

星系中心的巨大黑洞

许梅

(中国科学院北京天文台)

1924年,年轻的美国天文学家哈勃(Edwin Hubble, 1889~1953)利用造父变星的周光关系测定出我们银河系的近邻仙女座大星云M31、M33及NGC6822的距离,确认三者是银河系以外的星系以后,从此开始了人们研究河外星系的新纪元。第二次世界大战后期,射电天文的兴起和应用了新的测光技术以后,天文学家又相继发现了一系列有激烈活动的河外天体,如赛弗特星系(Seyfert galaxy)、N星系、类星体(一些观测事实表明类星体可能是遥远的I型赛弗特星系的核心)、蝎虎座BL型天体和射电星系等。这些天体的一个共同特点是:从一个很小的、直径几光年、甚至只有太阳系那么大小的亮核心内发射出巨大的能量——太阳光度的 10^{12} 至 10^{14} 倍,即比银河系的光度大50至5000倍。这么大的能量是从哪里来的就成为天体物理学家们研究的重要课题之一。

理论探讨

科学家们首先想到的是热核反应。因为太阳和其他普通恒星的光和热就来自这种反应释放的核能,释能效率为0.7%,即物质总能量的0.7%能够被释放出来。如果上述诸活动星系核心的能量也是来自热核反应,则每个星系核每年要烧掉相当于数百个太阳的物质。因此,一个普通星系的全部质量($\sim 10^{11}$ 倍太阳质量)至多能维持10亿年,我们今天见到的恒星和星系早就不存在了。

有人提出大质量星模型。已知超重星的质量为 $(1-2) \times 10^2$ 倍太阳质量,计算表明这类星在几十年内便将坍缩为黑洞,要使它们能保持较长的寿命就需要发现新的物理机制。

还有人认为星系的巨大质量中心存在着超密星团。已知星系中球状星团的质量可达到几百万倍太阳质量,但我们也知道直径十几到几十光年的球状星团其质量密度仍远小于一些星系核心的极大的质量密度。计算表明超密星团的年龄只有1亿年左右,这是因为星团内诸恒星间的经常碰撞将使其成

员星不断被撞出星团,从而导致星团的“蒸发”。

另一方面,X射线明亮双星和活动星系核所共有的特性——明亮、光度变异和强力喷流都使人们倾向于考虑星系中心可能存在着大质量黑洞。黑洞的强大引力会不断吸引和捕获其周围的物质,所吸积的物质可能是星际气体与尘埃,也可能是近邻恒星的表层物质,或是被黑洞的潮汐力完全撕裂的恒星之碎片。当这些物质在向黑洞坠落的途中会不断地释放出引力势能,释能效率约为10%,即10%的质量被转化为能量,较之上述核聚变反应的释能效率要高出10多倍,质子和原子核被转变成辐射闪光、中微子和其他可从远方探测到的辐射。

一般情况下,被吸积的物质具有一定的角动量,因而不大会沿径向直接下落到黑洞,最大可能是沿螺旋形轨道边旋转边下坠,在黑洞周围形成一个扁平的盘状物,这就是吸积盘。快速运动的喷流从吸积盘喷出。观测到的许多活动星系核的吸积盘、喷流和辐射爆发是对黑洞假说的有力支持。

观测实践

对星系中心黑洞的搜寻已有20多年的历史。

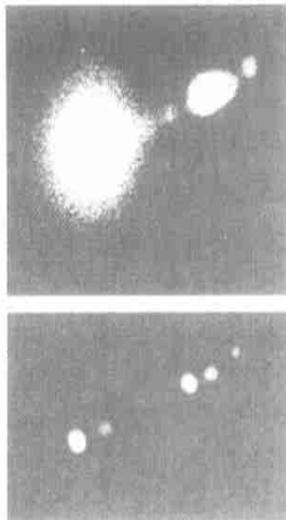


图1 1977年阿普尔普拍摄的M87的核心及其喷流的照片

现以探索室女星系团中心的巨椭圆星系 M87 中心是否存在黑洞为例说明搜寻工作的艰巨性。图 1 是阿尔普(Halton Arp) 拍摄的该星系核心及其喷流的照片。美国萨金特(Wallace L. W. Sargent) 等 6 位天文学家在 1977 年观测到 M87 中心附近的亮度变化与正常椭圆星系不一样, 后者是典型的高斯型分布,

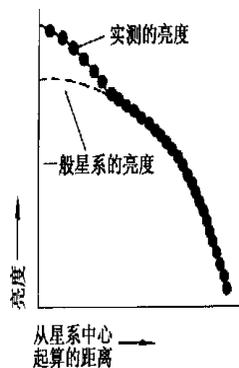


图2 M87 中心附近的亮度变化

而 M87 却有一个很高的“光峰”(图 2), 中心区 0.02 角秒(5 光年, M87 距离我们约 5700 万光年) 特别地亮。此后, 他们又利用所拍 M87 的光谱测定它中心附近恒星的运动速度, 发现该速度朝向星系中心迅速地增加: 在离中心 72 角秒处为每秒 230 千米, 在

9.7 角秒处为每秒 278 千米, 在 1.5 角秒处为每秒 350 千米。根据这两项观测数据, 他们计算出在 M87 的中心存在着一个 30 亿倍太阳质量的巨大黑洞。但要肯定是黑洞而不是其他大质量天体, 尚需利用能观测到极靠近星系中心区域情景的比地基望远镜分辨能力更好的观测工具。

巨椭圆星系 NGC4261 也是室女星系团内的最亮的星系之一。1992 年 11 月, 美国约翰·霍普金斯大学的福特(Holland Ford) 等人宣布: 他们用哈勃空间望远镜(HST) 拍摄到了围绕着其中心亮核的一个由气体和尘埃组成的圆盘, 该盘延伸约 400 多光年但呈 60° 倾斜, 故能见到位于盘中心的亮核(见图 3)。垂直于盘的方向, 热气体从星系核心附近抛射出去, 形成射电喷流。

受上述发现的鼓舞, 当 1994 年 1 月下旬, HST 的“视力”被矫正以后, 福特等人便急于用该望远镜对 M87 的中心进行观测。在用安装在 HST 上面新的广角和行星照相机拍摄到的 M87 的照片上, 其中心显露出了一个直径约 500 光年的气体薄盘, 该气盘显示有螺旋结构。这正是他们所希望找到的佐证。该盘近乎与 M87 的单向喷流垂直, 支持喷流是从一个吸积物质的致密天体发出的见解。它也暗示

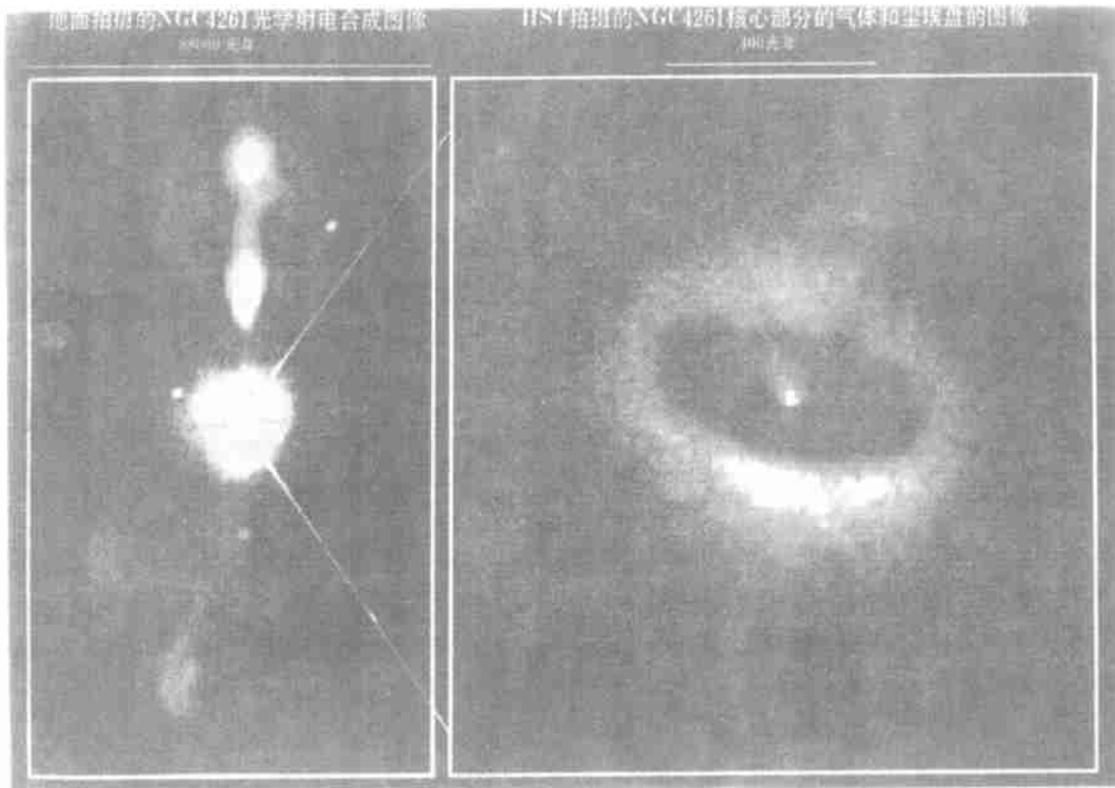


图3 NGC4261 核心部分的图像

人们测量气盘的视向速度便能探测出星系中心十几光年以内的质量分布情况, 1994年5月6日, HST的暗弱天体光谱仪获得的数据显示: 在M87的最中心, 气盘绕星系中心的旋转速度高达每秒1000千米, 这就给M87的中心存在着一个巨大质量黑洞无可争辩的证据。其后的观测又得到: (1) 在最大直径不超过120光年的M87的核心区域含有24亿倍太阳质量; (2) 该区域的质量、光度的比值高达太阳质光比的500倍, 即使人们想用由褐矮星或中子星组成的高密度星团来说明观测结果, 最终这些星星也将很快演化成为一个大质量黑洞; (3) 朱诺(Bill Junor)等人利用分辨率比HST好1000倍(0.00015", 相当于能见到80千米外人发的宽度)的甚长基线天线阵列射电望远镜发现M87的喷流是从星系中心最大不超过6光年的区域发出的。若将此大质量中心天体与产生喷流的发电机结合起来考虑, 则黑洞假说更加使人信服。

初步结论

长期以来, 人们关于银河系中心是否存在大质量黑洞一直争论不休。但下述两个天文小组的观测结果则是对银河系中心存在大质量黑洞最强有力的支持。德国马克斯·普朗克研究所的埃卡特(Eckart)和金泽尔(Genzel)1992年以来4年多的时间里, 利用设在智利的欧洲南方天文台口径为3.5米的技术望远镜追踪测定了位于距银心1.3光年以内的39颗恒星的运动, 发现这些恒星的速度超过了每秒960千米。他们的计算表明, 能导致这些恒星以如

此高速运动的天体的质量相当于太阳的260万倍。以吉茨(A. M. Ghez)为首的5人天文小组用目前世界上口径最大(10米)的Keck望远镜拍摄到了银心附近3颗恒星的图像, 它们是在近距离围绕着银心的射电源人马座A*快速运转的几颗星, 运转速度几乎达到地球绕太阳的转速。这一观测事实表明这3颗星处于一团看不见的质量巨大的物质之引力场内。从所得观测数据, 天文小组估算出在人马座A*处隐藏着一质量为太阳260万倍的大质量黑洞, 此黑洞被挤压在地球绕太阳的轨道这么大的区域内。

到目前为止, 已发现有33个星系的中心极有可能存在大质量黑洞, 表1列出了其中的9个。美国德克萨斯大学的科曼迪(John Komondy)认为, 由安装在HST上面的灵敏摄谱仪获得的一些新的观测结果显示: 星系中心巨大黑洞的产生不是孤立的现象: 不是先有黑洞, 然后集聚其周围的物质形成星系, 而是黑洞与其周围的恒星同时生长起来。

科曼迪和利克天文台的格布哈特(Karl Gebhardt)较早的研究还发现: 在星系的中心, 核球与核心的黑洞两者之间有一个人们未料到的关系: 不论核球的质量是多少, 黑洞的质量总是核球质量的0.2%。现在, 他们又发现了两者之间的一个更为密切的关系: 巨大黑洞的质量与星系内恒星运动速度分布之间的关系, 这意味着导致核球生长的过程也就是导致黑洞生长的过程。

如果他们的新发现是正确的, 则每个星系的核球内都可能存在一个巨大黑洞。

表1 星系中心的大黑洞候选者

星系名称	所在星座	类型 ⁽¹⁾	与地球的距离(百万光年)	视目视星等	黑洞的质量(太阳质量)	质光比 ⁽²⁾	与星系中心 ⁽³⁾ 的距离(光年)
银河系核心	人马座	Sbc	0.028	...	2.6×10^6	...	~ 1.0
NGC221(M32)	仙女座	E2	2.3	8.1	3×10^6	> 10	2
NGC224(M31)	仙女座	Sb	2.3	3.3	3×10^7	350	3
NGC4258(M106)	猎犬座	Sbc	24	8.4	4×10^7	...	0.6
NGC3115	六分仪座	SO	27	8.8	2×10^9	85	13
NGC4594(M104)	室女座	Sa	30	7.7	5×10^8	55	58
NGC3377	狮子座	E5	32	10.4	8×10^7	3	75
NGC4486(M87)	室女座	E0	50	8.6	3×10^9	500	60
NGC4261	室女座	E2	89	10.4	1×10^9	2100	50

(1) 按哈勃对星系的分类。

(2) 所测星系核心部分的质量与(可见光波段的)光度之比值(以太阳之质光比为单位)。

(3) 对星系最内部动力学测量所达到的距星系中心的距离。

作者简介

许梅, 江苏扬州人, 1923年生。1945年毕业于上海交通大学, 在母校任物理系助教期间即对天文学发生兴趣。



1975—1978年曾在北京天文台学习和工作, 1981年开始从事天文科普写作, 到2001年, 在《天文爱好者》、《科学》、《自然》等期刊共发表科普文章及宇宙信息800篇。翻译了Paul Halpern著《宇宙的结构》(1998年出版)。参与了洪韵芳主编的《天文爱好者手册》(1997年第1版)及其他一些天文译、著。