

类星体研究的某些进展

黄克谅

(南京大学天文系)

提 要

本文简介近年来在类星体的形态、红移、连续谱、X射线、巡天和面密度以及演化等方面的研究所取得的进展。

二十年来,类星体的研究一直是一个非常活跃的领域,目前仍然是近代天体物理的前沿之一。虽然类星体研究中的一些基本问题,如高光度、核心能源、红移、吸收线起源等,还没有完全解决,但是,无论从哪方面来看,类星体的研究取得了勿容怀疑的巨大进展。

类星体的研究是多方面的。一方面,类星体作为一类天体,人们通过探测它的射电、红外、光学和X射线辐射,研究类星体的本质,了解它上面发生的物理过程;另一方面,类星体作为一种探针,可以用来研究宇宙物质的分布。正是由于涉及的面很宽,取得的成就也大,未解决的问题也就更多。本文介绍近年来类星体研究中取得的进展。限于篇幅,本文将只限于对类星体的形态、红移、连续光谱、X射线、光学巡天、面密度以及光度函数的演化等方面作简单的介绍。

一、类星体的形态

“类星”是类星体的主要特征之一。但是,由于大气宁静度、探测手段等的影响,这并不一定代表了类星体的真实形态。类星体在许多方面同活动星系很类似,它们之间并没有明显的鸿沟,这暗示类星体可能是某种形式的活动星系核。类星体究竟是不是星系?如果是的话,其基底星系是旋涡星系还是椭圆星系?或者是某种特殊结构的星系?七十年代,许多人试图探测类星体的基底星系,但没有得到肯定的结果。八十年代以来,在这方面出现了许多有趣的工作。

一方面的研究是用照相方法(或 CCD)直接探测类星体基底星系的形态。Wyckoff 等^[1]用照相方法探测了 3C273 周围的星云状物,认为是一个直径约 90kpc 的椭圆星系。Tyson 等^[2]用 Lowell 天文台的 1.8 米镜加上 CCD (3,500—8,500Å) 也探测了 3C273, 得到了类似于文 [1] 的结果。主要的结论是: 3C273 的星云包层是一个颜色很红的“椭圆星系”(不是通常意义下的 E 系), 轴比 $b/a \approx 0.6$, 大部分辐射的波长长于 6,000Å, $M_v \approx -22.5$ (取 $H_0 = 100$, $q_0 = 0$, 并忽略 K 改正), 类似于 NGC4889 (北冕座星系团的一个一级星系)。

1984年8月31日收到。

天文系在上海天体物理前沿讨论会上的报告。

Wyckoff 等^[13]探测了 15 个 $Z < 0.6$ 的类星体, 除两个外, 都探测到了类星体周围的星云状物。Hutchings 等^{[14], [15]}用 CHF 望远镜在极好的大气宁静度 ($\sim 1''$) 条件下得到了 29 个类星体的光学像。类星体红移最大的达 0.45。这 29 个类星体的基底星系都探测到了, 主要的结果是: 核(类星体)光度同星云状物光度之比平均为 0.5, 约为 I 型塞佛特星系 (Sy1) 的 8 倍, 星云的绝对星等 $M_B \simeq -21.5$ (平均热星等 $M_b \simeq -24.6$), 弱于巨椭圆星系, 与塞佛特星系大体相当; 星云的形态(如强度轮廓、 b/a 、强度随至中心的距离的下降方式等)既异于椭圆星系, 又异于旋涡星系, 但类似于 Sy1 星系; 大部分星云是不对称的, 有些似乎有旋涡结构。总的来说, 类星体的星云类似于 Sy1 星系。相比之下, 类星体的核活动更为猛烈。由于大部分 Sy 星系是旋涡星系, 而小部分 Sy 星系是椭圆星系, 因此可以说, 类星体现象既可发生在旋涡星系, 也可发生在椭圆星系。大部分类星体的基底很可能类似于旋涡星系; 只有小部分类星体是椭圆星系, 它们是强射电源, 类似于射电星系。

另一方面的研究是拍摄类星体星云的光谱。Boroson 等^[16]得到了 12 个光学选取的低红移类星体的离核光谱, 发现其中的 10 个嵌在以星光为主的星云包层里, 3 个可能有 MgI $\lambda 5175$ 吸收线, 1 个可能有 H_β 吸收线。他们的研究表明, 这些类星体的基底星系的光度比星系团最亮星系的光度暗 1—2 星等。Balick 和 Heckman^[17]用 KPNO 的 4 米镜探测到了 4 个小红移 ($0.036 \leq Z \leq 0.37$) 类星体周围的星云状物的光谱。其中 0845 + 378 是由 X 射线证认的第一个类星体, 是这种类星体的典型。观测结果表明, 光谱是星系包层所具有的恒星光谱, 其红移与类星体的相同; 类星体星云的大小、形态、绝对星等、光谱特征等与星系相比没有什么明显的不同, 说明两者是类似的。

总之, 近年来的观测直接证明了类星体(至少是低红移类星体)嵌在星系包层里, 类星体是一种星系核活动现象, 基底星系可能是 E 系, 也可能是 S 系, 其光度低于星系团的最亮星系。

二、红 移

红移一直是一个争论不休的问题, 至今还不能说已经彻底解决了。非宇宙学红移的提出, 一方面是由于在解释类星体的物理本质方面理论上碰到了严重困难, 如高光度、能量输运、超光速现象(康普顿灾难)等; 另一方面是观测到一些反常现象, 如亮星系与类星体成协、红移的特殊排列、红移峰值等。

现在看来, 理论上解释类星体现象碰到的困难不是不可克服的, 某些反常现象不一定是真实的(如成协、红移峰值)。虽然某些反常性仍然存在, 需要仔细的研究, 但越来越多的观测事实表明, 至少相当一部分类星体的红移是宇宙学红移。

我们可以举出一些有利于宇宙学红移的观测事实。

Stockton^{[18], [19]}研究了类星体与星系的成协。如果类星体的红移是宇宙学的, 它们就是高光度天体, 因此, 应该在类星体周围去寻找相同红移的低光度星系。为此, 他完成了一个低红移类星体巡天。按照预先给定的标准选取了 27 个类星体, 并在每个类星体周围 $45''$ 的星场内搜索暗星系。结果在 17 个星场中发现了 29 个星系, 得到了 25 个星系的光谱, 其中 8 个星

场中有 13 个星系的红移与相应的类星体的红移相近(差值小于 1,000 公里/秒)。后来在余下的 4 个星系中又观测到 1 个星系的红移为 0.3456, 而对应的类星体的 $Z=0.344$; 未对另外 2 个无红移资料的星系作进一步观测, 因为它们所在的星场中已经观测到至少 1 个星系与类星体的红移相同。这样, 在 27 个星场中有 9 个至少发现 1 个星系与类星体具有相同的红移。由于 Stockton 是预先制定统计方案而后进行统计检验, 因而结果的意义很重大。

类星体的物理性质类似于 Sy1 星系。在 X 射线、两色图上的位置、绝对星等(-24 到 -30) 等方面, 类星体都与活动星系构成连续的序列, 这些都说明类星体是星系。类星体周围的星云状物被直接探测到, 更证明了类星体是星系。

文[7]的研究表明, 类星体星系包层的吸收线的红移与类星体的红移相同。这虽然不能算做宇宙学红移的直接证明, 但至少表明, 产生星系包层的吸收线红移的物理过程与类星体红移机制是一样的。至少也可以这样说, 这一观测结果有利于宇宙学红移。

1979 年发现了引力透镜类星体 0957 + 561A、B^[10], 尔后又发现了成像的星系^[11]。各种研究都表明, 0957 + 561A、B 的确是一对引力透镜类星体。这也暗示, 类星体的红移是宇宙学红移。

Shaver 和 Robertson^[12]得到了 4 个类星体对的光谱, 用以研究共同的吸收线(即两个类星体具有相同红移的窄吸收线)和成协的吸收线(即类星体对的一个类星体的光谱中, 具有红移等于另一类星体红移值的窄吸收线)。结果表明, 引力透镜类星体 0957 + 561A、B 具有共同的吸收线; 而其余三对(0028 + 003 和 0029 + 003; 0307 - 195A、B; 1228 + 076 和 1228 + 077) 都有成协的吸收线, 且都是在高红移类星体的光谱中观测到红移与低红移类星体相同的吸收线。这说明低红移类星体是前景类星体, 有力地支持了宇宙学红移观点。在 0307 - 195A、B 中也观测到共同的吸收线, 其中一组共同的吸收线的红移与前景类星体的发射线红移 ($Z=2.122$) 只差 77 ± 14 公里/秒, 说明这组吸收线产生于前景类星体的晕或盘里。类星体对光谱中出现的共同吸收线, 有利于插入物质的解释, 也间接地有利于宇宙学红移观点。

Shaver^[13]曾提出, 可望探测到河外射电源的 mJy 水平上的射电复合谱线。如果是这样, 就可以直接测定河外射电源的距离。据报道, Brown 观测到 3C245 ($Z=1.03$) 的射电复合线, 定出其距离为 4.9 kpc, 大于按 H_0 给出的值。

总之, 大量的观测结果说明, 至少对相当多的类星体而言, 毫无疑问, 红移是宇宙学的。然而, 反常性依然存在。无论这种“反常性”是否支持了非宇宙学红移, 都值得进一步研究。

Burbidge(见文[14])曾列举了许多反常现象。Arp 同样给出了许多重要的观测事实。

Arp^[15]指出, 在几个亮星系周围的小区域内, 类星体的面密度比平均面密度高 50—100 倍, 而且类星体红移分布倾向于聚集在 $Z=1 \pm 0.2$, 与场类星体的红移分布大不相同。对北银半球的射电类星体样品, NGC1097 周围、NGC520 周围以及玉夫区的类星体密集区的类星体样品, 视星等的分布似乎表明在 $Z \approx 1$ 附近视星等最小(最亮)。这说明 $Z \approx 1$ 的类星体是最亮的, 其光度最大。但南银半球的射电类星体没有这种现象。Arp 认为, 南银半球是本星系群所在的区域, 其距离比较近, 因而各种亮度的类星体都可以看见, $m-Z$ 的分布就不会出现峰值。但北银半球与本超星系团有关, 可以看到室女座星系团的类星体, 而室女团较远, 暗的类星体(即不在 $Z \approx 1$ 附近的类星体)就可能观测不到。

NGC1097 是室女座星系团的成员, 其周围的类星体密集区是一个很有趣的样品。它周围大约有30个类星体, 面密度远比背景高。类星体按方位角的分布也很奇特, 沿喷流的方向类星体数目特多。NGC1097 南北方向各有一个以上的X射线喷流, 北面的喷流较强, 类星体也较多。

某些类星体的特殊排列是一个很引人注目的现象。最有名的例子是 Arp 和 Hazard^[16] 提供的。他们发现, 两个高红移的暗类星体($Z=2.15$ 和 1.72)位于一个低红移的亮类星体($Z=0.51$)两旁, 其位置角只差 $\pm 2''$ 。在 $20'$ 远的地方还有另外一组几乎成一直线排列的三个类星体, 红移几乎对应地相等, 两旁两个的 Z 分别为 2.12 和 1.61 , 中间一个的 $Z=0.54$ 。

除此之外, 还有一些很难理解的现象。如, 迄今尚无确切的证据证明类星体位于红移相同的星系团和超星系团内、为什么类星体不出现在物质较密集的区域等。

反常性看来是存在的, 这需要解释。但是, 大量的有利于宇宙学红移的观测事实也是勿容怀疑的。调和这两种观点的出路似乎是存在两种类星体。然而, 目前要下这种结论还为时尚早。

三、连续谱

粗略地说, 类星体的连续谱可以用幂谱形式表示, $S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$, 平均来说, $\alpha \approx 0.7$ 可能是一个很好的近似。这是一种非热谱, 通常被认为是同步加速辐射。但是, 对相当多的类星体, 至少在光学波段, 并不能用一个简单的幂谱形式完全描述连续谱分布。连续谱还有一些其它的特征。最显著的特征是所谓 $3,000 \text{ \AA}$ 附近的“隆起”。这实际上是叠加在幂谱上的过量辐射。

Neugebauer 等^[17]观测了 24 个类星体和活动星系核, 发现大多数都有连续谱的“隆起”, 其中心在 $3,000-3,750 \text{ \AA}$ 。Richstone 和 Schmidt^[18]得到了 80 个类星体的光谱, 也都有连续谱“隆起”, 中心在 $3,000 \text{ \AA}$ 附近。其它的一些观测也证实了这一现象。

“隆起”现象的解释涉及到类星体中心能源区和发射线区的模型。因此, 探讨“隆起”的性质和起源对了解类星体上发生的物理过程有重要意义。目前的解释似乎倾向于热起源。可能的机制有: 高项巴尔末宽发射线的混合; 发射线区的巴尔末连续发射; 双光子辐射; 黑洞吸积盘的黑体辐射等。^{[19], [20], [21], [22]}

四、X 射线

Einstein 天文台发射以前, 一共只探测到 4 个类星体有X射线辐射。目前, 不仅探测到大量类星体发射X射线, 而且X射线已成为发现类星体的有力手段。

目前, 已发现大量的X射线选取的类星体。这些类星体的平均红移虽高于 Sy 星系, 但低于同样光学星等的光学选取的类星体的红移。这可能是由于X射线光度函数很陡而引起的选择效应所造成的。除此之外, X射线选取的类星体的物理性质与光学选取类星体没有明显差别, 如也存在宽的允许线、窄的禁线、氢线强度比介于 Sy 星系和光学选取类星体之间、X

射线光度 L_x 与光学光度 L_{op} 相关等。文[23]研究了 25 个 X 射线选取的活动星系核样品, 其中大部分是 X 射线选取的类星体, 结果表明 X 射线光度函数没有直接的演化证据。然而, 文[24]研究了 31 个 X 射线选取的类星体样品, 却发现内禀 X 射线性质可能与红移有关。这个问题尚需进一步研究。

类星体的 X 射线光度在 10^{43} — 10^{47} 尔格/秒, 与 Sy 星系和其它活动星系构成连续序列。在类星体 X 射线的统计研究中发现了一些有趣的结果。

最重要的一个结论是, L_x 同 L_{op} 明显相关。早期的研究(如[25],[26],[27]等)就得出了这个结论, 并为以后更多的研究所证实。Blumenthal 等^[28]研究了 26 个低红移类星体, 得到 $L_x \propto L_{op}^{\frac{1}{2}}$, 相关系数为 0.36, 对射电类星体, 相关性更好, 相关系数为 0.54。Tananbaum 等^[29]从 Schmidt 得到的 33 个 3CR 射电类星体的完整样品中, 得到 $L_x \propto L_{op}^{0.47 \pm 0.15}$ 。Zamorani^[30]则得到 $L_x \propto L_{op}^{0.68}$ (射电宁静类星体)或 $L_x \propto L_{op}^{0.71}$ (射电类星体)。Avni 和 Tananbaum^[31]从 73 个光学选取类星体中, 得到 $L_x \propto L_{op}^{0.73}$ 。总之, 可以认为, $L_x \propto L_{op}^b$, $0.5 \leq b \leq 0.75$ 。至于 L_x 与射电光度 L_r , 情况比较复杂。如文[27]的结果表明, L_x 与 L_r (5GHz 处)相关。但对 3CR 类星体, 文[29]的结论是 L_x 与 L_r 不相关。这里可能与射电类星体的射电形态有关。3CR 源多为延展源。对其中的 13 个有致密源的类星体, 则 L_x 与致密源的 L_r (5GHz)相关。

另一个重要结论是: 射电类星体的 X 射线平均来说比射电宁静类星体的强。文[27],[28]都得到了这个结论。文[28]还研究了谱指数, 发现 α_{ro} (射电-光学谱指数)与 α_{ox} (光学-X 射线)逆相关(即 α_{ro} 增加时 α_{ox} 减小), 相关系数 -0.6, 进一步说明射电类星体的 L_x 较大。

文[28]还研究了 L_x 与发射线之间的关系, 发现 L_x 与 $L_{H\beta}$ 相关, $L_{H\beta} \propto L_x^{\frac{1}{3}}$, 相关系数 0.42。但 L_x 与 $w(H\beta)$ (等值宽度)、 $H\beta$ 的全宽度、 $H\beta/[O III]$ 、 $[O III]$ 等没有明显的相关。X 射线与发射线之间的关系对发射线区的模型施加了限制。

X 射线的研究对于了解类星体的辐射机制, 物理过程和整体性质至关重要。在建立产能区乃至发射线区的模型时, 必须考虑 X 射线辐射。只有把各波段的辐射统一起来考虑, 才能建立起合理的模型。

在 X 射线的理论研究方面, 主要是大质量黑洞的吸积模型。Lightman^[32]对吸积模型做了很好的评述。文[33]是用吸积模型解释 X 射线的很好的例子。Tucker 着重研究 L_x 与 L_{op} 相关的问题。他认为, X 射线和光学连续辐射都是星系核心大质量黑洞吸积的产物。光学辐射主要是温度为 10^4 — 10^5 K 的热气体产生的黑体辐射。他假设, 黑洞的质量在 10^8 — $10^9 M_{\odot}$, 吸积率接近 Eddington 极限。光学辐射来自黑洞周围的厚吸积盘, 或者来自辐射压驱动的风。在这两种情况下, 分别有: $L_{op} \propto \dot{m}^{\frac{1}{3}}$ 或 $L_{op} \propto \dot{m}^{\frac{45}{22}}$ 。X 射线辐射则来自吸积的气体, $L_x \propto \dot{m}$ 。因此, $L_x \propto L_{op}^{0.75}$ (厚盘模型)或 $L_x \propto L_{op}^{\frac{27}{45}}$ (风模型)。采用这种模型就可以解释 $L_x \propto L_{op}^b$, $b=0.5$ — 0.8 的观测结果。Tucker 还进一步指出, 如果是薄吸积盘, 吸积率远低于 Eddington 极限, 则 $b=1.5$; 而如果采用同步-康普顿非热辐射模型, 则 $b=1$ — 2 , 都与观测不符。

五、光学巡天和面密度

光学巡天是目前发现类星体的最有效的方法。已证认的两千多个类星体中大部分是用光

学方法发现的。目前,应用光学巡天技术找到的类星体候选者总数估计在1万个以上。光学巡天技术主要包括无缝光谱(物端棱镜)方法、颜色方法、光变方法、零自行方法等。其中,前两种方法用得最多。

自从 Hoag 和 Schroeder^[31]首次应用无缝光谱技术探测类星体以来,人们已在这方面做了大量的工作(最近的工作如[35]、[36]、[37]、[38]等),发现了许多类星体。据报道,仅 Hazard 等所找到的类星体,候选者就达5千多个。Smith^{[39]、[40]}对无缝光谱技术做了详细的描述。

无缝光谱技术的最大优点是能够迅速地发现大量的类星体候选者,探测类星体的命中率较高。由于类星体光谱中的 Ly_{α} 线很强,无缝方法对探测 $1.7 \leq Z \leq 3.2$ 的类星体特别有效。对于小红移类星体或发射线不够强的类星体,这个方法的应用有一定的局限性。无缝光谱方法特别适用于寻找一些有趣的类星体(如:引力透镜类星体、类星体对、具有宽吸收线的类星体、具有窄吸收线的类星体、类星体-类星体成协、类星体-星系成协、特大红移类星体)以及在拍摄有缝光谱之前适用于对用颜色或其它方法得到的类星体候选者进行检验等等。

目前的无缝光谱技术主要是靠人眼巡视。由于这个原因,再加上许多尚未了解得十分清楚的因素,使得难以判断无缝光谱技术得到的类星体样品是否完整,也难以对不完整性进行改正。因此,目前无缝光谱方法得到的样品不宜用来进行类星体空间分布、演化效应以及其它一些方面的统计研究。英国爱丁堡天文台目前正在发展的自动探测技术,也许有助于克服这一缺点。

颜色方法:最常采用的是两色(U、B)和三色(U、B、V)测光,寻找紫外超(UVX)类星体。由于 Ly_{α} 强发射线的影响,UVX 巡天不能探测到 $Z > 2.3$ 的类星体。对于 $Z < 2.3$ 的类星体,UVX 巡天得到的类星体样品的完整性较好。至少,在巡天过程中有一个比较客观的标准,对 UVX 巡天的选择效应进行过详细的讨论,可望对不完整性进行改正。UVX 类星体样品可用于进行各种统计研究。

变光方法和零自行方法:采用这两种巡天方法的人不多,前者如[41]、[42]、[43]、[44],后者如[45]。相当多的类星体有光变,因此,变光方法也不失为发现类星体的有力手段。鉴于目前对类星体光变的统计性质了解得甚少,新的变光类星体样品的发现自然是很有价值的。

全天有多少类星体?或者说,类星体的面密度是多少?要回答这个问题,在进行抽样统计时,需要完整的类星体样品。

第一个光学选取类星体的样品是 Braccesi 等^[46]于1970年给出的。此后,这方面的工作沉寂了很多年,近年来才又出现了大量的用颜色方法进行的巡天研究,如[47]、[48]、[49]、[50]。在近年的工作中特别值得一提的是 Schmidt 和 Green^[51]的工作和 Koo 和 Kron 的工作^[52]。前者是亮类星体巡天,共巡视了北银纬 30° 以上的 10,714 平方度天空,候选者的选择标准是 $U - B < -0.44$ 。候选者总共达 1,800 多个,全部进行了有缝光谱观测,共发现了 92 个 $M_B < -23.0$ 的类星体,如果取 $M_B < -24.0$,则总数为 46 个。这个亮类星体巡天的样品完整性的极限星等 $\bar{B}_{lim} \approx 16$ 。后者的特点是用四色(U、J、F、N)来做巡天。巡天的面积仅 0.29 平方度(选区 68),但样品完整性的极限星等达 23 等。

类星体的面密度取决于观测的极限星等。按照 Schmidt 和 Green^[51]的样品,对 $M_B < -24.0$ 的类星体,面密度 $N(<B) = 0.0043/\text{平方度}$, $B = 16$ 。Braccesi 等^[46]则得到 $N(<B) =$

0.38/平方度, $B=18.27$ 。要求得类星体的总面密度, 必须知道 $N(<B)$ 随 B 的变化规律。对于亮端, Braccesi 等^[53]得到:

$$\log N(<B) = 0.86(B - 18.33)$$

也就是说, 视星等增加 1 等, 类星体数目增加约 7 倍。其他人的结果大体上与此相当,

$\frac{d \log N(<B)}{dB}$ 值最大的也不超过 1。视星等增加时, 上述关系是否永远成立? Koo 和 Kron 的

工作^[52]对此做了回答, 因为他们的类星体样品的极限星等高达 $B \approx 23$ 等。从现有的光学巡天结果来看, $\lg N(<B) - B$ 曲线在 $B \approx 21$ 等时开始变平(图 1), 这意味着微弱的高红移类星体很少。按照 Koo 和 Kron 的巡天^[52], 取 $M_B < -24$, 到 $B \approx 23$ 等为止, 类星体的面密度为 70—140/平方度。

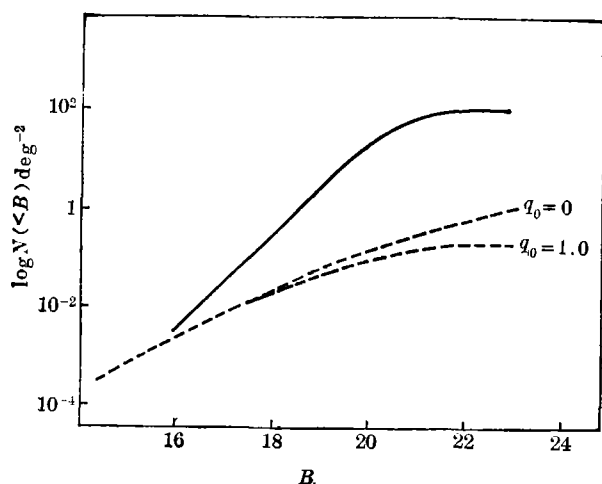


图 1 面密度曲线。实线为观测值, 表明在 $B \sim 21$ 等时开始变平。虚线为没有演化时按文[51]的本地光度函数得到的理论面密度曲线。

六、光度函数、空间密度和演化

1. 准确地求出类星体的光度函数是极重要而又很困难的事情。通常, 光度函数可以取为幂谱形式, 即 $\Phi(L) \propto L^{-a}$, $a \approx 2$ (或 $\Phi(M) \propto e^{bM}$)。对于这种形式的光度函数, 当然必须有一个低光度截断。由于观测极限星等的限制, 观测低光度类星体比较困难; 另一方面, 低光度类星体容易同 Sy 星系混淆, 因此, 低光度端的光度函数形状不易准确地测定。近年来的研究表明, 光度函数取为幂谱是太粗糙了。严格地说, 光度函数不是幂谱。Schmidt 和 Green^[51]的工作指出, 光度函数的斜率随光度的增加而增加, 也就是说, 在低光度端, 光度函数变平了。

2. 类星体的空间分布是否均匀? 或者说, 是否与红移 Z 有关? 检验均匀性的方法有两种。一是计数, 在恒星统计和河外射电源空间分布的研究中早就用了这种方法。另一是所谓 $\langle V/$

V_{\max} 检验, 这个方法是 Schmidt 于 1968 年提出的^[54], 是目前最常用的检验方法。在 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 检验中, V 指一组完整样品中某一类星体所占据的体积, 即与其红移 Z 相对应的距离 r 所包含的体积。 V_{\max} 为该类星体可能占据的最大体积, 即对应于最大红移 Z_{\max} (或 r_{\max}) 的体积。 Z_{\max} 是这样来确定的: 如果该类星体的红移为 Z_{\max} , 则其流量(或视星等)正好等于该组完整样品的流量(或视星等)极限, 也就是该类星体正好仍属于该组完整样品。Schmidt 指出, 如果类星体的空间分布是均匀的, 即空间密度与红移无关, 则对于一组完整样品, V/V_{\max} 的平均值 $\langle V/V_{\max} \rangle = 0.5$ 。Avni 和 Bahcall^[55] 更严格地讨论了 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 检验, 并把它推广到更复杂的情形。

Schmidt^[54] 讨论了 3CR 的 40 个类星体组成的完整样品, 得出 $\langle V/V_{\max} \rangle = 0.69$ (取 $q_0 = 0$) 或 0.70 ($q_0 = 1$)。以后, 大量的研究(如 Olson^[56], Wills 和 Lynds^[57] 对 4C 表中的类星体, Masson 和 Wall^[58], Wills 和 Lynds^[57] 对 $\text{PKS} \pm 4^\circ$ 的类星体, Schmidt 和 Green^[51] 对亮类星体以及许多其它样品)都表明 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 并不等于 0.5, 其值在 0.6—0.7 之间。更仔细的研究表明, $\langle V/V_{\max} \rangle$ 值可能与类星体的次型有关:

(i) 射电平谱类星体的 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 值相对较小, 而射电陡谱类星体的值较大。如 3CR、4C 源的 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 分别为 0.64 和 0.69, 但其中平谱类星体的 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 为 0.52; $\text{PKS} \pm 4^\circ$ 源的 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 为 0.62, 但平谱源为 0.58 等等^[59]。

(ii) 高光度类星体的 $\langle V/V_{\max} \rangle$ 较大, 低光度的较小。Petrosian^[60] 根据 Linds 等人得到的光学选取的类星体样品, 得到 $\langle V/V_{\max} \rangle = 0.76$ (高光度) 和 0.55 (低光度)。其他人的研究有类似的结果。

3. 演化

$\langle V/V_{\max} \rangle$ 检验的结果表明, 类星体空间分布的均匀性的假设不再成立。事实上, 类星体计数的结果也偏离了均匀分布时的理论计数曲线(图 1)。因此, $\langle V/V_{\max} \rangle$ 检验和计数结果本质上是一致的。这说明存在着某种演化效应, 即类星体的空间密度(或光度)随红移(或宇宙时)而演化。可能有三种形式的演化:

(i) 纯密度演化。即类星体光度函数的形状不演化(与 Z 无关), 但空间密度是 Z 的函数。设 $\Phi(M, Z)$ 为红移 Z 处单位体积内绝对星等在 $M \rightarrow M + \Delta M$ 之间的类星体数目, 则在纯密度演化的情形中, $\Phi(M, Z)$ 可分成独立的两部分:

$$\Phi(M, Z) = \rho(Z)\Phi(M, 0)$$

$\Phi(M, 0)$ 为本地光度函数。如果它是归一化的, 则 $\rho(Z)$ 就代表了空间密度。 $\langle V/V_{\max} \rangle > 0.5$ 说明空间密度随 Z 而增加, 即远处的密度大, 近处的密度小。

(ii) 纯光度演化, 即光度函数的形状和空间密度不变化, 但在不同的红移处光度函数沿着光度轴平移了一段距离。在纯光度演化情形, 可写为

$$\Phi(M + 4M, Z) = \Phi(M, 0)$$

$\langle V/V_{\max} \rangle > 0.5$ 说明光度随红移而增加, 远处的类星体亮, 近处的暗, 类星体随着宇宙时而变暗。

(iii) 混合演化, 即既不是纯密度演化, 也不是纯光度演化, 而是两者兼而有之。在混合演化的情形, 空间密度和光度函数都随 Z 变化。

许多人研究了纯密度演化。演化的形式可取为 $\rho(Z) \propto (1+Z)^a$, a 为常数。最初, Schmidt^[54] 的研究中就是取的这种形式。也可取 $\rho(Z) \propto e^{b\tau(Z)}$, b 为依赖于光度的常数, $\tau(Z)$ 为“往后看”的时间, 研究表明, 指数形式似乎优于 $(1+Z)^a$ 形式。

也有许多人讨论纯光度演化。文[61]认为, 纯光度演化能够较好地拟合观测资料。文[61]还得出光度演化的一种简单形式:

$$L(t) = L(t_1)e^{(t_1-t)/t_0}$$

其中 t, t_1 为宇宙时, t_0 为演化时标。

近年来用大量的类星体样品研究演化效应, 倾向于如下的结论:

(i) 纯光度演化和纯密度演化都不能很好地拟合观测资料。看来, 比较符合实际情况的是混合演化。

(ii) 高光度类星体比低光度类星体演化得快。

(iii) 射电平谱类星体可能演化得很缓慢或者不演化。

(iv) 大红移 ($Z > 1$) 类星体比小红移类星体 ($Z < 1$) 演化得快。

(v) 演化规律可能不是简单的指数形式, 至少对 $Z < 2.3$, 可能如此。

(vi) 在 $Z = 3.0 - 3.5$, 演化可能停止了。由于 $Z > 3.0$ 的类星体很少, 这一点相当不确定。

个别的研究者对类星体的演化持否定态度。Stewart 和 Hawkins^[62] 基于 Burbidge 等编的类星体表, 得出了不演化的结论。他们^[63] 对 V/V_{\max} 检验提出了一种新的解释, 认为: 当红移很小时, 类星体常会被证认为其它活动星系, 因此, 只在 Z 大于某个 Z_1 时类星体才存在。

修正的 V/V_{\max} 检验应该是 $\frac{V - V_1(Z_1)}{V_{\max} - V_1(Z_1)}$, $V_1(Z_1)$ 为对应于最小红移 Z_1 的体积。取适当的

Z_1 值后可使 $\left\langle \frac{V - V_1(Z_1)}{V_{\max} - V_1(Z_1)} \right\rangle$ 与观测值 $0.6 - 0.7$ 符合。然而, Avni 和 Schiller^[64],

Wills^[65] 等人都指出, 这种解释是不合理的。

参 考 文 献

- [1] Wyckoff, S. et al., *Ap. J. Let.*, **242** (1980) L59.
- [2] Tyson, J. A. et al., *Ap. J. Let.*, **257** (1980) L1.
- [3] Wyckoff, S. et al., *Ap. J.*, **247** (1981), 750.
- [4] Hutchings, J. B. et al., *Ap. J.*, **247** (1981), 743.
- [5] Hutchings, J. B. et al., *Ap. J.*, **262** (1983), 48.
- [6] Boroson, T. A. et al., *Ap. J.*, **263** (1983), 32.
- [7] Balick, B. and Heckman, T. M., *Ap. J. Let.*, **265** (1983), L1.
- [8] Stockton, A., *Ap. J.* **223** (1978), 747.
- [9] Stockton, A., *Nature*, **274** (1978), 342.
- [10] Walsh, D. et al., *Nature*, **279** (1979), 381.
- [11] Young, P. et al., *Ap. J.*, **241** (1980), 507.
- [12] Shaver, P., and Robertson, J. R., ESO Scientific Preprint, No.253, (1983).
- [13] Shaver, P., in Proceedings of a workshop held in Ottawa, Canada, p.247, (1980).
- [14] Burbidge, G. R., IAU Symp., No.92, p.99, (1980).

- [15] Arp, H. 24th Liege International Astrophysical Symposium, p.307, (1983).
- [16] Arp, H. and Hazard, C., *Ap. J.*, **240** (1980), 726.
- [17] Neugebauer, G. et al., *Ap. J.*, **230** (1979), 79.
- [18] Richstone, D. O. and Schmidt, M., *Ap. J.*, **235** (1980), 361.
- [19] Baldwin, J. A., in *Active Galactic Nuclei*, p.51, ed. by Hazard, C. and Mitton, S., Cambridge University Press, (1979).
- [20] Malkan, M. A. and Sargent, W. L. W., *Ap. J.*, **254** (1981), 22.
- [21] Ulrich, M. H. et al., *MNRAS.*, **192** (1980), 561.
- [22] Puetter, R. C. et al., *Ap. J.*, **257** (1982), 487.
- [23] Kriss, G. A. and Canizares, C. R., *Ap. J.*, **261** (1982), 51.
- [24] Maccacaro, T. et al., *Ap. J. Let.*, **266** (1983), L73.
- [25] Tananbaum, H. et al., *Ap. J. Let.*, **234** (1979), L9.
- [26] Ku, W. H. W. et al., *Nature*, **288** (1980), 323.
- [27] Zamorani, G. et al., *Ap. J.*, **245** (1981), 357.
- [28] Blumenthal, G. R. et al., *Ap. J.*, **257** (1982), 499.
- [29] Tananbaum, H. et al., *Ap. J.*, **268** (1983), 60.
- [30] Zamorani, G., *Ap. J. Let.*, **260** (1982), L37.
- [31] Avni, Y. and Tananbaum, H., *Ap. J. Let.*, **262** (1982), L17.
- [32] Lightman, A. P., *Space Science Review*, **33** (1982), 335.
- [33] Tucker, W. H., *Ap. J.*, **271** (1983), 531.
- [34] Hoag, A. A. and Schroeder, J. D., *PASP*, **82** (1970), 1141.
- [35] He, X-T. et al., 2th IAU Asia-Pacific Regional Meeting, Bandung, Indonesia, (1983).
- [36] Crampton, D. and Rensing, M. *PASP*, **94** (1982), 440
- [37] Savage, A. et al., *MNRAS.*, **204** (1983), 365.
- [38] Chen, J-S., *A. Ap.* **134** (1984), 306.
- [39] Smith, M. G., *Vistas in Astronomy*, **22** (1978), 321.
- [40] Smith, M. G., *Investigating the Universe*, p.151, ed. by F. D. Kahn, Reidel Publishing Company, (1981).
- [41] Hawkins, M. R. S., *MNRAS.*, **202** (1983), 571.
- [42] Usher, P. et al., *Ap. J.*, **269** (1983), 73.
- [43] Netzer, H. and Sheffer, Y., *MNRAS.*, **203** (1983), 935.
- [44] Huang, K-L and Usher, P., *Ap. J. Suppl.*, **56** (1984), 3.
- [45] Kron, R. G. and Chiu, L. -T. G., *PASP.*, **93** (1982), 397.
- [46] Braccési, A. et al., *A. Ap.*, **5** (1970), 264.
- [47] Usher, P. and Mitchell, K. J., *Ap. J., Suppl.*, **49** (1983), 27.
- [48] Marsher, H. L. et al., *Ap. J.*, **269** (1983), 42.
- [49] Morton, D. C. and Tritton, K. P., *MNRAS.*, **198** (1982), 669.
- [50] Huang, K-L. and Usher, P., *Ap. J. Suppl.*, (1984) (in press).
- [51] Schmidt, M. and Green, R., *Ap. J.*, **269** (1983), 352.
- [52] Koo, D. C. and Kron, R. G., *A. Ap.*, **105** (1982), 107.
- [53] Braccési, A. et al., *A. Ap.*, **85** (1980), 80.
- [54] Schmidt, M., *Ap. J.*, **151** (1968), 393.
- [55] Avni, Y. and Bahcall, J. N., *Ap. J.*, **235** (1980), 694.
- [56] Oslon, E. T., *A. J.*, **75** (1970), 764.
- [57] Wills, D. and Lynds, R., *Ap. J. Suppl.*, **35** (1978), 317.
- [58] Masson, C. R. and Wall, J. V., *MNRAS.*, **180** (1977), 194.
- [59] Schmidt, M., *IAU Symp. No.79*, p.289, (1978).
- [60] Petrosian, V., *Ap. J.*, **183** (1973), 359.
- [61] Mathez, G., *A. Ap.*, **53** (1976), 15; *A. Ap.*, **68** (1978), 17.
- [62] Stewart, N. J. and Hawkins, M. R. S., *Nature*, **276** (1978), 163.

- [63] Hawkins, M. R. S. and Stewart, N. J., *Ap. J.*, 251 (1981) 1.
[64] Avni, Y. and Schiller, N., *Ap. J.*, 68 (1978), 17.
[65] Wills, D., *Ap. J.*, 270 (1983), 48.

(责任编辑 谢应纯)

Some Progresses on Quasar Research

Huang Keliang

(*Department of Astronomy, Nanjing University*)

Abstract

This paper reviews some progresses in the field of quasar research made in recent years in morphology, redshift controversy, continuous spectrum, x-ray emission, optical survey, surface density and evolution of luminosity function, etc.