

# 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射

徐 焯<sup>1,2</sup> 蒋栋荣<sup>1,2</sup> 郑兴武<sup>3</sup> 俞志尧<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院上海天文台 上海 200030)

(2. 中国科学院国家天文台 北京 100012)

(3. 南京大学天文系 南京 210008)

## 摘 要

介绍了近年来河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽的主要观测结果。H<sub>2</sub>O 超脉泽通常起源于活动星系核中央的拱核盘。它们主要寄生在 Serfert 2 星系或低电离核区。至今为止, 已有 20 个星系探测到 H<sub>2</sub>O 超脉泽。脉泽辐射的各向同性光度为 10 ~ 6000L<sub>⊙</sub>。所有超脉泽星系显示出核的活动, 显然, 脉泽是由核活动所产生的射电和 X 射线光子或激波来抽运的。H<sub>2</sub>O 超脉泽倾向存在于高倾斜度的星系, 这使得沿视线上的分子柱密度增高, 产生足够大的放大光深。最有可能产生 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的星系应有一个包含着射电源的侧向的分子盘以及一个适当的抽运机制。

**关键词** 星系: 活动星系核 — 星系: 赛弗特 — ISM — 脉泽 — 射电谱线

**分类号** P157.9

## 1 引 言

在最近 30 多年中, 天体脉泽源的研究一直是激动人心和快速发展的领域。天体脉泽除了成为研究脉泽过程的天体物理实验室外, 还由于其小尺度 (单个脉泽斑的最小直径约 10<sup>12</sup>cm<sup>[1]</sup>)、强发射 (最强脉泽辐射的各向同性光度超过 6000L<sub>⊙</sub><sup>[2]</sup>) 被用作研究其周围小尺度物理环境和动力学条件的工具。

天体脉泽是星际空间微波激射放大过程形成的一种特殊天体, 1965 年其首次在银河系内被发现<sup>[3]</sup>。随后尽管大量的脉泽在银河系中被发现, 但在其他星系却很少被探测到。Churchwell 等人<sup>[4]</sup>在近邻星系 M33 发现了第一个河外脉泽, 接着在其他近邻星系的恒星形成区也发现了一些脉泽。除了在 IC 10SE 脉泽爆发时, 其流量密度达到 120Jy 而能被观测到外<sup>[5,6]</sup>, 超出本星系群的脉泽由于太弱以致很难被探测到。Dos Santos 和 Lepine<sup>[7]</sup>在活动星系 NGC4945 发现了强水脉泽, 其光度比典型的银河系水脉泽高好几个

2000-09-22 收到

国家自然科学基金 (19973017) 资助课题 国家 973 项目 (NKBR SF G19990754) 资助课题

数量级,紧接着在其他星系,如 Circinus 星系、NGC1068、NGC4258 和 NGC3079 等也发现了这类强脉泽<sup>[8~11]</sup>。

河外水脉泽活动可划分为两类<sup>[12]</sup>:一类与邻近星系的 HII 区成协,称之为河外普通水脉泽;另一类则与活动星系核成协,称之为河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽。前一类脉泽辐射来自于恒星形成区并且可能通过放大该区域的射电连续辐射来加强自身辐射。这类水脉泽的光度一般接近于银河系最强的水脉泽源像 W49N,各向同性光度可达  $1 L_{\odot}$ ,极端情况可达到 30 倍 W49N 的光度(如 IC 10SE 的一次强爆发<sup>[5,6]</sup>)。河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射则强得多,VLBI 能够分辨的单个谱征的光度大约为 W49N 的 10~100 倍光度,而未能分辨的多重子谱特征的光度则达到 100~10000 倍,甚至更亮<sup>[2,12]</sup>。

已经在 20 个星系中发现了河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽<sup>[13~17]</sup>。所有这些超脉泽星系中都显示出核活动,这些星系基本上为 Seyfert 2 或 LINER 星系两类。因此,这表现出超脉泽现象与活动星系核活动的相关性。

河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽的成图研究是确定活动星系核质量分布的很好探针。如在 NGC4258 发现了在活动星系核中央存在黑洞的强有力的证据<sup>[18,19]</sup>,通过结合向心加速度和脉泽斑的自行,还用几何的方法测出了这个星系的距离<sup>[20]</sup>。脉泽观测同样也是探索活动星系核拱核盘性质的强有力的工具。超脉泽中浓密分子物质与所在星系和它们的核区域的物理性质紧密相关。由于这些核源的热辐射光度很可能来自吸积,并且大多数探测到喷流,因此,脉泽区域的物理环境很可能直接关系到活动星系核外流和吸积的动力学演化。

## 2 观 测

为了搜索河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射,到目前为止,已经观测了 500 多个近邻星系,只有 20 个星系探测到 H<sub>2</sub>O 超脉泽<sup>[13~17]</sup>,见表 1。表 1 中第 1~3 列分别为源星系的名称、赤经和赤纬,第 4~6 列分别为星系的系统速度、H<sub>2</sub>O 超脉泽源的峰值流量密度和脉泽辐射总光度。

河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的单天线观测主要用来发现河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源,而 VLA 和 VLBI 观测则能反映出 pc、亚 pc 甚至 0.01pc 量级脉泽斑的分布情况。VLBI 成图观测表明,脉泽辐射的大部分来自一个尺度为 0.1~1pc 的旋转的拱核盘上。比较突出的例子是 NGC4258<sup>[18,19]</sup> 和 NGC1068<sup>[21,22]</sup>,那里脉泽斑分布在一个薄的、有一定程度弯曲的盘上。脉泽源位于盘的内边缘上,其视向速度与它们所在星系的系统速度相近,并且也显示出高速的“卫星”特征:相对于盘的中部向两边延伸的速度分别显示出蓝移和红移特征。在 NGC4258,系统脉泽子谱靠近内半径 0.14 pc 处(假定该星系的距离为 7.2Mpc<sup>[20]</sup>),高速特征分布在 0.17 ~ 0.28 pc 范围内;在 NGC1068,盘的内半径约为 0.65 pc(假定该星系的距离为 15 Mpc),高速特征分布在 0.65~1.1 pc 范围内。在 NGC4258,脉泽辐射主要由低速特征的子谱贡献,这些子谱集中在盘中央的视线方向;在 NGC1068,则是脉泽源辐射的主要贡献者显示红移的高速特征。在 NGC4258,高速特征脉泽斑的视向速度随盘中央至该脉泽区投影距离的变化表明一个开普勒盘围绕一个质量为  $3.9 \times 10^7 M_{\odot}$  的中

表 1 河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的基本参量

源星系	$\alpha(1950)$	$\delta(1950)$	$V_{\text{sys}}$ /km · s <sup>-1</sup>	峰值流量密度 /Jy	$L_{\text{maser}}$ / $L_{\odot}$
Mrk 348	00 46 04.8	31 41 04	4677	0.03	420
Mrk 1	01 13 19.6	32 49 33	4824	0.06	64
NGC 1052	02 38 37.3	-08 28 09	1507	0.21	140
NGC 1068	02 40 07.1	-00 13 31	1137	0.67	170
NGC 1386	03 34 52.0	-36 09 48	864	0.65	120
Mrk 1210	08 01 27.0	05 15 22	4046	0.16	99
NGC 2639	08 40 03.0	50 23 11	3336	0.11	71
NGC 3079	09 58 35.0	55 55 15	1125	11	520
IC 2560	10 14 05.0	-33 18 54	2873	0.19	130
NGC 3735	11 33 04.8	70 48 42	2696	0.09	12
NGC 4258	12 16 29.4	47 34 53	448	6.2	85
NGC 4945	13 02 31.0	-49 12 12	560	6.2	57
M 51	13 27 46.2	47 27 10	570	0.06	0.8
NGC 5347	13 51 04.9	33 44 11	2386	0.03	32
Circinus	14 09 18.0	-65 06 18	438	16	24
NGC 5506	14 10 39.1	-02 58 26	1815	0.63	61
NGC 5793	14 56 37.0	-16 29 49	3442	0.54	125
ESO 103-G35	18 33 22.0	-65 28 18	3983	0.41	360
TXFS 2226-184	22 26 29.6	-18 26 07	7500	0.27	6100
IC 1481	23 16 52.6	05 37 57	6118	0.35	320

心天体转动。在这个源中, 旋转盘的存在进一步由测量脉泽的视向心加速度和脉泽斑的自行得到证实。在 NGC1068, 高速特征的环境运动曲线显示出一个随距离的亚开普勒运动, 由此推断出中心天体的质量大于  $10^7 M_{\odot}$ 。

相似的结果同样已在其他几个源中获得: 在 NGC4945, 强水脉泽辐射分布在三个速度分量上: 一个靠近质心速度, 其他两个粗略地对称偏离  $\pm(100 \sim 150)\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。位置 - 速度结构暗示着物质围绕束缚质量约为  $1 \times 10^6 M_{\odot}$  中心天体作圆运动<sup>[23]</sup>。同样在 NGC3079 也发现了一个可能的脉泽盘<sup>[24]</sup>。在这个源中, VLBI 观测表明脉泽子谱向南北延伸, 清楚地显示出环状结构, 分布超过 1.7 pc 范围的红移和蓝移脉泽谱征与围绕质量为  $10^6 M_{\odot}$  所作的旋转运动相一致。其他类似的例子有 NGC2639<sup>[25]</sup>、Circinus 星系<sup>[26]</sup> 和 NGC5793 等<sup>[16]</sup>。这些盘的一个显著特点是它们并不相对于对称轴准直。这在 NGC1068 中尤为突出, 那里脉泽盘的投影轴相对于内部射电喷流倾斜约  $35^\circ$ , 而射电喷流指向与拱核气体盘几乎垂直<sup>[27,28]</sup>。相似的情形也发生在 NGC3079, 那里脉泽盘相对于核的射电喷流成  $45^\circ$  倾角, 而 VLBI 观测在 NGC1052 中发现脉泽的投影位置在射电喷流中。

### 3 生成区域和基本特征

强 H<sub>2</sub>O 超脉泽主要在 Serfert 2 星系或低电离核区中发现, 特别是在高度倾斜的星系

中<sup>[13,29]</sup>。只有少数几个有一个适中的倾斜度,而 Mrk348 几乎是面向的 ( $i = 16^\circ$ )<sup>[17]</sup>。在 Serfert 1 星系中则没有探测到  $H_2O$  超脉泽辐射。

在 Serfert 1 星系中缺乏  $H_2O$  超脉泽表明这些星系可能没有适合条件的分子气体以产生脉泽辐射,也可能是在这些星系中脉泽的辐射束远离视线。前者与 Serfert 1 和 Serfert 2 星系是相同的只是观测角度不同的统一理论矛盾。对后者来说, Serfert 2 星系被认为含有 Serfert 1 星系的核,这个核被一个 pc 量级的厚盘或环遮挡<sup>[30]</sup>。一个合理的解释是脉泽起源于与环相联系的气体里并且被集中在环面里。VLBA 观测显示<sup>[18,19]</sup>NGC4258 中的脉泽生存于一个薄的侧向盘里,如果其他的  $H_2O$  超脉泽有相似的结构,那么仅仅在 Serfert 2 星系发现  $H_2O$  超脉泽表明厚环和薄盘有共面的倾向。一种可能是厚环和薄盘具有相同的从核向外的径向分布,在厚环里的气体密度沿着盘面向中心增加。另一种可能是薄盘比厚环更接近于中央核。薄盘然后也许随着离核的距离的增加而突变并且逐渐地转变成一个厚盘。对 NGC1068 高分辨率的观测暗示一些脉泽辐射与环的内边缘相关联<sup>[21]</sup>。

如果大多数活动星系核都有类似的产生  $H_2O$  超脉泽的盘,则在如此之少的星系中探测到它们意味着核盘几乎侧向对着我们才能看到脉泽辐射。也许仅仅只有活动星系核的一部分具有特殊的几何与物理环境,才能产生  $H_2O$  超脉泽。例如,在 NGC4258 中,核的硬 X 射线源与一个薄的、弯曲的分子盘相结合。硬 X 射线源照射着弯曲盘并且使水分子丰度很大的分子层的温度上升至  $400 \sim 1000K$ <sup>[31]</sup>。根据 Neufeld 等人的计算,在这个分子层中的物理环境引起了分子间的碰撞抽运,产生了光度为  $(10^2 \pm 10^{0.5})L_\odot/pc^2$  的脉泽辐射<sup>[32]</sup>。另一种可能的几何图像是核的硬 X 射线源被一个厚的分子环围绕,脉泽辐射产生于环的内边缘,正如在 NGC1068<sup>[21]</sup>中的那样。当然,其他的能源(如激波<sup>[33]</sup>等),同样可以将气体分子加热到一个十分有利于碰撞抽运的温度。

Braatz 等人发现  $H_2O$  超脉泽多出现于有高 X 射线吸收柱密度 ( $N_H > 10^{24}cm^{-2}$ ) 的 Serfert 2 星系<sup>[29]</sup>。然而,这也许受制于选择效应。例如,3 个  $N_H > 10^{24}cm^{-2}$  并且探测到  $H_2O$  超脉泽的星系(NGC1068, NGC4945 和 Circinus 星系)都离我们很近。

Henkel 等人搜寻了 50 个近邻(红移  $z < 0.15$ )FR I 星系,但没有探测到  $H_2O$  超脉泽辐射<sup>[34]</sup>。这能够被解释为:(1)脉泽饱和;(2)不利的几何形状,这种形状使可利用的 22GHz 的种子光子数目极小化;(3)分子物质不同的动力学;(4)在 FR I 星系的核区缺乏温暖的、浓密的分子气体。当然,如果对一个更大样品的低功率射电星系的搜寻仍然得到同样的结果,则仅仅用饱和脉泽来解释就似乎不再可行。那可能是 Seyfert 和低功率射电星系在核性质上存在本质的差异引起的。

Maiolino 和 Rieke 对 Seyfert 星系分类进行了特殊的考虑(即 Seyfert 1.2, 1.5, 1.8, 1.9)。他们发现中间数为 1.8 或 1.9 的 Seyfert 星系倾向于有高的倾斜度<sup>[35]</sup>。他们认为也许是在星系盘而不是核环里的一个 100pc 尺度的环遮挡了 Seyfert 1 星系,这个环相对于星系盘的方位可能是随机分布的<sup>[36]</sup>。相对于 Serfert 2 星系和 LINER 星系,高倾斜度的 Serfert 1 星系数量较少。事实上,如果河外星系水脉泽源总的增益主要由与 100pc 尺度的环或在星系盘上的其他分子云相联系的气体的放大贡献,则也许会看到脉泽的总功率与星系的倾斜度相关,但观测结果却是否定的<sup>[29]</sup>。

总而言之,  $H_2O$  超脉泽倾向存在于高倾斜度的星系,这已经由大样本的观测所证

实, 表明脉泽被与星系盘共面的物质所放大。

## 4 机 制

关于  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽的激发机制已有多种方案<sup>[31~33,37~40]</sup>。河外  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽放大机制中最有生命力的放大模型包括: (1) 前景反转(分子能级布居数反转)分子区域放大背景射电连续辐射<sup>[38,39,41]</sup>; (2) 前景反转气体分子放大了背景脉泽活动<sup>[42,43]</sup>。这两种机制都要求反转气体云的叠加和背景连续源的存在。在 NGC4258 所观测到的两种类型的辐射特征表明上述两种机制都在工作。在质心速度处, 脉泽谱征很强, 因此脉泽辐射是由于(多重)反转区域放大了核连续源; 而在分子环的切线部分, 多重分子团可能提供了有效的增益长度以产生窄的、弱的谱征。

各种超脉泽分子的不同观测特性来自于满足对抽运和放大的不同的物理需求。为了获得连续源放大的正确图像, 要求下列要素:

(1) 背景连续源的存在, 它可能在星系核区。为了能观测到强脉泽辐射, 必须要有一个射电连续辐射源被放大。这已被观测所证实。VLBI 观测表明, NGC1068 的强脉泽谱征放大了与中央引擎相联系的 22GHz 连续辐射<sup>[21]</sup>; NGC4258 系统速度上的水脉泽谱征的平均流量密度与这个星系的核区喷流的流量密度相关<sup>[44]</sup>; 由于 Mrk348 核区的射电连续辐射爆发, 使得这个几乎面向的星系被探测到强  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽辐射<sup>[17]</sup>。

(2) 用来反转分子物质的泵。为了在气体分子中提供足够的反转, 一个强有力的抽运泵是必需的。

(3) 一个几乎侧向的分子盘。这可以增加沿视线方向看到一个具有反转粒子数的分子云的可能性。一个侧向星系核盘的主要观测特征是高吸收的柱密度。大部分  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽星系是侧向的, 这能提高视线上的分子柱密度, 因此, 沿视线方向就有存在  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽区域的可能性。

分子放大过程很大程度上取决于在核源前面的分子气体的存在。沿视线方向上的大的柱密度能够产生足够大的放大光深, 使得脉泽辐射过程能够被观测到。由于放大光深是有方向性的, 其很大程度上依赖于气体分子的几何分布, 不利的几何形状会使许多源的超脉泽辐射不能被探测到。

对  $\text{H}_2\text{O}$  超脉泽来说, 如此强的辐射来自这样小的分子云是难以理解的。大多数银河系的  $\text{H}_2\text{O}$  脉泽被认为是饱和的, 这意味着整个脉泽区域将稳定地发出辐射(发射出的光子数一定)。饱和脉泽有一个高的效率将抽运光子转化为脉泽光子。非饱和脉泽虽有一个指数增益但只有一个低的转化效率。然而, 一个非饱和脉泽能够放大背景连续辐射。当脉泽里的谱线辐射场变得更强时, 这个脉泽将逐渐饱和。背景连续源的存在将使这个过程加速。没有一个背景源, 这些脉泽也许根本不会饱和, 甚至是不可见的。

活动星系核超脉泽盘的起源有两种不同的解释: 一种观点认为脉泽辐射来自于中央连续源对盘的照射<sup>[32]</sup>, 而另一种观点则认为脉泽辐射产生于通过盘的激波<sup>[33]</sup>。在盘照射的情形里, 由于盘的弯曲, 使得盘暴露在中央辐射场中, 脉泽辐射产生于盘弯曲开

始处<sup>[31]</sup>。盘的弯曲位置由产生弯曲的物理机制决定<sup>[45,46]</sup>。在激波机制里,高速脉泽辐射归因于旋转激波。这种模型提供了一个关于脉泽高速特征的自然解释,像 NGC4258 和 NGC1068 以及在已观测到的红移特征占支配地位的大多数源中。

也有人认为脉泽放大并非发生在星系盘上, Gallimore 等人发现在 20 pc 的范围内, NGC1068 内弱的水脉泽子谱的位置与最亮的核 1.3 cm 射电连续辐射的峰值位置一致<sup>[47]</sup>。对这个源来说,从星系盘的其他部分上接收到足够大的放大是不大可能的,因为这个星系的倾斜度较小 ( $i \approx 29^\circ$ )。Gallimore 等人认为非核脉泽与激发附近气体分子的激波相关<sup>[27,28]</sup>。

## 5 时 变

河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽源几乎都在谱线强度、线宽和线心速度上显示出变化。这些变化有的是系统的,有的则是无规则的。

Baan 和 Haschick 在 1984~1993 年间对一些河外星系像 NGC3079、NGC4258 及 IC10 等水脉泽进行了系统的观测<sup>[6,12,42]</sup>。他们在 NGC4258 核区观测到了一个周期为 85 d 的强度变化。Greenhill 等人发现了<sup>[48]</sup>时标仅 10 min 的快速变化,脉泽强度在 10 min 内增加了一倍,达到 37Jy,各向同性光度从  $4.8L_\odot$  增加到  $11L_\odot$ 。

### 5.1 时变特征

H<sub>2</sub>O 超脉泽谱线有以下时变特征<sup>[12]</sup>:由许多弱的子谱组成单个强的脉泽谱,故线宽较宽 ( $\approx 10\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ );由这些子谱组成的特征族在强度变化上较为一致,并显示出系统的速度漂移,而这些时变特征并不受子谱的随机变化影响;脉泽强度增加时其线宽变窄,两者的关系与标准理论中脉泽辐射的未饱和指数放大相一致,几乎在所有超脉泽源中都观测到这种现象;每个脉泽源中至少有一个谱征存在线速度的系统变化和速度梯度。

速度变化是脉泽云相对于背景连续源结构运动的证据。速度变化仅仅发生在放大云的尺寸比连续源结构的尺度更小的情况下。已经观测到两种类型的速度变化:(1)谱征有一个正的速度漂移,这可以在 NGC4258, NGC1068 和 NGC3079 中看到<sup>[49~51]</sup>; (2)在系统速度的某一边,谱征速度呈现出摆动,如 NGC3079 的主特征。分子环内脉泽云的速度随着它们与偏离中央源的位置而线性地变化,不过速度的漂移率随着视线到中心的距离增加而减少。水脉泽谱征的速度漂移突出了环的旋转,而它们的时变则揭示了发射脉泽的易逝性质。

观测表明,每个源中的单个脉泽特征都显示谱线强度有长或短时标的变化。校正的不精确可能会导致时标等于或小于取样时间的流量变化,但不会影响系统的长期变化。由于一些谱征的出现或消失,脉泽光谱在不同的时期相差很大。

已观测到的所有单个谱征线宽的变化都显示了一个相同的趋势:随着谱线强度的减少,线宽增加并且一些谱征的强度变化值最大可达到 32 倍,这与非饱和的放大现象相吻合。因为更宽的谱征很可能是许多不相关的、较弱的子谱的混合,这种反相关变化就不存在了。当然,如果所有子谱举止相同,并且被相同的源抽运,则这种集合能够再次显

示单一谱线特征。

河外超脉泽的谱线特征与银河系的脉泽源差异很大, 它们的物理环境很可能十分不同。河外脉泽谱的强度、线宽和线心速度的变化是探索脉泽区域物理环境的一个重要线索。

## 5.2 时变机制

短时标的水脉泽变化可由星际闪烁、背景辐射源的快速涨落及非饱和脉泽区域的涨落产生<sup>[48,52]</sup>。

星际闪烁是通过银河系内星际介质中的电离物质产生的。星际等离子体沿着致密射电源方向扰动能够引起射电源的强度涨落。在低银纬区域电离介质呈团块状分布, 使在沿脉泽辐射的视线方向上有可能产生闪烁现象, 并因此产生脉泽辐射的短时标涨落。

背景辐射源的快速涨落也能够引起短时标变化。如果背景源覆盖了整个脉泽源, 则光通过脉泽源的时间约  $10^7$  s, 这对脉泽变化的时变来说显然太长, 不过如果一个背景源只是照亮某个大的脉泽团, 其快速涨落产生水脉泽的短时标的变化则是可能的。

一个完全饱和脉泽的辐射率是固定的。如果脉泽非饱和, 抽运率出现小的波动就能导致脉泽辐射相当大的变化<sup>[53]</sup>, 并且, 非饱和脉泽在短时间内 (min 至 h 量级) 的大规模涨落是有可能的<sup>[52]</sup>。当扰动沿视线方向传播并且速度接近光速时, 涨落变化最快。同样, 部分饱和脉泽也能产生脉泽的短时标变化。

脉泽爆发可由两个脉泽相互放大产生<sup>[54,55]</sup>。当一个脉泽漂移至另一个脉泽前面 (沿视线方向) 且两者视向速度相同时, 则可能观测到脉泽爆发。

通过激波驱动引起脉泽分子抽运也被用来解释脉泽时变<sup>[41,56]</sup>: 激波气团通过浓密的分子云并对其有序抽运时, 脉泽团会或隐或现产生所观测到的脉泽变化。但目前的激波加热模型会产生大的速度漂移, 也需要供给大量的能量, 未能由目前的观测所证实<sup>[57]</sup>。尽管大的速度漂移已在超脉泽源中观测到<sup>[51,58]</sup>, 但并不表明是由高速运动的激波引起的<sup>[51]</sup>。

对银河系星际水脉泽来说, 辐射抽运一般不能解释观测到的辐射率<sup>[59,60]</sup>。而在活动星系核区域, 由于中心能源相当高的光度, 以其作为抽运能源足以使抽运率超出脉泽辐射率。若抽运光子数发生变化, 脉泽辐射也会相应改变。

如果脉泽区域被来自核区中央的 X 射线源加热, 引起碰撞抽运产生脉泽辐射, 伴随着 X 射线源流量的变化, 脉泽辐射也能产生相应的变化<sup>[32,61]</sup>。

脉泽区域形状的不规则性能够引起一个时标为  $\tau = l/v_{\text{orb}}$  的视光度变化, 这里  $l$  是脉泽区域的典型尺度,  $v_{\text{orb}} \approx 10^3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  是典型的轨道速度。

Baan 和 Haschick 用指数 (非饱和) 放大背景连续辐射机制<sup>[38,62]</sup> 来解释所观测到的强 H<sub>2</sub>O 超脉泽爆发: 抽运率一直在变化的反转分子气体位于背景连续源的前面 (沿视线方向) 部分地放大了背景连续辐射, 这种背景连续辐射也许是非热辐射, 以保持一个低的放大光深来产生强爆发。总的说来, 这种机制较适用于解释河外超脉泽辐射时变<sup>[6,12,44]</sup>。

## 6 小 结

至今的河外 H<sub>2</sub>O 超脉泽的观测显示, 它们只存在于 Serfert 2 和 LINER 星系里。在 Seyfert 星系中, 随着核的气体柱密度增加, 即从 Serfert 1 星系向 Serfert 2 星系过渡时, 观测到 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的可能性也增加。在有非常高的 X 射线吸收柱密度 ( $N_{\text{H}} > 10^{24} \text{cm}^{-2}$ ) 气体的 Serfert 2 星系比那些更低柱密度的同类星系更容易探测到 H<sub>2</sub>O 超脉泽。因此, 作为一个重要加热源以及超脉泽星系倾向于沿着核有高的柱密度表明 X 射线观测对了解 H<sub>2</sub>O 超脉泽现象至关重要。

H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射最可能起源于非饱和脉泽放大背景射电连续结构。最有可能产生 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的星系应有一个包含着射电源的侧向的分子盘以及一个适当的抽运机制。大多数观测到的 H<sub>2</sub>O 超脉泽辐射的区域都满足这些要求。

到目前为止, 已经搜寻了超过 1000 个星系, 但这些星系大多是具有快速旋转吸积盘的类似 NGC4258 的星系, 这样的星系样本可能是有偏差的。在 2001 年, 新一代的搜寻工作又将开始, 可以预期, 伴随着无偏差的样本, 更多的 H<sub>2</sub>O 超脉泽将会被发现。

### 参 考 文 献

- 1 Imai H, Sasao T, Kameya O *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997, 317: L67
- 2 Koekemoer A M, Henkel C, Greenhill L J *et al.* *Nature*, 1995, 378: 14
- 3 Cheung A C, Rank D M, Townes C H *et al.* *Nature*, 1969, 221: 626
- 4 Churchwell E, Witzel A, Huchtmeier W *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1977, 54: 969
- 5 Beceker R, Henkel C, Wilson T L *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1993, 268: 483
- 6 Baan W A, Haschick A D. *Ap. J.*, 1994, 424: L33
- 7 DosSantos P M, Lepine J R D. *Nature*, 1979, 278: 34
- 8 Gardner F F, Whiteoak J B. *M.N.R.A.S.*, 1982, 201: 13
- 9 Claussen M J, Heiligman G M, Lo K Y. *Nature*, 1984, 310: 298
- 10 Henkel C, Güsten R, Downes D *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1984, 141: L1
- 11 Haschick A D, Baan W A. *Nature*, 1985, 314: 144
- 12 Baan W A, Haschick A D. *Ap. J.*, 1996, 473: 269
- 13 Braatz J A, Wilson A S, Henkel C. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1996, 106: 51
- 14 Greenhill L J, Herrnstein J R, Moran J M *et al.* *Ap. J.*, 1997, 486: L15
- 15 Ho P T P, Martin R N, Henkel C *et al.* *Ap. J.*, 1987, 320: 636
- 16 Hagiwara Y, Kohno K, Kawabe R *et al.* *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, 1997, 49: 171
- 17 Falcke H, Henkel C, Peck A B *et al.* *Astron. Astrophys.*, 2000, 358: L17
- 18 Miyoshi M, Moran J M, Herrnstein J R *et al.* *Nature*, 1995, 373: 127
- 19 Greenhill L J, Jiang D R, Moran J M *et al.* *Ap. J.*, 1995, 440: 619
- 20 Herrnstein J R, Moran J M, Greenhill L J *et al.* *Nature*, 1999, 400: 539
- 21 Greenhill L J, Gwinn C R, Antonucci R *et al.* *Ap. J.*, 1996, 472: L21
- 22 Greenhill L J, Gwinn C R. *Astrophys. Space. Sci.*, 1997, 248: 261
- 23 Greenhill L J, Moran J M, Herrnstein J R. *Ap. J.*, 1997, 481: L23
- 24 Troffer A S, Greenhill L J, Moran J M. *Ap. J.*, 1998, 495: 740
- 25 Wilson A S, Braatz J A, Henkel C. *Ap. J.*, 1995, 455: L127
- 26 Greenhill L J, Ellingsen S P, Norris R P *et al.* *Ap. J.*, 1997, 474: L103
- 27 Gallimore J F, Baum S A, O'Dea C P. *Ap. J.*, 1996, 464: 198
- 28 Gallimore J F, Baum S A, O'Dea C P. *Nature*, 1997, 388: 852
- 29 Braatz J A, Wilson A S, Henkel C. *A. J.*, 1997, 110: 321

- 30 Antonucci R R J. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1993, 31: 473
- 31 Neufeld D A, Maloney P R. *Ap. J.*, 1995, 447: L17
- 32 Neufeld D A, Maloney P R, Conger S. *Ap. J.*, 1994, 436: L127
- 33 Maoz E, Mckee C F. *Ap. J.*, 1998, 494: 218
- 34 Henkel C, Wang Y P, Falcke H *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1998, 335: 463
- 35 Maiolino R, Rieke G H. *Ap. J.*, 1995, 454: 95
- 36 Wilson A S, Tsevetanov I I. *Ap. J.*, 1994, 107: 1227
- 37 Greenhill L J, Moran J M, Reid M J *et al.* *Ap. J.*, 1990, 364: 513
- 38 Baan W A. *Nature*, 1985, 315: 26
- 39 Haschick A D, Baan W A. *Nature*, 1985, 314: 144
- 40 Kartje J F, Königl A, Elitzue M. *Ap. J.*, 1999, 513: 180
- 41 Elitzue M, Hollenbach D, Mckee C. *Ap. J.*, 1989, 346: 983
- 42 Haschick A D, Baan W A. *Ap. J.*, 1990, 355: L23
- 43 Greenhill L J. In: Clegg A W, Nedoluha G E eds. *Astrophysical Masers*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlg, 1993, 87
- 44 Herrnstein J R, Moran J M, Greenhill L J *et al.* *Ap. J.*, 1997, 475: L17
- 45 Maloney P R, Begelman M C, Pringle J E. *Ap. J.*, 1996, 472: 582
- 46 Papaloizou J C B, Terquem C, Lin D N C. *Ap. J.*, 1998, 497: 212
- 47 Gallimore J F, Baum S A, O'Dea C P *et al.* *Ap. J.*, 1996, 462: 740
- 48 Greenhill L J, Ellingsen S P, Norris R P *et al.* *Ap. J.*, 1997, 474: L103
- 49 Greenhill L J, Henkel C, Becker R *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1995, 304: 21
- 50 Haschick A D, Baan W A, Peng E W. *Ap. J.* 1994, 437: L35
- 51 Bragg A E, Greenhill L J, Moran J M *et al.* *Ap. J.*, 2000, 535: 73
- 52 Kaufman M J, Neufeld D A. In: Clegg A W, Nedoluha G E eds. *Astrophysical Masers*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlg, 1993, 287
- 53 Argon A L, Greenhill L J, Moran J M *et al.* *Ap. J.*, 1994, 422: 586
- 54 Elitzur M, Mckee C, Hollenback D. *Ap. J.*, 1991, 367: 333
- 55 Deguchi S, Watson W D. *Ap. J.*, 1989, 340: L17
- 56 Haschick A D, Baan W A. In: Clegg A W, Nedoluha G E eds. *Astrophysical Masers*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlg, 1993, p.91
- 57 Melnick G J. *Ap. J.*, 1993, 416: L37
- 58 Nakai N *et al.* *Nature*, 1993, 361: 45
- 59 Reid M J, Moran J M. In: Verschuur G L, Kellermann K I eds. *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy*, NewYork: Springer-Verlag. 1988, 269
- 60 Moran J M. In: Hartquist T ed. *Masers in the Envelopes of Young and Old Stars*, Cambridge: Cambridge University Press. 1989
- 61 Collison A J, Watson W D. *Ap. J.*, 1995, 452: L103
- 62 Haschick A D, Baan W A, Schneps M H *et al.* *Ap. J.*, 1990, 356: 155

## H<sub>2</sub>O Megamasers in Extragalaxies

Xu Ye<sup>1,2</sup> Jiang Dongrong<sup>1,2</sup> Zheng Xingwu<sup>3</sup> Yu Zhiyao<sup>1,2</sup>

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

(2. *National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

(3. *Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

### Abstract

Main observational results and theoretical studies for H<sub>2</sub>O Megamasers are briefly reviewed. The H<sub>2</sub>O Megamaser emission often originates in thin circumnuclear disks near the centers of active galactic nuclei (AGN) and has been detected in 20 galaxies with isotropic luminosities of about 10~6000  $L_{\odot}$ . All of megamaser galaxies show evidence for nuclear activity, being classified as either Seyfert 2 or LINER, so there appears to be a link between the megamaser phenomenon and AGN. There was a trend for megamasers to occur preferentially in highly inclined host galaxies. The AGN apparently produces the seed radio photons and the X-ray photons or shock waves need to pump the maser material. The observed spectral characteristics support a model with inverted molecular gas located in front of the nuclear source that in part amplifies the background continuum.

**Key words** galaxies: active galaxies: nuclei—galaxies: Seyfert—ISM: masers—radio lines