



Cinquè congrés de la Solvay Conference (1927): amb disset premis Nobel, és considerada la fotografia més important i famosa de la història de la ciència (foto Benjamin Couprie)

# EL MÓN QUÀNTIC: UNA REALITAT TRANSCENDENT PERÒ OCULTA ALS SENTITS

JOAN ÀNGEL PADRÓ

La Quàntica és la branca de la Física que tracta de la matèria i l'energia en l'escala més petita: el món microscòpic de les molècules, àtoms, protons, neutrons, electrons, fotons, etc. Les lleis peculiars que en regeixen el comportament ens semblen inversemblants, ja que són molt diferents de les que observem quotidianament al món macroscòpic, on els objectes estan constituïts per agrupacions de bilions de bilions d'aquestes partícules. Tot i que l'univers quàntic no és directament accessible als nostres sentits, la seva realitat és indubtable i, sense que en siguem conscients, el que passa en el nostre entorn no és més que la conseqüència del que hi succeeix.

La coneixença d'aquest món sorprenent, no sols ha sacsejat la nostra visió de la natura, sinó que ha estat l'element decisiu per a la gran revolució tecnològica iniciada a mitjans del segle XX. Poder controlar la matèria al nivell més bàsic ha permès assolir objectius que, des d'una perspectiva clàssica, resultaven totalment inimaginables. Dispositius avui dia habituals, com el telèfon mòbil, els làsers, el GPS, el microones, els ordinadors, l'RMN, la fibra òptica o el TAC, no existirien sense els coneixements aportats per la física quàntica. Es calcula que més del 30% de l'economia mundial està íntimament vinculada a l'explotació dels principis quàntics, i tot indica que aquest percentatge tendeix a créixer ineludiblement.

## ELS INICIS

La revolució científica es va iniciar al final del segle XVII, quan Newton va establir les lleis de la mecànica i les forces de gravitació amb caràcter universal. El succés de la teoria, que explicava tant els moviments planetaris com els dels cossos terrestres, va impulsar la implantació del mètode científic. Els progressos posteriors, que van abastar els diferents àmbits de la física, van culminar amb la formulació de les lleis de l'electromagnetisme al final del segle XIX. Amb aquests avenços hom considerava que la física era una ciència pràcticament acabada. Quan Planck, amb dinou anys, dubtava sobre el camí a seguir en la seva carrera acadèmica se li va desaconsellar escollir la Física, puix que no hi quedava res important per descobrir. Sortosament no va fer cas del consell i va esdevenir un dels científics més prominents, amb un paper decisiu en el procés de creació de la quàntica.

En els primers anys del segle XX, es van trobar una sèrie de resultats experimentals que no es podien explicar en base a les teories vigents, fet que va obligar a fer una sèrie d'hipòtesis que dibuixaven un món microscòpic amb unes regles molt diferents. El pioner va ser precisament Planck, qui, en tractar d'interpretar les propietats de la llum emesa pels cossos, va haver de suposar que l'ener-

gia no era una magnitud contínua sinó que s'havia de distribuir en nivells discrets d'energia i s'emetia en forma de «quants» (d'aquí ve el nom de la teoria). Aquesta conjectura estava en contradicció amb les teories clàssiques i el mateix Planck reconeixia que la va fer en un «acte de desesperació», pensant que sols era una forma matussera de sortir momentàniament del pas.

Durant el primer quart del segle XX es va desenvolupar la nova teoria. A diferència de la relativitat, creada individualment per Einstein, la física quàntica va requerir la contribució d'un nombrós grup de físics molt eminents, entre els quals també es trobava Einstein. Un dels fòrums més destacats per discutir sobre la nova teoria van ser les Conferències Solvay, que des de 1911 se celebren a Brussel·les amb periodicitat triennial. La més famosa és la cinquena, qualificada com la trobada de ments més extraordinària de la història, puix que disset del vint-i-nou assistents eren o esdevindrien guanyadors del premi Nobel. L'any 1927 la formulació de la mecànica quàntica estava ja molt avançada però, tot i ser àmpliament acceptada pel seu excel·lent acord amb els resultats experimentals, encara hi havia reticències amb relació a la seva interpretació. Una de les batalles dialèctiques més interessants va ser entre Einstein i Bohr, líder de l'anomenada interpretació de Copenhaguen. Per expressar la seva resistència a admetre el paper rellevant que l'atzar jugava en la formulació de la quàntica, Einstein va afirmar que «Déu no juga als daus», a la qual cosa Bohr va replicar: «Deixa de dir a Déu el que ha de fer per governar el món».

### **LA FÍSICA QUÀNTICA EXCLOU LA CLÀSSICA?**

La física quàntica descriu la naturalesa de la forma més precisa, però es tracta d'una disciplina complexa. Una formulació rigorosa requereix utilitzar un llenguatge matemàtic que no és elemental i els conceptes en què es fonamenta

ens semblen, com a mínim, estranys. Com que el nostre sentit comú s'ha forjat a partir de les nostres observacions en el dia a dia, les lleis clàssiques ens apareixen com a molt més naturals i intuïtives que no les quàntiques. Tanmateix, la validesa d'una llei física s'estableix en base als resultats experimentals obtinguts en un laboratori o que ens proporciona l'observació de la natura. Les preferències, complicacions o intuïcions, no tenen cap transcendència a l'hora de ser assumida com a certa per la comunitat científica.

Cal fer notar que la física clàssica es va desenvolupar rigorosament, d'acord amb el mètode científic, i no va començar a trontollar fins que es van escometre experiments en què els esdeveniments a escala atòmica hi jugaven un paper rellevant. La física clàssica és encara plenament vigent i, com que és molt més intuïtiva i permet una formulació notablement més simple, és àmpliament utilitzada, amb la condició de limitar el seu camp d'aplicació als esdeveniments a escala macroscòpica. Només cal acudir a les lleis quàntiques per abordar problemes en els quals el comportament de les partícules subatòmiques hi té un paper rellevant.

### **UN TAST DE FÍSICA QUÀNTICA**

Abans de comentar alguns dels aspectes «exòtics» de la quàntica és convenient fer unes precisions. Com ja hem comentat, les lleis quàntiques sovint ens resulten estranyes, fet que ha donat lloc al plantejament de paradoxes (com la del gat de Schrodinger), normalment basades a imaginar que objectes o éssers grans es comporten com ho farien les partícules quàntiques. Tanmateix, aquesta extrapolació és errònia ja que a «escala humana» les prediccions quàntiques coincideixen amb les clàssiques. D'altra banda, malgrat que la teoria quàntica és avui universalment acceptada per la comunitat científica, algunes qüestions referents a la seva interpretació continuen sotmeses a debat.

Aquestes antigues controvèrsies, que podríem situar en l'àmbit de la teoria del coneixement, tenen més a veure amb la filosofia que amb la ciència i no posen en dubte la validesa de cap de les prediccions basades en les lleis quàntiques.

Segons el principi d'incertesa de Heisenberg, és impossible determinar exactament la posició i la velocitat d'una partícula en un mateix instant. A diferència del que ens suggereix la mentalitat clàssica, les incerteses són una propietat intrínseca de la matèria i no es poden suprimir millorant els instruments de mesura.

Les propietats d'una partícula quàntica queden notablement modificades quan es procedeix a determinar-ne el valor. El caràcter quàntic de la natura suposa que la interacció entre l'objecte i l'instrument de mesura no es pot eliminar totalment, i aquesta circumstància esdevé molt rellevant per als petits objectes de grandària quàntica.

En el món quàntic, una partícula pot estar en diversos estats simultàniament mentre ningú no la observa, però, si algú intenta detectar-la, es decantarà amb una certa probabilitat vers un dels estats. És el que es coneix com a superposició quàntica.

Una altra propietat estranya és l'entrellaçament quàntic. Dues partícules poden estar vinculades i compartir un mateix estat malgrat que en alguns moments puguin estar separades per molts quilòmetres de distància. Així, en formar part d'un mateix ens, allò que li passi a una d'elles influeix instantàniament en l'altre.

En contraposició al món clàssic, en el quàntic no hi ha certeses i per parlar del futur cal fer-ho en termes probabilístics. Aquest aspecte molestava especialment a Einstein, qui considerava que la quàntica era una teoria correcta però encara incompleta. Segons ell, el caràcter estadístic de la nova teoria era degut a la nostra ignorància i no, com opinava l'escola de Copenhaguen, a una propietat intrínseca de la natura. Tanmateix els experiments més recents semblen donar la raó a aquests darrers.

Els principis quàntics també han reviscolat discussions sobre qüestions de caire més aviat filosòfic, a les quals no es pot donar solució des d'una perspectiva científica, però que no tenen conseqüències pràctiques. Un exemple és la clàssica controvèrsia sobre el realisme: els objectes existeixen independentment de l'observador? Hi ha una realitat prèvia a l'experiència d'observar, mesurar o pensar aquella realitat? La realitat observada és la mateixa que abans de fer-ho? Quina seria la realitat de dues partícules amb entrellaçament quàntic?

### CONSEQÜÈNCIES DE LA REVOLUCIÓ QUÀNTICA

Els importants canvis socials, induïts per la revolució industrial durant el segle XVIII, van ser conseqüència d'un millor coneixement dels principis que regulen el comportament de la matèria i l'energia. La física clàssica va servir de base a invents com la màquina de vapor, l'enllumenat elèctric, el telèfon o la ràdio. A mitjans del segle XX va sorgir la possibilitat d'explotar els principis quàntics per dominar la matèria al nivell més fonamental, fet que va generar unes perspectives inesperades. Fixem-nos, per exemple, en les possibilitats que s'obren per a la cerca de nous medicaments. Els procediments actuals, basats en el mètode de prova-error i amb una elevada dependència del factor sort, es poden convertir en dissenys de nous principis actius fonamentats en un coneixement detallat dels processos que es produeixen a nivell molecular.

La primera revolució quàntica ja és una realitat. La comprensió del comportament dels electrons en l'interior dels materials va permetre substituir l'electrònica basada en vàlvules per components semiconductors, i això va dur a una dràstica miniaturització dels circuits electrònics. Els xips, elements bàsics dels dispositius informàtics, tenen el seu fonament en els principis quàntics. La física quàntica ha deixat de ser una raresa confinada als laboratoris i ha esdevingut

un element clau per a l'expansió de l'electrònica i la informàtica que ha envaït les nostres vides.

Una idea de les perspectives de futur, i del que es coneix com a segona revolució quàntica, ens la dona el projecte «Quantum Flagship» (Vaixell Insígnia Quàntic), endegat l'any 2018 per la Comissió Europea, amb una durada de deu anys, una inversió de 1.000 milions d'euros i la participació de més de 5.000 investigadors. Es tracta del projecte científic i tecnològic més ben dotat al continent per a la pròxima dècada, amb l'objectiu de transferir la investigació sobre física quàntica des del laboratori al mercat mitjançant aplicacions comercials. A més de l'imprescindible progrés de la ciència bàsica s'hi contemplen quatre àrees principals:

- Computació quàntica, per fer realitat una nova generació d'ordinadors que, amb una lògica basada en les lleis quàntiques, seran extremadament més ràpids i potents que els actuals.
- Comunicació quàntica, per establir nous procediments criptogràfics que millorin la seguretat de les comunicacions en xarxes a prova de hackers.
- Simulació quàntica, com a eina per explorar la matèria a nivell molecular, dissenyar nous medicaments i materials amb propietats «a la carta» o desenvolupar energies verdes.
- Metrologia i detecció quàntiques, que permetrien fer mesures amb una precisió extrema, necessària, per exemple, per perfeccionar les neuroimatges.

## ADVERTIMENT

L'èxit de la física quàntica ha superat totes les previsions. Cap de les seves prediccions no ha resultat errònia, per la qual cosa ha esdevingut una teoria acceptada universalment. A més, ha estat l'origen d'una revolució tecnològica amb enorme repercussió econòmica i social. Cal advertir, però,

sobre el creixent aprofitament del seu prestigi per part de pseudocientífics i entabanadors, experts a utilitzar termes científics sense cap sentit ni coherència. Les dificultats per comprendre la teoria i el misticisme que poden despertar alguns dels seus postulats més colpidors, són ingredients que han afavorit la difusió d'una moda desafortunada, consistent a emprar l'adjectiu «quàntic» com a tàctica perquè les teories semblin més importants i dotar-les d'una falsa disfressa científica. Cal estar doncs previnguts enfront de l'explicació de fenòmens paranormals en base a «misteris quàntics», o a la utilització espúria d'expressions com «espiritualitat quàntica», «teràpies de guariment quàntic», «esoterisme quàntic»...

**JOAN ÀNGEL PADRÓ I CÀRDENAS** (Igualada, 1948) és doctor en Ciències Físiques. Ha estat catedràtic de Física de la Matèria Condensada de la Universitat de Barcelona i actualment és professor emèrit. També ha estat durant vuit anys degà de la facultat de Física d'aquesta mateixa universitat. Ha dirigit nou tesis doctorals i publicat un centenar d'articles en revistes internacionals especialitzades.

