

LOUIS DE
LES ONES DE



Seigneur de 94

BROGLIE I

LA MATÈRIA

Guillem Camarasa

Amb la mort de Louis de Broglie desapareix un dels fundadors de la mecànica quàntica. L'any 1.923 avançava una hipòtesi que li valdria, sis anys després, el Premi Nobel de Física: els electrons no són solament corpuscles, sinó, a més a més, ones. El seu pensament coincidí amb el d'Albert Einstein en el sentit que els processos que es desenvolupen en el camp de la microfísica, haurien de servir un contingut d'espai-temps, distanciant-se, per tant, dels físics de l'anomenada escola de Copenhague. Aquesta controvèrsia entre els físics, que data de l'any 1.927, amb motiu del Vè. Congrés Solvay, resta encara oberta.

L'HOME

Amb la recent mort de Louis de Broglie, a l'edat de 94 anys, desapareix un dels darrers teòrics de la física moderna. Nat l'any 1.892, de nissaga aristocràtica, era difícil d'imaginar que el jove Louis de Broglie esdevindria físic. De tota manera, el seu germà gran, Maurice, ho era i disposava d'un laboratori privat d'assaigs on s'havia especialitzat en els temes de la radiació (raigs x) i l'efecte fotoelèctric. Per aquesta raó Maurice de Broglie fou nomenat secretari del primer Congrés Internacional de Física Solvay, que tingué lloc a Brussel·les l'any 1.911. En acabar el congrés, Louis de Broglie tingué l'oportunitat de llegir dues de les noves teories que s'hi presentaren i que haurien de revolucionar l'edifici de la física moderna: la teoria de la relativitat especial d'Einstein i els quanta de Planck. Decidit a aprofundir en aquests conceptes, Louis de Broglie s'inscriu a la Facultat de Ciències, i al cap de dos anys obté la llicenciatura en Física. Tot seguit comença el servei militar i ben aviat esclata la Primera

Guerra Mundial, que el sorprendrà exercint de radiotelegrafista a la torre Eiffel. La seva feina li mostra a diari un altre dels aspectes de la ciència: les aplicacions tecnològiques. Un cop acabada la guerra, de Broglie s'aplega amb un reduït grup de gent dedicat a la recerca i encapçalat pel seu germà Maurice, alhora que continua amb les seves cabòries sobre qüestions relatives a la física teòrica.

En aquells moments la física teòrica de començaments de segle es trobava en una situació ben especial. Malgrat les innombrables descobertes científiques de caire fonamental dels darrers 50 anys, un bon nombre d'aquestes resten encara per aclarir i molt especialment les qüestions relacionades amb les propietats de la radiació. Les lleis de l'electromagnetisme estan, efectivament, en contradicció amb fets experimentals que ningú no posa en dubte. Sovint per a trobar-ne respostes cal introduir hipòtesis de treball que no tenen cap mena de justificació des d'un punt de vista teòric (agorades). Aquest és el cas, per exemple, dels quanta de llum de Max Planck, que no són altra cosa que la hipòtesi que l'energia s'emet en quan-

titats discretes i que aquestes depenen de la freqüència de la radiació. Aquesta hipòtesi fou proposada l'any 1.900 per a explicar les propietats de la radiació d'un cos negre. D'aquesta manera Planck arriba a la conclusió que en introduir una constant nova en les equacions de la radiació (emissió), els resultats experimentals coincidien amb la teoria. Aquesta constant és la coneguda h (constant de Planck).

Un altre fet semblant ocorregué amb Einstein, el qual, per tal d'explicar l'efecte fotoelèctric, és el primer en batejar amb el nom de fotons l'energia quantificada (dels quanta de llum), l'any 1.905. Aquest postulat li suposarà l'obtenció, l'any 1.927, del Premi Nobel de Física.

Així doncs, la situació de la física es trobava a cavall de dos fets conceptualment revolucionaris: el primer, la formulació de la teoria de la relativitat espacial d'Einstein, fonamentada en els treballs preliminars de H. Lorentz, Poincaré, Minkowski i d'altres; i el segon, el concepte dels quanta de llum per a explicar l'efecte fotoelèctric.

Aquesta era la situació quan Louis de Broglie, en el seu treball de doctorat a la Sorbonne, exposava, amb el títol "Recherches sur la theorie des quanta", la seva teoria sobre els aspectes corpusculars i ondulatoris de la llum.

Val a dir que Albert Einstein ja havia dit l'any 1.909 que tota llei futura sobre la llum hauria d'abastar una síntesi de les teories corpusculars i ondulatòries d'aquesta.

De Broglie proposa una analogia total entre matèria i llum (radiació), de manera que a tota partícula (corpuscle) material (electrons, protons...) cal associar una ona, essent la seva longitud idèntica a h/p (h és la constant de Planck i p la quantitat de moviment de la partícula).

Per analogia, resulta doncs que arriba a establir l'equivalència de la coneguda fórmula de l'energia:

$$mc^2 = hv = E$$

de manera que l'energia d'una partícula no és solament el producte de la seva massa per la velocitat de la llum al quadrat, sinó que també és idèntic al producte entre la constant de Planck h i la freqüència vibratòria de l'ona (aspecte ondulatori).

El concepte d'energia quantificada va permetre al físic danès Niels Bohr formular, l'any 1.913, el seu model de l'estructura atòmica de la matèria. Aquest model, bastit a partir de les hipòtesis quàntiques, va permetre de calcular específicament els espectres característics d'emissió i d'absorció de l'àtom d'hidrogen.

Fins ací, doncs, amb la introducció dels quanta; i el fet que la llum posseeix un caràcter corpuscular i, per tant, discret, deixa obert el camí a una doble interpretació de la natura d'aquesta; una

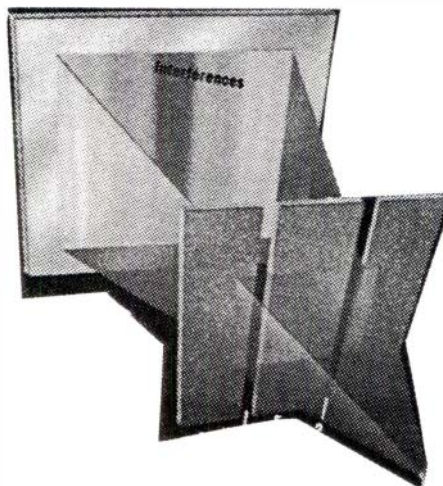


Fig.1 Primer experiment.

La llum passa per dues obertures de manera que les ones es superposen i donen lloc a les clàssiques bandes d'interferència.

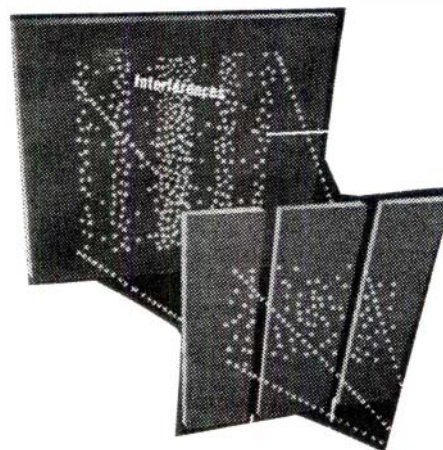


Fig.2 Les mateixes condicions experimentals però en aquest cas hom emprà electrons enlloc de llum. El mateix fenomen d'interferència és observat. Els electrons són també ones.



El Congrés Solvay de 1927 aplega a tots els fundadors de la mecànica quàntica. Entre d'altres: A. Einstein, W. Pauli, L. de Broglie,

de corpuscular (quantificada) i una altra d'onduladòria. Hom parla sovint d'ones-llum, ones-matèria, amb la qual cosa la llum és tractada a voltes com una ona i a voltes com una partícula.

A partir d'ací tot succeeix molt ràpidament. De tota manera, no fou fins l'any 1.927 que la teoria de Broglie va poder ser demostrada experimentalment pels dos físics nordamericans Davison i Germer, que casualment i per primera vegada varen observar els fenòmens d'interferència dels electrons. Aquest primer resultat fou tot seguit plenament confirmat de resultes d'altres experiències fetes per Thomson a Anglaterra, Kikuchi al Japó i Pontes a França.

EL CINQUÈ CONGRÉS SOLVAY

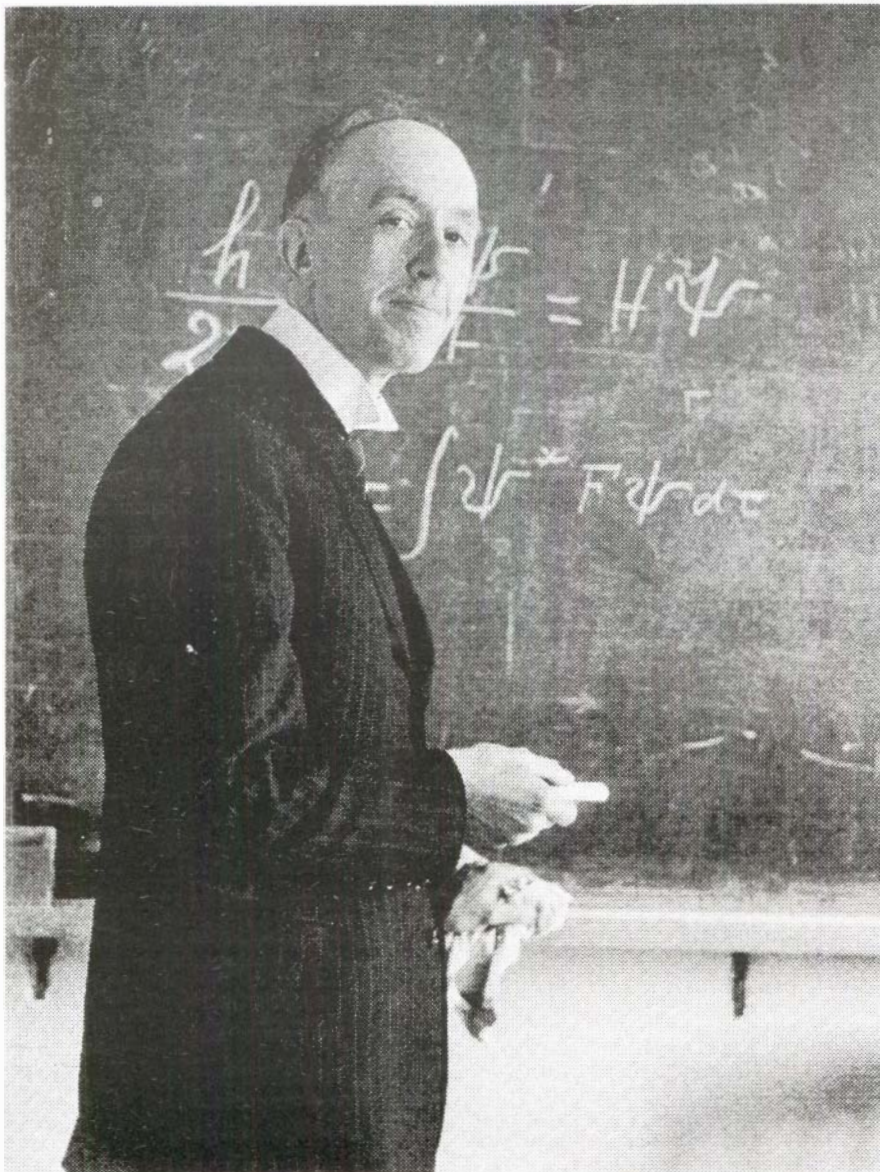
Abans del Vè. Congrés Solvay, però, i gairebé una vegada Schrodinger formulà matemàticament la mecànica ondulatòria de Broglie, els joves físics Heisenberg i Max Born, sota l'aixopluc de Niels Bohr, estableixen un formalisme matemàtic diferent, alhora que equivalent al de Schrodinger. El sentit, però, del formalisme matemàtic de Heisenberg i Born era probabilista i indeterminista, és a dir, l'equació de Schrodinger no descriu realment una ona que es desplaça en un espai físic determinat, sinó que representa una ona probabilista, és a dir, un ens matemàtic en un espai abstracte anomenat espai de configuració. D'aquesta manera, la interpretació donada per L. de Broglie segons la qual

partícula-ona eren dos conceptes interrelacionats i indisolubles, en aquesta nova interpretació probabilística gaudia de "complementarietat", és a dir, de vegades és una ona i d'altres una partícula, però mai les dues coses a la vegada.

Aquesta interpretació fou motiu de neguit per a L. de Broglie, el qual, en un treball publicat el mes de juny de 1.927 en el Journal de Physique, avança una proposta que ell anomena teoria de la doble solució. De fet, es tracta d'una darra temptativa per tal d'interpretar la mecànica ondulatòria en un sentit clàssic, ço és, segons una descripció rigorosa dels esdeveniments en l'espai i en el temps, tot integrant-hi el concepte probabilista de Born. En el Vè. congrés Solvay, que té lloc el mes d'octubre d'aquest mateix any, la seva proposta és rebutjada per la majoria dels participants.

ESCOLA DE COPENHAGUE

De resultes del congrés, es produeix una divisió de parers que hauria de ser definitiva. D'una banda, Einstein, Lorentz i Schrodinger defensen posicions diferents a les de Niels Bohr, Heisenberg, Dirac, en el sentit que tot i que el món de la microfísica hom s'hagi de servir d'altres interpretacions, en cap cas cal renunciar a una interpretació dels fenòmens microfísics en el marc de l'espai i del temps, mentre que els partidaris de l'escola de Copenhague foren del parer que era

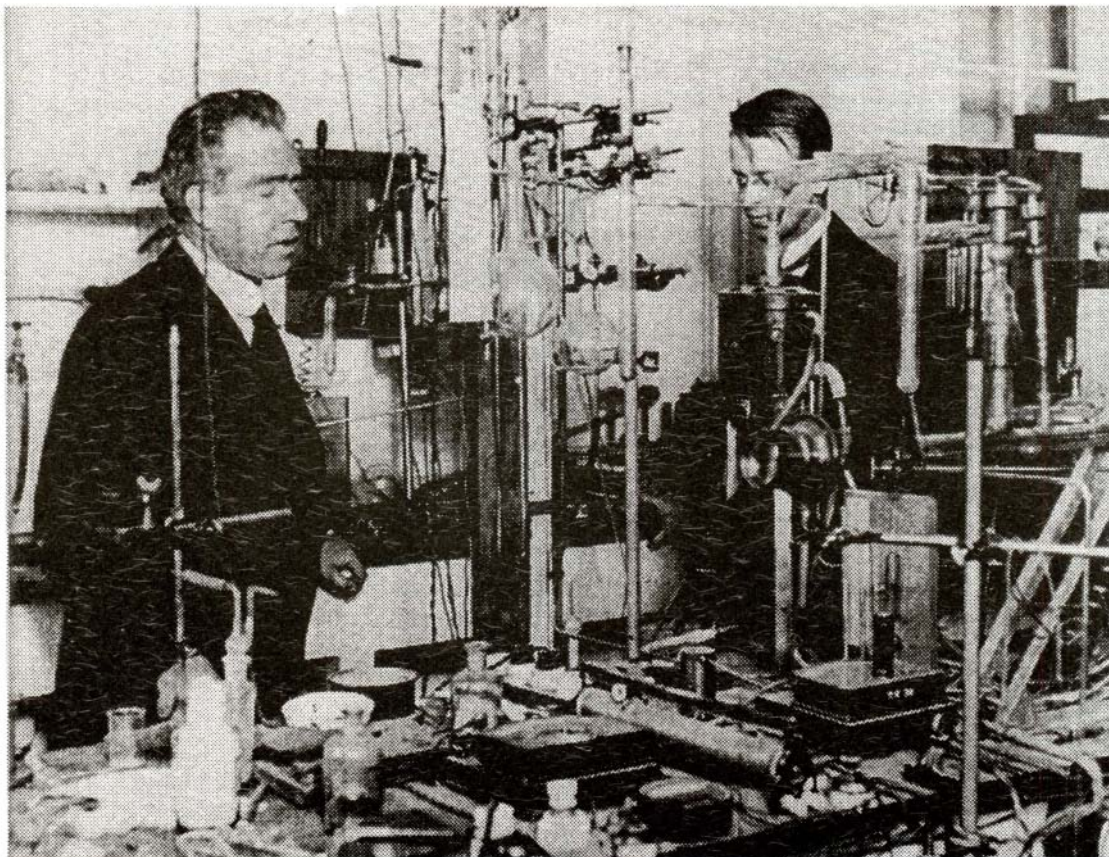


Louis de Broglie explica la mecànica quàntica als seus estudiants. Hom pot apreciar que ho feia d'acord amb el formalisme ortodoxe de l'escola de Copenhague.

suficient disposar de formalismes que permetessin preveure i descriure amb certesa els fenòmens experimentalment verificables.

De fet, restava oberta una qüestió que encara no ha estat definitivament resolta, i que tradueix una interpretació radicalment diferenciada sobre els objectius de les teories físiques en el sentit de: o bé l'objectiu d'una teoria rau en el fet de predir de la manera més exacta possible els moviments reals de les partícules materials en l'espai-temps relativista, o bé cal limitar-se a predir les probabilitats de resultats observables d'acord amb la famosa relació de Heisenberg, segons la qual cap microfenomen ho és mentre no hagi estat observat.

En el decurs d'aquest congrés, que es celebra l'any 1.927 a Brussel·les i que aplega físics com Albert Einstein, Erwin Schrodiger, H. Lorentz, Niels Bohr, Max Born, Werner Heisenberg, W. Pauli, Paul Dirac..., Louis de Broglie exposa el seu concepte d'ona-pilot que guia el moviment d'una partícula real. Solament Einstein, Schrodiger i Lorentz li fan costat, mentre que la resta de físics, els quals a partir d'aquest congrés seran coneguts com els de l'escola de Copenhague, no accepten aquesta interpretació i es reafirmen en el fet que el concepte d'ona és solament un instrument de càlcul matemàtic que serveix tan sols per a assenyalar la probabilitat de trobar una partícula en un moment donat i en un espai determinat.



Niels Bohr aplegà en el seu laboratori un gran nombre de físics joves.

EL DEBAT RESTA OBERT

De resultes del Vè. Congrés Solvay, el debat entre Einstein i els seguidors de l'escola de Copenhague resta clos fins l'any 1.935, en què Einstein, amb les tesis EPR (Einstein-Podolski-Rosen), s'oposa al sentit d'interpretació de la mecànica quàntica. De Broglie fa costat a Bohr i a Heisenberg i, de fet, continua explicant durant més de vint anys la teoria dels seus adversaris, i per tant, formant físics en la més pura ortodòxia quàntica.

Durant el període comprès entre 1.943 i 1.946 treballa en qüestions relacionades amb la física del nucli, per passar més tard a l'òptica electrònica. De fet, tota la seva vida l'esmerça en la ciència. L'any 1.933 és elegit membre de l'Acadèmia de Ciències i n'esdevé, l'any 1.942, secretari general.

ELS DUBTES DE LOUIS DE BROGLIE

No fou fins l'any 1.949 que de Broglie reprèn la qüestió de la mecànica quàntica oficial i insis-

teix en la idea que abans d'aprofundir en la física quàntica cal conèixer els conceptes i els resultats de la física clàssica.

Textualment, els seus arguments són els següents: "A mesura que la mecànica quàntica ortodoxa esdevé més i més abstracta, he començat a repassar els raonaments en què es fonamenten les idees i interpretacions de Bohr i els seus deixebles, a la vegada que torno a analitzar les objeccions que savis tan qualificats com Einstein i Schrodinger en varen manifestar. Haig de dir que el meu criteri es modifica dia a dia tot i que segueixo fidel a la interpretació ortodoxa de la mecànica quàntica.

PRESA DE POSICIÓ

No fou fins l'any 1.952 que es va manifestar obertament en favor d'una reinterpretació de la mecànica ondulatòria d'acord amb les seves pròpies idees originals. El concepte de de Broglie sobre l'ona pilot i la seva realitat física com a portadora de la partícula (ones de la matèria), havia estat reprès per David Bohm i per Jean Pierre Vigièr.



Louis de Broglie, preocupat, a la tardor de la seva existència, pel mateix problema que l'obsessionà en ésser jove.

A partir d'aquest moment, i molt especialment després de jubilar-se com a professor a la Facultat de Ciències, de Broglie va invertir la major part del seu temps a reconsiderar els fonaments de la física teòrica. Seves són les següents paraules: "Avui no existeix cap teoria que permeti d'interpretar per què les partícules actualment conegudes són tan nombroses i per què llurs masses posseeixen valors discrets perfectament establerts, de la mateixa manera que ningú no pot donar-nos una imatge de les nombroses transformacions a les quals aquestes partícules estan sotmeses".

"He estat, ara fa gairebé quaranta anys, un dels iniciadors de la mecànica ondulatoria i de la física quàntica contemporània. Vaig veure -no sense sorprendre'm- l'èxit extremadament ràpid de les meves concepcions, llur verificació experimental i les aplicacions que hom ha fet d'aquestes en dominis força diferents. I, malgrat tot, no n'estic satisfet. A la primavera de la meua vida, em vaig sentir obsessionat per la qüestió dels quanta i la coexistència de les ones i dels corpuscles en el món de la microfísica; vaig també fer esforços

decisius, però alhora incomplets, per trobar-hi una solució. Avui, a la tardor de la meua existència, encara em preocupa el mateix problema; malgrat tants èxits assolits i el camí recorregut, no crec pas que l'enigma hagi estat vertaderament resolt. El futur, un futur que sens dubte no presenciaré, potser resoldrà la qüestió, i testimoniarà si el meu parer actual és fruit de l'error d'un home ja massa vell, el qual ha romàs fidel a les seves idees de jove, o contràriament confirmarà la clarividència d'un home de recerca que s'ha preocupat durant tota la seva vida pels problemes de la física actual".