

## 薛定谔之猫仍然令人困惑

著名的薛定谔之猫的佯谬从量子力学的原理出发,得出一个怪诞的结论:猫可以同时处于活的和死的两种物理状态.在现实生活中,像猫那样的大物体显然不能处于两种或多种状态叠加的状态.这个佯谬通常是通过量子退相干来解决的.

量子力学的创立者之一薛定谔于1935年用公式表述了他的佯谬,强调了关于量子力学的态叠加原理,即在没有观察的时候,量子客体同时处于多种状态.他构想了一个黑盒子,里面装有一个放射性核、一个盖革计数器、一瓶毒气和一只猫.如果盖革计数器探测到来自核衰变的辐射,便将毒气释放,将猫杀死.这个可怕的游戏按照量子力学规律进行,这是因为核衰变是一个量子过程.

如果这个黑盒子停放一段时间后再打开观察,你会发现,那个放射性核或者已经衰变,或者还没有衰变,因而毒气已经被释放,或者还没有被释放,所以那只猫或者已经被杀死,或者还没有被杀死.然而量子力学告诉我们,在观察之前该系统处在两种状态叠加的状态,放射性核已经衰变了又还没有衰变,毒气已经被释放了又还没有被释放,而猫已死了还活着.

薛定谔之猫是“微观—宏观纠缠”的一个例子,依靠这种纠缠,量子力学原理上允许像原子核那样的微观物体与像猫那样的宏观物体具有比经典物理所允许的更紧密的关系.但是,每个观察者都清楚,微观物体遵守量子物理规律,而宏观物体遵守我们日常生活中体验到的经典物理规律.但是如果微观物体与宏观物体两者发生纠缠,各自却由不同的物理规律支配是不可能的.

解决这一问题的最通常的方法是求助于量子退相干,发生退相干时,一个物体与其周围物质之间的多重相互作用会破坏叠加态的相干和纠缠.结果是物体表现为遵守经典物理规律,尽管该物体实际上遵守量子力学规律.像猫那样的大的系统不可能完全与周围物质隔离,因此我们不能感觉到它是一个量子物体.

Calgary大学的Christoph Simon等提出,如果退相干没有影响到猫,将会发生什么情况.在一个基于计算机模拟的假想实验中,他们考虑从极化度大小相等但极化方向相反的不同光源中产生的光子对(A和B),对于每一对光子,光子A直接被探测器接受,而光子B则用放大器复制许多次,形成宏观的光束代表猫,然后测量光束中光子的极化.

他们考虑两种类型的放大器:第一种放大器测量光子B,其效果是在产生更多的光子之前破坏与光子A的纠缠,而不管所测量的光子B具有什么极化(这很像纯经典过程,即观察盖革计数器,看是否探测到辐射,然后利用这个信息确定是否将猫杀死);第二种放大器复制光子B而不测量其状态,因此保存与光子A的纠缠.

研究人员想了解,所测量的光束中光子的极化将随所使用的放大器的不同而有所不同.他们发现,如果能实现完美的分辨,结果是完全不同的.但是目前的实验技术达不到所需的分辨,因而是看不到差别的.有关文章将发表在 *Physical Review Letters* 上.

(树华 编译自 *Physics World News*, 23 November 2011)

## 100 亿个太阳质量的超巨黑洞

超巨质量黑洞,原本以为只存在于宇宙的早期,即与我们相距数 10 亿光年乃至更远的地方.最近,利用太空望远镜加上地基天文台的联合观测,科学家发现了两个超巨黑洞,它们每一个的质量都超过 100 亿个太阳,并且位于我们的近旁. McConnell 等根据进一步的探测,研究了超巨黑洞和它的宿主星系共同演化的过程,结果已经发表在 *Nature* 周刊上.

在大约 20 年前,天体物理学家注意到一种奇异的天体——类星体.它们所处的位置相当于宇宙年龄 60 亿年左右的阶段.它们数量很多,而且极其明亮.研究表明,如此强大的发光是源自于星系核的巨大黑洞吸积周围的气体.气体在巨大黑洞的吸引下不断加速,随着极限高速的到来,发出超强的闪光.现在,与早期宇宙相比,在我们近旁的星系周围,不再有大量的星际间气体.因此,在我们近旁的宇宙中,不可能看到类星体.但毫无疑问,那些在宇宙早期为类星体发光提供动力的巨大黑洞不会消失,它们仍然潜伏在我们近旁的巨大星系的核心处.

为类星体发光提供动力的巨大黑洞的宿主通常是大质量的椭圆星系,它们又往往位于大星系群的中心.已知,离地球最近的大星系群与我们的距离是 3 亿光年;这个不短的距离给“推定星系群中心大黑洞的质量”带来困难.按照 McConnell 等的研究,位于椭圆星系中心的黑洞,其增长方式有两种:其一是通过周围气体的吸积,经验表明,超巨黑洞的质量  $M_{\text{BH}}$  与宿主星系中心附近恒星的随机运动量密切相关.具体说,  $\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot}) = \alpha + \beta \log(\sigma/\sigma_0)$ , 其中  $\sigma$  是宿主星系的速度色散(velocity dispersion),  $\alpha$  和  $\beta$  是常数.其二是通过黑洞合并——两个黑洞相互接近,并且绕它们的质心盘旋,随着两星系的球形分布的恒星群体逐步融合,一个统一的恒星球壳形成.最终,一个质量近乎加倍的超巨黑洞形成,而它的周围是球状的恒星团.

McConnell 等所研究的超巨黑洞,它们的实际质量要比从上述“质量—速度色散关系”计算出来的大.这意味着,在超巨黑洞长大的过程中,吸积增重的贡献不大,质量加倍靠的是两个黑洞的合并.事实上,在质量  $M_{\text{BH}}$  与宿主星系的速度色散  $\sigma$  的关系中,当两个黑洞合并时,宿主星系的速度色散  $\sigma$  不变或变化很小.结果,按照上述“ $M_{\text{BH}} \sim \sigma$ ”经验关系式,计算出来的  $M_{\text{BH}}$  显然要小于实际值.进一步的研究要求更精确地测量黑洞的质量.未来的工作对我们的测量手段提出了更高的要求.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011, 480:187, 215)

## 隐形技术新进展

与电磁场相关的隐形技术在工业和军事方面有着重要的应用价值. 所谓隐形, 从物理学角度看, 就是要让隐形目的物不干扰已有的电磁场, 或者让探测电磁波(如雷达波等)在隐形目的物出现前后其周围的场分布不变. 最近, 来自斯洛伐克科学院电工所的 Fedor Gömöry 等, 在 *Science* 上撰文, 报道了他们在静磁场屏蔽方面所取得的进展. 他们展示了一套隐形功效优异的双层圆柱桶状设施——由一个超导圆柱壳与一个同心的铁磁圆柱壳复合构成的装置.

现行的隐形技术, 通常是针对不同的电磁波段(如微波、红外、可见光等)设计的. 它所使用的包套材料往往要求具有特殊的性能, 如物性的各向异性、空间分布的不均一性(spatially inhomogeneous)、极高的导磁率  $\mu$  和介电常数  $\epsilon$ . 与上述工作不同, Fedor Gömöry 等设计构造的圆柱形包套材料是均质的、各向同性的, 并且他们的研究目标不是减小隐形目的物对已有外场的干扰, 而是彻底消除干扰, 真正实现完全屏蔽.

研究者首先从第一原理出发, 通过求解 Maxwell 方程, 得到内层超导壳的圆柱半径与外层铁磁壳圆柱半径之间的关系. 理想的圆柱桶应是无限长的, 假定超导圆柱壳的内外半径分别为  $R_0$  和  $R_1$ , 铁磁圆柱壳的内外半径分别为  $R_1$  和  $R_2$ , 则按照理论计算结果, 铁磁圆柱壳材料的磁导率应满足  $\mu_2 = \frac{R_2^2 + R_1^2}{R_2^2 - R_1^2}$ .

在 Fedor Gömöry 等的实验中, 所使用的超导体是转变温度在 77K 以上的高温超导带, 而铁磁体壳是由商用 FeNiCr 合金板构成. 圆柱壳的长度  $L=12\text{mm}$ , 直径  $\phi_{\text{in}}=12.5\text{mm}$ .  $R_0=0.96R_1$ ,  $R_2/R_1=1.34$ , 铁磁材料的磁导率  $\mu_2=3.54$ , 超导体基于它的完全抗磁性, 相当于  $\mu=0$  的材料. 实验者在圆柱壳的外部用电磁铁提供测试用的匀强磁场(40mT), 在只有铁磁壳的情况下, 磁力线向圆柱壳会聚, 并有部分磁力线进入圆柱壳; 在只有超导壳的情况下, 完全没有磁力线进入壳层内部, 而外部磁力线绕行圆柱壳形成连续的有疏密变化的流线. 如果是铁磁壳和超导壳双层联合作用, 当环境温度降到 77K 以下时, 惊人的一幕发生了: 完全没有磁力线进入壳层内部, 外部磁力线没有任何畸变, 处处保持密度均匀, 即流线平行. 外部的磁场不渗透到圆柱壳的内部, 放置在圆柱壳内部的磁体, 其磁力线也不会漏到壳的外部.

历史上超导体和铁磁体曾分别被用作为磁屏蔽材料. Fedor Gömöry 等的创新之处在于, 证明了: 按照理论计算的结果, 选择超导体和铁磁体的性能参数以及尺寸, 进行适当搭配, 完全有可能实现没有外磁场畸变的静磁屏蔽. 此外, 新设施还具有对屏蔽物没有尺寸限制的优点, 因为双层壳的性能与电磁波波长无关.

(戴闻 编译自 *Science*, 2012, 335:1466—1468)

## 月球模型受到质疑

一个国际研究组宣称,几乎所有组成月球的物质都来源于早期的地球.这一发现与月球是由“忒伊亚”(一个像火星那样大小的物体)与早期地球碰撞而形成的天体模型相矛盾.这一模型认为,40%的月球物质来源于忒伊亚.

该研究工作基于流行的对月球形成的描述,认为忒伊亚与早期的地球发生了剧烈的碰撞,将一堆物质抛出,然后这些物质围绕地球做轨道运动.这些物质在几百年内凝聚并很快结合在一起形成月球.许多关于这种描述的数学模拟显示,抛出的物质中最多60%来自地球的地幔,剩下的40%来自忒伊亚.这意味着将能在月球中找到地球物质和忒伊亚物质的完全不同的地质化学成分.因为忒伊亚物质与地球物质是很容易区分的.

然而,美国芝加哥大学的 Junjun Zhang 和他的瑞士同事在比较地球岩石和月球岩石样品中的钛同位素的丰度时,却发现两者是相同的,差别仅在百万分之四.在比较时,他们对宇宙射线在月岩中引起的钛同位素丰度的变化做了修正.研究者认为,钛同位素的这种同一性意味着月球完全是由地球的地幔物质组成的.这一结果与大多数剧烈碰撞模型相矛盾,这意味着忒伊亚的组分与地球是惊人地相似的.有关论文发表在 *Nature Geoscience*, 2012, 5: 251—255 上.

(树华 编译自 *Physics World News*, Mar 26, 2012)