

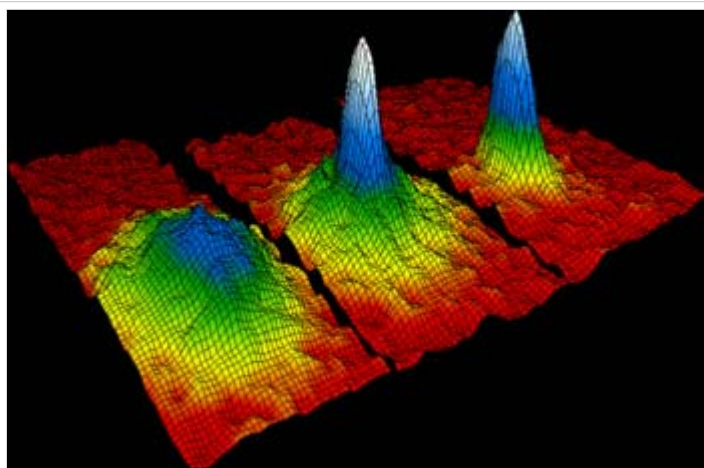
Condensado de Bose-Einstein

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

O **Condensado de Bose-Einstein** é uma fase da matéria formada por bósons a uma temperatura muito próxima do zero absoluto. Nestas condições, uma grande fracção de átomos atinge o mais baixo estado quântico, e nestas condições os efeitos quânticos podem ser observados à escala macroscópica. A existência deste estado da matéria como consequência da mecânica quântica foi inicialmente prevista por Albert Einstein em 1925, no seguimento do trabalho efectuado por Satyendra Nath Bose. O primeiro condensado deste tipo foi produzido setenta anos mais tarde por Eric Cornell e Carl Wieman em 1995, na Universidade de Colorado em Boulder, usando um gás de átomos de rubídio arrefecido a 170 nanokelvins (nK).

Índice

- 1 Descrição detalhada do gráfico de distribuição de velocidades
- 2 Introdução
- 3 Teoria
- 4 Descoberta
- 5 Características invulgares
- 6 Investigação atual
- 7 Ver também
- 8 Referências
- 9 Notas
- 10 Ligações externas



Dados de distribuição de velocidade confirmando a descoberta de um novo estado da matéria, o Condensado de Bose-Einstein, a partir de um gás de Rubídio

Descrição detalhada do gráfico de distribuição de velocidades

As cores artificiais representam o número de átomos em cada velocidade, indicando o vermelho menos átomos e o branco mais átomos. As áreas em que aparecem branco e azul claro são velocidades menores. Esquerda: Logo antes do aparecimento do condensado de Bose-Einstein. Centro: No instante do aparecimento do condensado. Direita: após a rápida evaporação, deixando amostras puras do condensado. O pico não é infinitamente estreito devido ao Princípio da Incerteza de Heisenberg: quando um átomo é retido numa região específica do espaço a sua distribuição de velocidade possui necessariamente uma certa largura mínima.

Introdução

Os condensados de Bose-Einstein são fluidos de baixas temperaturas com propriedades não totalmente compreendidas, como fluir espontaneamente para fora do seu recipiente. Este efeito é uma consequência da mecânica quântica, que postula que qualquer sistema só pode adquirir energia em quantidades discretas. Se um sistema está a uma temperatura tão baixa que esteja no seu estado de energia mínima, não é possível reduzir a sua energia, nem sequer por fricção. Assim sendo, sem fricção, o fluido facilmente supera a gravidade devido às forças de adesão entre o fluido e a parede do seu recipiente e tomará a posição mais favorável, ou seja, a toda a volta do

recipiente.

Teoria

O abrandamento de átomos por meio de arrefecimento produz um estado quântico único conhecido como **condensado de Bose** ou **condensado de Bose-Einstein**. Este fenômeno foi teorizado nos anos 20 por Albert Einstein, ao generalizar o trabalho de Satyendra Nath Bose sobre a mecânica estatística dos Fótons (sem massa) para átomos (com massa). (O manuscrito de Einstein, que se pensava estar perdido, foi encontrado em 2005 numa biblioteca da Universidade de Leiden). O resultado do trabalho de Bose e Einstein é o conceito de gás de Bose, governado pela estatística de Bose-Einstein que descreve a distribuição estatística de partículas idênticas de spin inteiro, conhecidas hoje em dia como Bósons. As partículas bosónicas, que incluem o Fóton e átomos como o hélio-4 podem partilhar estados quânticos umas com as outras. Einstein especulou que arrefecendo os átomos bosónicos até temperaturas muito baixas os faria colapsar (ou "condensar") para o mais baixo estado quântico acessível, resultando numa nova forma de matéria.

Esta transição ocorre abaixo de uma temperatura crítica, a qual, para um gás tridimensional uniforme consistindo em partículas não-interactivas e sem graus internos de liberdade aparentes, é dada por:

$$T_c = \left(\frac{n}{\zeta(3/2)} \right)^{2/3} \frac{h^2}{2\pi m k_B}$$

onde:

T_c é a temperatura crítica,

n a densidade da partícula,

m a massa por bóson,

h a constante de Planck,

k_B a constante de Boltzmann, e

ζ a função zeta de Riemann; $\zeta(3/2) \approx 2.6124$.

Descoberta

Em 1938, Pyotr Kapitsa, John Allen e Don Misener descobriram que o hélio-4 se transformava num novo tipo de fluido, hoje conhecido como um superfluido, a temperaturas abaixo dos 2,17 kelvin (K) (ponto lambda). O hélio superfluido tem muitas propriedades invulgares, incluindo viscosidade zero (a propriedade de fluir sem dissipar energia) e a existência de vórtices quantizados. Rapidamente se percebeu que esta natureza superfluida era devida à condensação de Bose-Einstein dos átomos de hélio-4, que são bósons (ou bosões, no português de Portugal). De facto, muitas das propriedades do hélio superfluido aparecem também nos condensados de Bose-Einstein gasosos criados por Cornell, Wieman e Ketterle (ver abaixo). No entanto, o hélio-4 superfluido não é normalmente referido como um condensado de Bose-Einstein por ser líquido em vez de gasoso, o que significa que as interacções entre os átomos são relativamente fortes. A teoria original da condensação de Bose-Einstein tem de ser profundamente modificada para descrever este comportamento.

O primeiro "verdadeiro" condensado de Bose-Einstein foi criado por Eric Cornell, Carl Wieman e colegas no JILA a 5 de Junho de 1995. Este feito foi conseguido arrefecendo um vapor diluído de aproximadamente 2000 átomos de rubídio-87 até atingir temperaturas abaixo dos 170 nK usando uma combinação de arrefecimento a laser (uma

técnica que valeu aos seus inventores Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji e William D. Phillips o Prémio Nobel da Física em 1997) e arrefecimento por evaporação magnética. Cerca de quatro meses depois, um projeto independente conduzido por Wolfgang Ketterle no MIT criou um condensado formado por sódio-23. O condensado de Ketterle era constituído por trezentas vezes mais átomos, o que lhe permitiu obter vários resultados importantes como a observação de interferência quanto-mecânica entre dois condensados diferentes. Cornell, Wieman e Ketterle ganharam o Prémio Nobel em 2001 pelo seu trabalho.

A condensação de Bose-Einstein também se aplica a quasipartículas em materiais sólidos. Um mágnon num antiferromagneto possui spin 1 e portanto obedece à estatística de Bose-Einstein. A densidade de mágnons é controlada por um campo magnético externo, que desempenha o papel de "potencial químico" do mágnon. Esta técnica permite o acesso a uma ampla faixa de densidades de bósons, desde o limite de um gás de Bose diluído até ao de líquido de Bose fortemente interativo. Um ordenamento magnético observado no ponto de condensação é o análogo da superfluidez. Em 1999, a condensação de Bose para mágnons foi demonstrada no TlCuCl_3 ^[1]. A condensação foi observada a temperaturas tão altas quanto 14 K. Uma temperatura de transição tão alta (relativamente àquela dos gases atômicos) deve-se a uma densidade maior obtível com mágnons e a uma massa menor (aproximadamente igual à massa do elétron).

Características invulgares

Experiências mais detalhadas da equipa do JILA, em 2000, revelaram uma até então desconhecida propriedade do condensado de Bose-Einstein. Cornell, Wieman e seus colegas de trabalho utilizaram originalmente o rubídio-87, um isótopo cujos átomos se repelem naturalmente formando um condensado mais estável. Os instrumentos da equipa do JILA já permitiam melhor controle sobre o condensado, e assim as experiências foram feitas em átomos naturalmente *atrativos* de outro isótopo de rubídio, o rubídio-85 (com deflexão átomo-átomo negativa). Através de um processo denominado *ressonância de Feshbach*, que envolve um varrimento do campo magnético, causando colisões com inversão de spin, os investigadores do JILA diminuíram as energias características e discretas com as quais os átomos de rubídio se ligam em moléculas tornando seus átomos de Rb-85 repulsivos e criando um condensado estável. A mudança reversível de atração para repulsão origina-se da interferência quântica entre átomos de condensado que se comportam como ondas.

Quando os cientistas aumentaram ainda mais a intensidade do campo magnético, a repulsão foi repentinamente substituída pela atração, o condensado implodiu e encolheu além do limiar de detecção, e depois explodiu, destruindo aproximadamente dois terços dos seus cerca de 10 000 átomos. Cerca de metade dos átomos no condensado parece ter desaparecido totalmente durante a experiência, não sendo observáveis nos restos arrefecidos ou na nuvem gasosa expandida. Carl Wieman explicou que, segundo a teoria atômica atual, esta característica do condensado de Bose-Einstein não poderia ser explicada pois o estado de energia de um átomo próximo do zero absoluto não deveria ser suficiente para causar uma implosão; no entanto, foram subsequentemente avançadas teorias de campo médio com vista à explicação deste fenómeno.

Visto que explosões de supernovas são implosões, a explosão de um condensado de Bose-Einstein em colapso foi batizada "bosenova".

Investigação atual

Comparados com os estados da matéria mais comuns, os condensados de Bose-Einstein são extremamente frágeis. A mínima interação com o mundo exterior pode ser suficiente para aquecê-los acima do limite de condensação, formando assim um gás normal com a perda das suas propriedades interessantes. Provavelmente passará algum tempo antes de alguma aplicação prática ser desenvolvida.

Ainda assim, os condensados de Bose-Einstein têm sido úteis na investigação de variadas questões da física

fundamental, e desde as descobertas iniciais dos grupos do JILA e do MIT houve uma explosão na atividade teórica e experimental. Exemplos disso incluem experiências que demonstraram a interferência entre condensados devido à dualidade onda-partícula^[2], o estudo da superfluididez e vórtices^[3] quantizados e o abrandamento de pulsações de luz até velocidades muito pequenas usando a transparência induzida electromagneticamente^[4]. Os experimentadores também construíram "grades ópticas", onde o padrão de interferência de lasers sobrepostos fornece um potencial periódico ao condensado. Estas têm sido usadas para explorar a transição entre um superfluido e um isolador de Mott^[5] e podem ser úteis no estudo na condensação de Bose-Einstein em menos do que três dimensões, por exemplo no gás de Tonks-Girardeau.

Já foram produzidos condensados de Bose-Einstein compostos por uma grande variedade de isótopos ^[6].

Experiências semelhantes sobre arrefecimento de férmions, em lugar de bósons a temperaturas extremamente baixas, criaram gases degenerados, onde os átomos não se congregam num único estado, devido ao Princípio de exclusão de Pauli. Para exibirem propriedades de condensado de Bose-Einstein, os férmions devem "emparelhar-se", formando partículas compostas (por exemplo, moléculas, ou *pares de Cooper*) que se comportam como bósons. Os primeiros condensados de Bose-Einstein moleculares foram criados em Novembro de 2003 pelas equipas de Rudolf Grimm na Universidade de Innsbruck, Deborah S. Jin na Universidade de Colorado em Boulder e Wolfgang Ketterle no MIT. Jin avançou rapidamente, criando o primeiro condensado fermiônico composto por Pares de Cooper^[7].

Ver também

- Superfluididez
- Elemento transurânico
- Supercondutividade
- Condensado fermiônico

Referências

- S. N. Bose, Z. Phys. 26, 178 (1924)
- A. Einstein, Sitz. Ber. Preuss. Akad. Wiss. (Berlin) 1, 3 (1925)
- L.D. Landau, J. Phys. USSR 5, 71 (1941)
- L. Landau (1941). "Theory of the Superfluidity of Helium II". Physical Review 60: 356-358.
- M.H. Anderson, J.R. Ensher, M.R. Matthews, C.E. Wieman, and E.A. Cornell (1995). "Observation of Bose–Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor (<http://links.jstor.org/sici?sici=0036-8075%2819950714%293%3A269%3A5221%3C198%3A00BCIA%3E2.0.CO%3B2-G>) ". Science 269: 198-201.
- K.B. Davis, M.-O. Mewes, M.R. Andrews, N.J. van Druten, D.S. Durfee, D.M. Kurn, and W. Ketterle (1995). "Bose–Einstein condensation in a gas of sodium atoms". Physical Review Letters 75: 3969-3973..
- D. S. Jin, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, and E. A. Cornell (1996). "Collective Excitations of a Bose–Einstein Condensate in a Dilute Gas". Physical Review Letters 77: 420-423.
- M. R. Andrews, C. G. Townsend, H.-J. Miesner, D. S. Durfee, D. M. Kurn, and W. Ketterle (1997). "Observation of interference between two Bose condensates". Science 275: 637-641..
- M. R. Matthews, B. P. Anderson, P. C. Haljan, D. S. Hall, C. E. Wieman, and E. A. Cornell (1999). "Vortices in a Bose–Einstein Condensate". Physical Review Letters 83: 2498-2501.
- E.A. Donley, N.R. Claussen, S.L. Cornish, J.L. Roberts, E.A. Cornell, and C.E. Wieman (2001). "Dynamics of collapsing and exploding Bose–Einstein condensates". Nature 412: 295-299.
- M. Greiner, O. Mandel, T. Esslinger, T. W. Hänsch, I. Bloch (2002). "Quantum phase transition from a superfluid to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms". Nature 415: 39-44..
- S. Jochim, M. Bartenstein, A. Altmeyer, G. Hendl, S. Riedl, C. Chin, J. Hecker Denschlag, and R. Grimm (2003). "Bose–Einstein Condensation of Molecules". Science 302: 2101-2103.
- Markus Greiner, Cindy A. Regal and Deborah S. Jin (2003). "Emergence of a molecular Bose–Einstein condensate

from a Fermi gas". *Nature* 426: 537-540.

- M. W. Zwierlein, C. A. Stan, C. H. Schunck, S. M. F. Raupach, S. Gupta, Z. Hadzibabic, and W. *Ketterle (2003). "Observation of Bose–Einstein Condensation of Molecules". *Physical Review Letters* 91: 250401.
- C. A. Regal, M. Greiner, and D. S. Jin (2004). "Observation of Resonance Condensation of Fermionic Atom Pairs". *Physical Review Letters* 92: 040403.
- C. J. Pethick and H. Smith, *Bose–Einstein Condensation in Dilute Gases*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- Lev P. Pitaevskii and S. Stringari, *Bose–Einstein Condensation*, Clarendon Press, Oxford, 2003.
- Mackie M, Suominen KA, Javanainen J., "Mean-field theory of Feshbach-resonant interactions in 85Rb condensates." *Phys Rev Lett.* 2002 Oct 28;89(18):180403.
- Oxford Experimental BEC Group. <http://www-matterwave.physics.ox.ac.uk/bec/bec.html>

Notas

1. ↑ Nikuni, T., M. Oshikawa, A. Oosawa, and H. Tanaka, (1999). "Bose–Einstein Condensation of Dilute Magnons in TlCuCl3 (<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.5868>) ". *Physical Review Letters* 84: 5868.
2. ↑ http://cua.mit.edu/ketterle_group/Projects_1997/Interference/Interference_BEC.htm
3. ↑ <http://www.aip.org/pt/vol-53/iss-8/p19.html>
4. ↑ <http://www.europhysicsnews.com/full/26/article1/article1.html>
5. ↑ <http://qpt.physics.harvard.edu/qptsi.html>
6. ↑ <http://physicsweb.org/articles/world/18/6/1>
7. ↑ <http://physicsweb.org/articles/news/8/1/14/1>

Ligações externas

- (em inglês)BEC Homepage (<http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/index.html>) Introdução geral ao condensado de Bose-Einstein
- (em inglês)Prêmio Nobel de Física em 2001 (<http://nobelprize.org/physics/laureates/2001/index.html>) - por conseguir a condensação do Condensado de Bose-Einstein em gases diluídos de átomos alcalinos, e por fundamentais estudos anteriores sobre as propriedades dos condensados
- (em inglês)Física Hoje: Cornell, Ketterle, e Wieman Share Prêmio Nobel pelo Condensado de Bose-Einstein (<http://www.physicstoday.org/pt/vol-54/iss-12/p14.html>)
- (em inglês)Condensado de Bose-Einstein em JILA (<http://jila-www.colorado.edu/bec/>)
- (em inglês)O Condensado de Bose-Einstein na Universidade de Utrecht, na Holanda (<http://www.bec.phys.uu.nl/>)
- (em inglês)Gases quânticos de Alkali no MIT (http://cua.mit.edu/ketterle_group/home.htm)
- (em inglês)Átomos Óticos no UQ (<http://www.physics.uq.edu.au/atomoptics/>)
- (em inglês)Manuscrito de Einstein sobre a descoberta do condensado de Bose-Einstein na Universidade de Leiden (http://www.lorentz.leidenuniv.nl/history/Einstein_archive/)
- (em inglês)A revolução que não parou (<http://physicsweb.org/articles/world/18/6/8/1>) Artigo da PhysicsWeb de Junho de 2005

(em português)[1] (http://inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/boseeinstein/condensado_bose_einstein.html) Site da UNESP falando da descoberta. (em português)[2] (<http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore186.htm>) Página da UFC com introdução ao assunto.

Obtida de "http://pt.wikipedia.org/wiki/Condensado_de_Bose-Einstein"

Categorias: Albert Einstein | Mecânica quântica | Física da matéria condensada

- Esta página foi modificada pela última vez às 23h51min de 12 de janeiro de 2011.
- Este texto é disponibilizado nos termos da licença Atribuição-Compartilhamento pela mesma Licença 3.0 Unported (CC-BY-SA); pode estar sujeito a condições adicionais. Consulte as Condições de Uso para mais

detalhes.

- Política de privacidade
- Sobre a Wikipédia
- Avisos gerais