

文章编号: 1000-8349(2004)01-0081-10

河外星系 OH 超脉泽的观测和研究

俞 志 尧

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 自从首次发现河外星系 OH 超脉泽以来, 30 多年 (特别是近 10 年) 中对河外星系 OH 超脉泽的观测和研究取得了极大的进展。到目前为止已发现 106 个河外星系 OH 超脉泽, 其中包括 59 个较高红移的源。对河外星系 OH 超脉泽的观测和研究, 是探测和研究其所成协的活动星系核、星暴星系的中央源和拱核盘的有效工具。主要评述对河外星系 OH 超脉泽的搜索、观测和理论研究现状。

关键词: 天体物理学; 河外星系 OH 超脉泽; 综述; 活动星系核; 星暴星系

中图分类号: P155.2⁺2; P157.6 **文献标识码:** A

1 引 言

天体 OH 脉泽是宇宙中最强、最重要的脉泽之一。首先探测到河外星系 OH 超脉泽辐射的是 Whiteoak 和 Gardner^[1] 及 Nguyen 等人^[2]。30 多年来, 特别是近 10 年对该类源的观测和研究取得了极大的进展。10 年前仅发现 31 个河外星系 OH 超脉泽^[3], 而至今已发现了 106 个, 其中包括 59 个较高红移的源。Staveley 等人^[4] 利用 Parkes 64 m 射电望远镜对南天的河外星系 OH 超脉泽进行了搜寻。目前, 对该类源最出色的搜寻工作应归属于美国 NRAO 91 m 和 Arecibo 305 m 大射电望远镜^[5~8]。Diamond 等人^[9]、Lonsdale 等人^[10]、Yates 等人^[11]、Pihlstrom 等人^[12] 和 Yu^[13] 分别对其中的 5 个强源进行了高分辨观测。

本文主要综述近 10 年对河外星系 OH 超脉泽的观测和研究的最新进展。第 2 节给出单天线巡视的观测和研究结果, 第 3 节给出高分辨率的观测和研究结果, 第 4 节给出对一些重要问题的讨论。

2 单天线巡视

到目前为止已发现 106 个河外星系 OH 超脉泽, 它们的一些基本物理参数列于表 1。从表 1 可以看出, 这 106 个源都是在明亮的红外星系 (多数是远红外波段明亮的和极端明亮的红

外星系)中发现的。河外星系 OH 超脉泽的活动性,要求有高的 OH 分子柱密度和某种抽运机制去反转 OH 分子基态的精细结构。河外星系的并合能够提供上述要求。并合的相互作用凝聚了并合核中的全体分子,从吸收星暴星光过程中产生强的远红外尘埃发射,并且从活动星系核 (AGN) 或星暴星系中产生射电连续辐射^[19]。

河外星系 OH 超脉泽的搜寻是一项复杂并需要非常仔细的工作,首先要根据已发现的河外星系 OH 超脉泽的母本星系的远红外特征,从 IRAS 点源表里仔细而谨慎地选择搜寻样本。根据 IRAS 点源表给出的 106 个河外星系 OH 超脉泽母本星系的远红特征,可以发现,河外星系 OH 超脉泽母本星系的 $12\ \mu\text{m}/25\ \mu\text{m}$ 流量密度比在 0.1~1.3 之间, $25\ \mu\text{m}/60\ \mu\text{m}$ 流量密度比在 0.04~0.74 之间,而 $60\ \mu\text{m}/100\ \mu\text{m}$ 流量密度比在 0.08~1.3 之间。

总之,河外星系 OH 超脉泽可能会在亮远红外星系中被观测到,并且所观测到的 OH 超脉泽光度与其母本星系的远红外光度之间存在着一定的函数关系(详见第 4 节讨论)^[20]。同时明亮的远红外星系几乎就是星系并合的产物,因此上述函数关系就与星系的并合有关,它可以作为研究星系并合的有效工具。在并合过程中,高密度分子云中的远红外辐射场或碰撞的震荡可以通过 $35\ \mu\text{m}$ 和 $53\ \mu\text{m}$ 波段抽运 OH 脉泽,然后通过 AGN 中 18 cm 连续辐射或脉泽云的自发发射使得 OH 超脉泽激发^[6]。

表 1 已发现的 106 个河外星系 OH 超脉泽的基本物理参数^[3~8,14~18]

IRAS 名称	其它名称	$\alpha(1950)$	$\beta(1950)$	峰值流量 /mJy	峰值速度 /km·s ⁻¹	OH 超脉泽光度 的对数
00057 + 4024		00 05 45.0	+40 21 13		12623	1.9
00335 - 2732		00 33 31.9	-27 32 04	≤ 20	20716	
00450 + 2533	NGC 253	00 45 05.0	-25 33 45	120	300	
01364 - 1042	IC 766	01 36 24.1	-10 42 24		14250	
01418 + 1651	III Zw 35	01 41 48.1	+16 51 07	230	8200	2.7
01562 + 2528		01 56 12.0	+25 27 59	6.96	49814	3.22
02483 + 4302		02 42 20.4	+43 02 56		15600	2.5
02524 + 2046		02 52 26.8	+20 46 54	39.82	54162	3.71
03056 + 2034		03 05 38.3	+20 34 56		64456	
03260 - 1422		03 26 04.6	-14 22 25		12900	2.0
03317 - 3618	NGC 1365	03 33 26.0	-36 08 23	50	1646	
03521 + 0028		03 52 08.5	+00 28 21	2.77	45512	2.41
03566 + 1647		03 56 37.8	+16 47 57	1.96	39865	2.29
04121 + 0223		04 12 10.5	+02 09 24	2.52	36454	2.3
04454 - 4838		04 46 49.5	-48 33 30	142	15916	
04332 + 0209		04 33 12.3	+02 09 24	8	3600	0.5
05100 - 2425		05 10 05.2	-24 25 29	18	10000	2.0
05189 - 2524		05 18 58.5	-25 24 39	30	12350	
05414 + 5840	U 3351	05 41 25.6	+58 40 51	4	4900	0.8
06206 - 3646		06 20 40.2	-36 46 10		30660	
06487 + 2208		06 48 45.1	+22 08 06	7.6	43080	2.86
07163 + 0533		07 16 23.7	+05 33 16	4	33183	2.35
07572 + 0533		07 57 17.9	+05 33 16	2.26	56783	2.71
08071 + 0509		08 07 08.7	+05 09 59		62425	

(续表)

IRAS 名称	其它名称	$\alpha(1950)$	$\beta(1950)$	峰值流量 /mJy	峰值速度 /km·s ⁻¹	OH 超脉泽光度 的对数
08201 + 2801		08 20 10.1	+28 01 19	14.67	50365	3.42
08279 + 0956		08 27 56.1	+09 56 41	4.97	62521	3.19
08449 + 2332		08 44 05.6	+23 32 12	2.29	45277	2.56
08474 + 1813		08 47 28.3	+18 13 14	2.2	43470	2.67
09039 + 0503		09 03 56.4	+05 03 28	5.17	37474	2.8
09320 + 6134	U 5101	09 32 04.7	+61 34 37	12	11900	1.6
09531 + 1430		09 53 08.3	+14 30 22	3.98	64494	3.38
09539 + 0857		09 53 54.9	+08 57 23	14.32	38673	3.45
10035 + 2740		10 03 36.7	+27 40 19	2.29	50065	2.47
10039 - 3338		10 06 04.6	-33 53 06	6.26	10107	2.6
10173 + 0828		10 37 49.1	+08 28 40	100	14700	2.7
10339 + 1548		10 17 22.0	+15 48 11		58906	2.62
10378 + 1109		10 33 58.1	+11 09 08		38048	
10485 - 1147		10 48 34.6	-14 47 27		37267	
11010 + 4107	Arp 148	11 01 05.8	+41 07 08		10900	2.0
11028 + 3130		11 02 54.0	+31 30 40	4.27	59695	2.94
11069 + 2711	IC 2626	11 06 56.9	+27 11 23		20350	
11180 + 1623		11 18 06.7	+16 23 16	1.82	49783	2.31
11257 + 5850	Mkr 171	11 25 42.1	+58 08 18	18	3100	1.3
11506 - 3851	ESO 320-20	11 50 40.2	-38 51 17	90	2968	1.4
11524 + 1058		11 52 29.6	+10 58 22	3.17	53479	2.95
12005 + 0009		12 00 30.2	+00 09 24	3.51	36472	2.6
12018 + 1941		12 01 51.8	+19 41 46	3	50400	2.7
12032 + 1707		12 03 14.9	+17 07 48	16.27	65055	4.11
12112 + 0305		12 11 12.2	+03 05 21	50	21800	3.3
12162 + 1047		12 16 13.9	+10 47 58	2.07	43757	2.22
12243 - 0036	N 4418	12 24 22.1	-00 36 14	7	2200	-0.1
12540 + 5708	Mrk 231	12 54 04.7	+57 08 39	50	12700	2.9
12549 + 2403		12 54 53.4	+24 03 57	1.79	39603	2.34
13097 - 1531	N 5010	13 09 46.6	-15 31 58	3	6800	1.0
13126 + 2452	IC 860	13 12 40.1	+24 52 52		3866	
13218 + 0552		13 21 48.4	+05 52 40	4.01	61268	3.41
13254 + 4754		13 25 25.7	+47 54 38	6	18400	1.9
13225 - 4245	CentanrnsA	13 22 32.0	-42 45 33	120	18480	
13428 + 5608	Mrk 273	13 42 51.6	+56 08 14		11300	2.7
13451 + 1232		13 45 06.5	+12 32 21	13	1380	
14043 + 0624		14 04 20.2	+06 24 48	2.75	33912	2.08
14059 + 2000		14 05 56.4	+20 00 42	15.20	37246	3.32
14070 + 0525		14 07 00.3	+05 25 40	8.37	79929	4.09
14553 + 1245		14 55 19.1	+12 45 21	2.93	37462	2.24
14586 + 1432		14 58 41.6	+14 31 53	7.11	44380	3.38
15065 - 1107	NGC 5861	15 06 33.2	-11 07 56		1818	1.3

(续表)

IRAS 名称	其它名称	$\alpha(1950)$	$\beta(1950)$	峰值流量 /mJy	峰值速度 /km·s ⁻¹	OH 超脉泽光度 的对数
15107 + 0724	Zw 049.057	15 10 45.7	+07 24 42		3900	1.0
15179 + 3956		15 17 55.8	+39 56 23	12.27	13769	
15233 + 0533		15 23 20.2	+05 33 16		15792	
15224 + 1033		15 22 27.4	+10 33 17		40450	3.01
15247 - 0945		15 24 43.6	-09 45 33	278	12000	2.1
15250 + 3609		15 25 03.2	+36 09 02	13.91	16400	2.6
15327 + 2340	Arp 220	15 32 46.3	+23 40 10	2.37	5500	2.7
15587 + 1609		15 58 45.5	+16 09 23	7.02	41235	3.23
16100 + 2527		16 10 00.4	+25 28 02	3.12	39272	2.26
16255 + 2801		16 25 34.0	+28 01 32	25	40186	2.54
16300 + 1558		16 30 05.6	+15 58 02	115	72467	2.81
16399 - 0937		16 39 55.2	-09 37 36		8000	1.6
17161 + 2006		17 16 05.8	+20 06 04	4.84	32762	4.84
17208 - 0014		17 20 48.2	-00 14 17	0.76	12800	3.0
17526 + 3253	U 11035	17 52 39.1	+32 53 36	4.58	7553	
17539 + 2953		17 54 00.1	+29 35 50	42	32525	1.74
18368 + 3549		18 36 49.5	+35 17 04	7.37	31973	2.83
18544 - 3718		18 54 29.6	-37 18 41	200	21103	
18588 + 3517		18 58 52.4	+35 17 04	2.61	31973	2.5
20100 - 4156		20 13 29.6	-41 47 34	15.58	38790	4.0
20248 + 1734		20 24 52.3	+17 34 24	2.27	36219	2.51
20286 + 1846		20 28 39.9	+18 46 37		40396	3.38
20450 + 2140		20 45 00.1	+21 40 03	25	38480	2.21
20491 + 1846	U 11634	20 49 08.1	+18 46 57	5.04	23116	
20550 + 1656	IIZw 96	20 55 05.3	+16 56 03	16.33	10900	2.2
21077 + 3358		21 07 45.9	+33 58 03		52847	3.23
21272 + 2514		21 27 15.1	+25 14 39	6.35	45208	3.63
22025 + 4205	U 11898	22 02 31.9	+42 05 05		4400	0.7
22055 + 3024		22 05 33.6	+30 24 52	1.76	38044	2.71
22088 - 1832		22 08 48.3	-18 32 41	11	46718	
22116 + 0437		22 11 38.6	+04 37 29	3.58	58144	2.74
22491 - 1808		22 49 09.5	-18 08 19	8.69	23200	2.4
23019 + 3405		23 01 57.3	+34 05 27		32389	2.1
23028 + 0725		23 02 49.2	+07 25 35	4.59	44845	3.26
23050 + 0359		23 05 01.3	+03 59 33	2	13912	
23129 + 2548		23 12 54.4	+25 48 13	1.8	53663	3.24
23135 + 2516	IC 5298	23 13 31.2	+25 16 48	3.32	8100	0.8
23199 + 0123		23 19 57.7	+01 22 57		40981	2.35
23234 + 0946		23 23 23.6	+09 46 15		38356	2.72
23365 + 3604		23 36 31.5	+36 04 26		19338	

3 高分辨观测

到目前为止, 已进行过高分辨观测的 5 个强河外星系 OH 超脉泽为 Arp 220^[10]、III Zw 35^[12,9]、Mrk 273^[11]、IRAS 17208-0014^[9]、IRAS 10173+0828^[13]。这 5 个源的峰值流量密度大于或等于 100 mJy, 其中最大峰值流量密度要接近 300 mJy。

Arp 220 是第一个被发现的河外星系 OH 超脉泽, 也是一个用高分辨技术观测研究得最为仔细和透彻的, 唯一用 VLA-A^[21]、MERLIN (Multi-Element Radio Linked Interferometer Network)^[22] 和 VLBI^[23] 进行过观测和研究的河外星系 OH 超脉泽。上世纪 90 年代末 Lonsdale 等人^[10] 对它作了包括欧洲和美国 17 个天线组成的全球网的 VLBI 观测。该观测覆盖了 4 条 OH 超脉泽线中的 3 条, 再加上连续辐射, 因而有着非常好的 UV 覆盖。整个观测持续了 7 h。观测数据是由 Socorro 的 VLBA 相关处理机处理的, 最后用 AIPS (Astronomical Image Processing System) 软件包对相关后的数据进行了分析。从 OH1667MHz 这条发射谱线上所得到的观测结果表明, 在 Arp 220 中有 4 个复杂和令人感兴趣的对称性空间和速度结构的发射区域, 但是这些发射区域不与连续发射区成协, 最亮的成分有着超过 800 的脉泽放大; 在 OH1665MHz 线上没有探测到致密发射。具有高放大的致密脉泽发射表现为在物理上致密分布的云中饱和脉泽, 而疏散发射表现为适合一个几百 pc 上低放大的分布屏的传统 OH 超脉泽模型^[24]。红外抽运对疏散发射是合适的, 碰撞抽运也许对致密发射是重要的。致密发射成分可以示踪致密的核包层中的激波波阵面, 而且还与 AGN 的活动性相关^[25]。

Pihlstrom 等人^[12] 利用 EVN 和 MERLIN, 对在光亮的红外星系 III Zw 35 中的 OH 超脉泽发射和 18 cm 连续辐射进行了观测。他们得到在 III Zw 35 中连续辐射由两种成分组成, 第一种是致密成分, 由一些致密源组成, 像在 Arp 220 和 Mrk 273 中所观测到的那种客体一样, 但这些致密成分的起源还不清楚, 它们可能是年轻的射电超新星; 第二种是疏散成分, 有着约 460 mas (230 pc) 的角尺寸和 10^5 K 的亮温度, 恒星形成为这种成分提供能源。从远红外流量密度, Pihlstrom 等人估计出恒星形成率为 $19 M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}$, 即暗示了超新星率为 0.8 yr^{-1} , 这对于提供疏散的射电能源来说是充分的。对于 OH 超脉泽发射, Pihlstrom 等人发现除了与早期的 III Zw 35 的 VLBI 观测相一致, 亮的 OH 超脉泽发射集中在两个致密的块以外^[26], 疏散脉泽发射还存在着一个非常清楚的半径 $r \approx 22$ pc 的环结构。两个致密脉泽谱征发生在环的切点上。这种几何结构和它们类似的主线强度比 (1667/1665), 暗示了致密和疏散的脉泽因为相干长度效应和抽运机制或其它物理条件而表现出不同的特征。一个简单的在环内有許多云的模型看来能够拟合疏散和致密的脉泽辐射的主要性质。此外, Pihlstrom 等人发现了一个在横向疏散脉泽发射区域中正在旋转的速度梯度。从这个速度梯度他们估计出在 $r \approx 22$ pc 内部存在着 $7 \times 10^6 M_{\odot}$ 的动力学质量。

Yates 等人^[11] 利用 MERLIN 中 6 个望远镜 (最长基线为 217 km), 对极端的红外星系 Mrk 273 中的 18 cm OH 超脉泽及与 AGN 相成协的连续辐射进行了观测。他们发现, 那些连续辐射源自星系中心角秒范围内的 3 个各自分离的区域。OH 超脉泽发射的最亮区域有着一个双峰结构, 这个双峰结构空间上与在 6 cm 和 $2.2 \mu\text{m}$ 所观测到的类似结构一致^[27,28]。OH 超脉泽发射的峰在空间上与连续辐射的峰相一致。另外, 在 1665 MHz 和 1667 MHz 两条线上发现了

超脉泽辐射, 这两条线的空间位置没有系统偏差。OH 超脉泽发射的最明亮成分显示了气体的有秩序运动, 气体的旋转运动速度梯度为 $(-6.3 \pm 0.4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{pc}^{-1}$, 它们在最明亮的区域内沿着双峰结构的轴排列成行。由气体运动能够估计出中央质量密度为 $(850 \pm 50) M_{\odot} \cdot \text{pc}^{-3}$, 相应的总质量为 $1.5 \times 10^8 M_{\odot}$ 。

IRAS 17208-0014 的高分辨观测是由 Diamond 等人^[9] 利用美国的 VLBA 网完成的, 整个观测持续了 3 h。与此同时, Diamond 等人还用全球 VLBI 网对 III Zw 35 进行了观测, 整个观测持续了 3.25 h。在这两个星系中都探测到强且致密的 1667 MHz OH 超脉泽发射。Diamond 等人推测这两个 OH 超脉泽同样由两种成分组成。第一种是疏散成分, 有着远红外辐射所抽运的非饱和 OH 超脉泽^[29], 其峰值空间位置与连续辐射峰的空间位置相一致。这种疏散成分已由经典的 OH 超脉泽模型所解释。第二种是致密成分, 由饱和 OH 超脉泽组成, 不与任何致密连续发射相成协。它可以由碰撞与辐射组合过程所抽运。IRAS 17208-0014 的 OH 超脉泽近似分布在东西方向长度为 50 pc 的一条线上, 其速度中心在 $\approx 12800 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 处, 而速度覆盖范围约为 $200 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

Yu^[13] 在 2002 年初利用英国 MERLIN 系统中的 7 个望远镜 (其中包括 Lovell 76 m 望远镜), 观测了 IRAS 10173+0828 中的 OH 超脉泽。该脉泽是用每个包含 128 个频率通道的两个 4 MHz 波段之间的切换来观测的, 每个波段的中心频率在 1588.5 MHz 和 1591.5 MHz 上。总的观测时间为 14.78 h。在对 OH 超脉泽的每两个 4 min 扫描之间, 相位参考源 IRAS 1015+057 是利用正常的 16 MHz 带宽在 1590 MHz 波段处被观测的。观测资料按照 MERLIN 河外谱线数据处理的标准技术进行处理。最后得到非常有意义的结果是: IRAS 10173+0828 的中央源可能为含有暗物质的黑洞, 同时拱核盘呈明显的翘盘特性。

总之, 从目前已进行过高分辨率观测的 5 个强河外星系 OH 超脉泽的观测结果可以看出, 河外星系 OH 超脉泽可分为两种成分: 一种是非饱和的疏散成分, 它的峰值空间位置与连续辐射峰的空间位置相一致, 是由远红外辐射所抽运的; 另一种是饱和的致密成分, 它的峰值空间位置与连续辐射峰的空间位置不一致, 是由碰撞或者碰撞与辐射组合过程所抽运的。

4 讨 论

(1) 河外星系 OH 超脉泽及其母本星系的红外光度

河外星系 OH 超脉泽是至今为止所知道的最亮的宇宙脉泽之一, 其光度可为银河系中典型脉泽光度的 10^6 倍。河外星系 OH 超脉泽的母本星系在红外波段也有极大的光度, 可以相信这些母本星系经历过核的激烈活动。河外星系 OH 超脉泽在主线频率 1667 MHz 处总是最强的。各方面观测都表明其母本星系是具有 AGN 的极端的星暴星系或者类星体。母本星系在红外波段有着极大的光度显示出, 河外星系 OH 超脉泽的辐射与其母本星系的红外辐射有关。一般认为, 如此大光度的 OH 超脉泽的抽运与其母本星系的中央源红外辐射场强烈相关。因此, 河外星系 OH 超脉泽的光度与它们母本星系的红外光度之间的相关关系显得特别重要。Baan^[30] 曾利用 18 个河外星系 OH 超脉泽光度 $L(\text{OH})$ 与它们的母本星系的红外光度 $L(\text{IR})$, 得到 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^2$ 。但是 Kandalyan^[31] 曾利用 49 个河外星系 OH 超脉泽和它们的母本星系, 考虑到 Malmquist 的偏见, 得到 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^{1.38}$ 。俞志尧^[32] 利用 66 个河外星系 OH 超脉泽和它们的母本星系参

数, 得到 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^{1.71}$ 。考虑 Malmquist 的偏见后, Yu^[20] 又得到 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^{1.41}$ 。

在上述分析中, 俞志尧^[32] 把所取的样本分为两类: 一类是 $L(\text{OH}) < 10^2 L_{\odot}$ 的小光度源, 另一类是 $L(\text{OH}) \geq 10^2 L_{\odot}$ 的大光度源。最后得到, 小光度源: $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^{1.49}$; 大光度源: $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^2$ 。对于小光度源, 被反转的 OH 分子的光学厚度正比于红外光度, 但 OH 超脉泽光度越小, 所需要的红外光子就越少, 因此被反转的 OH 分子的柱密度正比于部分红外光度^[9]。这样就可以得到 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^{1.49}$ 。在这种情况下, OH 超脉泽发射峰的位置可能与连续辐射的峰值位置不一致^[9]。对于大光度源, 当红外辐射场起主要抽运作用时, 被反转的 OH 分子柱密度正比于红外辐射光度。被反转的 OH 分子放大了 18 cm 波段的射电连续辐射, 来自中央核源的 18 cm 射电连续辐射也正比于红外辐射的光度。因此可以得到平方关系 $L(\text{OH}) \propto [L(\text{IR})]^2$ 。这类样本是疏散的非饱和超脉泽。在此情况下, OH 超脉泽发射峰的位置往往与连续辐射的峰值位置一致。红外波段的大光度红外抽运对于这类样本是至关重要的^[9]。

(2) 河外星系 OH 超脉泽所成协的母本天体的红外性质

Yu^[20] 以具有红外参数的 63 个河外星系 OH 超脉泽所成协的母本天体作为样本, 研究了母本天体的红外性质。最令人感兴趣的是, 母本天体的红外流量密度比之间存在着反相关关系和相关关系(红外色关系)。具体地讲, 母本天体的红外流量密度比 $S(25 \mu\text{m})/S(60 \mu\text{m})$ 与 $S(60 \mu\text{m})/S(100 \mu\text{m})$ 成反相关关系, 而 $S(12 \mu\text{m})/S(25 \mu\text{m})$ 与 $S(25 \mu\text{m})/S(60 \mu\text{m})$ 成正相关关系。前者反相关关系与 Henkel 等人^[33] 所得到的结果相一致, 但后者正相关关系与 Henkel 等人^[33] 所得到的结果相反。这主要是 Henkel 等人所取的样本与 Yu 所取的样本不同。Henkel 等人的样本包含了河外 H_2O 超脉泽(带有或不带有探测到的 H_2O 超脉泽源的星系)、来自 Perseus 旋臂的 H_2O 脉泽源以及其它几个河外 OH 超脉泽星系。其中 OH 和 H_2O 超脉泽位于离中心源不同的距离处。例如, 河外 H_2O 超脉泽位于中央源 1 pc 附近, 而河外星系 OH 超脉泽离中央源几百甚至上千 pc。红外色关系与离中央源的距离有关。所以 Henkel 等人把离中央源不同距离的样本一起进行统计是值得重新考虑的。

Yu^[20] 还研究了母本天体的红外光度与红外流量密度比之间的关系, 即 $\lg L(\text{IR})$ 与 $S(60 \mu\text{m})/S(100 \mu\text{m})$ 成反相关关系, 而 $\lg L(\text{IR})$ 与 $S(12 \mu\text{m})/S(25 \mu\text{m})$ 成正相关关系。Puget 等人^[34] 研究了星际介质的红外发射, 得到了不同红外辐射场的谱, 并发现这些谱的峰的波长随着离产生红外辐射场的中央源的距离增大而变短。Skinner 等人^[29] 研究了源自 Arp 220 的 OH 超脉泽发射的星暴起源, 发现发射的谱征在 $\approx 35.45 \mu\text{m}$ 处, 且 $< 60 \mu\text{m}$ 。Baan^[30] 提出, 在高红外光度星系中的 OH 超脉泽主要由 $60 \sim 100 \mu\text{m}$ 范围内的光子所抽运, 而低红外光度星系中的 OH 超脉泽主要由 $25 \sim 60 \mu\text{m}$ 范围内的光子所抽运。实际抽运强烈地依赖于 OH 超脉泽相对于远红外源的位置。如果母本星系的红外光子能量密度比较小, 则在 $12 \mu\text{m}$ 处有较低的辐射, 在 $60 \mu\text{m}$ 处有较高的辐射。因此 $S(12 \mu\text{m})/S(25 \mu\text{m})$ 和 $S(25 \mu\text{m})/S(60 \mu\text{m})$ 小, $S(60 \mu\text{m})/S(100 \mu\text{m})$ 大; 如果母本星系的红外光子能量密度较大, 则在 $12 \mu\text{m}$ 处有较高的辐射, 在 $60 \mu\text{m}$ 处有较低的辐射。因此 $S(12 \mu\text{m})/S(25 \mu\text{m})$ 和 $S(25 \mu\text{m})/S(60 \mu\text{m})$ 大, $S(60 \mu\text{m})/S(100 \mu\text{m})$ 小。

(3) 河外星系 OH 超脉泽的主线强度比

河外星系 OH 超脉泽的一个重要观测参数是它们在 18 cm 的主线强度比 $R(\text{H}) = T_{1667}/T_{1665}$ 。在局部热动平衡状态下, 对于光学薄发射来说, $R(\text{H}) = 1.8$ 。现已知 $R(\text{H})$ 的河外星系 OH

超脉泽有 56 个, 但它们的 $R(H)$ 都远远大于 1.8, 有的甚至高达 20。

Henkel 和 Wilson^[15] 于 1990 年提出了一种简单模型, 该模型主要有以下 3 个假设: 1) 谱线是非饱和的脉泽谱线; 2) 激发温度相等; 3) 光学厚度与 LTE 的值一致。由此得到 $R(H)$ 与 OH 超脉泽 1667 MHz 谱线的光学厚度 τ 的关系为

$$R(H) = (e^{-\tau} - 1)/(e^{-\tau/1.8} - 1). \quad (1)$$

Yu^[35] 也研究了河外星系 OH 超脉泽的这种反常的 $R(H)$ 。利用 (1) 式 (其中 $R(H)$ 为观测值), 同样考虑到 Malmquist 偏差, 在分析了 56 个 OH 超脉泽样本的 $\lg L(OH)$ 、 $\lg R(H)$ 和 $\lg(-\tau)$ 后, Yu^[35] 得到 $\lg L(OH)$ 分别与 $\lg R(H)$ 及 $\lg(-\tau)$ 近似为线性相关关系。这些结果可能会对现有的 OH 超脉泽星系中脉泽抽运和发射机制的检验提供帮助。

(4) AGN 中的超脉泽盘

现在对 AGN 的 VLBI 高分辨观测, 揭示了超脉泽起源于包围 AGN 中心的薄的拱核盘。利用一般的辐射转移方程和运动学方程, 并考虑到流量密度的变化, Kartje 和 Konigl^[36] 认为脉泽发射是成块的, 这将增加碰撞抽运的可能性。那些块代表分离气体的凝聚物 (也就是云)。Kartje 和 Konigl 指出, 在沿视线方向的速度相干长度内两个云甚至可以重叠, 通过云自放大所产生的流量密度可能要大于通过背景放大所产生的流量密度。类似的解释以前在银河系恒星形成区脉泽源中也被提出过。Kartje 和 Konigl 认为, 这种图像提供了与 Seyfert 2 星系成协的河外星系 OH 超脉泽的时变特征的自然解释, 但它要求云的空间密度和云间密度与宽发射区类型的核云的典型参数相一致。Kartje 和 Konigl 还讨论了成块盘的两种情形。第一种情形是成块盘中的超脉泽发射是由中央连续源所激发的。这种激发机制首先由 Neufeld 和 Maloney^[37] 提出, 他们对翘曲环 (warped ring) 的均匀盘给出了解释, 但 Kartje 和 Konigl 提出的是环盘, 其质量由成块的高密度气体成分组成。第二种情形是盘驱动的磁流体风模型。这种模型最初是为解释 Seyfert 2 星系的分子环和一些在 AGN 中所观测到的其它现象而建立的。在该模型中风加速并限制了致密云从盘中分裂出来。他们假设脉泽分布的翘曲环应该发生在具有观测选择效应的环境中。这种观测的选择效应是由强风驱动所产生的离心力在垂直方向的密度分层所致。

5 结 束 语

对河外星系 OH 超脉泽的观测和研究在国际上呈现方兴未艾之势。河外星系 OH 超脉泽的观测和研究是研究 AGN 和星暴星系, 乃至其中央源黑洞的有力工具。在这方面还有许多工作要做。观测上, 首先要用大口径的射电望远镜进行搜寻和长期监测, 以发现新的河外星系 OH 超脉泽, 以及对一些强的河外星系 OH 超脉泽进行时变观测研究, 从而找出时变与河外星系 OH 超脉泽的辐射机制和生成区的物理特性的关系。其次要用高分辨率的观测设备对其强源进行高分辨观测, 找出强的河外星系 OH 超脉泽的结构和 OH 超脉泽斑的分布特征, 从而得到强的河外星系 OH 超脉泽的动力学和运动学性质。理论上, 要加强对非经典模型的致密成分的研究。这种非经典模型的致密成分由饱和的 OH 超脉泽组成, 不与致密连续发射相成协, 它可以由碰撞与辐射组合过程所抽运。相信不久的将来, 在河外星系 OH 超脉泽的观测和研究方面会有新的重大突破。

参考文献:

- [1] Whiteoak J B, Gardner F F. *Astrophys. Lett.*, 1973, 15: 21
- [2] Nguyen Q R, Mebold U, Winnberg A *et al.* *A&A*, 1976, 52: 467
- [3] 俞志尧. *天文学进展*, 1991, 9: 289
- [4] Staveley S L, Norris R P, Chaoman J M *et al.* *MNRAS*, 1992, 258: 725
- [5] Baan W A, Haschick A, Henkel C. *AJ*, 1992, 103: 728
- [6] Darling J, Giovanelli R. *AJ*, 2000, 119: 3003
- [7] Darling J, Giovanelli R. *AJ*, 2001, 121: 1278
- [8] Darling J, Giovanelli R. *AJ*, 2002, 124: 100
- [9] Diamond P J, Lonsdale C J, Smith H E *et al.* *ApJ*, 1998, 493: 113
- [10] Lonsdale C J, Lonsdale C J, Diamond P J *et al.* *ApJ*, 1998, 493: L13
- [11] Yates J A, Richards A M S, Wright M M *et al.* *MNRAS*, 2000, 317: 28
- [12] Pihlstrom Y M, Conway J E, Booth R S *et al.* *A&A*, 2001, 377: 413
- [13] Yu Zhi-yao. *ApJ*, 2003, submitted
- [14] Baan W A, Salzer J J, LeWinter R D. *ApJ*, 1998, 509: 633
- [15] Henkel C, Wilson J L. *A&A*, 1990, 229: 431
- [16] Phillips C J, Norris R P, Ellingsen S P *et al.* *MNRAS*, 1998, 294: 265
- [17] Norris R P, Gardner F F, Whiteoak J B *et al.* *MNRAS*, 1989, 237: 673
- [18] Kazes I, Proust D, Mirabel I F *et al.* *A&A*, 1990, 237: L1
- [19] Burduzha V V, Komberg B V. *A&A*, 1990, 234: 40
- [20] Yu Zhi-yao. *MNRAS*, 2003, 338: 745
- [21] Baan W A, Haschick A D. *ApJ*, 1984, 279: 541
- [22] Norris R P, Baan W A, Haschick A D *et al.* *MNRAS*, 1985, 213: 821
- [23] Diamond P J, Norris R P, Baan W A *et al.* *ApJ*, 1989, 340: L49
- [24] Randell J, Field K N, Jones K N *et al.* *A&A*, 1995, 300: 659
- [25] Smith H E, Lonsdale C J, Lonsdale C J. *ApJ*, 1998, 493: L17
- [26] Trotter A S, Moran J M, Greenhill L J *et al.* *ApJ*, 1997, 485: L79
- [27] Knapen J H. *ApJ*, 1997, 490: L29
- [28] Majewski S R, Hereld M, Koo D C *et al.* *ApJ*, 1993, 402: 125
- [29] Skinner C J, Smith H A, Sturm E *et al.* *Nature*, 1997, 386: 472
- [30] Baan W A. *ApJ*, 1989, 338: 804
- [31] Kandalyan R. *Astrophysics*, 1996, 39: 237
- [32] 俞志尧. *天文学报*, 2002, 43: 347
- [33] Henkel C, Wouterloot J G A, Bally J. *A&A*, 1986, 155: 193
- [34] Puget J L, Leger A, Boulanger F. *A&A*, 1985, 142: L19
- [35] Yu Zhi-yao. *Ap&SS*, 2003, 283: 43
- [36] Kartje J F, Konigl A. *ApJ*, 1999, 513: 180
- [37] Neufeld D A, Maloney P R. *ApJ*, 1995, 447: L17

The Observations and Studies of OH Megamaser Associated With External Galaxies

YU Zhi-yao

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

Abstract: During the thirty years since the first discovery of OH megamaser associated with external galaxies, a great progress of observations and studies for OH megamasers associated with external galaxies has been proceeded. So far 106 OH megamasers associated with external galaxies have been found, including 59 higher red-shifted ones. The observations and studies of the OH megamasers associated with AGN and starburst galaxies are the very efficient tools to investigate characteristics of their central sources and circumnuclear discs. A review on the current progress concerning surveys, observations and theoretical investigations on extragalactic OH megamaser sources is given in this paper.

Key words: astrophysics; extragalactic OH megamaser; review; AGN; starburst galaxies

* * * * *

《天文学进展》2004 年征稿启事

1. 本刊刊登反映国内外天文学研究的最新进展和作者见解的述评、前沿介绍、专题讲座 (以上一般不超过 8000 字)、研究简讯 (约 3000 字)、学术活动报导和短评 (均应少于 1500 字)。反映新思路、新手段、新成果的短评优先发表。
2. 来稿须包括: 题名、作者署名、作者单位及所在地与邮政编码、摘要、关键词、正文、参考文献、英文摘要、英文关键词等。
3. 来稿应论点明确、叙述精练、条理清晰、深入浅出, 以利非本分支学科的读者阅读。
4. 摘要应简明扼要地概括正文中的主要信息。采用第三人称的写法, 不用“本文”、“作者”等作主语。稿件如果不以英文发表, 英文摘要不宜太短, 一般应控制在半页 (约 1800 个英文字符) 至一页之间。
5. 关键词请尽可能参照 ApJ、MNRAS 和 A&A 共同采用的关键词表选用, 可适当扩充。
6. 稿件中引用论点、公式、图、表均需注明参考文献 (按文中出现顺序编码, 在右上角用小方括号标出)。正文后则按编码次序依本刊要求的编排格式列出相应的参考文献。
7. 审定稿后需提供字迹清晰的清稿样, 以及清稿样的电子文本。本刊采用 CCT (中西文 Latex) 系统软件排版, 采用其它排版软件者请将 *.doc 和 *.txt 文件发送至我部。稿件所有内容请置于同一文件中。
8. 图、表务求精、简、规范, 以配合文字阐明观点。公式务求精约, 杜绝公式推导过程。
9. 请勿一稿两投。来稿请一式两份, 挂号寄至上海市南丹路 80 号《天文学进展》编辑部, 邮政编码: 200030; 或通过 E-mail 发送至 twxjz@center.shao.ac.cn; 联系电话: (021)64386191×345 或 346; 传真: (021)54592244。