

Lliçó inaugural

Llum i ones electromagnètiques

MIQUEL CABALLERIA

Els coneixements que l'home ha adquirit durant els dos darrers segles, en els camps de la ciència i de la tècnica li han augmentat la capacitat de modificar les pròpies condicions de vida en un grau molt més alt del que s'havia aconseguit en tota la resta de la història de la humanitat.

Són moltes les ciències i les tecnologies que neixen durant els segles XIX i XX; i són molt grans, i qualitativament importants, els canvis que experimenten les disciplines que ja tenien història. L'Òptica Física, l'estudi de la naturalesa de la llum i la seva interacció amb la matèria, és una bona mostra d'aquestes progressions espectaculars. El coneixement de la naturalesa electromagnètica de la llum ha conduït, en molt pocs anys, a la ràdio, a la televisió, als models actuals de l'estructura de la matèria, a la cosmologia moderna, a l'energia nuclear i a les noves concepcions relativistes de l'espai i del temps.

Totes aquestes contribucions, la meua condició de professor de Física a la carrera d'Enginyeria Tècnica en Sistemes de Telecomunicació, amb el protagonisme de les ones electromagnètiques en aquesta carrera, i el fet que durant el curs acadèmic que avui inaugurem es complirà el centenari de la mort de Hertz, que és qui va obtenir per primera vegada ones electromagnètiques en un laboratori, m'han portat a triar la llum i les ones electromagnètiques com a objecte del meu parlament.

La història del coneixement de la naturalesa de la llum comença pràcticament amb el model d'univers de Descartes. Els coneixements que es tenien abans d'ell es podrien resumir en els tres punts següents:

1r. La llum es propaga en línia recta. Aquest és un dels principis de l'Òptica d'Euclides i serveix per introduir intuïtivament el concepte de raig de llum.

2n. La llei de la reflexió. És coneguda des de l'època dels grecs, i dóna la relació entre l'angle d'incidència d'un raig de llum en un mirall i l'angle de sortida del raig reflectit.

3r. La llei de la refracció. Obtinguda experimentalment per Snell, un contemporani de Descartes, pels volts de 1621. Aquesta llei dóna la relació entre l'angle d'incidència i el de sortida d'un raig de llum que penetra des d'un medi transparent cap a un altre.

Descartes, per construir el seu model d'univers, va partir d'aquests coneixements, però sobretot tenia la voluntat de resoldre el problema de l'acció a distància.

Un dels problemes més importants de la filosofia natural de l'època era el d'explicar com es poden influir mútuament els cossos que no estan en contacte directe, com ara: l'acció de la Lluna

sobre el mar en les pujades i baixades de la marea, o l'acció d'un imant sobre objectes que estan a una certa distància.

Com que només acceptava que la influència d'un objecte sobre un altre es produeix a través d'una pressió o d'un impacte, Descartes imaginà l'espai de manera que fos possible aquest tipus d'interacció. Segons ell, l'espai és ple de matèria, és un «plenum». Descartes postula l'existència de l'Èter, un medi constituït per partícules que estan en contacte les unes amb les altres, imperceptible als sentits però capaç de transmetre forces entre els objectes que s'hi troben immersos. La paraula èter vol dir l'espai blau que està per sobre de l'aire de la Terra.

El Sol, segons el model de Descartes, és el centre d'un immens vòrtex, un remolí format per matèria lluminosa en moviment rotatori. Aquesta matèria en moviment experimenta una tendència a fugir cap a fora, una força centrífuga que la pressiona contra la matèria transparent que omple tot l'espai interplanetari. Finalment, la llum és la transmissió d'aquesta pressió que s'estén instantàniament en totes direccions des del Sol i des dels estels fixos.

Pel que fa a la llum, aquest model només un explica la propagació rectilínea, però Descartes presentà les lleis de la reflexió i de la refracció com una deducció de la seva teoria amb l'ajuda d'una analogia amb el moviment dels projectils. Així, substituint la llum, que es propaga amb velocitat infinita segons el seu model, per projectils que es mouen amb velocitat diferent en medis diferents; i suposant que la llum viatja més de pressa en els medis més densos (segons ell la llum viatja més de pressa en el vidre que en l'aire), reproduïa les lleis de la reflexió i de la refracció.

Malgrat la inconsistència, el model de Descartes tingué una gran repercussió en el desenvolupament posterior de la teoria de la llum. L'èter que ell postulava inspirà la teoria ondulatoria, i la deducció de les lleis de la reflexió i de la refracció inspirà la teoria corpuscular. Aquestes són les dues teories que han intentat explicar els fenòmens relacionats amb la llum des de finals del segle XVII fins avui.

Els progressos més importants que es produeixen a finals del segle XVII i començaments del segle XVIII són deguts, fonamentalment, a la descoberta de tres fenòmens nous, i als treballs de Hooke, Newton i Huygens.

El primer dels fenòmens, descobert per Boyle, és l'aparició d'iridescències de colors quan la llum travessa la fina capa d'aire entre dues planxes de vidre o entre dues lents. En aquest darrer cas apareixen uns anells de colors que més tard s'anomenaren «anells de Newton». Amb els mitjans d'avui dia trobem el fenomen en els colors que apareixen a les bombolles de sabó.

El segon fenomen, observat per primera vegada per Fra Francesco Maria Grimaldi i batejat per ell amb el nom de difracció de la llum, consisteix en la tènue il·luminació que apareix a l'interior de les ombres dels cossos opacs. Aquesta il·luminació prova que alguns raigs de llum s'aparten de la línia recta i dobleguen la seva trajectòria.

El tercer fenomen és el de la birefringència de l'espai d'Islàndia. Els cristalls d'espai d'Islàndia donen dues imatges quan es mira a través d'ells. Erasmus Bartholin, un filòsof danès, explicà el fenomen el 1669 dient que quan un raig de llum entra en el cristall, a l'interior del cristall hi apareixen dos raigs refractats. Un d'aquests raigs compleix la llei de la refracció i, per això, l'ano-

menà raig ordinari, mentre que l'altre, que anomenà raig extraordinari, obeeix a una altra llei que Bartholin no aconseguí de determinar.

El fenomen de la fosforescència, la propietat que tenen determinades substàncies de brillar en l'obscuritat després d'haver estat exposades una estona a la llum solar, és un quart fenomen descobert pels volts de 1630, però pràcticament no va tenir cap influència en el desenvolupament de la teoria de la llum. En un primer moment, l'emmagatzemament de llum que semblava involucrada en el procés impulsà la teoria corpuscular per sobre de l'ondulatòria, però quan es descobrí que les substàncies fosforescents no necessàriament emeten el mateix tipus de llum que han absorbit, les dues teories es van mostrar incapaces d'explicar el fenomen. Només amb el coneixement de l'estructura de la matèria que hem adquirit en ple segle XX ens ha arribat l'explicació.

Pel que fa als treballs, la primera contribució es deguda a Hooke que és el primer defensor de la teoria ondulatòria. Segons Hooke, la llum no és una pressió que es propaga instantàniament, sinó que és un moviment de vibració, una successió d'impulsos de molt petita amplitud que es propaguen molt ràpidament a través de l'èter.

Hooke compara la llum amb les ones a la superfície de l'aigua i introdueix el concepte de front d'ones. En un medi homogeni, el front d'ones és una esfera amb centre en el focus de la pertorbació i que té per radis els diferents raigs de llum. Amb aquest model ondulatori de llum, Hooke pot justificar el canvi de direcció dels raigs de llum en el fenomen de la refracció, però no aconsegueix una deducció correcta de la llei de la refracció.

La següent contribució, seguint l'ordre cronològic, és la teoria del color de Newton. L'any 1661, quan encara era un estudiant, observant la descomposició d'un raig de llum solar en raigs de colors en passar a través d'un prisma, Newton s'adonà que un raig de llum solar de secció circular s'obre en un ventall de raigs de colors de secció oblonga. Després d'experimentar la recombinació i la descomposició dels raigs de colors, arribà a la conclusió que el color és una característica intrínseca de la llum, que ha d'estar associada amb alguna qualitat dels corpuscles de llum o de les vibracions de l'èter.

La llum solar, la llum blanca, és el resultat de la superposició dels raigs de colors que apareixen a l'arc de Sant Martí. El canvi de secció circular a secció oblonga demostrava que el prisma desvia de manera diferent els raigs de diferent color. El poder de refracció del vidre és diferent per als diferents colors.

Després de la teoria del color de Newton apareix la teoria ondulatòria de Huygens. Huygens es va convèncer de la naturalesa ondulatòria de la llum defensada per Hooke, després d'observar els dos fenòmens següents:

En primer lloc, la llum focalitzada a través d'una lent en un punt és capaç d'iniciar una combustió. Per Huygens, aquesta combustió, amb la corresponent dissociació de molècules, era símptoma d'algun tipus de moviment.

En segon lloc, si la llum estigués constituïda per corpuscles, s'hauria d'esperar algun xoc entre ells quan es creuen dos raigs de llum, i aquests xocs no s'observen.

Acceptada, doncs, la hipòtesi ondulatòria, Huygens explicà la propagació de les ones a

través del principi que porta el seu nom. Segons el principi de Huygens, quan la llum arriba a un punt de l'espai posa en moviment la partícula de l'èter que es troba en aquell punt. El moviment d'aquesta partícula, no solament es transmet a la partícula que la segueix en la trajectòria del raig de llum, sinó que es transmet a totes les partícules que estan en contacte amb ella i que s'oposen al seu moviment. Per això, cada punt d'un front d'ones es pot considerar com el focus d'una ona secundària. El front d'ones en instants posteriors s'obté prenent l'envolvent de totes les ones secundàries que neixen en el primer front.

L'aplicació d'aquest principi combinat amb les tècniques de Hooke de seguir l'evolució dels extrems dret i esquerre d'un front d'ones per separat, van permetre a Huygens de deduir les lleis experimentals de la reflexió i la refracció. En el cas de la refracció va haver de suposar, contràriament a Descartes, que la llum viatja més a poc a poc en els medis més densos.

Huygens estudià, també, el fenomen de la birefringència. Amb el seu model ondulatori modificat, fou el primer de donar una teoria que permetia deduir la trajectòria dels dos raigs: l'ordinari i l'extraordinari. Huygens féu, encara, una altra descoberta de cabdal importància. Els dos raigs que obtenia per doble refracció d'un únic raig es comportaven de manera diferent que els raigs de llum ordinaris. Si un dels dos raigs obtinguts per doble refracció es fa incidir sobre un segon cristall d'espai d'Islàndia, segons com estigui orientat aquest segon cristall respecte del primer, es pot obtenir un sol raig refractat o dos.

Newton, que va poder conèixer tota l'obra de Huygens perquè era més jove i el va sobreviure en més de trenta anys, donà el primer pas per a la interpretació correcta de la birefringència amb el seu treball de 1717. Segons Newton, un raig de llum obtingut per doble refracció difereix d'un raig de llum solar, de la mateixa manera que una vareta llarga de secció rectangular difereix d'una altra de secció circular. És a dir, les propietats d'un raig de llum solar són les mateixes per a qualsevol direcció perpendicular a la direcció de propagació, mentre que els raigs obtinguts per doble refracció presenten direccions privilegiades i la refracció depèn de l'orientació d'aquestes direccions privilegiades respecte del pla principal del cristall.

Que un raig de llum tingués aquestes propietats portà Newton a rebutjar l'analogia entre la llum i les ones de so i a criticar la hipòtesi ondulatoria de la llum. Aquesta crítica fou interpretada per la majoria de filòsofs de l'època com un posicionament de Newton a favor de la teoria corpuscular i, per això, la teoria corpuscular s'imposà durant tot el segle XVIII.

El següent pas qualitativament important no es dona fins al començament del segle XIX amb els treballs de Young i Fresnel.

Young, inspirant-se en l'explicació que donà Newton a les marees que es produïen en el port de Batsha a Tonquin, formulà la llei de la interferència.

Newton havia explicat que, quan una marea es propaga des de l'oceà a través de canals diferents cap a un mateix port, si en el viatge pels diferents camins no tarda el mateix temps, la composició de les diferents pujades i baixades del nivell del mar dona lloc a una marea nova i més complicada.

Imaginant ones a la superfície de l'aigua, i amb el mateix tractament de Newton, Young raona que si dues sèries d'ones entren en un mateix canal, les dues sèries combinen els seus efectes. Si entren en el canal de manera que les elevacions d'una coincideixen amb les elevacions de l'altra, el resultat serà una sèrie d'ones amb elevació més gran i, en aquest cas, es produeix una interferència constructiva. Si, per contra, les elevacions d'una sèrie coincideixen amb les depressions de l'altra, les elevacions ompliran totalment les depressions i la superfície de l'aigua quedarà plana. En aquest cas tenim una interferència destructiva.

En aquesta exposició Young demana que les ones de les dues sèries siguin iguals. És a dir, que la distància entre dues elevacions consecutives, la longitud d'ona, sigui la mateixa en les dues sèries.

Aquest mateix efecte es produeix quan es barregen dues porcions de llum. Sempre que dues porcions del mateix tipus de llum arribin a l'ull per camins diferents, la llum esdevé més intensa quan la diferència de camins és un múltiple de la longitud d'ona i menys intensa en els altres casos. A través del seu dispositiu experimental aconseguí de mesurar la longitud d'ona de la llum, i troba que els diferents colors tenen diferents longituds d'ona. Seguint el mateix ordre en què apareixen els colors en descompondre la llum blanca, aniríem des del vermell, que té la longitud d'ona més llarga, fins al violeta, que té la longitud d'ona més curta.

L'any 1808 Malus va descobrir que la llum que ha estat reflectida a la superfície d'una substància transparent presenta, en un cert grau, la mateixa propietat que els dos raigs de la birefringència i anomenà polarització aquesta propietat. El treball de Malus demostrà que la polarització de la llum reflectida és incompleta; només per a un angle d'incidència en particular, que depèn del material que reflecteix la llum, la polarització del raig reflectit és total.

L'any 1815, Brewster descobrí que la completa polarització del raig reflectit es produeix quan els raigs reflectit i refractat formen entre ells un angle de noranta graus.

Després del principi d'interferència de Young els èxits del model ondulatori s'encadenaren ràpidament.

L'any 1816, Fresnel explicà completament la difracció aplicant el principi d'interferència. Aquell mateix any, l'experiment d'Aragó-Fresnel demostrava que la llum polaritzada en direccions perpendiculars no presenta el fenomen de la interferència. Young explicà l'experiment suposant que la llum és una ona transversal; és a dir, les vibracions d'un raig de llum es produeixen en perpendicular a la direcció de propagació, exactament igual que en el cas de les ondulacions d'una corda. En el cas del so, com en el cas de totes les ones mecàniques que es propaguen per un fluid, les vibracions només es poden produir en la direcció de propagació de l'ona i, per això, s'anomenen ones longitudinals.

Fresnel va fer veure que en medis rígids que es resisteixin a la distorsió poden existir, a més a més, ones transversals. A partir d'aquest moment, s'inicià l'estudi de les ones transversals en sòlids rígids i la seva aplicació al cas de la llum que es propaga per l'èter. En aquesta línia, el treball de Fresnel s'orientà a construir una teoria de la llum basada en les propietats dinàmiques dels medis transparents. Fresnel aconseguí d'explicar la reflexió, la birefringència i la llei de Brewster a partir d'uns quants principis, però els desplaçaments que utilitzava en les vibracions de l'èter no es po-

dien entendre com els desplaçaments d'un medi elàstic típic perquè presentaven discontinuïtats. Malgrat tot, la teoria de Fresnel és totalment correcta. Després d'establir-se la naturalesa electromagnètica de la llum, l'electromagnetisme permetria de reinterpretar aquests desplaçaments en termes de camp elèctric i de camp magnètic i s'obtenia, així, la teoria actual de la reflexió i de la refracció de la llum.

El 1850, Foucault i Fizeau portaren a terme un experiment imaginat per Arago que permeté de mesurar directament la velocitat de la llum a l'aire i a l'aigua. El resultat de l'experiment mostrà que la llum viatja més ràpidament en l'aire, que és el medi menys dens. Aquest resultat acabava de rematar definitivament la teoria corpuscular.

En aquest punt, hem de retornar al fenomen de la descomposició de la llum blanca en llums de colors. Anomenem espectre de la llum el ventall de raigs de colors que apareixen en la descomposició. L'espectroscòpia ens permetrà de fer nous progressos en el coneixement de la interacció entre llum i matèria.

L'any 1802, Wollaston descobrí que l'espectre de la llum solar presentava unes ratlles fosques. Faltava la llum de determinats colors o, en termes de la longitud d'ona introduïda per Young, faltava la llum de determinades longituds d'ona.

L'any 1826, W.H. Fox Talbot descobrí que l'espectre de la flama permet de saber quines substàncies s'estan cremant. Cada substància dona un espectre diferent, on dominen uns colors diferents. El treball de Fox Talbot marcà el començament de l'aplicació de l'espectroscòpia a l'anàlisi química.

L'any 1833, W.H. Miller examinà l'espectre de la llum solar després de passar a través de diferents gasos i trobà ratlles fosques degudes a l'absorció de la llum per part dels gasos. A partir d'aquesta observació, s'acceptà que les ratlles negres descobertes per Wollaston, i descrites amb més detall per Fraunhofer, són degudes a l'absorció de la llum per part dels gasos situats a les capes més externes del Sol.

El 1853, Ångström descobrí que un gas incandescent emet raigs lluminosos de la mateixa longitud d'ona que els que absorbeix a temperatura ordinària.

Resumint totes aquestes contribucions, Kirchhoff presentà els anys 1859 i 1860 el tractament més complet de tots. Segons el treball de Kirchhoff, un gas incandescent només emet radiacions de determinades longituds d'ona, les quals són característiques dels àtoms que componen el gas. Així, l'espectre de la llum emesa per un gas incandescent, espectre d'emissió, és un conjunt de línies brillants. Contràriament, si el gas és fred i a través seu passa llum constituïda per radiacions de diferent longitud d'ona, el gas absorbeix les mateixes radiacions que és capaç d'emetre, i origina línies fosques que anomenem espectre d'absorció. Les ratlles de l'espectre constitueixen els senyals d'identitat dels elements químics i en permeten inequívocament la identificació.

Aplicant aquest darrer principi, l'any 1871 N. Lockyer postulà l'existència d'un nou element químic, l'heli, en descobrir una ratlla groga desconeguda a l'espectre de la cromosfera del Sol. Anys més tard, W. Ramsay aconseguí aïllar aquest nou element al laboratori i comprovà que les ratlles del seu espectre coincidien amb les observades en l'espectre de la cromosfera.

El treball de Kirchhoff va més enllà gràcies a l'aplicació de la termodinàmica. Defineix un cos negre com un objecte capaç d'absorbir tota la radiació que li arriba i demostra que el poder d'emissió de cada objecte, a una determinada temperatura, és igual al producte del poder d'emissió del cos negre, a aquesta mateixa temperatura, pel coeficient d'absorció de l'objecte.

Seguint amb el tractament formal de l'espectre, l'any 1871 Johnstone Stoney introduí el concepte de nombre d'ones, que és la inversa de la longitud d'ona, i mesura el nombre d'ones que caben en una determinada longitud. D'aquesta manera, i representant l'espectre en una escala de nombres d'ones, els espectres dels diferents elements comencen de presentar regularitats.

L'any 1885, J. Balmer trobà una relació numèrica que permet d'obtenir els nombres d'ona de la sèrie de línies espectrals de l'hidrogen.

Finalment, l'any 1890 J.R. Rydberg obtingué una única fórmula general, que és capaç de reproduir les sèries espectrals de tots els elements de la família dels alcalins, fins i tot la de l'hidrogen.

En aquest punt deixem l'espectroscòpia: el treball de Rydberg i els progressos que vingueren després són posteriors al coneixement de la naturalesa electromagnètica de la llum.

Arribem al final amb el treball de Hertz i la connexió definitiva entre llum i electromagnetisme. En el moment que Hertz inicià les investigacions, l'electromagnetisme era una teoria desenvolupada des de dos punts de vista diferents.

El primer punt de vista, que era el de gairebé tothom menys els britànics i, per tant, el punt de partença de Hertz, és el dels físics matemàtics. Els treballs de Coulomb, Poisson, Ampère, Weber i Helmholtz entenien les accions electrostàtiques i electrodinàmiques com pures accions a distància, que ni afecten ni són afectades pels medis aïllants interposats.

El segon plantejament és el de l'electromagnetisme de Maxwell, que s'inspirà en el concepte de línies de força de Faraday.

Faraday rebutjava el concepte d'acció a distància i proposava que l'acció magnètica d'un cos sobre un altre es transmet a través de partícules intermèdies. Segons Faraday, les línies que dibuixen les llimadures de ferro quan es troben en les proximitats d'un imant permeten visualitzar aquesta transmissió i explicava els fenòmens elèctrics i magnètics a través de la influència entre les línies de força i els materials.

Maxwell donà expressió matemàtica a aquesta concepció. Segons Maxwell, les accions elèctriques i magnètiques es transmeten a través d'una polarització dels diferents medis en què es propaguen. D'aquesta manera, obtingué que dins dels materials aïllants, i també en el buit, s'hi propaguen pertorbacions elèctriques en forma d'ones transversals, que tenen la mateixa velocitat de propagació que la llum. Impressionat per aquesta coincidència, Maxwell afirmà la identitat entre propagació de la llum i propagació dels fenòmens elèctrics i magnètics.

De fet, els treballs de Faraday ja havien establert una primera relació entre llum i electromagnetisme. L'any 1845, Faraday descobrí que determinats materials sotmesos a camps magnètics intensos giren el pla de polarització de la llum que viatja a través seu.

Per situar l'obra de Hertz hem de tenir en compte que, en el moment que comença a treballar, les dues teories que acabem de presentar explicaven satisfactòriament la totalitat dels fenòmens electromagnètics coneguts. Helmholtz, professor de Hertz i director dels seus primers treballs, havia desenvolupat un model teòric que pretenia reinterpretar la teoria de Maxwell. Els primers treballs de Hertz intenten explorar aquesta possibilitat i el porten, finalment, a obtenir les ones electromagnètiques predites per Maxwell.

L'any 1879, l'Acadèmia de Ciències de Berlín proposà com a tema de concurs trobar experimentalment alguna relació entre les forces electrodinàmiques i la polarització dielèctrica dels materials aïllants. Hertz, a proposta de Helmholtz, avaluà les possibilitats que tenia d'obtenir algun resultat i arribà a la conclusió que no es podia aconseguir cap resultat amb els oscil·ladors elèctrics que tenia a disposició en aquell moment. Interessat pel problema, decidí intentar atacar-lo quan tingués millors oscil·ladors.

A finals de 1886 construí l'oscil·lador que li feia falta. L'oscil·lador de Hertz era essencialment una vareta de coure amb una bola a cada extrem, tallada pel mig i amb dues boletes petites en els dos extrems del tall. Aquestes boletes estaven situades molt a prop l'una de l'altra per facilitar el salt de guspies quan passa corrent per la vareta. Amb l'acció d'un carret de Ruhmkorff aconseguí un corrent oscil·lant d'alta freqüència que fa que es vagin alternant càrregues elèctriques de signe contrari en les dues boles grans. Mentre duren les oscil·lacions circula un corrent altern per la vareta que es detecta a través de les guspies que salten entre les boletes petites.

L'any 1887 estudià la influència del seu oscil·lador sobre un altre circuit obert situat a una certa distància. En detectar corrent en aquest circuit secundari, tenia al davant sense saber-ho, les primeres ones de ràdio. En un primer moment només parlà d'«acció inductiva d'un circuit obert», però els experiments efectuats l'any següent van acabar de convèncer-lo de la realitat de l'existència de les ones electromagnètiques. Els treballs posteriors van ser espectaculars, va aconseguir de reflectir les ones electromagnètiques en superfícies conductores, va aconseguir la refracció fent passar les ones per un immens prisma de massa asfàltica de 1200 Kg i, fins i tot, va aconseguir diferenciar entre l'ona de camp elèctric i l'ona de camp magnètic.

Al cap de poc temps que Hertz donés a conèixer els seus experiments, van començar els intents d'utilització de les ones electromagnètiques com a mitjà de comunicació.

L'any 1896, Marconi patentà el primer sistema pràctic de radiotelegrafia i, l'any següent, creà la seva pròpia companyia de Telegrafia sense fils. Pel març de 1899 la companyia de Marconi establí comunicació per ràdio, per primera vegada, a través del Canal de la Mànega, i el 12 de desembre de 1901 s'establí comunicació, per primera vegada, a través de l'Atlàntic.

El treball de Hertz va tenir grans repercussions per un altre cantó.

Per detectar corrent en els circuits, Hertz observava si saltaven o no guspies entre les boletes que intercalava de la manera que hem explicat abans. Amb aquella disposició experimental, saltaven guspies en l'oscil·lador, en el circuit secundari i, també, en el carret de Ruhmkorff. Hertz va observar que l'existència d'unes guspies ajudava la formació d'unes altres. Després d'estudiar amb deteniment la naturalesa d'aquesta influència, va arribar a la conclusió que la llum ultraviola-

da generada per una guspira tenia l'efecte, en incidir sobre un conductor carregat, d'afavorir el procés de descàrrega. Aquest efecte, que anomenem efecte fotoelèctric, dirà l'última paraula sobre la naturalesa de la llum.

Els treballs de Kirchhoff esmentats anteriorment ens han fet adonar de la importància del concepte de cos negre. A la pràctica, un forn amb una obertura per on pot entrar i sortir radiació, ones electromagnètiques, es comporta com un cos negre. Experimentalment s'havia pogut establir la intensitat de radiació de diferent longitud d'ona que emet un cos negre quan es troba a una determinada temperatura. Aquest resultat experimental seria explicat teòricament per Plank l'any 1900, partint d'una hipòtesi que ell mateix posava en dubte. Per obtenir la llei experimental, Plank havia hagut de suposar que l'absorció i l'emissió d'energia només es poden fer en quantitats que són múltiples d'una quantitat elemental. Cinc anys més tard, Einstein explicaria l'efecte fotoelèctric utilitzant la hipòtesi de Plank. Segons Einstein, les ones electromagnètiques d'una determinada longitud d'ona es comporten com si estiguessin formades per uns paquets d'energia, uns «quanta», que tenen un valor exactament igual a la quantitat elemental que Plank havia trobat.

A partir d'aquest moment, comença la Física Quàntica que ens porta al coneixement actual de l'estructura de la matèria i a l'energia nuclear.

Finalment, la llum havia resultat ser una ona i una partícula alhora. Aquesta ona i aquesta partícula, però, no són pas com pensaven els primers defensors de les teories corpuscular i ondulatòria. Tres-cents anys de Ciència no han passat en va, han servit per descobrir i per explicar molts fenòmens nous. El nivell de benestar que tots aquests coneixements han comportat demostra clarament que s'ha produït un progrés, i que no estem en la mateixa situació d'abans.

Hem de reconèixer que aquest progrés ha estat possible gràcies a l'esforç i al treball de gent que ha estudiat i treballat abans que nosaltres. Aquest esforç i aquest treball comporta també, a nivell personal, l'alegria de comprendre i la satisfacció de conèixer. Crec que aquestes darreres compensacions han estat el motor del veritable progrés de l'home. Moltes gràcies.

BIBLIOGRAFIA

CID, F. *Historia de la Ciencia, "Edad Moderna, II", "Edad Contemporánea"*, Barcelona: Planeta, 1982.

GARCIA DONCEL, M.; ROQUÉ, X. *Heinrich Hertz, "Las ondas electromagnéticas"*, Bellaterra: Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1990.

MAXWELL, J.C. *A Treatise on Electricity & Magnetism, Vol.1, Vol.2*, New York: Dover Publications, Inc., 1954.

WHITTAKER, E. *A History of the Theories of Aether & Electricity, Vol I: The Classical Theories, Vol II: The Modern Theories 1900-1926*, New York: Dover Publications, Inc., 1989.