

玻色 – 爱因斯坦凝聚在中国科学院上海光机所实现^{*}

周蜀渝 龙全 周善钰 付海翔 王育竹[†]

(中国科学院上海光机所量子光学重点实验室 上海 201800)

摘要 文章报道了在稀薄⁸⁷Rb 原子气体中观测到的玻色 – 爱因斯坦凝聚(BEC)现象.在四极矩和 Ioffe 组合磁阱(QUIC)中装载了 1×10^8 个原子,经过 19s 蒸发冷却达到了相变条件.在高原子密度的情况下,文章作者观察到了 BEC 对探测光的衍射光环.这时降低磁阱势垒和绝热的放开冷原子样品,我们拍摄到冷原子和 BEC 的吸收像.根据数据拟合满足双高斯分布,表明发生了 BEC 相变.相变温度约 215nK,凝聚的原子数约为 5×10^4 .

关键词 激光冷却,玻色 – 爱因斯坦凝聚,原子势阱

REALIZATION OF BOSE – EINSTEIN CONDENSATION IN SIOM OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

ZHOU Shu-Yu LONG Quan ZHOU Shan-Yu FU Hai-Xiang WANG Yu-Zhu[†]

(Laboratory of Quantum Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract We report the observation of Bose-Einstein condensation in a dilute ⁸⁷Rb gas with 1×10^8 atoms loaded into a quadrupole-Ioffe-configuration trap. After 19s of evaporative cooling, the phase transition condition was achieved. At high phase-space density, diffraction of a probe laser beam was observed. After reducing the trap potential to adiabatically relax the cold atoms we obtained absorption images. A double Gaussian distribution fitted to the data showed the BEC phase transition. The temperature of the transition was about 250nK, and the number of condensate atoms about 5×10^4 .

Key words laser cooling, Bose-Einstein condensation, atom trap

玻色 – 爱因斯坦凝聚(BEC)是 70 年前爱因斯坦所预言的新物态.长期以来,科学家们付出了艰辛的探索,力图证实它的存在.1995 年,美国科学家维曼(C. E. Wieman),康奈尔(E. A. Cornell)和德国科学家克特勒(W. Ketterle)首先从实验上证实了这个新物态的存在,开辟了研究相干物质波性质的新领域.为此,2002 年度诺贝尔物理奖授予了这三位科学家,以表彰他们在实现玻色 – 爱因斯坦凝聚研究中做出的突出贡献.

1999 年 3 月,中国科学院上海光机所量子光学小组承担了国家自然科学基金重点课题“玻色 – 爱因斯坦凝聚的实验与理论研究”,经过三年的努力,于 2002 年 3 月 19 日在稀薄⁸⁷Rb 原子气体中观察到了玻色 – 爱因斯坦凝聚.所用的实验装置是一个双磁光阱系统,在上磁光阱中收集到 6×10^8 原子,原子气体的温度为 210 μ K,利用辐射压力将冷原子从

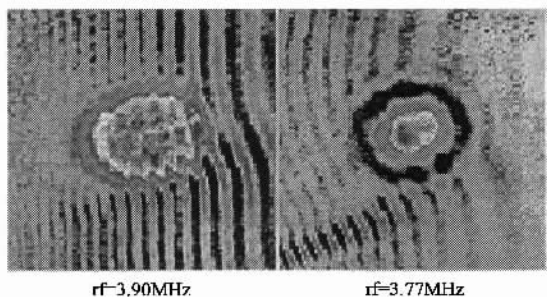
上磁光阱传输到下磁光阱中,并进行偏振梯度冷却.这时,原子气体的温度为 20 μ K,原子数为 3×10^8 .切断激光束后约 30% 的原子被导入四极矩静磁阱,然后,增大磁场幅度对原子进行压缩,原子气体温度增大到 150 μ K,并绝热地导入到 Ioffe 型磁阱中(QUIC).约 1×10^8 原子留在 Ioffe 磁阱中,寿命约为 50s.这时,用射频场对铷原子云进行蒸发冷却约 19s 后,原子云的温度显著降低,原子的相密度显著增加.当用探测光对原子云拍照时,由于凝聚体的体积小于照相系统的衍射极限,因而可观察到原子云对探测光的衍射光环.原子云对探测光束的衍射,表明原子云

^{*} 国家自然科学基金重点项目(批准号:19834060),国家科技部 973 预研项目(批准号:95-预-34),中国科学院重大方向性项目(批准号:KJCX2-W7-2)

2002-07-09 收到

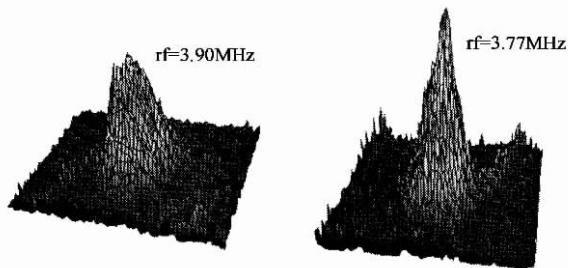
[†] 通讯联系人. E-mail: yzwang@mail.shcnc.ac.cn

密度在空间的分布发生了显著的变化,这是凝聚体存在的灵敏指示,它说明原子云中发生了相变.图1是我们在实验中拍摄下来的铷原子在蒸发冷却时原子云的空间图像.



1 铷原子在蒸发冷却时原子云的空间图像(rf 为射频频率)

为了估算原子气体相变的温度和凝聚体的原子数,我们将磁势阱的磁场强度降低,原子云和凝聚体绝热地膨胀,体积增大.这时,可清晰地观察到原子云速度的双高斯分布,如图2所示.



2 玻色-爱因斯坦凝聚相变前与相变后的实验图

图2中,左图为相变前的原子云速度分布,右图为相变后的双高斯速度分布,中心部分为凝聚体.从数据分析得到相变的温度约为250nK,凝聚体的原子数约 5×10^4 ,总原子数约为 5×10^5 .

实现玻色-爱因斯坦凝聚,对实验技术提出了极苛刻的要求:原子气体的温度达到nK(10^{-9})量级,原子密度达到 $10^{11}/\text{cm}^3$ — $10^{12}/\text{cm}^3$,相空间密度提高18个量级.由此可见,这是一个难度很高的物理实验.正如诺贝尔物理奖获得者维曼教授指出:“在任何一个实验室中实现玻色-爱因斯坦凝聚都是一

场挑战”.

玻色-爱因斯坦凝聚的实现对我国科学研究有着十分重要的科学意义和潜在的应用价值.首先,我们有了一个新的物态,并且是用一个相干波函数描述的物态,这为我国的实验物理学家提供了一个独一无二的新介质.利用物质波的相干性可开拓新的研究领域,如研制原子激光器和物质波放大器,类比如非线性光学,可开展非线性原子光学的研究,如四波混频、物质波的超辐射现象等.利用BEC的相干性,可进行凝聚体的涡旋态研究,利用Feshbach共振改变原子间相互作用的符号,从而导致类似超新星的BEC爆炸;由于费米子不能处于最低能态,即使在零温度下仍有压力存在,因此,可在实验中模拟白矮星的内部压力,对验证费米子凝聚物理过程的理论模型有重要意义.总之,玻色-爱因斯坦凝聚在科学上的意义重大.在应用技术方面已提出了很多新的设想和建议:研制高准确度和稳定度的原子钟和精密原子干涉仪;用于改善精密测量的准确度,如原子物理常数的测量、微重力的测量和矿藏探测;在量子信息科学研究中,如光速减慢与光信息存储、量子信息传递和量子逻辑操作等;利用BEC的相干性进行微结构的刻蚀,研制微电子回路等.

综上所述,玻色-爱因斯坦凝聚的实现为开展物质波相干性研究建立了实验平台,为高技术应用打开了一个新的大门,众多丰富的新现象、新技术等待人们去发现和开拓.

致谢 参加过本项研究工作的人员和学生有:许达民、吴海滨、屈求智、李唐、刘华、贺凌翔、魏荣、韩申生、高波、李明哲、罗有华、沈国健.感谢胡文瑞、何慧娟、邓鲁、印建平、黎永青、钱林兴、赵隆兴等对本项工作的支持和技术帮助.

参 考 文 献

- [1] Esslinger T, Bloch I, Heasch T W. Phys. Rev. A, 1998, 58 :R2664
- [2] Gerton C C, Strekalov D, Prodan I et al. Nature, 2000, 408 :692
- [3] Anderson B P, Kasevich M A. Phys. Rev. A, 1999, 59 :R938

·物理新闻·

一句话新闻

日本东芝公司的科学家们第一次成功地制成了能发射单个光子的发光二极管,这是一个电驱动的单光子光源.他们将砷化镓量子点嵌入砷化镓基底上.量子点可以从电流脉冲中获得若干电子与空穴,当单个电子与空穴复合时可产生一个单光子.如果在同一时刻能发射多个光子的话,多余的光子就能在不被探测到的情况下被吸出,这时在量子保密通信时就可能被偷听者截取信息.因此单光子发光管在量子密码通信中具有极其重要的作用.

(云中客摘自 Physics News on line 29 May 2002)