

§ 8 寄主星系

活动星系核所在的星系称为活动星系核的寄主星系(host galaxies)。寄主星系的研究对活动星系核具有重要意义。通过了解寄主星系的形态和特性,有可能回答一系列人们所关心的问题,或者对某些模型提出限制,例如:

- (1) 活动星系核是否只出现在某些特定类型的星系中心? 或者出现在星系演化的某个特定阶段?
 - (2) 什么机制触发了星系核心的活动性? 也就是说,类星体和活动星系核是怎样起源的?
 - (3) 类星体和活动星系核的活动性是怎样维持和演化的? 与寄主星系有什么关系?
 - (4) 为什么类星体和活动星系核的射电辐射强度有巨大的差别?
 - (5) 哪些活动星系核可以统一起来? 哪些活动星系核可能有演化上的联系?
- 本章主要讨论类星体的寄主星系。

§ 8.1 寄主星系的形态

§ 8.1.1 Seyfert 星系

在地面望远镜里,低红移 Seyfert 星系是有视面的天体,因此,比较容易确定 Seyfert 寄主星系的形态。早在 1980 年前后,就有一些天文学家企图通过对 Seyfert 寄主星系形态的研究来确定是否活动星系核与星系的形态有关。第一个关于 Seyfert 寄主星系形态研究的重要结果是 Adams(1977)^[1]提出的,他指出, Seyfert 寄主星系都是旋涡星系。以后的研究表明, Seyfert 寄主星系与正常旋涡星系相比,有一些差别。Heckman(1978)^[2]指出, Seyfert 寄主星系倾向于是 Sa-Sb 等早型旋涡星系。Simkin et al.(1980)^[3]从巡天得到一个分解得很好的 Seyfert 星系样本,发现许多 Seyfert 寄主星系的形态不规则,如有内环、外环或者旋臂断裂等,可能由潮汐相互作用所引起。而且,形态不规则的 Seyfert 寄主星系在全部 Seyfert 寄主星系中所占的比例远大于其它正常旋涡星系中形态不规则星系的比例。表 8.1 是他们的研究结果。其它的研究也证实了他们的结果^[4]。中性氢 21 cm 射电谱线的观测发现, Seyfert 寄主星系的形态和谱线轮廓也不同于正常旋涡星系^[5,6]。许多 Seyfert 寄主星系有类棒的结构,它们可能是棒旋星系。Seyfert 寄主星系中棒旋星系所占的比例似乎比正常旋涡星系高。许多人认为, AGN 现象可能与棒有关。理论研究也表明,棒的存在有利于星际气体流向星系中心。但要

从统计上证实这一点却很难。事实上，并不是所有的棒旋星系中心都有 AGN，也不是所有 Seyfert 都是棒旋星系。

表 8.1 Seyfert 星系形态的不规则性

特征	Seyfert 星系	非 Seyfert 星系
内环	57%	35%
外环	43%	8%
内、外环	30%	3%

更仔细的巡天发现，Seyfert 寄主星系具有各种各样的形态。图 8.1 是 CfA Seyfert 星系巡天样本的形态分布^[7]。其中，横坐标是所谓 T 参数，它与星系的 Hubble 形态分类的对应关系列于表 8.2。

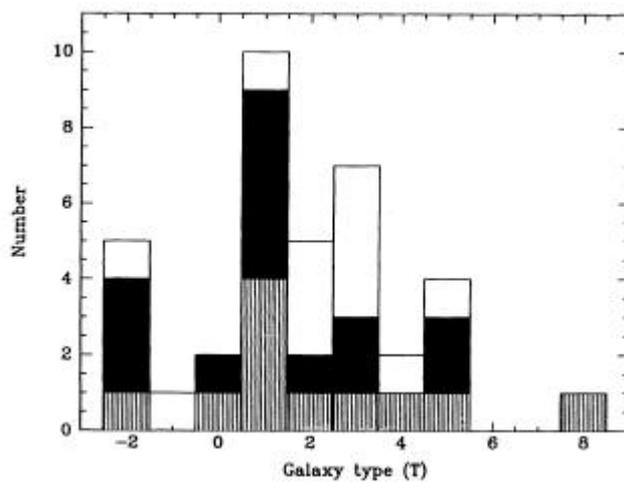


图 8.1 Seyfert 星系的形态分布，取自 Mcleod & Rieke (1995)^[7]。

图 8.1 表明，Seyfert 寄主星系的形态分布在很宽的范围内，有些 Seyfert 寄主星系甚至是椭圆星系或不规则星系，但绝大多数 Seyfert 寄主星系是早型旋涡星系。其它的巡天证实了这个结果^[8]。

表 8.2 星系类型与 T 参数

cE	E	cD	S0 ⁻	S0	S0 ⁺	S0/a	Sa	Sab	Sb	Sbc	Sc	Scd	Sd	Sdm	Sm	Im
-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

近年来对窄线 Seyfert 1 星系(NLS1)的研究越来越引起人们的兴趣。Crenshaw et al.(2003)^[9]利用 HST 研究了 NLS1 的寄主星系。他们发现, NLS1 寄主星系中棒旋星系的比例远高于通常的宽线 Seyfert 1 星系。图 8.2 给出几个 NLS1 的寄主星系的图象。

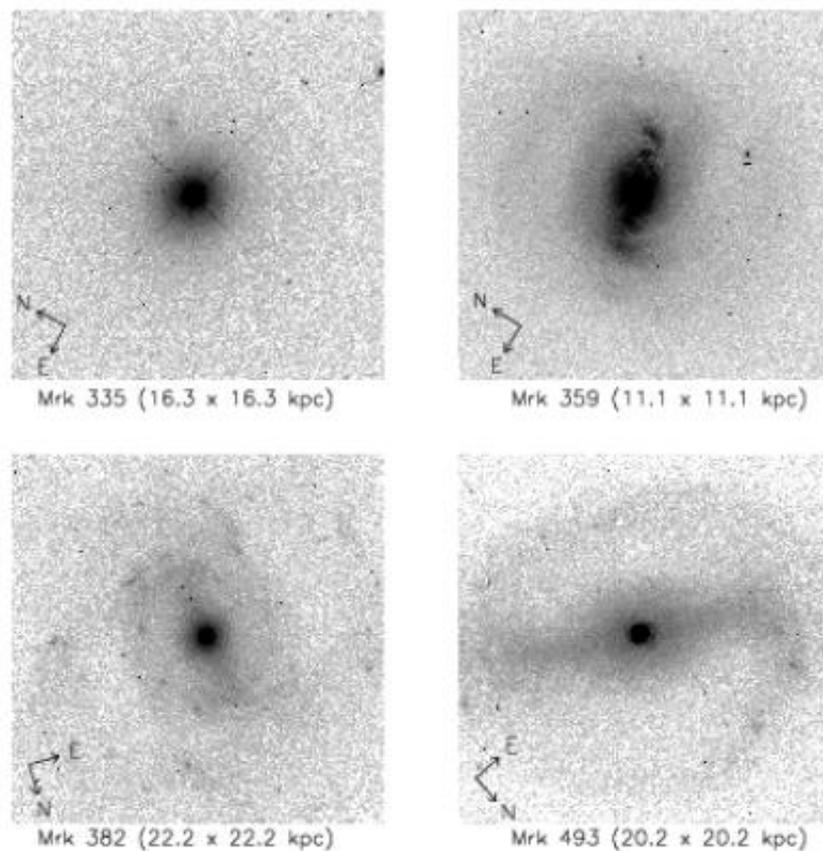


图 8.2 几个窄线 Seyfert 1 星系的寄主星系, 取自 Crenshaw et al.(2003)^[9]。

§ 8.1.2 类星体

用地面望远镜研究类星体的寄主星系非常困难。原因很简单: 类星体太亮, 通常它比寄主星系的总辐射亮好几个星等, 而类星体又太远, 寄主星系的角直径很小, 由于地球大气视宁度的影响, 类星体的光芒掩盖了寄主星系的, 使得寄主星系几乎不可见。用地面望远镜对类星体的寄主星系进行成像观测通常需采用特殊的方法。例如, 人工造一个遮挡物, 挡住来自类星体的光。或者利用颜色与类星体类似的恒星的点扩散函数(point spread function, PSF)扣除掉类星体的光。另外, 可以选择一些特殊的观测波段, 如 H, K, 或者红外。在这些波段, 类星体的辐射与寄主星系的辐射之比相对较小, 类星体的辐射比较容易扣除。Kristian(1973)^[10]最早利用地面望远镜对类星体的寄主星系进行了研究。以后直至今日又有大量的测光和分光研究被报道^[11-28]。

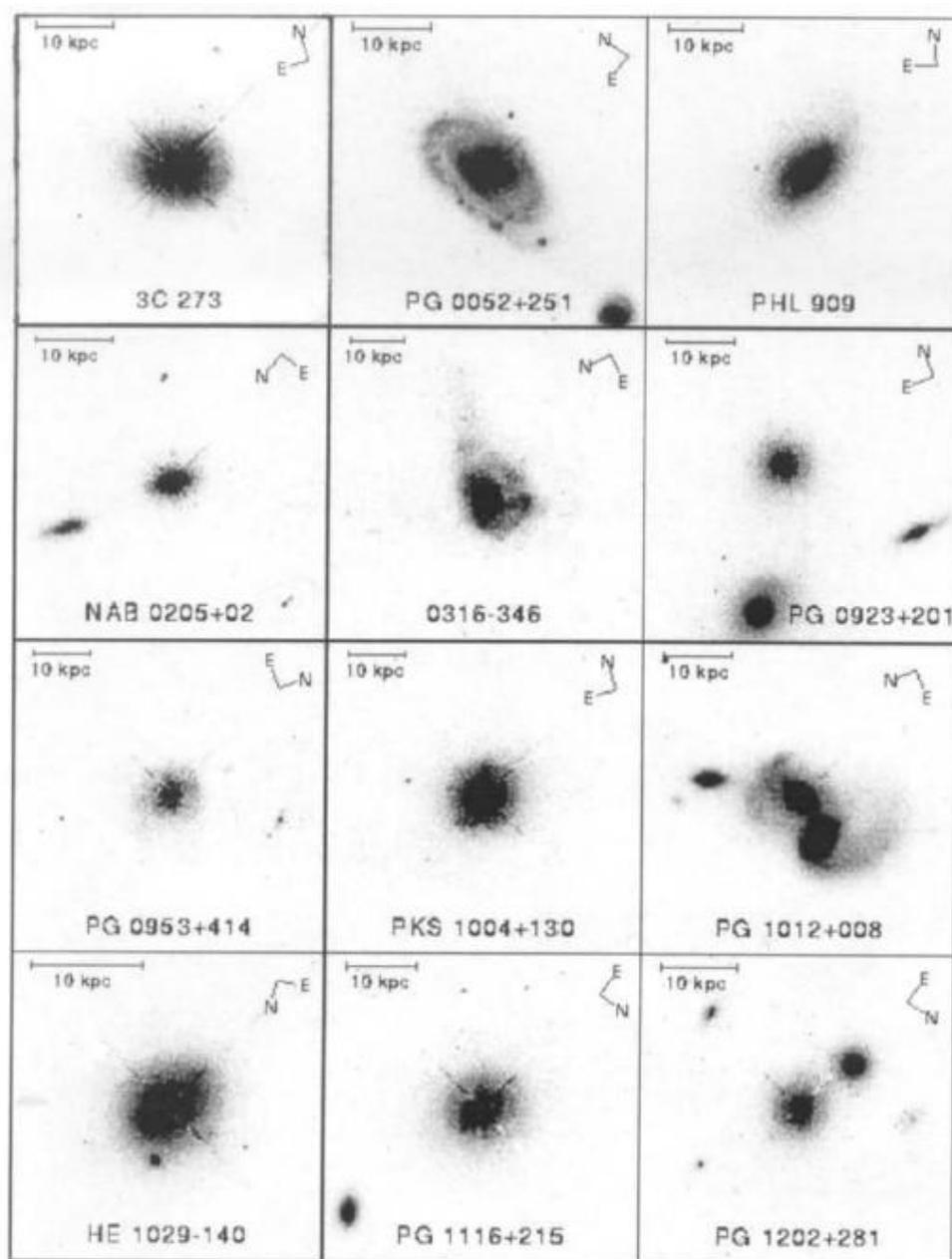


图 8.3 HST 得到的部分类星体的寄主星系。取自 Bahcall et al.(1997)^[34]。

哈勃空间望远镜的投入使用为深入研究类星体的寄主星系创造了极好的条件。大部分低红移类星体在哈勃空间望远镜里都被分解开了，可以直接观测到它们的寄主星系。当然，即便在这种情形，为了得到准确的结果，仍需利用恒星的点扩散函数扣除掉类星体的光。Bahcall et al.^[29-34]，Hutchings et al.(1994)^[35]，Hutchings & Morris(1995)^[36]，Disney et al.(1995)^[37]，Hooper et al.(1997)^[38]，Boyce et al.(1998)^[39]，Schade et al.(2000)^[40]，Hamilton et al.(2002)^[41]，Marquez et al.(2001)^[28]等利用 HST 对类星体的寄主星系进行了广泛的成像研究。

哈勃空间望远镜得到的低红移($z < 0.6$)类星体寄主星系的形态有:

巨椭圆星系: 射电噪类星体的寄主星系具有这种形态。令人惊奇的是, 部分射电宁静类星体的寄主星系也具有这种形态。这和过去地面望远镜的结果有所不同。以前认为, 射电宁静类星体的寄主星系是旋涡星系。

旋涡星系: 大部分射电宁静类星体的寄主星系具有这种形态。这些旋涡星系都是早型, 有明显的 H II 区。

互扰星系: 有些类星体寄主星系的附近有伴星系, 而且明显地可以看出两者间有并合、潮汐等引力相互作用。射电噪类星体和射电宁静类星体的寄主星系都有可能是这类星系。

未分解开或不能纳入现在的星系分类系统。

从寄主星系光度轮廓测量可知, 类星体位于寄主星系的中心附近, 与中心的距离 $< 0.4 \text{ kpc}$ 。

HST 观测的样本数一般不大, 各种形态的类星体寄主星系所占的比例尚无可靠的统计。

图 8.3 给出 HST 得到的部分类星体的寄主星系。

§ 8.1.3 BL Lac 天体

一般认为, BL Lac 天体是沿喷流方向看到的低光度 FR I 射电星系。两者的射电辐射性质和射电及 X 射线光度函数的类似说明了这一点。对 BL Lac 天体的寄主星系的研究也支持了这种看法, 但发现了一些例外。

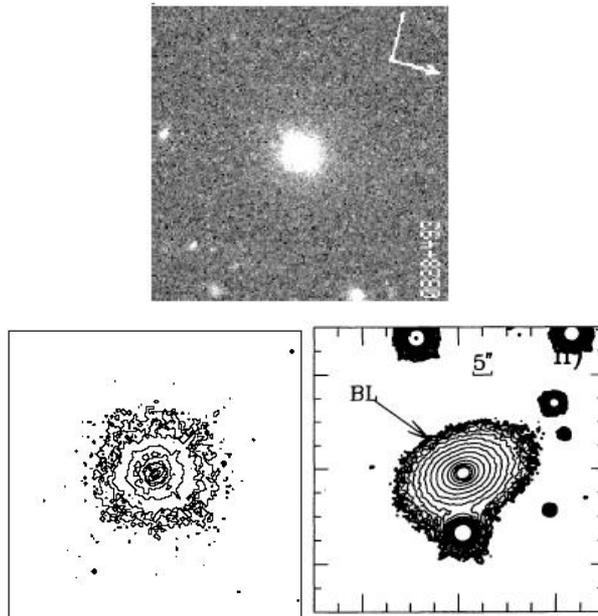


图 8.4 BL Lac 天体的寄主星系。上图为射电选 BL Lac 天体的 HST 像^[49], 下左为 X 射线选 BL Lac 天体的 HST 像的亮度轮廓^[47], 明显地, 两者都是椭圆星系。下右的 BL Lac 天体的寄主星系看起来很像盘星系, 实际上也具有椭圆星系的亮度轮廓^[46]。

BL Lac 天体寄主星系的角径一般都很小，有的甚至在 HST 里也分解不开，因此，研究它们的形态也相当困难。大量的研究工作^[42-49]表明，大部分 BL Lac 天体寄主星系是椭圆星系，但少数可能是盘星系。图 8.4 给出一些例子。上面一个是 HST 得到的射电选 BL Lac 天体的像，下(左)是 X 射线选 BL Lac 天体的亮度轮廓，两者明显都是椭圆星系。下(右)一个看上去很像盘星系，对其亮度轮廓的分析发现，它也是椭圆星系。

Wurtz et al.(1996)^[44]用 3.6 m Canada-France-Hawaii Telescope 对 $z < 0.65$ 的 50 个 BL Lac 天体进行了广泛的成像研究。他们发现，36 个 BL Lac 天体的像被分解开了，其中的 20 个肯定是椭圆星系，10 个可能是椭圆星系，3 个肯定是旋涡星系，还有 3 个可能是旋涡星系。其它的研究也探测到少量旋涡星系。这些旋涡星系的盘成分很弱，主要是核球成分，因此，它们很可能是早型旋涡星系。由于样本的不完备，现在还不能断定 BL Lac 天体的寄主星系中旋涡星系究竟占多大比例。

§ 8.1.4 寄主星系的形态和射电噪程度

绝大多数 AGN 是射电宁静的，只有极少数 AGN 有很强的射电辐射。虽然射电辐射是 AGN 的特性，一个自然的问题是：射电噪程度(loudness)是否与寄主星系的形态有关？

Martel et al.(1998)^[50]利用 HST 对 3C 表中几乎所有的射电源进行了 R 带成像研究，对这些星系的形态的分析表明，80%以上是椭圆星系。虽然这项研究不全是针对 AGN 的，但它至少说明，3C 表中中的射电噪 AGN 大多是椭圆星系。

但是，要直接比较射电噪 AGN 和射电宁静 AGN 的寄主星系的形态是很困难的。主要原因在于没有合适的样本。下面我们会看到，射电噪 AGN 的寄主星系比射电宁静 AGN 的寄主星系要亮得多。通常的射电噪 AGN 样本涉及到的可能是光度函数亮端的星系，而射电宁静 AGN 样本涉及到的可能是光度函数暗端的星系。

McLure et al.(1999)^[51], Dunlop et al.(2003)^[52]从 HST 资料比较了 33 个射电宁静类星体、射电噪类星体和射电星系的寄主星系的性质。他们发现，R 波段绝对星等 $M_R < -24$ 的亮射电宁静类星体、射电噪类星体和射电星系的寄主星系都是大质量椭圆星系，标长 ≈ 10 kpc, R-K 颜色与年老星族的一致。这个结果表明，类星体的射电强度并不直接与寄主星系的形态有关。

§ 8.2 寄主星系的性质

§ 8.2.1 寄主星系的光度

1. 类星体

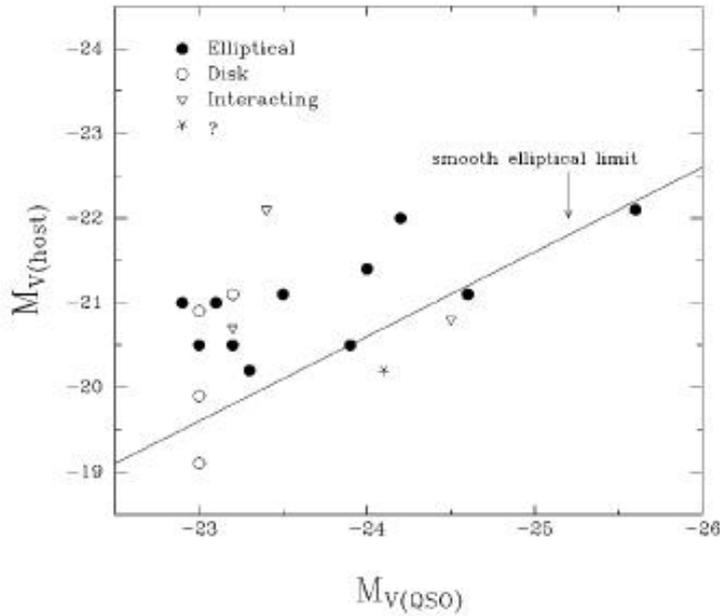


图 8.5 类星体寄主星系和类星体本身的绝对目视星等的关系。图上已标出寄主星系的形态。右上是 3C 273。取自 Bahcall et al.(1997)^[34]。

类星体寄主星系是很亮的星系，但射电噪和射电宁静类星体的寄主星系的光度有明显的差别。Bahcall et al.(1997)^[34]利用 HST 资料研究了 20 个小红移类星体的寄主星系。他们得到了这些寄主星系的目视绝对星等。射电宁静类星体的寄主星系的平均目视绝对星等为：

$$\langle M_V \rangle_{\text{RQQ}} = -20.6 \pm 0.6,$$

而射电噪类星体的寄主星系的平均目视绝对星等为：

$$\langle M_V \rangle_{\text{RLQ}} = -21.6 \pm 0.6.$$

射电噪类星体的寄主星系平均比射电宁静类星体的寄主星系亮一个星等。这个结果是可靠的，不可能用选择效应来解释。其他人也得到类似结果，但具体的数值可能不同。

类星体寄主星系的光度与类星体本身的光度是否有关？McLeod & Rieke(1995)^[53]以及一些地面望远镜研究结果认为，类星体寄主星系的目视绝对星等 $M_{V(\text{host})}$ 与类星体本身的目视绝对星等 $M_{V(\text{host})}$ 正相关。图 8.5 是 Bahcall et al.(1997)^[34]研究的 20 个小红移类星体的结果，似乎证实了上述结论。但图 8.5 的统计也不完全可靠。图中最右上一点是 3C273。它是最亮的类星体，其寄主星系也最亮，去掉这一点后，相关性就不大好。在其它波段，类星体寄主星系的光度似乎也与类星体本身的光度相关。但是，也有很大的不确定性。因此，类星体寄主星系的光度与类星体本身的光度是否相关尚需更多资料。

虽然 $M_{V(\text{host})}$ 与 $M_{V(\text{QSO})}$ 的相关性尚未最终确立, 但从图 8.5 可以明显看出, 总有 $M_{V(\text{host})} > M_{V(\text{QSO})}$, 也就是说, 类星体的光度总是大于其寄主星系的光度。平均来说, 类星体比其寄主星系约亮 4 星等。

2. 其它 AGN

Seyfert 寄主星系的光度弱于类星体, 平均来说, 绝对星等大两个星等。

BL Lac 天体寄主星系的绝对星等与射电噪类星体的相当。

射电星系的光度与射电噪类星体的相当。

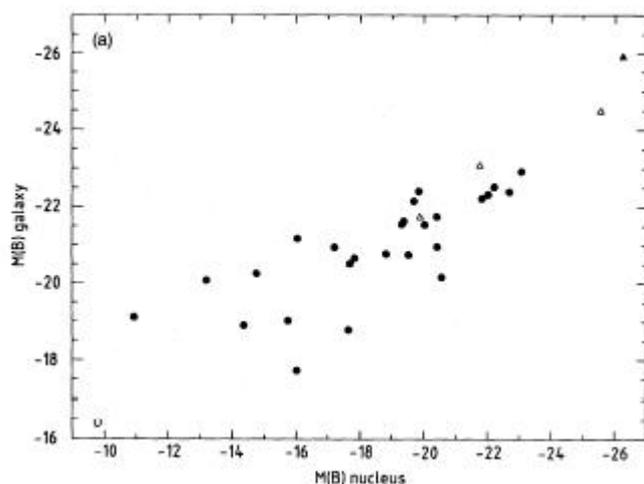


图 8.6 类星体和 BL Lac 天体寄主星系的绝对 B 星等与其本身的绝对 B 星等相关。点代表类星体, 圆圈代表 BL Lac 天体。取自 Kotinainen & Ward (1994)^[54]。

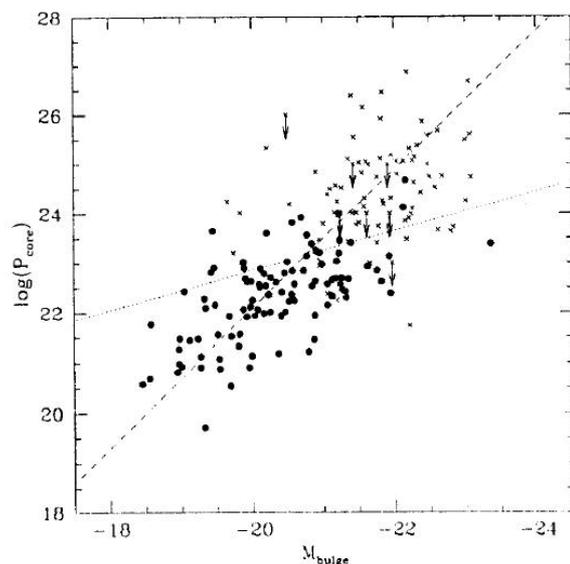


图 8.7 Seyfert 星系(圆点)和射电星系(叉)核的射电光度与其寄主星系核球的光学光度(绝对 B 星等)间的相关。对 Seyfert 星系和射电星系单独进行统计时, 几乎不相关; 两者联合起来进行统计时, 相关性很好。虚线是回归直线。

AGN 寄主星系的光度与 AGN 本身的光度似乎也相关。与类星体的情形一样，相关性不很确定。但是，如果把类星体和 AGN 一起考虑，相关性可能更好。图 8.6 是类星体和 BL Lac 天体寄主星系的绝对 B 星等与 AGN 的绝对 B 星等的相关情况^[54]。我们看到，相关性相当好。更有趣的是图 8.7。那里给出 Seyfert 星系和射电星系核的射电光度与寄主星系核球的光学光度的相关情况^[55]。单独对射电星系或 Seyfert 星系进行统计时，相关性很差；但将两者联合起来进行统计时，相关性很好。

§ 8.2.2 寄主星系的亮度轮廓和尺度

正常旋涡星系的表面亮度轮廓一般可用 Freeman 指数盘来拟合^[56]：

$$\mu(r) = \mu_0 \exp(-r/r_0), \quad (8.1)$$

而椭圆星系的表面亮度轮廓则用 de Vaucouleurs 的 $r^{1/4}$ 轮廓^[57]来拟合：

$$\mu(r) = \mu_0 \exp[-7.67((r/r_0)^{1/4} - 1)]. \quad (8.2)$$

其中， μ_0 为星系中心的表面亮度， r_0 为标长。需要指出的是，(8.1)和(8.2)完全是由观测得到的经验公式。

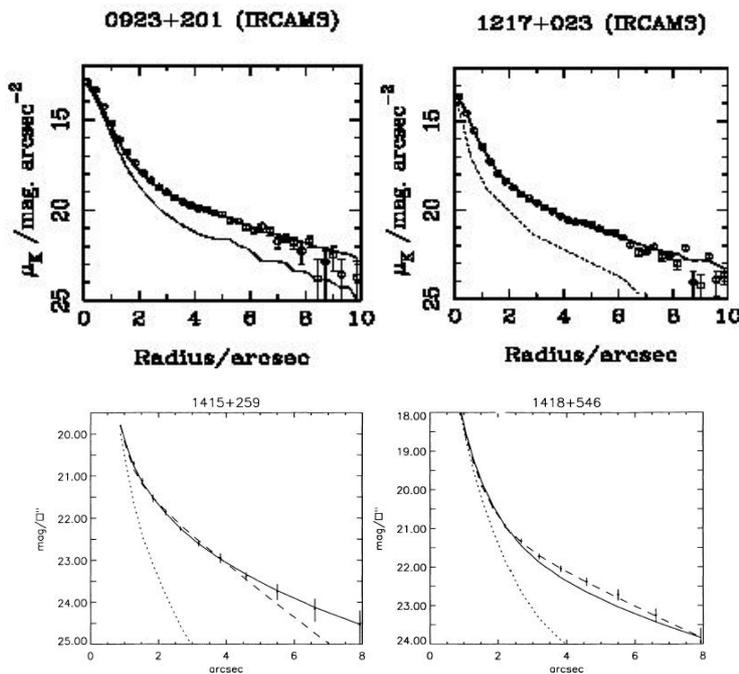


图 8.8 寄主星系的表面亮度轮廓的拟合。上两图是射电宁静类星体(0923+201)和射电噪类星体(1217+023)的寄主星系，取自[58]。圆圈代表观测数据，实线为最佳拟合，可用 $r^{1/4}$ 轮廓表示，点线代表核成分。因此，两个都是椭圆星系。下两图是两个 BL Lac 天体的寄主星系，取自[45]。圆点为观测数据，点线为核成分，实线为 $r^{1/4}$ 轮廓，虚线为指数盘轮廓。从最佳拟合曲线可知，1415+259 的寄主星系是一个椭圆星系，而 1418+546 的寄主星系是一个旋涡星系。

对类星体和 AGN 的寄主星系的表面亮度轮廓都可用(8.1)或(8.2)进行拟合。除少数外，一般都有明确的结果。对亮度轮廓的拟合是判断寄主星系形态的主要判据。图 8.8 给出一些例子。上两个是类星体，下两个是 BL Lac 天体。

从光度轮廓的拟合还可以得到寄主星系的标长 r_0 (尺度)。一般的结果是 $r_0 = 10$ kpc 左右。表明寄主星系确是巨星系。

§ 8.2.3 寄主星系的光谱

获得类星体寄主星系的光谱同样十分困难。与成像观测一样，关键的问题是如何扣除类星体本身的辐射。许多观测，例如 McLure et al.(1999)^[51], Hughes et al.(2000)^[59], Nolan et al.(2001)^[60]等发现，类星体寄主星系的光谱是正常星系的吸收光谱。

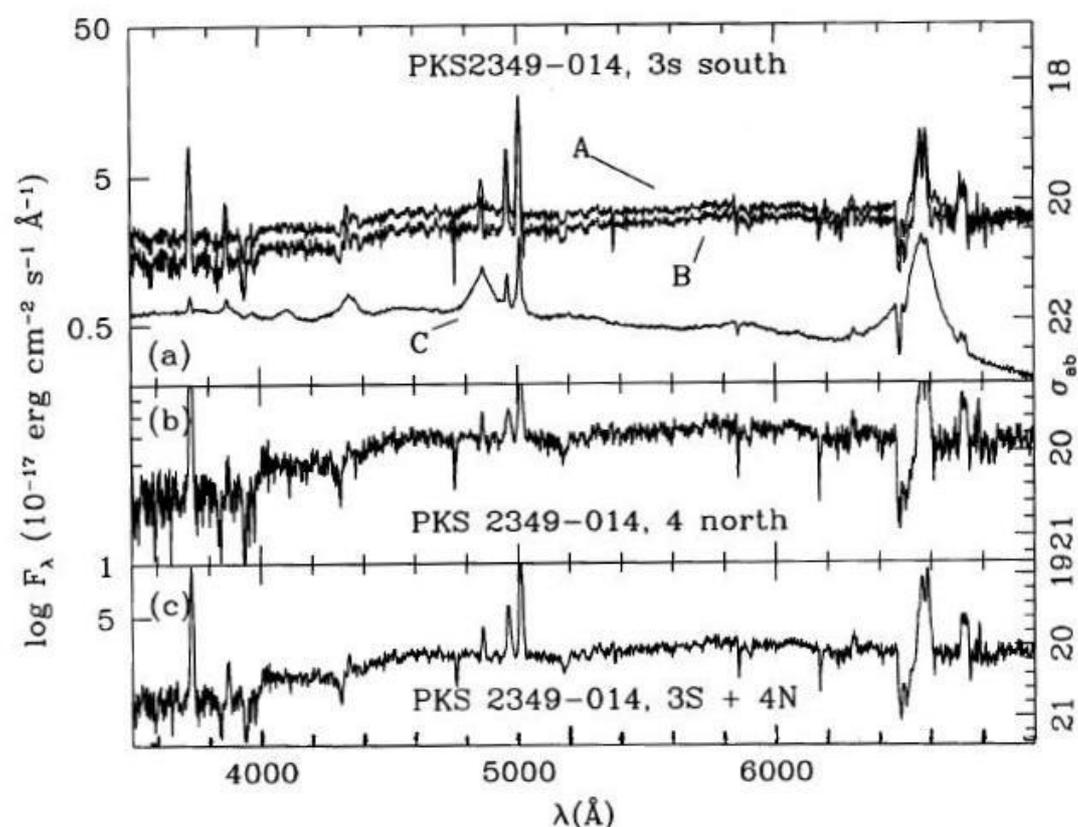


图 8.9 PKS 2349-147 寄主星系的光谱。取自 Miller & Sheinis(2003)^[64]。详见正文。

然而，其它的一些观测，如 Canclizo & Stockton(2000)^[61], Canclizo & Stockton(2001)^[62], Scoville et al.(2003)^[63], Miller & Sheinis(2003)^[64]等却发现某些类星体寄主星系的光谱不是正常星系的光谱，它们显示出星暴或星暴后(post-starburst)光谱。例如，Canclizo & Stockton(2000)^[61]观测了著名的射电噪类星体 3C 48。他们把狭缝摆在寄主星系的不同地方。结果发现：有些区域正进行着强烈的恒星形成；有些是星暴后区域，年龄约 10^8 年；有些则完全“正常”，

没有任何恒星形成的迹象。另一个例子是 PKS 2349-147。Miller 和 Sheinis(2003)^[64]得到了它的寄主星系的光谱(图 8.9)。图 8.9(a)是核心南面 3" 处一个星云状物的光谱。A 是直接抽出的光谱, C 是类星体散射光光谱, $B=A-C$, 即为扣除了类星体散射光光谱后该星云状物的光谱。图 8.9(b)是核心北面 4" 处的亮条的光谱。图 8.9(c)是上述两光谱的叠加, 目的是为了提提高信噪比。这些光谱显示的是正常椭圆星系的光谱叠加上星暴后光谱, 1/3 的光来自年青星, 2/3 的光来自年龄大于 10^{10} 年的老星。

§ 8.2.4 寄主星系的气体含量

类星体(AGN)中心黑洞每年都吸积大量物质, 这些物质显然来源于寄主星系的星际气体。类星体(AGN)寄主星系的气体含量与正常星系相比有没有差别?

探测寄主星系的星际气体最常用的方法是探测 H I 21 cm 谱线, H₂ 分子线, CO 线, 或 H β 等复合线。早年, Mirabel & Wilson(1984)^[65], Heckman et al.(1989)^[66], Baum et al.(1988)^[67], Baum & Heckman(1989)^[68]等用这些方法对大量的 Seyfert 寄主星系和射电星系的星际气体进行了探测。结果表明, AGN 寄主星系的气体含量约 $10^8 \sim 10^9 M_{\odot}$, 与同类型的正常星系相比没有显著差别。当然, 星际气体的性质, 如温度、电离、分布等, 可能不同。

对类星体寄主星系的星际气体的探测更加困难。但近年来也有很大进展。Scoville et al.(2003)^[63]对 $z \leq 0.1$, $M_B \leq -23$ 的 12 个 PG 类星体进行了 CO 巡天, 探测到 9 个类星体有 CO 线, 具有晚型星系丰富的星际介质特征, 并求出它们的分子气体的质量 $\geq 10^9 M_{\odot}$ 。由此可以看出, 低红移亮类星体的寄主星系具有丰富的气体, 不可能是正常的椭圆星系。

§ 8.2.5 寄主星系的光度函数

Hamilton et al.(2002)^[69]从 HST 资料得到包含 71 个小红移 ($z \leq 0.46$) 类星体寄主星系的大样本, 可以用来研究类星体寄主星系的光度函数。分析这个样本得到的基本结论是:

- (1) 寄主星系的光度大于正常星系;
- (2) 寄主星系的光度分布在一个很窄的范围内;
- (3) 寄主星系的光度函数的形状不同于正常星系, 但与正常星系的亮端大体一致。
- (4) 寄主星系数与正常星系数之比随光度而迅速增加。

图 8.10 是 Hamilton et al.(2002)^[69]得到的类星体寄主星系的光度函数。图中的实线是正常星系的光度函数^[70], 虚线是其往高光度端的外推。

§ 8.2.6 高红移类星体的寄主星系

高红移类星体寄主星系的研究非常重要, 因为它提供了演化的信息。由于难

度特大，目前关于高红移类星体寄主星系的研究不多。地面望远镜的研究，主要有 Heckman et al.(1991)^[71], Hutchings(1995,1998)^[72], Aretxaga et al.(1995,1998)^[73,74], Campos et al.(1999)^[75], Pentericci et al.(1999)^[76]等；HST 的研究主要有 Hutchings et al.(1999)^[77], Kukula et al.(2001)^[78]等。

高红移类星体寄主星系的主要特征：

- (1) 大部分寄主星系的形态难以纳入现在的分类系统；
- (2) 寄主星系是非常亮的星系，射电噪类星体的寄主星系亮于射电宁静的，而且，两者之差有随红移的增加而扩大的趋势；
- (3) 至少有一部分寄主星系的表面亮度分布可用 de Vaucouleurs 的 $r^{1/4}$ 轮廓，即(8.2)式描述；
- (4) 寄主星系有非常高的恒星形成率。

我们看到，除了形态外，高红移类星体寄主星系与低红移类星体寄主星系类似。由于样本少，目前尚难以回答有关演化的问题。

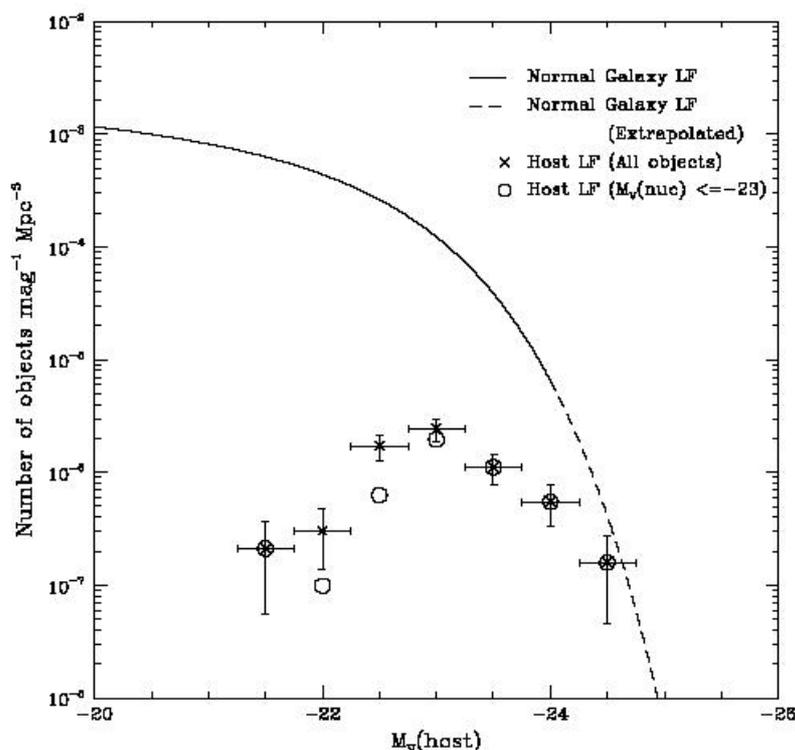


图 8.10 类星体寄主星系的光度函数，取自 Hamilton et al.(2002)^[69]。图中叉代表所有类星体寄主星系，圆圈代表类星体绝对星等 $M_V(QSO) \leq -23$ 的寄主星系光度函数。实线是正常星系的光度函数^[70]，虚线是其往高光度端的外推。

§ 8.3 环境

许多类星体和活动星系核的寄主星系显示出引力相互作用的痕迹，观测中也

探测到许多类星体(AGN)周围有伴星系。由此可以期望,类星体(AGN)的环境可能对触发 AGN 现象起了重要作用。

定量地研究类星体(AGN)的环境非常困难。通常有两种方法来讨论类星体(AGN)和星系的关系。一是构造一个类星体(AGN)的样本,测量每个类星体(AGN)周围星系的分布;同时,构造一个正常星系的样本作为“控制”样本。这样,我们就可考查某种特定的类星体(AGN)寄主星系与星系之间的关系。另一种方法是构造一个星系的样本,测量其中具有 AGN 现象的星系的密度。无论哪种方法,最关键的问题是确定观测对象的距离,这样才能得到三维的空间密度。如果只有二维投影像,那就必须非常小心地进行分析。另外,必须非常仔细地选择样本。

已有许多研究工作讨论 Seyfert 星系、类星体、BL Lac 天体的环境。最早, Dahari(1984)^[79]发现,约 15%的 Seyfert 星系有伴星系,而正常星系的控制样本则只有约 3%有伴星系。这表明, Seyfert 星系倾向于比正常星系更多地具有近的伴星系。其它的研究工作^[80,81]虽然得到类似结论,但证据并不十分强。另外, Seyfert 星系的伴星系比正常星系的伴星系有更强的发射线^[82]。

低红移类星体似乎与 Seyfert 星系具有同样的倾向。Stockton(1978)^[83]的先驱性工作指出,类星体周围有更多的暗星系。其它的工作^[84-86]表明,类星体倾向于更多地出现在小星系群里。然而,Boyle & Couch(1993)^[87]研究了 $z \sim 1$ 的射电宁静类星体样本,没有发现它们与周围的星系相关。Hutchings et al.(1999)^[77]研究了红移在 0.85-4.16 的 9 个类星体,发现其中的 8 个都处在小的致密星系群里。但是,这个样本太小,很难对类星体的环境与红移的关系下结论。关于类星体与星系团的关系的更详细的讨论见 § 9.2。

BL Lac 天体的环境似乎也与 Seyfert 星系类似。许多研究发现, BL Lac 天体常有很近的伴星系,倾向于更多地出现在贫星系群里^[44,88,89]。Falomo(1996)^[46]在探测 BL Lac 天体的寄主星系时研究了包括 16 个 BL Lac 天体的小样本,并发现,6 个 BL Lac 天体周围有伴星系。伴星系与 BL Lac 天体间的投影距离在 10-40 kpc。这个结果支持了上述结论。