

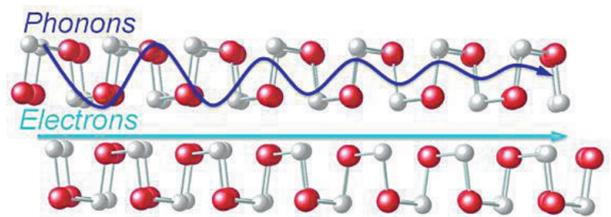
五种“并不存在”却能改变世界的粒子

本报记者 刘霞 综合外电

粒子指能以自由状态存在的最小物质组分,包括电子、中子等。现代物理学的基石——物理标准模型从本质上说就是一个粒子家族的“家谱”,其成员大家耳熟能详;最后展露“芳容”的希格斯玻色子,更是一面世就受到各路科学家的追捧。

但还有一类同样重要的粒子却乏人问津。当然,这也是可以理解的,因为这些“准粒子”并非真实存在,但它们的独特物理性质却足以变革现代科技。英国《新科学家》杂志在近期的报道中,为我们列出了5种“并不存在”却能改变世界面貌的准粒子。

声子:电动牛仔



2012年,欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)发现了希格斯玻色子,它是其他粒子的质量来源。至此,62种基本粒子已全部被发现,粒子物理学的标准模型也得以完善。

但如果如果没有声子(phonon),这一切不可能发生。声子的概念是在研究晶格振动过程中发展起来的。同济大学声学学与热能科学中心主任李保文曾解释称,声子并不是真正的粒子,而是一种准粒子,是量化的晶格振动。之所以称之为声子,跟“声音”的本质是物体的“振动”有关,实际上,声子的希腊文就是声音的意思。

声子这一名称由前苏联物理学家伊戈尔·塔姆于1932年首次提出。他指出,正如光和电子对应一样,可以把声波与我们称之为“声子”的某些粒子联系起来。在固体中,尤其是在半导体和绝缘体中,“热”通过晶格振动来传导,也就是说,“声子”是热的载体。在常温下,声子是准粒子,固体材料的热传导主要由声子来实现。但在极低温下,这些准粒子“化身”为一群“牛仔”,驱赶着电子组成的“牛群”。这些电子的行动整齐划一,活动时电阻几乎为零,这便是低温超导的原理。

正是超导磁体制造的巨大电磁场,让质子们在LHC的大型圆形轨道内弯曲前行。而在核磁共振成像(MRI)扫描仪中,这些超导磁体“变身”为指挥,引导人体组织内的氧原子“跳舞”,释放出可以追踪的无线电信号。另外,在最近方兴未艾的热电材料领域,声子也扮演着重要角色。这些热电材料可将热能转化为电能,也有望实现科学家们一直以来的梦想:将汽车引擎废热再利用,为电子产品供电。

磁振子:自旋之王

自从塔姆提出“声子”概念后,科学家们逐步在固体内部发现了很多这样的准粒子。另一个此类粒子源于自旋,这一量子属性是磁学的基础。自旋就像原子上的一支箭,指南或北;当物质内的所有自旋对齐时,就出现了一个磁场。但当这种自旋状态不断翻转时,就造出了一种波效应,科学家们将这种效应称为“磁振子(magnon)”。

普通电脑和智能手机存储信息需要电力,设备断电信息则无从获取。如果用了磁振子,信息存储将完全依靠磁场,无需电力,这就是所谓的自旋电子学(Spintronics)。这种方法的优点在于,它耗电很少——耗电量过大是晶体管芯片微型化遇到的主要问题之一。如果用电磁波来控制磁振子,那么计算机完全可以摆脱电线和电力的束缚。

激子:植物的秘密武器



地球一个小时内从太阳获取的能量,比全人类一年消耗的能量还要多。植物扮演了能量捕手的角色,而激子则是植物执行这一任务的“秘密武器”。

在任何物质中,电子以不同的能级存在。当一个光子照射到物体表面时,它会将电子激发到更高能级,留下一个空穴。电子带负电,空穴带正电,它们之间的库仑吸引作用,在一定条件下会让它们在空间上束缚在一起,这样形成的复合体被称为激子(excitons)。植物的叶片中含有捕光蛋白,捕光蛋白内的电子吸收光子获得能量会被激发,离开自己的位置,留下一个空穴,电子-空穴对形成的激子,会在植物的光合作用生产线上四处飘荡。

当激子到达需要它们的特定位置,电子跟空穴重组并释放出能量,植物利用这些能量将水分解为氢和氧气。

这一光合作用是地球生命的根源,人类一直期待可以在太阳能电池内模拟这一反应。2013年,美国麻省理工学院研究人员找到了直接给激子“拍照”的方法,朝最终目标迈出了关键一步。

另据美国《科学》杂志网络版2009年报道,美国加州大学圣迭戈分校物理教授莱昂尼德·布托夫及其同事已经制造出数个基于激子的晶体管。这些晶体管有望成为新型电脑的基本模块,它们所装配出的电路也成为世界上第一个使用激子的运算装置。

马约拉纳费米子:量子英雄



如果你想拥有一台真正的多进程电脑,可以向量子计算机求助。仍处于萌芽阶段的量子计算机利用了微妙且具有不确定性的量子态,可以对同一问题同时给出多个解。只要外界环境不去打扰量子计算机“施魔法”,它就可以稳定运行。

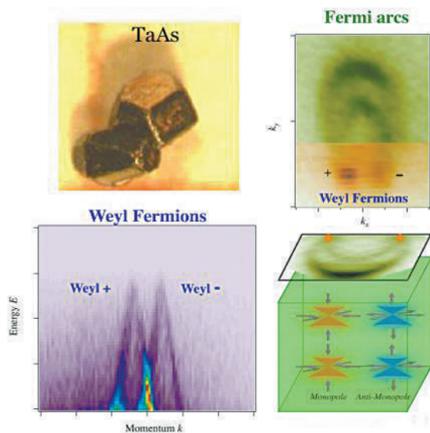
马约拉纳准粒子可以为量子运算提供“量子比特(qubits)”,使量子计算机更强大。普通计算机内的信息存储在“比特(bit)”,每一比特都被编码成0或1;量子计算机内的信息比特可同时以0和1存在,但这种叠加状态非常脆弱。为此,物理学家们一直在寻找使量子比特更稳定的方法。

上世纪30年代,意大利理论物理学家埃托雷·马约拉纳预言,肯定有一种粒子,它和它的反粒子是一样的。“马约拉纳粒子”的概念诞生了,它没有质量,不带电,是自己的反粒子,且总是成双成对出现。马约拉纳粒子由于具有特殊的性质,呈电中性,很少与环境相互作用,因此成为一种理想的量子信息编码载体。

由于马约拉纳粒子总是成双成对出现,意味着它们包含的信息都有两个副本,因此从理论上说,马约拉纳量子比特对外界噪音有更强的耐受性。但据荷兰QuTech研究所的阿提拉·盖赖什迪介绍,这些量子比特存在于巨大的电子效应背景下,要想把马约拉纳粒子的信息提取出来非常需要技巧。

今年6月份,上海交通大学贾金锋科研团队在《物理评论快报》上撰文指出,他们通过一种由拓扑绝缘体材料和超导体材料复合而成的特殊人工薄膜,已在实验室里成功捕捉到了马约拉纳费米子,这不仅有助于量子计算机的研制,还有助于进一步揭开暗物质的谜团。

外尔费米子:双面娃娃



“外尔费米子(Weyl fermions)”就像电子羞涩的“表亲”。1929年德国科学家外尔(H. Weyl)提出:存在一种“无质量”的可以分为左旋和右旋两种不同“手性”的电子,这种电子被称为“外尔费米子”。

外尔费米子具有两个关键特性:无质量而有手性。没有质量意味着,它可以高速移动,同时它对与其手性不符的干扰具有极高的抵抗力,这就使它很难散射;两束不同类型的外尔费米子流可以靠得很近却不相互作用。有人提出,这些属性使它可以成为超越自旋电子学运算能力的计算机的基础。

但80多年来,科学家一直没有在实验中观测到外尔费米子,具有外尔费米子特性的半金属材料也是最近才“现身”。去年7月16日,《科学》杂志在线发表了美国普林斯顿大学物理学家扎伊德·哈桑团队的实验成果。该团队宣布,他们在“外尔半金属”中发现了“外尔费米子”;7月20日,中科院物理所官网发布消息称,由该所方忠研究员率领的科研团队,首次成功在TaAs晶体中发现了外尔费米子。所以,“外尔电子学(Weyltronics)”时代已出现在地平线上,但还有很长的路要走。

如果将一块磁铁砍成两半,你会得到两个更小的磁铁,原来的磁铁和新磁铁都有“南”极和“北”极。而且,无论磁铁被分割成多少部分,无论把它分割得多么小,新得到的每一段小磁铁总有两个磁极。那么,存在着单独的南极或者北极吗?就像电荷存在着单独的正电荷和负电荷一样?

据美国费米国家实验室官方网站9月13日报道,尽管迄今还没有人有幸得以窥见其“真容”,但大多数物理学家都认为,存在着单独的磁极——磁单极子。

狄拉克预言磁单极子存在

站在前人研究的肩膀上,19世纪70年代左右,英国物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦证明了电磁相互作用的两个方面:电和磁就像一对亲密无间、夫唱妇随的美满佳偶。

但实际上,就像再美满恩爱的夫妻也会有性格上的差异和其他方面的不协调,电和磁也不例外。而且,这种不协调在宏观和微观上都有显著表现。比如,在宏观上,从地球、月球、行星到恒星、银河系和银河系之外的星系等,都具有磁场。磁场对天体的起源、结构和演化都有着举足轻重的影响;可是,电场在宇宙空间几乎无声无息。在微观上,带电体可分割成单独带有正电荷和负电荷的粒子,正、负电荷可以单独存在;但长久以来,人们从来没有发现过单独存在的磁极——磁单极子。磁和电的不对称也使描述电磁现象的麦克斯韦电磁方程组显得不对称。

那么,磁单极子是否存在呢?20世纪初,量子理论的先驱保罗·狄拉克给出了他的预言。1931年,狄拉克首先从理论上用极精美的数学物理公式预言,磁单极子是可以独立存在的。他认为,既然电有基本电荷—电子存在,磁也应有基本磁荷—磁单极子存在,这样,电磁现象的完全对称性即可得到保证。因此,他根据电动力学和量子力学的合理推演,前所未有地把磁单极子作为一种新粒子提出来,使麦克斯韦方程具有了完全对称的形式。

磁单极子或曾到访过

自从狄拉克提出磁单极子学说之后,磁单极子成为很多科学家眼中的“香饽饽”,他们对其进行了深入研究,也提出了各种假设。1994年,内森·塞伯格和爱德华·威滕两位美国物理学家首次证明,磁单极子存在理论上的可能性。

另外,大一理论(Grand unified theories)预测了超重磁单极子的存在。该理论认为,这种磁单极子的质量将是质子质量的1亿亿倍。尽管目前地球上的加速器无法提供制造这样的粒子所需要的能量,意大利国家核物理研究所的劳拉·帕特里齐亚说:“宇宙诞生之初可能存在着这么巨大的能量。”

其实,物理学家在现实中“捕捉”到过磁单极子。这一事件发生在1982年的情人节。那时,斯坦福大学物理系的布拉斯·卡布雷拉打造了一个探测磁单极子的机器,如果探测到了磁单极子,机器上就会显示8磁子(磁子是一个常数)的信号。卡布雷拉从未探测到磁单极子,然而就在那年情人节那天,他却意外收到了一个8磁子的信号,这意味着他探测到了磁单极子。他为此加大了探索步伐,后来建立了更大的探测仪器,然而却再也没有探测到过磁单极子的踪影。

直到今天,并没有人再次找到过磁单极子,卡布雷拉当年的发现也因此成为一宗悬案。物理学家们尝试过在月面物质样本中寻找,也尝试过在粒子加速器的碰撞实验中寻找,但都一无所获。

2009年3月,美国物理学家希瓦吉·颂提在《科学》杂志撰文指出,他们在“自旋冰”晶体中观测到了类似磁单极子的物质。研究论文在当时引起了一场轰动,但后来证明,这次发现并非是观测到了该物质,而仅仅只是一场巧合。2009年,德国和法国的两个科学家小组在9月4日出版的《科学》杂志上报告称,他们在一种特殊的晶体中观察到了“磁单极子”的存在,但他们的“磁单极子”与物理学中由狄拉克预言的磁单极子仍有天壤之别。

最受人瞩目的关于磁单极子的发现,当属2014年的一项研究。据英国《自然》杂志网站2014年1月29日报道,美国艾姆斯赫斯特学院科学家戴维·霍尔团队表示,他们在自旋凝聚态所产生的人造磁场中,获得了在凝聚态内洞线末端的磁单极子的真实空间图像,提供了证明狄拉克磁单极子存在的证据。

孜孜不倦寻找磁界“独角兽”

尽管如此,科学家们仍然没有见过磁单极子的“真容”。目前,全球各地的宇宙射线探测器正在孜孜不倦地寻找磁单极子的线索。科学家们认为,这些磁单极子今天可能仍然在我们周围逡巡,同空气中的分子相互作用。在意大利格兰萨索(Gran Sasso)国家实验室进行的MACRO实验,也在寻找原初磁单极子。

另外,有科学家认为,质量更小的磁单极子或许能在欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)内制造出来。目前,帕特里齐亚和加拿大约克大学的温迪·泰勒都在寻找在LHC内制造的磁单极子。帕特里齐亚使用LHC上专门设计用来寻找磁单极子的单极和特种探测器(MoEDAL),而泰勒使用超环面仪器(ATLAS)。

泰勒说:“从个人的角度而言,我相信,磁单极子就在那里,我们只需要不停地寻找就行。磁单极子可能是我最喜欢的粒子。如果我们发现磁单极子,其意义将可与发现希格斯粒子相媲美。”

经历了这么长时间的寻找,迄今还没有科学家敢理直气壮地声称,自己完全真正找到了磁单极子,但对于磁单极子的探索,人们还要继续下去。尽管要找到磁单极子,并不是件简单容易的事,而是一项长期而艰巨的任务,要付出许多时间和精力,甚至可能要经过数代人的努力,但科学家们绝不会轻言放弃。

