



Aparellaments ultrafreds per Jordi Mur

Guanyador del I Premi Joan Oró a la Divulgació de la Recerca Científica
convoca l'Associació Catalana de Comunicació Científica (ACCC) amb la col·laboració
del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació (DURSI).

Abraçada al sofà, la parella mira per la finestra com la neu cau pausadament sobre els arbres que envolten el refugi on passen un Cap d'Any romàntic, com feia temps que volien. “Quina nevada que està caient!” “Ja anirà bé, a la primavera la neu es fondrà i tindrem aigua per als rius i els camps.” De la transformació de la neu o el gel en aigua, els físics en diem una “transició de fase” o un “canvi d'estat”, ja que l'aigua passa de l'estat sòlid (gel) al líquid (aigua): les molècules d'aigua, que estaven en una xarxa ben ordenada per una atracció que hi ha entre elles, s'han separat per l'agitació tèrmica, i ara corren amunt i avall. Si seguim escalfant, als 100 C tenim una altra transició de fase: l'aigua passa de líquid a gas (vapor): ara les molècules corren molt més ràpid, tant que amb prou feines s'adonen de l'atracció vers les veïnes.

Si seguíssim escalfant, arribaríem a trencar les molècules en els àtoms que les formen (dos d'hidrogen i un d'oxigen), i a temperatures més altes aconseguiríem trencar els àtoms, arrancant-ne els electrons per un costat i els nuclis (protons i neutrons) per l'altre. Tindríem un plasma, l'estat de la matèria dels llamps i del Sol. Ara bé, què passaria si refredéssim un sòlid enlloc d'escalfar-lo? En principi, hi pot haver alguns canvis, com que la xarxa que formen els àtoms canviï d'estructura. Seria com “transformar” un castell 4 de 9 en un (fictici) 3 de 12: tens les mateixes persones (si no comptem la pinya), però distribuïdes de manera diferent. Però, t'ho miris com t'ho miris, segueix sent un castell.

Tanmateix, si hom és capaç de refredar un vapor d'àtoms sense deixar que s'acostin prou per poder formar un sòlid, és possible veure fenòmens nous i apassionants! De fet, ja el 1925 Albert Einstein, basant-se en una idea del físic hindú Satyendra Nath Bose, va preveure que a una temperatura prou baixa els àtoms entrarien en un nou estat, diferent del sòlid, el líquid, el vapor i el plasma. D'aquest estat en diem condensat de Bose-Einstein i, malgrat ser una idea tan antiga, no se'n va poder crear experimentalment cap fins el 1995, quan els grups dels americans Eric Cornell i Carl Weiman i de l'alemany Wolfgang Ketterle van



ASSOCIACIÓ CATALANA DE
COMUNICACIÓ CIENTÍFICA

aconseguir independentment refredar uns gasos molt diluïts d'uns àtoms particulars fins unes temperatures ultrafredes, només unes milionèsimes de grau per sobre del zero absolut (situat a $-273,16$ C). Per això van rebre el Premi Nobel de Física el 2001.

Què tenien d'especial aquests àtoms? La propietat més important és que es tractava de bosons. A finals de la dècada de 1920 es va establir que tots els àtoms poden classificar-se dins de dues categories: bosons i fermions. Els bosons deuen el seu nom a Bose, que en va descriure el comportament. Es tracta de les partícules (al nostre cas, àtoms) que tenen un comportament gregari i els agrada fer totes el mateix, fins al punt que hom acaba confonentles del tot per sota de certa temperatura. És com trencar uns quants ous en un plat: no sabem on comença un i on acaba l'altre i, amb una mica d'habilitat, podem fer-ne una truita, on la identitat de cadascun s'ha perdut del tot. Els físics anomenem aquesta "truita de bosons" condensat de Bose-Einstein. És amb àtoms amb aquest comportament (és a dir, bosònics) que Ketterle i Cornell i Weiman van fer els seus experiments. Per contra, els fermions (que deuen el seu nom a l'italià Enrico Fermi) són poc sociables i volen anar cadascun per la seva banda.

La pregunta és: es pot fer alguna cosa com un condensat de Bose-Einstein amb fermions? El fet que no els agradi estar junts sembla que ho ha de fer difícil. Tanmateix, ens hi podem acostar força! La idea és convèncer els fermions perquè s'aparellin, ja que una parella de fermions es comporta a la pràctica com un bosó i, per tant, pot condensar. Podem comparar aquesta transició amb el que passa en posar una "lenta" en una discoteca: la gent que estava movent-se cadascú a la seva, sense fixar-se massa en qui tenia al costat, passa a buscar una parella concreta amb qui ballar. Una idea com aquesta està en la base de la teoria BCS (per Bardeen, Cooper i Schrieffer, que la van formular) de la superconductivitat, segons la qual aquesta es deu que els electrons (que són fermions), s'aparellin per sota de certa temperatura, i això fa que el corrent elèctric pugui circular per alguns materials sense pèrdues apreciables (com uns bons balladors de vals poden anar girant per la pista sense xocar els uns amb els altres mentre duri la música); en un material normal, els xocs entre els electrons sense aparellar ho fan impossible.

En la nostra recerca hem estudiat la possibilitat de veure quelcom de similar amb àtoms fermiònics, això és, "dels que no s'agraden". Hem vist que, si afegim la proporció adequada de bosons l'aparellament es facilita, com si tinguéssim un equip de "Celestinas" a la pista de ball o, recuperant l'analogia culinària, com si els fermions fossin patates i féssim una truita de patates, on els ous bosons ajudarien

I Premi Joan Oró a la Divulgació de la Recerca Científica

convoca l'Associació Catalana de Comunicació Científica (ACCC)

amb la col·laboració del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació (DURSI).



ASSOCIACIÓ CATALANA DE
COMUNICACIÓ CIENTÍFICA

a superar l'individualisme dels fermions. Un parell de grups experimentals a Àustria i els Estats Units han vist un altre fet sorprenent: afegir cert camp magnètic a un gas de fermions també en facilita l'aparellament, però d'una forma nova. Seria com posar la peça de música de moda, de manera que tothom voldria ballar-la en parella. La gràcia és que el procés és reversible: canviant el camp magnètic podem crear i destruir les parelles repetidament, com si canviéssim contínuament la música que se sent. Entendre ben bé el que passa quan canviem el camp magnètic i quin és el procés pel qual es formen les parelles és objecte d'un intens debat actualment. És precisament per això que penso que aquest és un dels camps d'estudi més excitants de la física avui en dia, amb descobriments nous cada any, i on qualsevol pot esperar de fer una contribució interessant.

Sobre l'autor

Vaig néixer el 1977 a Sant Boi de Llobregat (Barcelona) i em vaig llicenciar en Física a la Universitat de Barcelona l'any 2000, any en què vaig començar el doctorat al departament d'Estructura i Constituents de la Matèria. La meva recerca es centra en els sistemes quàntics de molts cossos, com gasos ultrafreds de bosons i fermions, o sistemes bidimensionals d'heli. Així mateix, amb la beca de la Generalitat de Catalunya de què gaudeixo, he fet diverses estades de recerca a Itàlia i Alemanya.