

星系的红外观测研究

陈培生

(中国科学院云南天文台)

提 要

本文综述了连同红外天文卫星(IRAS)观测在内的对河外星系的红外观测研究的现状,其中包括椭圆星系,透镜星系,旋涡及棒旋星系等正常星系,也包括类星体,塞弗特星系及蝎虎BL天体等特殊星系以及星暴星系。本文还讨论了各种星系红外发射可能存在的辐射机制,并对某些红外观测结果提出了看法。

一、引 言

在各类银河系天体红外研究蓬勃发展之时,河外星系的红外观测研究就一直为人们所关注。最早的河外星系红外辐射的研究开始于1966年,这是Johnson对一些正常星系的近红外测光^[1]。1970年后Kleinmann及Glass等则相继将观测扩大到包括类星体,塞弗特星系,射电星系等特殊星系的范围^[2,3]。70年代末期,由于若干大口径红外望远镜的相继建立,以及KAO机载天文台的应用,特别是进入80年代以来红外天文卫星(IRAS)的发射,使星系的红外观测研究进入了一个崭新的时代,红外天文学对于河外天体的研究展现出一系列富有意义的甚至是惊人的结果。从邻近星系的形成,其核心的性质,包括星系的基本参量——质光比的求得和修正,直到基本宇宙参数的测定,都证明红外观测对这些天体的研究具有根本的重要性。特别是在红外波段具有超高亮度的活动星系,星暴星系以及红外类星体的发现,连同对其红外辐射本质的研究,是现代天文学最富有生命力的领域之一。

本文将分四个部分对河外星系的红外研究作逐一介绍。首先是涉及包括椭圆星系,透镜星系,旋涡及棒旋星系在内的正常星系。其次是活动星系,这主要包括类星体,塞弗特星系和蝎虎BL天体,然后是星暴星系。最后简要讨论各种星系中可能存在的红外发射的辐射机制。文中还对某些观测结果提出了看法。

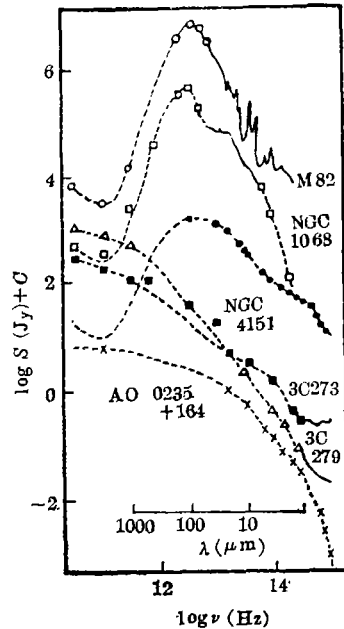


图1 典型河外星系的红外能谱

为了便于进行讨论,在图 1 中给出了有代表性的各种类型星系的红外能谱分布图^[4],其中包括旋涡星系 M82, I 型塞弗特星系 NGC4151, II 型塞弗特星系 NGC 1068, 类星体 3C273 和 3C279 以及蝎虎 BL 天体 AO 0235 + 164.

二、正常星系

在正常星系中主要的组成部份是恒星,因此其累积光谱的主要部份是恒星的吸收谱。这也反映在其形态分类上,正如众所周知的椭圆星系光谱型最晚,而不规则星系光谱型最早。

对椭圆星系的红外研究主要集中在近红外波段,其主要目的是弄清其中的恒星种类和分布情况以及星系中金属含量的分布。图 2(a)示出了椭圆星系的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图^[5],图中还画出了 M 型巨星的分布区域(虚线是笔者所加的)。可以看出以上两种天体的双色分布区域几乎完全相同。此外在椭圆星系上已探测到在巨星上强而在矮星上并不存在的 $2.3\mu\text{m}$ CO 吸收^[4]。以上都说明,在这类星系中起支配作用的恒星是晚型巨星。另外,由于发现椭圆星系能量发射的峰值在近红外^[6],这不仅证明了以上结论,而且对过去仅由可见光观测得到的质光比有重要的修正,实际上对大多数椭圆星系而言,质光比大致为 5—10。

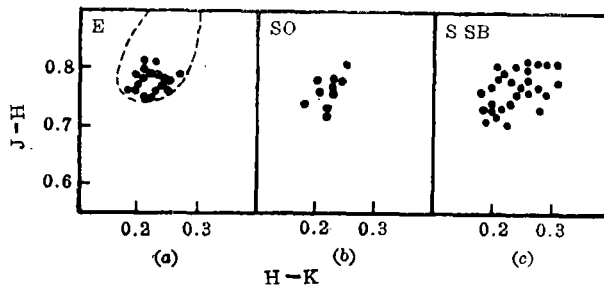


图 2 正常星系的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图

系而言,质光比大致为 5—10。

结合可见光观测可以知道,对于椭圆星系,越朝向中心其色指数 $V-K$ 普遍变得越红,这表明越朝向中心其金属含量越高^[4],这是因为金属含量的增加使大量存在的金属谱线降低了 V 波段亮度的缘故。此外,观测还表明在一切椭圆星系中 $2.3\mu\text{m}$ CO 吸收几乎完全相同,而与色指数 $V-K$ 的变化无关^[4],这表明也许由于金属性的增强,在 $2.3\mu\text{m}$ 的 CO 吸收已近于饱和。

在 $10\mu\text{m}$ 波长上的观测表明,椭圆星系光度很低,其中大约 1/3 的光度来自晚型巨星的光球,1/3 来自这些巨星的拱星壳层,还有 1/3 来自星系核中心可能存在的特殊天体^[7]。IRAS 对椭圆星系的观测表明,在 $60\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 已非常暗,实际上 IRAS 也仅能观测到极少数椭圆星系,其平均远红外光度仅为 $L_{IR} \leq 5 \times 10^5 L_\odot$ ^[8]。由于远红外辐射主要体现了冷尘埃发射的贡献,加上在椭圆星系中几乎观测不到 21cm 氢线,可以说明在椭圆星系中几乎不含冷的尘埃和气体。

椭圆星系近红外观测结果最重要的应用是确定宇宙减速因子 q_0 的演化改正,关于此可参看文献[4],在此不再赘述。

对于透镜星系,其 $(J-H)-(H-K)$ 双色图示于图 2(b)^[5]。由图中可见,其分布与椭圆星系极为类似,这说明其中起支配作用的恒星也是晚巨星。 $10\mu\text{m}$ 观测表明,其光度的大约 1/2 来自晚型星的光球和拱星壳层,但另外 1/2 尚不知其来源,也许也来自于其核区

的特殊天体^[7]。IRAS 观测也表明, 与椭圆星系类似, 在 $60\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 透镜星系的样品很少, 其远红外光度 $L_{IR} = 5 \times 10^8 L_{\odot}$, 其中大约 40% 来自核区的恒星形成的过程^[8]。

对于旋涡星系(包括棒旋星系), 可以从银河系中清楚地看到许多红外辐射特征。事实上, 银河系是存在中等红外发射旋涡星系的最好研究对象。这类星系的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图也示于图 2(c)^[9]。由图中可以看出, 虽然其分布比椭圆星系弥散, 但基本上处于同一区域。同时, $2.3\mu\text{m}$ CO 观测也表明巨星在其中起主要作用^[4], 因此对这类星系, 在近红外起支配作用的恒星也是晚巨星。此外对旋涡星系更长波长的红外观测表明, 虽然其 JHK 色与晚巨星合成谱类似, 但 L 波段上普遍存在红外超, 到了 $10\mu\text{m}$ 这种红外超更明显, 有的甚至还观测到有硅酸盐吸收^[5]。以上结果说明, 这类星系中存在尘埃的热发射, 不少这类星系的中心区域(例如银心)被严重消光也说明了这一点。进一步的研究表明, 在这类星系的核区, $10\mu\text{m}$ 流量与其形态类型并不相关, 也不因其是否存在旋棒而异。银河中心及几个邻近旋涡星系, 例如 NGC 253、NGC 2903 的 $10\mu\text{m}$ 观测的分析还表明, 这种中红外辐射大部份来自新形成的恒星及其周围的气尘物质, 从其 $10\mu\text{m}$ 流量可以推得在旋涡星系的核区大约每年有 $0.1-3M_{\odot}$ 的质量转化为 OB 星^[9]。对早于 Sbc 的旋涡星系, 也观测到色指数 $V-K$ 向中心逐渐红化的趋势, 虽然与椭圆星系相比这种趋势并不太明显, 但仍反映出这类星系中金属含量的变化。但对晚于 Scd 的旋涡星系则情况就不一样了, 有的显示出相当大的颜色梯度, 有的甚至朝向中心颜色变蓝, 这意味着在这类星系的中心区域有大量恒星正在形成^[4]。IRAS 对旋涡星系的探测表明, 原在近红外已探知的样品绝大部分在 $60\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 也已探测到, 这说明旋涡星系在远红外远比椭圆星系明亮, 表明其中含有大量冷气尘物质。且观测还发现, 形态类型越晚, 冷气尘物质越多, 这也预示着存在更优越的恒星形成的条件^[7]。此外, 近来的观测还表明, 从总体上说, 棒旋星系比无棒的旋涡星系有明显高的 $10\mu\text{m}$ 光度, 且其 $12\mu\text{m}/25\mu\text{m}$ 流量密度也比后者低, 这意味着在棒旋星系中存在更多的恒星形成的活动^[8]。

目前对不规则星系的红外研究并不多, 但初步结果表明其色指数 $V-K$ 比晚型旋涡星系更蓝, 且尘埃含量更大, 发射线也更多^[4]。

总起来说, 在正常星系中红外辐射的机制主要是热发射。在近红外波段不管是何种类型, 基本上都主要来自晚型巨星的贡献。但在中远红外波长, 从椭圆星系→旋涡星系→不规则星系, 其光度逐渐增加, 尘埃的贡献也越来越明显, 大质量恒星形成的几率也越来越高。

三、特殊星系

这类星系区别于正常星系的主要特点在于星系核的激烈活动, 主要包括类星体, 塞弗特星系和蝎虎 BL 天体三类。各种类型典型例子的红外能谱已示于图 1 中, 以下将分别讨论对它们的红外研究的情况。

类星体的红外研究始于 1970 年, 这是对 3C273 进行的近红外观测^[10]。经过多年观测研究表明, 从可见到红外一直到射电波段, 类星体的辐射主要是非热的同步加速辐射, 绝大部

份类星体的红外谱均可用一个谱指数 $\alpha = 1.2 \pm 0.5$ 的幂律来拟合^[4,11]。从能谱分布上看,类星体至少可以分为两大类,其中一类谱型类似于 3C273(见图 1),虽然其在红外波长上存在单一幂律的谱,但从可见到红外波段并不能用统一的谱指数拟合,这表明在可见和红外其辐射来源并不完全相同。这种类星体在红外光变不明显,变幅也不大,只测到少量偏振。另一类类星体以 3C279 为代表,从可见到红外一直到射电波段几乎都可以用单一幂律来拟合其能谱(见图 1)。这类类星体在红外光变剧烈,变幅也大,且有明显的偏振特性^[4]。

对类星体的 JHK 测光结果示于图 3^[11]。其中直线②和①分别为双色图中的 $F_\nu \sim \nu^{-\alpha}$ 及黑体分布(其中①为笔者所加)。按红移 Z 的不同已将所观测的类星体用不同符号在图中表示出。由图 3 明显看出,大部份类星体都处于黑体线右侧并更靠近幂律线,这说明类星体在近红外大都存在红外超,且其近红外辐射大多显示出幂律谱的特征。另外还可看出低红移类

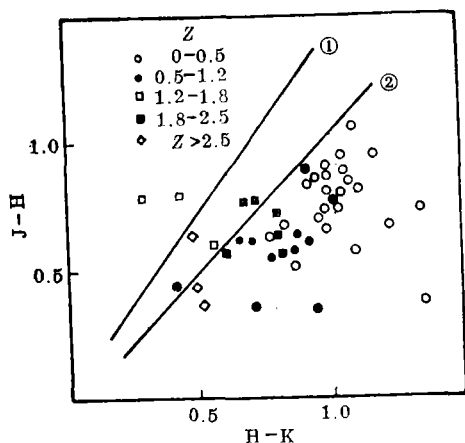


图 3 类星体的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图

星体 ($Z < 1.2$) 几乎全分布于幂律线右侧,有很大的红化,且有 Z 增加后色指数 $(J-H)$ 和 $(H-K)$ 均变蓝的倾向,而对红移相对大的类星体 ($2.5 > Z > 1.2$) 这种趋势并不明显。近来对更大红移类星体 ($3 \leq Z \leq 3.87$) 的观测表明,当 Z 近于 3 后,随着 Z 的增加,色指数 $(J-H)$ 变蓝,但色指数 $(H-K)$ 却变红了。这是因为相对于 $Z=0$ 时的 2798 \AA 的 Mg II 和 $2200-2700 \text{ \AA}$ 的 Fe II 发射线现在移到了 J 带上,而 H_α 线和 4959 \AA , 5007 \AA 的 $[\text{O III}]$ 发射线移到了 K 带上,前者增加 J 带的亮度,后者增加 K 带的亮度,而且 Z 越大后其作用越明显^[21]。

观测发现,不管是类星射电源还是射电宁静类星体,其近红外特性均如上所述,而没有什么差别。但 IRAS 曾对三个类星射电源和两个射电宁静类星体作过测量,其能谱分布及远

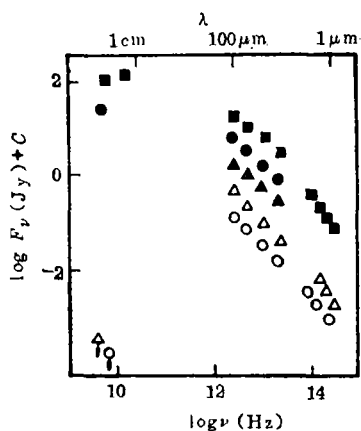


图 4 类星射电源和射电宁静类星体的能谱

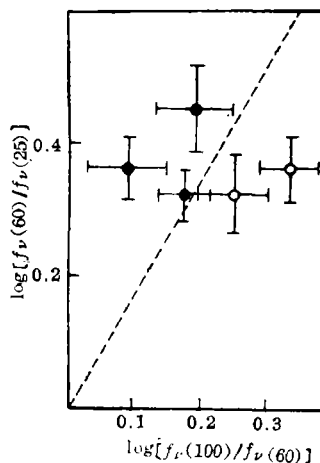


图 5 类星体的远红外双色图

红外双色指数图分别示于图 4 和图 5^[12], 后一图中虚线代表幂律线, 两图中实心符号均为类星射电源, 空心符号为射电宁静类星体。从以上两图不难看出, 在中远红外这两类类星体的能谱分布也没有明显差别, 在近红外的 $F_{\nu} \sim \nu^{-1.2}$ 的关系可以一直延伸到 $100\mu\text{m}$ 。但相对于幂律分布而言类星射电源的 $100\mu\text{m}$ 通量显得不足, 表明这种天体在红外几乎没有尘埃热发射的贡献, 其在远红外的能谱分布与光学薄和光学厚同步辐射之间的跃迁区很好地一致。对于射电宁静类星体, 则存在相对于幂律的超量 $100\mu\text{m}$ 发射。结合这类天体在近红外往往存在展源结构看来, 可能在其周围存在旋涡结构。当然, 由于对这两类射电源的远红外观测样品还太少, 以上情况是否普遍存在还需要更多的观测加以验证。此外, 为了补充如图 4 中 IRAS 波段到射电厘米波段间的情况, 有人对一些射电类星体作过 $870\mu\text{m}$ 和 $1300\mu\text{m}$ 的观测。观测表明不论对上述那种射电源, 常发现在亚毫米波长其能谱分布发生倒转, 而其能谱的极大值常处于大于 IRAS 波长的远红外范围, 这可能是由于星系活动核加热了周围的尘埃后形成的热发射所导致的^[22]。

在类星体的红外观测中最值得一提的是两个红外类星体 IRAS 13349 + 2438 和 IRAS 00275 - 2859 的发现^[13,14], 它们在可见和射电波段十分暗而在红外明亮, 可能预示着一一种新类型的类星体, 在其中正在经历猛烈的恒星形成的过程。

虽然对类星体已有不少红外观测研究结果, 但仍存在不少尚待进一步解决的问题。例如前面提到的射电宁静类星体有可能作为一个奇异天体处于旋涡结构的核内, 这还需要更多的观测加以验证。对那些高红外光度、变化剧烈的类星体的产能机制, 仍存在不少理论上的困难。红外类星体的发现更对类星体的分类和其辐射机制提出了挑战。

塞弗特星系是普遍具有红外超发射的特殊星系, 其典型例子 NGC 1068 和 NGC 4151 的能谱已示于图 1^[4]。由该图可见, 塞弗特星系大部份的发射能量处于红外区, 在 $3.6-10\mu\text{m}$ 区域若用幂律近似拟合, 则谱指数在 $0.5 \leq \alpha \leq 2.5$ 的范围。图 6 示出了这类星系的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图^[15]。其中处于图左的圆圈表示由晚巨星起支配作用的正常星系所在位置, 处于图右的圆圈表示已作过红移改正的类星体所处的位置, 直线②表示 $F_{\nu} \sim \nu^{-\alpha}$ 幂律分布, 直线①表示黑体分布(系笔者所加)。由此图可见, 在近红外塞弗特星系恰好处于以上两类天体之间, 因此塞弗特星系的近红外发射理应同时具有热辐射和非热辐射的成份,

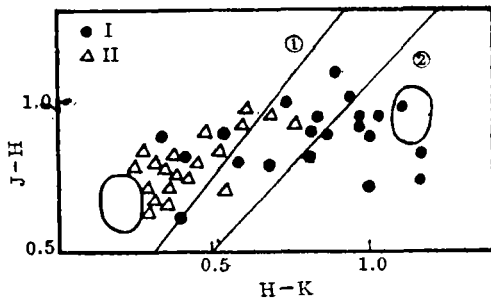


图 6 塞弗特星系的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图

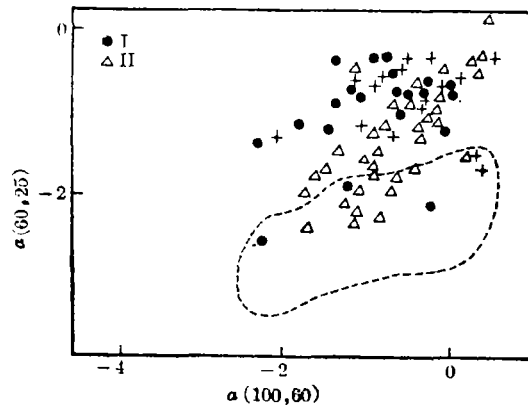


图 7 塞弗特星系的 IRAS 谱指数

也就是说, 可用一个正常星系和一个处于其中心的类星体来很好地拟合塞弗特星系的近红外能谱, 这从图 1 也可看出。图 7 则示出塞弗特星系在 IRAS 波段的谱指数分布^[16], 图中 + 字表示类星体, 虚线区为正常星系范围。可以看出在中远红外, 塞弗特星系仍处于正常星系和类星体之间, 仍可用这两类天体的合成发射来拟合。另外, 由图 6 和图 7 也可看出, 两类塞弗特星系的红外发射也有明显的差别, I 类更靠近类星体区, 而 II 类则靠近正常星系区。此外, 一般说来 I 类的谱较为平坦(见图 1), 且从可见到红外有基本平滑的近似幂律的能谱分布, 这意味着非热发射在其中起了主导作用。对于 II 类则谱较为陡峭(见图 1), 且在 $10\mu\text{m}$ 普遍存在强的硅酸盐吸收, 这说明热发射机制起了主导作用。

在将塞弗特星系的红外发射能量与其他波段相比较时, 也发现 I 类和 II 类有明显区别。对于红外与可见波段能量之间的关系, 可以定义一个量 R ^[16]:

$$\log R = \log \left[\frac{(\nu F_{\nu})_{3.5\mu\text{m}}}{(\nu F_{\nu})_{0.36\mu\text{m}}} \right] = \frac{(U-L) - 4.47}{2.5} \quad (1)$$

对于 I 类有 $0.3 < R < 2.6$, 其中 70% 处于 $0.4 < R < 1.6$, 平均言之 $\bar{R} = 0.9$; 但对 II 类一般有 $R > 2$ 。对于红外与 X 射线的关系也可定义一个量 P ^[16]:

$$P = \frac{(\nu F_{\nu})_{3.5\mu\text{m}}}{(\nu F_{\nu})_{8\text{keV}}} \quad (2)$$

对 I 类 $0.8 < P < 5.4$, 平均 $\bar{P} = 2.6$; 但对 II 类一般 $P < 30$ 。对于射电波段与(2)式相类似, 同样可定义一个 $3.5\mu\text{m}$ 与 21cm 流量的比值, 这时对 I 类该比值处于 1—10 之间, 对 II 类则为 0.1—1。当然塞弗特星系的分类并不是绝对的, 例如 0421+040 P06 就是一个介于两者之间的典型例子^[17]。

特殊星系中最“特殊”的一种就是蝎虎 BL 天体, 它有很高的红外光度, 比之其他星系有更扁平的幂律能谱(见图 1 中的 A00235+164), 但由于存在可见和红外相关的迅速而剧烈的光变, 观测起来更加不易, 也给理论上的探讨带来了困难。图 8 示出了蝎虎 BL 天体的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图^[17]。图中直线②为幂律分布, 直线①为相应黑体分布(系笔者所加)。由图可见, 这类天体对称而紧密地分布在幂律线两旁, 因此除了非热的幂律分布外,

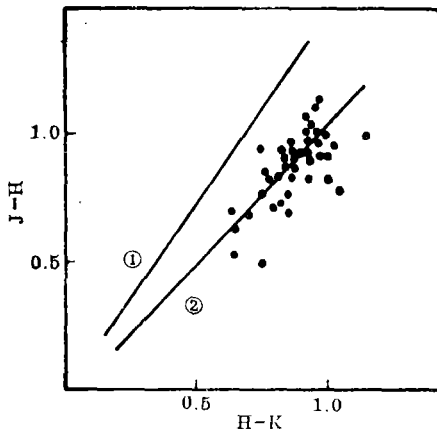


图 8 蝎虎 BL 天体的 $(J-H)-(H-K)$ 双色图

已完全没有必要对其红外发射假设任何别的机制了。由于蝎虎 BL 天体一般在光学波段测不到发射线, 给其红移大小的测量带来了困难, 但从与之成协的其他星系或气体所产生的吸收线测量可以发现, 与类星体不同, 其谱指数与红移无关^[17]。另外对一些样品的近红外分光观测也发现^[17], 其能谱分布相当平滑, 既无吸收也无发射, 呈一平滑的连续谱。这说明在这类天体中几乎不存在导致吸收或发射的尘埃和气体。联系在蝎虎 BL 天体上普遍观测到近红外的强偏振和迅猛的光变看来, 这类天体的发射机制确实是非热的同步辐射。

IRAS 也观测到了几个蝎虎 BL 天体, 主要在 $60\mu\text{m}$ 波段。对于 $L > 3 \times 10^{10} L_{\odot}$ 的样品, 可用同步谱很好地拟合其红外谱, 且各样品的模型参数例如倒转频率异常相似。然而对于 $L < 3 \times 10^{10} L_{\odot}$ 的样品, 则也可能存在少量由核加热了的尘埃的热发射贡献^[8]。

另外, 从射电厘米波段测到的谱指数 $\alpha \sim -0.1$ 和红外波段 $\alpha \sim 1.2$ 看来, 蝎虎 BL 天体的红外发射与射电发射之间没有明显的相关。而由(1)式得到其 R 可达 10—100 之大, 由(2)式可得其 $P \sim 1$, 这说明与可见光相比其红外辐射比塞弗特星系强得多, 但却有相对低的 X 射线光度。

四、星暴星系

早在 70 年代末期就有证据表明, 在某些旋涡星系和不规则星系中, 恒星的形成发生于强烈的爆发中, 而不是一种缓慢连续的过程^[23]。1981 年 Weedman 等首先将“星暴星系”这一词用于 NGC 7741 上, 而对星暴星系在可见光波段最早的系统研究则是 Balzano 于 1983 年完成的^[24]。

虽然对星暴星系的研究已有十多年的历史, 且在 IRAS 以后它正逐渐形成为星系研究的热门课题之一, 但至今还没有一个确切的较为定量的定义来严格区分“星暴星系”和正常星系^[24], 尽管有人用红外光度与蓝光光度的比值来鉴别它们(此比值 ≥ 4 为星暴星系)。诚然至少“星暴”这一词常用来描述这样一种星系, 在其中正在经历极端迅速的恒星形成的活动。虽然定性看来其与正常星系中的恒星形成区并无多大差别, 但在这些星系中常有非常高的恒星形成率, 以致无法在平衡态上持续 10^8 — 10^9 年以上, 或者将消耗掉比在星系中的星际介质内可资利用的还要多的质量^[8]。

星暴的证据事实上来自迄今为止几乎所有的观测波长。对星暴星系发现, 致密恒星遗物和中小质量双星系统可以产生 X 射线。在 O 和 B 型恒星中, 在紫外存在 Si II 和 C IV 的光球吸收线, 且已观测到蓝光连续谱, 这些都是热的年轻星存在的另一种迹象。其可见光谱通常与具有窄的禁戒线和巴尔末线的低激发银河 H II 区的相类似。在近红外存在强的 CO($2.3\mu\text{m}$) 谱线表明, 由于星暴存在巨星和超巨星, 原子氢的布喇开和帕邢复合线以及 H_2 的由强激波激发的振/转谱线通常也是很强的。在 IRAS 探测到的红外波长上, 存在大量 H II 区强的热连续谱, 致使其有大的红外超。射电连续谱是非热的, 且通常认为是由大质量恒星的超新星爆发产生的相对论性电子的同步辐射所引起^[8,25]。而在强的星暴星系上不但常见 HI, OH 和其他分子吸收线, 也常发现存在由红外抽运的 OH 及 H_2O 超脉泽^[26]。

对于星暴星系中恒星形成的猛烈爆发, 到目前为止认为存在两种可能的触发机制, 且正在为不少观测所证实^[24,26,27]。一是相互作用星系中由于星系间潮汐相互作用导致更多气尘物质的产生, 从而提供了大量恒星形成的能量和质量, 其典型例子是 Arp 220。二是在一些棒旋星系中, 由于其不稳定性而引起恒星形成的爆发。观测发现在这类星系中, 在离核 10^2 — 10^3pc 距离上存在明亮的环状 H II 区复杂结构, 这种结构常与延伸到棒边缘的尘埃带成协, 其典型例子是 NGC 1512 和 NGC 1097。也有人认为某些星系中存在的喷流也可能触发星暴^[28]。

在 IRAS 以前对星暴星系的红外观测主要集中于 $10\mu\text{m}$ 波段, 仅有少量 $30\text{--}300\mu\text{m}$ 资料可资利用^[24]。观测表明, 这些星系的红外能量分布与银河 H II 区及分子云复合体的类似, 其发射的大部份来自 $\sim 50\text{K}$ 的尘埃, 但在 $10\mu\text{m}$ 附近还有另一个发射成份, 也许来自对细小尘埃的瞬态加热。在 IRAS 以后有人对有星暴现象的相互作用星系作了近红外测光, 发现具有比正常旋涡星系色指数 $K-L$ 大的红外超, 且其 $3\text{--}20\mu\text{m}$ 为一逐渐上升的谱^[27]。IRAS 对星系的观测表明, 在已探测到的 20000 个星系中, 至少 34%, 即 6000 个显示出星暴的特征, 其在 $10\text{--}100\mu\text{m}$ 的平均积分红外光度为 $\sim 5 \times 10^{11} L_{\odot}$, 这比正常旋涡星系的 $10^9\text{--}10^{10} L_{\odot}$ 高很多, 且其能量的大部份落在 $50\text{--}200\mu\text{m}$ 区域内^[18]。星暴星系在 IRAS 远红外双色图上的分布表明, 其红外谱指数处于 $-2.5 < \alpha(60, 25) < -1.5$, $-1.5 < \alpha(100, 60) < 0$ 的一个小范围内, 这可以由一个冷的 ($\sim 30\text{K}$) 盘成份和一个热的 ($80\text{--}90\text{K}$) 成份较好地拟合, 且其中 $60\mu\text{m}$ 发射的 80% 来自热的成份^[28]。此外, IRAS 观测还表明, 除了一些相互作用旋涡星系和不规则星系及单个的棒旋星系外, 在有活动核的一些塞弗特星系上也发现星暴的特征, 例如在 II 类塞弗特星系 NGC 1068 和 I 类塞弗特星系 NGC 7469 的活动核周围就有强烈活动的恒星形成区^[24]。

虽然近十年来特别是 IRAS 以后对星暴星系的研究在不断深入, 但至今仍存在不少未解决的关键问题, 这主要是^[8, 24]: 星暴的触发机制是否仅限于相互作用及旋棒的存在? 星暴是否一直进行到星系中所有星际气体消耗完毕? 是否每一个旋涡星系在其演化过程中都存在星暴的阶段? 为什么一些星暴似乎被证实发生在核区发生, 而另一些却涉及整个星系盘, 星暴区的尺度到底多大? 是否在星暴过程中恒星以在局部观测到的初始质量函数形成, 什么是初始质量函数的低频截止? 星暴与一些星系核的活动有什么关系? 遗憾的是现在对以上任何一个问题都没有一个简单的答案, 问题的一部份在于对不同质量、不同金属含量、不同形态类别的星系情况可能完全不同, 此外内外两种因素例如星系间的相互作用或自身旋棒的存在, 似乎都影响着星暴的起动和规模。因此要彻底弄清星暴星系的性质, 还需要在各个波段特别是红外波段上作更多的观测。

五、关于星系中红外发射的辐射机制的讨论

由上述讨论可知, 各种星系在红外波段上都有发射, 而这种红外发射可能源于星系中的不同成分, 并可能由不同的辐射机制所产生。总起来说, 星系中的红外发射可能源于: (1) 星系中恒星光球的发射; (2) 星系中恒星外大气层中形成的拱星气尘物质的发射; (3) 星系盘中星际尘埃的热发射; (4) 星系盘中特别在星系核球附近恒星形成区的热发射; (5) 星系核区相对论性电子的非热同步辐射。其中的(1)–(4)均可归结为不同温度下的黑体热辐射。

对于椭圆星系和透镜星系, 由于其中的晚型恒星光球及其拱星壳层的发射起了支配作用, 因而近红外发射强而中远红外发射弱。对于旋涡星系和棒旋星系, 除了以上由晚型恒星支配的近红外发射外, 在中远红外还存在由恒星光加热的冷星际尘埃的热发射, 及恒星形成活动发生于其内的分子云中的热发射, 而对于星暴星系其红外光度则主要来自恒星形成的猛烈爆发的过程。对于塞弗特星系, 通常是显示其核中的非热辐射, 也常存在由核区的可见和

紫外非热源所加热的尘埃的热发射。其中 II 类以后者为主, I 类以前者为主。在类星体中主要的红外发射来自核区的非热辐射, 同时也存在少量被加热的尘埃热辐射。而对蝎虎 BL 天体, 则基本上只存在核区的非热红外发射。因此, 就红外发射的机制而言, 除了星暴星系外, 各种星系似可排成一个规则的系列: 椭圆星系—旋涡星系—II 类塞弗特星系—I 类塞弗特星系—类星体—蝎虎 BL 天体。依此系列, 红外发射的热成份越来越少, 非热成份越来越多。

在天体的非热辐射机制中常见的有由相对论性电子引起的同步加速辐射, 在致密非相对论等离子体中的高频光子与低速电子碰撞后产生的多次康普顿散射, 由相对论性电子与低频光子碰撞后产生的逆康普顿散射和由热等离子体气体引起的韧致辐射等。可是, 在星系的红外非热发射中一般认为主要存在同步加速辐射, 虽然后三种辐射机制也有可能存在, 但各种星系中存在的红外偏振特性很难用它们作出正确的解释, 况且逆康普顿散射多用于与高能粒子相互作用的场合中, 关于这一点可详见文献[18]、[19]和[20]。

在星系红外发射的辐射机制讨论中, 有几个显著特点可用来区分其发射是热辐射机制还是非热的同步辐射机制。首先, 由于在同步辐射中电子能量的幂律分布导致了发射谱型的幂律分布。因此在各类星系的双色图中, 越靠近幂律线的天体, 其同步辐射的成份越多。其次, 偏振是另一个重要因素。虽然由于磁场等的作用, 有可能使尘埃呈有序排列而呈现一定的偏振度, 但这种偏振的特性与波长强烈相关。而同步辐射导致的偏振不但偏振度大, 而且基本上不随波长而变。最后, 同步辐射的发射常常显示出快速猛烈的光变, 这种变化主要由相对论性电子的能量及数密度的变化引起。由于电子能量及数密度变化时标短, 允许的变幅大, 故造成这种非热发射快速猛变的发生。

对于来自恒星和星际尘埃的热发射机制, 同样有几个显著特征可以考虑。首先, 在双色图中越靠近黑体线的天体其热发射的成份越多。其次, 热发射在近红外几乎测不到偏振, 在中远红外即使存在由尘埃引起的偏振, 但偏振度相对较小, 且是波长的函数。另外, 对于来自晚型恒星的热发射, 由于晚型恒星本身极少存在短时标光变, 而常见由于脉动引起的长周期光变。对于来自拱星尘埃、星际尘埃或恒星形成区的分子云尘埃的热再发射, 由于热传导、对流和辐射过程中存在时间上的弛豫, 因此以热辐射机制为主的天体光度变化较为缓慢, 幅度也相对较小。最后, 热辐射机制常可由能谱曲线上的个别特征直接看出。在红外波段(如图 1 所示)最主要的是 $10\mu\text{m}$ 和 $20\mu\text{m}$ 的硅酸盐特征以及 $3.3\mu\text{m}$ 和 $11.3\mu\text{m}$ 的热发射特征。

最后要说明的是, 星系的红外观测研究本身就是一个很大的题目, 由于近年来观测技术的进步, 有关的文献浩如烟海, 由于篇幅的限制, 无法在此短文中一一加以详述, 仅就其最一般的现状作一评述。关于更详细的情况及个别天体的细节可参看相应文献。

参 考 文 献

- [1] Johnson H. L., *Ap. J.*, 143 (1966), 187.
- [2] Kleinmann D. E. et al., *Ap. J.*, 161 (1970), L203.
- [3] Glass I. S., *M. N. R. A. S.*, 164 (1973), 155.
- [4] Rieke G. H. et al., *Ann. Rev. A. Ap.*, 17 (1979), 477.
- [5] Glass I. S., *M. N. R. A. S.*, 211 (1984), 461.

- [6] Rieke G. H., in *Infrared Astronomy*, ed. by G. Setti et al., p. 159, D. Reidel Pub. Co., (1978).
- [7] Becklin E. E., in *Light on Dark Matter*, ed. by F. P. Israel, p.415, D. Reidel Pub. Co., (1986).
- [8] Soifer B. T. et al., *Ann. Rev. A. Ap.*, 25 (1987), 187.
- [9] Lacy J. H., in *Highlights of Astronomy*, 5 (1980), p. 163, ed. by P. A. Wayman, D. Reidel Pub. Co.
- [10] Reike G. H. et al., *Ap. J.*, 176 (1972), L95.
- [11] Hyland A. R. et al., *M. N. R. A. S.*, 199 (1982), 943.
- [12] Neugebauer G. et al., *Ap. J.*, 278 (1984), L83.
- [13] Beichman C. A. et al., *Ap. J.*, 308 (1986), L1.
- [14] Vader J. P. et al., *Nature*, 327 (1987), 304.
- [15] Ward M. et al., *M. N. R. A. S.*, 199 (1982), 953.
- [16] Miley G. et al., in *Light on Dark Matter*, ed. by F. P. Israel, p.471, D. Reidel Pub. Co., (1986).
- [17] Allen D. A. et al., *M. N. R. A. S.*, 199 (1982), 969.
- [18] de Jong T. D., in *Spectral Evolution of Galaxies*, ed. by C. Chiosi et al., p. 111, D. Reidel Pub. Co., (1986).
- [19] Soifer B. T. et al., in *Infrared Astronomy*, ed. by C. G. Wynn-Williams et al., p. 329, D. Reidel Pub. Co., (1981).
- [20] Jones T. W. et al., *Ap. J.*, 243 (1981), 97.
- [21] Rodriguez J. M. et al., *A. Ap.*, 192 (1988), 13.
- [22] Chini R. et al., *A. Ap.*, 221 (1989), L3.
- [23] de Jong T. D., in *Birth and Evolution of Massive Stars and Stellar Groups*, ed. by W. Boland et al., p. 285, D. Reidel Pub. Co., (1985).
- [24] Wynn-Williams C. G., in *Star Forming Regions*, ed. by M. Peimbert et al., p. 587, D. Reidel Pub. Co., (1987).
- [25] Weedman D. W., *NASA Conference Publication*, 2466 (1987), 351.
- [26] Hawarden T. G. et al., in *Light on Dark Matter*, ed. by F. P. Israel, p. 455, D. Reidel Pub. Co., (1986).
- [27] Joseph R. D., *ibid*, p. 447.
- [28] Sekiguchi K., *NASA Conference Publication*, 2466 (1987), 507.
- [29] Lequeux J., in *Reports On Astronomy*, ed. by J. Swings, p. 302, Kluwer Academic Publishers, (1988).

(责任编辑 刘金铭)

Observational Research On Galaxies In the Infrared

Chen Peisheng

(Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The present observational research including IRAS on extragalaxies in the infrared is reviewed in this paper. It refers not only to some normal galaxies, such as the Elliptical, the Lenticular, the Spiral and the Barred Spiral, but also to some peculiar galaxies, such as Quasar, the Seyfert and the BL Lac object as well as to the starburst galaxy. Possible radiation mechanisms in the infrared for such objects are discussed. Comments on some observational results are also presented.