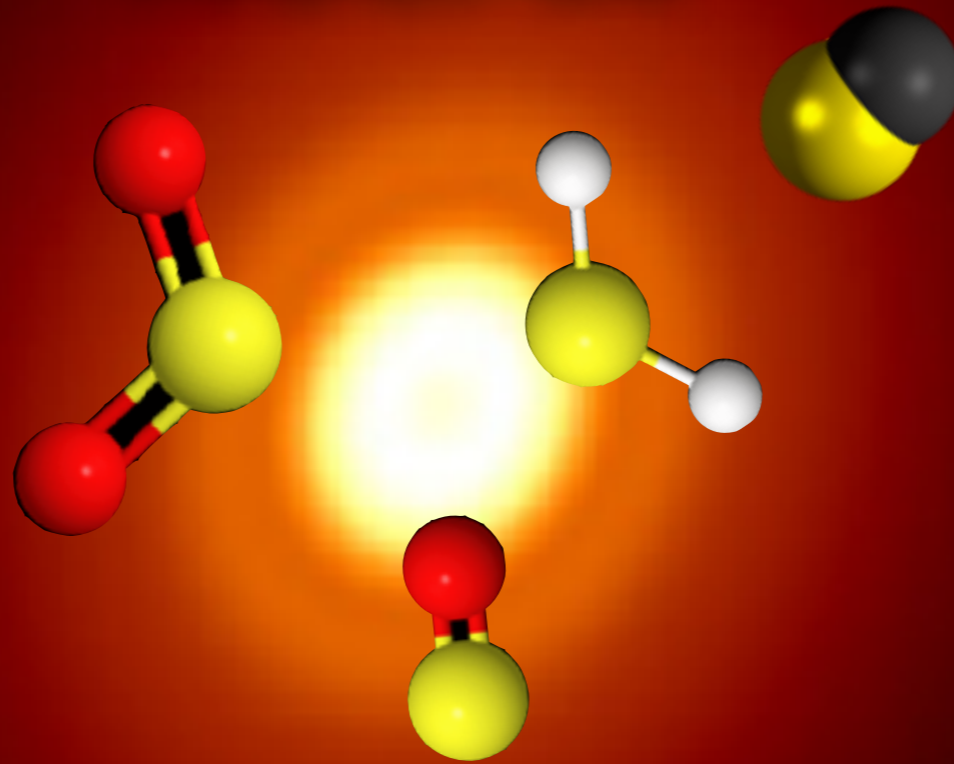


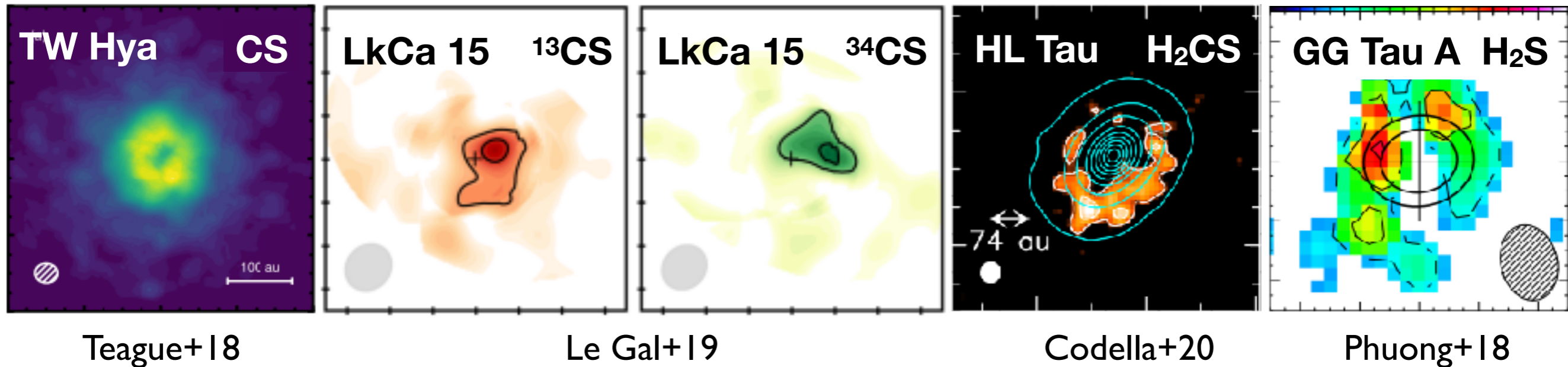
Серная химия в диске DM Tau: результаты наблюдений с ALMA & NOEMA



Дмитрий Семёнов (MPIA, LMU)
(C. Favre, D. Fedele, R. Teague, St. Guilloteau, G.
Smirnov-Pinchukov, Th. Henning, A. Dutrey)



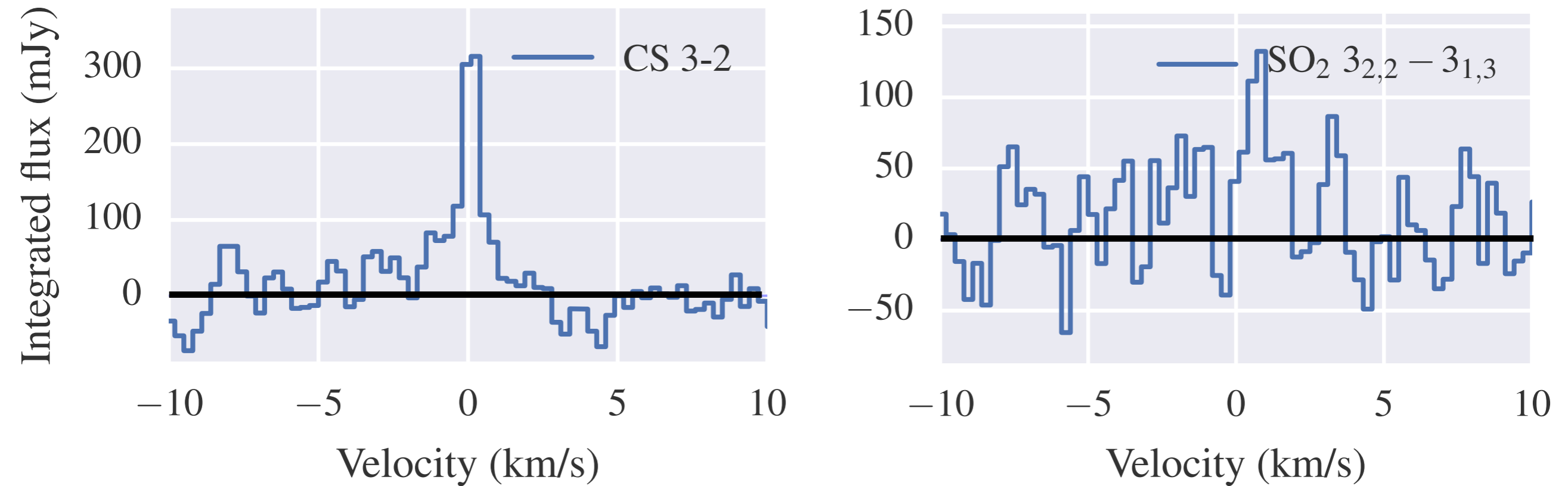
ОСНОВНЫЕ МОТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ



- Хим. состав протопланетных дисков \Rightarrow СВЯЗЬ С атмосферным составом экзопланет
- МЗС & кометы: видны SO , SO_2 , OCS , CS , CCS , H_2CS , H_2S , S_n , ...
- Чувствительны к наличию истечений, ударных волн, высокоэнергетического излучения
- Диски Class I/II: видны лишь CS , H_2CS , H_2S , rarely SO and SO_2
- **>99% S находится в твердом виде (в пыли)**

Наблюдения диска DM Tau с ALMA

Semenov et al. (2018), A&A, 617, 28



- DM Tau: звезда M0.5, массивный, большой диск
- Радиус ~ 800 а.е. (^{12}CO), $i \sim 35^\circ$
- Данные: разрешение $0.5''$, 0.3 км/с, 1σ rms ~ 5 mJy/beam
- Видно линию CS 3-2
- Возможно, видно линию SO₂ 3(2,2)-3(1,3)?
- Не видно линий SO, OCS, H₂S, CCS

Моделирование ALMA данных: лучевые концентрации $N(X)$

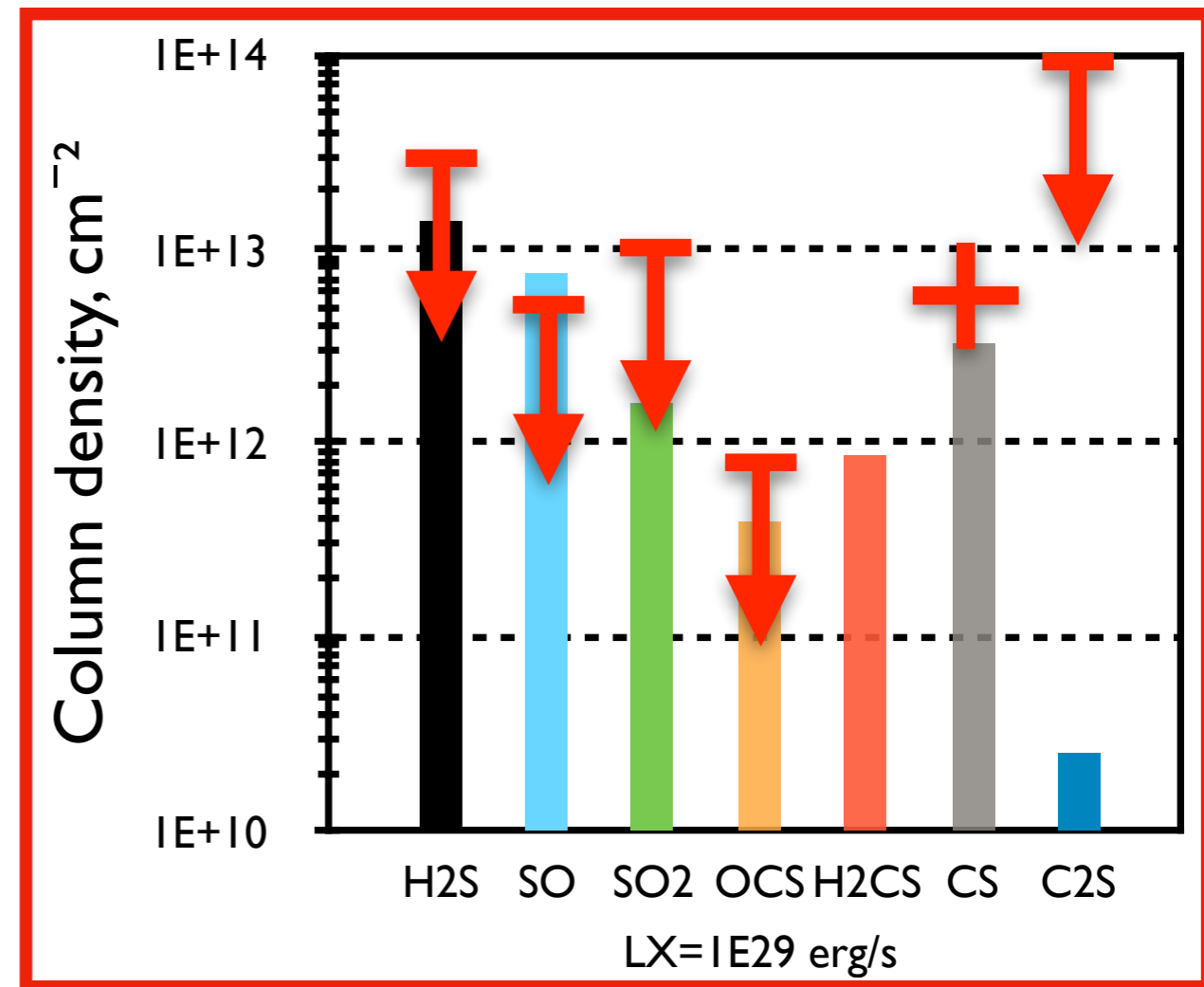
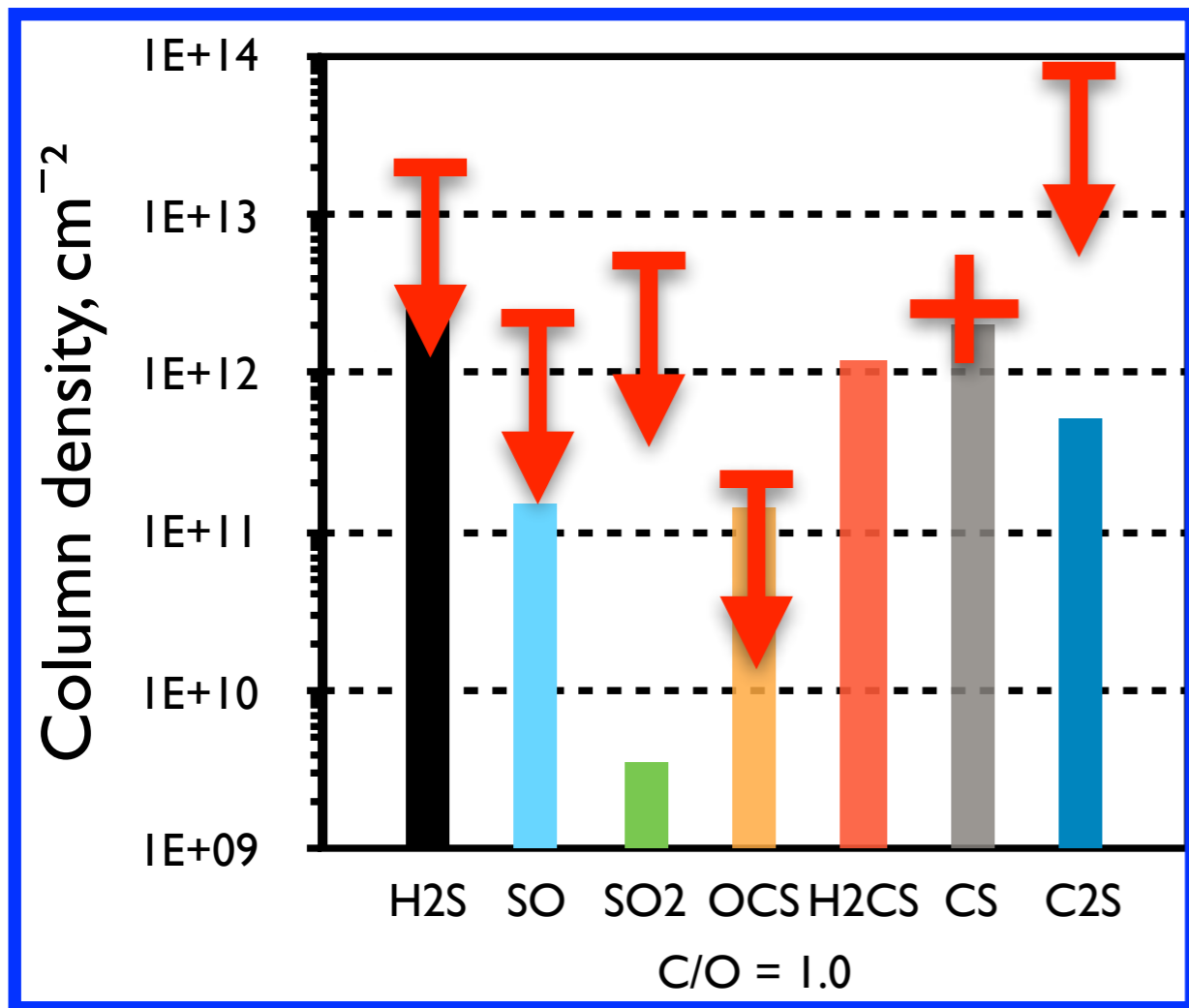
RADEX: 0D, $N(X)$ усредненные по диску

DiskFit: 1D, $N(X)$ как функция радиуса

	RADEX	DiskFit
CS	$1.5\text{--}3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	$6 \pm 3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
SO	$< 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	$< 4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
SO ₂	$< 3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$< 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
H ₂ S	$< 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	$< 3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
OCS	$< 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	$< 8 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$
CCS	—	$< 10^{14} \text{ cm}^{-2}$

- $N(X)$ были промоделированы с хим. моделью DM Tau диска
- Варьируемые параметры: L_X , UV, CRP, размер пыли, обилие S, C/O, etc.

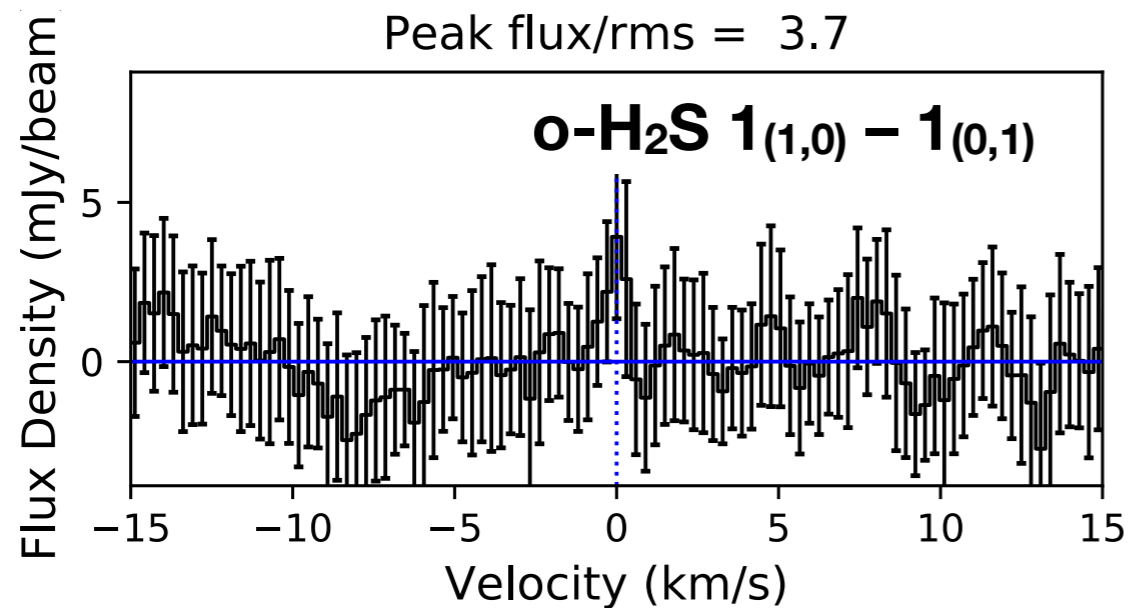
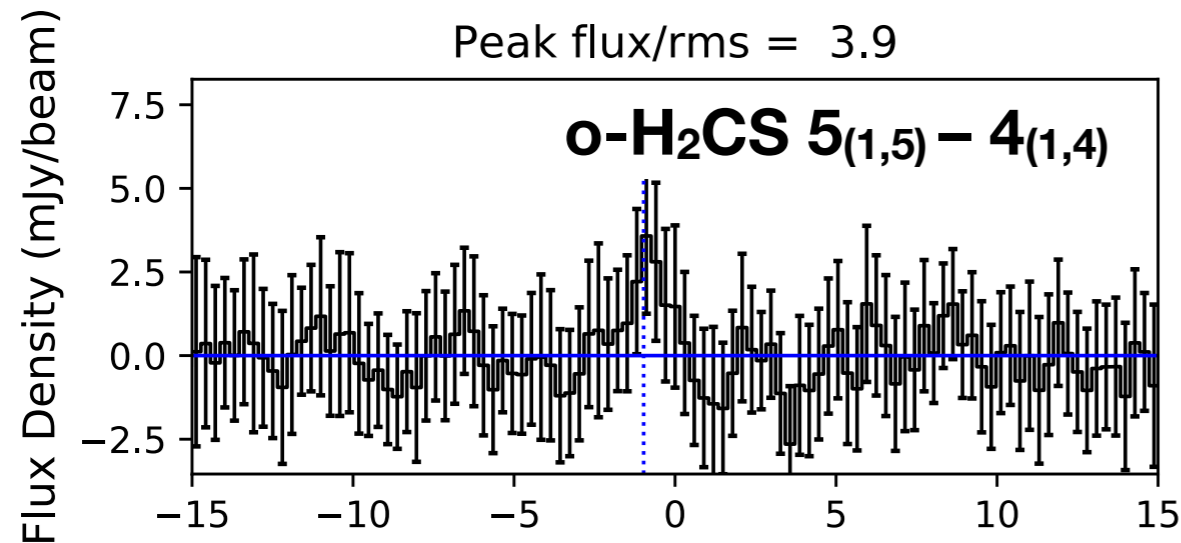
Две модели с наилучшим согласием с наблюдениями ALMA



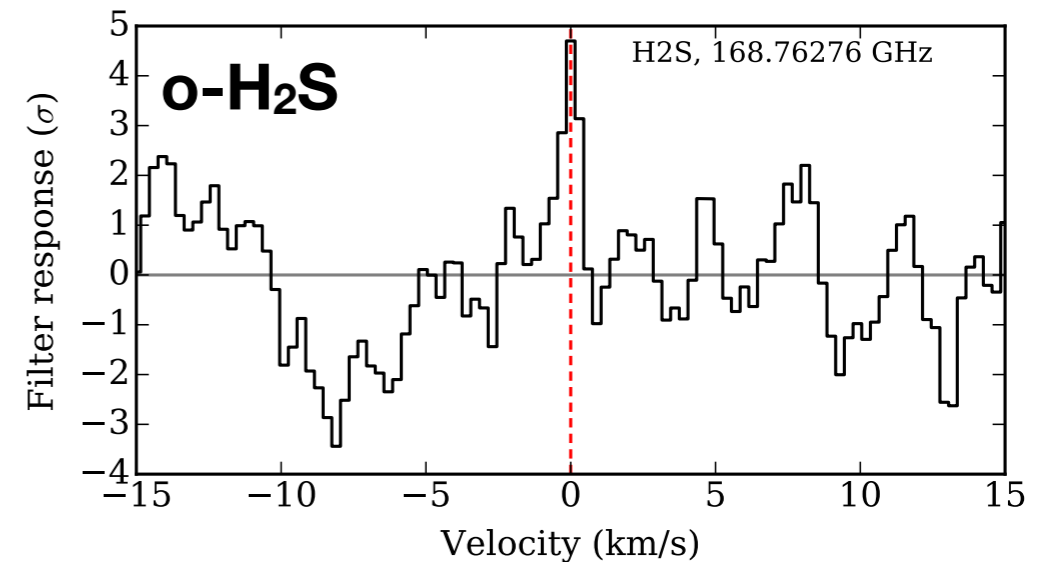
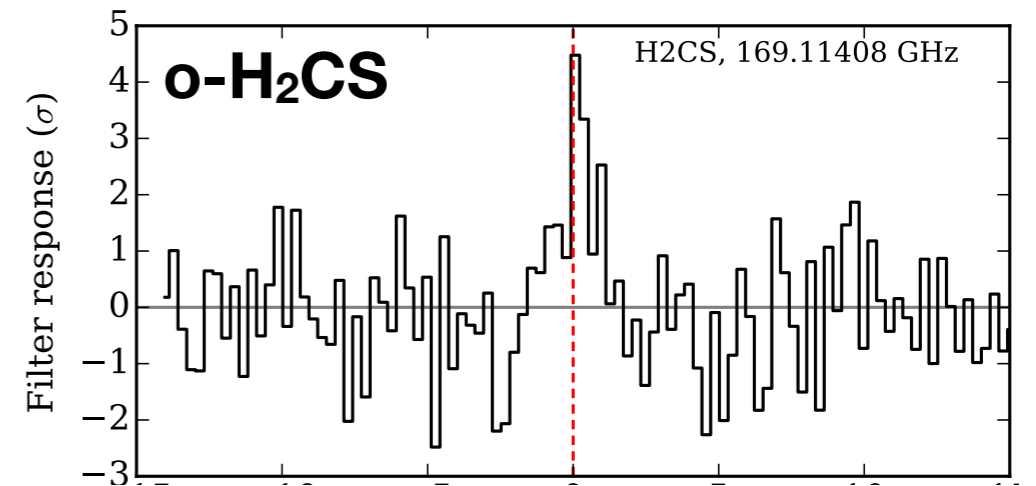
- Модель (бары) vs наблюдения (стрелки и +)
- Модель #1: C/O = 1, $L(X) = 10^{30}$ erg/s
- Модель #2: C/O = 0.46, $L(X) = 10^{29}$ erg/s
- Обе модели показывают разумное согласие с данными

Наблюдения DM Tau диска с NOEMA

Депроектированный спектр ("GoFish", R. Teague)

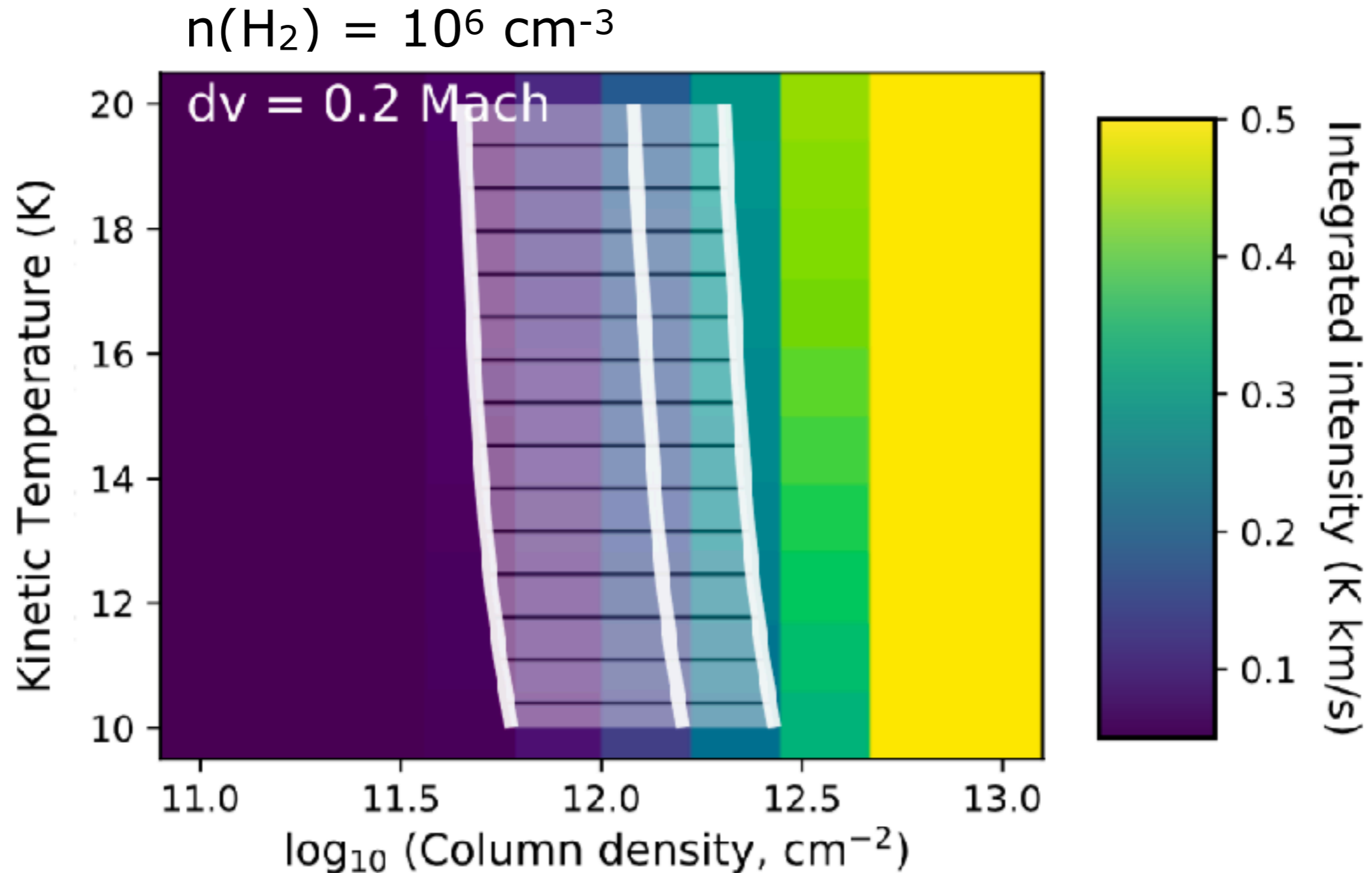


Matched filter ("VISIBLE", R. Loomis)



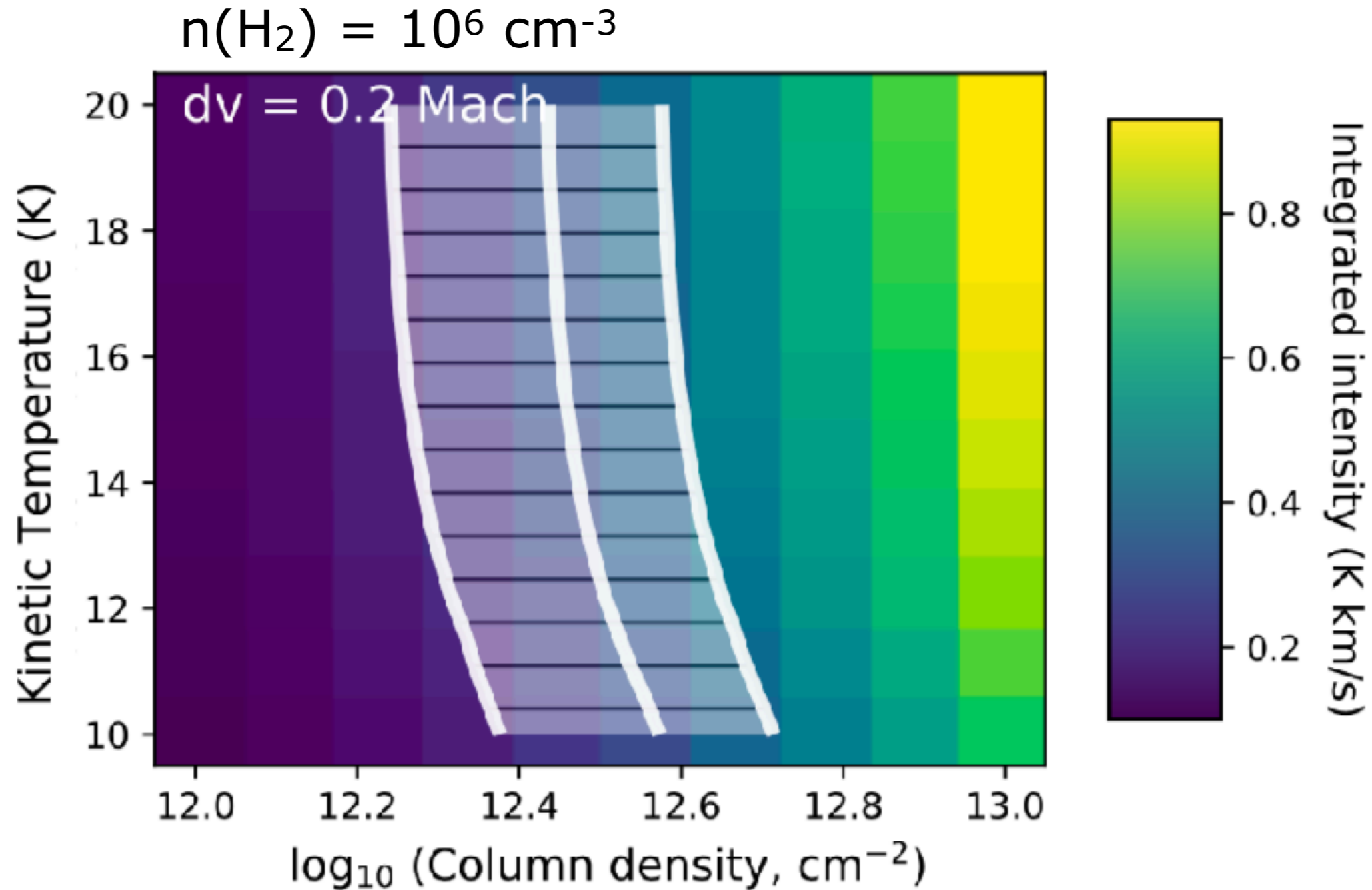
- W18BM: разрешение 2"x1", $\Delta v = 0.3$ km/s, 1σ rms ≈ 3.5 mJy/beam
- Видно: o-H₂S, o-H₂CS
- Не видно: SO₂, OCS, CCS

RADEX: o-H₂S I_(1,0) – I_(0,1) at 168.7627 GHz



- Наблюдаемая интегральная яркостная температура: 0.17 K км/с
- $N(\text{o-H}_2\text{S}) \sim 1.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ (с ошибкой ~ 3 раз)

RADEX: o-H₂CS 5_(1,5) – 4_(1,4) at 169.114 GHz



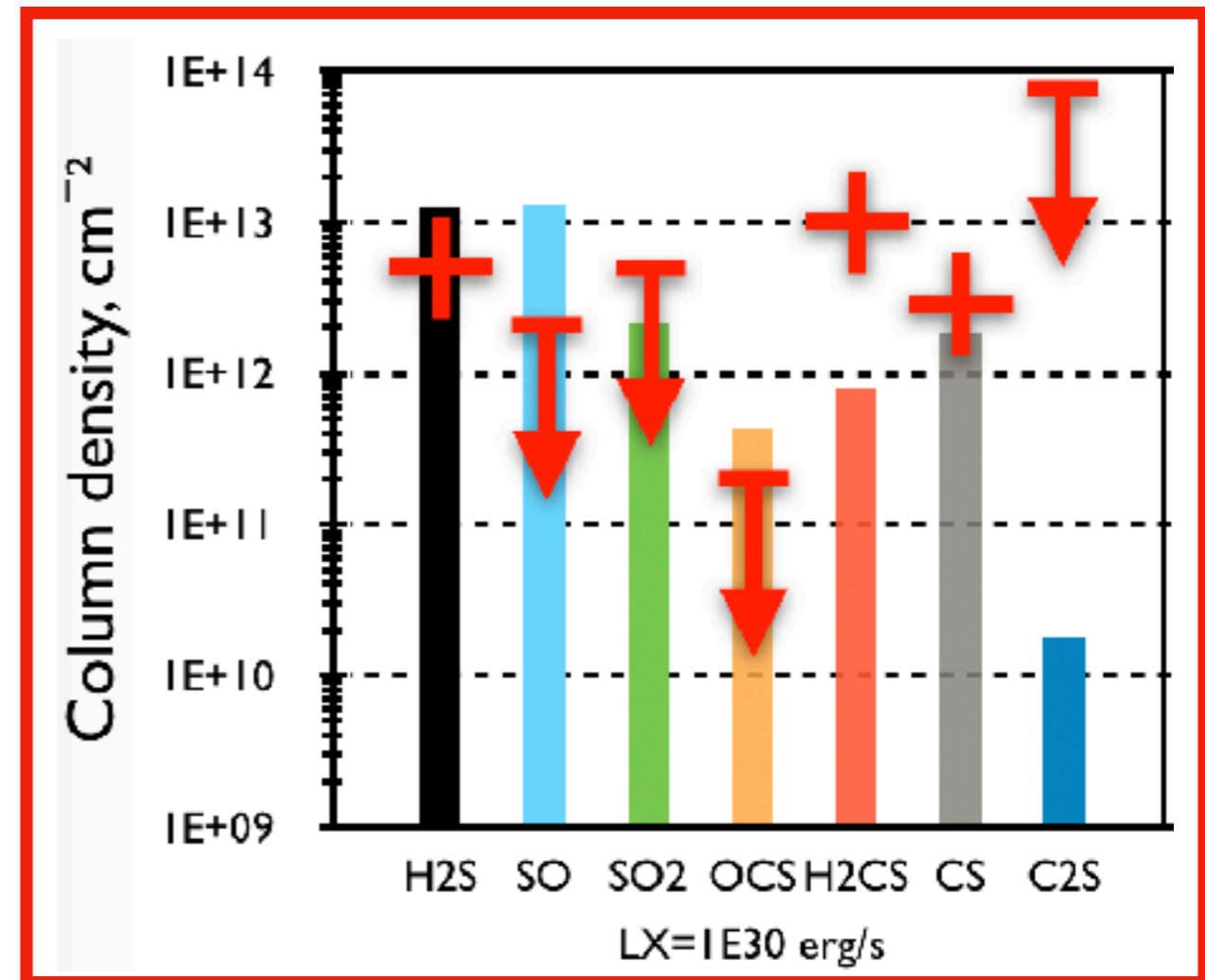
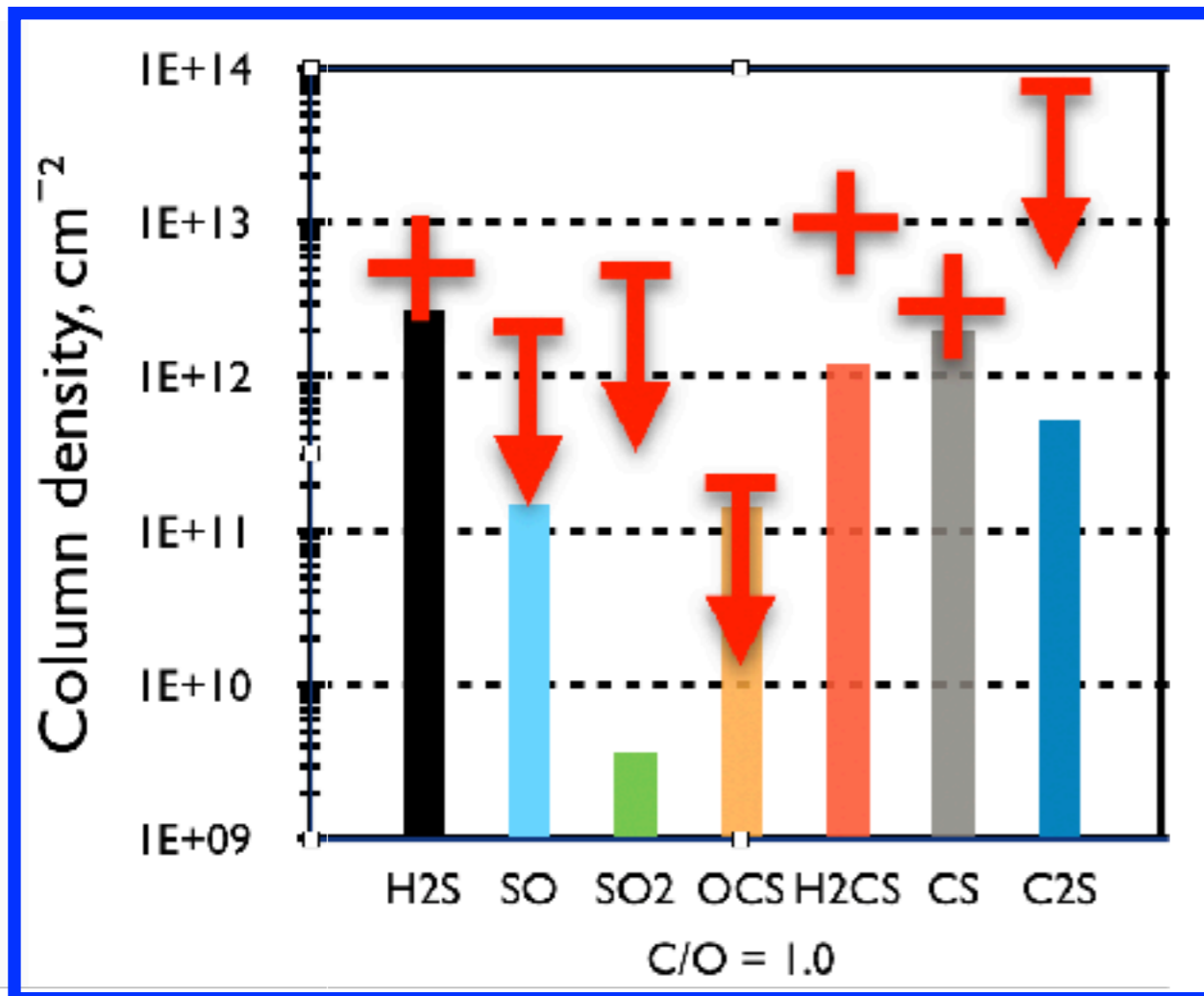
- Наблюдаемая интегральная яркостная температура: 0.31 K км/с
- $N(\text{o-H}_2\text{CS}) \sim 3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ (с ошибкой ~ 3 раз)

Моделирование данных NOEMA: лучевые концентрации H₂S and H₂CS

	RADEX	Other disks
H₂S*	$\sim 5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	$\lesssim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
H₂CS*	$\sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$\sim 3 \times 10^{12} - 10^{14} \text{ cm}^{-2}$
SO ₂	$< 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	—
OCS	$< 10^{14} \text{ cm}^{-2}$	—

* Тут предполагается $\sigma/p = 3$

Модель наилучшего согласия



- DM Tau: рентгеновская светимость $\sim 10^{30}$ erg/s (M. Guedel)
- Модель #1: C/O = 1, $L_x = 10^{30}$ erg/s \Rightarrow все, кроме H₂CS
- Модель #2: C/O = 0.46, $L_x = 10^{30}$ erg/s \Rightarrow все, кроме H₂CS и SO
- Модель с C/O ≈ 1 дает наилучшее согласие!

Заключение

- Найдены новые молекулы в диске DM Tau с NOEMA:
o-H₂S и o-H₂CS
- Модель наилучшего согласия: C/O ≈ 1 в газе
- Разногласие между наблюдаемыми и модельными луч. концентрациями H₂CS:
 - o/p < 3?
 - Нетепловая десорбция H₂CS льда с пыли?
 - Неполная (поверхностная) химия в модели?