

Моделирование динамики летучих соединений в протопланетных дисках

Молярова Т., Воробьев Э., Акимкин В.,
Скляревский А., Вибе Д., Гюдель М.

*Институт астрономии РАН,
Венский университет,
Южный федеральный университет.*

Динамическая и химическая эволюция
протопланетных дисков

03.03.2021

FEOSAD

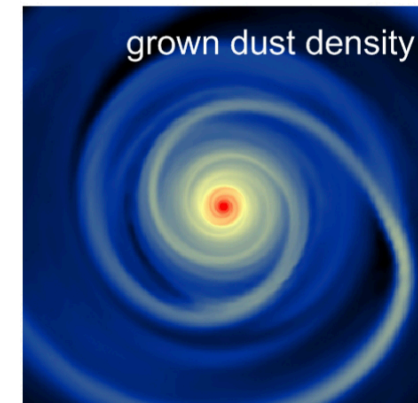
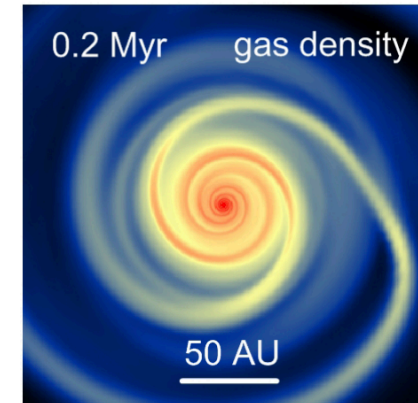
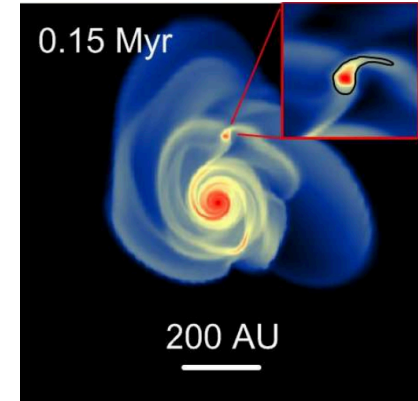
Двумерная гидродинамическая модель
протопланетного диска с эволюцией пыли
(Vorobyov et al. 2018)

+

Модель испарения и конденсации летучих
соединений на два населения пыли: крупные и
мелкие пылинки.

$$\alpha = 10^{-2}$$

Species	E_b/k_B [K]	m_{sp} [amu]	f_{ice} [%]	$\Sigma_s^{sm}/\Sigma_g^{init}$
H ₂ O	5770	18	100	$3.90 \cdot 10^{-4}$
CO ₂	2360	44	29	$2.77 \cdot 10^{-4}$
CO	850	28	29	$1.76 \cdot 10^{-4}$
CH ₄	1100	16	5	$1.74 \cdot 10^{-5}$



Адсорбция и десорбция льдов

Σ_s^{gas} – поверхностная плотность молекулы s в газовой фазе

Σ_s^{sm} – поверхностная плотность льда молекулы s на мелкой пыли

Σ_s^{gr} – поверхностная плотность льда молекулы s на крупной пыли

Эволюция рассматриваемых соединений происходит согласно следующим уравнениям

$$\frac{d\Sigma_s^{gas}}{dt} = -\lambda_s \Sigma_s^{gas} + \eta_s^{sm} + \eta_s^{gr},$$

$$\frac{d\Sigma_s^{sm}}{dt} = \lambda_s^{sm} \Sigma_s^{gas} - \eta_s^{sm},$$

$$\frac{d\Sigma_s^{gr}}{dt} = \lambda_s^{gr} \Sigma_s^{gas} - \eta_s^{gr},$$

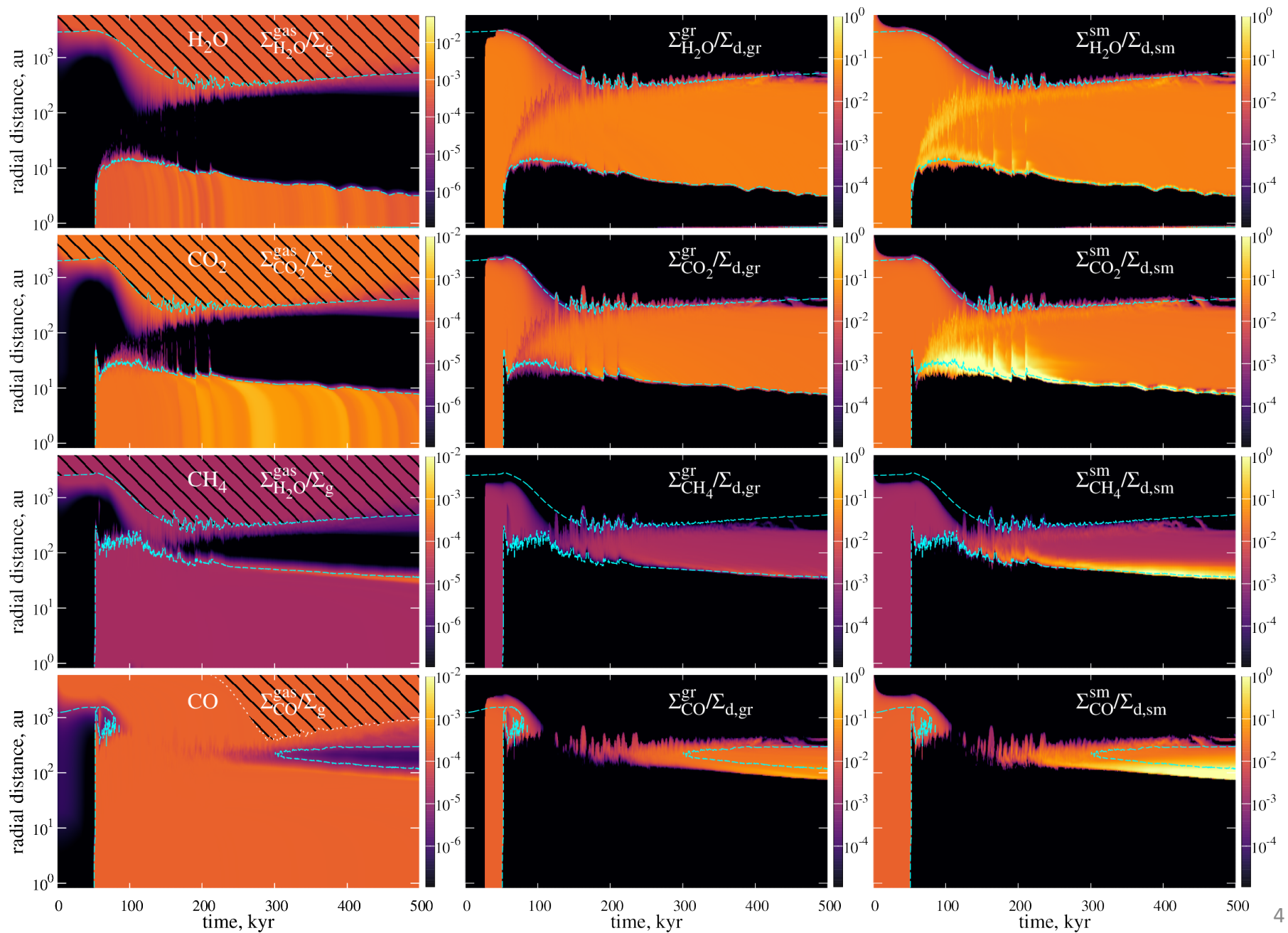
$$\eta_s = \eta_s^{sm} + \eta_s^{gr},$$

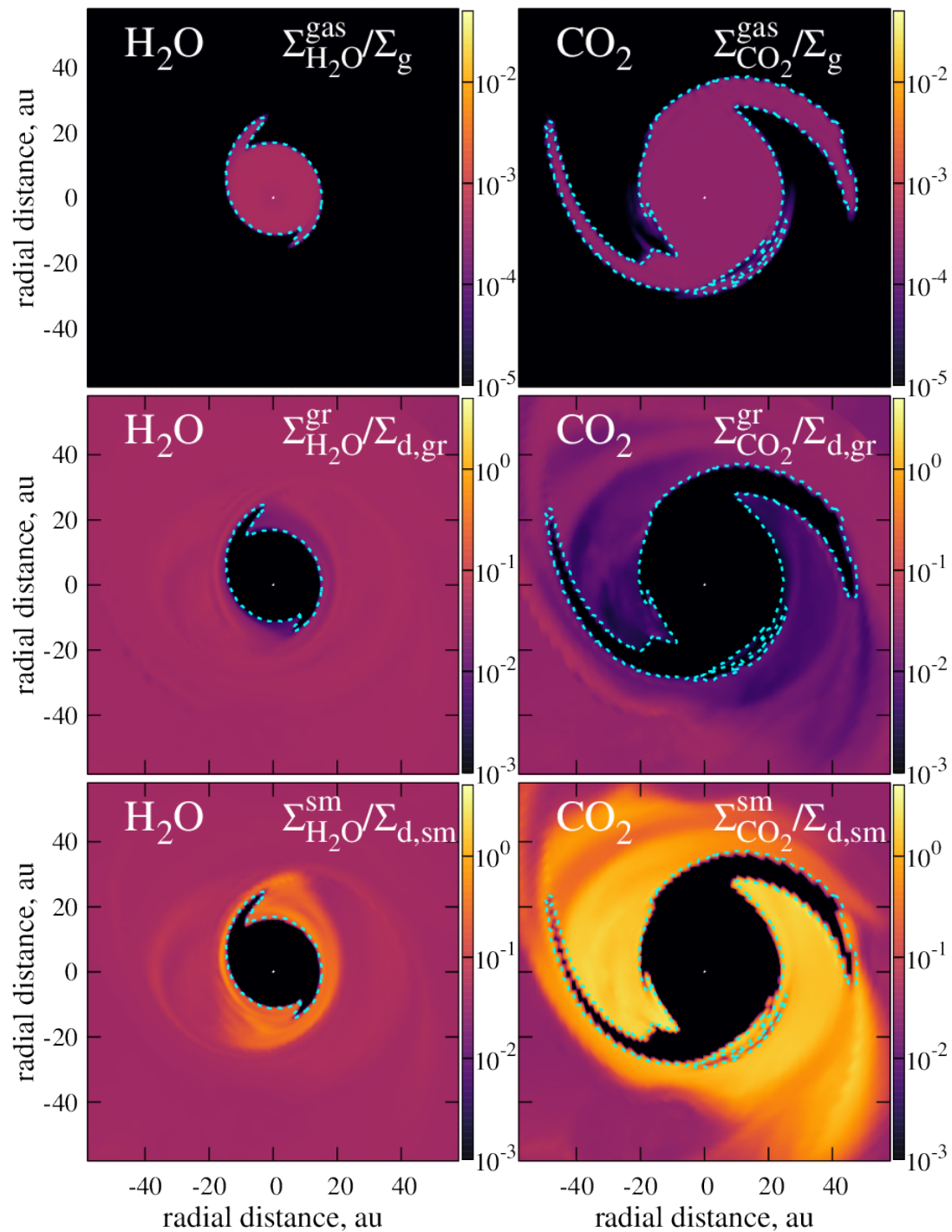
$$\lambda_s = \lambda_s^{sm} + \lambda_s^{gr}$$

$$\eta_s^{sm} = \eta_s^{th,sm} + \eta_s^{ph,sm}$$

$$\eta_s^{gr} = \eta_s^{th,gr} + \eta_s^{ph,gr}$$

Распределение летучих соединений



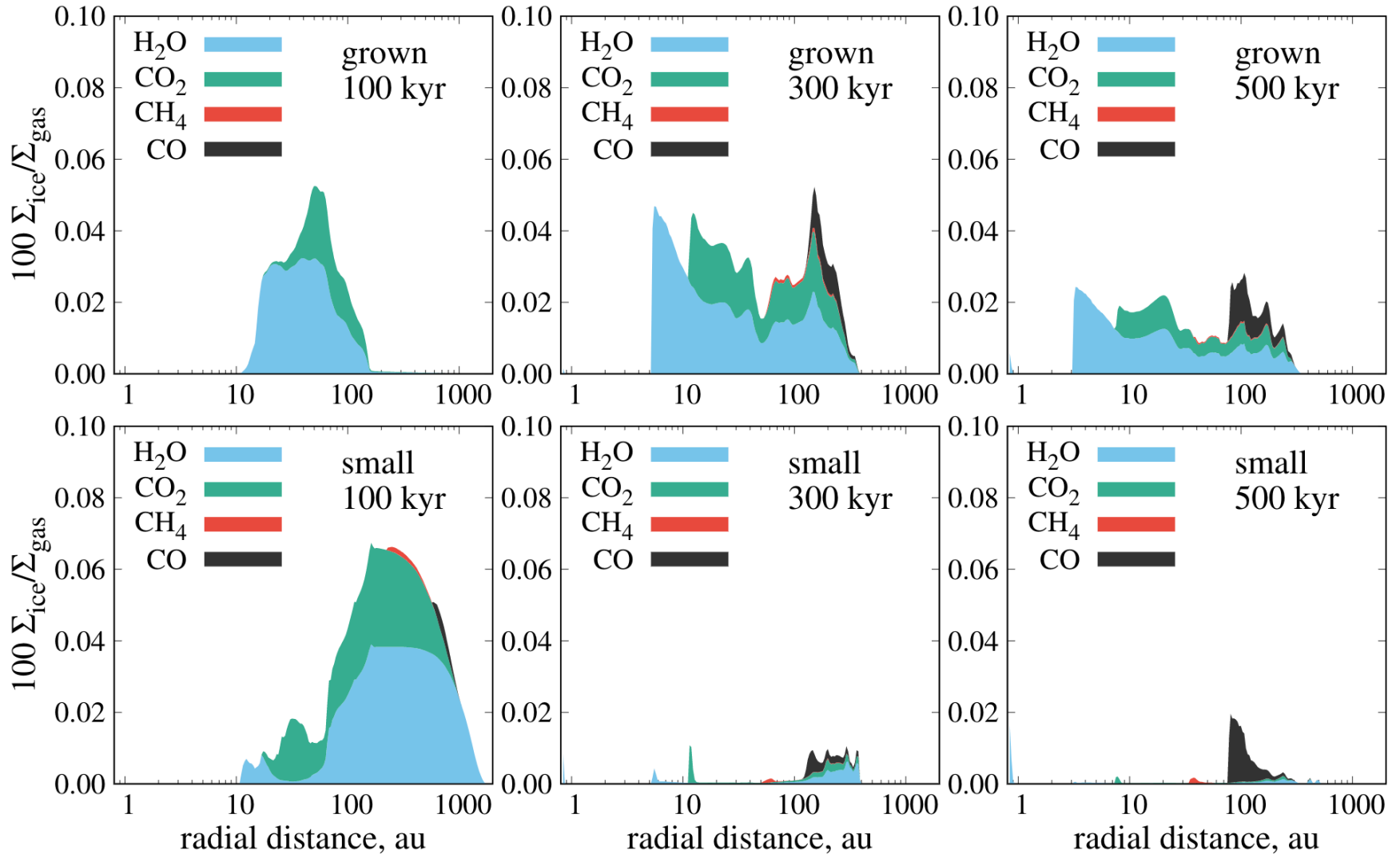


100 тыс. лет

Линии льдов имеют сложную структуру из-за неоднородности диска

При прохождении спирали льды испаряются с обеих популяций пыли, а затем намерзают обратно на мелкую пыль

Состав ледяных мантий



Выводы

- Каждая молекула имеет несколько линий льдов в диске, они вызваны фотодесорбцией во внешних областях диска и вариациями поверхностной плотности пыли во внутреннем диске. Линии льдов имеют сложную форму.
- Летучие вещества накапливаются вдоль линий льдов как в газовой, так и в ледяной фазе.
- Состав ледяных мантий меняется вместе с диском. В некоторых областях диска ледяные мантии на мелкой пыли становятся очень толстыми и могут превышать массу самих пылинок.

Работа выполнена в рамках проекта “Исследование звезд с экзопланетами” по гранту Правительства РФ для проведения научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (соглашение № 075-15-2019-1875).