

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.01.03

球状星团内中等质量黑洞的探测

赵君亮^{1,2}

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 上海师范大学, 上海 200233)

摘要: 众所周知, 恒星质量黑洞和星系内超大质量黑洞之存在已为学界所公认。另一方面, 长期以来, 关于球状星团中是否存在质量范围介于上述两类黑洞之间的所谓“中等质量黑洞”, 则始终争议不断。对于银河系球状星团以及河外星系球状星团内, 中等质量黑洞的探测和认识现状做了简要的综述性介绍。

关键词: 银河系; 河外星系; 球状星团; 尖峰星团; 黑洞; 质量-速度弥散度关系

中图分类号: P156 **文献标识码:** A

1 引 言

尽管黑洞尚无法直接探测到, 但关于存在恒星质量黑洞 (亦可称恒星级黑洞, 其质量 $M_{\text{BH}} < 10^2 M_{\odot}$, M_{\odot} 为太阳质量) 以及超大质量黑洞 (SMBH, $M_{\text{BH}} > 10^5 M_{\odot}$ 质量范围) 的经验证据已颇为明确^[1,2]。据估计, 每个星系大约有 $10^7 \sim 10^9$ 个恒星质量黑洞^[2,3], 而在每个有核球的星系 (包括椭圆星系、透镜星系和旋涡星系核球) 内看来都会有 1 个 SMBH。由此可见, 这两类黑洞的存在乃是相当普遍的现象。

另一方面, 有关中等质量黑洞 (IMBH, 质量范围 $10^2 \sim 10^5 M_{\odot}$) 的工作则相对稀缺。就目前来看, IMBH 的母体主要是球状星团, 此外还见之于某些矮星系和甚低光度 AGN 中^[4-7]。

球状星团中是否存在 IMBH, 对其的探索可谓由来已久。20 世纪 70 年代, 在一些球状星团中探测到了强 X 射线辐射^[8-11]。同一时期的前后, 又发现了若干球状星团之中心区的亮度轮廓并不遵循 King 模型^[12], 该轮廓出现一个非常尖锐的中心峰值, 呈现一种服从幂律形式的中心尖峰 (cusp)^[13-15]。后人把此类球状星团称之为尖峰星团 (cusp cluster), 有人认为这种尖峰星团可能占球状星团总数的 20%^[16]。

人们提出了多种模型以图对上述观测事实做出解释, 如尖峰星团中心存在一个中等质量的中央黑洞 (IMBH)^[17], 核区聚集了为数众多的中子星^[18], 恒星高密度区中形成的多个硬双

收稿日期: 2015-06-09; 修回日期: 2015-11-02

资助项目: 国家自然科学基金 (11373054); 中国科学院战略性先导专项 B 类 (XDB09010100)

通讯作者: 赵君亮, jlzhao@shao.ac.cn

星系系统^[19]，以及星团核坍缩阶段后的普通恒星^[20-23]等。在以上解释机制中，IMBH 假设最为引人关注^[17]。不仅如此，后来其他一些实测和理论工作也表明，在球状星团内有可能存在 IMBH^[18]。

在众多可能有 IMBH 存在的球状星团中，就银河系内而言，探测工作做得最多的当推球状星团 M15 (NGC7078)^[17,20,24-32]，其次是半人马 ω ^[28,33-35]，以及还有 NGC6093^[30]、NGC6266^[30]、NGC6388^[36]、NGC6752^[37]、47Tuc(杜鹃 47)^[38]等。至于河外星系，相关研究做得比较多的仅见于 M31 中的球状星团 G1^[39-42]，此外还有个别近距矮星系中的球状星团^[43]。在探测波段上，除可见光观测外，还用到了 X 射线观测和射电观测^[27,30,42]。

关于球状星团 IMBH 如何生成的问题，人们已提出了多种可能的物理机制，如：大质量恒星的逃逸并合 (runaway merger)^[44,46]，恒星质量黑洞的并合^[47-49]，年轻星团的快速核坍缩^[44,50]，大质量星族 III 恒星之遗迹^[51,52]，以及二代恒星的气体吸积^[53]等。

鉴于黑洞的不可见特性，人们只能借助一些间接的观测事实来旁证其存在。对于恒星质量黑洞和 SMBH，可以说学界已基本达成共识。然而，尽管有关球状星团 IMBH 的实测和理论工作 (特别是 21 世纪初以来) 做得相当多，但自提出 IMBH 这一概念以来，直至最近，不同的观点却长期存在——有人认为球状星团的一些观测特征，如强而可变的 X 射线辐射、尖峰星团的存在等，无需引入 IMBH 亦可加以说明，如 Illigworth 和 King^[19] 早在 1977 年即认为 M15 的中心亮度峰值起因于众多中子星的引力效应，而非之前不久有人提出的中央 IMBH^[17,54]。嗣后，与之类似的、无需援引存在中央 IMBH 的工作多有发表^[19,27,31,49,55,56]。den Brok 等人^[32]最近还指出，星团 M15 的中央暗质量可以用团中心高度密集的恒星遗迹，而不应以单个中央 IMBH 来解释。另一方面，众多的理论研究亦未能得出必然生成 IMBH 的唯一结论^[2,57]。可见，球状星团中央 IMBH 是否确实存在，迄今尚未达成明确的共识。

观测研究 IMBH，对于星团的动力学演化、SMBH 的生成、生长，星系的形成，以及引力波的产生和探测等有着重要的天体物理意义，内容颇为丰富^[14,57,58]。本文仅限于对涉及球状星团中央 IMBH 的实测研究现状，关于 IMBH 是否存在的争议等，以简要的综述性介绍。

2 黑洞的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系

所谓 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系，是指黑洞质量 M_{BH} 与其母天体中心区恒星速度弥散度 σ 之间的关系。这一重要关系首先发现于星系核区的 SMBH，之后又进而用于 IMBH 的研究。

2.1 星系 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系

1995 年 Kormendy 和 Richstone^[59] 注意到，SMBH 的质量与椭圆星系或母星系核球的蓝光度呈现某种线性相关性；随后，Magorrian 等人^[60] 利用更大样本星系做的研究工作也证实该相关性。2000 年，Ferrarese 和 Merritt^[61] 通过对实测资料的分析，首次发现 SMBH 的质量与其母星系核区恒星速度弥散度强相关，而且要比 M_{BH} 与核球光度 ($M_{\text{BH}} - L$) 间的相关性强得多 (参见图 1)。同年，Gebhardt 等人^[1,62] 的两项工作进而证实了 Ferrarese 和 Merritt^[61] 的这一发现。

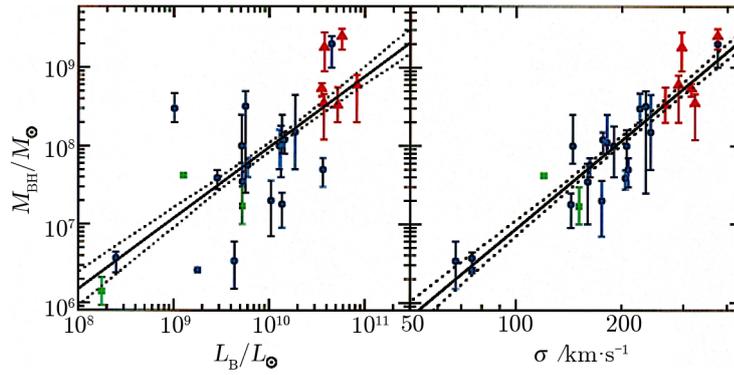


图 1 26 个星系中央黑洞质量与光度及速度弥散度的关系^[1]

SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系可取以下幂律形式^[61]：

$$M_{\text{BH}} \propto \sigma^\beta . \quad (1)$$

更常用的则是表述为下列对数线性关系^[2,63]：

$$\lg M_{\text{BH}} = \alpha + \beta \lg(\sigma/\sigma_0) , \quad (2)$$

式中黑洞质量 M_{BH} 以太阳质量 M_\odot 为单位, σ_0 为速度弥散度的某个参考值, 通常取 $\sigma_0 = 200 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$; α 是关系式 (2) 的零点, β 称为对数斜率, 后者的重要性在于可以为建立 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的理论模型提供观测约束。

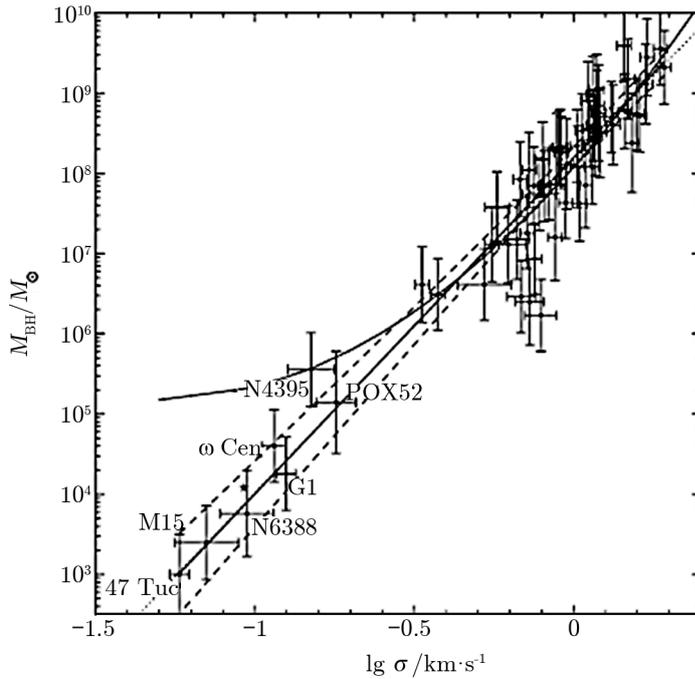
然而, 嗣后的观测研究发现, 不同工作所得出的 β 值有相当大的变动范围。例如, Ferrarese 和 Merritt 最初得到的是 $\beta = 5.27 \pm 0.40$ ^[63], 与同年 Gebhardt 等人^[1] 给出的 $\beta = 3.75 \pm 0.3$ 差异甚大; 2 年后, Ferrarese 的后续工作把 β 减小为 $\beta = 4.58 \pm 0.52$ ^[63], 与 Gebhardt 等人的结果^[1] 仍有约 1.4 倍的相对偏差。同一时期, Tremaine 等人^[63] 对造成这种情况的原因作了较为详细的讨论。

另一方面, $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系表述为某种简单对数线性关系, 有人对其合理性提出了质疑。2006 年, Wyithe^[64] 在式 (2) 的基础上引入对数平方项, 即有:

$$\lg M_{\text{BH}} = \alpha + \beta \lg(\sigma/\sigma_0) + \beta_2 \lg(\sigma/\sigma_0)^2 , \quad (3)$$

这使 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的拟合参数增加到 3 个, 即不再满足理想的幂律关系, 即式 (1)。经仔细讨论后, Wyithe^[65] 认为用式 (3) 表述 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系比式 (2) 更为合理。然而, 不同的观点接踵而来。2009 年, Gültekin 等人^[65] 同样引入对数平方项, 而结论却恰好相反——对数平方模型反不如对数线性模型 (亦可参见图 2)。翌年, Safonova 和 Shastri^[2] 甚至引入了对数立方模型, 分析的结果同样表明以对数线性模型与实测资料的拟合结果最好。

除了 β 值的变动以及对 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的合理建模外, 另一个重要问题是 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的内禀弥散度。对此, Gültekin 等人^[65] 给出了较为详细的讨论, 并指出内禀弥散度对相关理



注: 包含 M15、半人马 ω 和 G1 等 7 个球状星团的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系 (直线) 与 49 个 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系 (点线) 高度重合, 虚线为 2 倍标准差的范围。左侧上翘的实曲线是对数平方模型 [式 (3)] 的拟合曲线^[2]。

图 2 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系

论研究至关重要。显然, 如果要用式 (2) 来估算质量未知的 SMBH 的质量, 这些都是必须加以考虑的因素。

在 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的观测发现之初, 理论家们即充分看到了这一关系对探究星系形成和演化史的重要性, 并试图建立理论模型来加以解释^[66-69], 这里不作进一步展开。

2.2 球状星团 IMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系

关于 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系, 最初是由质量范围 $M_{\text{BH}} \approx (10^6 \sim 10^9)M_{\odot}$ 的黑洞建立起来的, 但很快便拓展到 $M_{\text{BH}} \approx 10^5 M_{\odot}$ 的黑洞^[4-7], 这类黑洞的母天体可以是甚低光度的 AGN, 也可以是矮椭圆星系或晚型旋涡星系。若把 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系进一步往黑洞质量更低端外推, 就可发现速度弥散度 $\sigma < 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 IMBH, 所对应的恒星系统正是球状星团。

21 世纪初以来, 一些关于球状星团 IMBH 的探测工作相继发表, 并引起理论家的注意。人们声称在若干球状星团内探测到了中央黑洞^[25, 26, 33, 36, 38, 39, 41, 70], 而且它们确实遵循 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系^[2]——球状星团内 IMBH 在 (M_{BH}, σ) 相空间中的点位恰好位于 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系延长线上 (参见图 2)。同一时期的若干理论研究表明, 在一些恒星系统的中心存在 IMBH 是有可能的, 只是一些人认为形成质量大于 $100M_{\odot}$ 的黑洞颇为不易, 而同时也有人认为通过大质量恒星的逃逸碰撞 (runaway collision), 球状星团内不难形成 IMBH^[44, 47, 50, 71]。

近期 Safonova 和 Shastri^[2]指出, 对于一个典型的球状星团, 如取其中央速度弥散度约

为 $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 那么作为一种粗略估计, 由 SMBH 的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系可推知 $M_{\text{BH}} \approx 10^3 M_{\odot}$, 这与根据 Magorrian 等人^[60] 1998 年给出的近似关系 $M_{\text{BH}} \approx 10^{-3 \pm 1} M_{\text{C}}$ (这里 M_{C} 为球状星团的总质量) 所推算出的 M_{BH} 相符, 也与 2002 年 Miller 和 Hamilton^[47] 的理论估计值 $M_{\text{BH}} = 10^3 M_{\odot} \times 10^{-(M_{\text{V}}+10)/2.5}$ 相一致 (M_{V} 是 V 波段绝对星等)。据此, Safonova 和 Shastri^[2] 对 38 个可能存在中央黑洞的球状星团的 M_{BH} 做了预测性估算。

表征 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系的公式 (2), 与造父变星周光关系 $\overline{M} = \alpha + \beta \lg P$ (\overline{M} 为变星的平均绝对星等, P 为光变周期) 有着类似的结构形式。为了建立变星的周光关系, 需要取得多个变星的 \overline{M} 和 P (其中 \overline{M} 需由变星的平均视星等 \overline{m} 和距离求得), 以确定系数 α 和 β 。

类似地, 为建立黑洞的 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系, 同样要确定式 (2) 中的系数 α 和 β , 或者说对式 (2) 进行定标, 其中一个重要问题是如何合理估计黑洞的质量 M_{BH} 。对于 SMBH, 其质量可以通过多条途径来加以估算, 如恒星动力学法^[72-74]、气体动力学法^[75-77]、脉泽动力学法^[78-80], 以及位力质量法^[2,6] 和反射映像法 (reverberation mapping)^[2,81] 等。另一方面, 关于 IMBH 的质量, 早期是依据星团的 X 射线光度推算而得^[54,82]; 近期通常的做法是引入恒星动力学模型, 并与实测运动学资料拟合, 经统计检验以取得 M_{BH} 的最佳估值^[26,33,38]。此外, 还有人用脉冲星计时法 (pulsar timing) 来探测星团中心区的物质分布, 为 M_{BH} 提供某种限值^[26,57,83]。

3 银河系球状星团 IMBH 的探测

关于球状星团中央 IMBH 的探测, 工作做得最多的乃是银河系球状星团 M15, 其次是半人马 ω 。相对而言, 其他一些星团 IMBH 的探测工作做得要少得多。

3.1 银河系球状星团 M15

M15 可算是银河系内成员星中心聚度最高的球状星团之一, 它可归类于尖峰星团, 日心距约为 10 kpc ^[84]。鉴于 M15 的距离相对较近, 其尖峰结构的面亮度又高, 故非常适合用于探测和研究中央 IMBH 是否存在的问题。不过, 尽管对该星团内 IMBH 的探测研究至少已有近 40 年的历史, 但争议始终不断。

早在 20 世纪 70 年代初, 人们已从理论和实测两方面对球状星团内黑洞可能存在的问题做了较为宽泛的讨论^[13,14,54,82,85]。1976 年, Newell 等人^[17] 通过对 M15 核心区面亮度分布的分析, 并与各类动力学模型加以比较后发现, 尖峰星团 M15 的面亮度轮廓, 可以用一个中央大质量黑洞 (后来称之为 IMBH) 来做出解释, 黑洞质量为 $M_{\text{BH}} = (8 \pm 3) \times 10^2 M_{\odot}$ 。然而, 翌年 Illigworth 和 King^[19] 随即对之提出了不同的观点, 他们认为 M15 的中心亮度超可能源自具有合理初始质量函数的众多中子星的引力效应, 而不是起因于中央 IMBH。这项工作中除了面亮度轮廓外, 作者还用到了观测速度弥散度, 并谨慎地指出他们的观点并非是结论性的。

除上述 Illigworth 和 King^[19] 基于实测资料的讨论外, 1985 年的一些理论工作也倾向于认为 M15 的核区能源来自双星系统, 而不是中央 IMBH^[21-23]。

随着实测资料的累积和精度的提高, M15 内是否存在 IMBH 的问题再度引起人们的重视。1989 年, Peterson 等人^[20] 利用 MMT 等几台中等口径望远镜的观测, 取得在团心距

$r = 0.1' \sim 4.6'$ 范围内 120 颗星团成员星的径向速度, 精度可达 $1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 并由此发现在 $r < 1'$ 的中心区内, 团星速度弥散度随团心距的减小而迅速增大。与不同模型比较后, 他们认为, 在星团 M15 的中央应该有一个质量约为 $1000M_{\odot}$ 的 IMBH。

然而, 不赞成有 IMBH 存在的观点再度出现。1997 年, Dull 等人^[56]由 4.2 m 赫歇尔望远镜所取得的 131 颗团星的径向速度资料, 发现从 $r \approx 1'$ 到 $r = 20''$, 团星速度弥散度从 $\sigma = (7.2 \pm 1.4) \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 增大到 $\sigma = (13.9 \pm 1.8) \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 但在 $r < 20''$ 的核心区内, 速度弥散度大体上保持为一个常数 $\sigma = (10.2 \pm 1.4) \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。据此他们认为, 为对实测资料给以合理解释, 无需援引中央 IMBH——在他们的模型中, 星团内有约 10^4 颗中子星, 其中大多数位于 $r < 6''$ (0.2 pc) 的核心区内, 这些中子星的总质量约占整个星团质量 ($4.9 \times 10^5 M_{\odot}$) 的 3%。

进入 21 世纪后, 对球状星团内中央 IMBH 的探测研究可谓进入高潮期, 其中自然也包括了 M15。由于球状星团内区恒星的密集度很高, 星像互相重叠, 使单颗恒星的观测受到很大的限制。为了取得高精度的核心区速度弥散度轮廓, 2000 年, Gebhardt 等人^[24]利用 CFH 望远镜自适应系统所取得的高角分辨率观测资料 (计有 1 773 颗恒星的径向速度样本), 讨论了 M15 中央区的运动学状态。他们的结论是, 在 M15 的中央集聚了约 $2500M_{\odot}$ 的暗物质, 而这应该是一个 IMBH。

2 年后, van der Marel 等人^[25]和 Gerssen 等人^[26]借助 HST 成像摄谱仪测得 M15 中心几角秒范围内恒星的视向速度, 并综合既有的地基观测资料, 组成含 1 797 颗恒星的视向速度样本。经对速度弥散度轮廓的仔细分析后他们认为, 对观测资料特征之最合理的解释是在 M15 的中心存在一个 IMBH, 质量为 $M_{\text{BH}} = (3.9 \pm 2.2) \times 10^3 M_{\odot}$ (第二年被修订为 $M_{\text{BH}} = 1.7_{-1.7}^{+2.7} \times 10^3 M_{\odot}$ ^[70])。同年, Miller 和 Hamilton^[47]的理论工作表明, 在致密球状星团的中央存在约 $10^3 M_{\odot}$ 质量的 IMBH 可能是较为普遍的, 占比可望达到现存球状星团的百分之几十。

差不多同一时期, 不同的观点又一次出现, 其中具有代表性的是 Baumgardt 等人^[27]2003 年的工作: 作者通过对 M15 中心区的近期观测结果, 与星团动力学演化 N 体模拟结果进行比较后发现, 观测到的星团尖峰结构可以用密集分布的中子星和 (或) 大质量白矮星来予以解释, 它们因质量分层效应而集聚在星团的中央, 因而无需引入中央 IMBH。不过, 作者并未完全排除存质量为 $500 \sim 1000M_{\odot}$ 的中央 IMBH 的可能性。鉴于上述两可性, van der Marel^[57]引入了重子暗物质质量 M_{d} 的概念, 以取代更明确的黑洞质量 M_{BH} 。

随着观测研究工作的推进 (包括射电观测的介入^[29,86], 以及关于 IMBH 质量上限的理论探讨^[27,29]等), 倾向于不赞成 M15 内存在中央 IMBH 的观点渐而占据上风。例如, 2007 年 Rasio 等人^[87]认为, van den Bosch 等人^[88]的工作表明, 在 M15 中有一个 $(1000 \pm 1000)M_{\odot}$ 质量的 IMBH 并无重要意义。最近 den Brok 等人^[32]更明确指出, 星团 M15 中央确实存在约 $(2 \pm 1) \times 10^3 M_{\odot}$ 的暗质量, 但这可以用团中心高度密集的恒星遗迹 (恒星级黑洞、中子星和白矮星等) 而不应以单个中央 IMBH 来解释。

3.2 银河系球状星团半人马 ω

对于 IMBH 的探测而言, 近距球状星团半人马 ω (NGC5139) 应该是一个颇为理想的候选目标, 其日心距 4.8 kpc, 约只及 M15 日心距之半^[87]。半人马 α 是银河系内质量最大的球

状星团之一, $M_C \approx 5.1 \times 10^6 M_\odot$, 中心速度弥散度高达 $(22 \pm 4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[89]。有人认为, 半人马也许不是球状星团, 而应该是一个在被银河系吸积过程中因外层物质剥离而剩下的矮星系的核^[90,91]。

关于半人马 ω 内是否存在 IMBH 的讨论, 最早可见于 2005 年 Maccarone 等人^[27]的工作, 不过作者只是指出, 根据现有的射电观测资料, 该星团内如存在 IMBH, 其质量上限约为星团质量的千分之一 (约 $1000 M_\odot$), 而为确认团内 IMBH 的存在, 则需等待未来 1 (km)^2 射电阵建成后的相关工作。

2008 年, Noyala 等人^[33,92]利用 HST 观测得到的半人马 ω 的面亮度轮廓, 以及由 Gemini 观测取得的核区两个 $5'' \times 5''$ 视场范围内的视向速度资料, 发现半人马 ω 成员星的速度弥散度随团心距的减小而显著增大, 即呈现某种尖峰结构。对此, 作者认为可以有 3 种解释: (1) 存在中央 IMBH; (2) 星团中心区集聚了众多的恒星遗迹; (3) 核区恒星轨道并非各向同性分布, 而是更偏优于径向运动。经详细讨论后, Noyala 等人^[33]的倾向性意见是, 星团半人马 ω 应该存在一个中央 IMBH, 其质量为 $4.0_{-1.0}^{+0.75} \times 10^4 M_\odot$ (各向同性模型), 或者是 $(3.0 \pm 1.0) \times 10^4 M_\odot$ (各向异性模型)。不过作者同时又指出, 要能完全排除另外两种可能性, 尚需进一步作更详细的数值模拟。上述工作在正式发表之前, 已在一次讨论会上得到 Rasio 等人^[87]的支持。

与 M15 的情况相类似, 在 Noyala 等人^[33,92]的工作发表后不久, 对半人马 ω 存在中央 IMBH 的质疑便很快出现。2010 年, Anderson 等人^[35]以及 van der Marel 和 Anderson^[34]在同时发表的一组两篇论文中, 对最新 (由 HST) 取得的半人马 ω 的投影密度和运动学资料做了详细的动力学分析。观测样本包括星团中心 $10' \times 10'$ 视场范围内 1.2×10^6 颗恒星的测光资料, 以及团心距 $r \leq 2'$ 范围内约 10^5 颗恒星的自行 (时间基线 $2.5 \sim 4 \text{ a}$)。分析结果表明, 尽管恒星自行弥散度 σ 随团心距的减小而增大, 但在最接近中心约 $15''$ 区域内, σ 值却并无显著变化, 这说明半人马 ω 的自行弥散度轮廓在团中心区并不呈现明显的尖峰结构, 也不存在运动速度特别大的恒星。可见, 这一观测事实并不支持 Noyala 等人的上述观点。作者经分析后认为, Noyala 等人之所以会发现半人马 ω 存在中央尖峰结构, 主要原因之一是未能精确定星团中心的位置 (误差可达 $12''$)。van der Marel 和 Anderson^[34]还谨慎地指出, 他们的结果并非绝对否认星团中央存在 IMBH 的可能性。不过, 即使承认半人马 ω 中央呈现对数斜率为 $\beta = 0.05$ 的所谓浅尖峰结构 (shallow cusp), 并据此推知有 IMBH 存在, 那也必然有 $M_{\text{BH}} \leq 1.8 \times 10^4 M_\odot$, 故他们认为 Noyala 等人得出的 M_{BH} 值完全不可接受^[35]。

然而, 争议仍在继续。2010 年 Miocchi^[93]利用星团核区面亮度拟合的途径, 证实了 Noyala 等人^[33,92]的结论, 并给出球状星团半人马 ω 中央 IMBH 的质量为 $M_{\text{BH}} = (1.8 \pm 0.5) \times 10^4 M_\odot$, 不过这一数值显然要比 Noyala 等人得出的 M_{BH} 值来得小。

2011 年, Lu 和 Kong^[94]对半人马 ω 的射电和 X 射线观测资料做了颇为细致的分析。他们利用 Merloni 等人^[95]所发现的射电光度—X 射线光度—黑洞质量间的基本面关系

$$F_{5 \text{ GHz}} = 10 \left(\frac{L_X}{3 \times 10^{27} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}} \right)^{0.6} \left(\frac{M_{\text{BH}}}{100 M_\odot} \right)^{0.78} \left(\frac{d}{10 \text{ kpc}} \right)^{-2}, \quad (4)$$

来估算 M_{BH} , 式中 $F_{5 \text{ GHz}}$ 为 5 GHz 频率处的射电光度, L_X 为 X 射线光度, d 是目标天体的日心距。所得出的结果是, 即使半人马 ω 有一个中央 IMBH, 那么其质量上限的最或然值应该是 $2 \times 10^3 M_{\odot}$, 最大也不会超过 $5.2 \times 10^3 M_{\odot}$, 尚不到 van der Marel 和 Anderson^[34] 所给出上限值的 1/3。2012 年, Jalali 等人^[96] 的工作再次肯定了 Noyala 等人^[33,92] 的结论, 给出中央 IMBH 的质量与动力学模型的最佳拟合值为 $5 \times 10^4 M_{\odot}$ 。然而, 下一年 Haggard 等人^[97] 根据 Chandra 对半人马 ω 的 X 射线观测结果, 基本上否定了该星团有中央 IMBH 存在的结论。

3.3 其他若干球状星团

除 M15 和半人马 ω 外, 关于银河系内其他球状星团 IMBH 的探测做得就比较少, 且同样未能得出结论性的明确意见。下面试举若干球状星团以说明之。

(1) NGC6388

NGC6388 位于天蝎座, 日心距 $R_{\odot} = 11.6 \text{ kpc}$, 绝对目视星等 -9.42 mag , 动力学质量约为 $1.3 \times 10^6 M_{\odot}$, 是银河系中质量最大的球状星团之一^[98,99]。2006 年, Noyola 和 Gebhardt^[100] 注意到该星团的观测投影面密度轮廓与 King 模型略有差异。翌年, Lanzoni 等人^[36] 兼用 NGC6388 的空间 (HST) 和地面 (欧南台 2.2 m 镜) 观测资料, 经与各向同性多质量 King 模型拟合, 发现星团内应该有一个质量约为 $5.7 \times 10^3 M_{\odot}$ 的中央黑洞。2011 年, Lützgendorf 等人^[98] 研究累积光谱的线宽所确定的 NGC6388 核区的速度弥散度轮廓, 发现该轮廓存在明显的中央尖峰结构, 并据此推算出中央 IMBH 的质量为 $(17 \pm 9) \times 10^3 M_{\odot}$ 。然而, 2013 年 Lanzoni 等人^[101] 研究 NGC6388 中心区内 300 多颗星团成员星再次构成的速度弥散度轮廓, 并未发现存在这类中央尖峰结构, 而作者认为这可能起因于 Lützgendorf 等人^[98] 用以确定速度弥散度的方法存在系统性偏差。如 Lanzoni 等人^[101] 近年的研究结果得以证实, NGC6388 中是否存在中央 IMBH, 仍有待进一步的探测研究。

(2) NGC104

NGC104 位于杜鹃座, 又名 47Tuc (杜鹃 47), 日心距 $R_{\odot} \approx 4.4 \text{ kpc}$, V 波段绝对星等 $M_V = -9.26 \text{ mag}$ ^[38], 在银河系球状星团中其亮度仅次于半人马 ω 。2006 年, McLaughlin 等人^[38] 利用 HST 观测, 取得团心距 $r \leq 100''$ (5 倍核半径) 范围内 14 366 颗恒星的自行以及 U、V 星等。观测自行弥散度轮廓, 经与各向同性单质量 King 模型拟合后作者认为, 尽管观测样本很大, 杜鹃 47 中央 IMBH 是否存在仍然不太清楚。不过他们同时又指出, 中央 IMBH 如果存在, 其质量上限应为 $(1 \sim 1.5) \times 10^3 M_{\odot}$ 。同年, De Rijcke 等人^[102] 给出的上限为 $M_{\text{BH}} \leq 670 \sim 2060 M_{\odot}$ 。两年后, Bash 等人^[30] 则把 McLaughlin 等人^[38] 的结果解读为杜鹃 47 有一个 $M_{\text{BH}} = (900 \pm 900) M_{\odot}$ 的中央 IMBH, 但其不确定性之大说明所给出的 M_{BH} 数值并无实际意义。2011 年, Lu 和 Kong^[94] 对杜鹃 47 的射电和 X 射线观测资料做了讨论, 指出该星团中央 IMBH 的上限为 $1000 M_{\odot}$, 与上述数值基本一致。总的来看, 所有这些结果既不能明确证实、也不能完全否定杜鹃 47 内有中央 IMBH 存在。

(3) NGC6266

NGC6266(M62) 位于蛇夫座, 日心距 $R_{\odot} \approx 6.7 \text{ kpc}$ ^[103], V 波段绝对星等 $M_V = -9.1 \text{ mag}$ 。2008 年, Bash 等人^[30] 指出, 尽管对于球状星团中央 IMBH 的探测大多依据

动力学方面的理由(核区速度弥散度轮廓等),但对实测资料做出可靠的解释则颇为困难,往往因人而异。作者认为,要想确认黑洞的存在,最可靠的途径是设法探测到来自目标天区的射电发射。他们的观测表明,包括 NGC6266 在内的 3 个球状星团(另两个是 M80 和 M15)的中心区均未探测到射电发射——不过对之作者还是谨慎地指出,这并不意味着中央 IMBH 一定不存在。2012 年,McNamara 等人^[104]分析了由 HST 所测得的 NGC6266 核区的自行弥散度轮廓,而结论同样表现为某种两可性——也许中央 IMBH 并不存在,但也不排除有一个几千倍太阳质量的 IMBH,而原因在于能否准确认定星团的中心位置(参见 3.2 小节中对半人马 ω 的相关讨论)。

4 河外星系球状星团 IMBH 的探测

鉴于观测资料的限制,对河外星系球状星团内中央 IMBH 的探测,显然要比银河系球状星团的同类研究少得多。除对仙女星系球状星团 G1 的探究做得比较多外,少量的相关工作仅见于人马矮星系球状星团 M54。

4.1 仙女星系球状星团 G1

球状星团 G1 (Mayall II) 位于仙女星系 M31 内,到 M31 的中心距约为 40 kpc,投影位置大体上处于 M31 的长轴上^[39]。G1 是本星系群中最明亮的球状星团,中心面亮度高于银河系内所有的球状星团^[39],质量估计为 $(8 \pm 1) \times 10^6 M_{\odot}$ ^[40]。有人认为,与半人马 ω 一样,G1 也许并不是一个球状星团,而是在被吸积过程中因外层物质剥离而剩下的某个矮星系的核^[105]。

2002 年,Gebhardt 等人^[39]率先对 G1 内中央 IMBH 的问题做了探究。作者用了 HST 的成像摄谱仪资料,取得星团中心区的光度轮廓和速度弥散度轮廓,经与理论模型拟合,得出中央 IMBH 的最佳估值为 $2.0_{-0.8}^{+1.4} \times 10^4 M_{\odot}$,与 SMBH 之 $M_{\text{BH}} - \sigma$ 关系^[63]的外推结果一致。

然而,争议很快再度出现。2003 年,Baumgardt 等人^[40]由 HST 的宽视场行星相机和成像摄谱仪资料,取得该星团的光度轮廓和速度弥散度轮廓,经与动力学模型拟合情况的分析后认定,无需援引中央 IMBH 即可对 G1 的运动学结构做出合理的解释。然而,2 年后 Gebhardt 等人^[106]利用 Keck 望远镜的 G1 中心区的运动学资料和来自 HST 的新测光资料,发现在模型中引入一个质量为 $(1.8 \pm 0.5) \times 10^4 M_{\odot}$ 的中央 IMBH 后,可使拟合取得最佳效果。他们同时指出,若用上这些新的观测资料,Baumgardt 等人^[40]的无黑洞模型便不成立。

除光学波段外,X 射线和射电观测资料亦被用来探究星团 G1 是否存在中央 IMBH。2006 年,Pooley 和 Rappaport^[42]研究了由 XMM-Newton 望远镜所探测到的、来自 G1 的 X 射线发射,强度为 $L_{\text{X}} \approx 2 \times 10^{22} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ 。经分析后他们认为,G1 的 X 射线发射可能来自一个中央黑洞,也可能起源于一个普通的低质量 X 射线双星,而现有的观测资料尚不能对此予以判断。翌年,Ulvestad 等人^[107]利用 VLA 探测到来自 G1 的射电辐射,功率为 $2 \times 10^{15} \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 。对此,作者认为有两种可能:G1 的射电辐射来自一个中央黑洞,或者来自脉冲星风云(pulsar wind nebula)。2012 年,Miller-Jones 等人^[108]利用 Chandra 和 VLA 两种设备对 G1 做了同步 X 射线和射电观测,结果发现 X 射线光度 L_{X} 与 Pooley 和 Rappaport^[42]探测到的强度相一致,但却未能探测到射电辐射。对此 Miller-Jones 等人^[108]解释为 Ulvestad 等人^[107]探测到

的来自 G1 的射电辐射, 乃是低质量 X 射线黑洞双星的短时标耀发活动。作者认为, 如果存在中央 IMBH, 那么由他们所测得的 L_X 值可以推算出该黑洞的质量上限为 $0.97 \times 10^4 M_\odot$ 。

看来, 关于球状星团 G1 是否存在中央 IMBH, 以及该黑洞的质量有多大, 迄今人们的认识尚未取得一致。

4.2 人马矮星系球状星团 M54

球状星团 M54 (NGC6715) 位于人马矮星系 (Sgr) 的中央, 日心距 26.7 kpc, 是第一个被确认的河外星系球状星团。2009 年, Ibata 等人^[43] 根据 VLT 的光谱和成像观测, 发现 M54 中心区恒星的数密度分布和速度弥散度轮廓均呈现某种尖峰结构。将上述实测资料与理论模型进行拟合后, 他们认为, 在 M54 的核区有一个质量为 $0.94 \times 10^4 M_\odot$ 的中央 IMBH。然而作者同时又指出, 对于观测表象还有另外两种可能的解释机制: (1) 尖峰结构内的恒星偏优于径向运动, 或者说恒星的运动学状态为偏于径向的各向异性分布 (参见 3.2 节有关半人马 ω 的讨论); (2) IMBH 确实存在, 但它的母体不是星团 M54, 而是矮星系 Sgr。不过, Ibata 等人^[43] 实际上已否定了后一种可能性。

不久, 质疑再度出现。2011 年, Wrobel 等人^[109] 指出, 新近取得的 Chandra 的 X 射线观测和 HST 光学天体测量资料, 并不支持 Ibata 等人^[43] 关于 M54 存在中央 IMBH 的结论。

5 结束语

由以上综述可以看出, 关于球状星团内是否确实存在中央 IMBH 的问题, 迄今尚未达成共识, 无论是银河系内的球状星团, 还是河外星系中的球状星团, 无论是相关探测研究做得相当多的星团 (如 M15、半人马 ω 或者 G1), 还是仅见于有零星工作发表的那些星团 (如 NGC6388、M54 等), 概莫能外。不过, 持有不同观点的双方多使用了诸如“并非是结论性的”、“并非完全排除”等较为软化、但不失客观的表述方式, 由此足见所争议问题的复杂性。

鉴于 IMBH 的探测工作, 对于球状星团、星系、SMBH 的形成和演化等研究领域有着重要天体物理意义, 人们必将利用由不同途径所取得的新观测资料, 对之开展进一步的深入探究。例如, 不少人讨论了由引力波辐射来探测 IMBH 的可能性^[13, 45, 47, 49, 57, 58], 也有人寄希望于未来 1 (km)^2 接收面积射电阵的探测能力^[27] 等。以笔者管见, 有关球状星团内是否确有 IMBH 存在的争议, 恐怕还会持续一段不短的时间。

参考文献:

- [1] Gebhardt K, Bender R, Bower G, et al. ApJL, 2000, 539: L13
- [2] Safonova M, Shastri P. ApSS, 2010, 325: 47
- [3] Brown G E, Bethe H A. ApJ, 1994, 423: 659
- [4] Barth A J, Greence J E, Ho L C. ApJL, 2005, 619: L151
- [5] Dong X, Wang T, Yuan W, et al. Astron Soc Pac Conf, 2007, 373: 57
- [6] Greence J E, Ho L C. ApJL, 2006, 641: L21
- [7] Greence J E, Ho L C. ApJ, 2007, 670: 92
- [8] Giacconi R, Murray S, Gursky H, et al. ApJ Suppl, 1974, 27: 37
- [9] Clark G W, Markert T H, Li F K. ApJL, 1975, 199: L93

-
- [10] Canizares C R, Neighbours J E. *ApJL*, 1975, 199: L97
- [11] Canizares C R. *ApJ*, 1975, 201: 589
- [12] King I R. *ApJ*, 1966, 71: 64
- [13] Wyller A A. *ApJ*, 1970, 160: 443
- [14] Peebles P J E. *ApJ*, 1972, 178: 371
- [15] Binney J, Merrifield M. *Galactic Astronomy*. Princeton: Princeton University Press, 1998: 369
- [16] Djorgovski S, King I R. *ApJL*, 1986, 305: L61
- [17] Newell B, Da Costa G S, Norris J. *ApJL*, 1976, 208: L55
- [18] Baumgardt H, Makino J, Hut P. *ApJ*, 2005, 620: 238
- [19] Illigworth G, King I R. *ApJL*, 1977, 218: L109
- [20] Peterson R C, Seitzer P, Cudworth K M. *ApJ*, 1989, 347: 251
- [21] Spitzer L J. *IAUS*, 1985, 113: 109
- [22] Heggie D C. *IAUS*, 1985, 113: 139
- [23] Cohn H. *IAUS*, 1985, 113: 161
- [24] Gebhardt K, Pryor C, O'Connell R D, et al. *AJ*, 2000, 119: 1268
- [25] van der Marel R P, Gerssen J, Guhathakurta P, et al. *AJ*, 2002, 124: 3255
- [26] Gerssen J, van der Marel R P, Gebhardt K, et al. *AJ*, 2002, 124: 3270
- [27] Baumgardt H, Hut P, Makino J, et al. *ApJL*, 2003, 582: L21
- [28] Maccarone T J, Fender R P, Tzioumis A K. *MNRAS*, 2005, 356: L17
- [29] Kiselev A A, Gnedin Yu N, Shakht N A, et al. *AstL*, 2008, 34: 529
- [30] Bash F N, Gebhardt K, Goss W M, et al. *AJ*, 2008, 135: 182
- [31] Murphy B W, Cohn H N, Lugger P M. *ApJ*, 2011, 732: 67
- [32] den Brok M, van de Ven G, van den Bosch R, et al. *MNRAS*, 2014, 438: 487
- [33] Noyola E, Gebhardt K, Bergmann M. *ApJ*, 2008, 676: 1008
- [34] Anderson J, van der Marel R P. *ApJ*, 2010, 710: 1032
- [35] van der Marel R P, Anderson J. *ApJ*, 2010, 710: 1063
- [36] Lanzoni B, Dalessandro E, Ferraro F R, et al. *ApJL*, 2007, 668: L139
- [37] Golpi M, Mapelli M, Possenti A. *ApJ*, 2003, 599: 1260
- [38] McLaughlin D E, Anderson J, Meylan G, et al. *ApJ Suppl.* 2006, 166: 249
- [39] Gebhardt K, Rich R M, Ho L C. *ApJL*, 2002, 578: L41
- [40] Baumgardt H, Makino J, Hut P, et al. *ApJL*, 2003, 589: L25
- [41] Gebhardt K, Rich R M, Ho L C. *ApJ*, 2005, 634: 1093
- [42] Pooley D, Rappaport S. *ApJL*, 2006, 644: L45
- [43] Ibata R, Bellazzini M, Chapman S C, et al. *ApJL*, 2009, 699: L169
- [44] Portegies Zwart S F, McMillan S L W. *ApJ*, 2002, 576: 899
- [45] Gültekin K, Millier M C, Hamilton D P. *ApJ*, 2004, 616: 221
- [46] Portegies Z S F, Baumgardt H, Hut P, et al. *Nature*, 2004, 428: 724
- [47] Miller M C, Hamilton D P. *MNRAS*, 2002, 330: 232
- [48] Merritt D, Piatek S, Zwart S P, et al. *ApJL*, 2004, 608: L25
- [49] O'Leary R M, Rasio F A, Fregeau J M, et al. *ApJ*, 2006, 637: 937
- [50] Gültekin M K, Freitag M, Rasio F A. *ApJ*, 2004, 604: 632
- [51] Madau P, Rees M. *ApJ*, 2001, 551: L27
- [52] Schneider R, Ferrara A, Natarajan P, et al. *ApJ*, 2002, 571: 30
- [53] Vesperini E, McMillan S L W, D'Ercole A, et al. *ApJL*, 2010, 713: L41
- [54] Bahcall J N, Ostriker J P. *Nature*, 1975, 256: 23
- [55] Grabhorn R P, Cohn H N, Lugger P M, et al. *ApJ*, 1992, 392: 86
- [56] Dull J D, Cohn H N, Lugger P M, et al. *ApJ*, 1997, 481: 267
- [57] van der Marel R P. *Carnegie Obs Astrophysics Series*, 2004, 1: 1
- [58] Miller M C, Colbert E J M. *Int J Mod Phys D*. 2004, 13: 1

- [59] Kormendy J, Richstone D O. *ARA&A*, 1995, 311: 576
- [60] Magorrian J, Tremaine S, Richstone D, et al. *AJ*, 1998, 115: 2285
- [61] Ferrarese L, Merritt D. *ApJL*, 2000, 539: L9
- [62] Gebhardt K, Kormendy J, Ho L C, et al. *ApJL*, 2000, 543: L5
- [63] Tremaine S, Gebhardt K, Bender R, et al. *ApJ*, 2002, 574: 740
- [64] Wyithe J S B. *MNRAS*, 2006, 365: 1082
- [65] Gültekin K, Richstone D O, Gebhardt K, et al. *ApJ*, 2009, 698: 198
- [66] Kauffmann G, Haehnelt M G. *MNRAS*, 2000, 311: 576
- [67] Haehnelt M G, Kauffmann G. *MNRAS*, 2000, 318: L35
- [68] Adams F C, Graff D S, Richstone D O. *ApJL*, 2001, 551: L31
- [69] Burkert A, Silk J. *ApJL*, 2001, 554: L151
- [70] Gerssen J, van der Marel R P, Gebhardt K, et al. *AJ*, 2003, 125: 376
- [71] Ebisuzaki T, Makino J, Tsuru T G, et al. *ApJL*, 2001, 562: L19
- [72] Kormendy J, Bender R, Evans A S, et al. *AJ*, 1998, 115: 1823
- [73] Cretton N, van der Bosch. *ApJ*, 1999, 514: 704
- [74] Gebhardt K, Richstone D, Kormendy J, et al. *AJ*, 2000, 119: 1157
- [75] Ferrarese L, Ford H C, Jaffe W. *ApJ*, 1996, 470: 444
- [76] Bower G A, Green R F, Danks A, et al. *ApJL*, 1998, 492: L111
- [77] Ferrarese L, Ford H C. *ApJ*, 1999, 515: 583
- [78] Miyoshi M, Moran J, Herrnstein J, et al. *Nature*, 1995, 373: 12
- [79] Greenhill L J, Gwinn C R, Antonucci R, et al. *ApJL*, 1996, 472: L21
- [80] Héraudeau P, Simien F. *A&AS*, 1998, 133: 317
- [81] Blandford R D, McKee C F. *ApJ*, 1982, 255: 419
- [82] Silk J, Arons J. *ApJL*, 1975, 200: L131
- [83] Phinney E S. *ASPC*, 1993, 50: 141
- [84] Harris W E. *AJ*, 1996, 112: 1487
- [85] Ostriker J P, Spitzer L, Chevalier R A. *ApJL*, 1972, 176: L51
- [86] Vlemmings K F. *A&A*, 2012, 542: A44
- [87] Rasio F A, Baumgardt H, Corongiu A, et al. *Highlights of Astronomy*, 2007, 14: 215
- [88] van den Bosch R C E, de Zeeuw P T, Gebhardt K, et al. *ApJ*, 2006, 641: 852
- [89] Meylan G, Mayor M, Duquenois A, et al. *A&A*, 1995, 303: 761
- [90] Freeman K C. *ASPC*, 1993, 48: 608
- [91] Meza A, Navarro J, Abadi M, et al. *MNRAS*, 2005, 359: 93
- [92] Noyola E, Gebhardt K, Bergmann M. *IAUS*, 2008, 246: 341
- [93] Miocchi P. *A&A*, 2010, 514: A52
- [94] Lu T N, Kong A K H. *ApJL*, 2011, 729: L25
- [95] Merloni A, Heinz S, di Matteo T. *MNRAS*, 2003, 345: 1057
- [96] Jalali B, Baumgardt H, Kissler-Patig M, et al. *A&A*, 2012, 538: A19
- [97] Haggard D, Coll A M, Heinke C O, et al. *ApJL*, 2013, 773: L31
- [98] Lützgendorf N, Kissler-Patig M, Noyola E, et al. *A&A*, 2011, 533: A36
- [99] Illingworth G, Freeman K C. *ApJL*, 1974, 188: L83
- [100] Noyola E, Gebhardt K. *AJ*, 2006, 132: 447
- [101] Lanzoni B, Mucciarelli A, Origlia L, et al. *ApJ*, 2013, 769: 107
- [102] De Rijcke S, Buyle P, Dejonghe H. *MNRAS*, 2006, 368: L43
- [103] Maccarone T. *MNRAS*, 2004, 351: 1049
- [104] McNamara B J, Harrison T E, Baumgardt H, et al. *ApJ*, 2012, 745: 175
- [105] Ferguson A M N, Irwin M J, Ibata R A, et al. *AJ*, 2002, 124: 1452
- [106] Gebhardt K, Rich R M, Ho L C. *ApJ*, 2005, 634: 1093
- [107] Ulvestad J S, Greene J E, Ho L C. *ApJL*, 2007, 661: L151

[108] Miller-Jones J C A, Wrobel J M, Sivakoff G R, et al. *ApJL*, 2012, 755: L1

[109] Wrobel J M, Greene J E, Ho L C. *ApJ*, 2011, 142: 113

Detection of Intermediate-Mass Black Holes in Globular Clusters

ZHAO Jun-liang^{1,2}

(1. *Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China;*

2. *Shanghai Normal University, Shanghai 200233, China*)

Abstract: Empirical evidence for both stellar-mass black holes ($M_{\text{BH}} < 10^2 M_{\odot}$) and supermassive black holes (SMBHs, $M_{\text{BH}} > 10^5 M_{\odot}$) is well established. However, it is not the case for intermediate-mass black hole (IMBHs, $10^2 M_{\odot} < M_{\text{BH}} < 10^5 M_{\odot}$). It is confirmed that the mass of a SMBH is strongly correlated with the central stellar velocity dispersion σ of its host galaxy, which is called as the $M_{\text{BH}} - \sigma$ relation. Some people have attempted to extrapolate the relation down the mass scale: the case for central IMBHs in globular clusters, and to detect and discover observationally such black holes, for which cusp clusters are often used as candidates.

Different approaches can be taken to search central IMBHs in globular clusters, including kinematics analyses, star density profile, X-ray and radio detections, among which kinematical approach has been used most frequently. In order to obtain kinematical data for member stars of globular clusters, ground-based/space spectroscopic and astrometric observations should be made, from which line-of-sight velocities and proper motions of cluster members can be obtained respectively.

So far as the above issue is concerned, the most researches and discussion have been made for three globular clusters: M15 and ω Cen in the Milky Way Galaxy and G1 in Andromeda. However, in some decades there have been arguments among different viewpoints for all these three clusters and some other globular clusters. Some people hold that, based on observational facts, there exist central IMBHs in the globular clusters, and others consider these observational facts could be explained equally well by the presence of a concentration of stellar remnants (white dwarfs, neutron stars and stellar-mass black holes) near the cluster center without a massive IMBH. In brief, there has not yet got the unanimous and convincing conclusion about the problem whether central IMBHs in globular clusters exist or not.

Key words: Milky Way Galaxy; external galaxy; globular cluster; cusp cluster; black hole; mass-velocity dispersion relation