

# 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及其相关的 分子谱线的观测和研究

俞 志 尧

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

## 摘 要

自从在活动星系核 NGC 4945 的视线方向上发现第一个河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源以来, 迄今为止已发现了 19 个河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。对与活动星系核成协的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及分子谱线的观测和研究是探测和研究活动星系核核区中央源、拱核气体和尘埃环性质的非常有效的工具。主要评述对河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及其相关分子谱线的搜索、观测和理论研究现状。

**关键词** 活动星系核 — 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源 — 分子谱线

**分类号** P155.22, P157.6

## 1 引 言

河外 H<sub>2</sub>O 脉泽源可分为两类: 一类是类似于银河系恒星形成区的脉泽源, 它们位于星系核区域的外面。M33 的 IC133 已有两个历元的 VLBI 观测, 发现了两个相距约 1pc 的活动中心有几十个脉泽斑<sup>[2]</sup>。另一类河外 H<sub>2</sub>O 脉泽源位于星系核区域内, 即通常所称的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。Henkel<sup>[3]</sup> 根据它们的各向同性光度的范围把它们分为 kilo-脉泽源 ( $10^{-3} \sim 1L_{\odot}$ ), mega-脉泽源 ( $1 \sim 10^3 L_{\odot}$ ) 和 giga-脉泽源 ( $> 10^3 L_{\odot}$ )。1979 年发现的第一个河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源是在朝着 NGC 4945 核的视线方向上的<sup>[1]</sup>。到 1985 年有 4 个新的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源被发现<sup>[3]</sup>。1994 年 Braatz 等人对活动星系核进行搜寻<sup>[4]</sup>, 发现了 5 个新的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。Braatz 等人 (1996) 发现了 6 个新的朝着活动星系核的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源<sup>[5]</sup>。1997 年 Hagiwara 等人<sup>[6]</sup> 和 Greenhill 等人<sup>[7]</sup> 分别报告各自发现了一个新的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。Falcke 等人 (2000) 报告了最新发现的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源<sup>[49]</sup>。到目前为止共发现了 19 个河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。它们的物理参数在表 1 中给出。表 1 中,  $V_{\text{sys}}$  为系统速度, Peak flux 为峰流量,  $L_{\text{maser}}$  为脉泽光度,  $S(12)$ 、 $S(25)$ 、 $S(60)$  及  $S(100)$  分别为与波长 12、25、60

国家自然科学基金 (19673013) 资助课题

2001-05-16 收到 2001-11-13 收到修改稿

和 100 $\mu$ m 相对应的流量密度。

与此同时对河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的高分辨率的观测也已进行。但由于它们距离太远, 至今只对少数河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源进行了干涉观测研究。根据已有的干涉观测可以发现河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源来自于半径小于 1pc 的活动星系核周围的区域, 因此它是研究活动星系核的有力工具。同时河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的各向同性的光度极高, 表明了活动星系核中央的能量是巨大的。因此河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源是研究活动星系核中央源的有力示踪器。这就不难理解, 自从 1979 年发现首例河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源以来, 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源就成为天体物理的重要研究对象。

观测表明, 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源形成的关键因素是在那些活动星系核的内部区域存在着高浓度的气体分子<sup>[8]</sup>。因此对与其相关的气体分子的观测研究对于河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的观测研究显得特别重要。

## 2 搜寻和跟踪

搜寻河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源首先需恰当地挑选搜寻样本。搜寻样本的选择是根据这样的假设: 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源位于在活动星系核近核的分子气体中, 也许被公认与“分子环”成协。

根据已发现的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的性质, 可以发现它们如果不是与 Seyfer 2 星系成协, 就是与 LINER 星系成协。这一点可以作为选择搜寻样本的参考因素。同时认为河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源盘应该是侧向的, 因为这样才能提供脉泽放大所需的长相干长度。另外可根据河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的宿主星系的红外性质来选择搜索样本。搜寻样本可从 Huchra 的活动星系核分类<sup>[5]</sup>和 Veron-Cetty 与 Veron 的活动星系核分类<sup>[9]</sup>中选择。

搜寻的结果表明, 到目前为止共有 19 个河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源 (已列于表 1)。

图 1 给出典型的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源 NGC 4258 谱线频谱图<sup>[21]</sup>。

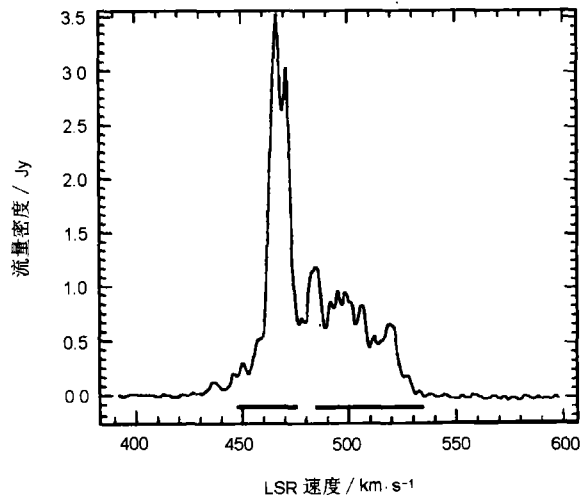


图 1 典型的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源 NGC 4258 的谱线频谱图<sup>[21]</sup>

河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源常表现有强的时变, 即其谱征在强度和速度上均随时间有强的变化。谱征强度的变化往往可接近 10 倍。而时变的时标一般为几星期至几年, 但 Greenhill (1997) 却在 Circinus 星系中发现 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的强度变化的时标为几分钟<sup>[10]</sup>。

标准的活动星系核模型给出 Seyfert 2 星系有一个 pc 尺度的气体和尘埃环<sup>[11,12]</sup>。河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源现象能在拱核环的表面层里发生, 它的时变与在拱核环的表面层里的气体不均匀性有关。事实上星系 NGC 3079 的拱核结构的研究显示了在核的不同半径处存在着一些分子气体的结构<sup>[13]</sup>。内部区域中的分子气体的高丰度能导致 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的强时变, 这可能

表 1 已发现的 19 个 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的基本参数和它们宿主星系的红外性质

源名	$V_{\text{sys}}/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	Peak flux/Jy	$L_{\text{maser}}/L_{\odot}$	$S(12)/\text{Jy}$	$S(25)/\text{Jy}$	$S(60)/\text{Jy}$	$S(100)/\text{Jy}$	宿主星系类型
Mrk 1	4842	0.06	64	$\leq 0.19$	0.87	2.53	2.92	Seyfert 2
NGC 1052	1507	0.21	140	0.20	0.49	0.90	1.52	LINER
NGC 1068	1137	0.67	170	39.70	85.04	176.20	224.00	Seyfert 2
NGC 1386	864	0.65	120	0.49	1.43	5.4	9.64	Seyfert 2
Mrk 1210	4046	0.16	99	0.50	2.08	1.89	1.30	Seyfert 2
NGC 2639	3336	0.11	71	0.16	0.21	1.99	7.06	LINER
NGC 3079	1125	11	520	1.52	2.27	44.50	89.22	LINER
IC 2506	2873	0.19	130	0.30	0.94	3.24	6.11	Seyfert 2
NGC 4258	448	6.2	85	2.25	2.81	21.60	78.39	LINER
NGC 4945	560	6.2	57	3.95	14.45	359.3	620.50	Seyfert 2
NGC 5347	2386	0.03	32	0.31	0.96	1.42	2.64	Seyfert 2
Circinus	438	16	24	18.80	68.44	248.70	315.85	Seyfert 2
NGC 5506	1815	0.63	61	1.28	3.64	8.41	8.89	Seyfert 2
ESO103-G35	3983	0.41	360	0.61	2.36	2.31	1.05	Seyfert 2
IC 1481	6118	0.35	320	$\leq 0.13$	0.28	1.41	1.51	LINER
TXFS2226-184	7500	0.27	6100	$\leq 0.12$	$\leq 0.22$	0.31	0.57	Radio Galaxy
NGC 5793	3442	0.05	125		0.45	6.36	8.65	Seyfert 2
NGC 3735	2696	0.016	12	0.66	1.03	6.7	18.4	Seyfert 2
Mrk 348	4677	0.03	420					Seyfert 2

是由于通过向核下落的物质吸积率的变化引起的,也可能是通过抽运源与不均匀的包围云间的相互作用来实现的。

另外河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的辐射光度的时变也可以由以下两种原因引起<sup>[50]</sup>:一是从核来的 X 射线光度的增加能导致脉泽辐射的增加。另一是核的内在辐射增加导致拱核环中的气体和尘埃之间的温差暂时的减少,从而导致脉泽输出的减少。

除谱征的强度表现出强的时变外,同时还观测到谱征的线心速度漂移,其漂移速率大于  $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 。在 NGC 2639 中给出一个以  $(6.60 \pm 0.40) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$  速率的线性漂移<sup>[18]</sup>,在 NGC 4258、NGC 1052 中的宽发射谱征的线心速度也给出速度漂移。

由此可见,对已发现的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的长期跟踪监视是必要的。河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的搜寻和长期监视需要高分辨的大口径单天线射电望远镜,例如德国波恩 100m 和澳大利亚帕克斯 64m 单天线射电望远镜等。目前已发现的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的数量只有 19 个,只要长期坚持这项基础工作,想必会发现更多新的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源。

### 3 高分辨观测

使用高分辨率的射电观测设备进行干涉观测可以研究河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的致密结构。这些高分辨率的射电观测设备主要有 VLA、VLBA 和 VLBI 等。到目前为止已进行过这类观测的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源有 NGC 4258、NGC 1068、NGC 3079、NGC 1052 等。

NGC 4258 属于 LINER 星系<sup>[19]</sup>,它的 LSR 速度为  $(472 \pm 4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[20]</sup>。Greenhill 等

人 (1995) 估计它的距离为 7Mpc (假设哈勃常数  $H_0 = 65\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$  [21]), 用其它方法估计出距离为 3.3 至 6.7Mpc [22]。Greenhill 等人对在 NGC 4258 中的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源进行了 VLBI 观测 [21], 他们所用观测设备包括德国 MPIFR 的 100m 射电望远镜、美国 NRAO 的 43m 射电望远镜和 VLA, 以及美国 OVRO 的 40m 射电望远镜。观测在 1984 年 10 月 7 日进行, 共 9h。在每个台站用 MK II VLBI 终端进行数据记录, 利用 NRAO 的 AIPS 软件包最后得到了脉泽发射的综合图。该综合图揭示了 H<sub>2</sub>O 超脉泽源斑的分布在位置角为  $83^\circ \pm 2^\circ$  处沿着东西方向拉长; 发射区所张的角度大小为 0.26mas, 大约为 2 倍束宽 (相应的线大小为 0.009pc)。这个线范围约是在银河系中个别星所成协的典型强 H<sub>2</sub>O 脉泽源的 1/10。Greenhill 等人从 LSR 速度 - 位置图上得到从 455 至 528 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  的整个 73 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内位置与速度的关系为线性关系, 梯度约为  $(3.67 \pm 0.02)\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \mu\text{as}^{-1}$  或者约为  $(8030 \pm 40)\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{pc}^{-1}$  (在  $\alpha$  方向上) 以及  $(0.43 \pm 0.07)\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \mu\text{as}^{-1}$  或约为  $(68500 \pm 1100)\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{pc}^{-1}$  (在  $\delta$  方向上) (沿着位置角为  $(83^\circ \pm 2^\circ)$  方向)。因此他们得到在 NGC 4258 中的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的主要特征为小尺度的脉泽源沿着东西方向有明显的延伸, 脉泽的线速度横穿源且存在着确定的梯度。

从 VLBI 图得到脉泽的拉长和线速度梯度特征表明了脉泽发射是在一个旋转的 Keplerian 盘上, 这个盘看来是侧向的, 并且位置角为  $83^\circ$ 。Clausse 和 Lo (1986) 曾假设河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源发射一般发生在那些 Keplerian 盘上 [23]。在 NGC 4258 中这个 Keplerian 盘垂直于星系平面, 倾角为  $64^\circ$ 、位置角为  $146^\circ$  [24]。

Miyoshi 等人 (1995) 也曾对在 NGC 4258 中的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源进行高分辨的观测 [25], 他们所用的观测设备是美国 NRAO 的 VLBA 加上 VLA。因为在 NGC 4258 中的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源辐射覆盖很宽的波段, 所以他们分 2 个波段来进行观测, 其中一波段为覆盖系统谱征和红移谱征, 另一波段为覆盖系统谱征和蓝移谱征。他们的观测揭示了高速谱征在一个近似为平面的结构中, 与系统谱征有偏离, 并且速度随着离旋转中心的距离  $r$  的增加而按  $r^{-1/2}$  减小。这正是所期望的 Keplerian 运动。这些谱征发生在内外半径分别为 4 和 8mas 的盘中。他们确定系统速度为 476 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 束缚质量为  $3.6 \times 10^7 M_\odot$  和盘的位置角为  $86^\circ$ , 并指出盘接近于侧向, 倾角为  $83^\circ$ 。他们发现所有这些谱征都在一个几乎为 4.1mas 的半径上 (在他们所估计的 6.4Mpc 距离上为 0.13pc)。盘是薄的, 在轴线上高度小于 0.1mas, 高度与半径之比小于 0.02, 盘处在流体静力学平衡状态。

因为 H<sub>2</sub>O 超脉泽源被束缚的质量必须限制在半径小于 4.1mas 之内, 这就导致了质量密度大于  $4 \times 10^9 M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$ 。星团有这样高密度是不可能的, 例如球状星团有小于  $10^5 M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$  的恒星密度。如果假设在平均恒星质量密度为  $1 M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$  的星团中, 恒星间的平均间距为 100AU, 碰撞时间小于  $10^8 \text{yr}$ , 这样的碰撞将击破星团。这样中央源也许是黑洞, 中央源的质量远远大于盘的质量 [26~28]。

任何沿着径线方向的运动 (下落或外流) 相对于旋转运动来说是小的。盘的系统速度很接近于星系的系统速度 ( $(472 \pm 4)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 并很接近于单独从高速谱征估计得到的系统速度。这就意味着在系统里径向运动速度小于  $10 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。被观测的高速谱征的视向速度约为  $1000\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 它接近于 Keplerian 运动所描述的值, 不可能为外流所引起的。

Bragg 等人 (2000) 报导了对 NGC 4258 中的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的最新高分辨率的观测结果 [51]。为了得到一系列 H<sub>2</sub>O 超脉泽源谱, 1995.1~1997.2 期间他们利用 VLA 对 NGC 4258

中  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源进行了 15 个历元的观测, 再加上利用 Effelsberg 射电望远镜 5 个历元的观测及 VLBA 的 5 个历元的观测。总共时间跨度从 1994~1997 年的 25 个历元的观测资料, 经过测量得到系统速度的谱征的加速度为  $7.5\sim 10.4\text{km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。首次得到高速的谱征的加速度为  $-0.77\sim 0.38\text{km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。用由旋涡激波的向外运动而产生脉泽斑的速度的变化和简单的侧向盘模型, 得到高速分量脉泽斑的位置的方位角为  $-13^\circ.6\sim 9^\circ.3$  之间。

对于在 NGC 1068 的核环中的河外  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源的高分辨率观测也同样是令人感兴趣的, Greenhill 等人 (1996) 对它作了 VLBI 观测。他们于 1994 年 11 月 5 日利用美国 NRAO 的 VLBA 和 VLA 来进行观测, 观测共持续了 8h。校准和成图是采用标准的谱线 VLBI 技术。他们得到与 NGC 1068 的中央源相成协的河外  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源的第一张 VLBI 综合图。大约在系统速度周围  $300\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  速度范围内 5 个明显的脉泽块差不多呈直线形地分布在相对位置图中, 接近于系统速度的脉泽块粗略地有向东西方向延伸的倾向。并发现在西部有高速发射和存在着  $50\text{km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{mas}^{-1}$  的速度梯度。在速度为  $1315\sim 1465\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  之间的发射主要由位置角为  $-45^\circ$  的  $0.6\text{pc}$  长的一个弓形弧上的超脉泽斑所贡献。这些脉泽斑在一些块中是可以分开的。这些块的速度和速度分布范围都是随着与系统速度的速度差的绝对值的减少而增加。第 4 个块接近于系统速度, 有着最大的速度分布范围 ( $\approx 100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ )。他们假设在 NGC 1068 周围存在着一个有一定倾角的旋转环, 并且这个有一定倾角的旋转环在轴向上是厚的。一个厚环要在轴向上有一个支持作用, 这种支持作用或许来自于内部速度、辐射力或者磁场。内部运动速度与轨道运动速度之比 ( $V_i/V_o$ ) 近似等于高度与半径之比 ( $h/R$ )<sup>[30]</sup>。这就需要  $V_i$  大约为  $100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  量级。如果内部运动被认为是热运动的话, 那末这个量级的速度所对应的温度将足以破坏分子使其不能生存下来。Pier 和 Krolik (1992) 给出作用在尘埃颗粒上的辐射力可以与引力量级相仿<sup>[31]</sup>。 $10^{10}\text{cm}^{-3}$  的气体密度和  $10^{-4}\text{T}$  量级的磁场强度可导致磁场能与旋转能量级相仿。Emmering、Blandford、Shlosman (1992)<sup>[32]</sup> 和 Konigl、Kartje (1994)<sup>[33]</sup> 建立了一个从薄的磁场吸积盘来的由离心力所驱动的外流。在足够长的路径上外流可以被尘埃充满, 这有利于脉泽发射, 但这个模型的不足之处是分子气体密度太小了。

超脉泽放大发生在速度小于几  $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  的热运动气体中, 而湍动速度至少要比它大一个量级<sup>[34,35]</sup>。脉泽发射的径向范围也许是由在拱核环云中脉泽激发机制所限制的条件来决定。脉泽发射也可能由风或喷流所引起的激波来决定<sup>[36,37]</sup> 或者由中央源  $\gamma$  射线辐射密切相关的碰撞加热来决定<sup>[38]</sup>。

Haschicic 等人 (1990) 对在 NGC 3079 核区的  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源进行了 VLBI 观测<sup>[52]</sup>。他们用全球 VLBI 网进行观测, 角分辨率为  $0.3\text{mas}$ 。单个脉泽谱征的角分辨率为  $0.3\text{mas}$  (相当于线分辨率为  $7\times 10^{16}\text{cm}$ )。他们也用 VLA 进行观测, 得到脉泽源位置与致密的连续源位置相一致。在 NGC 1052 的高分辨率 VLBI 观测中发现, 脉泽斑不在核中央, 而位于喷流中 (投影位置)<sup>[53]</sup>。

用高分辨率观测能反映  $\text{pc}$ 、 $\mu\text{pc}$  甚至  $0.01\text{pc}$  量级  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源的分布情况, 现在的高分辨率观测表明  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽源倾向存在于侧向的星系中。这要求这些侧向的星系 (1) 存在背景连续源; (2) 存在用来反转  $\text{H}_2\text{O}$  分子的抽运机制; (3) 具有一个足够柱密度的侧向分子盘。更多的高分辨率观测能够认识中央源的性质和侧向分子盘的更多性质。

## 4 在 H<sub>2</sub>O 超脉泽活动星系中的分子气体

根据观测事实知道, 在 Seyfert 1 星系的核内没有发现 H<sub>2</sub>O 超脉泽源, 而所有已发现的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源不是存在于 Seyfert 2 星系就是存在于 LINER 星系中。与 Seyfert 1 星系相比较, Seyfert 2 星系中包含了大量的尘埃和气体<sup>[39]</sup>。另外 LINER 星系一般被认为是 Seyfert 2 星系的一个简单的延伸。因此所有已发现的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源不是存在于 Seyfert 2 星系就是存在于 LINER 星系中的观测事实, 看来是意味着在星系的内部区域里分子气体的高浓度是产生超脉泽发射的关键条件。为了验证这个假设和确定 H<sub>2</sub>O 超脉泽源性质是否与这些分子气体有关, Raluy 等人 (1998) 对分子气体及其所在的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源中的性质进行了研究<sup>[40]</sup>。他们观测到存在 CO 发射的星系有 NGC 2639、NGC 5506 和 Mrk 1210。

### 4.1 CO (1 → 0) 的观测特征

对 CO (1 → 0) 的观测表明, NGC 2639 和 NGC 5506 的谱均为双峰谱, Mrk 1210 的谱为单峰谱。在 NGC 2639 中 CO 发射线的中心速度在  $V_{\text{LSR}} = 3258 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  处, 该速度与光学观测中得到的  $V_{\text{LSR}} = 3163 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  或从 HI 21cm 线观测得到的  $V_{\text{LSR}} = 3298 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  相接近。在 NGC 5506 中, 从光学观测得到的  $V_{\text{LSR}} = 1827 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 从 HI 21cm 线观测得到的  $V_{\text{LSR}} = 1813 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而从 CO(1 → 0) 观测得到的中心速度大约为  $1880 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在 Mrk 1210 中, 用 Gaussian 函数拟合得到的中心速度为  $V_{\text{LSR}} = 3995 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 这与从光学观测得到的  $V_{\text{LSR}} = 3968 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  或从 HI 21cm 线观测得到的  $V_{\text{LSR}} = 3979 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  较接近。

### 4.2 CO (2 → 1) 的观测特征

对 CO (2 → 1) 的观测得到了 NGC 2639 的 13 点图和 NGC 5506 的 5 点图, 以及 Mrk 1 和 Mrk 1210 的各自的单个中心谱。在 NGC 2639 谱和 Mrk 1210 谱中 rms 噪声为 4mK, 峰值天线温度分别为 15mK 和 24mK。在 NGC 5506 谱中 rms 噪声为 8mK, 峰值天线温度为 32mK, 线心速度为  $1870 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 线的积分强度为  $5.5 \text{ K} \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

### 4.3 CO 光度

CO 光度是通过假设为 Gaussian 天线束利用下式得到的:  $L_{\text{CO}} = 1.13 d_b^2 I_{\text{CO}}$ , 这里  $I_{\text{CO}}$  是从 CO (1 → 0) 的谱线得到的积分强度,  $d_b$  是在源距离上的天线束宽。  $I_{\text{CO}}$  的单位为  $\text{K} \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而  $d_b$  的单位为 pc。

H<sub>2</sub> 质量是利用在银河系分子云中所发现的标准转换因子从 CO 光度得到的,  $M_{\text{H}_2} = 5.8 L_{\text{CO}}$ 。利用光学直径  $D_{25}$  可以决定被天线束所包含在内的星系的分子气体表面密度  $\Sigma_{\text{H}_2}$ 。从 Kenney 和 Young (1988) 给出的一组星系的 CO 直径的资料中, 发现  $D_{\text{CO,eff}}$  (CO 的有效直径) 和  $D_{25}$  之间的相关性基本上与 CO 发射分布所选择的模型无关<sup>[41]</sup>。这个关系可表达为  $D_{\text{CO,eff}} = 0.44 D_{25}$ 。

### 4.4 分子气体性质和超脉泽时变

现在要研究的是超脉泽的长时标时变与分子气体丰度的关系。标准的活动星系核模型假设 Seyfert 2 星系有一个 pc 尺度厚的气体和尘埃环<sup>[42]</sup>。另外大量致密的分子气体在这些星系的内部区域被发现<sup>[43]</sup>。

气体的分布与从核中央源抛射和辐射相互作用所产生的各种现象有关。超脉泽现象会在核环的外层中发生。它的长时标时变与在核环的外层中的整个气体分布非均匀性有关, 但它

也受到在星系内部的气体分布的结构的影响。对星系 NGC 3079 的拱核结构的研究给出了在离核不同半径处存在着分子气体的几种结构<sup>[44]</sup>。

另一方面被观测到的超脉泽时变与核的内在时变有关。在 Seyfert 2 星系 NGC 1275 中发现射电连续波段的不同时标的时变<sup>[45]</sup>：慢的时标的典型时间尺度为 20~30yr；较快的时标的时间尺度在毫米波段为几个月，而在较低频率处为几年。所有的射电连续辐射的时变都是由物质向中央黑洞下落的吸积率的变化而产生的。在这种情况下分子气体被用来作为在近核区处活动星系核的吸积盘的燃料，如果气体朝着盘的下落率发生变化的话，那末一般就能产生从核来的射电连续辐射的时变。因此离核几百 pc 尺度上的分子气体的存在对于观测到的射电连续辐射和脉泽强度时变的发生来说是有意义的。

还有一个对观测到的超脉泽时变的贡献，是从在 pc 尺度环上的小尺度结构或位于距核源不远处的巨分子云 (GMCs) 中产生的，特别是当有这样的云穿过视线朝着中心的脉泽发射区方向运动时，就能产生一个额外的放大作用。河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源时变可以部分由分子云中的不均匀性产生。具有高密度的这些区域可以增加被观测到的脉泽强度。取云中气体的最大尺度为 800AU<sup>[46]</sup>，假设旋转曲线类似于 NGC 891 那样<sup>[47]</sup>，则在这种气体中所期望的时变小于几十年。这种情况适合于在超脉泽中所观测到的长时标时变。

#### 4.5 分子气体性质和超脉泽强度

从对  $\Sigma_{\text{H}_2}$  估计，可计算出在观测区域里的云的数目，然后利用典型的 GMCs 参数，可以得到在观测区域里的云的总体积中的下落因子。Ralue 等人 (1998) 的结果显示了在各向同性的  $L_{\text{maser}}$  和下落因子之间没有相关性。另外  $\lg L_{\text{maser}}$  和  $\Sigma_{\text{H}_2}$  的相关性也没有被发现。这是复杂的介质性质所致，辐射通过此介质时偏离了指数放大<sup>[40]</sup>。

#### 4.6 中央源的能量和脉泽光度

中央源强度的一个较好的测量是通过对其射电连续辐射测量来实现的。射电连续辐射是核中央源的发射再加上与恒星形成相成协的宽范围的发射所构成的。在活动星系中多数射电连续辐射来自于核。Braatz 等人 (1997) 发现 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的探测率在厘米波段对核的内在强度具有依赖性。在  $L_{\text{maser}}$  和 1.4~8.4GHz 范围内的流量密度之间存在着弱的相关性<sup>[55]</sup>。

#### 4.7 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的宿主星系的红外性质

利用表 1 可以研究河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源的宿主星系的红外性质，从中得到不同波段红外流量密度比与红外光度的关系<sup>[48]</sup>

$$S(60\mu\text{m})/S(100\mu\text{m}) = 8.1 \times 10^{-12}L(\text{IR}) + 0.93,$$

$$S(25\mu\text{m})/S(60\mu\text{m}) = 3.6 \times 10^{-12}L(\text{IR}) - 0.12,$$

$$S(12\mu\text{m})/S(25\mu\text{m}) = -1.7 \times 10^{-12}L(\text{IR}) + 0.66.$$

这种相关性可以作为搜索河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源宿主星系的参考标准之一。

#### 4.8 中央黑洞的质量

在 Seyfert 星系中的拱核分子气体的分布和运动学的知识，对于理解中心区域的活动性和气体尘埃的遮盖效应中所起的作用是必要的。Schinnerer 等人 (2000) 用在 Seyfert 2 星系 NGC 1068 中的分子气体来示踪棒状星系核和翘盘<sup>[54]</sup>。他们对 NGC 1068 的 <sup>12</sup>CO (1 → 0) 和 <sup>12</sup>CO

(2→1) 谱线作了新的干涉观测。从 1996~1997 年利用 IRAM 干涉仪进行观测, 角分辨率为 0".7, 在 5" 内气体分布在具有东西方向两个明亮节点的环上, 在这个区域内的高速成分暗示了核的质量为  $10^8 M_{\odot}$ , 这个数值与从 NGC 1068 中的 H<sub>2</sub>O 超脉泽源观测所估计的黑洞质量是一致的。

## 5 结 束 语

对河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及与其相关的分子谱线的观测和研究在国际上呈现方兴未艾之势。因为河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及与其相关的分子谱线的观测和研究是研究活动星系核, 甚至是其中央源黑洞的有力工具。在这方面还有许多工作要做。首先要用大口径的射电望远镜进行搜寻和长期监测, 其次要用高分辨率的观测设备对其强源进行观测。相信不久的将来, 在河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源及与其相关的分子谱线的观测和研究方面会有新的突破。

## 参 考 文 献

- 1 dos Santor P M, Lepine J R. *Nature*, 1979, 278: 34
- 2 Greenhill L J et al. *Ap. J.*, 1990, 364: 513
- 3 Henkel C et al. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1991, 3: 47
- 4 Braatz J A, Wilson A S, Henkel C. *Ap. J.*, 1994, 437: L99
- 5 Braatz J A, Wilson A S, Henkel C. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1996, 106: 51
- 6 Hagiwara Y K, Kawabe R, Nakai N. *Proc. Astron. Soc. Jpn.*, 1997, 49: 171
- 7 Greenhill L J et al. *Ap. J.*, 1997, 486: L18
- 8 Raluy F, Planesas P, Colina L. *Astron. Astrophys.*, 1998, 335: 113
- 9 Veron-Cetty M P, Veron P. *ESO Sci Rep.*, 1991, 10
- 10 Greenhill L J, Ellingsen S P, Norris R P et al. *Ap. J.*, 1997, 474: L103
- 11 Antonacci R J, Miller J S. *Ap. J.*, 1985, 297: 621
- 12 Planesas P, Colina L, Perez-Olea D. *Astron. Astrophys.*, 1997, 325: 81
- 13 Baan W A, Irwin J A. *Ap. J.*, 1995, 446: 602
- 14 Nesteron N S, Lynty V M, Valtaoja E. *Astron. Astrophys.*, 1995, 296: 628
- 15 Mulchaey J S, Regan M W, Kundu A. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1995, 110: 299
- 16 Falgarone E, Puget J L, Perault M. *Astron. Astrophys.*, 1993 257: 715
- 17 Garcia-Burillo S, Guelin M, Cernicharo J et al. *Astron. Astrophys.*, 1992, 266: 21
- 18 Wilson A S, Braatz J A, Henkel C. *Ap. J.*, 1995, 455: L127
- 19 Heckman T M. *Astron. Astrophys.*, 1980, 87: 152
- 20 Cecil G, Wilson A S, Tully R B. *Ap. J.*, 1992, 390: 365
- 21 Greenhill L J et al. *Ap. J.*, 1995, 440: 619
- 22 Courtes G et al. *Astron. Astrophys.*, 1993, 268: 419
- 23 Claussen M J, Lo K Y. *Ap. J.*, 1986, 308: 592
- 24 Cecil G, Wilson A S, De Pree C. *Ap. J.*, 1995, 440: 181
- 25 Mlyoshi M et al. *Nature*, 1995, 373: 127
- 26 Frank J et al. *Ap. J.*, 1994, 435: L27
- 27 Harnes R J et al. *Ap. J.*, 1994, 435: L35
- 28 Kormendy J et al. *Ap. J.*, 1994, 393: 559
- 29 Greenhill L J et al. *Ap. J.*, 1996, 472: L21
- 30 Krolak J H, Begelman M C. *Ap. J.*, 1988, 401: 99



- 31 Pier E A, Krolik J H. *Ap. J.*, 1992, 401: 99  
32 Emmering R T, Blandford R D, Shlosman I. *Ap. J.*, 1992, 385: 460  
33 Konigl A, Kartje J F. *Ap. J.*, 1994, 434: 446  
34 Barainis R. *Ap. J.*, 1987, 320: 537  
35 Laor A, Draine B T. *Ap. J.*, 1993, 402: 441  
36 Elitzur M, Hollenbach D J, Mckee C F. *Ap. J.*, 1989, 346: 983  
37 Kaufman M J, Neufeld D A. *Ap. J.*, 1996, 456: 250  
38 Neufeld D A, Maloney P R, Couger S. *Ap. J.*, 1994, 436: L127  
39 Heckman T M et al. *Ap. J.*, 1989, 342: 735  
40 Raluy F, Planesas P, Collina L. *Astron. Astrophys.*, 1998, 335: 113  
41 Kenney J, Young J S. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1985, 66: 261  
42 Antonucci R J, Miller J S. *Ap. J.*, 1998, 297: 621  
43 Planesas P, Gomez-Gonzalez J, Martin-Pintado J. *Astron. Astrophys.*, 1989, 216: 1  
44 Baan W A, Irnin J A. *Ap. J.*, 1995, 446: 602  
45 Nesterov N S, Lyuty V M, Valtaoja E. *Astron. Astrophys.*, 1995, 296: 628  
46 Falgarone E, Puget J L, Perault M. *Astron. Astrophys.*, 1993, 257: 715  
47 Garcia-Burillo S et al. *Astron. Astrophys.*, 1992, 266: 21  
48 Yu Zhiyao. *Chin. Phys. Lett.*, 2001, 18(6): 841  
49 Falke H, Henkel C, Peck A B et al. *Astron. Astrophys.*, 2000, 538: 117  
50 Neufeld D A. *Ap. J.*, 2000, 542: L99  
51 Bragg A E, Greenhill L J, Moran J M. *Ap. J.*, 2000, 535: 73  
52 Haschiack A D, Baan W A, Schneps M H et al. *Ap. J.*, 1990, 356: 149  
53 Claussen M J, Diamond P J, Braatz J A et al. *Ap. J.*, 1998, 500: L129  
54 Schinnerer E, Eckart A, Jaconi L J. *Ap. J.*, 2000, 533: 850  
55 Braatz J A, Wilson A S, Henkel C. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1997, 110: 321

## Observational Study on Extragalactic H<sub>2</sub>O Megamaser Sources and Associated Molecular Emission Lines

Yu Zhiyao

(*Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030*)

### Abstract

Since the first extragalactic H<sub>2</sub>O megamaser source toward the Active Galactic Nuclei NGC 4945 was discovered, 19 sources have been found. The observational study of extragalactic H<sub>2</sub>O megamaser sources and molecular emission lines associated with AGNs is a very efficient tool to investigate characteristics of central sources in AGNs and circumnuclear toruses of gases and dusts. Current researches of searching, observation and theory on extragalactic H<sub>2</sub>O megamaser sources and associated molecular emission lines are mainly reviewed in this paper.

**Key words** AGN—extragalactic H<sub>2</sub>O megamaser—molecular emission line