

ŰRCSILLAGÁSZAT

INFRAVÖRÖS-, SZUBMILLIMÉTERES ÉS RÁDIÓCSILLAGÁSZAT

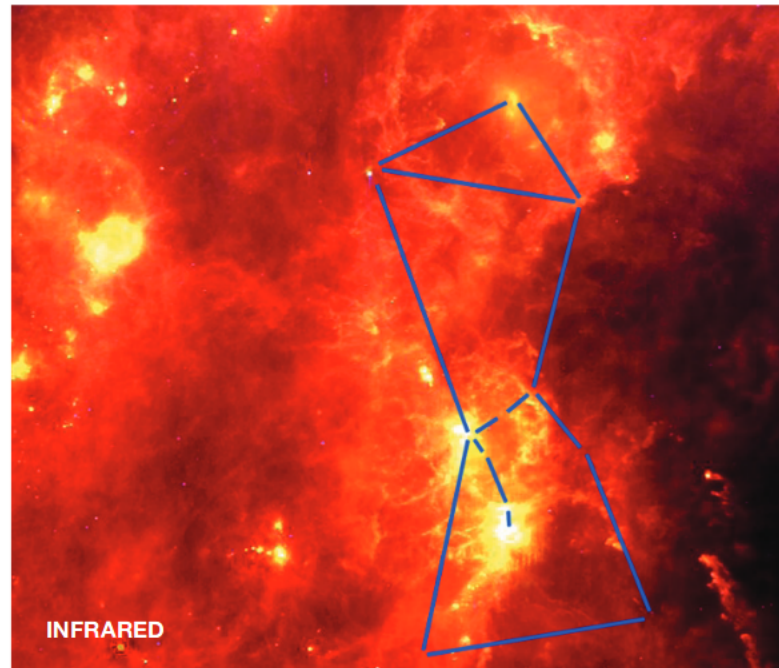
Összeállította: Szabados László

Szegedi Tudományegyetem

2020



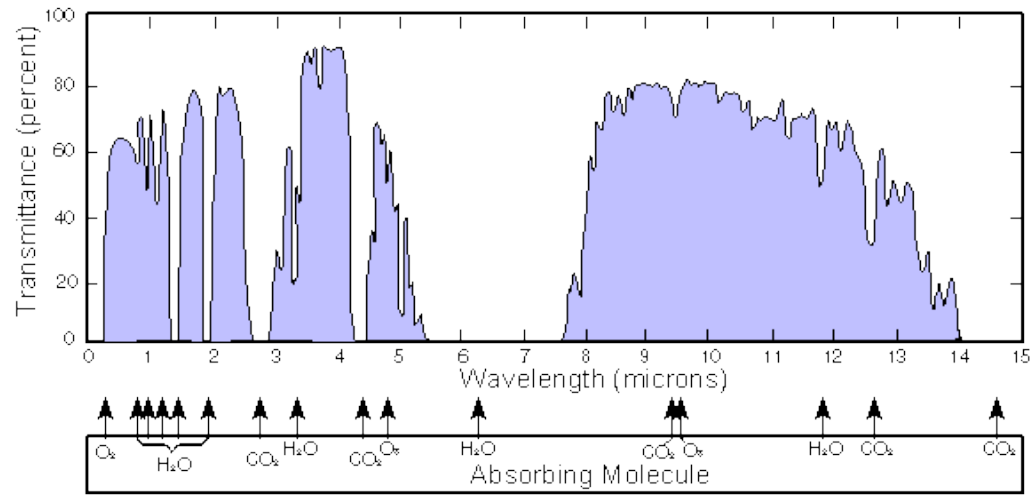
Forrás: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt



Az infravörös (IR) színeképtartomány részei

tartomány	hullámhossz [μm]	hőmérséklet [K]	jellemző objektumok
közeli IR	0,7-1 – 5	740 – 3000-5200	hideg (vörös)csillagok, át lehet látni a poron
közép-IR	5 – 25-40	90-140 – 740	bolygók, kisbolygók, üstökösök, protoplanetáris korong, csillag által fűtött por
távoli IR	25-40 – 350	11 – 90-140	hideg por emissziója, galaxisok centrális régiója, hideg molekulafelhők
szubmilliméteres	> 350	> 10	bolygók, hideg csillagok, csillagközi por és gáz, IR- ben fényes galaxisok, mikrohullámú háttérsugárzás (nem termikus sugárzók: kvazárok)

Az infravörös színtartomány felosztása



Spectrum	Wavelength (micrometres)	Astronomical bands	Telescopes
Near Infrared	0.65 to 1.0	R and I bands	All major optical telescopes
Near Infrared	1.1 to 1.4	J band	Most major optical telescopes and most dedicated infrared telescopes
Near Infrared	1.5 to 1.8	H band	Most major optical telescopes and most dedicated infrared telescopes
Near Infrared	2.0 to 2.4	K band	Most major optical telescopes and most dedicated infrared telescopes
Near Infrared	3.0 to 4.0	L band	Most dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Near Infrared	4.6 to 5.0	M band	Most dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Mid Infrared	7.5 to 14.5	N band	Most dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Mid Infrared	17 to 25	Q band	Some dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Far Infrared	28 to 40	Z band	Some dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Far Infrared	330 to 370		Some dedicated infrared telescopes and some optical telescopes
Far Infrared	450	submillimeter	Submillimeter telescopes

Légköri IR-ablakok

tartomány [μm]	sáv	átlátszóság	égi háttér
1,1 – 1,4	J	jó	éjjel alacsony
1,5 – 1,8	H	jó	nagyon alacsony
2,0 – 2,4	K	jó	nagyon alacsony
3,0 – 4,0	L	elég jó (3,0–3,5 μm) jó (3,5–4,0 μm)	alacsony alacsony
4,6 – 5,0	M	gyenge	magas
7,5 – 14,5	N	elég jó (8–9, 10–12 μm) egyébként gyenge	nagyon magas nagyon magas
17 – 40	Q (17–25 μm) Z (28–40 μm)	nagyon gyenge nagyon gyenge	nagyon magas nagyon magas
330 – 370		nagyon gyenge	alacsony

Ezekben a sávokban
a CO₂ és a H₂O nem
nyel el.

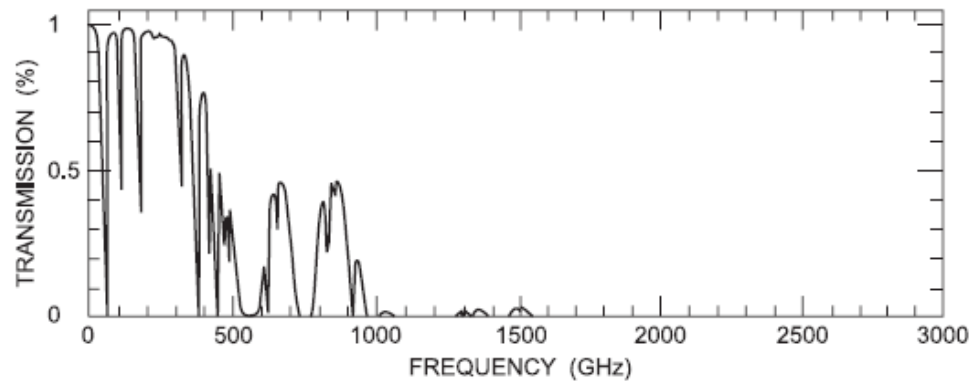


Figure 1. A plot of the transmission through the Earth's atmosphere for the mm and sub-mm wavelength ranges, for a column density of atmospheric water vapor of 1 mm. For an

A csillagközi anyag és felhői

Table 2: Types of interstellar and circumstellar clouds and their physical characteristics

Name	Typical Density (cm^{-3})	Typical Temperature (K)	Typical A_V (mag) ^a	Examples
Diffuse cloud	10^2	30–100	≤ 1	ζ Oph
Translucent cloud	10^3	15–50	1–5	HD 154368
Dense PDR	$10^4 - 10^5$	50–500	< 10	Orion Bar
Cold dense cloud	$10^4 - 10^5$	10–20	> 10	Taurus cloud
Prestellar core	$\geq 10^5$	8–15	10–100	L1544
Prostellar envelope				
Cold outer	$10^4 - 10^7$	8–100	10–100	NGC 1333 IRAS4A
Warm inner/ Hot core	$10^7 - 10^9$	≥ 100	100–1000	W3 IRS5 Orion hot core
Shock	$10^4 - 10^5$	200–2000	$\leq \text{few}$	L1157 B1
Protoplanetary disk				
Outer	$10^6 - 10^{10}$	10–500	1–100	TW Hya, HD 100546
Inner	$10^9 - 10^{15}$	100–3000	1–1000	AS 205
AGB envelope				
Outer	$< 10^8$	10–100	1–50	IRC+10216 (C-rich)
Inner	$10^{10} - 10^{13}$	100–2000	50–1000	VW CMa (O-rich)

A csillagközi por mindig jelen van

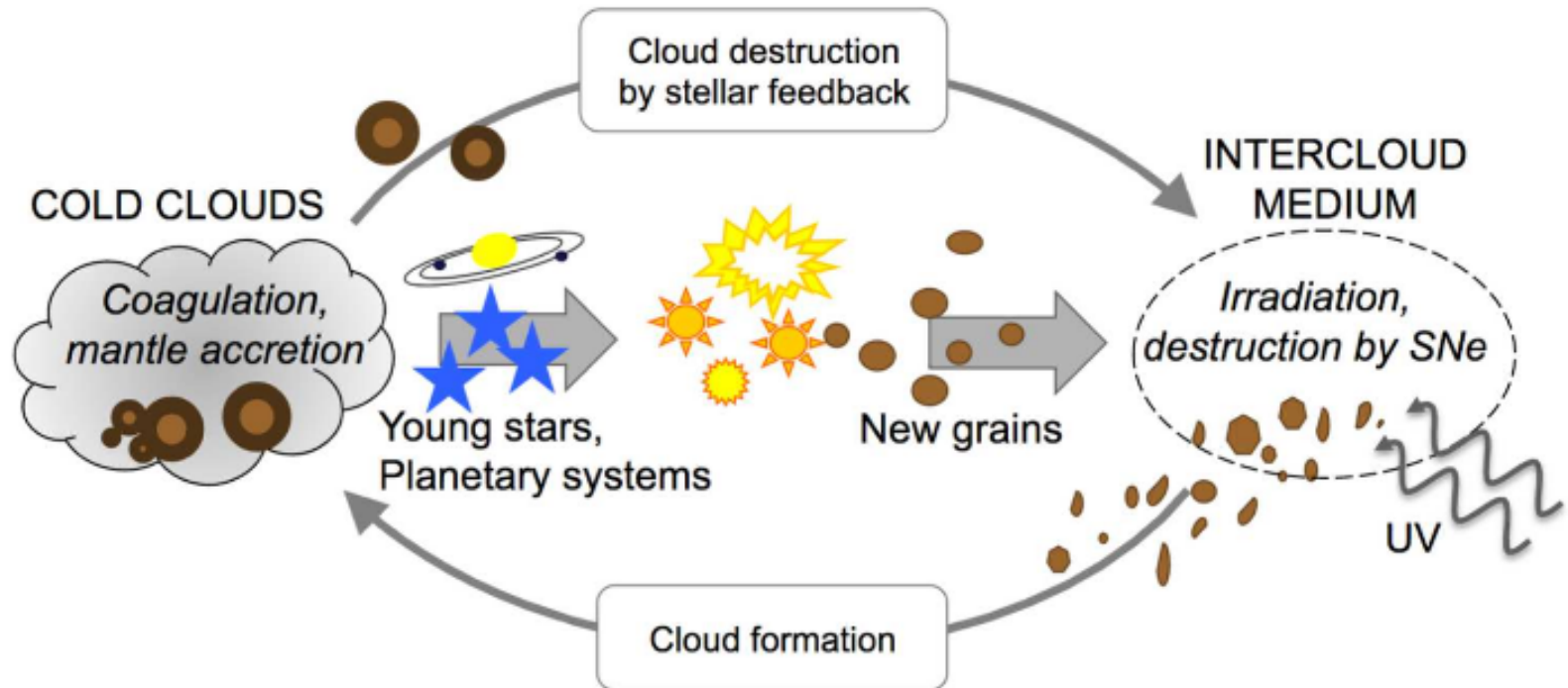
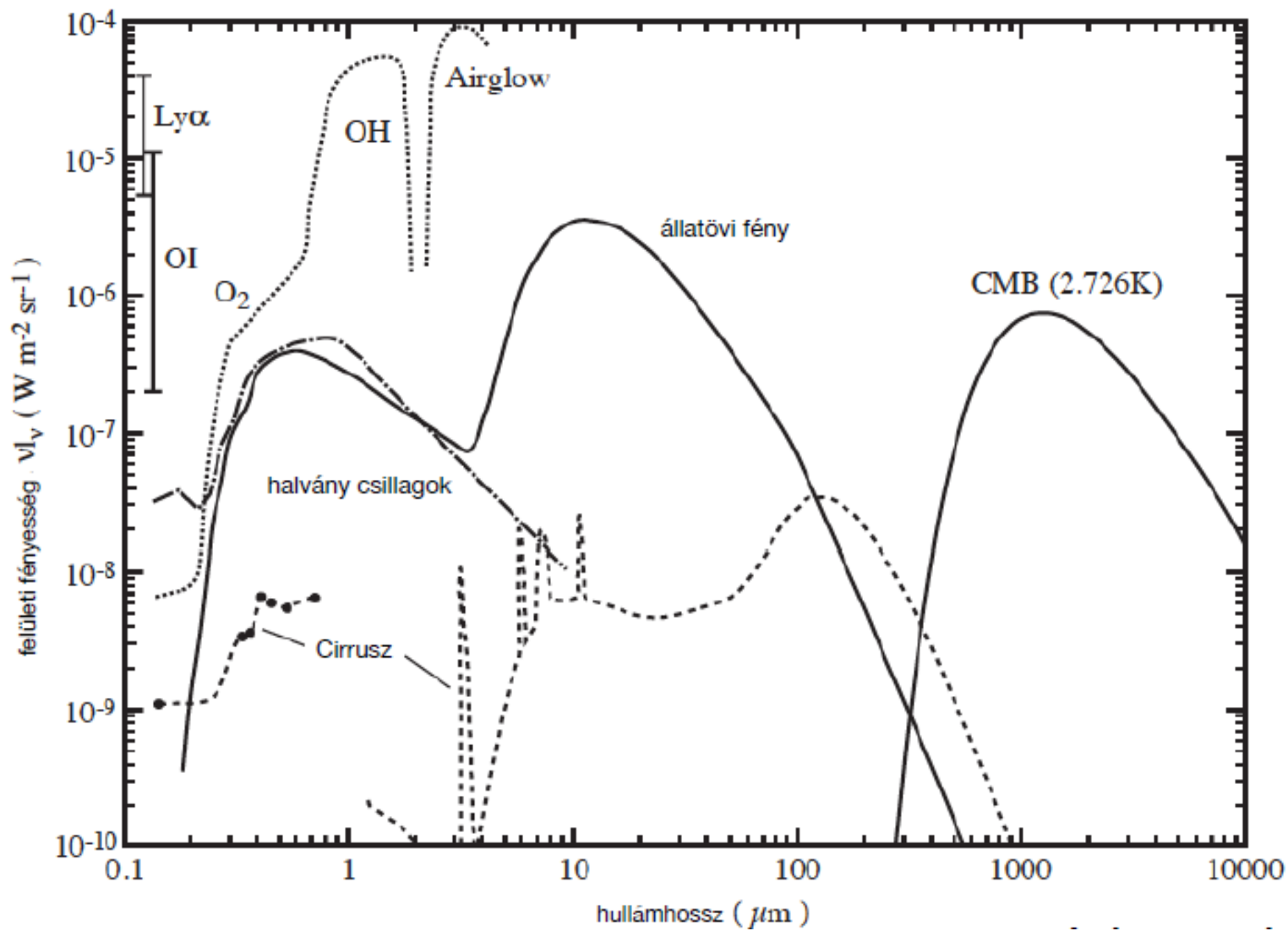


Figure 1: *The life cycle of dust from (Zhukovska & Henning 2014). See text for details.*

Az égi háttér infravörösben



Infravörös-csillagászati kronológia

1800 – William Herschel: az infravörös sugárzás felfedezése

1856 – Charles Piazzi Smyth: termopárral detektálta a Hold IR sugárzását

1878 – Samuel P. Langley: széles hullámhossztartományban érzékeny bolométert fejlesztett ki

1915 – William Coblentz: termooszloppal 110 csillagot mért

1920-as évek – Seth B. Nicholson és Edison Pettit: szisztematikus IR észlelések vákuumos termopárral

1948: IR-mérés alapján a Holdat finom por fedi

1950-es évek: a PbS detektor bekerül a csillagászatba; IR sugárzás hatására változik a cella ellenállása; a hűtéssel nő az érzékenysége (cseppfolyós N, 77 K); 3 μm -ig alkalmas detektor; G. Kuiper bolygóészlelései

1959–1961 – Harold Johnson: R, I, J, K, L sávok, az első közeli IR fotometria

1961 – Frank Low: Ge-bolométer; a sugárzás felmelegíti a fémet, változik a vezetőképesség; egészen alacsony hőmérsékleten működik jól (4 K, cseppfolyós He, dewar)

Infravörös-csillagászati kronológia

- 1960-as évek – ballonokra szerelt detektorokkal 100 μm -ig érzékeltek 120 fényes IR forrást a Tejútrendszer fősíkjában
- 1967 – rakétás mérésekkel a teljes égbolt térképe 4, 10 és 20 μm -en; 30 perc alatt 2363 IR-forrás (AFGRL-felmérés); legfényesebbek a HII-zónák és a csillagkeletkezési régiók; detektálási határ 100 Jy
- 1967 – a Mauna Kea Observatórium megalapítása (4200 m magasan)
- 1968 – Robert Leighton és Gerry Neugebauer 2,2 μm -es felmérése; 20000 forrás az égbolt $\frac{3}{4}$ -éről (csillagkeletkezési tartományok, galaxisok, a Tejútrendszer centruma stb.); az első katalógusban a legfényesebb 5000 forrás szerepelt
- 1974 – a KAO repülésének kezdete a légköri vízgőz 99%-a fölött (2 évtizedig szolgált)
- 1975 körül – 3 ballonos repülés az űsrobbanás ellenőrzésére (mikrohullám); 1 K-re hűtött kriosztáttal; a legfontosabb bizonyíték a COBE előtt
- 1980-as évek – panorámadetektorok IR-ben; rohamosan fejlődő képalkotás

Infravörös-csillagászati kronológia

- 1983 – IRAS (Egyesült Királyság, Hollandia, USA): 12, 25, 60 és 100 μm ; kb. félmillió forrás (az addig katalogizált csillagászati források száma is annyi volt); felfedezések: galaktikus cirrusz, a Vega porkorongja, IR-galaxisok
- 1985 – Spacelab-2: térkép a Tejútrendszer fősíkjának 60%-áról
- 1989–1993 – COBE: nem egyenletes a mikrohullámú háttérsugárzás
- 1990-től – Hubble-űrtávcső (IR + optikai + UV tartományban észlel)
- 1990-es évek – adaptív optika; IR hullámhosszakon is kedvező hatás
- 1994-től – SPIREX (South Pole Infrared Explorer): az Antarktison 60 cm-es távcső, 1999-től 1024×1024-es InSb mátrixdetektor (USA, Ausztrália); alacsony hőmérsékleti háttér, tartós sötétség
1995. márc. – IRTS (Infrared Telescope in Space): 28 nap alatt az égbolt 7%-át mérte (Japán)
1995. nov. – 1998. ápr. – ISO (ESA): 60 cm-es távcső 2,5–240 μm között, ezerszer érzékenyebb az IRAS-nál
1996. ápr. – 1997. feb. – MSX (Midcourse Space Experiment): 4,2–26 μm között az IRAS által kihagyott égrészt vizsgálta (USA)

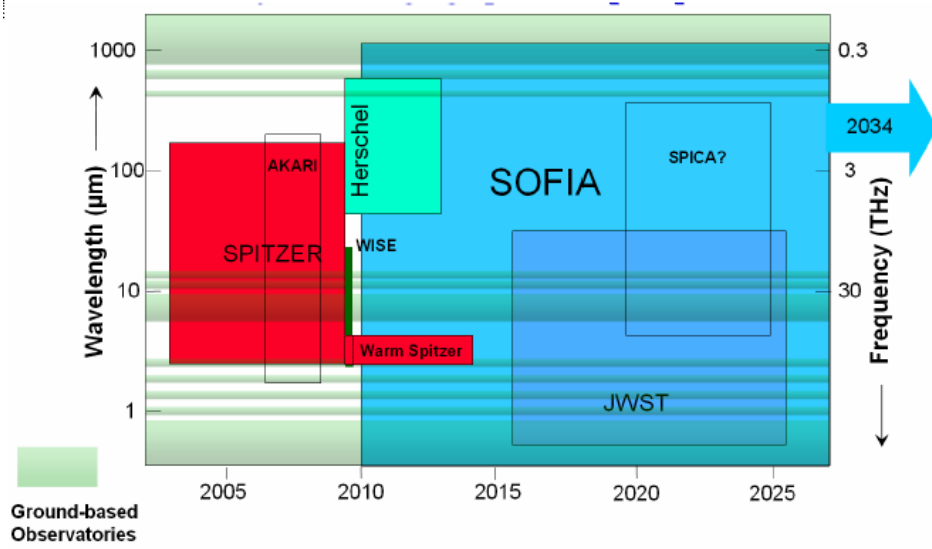
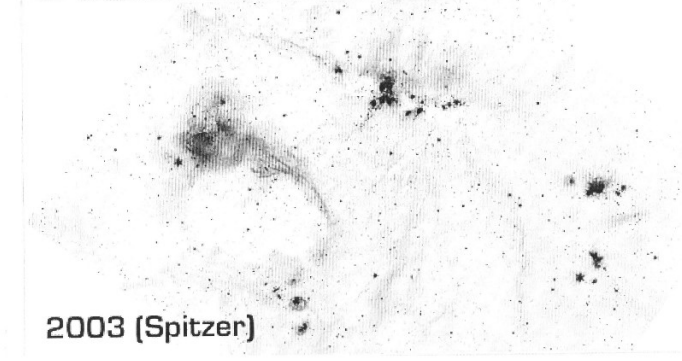
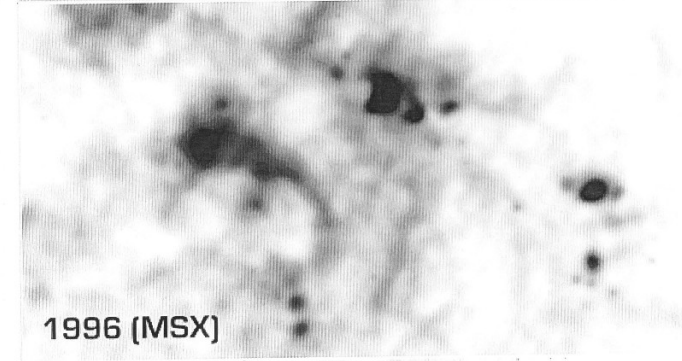
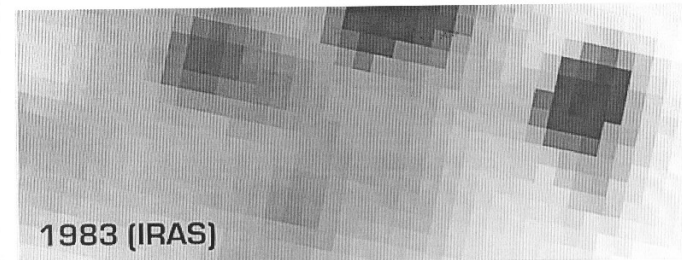
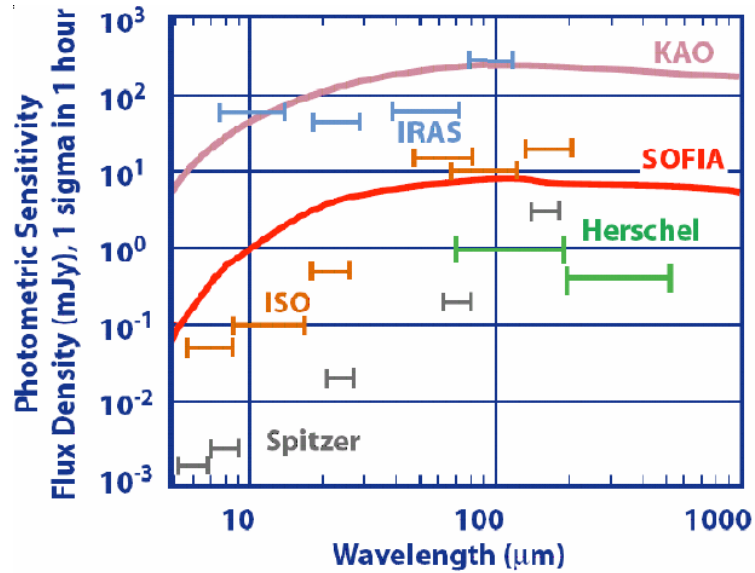
Infravörös-csillagászati kronológia

- 1996–2001 – DENIS (Deep Near Infrared Survey of the Southern Sky, ESO):
1 m-es távcsővel (La Silla) 0,8, 1,25 és 2,12 μm -en
- 1997–2001 – 2MASS (2 Micron All-Sky Survey, USA): JHK-felmérés 1,25,
1,65 és 2,17 μm -en 1,3 m-es távcsövekkel (Mt. Hopkins + CTIO); PSC:
500 millió csillag + galaxis; XSC: 1,6 millió galaxis; felfedezések: barna
törpék, közeli törpegalaxisok, gömbhalmazok, aktív galaxismagok
- 1997-től – NICMOS a HST-n: 3 kamera + 3 spektrométer
- 2001-től – Keck-interferométer
2003. aug. – 2009. máj. – Spitzer (SIRTF, NASA): 85 cm-es távcsővel 3–180
 μm között; 2009. május és 2020. január között az IRAC kamera meleg
üzem módban működött a közeli IR tartományt észlelve
2006. feb. – 2011. nov. – Akari (Astro-F, Japán): 67 cm-es távcső
2009. májustól – Herschel + Planck (ESA): az L2 pontban; Herschel 3,5 m-es
távcső 55–672 μm között 2013. ápr.-ig; Planck: 1,9×1,5 m-es tükörrel
2013. októberig; Teljes szubmilliméteres térkép jó felbontással
2009. dec. – 2011. feb. – WISE (Wide Field Infrared Survey Explorer, NASA):
40 cm-es távcsővel 3,4, 4,6, 12 és 22 μm -en (az IR-ben sikertelen WIRE
helyett)
- 2010-től – SOFIA repülőgépes csillagászati obszervatórium
- 2013-tól – NEOWISE, a WISE melegüzemű programja

Infravörös-űrtávcsövek

Név	Indítás	Működési idő	A távcső apertúrája	Felbocsátó
KAO	1974	21 év	0,91 m	NASA
IRAS	1983	1 év	0,60 m	NL, UK, USA
HST	1990	>30 év	2,40 m	NASA, ESA
IRTS	1995	1 hónap	0,15 m	J
ISO	1995	2,5 év	0,60 m	ESA, J, NASA
MSX	1996	2 év	0,33 m	USA
Spitzer	2003	17 év	0,85 m	NASA
Akari	2006	1,5 év	0,69 m	J
Herschel	2009	4 év	3,50 m	ESA
WISE	2009	>11 év	0,40 m	NASA
SOFIA	2010	>10 év	2,50 m	NASA, DLR

Az infravörös-űrtávcsövek érzékenysége



Detektorok

Infravörösben:

1960 után (Low) Ga-szennyezésű
Ge-bolométer (távoli IR-ben is),
majd mátrixdetektorok
(InSb 0,55–4 μm , HgCdTe 0,8–2,4 μm)

Szubmilliméteres tartományban:

heterodin vevők: a rádiófrekvenciás jelet
helyi oszcillátorral generált alacsony
frekvenciás jellel keverik, így egy
közbülső frekvencia alakul ki, amely könnyen erősíthető és
szűrhető. A helyi oszcillátor hangolásával a közbülső frekvencia
állandó értéken tartható.

A **fluxussűrűség** egysége IR-ben: 1 jansky (Jy);

1 Jy = 10^{-26} W/m²/Hz

A Jy átszámítása magnitúdóra:

$$S_v [\mu\text{Jy}] = 10^6 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-(AB+48.6)/2.5} = 10^{(23.9-AB)/2.5}$$

4 m-es távcsővel jó seeing (0,25'') esetén 25%-os kvantumhatásfokú
detektorral 1-2 mJy/négyzetívmásodperc érhető el.

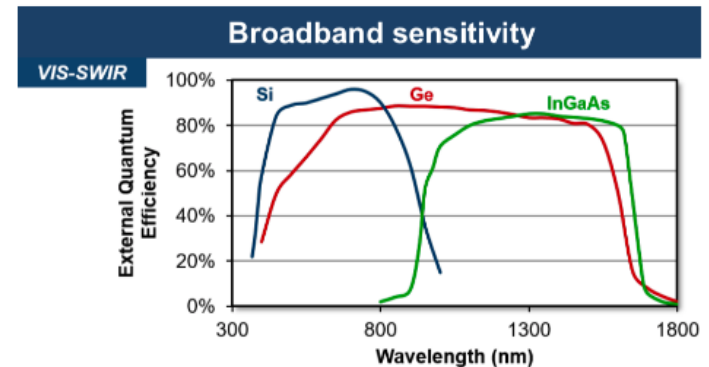


Figure 4: Comparison of the broadband response of Si, Ge and InGaAs.

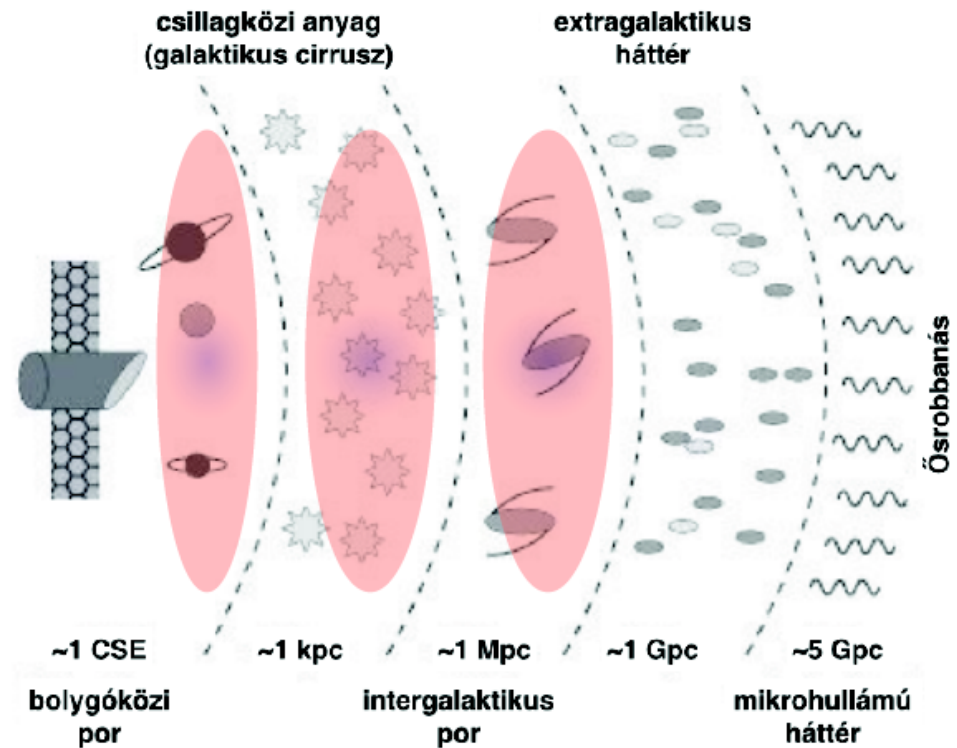
Az IR-észlelés nehézségei

A hőmérsékleti sugárzás miatt magas a háttér, ezért hűteni kell: cseppfolyós N (77 K), cseppfolyós He (4,2 K). A hullámhossz növelésével alacsonyabbra kell hűteni a detektort (és a környezetét).

Az űrszondák élettartama a hűtőanyag mennyiségétől és párolgási ütemétől függ. A bolométert kevésbé kell hűteni, az a hőre reagál, nem a fotoelektront érzékeli. (Az elnyelt sugárzás a hőmérsékletet növeli, amit egy áramkör érzékel.)

A kozmikus háttér levonása is gond: „háttérsugárzás” lehet az előtérben is (állatövi por, galaktikus cirrusz stb.)

Konfúziós zaj: a forrás fényességének bizonytalansága az égi háttér egyenetlensége miatt. A mérési hullámhosszal nő a konfúziós zaj. A kozmikus IR háttérrel alkotó galaxisok nagy része optikailag nem is látszik.



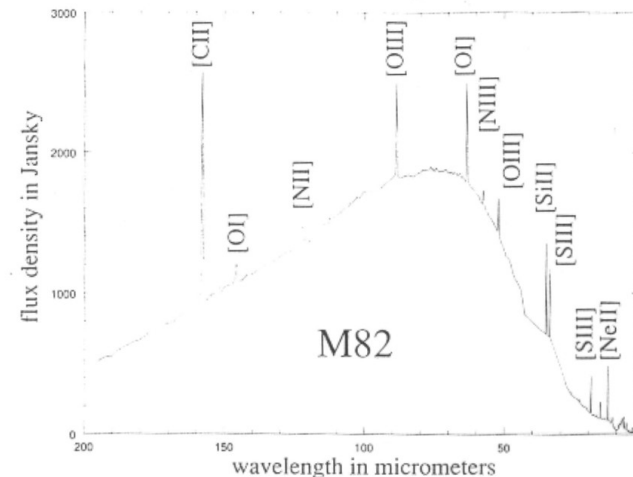
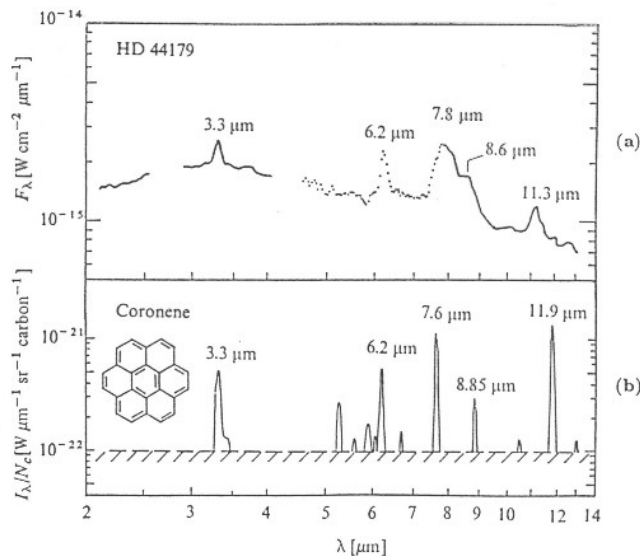
IR-sugárzást keltő fizikai folyamatok

Folytonos emisszió:

- hőmérsékleti sugárzás (alacsony hőmérsékletek esetén)
- szabad-szabad átmeneti sugárzás
- szinkrotronsugárzás
- PAH-emisszió (polycyclic aromatic hydrocarbon, sokgyűrűs aromás szénhidrogén), fullerenektől is (pl. C₆₀)

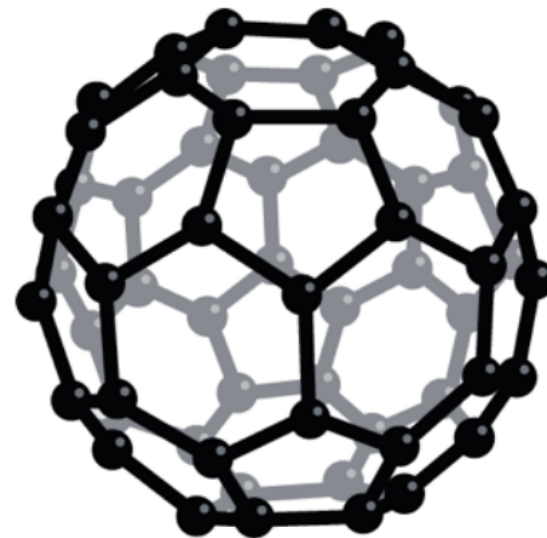
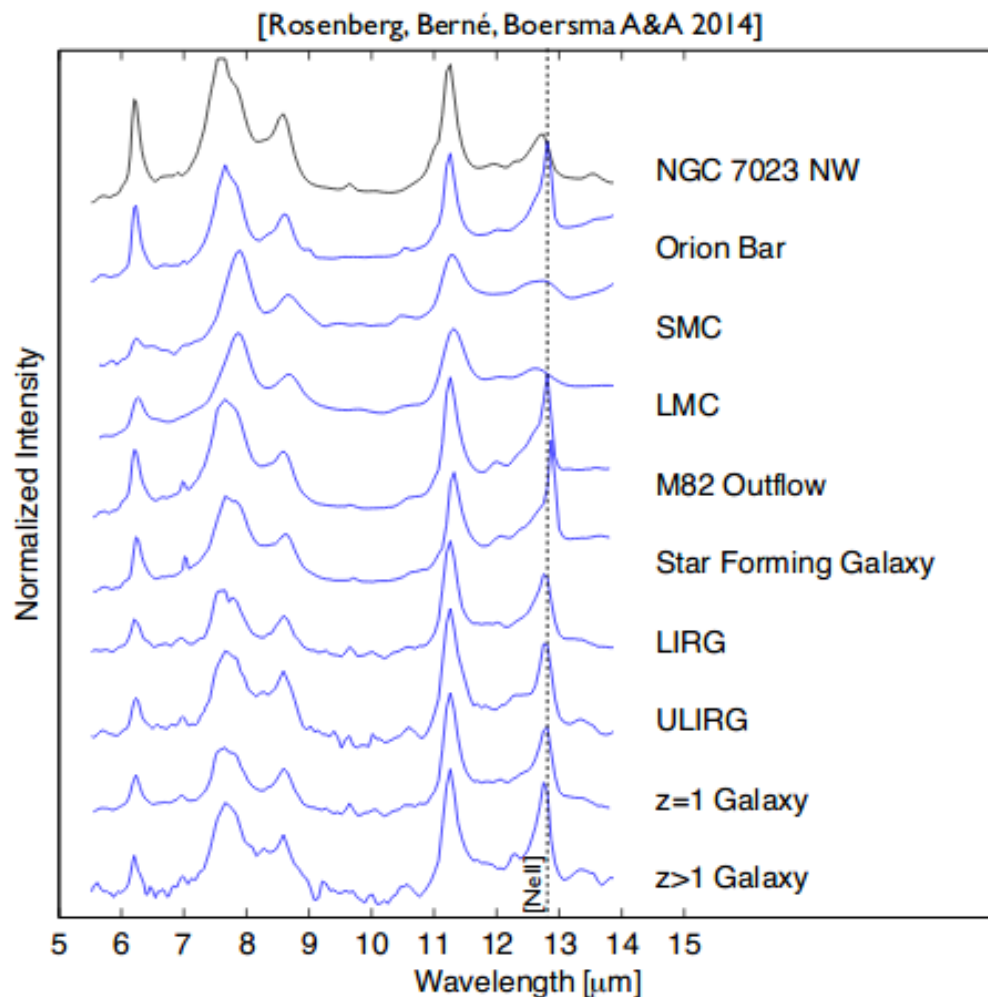
Vonalas emisszió:

- fontos finomszerkezeti vonal a [CII] 158 μm -es vonala, a csillagközi anyag fontos hűtővonala (pl. az M82-nél az egész galaxis IR luminozitásának 1%-át adja)
- kétatomos és sokatomos, lineáris molekulák rotációs átmenetei



IR-sugárzást keltő fizikai folyamatok

Fullerén: Buckminster Fuller építészről elnevezve (60-atomos karbonmolekula)



A kozmikus források viselkedése IR-ben

Bolygók: *Jupiter:* IR-ben 1,6-szer többet sugároz, mint amennyi energiát kap a Naptól (belső energiaforrás, összehúzódás); a sötét sávok IR-ben fényesebbek (azaz melegebbek) a világosaknál;

A *Szturnusz* a Jupiterhez hasonlóan 2-szer többet sugároz IR-ben, mint a Naptól kapott energia;

Bolygólégkörökben zajló fotokémiai folyamatok; szénhidrogének és D/H arány az óriásbolygókon.

Kisbolygók: az IRAS 400-nál többet fedezett fel; IR-mérésből rotáció, alak, albedó, méret, kémiai összetétel.

Üstökösök: a por vizsgálata; az IRAS a 6 újonnan felfedezett mellett 25 korábban ismert üstököst vizsgált.

Exobolygók: kisebb a fényességkülönbség a csillag és bolygója között, mint optikaiban; a csillagkörüli korong és szerepe a bolygóképződésben (β Pic).

Csillagok: IR-ben a poron és gázon át is látszanak; mirák és rokonaik (OH/IR-csillagok vizsgálata kiemelt jelentőségű).

Csillaghalmazok: a Tejútrendszer centruma irányában újak (Ötös, Ívek).

A kozmikus források viselkedése IR-ben

Tejútrendszer: a szerkezete jobban kirajzolódik, mint a látható fényben; a luminozitás fele IR-ből származik; galaxisunk centruma IR-ben 1000-szer fényesebb, mint rádióban; a központi fekete lyuk tömege a centrumhoz közeli csillagok gyors mozgása alapján határozható meg.

Extragalaxisok: csillagok + gáz (nem jelentős IR-ben) + por;

- a csillagok sugárzásának csúcsa 1–3 μm -nél van; a csillagok által melegített por 3 μm -t meghaladó hullámhosszokon sugároz;

- legfényesebbek a csillagontó (starburst) galaxisok;

- az elliptikusokban kevés a por;

- a spirálgalaxisok luminozitásának felét teszi ki az IR sugárzásuk;

- a galaxisok (korábban gyakori) kölcsönhatása csillagkeletkezést indukál.

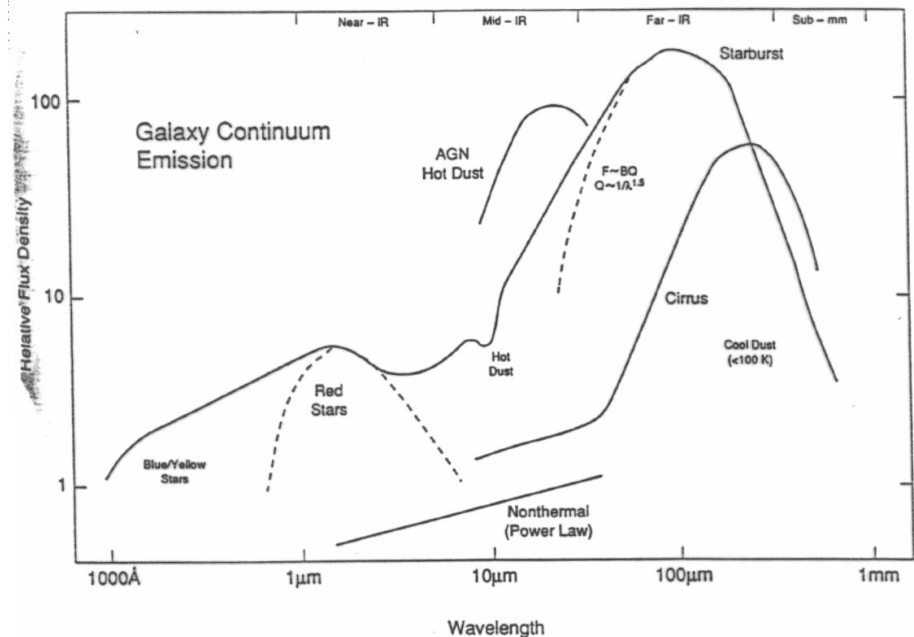


Figure 1: Schematic overview of spectral energy distribution in a galaxy

Csillagkeletkezés és az IR-tartomány

Az infravörös-csillagászat egyik leglényegesebb kutatási iránya.

A csillagkeletkezési régiók a Tejútrendszer korongjában 2,3 milliárd naptömegnyi molekuláris gázt tartalmaznak és ennél százszor kevesebb port, 100–10000 naptömegnyi anyagból álló molekulafelhőkbe tömörülve.

A csillagkeletkezés lassú és alacsony hatásfokú folyamat, amelynek során a csillagok a bolygórendszerükkel együtt alakulnak ki.

Főbb kutatási irányok a csillagkeletkezés vizsgálatában:

- kezdőfeltételek, időskálák;
- a folyamat környezettől való függése;
- a nagy tömegű csillagok keletkezése;
- a tömegbefogási és protoplanetáris korongok fejlődése, bolygókeletkezés;
- a fiatal csillagok változékonysága (nemcsak infravörösben), részben a korong szerkezetének változása miatt.

A csillagkeletkezési környezet két típusa: Orion-típus és Taurus-típus.

Orion-típus: néhány nagy tömegű csillag is kialakulhat a felhőben, zsúfolt halmaz, a kettősök aránya kicsi.

Taurus-típus: csak kis tömegű (Nap-típusú) csillagok keletkeznek a felhő anyagából, laza csoportokban, gyakoriak a kettős és többszörös rendszerek.

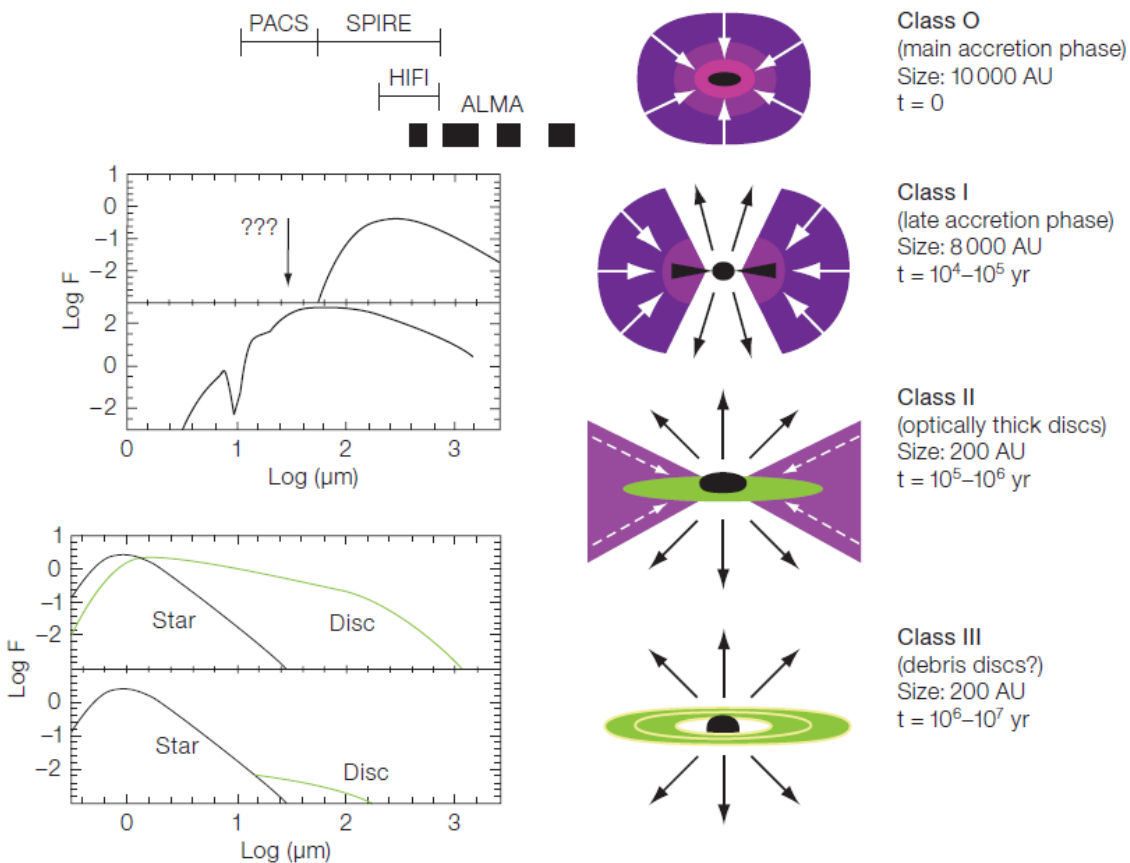
Csillagkeletkezés és az IR tartomány

A csillagkeletkezés 4 fő fázisa:

- sűrű mag a molekulafelhőben;
- bentről kifelé terjedő kollapszussal kialakul a protocsillag, körülötte korong alakú a mag;
- a csillagszél kitör a forgástengely mentén, bipoláris kifújás;
- megáll a behullás, a korong megmarad.

A protocsillagnál az összezuhanó anyag kinetikus energiája sugárzódik szét (nincs hidrosztatikai egyensúly).

A fotonok elnyelődnek a cirkumsztelláris anyagban és $>30 \mu\text{m}$ hullámhosszon sugárzódnak ki.



Csillagkeletkezés és az IR tartomány

A protocsillag körüli korong (esetleg protoplanetáris korong) tömege 0,001–0,1 naptömeg, mérete 100 CSE. A por pedig IR-ben sugároz.

Különbéle fejlődési állapotú objektumok szétválasztása az IR kétszíndiagramok alapján.

A spektrális energia eloszlása alapján 0, I, II és III osztályú protocsillagok (YSO):

$$\alpha = -d\log(vF_v)/d\log v \quad (F \text{ fluxussűrűség})$$

I. osztály: $\alpha > 0$; korong 10-100 CSE, burok 10000 CSE;

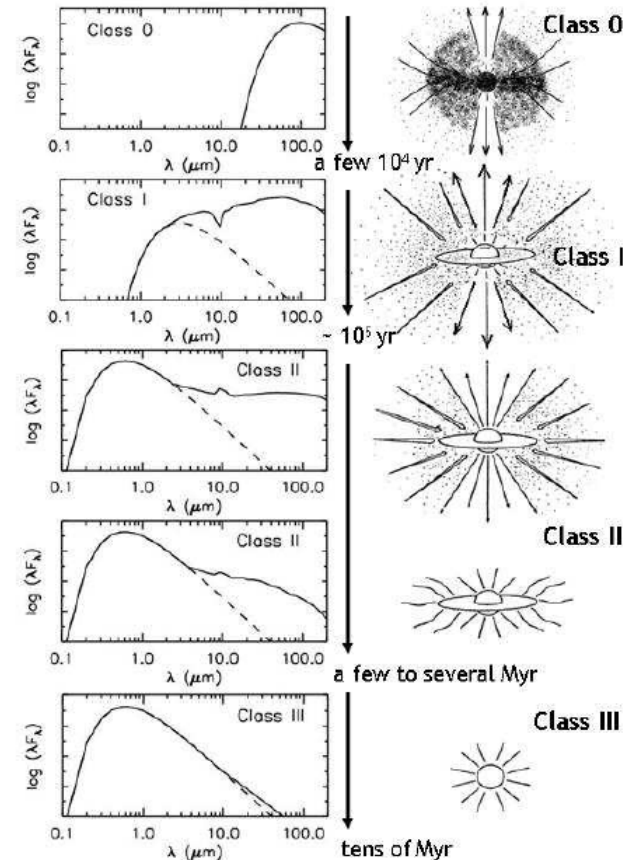
II. osztály: $-2 < \alpha < 0$; burok széteszlik, optikailag vastag cirkumsztelláris korong (tömege legfeljebb 0,01 naptömeg);

III. osztály: $\alpha < -2$; cirkumsztelláris struktúrák hiánya (a korong tömege max. 0,003 naptömeg).

A nagy tömegű csillagok keletkezése eltér.

Kiseb tömeg (<0,08 naptömeg) esetén barna törpe alakul ki, 3000 K alatti hőmérséklettel – az is IR-ben sugároz.

Csillagkeletkezési módok: spontán, indukált (csillagszél, ionizációs front, SN).



Csillagkeletkezés és az IR tartomány

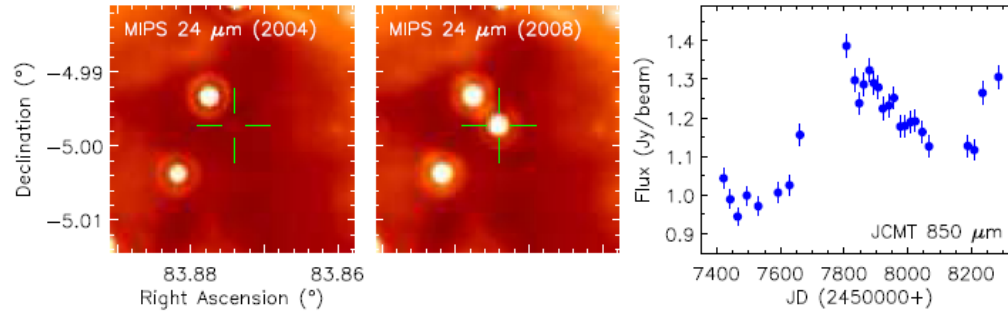
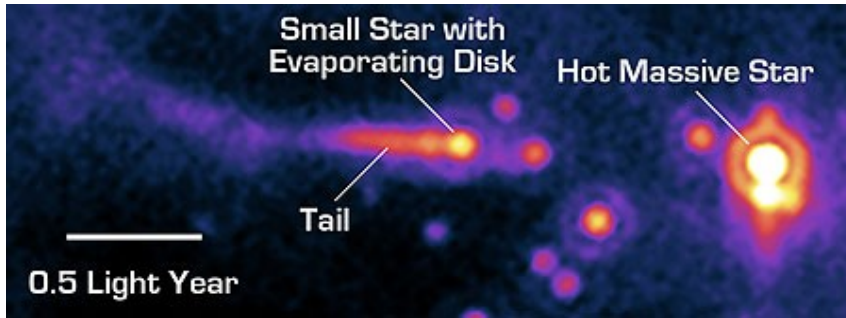


Figure 3: Left: *Spitzer* 24 μm images that demonstrate the outburst of the Class 0 protostar HOPS 383 in Orion (Safron et al. 2011). Right: JCMT 850 μm flux plot for the same star, showing a peak in flux during the outburst.

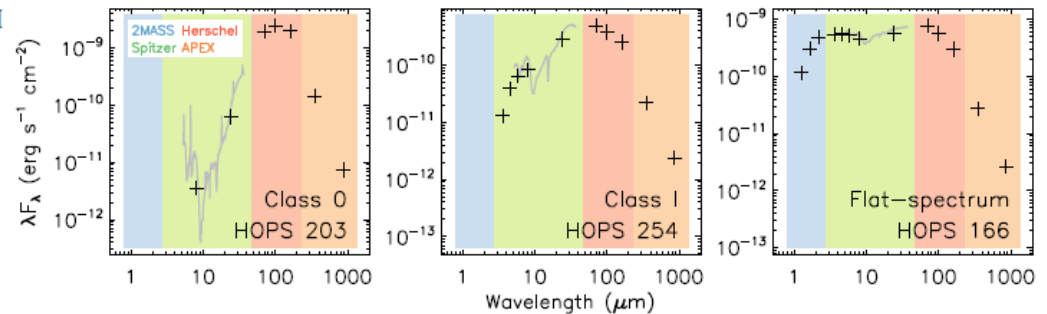


Figure 1: SEDs of Orion protostars from Furlan et al. (2016) that demonstrate the full range of protostellar evolutionary classes, from least evolved (left) to most evolved (right). We include photometry and spectroscopy from 2MASS (Skrutskie et al. 2006), *Spitzer* (Werner et al. 2004), *Herschel* (Pilbratt et al. 2010), and the Atacama Pathfinder Experiment (APEX; Güsten et al. 2006).

Objektumdiagnosztika IR-ben

A kétszín-
diagramokon
(vagy szín-szín
diagramokon) jól
elkülönülnek az
eltérő típusú
objektumok.

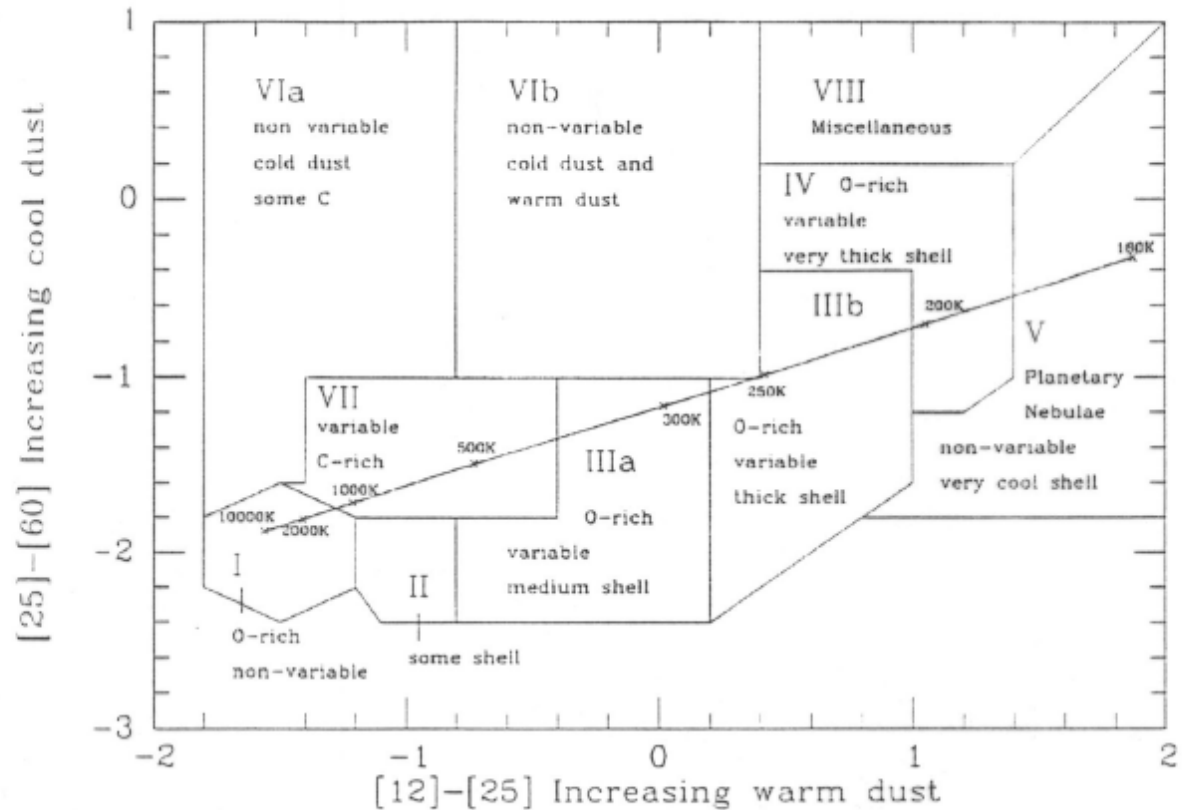
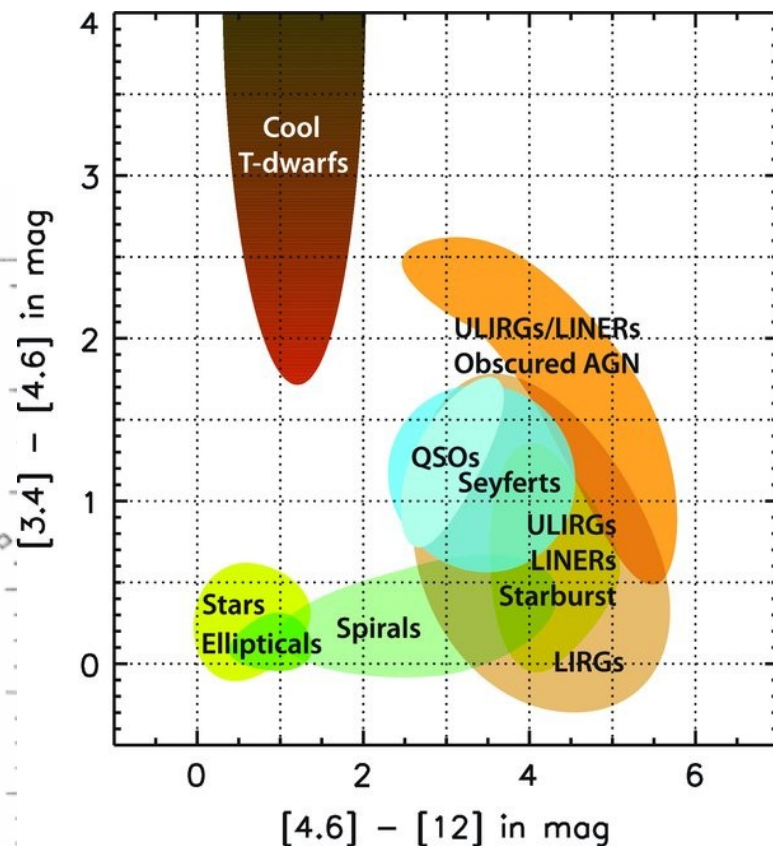
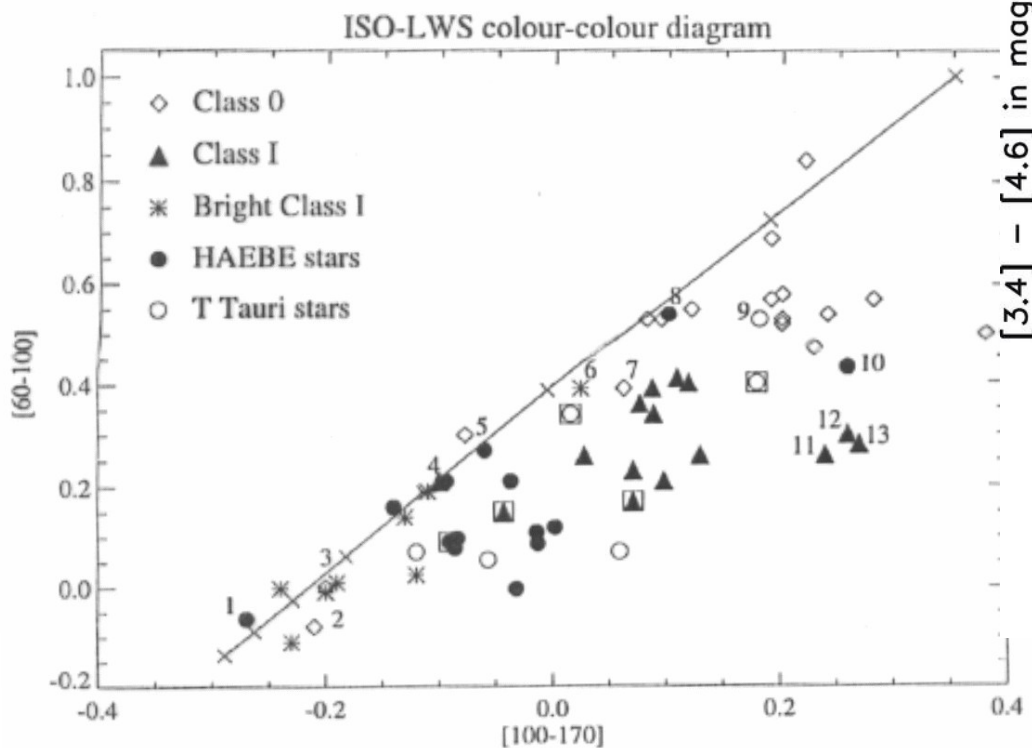


Fig. 3.8. Example of an IRAS two-color diagram from van der Veen and Habing (1988). This diagram separates mass-losing late-type stars such as Miras and OH/IR stars into various approximate categories according to the temperatures of their dust shells. The loci of blackbodies are also shown. The colors are computed from the IRAS fluxes as $2.5 \log_{10}(F_{25}/F_{12})$, etc.

Objektumdiagnosztika IR-ben

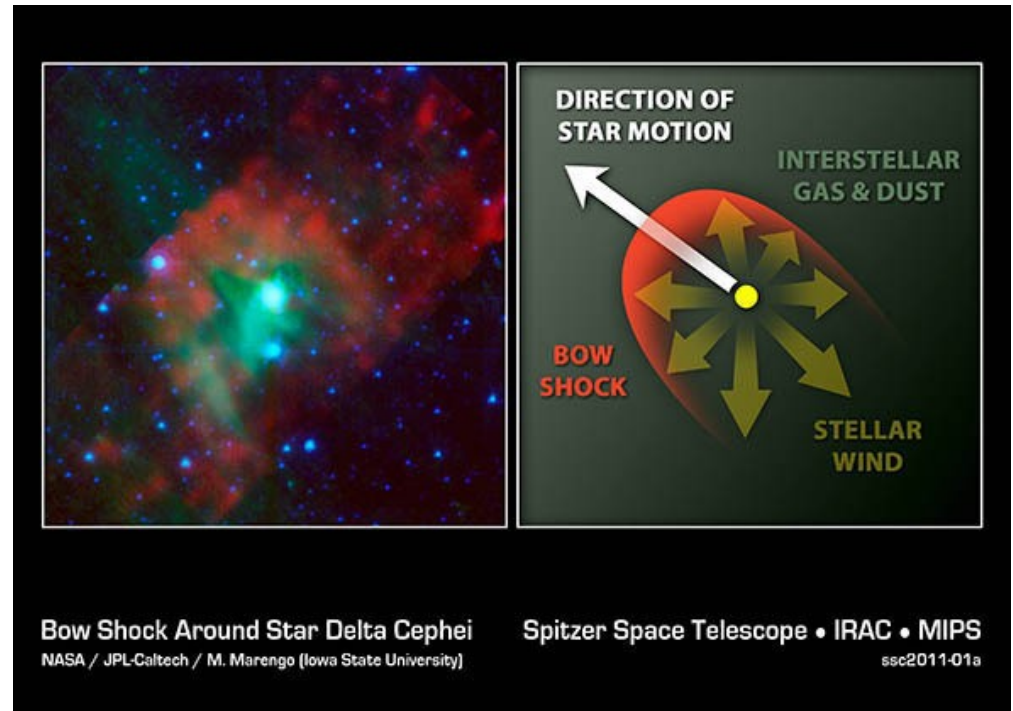
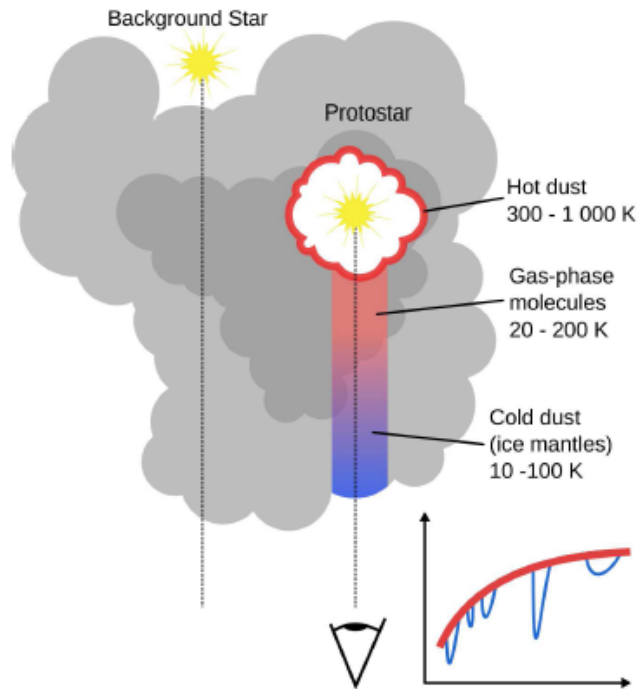
A kétszín-diagramokon (vagy szín-szín diagramokon) jól elkülönülnek az eltérő típusú objektumok.



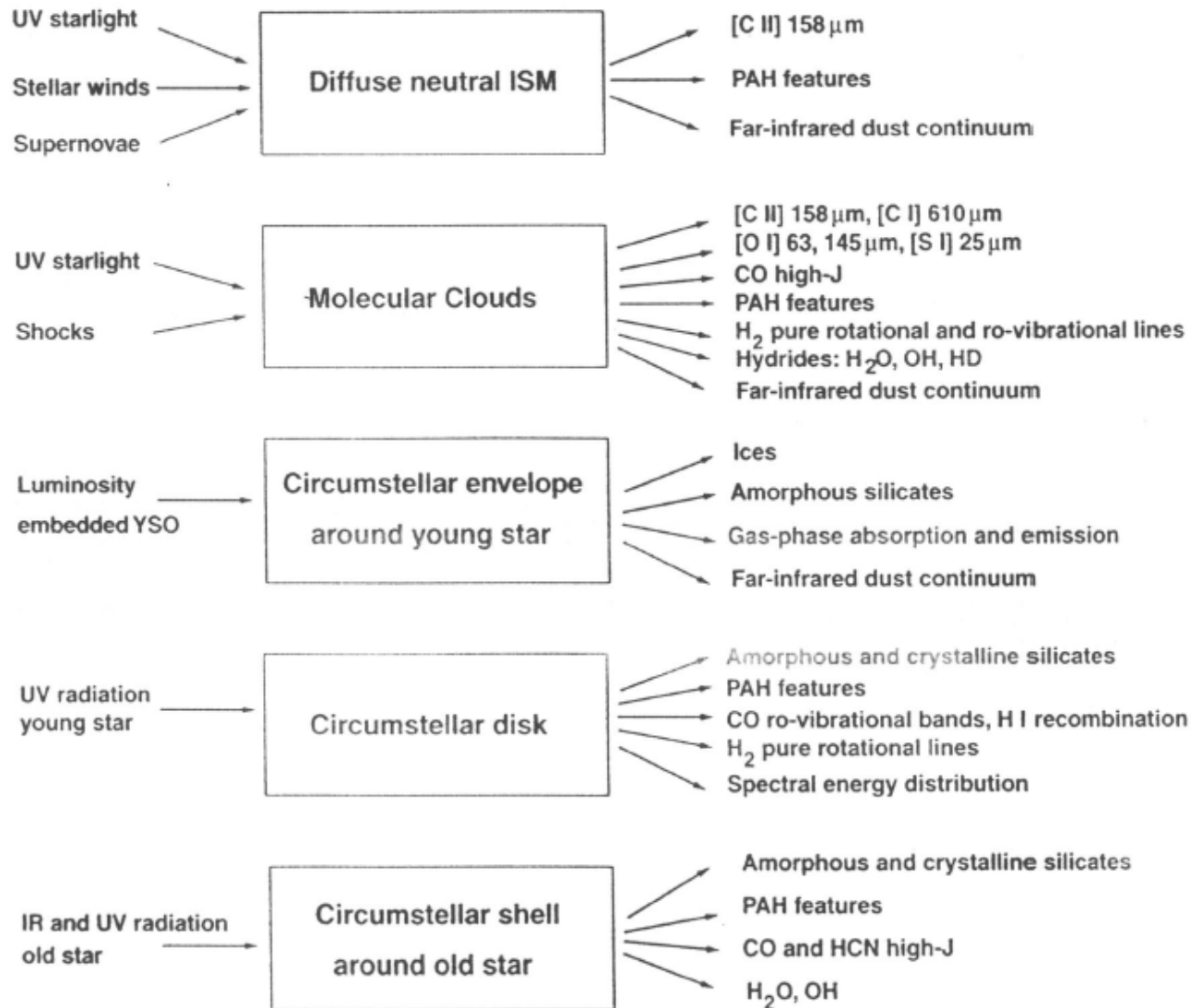
Csillagfejlődés és az IR tartomány

A főszorozat utáni tömegvesztés is IR-ben vizsgálható:

- cirkumsztelláris burok „közönséges” csillagok körül (pl. cefeidák)
- OH/IR-csillagok
- aszimptotikus óriásági csillagok
- planetáris köd, diffúz burok
- szupernóva – saját ledobott burka és a lökéshullám által összetorlasztott cirkum- és intersztelláris anyag is IR-ben fényes



Csillagfejlődés és az IR tartomány



A csillagfejlődés késői fázisai IR-ben

Nagy kezdeti tömegű csillagok tömegvesztése erős: 10^{-6} - $10^{-4} M_{\text{Nap}}/\text{év}$. 60 naptömeg fölött végig kék marad a csillag: LBV (AG Car, η Car) – legalább $1 M_{\text{Nap}}$ kidobott cirkumsztelláris anyag, gyakran bipoláris szerkezetű. Az **AG Car** körüli ködben kristályos piroxén, nagy (1 - $10 \mu\text{m}$) szemcsékkel. Az **η Car**-ból 1843-tól 20 év alatt 2 - $3 M_{\text{Nap}}$ anyag került ki. Az IR-eloszláshoz 3 komponens illeszthető: 110 K, 190 K és 400-1500 K. A por 1 - $10 \mu\text{m}$ -es olivinszemcsékből áll.

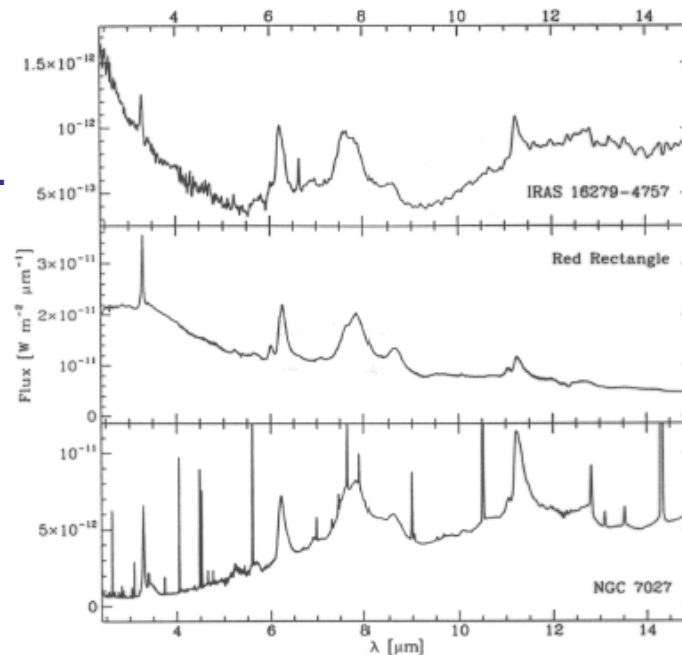
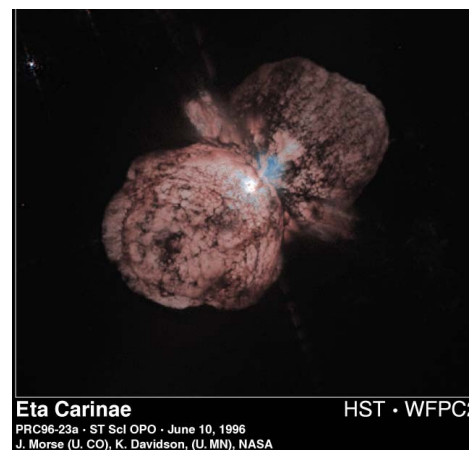
AGB-csillagok: O-ban vagy C-ben gazdag lehet. Körülöttük dioxid-molekulák (pl. SO_2 ; ISO).

OH/IR-csillagok a legvörösebbek. 500–2000 napos pulzáció, a sugárzás csúcsa 10 – $30 \mu\text{m}$ -nél.

Mézerhatás alapján távolságmeghatározás.

IR pumpálja a mézert (azonos periódusú változás).

AGB utáni fejlődés: cirkumsztelláris por (PAH)



15 μm emission spectra of the post-AGB objects IRAS 16279-4757 and the Red Rectangle nebula NGC 7027, illustrating the rich and variable circumstellar PAH spectrum. (Hony *et al.*)

A csillagközi por néhány összetevője

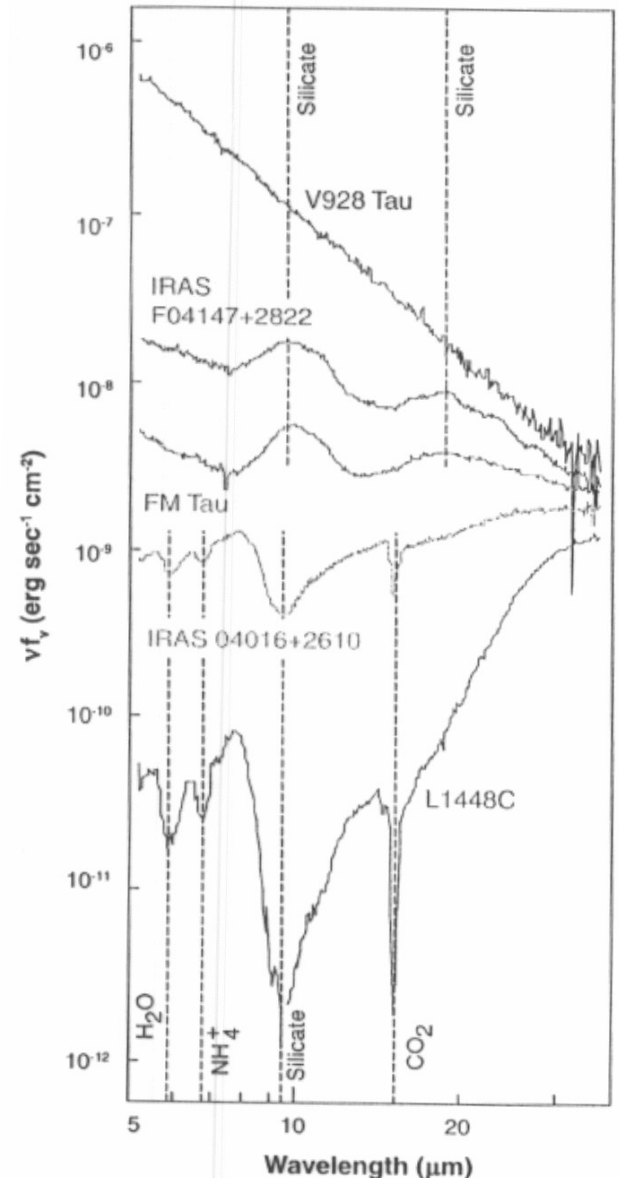
PAH: sokgyűrűs aromás szénhidrogének. Az 1970-es évek óta ismert IR-emissziós jegyek különféle forrásoknál: 3,3, 6,2, 7,7, 8,6, 11,3 és 12,7 μm -nél. Korábban UIB (unidentified infrared band) néven hivatkoztak rájuk (más, mint a DIB). A sávokat aromás anyagok vibrációs módusai keltik.

A megvilágító forrástól távol is azonos intenzitásarányokkal figyelhetők meg: nem hőmérsékleti effektus, UV fotonok gerjesztésére keletkeznek.

Diffúz csillagközi felhőben is találtak PAH-jegyeket. A szemcseméret kb. 1 nm, benne 30 és néhány száz C-atomból álló molekula (az interstelláris karbon 10-15%-a).

Szilikátok: 9,7 és 18 μm körüli sávok (szilikátcsúcs). Si-O nyírási és O-Si-O csavarási módusai, de maga a Si (Fe, Mg) külön nincs a csillagközi anyagban.

Lehet amorf vagy kristályos szilikát. A fiatal HAeBe-csillagok 70%-a körül találtak szilikátemissziót.



IRAS

Az Infrared Astronomical Satellite

(IRAS) indítása: 1983. jan. 25.

(USA+NL+UK)

57 cm-es RC-távcső, berilliumtükör, 2 K-re hűtve szuperfolyékony héliummal.

Cél: teljes égfelmérés 4 sávban (62 detektorral):

12 μm (0,4 Jy),

25 μm (0,4 Jy),

60 μm (0,5 Jy),

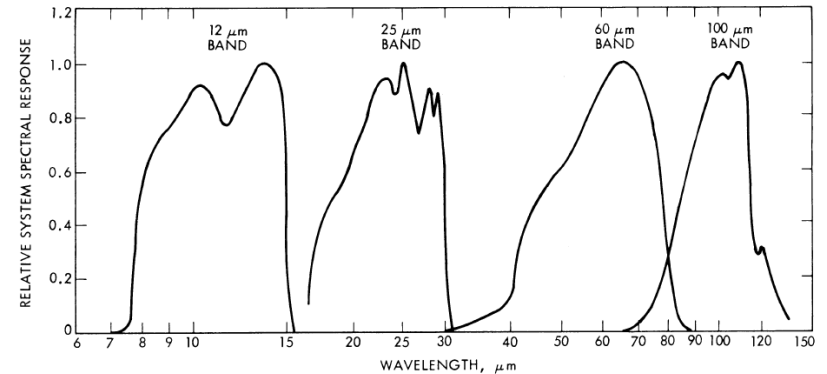
100 μm (2,5 Jy)

8–15 μm (Si:As), 16–30 μm (Si:As),

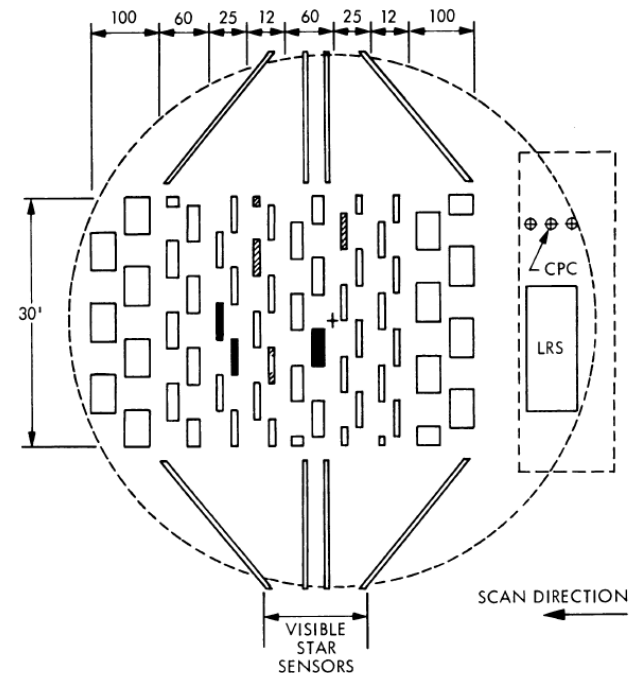
40–80 μm (Ge:Ga), 80–120 μm (Ge:Ga).

Kis felbontású, rés nélküli spektrométer is (LSR, $15 < \Delta\lambda/\lambda < 60$), szkennelés közben változó hullámhosszú sugárzás érkezik a detektorba (később a Hipparcos, a HST ACS és a Gaia esetében is ilyen megoldás).

INFRARED ASTRONOMICAL SATELLITE MISSION



-The spectral response of the detector, field lens, and filter combination of the survey array. Quoted flux densities have been



IRAS

10 hónap alatt kétszer felmérte az égbolt 97%-át, és egy harmadikat elkezdett.

PSC: 246 ezer forrás, ebből 75 ezer csillagontó galaxis

FSC: 173 ezer forrás a galaktikus egyenlítőhöz közel ($b \approx 10-20^\circ$)

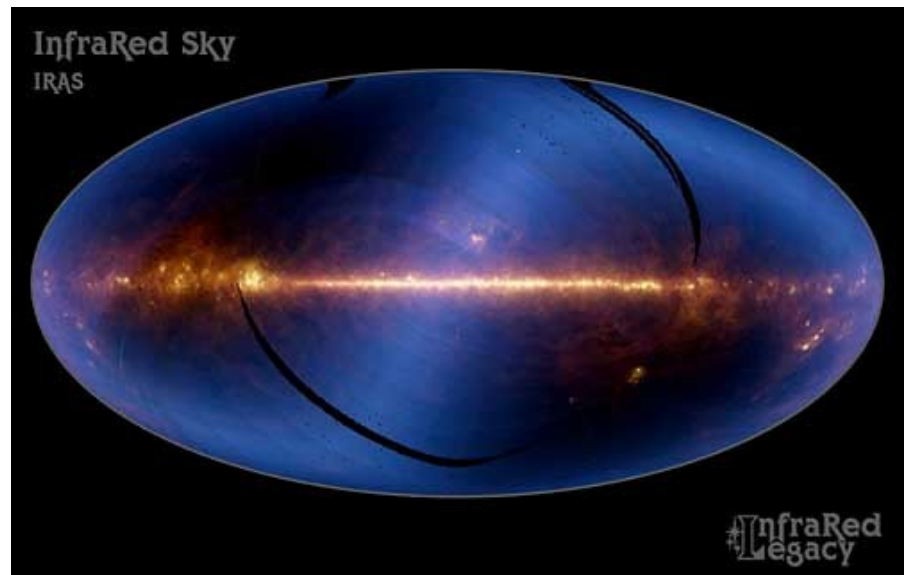
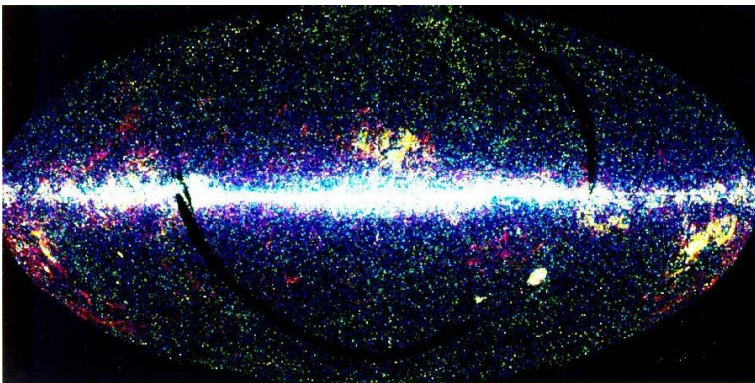
SSSC: 16700 forrás (small scale structure), $< 8'$ kiterjedés

SSC: 3%-nyi égterületről 44000 forrás (Serendipitous Survey), ötször érzékenyebb, mint az égboltfelmérés

Zodiacal History File

IPAC (Groningen, Pasadena): 32 CD-ROM-on az adatok, szoftver, kalibrálás, képek, ISSA (Infrared Sky Survey Atlas), FITS formátumú képek.

A maga idejében ez volt a legnagyobb csillagászati adatbázis.



Az IRAS fontosabb eredményei

- A galaktikus cirrusz felfedezése;
- Csillagkörüli porkorongok kimutatása (Vega-jelenség);
- A Tejútrendszer magjának első vizsgálata infravörös hullámhosszakon;
- 6 új üstökös (az IRAS–Araki–Alcock egészen közel került a Földhöz).

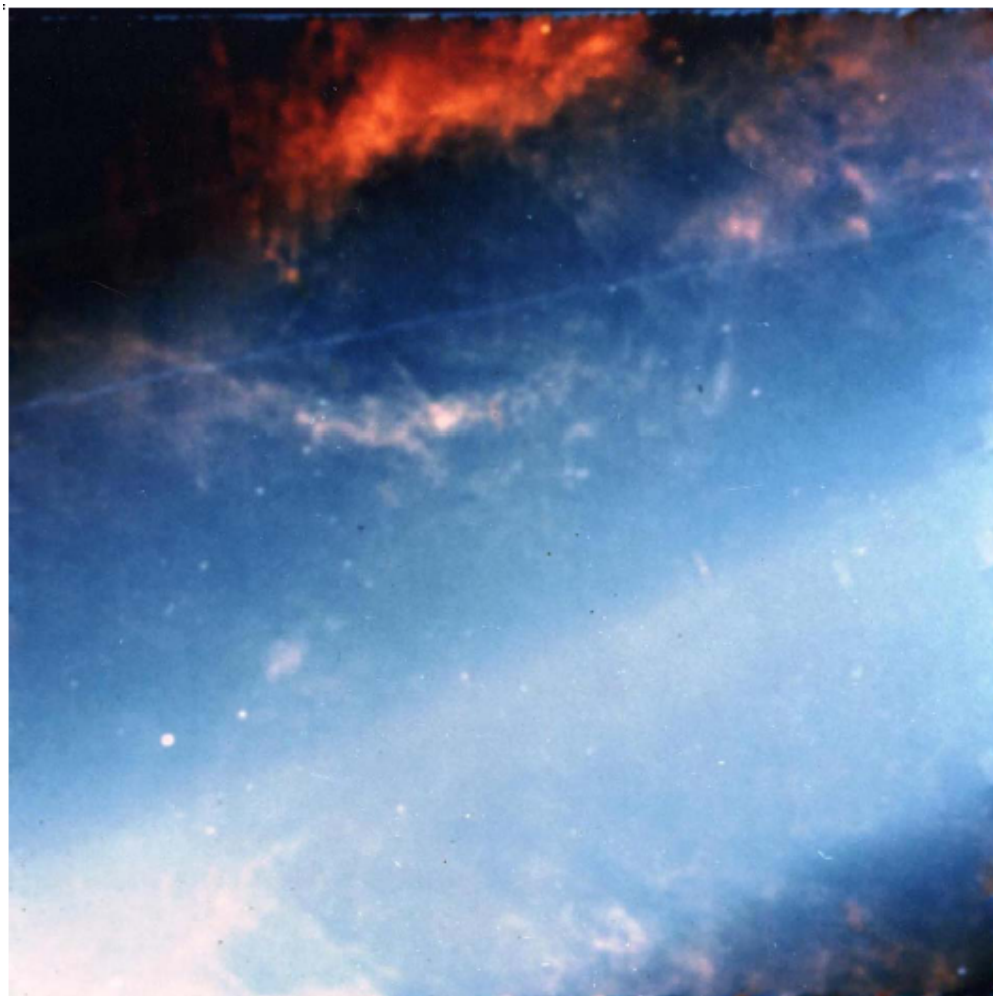


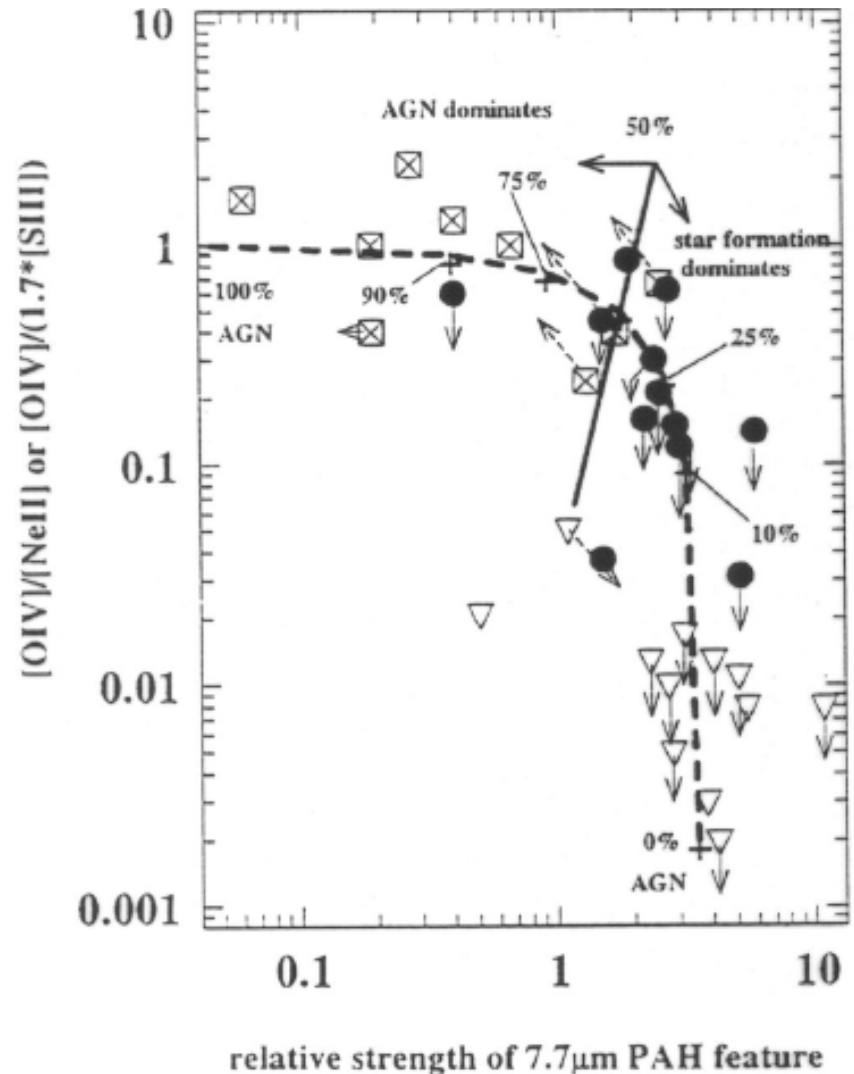
Fig. 30 Celestial structure mapped by IRAS. This false color map plots the $12\ \mu\text{m}$ fluxes as *blue* and $100\ \mu\text{m}$ as *red*. The comet Temple 2 dust trail streaks across the top half of the image while the diagonal broad *light blue bar* is the very bright mid-infrared emission from the zodiacal dust along the ecliptic plane; the

Az IRAS fontosabb eredményei

- Infravörösben ultranagy luminozitású galaxisok (ULIRG) felfedezése:
LIRG: $L > 10^{11} L_{\text{Nap}}$,
ULIRG: $L \geq 10^{12} L_{\text{Nap}}$,
a kvazárok luminozitásával összemérhető; aktív galaxismag + árapály-kölcsönhatás (elliptikus galaxis bekebelez egy spirálist); 70-80%-ukat a fiatal csillagok működtetik, 20-30%-ukat a magaktivitás (IR-diagnosztikus diagram).

A különféle típusú galaxisok elkülönítése IR-ben:

- nyugodt galaxisok (IR cirrusz)
- csillagontó galaxisok (pl. M82)
- extrém csillagontó galaxisok (pl. A220)
- porgyűrű aktív galaxisok körül



IRTS

Infrared Telescope in Space (Japán): kis távcső egy többcélú holdon (Space Flyer Unit, SFU)

1995. márc. 18-án indítás, 100 l cseppfolyós He hűtötte 1,9 K-re a 15 cm-es távcsövet + 4 detektort:

NIRS (spektrom.) 1,4–4,0 μm : 14000 pontforrás

MIRS (spektrom.) 4,5–11,7 μm : 600 pontforrás

FILM (far IR line mapper) 145, 155, 158, 160 μm : [CII]

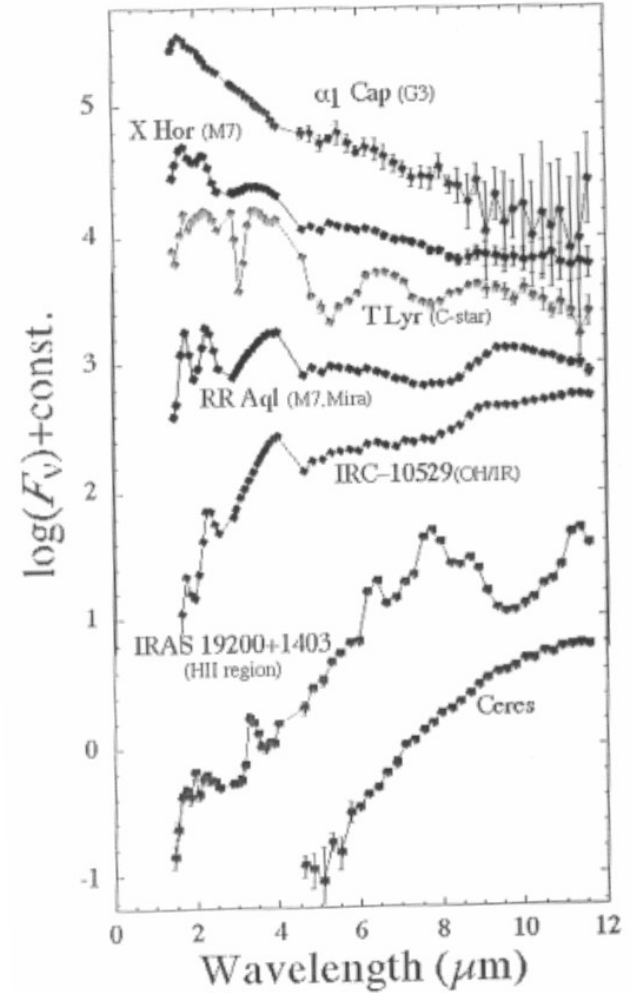
FIRP (far IR photom.) 150, 250, 400, 700 μm .

26 nap alatt az égbolt 7%-át szkennelte végig 2 sávban:

- a Tejútrendszer fősíkja mentén;
- egy magas galaktikus szélességű sávban.

1996 januárjában úrsiklóval visszahozták az SFU-t a Földre. Az IRTS most a tokiói Science Museumban van kiállítva.

IRTS/NIRS-MIRS Spectra of Point-like Objects



ws several examples of NIRS+MIRS spectra of stars v

Infrared Space Observatory (ISO)

ESA-szonda, 1995. nov. 17-től 29 hónapon át működött (1,7 K szuperfolyékony He-mal), utána meleg üzemmódban mért.

60 cm-es RC-távcső (az IRAS tükre is ekkora volt), de ezerszer nagyobb érzékenységgű és százszor jobb felbontású teleszkóp.

Elliptikus geoszinkron pálya 1000 és 70500 km között. Napi 17 órát töltött a sugárzási övezeten kívül, olyankor mért.

Földi központ: Villafranca (Madrid mellett, az IUE helyett) és Goldstone

ISOCAM: 32×32 pixeles képalkotás

ISOPHOT: fotopolariméter + kis felbontású spektrométer

SWS és LWS rácsspektrométerek.

Előre összeállított észlelési program, csak ESA-tagországból lehetett pályázni.

Instrument	Wavelength range (μm)	Resolving power ($\lambda/\Delta\lambda$)	Aperture (arcsec)
SWS	2.4–45.2	1500 ^a	14 × 20 – 20 × 33
	11.4–44.5	30000	10 × 39 – 17 × 40
LWS	43–197	200	~ 80 ^b
		10000	~ 80 ^b
CAM-CVF	2.3–16.5	35–50	12 × 12
PHOT-S	2.5–5, 5.8–11.6	90	24 × 24

Table 2. Selected mid- and far-infrared spectral features observed by ISO

Category	λ (μm)	Species/ Line	Diagnostic ^a	PDR	Shock	Embedded YSO	Disk
Atoms	25.2	[S I]	shock- vs.	-	+	-	-
	34.8	[Si II]	photon heating	+	+	-	-
	63.2	[O I]		+	+	+	-
	145.5	[O I]		+	+	+	-
	157.7	[C II]		+	+	+	?
H ₂	6.9	7→5	mass and temperature	+	+	-	-
	8.0	6→4	of warm gas,	+	+	-	-
	9.7	5→3	shock- vs.	+	+	+	-
	12.2	4→2	photon heating	+	+	+	-
	17.0	3→1		+	+	+	?
	28.2	2→0		+	+	+	?
HD	19.4	6→5	[D]/[H]	-	+	-	-
	112.0	1→0		+	-	-	-
Gas-phase Molecules	6.0	H ₂ O	temperature + density,	-	+	+	-
	7.7	CH ₄	ice evaporation,	-	-	+	-
	13.7	C ₂ H ₂	organic chemistry,	-	-	+	-
	14.0	HCN	depletion	-	-	+	-
	15.0	CO ₂		-	+	+	-
	104.4	CO 25→24		-	+	+	-
	108.1	<i>o</i> -H ₂ O 2 ₂₁ - 1 ₁₀		-	+	+	-
	119.3	OH ² Π _{3/2} ^{5/2} → ^{3/2}		-	+	+	-
	130.4	CO 20→19		-	+	+	-
	138.5	<i>p</i> -H ₂ O 3 ₁₃ - 2 ₀₂		-	+	+	-
	162.8	CO 16→15		-	+	+	-
	174.6	<i>o</i> -H ₂ O 3 ₀₃ - 2 ₁₂		-	+	+	-
	179.5	<i>o</i> -H ₂ O 2 ₁₂ - 1 ₀₁		-	+	+	-
	186.0	CO 14→13		-	+	+	-
PAHs	3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3, 12.7, 14.2, 16.2	C-H and C-C modes	carbonaceous material, UV radiation	+	-	-	+
				+	-	-	+
				+	-	-	+
Silicates (Amorphous)	9.7		bulk of dust	-	-	+	+
	18.0			-	-	+	+
Silicates (Crystalline) ^b	11.3, 16.4, 23.9, 27.7, 33.8, 69	Forsterite	mineralogy, grain growth and	-	-	-	+
	18.5, 21.5, 24.5	Enstatite	processing/heating,	-	-	-	+
	8.6	Silica	solar system	-	-	-	+
	65	Diopside	connection	-	-	?	?
				-	-	-	?
Oxides	11.6	Al ₂ O ₃	solar system	-	-	-	+
	23	FeO	connection	-	-	-	+

Fontosabb felfedezések az ISO-val

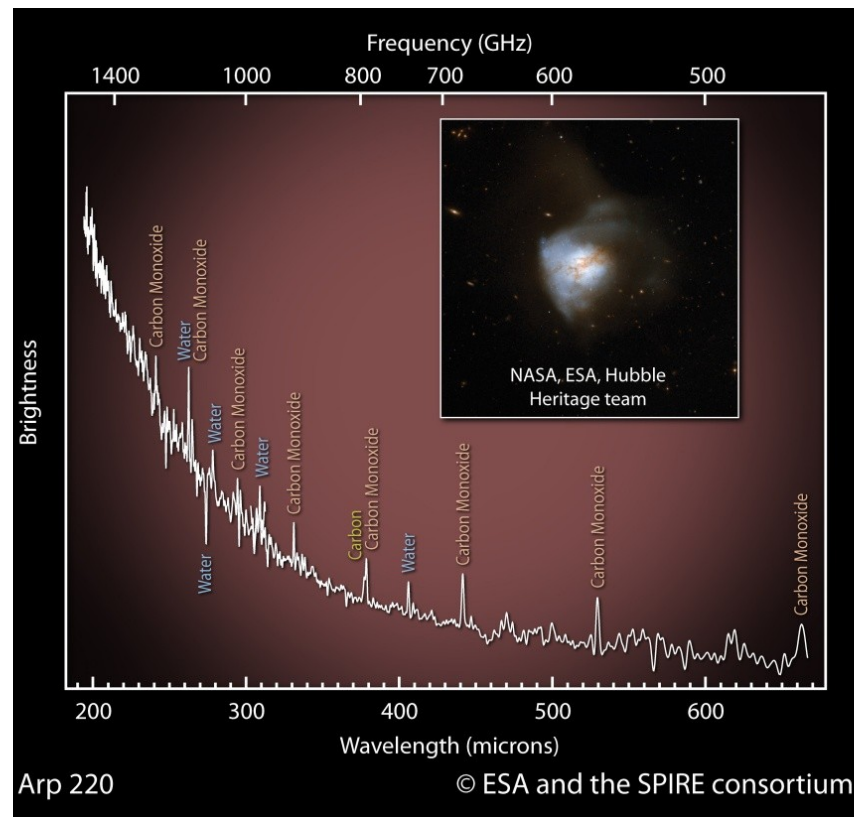
Mindenütt van **víz** a kozmoszban: öreg és fiatal csillagok, a Tejútrendszer centruma, bolygóléghkörök, csillagkeletkezési régiók stb. – több millió naptömeg. Az óriásbolygókra 10 kg/s víz kerül (a beléjük csapódó üstökösökből – a Cassini + Huygens ezután kezdte a vizsgálatait). Az Orion-ködbe naponta 60 földi óceánnyi víz kerül – honnan? Újra kell gondolni a molekulafelhőbeli csillagkeletkezést.

Hidrogénfluorid (HF) felfedezése, a fluor első kimutatása a csillagközi anyagban.
Intergalaktikus por felfedezése (Coma-halmaz); a halmaz centruma felé koncentrálódik; az Univerzum így kevésbé átlátszó (ROSAT: 80 millió fokos plazma ugyanitt); halmazok vagy galaxisok kölcsönhatásából.

Planetary System	<ul style="list-style-type: none">- Water in planetary atmospheres- Minerals and molecules in comets- Spectra of zodiacal dust disk
Interstellar Matter	<ul style="list-style-type: none">- Cirrus fluctuations- PAH everywhere- Energy balance of globules, PDR, ...
Star Formation Regions	<ul style="list-style-type: none">- Preprotostellar cores- Water, CO₂ ice, ... in molecular clouds
Young and evolved stars	<ul style="list-style-type: none">- Formation of planetary systems- Frequency of Vega phenomenon- Crystalline silicates surrounding red giants
Galaxies in Local Universe	<ul style="list-style-type: none">- More cold dust- No brown dwarf halos- H₂ outweighs HI- Megamasers
Quasars	<ul style="list-style-type: none">- Contain hot and cold dust- Support to unified model- Variable FIR polarization
ULIRGs	<ul style="list-style-type: none">- Diagnostics AGN vs SF
Intergalactic Dust	<ul style="list-style-type: none">- Detected in galaxy clusters
Distant Universe	<ul style="list-style-type: none">- Dust enshrouded starbursts- Deep surveys favour strong galaxy evolution

További fontos eredmények az ISO-val

- A Hale–Bopp-üstökös alapos vizsgálata (jókor volt jó helyen);
- ULIRG (pl. Arp 220) luminozitása a csillagontásból ered, nem a központi fekete lyuktól (az ULIRG többségére érvényes ugyanez);
- 158 μm -es [CII]-vonal (LWS-észlelés), emisszió még a leghidegebb helyekről is – a cirrusz hűti a kozmoszt;
- Por: kristályos szilikátok (olivin, piroxén) különféle égitesteknél, pl. szénben gazdag planetáris ködöknél;
- Csillagkeletkezés: L1689 (Oph):
 - $2 M_{\text{Nap}}$ protosztelláris mag FIR-ben, olyan hideg, hogy még az IRAS sem látta. ISO alapján kb. 13 K hőmérsékletű;
- Protocsillagok kezdeti tömegfüggvényének meghatározása;
- Számos sötét köd feltérképezése;
- Kozmológiai felmérések 15 és 170 μm -en: rengeteg nagy luminozitású galaxis felfedezése $0,7 < z < 1,5$ között.



(Az Arp 220 színeképe, de már a Herschel mérései alapján)

MSX (Midcourse Space Experiment)

USA, Ballistic Missile Defence
Organization: katonai célú

1996. áprilistól UV+IR mérések 35
cm-es távcsővel; napszinkron
pályán 900 km magasságban.

IR-ben a feladata: az IRAS által le
nem fedett területek, a Nagy-
Magellán-felhő és a
Tejútrendszer fősíkjának
feltérképezése 18
ívmásodperces felbontással.

10 hónapig mért IR-ben: 4,29, 4,35,
8,28, 12,13, 14,65 és 21,3 μm -
en

Felfedezte a közép-IR-ben sötét
felhőket.

Mérési adatait az IRSA (Pasadena)
tárolja.



ISO

MSX

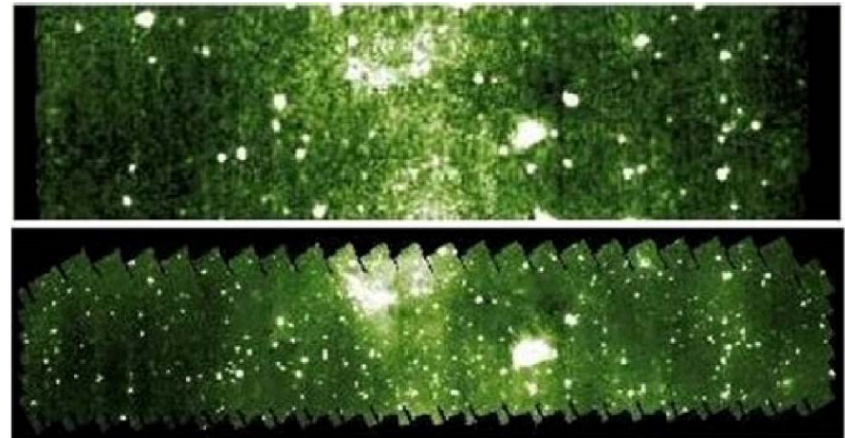


Fig. 34 MSX and ISOGAL $(\Delta b, \Delta l) \sim 0.2^\circ \times 1^\circ$ infrared images centered at $(l, b) \sim (315^\circ, 0.0^\circ)$. The MSX 8.3 μm full resolution image is shown at *top*, the ISO Camera 6.7 μm image with 6'' pixels is *below*

Spitzer Space Telescope

Lyman Spitzerről (1914–1997)
elnevezve

Spitzer (korábban SIRTf; Space
Infrared Telescope Facility):

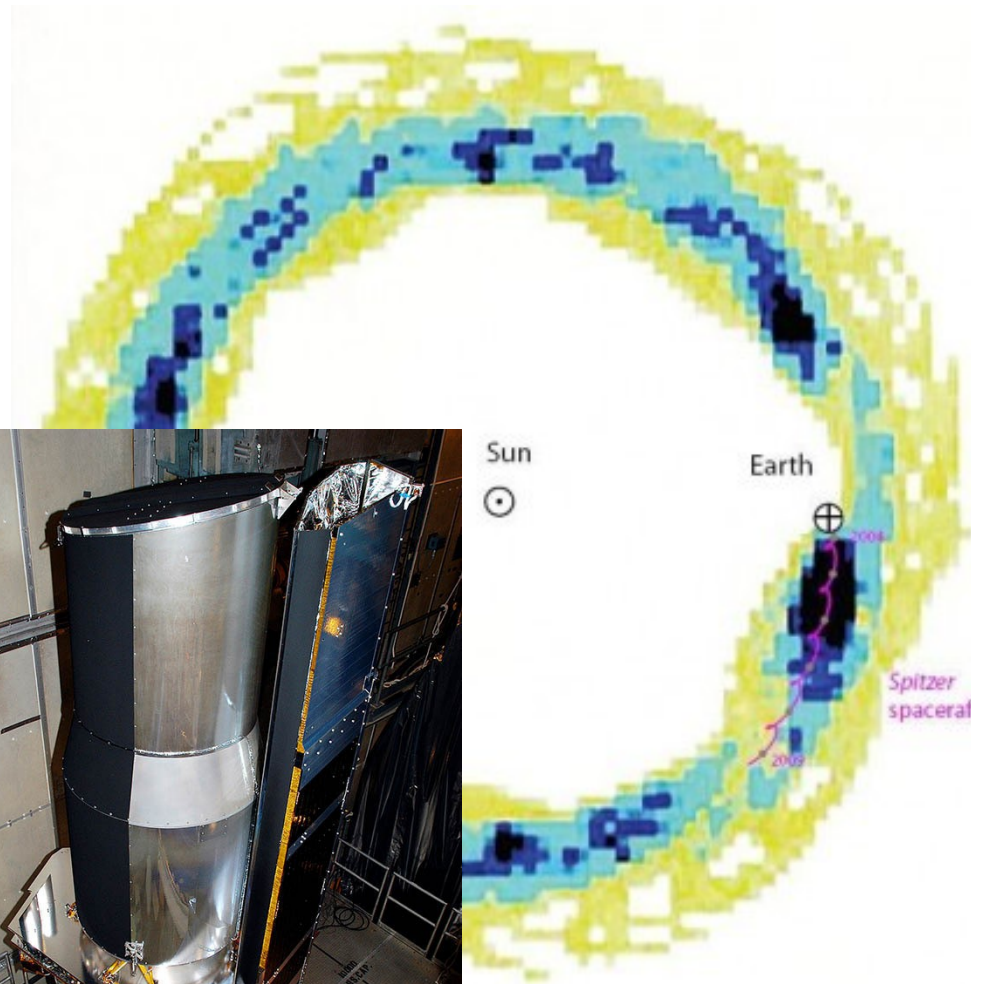
20 évi előkészület után a NASA
negyedi (utolsó) nagy
obszervatóriuma, de űrsikló
helyett Delta-2-vel indítva.

85 cm-es berilliumtükör 5,5 K-re
hűtve.

Indítás: 2003. aug. 25.

Pályája különleges: Föld-követő
(előnyök/hátrányok).

2,5 évre tervezték, de 2009. máj.
25-ig kitartott a hűtőanyag.
2009-től melegüzem (IRAC,
közeli IR). 2014 őszéig
támogatta a NASA. 2016-tól
további hosszabbítás a
melegüzemre (a projekt neve:
Beyond). Kikapcsolás: 2020.
január



A Spitzer Space Telescope műszerei

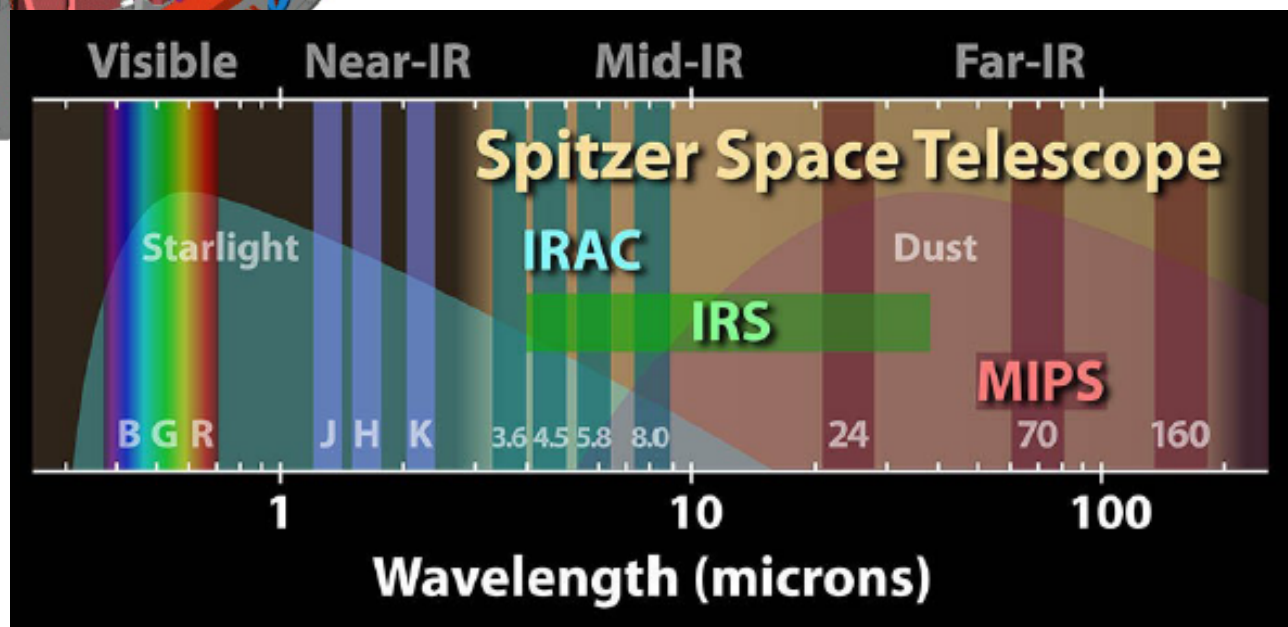
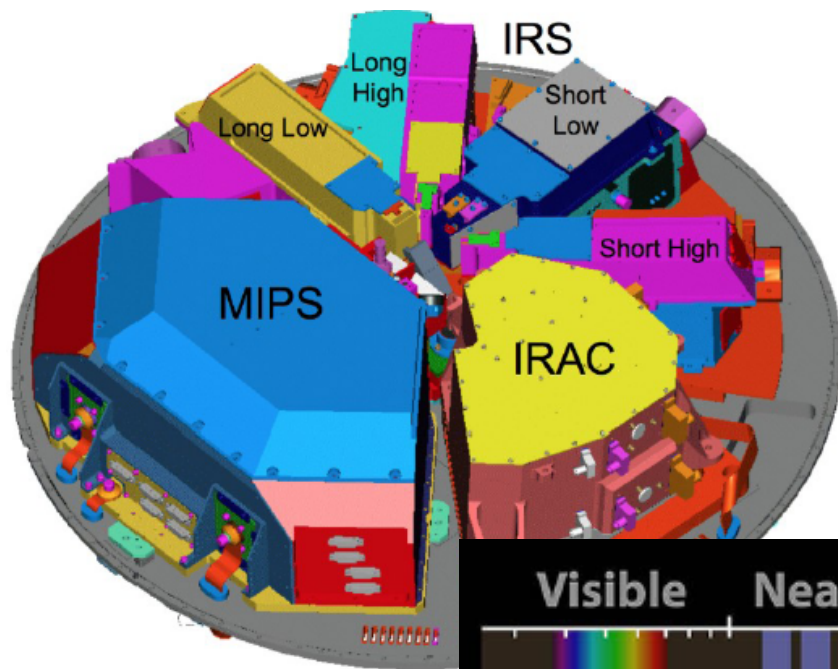
IRAC (Infrared Array Camera): fotometria+képalkotás, 3,6, 4,5 (2009 után is), 5,8 és 8,0 μm 256×256 px InSb;

IRS (Infrared Spectrograph) 4 modul: 5,3–14 μm (LR), 10–19 μm (HR), 14–40 μm (LR), 19–37 μm (HR);

MIPS (Multiband Imaging Photometer for Spitzer): távoli IR-ben 3 detektor: 24 μm -en 128×128 px, 70 μm -en 32×32 px, 160 μm -en 2×20 px, Ga:Ge.

λ (μm)	Array type	$\lambda/\Delta\lambda$	F.O.V.	Pixel size (arcsec)	Sensitivity ^a (5σ in 500 sec)
IRAC: Infrared Array Camera—P.I. Giovanni Fazio, Smithsonian Astrophysical Observatory					
3.6	InSb	4.7	5.2' × 5.2'	1.22	1.3 μJy
4.5	InSb	4.4	5.2' × 5.2'	1.21	2.7 μJy
5.8	Si:As (IBC)	4.0	5.2' × 5.2'	1.22	18 μJy
8.0	Si:As (IBC)	2.7	5.2' × 5.2'	1.22	22 μJy
MIPS: Multiband Imaging Photometer for <i>Spitzer</i> —P.I.-George Rieke, University of Arizona					
24	Si:As (IBC)	4	5.4' × 5.4'	2.5	110 μJy
70 wide	Ge:Ga	3.5	5.25' × 2.6'	9.8	7.2 mJy
70 fine	Ge:Ga	3.5	2.6' × 1.3'	5.0	14.4 mJy
55–95	Ge:Ga	14–24	0.32' × 3.8'	9.8	200 mJy
160	Ge:Ga (stressed)	4	0.53' × 5.3'	16	24 mJy
IRS: Infrared Spectrograph—P.I. Jim Houck, Cornell University					
5.2–14.5	Si:As (IBC)	60–127	3.6'' × 57''	1.8	400 μJy
13–18.5 (peakup imaging)	Si:As (IBC)	3	1' × 1.2'	1.8	75 μJy
9.9–19.6	Si:As (IBC)	600	4.7'' × 11.3''	2.4	1.5×10^{-18} W m^{-2}
14–38	Si:Sb (IBC)	57–126	10.6'' × 168''	5.1	1.7 mJy
18.7–37.2	Si:Sb (IBC)	600	11.1'' × 22.3''	4.5	3×10^{-18} W m^{-2}

A Spitzer Space Telescope műszerei

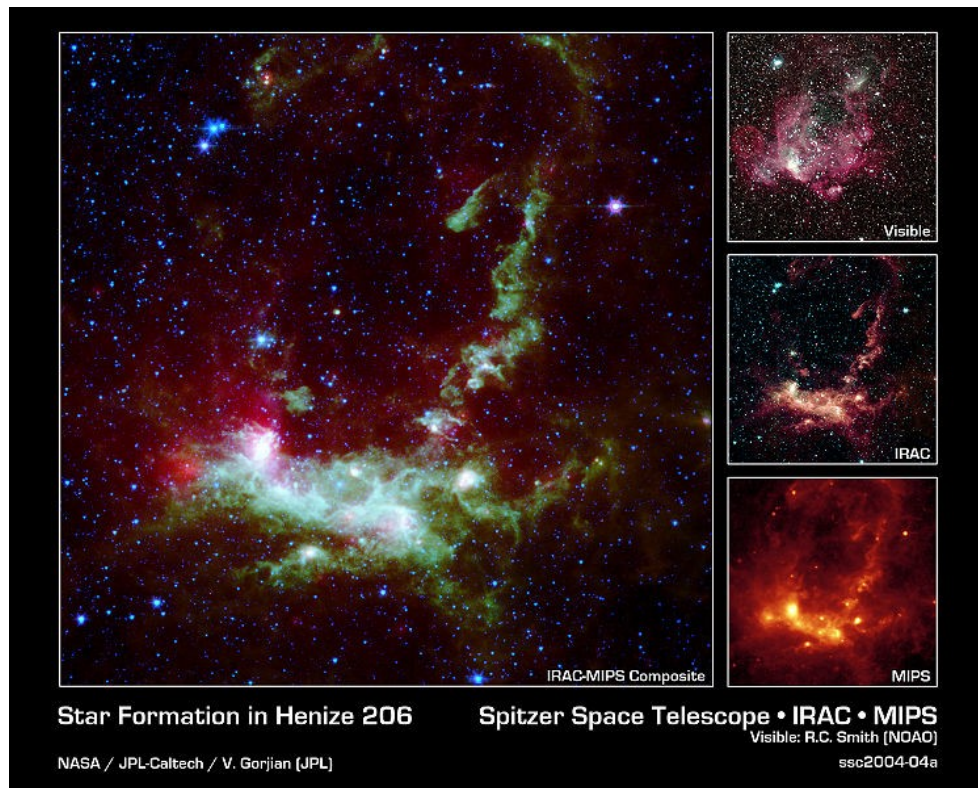


A Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Előzetes egyezmények más űrteleszkópok és földi távcsövek üzemeltetőivel az érdekes objektumok/eredmények kiegészítő észlelésére (Chandra, HST, rádióteleszkópok stb.)

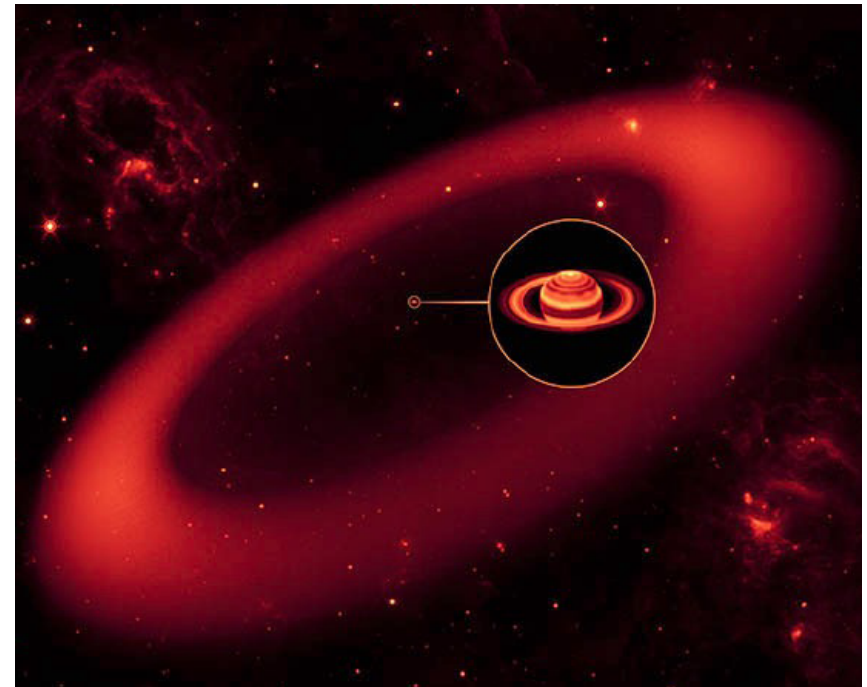
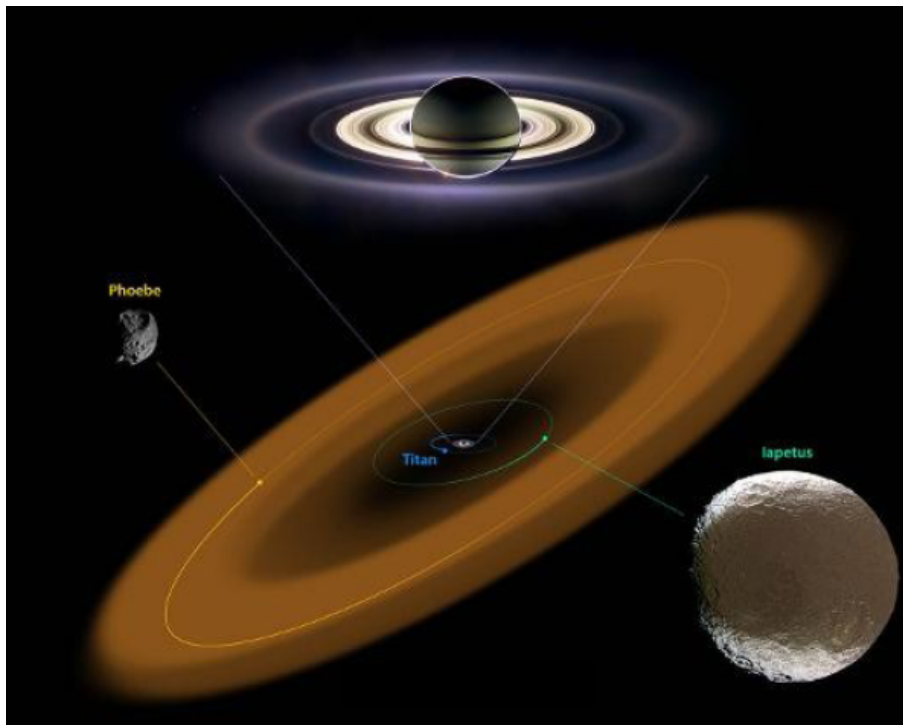
IRAC- és MIPS-felvétel a Hen 206 csillagkeletkezési tartományról

Az Orion a melegüzemű mérés kezdetén



A Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Óriási porgyűrű felfedezése a Szaturnusz körül (2009), ami a benne keringő Phoebe holdtól eredhet, és a léte a Iapetus sötét félgömbjére is magyarázatot ad. A kisbolygók kőrákás szerkezetére újabb bizonyítékokat kaptak a Spitzer méréseiből.

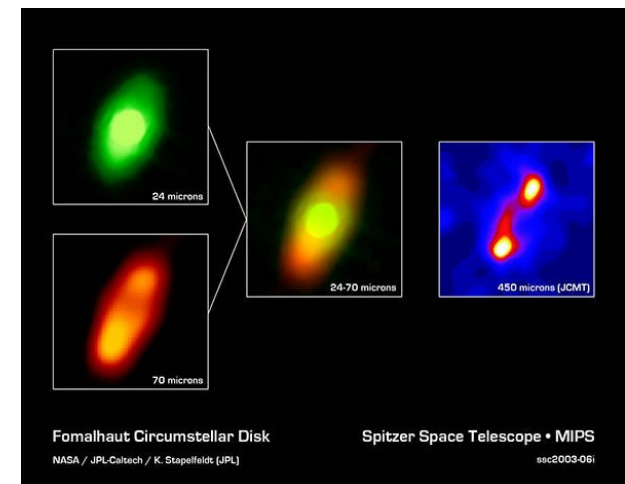
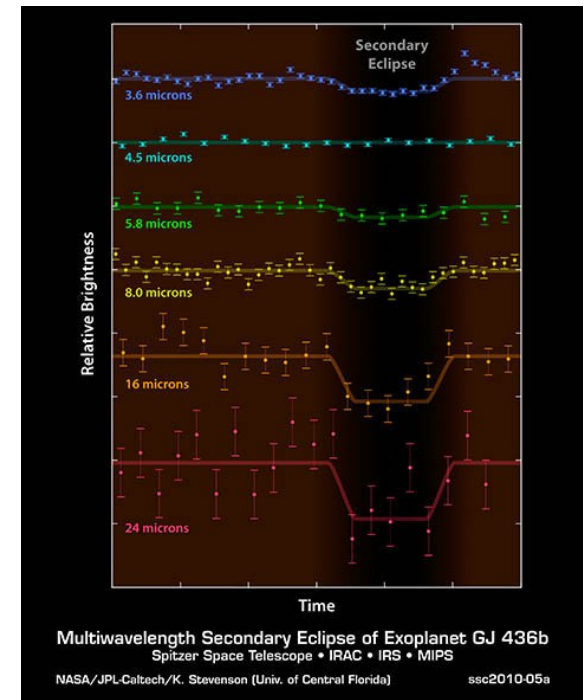
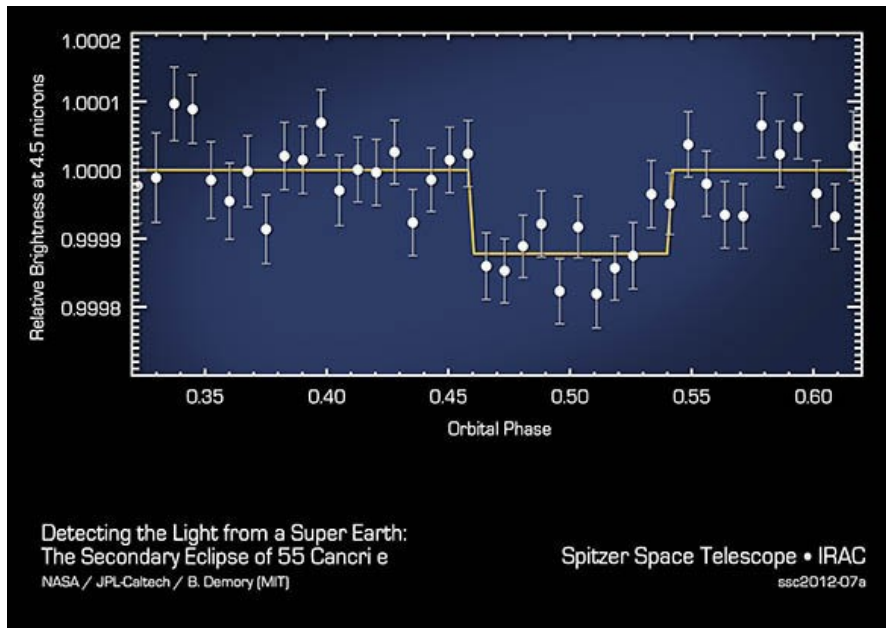


Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Exobolygók

2005-ben a HD 209458b közvetlen detektálása: a csillag állandó fényét levonva (a bolygó fedésekor = mellékminimum) a „maradék” fény a bolygótól származik.

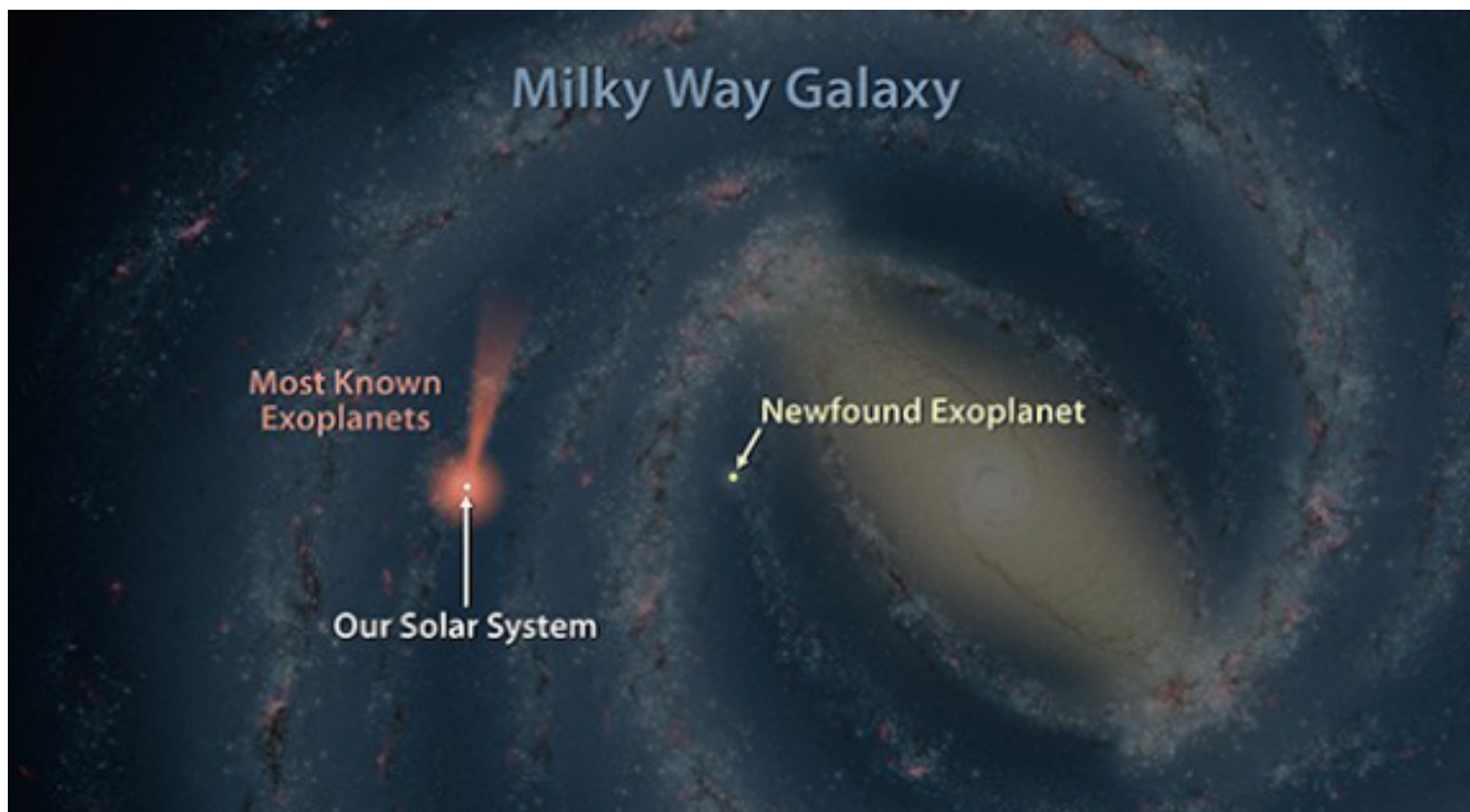
2007-ben a HD 189733b légkörének vizsgálata (hőmérséklet).



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

IR-ben a csillagok fénye kevésbé nyomja el a körülötte keringő bolygókét, így az esetleges átvonulás és fedés nagyobb fényváltozást okoz, mint az optikai tartományban.

Még 13000 fényévre levő bolygót is sikerült kimutatni.



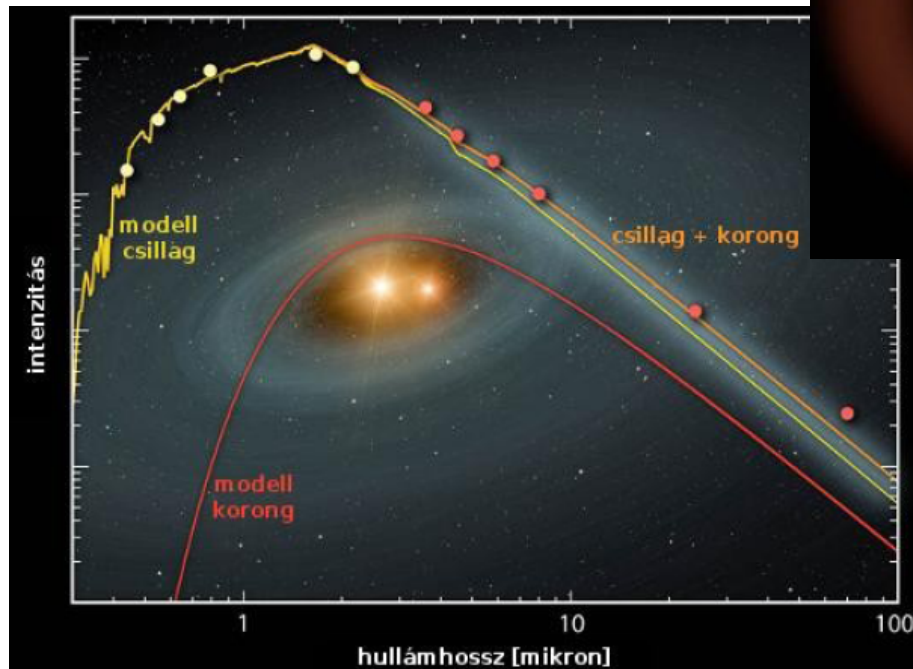
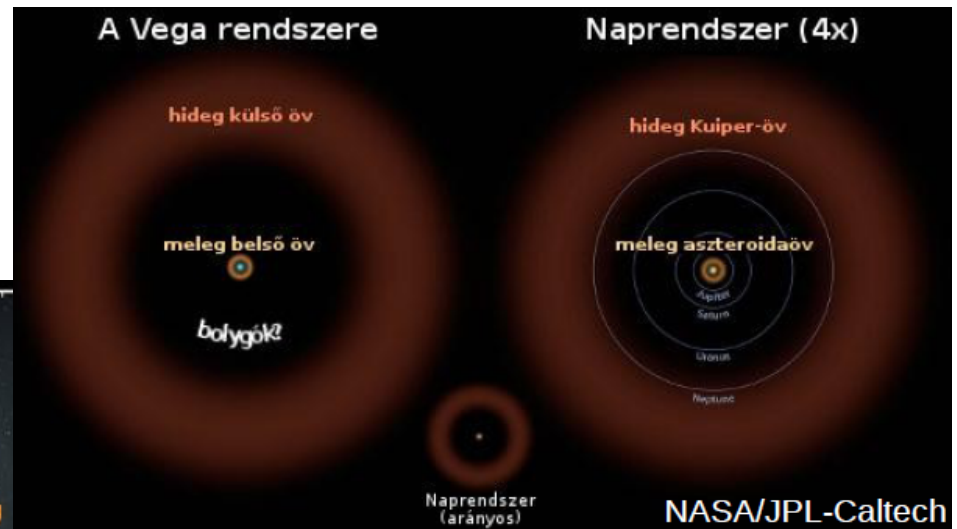
Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Porkorongok csillagok körül.

A Vega körüli korong az IRAS óta ismert. A Spitzer részletesen vizsgálta (jobbra, a Naprendszerrel összehasonlítva).

A korong léte szüksége a csillag- és bolygókeletkezéshez.

Koronggal körülvett csillag mért és számított IR színekepe (lent).



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

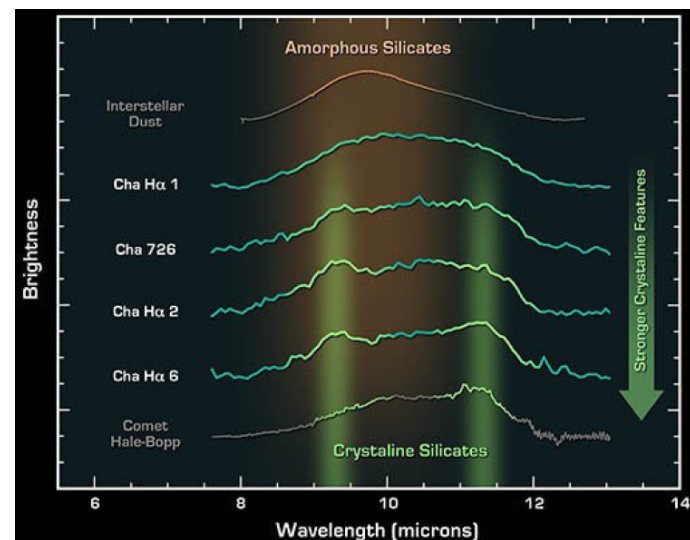
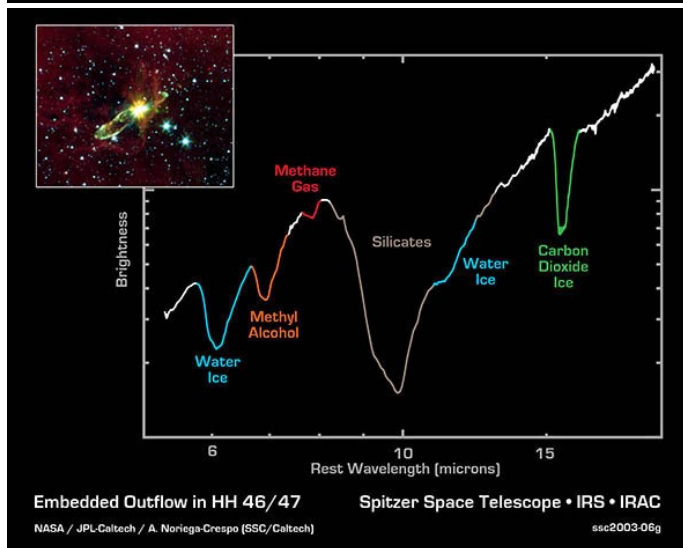
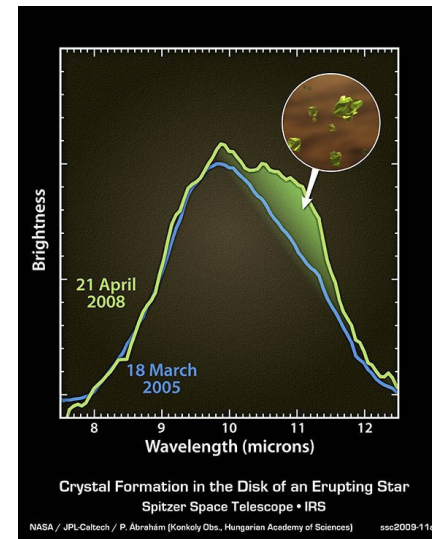
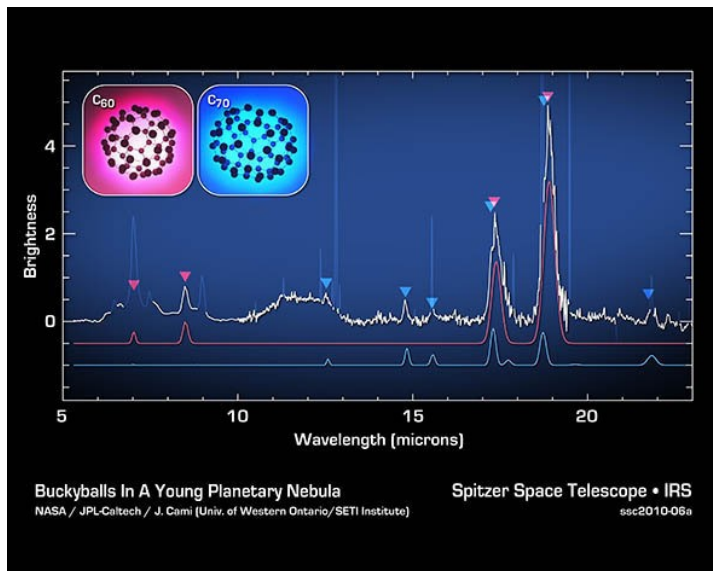
az interstelláris és cirkumsztelláris anyag kémiai analízise (jegek, kristályos szemcsék, molekulák)

fullerén

EX Lupi

HH46-47

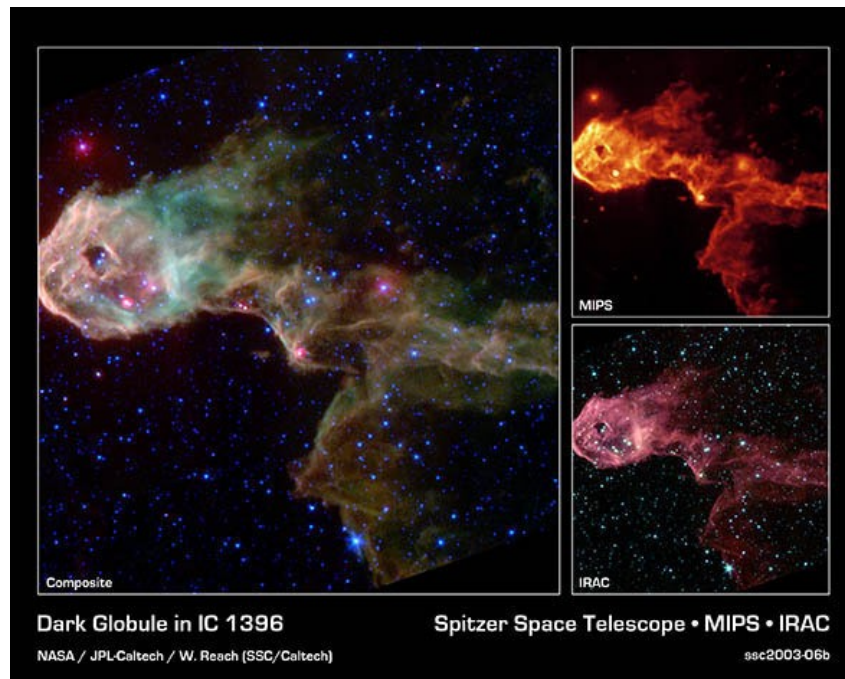
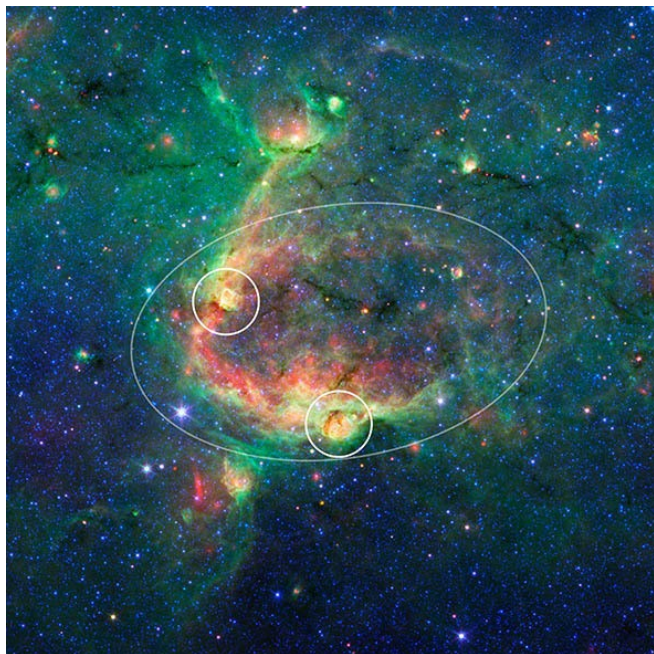
szilikátok



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Globulák az IC1396-ban

Indukált csillagkeletkezés

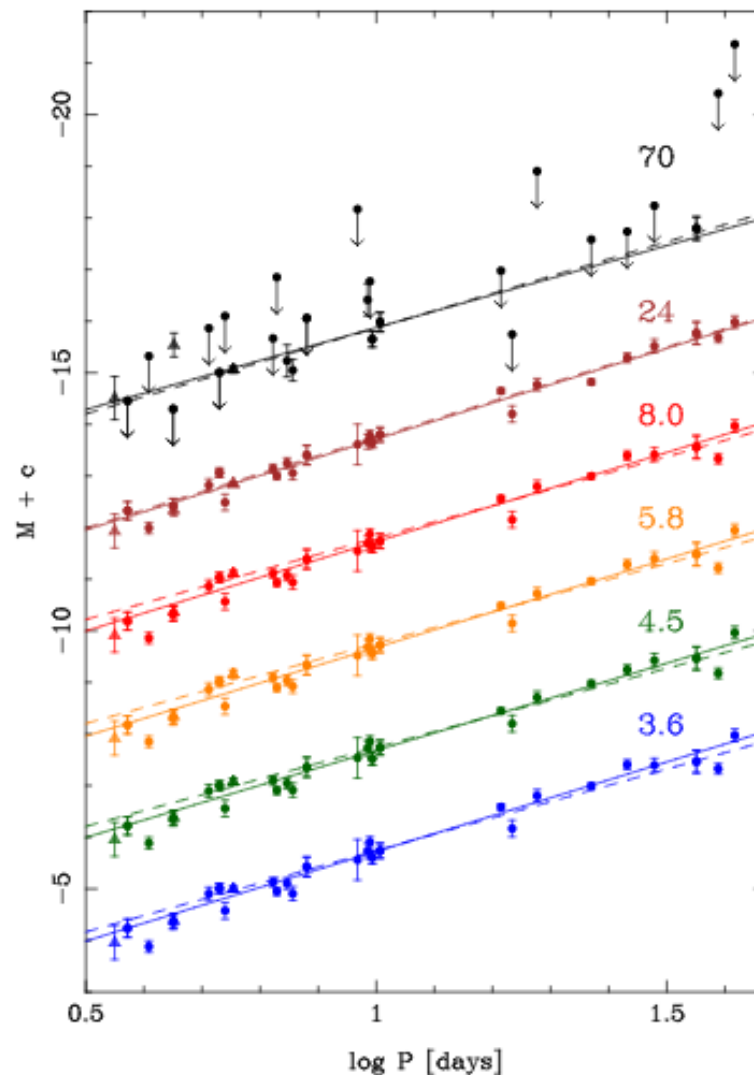
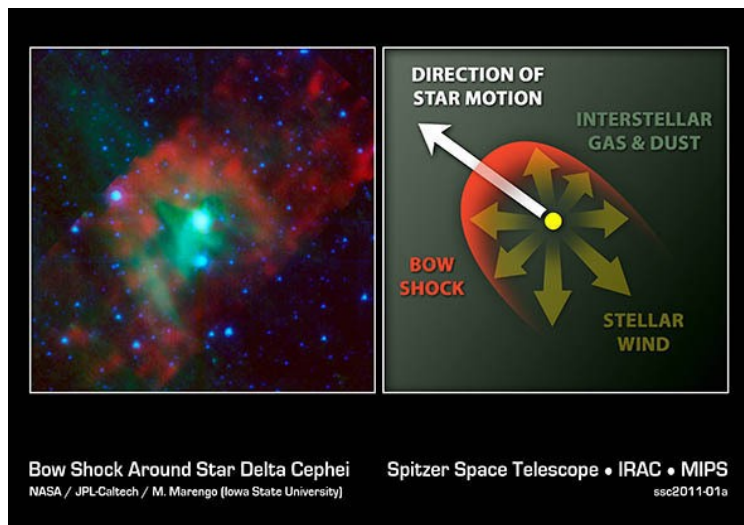
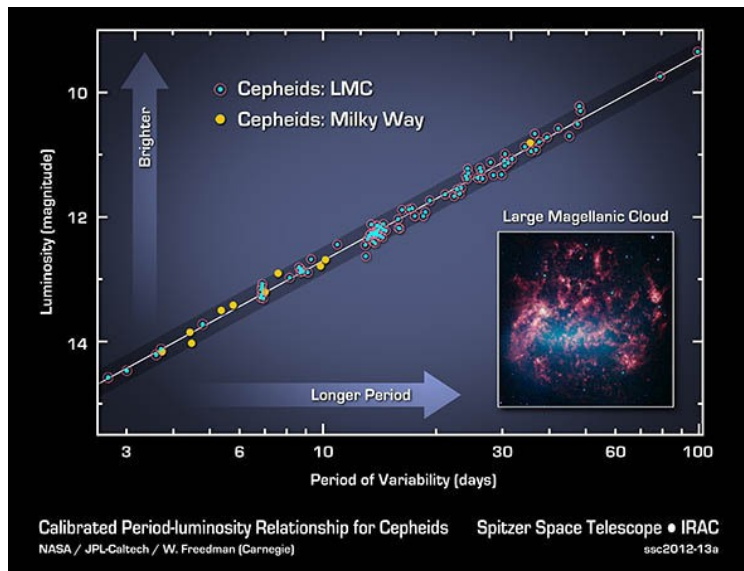


SN185



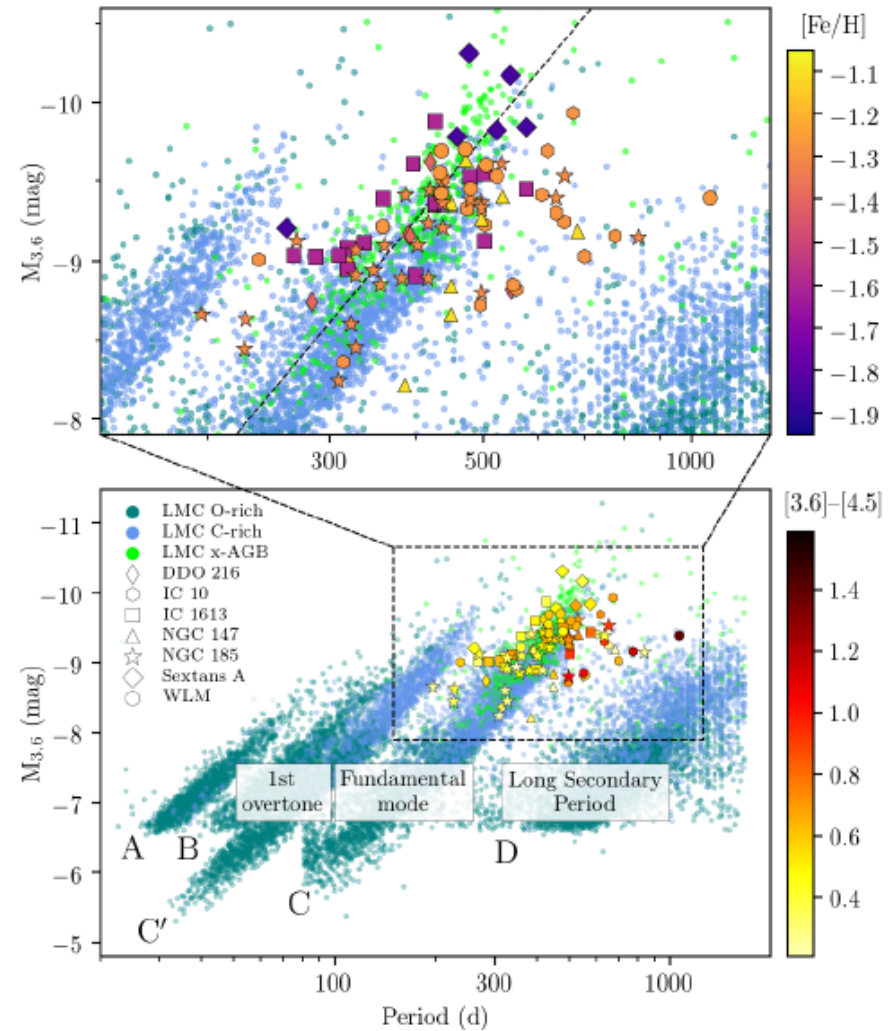
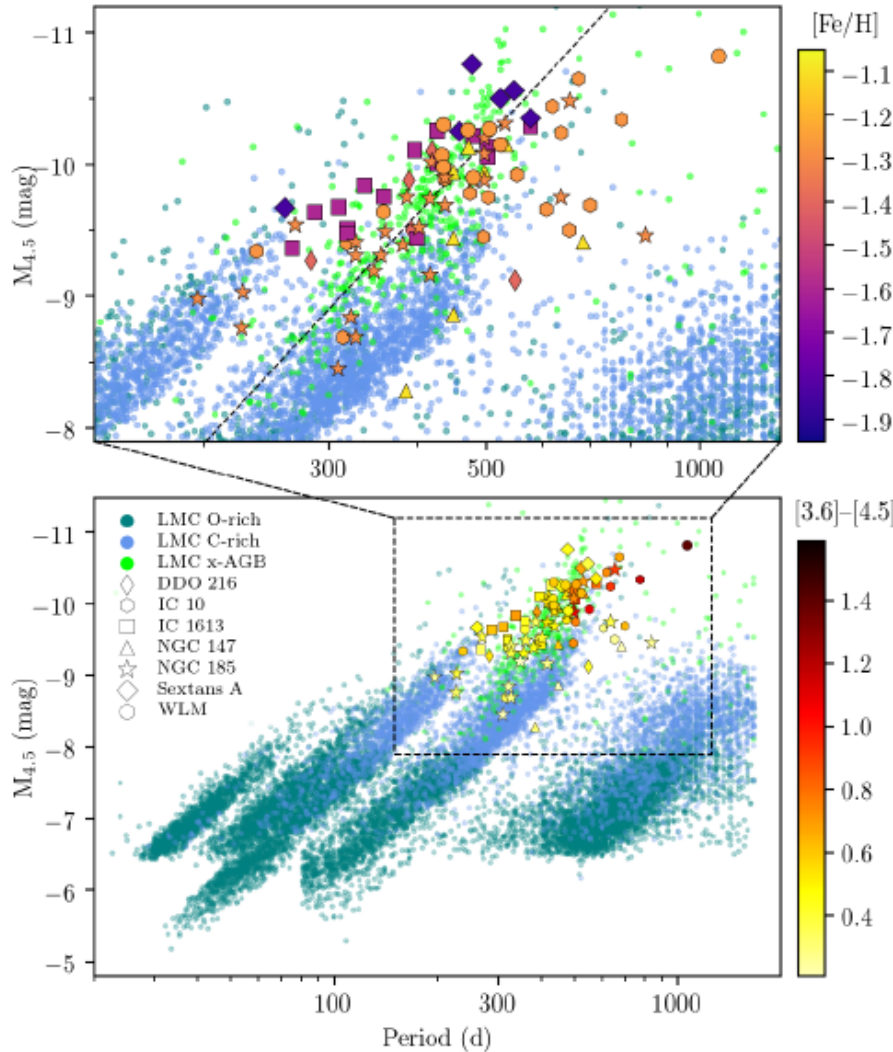
Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Cefeidák periódus-fényesség relációja infravörösben



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Vörös óriások periódus-fényesség relációja infravörösben



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

A csillagfejlődés késői fázisai során jellegzetes az IR színekép.

Jobbra: az oxigénben, ill. szénben gazdag atmoszférájú AGB-csillagok IR színeképe közötti különbség látszik.

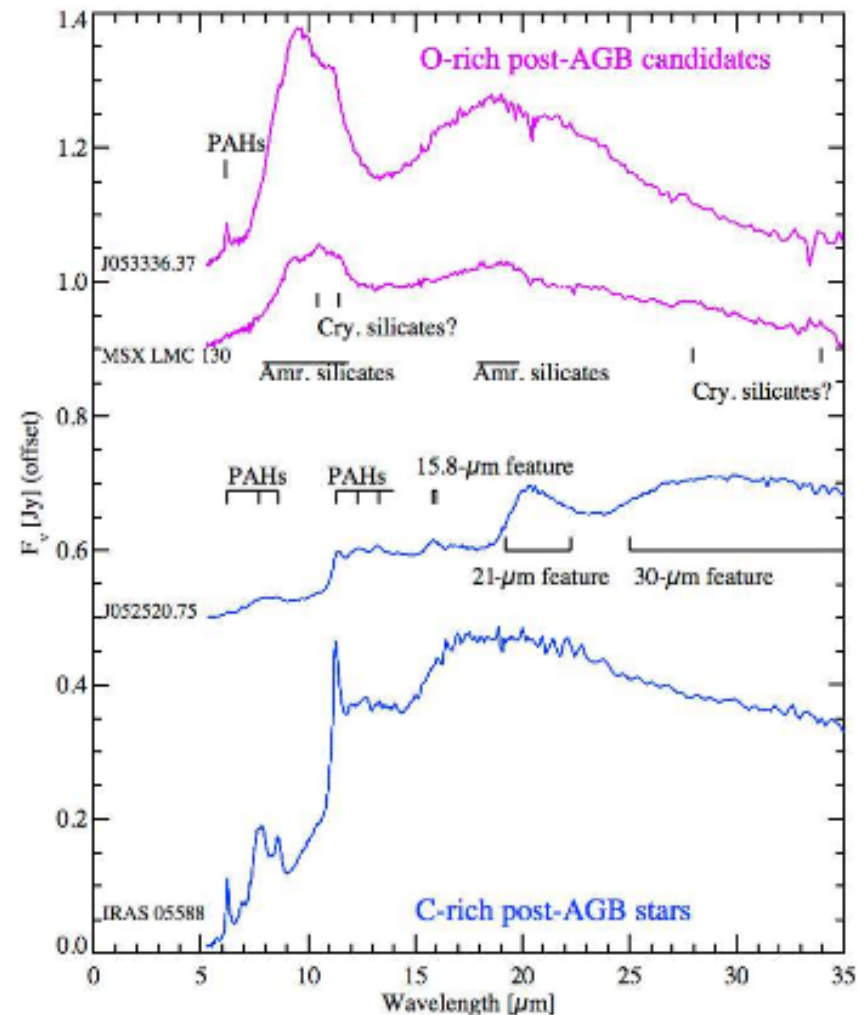
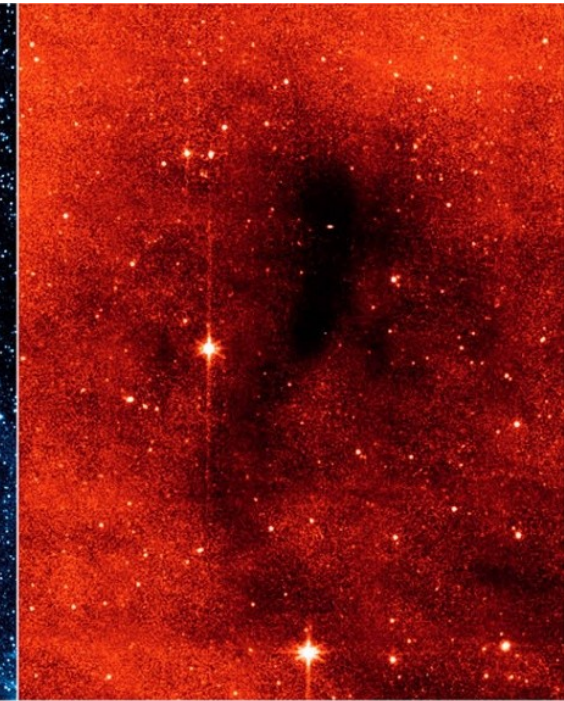
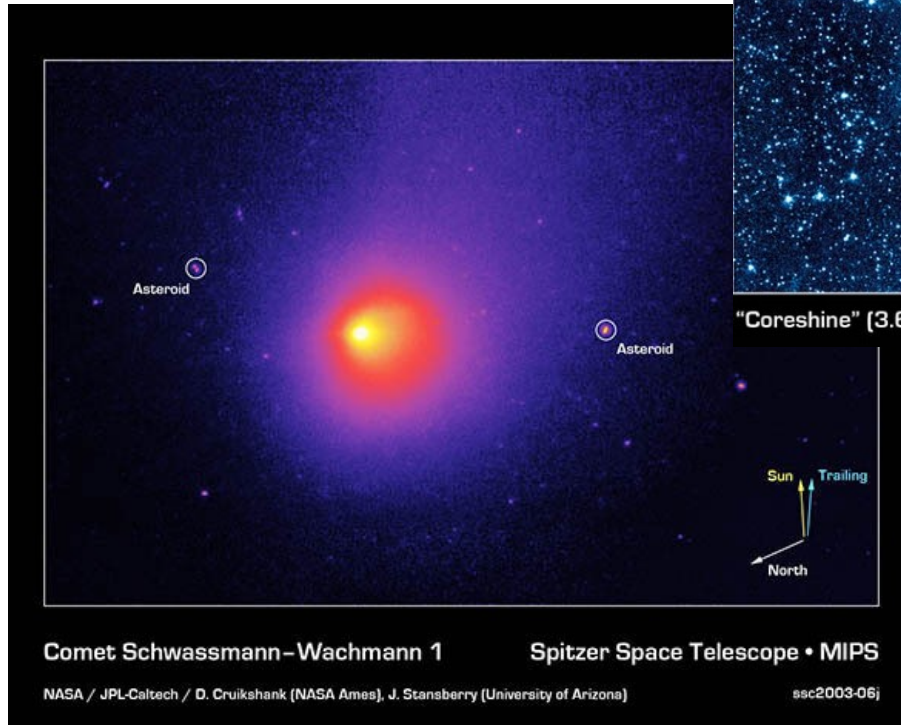


Figure 2: *Spitzer* dust spectra for oxygen-rich (purple) and carbon-rich (blue) AGB stars (modified from [Matsuura et al. 2014](#)).

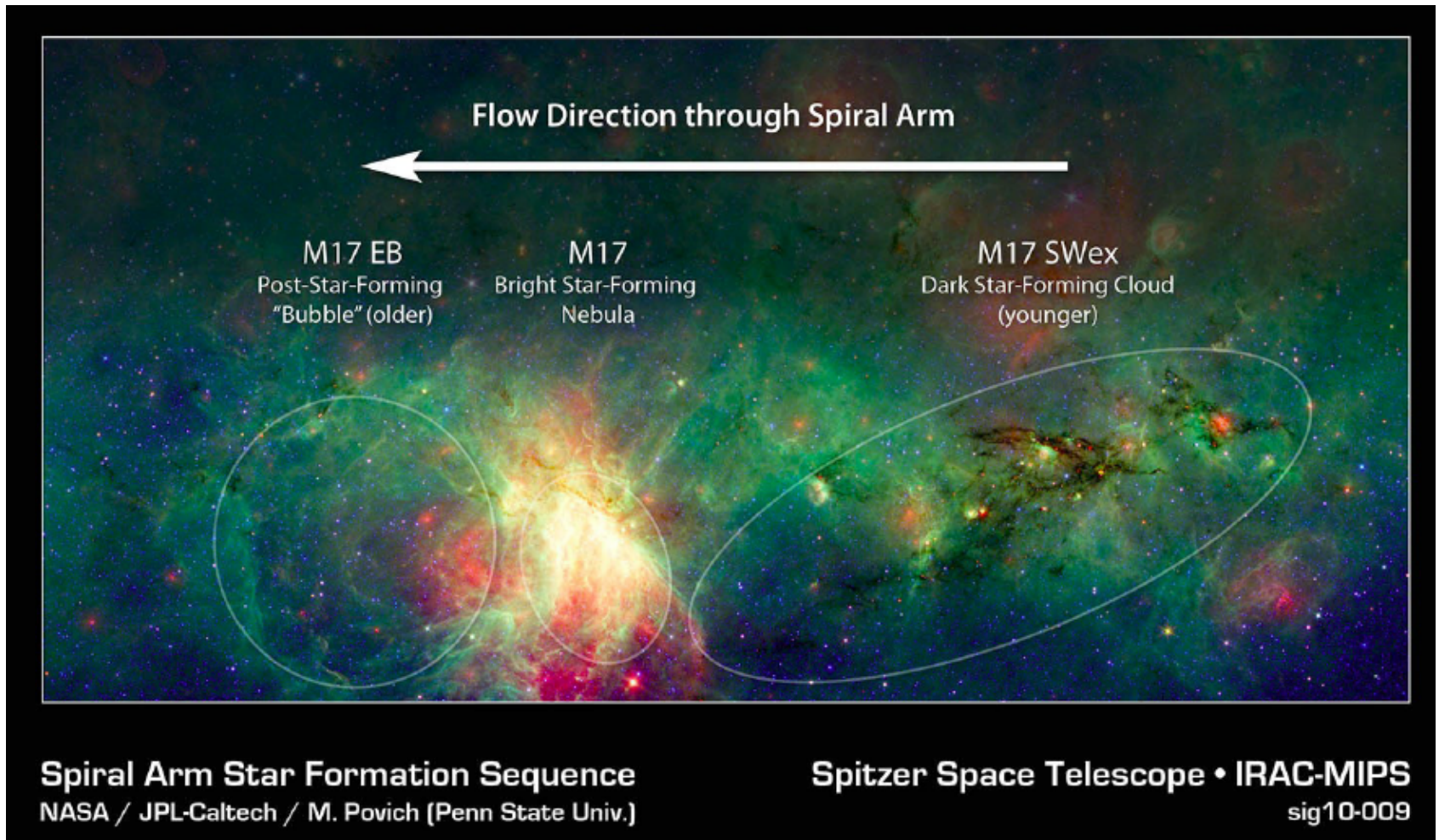
Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Egyéb érdekes eredmények



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Indukált csillagkeletkezés az M17 régióban



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

W33: 13000 fényévre, nagy tömegű csillagok keletkezésének helyszíne.

Web alapú Milky Way Project: amatőrök részvételével (Zooniverse).

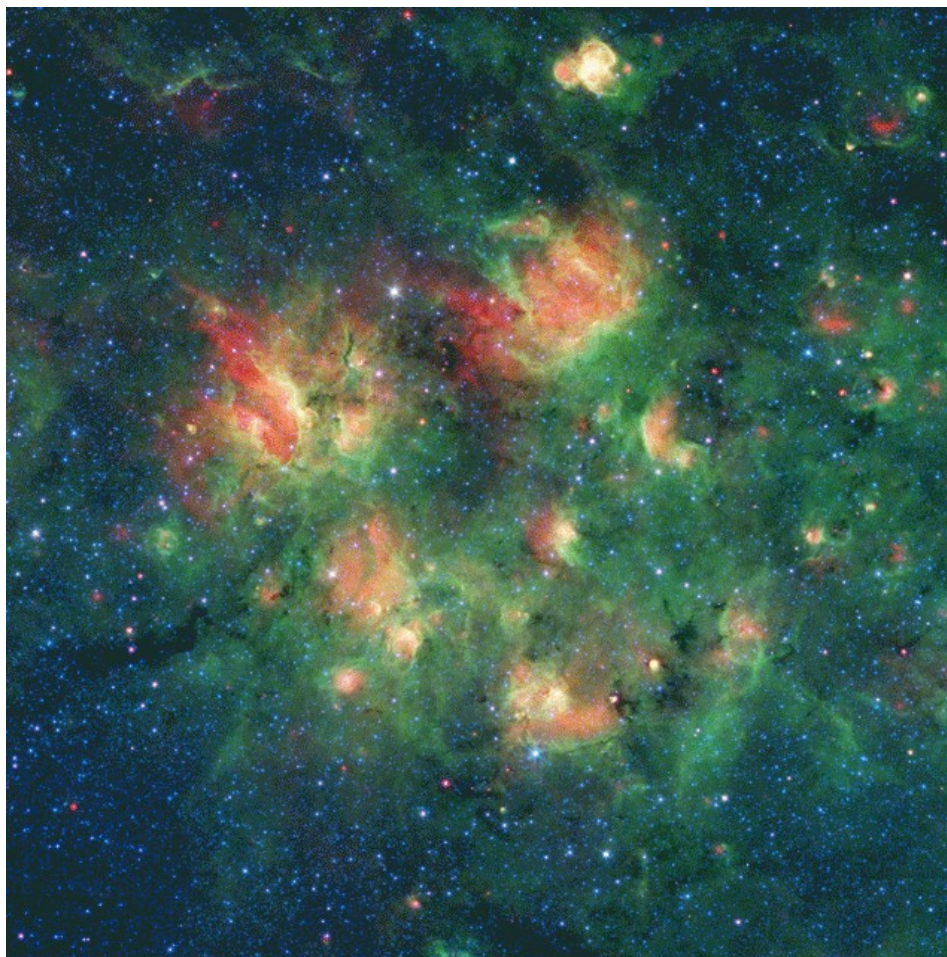
A sárga gömbhéj a sokgyűrűs aromás szénhidrogének (PAH-ok) helye.

900-nál több sárga gömb és kb. 5000 zöld és vörös gömb.



Válogatás a Spitzer-űrtávcső eredményeiből

Az Aquila csillagképben levő felhőkben rengeteg csillagképző buborékot találtak a Zooniverse keretében. Az egyes buborékok átmérője 10-30 fényév.



Spitzer Legacy-programok (nem teljes lista)

GOODS: Great Observatories Origins Deep Survey (*részletesebben mindjárt*)

SWIRE: The Spitzer Wide-area Infrared Extragalactic Survey

S-COSMOS: The Spitzer Deep Survey of the HST COSMOS 2-Degree ACS Field

SINGS: The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (Physics of the Star-Forming ISM and Galaxy Environment) (*részletesebben később*)

SAGE: Spitzer Survey of the Large Magellanic Cloud: Surveying the Agents of a Galaxy's Evolution

SAGE-Spectroscopy: The Life Cycle of Dust and Gas in the Large Magellanic Cloud

SAGE-SMC: Surveying the Agents of Galaxy Evolution in the Tidally Disrupted, Low-Metallicity SMC

GOALS: Great Observatory All-sky LIRG Survey

SSGSS: The Spitzer SDSS GALEX Spectroscopic Survey

Extragalaktikus Spitzer-programok

GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey): 300 négyzetívperc az égbolt leginkább vizsgált két területéről (HDF-N, RA=12,6 óra D=62 fok; CDF-S, RA=3,5 óra, D=-28 fok). Ezek az IRAC és a MIPS legmélyebb észlelései. XMM is beszáll röntgenspektrumokkal + földi távcsövek is. Feladatok, eredmények:

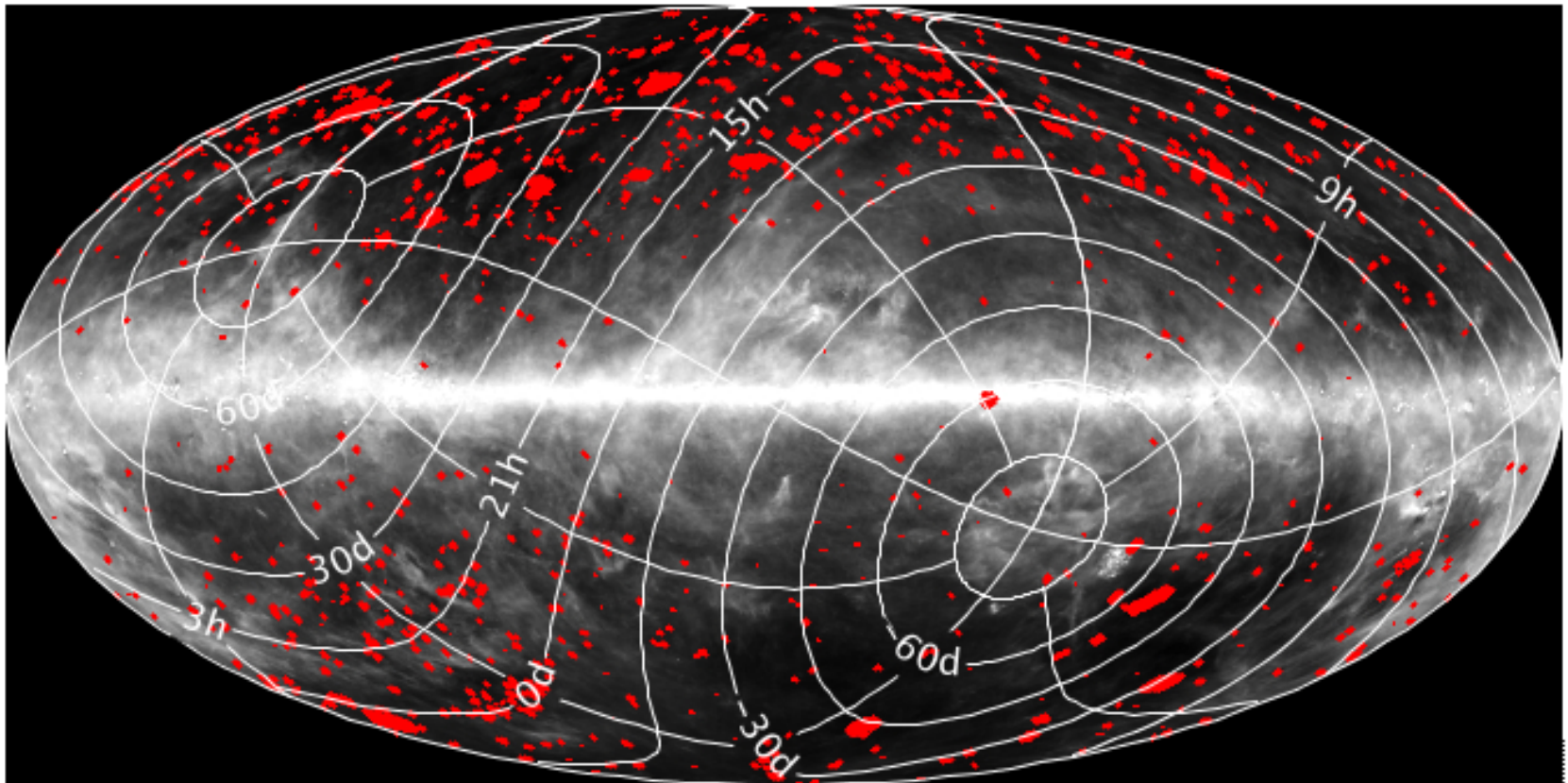
- fiatal galaxisok a korai univerzumban (Hubble-típusok kialakulása, csillagkeletkezési ráta, a galaxistömeg időfüggése); a HDF-S képen látott távoli vörös galaxisok (DRG) természete: poros aktív galaxisok, $z=2$ -nél jelentős a szerepük a csillagképződésben, a csillagkeletkezési ráta bennük: 130 naptömeg/év;
- az aktív galaxisok és az ULIRG-ek számbeli statisztikája.

SWIRE (The Spitzer Wide-area Infrared Extragalactic Survey): 50 négyzetfok (250 telehold) 6 égi irány között szétosztva; 2 millió galaxis IR sugárzását mérték, közte 11 milliárd fényévre levőket is; közben rengeteg barna törpét találtak.

SINGS (The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey): 75 közeli (75 Mpc-ig) galaxis részletes vizsgálata, homogén kép és SED.

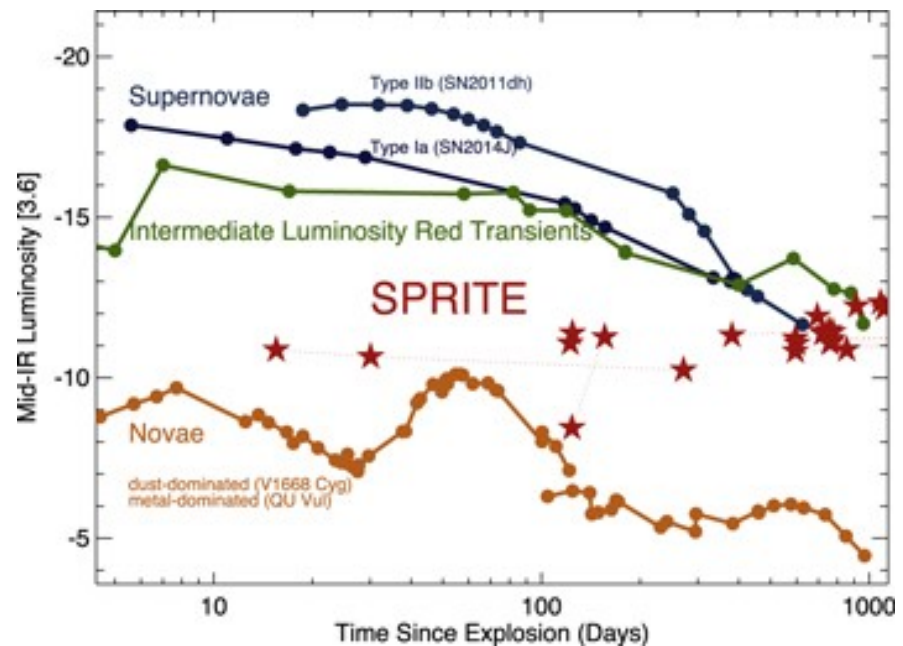
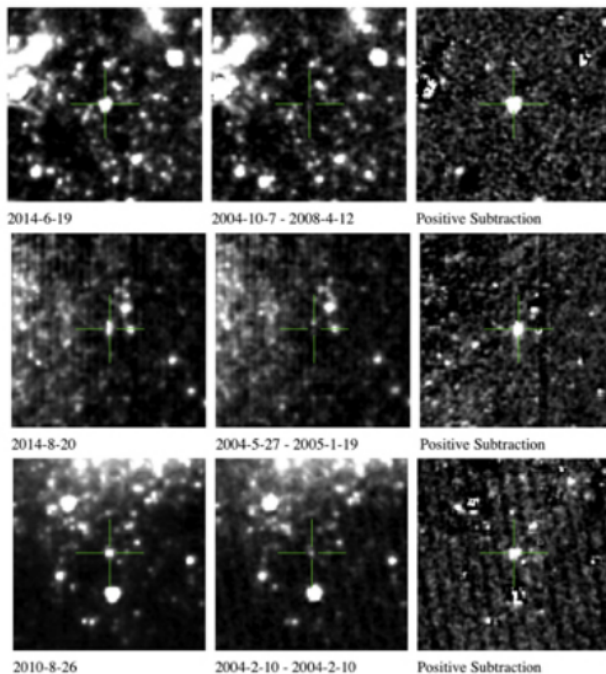
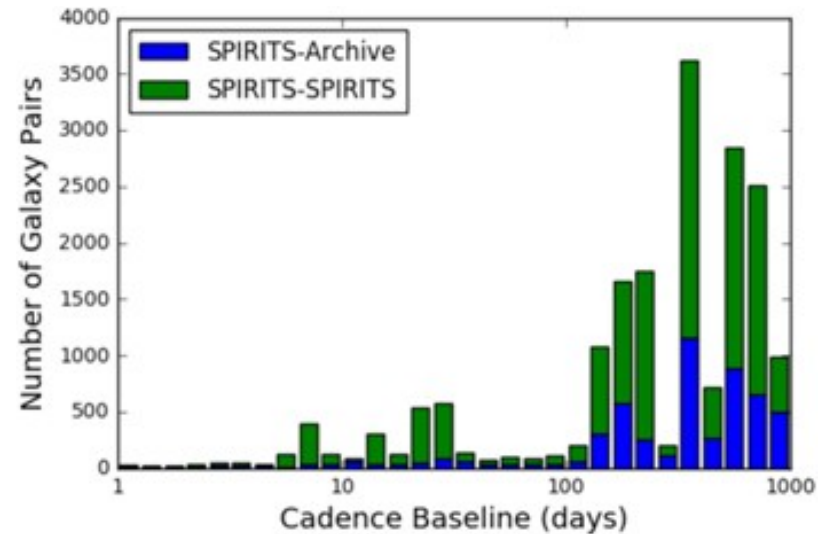
Extragalaktikus Spitzer-programok

SAFIRES (Spitzer Archival FIR Extragalactic Survey): A Spitzer Heritage Archive részeként hozták létre homogén feldolgozással 1500 négyzetfok területről, kb. 30 millió forrással távoli infravörösben (70 és 160 mikrométeren).



Extragalaktikus Spitzer-programok

SPIRITS (*SPitzer InfraRed Intensive Transients Survey*): 190 közeli galaxisban IR tranziensek keresése.
SPRITE: eSPecially Red Intermediate-luminosity Transient Event. Egzotikus tranziensek csillagképző galaxisokban. 64 ilyen észlelték a növők és a szupernóvák közötti IR luminozitással, de optikai megfelelő nélkül.



A Spitzer galaktikus programjai

GLIMPSE: Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire

GLIMPSE II: Imaging the Central ± 10 Degrees of the Galactic Plane with IRAC

GLIMPSE 3D: The Vertical Stellar and Interstellar Structure of the Inner Galaxy

MIPSGAL: A 24 and 70 Micron Survey of the Inner Galactic Disk with MIPS

MIPSGAL II: Surveying the innermost part of the Galactic plane at 24 and 70 microns with MIPS

c2d: From Molecular Cores to Planet-Forming Disks

GouldsBelt: Gould's Belt: Star Formation in the Solar Neighbourhood

FEPS: The Formation and Evolution of Planetary Systems: Placing Our Solar System in Context

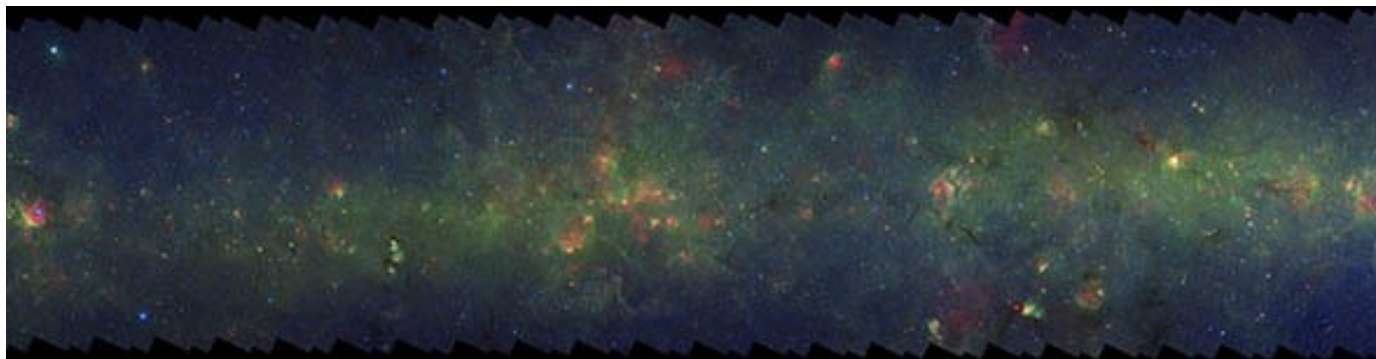
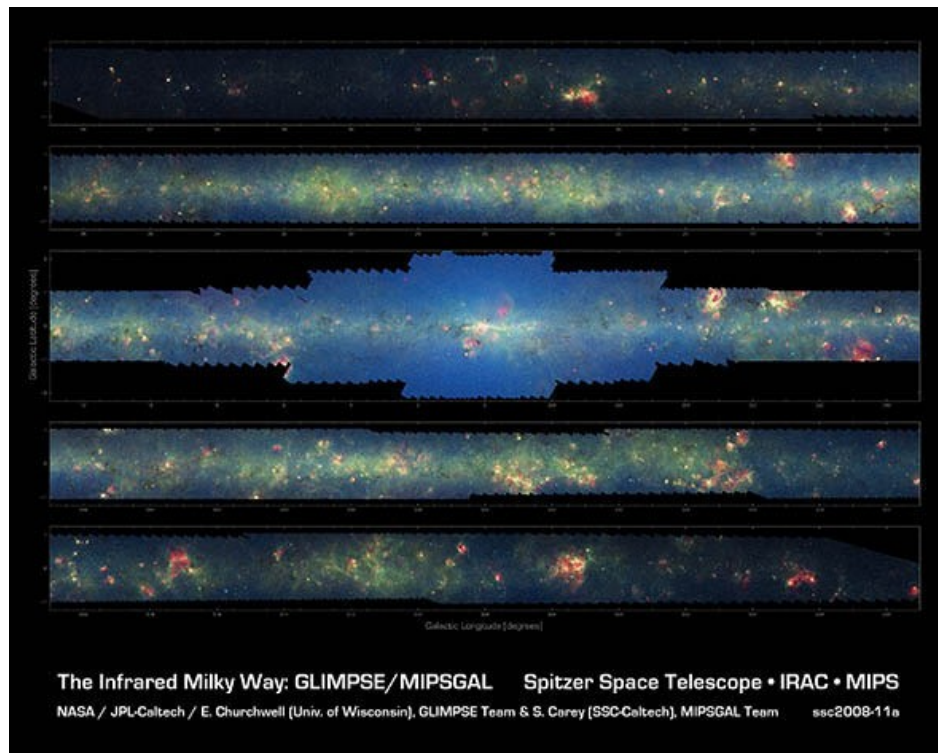
SMOG: Spitzer Mapping of the Outer Galaxy

Taurus-2: Finishing the Spitzer Map of the Taurus Molecular Cloud

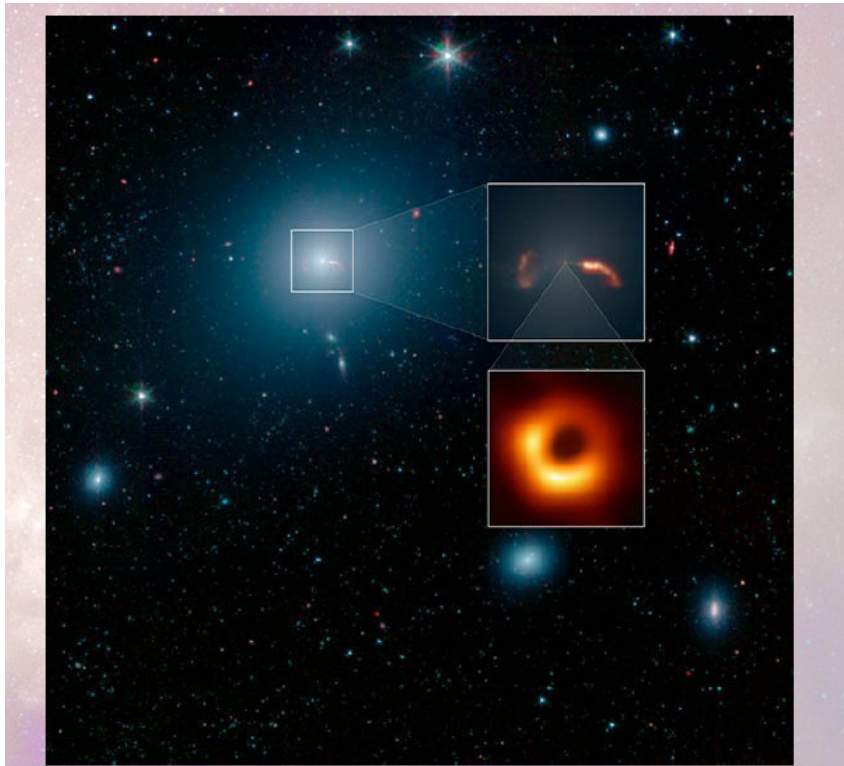
Cygnus-X: A Spitzer Legacy Survey of the Cygnus-X Complex

A Spitzer galaktikus programjai

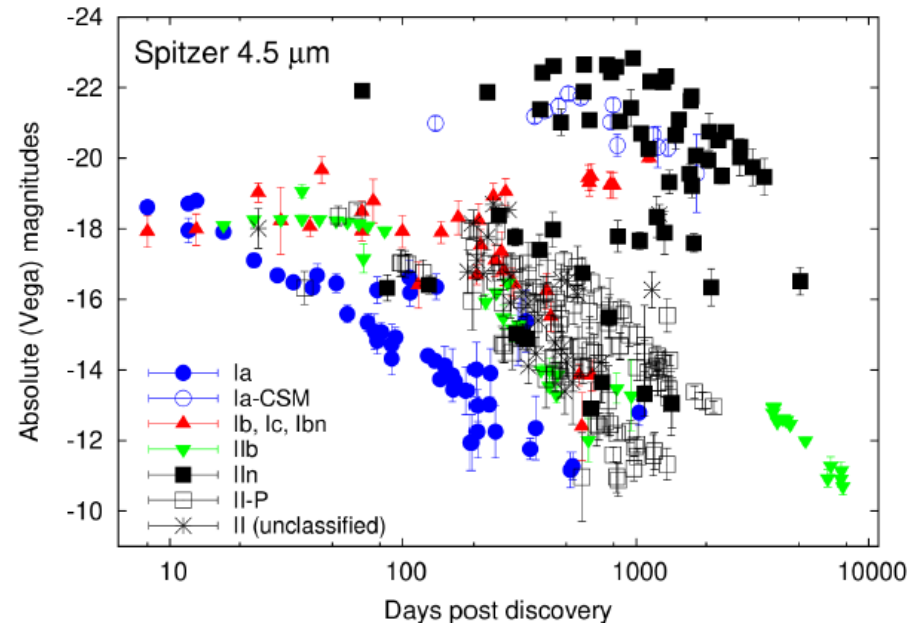
- GLIMPSE:** 440000 IRAC-kép 300 fokos sávban 4 hullámhosszon
- GPSC: 30,6 millió pontforrás
- GPSC (archívum): 48 millió pontforrás (5σ)
- GPSL (forráslista): 74 millió pontforrás (5σ)
- 2MASS-ban ugyanerről a területről <1 millió pontforrás (de $3,6 \mu\text{m}$ -en kisebb az extinkció)
- MIPSGAL:** hosszabb hullámhosszon 278 fokos sávban
- Buborékok,
IR-ben sötét felhők,
sárga gömbök észlelése



A Spitzer extragalaktikus eredményeiből



Az M87 galaxis központi fekete lyukának anyagkilövellése



Különbéle típusú szupernóvák fénygörbéjének leszálló ága. Porképződés, kölcsönhatás a csillagkörüli anyaggal (Szalai et al.)

A Spitzer-archívum

The screenshot shows the Spitzer archive web interface. At the top, there is a navigation bar with the IRSA logo and links for DATA SETS, SEARCH, TOOLS, and HELP. Below this is a search bar and a table of observation requests. The table has columns for Target name, RA (J2000), Dec (J2000), NAIF ID, and Instrument. The row for IC1396 is highlighted in green. To the right of the table, there is a preview window showing a DSS image of the IC1396 region, with a zoom level of .234x.

Position ic 1396 with a radius of 0.1389 deg

Observation Requests (AOR) | Level 2 (PBCD)

Prepare Download | Restrict data in other tabs

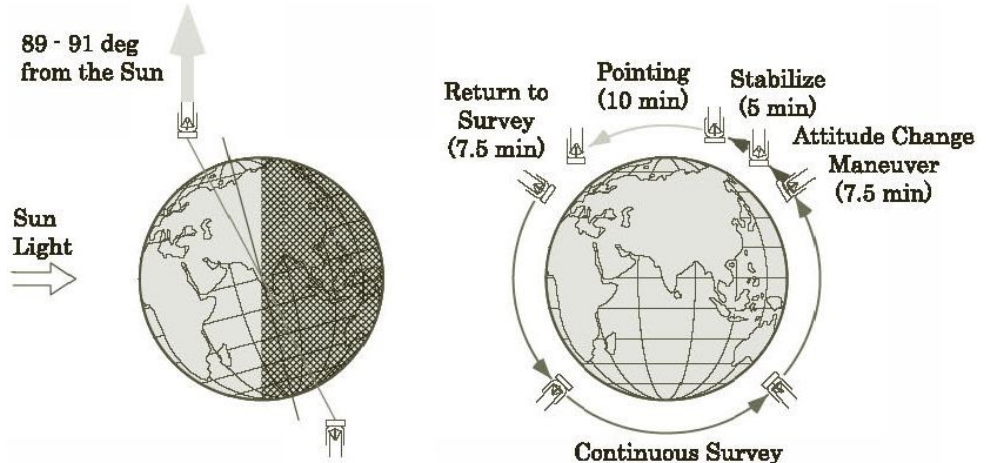
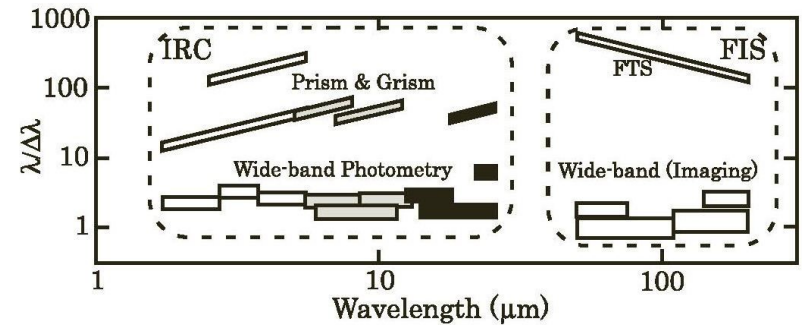
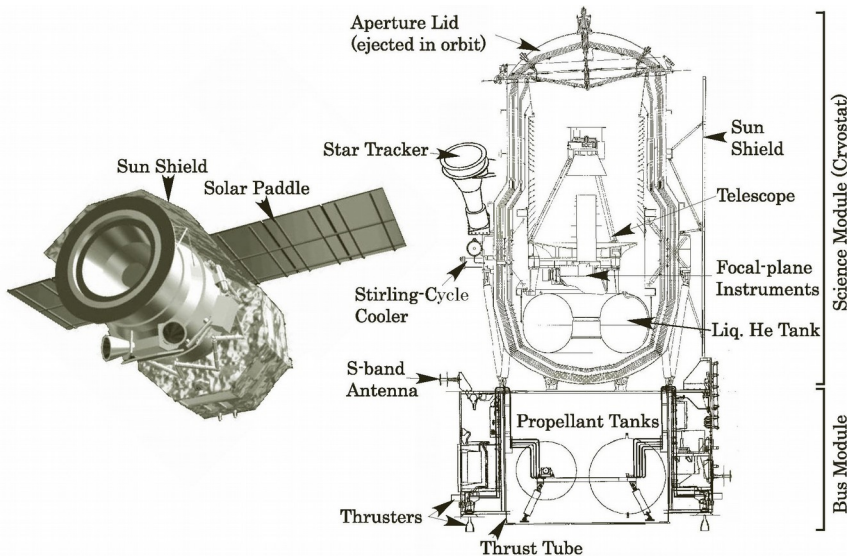
1 of 5 (1 - 50 of 205)

	Target name	RA (J2000)	Dec (J2000)	NAIF ID	Instrument
<input type="checkbox"/>	IC1396_evap_disk_tail	21h38m56.97s	+57d30m57.0s		IRS Stare
<input type="checkbox"/>	13-277_SKY	21h38m16.32s	+57d32m12.4s		IRS Stare
<input type="checkbox"/>	HD 206267	21h38m57.62s	+57d29m20.5s		IRS Stare
<input type="checkbox"/>	HD 206267 with bkg	21h38m57.62s	+57d29m20.5s		IRS Stare
<input type="checkbox"/>	IC1396	21h36m29.81s	+57d29m48.2s		IRAC Map P
<input checked="" type="checkbox"/>	IC1396	21h36m29.81s	+57d29m48.2s		IRAC Map P
<input type="checkbox"/>	IC1396	21h36m29.81s	+57d29m48.2s		IRAC Map P
<input type="checkbox"/>	IC1396	21h36m29.81s	+57d29m48.2s		IRAC Map P
<input type="checkbox"/>	3975-343	21h38m39.53s	+57d22m01.7s		IRAC IER
<input type="checkbox"/>	3975-343	21h38m39.53s	+57d22m01.7s		IRAC IER
<input type="checkbox"/>	3975-343	21h38m39.53s	+57d22m01.7s		IRAC IER
<input type="checkbox"/>	ic1396_map	21h36m29.81s	+57d29m48.2s		IRAC Map

38064128: DSS .234x

AKARI (JAXA)

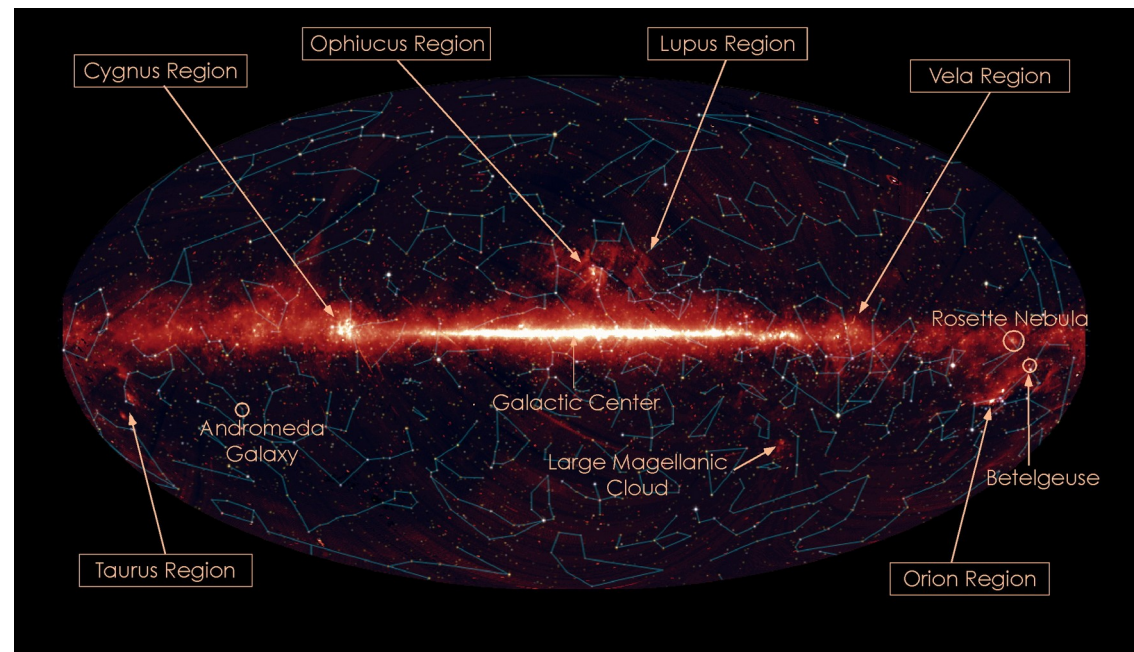
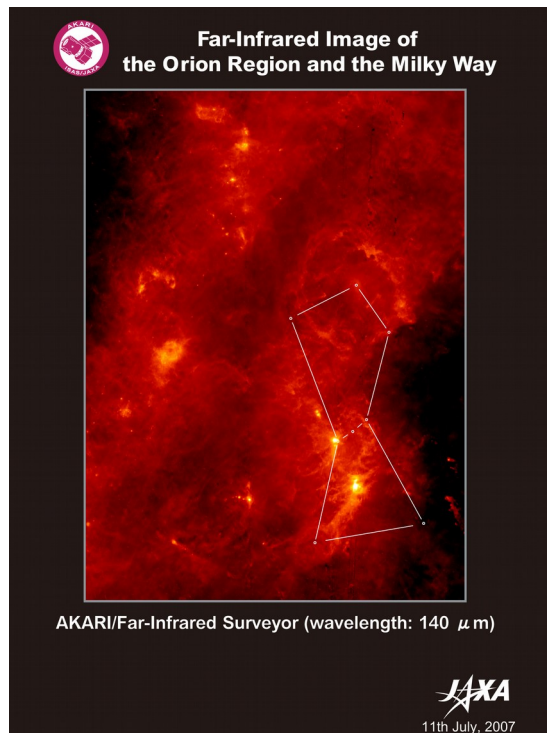
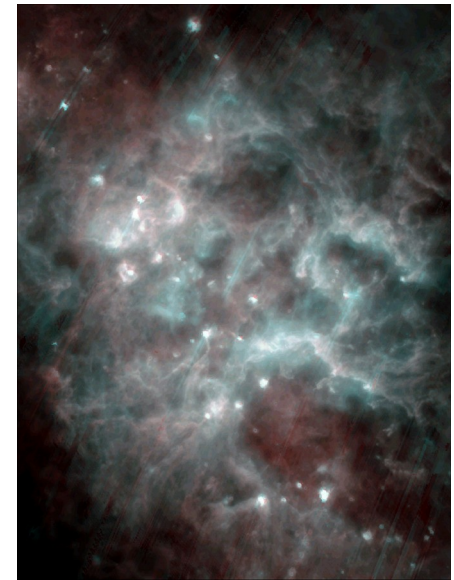
Astro-F = „Szuper-IRAS” = Akari (Fény): teljeség-felmérés a távoli infravörösben
 Indítás: 2006. febr. 22., napszinkron poláris LEO pálya (745 km); a cseppfolyós
 He-hűtés 2007. aug. 26-ig tartott ki (közeli IR-ben 2011. novemberig mért)
 68,5 cm-es távcső (SiC tükör 6 K-re hűtve), a K sávától 180 μm -ig érzékeny (10-
 1000-szer érzékenyebb az IRAS-nál); Ge:Ga detektorokkal 25-45”
 szögfelbontás (az IRAS esetében 2-5 ívperc volt).



AKARI

A teljes égbolt 96%-át mérte fel $>50 \mu\text{m}$ -en 4 sávban + 9 és $20 \mu\text{m}$ -nél diffrakcióhatárolt kép + kis felbontású spektrumok, >5000 pontforrás észlelése

Főbb eredmények: Akari All-Sky Survey Point Source Catalog (PSC) 2010-ben, Magellán-felhőbeli szupernóva-maradványokban porképződés. Molekuláris gáz kimutatása ULIRG-okban.



WISE

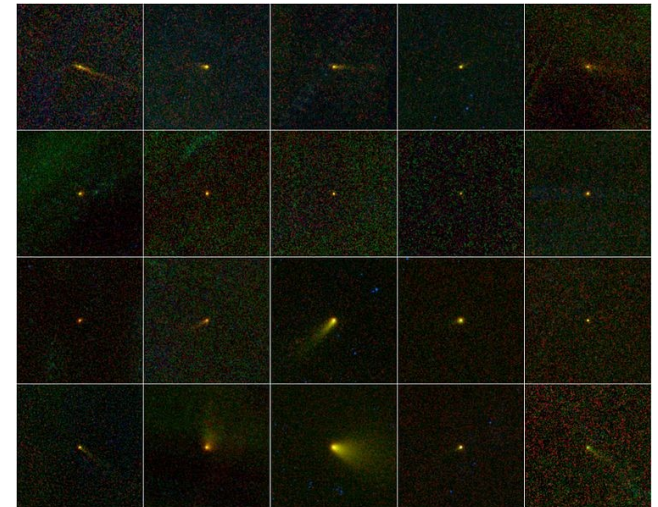
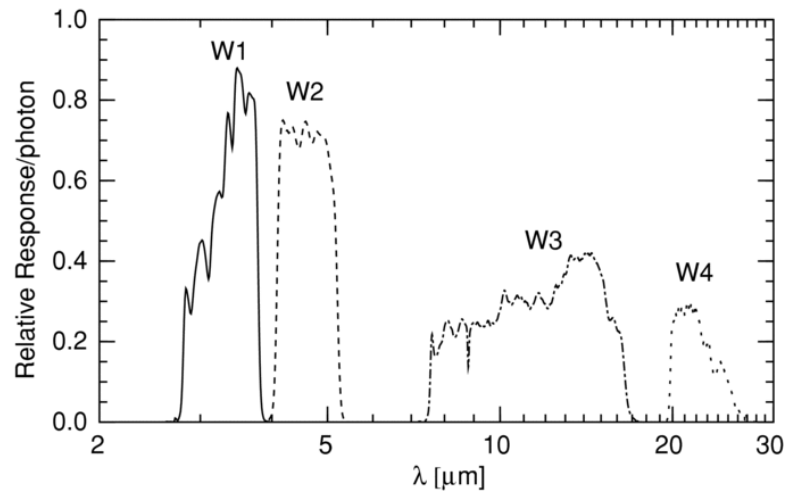
Wide-field Infrared Survey Explorer (NASA/JPL)
MIDEX misszió (Medium-class Explorer): Teljeség-
felmérés közép infravörösben.

Indítás: 2009. dec. 14. (Delta-II): 525 km magas
napszinkron poláris (95 perces) körpályára.

40 cm apertúrájú távcsővel 11 másodpercenként
készült 1-1 kép 47'×47' területről 10 hónapon
át 4 sávban: 3,4 μm (csillagok, galaxisok), 4,6
 μm (barna törpék), 12 μm (kisbolygók), 22 μm
(csillagközi por).

A hűtőanyag elfogyta után 4 hónapig NEOWISE:
naprendszerbeli kis égitestek keresése.

2011. februárban hibernálták, 2013. augusztustól
újra mér: a Földre veszélyes kisbolygókat (NEO)
keresik vele.



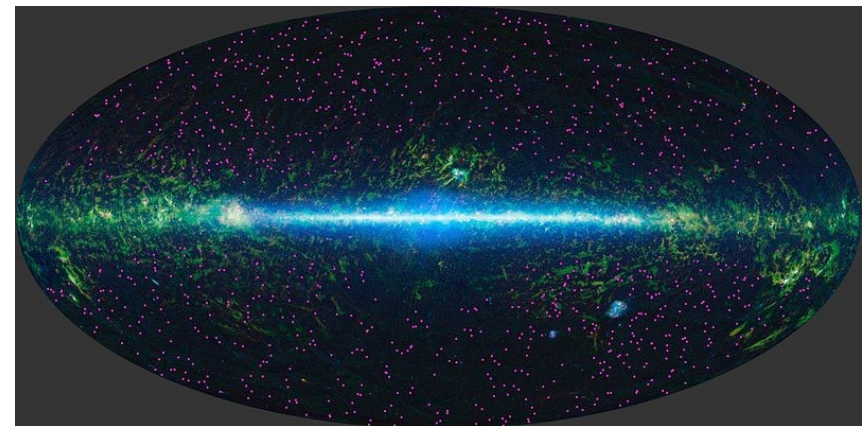
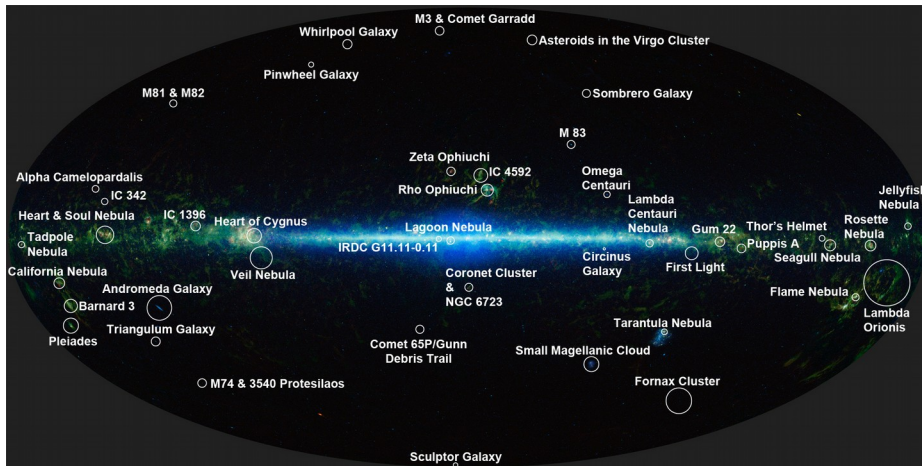
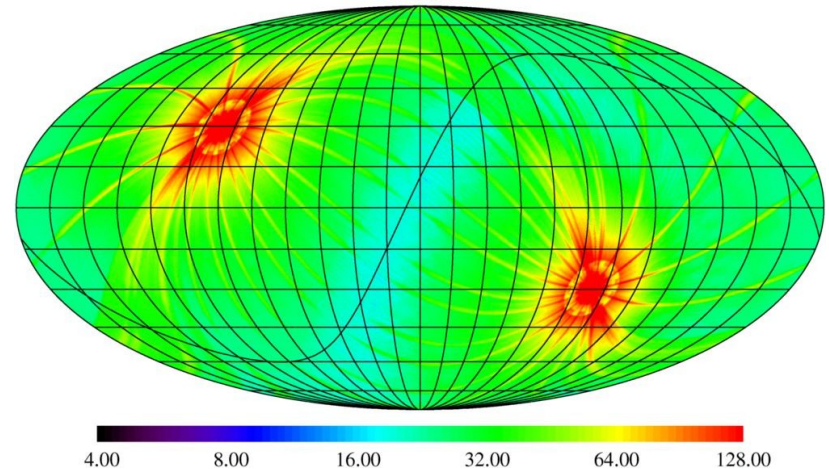
A WISE eredményei

Az All-sky Survey adatai 2012. márc. óta elérhetők.

További eredmények:

- Az első Y törpe felfedezése; <300 K, barna törpe NH₃ abszorpcióval;
- 20 fényéven belül 9 barna törpét talált (T és Y színképtípus);
- Trójai kisbolygó a Föld pályáján (2010 TK7);
- 33500 új kisbolygó a fő misszióban.

2784184 frames thru end of mission



A WISE eredményeiből

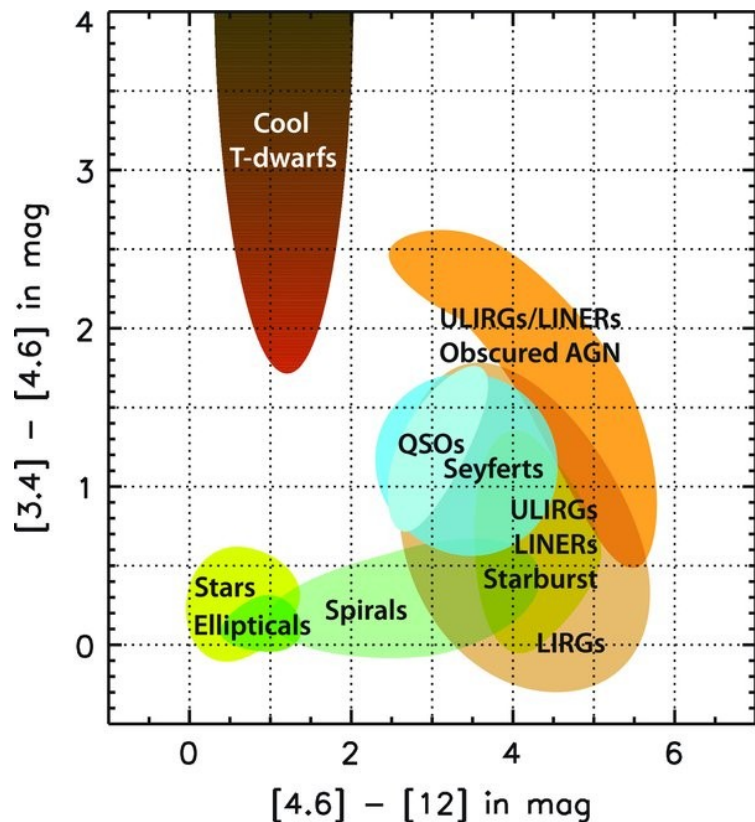
A WISE első észleléseiből kapott kép (balra)
Az Orion-köd középínfravörösben (jobbra)



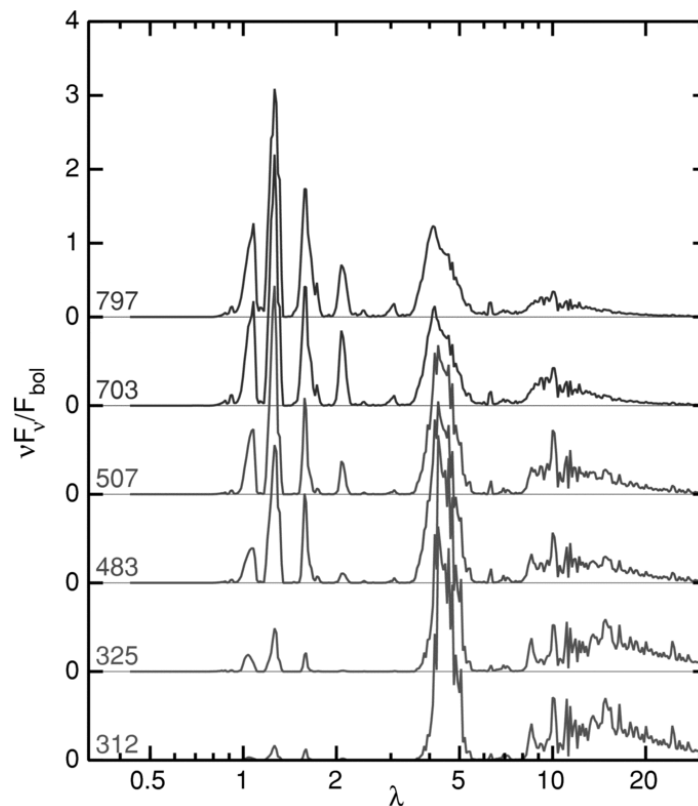
Image Credit: WISE, IRSA, NASA. Processing & Copyright: Francesco Antonucci

A WISE eredményeiből

A WISE kétszín-diagramján szeparálódnak a különféle típusú objektumok.



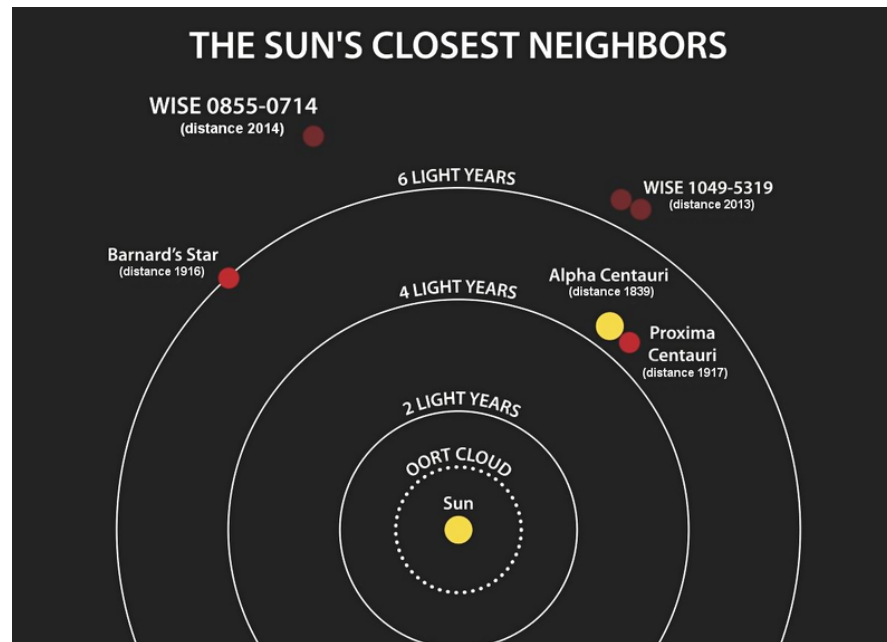
Barna törpék színe



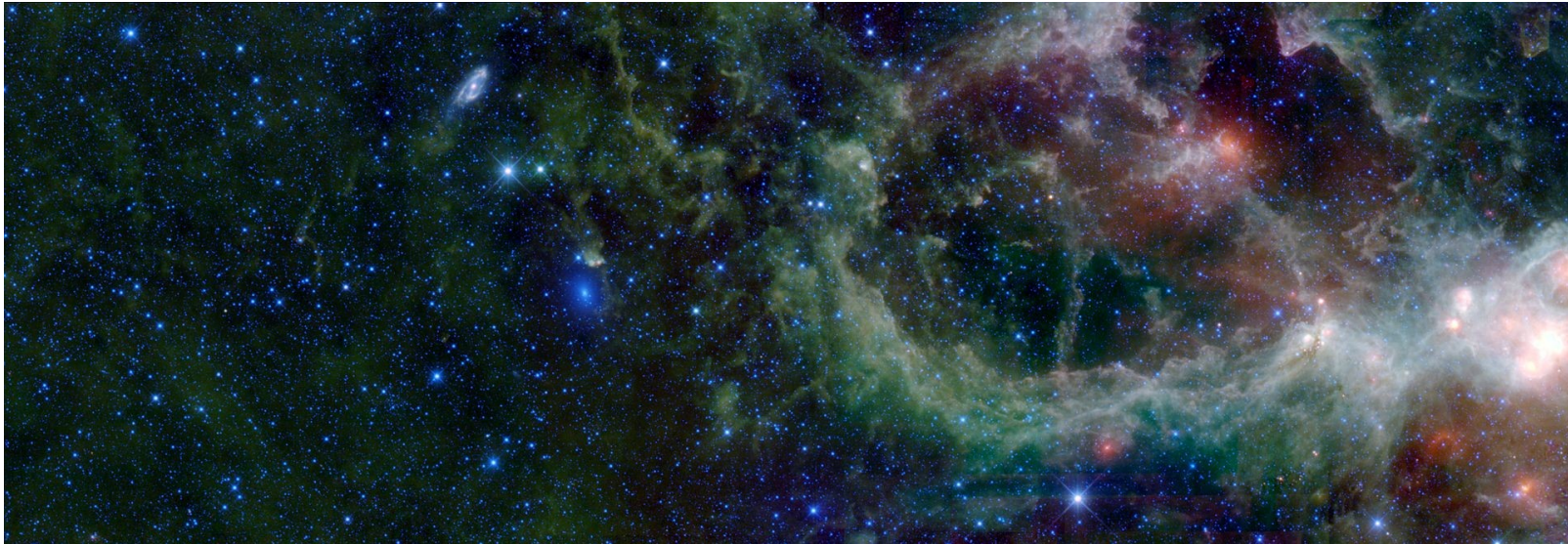
A WISE eredményeiből

The nearest brown dwarfs discovered by WISE within 20 light-years include:

Object	ly	Spectral type	Constellation	Right ascension	Declination
Luhman 16	6.6	L8 + T1	Vela	10 ^h 49 ^m 15.57 ^s	-53° 19' 06"
WISE 0855-0714	7.1	Y	Hydra	8 ^h 55 ^m 10.83 ^s	-7° 14' 22.5"
WISE 1506+7027	11	T6	Ursa Minor	15 ^h 06 ^m 49.89 ^s	70° 27' 36.23"
WISE 0350-5658	12	Y1	Reticulum	03 ^h 50 ^m 00.32 ^s	-56° 58' 30.2"
WISE 1741+2553	18	T9	Hercules	17 ^h 41 ^m 24.22 ^s	25° 53' 18.96"
WISE 0359-5401	19	Y0	Reticulum	03 ^h 59 ^m 34.06 ^s	-54° 01' 54.6"

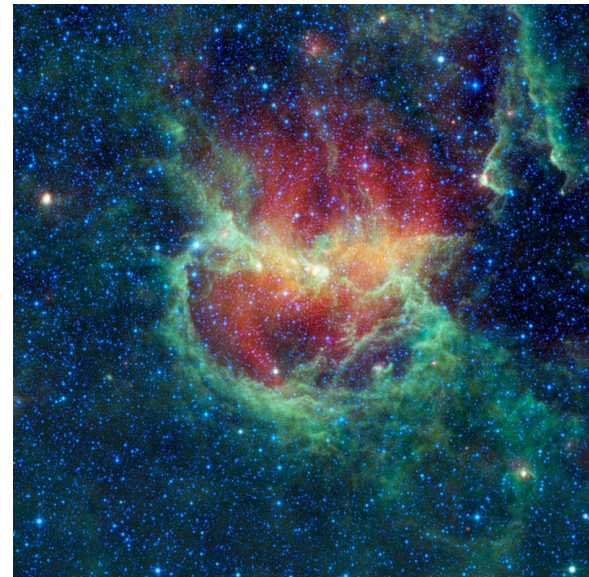


A WISE eredményeiből



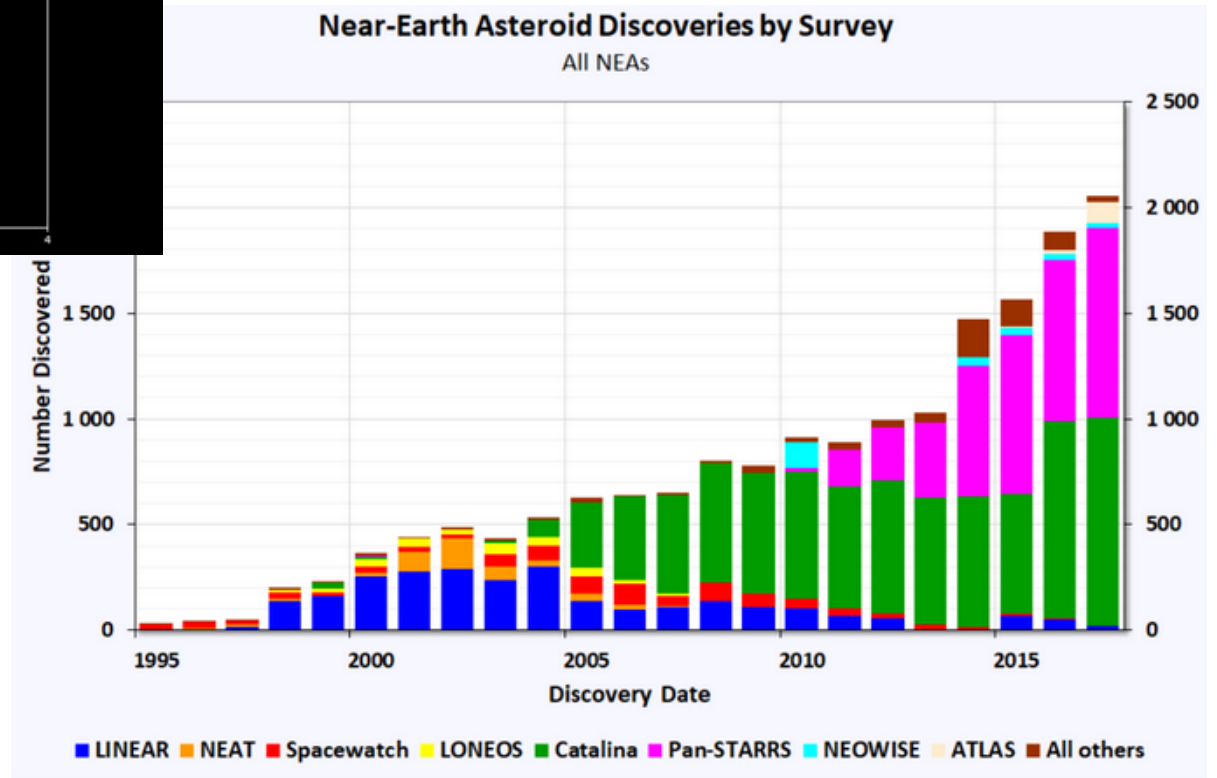
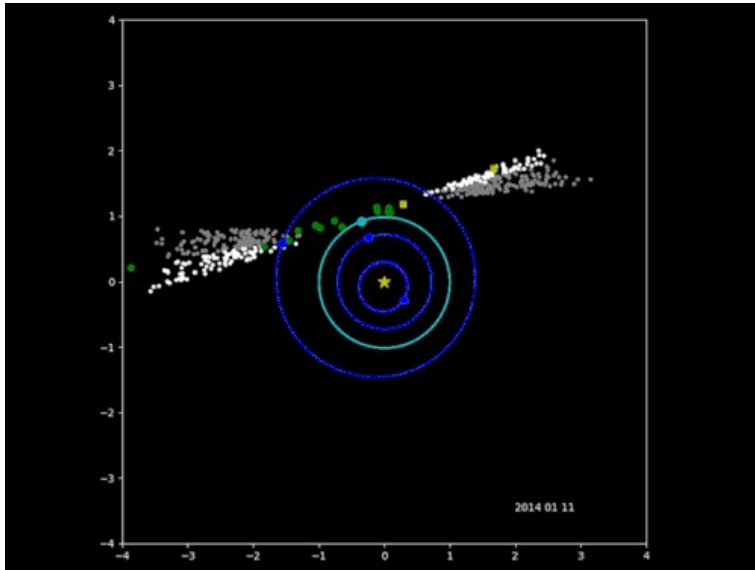
Fent: a **Maffei1** és a **Maffei2** galaxisok

Jobbra: ködösség a λ **Centauri** körül



A NEOWISE eredményeiből

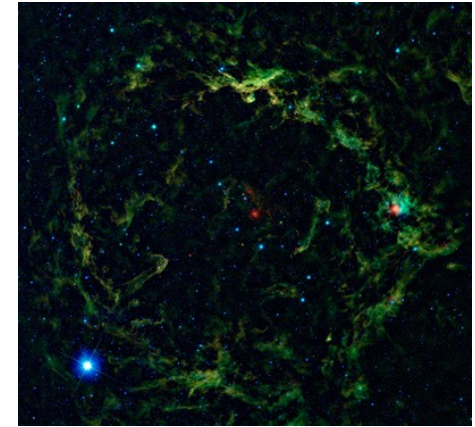
2018. májusig 290 NEO felfedezése,
közülük 262 NEA, 47 PHA, 28 üstökös



rojects: LINEAR NEAT Spacewatch LONEOS CSS Pan-STARRS NEOWISE

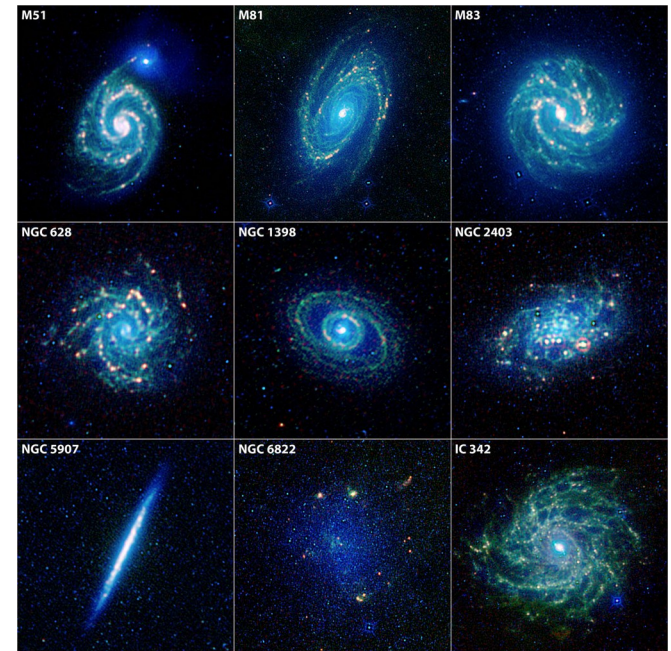
A WISE eredményeiből

AllWISE Source Catalog: 747 millió forrás (4 sávban)
AllWISE Multiepoch Photometry Database: 42 milliárd adat
AllWISE Image Atlas: 18240 kalibrált FITS-kép (4 sávban), $1,56^\circ \cdot 1,56^\circ$;
Reject Table: 484 millió forrás, túl halványak a Source Catalog-ba kerüléshez.



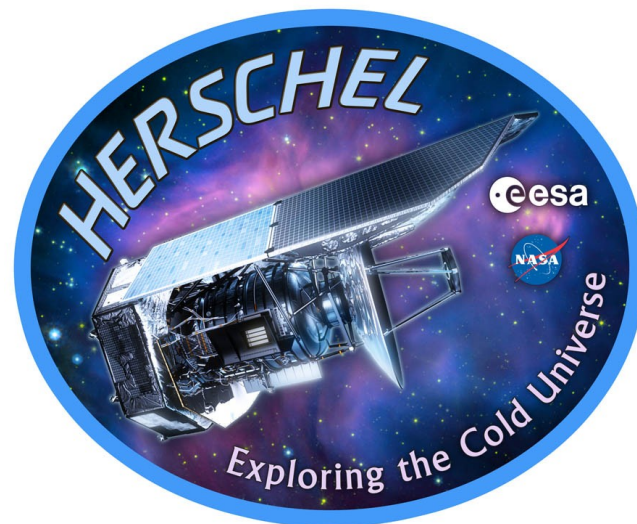
Héj a λ Ori körül

Plejádok

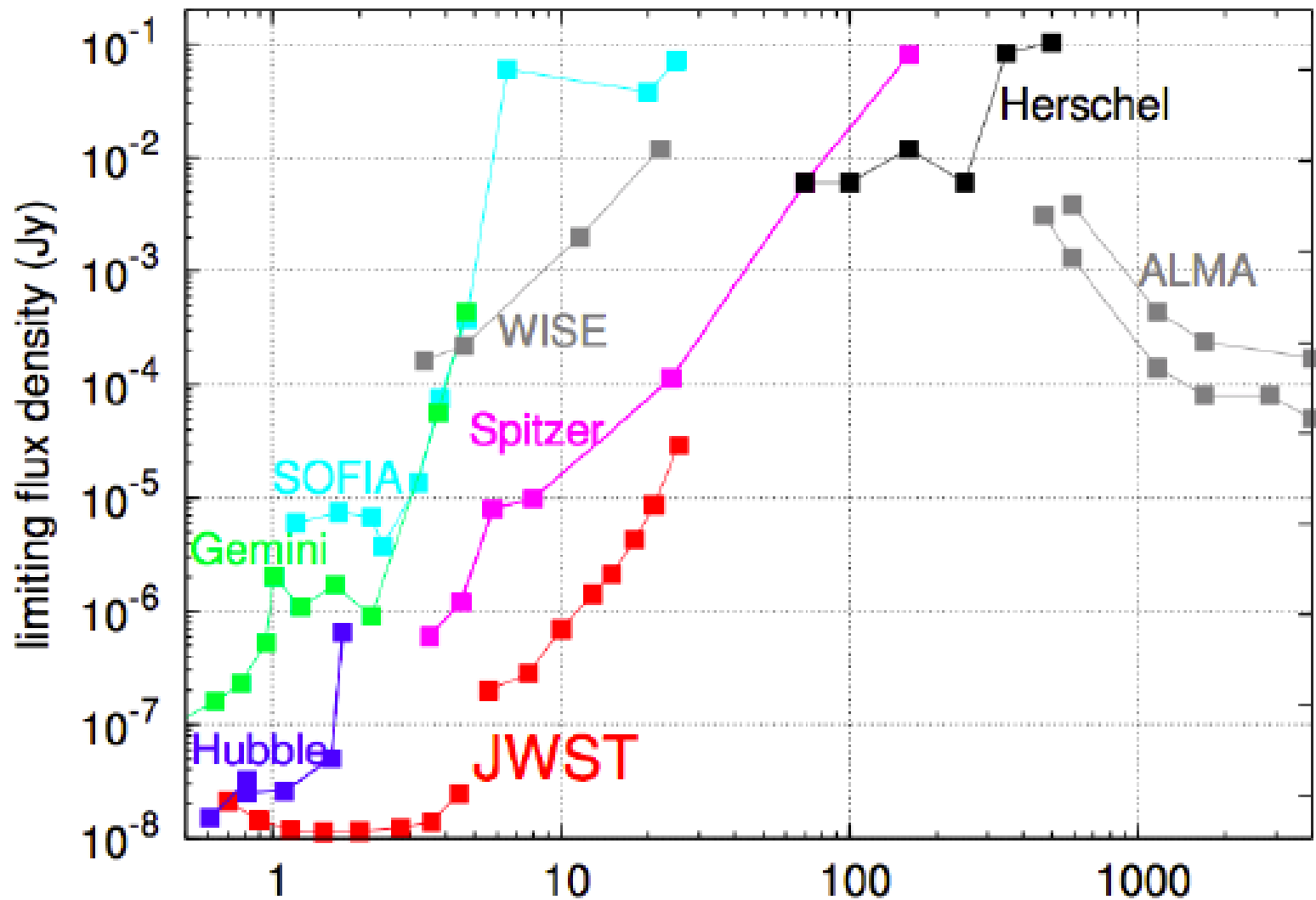


Összegzés: IR-csillagászati szondák

Szonda neve	Észlelési hullámhosszak (sávok) [mikrométer]
IRAS (1983)	12, 25, 60, 100
HST (1990–)	közeli IR
IRTS (1995)	1,4 – 700
ISO (1995–1997)	2,3 – 197
MSX (1996 –1997)	4,29, 4,35, 8,28, 12,13, 14,65, 21,3
Spitzer (2003–2009) (2009-2020)	3,6, 4,5, 5,8, 8,0, 24, 70, 160 3,6, 4,5
Akari (2006–2011)	9, 18, 65, 90, 140, 160
WISE (2009–2011) (2013–)	3,4, 4,6, 12, 22 3,4, 4,6
Herschel (2009–2013) ez már főként mikrohullámú	55 – 670



A különféle műszerek érzékenysége



Szubmilliméteres űrcsillagászat

A semleges atomos és molekuláris
intersztelláris közeg állapotának
vizsgálata: 200 μm – 1 mm között.

Fontos *hűtővonalak* esnek ebbe a
tartományba.

Polarizációs mérések a mágneses
mező vizsgálatára (porszemcsék
iránya).

Gyakori elemek sok finomszerkezeti
vonala (C I, C II, N II, N III, O I, O III),
CO rotációs átmenetei

Vizsgálható objektumok:

- bolygóléggörök
- üstökösök
- Kuiper-objektumok
- korongok csillagok körül
- planetáris ködök
- extragalaxisok (ULIRG, SMG
[szubmilliméteres galaxisok]).

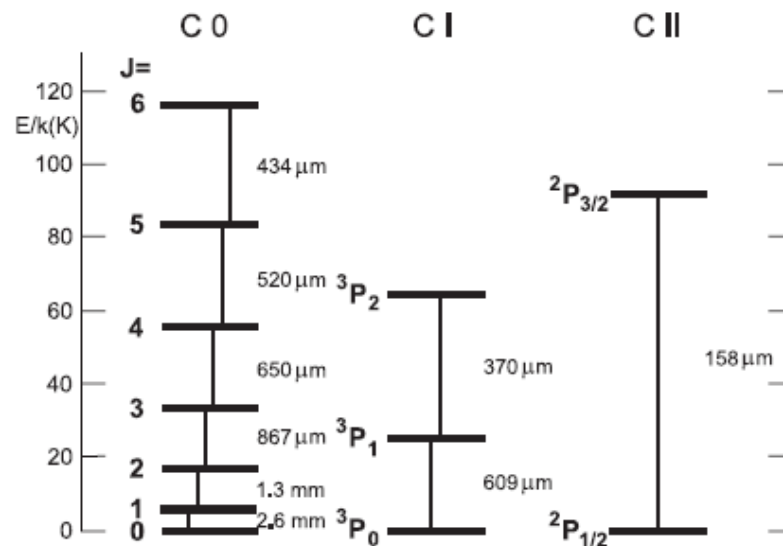
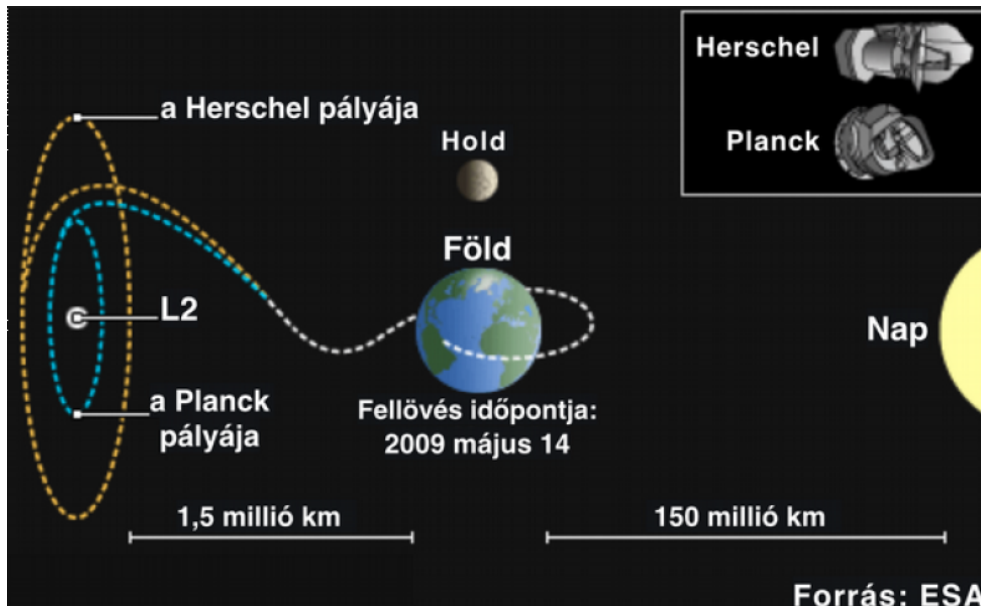


Figure 2. The first few rotational energy levels of selected species. In the ISM, carbon monoxide, CO, is the most abundant molecule with a permanent dipole moment. Also shown are fine-structure transitions of neutral carbon, C I, and ionized carbon, C II.

Herschel

Herschel Space Observatory (ESA + NASA) a csillagközi anyag leghidegebb régióinak vizsgálatára. Eredetileg: FIRST (Far Infrared Space Telescope), 1984-ben fogadták el (amikor a SOHO, XMM-Newton és Rosetta missziókat is). 2000-ben (az IR sugárzás felfedezésének bicentenáriumán) kapta a Herschel nevet. Az eddigi legnagyobb űrtávcső: 3,5 m-es SiC-tükör. Indítás: 2009. máj. 14. (Ariane-5) az L2 pont körüli halópályára a Planckkal együtt (2009. júliusban értek oda). 55–672 μm között fotometria és spektroszkópia. A hűtés miatt (2300 l cseppfolyós He, 1,4 K-re) 3,5 éves üzemidőt terveztek, de 2013. ápr. 29-ig működött. Terv: távolabbi heliocentrikus pályára vezérlik.

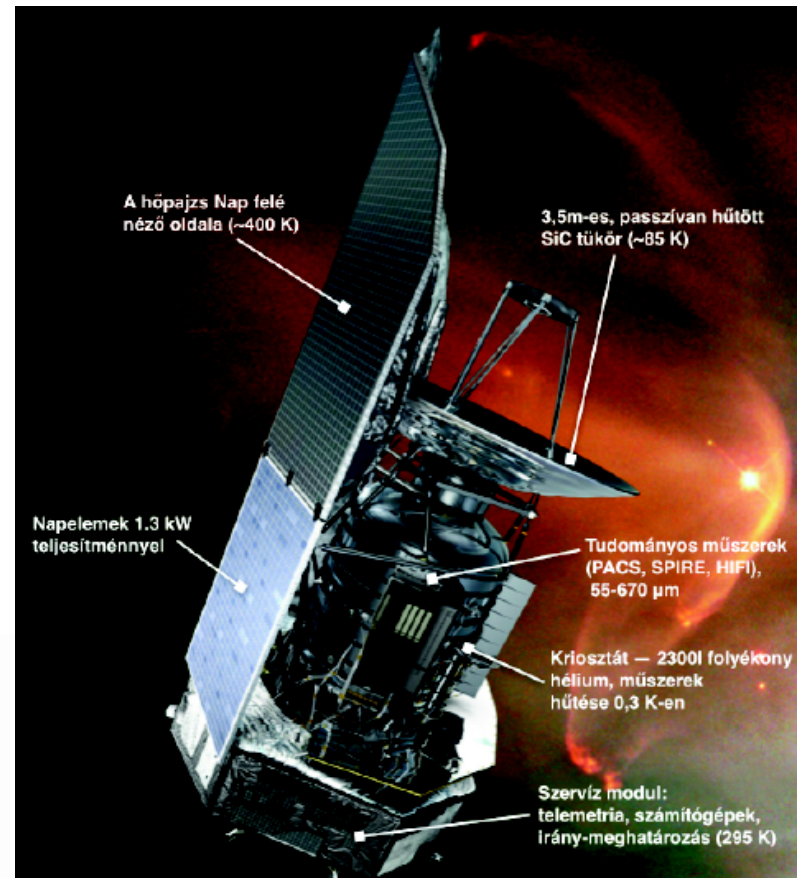


A Herschel műszerei

HIFI (Heterodyne Instrument for the Far Infrared)

PACS (Photodetector Array Camera and Spectrometer): mJy érzékenységű spektrográf, $R=1000\}5000$

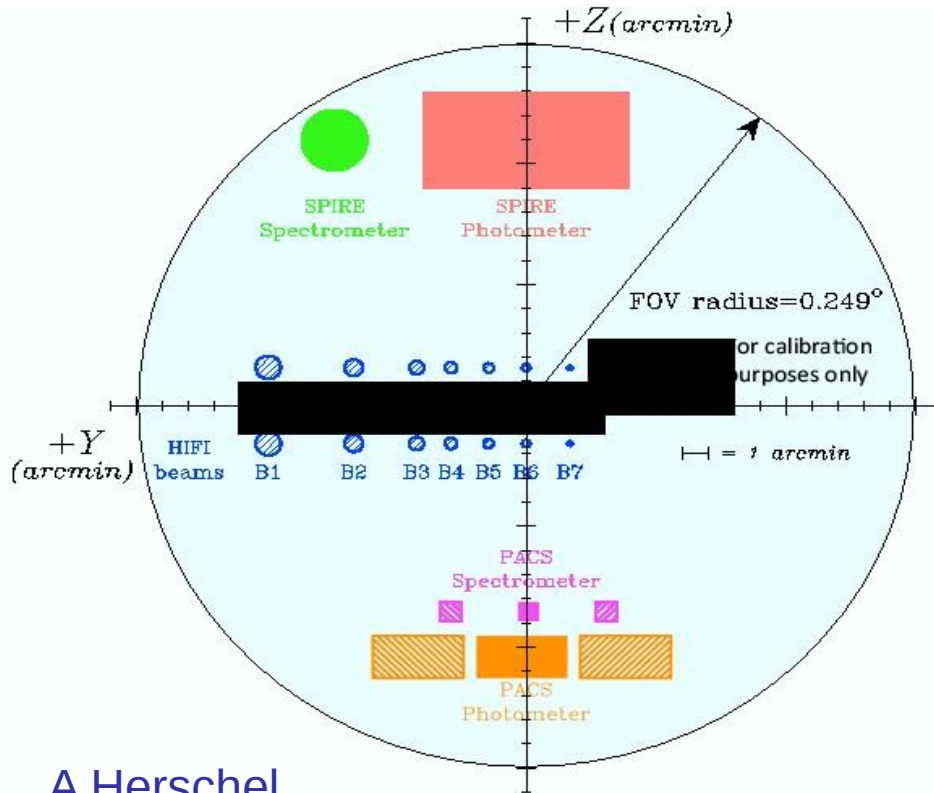
SPIRE (Spectral and Photometric Imaging Receiver): spektrográf érzékenysége 100 mJy (pontforrásokra), 500 mJy (kiterjedt forrásokra), $R=20\}1000$; a kamera érzékenysége 2, 4, ill. 9 mJy (250, 350, ill. 500 μ m-en). A SPIRE prototípusát a BLAST ballonon próbálták ki.



	PACS	SPIRE	HIFI
Photometry			
Range	60-210 μ m	200-670 μ m	
Field of View	1.75' x 3.5'	4' x 8'	
Pixel Size	3", 2, 6", 4	18", 25", 36"	
Filters	70 μ m, 100 μ m, 160 μ m	250 μ m, 350 μ m, 500 μ m	
Spectroscopy			
Range	55-210 μ m	194-672 μ m	157-213 and 240-625 μ m
Field of View	47" x 47"	2.0'	single pixel
Pixel Size	9"	16", 34"	39" (488 GHz), 34" (1408 GHz)
Filters	900 - 5400	40 - 1000	1000 - 10 ⁷

Kutatási célok a Herschellel:

- Galaktikus és extragalaktikus régiók nagy látómezejű felmérése;
- Az interstelláris anyag fizikájának és kémiájának részletes vizsgálata;
- A gáz és por asztrokémiai szerepe a csillagok fejlődésben;
- Naprendszerkutatás: bolygóléggörök, kis égitestek (Kuiper-övbeli TNO-k is)



A Herschel látómezeje

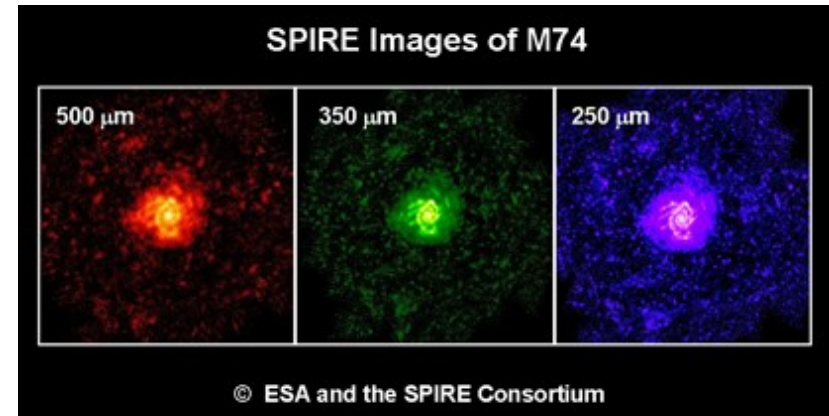
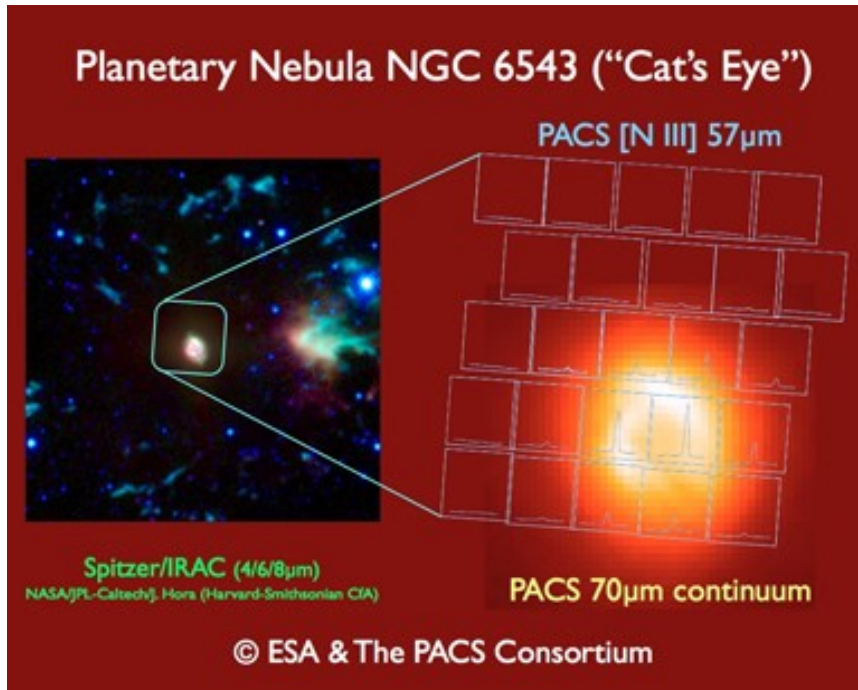
A távcsőidőre pályázni lehetett.

1/3: Guaranteed time

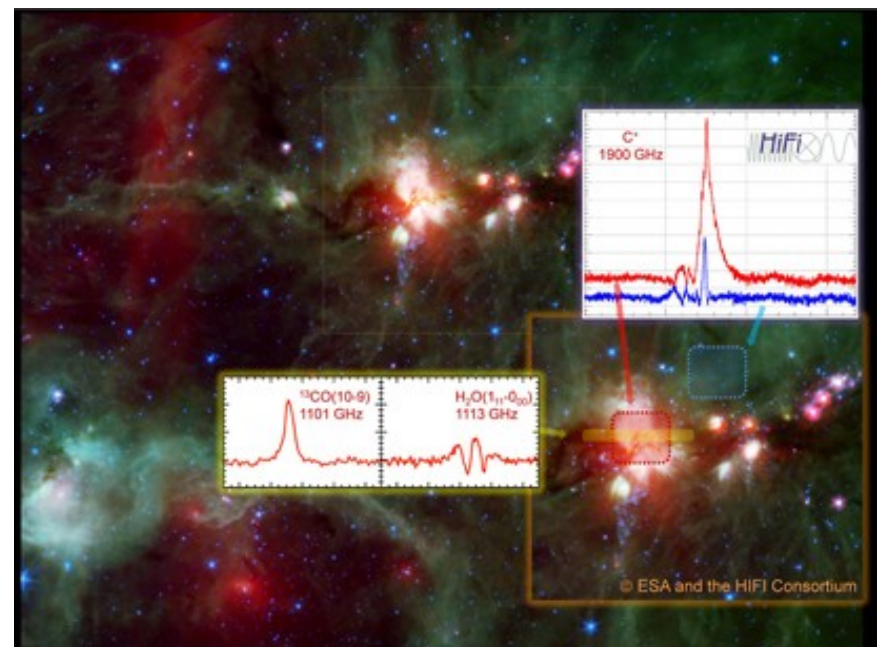
1/3: Open time key proposals

1/3: Open time proposals

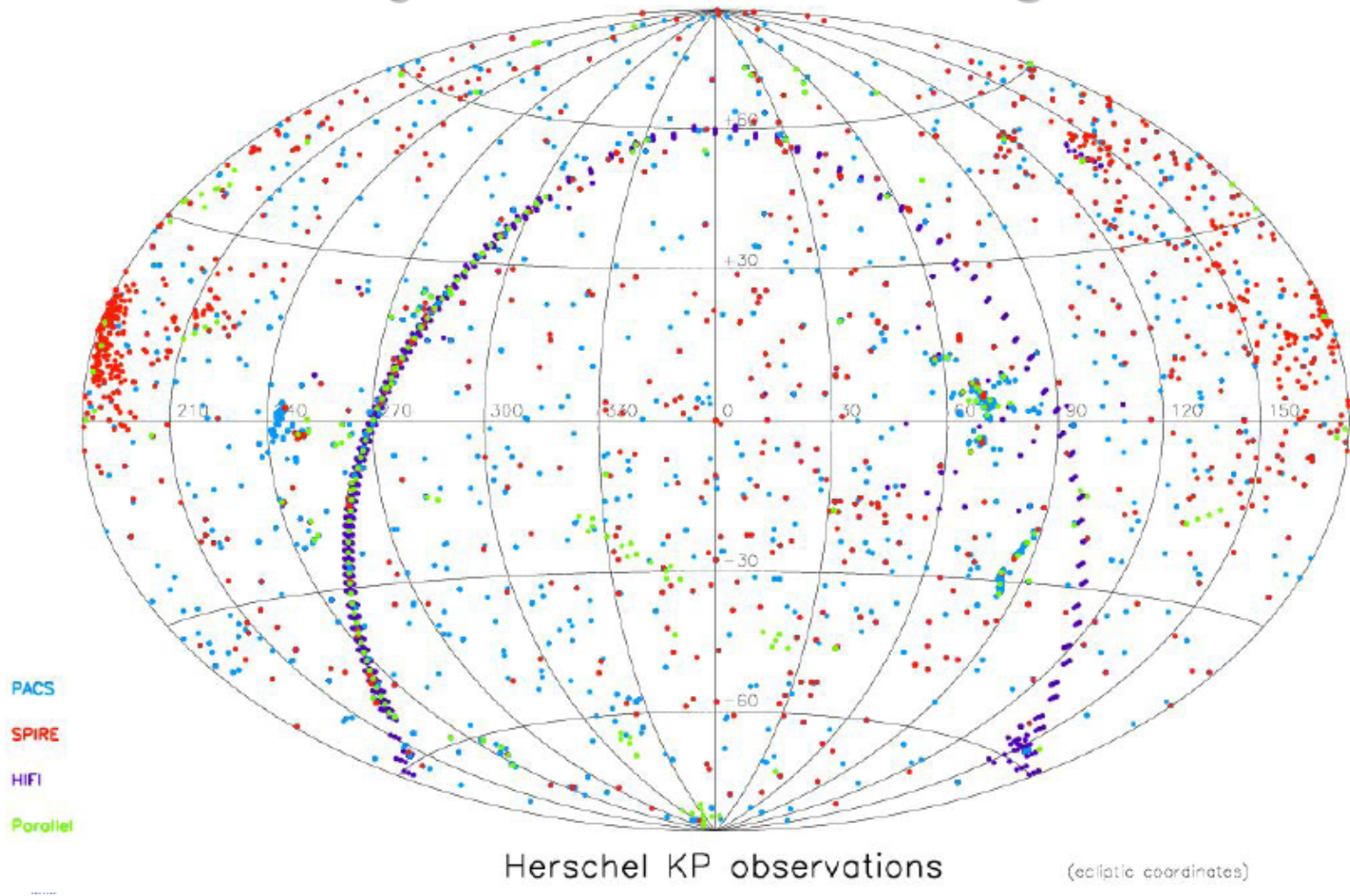
Az első képektől a működés végéig



- 23400 óra észlelési adat
- további 2600 óra kalibrációs mérés
- 698 észlelési program



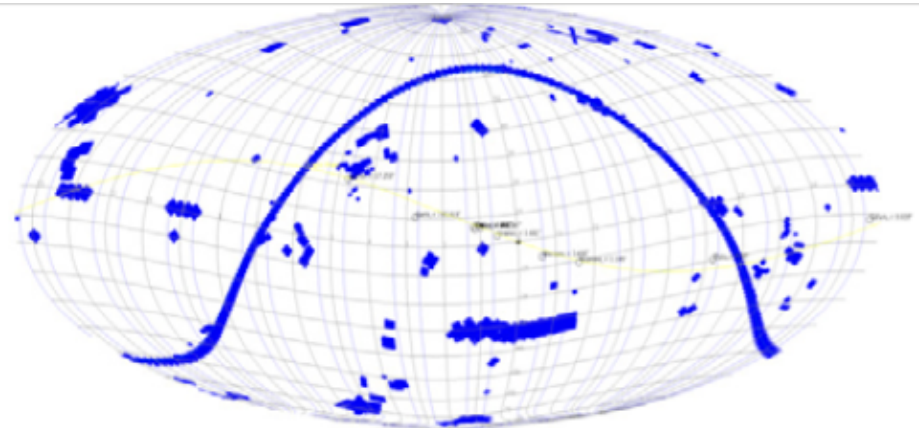
Sky distribution of targets



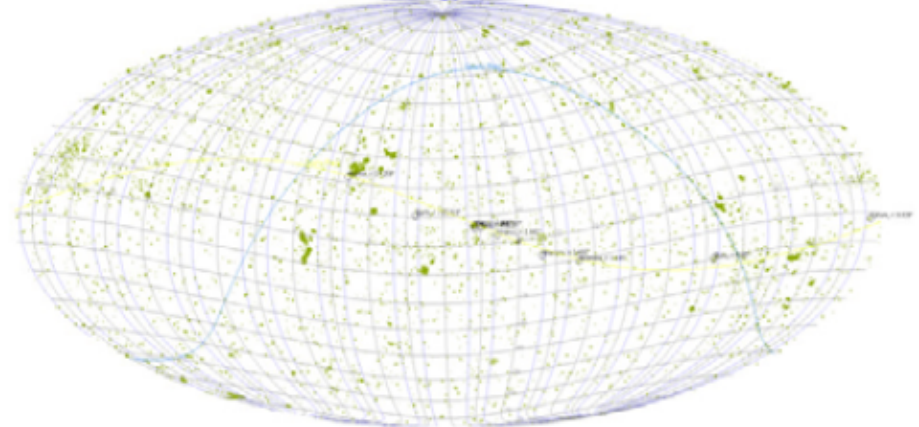
A Herschel a teljes égbolt 97%-át figyelte meg; 38200 kép/spektrum készült. Több mint a fele a PACS-sal, negyede PACS+SPIRE egyszerre.

Műszerek szerint bontva:

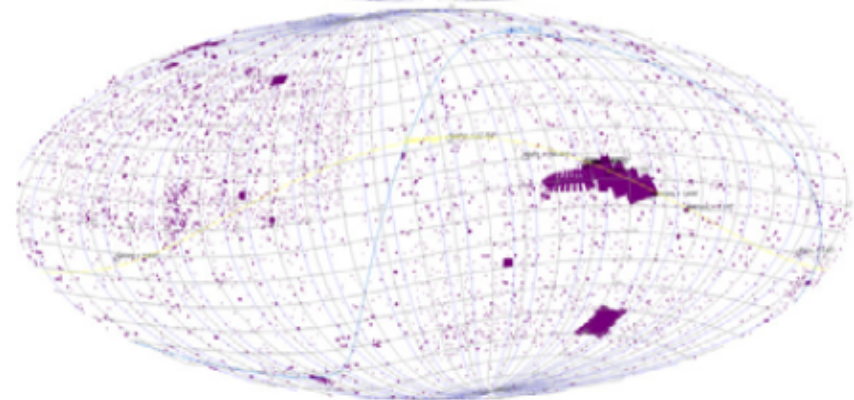
Fent: SPIRE/PACS
egyidejűleg



Középen:
PACS-fotometria

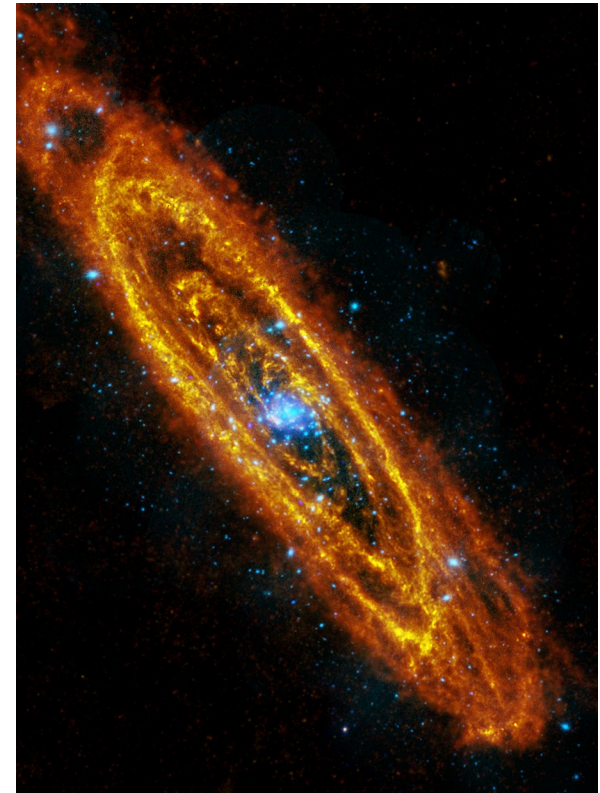
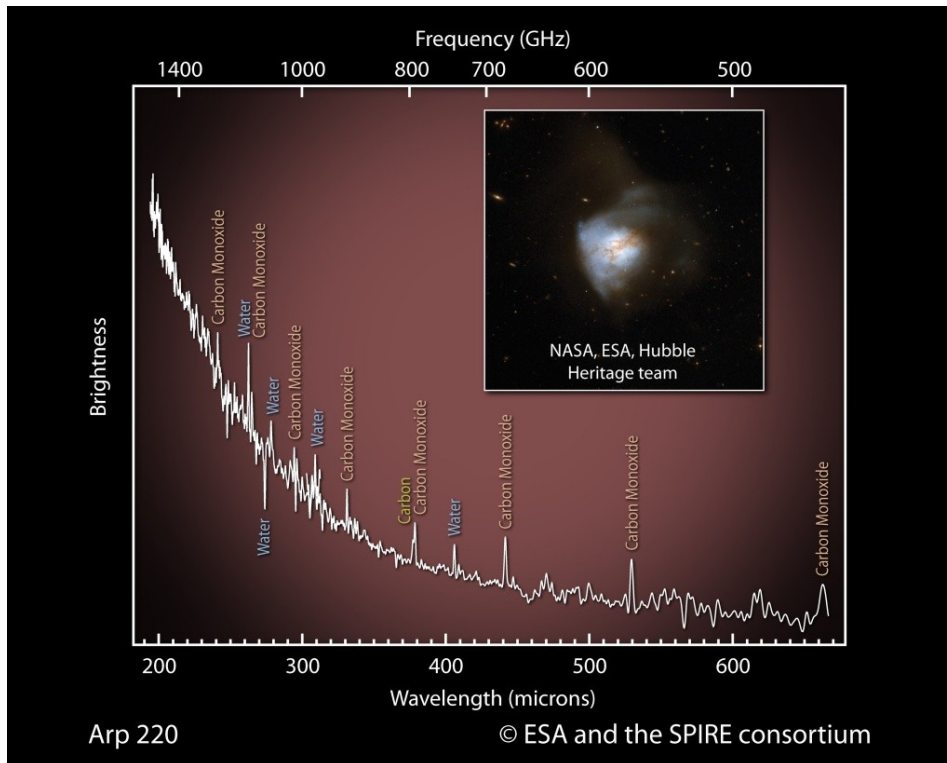


Lent:
SPIRE-mérések



Néhány konkrét kutatási cél

- Galaxisképződés a korai Univerzumban és a galaxisok fejlődése (GOODS);
- AGN és csillagontás megkülönböztetése kémiai alapon;
- Csillagkeletkezés és a csillagok kölcsönhatása az intersztelláris anyaggal;
- Naprendszerbeli égitestek felszínének és légkörének kémiai összetétele (bolygók, holdak, üstökösök);
- Részecskeméret és -összetétel időbeli változása



Kulcsprogramok a Herschellel

Garantált idejű KP (a bennfenteseknek), számuk 21:

Naprendszer (1):

Water and related chemistry in the Solar System (294 óra)

Csillagközi anyag, csillagkeletkezés (10):

Evolution of interstellar dust (163 óra)

Probing interstellar molecules with absorption line studies (PRISMAS, 128 óra)

The warm and dense ISM (160 óra)

Probing the origin of the stellar initial mass function. A wide-field Herschel photometric survey of nearby star-forming cloud complexes (461 óra)

The earliest phases of star formation: From low- to high-mass objects (112 óra)

HIFI spectral surveys of star forming regions (281 óra)

Stellar disk evolution (61 óra)

The Herschel imaging survey of OB young stellar objects (HOBYS, 126 óra)

Herschel observations of extra-ordinary sources: The Orion and Sgr B2 star-forming regions (HEXOS, 347 óra)

Water in star-forming regions with Herschel (WISH, 499 óra)

Csillagok (2):

The circumstellar environment in post-main-sequence objects (333 óra)

The physical and chemical properties of circumstellar environments around evolved stars (HIFISTARS, 215 óra)

Galaxisok, aktív galaxismagok (5):

Physical processes in the interstellar medium of very nearby galaxies (144 óra)

The ISM in low metallicity environments: bridging the gap between local universe and primordial galaxies (105 óra)

Physical and chemical conditions of the ISM in galactic nuclei (HEXGAL, 327 óra)

Star formation and activity in infrared bright galaxies at $0 < z < 1$ (296 óra)

The Herschel Reference Survey (113 óra)

Kozmológia (3):

The Herschel multi-tiered extragalactic survey: measuring the infrared galaxy formation history of the universe (HerMES, 900 óra) (**később dián is**)

The dusty young universe: photometry and spectroscopy of quasars at $z > 2$ (165 óra)

PACS evolutionary probe – A guaranteed time key programme survey of the extragalactic sky (655 óra)

Open Time (megpályázott idejű) kulcsprogramok (21):

Naprendszer (1):

TNOs are cool: a survey of the transneptunian region (373 óra) (**később dián is**)

Csillagközi anyag, csillagkeletkezés (10):

Gas in protoplanetary systems (GASPS, 400 óra)

Disc emission via a bias-free reconnaissance in the infrared/sub-millimetre (DEBRIS, 140 óra)

Cold disks around nearby stars. A search for Edgeworth-Kuiper belt analogues.

Dust disks around nearby stars (DUNES, 140 óra)

The Herschel inner galaxy gas survey (HIGGS, 125 óra)

Galactic cold cores: a Herschel survey of the source populations revealed by Planck (151 óra)

Dust, ice, and gas in time (DIGIT, 250 óra)

Herschel Oxygen Project (140 óra)

The Herschel infrared galactic plane survey (Hi-GAL, 344 óra) (**később dián is**)

The Herschel Orion Protostar Survey (HOPS, 200 óra)

State of the diffuse ISM: galactic observations of the terahertz CII line (GOT CPlus, 223 óra)

Galaxisok, aktív galaxismagok (8):

Constraining the cold gas and dust in cluster cooling flows (141 óra)

Herschel M33 extended survey (HERMES): star-formation interplay with the ISM (192 óra)

The Herschel Lensing Survey (292 óra)

LoCuss: A legacy survey of galaxy clusters at $z=0.2$ (145 óra)

Herschel Virgo Cluster Survey (HEViCS, 286 óra)

Herschel inventory of the agents of galaxy evolution in the Magellanic Clouds (HERITAGE, 238 óra) (**később dián is**)

A Herschel survey of molecular lines in (U)LIRGs: physical conditions, the nature of the power source, and a benchmark for high- z observations (100 óra)

Key insight on nearby galaxies: a far-infrared survey with Herschel (KINGFISH, 537 óra)

Kozmológia (2):

The Herschel Thousand Degree Survey (H-ATLAS, 600 óra)

The Great Observatories Origins Deep Survey: far-infrared imaging with Herschel (363 óra)

Kulcsprogramok a Herschellel

A Nagy-Magellán-felhő
a HERITAGE projekt
mérései alapján.

HERschel

Inventory of

The Agents of

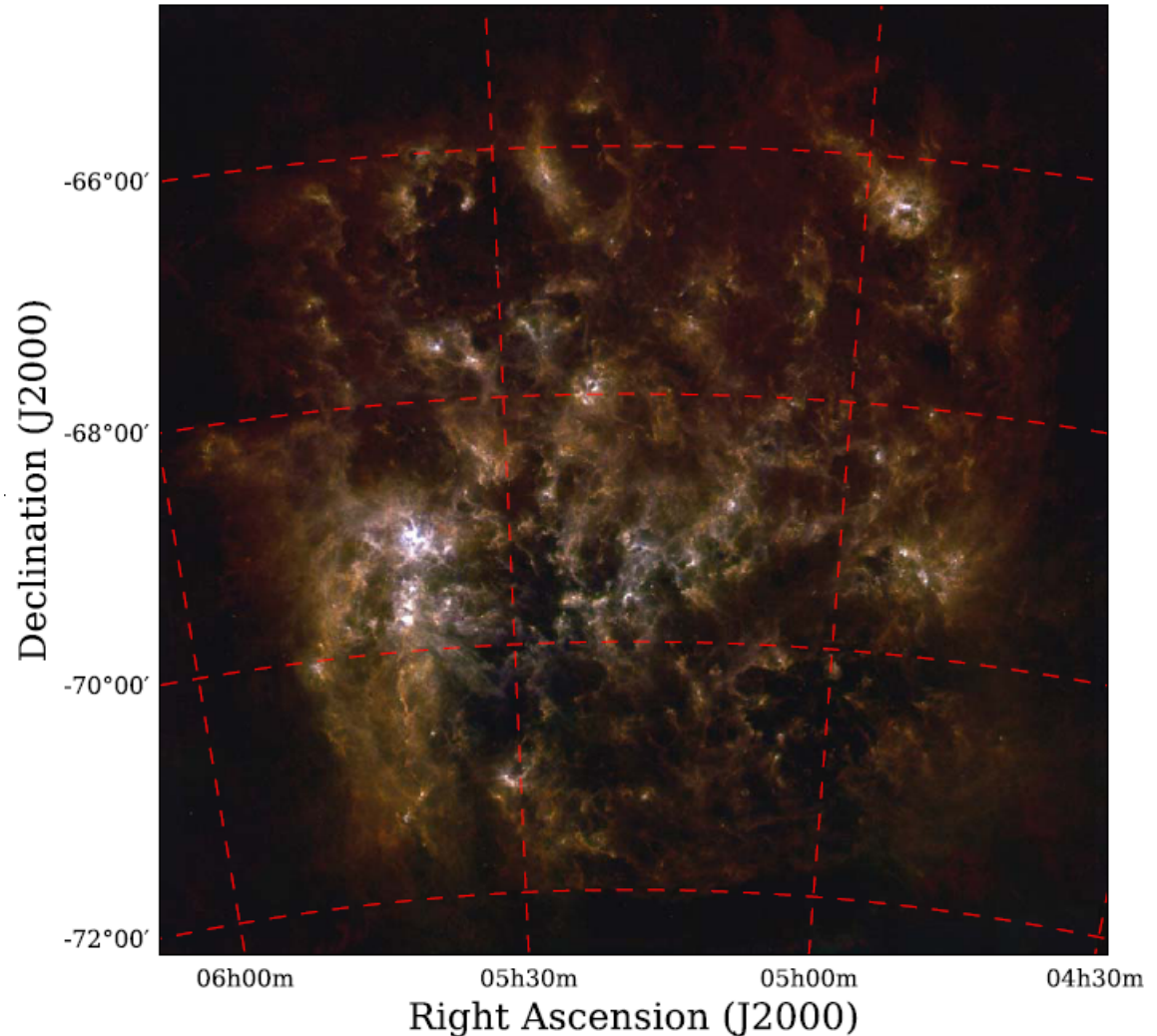
Galaxy Evolution:

A két Magellán-felhő
felmérése öt

hullámhosszon:

100, 160, 250, 350 és

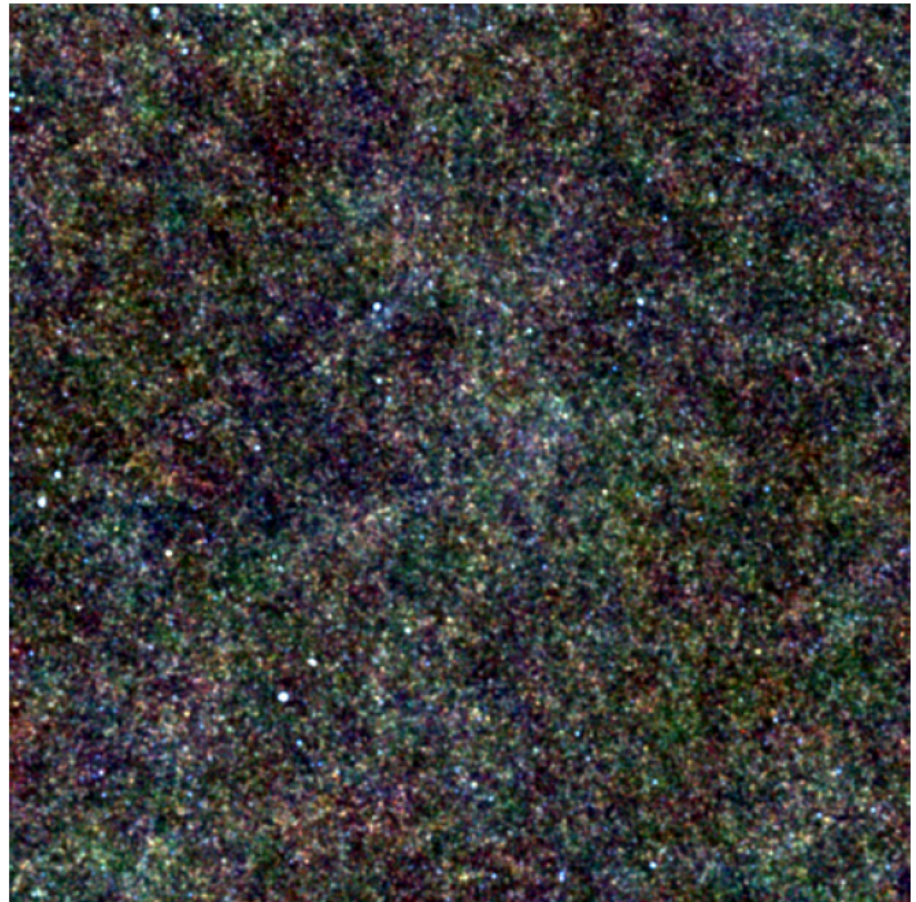
500 mikrométeren.



Kulcsprogramok a Herschellel

HerMES felmérés: a **Lockman-lyukban** (UMa) a sötét anyag eloszlása és a csillagontás (starburst) közötti kapcsolat vizsgálata. A csillagontáshoz $>10^{11}$ naptömegnyi sötét anyag szükséges.

A fiatal galaxisok általában normálisak. A csillagképződés üteme a rendelkezésre álló molekuláris gáz bősége miatt nagyobb. Nem lényeges a galaxistalálkozások (ütközések) szerepe.



Kulcsprogramok a Herschelrel

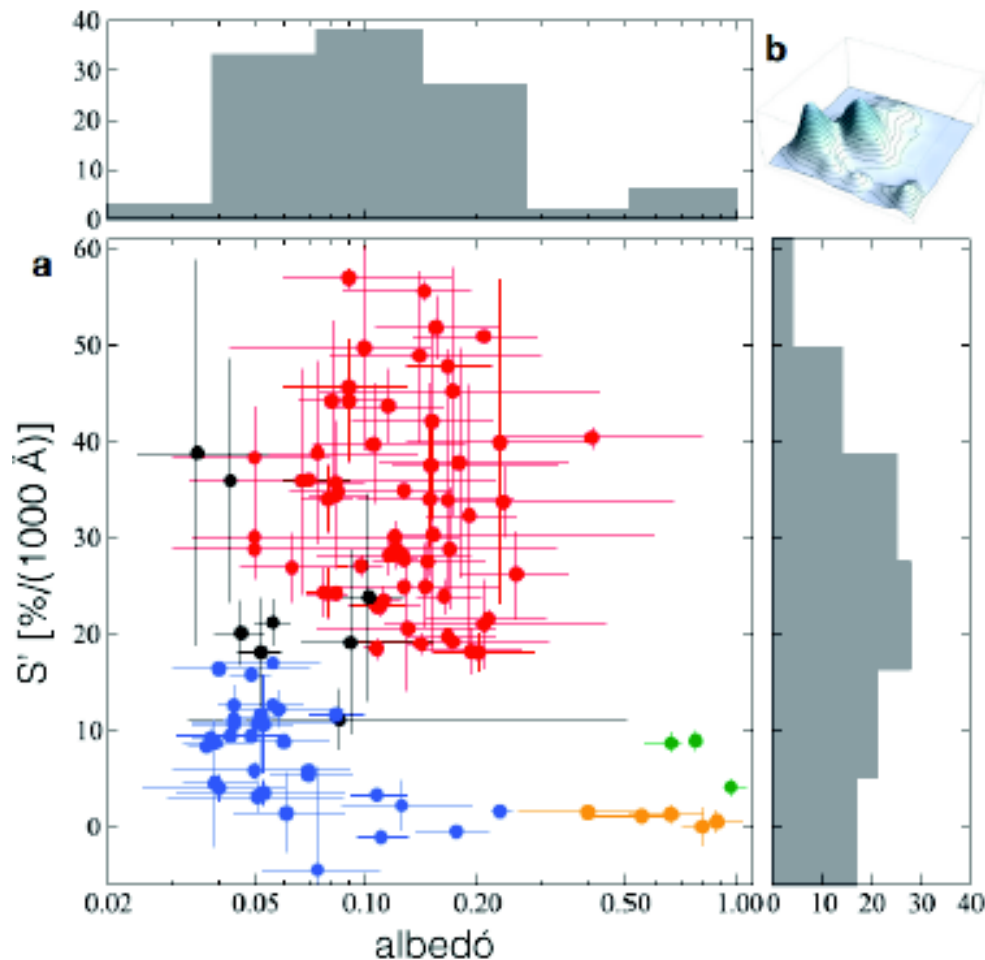
TNOs are Cool felmérés (erős magyar érdekeltséggel):

kb. 140 Neptunuszon túli
kis égitest jellemzőinek
meghatározása
radiometriai módszerekkel.

35-50 K közötti
hőmérsékletükkel

ideálisak a PACS detektor
számára. Az ábrán a szín
és az albedó közötti
kapcsolat látszik.

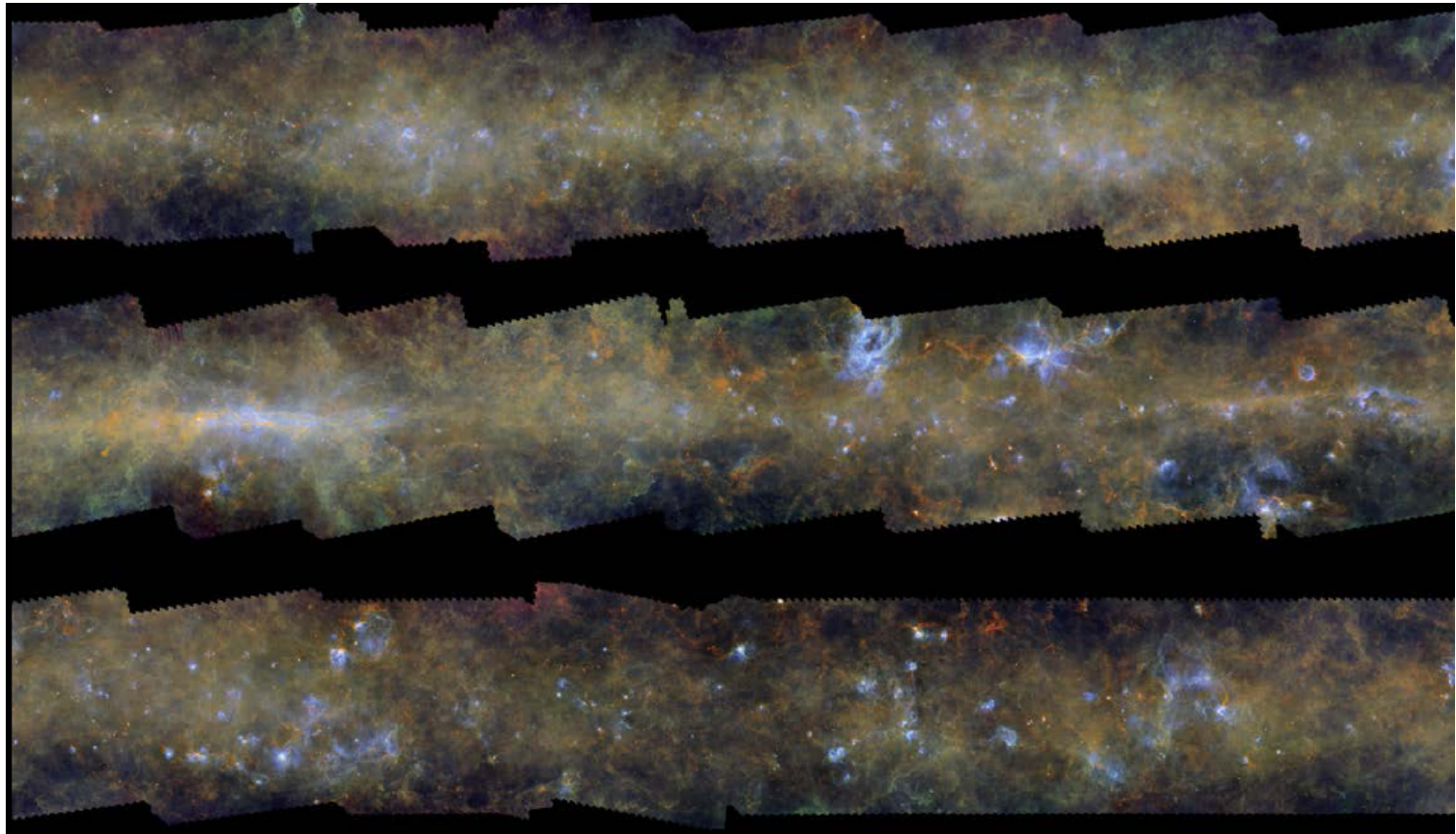
Összetételbeli
diszkontinuitás lehetett
a korai Naprendszerben
20 CSE távolságban a
Naptól. A vizsgált kis
égitestek méretét is
meghatározták.



Kulcsprogramok a Herschellel

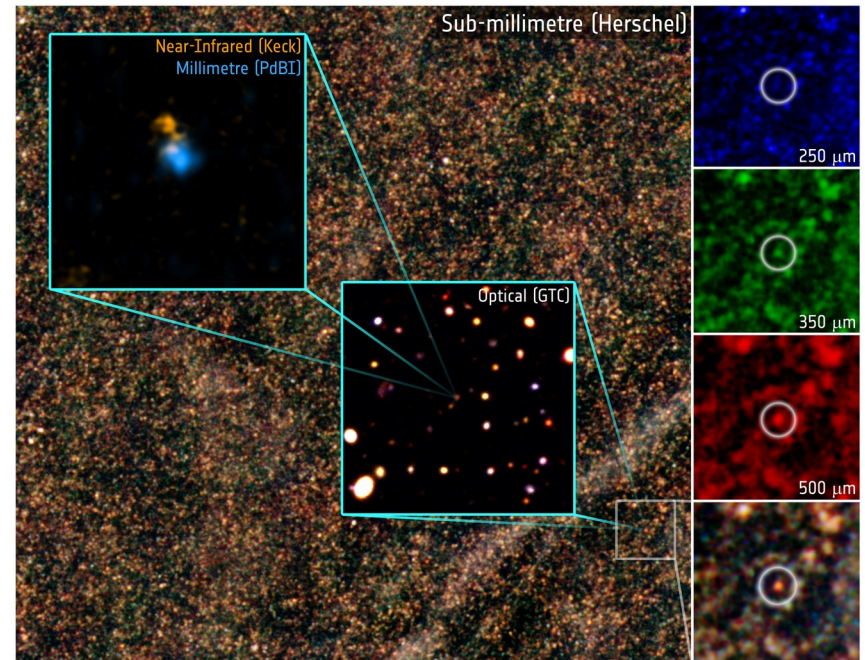
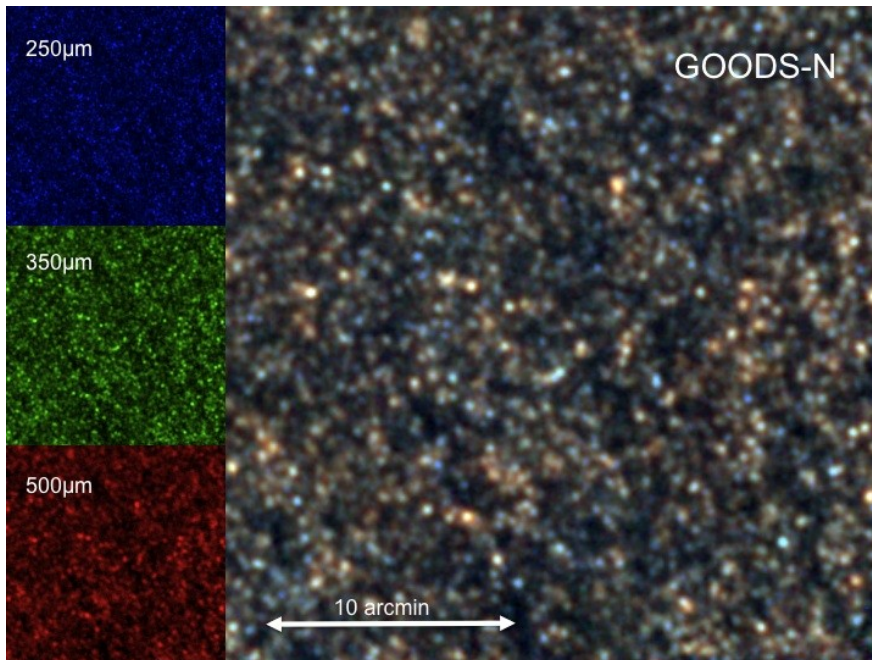
Hi-GAL (Herschel infrared Galactic Plane Survey):

A Tejútrendszer fősíkjának felmérése; 720 négyzetfok a fősík mentén 4 sávban 70 és 500 mikrométer között. A képen csak három részlet látszik. A teljes felmérés alapján 100000 sűrű csomót és 30000 filamentáris szerkezetet azonosítottak.



Kulcsprogramok a Herschellel

A HST-nél tárgyalt **GOODS** projekt: északi és déli mező 360 órányi észlelése (2009, ill. 2010). IR-ben az optikai tartományban láthatatlan galaxisok is látszanak. A csillagontás a fiatal galaxisokra jellemző. A kozmikus IR háttérre végre sikerült felbontani 70 és 100 mikrométeren is: az északi mezőben 300 galaxis látszik, a déliben pedig 800. **HFLS3**: szokatlanul fényes galaxis $z=6,34$ -nél (800 millió éves); csillagontás (2000 naptömeg/év). (jobbra)

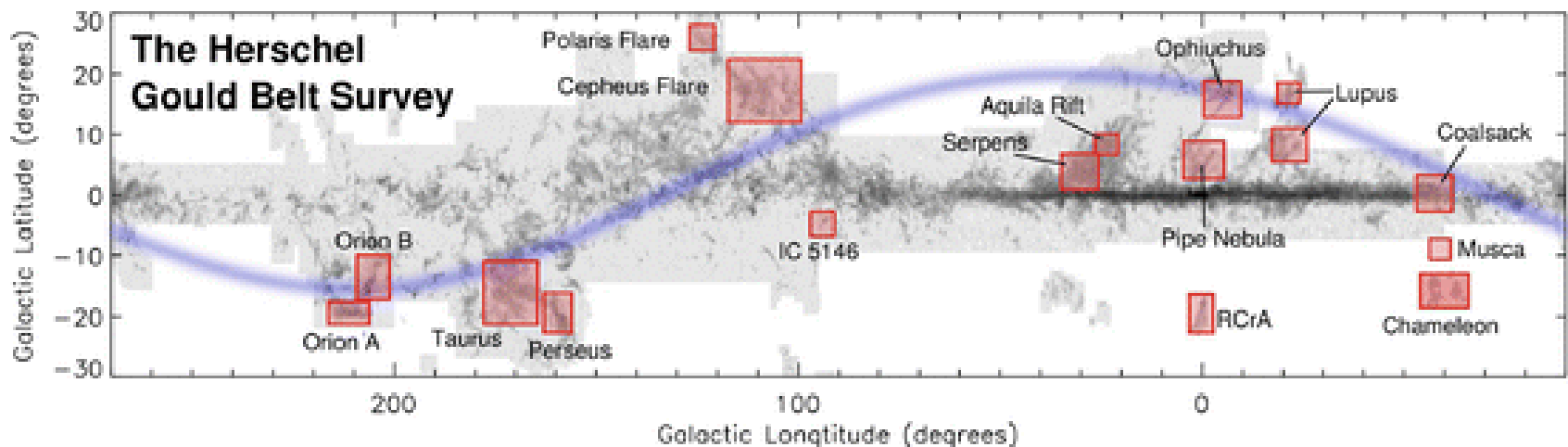


Kulcsprogramok a Herschellel

Table 3. Approved KP proposals by science area.

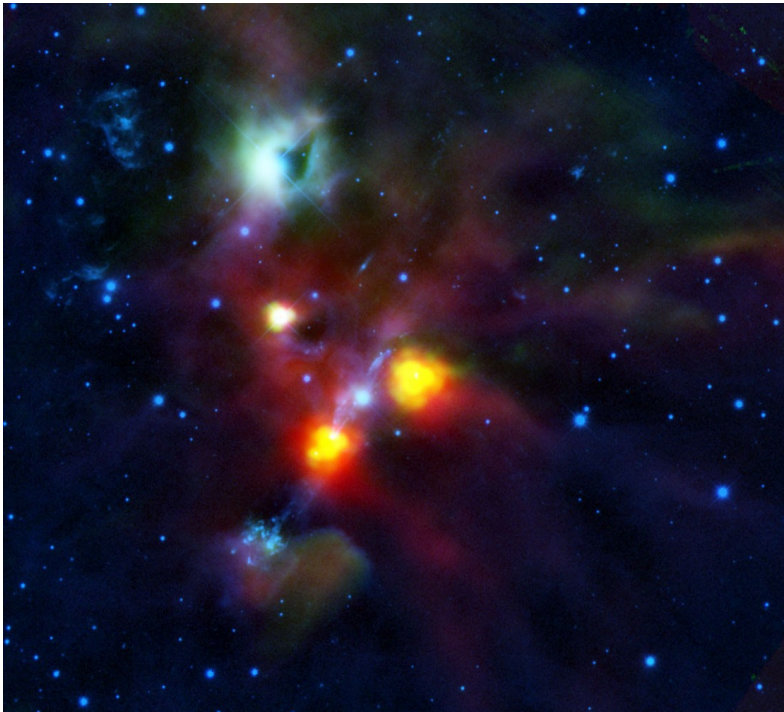
Topic props	KP GT		KP OT		KP total	
	#	h	#	h	#	h
Solar system	1	293.7	1	372.7	2	666.4
ISM/SF	10	2337.5	10	2113.2	20	4450.7
Stars	2	544.6	0	0	2	544.6
Gal/AGNs	5	983.7	8	1930.3	13	2914.0
Cosmology	3	1719.4	2	962.6	5	2682.0
Total	21	5878.9	21	5378.8	42	11257.7

Példa egyéb projektre:



Néhány érdekes Herschel-eredmény

2010. júl. és okt.: az A&A egy teljes száma a kezdeti eredményeket közölte;
Az **NGC 1999** belseje teljesen üres: **Kulcslyuk-köd**, a **V380 Ori** gerjeszti (földi
műszerekkel is megerősítették), ez a csillagfejlődés sajátos fázisa (**jobbra**).
Megerősítette az O_2 -molekula létét a kozmikus térben (az Odin találta meg
korábban).



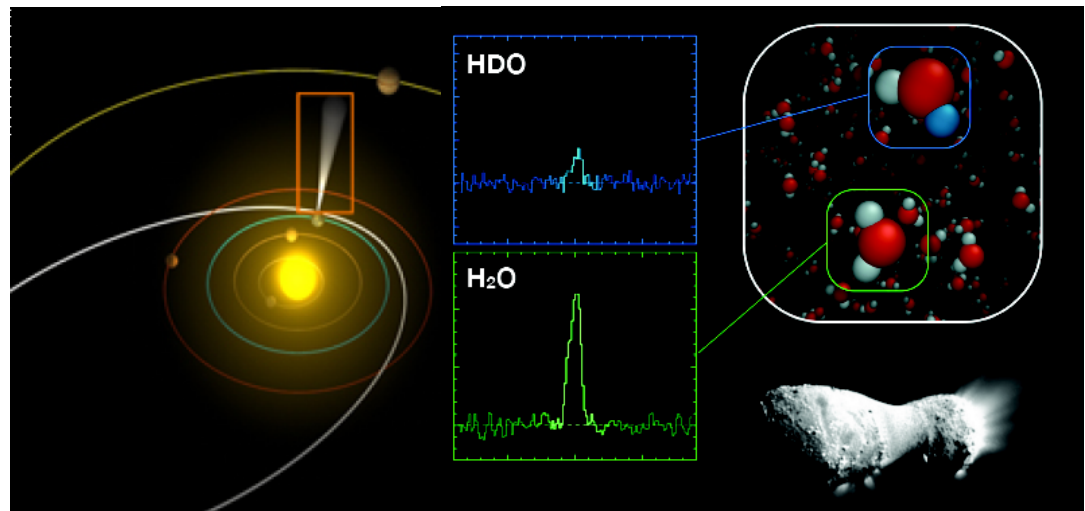
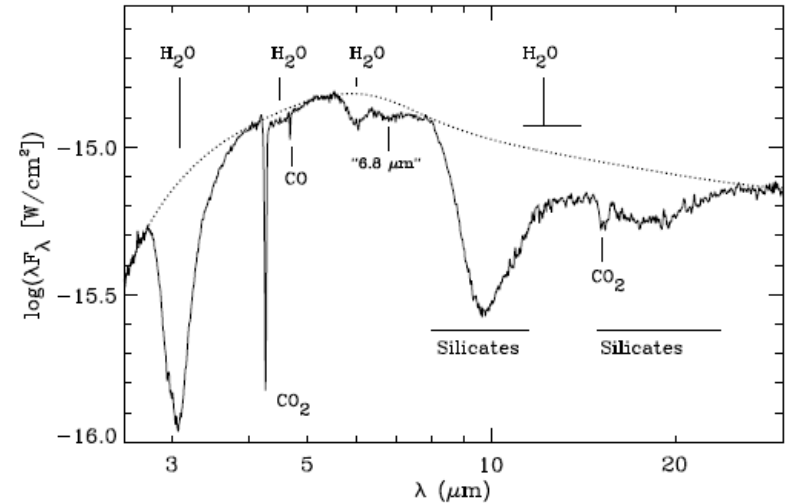
Néhány fontos Herschel-eredmény

A fiatal csillagok tömegbefogási korongjában is óceányi víz van.

A Szaturnusznál az Enceladus hold 250 kg/s ütemben lövell vizet a bolygóra.

A **103P/Hartley-2** üstökösben a D/H arány a földi óceánokénak felel meg (**lent**). A 2009-es Garradd-üstökösben viszont a földtől eltérő a D/H izotóparány. Nem biztos, hogy a földi víz üstökösökből származik, lehet, hogy kisbolygók szállították ide.

A Jupiterre a **Shoemaker-Levy 9** üstökös sok vizet szállított.



Néhány fontos Herschel-eredmény

A Tejútrendszer felmérése ionizált szénnel (C^+). A H_2 jobb nyomjelzője, mint a CO. HIFI-mérések szerint 30%-kal több a hidrogéngáz, és kiterjedtebben oszlik el az addig vélténél.

Porfelmérés: 300 különféle galaxis (15–25 Mpc) alapján megerősítették, hogy az elliptikusok porban szegényebbek.

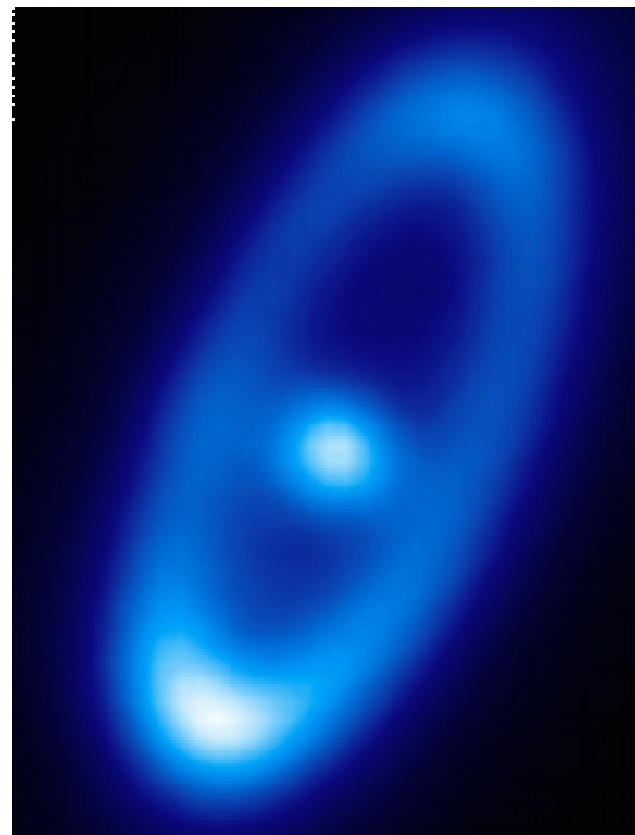
Kimutatták a nemesgázt tartalmazó első molekulát (a Rák-ködben $^{36}ArH^+$).

Az SN 1987A körül a korábban vélténél ezerszer több a por.

Protoplanetáris korongok észlelése, felfedezése (Kuiper-övek, pl. a **Fomalhaut** körül – **jobbra**)

Távoli szubmilliméteres galaxisok (SMG) azonosítása ($z = 3$, 10–20 Gpc), a gravitációs lencsézés is segített.

Az óriás elliptikus galaxisokban van gáz, de az aktív galaxismag (AGN) nem engedi a csillagképződést (meleg a gáz, sőt ki is fúvódhat).

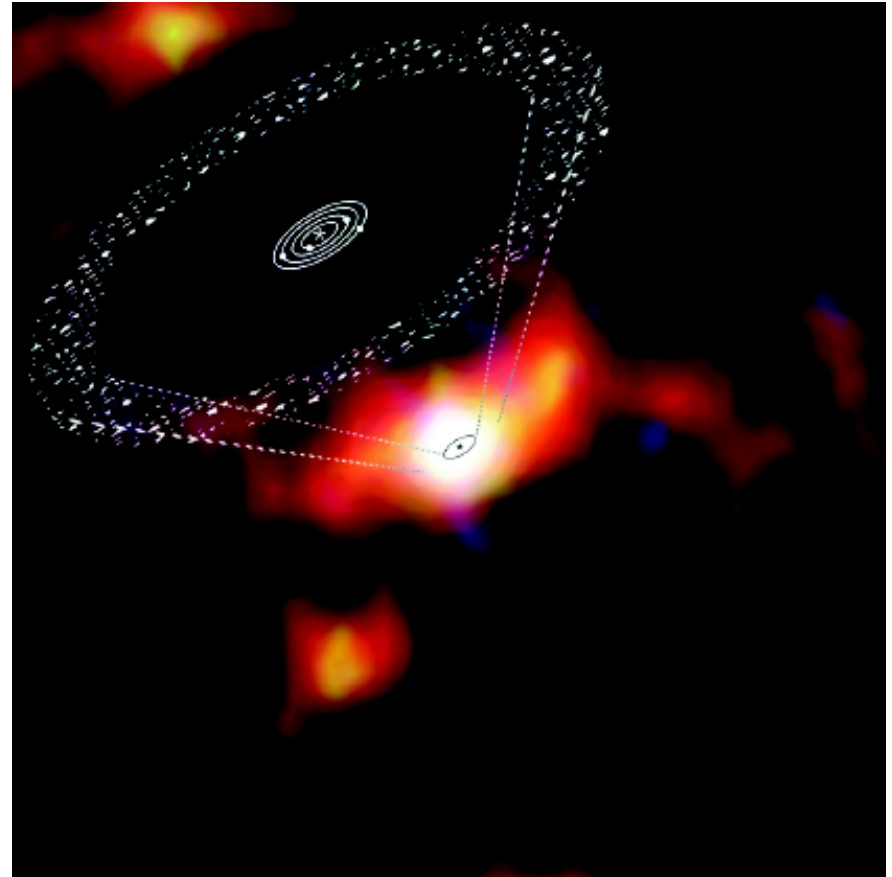


Csillagok körüli porkorongok

Porkorongokra és -gyűrűkre jól ismert példa a Vega és a Fomalhaut. Ezek a csillag- és bolygókeletkezés velejárói.

A Herschel távoli IR-ben más csillagok körül is talált ilyen képződményeket. Az idősebb csillagok esetében a neve maradványkorong.

Példák: 61 Virginis és a kb. 0,3 naptömegű M törpe **Gliese 581 (jobbra)**. Körülötte négy bolygó is kering. Kétmilliárd éves, és a korong 25-60 CSE távolságra van a csillagtól. A korong fennmaradását segíthette az óriásbolygó hiánya a rendszerben.



A Herschel a csillagkeletkezésről

A csillagközi anyag 250 μm -en filamentáris szerkezetű: 0,1 pc szélességű szálakból áll. A csillagok a legsűrűbb száldarabokból alakulnak majd ki gravitációs feldarabolódással (fragmentáció).

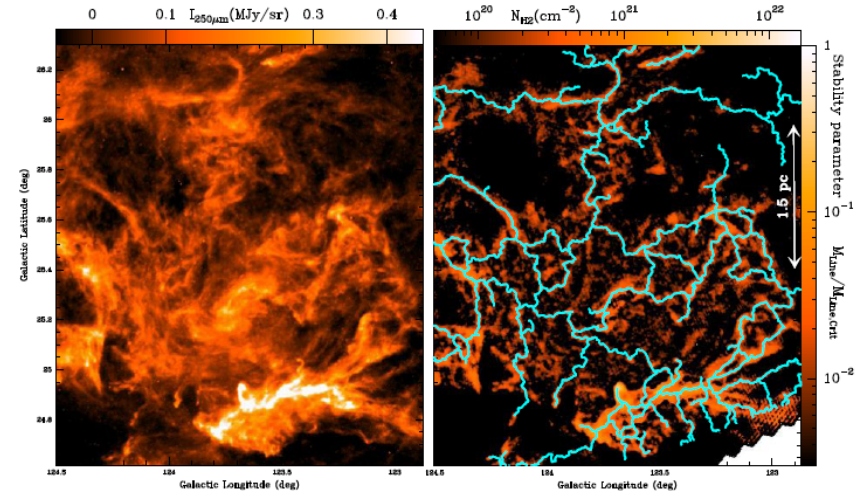
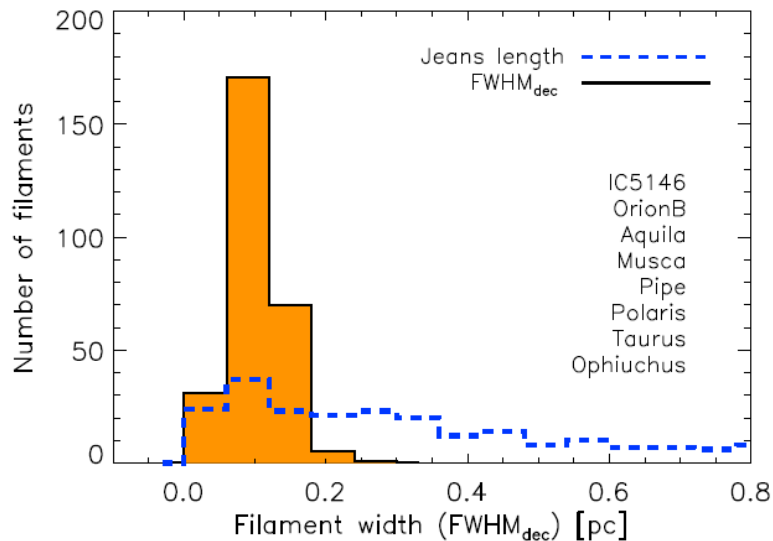
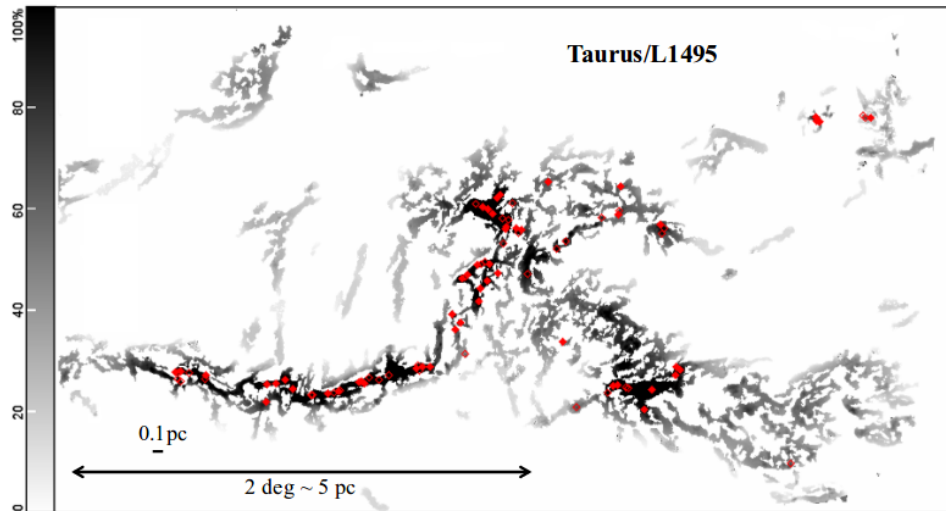


Figure 1. Left: *Herschel*/SPIRE 250 μm dust continuum map of a portion of the Polaris flare translucent cloud ($d \sim 150$ pc) taken as part of the HGBS survey (e.g. Miville-Deschênes et al. 2010, Ward-Thompson et al. 2010). Right: Corresponding column density map derived from *Herschel* data (André et al. 2010). The contrast of the filaments has been enhanced using a curvelet transform (cf. Starck et al. 2003). The skeleton of the filament network identified with the DisPerSE algorithm (Sousbie 2011) is shown in light blue. Given the typical filament width ~ 0.1 pc (Arzoumanian et al. 2011 – see Fig. 4 below), this column density map is equivalent to a map of the mass per unit length along the filaments (see color scale on the right).

A Herschel a csillagkeletkezésről

A filamentáris szerkezet a **Polaris-fler** SPIRE-felvételén is látszik (**jobbra lent**). Három pc átmérőjű tartomány 150 pc távolságban. Egyenletes és alacsony hőmérséklet (kb. 10 K): „molekuláris cirrusz”. Már nem keletkeznek benne csillagok. A szuperszonikus turbulencia egyenletes vastagságú filamenteket hoz létre.

Presztelláris magok a **Lynds 1495** molekulafelhőben (Taurus, **balra lent**)



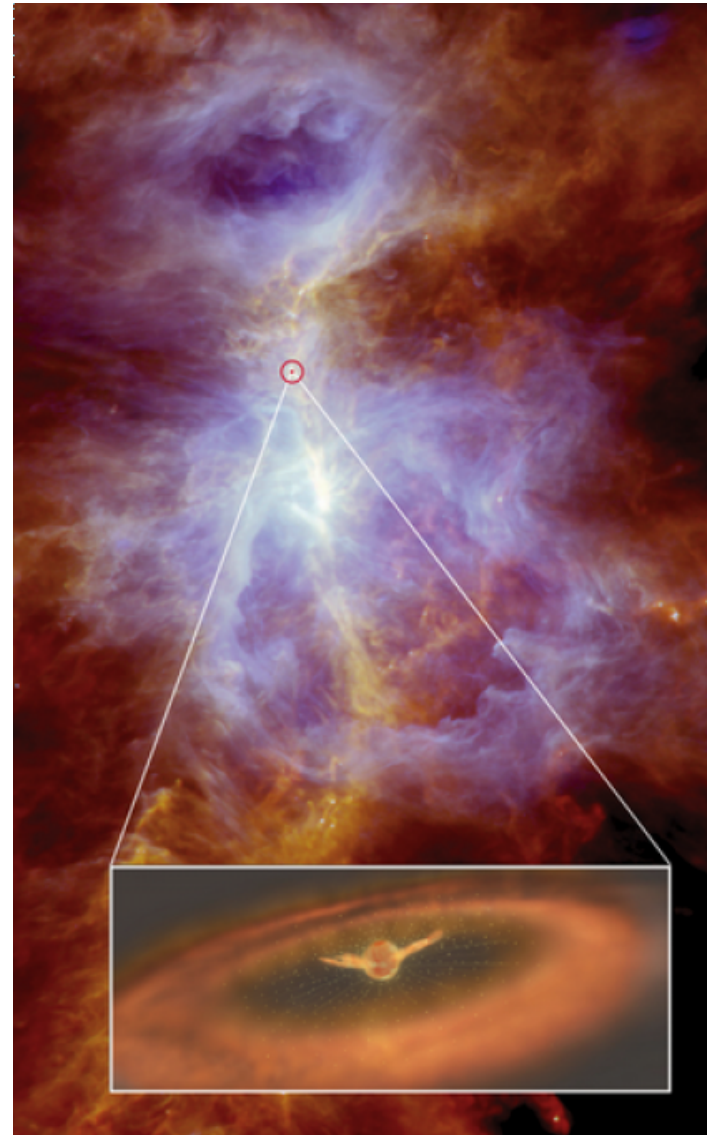
: Spatial distribution of prestellar cores (red diamonds) overlaid on a filtered column density map of the L1495 region in



Figure 1: *Herschel*/SPIRE 250 μm dust continuum image of a portion of the Polaris flare translucent cloud ($d \sim 150$ pc) taken as part of the

A Herschel a csillagkeletkezésről

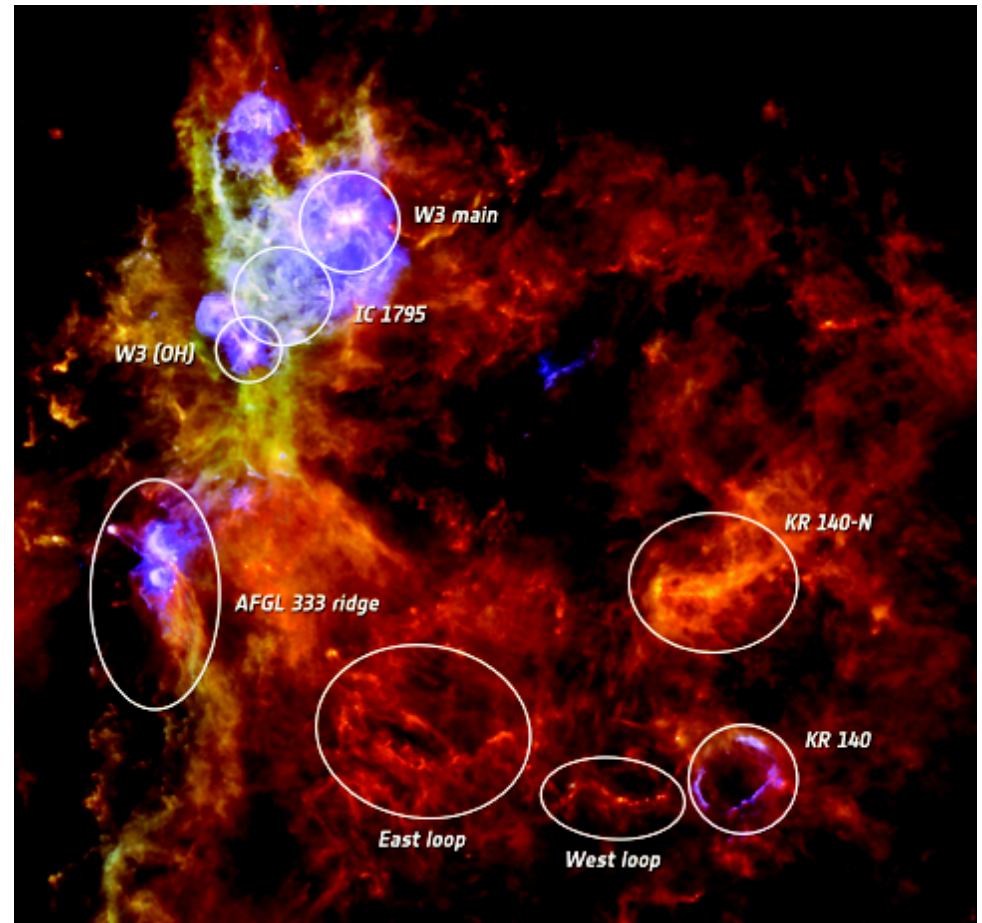
- Orion-molekulafelhő (OMC): erős részecskesugárzás lehet a beágyazott csillagkezdemények körül.
- C- és O-tartalmú molekulák aránya a N-tartalmúakéhoz képest: C, O gyakoribb, ha nincs erős részecskesugárzás. Heves részecskeáram bomlasztja a CO-molekulákat, így azonos arányban fordul elő a molekuláris C, O és N. A Be^{10} részaránya magas; keletkezése: O^{16} ütközése más részecskékkel (Be^{10} csillagban, SN-robbanásban sem képződhet.)



A Herschel a csillagkeletkezésről

A W3 csillagkeletkezési tartományban (Cassiopeia) nagy tömegű csillagok is képződnek.

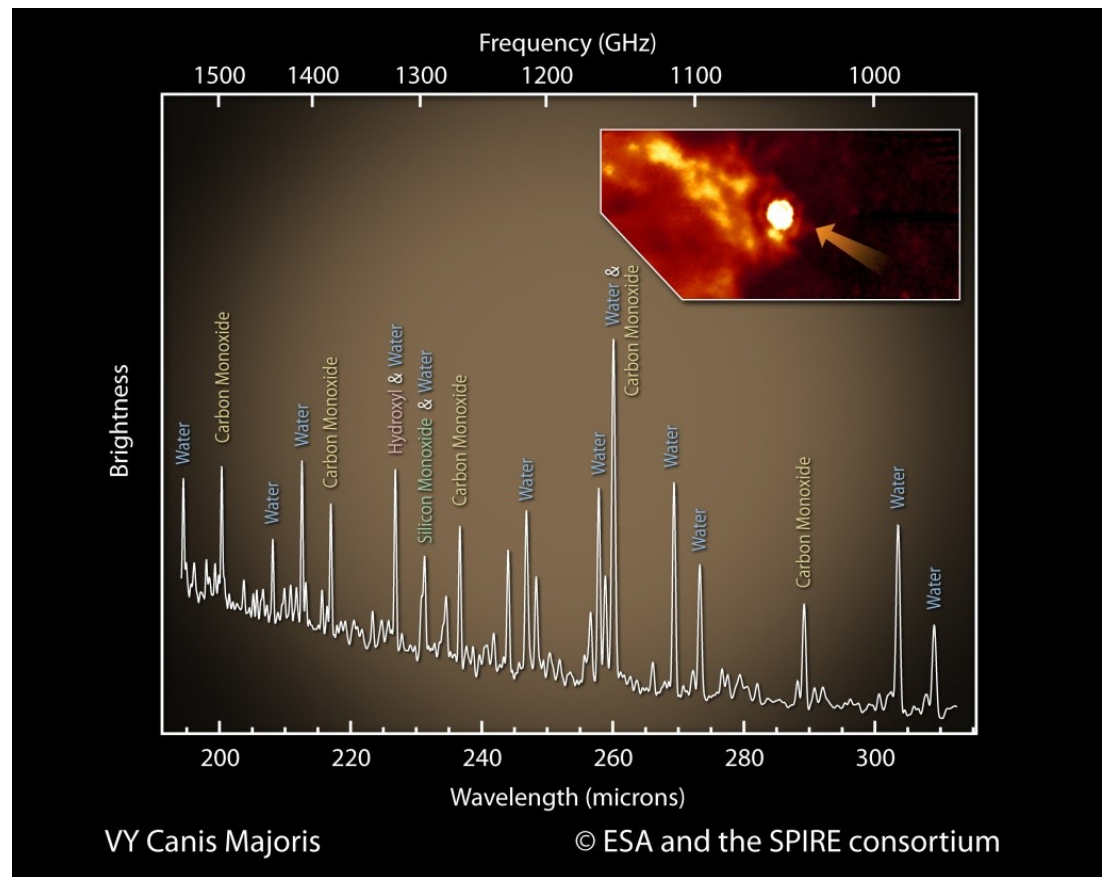
Még nem fújták szét a csillagközi port és gázt, így folytatódik az újabb csillagok kialakulása.



A Herschel a csillagfejlődésről

A VY Canis Minoris az egyik legnagyobb csillag a Tejútrendszerben: mérete kb. 2000-szer nagyobb a Napénál, tömege 30-40 naptömeg. A nagy sebességű tömegvesztés miatt jelentős burok veszi körül.

Molekulák kimutatása a SPIRE spektrométerrel:
 H_2O , OH, SiO, CO.
Az egyik legerősebb mézerforrás.



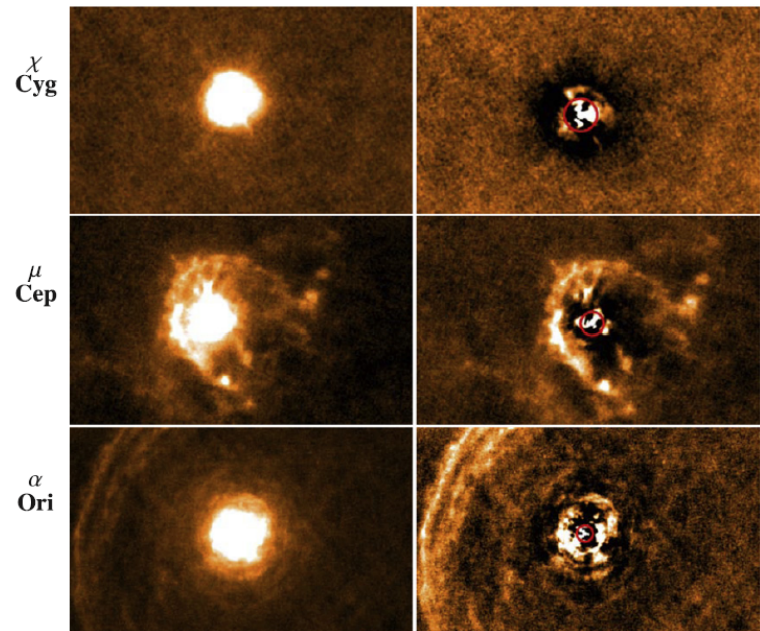
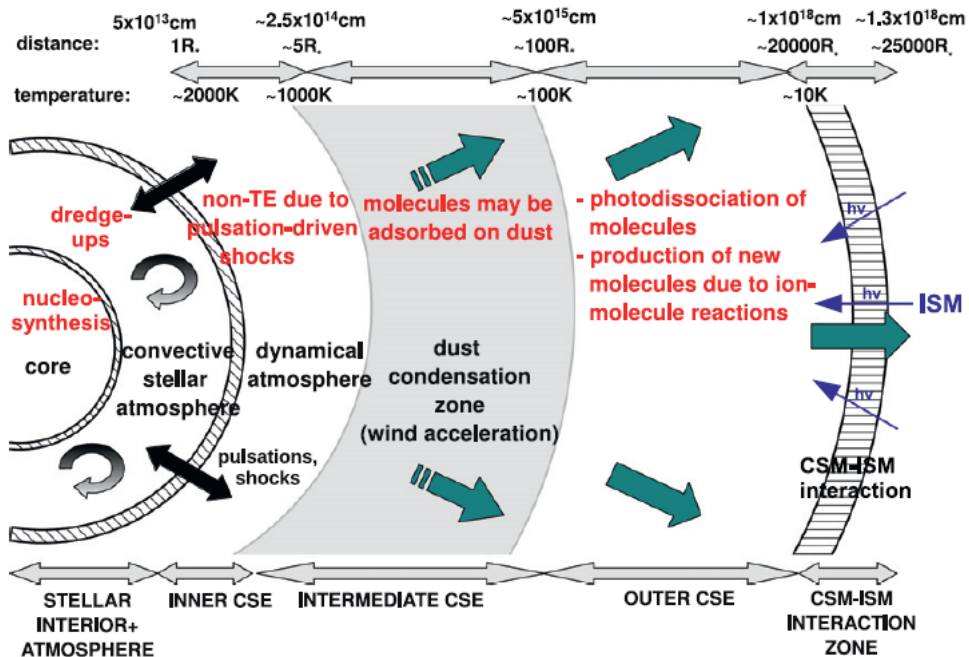
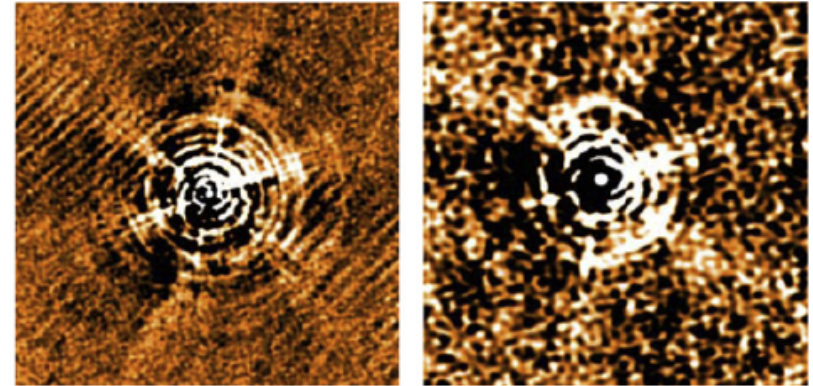
Késői csillagfejlődés a Herschel alapján

Pulzáció + porképződés a meghatározó.
Csillagszél: 10–30 km/s.

Tömegvesztés: 10^{-8} – 10^{-4} naptömeg/év.

PACS-kép: 100 és 160 μm -en a csillagköri haló levonása után.

χ Cyg, μ Cep és α Ori 70 μm -en a csillagköri egyenletes burkot levonva. A bejelölt 15"-en belül a PSF még torzíthat.

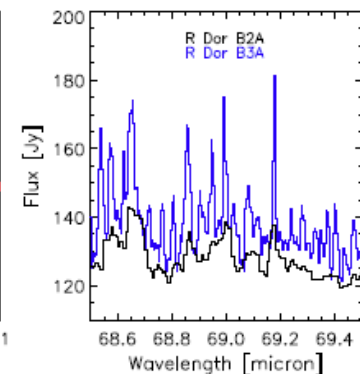
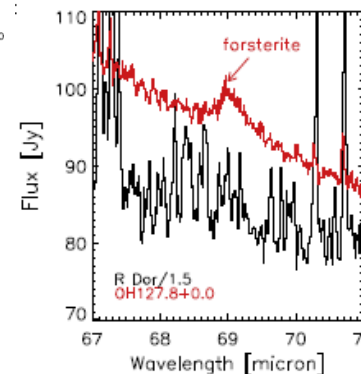
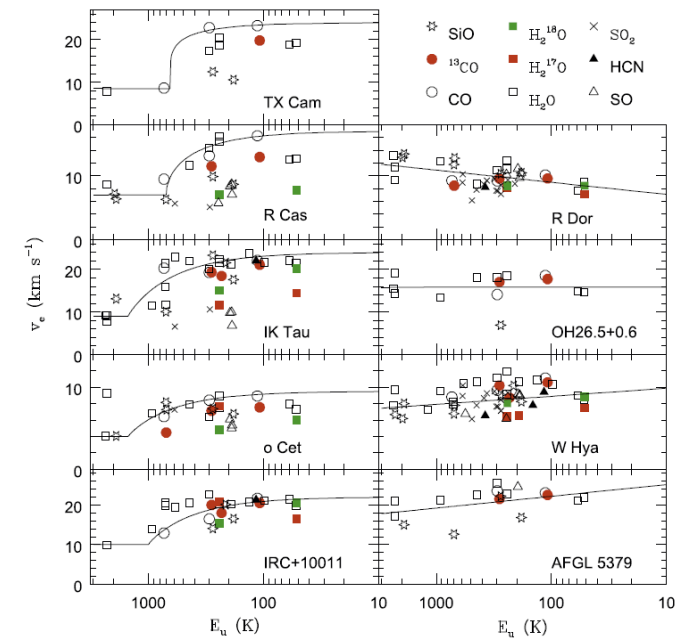
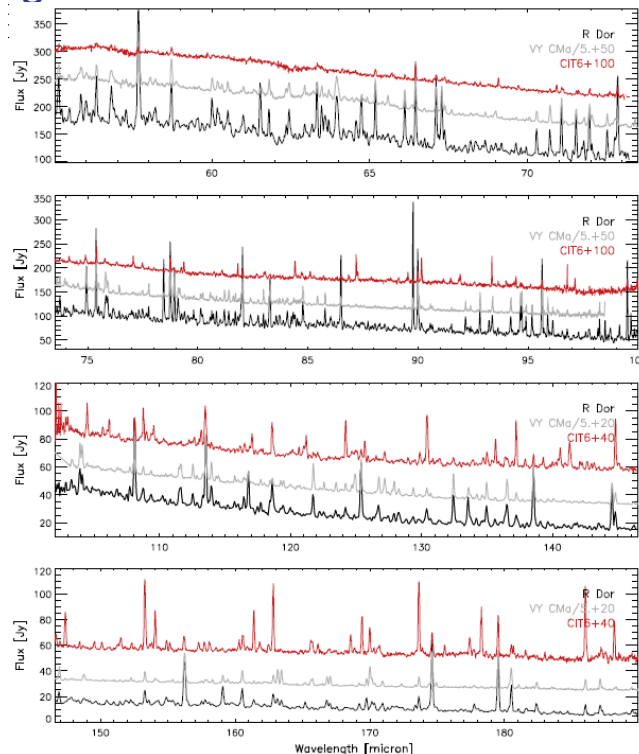


Késői csillagfejlődés a Herschel alapján

HIFI-mérésekből különféle molekuláris vonalak tágulási sebessége O-ban gazdag AGB-csillagok körül. Belül csak az R Dor-nál gyorsabb a magas gerjesztésű molekulák kifelé mozgása.

PACS-színképek: **R Dor** (fekete): O-gazdag, **VY CMa** (szürke): O-gazdag, **CIT6+40** (piros): C-gazdag.

Több száz vonal, illetve blend, legfeltűnőbbek a CO és H₂O átmenetei (O-gazdag), illetve a HCN átmenetei (C-gazdag).
Forszterit sávja az **R Dor** színképében 69 μm -nél.



Galaxisfejlődés távoli IR-ben a Herschellel

Kozmológiai távolságból a galaxisok sugárzásának zöme IR-ben érkezik. A Herschel fontos vizsgálatokat végzett. PACS (100 μm , de van ábra 160 μm -re is). SPIRE (250 μm , de van ábra 350 és 500 μm -re is). Az ábrán az Akari is szerepel. A HUDF 4'·4'-es részletének IR-leképezése 24–870 μm -en.

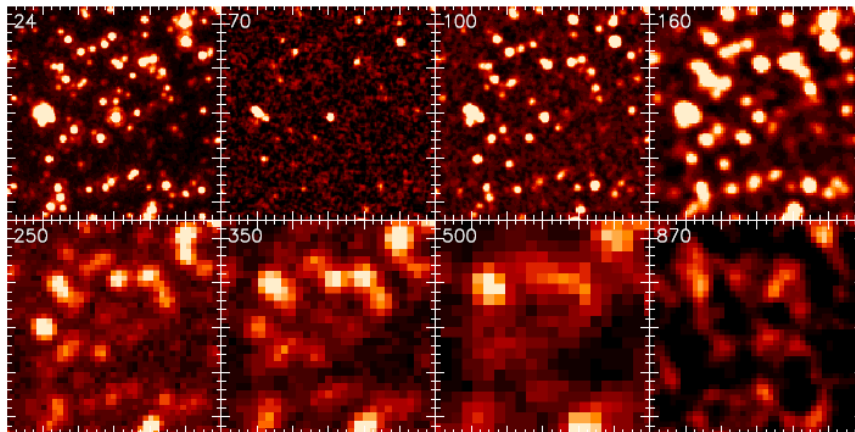
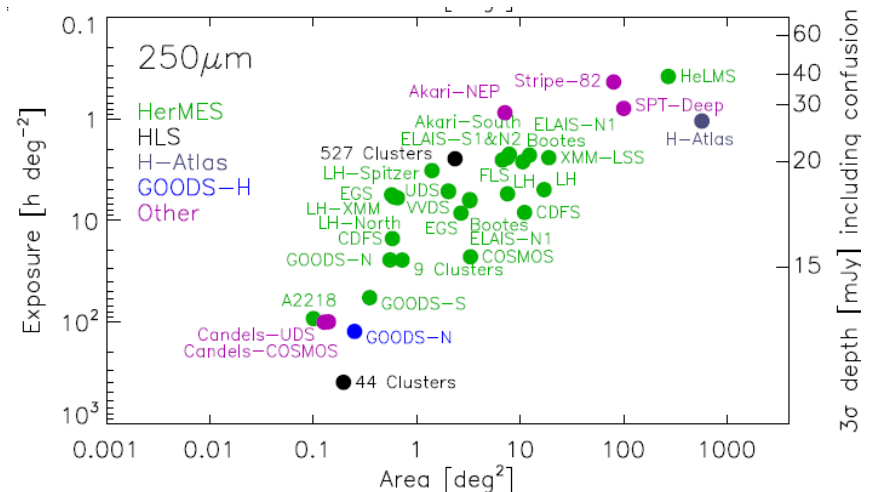
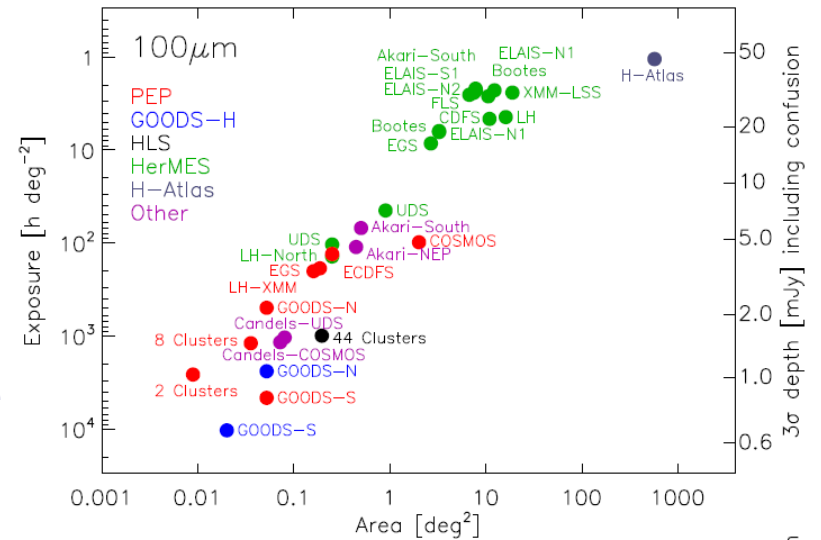
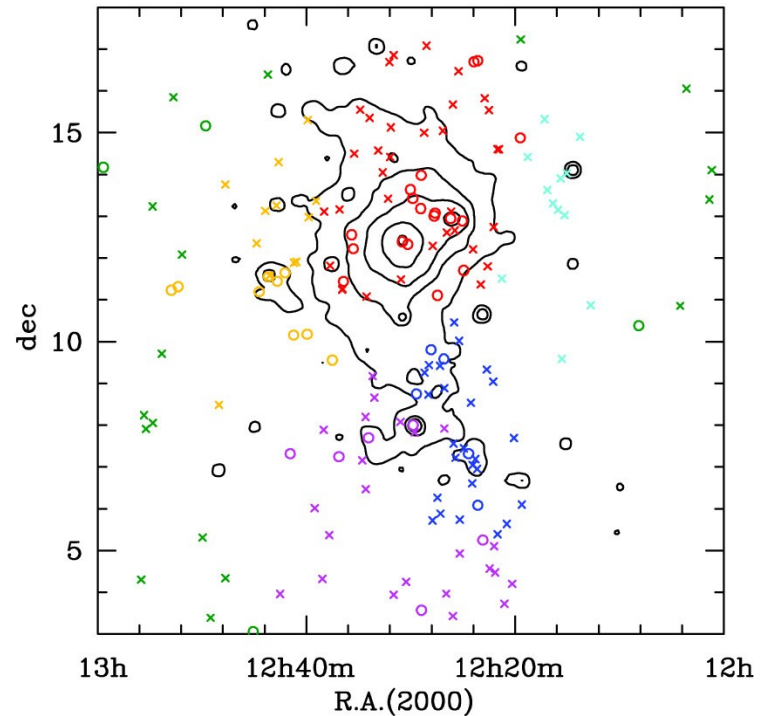
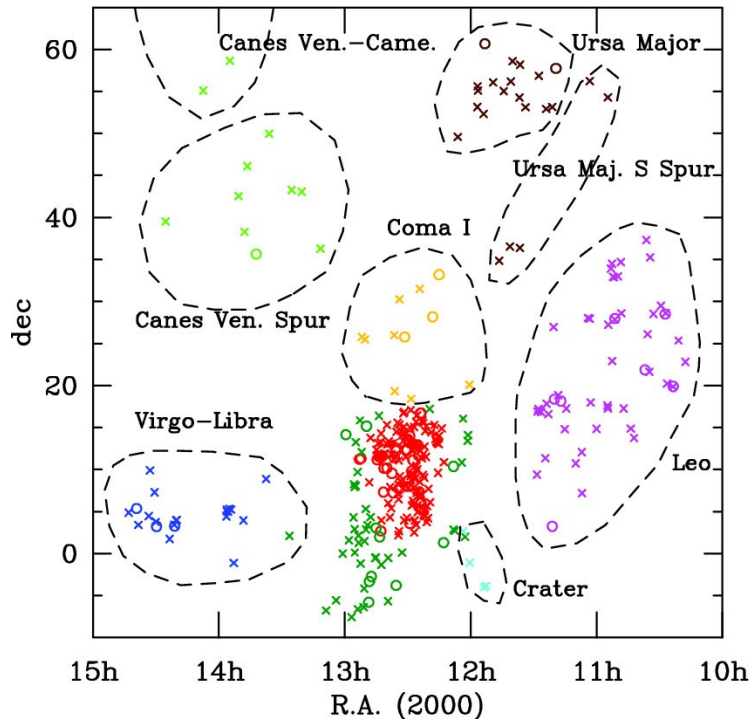
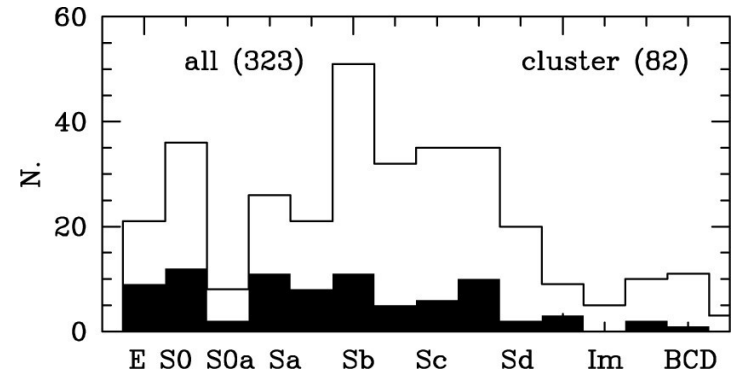


Figure 2:

Current status of deepest 24–870 μm infrared surveys, visualized by 4' \times 4' cutouts in the HUDF region. Data are from the GOODS project (24 μm), PEP and the combined PEP and GOODS-Herschel data (70–160 μm), HerMES (250–500 μm), and the groundbased LESS survey (870 μm , [Weiß et al. 2009](#)).

Herschel Reference Survey

Galaxisfelmérés: a por tanulmányozására 250, 350 és 500 mikrométeres hullámhosszon. Minden galaxistípus és minden környezet szerepel a mintában.



Galaxisfejlődés távoli IR-ben a Herschellel

Az IR-luminozitási függvény 18–1000 μm között.

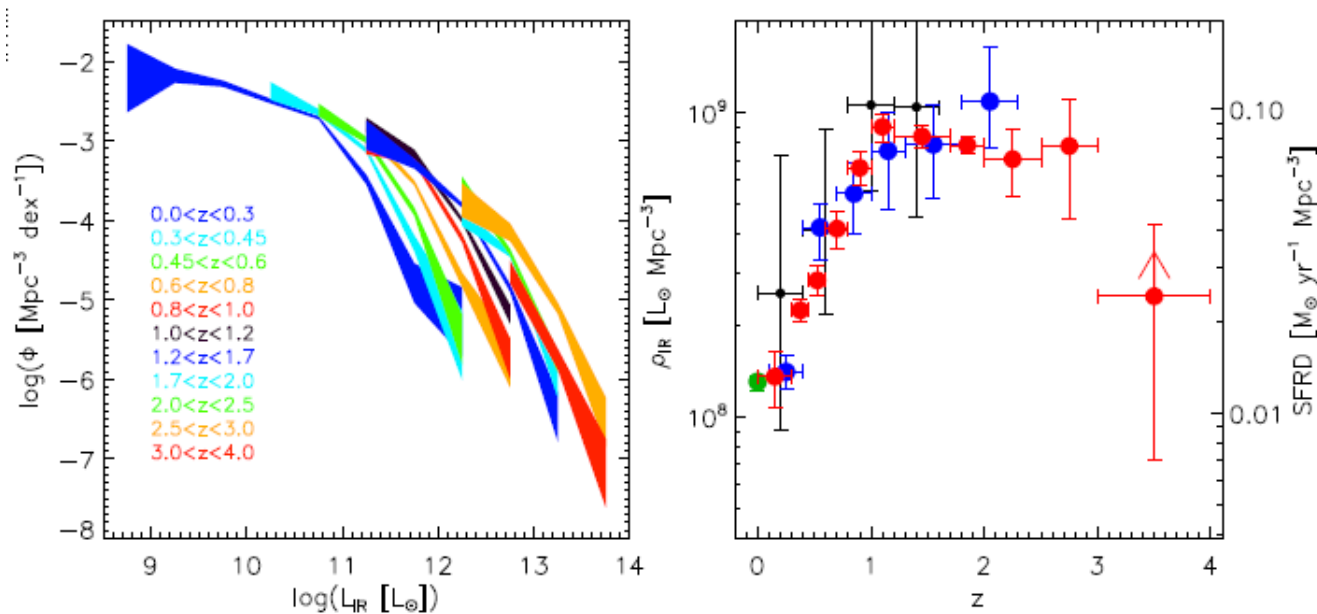


Figure 5:

Left: Evolution of the total infrared (8–1000 μm) luminosity function. Results are from Gruppioni et al. (2013), the width of the band indicating the $\pm 1\sigma$ poissonian error. **Right:** Evolution of the infrared luminosity density. Data are from Gruppioni et al. (2013, red), Magnelli et al. (2013, blue), Casey et al. (2012, black), and the local results of Sanders et al. (2003, green). As argued by Gruppioni et al. (2013), the $z \sim 3.5$ point may be a mild lower limit

Galaxisfejlődés távoli IR-ben a Herschellel

$L_{\text{IR}}-T_{\text{por}}$ reláció $z < 0,1$ galaxisokra (vörös) és a Herschel-mintára ($0,2 < z < 1,5$) (zöld kör) (jobbra lent).

Nagy vöröseltolódású lencsézett galaxisok felfedezése kiegészítő földi észleléssel (balra: SPIRE, 500 μm)

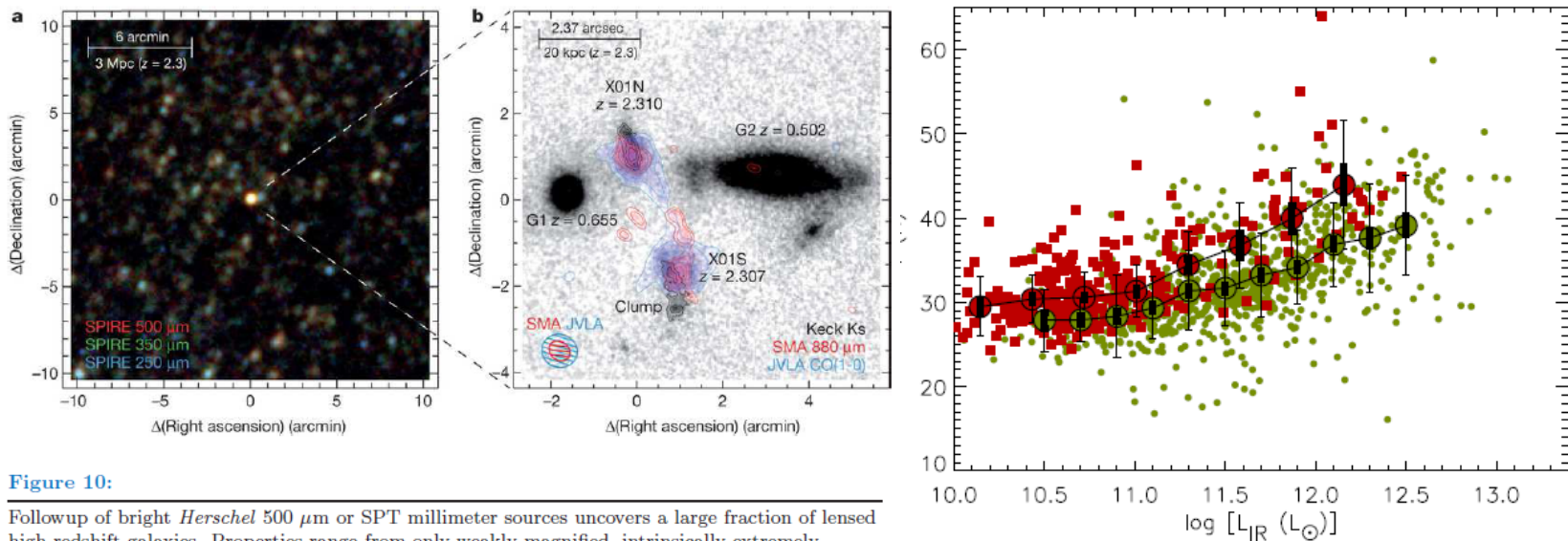


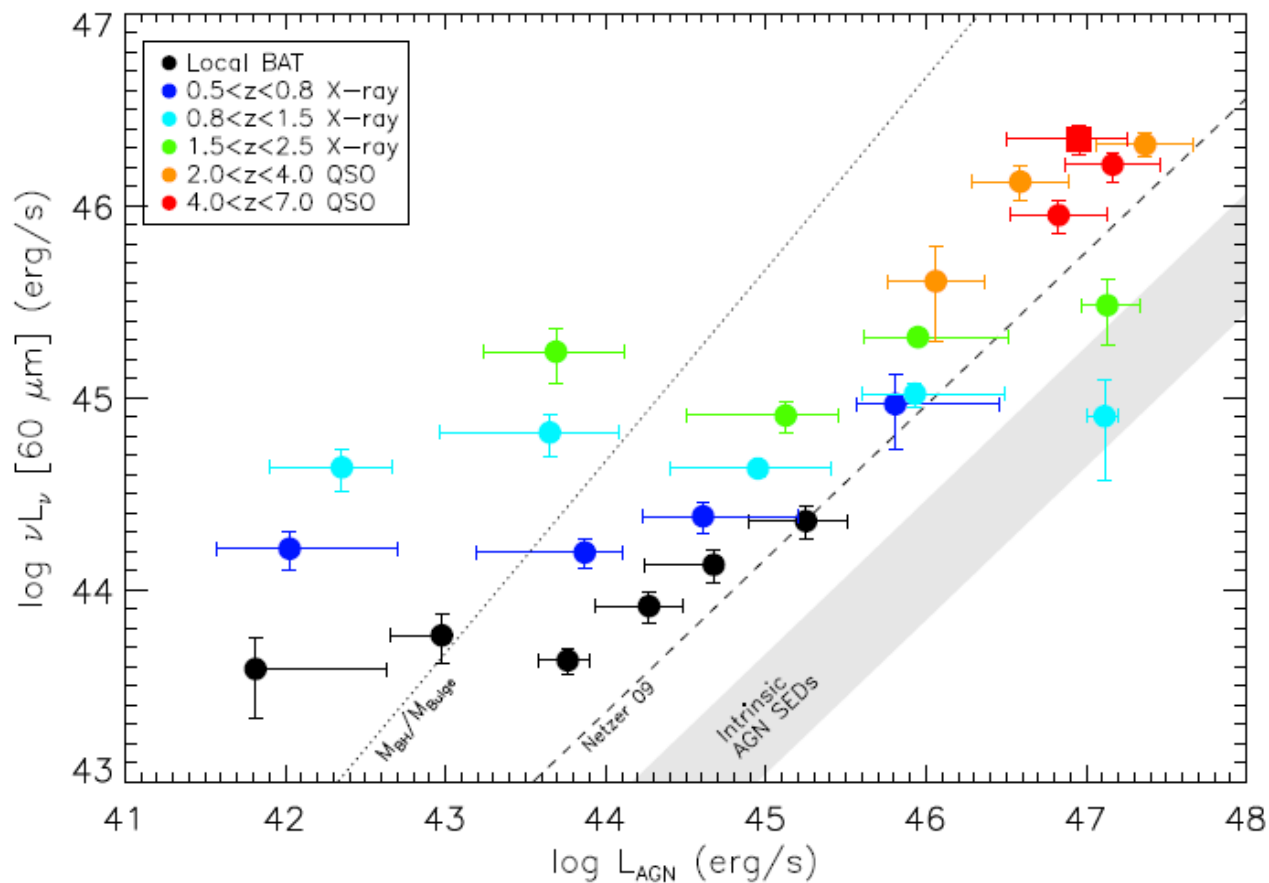
Figure 10:

Followup of bright *Herschel* 500 μm or SPT millimeter sources uncovers a large fraction of lensed high redshift galaxies. Properties range from only weakly magnified, intrinsically extremely luminous targets as in the example of the weakly amplified galaxy pair HXMM01 (Figure reproduced from [Fu et al. \(2013\)](#)), to strongly magnified targets. The left panel shows a SPIRE three color image of HXMM01, the right panel high resolution follow up in near-infrared stellar continuum, submm dust continuum and JVLA CO emission.

$L_{\text{IR}}-T_{\text{dust}}$ relation for local $z < 0.1$ galaxies (red squares) and for a *Herschel* sample (green circles), representing redshifts from $z \sim 0.2$ to $z \sim 1.5$ as IR luminosity increases. Reproduced from Fig. 18 of [Symeonidis et al. \(2013\)](#).

Galaxisfejlődés távoli IR-ben a Herschellel

Galaxisok és fekete lyukak növekedése: a csillagkeletkezési ütem az AGN luminozitása függvényében különböző z-tartományokra.



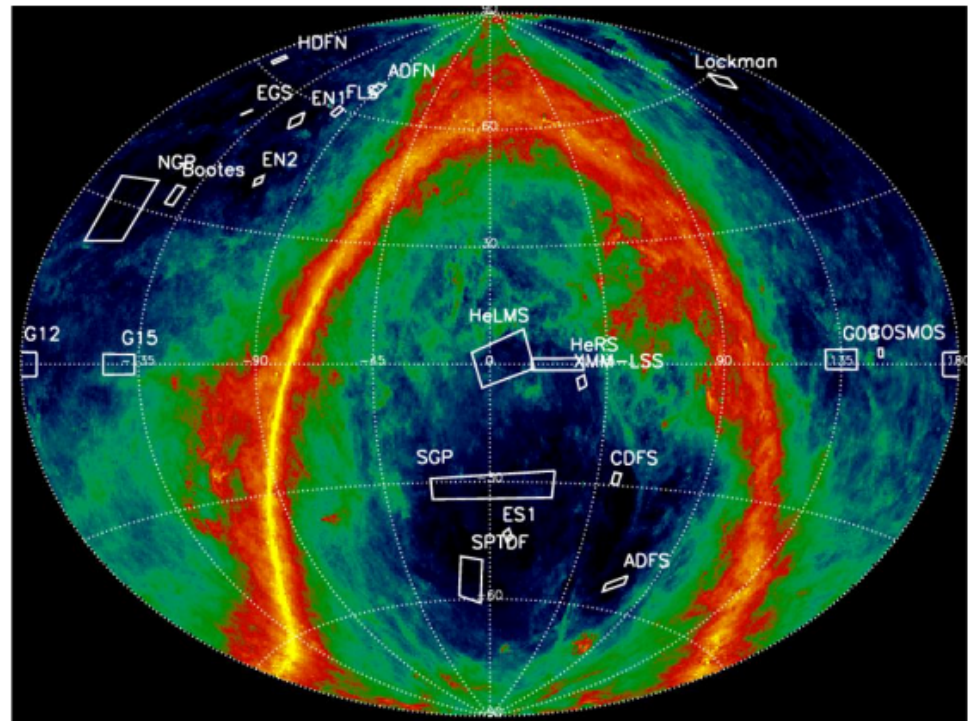
A Herschel extragalaktikus öröksége (HELP)

Wavelength	Telescope / Instrument	Observing Band	Survey Project
Ultraviolet	GALEX	FUV & NUV	DIS, MIS, AIS
Visible	PS1, SDSS, DECam, VST, CFHT, INTWFC	<i>ugrizy</i>	PS1, SDSS, DES, ATLAS, KIDS, VOICE, INTWFS
Near-Infrared	2MASS, UKIRT, VISTA	<i>ZYJHK</i>	UKIDSS, VIDEO, VIKING, VHS
Mid-Infrared	IRAC, WISE	3.6/4.5/5.8/8.0/12.0 μm	WISE, SWIRE, SERVS, S-COSMOS, SpUDS, SPLASH
Far-Infrared	WISE, MIPS, PACS	22/24/70/100/160 μm	SWIRE, PEP, HerMES
(Sub-)Millimeter	SPIRE, SCUBA, SCUBA2, LABOCA, AzTEC, ACT, SPT	250/350/500/850 μm	HerMES, SHADES, S2LS, ACT, SPT
Radio	ATCA, GMRT, LOFAR, MeerKAT, JVLA	0.6, 1.4, 5 GHz	ATLAS, LOFAR, WODAN, MIGHTEE, VLASS

Table 1 A Selection of Relevant Multi-Wavelength Survey Projects within HELP Fields.

Herschel Extragalactic Legacy Project: 1000 négyzetfoknál nagyobb területről vizsgálat minden hullámhosszon.

A Herschel-projekt hivatalosan 2017-ig folytatódott: további feladatok: pontosabb kalibráció, adattisztítás, adatbázisok létrehozása.



1 The HELP fields overlaid on the IRAS/COBE dust maps by [13] in ecliptic coordinates

Korábbi szubmilliméteres űrcsillagászat

A Herschel már szubmm-es is volt, de voltak korábbi missziók is.

SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite): NASA SMEX (Small Explorer Program).

Indítás: 1998. XII. 6., 638-651 km közti magasságra (97,6 perc periódus).

55×71 cm-es elliptikus Cassegrain-távcső, 4' szélességű nyaláb a szubmm-es sugárázmérőbe.

2004. júliusig mért, de 2005-ben 3 hónapra reaktiválták, a Deep Impact szonda 9P/Tempel–1 üstökösbe csapódásának megfigyelésére.

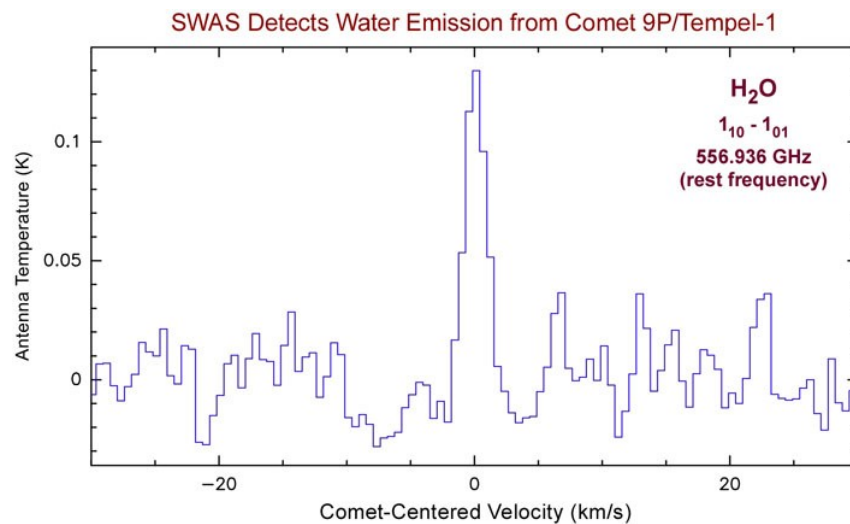
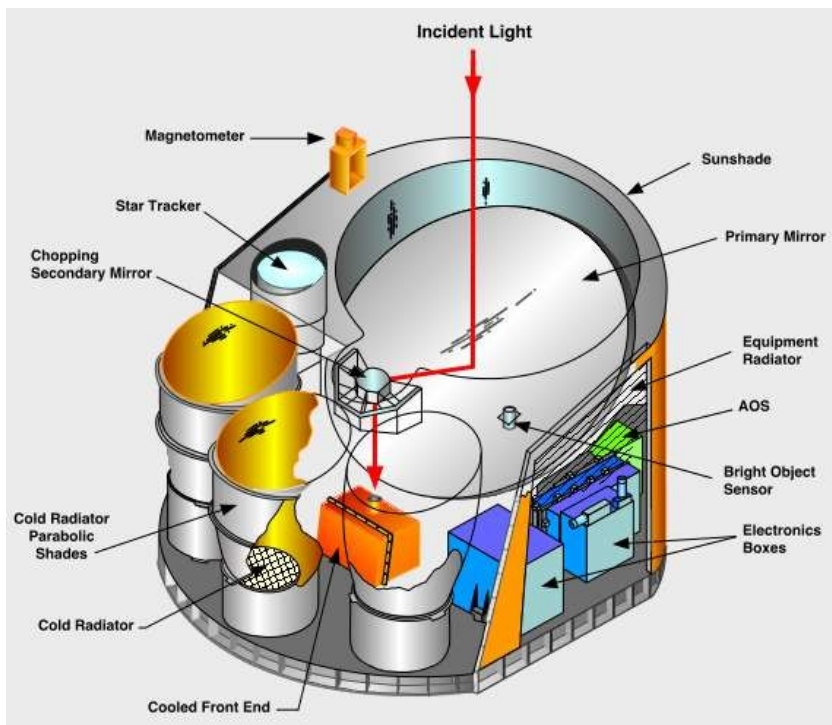


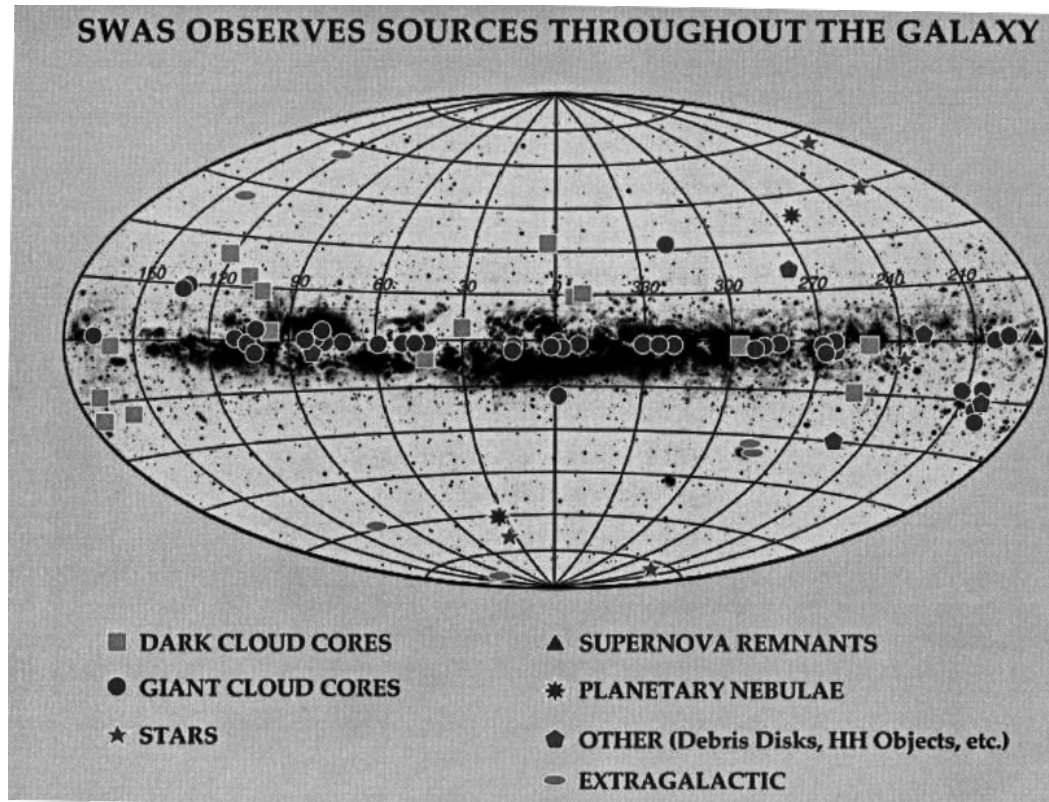
Figure Caption: SWAS-measured ground-state water line toward Comet 9P/Tempel-1. The emission was observed between 5 June and 15 June and the above line represents approximately 10 hours of total integration. The line emission was not found to vary measurably during this 10-day interval. The SWAS 3.3' x 4.5' (FWHM) beam encompasses essentially all of the water-emitting region around the comet. The line strength is used to determine a total water vaporation rate of $\sim 1.1 \times 10^{28}$ H₂O molecules s⁻¹, corresponding to about 730 pounds of water per second.

SWAS

Célja a csillagkeletkezés jobb megértése a H₂, O₂, CO és C megfigyeléseiből:

- Molekuláris hűtés a csillagkeletkezésnél (H₂O, CO);
- Kémiai fejlődés a molekulafelhőkben.

Az első két évben 1×1 fokos térképeket készített 20-nál több molekulafelhőről és sűrű felhőmagról (azok is ritkábbak a földi vákuumnál).



SWAS

Fontos szubmilliméteres vonalak:

H₂O 556,936 GHz

O₂ 487,249 GHz

Cl 492,161 GHz

¹³CO (izotóp) 550,927 GHz

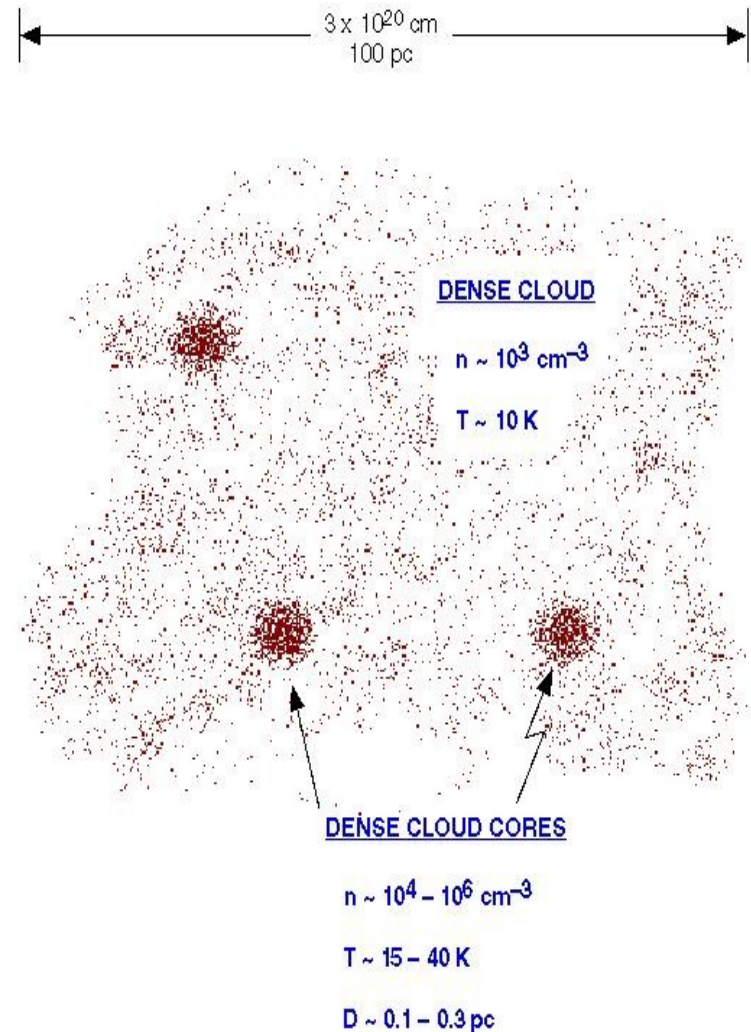
H₂¹⁸O (izotóp) 548,676 GHz

Fontosabb eredmények:

A hideg felhőkben 2-3 nagyságrenddel kevesebb a vízgőz a vártnál.

Az oxigén nagy része molekuláris jégként porba van fagyva. Így a H₂O és az O₂ nem tud hatásosan hűteni.

Lokálisan fontos hűtő lehet a H₂O, ahol nagyobb a gyakorisága.



Odin: szubmm-es és mikrohullámú szonda

Odin: svéd, kanadai, francia, finn közös csillagászati + aeronómiai misszió a Földről nehezen vagy egyáltalán nem észlelhető jegyek, főleg a víz és az oxigén megfigyelésére (olcsó, 250 kg).

Indítás: 2001. II. 20., 600 km magas napszinkron körpályára.

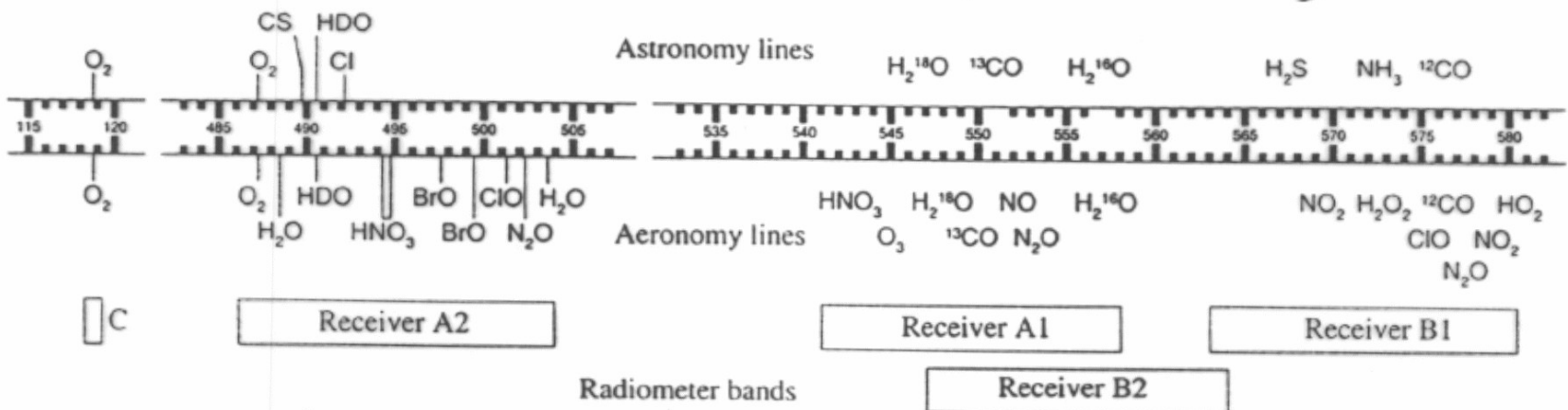
1,1 m átmérőjű reflektor, 3 tengelyű stabilizálás, 10"-nél pontosabb irányzás.

Névleges működési idő: 2 év, de még 2019-ben is végeztek méréseket.

Az észlelési idő felét fordítják csillagászati forrásokra. Érzékenyebb, mint az úttörő jellegű SWAS.

Radiométer 486–581 GHz között és 118,75 GHz-en (fontos O₂-vonal).

4 hangolható + az állandó frekvenciájú vevő.



Odin

Csillagászati kutatási célok: a csillagközi anyagban zajló fizikai és kémiai folyamatok vizsgálata (csillagkeletkezés); fő összetevők (H_2O , O_2 , NH_3 , Cl , CO) szubmm-es és mm-es vonalai alapján.

Egyéb észlelések: üstökösök, idős csillagok körüli cirkumsztelláris burok.

Főbb eredményei:

- Molekulafelhőkben észlelte az NH_3 alapátmenetét;
- Üstökösökben először mérte a $\text{H}_2^{16}\text{O}/\text{H}_2^{18}\text{O}$ izotóparányt;
- Lecsökkentette az O_2 érzékelési küszöbét;
- Vízgőzkiáramlási térképet készített (pl. Orion);
- A Tejútrendszer centruma körül a 118,75 GHz-es O_2 -vonal helyett 118,27 GHz-nél talált erős emissziót (HC_3N , cianoacetilén).

A Sgr A* körül nem keletkeznek nagy tömegű csillagok, amitől meleg lenne a por, és felszabadul az O_2 . A por hőmérséklete 0 K helyett így 30 K.

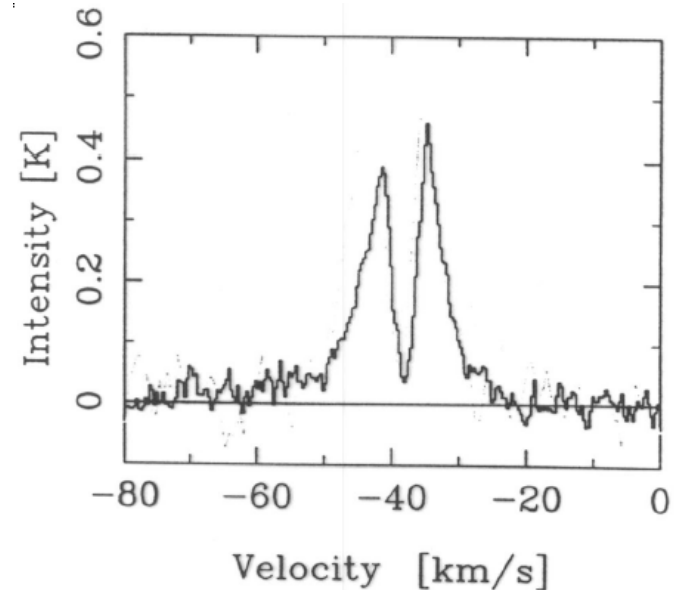


Fig. 5. H_2O spectra towards W3 IRS5 ($\alpha = 02^{\text{h}}25^{\text{m}}40^{\text{s}}.7$ $\delta = +62^{\circ}05'52''$ J2000), observed by Odin

Mikrohullámú űrcsillagászat

A mikrohullám szó nyomtatásban 1931-ben jelent meg először. A mikrohullámú elektromágneses tartomány a földi magas, száraz helyekről is vizsgálható (ALMA).

Nem csak a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás miatt érdekes (de arra adnak Nobel-díjat). Az ősrobbanás következményeként mikrohullámú maradványsugárzásnak kell lennie. A struktúraképződés miatt pedig a háttérsugárzás nem lehet izotrop.

1965: Arno Penzias & Robert Wilson: a 2,7 K-es háttérsugárzás felfedezése;

1966: Rainer Sachs & Arthur M. Wolfe megjósolják a mikrohullámú háttér fluktuációját az észlelő és az utolsó szóró felület között gravitációspotenciál-változás hatására;

1969: Rasid Szunyajev és Jakov Zeldovics vizsgálja a mikrohullámú háttérfotonok és a forró elektronok között fellépő inverz Compton-szórást;

1990: a COBE méréseiből a háttérsugárzás tisztán feketetest-jellegű;

1992: a COBE méréseiből kimutatják az anizotrópiát;

1999: a BOOMERANG jobb felbontású térképei;

2003: WMAP

2009: Planck

COBE (Cosmic Background Explorer)

(Explorer-66) NASA-szonda; Indítás: 1989. XI. 18. Négy évig működött, 900 km magas (LEO) pályán.

1974-ben hirdette meg a NASA az űrszondára való javaslattevés lehetőségét, a 121 javaslat közül 3 a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (CMB) vizsgálatát tűzte célul. Először visszadobták (az IRAS nyert), később a 3 javaslatot egyesítve dolgozták ki a COBE tervét. A Challenger-katasztrófa miatt végül rakétával állították pályára.

Fontos követelmények: lassú forgás, három tengely menti irányzás.

Három műszere:

DMR (Differential Microwave Radiometer): az anizotrópia mérésére (1/100000);

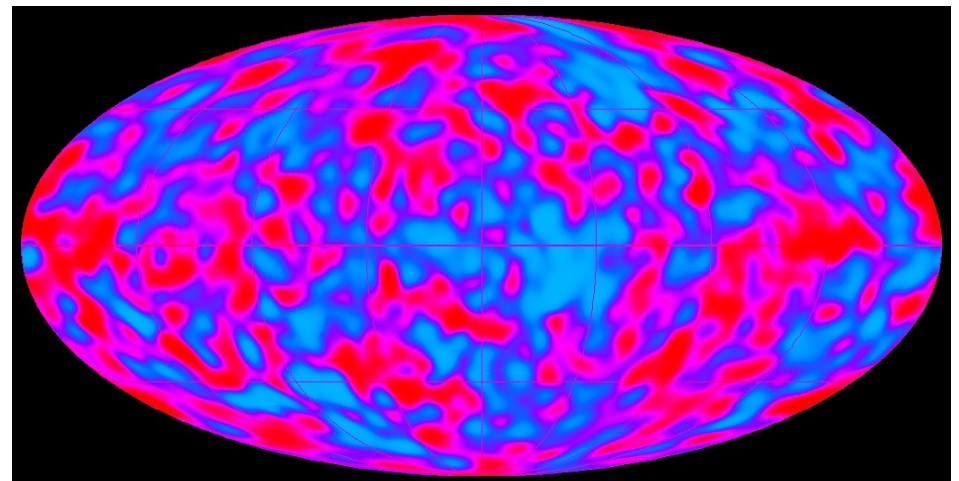
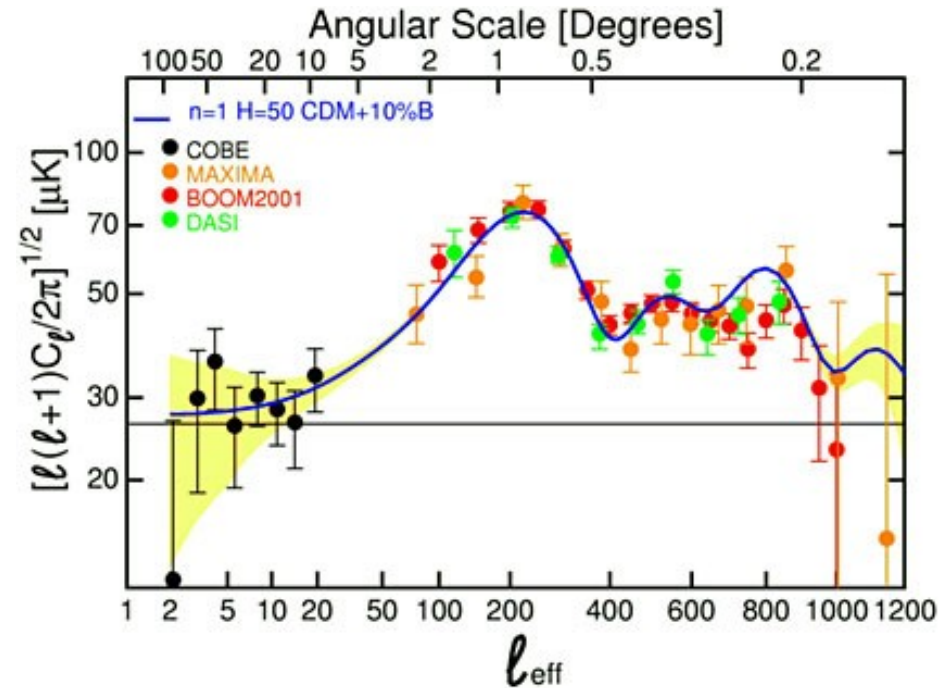
FIRAS (Far-InfraRed Absolute Spectrophotometer): a spektrum mérésére ($2,725 \pm 0,002$ K);

DIRBE (Diffuse InfraRed Background Experiment): a por emissziójának mérésére 12, 15, 50 és 100 μm -es hullámhosszon. A galaktikus korong modellje a mérésekből: a Nap 15,6 pc-re a fősík fölött, a radiális skálamagasság 2,64 kpc, a vertikális skálamagasság 0,333 kpc. Előbb le kellett vonni az állatövi por hatását.

COBE

A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás részletes vizsgálata (később ballonokkal, a WMAP, majd a Planck űrszondával) – azóta az egyik legfontosabb kutatási irány lett a csillagászatban.

Nobel-díjhoz vezetett: George Smoot & John Mather (2006): a háttérsugárzás feketetest-jellegének és anizotrópiájának felfedezéséért.



WMAP

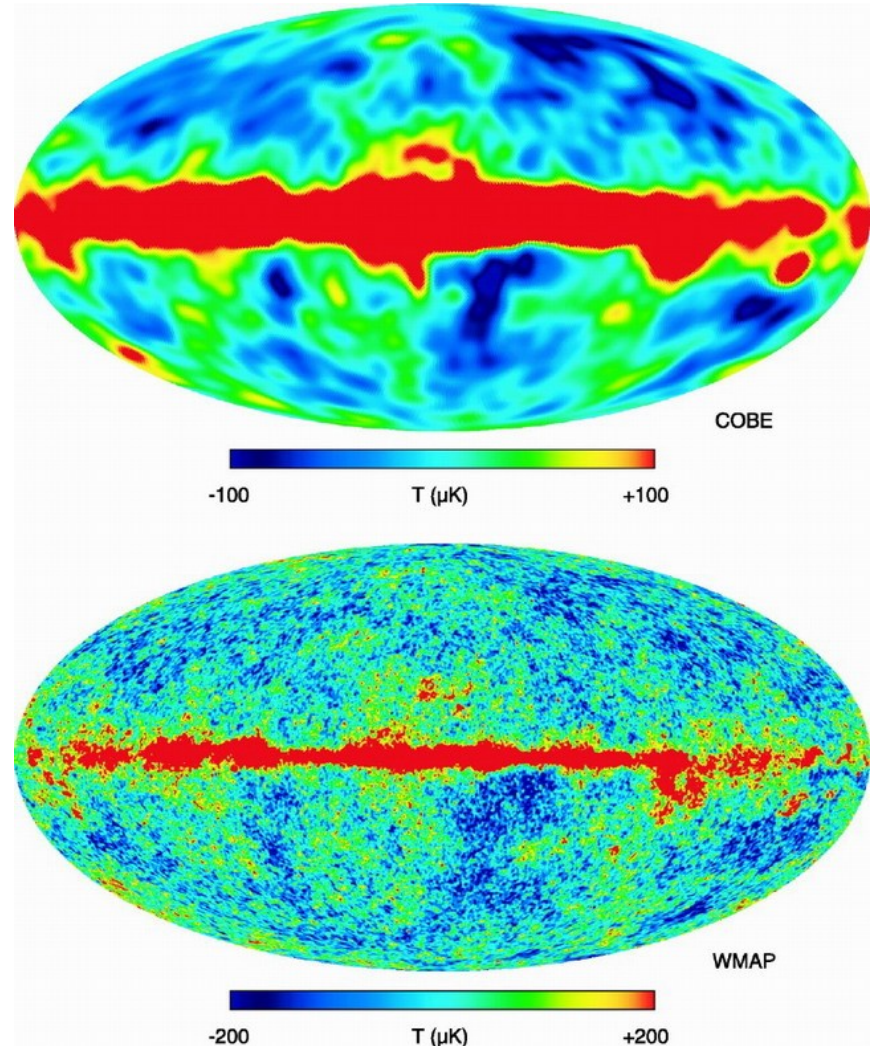
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe = Explorer-80 (NASA) a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás nagy felbontású térképének elkészítésére. 45-ször érzékenyebb és 33-szor jobb felbontásra képes, mint a COBE.

Az anizotrópia mérésével vizsgálható az Univerzum geometriája, összetétele, tesztelhető az ősrobbanás-elmélet és az inflációs modell.

Indítás: 2001. VI. 30. (MAP, 2003-ban nevezték át). 2010. okt.: heliocentrikus temetőpályára küldték (a Planck már működött).

13 ívperces felbontás több hullámhosszon: 13 (K), 9,1 (Ka), 7,3 (Q), 4,9 (V) és 3,2 mm (W-sáv).

Az egyre újabb mérések alapján kétfévente frissítették a modellt.



A WMAP – 9 év után

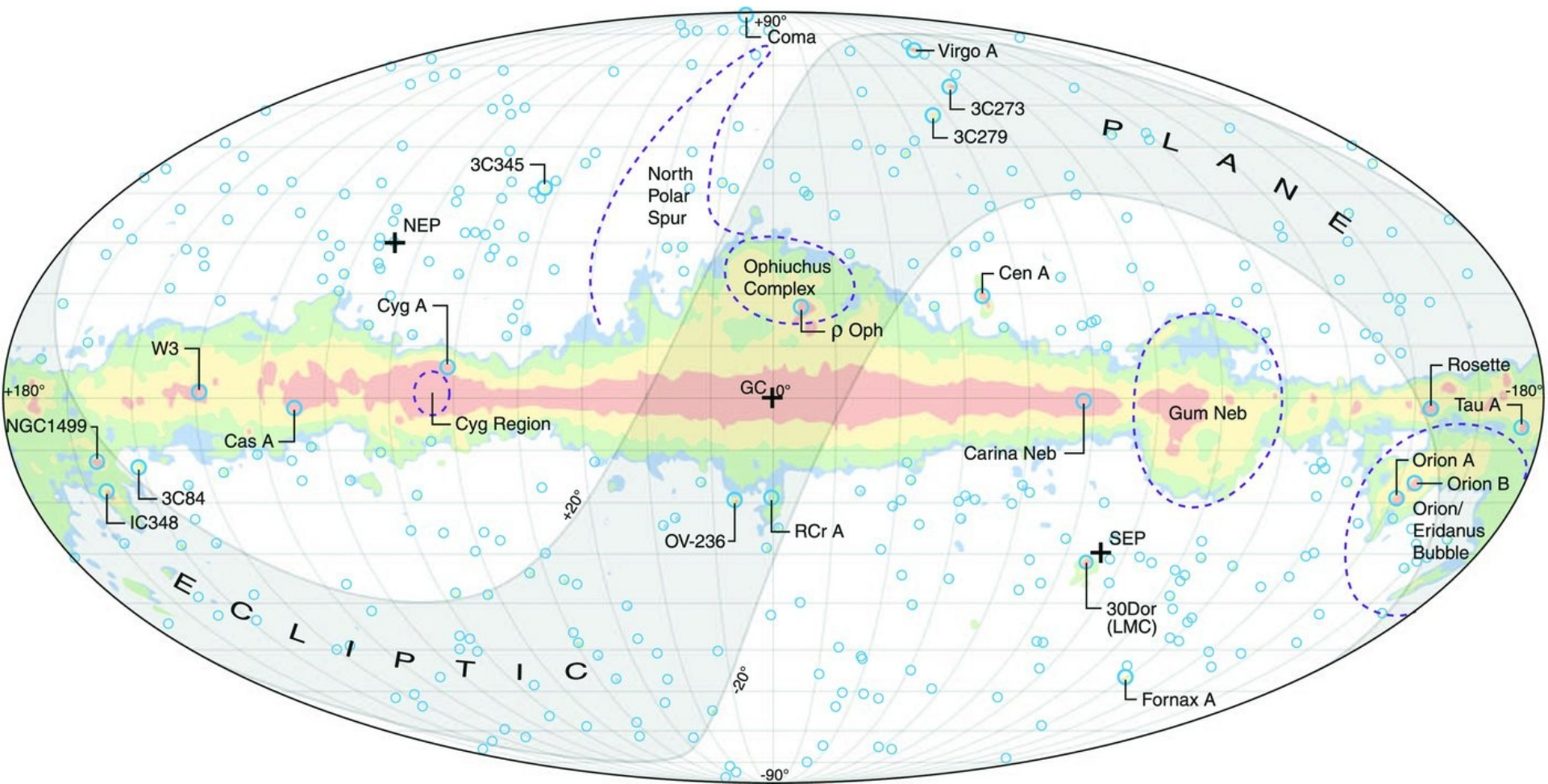


Table 17
Cosmological Parameter Summary

Parameter	Symbol	WMAP ^a	WMAP+eCMB+BAO+ H_0 ^{a,b}
Six-parameter Λ CDM fit parameters ^c			
Physical baryon density	$\Omega_b h^2$	0.02264 ± 0.00050	0.02223 ± 0.00033
Physical cold dark matter density	$\Omega_c h^2$	0.1138 ± 0.0045	0.1153 ± 0.0019
Dark energy density ($w = -1$)	Ω_Λ	0.721 ± 0.025	$0.7135^{+0.0095}_{-0.0096}$
Curvature perturbations ($k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$) ^d	$10^9 \Delta_{\mathcal{R}}^2$	2.41 ± 0.10	2.464 ± 0.072
Scalar spectral index	n_s	0.972 ± 0.013	0.9608 ± 0.0080
Reionization optical depth	τ	0.089 ± 0.014	0.081 ± 0.012
Amplitude of SZ power spectrum template	A_{SZ}	< 2.0 (95% CL)	< 1.0 (95% CL)
Six-parameter Λ CDM fit: derived parameters ^e			
Age of the universe (Gyr)	t_0	13.74 ± 0.11	13.772 ± 0.059
Hubble parameter, $H_0 = 100 h$ ($\text{km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$)	H_0	70.0 ± 2.2	69.32 ± 0.80
Density fluctuations @ $8 h^{-1}$ (Mpc)	σ_8	0.821 ± 0.023	$0.820^{+0.013}_{-0.014}$
Velocity fluctuations @ $8 h^{-1}$ (Mpc)	$\sigma_8 \Omega_m^{0.5}$	0.434 ± 0.029	0.439 ± 0.012
Velocity fluctuations @ $8 h^{-1}$ (Mpc)	$\sigma_8 \Omega_m^{0.6}$	0.382 ± 0.029	0.387 ± 0.012
Baryon density/critical density	Ω_b	0.0463 ± 0.0024	0.04628 ± 0.00093
Cold dark matter density/critical density	Ω_c	0.233 ± 0.023	$0.2402^{+0.0088}_{-0.0087}$
Matter density/critical density ($\Omega_c + \Omega_b$)	Ω_m	0.279 ± 0.025	$0.2865^{+0.0096}_{-0.0095}$
Physical matter density	$\Omega_m h^2$	0.1364 ± 0.0044	0.1376 ± 0.0020
Current baryon density (cm^{-3}) ^f	n_b	$(2.542 \pm 0.056) \times 10^{-7}$	$(2.497 \pm 0.037) \times 10^{-7}$
Current photon density (cm^{-3}) ^g	n_γ	410.72 ± 0.26	410.72 ± 0.26
Baryon/photon ratio	η	$(6.19 \pm 0.14) \times 10^{-10}$	$(6.079 \pm 0.090) \times 10^{-10}$
Redshift of matter-radiation equality	z_{eq}	3265^{+106}_{-105}	3293 ± 47
Angular diameter distance to z_{eq} (Mpc)	$d_A(z_{\text{eq}})$	14194 ± 117	14173^{+66}_{-65}
Horizon scale at z_{eq} (h/Mpc)	k_{eq}	0.00996 ± 0.00032	0.01004 ± 0.00014
Angular horizon scale at z_{eq}	l_{eq}	139.7 ± 3.5	140.7 ± 1.4
Epoch of photon decoupling	z_d	$1090.97^{+0.85}_{-0.86}$	1091.64 ± 0.47
Age at photon decoupling (yr)	t_d	376371^{+4115}_{-4111}	374935^{+1731}_{-1729}
Angular diameter distance to z_d (Mpc) ^h	$d_A(z_d)$	14029 ± 119	14007^{+67}_{-66}
Epoch of baryon decoupling	z_b	1020.7 ± 1.1	1019.92 ± 0.80
Co-moving sound horizon, photons (Mpc)	$r_s(z_b)$	145.8 ± 1.2	145.65 ± 0.58
Co-moving sound horizon, baryons (Mpc)	$r_s(z_d)$	152.3 ± 1.3	152.28 ± 0.69
Acoustic scale, $\theta_s = r_s(z_b)/d_A(z_b)$ (deg)	θ_s	0.5953 ± 0.0013	0.59578 ± 0.00076
Acoustic scale, $l_s = \pi/\theta_s$	l_s	302.35 ± 0.65	$302.13^{+0.39}_{-0.38}$
Shift parameter	R	1.728 ± 0.016	1.7329 ± 0.0058
Conformal time to recombination	τ_{rec}	283.9 ± 2.4	283.2 ± 1.0
Redshift of reionization	z_{reion}	10.6 ± 1.1	10.1 ± 1.0
Time of reionization (Myr)	t_{reion}	453^{+63}_{-64}	482^{+66}_{-67}
Seven-parameter Λ CDM fit parameters ⁱ			
Relativistic degrees of freedom ^j	N_{eff}	> 1.7 (95% CL)	3.84 ± 0.40
Running scalar spectral index ^k	$dn_s/d \ln k$	-0.019 ± 0.025	-0.023 ± 0.011
Tensor to scalar ratio ($k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$) ^l	r	< 0.38 (95% CL)	< 0.13 (95% CL)
Tensor spectral index ^l	n_t	> -0.048 (95% CL)	> -0.016 (95% CL)
Curvature ($1 - \Omega_{\text{tot}}$) ^m	Ω_k	$-0.037^{+0.044}_{-0.042}$	$-0.0027^{+0.0039}_{-0.0038}$
Fractional Helium abundance, by mass	Y_{He}	< 0.42 (95% CL)	0.299 ± 0.027
Massive neutrino density ⁿ	$\Omega_\nu h^2$	< 0.014 (95% CL)	< 0.0047 (95% CL)
Neutrino mass limit (eV) ^o	$\sum m_\nu$	< 1.3 (95% CL)	< 0.44 (95% CL)
Limits on parameters beyond Λ CDM			
Dark energy (const.) equation of state ^p	w	$-1.71 < w < -0.34$ (95% CL)	$-1.073^{+0.090}_{-0.089}$
Uncorrelated isocurvature modes	α_0	< 0.15 (95% CL)	< 0.047 (95% CL)
Anticorrelated isocurvature modes	α_{-1}	< 0.012 (95% CL)	< 0.0039 (95% CL)

Főbb eredmények:

-0,2 fok felbontású térkép a mikrohullámú égről;

- az Univerzum kora 13,77 milliárd év fél % pontossággal;
- a tér görbülete 0,4%-on belül sík (euklideszi);

- a barionos anyag az Univerzum teljes anyagának csupán 4,6%-át teszi ki;

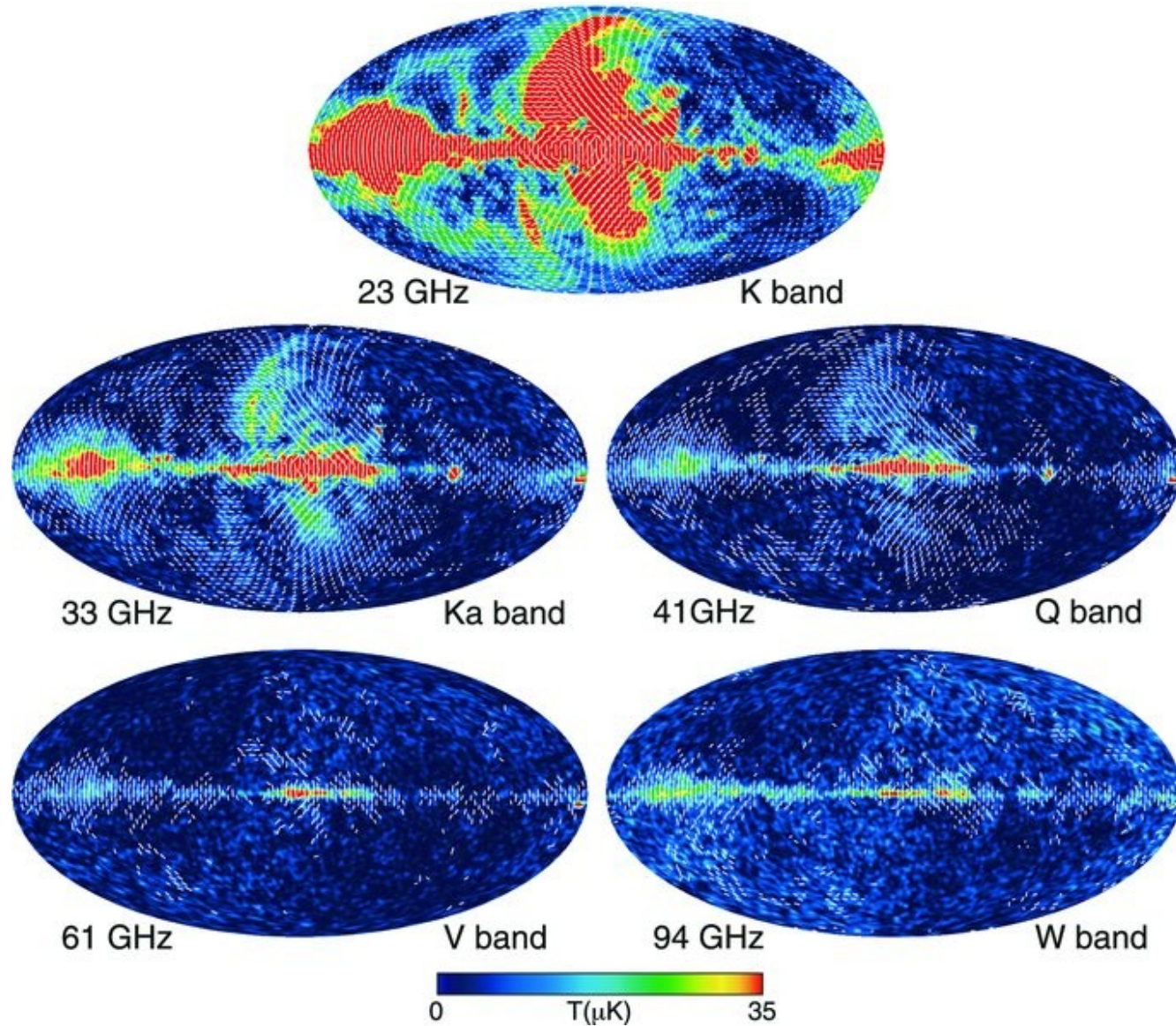
- a sötét anyag hányada 24,0%;

- a sötét energia részaránya pedig 71,4%, ettől gyorsul az Univerzum tágulása;

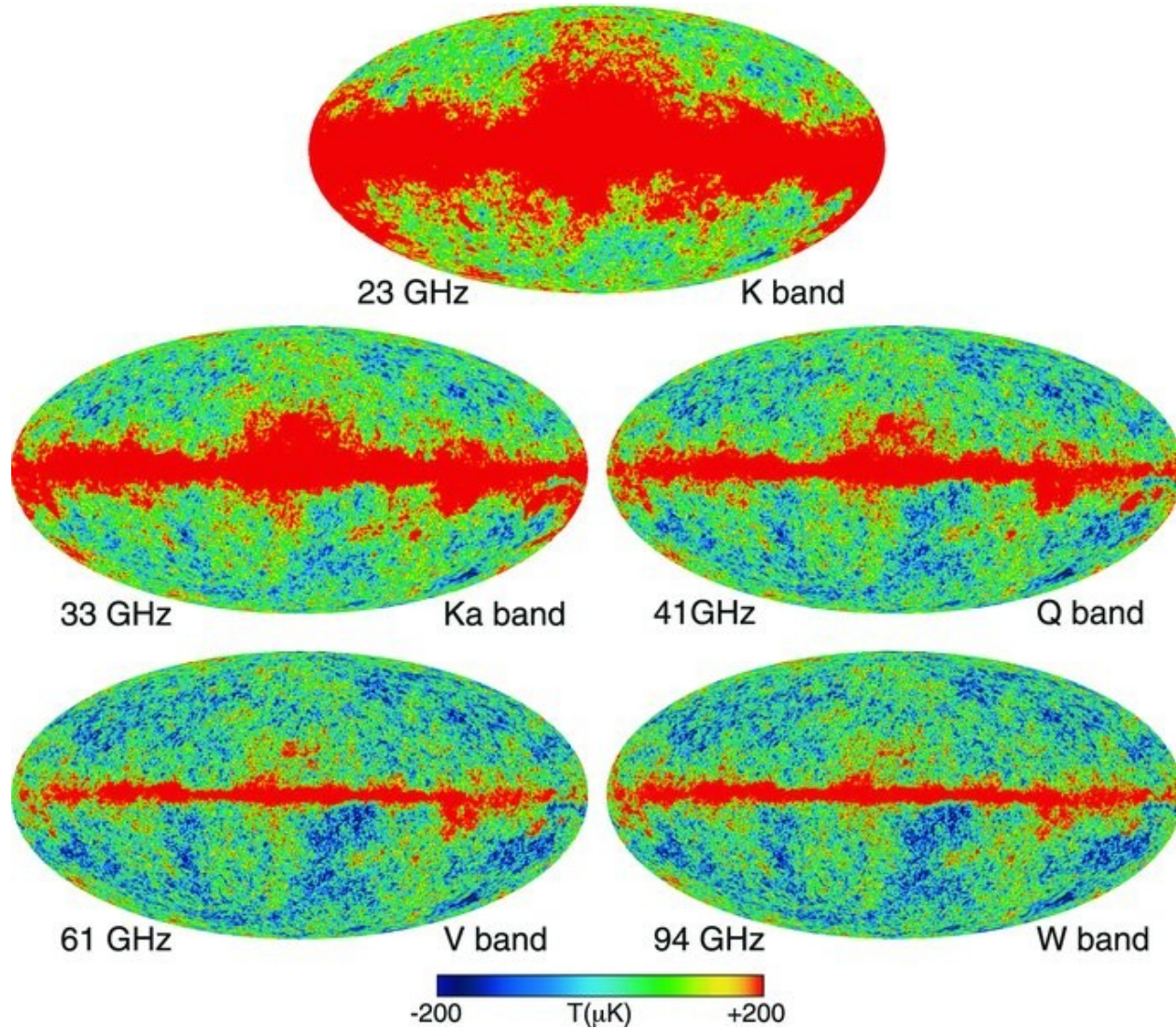
- a mikrohullámú sugárzás polarizációjából

megállapították, hogy az újraionizálódás a korábban vélnél hamarabb következett be.

WMAP – polarizáció (9 év után)

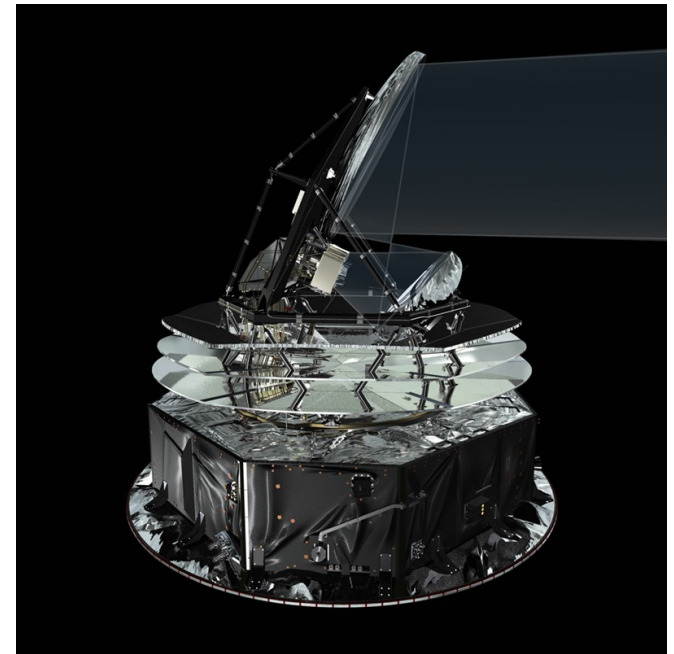


WMAP – hőmérséklet (9 év után)



Planck

Date	Milestone
Nov 1992	ESA call for M3 (of Horizon 2000 program)
May 1993	Proposals for COBRAS and SAMBA submitted
Sep 1993	Selection of COBRAS and SAMBA for assessment
Dec 1994	Selection of COBRAS and SAMBA for Phase A
Jul 1996	(Combined) Project selection as M3
May 1998	Pre-selection of the instrument consortia
Feb 1999	Final approval of scientific payload and consortia
Jan 2001	First meeting of the full Planck Collaboration
Apr 2001	Prime contractor selected. Start of phase B
Jun 2001	WMAP blazes the way for <i>Planck</i>
Sep 2001	System requirements review
Jul–Oct 2002 . . .	Preliminary design review
Dec 2002	Science ground segment (SGS) review
Apr–Oct 2004 . .	Critical design review
Jan 2005	Delivery of HFI cryo-qualification model to ESA
Aug 2006	Calibration of flight instruments at Orsay and Laben
Sep 2006	Delivery of instrument flight models to ESA
Nov 2006	HFI and LFI mating at Thales in Cannes
Jan 2007	Integration completed
Mar 2007	SGS implementation review
Feb–Apr 2007 . .	Qualification review
Jun–Aug 2007 . .	Final global test at Centre Spatial de Liéges
Nov 2008	Ground segment readiness review
Jan 2009	Flight acceptance review passed
19 Feb 2009 . . .	<i>Planck</i> flies to French Guyana
14 May 2009 . . .	Launch



Planck

02 Jul 2009	Injection into L_2 orbit
20 May 2009 . . .	Commissioning begins
13 Aug 2009 . . .	Commissioning ends
27 Aug 2009 . . .	End of “First light survey”
14 Feb 2010	Start of second all-sky survey
05 Jul 2010	First all-sky image released
14 Aug 2010 . . .	Start of third all-sky survey
27 Nov 2010 . . .	End of nominal mission , start of extended mission
14 Feb 2011	Start of fourth all-sky survey
29 Jul 2011	Start of fifth all-sky survey
14 Jan 2012	End of cryogenic mission, start of warm phase
30 Jan 2012	LFI starts sixth all-sky survey
08 Feb 2012	<i>Planck</i> completes 1000 days in space
14 Aug 2013 . . .	Departure manoeuvre executed
04 Oct 2013	Start of end-of-life operations
09 Oct 2013	De-orbiting from L_2
09 Oct 2013	HFI, LFI, and SCS commanded off
23 Oct 2013	Last command

Feb 1996	Publication of the “Redbook” of <i>Planck</i> science
Jan 2005	Bluebook: The Scientific Programme of <i>Planck</i>
Sep 2009	First light survey press release
Mar 2010	First (of 15) internal data releases
Sep 2010	Pre-launch papers, special issue of A&A, Vol. 520
Jan 2011	Early release (compact source catalogue)
Dec 2011	Early results papers, special issue of A&A, Vol. 536
Mar 2013	Nominal mission data release (temperature, PR1)
Nov 2014	2013 results papers, special issue of A&A, Vol. 571
Feb–Aug 2015 . .	Extended mission data release (PR2)
Sep 2016	2015 results papers, special issue of A&A, Vol. 594
2018	This Legacy data release (PR3)

Planck

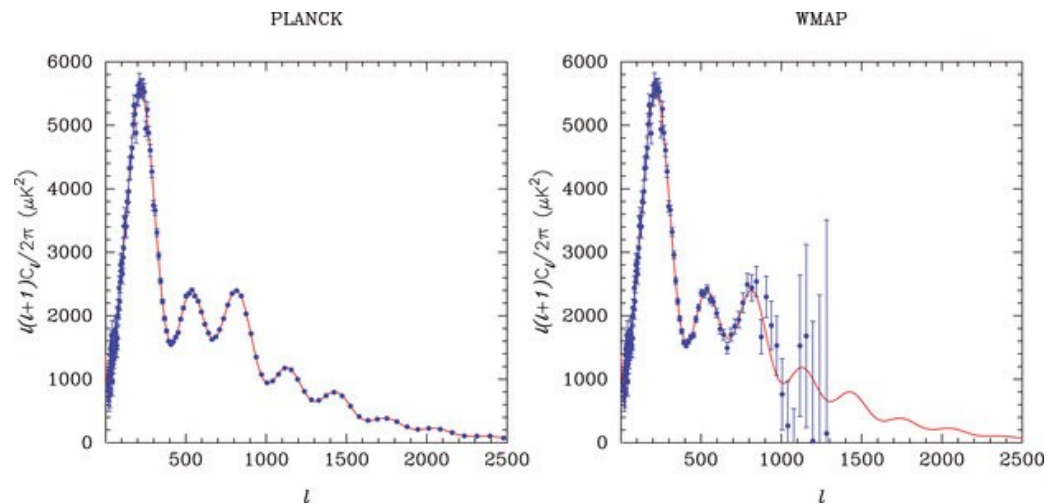
ESA-szonda (eredetileg COBRAS/SAMBA); Indítás: 2009. V. 14. az L2-pont felé.
A Herschelrel együtt indították. A két szonda szinergiája a mérésekben és az eredményekben is fontos.

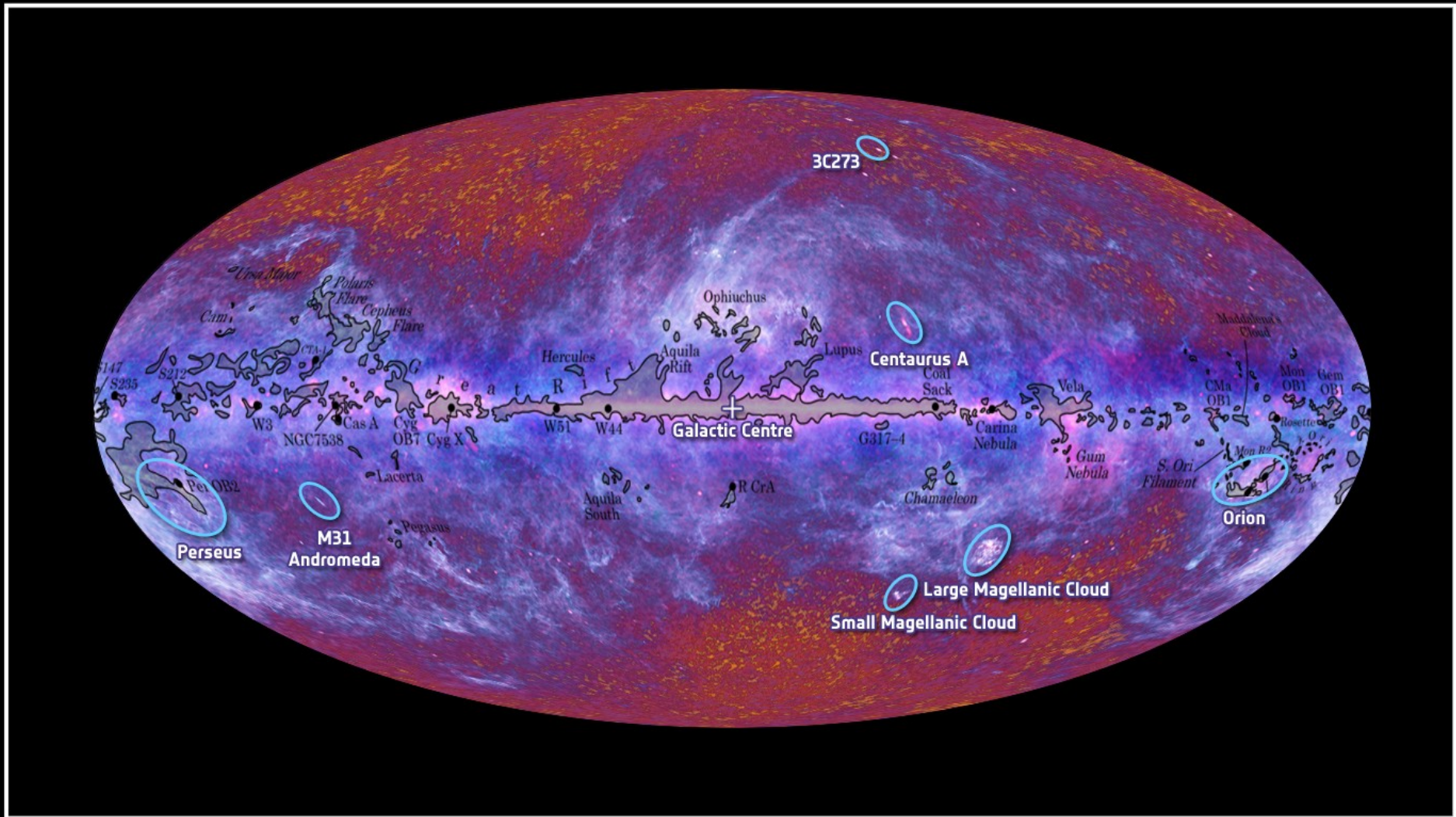
2010-ben már a második égfelmérést kezdte. Működés vége: 2013. X. 23.
Észlelési tartomány: 9 sáv 350 μm – 10 mm között.

Céljai:

- A háttérsugárzás (intenzitás és polarizáció) nagy felbontású vizsgálata;
- Galaxishalmazok katalogizálása a Szunyajev –Zeldovics-effektus alapján;
- Az integrált Sachs–Wolfe-effektus és a háttérsugárzás gravitációs lencsézésének vizsgálata;
- Fényes extragalaktikus rádió- és IR-források vizsgálata (AGN, poros galaxis)
- Naprendszer: kis égitestek, állatövi fény vizsgálata.

2013-as közlés: az Univerzum kora: $13,798 \pm 0,037$ milliárd év, a Hubble-állandó: $67,80 \pm 0,77$ km/s/Mpc, a 2018-as közlés szerint pedig: 67,4 km/s/Mpc.





The Planck one-year all-sky survey

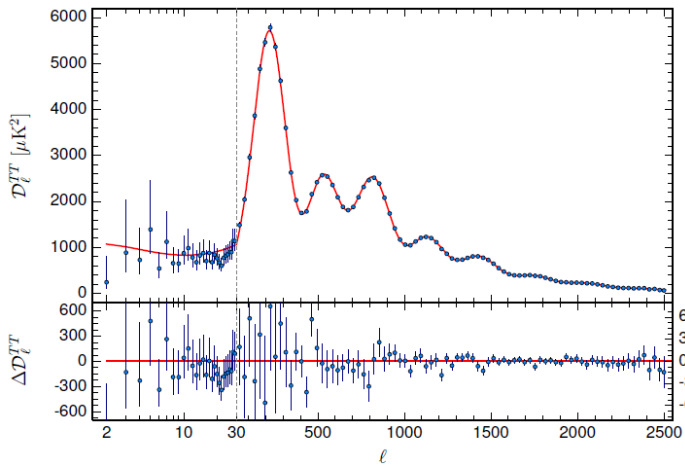
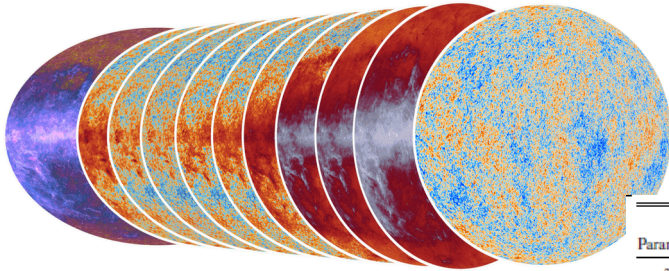


[c] ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

A tejútrendszerbeli molekulafelhők jól kirajzolódnak.

Planck

Az A&A egy teljes számát 2013-ban és 2015-ben is kitöltötte a Planck adatainak feldolgozása alapján közölt 30-30 cikk

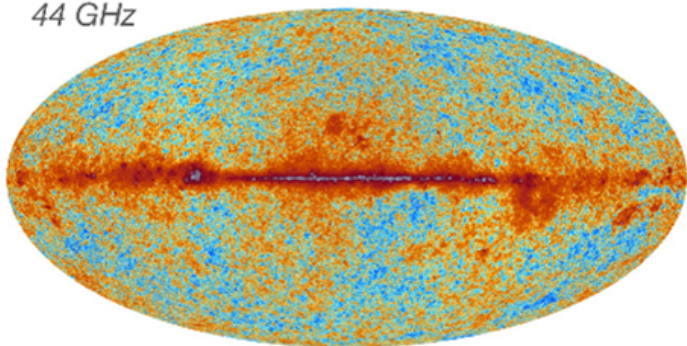


Parameter	TT+lowP 68 % limits	TT+lowP+lensing 68 % limits	TT+lowP+lensing+ext 68 % limits	TT,TE,EE+lowP 68 % limits	TT,TE,EE+lowP+lensing 68 % limits	TT,TE,EE+lowP+lensing+ext 68 % limits
$\Omega_b h^2$	0.02222 ± 0.00023	0.02226 ± 0.00023	0.02227 ± 0.00020	0.02225 ± 0.00016	0.02226 ± 0.00016	0.02230 ± 0.00014
$\Omega_c h^2$	0.1197 ± 0.0022	0.1186 ± 0.0020	0.1184 ± 0.0012	0.1198 ± 0.0015	0.1193 ± 0.0014	0.1188 ± 0.0010
$100\theta_{MC}$	1.04085 ± 0.00047	1.04103 ± 0.00046	1.04106 ± 0.00041	1.04077 ± 0.00032	1.04087 ± 0.00032	1.04093 ± 0.00030
τ	0.078 ± 0.019	0.066 ± 0.016	0.067 ± 0.013	0.079 ± 0.017	0.063 ± 0.014	0.066 ± 0.012
$\ln(10^{10} A_s)$	3.089 ± 0.036	3.062 ± 0.029	3.064 ± 0.024	3.094 ± 0.034	3.059 ± 0.025	3.064 ± 0.023
n_s	0.9655 ± 0.0062	0.9677 ± 0.0060	0.9681 ± 0.0044	0.9645 ± 0.0049	0.9653 ± 0.0048	0.9667 ± 0.0040
H_0	67.31 ± 0.96	67.81 ± 0.92	67.90 ± 0.55	67.27 ± 0.66	67.51 ± 0.64	67.74 ± 0.46
Ω_Λ	0.685 ± 0.013	0.692 ± 0.012	0.6935 ± 0.0072	0.6844 ± 0.0091	0.6879 ± 0.0087	0.6911 ± 0.0062
Ω_m	0.315 ± 0.013	0.308 ± 0.012	0.3065 ± 0.0072	0.3156 ± 0.0091	0.3121 ± 0.0087	0.3089 ± 0.0062
$\Omega_m h^2$	0.1426 ± 0.0020	0.1415 ± 0.0019	0.1413 ± 0.0011	0.1427 ± 0.0014	0.1422 ± 0.0013	0.14170 ± 0.00097
$\Omega_m h^3$	0.09597 ± 0.00045	0.09591 ± 0.00045	0.09593 ± 0.00045	0.09601 ± 0.00029	0.09596 ± 0.00030	0.09598 ± 0.00029
σ_8	0.829 ± 0.014	0.8149 ± 0.0093	0.8154 ± 0.0090	0.831 ± 0.013	0.8150 ± 0.0087	0.8159 ± 0.0086
$\sigma_8 \Omega_m^{0.5}$	0.466 ± 0.013	0.4521 ± 0.0088	0.4514 ± 0.0066	0.4668 ± 0.0098	0.4553 ± 0.0068	0.4535 ± 0.0059
$\sigma_8 \Omega_m^{0.25}$	0.621 ± 0.013	0.6069 ± 0.0076	0.6066 ± 0.0070	0.623 ± 0.011	0.6091 ± 0.0067	0.6083 ± 0.0066
z_m	$9.9^{+1.8}_{-1.6}$	$8.8^{+1.7}_{-1.4}$	$8.9^{+1.3}_{-1.2}$	$10.0^{+1.7}_{-1.3}$	$8.5^{+1.4}_{-1.2}$	$8.8^{+1.2}_{-1.1}$
$10^9 A_s$	$2.198^{+0.076}_{-0.085}$	2.139 ± 0.063	2.143 ± 0.051	2.207 ± 0.074	2.130 ± 0.053	2.142 ± 0.049
$10^9 A_s e^{-2r}$	1.880 ± 0.014	1.874 ± 0.013	1.873 ± 0.011	1.882 ± 0.012	1.878 ± 0.011	1.876 ± 0.011
Age/Gyr	13.813 ± 0.038	13.799 ± 0.038	13.796 ± 0.029	13.813 ± 0.026	13.807 ± 0.026	13.799 ± 0.021
z_*	1090.09 ± 0.42	1089.94 ± 0.42	1089.90 ± 0.30	1090.06 ± 0.30	1090.00 ± 0.29	1089.90 ± 0.23
r_*	144.61 ± 0.49	144.89 ± 0.44	144.93 ± 0.30	144.57 ± 0.32	144.71 ± 0.31	144.81 ± 0.24
$100\theta_*$	1.04105 ± 0.00046	1.04122 ± 0.00045	1.04126 ± 0.00041	1.04096 ± 0.00032	1.04106 ± 0.00031	1.04112 ± 0.00029
z_{drag}	1059.57 ± 0.46	1059.57 ± 0.47	1059.60 ± 0.44	1059.65 ± 0.31	1059.62 ± 0.31	1059.68 ± 0.29
r_{drag}	147.33 ± 0.49	147.60 ± 0.43	147.63 ± 0.32	147.27 ± 0.31	147.41 ± 0.30	147.50 ± 0.24
k_D	0.14050 ± 0.00052	0.14024 ± 0.00047	0.14022 ± 0.00042	0.14059 ± 0.00032	0.14044 ± 0.00032	0.14038 ± 0.00029
ζ_{eq}	3393 ± 49	3365 ± 44	3361 ± 27	3395 ± 33	3382 ± 32	3371 ± 23
k_{eq}	0.01035 ± 0.00015	0.01027 ± 0.00014	0.010258 ± 0.000083	0.01036 ± 0.00010	0.010322 ± 0.000096	0.010288 ± 0.000071
$100\theta_{s,eq}$	0.4502 ± 0.0047	0.4529 ± 0.0044	0.4533 ± 0.0026	0.4499 ± 0.0032	0.4512 ± 0.0031	0.4523 ± 0.0023
f_{2000}^{143}	29.9 ± 2.9	30.4 ± 2.9	30.3 ± 2.8	29.5 ± 2.7	30.2 ± 2.7	30.0 ± 2.7
$f_{2000}^{143 \times 217}$	32.4 ± 2.1	32.8 ± 2.1	32.7 ± 2.0	32.2 ± 1.9	32.8 ± 1.9	32.6 ± 1.9
f_{2000}^{217}	106.0 ± 2.0	106.3 ± 2.0	106.2 ± 2.0	105.8 ± 1.9	106.2 ± 1.9	106.1 ± 1.8

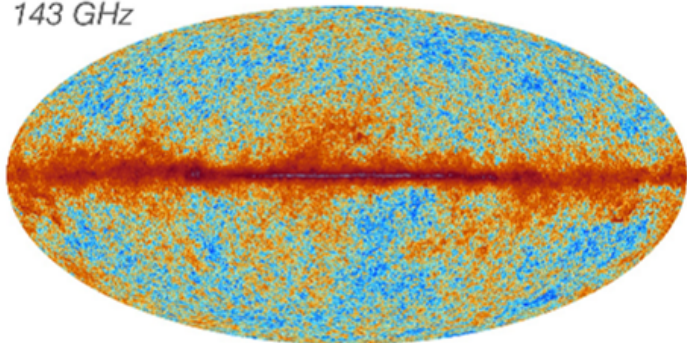
Fig. 1. The Planck 2015 temperature power spectrum. At multipoles $\ell \geq 30$ we show the maximum likelihood frequency α temperature spectrum computed from the Planck cross-half-mission likelihood with foreground and other nuisance parameter mined from the MCMC analysis of the base Λ CDM cosmology. In the multipole range $2 \leq \ell \leq 29$, we plot the power α estimates from the Commander component-separation algorithm computed over 94% of the sky. The best-fit base Λ CDM the spectrum fitted to the Planck TT+lowP likelihood is plotted in the upper panel. Residuals with respect to this model are shown in the lower panel. The error bars show $\pm 1\sigma$ uncertainties.

Újabb eredmények a Planck-űrszondával

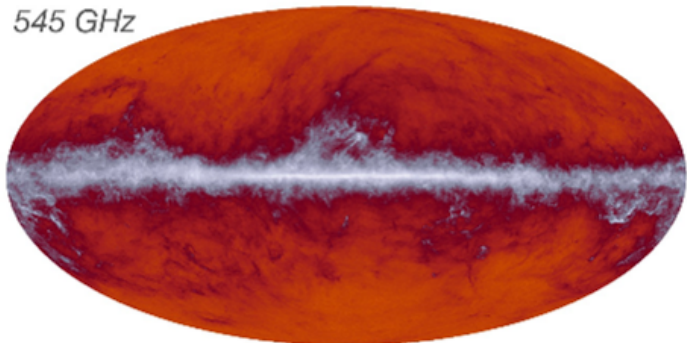
44 GHz



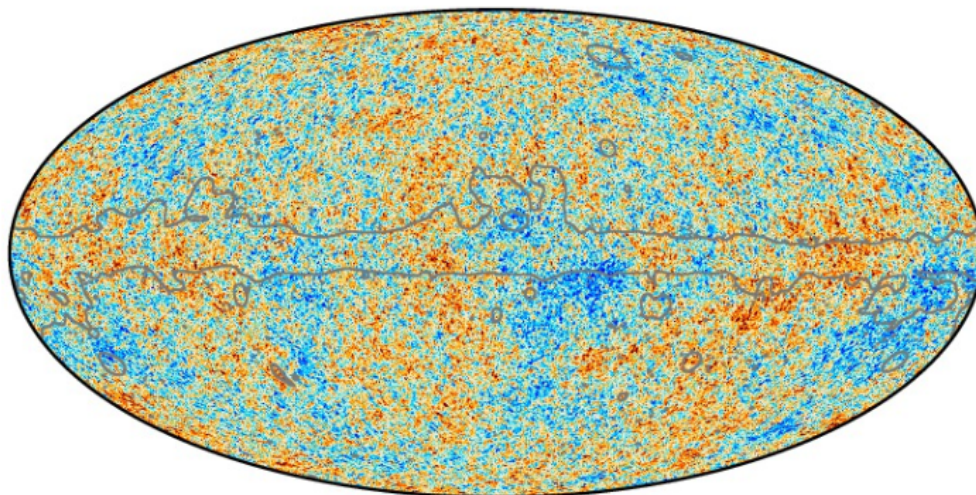
143 GHz



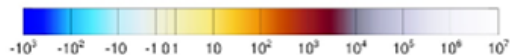
545 GHz



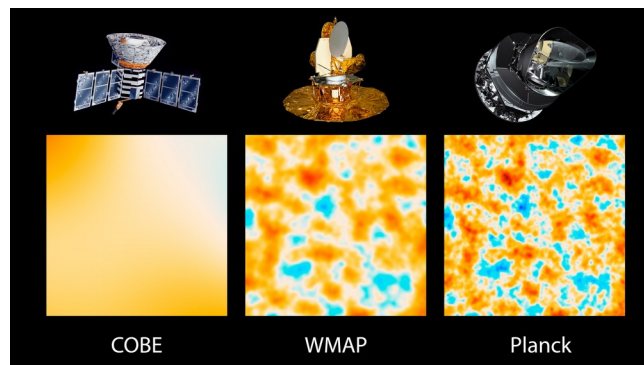
2018-as közlés: emisszió (balra),
hőmérséklet-fluktuáció (jobbra)



-300 300 μK



30-353 GHz: δT [μK_{mK}]; 545 and 857 GHz: surface brightness [kJy/sr]



Újabb eredmények a Planck-űrszondával

2018-as közlés: polarizációs térképek különböző hullámhosszakon

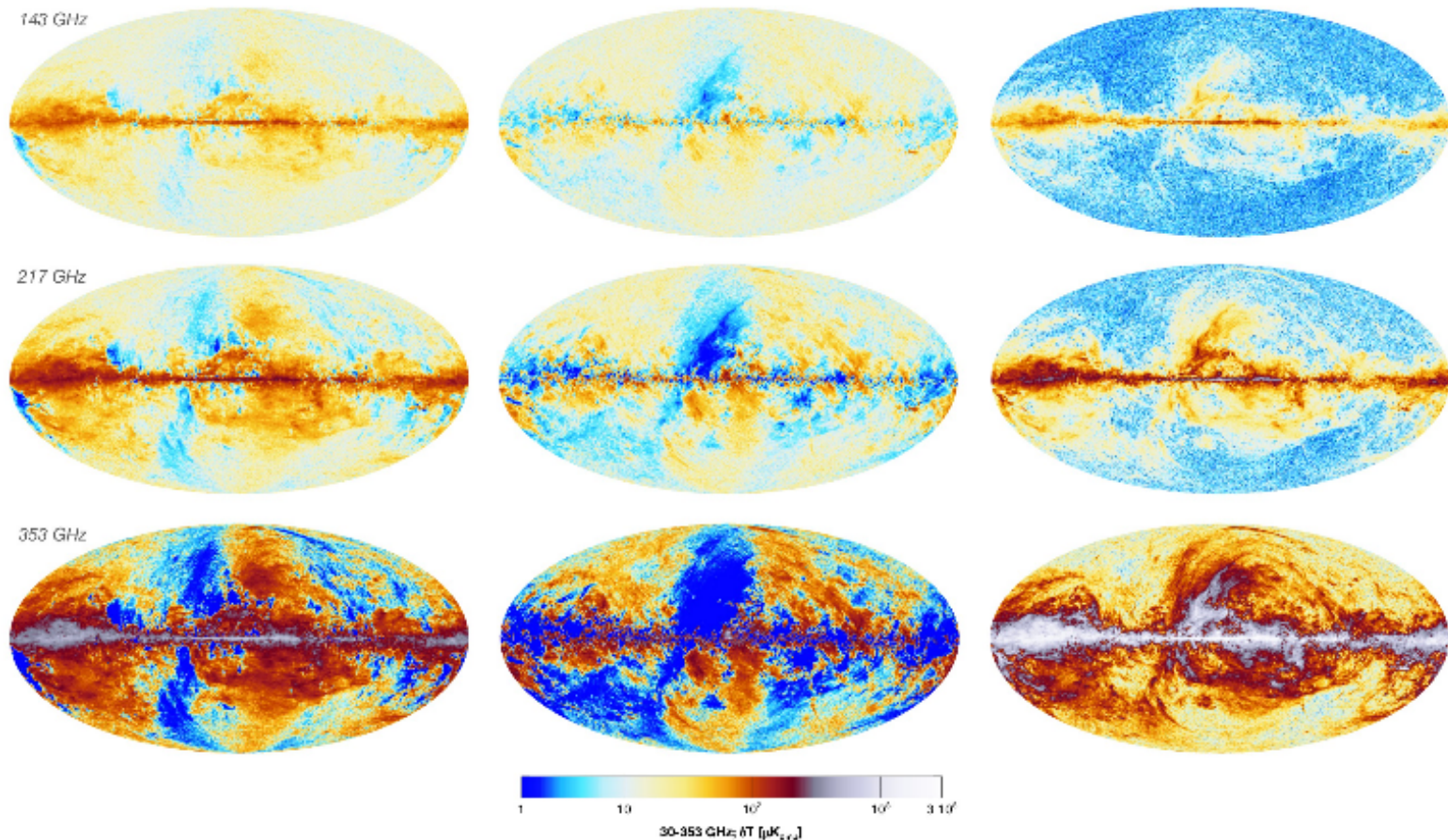


fig. 2. The sky polarization in the seven frequency bands of *Planck*. The first two columns show the Q and U Stokes parameters, the last column indicates the polarization fraction, $P = \sqrt{Q^2 + U^2}$ (although note that this emphasizes the strength of polarization

Újabb eredmények a Planck-űrszondával

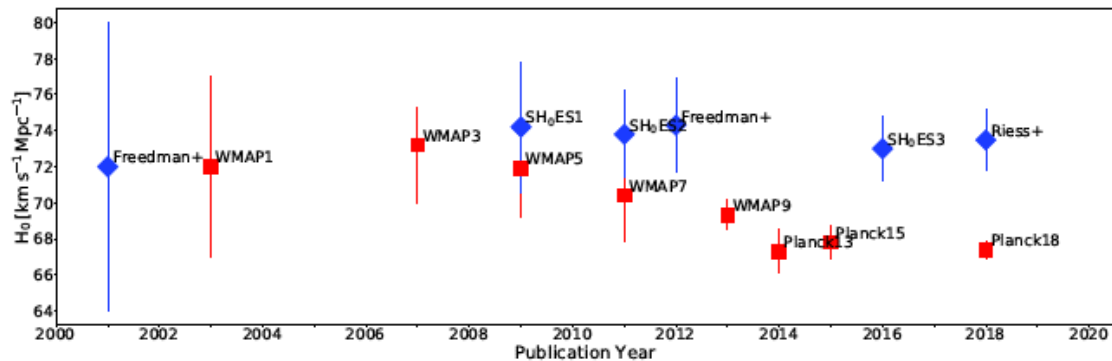
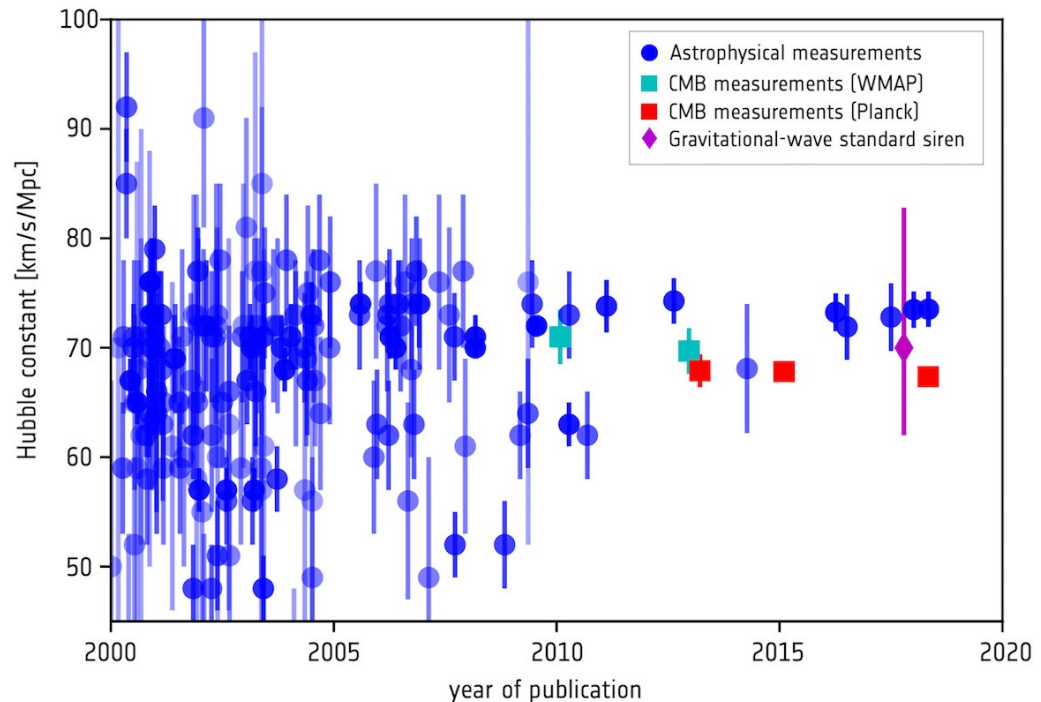


Fig. 1. Local (blue diamonds) and CMB (red squares) measurements of H_0 vs. their publication years.

2018-as közlés:
A Hubble-állandó
különbéle
módszerekkel
meghatározott értéke
továbbra is
szignifikánsan
eltér egymástól.



Galaxisok vöröselölódása

Rowan-Robinson
vezetésével katalógust
állítottak össze
a galaxisok
vöröselölódásáról:
IRAS Faint Source Catalog
galaxy redshift catalog
(a GALEX, SDSS, 2MASS,
WISE, Akari és Planck
alapján).

$\lambda(\mu\text{m})$	survey	no. of sources
3.4	WISE	48603
4.6	WISE	48603
12	WISE	48591
12	IRAS	4476
22	WISE	48588
25	IRAS	9608
60	IRAS	60303
65	AKARI	857
90	AKARI	18153
100	IRAS	30942
140	AKARI	3601
160	AKARI	739
350	PLANCK	2275
550	PLANCK	1152
850	PLANCK	616
1380	PLANCK	150

WISE gives 3.4-22 μm fluxes for 80% of IRAS 60 μm galaxies.
AKARI-FIS and PLANCK give 140-850 μm fluxes for 1-6% of
IRAS 60 μm galaxies.

Az eddigi mélyvizsgálatokról jó táblázat

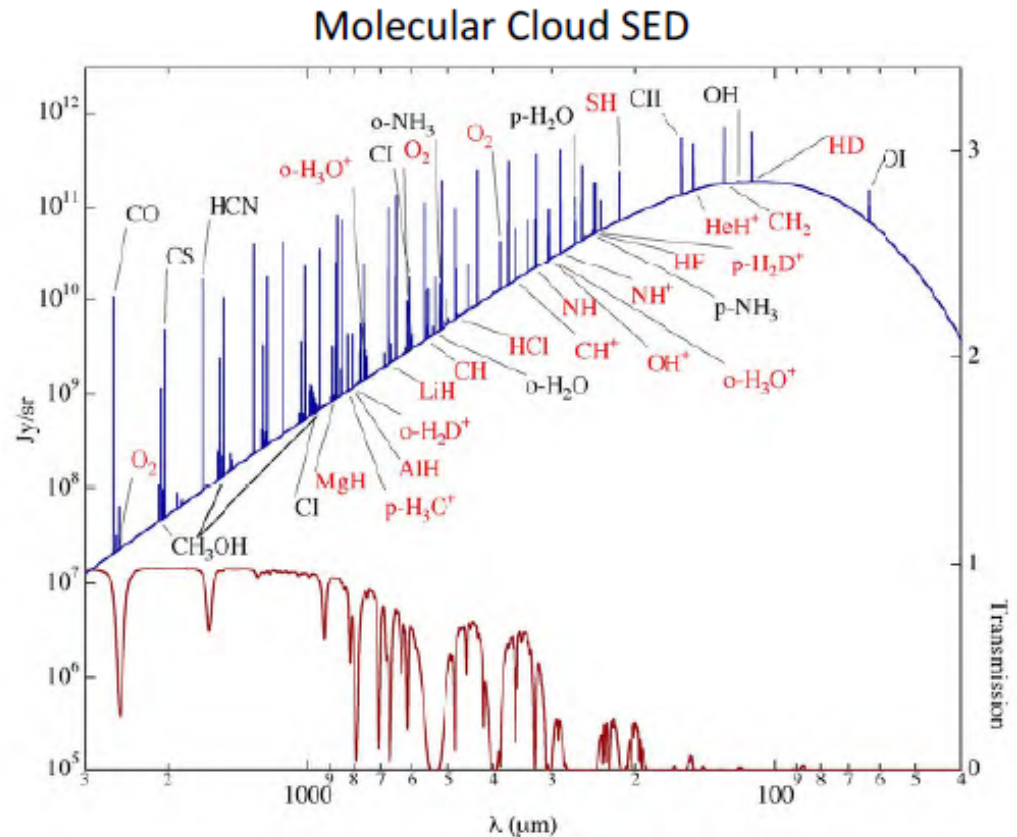
Table 1: A Compilation of representative well-studied extragalactic fields

Field	R.A.	Dec.	Ecl. Lat.	Area (deg ²)	E(B-V)	Rel. Zodi	Days/yr
Polar fields (< 36°):							
IRAC Dark Field	17:40	+69:00	+87	0.2	0.043	1.0	365
Extended Groth Strip	14:17	+52:30	+60	0.2	0.009	1.2	365
GOODS-N	12:36	+62:13	+57	0.25	0.012	1.2	365
Deep2A	16:52	+34:55	+57	1	0.018	1.2	365
ELAIS N-2	16:46	+41:01	+63	5	0.014	1.1	365
ELAIS N-1	16:11	+55:00	+73	9	0.008	1.0	365
Akari Deep Field South	04:44	-52:20	-73	12	0.008	1.0	365
JWST-NEP-TDF	17:22	+65:49	+86	0.2	0.042	1.0	365
NEP-Spitzer	18:00	+66:33	+90	10	0.046	1.0	365
SEP-Spitzer	06:00	-66:33	-90	10	0.062	1.0	365
Equatorial fields:							
CDFS	03:32	-27:48	-45	0.3	0.008	1.4	229
Deep2B	23:30	+00:00	+3	1	0.044	19	146
SSA22	22:17	+00:24	+10	4	0.056	5.6	149
COSMOS	10:00	+02:12	-9	2	0.018	6.0	148
VVDS14h	14:00	+05:00	+16	4	0.026	3.6	153
ELAIS S-1	00:35	-43:40	-43	7	0.008	1.5	215
Bootes	14:32	+34:16	+46	9	0.016	1.4	236
Lockman Hole	10:45	+58:00	+45	11	0.011	1.4	229
XMM-LSS	02:31	-04:30	-18	11	0.024	3.2	155
SPT Deep	23:30	-55:00	-46	100	0.010	1.4	236
HERA	07:00	-30:43		1200			

IR-űrcsillagászati tervek

A távoli IR és szubmilliméteres hullámhossztartomány fontossága

- Most of the key atomic/ionic and molecular tracers of the Interstellar Medium are in the far-infrared and sub-mm regime
- SH, OH, OD, HD
- σ -NH₃, p-H₂D⁺
- [CII], [OI], [OIII], [NII]



Ted Bergin, 2008

IR-űr csillagászati tervek

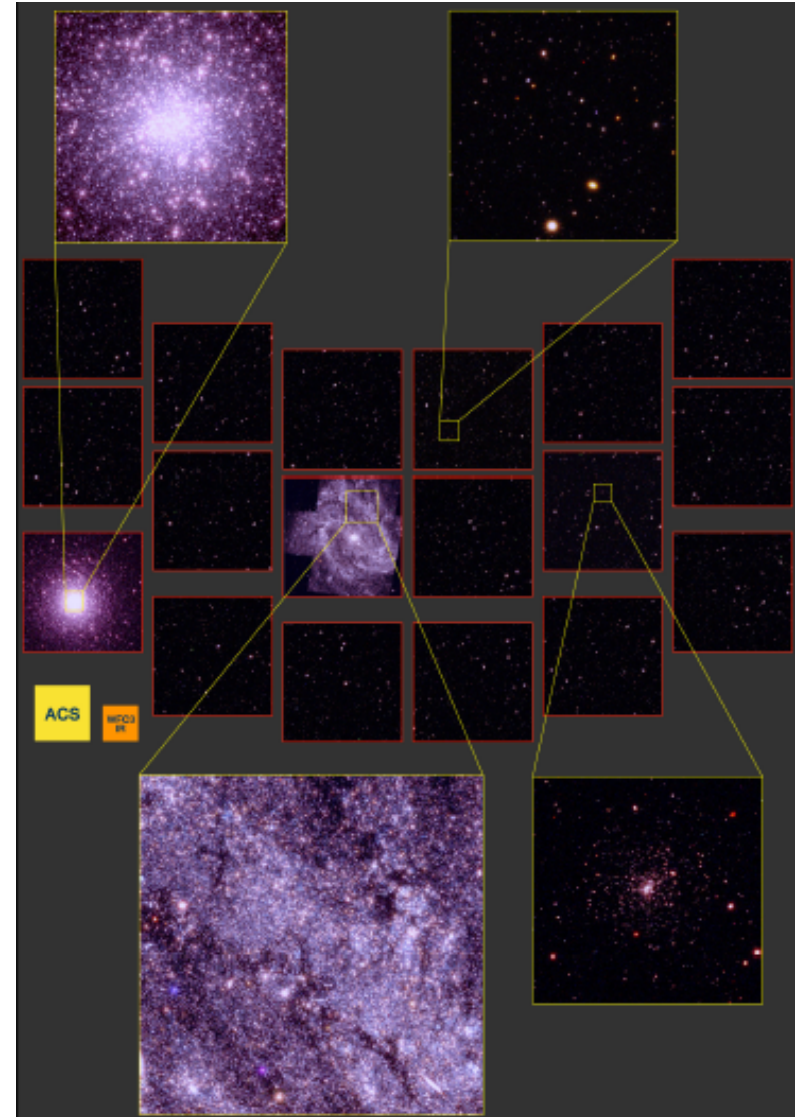
A távoli IR hullámhossztartományban a felbontás fokozása és az érzékenység növelése a cél az alábbi táblázatban felsorolt kutatások végrehajtása érdekében.

Science case	Spatial resolution	Field-of-view	Sensitivity
Water in disks	$\leq 0'.1$	$5''$	high
HD in disks	$0'.1 (1'')$	$5''$	very high
Circum-planetary disks	$\leq 0'.1$	$5''$	very high (cont.)
CO-dark gas	$1''-2'' @ 145 \mu\text{m}$	$30''-60''$	high
Infall rates	$0'.1$	$2''-15''$	medium to high
Radiative feedback	$1'' @ 158 \mu\text{m}$	$30''-60''$	medium to high
Turbulence dissipation	$0'.5-1''$	$30''$	very high
Water in prestellar cores	$1''$	$30''-60''$	very high
Cosmic rays	$1''$	$5''-15''$	high to very high
Extragalactic star formation	$0'.1$	$5''-60''$	high to very high
Higher-z galaxies	$0'.1 - 1''$	$5''$	very high

IR-űrcsillagászati tervek: WFIRST

WFIRST (*Wide Field Infrared Survey Telescope*): NASA-szonda, a 2020-as évek közepétől 6 éven át, az L2 librációs pontban 2,4 m átmérőjű teleszkóp, de nagyobb látómezővel, mint a HST. Újabban WFIRST-AFTA (*Astrophysics Focused Telescope Assets*). Az optikai és közeli IR-tartományt vizsgálja.

Kutatási célok: kozmikus struktúranövekedés és az Univerzum tágulási történetének vizsgálata, pl. a sötét energia vizsgálata; akusztikus barionoszillációk vizsgálata; távoli szupernóvák észlelése; gyenge gravitációs lencsézés; exobolygók statisztikus vizsgálata (lakhatóság); leképezésük koronagráffal; vendégészlelésekre is várnak javaslatot.



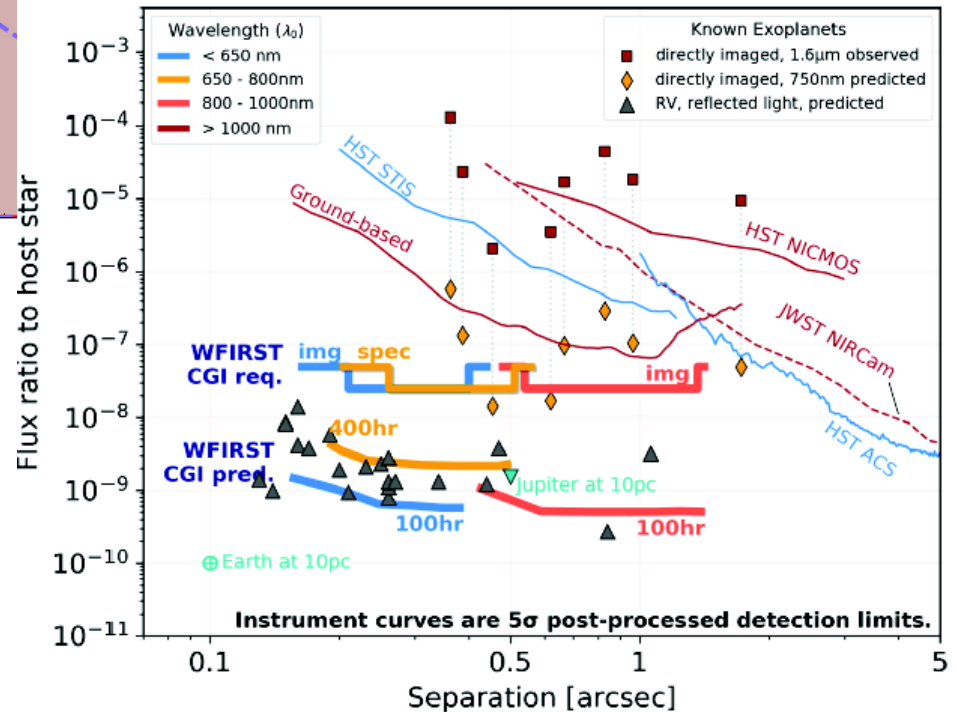
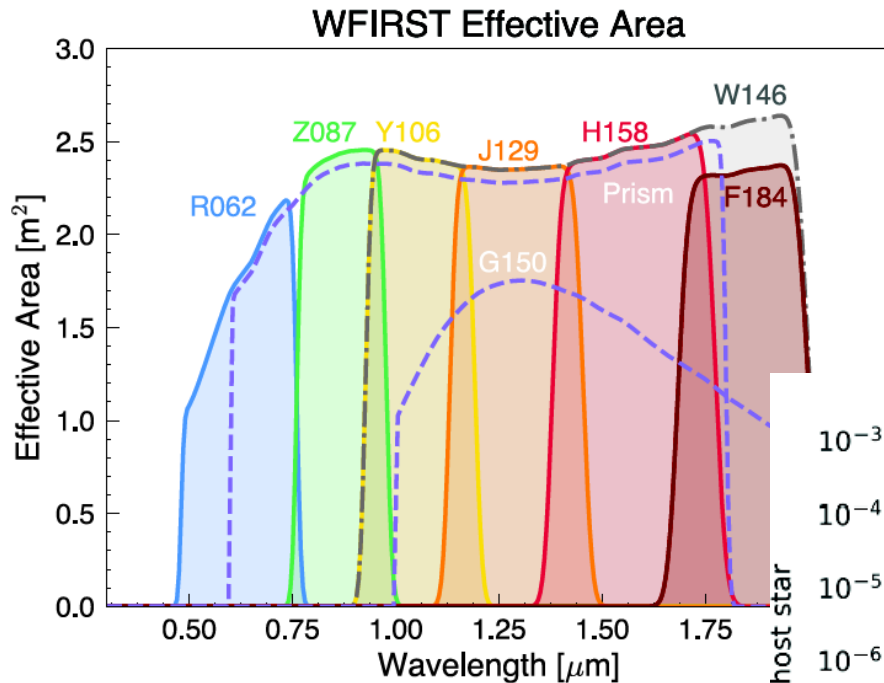
IR-űrcsillagászati tervek: WFIRST

Wide-Field Instrument							
Focal plane: 18 4088 ² HgCdTe H4RG				Pixel scale: 0.11"		FoV: 0.281 sq deg	
Point-source Imaging sensitivity, 5 σ , in 1 hour							
Filter	R062	Z087	Y106	J129	H158	F184	W146
Bandpass (μ m)	0.48-0.76	0.76-0.98	0.93-1.19	1.13-1.45	1.38-1.77	1.68-2.0	0.93-2.0
AB mag	28.5	28.2	28.1	28.0	28.0	27.5	28.3
Point-source slitless spectroscopic sensitivity, continuum mag (AB)10 σ /pix, in 1 hr							
	Bandpass μ m	Resolution	0.8 μ m	1.1 μ m	1.5 μ m		
Grism	1.0-1.93	435-865	N/A	20.78	20.48		
Prism	0.6-1.8	70-140	22.4	22.75	22.65		

Coronagraph Instrument							
Direct Imaging Camera		Pixel scale: 0.021"			FoV: 9" x 9"		
Integral Field Spectrograph		Lenslet spacing: 0.029"			FoV: 2.2" x 2.2"		
Coronagraph Observing modes							
Filter	λ_{center} (nm)	Band-width	Mask Type	Channel	Supported ?	Working Angle	Starlight Suppression Region
1	575	10%	HLC	Imager	Y	3-9 λ /D	360°
2	660	15%	SPC "bowtie"	IFS		3-9 λ /D	130°
3	730	15%	SPC "bowtie"	IFS	Y	3-9 λ /D	130°
4	825	10%	SPC wide FOV	Imager	Y	6.5-20 λ /D	360°
4	825	10%	HLC	Imager		3-9 λ /D	360°

Observing Mode	Sensitivity	Yield per On-Sky Month
HLS Imaging Wide-area, 4-band	Y=26.9 J=26.95 H=26.9, F184=26.25	170 deg ² 2.7 \times 10 ⁷ WL shapes
HLS Spectroscopy Slitless, $\lambda = 1.0$ -1.93 μ m	1.0 \times 10 ⁻¹⁶ erg s ⁻¹ cm ⁻² @ 1.80 μ m	303 deg ² 2.6 \times 10 ⁶ redshifts
Supernova Deep Imaging 5-day cadence, 8.5 deg ² Z087, Y106, J129, H158, F184	1 epoch: Z=25.9, Y=26.7, J=26.6, H=26.8, F=27.0 6-month coadd: Z=28.7, Y=29.5, J=29.4, H=29.6, F=29.7	956 SNIa
Supernova Wide Imaging 5-day cadence, 18.5 deg ² R062, Z087, Y106, J129, H158	1 epoch: R=25.3, Z=25.0, Y=25.0, J=25.5, H=26.0 6-month coadd: R=28.1, Z=27.8, Y=27.8, J=28.3, H=28.7	512 SNIa
Microlensing 2 deg ² , imaging W146 @ 15-min cadence Z087 @ 12-hour cadence	single-epoch precision: 0.001 mag @ W146 ~ 16 0.01 mag @ W146 ~ 21	2800 exposure/field 85 planets M>1M _E 15 planets M<1M _E
Deep Single-Band Imaging Contiguous, dithered	Any one of: R062=29.6, Z087=29.23, Y106=29.15, J129=29.07, H158=29.1, F184=28.51	40 deg ²
Deep Grism Spectroscopy Contiguous, dithered	1.0 \times 10 ⁻¹⁷ erg s ⁻¹ cm ⁻² @ 1.5 μ m	12 deg ²
Notes: Yields are per month of on-sky time, including slew+settle overheads but not calibration overheads. Photometric limits are 5 σ point source AB magnitudes for imaging, emission-line flux for spectroscopy.		

IR-űrcsillagászati tervek: WFIRST



IR-űrcsillagászati tervek: WFIRST

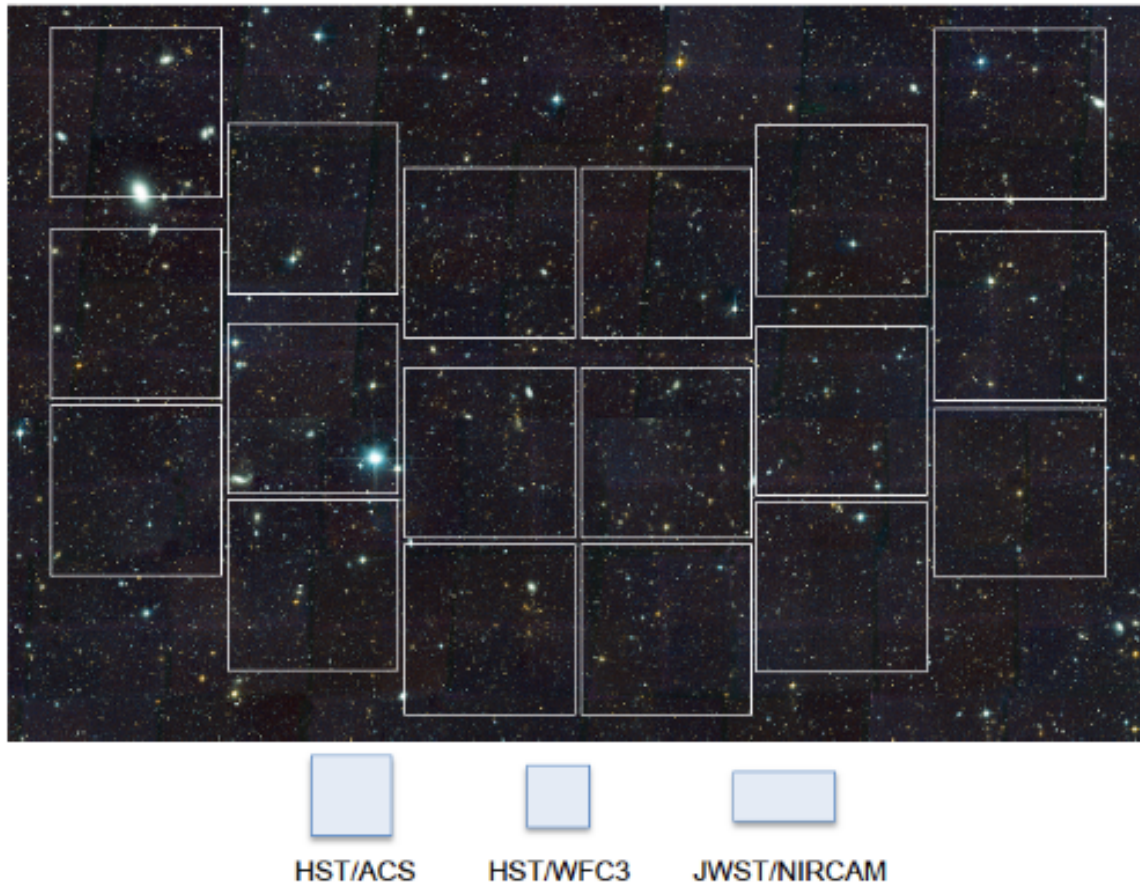
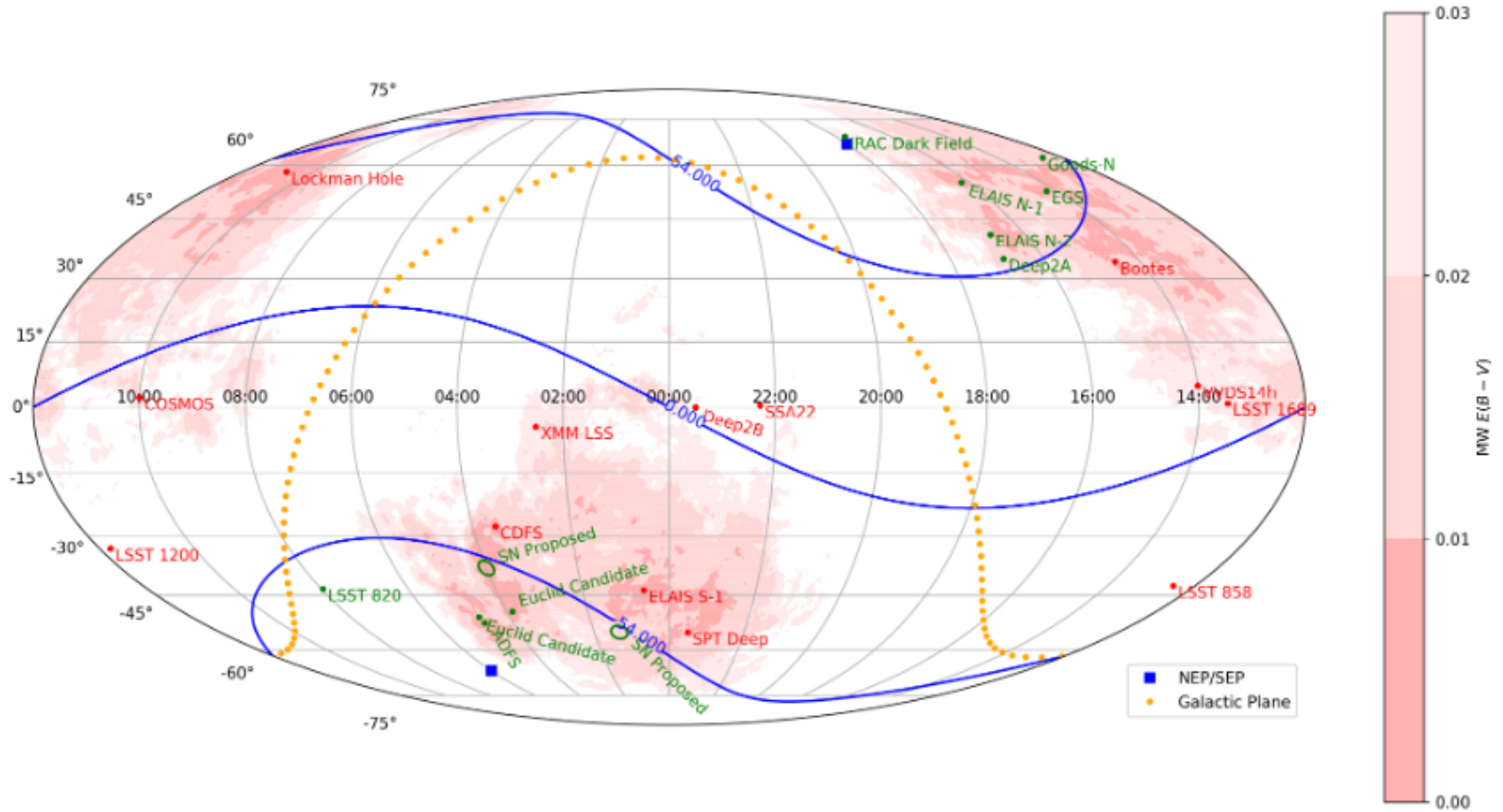


Figure 1: Field of view of the WFIRST Wide Field Instrument (WFI), compared with instruments from HST and JWST. Each of the 18 WFI detectors is a $4k \times 4k$ HgCdTe array with $0''.11$ per pixel. The field of view of $\sim 1011 \text{ arcmin}^2$ is about 100 times the area of the HST/ACS HUDF.

IR-űrcsillagászati tervek: WFIRST



IR-űrcsillagászati tervek: SPICA

SPICA (SPace Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics): a JAXA M osztályú missziója, de 2013-ban felfüggesztették a tervezését. 2018-ban az ESA társult a projekthez: 2,5 m átmérőjű RC-távcső, koronagráf üzemmódban is (protoplanetáris korongok, exobolygók közvetlen észlelése) + spektroszkópia 12 és 350 mikrométer között. Öt évre tervezett mérési időszak. 2021-ben hagyhatják jóvá. 2032-es indítás az L2 pontba.

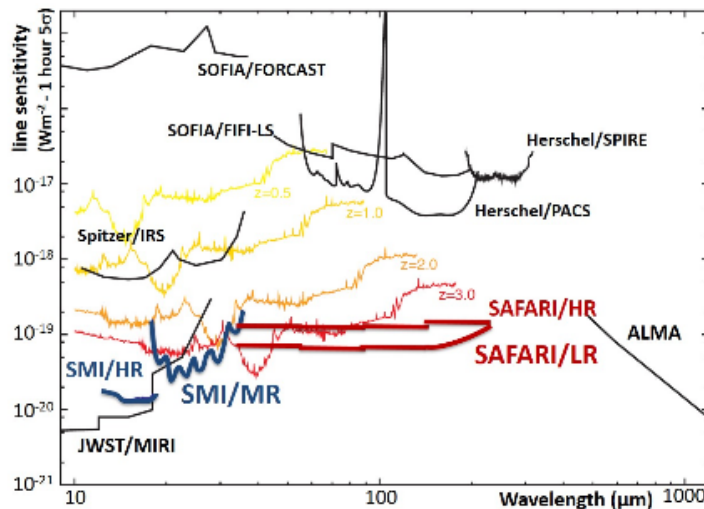


Figure 4. Projected spectroscopic sensitivity of the SPICA instruments as compared to other infrared facilities (at the SAFARI/LR resolution of ~ 300). The SAFARI sensitivity assumes a detector NEP of $2 \times 10^{-19} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$. The infrared spectrum of the Circinus galaxy, scaled to $L=10^{12} L_{\odot}$, for redshifts 0.5 to 3, and smoothed to the SAFARI/LR resolution, is superimposed.

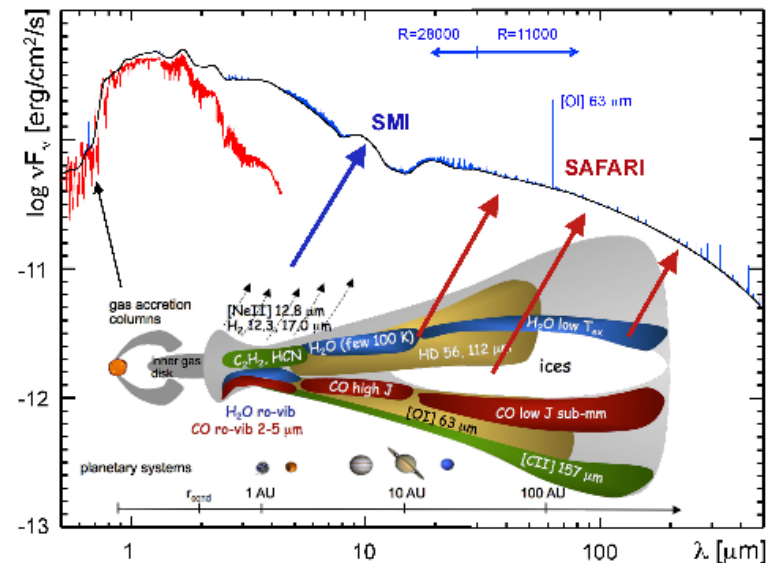


Figure 2. Model SED for a protoplanetary disc, illustrating that the bulk of the planet-forming reservoir is best studied at mid- to far-IR wavelengths, but requires high sensitivity for the detection of gas lines and dust/ice features.

Rádiócsillagászat – űr-VLBI

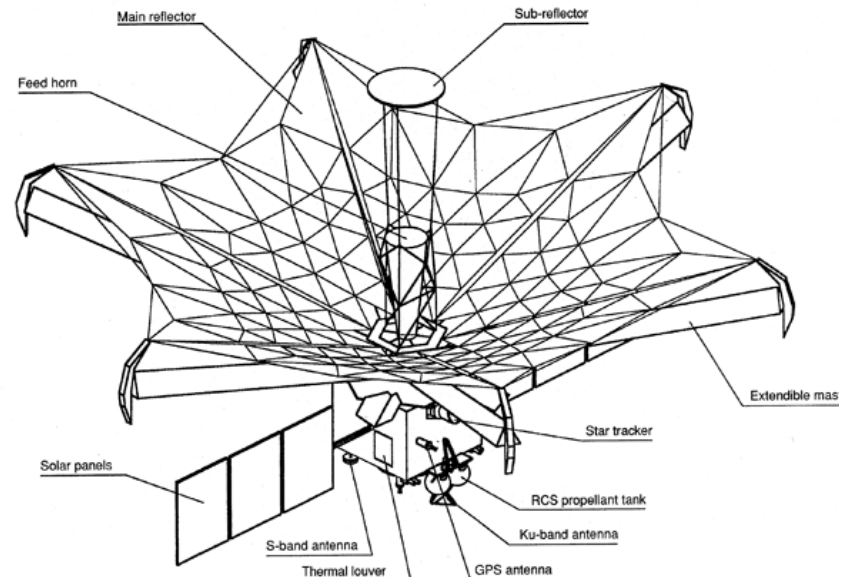
RAE-2 (Radio Astronomy Explorer): 1973; a Hold körül nagy inklinációjú pályán, a Hold túlsó oldalán rádióárnyékban volt a Földtől és a Naptól; 200 m hosszú dipólantennával észleltek.

Szaljut-6: 10 m-es antennát (KRT-10) nyitott ki Ljahov és Rjumin 1979-ben. 12-72 cm között működött közel 1 hónapon át, 400 km-re a felszíntől, de nem vált le az űrállomásról.

TDRSS-holdak (Tracking and Data Relay Satellite System): távközlési holdak 4,9 m-es antennával + földi rádiótávcsővel 2,3 és 15 GHz-en 1986–1988 között űr-VLBI-t végeztek; bázisvonal: 2 Föld-átmérő.

$\Theta = \lambda/D$, ahol D a koherenciában tartható két legtávolabbi elem távolsága (a Földön legfeljebb 10000 km); felbontás 0,001 ívmásodperc.

MUSES-B (Mu Space Engineering Satellite) = **HALCA** (Highly Advanced Laboratory for Communication & Astronomy) (Japán; haruka = messze); a VSOP (VLBI Space Observatory Program) keretében.



HALCA

Indítás: 1997. II. 17.

Kb. 40 földi rádióteleszkóppal globális hálózatban 5 éves működést terveztek, de tovább, 2003 végéig mért.

Apogeummagasság: 21400 km,
perigeum: 560 km a felszín felett,
6,3 óra keringési idő.

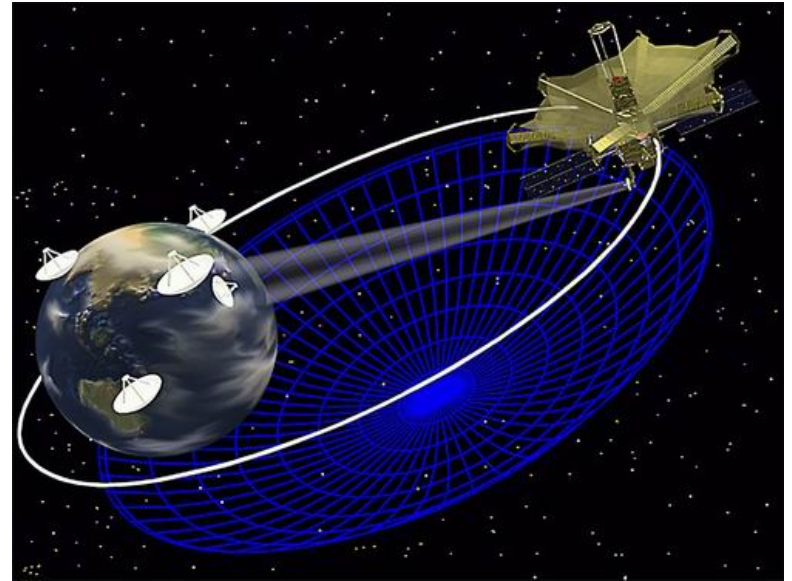
Bázisvonal hossza így a földi maximális érték 3-szorosa.

Pályahajlás: 31,3 fok az egyenlítőhöz.

A Föld lapultsága miatt a pálya precesszál (a perigeum argumentuma 1 éves, a felszálló csomó hossza 1,6 éves periódussal). A legjobb felbontás a pályára merőleges irányban érhető el, de a tervezett 5 év alatt minden irányt el lehetett érni így.

Fő antennája 8 m-es, aranybevonatú molibdén-szálakból álló háló volt.

A Naptól legalább 70 fokra lehetett csak észlelni (kisebb szögnél a fő antenna eltakarta a napelemeket), a Föld árnyékában is szünetelt az észlelés.



HALCA

A szonda pályáját pontosan kellett rekonstruálni: a légkör nem hanyagolható el a perigeumnál, a Napból eredő sugárnyomás pedig állandóan hat. A pozíció pontossága: 15 m, a sebessége: 6 mm/s.

Követőállomások: Goldstone (USA), Green Bank (USA), Robledo (Spanyolo.), Tidbinbilla (Ausztrália), Usuda (Japán).

A feldolgozás során korrelációba kellett hozni a jeleket – minden mozog, a földi távcsövek helye cm pontossággal ismert, mindegyik be van kötve a GPS-be, a mérési időpont bizonytalansága 100 ns-on belüli.

Mérési tartomány: 1,6–1,7 GHz, 4,7–5,0 GHz (a 22,0–22,3 GHz közöttit nem használták kezdettől).

Főleg extragalaktikus forrásokat mértek vele: kvazár, blazár, rádiógalaxis (egyéb források: pulzárok, OH-mézerek).

Az idő negyedében VSOP-Survey: 5 GHz-en aktív galaxismagok 0,001 alatti szögfelbontással. 300 kiválasztott galaxist észleltek.

Utódját, a VSOP-2-t törölték, mert az egy nagyságrendnyi javulás a teljesítményben (érzékenység, felbontás) költségvonzata nem érte volna meg a befektetést.

Szpektr-R = RagyioAsztron

Orosz rádiószonda (Lebegyev Fizikai Intézet). 1985 (!) óta tervezték.
Indítás: 2011. VII. 18. Perigeum: 10000 km, apogeum: 350000 km,
keringési periódus 8,5 nap.

A 10 m átmérőjű antennával a korábbinál
hosszabb alapvonalú űr-VLBI. Kooperáció
30 földi rádiótávcsővel (közte EHT, ALMA).

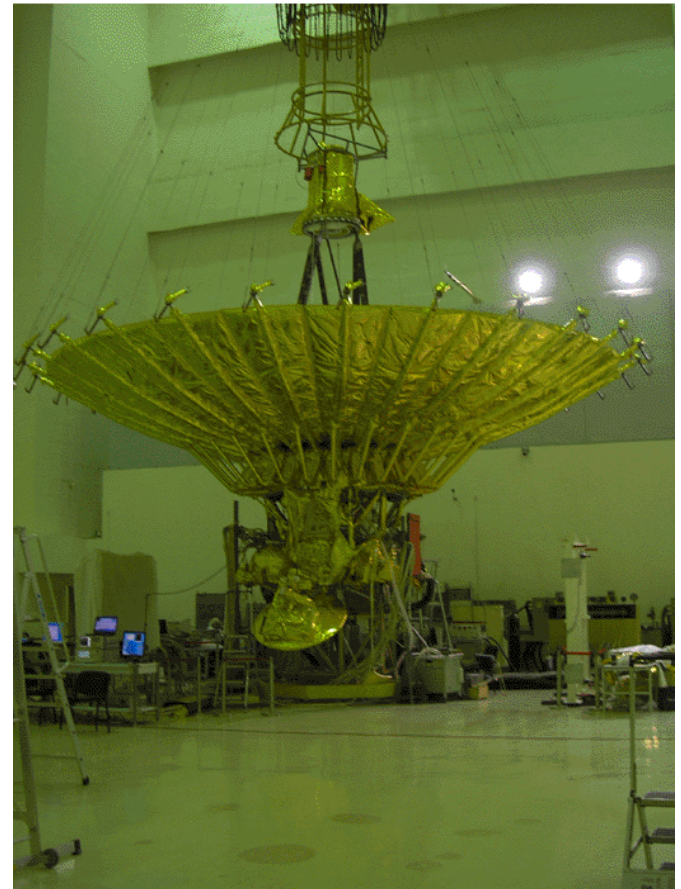
Mérési hullámhosszak:

- 1,19–1,63 cm (K-sáv) (nem működött)
- 6,2 cm (C-sáv) (nem működött)
- 18,0 cm (L-sáv)
- 92 cm (P-sáv).

Felbontás: 8–500 milliomod ívmásodperc
(λ -függő). Főleg extragalaktikus források,
továbbá pulzárok, blazárok, mézerforrások
mérése.

A megfigyelési időt nyílt pályázati
rendszerben ítélték oda.

2019. januártól a szonda nem reagál a földi
parancsokra. A 7 évre tervezett működést
néhány hónappal túlteljesítette.



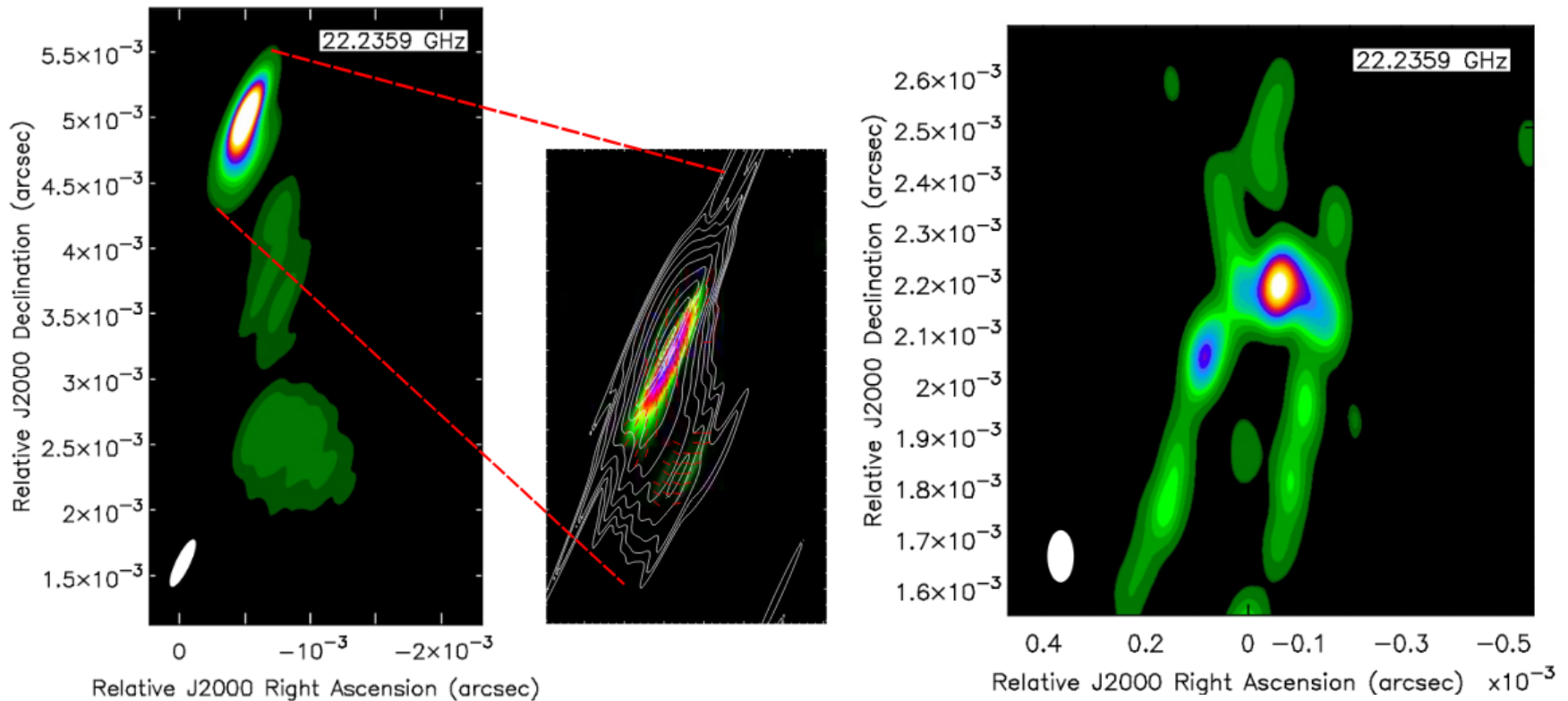
SRT antenna in Lavochkin Association
(2011)

Szpektr-R = RagyioAsztron

Kulcsprogramok:

- közeli aktív galaxismagok relativisztikus kilövelléseinek felbontása;
- aktív galaxismagok kilövelléseinek vizsgálata polarizációs mérésekkel;
- Nagy teljesítményű blazárok kilövelléseinek transzverzális felbontása, a plazmainstabilitás vizsgálata

Néhány eredmény: a **BL Lac** lineáris polarizációja 22 GHz-en (balra lent), a 75 Mpc-re levő **3C84** magja nagy felbontásban (jobbra lent)



Szpektr-R = RagyioAsztron

Az NGC 4258 galaxis centruma körüli megamézer észlelése 8 milliomod ívmásodperces (rekord) szögfelbontással:

H₂O MegaMasers

