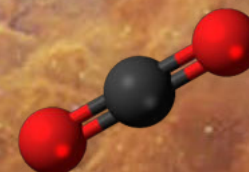
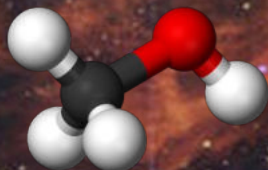
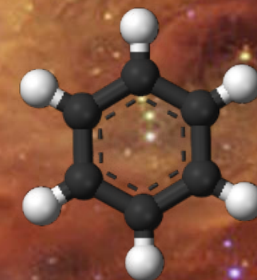
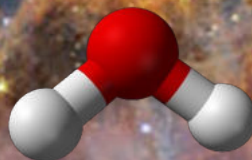
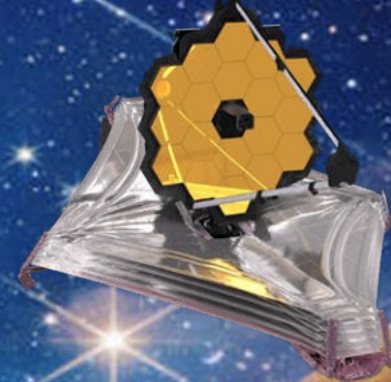
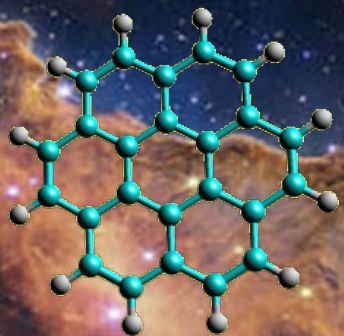


Bouwen van sterren, planeten en ingredienten voor leven

Nu met Webb!



Ewine F. van Dishoeck
Sterrewacht Leiden

Cursus “Wat leert Webb ons?”
Amersfoort, 9 april 2025

De sterrenhemel kan door iedereen worden bewonderd, overal in de wereld



KomeetC/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS) Atacama Chile ©Yuri Beletsky

Waar komen we vandaan? Wat is onze plaats in het heelal?

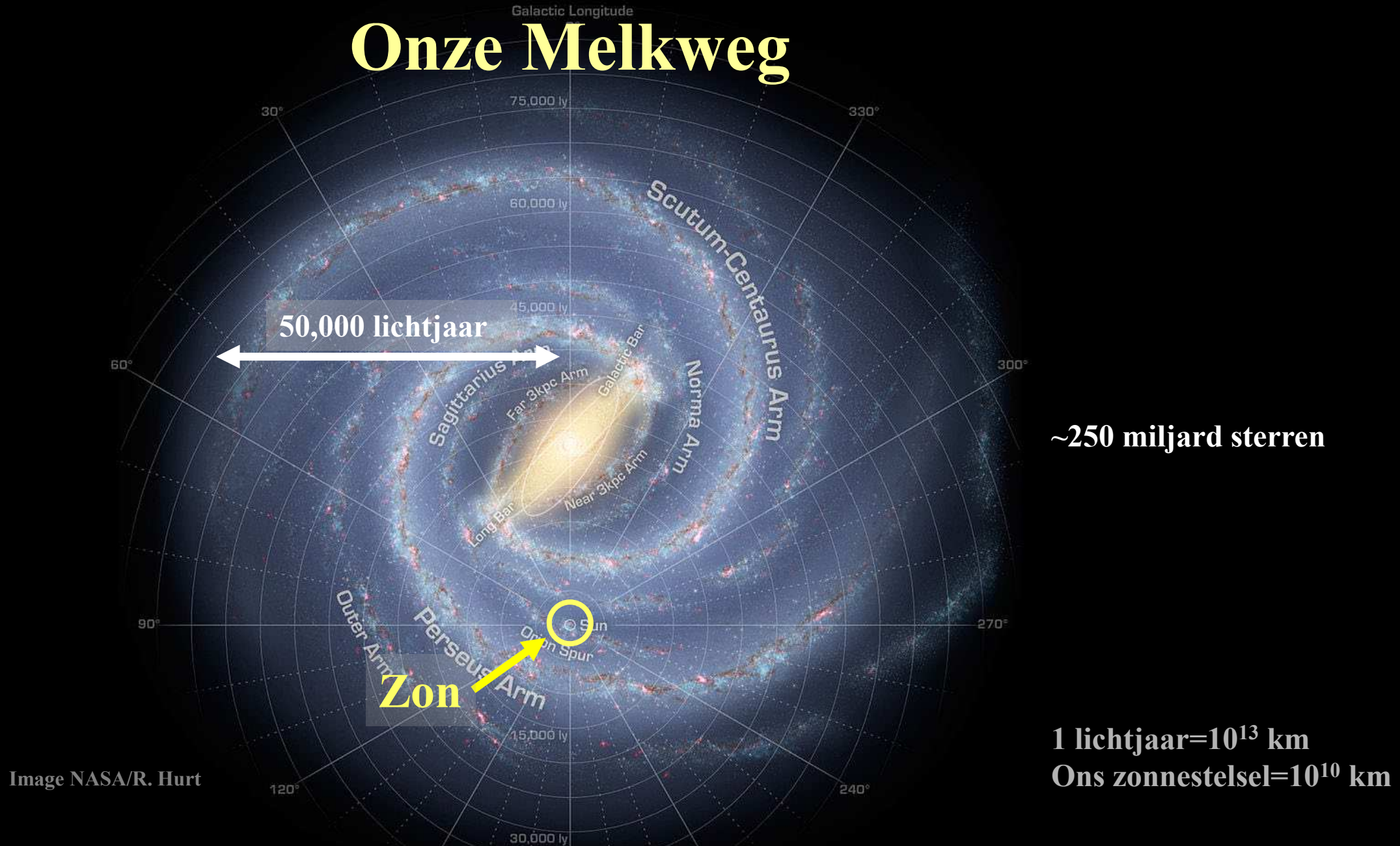
Kometen zijn bouwstenen van nieuwe planeten!



Onze oorsprong begint tussen de sterren



Onze Melkweg



We wonen op een kleine rotsblok rond een doodgevone ster in de buitenwijken van ons sterrenstelsel

Ons zonnestelsel

Zon=
Ster

Planeten



Wikipedia.org

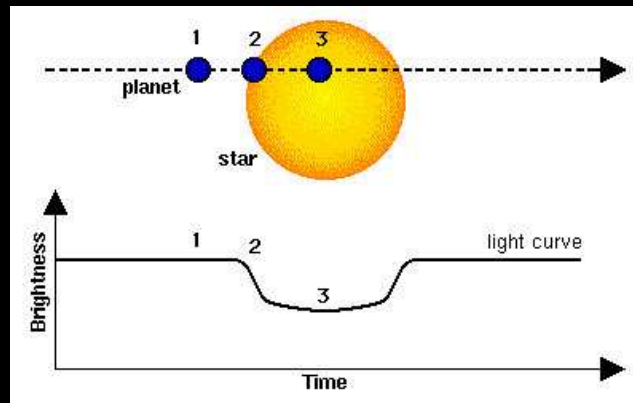
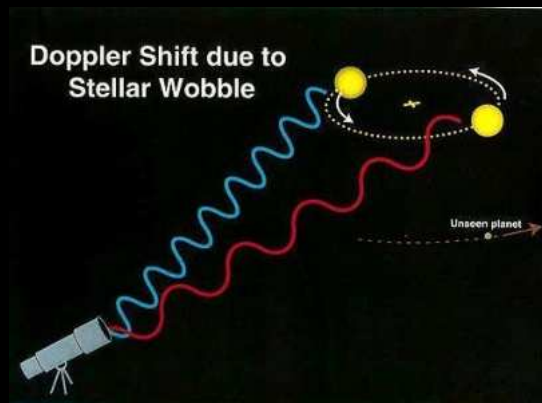
1 AE=
Afstand aarde-Zon

Sinds 1995, ~7000 exoplaneten ontdekt rond andere sterren dan de Zon

Kan er leven zijn op andere planeten?

Ontdekking van exoplaneten leidt tot fundamentele vragen

- Hoe en waar worden sterren en planeten geboren?
- Hoe uniek is ons zonnestelsel?
- Welke planeten kunnen bewoonbaar zijn?



Nobel Prijs 2019

Ontdekking van exoplaneten

Samenstelling? Bewoonbaar?



Kepler satelliet: Borucki et al. 2011, Batalha et al. 2013

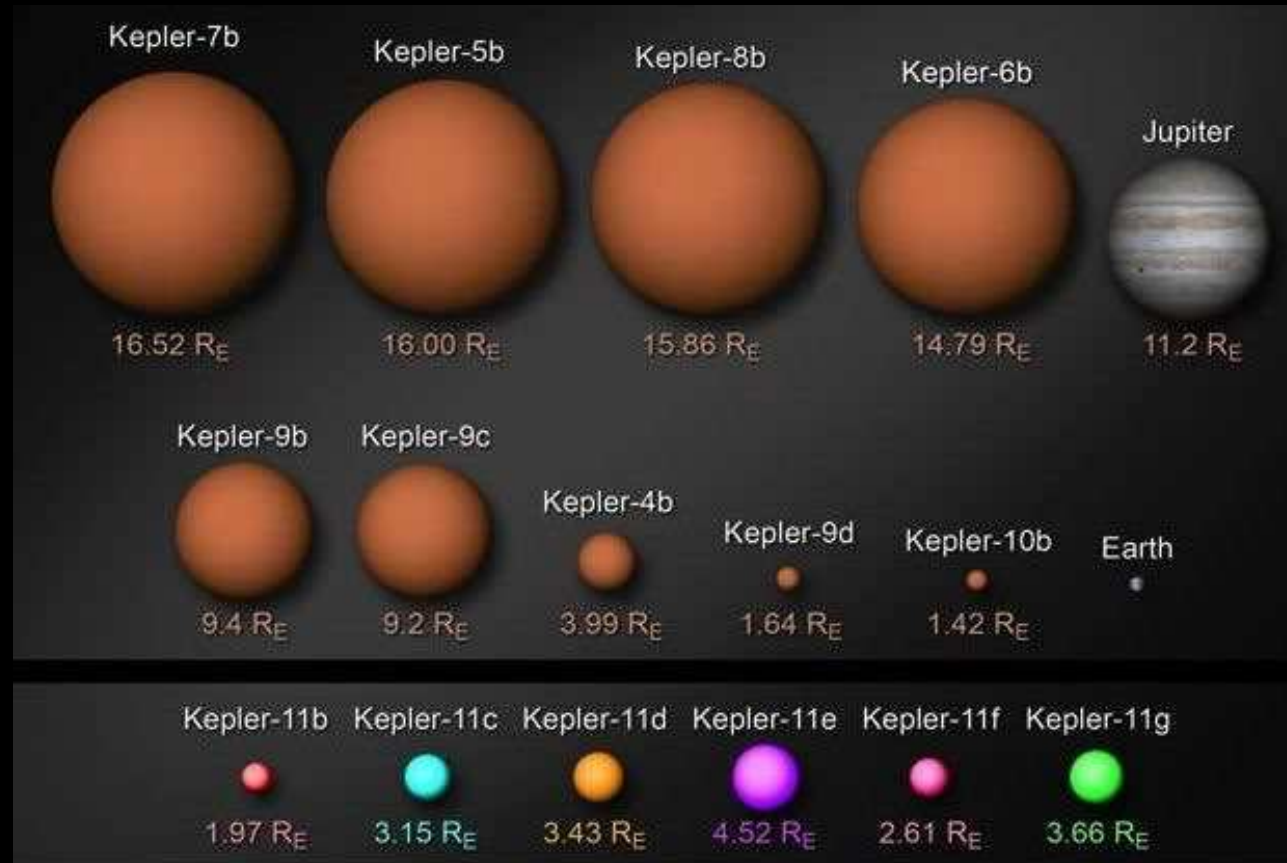
Iedere ster heeft gemiddeld 1 planeet

Artist impression



Nobel Prijs 2019

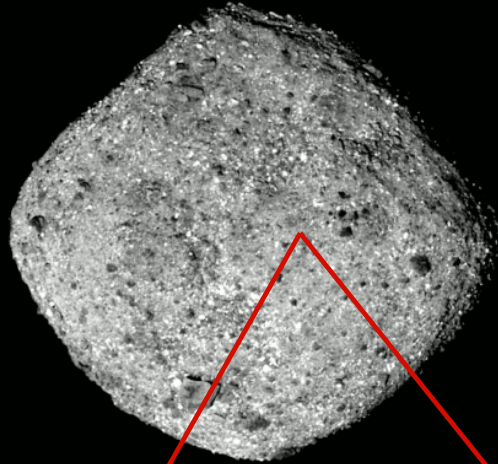
Nieuwe werelden, nieuwe perspectieven!



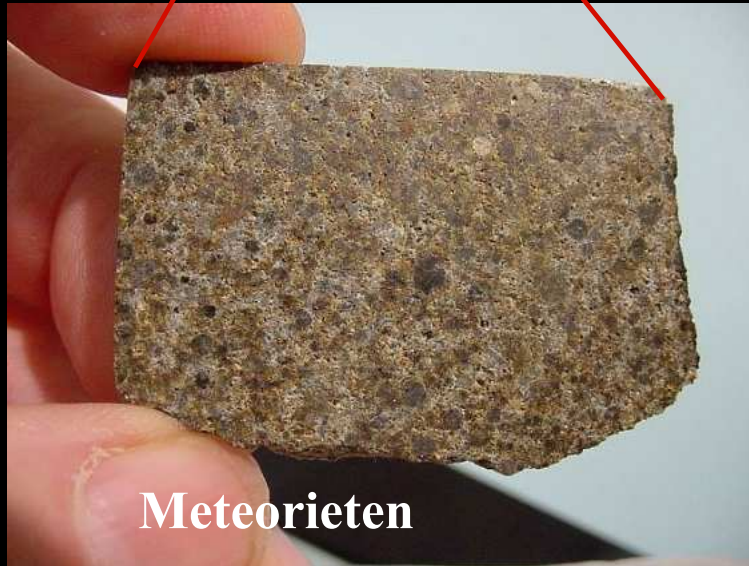
Kepler
Borucki et al. 2011
Batalha et al. 2013

Merendeel lijkt niet op planeten in ons zonnestelsel!
Voornamelijk super-Aarde en mini-Neptunus

Hoe zijn “wij” 4.5 miljard jaar geleden gevormd?



Planetoïde



Meteorieten



Komeet



Rosetta
missie

Credit: ESA/JATO media lab

[illegible]

Deze lezing: “*Bouwstenen zijn ruimschoots voorhande*”

**Laten we onze ontdekkingsreis beginnen,
maar eerst....**

Dank aan alle promovendi, postdocs, collegas!



2014



2017



2021



2024

Ruimte tussen sterren niet leeg maar gevuld met *heel* ijl gas



Sterren en planeten vormen in koude ‘dichte’ wolken



1 lichtjaar
↔

NASA/ HST Carina nebula

$T=10\text{ K } (-263\text{ °C})$
 $n=10^4\text{ cm}^{-3}$

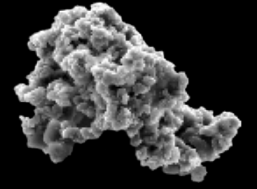


Stofdeeltje
(~0.1 μm , silicaten)

Donkere wolken: 'kolenzakken'



- 99% gas (H_2)
1% stof (0.1 micron
silicaten 'zand')
- Temperatuur: ~ 10 K
(-263° C)
- Dichtheid: ~ 10000
deeltjes per kubieke
cm (millioen keer
minder dan in lab)



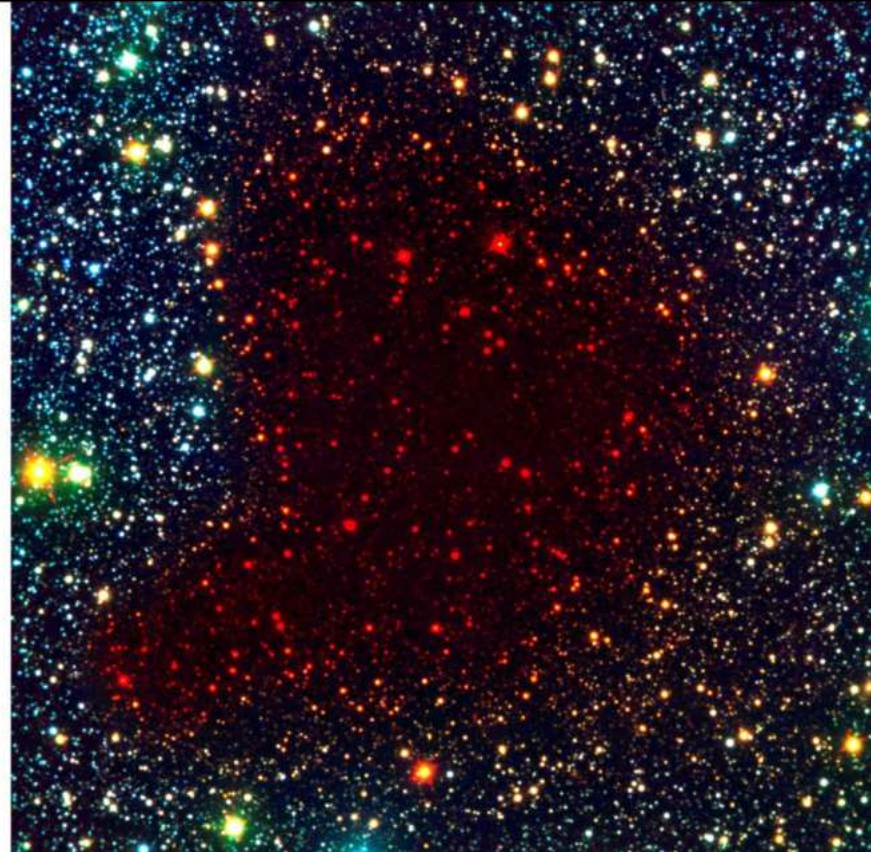
—————→ *Uniek chemisch laboratorium!*

Hoe onderzoeken we wat er in die wolk gebeurt?

Optisch



Infrarood



ESO/VLT; Alves et al.

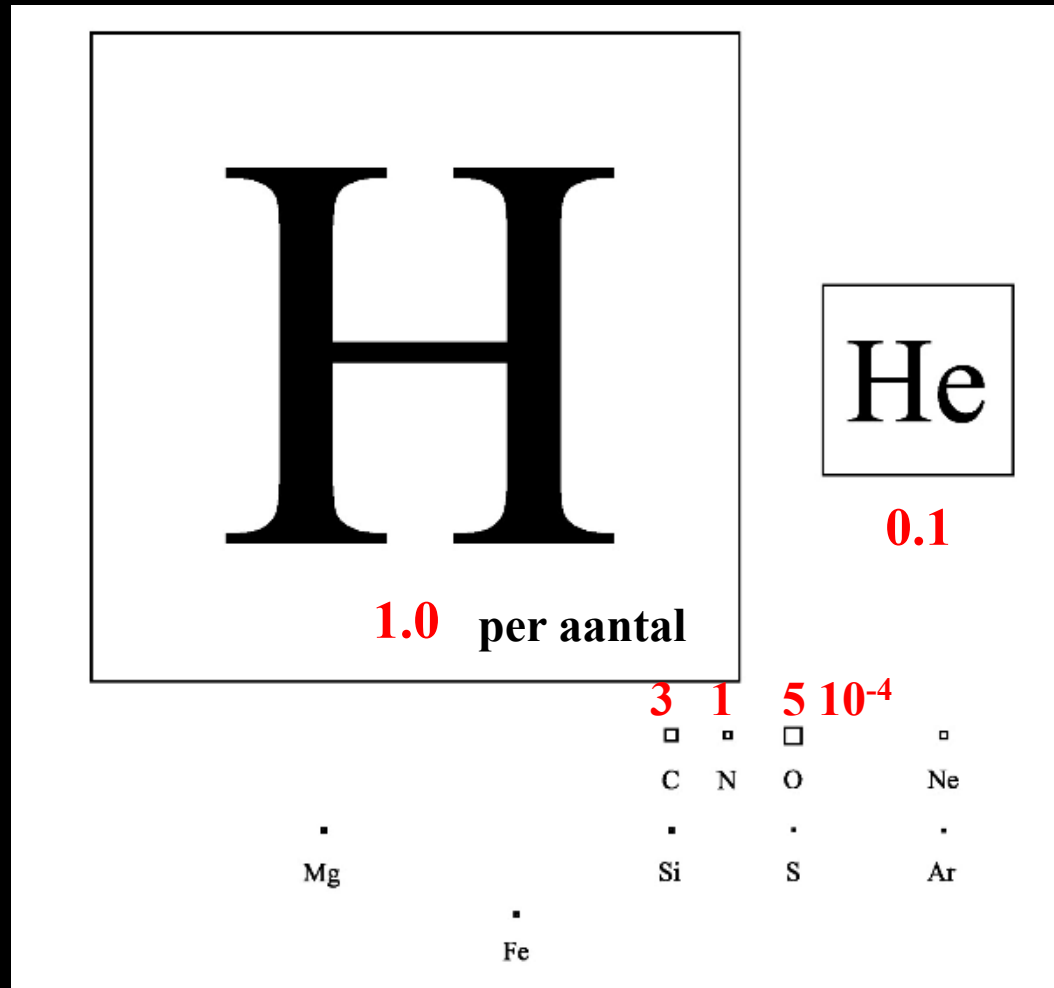


Langere golflengten (zoals Webb)!

Chemie tussen de sterren

Chemie tussen de sterren

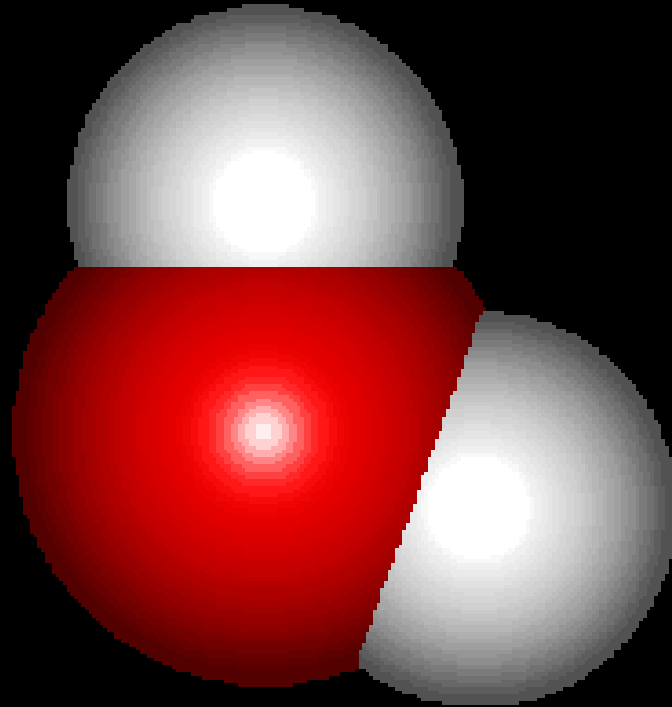
Het periodiek systeem van de astronoom



B. McCall 2001

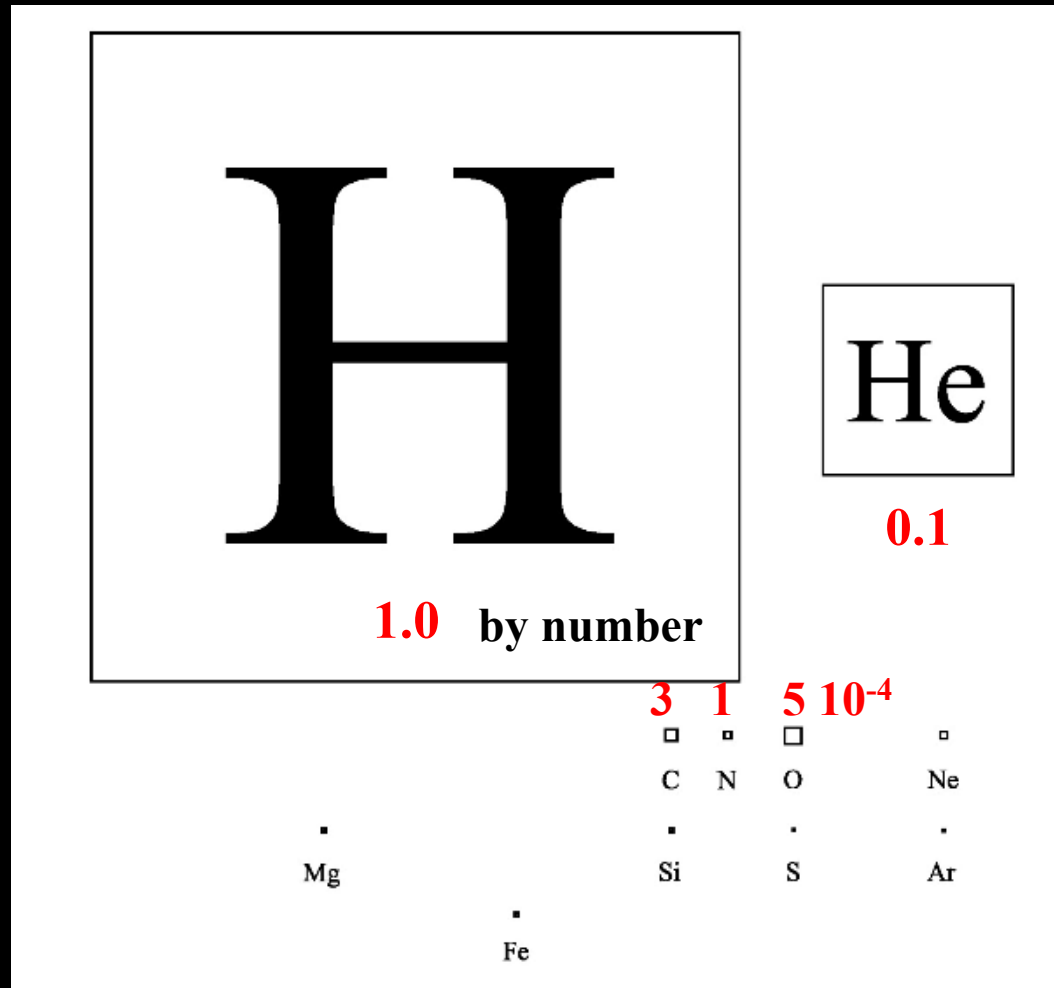
Wolken hebben een verrassend rijke chemie ondanks ijl en koud

Water: 2 H + O



H gevormd bij de Oerknal, O later door kernfusie in sterren

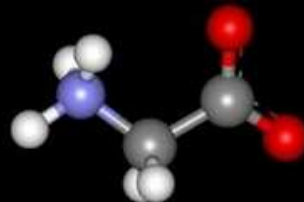
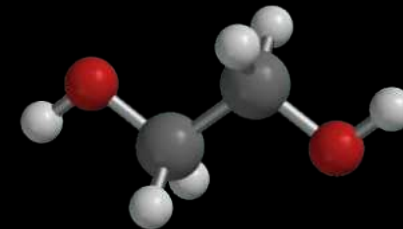
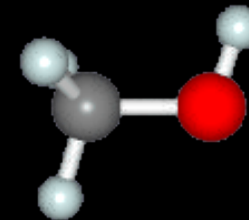
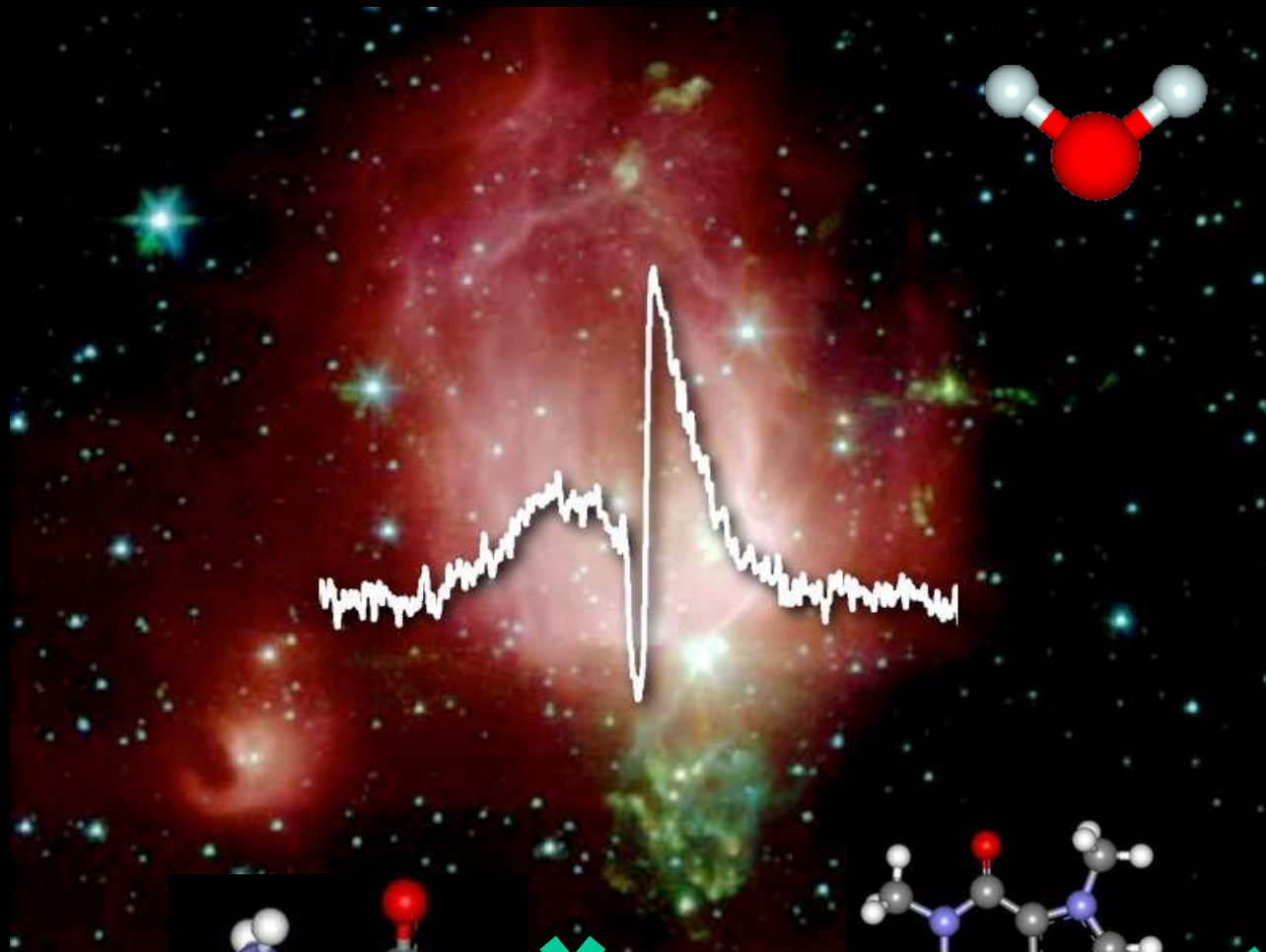
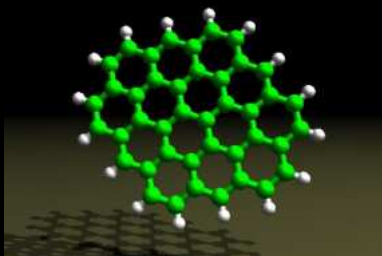
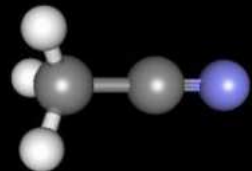
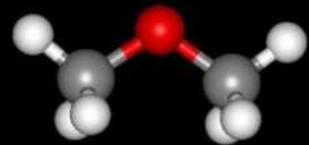
Het periodiek systeem van de astronoom



B. McCall 2001

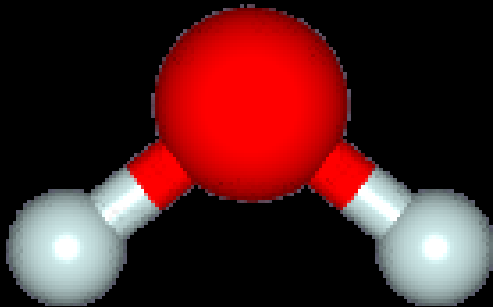
Verrassing: wolken hebben een rijke chemie ondanks koud en ijl

Van simpele tot complexe moleculen



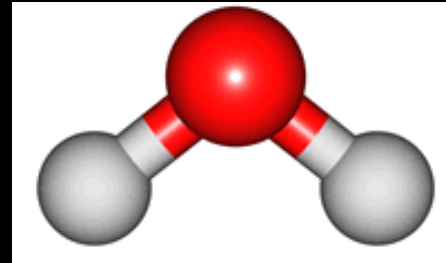
Hoe nemen we moleculen waar?

Rotatie: millimeter

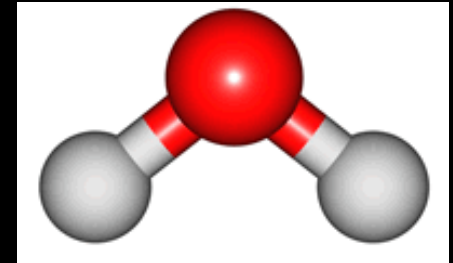


Alleen gas

Vibratie: infrarood: Webb!



Strek
 $\sim 3 \mu m$
 3750 cm^{-1}



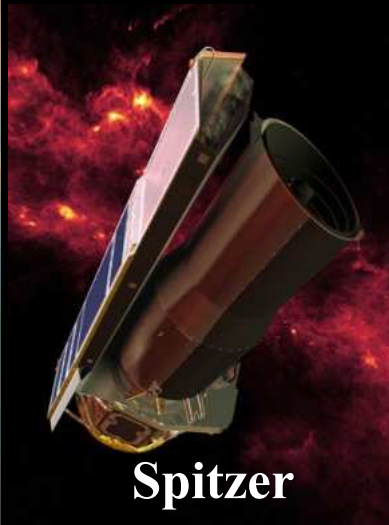
Buig
 $\sim 6 \mu m$
 1600 cm^{-1}

Gas en ijs

Fantastische faciliteiten voor astrochemie: van infrarood tot millimeter



Herschel



Spitzer



SOFIA



Very Large Telescope



GBT, Yebes



ALMA

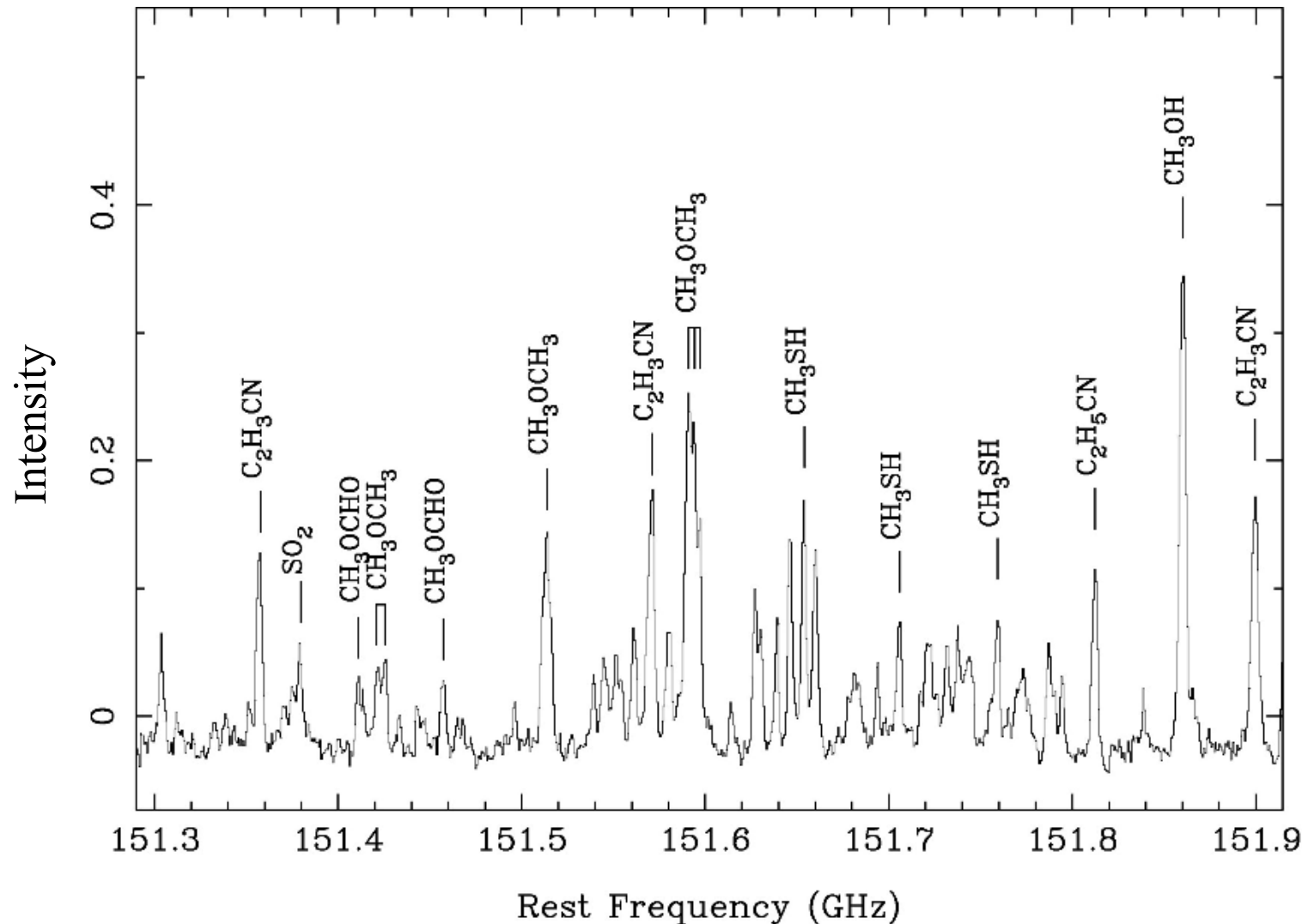


JWST



ELTs >2029

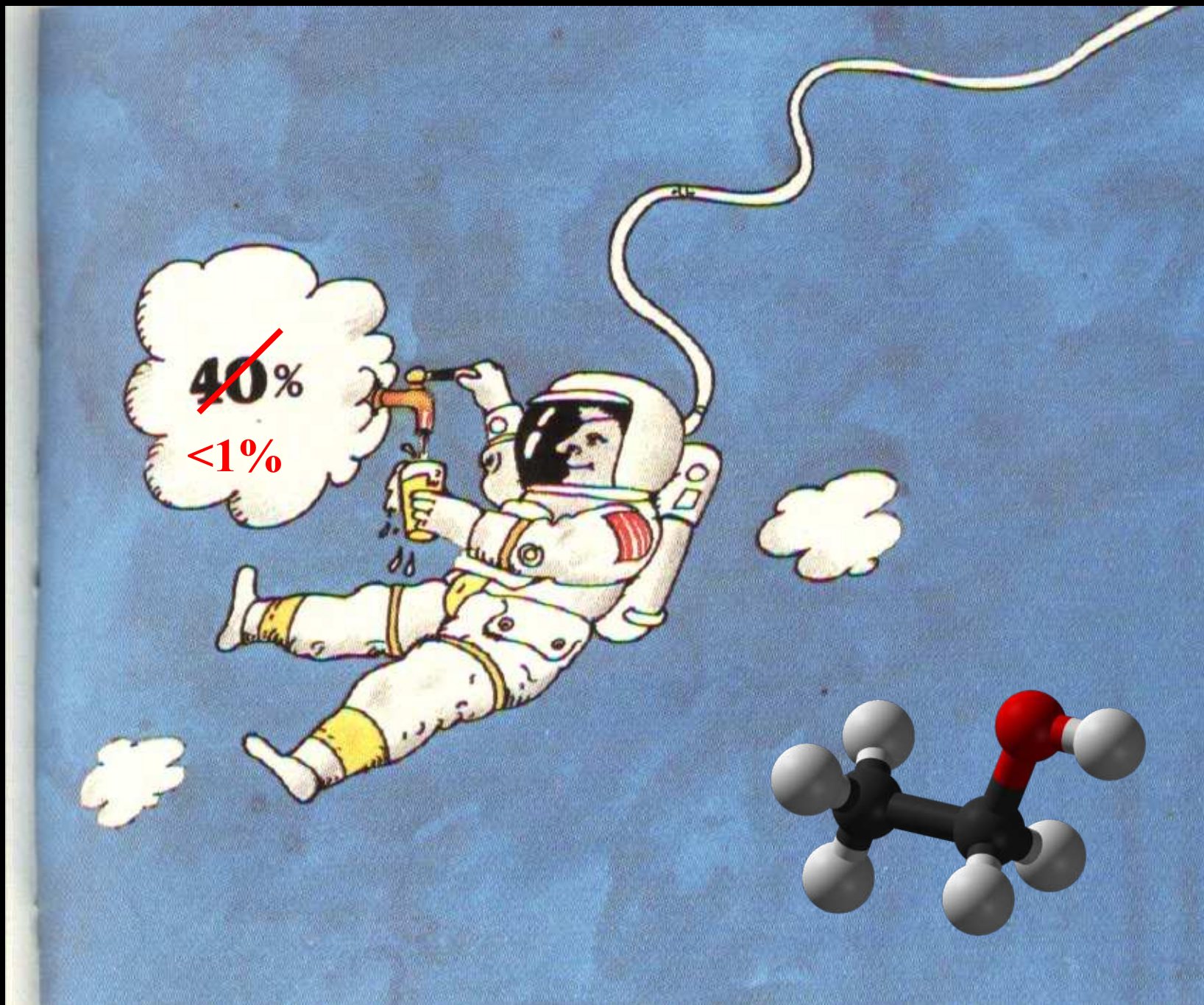
Identificeren moleculen in de ruimte



Jonge zware
Ster G327

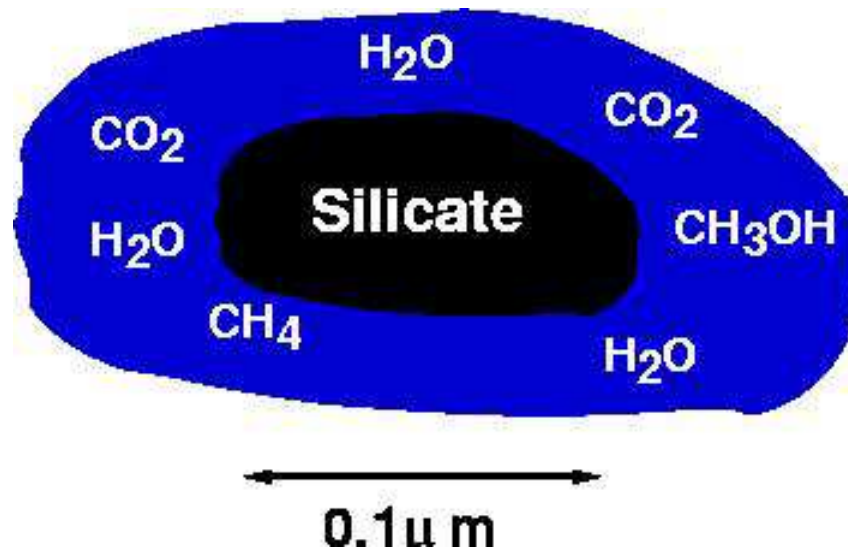


Ieder molecuul heeft zijn eigen vingerafdruk ('streepjes code')



De interstellaire ice cocktail

Atomen en moleculen vriezen uit op stofdeeltjes
=> hydrogenatie, b.v., $\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

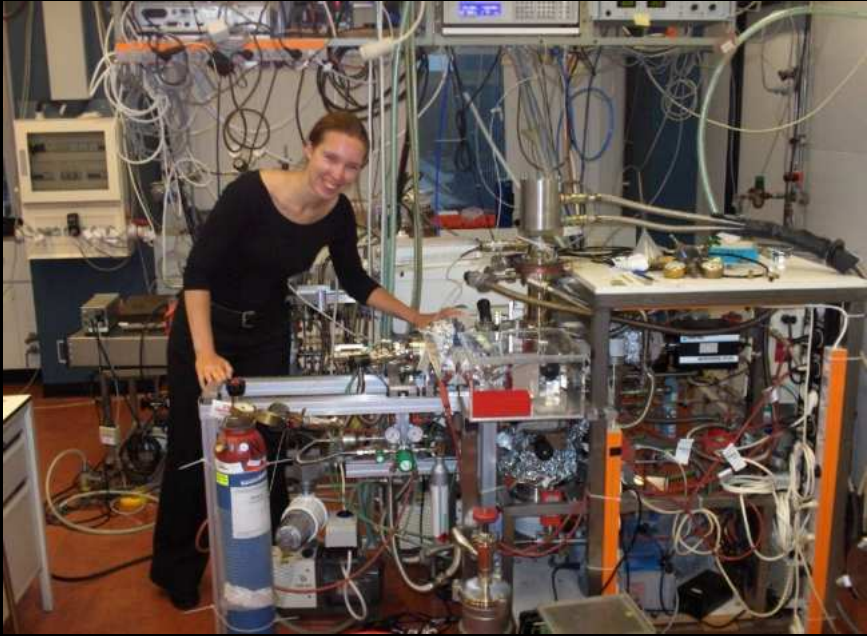


‘Alcohol on the rocks’



Met bubbles!

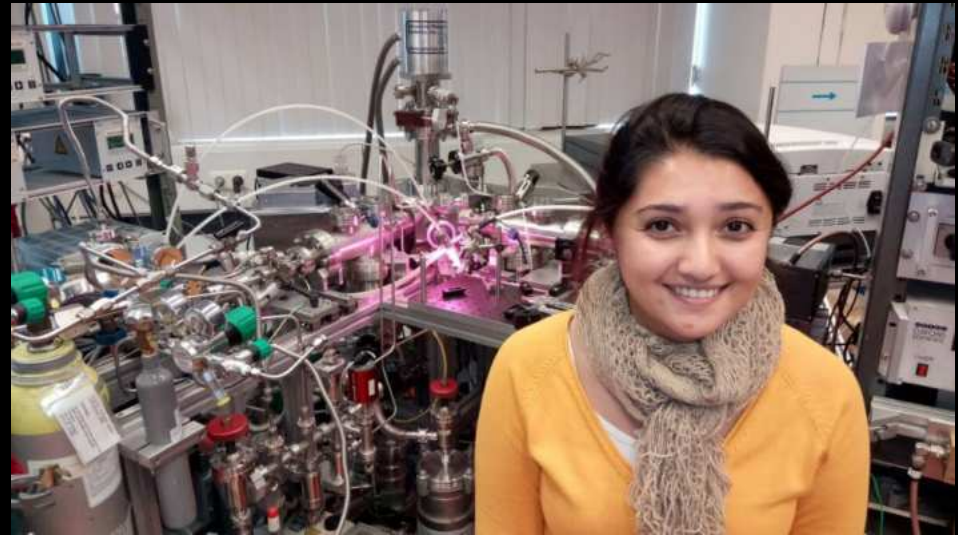
Leiden laboratorium voor astrofysica



Karin Öberg



Harold Linnartz



Danna Qasim

Bouwstenen voor leven: water



Water wordt gevormd op de stofdeeltjes in de oerwolk
‘Water is ouder dan de Zon zelf’

Based on laboratory experiments
in Leiden, Paris, Japan
Cuppen et al. 2010
Visser et al. 2009, Cleeves et al. 2015

Welke vorm heeft water?

- Gas
- Vloeistof
 - Alleen onder hoge druk, niet in de ijle ruimte tussen de sterren
- Ijs



De water jager: Herschel Space Observatory



Lancering 14 mei
2009 - 2013

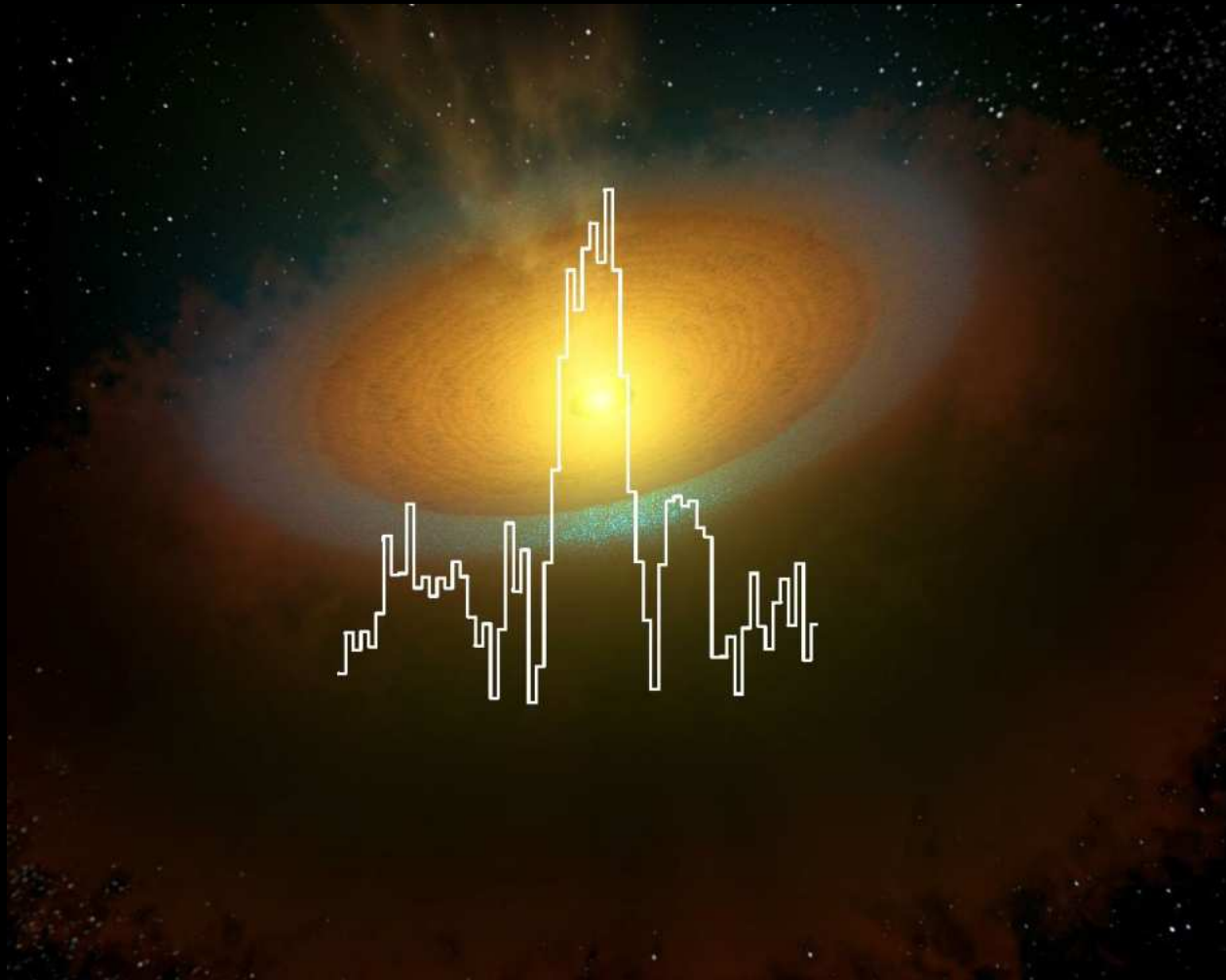


ESA

HIFI instrument
SRON PI, Th. De Graauw

3.5 m

Water reservoir in een planeet-vormende schijf



ESA/NASA
Herschel-HIFI

Hogerheijde et al. 2011, Science
van Dishoeck et al. 2021

~6000 oceanen ijs beschikbaar bij bouwen planeten

Chemie tussen de sterren

- Interstellaire wolken hebben een rijke chemie ondanks de ijle en koude condities
- Water en complexe organische moleculen en water zijn aanwezig bij het merendeel vormende sterren, door de hele Melkweg

⇒ *Bouwstenen voor prebiotisch materiaal zijn wijd verspreid*

Hoe wordt een planetenstelsel gevormd?

Ineenstorting wolk



20000 ae (0.1 lichtjaar)

Factor 400
kleiner



Jonge ster met schijf



50 ae

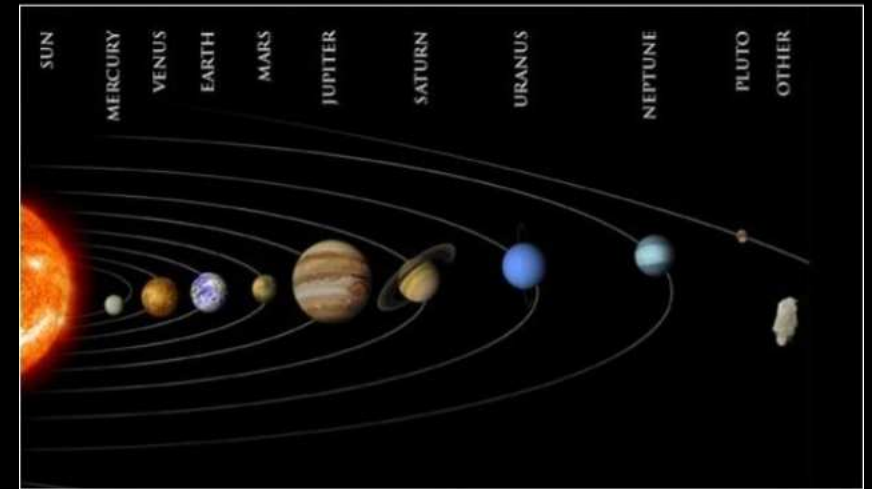
1 ae = Zon-Aarde afstand

Planeten vormen in schijven rond jonge sterren



Animatie
NASA/SSC/R. Hurt

**Analogie:
Oernevel hypothese**



Kant 1755, Swedenborg 1734

Belang van nieuwe instrumentatie



Carina nebula
NASA/ HST

Schijven zijn klein:
Scherpte van ALMA is nodig om in te zoomen op schijven

Atacama Large Millimeter Array (ALMA)



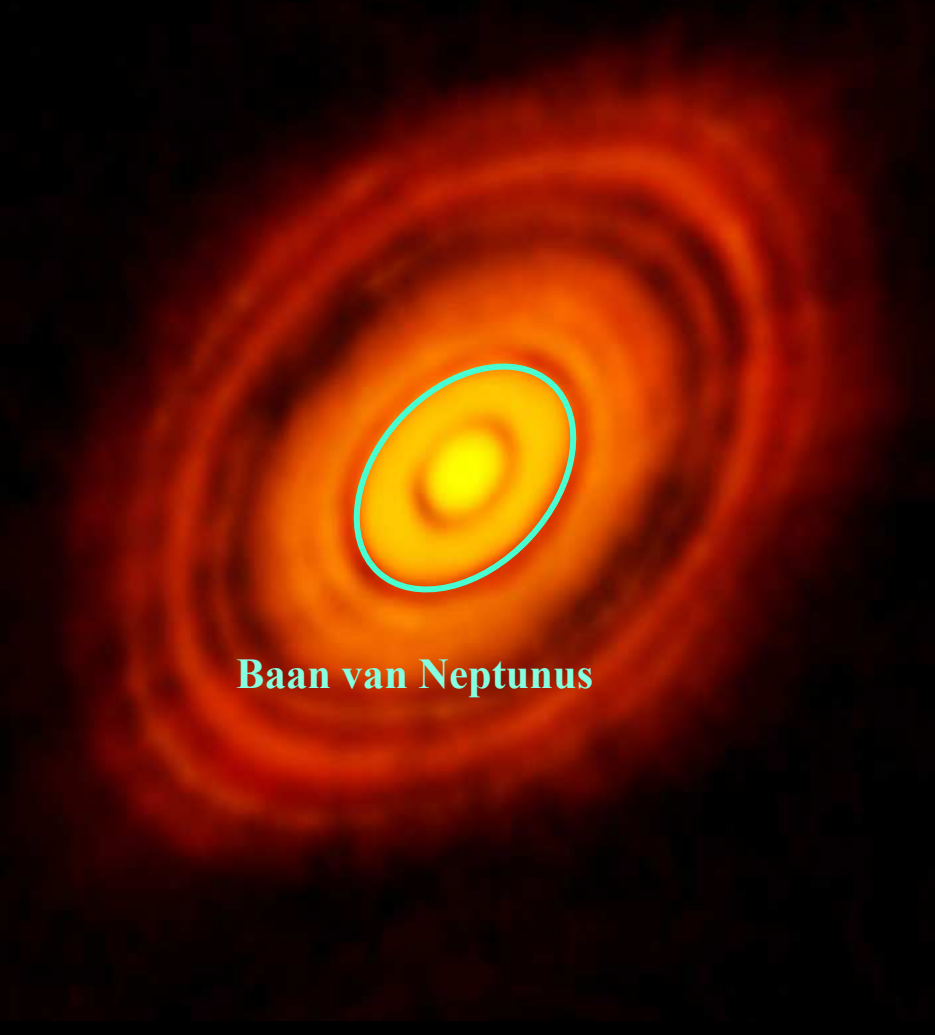
66 antennes
in noord Chile



ALMA 'dans'



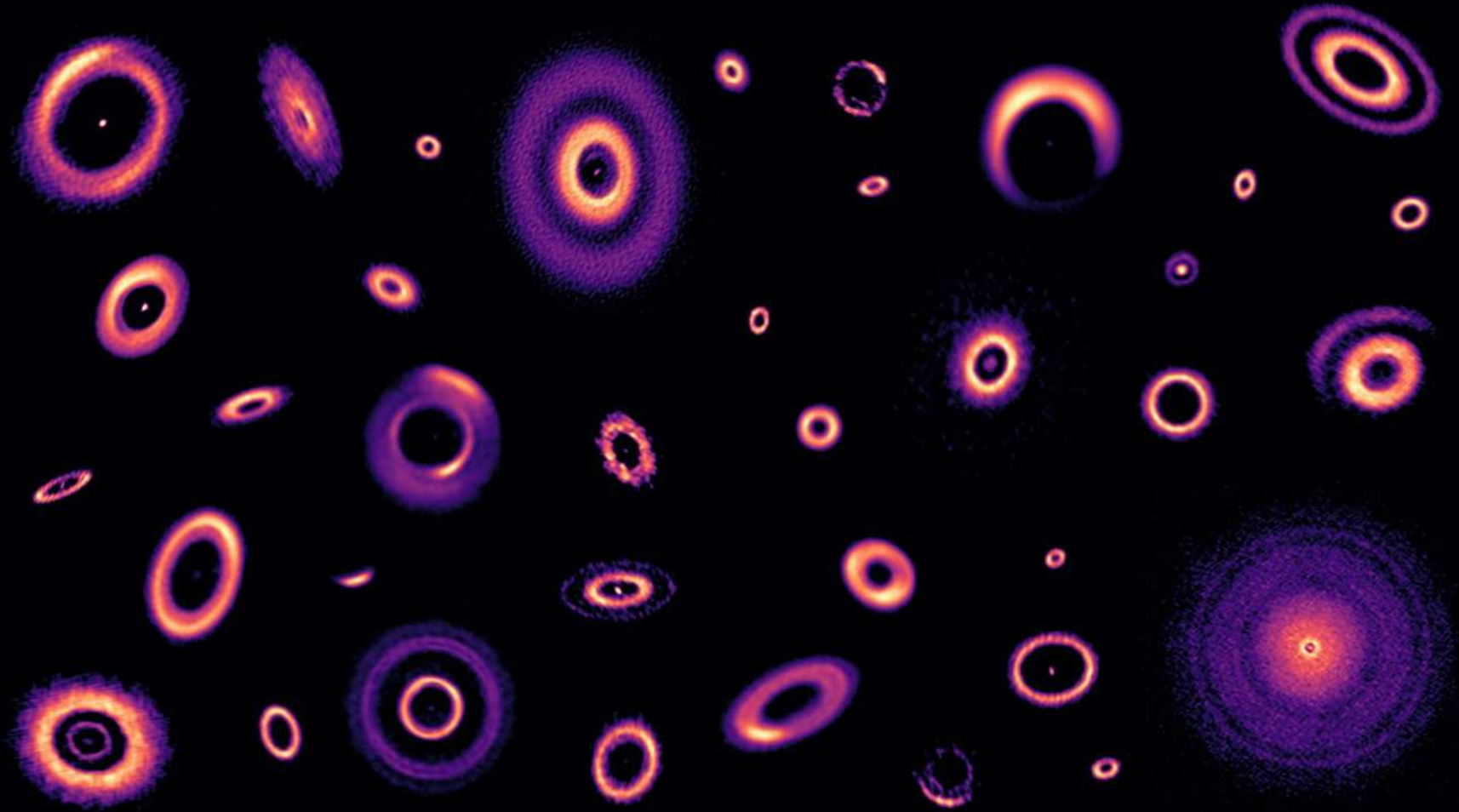
ALMA beeld van een jonge schijf



Baan van Neptunus

HL Tau jonge schijf
ALMA partnership et al. 2015

Veel structuur in schijven → jonge planeten?



ALMA
1 mm, koud
stof

50 ae
↔
Grootte van ons zonnestelsel

Francis & van der Marel 2020
Atacama Large Millimeter Array (ALMA)

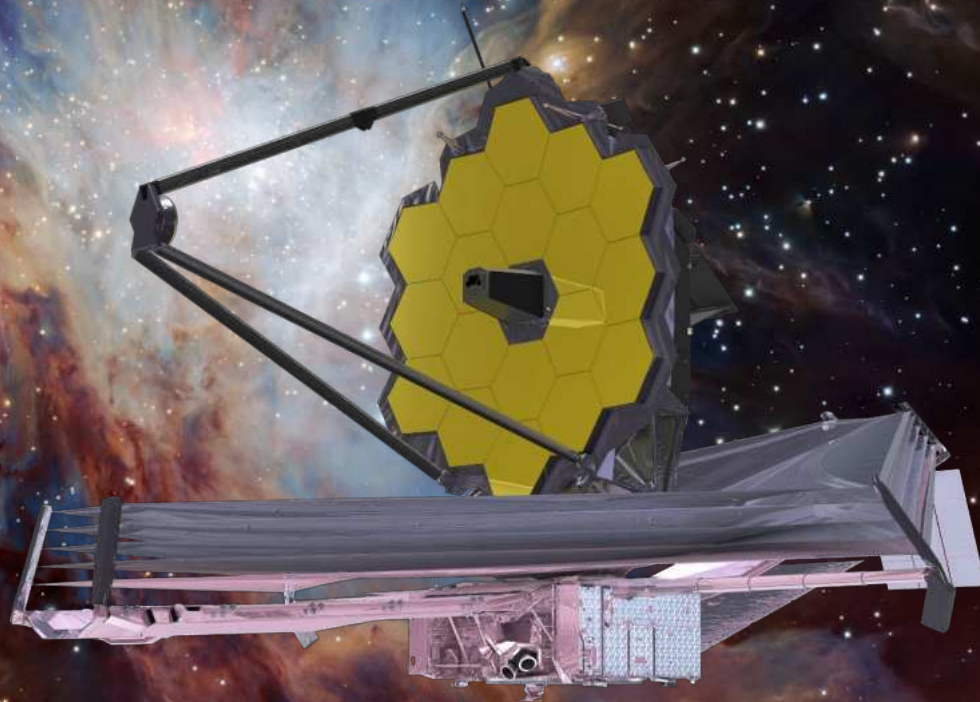
Planeet-vormende schijven

- Vrijwel alle jonge sterren hebben een schijf
- Grootte van schijven vergelijkbaar met ons zonnestelsel
- Massa van schijven meestal voldoende om planeten te vormen
- Structuren suggereren ‘planeet vorming in actie’

*⇒ Ingredienten voor bouwen planeten zijn wijd verspreid
(en er is water!)*

Nieuwe grote ruimtemissie van de NASA ("flagship", eens per generatie)

*Dank aan duizenden ingenieurs, technici,
managers, wetenschappers,*



15% partner



ESO/H. Drass et al.

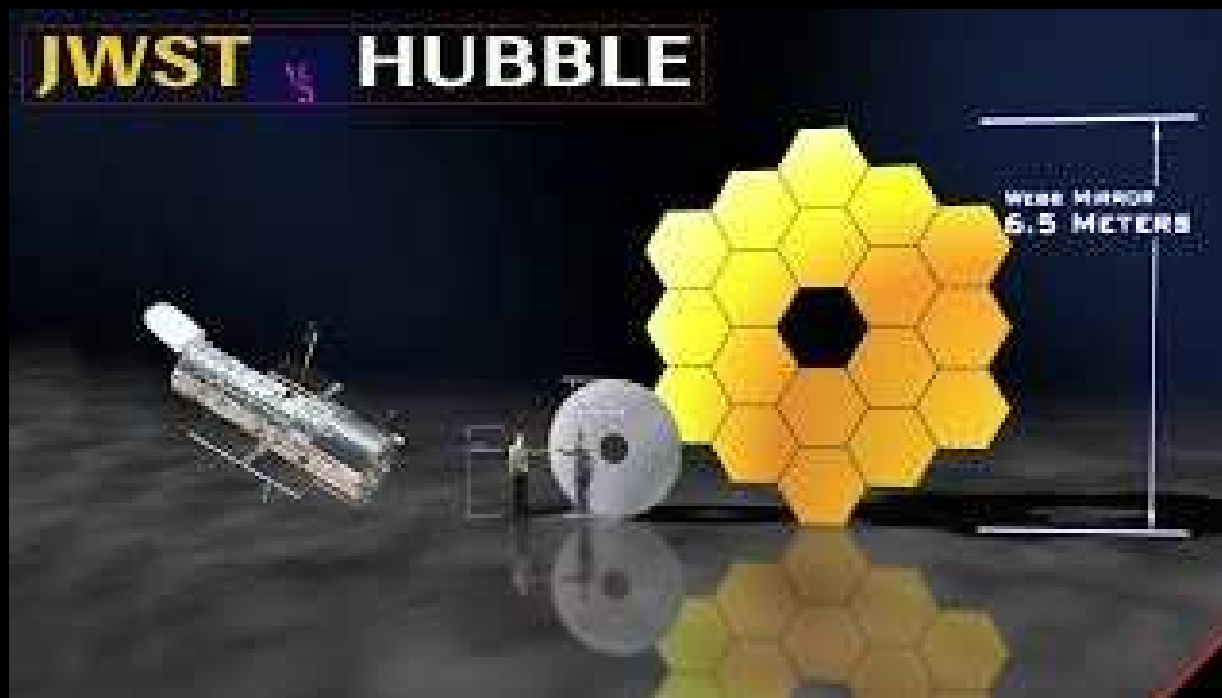
Mijn betrokkenheid bij Webb

.....ruim 25 jaar

- 1997-2002: ESA en NASA advies commissies
- 2003-nu: co-PI mid-infrarode instrument MIRI



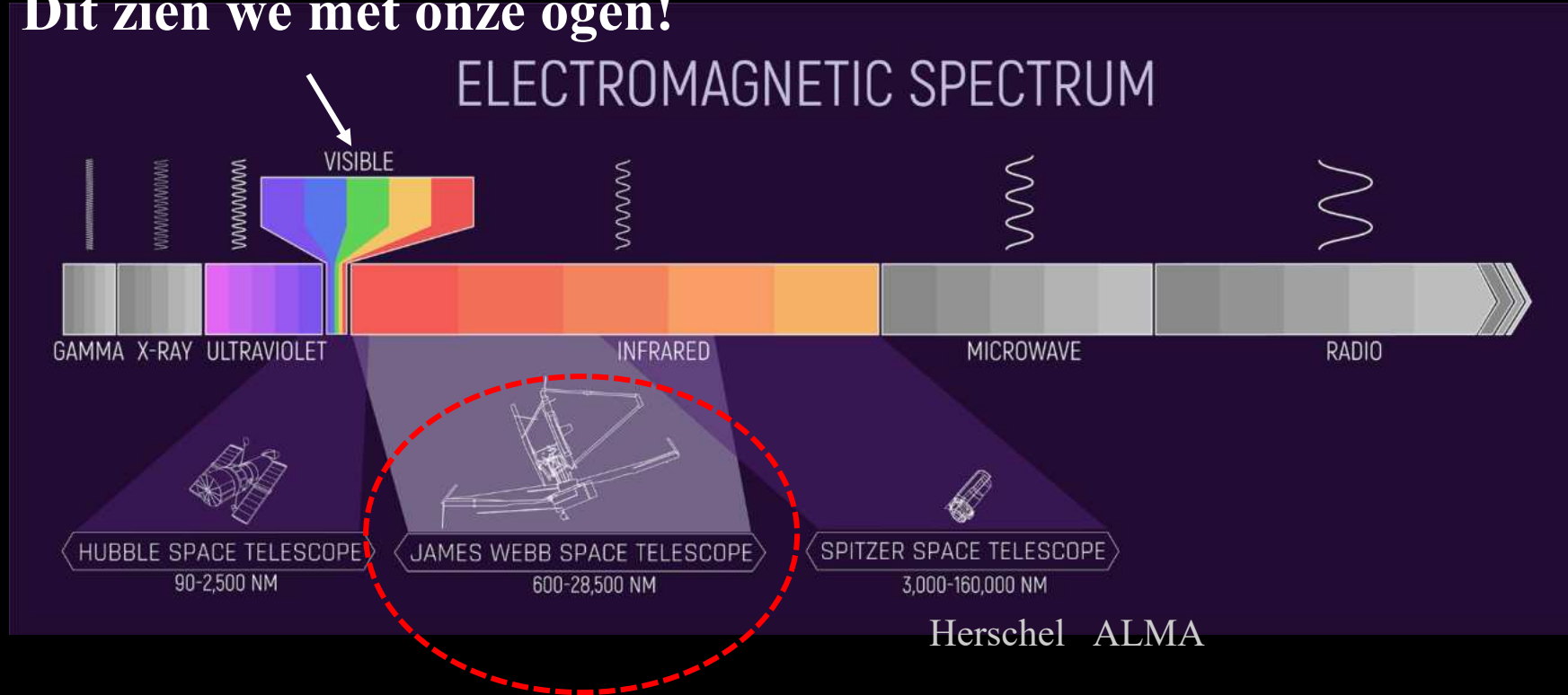
Wat maakt Webb uniek?



Webb is groot: 6.5m!!

Webb's ogen: infrarood

Dit zien we met onze ogen!



Aardatmosfeer blokkeert straling uit de ruimte →
ruimte-telescoop

Hoe groot is groot?



Zonneschild zo groot als een tennisveld!

Ons instrument aan boord: MIRI



Spectrometer ontworpen, gebouwd en getest in Nederland door NOVA

2002-2008



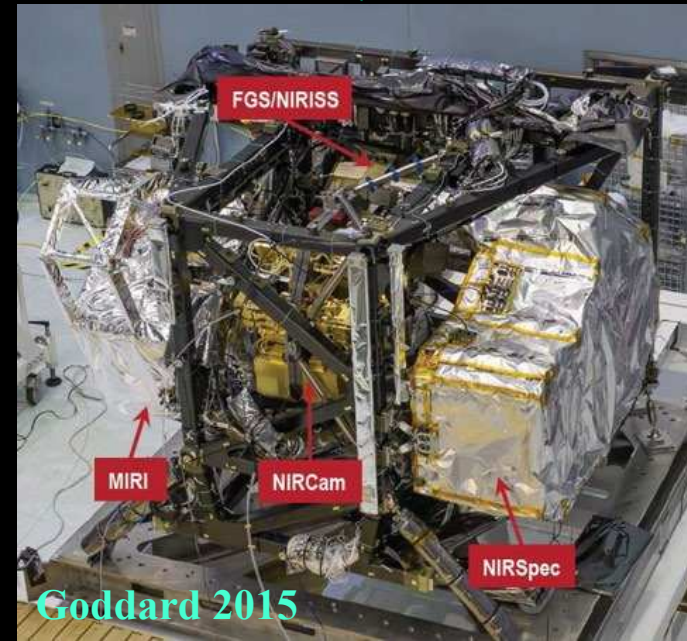
Dank aan NL MIRI team

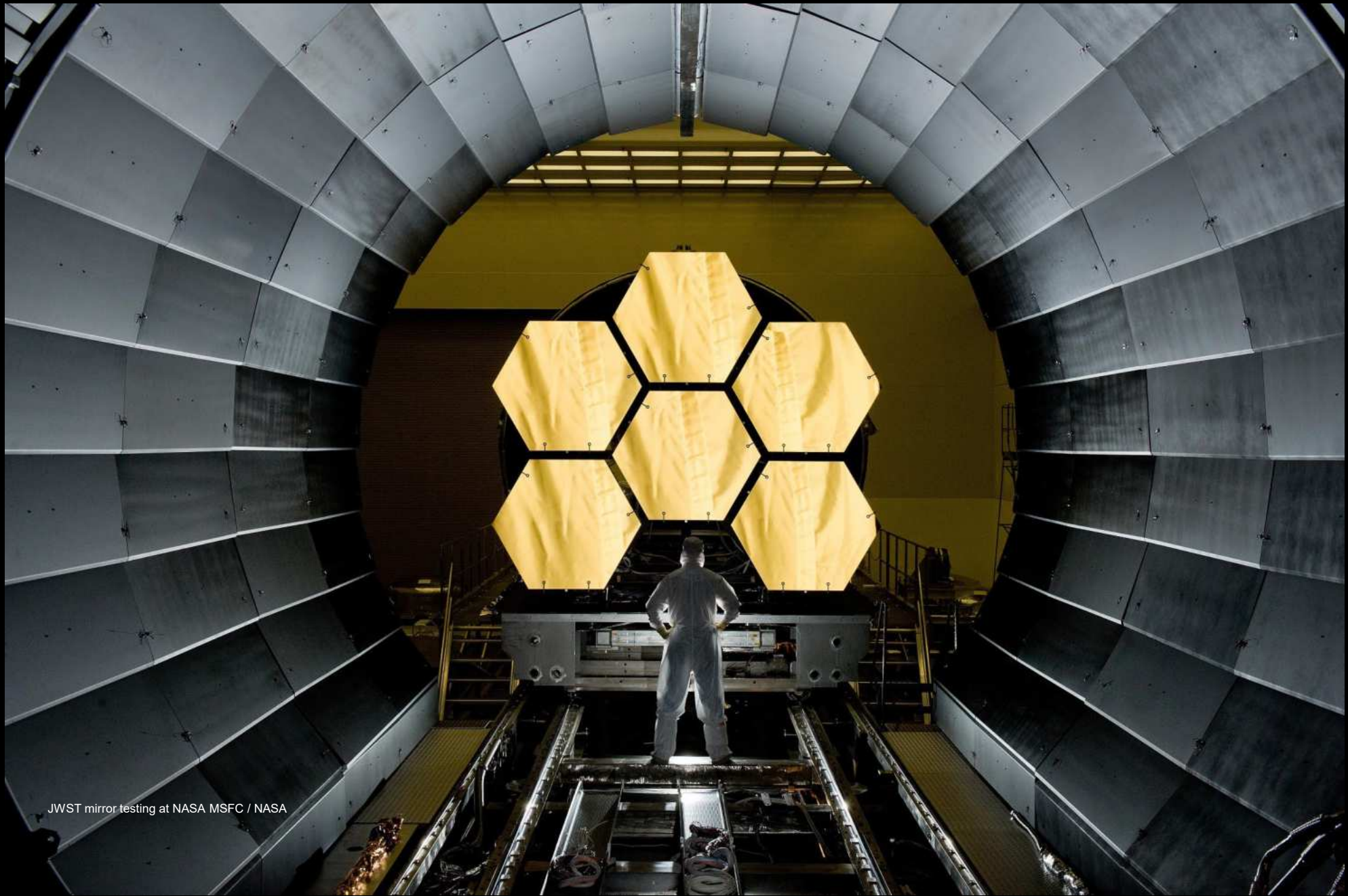


July 7, 2022

14 jaar na aflevering....

MIRI: van Europa naar de VS





JWST mirror testing at NASA MSFC / NASA



Assembly of the optical telescope element at NASA Goddard / NASA





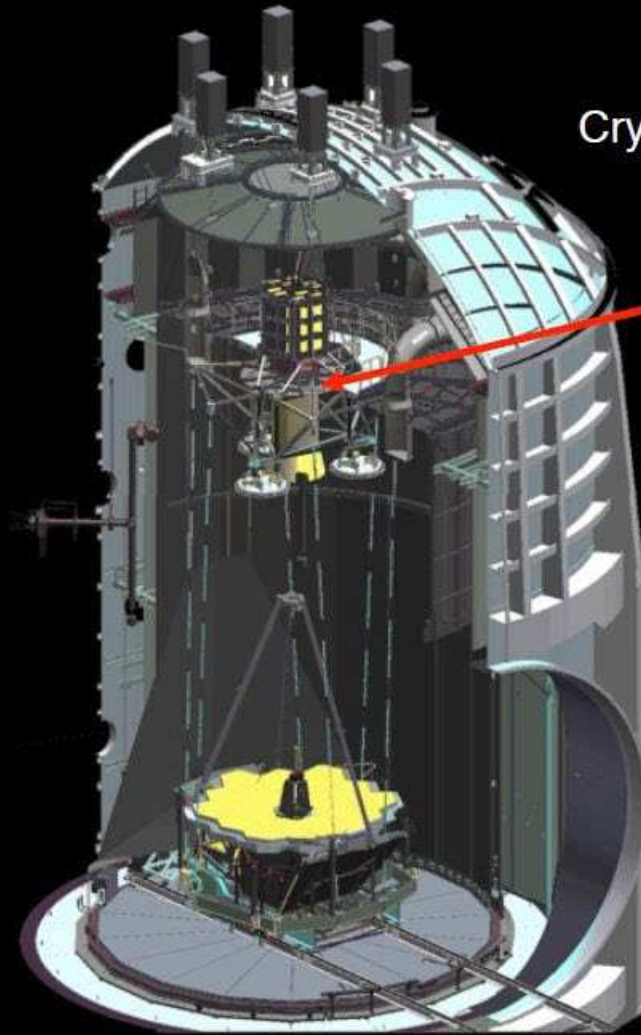
NIRSpec being installed in ISIM / NASA, Chris Gunn



Installation of ISIM / NASA, Chris Gunn, Desiree Stover



Van Goddard naar Houston: “End-to-end” koude test met de telescoop



Cryo Position Metrology

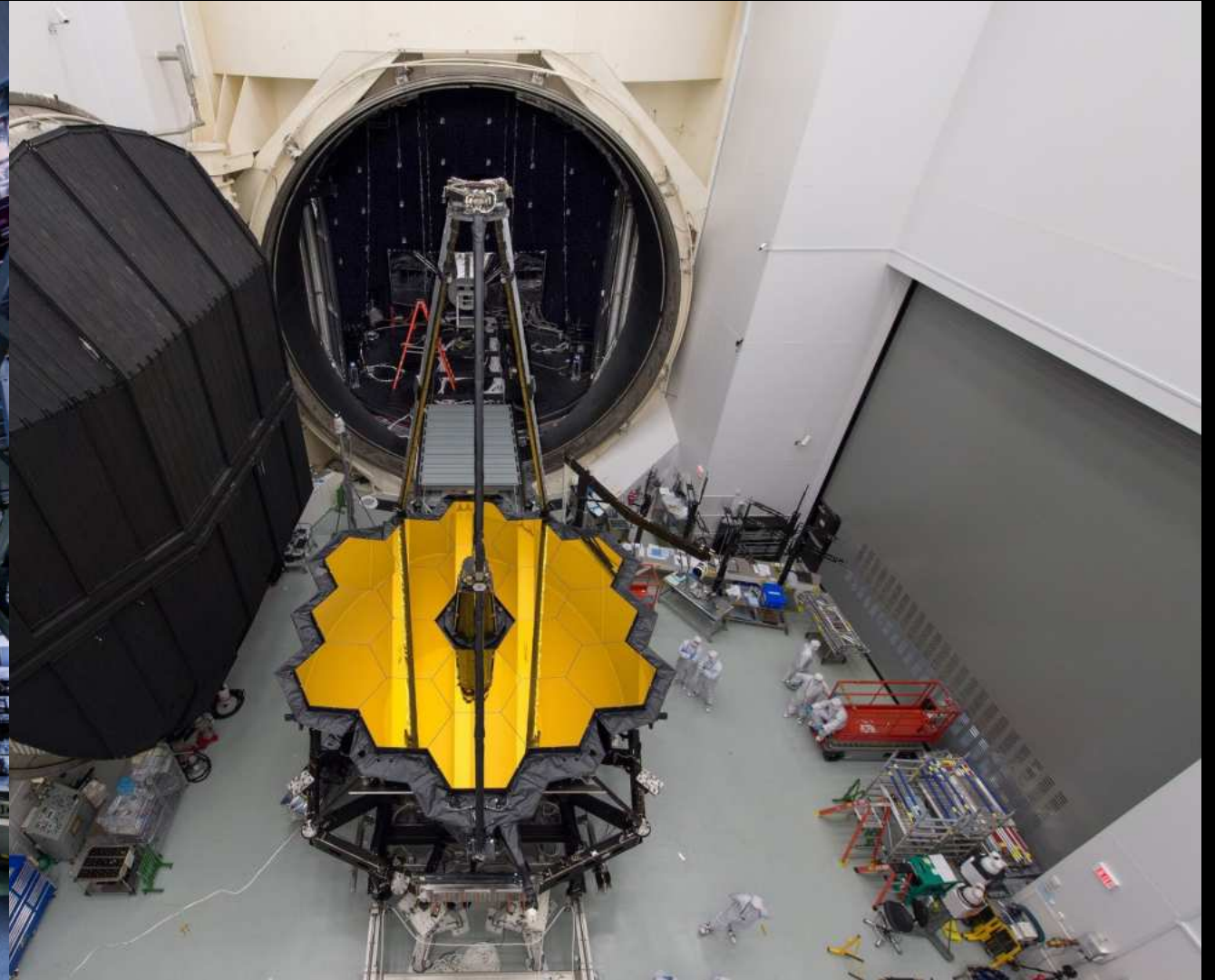
Center of Curvature
Optical Assembly



Testen telescope in Houston



The complete optical telescope & instrument system at Johnson / NASA



Van Houston naar Los Angeles



Full-scale test sunshield / NASA, ESA, CSA, Northrop Grumman Corporation, Alex

Installeren en testen zonnescerm