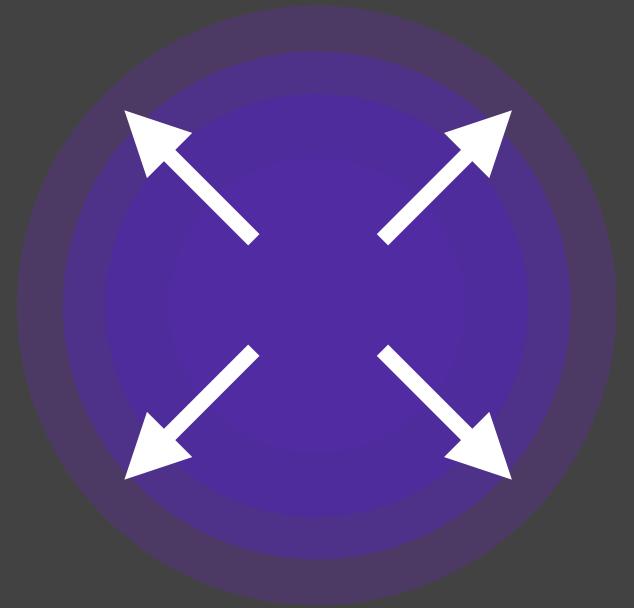


Formación de Planetas Terrestres y Planetas Gigantes

Teorías de Formación Planetaria

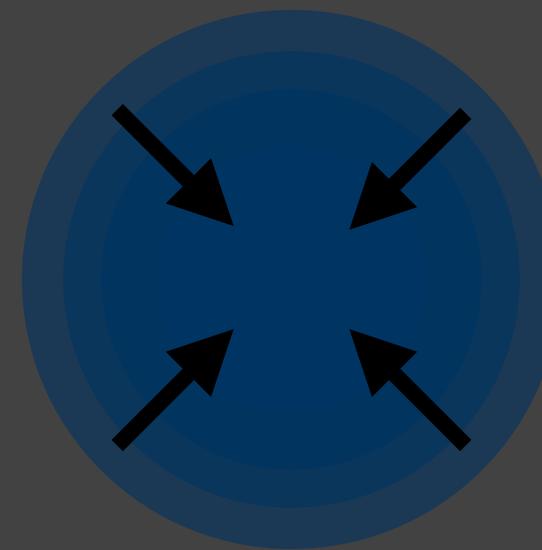
“Bottom up” growth



Can planets form fast enough?

Planets can't form very far out.

“Top down” collapse



Are disks cold and massive enough?

Planets can't form very far in.

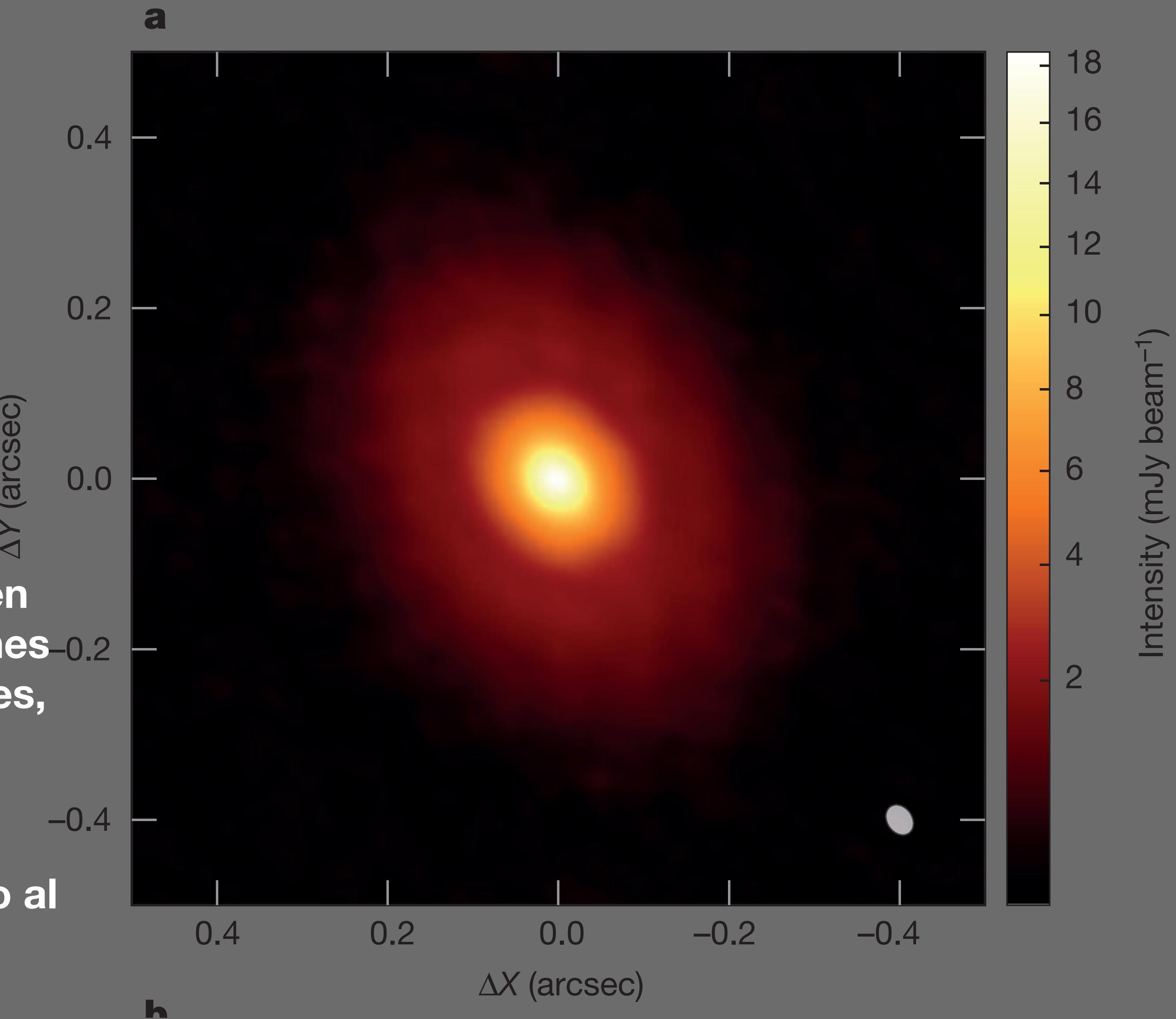
Most disks don't appear to be massive enough.

Línea de nieve

V883 Ori

Cieza et al. 2016

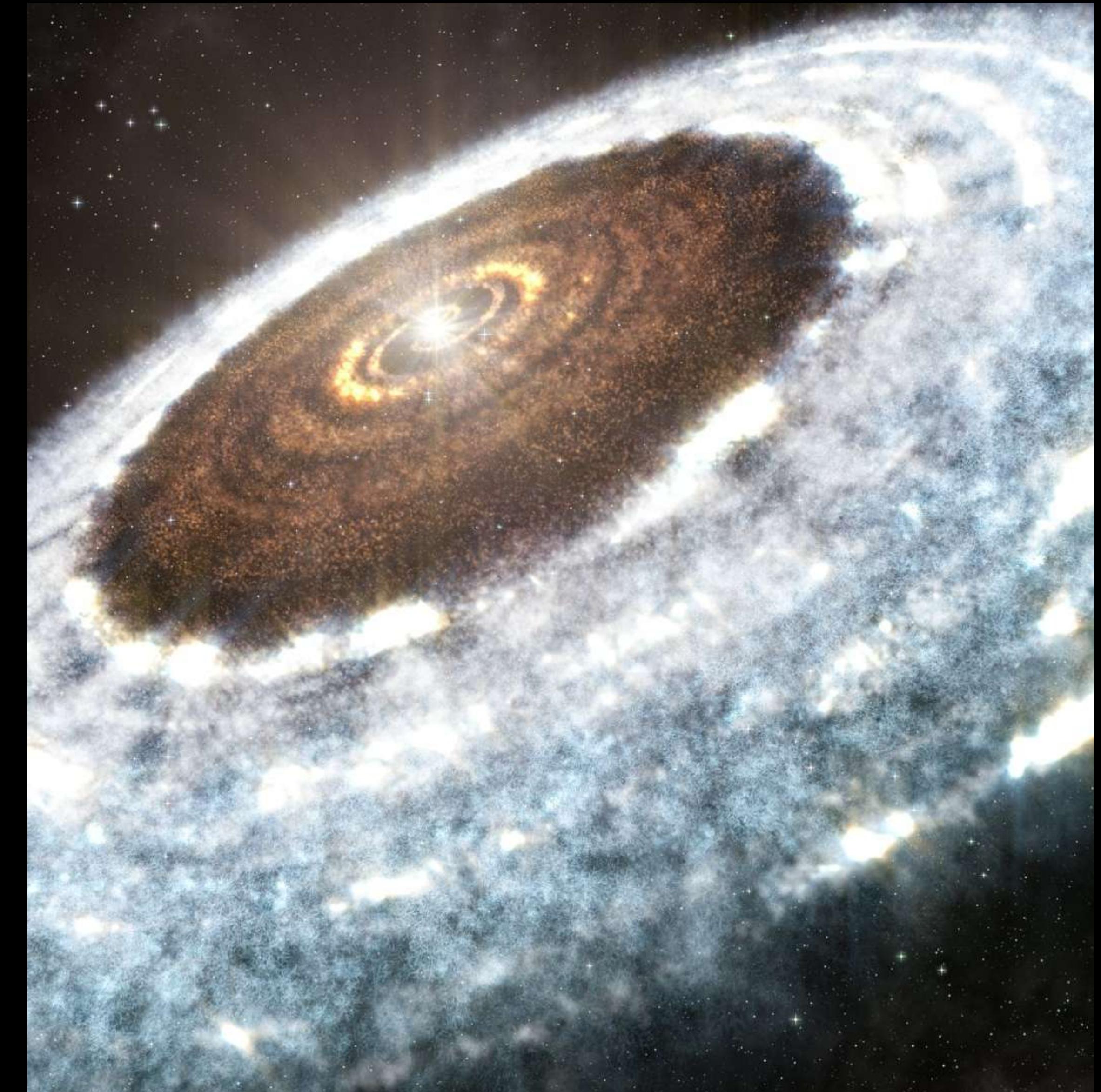
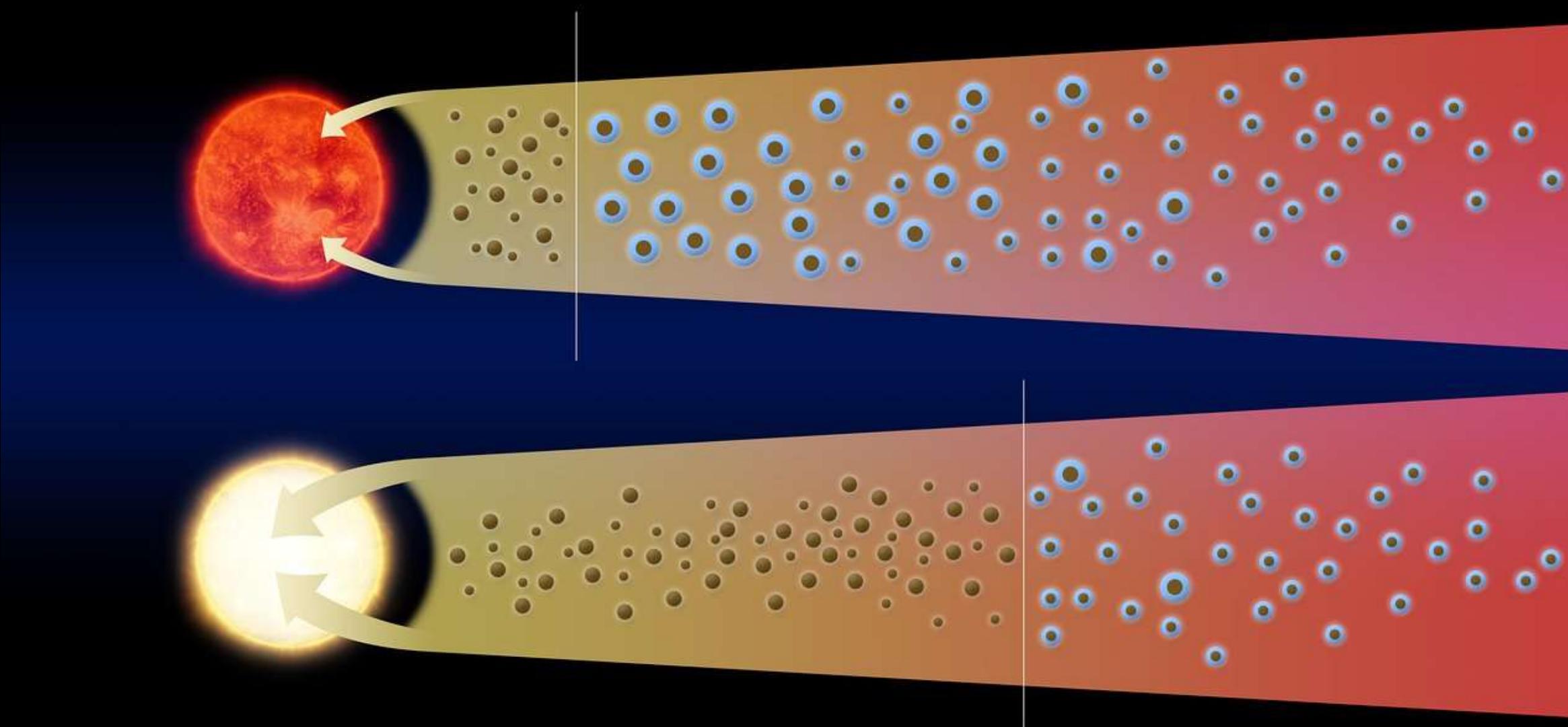
El agua se congela a 273 K (0°C) a la presión atmosférica de la Tierra, pero en los discos protoplanetarios, las presiones son mucho más bajas. A estas presiones, el punto de congelación del agua disminuye. Alrededor de 150 K es la temperatura en la que el agua en estos discos puede pasar del estado gaseoso al sólido.

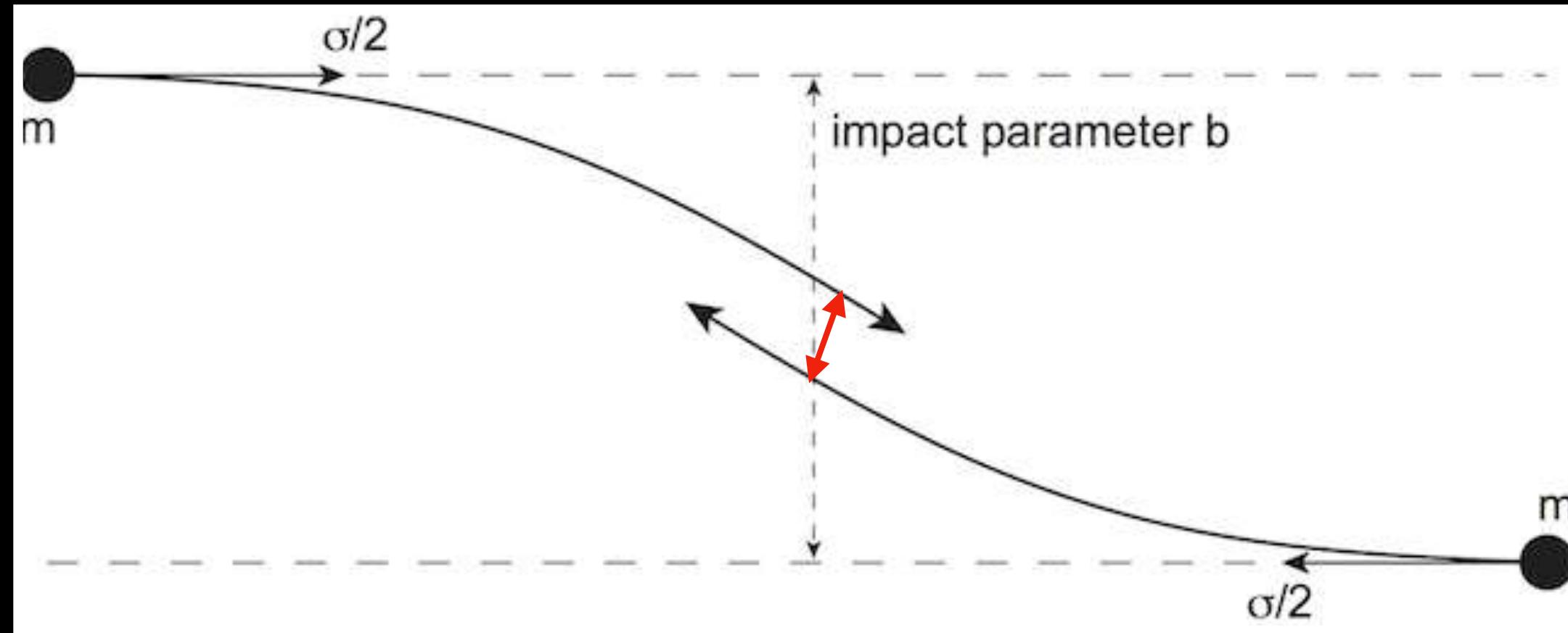


Línea de nieve

V883 Ori

Cieza et al. 2016





Número de Safronov

Nos dice qué tan efectivo es un objeto para capturar otros objetos y crecer en tamaño.

Planetas tienen gravedad no despreciable. Para calcular el “**gravitational focusing**” considerando dos cuerpos de radio s y masa m acercándose a velocidad relativa σ y un parámetro de impacto b . Al acercarse, se deflectan hacia cada uno por su gravedad mutua. Por conservación de energía:

$$2\frac{1}{2}m\frac{\sigma^2}{2} = 2\frac{1}{2}mv_{\max}^2 - \frac{Gm^2}{\Delta R}.$$

Luego, conservación de momentum angular:

$$\frac{1}{2}\nu_{\max}\Delta R = \frac{1}{2}b\frac{1}{2}\sigma, \text{ lo que implica: } \nu_{\max} = \frac{b}{2\Delta R}\sigma.$$

Si $\Delta R < s$, los cuerpos colisionan. Entonces, el máximo parámetro de impacto que genera colisiones es:

$$b^2 = s^2 + \frac{4Gms}{\sigma^2} = s^2 \left(1 + \frac{\nu_{\text{esc}}^2}{\sigma^2} \right).$$

Formation of the Giant Planets by Concurrent Accretion of Solids and Gas¹



JAMES B. POLLACK²

, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California 94035

A HUBICKYJ³ AND PETER BODENHEIMER

Institute, University of California, Santa Cruz, California 95064

E-mail: peter@helios.ucsc.edu

¹ UCO/Lick Ob

² Deceased.

³ Present address

CA 94043.

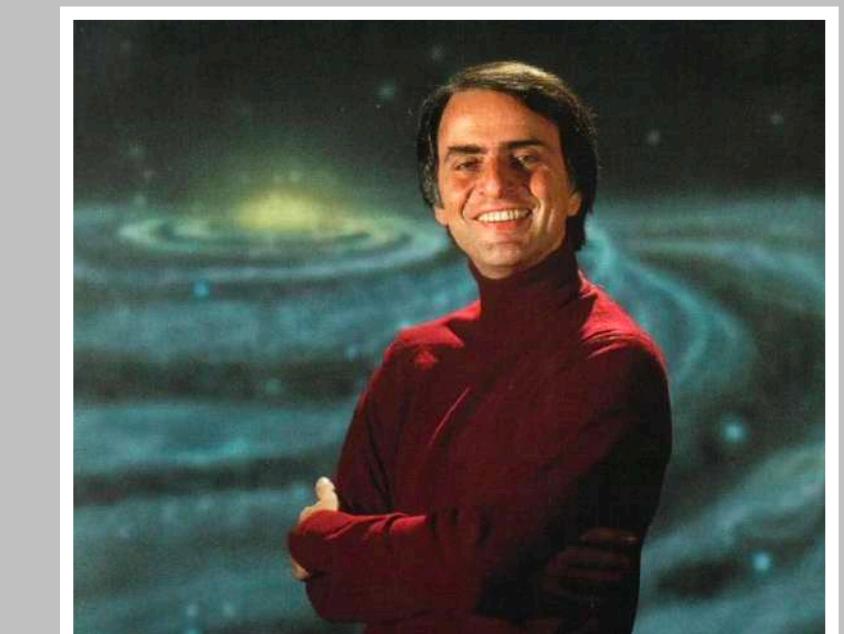
JACK J. LISSAUER

and Space Sciences, State University of New York, Stony Brook, New York 11794

AND

MOSHE PODOLAK AND YUVAL GREENZWEIG

and Planetary Sciences, Tel Aviv University, Ramat Aviv, Israel, 69978



Core accretion (acreción de núcleo)

Etapa 1: formación del núcleo.

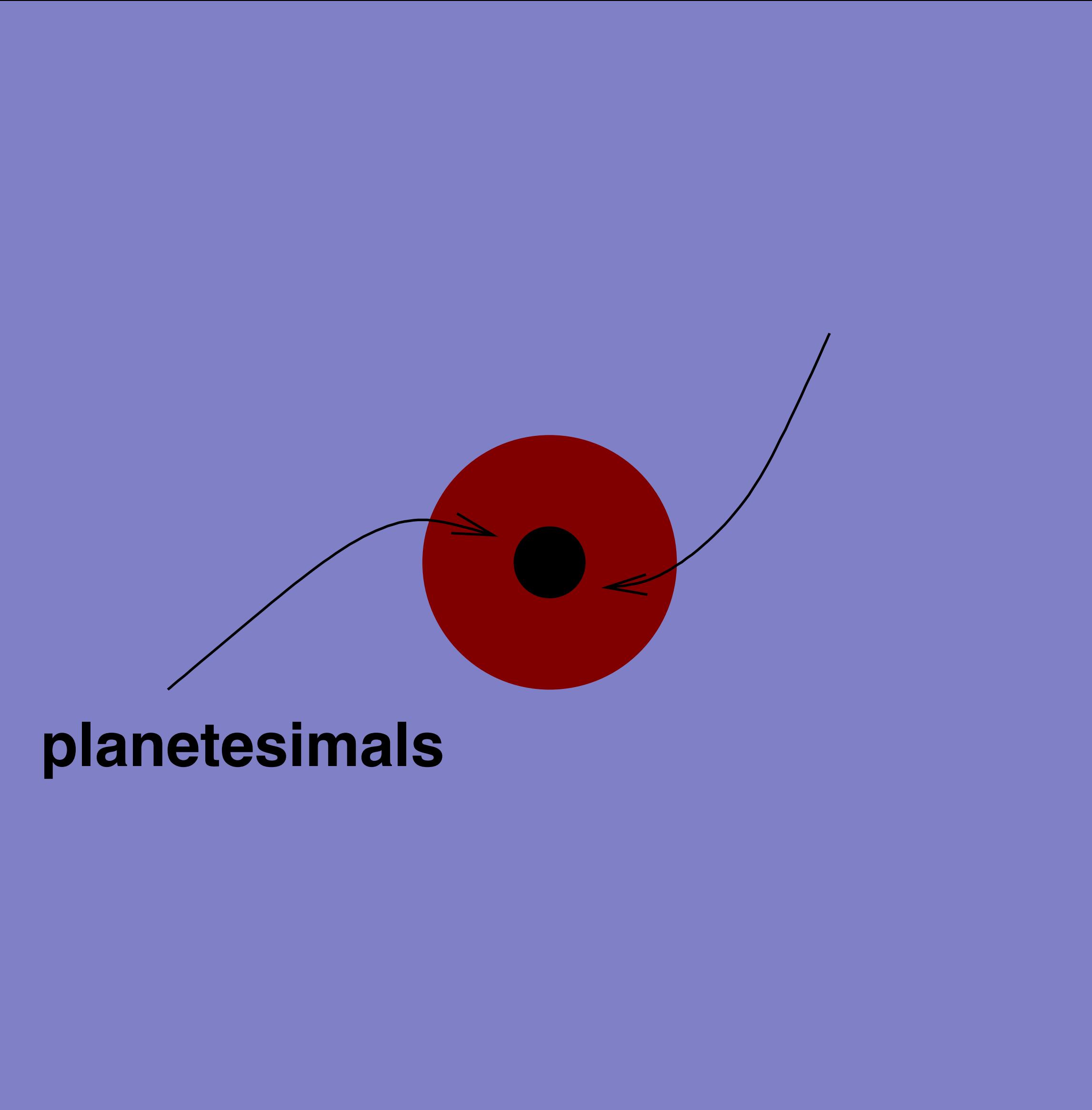
**Experimenta un crecimiento
descontrolado, y la masa del planeta está
dominada por el núcleo hasta que se
acerca a su masa de aislamiento. Esta fase
es relativamente corta (10^5 años), y la
formación del núcleo ocurre, por lo tanto,
en un período de tiempo mucho más corto
que la vida del disco de gas, que es de
aproximadamente 1 a 10 millones de años.**



Core accretion (acreción de núcleo)

Etapa 2. Crecimiento hidrostático

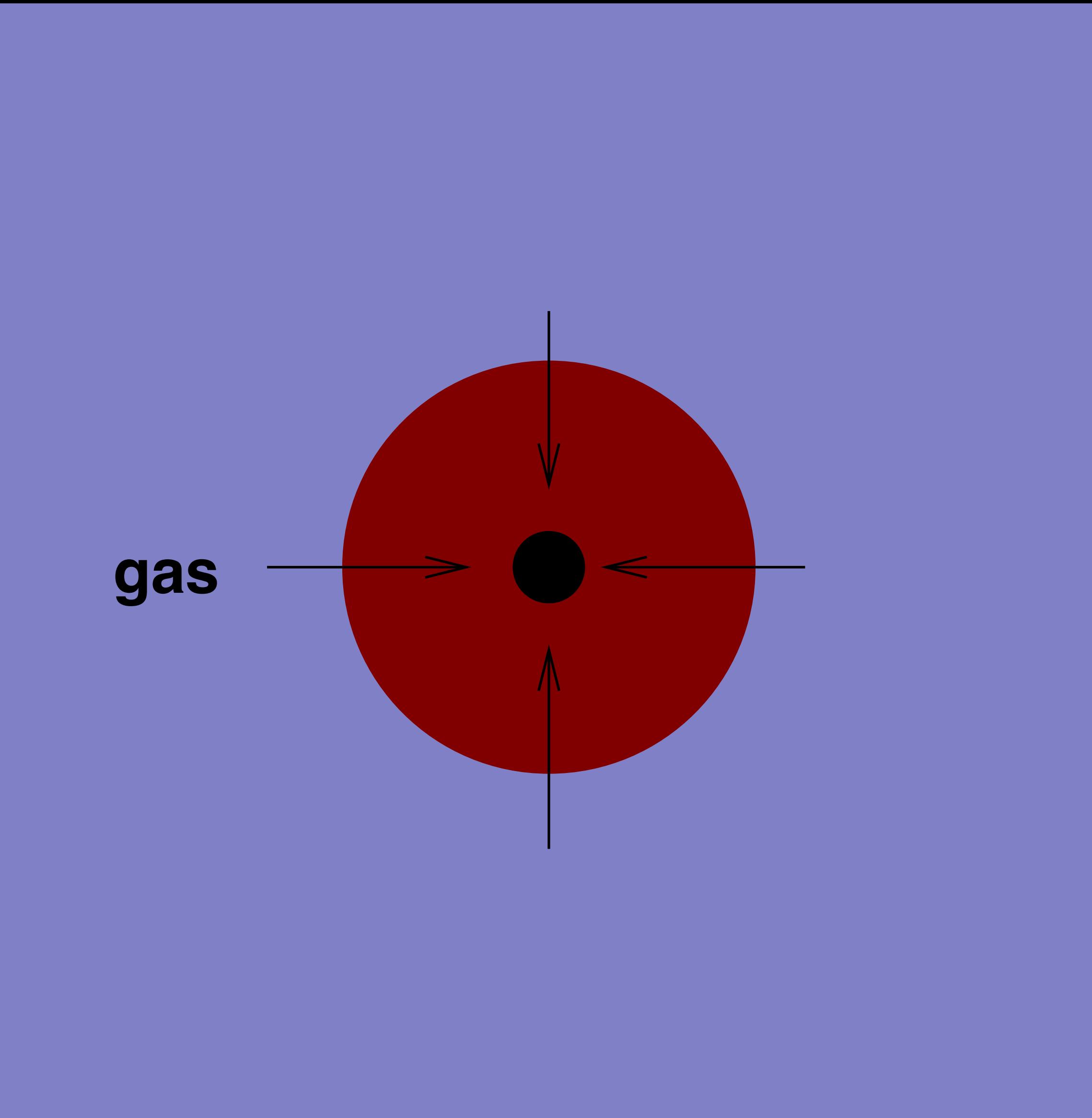
El planeta acumula gas del disco, y la envoltura crece en equilibrio hidrostático. Sin embargo, la acumulación continua de gas requiere que el planeta se contraiga, principalmente como resultado del enfriamiento radiativo. Mientras el núcleo sólido domina la masa, el planeta solo puede contraerse gradualmente (ya que solo la envoltura es compresible), y, en consecuencia, la acumulación durante esta fase es lenta. Este aumento gradual en la masa del planeta incrementa el tamaño de la zona de alimentación, permitiendo la acumulación continua de planetesimales (y por lo tanto, la masa del núcleo también crece). Esta fase típicamente dura alrededor de un millón de años, y termina cuando la masa de la envoltura se aproxima a la masa del núcleo.



Core accretion (acreción de núcleo)

Etapa 3. Crecimiento “runaway”

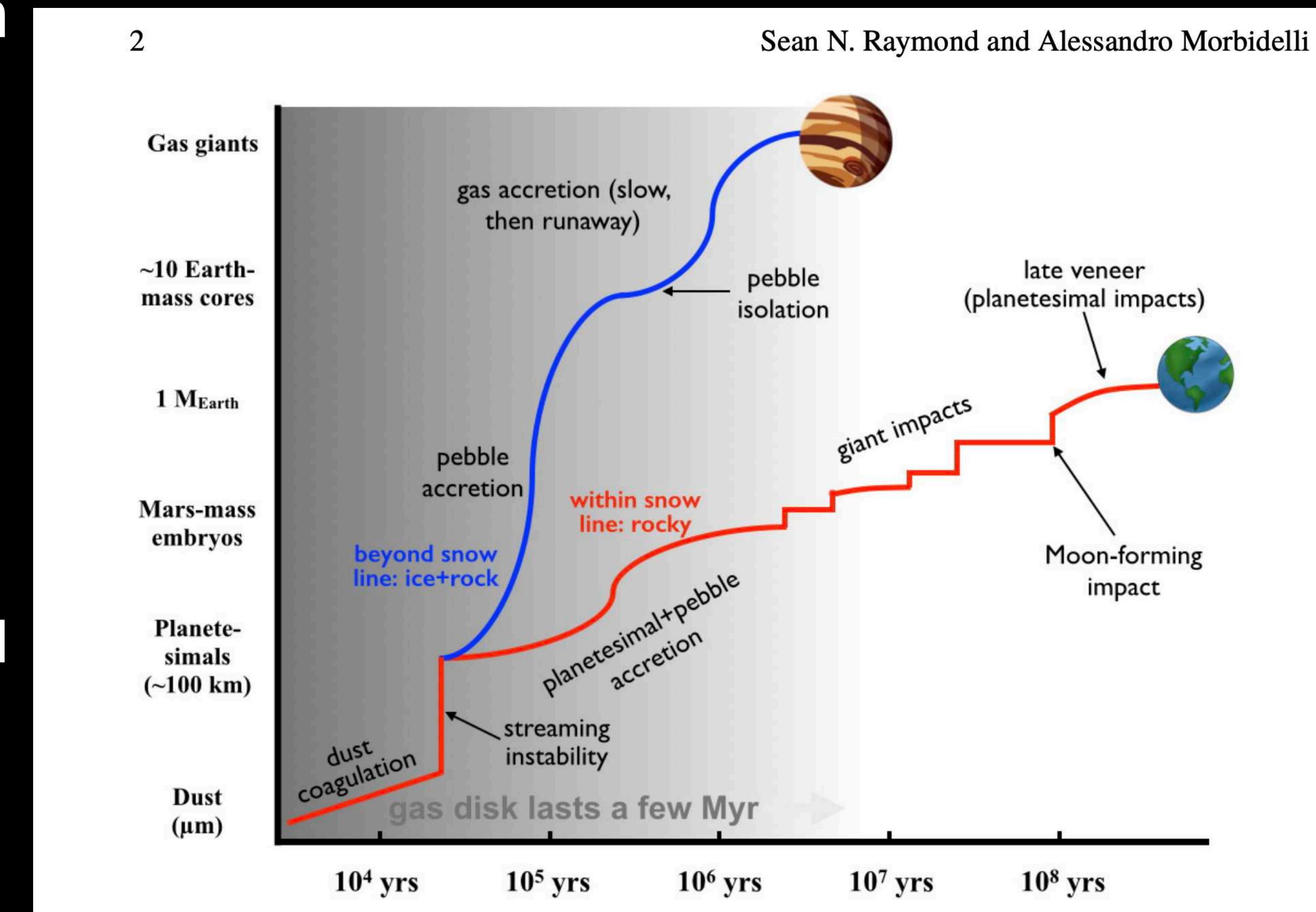
La envoltura gaseosa domina la masa del planeta, la tasa de acreción aumenta drásticamente, y observamos un crecimiento descontrolado de la envoltura. Inicialmente, la acreción está limitada solo por la velocidad a la que el disco puede suministrar gas al planeta, y el crecimiento es muy rápido. Esta fase es corta, pero incrementa la masa del planeta en un orden de magnitud o más. La acreción runaway se detiene por la dispersión del disco de gas, o para planetas masivos, la acreción puede ser interrumpida por efectos de marea locales (torques del planeta sobre el disco). Una vez que la acreción cesa, el "proto-planeta" experimenta una contracción gradual de Kelvin-Helmholtz para alcanzar su estructura final de equilibrio.



Las fases de formación planetaria deben suceder temprano

Resumen de Core Accretion

- Existen varias versiones de la teoría, con distintos supuestos, pero todas siguen la misma historia cualitativa.
- Unas de las mayores incógnitas en estos modelos es la falta de conocimiento sobre la opacidad del gas, y por ende, se sabe poco sobre la estructura termal de la envoltura.

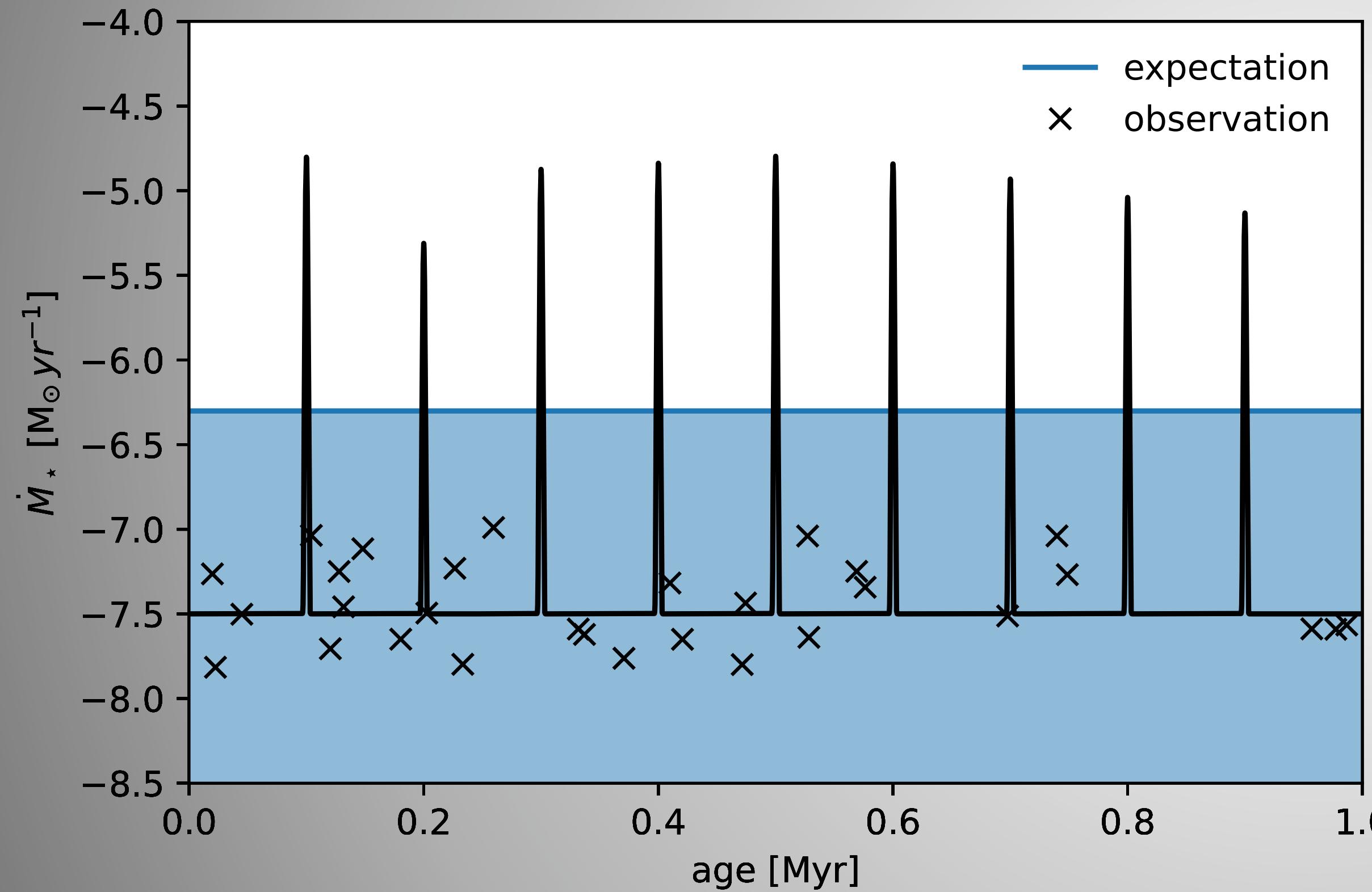


El rico se hace más rico



Un elemento clave: estrellas eruptivas TTauri

Episodic accretion

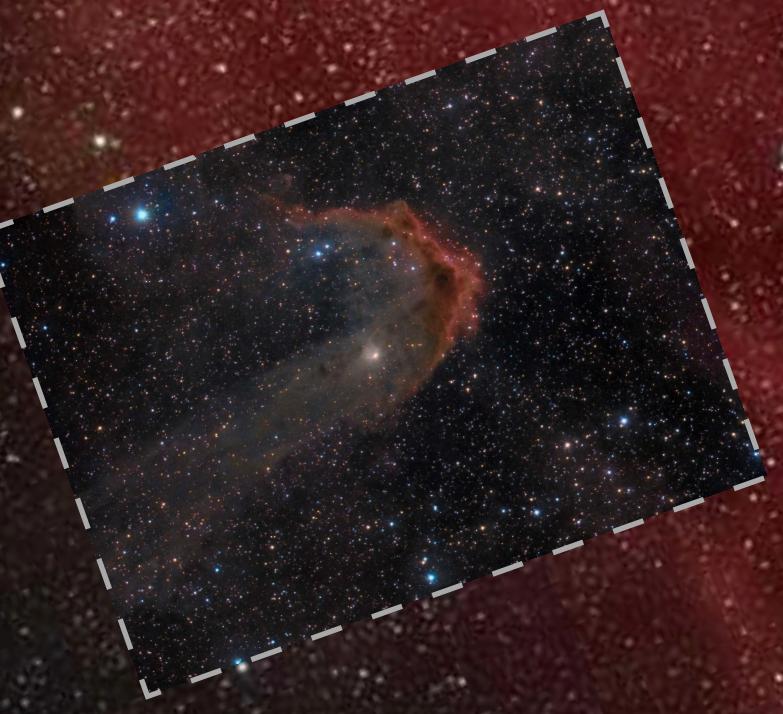


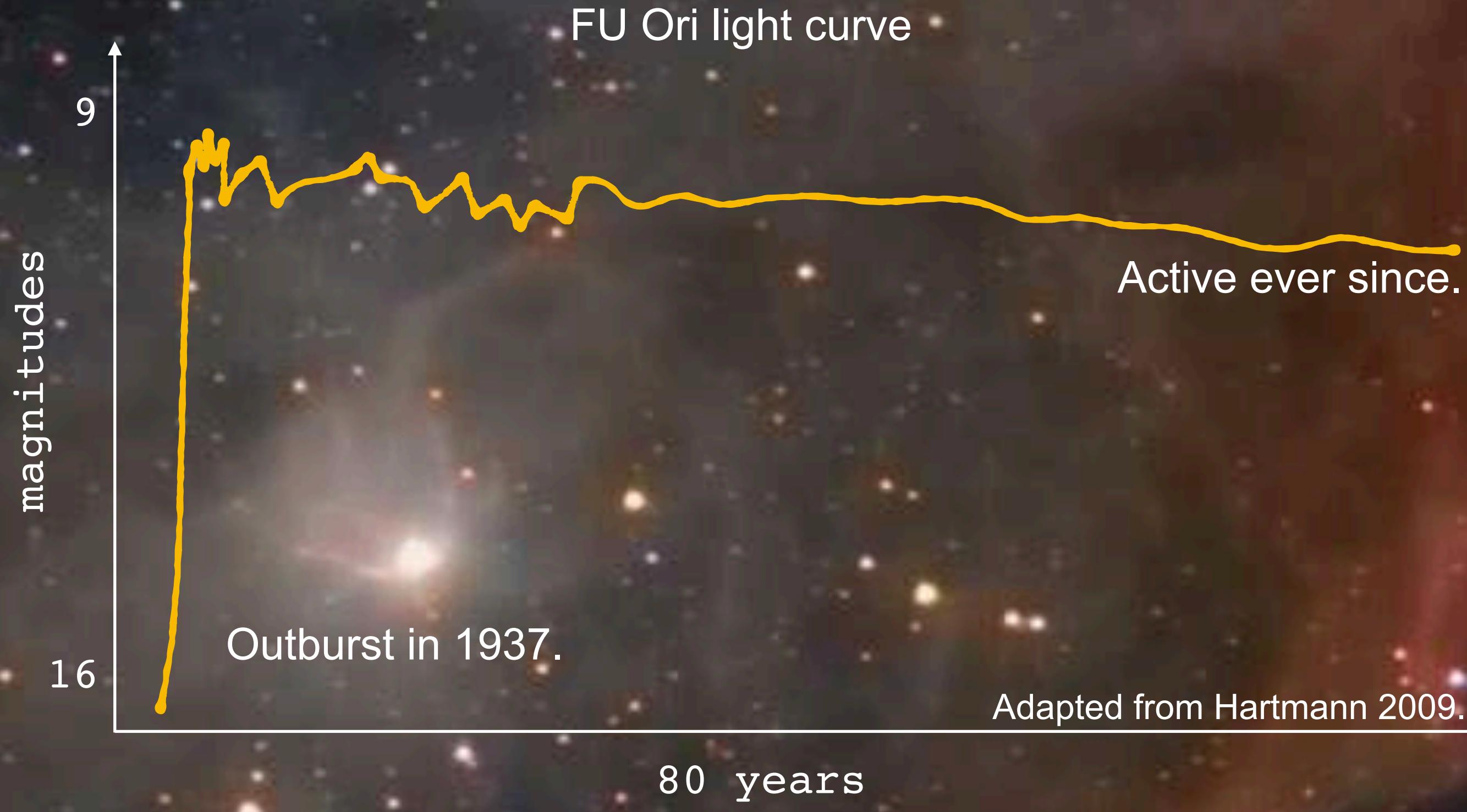


Betelgeuse

λ Orion

Bellatrix





Background image: Jim Thommes



Dr Dorrit Hoffleit

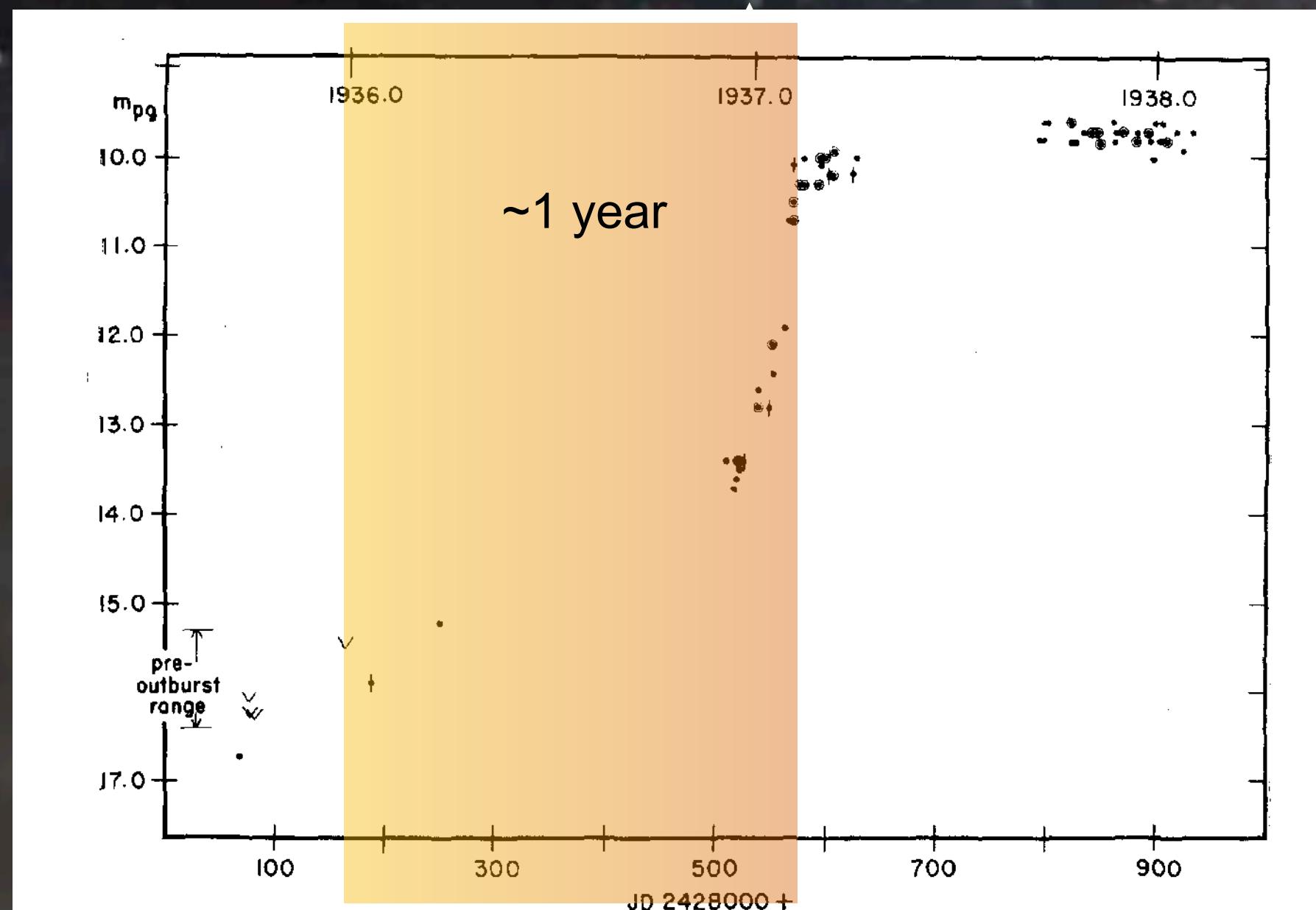
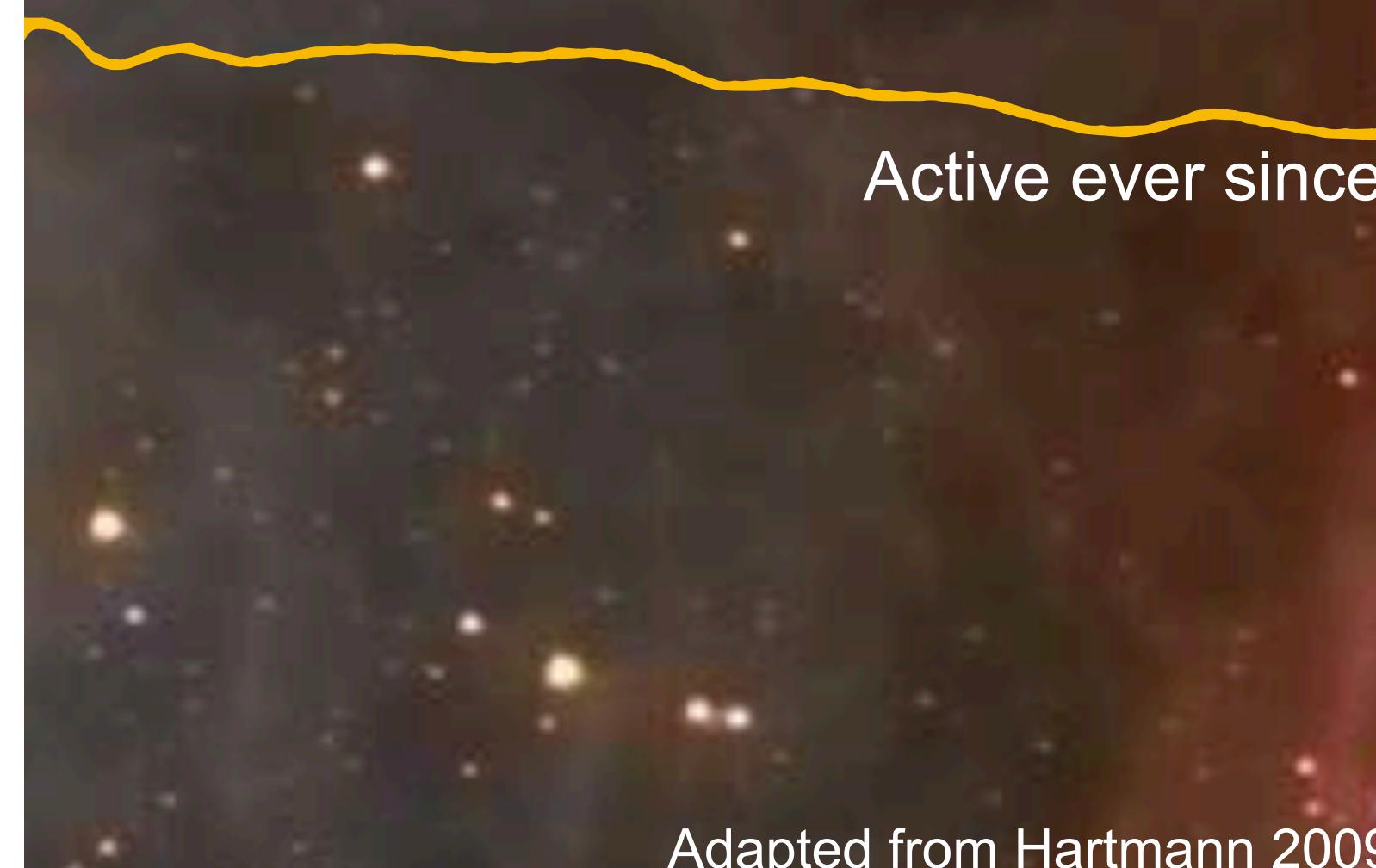


FIG. 2. The photographic light curve of FU Ori at the time of the flare-up; the observations are almost entirely by Miss HOFFLEIT (1939). Ringed points are of higher weight; the points with vertical lines are of lower weight.

Herbig (1966)

FU Ori light curve

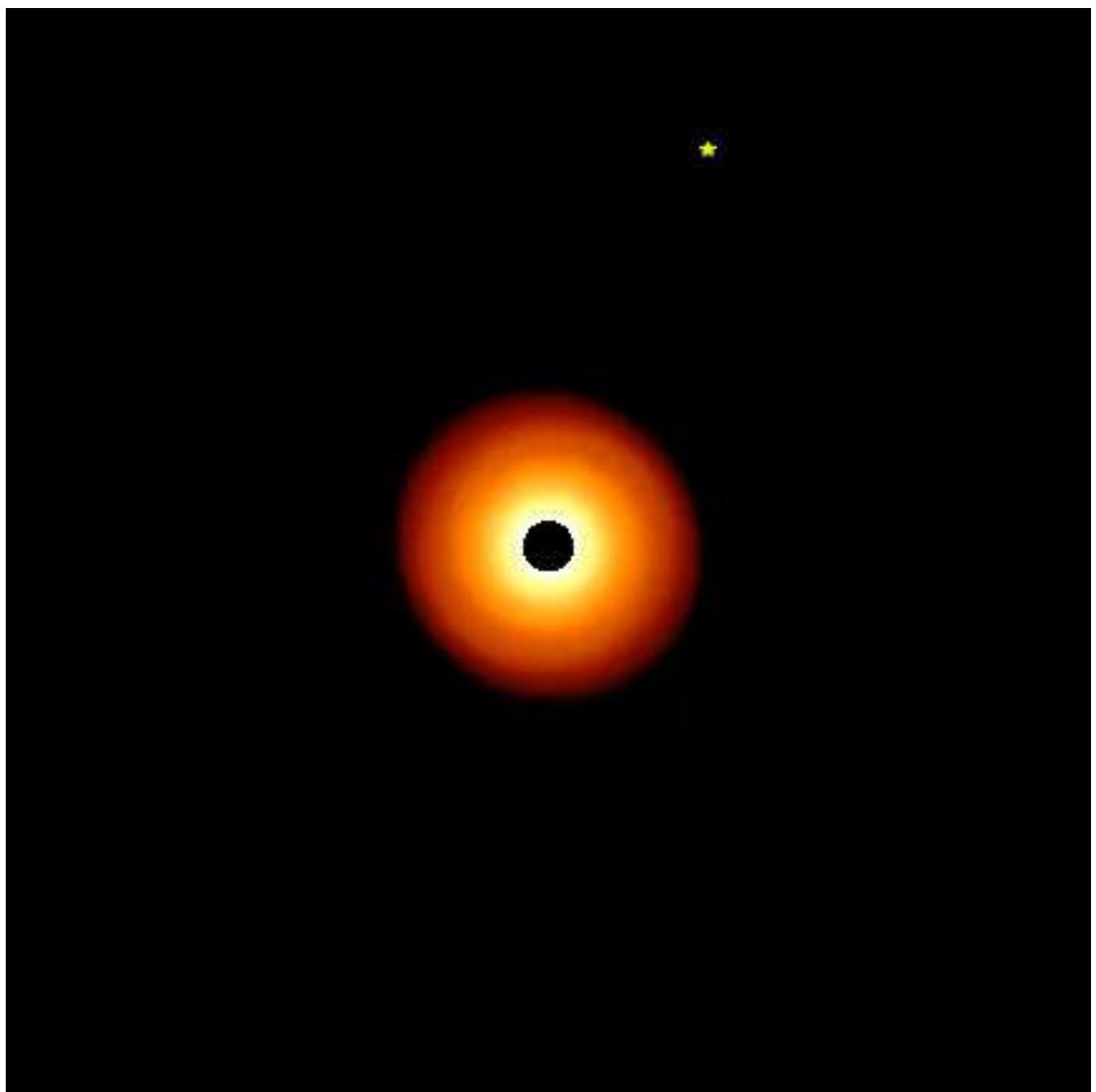


Adapted from Hartmann 2009.

80 years

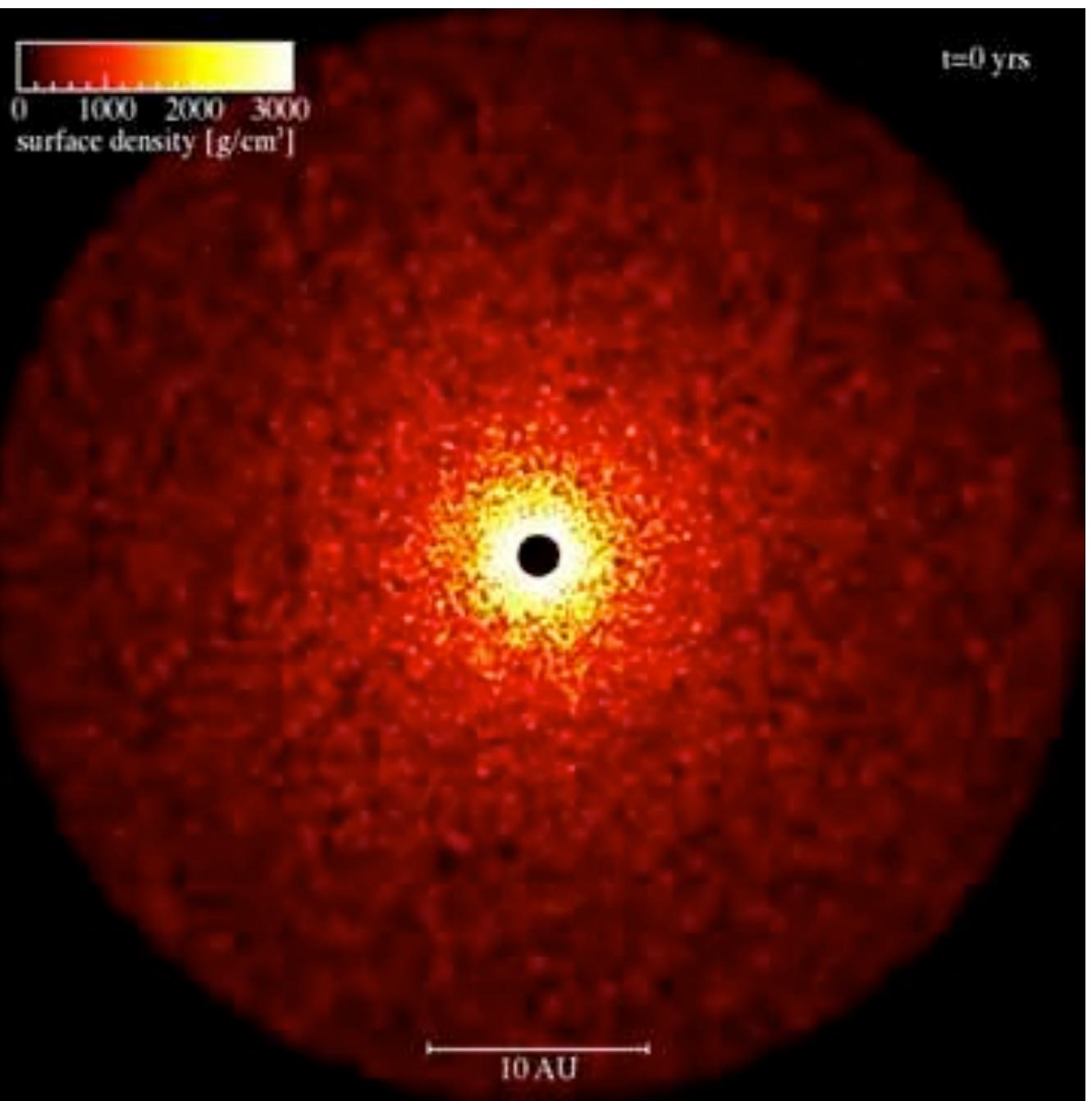
Qué causa las erupciones?

Gravitational encounters?
(flybys)



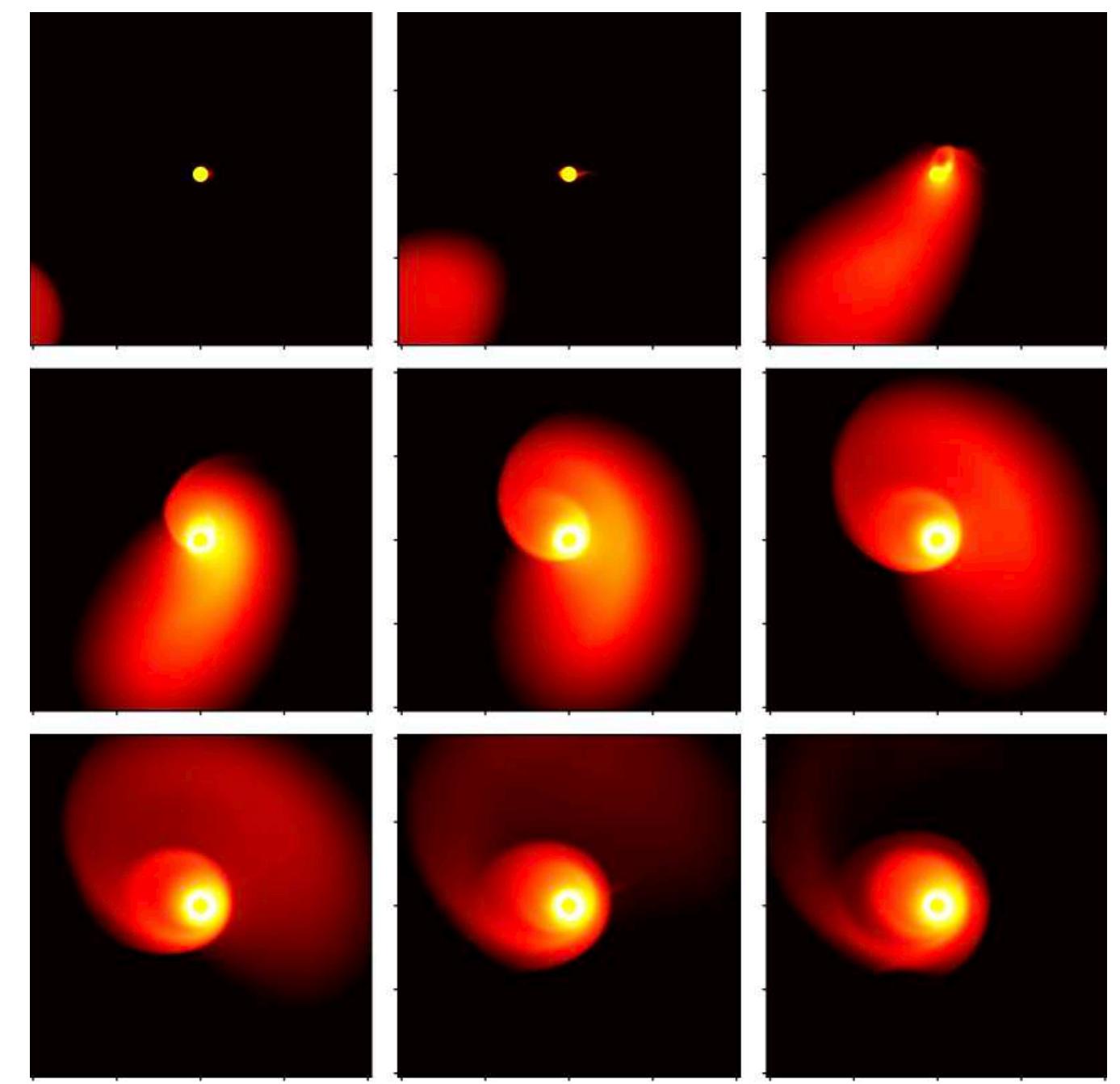
See Cuello et al. (2023) PPVII review

Gravitational Instability?
(clump infall)



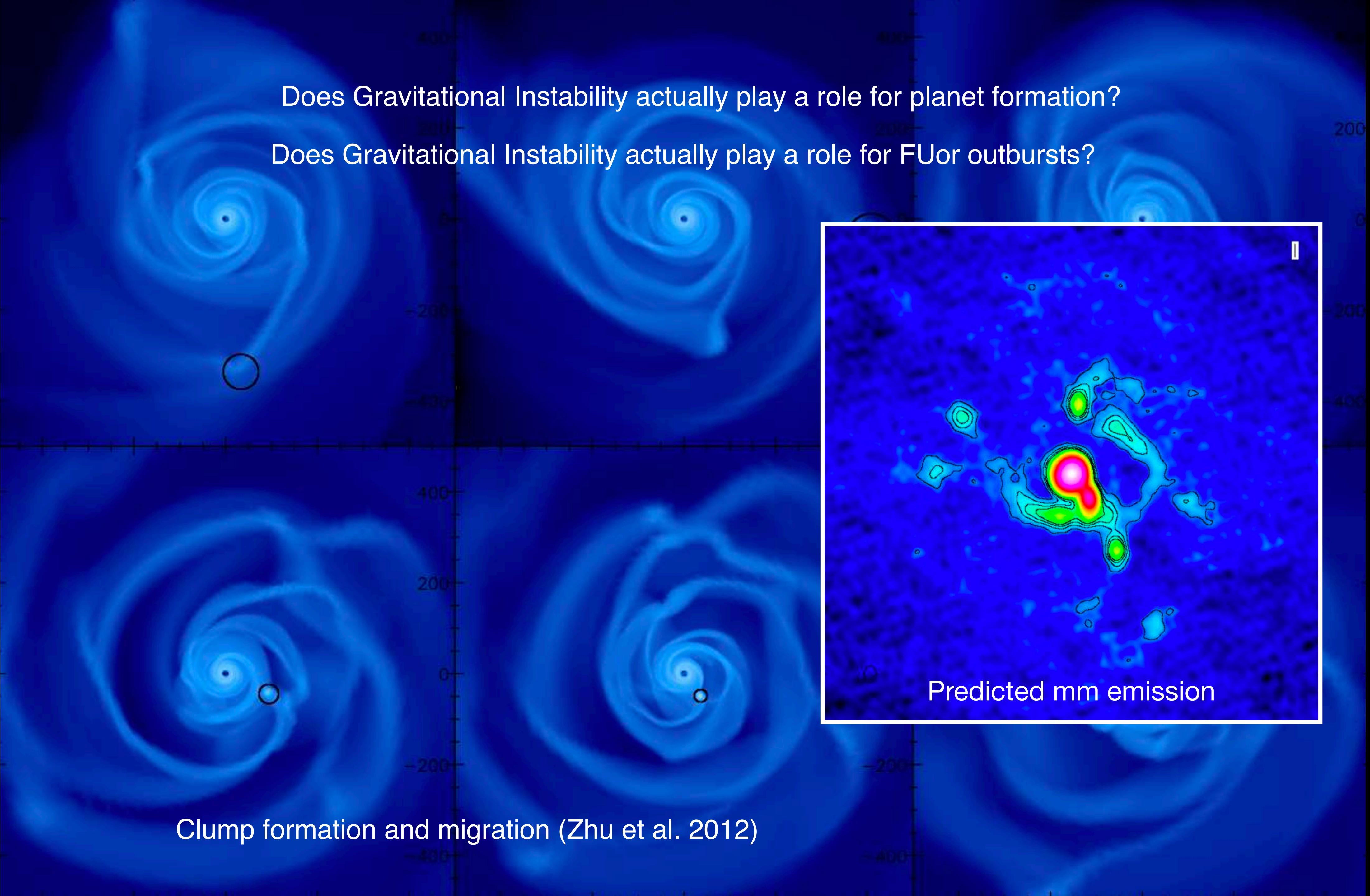
Simulation by Daniel Price
Vorobyov & Basu (2005, 2006, 2008)
Zhu (2007, 2012)

Cloudlet accretion?
Rejuvenating infall?



Dullemond et al. 2019
Kuffmeier et al. 2018

All these are likely at play during the youth of a star

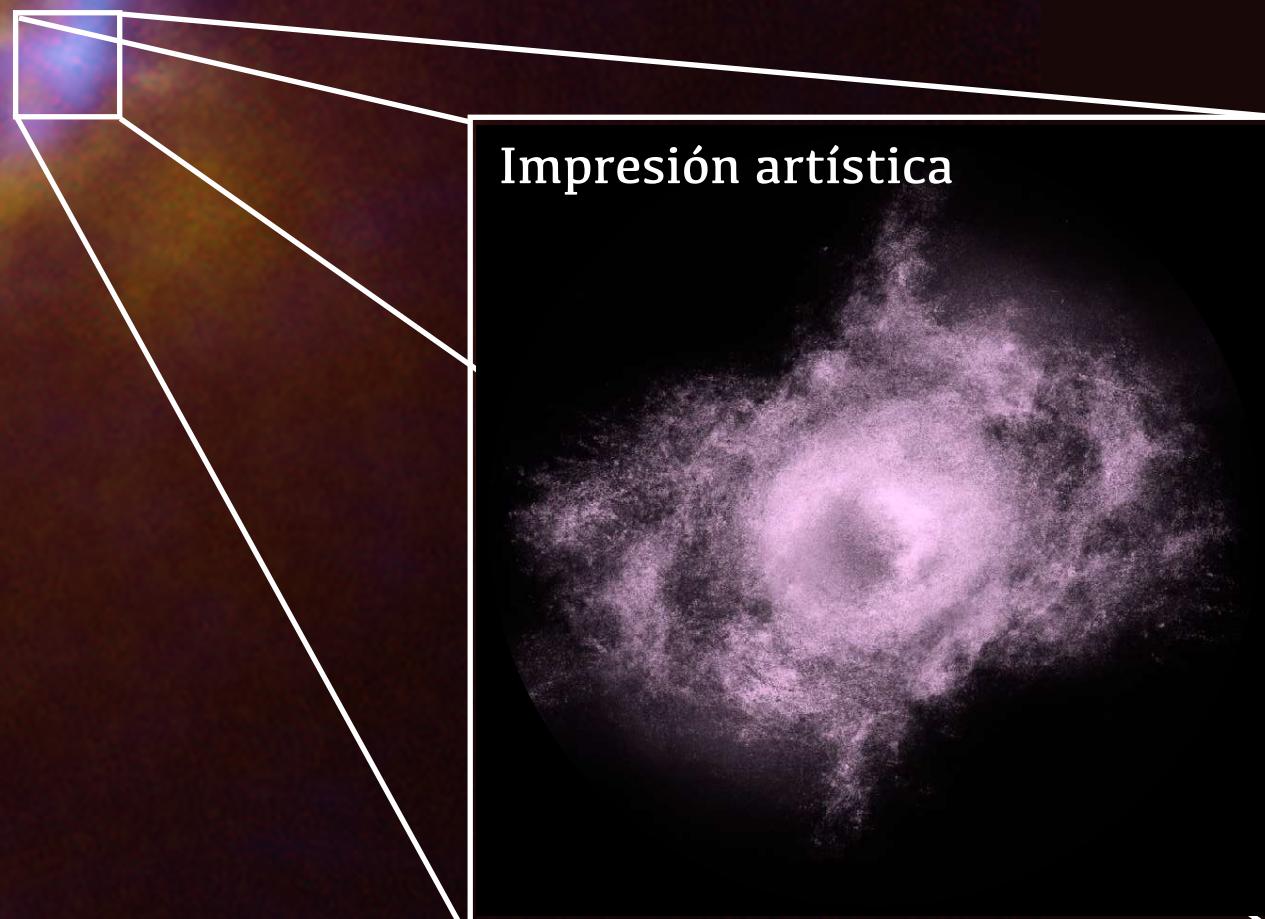




V960 Mon



Philipp Weber



ESO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/Weber et al.

