altra banda calcula també l'acció que exerceix un circuit, formant un sector circular els costats del qual comprenen un angle infinitament petit, sobre un conductor rectilini que passa pel vèrtex de l'angle que formen aquests costats. Es tracta d'arribar a una equació del moment de l'acció d'una àrea elemental sobre un conductor rectilini⁴⁷. Ampère estimà que podria deduir d'aquest resultat una manera de verificar la fórmula d'aquesta acció per mitjà d'un instrument, i en lliura la descripció i com la corrobora⁴⁸. Al final de la memòria, però, adverteix que no ha pogut encara dur a terme aquest experiment⁴⁹.

El text palesa l'habilitat d'Ampère a l'hora de dirigir el descabdellament formal i de fer-hi convergir experiments sagaçment dissenyats. Notem que aquest cas se circumscriuria a trobar una expressió per tal que valors i distàncies de circuits guardin unes raons que mostrin els mateixos efectes en base a allò que suggeriria la quarta experiència.

⁴⁷ Ídem, pàgs.60-62.

⁴⁸ Ídem, pàgs.62-65.

⁴⁹ Ídem, pàg.201. La fórmula s'hauria deduït tenint en compte tota l'anàlisi formal descabdellada des del començament, i llavors l'experiència esdevindria una ratificació, quelcom així com el càlcul de Newton que apropava la desviació de la Lluna i la caiguda d'un cos a la Terra: però Ampère admeté que no l'havia feta.

IV AL VOLTANT DE LA FÓRMULA D'AMPÈRE

Ampère ha dut l'estudi del fenomen descobert per Ørsted molt lluny: és el moment d'aturar-nos i guanyar d'altres perspectives rellevants, no pas per al domini del que és la intensitat, sinó per a la confecció del que implica.

1. Una conjectura per començar.

Algú avesat en el càlcul infinitesimal i en els fenòmens elèctrics, coneixedor dels treballs matemàtics de Poisson, per exemple, gran investigador de l'electromagnetisme, exposa els elements de la fórmula de l'acció entre dos conductors atenent un criteri d'eficàcia i de clara comunicació.

Es podria restar en aquell nivell de comprensió. Un altra cosa s'esdevé quan plauria de fer-ho en un altre sentit.

Aquí podríem fer la conjectura següent: si més no Ampère dedicà les primeres pàgines del seu llibre a Newton i a la fórmula de la gravitació universal que trobà a partir de les lleis, de caràcter experiencial, de Kepler: ell vol fer el mateix, seguir les passes de l'anglès a partir de les observacions fetes amb aparells (les quatre descrites amb l'equilibri resultant en formarien part), i llavors trobar la fórmula vàlida.

Certament els experiments ajudarien perquè permetrien pensar-hi forces i, també, estimar-hi en quina direcció s'apliquen.

Es podria suposar, seguint la conjectura, que aquí hi hauria una proposta a partir dels experiments, i a més s'hi podria haver afegit algun emmirallament amb la llei de la gravitació universal (o potser també amb la llei de Coulomb). La cerca d'una expressió de la força (a través d'un model formal), per mitjà de quelcom que fes les funcions de les masses mecàniques, per exemple. Versemblantment les lleis de Newton i de Coulomb podrien suggerir el reemplaçament de massa (i de quantitat d'electricitat) per la intensitat de corrent i pel

cos per on passa, que caldria alterar d'acord amb la situació relativa entre els dos cossos (la consideració dels diferents angles).

El producte entre la intensitat del corrent i la mida de l'element metàl·lic (amb les correccions a tenir en compte), i la relació inversa amb la distància, lliurarien una estructura paral·lela a la d'altres expressions. Hi hauria una força percebuda, eficaç entre dos elements metàl·lics per on passa un corrent, i la quantificació tindria en compte doncs «la intensitat elèctrica al llarg d'on passa».

2. La importància d'una expressió física formal.

1. La fórmula d'Ampère féu l'acció resultant una funció proporcional de l'element conductor i de la intensitat que hi passa, malgrat que no s'hi trobaria aquí cap prova feta experimentalment que s'hi acordés. I respecte a la proporcionalitat inversa de la distància el mateix autor hi defensà la consideració de les diverses atraccions o repulsions observades en la natura.

Al cap i a la fi el treball d'Ampère fa portar a col·lació un aspecte del descabdellament de la ciència des de Galileu i Newton molt rellevant: les consideracions formals no s'expressarien per a ser reblades una per una com si es tractés d'un saber inductiu, sinó que les nocions, considerades quantitativament, es desplegarien per a fer possible alguna manera d'aproximar-se a un procés, a un experiment, a una observació. La quantitat d'electricitat, per exemple, si seguís Coulomb, esdevindria una noció quantificada que al cap i a la fi expressaria una relació entre forces i distàncies. Seria eficaç, i per això se l'assumiria.

La vàlida en aquesta accepció de la fórmula d'Ampère rauria també en tot allò que ell mateix va anar corroborant amb experiències, malgrat que fossin comprovacions parcials, i amb tot el que permetria d'investigar, de provar, de validar, fet per d'altres estudiosos.

Certament nosaltres ens centrarem sols en la consideració mateixa d'una intensitat quantificada.

2. Abans val la pena de fer un cop d'ull a com relaciona una unitat d'intensitat de corrent i el pes: hi hauria el pes d'una unitat de

volum, i dos elements metàl·lics ds i ds' (on no calgués tenir en compte els angles) del corrent de referència per a la unitat, a una distància unitària, i quan l'acció dels corrents d'aquells elements fos capaç de sostenir aquell pes.

«Llavors el corrent pres com a unitat no seria arbitrari; hauria de ser tal que l'atracció entre dos dels seus elements ds , ds' , situats com acabem de dir-ho, poguessin sostenir un pes que fos a la unitat de pes com $dsds'$ és a 1».

La unitat d'intensitat estaria pensada, amb els fils metàl·lics, per l'efecte (un determinat pes): esdevindria una relació amb una explícita força.

3. La fórmula d'Ampère i la interpretació de la matemàtica.

El treball d'Ampère palesa l'habilitat en el domini del quantitatiu, en especial del càlcul infinitesimal, de manera que una gran part seu s'hi mou. Una interpretació del que es fa esdevé de molta importància. Se la podria avaluar com la resultant d'una ingent activitat a partir de coses, discontinües les unes a les altres, que se saben enumerar, enxarxades en una gran quantitat de relacions, de tal manera que una qualsevol fórmula expressaria el camí final i provisional d'un viatge des de les primeres enumeracions, passant per relacions elementals de l'aritmètica, seguint amb noves relacions amb nombres reals mentre es basteix tot plegat amb símbols, trobant noves relacions en els límits, en especial amb les derivacions i les integracions. La circumstància que no es tingui present aquelles passes primeres on es podria parlar de dues monedes mentre se les tenia a la mà no hauria de llevar que arreu es pitja relacions i estructures de relacions, per tant que hi apareix, en la base de tot, un immens mosaic de coses distintes que han anant muntant-se a través de relacions i de complicar-les amb estructures complexes. En d'altres paraules: s'estima que la fórmula quantitativa és rellevant perquè remet a coses, que lliga i relliga fins al paroxisme, i també la seva importància rau que és capaç de seguir un fil que va d'una cosa, a través d'un laberint, a una altra cosa (o de plurals a plurals).

Llegint Ampère el lector es troba fent constantment operacions amb diferencials, llegeix versemblantment com ho pensà l'autor, d'una manera autònoma i atenent la seva correcció formal.

Fet i fet aquest traspasar diferents instàncies des de la concreció d'una mesura perceptiva, perquè ja se sap el procediment que duu des d'aquí, a càlculs formals sense parar esment de les passes intermèdies s'hi fa manifest, en els estudis, i sols així es podria fer avançar la ciència.

Certament el lliurament de la fórmula en els termes d'una proporcionalitat directa amb els segment respectius i les intensitats, i inversa respecte d'una potència de llur distància, seria un conseqüència de l'avenç del saber; i també comportaria versemblantment la valentia de llançar una colla de suggerències que quallaren en la fórmula, l'admissió de la qual degué seguir-se a partir del desenvolupament coherent en noves fórmules i supòsits de càlcul que anaven permetent un apropament a observacions i relacions estudiades.

Hi hauria aquí doncs diversos nivells d'interpretació.

4. Les nocions de corrent i d'intensitat.

La noció d'intensitat és, com una qualsevol altra, d'origen empíric. Això no vol dir que se la vegi: no n'hi ha una percepció, no perquè aquesta no inclogui pensament, sinó perquè es fa necessari una *modelització comuna*, és a dir, el joc d'un imaginar-pensar que permetria d'explicar, ara sí, el que es percep.

Potser convindria recular una mica i fer adonar que la noció de corrent (la intensitat és intensitat de corrent) tampoc no s'admetria per haver-ne percebut.

Faraday escrivia els anys trenta del XIX:

«282. Com a conseqüència de les comparacions que es produiran a continuació entre filferros portadors d'electricitat voltaica i ordinària, i també per certes visions de la condició d'un filferro o de qualsevol altra substància conductora que connecti els pols d'un aparell voltaic, caldrà donar alguna expressió definitiva del que s'anomena el corrent

voltaic, en contraposició a qualsevol suposat estat peculiar d'arranjament, no progressiu, que el filferro o l'electricitat que conté pot ser suposat d'assumir. Si dues pasteres voltaiques PN, P'N', fig.2, estan disposades simètricament i aïllades, i els extrems NP' connectats per un filferro, sobre el qual se suspèn una agulla magnètica, el cable no exercirà cap efecte sobre l'agulla; però immediatament que els extrems PN' es connecten per un altre filferro, l'agulla es desviarà, i romandrà així mentre el circuit estigui complet. Ara bé, si les pasteres només actuen provocant un arranjament peculiar en el filferro, ja sigui de les seves partícules o de la seva electricitat, aquest arranjament constituint el seu estat elèctric i magnètic, llavors el fil NP' hauria de trobar-se en un estat d'arranjament similar, abans que P i N' estiguessin connectats, al que hi ha després, i hauria d'haver desviat l'agulla, encara que amb menys força, potser fins a la meitat de la mesura que resultaria quan la comunicació és completa arreu. Però si els efectes magnètics depenen d'un corrent, llavors és evident per què no es podien produir en cap grau abans que el circuit estigués complet; perquè abans d'això no podia existir cap corrent.

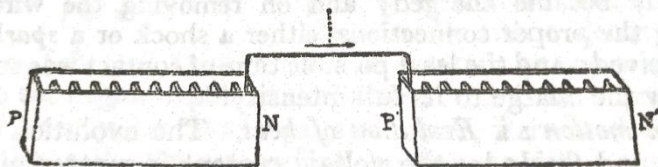


Fig. 2.

83. Per *corrent*, em refereixo a qualsevol cosa progressiva, ja sigui un fluid d'electricitat, o dos fluids que es mouen en direccions oposades, o simplement vibracions o, parlant encara més generalment, forces progressives. Per *arranjament*, entenc un ajustament local de partícules, o fluids, o forces, no progressives. Es poden instar moltes altres raons a donar suport a la visió d'un corrent en lloc d'un arranjament, però me n'estic d'afirmar innecessàriament què trobaran d'altres en aquest moment»⁵⁰.

⁵⁰ *Experimental Researches in Electricity*, sèrie III

No sols no lliura cap opinió de la natura del corrent elèctric (ho afirma en d'altres números), sinó que ni tan sols defensa que hi hagi un trasllat d'un fluid, precisament perquè s'ajusta al peu de la lletra al que es percep, o s'hi apropa.

Certament el mateix Ampère estimà que l'experiència de la rotació contínua, tal i com Faraday ho va comunicar, validava per sempre el moviment de l'electricitat pels conductors, mentre que en qualsevol cas no ho hauria pogut defensar com un fet percebut. Sigui com sigui el text de dalt fou escrit els anys trenta del XIX, i és preferible d'agafar-lo d'exemple del que, independentment del contingut modèlic comú de cadascú, no s'hauria pogut dur endavant sense això.

La noció d'intensitat es fa necessària doncs perquè la manipulació dels elements capaços de generar conseqüències elèctriques, i de les màquines d'electricitat, al costat dels seus efectes de tot tipus, permet precisament el supòsit d'una varietat de graus.

Respecte si el corrent elèctric era un fenomen cinètic Maxwell encara va escriure el 1873:

«El corrent elèctric no es pot concebre més que com un fenomen cinètic. Fins i tot Faraday, que constantment va intentar emancipar la seva ment de la influència d'aquells suggeriments, que les paraules 'corrent elèctric' i 'fluid elèctric' són massa aptes per a dur-ne, parla del corrent elèctric com 'una cosa progressiva', i no com un mer arranjamant .

Els efectes del corrent, com l'electròlisi, i la transferència de l'electricificació d'un cos a un altre, són accions progressives que requereixen temps per a la seva realització i, per tant, són de la naturalesa dels moviments.

Pel que fa a la velocitat del corrent, hem mostrat que no en sabem res, pot ser la desena part d'una polzada en una hora, o cent mil milles en un segon. Estem tan lluny de conèixer el seu valor absolut en qualsevol cas, que ni tan sols sabem si el que anomenem la direcció positiva és la direcció real del moviment o la inversa.

Però tot el que suposem aquí és que el corrent elèctric implica moviments d'algun tipus. Allò que és la causa dels corrents elèctrics s'ha anomenat Força Electromotriu. Aquest nom s'ha utilitzat durant molt de temps amb gran avantatge, i mai no ha provocat cap inconsistència en el llenguatge de la ciència. La força electromotriu sempre s'ha d'entendre que actua només sobre

l'electricitat, no sobre els cossos en què resideix l'electricitat. Mai s'ha de confondre amb la força mecànica ordinària, que actua només sobre els cossos, no sobre l'electricitat que hi ha. Si alguna vegada arribem a conèixer la relació formal entre l'electricitat i la matèria ordinària, probablement també coneixerem la relació entre la força electromotriu i la força ordinària»⁵¹.

5. La quantificació de la intensitat.

Hem après a quantificar. La seva explicitació remetria per tots costats a relacions entre coses perceptivament lliurades, a llur repetició i reiteració, al domini d'un llenguatge numèric, al de les corresponents generalitzacions, mentre s'hi va mantenint els processos adquirits bàsics, i ara generalitzats, de manera que es va discorrent autònomament d'acord amb el que s'ha anat adquirint. Tanmateix allí on s'arriba hauria només d'interpretar-se, quan n'hi hagués necessitat, a tall de relacions entre coses de l'univers representatiu, i només així, en aquests termes. La facilitat d'entomar-ho autònomament d'una manera general s'avé amb la certesa que sols es treballa amb un adquirit que, en origen, és el de la relació entre una cosa i una segona cosa.

Allò après, és clar, s'aplica a molts fenòmens, per exemple, a la càrrega elèctrica, una noció que la percepció no lliura, i que Coulomb, establint una relació de distància entre dos cossos carregats elèctricament, i la força amb què s'atrauen o es rebutgen, i repetint-ho diverses vegades i amb d'altres càrregues, trobà uns valors numèrics per a cada cas d'acord amb els d'una proporció entre càrregues. Hi havia una quantificació de les càrregues (hi hauria una «quantitat d'electricitat») que expressaven la relació entre forces i distàncies⁵².

Podem perllongar la quantificació d'electricitat amb d'altres consideracions. Perquè, col·locats en electrocinètica, admetent que hi ha un corrent, no podríem saber, el primer terç del segle XIX, quina és la quantitat d'electricitat a assumir aquí o com se l'hauria de considerar, independentment de la manera d'explicar que hi ha un corrent, més enllà d'admetre tothom que és un procés i que es va

⁵¹ *A Treatise on Electricity and Magnetism*, vol.II article 569.

⁵² Cf. *L'aproximació quantitativa de Coulomb al fenomen elèctric* QF51.

renovant la càrrega elèctrica. Tanmateix, i en termes d'una modelització comuna, es podria parlar d'un determinat corrent, més intens o menys intens, en un fil conductor, amb una llargada i secció, que ha tingut lloc durant un temps.

Ara bé: tot això es mou a nivell d'una modelització comuna, amb un supòsit quantificador de les dimensions naturals de longitud, àrea, i temps, i hauria estat així mateix difícil d'arribar a una resultant satisfactòria.

Per això s'hauria perllongat la quantificació de la càrrega elèctrica, no en l'accepció de fer-ho com Coulomb a través de constants de proporcionalitat, sinó refent l'obtingut de manera que anés bé al descabdellament modèlic comú.

La intensitat, una noció en principi qualitativa respecte del corrent, s'abraçaria com a càrrega quantificable.

Així ho hauria entomat Ampère, tal i com diu el text dalt esmentat, «aquesta mateixa acció ha de ser també proporcional a les intensitats dels dos corrents», on ara no s'insistiria tant en la força entre dos corrents com en l'assumpció de la quantificació d'una intensitat.

Però que Ampère suposés que l'acció mútua dels corrents depengués dels fils comportaria la conveniència de partir d'una porció mínima (infinitesimal).

Alhora, la secció, la podria considerar unitària, o potser negligible.

Tampoc no hauria explicitat el temps en la mesura que, aquesta intensitat d'un element infinitesimal, se l'assumis instantània, que a efectes formals equivaldria a fer-ho en un temps infinitesimal.

En efecte hauria suggerit porcions mínimes de fil conductor, hauria sobreentès un temps instantani que ja no hauria esmentat, hauria abandonat una referència a la secció, mentre hauria sostingut una intensitat quantificada. Independentment de la fórmula que afectés dos corrents i que tindria en compte les distàncies, s'hi troba una circumspecta *prescripció quantitativa a una qualsevol intensitat*.

D'aquí que Riemann-Hattendorff escriguessin:

«A la suma algebraica de les quantitats d'electricitat que passen, en el temps dt a través de la secció plana ω , des del costat negatiu al positiu, li restem la suma algebraica de les quantitats d'electricitat que, en el mateix temps i a través de la mateixa secció plana, passen des del costat positiu al negatiu. La diferència, la dividim per la magnitud ω de la secció plana i per dt . El quocient, se l'anomena *la intensitat específica del corrent* en la direcció de la normal positiva de la secció plana. Denotem-la amb i , i d'aquí és

$$i\omega dt$$

la quantitat d'electricitat que, en el temps dt , i a través de la secció plana ω , sobrepassa de més des del costat negatiu al positiu que des del positiu al negatiu»⁵³

És a dir $dQ = i\omega dt$. Si consideréssim en conjunt seccions elementals, i constants, amb porcions elementals, podríem avaluar una intensitat que no seria una funció de la secció ni de la porció infinitesimal, que tal qual serien constants, i podríem no esmentar-los en *la noció quantificada* de la intensitat. Llavors tindríem $dQ = idt$. Arribaríem a la definició de $i = dQ/dt$, sempre en el supòsit que fa Q una funció de t .

6. El lligam de quantificació i interpretació.

1. La quantitat d'electricitat, ¿és o no és una determinació autèntica del que un cos conté?

Si agafem l'exemple de la llei de Coulomb, s'hi palesa que hi ha una raó entre forces i distàncies en la balança de torsió, que podria dur a una expressió numèrica.

⁵³Bernhard Riemann, Karl Hattendorff, *Schwere, Elektrizität und Magnetismus*, Carl Rümpler, Hannover, 1876 (2^a edició), pàg.216. Karl Hattendorff ens diu al pròleg: «Aquest llibre va sorgir de les lliçons que Riemann va mantenir sobre gravetat, electricitat i magnetisme a Göttingen el semestre d'estiu de 1861».

Independentment dels detalls, hi hauria un comportament quantificador que manifestaria el domini aritmètic i algèbric.

Com sigui el cas que aquesta raó, i l'expressió numèrica, dependria de l'electrificació del cos, nosaltres associem un valor numèric i quelcom que es deu a la percepció i a la modelització comuna. Llavors aquesta associació és una interpretació.

Per tant el que interpretem es deu a la modelització comuna, amb l'observació, i mentre ho fem la quantificació reflecteix amb precisió relacions dels esdeveniments perceptius. Una combinació entre el que s'ha après i es domina (la quantificació) i una interpretació (amb l'esperança que sigui correcta) deguda al model comú i a l'observació. La primera no és l'expressió de la segona en el sentit de fer-ho com una quantitat de metres pot expressar una distància, perquè allò interpretat, la càrrega, no es lliura per a dur-ho a terme, es troba bàsicament en allò que hi modelitzem, a més de les nostres observacions, i amb aquestes.

Alhora la circumstància que la raó depèn de l'electrificació del cos permet que anem mantenint el seu valor numèric com a corresponent-hi.

Una quantificació interessant en aquest camp podrà ser escorcollada a fi de sospesar si n'és possible una interpretació en termes d'un model comú.

2. Ampère tractà la intensitat en uns termes que segueixen els fets per Coulomb per a la quantitat d'electricitat, al cap i a la fi a tall d'una electricitat no estàtica, i era conscient que amb dimensions no infinitesimals difícilment aconseguiria els seus objectius.

No hi hauria aquí cap altra interpretació per a la intensitat que la de la quantitat de càrrega, però elaborà una llei d'acord amb un model formal segons el que hem apuntat abans. Per això, mentre l'expressió formal de la intensitat i dels segments infinitesimals es trobarien de costat en tant que expressions quantitatives, hi hauria una separació nocial pel que fa a la modelització comuna i l'observació.

La noció modèlica i observacional de la intensitat s'enllaçaria doncs amb termes de la quantitat d'electricitat, i l'aproximació a una intensitat conjunta s'hauria de llegir com una nova manera

d'aconseguir un valor numèric, útil a l'hora d'operar-lo amb d'altres valors, també quantitativs, de forces i de longituds, mentre se la continuaria interpretant en termes de càrrega.

Recordem que, en mots d'avui, i sense més precisions que ara no caldria, un ampere és el corrent que, en circular per dos conductors paral·lels rectilinis i separats un metre, produeix entre aquests conductors una força de 2×10^{-7} newtons per metre.

IV

LES ACCIONS MAGNÈTIQUES SÓN PRODUÏDES PELS CORRENTS ELÈCTRICS

El treball d'Ampère perllonga l'estudi analític i formula les forces que actuen entre diferents conductors rectilinis i curvilinis fins a l'estudi de les accions d'un conductor sobre un solenoide⁵⁴, i les d'entre dos solenoides⁵⁵.

La resultant del tractament de les accions dels solenoides li permet de defensar que les accions dels imants es poden deduir de les seves fórmules, i que basta trobar, enlloc de concebre dues molècules agrupables, l'una de fluid austral i l'altra de fluid boreal, un solenoide les extremitats del qual – són els dos punts determinats de què depenen les forces de què es tracta – es trobin als mateixos punts on se suposa que són les molècules dels dos fluids⁵⁶.

Tot això enmig del supòsit general que totes les accions entre conductors, entre un conductor i un imant, i entre dos imants, es dedueixen des d'accions elèctriques. Els fenòmens magnètics s'explicarien per corrents elèctrics formant uns circuits molt petits, tancats al voltant de les partícules del cos imantat: i llavors, com s'ha dit, s'explicaria l'acció que s'exercissin l'una sobre l'altra dues partícules d'imant pel fet de ser considerades com dos petits solenoides equivalent cadascuna a dues molècules magnètiques, l'una de fluid austral i l'altra de fluid boreal.

Ampère afegeix, després d'una molt interessant exposició de les relacions entre electricitat i magnetisme,

⁵⁴ «Agrupament al qual he donat el nom de solenoide electrodinàmic, del mot grec *σωληνοειδής*, la significació del qual expressa precisament el que té la forma d'un canal, és a dir, la superfície d'aquesta forma sobre la qual es troben tots els circuits», ídem, pàg.95.

⁵⁵ Ídem, pàgs.65-105.

⁵⁶ Cf. ídem, pàgs.105-107.

«però és sols pel càlcul que es pot justificar aquesta conjectura, i és el que he fet, sense prejudicar res sobre la natura de la força que dos elements de fils conductors exerceixen l'un sobre l'altre: he recercat, segon únicament les dades de l'experiència, l'expressió analítica d'aquesta força; i tot prenent-la com a punt de partida, he demostrat que se'n deduirien, per un càlcul purament matemàtic, els valors de les dues altres forces tal i com es lliuren per l'experiència, l'una entre un element d'un conductor i el que s'anomena una molècula magnètica, l'altra entre dues d'aquestes molècules, reemplaçant, en l'un cas i en l'altre, com s'ha de fer segons la meua manera de concebre la constitució dels imants, cada molècula magnètica per una de les dues extremitats d'un solenoide electrodinàmic. En conseqüència tot el que es pot deduir dels valors d'aquestes darreres forces subsisteix necessàriament en la manera de considerar els efectes que produeixen, i esdevé una resultant necessària de la meua fórmula, i això sols bastaria per a demostrar que l'acció mútua de dos elements de fils conductors és realment el cas més simple i aquell des del qual cal partir per a explicar tots els altres»⁵⁷.

Sens dubte la seva interpretació del magnetisme mostra un plantejament molt rellevant que calia no deixar de reblar entre les aportacions de l'home a qui, com ell mateix afirmà, se li deu completament l'estudi de l'acció mútua de dos conductors i el descobriment de l'acció de la Terra sobre els fils conductors.

La discussió va introduint nous temes connexos: defensa que l'acció entre dos conductors ha de considerar-se elemental sols en el sentit que basta per a trobar les fórmules de les altres accions; ha d'insistir en la igualtat del fluid estàtic i del que corre pels conductors; contra el supòsit que es tracti de molècules elèctriques estàtiques, el descobriment del primer moviment de rotació continu (fet per Faraday) faria concloure definitivament que els fluids elèctrics recorren contínuament els fils conductors amb un moviment extremadament ràpid⁵⁸; creu haver de parlar de fenòmens

⁵⁷ Ídem, pàg.117.

⁵⁸ La rotació contínua d'un imant al voltant d'un conductor, o d'un conductor al voltant d'un imant fou mostrada per Faraday l'any 1821, autor que evità l'explicació d'Ampère d'una interpretació elèctrica de l'acció de l'imant. Cal tenir en compte que el principi de la conservació de l'energia es descabdella a 50

electrodinàmics, millor que d'*electromagnètics*; lliura una explicació del comportament del fluid elèctric en els fils conductors i de l'acció que provoca (esmenta l'explicació dels qui s'hi oposen, a aquesta seva); insisteix que, independentment de les concepcions d'aquestes hipòtesis, les fórmules lliurades i les deduïdes han de ser admeses i seran les vàlides per a tots els fenòmens; i acaba la discussió apel·lant a la rellevància del principi únic dels fenòmens com un mitjà per a trobar nous descobriments.

Mes avall⁵⁹ s'ocupa de comparar les accions que un circuit tancat exerceix sobre un solenoide o sobre un circuit qualsevol, amb el propòsit de mostrar l'analogia que hi ha entre les forces produïdes per aquest circuit, i les forces que exerceixen uns punts, l'acció dels quals és l'atribuïda a les molècules de fluid austral i boreal: Ampère prova d'avaluar llur paral·lelisme a través d'unes respectives expressions analítiques. Després⁶⁰ ho compara amb l'experiència de Biot a propòsit de les oscil·lacions d'un petit imant sotmès a l'acció d'un conductor.

Ja acabant⁶¹ avisa que el conjunt dels fenòmens electrodinàmics només poden ser explicats intercanviant molècules magnètiques australs i boreals per fils conductors quan aquests són circuits sòlids [és a dir, de materials sòlids elèctrics] i tancats. A propòsit d'experiències, quan l'imant és mòbil, estudia profusament l'experiment de Faraday amb un imant que es mou en una cuba de mercuri electrificada, unes pàgines fascinants; nous experiments amb imants mòbils en circumstàncies diferents perllonguen aquestes pàgines, on hi ha una llarga controvèrsia amb Biot i amb la teoria del parell primitiu (parella de forces paral·leles i en direccions oposades).

mitjans del XIX, mentre la noció de treball mecànic de Coriolis es lliura el 1829. Un resum molt endreçat de la qüestió es troba al treball de Christine Blondel and Bertrand Wolff *Faraday, Ampere, and the mystery of continuous rotations*, www.ampere.cnrs.fr/histoire/parcours-historique/lois-courants.

⁵⁹ Ídem, pàgs.131ss.

⁶⁰ Ídem, pàgs.151ss.

⁶¹ Ídem, pàgs.158ss.

Les últimes pàgines⁶² estan dedicades al descobriment de M.Arago d'un nou gènere d'acció exercida sobre els imants: l'acció mútua que es descabdella entre un imant i un disc o un anell d'una substància qualsevol, la situació relativa dels quals canvia constantment. La substitució de l'imant per un conductor plegat en hèlix obté el mateix comportament: demostra conclusivament que el corrent elèctric basta per a produir els efectes que s'expliquen pel fluid magnètic.

⁶² Ídem, pàgs.196ss.

V

LA BRÚIXOLA DE TANGENT DE POUILLET

1. La mirada a alguns dels primers aparells de mesurament del corrent elèctric permet apropar-se una mica a la manera de lliurar una quantitat congruent amb l'estudi formal i interpretatiu.

Certament la desviació major o menor de l'agulla imantada degut al pas d'un corrent no lliurava cap mesura fiable; amb el pas dels anys aparegueren uns aparells basats en l'acció química, que precedien els basats en els efectes magnètics: els primers, però, necessitant de nous esclariments, és preferible d'esmentar l'iniciador dels aparells pels efectes magnètics, la brúixola de Pouillet, que bastarà per al propòsit present⁶³. La memòria comença amb les següents paraules:

«1. La intensitat del corrent elèctric donat mitjançant una pila qualsevol de Volta pot ser mesurada pels efectes químics, pels efectes fisiològics o pels efectes físics que aquest corrent és capaç de produir. En el transcurs d'aquesta memòria, s'ha escollit per unitat de mesura l'efecte físic que aquest corrent exerceix sobre una agulla magnètica perquè aquest efecte té l'avantatge sobre tots els altres de produir-se d'una manera instantània i de ser mesurable en resultats donats amb el major grau de precisió. Però els resultats donats per aquesta unitat de mesura no estan exempts de lligam amb els que s'obtidria escollint per unitat de mesura els efectes químics o fisiològics; al contrari, sempre hi ha entre aquests una tal dependència, que els primers es poden deduir dels segons, o viceversa. Aquesta connexió entre efectes que són aparentment diferents o, de vegades, tan completament oposats, és un punt important de la teoria de la pila: explica el que fins ara s'anomena la tensió de l'electricitat en el corrent, i també explica com és que una pila molt

⁶³ *Mémoire sur la pile de Volta et sur la loi générale de l'intensité que prennent les courants soit qu'ils proviennent d'un seul élément, soit qu'ils proviennent d'une pile à grande ou à petite tension*, Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, IV, 1837, pàgs.267-279.

energètica per a produir efectes físics pugui ser molt feble per a produir efectes químics o fisiològics, i recíprocament. No obstant això, fins que aquestes explicacions es dedueixin dels experiments, és bo de recordar que les intensitats que són directament comparades entre si no són altres que les intensitats electro-dinàmiques, o les intensitats de les accions exercides sobre una agulla magnetitzada col·locada en les mateixes condicions. »

2 . *Descripció de l'aparell.*- Les piles que s'han utilitzat preferentment són piles de cel·les [*clissonnées*], el principi de les quals es deu a M.Becquerel (*Ann.de Chimie*, T.41, p. 20); tenen l'immens avantatge de tenir força constant durant hores senceres, i en conseqüència donar resultats perfectament comparables.

Les intensitats dels corrents han estat mesurades amb dos dispositius, un anomenat brúixola de tangents; l'altre anomenat brúixola de sinus.

La brúixola dels tangents consisteix en una gran cinta de coure vermell, d'una longitud d'1^m,6, una amplada de 0^m,02 i un gruix de 0^m,002; està recoberta de seda i plegada de manera que formi un cercle molt exacte de 0^m,412 de diàmetre; els dos extrems sobrants de la cinta s'apropen i es fan anar cap a l'exterior per a submergir-se cadascun en una galleda de mercuri, on reben el corrent. Aquest cercle està disposat verticalment i en el seu centre està penjant per un fil de seda una agulla magnètica de 5 o 6 centímetres de longitud, que porta una fulla lleugera de fusta o metall, de 16 centímetres de longitud; és aquesta fulla la que serveix d'índex, perquè els seus extrems es mouen sobre la circumferència d'un cercle dividit. El cercle de la cinta es troba en el meridià magnètic, l'agulla magnètica està a zero, i tan aviat com un corrent més o menys energètic entra a través d'aquest cercle, l'agulla es desvia cap a l'est o l'oest, en una certa quantitat que depèn de la força del corrent.

Quan s'estableix l'equilibri, és a dir, quan l'esforç del magnetisme de la Terra per a fer tornar agulla en el meridià és igual a l'esforç oposat que el corrent fa per a separar-la'n, la intensitat del corrent es mesura per la tangent de la desviació de l'agulla».

2. Hi ha equilibri quan l'agulla descansa pel fet d'haver-hi forces contraposades.

En el magnetisme terrestre les línies de força surten del nord magnètic (sud geogràfic) i entren pel sud magnètic (nord geogràfic), de manera que l'agulla magnètica suspesa lliurement es col·locaria vertical als pols magnètics de la Terra, horitzontal a l'equador, i inclinada, assenyalant el pol magnètic, quan es troba situada entre

l'equador i els pols. La resultant en aquest tercer cas es pot definir a través del component horitzó (la seva projecció sobre un pla horitzontal al lloc on es troba), la inclinació (l'angle que forma amb l'esmentat pla horitzontal del lloc), i la declinació (l'angle que forma el pla vertical que conté la direcció de la brúixola amb el pla meridiana del lloc).

En un lloc determinat hi ha un magnetisme terrestre que es pot assumir constant.

I també s'hi troba la càrrega magnètica que aparenta haver-hi en cada pol de l'agulla magnètica. Quan no hi ha res més que l'agulla i el magnetisme terrestre, aquella es col·loca orientant el seu pol nord amb el sud magnètic terrestre. En el cas de fer-la girar pel seu eix, i desplaçar-la del seu equilibri, se sotmet a forces oposades; en les brúixoles horitzontals afectaria el component horitzontal, perquè l'altre component restaria neutralitzat.

La càrrega magnètica aparent que hi ha en un pol de l'agulla seria constant, i també ho és la llargada de l'agulla. Per tant al llarg de les diferents experiències hi ha la mateixa agulla, i es pot considerar que representa una colla de valors constants.

Llavors es col·loca una agulla magnètica justament en la diagonal de l'arc de còrrea, l'horitzontal de la brúixola essent-li perpendicular, l'una i l'altre alineats amb el meridià magnètic. Si ara se l'obliga a abandonar aquesta posició pel fet de fer passar un corrent elèctric per l'arc, hi haurà les corresponents forces, que actuaran fins a aconseguir un equilibri que mantindrà aturada l'agulla.

No cal preocupar-se pel càlcul de les mateixes forces que s'hi troben: se sap que, si més no les dues forces, la que es deu al magnetisme terrestre i la que es deu al magnetisme del corrent, han de ser iguals.

Sols una part de la força atribuïble al magnetisme terrestre és útil per a mantenir l'equilibri, que es aquella que és perpendicular a l'agulla, perquè la part que segueix la direcció de l'agulla es neutralitza. Per tant hi ha eficaç $M \sin \alpha$, on M denota el que es deu al magnetisme del lloc, i α l'angle que forma la direcció inicial de l'agulla amb la final.

L'acció del corrent del circuit tendiria a fer girar l'agulla per la perpendicular al pla de l'arc de coure si no hi hagués magnetisme terrestre: no ho pot fer més quan hi ha equilibri, i aquí també sols hi ha una part útil, oposada a l'útil del magnetisme.

Ampère digué que la força entre dos corrents, i entre un corrent i un imant (que al cap i a la fi interpreta des de corrents elèctrics) depenia de les intensitats: però aquí sols n'hi ha una de variable, i tota la resta d'utensilis són els mateixos. A més se sap el que Biot i Savart defensaren. Podríem expressar com a $N \cdot i$ la força deguda a l'acció del corrent del circuit sobre l'agulla (N reflectiria allò que s'assumeix més o menys no variable i que no ha depès de i), amb l'afegit que sols una part de la força és útil, l'altra està neutralitzada. Llavors, si féssim com abans, la part efectiva seria $N \cdot i \cos \alpha$ ⁶⁴.

D'aquí que admetent que $M \sin \alpha = N \cdot i \cos \alpha$, i aïllant:

$$i = \frac{M \sin \alpha}{N \cos \alpha} = k \tan \alpha. \quad [k \text{ una constant}]$$

3. La intensitat passaria a ser una funció de la tangent de l'angle α i en seria directament proporcional, per tant la relació de tangents (variant les característiques del corrent) lliuraria una relació d'intensitats.

S'ha fet valer per a l'equilibri de l'agulla magnètica un equilibri, que gaudeix de la seva pròpia elucidació, i hi ha forces que han estat rumiades a partir d'Ampère i de Biot-Savart.

Si la mesura de la intensitat ha de ser en aquest cas proporcional a la tangent angular, això més aviat encoratja a la cerca de noves unitats d'intensitat.

La intensitat és una noció que perllonga la noció de corrent elèctric, i es relliga al fenomen sense ser merament empírica perquè també suposa un aspecte modèlic (s'hi imagina, o s'hi pensa, quelcom). El seu mesurament es fa d'acord amb les circumstàncies segons les quals se l'ha nocionat: les unitats són la resultant dels requisits amb els quals s'ha pensat formalment la intensitat.

⁶⁴ La força deguda al magnetisme i la deguda al corrent són perpendiculars.

Després s'oblidarà tot això. El galvanòmetre mesurarà la intensitat, i aquesta esdevindria gairebé quelcom obvi. Es tracta d'una colla d'esdeveniment inevitables (també ocorre en les diverses disciplines matemàtiques) que sols es qüestionen quan algú se'n sorprèn.

Wilhelm Weber lliurà a l'aparell de Pouillet, era l'any 1840, la forma i la significació que li asseguraren un valor durador⁶⁵. La disposició de l'instrument de mesura de Weber fou en essència com la brúixola de tangent, i hauria de servir per a mesurar corrents forts, i una determinació de, com diu l'autor, la «massa absoluta» de la intensitat de corrent.

Per a dur-ho endavant féu requesta del mètode de Gauss per a aconseguir la mesura del magnetisme terrestre segons la massa absoluta⁶⁶. Gauss usà dues agulles imantades que s'implicaven mútuament, i alhora amb el magnetisme terrestre, per a arribar, per exemple, a una situació d'equilibri. Això permetria trobar una mesura absoluta del magnetisme terrestre.

Weber ideà llavors una utilitat d'aquest sistema: en lloc d'una de les agulles posaria la brúixola de tangent, i llavors s'hi trobaria implicat el factor magnètic creat pel circuit elèctric (Weber parla del moment magnètic), l'altra agulla magnètica i el ja sabut magnetisme terrestre. En definitiva es tractaria d'aprofitar el mètode de Gauss a favor d'una mesura del moment provocat per una cadena galvànica tancada.

Weber arribà finalment a una fórmula que establia la intensitat segons una relació de mesures observades en funció del magnetisme terrestre:

$$g = \frac{LT}{2\pi RR'}$$

L una resultant d'observació, *T* el magnetisme terrestre, *R* el radi de l'arc, *R'* la distància d'un punt de l'arc a l'agulla, *g* la intensitat

La simplicitat de la fórmula final és la resultant de càlcul i d'observació. Es perd la simplicitat de la brúixola de Pouillet, però s'allibera la intensitat.

Certament la mesura de la intensitat dependria de les unitats de les magnituds que entren en la fórmula.

⁶⁵ *Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maasse*, a Pogg. Annalen der Physik 55, 1842, pàgs.27-32.

⁶⁶ En el molt rellevant treball *Die Intensität der erdmagnetischen Kraft zurückgeführt auf absolutes Maass*, Annalen der Physik 28, 1833, pàgs.241, 591.