

Молекула CO как индикатор массы протопланетных дисков

Т.С. Молярова^{1,2}, В.В. Акимкин¹

¹Институт астрономии РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Протопланетный диск из газа и пыли, который окружает звезду на ранних этапах её эволюции, считается местом, в котором происходит формирование планет. Существует много наблюдательных данных в различных спектральных диапазонах, что позволяет в некоторых случаях напрямую измерить параметры диска. Одним из ключевых параметров протопланетного диска является его масса.

Существует несколько способов определения массы диска из наблюдений. Первый и самый распространённый – это наблюдение инфракрасного излучения пыли, которое в оптически тонком случае может дать оценку суммарной массы пыли в диске. Затем, зная отношение массы пыли к массе газа, которое для межзвёздной среды обычно берётся равным 1:100, можно получить массу диска. У этого метода есть недостатки: во-первых, для определения массы пыли необходимы предположения о свойствах пылинок (состав, распределение по размерам), которые неизвестны с достаточной точностью; во-вторых, соотношение масс пыли и газа в дисках может существенно отличаться от его значения для межзвёздной среды.

Другой способ – это наблюдение диска во вращательных линиях монооксида углерода CO, по излучению которого можно оценить его массу, а затем, используя стандартное содержание молекулы CO в межзвёздной среде, получить массу всего диска. Этот метод обычно применяется для молекулярных облаков, однако с вводом в строй интерферометра ALMA появились достаточно качественные наблюдения протопланетных дисков в линиях CO, позволяющие использовать эту процедуру для определения масс протопланетных дисков, и такие оценки для некоторых дисков уже сделаны [1], [2].

Однако этот метод также имеет недостатки, связанные с тем, что физические условия в протопланетных дисках отличаются от условий межзвёздной среды. При температурах и плотностях, характерных для центральной плоскости дисков и для их внешних частей, CO, являющийся летучим соединением, переходит из газовой фазы в твёрдую – лёд на поверхности пылинок. В таком состоянии он ненаблюдаем, поэтому оценки массы в моделях, не учитывающих вымерзание CO, могут быть существенно заниженными.

В данной работе проводится детальное моделирование химической эволюции протопланетного диска с помощью астрохимического кода ANDES [3]. Создана сетка

моделей протопланетных дисков, в которой варьируются параметры, отвечающие за распределение вещества в диске, масса диска, масса центральной звезды. Оценена доля CO, оставшегося в газовой фазе, в зависимости от параметров диска и центральной звезды, а также её отличие от соответствующего параметра межзвёздной среды.

На основании произведённых вычислений обсуждается применимость CO как индикатора, позволяющего определить массу протопланетного диска.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-02-00834.

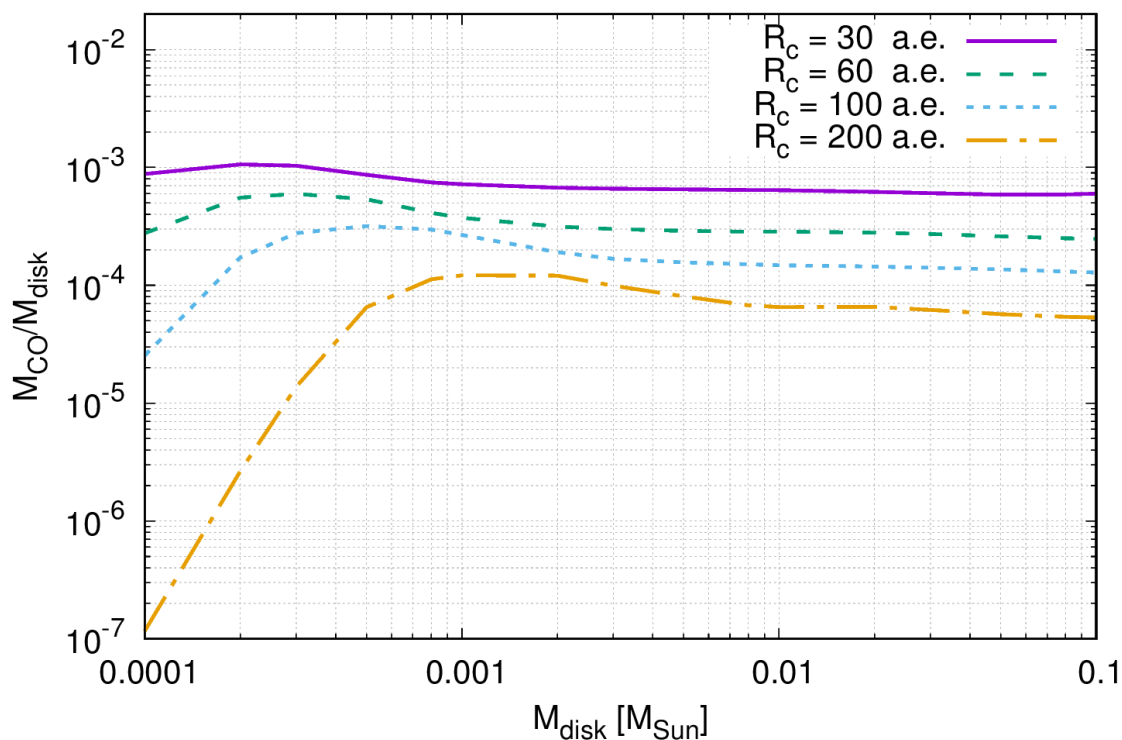


Рис. 1. Зависимость отношения суммарной массы CO к массе диска от массы диска при различных значениях радиуса диска R_c . Масса звезды равна солнечной, показатель спада поверхностной плотности диска $\gamma = 0,5$.

Литература

1. J. P. Williams and W. M. J. Best. A Parametric Modeling Approach to Measuring the Gas Masses of Circumstellar Disks // *The Astrophysical Journal*, 2014. V. 788, P. 59.
2. M. Ansdell [et al.] ALMA Survey of Lupus Protoplanetary Disks I: Dust and Gas Masses // *The Astrophysical Journal*. 2016. V. 828, P. 15.
3. V. Akimkin [et al.] Protoplanetary Disk Structure with Grain Evolution: The ANDES Model // *The Astrophysical Journal*. 2013. V. 766, P. 8.