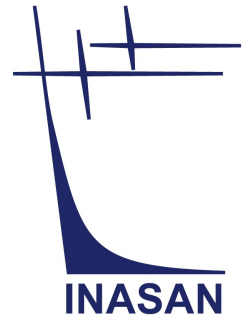


Эволюция пыли в зонах HII

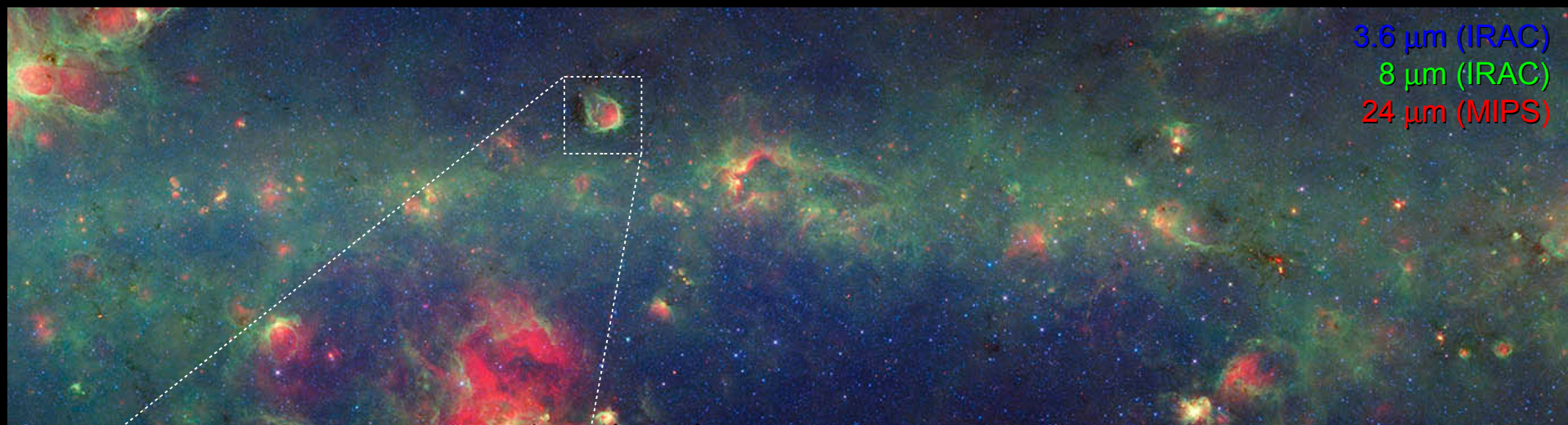
Ярослав Павлюченков

Виталий Акимкин,
Мария Кирсанова,
Дмитрий Вибе

Институт астрономии РАН



ИК-изображения с космического телескопа SPITZER



3.6 μm (IRAC)
8 μm (IRAC)
24 μm (MIPS)

Эмиссионная туманность RCW 120

Область HII возле молодой массивной звезды

Звезда O8 ($T_{\text{star}} \approx 35000 \text{ K}$)

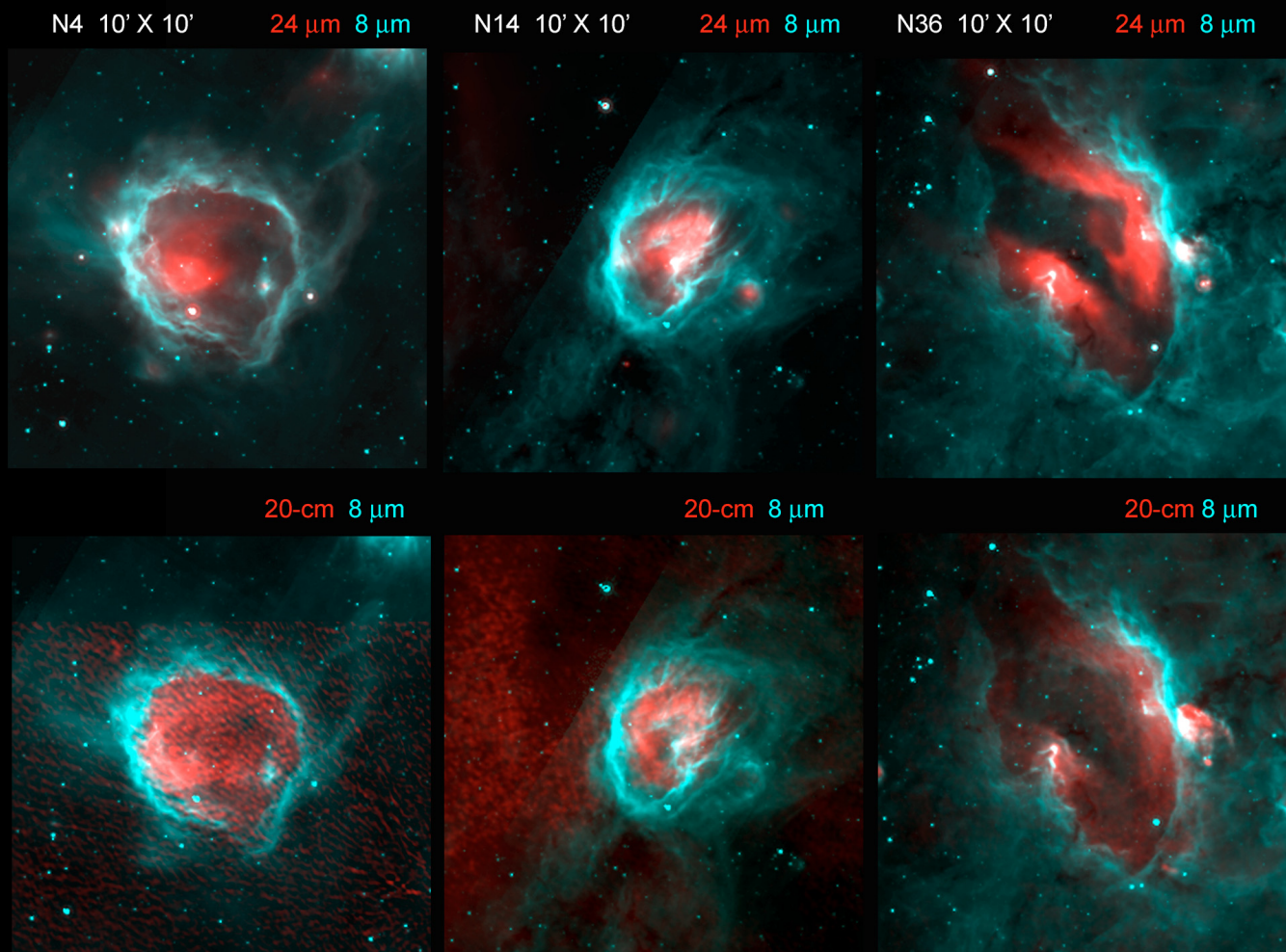
Расстояние 3.2 кпс

Радиус 1 пс

Возраст ≈ 1 млн. лет



Другие примеры ИК-пузырей из обзоров GLIMPSE и MIPS GAL



Согласно Churchwell et al. (2006) найдено более 600 кольцеобразных структур, из них 25% совпадает с радио-излучением (free-free emission) от областей HII

Fig from Deharveng et al. (2010)

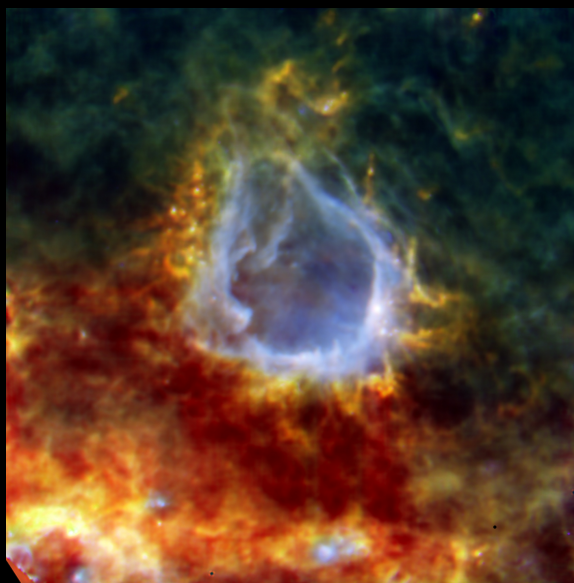
RCW 120: удобный для теоретиков

SPITZER



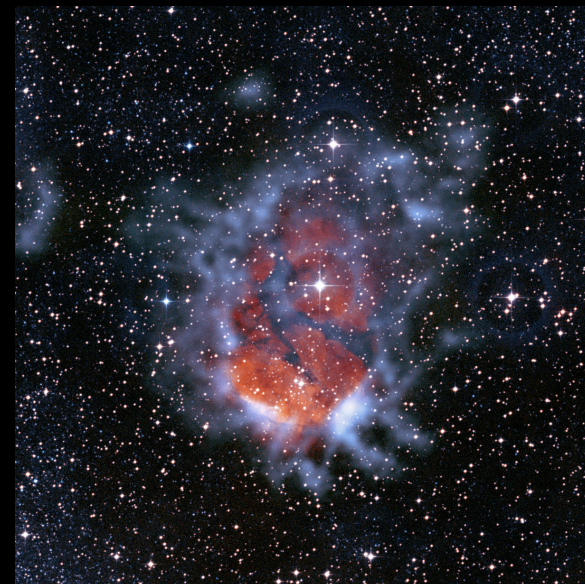
IRAC 3.6, 8 μ m +
MIPS 24 μ m

HERSCHEL



PACS 100, 160 μ m +
SPIRE 250 μ m

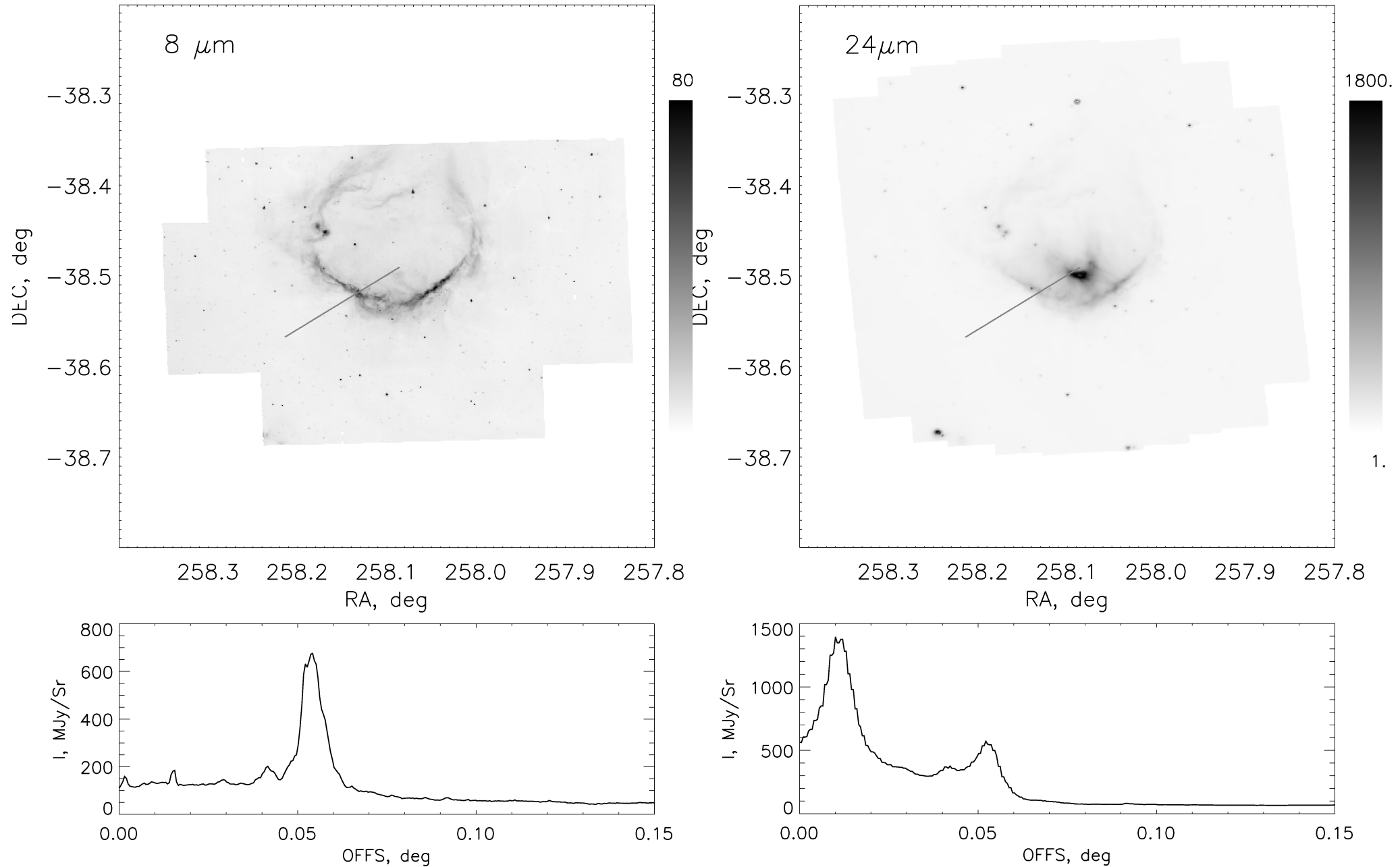
APEX+SuperCosmos



LABOCA 870 μ m +
H α + I,R-band

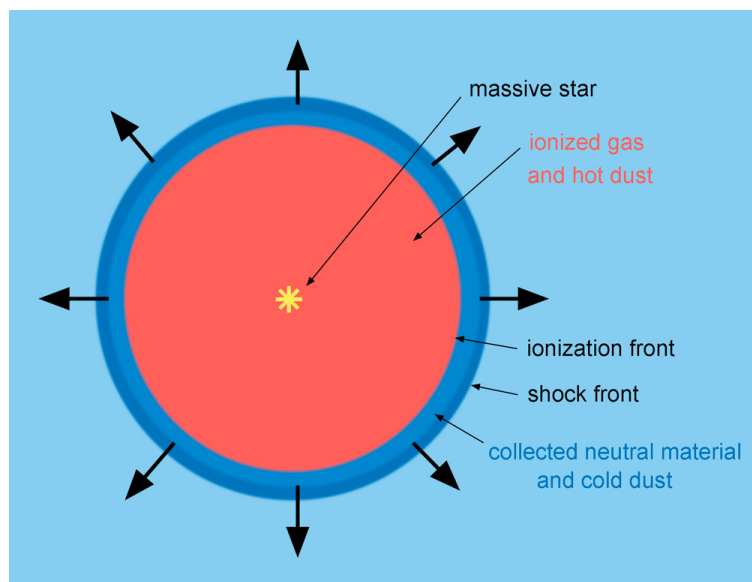
Задача: объяснить распределения интенсивности ИК-излучения на основе самосогласованных моделей, описывающие динамику зоны HII, перенос излучения и эволюцию пыли

Задача: объяснить распределения интенсивности ИК-излучения



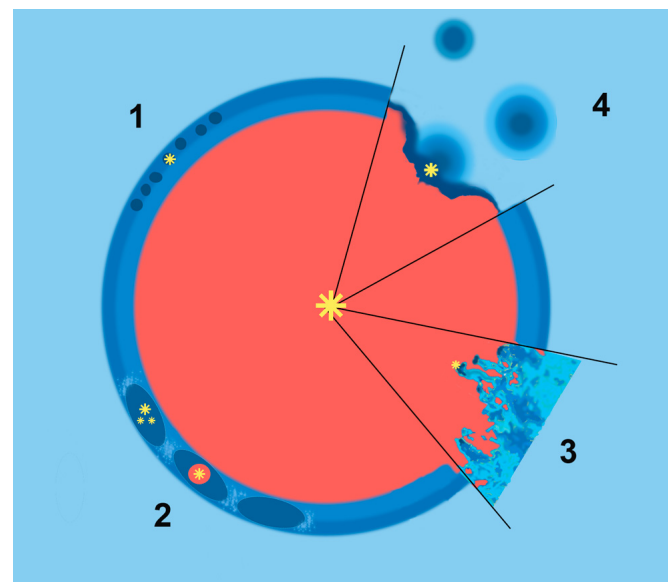
Схематическая картина расширения зоны HII возле молодой звезды

Сферически-симметричная



наше приближение!

С учетом механизмов триггерного
звездообразования



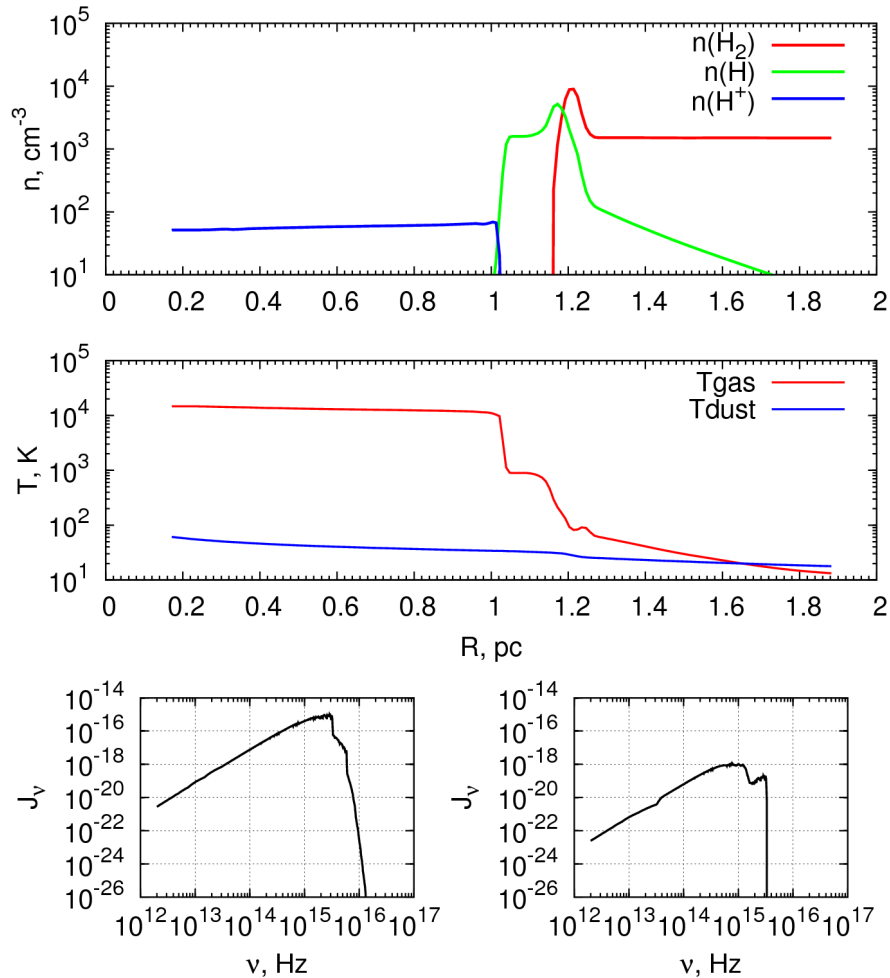
Компоненты модели зоны HII:

- Газодинамическая/тепловая эволюция
- Излучение пыли
- Динамика и разрушение пыли

Химико-динамическая 1D модель эволюции зоны HII

Кирсанова, Вибе,
Соболев, АЖ (2009)

Численный код MARION,
интегрирована с
программным комплексом
ZEUS 2D

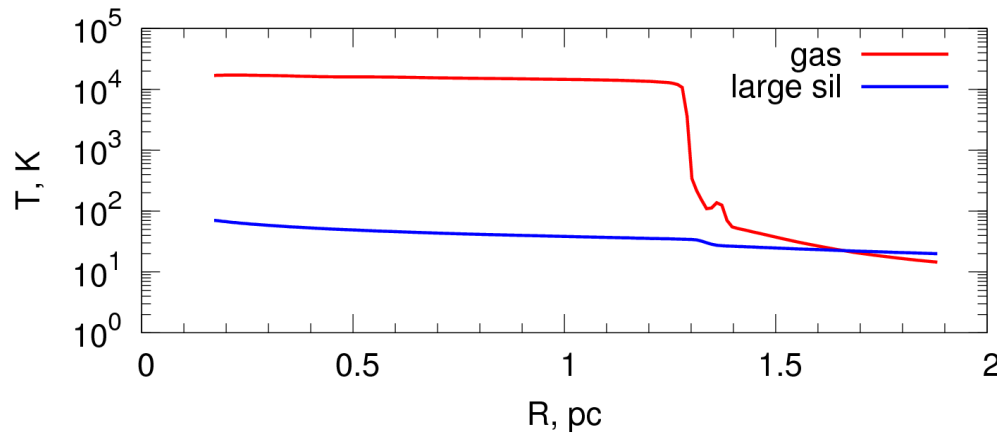
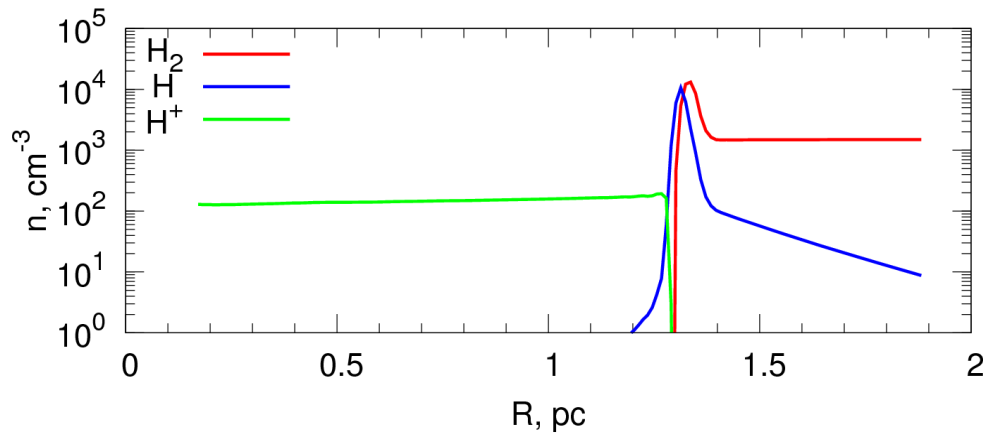


Включает процессы:

- газодинамика
- перенос УФ-излучения
- ионизация, диссоциация
- процессы нагрева-охлаждения
- химические реакции

Химико-динамическая 1D модель эволюции зоны HII

Параметры репрезентативной модели RCW 120:



- Однородное начальное облако:

$$n(\text{H}_2) = 3 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$T = 20 \text{ K}$$

- Центральная звезда:

$$T_{\text{star}} = 35\,000 \text{ K}$$

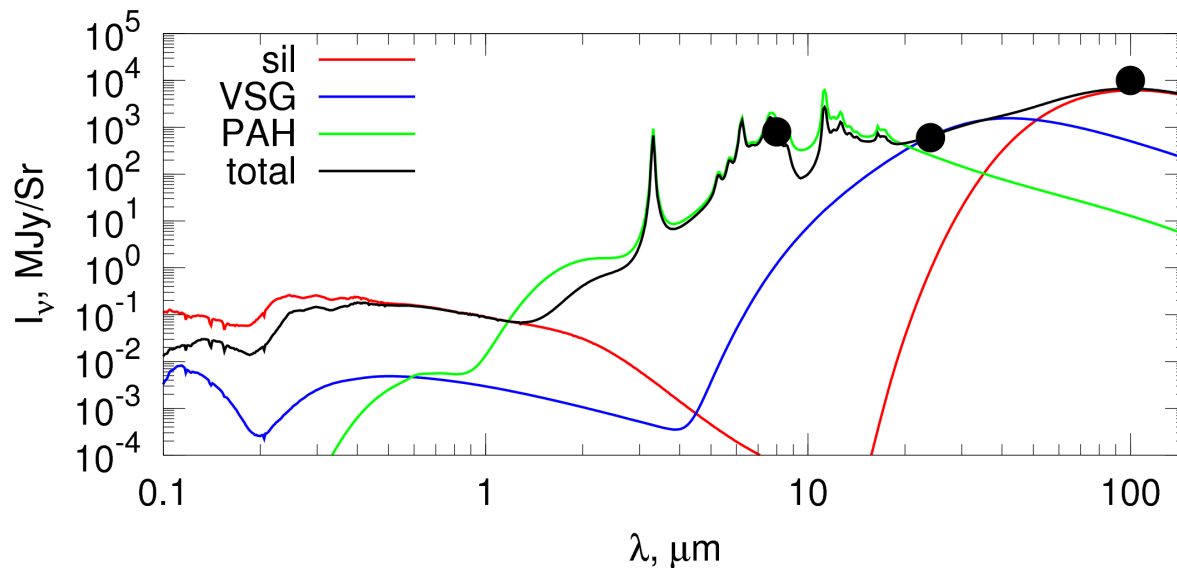
$$R_{\text{star}} = 10 R_{\text{sun}}$$

- Время расширения до радиуса 1.4 пк:

$$t = 170 \text{ тыс лет}$$

Излучение пыли

Спектр излучения для модели зоны HII
по направлению на кольцо

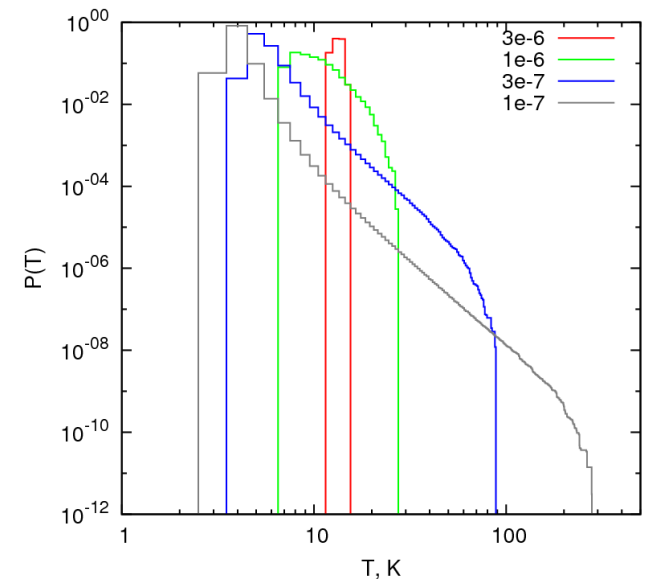
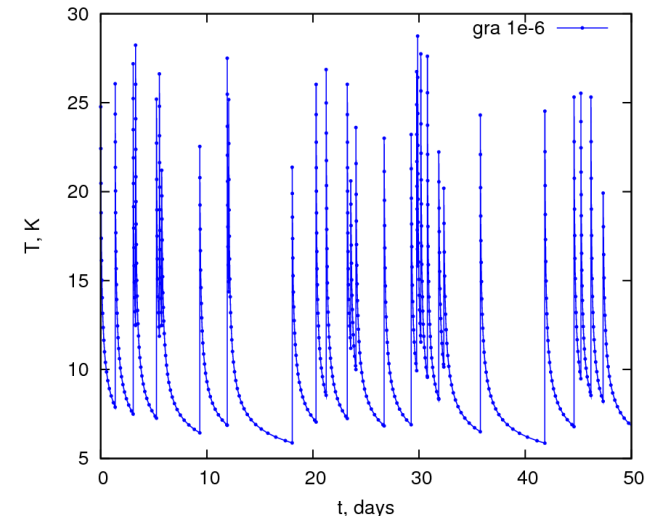


Кружками показаны наблюдаемые
интенсивности для RCW 120

- Стандартные приближения -- крупные пылинки, лучистое равновесие (**sil**) -- не позволяют объяснить наблюдаемые потоки в среднем ИК-диапазоне
- Необходимо учитывать стохастический нагрев/излучение мелких пылинок (**VSG**) и полициклических ароматических углеводородов (**PAH**)

Излучение пыли

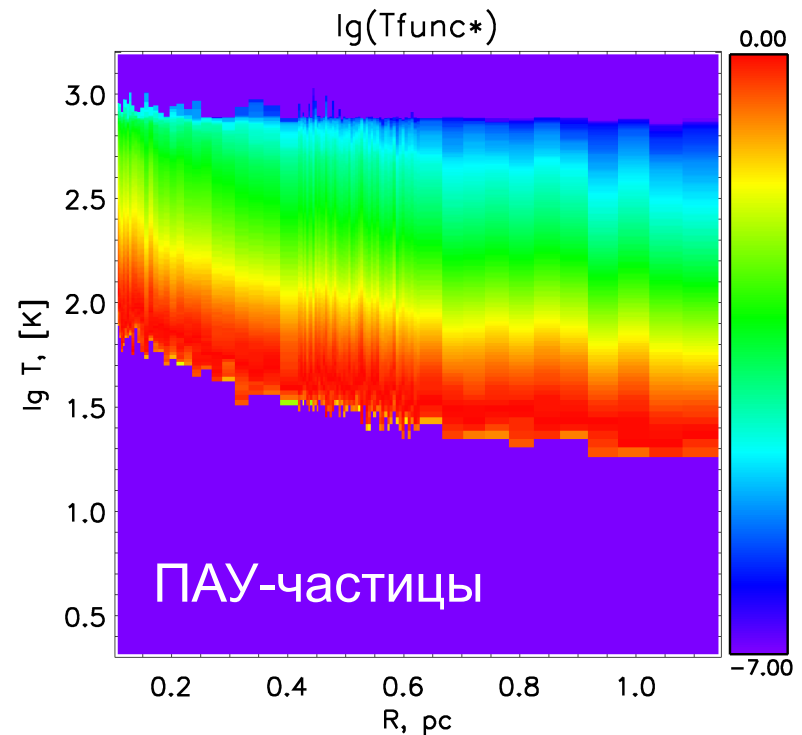
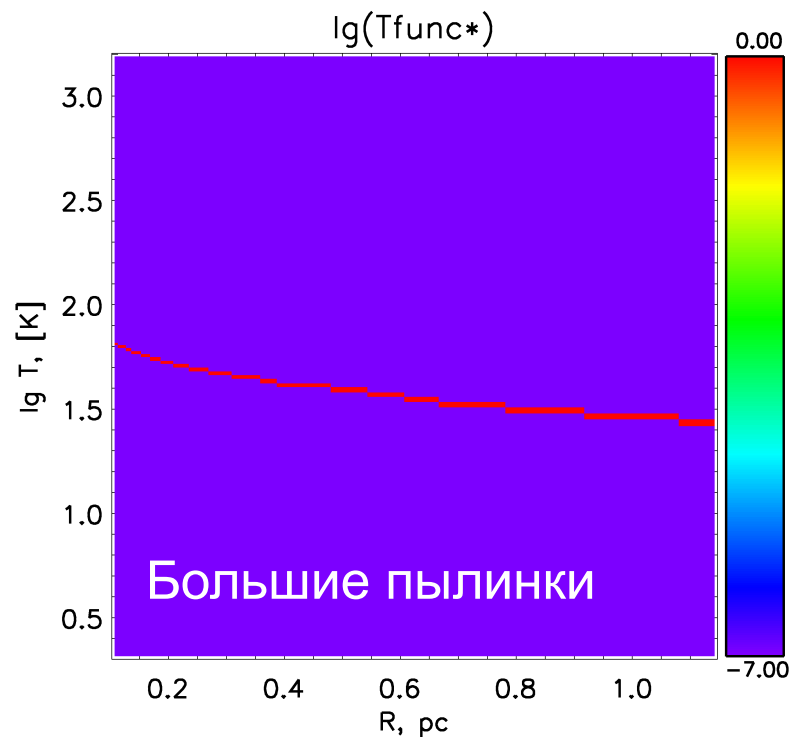
- Расчет тепловой эволюции индивидуальной пылинки при заданном поле излучения
 1. Генерация временной и энергетической последовательности поглощенных фотонов
 2. Расчет скачка температуры пылинки после поглощения фотона
 3. Расчет остывания пылинки за счет собственного теплового излучения
- Преобразование тепловой истории пылинки в плотность вероятности $P(T)$, описывающую долю пылинок в интервале температур
- Вычисление коэффициента излучения с использованием $P(T)$ для разных компонент пыли



Излучение пыли

Метод моделирования переноса излучения с учетом стохастического нагрева мелких пылинок и ПАУ-частиц, численный код NATA(LY):
[Pavlyuchenkov, Wiebe et al. MNRAS \(2011\)](#)

Температура пылинки → Плотность вероятности нахождения пылинки при определенной температуре



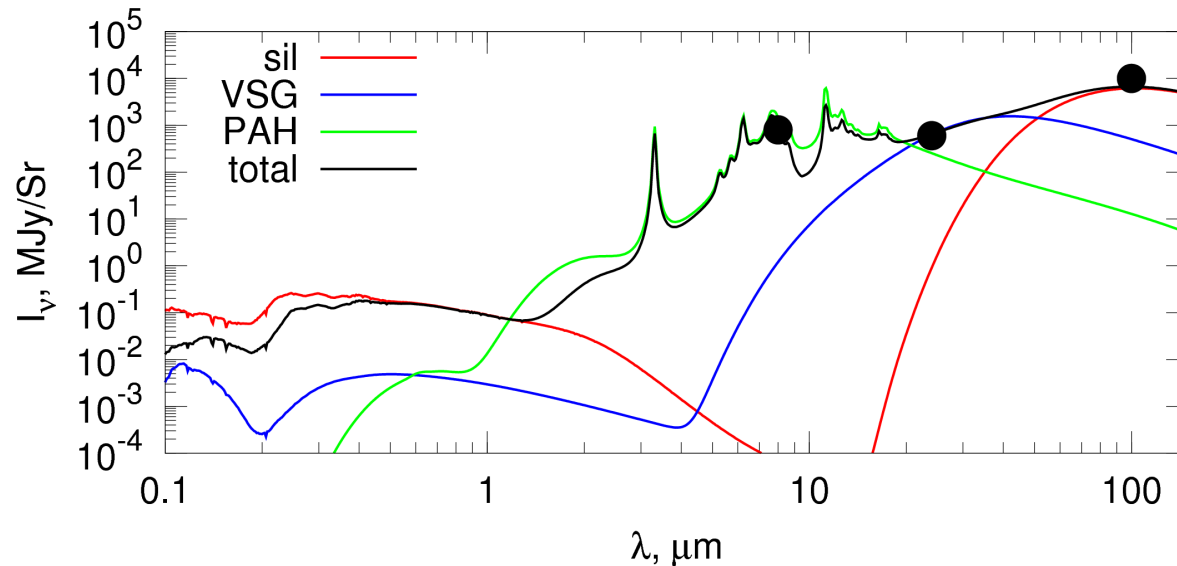
Результаты для однородного содержания пыли

Таблица 1. Параметры компонентов пыли

Компонент	Радиус, см	Плотность, г см ⁻³
Силикаты	3×10^{-5}	3.50
Мелкие пылинки	3×10^{-7}	1.81
ПАУ	7×10^{-8}	2.24

Вместо распределения пыли по размерам мы используем три населения пылинок с фиксированными характерными размерами. Эти размеры, в действительности, являются относительно неопределенными.

Результаты для однородного содержания пыли



Спектр излучения для модели зоны HI по направлению на кольцо

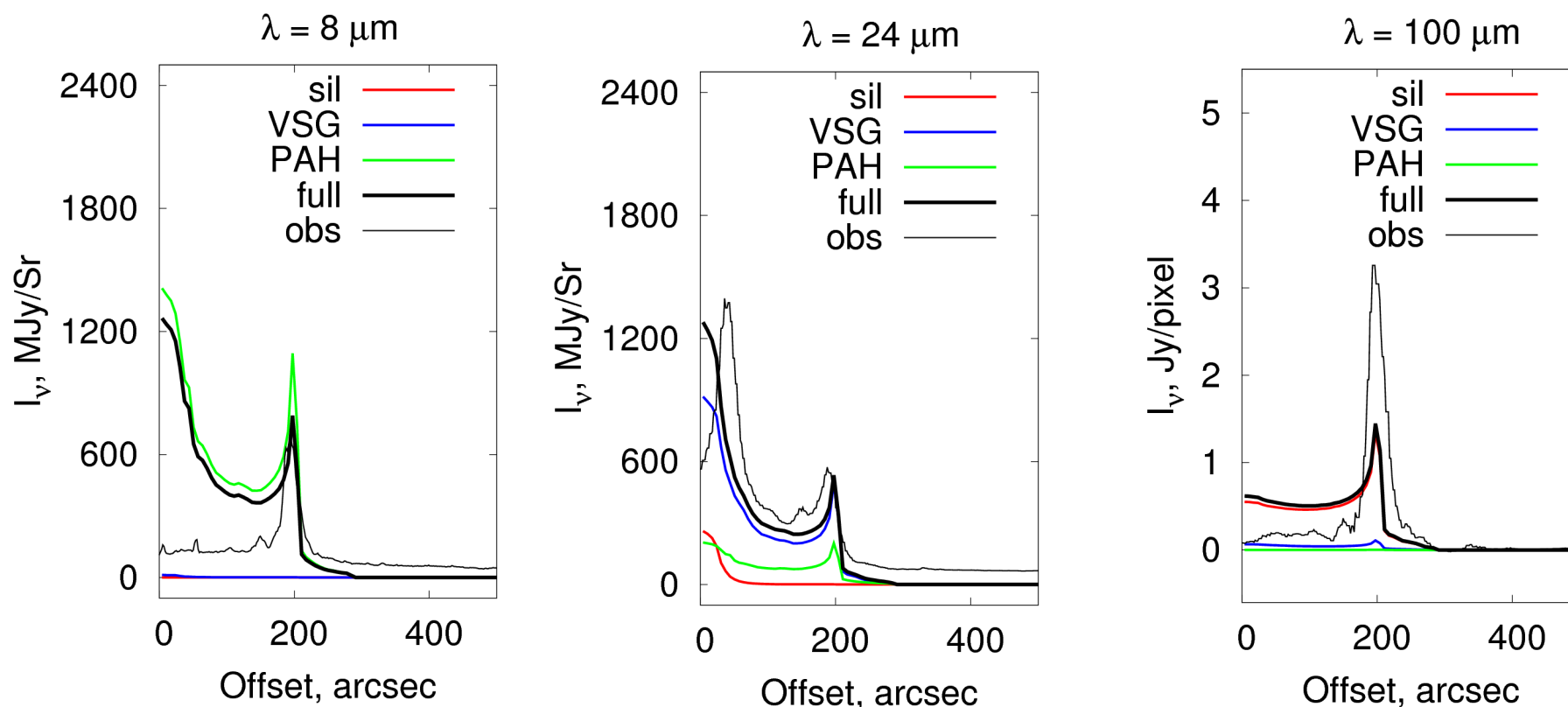
Относительные содержания PAH и VSG подбираются из условия воспроизведения интенсивности излучения на 8 и 24 мкм по направлению на кольцо

Таблица 2. Модели без разрушения пыли

Модель	$T_{\text{eff}}, 10^3 \text{ K}$	$n_0, 10^3 \text{ cm}^{-3}$	Доля в общей массе пыли, %		
			Силикаты	VSG	ПАУ
3e3-35	35	3	94.6	3.6	1.8
3e3-30	30	3	90.7	5.6	3.7
1e4-35	35	10	94.6	3.6	1.8

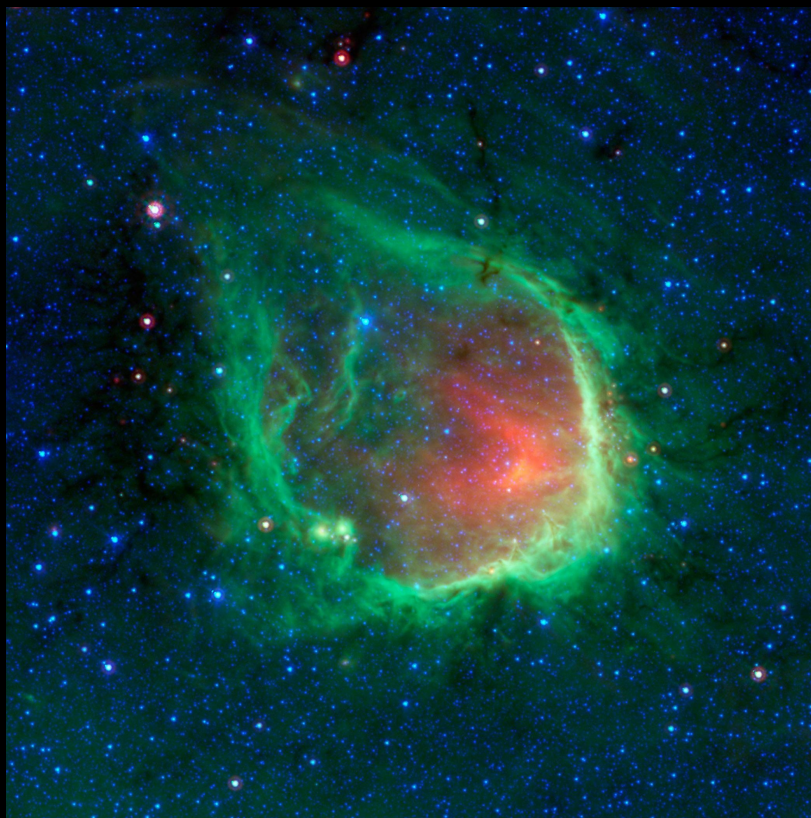
Результаты для однородного содержания пыли

Распределения интенсивности излучения на 8, 24 и 100 мкм для базовой модели

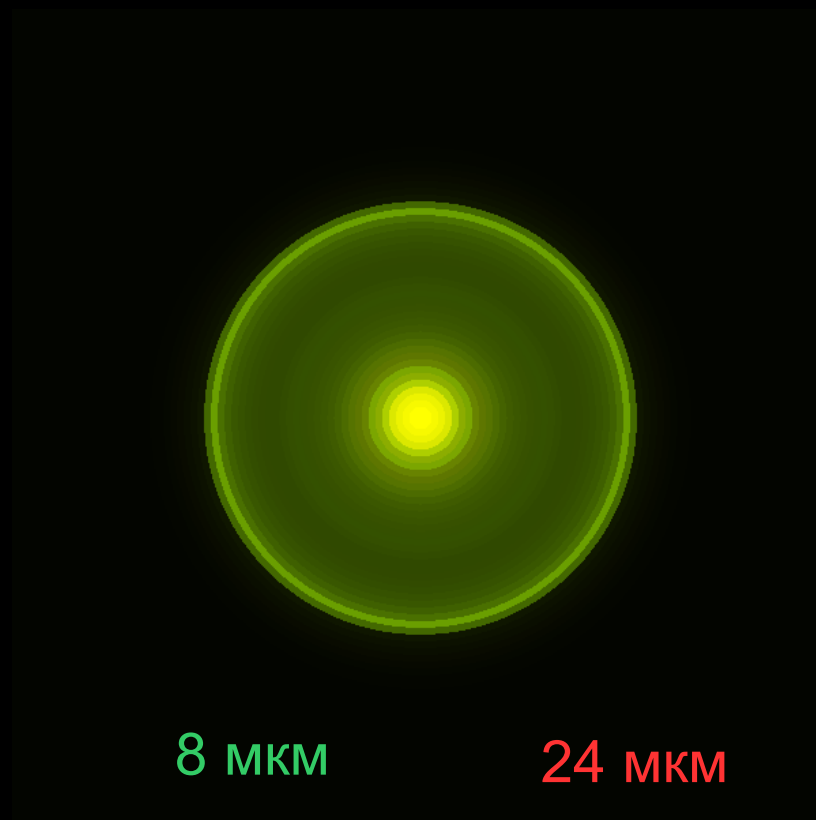


Проблемы с воспроизведением интенсивности излучения на 8 мкм по направлению на центр облака!

Наблюдения

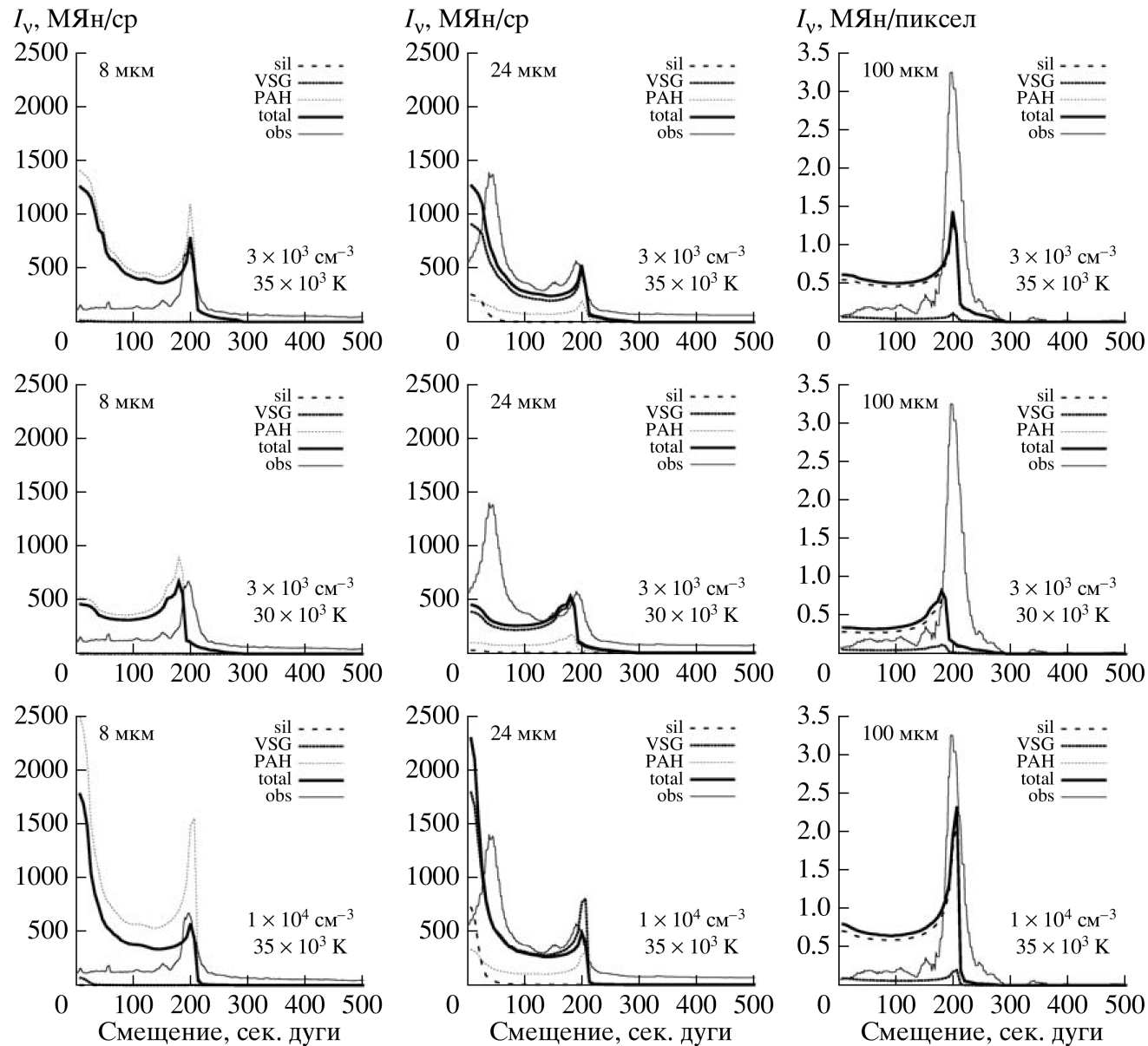


Модель



Результаты для однородного содержания пыли

Варьирование параметров физической модели



Эволюция пыли в зоне HII

Разрушение пыли

- Радиативное (УФ)
- Столкновительное (газ)

Дрейф пыли

- Давление излучения
- Звездный ветер
- Фотоэффект
- Трение пылинок о газ
 - нейтральные пылинки
 - заряженные пылинки
 - магнитное поле

Разрушение пыли

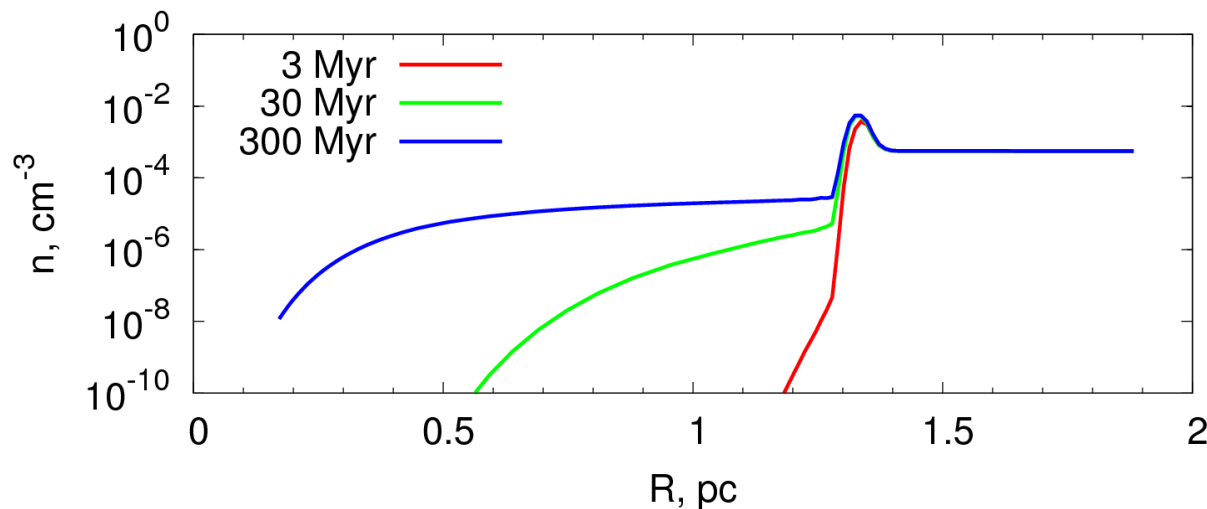
Разрушение ПАУ-частиц описывается феноменологически:

$$\frac{\partial x_{\text{PAH}}}{\partial t} = -G \frac{x_{\text{PAH}}}{\tau_{\text{PAH}}}$$

x_{PAH} – относительное содержание ПАУ-частиц

G – средняя интенсивность излучения в ед. межзвездного поля излучения Дрейна

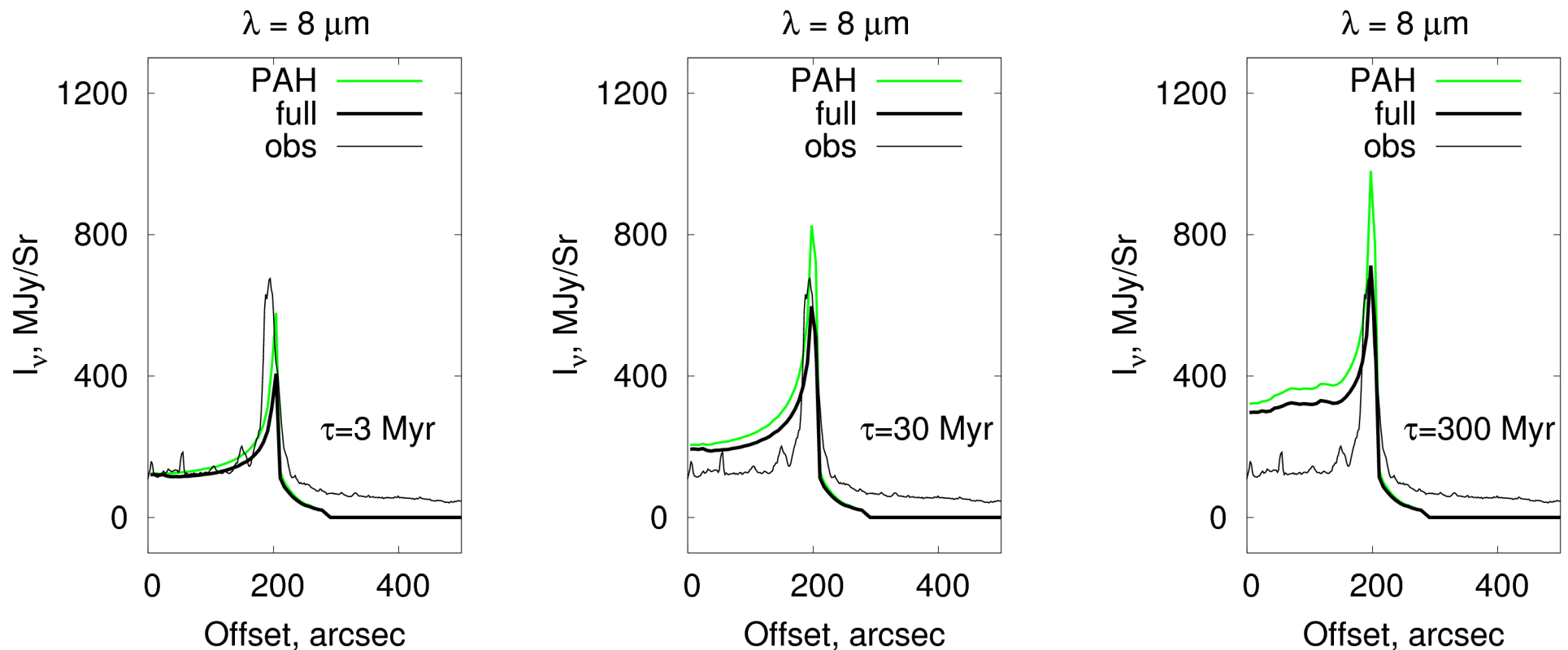
τ_{PAH} – характерное время разрушения ПАУ-частиц



Радиальное распределение концентрации ПАУ-частиц для различных значений характерного времени разрушения

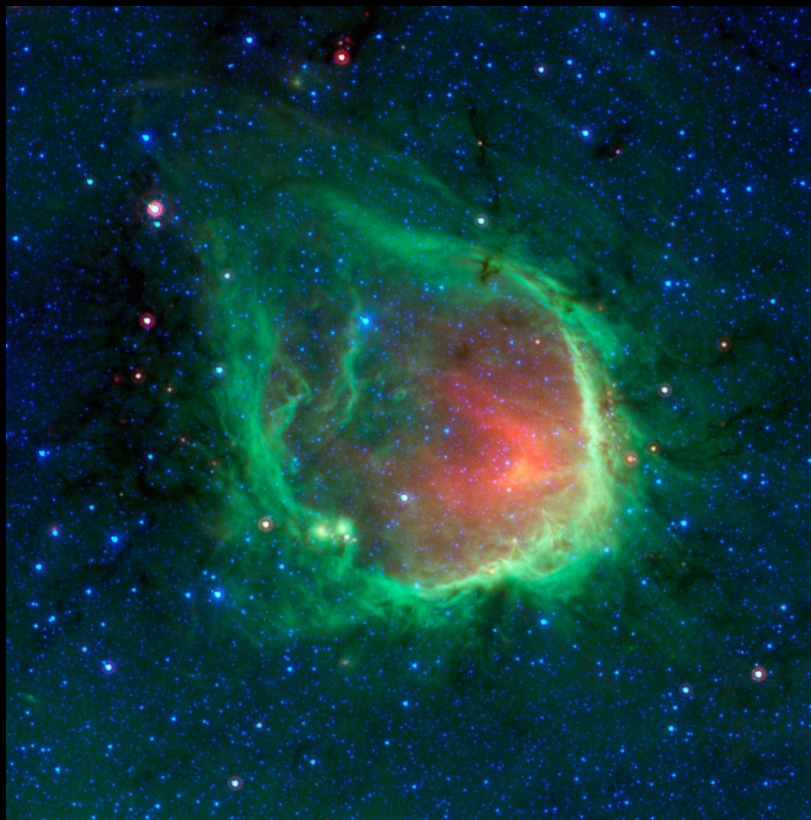
Разрушение пыли

Распределения интенсивности излучения на 8 мкм для моделей с разным временем разрушения ПАУ-частиц

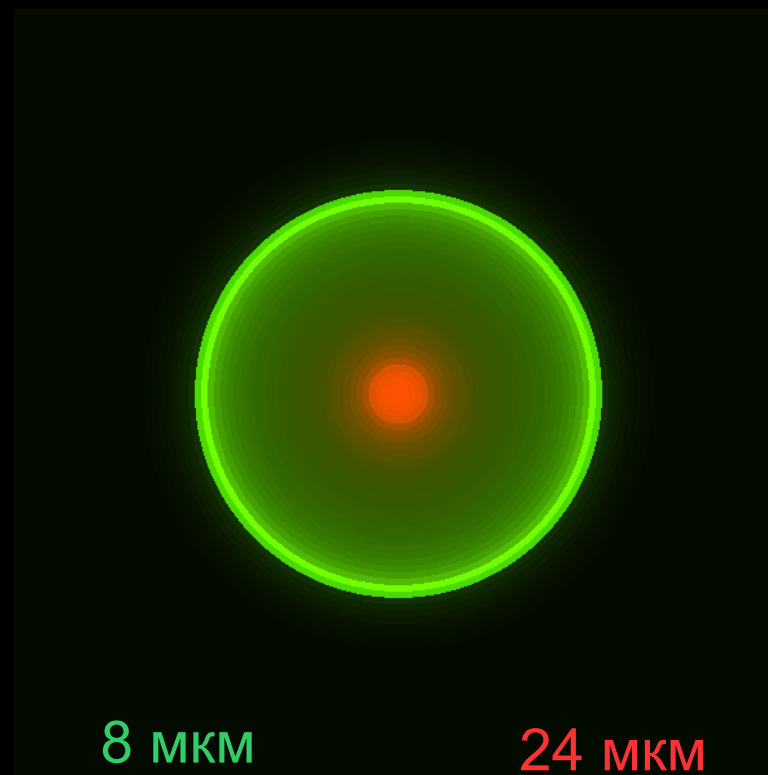


Подбор времени разрушения ПАУ-частиц позволяет воспроизвести профили излучения на 8 мкм

Наблюдения



Модель



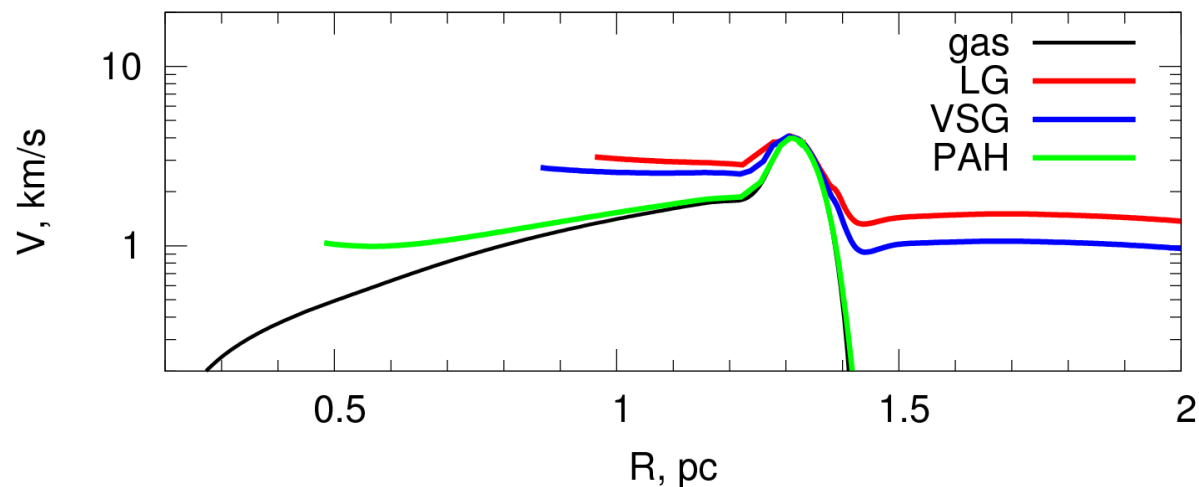
Дрейф пыли

Учитывается сила давления излучения и сила трения в приближении нулевого заряда пылинок

$$m \frac{dV}{dt} = F_{rad} + F_{vis}$$

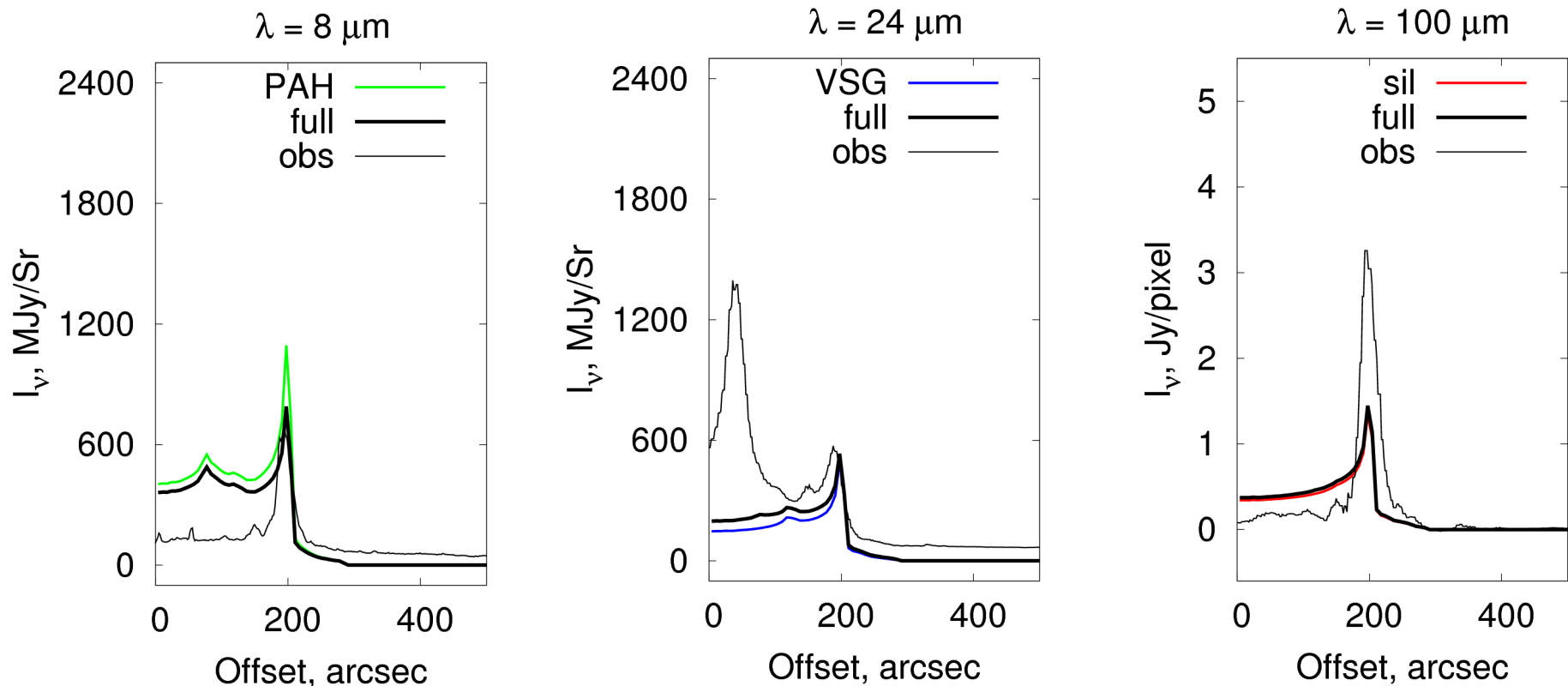
Для расчета плотности пылинок рассматривается задача движения пробных частиц

Распределения скорости газа и пылинок разного типа



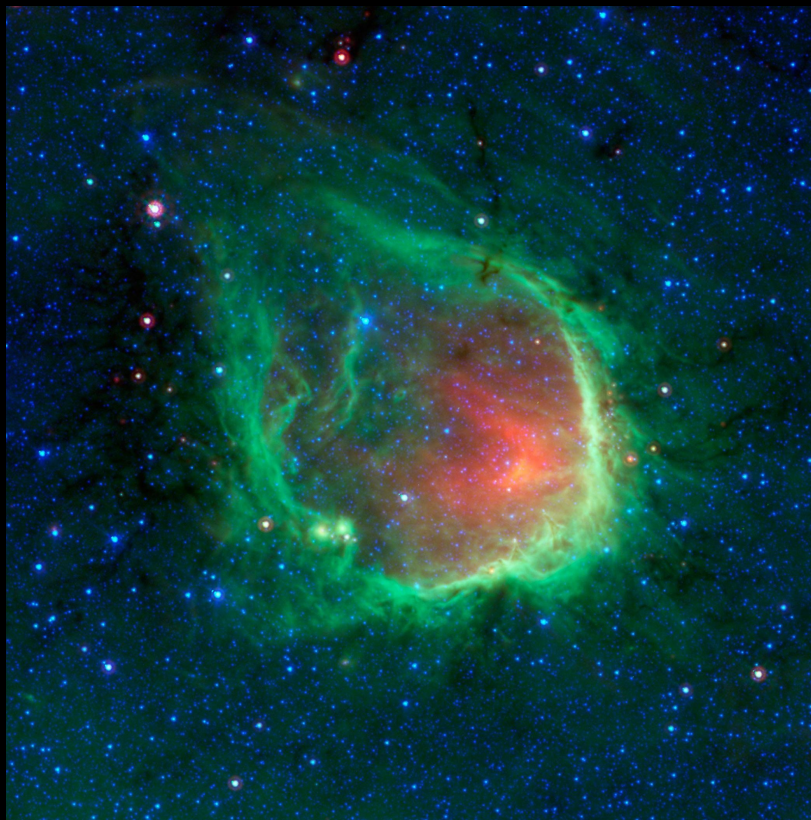
Дрейф пыли

Распределения интенсивности излучения на 8, 24 и 100 мкм для модели с дрейфом пыли

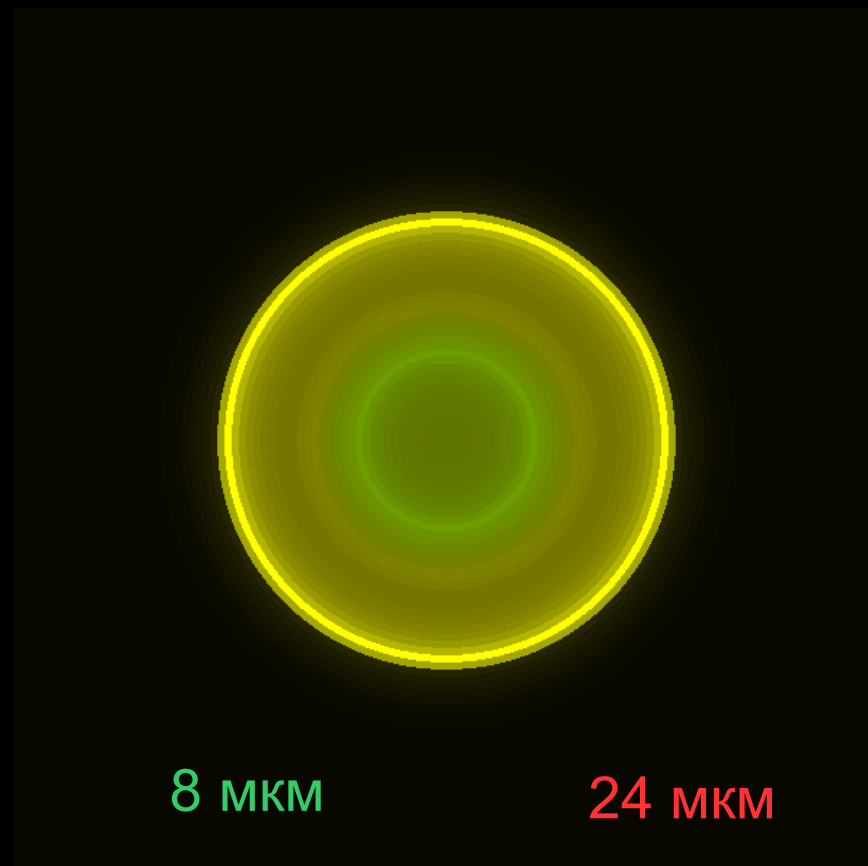


Проблемы с воспроизведением интенсивности излучения на 8 и 24 мкм по направлению на центр облака!

Наблюдения



Модель



Заключения

- Мы разрабатываем динамическую модель зоны HII и объединяем ее с детальным расчетом переноса ИК излучения и моделированием эволюции пыли
- Модель направлена на прямое сопоставление с наблюдениями в рамках сравнения распределений интенсивности излучения
- Данный подход позволяет понять роль различных физических процессов в областях HII

Астрономическая картинка дня :)

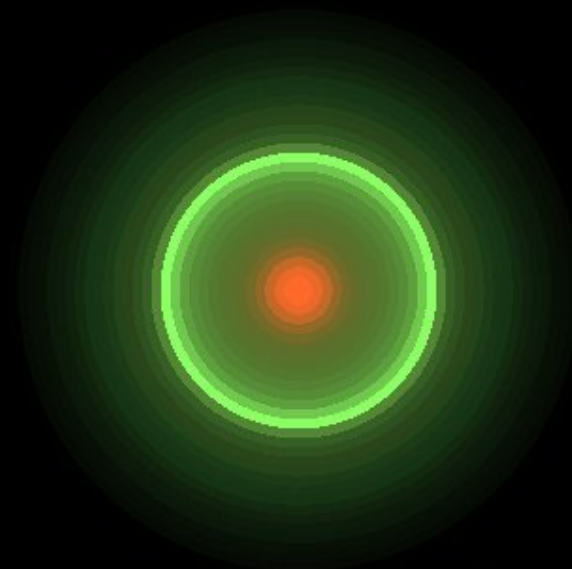


Milky Way Ring RCW 120
Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS

NASA / JPL-Caltech

sig11-007

Model of HII region



8 μm

24 μm

Institute of Astronomy,
Russian Academy of Sciences