

具有纠缠序参量的玻色 – 爱因斯坦凝聚体

施 郁[†]

(复旦大学物理系 上海 200433)

摘 要 对最近提出的具有纠缠序参量的玻色 – 爱因斯坦凝聚体作通俗简要的介绍. 在这个凝聚体中, 不同种原子间形成自旋纠缠的原子对, 而系统就在这个纠缠对上发生玻色 – 爱因斯坦凝聚.

关键词 玻色 – 爱因斯坦凝聚, 量子纠缠

Brief introduction to Bose – Einstein condensation with an entangled order parameter

SHI Yu[†]

(Department of Physics , Fudan University , Shanghai 200433 , China)

Abstract This is a brief introduction to the recently proposed Bose – Einstein condensation with an entangled order parameter. In the situation considered , condensation occurs in an inter-species spin entangled two particle state.

Keywords Bose – Einstein condensation , quantum entanglement

最近, 我和美国得克萨斯大学的牛谦教授合作, 提出了一种具有纠缠序参量的玻色 – 爱因斯坦凝聚体^[1].

在一定的条件下(如与环境足够地孤立), 自然界由量子力学描述. 在量子力学中, 所有的微观粒子(基本粒子或者原子分子) 都可分为两种: 费米子和玻色子. 非此即彼. 对于一个由多个相同粒子组成的集体来说, 费米子和玻色子的行为大不一样. 在极低的温度下, 在一个由相同玻色子组成的集体中, 如果玻色子间没有相互作用或者相互作用很弱, 所有玻色子都处于相同的最低能量的状态. 这就是 1925 年由爱因斯坦预言的玻色 – 爱因斯坦凝聚. 凝聚态物理中的超流现象就是基于液氦中氦原子的玻色 – 爱因斯坦凝聚. 然而那里的氦原子间有比较强的相互作用, 因此参与玻色凝聚的原子数比例很小, 实验上也缺少玻色 – 爱因斯坦凝聚的直接证据, 虽然有毋庸置疑的间接证据. 1995 年, 实验上终于实现了原子间相互作用很弱的情况下的、具有直接证据的玻色 – 爱因斯坦凝聚. 从此该领域成为物理学的一个热点. 特别引人注目的是, 该领域提供了可以调控

的多体系统.

在我们的论文中, 我们考虑一个两种玻色原子的混合体. 而每个玻色子又具有两个内部自旋状态, 可以占据这两个自旋状态之一. 我们发现, 由于原子之间的相互散射引起的弱的相互作用, 这个集体的最低能量状态不是简单的两种玻色凝聚体的混合, 而是两种玻色子构成的量子纠缠原子对的凝聚体. 在这个凝聚体中, 每个原子都和另一种原子具有一种叫做量子纠缠的关联.

量子纠缠是一种纯量子的关联. 可以就我们的体系作如下的理解. 在一对不同种类原子构成的纠缠对中, 如果其中一个原子(称为 A) 被测量出处于两种自旋态中的一种(姑且称作向上), 那另一个原子(称为 B) 一定是处于另一种自旋态(姑且称作向下). 但是前者究竟被测出哪个自旋态则是随机的. 用量子力学的术语说, 这个原子对处在两种状态的叠加, 其中的一个状态是 A 向上而 B 向下, 另一个

2006 – 09 – 04 收到

[†] Email yushi@fudan.edu.cn

状态中则是 A 向下而 B 向上。

而在我们的玻色凝聚体中,所有 A - B 原子对都处于同样的纠缠状态中。用术语说,这个系统的序参量是一个二体纠缠态。

为什么要研究这个问题?这个结果有什么意义?这首先是因为人们对于所谓非平均场的玻色凝聚体有很大的兴趣。所谓平均场的玻色凝聚体就是同种原子处在同样的状态中。而在我们发现的状态

中,量子纠缠正好可以作为超越平均场的一种衡量。我们发现,在很宽的参数范围内,量子纠缠都很强。而且量子纠缠是量子信息处理的基础。我们提出的纠缠凝聚体如果在实验上做出来,也许可以在量子信息中派上用场。

参 考 文 献

[1] Shi Y , Niu Q. Phys. Rev. Lett. ,2006 ,96 :14041

· 物理新闻和动态 ·

生物细胞 X 射线成像

许多生物细胞非常小,无法用光学显微镜进行研究。而 X 射线衍射和电子显微镜技术不适用于对活细胞的研究。2000 年生物物理学家 Janos Hajdu 提出了一种新的活细胞及微小生物粒子成像方法,这种方法使用极强的超短 X 射线激光脉冲产生的衍射图案来成像。

德国 FLASH 协作组的研究人员将极短(25fs)的强 X 射线脉冲打在几微米大小的半导体结构上,在脉冲击毁半导体结构之前几飞秒,将 X 射线的衍射图案记录下来,然后用计算机将衍射图案转换成结构图像。

以前的实验使用 32nm 波长的“软”X 射线产生空间分辨率为 62nm 的图像。这样的分辨率对于研究病毒和其他微小粒子来说很不够。为了进行真正原子尺度的测量,研究人员不得不等到 2008 年 8 月,那时美国斯坦福直线加速器中心的直线相干光源(LCLS)将开始运行,波长小于 1nm 的“硬”X 射线可以付诸应用。研究人员正在汉堡做进一步的研究工作,设计在 LCLS 上的实验,将于 2013 年出光的位于汉堡的下一代硬 X 射线激光的计划正在进行中。

2005 年开始出光的位于汉堡的称做真空紫外自由电子激光的装置在今年早些时候改称为 FLASH。这是目前唯一能够提供如此短波长的强软 X 射线脉冲的装置。与传统的利用原子和光相互作用的激光不同,FLASH 是一种装有振荡器的直线电子加速器,振荡器引起快速运动的电子穿过它们的轨道来回摆动。与这种摆动相关的加速度使电子发射出高度相干的远紫外光或 X 射线。有关论文见 Nature Physics AOP doi : 10. 1038/nphys461 2006.

(树华 编译自 Physics web news 16 November 2006)

植物让沙丘停止移动

通常在沙漠里很难见到植物,但植物却对沙地的稳定化和沙丘位置的固定起着很大的作用。所以在沙漠中,植物与沙地的移动存在着剧烈的竞争。几千年来如何有效控制沙丘的移动一直是居住在沙漠地区人民要面对的课题。德国斯图加特大学的 O. Durain 和 H. Herrmann 两位教授悉心研究了这个问题,他们发展了一个方程来描述沙漠地区沙丘的运动规律。他们发现,当植物拓植时,新月形的沙丘可变为抛物形的沙丘,而这恰恰是让沙丘停止移动的第一步。他们在方程中引进了一个“固定化指数(fixation index)” I ,它的物理意义是沙丘被侵蚀的大小与由于植物快速生长而阻止沙丘被侵蚀大小之间的比率。当 I 的数值小于 0.5 时,新月形沙丘将会转变为抛物形沙丘,这时植物的生长就战胜了沙丘的被侵蚀。反之,若 I 的数值大于 0.5 时,由刮风所导致的沙带侵蚀会让植物的生长停止,同时沙丘将继续移动。

Durain 和 Herrmann 两位教授认为,他们的研究成果可以让地质学家们对沙丘的演化做出长期的预测(1000 年以上),而且也可以对一些环境问题的处理施加影响,例如如何使植物多样化、如何使半干旱地区避免沙漠化等。现在两位教授准备对不同的植物种类和不同的降雨量等参数,在发生变动的条件下进行多次重复性的计算,他们希望今后能将这些计算结果真正应用到实际的沙丘运动中去。

(云中客 摘自 Physical Review Letters ,31 October 2006)