

星系相互作用

黄松年

(中国科学院上海天文台)

提 要

近三十年来,随着观测技术的进步和计算机模拟的兴起,星系相互作用的普遍性和它们在星系形态学、星系动力学及星系尺度上暗物质分布的研究中的作用,引起了人们广泛的重视。本文综述了这个领域的研究状况,着重对星系的合并、星系的壳结构、SO星系极环和环状星系作了介绍。

一、导 言

星系的结构不仅取决于它们内部的物理条件,还由于正在进行中的相互作用,以及与孕育它们的那些过程的联系,而与所处的环境密切相关。环境对星系的作用大致可划分为如下五种情况^[1]:

(1) 星系形成可能被附近发生的高能量事件加速或触发^[2],也可能由于原星系气体受强紫外光源作用而产生光学电离,使之减慢或停止。

(2) 旋涡星系气体盘的形成可能经历一个很长的时期,在恒星分布最后确定下来后,气体盘仍受环境的影响^[3]。

(3) 邻近天体可能取走一些原星系物质,同时给剩下的部分提供角动量^{[4],[5],[6]};邻近天体的潮汐作用可能决定最后形成的星系的整体形态^[7]。

(4) 假如星系是由较小的物体或气体团的结合形成的^{[8],[9],[10]},那么这个过程很可能依赖于发生这些结合的环境。同时,星系的结构始终受到周围环境改变的影响,即星系际介质或其他星系的影响。星系与星系际介质的相互作用依赖于后者的性质,假如后者是非气体和无有效碰撞的(静质量非零中微子、恒星残骸或原始黑洞),仅有的相互作用是引力,结果将由于曳引作用,而使星系失去能量;假如后者是气体,那么除纯引力作用外,它们不仅与星系进行热交换,而且还将对星系中的气体施加静态的或动态的压力^{[11],[12]}。

(5) 一部分星系可能是由两个或更多的本来存在的天体的混合,最近才形成目前的结构^[13-17]。与其他星系的遭遇可能使星系失去物质或使外部物质作重新安排^[18-20]。由于相对轨道动能的损失和动力学摩擦的作用,往往导致俘获,最后发生原星系的合并^{[13],[16],[21],[22]}。即使在快速的不导致合并的碰撞中,星际介质也将从星系中释放出来,星系之间将产生物质交换。当两个星系碰撞时,大量的轨道动能也将转化为星系的内部热运动。

星系相互作用主要是指上述的(3)—(5)过程。

Sastry和 Alladin^{[23], [24]}将星系相互作用作了如下分类：(A)星系的大小和质量变化较小，一般发生在相碰距离大于20kpc和相对速度大于1000km/s的情况下；(B)星系的大小和质量显著变化，但主星系的系统能量仍然是负的；(C)发生了俘获；(D)主星系瓦解，即主星系的系统能量变成了正的。

对星系相互作用的早期研究局限于双星系统^[25-30]。在Lundmark^[27]研究的8000个NGC星系中，有四分之一是双星系。Jeans^[31]指出星系对NGC5278/9和4395/4401可能存在潮汐作用。对NGC 5128(Arp 153或 Cen A)的明显的吸收带，Baade和Minkowski^[32]认为那是由于两个星系的相互碰撞所致。Vorontsov-Vel' yaminov^{[33], [34]}给出了星系相互作用的形态描述。

虽然人们很早就注意到星系间的相互作用，但是直到六十年代后期，随着观测技术的进步和计算机模拟的兴起，人们才真正认识到星系间相互碰撞的普遍性和重要性。下面着重介绍一些目前意见比较一致的星系相互作用的观测资料和理论研究。

二、星系合并

Toomre兄弟^[15]首次用限制性三体问题的算法，演示了星系相互作用形成的纤维状和星系之间的桥梁结构，并指出两个星系有可能很快合并成一个椭球形的星系，认为至少一部分椭圆星系是由盘状原星系的合并而形成的。

我们知道，大约四分之一至一半的亮场椭圆星系显示出在近期吸积了整个或部分盘星系的迹象^[35]。像一些模拟计算所表明的，一般波纹状结构的寿命 $\leq 2 \times 10^9$ ys，那么一个典型的椭圆星系在Hubble时间内可能吸积2—5个盘星系。由于早期星系碰撞率高，当作了改正后^[15]，在Hubble时间内能吸积4—10个盘状星系。

Schweizer^[35]提供了近三十例两个分量已经合并成一个星系的样本。其中有一个典型例子——NGC7252使我们看到一个由于两个盘星系合并而正在形成中的椭圆星系。它们的特征是：(1)有两个尾巴，表明这是两个质量相近的原盘星系的强相互作用；(2)星系是孤立的，表明没有形成这些潮汐尾巴的其他外来源；(3)两条尾巴相对于核运动的方向相反，这是符合潮汐模型的；(4)尽管有两条尾巴，但主体和核各只有一个；(5)主体的气体光谱表明存在着两个运动系统。

由于星系相互作用的几率随着场，贫团和富团的顺序增大，星系相互作用机制可以很自然地解释下述现象：

富团中的星系类别与贫团和场星系中的显著不同，E和SO占多数，早在50年代就已经知道了^[36]。虽然星系偏差形成理论认为这种差别是天生的，但也不能排除星系相互作用的机制；

室女座星系团中旋涡星系的平均中性氢的表面密度仅是场星系中的 0.5 ± 0.1 倍^[37]。

从对星系合并的研究，我们能作如下推测：

- (1) 随机盘星系的吸积可能导致亮椭圆星系的转速变慢；
- (2) 盘星系的不同混合可以用来解释椭圆星系不同的UV亮度；

(3) 盘状星系的缠绕可能是使椭圆星系内气体减少的有效机制, 并且使椭圆星系中的气体在富团中少, 贫团中多。

CD星系的存在, 给星系合并理论提供了一个证据。Lecar^[58]和White^[59]各自发现动力学摩擦可能导致富星系团中的星系向中心运动, 从而形成超巨CD星系。Ostriker和Tremaine^{[40], [41]}研究了类似的过程, 即卫星星系与主星系的合并。以下两个观测证据有力地表明 CD 星系是星系合并所形成的: (1) 存在着多核。Hoessel^[42]发现28%星系团中的亮星系是多核。当然其中有一些可能是场星系的污染, 因此在作多核统计时应当包括速度场的测量; (2) 存在着不对称的包层。

三、星系的壳状结构

早在六十年代Arp就在NGC1316、NGC 474^[43]和Arp 230^[44]观测到了椭圆星系的壳状、弧状或波纹状结构。七十年代末, Malin^{[45], [46]}发明了一种低频修正和照相放大技术, 能测量到下列一些椭圆星系核球表面亮度在0.1—0.2星等这样微小范围内的变化; M89^[47], NGC 1344和 3923^[48]以及NGC5128^[49]。Malin和Carter^[50]编了一份可能具有壳状结构的137个椭圆星系的表。

根据Arp^[43]、Malin^{[45], [46]}、Carter^{[48], [50], [51]}、Schweizer^[52]、Quinn^[53-55]和Dettma^[56]等人对壳状结构的形态研究, 我们可以作出如下的总结:

(1) 大多数具有壳状结构的星系只有几片壳, 有一些具有十片以上, 最多的约有二十多片;

(2) 同心的、相间分布在主星系质心两侧的壳状结构是极少数, 它们当中最壮观的例如NGC 1344和NGC3923, 在最外层和其他壳之间都有一个很大的空隙, 如NGC 3923的最外层和最里层到星系中心的距离有30倍之差; 最外层到星系中心的距离达180kpc ($H_0=50\text{km/s/Mpc}$);

(3) 星系周围的壳状结构往往具有不同的曲率和不同的曲率中心;

(4) 大多数椭圆星系没有壳状结构。

壳状结构有两种形成理论: 气体动力学和潮汐相互作用理论。

用气体动力学来解释壳结构形成的理论有两种: 一种是爆炸波理论^[57], 另一种是星系风理论^[58]。根据Wilkinson和Bailey^[59], 由于椭圆星系中热气体($T \approx 10^7\text{K}$)的存在, 导致冷却时间尺度大大地长于Williams和Christiansen^[57]所设想的价值, 形成一片壳状结构所需的时间与宇宙年龄相当。因此星系风理论是不成功的。

用潮汐力来解释星系壳状结构形成的理论可以追溯到Toomre兄弟的工作^{[18], [15]}。但是, 首次提出壳状结构由星系相互作用所形成的是Schweizer对Fornax A的研究^[52]。Carter等在蓝光、可见光和近红外光波段对有壳状结构的星系的实测, 证实了Schweizer的理论^[51]。

Quinn用球状主星系模型研究了盘星系和椭圆星系碰撞形成壳状结构的机制^[53-55]。Quinn指出壳状结构的形成可用“猪槽”动力学(“pig trough” dynamics)^[60]来解释。在这种机制下, 在一维情况, 假如初始速度为零的粒子均匀分布在一个具有极小值的引力势中, 那末过

了一段时间, 粒子将不再是均匀分布, 并不时地出现一些清晰的密度峰值。在这种机制下, 星系壳是由近于径向轨道的恒星组成的, 壳是这些恒星轨道的转折点。

作者和Stewart用无耗散模型和包括动力学摩擦的耗散模型研究了星系的壳状结构^[61-63]。认为一些壳状结构的形成能被解释为方位角上的一个波, 这个波在时间上表现为从伴星系上被主星系引力场撕下来的残片的公转频率和本轮频率间的相互作用, 而另一些壳状结构是由伴星系的局部引力场或由大扁率主星系在近赤道面附近的强垂直加速度引起的。指出非径向轨道伴星系的残片同样能形成壳结构。

根据壳是窜入星系残片中恒星轨道的转折点的理论, Hernquist和Quinn^[64]用下述相互独立的量来确定NGC 3923的引力势: (1)在两个已知半径间的壳的数目; (2)壳的径向分布; (3)最内层的壳的位置; (4)主椭圆星系的速度弥散。他们得出的结论认为: NGC 3923中的可见物质势不足以用来解释壳的数目, 它的势主要应由晕来确定的。假如势是一个截断的 r^1 模型和一个非奇异的等温晕的和, 那末壳结构将对晕质量 m_h 、核半径 γ 和晕大小 γ_z 施以约束。最佳拟合是 $m_h \approx 40m_*$, $\gamma \approx 3r_*$, γ_z 至少与壳的范围相当, $\sim 100h^{-1} \cdot \text{Mpc}$ ($h = H_0/100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$), 其中 m_* 和 r_* 是可见分量的质量和有效半径。

四、SO 极环

自六十年代以来, 发现一些“纺锤”星系及大致围绕其长轴的由气体、尘埃和年轻恒星组成的环或盘^{[65], [66]}。对于“纺锤”体及其环的形成机制, 迄今有两种理论: (1) Schechter和Gunn^[67]对NGC 2685的研究认为它是由侧视的SO和极环组成的, 理由是: 纺锤体的速度弥散小以及强的旋转是绕着短轴的; (2) Laustsen和West^[68]对NGC 4650A的研究认为那是长椭球体及沿着赤道面的环。目前, 比较一致的观点赞同第一种理论。但是也不能排除某些“纺锤”系统是扁或长椭球体的说法, 最终的结论要根据光谱资料导出的速度场一个个来识别。Schweizer^[35]等给出了22个SO极环系统, 并认为具有近极环或盘的SO占SO总数的量级为百分之几。他们认为这些结构的形成是由于二次事件, 环很可能是在近距相互碰撞中, SO星系从窜入星系得到的物质组成的, 也可能是由于SO星系吸积了一个矮星系形成的。因为从CCD图像可以看到NGC 4650A和ESO 415-G26的外围有弱的不规则星云状物质——潮汐残骸。

假如极环形成机制是基于二次事件, 那么吸积将出现在各类星系及各个方向。为什么没有观测到旋涡星系和椭圆星系极环呢? 对于气体型主星系, 气体将会带动极环气体, 迫使它趋向主星系赤道面, 从而极环很快消失, 这很可能发生在Sa—Sc盘星系中。相反在气体少和以旋转支撑的星系如SO中, 极环的寿命在 10^9 年量级。另外, 虽然吸积方向是随机的, 但由于极方向的进动差小, 所以极方向的环寿命较长, 故出现的几率也大得多。

由于绕缓慢旋转的三轴椭球体的卫星具有两种稳定轨道: 绕长轴或绕短轴^[70]。所以极环也许是由于主星系是三轴体, 残骸除了趋向于赤道面外, 还趋向于稳定地集积在极轴方向的一个锥角中的缘故。

SO极环的存在, 给研究星系尺度上暗物质三维结构提供了目前所知的唯一实测机会。从对NGC 4650A, ESO 415-G26和A0136-0801的研究, Schweizer等^[69]得出它们的极环和赤

道方向的转速比为 0.97 ± 0.08 。由此可知,在相当于 $\sim 0.6R_{25}$ 处,这些主星系的势是近于球状的,既然可见物质是很扁的,因而这种势必然是由晕为主导形成的。

上述结论使天文学家陷入了一个困境:假如晕质量为主导且是近球状的,那么极环应当具有任意倾角,但这不符合观测事实。因此,为了满足所有的观测事实,晕的扁率必有一个未知的强约束,或者说晕加盘的SO系统确实是一个具有一定轴比例的三轴椭球体,这个问题值得进一步研究。

五、环 星 系

环星系是一些具有或没有核的部分或完整环状结构的天体,它们的观测结果可综合如下:

(1) 环星系占盘星系的 $0.02\% - 0.2\%$,多数出现在低星系密度的区域^[71],目前,除了其他天区外,在CSPGA表^[72]中,有214个环星系分布在 $-21^\circ < \delta < -90^\circ$ 区域内。

(2) 环星系的质量为 $10^{11}M_{\odot}$ 量级,年龄为 10^8 年量级,环比较年轻,与盘星系中的盘年龄相近^{[73],[74]}。

(3) 环星系的射电连续辐射^[75],X线^[76]和中性氢辐射^{[77],[78]}与盘星系或不规则星系的辐射相类似。

(4) 一些环光度均匀,如Hoag天体^[79],NGC 6028^[80];另一些环中有不规则壳斑,如VII Zw 466^[81]。

(5) 除了一个环星系外,Theys和Spiegel^[73]研究的16个环星系都有一个伴星系,处在三倍于环的直径范围内,通常在偏离短轴 25° 之内。

Theys和Spiegel^[73]将环星系分为下面三类:RE——无核的椭圆形环;RN——具有偏心核的椭圆形环;RK——环上有一个显著的壳斑。

Few和Madore将环星系简单地分为两类^[82]:P型——具有偏心核的不均匀环;O型——具有中心核的均匀环。Few和Madore推测P型环星系可能是由星系碰撞形成的,而O型环星系则可能是由于盘星系的内部原因而形成的。

(6) 环星系由于珠状不稳定性,最终将导致环的破裂^[83],Klemola 25可能是一个破裂环星系的例子^[84]。

目前,对环星系的形成主要有两种竞争的机制:(1)星系际云和盘状星系的碰撞^[85]。由于每个环星系并不伴随着一个SO星系——碰撞后盘状星系的恒星分量是SO,气体分量是环星系,也由于始终没观测到质量为 $3 \times 10^9 M_{\odot}$,半径为15kpc的星系际云,使这个理论陷入了困境。(2)Burbidge和Burbidge^[86]及Cannon等^[87]首次提出环状天体是由于两个星系之间的相互碰撞而形成的,这两个星系中,至少有一个是旋涡星系或SO。Theys和Spiegel^{[73],[74]},Lynds和Toomre^[88]用检验粒子法作了星系相碰形成环星系的模拟计算,结果表明环的形成可看作是目标星系受到窜入星系冲击后的一个纯粹的引力效应。最近,作者和Stewart用了固定势的窜入星系穿透一个自治的具有晕的盘星系,对环星系的形成进行了研究^{[89],[63]},得出如下结论:

(1) 对质量为 $3 \times 10^{11} M_{\odot}$ 的目标星系, 与质量为目标星系0.2—0.8倍、速度为逃逸速度的窜入星系的垂直碰撞, 将产生具有中心核的均匀环星系, 即O型环星系。寿命约 $0.7—2.1 \times 10^8$ 年, 通常将产生第二个环。在有些情况下, 内外环能同时被观测到。

(2) 对于扩张着的O型环, 环的密度峰总是落后于径向速度峰值, 这一事实可用来检验环星系是否是星系相互碰撞形成的。

(3) 对于入射角 80° 以内的中心碰撞, 都可能产生完整的环星系, 即使对于入射角 90° (即窜入星系轨道平行于目标星系盘平面)的中心碰撞, 也能产生部分环结构。事实上, 只要窜入星系与目标星系的最近距离大约在三分之一目标星系盘半径内, 都能产生环状结构。

(4) 目标星系受到窜入星系的冲击后, 可能产生棒状结构, 晕也会变成三轴椭球状, 盘和晕之间会因此而产生角动量交换。这值得进一步研究。

六、结束语

1983年发射的红外卫星IRAS发现许多相互作用着的星系是强红外源, 这说明星系相互作用能促进恒星的形成, 但不能由此认为星爆星系必然与星系相互作用联系在一起。星爆星系大多是旋涡星系, 因为恒星爆发形成的区域尺度在kpc量级, 它们不属于活动星系。虽然它们当中的一些成员显示出一些受到潮汐作用的迹象, 但是, 目前对星爆星系中恒星爆发形成的机制尚不很清楚。星系相互作用也能加剧类星体、塞佛特星系、强射电星系、BL Lac天体和N星系等活动星系的核的活动, 但是应当强调指出, 活动星系的能量输出来自于超质量黑洞的引力势, 气体受吸积盘作用进入黑洞而发出巨大的能量, 活动星系的活动与星系间相互作用没有必然的联系, 即使有联系, 也是次一级的因素。

正如本文导言中已经说明的, 我们仅局限于介绍一些目前意见比较一致的星系相互作用的观测事实和理论研究, 没有涉及星爆星系和活动星系。

目前物理学正面临从简单现象到复杂现象, 从孤立系统到开放系统, 从平衡态到非平衡态的变革。同样, 星系相互作用的研究也日趋重要, 特别是通过星系相互作用的研究, 进一步了解暗物质在星系尺度上的分布, 从而促进星系形态学和星系动力学的研究, 加速人类认识宇宙的步伐。

参 考 文 献

- [1] White, S. D. M., in *Morphology and Dynamics of Galaxies*, p.289, ed by Martinet, L. and Mayor, M., 1982.
- [2] Ostriker, J. P. & Cowie, L. L., *Ap. J.*, 243 (1981), L127.
- [3] Larson, R. B., Tinsley, B. M. & Caldwell, C. N., *Ap. J.*, 237 (1980), 692.
- [4] Hoyle, F., in *Problems of Cosmical Aerodynamics* (Int. Union Th. & App. Mech. & IAU), p.195, 1919.
- [5] Peebles, P. J. E., *Ap. J.*, 155 (1969), 393.
- [6] Efstathiou, G. & Johnes, B. J. T., *M. N. R. A. S.*, 186 (1979), 133.
- [7] Binney, J. & Silk, J., *M. N. R. A. S.*, 188 (1979), 273.
- [8] Tinsley, B. M. & Larson, R. B., *M. N. R. A. S.*, 186 (1979), 503.
- [9] Silk, J. & Norman, C. A., *Ap. J.*, 247 (1981), 59.
- [10] Struck-Marcell, C., *M. N. R. A. S.*, 197 (1981), 487.

- [11] Gunn, J. E. & Gott, J. R., *Ap. J.*, 176 (1972), 1.
- [12] Cowie, L. L. & Songaila, A., *Nature*, 266 (1977), 501.
- [13] Toomre, A. & Toomre, J., *Ap. J.*, 178 (1972), 623.
- [14] Wright, A. E., *M. N. R. A. S.*, 157 (1972), 309.
- [15] Toomre, A., in *Evolution of Galaxies and Stellar Populations*, p.401, ed. by Tinsley, B. M. & Larson, R. B., (1977).
- [16] White, S. D. M., *M. N. R. A. S.*, 184 (1978), 185.
- [17] Aarseth, S. J. & Fall, S. M., *Ap. J.*, 236 (1980), 43.
- [18] Gallagher, J. S. & Ostriker, J. P., *A. J.*, 77 (1972), 288.
- [19] Richstone, D. O., *Ap. J.*, 200 (1975), 535.
- [20] Knoblock, E., *Ap. J.*, 222 (1978), 779.
- [21] Alladin, S. M., *Ap. J.*, 141 (1965), 768.
- [22] Gerhand, O. E., *M. N. R. A. S.*, 197 (1931), 179.
- [23] Sastry, K. S. & Alladin, S. M., *Ap. Sp. Sci.*, 46 (1976), 285.
- [24] Sastry, K. S. & Alladin, S. M., *Ap. Sp. Sci.*, 63 (1979), 293.
- [25] Pease, F. G., *Ap. J.*, 46 (1917), 24.
- [26] Curtis, H. D., *Bull. Nat. Res. Council, Washington*, 2, pt. 3, (1921), 171.
- [27] Lundmark, K., (1926), Cited by Zwicky, (1956), see [30].
- [28] Holmberg, E., *Ann. Obs. Lund*, (1937), No. 6.
- [29] Hubble, E. P., *The Realm of the Nebula*, Yale Univ. Press, (1936).
- [30] Zwicky, F., *Ergebnisseder exakten Naturwissenschaften*, 29 (1956), 375.
- [31] Jeans, J. H., in *Astronomy and Cosmology*, 397, C. U. P., (1928).
- [32] Baade, W. & Minkowski, R., *Ap. J.*, 119 (1954), 215.
- [33] Vorontsov-Vel'yaminov, B. A., *Atalas & Catalogue of Interacting Galaxies*, pt. 1, (1959).
- [34] Vorontsov-Vel'yaminov, B. A., *J. Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 28, (1977).
- [35] Schweizer, F., in *Internal Kinematics and Dynamics of Galaxies*, 319, ed by E. Athanassoula, (1983).
- [36] Spitzer, L. & Baade, W., *Ap. J.*, 113 (1951), 413.
- [37] Davies, R. D. & Lewis, B. M., *M. N. R. A. S.*, 165 (1973), 231.
- [38] Lecar, M., in *Dynamics of Stellar Systems*, 161, ed. by A. Hayli, (1975).
- [39] White, S. D. M., *M. N. R. A. S.*, 177 (1976), 717.
- [40] Ostriker, J. P. & Tremaine, S. D., *Ap. J.*, 202 (1975), L113.
- [41] Tremaine, S. D., *Ap. J.*, 203 (1976), 72.
- [42] Hoessel, J., *Ap. J.*, 241 (1980), 493.
- [43] Arp, H. C., *Atalas of Peculiar Galaxies*, C. I. T., (1966).
- [44] Arp, H. C., *Ap. J. Suppl.*, 14 (1966), 1.
- [45] Malin, D. F., *AAS Photo. Bull.*, (1977), No. 16, 10.
- [46] Malin, D. F., *Nature*, 276 (1978), 591.
- [47] Malin, D. F., *Nature*, 277 (1979), 279.
- [48] Malin, D. F. & Carter, D., *Nature*, 285 (1980), 643.
- [49] Malin, D. F., Quinn, P. J. & Graham, J. A., *Ap. J.*, 272 (1983), L5.
- [50] Malin, D. F. & Carter, D., *Ap. J.*, 274 (1983), 534.
- [51] Carter, D., Allen, D. A. & Malin, D. F., *Nature*, 295 (1982), 126.
- [52] Schweizer, F., *Ap. J.*, 237 (1980), 303.
- [53] Quinn, P. J., Ph. D. Thesis, Australian National Univ., (1982).
- [54] Quinn, P. J., in *Internal Kinematics and Dynamics of Galaxies*, 347, ed. by Athanassoula, (1983).
- [55] Quinn, P. J., *Ap. J.*, 279 (1984), 596.
- [56] Dettmar, R. J., Heidman, J., Klein, U. & Wielebinski, R., *J. Astron. Astrophys.*, 130 (1982), 424.
- [57] William, R. E. & Christiansen, W. A., *Ap. J.*, 291 (1985), 80.
- [58] Fabian, A. C., Nulsen, P. E. J. & Stewart, G. C., *Nature*, 287 (1980), 613.
- [59] Wilkinson, A. & Bailey, M. E., in *Cosmical Gas Dynamics*, 63, ed. by F. D. Kahn, (1985).

- [60] Lynden-bell, D., *M. N. R. A. S.*, 136 (1967), 101.
- [61] Huang, S. N. & Stewart, P., *J. Astron. Astrophys.*, 153 (1985), 189.
- [62] Huang, S. N. & Stewart, P., *J. Astron. Astrophys.*, 174 (1987), 13.
- [63] Huang, S. N., Ph. D. Thesis, Univ. of Manchester, (1987).
- [64] Hernquist, L. & Quinn, P. J., *Ap. J.*, 312 (1987), 17.
- [65] Sandage, A., *The Hubble Atlas of Galaxies*, 7, Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C., (1961).
- [66] Sofue, Y., Fukui, Y., Fujimoto, M., Deguchi, S. & Wakamatsu, K., *A. J.*, 87 (1982), 980.
- [67] Schechter, P. L. & Gunn, J. E., *A. J.*, 83 (1978), 1360.
- [68] Laustsen, S., West, R. M., *J. Astron. Astrophys.*, 1 (1980), 177.
- [69] Schweizer, F., Whitmore, B. C. & Rubin, V. C., *A. J.*, 88 (1983), No.7, 909.
- [70] Schwarzschild, M., *Ap. J.*, 232 (1979), 236.
- [71] Athanassoula, E. & Bosma, A., *Ann. Rev. Astron.*, 23 (1985), 147.
- [72] Arp, H. C. & Madore, B. F., *Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations (CSPGA)*, Vol. 1, (1985).
- [73] Theys, J. C. & Spiegel, E. A., *Ap. J.*, 203 (1976), 650.
- [74] Theys, J. C. & Spiegel, E. A., *Ap. J.*, 212 (1977), 616.
- [75] Ghigo, F. D., *A. J.*, 85 (1980), 215.
- [76] Ghigo, F. D., Wardle, F. C. & Cohen, N. L., *A. J.*, 88 (1983), 1587.
- [77] Mebold, V., Goss, W. M. & Fosbury, R. A. E., *M. N. R. A. S.*, 180 (1977), 11p.
- [78] Silverglate, P. R. & Krumm, N., *Ap. J.*, 224 (1978), L98.
- [79] O'Connell, R. W., Scargle, J. D. & Sargent, W. L. W., *Ap. J.*, 191 (1974), 61.
- [80] Vorontsov-Vel' yaminov, B. A., *Sov. Astron. A. J.*, 4 (1960), 365.
- [81] Thomposon, L. A. & Theys, J. C., *Ap. J.*, 224 (1978), 796.
- [82] Few, J. M. A. & Madore, B. F., *M. N. R. A. S.*, 222 (1986), 673.
- [83] Dyson, F. W., *Phil. Tran. Roy. London A*, 184 (1893), 43.
- [84] Danks, A. C. & Materne, J., *Astron. Astrophys.*, 139 (1984), 455.
- [85] Freeman, K. C. & de Vaucouleurs, G., *Ap. J.*, 194 (1974), 569.
- [86] Burbidge, G. R. & Burbidge, E. M., *Ap. J.*, 130 (1959), 12.
- [87] Cannon, R.D., Lloyd, C. & Penston, M.V., *Observatory*, 90 (1970), 153.
- [88] Lynds, R. & Toomre, A., *Ap. J.*, 209 (1976), 382.
- [89] Huang, S. N. & Stewart, P., *J. Astron. Astrophys.*, 179 (1988), 14.

(责任编辑 林一梅)

Interacting Galaxies

Huang Songnian

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

Abstract

In the past some thirty years, along with the advances of observational techniques and the development of computational simulations, the universality, of interaction among galaxies and its role in investigations of galactic morphology, galactic dynamics and the distribution of dark matter on the galactic scale attract attentions of astronomers in different fields. This review paper introduces interesting issues in the shuo of interacting galaxies, including mergers of galaxies, shell structure of galaxies, SO polar rings and ring galaxies.