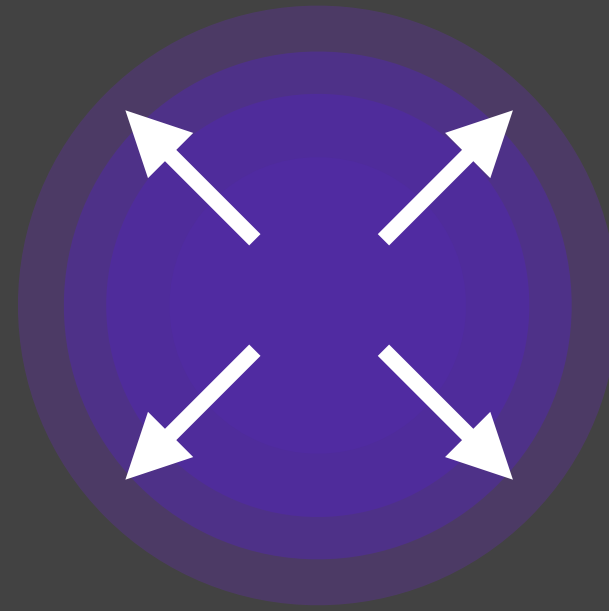


Formación de Planetas Terrestres y Planetas Gigantes

Teorías de Formación Planetaria

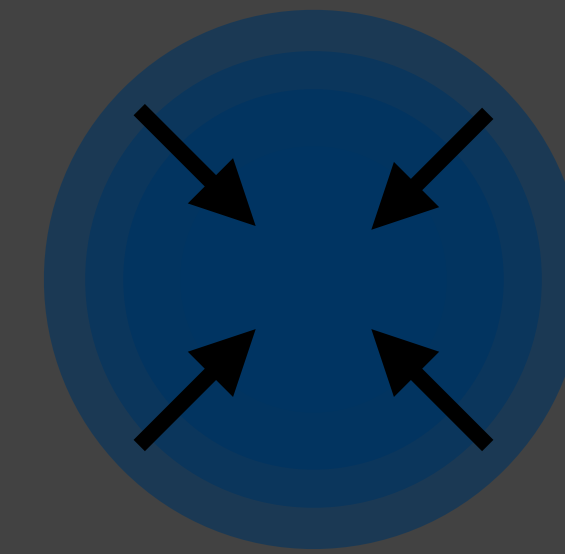
“Bottom up” growth



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.

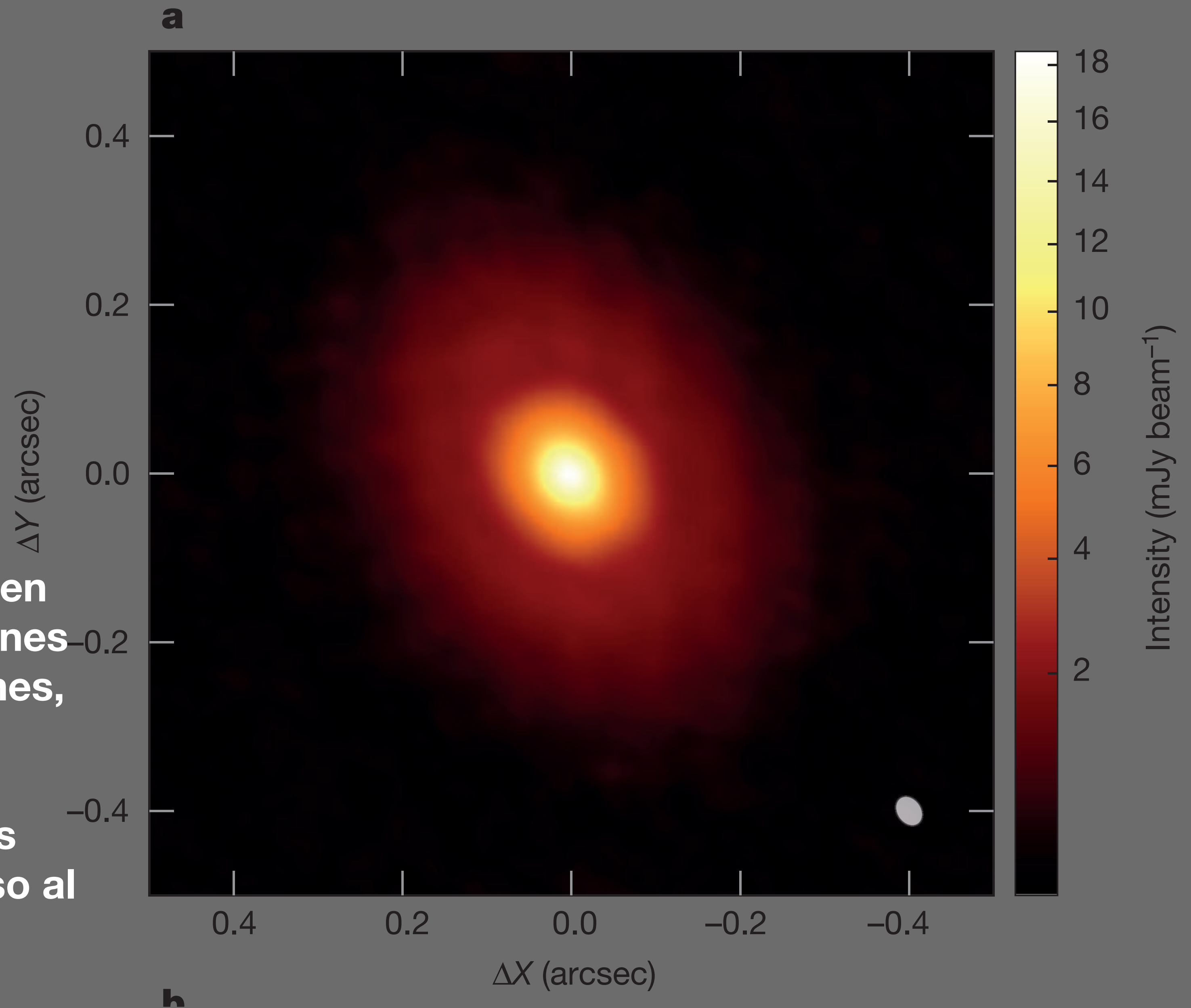
Most disks don't appear to be massive enough.

Línea de nieve

V883 Ori

Cieza et al. 2016

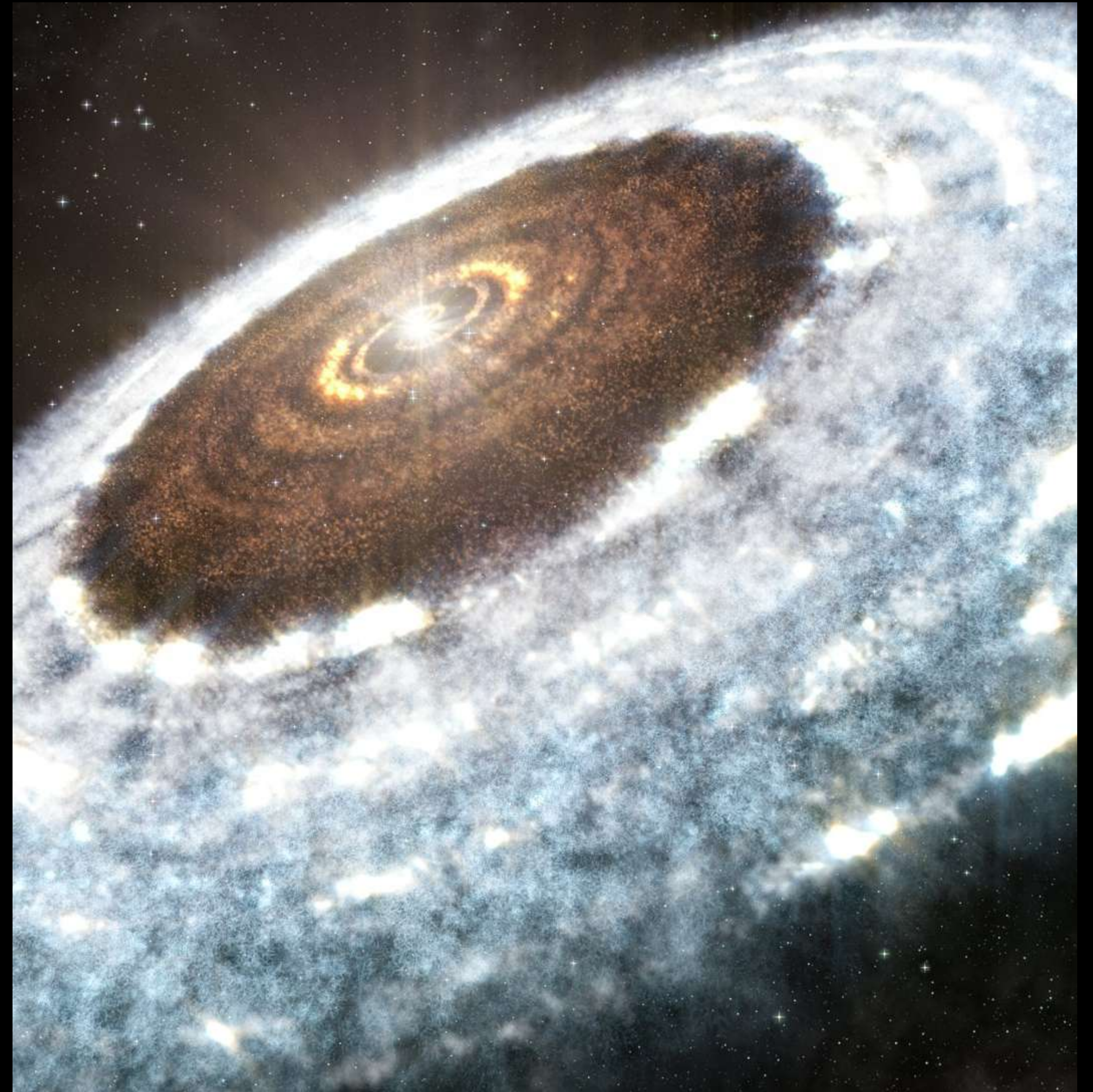
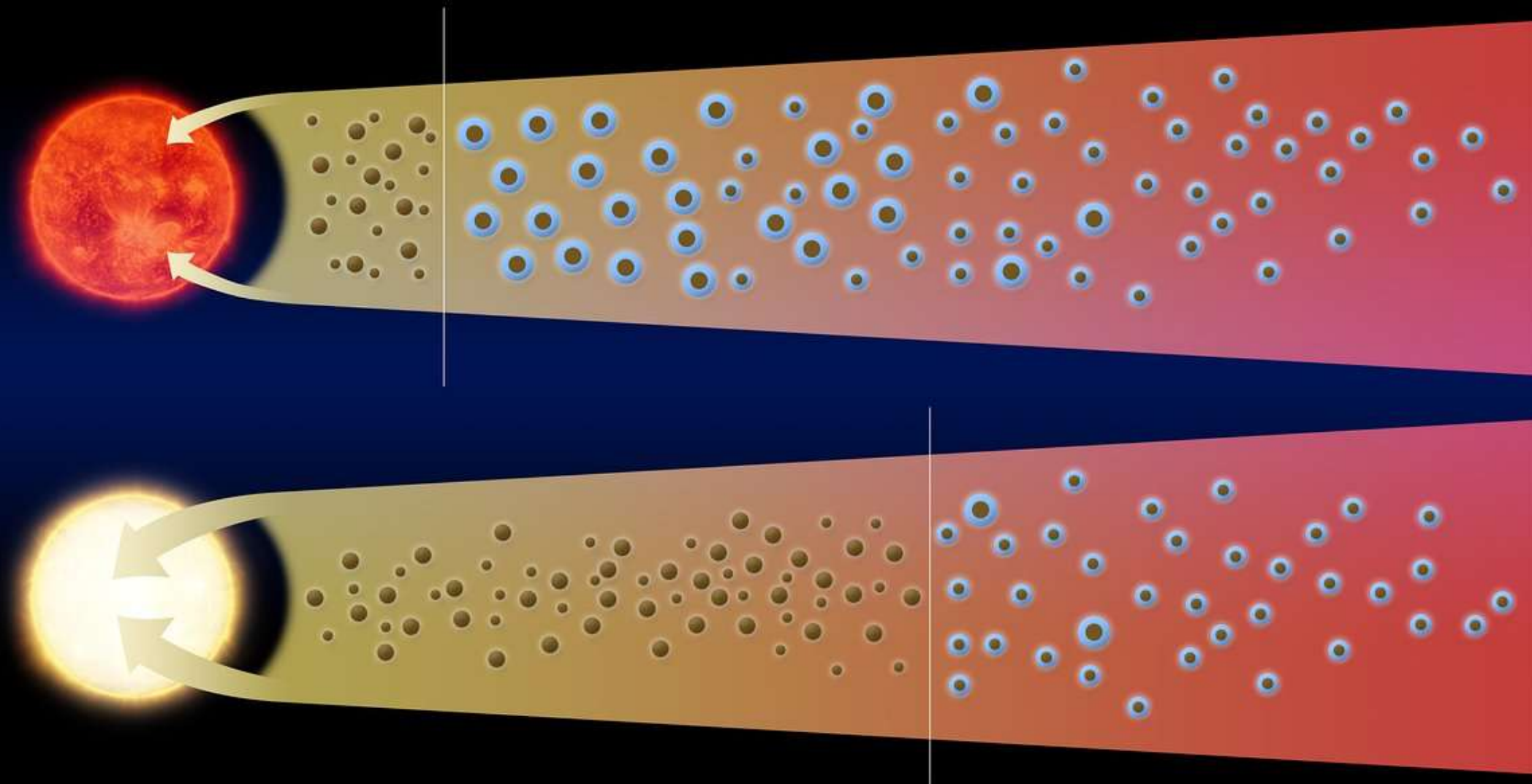
El agua se congela a 273 K (0°C) a la presión atmosférica de la Tierra, pero en los discos protoplanetarios, las presiones son mucho más bajas. A estas presiones, el punto de congelación del agua disminuye. Alrededor de 150 K es la temperatura en la que el agua en estos discos puede pasar del estado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

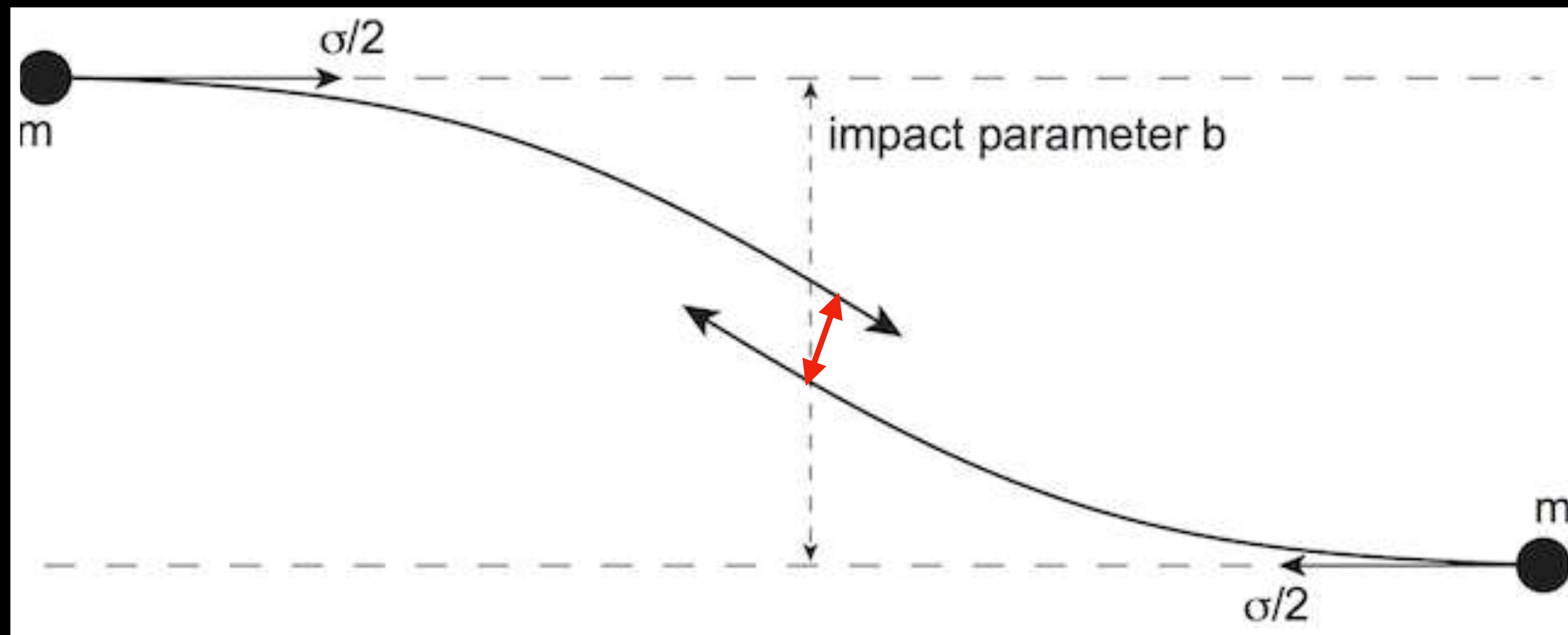


Línea de nieve

V883 Ori

Cieza et al. 2016





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

Número de Safronov

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

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

Luego, conservación de momentum angular:

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

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

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

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



JAMES B. POLLACK²

Department of Astronomy, NASA Ames Research Center, Moffett Field, California 94035

AND PAUL HUBICKY³ AND PETER BODENHEIMER

Department of Astronomy, University of California, Santa Cruz, California 95064

E-mail: peter@helios.ucsc.edu

JACK J. LISSAUER

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

AND

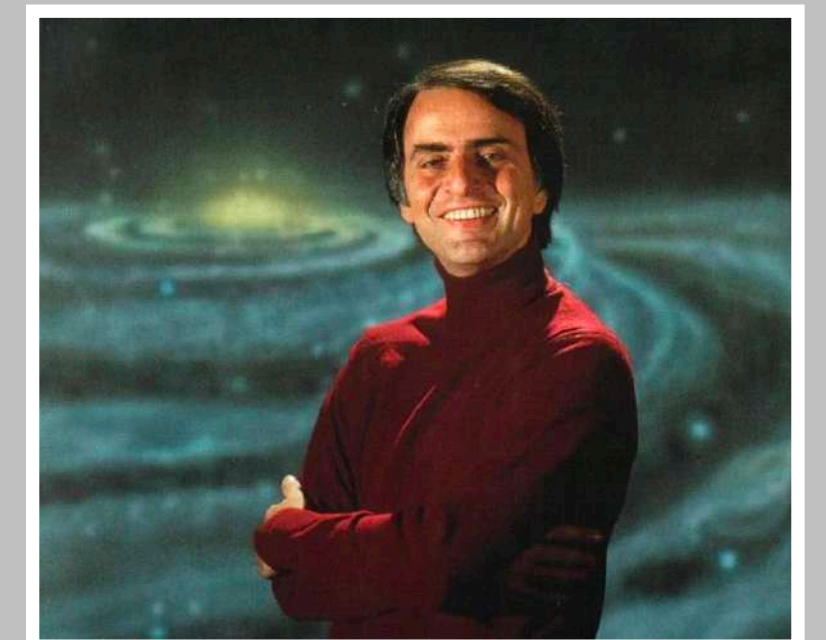
DAVID PODOLAK AND YUVAL GREENZWEIG

Department of Earth and Planetary Sciences, Tel Aviv University, Ramat Aviv, Israel, 69978

¹ UCO/Lick Ob

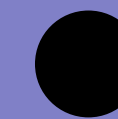
² Deceased.

³ Present address
UCSC, CA 94043.



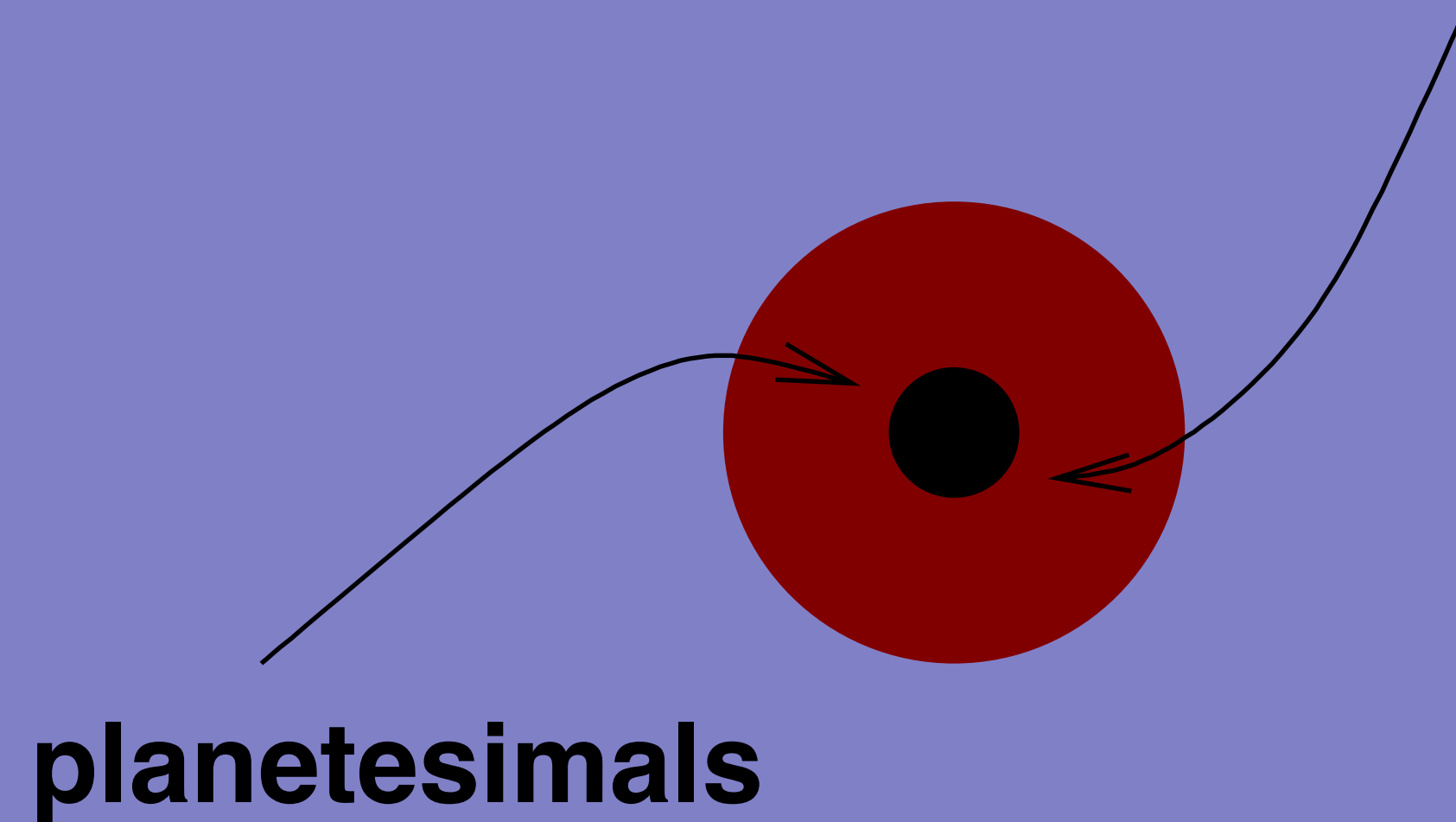
Core accretion (acreción de núcleo) Etapa 1: formación del núcleo.

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.



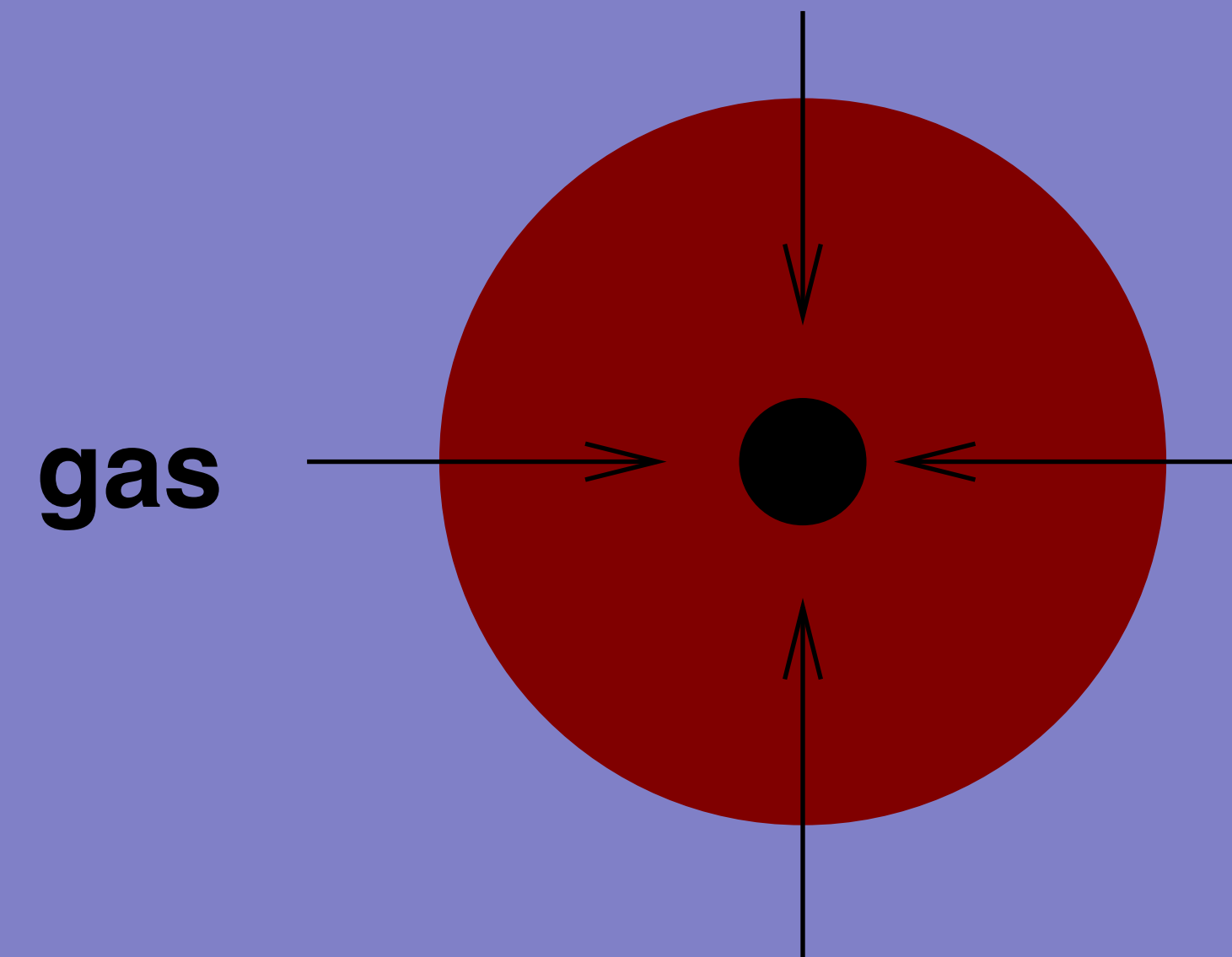
Core accretion (acreción de núcleo) Etapa 2. Crecimiento hidrostático

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.



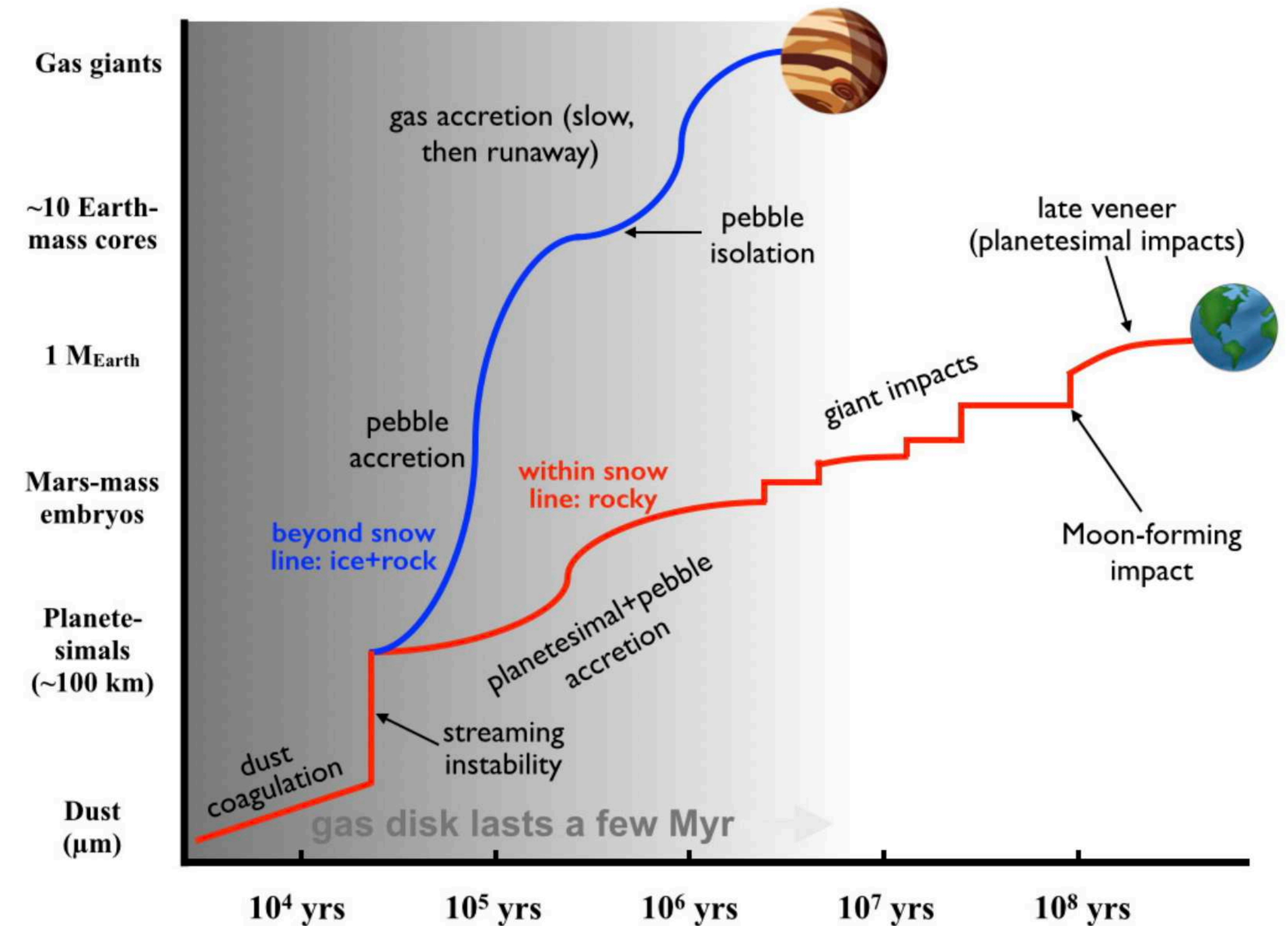
Las fases de formación planetaria deben suceder temprano

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.

2

Sean N. Raymond and Alessandro Morbidelli

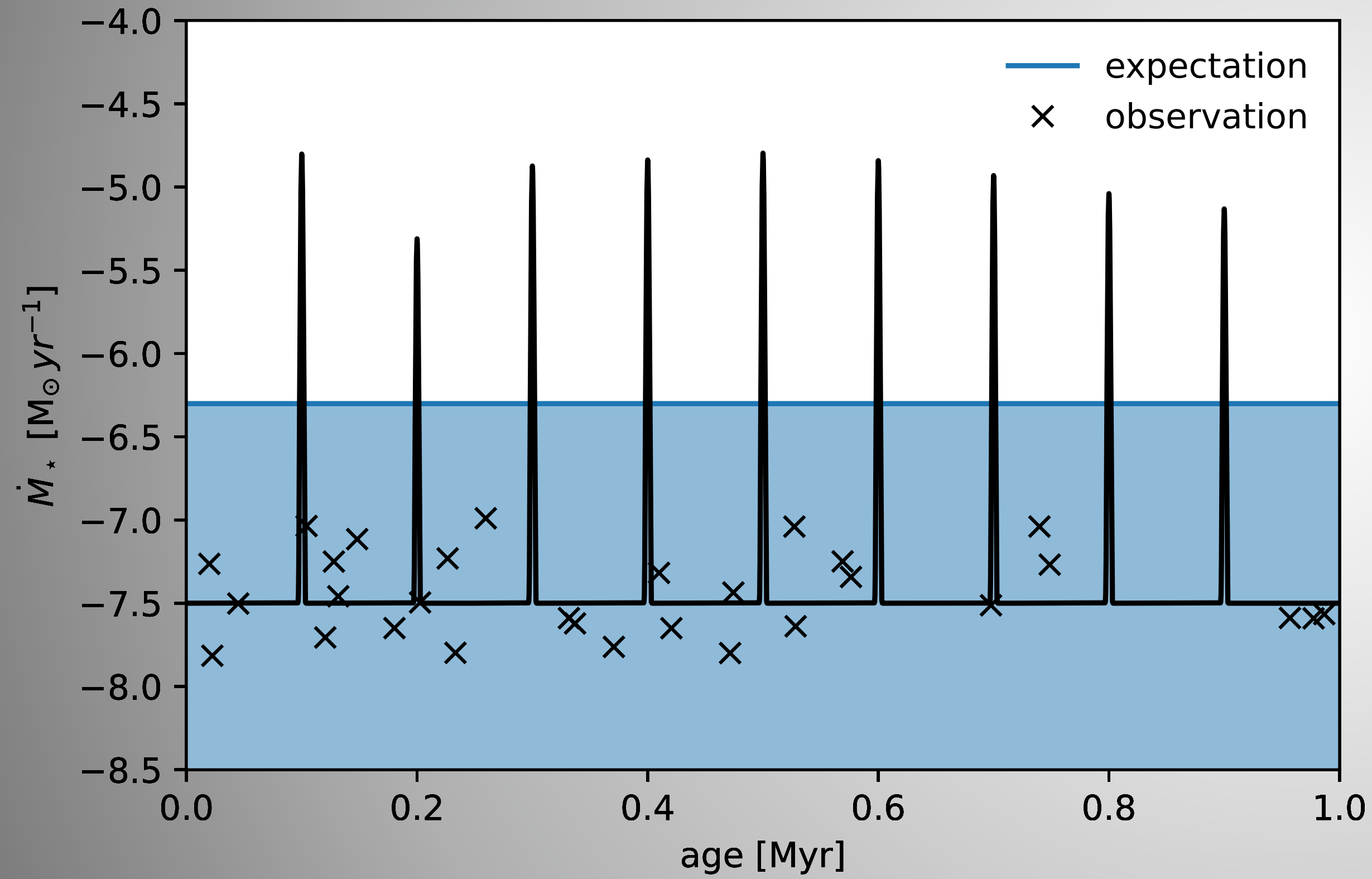


El rico se hace más rico



Un elemento clave: estrellas eruptivas TTauri

Episodic accretion



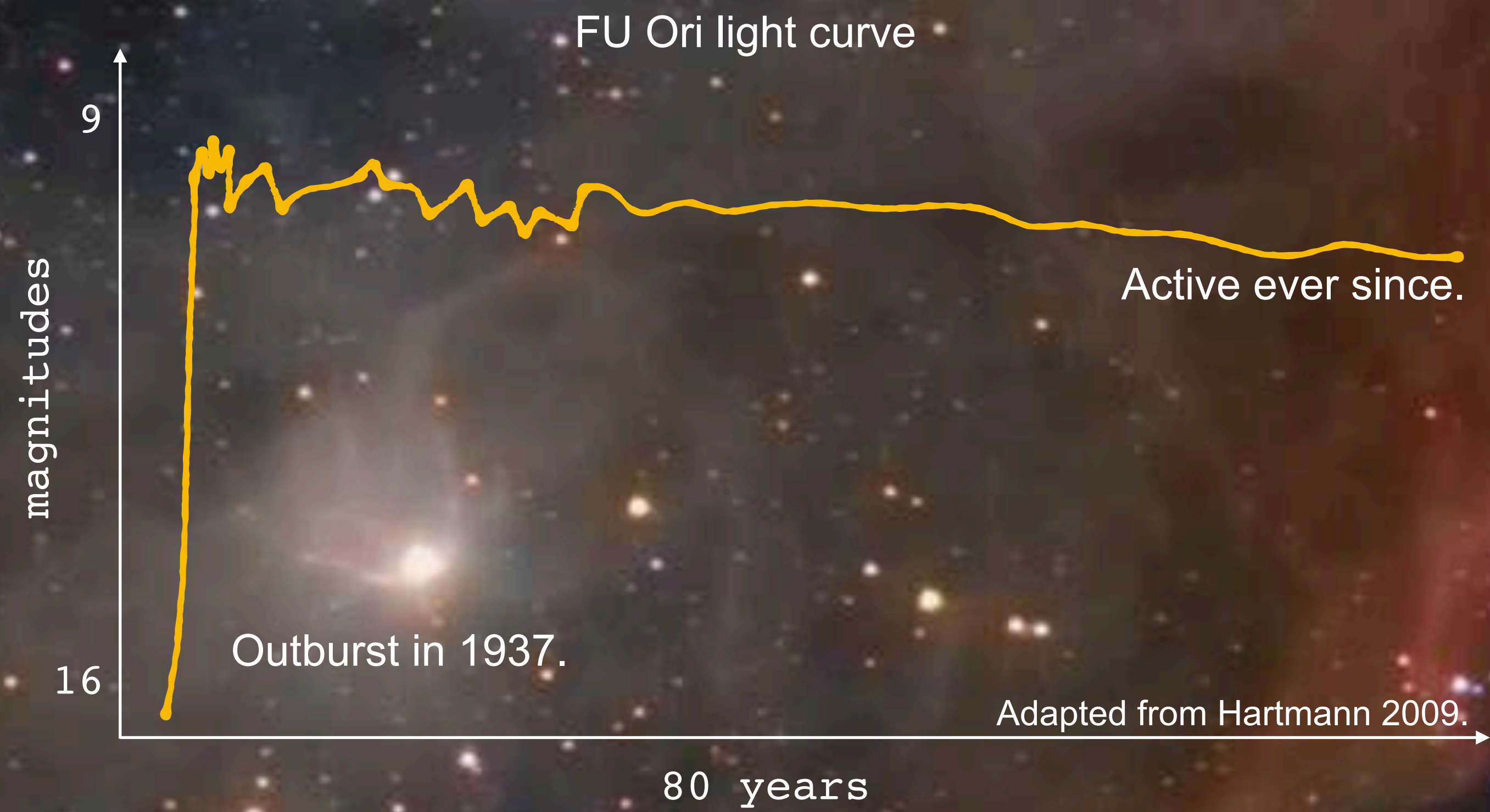


λ Orion

Bellatrix

Betelgeuse

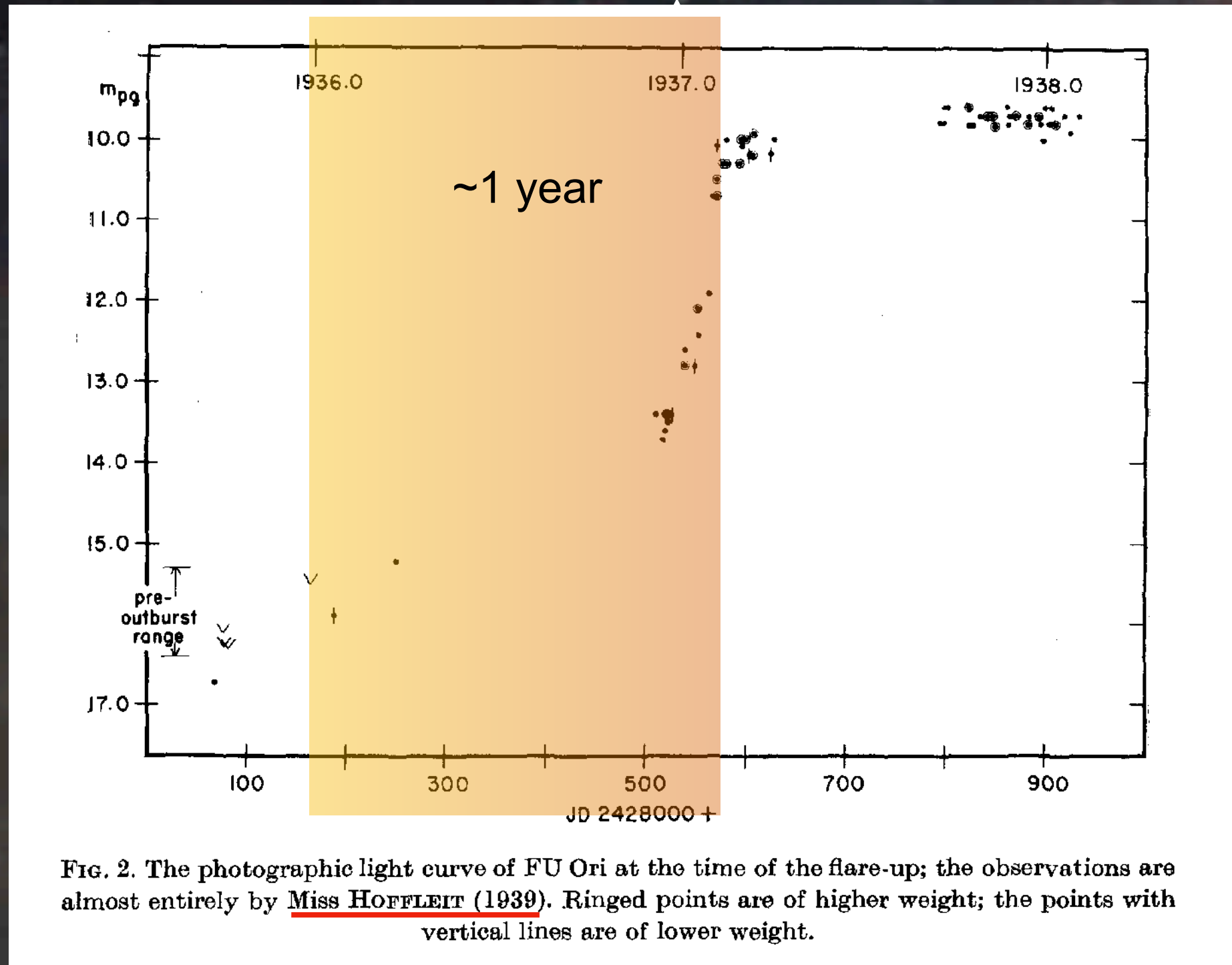






Dr Dorrit Hoffleit

FU Ori light curve

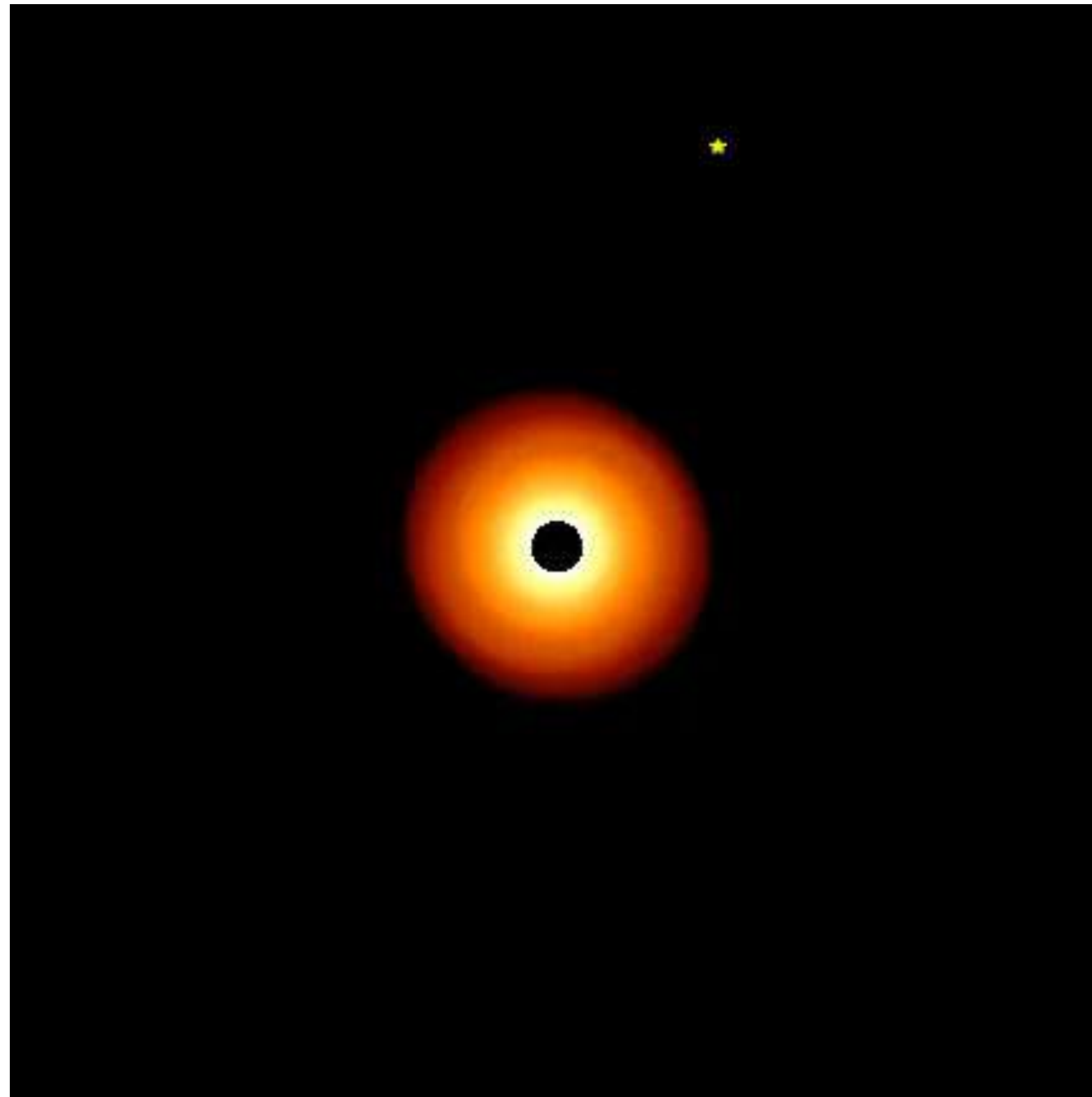


80 years

Herbig (1966)

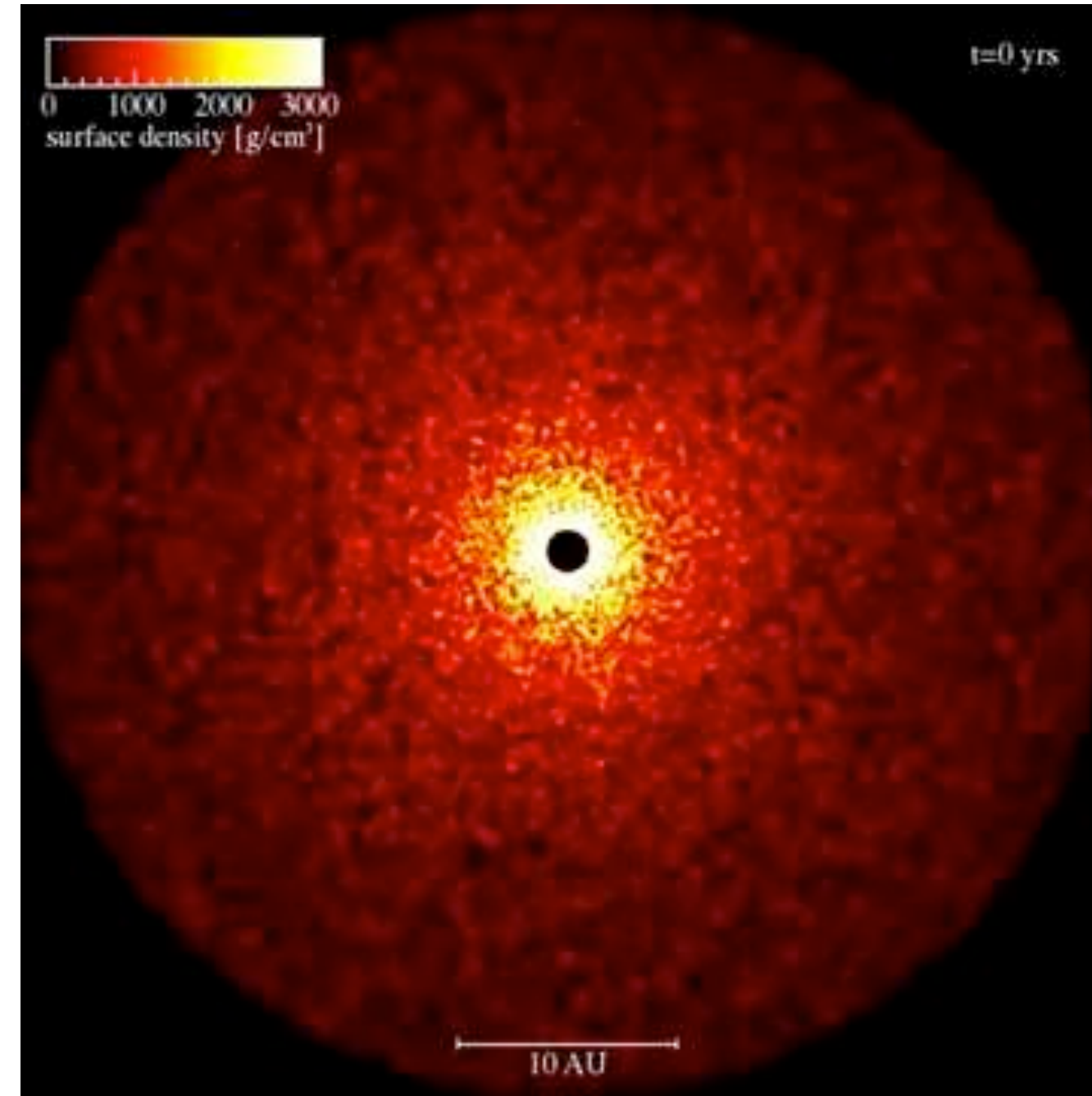
Qué causa las erupciones?

Gravitational encounters?
(flybys)



See Cuello et al. (2023) PPVII review

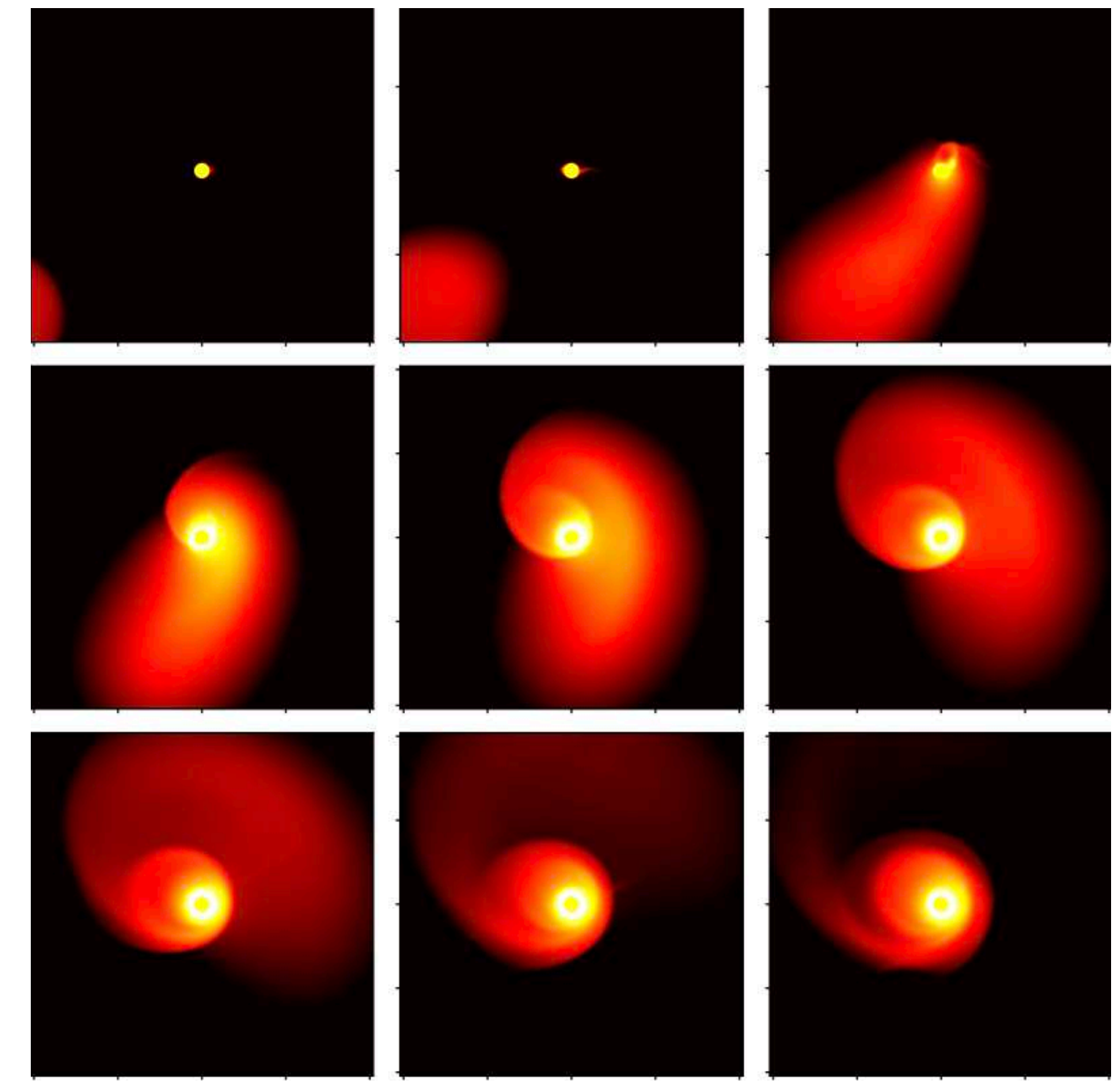
Gravitational Instability?
(clump infall)



Simulation by Daniel Price

Vorobyov & Basu (2005, 2006, 2008)
Zhu (2007, 2012)

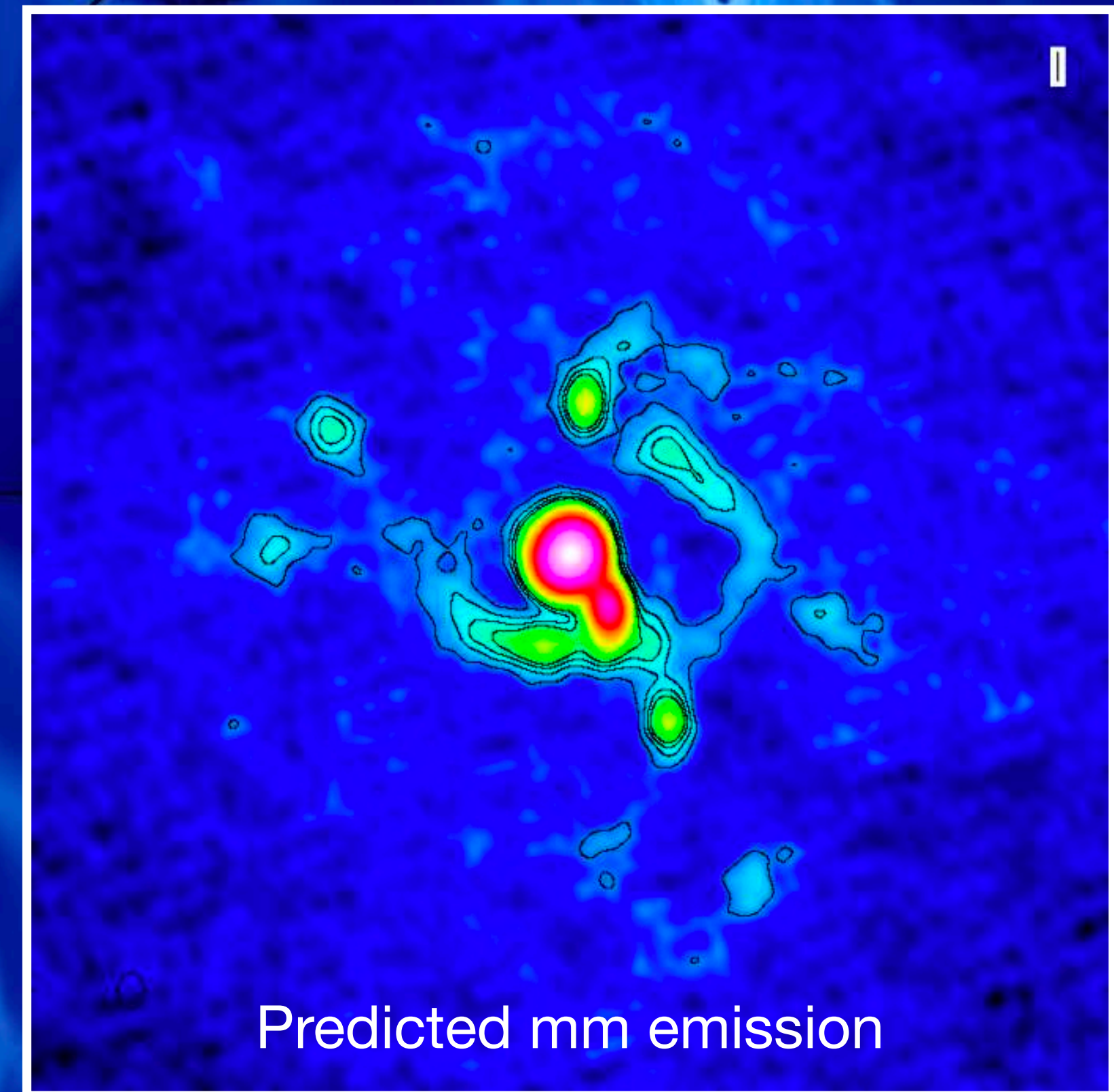
Cloudlet accretion?
Rejuvenating infall?



Dullemond et al. 2019
Kuffmeier et al. 2018

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

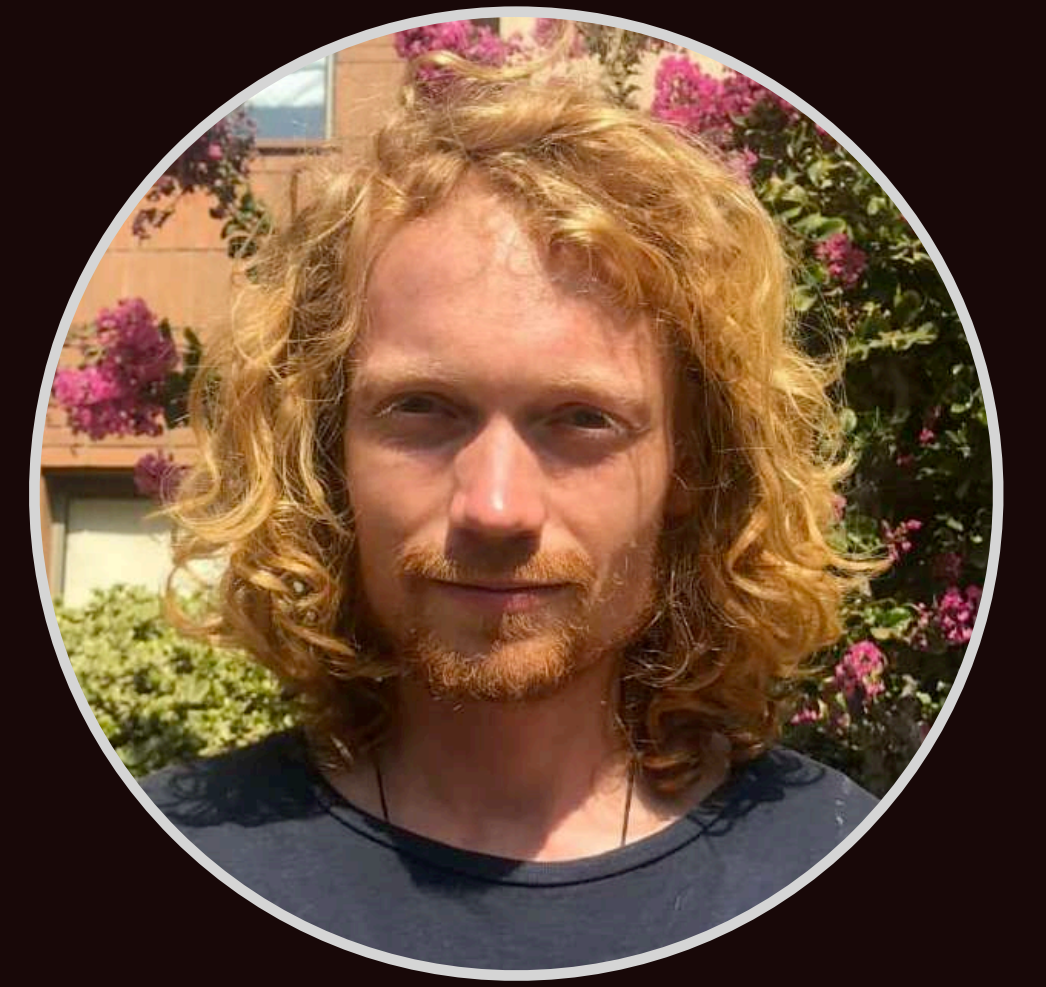
Does Gravitational Instability actually play a role for planet formation?
Does Gravitational Instability actually play a role for FUor outbursts?



Clump formation and migration (Zhu et al. 2012)



V960 Mon



Philipp Weber

