

Traduccions i Extractes

*Les primeres investigacions en les màquines dinamoelèctriques, ja cinquanta anys*¹

Per passar revista a un període de quelcom més de cinquanta anys per tal de descriure, fins on sigui possible, les condicions d'aquella època i, especialment, l'estat de la indústria elèctrica és necessari assenyalar abans que altra cosa mants fets remarcables. La telegrafia per fils terrestres i per cables submarins es trobava, aleshores, ja ben establerta. La deposició de metalls, tals com el coure, per a la electrotípia, si bé tenia determinades aplicacions especials, constituïa, encara una art relativament nova, igualment que la galvanoplàstia amb plata o amb una capa d'or prima. El níquelat, encara que d'invenció molt recent, començava a vulgaritzar-se, degut, especialment, a la tasca de WESTON, qui fou, també, dels primers a emprar el corrent dinamoelèctric en aquest treball, en lloc de les piles voltàiques, principalment de tipus SMEE, que aleshores eren generalment emprades.

Les màquines dinamoelèctriques, que ara anomenem generadors elèctrics, eren verament rares i d'una concepció rudimentària quasi totes elles. La primera que vaig tenir l'oportunitat de veure era una màquina Wilde-Ladd, que es trobava en la col·lecció del prof. Robert E. ROGERS, qui fou, més tard membre del nostre comitè a la Secció de Física de la Universitat de Pensilvània. Encara perdura en mi el record de la impressió rebuda en veure dos homes donar voltes a la maneta per mantenir al roig viu una tira de metall per mitjà del corrent generat.

A l'Exposició del Centenari celebrada a Filadèlfia l'any 1876, figuraven solament dues màquines dinamoelèctriques. A la sala de maquinària hi havia un espai reservat a la casa Gramme, de París, i un altre a la casa Wallace, d'Ansònia (Connecticut). Cal esmentar el fet que la màquina Gramme, que concorregué a les proves fetes a l'Institut Franklin fa cinquanta anys, era una de les que ocupaven l'espai reservat a la casa Gramme en la dita Exposició.

La llum elèctrica era, està clar, la llum d'arc amb carbons a l'aire lliure. No se'n coneixia d'altra en aquella època i, durant alguns anys, dir "il·luminat elèctric" era dir llum d'arc.

L'any del Centenari (1876) fou època de grans celebracions i l'Exposició fou també notable per haver-s'hi fet la primera demostració del telèfon inventat per Alexander GRAHAM BELL. Aquest era l'aparell magnètic senzill que encara avui s'empra universalment i del qual han nascut les grans xarxes telefòniques que existeixen arreu del món.

¹ Extracte d'un discurs pronunciat per Elihu THOMSON a l'Institut Franklin.

L'any 1874, l'Institut Franklin celebrà una exposició industrial en l'edifici conegut aleshores amb el nom d'Estació Vella del Ferrocarril de Pensilvània, als carrers 13 i Marquet, on ara es troben els magatzems Wanamaker.

Durant l'hivern de 1876-77, l'Institut Franklin em donà una sèrie de cinc conferències sobre l'electricitat, tema amb el qual em trobava profundament interessat des de la meua infantesa. En el curs d'aquestes conferències il·lustrades amb nombroses demostracions experimentals, com hom acostumava aleshores de fer, vaig procurar provar que l'electricitat, qualsevol que fos el seu origen, esàtic, voltàic, dinàmic, magnètic, etc., és, sempre, essencialment idèntica i no varia sinó en les condicions en què es manifesta. El que em proposava, doncs, era acabar dins del possible, amb el que jo estimava que eren classificacions i distincions sense significat, dels fenòmens elèctrics, els quals, considerats com cal, són tots fonamentalment iguals. D'aquesta manera hom facilita la transició d'uns fenòmens als altres, tant des del punt de vista teòric com del pràctic. Semblarà estrany ara que fos necessari aduir proves de la identitat de la natura de les diverses manifestacions de l'electricitat; el cas era molt distint, però, fa cinquanta anys.

Quan, l'any 1877, l'Institut instal·là en aquest saló una màquina de vapor d'uns sis cavalls de força per moure els diversos aparells que hom pogués presentar-li, hom pensà, molt naturalment, en l'adquisició d'una màquina generadora de corrent elèctric. L'era de l'electricitat començava tot just i la llum d'arc era molt millor que la de calci per a determinats objectes, tals com la projecció de vistes. Hom resolgué, per tant, d'adquirir una dinamo que pogués enfrontar les necessitats presents i futures de l'Institut. Ultra això, hom estimava que es faria un veritable servei al món assolint la realització de proves que, almenys de manera general, permetessin de determinar les propietats elèctriques i mecàniques de tals màquines i llur adaptabilitat a la producció de llum per mitjà de l'arc de carbons.

Ens havem reunit ací amb la finalitat de commemorar el cinquantè aniversari de la sèrie de proves efectuades per l'Institut Franklin relativament a la màquina dinamoelèctrica, segons informe publicat pel comitè respectiu a la Revista de l'Institut corresponent a maig i juny de 1878.

Si bé, abans que veïés la llum aquest informe, hom havia reunit ja mantes dades sobre la força consumida per les dinamos utilitzades en l'alimentació de làmpades d'arc senzilles, tals com les emprades en alguns farells, i hom havia determinat la intensitat de la llum així produïda (amb proves similars isolades), sembla que les proves de l'Institut Franklin constituïren les primeres investigacions reals i comparatives de les distintes màquines, que foren suficientment extenses per poder jutjar del rendiment de les dinamos considerades com a convertidors d'energia mecànica en energia elèctrica. L'informe donat era, tal vegada, l'únic del seu gènere pel fet que comprenia mantes mesures elèctriques.

Aquesta última part del treball fou confiada a un subcomitè integrat pel prof. Edwin J. Houston i pel qui parla. L'escassetat d'instruments adequats a aquestes mesures i, en realitat, l'absència total de mitjans per a aquests fins, ens obligaren a improvisar els elements necessaris fins a un punt inconcebible en aquells dies. Aquesta manca d'instruments i de normes seguí en igual estat encara molts anys després de 1878.

La unitat d'intensitat de corrent que aleshores s'emprava es deia "Veber" o "Weber". L'amper no fou adoptat fins l'any 1881, en la Conferència Internacional

de París. No obstant, teníem ja el *volt* i l'*ohm* com a unitats internacionals, i també certes normes aproximades.

En el nostre informe sobre les pèrdues en les màquines, atribuïm com a *acció local* la força que es dispersava i que hom no podia trobar ni en l'arc elèctric ni en cap lloc del circuit elèctric de la dinamo. Més tard hom descobrí que aquestes pèrdues tenien dues causes que ara hom coneix amb els noms de *corrents paràsits* o de *Foucault* i *histèresi magnètica*.

Fa cinquanta anys, hom sabia molt poc de les pèrdues d'energia degudes als canvis de magnetisme del ferro, nomenades ara histèresi. Les proves demostraren clarament, i crec que per primera vegada, que la resistència de l'arc mesurada, a igualtat de condicions, és quasi inversament proporcional al corrent que hi passa i que, essent variable la càrrega, és necessari, per a l'estabilitat de l'arc, que la màquina tingui el que es diu una *característica descendent*. La característica és una corba que indica la relació existent entre la intensitat de corrent del circuit de la màquina i el seu voltatge o força electromotriu a distintes valors. Quan el volum de corrent passa d'una certa valor en qualsevol circuit de la màquina, el voltatge ha de disminuir a determinada velocitat, per tal que el rendiment sigui constant sense oscil·lacions ni descensos de corrent.

Un altre detall que hom assolí de fer ressaltar, és que la resistència interna de la màquina dinamoelèctrica ha d'ésser tan dèbil com sigui possible, en tant que la resistència externa del circuit cal que sigui relativament alta, per tal d'obtenir el màxim d'energia elèctrica en relació amb el consum de força mecànica absorbida.

Tot això és tan sabut avui, que sembla que fos evident; però passaren diversos anys abans que la significació fos generalment entesa. L'informe esmentat revela molts dels detalls de funcionament que no eren aleshores ben coneguts.

Fou en aquest mateix saló on el nostre comitè, del qual era jo el membre més jove i del qual sóc l'únic supervivent, féu les investigacions assenyalades en l'informe de maig i juny de 1878. Els homes que integraven aquest comitè eren persones eminents en el seu temps, en els diversos rams de la ciència i de la tècnica, i estaven íntimament vinculats amb les activitats i la direcció de l'Institut Franklin.

Durant els cinquanta anys transcorreguts des de l'època que celebrem, hom ha avançat molt en els diversos rams de la ciència i de la indústria; però el progrés realitzat en la coneixença de l'electricitat, els enormes avenços efectuats en les seves aplicacions, l'expansió de les indústries basades en l'electricitat, han estat tan fenomenals, que és difícil imaginar que torni a presentar-se una era tan fecunda.

Durant aquest període, hom ha comprovat la idea que, al cap i a la fi, l'acció de l'electricitat, la dels electrons, és l'element fonamental que explica les relacions entre les diverses formes de la matèria i àdhuc de l'energia.

Fa trenta anys, en una Memòria que vâreig sotmetre a l'Institut Franklin, vaig atrevir-me a suggerir que bé podríem considerar que totes les accions, i encara les propietats mecàniques, són, en essència, elèctriques. Un diari digué aleshores que era natural que un electricista volgués atribuir-ho tot a l'electricitat; però la història s'ha encarregat de resoldre el problema i de dar-nos la prova, com tots sabem. Havem arribat a la unificació i, per torna, a la simplificació; crec, però, per part meva, que en el desenrotllament de la ciència sempre quedarà més del que podem explicar.

Per mitjà d'investigacions i proves acurades, tals com les que hom féu fa cin-

quanta anys, assentem les bases del progrés i, després, ajudats per la imaginació, podem llançar el nostre pensament a camps nous i més fèrtils. Recordo, encara, haver dit a uns joves, després d'haver estat treballant amb els corrents continus i que començàvem a estudiar els corrents alterns, que el camp ofert per l'electricitat en vibració seria il·limitat. L'any 1881 havia observat alguns fenòmens d'alta freqüència molt curiosos i en 1889 vàreig assolir la construcció d'una dinamo d'alta freqüència que era, tal vegada, la primera que hom havia fet fins aleshores. Durant el curs dels deu anys següents, Nikola TECLA i jo realitzàvem nombrosos experiments en aquest camp nou. Ara veiem en la ràdio les aplicacions actuals en gran escala d'aquests primers resultats.

Es pot dubtar que l'avenir reserva a la humanitat molts triomfs deguts a l'aplicació fidel dels mètodes científics? La via a seguir pot resumir-se en poques paraules: Provar-ho tot experimentalment i atènyer-se als resultats.

E. F.

La mesura dels temps geològics per mitjà de la radioactivitat¹

Considerada des del punt de vista de l'analista mineral, l'acció dels fenòmens de descomposició radioactiva en un mineral que contingui Urani o Thori, solament consisteix en un canvi de la substància component de manera que en el lloc de cada àtom d'Urani descompost es forma un àtom de plom i vuit àtoms d'Heli i en el de cada àtom descompost de Thori, un àtom de plom i sis d'Heli. Com sigui que aquests productes de descomposició són formats amb velocitat coneguda, hom pot concloure'n l'edat, per relació amb la substància mare radioactiva d'un mineral determinat, suposant que el mineral no hagi estat afectat per variacions de la substància component, degudes a causes externes, o que, anteriorment, ja contingués plom. Aquesta darrera possibilitat pot ésser comprovada mitjançant una determinació exacta del pes atòmic d'aquest, puix que, com és sabut, els ploms d'origen radioactiu tenen un pes atòmic diferent al del plom usual.

Fins ara, hom suposava, en general, que l'edat d'un cristall determinada de tal manera, era idèntica a la vellesa o petrificació del cos mineral on havia estat trobat. L'examen d'aquesta suposició és, principalment, cosa dels mineròlegs i petrografs, però també pot interessar als físics i als químics.

La grossa intrusió granítica del massís Frederikshald, en la frontera sueco-noruega, posseeix una gran quantitat de filons de pegmatita, molts dels quals es troben sobre feldespat i subministren també minerals radioactius. De les anomenades broggerites, les quals consisteixen principalment en òxid d'Urani cristallitzat i que, generalment, són conegudes amb el nom del lloc d'origen (Read i Mors), n'existeixen ja, del passat segle, alguns bons anàlisis, les característiques del Pb i de l'U dels quals demostren una certa distanciació dels pesos teòrics, atribuïda per mants autors a un lleuger contingut de plom usual.

Una gran quantitat d'anàlisis sobre cristalls separats que foren fets en els darrers anys a l'Institut de Viena per a recerques del Ràdium, amb material dels llocs esmentats portà a la conclusió que l'activitat d'intrusió, o, dit més pròpiament, l'entrada de

¹ Dr. Gerhard KIRSCH, *Forschungen und Fortschritte*.

fases solubles en aquell cos petri, en períodes geològics, s'estén, en el cas esmentat, almenys més enllà de 200 milions d'anys; segonament que la resurrecció té lloc rítmicament en espais d'uns 30 milions d'anys; com que aquest és el temps aproximadament que li cal al material subcontinental per a recórrer un cicle de fusió, segons les dades de JOLY i d'HOLMES, això porta a unir el ritme de la formació de la bröggerita amb el ritme de les forces de creació de muntanyes, de les transgressions, etc. Com a complement, cal tenir en compte que també ls thorianites de Ceilàn cobreixen un interval semblant i, en contra, un de quelcom més petit, segons coneixem fins ara, les blendes africanes.

Així mateix, l'examen de cristalls perfectament definits, ha demostrat que àdhuc per a cristalls d'un mateix filló de pegmatita, aquests presenten grosses diferències d'edat. Cal suposar, doncs, que aquests cristalls foren formats molt abans de llur incorporació al filló; per tant, hom no ha de seguir igualant sense més ni més, com fins ara succeïa sovint, l'edat d'un cristall a l'edat del cos petri en el qual ha estat trobat aquell. La petrificació del magma, pot, moltes vegades, haver tingut lloc més tard en espais de temps importants.

Fem avinent a tots els interessats que a Amèrica des de fa un parell d'anys, s'ha constituït un "Comité per a les mesures geològiques per la Radioactivitat" (Committee on the measurement of geological time by atomic desintegration) l'objecte del qual és refondre els resultats de cada tècnica i impulsar la cooperació. El President és el Prof. Dr. A. C. LANE, Jufts College, Boston, P. O. Mass. U. S. A.

Ondes i corpuscles en la física moderna¹

L'estudi de les propietats dels cossos materials permet de repartir-los en dues categories, a saber: els cossos compostos que, per operacions apropiades, poden ésser reduïts en cossos més simples i els cossos simples o elements que resisteixen a tota temptativa de dissociació. L'estudi de les lleis quantitatives d'acord amb las quals els cossos senzills s'uneixen per formar els cossos compostos, portà els químics ara fa un segle a adoptar la hipòtesi següent: Un cos senzill estaria format de petites partícules totes idèntiques, que hom anomena els àtoms d'aquest cos senzill; els cossos compostos serien formats de molècules constituïdes per la reunió de diversos àtoms de cossos senzills. Segons aquesta hipòtesi, dissociar un cos compost reduint-el als elements que el formen, equival a trencar les molècules d'aquest cos i posar en llibertat els àtoms que contenen. El nombre de cossos senzills actualment conegut és de 89 i es creu estar segur que llur nombre total és de 92. Tindriem, doncs, que amb solament 92 gèneres diferents d'àtoms, serien construïts tots els cossos materials.

La hipòtesi atòmica no ha triomfat solament en Química, sinó que ha penetrat, també, en la Física. Si els cossos materials són formats de molècules i d'àtoms, cal explicar llurs propietats físiques mitjançant aquesta constitució atòmica. Les propietats dels gasos, per exemple, s'hauran d'explicar admetent que un gas és format per un gran nombre d'àtoms o de molècules en moviment ràpid; la pressió del gas sobre les parets del recipient que el conté, serà deguda al xoc de les molècules contra les parets; la temperatura del gas mesurarà l'agitació mitjana de les molècules, aquesta agitació

¹ Conferència donada en el "Conservatoire des Arts et Métiers" el 26 de gener de 1930, sota la presidència de M. PAINLEVÉ, per M. Louis de BROGLIE, a qui ha estat conferit recentment el Gran Premi Nobel.

augmentant amb la temperatura. És aquesta concepció de la constitució dels gasos que ha estat desenvolupada sota el nom de teoria cinètica i que ha permès d'explicar l'origen de les lleis dels gasos per l'experiència. Si la hipòtesi atòmica és exacta, cal interpretar les propietats dels cossos sòlids i líquids admetent que en aquests estats físics les molècules o àtoms es troben molt més acostats que en l'estat gasós; les forces considerables que, aleshores, s'exerceixen entre àtoms i molècules seran les cridades a donar compte de les propietats d'incompressibilitat, de cohesió, etc., que caracteritzen sòlids i líquids. La teoria atòmica de la matèria ha estat confirmada per belles experiències com les del Sr. Jean PERRIN, que han permès de mesurar el pes absolut dels diversos àtoms i el seu nombre per centímetre cúbic. Jo diré aquí solament que el pes dels àtoms és extraordinàriament petit i que llur nombre per centímetre cúbic és sempre enorme en les condicions usuals.

Sense endinzar-nos massa en el desenvolupament de la teoria atòmica, direm, per resumir, que en Física, com en Química, la hipòtesi segons la qual tots els cossos són compostos de molècules, constituïdes, a llur torn, per diversos conjunts d'àtoms elementals, s'ha mostrat molt fructuosa i ha d'ésser esguardada com una bona representació de la realitat.

Però els físics no s'han deturat pas ací; ells han volgut saber, també, com eren constituïts els àtoms i comprendre en què es diferenciaven entre ells els àtoms dels diversos elements. En aquesta tasca han estat ajudats pel progrés dels nostres coneixements dels fenòmens elèctrics. Ja del principi de l'estudi dels fenòmens elèctrics, havia semblat útil d'esguardar l'electricitat com un fluid; de considerar, per exemple, el corrent elèctric que travessa un fil com l'escolament del fluid elèctric al llarg del fil. Hi ha, però, com sabem, dues menes d'electricitat: l'*electricitat positiva* i l'*electricitat negativa*. És, doncs, natural de suposar que existeixen dos fluids; el fluid elèctric positiu i el fluid elèctric negatiu. Hom pot imaginar-se aquests fluids de dues maneres diferents; hom se'ls pot imaginar com una substància continua que ocupa uniformement tota la regió en què es troba el fluid o bé, al contrari, hom se'ls pot representar com formats per núvols de petits corpuscles, en què cada corpuscle vé a ésser com una petita bola d'electricitat. L'experiència ha decidit en favor de la segona d'aquestes concepcions. En efecte, ella ens ha ensenyat, fa una trentena d'anys, que l'electricitat negativa és formada de petits corpuscles tots idèntics, de massa i de càrrega elèctrica extraordinàriament petites. Aquests corpuscles d'electricitat negativa són anomenats *electrons*. S'ha assolit fer desprendre electrons de la matèria i estudiar llur manera d'ésser quan es desplacen en el buit; s'ha verificat, també, que els electrons es desplacen de la mateixa forma en què han de fer-ho, segons la Mecànica clàssica, les petites partícules electritzades i ha estat estudiant la manera com aquestes petites partícules es comporten en presència de camps elèctrics i magnètics, que hom ha pogut mesurar llurs càrrega i massa, que són, repetim-ho, extraordinàriament petites. Per a l'electricitat positiva, les proves de la seva estructura corpuscular són menys directes; no obstant, els físics han arribat a la convicció que l'electricitat positiva és, ella també, subdividida en corpuscles tots idèntics, anomenats "protons". El protón té una massa que, encara que molt petita, és prop de 2.000 vegades més gran que la de l'electron. La seva càrrega és igual a la de l'electron; però, de signe contrari, positiu en lloc de negatiu.

Els electrons i els protons tenen una massa extraordinàriament petita; aquesta massa, però, no és pas nulla, de guisa que un nombre enorme de protons i d'electrons podrà presentar una massa total notable. És, doncs, temptador de suposar que tots els

cossos materials essencialment caracteritzats pel fet d'ésser pesants i inertes, és a dir per llur massa, són únicament formats de protons i d'electrons en nombre enorme. Situats, doncs, en aquest punt de vista, tindrem que els àtoms dels elements, que són els materials dels quals són constituïts tots els cossos materials, han d'ésser formats de protons i d'electrons i els 92 àtoms diferents dels elements no seran altra cosa que 92 assemblatges diferents de protons i d'electrons.

La idea de què els àtoms són formats de protons i d'electrons ha pogut ésser precisada gràcies, sobretot, als treballs experimentals del gran físic anglès Sir Ernest RUTHERFORD i als treballs teòrics del savi danès M. Niels BOHR. L'àtom d'un cos senzill és format d'un nucli central que porta una càrrega positiva igual a N vegades la càrrega del proton— N essent un número enter—i de N electrons gravitant a l'entorn d'aquest nucli; el conjunt és, doncs, elèctricament neutre. El mateix nucli està, sens dubte, format de protons i d'electrons, sobrepassant el nombre de protons de N unitats al dels electrons. Gairebé tota la massa de l'àtom es troba concentrada en el nucli, ja que aquest conté protons i els protons són molt més pesats que els electrons. L'àtom més senzill es el d'hidrogen i és constituït per un nucli format d'un sol proton i per un electron que gira al voltant d'aquell proton. El que diferencia l'àtom d'un element de l'atom d'un altre element, és el nombre N de les càrregues positives elementals portades al total per al nucli; hom pot, doncs, arrenglar els cossos senzills en una sèrie ordenada segons els valors creixents de N des de l'Hidrogen ($N=1$) fins a l'urani ($N=92$). Hom s'ha adonat que aquesta manera d'arrenglar els cossos senzills és, precisament, la que s'havia deduït de la valor dels pesos atòmics i de les propietats químiques i que era coneguda sota el nom de classificació de MENDÉLÉEFF.

Ací, jo no puc explicar en detall perquè la idea que l'àtom és una mena de petit sistema solar format de protons i d'electrons ha estat ben rebuda pels físics. Jo em limitaré a dir, solament, que aquesta idea ha permès, no solament d'interpretar les propietats químiques dels cossos senzills, sinó també, moltes de llurs propietats físiques, tals com la composició de les radiacions lluminoses que són capaces d'emetre en determinades condicions; per exemple, quan hom els porta a la incandescència.

Però hi ha un punt que nosaltres hem de remarcar. Per poder desenvolupar d'una manera satisfactòria aquesta teoria de l'àtom equivalent a un sistema solar, BOHR ha hagut d'introduir una idea estranya que ha manllevat a la teoria dels quanta descapdellada anteriorment pel Sr. PLANCK. Hem dit abans que en les experiències en les quals es pot seguir el moviment d'un electron, aquest es comporta com un petit corpuscle de massa molt feble i que el seu moviment pot ésser previst per aplicació de les lleis de la Mecànica clàssica. Però considerem, ara, els moviments d'un electron sobre trajectòries de molt petites dimensions, moviments que nosaltres no podem seguir experimentalment, però que ens els hem d'imaginar per desenrotllar determinades teories i explicar certs fets. PLANCK es donà compte, pels seus càlculs, que tals moviments no poden seguir les lleis de la Mecànica clàssica. Més exactament: entre tots els moviments que la Mecànica clàssica reconeix com a possibles, solament alguns poden ésser executats per l'electron; aquests moviments privilegiats han estat anomenats "moviments quantificats". BOHR en la seva teoria de l'àtom-sistema solar ha hagut de reprendre la idea de PLANCK, car en els àtoms les trajectòries dels electrons planetaris són, necessàriament, de dimensions molt petites. Ell ha trobat que els electrons no han de poder efectuar en els àtoms més que moviments quan-

tificats i és aquesta circumstància que dóna, en certa manera, la clau de totes les propietats dels àtoms.

Resumin, un mica, el que precedeix. L'estudi de les propietats dels cossos materials ha conduït els físics a considerar la matèria com formada, únicament, de petits corpuscles, els electrons i els protons; diversos conjunts d'aquests corpuscles constitueixen els àtoms dels 92 cossos senzills a partir dels quals són formades les molècules dels cossos compostos. Tota la matèria es reduiria, doncs, a corpuscles de massa i de càrrega conegudes, els moviments dels quals serien regulats per les lleis clàssiques de la Mecànica.

No obstant, quan aquests corpuscles efectuen moviments a molt petita escala, es demostren incapaços d'adquirir tots els moviments que la Mecànica clàssica els autoritzaria a prendre. Únicament poden prendre certs moviments particulars, els moviments quantificats. Aquesta circumstància estranya ens adverteix que és, sens dubte, insuficient de considerar els elements últims de la matèria, els electrons per exemple, com simples petits corpuscles. La manera segons la qual aquesta concepció dels electrons ha d'ésser modificada i completada ha estat suggerida per l'estudi dels fenòmens lluminosos. És, doncs, de la llum que ens hem d'ocupar ara.

La llum que ens ve del Sol i de les estrelles arriba al nostre ull després d'haver travessat immensos espais en els quals la matèria és absent; la llum travessa, doncs, el buit sense dificultat i, diferentment del so, per exemple, no és lligada a la matèria. La descripció del món físic no serà, doncs, suficient si no s'afegeix a la matèria una altra realitat independent d'ella: la llum.

Però, què és la llum? De què és constituïda?

Els filòsofs de l'Antiguitat i molts savis fins al principi del segle darrer han sostingut que la llum era formada de petits corpuscles en moviment ràpid. La propagació rectilínia de la llum en les condicions actuals, la reflexió de la llum sobre els miralls, s'expliquen immediatament amb aquesta hipòtesi.

Aquesta teoria corpuscular de la llum fou completament abandonada, fa ja un segle, per seqüència dels treballs de YOUNG i de FRESNEL. YOUNG i FRESNEL descobriren, en efecte, tota una categoria de fenòmens lluminosos—els fenòmens d'interferències i de difracció—, la interpretació dels quals per la teoria corpuscular és impossible; en canvi, una altra concepció—la concepció ondulatoria de la llum—explica, a la vegada, tal com FRESNEL ha demostrat admirablement, els fenòmens clàssics de propagació rectilínia, de reflexió i de refracció i, a més, els fenòmens d'interferències i de difracció.

La concepció ondulatoria de la llum, anteriorment sostinguda per alguns esperits perspicaços com Christian HUYGHENS, admet que la propagació de la llum ha d'ésser comparada a la propagació d'una onda en un medi elàstic, tal com les ondes que es desplacen a la superfície d'una capa d'aigua quan hom hi llença una pedra. Puix que la llum es propaga en el buit, FRESNEL imaginà una mena de medi subtil—l'èter—, el qual impregnaria tots els cossos materials, reompliria els espais buids de matèria i serviria de suport a l'onda lluminosa.

Diguem, ara, com hem de concebre una onda. Una onda quan es propaga lliurement, és anàlega a una successió d'ondes les crestes de les quals són separades per una distància constant, anomenada *longitud d'onda*. El conjunt d'aquestes ondes es desplaça en la direcció de propagació amb una certa velocitat, la *velocitat de propagació de l'onda*, que per a les ondes lluminoses en el buit és igual a 300.000 quilòmetres per se-

gon, com han demostrat experiències fetes després de la mort de FRESNEL. En un punt fix de l'espai, les diferents ondes amb llurs crestes i llurs fons desfilen, successivament; la grandària que es propaga per ondes hi varia, doncs, periòdicament i el període d'aquesta variació és, evidentment, igual al temps comprès entre el passatge de les dues crestes consecutives.

Nosaltres acabem de veure com progressa una onda en una regió en la qual res ve a interrompre la seva propagació. Les coses passen diferentment si l'onda, en propagarse, topa amb obstacles; per exemple, si troba superfícies planes que l'aturen o la reflecteixen, o bé si ha de passar a través d'obertures practicades en pantalles o, encara, si troba centres que la difonguin. Aleshores, l'onda serà com deformatada i replegada sobre ella mateixa, de manera que en lloc d'haver-nos-les amb una onda simple, hom se les heu amb una superposició d'ondes simples. L'estat vibratori resultant en cada punt depèn, aleshores, de la manera segons la qual els efectes de les diverses ondes simples s'addicionen o es contrarien. Si les ondes simples ajunten llurs efectes, si elles són, com es sol dir, *en concordància de fase*, la vibració resultant serà molt forta; si, al contrari, les ondes es contrarien, si elles són *en oposició de fase*, aleshores la vibració pot ésser feble i àdhuc nulla. Ara hom pot demostrar que el fet que hi hagi en un punt concordància o discordància de fase, depèn, essencialment, de la longitud d'onda de l'onda que ha vingut a topiar amb els obstacles. En resum, la presència d'obstacles que distorben la propagació de l'onda, provoca l'aparició d'una repartició complicada de les intensitats de vibració, repartició que depèn, essencialment, de la longitud d'onda de l'onda incident. Aquests són els fenòmens d'interferències o de difracció.

Si s'adopta la idea que la llum és formada d'ondes, cal, doncs, preveure que si s'oposen obstacles a la lliure progressió d'un feix de llum apareixeran fenòmens d'interferències o de difracció. En la regió de les interferències, la repartició de la llum serà complicada, però es podrà preveure fàcilment a partir de la longitud d'onda; és a dir, nosaltres la veurem de la color de la llum emprada. Per tant, en aquestes condicions, YOUNG i FRESNEL han demostrat que la llum presenta, efectivament, fenòmens d'interferències o de difracció i FRESNEL ha demostrat, a més, que la concepció ondulatoria de la llum és suficient per explicar, en tots els detalls, tots els fenòmens d'interferències i de difracció observats. Al contrari, la teoria que considera la llum com formada per simples corpuscles en moviment no pot definir la longitud d'onda i és totalment incapaç d'interpretar les interferències. A partir de FRESNEL i durant tot el segle darrer, la naturalesa purament ondulatoria de la llum ha estat plenament admesa.

Com sabem, existeixen diferents menes de llums senzilles, cada una d'elles corresponent a una "color" ben determinada. La llum blanca emesa pels cossos incandescents—una làmpada elèctrica per exemple—, és formada per una escala contínua de llums senzilles els colors de les quals varien progressivament per transicions insensibles del morat al roig, formant l'"espectre". La teoria ondulatoria de la llum caracteritza cada mena de llum, cada component de l'espectre, per una longitud d'onda; fa, doncs, correspondre la *longitud d'onda al color*. Com sigui que els fenòmens d'interferència depenen de la longitud d'onda, ells permeten de mesurar les longituds d'onda corresponents als diversos colors de l'espectre. Hom ha pogut, així, constatar que la longitud d'onda creix d'una manera contínua de l'extremitat violeta de l'espectre—on ella és de 4 deu-mil·lèsimes de mil·límetre—, fins a l'extremitat roja on ella assoleix 8 deu-mil·lèsimes de mil·límetre.

Existeixen, a més, ondes de naturalesa anàlega a la llum, a les quals el nostre ull

no és sensible. Se les ha pogut posar en evidència per diversos mitjans i mesurar llurs longituds d'onda. S'els dona el nom general de *radiacions* que engloba, també la llum. Certes radiacions (ultra-violeta, raigs X i γ) tenen una longitud d'onda més petita que la de les llums de l'espectre; d'altres (infra-roigues, ondes hertzianes) tenen, al contrari, una longitud d'onda més gran que la de la llum. Nosaltres notarem solament ací, que els raigs X tenen longituds d'onda de l'ordre d'una deu-milionèssima de mil·límetre; aquestes són molt més petites que les longituds d'ondes lluminoses.

Fa uns 30 anys, doncs, ningú no posava en dubte la naturalesa ondulatoria de la llum. Però després d'aquest moment s'han descobert fenòmens produïts per les radiacions, fins aleshores inconneguts, que no més semblaven explicables per la concepció corpuscular. El principal d'aquests fenòmens és l'efecte fotoelèctric. Heus ací en què consisteix: quan hom illumina un tros de matèria, un metall per exemple, amb llum o amb raigs X, aquest tros de matèria emet electrons en moviment més o menys ràpid. L'estudi d'aquest fenomen ha demostrat que la velocitat dels electrons expulsats no depèn més que de la longitud d'onda de la radiació incident i de la naturalesa de la matèria irradiada. En canvi, no depèn, de cap manera, de la intensitat de la radiació incident; és, solament, el nombre dels electrons expulsats el que depèn d'aquesta intensitat. A més, l'energia dels electrons expulsats varia en raó inversa de la longitud d'onda i de l'onda incident. EINSTEIN, tot reflexionant sobre aquest fenomen, s'ha apercebut que per explicar-lo calia retornar a una teoria corpuscular de la llum. Ell ha admès que les radiacions són formades de corpuscles que transporten una energia inversament proporcional a la longitud d'onda i ha demostrat que les lleis de l'efecte fotoelèctric es dedueixen fàcilment d'aquesta hipòtesi.

Això, evidentment, ha vingut a constituir per als físics una dificultat, puix que d'un costat hi ha el conjunt dels fenòmens d'interferències o de difracció que demostren que la llum és formada d'ondes i de l'altre costat hi ha el fenomen fotoelèctric i d'altres fenòmens, encara, que demostren que la llum és formada de corpuscles, de *fotons* com hom diu ara. I, encara, cal tenir en compte que la nova teoria corpuscular d'EINSTEIN es serveix per definir l'energia del corpuscle de la noció de longitud d'onda que és estranya a una concepció estrictament corpuscular.

La sola manera de sortir de la dificultat és admetre que la llum és formada d'ondes i de corpuscles tan estretament lligats, que constitueixen com dues fases complementàries de la realitat. Cada vegada que una radiació canvia energia amb la matèria, aquest canvi pot descriure's com essent l'absorció o l'emissió per la matèria d'un foton, i quan hom vol descriure el desplaçament dels corpuscles de llum en l'espai, cal recórrer a la propagació de l'onda. Aprofundint aquesta idea, hom és conduït a admetre que la densitat del núvol de corpuscles que constitueix l'onda lluminosa és, sempre, en tot punt, igual a la intensitat de l'onda associada. Hom arriba, així, a una síntesi de dues antigues teories rivals de la llum i hom pot explicar, a la vegada, les interferències i l'efecte fotoelèctric. El gran interès d'aquesta síntesi és de revelar-nos que ondes i corpuscles són íntimament lligats en la naturalesa, al menys en el cas de la llum. Però si és així per a la llum, per què no pot hom suposar que també és el mateix per a la matèria? Tot l'esforç dels físics havia tendit, fins ara, a reduir la matèria a no ésser més que un vast conjunt de corpuscles, electrons i protons. Però igualment que un foton no pot ésser concebut sense una onda que l'acompanyi, no caldria pensar, així mateix que els corpuscles de matèria, ells també, són sempre escortats d'una onda? Tal és la qüestió capital que ara s'ens presenta.

Suposem que els corpuscles de matèria, els electrons per exemple, siguin sempre acompanyats d'una onda. Del fet d'ésser corpuscle i onda íntimament lligats, el moviment del corpuscle i la propagació de l'onda no són pas independents i a les magnituds mecàniques, velocitat i energia de corpuscle, s'han de poder relligar les grandàries característiques de l'onda, longitud d'onda i velocitat de propagació. Inspirant-se en el lligament que ha d'existir entre els fotons i les ondes lluminoses associades, hom pot, en efecte, establir aquest parallelisme, i aquesta teoria del lligament entre els corpuscles materials i llurs ondes associades és coneguda avui dia sota el nom de Mecànica ondulatoria. Jo no puc, naturalment, exposar ací en detall aquesta Mecànica. Jo em limitaré a dir-vos que ella fa cap a atribuir a la longitud d'onda de l'onda associada a un corpuscle material una valor que varia en raó inversa de la velocitat del corpuscle. Com més ràpidament es mou el corpuscle, més petita és la longitud d'onda de la seva onda associada.

Quan l'onda es propaga lliurement en una regió de l'espai que és de grans dimensions, en relació a la seva longitud d'onda, la nova Mecànica mena a atribuir al corpuscle associat a l'onda el moviment mateix que era previst per les lleis de l'antiga Mecànica. Hi ha, doncs, aleshores acord entre l'antiga i la nova Mecànica. És en particular el que té lloc per als moviments dels electrons que nosaltres podem observar directament i hom s'explica així perquè l'estudi dels moviments dels electrons a gran escala havia conduït a considerar-los com a senzills corpuscles que es desplacen segons les lleis clàssiques de la Mecànica.

Però hi ha dos casos en els quals les lleis clàssiques de la Mecànica no arriben ja a descriure el moviment dels corpuscles tal com el preveu la nova teoria. El primer cas és aquell en el qual la propagació de l'onda associada és limitada a una regió de l'espai on les dimensions són de l'ordre de grandària de la longitud d'onda. És el que li esdevé a un electron en l'interior d'un àtom. L'onda associada a l'electron és, aleshores, obligada a prendre la forma d'una onda *estacionària* anàlega a les ondes elàstiques estacionàries, el lloc de les quals pot ésser una corda fixada pels dos caps, o a les ondes elèctriques estacionàries que poden establir-se en una antena de T. S. F. La teoria demostra que aquestes ondes estacionàries solament poden tenir certes longituds d'ondes ben definides, a les quals corresponen determinats estats de moviment ben definits de l'electron associat; aquests moviments són, precisament, els "moviments quantificats" introduïts per BOHR en la seva teoria de l'àtom i hom s'explica així el fet, fins aleshores molt misteriós, que aquests moviments quantificats siguin els únics possibles per a l'electron contingut en l'àtom.

Hi ha un segon cas en el qual el moviment de l'electron no ha d'obeir, segons la Mecànica nova, a les lleis clàssiques; és aquell en el qual la seva onda associada topa amb obstacles en el curs de la seva propagació. Es produeixen, aleshores, interferències i el moviment del corpuscle associat no és pas ja el que preveu la Mecànica clàssica. Per donar-nos compte de la manera segons la qual les coses passen, deixem-nos guiar per l'analogia amb les radiacions. Suposem que nosaltres enviem una radiació de longitud d'onda coneguda sobre un dispositiu susceptible de donar lloc a les interferències. Puix que nosaltres sabem que les radiacions són formades de fotons, nosaltres podem dir, també, que enviem un eixam de fotons sobre el dispositiu en qüestió. En la regió en la qual es produeixen les interferències, els fotons es reparteixen de tal manera que es troben concentrats allà on la intensitat és més gran. Si ara nosaltres enviem sobre la mateix dispositiu, no una radiació sinó un feix d'electrons l'onda associada dels quals

té una mateixa longitud d'onda que la radiació precedentment emprada, l'onda interferirà de la mateixa manera que precedentment, puix és la longitud d'onda el que regula el fenomen d'interferències. És força natural de pensar, aleshores, que els electrons es concentraran allí on la intensitat de l'onda sigui més gran; en altres termes, en aquesta nova experiència, els electrons es repartiran en l'espai, com ho feien els fotons en la primera experiència. Si hom pot establir que en realitat és això el que passa, hom haurà establert l'existència de l'onda associada als electrons i hom podrà mesurar-ne la longitud d'onda per veure si les fórmules de la Mecànica ondulatoria són verificades.

Per tant, la Mecànica ondulatoria condueix a atribuir als electrons, animats de velocitats usualment realitzades en les experiències, una onda associada la longitud d'onda de la qual és de l'ordre de la dels raigs X (una deu-milionèssima de mil·límetre). Per posar en evidència l'onda dels electrons, cal, doncs, cercar a realitzar amb ells fenòmens d'interferències anàlegs a aquells que hom obté amb els raigs X. Fenòmens d'aquest gènere han estat efectivament obtinguts. Els primers físics que han lograt constatar-los són els Srs. DAVISSON i GERMER del Laboratori Bell de New-York. Jo no us descriuré, però, les seves experiències; jo us parlaré més aviat, de les belles experiències d'un gènere anàleg, encara que un xic diferent, que han estat fetes després pel professor G. P. THOMSON a Anglaterra i pel Sr. PONTE a França, car aquest darrer ha tingut la gran amabilitat de prestar-me clixés que em permeteran de posar-vos els resultats sota els ulls.

Quan hom envia un feix de raigs X sobre una pols formada de petits cristalls orientats en tots sentits, els raigs X són difosos per les molècules regularment disposades que es troben en els petits cristalls i es produeixen interferències entre els raigs X difosos. La teoria preveu que si hom col·loca una placa fotogràfica perpendicularment al

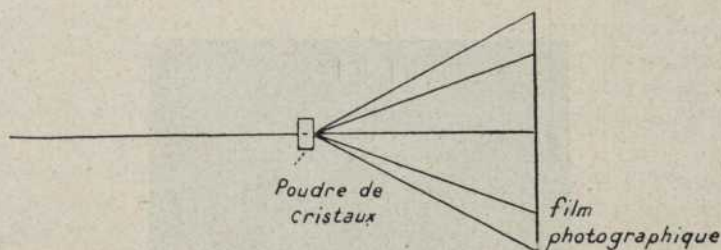


Fig. 1

feix incident de la manera indicada en la figura 1, els raigs X vindran a impressionar la placa fotogràfica segons cercles centrats sobre la direcció del feix incident. L'experiència verifica, en efecte, que hom obté sobre la placa anells negres, que seran blancs sobre el positiu. (clixé 1).

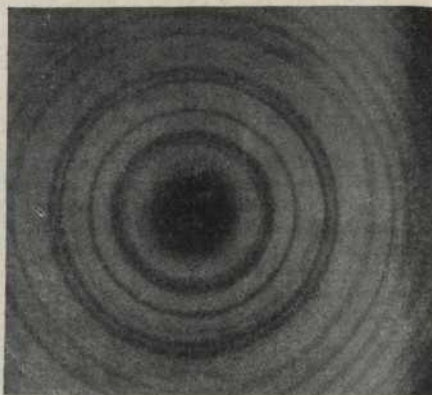
El diàmetre dels anells depèn de la naturalesa de la substància cristal·lina emprada com a difusor i de la longitud d'onda de la radiació. Quan hom emprava amb el mateix difusor raigs X de longitud d'ondes cada vegada més petites, el sistema dels anells resta el mateix, però es comprimeix envers el centre.

Hom pot, a més, emprar en lloc de la pols de petits cristalls una làmina metàl·lica molt prima, un fil metàl·lic, car l'estudi de l'estructura dels metalls ha demostrat que aquests són formats per un conglomerat de petits cristalls encavallats.



Clixé 1

Les experiències que nosaltres acabem de descriure, les primeres de les quals sembla que han estat fetes pel meu germà Maurici des d'abans de la guerra, són, generalment, conegudes sota el nom d'experiències de DEBYE i SCHERRER. Elles proven la na-

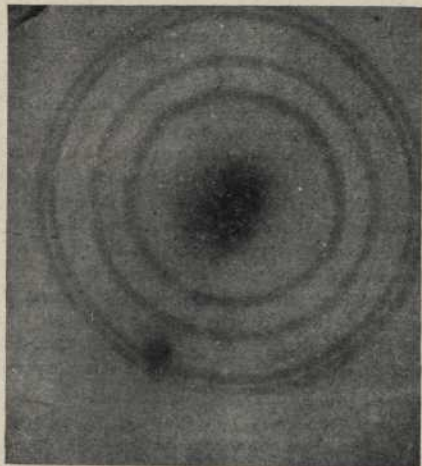


Clixé 2

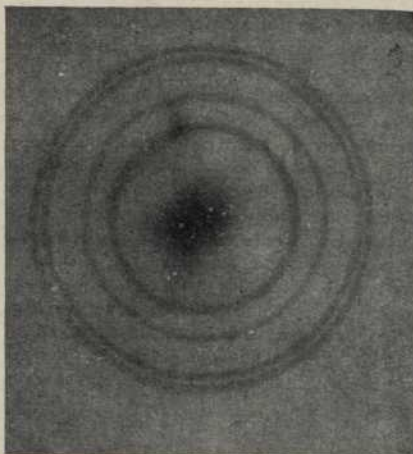
turalesa ondulatoria dels raigs X; però aquesta naturalesa ondulatoria era ja coneguda abans d'aquestes experiències. Si hom logra repetir l'experiència amb els electrons, hom haurà obtingut una prova del caràcter ondulatori de l'electron. És ço que han

pogut realitzar els Srs. THOMSON i PONTE. Heus ací com ha operat el Sr. PONTE: ell envia un feix d'electrons sobre un film d'òxid de zinc format de petits cristalls d'òxid de zinc. Collocant una placa fotogràfica tal com més amunt he indicat, ha obtingut clixés tals com el clixé 2.

El diàmetre dels anells és, exactament, el que preveuen les fórmules de la Mecànica ondulatoria. Aquestes fórmules, nosaltres ho hem vist, ens ensenyen que la longitud d'onda de l'onda associada als electrons és tant més petita com més gran és la velocitat



Clixé 3



Clixé 4

dels electrons. Car si hom envia d'antuvi, sobre l'òxid de zinc, electrons amb una certa velocitat, hom obté un determinat sistema d'anells (clixé 3) i si hom envia, de seguida, electrons de velocitat més gran, hom obté el mateix sistema d'anells, però comprimit vers el centre (clixé 4). L'acord amb les previsions de la Mecànica ondulatoria és quantitatiu a menys de 1 % gairebé.

Les experiències de DAVIDSSON i GERMER, de G. P. THOMSON, de PONTE, i d'altres encara, han provat que l'electron no és pas un senzill petit corpuscle; és, a la vegada, corpuscle i onda. El mateix es pot dir, sense dubte, per al proton, com semblen demostrar-ho recents experiències. Com que la matèria sembla únicament formada d'electrons i de protons, tindrem que la matèria, *com la llum*, és formada d'ondes i de corpuscles. *Matèria i Llum* apareixen, així, com a molt més semblants del que hom suposava en el temps, encara poc llunyà, en què hom considerava la matèria com formada, únicament, de corpuscles. La Mecànica ondulatoria, ha, doncs, embellit i simplificat la nostra concepció de la Naturalesa, i a més, ella ha conduït a preveure aquests fenòmens d'interferències i de difracció dels electrons, dels quals jo acabo de demostrar-vos la prova experimental. Hom pot, doncs, dir que un pas important ve d'ésser acomplert sobre la llarga ruta que mena poc a poc l'esperit humà a un coneixement més exacte dels secrets de la Naturalesa.

LOUIS DE BROGLIE