

神秘的黑洞

米丽琴



2010年11月16日凌晨(北京时间),美国宇航局对外公布了一则“秘密”——该局最近发现的“异常物体”不是此前盛传的 UFO(不明飞行物或称飞碟),也不是外星人,而是地球附近一个年仅 30 岁的黑洞。这个最年轻的黑洞是天文学家利用美国宇航局的钱德拉 X 射线望远镜发现的,它为观测这类婴儿期天体提供了独一无二的机会。美国宇航局在当天记者会上发布的声明称,这个黑洞将能够帮助科学家更好地理解大质量恒星是如何爆炸的,恒星爆炸后留下的是黑洞还是中子星,以及我们银河系和其他星系黑洞的数量。

据报道,这个 30 岁的黑洞是距离地球约 5000 万光年的 M100 星系中的超新星“SN1979C”的余烬。根据钱德拉 X 射线望远镜、美国雨燕卫星(Swift Gamma-Ray Burst Mission)、欧洲宇航局牛顿 X 射线天文望远镜(XMM-Newton)以及德国伦琴卫星获得的数据显示有一个明亮的 X 射线源,这个 X 射线源在 1995 年到 2007 年这段观测期内一直非常稳定,这表明这个天体是一个黑洞,它正在吞噬这颗超新星和伴星落下的物质。这是唯一一个人类全程见证它形成的黑洞,也是目前为止超新星爆炸能够形成黑洞的唯一的直接证据。领导这项研究的美国马萨诸塞州剑桥哈佛·史密森天体物理学中心的丹尼尔·帕特诺德表示:“如果我们的解释没错的话,这是已经被观测到的最近的一个黑洞诞生的实例。”

然而,如果真的发现了黑洞这一未曾谋面的天体,必然会在科学界引起轰动。那么,究竟什么是黑洞,人类对它的认识达到何种程度呢?

黑洞是宇宙间最神秘的天体。早在 200 年前,英国的迈克尔和法国的普拉斯就预言了黑洞的存在。他们认为,当一颗星的万有引力足够强大,以至于能把自身发射的光拉回去的时候,这颗星将成为看不见的暗星,也就是今天所说的黑洞。他们依据牛顿定律算出了黑洞的半径。爱因斯坦的广义相对论认为,万有引力并不是真正的力,而是时空弯曲的表现。物质密度越大的地方,时空弯曲得越厉害。

英国马萨诸塞州剑桥哈佛·史密森天体物理学中心的丹尼尔·帕特诺德表示:“如果我们的解释没错的话,这是已经被观测到的最近的一个黑洞诞生的实例。”

23 卷第 1 期(总 133 期)

美国科学家奥本海默指出,时空弯曲到一定程度,光将不能从那里逃离,那个地区将成为看不见的黑洞。他依据广义相对论,再次预言了黑洞的存在。

人们最初认为,黑洞是一颗死亡的星,是天体演化的最终归宿。黑洞就像一个无底洞,什么东西都可以掉进去,但是任何物质都跑不出来,这就是黑洞名称的由来。研究表明,当黑洞由引力坍缩形成时,它很快就稳定在一个仅由三个参量所表征的定态上,这三个参量是质量、角动量和电荷。除这三个参量之外,黑洞不再保留坍缩物体的其他细节,这个结论称为“黑洞无毛”定理。无毛定理意味着在引力坍缩中会丢失大量信息。例如,最终的黑洞状态同坍缩物体是由物质构成还是由反物质构成无关,类同于物体是球状还是极不规则的形状无关。换句话说,坍缩成为某个给定质量、角动量以及电荷的黑洞的,当初可能是许许多多不同组态的物体中的任意一个。1974 年前后,对黑洞的认识发生了深刻的变化,人们认识到黑洞有内部结构。当时年轻的物理学家霍金等还指出黑洞有温度,能发出热辐射。然而,有趣的是,辐射不仅不使黑洞降温,反而使它的温度升高。小黑洞的温度极高,可能会发生爆炸。黑洞像一般的星体一样,能把周围的物质吸引过来,使它们围绕自己旋转,并逐渐落入黑洞。黑洞在吸进物质的时候,也会产生强烈的辐射,并有可能在黑洞两极处形成猛烈的喷流。天文学家已经观测到许多天体有喷流射出,其中有一些天体,有可能就是黑洞。由此来看,黑洞并不是一颗死亡的星,它只是恒星演化的一个阶段。到目前为止,黑洞还只是科学家预言的一种天体,至今尚未被公认发现,因此有关黑洞的研究正在继续进行中。

最简单的黑洞是球对称的史瓦西黑洞(图 1),史瓦西黑洞在引力半径 $r_g = 2GM/c^2$ 处,形成一种奇异的球面,在 $r=0$ 的中心处,存在一个奇点。这张奇异的球面,就是黑洞的边界,物理学家称其为视界,意思

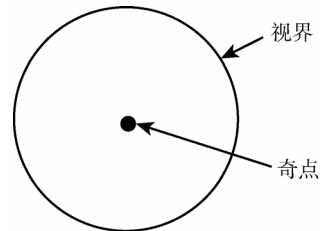


图 1 史瓦西黑洞

是可见区域的边界。这就是说，视界以内的任何东西（包括光）均不能跑出视界，即黑洞外部的人不可能得到黑洞内部的信息。人们发现，只要爱因斯坦的广义相对论正确，并且因果性成立，那么任何有物质的时空，都至少存在一个奇点。然而，宇宙中从来没有观测到裸奇点，但这并不能证明它们不存在。为了摆脱这个困难，彭若斯提出了一个假设：自然界禁止裸奇点存在。按照这个假设，引力坍缩总是使奇点被包在视界里面，这就是所谓的宇宙监督。宇宙监督的思想很能使人消除困境，但是从来没有在广义相对论里被严格证明。对于与球对称相差不大的情况，这个假设是成立的，但对极端的情况问题仍然悬而未决。更令人困惑不解的是，被认为是我们宇宙在 137 亿年前诞生的宇宙奇点，并没有隐藏在一个视界之内。

史瓦西黑洞的视界，同时是无限红移面。广义相对论认为，时空弯曲的地方，钟走的慢，弯曲越厉害，钟走得越慢。太阳表面上的钟就比地球表面上的钟慢。这种现象表现为，太阳表面发射的光，其光谱线比地球上同种元素的光谱线频率要低，波长要长，即光谱线的位置要向红端移动。这种现象称为引力红移。人们早已观察到太阳光谱的这种红移，认为这是对广义相对论的一个验证。然而太阳表面的时空弯曲的不够厉害，观测这一效应十分困难。而黑洞表面的时空弯曲的非常厉害，致使那里的钟变得无穷慢。从地球上看来，黑洞表面上的钟完全停止不走了。如果在那里放置一个光源，从地球上看来，此光源射出的光会发生无限大的红移，频率会减小到零，波长会增大到无穷大。实际上，外界根本看不见这样的光。如果一艘宇宙飞船趋进黑洞，静止于无穷远处的观测者将看到，飞船越靠近黑洞，走的越慢。飞船内的时间过程也越来越慢，那里的人好像逐渐凝固。另一方面，由于飞船发出的光线的红移越来越大，而且单位时间内从飞船逃到无穷远处的光子数越来越少，飞船将变得越来越红，越来越暗。逐渐冻结在黑洞的表面上，消失在那里的黑暗中。但是，广义相对论认为，对于飞船上的人来说，情况并非如此，他除了感到潮汐力越来越大之外，感觉不到任何异常。他将在有限的时间内穿过视界进入黑洞。

飞船进入黑洞内部会发生什么事情呢？广义相对论告诉我们，黑洞内部的时空坐标要发生互换，

原来的时间坐标变为空间坐标，而原来的空间坐标却变为时间坐标。黑洞内部的等 r 面不再是球面，而成为等时面。对于黑洞，时间方向指向 $r=0$ 的奇点处，这样等 r 面成为“单向膜”，任何进入黑洞的物质只能向 r 减少的方向运动，不能停留，也不可能反向运动，而且也没有任何力和任何物质能够抗拒这种运动。这是因为在黑洞内部整个是个单向膜区，黑洞的边界是单向膜区的起点。任何物质都不能停留在单向膜区，单向膜区处于真空状态。在黑洞内部除 $r=0$ 的奇点外，全部是真空区。

另一黑洞是克尔黑洞（图 2），它是关于旋转轴对称的，又叫转动黑洞。它比静止球对称的史瓦西黑洞要复杂得多。它的视界与无限红移面不再重合，而且有两个视界和两个无限红移面。两个视界都是球对称的，外无限红移面像一个橘子的外壳，内无限红移面则像一个花生的外壳。外视界与外无限红移面之间是外能层区，内视界和内无限红移面之间则是内能层区。在黑洞的中心还存在一个奇环。克尔黑洞的边界是外视界，不是外无限红移面，穿过外无限红移面进入外视界的飞船，仍可以逃出去。但进入外视界以后就无法逃脱，内外视界之间是时空互换区，也就是单向膜区。飞船在这里不能停留，也不能返回，只能穿过内视界，进入内能层区或到达奇环附近。内视界里面的时空区，不再是单向膜区。因此，进入克尔黑洞的飞船虽然无法飞出去，但是也不会撞在奇环上。相对于进入史瓦西黑洞的飞船比较幸运。

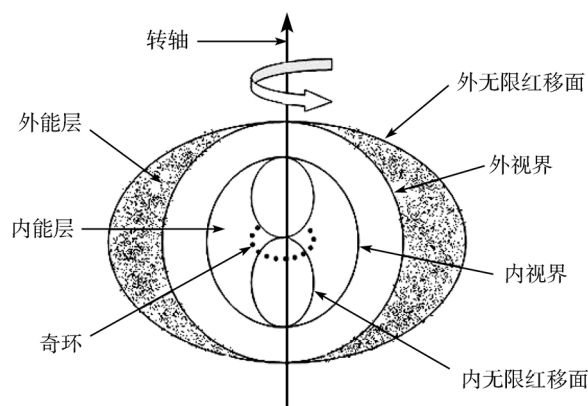


图 2 转动的克尔黑洞

还有一种不仅转动而且带电的黑洞，称为克尔-纽曼黑洞，其构造与克尔黑洞非常相似，两个视界，两个无限红移面，两个能层，中心有一个奇环。其

视界、无限红移面、能层和奇环的形状也与克尔黑洞很相似。但有一个区别是，进入克尔-纽曼黑洞内部的飞船不仅不能从奇环的上、下方撞到奇环，而且也不能从奇环的赤道面上撞到奇环。奇环对一切方向飞来的物体均有一股不可抗拒的排斥力。因此，进入克尔-纽曼黑洞内部的飞船是最安全的。

从广义相对论建立以来，黑洞的“发明”无疑是当代最突出的智力业绩之一，在没有任何观测到的证据证明其理论是正确的情况下，作为数学的模型被发展到如此完美的地步。人们很难想象有哪两样东西能比黑洞和基本粒子有更大的差别。人们常把黑洞描绘成天体的巨无霸，而基本粒子却是物质的小不点儿。但是近年来，许多物理学家形成了一个奇特的猜想：黑洞可能本来就是巨大的基本粒子。实际上，根据爱因斯坦的理论，黑洞没有极小质量的限制。任何质量的物质，如果被挤压得足够小，直接用广义相对论证明它可以成为黑洞。如果质量足够小，形成的黑洞看起来很像基本粒子。两样小东西都完全由它们的质量、电荷和自旋来刻画。随

着研究的深入，黑洞理论的重要性越来越被显露出来。例如，人们已经认识到，黑洞是扩展弦理论以及证明弦理论与所知的物理理论之间有联系的肥沃土壤；黑洞内部全部量子态的运动可以由其表面上布尔态的行为完整地描述，而描述布尔态的量子引力理论只能是某种未知理论的有效理论等。这些都促使人们确信只有黑洞理论才能揭示三个看似完全分离的物理领域（即量子论、统计热力学和引力论）之间的深刻联系，对它的研究可能孕育着科学的重大突破。

目前的天文观测表明，宇宙中可见的重子物质仅占宇宙总能量组成的4%左右，看不见的暗物质占23%，而宇宙中能量组成73%的成分是以看不见的暗能量形式存在的。那么，在暗能量背景下，能否揭开黑洞的神秘面纱？这是21世纪物理学面临的巨大挑战，相信人类最终能够成功地揭开这一谜团。

致谢：本文的部分内容参考了北京师范大学赵峥先生的著作，并且得到浙江工业大学教改项目的支持，在此深表感谢！

（浙江工业大学理学院 310014）



科苑快讯

南极中微子探测器竣工

2010年12月18日，随着5160个传感器的最后一个放置于南极高原的冰层之下（图1），南极冰立方中微子天文台（IceCube Neutrino Observatory）正式竣工了。冰立方旨在寻找宇宙中普遍存在的微小粒子——中微子，实际上每秒有数万亿中微子穿过人体，它们随着宇宙射线倾泻到地球上。这个造价2.79亿美元的天文台位于1立方千米的冰块中（图2），大小为日本超级神冈探测器（Super-Kamiokande）的1000倍。

冰立方的传感器可以探测中微子与冰雪中的水



图1 向冰立方运输传感器

分子碰撞后产生的蓝光。南极的冰雪非常纯净，所以这种碰撞可以看作是与纯水分子发生反应，而没有其他分子。随着冰立方上雪量的增加，会有越来越多的水分子与中微子碰撞，从而取得大量数据。

与其他物理实验不同，冰立方是边建设、边取数，已经观测到能量高达100万亿电子伏特的中微子，这是瑞士日内瓦大型强子对撞机（Large Hadron Collider, LHC）质子对撞最高能量的7倍。在冰立方的15年预期寿命内，天体物理学家希望能够通过它解决一长串问题。

（高凌云编译自2010年12月21日
www.sciencenews.org）

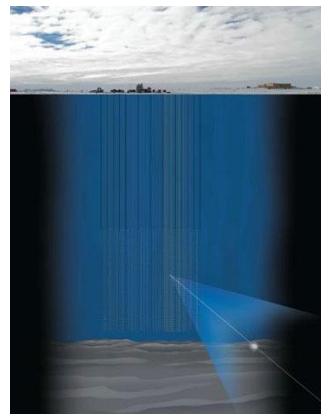


图2 冰立方剖面图