De James Webb Ruimte-telescoop

Piet Cijsouw, Metius, 25 februari 2022

Bronnen

- Zenit juni 2016, pp. 11-21
- Vele websites, i.h.b. die van ESA:
  https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/JWST
  NASA:
  https://jwst.nasa.gov/content/about/launch.html
  en Northrop Grumman:
  https://www.northropgrumman.com/space/james-webb-space-telescope
- Fact sheets van NASA en ESA

Inhoud

- Algemene kenmerken, verschil met Hubble en NASA's infrarood telescoop Spitzer
- Voorgeschiedenis, vertraging
- Partners, kosten
- Lancering, uitvouwen diverse onderdelen
- Traject naar L2, omcirkelen van L2
- Optiek, instrumenten, koeling
- Te verwachten activiteiten

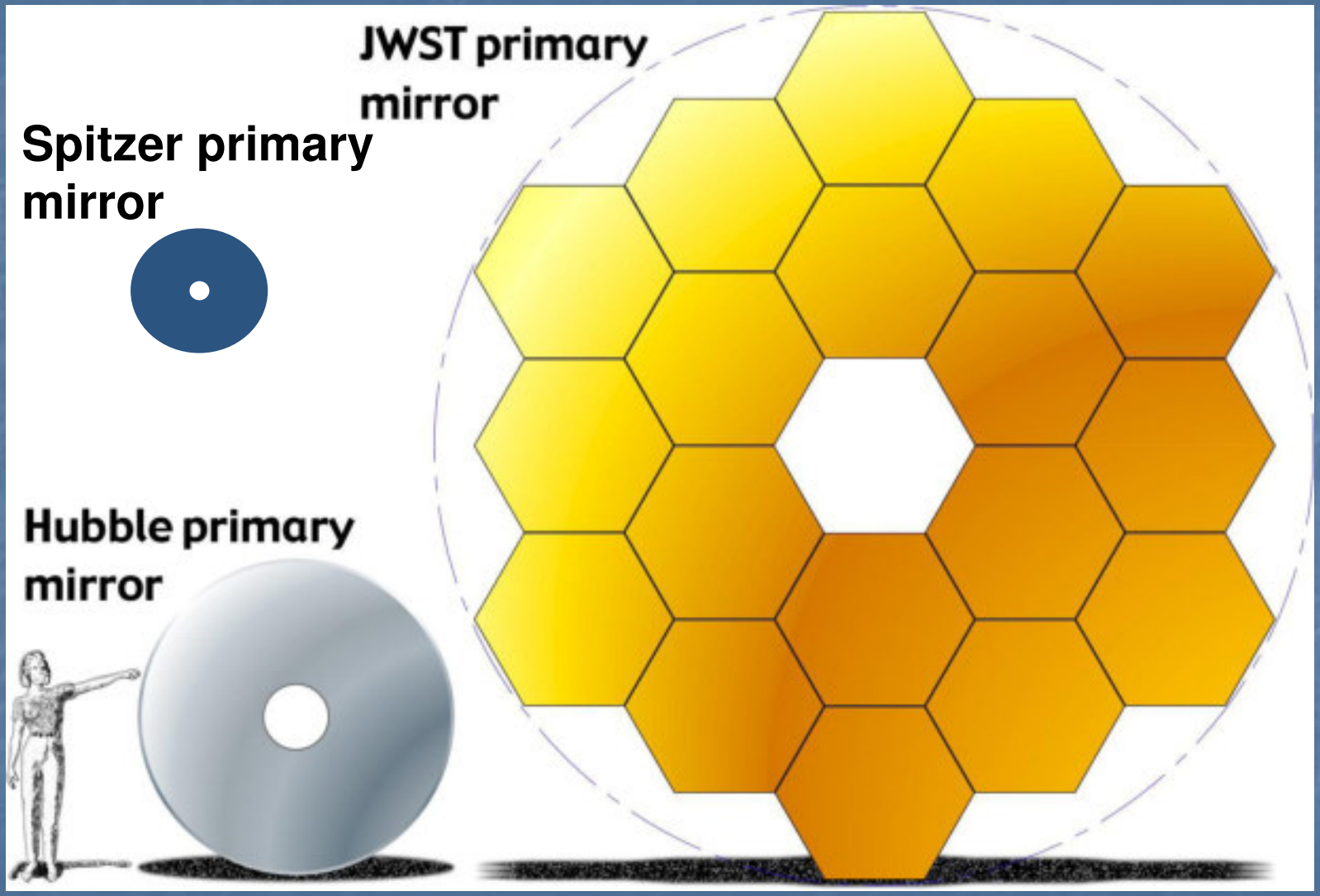
Algemene kenmerken

- Ruimte-telescoop: geen last van atmosferische verschijnselen (seeing, absorptie)
- Dus kostbaar: gebruik slechts voor objecten die vanaf de aarde niet (goed) waarneembaar zijn
- Belangrijke verschillen tussen de James Webb Space Telscope (JWST) en de Hubble Space Telescope (HST):
  1. JWST heeft een veel groter objectief (6,5 m tegen HST 2,4 m diameter); noodzaak opvouwen; spiegel in segmenten
  2. JWST werkt in rood en oranje licht, en vooral in nabij en midden infrarood licht (koeling nodig) (HST: zichtbaar licht met een beetje infrarood en een beetje ultraviolet)
  3. JWST heeft een zonnescherm, HST een vizier tegen te sterke straling
  4. JWST heeft locatie op 1,5 Mkm afstand rond L2 van het zon-aarde systeem, HST: in een lage baan op 550 km hoogte om de aarde
  5. HST is ontworpen op onderhoudsmogelijkheden, JWST kan niet onderhouden worden.

Algemene kenmerken (2)

- Levensduur: 5 jaar, met een te verwachten verlenging tot 10 jaar
- Totale massa: 6.500 kg (de helft van de HST)
- Extreem open constructie: geen storende warmtestraling in de lichtgang, geringe totale massa
- Elektrisch vermogen 2.000 W
- Communicatie met de aarde: 28 Mb/s
- De JWST is in wezen een infra-rood telescoop!
- Spitzer: NASA ruimtetelescoop voor IR, 2003 – 2009 (in 2020 buiten werking gesteld), in L2, 950 kg, hoofd-spiegel van 85 cm doorsnede, brandpuntsafstand 10,2 m
- JWST vergeleken met Spitzer: veel grotere spiegel, grotere gevoeligheid, kleiner blikveld, veel grotere resolutie.

Vergelijk de objectieven van HST en JWST

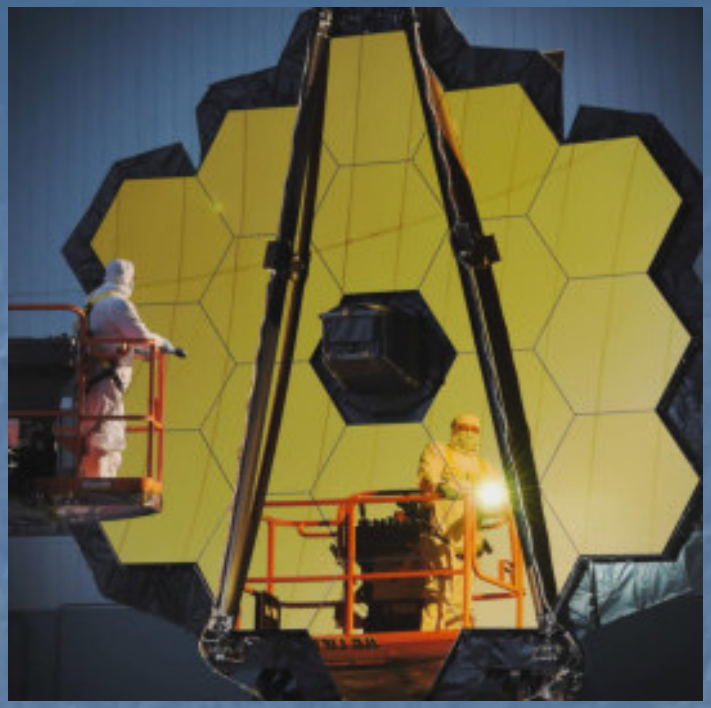


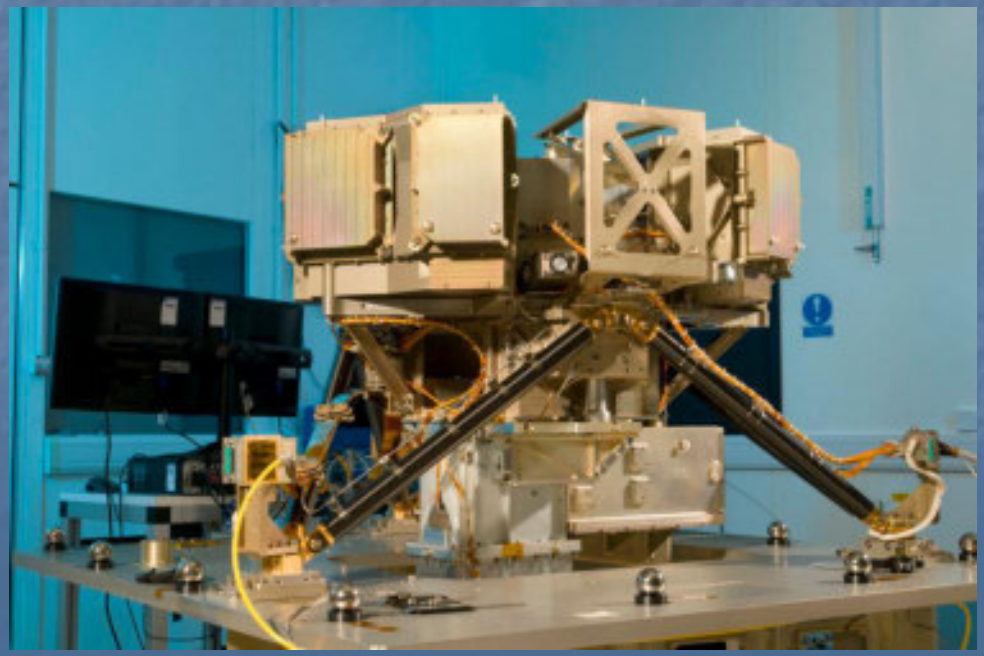
Voorgeschiedenis

- Eerste plannen voor een “Next generation Space Telecope” dateren al van de jaren 90; spiegel van 8 m diameter, te lanceren in 2007 (HST is gelanceerd in 1990, na reparatie operationeel in 1994; Spitzer was actief van 2003 tot 2009)
- In 2002 omgedoopt tot James Webb Telescope ter ere van de tweede NASA-directeur; spiegel teruggebracht tot 6,5 m, het gehele apparaat weegt maar half zo veel als de HST
- Samenwerking vanuit NASA met steeds meer andere instanties, veel tegenslag, kosten verveelvoudigd, uitstel op uitstel van lancering: van 2007 via 2018, 2019 en 2020 naar (realisatie) 25 december 2021.
- Belangrijke redenen voor de vertraging: enorme complexiteit, onmogelijkheid van reparatie, scheuren van één van de vijf zonneschermen

Partners, kosten

- Initiatiefnemer: NASA
- Eerste andere betrokkenen: ESA en CSA (Canadian Space Agency). Instrumenten van vele leveranciers.
- Hoofdaannemer: Northrop Grumman
- Lancering m.b.v. een Ariane-5 raket (uiterst betrouwbaar) van ESA vanaf de basis Kourou in Frans-Guyana
- De JWST zat tijdens de lancering geheel opgevouwen in de neuskegel van de raket (ook de spiegel), en werd in de loop van de eerste weken na de lancering (nog op weg naar de bestemming bij L2) uitgevouwen en getest. Tot dusverre verloopt alles volgens plan
- De kosten (volgens de laatste schattingen) bedragen bijna 10 miljard dollar





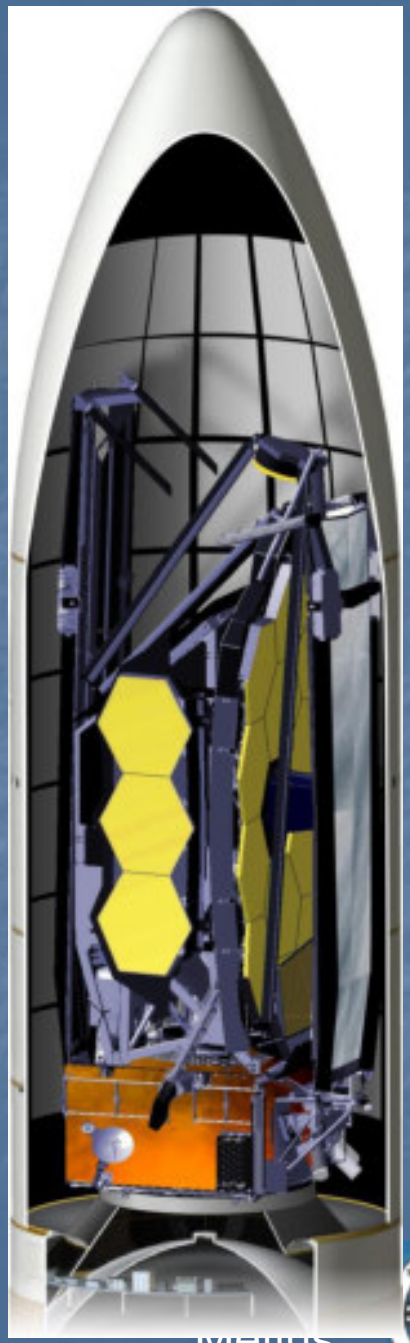
“Alignment test” van Miri (de mid-infrarood camera)

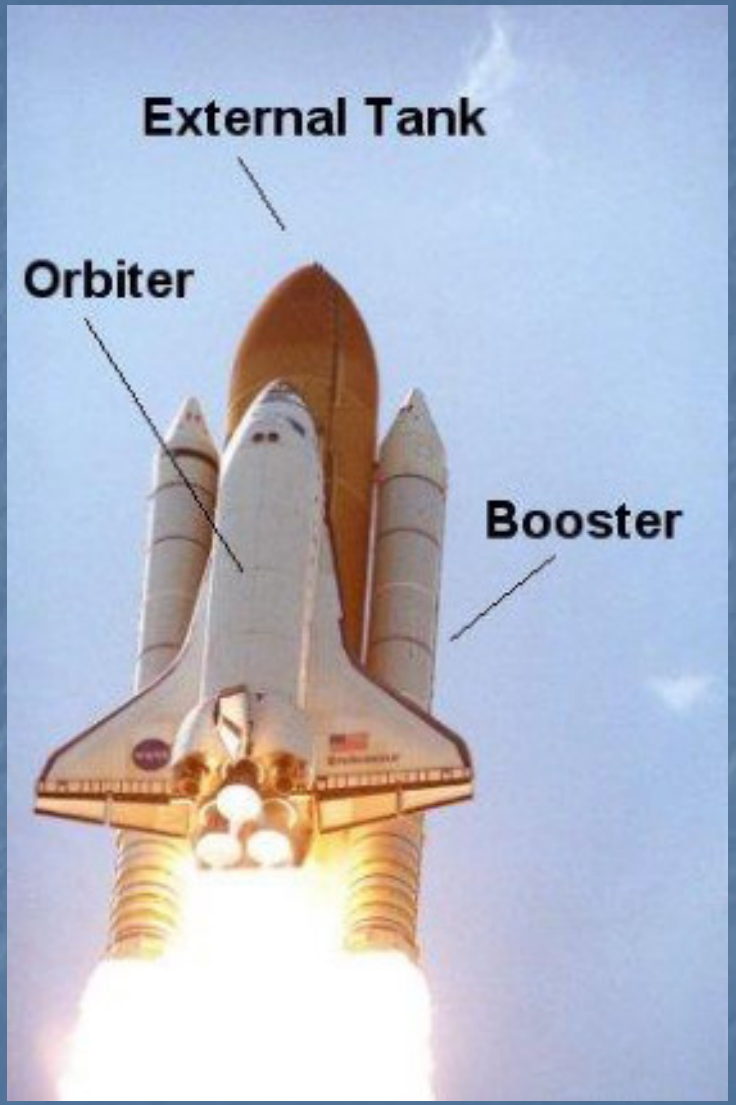
AWSV Metius

Proef met het uitvouwen van de schermen

De lanceerbasis Kourou

JWST opgevouwen in de Ariane 5





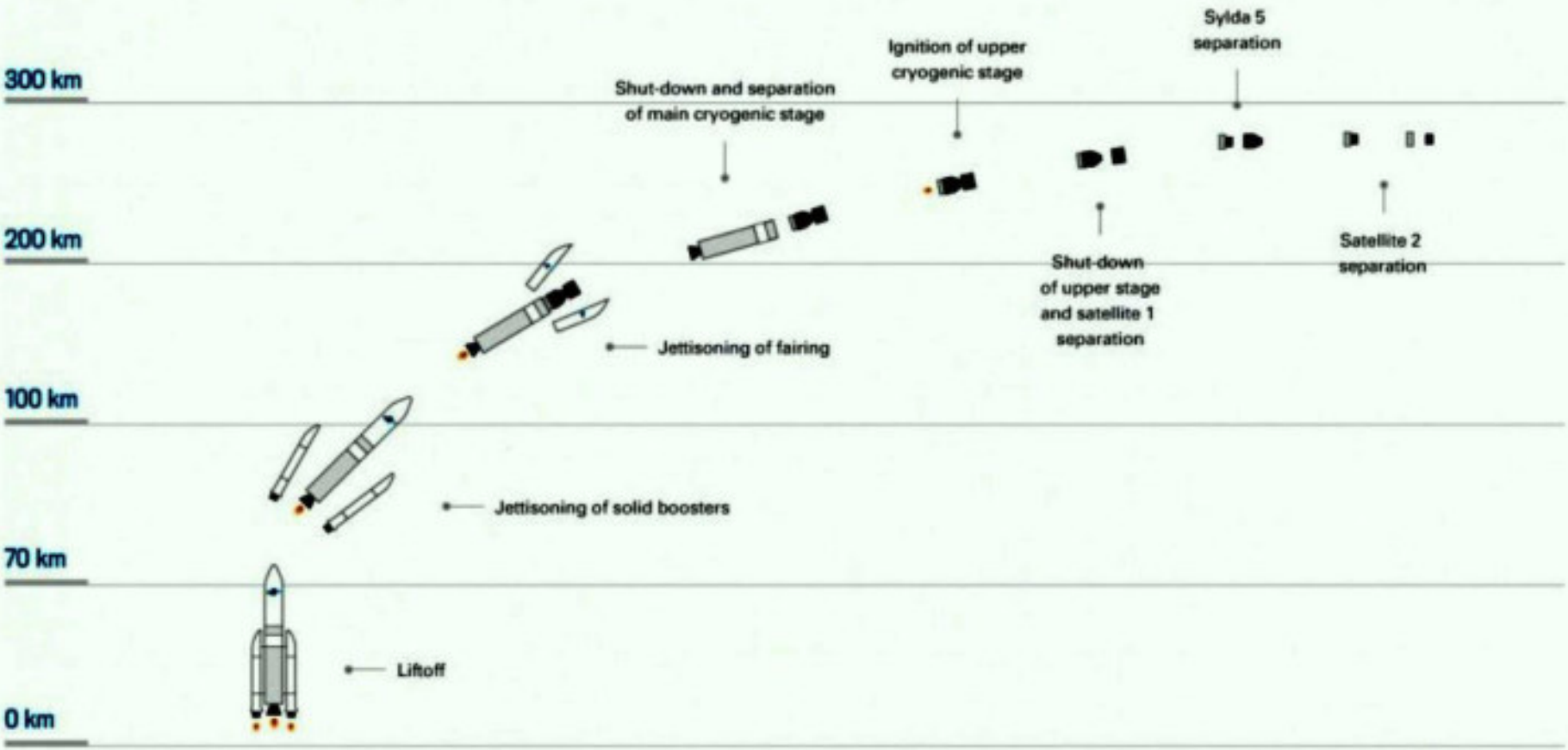
56 m hoog

Space Shuttle
(hoofdmotoren op externe tank plus boosters plus nawerkende interne raketmotoren, samen goed voor een lage baan)

50 m hoog

Arane 5
(twee trappen plus boosters, samen goed voor een hoge baan of ontsnapping aan het aardse zwaartekrachtveld)

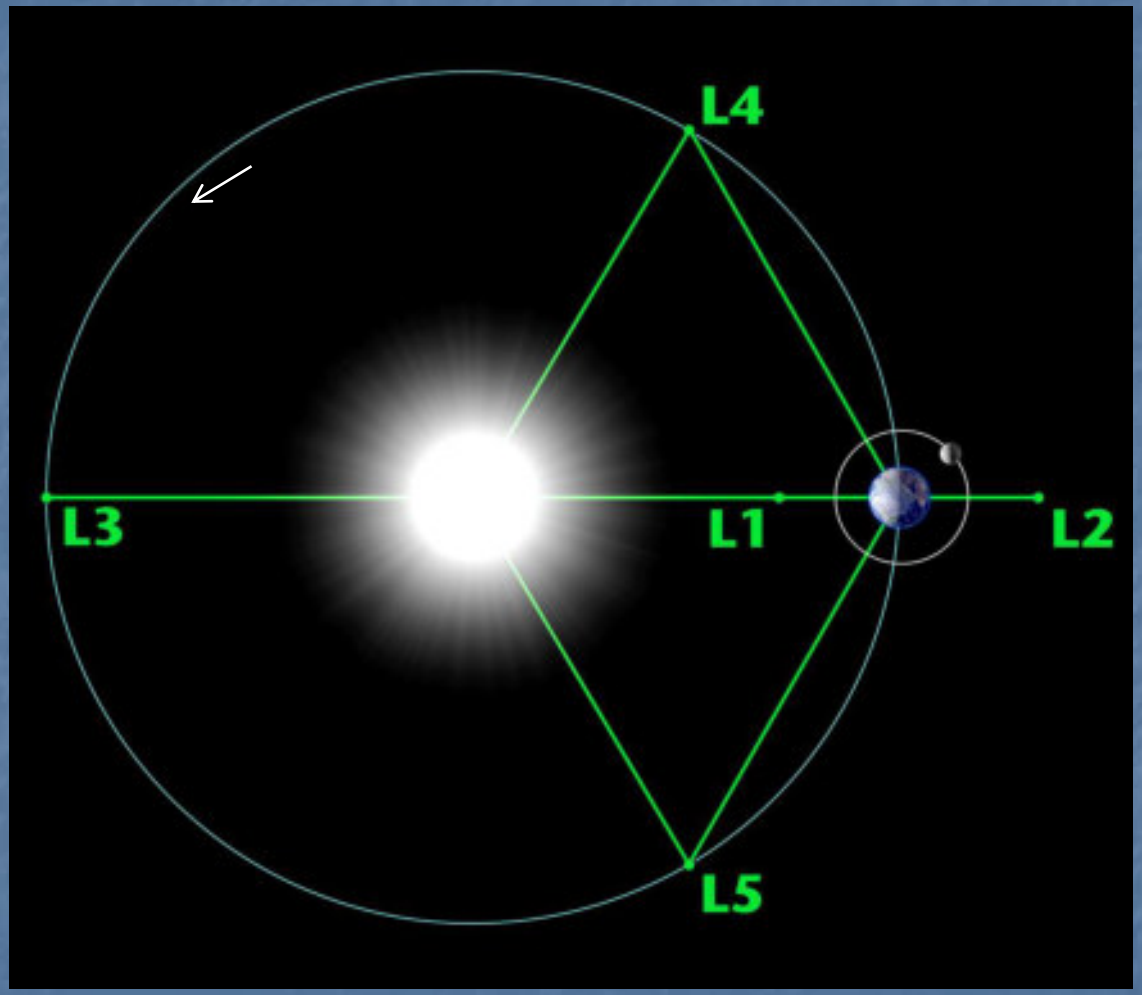
Het lanceertraject van een standaard Ariane 5 raket



De lancering

De ontplooiing in detail

Doel: omcirkelen van het Lagrangepunt L2



N.B. slechts L4 en L5 zijn stabiele evenwichtspunten

N.B. Spitzer ging naar L2 en dreef daar dus geleidelijk vanaf zodat koerscorrecties regelmatig moesten worden toegepast; na beeïndiging van de missie is Spitzer tot ver in het zonnestelsel “verdwaald”.

Illustratie van het meelopen in L2 met de aarde om de zon

- Gebruik My Solar System, te vinden op

  https://phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_en.html

en vul in:

"zon"	200	-50	-30	0	0
"aarde"	2,03	110	-30	0	112
"JWST"	0,001	135	-30	0	130

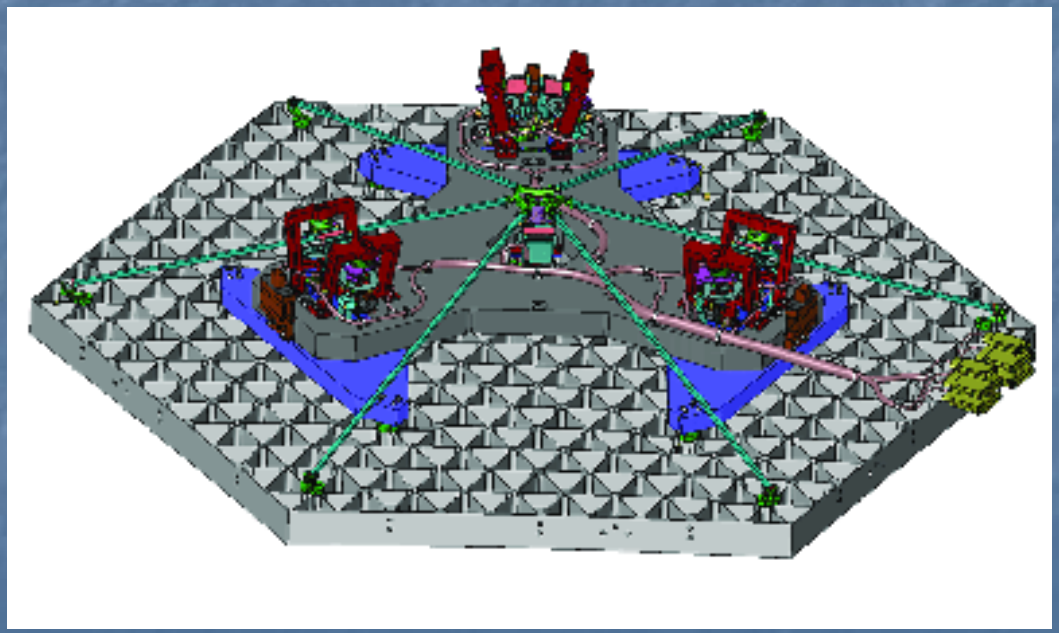
(My Solar System is een flash-toepassing; flash is nu "verboden"; gebruik Ruffle als alternatief voor het afspelen van flash-applicaties)

De gang om L2

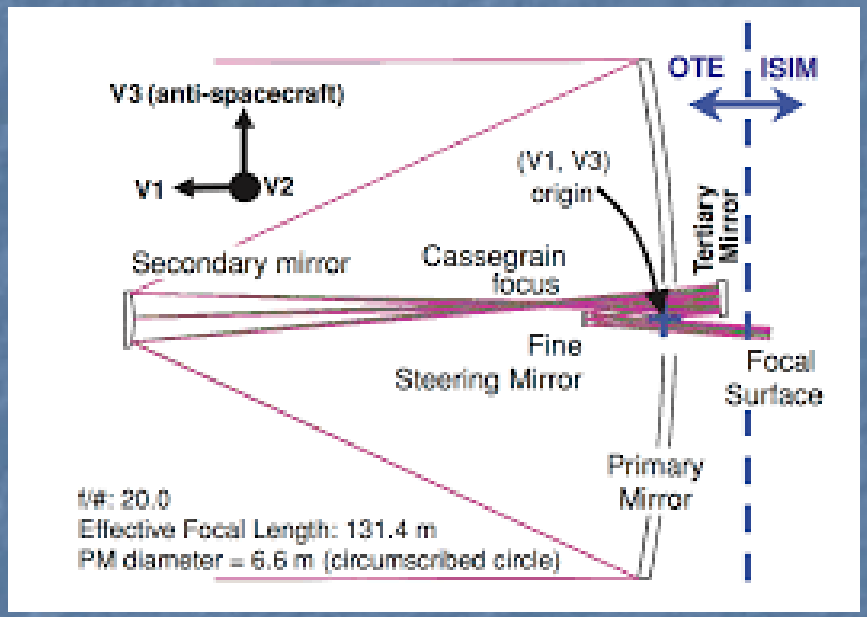
- De antenne van de JWST blijft voortdurend op de aarde gericht; het scherm ligt dus in het vlak dat loodrecht staat op de verbindingslijn naar de aarde
- Het scherm is zo gedimensioneerd dat de zon, de aarde en de maan altijd afgedekt worden gehouden (om de maan altijd af te kunnen dekken is het scherm ietwat vliegervormig gemaakt)
- Merk op: ieder punt aan de hemel kan waargenomen worden in tenminste twee periodes per jaar

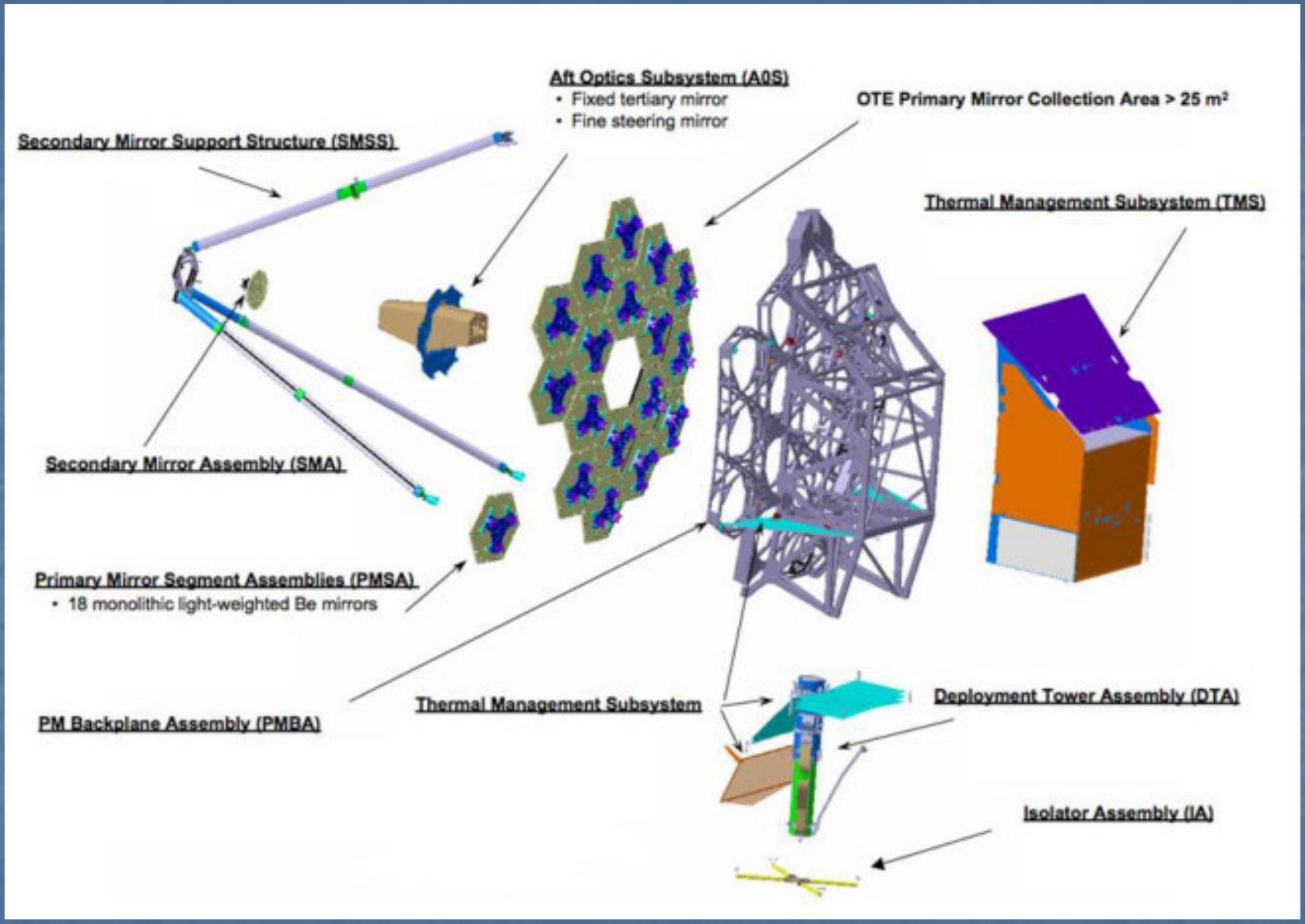
De optiek

- De hoofd spiegel is een sferische spiegel bestaande uit 18 identieke, zeskantige, op elkaar aansluitende segmenten, ieder 1,32 m tussen de evenwijdige zijden, samen 25 m^2.
- Iedere spiegel is gegoten van beryllium, aan de voorzijde geslepen in parabolische vorm en voor IR door opdampen van een goudlaagje reflecterend gemaakt, achter extreem ingefreesd om een laag gewicht te bereiken. De massa van één segment is rond 20 kg, van de gehele spiegel 350 kg.
- Ieder segment heeft actuatoren voor de éénmalige fijnafstelling.



- Er zijn twee vangspiegels en nog een derde spiegel: één ver voor de hoofdspiegel, één iets achter de hoofdspiegel en vóór de hoofdspiegel weer één die met actieve optica eventuele trillingen van de gehele constructie neutraliseert; het totale z.g. Korsch-principe maakt het mogelijk om tegelijk sferische abberatie, coma en astigmatisme te corrigeren. Alle vangspiegels hebben actuatoren.
- De actuatoren van de hoofd- positioneren de segmenten tot op 10 nm nauwkeurig
- De brandpuntsafstand van de optiek is 131,4 m; daarmee is de JWST dus geschikt voor detailopnamen aan de hemel.
- De diffractie is beter dan 0,07 arcsec (bij 2 micrometer)



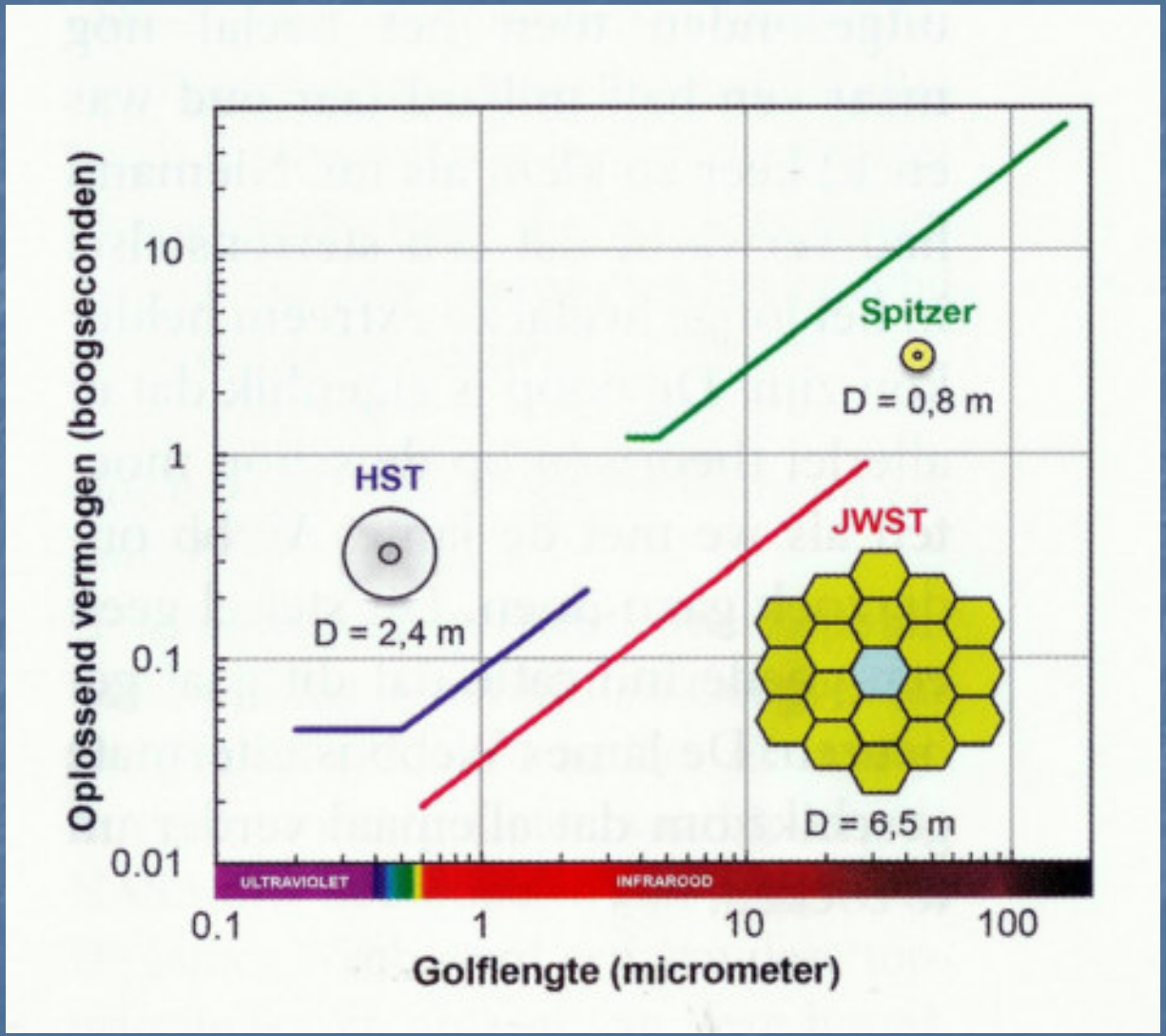

Aft Optics Subsystem (AOS)
• Fixed tertiary mirror
• Fine steering mirror
OTE Primary Mirror Collection Area > 25 m²
Secondary Mirror Support Structure (SMSS)
Thermal Management Subsystem (TMS)
Secondary Mirror Assembly (SMA)
Primary Mirror Segment Assemblies (PMSA)
• 18 monolithic light-weighted Be mirrors
PM Backplane Assembly (PMBA)
Thermal Management Subsystem
Deployment Tower Assembly (DTA)
Isolator Assembly (IA)

Waarom beryllium?

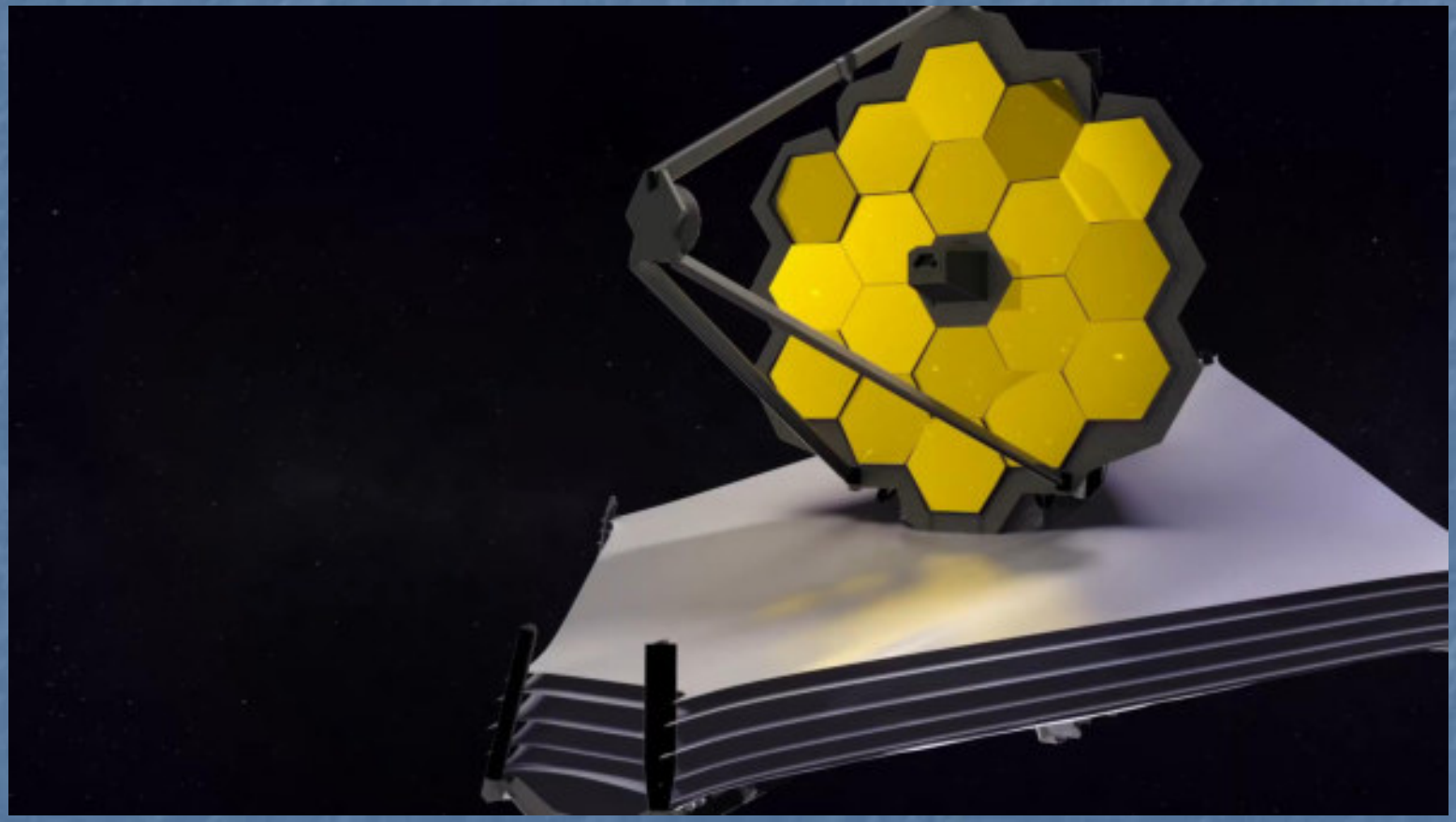
- Atoomnummer 4, atoomgewicht 9
- Metaal, goede warmtegeleider, niet magnetisch, elektrisch geleidend, hoog smeltpunt
- Stijf (3 maal staal) en licht (soortelijke massa 1,8 g/cm^3)
- Oppassen: berylliumzouten zijn giftig
- Door specialisten goed bewerkbaar
- Slechte terugkaatsingseigenschappen, daarom een opgedampt toplaagje van goud (dat infra-rood licht uiitstekend weerkaatst)
- Ook de secundaire spiegels zijn van beryllium met opgedampt goud
- Meer over de spiegels op https://www.jwst.nasa.gov/content/observatory/ote/mirrors/index.html

De gang van het licht

De frequentiegevoeligheid



De afstemming van de hoofdspiegel



De instrumenten

- NIR Cam: camera voor nabij infraroodstraling, 0,6 – 5 µm, tevens golffrontsensor voor de afstemming van de spiegels
- NIR Spec: idem voor de spectra, 3 werkmogelijkheden:

1. lage resolutie (voor overzichtsopnamen)
2. multi-object: middenhoge resolutie waarbij honderden objecten tegelijk van een spectrum voorzien worden
3. hoge resolutie: voor individuele objecten

- MIRI: Mid-infrared instrument, camera plus spectrometer, 5 – 28 µm
- FGS/NIRISS: Fine Guidance System plus Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph.
  Voornamelijk om de stabiliteit van de gehele sonde te regelen tijdens opnamen, en voor verkenningen.
  Imager 0,5 – 5 µm, spectrograph 1 – 2,5 µm.
  Extra mogelijkheid voor hoge resolutie spectra in het gebied 0,6 – 3 µm

Koeling, standregelsysteem, baancorrecties

- De zonneschermen dienen voor een extreme afscherming van de zonnewarmte: “boven”, aan de zijde van de spiegels en de instrumenten, is de temperatuur van het materiaal slechts 40 à 50 K, “onder”, aan de andere zijde, die gericht is op de zon, de aarde en de maan, ca. 350 K.
- De zonneschermen zijn groot (21 x 15 m) om de sonde wat bewegingsvrijheid te geven, en 5-voudig voor optimale afscherming tegen warmtestraling van zon, aarde en maan.
- De (infrarood-) detectoren worden gekoeld tot op ca. 5 K door middel van een koelsysteem met een gesloten circuit gevuld met helium, met een pomp, een condensor en (nabij de instrumenten) een expansiesysteem. De condensor levert z’n warmte af achter een bescherming aan de onderzijde. Vooral de pomp was een constructief probleem, dat o.a. is opgelost door de extra spiegel met adaptive control.

- Merk op: tot dusverre (ook bij Spitzer) werd er een voorraad vloeibaar helium meegenomen, die koeling door verdamping leverde en die na een paar jaar op was.
- Het standregelsysteem is conventioneel: gasstraalpijpen (voor het initieel verkrijgen van stilstand) en gyroscopen
- Een paar extra schermen van kleine omvang vangen zonlicht op dat door de kracht die dit uitoefent helpt bij het draaien om de zon, zodat "onder" altijd aan de zonkant blijft staan. Zo nodig moeten de straalpijpen hiervoor ook worden ingeschakeld.
- Er is een raketmotor van bescheiden capaciteit om zo nodig "echte" baan correcties uit te voeren; dat zal na bereiken van de baan om L2 een paar maal in de levensduur van de JWST nodig zijn.

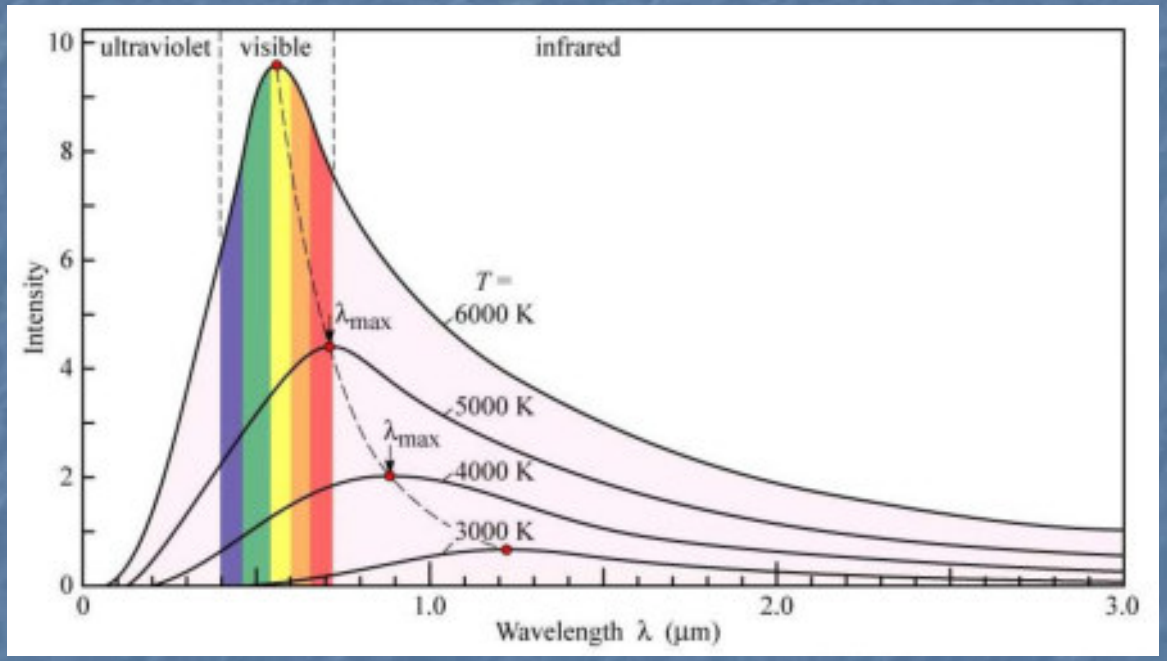
De wetenschappelijke doelen

- Onderzoek naar exo-planeten
- Onderzoek naar proplyds (planeetvorming)
- Onderzoek naar stervorming: karakteristieken van stofwolken en gaswolken, astrochemie
- Onderzoek naar het inwendige van gas- en stofwolken
- Onderzoek naar het vroege heelal: de vorming van sterrenstelsels

- Voor al deze onderwerpen is het cruciaal om IR-straling te gebruiken: minder "verblinding" door sterlicht bij bestudering van exo-planeten, proplyds stralen het sterkst in IR, door stof en gas heen kunnen kijken, kosmische roodverschuiving.
- Er zal wel veel nieuws gevonden worden: onverwachte zaken, leidend tot nieuwe inzichten.

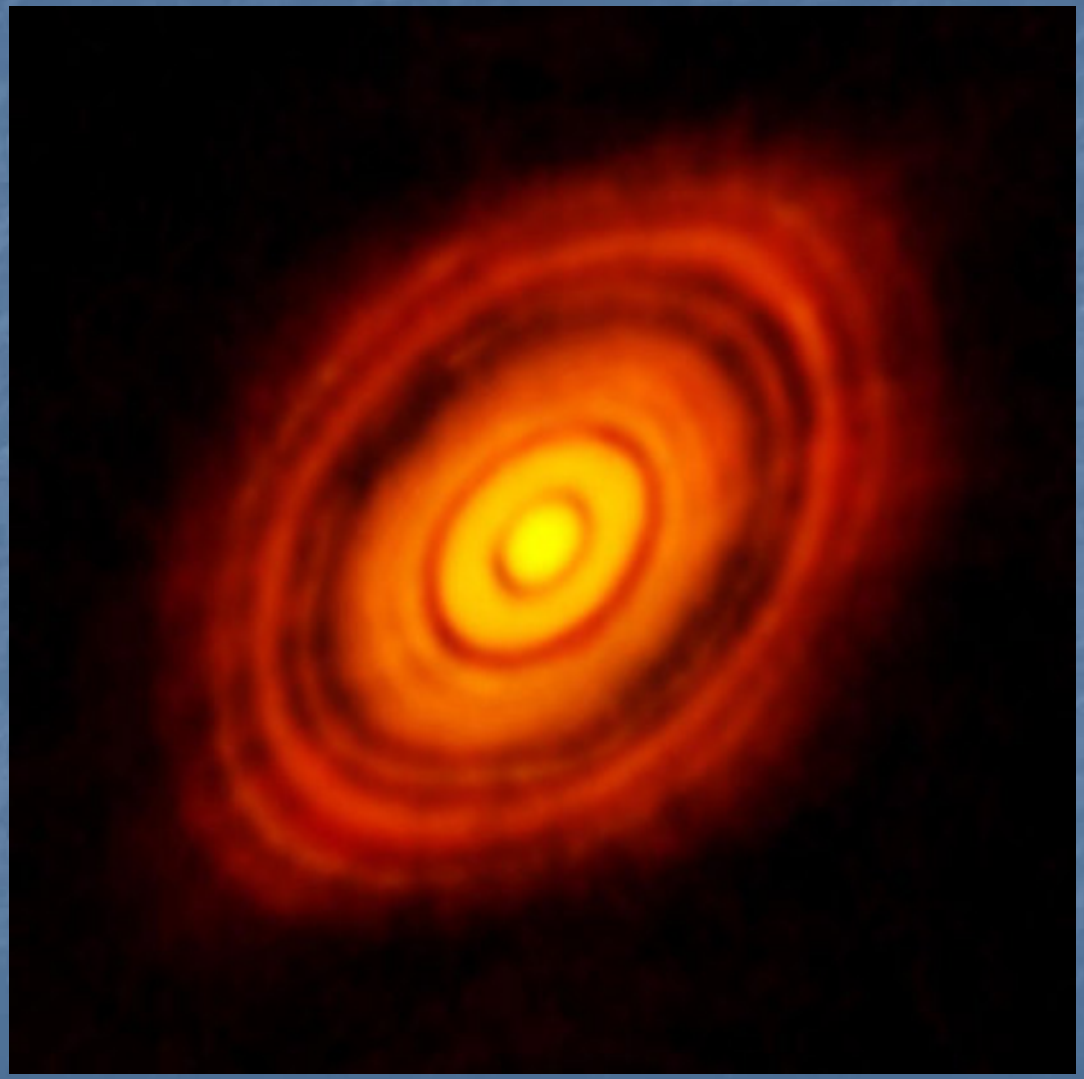
Exoplaneten

- Een exo-planeet weerkaatst maar een klein deel van het sterlicht: het valt in het niet bij de ster
- Het sterlicht afschermen is moeilijk (naar verhouding fel licht, exo-planeet dicht bij de ster)
- Maar: de planeet geeft hoofdzakelijk infrarood licht en in het IR is de ster relatief zwak
- Door in IR te meten wordt je beeld dus minder vervuild door sterlicht.

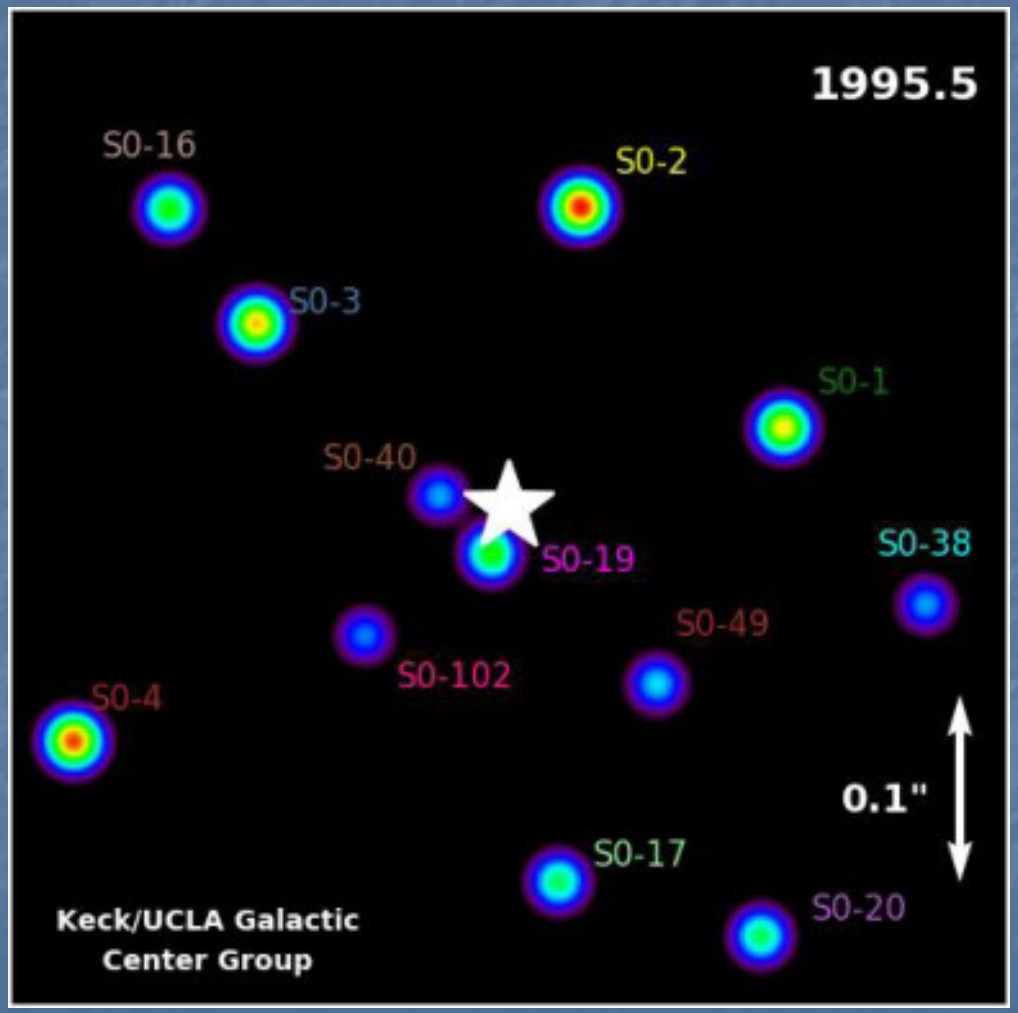


Proplyds in Orion

Een planetenstelsel in Taurus in wording

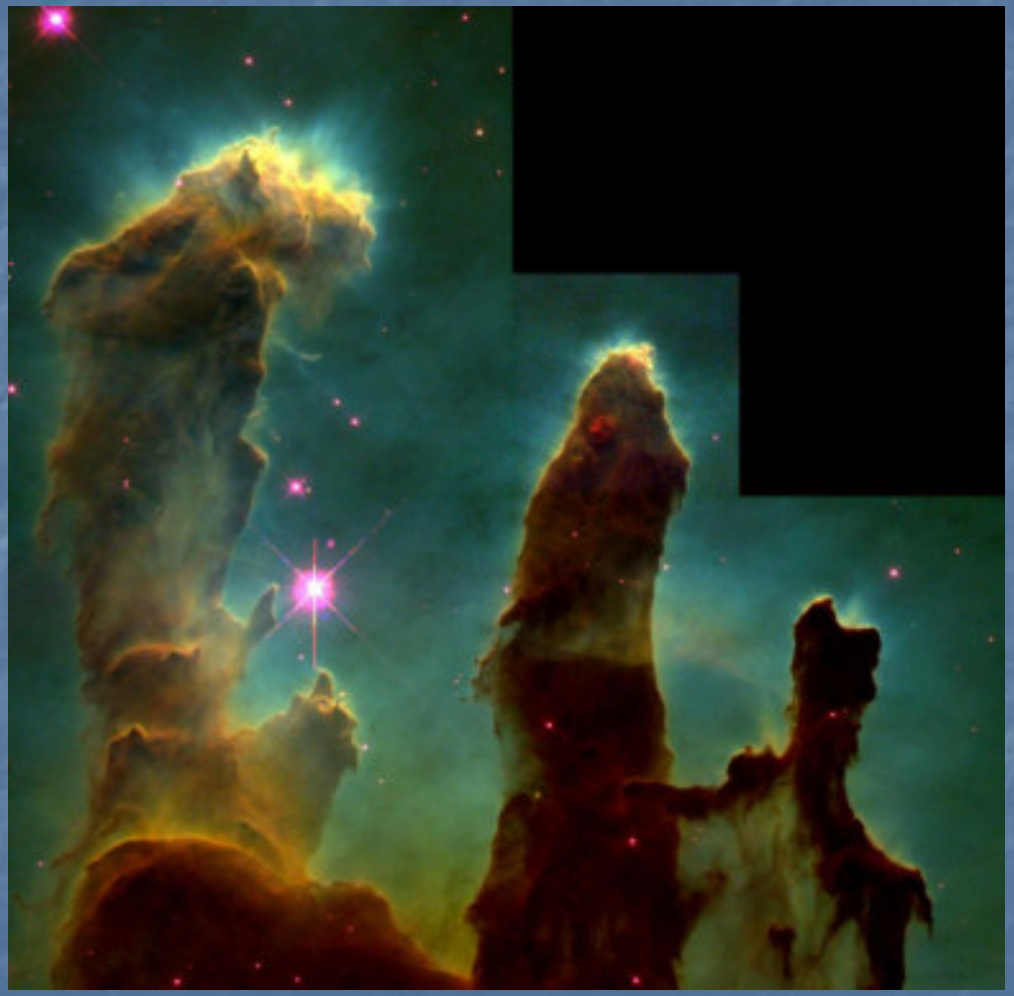


Sterbewegingen rond het Zwarte Gat in de kern van de Melkweg



Wat zit er binnen de “pillars of creation”?

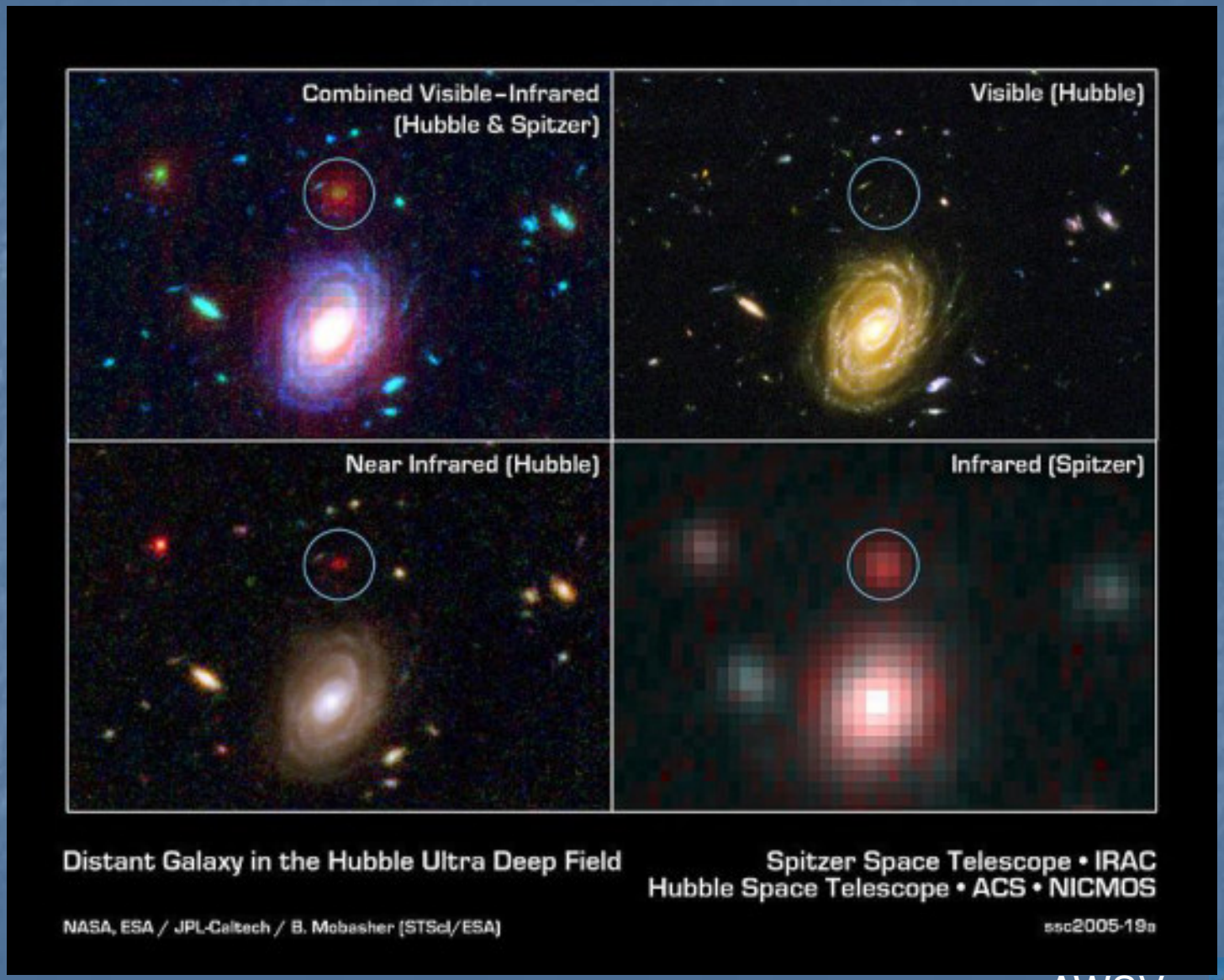
Binnen deze stof- en gaswolken vindt stervorming plaats die slechts met IR en radio te zien is. Reeds gevormde sterren blazen het stof weg en maken alles doorzichtig. De JWST zou dit proces in kaart kunnen brengen.



Astrochemie

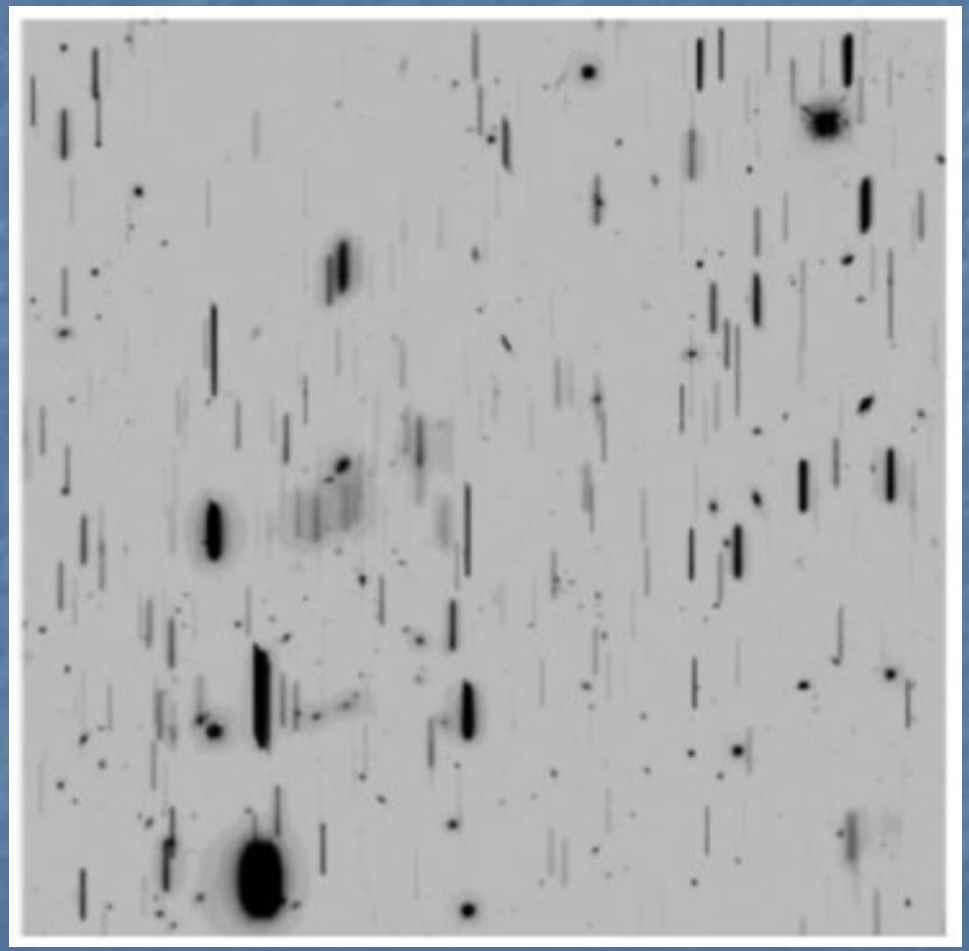
- In interstellaire wolken vinden allerlei chemische reacties plaats, ondanks de zeer ijle structuur. De gevormde moleculen stralen zwak in het infra-rood en radiogebied. Hoge resolutie spectroscopie in het IR helpt om chemische stoffen te identificeren.
- De evolutie van moleculaire gaswolken is van speciaal belang omdat uit die gaswolken nieuwe sterren gevormd worden.
- Van vele chemische verbindingen is de laatste tijd aangetoond dat ze in de interstellaire ruimte voorkomen. Daaronder zijn er ook die op aarde niet kunnen bestaan.

Een vergelijking tussen Hubble en Spitzer



Wat zal Webb toevoegen of verbeteren?

- In het nabije en midden infra-rood gebied zal de JWST veel betere resultaten geven dan ieder van Hubble en Spitzer apart
- Vooral voor spektroskopie komt er een grote versnelling, doordat de JWST van honderden sterren en/of sterrenstelsels tegelijk een spectrum van hoge kwaliteit kan opmeten (multi object spectrometry)



Blik in het verleden

- Het voornaamste belang van de JWST zit in de studie van "gewoon licht" uit de begintijd van het heelal. Door de expansie van het heelal heeft dit een grote roodverschuiving ondergaan, waarmee het in het infra-rood terecht is gekomen.
- In de kosmologie werken we met $z = \lambda_{obs} / \lambda_e$ - 1 als maat voor de terugkijktijd (en dus indirect als maat voor de leeftijd van het heelal op het moment van emissie). Voor beelden uit het vroege heelal is tegenwoordig $z = 12$ al bereikt, overeenkomend met ca. 13,5 miljard jaar terugkijken.
- De waargenomen golflengte van wat ooit zichtbaar licht was (met een golflengte van 0,4 – 0,8 µm) is dan ca. 5 – 10 µm. De JWST kan dit dus aan!

Actieve sterrenstelsels

- Belangrijk onderzoek zal gaan over de vorming van vroege actieve sterrenstelsels: sterrenstelsels met een zwaar zwart gat dat (voornamelijk) ultraviolette en nabije röntgenstraling produceert, vermoedelijk door invallen via een accretieschijf van omliggende materie.
- Deze sterrenstelsels blijken al zeer vroeg gevormd te zijn, waarschijnlijk al bij $z = 15 – 20$. Ook deze straling komt door de kosmische roodverschuiving in het gebied terecht waarin de JWST metingen kan doen.
- Men hoopt aan de hand van de resultaten te gaan begrijpen hoe sterrenstelsels zich zo vroeg in het bestaan van het heelal al konden vormen.

Dit was het.

- Hartelijk dank voor jullie aandacht.
- Zijn er nog vragen?