

Een bewoonbare planeet

Inga Kamp

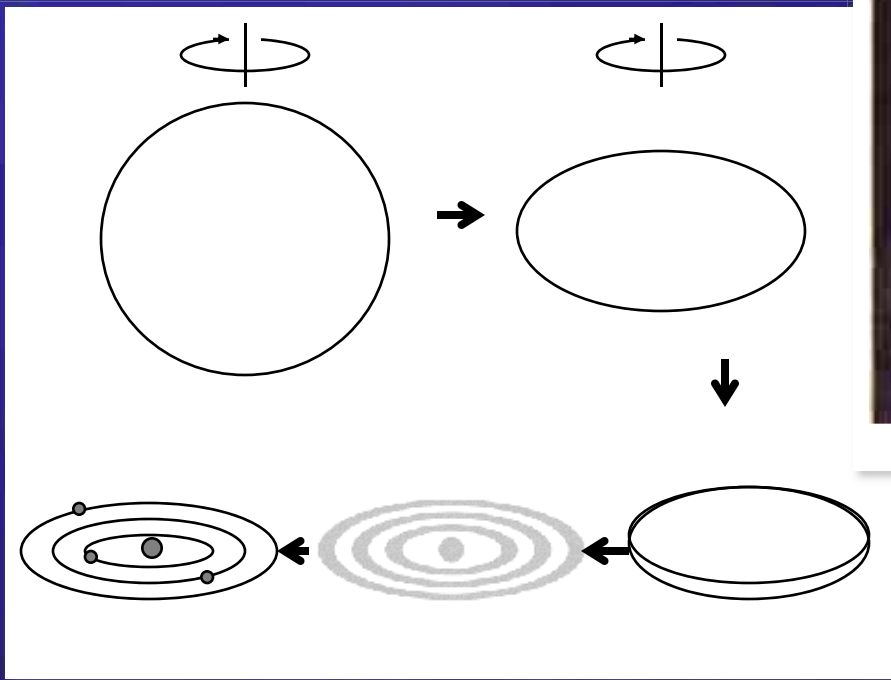
- Inleiding
- Ontdekking van exoplaneten
- Protoplanetaire schijven
- De vorming van de Aarde
- Water en leven op Aarde

Ons zonnestelsel



Geschiedenis

Zonnenevel (Kant & Laplace 18de eeuw)



Kant 1724–1804



Library of Congress

Laplace 1749–1827

Geschiedenis

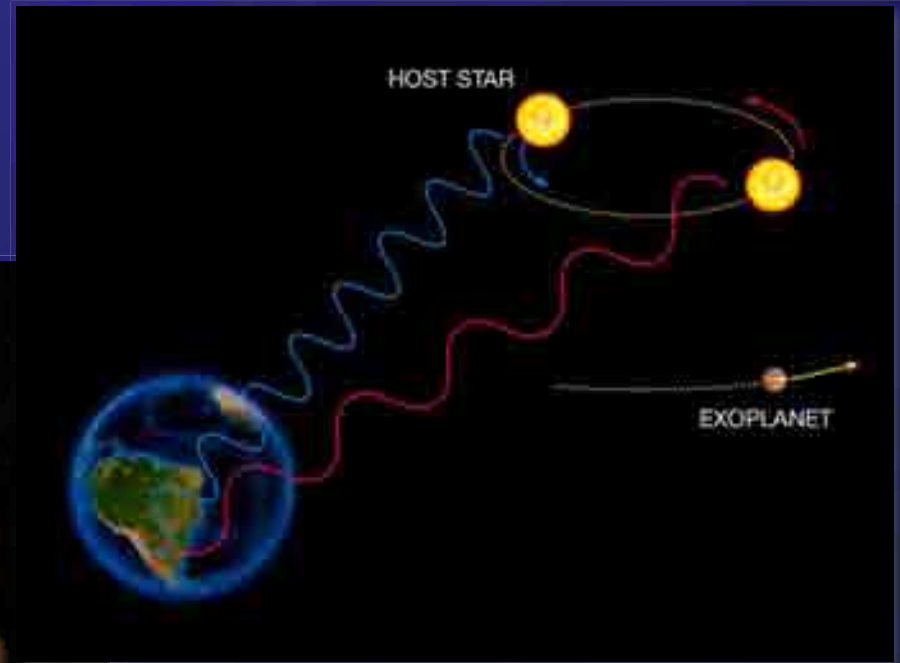


Geschiedenis



51 Pegasi

Geschiedenis



51 Pegasi

Geschiedenis

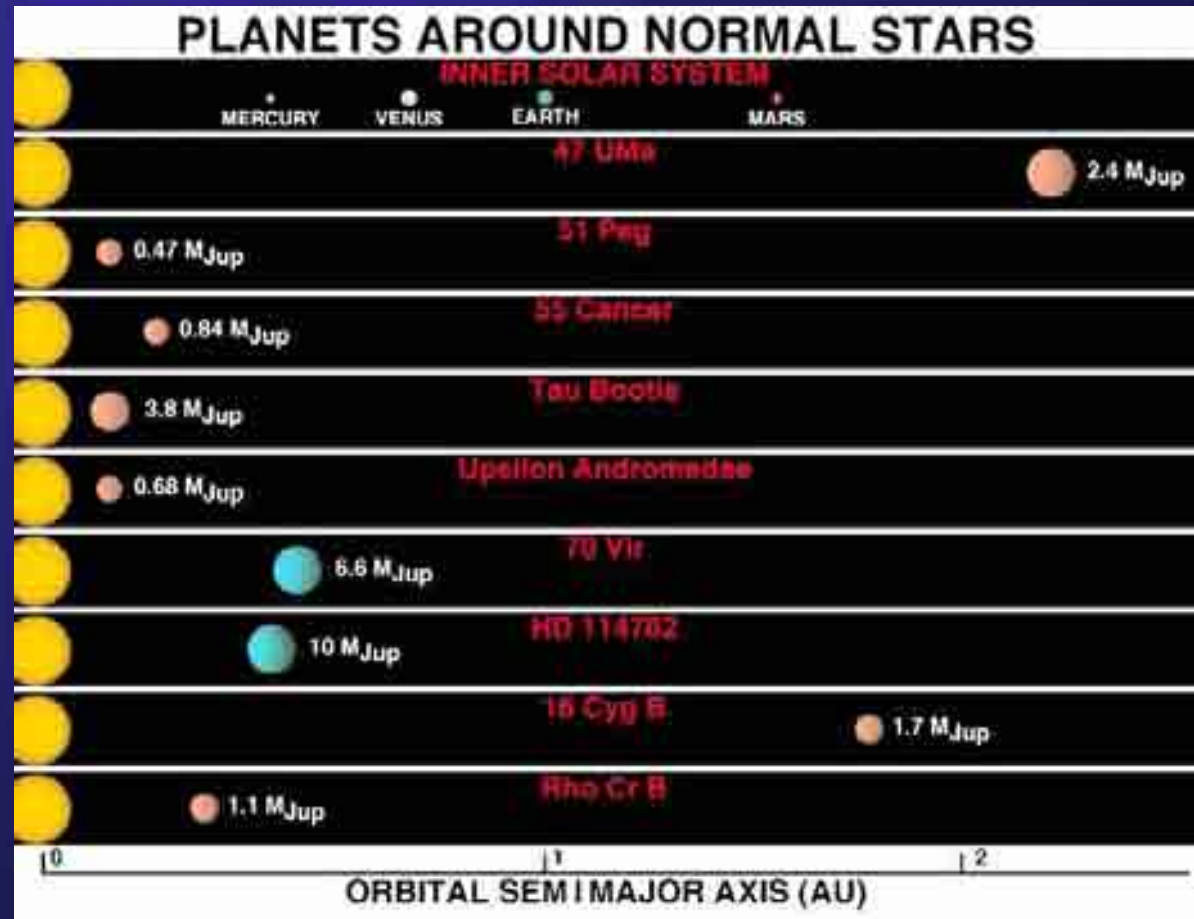


Michele Mayor, Didier Queloz

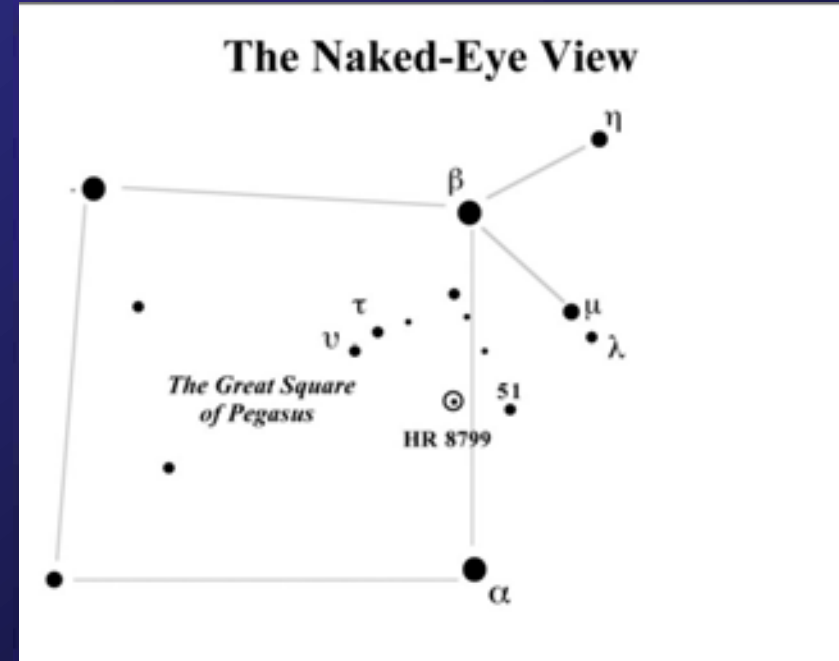
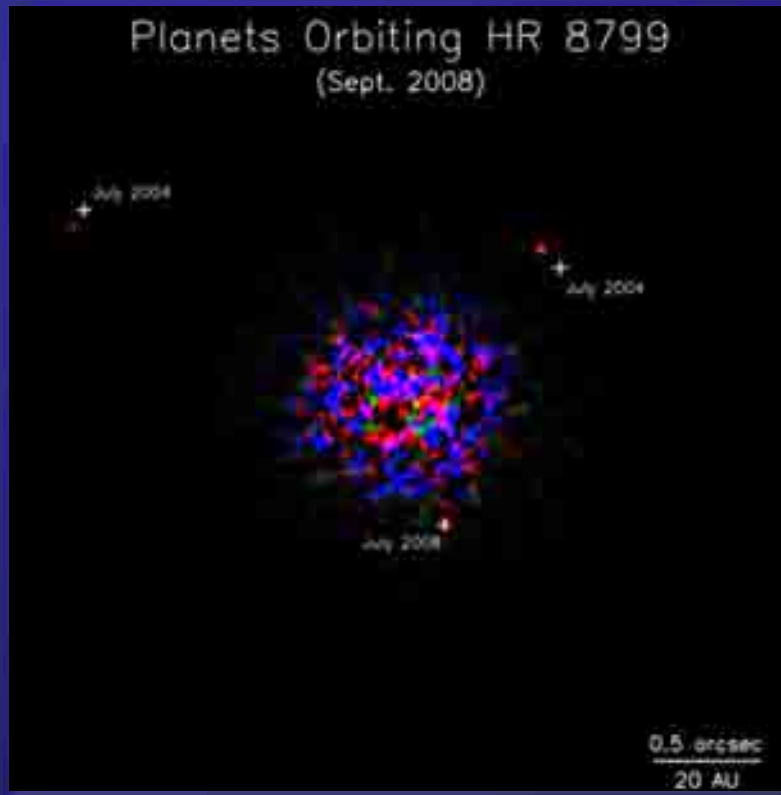


Geoff Marcy,
Paul Butler

Geschiedenis



Geschiedenis



Michaud & McIntosh

Geschiedenis



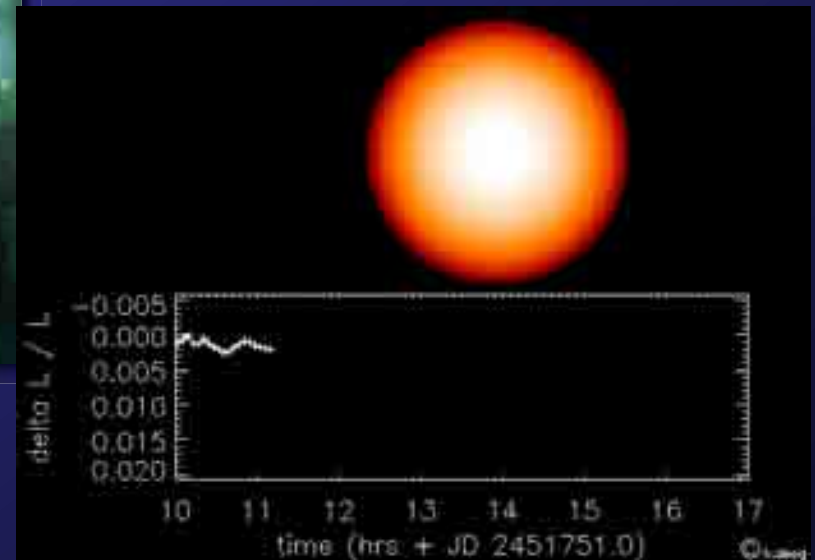
afstand 600 lichtjaar
14-35 aardmassas

water wereld of een
tweede aarde?

(Borucki et al.)

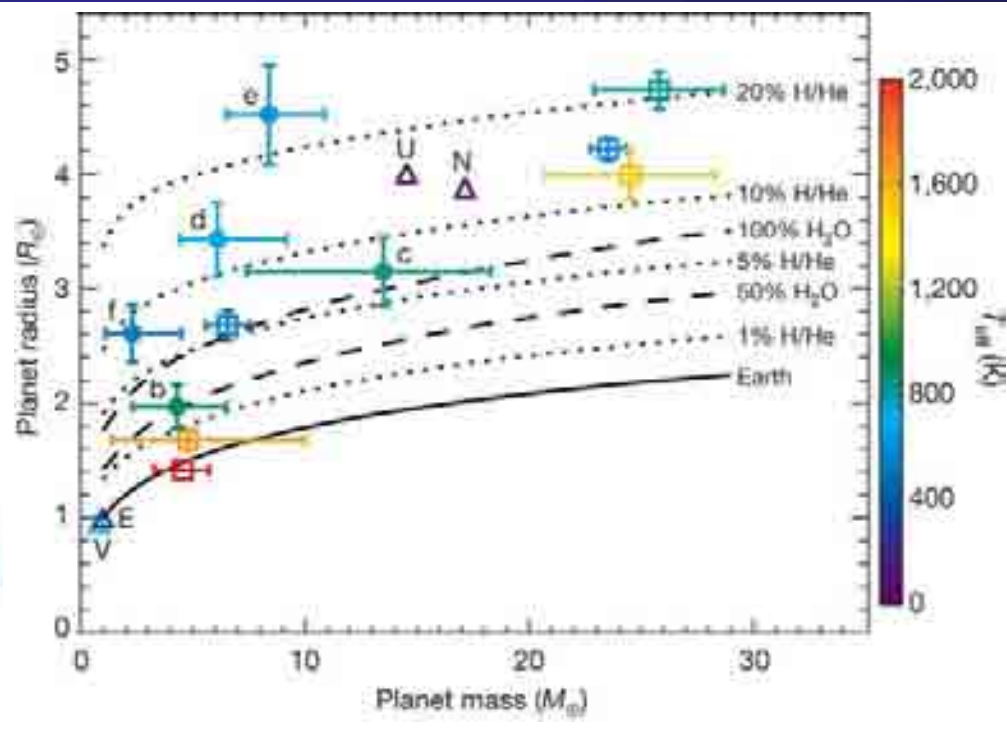
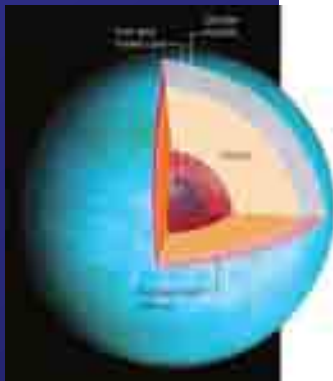


Geschiedenis



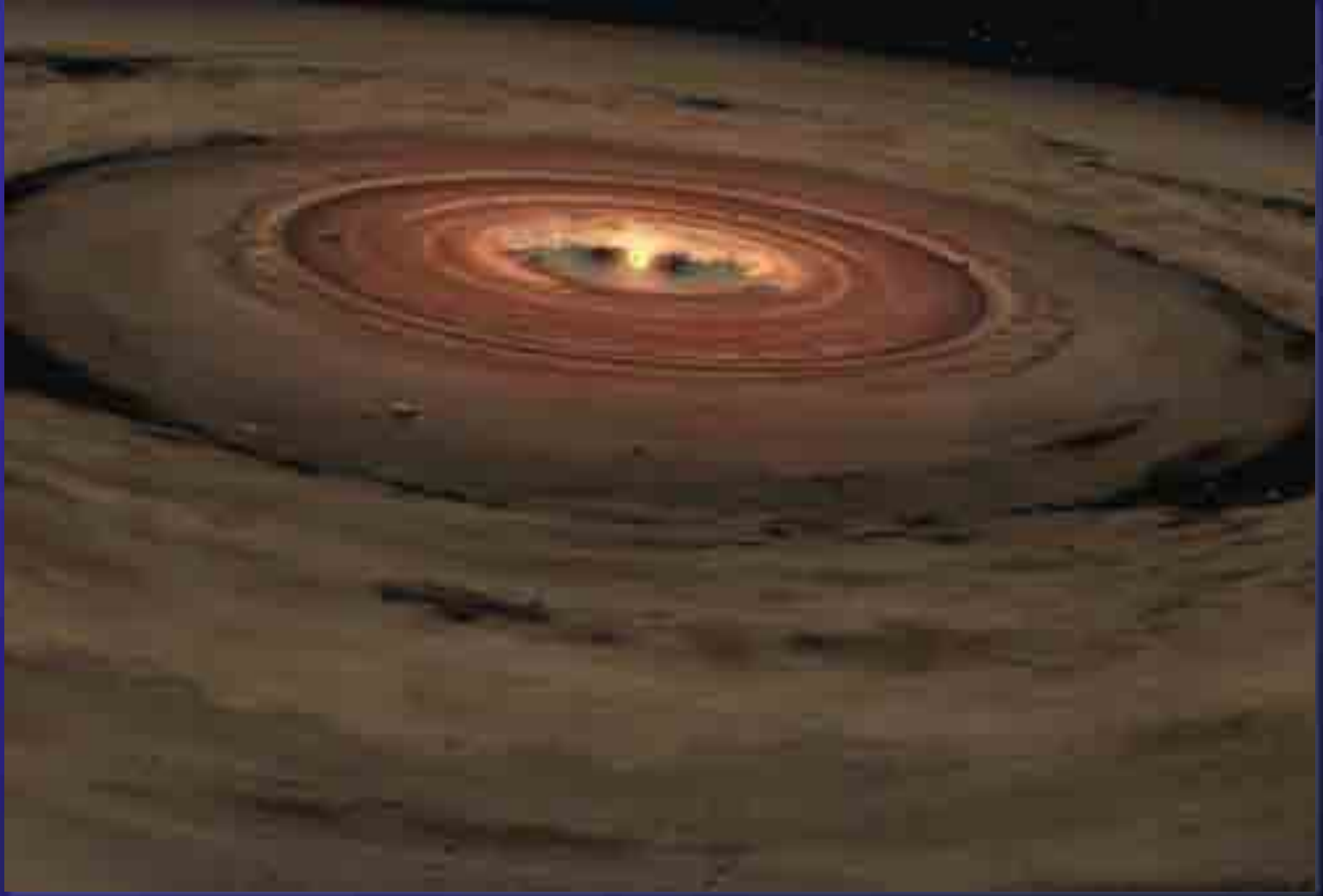
Corot en Kepler

Geschiedenis



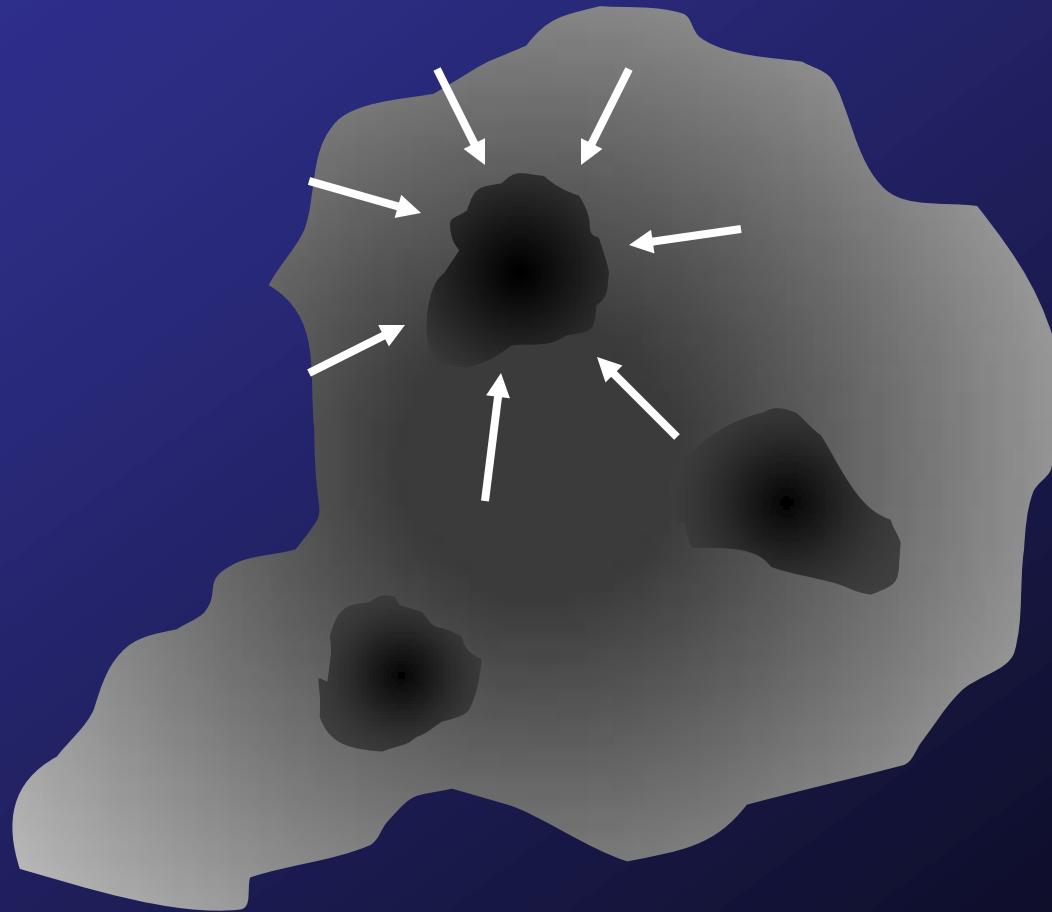
Radiële snelheid $\rightarrow M_{\text{planeet}} \sin i$; Transits $\rightarrow R_{\text{planeet}}, i$

... maar hoe vormen planeten ?



Een nieuwe ster gaat vormen

Een dichte wolk trekt samen onder zijn eigen zwaartekracht



Een nieuwe ster gaat vormen

afstand ~ 2100 pc
leeftijd $\sim 2 \cdot 10^6$ yr

○ Grootte van een planetenstelsel



Star-Birth Clouds · M16

HST · WFPC2

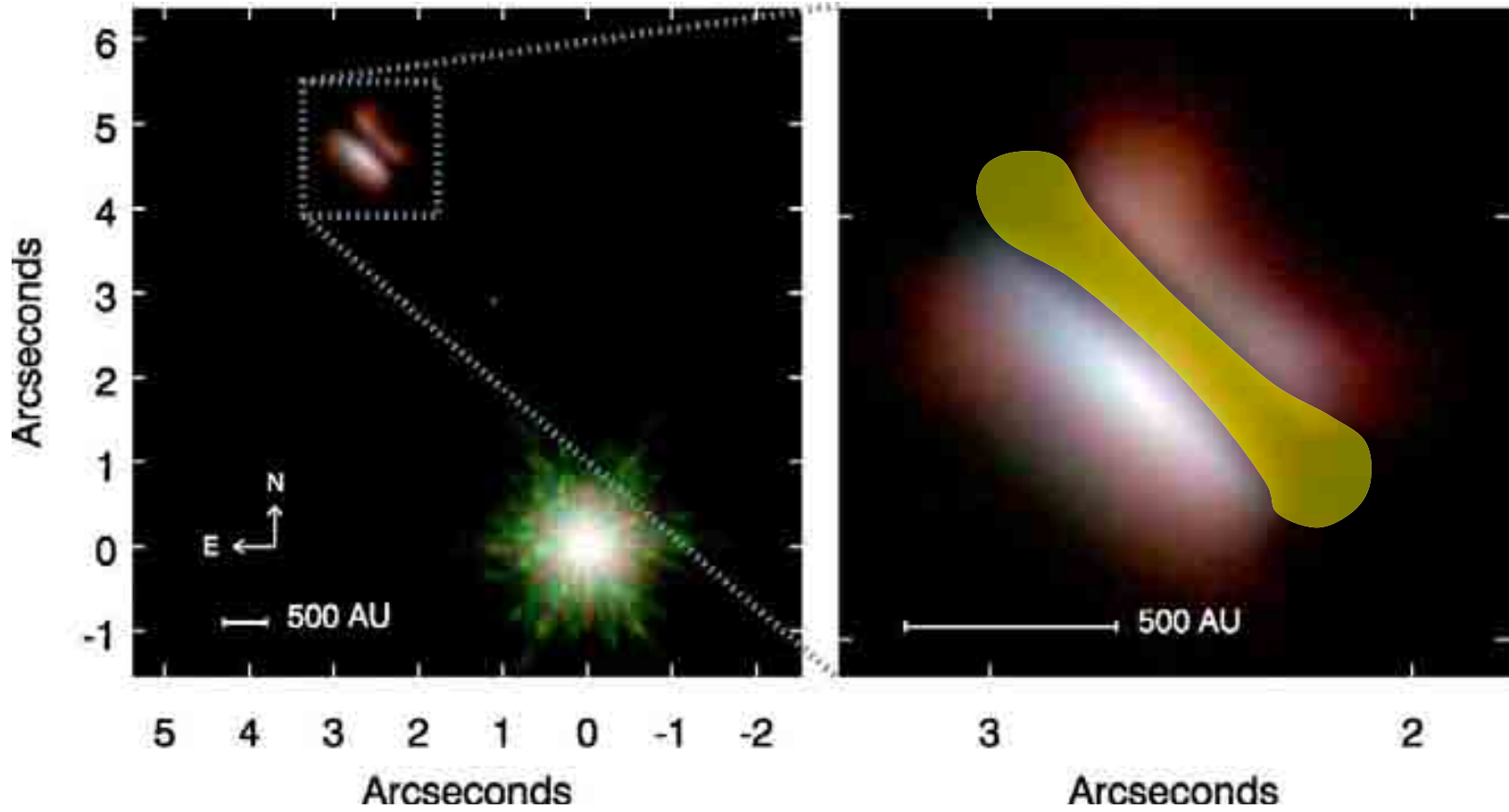
PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

Een nieuwe ster gaat vormen

Omdat er een netto rotatie is, vormt zich een centrale massa (de ster) en een schijf



Protoplanetaire schijven



Water in protoplanetaire schijven

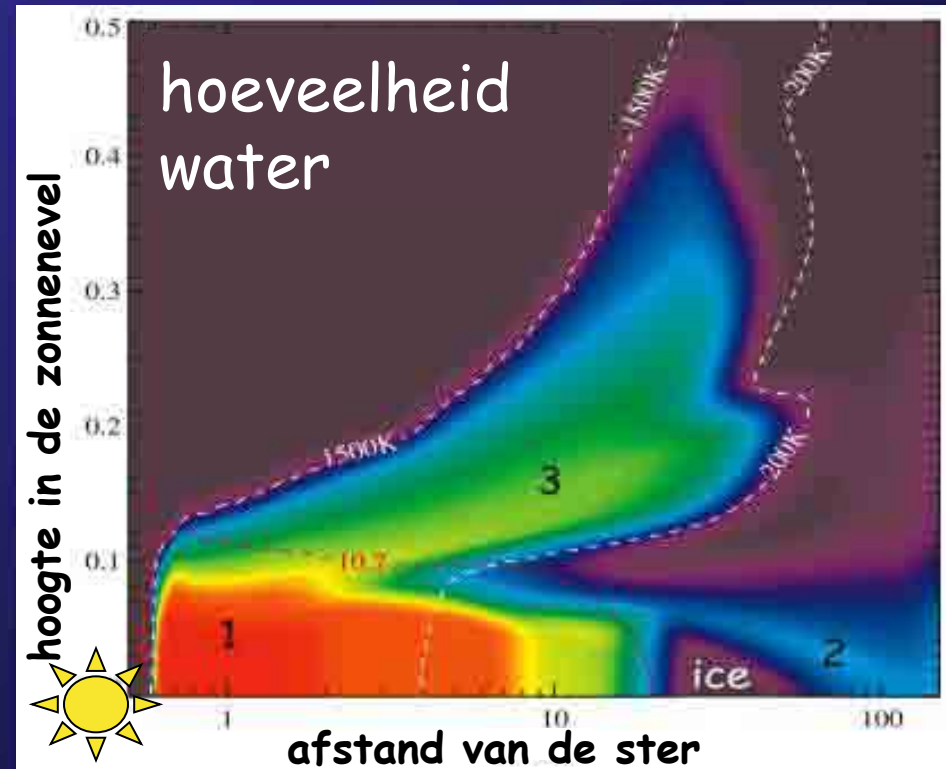
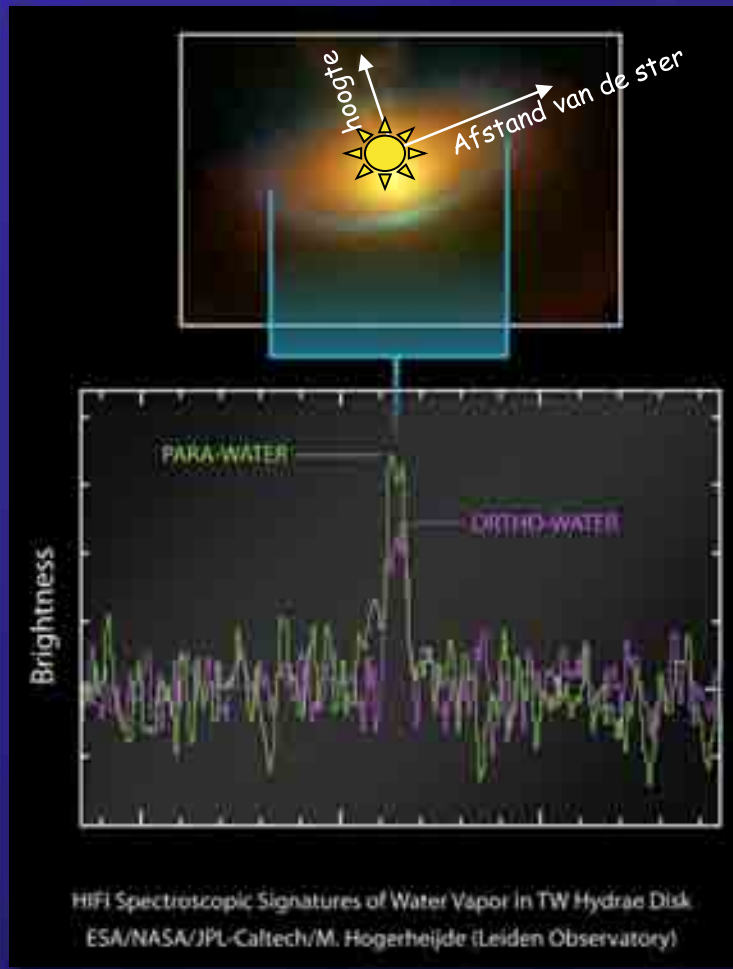
Inleiding

Ontdekking
exoplaneten

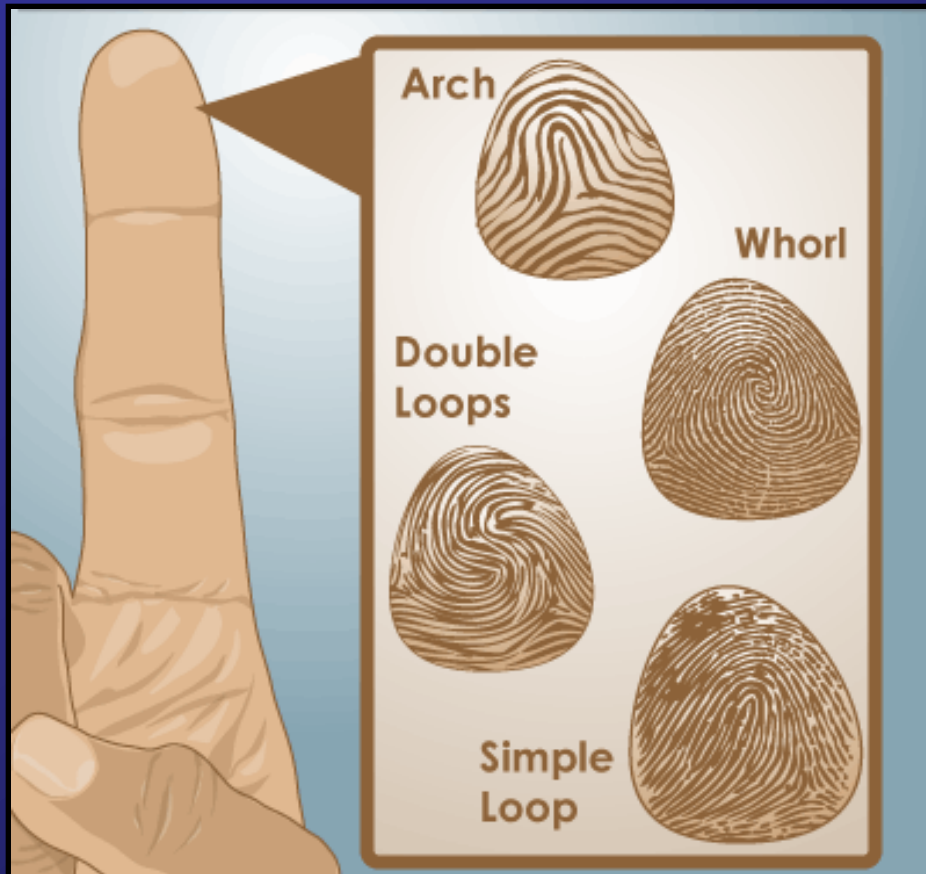
Protoplanetaire
schijven

De vorming
van de Aarde

Water en
leven op Aarde



Water in protoplanetaire schijven

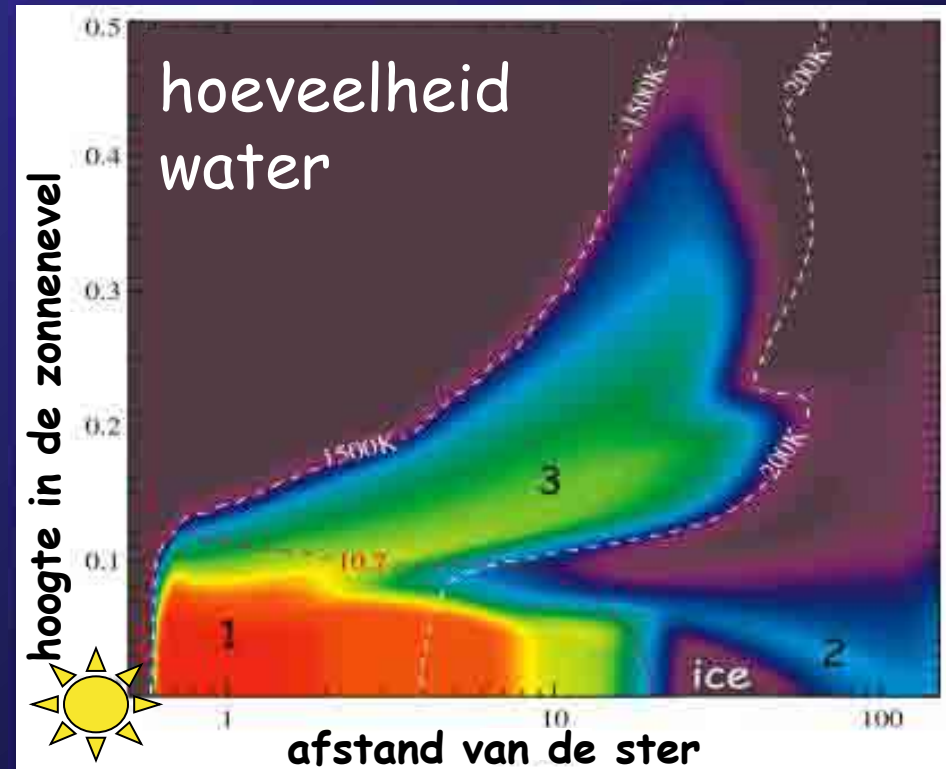
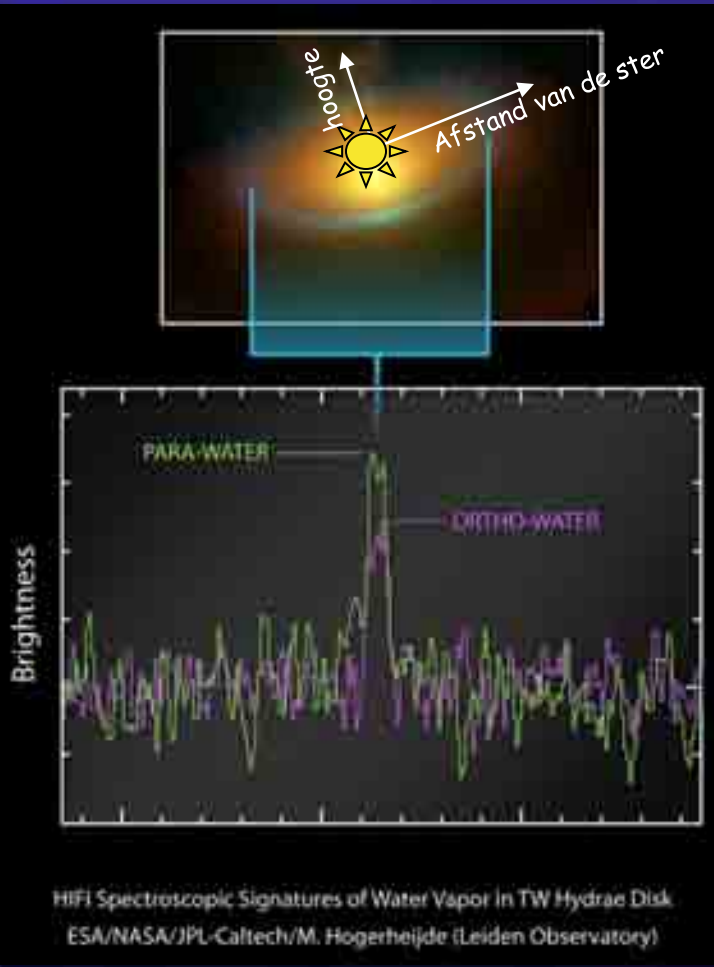


water (H₂O)



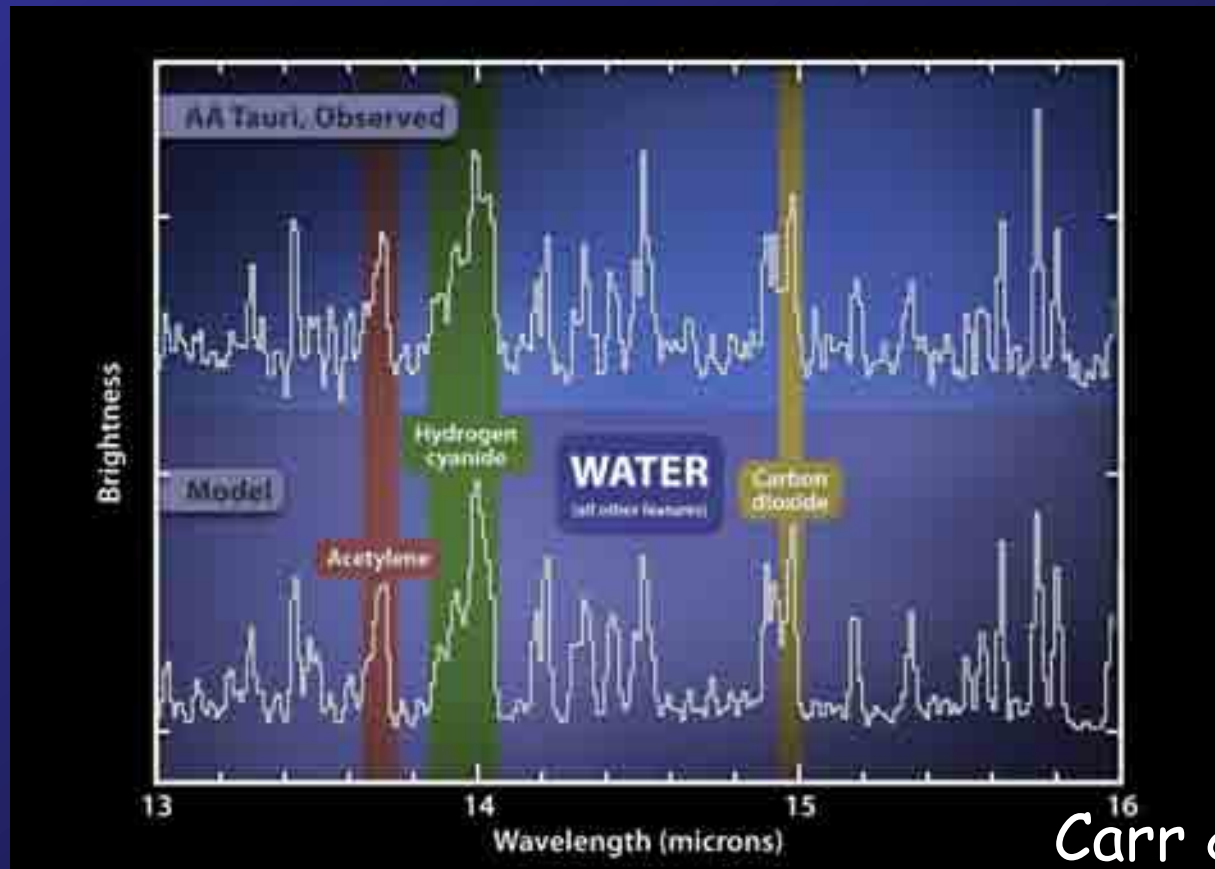
acetylene (C₂H₂)

Water in protoplanetaire schijven



Water in protoplanetaire schijven

Moleculen onder anderen water en organisch materiaal



Carr & Najita

Waarom planeetvorming moeilijk is...

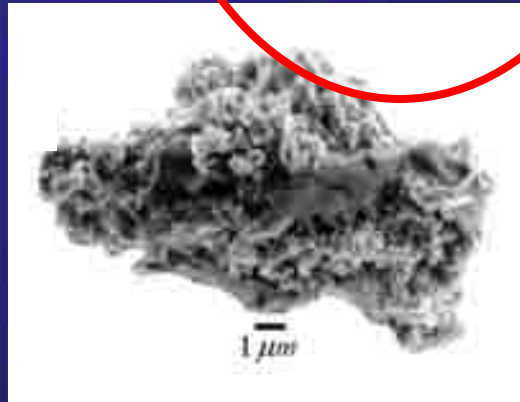
12 orders van grootte in straal



36 orders van grootte in massa



Waarom planeetvorming moeilijk is...



Botsingen
tussen stof



Waarom planeetvorming moeilijk is...

12 orders van grootte in straal



36 orders van grootte in massa



???



Waarom planeetvorming moeilijk is...

12 orders van grootte in straal



36 orders van grootte in massa

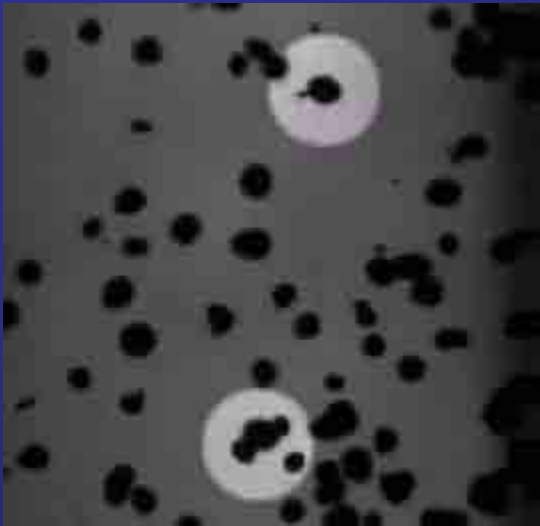


Botsingen
tussen
planetesimalen



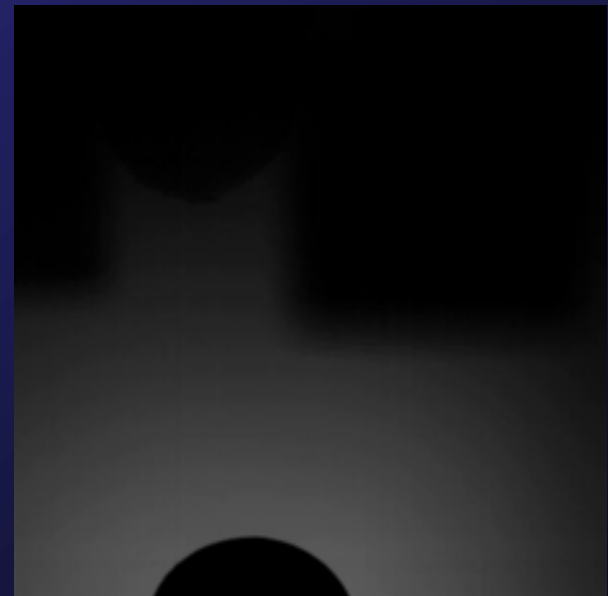
Planeetvorming in het lab

Blum et al. (vacuum/gewichtsloosheid in de valtoren in Bremen)



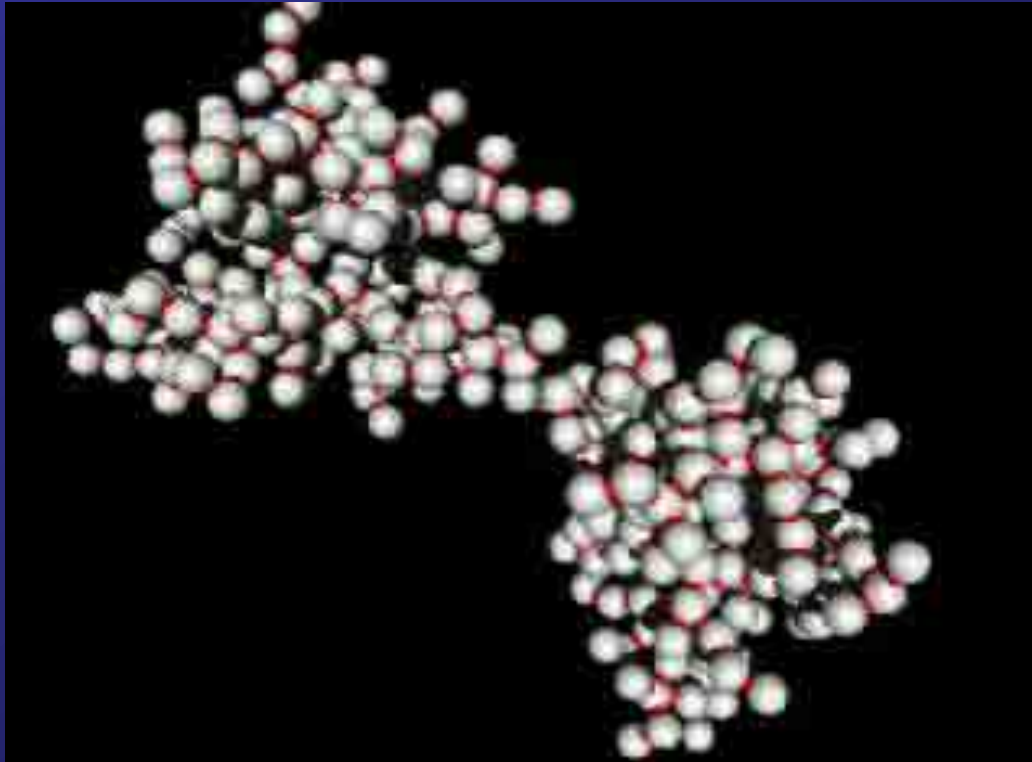
twee mm grote stofkorrels
blijven aan elkaar plakken
($v=0.9$ cm/s)

twee cm grote stofkorrels
gaan stuk bij een botsing
met $v=200$ cm/s



Planeetvorming in computers

kleine stofkorrels botsen met elkaar en groeien
(zwakke van der Waals krachten)

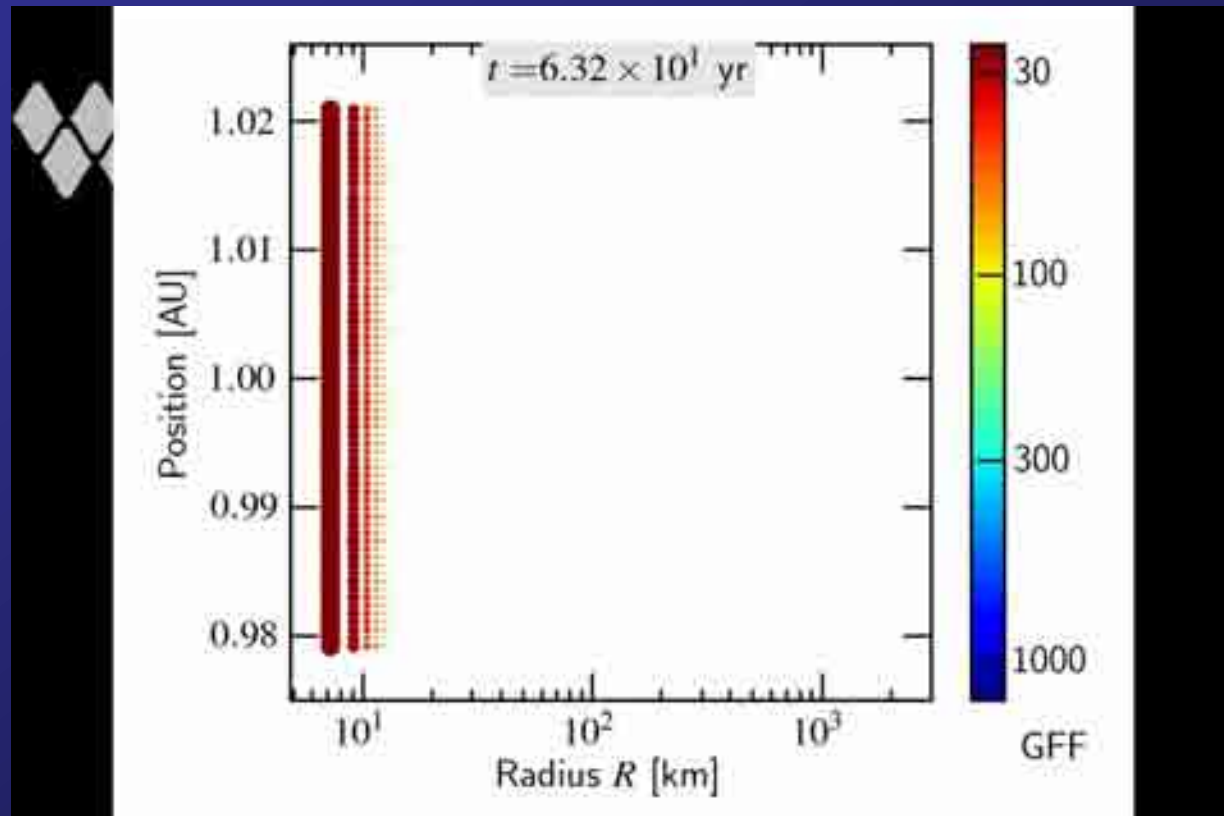


... tot meter
grootte

$a \sim 0.5 \mu\text{m}$, $v = 0.5 \text{ m/s}$
[Paszun et al. 2008]

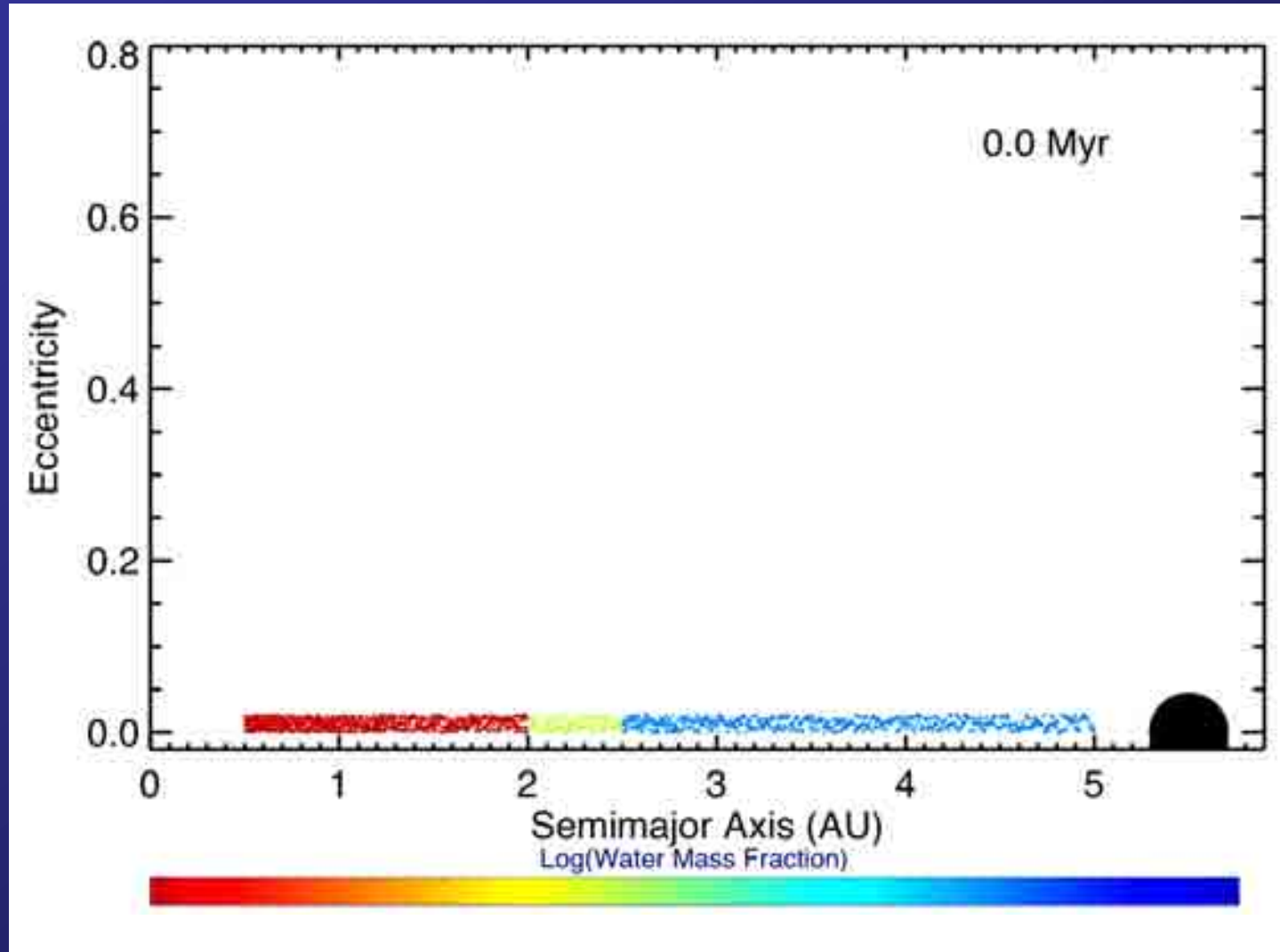
Van stof naar planetesimalen

Uiteindelijk vormen planetesimalen, klompen van kilometer grootte



Ormel, Dullemond, Spaans 2010

Van Planetesimalen naar Planeten



Raymond et al.

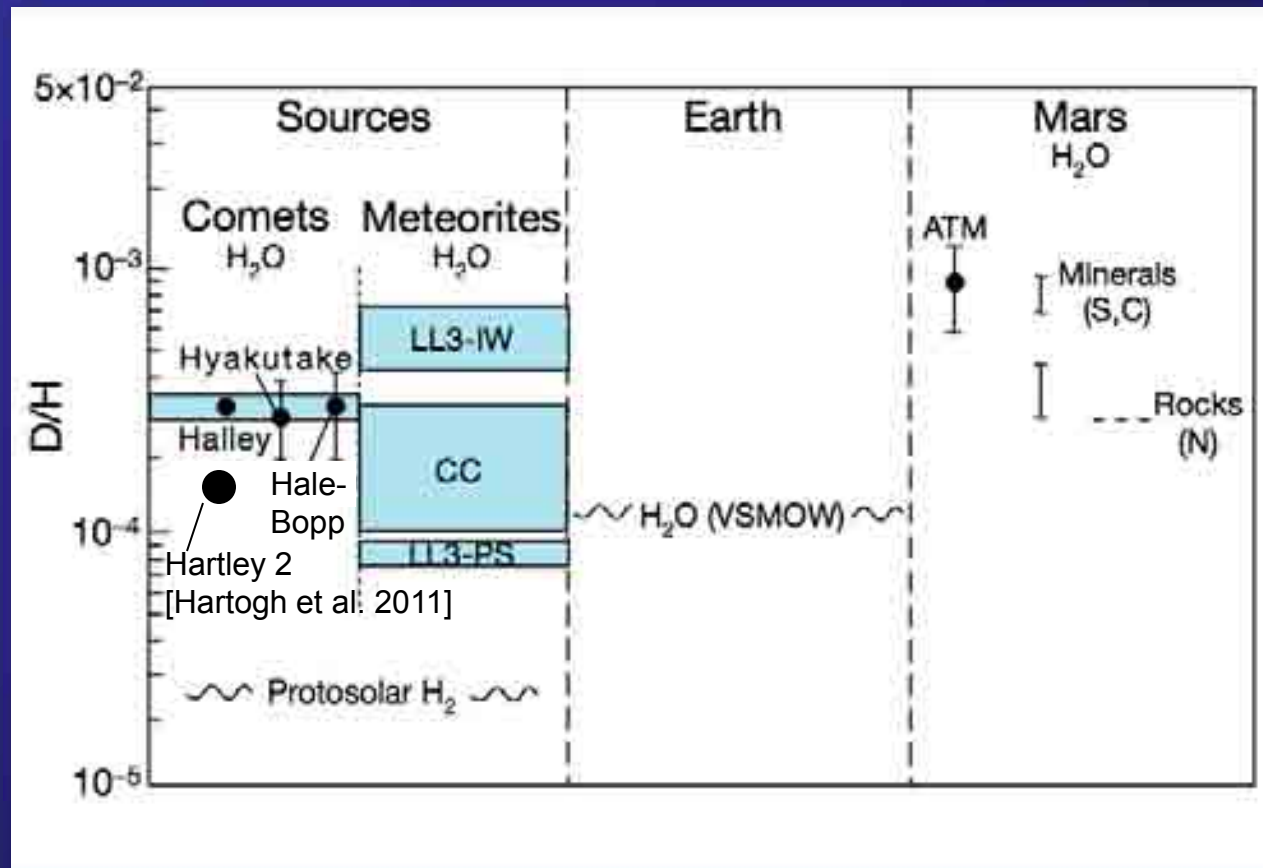
Water op Aarde

70 % van het oppervlak, 0.04 % van de massa

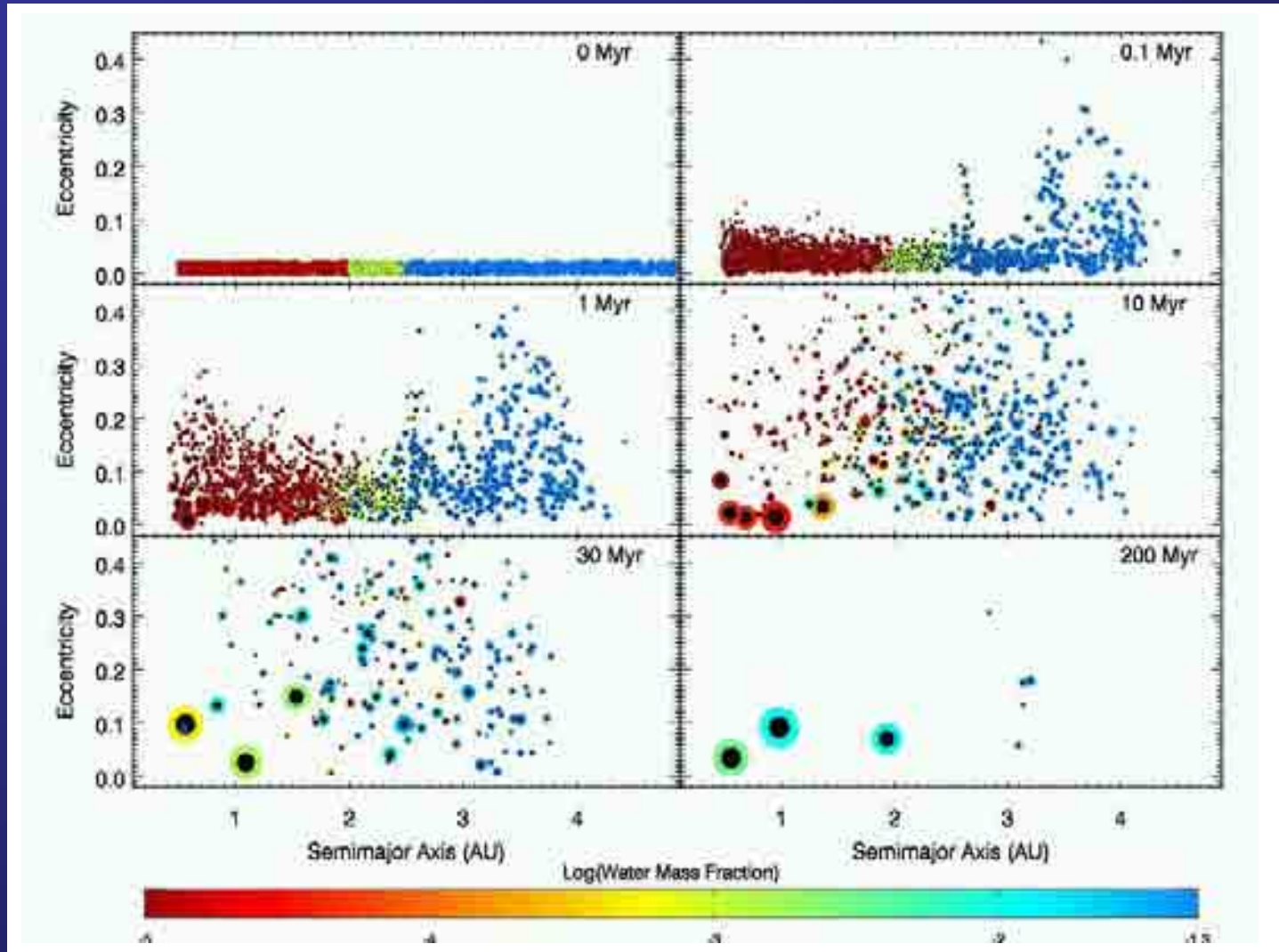


Water op Aarde

Waar komt het vandaan?



Van Planetesimalen naar Planeten



Raymond et al.



Leven op Aarde

Moleculen van meer dan 10 atomen zijn in de ruimte waargenomen - b.v. CH_3OH methanool, CH_2OHCHO formaldehyde

Ze kunnen tijdens de vorming van ons zonnestelsel in planetoiden of kometen terecht zijn gekomen

Experimenten geven aan dat aminozuren de inslaag van een meteoriet wel kunnen overleven

Is het leven ontstaan uit aminozuren die ooit uit de ruimte naar de aarde zijn gebracht ?
(panspermia hypothesis)



Leven op Aarde

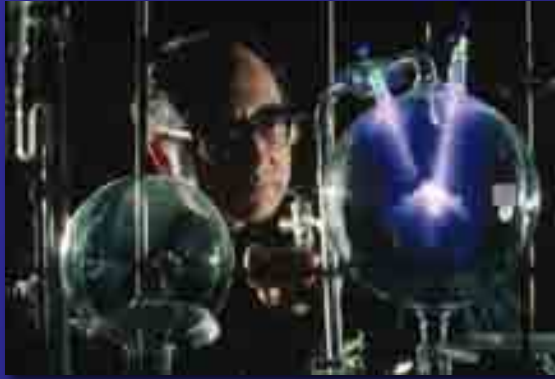
Deze hypothese is moeilijk om na te gaan !

De alternatief - **leven is op de aarde ontstaan** - is toegankelijker voor onderzoek



Leven op Aarde

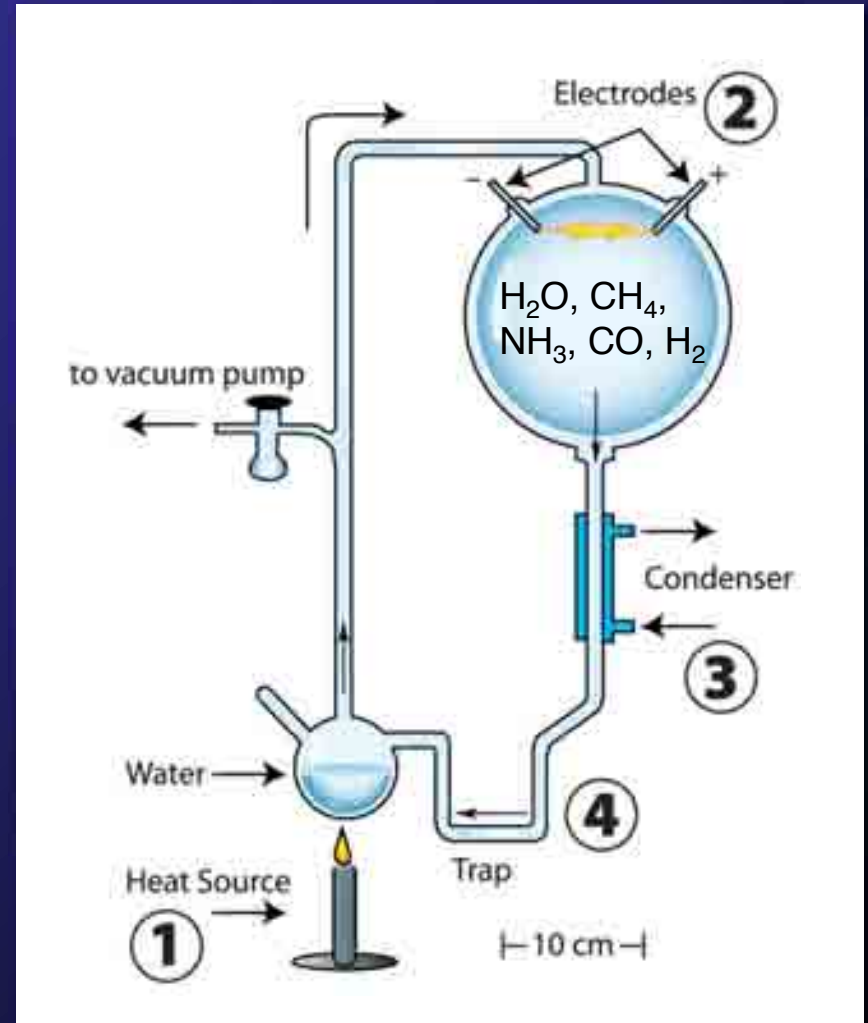
Miller-Urey oorspronkelijk experiment (1953)



Aardatmosfeer:

Water, methaan,
ammoniak, kool-
monoxide, H_2

→ reducerend
aminozuren



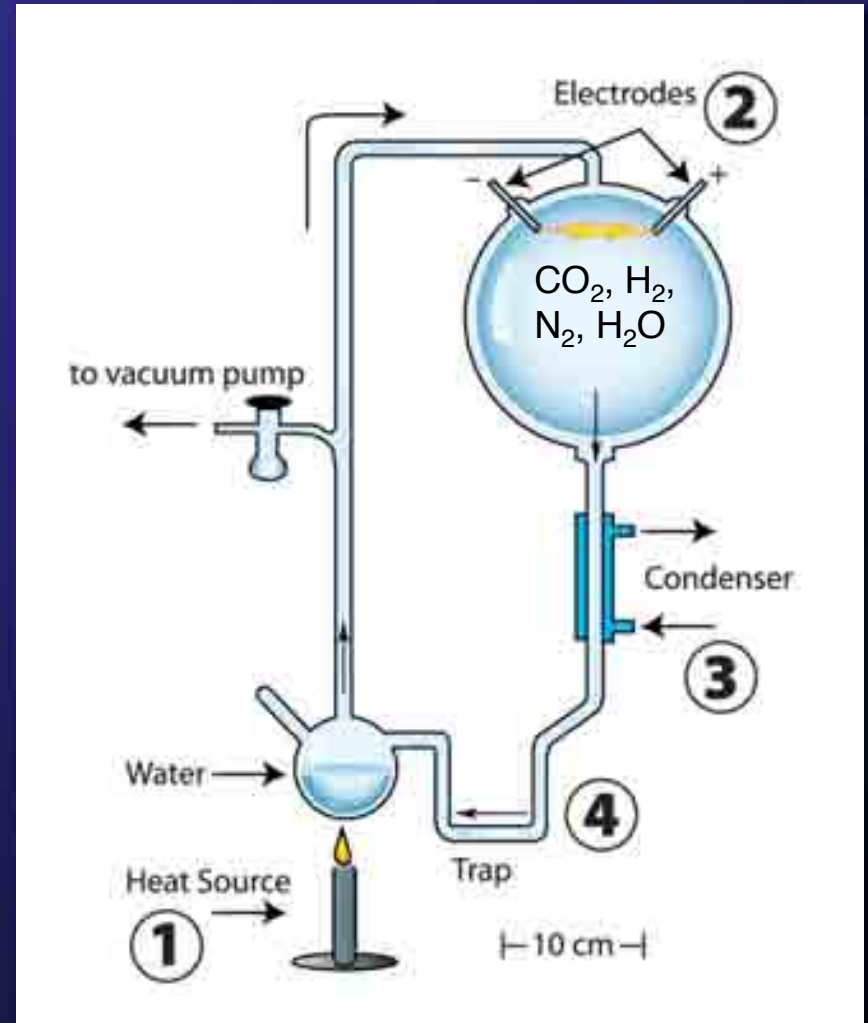
Leven op Aarde

Bada's follow-up (2000+)

Aardatmosfeer:

Water, H_2 , N_2 ,
koolstofdioxide

→ oxiderend
minder aminozuren
dan oorspronkelijk
experiment



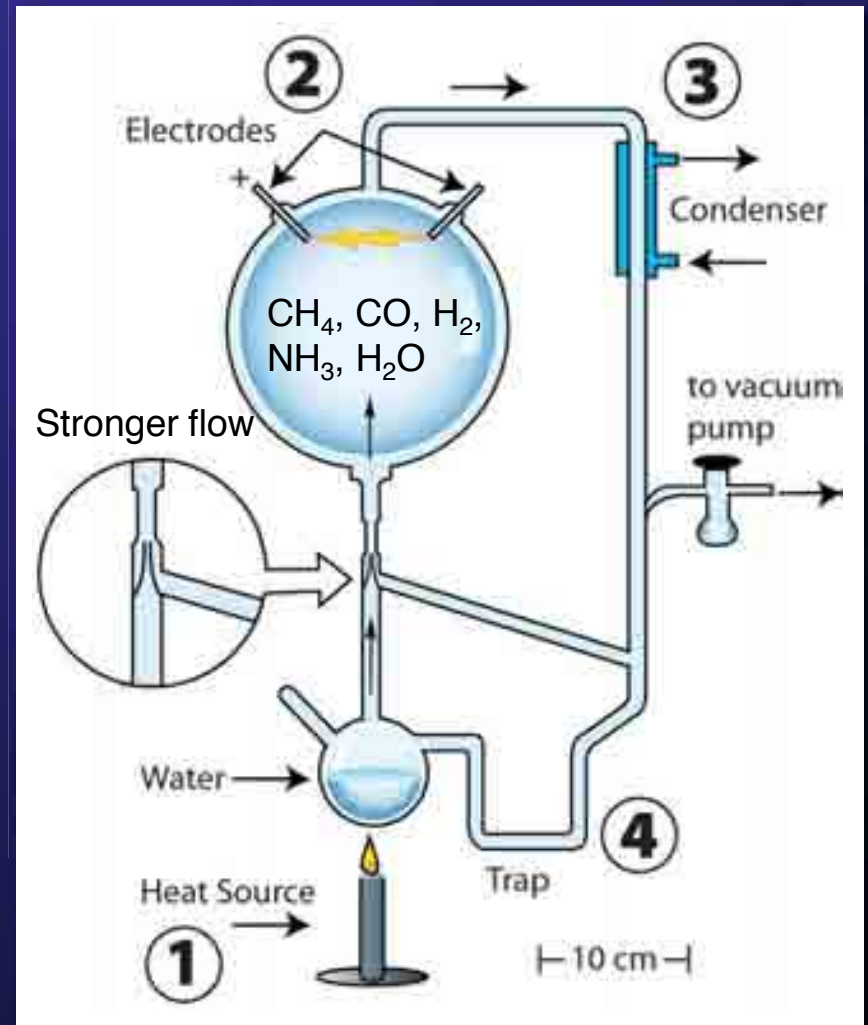
Leven op Aarde

Johnson (2008) - oude resultaten van Miller (nooit gepubliceerd)

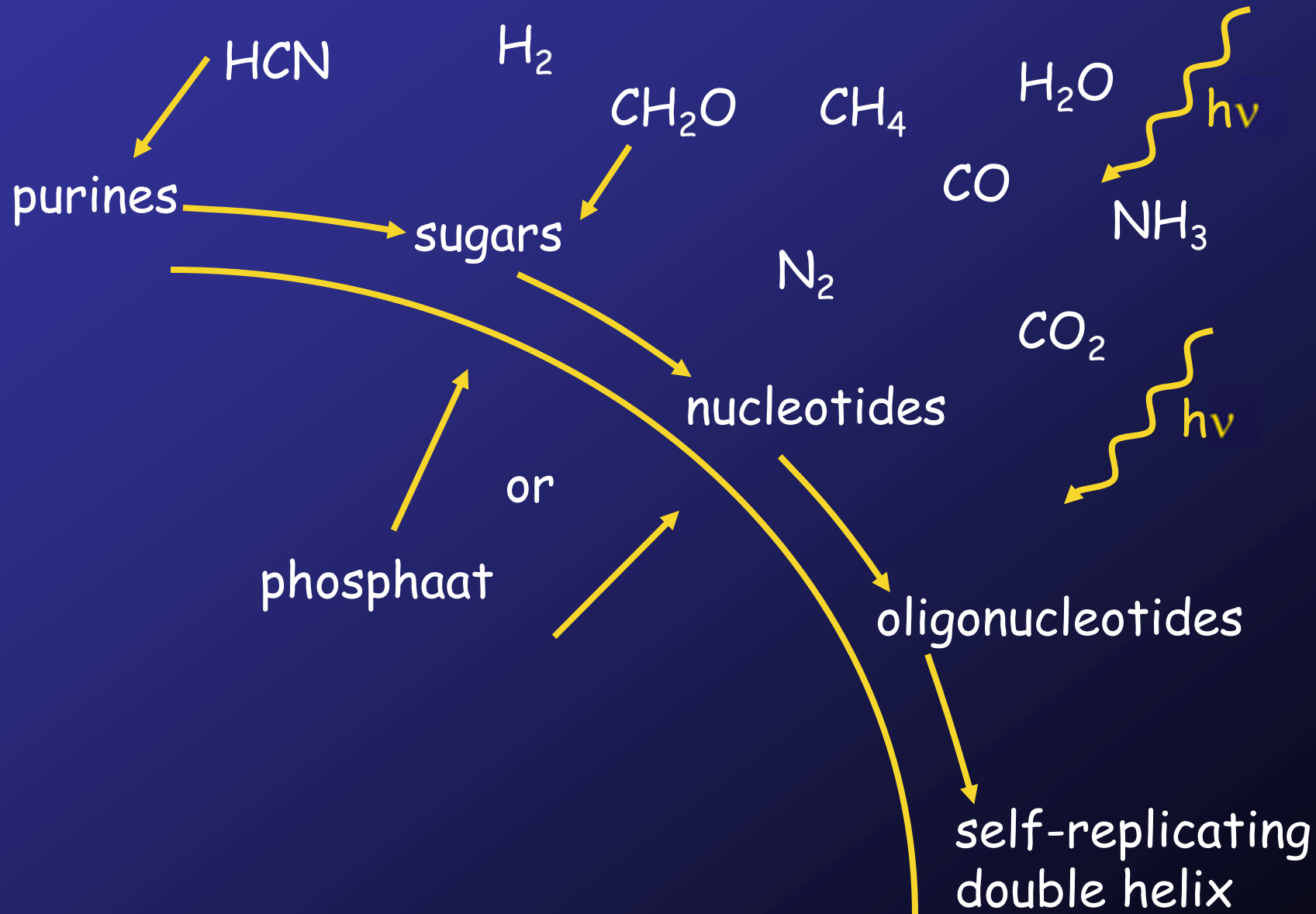
Vulkanische activiteit:

Water, methaan, ammoniak, koolmonoxide, H_2

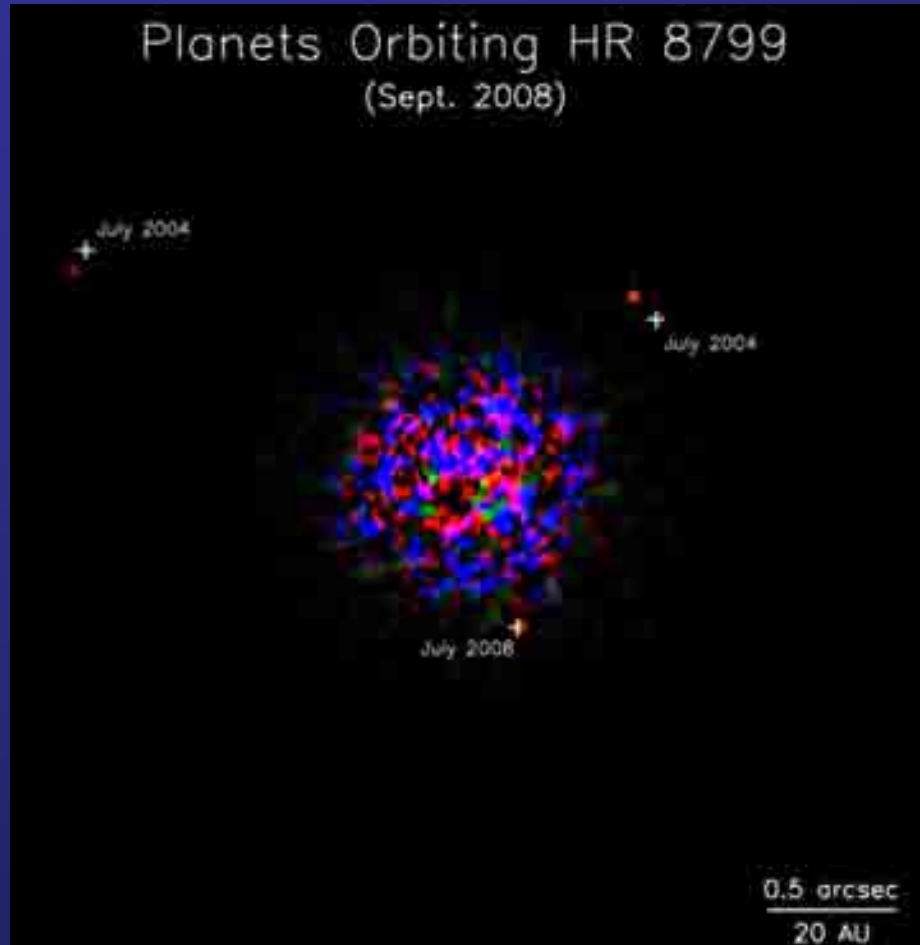
→ meer aminozuren dan oorspronkelijk experiment



Leven op Aarde



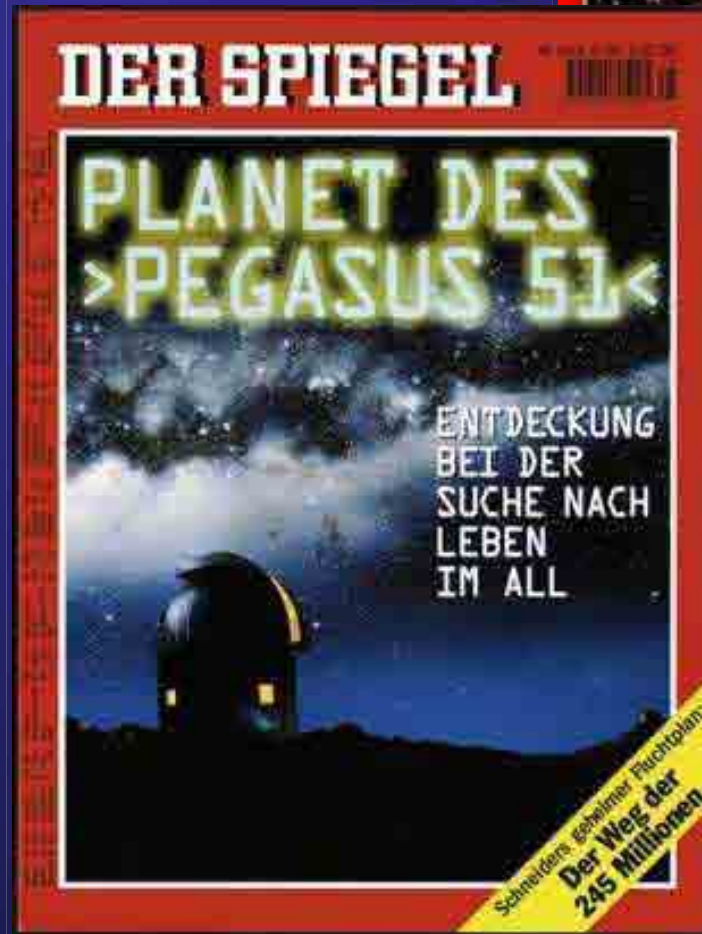
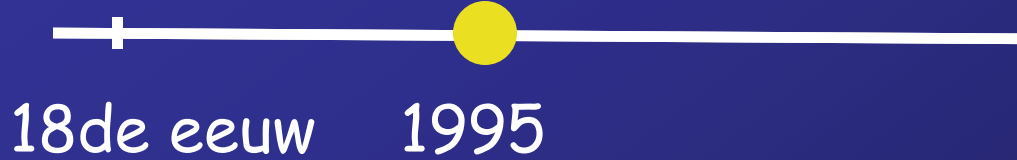
Er is meer dan één "Aarde"



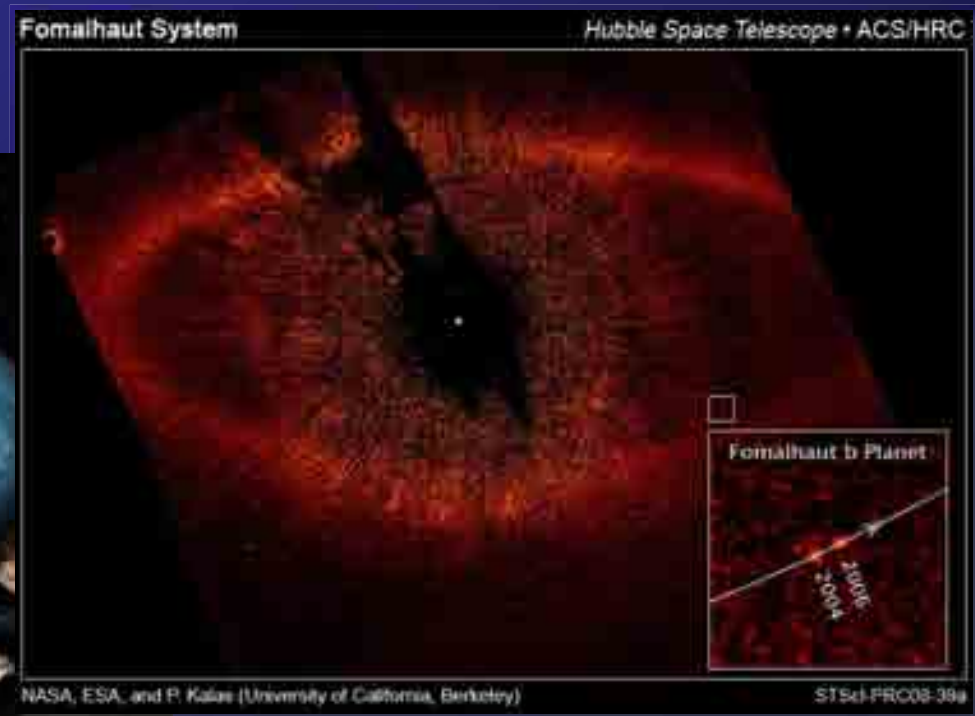
En misschien zijn we NIET alleen



Geschiedenis

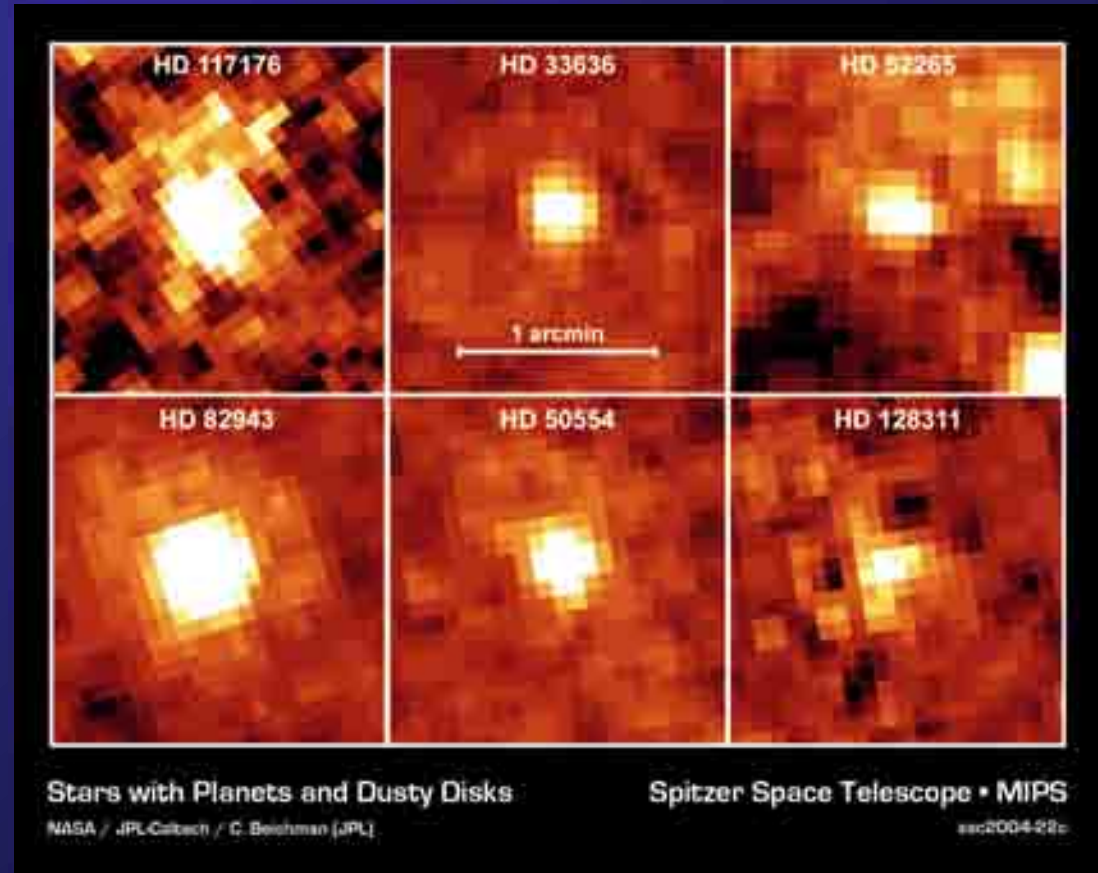
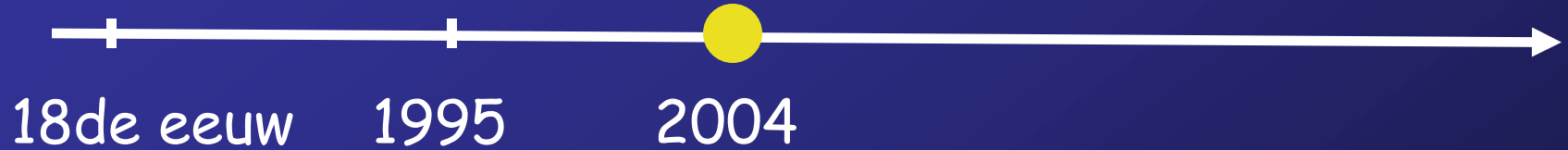


Geschiedenis



Kalas et al.

Geschiedenis



Geschiedenis



18de eeuw 1995 2004 2005

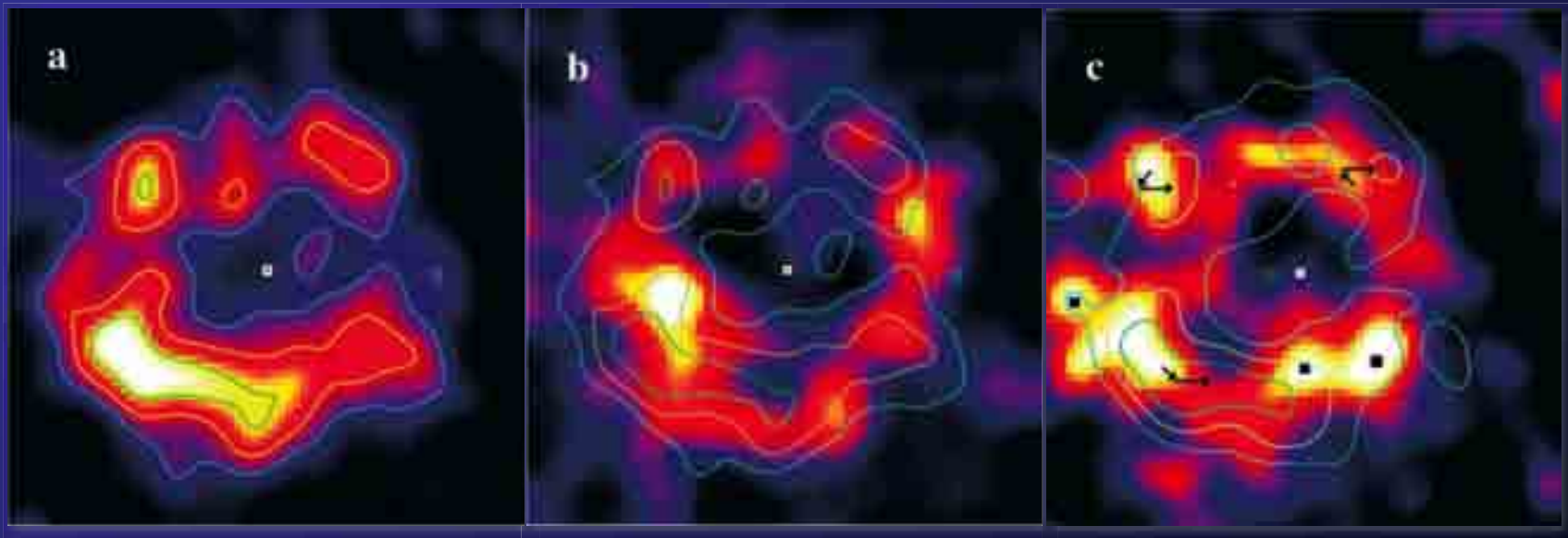
Inleiding

Ontdekking
exoplaneten

Protoplanetaire
schijven

De vorming
van de Aarde

Water en
leven op Aarde



ϵ Eridani (Greaves et al.)

Geschiedenis



Corot 7b/c

afstand 490 lichtjaar

4.8 aardmassas

Periode 20.5 h (b)

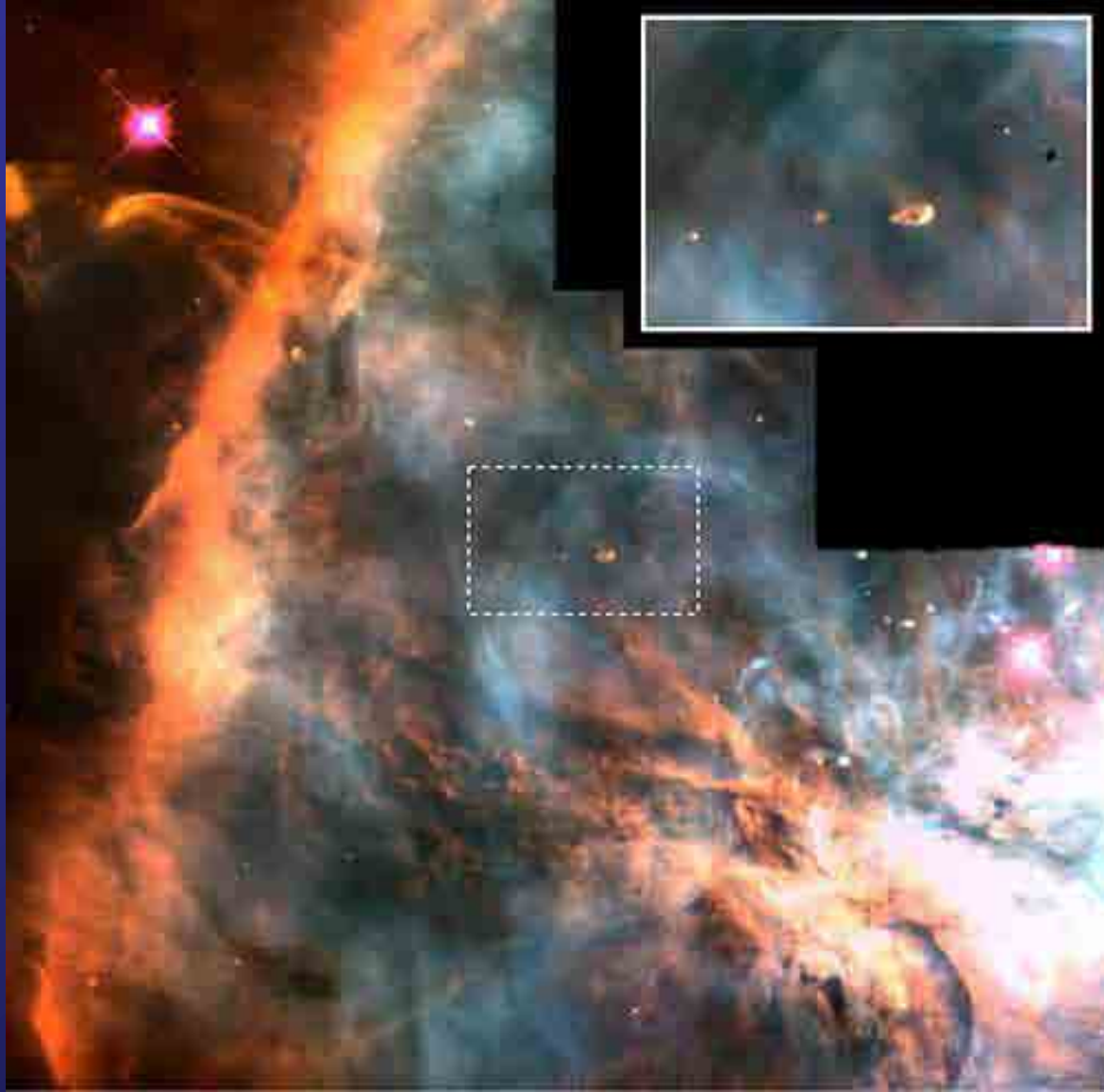
3.7 d (c)



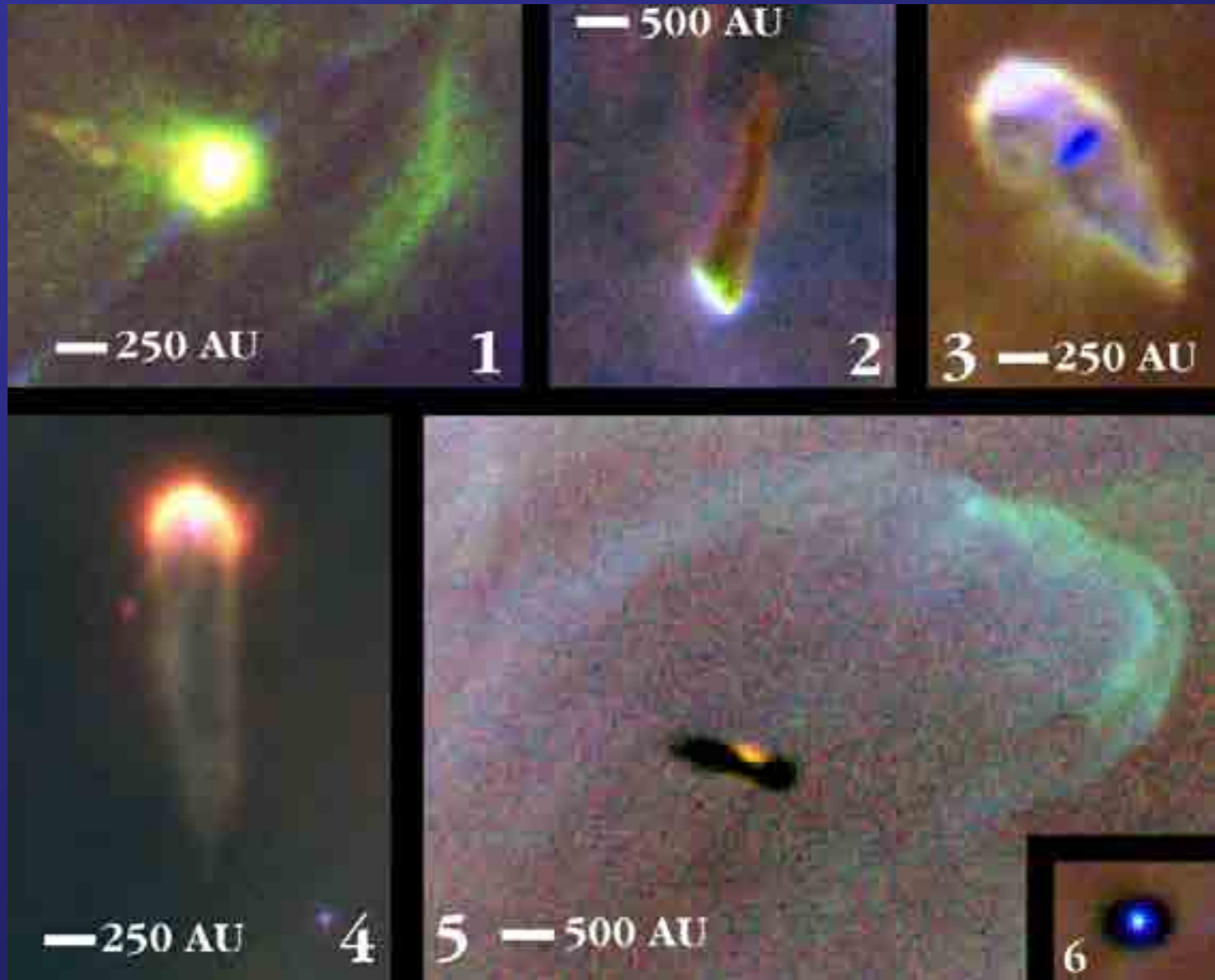
Corot 7b/(c)

afstand 490 lichtjaar, 5 aardmassas (b), periode 20.5 h (b), 3.7 d

Protoplanetaire schijven



Protoplanetaire schijven



Inleiding

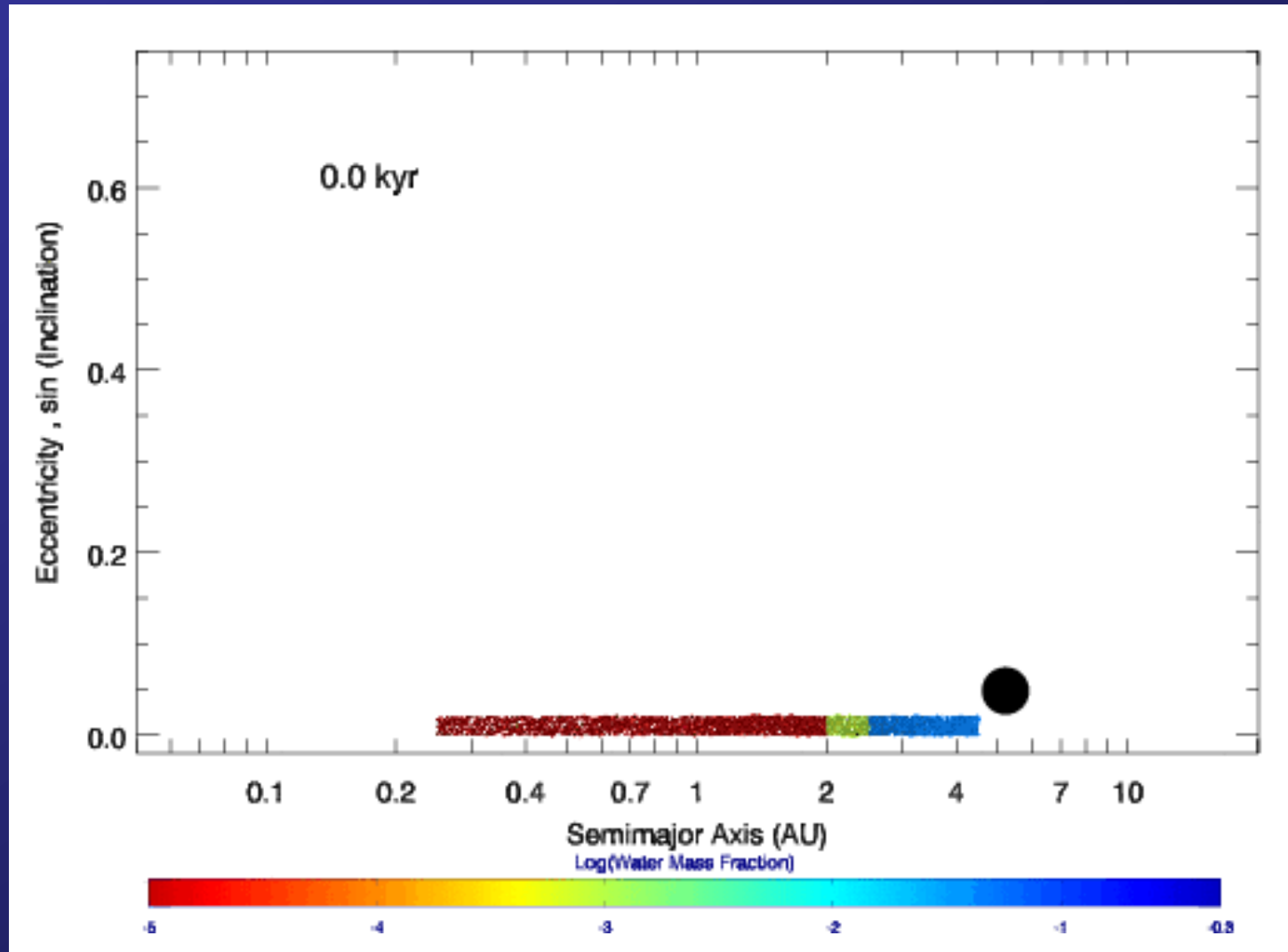
Ontdekking
exoplaneten

Protoplanetaire
schijven

De vorming
van de Aarde

Water en
leven op Aarde

Planeten zwerven rond...



Botsingen gebeuren overal



Verstrooid licht van kleine stofdelen (micron) in schijven rond andere sterren



Botsingen van rotsblokken produceren stof

Water vorming

Water in protoplanetaire schijven

