

Universidad de Sonora

Revista de Física

Publicación de los Departamentos de Física y de
Investigación en Física

Número 27, Septiembre de 2008



Hermosillo, Sonora, México

30^o Aniversario

Desde una mera curiosidad científica a algo con utilidad

Gabino Torres Vega

Departamento de Física, Cinvestav, apartado
postal 14-740, 07000 Distrito
Federal, México

El condensado de Bose-Einstein

Un nuevo estado de la materia, conocido como el condensado de Bose-Einstein, se predijo en 1924 por el científico indio Satyendra Nath Bose y por el muy conocido Albert Einstein, pero no fue sino hasta 1995 el año en que se logró obtenerlo [1, 2].

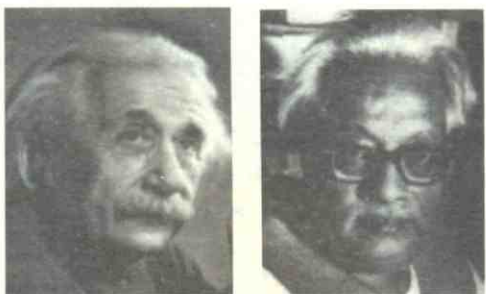


Figura 1: Albert Einstein y Satyendra Nath Bose.

El condensado se logra enfriando muchísimo a un conjunto de átomos (del orden de miles), los cuales entonces se compactan entre sí formando un solo objeto. Esto representa un gran logro científico y tecnológico debido a que se deben enfriar y manipular a los átomos mismos, que son cosas muy pequeñas. Es muy laborioso enfriar átomos a las temperaturas necesarias (muy cerca del cero absoluto) y además confinarlos. Para esto, se utilizan varios imanes y láseres, como se muestra en el aparato en la foto que sostiene uno de los investigadores que lograron el condensado y que se ve en la figura 3.

Esta sustancia tiene varias propiedades nuevas, pero en este artículo solamente hablaremos del fenómeno de autoconfinamiento, un fenómeno que no se observa en los sistemas cuánticos ordinarios. Empezaremos con una muy

breve mención de algunos de los conceptos que se manejan en la mecánica cuántica y en especial al concepto de simetría.

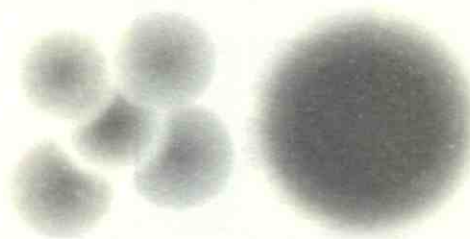


Figure 2: Átomos a bajas temperaturas y superátomo o condensado de Bose-Einstein.

Mecánica cuántica lineal

El mundo microscópico se comporta de forma muy diferente a lo que estamos acostumbrados en la vida diaria y por lo tanto se debe describir en una forma particular. La descripción microscópica se hace en términos de probabilidades. Por ejemplo, se puede hablar de la probabilidad de encontrar a una partícula en una posición y tiempo dados. Llamemos ψ a la cantidad matemática que nos da la información sobre el objeto microscópico. Esta es la cantidad a través de la cual podemos conocer las probabilidades asociadas al sistema bajo estudio.

En mecánica cuántica, una de las formas en que se describe el comportamiento de los objetos microscópicos es mediante una ecuación diferencial, para la función ψ , conocida como la ecuación de Schrödinger. Las soluciones a esta ecuación nos indican cómo se comporta el sistema cuántico. La ecuación diferencial cumple con varias propiedades para que nos sea útil para describir el mundo en que vivimos. Algunas de ellas son la homogeneidad del espacio (para partícula libre), la inversión temporal (es posible regresar a las condiciones iniciales), etc.

Una de las características más importantes de la teoría lineal es que si el sistema es simétrico espacialmente, las soluciones, las ψ , también serán simétricas en el espacio. Sin embargo, esta característica se pierde en el condensado de Bose-Einstein y veremos por qué.



Figura 3: ¡Se logró obtener el condensado de Bose-Einstein!

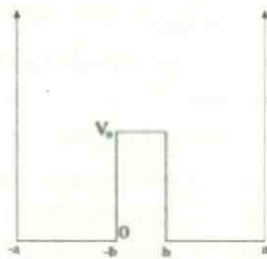


Figure 4: Un potencial simétrico.

Mecánica cuántica no lineal

Como la materia en el estado del condensado está más concentrada de lo que lo está en condiciones normales, es necesario modificar a la ecuación de Schrödinger para poder así estudiar al condensado teóricamente. La ecuación modificada tiene un término que llamaremos no lineal porque incluye una potencia al cubo de ψ , modelando la interacción de los átomos entre sí. La ecuación se conoce como ecuación de Gross-Pitaevskii después de que Eugene P. Gross y L. P. Pitaevskii la propusieron en 1958 [3,4].

Desde el punto de vista conceptual, la ecuación de Gross-Pitaevskii tiene varios problemas que no permiten una clara interpretación de sus soluciones [5]. Por ejemplo, la función ψ no se puede normalizar fácilmente, lo que hace difícil asociarla a una probabilidad. Sin embargo, se ha encontrado que en la práctica describe muy bien el comportamiento del

condensado de Bose-Einstein.

El término no lineal es el que cambia las características de ψ eliminando, entre otras cosas, la simetría cuando el ambiente es simétrico. Por ejemplo, imaginemos que una partícula que sólo puede moverse en una dirección y que además se encuentra en medio de un pozo con una protuberancia en medio de él, como el de la figura 4.

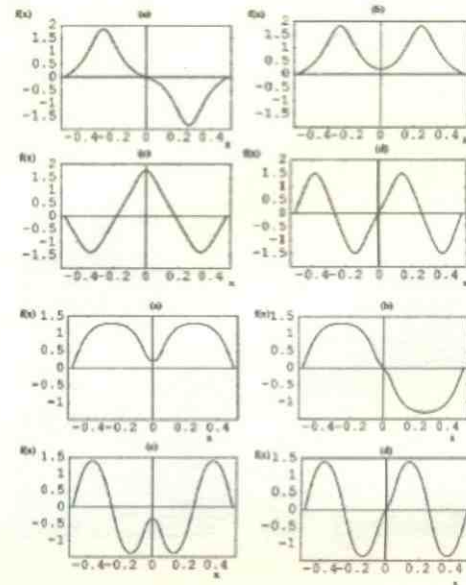


Figura 5: Soluciones simétricas con no linealidad atractiva y con no linealidad repulsiva.

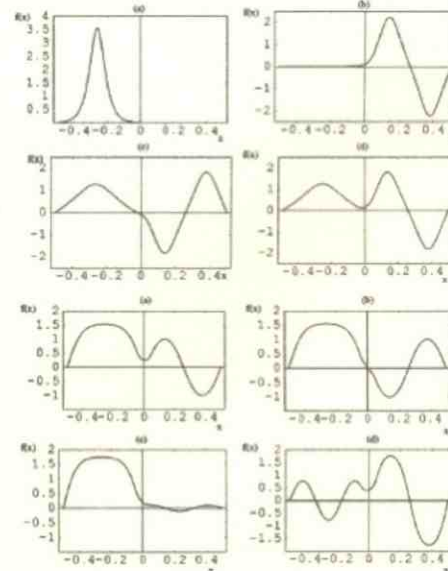


Figura 6: Soluciones no simétricas con no linealidad atractiva y con no linealidad repulsiva.

Normalmente, si se deja sola a la partícula, los estados básicos (estados propios) darán una probabilidad que es simétrica con respecto al centro del pozo. Pero el condensado de Bose-Einstein también es capaz de concentrarse en uno de los lados del pozo, rompiendo así la simetría espacial; un efecto de la no linealidad [6]. En la figura 5 se pueden apreciar algunas de las soluciones simétricas y en la figura 6 algunas de las no simétricas. En las soluciones no simétricas la función ψ es más grande en uno de los lados del pozo. Estas gráficas se tomaron del artículo [6].

Cuando se encontró, el condensado de Bose-Einstein era una mera curiosidad científica, se desarrolló sin pensar siquiera en una aplicación directa, ni fue diseñado para satisfacer una necesidad existente. Ahora que ya se tiene, se puede pensar en aplicaciones científicas o más prácticas de los condensados. Ahora que ya se conocen sus propiedades, los condensados se empiezan a utilizar para varias cosas como la de tratar de verificar la exactitud de la ley de la gravedad.

[1] M. H. Anderson, J. R. Enscher, M. R. Matthews, C. E. Wieman y E. A. Cornell, *Science* **269**, 198 (1995).

[2] K. B. Davis, M. O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn y W. Ketterle, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 3969 (1995).

[3] V. L. Ginzburg y L. P. Pitaevskii, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **34**, 1240 (1958) (*Sov. Phys. JETP* **7**, 858 (1958)).

[4] E. P. Gross, *J. Math. Phys.* **4**, 195 (1963).

[5] B. Mielnik, "Nonlinear quantum mechanics: a conflict with the Ptolomean structure?", *Phys. Lett. A* **289**, 1 (2001).

[6] K. W. Mahmud, J. N. Kutz y W. P. Reinhardt, "Bose-Einstein condensates in a one-dimensional double square well: Analytical solutions of the nonlinear Schrödinger equation", *Phys. Rev. A* **66**, 063607 (2002).

