

L'univers en deu dimensions



La teoria de cordes és, ara com ara, la proposta més consistent per a unificar en un sol marc teòric els dos pilars de la física: el model estàndard, que descriu el microcosmos, i la relativitat general, que s'encarrega d'explicar el macrocosmos.

L'expressió llatina "Pulchritudo splendor veritatis" es pot traduir com 'La bellesa és l'esplendor de la veritat'. La relació clàssica entre veritat i bellesa fou probablement un dels motors que van esperonar Homer a escriure l'*Odissea*, i també una de les motivacions del pensament d'Anaxímenes, que, mitjançant els conceptes de rarefacció i condensació, va encapçalar una de les primeres descripcions de la natura discreta de la matèria. Una altra expressió llatina, també antiga, lliga la simplicitat i la bellesa d'aquesta manera: "Simplex sigillum veri" ('La simplicitat és el segell d'allò vertader'). Aquesta mena de relacions entre veritat, bellesa i simplicitat han continuat il·luminant la ment dels grans pensadors fins a l'actualitat, i més encara la d'aquells qui es dediquen a l'estudi de la matèria a l'escala més fonamental, els físics teòrics. Tot al llarg del segle XX, els físics, en l'afany estètic i simplificador, s'han adonat que la matèria tan sols interactua mitjançant quatre forces: la força gravitatòria, responsable del moviment dels planetes al voltant del Sol; la força electromagnètica, present als imants i als corrents elèctrics; la força nuclear forta, que manté unides les partícules que constitueixen els nuclis atòmics; i la força nuclear feble, responsable de certes classes de radioactivitat natural. Per tant, des d'un punt de vista materialista, hom podria pensar que absolutament tot allò que succeeix és només degut a aquestes quatre causes i que comprenent-les podrem entendre tots els fenòmens de l'univers. Però per què són quatre les forces fonamentals, i no tres, deu o vint-i-quatre, i per què són aquestes i no unes altres, es continuen demanant els físics?

Històries d'unificació. Newton, al segle XVII, fou el primer científic a unificar dues teories, quan va adonar-se que el moviment dels cossos a la Terra —el que hi ha quan llancem una pedra a l'aire— i el moviment dels planetes al voltant del sol són governats per la mateixa força, la gravetat. Més tard, al segle XIX, Maxwell va deixar clar en un elegant conjunt d'equacions que l'electricitat i el magnetisme eren manifestacions diferents del mateix

fenomen. Al segle XX, aprofitant els avenços tecnològics, hom va començar a estudiar la matèria a escala atòmica i van ser descobertes les dues interaccions nuclears, però no fou fins el 1968 que Weinberg, Salam i Glashow van unificar l'electromagnetisme i la força nuclear feble en una mateixa teoria. Durant els anys següents, els esforços dels físics van cristal·litzar en la teoria anomenada *model estàndard*, en el marc de la qual es poden descriure les dues forces nuclears i l'electromagnetisme. El model estàndard aconsegueix, per tant, explicar tres de les quatre forces fonamentals mitjançant una teoria quàntica de partícules: quàntica perquè l'energia –i també més magnituds físiques– no es manifesta amb valors continus, sinó per mitjà de paquets; i de partícules perquè les partícules es consideren puntuals i sense estructura interna. Però, i la gravetat?

El greuge de la gravetat. Actualment, la teoria més precisa i consistent per a descriure la gravetat és la relativitat general, formulada per Einstein el 1915. La relativitat és una teoria clàssica, és a dir, no quàntica, en què l'energia, i la resta de magnituds físiques, es manifesten amb valors continus. Per tant, fins ara, hom disposa del model estàndard, que descriu les forces importants a escala microscòpica –és a dir, tot allò que té a veure amb els àtoms i els seus nuclis– i, d'una altra banda, de la relativitat general, que descriu la força més rellevant a escales macroscòpiques –la que intervé en els planetes, estrelles i galàxies. Ambdues teories funcionen molt bé quan s'apliquen separatament, cadascuna al seu àmbit. La teoria quàntica ha permès, per exemple, de comprendre la interacció entre la radiació i la matèria, que ha donat lloc a aplicacions com el làser, mentre que la relativitat ha permès d'aprofundir en el coneixement dels moviments planetaris, fet que ha servit per a desenvolupar sistemes com el GPS. Tenint en compte la tradició estètica i reduccionista que sempre ha seguit la ciència, el desafiament és evident: hi ha cap teoria que permeti de descriure les quatre forces fonamentals, i, per extensió, tot l'univers?



La teoria que explica els moviments dels planetes, la relativitat general, no casa amb les teories quàntiques que expliquen els moviments dels elements més petits. La teoria de cordes és l'única que les fa encaixar.

La importància d'aquest repte no és solament estètica, sinó que també té una vessant científica. Hi ha situacions en què les quatre forces representen simultàniament papers importants. Aquestes situacions s'esdevenen quan grans quantitats de matèria es concentren en espais molt petits, com en els moments propers al Big Bang o en els forats negres, aquells cossos que creen un camp gravitatori tan intens que ni la llum no és capaç d'escapar-se'n. L'estudi d'aquestes situacions requereix d'emprar la teoria quàntica i la relativitat alhora, però, malauradament, aquestes dues teories semblen, de moment, incompatibles. Fins que no hi hagi una teoria quàntica de la gravetat que unifiqui totes les forces, es mantindrà l'enigma.

Strings 07

Amb l'objectiu de debatre la unificació de les quatre forces, el cas de les dimensions addicionals i més problemes, físics teòrics de tot el món es van trobar a final de juny a Madrid, en la conferència Strings 07. S'hi van pronunciar prop de cinquanta ponències en què es presentaren els darrers avenços que ha experimentat la teoria de cordes.

Història d'una corda. Amb l'objectiu de resoldre aquest gran problema, físics teòrics de tot el món han dedicat els esforços a la recerca d'una teoria unificadora. Ara com ara, la temptativa més consistent és l'anomenada teoria de cordes, que va néixer el 1968, quan el jove físic Gabriele Veneziano va adonar-se que una fórmula esotèrica, inventada dos segles abans pel matemàtic suís Leonhard Euler, reproduïa amb una exactitud sorprenent algunes propietats de les partícules elementals. Analitzant la fórmula d'Euler, es va descobrir que responia a la interpretació física de considerar les partícules elementals com unes petites cordes, i no com uns simples punts, tal com s'havia fet sempre. Aquesta diferència aparentment insignificant és el punt de partida de la teoria de cordes, que estableix que si poguéssim observar les partícules de ben a prop, les veuríem com unes diminutes cordes de 10 a 33 centímetres de longitud. Aquestes cordes, vibrant de diverses maneres, donen lloc a les diverses partícules elementals. És a dir que, segons aquesta teoria, totes les partícules són formades pel mateix tipus de corda en un estat de vibració diferent. Només amb aquesta hipòtesi, la teoria de cordes s'ha erigit com una ferma candidata per a explicar les quatre forces i també per a explicar per què són quatre i per què són com són i no d'una altra manera.

El món en deu dimensions. La teoria de cordes es caracteritza pel fet d'ésser immensament rica, però també molt complicada matemàticament. Una de les conseqüències que presenta és que l'univers en què vivim té deu dimensions. A primer cop d'ull, aquesta afirmació semblaria un motiu per a descartar la teoria, perquè és evident que ningú no ha vist mai cap d'aquestes dimensions addicionals. Però tampoc ningú no ha vist mai un electró, i se sap indirectament que existeix. Així doncs, la qüestió és entendre si és possible l'existència de dimensions addicionals i trobar maneres de detectar-les. De moment, sembla clar que aquestes dimensions extres haurien de ser microscòpiques, tan petites que els nostres sentits no les poden percebre. Aquest fenomen tan sorprenent no incomoda gens els experts en cordes, perquè es pot interpretar de la mateixa manera que allò que passa amb una balena blava i un fil de pescar. Des del punt de vista del cetaci, una bèstia de 30 metres, el fil de la canya d'un pescador no és més que una línia d'una sola dimensió. Però per als microorganismes que formen el plàncton marí, el fil és un autèntic cilindre tridimensional. És a dir, que les dimensions observades depenen de l'escala amb què es faci l'observació. En aquest exemple, nosaltres seríem les balenes, incapaces de veure les dimensions petites, i les partícules, de mida semblant a aquestes dimensions extres, serien el plàncton, capaç d'apreciar tota aquesta riquesa microscòpica. Ara bé, si la matèria és formada per cordes diminutes o no, i si el nostre univers té deu dimensions o no, ho hauran de dir el temps i els experiments. De tota manera, cal tenir sempre present que la física prova d'explicar la realitat mitjançant models, però el coneixement del món microscòpic assolit el darrer segle ha deixat clar que cap model conformat segons la nostra experiència, limitada, no pot descriure l'univers sencer. Tal com deia Schrödinger, un dels pares de la teoria quàntica, podem pensar models compatibles amb l'experiència per comoditat, però seran erronis, potser no tant com un cercle triangular, sinó més aviat com un lleó amb ales.

Toni Pou

“El descobriment de dimensions addicionals seria un dels més importants de la història de la física”

David Mateos es va doctorar en física teòrica a la Universitat de Barcelona. Ha treballat al departament de Matemàtica Aplicada i Física Teòrica de la Universitat de Cambridge, al Perimeter Institute de Canadà i actualment és investigador de la Universitat de Califòrnia, on desenvolupa estudis sobre la teoria de cordes. El 28 de juny proppassat va pronunciar una ponència a Strings 07, la conferència anual de la comunitat científica que treballa en la teoria de cordes.

—**Dins de la teoria de cordes, cap on s'orienta la vostra recerca?**

—Principalment, fins ara, he treballat en dos àmbits diferents. El primer té a veure amb els càlculs de l'entropia d'un cert tipus de forats negres en cinc dimensions (l'entropia és una magnitud física que mesura el desordre d'un sistema i dona una idea del nombre possible d'estats que pot assolir). Aquests forats negres s'anomenen *anells negres* perquè tenen forma de rosquilla. Van ser descoberts teòricament el 2001 i presenten característiques diferents dels seus companys de quatre dimensions; fins a tal punt que la descoberta fou una gran sorpresa per als experts en forats negres de tot el món. El segon àmbit té relació amb les anomenades dualitats AdS/CFT (una dualitat és una equivalència entre dues descripcions diferents d'un mateix sistema físic). Les dualitats AdS/CFT conjecturen que, en certes condicions, una teoria de cordes és equivalent a una teoria de partícules. Això permet de respondre les qüestions formulades en el marc d'una teoria per mitjà de la teoria dual corresponent. La cromodinàmica quàntica, per exemple, és una teoria de partícules que estudia la interacció forta que s'estableix entre els quarks per formar els protons i els neutrons que integren els nuclis atòmics. Però és una teoria complicada en la qual és difícil de realitzar uns certs tipus de càlculs. Mitjançant la teoria de

cordes dual, podria ser que els càlculs fossin més senzills i se'n poguessin obtenir nous resultats. Això s'ha aplicat a l'estudi del plasma que es forma quan es fan col·lidir ions pesants al Relativistic Heavy Iron Collider (RHIC) de Brookhaven, a Nova York. La viscositat d'aquest plasma és molt difícil de calcular usant directament la cromodinàmica quàntica, però càlculs basats en teories de cordes aproximadament duals han obtingut un resultat molt proper a l'observat experimentalment al RHIC.

—**La teoria de cordes permet d'estudiar situacions en què una gran quantitat de matèria es concentra en un espai molt petit, com per exemple els forats negres o els instants propers al Big Bang. S'ha obtingut cap resultat important en estudis d'aquesta mena?**

—Doncs sí. Stephen Hawking va adonar-se a principi dels anys 70 del segle passat que els forats negres tenen una entropia que depèn de la seva àrea. Mitjançant la teoria de cordes, el 1996 es va obtenir el mateix resultat per a un cert tipus de forats negres, partint de principis més fonamentals. Qualsevol teoria que descriu la gravetat quàntica ha de ser capaç de reproduir aquest resultat, perquè si hi ha gravetat hi ha forats negres, i aquests tenen entropia. I, segons la meua opinió, aquest resultat no s'ha reproduït a aquest nivell en qualsevol altra proposta de teoria quàntica de la gravetat. Aquest és, per tant, un dels grans èxits de la teoria de cordes.

—**Una de les crítiques que es fa a la teoria de cordes és la poca capacitat de fer prediccions que es puguin comprovar experimentalment i, per aquesta raó, fins i tot hi ha qui dubta que sigui ciència.**

—La teoria de cordes sí que és capaç de fer prediccions, per exemple, sobre què succeeix en col·lisions de partícules a altes energies. Però passa que amb