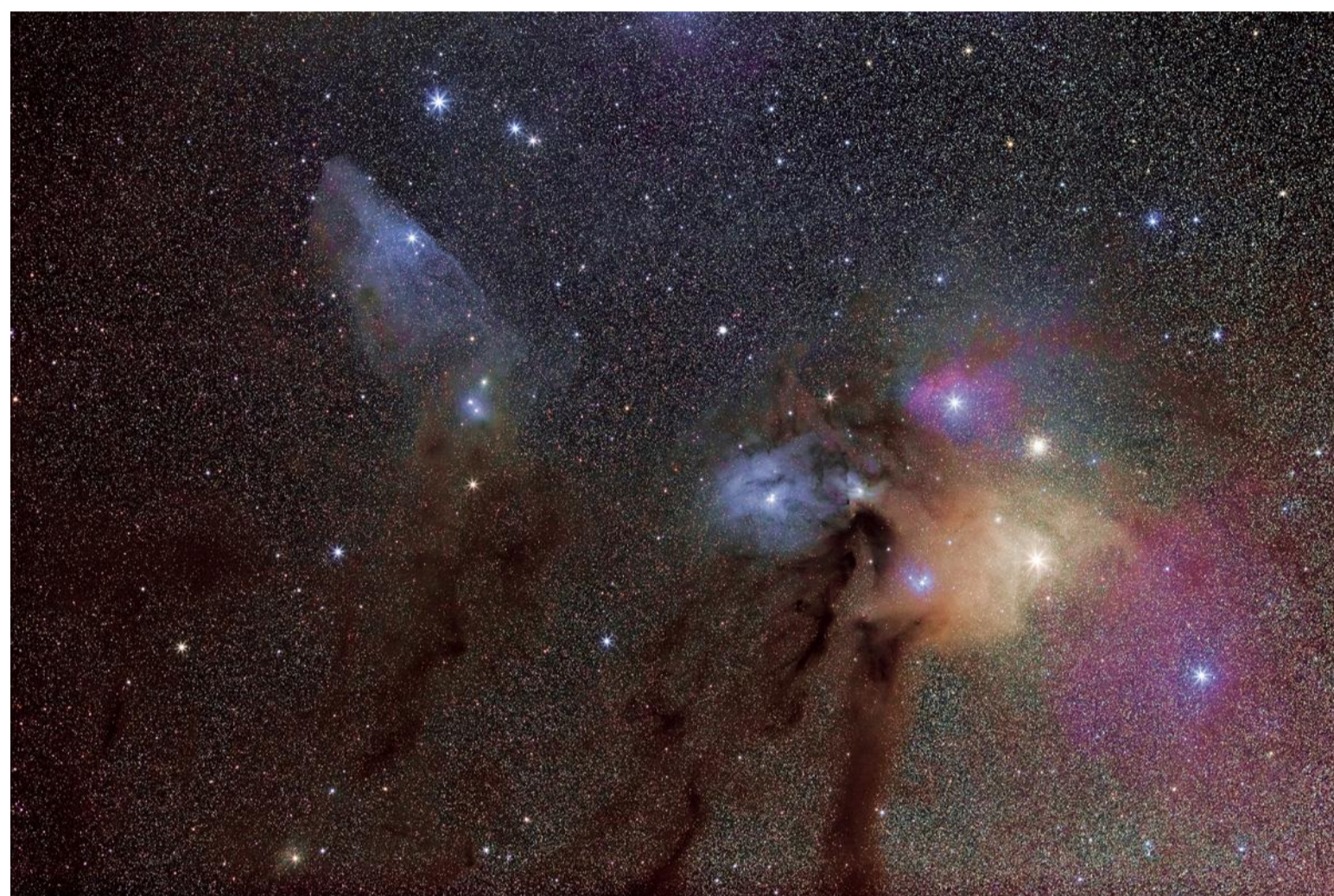


Фракционирование дейтерия в плотных ядрах в области звездообразования L1688

Введение

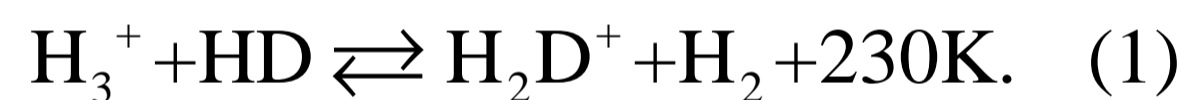
В молекулярных облаках формируются дозвездные плотные ядра газа, такие объекты являются самой первой стадией образования звезд и представляют из себя холодный газ с температурой 10 К и с плотностью $10^4 - 10^7 \text{ cm}^{-3}$, с преобладанием тепловых движений и высокой долей дейтерия. Такие объекты очень важны для понимания формирования и эволюции протозвезд, так как дают информацию о начальных условиях звездообразования.

Одним из важных параметров является высокая доля дейтерия, она показывает, что плотное ядро находится близко к стадии начала формирования протозвезды. Увеличение доли дейтерия происходит в процессе фракционирования, эффективного в холодном плотном газе плотных ядер. Далее на рисунке (Wikimedia 2012) показана область L1688.



Фракционирование дейтерия

В основе фракционирования дейтерия лежит реакция обмена протона на дейтерий:



Это экзотермическая реакция и при условиях в плотном ядре ($T=10 \text{ K}$) реакция не будет протекать в обратную сторону из-за низкой температуры. Вновь образовавшийся ион H_2D^+ реагирует с другими молекулами создавая дейтерированные молекулы:



где А - это нейтральные молекулы, например CO и N_2 . CO является одной из самых распространённых молекул после H_2 и чаще всего реагирует с H_3^+ и H_2D^+ . Поскольку концентрация H_3^+ больше концентрации H_2D^+ , CO взаимодействует с H_3^+ в большей степени, разрушая главный ион, с которого начинается распространение дейтерия в соединениях.

(A. Dalgarno and S. Lepp 1894)

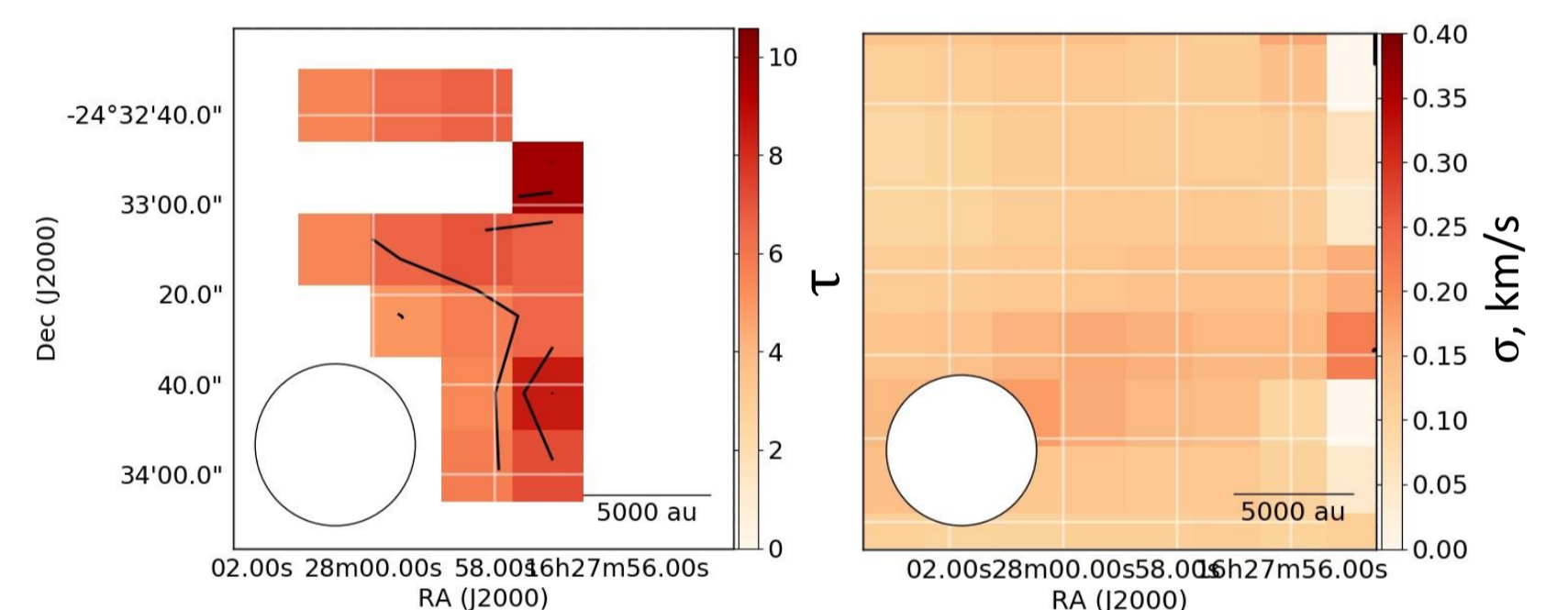
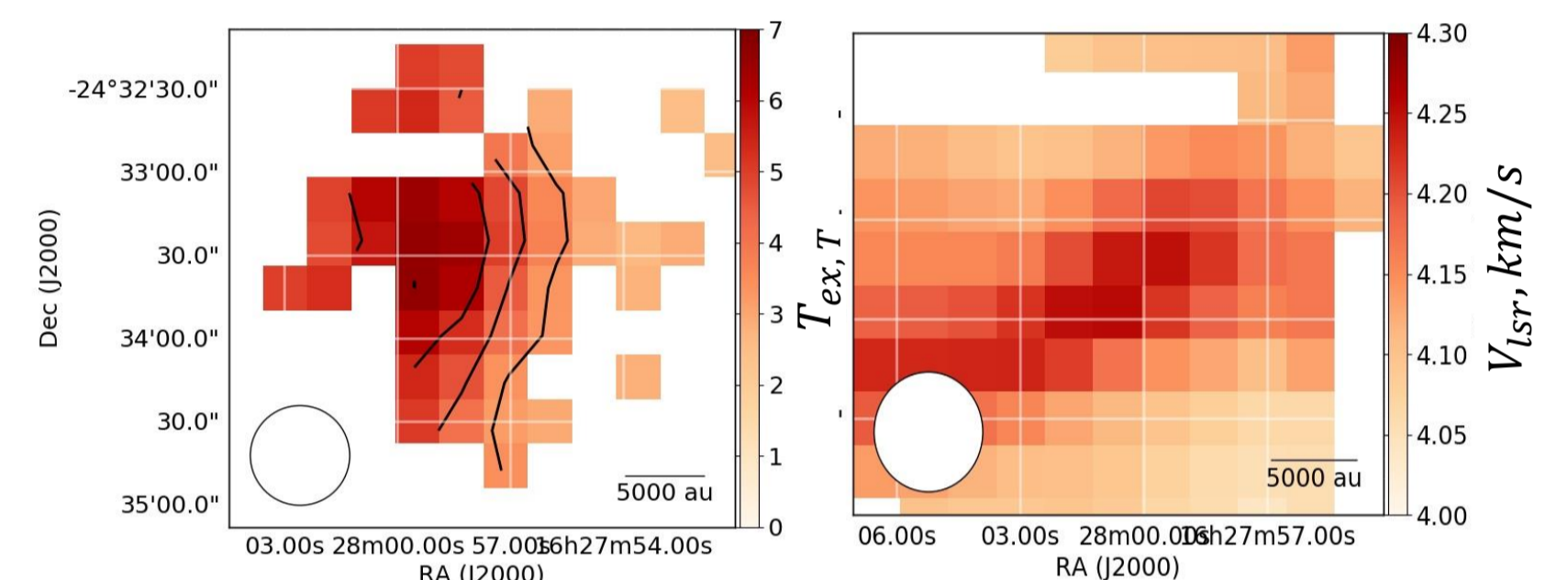
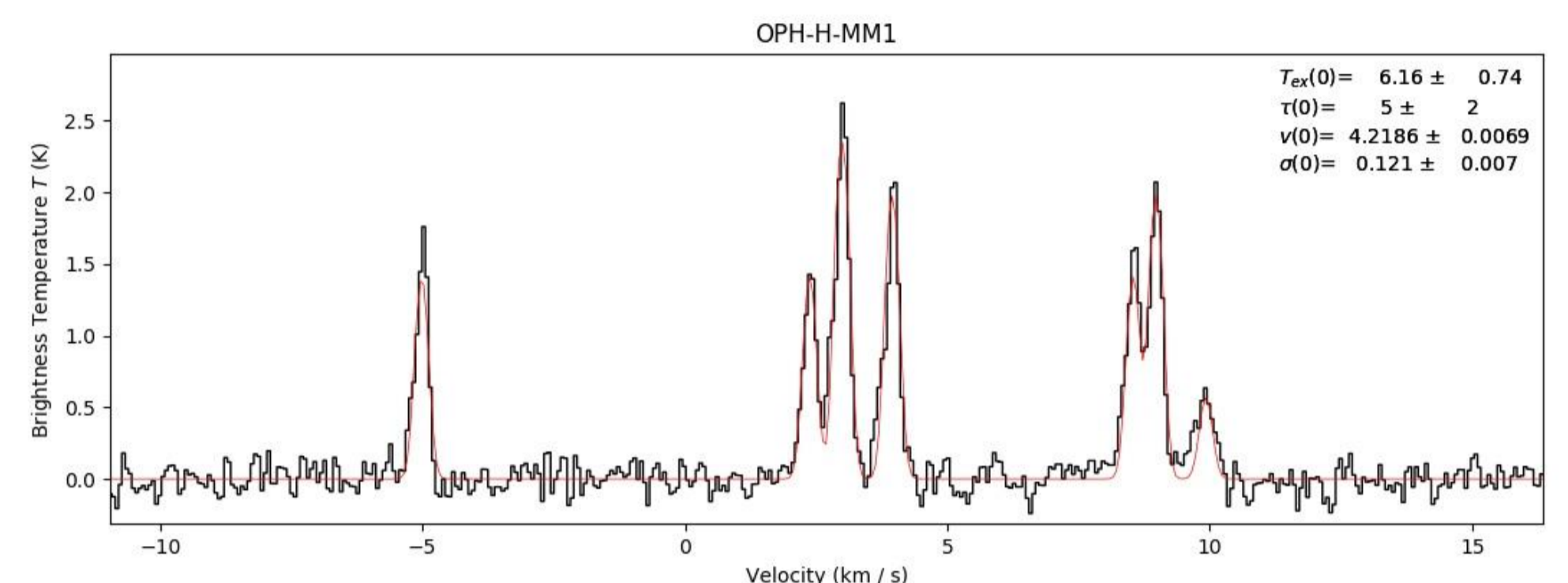


Следовательно, большое содержание CO в газе не дает протекать реакции 1 из-за реакции 3. Но в условиях плотного ядра большая часть молекул, в том числе CO, конденсируются на пыли, что не дает протекать реакции 3 в большом объёме. В результате этого доля дейтерия в молекулах и ионах становится значительной относительно водорода. Таким образом, к центру плотного ядра доля дейтерия в соединениях увеличивается.



Моделирование сверхтонкой структуры

Для исследования были выбраны плотные ядра в области L1688 р Змееносца. Наблюдались две линии и на телескопе IRAM 30 m, были проведены моделирования сверхтонких структур данных молекул. Из моделирования были получены: температура возбуждения, скорость, оптическая толщина и ширина линии. Пример спектра линии N_2H^+ и карт параметров для объекта Oph-H-MM1 приведены ниже.



Концентрация и доля дейтерия

С помощью полученных параметров была найдена лучевая концентрация N_2H^+ и N_2D^+ по формуле:

$$N_{tot} = \frac{8\pi^{3/2} \sigma}{\lambda^3 A_{ul} g_u} \frac{\tau}{1 - \exp(-h\nu / kT_{ex})} \frac{Q_{rot}}{\exp(-E_l / kT_{ex})}$$

Где σ - дисперсия линии скорости, τ - оптическая толщина, h - это постоянная Планка, A_{ul} - коэффициент Эйнштейна, ν - это частота перехода, T_{ex} - это температура возбуждения, k - постоянная Больцмана, λ - длина волны.

С помощью лучевых концентраций, была найдена доля дейтерия, а именно отношение $N_{tot}(\text{N}_2\text{D}^+) / N_{tot}(\text{N}_2\text{H}^+)$. Ниже приведены карты лучевых концентраций N_2H^+ , N_2D^+ и доли дейтерия для объекта Oph-H-MM1.

