



北京大学

PEKING UNIVERSITY

本科生毕业论文

题目： 对 71 个 Planck 冷团块的
CO(1-0) 成图研究

姓 名： 孟繁一

学 号： 00946063

院 系： 元培学院

专 业： 物理学

研究方向： 天体物理

导 师： 吴月芳 教授

二〇一三年六月

对 71 个 Planck 冷团块的 CO(1-0) 成图研究

孟繁一 物理学

导师：吴月芳 教授

摘要

本文介绍了对 Taurus/Perseus/California 三个分子云复合体中 71 个 Planck 冷团块气体成分的成图研究。我们利用中国科学院紫金山天文台青海观测站的 13.7 m 毫米波望远镜进行了 ^{12}CO 、 ^{13}CO 以及 C^{18}O 分子的 $J = 1 - 0$ 转动跃迁谱线观测。全部 71 个 Planck 冷团块都被探测到有 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 和 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 的辐射，其中 55 个被探测到有 $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ 的辐射。通过空间分布和线心速度的验证，我们证认出 Taurus 分子云复合体 (TMC)、Perseus 分子云复合体 (PMC) 和 California 分子云复合体 (CMC) 中分别有 34 个、24 个和 13 个 Planck 冷团块。在这些冷团块中，共证认出 38 个云核 (Core)，其中 TMC、PMC 和 CMC 分别有 19、3 和 16 个云核。对于这些云核，我们通过观测数据计算了观测参量：线心速度 (V_{lsr})、天线温度 (T_A)、谱线宽度 (FWHM)。通过这些观测参量我们计算出了各个云核的物理参量。在局部热动平衡 (LTE) 假设下应用辐射传能方程，我们得到激发温度 (T_{ex})、气体柱密度 (N_{H_2})。同时我们还计算了云核的热速度弥散 (σ_{Therm})、非热速度弥散 (σ_{NT}) 以及三维速度弥散 (σ_{3D})。根据对云核成图的椭圆高斯拟合，我们得到了云核的几何尺度 (R)，从而计算出气体数密度 (n_{H_2})、LTE 质量 (M_{LTE})、Jeans 质量 (M_J) 和 virial 质量 (M_{vir})。

根据这些物理参量，我们发现 84% 的云核有： $\sigma_{NT} > \sigma_{Therm}$ ，而 TMC 中 84% 的云核和 CMC 中 69% 的云核的柱密度概率分布函数 (PDF) 呈对数正态分布 (K-S 检验中 $p > 0.05$)，表明在我们的样本中湍动的支配地位。大多数

(TMC 中的 90%、CMC 中的 60%) 云核的 M_{vir} 和 M_J 大于 M_{LTE} , 表明云核无明显的重力塌缩迹象。通过对比此气体观测结果和 Planck 获得的尘埃连续谱辐射数据, 我们发现 60% 云核的气体温度低于其尘埃温度。同时, CO 分子的丰度在正常范围之内。经过查找成协源, 90% 的团块被证实无成协物。根据这些计算与分析, 我们发现这些 Planck 团块还没处于恒星形成前, 分子云中的致密核未充分演化的早期形态。本研究揭示了它们的物理状态和动力学性质。

关键词: 恒星形成, 分子云, 分子谱线

CO (1-0) Mapping Study of 71 Planck Cold Clumps

Fanyi Meng Physics

Directed by Prof. Yuefang Wu

Abstract

A mapping study towards 71 Planck Cold Clumps was made with $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$ and $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ lines, at the 13.7 m telescope of Purple Mountain Observatory. For all the clumps, $^{12}\text{CO}(1-0)$ and $^{13}\text{CO}(1-0)$ emissions were detected, while for 55 of them, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ emissions were detected. Of the 71 Clumps, 34 are in Taurus Molecular Complex, 24 in California Molecular Complex and 13 are in Perseus Molecular Complex. In the 76 velocity components, 38 cores are found in 27 clumps, 19 cores are in TMC, 16 in CMC and 3 are in PMC. We acquired the observational parameters such as V_{lsr} , T_A and FWHM of lines. Physical parameters including T_{ex} , N_{H_2} , σ_{Therm} , σ_{NT} , σ_{3D} were calculated.

We found that 84% of the cores have σ_{NT} larger than σ_{Therm} and 84% cores in TMC and 69% cores in CMC have N_{H_2} lognormal probability distribution function. These suggest the dominance of turbulence in our cores. Most cores (90% in TMC and 69% in CMC) are found with M_{vir} and M_J larger than M_{LTE} , indicating these cores are neither going to collapse nor gravitationally bound. To compare with the dust properties revealed by Planck ECC catalog, we investigated the coupling of gas and dust components. We found 60% of the cores are with dust temperature higher than gas temperature. The objects associated with our sources

are checked, for 90% of the core, no associated objects are found within distance of 55'' to their centers. These facts suggest that our samples represent the very early stage of prestellar cores. This research reveals the physical properties and kinematic characteristics of molecular cores which are in their early evolutionary stages.

Keywords: Star Formation, Molecular Cloud, Molecular Spectrum

目录

第一章 引言	1
1.1 冷暗云 (Cold Dark Cloud)	1
1.2 Planck 团块	1
1.3 研究区域	2
1.3.1 Taurus 分子云复合体	2
1.3.2 Perseus 分子云复合体	2
1.3.3 California 分子云复合体	3
1.4 研究目标	3
第二章 观测和数据处理	5
2.1 望远镜参数	5
2.2 数据处理方法	5
第三章 观测结果	7
3.1 观测参量	7
3.2 物理参量	7
第四章 分析与讨论	9
4.1 谱线轮廓	9
4.2 云核内的湍动	9
4.3 云核的重力稳定性	9
4.4 气体 -尘埃耦合	9
4.5 CO 丰度	9
4.6 云核的成协情况	9

参考文献	11
附录 A 导出参量的计算	15
附录 B 本文中术语的中英对照表	17
致谢	19

第一章 引言

1.1 冷暗云 (Cold Dark Cloud)

略

1.2 Planck 团块

欧洲航天局于 2009 年 5 月发射 Planck 空间望远镜，其工作波段为：30、44 和 70 Hz（以上由 LFI 接收机实现）；100、143、217、353、545 和 857 Hz（以上由 HFI 接收机实现）^[1]。Planck 的早期结果系统地提供了丰富的银河系内冷团块样本：C3PO（Cold Core Catalogue of Planck Objects）星表包含 10,873 个冷云核^[2,3]。在 C3PO 表中，915 个可靠探测（ $\text{SNR} > 15$ 且 $T_{\text{ECC}} < 14 \text{ K}$ ）的源被归入其子表 ECC（Planck Early Release Cold Cores Catalogue）^[2,3]。

对于 Planck 冷团块中尘埃的物理性质，Planck Collaboration 进行了细致研究，从而揭示了 C3PO 中的冷团块的柱密度 $N_{\text{H}_2} \approx 0.1 \sim 1.6 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ ，并且尘埃温度在 10 K 到 15 K 之间^[3]。这些研究利用三个 HFI 接收机频率（353、545、857 Hz）测得的流量，同时结合 IRAS 3000 GHz 波段的数据得出相应结果^[3,4]。

除了 Planck Collaboration 对于 Planck 冷团块尘埃成分的研究之外，对其气体成分的单点观测也已经取得成果。利用中国科学院紫金山天文台青海观测站的 13.7 m 毫米波望远镜，Wu et al (2012) 完成了对 674 个 ECC 源的 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 和 $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ 三谱线单点观测，并且得出了其动力学温度（ T_k ）、气体柱密度（ N_{H_2} ）以及速度弥散（ σ ）等物理参量^[5]。利用同样的设备，Liu et al (2012) 等对 Orion 分子云复合体中的 51 个 Planck 冷团块做了 $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 和 $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ 三谱线成图观测^[6]。

1.3 研究区域

1.3.1 Taurus 分子云复合体

Taurus 分子云复合体 (Taurus Molecular Complex, 下文简称 TMC) 是典型的小质量恒星形成区, 同时也是距离我们最近 ($D \approx 140$ pc) 的巨分子云^[7]。因此, 在分辨率有限的情况下, TMC 是理想的小质量恒星形成研究样本。

对于 TMC, 人们已经有大量的分子谱线观测结果。针对 TMC 和 Ophiuchus 中的 90 个“微小光学不透明体” (small visual opaques), Myers (1983), Myers and Benson (1983) 进行了 ^{13}CO 和 C^{18}O 的观测, 并且得出其中的云核几何尺度为 $0.1 \sim 0.3$ pc, 质量为 $4 \sim 30 M_{\odot}$ 以及激发温度 $T_{\text{ex}} \sim 10$ K^[8,9]。在同一系列的成果中, Meyers et al 对云核的亚音速湍动、CO 外向流、形态等也进行了研究^[10-12]。

在 TMC 中, 人们发现了丰富的气体动力学过程和多个演化阶段的特征。分子外向流首次在大质量恒星形成区被发现, 但由于距离过远其并不能被很好地被分辨^[13]。而之后在 TMC 中 L1551 被证认为有分子外向流, 并且红瓣 (red-lobe) 和蓝瓣 (blue-lobe) 能够良好地被分辨^[14]。截至 2003 年 2 月发现的 400 个分子外向流中, 有 11% 在 TMC 中^[15]。不仅分子外向流, 人们在 TMC 中也发现了丰富的分子内向流: 例如对 T Tau 双星系统^[16] 和 L 1544 的研究^[17]。和恒星形成密切相关的盘状结构也在 TMC 中被证认出来: 例如在 HL Tau 周围发现的盘状结构^[18] 以及 DM Tau^[19]。综上, TMC 包含从 class 0 到 class III 全部恒星形成阶段的源。这些不同演化阶段的源的特征是恒星形成理论, 例如 Shu et al (1987) 提出的“恒星形成四个阶段”理论^[20] 的观测基础。

1.3.2 Perseus 分子云复合体

Perseus 分子云复合体 (Perseus Molecular Complex, 下文简称 PMC) 同样是著名的恒星形成区, 其中有中等质量原恒星被证认^[21]。一般认为, PMC 的情形介于以 TMC 为代表的小质量恒星形成区和以 Orion 巨分子云为代表的大质量恒星形成区之间^[22]。对于 PMC, 人们亦有大量研究。

结合亚毫米和中红外资料, 在 PMC 中已有 49 个深嵌埋 (deeply embedded) 年轻星体 (young stellar objects, 下文简称 YSO) 被证认^[23]。而在毫米波段, 针

对 PMC 人们也已经进行过多次 CO 观测^[24-26]。

PMC 的距离为 235 ± 18 pc^[21]。

1.3.3 California 分子云复合体

不同于 TMC 和 PMC, 在 2009 年之前, California 分子云复合体 (California Molecular Complex, 下文简称 CMC) 并没有获得足够的重视。对于 CMC 的开创性工作是 Lada et al 在 2009 年作出的, 其得出了 CMC 的距离为 450 ± 23 pc, 空间延伸达 80 pc, 总质量约为 $10^5 M_{\odot}$ ^[27]。CMC 有着和 Orion 巨分子云相似的距离、质量和形态, 但是其恒星形成活跃程度对比 Orion 巨分子云要低得多^[21,27]。

近期, 一项对于 CMC 区域的成图研究给出了含有 78 个源的星表^[28]。其中有 60 个“致密源”在 70 μm 的波段上被证认, 所用数据来自 Herschel 的 PACS 和 SPIRE 设备^[28]。而另外 18 个“冷致密源”则是用的 Bolocam 1.1 mm 波段的数据^[28]。

由于 CMC 展示出了相对年轻的演化特征, 其可以作为研究冷云核早期演化的理想样本。除了上述的研究, 我们仍然迫切需要对 CMC 做更高分辨率的毫米波观测, 以更全面而深入地揭示其中冷云核的物理特性。

1.4 研究目标

第二章 观测和数据处理

2.1 望远镜参数

2.2 数据处理方法

第三章 观测结果

3.1 观测参量

3.2 物理参量

第四章 分析与讨论

4.1 谱线轮廓

4.2 云核内的湍动

4.3 云核的重力稳定性

4.4 气体 - 尘埃耦合

4.5 CO 丰度

4.6 云核的成协情况

参考文献

- [1] Planck Collaboration *et al.* “*Planck early results. I. The Planck mission*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2011-12: A1.
- [2] Planck Collaboration. “*Planck Early Release Compact Source Catalogue (Planck, 2011)*”. *VizieR Online Data Catalog*, 2011-01:.
- [3] Planck Collaboration. “*Planck early results. XXIII. The first all-sky survey of Galactic cold clumps*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2011-12: A23.
- [4] Planck Collaboration. “*Planck early results. XXII. The submillimetre properties of a sample of Galactic cold clumps*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2011-12: A22.
- [5] Y. Wu *et al.* “*Gas Emissions in Planck Cold Dust Clumps: A Survey of the $J = 1-0$ Transitions of ^{12}CO , ^{13}CO , and C^{18}O* ”. *Astrophysical Journal*, 2012-09: 76.
- [6] T. Liu, Y. Wu and H. Zhang. “*Molecular Environments of 51 Planck Cold Clumps in the Orion Complex*”. *Astrophysical Journal Supplement*, 2012-09: 4.
- [7] T. Dame *et al.* “*A composite CO survey of the entire Milky Way*”. *Astrophysical Journal*, 1987-11: 706–720.
- [8] P. Myers, R. Linke and P. Benson. “*Dense cores in dark clouds. I - CO observations and column densities of high-extinction regions*”. *Astrophysical Journal*, 1983-01: 517–537.
- [9] P. Myers and P. Benson. “*Dense cores in dark clouds. II - NH_3 observations and star formation*”. *Astrophysical Journal*, 1983-03: 309–320.

- [10] P. Myers. “*Dense cores in dark clouds. III - Subsonic turbulence*”. *Astrophysical Journal*, 1983-07: 105–118.
- [11] P. Myers *et al.* “*Dense cores in dark clouds. V - CO outflow*”. *Astrophysical Journal*, 1988-01: 907–919.
- [12] P. Myers *et al.* “*Dense cores in dark clouds. VI - Shapes*”. *Astrophysical Journal*, 1991-08: 561–572.
- [13] B. Zuckerman, T. Kuiper and E. Rodriguez Kuiper. “*High-velocity gas in the Orion infrared nebula*”. *Astrophysical Journal Letters*, 1976-11: L137–L142.
- [14] R. Snell, R. Loren and R. Plambeck. “*Observations of CO in L1551 - Evidence for stellar wind driven shocks*”. *Astrophysical Journal Letters*, 1980-07: L17–L22.
- [15] Y. Wu *et al.* “*A study of high velocity molecular outflows with an up-to-date sample*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2004-11: 503–515.
- [16] H. van Langevelde, E. van Dishoeck and G. Blake. “*Evidence for HCO(+) infall toward T Tauri?*” *Astrophysical Journal Letters*, 1994-04: L45–L48.
- [17] M. Tafalla *et al.* “*L1544: A Starless Dense Core with Extended Inward Motions*”. *Astrophysical Journal*, 1998-09: 900.
- [18] A. Sargent and S. Beckwith. “*The molecular structure around HL Tauri*”. *Astrophysical Journal Letters*, 1991-11: L31–L35.
- [19] M. Saito *et al.* “*Aperture Synthesis ^{12}CO and ^{13}CO Observations of D-M Tauri: 350 AU Radius Circumstellar Gas Disk*”. *Astrophysical Journal*, 1995-11: 384.
- [20] F. Shu, F. Adams and S. Lizano. “*Star formation in molecular clouds - Observation and theory*”. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **1987**, 25: 23–81.
- [21] M. Lombardi, C. Lada and J. Alves. “*2MASS wide field extinction maps. III. The Taurus, Perseus, and California cloud complexes*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2010-03: A67.

- [22] D. Johnstone *et al.* “*Dense Gas Tracers in Perseus: Relating the N_2H^+ , NH_3 , and Dust Continuum Properties of Pre- and Protostellar Cores*”. *Astrophysical Journal*, 2010-03: 655–670.
- [23] J. Jørgensen *et al.* “*Current Star Formation in the Perseus Molecular Cloud: Constraints from Unbiased Submillimeter and Mid-Infrared Surveys*”. *Astrophysical Journal*, 2007-02: 293–305.
- [24] A. Sargent. “*Molecular clouds and star formation. II - Star formation in the Cepheus OB3 and Perseus OB2 molecular clouds*”. *Astrophysical Journal*, 1979-10: 163–181.
- [25] P. Padoan *et al.* “*Supersonic Turbulence in the Perseus Molecular Cloud*”. *Astrophysical Journal*, 1999-11: 318–329.
- [26] J. Hatchell *et al.* “*Star formation in Perseus. Clusters, filaments and the conditions for star formation*”. *Astronomy and Astrophysics*, 2005-09: 151–161.
- [27] C. Lada, M. Lombardi and J. Alves. “*The California Molecular Cloud*”. *Astrophysical Journal*, 2009-09: 52–59.
- [28] P. Harvey *et al.* “*A First Look at the Auriga-California Giant Molecular Cloud with Herschel and the CSO: Census of the Young Stellar Objects and the Dense Gas*”. *Astrophysical Journal*, 2013-02: 133.

附录 A 导出参量的计算

附录 B 本文中术语的中英对照表

致谢

感谢北大未名 BBS 的 MathTools 版和 Thesis 版诸位同学的支持。特别感谢 pkuthss 模版的最初创作者 solvethis 网友，以及不断地对 Casper 提出的诸多问题予以解答的 cauchy 网友:)

北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名： 日期： 年 月 日

学位论文使用授权说明

（必须装订在提交学校图书馆的印刷本）

本人完全了解北京大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：

- 按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；
- 学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并提供目录检索与阅览服务，在校园网上提供服务；
- 学校可以采用影印、缩印、数字化或其它复制手段保存论文；
- 因某种特殊原因需要延迟发布学位论文电子版，授权学校在 ☐ 一年/ ☐ 两年/ ☐ 三年以后在校园网上全文发布。

（保密论文在解密后遵守此规定）

论文作者签名： 导师签名： 日期： 年 月 日