

星际甲醇 (CH_3OH) 脉泽

周昇^{1,2} 刘永翊^{1,3} 吴月芳^{1,2}

(1. 中国科学院射电联合实验室上海分部 上海 200030)

(2. 北京大学地球物理系 北京 100871)

(3. 北京大学技术物理系 北京 100871)

摘要

简要综述了近年来对于星际 CH_3OH 脉泽的观测和研究成果, 对 CH_3OH 脉泽的性质分类、生成区域及分布、辐射特性、运动状况等方面做了介绍, 并阐明了理论上对其时变特性、激发机制及河外脉泽的探讨, 最后对两种类型的 CH_3OH 脉泽作了对比和讨论。

关键词 脉泽 — 星际介质: 运动学和动力学

1 引言

自 Barrett 等人首次在 Orion 天区观测到 CH_3OH 分子在 $J_2 \rightarrow J_1E$ 上的辐射^[2] 并被证认为脉泽辐射^[15] 以来, 至今已观测到 CH_3OH 分子在 15 个跃迁上的脉泽辐射, 发现了分布广泛的脉泽源, 并对一些强源做了 VLA 和 VLBI 等高分辨率的观测。

CH_3OH 脉泽源频率丰富, 性质独特, 在某些频率上 (如 6.7GHz 和 12.2GHz) 具有高亮度。没有其他的分子脉泽可以与其相媲美。研究它可以精确地测量其所在区域的运动学性质 (包括能通过系统速度来衡量距离), 并可以具有极高的空间分辨率。同时也可以增加我们对大质量星形成的初级阶段和其附近星际空间的物理、化学、环境等情况的了解。目前研究工作的成果主要是作了进一步的观测, 理论研究在近年虽有很大的进展, 但尚未成熟, 与对 H_2O 和 OH 等其他脉泽的研究相比差距较大, 对其空间分布和激发机制等问题, 虽有初步的模型和理论, 但尚无定论。

2 观测特性

CH_3OH 脉泽在生成区域、辐射特性及频率方面可以明显地分为两类, 其第一类脉泽源 (简称为 MMI: Methanol Maser I) 远离 HII 致密区和 OH 脉泽中心, 可能是当质量外流

与环境中高密度物质相互作用时产生的。其第二类脉泽源 (MMII) 投影于 HII 区的连续辐射之上, 像 OH 脉泽伴随它们的源那样。

但新的观测不支持这种分类法^[34], Slysh(1993) 新观测到 44.07GHz 的 MMI 大多数与 OH, H₂O 和 6.7GHz 的 MMII 成协, 但不相关是显著的。强 MMI 与强 MMII 不共存, 在 MMI 与 MMII 共生的区域, 它们的视向速度也不相同。所以建议分类只应建立在它们的跃迁基础上而不应基于它们与特殊的成协天体的关系上。

两种脉泽均在各种不同的跃迁上有脉泽发射, 但两种脉泽中没有相同的跃迁。MMII 的性质与 OH 脉泽的性质相似, 而 MMI 则具有较独特的性质。下面将分别作一些介绍。

2.1 第一类型的甲醇脉泽 (MMI)

MMI 以最早发现的 CH₃OH 脉泽 $J_2 \rightarrow J_1E$ 系列 ($J = 2, 3 \dots$) 在 25GHz 附近的脉泽辐射为代表, 此外还包括另外六种 (见表 1)。

表 1 第一类型 CH₃OH 脉泽的跃迁及频率

跃迁量子数	频率 /GHz	静止频率 /MHz
$J_2 \rightarrow J_1E (J = 2, 3 \dots)$	25	$6_2 \rightarrow 6_1$ 25018.140
		$7_2 \rightarrow 7_1$ 25124.880
		$8_2 \rightarrow 8_1$ 25294.410
$4_{-1} \rightarrow 3_0E$	36	36169.240
$5_{-1} \rightarrow 4_0E$	84	84521.210
$9_{-1} \rightarrow 8_{-2}E$	9	9936.20
$7_0 \rightarrow 6_1A^+$	44	44069.43
$8_0 \rightarrow 7_1A$	95	95169.489
$9_0 \rightarrow 8_1A$	146	146618.82

2.1.1 空间分布

通常 MMI 偏离超致密 HII 区 0.1—1pc, 有的可达 2pc 以上^[31]。例如 W51 中 $6_2 \rightarrow 6_1E$, 25GHz 脉泽源距致密 HII 区达 3.4pc^[22]。MMI 可能分布在 HII 致密区边缘以外, 产生于质量外流与高密度物质的相互作用。

在 MMI 中, 44GHz ($7_0 \rightarrow 6_1A^+$) 的脉泽源具有广泛的空间分布。

Haschick 等人^[14]对 50 个恒星形成区进行观测, 在其中 25 个区域附近探测到 44GHz 辐射, 其中 16 个样本具有明显小于 $1\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的成分。

Bachilles 等人^[1]对 124 个 OH 脉泽和恒星形成区域进行探测, 发现了 16 个 44GHz 脉泽源。

Slysh 等人^[34]对 250 个星际 HII 区、H₂O 脉泽和 6.7GHz (CH₃OH 第二类脉泽) 方向的区域进行观测, 发现了 55 个新的 44GHz MMI 源。大多数新发现的源都与 H₂O、OH 和 6.7GHz 的脉泽成协。这次观测中, 82% 以上的新 44GHz 脉泽源是在 6.7GHz CH₃OH 脉泽源的区域发现的。总的来说北天 64% 的 44GHz MMI 源与 6.7GHz 的 MMII 成协, 这种相关性尚需要进一步的观测来证实。统计表明 6.7GHz 的源多于 44GHz 的脉泽源。

MMI 分子云的延伸较广, 一般为 10^{18}m , 某些源不同成分间距可达 1pc (10^{16}m 量级)。远大于 OH 及 H₂O 脉泽。

2.1.2 形态特性

MMI 的亮温度较 MMII 低, 强源的低限约为 5000K。MMI 的谱线宽度一般均小于 $1\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, 一些甚至只有 $0.2\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[34]。在 MMI 中, 通常 95GHz 的线宽度要大于 44GHz。

与环境中高密度物质相互作用时产生的。其第二类脉泽源 (MMII) 投影于 HII 区的连续辐射之上, 像 OH 脉泽伴随它们的源那样。

但新的观测不支持这种分类法^[34], Slysh(1993) 新观测到 44.07GHz 的 MMI 大多数与 OH, H₂O 和 6.7GHz 的 MMII 成协, 但不相关是显著的。强 MMI 与强 MMII 不共存, 在 MMI 与 MMII 共生的区域, 它们的视向速度也不相同。所以建议分类只应建立在它们的跃迁基础上而不应基于它们与特殊的成协天体的关系上。

两种脉泽均在各种不同的跃迁上有脉泽发射, 但两种脉泽中没有相同的跃迁。MMII 的性质与 OH 脉泽的性质相似, 而 MMI 则具有较独特的性质。下面将分别作一些介绍。

2.1 第一类型的甲醇脉泽 (MMI)

MMI 以最早发现的 CH₃OH 脉泽 $J_2 \rightarrow J_1E$ 系列 ($J = 2, 3 \dots$) 在 25GHz 附近的脉泽辐射为代表, 此外还包括另外六种 (见表 1)。

表 1 第一类型 CH₃OH 脉泽的跃迁及频率

跃迁量子数	频率 /GHz	静止频率 /MHz
$J_2 \rightarrow J_1E (J = 2, 3 \dots)$	25	$6_2 \rightarrow 6_1$ 25018.140
		$7_2 \rightarrow 7_1$ 25124.880
		$8_2 \rightarrow 8_1$ 25294.410
$4_{-1} \rightarrow 3_0E$	36	36169.240
$5_{-1} \rightarrow 4_0E$	84	84521.210
$9_{-1} \rightarrow 8_{-2}E$	9	9936.20
$7_0 \rightarrow 6_1A^+$	44	44069.43
$8_0 \rightarrow 7_1A$	95	95169.489
$9_0 \rightarrow 8_1A$	146	146618.82

2.1.1 空间分布

通常 MMI 偏离超致密 HII 区 0.1—1pc, 有的可达 2pc 以上^[31]。例如 W51 中 $6_2 \rightarrow 6_1E$, 25GHz 脉泽源距致密 HII 区达 3.4pc^[22]。MMI 可能分布在 HII 致密区边缘以外, 产生于质量外流与高密度物质的相互作用。

在 MMI 中, 44GHz ($7_0 \rightarrow 6_1A^+$) 的脉泽源具有广泛的空间分布。

Haschick 等人^[14]对 50 个恒星形成区进行观测, 在其中 25 个区域附近探测到 44GHz 辐射, 其中 16 个样本具有明显小于 $1\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的成分。

Bachilles 等人^[1]对 124 个 OH 脉泽和恒星形成区域进行探测, 发现了 16 个 44GHz 脉泽源。

Slysh 等人^[34]对 250 个星际 HII 区、H₂O 脉泽和 6.7GHz (CH₃OH 第二类脉泽) 方向的区域进行观测, 发现了 55 个新的 44GHz MMI 源。大多数新发现的源都与 H₂O、OH 和 6.7GHz 的脉泽成协。这次观测中, 82% 以上的新 44GHz 脉泽源是在 6.7GHz CH₃OH 脉泽源的区域发现的。总的来说北天 64% 的 44GHz MMI 源与 6.7GHz 的 MMII 成协, 这种相关性尚需要进一步的观测来证实。统计表明 6.7GHz 的源多于 44GHz 的脉泽源。

MMI 分子云的延伸较广, 一般为 10^{18}m , 某些源不同成分间距可达 1pc (10^{16}m 量级)。远大于 OH 及 H₂O 脉泽。

2.1.2 形态特性

MMI 的亮温度较 MMII 低, 强源的低限约为 5000K。MMI 的谱线宽度一般均小于 $1\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, 一些甚至只有 $0.2\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[34]。在 MMI 中, 通常 95GHz 的线宽度要大于 44GHz。

这个不同可能是由于两种频率的发射来自不同的空间区域。另外, 对于同一 MMI 源区在不同频率上的脉泽辐射, 往往具有实质相同的谱线轮廓^[14]。MMI 频率分布较窄, 并没有高速成分。

Menten 总结了毫米波干涉仪 BIMA 对 DR21(OH) 和 DR21 的 MMI 源观测结果: 84GHz 干涉测量分解 DR(OH) 为 4 个脉泽分量, 脉泽分量之间的间隔约为 0.2pc。95GHz 的观测结果表明在 1" 测量准确度条件下, 存在与 84GHz 相同速度和位置的脉泽分量。36GHz 和 44GHz 脉泽谱类似于 84GHz 和 95GHz 的脉泽谱, 并在单天线测量准确度 ($< 10''$) 的情况下, 36GHz 和 44GHz 与 84GHz 和 95GHz 脉泽发射来自相同的空间区域。而 25GHz Ori-KL 的 VLA 观测无条纹 ($\theta > 0.''006$)。

2.2 第二类型的甲醇脉泽 (MMII)

近期对 MMII 的观测和研究较多, 其中对广泛分布的 $2_0 \rightarrow 3_{-1}E$, 12.18GHz 和 $5_1 \rightarrow 6_0A^+$, 6.7GHz 的研究更是重点, 其主要跃迁见表 2。

表 2 第二类型 CH_3OH 脉泽的跃迁及频率

跃迁量子数	频率 /GHz	静止频率 /MHz
$2_0 \rightarrow 3_{-1}E$	12.2	12178.595
$2_1 \rightarrow 3_0E$	19.9	19967.300
$7_{-2} \rightarrow 8_{-1}E$	37.7	37703.720
$3_1 \rightarrow 4_0A^+$	107	107013.85
$5_1 \rightarrow 6_0A^+$	6.7	6668.518
$6_2 \rightarrow 5_3A^+$	38.45	38452.690
$6_2 \rightarrow 5_3A^-$	38.29	38293.500
$9_2 \rightarrow 10_1A^+$	23.1	23121.024
$2_1 \rightarrow 3_0A^+$	157	156602.42
$J_0 \rightarrow J_{-1}E$	157	* 见续表

续表

跃迁量子数	静止频率 /GHz
$1_0 \rightarrow 1_{-1}E$	157.27070
$2_0 \rightarrow 2_{-1}E$	157.27604
$3_0 \rightarrow 3_{-1}E$	157.27247
$4_0 \rightarrow 4_{-1}E$	157.24610
$5_0 \rightarrow 5_{-1}E$	157.17897
$6_0 \rightarrow 6_{-1}E$	157.04862
$7_0 \rightarrow 7_{-1}E$	156.82852
$8_0 \rightarrow 8_{-1}E$	156.48895
$6_2 \rightarrow 7_1A^+$	156.12770

2.2.1 生成区域及空间分布

MMII 源与 OH、 H_2O 脉泽及致密 HII 区成协, 一般投影于 HII 区之上, 有可能比 OH 脉泽源更接近 HII 区中心。

MMII 源中 12.2GHz 和 6.7GHz 脉泽源的分布甚为广泛。几乎所有的 12.2GHz 源都能找到 6.7GHz 的对应体。Caswell 等人 (1995) 对 24° 以南的 200 多个 OH 脉泽源和一些其他恒星形成区的巡天观测, 共获得了 245 个 6.7GHz MMII 源。峰强的范围在 0.3—5000Jy 之间; 对 12.2GHz 的寻找则获得了 134 个脉泽源, 峰强从 0.4 到 1200Jy, 平均为 7Jy。

MMII 中, 早期观测到 6.7GHz 脉泽源都与 OH 脉泽成协, 并且也有人用化学模型解释这种成协的原因。但近期观测表明, 有相当一部分 6.7GHz 的脉泽源不与 OH 脉泽成协^[22], 不少 6.7GHz 脉泽源的流量密度要大于任何已知的 OH 脉泽源; 并且 6.7GHz 的光度也大于 12GHz 的光度, 而且大出许多; 所以 6.7GHz 脉泽有很高的研究价值。

MMII 与 OH 脉泽成协性可以用化学模型加以解释: 颗粒慢层的蒸发使 CH_3OH 变为气态, 颗粒的热量来自于穿过的弱激波。气体的蒸发同样使 H_2O 变为气态。 H_2O 、 CH_3OH 和 OH 的光致离解在相同的几率下发生, 最终同时产生大量的 CH_3OH 和 OH。

观测还表明: 某些 CH_3OH 脉泽源有显著的直线或弧线排列的现象。Menten 等人 (1988) 利用 VLA 观测 $\text{W}_3(\text{OH})$ 中 23.1GHz 脉泽。发现其 8 个脉泽块分 4 对呈弧形排列, 其速度基本是

由两端向中央单调变化。此外, Norris 等人^[27]在南天一些 12.2GHz 脉泽源(如 309.92+0.48, 339.88-1.26)中, 也观测到其成分里直线或曲线排列, 且各成分的速度沿排列线单调变化, 这很可能表明 CH₃OH 脉泽的生成与其所在区域的喷流、激波及气体盘的增长等活动现象有关联。另外, MMII 的尺度接近 OH 脉泽, 一般为 10¹⁰—10¹⁴m。例如 12.2GHz 脉泽尺度平均约为 20mpc。MMII 在 10¹³m 尺度上成团。

2.2.2 形态特性

MMII 的亮温度一般低于 H₂O 脉泽, 某些源可接近 OH 脉泽的亮温度(10¹⁰K 以上), 如 W₃(OH) 高于 2 × 10¹⁰K^[19,20]。MMII 亮温度一般达 10⁶—10⁷K 以上。能否达到 H₂O 脉泽源的亮温度水平, 仍需对一些 MMII 特别是强 MMII 源做进一步的高分辨观测来确定。

MMII 的频谱与 OH 脉泽类似, 包含有较多的特征, 一般比 MMI 频谱复杂。MMII 的速度范围与 OH 脉泽在同一量级。一般低于 10km·s⁻¹, 但也有少数达到几十 km·s⁻¹。

就 12.2GHz 和 6.7GHz 脉泽来说, 12.2GHz 的半宽度和速度范围一般略小于 6.7GHz 脉泽源, 平均为 5km·s⁻¹, 17Jy 以上的强源也只稍大一点为 6km·s⁻¹; 而 6.7GHz 脉泽源, 强源平均可达 12km·s⁻¹, 峰值小于 5.8Jy 的弱源平均也有 5km·s⁻¹。

2.2.3 河外脉泽辐射

对河外脉泽的观测还很有限。一般说来, H₂O、OH 脉泽在星际恒星形成区和晚期演化星包层均可观测到, 而 CH₃OH 脉泽只能在恒星形成区被观测到^[10]。

3 理论研究

3.1 CH₃OH 脉泽源的时变特性

早期的观测表明 CH₃OH 脉泽不具有时变性, 但 Caswell 等人^[7]对 6.7GHz 和 12.2 GHz 的 CH₃OH 脉泽源的时变观测表明: 两种跃迁有强度变化。进一步研究发现这种变化呈典型的准周期性, 时变范围在一个月到几年之间不等。变化的幅度大多数小于 2 倍, 但有的可达到 10 倍, 同一个源的不同特征的变化通常是相互独立的, 6.7GHz 和 12.2 GHz 的变化有时是相关的, 12.2GHz 的幅度一般稍大一些。

时变有可能是因为整个脉泽区抽运速率的变化, 但是大多数与因大尺度运动而产生的脉泽路径长度的变化有一致性。另外, 似乎大多数 6.7GHz 的脉泽是饱和的, 而 12.2GHz 的一些不饱和。

3.2 河外星系中的 CH₃OH 脉泽

在银河系中, 6.7GHz 的 CH₃OH 脉泽只在恒星形成区域, 并与 OH 脉泽及 H₂O 脉泽成协。几乎所有 OH 脉泽都伴有 6.7GHz 的 CH₃OH 脉泽, 反之亦然。所以可以说在银河系中 OH 脉泽和 CH₃OH 脉泽生成条件相同。

银河系中 CH₃OH 脉泽与 OH 脉泽的流强比小于 0.3, 约为 23%, 而河外星系中只约为 0.28%。这么悬殊的差别可能的原因为以下几点^[11]:

- (1) 产生 CH₃OH 河外脉泽的物理条件不存在;
- (2) 产生的物理条件存在, 但不同于能产生 OH 脉泽和 H₂O 脉泽的物理条件;
- (3) CH₃OH 脉泽的抽运机制或抽运效率导致河外脉泽流密度峰值在探测低限之下。

CH₃OH 河外脉泽未被探测到, 意味着不是其生成的物理条件与生成 OH 脉泽或 H₂O 脉

泽的物理条件不匹配, 就是在 CH_3OH 中产生脉泽的必须成分不存在于足够大的范围中, 所以产生不了脉泽激发。

3.3 激发机制

MMI 的激发机制比较容易理解^[25]: E -对称分子经过碰撞达到高的 J, K 量子数后, 很快自发跃迁到 $K = -1$ 而 J 不同的低能级上, 结果 $K = -1$ 能级的粒子数大大超过相邻的能级, 这样就可导致第一类甲醇脉泽中的 $K = -1 \rightarrow K = 0$ 的 E 型脉泽。例如, $5_{-1} \rightarrow 4_0 E$, 84GHz; $4_{-1} \rightarrow 3_0 E$, 36GHz 脉泽; 并且增加了 $2_0 \rightarrow 3_{-1} E$, 12GHz 的致冷吸收。类似的 A -对称分子的 $K = 0$ 阶的粒子数反转产生了 $8_0 \rightarrow 7_1 A^+$ 和 $7_0 \rightarrow 6_1 A^+$, 95GHz 和 44GHz 上的脉泽辐射。理想的环境是 CH_3OH 分子丰度为 $n[\text{CH}_3\text{OH}]/n[\text{H}_2] \sim 10^{-7}$, 分子云 $T_k \sim 100\text{K}$, 云密度 d 约为 $10^4 - 10^6 \text{cm}^{-3}$ 。观测表明, CH_3OH 脉泽云中 CH_3OH 分子丰度可达 $10^{-7} - 10^{-6}$, 比周围冷云高 2 个量级。

虽然 $J_2 \rightarrow J_1 E$ 脉泽常在 MMI 脉泽云中 被观测到, 但其反转不能用上述模型说明, 辐射抽运也许适用于 $J_2 \rightarrow J_1 E$ 脉泽。

MMII 的激发机制较难解释, 至今尚无理想的模型来预言其脉泽的行为。虽然 MMII 与 OH 和 H_2O 脉泽有相似的成因和激发机制, 而绝大多数 MMII 都是有意识在 H_2O 、OH 脉泽区附近寻找而发现的, 但其相关性并非完全一致。另外 MMII 线性分布结构也说明其激发机制可能与 OH 脉泽很不相同。如果 CH_3OH 的一个厘米波的跃迁在 MMII 区域由于某些过程使其反转, 将导致脉泽辐射。因为在这些源中, CH_3OH 辐射区域通常投影于 HII 区域之上, HII 致密区的连续发射在低频上为光学厚并应被脉泽放大^[25]。但部分 MMII 是靠近 HII 致密区, 但不完全投影在其上, 这就很难用 HII 致密区的连续辐射为背景来解释。MMII 中, E 型的 CH_3OH 分子中 $K = -1$ 级的粒子数相对少于相邻的 $K = 0$ 或 $K = -2$ 级, 这样导致了 $2_0 \rightarrow 3_{-1} E$ 在 12.2GHz 和 $7_{-2} \rightarrow 8_{-1} E$ 在 37.7GHz 上的脉泽跃迁, 在 A 型的 CH_3OH 分子中, $K = 0$ 级少于 $K = 1$ 级, 所以产生了 $5_1 \rightarrow 6_0 A^+$ 在 6.7GHz 上的脉泽跃迁, $3_1 \rightarrow 4_0 A^+$ 在 107GHz 上脉泽跃迁的发现更证实了这一点^[35]。

最近也有人用年轻恒星的红外辐射作为抽运源来解释甲醇脉泽的形成。

4 关于两类 CH_3OH 脉泽的讨论及其对比

MMI 和 MMII 两类源各方面性质的明显差异, 说明它们可能代表着恒星形成区演化的不同时期。鉴于 MMI 的“孤立性”, 可以考虑它代表了大质量恒星形成的最早阶段, 形成于其外围壳层附近。其时, 原恒星刚刚达到主序阶段, 周围气体尚未被电离, 仍处于中性状态, 而尘埃也尚未耗散。气-尘混合体被加热成为强红外源, 而激发星为光学厚的尘埃所掩蔽, 尚不可见。此阶段红外源辐射峰值在 20—100 μm 间。也许与此相吻合的一个例子是^[21]: MMI CH_3OH 脉泽区 NGC6334F 是一个亚毫米连续源, 无厘米波长以上辐射。也许正是这些红外辐射加热了脉泽区, 成为激发脉泽的能量来源。

从 MMII 的特征和生长环境看, 它的出现应与 H_2O 、OH 脉泽同时或稍晚, 其到中央激发星的距离应与 OH 脉泽相似或更远一些, 形成于较冷、密度较低的区域。

现将第一类型与第二类型 CH_3OH 脉泽进行对比 (见表 3)。

表3 MMI与MMII简要对比

	MMI	MMII
视向速度	0.2—0.9 km·s ⁻¹	10 km·s ⁻¹
生成区域	不与HII成协	与HII, H ₂ O, OH脉泽成协
研究价值	强大的分子外流激波前产生, 可研究恒星形成中与质量喷发有关的早期演化	进行大质量恒星第一演化阶段的研究
激发机制	碰撞激发	可能以HII为背景辐射激发

5 结语

就目前而言, 虽然对CH₃OH脉泽做了许多观测, 进行了一些研究, 但总的来说, 在有关CH₃OH脉泽的许多问题上, 仍充满了猜想和假设。预计今后的工作仍将以观测为主, 特别是要加强对CH₃OH脉泽的VLA及VLBI等高分辨率观测, 以获取有关其尺度、空间分布及生成环境的更多信息, 同时配合以各种观测技术手段, 综合了解CH₃OH脉泽区及其附近的各种情况, 为进一步的理论研究提供线索和证据。

参 考 文 献

- [1] Bachiler R *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1990, 240: 116
- [2] Barrett A H *et al.* *Ap. J.*, 1971, 168: L101
- [3] Barrett A H *et al.* *Ap. J.*, 1975, 198: L119
- [4] Batrla W *et al.* *Ap. J.*, 1988, 329: L117
- [5] Batrla W *et al.* *Nature*, 1987, 326: 49
- [6] Caswell J L *et al.* Preprint, Australia Telescope Natl. Facility, 1995, No. 266
- [7] Caswell J L *et al.* *Proc. Astron. Soc. Aust.*, 1995, 12: 37
- [8] Caswell J L *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1995, 272: 96
- [9] Caswell J L *et al.* Preprint, Australia Telescope Natl. Facility, 1995, No. 258
- [10] Catarzi M *et al.* *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1993, 98: 127
- [11] Ellingsen S P *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1994, 267: 510
- [12] Gaylard M J *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1994, 269: 257
- [13] Haschich B *et al.* *Ap. J.*, 1989, 346: 333
- [14] Haschick A D *et al.* *Ap. J.*, 1990, 354: 556
- [15] Hills R *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1975, 39: 149
- [16] Kemball A J. *Ap. J.*, 1988, 331: L37
- [17] Koo B C *et al.* *Ap. J.*, 1988, 326: 931
- [18] McCutcheon W H *et al.* *Ap. J.*, 1988, 333: L79
- [19] Menten K M *et al.* *Ap. J.*, 1988, 331: L41
- [20] Menten K M *et al.* *Ap. J.*, 1988, 333: L83
- [21] Menten K M *et al.* *Ap. J.*, 1989, 341: 839
- [22] Menten K M *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1986, 157: 318
- [23] Menten K M *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1988, 198: 267
- [24] Menten K M, Batrla W. *Ap. J.*, 1989, 341: 839
- [25] Menten K M. *Ap. J.*, 1991, 380: L75
- [26] Morimoto M *et al.* *Ap. J.*, 1985, 288: L11
- [27] Norris R P *et al.* *Nature*, 1988, 335: 149

- [28] Norris R P et al. *Ap. J.*, 1993, 412: 222
 [29] Norris R P et al. *Ap. J.*, 1987, 312: L159
 [30] Plambeck R L et al. *Ap. J.*, 1990, 354: 556
 [31] Plambeck R L, Menten K M. *Ap. J.*, 1990, 364: 555
 [32] Pratap P et al. *Ap. J.*, 1989, 341: 832
 [33] Slysh V I et al. *Ap. J.*, 1995, 442: 668
 [34] Slysh V I et al. *M.N.R.A.S.*, 1994, 268: 464
 [35] Valttis I E et al. *Astron. Astrophys.*, 1995, 294: 825
 [36] Wilson T L et al. *Astron. Astrophys.*, 1984, 134: L7
 [37] Wilson T L et al. *Astron. Astrophys.*, 1985, 147: L19.

(责任编辑 刘金铭 郭盛炽)

星族合成 Interstellar Methanol (CH_3OH) Maser

Zhou Sheng^{1,2} Liu Yongyi^{1,3} Wu Yuefang^{1,2}

(1 Shanghai Division of Joint Radio Astronomy Research Laboratory, Shanghai 200030)

(2 Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

(3 Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

The observation and study of interstellar CH_3OH maser are briefly reviewed in this paper. The classification, forming regions, radiation spectrum and kinematical properties of the masers are summarized. Their time variation, excited mechanism and extragalactic emission are also presented. Finally the two classes of CH_3OH masers are compared and discussed.

Key words maser—interstellar matter: kinematics and dynamics