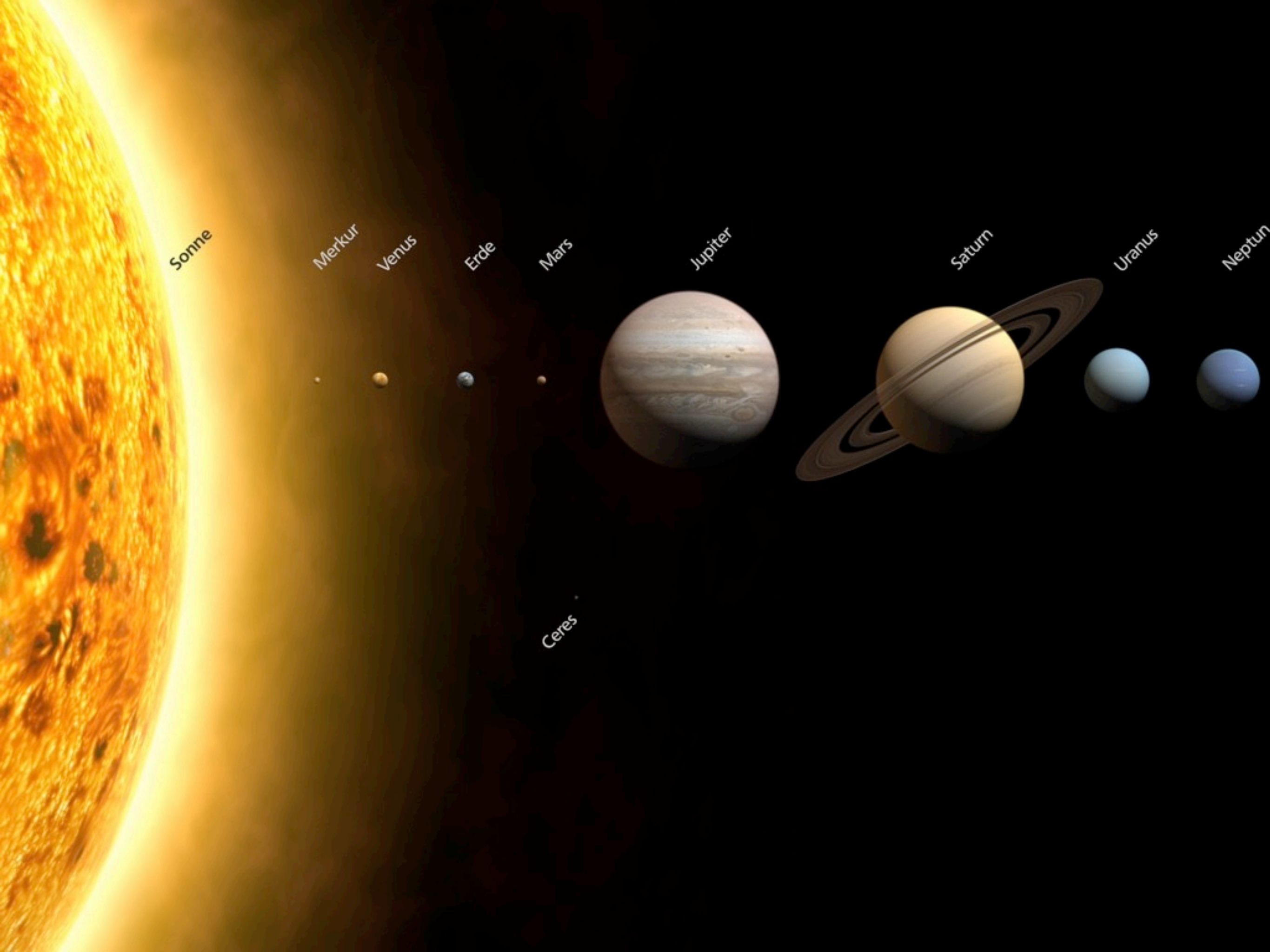




Wie entstehen Planetensysteme?

von
Robi Banerjee
(Hamburger Sternwarte, Uni HH)



Sonne

Merkur

Venus

Erde

Mars

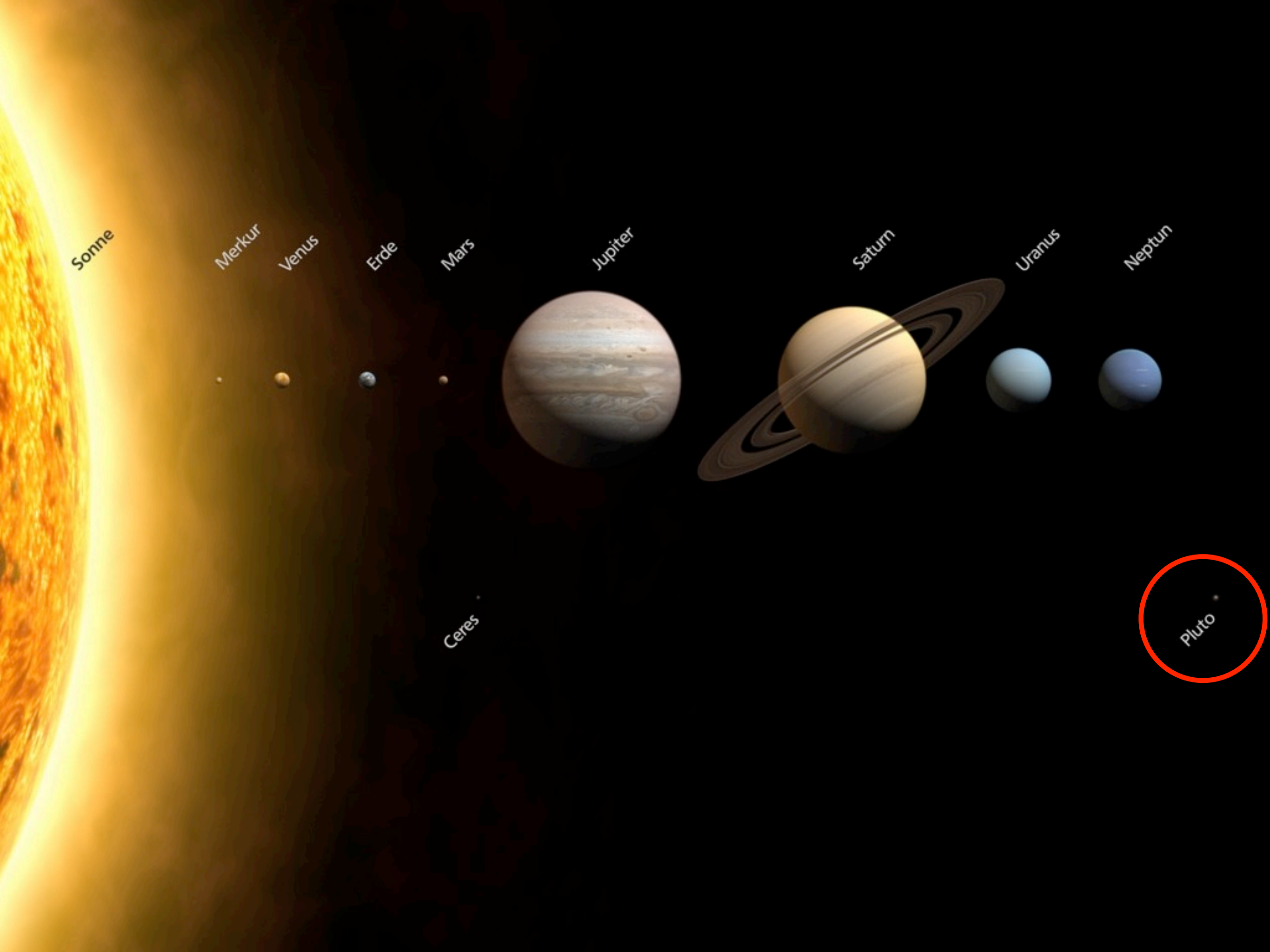
Jupiter

Saturn

Uranus

Neptun

Ceres



Sonne

Merkur

Venus

Erde

Mars

Jupiter

Saturn

Uranus

Neptun

Ceres

Pluto



IAU Resolution: Pluto

RESOLUTION 6A

The IAU further resolves:

Pluto is a "dwarf planet" by the above definition and is recognized as the prototype of a new category of Trans-Neptunian Objects.

RESOLUTION 6B

The following sentence is added to Resolution 6A:

This category is to be called "plutonian objects."

Planetentypen

Merkur



Venus



Erde



Mars



NASA

Terrestrische Planeten

- fester Aufbau: "rocks"
- Entfernung zur Sonne: $a \leq 1.5 \text{ AU}$

Planetentypen



Jupiter



Saturn



Uranus



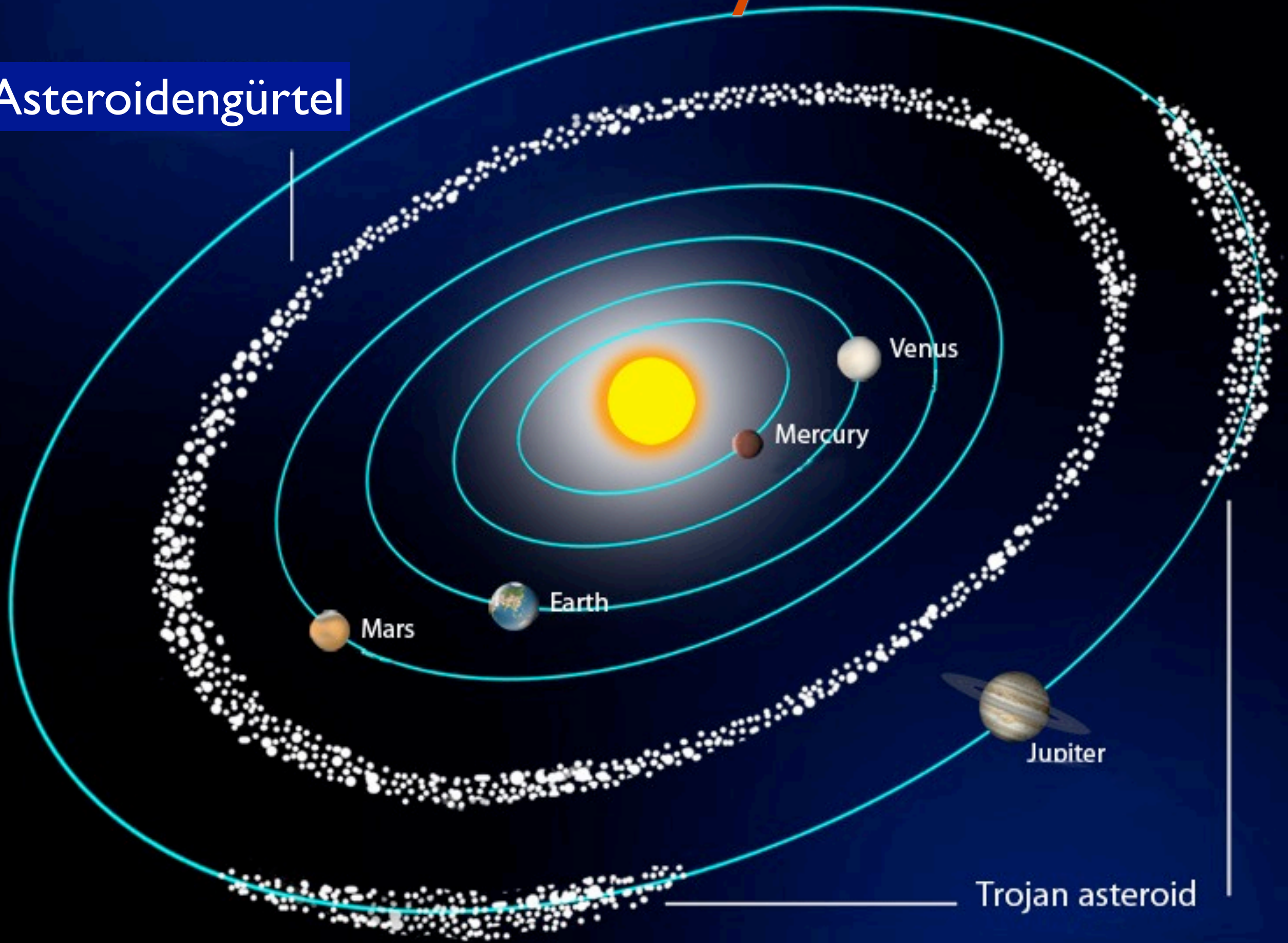
Neptun

Gasplaneten / Gasriesen

- Gasbälle mit festem Kern
- Entfernung zur Sonne: $a > 5 \text{ AU}$

Planetensystem

Asteroidengürtel



Entstehung von Planetensystemen



Sternentstehung



M i l k y W a y G a l a x y

- Typische Galaxy: ~ 100 Milliarden Sterne
- Interstellare Medium (ISM): atomares Gas, ionisiert, neutral, $T \sim$ tausend - Million Grad
- Dunkelwolken: H , H_2 (99% der Masse), CO , Staub (1%)
- Sternentstehungsrate heute: 3-5/Jahr



Elephantenrüssel Nebel - IC 1396A



“Mystic Mountain” in Carina Nebula, *HST*, NASA, ESA

Hubble Teleskop: "Säulen der Schöpfung" im Adlernebel



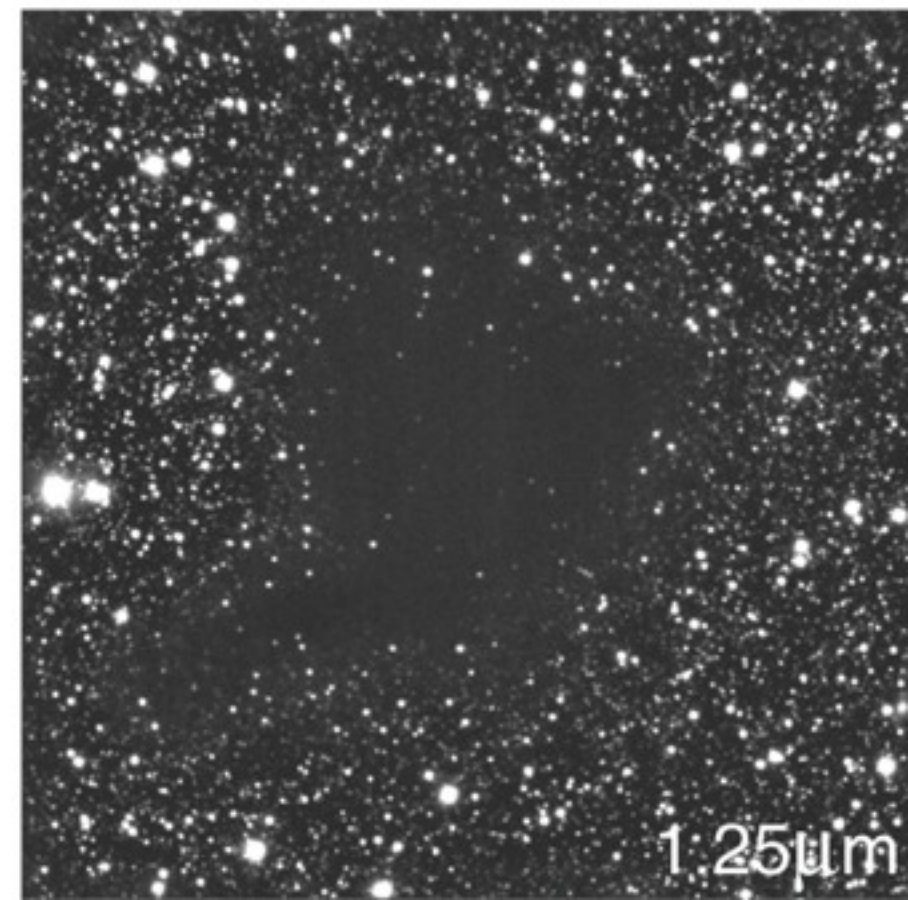
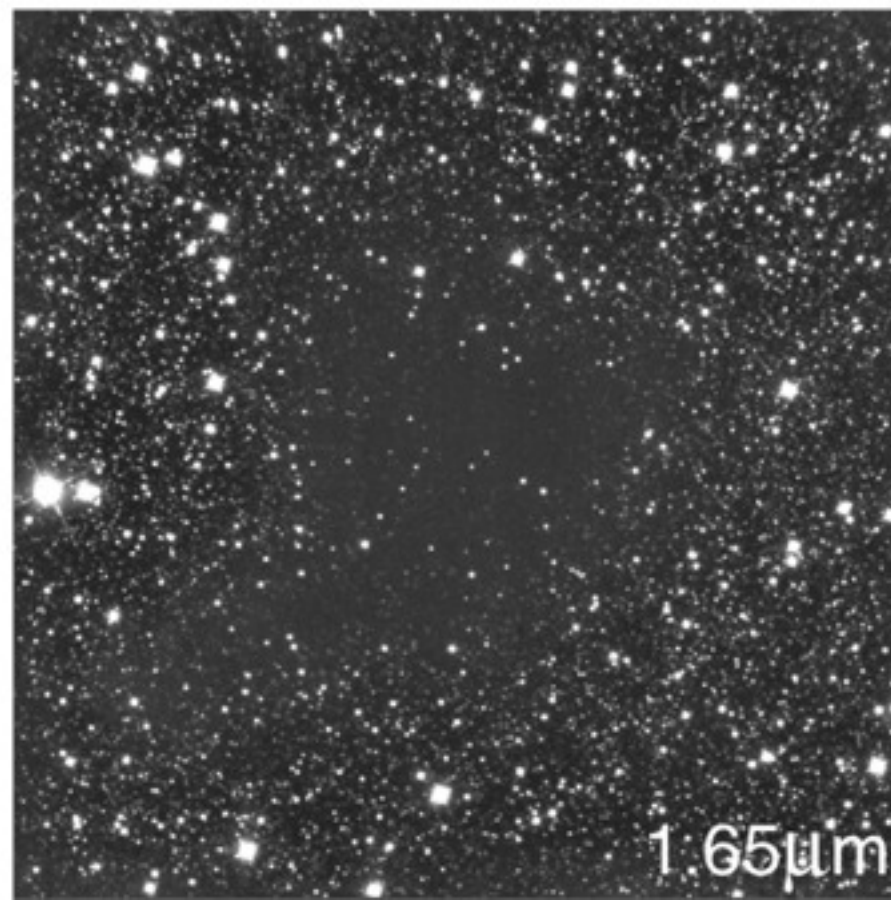
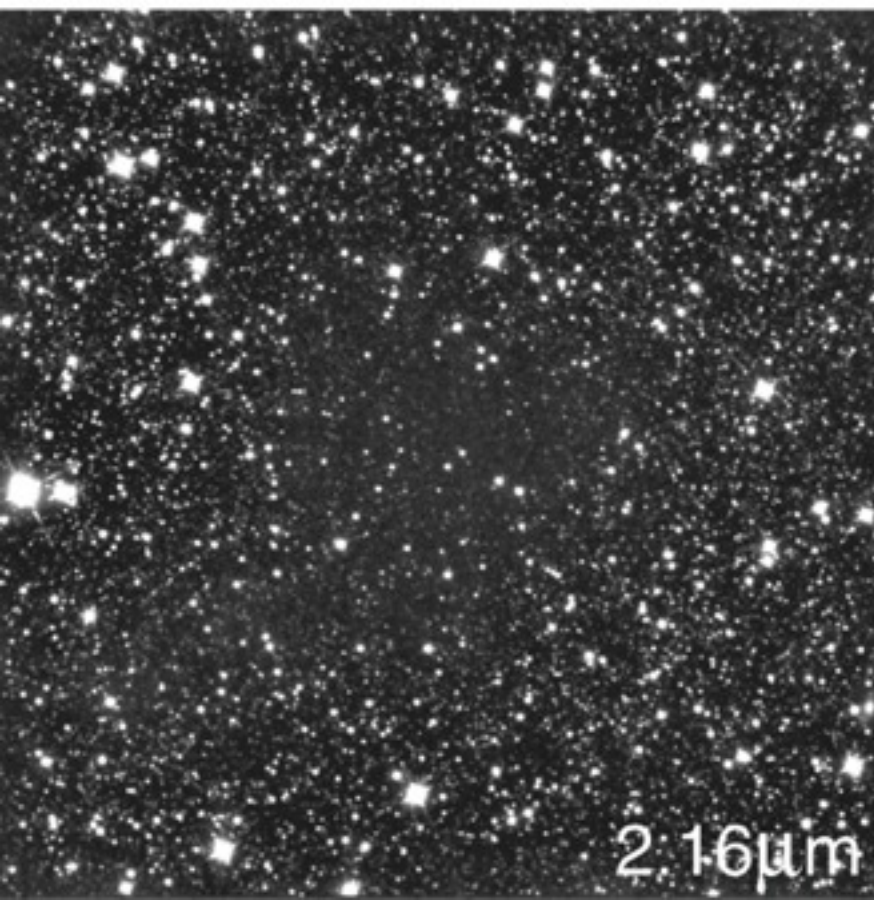
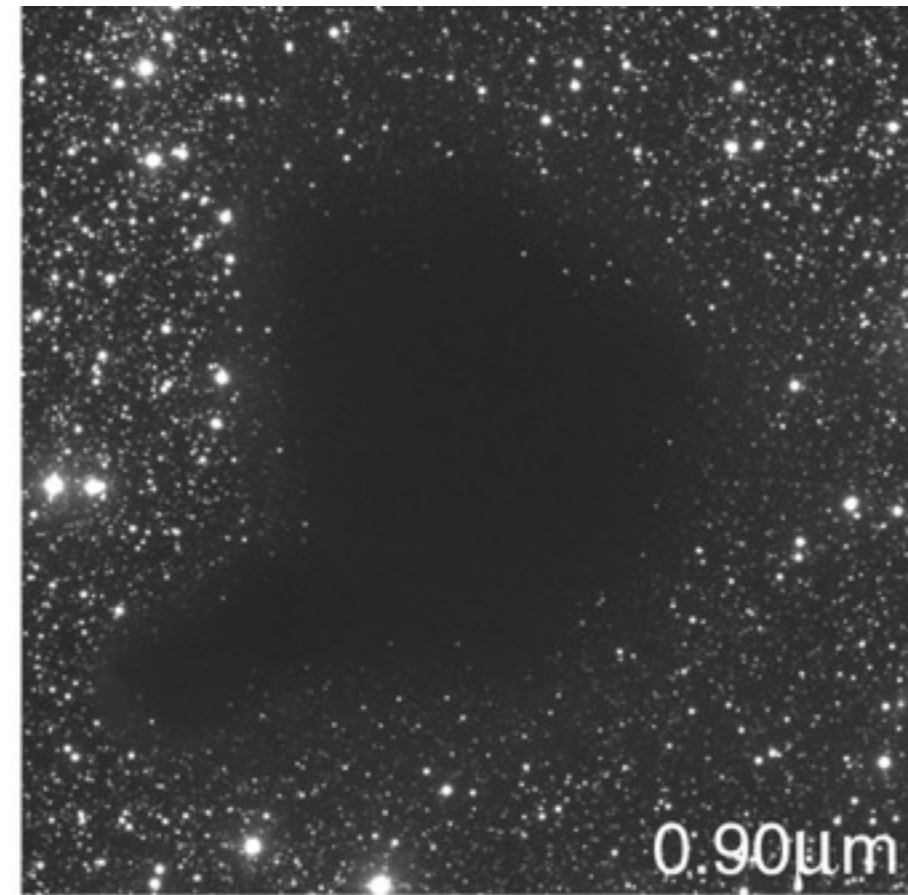
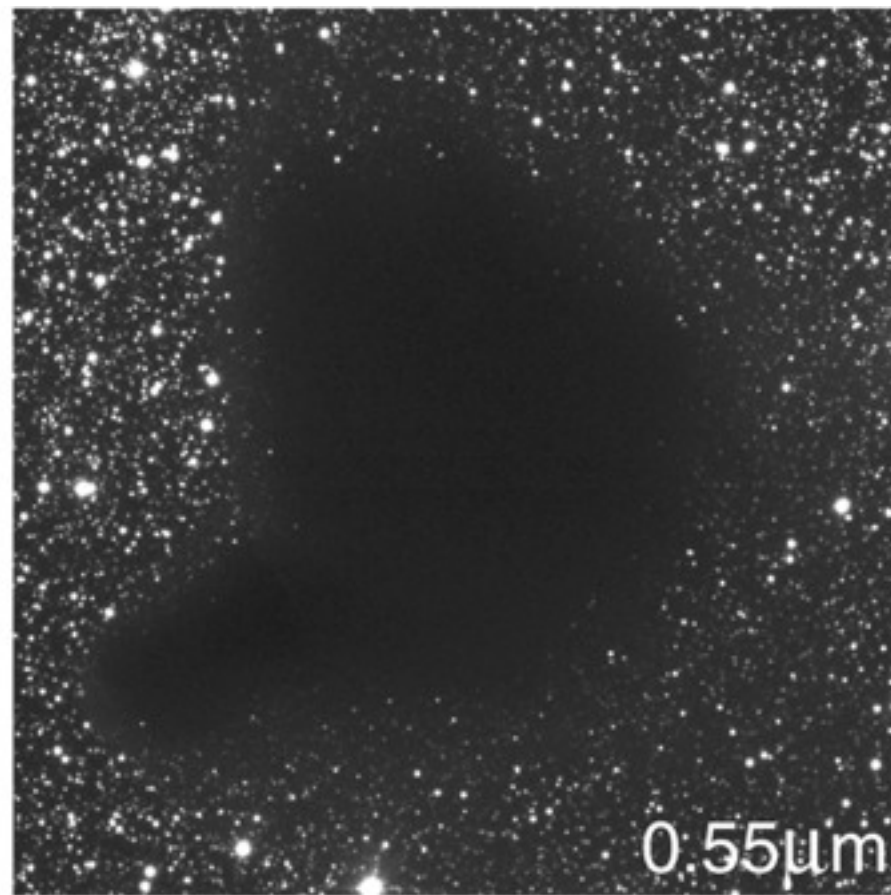
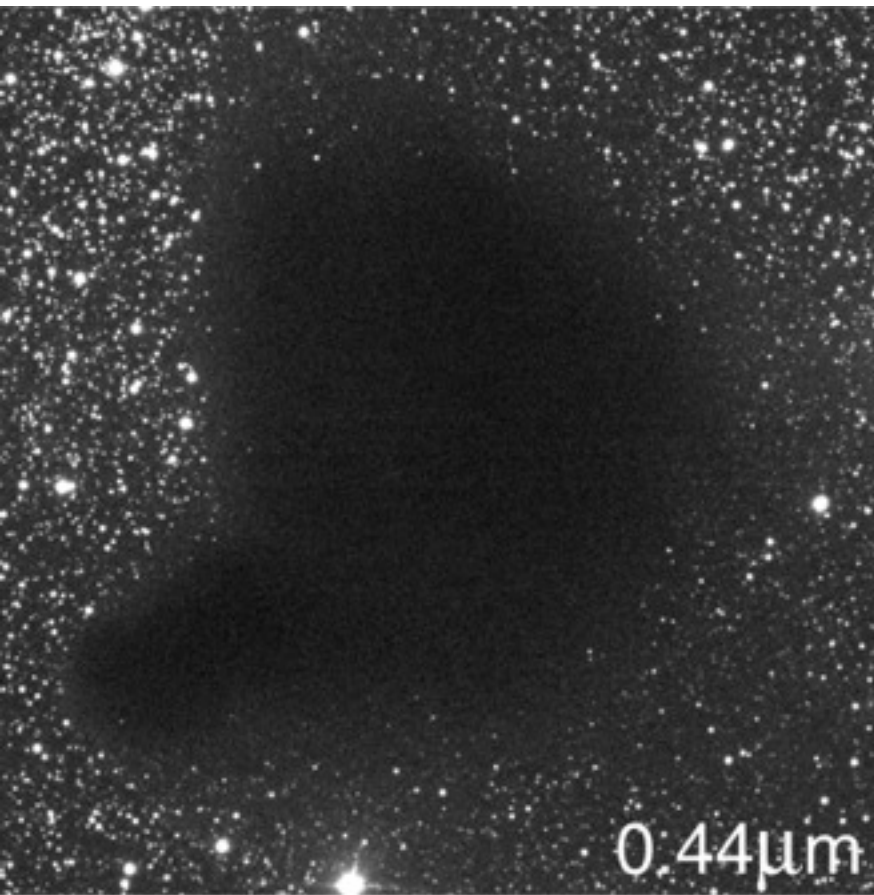


kosmischer Staub

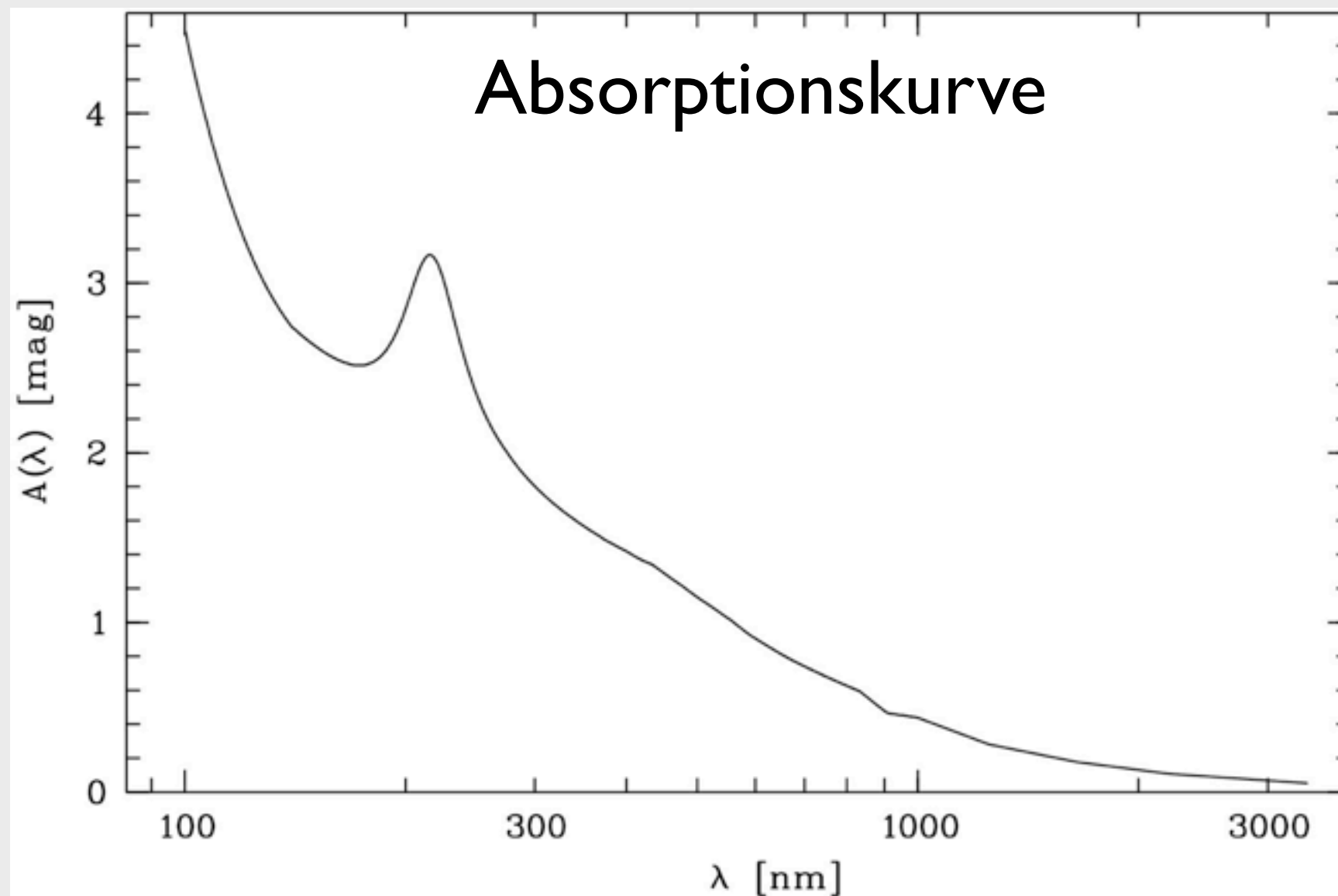
"Säulen der Schöpfung" im Adler-Nebel (M16)



kosmischer Staub

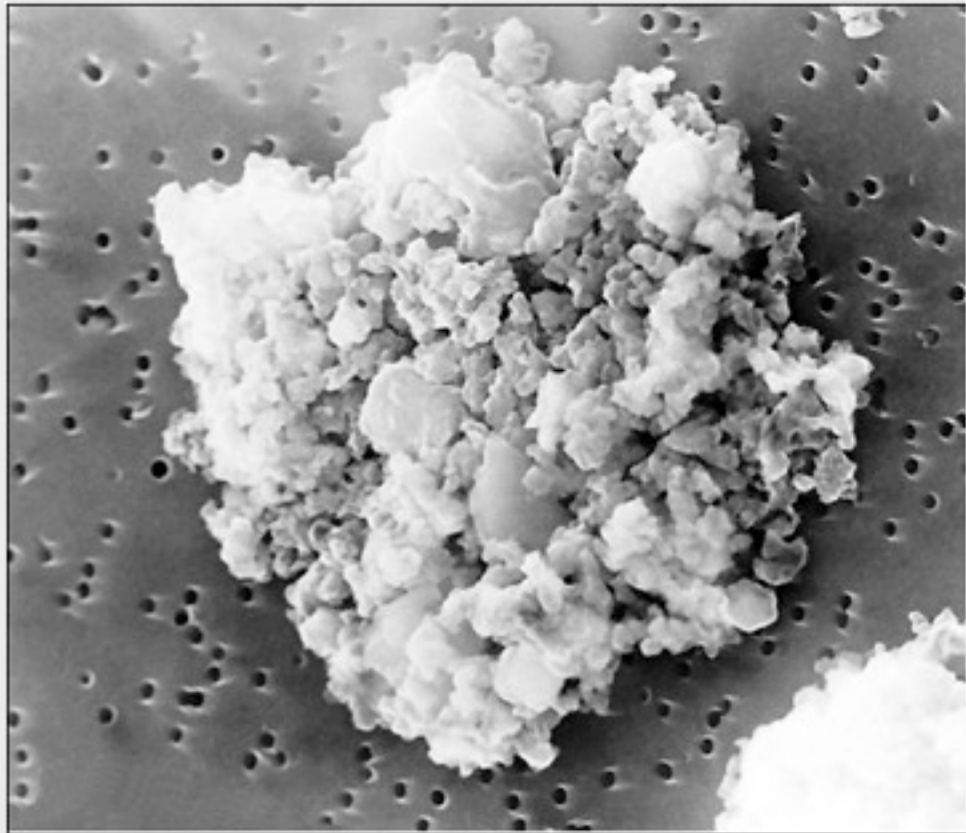


kosmischer Staub

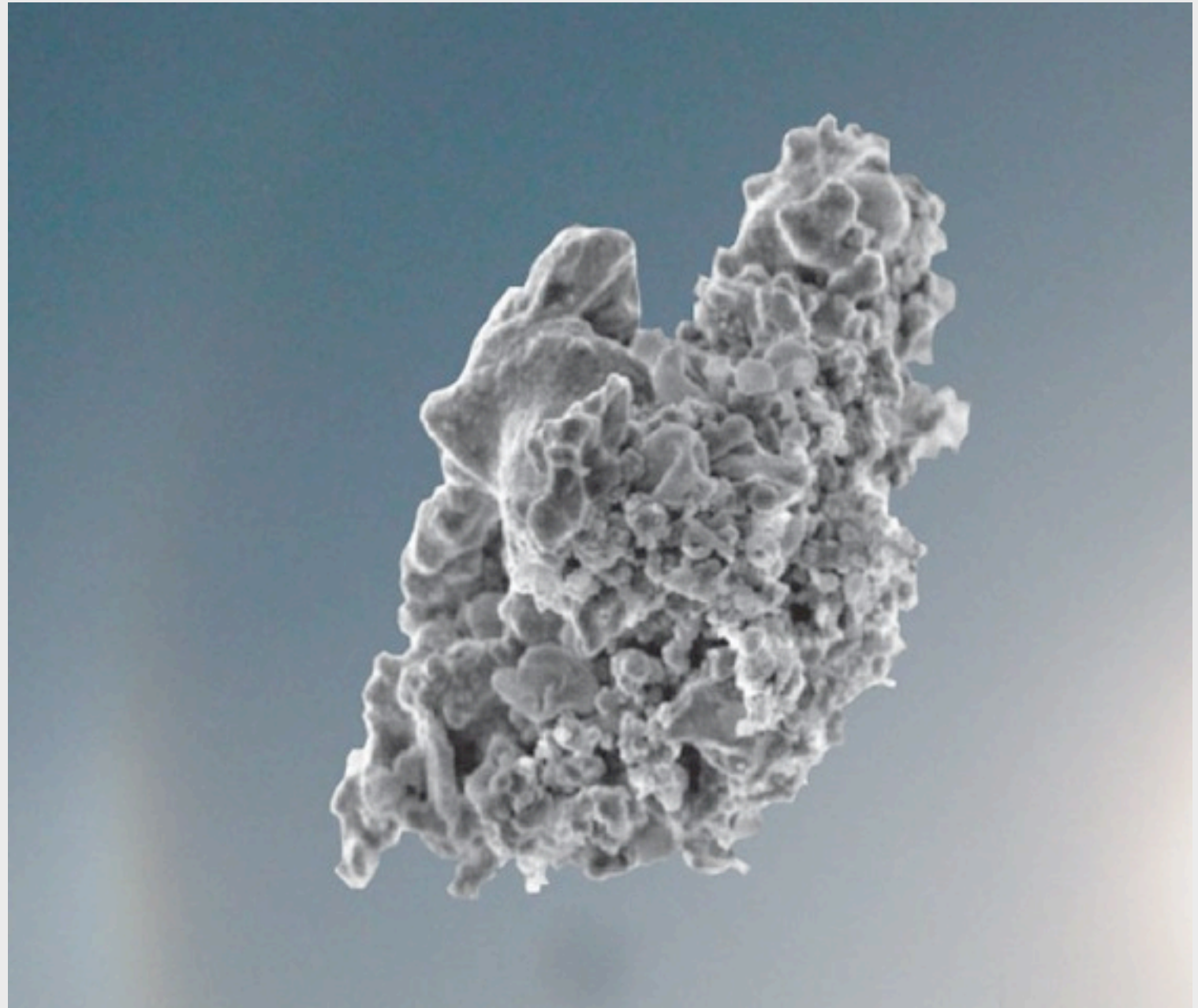


- Untersuchung bei verschiedenen Wellenlängen
 - ⇒ Staubzusammensetzung: Silikate, Graphit, Eis, ...
 - ⇒ Staubgröße $\sim 0.1 - 10 \mu\text{m}$

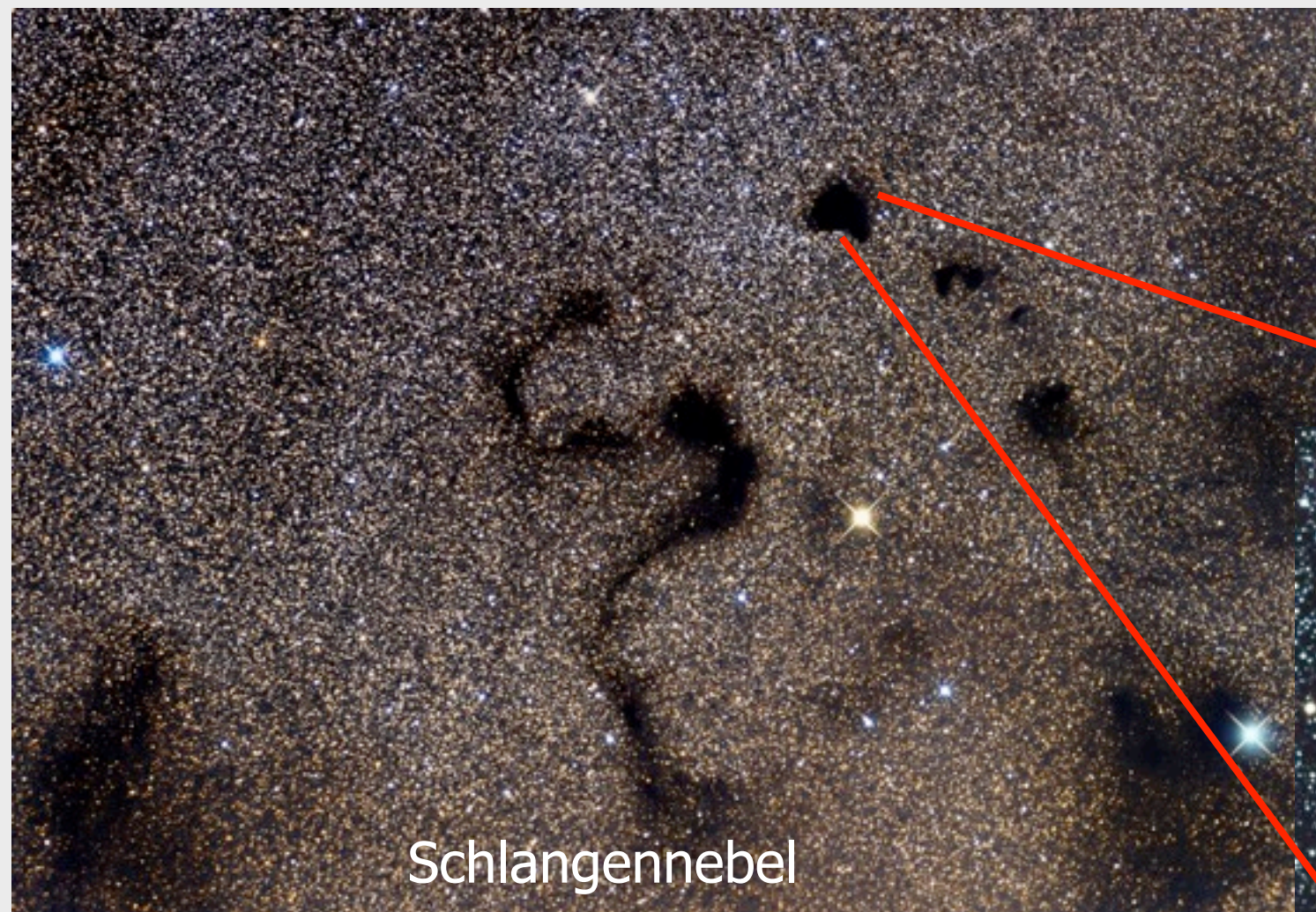
kosmischer Staub



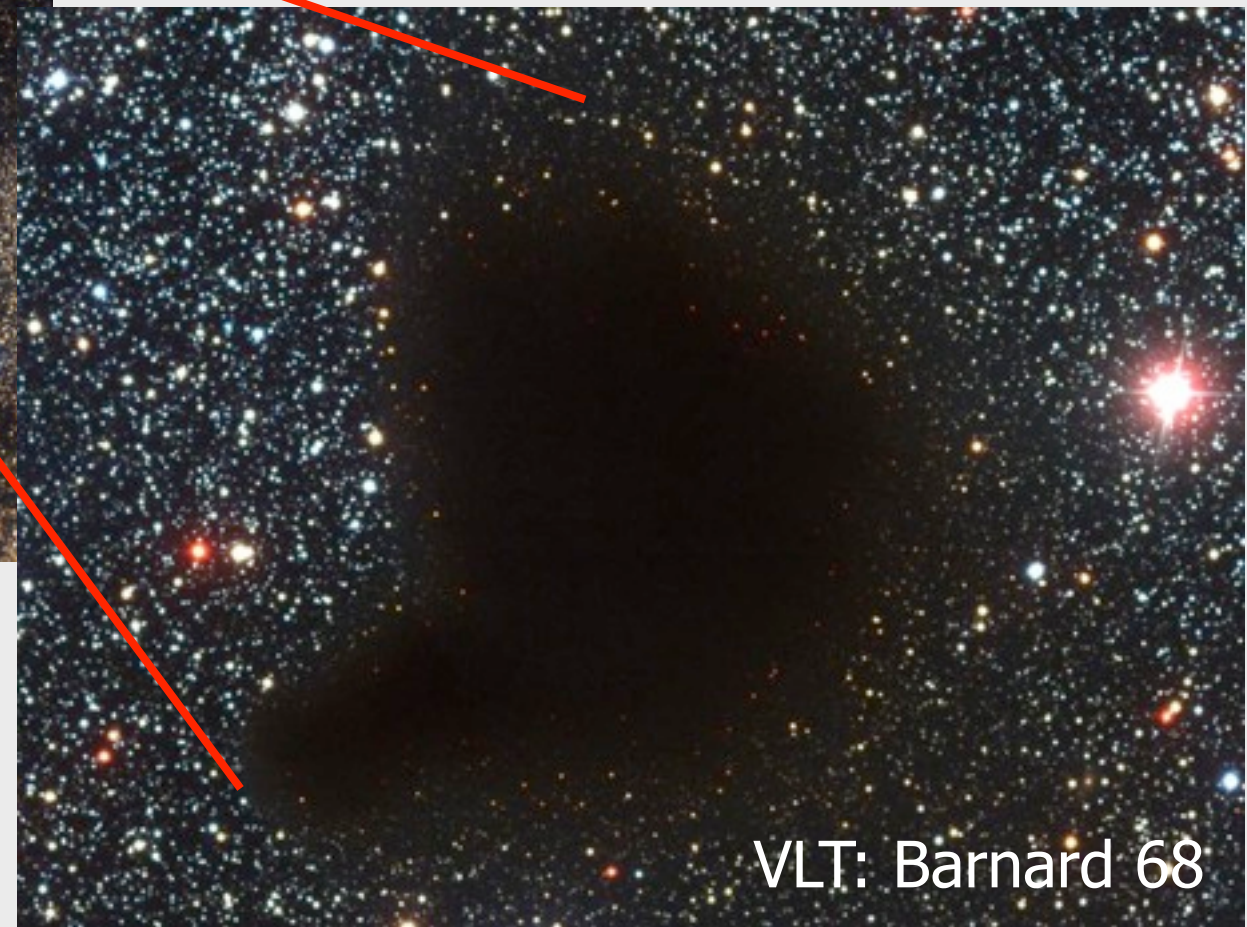
- Zusammensetzung:
Silikate, Graphit, Eis, ...
- Größe: 0.1 – 10 μm



Sternentstehung



Schlangennebel

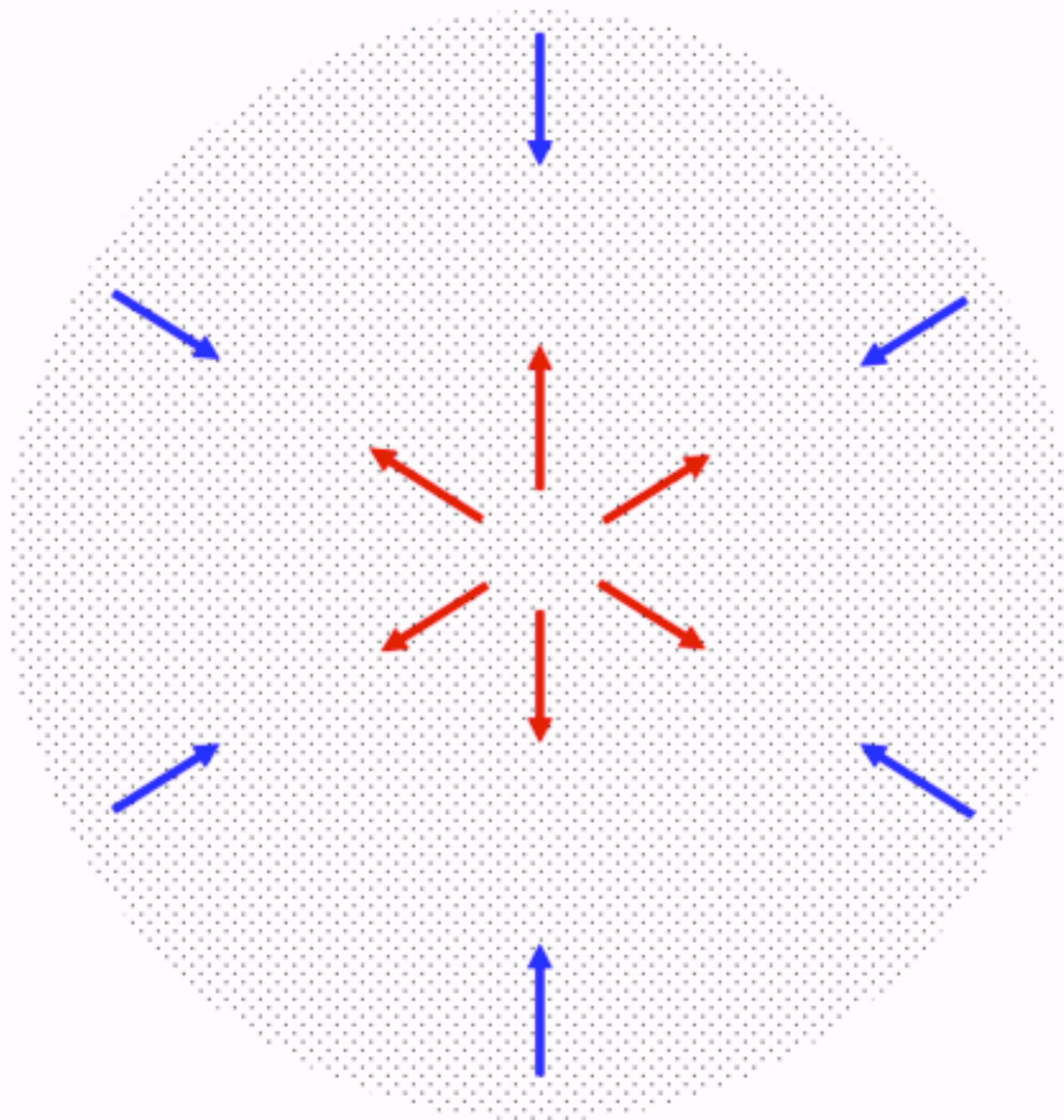


VLT: Barnard 68

Bok Globule

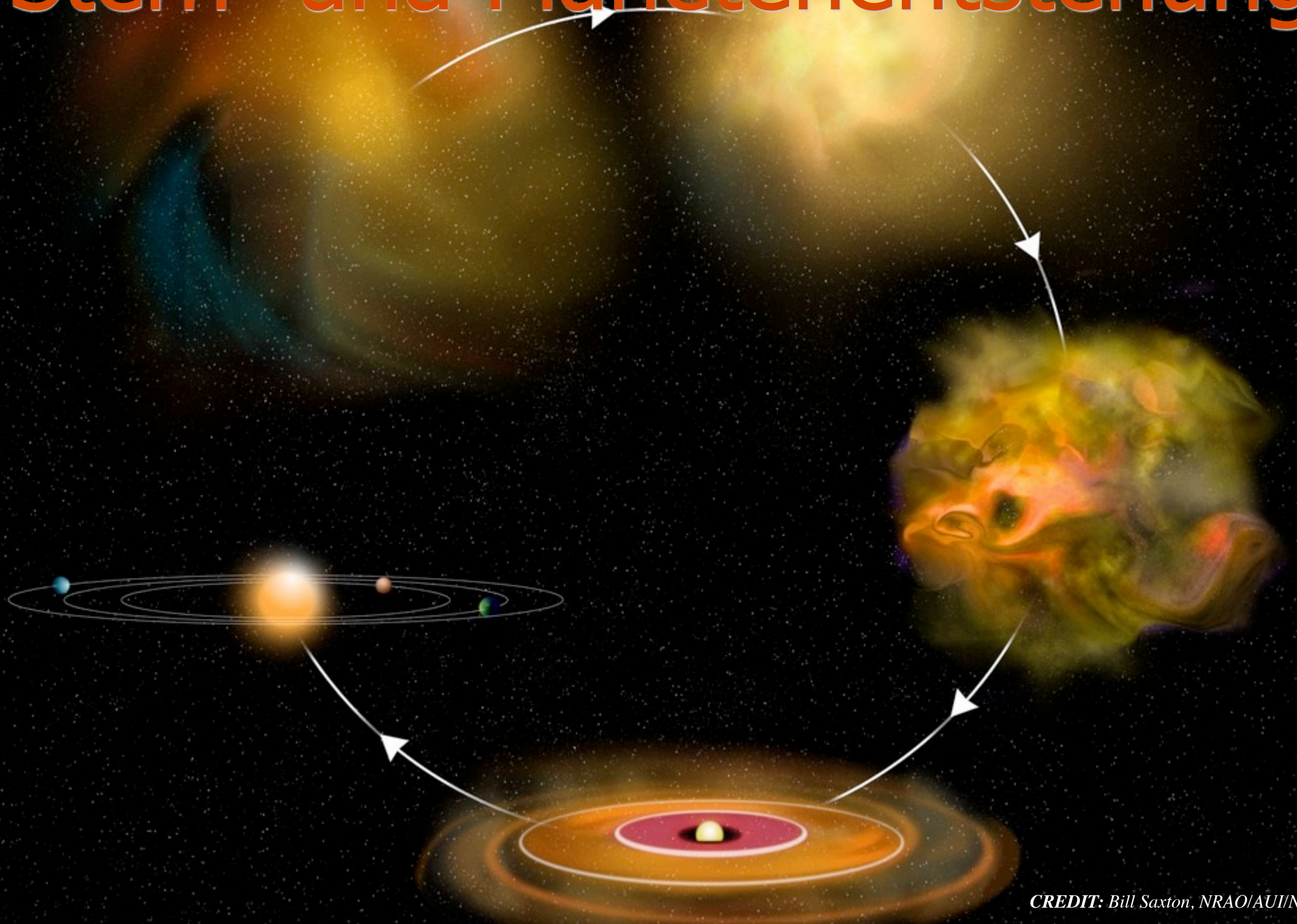
- Gasmasse: einige M_{sol}
- $D \sim 10.000 \text{ AU}$

Gravitations-Instabilität



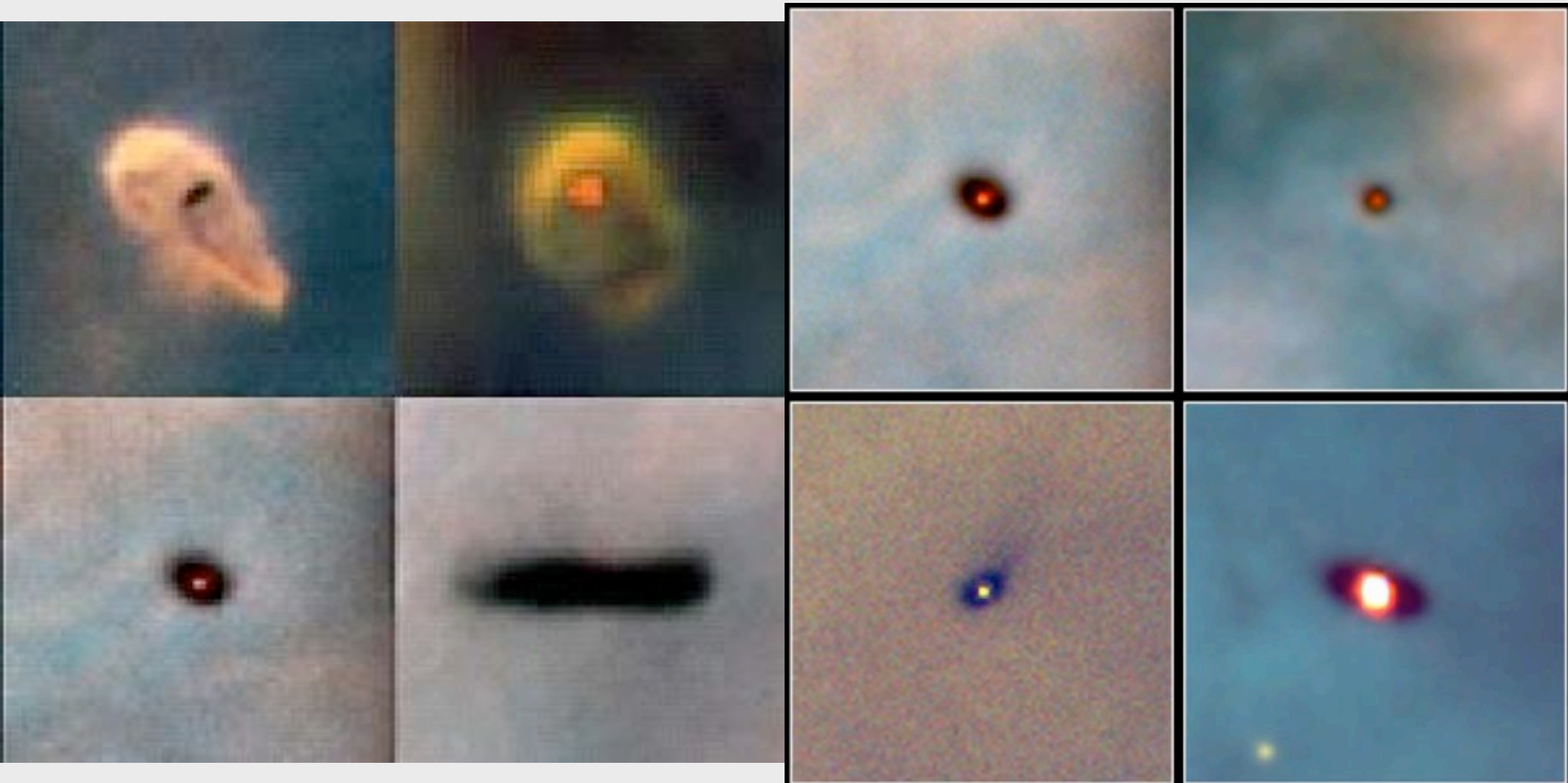
- ↓ Gravitationsdruck
- ↑ Druck durch
Teilchenbewegung
(Thermischer Druck)

Stern- und Planetenentstehung



CREDIT: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF

Protoplanetare Scheiben



**Protoplanetary Disks
Orion Nebula**

HST • WFPC2

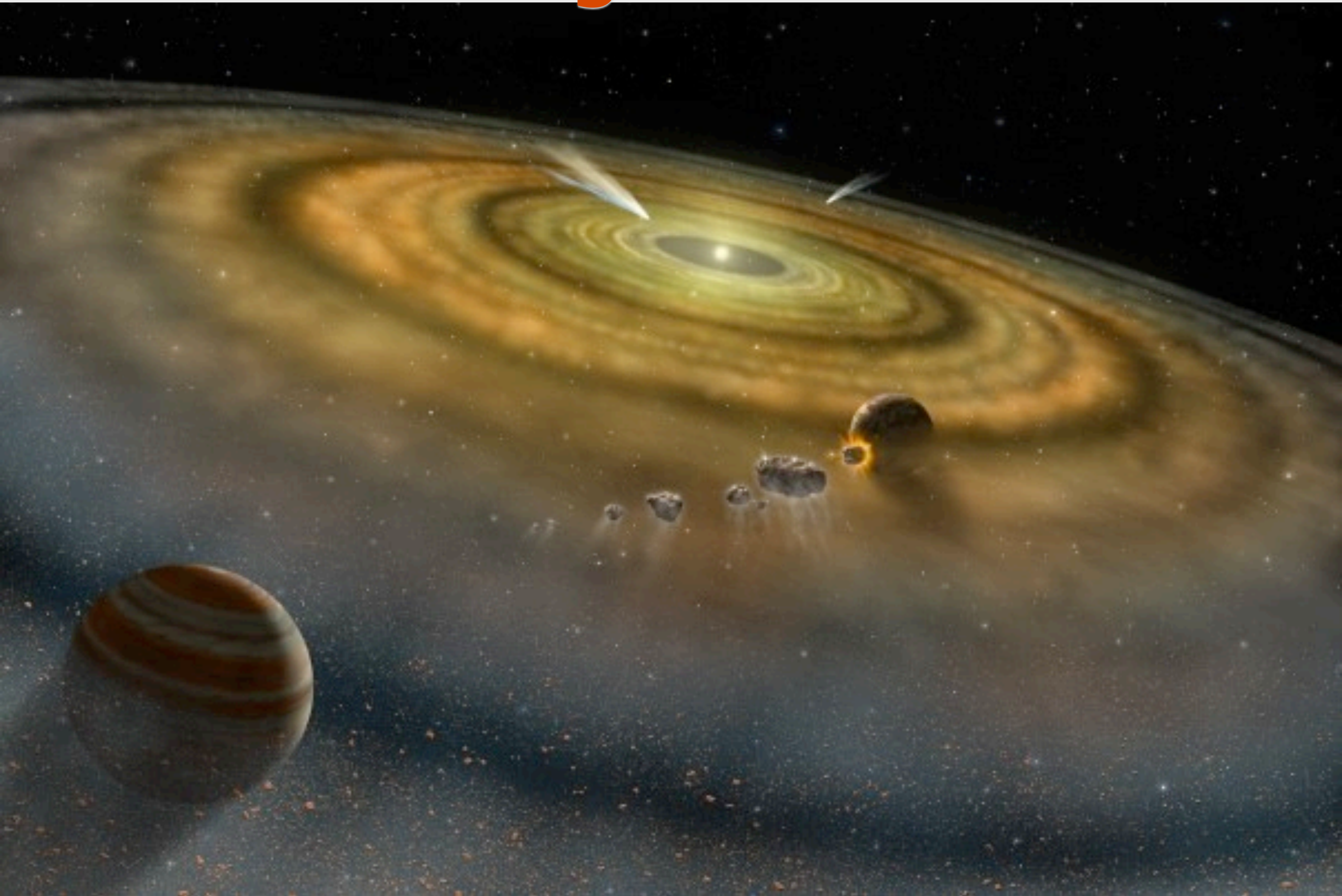
PRC95-45b • ST ScI OPO • November 20, 1995

M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

Protoplanetare Scheiben

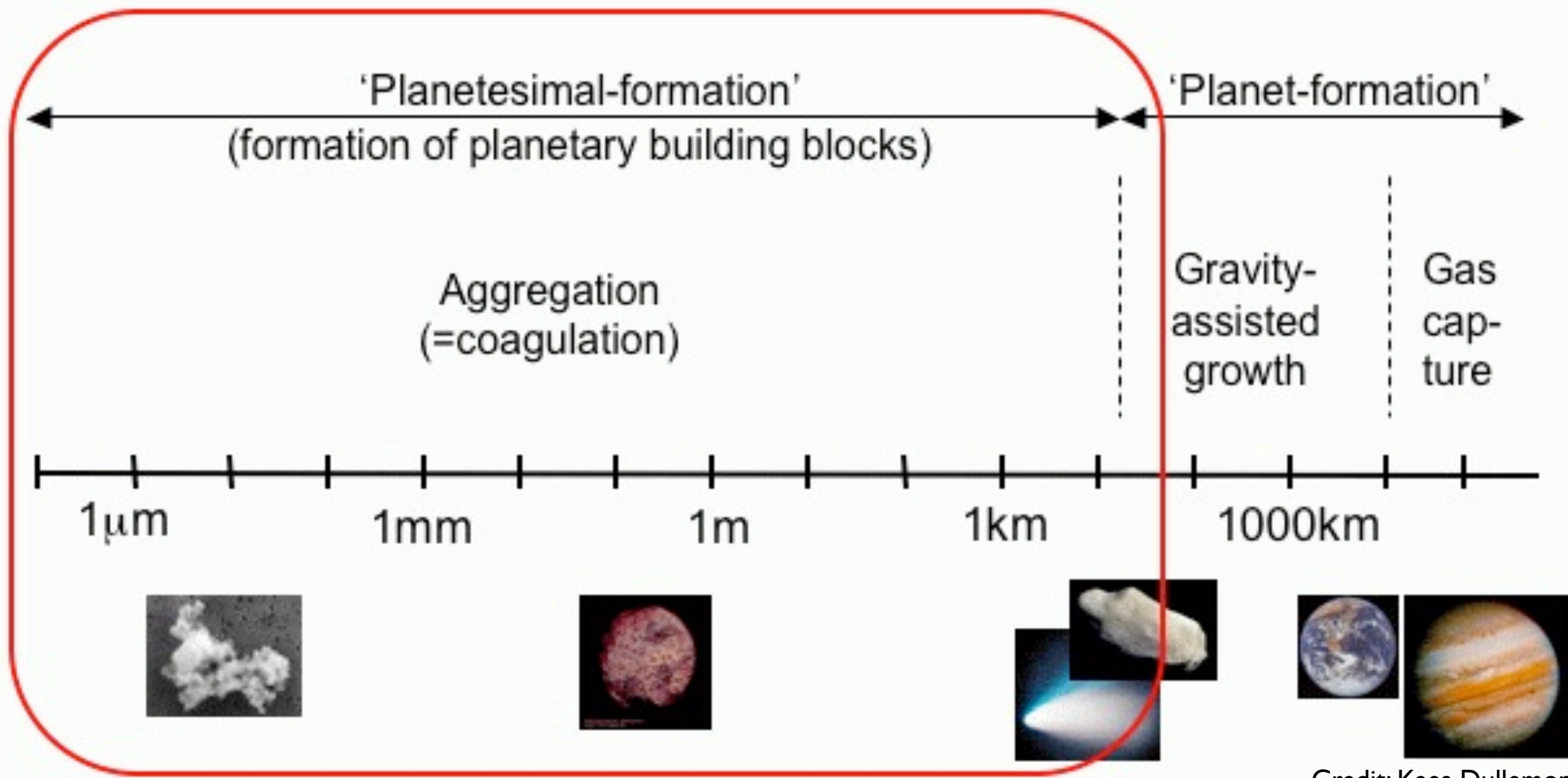


Entstehung von Planeten



Entstehung von Planeten

Growth from 'dust' to planets

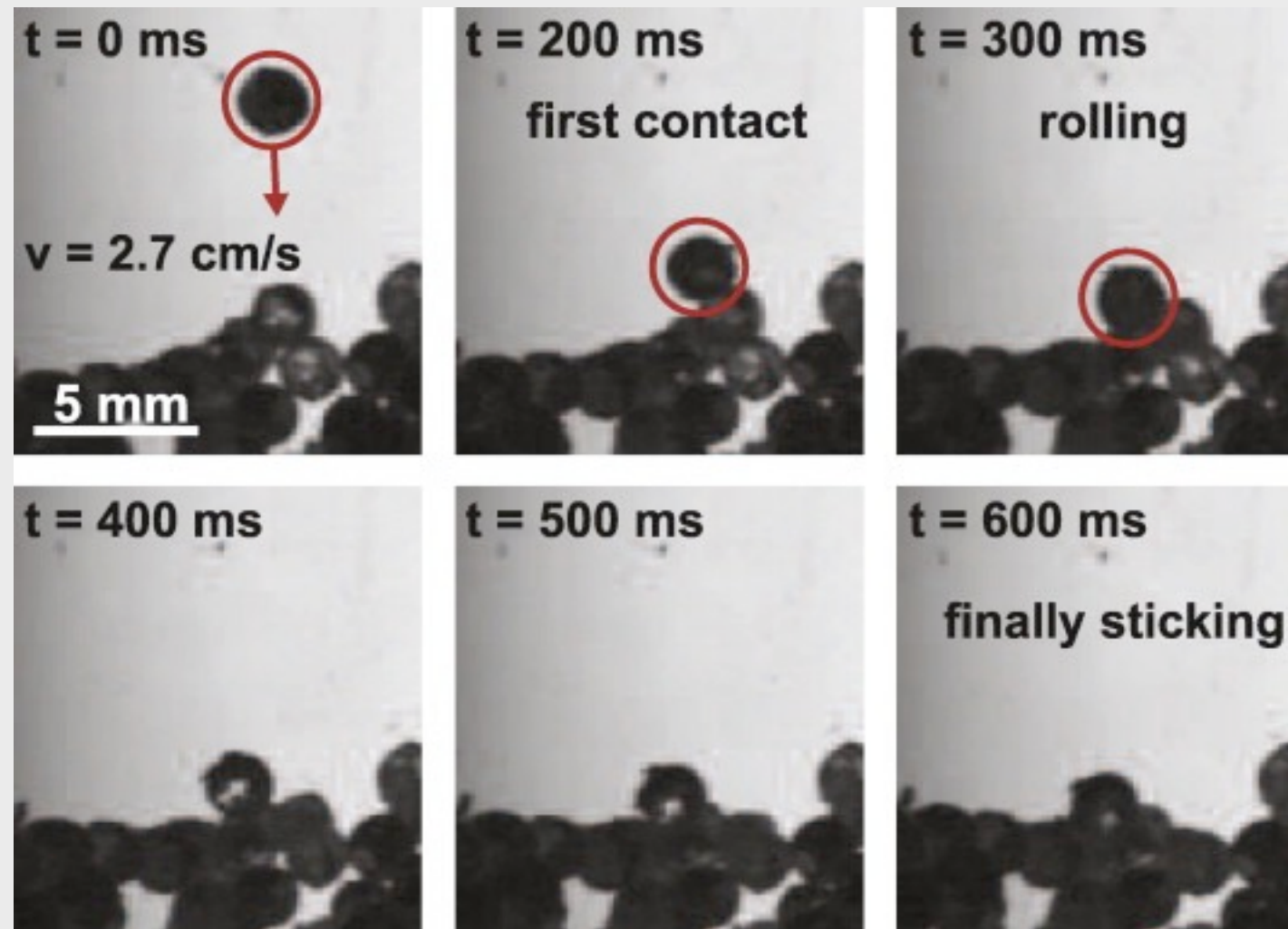


Credit: Kees Dullemon

⇒ "Wachstum": vom Staub zum Planeten: 12 Größenordnungen

Staubwachstum

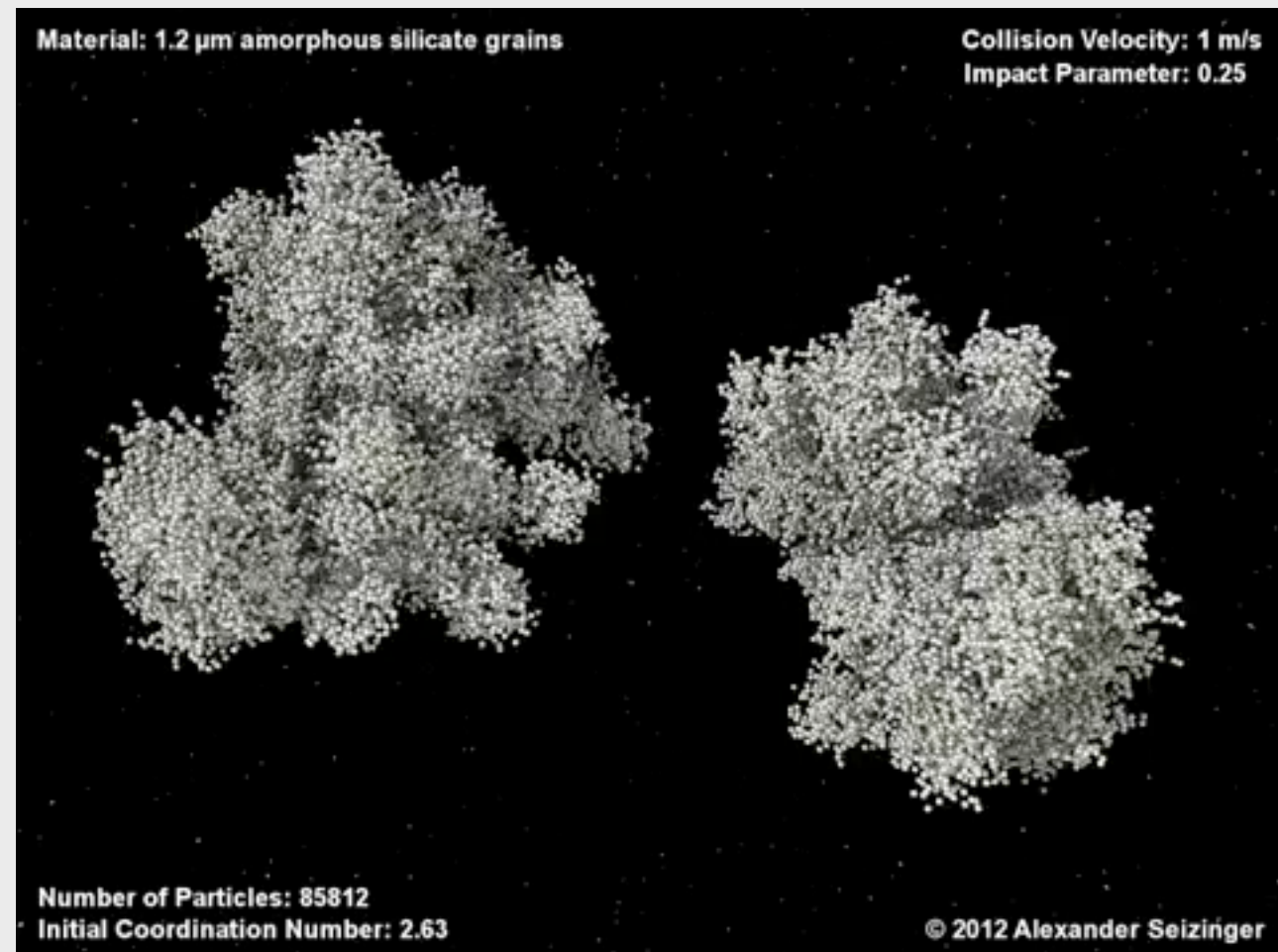
- Laborexperimente



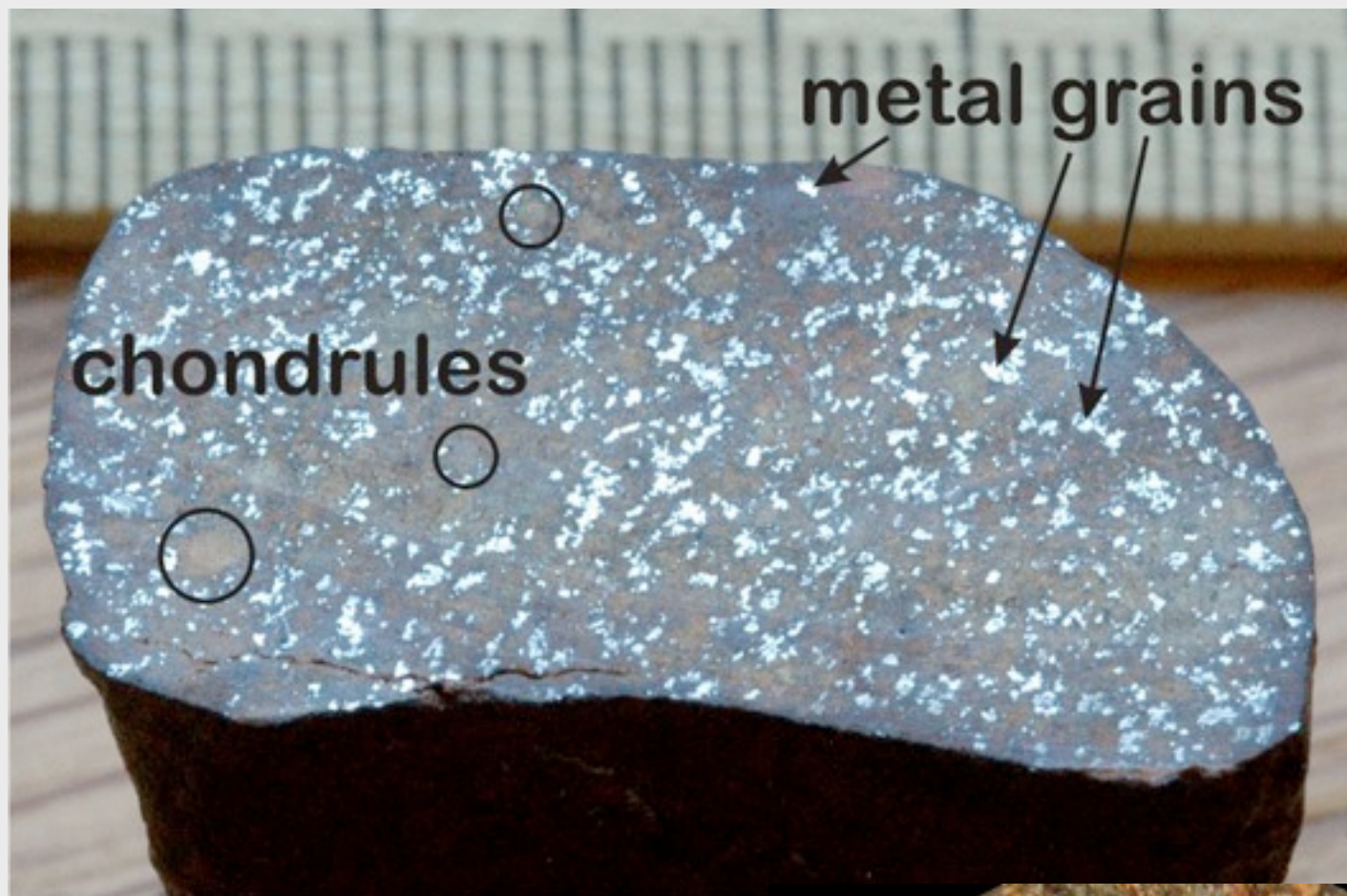
Beitz et al. 2012, Braunschweig

Staubwachstum

- Computersimulationen



Staubwachstum



Chondren in
Meteoroiden



Planetesimale



253 Mathilde - $66 \times 48 \times 44$ km
NEAR, 1997



243 Ida - $58.8 \times 25.4 \times 18.6$ km
Galileo, 1993



951 Gaspra
 $18.2 \times 10.5 \times 8.9$ km
Galileo, 1991

Dactyl
[(243) Ida I]
 1.6×1.2 km
Galileo, 1993



433 Eros - 33×13 km
NEAR, 2000



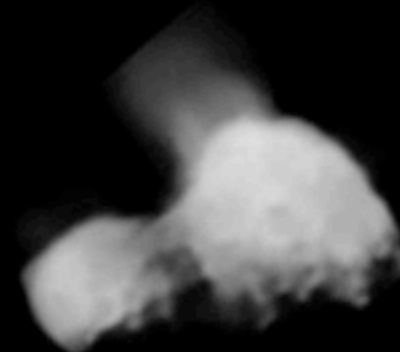
5535 Annefrank
 $6.6 \times 5.0 \times 3.4$ km
Stardust, 2002



2867 Steins
 5.9×4.0 km
Rosetta, 2008

25143 Itokawa
 $0.5 \times 0.3 \times 0.2$ km
Hayabusa, 2005

9969 Braille
 $2.1 \times 1 \times 1$ km
Deep Space 1, 1999



1P/Halley - $16 \times 8 \times 8$ km
Vega 2, 1986



9P/Tempel 1
 7.6×4.9 km
Deep Impact, 2005



19P/Borrelly
 8×4 km
Deep Space 1, 2001



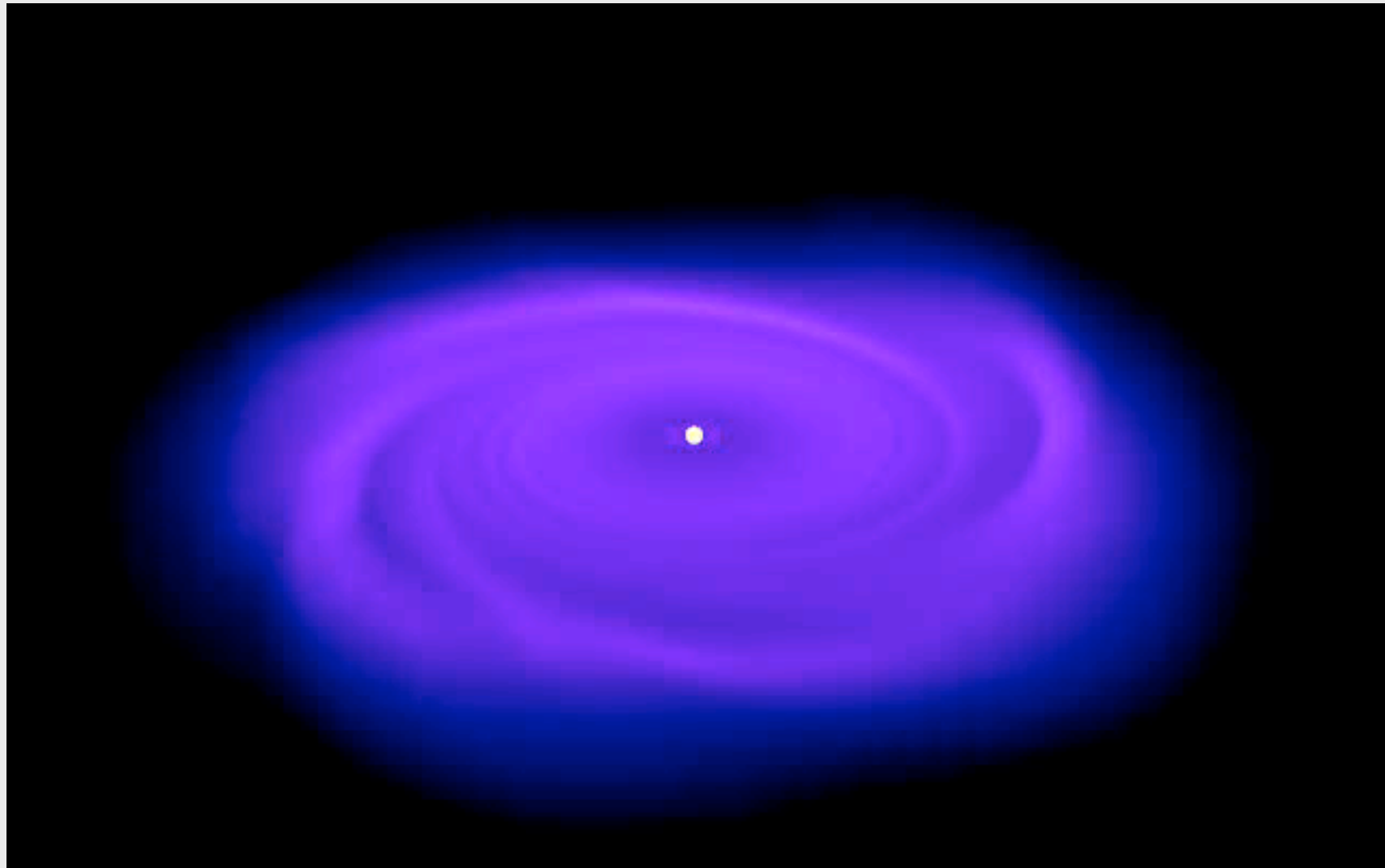
81P/Wild 2
 $5.5 \times 4.0 \times 3.3$ km
Stardust, 2004

Entstehung von Planeten

Zwei Hauptmechanismen

- **“core accretion” model:**
 - ⇒ langsames Anwachsen durch Koagulierung
($t \sim 1000$ Jahre für cm-Objekte)
+ Anziehung durch Gravitation
 - ⇒ effizient in Sternnähe ($a < 5$ AU) in der Scheibenmitte
 - ⇒ terrestrische Planeten?
- **Gravitationsinstabilität in der Scheibe:**
 - ⇒ schneller Kollaps von dichten/kalten Regionen
($t \sim 10$ Jahre für Gasriesen)
 - ⇒ effizient in kühlen Außenbereichen der Scheibe
 - ⇒ Gasriesen?

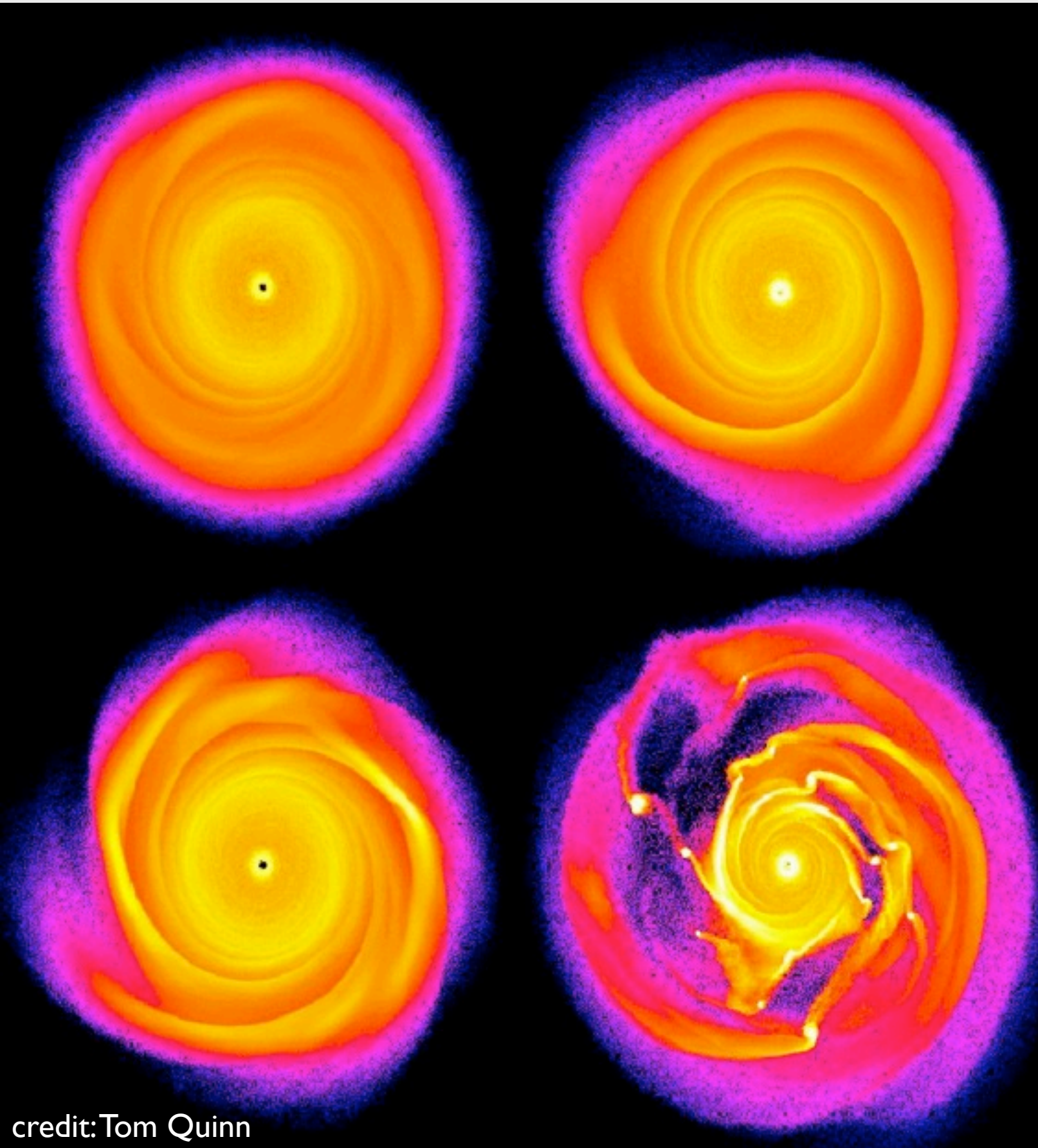
Entstehung von Planeten



credit: James Wadsley

- Gravitationsinstabilität / Fragmentation der protoplanetaren Scheibe

Entstehung von Planeten



Fragmentation der Scheibe
durch Gravitations-
instabilität

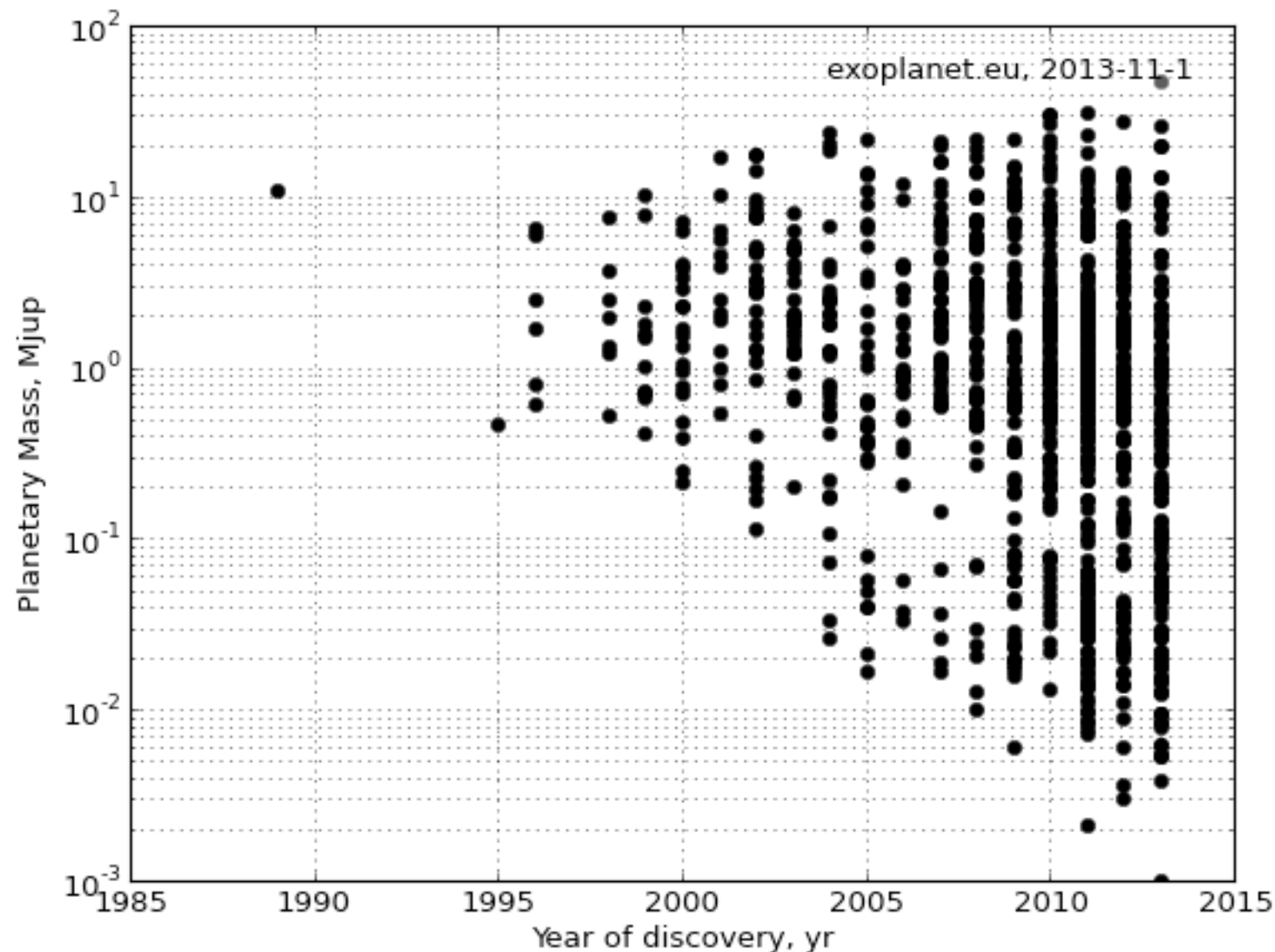
⇒ "schwere" Scheibe
notwendig ($\sim 1 M_{\text{sol}}$)

⇒ fester Kern der
Gasplaneten?

⇒ "core accretion" +
Fragmentation?

Extrasolare Planetensysteme

- The Extrasolar Planets Encyclopaedia: <http://exoplanet.eu>
⇒ Stand Nov/2013: **über 1000 Extrasolare Planeten**



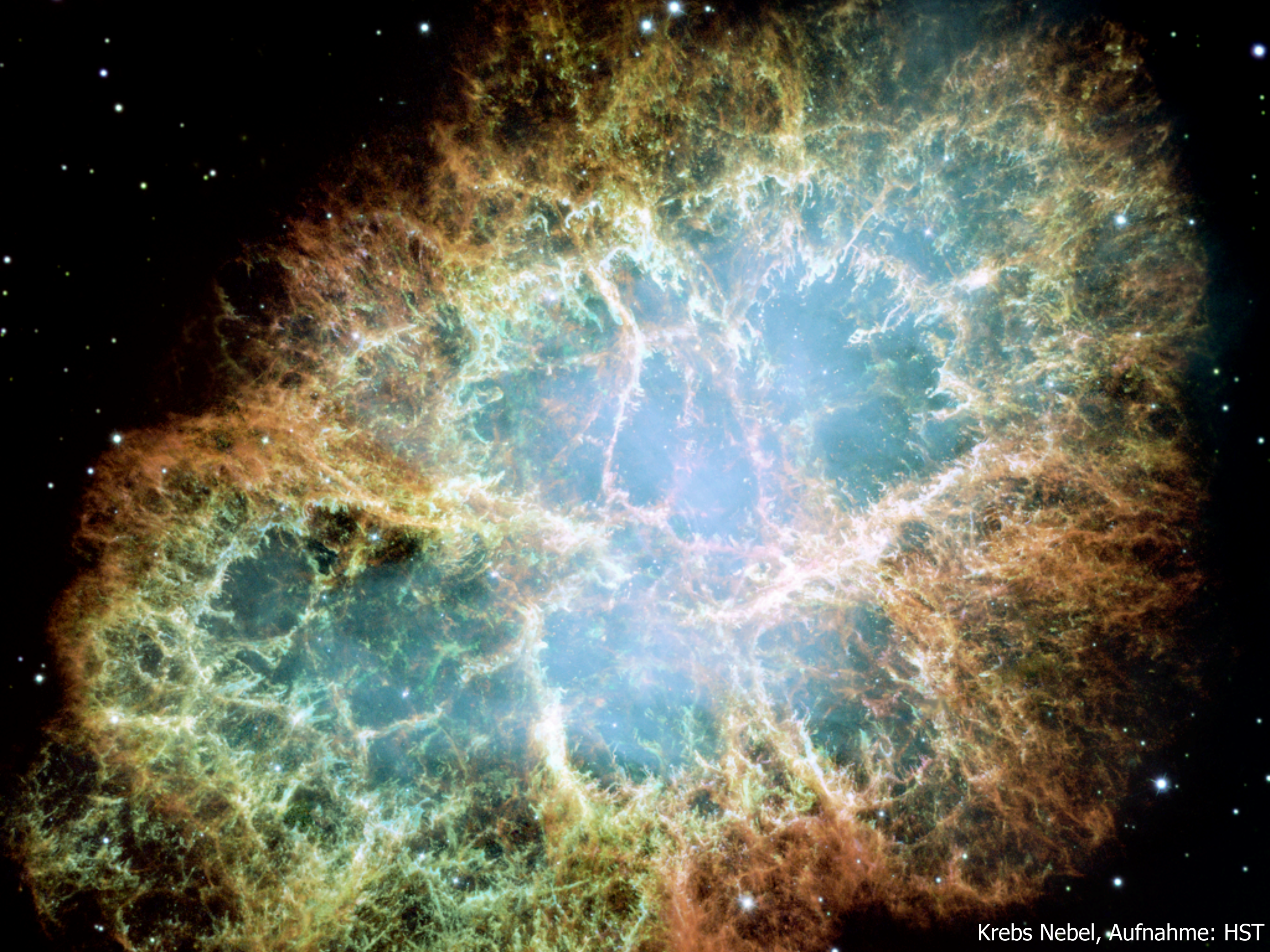
Entstehung von Planeten

Offene Fragen

- **Drehimpulsverteilung:**
 - Masse der Sonne im Sonnensystem: 99.9 %
 - Drehimpuls der Sonne nur 0.5%
 - ⇒ wie wird der Drehimpuls umverteilt?
- **Entstehung Asteroidengürtel / Kuiper belt:**
 - Kollision mit Protoplaneten?

Ende eines Planetensystems





Krebs Nebel, Aufnahme: HST