

球状星团系统的比频、金属度和质量谱

王 家 骥

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

摘 要

评述了球状星团系统研究中的比频、金属度和质量谱三大问题,就目前的认识和存在的问题进行了讨论。指出不同星系球状星团比频之间的差别表明了需要有各种不同的球状星团形成模型;球状星团金属度的分布表明球状星团可能有三个形成时期,分别与三类形成模型对应;尽管对数正态初始质量谱的数值模拟初步结果与观测结果符合得更好,然而幂函数的初始质量谱在物理上能很好地与球状星团形成联系起来。

关键词 星团: 球状星团 — 星系: 星团 — 星系: 形成 — 星系: 丰度 — 星系: 质量函数

分类号 P154.12

1 引 言

所有比较大的星系以及相当多小星系的外围都有球状星团存在。球状星团是由几百至几百万颗恒星组成的稳定的引力束缚集团,它们的年龄甚至可以与星系本身的年龄相比。每一个星系中的球状星团构成了一个有别于这个星系中其他恒星集团的次系,通常称为球状星团系统。

Shapley 在 1918 年^[1]首先注意到银河系球状星团系统的存在。然后 Hubble 在 1932 年^[2]发现银河系的近邻仙女座大旋涡星系 M31 也有一个球状星团系统。目前已在许多星系中观测到球状星团,其中 50 ~ 100 个具有完整程度不同的可利用信息^[3]。

对球状星团的研究包括单个球状星团的研究和球状星团系统的研究两个方面,这些研究为天体物理学中的许多问题提供了独特的视角。就单个球状星团而言,它们是可以用来研究恒星演化和动力学中许多问题的独立“实验室”。在考虑整个球状星团系统时,它们保留着其所在星系形成过程中动力学和化学状况的历史记录。因此,球状星团和球状星团系统的研究与星系形成和演化有着紧密的联系,成为当前天体物理学观测和理论研究的热点。

国家自然科学基金重点项目(编号 19833010)资助课题

2001-04-12 收到

2 球状星团系统的比频

不同星系的球状星团数量相差悬殊。一个星系所含球状星团的数量当然首先与星系本身的大小有关, 为了消除这个因素的影响, Harris 和 van den Bergh 在 1981 年^[4] 提出了用比频 (specific frequency) 来衡量星系中球状星团数量的多寡, 它被定义为假定把球状星团系统所在星系的绝对 V 星等都统一归算到 -15mag 时应有的球状星团数量。若以 S_N 表示比频, N_{GC} 表示所考虑的星系中球状星团的实际数量, 则上述定义可以表示为

$$S_N \equiv N_{\text{GC}} \cdot 10^{0.4(M_V+15)},$$

其中 M_V 是这个星系的绝对 V 星等。

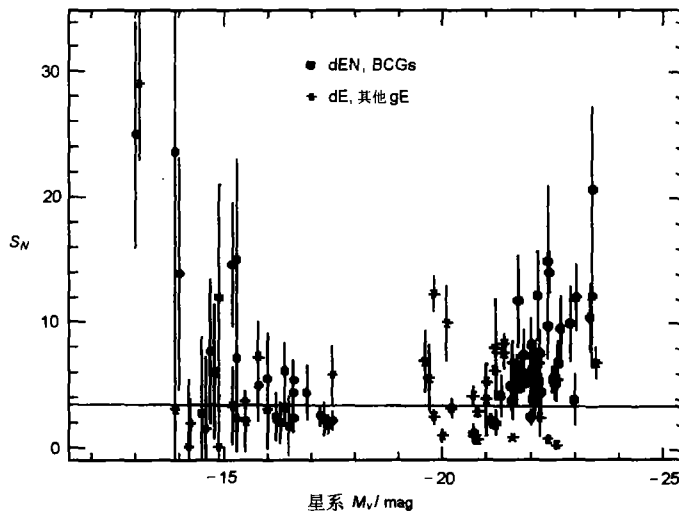


图 1 椭圆星系中球状星团系统的比频与所在星系光度的关系^[38]

dEN 表示有核矮椭圆星系, dE 表示无核矮椭圆星系, BCG 表示最亮团星系, 其他 gE 表示除了 BCG 以外的巨椭圆星系

图 1 是椭圆星系中球状星团系统的比频与所在星系绝对 V 星等的关系图。旋涡星系中球状星团系统的比频与所在星系光度没有明显关系, 而且数值都很小, 很少超过 1.0。

由比频 S_N 所显示的一个最重要的现象是椭圆星系 S_N 值大多比旋涡星系高。van den Bergh 在 1982 年^[5] 就认为这一事实会给椭圆星系由旋涡星系并合形成的假说以有力的支持。Schweizer 在 1987 年^[6] 提出, 在富气体旋涡星系剧烈地碰撞和合并形成高光度椭圆星系的过程中, 同时形成了后来椭圆星系中大量的球状星团。

Ashman 和 Zepf 在 1992 年^[7] 提出了由两个旋涡星系合并形成一个椭圆星系的模型。根据这个模型, 在合并后形成的椭圆星系中, 球状星团系统由两个不同的群体组成。第一个群体由合并之前两个旋涡星系原有的球状星团组成, 是年龄较老的贫金属的群体。第二个群体则由在合并期间形成的球状星团组成, 是相对年轻和富金属的群体。

Ashman 和 Zepf 在 1998 年的专著^[8]中给出了一些与上述合并模型矛盾的观测结果。上述模型的一个预言是椭圆星系球状星团系统的平均金属度应该随着比频 S_N 的升高而升高。然而, M87 和 NGC 4472 这两个星系的球状星团系统平均金属度相差不大, M87 的比频却是 NGC 4472 的 3 倍左右。NGC 3311 是与 M87 类似的具有高比频的星系, NGC 3923 的比频则与 NGC 4472 相近。NGC 3311 和 NGC 3923 的球状星团系统平均金属度也很接近, 却都比 M87 和 NGC 4472 更富金属。Ashman 和 Zepf 据此认为, 实际的合并过程要比他们的简单模型复杂。

Fritze-von Alvensleben 和 Kurth 研究了 Hubble 空间望远镜观测到的碰撞星系 NGC4038/39 中的 738 个明亮星团^[9]。这两个旋涡星系正在合并成一个椭圆星系。研究表明这些星团大部分是球状星团, 从而意味着这种合并过程确实会使比频显著升高。

然而, 最近 van den Bergh^[3] 对于用星系并合来解释高比频的观点提出了质疑。他指出, 只有当所有新形成星团中恒星数量占整个星系新形成恒星总数的比例高于某个平均值时, S_N 值才会升高。Brown 等人^[10]研究了“原椭圆星系” NGC 1700, 认为它可能是在约 3 Gyr 前由两个旋涡星系合并形成的, 而它的 S_N 值却很低, 仅为 1.4。这说明并合星系未必具有高比频。

用星系并合来解释高比频的观点还有一个早已提出却一直没有解决的问题, 那就是 S0 型星系似乎具有与 E 型星系相近的 S_N 值。Harris 在 1991 年^[11]就已经指出了这一事实。通常认为 S0 星系是由单个旋涡星系演化而成, 因此它们的高比频不能用星系并合来解释。

观测表明, cD 型星系是比频很高的星系。这些星系都是星系团的中央星系。McLaughlin 等人在 1994 年^[12]发现 cD 型星系的 S_N 值与星系团的演化程度之间有相关性。在一些演化程度较高的星系团中, 中央星系的 S_N 值相对来说一般较低。他们认为这种相关性可能是 cD 型星系不断吞并 S_N 值较低的矮星系的结果。

Barkhouse 等人最新的观测结果^[13]表明, 含有 cD 型星系的星系团中矮星系与巨星系的数量比低于平均值, 而且其中矮星系的缺乏在核心处比远离中心处更显著, 有力地支持了 cD 型星系曾经吞并过大量矮星系的观点。

为了解释 cD 型星系的高 S_N 值, 很多研究者曾经把原因归之于星系并合, 特别是对大量矮星系的吞并。然而, 如上所述, 矮星系也有比频高低差别, 大量吞并矮星系并不一定导致高比频。Miller 等人^[14]1998 年根据 Hubble 空间望远镜对室女星系团核心区有核 dE 型星系的观测结果得到平均有 $S_N = 6.5 \pm 1.2$ 。显然, 即使对于这些比频较高的矮星系, cD 型星系也不能靠吞并它们使自己的 S_N 值达到观测值那么高。

另一种能够避免上述矛盾的观点是 cD 型星系只俘获与其近距离相遇的星系外围的球状星团, 而并没有吞并整个星系。据 van den Bergh 估计^[3], 对于 M87, 要俘获约 10000 个球状星团, 才能达到它目前那么高的 S_N 值。这显得有些不现实, 因为即使是一些富含球状星团的巨椭圆星系, 球状星团的总数一般也只有几千个, 而旋涡星系的球状星团总数一般不超过几百个。

对于 cD 型星系的高比频问题, 近年出现两种很有启发性的新思想, 值得注意。一是 Harris 等人^[15]在 1998 年提出, 某些 cD 型星系 S_N 值很高不是因为球状星团过多, 而是由于缺少场星造成的。在高光度 cD 型星系形成时, 强烈的星系风吹走了原本要用来形成最后一代场星

的气体, 使得这类星系比正常星系缺少场星。另一是 McLaughlin^[16] 在 1999 年指出, 如果星团形成效率是普通常数, 那么一个星系中球状星团系统的大小应该与初始存在的气体量成正比。这就是说, 一个星系球状星团系统的高比频反映了星系形成时的初始气体量高, 而计算比频的公式只考虑了目前的恒星质量 (即星系光度)。McLaughlin 认为^[16], 一些有核矮椭圆星系的高比频也可以用缺少场星来解释, 但气体丧失的原因, 除了星系风以外, 也可能是潮汐剥离。然而, 银河系的伴星系之一天炉矮椭圆星系, S_N 值高达 29 左右, 看来不能完全用气体损失来说明。这是因为还有一些最暗的作为银河系伴星系的矮椭圆星系, 其气体损失甚至可能比天炉矮星系更多, 却全都有 $S_N < 5$ ^[17]。这对球状星团形成理论构成了严峻的挑战。

总的来看, 比频虽是一个比较容易得到的表示星系中球状星团相对含量的观测量, 但是对于星系中球状星团系统的形成研究来说, 不是一个好的物理量。正如 McLaughlin 所说^[16], 它没有考虑一个星系形成时的气体总量以及后来气体损失的情况, 真正能够反映球状星团系统形成的物理状况的量, 应该是一个星系中初始球状星团总质量与星系的初始气体总量之比, 也就是 McLaughlin 定义的球状星团形成效率。因此, 在球状星团研究中, 应该慎重地看待比频的物理意义, 对不同的星系要具体问题具体分析。

3 球状星团系统内球状星团的金属度分布

一般认为, 在球状星团系统中, 球状星团的颜色分布反映了球状星团金属度的差别。van den Bergh^[18] 在 1975 年首先发现, 在高光度星系中的球状星团系统, 球状星团的颜色平均来说比低光度星系中的红。

Gebhardt 和 Kissler-Patig 在 1999 年^[19] 发表了 50 个星系中的球状星团系统内球状星团的颜色分布。大致有一半星系的球状星团颜色具有双峰分布。大多数高光度椭圆星系观测到双峰颜色分布, 可是也有一些是单峰。例如, 室女星系团的 M86 只有一个蓝色的峰^[20], 后发星系团的 IC 4051 则似乎只有红色的峰^[21]。

最近 van den Bergh^[22] 提出了一种也许是描述球状星团系统内球状星团金属度分布最简单的方法, 即使用 $[\text{Fe}/\text{H}] > 1.0$ 的红色富金属球状星团数量 n_r 与 $[\text{Fe}/\text{H}] < 1.0$ 的蓝色贫金属球状星团数量 n_b 之比来描述。他根据现可利用的数据, 编制了一份包含 100 多个星系球状星团系统的 n_r/n_b 比值表。图 2 是作者根据这份表中的数据, 以 $\lg(n_r/n_b)$ 为横坐标, S_N 为纵坐标绘制的。

van den Bergh^[22] 指出了他编制的 n_r/n_b 比值表中数据可能会有的偏差。首先是由于蓝色像和红色像可能会有不同的极限星等, 在蓝色像深度较浅的情况下会造成红色球状星团计数不完整。其次, 由于许多球状星团系统中蓝色球状星团分布的空间范围比红色球状星团大, 于是在观测的空间范围不够大的情况下会使蓝色球状星团的计数不完整。另外, 球状星团的颜色实际上还与球状星团的年龄有关, 这在上述比值的计算中也没有考虑。

尽管可能有上述一些偏差, 而且样本看上去还较小, 可是由这些数据 (见图 2) 还是可以得出一些初步的结论。

van den Bergh^[22] 根据这些数据指出, E 型和 S0 型星系 n_r/n_b 的变化几乎达到 2 个数量级, 然而约有一半可满足 $-0.2 \leq \lg(n_r/n_b) \leq 0.2$ 。相比之下, 旋涡星系 n_r/n_b 分布的弥散度

要大得多, 而且总体上偏蓝。当沿着 Hubble 序列由早型到晚型时, 蓝色球状星团占的比例增大。另外, E 型和 S0 型星系的 n_r/n_b 没有显著差别, 与它们的比频 S_N 相近类似, 也是一直未能解决的问题。

van den Bergh^[22] 还指出, 少量的星系团中心星系和 cD 型星系的 n_r/n_b 值似乎有非常大的弥散。在图 2 上, 这些星系全都位于图的上方, 这是因为它们都有很高的比频。

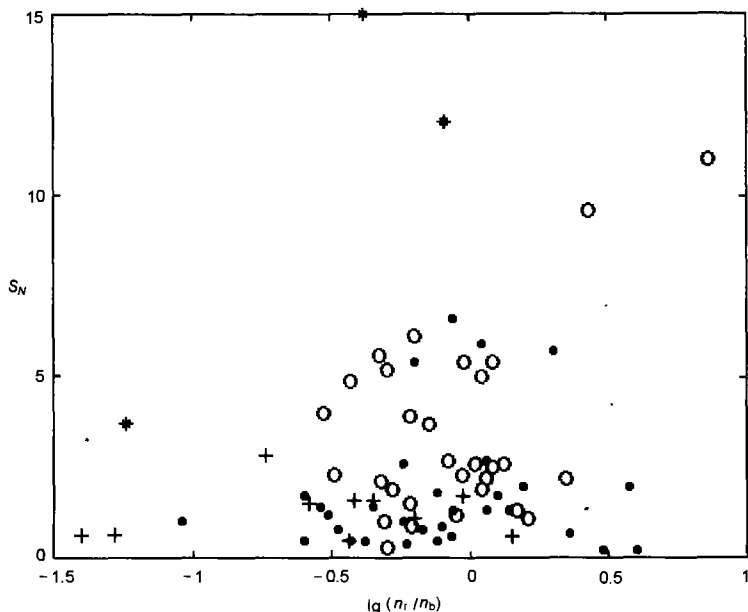


图 2 一些星系中红色球状星团与蓝色球状星团数量比与球状星团系统比频的关系

+ 表示旋涡星系, O 表示 E 型星系, • 表示 S0 型星系, * 表示 cD 型星系

图 2 中有一个特例, 那就是接近图右上角的那个数据点所代表的星系 IC 4051。这个 E2 型巨椭圆星系位于后发星系团核区的外沿, 而不是中心星系或 cD 型星系, 却具有与它们类似的高比频。Woodworth 和 Harris^[21] 推测这个星系在大多数球状星团形成以后曾经穿过后发星系团的核区, 在此期间损失了大部分剩余的原星系气体。Woodworth 和 Harris^[21] 没有提到是什么原因造成了 IC 4051 严重缺乏蓝色球状星团。但是, 如果他们关于这个星系曾经穿越后发星系团核区的推测是正确的, 那么这个星系外围原有的蓝色球状星团也有可能在该穿越过程中被大量剥离。不过 van den Bergh^[3] 不同意这个观点, 他的依据是在这个星系离中心距离较近的地方同样也没有观测到蓝色球状星团。因此, 他倾向于认为这个星系直到其中气体的金属度达到很高时才开始形成球状星团。

van den Bergh^[3] 在总结球状星团系统比频和金属度分布所呈现的种种差别之后, 认为需要有各种不同的星团形成模型, 才能解释这些现象。

通常认为, 蓝色和红色球状星团起源于两次不同的球状星团形成期。第一个球状星团形成期是在原星系坍塌时期或者更早, 那时形成球状星团的气体还没有增丰, 金属度很低。第二个球状星团形成期比较晚, 发生在气体已经增丰之后, 金属度较高。球状星团系统内球状星团金属度的双峰分布反映的就是这样两个不同的形成时期。这与星系并合模型的预言相符合。

旋涡星系的球状星团系统也有双峰分布, 但是其第二个球状星团形成期的触发机制显然与巨椭圆星系有所不同。

Forbes 等人^[23]曾发现, 当星系的光度升高时, 红色球状星团群体的平均颜色变得更红, 这表明红色球状星团的形成与它们所在星系有密切联系。然而, 蓝色球状星团群体平均颜色与它们所在星系的光度没有关系。West^[24]认为在 cD 型星系中观测到高比频值是因为球状星团偏向于在原始密度分布的少数高密度峰处形成, 后来 West 等人^[25]又进一步明确提出伴随星系团一起形成原始球状星团群体的思想。星系 (尤其是星系团的中央星系) 中的蓝色球状星团群体很可能来自星系对这种原始群体的吸积。Forbes^[23]的发现显然支持了这一思想。

然而, 本星系群星系 (包括银河系在内) 周围的蓝色球状星团群体显然不是来自于这样的原始群体。这是因为在本星系群内不同星系的蓝色球状星团群体显然有不同的起源, 其突出表现是在大 Magellan 云周围的贫金属球状星团与银河系晕族球状星团有明显区别。van den Bergh^[3]据此认为, 本星系群旋涡星系周围的贫金属球状星团似乎与富星系团中大质量椭圆星系周围的蓝色球状星团在形成上有所不同。

如上所述, 球状星团的形成大致有三个时期: 第一个时期是在星系形成以前, 在一些后来成为富星系团核心的原始密度分布高密度峰处, 形成了最早的球状星团群体, 这些球状星团后来被星系团的中心星系或核心区附近的大质量椭圆星系吸积, 成为这些星系周围的蓝色球状星团群体; 第二个时期是星系形成时期, 在这一时期形成的球状星团构成了旋涡星系周围的晕族球状星团群体; 第三个时期是在星系形成以后, 包括旋涡星系中盘族球状星团群体的形成椭圆星系中红色球状星团群体的形成以及今天还在发生的碰撞星系中年轻球状星团群体的形成。

球状星团的形成模型历来就有三类^[8], 这三类模型恰恰就是按照以上三个时期来划分的。这三类模型并不互相排斥, 而是互为补充, 一起构成了球状星团形成的丰富多彩的图景。在研究工作中需要根据观测结果, 判断某个 (或某类) 星系中的球状星团的形成适合哪种模型 (或哪几种模型的组合), 这对于搞清楚这些球状星团所在星系的形成和演化历史应该是非常重要的。

4 球状星团质量谱

球状星团的质量谱 (质量分布函数) 可以由观测得到的球状星团光度函数在对质光比作一定的假设后转化得到, 由理论和数值模拟研究得到的球状星团质量谱也可以反过来转化为光度函数, 从而与观测结果作比较。

在以绝对星等为横坐标时, 银河系球状星团系统的光度函数可以用 Gauss 函数很好地拟合, 其最佳拟合的 Gauss 分布平均值为 $M_V = -7.33$, 弥散度为 $1.23^{[8]}$ 。河外星系的球状星团系统一般也有类似的情况, 例如, 对于 M31, 最佳 Gauss 拟合的平均值为 $M_V = -7.51$, 弥散度为 $1.05^{[8]}$; 对于 M87, 最佳 Gauss 拟合的平均值为 $M_V = -7.3$, 弥散度为 $1.4^{[26,8]}$ 。不同星系球状星团光度函数的峰值基本一样, 使得球状星团系统能成为有效的河外距离定标工具 (但小质量星系除外)。若球状星团的质光比是一常数, 则其质量谱同样具有对数正态分布的形式。

Harris 和 Pudritz 在 1994 年推测^[27]，大质量星团的质量谱与一种散布在超巨分子云中的致密气核的质量谱有联系，他们认为球状星团就是在这些致密气核中形成的。McLaughlin 和 Pudritz 在 1996 年^[28]依据上述思想给出了一个数值模型，计算了这些气核通过碰撞和附聚的动力学过程生成的质量谱，也就是球状星团初始质量谱。他们用计算得到的理论质量谱拟合观测得到的银河系、M31 和 M87 的球状星团光度函数，对于高光度一侧的星团符合得非常好。然而，对于低光度一侧，他们的模型预言应该有大量星团在动力学演化过程中瓦解，则需要通过星团动力学演化的研究来加以验证。

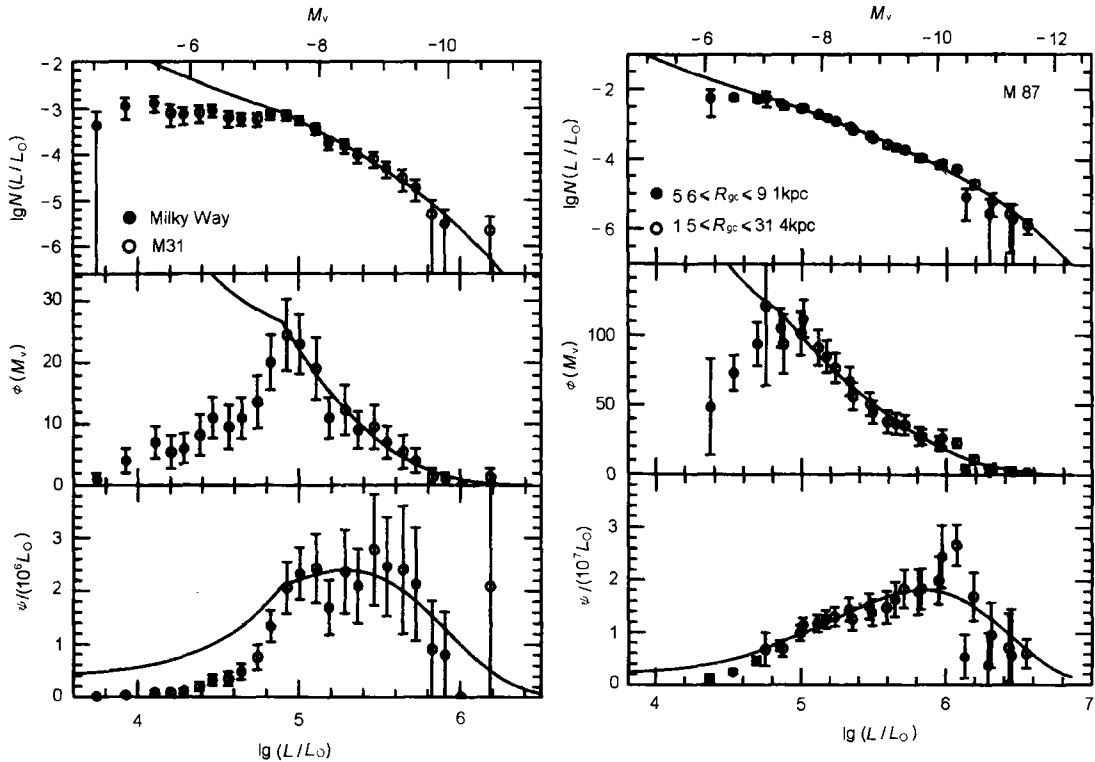


图3 McLaughlin 和 Pudritz 的气核碰撞和附聚模型与银河系、M31 和 M87 的球状星团系统中球状星团质量谱观测结果的拟合^[28]

Elmergreen 和 Efremov 在 1997 年^[29]指出，年老和年轻球状星团、疏散星团和星协以及星际云的初始质量分布函数都是斜率在 -2 左右（指采用对数标度）的幂函数。他们认为，这种分布是湍动气体碎裂的结构造成的。为了解释年老球状星团目前的质量谱为什么是对数正态分布，他们推测大量的晕族场星应该来自很小的晕族星团的蒸发。

Harris 和 Pudritz^[27]、Elmergreen 和 Efremov^[29]都认为球状星团初始质量谱具有幂函数形式，McLaughlin 和 Pudritz^[28]的数值计算结果也与幂函数很接近。Whitmore 和 Schweizer 在 1995 年^[30]对碰撞星系 NGC 4038/39 中年轻星团的观测结果表明它们的光度函数具有幂函数形式。然而，Fritze-von Alvensleben^[31]1998 年在考虑了这些星团的年龄弥散之后，发现它们的光度函数实际上具有正态形式。Fritze-von Alvensleben^[32]在 1999 年又表明较老的并

合星系 NGC 7252 和 NGC 3921 的球状星团质量谱看来也具有这种对数正态形式。

Vesperini^[33] 在 1998 年根据他的数值模拟结果讨论了银河系球状星团系统质量函数的演化。在他的模拟中计入了恒星演化、二体驰豫、银盘冲击和动力学摩擦对各个球状星团演化的影响,但他假定所有球状星团均具有圆轨道,没有考虑球状星团轨道偏心率的影响。他采用对数正态初始球状星团质量函数,并考虑了球状星团质量平均值和弥散度的初始值在一个很宽的范围内变动。在 15 Gyr 后,尽管球状星团群体发生了显著变化,可是质量谱的对数正态形式很好地保持了下来,甚至通过星团瓦解与幸存星团质量演化之间微妙的平衡,只要初始质量谱的参数在某一组特定的值附近,对数正态质量谱的参数也能在演化过程中大致保持不变。

Vesperini^[33] 还曾用幂函数作为初始质量谱进行计算,结果演化过程会把它修正得趋向对数正态的质量谱。

根据 Vesperini^[33] 的计算,银河系目前的球状星团数量与初始球状星团数量之比约为 0.54,对应的质量之比约为 0.41。这些值意味着银河系球状星团系统的初始群体大约包含 300 个星团,总质量约为 $9 \times 10^7 M_{\odot}$,星团瓦解和幸存星团内恒星逃逸对银晕质量的贡献约为 $5.5 \times 10^7 M_{\odot}$ 。最后这个数据与晕族场星质量相差非常大(约为后者的 1%),也就是说,球状星团瓦解不是晕族场星的主要来源。

Vesperini^[34] 在 2000 年又发表了对椭圆星系中的球状星团系统作类似数值模拟的计算结果。采用对数正态的初始质量谱,他的计算结果表明,在 15 Gyr 后,在大质量星系中,各星系中球状星团最终平均质量彼此非常接近,星系与星系之间弥散很小;而小质量致密星系中球状星团最终平均质量较小,星系与星系之间弥散度较大。因而事实上,对于这些星系球状星团光度函数的峰值不能作为距离指标使用。

Vesperini 在 2001 年发表的论文^[35] 中再次对椭圆星系中的球状星团系统用幂函数形式的初始质量函数作了类似数值模拟计算。计算表明,具有这样的初始质量谱的球状星团系统在演化过程中很容易就转化成了对数正态形式的质量谱。然而,在 15 Gyr 后,最终的球状星团系统中球状星团的平均质量一般小于观测值,不同星系间的弥散度大于观测值。而原来用对数正态初始质量谱计算的结果与观测值符合得很好。

必须指出的是,以上所述 Vesperini 的所有结果没有考虑球状星团实际运行轨道是椭圆(有的还是偏心率很大的椭圆)所造成的影响。因此,他的理论结果与观测结果之间的比较只能看作是初步的,并不带有结论性的意义。

Kundu 等人^[36] 1999 年发表了用 Hubble 空间望远镜观测结果对 M87 的球状星团系统研究的结果。他们发现这个星系的红色(富金属)和蓝色(贫金属)球状星团的质量谱几乎没有区别,尽管它们的年龄差了 3~6 Gyr。这一结果用 Vesperini 的数值模拟^[33] 也许可以得到解释,即在这两个球状星团群体形成时它们的初始质量谱即使有某些差别,后来的演化过程会使它们的差别缩小,甚至几乎消失。

对于球状星团系统特性的径向变化问题,曾经有一种看法,认为离星系中心较近的小质量星团会在演化过程中大量破坏,因此目前的球状星团质量谱应该存在一定程度的径向梯度。Gnedin 在 1997 年^[37] 研究了银河系、M31 和 M87 的观测数据,发现这三个星系内层球状星团比外围球状星团平均星等较亮而弥散度较小。然而 Harris^[38] 最新发表的对银河系球状星团系统更精细的研究工作表明,在 8 kpc 附近平均星等达到最亮,向里反而略有变暗。Kundu

等人^[36]在1999年发表的对M87离星系中心1.6~6.4 kpc范围内1057个星团的研究结果表明这些星团的光度分布没有明显的径向变化。事实上, Vesperini^[33]的数值模拟已经证明, 演化过程对球状星团系统的强烈影响不一定意味着会形成球状星团平均质量很大的径向梯度。造成这种结果的一个很重要的因素是在银心距较小的区域里, 小质量星团因为蒸发而瓦解与大质量星团因为动力学摩擦而瓦解之间的某种程度的平衡。

5 结束语

正如 van den Bergh^[3]所说, 由飞快增长的关于星系球状星团系统的大量数据能够得出的最强有力的结论或许是它们曾经经历过各种各样令人眼花缭乱的演化历史。采用比频不能很好地体现不同类型星系在演化历史上的差别。因此, 有必要用各种不同的球状星团形成模型来说明不同星系内球状星团的形成过程, 其中特别应该注意初始情况下球状星团形成的数量与所在星系总的气体含量之间的关系以及不同金属度的球状星团子群形成时所在星系不同的物理状况。实际上, 国际上对球状星团系统的研究已经开始注意到了这些问题, 并且有可能对星系的形成与演化研究提供新的重要约束。

球状星团的质量谱与上述问题有着紧密的联系。数值模拟表明, 要从目前观测到的球状星团质量谱回溯其初始质量谱将是困难的。不管初始质量谱是幂函数形式还是对数正态形式, 动力学演化都可以使它们的最终质量谱具有对数正态形式。因此, 必须把数值模拟与物理机制的探讨结合起来, 才能对问题的解决真正有决定性的帮助。目前, 幂函数的初始质量谱已从物理上得到说明, 能很好地与球状星团形成机制联系起来, 但是还有必要对后来的动力学演化作进一步探讨, 才能与观测结果更好地一致起来。

天文研究的历史表明, 对于许多问题, 一开始往往只注重现象的描述, 忽视了其中物理机制的影响。这在观测结果的积累阶段是不可避免的, 对于球状星团系统的研究也正是这种情况。随着观测资料的逐步丰富, 现在已经有可能会透过现象探讨本质, 因此, 对球状星团形成物理机制的研究开始突出, 这也正是目前球状星团系统研究能够成为一个热点的原因。

参 考 文 献

- 1 Shapley H. *Ap. J.*, 1918, 48: 154
- 2 Hubble E. *Ap. J.*, 1932, 76: 44
- 3 van den Bergh S. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 2000, 112: 932
- 4 Harris W E, van den Bergh S. *A. J.*, 1981, 86: 1627
- 5 van den Bergh S. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 1982, 94: 459
- 6 Schweizer F. In: Faber S M ed. *Nearly Normal Galaxies*, New York: Springer, 1987: 18
- 7 Ashman K M, Zepf S E. *Ap. J.*, 1992, 384: 50
- 8 Ashman K M, Zepf S E. *Globular Cluster Systems*, Cambridge: Cambridge University Press, 1998
- 9 Fritze-von Alvensleben U, Kurth O. In: Barnes J E, Sanders D B eds. *Galaxy Interactions at Low and High Redshift*, IAU Symp. 186, Dordrecht: Kluwer, 1999: 261
- 10 Brown R J N, Forbes D A, Kissler-Patig M *et al.* *M.N.R.A.S.*, 2000, 317: 406
- 11 Harris W E. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1991, 29: 543
- 12 McLaughlin D E, Harris W E, Hanes D A. *Ap. J.*, 1994, 422: 486

- 13 Barkhouse W A, Yee H K, López-Cruz O. In: Franco J *et al.* eds. *Cosmic Evolution and Galaxy Formation*, ASP Conf. Ser., San Francisco: ASP, 2000, 215: 57
- 14 Miller B W, Lotz J M, Ferguson H C *et al.* *Ap. J.*, 1998, 508: L133
- 15 Harris W E, Harris G L H, McLaughlin D E. *A. J.*, 1998, 115: 1801
- 16 McLaughlin D E. *A. J.*, 1999, 117: 2398
- 17 van den Bergh S. *Ap. J.*, 1998, 505: L127
- 18 van den Bergh S. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1975, 13: 217
- 19 Gebhardt K, Kissler-Patig M. *A. J.*, 1999, 118: 1526
- 20 Neilsen E H, Tsvetanov Z I. *Ap. J.*, 1999, 515: L13
- 21 Woodworth S C, Harris W E. *A. J.*, 2000, 119: 2699
- 22 van den Bergh S. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 2001, 113: 154
- 23 Forbes D A, Brodie J P, Grillmair C J. *A. J.*, 1997, 113: 1652
- 24 West M J. *M.N.R.A.S.*, 1993, 265: 755
- 25 West M J, Côté P, Jones C *et al.* *Ap. J.*, 1995, 453: L77
- 26 Whitmore B C, Sparks W B, Lucas R A *et al.* *Ap. J.*, 1995, 454: L73
- 27 Harris W E, Pudritz R E. *Ap. J.*, 1994, 429: 177
- 28 McLaughlin D E, Pudritz R E. *Ap. J.*, 1996, 457: 578
- 29 Elmegreen B G, Efremov Y N. *Ap. J.*, 1997, 480: 235
- 30 Whitmore B C, Schweizer F. *A. J.*, 1995, 109: 960
- 31 Fritze-von Alvensleben U. *Astron. Astrophys.*, 1998, 336: 83
- 32 Fritze-von Alvensleben U. *Astron. Astrophys.*, 1999, 342: L25
- 33 Vesperini E. *M.N.R.A.S.*, 1998, 299: 1019
- 34 Vesperini E. *M.N.R.A.S.*, 2000, 318: 841
- 35 Vesperini E. *M.N.R.A.S.*, 2001, 322: 247
- 36 Kundu A, Whitmore B C, Sparks W B *et al.* *Ap. J.*, 1999, 513: 733
- 37 Gnedin O Y. *Ap. J.*, 1997, 487: 663
- 38 Harris W E. In: Labhardt L, Binggeli B eds. *Star Clusters*, Saas-Fee Advanced School 28, Berlin: Springer, 2001: 223

Specific Frequencies, Metallicities and Mass Functions of Globular Cluster Systems

Wang Jiaji

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract

Three problems, the specific frequencies, metallicities and mass spectra, in studies of globular cluster systems are reviewed and discussed for current knowledge and open issues. It is noted that different between specific frequencies of globular clusters from galaxies to galaxies indicate different formation models. The metallicity distributions imply three probable epochs of globular cluster formation corresponding to three kinds of formation models. The power-law initial mass functions can be physically connected with globular cluster formation even though the preliminary results of simulations with the log-normal initial mass functions are more consistent with current observations.

Key words star clusters: globular clusters—galaxies: star clusters—galaxies: formation—galaxies: abundances—galaxies: mass functions