

L'Impacte de la Hipòtesi Quàntica a Catalunya

ANTONI ROCA I ROSELL

S'ha començat ja a estudiar la introducció i la difusió de la Física Moderna a Espanya. No cal insistir gaire que la importància de completar aquest treball, i de situar-lo en el marc d'una interpretació coherent del què ha estat la Ciència al nostre país, no vol dir res més que fornir les bases necessàries per a una Recerca lligada als interessos nacionals.

En aquest treball volem contribuir a aquesta tasca mitjançant la descripció d'un «microprocés», com és la difusió a Catalunya de les primeres hipòtesis quàntiques. Hem tingut l'ocasió de consultar el material, encara per classificar, de la Biblioteca particular de Barcelona d'Esteve Terradas, cedida testamentàriament a l'Institut d'Estudis Catalans, del qual material, en aquests moments, la Secció de Física de la Societat Catalana de Ciències, filial de l'esmentat Institut, n'és l'encarregada.

L'esquema del nostre treball és: primer, situar breument el primer trencament que hauria de donar lloc a la Mecànica Quàntica; després, comentar l'aportació de Terradas, com a principal portantveu de la Física Moderna a Catalunya, fent referència fonamentalment a un període molt important com és el que va de 1908 a 1915. El situar aquest procés en el marc de la societat catalana del moment quedarà pràcticament fora dels objectius d'aquest treball, malgrat la seva importància; de tota manera hi serà present com a mínim en algunes de les valoracions.

Una revolució en la Física: la hipòtesi quàntica (1).

És prou conegut que Planck plantejà l'any 1900 una llei de la radiació del cos negre que finalment s'avenia amb l'experimentació. Aconsegui

(1) Per a ampliar les referències a la història de la Mecànica Quàntica d'aquest paràgraf i els següents, consultar clàssics com Jammer, Marx: «The Conceptual Development of Quantum Mechanics» McGraw-Hill, 1966; o bé Planck, Max «El Coneixement del món físic», Barcelona, 1969; o Bohr, Niels «Nuevos ensayos sobre Física atómica y conocimiento humano», Madrid, 1970.

deduir-la, malgrat les seves reticències, de la Mecànica Estadística, prescindint de principis importants d'aquesta com és el de l'equipartició de l'energia. La seva llei, però, implicava que l'emissió de radiació es feia per elements discrets d'energia $h\nu$ els quals quedaven fora de les previsions de l'electromagnetisme maxwellià. L'any 1905, juntament amb els articles referents a la Relativitat i al moviment brownià, Einstein llançà una interpretació de l'efecte fotoelèctric que partia de l'existència de quanta d'energia i postulava els quanta de llum que serien més tard anomenats fotons. Aquest article fou molt discutit ja que presentava novament el problema d'interpretar el comportament ondulatori i corpuscular de la llum. La validesa de la llei de Planck, però, feu pensar en la realitat dels quanta. Es pot dir que la Teoria dels Quanta no sortí triomfadora fins al Primer Congrés Solvay, l'any 1911, on s'enfrontaren els treballs de Nernst, Sommerfeld, Weiss i Einstein, defensant les propostes de Planck, anant més enllà que ell, i els defensors de les teories clàssiques de la radiació, ja insostenibles, com Lorentz, i sobretot Rayleigh i Jeans. A partir de llavors, el desenvolupament de la que hom ha anomenat Vella Mecànica Quàntica va ésser imparable: l'aportació de Bohr, el model d'àtom del qual inclou la hipòtesi quàntica, entorn del 1912 i la teoria de les calors específiques dels sòlids formulada finalment per Debye, a la mateixa època, foren algunes de les peces que anaven construint el nou pensament natural que havia de desembocar entre 1925-27 en la «definitiva» síntesi de la Mecànica Quàntica.

Esteve Terradas, professor de Nova Física

A Catalunya la burgesia industrial estava llençant la seva «darrera» ofensiva política, cultural i econòmica, sota el predomini de la Lliga Regionalista. Prat de la Riba entrà el 1907 a la Presidència de la Diputació de Barcelona i es creà l'any 1914 la Mancomunitat de Catalunya. Tot plegat coincidí amb el procés d'electrificació de Catalunya, la modernització de la indústria, de la xarxa de comunicacions (trens, carreteres telèfon,...), amb el llançament d'una política cultural pròpia molt ambiciosa. Es crearen l'Observatori geofísic de l'Ebre (Companyia de Jesús) l'Observatori astronòmic, meteorològic i sísmic Fabra (Acadèmia de Ciències i Arts) l'any 1904; l'Institut d'Estudis Catalans (1907) i la seva Secció de Ciències (1911); l'Estació Aereològica i el Servei Meteorològic de Catalunya, etc.... (2).

(2) Els diversos aspectes són tractats, per exemple, a «Un Segle de Vida Catalana»; a diversos articles de l'Enciclopèdia Catalana; a les publicacions de la Mancomunitat com ara «L'Obra Realitzada»; a Roca, Antoni «Alguns aspectes de la Història de la Física a Catalunya 1900-1939» o a Tura, Josep M., «Algunes realitzacions de la política científica de

Esteve Terradas es doctorà en Física i Matemàtiques l'any 1905. Pel seu origen social i la seva trajectòria professional com a físic, matemàtic i enginyer hom pot lligar-lo a la gran burgesia catalana i a la seva història recent. Éssent catedràtic a Barcelona (1907), fou durante uns anys un dels principals animadors de la incipient vida de les ciències físiques a Catalunya. De la seva llarga trajectòria en el món científic-tècnic espanyol ens interessa, en aquest treball, la seva aportació a la difusió del pensament físic modern. Comentarem els següents papers:

1908. *Congrés de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* a Saragossa.
 - 1) «Sobre la Mecánica Estadística» (23 pàgs.).
 - 2) «Teorías Modernas sobre la emisión de la luz» (21 pàgs.).
1909. Discurs d'entrada a la *Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*.
 - 3) «Sobre la emisión de radiaciones por cuerpos fijos o en movimiento» (46 pàgs.).
1911. Nota al final del llibre «Química inorgánica» de J. Mañas i Bonví.
 - 4) «Sobre la constante de Avogadro-Lodschmidt» (38 pàgs.).
1912. 5) Conferències, en el si dels *Cursos Monogràfics d'Alts Estudis i d'Intercanvi*, sobre «Els elements discrets de la matèria i de la Radiació» (Manuscrit) (3).
1915. (?) 6) Publicació per l'Institut de Ciències de les anteriors conferències segons apunts d'I.Pòlit (69 pàgs.).
- 1915-16 (?) 7) «El Radi», n.º 5 de la Col. lecció Minerva (31 pàgs.).
1922. 8) Enciclopedia Espasa-Calpe. «Quanta, Teoría de los» (19 pàgs.).

Farem alguns comentaris de conjunt d'aquests papers i de la personalitat de Terradas. Cal tenir en compte que Terradas se sentia més matemàtic que físic i que s'atura molt sovint en ells problemes de càlcul que planteja l'exposició, segurament per la (baixa) preparació matemàtica que suposa als seus possibles lectors. Per altra banda hom pot constatar el seu interès en remarcar que la seva informació prové d'articles originals o de textos no traduïts. Per exemple el treball 8), que té una extensió d'uns 50 holandesos, inclou una bibliografia que costa de 113 articles i 17 monografies o llibres, la major part, fonts originals.

Dels 8 textos presentats, el més interessant és el que recull les conferències sobre els elements discrets de la matèria i de la radiació, en les seves dues versions, manuscrita (incompleta) i publicada. Aquests textos corres-

l'I.E.C. durant la Generalitat dels anys Trenta» aquests dos darrers publicats al Butlletí de la Societat Catalana de Ciències.

(3) Aquest manuscrit és fins ara inèdit, a diferència de les altres publicacions de Terradas que citem.

ponen a una època clau en la història de la Teoria dels Quanta. Nosaltres intentarem fer veure fins a quin punt Terradas fou capaç de seguir els esdeveniments al món de la Física i com modificà les seves idees entre 1912 i 1915.

En canvi, l'article de l'Enciclopedia Espasa (1922), ja és una mostra del nivell d'assimilació que Terradas havia aconseguit de gairebé tot el que s'anomena Vella Mecànica Quàntica. (Per fer el mateix en relació a la nova Mecànica Quàntica hauriem d'acudir a les seves notes del període 1932-34 i als seus escrits del 1943, endavant).

En els treballs de 1908-09, clarament anticipats, en un moment en què la teoria dels quant de Planck era enormement discutida pels «estats majors» de la Física, Terradas mostra el fracàs de les lleis de radiació clàssiques i, seguint la deducció de Planck, presenta aquesta teoria com a desestabilitzadora de l'edifici teòric establert, però sí concordant amb l'experiència. Diu: «Ante el resultado de Jeans no hay más remedio que, completar o transformar los principios teóricos de la electricidad en uso hoy día, o bien criticar los experimentos realizados (...) o bien concebir el estado de equilibrio a que se refiere la fórmula encontrada como un estado normal que exigiría para establecer un tiempo indefinido». Les transformacions o els afegits a la teoria clàssica hauran d'ésser, per a Terradas, resultats a partir de la teoria de Planck, i del principi de relativitat que presenta aplicat a l'Electromagnetisme, sense consciència, sembla, del paper com a Mecànica que havia de tenir.

El treball 4) és molt típic de l'estil de Terrades. En ell, repassant un ampli ventall de parts de la física, entre elles, la teoria de la radiació de Planck, obté de diverses formes el nombre d'Avogadro. La teoria de Planck és presentada com la que l'experiència confirma.

Les Conferències del 1912

De les 4 (?) conferències que Terradas donà, es conserven els manuscrits de la primera, «completa», part de la segona i indicacions de les altres. Per altra part, les conferències foren publicades l'any 1915 (?) dins la «Col·lecció de Cursos de Física i Matemàtica» dirigida pel mateix Terradas i publicada per l'Institut de Ciències, que assolí 6 números. Els anys transcorreguts fan que l'edició, sobre les notes de I (sidre) Pòlit no coincideixi en alguns punts importants amb el manuscrit.

En la primera conferència, Terradas presenta el panorama general de la idea del caràcter discret de la matèria i de la radiació. Des de certes escoles de pensadors grecs fins als químics del XIX, la hipòtesi atòmica ha tingut una certa continuïtat fins a arribar a establir-se. Al manuscrit trobem l'afirmació: «(La hipòtesi de l'àtom) per no haber sigut encara

objecte d'observació directa (és) sols per ara una hipòtesis, hipòtesis, això sí, de extraordinaris aspectes de certesa». A l'edició de lles conferències això no apareix i sí una referència poc profunda al model atòmic de Bohr, conduïnt el lector al «Bohr Philosophical Magazine» del 1915. Després Terradas ens explica la consolidació de l'electró com a partícula elemental de l'electricitat. Menciona les experiències de Millikan i de Wilson. Semblant és el cas del magnetisme amb la hipòtesi del magnetó que explica la formació de ratlles espectrals, i ens posa com a referències les experiències de Knipping i Laue amb raigs X; finalment Terradas presenta l'intercanvi d'energia com a quantificat, segons $h\nu$.

Ara bé, en el manuscrit hi ha la menció, omesa després, a la quantificació del camp electromagnètic, «físics hi ha com Einstein que no tenen inconvenient en admetre-ho». Aquesta omisió és ben comprensible. Terradas rebutjà la hipòtesi d'Einstein al seu article de l'Espasa del 1922, citant les fonts autoritzades de l'època que ho feien. Al manuscrit es troba, en el de la primera conferència, una menció a la 2.^a hipòtesi de Planck que a l'edició és substituïda per un comentari semblant al final de la 3.^a Conferència, dedicada a la Teoria dels Quanta. En canvi el que ha desaparegut és una concepció com la que ara citem, procedent del manuscrit: «Ara bé les equacions del camp electromagnètic son equacions à derivades parcials que postulan la naturalesa continua de la radiació. Y estan tan arrelades les equacions de Maxwell en nostre coneixement, mereixen de tal manera nostra confiança que els físics s'han resistit sempre á retocarles. Y no es poc retoc el que necessitarian per à representar una emisió y propagació discretas!».

Seguidament presenta el caràcter discret de l'energia i de la matèria com a una necessitat del segon principi de la Termodinàmica, per a interpretar el concepte de distribució més probable que apareix en la definició d'entropia. Dins de la primera conferència, al manuscrit i en una nota de l'edició, Terradas formula la crítica al principi d'equipartició de l'energia, coherent dins la Mecànica Estadística, i al qual va renunciar Planck. Terradas dóna tres raons: 1) la llei de Dulong i Petit de les calors específiques no funciona per a totes les temperatures 2) les grans freqüències no acumulen tota l'energia 3) la llei de Rayleigh de la Radiació no funciona.

La segona Conferència està dedicada a la Teoria dels Gasos Monoatòmics. El tractament que Terradas tria és el degut a Gibbs i Erenhfest. El càlcul segueix la Mecànica Estadística introduïnt el Principi de Nernst, que ha estat considerat com el tercer Principi de la Termodinàmica, que només podria ésser comprès en el marc de la Teoria dels Quanta.

La tercera Conferència presenta la Teoria de la Radiació de Planck. Terradas escull per a exposar-la la formulació de Sommerfeld presentada a «Taschenbuch für Mathematiker und Physiker» (1913). Es lla ressò, com

hem dit de la segona Hipòtesi de Planck, és a dir, la de que només l'emissió és discreta.

La quarta Conferència és una mostra de la Teoria dels Quanta. Està dedicada a la Teoria dels Sòlids Monoatòmics deguda a Debye (i a Einstein, encara que no és citat per Terradas). El càlcul, que parteix de la Teoria de Planck, arriba a la dependència respecte a la temperatura de les calor específiques dels sòlids, a baixa temperatura.

Al manuscrit hem dit que es troben algunes indicacions i notes per a les 2.^a, 3.^a i 4.^a conferències. En una d'aquestes Terradas diu: «Dir solament que la continuïtat correspon a (...) $h = 0$ » que podria indicar que Terradas havia llegit a Planck a «Vorklungen über die Theorie der Wärmestrahlung» (1906) (llibre que Terradas cita en la seva edició de 1913) quan diu, com assenyala Jammer: «La teoria clàssica pot ésser simplement caracteritzada pel fet que el quàntum esdevé infinitament petit», el que es considera com un precedent del Principi de Correspondència formulat per Bohr anys més tard.

Escrits posteriors

Poc després de l'edició dels seus «Elements discrets...», Terradas escriví un opuscle de «Minerva, Col·lecció Popular dels coneixements indispensables», editada per la Mancomunitat, dedicat al «Radi». En ell desciu la fenomenologia de la radioactivitat, i com a element a destacar hi inclou un capítol dedicat a l'àtom de Bohr, descrit de forma qualitativa i encara no molt «decidida».

L'escrit més extens sobre la Teoria dels Quanta, abans de la síntesi del període 1925-27, és el seu article de l'Enciclopèdia Espasa. En ell demostra que, el 1922, la seva lectura de l'anomenada Vella Mecànica Quàntica ja havia madurat de forma ben completa.

Algunes conclusions

Hem intentat mostrar algun aspecte de com Terradas assumí el paper de difusor de la Física Moderna a Catalunya i Espanya. La seva formació, el seu estil de treball, els seus contactes internacionals, la seva situació social, la seva comprensió que la nova física era «matemàtica», la seva confiança en el poder de resolució de la matemàtica..., aspectes que no hem pogut comentar amb prou extensió, el convertiren en un dels primers científics i tècnics «moderns» al nostre país (juntament amb algunes figures com Blas Cabrera, per citar un nom de les Ciències Físiques).

El cas de Terradas no tenia sosteniment, ni origen, en la infraestructura de recerca del nostre país. La vida científica catalana en el terreny de la Física no podia seguir el camí que Terradas iniciava (i que ell mateix no va seguir). Homes destacats com Eduard Fontseré, professor de Terradas, dedicà el seu talent precisament a crear infraestructura científica per a Catalunya, creant el Servei Meteorològic de Catalunya.

Malgrat tot creiem que seguir la trajectoria de les ciències al nostre país, sigui la que sigui, ens ha de donar importants lliçons de cara al futur.