



Aturant la llum

La possibilitat de retardar i, fins i tot, d'immobilitzar pols de llum làser obre la porta a interessants aplicacions en el camp de les comunicacions òptiques i la computació quàntica.

Quan era un jove de setze anys, Albert Einstein es va preguntar què podia passar si algú cavalqués damunt una ona de llum, és a dir, hi viatgés a la mateixa velocitat: veuria una ona estacionària, en flagrant contradicció amb les lleis ben establertes de l'electromagnetisme. Aquesta paradoxa el capficà bona part de la seva vida, fins que desenvolupà la teoria espacial de la relativitat. Des d'aleshores sabem que la llum viatja a través del buit a una velocitat constant d'uns 300.000 km/s i aquest valor no pot ésser superat per cap objecte físic. Per exemple, un raig de llum que parteix de la

Lluna ens arriba poc més d'un segon després de la seva sortida. A altres medis la seva velocitat varia: per exemple, en el cas de l'aigua, es propaga amb una velocitat que té un valor igual al 75% del que té al buit. La reducció de la velocitat de la llum que s'esdevé quan es propaga a través d'un determinat material té un límit, de manera que, en situacions físiques ordinàries, hom no observa velocitats lumíniques gaire més baixes que les que s'observen a l'aigua.

Si l'hipotètic genet cavalqués sobre la de llum làser que es produeix en un laboratori de Cambridge (Massachusetts) quedaria ben sorprès, perquè hi



S'ha demostrat la possibilitat de control sobre el flux d'informació òptica i que aquesta pot tenir importància pel que fa a la seva aplicació en computació quàntica i en el camp de les comunicacions òptiques, encara que és massa aviat per assegurar-ho amb certesa.

fan passar la llum per un núvol de gas extremadament fred i veuria com la pols pot arribar fins i tot a un estat de complet repòs per uns instants de temps. Aturar la llum sembla que no hauria de ser possible, però cal recordar que la constància de la seva velocitat només s'aplica a l'espai buit. Com s'ha esmentat, quan la llum passa a través d'altres materials alenteix el seu pas, fet que explica fenòmens òptics com el de la refracció.

Aquest fenomen obre la porta a la possibilitat de dur a terme interessants dispositius experimentals i aplicacions tecnològiques que seran objecte de comentar més endavant. A tall d'exemple podem dir que algun dels futurs computadors quàntics podrien basar-se en la manipulació de fotons de llum, de manera que els processos que es descriuen en aquest article permetrien emmagatzemar informació.

L'experiment. Les observacions a què fem referència es dugueren a terme per un equip de físics a l'Institut Científic Rowland de Cambridge, dirigits per la doctora Lene Vestergaard Hau, i feien passar llum làser a través d'un núvol d'àtoms de sodi amb forma cilíndrica (de 0,2 mm de llarg per 0,05 mm de radi) sotmès a un camp magnètic i refredat fins a una milionèsima de grau sobre el zero absolut (prop de 273 °C sota zero), una temperatura més baixa que qualsevol altra que es pugui trobar a la natura, inclòs l'espai profund. La realització dels experiments implica que es pot ma-

nipular pols de llum làser de manera que es pot immobilitzar durant fraccions de segon —entre microsegons i mil·lisegons— i ésser regenerats al cap d'aquest lapse de temps.

Quan el núvol d'àtoms de sodi es troba en les condicions esmentades forma el que en física s'anomena condensació de Bose-Einstein. Les condensacions de Bose-Einstein (les quals prenen el nom dels físics que van predir llur existència, Albert Einstein i Satyendra Nath Bose) fa pocs anys que es poden preparar al laboratori i actualment són objecte d'un intens estudi als Estats Units i Europa —recentment, el Premi Nobel de física s'ha atorgat en aquest camp de la recerca—. Són un efecte purament quàntic, pel qual tots els àtoms involucrats poden ésser descrits per una mateixa funció d'ona, com si formessin un àtom gegant o superàtom, i actuen de forma perfectament síncrona. És aquest superàtom el que ha permès que el grup encapçalat per la doctora Hau hagi pogut dur a terme la immobilització de la pols de llum.

La primera etapa de l'experiment consisteix a fer il·luminar el núvol d'àtoms que forma la condensació de Bose-Einstein amb un raig làser de determinada longitud d'ona —anomenat làser d'acoblament—. Això és perquè normalment el gas no deixa passar la llum, és a dir, és opac a la radiació, i per fer-lo transparent cal il·luminar-lo amb una llum de longitud d'ona adequada. Un cop il·luminat per la radiació d'acoblament, el núvol és transparent a una segona radiació làser de freqüència diferent, que és la que volem aturar. Just quan la pols de làser és tota dins el núvol —en realitat, l'efecte del núvol és "comprimir" la pols enviada, de manera que tota s'hi encabeixi—, el làser d'acoblament és inhabilitat durant unes fraccions de segon, que és el temps que els experimentadors asseguren que la pols de làser és immobilitzada. En aquest moment, el núvol d'àtoms torna a fer-se opac i atrapa la radiació que s'hi havia encabida. Fins que el làser d'acoblament no es torna a encendre, l'ona lumínica roman atrapada dins el núvol sense possibilitat d'escapolir-se'n. Un cop aquest temps s'ha escolat, el làser d'acoblament es torna a

activar, i la pols de llum làser que s'havia retingut es regenera i es posa en moviment, exactament en el mateix estat que tenia tot just abans de desactivar el làser d'acoblament. Per dir-ho més clarament, la pols de llum recomença el seu moviment com si res no hagués passat entremig, llevat que per uns instants de temps ha romàs en un repòs absolut.

Aplicacions. Hom es pot preguntar quina mena de mecanisme és el que hi ha darrere el procés de frenada de les pols de llum. El punt clau és que, a mesura que la pols de llum penetra dins el núvol d'àtoms a baixa temperatura, esdevé un patró de coherència quàntica imprès en els àtoms de sodi, dit d'una altra manera, tota la informació referent al raig de llum és codificada en l'estat quàntic del núvol de gas. Quan la pols és aturada del tot, tots els fotons de llum han estat "impressos" en la condensació de Bose-Einstein que formen els àtoms de sodi. Més tard, quan la llum d'acoblament es torna a activar, la informació continguda en l'estat quàntic del núvol d'àtoms és convertida altre cop en fotons de llum que es propaguen a la velocitat que els correspon, tal com ho feien tot just abans d'entrar-hi.

Això obre la porta a l'aplicació d'aquest fenomen al camp de la computació quàntica (vegeu EL TEMPS núm. 896, pàgs. 59-61). En computació quàntica no es manipulen bits iguals a 1 o 0, com es fa en les computadores actuals, sinó que els càlculs es fan partint de superposicions quàntiques d'1 i 0 —anomenades q-bits—, és a dir, un q-bit és un estat que reproduceix alhora el valor 1 i el 0, cosa que permetria resoldre problemes que les computadores usals tardarien un temps incommensurable a fer-ho. Una de les alternatives possibles considera el fet de construir un computador quàntic els processos del qual es basin en la manipulació de fotons de llum. De la mateixa manera que en els computadores que fem servir actualment la informació és codificada en pols elèctrica, en els computadores quàntics la informació dels elements de càlcul, els fotons, quedaria emmagatzemada en sistemes com el núvol d'àtoms de sodi a temperatura extremadament baixa.

D'altra banda, mentre la pols de llum és en "captivitat" dins el núvol d'àtoms, pot ser encara manipulada més enllà del que s'ha descrit fins ara. Per exemple, amb l'activació/desactivació de la llum d'acoblament mentre la pols de llum és tota dins el sistema, es pot aconseguir trossejar la pols original fins a fer tres segments, amb un retard arbitrari entre si. I no només això, sinó que els diferents segments de pols transmesos poden manipular-se per tenir una durada més curta i una major intensitat.

En definitiva, s'ha demostrat la possibilitat de control sobre el flux d'informació òptica i que aquesta pot tenir importància pel que fa a la seva aplicació en computació quàntica i en el camp de les comunicacions òptiques, encara que és massa aviat per assegurar-ho amb certesa.

També s'ha especulat amb una altra possible aplicació del fenomen, que s'emmarca més aviat en el camp de la recerca bàsica. Amb el mètode experimental tot just descrit, hom pot enviar pols de llum làser a una condensació de Bose-Einstein que, amb el control adequat de les condicions físiques aplicades a la condensació, podria reduir la velocitat de la llum que s'hi propaga fins al punt que iguali la velocitat del so en aquesta condensació —que pot tenir un valor típic d'uns cm/s—.

Això vol dir que el feix de llum làser podria induir oscil·lacions acústiques en el medi, això és, podria induir un estat pel qual el gas que forma la condensació roti i formi remolins quàntics, de manera anàloga als remolins que es formen en un líquid. El grup de recerca que estudia el fenomen proposa simular el comportament al voltant dels forats negres amb aquest sistema, per tal de poder estudiar-ne amb detall llurs propietats.

En resum, s'ha pogut observar empíricament un fenomen —el de la condensació de Bose-Einstein— descrit teòricament fa dècades i que, a part de les importants aplicacions tecnològiques que se'n poden derivar, és d'una gran importància en l'avenç de la recerca fonamental.

Gervasi Herranz