

XIX. mendean Fisikak eta Kimikak garapen handia izan zuten. Hala ere, oinarriak alde zuzenak ezarrita zeuden eta mende honetan ezarritakoa aurrera eramatea baino ez zen egin; esan nahi baita aurretik onartutako oinarriak ez zirela zalantzan jarri. Jauzi koalitatiboa izateko XX. mendera arte, erlatibitatearen teoria arte hain zuzen, itxaron beharko dugu. Dena dela, jauzi hori egin ahal izateko XIX. mendean egindako guztia beharrezkoa izan zen. Beraz, XIX. mendean lortutako eta asmatutako puntu garrantzitsuenak banan-banan aztertuko ditugu.

Fisika XIX. mendean (1)

Luis Bandres Unanue*

Beroa eta energiaren kontserbazioaren printzipioak

XVIII. eta XIX. mendeetan beroaren eta bere emaitzen ikerketa praktikoak garrantzi handia hartu zuten; une horretan jarri zen martxan lurrin-makina eta berak ekar zezakeen guztia. Baina gora-behera teknikoak alde batera utzita, horrek guztiak beroaren ikuspegi teorikoari buruz interes berezia piztu zuen.

Beroaren intentsitatea gure sentimenen bidez hautematen dugu eta termometroaren bidez intentsitate hori neurtu egiten dugu. Guillaume Amontons-ek, merkurioa erabiliz, ordu arte ezagutzen ziren neurgailuak hobetu egin zituen eta Celsius, Fahrenheit eta Réaumur-ek, berriz, euren eskalak definitu zituzten XVIII. mendean. Nahiz eta garai hartako batzuek beroa gorputzen zatikien bibrazioa izan zitekeela susmatu, teoria hori aurrera eraman ahal izateko beharrezkoak diren energiari buruzko kontzeptuak ez zituzten argi garai hartan. Izan ere, beroaren arloan aurrera egin ahal izateko irudi teoriko bat behar zen eta asmatu zuten, gainera: horren arabera beroa pisurik ez duen, ikusten ez den eta erabat sotil den fluido bat litzateke, inongo eragozpenik gabe gorputzen zatikien artean pasatuko litzatekeena.

XVIII. mendearen bukaeran Joseph Black-ek beroaren eta tenperaturaren arteko diferentzia argitu zuen, lehenengo kantitate edo bero-kopurua den bitartean, bigarrena intentsitatea edo maila bat dela esanez. Distilategiko zenbait fenomenotan oinarrituta, urak izotzetik likidora eta likidotik lurrinera pasatzean jasandako aldaketak ikertu zituen eta aldaketak diharduen bitartean, nahiz eta tenperatura aldatu ez, bero-kantitate handiak zurruputzen zirela ikusi zuen. Hau nolabait adierazteko suposizio bat egin zuen: bero-

-isurkina, kalorikoa deitua, izotzarekin elkartzen zela likidoa emateko, konposatu kimiko batean bezala gutxi gorabehera, eta gauza bera gero ur likidoarekin lurrina emateko. Honela, neurketa askoren ondoren izotz-kopuru finko bat urtzeko behar zen bero-kopurua aurkitu zuen; ur-masa berbera 140 gradu Fahrenheit igozteko adinakoa, alegia (benetan 143 gradu Fahrenheit dira), bai eta masa hori lurrintzeko behar zena ere, nahiz eta azken kasu honetan lortutako balioa oso zehatza ez izan. Dena den, eskura zuten

Beroa eta energia



Anders Celsius.

Astronomo eta fisikari suediarra (1701-1744). Bere izena daraman eskala termometriko zentesimala definitu zuen 1742an.

René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). Fisikari eta naturalista frantses honek alkoholezko termometroa eta 0-80° bitarteko eskala termometrikoa (Réaumur eskala) asmatu zituen XVIII. mendean.



tresneria kontuan hartuz, neurketa hauetan guztietan zehaztasuna lortzea oso zail zitzaion. Black-ek berak plazaratu zuen bero espezifikokoaren kontzeptua, hots, substantzia bakoitzak bere tenperatura gradu bat igotzeko behar duen bero-kopurua, baina neurketak-lana bere ikasle Irvine-ri eman zion, kalorimetriaren metodoa martxan jarritz. Beroaren fluido-teoria urte batzuetan nahikoa izan zen zientzia gidatzeko, baina horrek aurrera egin ahala hutsune batzuk agertu ziren. 1840 eta 1850 bitartean, bai Helmholtz-ek eta bai Joule-ek beroaren eta lanaren arteko baliokidetasuna erakutsi zuten, beroa nolabaiteko higidura zelako ideia berreskuratuz.

Dena den, kontzeptu hori ez zen berria; 1738an Daniel Bernoulli esaterako, honako hau demostratu baitzuen: gas bat norabide guztietan higitzen diren zatikiez osatuta dagoela onartuz gero, ontziaren hormen kontra eginiko talkek presioa adieraziko lukete eta hau handiagoa izango litzateke gasa konprimatzean edota tenperatura igotzean, saiakuntzetan ageri zen bezala. Beraz, bi teoriak aurrez aurre zeuden.

Gorputz batean marruskaduraren bitartez sorrarazitako beroa adierazteko, kalorikoaren aldekoek honako hau onartu zuten: marruskatuak izan ondoren, gorputzek bero espezifikoko txikiagoa zutela, hots, marruskatzerakoan beroa zurgatu egiten zela eta gero kanpora bota. Baina, 1798an Benjamin Thomson-ek, Rumfordeko kondea izango zenak, kanoigintzan aritzean zulaketan azaltzen zen beroak ez zuela ateratako pusketekin eta egindako lanarekin zerikusirik, baizik eta proportzionala zela, erakutsi zuen. Hala ere, esan dugun bezala, fluido-teoriak aurrera egin zuen.

1840an, ordea, naturako zenbait indar bata bestearik eraldagarri zirela argi eta garbi zegoen. 1842an J.R. Mayer-ek lana edo "vis viva" bero bihurtzeko posibilitatea plazaratu zuen. Aire-kantitatea bat konprimatzean lan osoa bero bihurtzen dela onartuz, Meyer-ek baliabide mekanikoarentzat balio bat kalkulatu zuen. Urte berean W.R. Grove hitzaldi batean naturako indarren arteko erlazioaz mintzatu zen, baina gero, 1846an argitaratutako liburu batean, "The Correlation of Physical Forces" liburuan hain zuzen, ideia garatuta eta egokituta aurkeztu zuen. Lan honetan eta 1847an H.L.F. von Helmholtz alemaniarrek argitaratu zuen "Abhandlung von der Erhaltung der Kraft" izenekoan, gaur egun "energiaren kontserbazioaren printzipioa" bezala ezagutzen denaren ideia orokor bat eman zen.

1840.eko hamarkadan James P. Joule-k (1818-1889) lan elektriko eta mekanikoa egiterakoan agertzen den bero-kopurua esperimentalki neurtu zuen. Hasteko, korrante elektriko batek eroale batetik iragatean sorrarazten duen bero-kopurua eroalearen erresistentziaren eta korrontearen karraduraren arabera dela frogatu zuen. Gero, errota baten bitartez likido batzuk berotu eta aire-masa bat konprimatu zituen. Hauetako edozein lanetan lan-kopuru berdina bero-kopuru berdina sorrarazten zuela ikusiz, beroa energia-mota bat baino ez zela ondorioztatu zuen. Hala ere, urte asko behar izan ziren zientziaren ordezkari nagusiek kontuan har zezaten, nahiz eta Stokes-ek William Thomson-i "Joule-zale egiteko tentazioa bazuela" aitortu. Joule-k lortutako azken emaitzaren arabera, libra bat ur 55 °F eta 60 °F bitartean gradu bat berotzeko behar den lana 772 libra-oin adinakoa dela frogatu zuen (gero egindako esperimentuen arabera 778koa dela jakin da).

Joule-ren saiakuntzen emaitza zehatz honek, hau da, lana eta beroa baliokideak zirela adierazten duenak, Grove-k esandako "indarren korrelazioa" edo Helmholtz-en "indarraren iraupenaren" ideia sendotu zituen. Ideia hau garatu egin zen printzipio fisiko batean gorputzu arte, gaur egun "energiaren kontserbazioaren printzipioa" bezala ezagutzen den horretan, hain zuzen. Zientziarentzat energia kontzeptu fisiko zehatz bezala hartzea gauza berria zen; lehen, kontzeptu horretan doan ideia nola edo hala "indarra" hitzaren bitartez adierazten zen. Baina Young-ek hitz horren erabilpen ez-zehatza eta nahasgarri hori salatu zuen. Energiaren esangura lana egiteko ahalmena da eta egindako lanaren bitartez neur daiteke. Energia hitza esanahi honekin Rankine eta Thomson-ek erabili zuten lehenengoz.

Sistema baten energia osoaren batura konstantea zela egiaztatu zuen eta lan bezala galtzen dena bero-eran berreskuratzen dela. Honek eta beste batzuek egindako saiakuntzek emaitza hau beste aldakuntza-prozesu batzuetara zabaltzea ekarri zuten, energia mekanikoa energia elektriko bihurtzean edo energia kimikoa animalia-bero, esaterako. Orain dela urte gutxi arte ezagutzen ziren prozesu guztiak sistema itxi bateko energia osoa konstantea zelako baieztapenarekin batera zetozen.

Energiaren kontserbazioaren printzipioa, honela adierazita, aldeztu aurretik ezagutzen zen masaren kontserbazioaren printzipioarekin



Joseph Black. Fisikari eta kimikari eskoziarra (1728-1799). Tenperatura eta bero-kantitatea argi eta garbi bereizi zituen lehena izan zen.



Hermann von Helmholtz. Fisikari eta fisiologo alemaniarra (1821-1894). Energia potentzial nozioa sortu zuen fisikan eta energiaren kontserbazioaren printzipioa enuntziatu zuen.



Daniel Bernoulli. Fisikari suitzarra (1700-1782). Hidrodinamikaren fundatzaileetako bat izan zen.



Lor Kelvin (William Thomson). Fisikari britainiarra (1824-1907). Tenperaturaren eskala absolutua (Kelvin eskala) eta bere izena daraman gradua asmatzea izan zen bere lan nagusia.



James Prescott Joule. Fisikari britainiarra (1818-1889). Energia mekanikoaren kontserbazio-printzipioa enuntziatu zuen.

ZIENTZIAREN HISTORIA

aldera zitekeen. Newtonen dinamikaren oinarria printzipio horretan funtsatzen da; horren arabera, edozein higiduratan aldatu gabe irauten duen kantitate bat daukagu eta horri masa esaten diogu. Gero kimikariek balantzaren bitartez printzipio hori aldaketa kimikoetan ere betetzen zela frogatu zuten. Gorputz bat airean erretzean ez da materia desagertzen; erretetan ateratako guztia jasoz gero bere pisua eta hasierako gorputzarena gehi gastatutako airearena berdina dira. Energiarekin beste horrenbeste gertatzen da: masaz gain eraldaketetan konstante irauten duen beste kantitate baten presentziaz konturatu gara. Kantitate hori kontzeptu zientifiko bezala erabilgarri ikusten da eta, beraz, izen bat ematen zaio: energia, hain zuzen.

XIX. mendean fisikak ez zuen inongo biderik ezagutzen ez materia ezta energia sortzeko edo deuseztatzeko ere; XX. mendean, aldiz, bi kontzeptu hauen arteko erlazioa ikusi da, baina orain dela gutxi arte materiaren eta energiaren arteko etena erabatekoa zen.

Energiaren kontserbazioaren printzipioa kimikari aplikatu zion lehen zientzialaria Julius Thomsen izan zen. Horrek 1853 inguruan erreakzio kimiko batean agertzen den beroa sistemak erreakzioaren aurretik eta ondotik daukan energiaren diferentziaren neurria dela egiaztatu zuen. Bestalde, sistema itxi baten azken energiak hasierakoak adinakoa izan behar zuenez, zenbait kasutan azkeneko egoera aurrean zitekeen tarteko urratsak kontuan hartu gabe. Energiaren kontserbazioaren printzipioa, fisikan nahiz kimikan duen garrantzia dela eta, lorpen handienetakoa dela esan dezakegu.

Honek guztiak bazuen arlo filosofikoan ere bere arriskua. Materiaren eta energiaren kontserbazioaren printzipioak ezagun ziren kasu guztietan bete egiten zirenez, printzipio hau lege bihurtzea zen normalena. Honela, Unibertsoa materia suntsiezin eta betierekotasun aldarrikatu zen eta energia konstante eta aldaezin. Beraz, alor bateko ildo nagusia markatzeko behar zen egia hori egia filosofiko bilakatu nahi zuten, horrek ekar zitezkeen ondorio guztiekin.

Elektrizitatea

Elektrizitatearen inguruko fenomeno batzuk oso antzinatik ezagutzen ziren, baina fenomeno horiek adierazteko ez zegoen teoriarik. Teoria hori eraiki nahian, elektrikitate, beroaren antzera, pisurik gabeko, ikustezin eta guztiz sotila den beste fluido bat zela pentsatu zen. Alabaina, hasieratik bertatik elektrikitatearen esparruan, beroarenean ez bezala, aurkakoak diren bi elektrikitate-mota bazeudela jakin zen; beirazko ziri bat zapi batez igurtzi ondoren agertzen den elektrikitate-mota erretxinazko ziri batean agertzen denarekin deuseztatu egiten baita. Emaizta horiek adierazteko bi bide zeuden: aurkako ezaugarriak zituzten bi fluido zirela onartu edo fluido beraren ezaugarriak zirela onartu. Azkenik, bigarren hipotesia onartu zen eta horren arabera gorputz bat elektrizatuta dago baldin eta dagokion fluido elektrikoa baino gehiago edo gutxiago badu. Gaur egun teoria honen terminologia eta eredu erabiltzen dira, nahiz eta fluido jarraitua ez baizik korpuskularra dela eta bi elektrikitate-mota badaudela jakin.

Elektrizitatearen booma XIX. mendean gertatu bazen ere, lehenengo urrats sendoak aurreko mendean egin ziren. Gray 1729an, Du Fay 1733an eta Priestley 1767an izan ziren, besteak beste, isolatzailearen eta eramailearen arteko diferentzia aurkitu zutenak. Normala denez, elektrikitatearen erabilera handiagotzen zihoan



Joseph Priestley. Kimikari, teologo eta filosofo britainiarra (1733-1804). Isolatzailearen eta eramailearen arteko diferentzia aurkitu zuenetako bat izan zen.



Charles de Coulomb. Fisikari frantsesa (1736-1806). Elektrostatika eta magnetismoaren lege esperimental eta teorikoak aurkitzeaz gain, polarizazio eta momentu magnetiko kontzeptuak asmatu zituen.



Benjamin Franklin. Fisikari eta politikari estatubatuarra (1706-1790). Tximistorratza asmatu zuen 1752an.

neurrian esperimentuak ere ugartu egin ziren; hainbat makina elektriko asmatu ziren, baita elektrizitatea pilotzekoak ere, hala nola Leiden botila. Kondensadore bat osatuz, kanpotik eta barrutik ezta inu-paperez estalitako beirazko botila bat da berau.

Deskarga elektrikoetan agertutako txinparta eta hotsak naturako tximista eta trumoiaren antzekoak zirela pentsatu zen. Dirudienez, horrek liluratu egin zuen B. Franklin (1706-1790) eta tximista fisikaren menpe jartzeari ekin zion: bere idazki askotan ildo honetako saiakuntzak irakur daitezke eta Leiden botilaren bitartez eskala txikian tximistak sorrarazten dituen efektu asko ikertu zituen. Punta zorrotzek deskarga elektrikoetan duten jokaera dela eta, tximistak gidatzeko ideia plazaratu zuen. Tximista- eta trumoi-hodeiak elektrikoki kargatuta zeuden ala ez ikusteko, 1752an Marli-n hamahiru metroko burdinazko barra bat altxatu zen: ekaitz-hodeiak pasatzerakoan barraren puntatik txinpartak ateratzen ziren. Saiakuntza hori munduko beste zenbait tokitan ere egin zen; Riehmman irakaslea, esaterako, San Petersburg-en bere etxean jarri zuen barra batean izandako deskarga batek hil zuen. Bitartean, Franklin-ek saiakuntzekin jarraitu zuen kometa batez baliaturik:

"Kanaberaren muturrean punta zorrotzeko alanbre bat ipini behar da eta kanabera edo zurtoinetik oin bat edo gehiago atera. Eskuaren ondoko hariaren muturrari zetazko xingola lotu behar zaio eta hariak eta zetak egiten duten korapiloan giltza bat lotu daiteke. Kometa ekaitza datorrenean aireratu behar da. Soka eusten duenak zetazko xingola busti ez dadin aterpean egon behar du eta hariak atearen edo leihoaren markoa uki ez dezan arreata handia eduki behar du. Edozein ekaitz-hodei eta kometa kontaktuan jartzean, alanbreak txinparta aterako du eta kometa eta hari osoa elektrizatuta geldituko dira; sokaren zuntz guztiak tente jarriko dira eta hatz bat

Henry Cavendish.
Fisikari eta kimikari ingelesa (1731-1810). Elektrostatikaren sortzaileetarikoa izan zen.



Carl Friedrich Gauss. Astronomo, matematikari eta fisikari alemaniarra (1777-1855). Lanik garrantzitsuenak zeruen mekanika, geodesia, magnetismo, elektromagnetismo eta optikan egin zituen.



Simeón Denis Poisson. Matematikari frantsesa (1781-1842). Fisika matematikoaren sortzaileetako bat izan zen.

hurbiltzen den bakoitzean erakarri egingo dira. Euriak kometa eta haria busti ondoren, su elektrikoak libreki eramateko gai izango da eta bere korrante emaritsua giltzan nabari daiteke; honela lortutako su elektrikoaren bitartez gasa piz daiteke, baita normalean hodi edo globo bat igurtziz egiten diren gainerako saiakuntza elektrikoak ere. Honekin tximistaren eta materia elektrikoaren arteko identitatea erabat frogatuta gelditzen da".

XVIII. mendean indar elektriko eta magnetikoei buruz saiakuntza asko egin ziren. Mende honen erdialdera Michell-ek tortzio-balantza asmatu zuen; beirazko kaxa batean sartutako eta bere zentrotik alantze luze bat zintzilikatutako metalezko barra mehe bat da berau. Zenbait urte geroago, 1784an, Coulomb injeneru militar frantsesak erabili zuen gorputz elektrizatuen arteko indarra neurtzeko eta imanak erabiliz indar magnetikoak neurtzeko ere bai. Kasu batean nahiz bestean, indarrak distantziaren berbidurarekin txikiagotu egiten zirela ikusi zuen, hau da, Newtonen grabitazio-indarrekin ikusi zuen bezala. Bestalde, indar elektrikoak gorputzen karga-kopuruen baitan zegoela ikusi zuen. Beste bide batzuk jorratuz, Priestley eta Cavendish-ek lege berbera lortu zuten.

Indarraren legea ezarri bezain laster, matematikariek, edo nahi bada fisikari teorikoek, elektrostatikari heldu zioten sistema bat eraikiz. Sistema teoriko horretatik sortzen ziren ondorioak kasu guztietan errealitatean betetzen zirela ikusi zen. Gauss, Poisson, Green eta gainerakoen lanei esker, elektrostatikaren kontzeptu nagusiak plazaratu eta garatu egin ziren. Elektrizitatea pisurik gabeko fluidotzat hartzen zen eta horren bitartez arrazoitze bideak erraztasun handiak izan zituzten; bestalde, fluido hori neur zitekeen eta, beraz, maila kualitatibotik kuantitatibora igarotzeko lehen pausoa emana zegoen.

Korrante elektrikoak

Hasieran erabilitako bitarteko guztiak karga estatikoak sortzeko eta neurtzeko ziren. Berez, igurtzi-makina batek zirkuitu bat elikatzen badu korrante elektriko bat izango dugu, baina mota honetako makinekin, garai hartan ezagutzen ziren bakarrekin, lor daitekeen korrante oso txikia da eta ia ez da nabaritzen. Aldiz, korronterik gabe makinaren bi buruen artean aire-geruza jarriz gero potentziala goi-mailara iristean txinpartak agertzen dira argi eta garbi.

XIX. mendean hasieran ikerketari bide berri bat zabaldu zitzaion: zelula voltaiko edo galvanikoa. Hori dela eta, fenomeno berri batzuk plazaratu ahal izan ziren; hasieran fenomeno-multzo honi galvaniko izena eman zitzaion, baina gero, hamaika saiakuntza egin ondoren, fenomeno galvaniko hauek ordu arte fenomeno elektrikotzat hartuta zeudenak baino ez zirela ohartu ziren. Beraz, korrante galvanikoa fluxu elektrikoak zela ikusi zuten, baina fluxu hori makina elektrikoaren bidez lortutakoa baino askoz ere handiagoa zen, nahiz eta aipatutako makina horietan erabilitako tentsioa baino txikiagoa izan tentsio galvanikoa. Karga elektrikoaren ibilera, hau da, zirkuituaren inongo puntutan karga elektrikoaren

Korrante elektrikoak

Luigi Galvani.

Fisikari eta mediku italiarra (1737-1798). Elektrizitatearen zenbait saiakuntza egin zuen eta animaliek elektrizitatea zutela pentsatu zuen.



Alessandro Volta.

Fisikari italiarra (1745-1827). Elektrizitateari buruzko ikerketak egin zituen eta pila elektrikoak asmatu zuen.



Galvanometroa korrante elektriko ahulen intentsitate neurtzeko tresna da.

metaketarik ez agertzea, korrantea konprimitzen ez den hodi zurrin batetik doan isurkin baten bidez azaltzea guztiz logikoa da. Zelula voltaikoaren sorrera ustekabekoa izan zen. XVIII. mendean bukaeran Galvani ikertzaile italiarrak makina elektriko batek emandako deskargak igelari hanka uzkurta egiten ziola ikusi zuen. Bide horretatik segituz, beraien artean konektatutako izaera desberdineko bi metal muskulu batekin kontaktuan ipintzean berdin uzkuratzen zela ohartu zen. Galvanik efektu hauek "animalia-elektrizitateari" leporatu zizkion. Zenbait urte geroago beste italiar batek, Voltak, efektu hauek animalien izaerarekin zerkusirik ez zutela azaldu zuen eta 1800ean gero bere izena hartuko zuen pila asmatu zuen. Tresna hori zela eta, bai berak eta baita beraren garaikide askok ere, makina bat saiakuntza egin ahal izan zuten. Elektrizitatearen esparruak izugarritzko zabalpena izan zuen. Volta pila zink, kobre eta ur gazitan bustitako paperezko disko-pilaketa batez osaturik zegoen; bata bestearen gainean jartzen ziren ordena galdu gabe: zinka, kobrea, paper bustia, zinka, kobrea,

ZIENTZIAREN HISTORIA

paper bustia, etab. azkenekoa beti kobrea izanik. Honela, paperaren bidez banatutako bi xaflen artean potentzial diferentzia txiki bat agertzen zen eta pilotzean agertutako "indar elektroeragilea" zelula txiki guztien batura zen.

1800ean Volta pilaren berri izan bezain laster Ingalaterran bi iker-tzaile, Nicholson eta Carlis-ek, pila baten bi muturretan letoizko bi alanbre konektatu ondoren uretan bata bestearengandik hurbil sartzean batean hidrogenoa eta bestean oxigenoa azaltzen zela ikusi zuten; baita hidrogenoaren bolumena oxigenoarenaren bikoitza zela ere. Proporzio hau bi elementu hauek uraren konposizioan dutena bera denez, fenomeno hau uraren deskonposizio hartu zuten.

Gero magnesio kloruroa eta sodio kloruroa deskonposatu ahal izan ziren, baita zilar- eta kobre-gatzak ere.

Bestalde, pilaren polo positiboari konektatutako alanbrearen ondoko likidoa alkalinoa zela eta polo negatiboari konektatutakoa azidoa zela ere ikusi zuten.

1801ean Wollaston-ek 'galvanismoa' elektrizitatea agertzeko modu bat baino ez zela behin betirako argi utzi zuen. Elek-

elementutzat hartzen ziren sosa eta potasa deskonposatu zituen; horretarako pila handi bat erabili zuen eta bi metal harrigarri agertu zitzaizkion: sodioa eta potasioa.

Elektrizitatearen bitartez lortutako konposizio kimikoen deskonposizioak indar kimikoen eta elektrikoen artean kidetasunen bat bazegoela adierazi zuen. Davy-ren iritiz, erakurpen kimiko nahiz elektrikoak iturburu berekoak ziren, kasu batean zatikien gainean aritzen zen bitartean, bestean masen gainean jarduten zuten. Berzelius-ek ideia honi heldu zion eta bere ustez, konposatu guztiak aurkako elektrizitatea duten bi parteren baturaz osaturik zeuden.

Hasierako ikertzaile hauek deskonposizioaren produktuak bi polotan baino ez zirela agertzen egiaztatu zuten. Dena den, aurrerapauso horien ondoren eta Michael Faraday-ren (1791-1897) ikerketen bitartean hutsune bat izan zen. Royal Institution-en Davy-ren laguntzaile izan zen, gero bere ordezkari izateko.

Faraday-k 1833an terminologia berria ezarri zuen arlo horretan. 'Polo' terminoa erabili beharrean (honek erakurpen edo aldarapenaren nolabaiteko ideia ere baitzekarren) 'elektrodo' (hots,

Michael Faraday.

Fisikari britainiarra (1791-1867).

Elektrolisiaren legeak finkatu zituen eta diamagnetismoa aurkitu zuen.



André Marie Ampère.

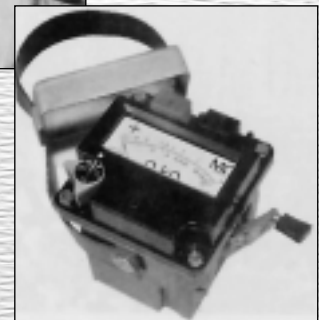
Fisikari frantsesa (1775-1836).

Oersted-en ikerketan oinarriturik, bere teoria elektromagnetikoa eraiki zuen. Galvanometroa eta lehenengo telegrafo elektrikoak eta, Arago-rekin batera, elektroimana asmatu zituen.



Georg Simon Ohm.

Fisikari alemaniarra (1789-1854). Korrante elektrikoaren oinarriko legeak aurkitu zituen eta elektrizitate-kantitatea eta indar elektroeragilea kontzeptuak erabili zituen lehena izan zen.



Ohmetroa

erresistentzia elektrikoak neurtzeko tresna da.



Hans Christian Oersted.

Fisikari danimarkarra (1777-1851). Korrante elektrikoak eremu magnetikoa sortzen zuela aurkitu eta frogatu zuen.



trizitateak eta galvanismoak efektu berak sorrarazten zituztela azaldu zuen Wollaston-ek. Hurrengo urtean Erman-ek Volta pilak lortutako potentzial-diferentziak neurtu zituen elektroskopio baten bitartez. Hasierako fenomenoak "tentsio elektrikoak" leporatzen zizkieten eta azkenekoa "elektrizitate-higidurea"; potentzial-diferentzia edo tentsioa neurtu ondoren batzuen eta besteen jatorria bera zela garbi geratu zen.

Gaurdaino indarrean jarraitzen duen korrante elektrikoaren noranzko positiboaren iritzia onartu zen garai hartan. Horren arabera, higitzen diren karga elektrikoak positiboak direla uste da, hau da, pila barnean zinkeko xaflatik kobrezkora doazen bitartean kanpokoan alderantziz doaz. Iritzi honi jarraituz pilaren polo positiboak kobrezkoa dela eta negatiboak zinkekoa dela ondoriozta daiteke.

1804an Berzelius-ek gatz neutroen disoluzioak elektrizitatearen bidez deskonposa zitezkeela frogatu zuen; prozesu horretan azidoa polo batean agertzen zen eta metala bestean. Honela, ezagutzen ziren metal asko deskonposatu ziren. 1807an Davy-k artean

bide elektrikoak) erabiltzea erabaki zen; bide beretik segituz erabili zuen 'anodoa' sarrerako xafla adierazteko eta 'katodoa' irteerakoarentzat. Disoluzioetan kontrako norabidean dabilen konposatuaren parteei 'ioi' izena eman zien (grekeraz 'io' joan baita); beraz, katodora doazenak 'katioiak' izango dira eta besteak 'anioiak'. Prozesu hori guztia izendatzeko ere hitz berri bat asmatu zuen: 'elektrolisia'.

Saiakuntza askoren ondoren Faradayk ikusitako fenomeno guztiak bi proposamen xehez adierazi zituen; horiei gaur egun "Faradayren legeak" deitzen zaie. Lehenengo legearen arabera, elektrolitoaren eta elektrodoaren izaeratik at askatzen den substantziaren masa korrantearen intentsitatearekiko eta denborarekiko, hots, likidotik pasatu den karga elektrikoarekiko zuzenki proportzionala da. Bigarrenaren arabera, karga elektriko kopuru jakin batek askatzen duen substantziaren masa substantzia horren pisu kimiko baliokidearekiko, hots, pisu atomikoa zati balentziarekiko, zuzenki proportzionala da. Hortaz, saiakuntza batean hidrogeno gramo bat askatzen den bitartean, oxigenoaren zortzi agertzen dira (16/2).



Karga elektrikoaren unitateak pasatzerakoan askatzen den substantzia baten masari "baliokide elektrokimikoa" esan ohi zaio. Hau da, coulomb bat pasatzen denean (ampere bat segundo batean, alegia) soluzio azido batetik hidrogenoaren $1,044 \times 10^5$ gramo askatzen dira; aldiz, zilar-gatz batetik pasatzean $0,001118$ g zilar agertuko dira. Neurtzeko erraztasuna nahiz zehaztasuna direla eta, korrontearen unitatea, amperea, definitzeko erabili da azkeneko pisu hau.

Faraday-ren legeak elektrolisi-kasu guztietan dira erabilgarriak. Elektrolisian ioiek kontrako karga elektrikoak aurkako norantzan eramaten dituzte likidoan zehar. Ioi bakoitzak karga elektriko berezi bat eramaten du, positiboa edo negatiboa, eta dagokion elektrodora iristean karga hori utzi egiten du; hori gerta dadin, indar bultzatzaileak kontrako polarizazioarena gainditu behar du. Gero von Helmholtz-ek esan zuen bezala, Faradayren lanak zera frogatzen du: substantzia elementalak atomoz osatuta daudela hipotesizat onartzen badugu, ondorio bezala elektrizitatea ere zatiki elementaletan banatuta dagoela eta horiek atomo elektriko bezala aritzen direla onartu behar da. Beraz, Faradayren saiakun-



Joseph Fourier baroia. Matematikari frantsesa (1768-1830). Beroari buruz egindako ikerketen ondorioz, bere izena duten serie trigonometrikoak aurkitu zituen.



James Clerk Maxwell. Fisikari eskoziarra (1831-1879). Ereku elektromagnetikoaren lege orokorrak emanez, elektrizitate eta magnetismoaren teoriak bateratu zituen lehena izan zen.

tzek elektrolisiaren eta zientzia atomikoaren eta elektronikoaren oinarriak ipini zituzten.

Korronte elektrikoak beste berezitasun batzuk ere azaldu zituen berehala; hasieran zientzialariek korronte galvanikoak ikertzerakoan efektu kimikoetan arreta jarri bazuten ere, beste alor batzuk ere jorratu zituzten. Honela, korrontek edozein eroaletan barrena beroa sorrarazten zuela ikusi zuten, bai eta sortutako berokopurua eroalearen izaeraren arabera zela ere. Efektu hori gaur egun ere erabilgarria da: argi elektrikoak, berogailuak, etab. 1820an Oersted-ek oso garrantzi handiko efektu bat aurkitu zuen: korrontek orratz magnetikoak desbideratzen zituela, alegia, baita desbideratze-ahalmen hori beira eta zenbait metaletan zehar ere gertatzen zela. Zientzialariak berehala konturatu ziren aurkikuntza horren garrantziaz, André Marie Ampère (1775-1836) bereziki; horrek, korrontearen inguruko imanetan indarrak sorrarazten dituztela ikusi ondoren, korronteen artean indarra agertzen zela ere frogatu zuen. Ampère ez zen alde kualitatiboan soilik gelditu; neurketa zehatzak ere egin zituen eta horien ondorioz gaur egun

bere izena daraman legea aurkitu zuen. Beroari esker, korronte elektriko batek sorrarazten duen efektu magnetikoa eta bere bidez sorrarazitako indarrak kalkulatzeko gai gara. Lege horretan korrontek sortutako efektua distantziaren berbidurarekiko alderantziz proportzionala zela agertzen da, hau da, fenomeno grabitatorio eta elektrikoetan bezala; beraz, hau "eremu-fisikaren" aldeko urrats garrantzitsua izan zen.

1827an Georg Simon Ohm-ek (1781-1854) oso lan garrantzitsua burutu zuen; horretarako han eta hemen barreiatuta zeuden hainbat efektu elektriko bildu zituen eta definizio zehatz batzuk eman ondoren artean indarrean zeuden ideia lainotsuak baztertu zituen. Horrek jadanik elektrostatan erabiltzen zen potentziala, edo hobeto esanda potentzial-diferentzia, indar elektroeragilea zela ikustarazi zuen; beraz, bi punturen arteko potentzial-diferentzia handia bada, karga elektriko bat batetik bestera eramateko egin behar den lana handiagoa izango da. Horretan, eta alde zurreratik Fourier-ek beroaren esparruan egindako ikerketetan oinarriturik, Ohm-ek bere lege ospetsua plazaratu zuen.

Ampère eta Ohm-en lanen ondoren korronte elektrikoaren jakintza zientzia berri guztiek erdiesten duten puntu kritikora iritsita zegoen: oinarriko kontzeptu batzuk aukeratu eta definituta zeuden bai eta funtsezko legeak aurkituta ere; aurrerantzean horrekin guztiarekin matematika eta saiakuntzen bitartez zientzia berri horren garapena egin beharko litzateke.

Hortaz, elektrizitatearen garapenak ondo oinarrituta aurrera jo zuen. 1831n Faraday-k *Royal Society*ri indukzio elektromagnetikoaren lehen berria eman zion. Aurkikuntza horrek elektrizitatearen erabilpen industrialaren oinarria ipini zuen, ia makina elektriko guztiak efektu horretan oinarritzen baitira. Ampèrek indar elektromagnetikoen lege matematikoa aurkitu zuen, baina aurkikuntza hedatzeaz ez zen arduratu. Faraday, berriz, ez zen hain matematikari ona, baina gertatutakoa ulertzen eta adierazten arduratu handiagoa ipintzen zuen, hau da, eremu elektromagnetikoaren bitartez zer gertatzen zen ikusten. Iman natural baten gainean kartoizko xafla bat ipintzen badugu eta bere gainean burdinazko txirbilak botatzen baditugu, hauek katez lotuko dira, aktibatzen den indar magnetikoaren lerroak adieraziz. Polo magnetikoak (edo karga elektrikoak) lotzen dituen indar-lerro horiek, agian polarizatutako zatiki-kate modura, eremu magnetikoan (edo elektrikoan) benetako izaera badutela uste zuen Faradayk. Dena dela, lerro horien izaera materiala alde batera utzita, bide erraz eta egokia izan ziren fenomeno magnetiko eta elektrikoak adierazteko eta lantzeko.

Faraday beste fenomeno elektrikoek ere arduratu zen, kapazitate elektrostatiakoak, adibidez, baina bere aurkikuntzak eta emaitzak bere garairako aurrerakoiak ziren oso eta ideiak hizkuntza lauso batez azaldu zituen. Hogeita hamar urte geroago J. Clerk Maxwell-ek horri guztiari hizkera matematikoa ezarri zion eta uhin elektromagnetikoen teoria egituratu eta garatu zuen. Beraz, Faradayk ipini zituen zientzia elektrikoaren praktikan sortutako hiru adarren oinarriak: elektrokimika, indukzio elektromagnetikoa eta uhin elektromagnetikoak; kontzeptuaren garrantziaz jabetu ondoren, horren bultzatzaile sutsu bihurtu zen. Maxwellek hizkera matematikoa eman zion horri guztiari eta horrekin elektrizitatearen esparrua ondo finkatuta gelditu zela esan daiteke.

* EHUko irakaslea