

简述物质的态

谢 让 棉

(上海理工大学理学院 上海 200093)

人类生活在一个物质世界里,我们所能观测到的一切存在的东西都是物质。我们的衣、食、住、行,以及我们身体本身都是物质的。即使肉眼看不到的,甚至现在的仪器也无法观测到的一些东西(如占宇宙 90% 的暗物质),也逃不脱“物质”的范畴。呈现在我们眼前的物质千奇百怪,种类繁多。而依据形态可将物质简单地划分为 6 大类,它们依次是固态、液态、气态、等离子态、玻色-爱因斯坦凝聚态和费米子凝聚态。

一、物质的常见三态:固、液、气

这三种状态是物质存在的最基本状态,利用分子论很容易解释它们的存在。通常,物质由分子、原子构成。处于气态的物质,其分子与分子间距离很远,分子间由于距离太远而没有作用力,分子可以自由移动,从而使气体宏观表现为能充满它能到达的所有空间。而对液态物质来说,构成它的分子彼此靠得很近,一个挨一个,分子的运动不断受到碰撞和阻碍,这使得液体密度比气体大得多,但活泼性远不

如气体。至于固体,构成它的元素是以原子状态存在的,原子一个挨着一个,原子间的作用力使它们相互牵拉,从而使固体的物理性质与液体和气体明显不同。

二、物质的第四态:等离子态

20 世纪中期,科学家确认物质有第四态,即等离子态。

当被激发的电离气体在达到一定的电离度后便处于导电状态,而处于这种状态下的电离气体呈现出集体行为,电离气体中每一带电粒子的运动都会影响到周围的带电粒子,同时也受到其他带电粒子的约束。由于电离气体由中性的气体电离而成,电离气体内正负电荷数相等,因此电离气体整体表现为电中性。处于这种状态的气体具有与固、液、气截然不同的独特行为,因此科学家称这种状态为等离子态,并把它作为物质的第四态。

三、物质的第五态:玻色-爱因斯坦凝聚态

1995 年,美国标准技术研究院和美国科罗拉多

值的相对涨落对系统行为的影响是不容忽略的。以介观金属区的电导为例:低温下电子与杂质原子的散射是产生电阻的主要因素。杂质原子的无序分布导致电子因与杂质散射而无规行走,散射中心的无规分布为电子提供了各种可能的散射路径。因此,传统的系综平均的统计方法特别适于处理金属扩散区的问题,人们利用基于系综平均的格林函数法计算得到的介观电导的相对涨落的理论值是一个量级为 e^2/h 的普适量,这与实验观测到的普适电导涨落现象一致。另外实验还发现了介观磁致电导的又一特点:宏观参数相同(取自同一材料、大小、形状相同)而微观杂质位形不同的样品,在相同的测量条件下其电导涨落的图样各异,即每一涨落图样都是各个样品所独有的,并且在宏观条件保持不变的情况下样品电导的涨落图样可以重现,故电导涨落图样又被称为介观样品的“磁指纹”。这是介观样品的微观特征因电子波的相位干涉行为而被记录下来的结果,这一现象为介观体系所独有的。可见,宏观系统与介观系统具有极不相同的统计行为。显然,尽管

介观系统可观测量物理量的定义与宏观系统无异,但介观系统的物理量所呈现出的特征与每个介观样品的微观特征是相关的、极具个性的。并且是可重复的一些奇异特征表明,介观体系的尺度已经小到使其丧失了宏观系统通常具有的自平均性。因此,不具备经典自平均性正是介观体系的统计物理特征。从方法论的角度看,自平均性的消失,使还原论的思维方式在介观尺度内失去了它的效力,也使得不同的统计系综对介观物理量而言不再是热力学等价的,即介观物理量的热力学平均值对不同的系综是敏感的。

总之,从统计的角度看,是否具备自平均性是宏观系统与介观系统之间的根本差别,正是这种差别导致了宏观物理量与介观物理量具有了不同的特征和涵义;也正是系统的有限的自由度导致了自平均性的消失,使得微观粒子的量子干涉效应在这样的系统中并没有因统计平均而被完全掩盖,微观粒子的运动规律通过干涉效应而残留在了系统的可观测量行为中,从而使得量子力学效应成为整个介观体系的一个基本特征。

大学的科学家组成的联合研究小组,首次创造出物质的第五态,即“玻色-爱因斯坦凝聚态”。

这一物质状态是科学巨匠爱因斯坦在70年前预言的。为了揭示这一有趣的物理现象,全世界的科学家付出了几十年的努力。1995年,美国科学家维曼、康奈尔和德国科学家克特勒率先用实验证实了这个新物态的存在,并因此而荣获2001年度诺贝尔物理学奖。

玻色-爱因斯坦凝聚态是物质的一种奇特状态,处于这种状态的大量原子的行为像单个粒子一样。这里的“凝聚”是指原来不同状态的原子突然达到同一状态的行为。要实现这种“凝聚”,一方面需要原子处于气态,另一方面需要极低的温度,即要将该气体降温。在对气体冷却的过程中,科学家采用了华裔物理学家朱棣文研制的激光冷却技术和磁阱技术。

玻色-爱因斯坦凝聚态所具有的奇特性质使它不仅具有理论上的意义,而且在芯片技术、精密测量和纳米技术等领域有重要的应用。

四、物质的第六态:费米子凝聚态

2004年1月29日,美国标准技术研究院和美国科罗拉多大学组成的联合研究小组宣布,他们创造出了物质第六种形态——费米子凝聚态。这是该小组继1995年创造出玻色-爱因斯坦凝聚态之后在量子科学研究上的又一重大突破。消息传出,国际物理学界为之振奋。专家们认为,这一成果为人类认识物质世界打开了又一扇大门,具有重大的理论和实践意义,必将成为今年年度重大科技成果之一。

费米子凝聚态是怎样的一种物质形态呢?根据研究小组负责人德博拉·金(Deborah Jin)介绍,费米子凝聚态与玻色-爱因斯坦凝聚态有关,它不是超导体,实际上处于两种物质形态之间。量子力学认为,自然界的粒子要么是玻色子,要么是费米子。这两类粒子的不同特性在极低的温度下表现得最明显:玻色子全部聚集在同一量子态上,形成玻色-爱因斯坦凝聚态;费米子正相反,它们的量子态各不相同,在低温下,费米子逐渐占据最低能态,如果让处于不同能态的费米子堆叠起来,就会形成费米子凝聚态。与玻色-爱因斯坦凝聚态相比,二者都是物质在量子状态下的形态。玻色-爱因斯坦凝聚态物质是成千上万个具有单一量子态的超冷粒子的集合,其行为像一个大的超级原子,它由玻色子构成。

而费米子凝聚态物质则由大量的状态互不相同的费米子构成。

在1995年,科学家已成功地将具有玻色特征的原子气体冷却至低温,获得了玻色-爱因斯坦凝聚态物质。由于没有任何两个费米子具有相同的量子态,费米子的凝聚一直被认为不可能实现。

2003年,德博拉·金领导的联合研究小组获得了克服以上障碍的办法。他们将费米子成对转变成玻色子。由于费米子起到了玻色子的作用,所以可以让气体突然冷凝至玻色-爱因斯坦凝聚态。这一转变为制造费米子凝聚态铺平了道路。

他们将具有费米子特征的钾原子气体约束在真空小室里,采用磁场和激光控制钾原子成对。为将气体冷却到绝对零度(约为 -273.15°C)附近,他们采用了“蒸发”冷却方法。犹如一杯热水通过蒸发——能量大的水分子逸出可使水冷却一样,他们将原子置于一个由磁场制成的“磁杯”中进行蒸发冷却。由于原子本身具有磁性,每一个原子相当于一个小磁针,研究者设计了一个很强的磁场,像一口井一样将原子“囚禁”在里面,使他们与外界隔绝,这一装置称为“磁阱”。能量高的原子运动剧烈,会逐渐从阱中逃逸,带走气体的内能,阱内原子气便会逐渐冷却。降低阱的高度,逃逸的原子会增加,冷却速度会加快。通过仔细控制冷却速度,研究者在较短的时间使大量具有费米子特征的原子冷却而形成费米子凝聚态。

费米子凝聚态的产生,在超导技术上应用前景非常广阔,它将有助于未来在室温下超导体的研制,从而开发出新一代超导体。这种新一代的超导技术可以在电力工程、电能输送、电动机与发电机制造、磁流体发电、超导磁悬浮列车、超导电子器件、地球物理勘探、生物磁学、高能加速器与高能物理研究等众多学科领域中有广泛的应用。

