

LOS CONDENSADOS DE BOSE-EINSTEIN, UNA NUEVA FORMA DE MATERIA *

Los átomos alcalinos enfriados a un nanokelvin tienen unas propiedades muy extrañas de coherencia y superfluidez. Para llegar a ese punto, no basta con el helio líquido ($t = 4,2 \text{ K}$) sino que es preciso "atrapar" y mover los átomos mediante seis haces

de láseres (dos en cada dirección del espacio) y de dos bobinas capaces de crear un campo de confinamiento por campo magnético (Figs. 1a y 1b).

Un fotón absorbido por un átomo le comunica su impulsión y el átomo retrocede (se aplica un truco consistente en regular los láseres ligeramente por debajo de la frecuencia de absorción y, si el

átomo se escapa, él ve, por efecto Doppler, cuál es la frecuencia adecuada para que provoque el retroceso. Es lo que se denomina *melaza óptica*.

Esta pasta, casi inmóvil, no está lo suficientemente fría por lo que se ha recurrido al empleo de ondas estacionarias y a focalizaciones de haces pero sobre todo a la evaporación de una parte de los átomos con el consi-

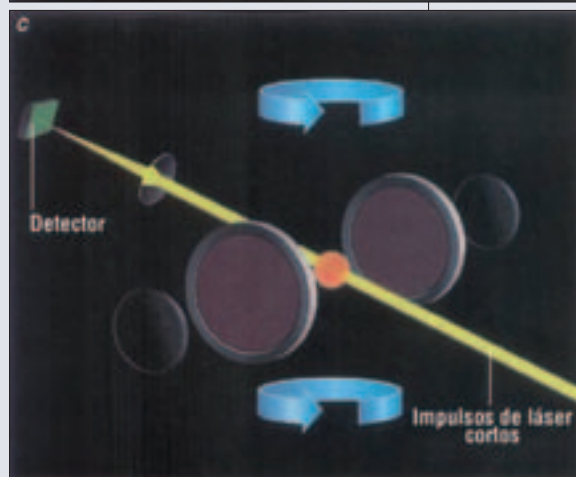
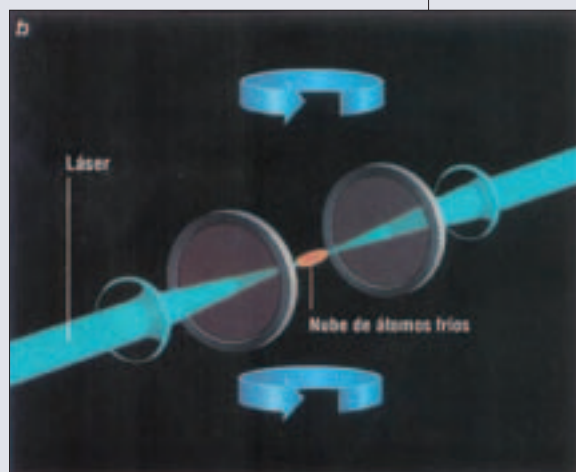
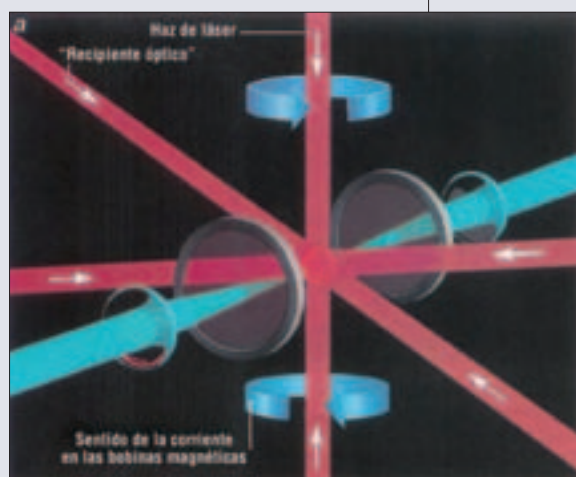


Fig. 1. Enfriamiento por evaporación



Fig. 2a. Enfriamiento por evaporación

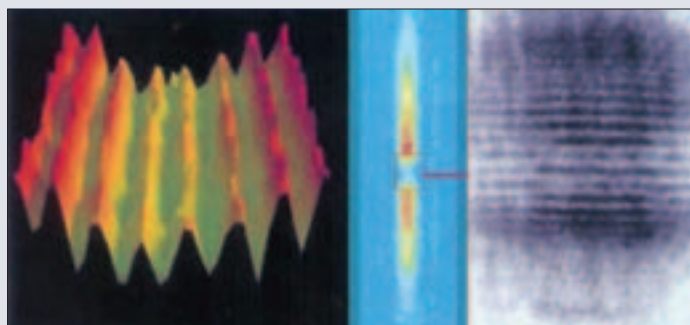


Fig. 2b. Interferencias de dos condensados de **Bose-Einstein**

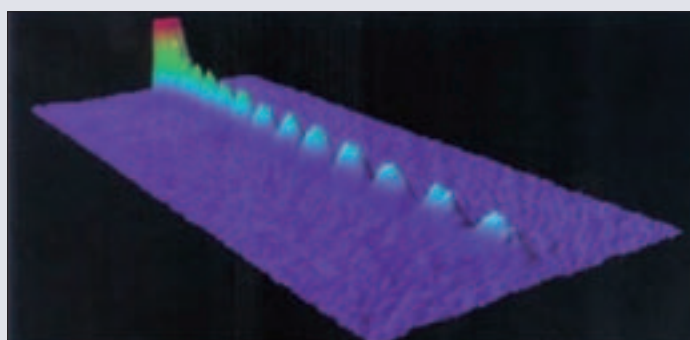


Fig. 2c. "Láser de ondas de materia"

* De Gazzette UISBA, Dic. 2005

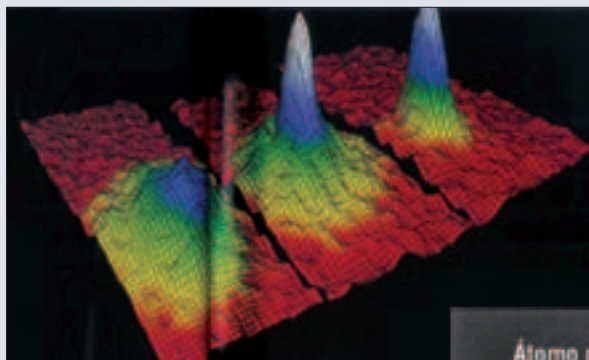


Fig. 3. Gráfico de densidades de una nube de átomos de rubidio medida con un haz de láser en función de su posición.

guiente enfriamiento del resto (Fig. 2a), que se acumulan en el fondo del captador. Todos. estos átomos se encuentran entonces en el estado de mínima energía (Fig. 3) convirtiéndose en las partículas gregarias o elementales de *spin* denominadas bosones, que actúan como cuantos de las diversas fuerzas y campos.

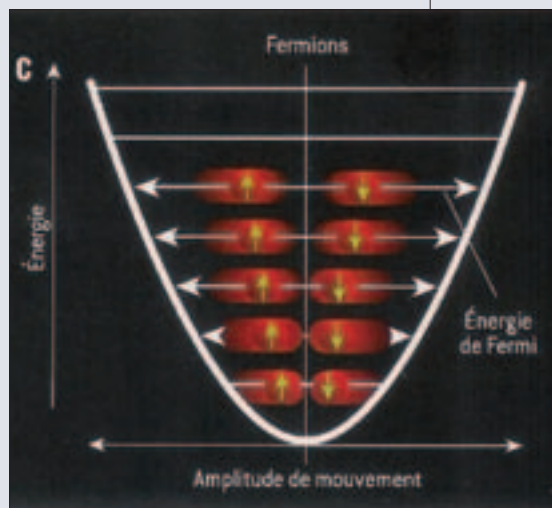
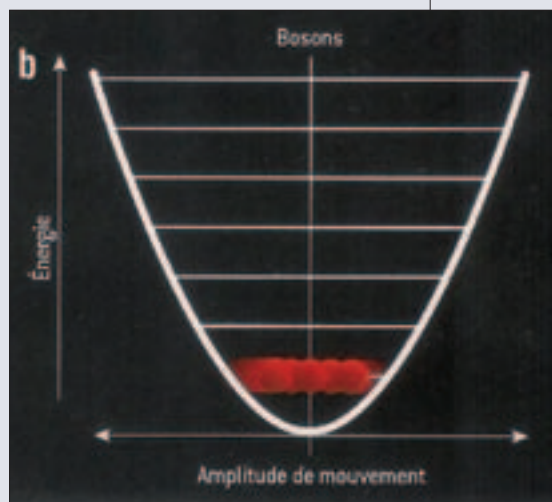


Fig. 4b-4c. A muy baja temperatura, bosones idénticos tienden a ocupar el mismo nivel de energía y la condensación de **Bose-Einstein** se produce en el nivel más bajo. Por el contrario, en un gas de átomos termodinámicos, solamente dos átomos de spins opuestos pueden compartir un mismo nivel de energía. Por consiguiente, los átomos de un gas de **Fermi** ocupan una zona de niveles de energía crecientes. Cuanto mayor sea la energía, mayor será la amplitud del movimiento oscilante del átomo.

Recordemos la distinción entre bosones, vectores de fuerza (ej. los fotones) y fermiones, que constituyen la materia (ej. electrones, nucleones, compuestos de

tres quarks), muy individualistas (jamás se encuentran dos en el mismo estado, lo que conoce como *Principio de exclusión*).

Los átomos contienen un número par de fermiones (ej. el litio, 7, el sodio, 23), se comportarán como bosones y formarán un condensado.

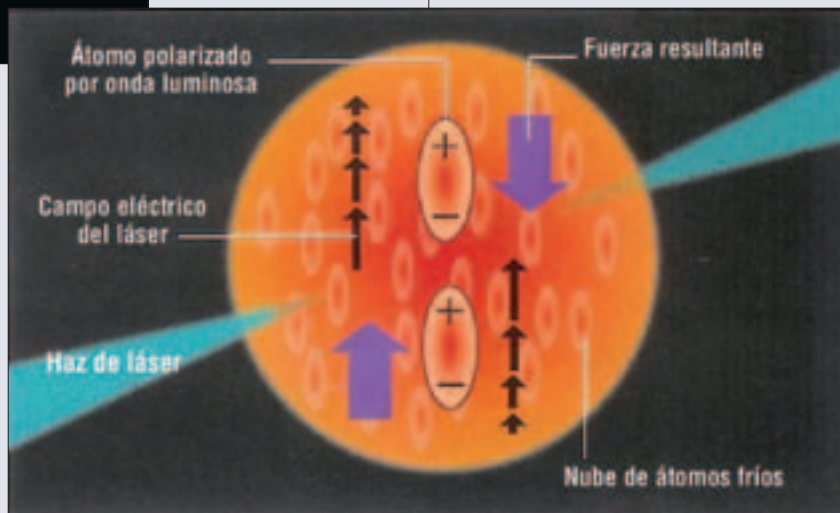


Fig. 4a. Un haz de láser focalizado permite atrapar átomos neutros. El campo eléctrico de la onda luminosa disocia ligeramente el núcleo atómico cargado positivamente, de la nube electrónica cargada negativamente. Como la carga eléctrica es más intensa cerca del foco, la fuerza experimentada por el lado positivo de un átomo se iguala a la fuerza experimentada por el lado negativo y, en consecuencia, la fuerza resultante atrae a los átomos hacia el foco independientemente de la posición de éstos con relación a su foco luminoso.

Si se observa el agregado por transparencia ante un haz de láser (Fig. 1c) se puede establecer un gráfico de densidad (Fig. 3). En la parte izquierda la temperatura es superior a la de transición mientras que en el centro es igual y, a la derecha, inferior. Se obtiene así un condensado casi puro concentrado en el centro.

Este extraño estado presenta las mismas propiedades que un haz de láser: se pueden hacer interferir dos condensados (Fig. 2b), crear un láser de ondas de materia (Fig. 2c) que posee todas las propiedades de coherencia (misma función de onda para todos los átomos) y superfluidez.

¿Cuál puede ser el interés de los átomos ultrafríos? Las rayas de emisión de su espectro son ultrafinas (no existe el efecto **Doppler**) y pueden servir para construir relojes atómicos ultra-precisos y superestables. ■