

Water in het Heelal



HARDY

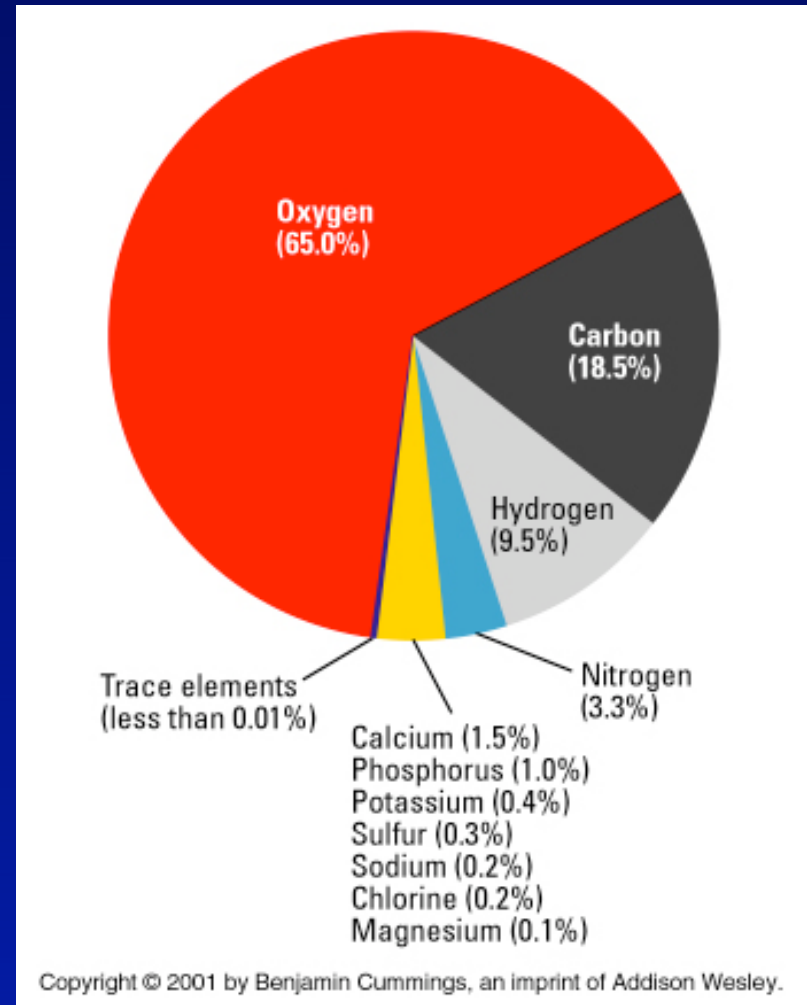
Ewine F. van Dishoeck
Sterrewacht Leiden

Waarom water?

- **Chemie van leven speelt zich af in water**
 - **Onze cellen zijn voornamelijk water**
 - **Leven ontstaat in water**
- **Geologie en klimaat van onze aarde wordt bepaald door water**
- **.....**

Leven op aarde

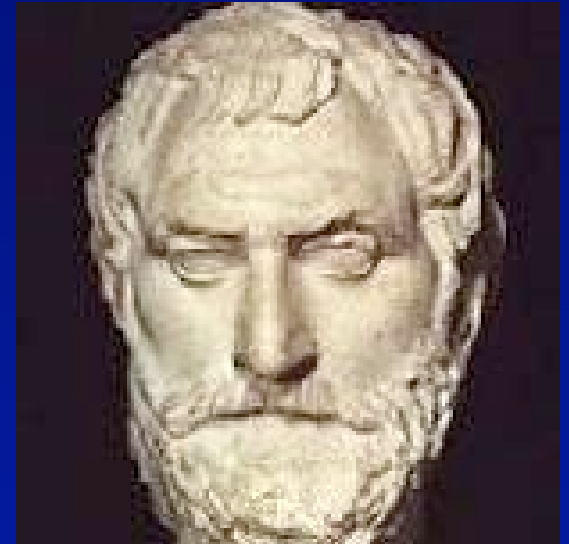
- Waaruit bestaan wij?



Fascinatie met water

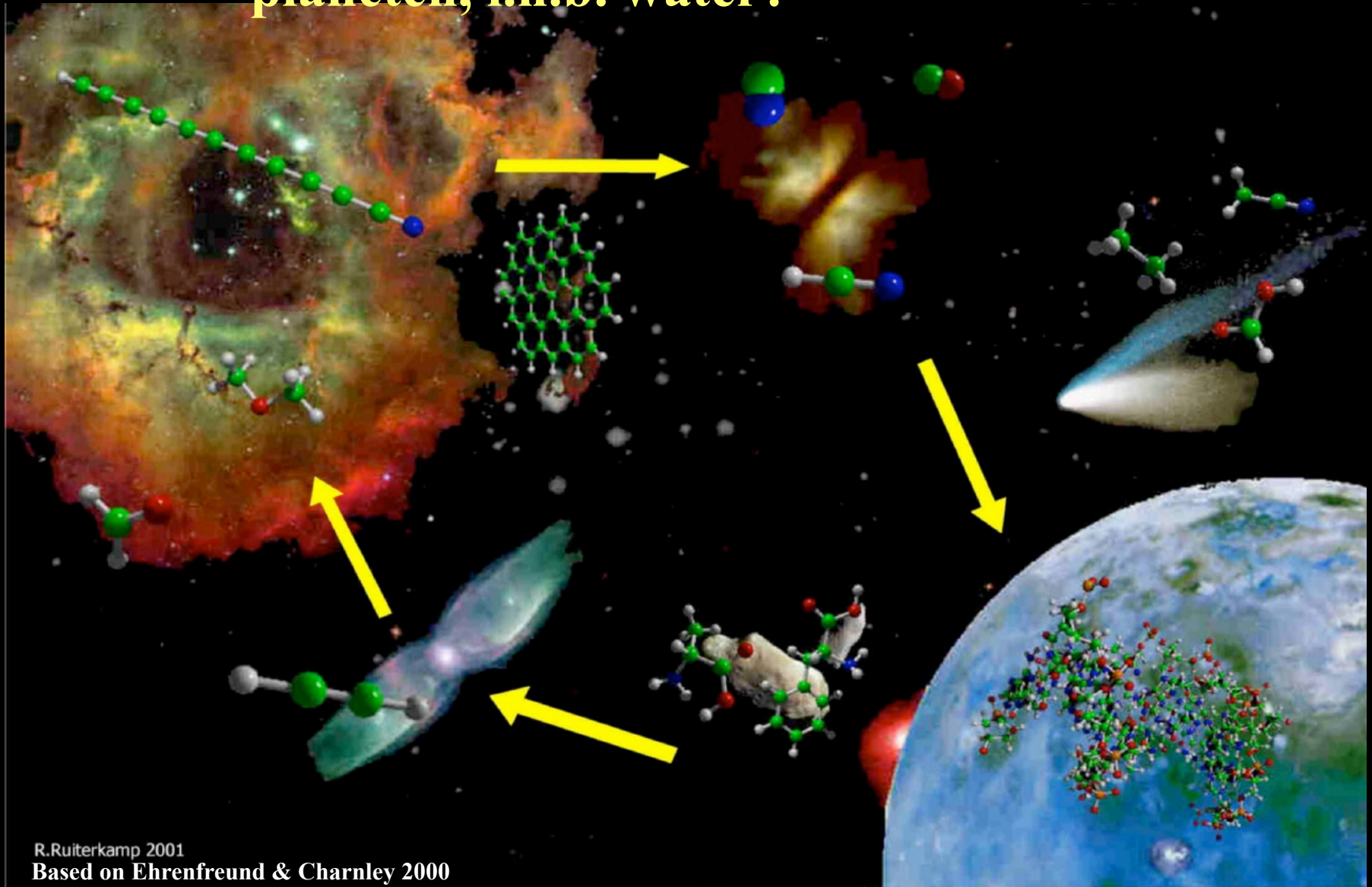


Leonardo da Vinci:
‘Water is het bloed van de planeet’



**Thales van Milete 6'e eeuw
BC**
‘Alle materie komt uit water’

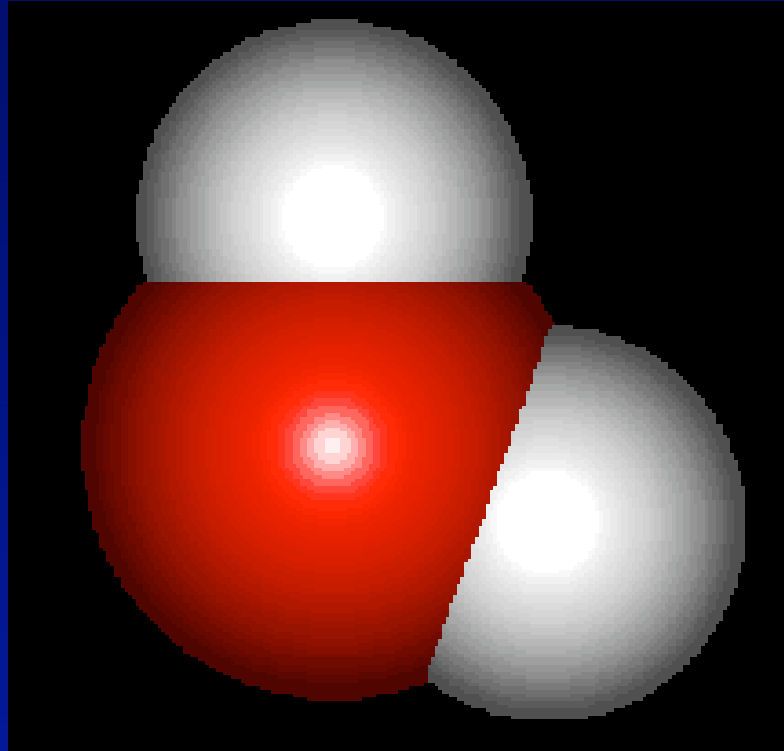
Wat zijn de bouwstenen voor nieuwe planeten, i.h.b. water?



R. Ruiterkamp 2001

Based on Ehrenfreund & Charnley 2000

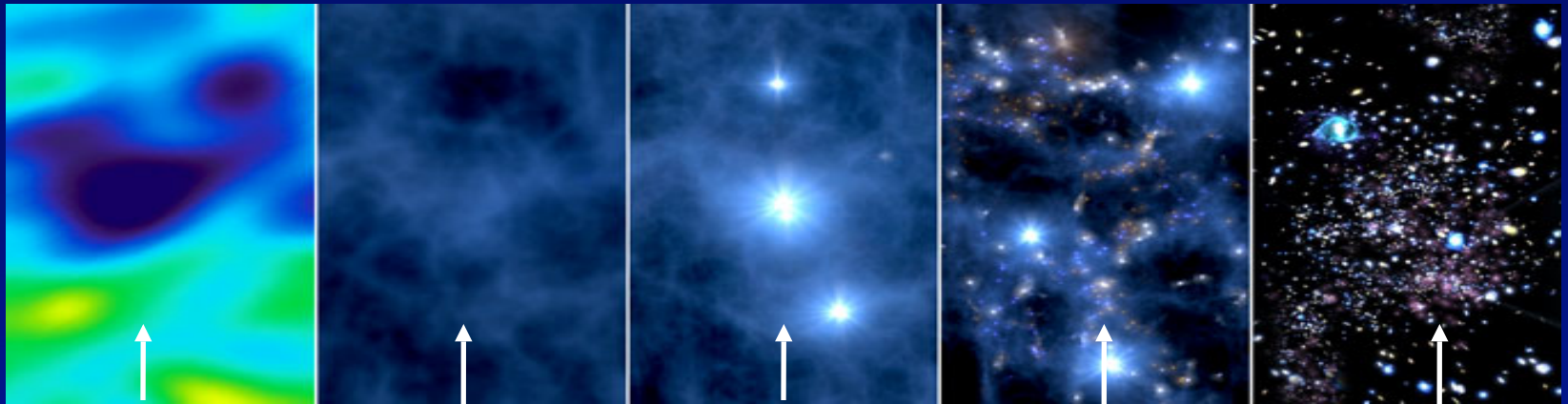
Water: 2 H + O



In den beginne: de Big Bang Vorming H

- Expansie heelal => afkoelen quark soep zodat protonen en neutronen gevormd kunnen worden, en uiteindelijk atomen (1 minuut na oerknal)
- Oerknal produceert alleen H, D, He en Li, niet de zwaardere elementen zoals O

Daarna?



Fluctuaties in
oersoep

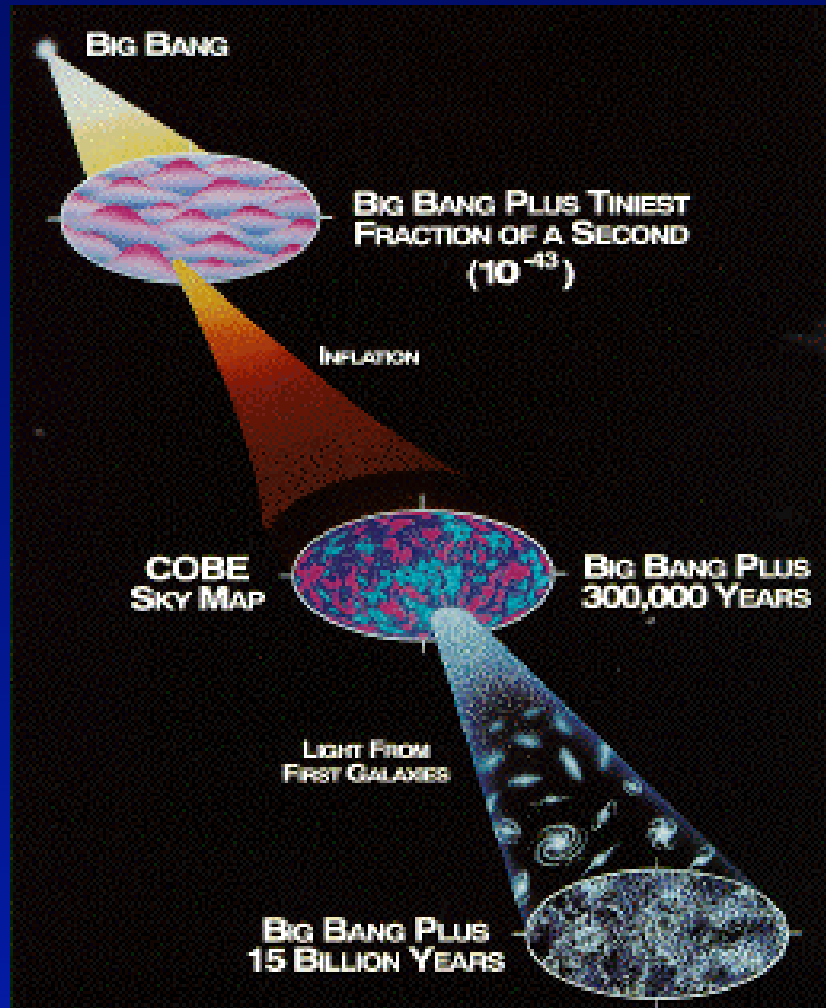
Het illuminatie
Tijdperk:
De eerste sterren

Vandaag

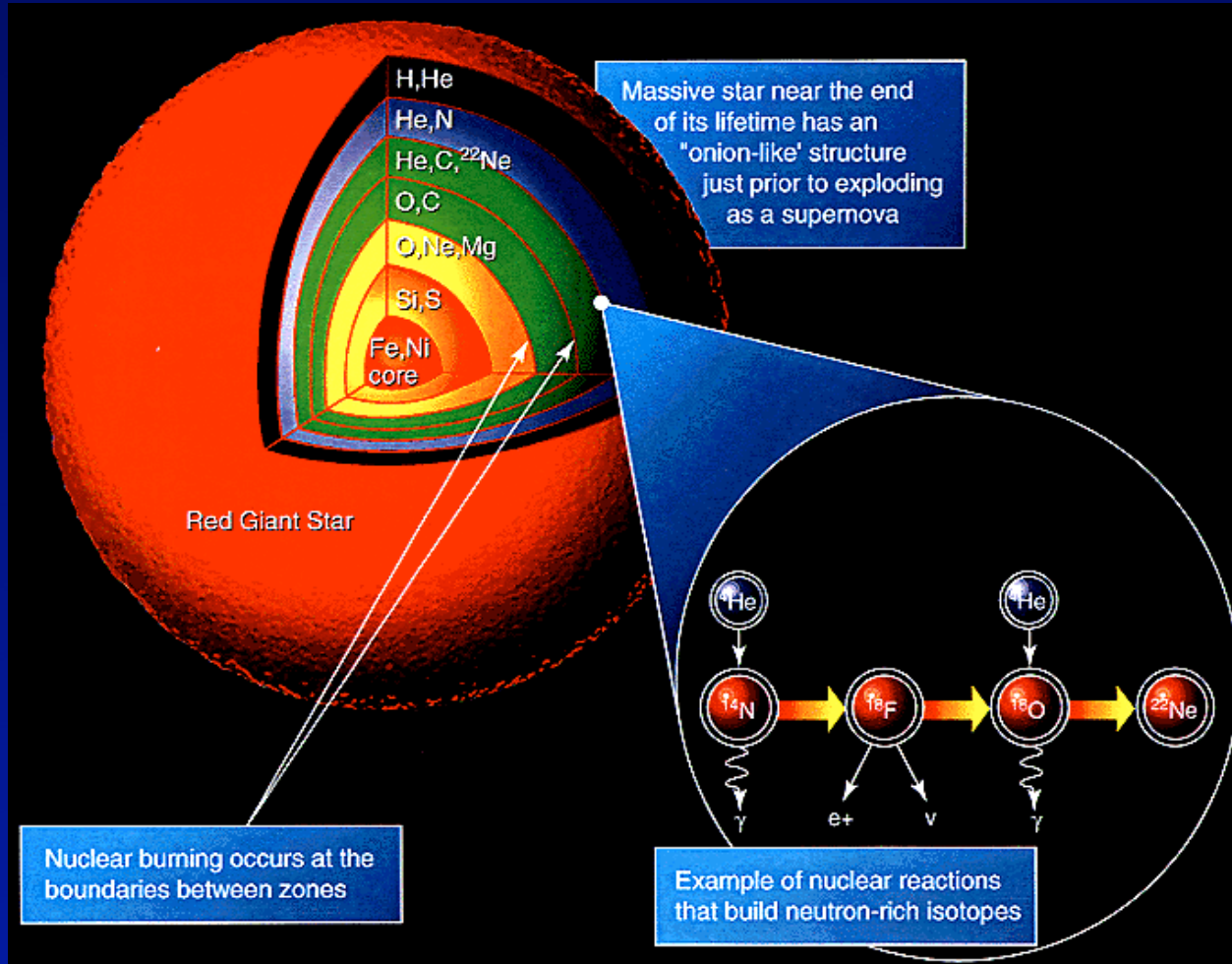
De donkere
eeuwen:
Grote H wolken

Vorming van melkwegstelsels
Eiland sterren

Kosmische evolutie

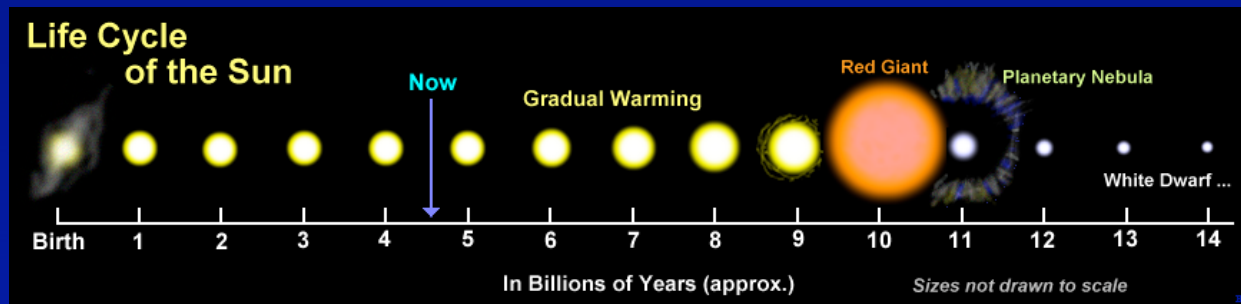
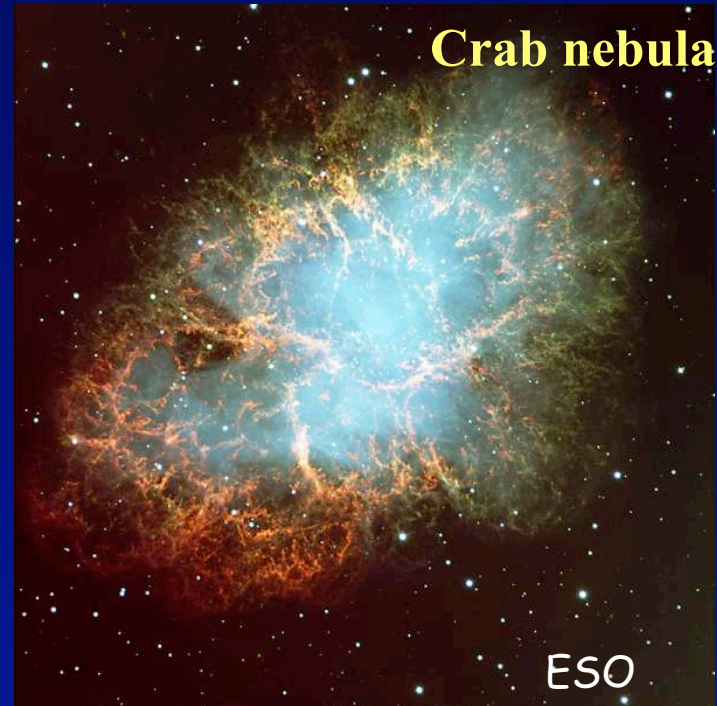


Kernfusion in sterren: Vorming O



Wij zijn sterrenstof

- Kernfusie leidt tot vorming zwaardere elementen zoals O
- Deze elementen worden aan het einde van het leven van een (zware) ster de ruimte in geslingerd
- Dit gebeurt overal in onze Melkweg en zelfs in de eerste melkwegstelsels



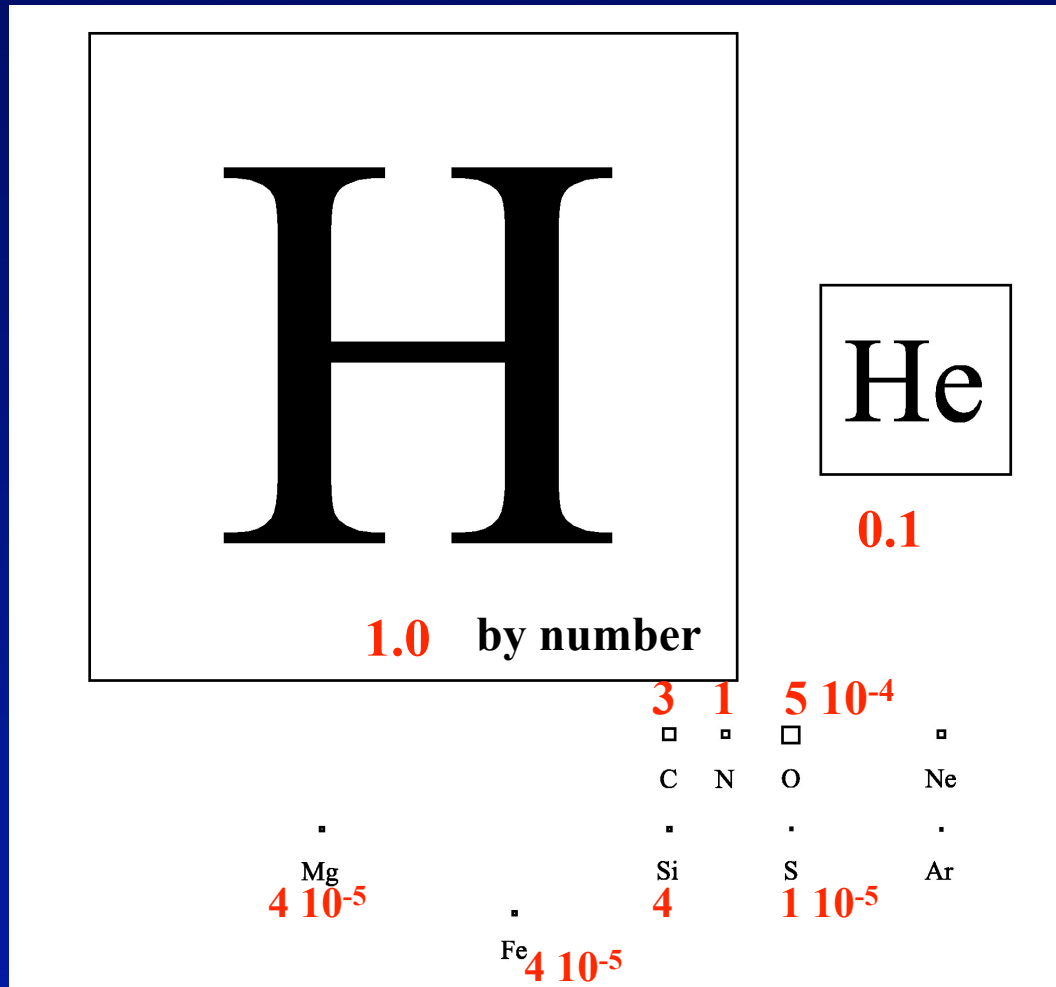
Verre melkwegstelsels



**Hubble Ultra
Deep Field**

- Sommige van deze melkwegstelsels zijn ontstaan toen heelal nog maar 5% van huidige leeftijd had
- In deze melkwegstelsels worden al moleculen gevonden!

Het periodiek systeem van de astronoom



Stofdeeltjes: 10^{-12} qua
aantal

B. McCall 2001

Interstellair water gas

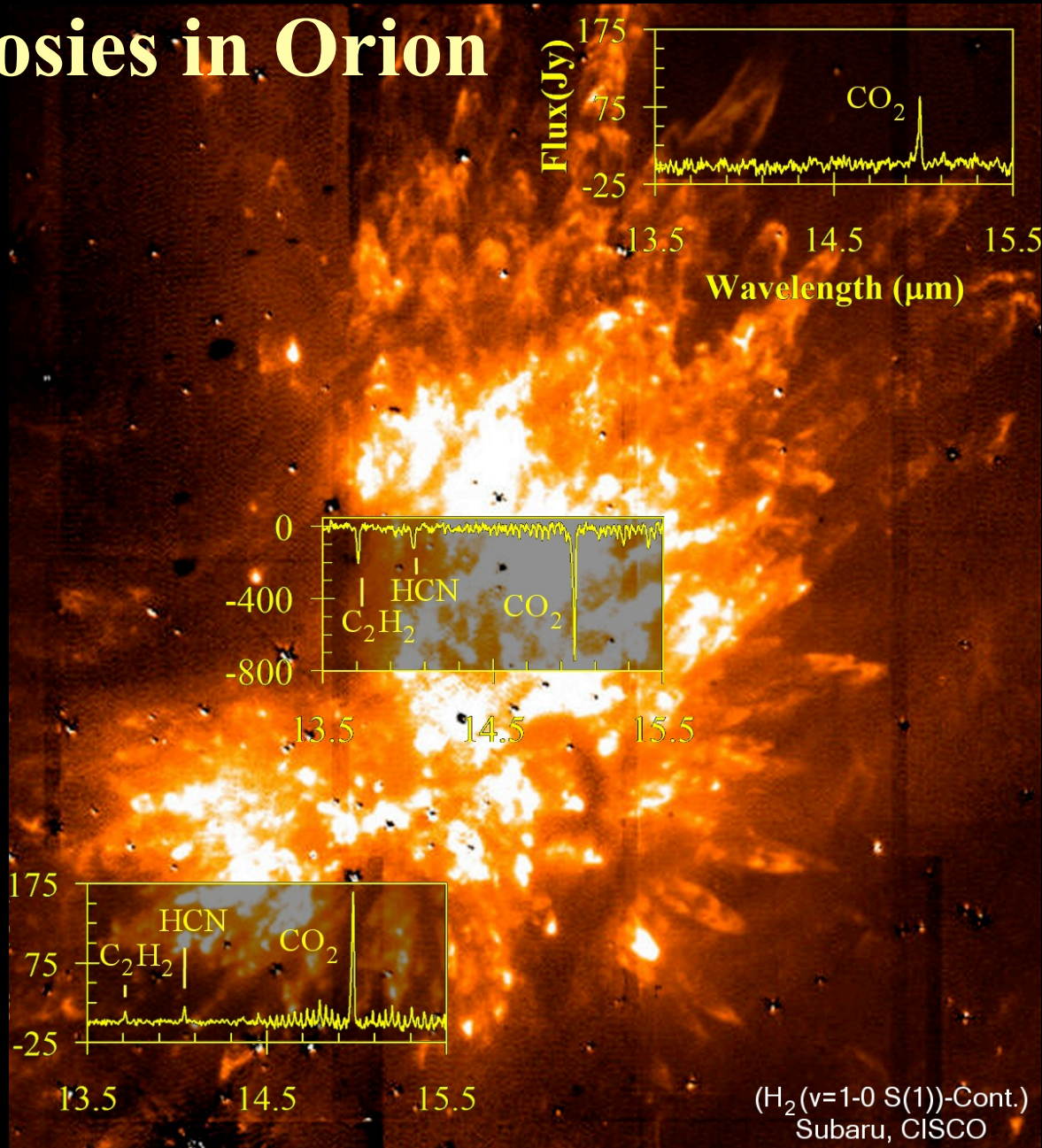
- **Ontdekt in 1969 in o.a. Orion nevel door Cheung et al. via 22 GHz maser**
 - Microwave amplification of stimulated emission radiation
- **Masers waargenomen in veel (massieve) stervormingsgebieden in ons eigen melkweg en andere melkwegstelsels**
 - Bewijs voor bestaan zwart gat via nauwkeurige bewegingen
- **Interessant, maar geen informatie over abundantie**
- **Normale water lijnen geblokt door atmosfeer**

Orion nevel



Hubble

Explosies in Orion



Hoge snelheid
uitstroom van
gas => water!

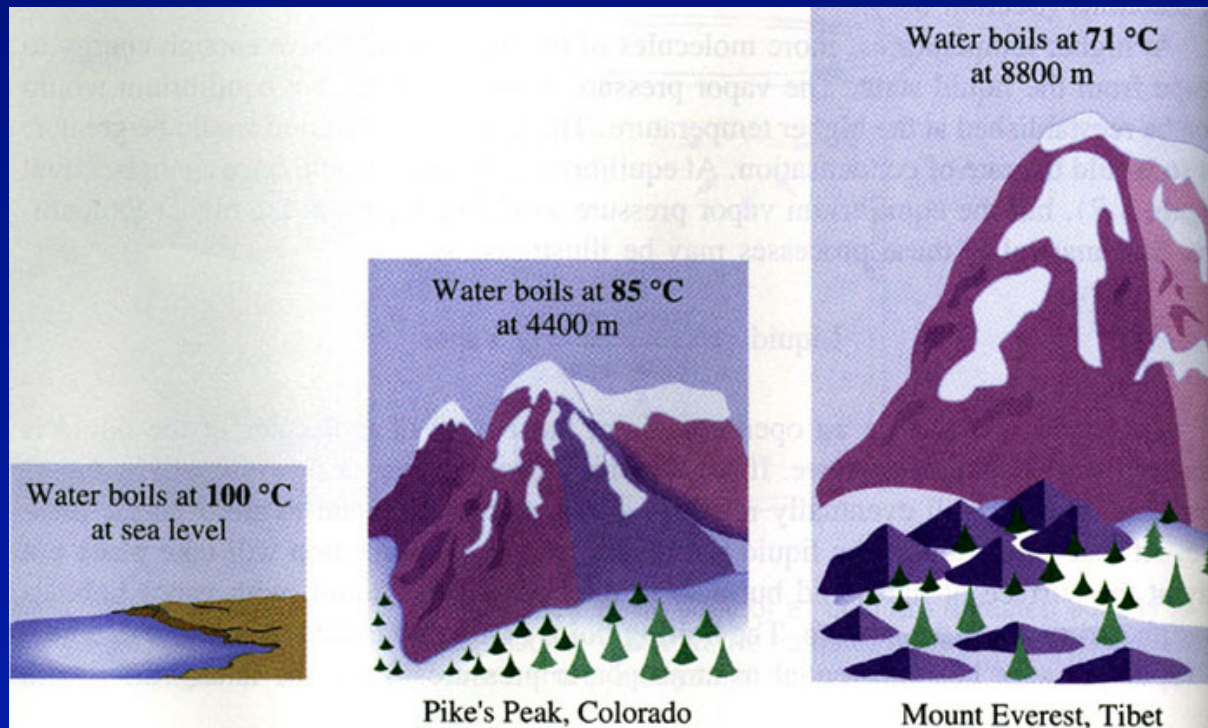
ISO-SWS

Welke vorm heeft water?

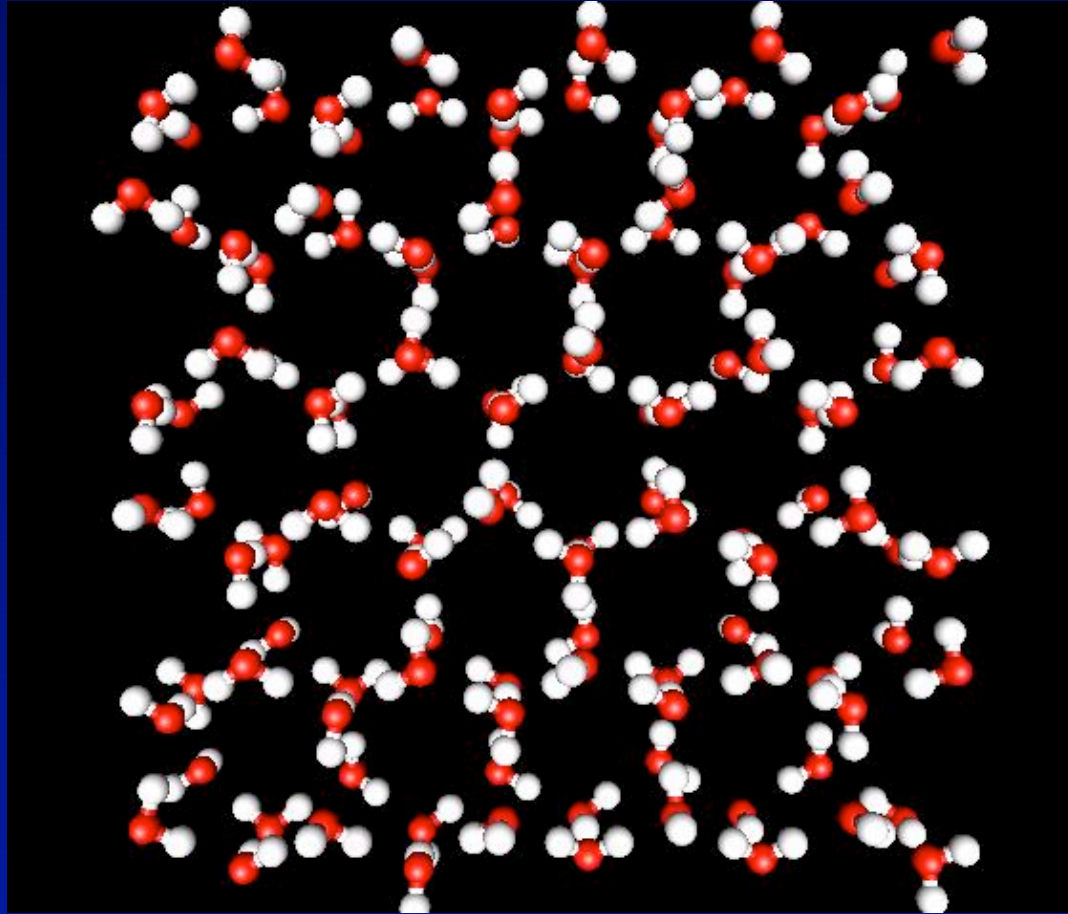
- Gas
- Vloeistof
 - Alleen onder hoge druk, niet in de interstellaire ruimte
- Ijs

Merkwaardige eigenschappen water

- Ijs drijft op vloeibaar water
- Water kookt bij hoge temperatuur (voor zijn massa)
- Beide eigenschappen zijn gevolg van waterstofbrugnetwerk

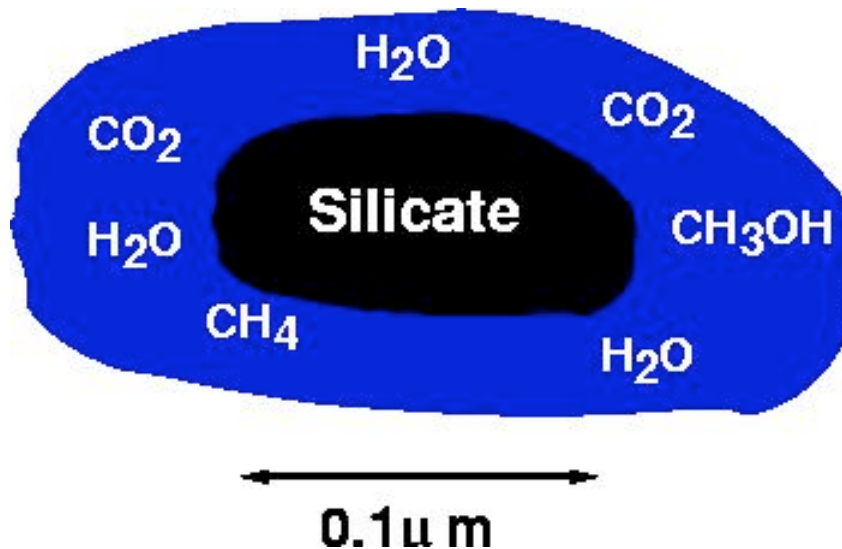


Waterijs structuur

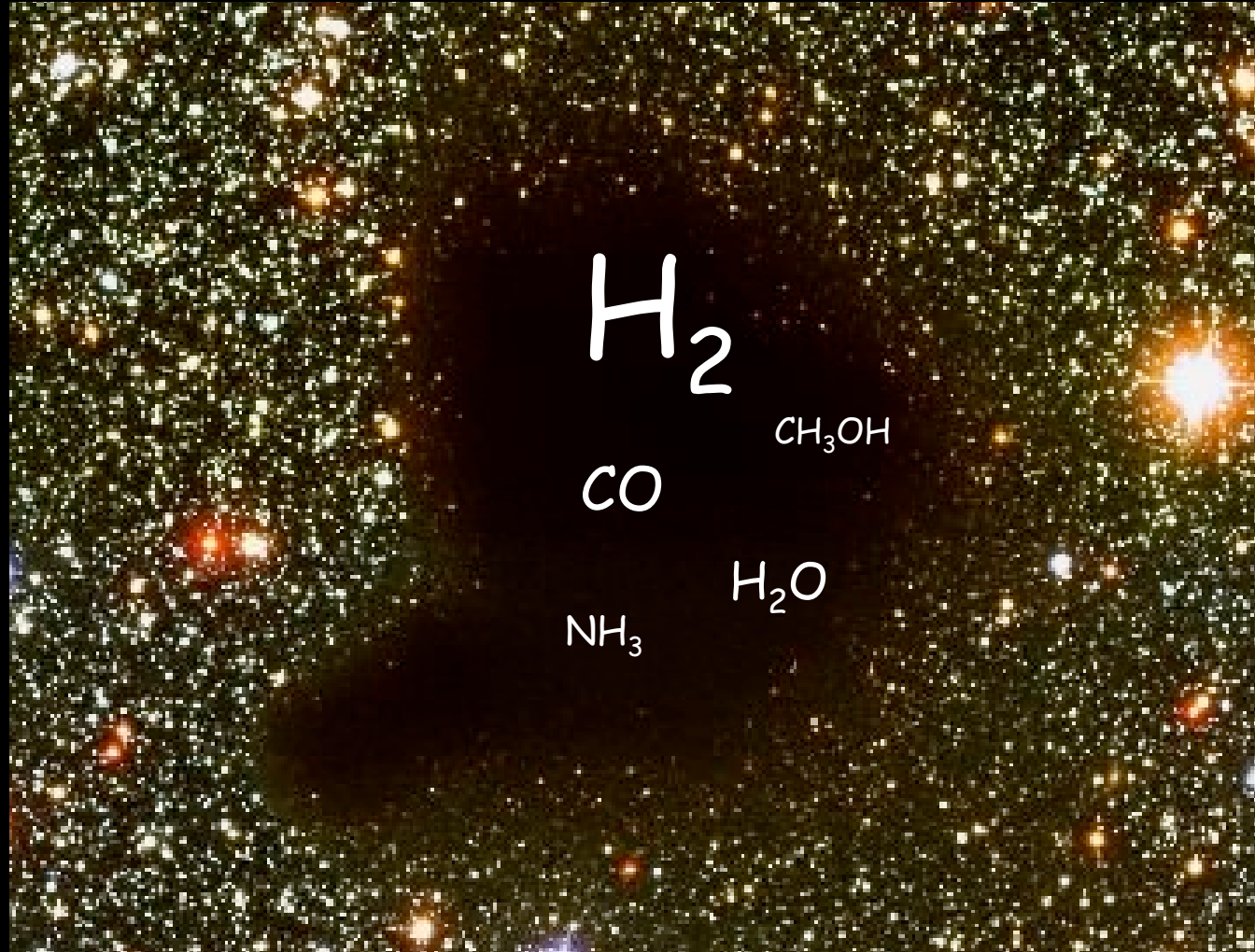


Interstellaire ijs

Gas vriest uit op stofdeeltjes \Rightarrow
hydrogenatie $O + H \rightarrow H_2O$



Water maken



ESO/J. Alves

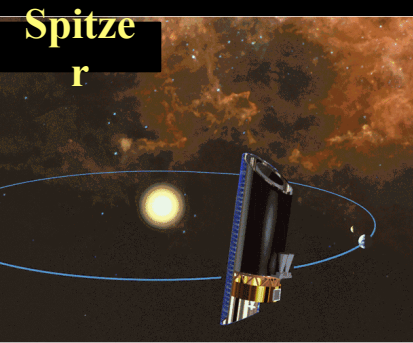
Donkere wolken



- 99% gas (H_2)
1% stof ($0.1 \mu m$ silicaten)
- Temperatuur: ~ 10 K (-263° C)
- Dichtheid: ~ 10000 deeltjes per kubieke cm (miljoen keer minder dan in lab)

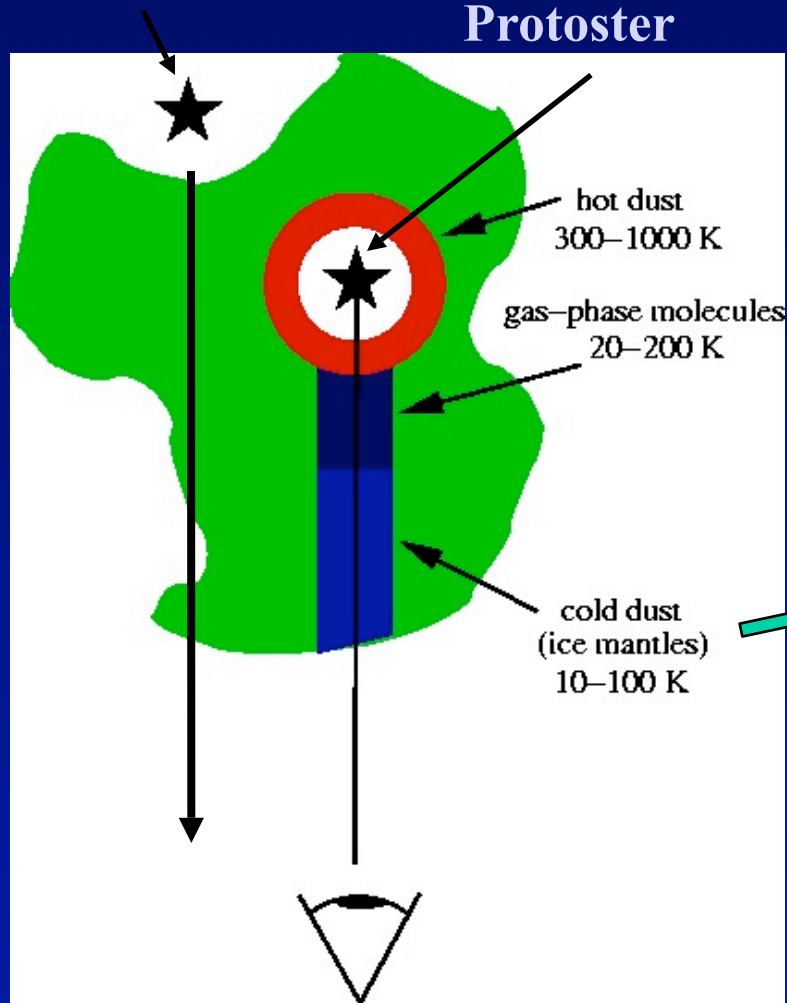
Lange golflengten

HH 46 stervormingsgebied
van optisch => IR

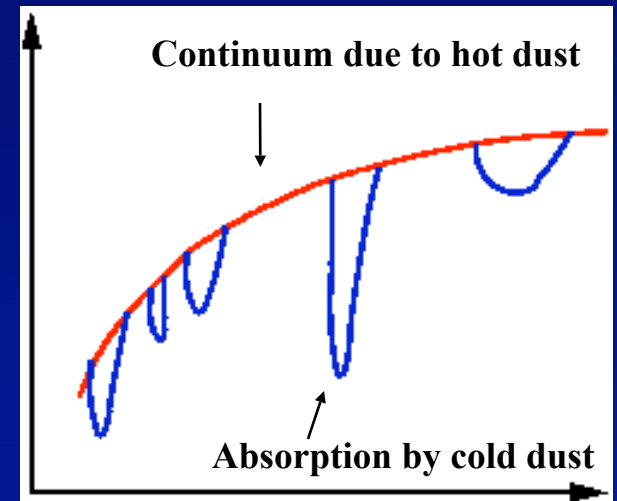


Infrarood: absorptie

Achtergrond ster

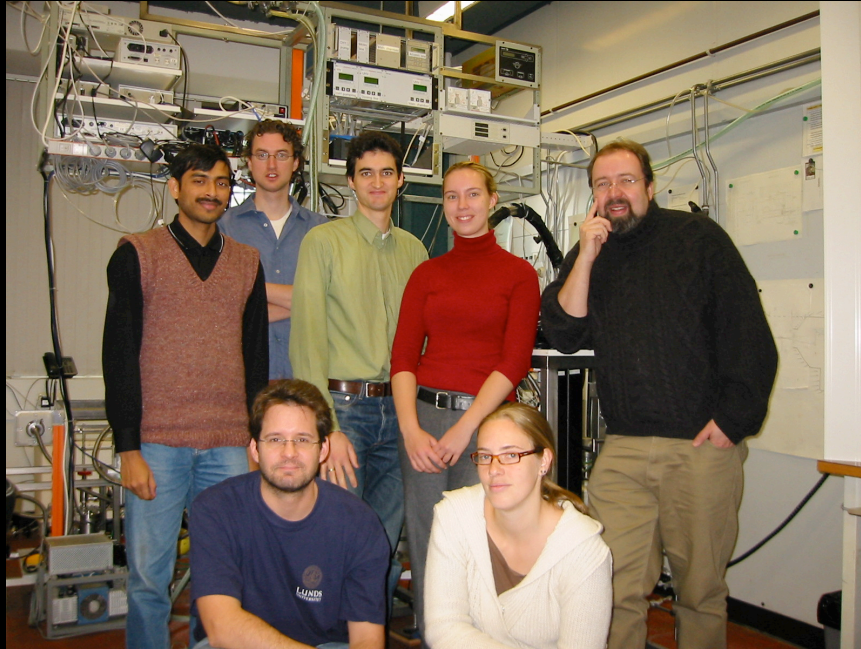


Intensiteit



Golflengte

Sackler laboratory for astrophysics



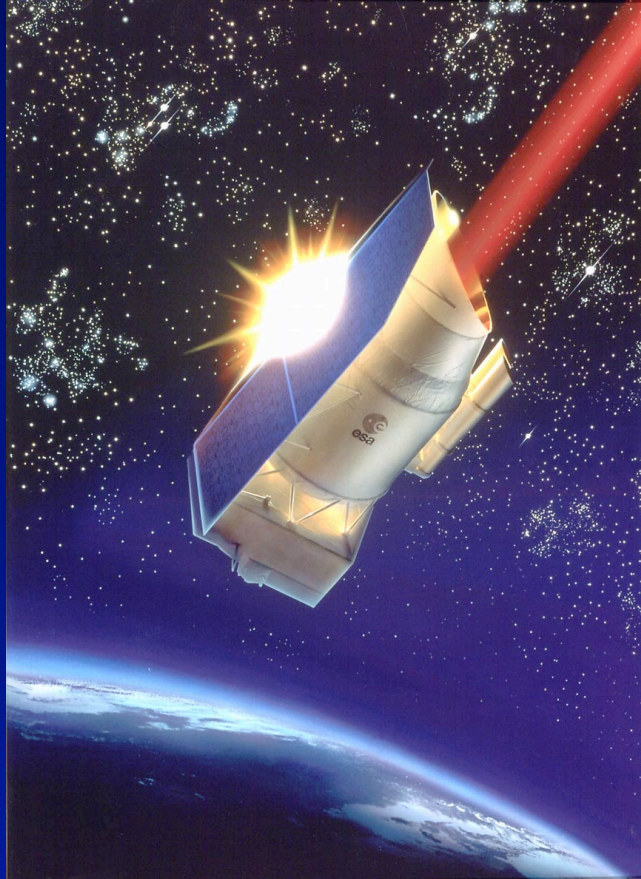
Linnartz, Fuchs, Bisschop, Öberg,
Verbraak, Bouwman, Wehres, Ioppolo

- Spectroscopie
- Sticking, desorptie van ijzen
- UV bestraling
- Oppervlakte chemie
- Gas-fase spectroscopie radicalen
-
-

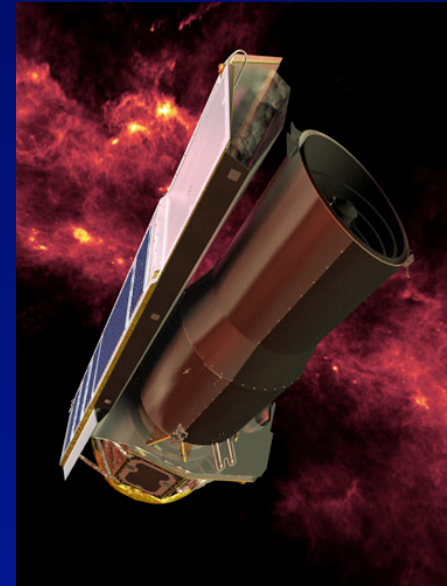
Schlemmer, Fraser, van Broekhuizen



Infrarode satellieten



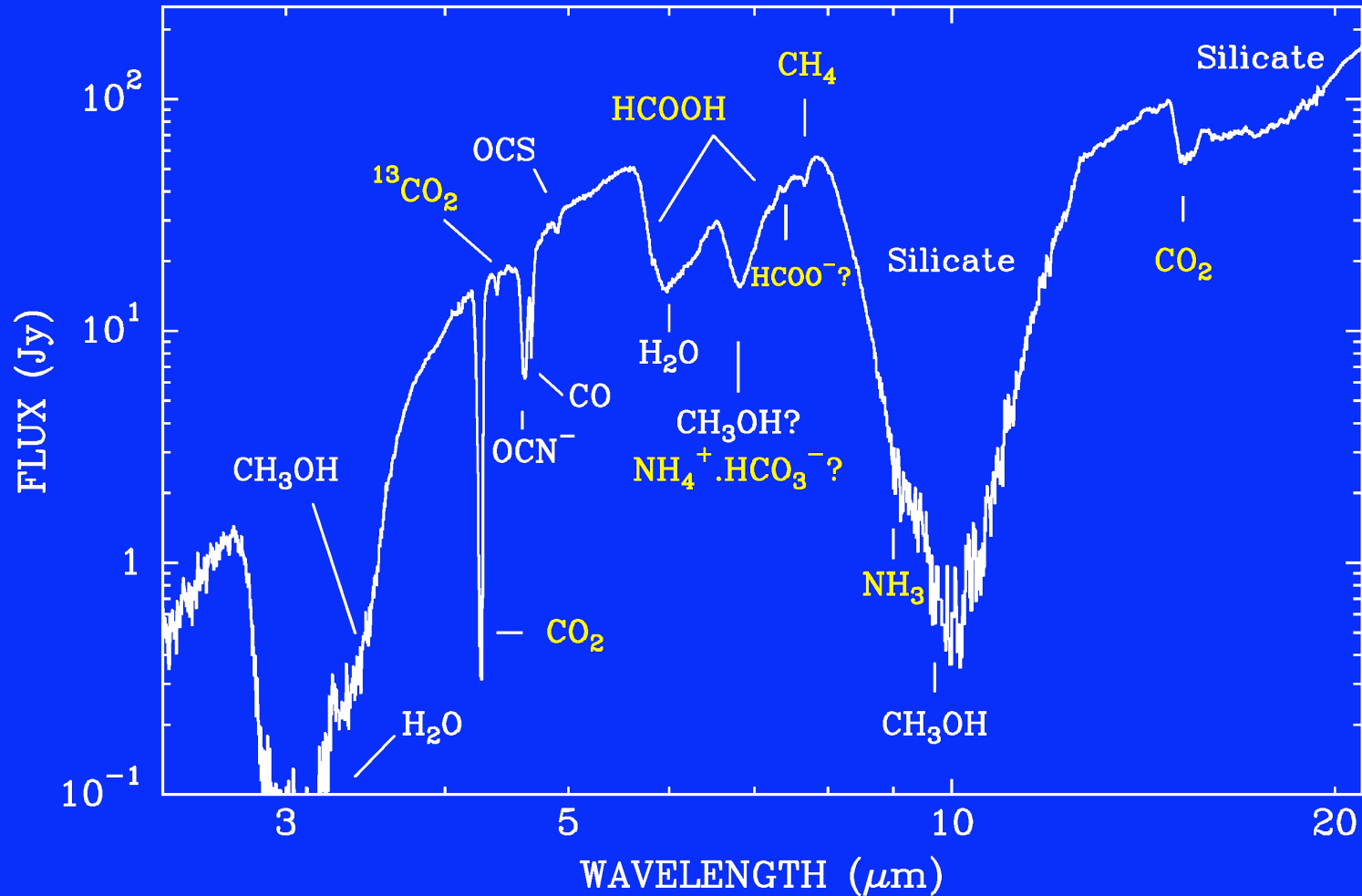
ISO 1995-1998
i.h.b. ISO-SWS



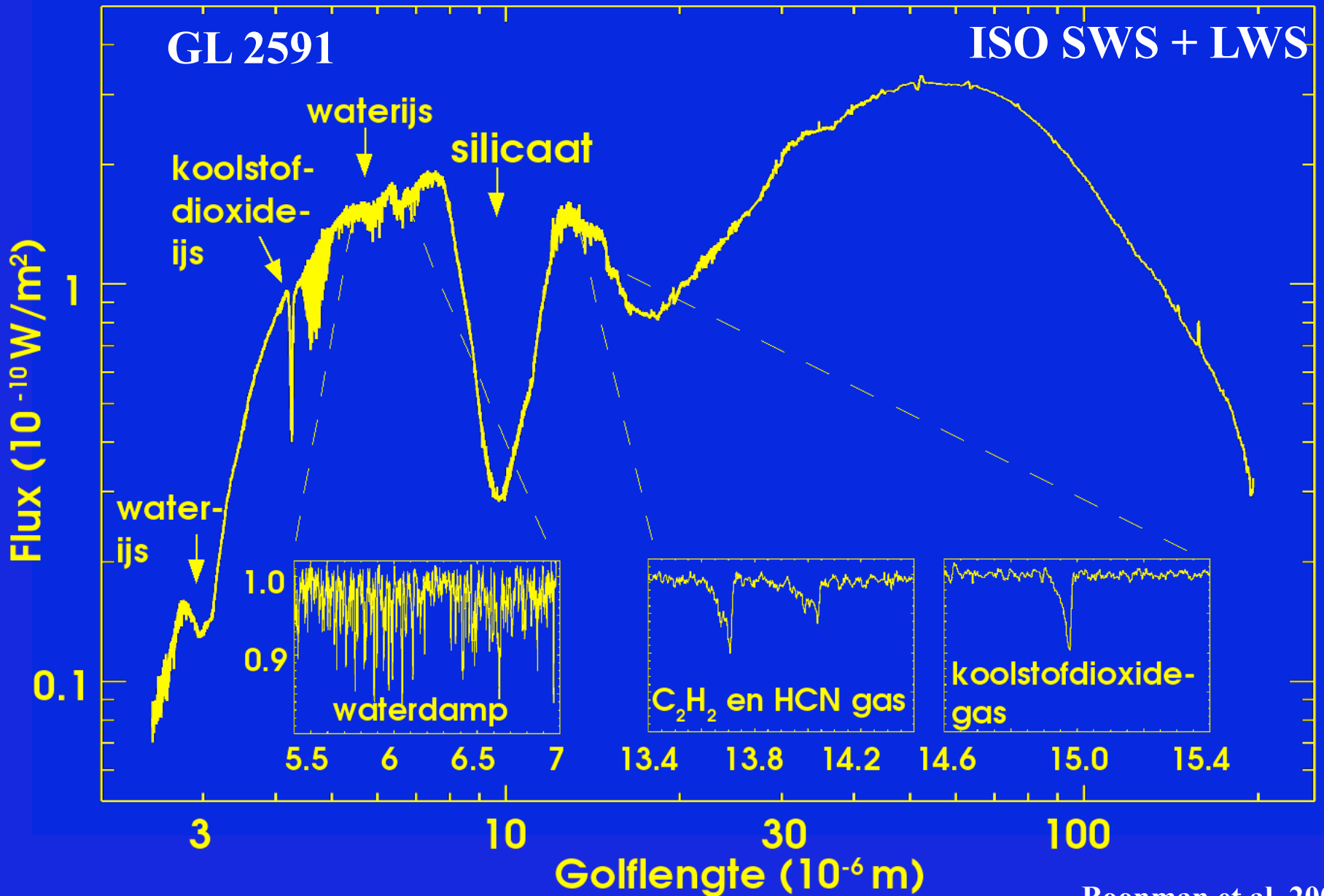
Spitzer 2003-

Large part of infrared and submm blocked by atmosphere (i.p. H_2O , O_2 and CO_2)

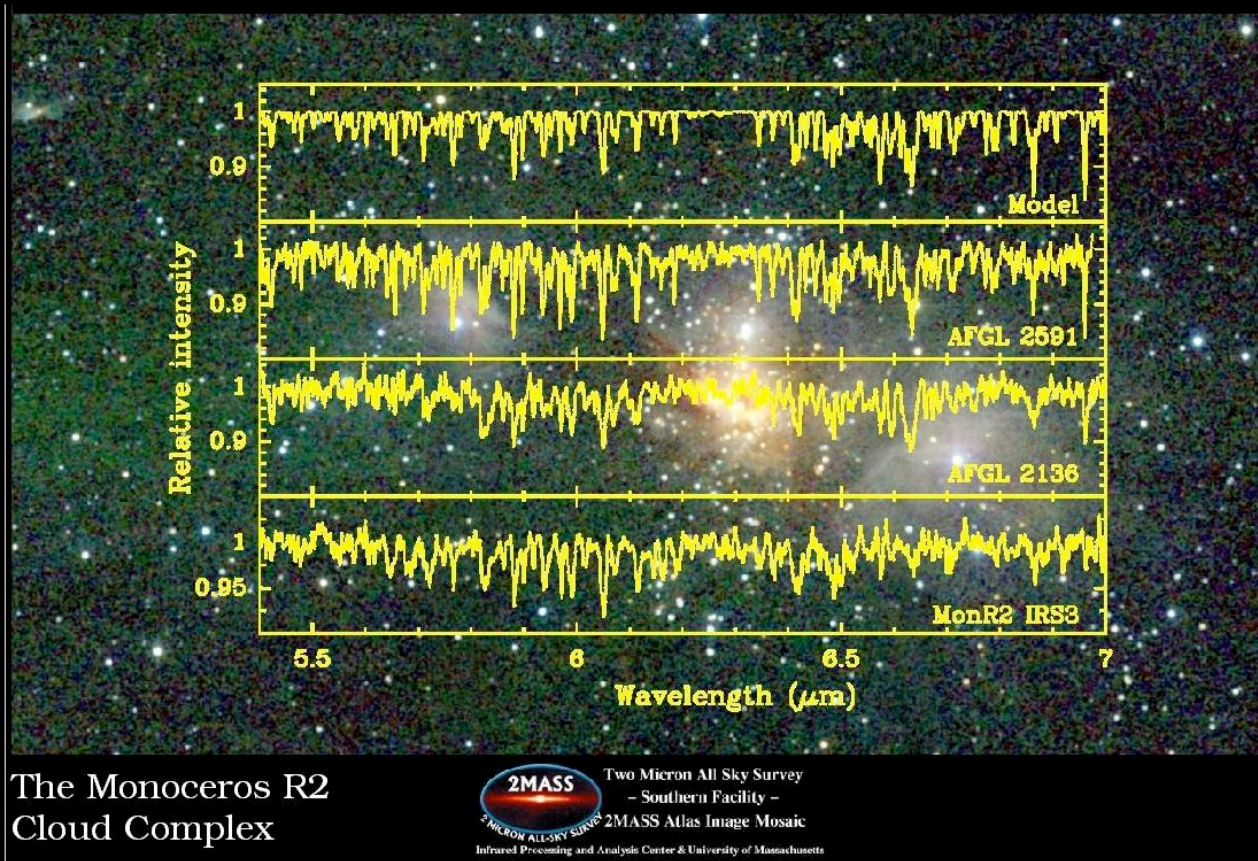
ISO-SWS: inventaris van ijzen



Hoge massa sterren

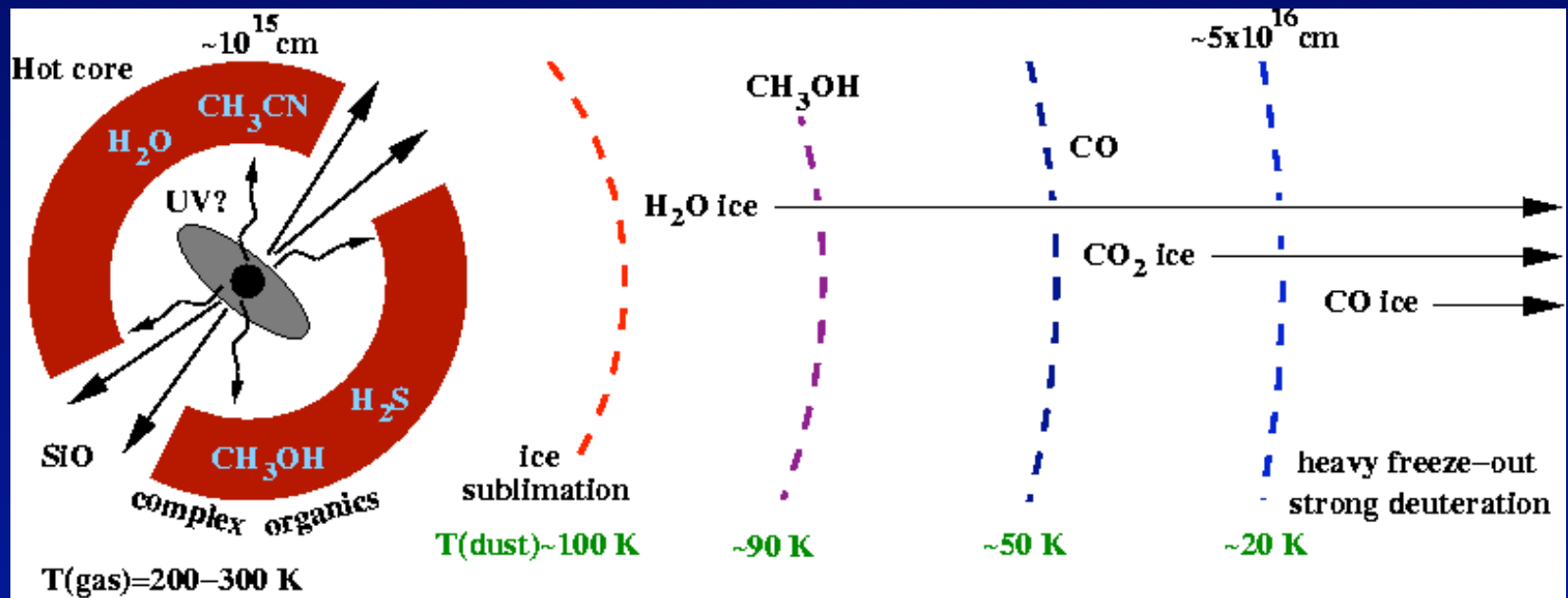


Heet water

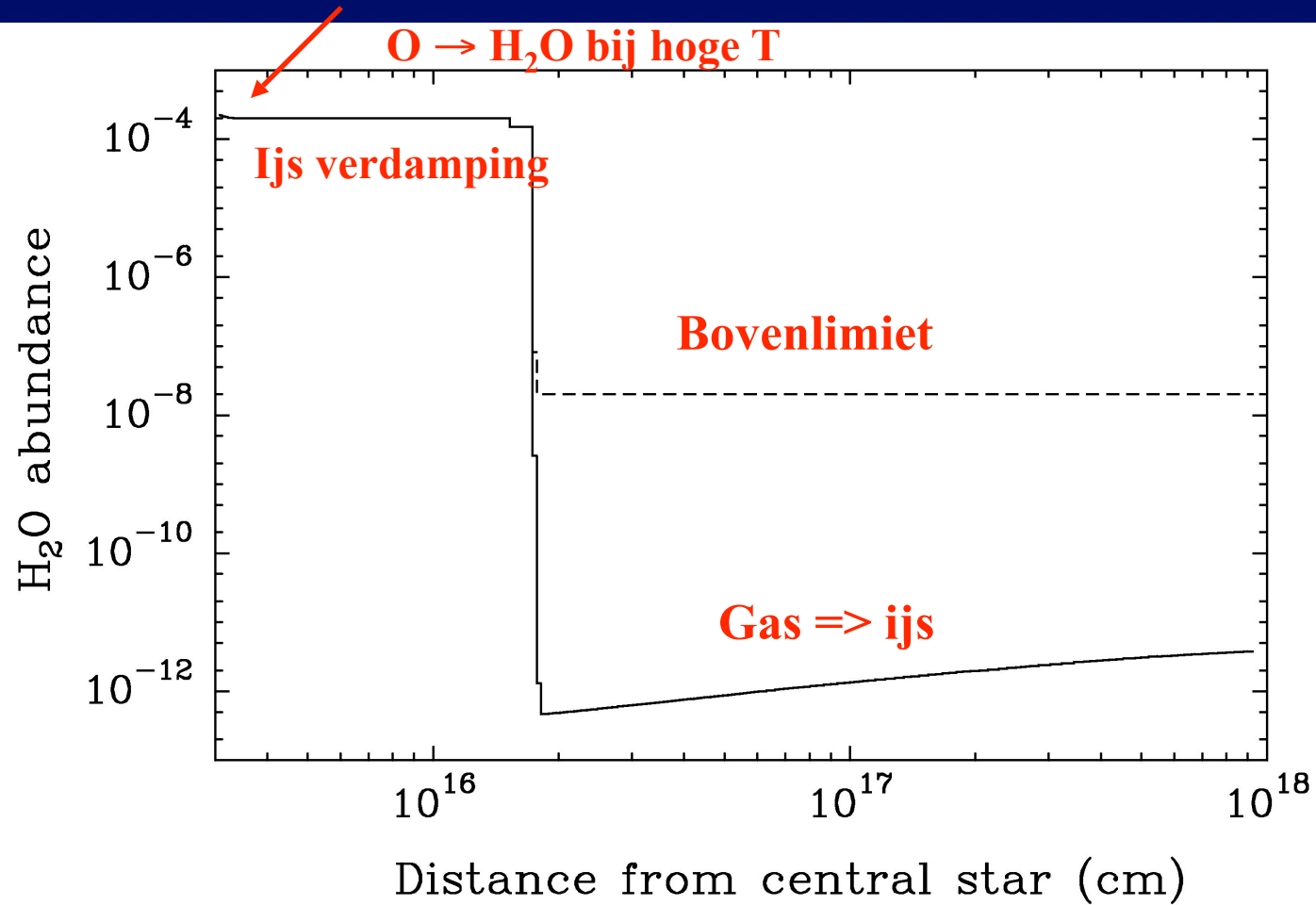


- Protoster omhulsel bevat evenveel water als een miljoen oceanen!

Structuur protoster



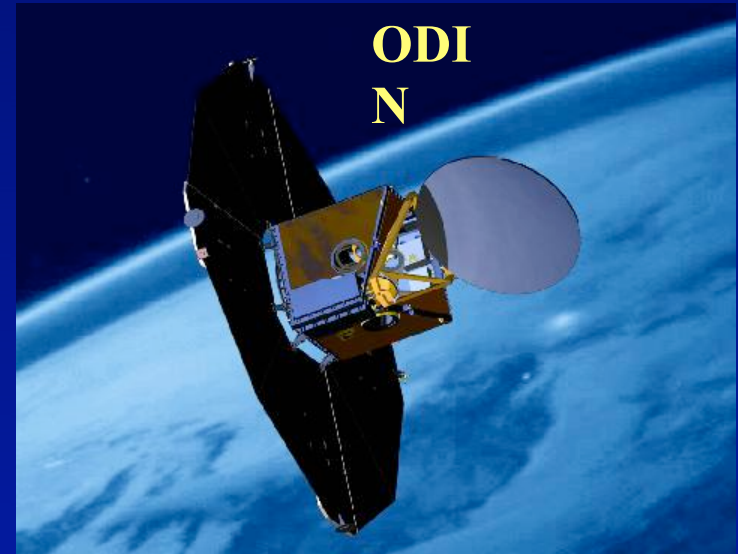
Water abundantie: hoog en laag



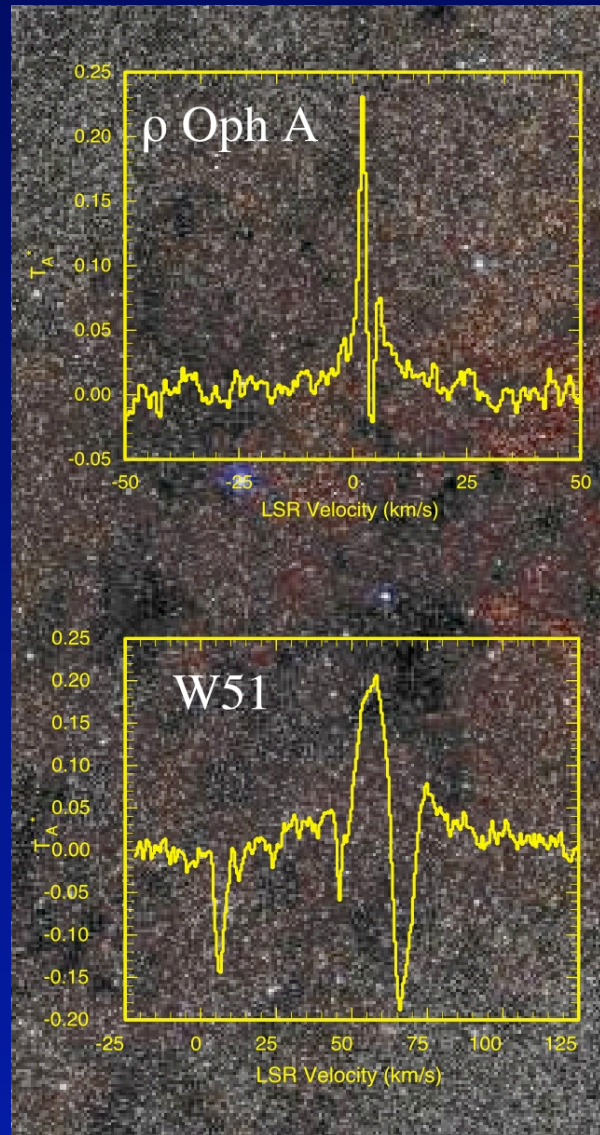
Submillimeter satellieten



<1 m spiegel =>
Grote bundel



Gasfase water in wolken



**Meeste water is in ijs
i.p.v. gas!**

De volgende stap: Herschel Space Observatory

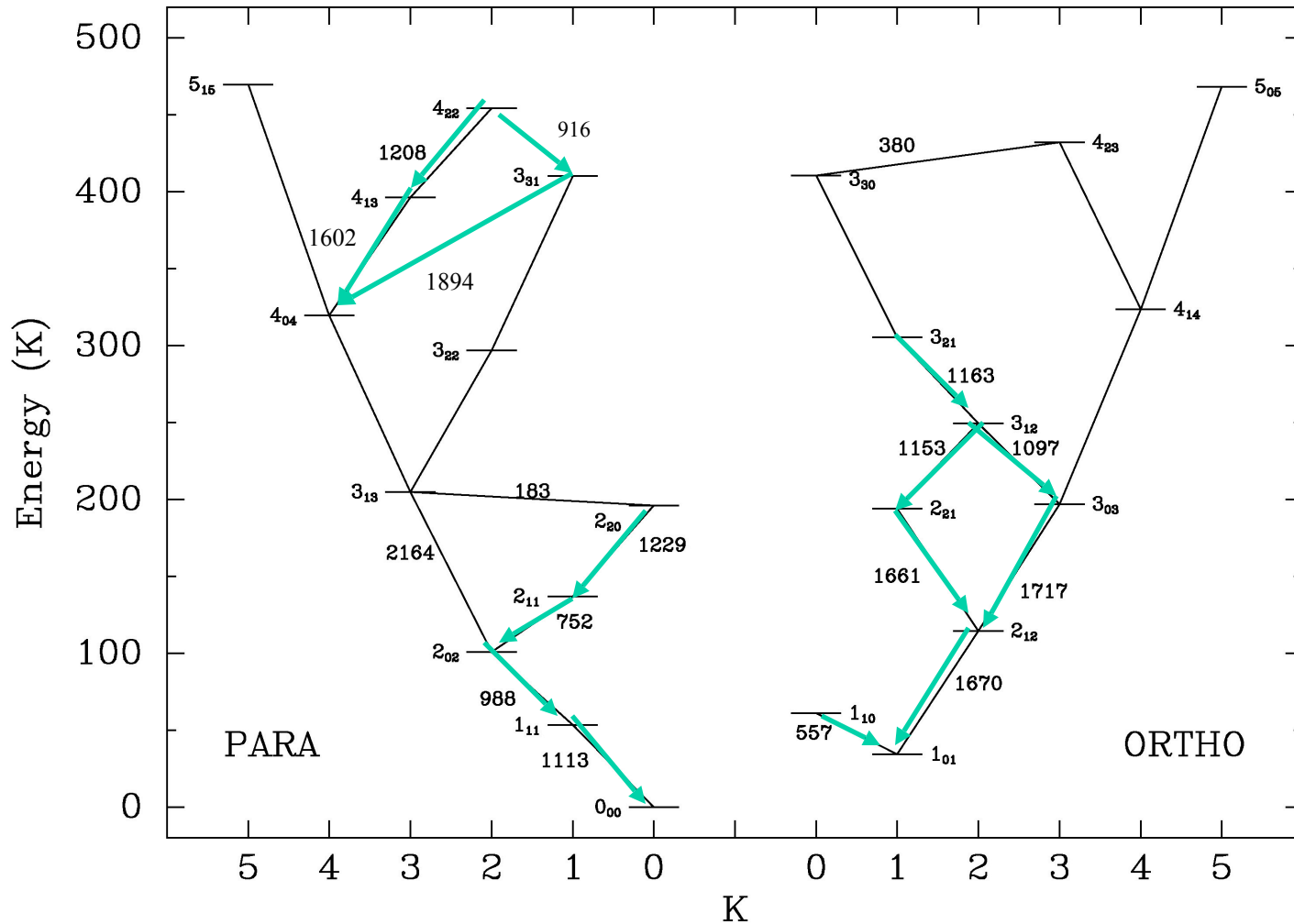


HIFI instrument
SRON PI, Th. De Graauw

Heterodyne spectroscopie
550-1950 GHz =>
Gekoeld: hoge gevoeligheid
Veel water gas lijnen!!!

Launch 2008 3.5 m => kleine bundel!

Gasfase water: HIFI lijnen

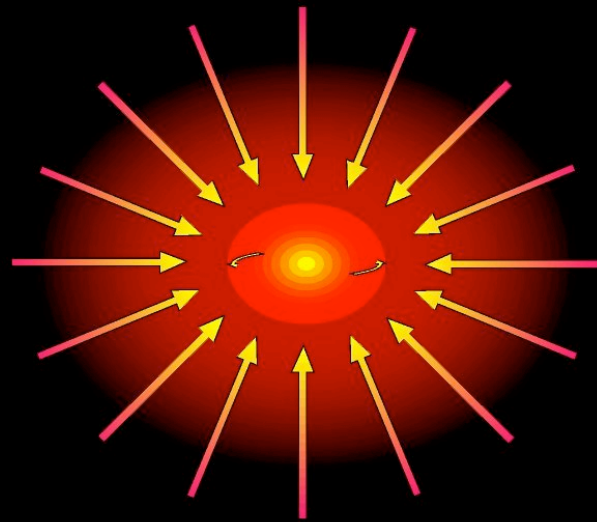


HIFI key programma: water in stervormingsgebieden

- Een van ~7 HIFI key programma's
- Doel: volg water in verschillende stadia van ster- en planeetvorming
- Samenwerking ~50 astronomen in ~15 instituten

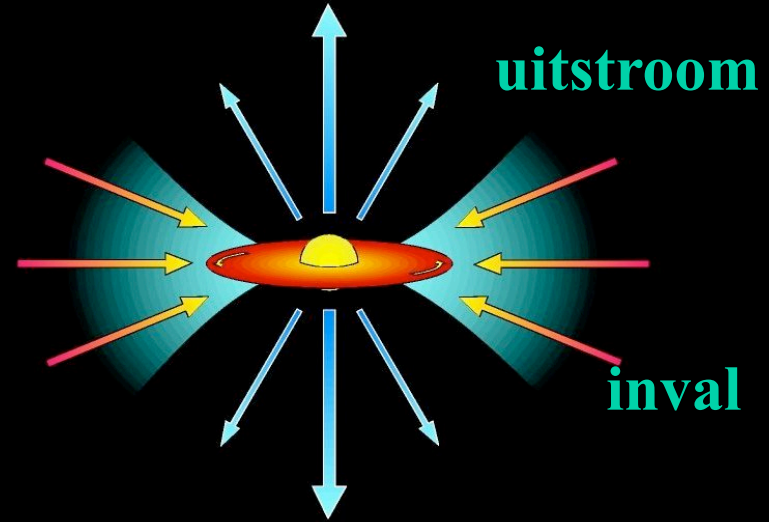
Nederland = Waterland!

Scenario voor ster en planeetvorming



Ineenstorting wolk $t=0$

Factor 1000
kleiner

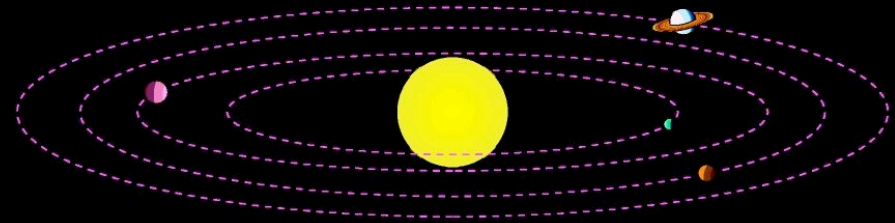


Protoster met schijf $t=10^5$ yr



Vorming planeten

$t=10^6-10^7$ yr



Zonnestelsel

$t > 10^8$ yr

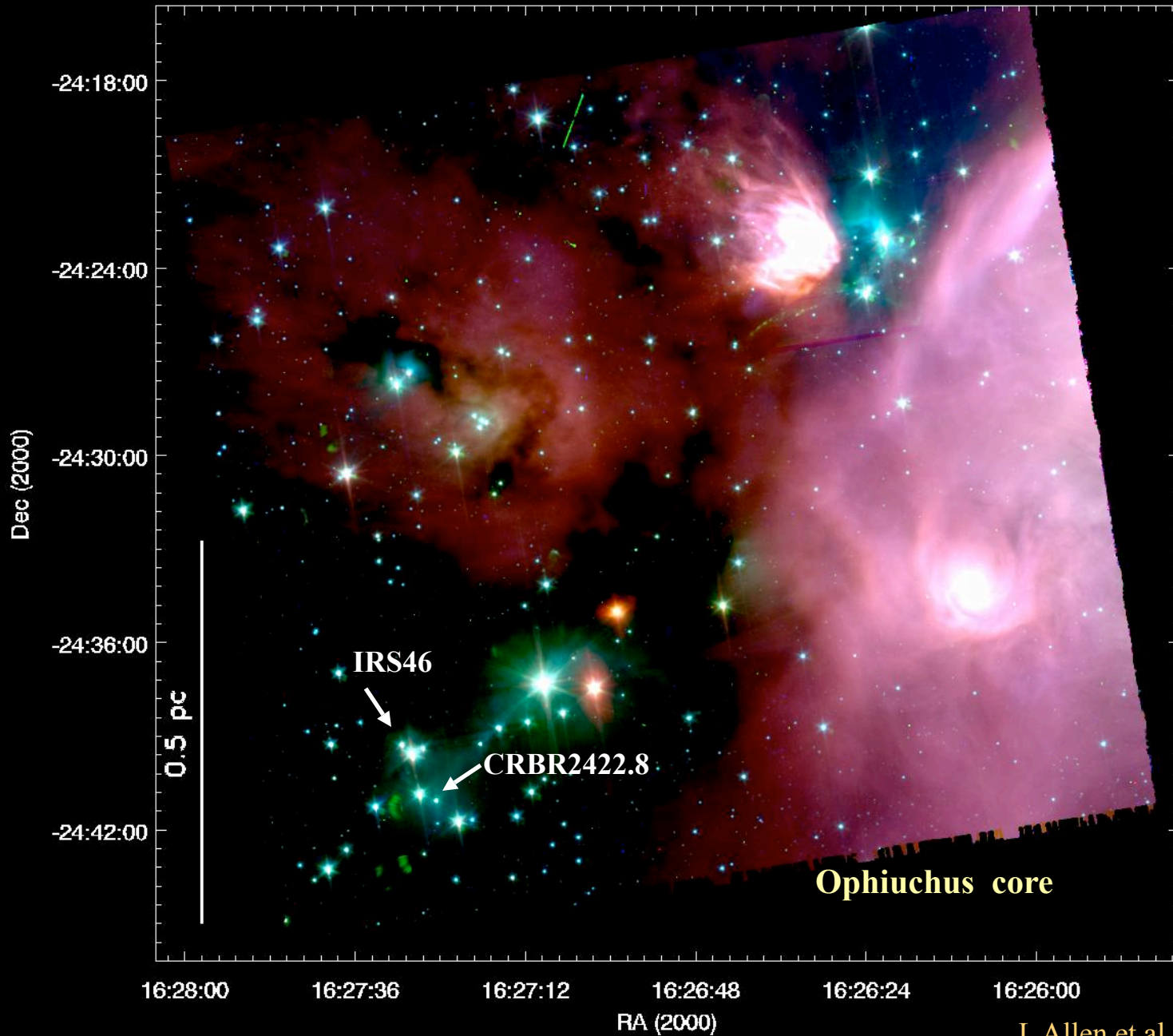
Donkere wolken

NGC 281



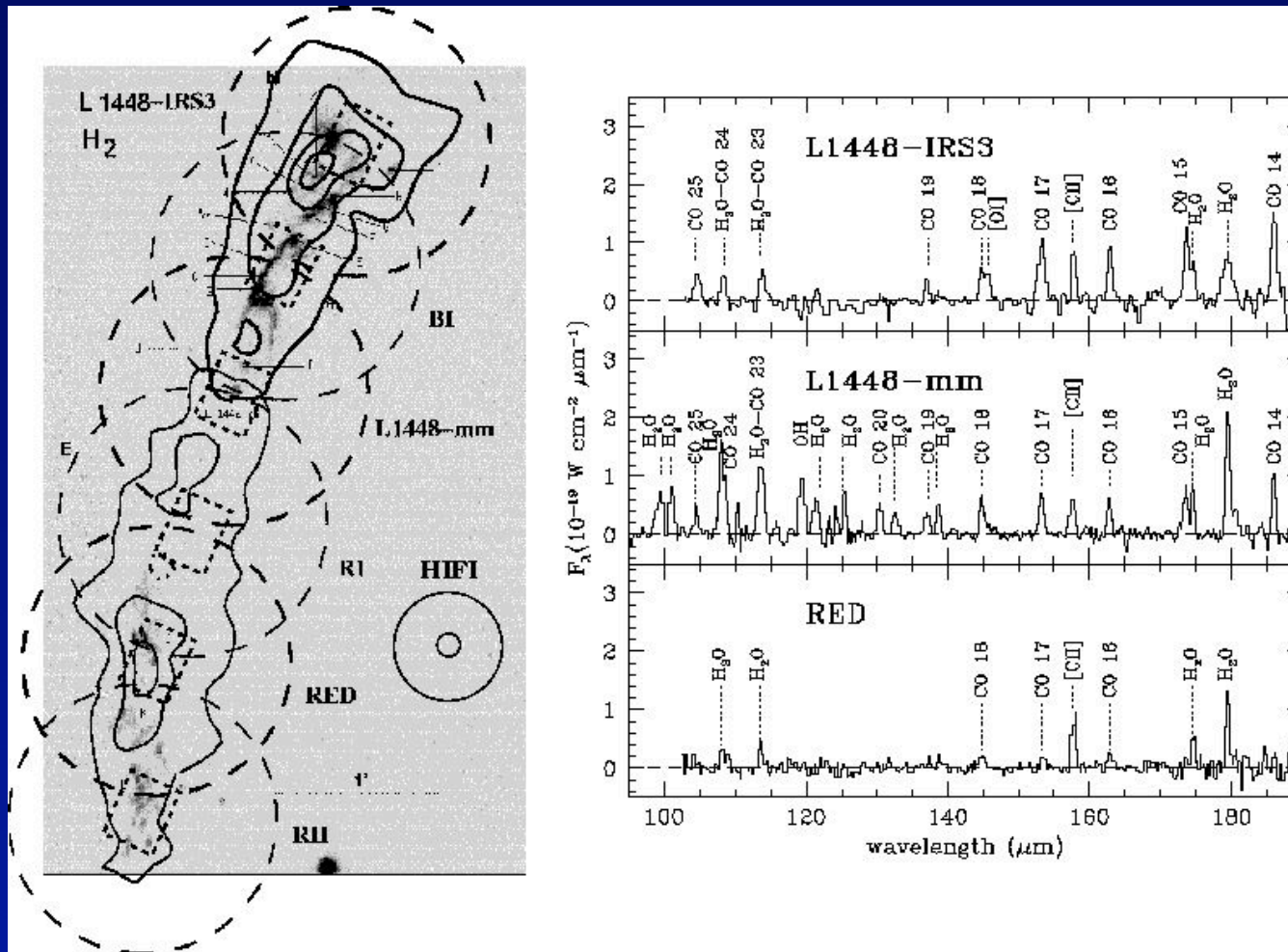
1 lichtjaar

Ophiuchus stervormingsgebied: lage massa stervorming



Spitzer
IRAC GTO

Uitstroom van protosterren



- ISO => Sterke water lijnen!

Protoplanetaire schijven

HD 141569

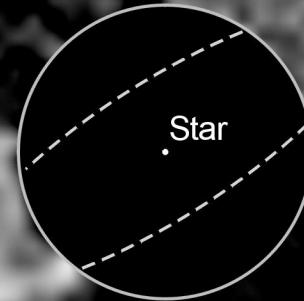


5.6 billion miles



Diameter of Neptune's Orbit

HR 4796A



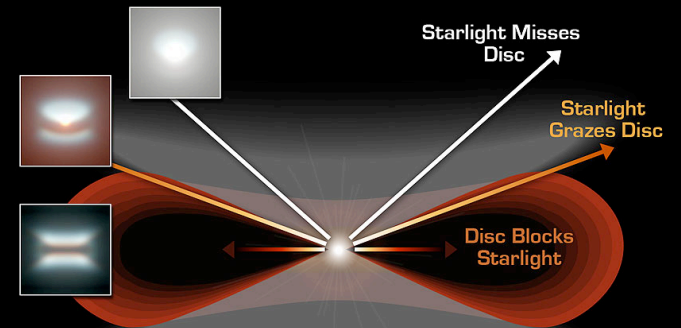
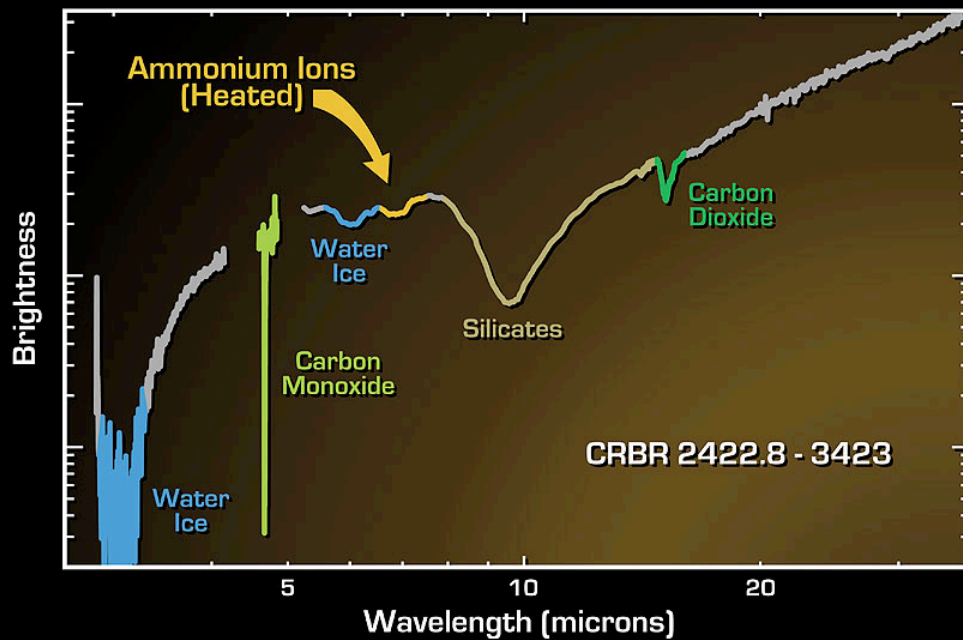
5.6 billion miles



Diameter of Neptune's Orbit

Dust Rings around Stars
Hubble Space Telescope • NICMOS

Water ijs in schijf



Ices in a Protoplanetary Disc

NASA / JPL-Caltech / K. Pontoppidan (Leiden Observatory)

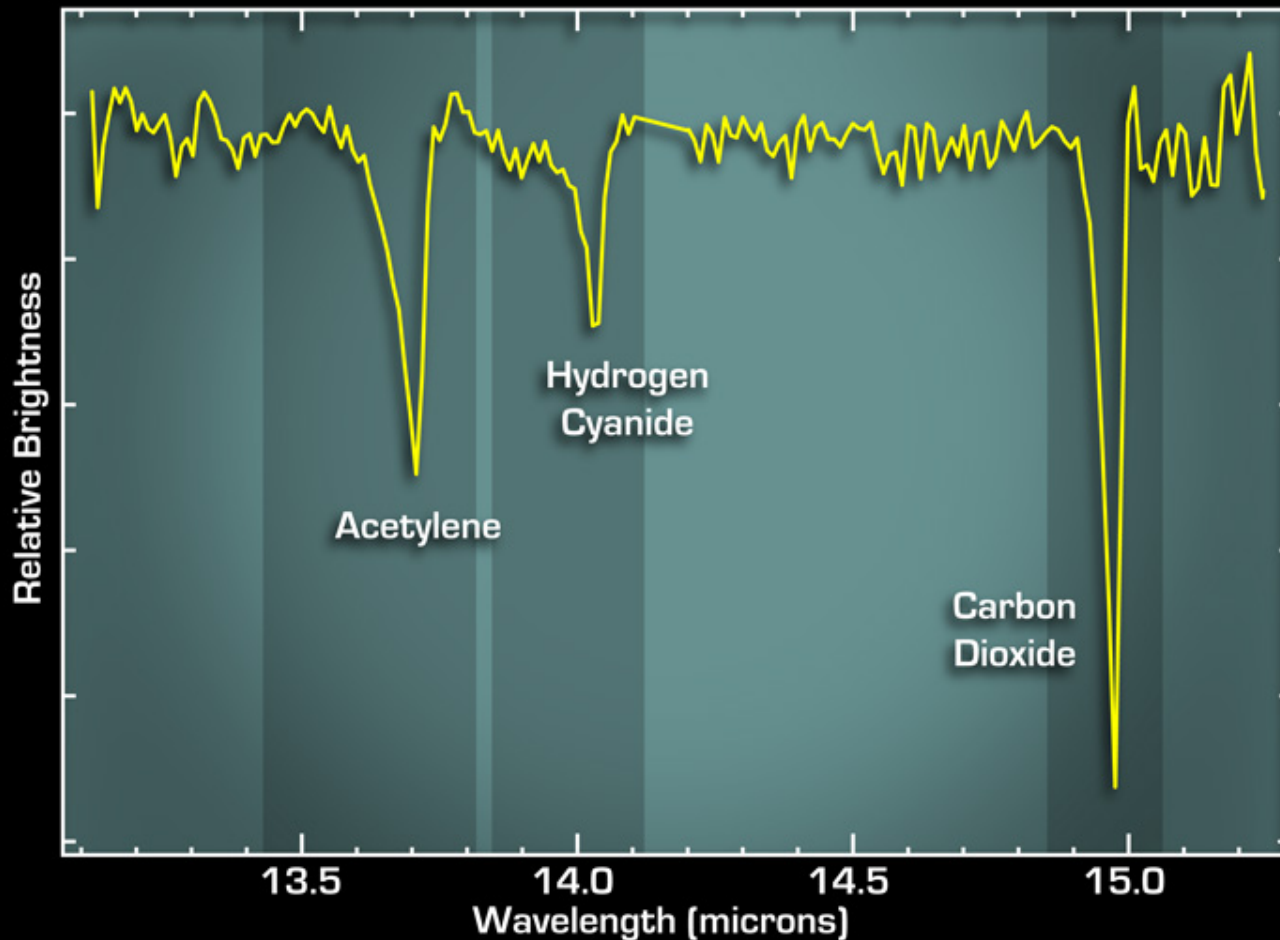
Spitzer Space Telescope • IRS

ESO • VLT-ISAAC
ssc2004-20c

Pontoppidan, Dullemond et al.
2005

Protoplanetaire schijf

Hete organische gassen? Water?



Lahuis et al.
2006

Prebiotic Molecules in Planet Zone of Young Star IRS 46

NASA / JPL-Caltech / F. Lahuis (Leiden Observatory)

Spitzer Space Telescope • IRS

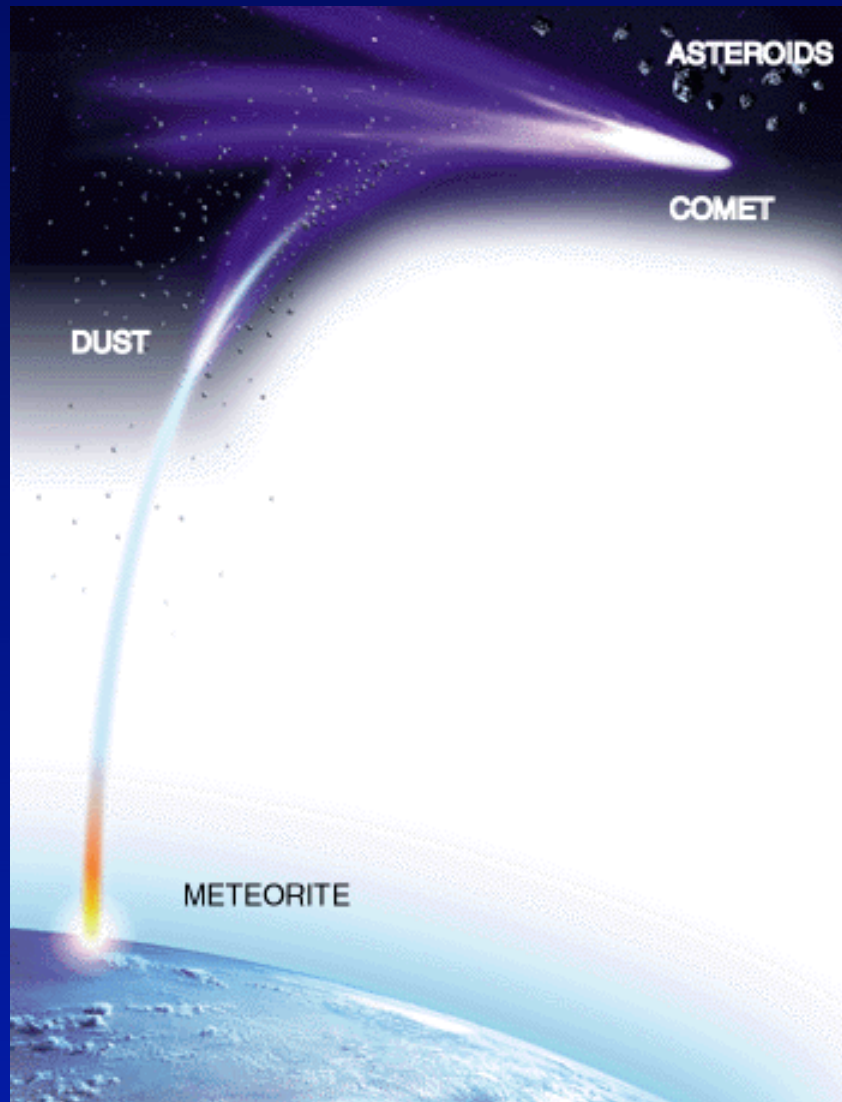
ssc2005-XX

Komeet Hale-Bopp



**Chemische compositie vergelijkbaar met interstellaire ijzen
Hebben kometen water op aarde gebracht? $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$?**

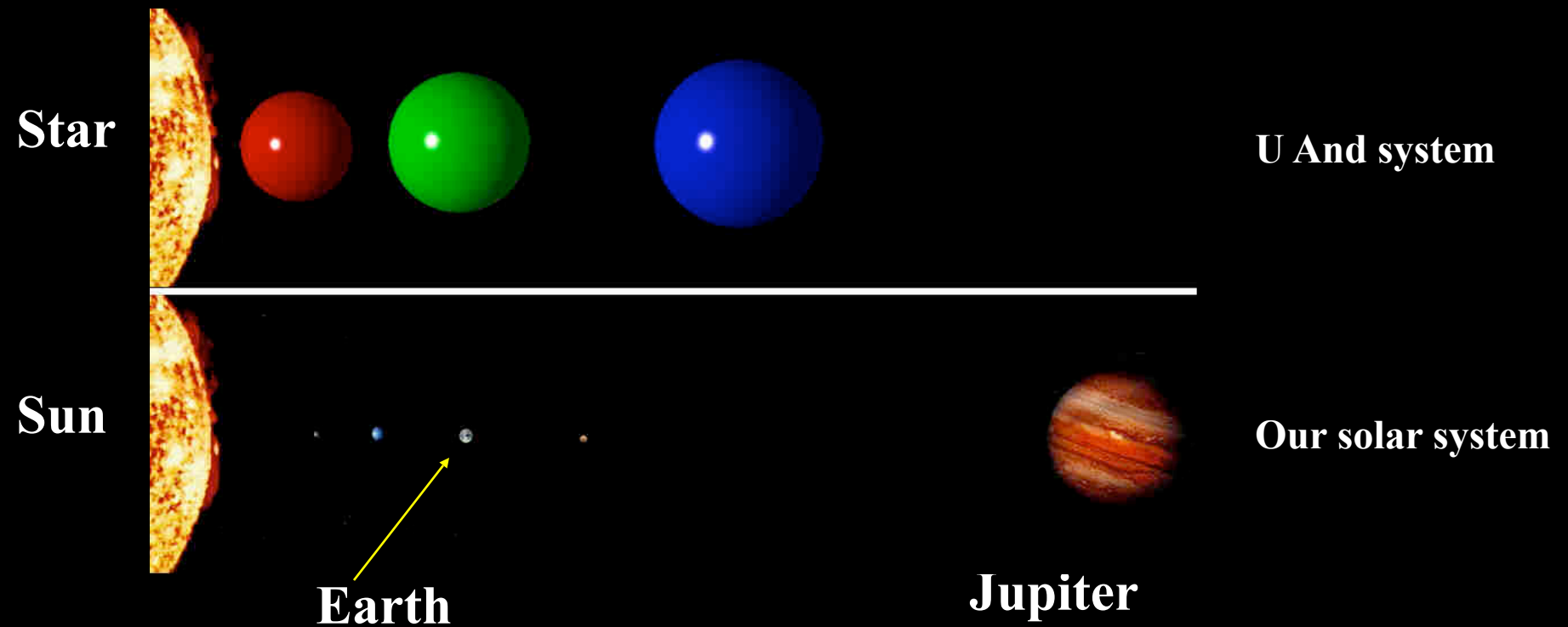
Kunnen kometen water op nieuwe planeten brengen?



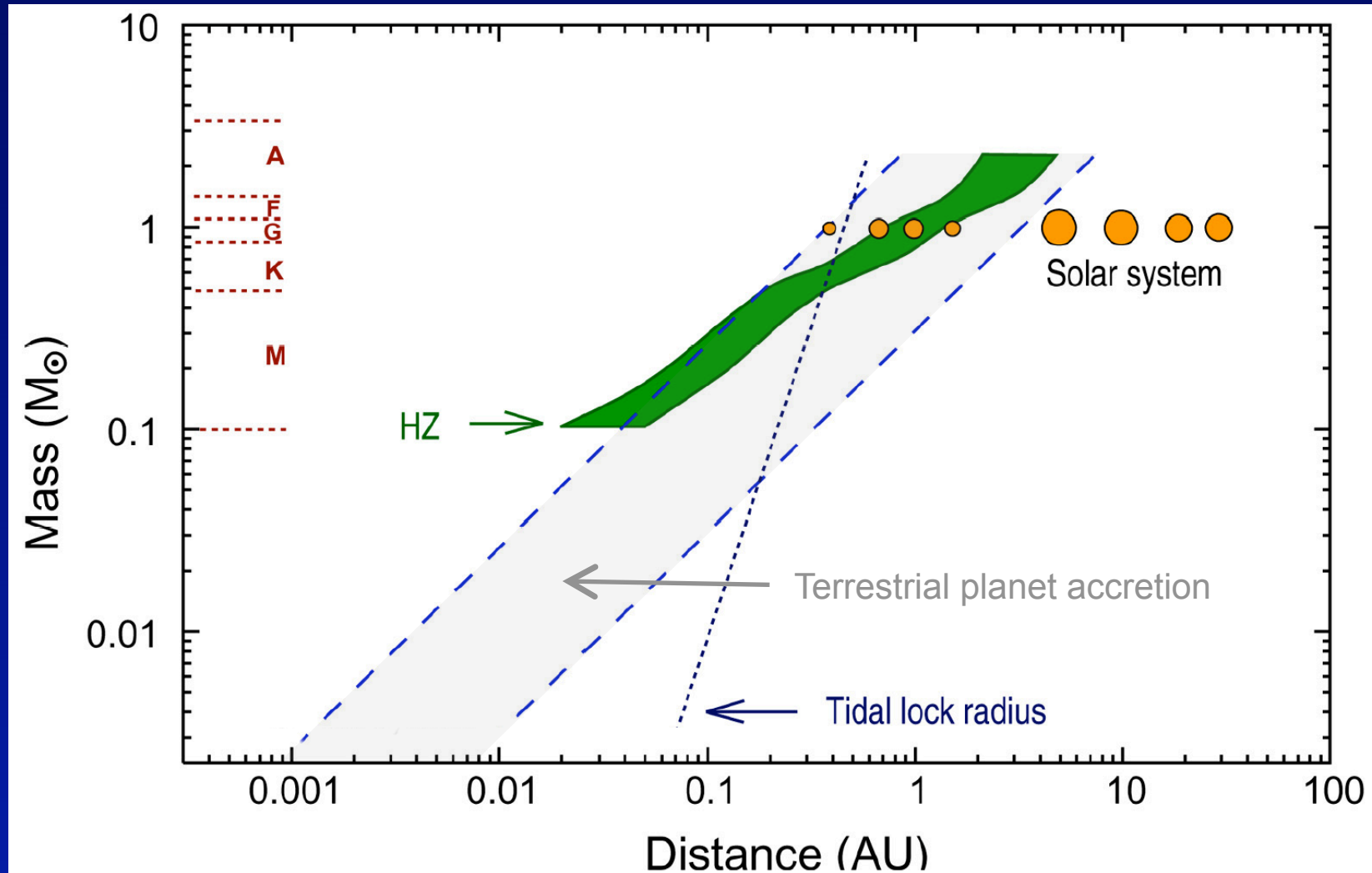
Comet soup

Exo-planetaire stelsels

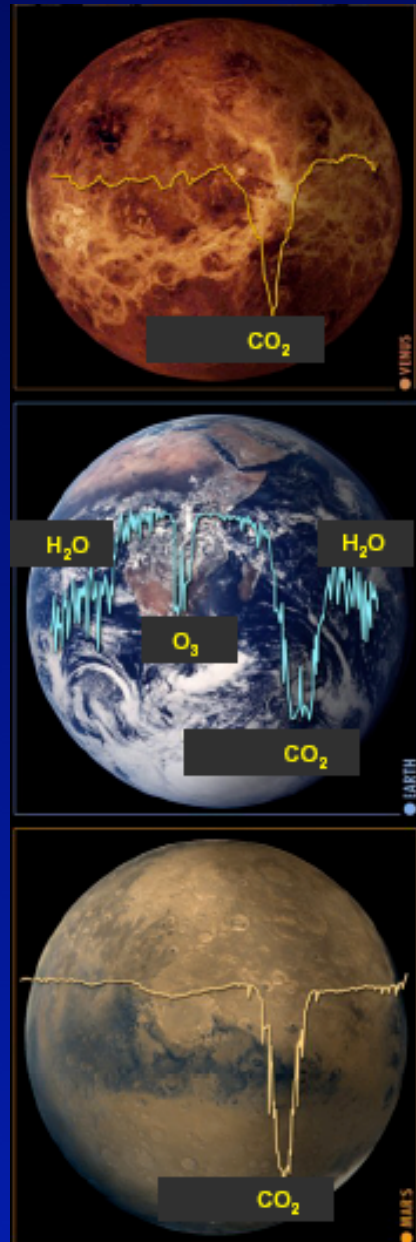
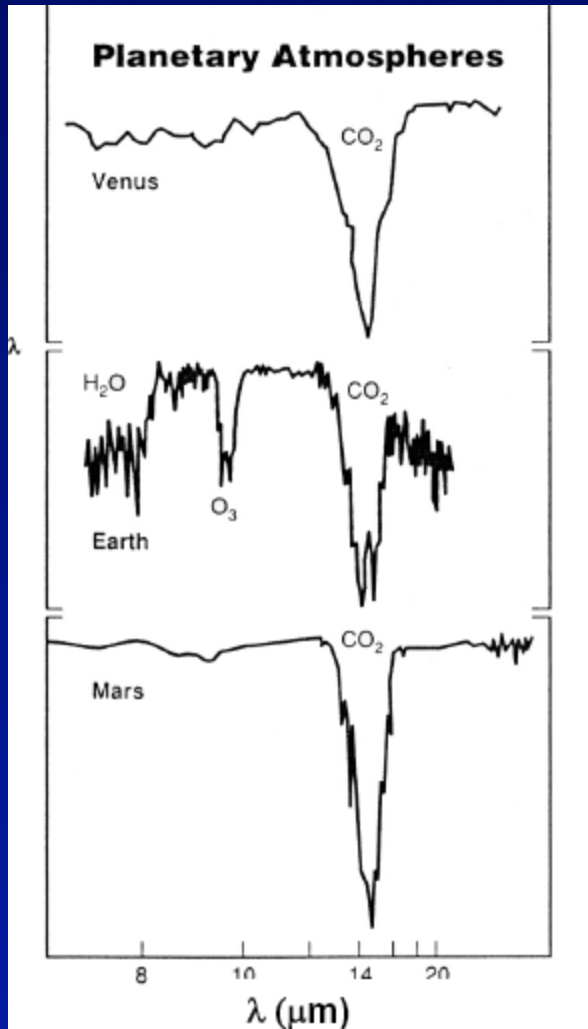
Meer dan 150 exoplaneten bekend



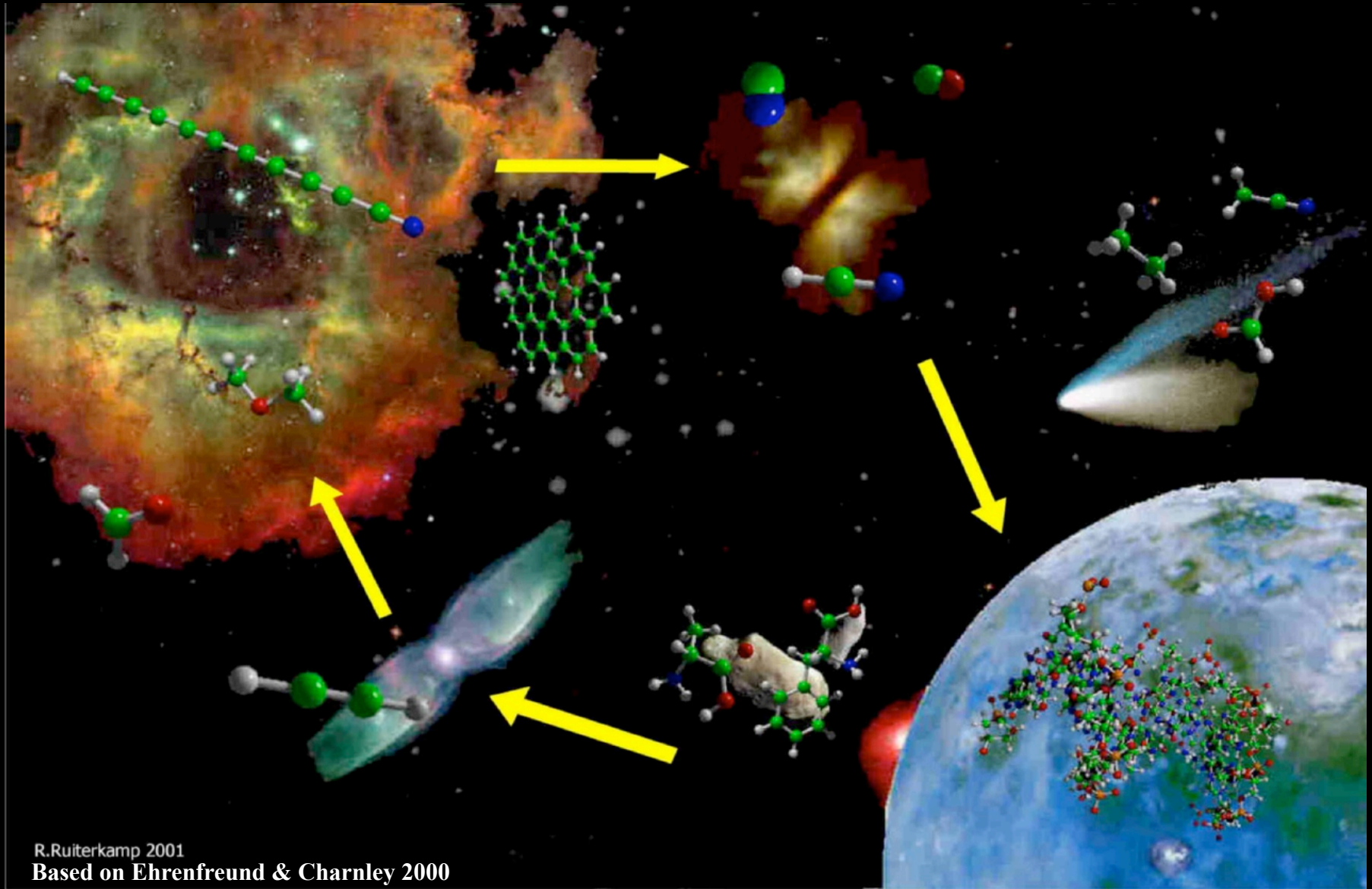
Bewoonbare Zone: niet te heet, niet te koud => vloeibaar water



Water in aardse atmosfeer



Water kringloop



R. Ruiterkamp 2001

Based on Ehrenfreund & Charnley 2000