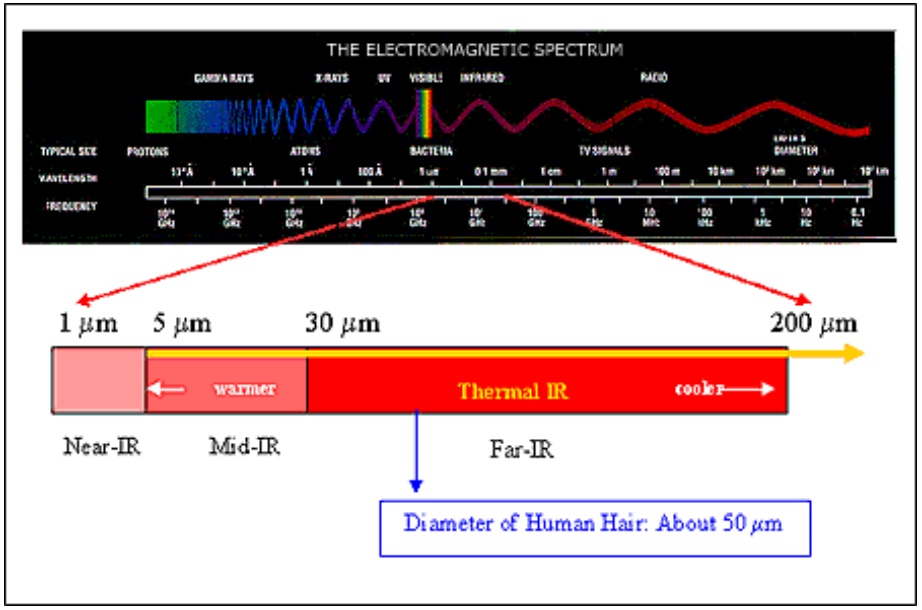
AKARI - wszechświat w podczerwieni

Katarzyna Małek Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

Warszawa, 30.10.2009

1. Podczerwień na Ziemi i w kosmosie
2. Wszechświat w podczerwieni
3. Wszechświat z pyłu – od IRASa do AKARI
4. AKARI - analiza danych



widmo elektromagnetyczne; ipac.jpl.nasa.gov

W astronomii dzieli się podczerwień na trzy kategorie:

- bliską NIR 1 – 5 μm,
- średnią Mid-IR 5 – 30 μm,
- daleką FIR 30 – 200 μm.

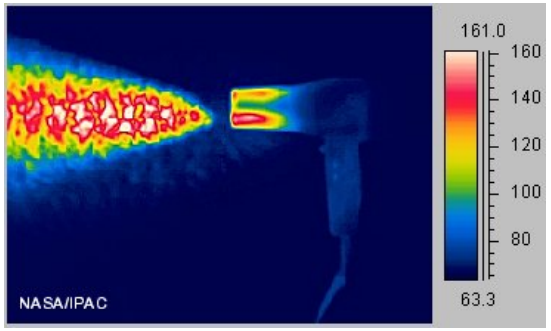
źródło

Głównym źródłem promieniowania podczerwonego jest ciepło, czyli **promieniowanie termiczne**.

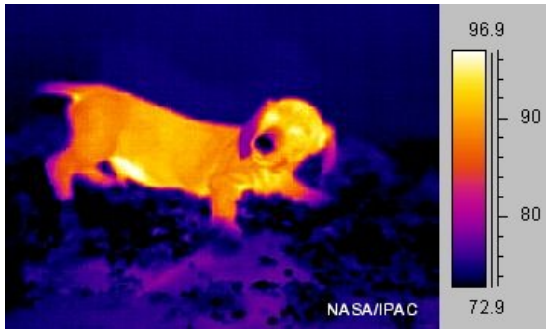
- promieniowanie podczerwone wytwarza ruch atromów i cząsteczek w promieniującym przedmiocie,
- im wyższa temperatura, tym szybciej poruszają się atomy i cząsteczki i tym więcej podczerwonego promieniowania wysyłają.

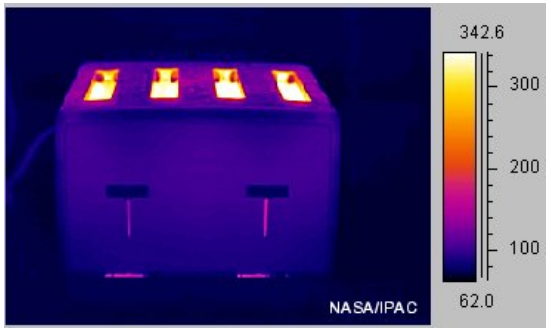
Każdy obiekt o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego emituje podczerwień

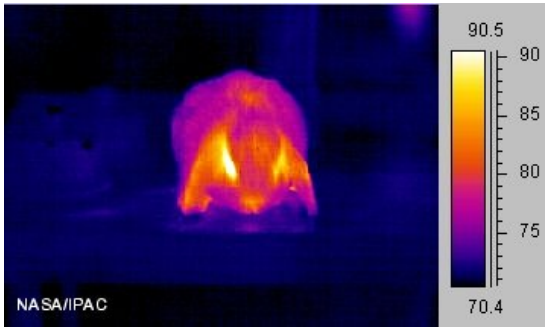
Praktycznie każde ciało, nawet takie, które wydaje nam sie bardzo zimne emituje promieniowanie termiczne. Obiekt nie dość gorący, żeby świecić w świetle widzialnym będzie wyświecał większość swojej energii w podczerwieni.



Podczerwień portrafi podróżować przez gęsty dym, pył, mgłę czy nawet niektóre materiały.







Astronomia w podczerwieni

- polega na detekcji i analizie promieniowania podczerwonego (cieplnego) emitowanego z obiektów znajdujących się we Wszechświecie,

Astronomia w podczerwieni

- polega na detekcji i analizie promieniowania podczerwonego (cieplnego) emitowanego z obiektów znajdujących się we Wszechświecie,
- wszystkie obiekty emitują promieniowanie podczerwone, dlatego też astronomia w podczerwieni obejmuje naukę "prawie wszystkiego" we Wszechświecie,

Astronomia w podczerwieni

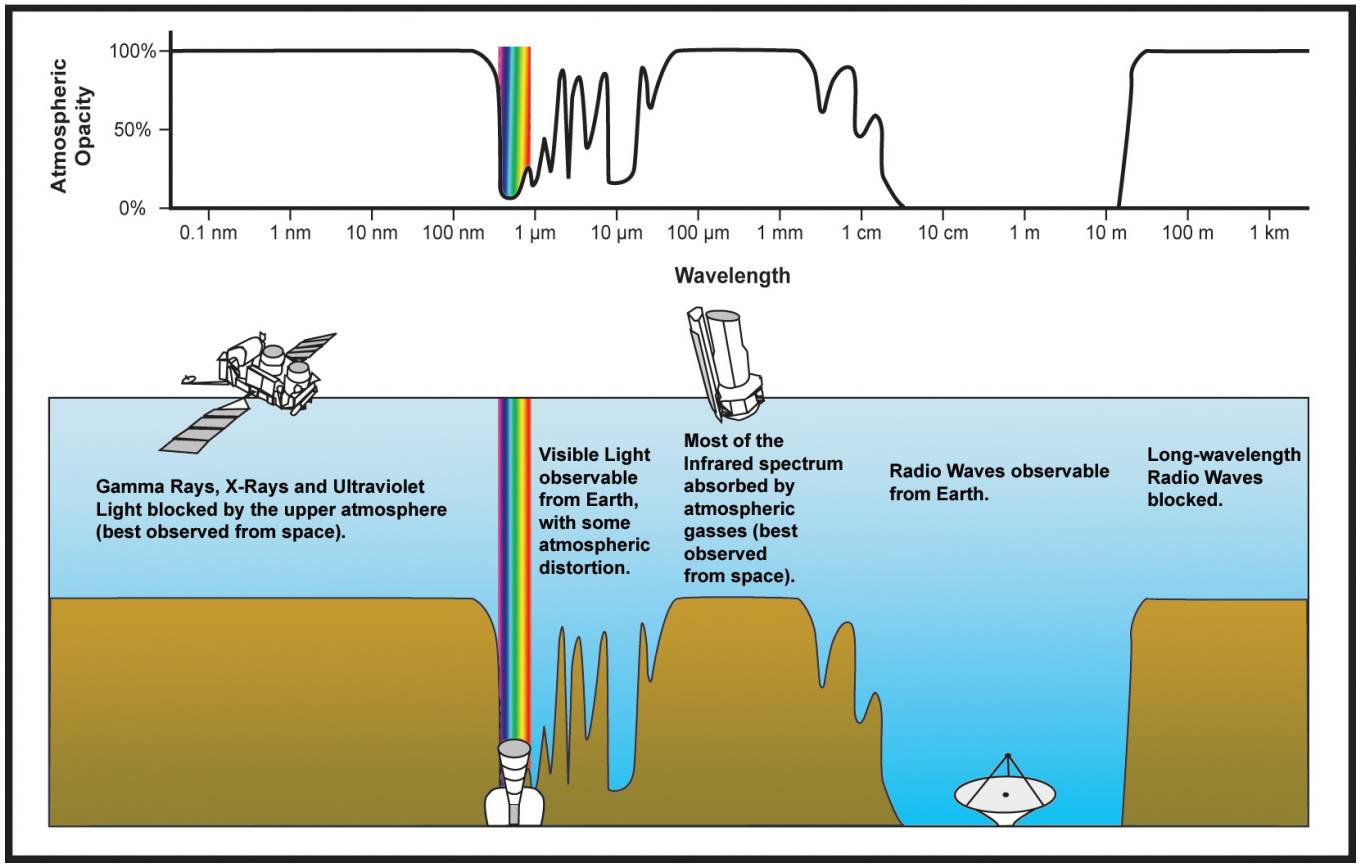
- polega na detekcji i analizie promieniowania podczerwonego (cieplnego) emitowanego z obiektów znajdujących się we Wszechświecie,
- wszystkie obiekty emitują promieniowanie podczerwone, dlatego też astronomia w podczerwieni obejmuje naukę "prawie wszystkiego" we Wszechświecie,
- Pozwala także na obserwacje bardzo dalekiego Wszechświata - promieniowania wyemitowanego w zakresie optycznym i UV przesuniete ku podczerwieni tak, że obserwujemy IR.

Obserwacja Wszechświata w podczerwieni jest bardzo użyteczna, ale stanowi wyzwanie techniczne.

Problemy obserwacyjne

- atmosfera także sama silnie świeci w podczerwieni, często silniej niż źródła astronomiczne, które chcemy obserwować,
- fale IR, poza kilkoma wąskimi "oknami" *głownie poniżej 4 mikronów (bliska podczerwień)*, są praktycznie całkowicie absorbowane przez ziemską atmosferę,
- konieczność chłodzenia detektorów ciekłym azotem (fale krótsze) lub helem (fale dłuższe).

"Okna" obserwacyjne w ziemskiej atmosferze. *NASA/IPAC*



Możliwe sposoby obserwacji:

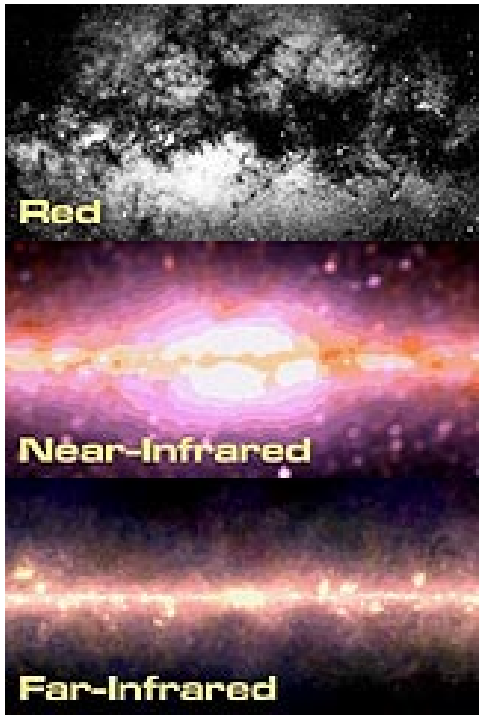
- teleskopy w wysokich górach o suchym klimacie - miejsca trudnodostępne (pustynia Atacama),
- samoloty,
- balony,
- obserwacje satelitarne - możliwość przeglądu całego nieba.

chłodzenie

Ponieważ podstawowym źródłem IR jest promieniowanie termiczne, dlatego detektor musi być schłodzony do okolic absolutnego zera ($-459^o F, -273^o C$) aby nie obserwował promieniowania podczerwonego pochodzącego od samego siebie.

- wszystko co ukryte za gęstymi chmurami pyłów i gazów

Centrum Drogi Mlecznej



1. visible red light - intensywne światło pochodzące od milionów gwiazd; informacje o dalszych obiektach głównie zakryte chmurami pyłu,
2. NIR - światło w dalszym ciagu pochodzi od gwiazd, pył stał się bardziej przezroczysty,
3. FIR - gwiazdy ledwie widoczne, obserwujemy obłoki pyłu.

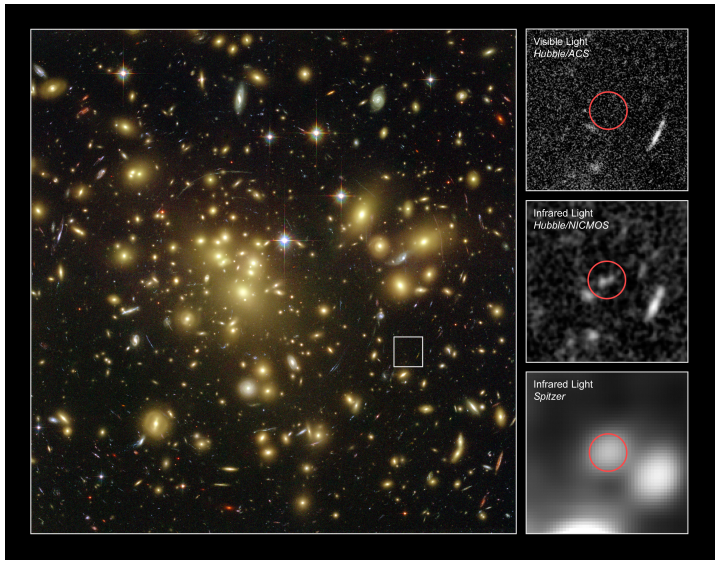
- wszystko co ukryte za gęstymi chmurami pyłów i gazów
- wszystko co zimne

pył, zimne gwiazdy, galaktyki IR, mgławice, planety, brązowe karły ...

Obiekty we Wszechświecie, które są zbyt zimne aby mogły zostać zaobserwowane w świetle widzialnym, mogą być obserwowane w podczerwieni.
Światło gwiazdy, wokół której krąży planeta oślepia detektor na tyle, że nie pozwala on dostrzec blasku samej planety. W podczerwieni, w której planety świecą bardzo wyraźnie, blask pochodzący od gwiazdy jest zredukowany i dzieki temu możliwa jest jej detekcja.

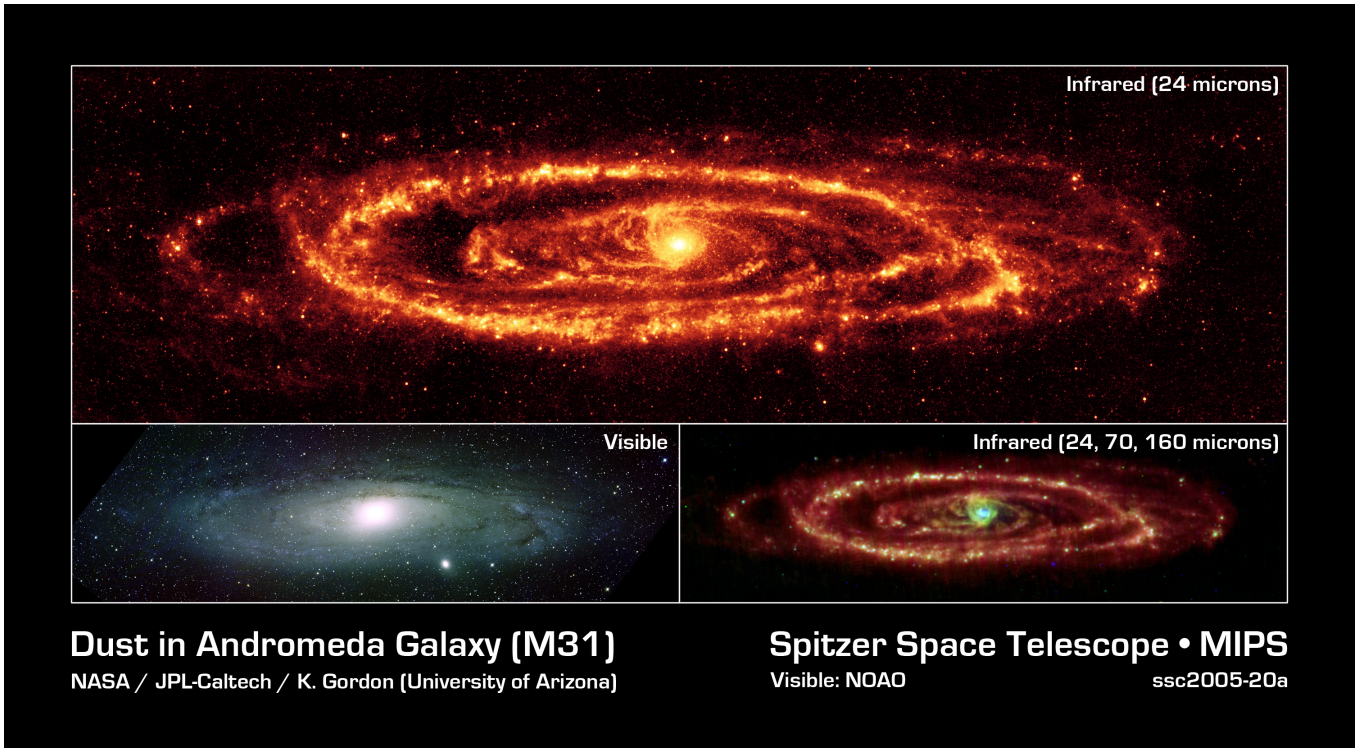
- wszystko co ukryte za gęstymi chmurami pyłów i gazów
- wszystko co zimne
- wszystko, co dalekie: odległe galaktyki

Obiekty oddalające się od nas emitują światło bardziej "czerwone". Oznacza to, że linie oddalającego się obiektu są przesunięte w stronę większych długości fali $\longrightarrow$ UV i VIS z odległych źródeł są przesunięte w strone podczerwieni.

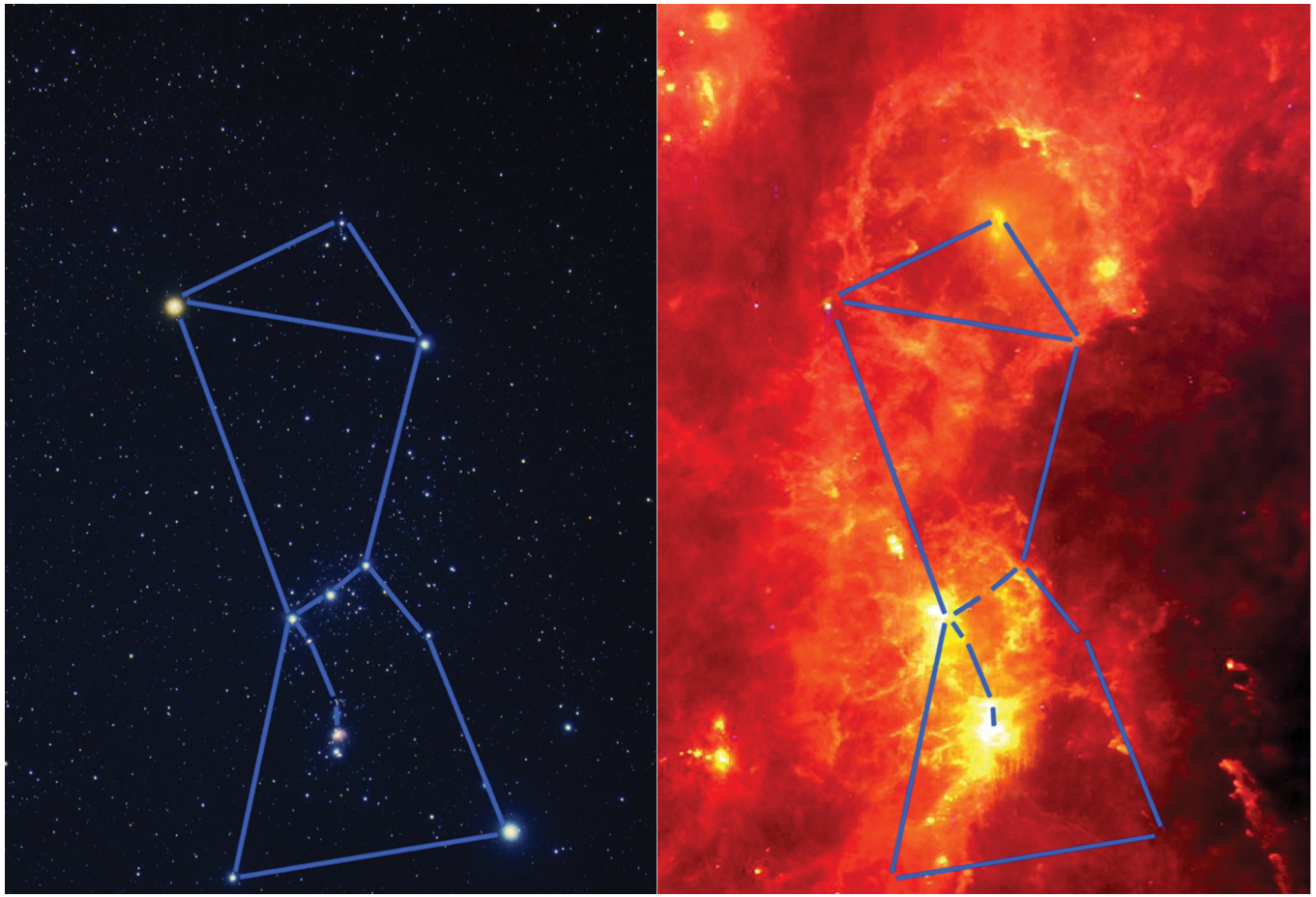


A1689-zD1 - najbardziej odległa galaktyka (z$\sim$7.6) odkryta II.2008 (Spitzer)

Wielka Mgławica Andromedy M31



Gwiazdozbiór Oriona



Hideo Fukushima, National Astronomical Observatory Japan (left); JAXA (right)

NIR

jasne, niebieskie gwiazdy bledną, pojawiają się niewidoczne, chłodne czerwone gwiazdy. W tym paśmie pył międzygwiazdny jest najbardziej przezroczysty.

MiR

chłodne gwiazdy znikają, pojawiają się chłodne obiekty takie jak planety, komety i asteroidy.

FIR

znikają gwiazdy, natomiast wyłania się bardzo zimna materia (140K i mniej)

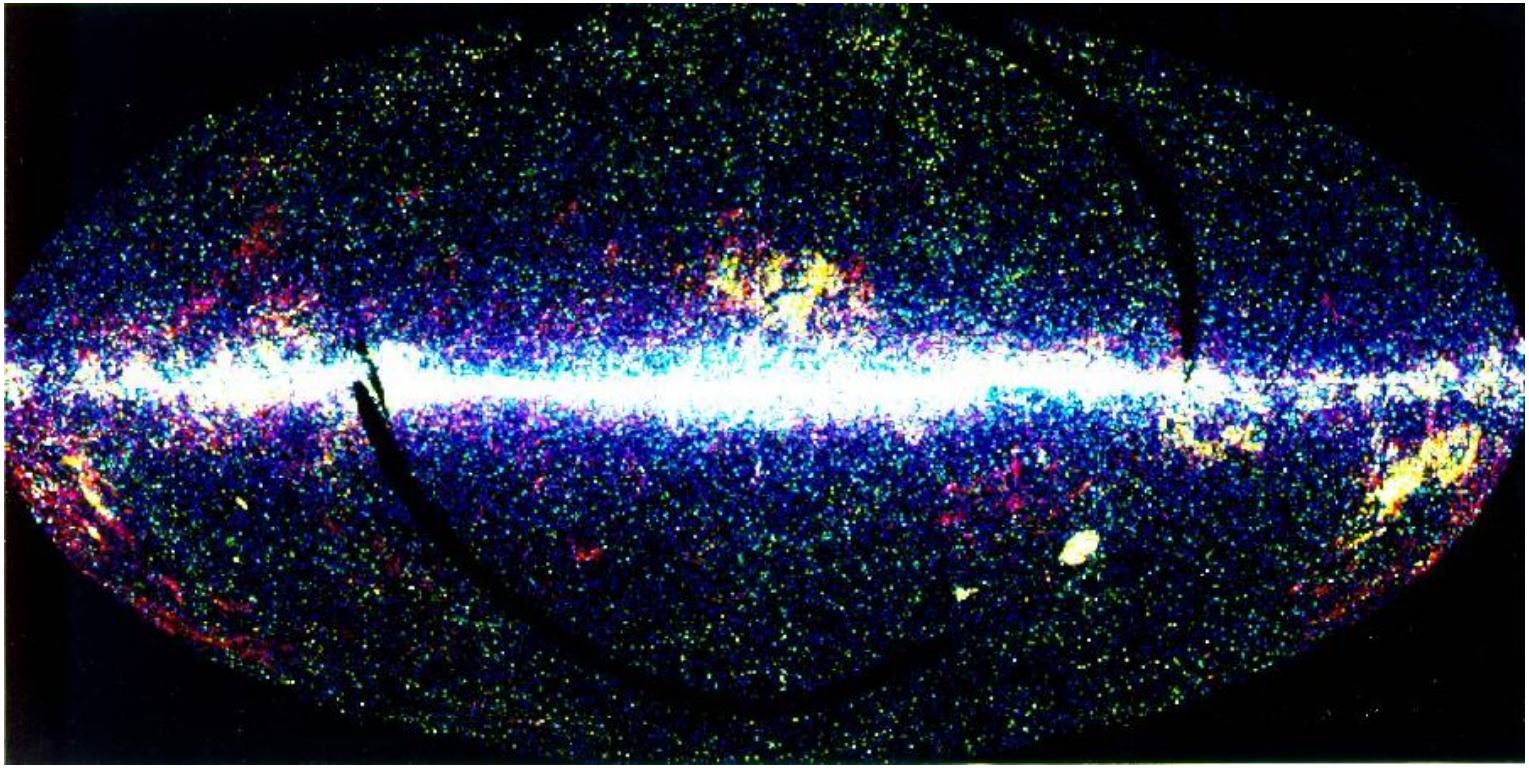
IRAS

Infrared Astronomical Satellite - pierwsze satelitarne obserwatorium podczerwone przygotowane do obserwacji całego dostępnego nieba w promieniowaniu podczerwonym, wystrzelone na orbitę 25.01.1983, czas pracy - 10 m-cy. Wspólny projekt USA (NASA), Holandii (NIVR[a]) i Wlk. Brytanii (SERC[b]).

[a] The Netherlands Agency for Aerospace Programmes
[b] Satellite Educational Resources Consortium

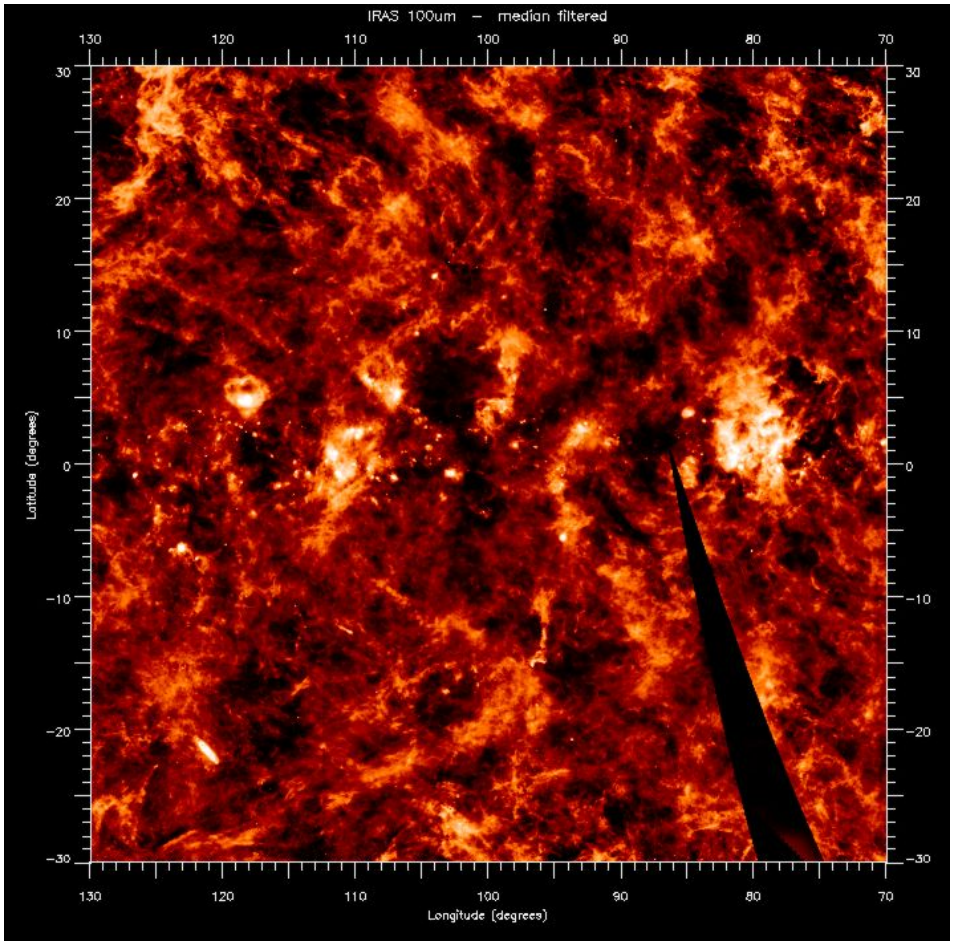
- obserwacje w czterech pasmach: 12, 25, 60 i 100 μm,
- detekcja $\sim$ 350 tyś. obiektów (zwiększając tym samym liczbę wszystkich skatalogowanych obiektów astronomicznych o 70%.),
  - 1/5 - galaktyki aktywne gwiazdotwórczo (starburst galaxies)
- opracowanie katalogu PSCz (Point Sources Catalog z) zawierajacego $\sim$ 15 tyś. obiektów w tym pochodzących z niedostostepnego wcześniej obszaru zasłonietego przez pył i gaz z Drogi Mlecznej ($\sim$ 84% pokrycia nieba).

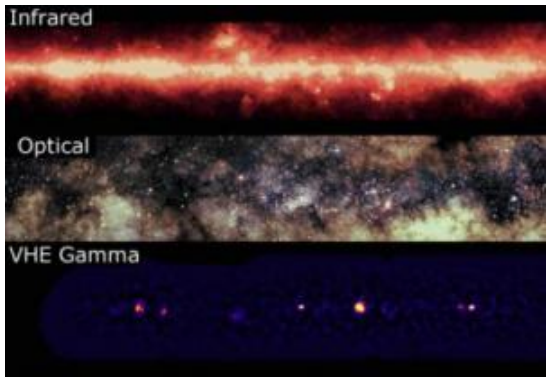
Okazało się, że niebo w podczerwieni świeci zupełnie inaczej niż w zakresie widzialnym...



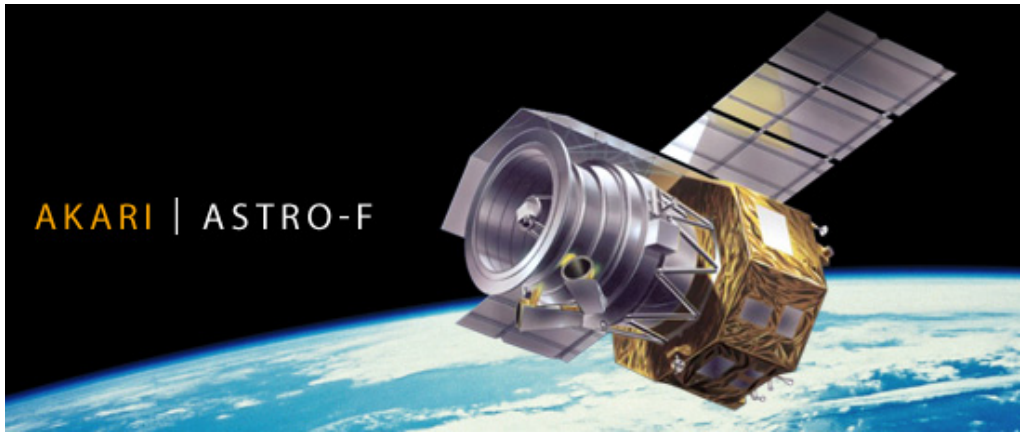
IRAS Point Source All Sky Map (www.ipac.caltech.edu/)

Niebo obserwowane w paśmie 100 μm



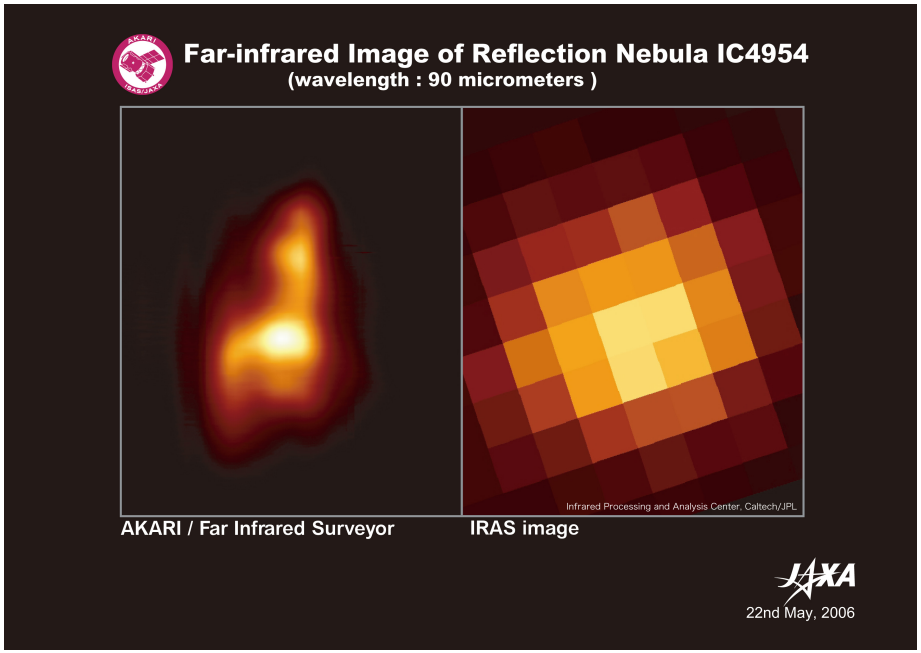


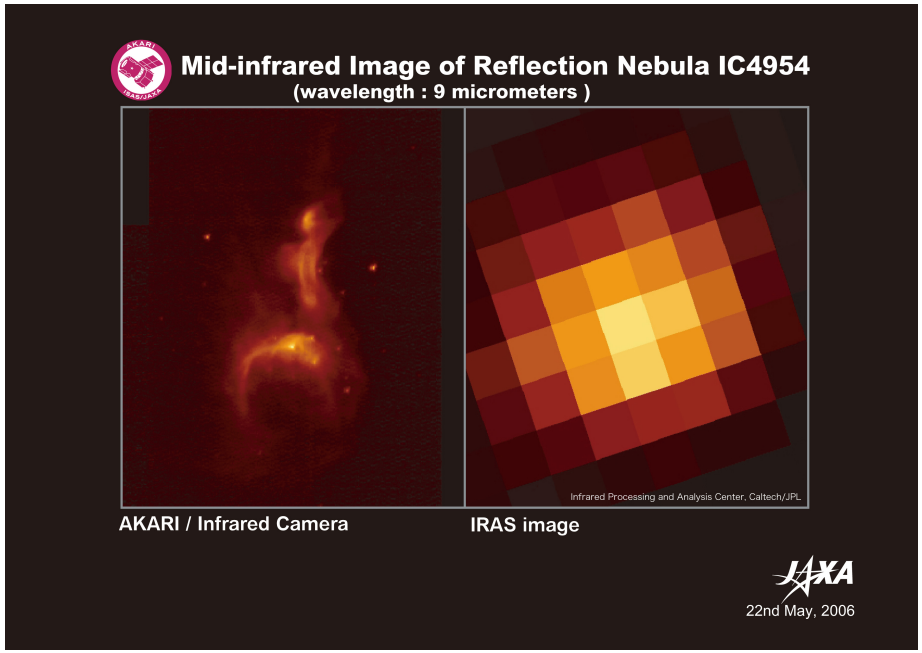
Particle Physics & Astronomy Research Council



AKARI (AKARI-F, IRIS) - japoński podczerwony satelita astronomiczny. Zbudowany przez JAXA[1]/ISAS[2]) przy udziale ESA[3]. Wystrzelony 22 lutego 2006.

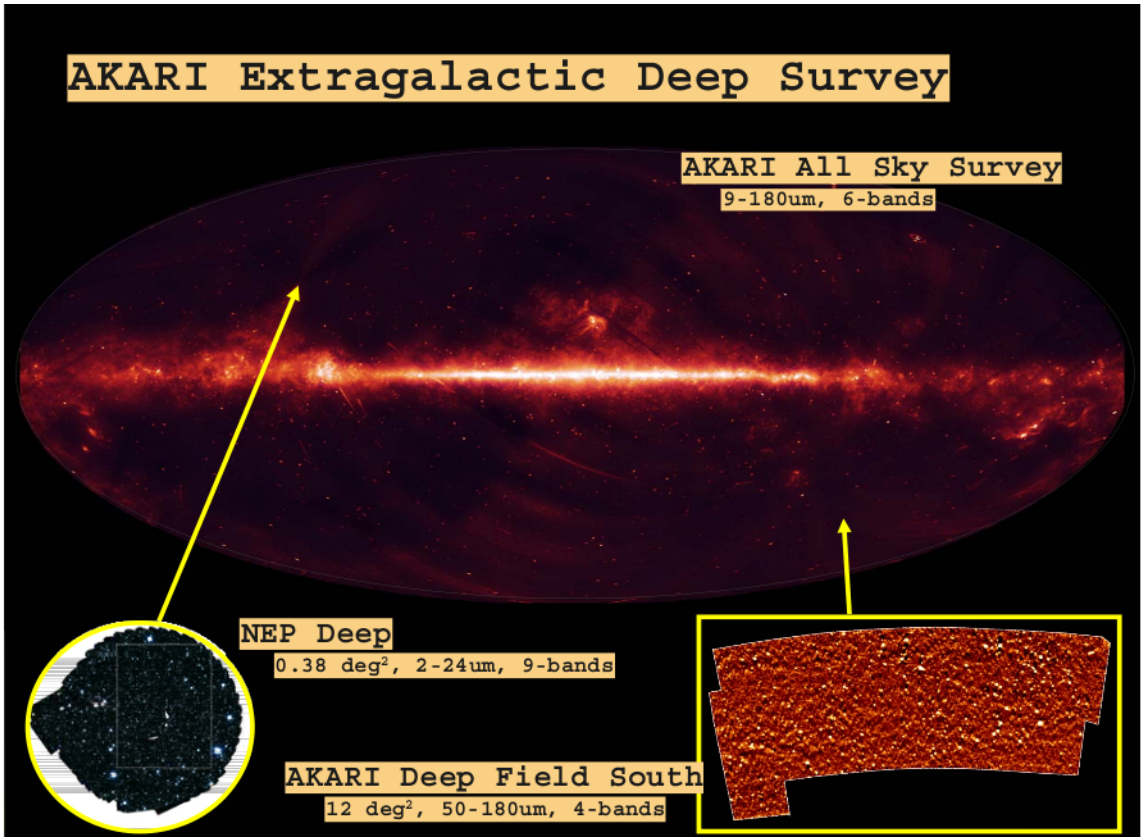
[1] Japan Aerospace Exploration Agency
[2] Institute of Space and Astronautical Science, Japan
[3] European Space Agency





CEL

sporządzenie przeglądu całego nieba w podczerwieni ze znacznie lepszą rozdzielczością niż kiedyś IRAS (skan całego nieba w sześciu podczerwonych pasmach od 9 do 180 μm).



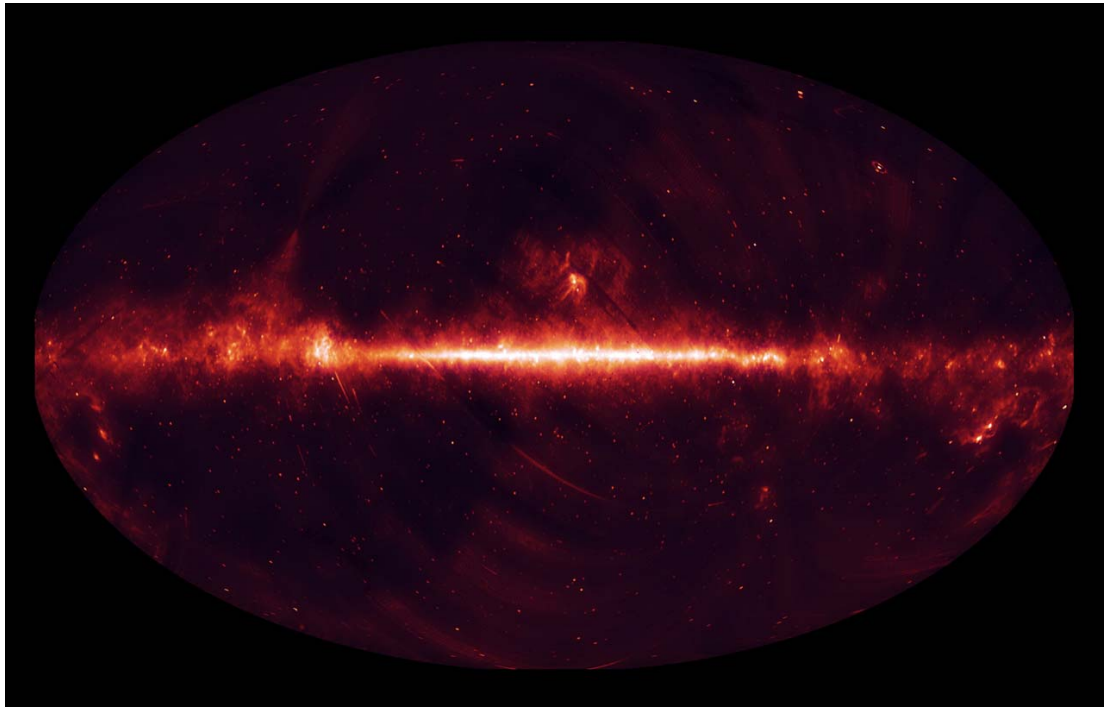
ASS All Sky Survey,

NEP North Ecliptic Pole,

ADF-S AKARI Deep Field South.

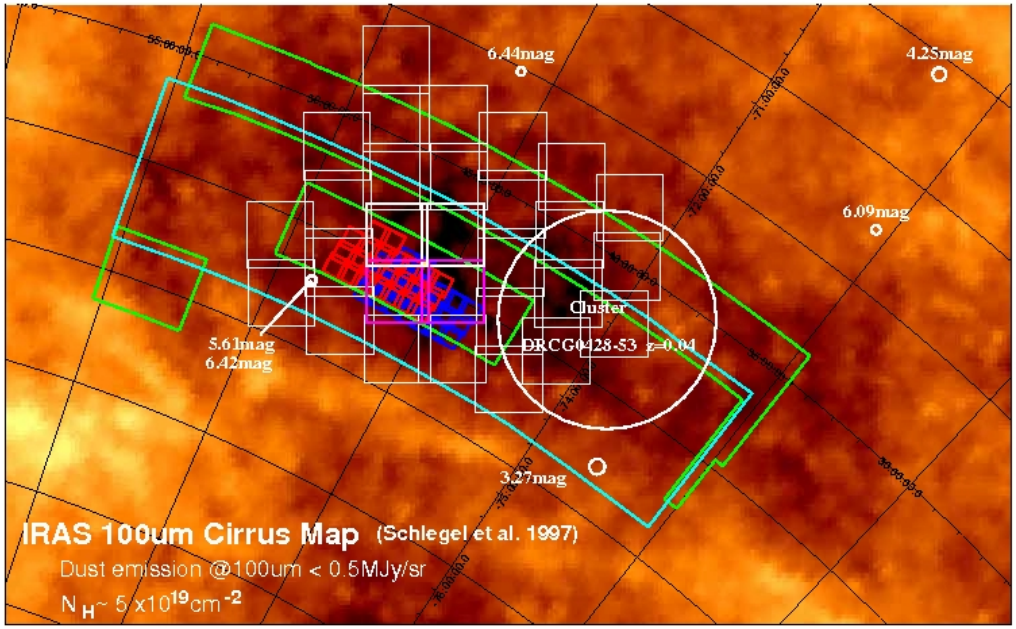
26 sierpnia 2007

roku AKARI zakończył przegląd w dalekiej podczerwieni.



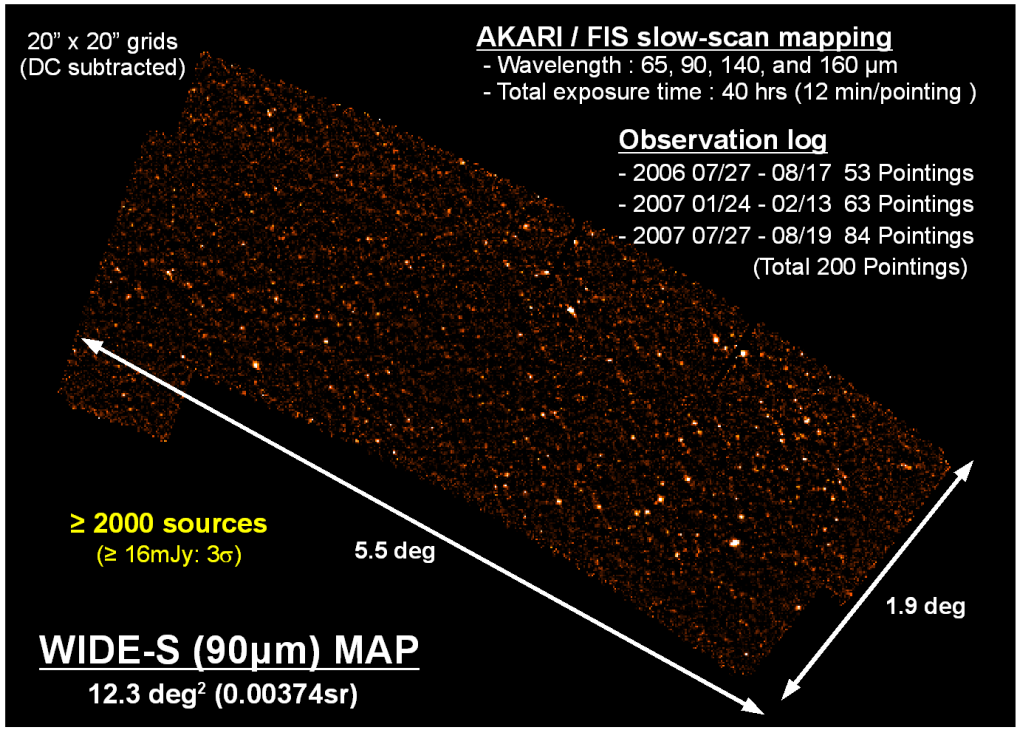
AKARI All-Sky survey in Infrared λ=9μm

Pas Drogi Mlecznej; jasne obszary wdłuż płaszczyzny galaktyki $\rightarrow$ miejsca, gdzie właśnie rodzą się gwiazdy; Najjaśniejszy obszar w centrum galaktyki to miejsce, gdzie stłoczone są stare gwiazdy. 3x więcej obiektów niż IRAS.



- Obszar przy biegunie ekliptycznym
- Najniższa ekstynkcja galaktyczna na całym niebie

Najlepszy obszar do obserwacji FIR.



"Mapa" w dalekiej podczerwieni: ciągła obserwacja dużego obszaru nieba ($\sim$ 12 stopni) w 4 pasmach: 90μm, 65, 140 i 160 μm. Zaobserwowano 2268 obiektów poniżej $\sim$ 20mJy w paśmie 90 μm.

Pytanie

czym właściwie są te jasne źródła FIR? Gwiazdy? Bliskie galaktyki z dużą iloscią pyłu, aktywne gwiazdotwórczo? Aktywne galaktyki (AGNs)? Dalekie galaktyki?

Katalog

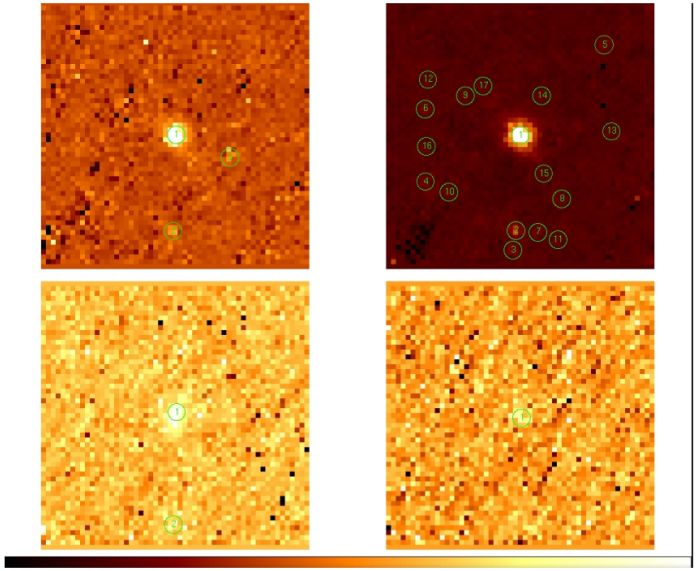
przeprowadzilismy wstępny proces identyfikacji $\sim$ połowy źródeł. Poszukiwaliśmy ich odpowiedników pochodzących z katalogu ADFS w innych, ogólnodostępnych katalogach (NED, SIMBAD) (Małek, Pollo et al., A&A, submitted).
Identyfikacja w dwóch grupach:

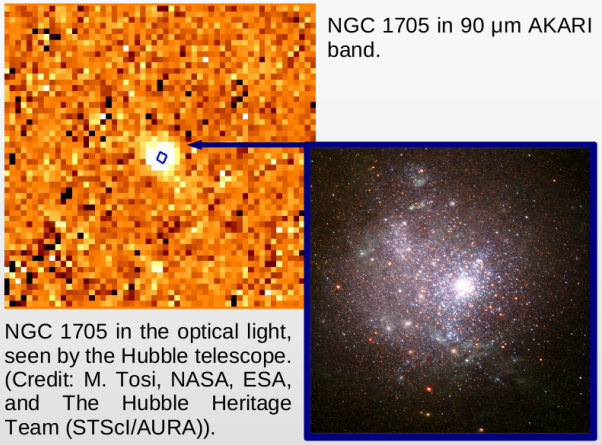
- 10 σ katalog pierwszych 500 najjaśniejszych źródeł w paśmie 90 μm (do 0.0482Jy),
- 6 σ katalog kolejnych 500 obiektów (do 0.0301Jy).

Promień, w jakim poszukiwane były odpowiedniki to $40''$ (1px$\rightarrow$ $26''$).

Trudności w identyfikacji

- rozdzielczość,
- systematyka (ruch satelity).





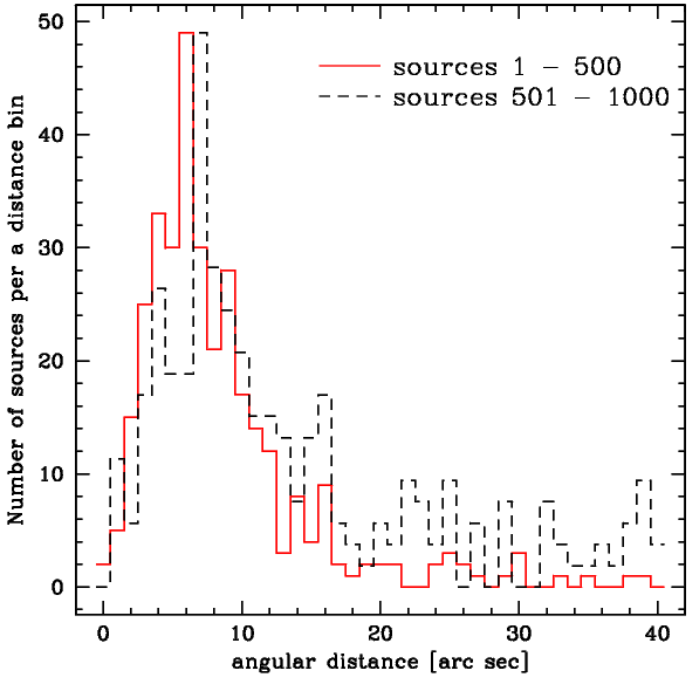
Liczba znalezionych odpowiedników w innych katalogach

	10σ	**6σ**
1 odpowiednik	208	156
2 lub 3 odpowiedniki	114	59
4 i więcej odpowiedników	8	-
brak odpowiednika	170	285

10σ 500 odpowiedników $\longrightarrow$ 330 ADFS,

6σ 284 odpowiedników $\longrightarrow$ 215 ADFS.

Prawdopodobieństwo znalezienia odpowiednika spada wraz ze spadkiem jasności w paśmie 90μm o czynnik 1.5, ale jednocześnie prawdopodobieństwo znalezienia wielokrotnych odpowiedników spada o czynnik 2.

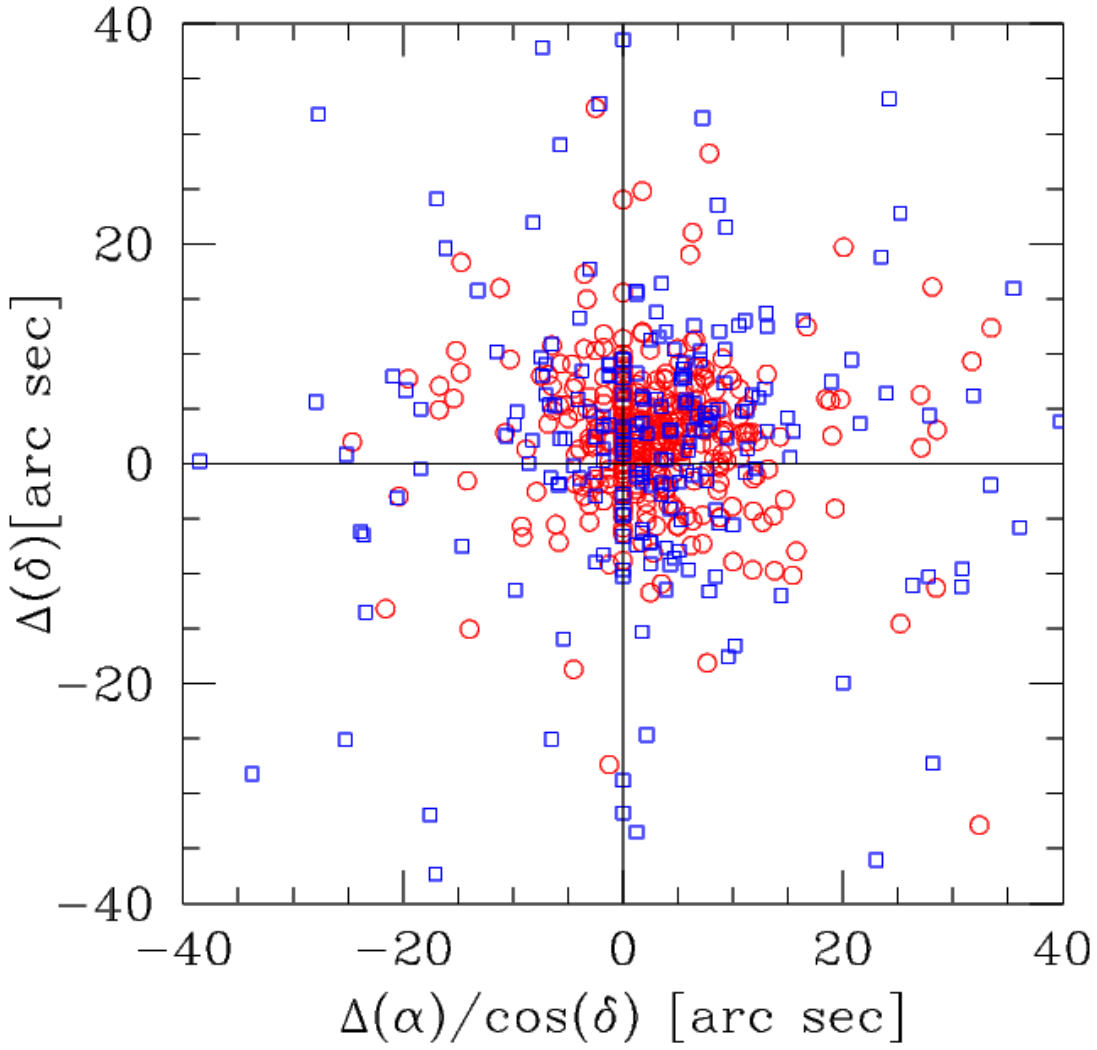


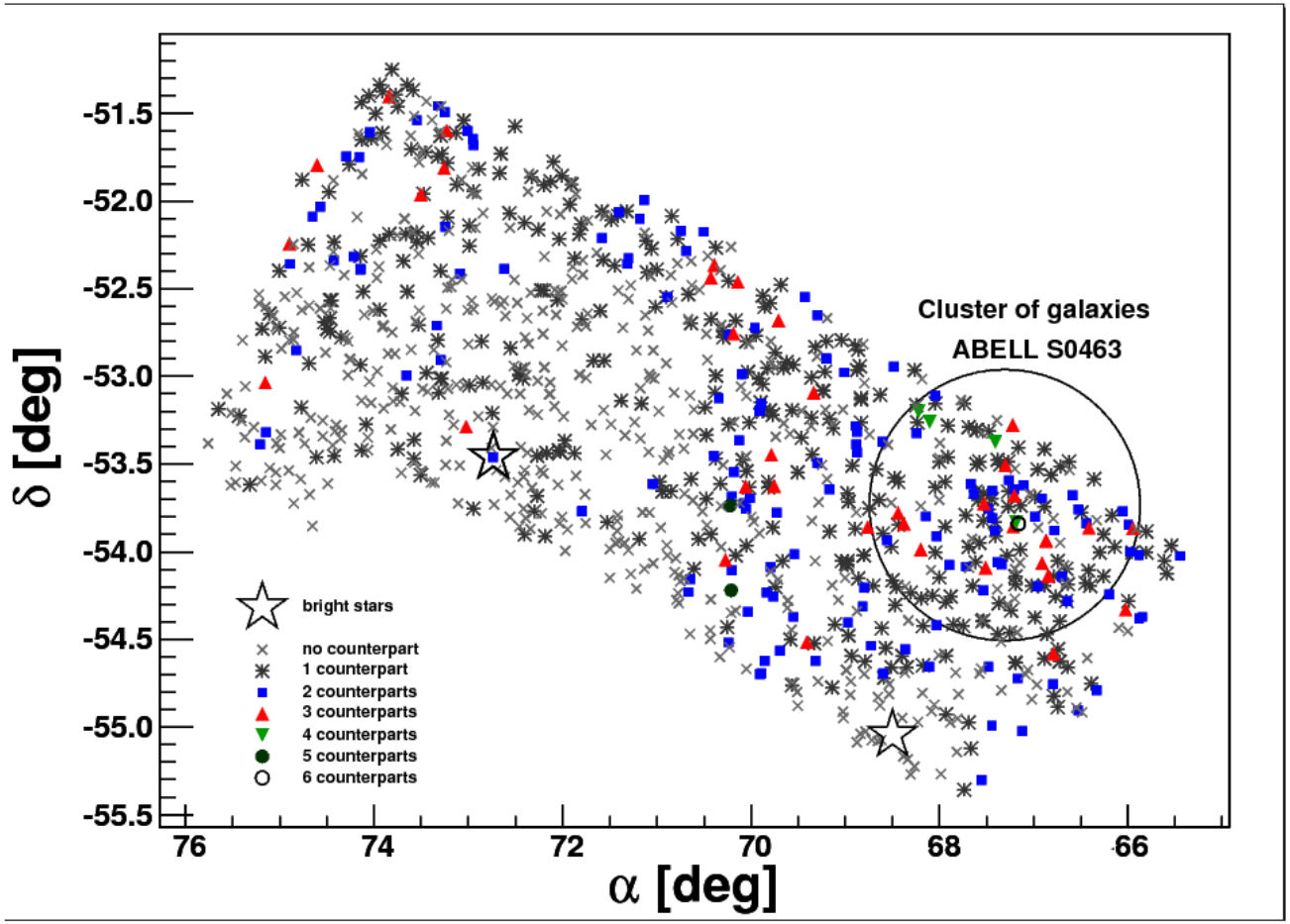
10σ mediana 6.9 arcsec (6.45)

6σ 9.7 arcsec (8.2)

Problem z jakością – rozdzielczość:

- detektor AKARI: $\sim 20''$, IRAS: $70''$, ISO/PHOT: $40''$, Spitzer: $15''$
- ALE w optyce: HST: $0.1''$, VLT: $\sim 0.4''$, Keck or VLT interferometers: $0.005''$


40
20
0
−20
−40
−40
−20
0
20
40
Δ(δ)[arc sec]
Δ(α)/cos(δ) [arc sec]


Cluster of galaxies
ABELL S0463
bright stars
no counterpart
1 counterpart
2 counterparts
3 counterparts
4 counterparts
5 counterparts
6 counterparts
δ [deg]
α [deg]
-51.5
-52.0
-52.5
-53.0
-53.5
-54.0
-54.5
-55.0
-55.5
76
74
72
70
68
66

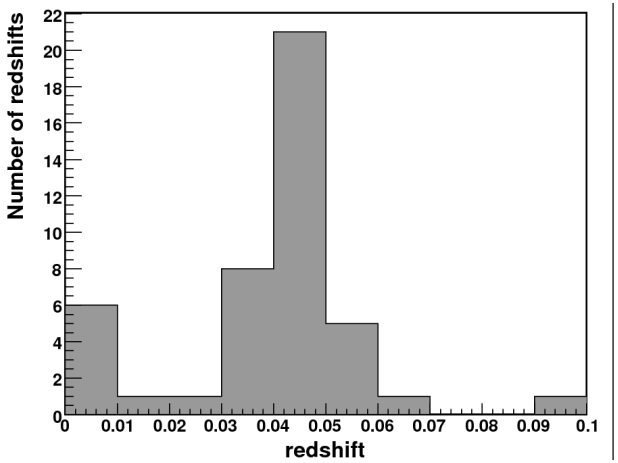
zidentyfikowane obiekty

Catalogs:		10σ	6σ
Galaxies		314	518
	infrared galaxies	144	176
	radio-loud galaxies	12	13
	galaxies in a cluster of galaxies	33	40
	galaxies in a pair of galaxies	2	2
	interacting galaxies	2	2
	low surface brightness galaxies	1	1
	Seyfert-1 galaxies	1	2
	starburst galaxies	1	1
Stars		5	6
IR sources		3	3
Radio sources		6	13
Quasars		1	2
X-ray sources		-	1

W przygotowanym przez nas katalogu zidentyfikowaliśmy 176 wcześniej znanych galaktyk podczerwonych.

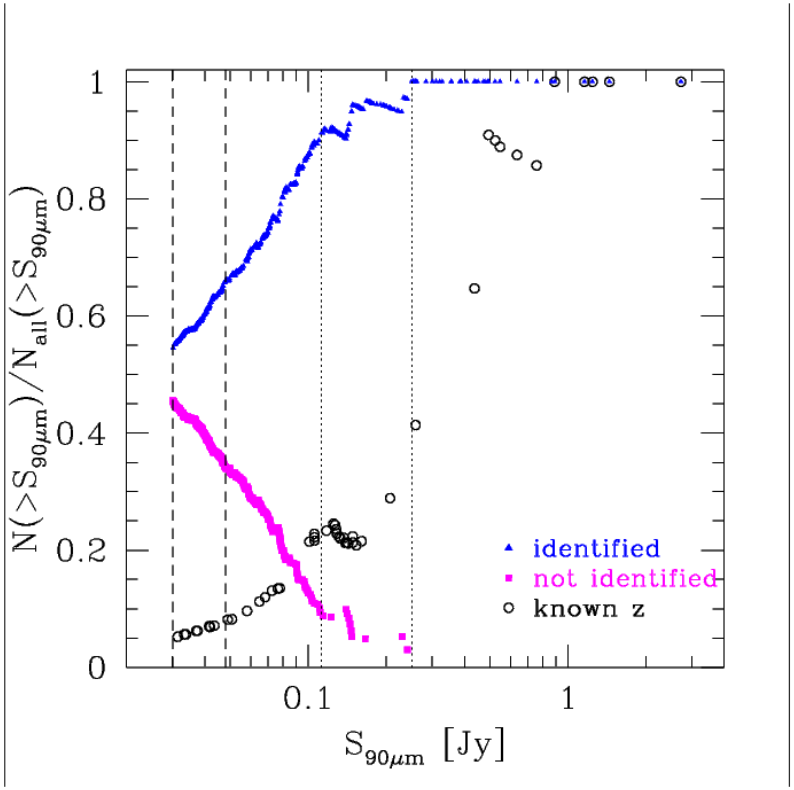
314 galaktyk nie było nigdy wcześniej obserwowanych w podczerwieni.

Rozkład przesunięć ku czerwieni, pełny katalog 6σ



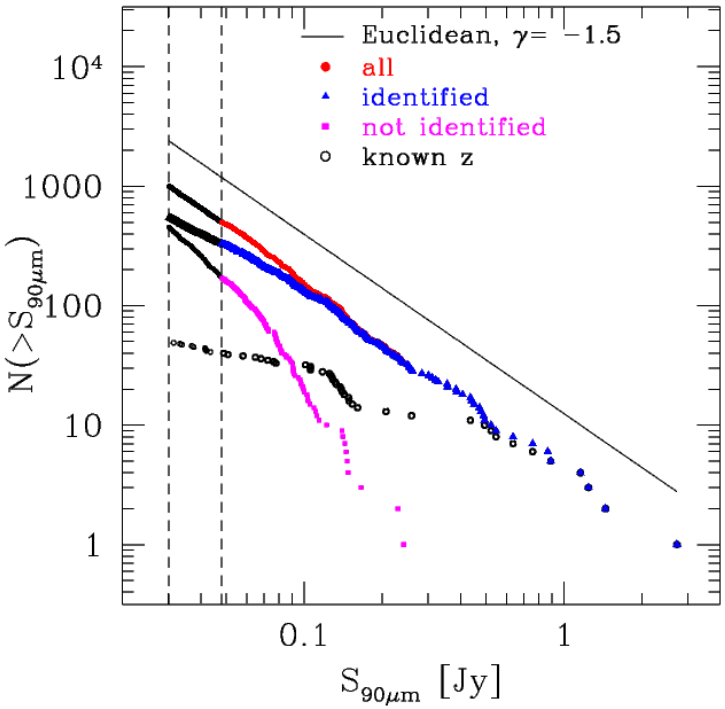
- większość z 48 źródeł o znanym z to bardzo bliskie galaktyki o z < 0.1 (ABELL S0463),
- dalej są dwa kwazary (z$\sim$1) i dwie galaktyki, w tym jedna aktywna.

Ilość zidentyfikowanych i niezidentyfikowanych obiektów



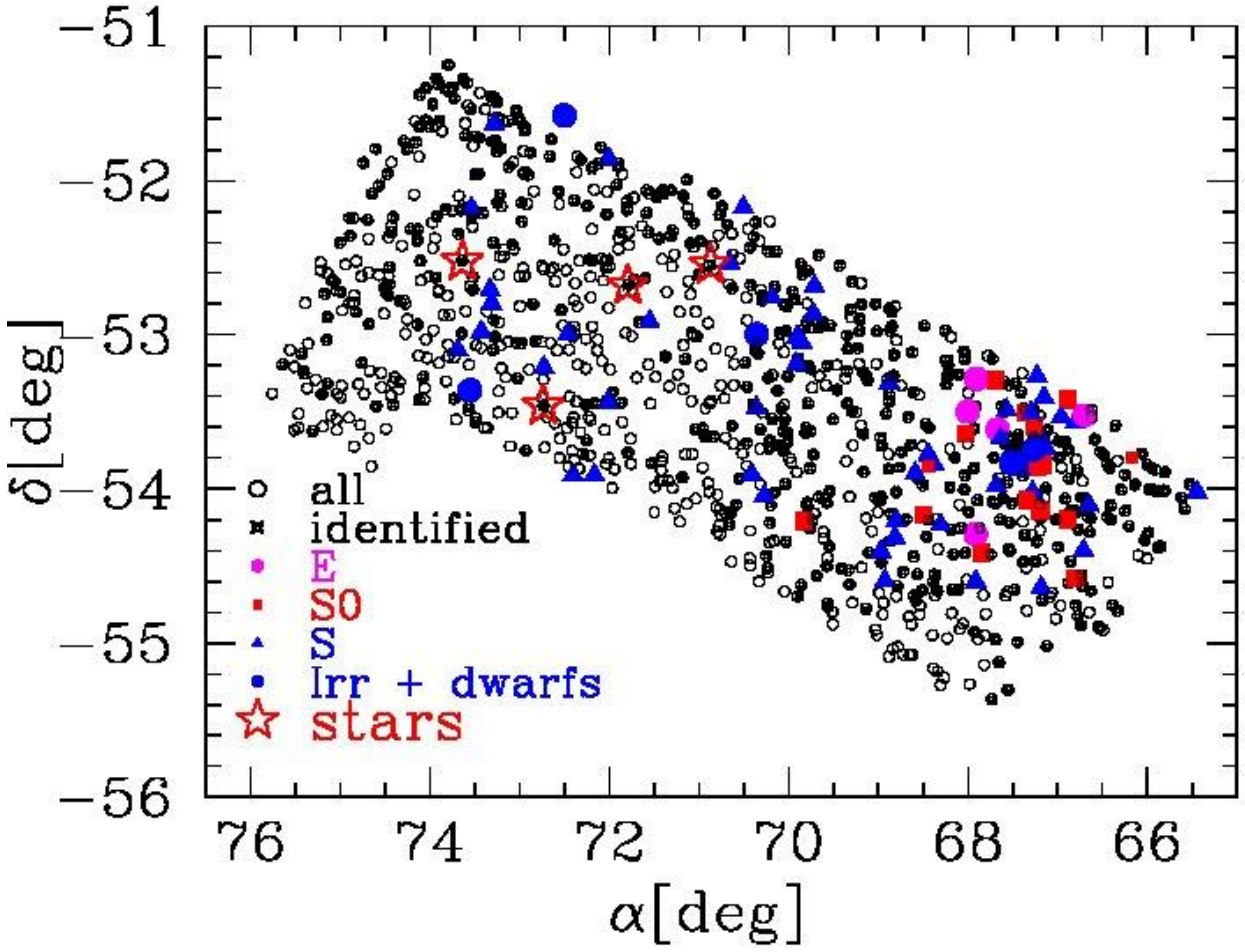
- do $S_{90} = 0.1$ Jy 90% źródeł zidentyfikowana, poniżej ilość identyfikacji zaczyna gwałtownie spadać z obserwowaną gęstością strumienia
- Ale do $S_{90} = 0.030$ Jy nadal ponad 50% identyfikacji

Number counts (zliczenia)



U nas: do $S_{90} \sim 0.030$ Jy nachylenie bardzo bliskie -1.5 $\longrightarrow$ większość źródeł to obiekty z lokalnego Wszechświata, o jednorodnym rozkładzie w przestrzeni!

dla 67 galaktyk znane są typy morfologiczne

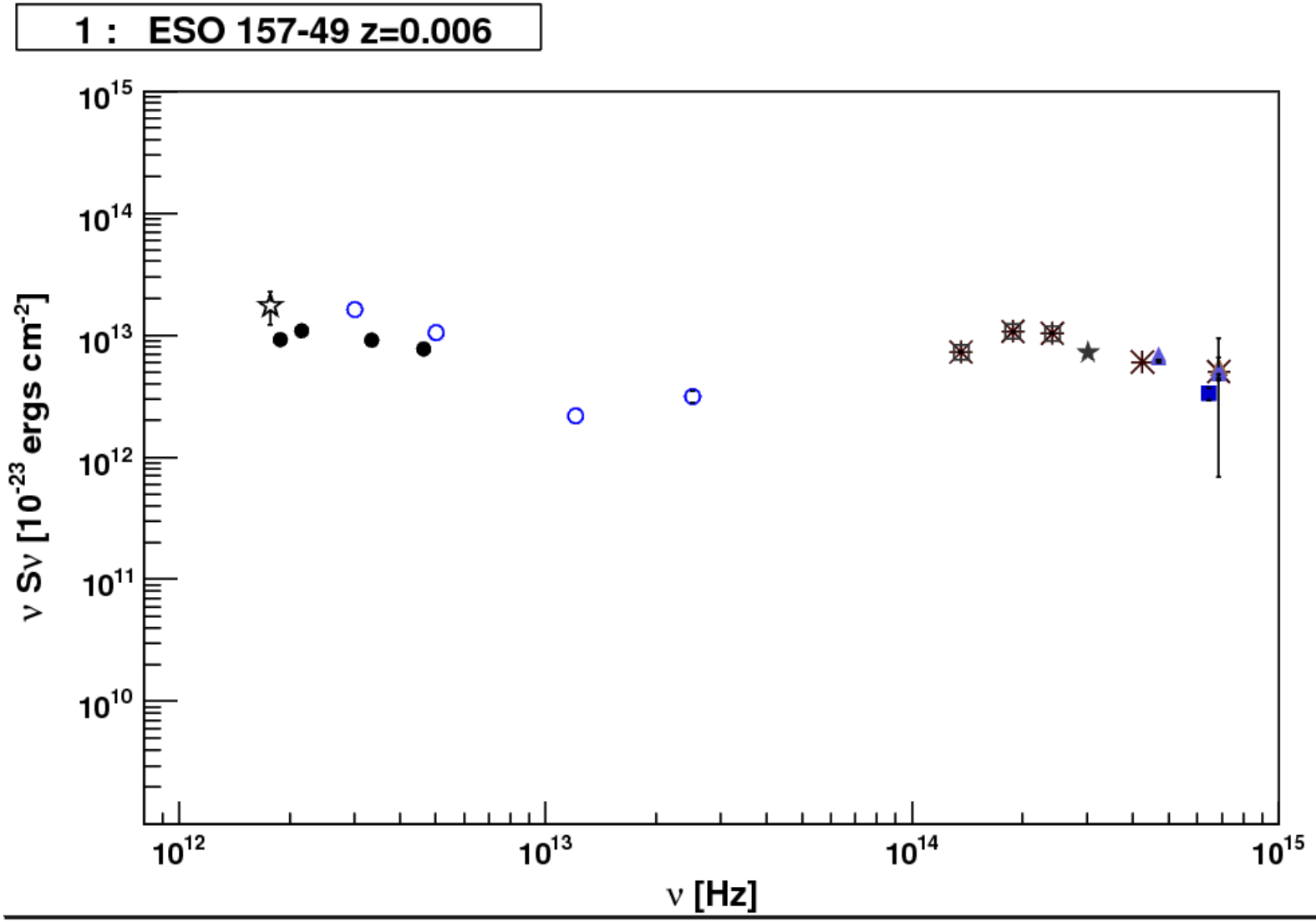


	10σ catalog		6σ catalog		
	number	frequency	number	frequency	usual frequency among bright galaxies[a]
spiral	45	67 %±10 %	50	65 %±9 %	61 %
lenticular	15	22.5 %±6 %	17	22 %±5 %	22 %
elliptical	4	6 %±3 %	5	6.5 %±3 %	13 %
irregular	1	1.5 %±1.5 %	3	4 %±2 %	3.5 %
compact	2	3 %±2 %	2	2.5 %±2 %	–
peculiar	8	12 %±4 %	8	10 %±4 %	1 %

[a] as in de Vaucouleurs (1963)

Wnioski:

- Rozkład niemal identyczny jak dla normalnych jasnych optycznie galaktyk, ale więcej galaktyk szczególnych
- Wyraźnie mniej eliptycznych
- Spiralnych nieco więcej, ale w granicach błędu statystycznego, soczewkowatych dokładnie tyle samo (zawierają one spore ilości pyłu?)

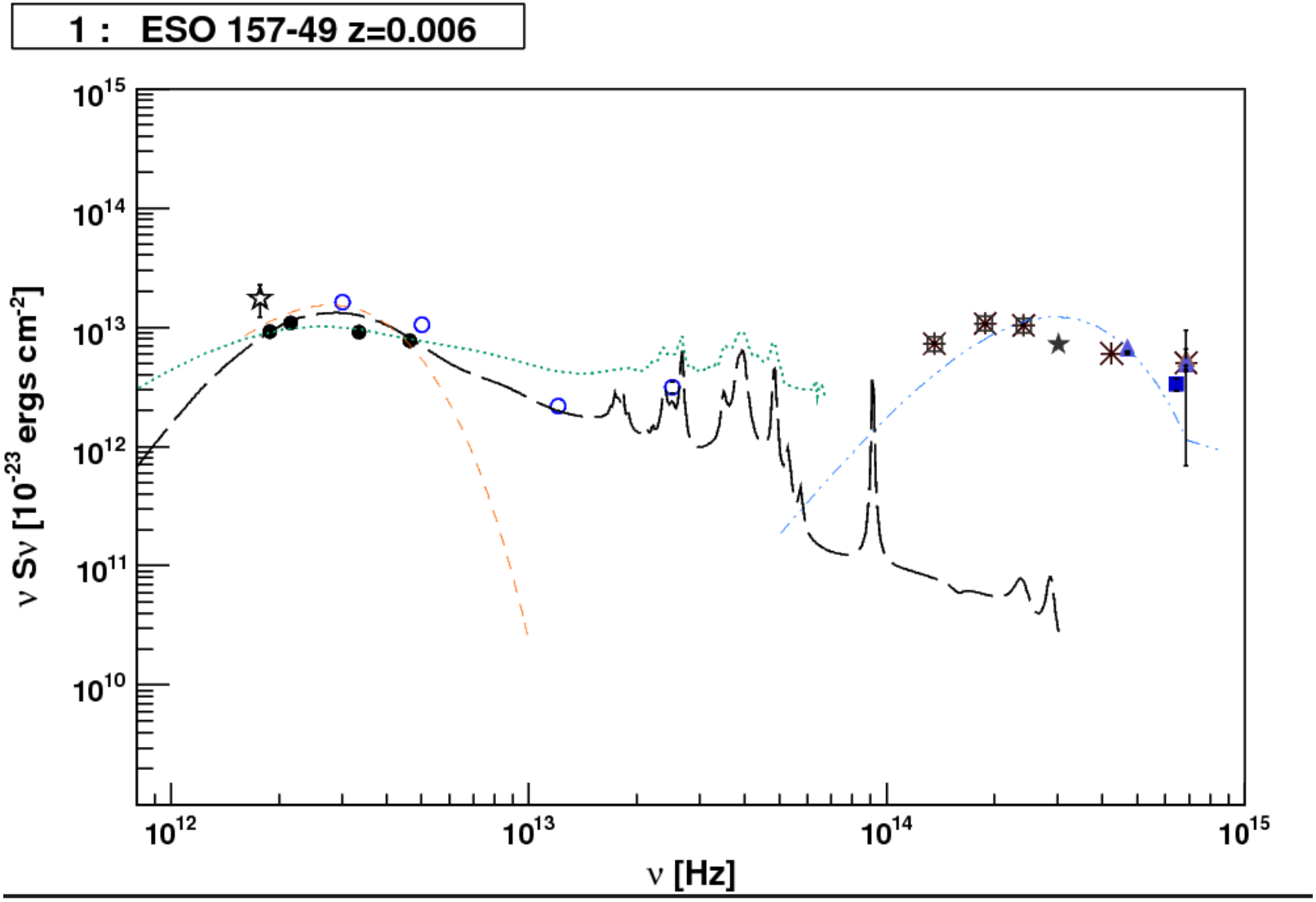

1 : ESO 157-49 z=0.006
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
10^15
ν [Hz]

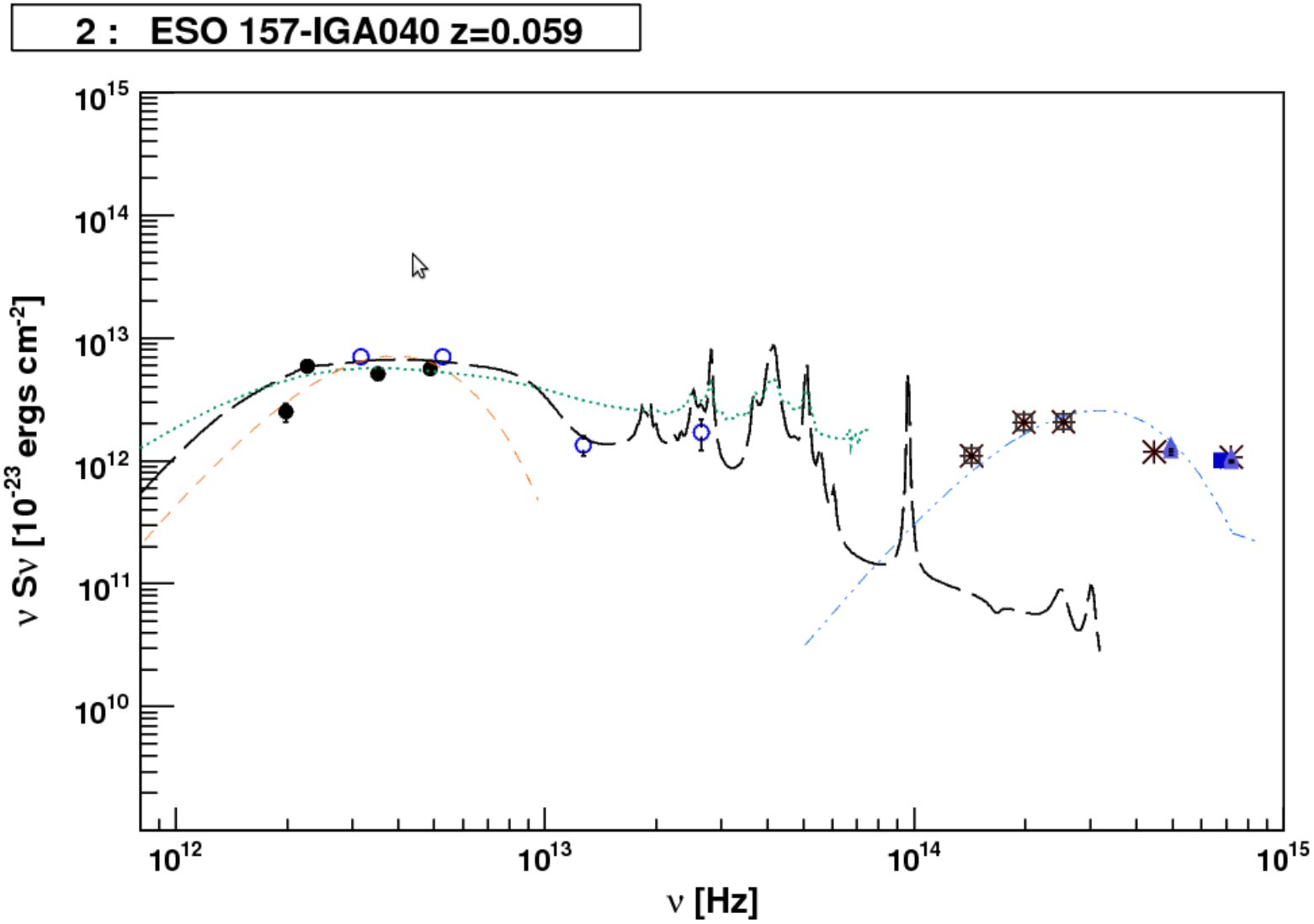
Modelowanie widm (47 galaktyk,katalog 10σ)

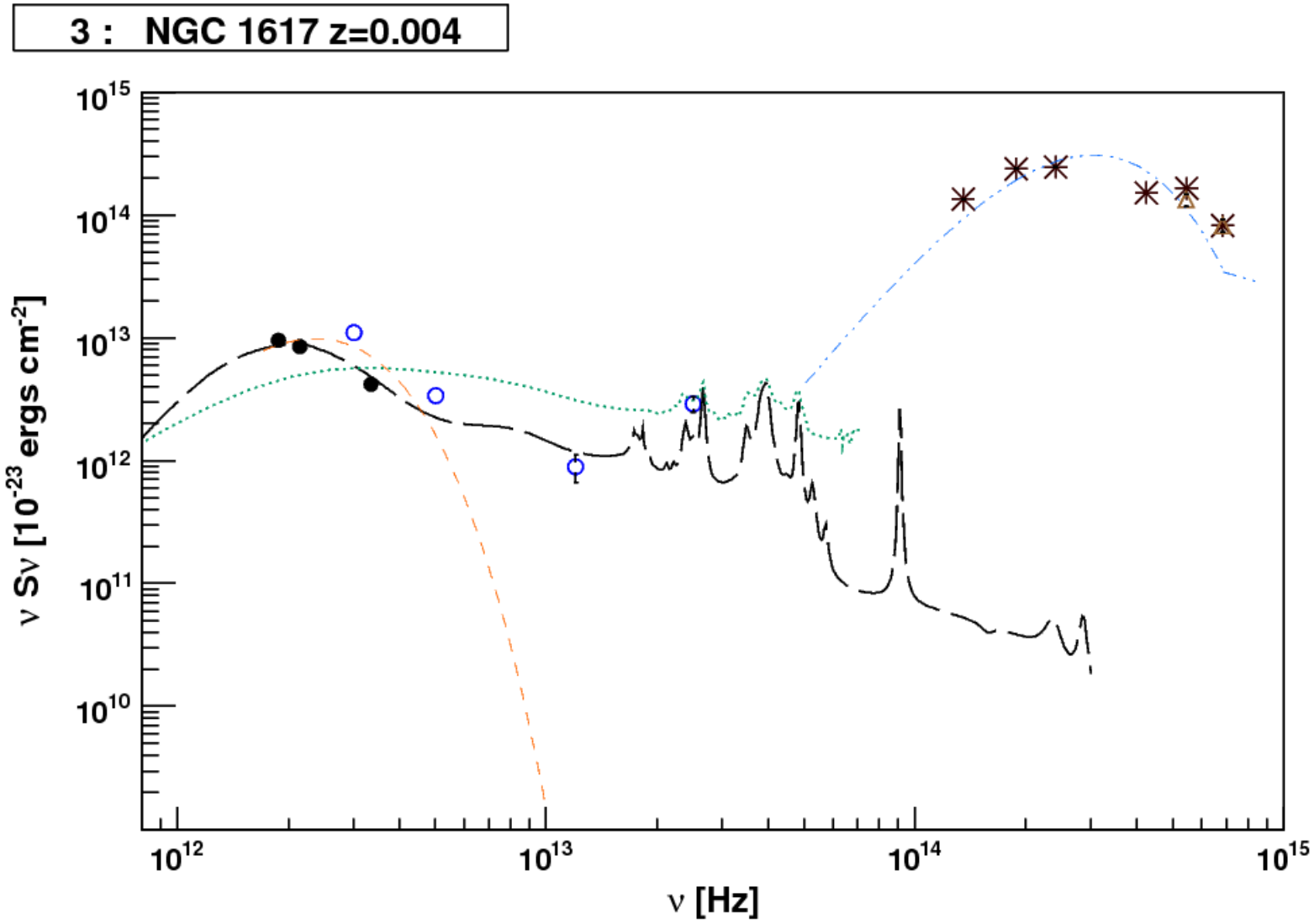
- zmodyfikowane ciało doskonale czarne $B_\nu(T) = \frac{2h\nu^2}{c^2}\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$, $B'_\nu(T) = \nu^\gamma B_\nu(T)$, γ=1.5,
- w celu modelowania także części "pomiędzy" pyłem a gwiazdami, MIR (3-1100μm):

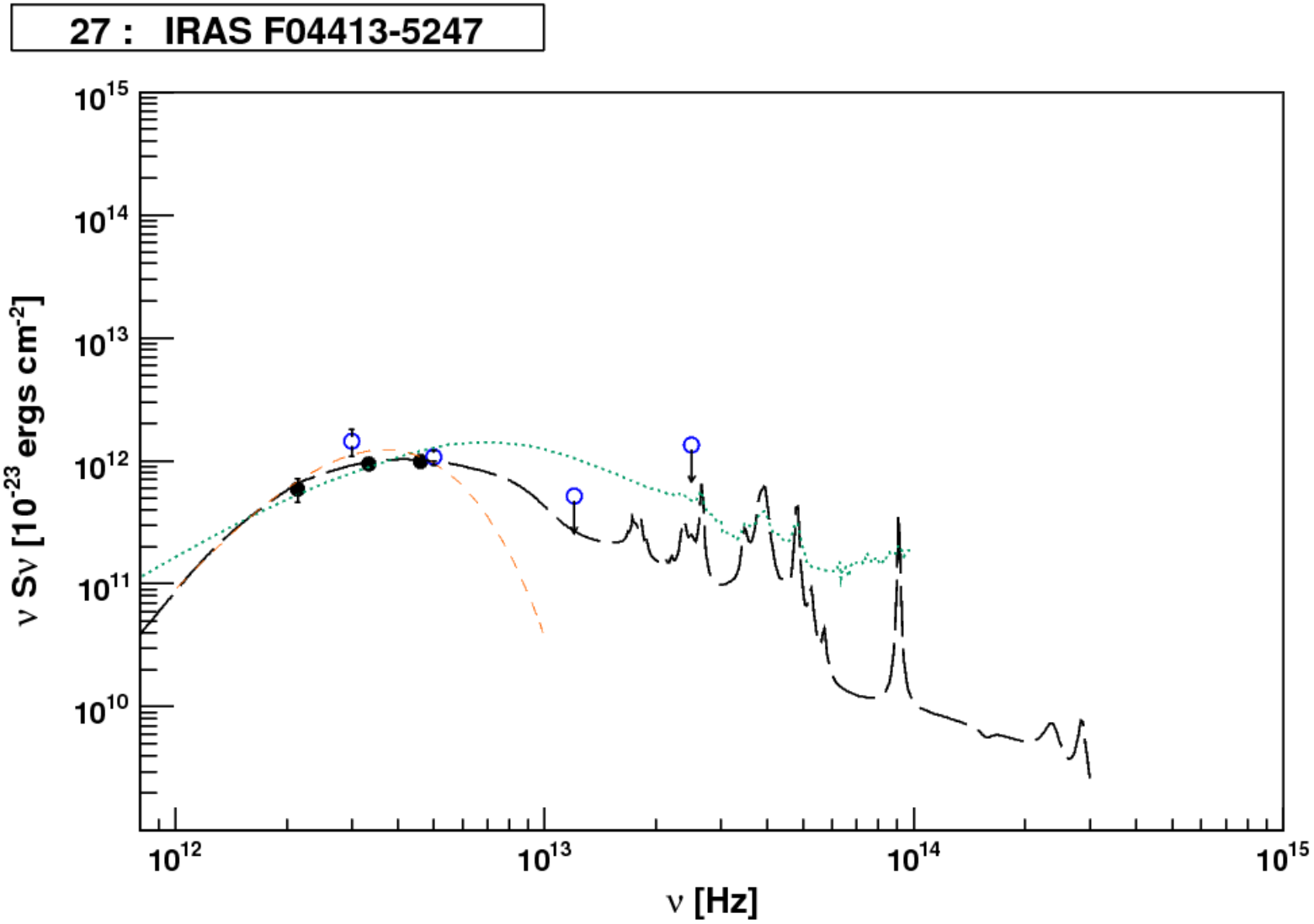
  Dale&Helou(2002) model na podstawie warunków panujących w ośrodku miedzygwiazdowym w normalnych, gwiazdotwórczych galaktykach w zależności od intensywności grzania,

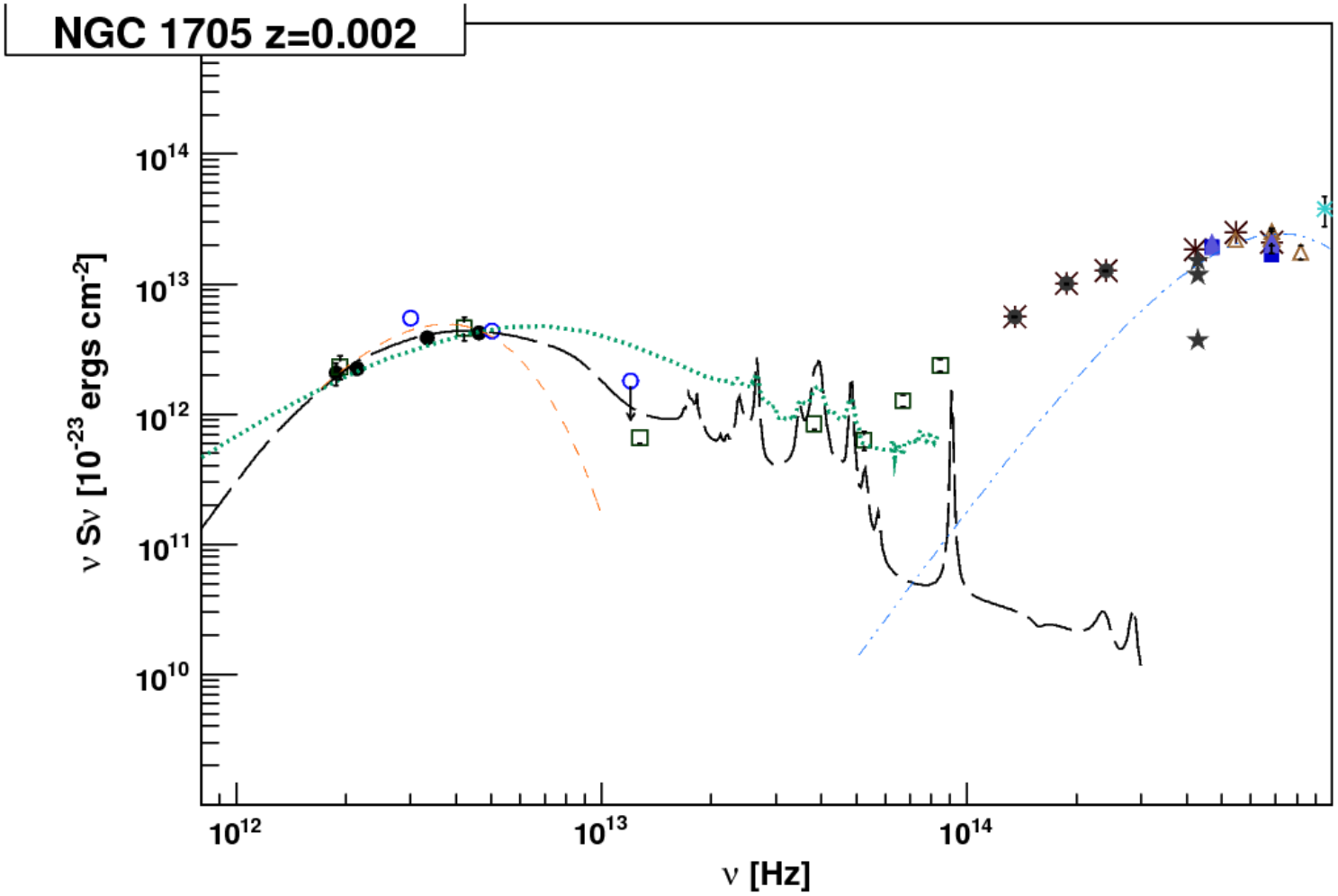
  Li&Draine (2007) udoskonalony model Dale&Helou(2002) z uwzględnieniem PAH (węglowodorów aromatycznych),


1 : ESO 157-49 z=0.006
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
10^15
ν [Hz]

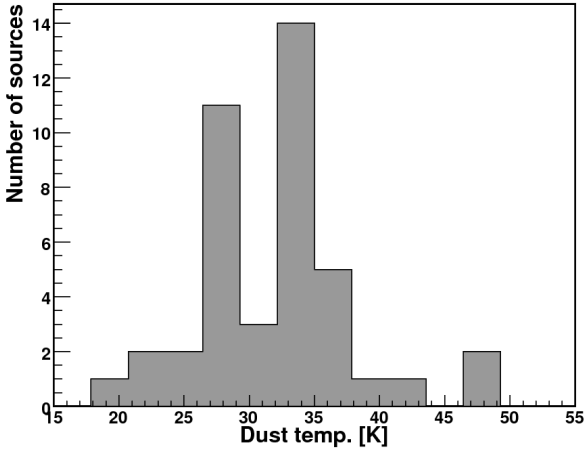

2 : ESO 157-IGA040 z=0.059
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
10^15
ν [Hz]

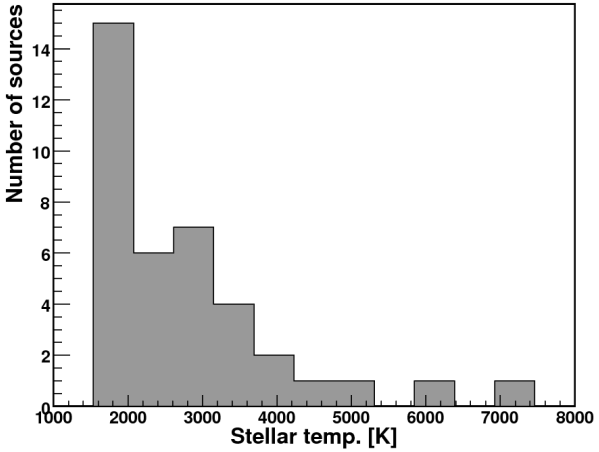

3 : NGC 1617 z=0.004
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
10^15
ν [Hz]


27 : IRAS F04413-5247
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^15
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
10^15
ν [Hz]


NGC 1705 z=0.002
ν Sν [10^-23 ergs cm^-2]
10^14
10^13
10^12
10^11
10^10
10^12
10^13
10^14
ν [Hz]

Zmodyfikowane Ciało Doskonale Czarne





- symboliczny index "twardości" SED, nie ma związku z temperaturą populacji gwiazd w galaktyce,
- pył: galaktyki spiralne i soczewkowate mają podobną medianę temperatury (29±4K, 28±4K),
- pył:najwyższa temp. → galaktyka S0 (47.8K), eliptyczna (ESO 157-IGA040) ∼ 37.8K.

Dale&Helou(2002) - wyniki AKARI

- galaktyki soczewkowate:
  - 80% - gorące, bardzo aktywne galaktyki,
  - 2MASSX J04292360-5330114 - b. spokojna galaktyka, nie objęta modelem.
- NGC 1705 i 60% galaktyk spiralnych - gorące i bardzo aktywne,
- ESO 157-01 i 40% galaktyk spiralnych - b. spokojne galaktyki, nie objęte tym modelem
- galaktyka eliptyczna - zimna, spokojna.

Dale&Helou(2002) - porównanie

Dale et al., (2005) - próbka 71 bliskich galaktyk.

- galaktyki eliptyczne - zimne i spokojne $\longrightarrow$ OK,
- galaktyki soczewkowate (tylko dwie w próbce, jedna wyjątkowo chłoda i spokojna, druga gorąca i aktywna), w naszym katalogu także ekstremalnie chłodne lub gorące $\longrightarrow$ OK,
- galaktyki spiralne - w próbce Dale'a żadna z galaktyk (51) nie została określona jako aktywna, w naszym przypadku aktywnych jest 50% galaktyk spiralnych $\longrightarrow$ NO $\longrightarrow$ specyficzny wybór próbki? dokładniejsze modelowanie ze względu na lepsze pokrycie widma w paśmie podczerwonym?

Li&Draine(2007) - wyniki ADFS, różna zawartość węglowodorów aromatycznych

	typ	q_{PAH} (%)
1	MW3.1	0.47
2	MW3.1	1.12
3	MW3.1	1.77
4	MW3.1	2.50
5	MW3.1	3.19
6	MW3.1	3.90
7	MW3.1	4.58
8	LMC2	0.75
9	LMC2	1.49
10	LMC2	2.37
11	SMC	0.10

81% - LMC2, 9% - MW3.1

W próbce nie można, za pomocą czynnika q_{PAH}, odróżnić galaktyk soczewkowatych i spiralnych. Jedyną wyróżniajacą się galaktyką jest g. eliptyczna o q_{PAH}=4.58% (max. q_{PAH} dla g. spiralnej = 3.90%). Z naszej analizy wynika, że wszystkie g. soczewkowate oraz 87.5% g. spiralnych należy do MW-models.

Wnioski ADFS

- Większość obiektów jasnych w FIR to lokalne galaktyki,
- liczba zidentyfikowanych galaktyk wygląda zaskakujaco "normalnie":
  - mało g. eliptycznych (zawierają w sobie mniej pyłu niż inne) OK,
  - wysoki udział gal. NIE nieregularnych, ale szczególnych, oddziałujących (nawet jeżeli nie widzimy oddziałującej sąsiadki): oddziaływanie inicjuje procesy gwiazdotworcze, a te prowadzą do emisji swiatła UV młodych gwiazd $\rightarrow$ podgrzewanie i emisja pyłu
  - g. soczewkowate z ABELL S0463 $\rightarrow$ może to sugerować, że galaktyki soczewkowate zawierają znaczącą ilość zimego pyłu $\rightarrow$ zmiana modelu powstania?
- Potrzebny jest nowy, lepszy w FIR model SEDs.

Wnioski ADFS

zaskakujace jest to, ze populacja okazała się zaskakujaco "przecietną" populacją lokalnych galaktyk $\rightarrow$ kluczem do ich aktywnosci w FIR mogą być oddziaływania miedzy galaktykami inicjujace procesy gwiazdotwórcze.

Wątpliwości

- Gdzie są bardzo odległe galaktyki, które spodziewamy się znaleźć w IR?
- Wśród słabszych źródeł?
- Tło? Właściwa identyfikacja tła wymaga uprzedniego pełnego i skutecznego odjęcia źródeł $\rightarrow$ konieczność badań ich bezpośredniego otoczenia

Dziękuję za uwagę