

分子云和恒星形成

III. 河外星系

河外星系中恒星形成研究的重要性

- 恒星形成过程对于星系的演化十分重要
- 恒星形成和演化对于星系的化学演化十分重要
- 剧烈的恒星形成活动产生了天上超亮的一类天体: **ULIRGs/LIRGs**(极亮红外星系和亮红外星系)
- 剧烈恒星形成活动的诱发机制: 星系并合?

分子气体对研究河外星系中恒星形成的重要性

- 恒星是形成于分子云中的(金斯质量和温度密度的关系)
- 所以观测分子气体的性质对于研究恒星形成十分重要
- 分子气体和恒星形成率之间的关系：恒星形成定律
- 不同物理性质的分子气体的探针
- 技术革新带来新的机遇：分辨率和灵敏度的大幅度提高

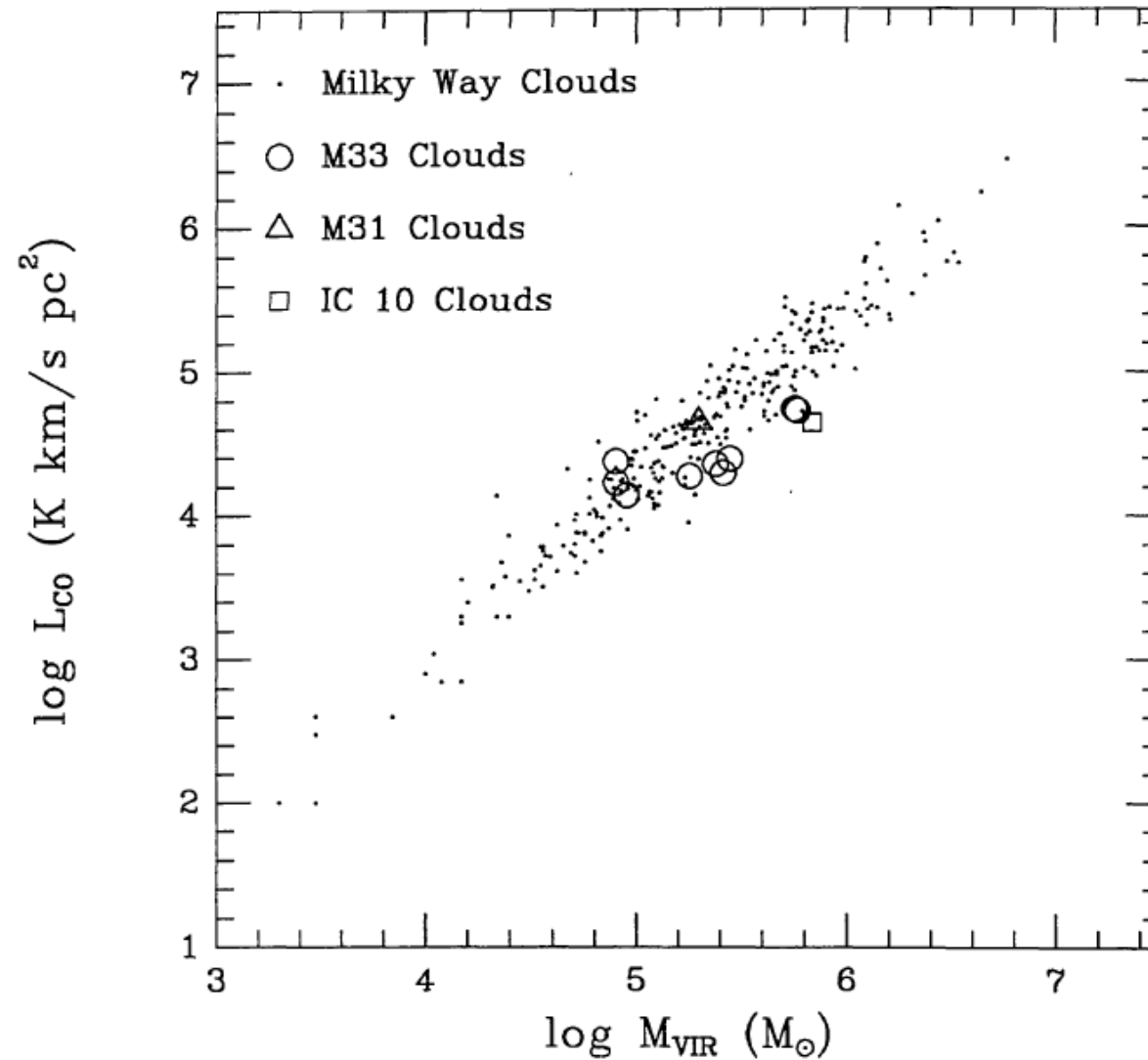
CO 1-0&2-1作为总的分子气体的探针

- **Standard conversion:** CO光度和气体质量的关系(可行性和不确定性)
- 低 J 跃迁的CO辐射对密度和温度要求很低，大部分的分子气体都能达到要求
- 如果需要示踪高密度和高温度的分子气体，我们需要其它的探针
- 而正在形成恒星的分子气体一般密度和温度都比较高

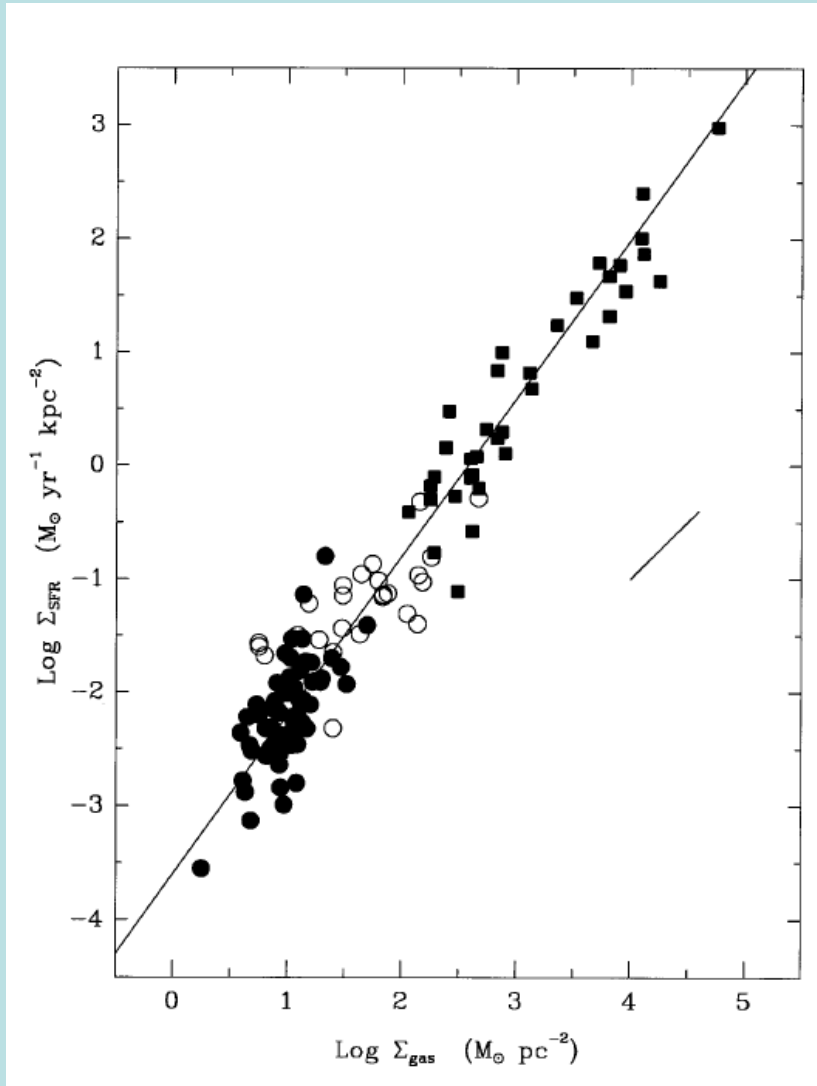
星系中的分子气体探测

- 1975年在M82和NGC253中测到CO 1-0
- CO 1-0在大量的正常近邻星系中测到(NRAO, IRAM, FCRAO, NRO, BIMA等)
- 大量的红外星系中测量到CO 1-0的发射(Sanders 1991)
- 并合星系中的CO 2-1/1-0的高空间分辨率的观测(Downes & Solomon 1998, IRAM PdBI, Bryant & Scoville 1999, OVRO)
- CO谱线陆续在高红移星系中测到(VLA等设备)
- 这些观测很好的示踪了星系中总的气体含量

CO流量和质量的关系



恒星形成定律



Kennicutt 1998 ApJ

横坐标为气体(HI+H₂)
面密度，纵坐标为单位
恒星面积的形成率，
方格表示星暴星系，实
心圆圈表示正常星系，
空心圆圈表示正常星系
的核区附近，斜率大约
为1.4

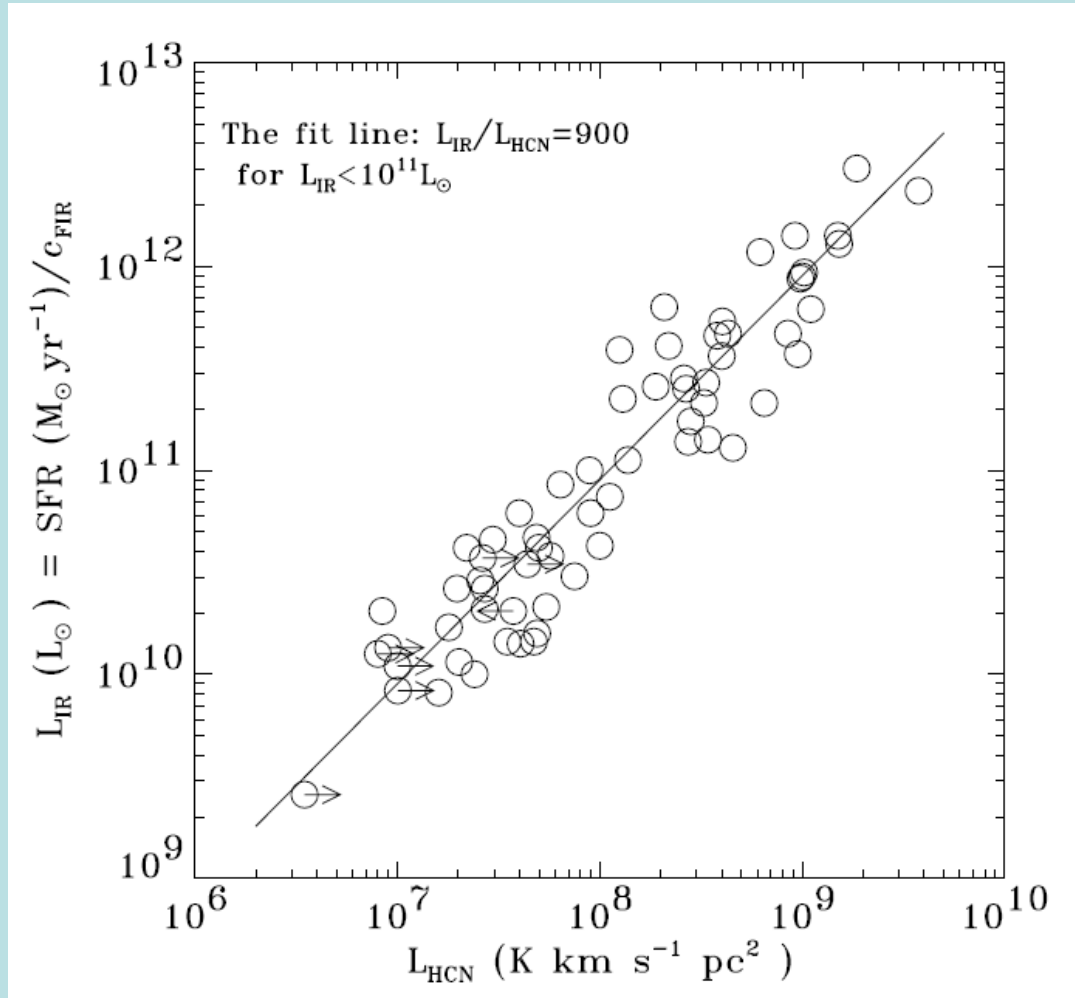
致密分子气体探针

- HCN、HNC、HCO⁺、CS、CN、H₂CO、HC₃N等
- 由于这些气体辐射都很弱，观测一个星系就需要很长的望远镜时间，大量的观测很困难
- 现在用的较多的有HCN 1-0，CS 2-1，HCO⁺ 1-0等
- 高空间分辨率的观测还很少

致密分子气体和星系中的恒星形成

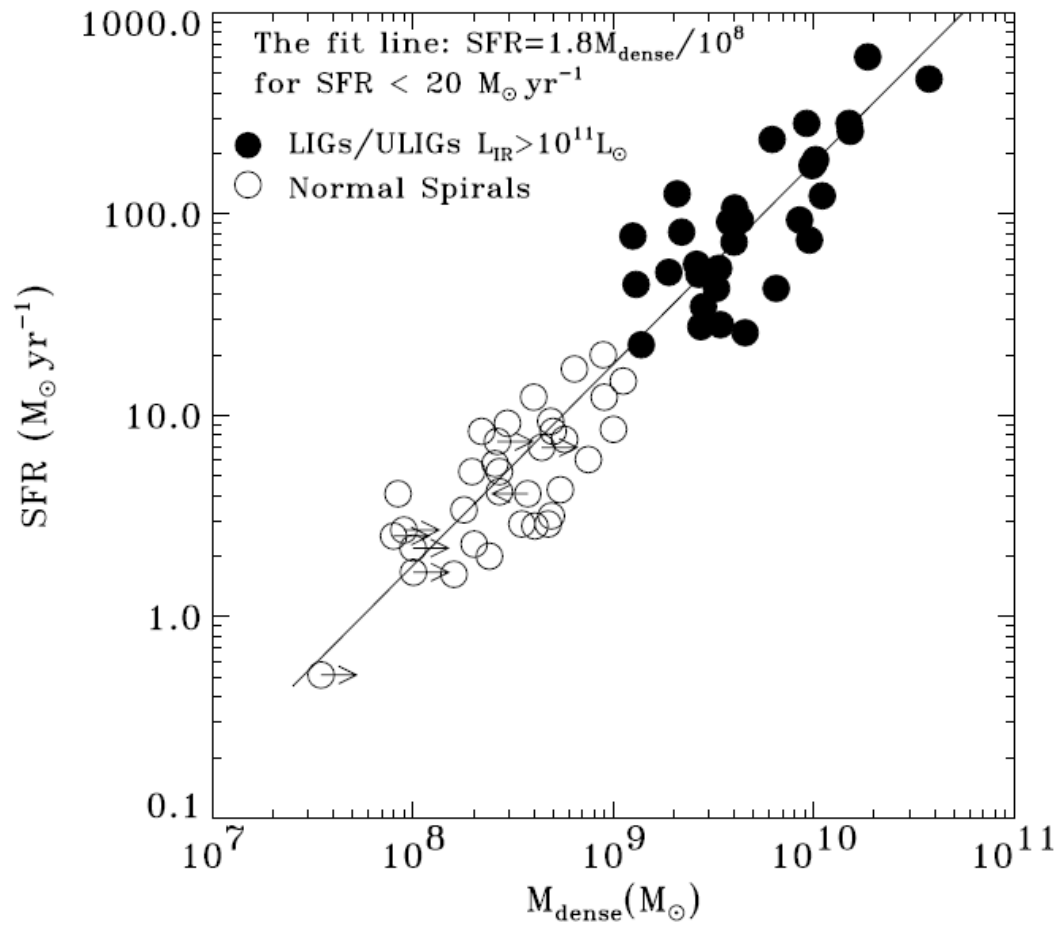
- 正在形成恒星的气体，温度和密度都较高
- 致密分子的质量和恒星形成率之间的关系
- 恒星形成率的示踪： $H\alpha$ 、远红外、紫外等
- 气体的探针：低跃迁CO和致密分子气体探针
- 致密分子气体和恒星形成定律

星系中致密分子气体质量和恒星形成率的关系



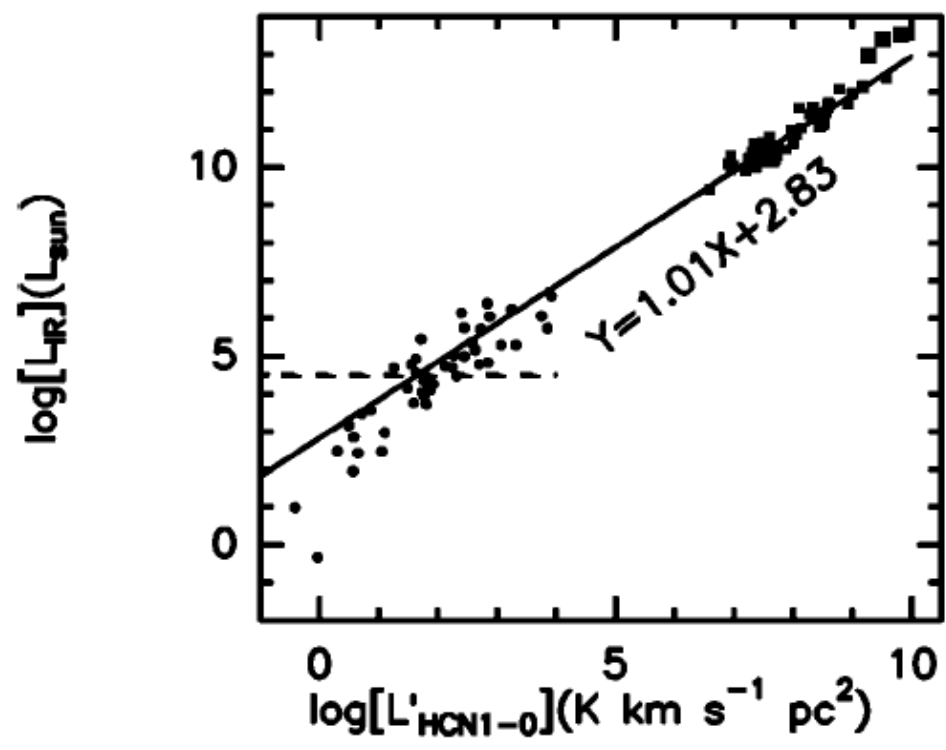
Gao & Solomon
2004 ApJ
HCN 1-0

星系中致密分子气体质量和恒星形成率的关系(续)

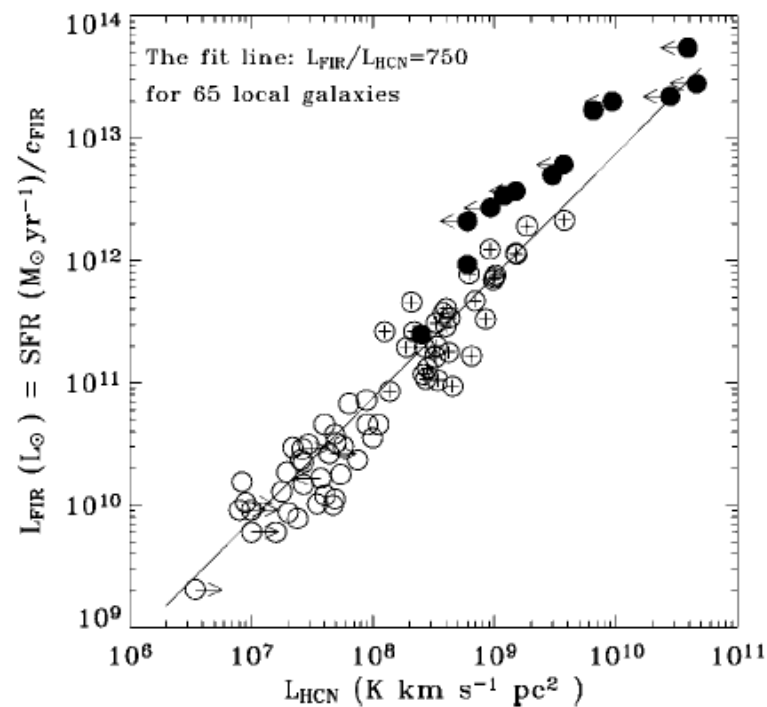


Gao & Solomon
2004 ApJ

致密分子气体和恒星形成的关系： 从巨分子云到高红移类星体

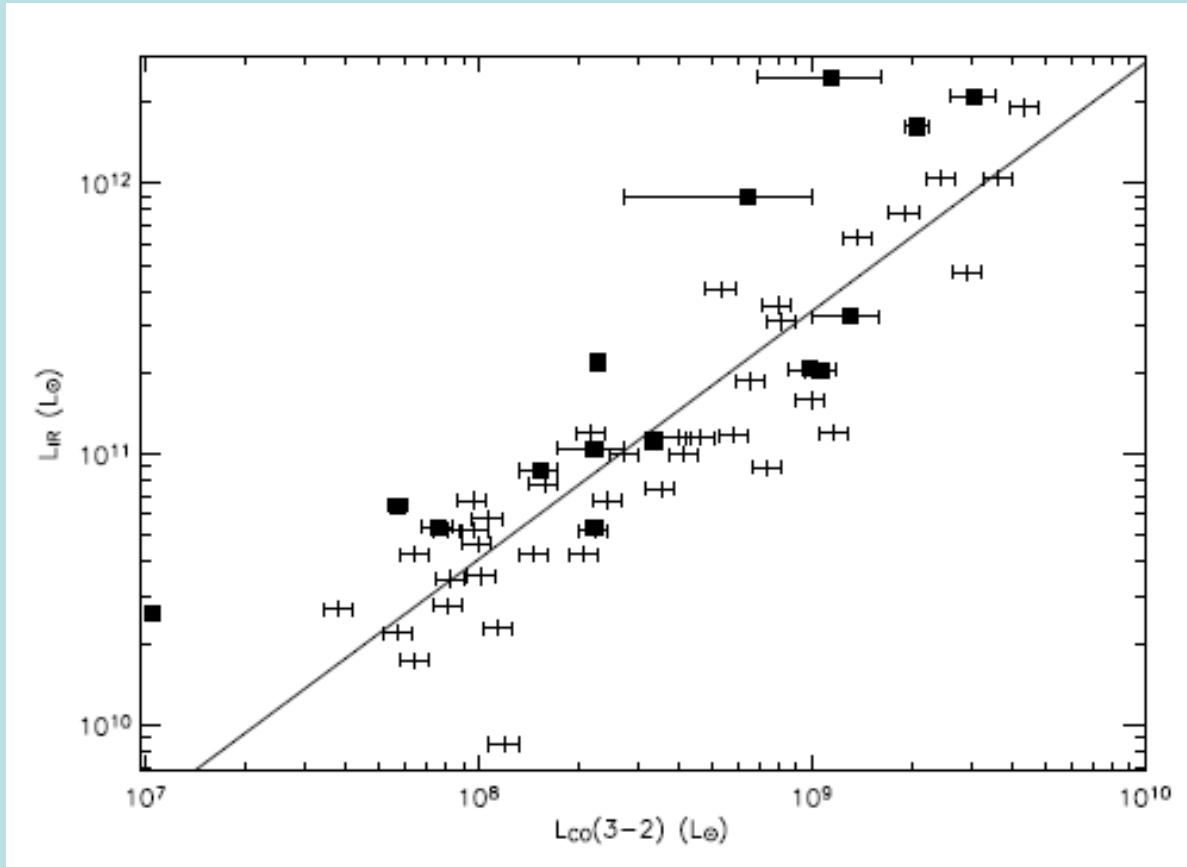


Wu et al. 2005 ApJ



Gao et al. 2007 ApJL

其它示踪恒星形成的分子探针

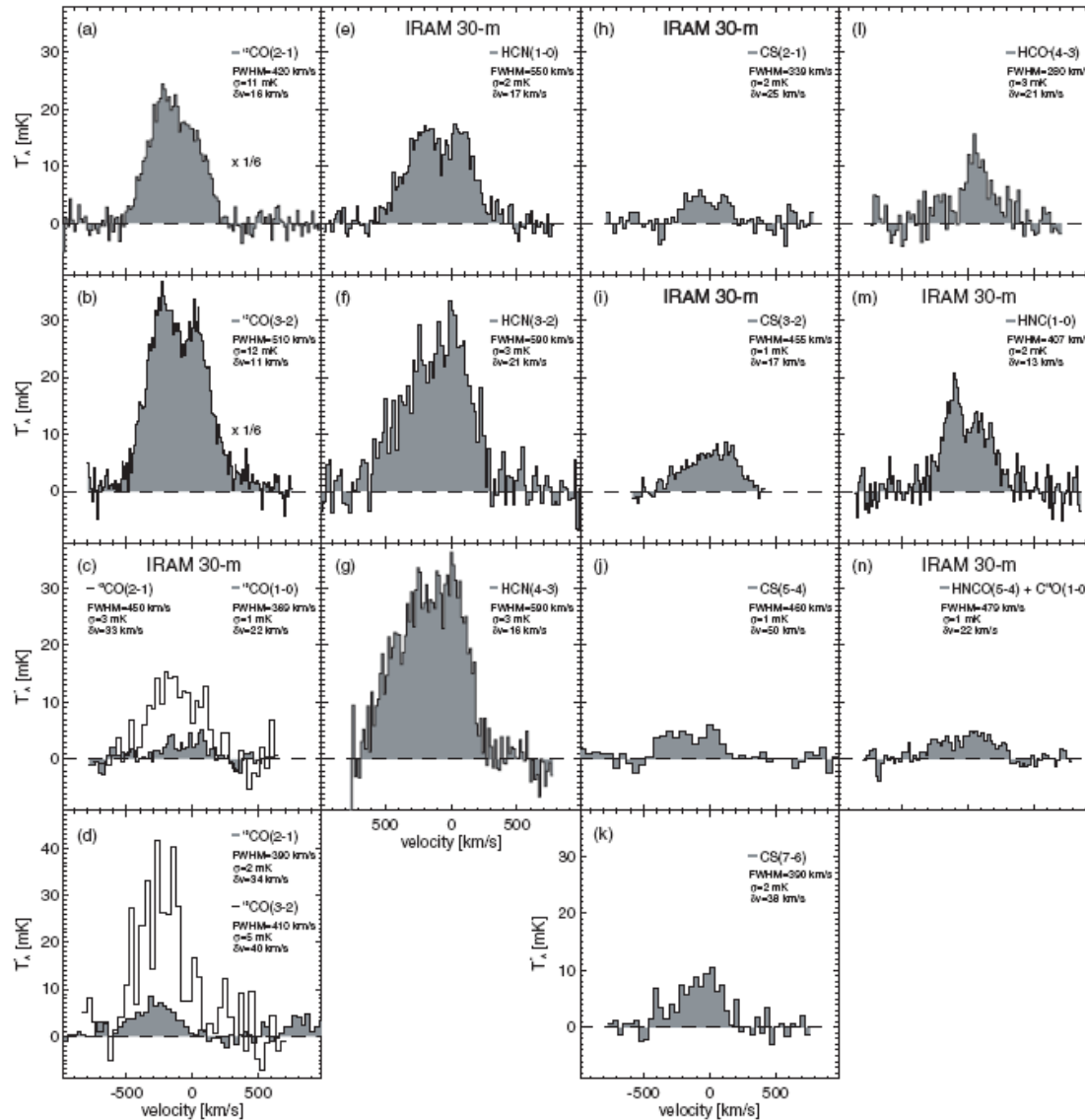


CO 3-2: Narayanan et al. 2005 ApJ

其它示踪恒星形成的分子探针(续)

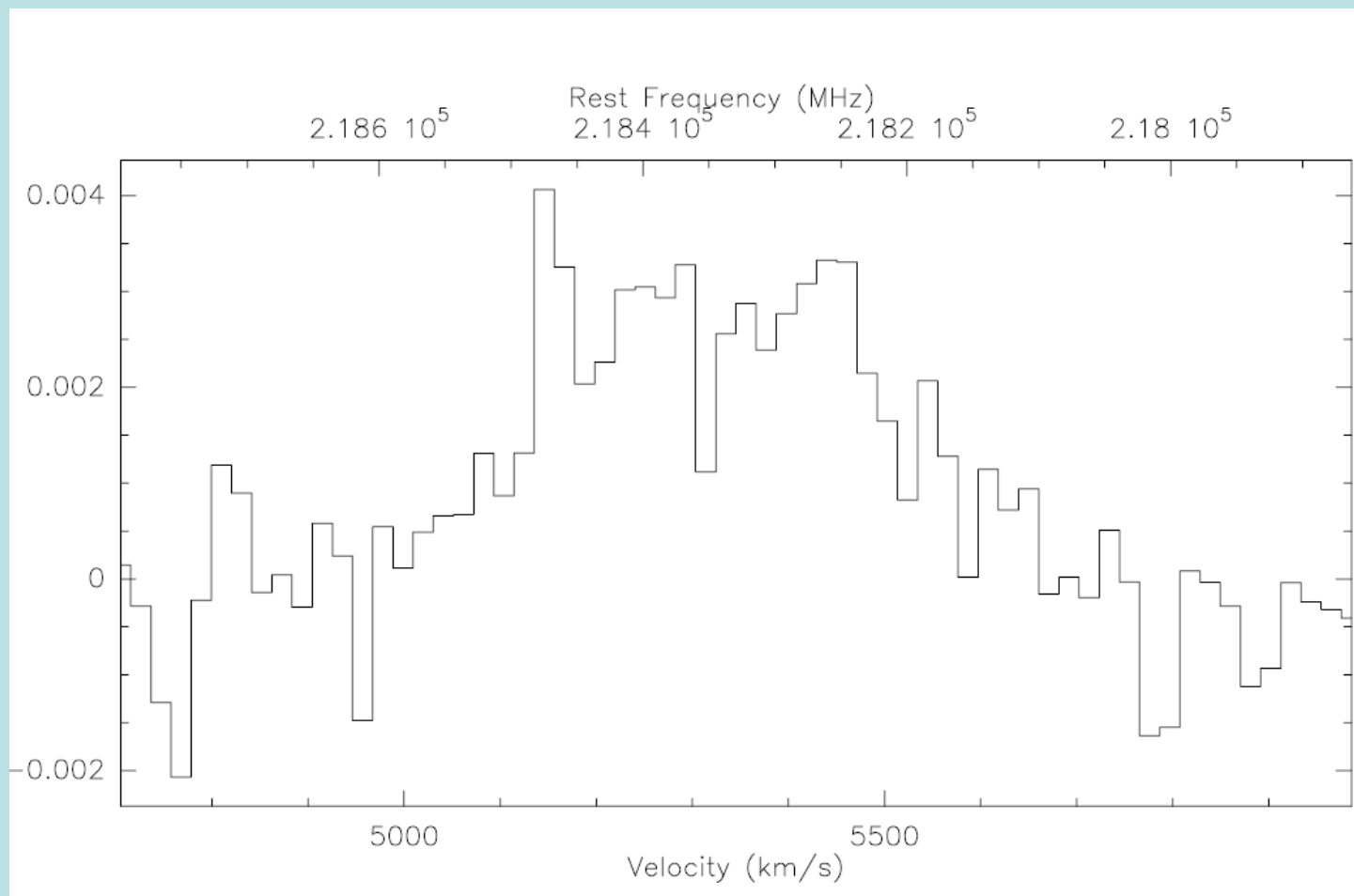
- HCN 3-2、4-3等高能级跃迁谱线
- HCO⁺1-0、3-2、4-3
- CS 2-1、5-4等
- HC₃N的高J跃迁

示例：Arp220中的多条谱线



Greve et al. 2009 ApJ

示例：Arp220中的HC₃N 24-23



2009 March, SMT 10m 观测, Wang&Shi

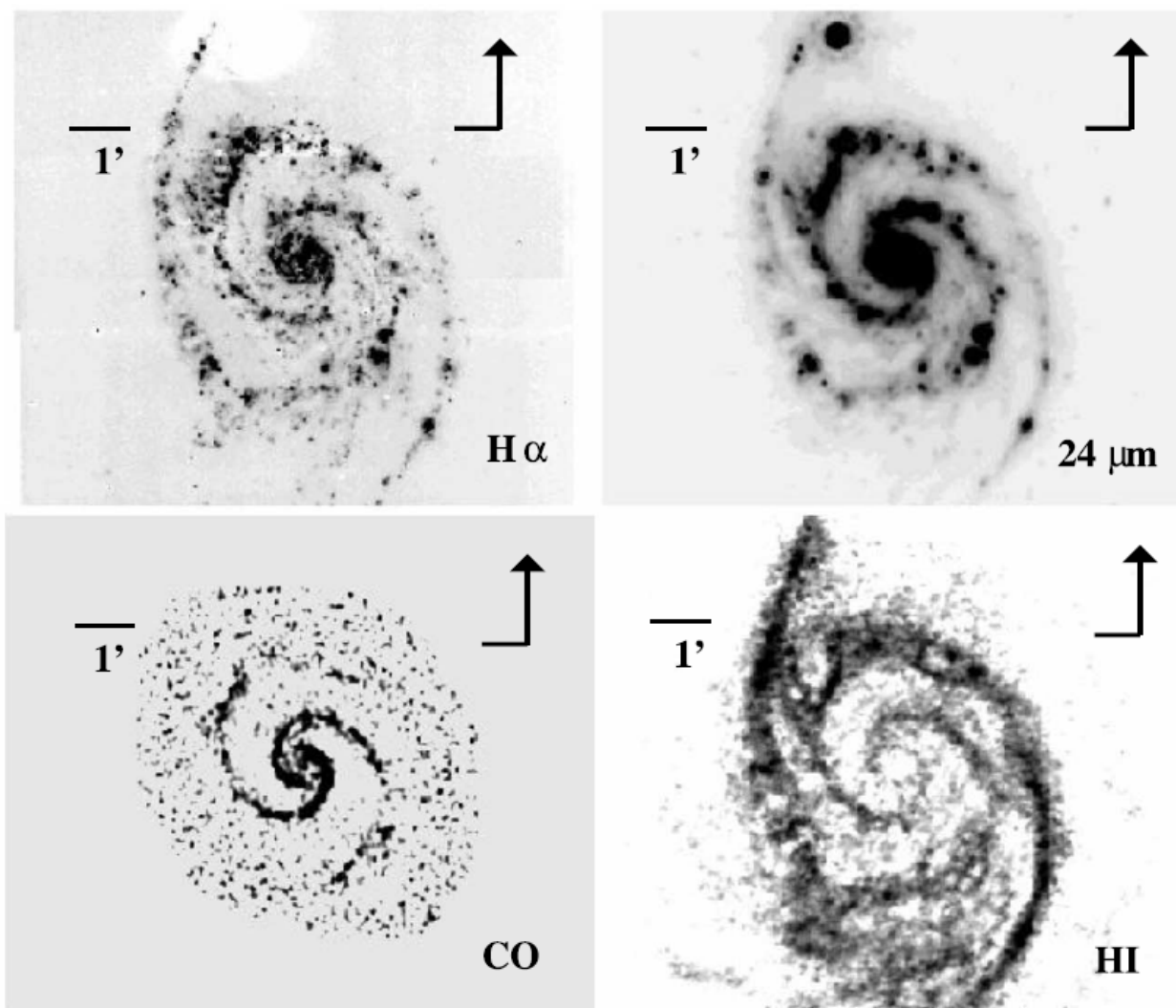
分子谱线的高空间分辨率观测

- 正常星系CO 1-0 : The BIMA Survey of Nearby Galaxies (BIMA SONG) (Regan et al. 2001; Helfer et al. 2003)
- Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS)中的CO 观测
- 并合星系中的CO 2-1/1-0的高空间分辨率的观测 (Downes & Solomon 1998, IRAM PdBI, Bryant & Scoville 1999, OVRO)

近邻星系中气体及恒星形成的分布

- **SINGS:** 分子气体分布和恒星形成示踪物的空间分布比较研究 (比如M51: Kennicutt et al. 2007)
- 包含LIRGs/ULIRGs 在内的近邻星系中CO 1-0&2-1的干涉仪观测, 可以获得气体分布以及运动学信息

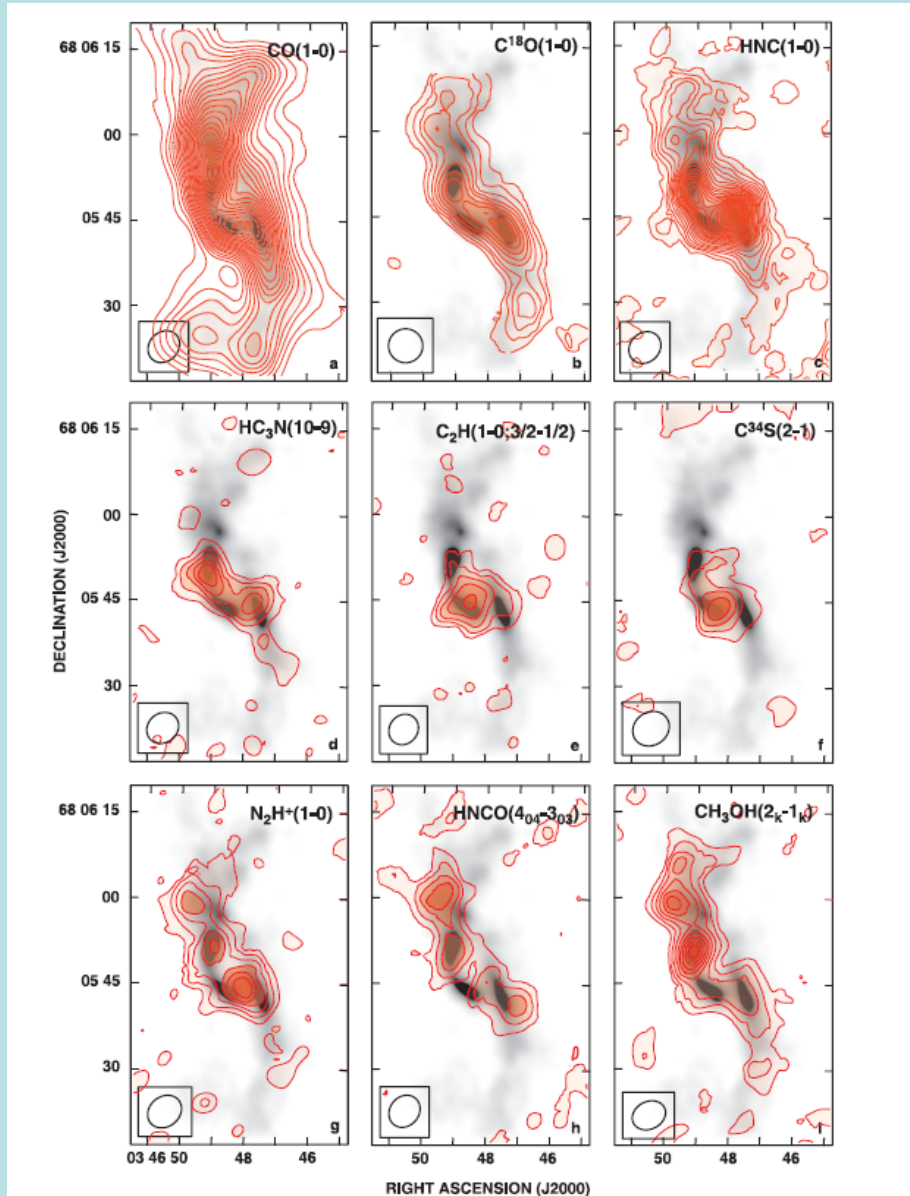
M51: 恒星形成率和气体的分布



其它分子气体探针的高分辨率观测

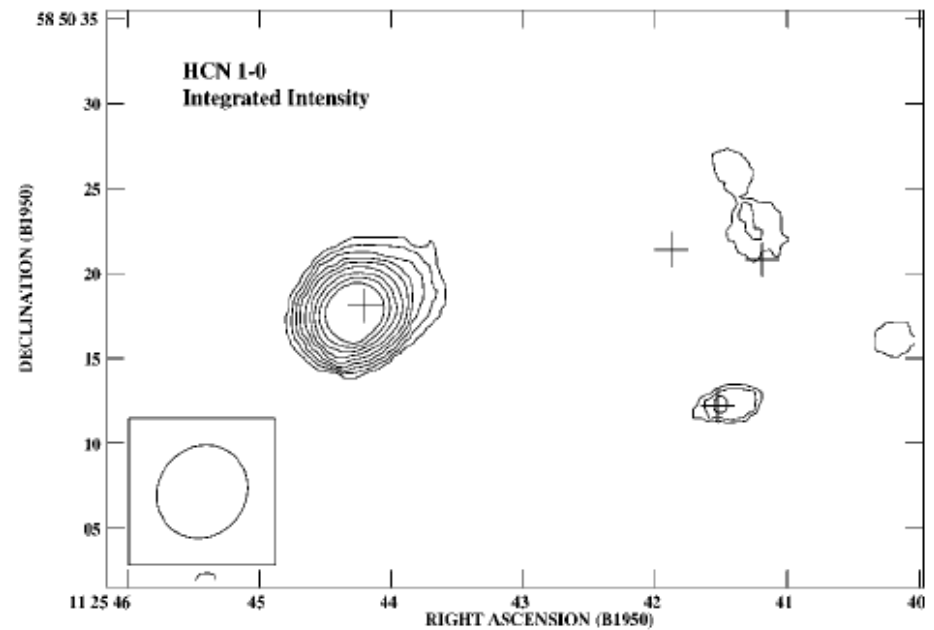
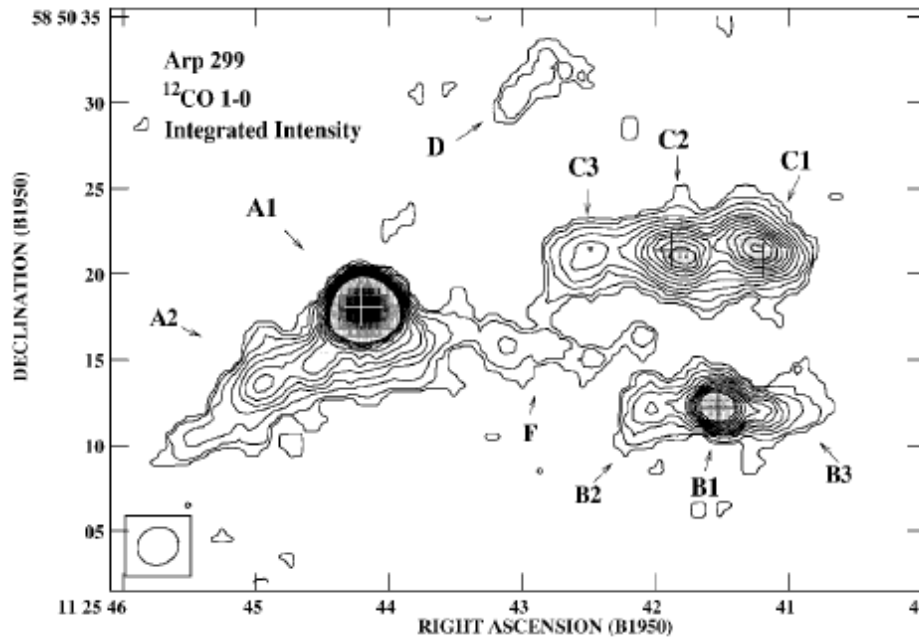
- 致密分子气体探针强度一般都很弱，目前的仪器灵敏度，一般只有很少的星系可以进行高分辨率的观测
- 致密分子气体显示的分布和CO 1-0 & 2-1有很大差异，说明部分气体不是正在形成恒星
- HCN 1-0
- CO 3-2
- HNC、HCO⁺
- CS 2-1 & 5-4 , CN 1-0 & 2-1
- HC₃N ?

IC342的核区



Meier & Turner
2005 ApJ

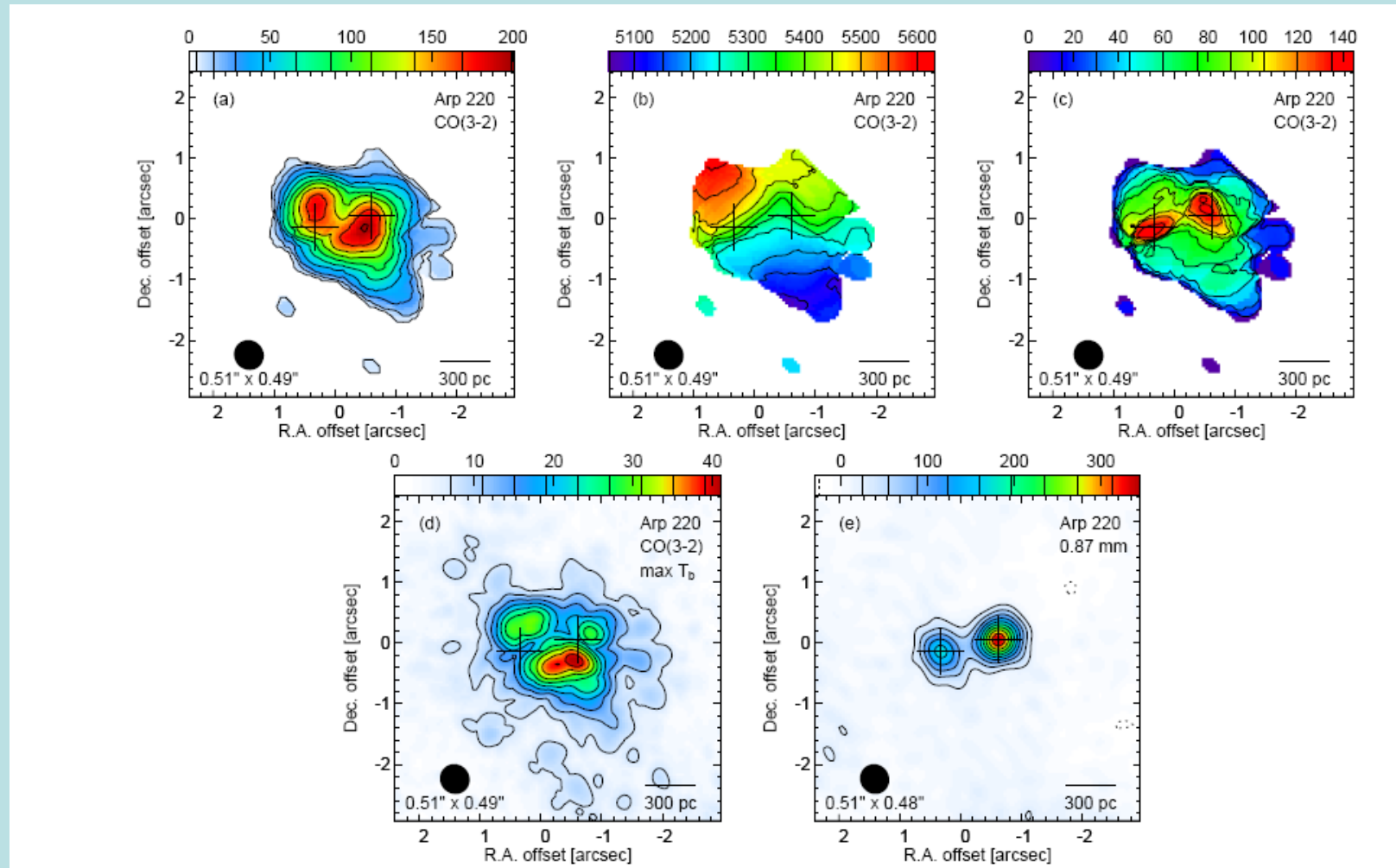
Arp 299 HCN 1-0



Aalto et al. 1997 ApJL

HCN 1-0和CO 1-0的分布显示出很大差异

Arp 220 CO 3-2 with SMA



Sakamoto et al. 2008 ApJ

目前能够工作的(亚)毫米波干涉仪

- CARMA (3mm, 1mm, 6面10米+9面6米)
- SMA (1mm, 0.85mm, 0.45mm, 8面6米)
- IRAM PdBI (3mm, 1mm, 6面15米)
- ATCA (3mm及更低, 6面22米, 南天)
- EVLA (可以最高工作到6.5mm), 可以观测 CS 1-0及其同位素以及HC₃N 5-4等

计划中的设备ALMA

- <http://www.alma.nrao.edu/>
- <http://almaobservatory.org/>
- wavelengths of 0.3 to 9.6 millimeters (对应从1THz到30GHz)
- 约60面12米口径的镜子组成的阵
- 位于5500m高的沙漠中
- 目前为止投资最大(~10亿美元)、参加国家最多的地面天文项目

ALMA的天线



可以开展的工作

-