

HIFI FPU FM

Herschel en HIFI

Paul Wesselius

Kapteyn Instituut en SRON Netherlands
Institute for Space Research

Breukelen, KIVI NIRIA, 23 februari 2012

SRON
Netherlands Institute for Space Research



Herschel en Planck op het
lanceerplatform in Kourou

Inhoud

- Satellieten vóór Herschel
- Herschel satelliet
- PACS en SPIRE in Herschel
- HIFI in Herschel
- Meetresultaten Herschel

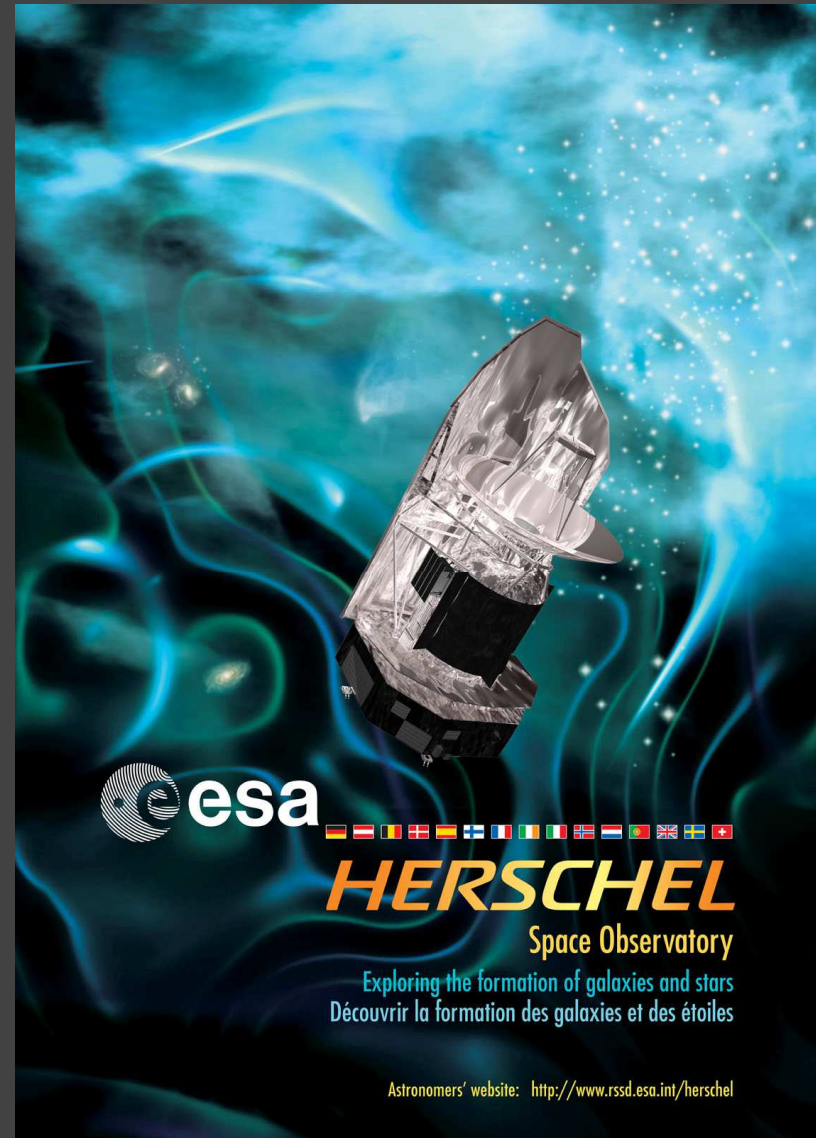
Literatuur, websites

- The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium, Tielens, Cambridge University Press, 2005
- Herschel sites:
 - http://www.esa.int/esaSC/120390_index_0_m.html
 - <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=16>
 - <http://herschel.cf.ac.uk/>
 - youtube: www.youtube.com/watch?v=93KB7qghQE0
 - Herschel Science Centre: <http://herschel.esac.esa.int/>
- The early days of infrared space astronomy, Martin Harwit, in The Century of Space Science, blz 301-330, Kluwer, 2001
- Vele websites, steeds genoemd in de tekst

William Herschel ontdekt infrarode straling

- In 1800 vroeg William Herschel zich af hoeveel warmte er door verschillende lichtfilters kwam, die hij gebruikte om de Zon te bestuderen. Herschel dacht dat de kleuren zelf misschien verschillende hoeveelheden warmte bevatten.
- Herschel leidde het zonlicht door een glazen prisma. In het gevormde spectrum bepaalde hij van elke kleur de temperatuur. Hij merkte op dat de temperatuur van violet, blauw, groen, geel, oranje tot rood licht steeds hoger werd.
- Toen ging Herschel de temperatuur net buiten het rode deel van het spectrum meten, waar dus schijnbaar geen zonlicht meer was. *Tot zijn verbazing bleek dit gebied de hoogst gemeten temperatuur te hebben!*

William Herschel – ontdekker van infrarood straling



Satellieten vóór Herschel

IRAS (1983)

- 57 cm
- 12-100 μm



ISO (1995-98)

- 60 cm
- 2.4-240 μm



Spitzer (2003-09)

- 85 cm
- 3.6-160 μm
- +5 jaar 'warm'



AKARI (2006-07)

- 67 cm
- 1.7-180 μm
- +3 jaar warm

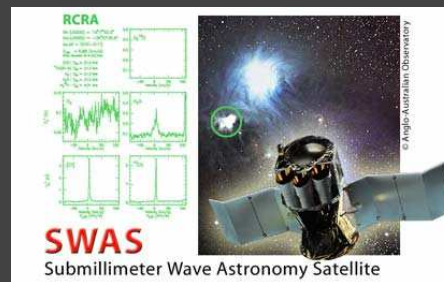


Wise (2009-2010)

- 40 cm
- 3-25 μm



Voorgangers van Herschel



SWAS (1998-2004/5)

- 55x71 cm
- 538-609 μm



Odin (2001-heden)

- 1.1 m
- 517-617 μm

infrarood:

- kleine <1 m telescopen
- golflengtes <200 μm

submillimeter:

- kleine ~1 m telescopen
- golflengtes ~600 μm

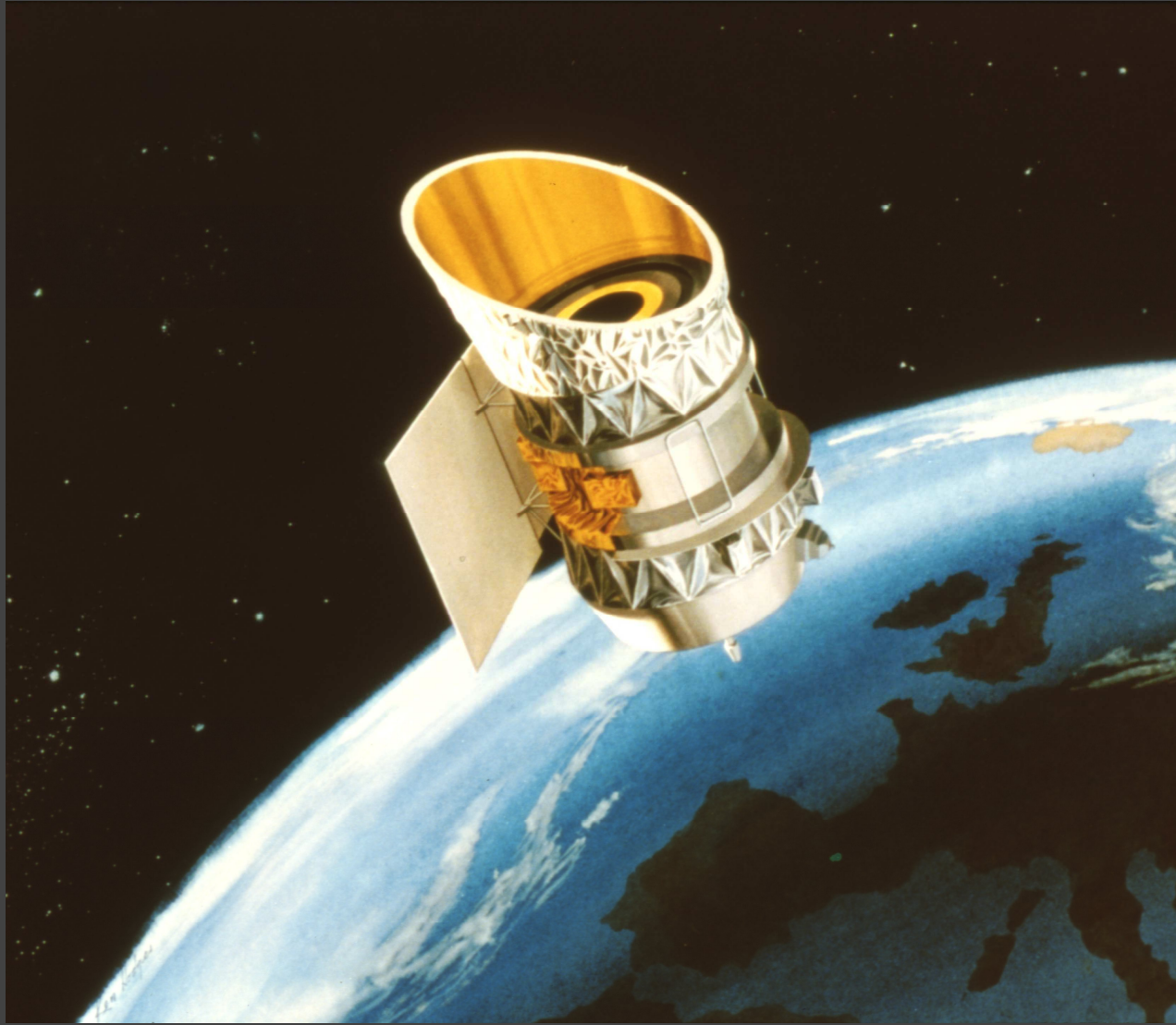
Detectoren voor infrarood/submm

- fotodetector:
 - normale verbinding, b.v. HgCdTe voor 0.8-25 μm
 - gedoopte verbinding: b.v. Si:As (silicium gedoopt met arsenicum) voor 5-28 μm
 - gedoopte verbinding onder druk: b.v. Ge:Ga (germanium, gedoopt met gallium) bij PACS in Herschel tot 210 μm
- Bolometers voor langere golflengtes (~ 200 tot 500 μm); b.v. SPIRE in Herschel gebruikt 'spider-web bolometers using NTD germanium thermometers'
- Radio technieken voor hoge resolutie spectroscopie bij submm golflengtes; als mixers worden toegepast:
 - SIS detectoren van 0,2 tot 1,5 μm (1,5 tot 0,2 THz)
 - HEB bolometers voor nog hogere frequenties dan 1,5 THz

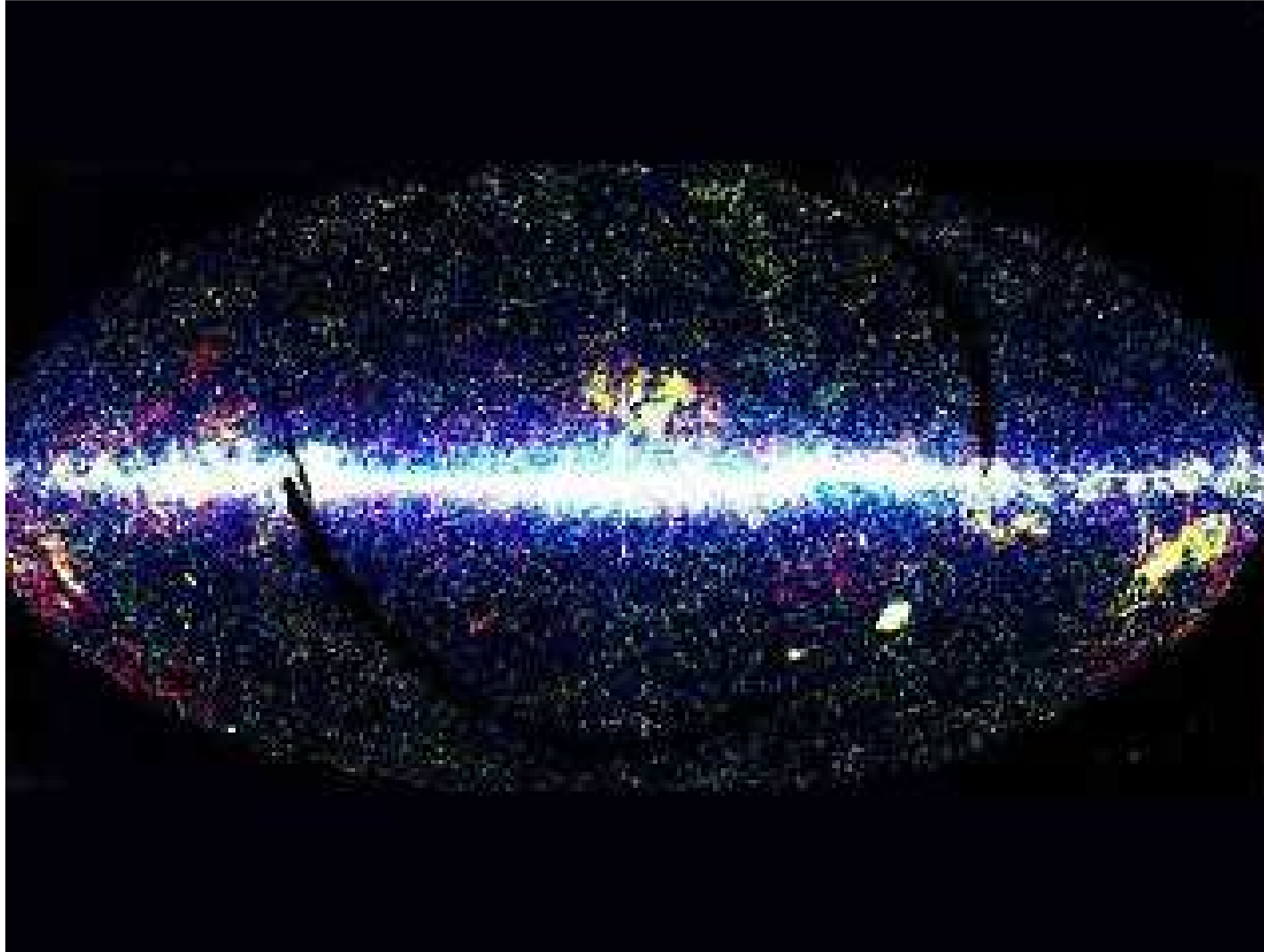
IRAS

- Eerste infrarood satelliet, met foton detectoren
- Zonsynchrone baan
- Bekeek de hemel tweemaal (vrijwel) volledig en nog een derde ronde
- Werkte 10 maanden en registreerde 350.000 bronnen
- Nederland-USA-UK samenwerking
- Grote ontdekkingen:
 - Schijven om 'oude' sterren
 - Zeer heldere melkwegstelsels die > 90% in het infrarood stralen
 - Late stadia van stervolutie: 'AGB' sterren, planetaire nevels
 - Pasgeboren sterren vinden achter verduisterend stof
- Akari maakte net zo'n hemeloverzicht als IRAS
- WISE deed het veel beter: 260 miljoen bronnen!

IRAS vloog op 900 km hoogte \sim 90 min baan

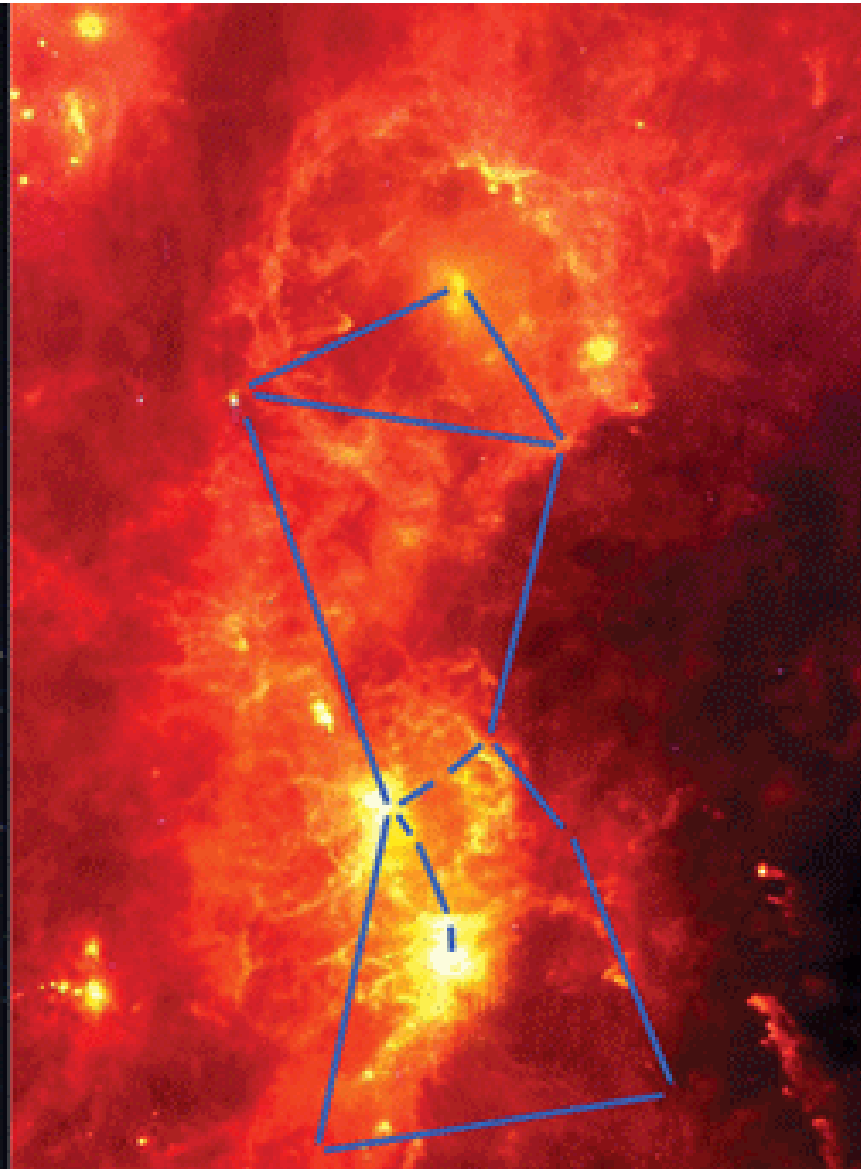


IRAS puntbronnen: meeste in melkwegvlak



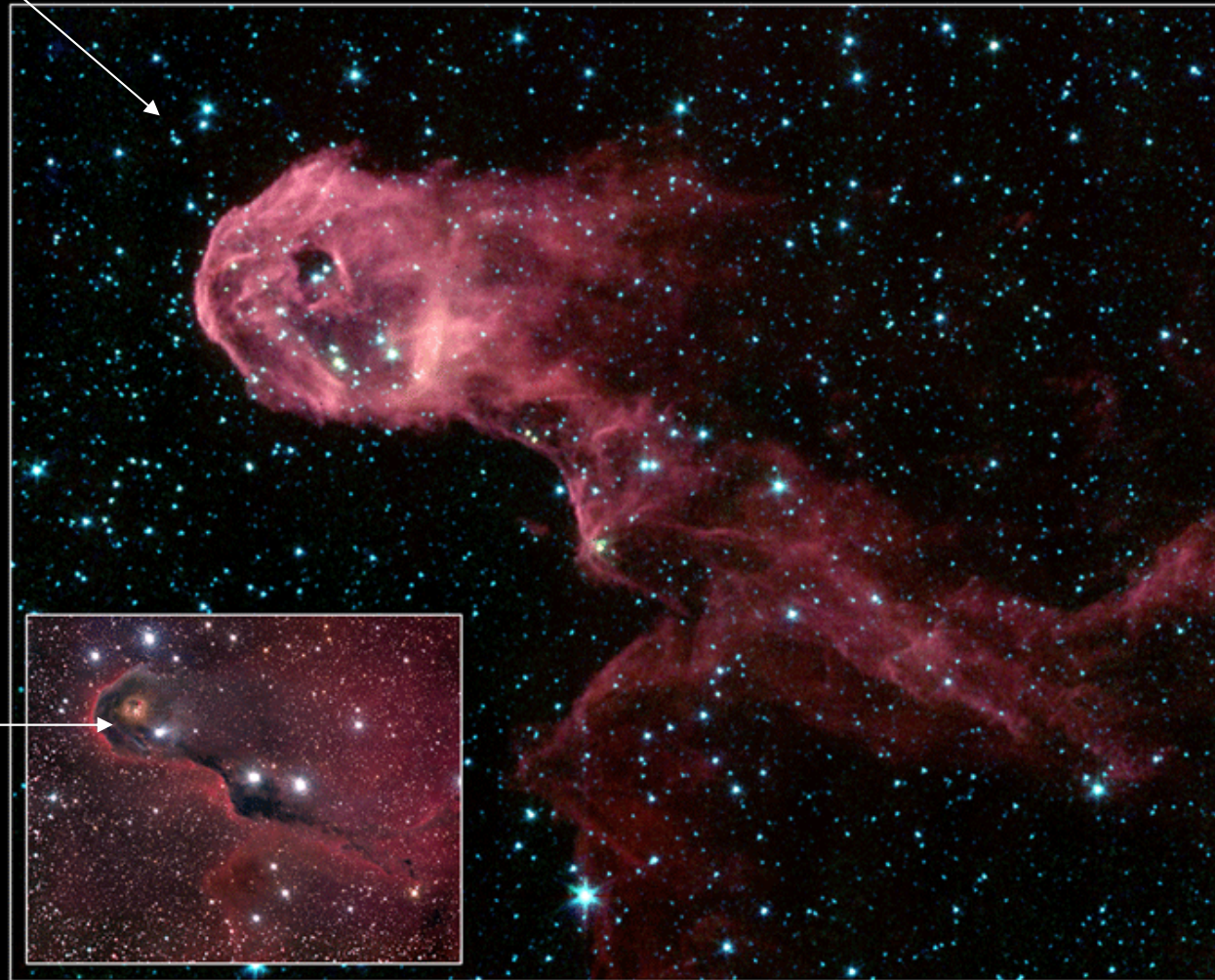
Zwarte strepen:
niet gemeten;
blauwe bronnen:
koele sterren;
geel-groene
bronnen:
melkwegstelsels;
rode bronnen:
cirrus

Zie: http://www.ipac.caltech.edu/outreach/Gallery/IRAS/psc_allsky.html



Orion in zichtbaar licht en in het (verre) infrarood (IRAS):
koud stof is zichtbaar, 20 tot 100 K; zie www.nasa.gov

Infrarood plaatje toont geboorte van sterren



Zichtbaar

Dark Globule in IC 1396

Spitzer Space Telescope • IRAC

Inset: visible light composite (CFHT & DSS)

NASA / JPL-Caltech / W. Reach (SSC/Caltech)

ssc2003-06a

Trapezium cluster Orion in infrarood en zichtbaar licht

Pas geboren sterren in het infrarood

Visible • WFC2



Infrared • NICMOS

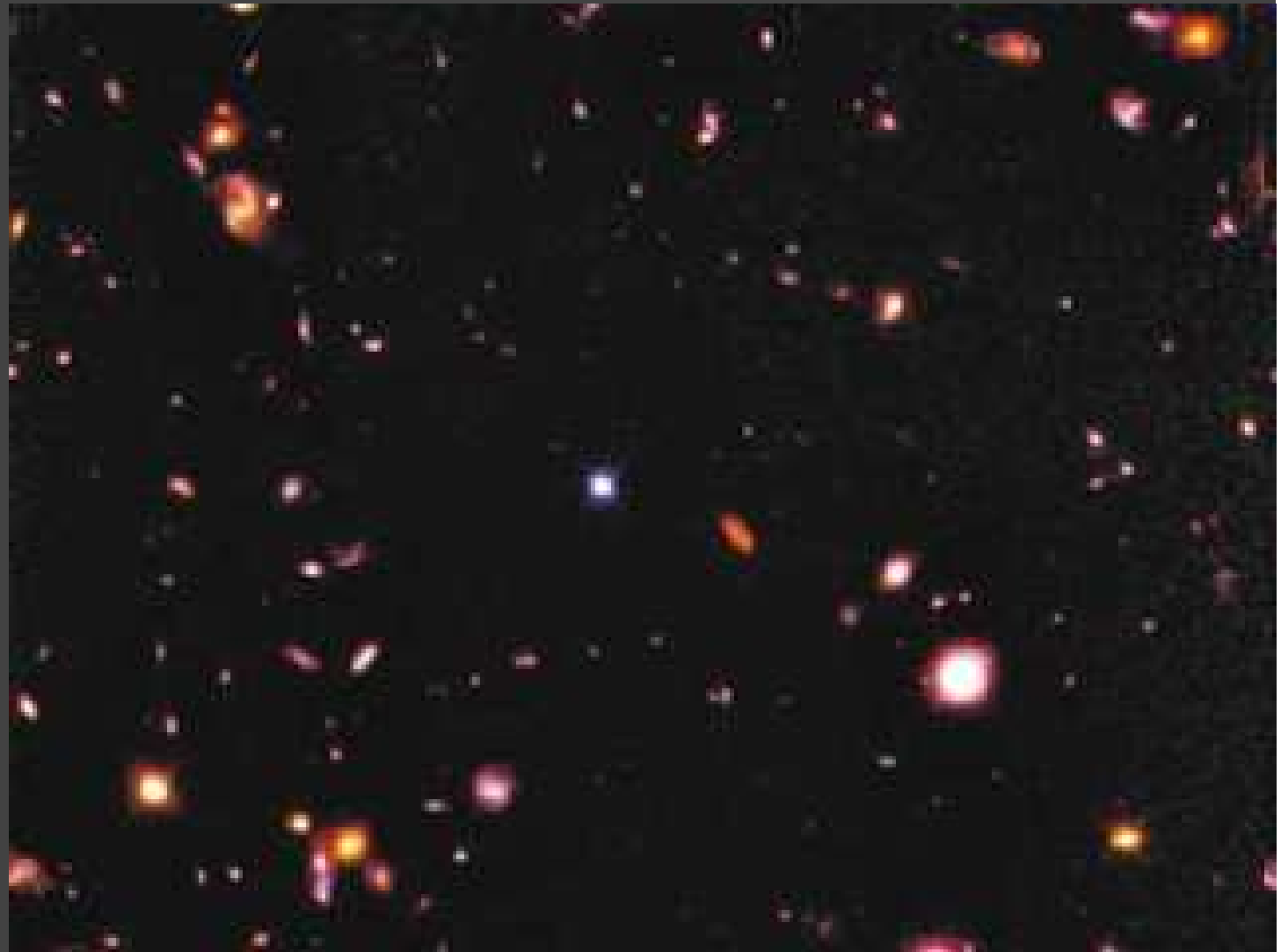


Trapezium Cluster • Orion Nebula
WFC2 • Hubble Space Telescope • NICMOS

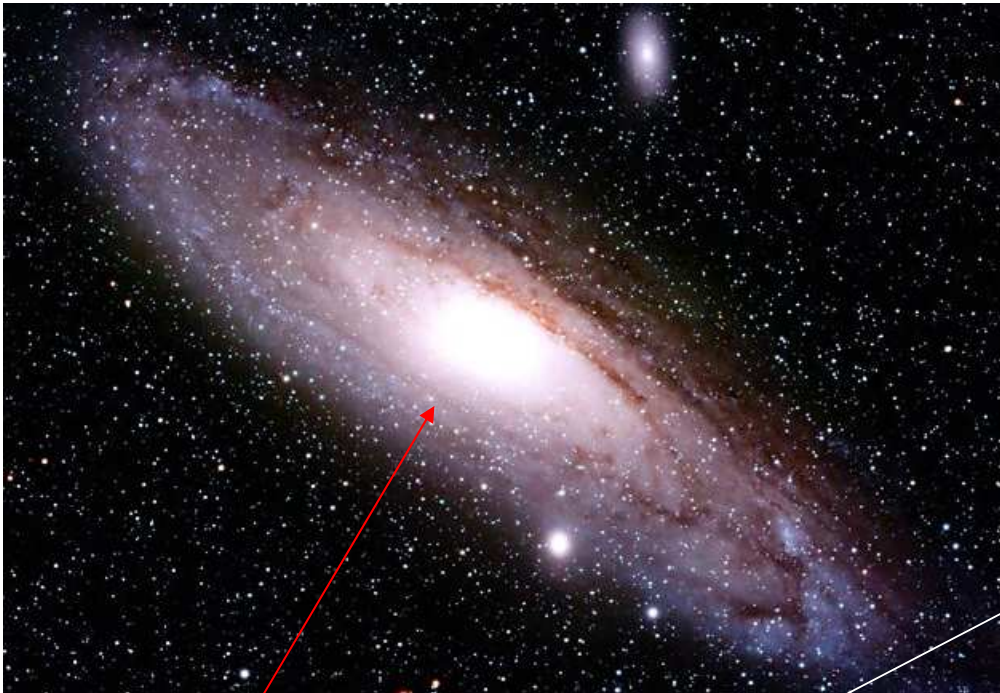
NASA and K. Luhman (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) • STScI-PRC00-19

Hubble Deep Field in het infrarood

Deel van Hubble Deep Field in 1998 bekeken in het infrarood. Uitsluitend melkwegstelsels zijn zichtbaar, en vaak alleen in het infrarood.

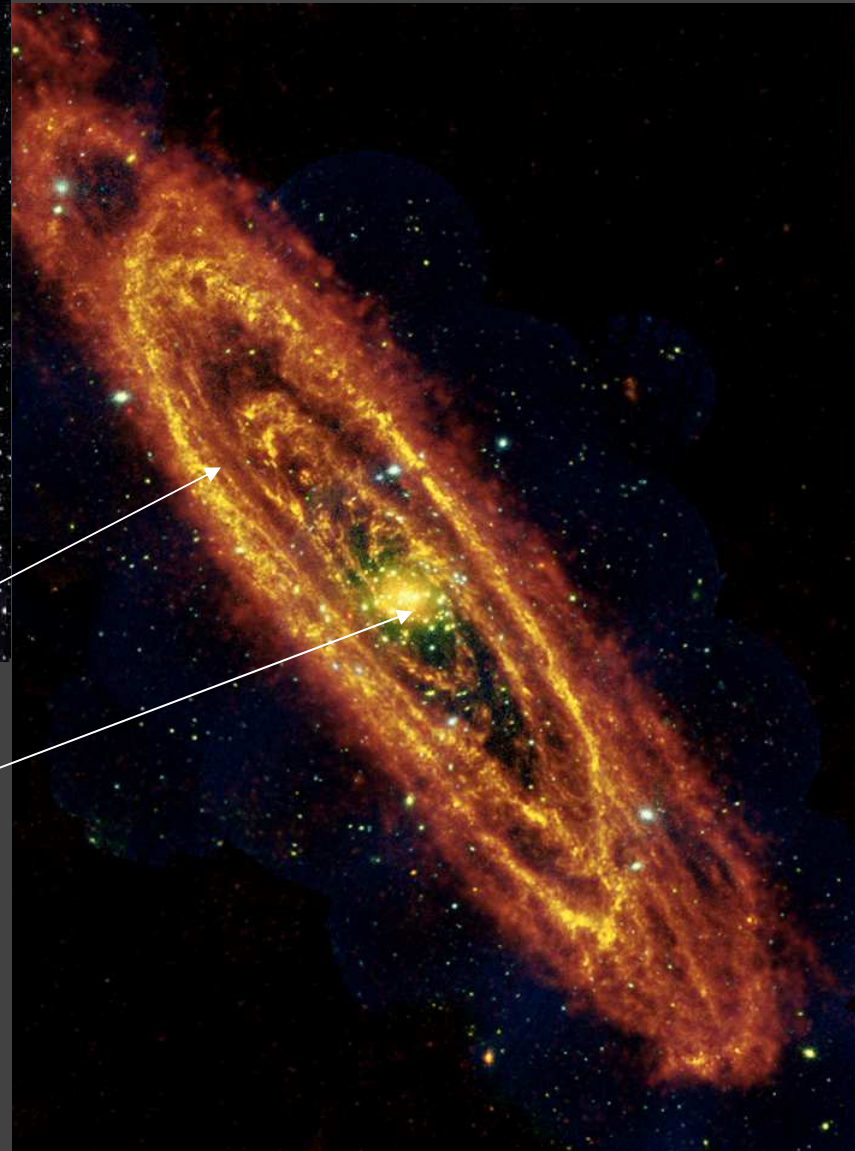


Astronomy Picture of the Day, 12 oktober 1998



<http://stars.astro.illinois.edu/arc/sk113007.html>

Optisch, infrarood en X-ray
plaatjes van Messier 31, de
spiraalnevel in Andromeda

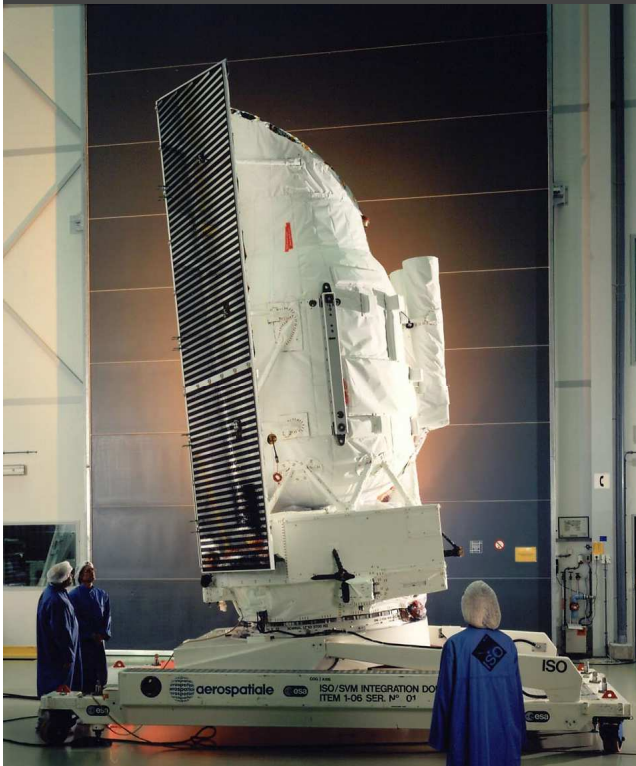


<http://herschel.esac.esa.int/Docs/Herschel/html/ch01s02.html>

Herschel Satelliet

Meten in submm spectraalgebied

'Ogen' in nog niet bekeken spectraalgebied - 0,2 tot 1,5 mm - tussen infrarood metingen vanuit de ruimte (IRAS, ISO, Spitzer, Akari) en radio metingen (Westerbork, LOFAR) vanaf de grond



Submm
zit er
tussen

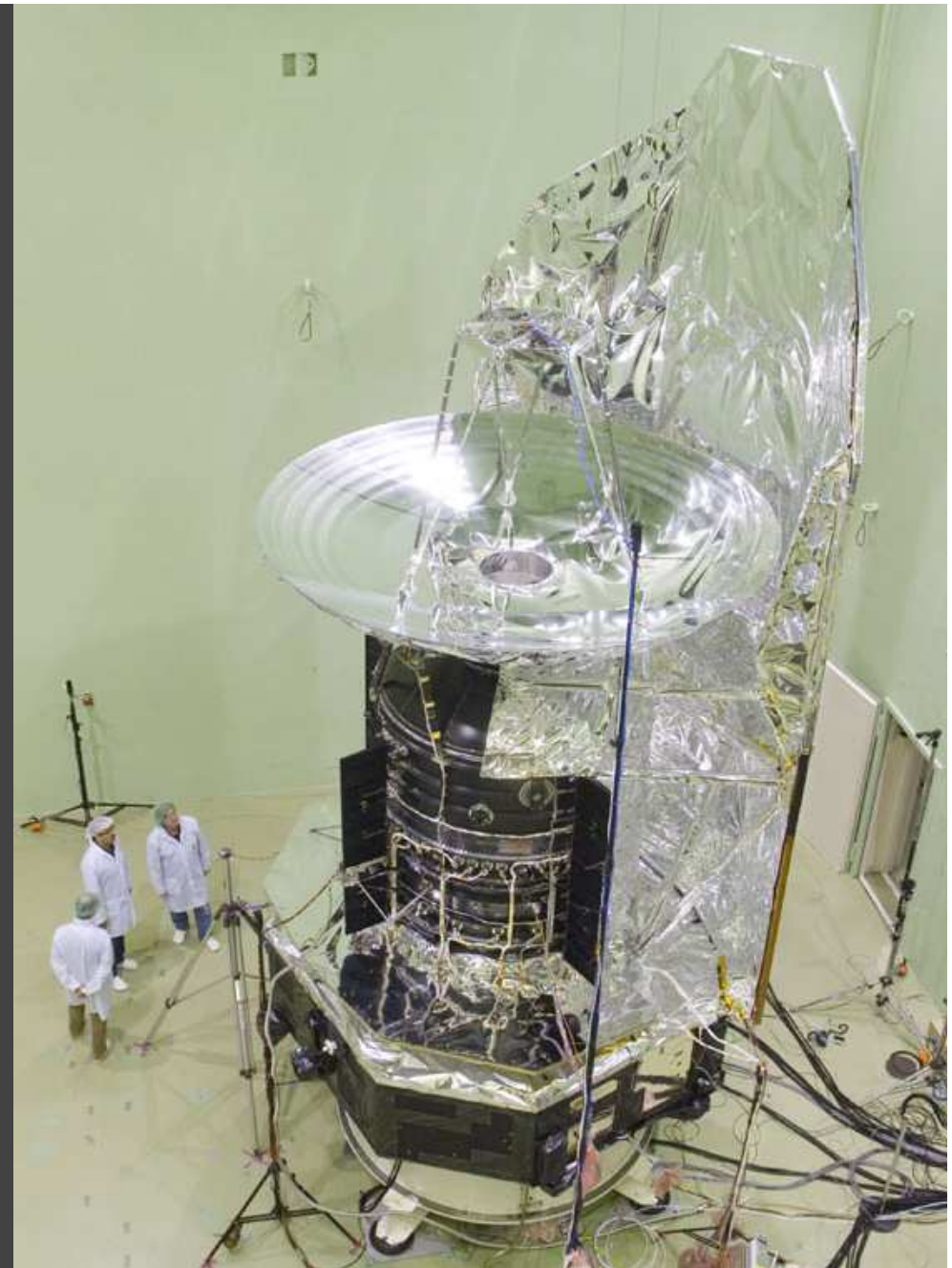


ISO: infrarood (2,5 tot 240 μm)

LOFAR: in Drenthe (30-240 MHz; 10 tot 0,8 meter)

Wat is beter bij Herschel?

- Grote telescoop
 - 3.5 m diameter \Rightarrow kijkt scherper en is gevoeliger
- Nieuw spectraal venster
 - Metingen bij 55 tot 672 μm
- Nieuwe instrumenten
 - In kaart brengen van grote gebieden in 6 'kleuren'
 - Afbeeldende spectroscopie
 - Heterodyne spectroscopie van zeer grote spectrale resolutie



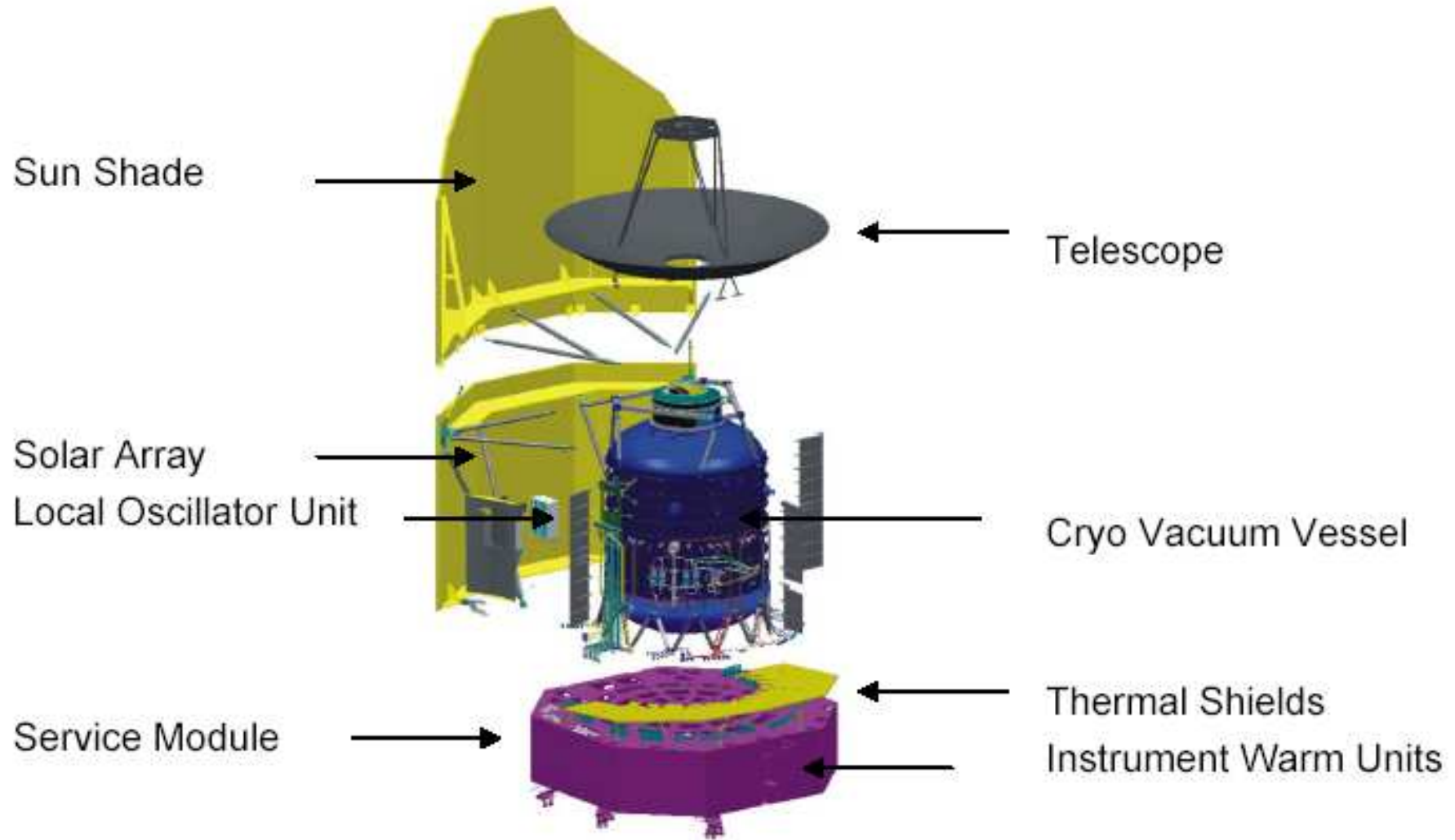
Herschel: getallen

- Telescoop diameter 3.5 meter
- Telescoop temperatuur 70-90 Kelvin
- Richtnauwkeurigheid < 1.5"
- Werkzame levensduur mei 2009-
maart 2013
- Helium voorraad 2200 liter
- Hoogte 9 meter
- Massa bij lancering 3300 kg
- Baan L2
- Lanceerdatum 14 mei 2009
- Raket Ariane 5
- 3 instrumenten HIFI
PACS
SPIRE
- Fotometrie and spectroscopie tussen 60
en 670 μm

Planck



Herschel satelliet

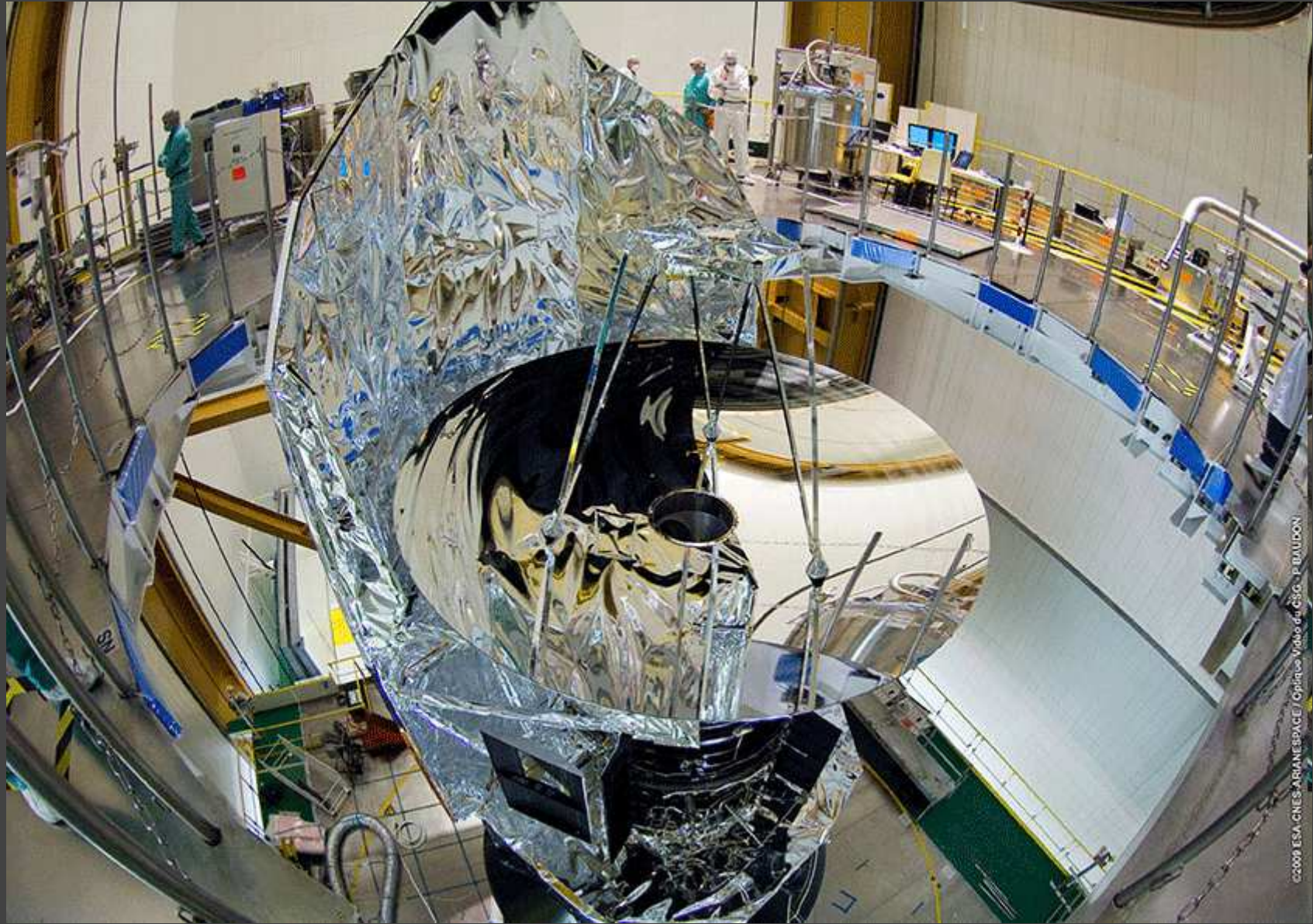


Herschel's 3,5 meter
telescoop

Uit SiC gemaakt in
Frankrijk,
gepolijst in Finland,
in Spanje bedekt met
laagje NiCr voor
'plakken' en daarna met
aluminium



Herschel telescoop en zonneschild

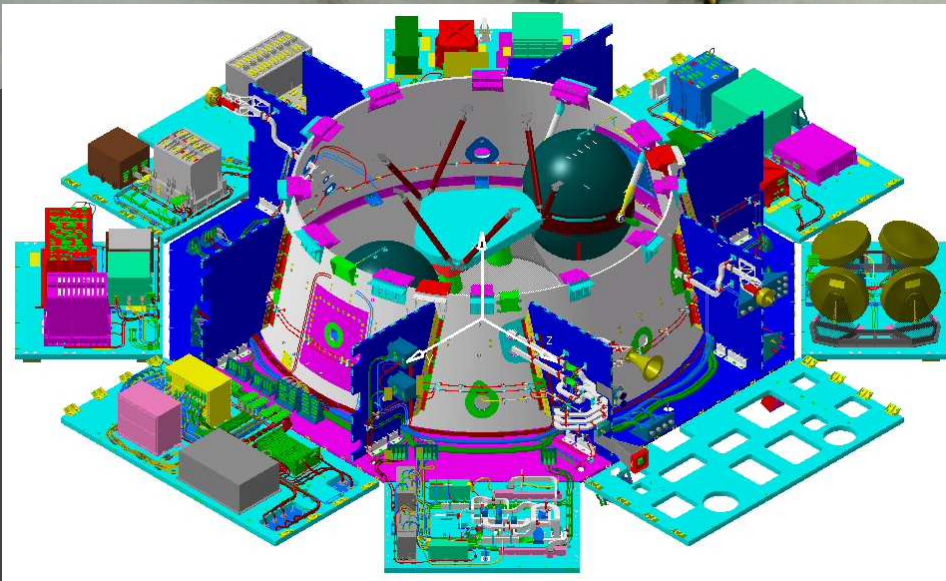


©2009 ESA, CNES, ARME SPACE / Optique Vidéo du CSG - P. DAUJON

Herschel's cryostaat



Herschel service module

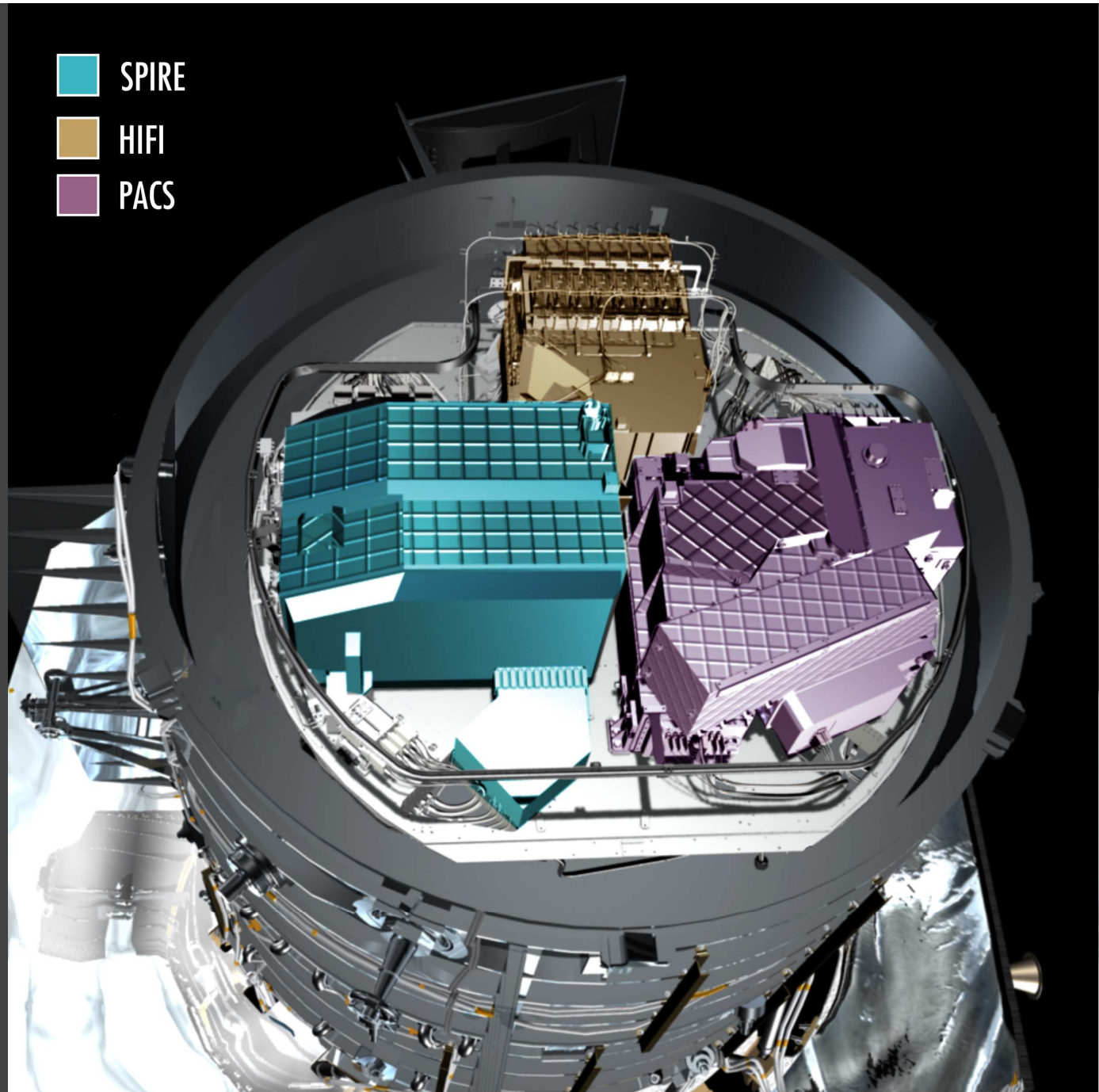


3 instrumenten in Herschel

- Herschel, een satelliet van € 1 miljard, bevat 3 instrumenten: PACS, SPIRE en HIFI
- Elk instrument kost orde van grootte € 200 miljoen
- Zo'n instrument wordt gebouwd door een grote groep instituten uit soms wel 10 landen
- De hoofdaannemer heet Principal Investigator (PI)
- SRON is PI voor één van de 3 instrumenten: HiFi

Blik in de
Herschel
cryostaat
(tekening)

- SPIRE
- HIFI
- PACS



Herschel en Planck lancering



14 mei 2009, Kourou, Frans Guyana

PACS en SPIRE in Herschel

PACS:

Photodetector Array Camera and Spectrometer

PI: Albrecht Poglitsch, MPE, Garching, Duitsland

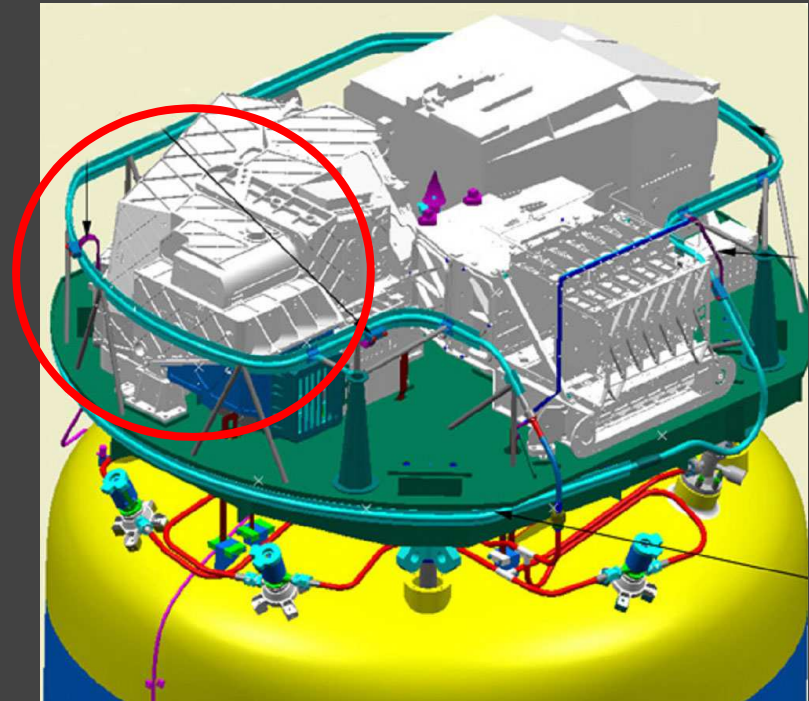
Afbeeldende fotometer in 3 banden

λ (μm)	75	110	170
FWHM (arcsec)	6	8	12
$\lambda/\Delta\lambda$	2.5	2.8	2.1

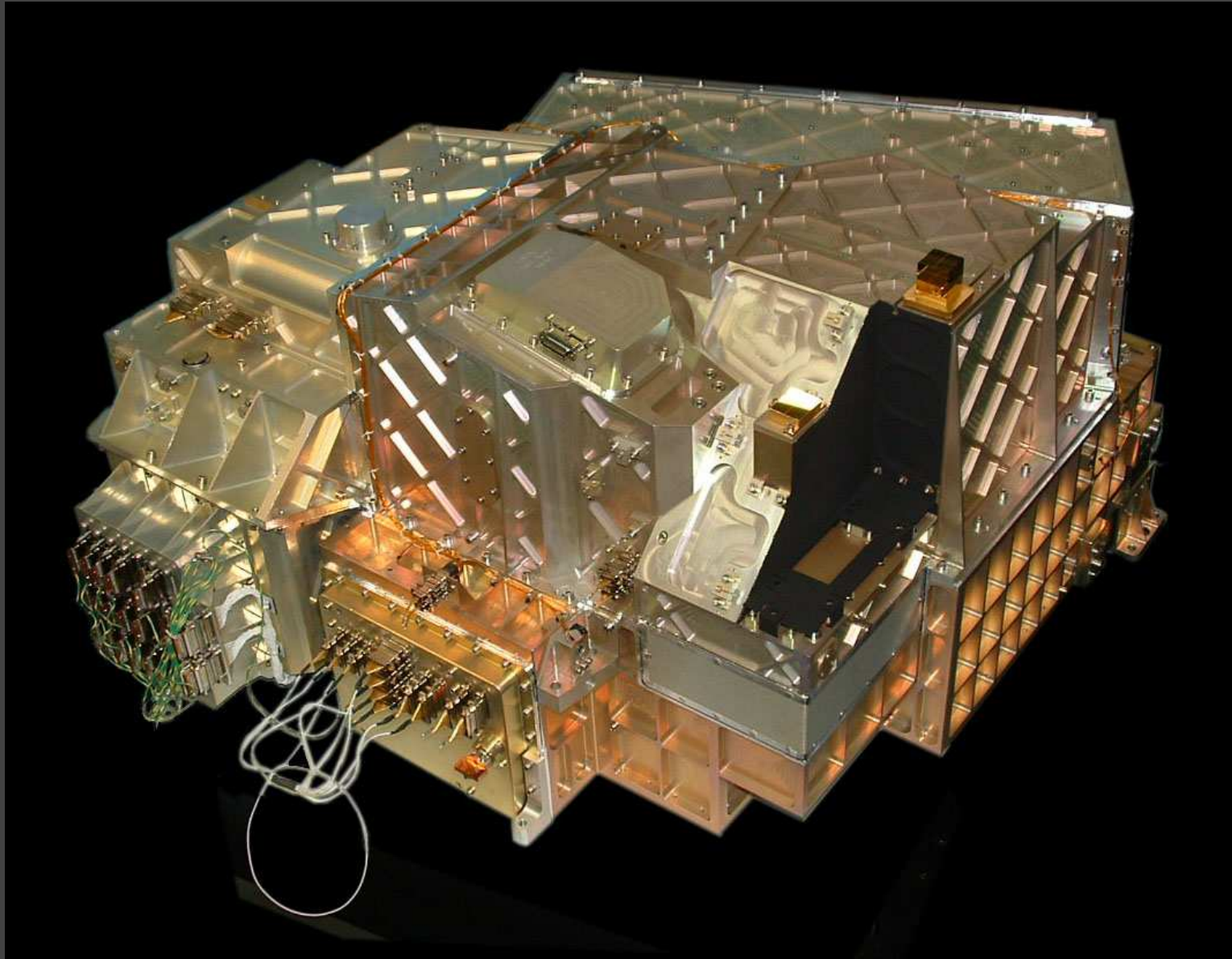
- Gelijktijdige waarneming bij 170 μm en (75 of 110) μm
- 3.5 x 1.75 boogminuten gezichtsveld

Afbeeldende lijn spectrometer

- Gezichtsveld (boogminuten) 0.8 x 0.8
- Golflengte bereik 57 - 210 μm
- $\lambda/\Delta\lambda$ 1500-3000



'Doos', die optica in focale vlak bevat voor PACS



SPIRE: Spectral and Photometric Imaging Receiver

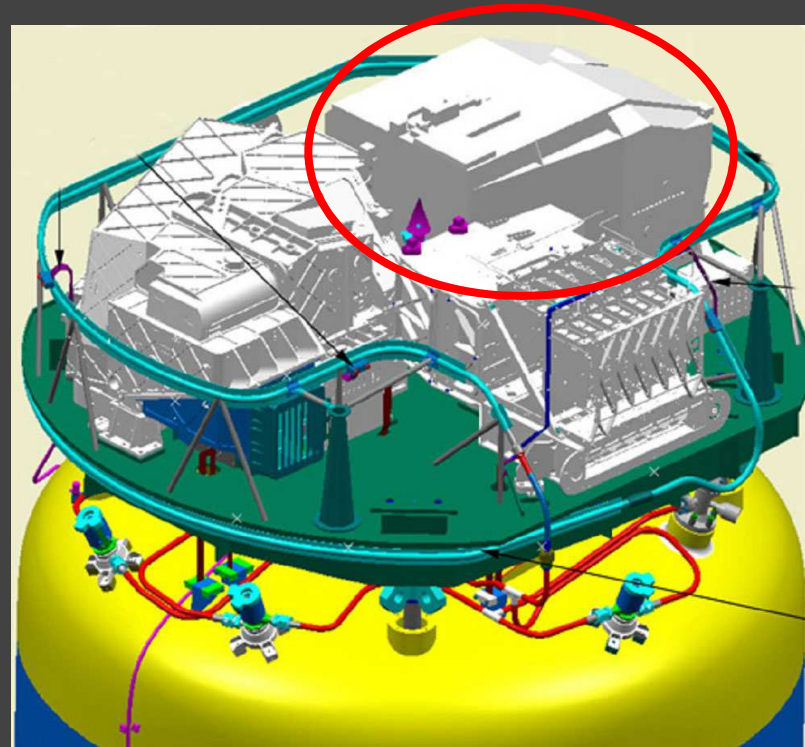
PI: Matt Griffin, U Cardiff, Cardiff, United Kingdom

- **Afbeeldende fotometer in 3 banden**

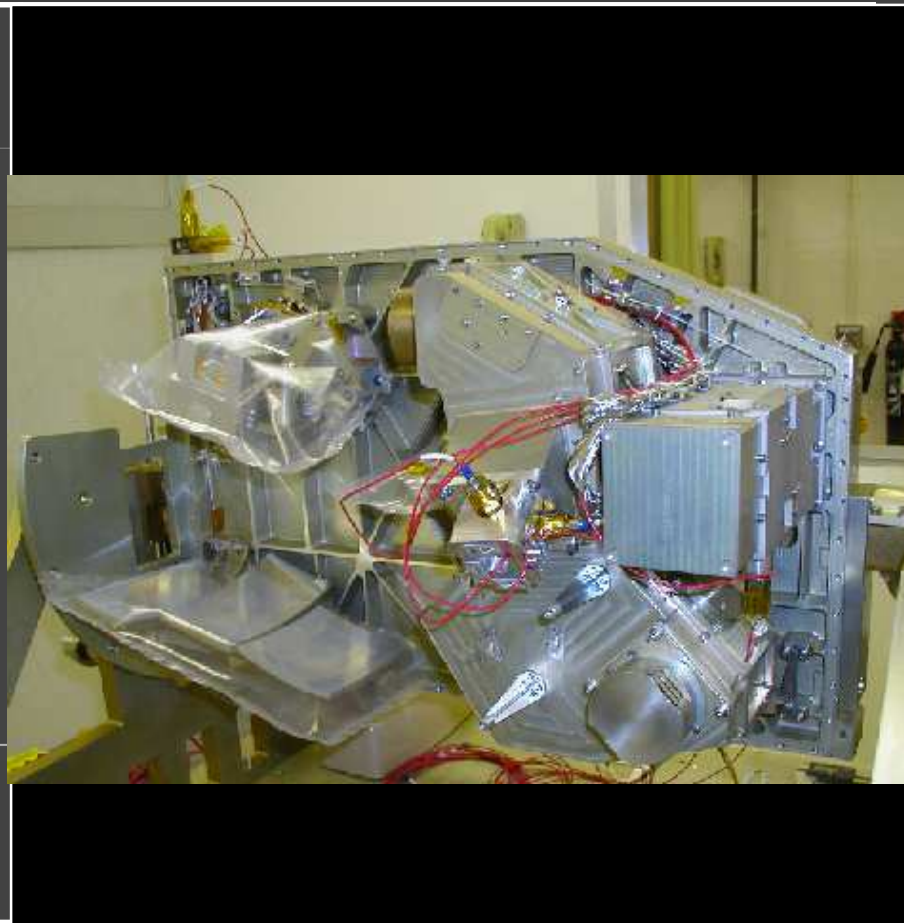
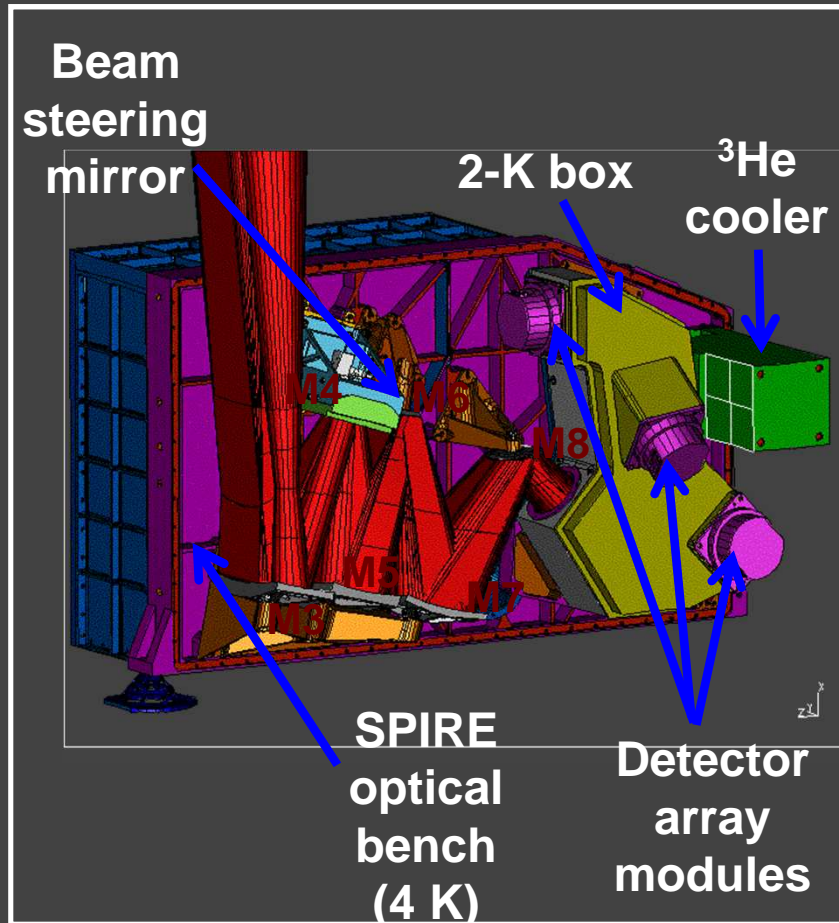
- 250, 360, 520 μm (gelijktijdig)
- $\lambda/\Delta\lambda \sim 3$
- 4 x 8 boogminuten gezichtsveld
- Diffractie beperkte bundels (18, 25, 36")

- **Afbeeldende Fourier Transform Spectrometer**

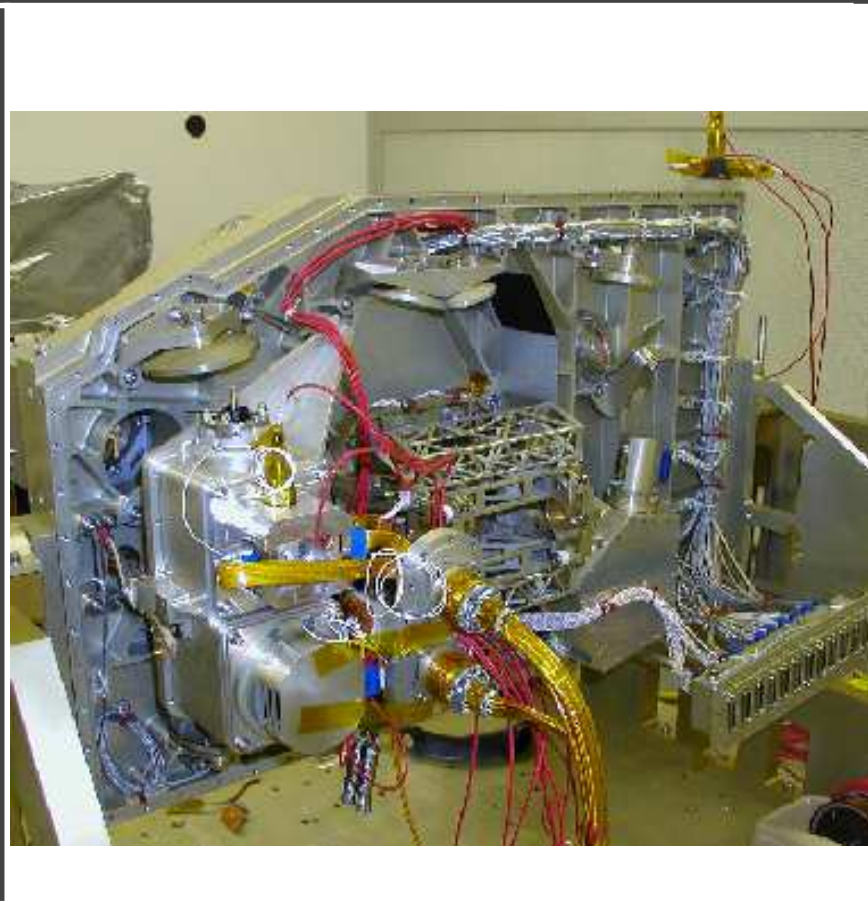
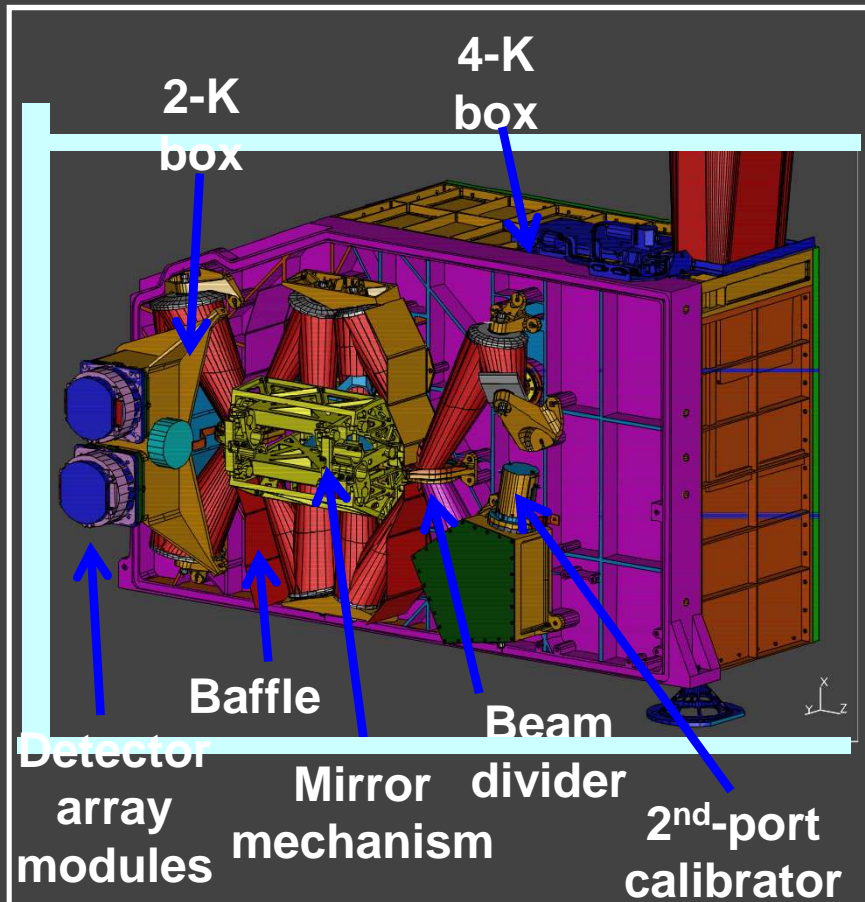
- 200 - 670 μm
- 2.6 boogminuten gezichtsveld
- $\Delta\sigma = 0.04 \text{ cm}^{-1}$
($\lambda/\Delta\lambda \sim 20 - 1000$ at 250 μm)



Fotometer schema en optica



Spectrometer schema en optica

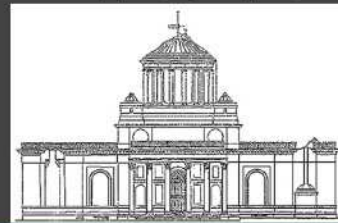


HIFI in Herschel

Herschel-HIFI Consortium

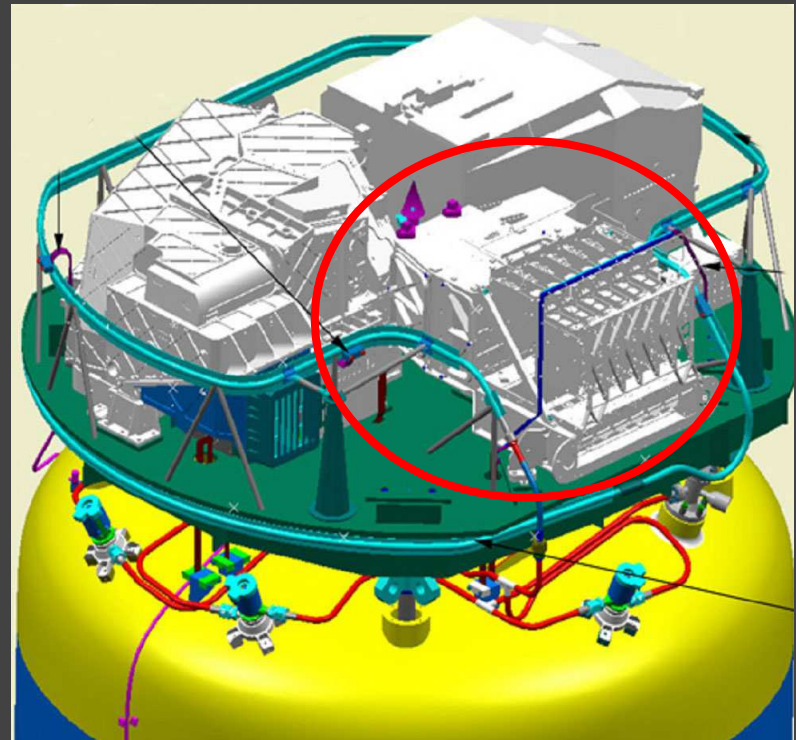


<p>The Netherlands: SRON Groningen/SRON Utrecht DIMES, University of Delft</p>	<p>USA: Caltech and JPL, Pasadena Univ. of Amherst</p>
<p>France: CESR Toulouse LRM-DEMIRM with IRAM Observatoire de Bordeaux</p>	<p>Germany: KOSMA, I. Physikalisches Institut, Köln Max Planck Inst. Für Aeronomie, Lindau Max Planck Inst für Radioastronomie Bonn</p>
<p>Italy: CAISMI-CNR, Florence IFSI, Frascati</p>	<p>Poland: Space Research Center, Warsaw</p>
<p>Spain: Centro Astronómico de Yebes/OANbb</p>	<p>Sweden: Onsala and Chalmers TH, Göteborg</p>
<p>Switzerland: ETH, Zürich</p>	<p>Canada: CSA</p>
<p>Ireland: Maynooth College NUI</p>	<p>With contributions from Taiwan in the development</p>



HIFI : Heterodyne Instrument voor het Ver Infrarood

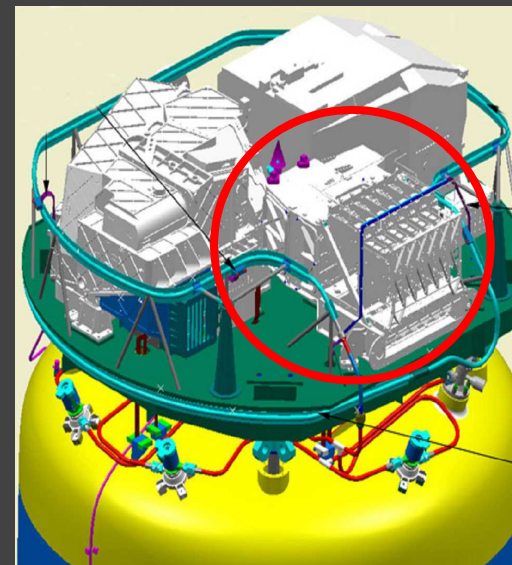
- PI: Thijs de Graauw, SRON
- Co-PIs:
 - Tom Phillips, Caltech, USA
 - Jürgen Stutzki, U Köln, Duitsland
 - Emmanuel Caux, CESR, Frankrijk
- Zeer hoge resolutie spectroscopie: 480-1250 & 1410-1910 GHz
- SIS en HEB mixers,
- Auto-correlator
- AOS spectrometers



HIFI, plaats van diverse onderdelen



Lokale oscillator
substysteem



FPU in brandvlak in cryostaat

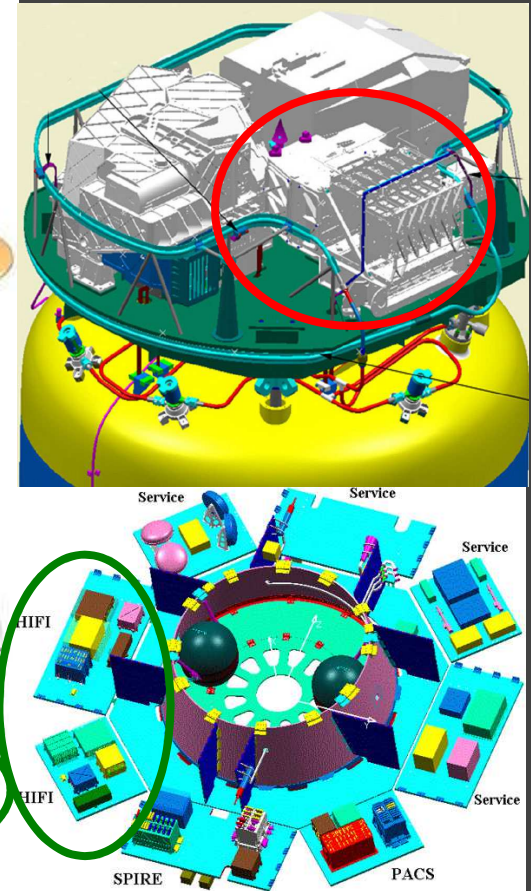
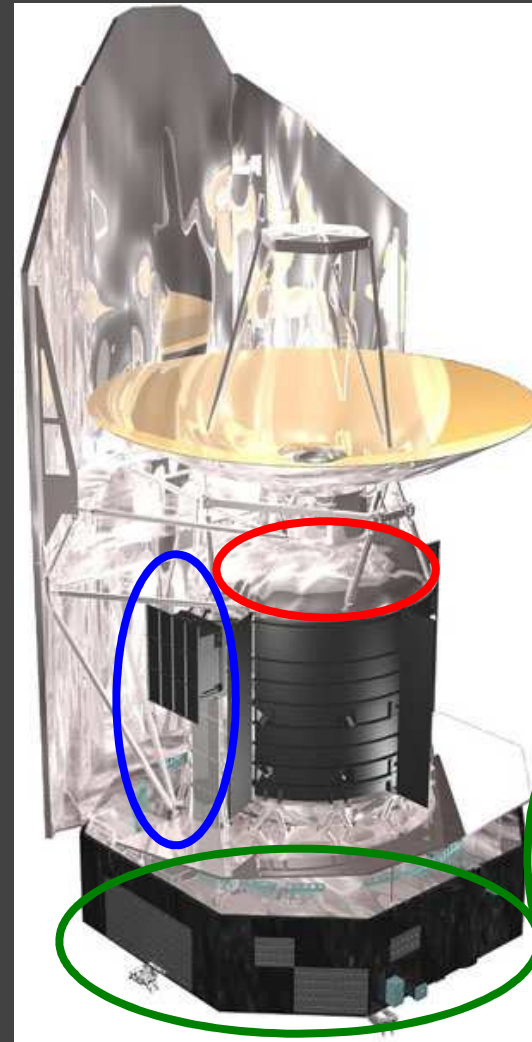
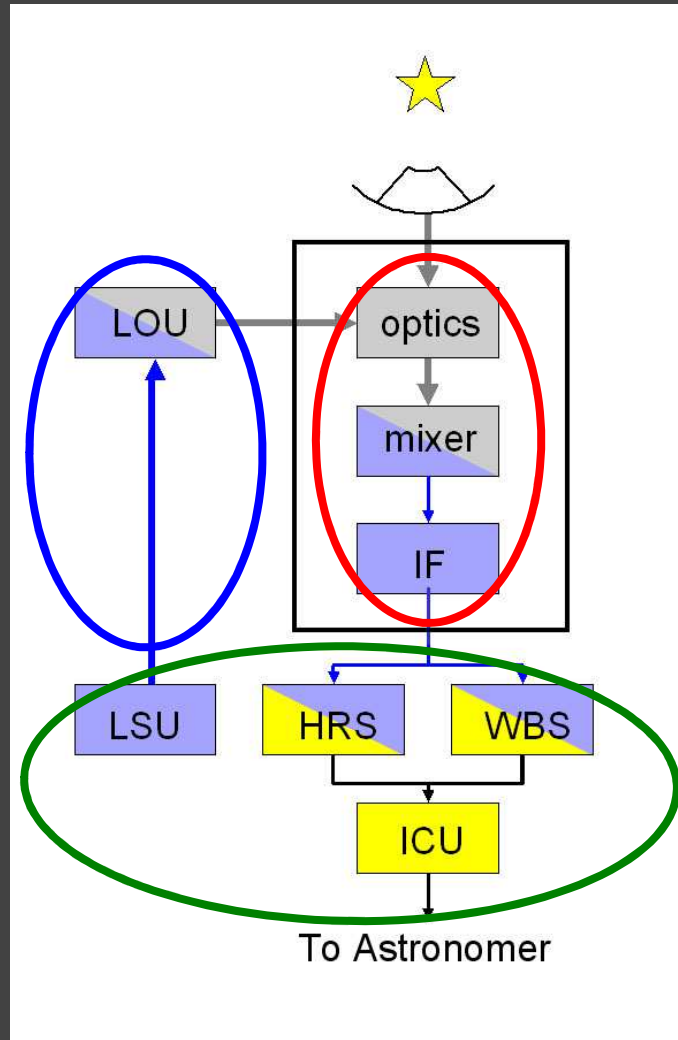


elektronica, HRS en WBS in service module

HIFI karakteristieken

- Heterodyne spectroscopie
- Eén pixel op de hemel
 - Zeer hoog spectraal scheidend vermogen
 - Meng astronomisch en zeer stabiel monochromatisch LO signaal
- 7 mixer banden, 2 polarisaties per band (redundantie!)
 - 480-1250 GHz (625-240 μm), 5x2 SIS mixers, IF 4-8 GHz
 - 1,4-1,9 THz (212-157 μm), 2x2 HEB mixers, IF 2,4-4,8 GHz
- 14 LO sub-banden
 - LO bron
 - LO signaal omhoog converteren en injecteren
- 2 spectrometer systemen
 - auto-correlator spectrometer
 - acousto-optische spectrometer
- bijna quantum ruis limiet
 - doel $3h\nu/k$

Heterodyne principle



RoI SRON

- SRON bouwde een zeer ingewikkeld deel: de FPU, Focal Plane Unit
- Die FPU is gebouwd door 10 hoofdgroepen: in Nederland (Groningen, Utrecht, Delft), Frankrijk (Parijs, Grenoble), Duitsland, Zweden, Zwitserland, Spanje, USA
- De FPU is samengebouwd en getest door SRON te Groningen en Utrecht

Thijs de Graauw, principal investigator HIFI

- Om de allermoeilijkste waarnemingen te kunnen doen, heb je de allerbeste technologie nodig en de allerslimste instrumentbouwers.
- HIFI is bedacht door Prof. Dr. Thijs de Graauw, nu directeur ALMA, een nog ambitieuzer project van Europa, USA, Japan, in Chili

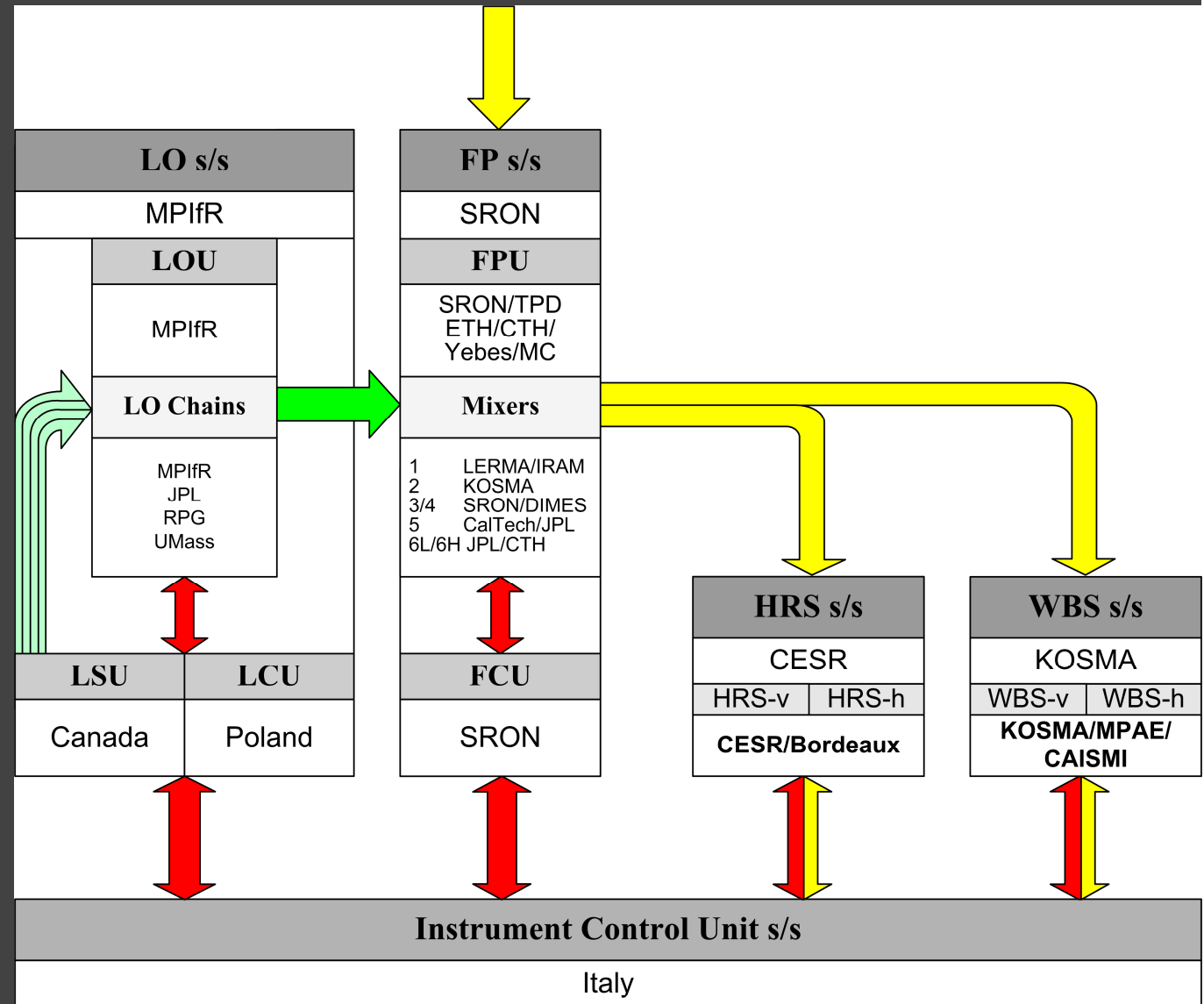


Thijs ontving de 2012 Joseph Weber Award voor instrumentontwikkeling van de American Astronomical Society.

Hij was de eerste Europese astronoom, die deze prijs kreeg.

HiFi bestaat uit 5 hoofd-onderdelen, gemaakt door verschillende groepen:
 LO: Duitsland (Bonn);
 FP: SRON, Nederland;
 HRS: Frankrijk;
 WBS: Duitsland (Keulen);
 ICC: Italië

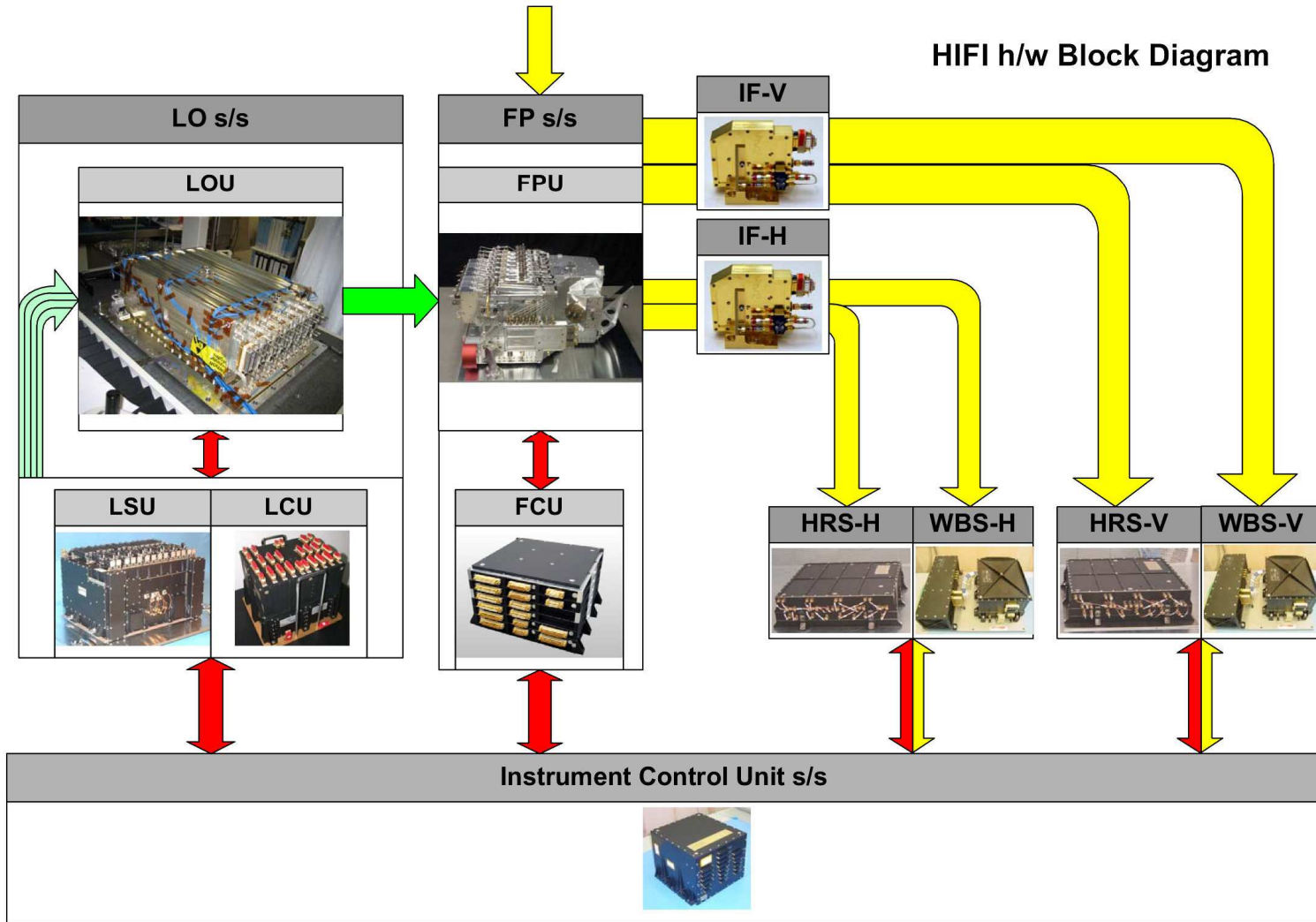
Algehele leiding:
 SRON, Nederland

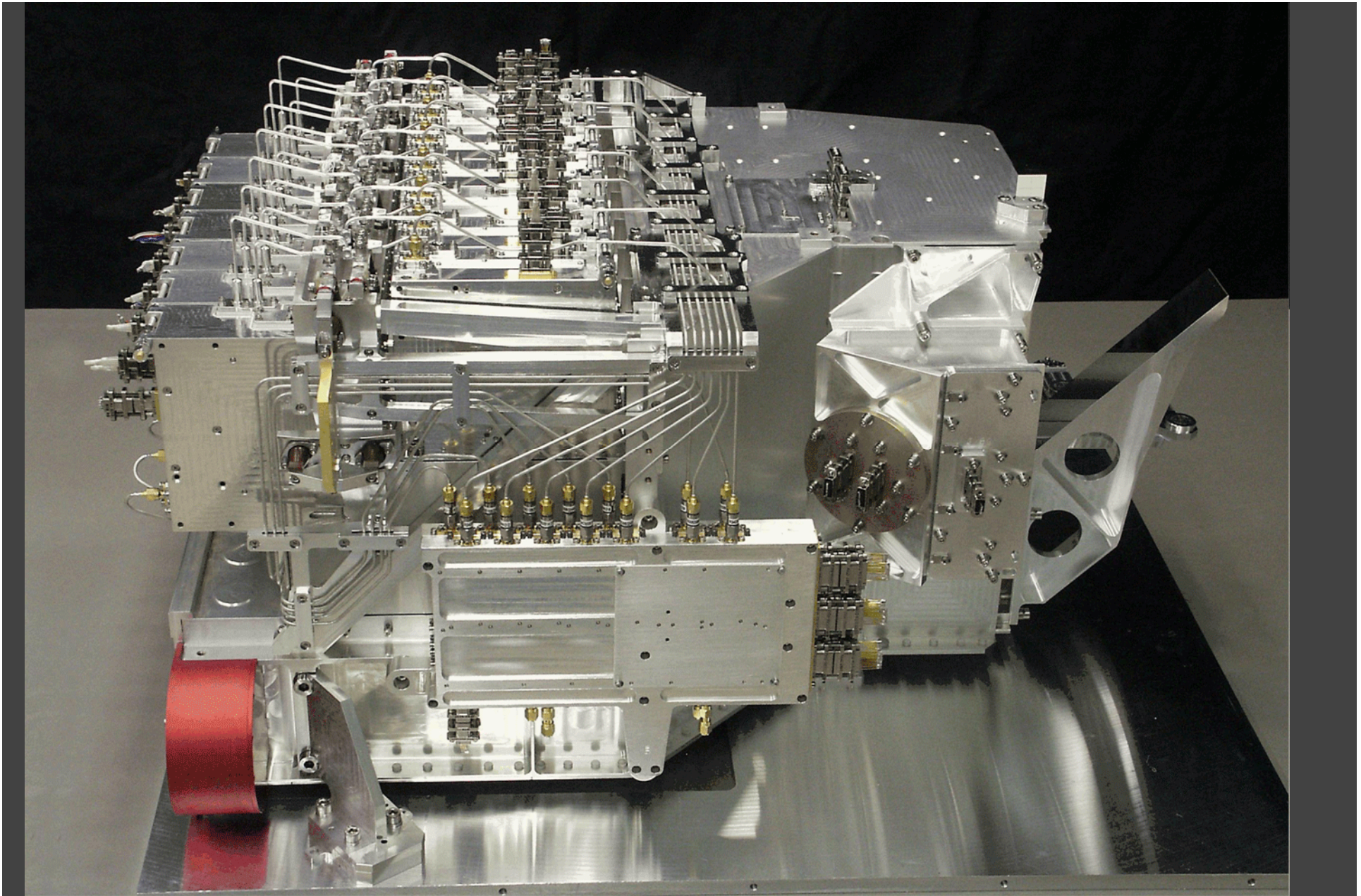


HIFI Block Diagram

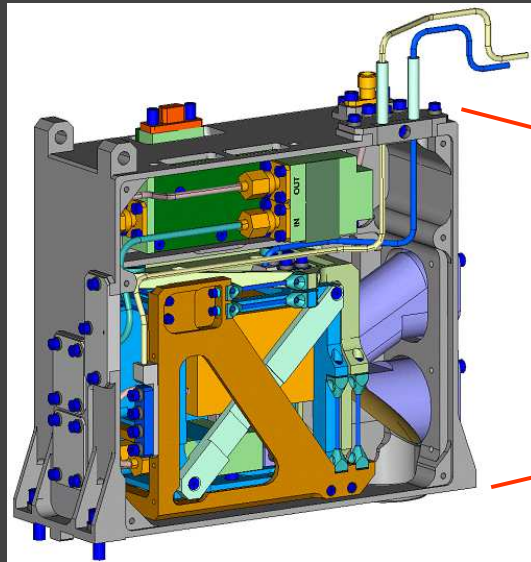
De echte HiFi onderdelen

Meeste onderdelen zijn verbonden door elektrische kabels. Alleen de LO zendt zijn signaal direct naar de FPU (groene pijl).



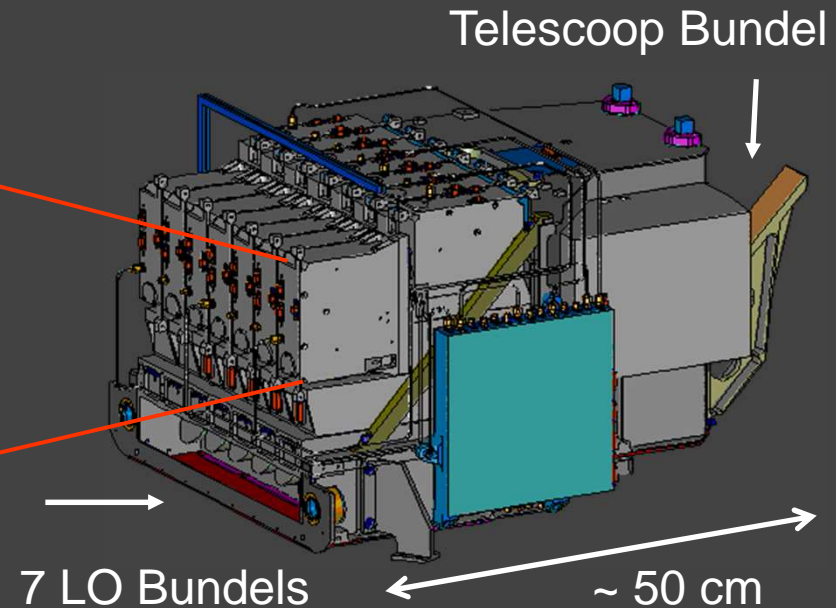


De HIFI FPU en MSA



Elke Mixer Sub-Assembly met

- Focuserende optica
- Eén mixer
- Twee IF isolatoren
- Eén IF cryo-amplifier
- Kabels, etc.



Focal Plane Unit includes

- Imaging optics
- LO + telescope beam combination
- 14 (2 x 7) Mixer Sub-Assemblies (MSA)

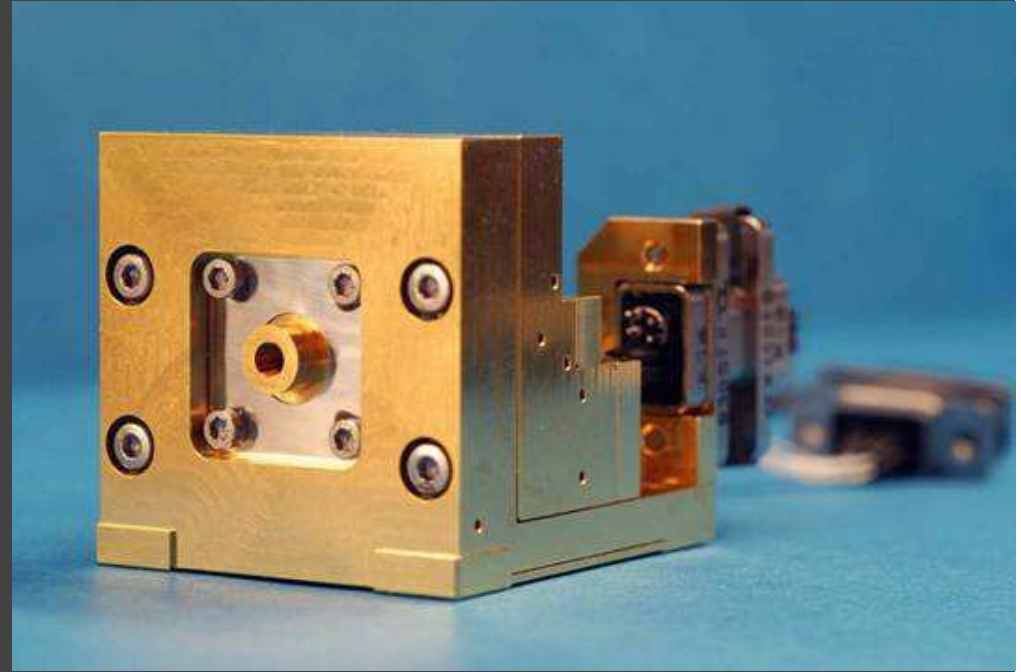
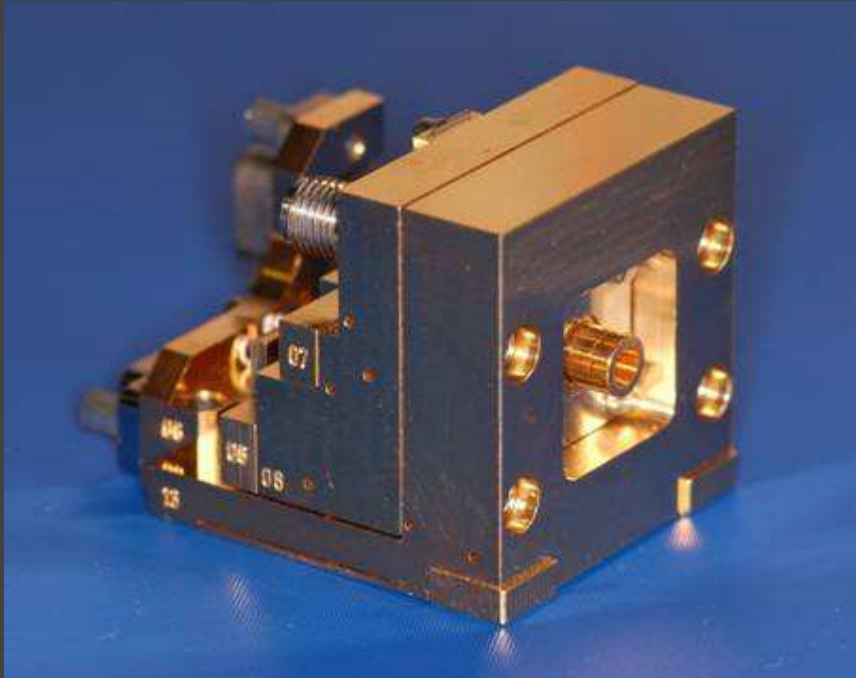
Mixer subassembly

mixer (2K)

rest bij 4K

voorversterker (20K)

Groningen maakte de 'ogen' voor HiFi: 'mixers'



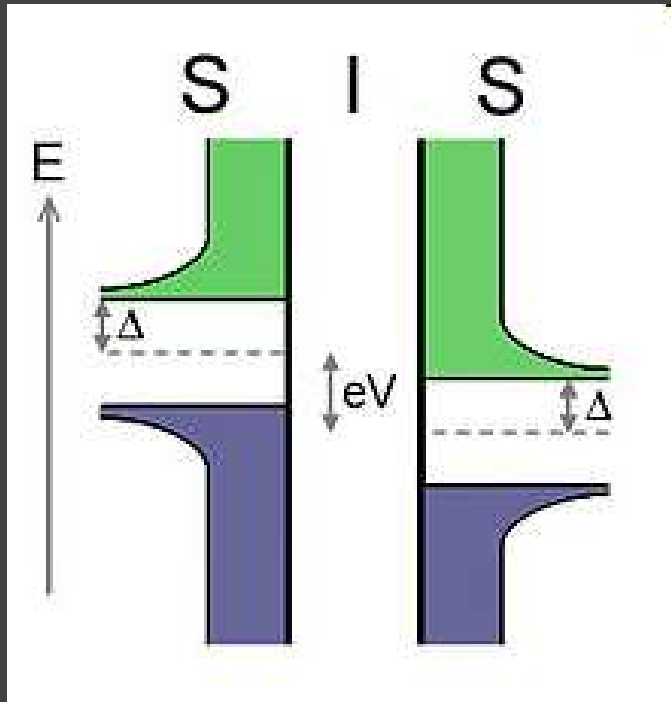
Groningen maakte mixers voor twee submm 'kleuren', de banden 3 en 4.

Het gevoelige element ('SIS detector') van 1 bij 1 micrometer komt uit Delft, de Technische Universiteit

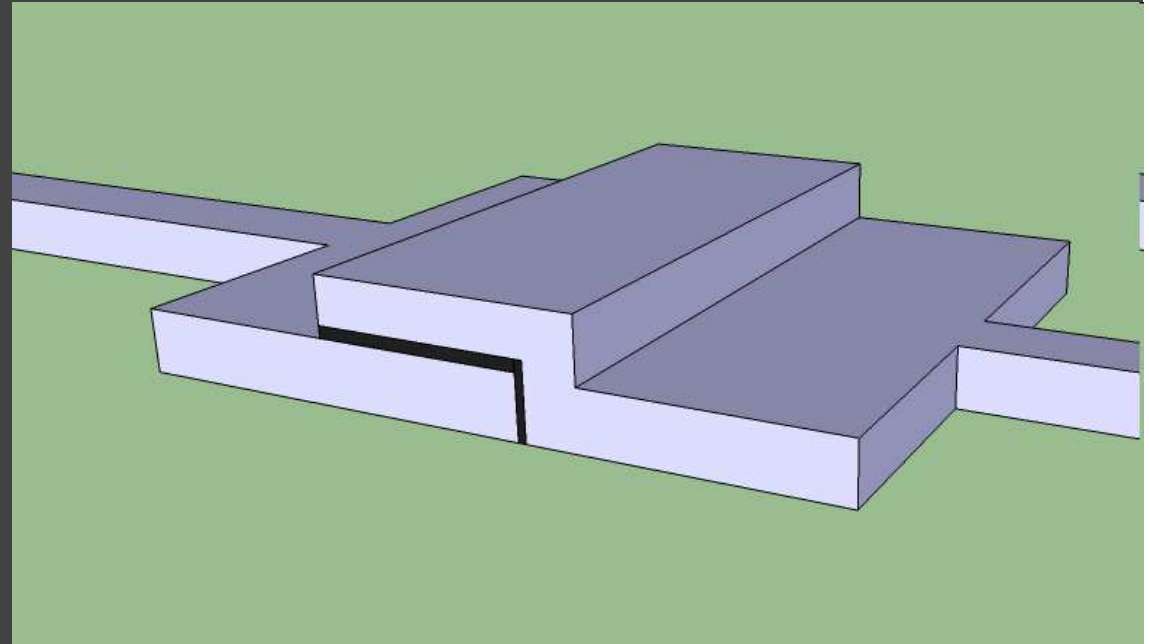
Werking SIS detector ('submm oog')

- Twee supergeleidende dunne laagjes, gescheiden door een nog dunnere isolerende laag
- Als een submm foton op deze SIS detector valt kan een foton gaan bewegen tussen de twee supergeleidende lagen
- Dat nietige stroompje kunnen we meten
- Dit alles gebeurt alleen in vacuum en bij temperaturen slechts een paar graden boven het absolute nulpunt
- De TU Delft is wereldleider in het maken van deze SIS detectoren
- SRON is wereldleider bij het maken van het gehele oog: de mixer

SIS juncties



Bias voltage zorgt voor verschuiving van de Fermi energie van beide supergeleiders. Groen en blauw: gevulde en ongevlude quasi-deeltjes toestand bij 0 K.

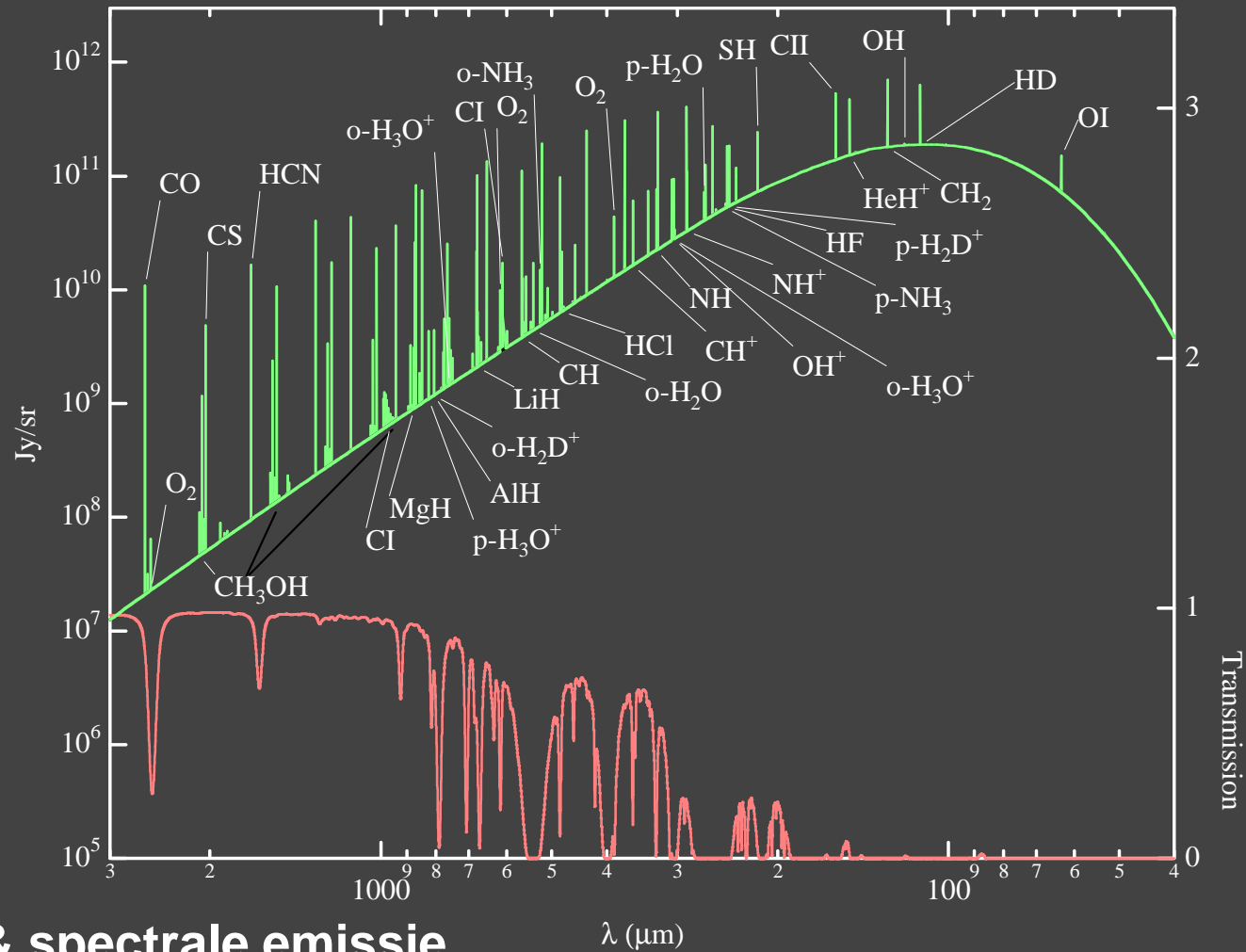


lichtblauw: supergeleidend materiaal;
zwart: isolerende tunnel barrière;
groen: substraat

http://en.wikipedia.org/wiki/Superconducting_tunnel_junction

Meetresultaten Herschel

Het Spectroscopische Heelal



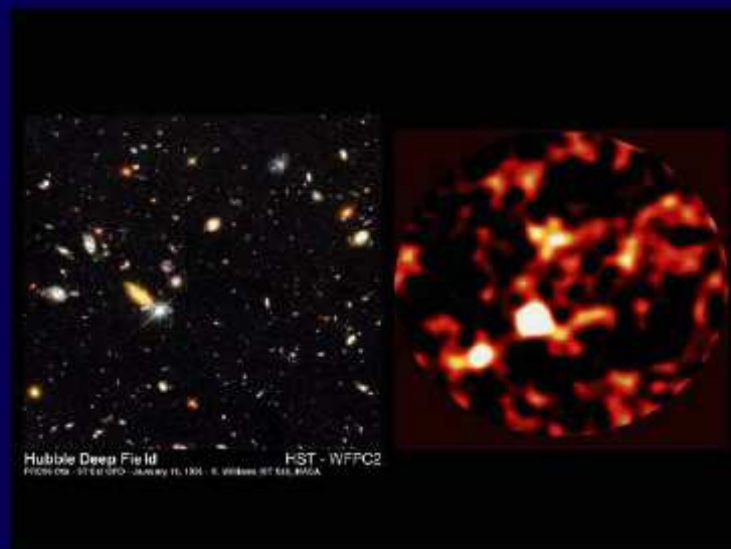
Herschel & spectrale emissie

Lijn straling van atomen en moleculen: 10 to ~ 300 K

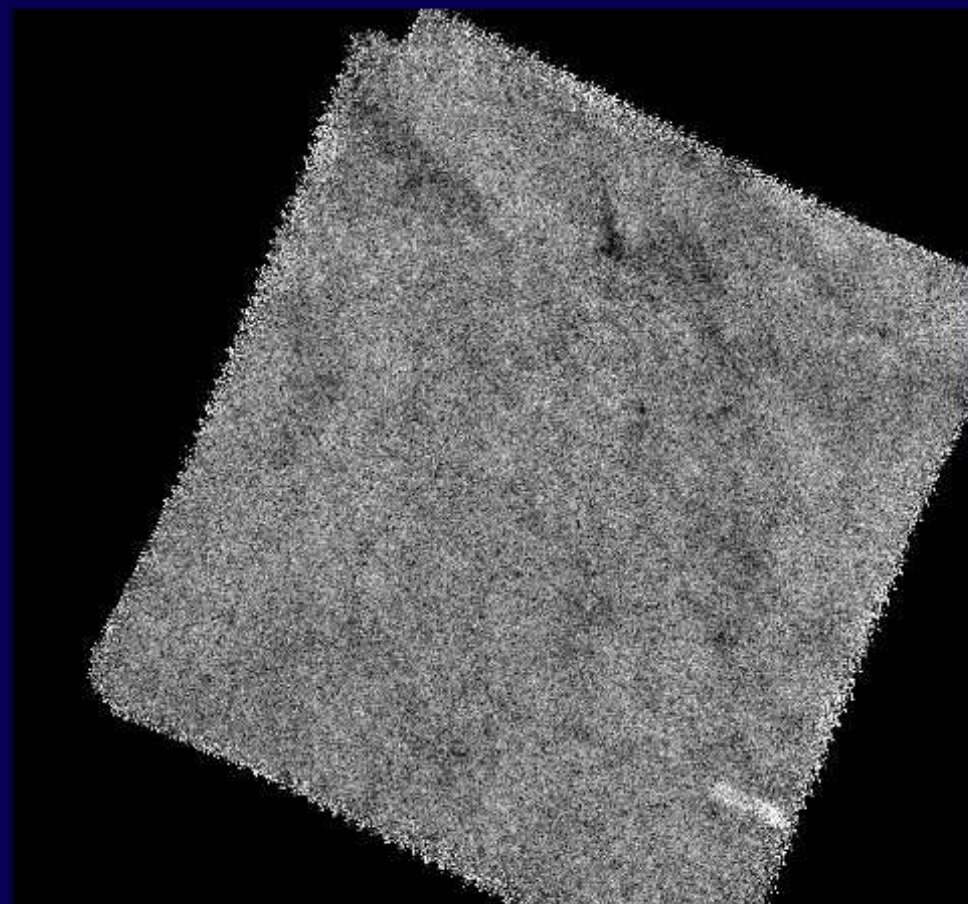
Helderste lijnen: C⁺/O & H₂O & andere waterstof verbindingen



Ten Years in Submm Astronomy

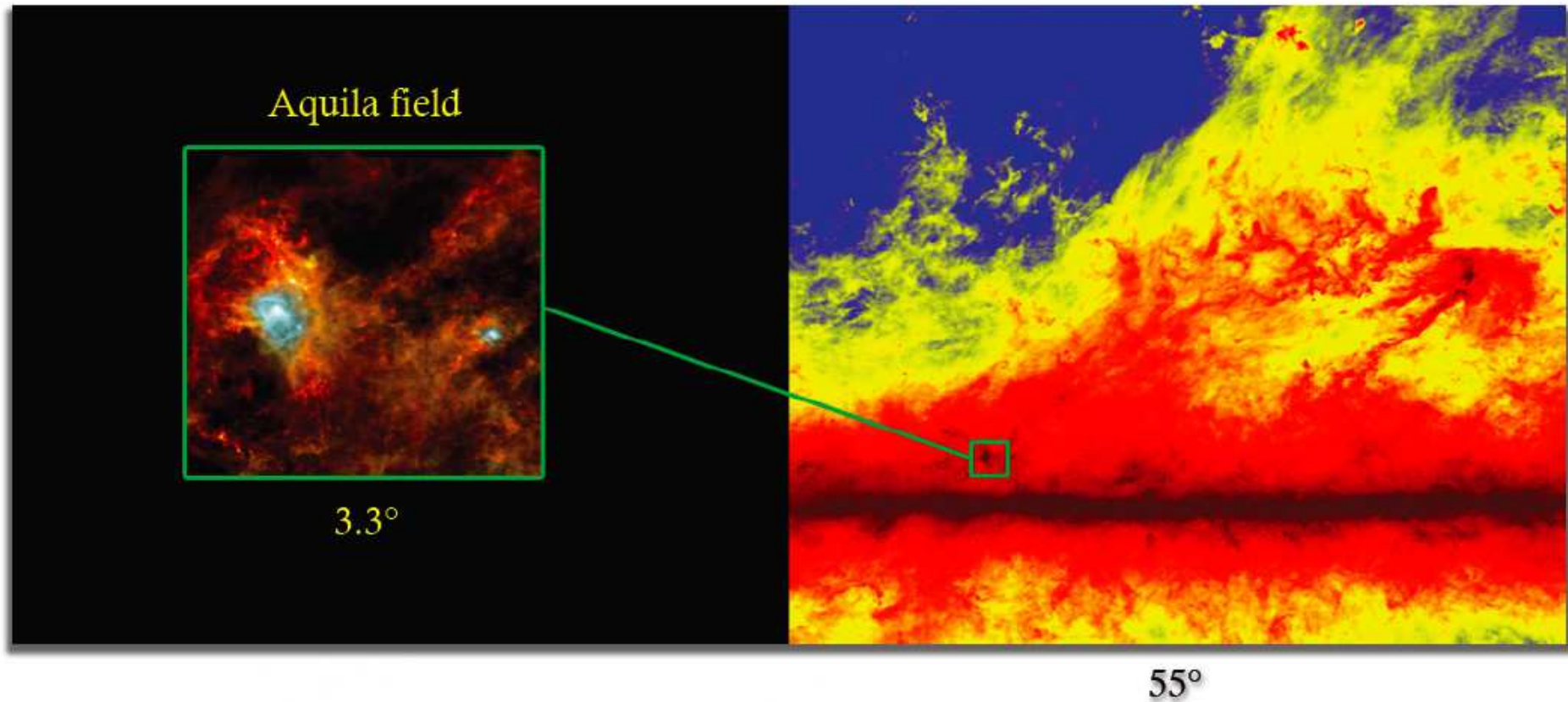


1998: SCUBA
observations of the HDF –
five sources after 20
nights
(HDF = Hubble Deep Field)



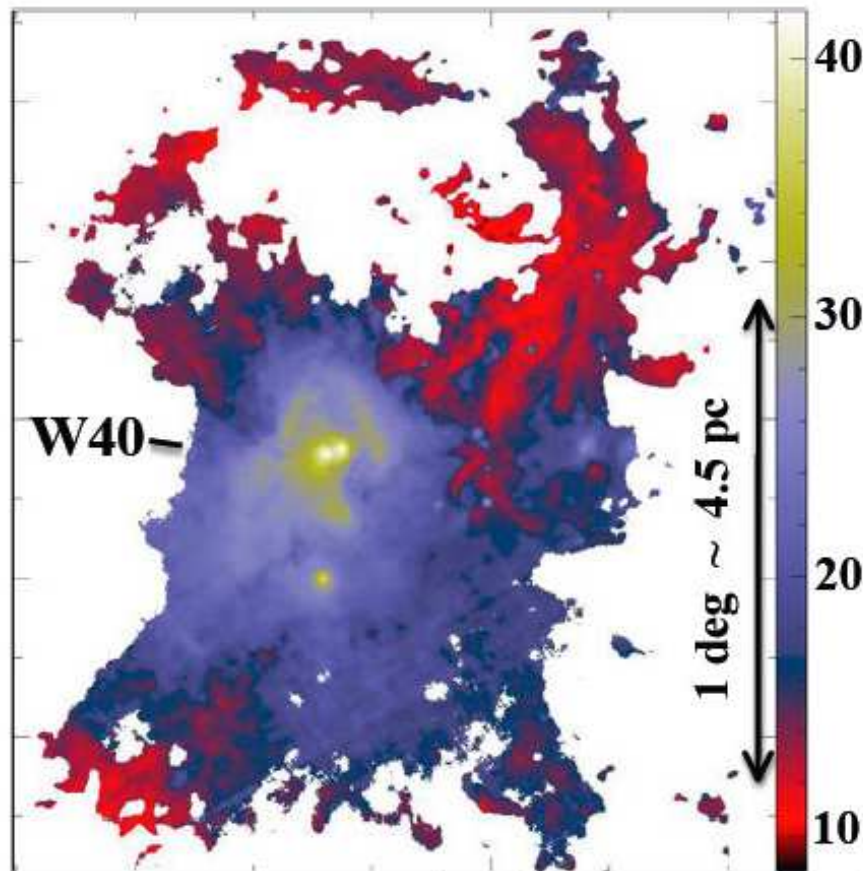
**2009: Herschel – 15000 sources after
16 hours**

Herschel SPIRE/PACS and Planck 350 μm
angular resolutions $\sim 30''$ and $300''$

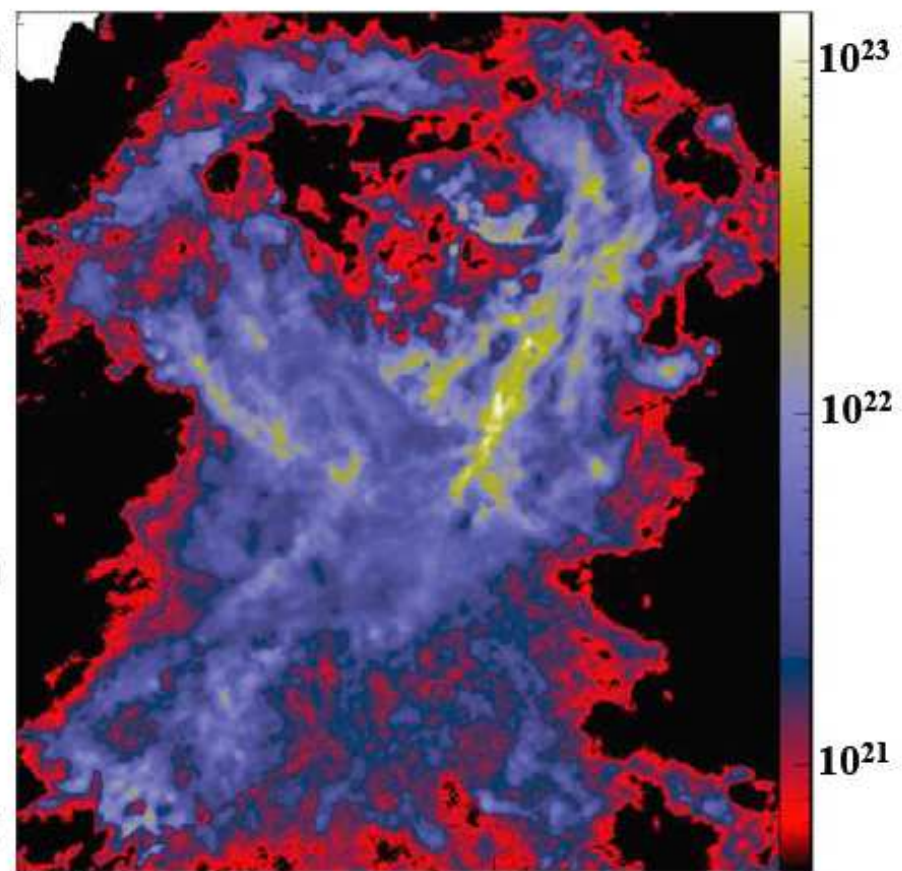


Revealing the structure of one of the nearest infrared dark clouds (Aquila Main: $d \sim 260$ pc)

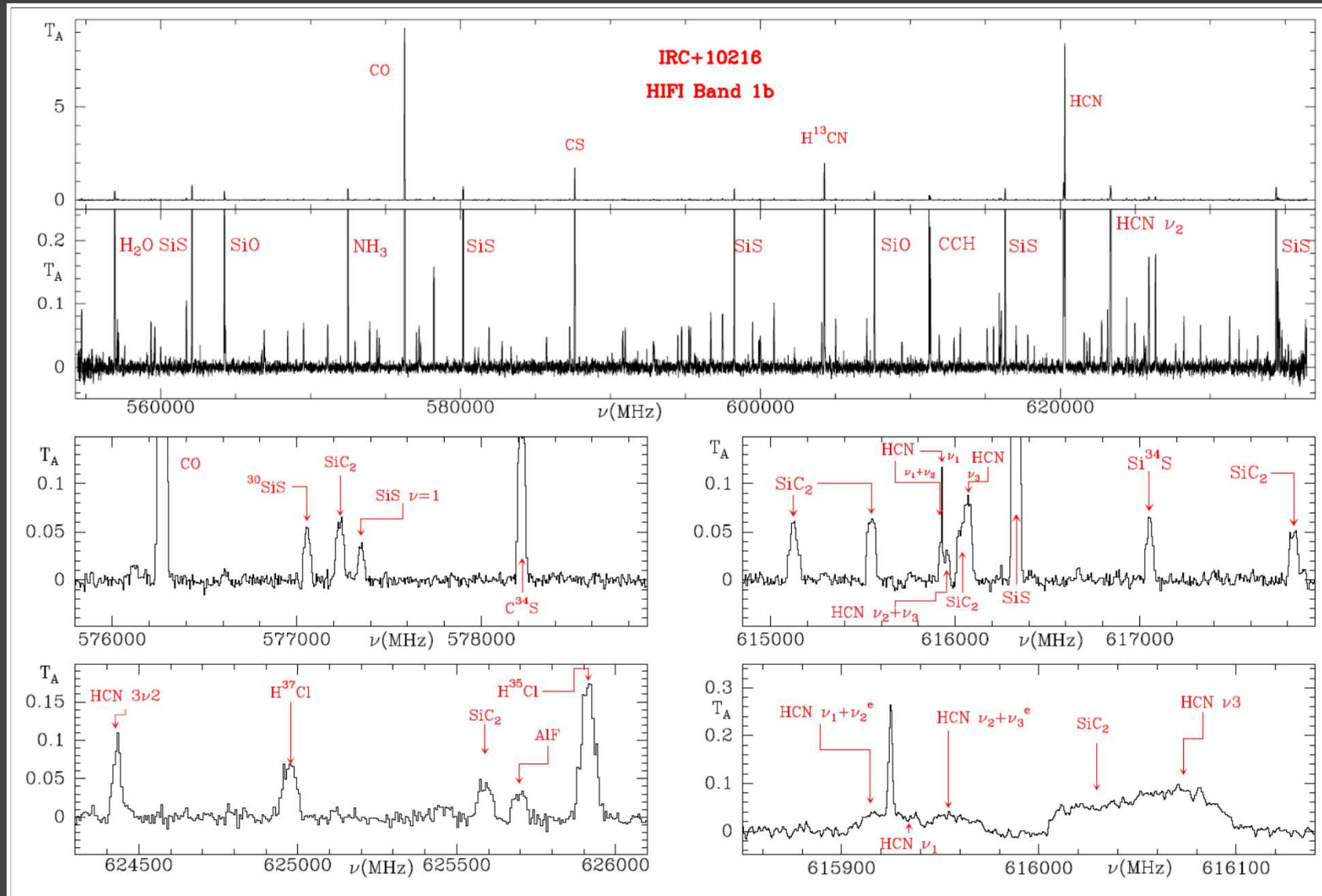
Herschel (SPIRE+PACS)
Dust temperature map (K)



Herschel (SPIRE+PACS)
Column density map (H_2/cm^2)

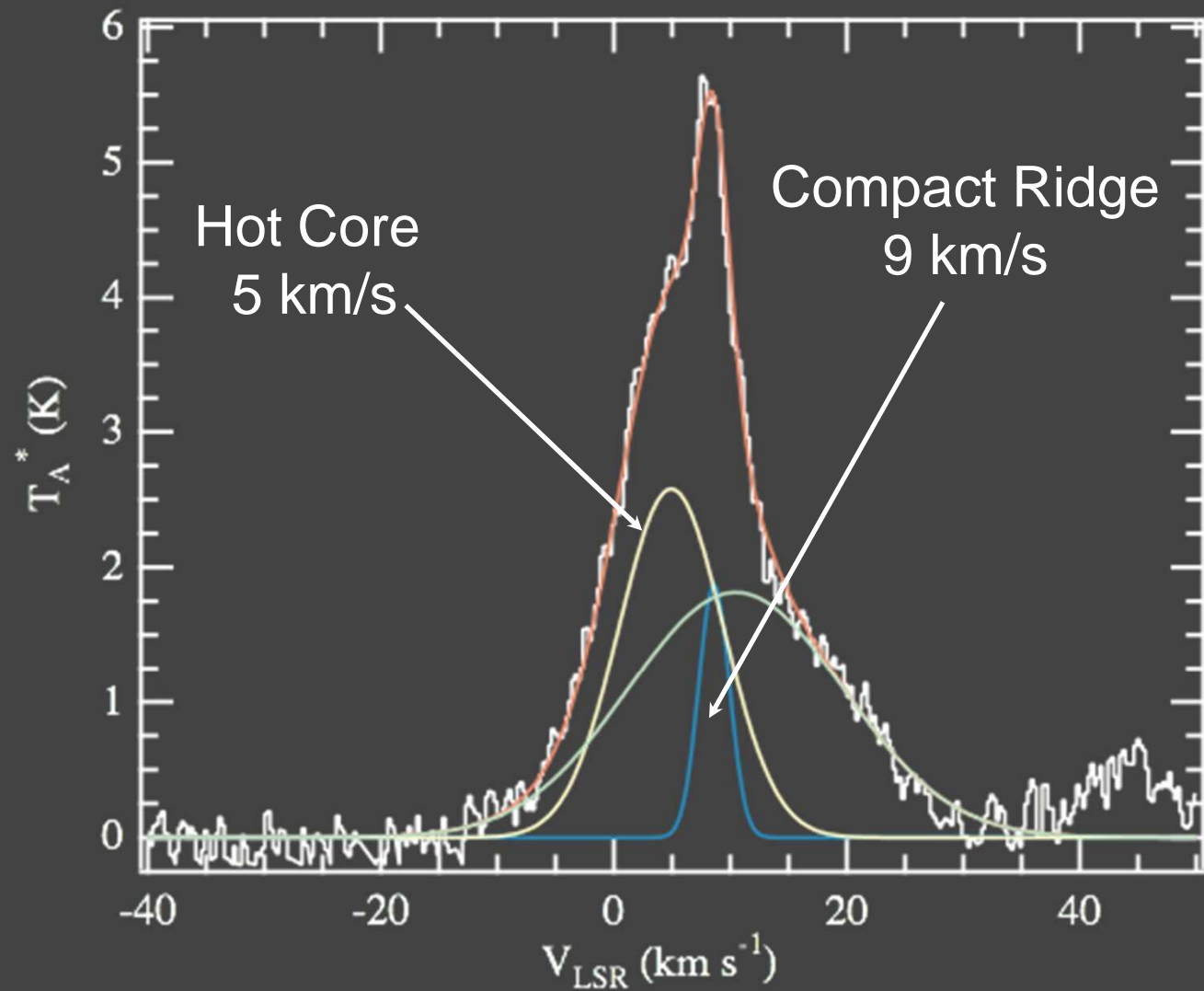


HIFI en zijn vele lijnen

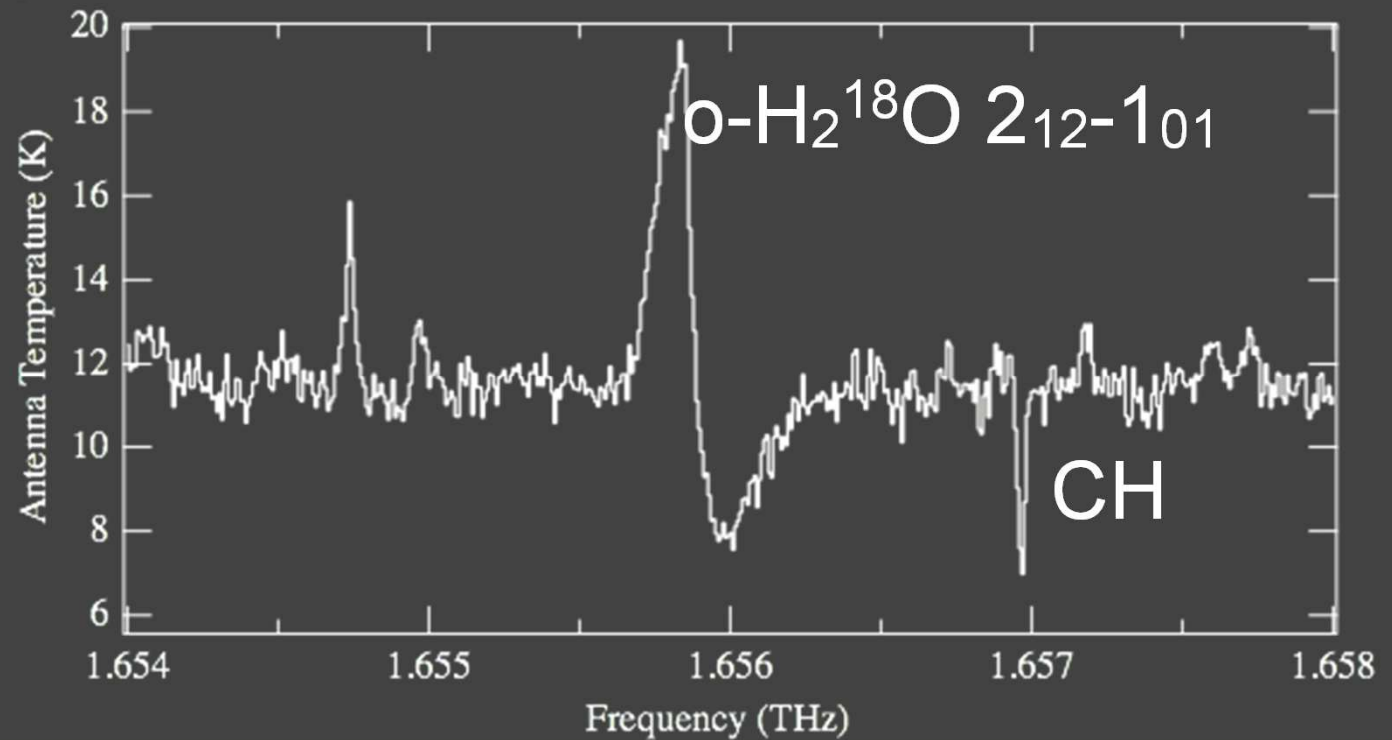
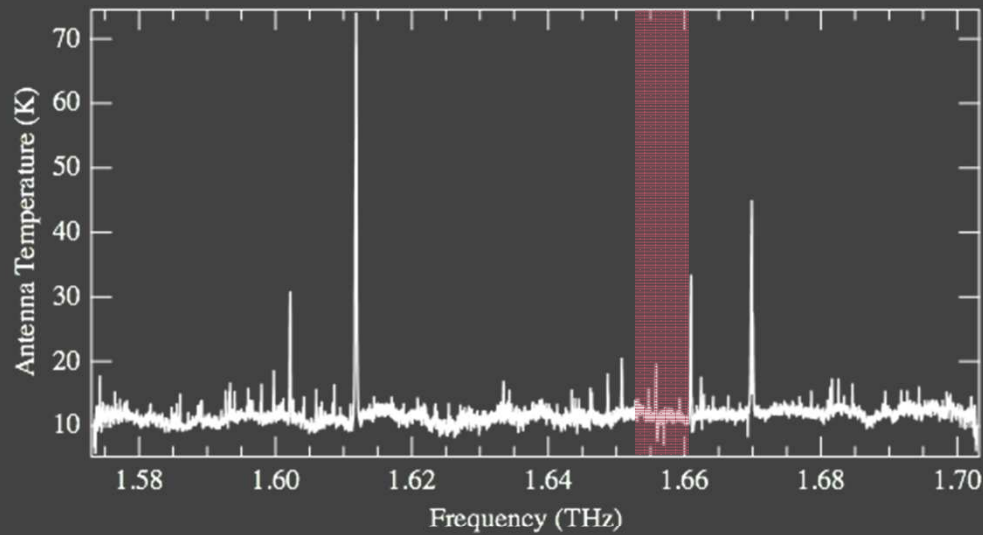


HDO 3₂₁-3₁₂

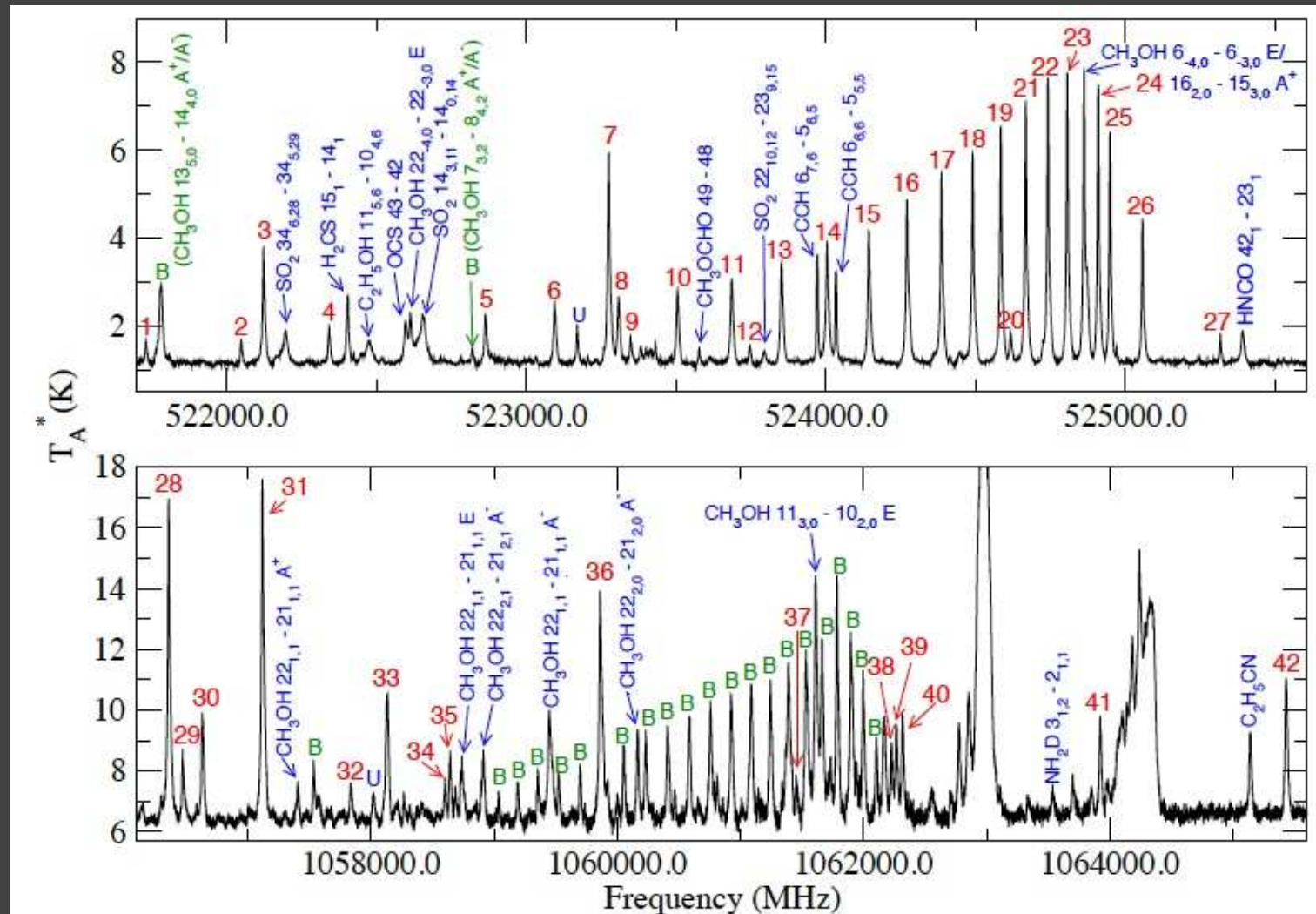
Hoge spectrale resolutie met HIFI



Orion KL Band 6b



Fysische Condities



E. Bergin

