

类星体的X射线辐射*

1. 光度性质和演化

周又元

(中国高等科学技术中心天文和天体物理分中心)

(中国科技大学天体物理中心)

戴和俊

(哈尔滨工业大学物理系)

提 要

本文概述了Einstein天文台IPC获得X射线流量和光度的统计结果,对混合样品,即光学选择类星体样品,射电选择类星体样品和X射线选择活动星系核样品,讨论了X射线光度与光学光度、射电光度、射电形态的关系以及它的演化性质。

一、引 言

自1967年检测到3C273的X射线辐射以来,到1978年在总数为七百余测定过红移的类星体中,只有三个是X射线类星体,不到总数的1%。这似乎表明类星体是弱X射线发射天体。另一方面,对Seyfert星系的观测表明它们是强X射线发射天体,这使我们想到探测不到类星体的X射线辐射可能是仪器的灵敏度不够所致。

到1978年高能天文台2号[1](HEAO-2)(亦称Einstein天文台)发射,发现了大量X射线源,开始了河外天体X射线研究的新时期。Einstein天文台上主要的工作仪器是成像正比计数器(Imaging Proportional Counter)通称IPC,主要是用来巡天的。它是一台成像仪器,具有高达1角分的角分辨率,并有高灵敏度($2-4 \times 10^{-13} \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),比之HEAO-1上A2[2]谱仪提高了100倍。这样使之特别有利于检测弱X射线天体。它还有适当的能量分辨率,在1keV时 $E/\Delta E \sim 1$ 。可以较好地决定检测源流量的能量范围,最宽可达0.1—4.5keV。由于 $E/\Delta E$ 不够大,它不利于能谱测量。但鉴于它是能较长期地工作在低能范围的仪器,因此由它获得的低能谱知识也非常珍贵,成为低能谱的主要来源之一。利用IPC不仅可以对个别天体进行研究,而且它的巡天结果是进行统计分析的主要资料。Einstein天文台上另一主要仪器是高分辨成像器(High Resolution Imager),通称HRI。它具有更高分辨率为 $3''$,用于对特定目标进行更细致的观测。Einstein天文台的研究领域相当广泛,它在活动星系核低能X射线研

1989年1月21日收到。*国家自然科学基金重大项目资助课题。

究上的成就主要有以下几方面: (1) 迄今已检测和证认出 X 射线辐射活动星系核有 500 多个, X 射线类星体 400 个, 其 X 射线光度为 $10^{43} - 10^{47} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 其中较强者的 X 射线光度与光学光度相当。这表明类星体是一类强 X 射线源; (2) 发现一批由 X 射线辐射检测而证认出的类星体, 称为 X 射线选择类星体; (3) 统计分析论证了类星体的 X 射线辐射对 X 射线背景辐射有相当贡献; (4) 类星体的低能 X 射线能谱明显异于中能能谱, 使类星体全波段能谱显示出新的特征。

八十年代以来随着 Einstein 天文台数据的整理和发表, 首先开始了关于类星体 X 射线光度的系统研究^[3-5], 主要是 X 射线光度 L_X 与光学光度 L_O 以及射电光度 L_R 的关系, X 射线流量计数的性质, 对 X 射线背景辐射的贡献等。到了 1985 年由于 IPC 重新定标, 改善了低能能谱的确定性, 给出了一些源的低能谱性质。这不仅影响 X 射线光度的统计分析, 也对全波段的发射机制增加了新内容, 还对类星体模型附加了某些限制。

因此, 类星体的 X 射线辐射研究 (包括 X 射线光度学以及 X 射线能谱学) 不仅将对了解类星体本身的性质如总光度、连续谱发射机制、光学谱线发射区性质、中心能源等是极重要的, 而且有明显的宇宙学上的意义, 如对 X 射线背景的贡献, 类星体的演化函数, 宇宙参量的决定; 另外, 通过它还可以研究星系际物质和类星体与其他活动星系核的关系。

本文第一部分研究 X 射线光度的性质, 包括研究的一般方法 (第二节), 对混合样品的统计结果 (第三节), 射电选择类星体的结果 (第四节), 光学选择类星体的结果 (第五节), X 射线选择活动星系核的结果 (第六节)。第二部分讨论 X 射线能谱, 包括 X 射线能谱结果 (第七节)、全波段谱的性质 (第八节), 连续谱的发射机制 (第九节), 最后一节是结论和展望。

二、一般统计方法——光度演化函数

在一统计样品中类星体的分布函数 Ψ 应是它的红移 Z , X 射线光度 L_X , 光学光度 L_O , 射电光度 L_R 的函数。它与红移的关系称为它的演化性质。

$$dN = \Psi(Z, L_X, L_O, L_R) dV(Z) dL_X dL_O dL_R \quad (1)$$

其中 $dV(E)$ 是红移在 $Z - Z + dZ$ 间的共动体积元。 $\Psi(Z, L_X, L_O, L_R)$ 称为光度演化函数。如果样品对 Z, L_X, L_O, L_R 的测量是完全的, 则由 (1) 式可以决定出类星体的演化光度函数 $\Psi(Z, L_X, L_O, L_R)$ 。然而这种完全样品是难找到的, 往往只有射电选择类星体样品, 光学选择类星体样品, X 射线选择类星体样品等。

对射电选择类星体样品

$$\Psi(Z, L_X, L_O, L_R) = \Psi(Z, L_O, L_R) \phi(L_X | Z, L_O, L_R) \quad (2)$$

其中 $\Psi(Z, L_O, L_R)$ 是类星体的光学射电双变星的光度演化函数, 当样品是射电、光学上完全的时, 它就可以完全被定出^[6-10]。 $\phi(L_X | Z, L_O, L_R)$ 是确定 Z, L_O, L_R 后 X 射线光度的条件概率密度函数, 在研究 X 射线辐射时, 它起着关键作用。

射电类星体在类星体中只占极少数, 因此它限制了获得较好的光度演化函数。故目前的研究集中在光学选类星体上。这样 (2) 式简化为

$$\Psi(Z, L_X, L_O) = \psi(Z, L_O) \phi(L_X | Z, L_O) \quad (3)$$

$\psi(Z, L_O)$ 是由光学选类星体样品得到的光度演化函数。

$$\Psi_0(Z, L_0) = \int_0^\infty \Psi(Z, L_X, L_0) dL_X, \quad (4)$$

它可以与类星体的光学计数性质相联系。而X射线光度演化函数

$$\Psi_X(Z, L_X) = \int_0^\infty \Psi(Z, L_X, L_0) dL_0 \quad (5)$$

与类星体的X射线计数性质相联系。

在研究类星体X射线光度性质, 决定 $\Psi(Z, L_X, L_0, L_R)$ 时的关键之一是决定 $\phi(L_X | Z, L_0, L_R)$ 。常采用的方法有:

(1) $\phi(L_X | Z, L_0, L_R) dL_X$ 总可以表为某一变量 $\xi = \xi(L_X, Z, L_0, L_R)$ 的函数 $\theta(\xi) d\xi$ 。为此, 首先求 L_X 与其他变量 Z, L_0, L_R 的相关性^[11], 然后构成变量 $\xi = \xi(L_X, Z, L_0, L_R)$, 它与 L_0, L_R, Z 无关, 这样我们就可以得到 ξ 的分布 $\theta(\xi)$, 它一般近似为高斯分布。

(2) 对 $\phi(L_X | Z, L_0, L_R)$ 函数形式根据观测作一定假设^[12,13], 由检测出的类星体和只给出 L_X 上限值的类星体写出它的似然函数 \mathcal{L} (likelihood function), 由 $S = -2 \ln \mathcal{L}$ 取极小值, 决定出最佳拟合的参数, 而定出 $\phi(L_X | Z, L_0, L_R)$ 。

(3) 如果对一完全光学选类星体已知其光学光度演化函数 $\Psi(Z, L_0)$, 由测出的 X 射线光度性质假定出条件 X 射线光度函数形式^[14], 用 X 射线流量计数来决定函数中的参数。

通常采用 2keV, 5GHz, 2500 Å 时的光度密度作为 X 射线波段、射电波段、光学波段的典型值。有些工作习惯用 X 射线波段到光学波段的谱指数 α_{OX} 表示 $f_{2500\text{\AA}}$ 给定后的 $f_{2\text{keV}}$ 的值, α_{OX} 定义为

$$\alpha_{OX} = - \frac{\log f_{2\text{keV}} / f_{2500\text{\AA}}}{2.605} \quad (6)$$

此处, 在以上流量和光度密度归算中往往假设光学波段谱指数 $\alpha_0 = 0.7$, X 射线波段谱指数为 $\alpha_X = 0.5$ 。 $\alpha_X = 0.5$ 是基于中能测量结果外推而得。最近的测量表明, 在低能段 α_X 有较大弥散, 当 $\Delta\alpha_X = \pm 0.5$ 时, 计算的光度密度相差为 30% 或更小。这在一般相关分析中是允许的。

三、比较完全的类星体混合样品

在利用 Einstein 天文台 X 射线流量数据尚未获得完全样品时, 1981 年 Zamarani 等人为地兼顾类星体各种特性, 构成一混合样品, 以获得一些最初步的性质。样品包括射电类星体(其中既有高频 PKC 选出的源又有低频 3CR 源, 有致密源也有展源, 有射电陡谱源又有射电平谱源), 射电宁静类星体(有用色指数选出的, 也有从发射线天体中选出的), 还有从某些天区抽样经证认的 X 射线选择类星体^[5], 共 107 个, 其中检测到 X 射线辐射与背景相比在 3σ 水平以上的源共 79 个。

在这样样品中首先发现 X 射线光度密度与光学光度密度有明显相关性, 其对数值线性相关系数 $\gamma = 0.45$, 偶然因素导致的相关性的概率为 $P = 2 \times 10^{-5}$ 。由此获得的 X 射线光度密度与光学光度密度关系为

$$L_X \propto L_0^{0.5} \quad (7)$$

它与厚盘模型 $L_X \propto L_0^\beta$ 的 β 预期值 0.5—0.8 相容。在下面我们将看到, 在其他几个样品中亦得到类似的结果。这表明 X 射线光度所据的范围比光学光度小得多, 在对数尺度上前者只有后者的一半。另一方面观测中优先测出的 X 射线类星体是 L_X/L_0 大者, 由 $L_X/L_0 \propto 1/L_0^{0.5}$, 即

L_0 小者, 故可推出观测到 X 射线辐射的类星体的 X 射线光度集中, 且多为低光学光度类星体。从演化观点上看, 若光学光度演化, 保持 $L_X \propto L_0^{0.6}$ 演化关系时, 则 X 射线光度亦演化, 但 X 射线光度演化要慢于光学光度演化。还发现 X 射线光度与射电光度也有一定相关性。从 X 射线辐射的检测率上看, 表 1 表明射电类星体为 95%, 远大于射电宁静类星体的 40%。而前者的平均 $\bar{\alpha}_{OX} = 1.27$, 小于后者的 1.46, 这表明对相同的光学光度, 射电类星体有较强的 X 射线辐射。

对于已检出 X 射线辐射的射电类星体, 其射电光度 L_R 与 X 射线光度 L_X 有正相关, 但不如 L_0 与 L_X 间相关性明显。

从表 1 还可以发现, 低红移、低光学光度的类星体优先测出, 并有较小的 α_{OX} , 即较大的 X 射线光度与光学光度比。

表 1 不同类星体的 X 检测率和平均 $\bar{\alpha}_{OX}$

样 品	X 检测率	范 围	$\bar{\alpha}_{OX}$	说 明
全 部	79/107		1.32	
射电类星体	59/62		1.27	优先测出射电类星体
射电宁静类星体	20/45		1.46	
低红移类星体	13/16	$Z < 1$	1.35	优先测出低红移类星体
高红移类星体	7/29	$Z < 1$	1.62	
低光学光度类星体	13/22	$\lg L_0 < 31.4$	1.37	优先测出低光学光度类星体
高光学光度类星体	7/23	$\lg L_0 > 31.4$	1.62	

四、射电选择类星体样品

1983年 Tananbaum 等用 178MHz 选取 3 CR 表中的 $f_{178\text{MHz}} > 9\text{Jy}$, $f_{2500\text{\AA}} > 10^{-27}\text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{Hz}^{-1}$ (相当于 $V \sim 18^m.4$) 的共 33 个射电类星体作为样品 [11]。用 Einstein 天文台的 IPC 在 3σ 水平上全部检测到。

为求 X 射线光度的条件概率, 先鉴定 L_X 与 L_0, L_R, Z 间的相关性。采用无参数的偏等级相关检验, 得到

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{XO, RZ} &= 0.547, & P &= 0.002 \\ \gamma_{XR, OZ} &= 0.187, & P &= 0.292 \\ \gamma_{XZ, OR} &= -0.128, & P &= 0.476 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中 $\gamma_{XO, RZ}$ 表示 L_R, Z 固定 L_X 与 L_0 间的等级相关系数, P 表示无规取样中偶然形成此相关性的概率。 $\gamma_{XR, OZ}, \gamma_{XZ, OR}$ 的定义与此类似。此结果表明 L_X 与 L_0 有强相关性而与 L_R, Z 不相关。为给出数值关系, 其线性相关表达式为

$$\begin{aligned} \log L_X &= 27.63 + (0.47 \pm 0.15) (\log L_0 - 31.32) \\ &\quad + (0.14 \pm 0.12) (\log L_R - 34.78) \\ &\quad - (0.45 \pm 0.78) (\log(1+Z) - 0.26) \end{aligned} \quad (9)$$

它可近似表为

$$L_X \propto L_0^{0.47 \pm 0.16} \quad (10)$$

由此我们可构成 $\xi = \lg(L_X/L_0^{0.5})$, 它与 L_X, L_0, L_R, Z 都近似无关。 ξ 的分布 $\theta(\xi) d(\xi)$ 应是高斯型分布。图1是 $\theta(\xi)$ 与 $\lg(L_X/L_0^{0.5})$ 观测分布的比较, 它们相当接近。这样 X 射线光度条件概率函数为

$$\phi(L_X | Z, L_0, L_R) dL_X = \theta[\lg(L_X/L_0^{0.5})] d\lg(L_X/L_0^{0.5}) \quad (11)$$

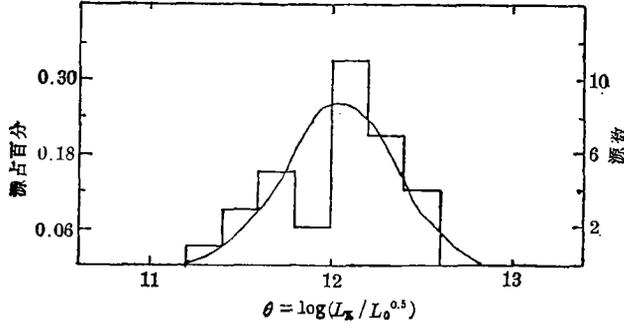


图 1 3CR源($\xi = \lg(L_X/L_0^{0.5})$)的分布函数 $\theta(\xi)$ 的理论与观测结果的对比

如果射电类星体射电光度演化函数取为纯光度演化形式 [15,16]

$$L_0 \propto \exp[k_0 \tau(Z)] \quad (12)$$

$$L_R \propto \exp[k_R \tau(Z)] \quad (13)$$

其中 $\tau(Z)$ 是以 Hubble 时间为单位光返回 Z 处的时间, 则可以由 (2) 式 求出 $\Psi(Z, L_X, L_0, L_R)$, 由 (5) 式求出 X 射线光度演化函数, 易证明它也是纯光度演化 [12]

$$L_X \propto \exp[k_X \tau(Z)], \quad (14)$$

其中 $k_X = 0.5k_0$, $k_X < k_0$, 可见 X 射线光度演化要慢于光学光度的演化。

我们可以发现, X 射线光度与射电光度间的相关性表现为相当复杂。这节中对 3CR 样品

(178MHz), L_X 与低频 L_R 不相关。

上节中对含有射电陡谱和平谱的混合样品, L_X 与 L_R 有一定的相关, 但不非常明显。但早在 1981 年 Owen 等却发现 L_X 与 90GHz 射电光度有很明显的相关性 [17]。我们曾研究射电陡谱类星体, 发现 L_X 与 L_R 完全不相关 [18]。Owen 等人的结果取在 90 GHz, 表明他们选取的都是高频较强的射电平谱类星体, 这些结果似暗示 X 射线光度和射电光度间的相关性与射电类星体的射电谱型有关。射电谱型又与射电形态有关, 射电平谱

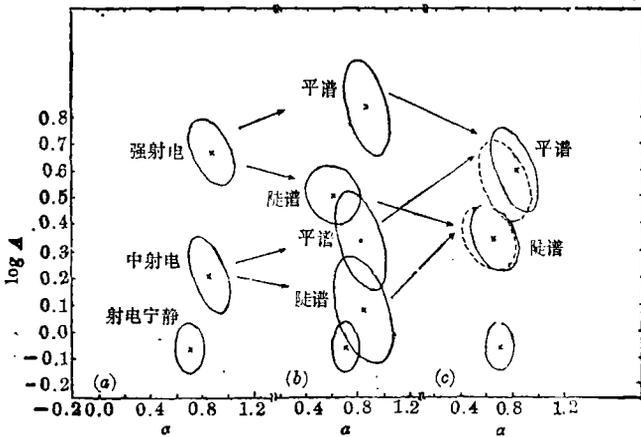


图 2 $\log L_X = \log(AL_0^\alpha)$ 参数 A, α 的 90% 置信度轮廓线与最佳值。从中可见对不同射电强度比以及谱型其 A 明显不同

都是致密源, 而陡谱多数为展源, 故这种相关性可能又与射电形态有关。1987 年 Worrall 等[19]人选用包含 114 个射电类星体和 113 个射电宁静类星体的更大样品; 对 X 射线光度和射电光度的相关性进行全面分析。首先他们假定 $\log L_x = \log(AL_0^\alpha)$ 形式, 图 2 是表示似然率对数对参数 A 和 α 依赖关系的置信度为 90% 的轮廓图, 其中中心点是最佳拟合的参数值。

从图中可以发现, 对各种子样品即射电强、射电中、射电宁静样品, 其 α 在 0.7 至 0.8 之间, 但 A 与子样品有关。强射电类星体平均说来 A 最大, 中射电子样次之, 射电宁静子样最小。还可看出射电平谱子样的 A 大于射电陡谱子样的 A 。由此可得出结论, $L_x = AL_0^\alpha$ 不是 L_x 行为的完全描述。他们进一步假定 $L_x = kL_0^\alpha L_R^\beta$ 。图 3 是似然率对数的置信度为 90% 的轮廓图在参数 (α, β) 平面上投影 (在平面上无法表示对 k 的依赖关系)。图中表明射电平谱类星体的 L_x 与 L_0 和 L_R 两者都有较强的相关性, $\alpha = 0.38 \pm 0.17, \beta \approx 0.51 \pm 0.14$ 。射电陡谱类星体的 L_x 也与 L_0, L_R 两者相关, 但相关性较弱 (轮廓线范围大), $\alpha = 0.46 \pm 0.22, \beta = 0.27 \pm 0.16$ 。后者 β 小于前者, 也表明对 L_R 依赖较小。可以进一步把陡谱源分为致密源和展源两种, 在图 3 上它们是分开的, 而且相关性变差 (可能是样品数不够), 而对陡谱致密源 $\beta \sim 0$ 。

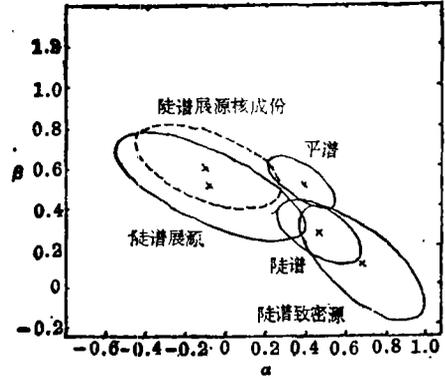


图 3 $\log L_x = \log(kL_0^\alpha L_R^\beta)$ 中参数 α 和 β 的 90% 置信度轮廓线与最佳值。从中可见, 轮廓线大小, α 值, β 值与射电谱形和射电结构有明显关系

五、光学选择类星体样品

光学选择类星体样品现已成为研究类星体演化的主要手段, 因而光学光度演化函数也最为成熟。已知的光学巡天已超过 10 种[19], 但 Einstein 天文台获得的 X 射线辐射数据只有两种, 即

(1) BQX 样品: 它是从平均极限星等为 $16^m.16$ 的 114 个亮类星体巡天 BQS[21] (Bright Quasar Survey) 样品中, 对 66 个进行 X 射线观测, 构成 BQX (Bright Quasar X-ray) 样品[22]。其中 $M_r < -23^m$ 的类星体有 53 个, 其他为低光度活动星系核。对红移分析和星等分布的 K-S 检验表明, BQX 样品是相当好的一个 BQS 子样品, 它能代表 BQS 的 X 射线辐射的统计性质。

(2) BF 样品: 在 1.72 deg^2 内 $B < 19^m.8, V - B < -0.4$ 共 35 个源组成 BF 样品[23], 其中 31 个是类星体。用 Einstein 天文台上 IPC 对全部源进行 X 射线观测, 还用 HRI 对部份源进行检验。由于大部源都很弱, 在 35 个中于 3σ 水平上检测出 X 射线辐射的只有 15 个, 仅占 43%。

Schmidt 和 Green 曾利用 BQS 样品导出了类星体的光学演化函数[21], 他们采用的演化模式是与光度有关的密度演化。由于 BQS 样品是在亮端最精确的样品, 除了在极暗区外这个演化函数是有相当影响的。Schmidt 和 Green 在此基础之上, 最近又利用 BQX 样品假设 X 射线光度演化函数是纯光度演化[14]

$$L_x \propto (1+Z)^7 \quad (15)$$

用它导出的X射线光度函数与X射线流量计数进行比较。表2是采用Schmidt和Green光学演化函数和(6)式所示的X射线光度演化函数预计的X射线流量计数与观测的比较,其中光学演化函数中的HH5、HL1所对应的宇宙减速因子 q_0 分别为0.5和0.1,而中间的H、L表示不同的模型参数。MSS表示Einstein天文台获得的中灵敏度巡天(Medium Sensitivity Survey)。它是在 89.1 deg^2 中,用IPC在灵敏度为 $7 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-12} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (0.3—3.5keV)对X射线源进行检测,发现112个X射线源中证认出类星体为22到24个。HSS为Einstein天文台获得的高灵敏度巡天(High Sensitivity Survey),它是在 1.4 deg^2 内,极限灵敏度在 3.4×10^{-14} 与 $1.4 \times 10^{-18} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (0.8keV到3.5keV)之间巡天,对13个X射线源进行检测,证认出类星体数为3—4个。(15)式的参数 γ 是由MSS的类星体数决定的。

表2 Schmidt和Green X射线光度演化函数与X射线记数的比较

光学演化函数	γ	$\frac{\text{MSS}}{N}$	$\frac{\text{MSS}}{\langle Z \rangle}$	$\frac{\text{BF}}{N}$	$\frac{\text{HSS}}{N}$
HH5	-1.89	23	0.64	1.4	3.4
HL5	-1.33	23	0.78	1.4	3.3
HH1	-1.33	23	0.78	1.4	3.7
HL1	-0.77	23	1.04	1.4	3.7
观测		23	0.81	7	3—4

从表2可见,对MSS的平均红移 $\langle Z \rangle$ 与观测符合很好,HSS的观测计数与理论相符亦很好,但对BF样品与观测值有很大差别。图4是累积计数率与流量的关系,发现除BF以外理论曲线($\gamma = -1.89$)与BQX, MSS, HSS符合都很好。

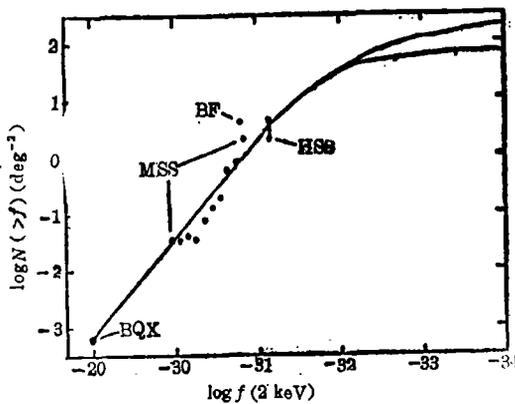


图4 用Schmidt-Green演化函数获得的X流量计数与观测的对比

关于BF样品,我们发现其X射线计数就与MSS在这点的性质不同,而且BF样品的光学计数和BQS样品得到的在这一星等的预期计数有差别,因此有人认为BF样品本身值得进一步研究,它是否正处于 20^m 计数的起伏之上。

1986年Avni和Tanenbaum采用BGX样品,BF样品,光选类星体的混合样品以及三者的再混合样品,唯象地分析了X射线光度的条件概率函数 $\phi(L_X|Z, L_0)$,或者等价地用 α_{OX} 代替 L_X 分析 $\phi^*(\alpha_{OX}|Z, L_0)$ 函数。这个函数应在 α_{OX} 平均值 $\bar{\alpha}_{OX}$ 附近近似为高斯分布函数。他们的工作有以下几个特点:

(1) 采用混合光选类星体样品,如采用完全的光学选类星体样品,绝对星等与 Z 有明显相关性,因此最后无法决定 $\bar{\alpha}_{OX}$ 是与 L_0 相关还是与 Z 相关。

(2) α_{OX} 对 $\bar{\alpha}_{OX}$ 的偏离可以是不对称的。我们知道,低光学光度 L_0 的类星体(即 L_X/L_0 大)优先被检测,即对应 α_{OX} 小的概率密度大。进一步把引进不对称的原因归于两个:一是X

射线类星体能量分布的不对称, 另一是可能存在 X 射线宁静类星体, 其 L_x 特别小, 亦 α_{0x} 特别大。

(3) 不仅考虑了检测到 X 射线辐射的源, 也考虑了只给出 X 射线光度上限值的类星体。

在上述考虑下写出似然函数 \mathcal{L} 。令似然函数 \mathcal{L} 取极大, 亦 $S = -2\ln\mathcal{L}$ 取极小, 决定出 α_{0x} 分布中的参数。

结果发现, (1) 条件 X 射线光度几率函数形式对样品选取的依赖并不强烈, 但混合样品, 特别是样品中源数多时, 使决定的参数更精确。

(2) α_{0x} 主要依赖于 L_0 , 而几乎与 Z 无关。

$$L_x \propto L_0^{0.8}$$

即 X 射线光度演化慢于光学光度的演化。

(3) α_{0x} 分布函数对减速因子 q_0 , 光学段谱指数 α_0 的依赖关系不强。

(4) 最佳弥合 α_{0x} 分布中 X 射线宁静成份几乎为零, 在 95% 置信度其概率小于 8%。这表明 X 射线辐射是类星体中比射电辐射、光学辐射更为普遍存在的一种。研究类星体最早是从射电类星体开始, 后来发现大量射电宁静类星体, 表明类星体光学辐射的重要性。开始探索类星体 X 射线性质以后, 这个结果表明无 X 射线宁静类星体, 而另一方面 X 射线选类星体的光学光度偏低, 因此, 在一定光学观测限制下不排除有光学相对宁静的 X 射线类星体。由此看来, 类星体的 X 射线辐射至少是与光学辐射同等重要, 同时也肯定了 X 射线辐射是发现和选择类星体的有效工具。

(5) 根据 (3) 式, 如果已知光学光度演化函数 $\psi(Z, L_0)$, 则可求全光度演化函数, 并根据 (5) 式作出 X 射线计数的预言, 再与观测结果进行比较。问题是已知的光学光度函数还很不确定, 形式多种, 与观测拟合都有不同的缺陷, 加之混合样品对 (5) 式积分也很复杂。尽管 $\Psi(L_x | L_0, Z)$ 形式已经获得, 但采用各种形式 $\psi(L_0, Z)$ 预言 Einstein 天文台的中灵敏度巡天结果都不佳。而且发现 $\Psi(L_x | L_0, Z)$ 形式比 $\psi(L_0, Z)$ 对 X 射线计数预言的影响更重要些。

六、X 射线选样活动星系核

我们知道活动星系核中 I 型 Seyfert 星系与类星体的差别在于它的低红移、低光度以及形态。一般光学证认很难区分其形态。我们将讨论的 X 射线选择类星体正是具有低光学光度和低红移的特点, 它正处于一般光学选类星体与低光度活动星系核 (以 $M = -23^m$ 为界) 的边界区, 所以我们不需要也很难将其截然分开, 而只笼统地讨论 X 射线选择活动星系核。

X 射线选择活动星系核主要是从 Einstein 天文台中灵敏度巡天以及其他 X 射线巡天的证认中获得。表 3 是对中灵敏度巡天 X 射线源证认的情况。

我们发现证认结果中活动星系核含量很高, 超过 50%。

这些 X 射线选择的类星体有以下性质:

(1) 具有较低的光学光度 L_0 。其绝对星等平均值 $\langle M_0 \rangle$ 为 $-23^m.8$, 一般 $M > -27^m$ 。它正处于类星体与低光度活动星系核的划分区上 (一般光学选类星体: $-23^m > M > -30^m$, 而 Seyfert 的 $M > -23^m$)。因 $L_x \propto L_0^{1/2}$, 故 X 射线光度与光学光度比 $L_x/L_0 \propto 1/L_0^{1/2}$, 低 L_0 有高 L_x/L_0 值。

表 3 Einstein 天文台中灵敏度巡天证认结果

	源 数	证 认 数	活动星系核数
MSS	112	112	56
Reichert	139	40	26
Chanan	>100	36	19
Grendlay	6	6	6

对给定的光学星等,而 X 射线观测在极限流量 $1 \times 80^{-13} \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内,因此优先检测出高 L_X/L_0 的类星体,亦具有低光学光度的类星体。

(2) 具有低红移值。Einstein 天文台中灵敏度巡天中 X 射线选类星体红移平均值 $\langle Z \rangle$ 为 0.5,而 40 个高红移 ($1.8 < Z < 3.0$) 类星体仅 20% 测出其 X 射线流量在 IPC 的极限灵敏度以内。实际上,高 Z 类星体中,低光学光度者也由于距离远、视光度小而不易检测到。

(3) 比之光学选类星体对固定光学光度有更高的 X 射线光度。X 射线选活动星系核平均 $\bar{\alpha}_{OX}$ 为 1.26,小于光学选类星体的 $\bar{\alpha}_{OX} = 1.46$ 。平均说来对固定光学光度 X 射线选活动星系核的 X 射线光度为光学选类星体的 3 倍。

(4) 射电光度比光学选类星体稍亮。定义 R 为射电光度与光学光度之比。X 射线选活动星系核中发现 $R > 10^{0.3}$ 的概率 $G(>R = 10^{0.3}) = 40\%$,而对光学选类星体 $G(>R = 10^{0.3}) = 10\%$ 。这表明高 R 的发现几率较大。

(5) X 射线光度的演化。从 X 射线流量计数发现 $\log N(>S_X)$ 对 $\log S_X$ 图上斜率 $\alpha = 1.7 \pm 0.15$,大于均匀无演化的 $\alpha = 1.5$ 。再从光度体积检验 $\langle V_e/V_a \rangle = 0.64 \pm 0.04$,不为 $1/2$ 。这些都说明演化的存在。在纯 X 射线光度演化假设下演化规律为

$$L_X(Z) = L_X(0) \exp[k_X \tau(Z)],$$

其中 $k_X = 4.87$,对比光学光度演化率

$$L_0(Z) = L_0(0) \exp[k_0 \tau(Z)],$$

其中 $k_0 = 7.3$,这表明 X 射线光度演化慢于光学光度的演化。当推向演化的早期, Z 增大, L_0 增大,为维持 $L_X \propto L_0^{1/2}$, L_X 应增大但应比 L_0 增加慢些。由观测获得的 X 射线光度函数,当 $L_X > 5 \times 10^{43} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $L_X(0) \propto L_X^{-3.6}$,而当 $L_X < 5 \times 10^{43} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $L_X(0)$ 变平。

参 考 文 献

- [1] Giacconi, R. et al., *Ap. J. Lett.*, **234** (1979), L1.
- [2] Piccinotti, G. et al., *Ap. J.*, **253** (1982), 485.
- [3] Tananbaum, H. et al., *Ap. J. Lett.*, **234** (1979), L9.
- [4] Ku, W. H. M., Helfand, D. and Lucy, L. B., *Nature*, **288** (1980), 323.
- [5] Zamorani, G. et al., *Ap. J.*, **245** (1981), 357.
- [6] Schmidt, M., *Ap. J.*, **162** (1970), 371.
- [7] Schmidt, M., *Ap. J.*, **146** (1972), 273.
- [8] Lynds, R. and Wills, D., *Ap. J.*, **172** (1972), 531.
- [9] Wills, D. and Lynds, R., *Ap. J., Suppl.*, **36** (1978), 317.

- [10] Fanti, C., et al., *A. Ap.*, **42** (1975), 365.
[11] Tananbaum, H. et al., *Ap. J.*, **268** (1983), 60.
[12] Avni, Y. and Tananbaum, H., *Ap. J. Lett.*, **262** (1982), L17,
[13] Avni, Y. and Tananbaum, H., *Ap. J.*, **305** (1986), 83.
[14] Schmidt, M. and Green, R. F., *Ap. J.*, **305** (1986), 68.
[15] Mathez, G., *A. Ap.*, **53** (1976), 15.
[16] Mathez, G., *A. Ap.*, **68** (1978), 17.
[17] Owen, F. N., Helfand, D. J. and Spangler, S. R., *Ap. J. Lett.*, **250** (1981), L55.
[18] 程富华, 周又元, 鲍世综, 科学通报, **30**(1985), 826.
[19] Warral, D. M., *Ap. J.*, **313** (1987), 596.
[20] Veron, P., in *Quasars and Gravitational Lenses*, p.210, (1983).
[21] Schmidt, M. and Green, R. F., *Ap. J.*, **269** (1983), 352.
[22] Tananbaum, H. et al., *Ap. J.*, **305** (1986), 57.
[23] Marshall, H. L. et al., *Ap. J.*, **283** (1984), 50.
[24] Maccacaro, T., Gioia, I. M. and Stocke, J. T., *Ap. J.*, **283** (1984), 486.

(责任编辑 刘金铭)

X-ray Emission of Quasars

1. Properties and Evolution of X-ray Luminosity

Zhou Youyuan

(*University of Science and Technology of China*)

Dai Hejung

(*Department of Physics, Haerbin University of Technology*)

Abstract

The results of statistical analysis concerning about the fluxes and luminosities obtained by IPC of Einstein Observatory are reviewed in the paper. The evolutionary properties and relations of the X-ray luminosity with the optical luminosity, the radio luminosity and radio morphology are discussed for a mixed samples of quasars, i. e., optical and radio selected quasar samples as well as X-ray selected samples.