

文章编号: 1000-8349(2007)03-0206-09

星系团的分层效应

赵君亮

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 对星系团各类分层效应的有关问题做了概要的评述, 包括成员星系在位置空间和 (或) 速度空间中的形态分层、光度 (质量) 分层和元素丰度分层的表现形式和探测途径, 分层效应可能的形成机制及其对星系和星系团的结构和演化的影响。

关键词: 天体物理学; 星系团; 综述; 光度分层; 质量分层; 形态分层

中图分类号: P156 **文献标识码:** A

1 引 言

作为宇宙中现已确认的最大束缚天体系统, 星系团在天体物理学, 特别是在星系形成、星系动力学演化以及宇宙大尺度结构研究中有着其特有的重要地位。与星团相类似, 作为一类天体系统, 目前所观测到的星系团中的成员星系表现出各种分层效应, 而这些分层效应的出现又与星系团形成时的条件和之后的动力学演化过程有关。

与星团相比, 星系团的分层效应表现得更为复杂, 这是因为:

1) 星系团中的成员星系不仅质量各异 (这一点与星团成员星有不同的质量相类似), 而且具有多种不同的形态类别; 一方面不同形态的星系很可能有不同的形成条件和动力学演化进程, 另一方面它们之间还可能存在着某种演化上的联系。

2) 星系团中的成员星系除了相互间的交会外, 还可能发生碰撞, 甚至并合; 交会、碰撞和并合都会使星系的形态发生变化, 并影响到星系团的运动学状态, 而星团中恒星间发生直接碰撞的可能性几乎不存在, 影响其运动学状态的主要因素是恒星间的近距离交会。

3) 星系团中, 特别是对不规则星系团来说, 比较普遍地存在着一些次结构, 因此星系团的总体结构通常要比星团来得复杂。

4) 对星系团中的成员星系来说, 唯一可以取得的运动学观测资料是视向速度, 而无法取得它们的自行, 成员判定也比星团更困难。

星系团的分层效应可以表现为多种形式, 其中包括形态分层 (morphology segregation)^[1]、光度分层 (luminosity segregation)^[2-4]、质量分层 (mass segregation)^[5], 以及最近有人开始

收稿日期: 2006-08-07; 修回日期: 2007-02-14

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (10333020)

研究的元素丰度分层 (abundance segregation) [6] 等。不仅如此, 上述各种分层效应又可以在位置空间或者速度空间 (或两者兼有之) 中反映出来, 这就是成员星系的空间分层 (spatial segregation) 和速度分层 (velocity segregation) 效应, 而后者又可称为星系团的运动学分层 (kinematical segregation)。例如, 就成员星系的形态分层来说, 有形态空间分层和形态速度分层两种不同的表现形式 [7]。

对一个星系团来说, 其中的成员星系是否存在某种分层效应, 显著程度如何, 是否在位置和速度空间上同时表现出这种分层效应, 不同类别、不同富度、不同距离处星系团的分层效应有何异同等, 这些问题必然涉及到星系团的形成和动力学演化、团内星系的演化及其对团整体演化的影响等重要问题, 因而受到天文学家的广泛关注。

2 形态分层

2.1 形态空间分层

在一个团星系内, 不同形态类别的星系可能有着不同的形成和演化方式, 分析星系团在相空间 (包括位置和速度空间) 中的形态分层, 便可以对星系的形成和演化机制给予观测上的约束。因此, 人们早就注意到了星系团的形态分层问题。最早可以追溯到 Curtis [8] 及 Hubble 和 Humason [9] 在 20 世纪初期所作的工作, 他们注意到了与晚型星系相比, 在早型星系所处的环境中, 星系数密度比较高, 这就是所谓形态 - 密度关系 [10,11]。

1974 年, Oemler [12] 利用测光资料对 15 个星系团的性质做了研究。他把样本星系团分为 3 类: 富旋涡星系 (富 S) 团、贫旋涡星系 (贫 S) 团、有 cD 星系的团。他发现富 S 团看不出任何分层效应, 而其他两类团都表现出形态空间分层, 其中贫 S 团的成员以 S0 星系居多, 而在 cD 星系团中则含有大量的椭圆星系。1977 年, Melnick 和 Sargent [13] 对 6 个 Abell 星系团进行了研究, 其结果表明: 透镜星系 S0 和旋涡星系 S 的相对比例与团心距有关, 团心距越大, 旋涡星系的比例越高 (尽管这一比例的径向梯度对不同的星系团会有很大的变化)。上述关系称为形态 - 团心距关系, 即星系团的形态空间分层效应, 而有人认为与形态 - 密度关系相比, 其反映了星系团的更基本的内禀关系 [14-16], 不过, 人们对此还没有取得完全一致的共识。1980 年, Dressler [17] 利用 55 个星系团中 6 000 多个星系的观测资料, 进一步证实了早型星系 (E+S0) 和晚型星系 (S+Irr) 有着不同的投影分布。总的来看, 早型星系在全部团星系中所占的比例随团心距的减小而增大, 而晚型星系比例的径向变化情况恰好相反, 表现出一定程度的形态空间分层效应 (参见图 1) [11]。

1998 年, Adami 等人 [7] 利用 40 个规则星系团中大约 2 000 个星系的观测资料进行研究, 发现 E 星系、S0 星系、Se (早型旋涡星系) 和 S1 (晚型旋涡星系) 的团心距分布有着显著

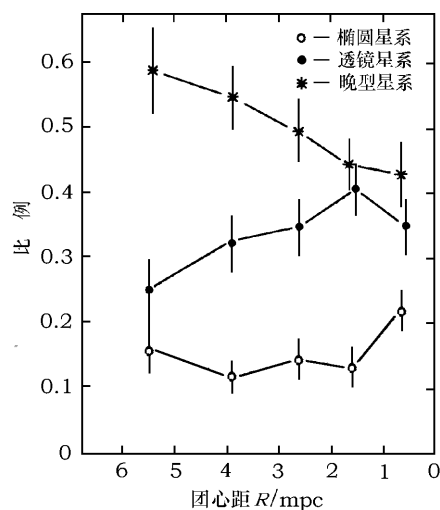


图 1 星系团的形态空间分层 [11]

的差异, 4 类星系的核半径按 E-S0-Se-SI 序列逐渐增大, 这就表明团星系存在形态空间分层。最近, Driver 等人^[18]对富星系团 Abell 868 的 HST 资料进行了分析, 发现在该星系团的核区, 很少有晚型星系存在。

探测团星系形态空间分层效应可以通过几种不同的途径, 例如讨论不同类型星系的径向面密度轮廓; 分析不同形态星系所占比例(相对数)的径向变化规律; 也可以比较不同形态星系的平均团心距、King 模型中的核半径或引力半径(团星系间距以质量加权的调和平均值)的大小^[7,12]等。

2.2 形态速度分层

随着观测资料的不断累积, 特别是越来越多的星系视向速度(红移)的测定, 人们对形态分层的研究也日益深化, 即不仅讨论团星系的形态空间分层, 并且分析它们的形态速度分层效应。与讨论形态空间分层效应的情况不同, 探测团星系形态速度分层的唯一途径, 是就不同形态类别的星系, 利用它们的视向速度观测资料, 分别确定其内禀速度弥散度, 并进而探讨星系的形态-速度弥散度关系。这就要求分析用的团星系样本应该有比较大的容量。

从 20 世纪 70 年代起, 许多天文学家就已发现星系团中 E 和 S0 星系的速度弥散度 σ 要比 S 星系或 S+Irr 星系的 σ 小。例如: Tammann^[19]所作的 Virgo 星系团的工作; Melnick 和 Sargent^[13]对 6 个 Abell 团进行了讨论; Sodr 等人^[20]对 15 个星系团进行了分析; 其他的工作可参阅文献[21-23]。另一方面, 鉴于在一般情况下, 对星系形态类别的准确确认要比确定星系的颜色来得困难, 而星系的颜色和形态是有联系的, 因而不少作者分析了星系运动学状态与颜色之间的关系。1996 年, Beviano 等人^[24]以及 Colless 和 Dunn^[25]都发现了在 Coma 团中, 蓝色星系与红色星系的 σ 之比约为 1.3~1.4。不久, Carlberg 等人^[26]也发现了类似的现象。

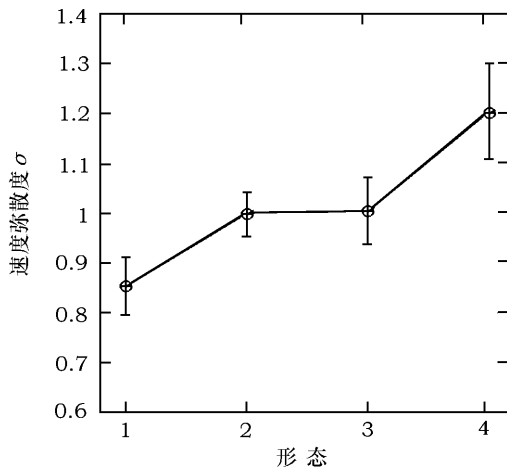


图 2 星系团的形态速度分层^[7]

1-E 星系, 2-S0 星系, 3-Se 星系, 4-SI 星系
此外, 他们还深入探讨了在星系团中位于次结构内和次结构外的团星系的形态分层细节情况, 发现位于次结构内各类星系的团心距-速度分布与次结构外星系有所不同, 而且次结构外的早型和晚型旋涡星系又有着不同的团心距-速度分布^[28]。

团星系的形态速度分层能为分析团的动力学演化提供线索。例如, Adami 等人^[7]根据他们的结果, 进一步讨论了不同形态星系的动力学演化状态。他们认为, 团内椭圆星系的相空间

1998 年, Adami 等人^[7]证实团星系除了表现出形态空间分层效应外, 还被发现沿着哈勃序列 E-S0-Se-SI, 不同形态星系的速度弥散度呈现出不断增加的趋势, 即还存在某种程度的形态速度分层(见图 2); 他们还发现在著名的 Coma 星系团中也存在类似的形态速度分层效应。不过, 这种形态速度分层效应在椭圆星系和其他类型星系之间的表现最为显著, Andreon^[27]于 1966 年所作的工作也说明了这一点。

2002 年, Biviano 等人^[28]利用 59 个近距富团中 3 056 个星系的位置、速度和测光资料, 进一步证实了团星系在位置和速度空间上都表现有形态分层效应。不仅如

分布正朝着能均分状态演化。晚型旋涡星系处于开始向团中心内落的阶段, 而 S0 星系和早型旋涡星系的相空间分布则介于两者之间。

3 质量 (光度) 分层

3.1 质量空间分层

人们对星系团质量 (光度) 空间分层效应的研究已有几十年的历史, 而这个问题对于探索星系团的动力学演化具有很重要的意义。早在 1968 年, Rood 和 Turnrose^[29] 就已发现, 在 Coma 星系团中心区, 高光度、大质量巨星系的中心聚度比低光度、小质量的矮星系高。这就意味着团内成员星系在光度或质量上表现出某种空间分层效应。1981 年, Capelato 等人^[30] 在富星系团 Abell 196 中探测到了团星系的质量 - 密度关系; 由于富星系团中成员星系的面分布总体上呈现出一定的中心聚度, 质量 - 密度关系在一定程度上反映了团星系的质量空间分层效应。

与形态分层的情况相类似, 并不是每个星系团都会呈现明显的光度分层效应。Yepes 等人^[2] 利用 4 个星系团中 1 228 个星系的观测资料, 通过对所谓“星系间距离分布函数”的分析, 就光度分层问题做了比较详细的讨论。他们发现不同的团存在不同程度的光度分层, 具体情况与团的动力学状态有关, 其中星系团 Abell 2111 实际上并没有表现出光度空间分层效应, 而 Abell 2218 的光度分层最为明显。最近, Pracy 等人^[31] 对 3 个低红移星系团进行了研究, 发现只有其中一个团 (Abell 2218) 中的最明亮星系存在较明显的光度空间分层, 而另外两个团则没有表现出这种分层效应。

Ferguson 和 Sandage^[32] 通过对 Virgo 团和天炉 (Fornax) 团的研究发现, 团内的矮椭圆星系 dE 可以分为两类: 有核 dE 和无核 dE。其中有核 dE 和暗无核 dE 的分布类似于 E 和 S0 星系, 有明显向团中心集聚的趋势; 而亮无核 dE 的分布则与 S 和 Irr 星系相类似。这就说明在这两个团内不仅存在形态分层, 而且无核 dE 星系还表现有质量分层效应。

分析不同区域团星系的光度函数同样可以探测团内成员星系的光度分层。Lobo 等人^[33] 通过这一途径发现, 在 Coma 团中存在明显的光度分层, 巨星系集聚在两个次团结构中, 而矮星系的分布则较为弥散。2002 年, Andreson^[5] 利用 K 波段的近红外观测资料, 在更大的团天区范围内证实了红移为 $z = 0.31$ 的星系团 Abell 2744 同样存在质量分层效应。

3.2 质量速度分层

为了研究星系团是否存在质量速度分层的问题, 最早进行详细讨论的对象也许当推 Coma 团。早在 1957 年, Zwicky^[34] 就提出 Coma 团存在明显的质量速度分层, 并以此作为系统达到能均分状态的依据。1972 年, Rood 等人^[35] 通过分析后认为, 这一结果主要是因场星系污染引起的一种表观现象, 在大范围 Coma 团天区内, 并不存在这种分层效应; 但他们同时发现, 在团的中心区域, 最明亮星系的速度弥散度 σ 明显小于同一区域内全部星系的 σ 值, 不过结论并不十分明确。1979 年, Struble^[36] 利用较多的资料对 Coma 团做了进一步的分析和检验, 发现 31 个最明亮成员星系的 σ 值 ($670 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$), 与全部 296 个团星系的 σ ($945 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$) 有显著的差异, 从而证实 Coma 团的中心区确实存在质量速度分层效应。

与形态速度分层的情况一样, 随着星系视向速度资料的不断累积, 对质量 (光度) 速度分层的讨论日益深入。1992 年, Biviano 等人^[22] 对 68 个星系团的速度分层进行了详细

的讨论, 在每个星系团至少测得了 30 个星系的红移。他们分析了其中 61 个大部分星系有星等资料的星系团, 结果明确地发现, 对绝对目视星等 $M \leq -21.38 + 5 \lg h_{100}$ 的团星系来说, 显然存在光度(质量)速度分层效应。1997 年, Stain^[23] 对 12 个星系团核心区进行了研究, 结果表明 $M \leq -22$ mag 的亮星系的速度弥散度明显小于其余较暗星系的 σ 值。不仅如此, 他们还进一步发现这种光度速度分层主要是由椭圆星系造成的, 而对旋涡星系来说并不存在这种分层效应。1998 年 Adami 等人^[7] 也证明 $M \leq -21.5$ mag 的亮星系与暗星系存在光度速度分层(见图 3)。他们还进一步讨论了形态分层和光度分层之间的关系, 结果表明在他们的样本中, 4 类不同形态星系(E、S0、Se、SI)的平均星等非常接近, 分别为 $-20.2, -20.0, -20.2, -20.0$ mag, 因而认为两者之间并不存在必然的因果关系。

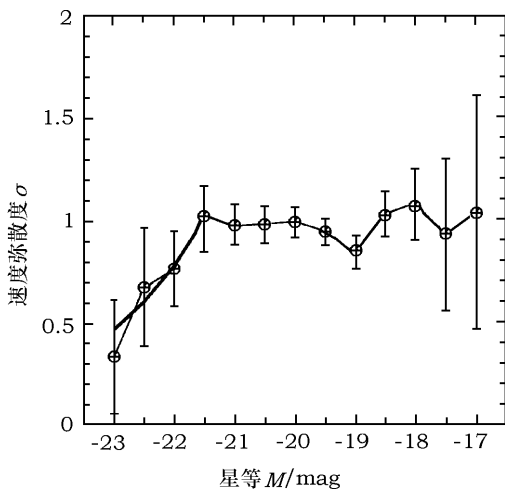


图 3 星系团的光度速度分层^[7]

最近, Lares 等人^[37] 利用 2dF 红移巡天资料, 对星系群和星系团成员星系的动力学分层(dynamical segregation, 即速度分层)做了比较详细的研究。他们所用的样本相当大, 涉及 5568 星系群(团)中的 40 978 个星系。与通常用于探讨速度分层的方法不同之处在于:

1) 他们不是就各星系群(团)来分析它们各自的动力学分层效应, 而是通过某种确定的方式把全部星系群(团)综合成一个单一的系统来加以讨论;

2) 在分析动力学分层效应时, 速度空间的观测量不是直接应用星系的速度弥散度 σ , 而是由星系的视向速度观测值与相应的星系群(团)的平均视向速度之差, 再除以该星系群(团)的速度弥散度 σ , 从而构成所谓无量纲速度 v , 进而分析具有不同绝对星等 M_B 的星系的速度分布函数 $f(v)$ 。

Lares 等人得到的结论是: $M_B < -19$ mag 的亮星系与 $M_B > -19$ mag 的暗星系存在显著的光度速度分层效应。

4 元素丰度分层

1985 年, Giovanelli 和 Haynes^[38] 发现, 与孤立的场星系相比, 包括 Virgo 团在内的 9 个星系团中的星系表现出在气体含量上的某种缺损, 称为气体缺损(gas deficient), 而且这种气体缺损的程度又与星系的团心距明显相关: 星系团核心区星系的 H I 气体缺损, 比位于团外围区域中的星系更为显著。之后, Cayatte 等人^[39] 以及 Vollmer 等人^[40] 的工作也进一步证实了这一结论。对此, 人们通常认为造成这一观测现象的主要原因是冲压剥离(ram pressure stripping)机制, 即星系团成员星系在运动过程中, 星系内的气体因为与星系外的团内气体之间的相互作用而从星系内被驱逐出去^[41]。由于恒星形成与星系的气体含量有关, 因此气体缺损的星系可能与正常的同类星系有着不同的化学演化过程。事实上, van den Bergh^[42] 早已

发现, 团内旋涡星系中的恒星形成率 (SFR), 要比孤立旋涡星系的 SFR 低。最近, Koopmann 和 Kenney^[43] 通过对 55 个 Virgo 团星系与 29 个孤立星系进行比较, 进一步证实了这一结果。

1996 年, Skillman 等人^[44] 对 Virgo 团中 9 个旋涡星系进行了分析, 结果表明: 位于星系团核区的 3 个星系的 H I 气体缺损最为明显, 其平均金属丰度 (O/H) 要比团外围星系高出 0.3 ~ 0.5 dex, 从而表现出某种丰度分层效应, 而后者的 O/H 丰度与同类场星系不相上下。据此他们认为, 在讨论旋涡星系目前的化学性质时, 与星系团环境相关联的动力学过程, 要比星系是否属于团的成员更为重要。Pilyugin 等人^[45] 于 2002 年的工作也证实了上述丰度分层效应: Virgo 团核区旋涡星系的 O 丰度比团外围区域旋涡星系的 O 丰度高。

最近, Dors 和 Copetti^[46] 利用理论模型进行了研究, 结果表明: Virgo 团核区旋涡星系的 O/H、N/O 和 S/O 丰度比团外围区域同类星系高约 0.25 dex。他们之所以考虑到 S/O, 是因为 S 和 O 的相对比例可以为星系中星团的初始质量函数和质量范围提供重要的信息^[47]。

有关星系团元素丰度效应的讨论起步较晚, 而鉴于取得有关观测资料比较困难, 目前只限于一些近距星系团, 其中研究得最多的是 Virgo 星系团。由于这一问题对研究星系团及团内星系演化的重要性, 近期必然会引起人们更为广泛的关注。

5 分层效应的演化意义

星系团的分层效应情况颇为复杂, 目前所观测到的星系团的各种分层效应, 包括形态分层、质量 (光度) 分层、丰度分层等在位置空间和 (或) 速度空间上的反映, 必然是星系团形成过程和之后经历的演化过程所造成的结果, 因而为有关星系团及团内星系演化的理论工作提供了重要的观测约束, 星系团演化的理论研究必须对观测到的分层效应做出合理的解释。

为了说明观测发现的各种分层效应, 通常认为在星系团内不同形态、不同光度或者不同元素丰度的星系应该有不同形成过程, 或有不同的演化史, 或者两种因素兼而有之。这就是所谓“遗传和环境” (the “nature vs. nurture” problem, 也就是“先天和后天”) 的问题。

“遗传”指的是星系团形成时的物理状态, 它可能在一定程度上保留到现在而能被观测到, 这是造成分层效应的“先天”因素; “环境”是指在团形成后的漫长时间内, 成员星系在不同的环境下经历各自的演化过程而表现为目前所被观测到的状态, 这是星系团呈现分层效应的“后天”条件。

对一个星系来说, 有许多物理过程可能在影响它的形态、光度和运动速度。例如, 动力学摩擦会减慢较大质量星系的运动, 使其运动轨道逐渐变圆, 并使星系间的并合率增大^[48,49]。冲压剥离和碰撞可能使星系中的恒星形成逐渐变慢甚至最后停止^[7]。星系团的潮汐力场会对星系产生剪切作用, 星系的光度因此减小, 所产生的大量星系碎片则有利于形成位于星系团中央的 cD 星系^[50]。与无恒星形成的星系相比, 正在形成恒星的星系有较大的速度弥散度和比较陡的速度弥散度轮廓, 这说明后者正在向星系团内落, 也许是刚开始内落^[51]。

通常认为导致星系团的质量 (光度) 分层的原因是: 在长时间的动力学演化过程中, 动力学摩擦作用使动能从较大质量的星系转移到较小质量的星系, 从而表现为质量速度分层, 甚至会达到能均分状态^[22,52]。Adami 等人^[7] 根据上述的研究结果认为, 星系团存在光度速度分层这一事实表明, 最明亮的一些团星系已经达到能均分状态, 这应该是动力学摩擦的必然

结果^[30]。与此同时,较大质量星系因失去动能而使运动速度变慢,它们会沿着螺旋形的轨道朝着星系团的中心内落,结果便形成质量空间分层^[22]。Pracy 等人^[3]指出,光度分层是关于星系等级形成和演化模型的一个重要预言,与巨星系相比,低光度星系的中心聚度较不明显。另一方面,在星系团的核区,星系的密度比较高,因高速而又频繁的星系交会和团的潮汐加热引起的星系扰损 (galaxy harassment) 作用更为有效,结果也会造成星系团核区内低光度星系的缺损,即表现为光度空间分层。

相对而言,星系团形态分层的演化意义可能显得较为复杂一些。对形态分层的一种早期解释是,形成盘结构所需要的时间比形成椭球系统(椭圆星系和盘状星系的核球部分)来得长,而星系之间的相互作用会阻碍盘的形成,因此旋涡星系只有在远离团中心的低密度区才容易形成^[11]。近期的一种观点认为,由于旋涡星系在团内气体中运动,只要气体的密度达到每立方厘米 5×10^{-4} 个原子,星系与气体之间的相互作用引起的冲压剥离和气体蒸发效应会把星际气体驱逐出旋涡星系,结果形成透镜星系^[13]。作为这一过程的观测效应,便表现为星系团的形态空间分层和形态速度分层。

Fasano 等人^[53]的工作表明在星系团中可能存在星系形态上的演化。他们分析了在红移范围为 $0.1 \leq 0.25$ 的 9 个星系团中成员星系在形态类别上的变化情况,结果发现了某种形态演化效应:随着星系团红移值的减小,团内透镜星系的比例有增大的趋势,同时旋涡星系的比例趋于减小,而椭圆星系的频数则几乎保持不变。对这一观测事实的一个合理解释是,在星系团的演化过程中,一部分旋涡星系转变成了透镜星系。得出类似结论的还有 Moore 等人在 20 世纪 90 年代所完成的工作^[54,55],他们发现在近距星系团中有许多红色的椭圆星系和透镜星系,在 $z > 0.4$ 的较年轻的团中则含有大量的蓝色旋涡星系,而在场星系中这种形态演化效应很不明显。目前较为普遍的一种看法是,造成团内星系形态演化的主要机制是星系扰损。

在结束本文之际,需要指出的是,在一些工作中出现了诸如“光谱型分层 (spectral type segregation)”和“颜色分层 (color segregation)”等概念,例如 Lares 等人的工作^[37]。又如, Yuan 等人^[56]利用星系团 Abell2634 的多色测光资料,不仅讨论了团星系的光度空间分层,还发现了团内早型星系的颜色空间分层效应。实质上,这里的光谱型分层和颜色分层只是从另一个侧面反映了星系团的形态分层,因为 2dF 红移巡天资料中星系的谱指数 (spectral index) η 与星系的形态类别密切相关,而反映星系颜色的色指数又与谱指数 η 有关。当然,与形态分层相比,光谱型分层和颜色分层可以用某种定量的方式对星系团的分层效应加以描述。另外,在分析星系团的分层效应时,由于通常无法像确定星团成员概率那样具体判定星系团的各成员,如何尽可能合理地扣除场星系污染的影响便成为一个至关重要的问题,不同作者对此都做了充分的考虑,并提出了一些新的方法^[57],限于篇幅本文对此就不再加以展开了。

参考文献:

- [1] Springob C M, Haynes M P, Giovanelli R. ApJ, 2005, 621: 215
- [2] Yepes G, Domínguez-Tenreiro R, del Pozo-Sanz R. ApJ, 1991, 373: 336
- [3] Pracy M B, Driver S P, De Propris R, et al. MNRAS, 2005, 364: 1147
- [4] Mercurio A, Merluzzi P, Haines C P, et al. MNRAS, 2006, 368: 109
- [5] Andreon S. A&A, 2002, 382: 821
- [6] Dors O L Jr, Copetti M V F. A&A, 2006, 452: 473
- [7] Adami C, Biviano A, Mazure A. A&A, 1998, 331: 439
- [8] Curtis H D. Pub. Lick Obs., 1918, 13: 55
- [9] Hubble E, Humason M L. ApJ, 1931, 74: 43

-
- [10] Binney J, Merrifield M. *Galactic Astronomy*. Princeton: Princeton University Press, 1998: 157
- [11] Dressler A. *ApJ*, 1980, 236: 351
- [12] Oemler A Jr. *ApJ*, 1974, 194: 1
- [13] Melnick J, Sargent W L W. *ApJ*, 1977, 215: 401
- [14] Sanromà M, Salvador-Solé E. *ApJ*, 1990, 360: 16
- [15] Whitmore B C, Gilmore D M. *ApJ*, 1991, 367: 94
- [16] Whitmore B C, Gilmore D M, Jones C. *ApJ*, 1993, 407: 48
- [17] Dressler A. *ApJS*, 1980, 42: 565
- [18] Driver S P, Odewahn S C, Echevarria L, et al. *AJ*, 2003, 126: 2662
- [19] Tammann G A. *A&A*, 1972, 21: 355
- [20] Sodré L Jr., Capelato H V, Steiner J E, et al. *AJ*, 1989, 97: 1279
- [21] Moss C, Dickens R J. *MNRAS*, 1977, 178: 701
- [22] Biviano A, Girardi M, Giuricin G, et al. *ApJ*, 1992, 396: 35
- [23] Stein P. *A&A*, 1997, 317: 670
- [24] Biviano A, Durret F, Gerbal D, et al. *A&A*, 1996, 311: 95
- [25] Colless M, Dunn A. *ApJ*, 1996, 458: 435
- [26] Carlberg R G, Yee H K C, Ellingson E, et al. *ApJ*, 1997, 476: 7
- [27] Andreon S. *A&A*, 1966, 314: 763
- [28] Biviano A, Katgert P, Thomas T, et al. *A&A*, 2002, 387: 8
- [29] Rood H J, Turnrose B E. *ApJ*, 1968, 152: 1057
- [30] Capelato H V, Gerbal D, Mathez G, et al. *A&A*, 1981, 96: 235
- [31] Pracy M B, Driver S P, de Propris R, et al. *MNRAS*, 2005, 364: 1147
- [32] Ferguson H C, Sandage A. *ApJ*, 1989, 346: L53
- [33] Lobo C, Biviano A, Durret F, et al. *A&A*, 1997, 317: 385
- [34] Zwicky F. *Morphological Astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1957
- [35] Rood H J, Page T L, Kintner E C, et al. *ApJ*, 1972, 175: 627
- [36] Struble M E. *AJ*, 1979, 84: 27
- [37] Lares M, Lambas D G, S nchez A G. *MNRAS* (to be published), 2006
- [38] Giovanelli R, Haynes M. *ApJ*, 1985, 292: 404
- [39] Warmels R H. *ApJS*, 1988, 72: 427
- [40] Cayatte V, Kotanyi C, Balkowski C, et al. *AJ*, 1994, 107: 1003
- [41] Vollmer B, Cayatte V, Balkowski C, et al. *ApJ*, 2001, 561: 708
- [42] van den Bergh S. *ApJ*, 1976, 206: 883
- [43] Koopmann R A, Kenney J D P. *ApJ*, 2004, 613: 851
- [44] Skillman E D, Kennicutt R C, Shields G A, et al. *ApJ*, 1996, 462: 147
- [45] Pilyugin L S, Moll  M, Ferrini F, et al. *A&A*, 2002, 383: 14
- [46] Dors Jr O L, Copetti W V F. *A&A*, 2006, 452: 473
- [47] Garnett D R. *ApJ*, 1989, 345: 282
- [48] den Hartog P, Kartgert P. *MNRAS*, 1996, 279: 349
- [49] Mamon G A. *ApJ*, 1992, 401: 1
- [50] Oemler A Jr. *Clusters and Superclusters of Galaxies*, Fabian A, ed. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992: 29
- [51] Biviano A, Kartgert P, Mazure A, et al. *A&A*, 1997, 321: 84
- [52] Sarazin C L. *Rev. Mod. Phys.*, 1986, 58: 1
- [53] Fasano G, Poggianti B M, Couch W J, et al. *ApJ*, 2000, 542: 673
- [54] Moore B, Lake G, Katz N, et al. *Nature*, 1996, 379: 613
- [55] Moore B, Lake G, Katz N. *ApJ*, 1998, 495: 139
- [56] Yuan Q R, Zhou X, Chen J S, et al. *AJ*, 2001, 122: 1718
- [57] Andreon S, Punzi Gm, Grado A. *MNRAS*, 2005, 360: 727

Segregation Effects of Galaxy Clusters

ZHAO Jun-liang

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

Abstract: Being the biggest bound systems of celestial objects, galaxy clusters are of particular importance for studies of galaxy formation, dynamical evolution of galaxies and the large scale structure of the universe. Unlike stars, galaxies show diverse shapes, i.e. different Hubble types, and the issues on segregation effects of galaxy clusters are more complicated than those of star clusters, which include morphology, mass, and abundance segregations in positional and/or velocity spaces, and their possible evolutionary significance for member galaxies and clusters.

It is shown from observational data that the percentage of early type galaxies in a cluster increases when their radial distances from the cluster center decrease, while for late type galaxies, it is the opposite, which indicates morphology segregation in position of member galaxies in the cluster. On the other side, along the Hubble sequence E-S0-Se-Sl, the velocity dispersions of member galaxies are reducing gradually, which means morphology segregation in velocity space of members in the cluster. In general, later morphological type galaxies in a cluster have larger velocity dispersion than early type ones.

It has been found for some 40 years that dwarf galaxies with lower luminosities are less concentrated than massive giant ones with higher luminosities in clusters, which shows a mass or luminosity segregation effect in radial distribution of member galaxies in clusters. Furthermore, fainter galaxies have larger velocity dispersions than brighter ones, which is so-called mass (luminosity) segregation in velocity space of members in clusters, or mass velocity segregation. It has been demonstrated from some detailed studies that the mass segregation effect of galaxies in a cluster has no relationship with the morphological segregation one, although early type galaxies generally are more massive than later type ones.

Because of limited data available, the research work on abundance segregation has been done mainly for some nearby clusters, especially the Virgo cluster due to its proximity. Observational evidence of abundance segregation of member galaxies is that the HI deficient Virgo spirals near the core of the cluster have higher oxygen abundances in comparison with the spirals at the periphery of the cluster, which suggests the chemical evolution of galaxies in rich clusters is clearly influenced by their dense environment.

The evidences for mass, morphological and abundance segregations are usually interpreted either as arising in a different formation process for galaxies of different luminosity and/or morphologies, or being due to a different evolutionary history, which is called the “nature vs. nurture” problem. For a cluster galaxy, some physical processes can affect its luminosity, morphology, velocity and its position in the cluster, e.g. dynamical friction can slow down the velocities of massive galaxies, and these galaxies would move towards the center of the cluster, which leads to a mass segregation in positional and/or velocity spaces of galaxies.

Key words: astrophysics; galaxy cluster; review; luminosity segregation; mass segregation; morphology segregation