

## 新激光技术生成冷电子偶素

美国的物理学家发现电子偶素(一种短寿命的电子与正电子的束缚态)可以通过用激光束照射硅的表面而生成. 由于这种技术是高度可控的, 并且适用于很宽的温度范围, 因而对于为寻找物质与反物质特性上的微小差别而设计的低温实验是极为有用的.

物理学家对电子偶素感兴趣, 部分原因是电子偶素可以为生成具有确定的量子态的反氢原子提供正电子. 反氢原子是与氢原子对应的反物质, 由反质子和围绕着这个反质子做轨道运动的正电子组成. 根据粒子物理的标准模型, 反氢原子应该具有和氢原子相同的原子谱. 两者之间任何一点差别都意味着物质与反物质之间的一种非对称性, 这种非对称性可以用来解释为什么我们看到的宇宙中绝大多数是物质而反物质极少, 尽管在大爆炸时应产生等量的物质和反物质.

电子偶素是 Martin Deutsch 于 1951 年发现的, 他使正电子停止在气体中而生成了电子偶素. 最近研究者在研究如何通过各种不同物质的表面(包括硅表面)的发射, 在真空中用可控的方法产生电子偶素“原子”.

2011 年 3 月, 加利福尼亚大学 Riverside 分校的 David Cassidy 和他的同事发表了一篇论文(见 *Phys. Rev. Lett.*, 2011, 106:133401), 描述了他们如何将放射源发出的正电子束注入到一个硅靶中, 然后对这个靶加热, 使已经与硅中的电子束缚在一起的正电子释放出来. 他们惊奇地发现, 发射出的电子偶素原子并不像从热的表面放出的那样具有宽的能谱, 而是几乎所有的电子偶素原子具有相同的能量, 大约是 0.16eV.

研究人员断定, 从硅的价带激发到导带的电子被散射到未被占据的表面态. 在通常情况下, 这些电子会与空穴结合形成被称为表面激子的电子-空穴对. 但是, 如果有正电子存在, 那么电子就有可能与正电子结合形成类似激子那样的电子偶素原子. 研究人员说, 正是由于这种结合过程释放出非常确定的能量, 并且将这些电子偶素原子从硅的表面驱逐出去.

Cassidy 和他的研究组的工作表明, 为生成这些类激子态所需的能量可以用激光提供, 其效率要比简单的对样品加热高很多. 在注入正电子之前, 他们用绿激光脉冲照射硅, 结果大大增强了发射出的电子偶素的通量. 他们还发现, 在有激光束照射时, 即使硅冷却到接近 0K 的温度, 电子偶素的通量仍然很强, 这一点, 他们并没有能够直接演示, 而是通过将温度逐渐提高到接近 1000K 时对通量增加的情况绘图, 然后再反推到绝对零度而得出来的. 有关论文发表在 *Phys. Rev. Lett.*, 2011, 107:033401 上.

(树华 编译自 *Physics World News*, 25 July 2011)

## 期盼出现:能够计算高温超导 $T_c$ 的理论模型

高温超导发现已经 25 年了,然而关于其中的机理仍然没有一个满意的解释.最近,在 *Nature* 周刊和 *Science* 周刊发表的 K. Jin 等人和 R. U. He 等人的研究报告,为我们提供了有关相图研究的一些新结果.按照传统的能带理论,所有的三维过渡金属一氧化物都应该是导体,因为相关的能带是半满的.然而,事实上并非如此,它们大多数表现为反铁磁的 Mott 绝缘体.在此类材料中,近邻阳离子的自旋取向相反.1963 年,John Hubbard 对上述图像进行了模型计算,其理论公式至今仍然是此类问题的研究出发点.1986 年,Georg Bednorz 和 Alex Müller 用 Ba 对  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  (一种铜的一氧化合物, Mott 绝缘体) 进行掺杂,在铜-氧能带引入了空穴载流子,破坏了长程反铁磁有序,将材料转化为导体,进而发现了其中的高温超导电性.有别于上述空穴掺杂,电子掺杂也可能在反铁磁的 Mott 绝缘体中诱导出高温超导.

以载流子浓度  $g$  为横坐标,以温度  $T$  为纵坐标,得到的高温超导材料的相图都有一个超导区,它覆盖一定的横坐标以及纵坐标的范围,形状就像是北京国家大剧院的穹顶.在穹顶的左方是反铁磁的 Mott 绝缘体区,左上方是反铁磁记忆残存区(又称赝能隙区),右上方是电阻  $R$  正比于温度  $T$  的类金属区,而穹顶的右方则是电阻  $R$  正比于温度  $T^2$  的费米液体金属区.在  $T=0$  (即零温)时,横坐标轴被一个特殊的点  $g^*$  分开(称为量子临界点),它的左边是绝缘体,右边是导体,它的具体位置很接近载流子的最佳掺杂浓度.

一般认为,在赝能隙区中,载流子 d 波配对能隙的产生,起源于未掺杂母化合物中残存的反铁磁有序. He 等人主张,赝能隙的存在对超导的发生起促进作用,其理由是,赝能隙和超导能隙的幅值接近,并且在温度等于超导转变温度  $T_c$  时,两种能隙收敛到同一值.对于超导区穹顶右上方的正常态区域(即电阻  $R$  正比于温度  $T$  的类金属区),Jin 等人将它归结为载流子的自旋涨落散射,进而认为这种磁散射机制对超导载流子配对也负有责任.按照这样的微观模型,应该能够预言“在电阻  $R$  正比于温度  $T$  的正常态区域, $R$  与  $T$  之间的比例系数”.不幸,我们至今尚未见到这样的工作.有专家认为,现在是建立定量模型的时候了.

在传统超导电性研究中,我们有 Eliashberg-McMillan 模型,可以借助于电-声子相互作用参数确定超导转变温度.所涉及的计算方法是“密度泛函”,它或许也可用于处理“自旋涨落散射模型”.铜氧化物超导体还表现出同位素效应以及中子衍射图在  $T_c$  的反常,这意味着电-声子相互作用也是重要的影响因素.强的电-声子相互作用往往导致结构不稳定,这种情况对铜氧化合物(与其他过渡金属氧化物相比)来说更为典型.因此,电-声子相互作用也应被纳入微观计算模型.

(戴闻 编译自 *Science*, 2011, 331:1579 和 *Nature*, 2011, 476:37,73)

## 回旋加速器生产钨-99m

在核反应堆上生产的医用同位素钨-99m( $T_c-99m$ )可以在医院生产(m表示亚稳态).这是加拿大的研究人员得出的结论.他们对如何在医用回旋加速器上生产与加工这种同位素进行了理论模拟.目前 $T_c-99m$ 主要在少数几座核反应堆上生产,如能利用回旋加速器来生产,有助于在反应堆停止运行时缓解 $T_c-99m$ 的短缺.

虽然 $T_c-99m$ 广泛地应用于核医学实践中,但全世界只有5座核反应堆在生产 $T_c-99m$ .这种状态最近由于加拿大的一座反应堆非计划关闭造成全球 $T_c-99m$ 供应的短缺而变得突出起来.因此,物理学家们急于想研究一种新的方法来生产同位素 $T_c-99m$ .

最近的研究是由British Columbia大学的Anna Celler和他的同事们完成的,那是加拿大政府为寻求新的生产 $T_c$ 的技术而设立的一项3500万加元的基金的一部分.

原则上讲,在医院的医用回旋加速器上用质子束轰击钼(Mo)靶,生成的某些Mo-100同位素经衰变可得到 $T_c-99m$ .但是钼靶价格昂贵,而且这种技术会产生其他不希望的同位素,这些同位素对病人诊断无益.因此必须对这种技术的适用性仔细审查,然而实验检验是非常昂贵的.

Celler等建立的理论模型预示了这种生产 $T_c-99m$ 方法的适用性,并且估算了一些数据,如为满足一个典型的核医学部门日常对 $T_c-99m$ 的需求所需运行的回旋加速器的数目.同时还给出了最佳反应产额所需的反应条件,如束流能量和靶的几何形状.

研究人员使用核反应软件EMPIRE-3在6—30MeV的能量范围内计算了每一种钼与质子反应的截面(或概率),模拟证实大量的钼与质子反应产生多种杂质,包括几种钨、钼、铌和锆的同位素.EMPIRE-3模拟还表明,只有对Mo-100浓缩的钼靶才能有效地用于 $T_c$ 的生产.天然的钼由几种不同的同位素组成,会在反应中产生大量的杂质同位素.

研究人员还发现,质子的能量为16—19 MeV时对于 $T_c-99m$ 的生产是最合适的.在这个能量范围内,与杂质同位素相比, $T_c-99m$ 的相对产额是最高的.每天对Mo-100进行短而多次的辐照是最有效的生产方式.研究人员现在正在对使用回旋加速器生产的 $T_c-99m$ 可能使病人接收到的辐射剂量进行计算.有关论文发表在*Phys. Med. Biol.* 2011年第56卷第5469页上.

(树华 编译自 *Physics World News*, 21 September 2011)

## 沉寂黑洞的突然爆发

宇宙中有一大部分星系“停泊”在黑洞的近旁,有些是沉寂的,而另一些则持续地产生辐射.为了探测星系以及中心黑洞从沉寂到爆发的突变,天文学家设计了探测卫星“雨燕号”(Swift),专门捕捉星系中“爆发—消亡”事件所产生的 $\gamma$ 射线暴(通常认为,它与快速旋转的恒星消亡联系在一起).2011年3月28日,雨燕号记录到一次在北方天空出现的短暂的 $\gamma$ 射线暴.对于雨燕号来说,记录只是它所应该完成的例行任务.然而,接下来诸多天文学家小组对上述信号源的广谱(光频和射电信号等)进行观测,却揭示出了一些全新的宇宙事件.观测持续了一个多月,信号源的辐射有所衰减,但始终维持有一定强度,各波段强度随时间的变化规律有所不同.

这次爆发被命名为 Swift J164449.3+573451,它源于一颗黑洞近旁的恒星在引力的潮汐作用下被撕裂而后被吸入黑洞的过程.这黑洞的质量约等于100万个太阳,与我们银河系的中心黑洞相当,属于较小尺寸一类.黑洞引力引发附近恒星在引力的潮汐作用下发生变形,而后被撕裂吸入,其过程先前已经有理论预言,并且也有相应的爆发后观测.然而,从 $\gamma$ 射线暴一开始就被天文学家系统地监测观察,这在历史上却是第一次.新的观察揭示,辐射源发出的X射线其强度是理论预言值的10000倍,广谱辐射所包括的高频光子也比预想的比例高.

专家们为我们归纳出了模型图像:一颗恒星在黑洞的近旁做轨道运动,恒星靠近黑洞的一边所受引力大,而远离黑洞的一边所受引力小,结果恒星因“潮汐力”拉伸而变长.一旦黑洞撕裂了恒星,就将物质被吸入黑洞.但恒星有轨道角动量,因此被扯碎的恒星物质将会在黑洞外围形成一个吸积盘.随着吸积盘中的物质被逐步地吸入黑洞,质能转换将导致黑洞向外辐射各种波段的电磁波.观察表明,在黑洞自转轴的方向,存在有超高速的相对论喷射流,其中包括各种基本粒子以及电磁波.在指向地球的喷流中,多普勒效应使得各种频率的辐射蓝移,这就解释了上述“高频光子比例高”的现象.对于射电频段的研究也表明,喷射流物质沿黑洞自转轴的逃离速度高达99.5%光速.如果这些解释是正确的,那么当恒星物质全部被黑洞吞食时,被监测的广谱辐射将寿终正寝地完全隐退.让我们拭目以待,让未来的观察结果来检验上述模型.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011, 476:405, 421, 425)

## 纳米尺度的四轮驱动车

最近,来自荷兰的 Kudernac 等在 *Nature* 周刊上撰文,报道了他们在设计构建分子四轮驱动车(以下简称分子车)方面所取得的突破性进展.分子车是一个超大分子组合,它以原子淀积的方式构建在扫描隧道显微镜的平台表面上.驱动能量由显微镜的扫描探针针尖提供,即向分子车输送一个个的高能量的电子. Kudernac 的分子车与先前报道的相比,主要的优势在于:它的位于 4 个角隅的部分,其构象可在高能量电子的激励下产生复杂的变化,结果就如同分子车具有 4 个可以转动的驱动轮那样,因而可以在平台表面上朝着一个选定的方向行进.相反,先前报道的简单模型,不可能实现“沿着预定方向持续前进”的运动.

Kudernac 等的设计思路,受到生物学系统的启发.研究者设定的目标是:在人造的纳米系统中,探索能量转换、功能分级以及行为操控的奥秘,进而模拟生命分子的量子化学乃至机械力学的种种过程.在如此微小的系统中,我们通常熟悉的重力变得不那么重要了,取而代之的是范德瓦尔斯力和毛细力等.尽管存在上述不同,我们所熟悉的宏观世界与纳米世界之间仍然有许多相似之处.例如,对车辆而言,无论大小都应具有加速、刹车和牵引功能.在纳米尺度上要考虑的新问题还有:纳米车辆与平台表面的相互作用,原子热运动对分子车辆结构稳定性以及运动趋势的影响.最终,车辆应该是“听命行走”,而不是“无规行走”.

在 Kudernac 等的纳米车(即上文中的分子车)中,驱动轮具有棘轮的性质,也就是说,驱动轮只能朝单一方向转动.现阶段纳米车前进的路线还不能保证是完美的直线,这或许是因为驱动轮原子与平台表面原子晶格间的失配.此外,Kudernac 等所使用的化学合成技术,还不能保证产品纳米车在落地时方向正确;如果在平台表面“四轮朝天”或者“侧翻”,接下来的定向运动便不再可能.目前,纳米车在平台表面上是否“歪倒”,要看它在电激励下的行为.用逆向逻辑思维判断,在电激励下,谁具有定向运动的功能,谁就是符合要求的,说明它四轮着地,没有“歪倒”.

Kudernac 等的纳米车研究进展主要在于:构建了具有多台马达的分子车,并且操控它做定向运动.从机理的角度讲,Kudernac 等的研究数据给予我们许多信息:分子马达之间如何相互影响,分子与平台表面间的相互作用如何影响纳米车的运动.总之,随着理解的深入,我们将能够构建出功能越来越复杂和精巧的纳米机器.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011,479:187,208)

## 爱因斯坦广义相对论在宇宙尺度通过了严格测试

引力理论是我们理解宇宙的基础. 鉴于它所适用的尺度范围极宽, 对于理论正确性的验证也需要在不同的尺度范围进行. 与其他种类的力相比, 引力本征弱小. 因此, 相关实验在太阳系尺度所做出的结果, 要比在地球实验室(例如, 卡文迪什实验室)的结果更好. 然而, 在更为广阔的宇宙尺度范围, 测试引力理论的研究却又会遇到新的困难.

爱因斯坦的广义相对论曾经面临三方面的经典测试, 它们是: (1) 光线在经过太阳附近时发生弯曲; (2) 水星绕太阳运行时其轨道近日点的进动; (3) 光的引力红移. 前两项测试现在已经被更具普遍意义的实验所代替, 而这些实验几乎无一例外地证明了广义相对论的正确性. 至于第三项测试, 在地面实验室的工作已经以极高的精度给出了正面的答案, 但在涉及太阳的测试中却又碰到了太阳表面活动不稳定等干扰问题. 因此, 在太阳系尺度甚至在更大的宇宙学尺度, 测试光的引力红移就成为宇宙学界的一项硬任务.

最近, 来自丹麦的天文学家 Wojtak 等, 通过对“司隆巡天计划”(Sloan Digital Sky Survey) 文件数据的整理, 在宇宙尺度上, 首次成功地获得了星系团引力红移的平均数据, 并将它与爱因斯坦引力理论的预言进行定量比较, 终于从星系团尺度实验的角度验证了广义相对论. 当然, 按照当今宇宙学和粒子物理学界的共识, 广义相对论还不能算是一个完善的理论.

宇宙膨胀(一个个星系团离我们而去)造成了光的宇宙学红移. 另一方面, 在星系团中的星系, 它们作为一个个整体的轨道运动也会带来红移或蓝移. 与上述效应相比, 引力红移的数量级只有十分之一甚至更小. 事实上, 从实验上直接决定个别星系团的引力红移是不现实的, 因为我们不清楚个别星系团内星系的轨道结构和密度. 为了获得引力红移的平均数据, 为了剔除宇宙学红移以及星系轨道运动的影响, Wojtak 等放弃了直接采集数据的路径, 转而研究星系团内红移分布的特征.

借助于“ $\Lambda$  冷暗物质宇宙学模型”, Wojtak 等对 2500 个星系团的数据做平均, 其中包括 120,000 个星系的实测红移数据(即包含各种组分的原始红移数据). 对于一个作为目标样本的星系团, 研究者首先需要找出它的“中心最亮星系”(BCG). 然后, 星系团内各星系相对于 BCG 的红移(或蓝移)被分析, 从而消去宇宙学红移以及星系运动的影响. Wojtak 等最终构成的“理想星系团”, 其结构和红移特性反映了宇宙中的真实情况. 从星系团内不同深处发出的光线, 其引力红移量不同: 从星系团中心发出的光, 引力红移量最大, 因为在整个逃逸的过程中, 光子受引力拖拽的时间最长; 从星系团外围向地球发出的光, 引力红移量最小, 因为光子在逃逸的过程中受引力拖拽的时间最短.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011, 477:541 和 567)

## 音乐与神经细胞

欧洲的物理学家建立了一个模型,提出某些声音听起来很悦耳,是由于这种声音有韵律地触发听觉系统的神经细胞.研究人员说,他们的模型表明,对于悦耳的音频,神经信号的间隔是有规律的,而对于难听的音频,神经信号的间隔是无规律的.研究人员认为,他们的模型可用于研究其他感官,如使用类似的神经处理系统的视觉.

人类和动物如何感觉到声音一直使科学家们非常感兴趣.有两件事情音乐家认为是理所当然的:“音调的感觉”与“和音与非和音”的感觉.简单地说,音调的感觉就是能够区分声音的频率,而和音与非和音的感觉是能够察觉和弦与非和弦之间的差别.

当前,物理学家们集中研究和音与非和音的感知,以鉴别在人的大脑中与和弦及非和弦相联系的信号的位置与数量.

听觉需要将声音转换成神经信号.该模型由3个类似于神经的元素组成,其中两个代表感觉神经元,由两个不同频率的噪音驱动.在噪音的环境中,两个神经元与代表“中间神经元”的第3个神经元相连.这是一种内部的神经元,将感觉神经元与大脑中的其他神经元相连.在现实生活中,不止两个初始神经元,因为人类的耳朵对20Hz到20000Hz的频率是灵敏的,并且能够探测120dB范围的声音.

中间神经元输出的信号是研究者主要的研究对象,结果发现,如果一个声音信号被听觉系统转变成的神经信号的间隔呈有规律分布时,那么感觉到的信号是和谐的.反之,如果神经信号的间隔是无规律分布时,所感觉到的信号是不和谐的.在中间神经元的输出端,不和谐的输入信号使神经信号模糊,而和谐信号产生更有规律的不嘈杂的神经信号.

研究人员按照信号的熵来将中间神经元输出的规律性进行了量化.这种规律性与信息熵线性相关:悦耳的和弦产生具有高度规律性的神经信号,因而具有低的熵;而难听的和弦产生规律性差的神经信号,因而具有高的熵.(有关论文将发表在近期的 *Phys. Rev. Lett.* 上).

(树华 编译自 *Physics World News*, 13 September 2011)