

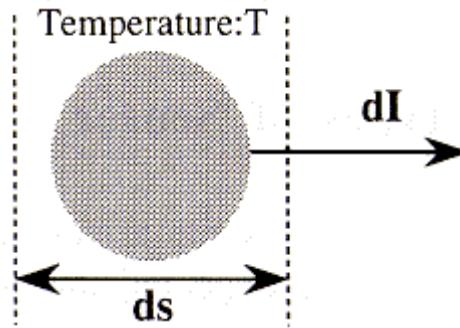
ESTRUCTURA GALÁCTICA Y DINÁMICA ESTELAR

Medio Interestelar (ISM)



Medio Interestelar

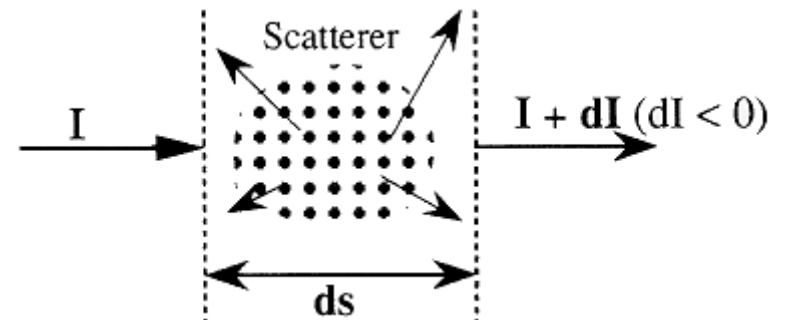
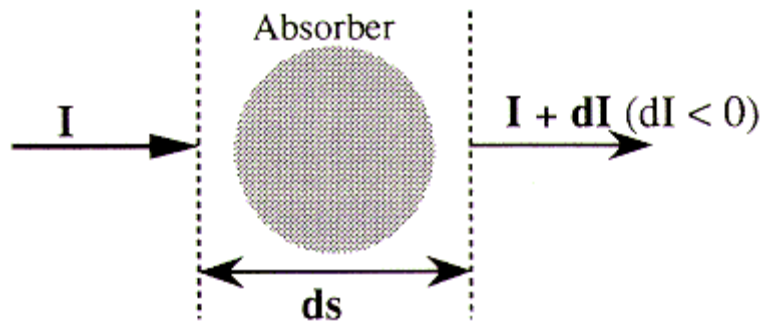
Emisión



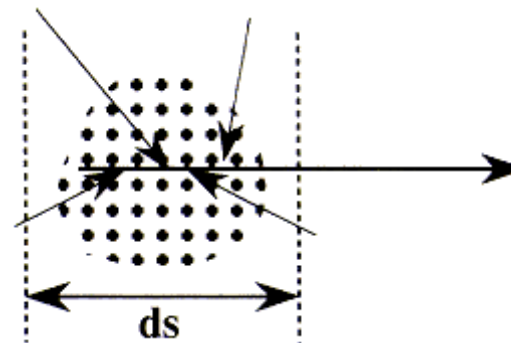
★ Térmica: ley de Planck

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2 h c^2 / \lambda^5}{e^{(hc) / (\lambda kT)} - 1}$$

Extinción



Reflexión (dispersión)



Contenido

➤ Radiación

- ★ campo de radiación estelar (UV-Opt, IR, ...)

➤ Materia

- ★ gas [90%]

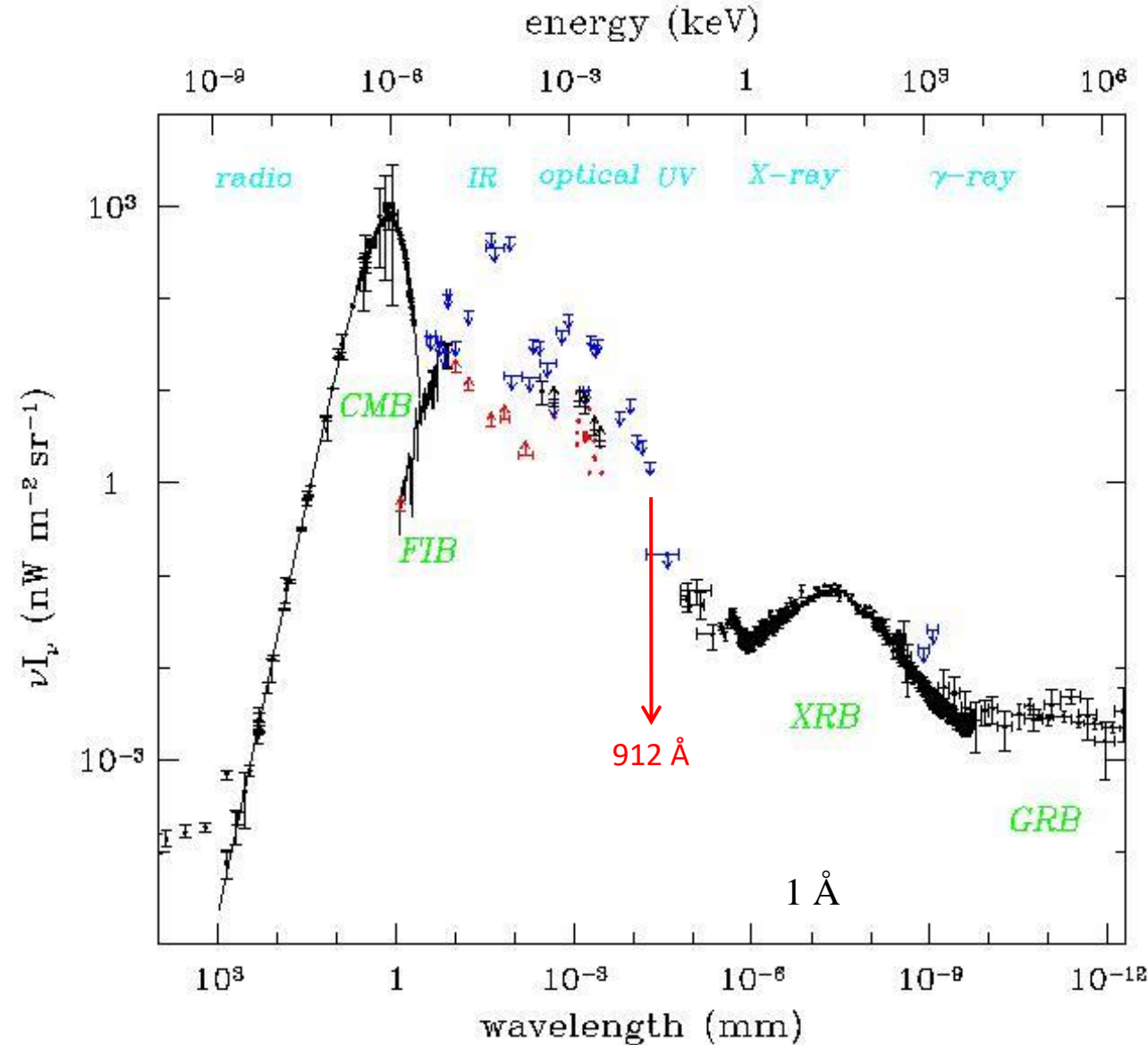
- *ionizado* (regiones HII, nebulosas planetarias, remanentes de SNe)
- *neutro* (nubes de HI y medio difuso)
- *molecular* (H_2 , CO, OH, NH_3 , H_2O , CH_4 , ...)

- ★ granos de polvo (C, silicatos, óxidos, hielos, HPAs, ...) [10%]

- *dispersión* (reflexión) y *polarización* (campo magnético) de la luz estelar
- *absorción* (extinción y enrojecimiento de la luz estelar)
- *emisión térmica*

- ★ rayos cósmicos (p^+ , e^- , α , ...)

1. Campo de Radiación



Scott 1999

Radio:

- bremsstrahlung (HII)
- sincrotrón (nubes HI, SNe)
- líneas (21cm, molec., ...)
- AGNs

CMB:

- cuerpo negro (2.725 K)

FIR, sub-mm

- polvo (Galaxia, SFGs)

NIR, opt.

- estrellas (Gal., otras gal.)

UV

- estrellas O, B...

Rayos-X, rayos- γ

- AGNs (predominante)
- fuentes Galácticas (binarias, reman. compact.)
- rayos cósmicos ($\pi \rightarrow 2\gamma$)

2. Gas neutro

➤ El elemento más abundante

★ hidrógeno neutro (HI)

- forma nubes de baja densidad (brazos espirales, $n_{\text{HI}} \sim 1\text{-}2 \text{ cm}^{-3}$)
y llena el espacio inter-nubes (n disminuye con R , $n_{\text{HI, Ro}} \sim 0.7 \text{ cm}^{-3}$)
- $\mathcal{M}_{\text{HI, VL}} \sim 5 \times 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$

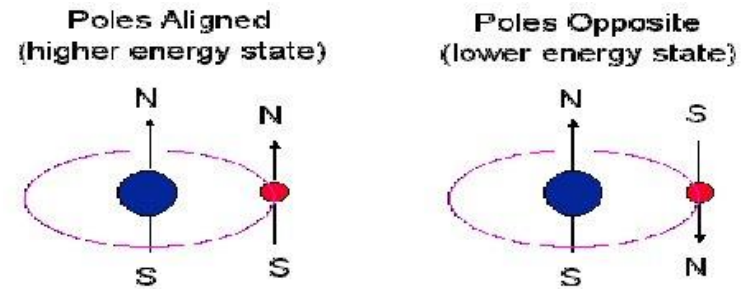
★ línea de 21.1 cm (1,420 MHz)

- nivel *hiperfino* (spin) poblado colisionalmente
- predicha en 1945 por *H.C. van de Hulst* y observada en 1951 por primera vez

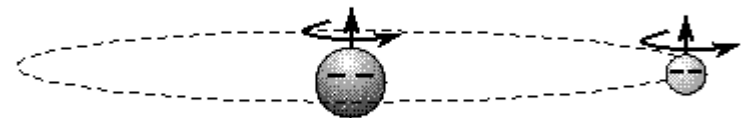
➤ Líneas de otros elementos

★ absorción, est. fundamental

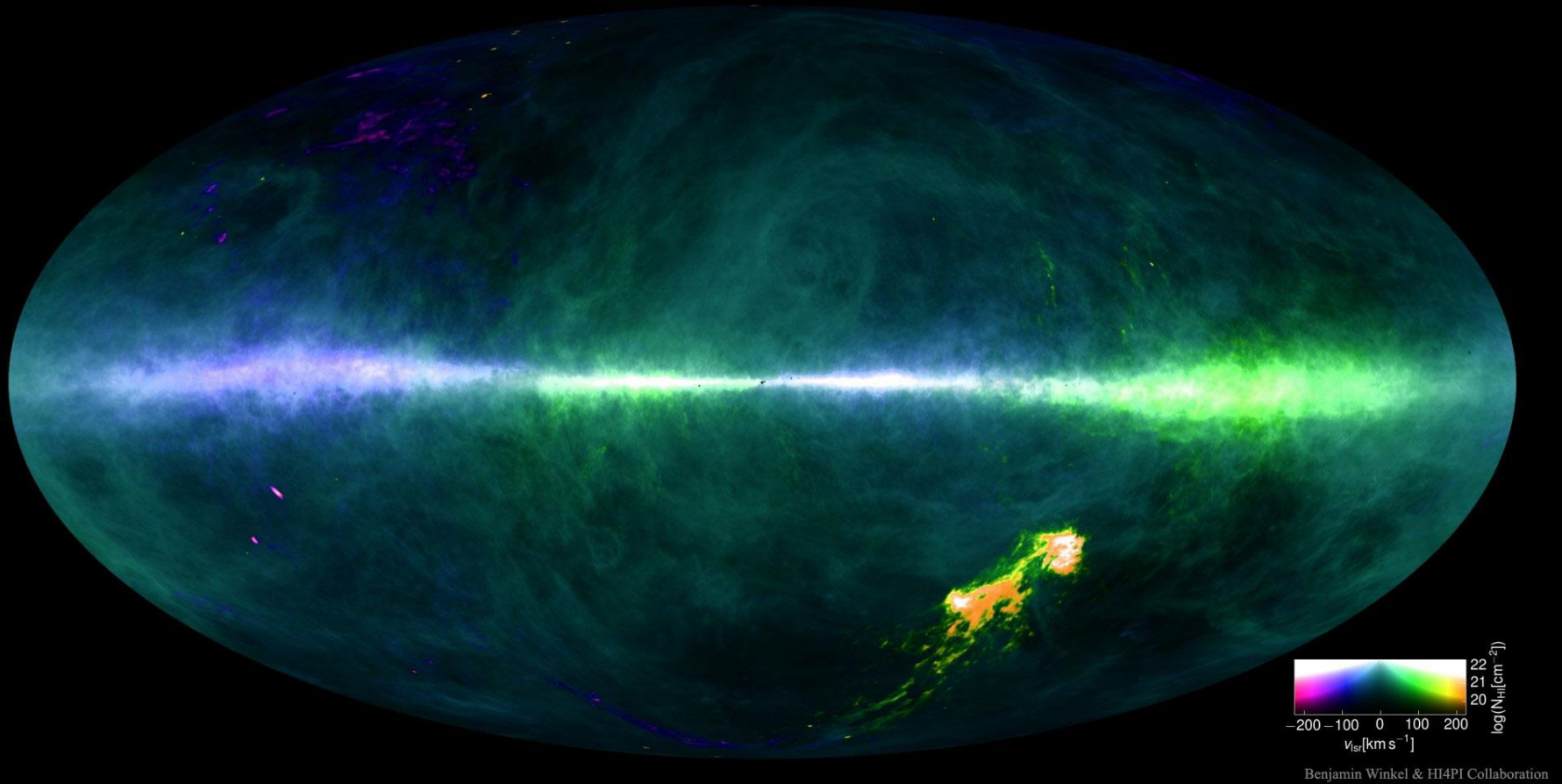
	UV		Opt
HI	1025.72	NaI (D2)	5889.95
OI	1039.23	NaI (D1)	5895.92
NI	1200.71		
HI	1215.67		
CI	1277.24		
OI	1302.17		
CI	1328.83		
SiI	2514.32		
MgI	2852.53		



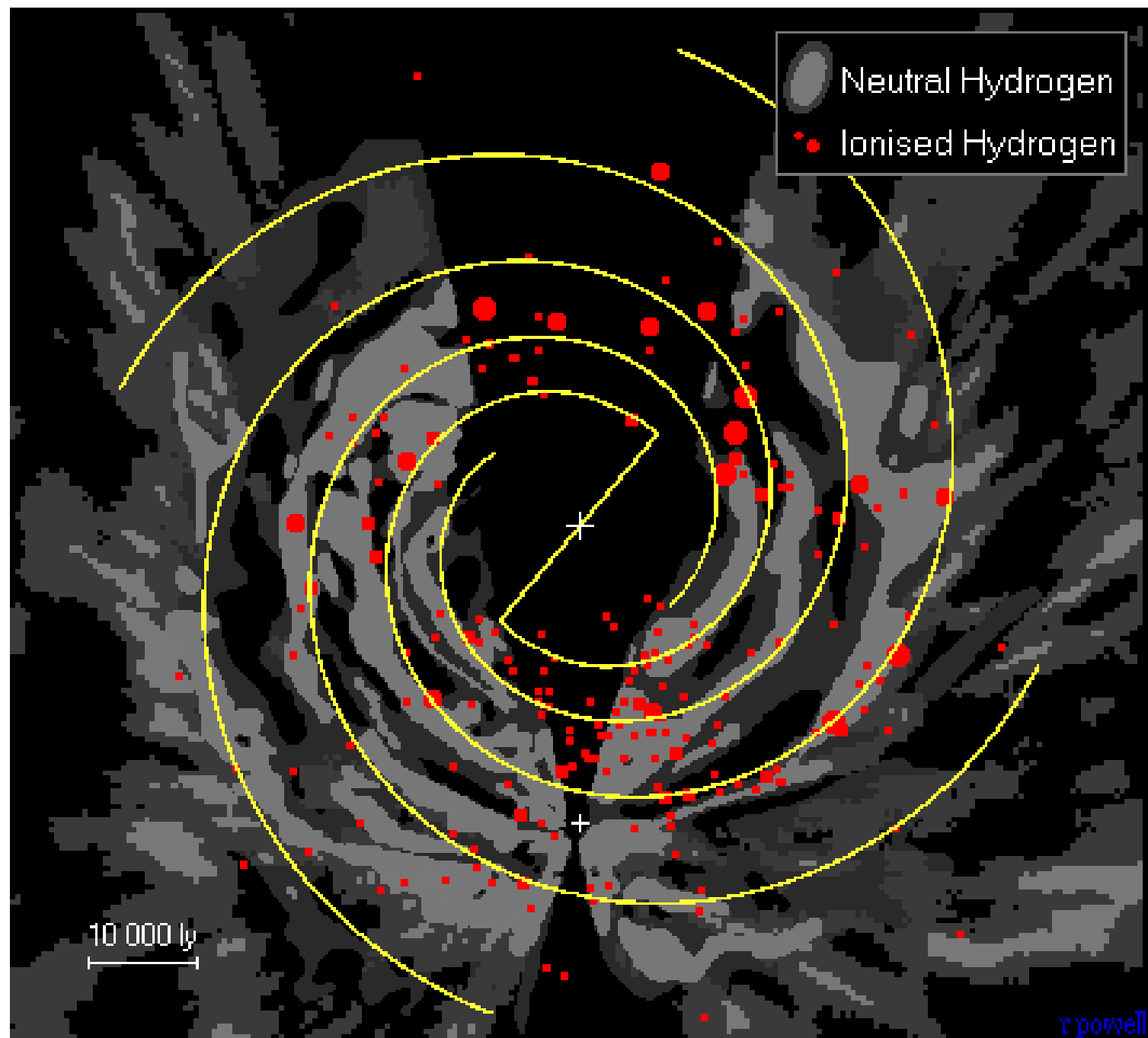
Neutral atomic Hydrogen creates 21 cm radiation



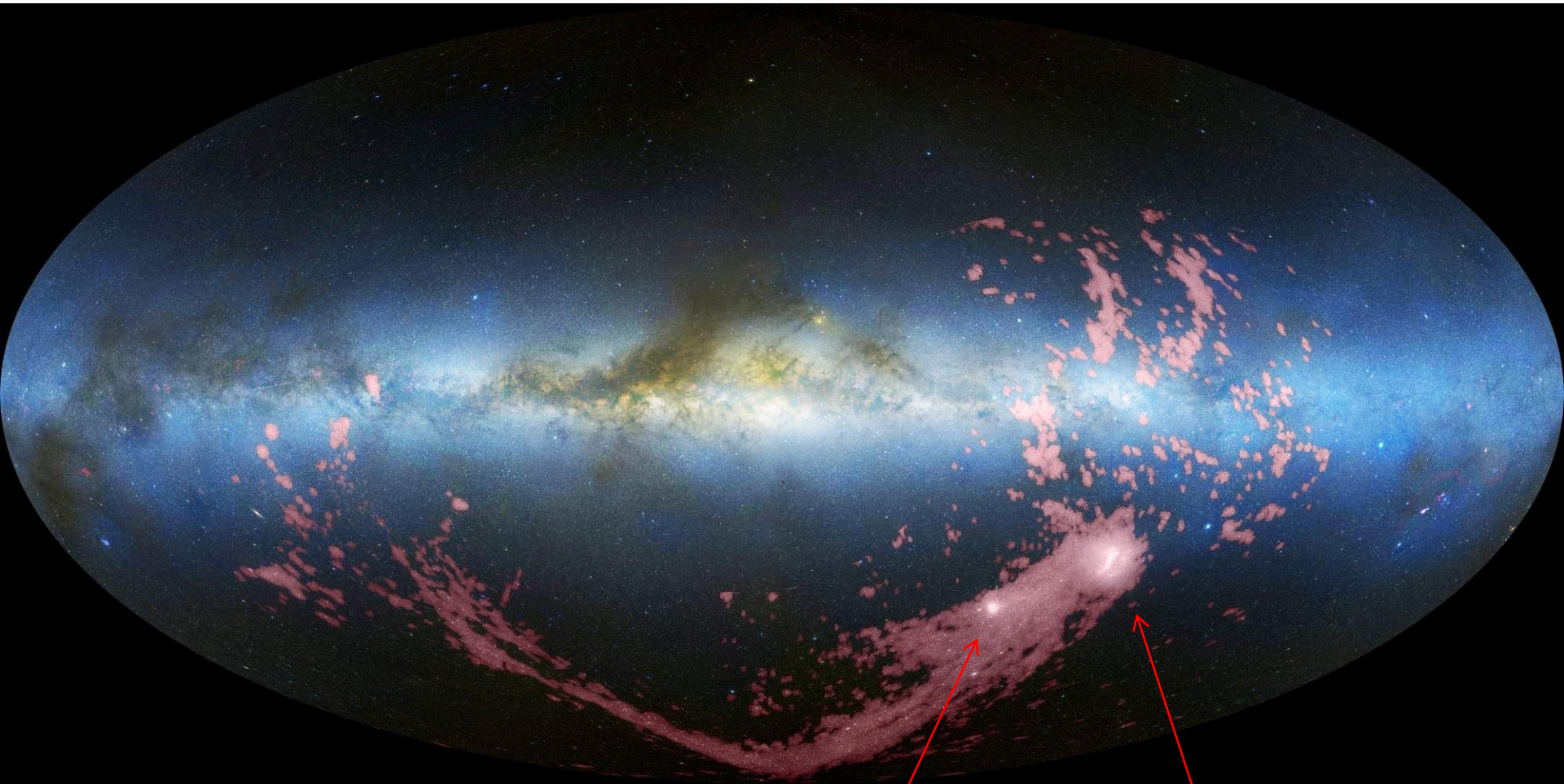
El cielo en radio (Effelsberg 100m + Parkes 64m, 1420 MHz = 21cm)



hidrógeno neutro (transición de spin)



Magellanic Stream



SMC (61 kpc)

LMC (52 kpc)

3. Gas ionizado

➤ Fotoionización por UV

★ Regiones HII (formación de estrellas)

- asociadas a estrellas jóvenes calientes (O, B), $T_{\star} \sim 30,000 - 50,000$ K
- *disco extremo*
- también HII y metales ionizados
- *gigantes* (> 100 pc), *clásicas* (~ 10 pc), *compactas* (< 1 pc), ...
- morfología: *cometaria*, *esférica-nuclear*, *cascara* o *irregular*
- $v_{\text{térmica}} \sim 10$ km/s

M42 - Orión



NGC 2264 - Cono



NGC 0346 (SMC)

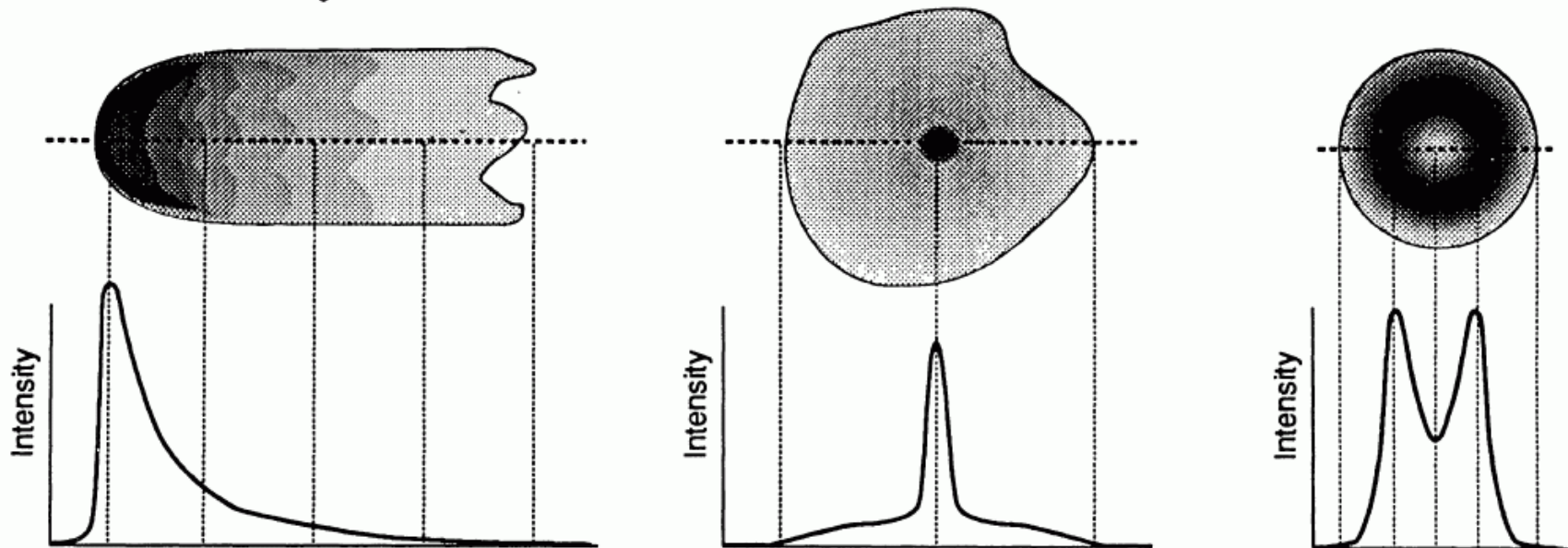


Ultracompact HII Region Morphologies

Cometary — 20%

Core-Halo — 16%

Shell — 4%



Irregular or
Multiply Peaked — 17%



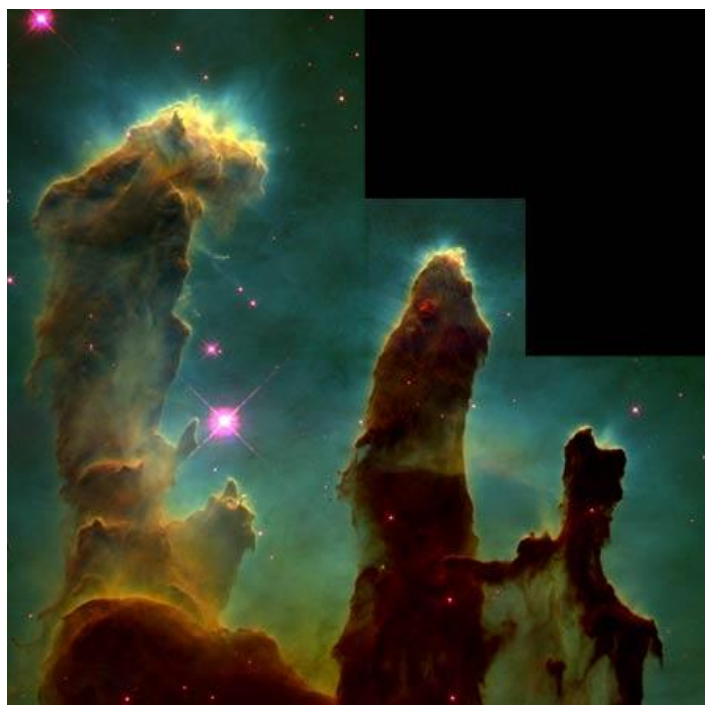
Spherical or
Unresolved — 43%



FIG. 143.—A schematic of the basic ultracompact H II region morphologies seen in these high-resolution VLA observations. The spatial resolution was $\sim 0''.4$, and structures larger than $\sim 10''$ were not well imaged. Percentages give the relative numbers of sources in each class; the total sample contained 75 objects. Some of the spherical or unresolved sources may show different structures when observed at higher angular resolution, and a few may be cometary sources viewed along their axis of symmetry. The appearance of a source may change with the wavelength of observation: the central cavities seen in the cometary and shell-shaped sources will not be seen at wavelengths where the gas is optically thick.



M16 - Águila



Wide-Field IR-View of Eagle Nebula (Messier 16)
(VLT ANTU + ISAAC)

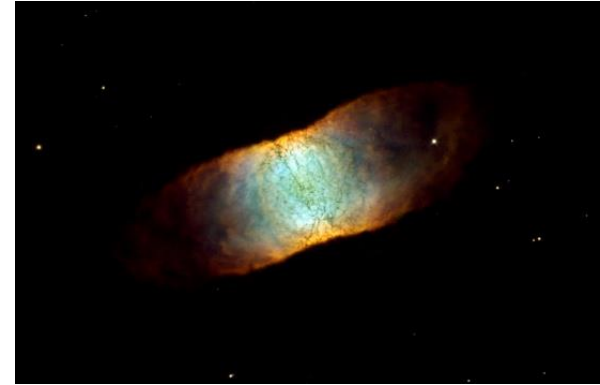
Gas ionizado

➤ Fotoionización por UV

★ Nebulosas Planetarias (etapas finales)

- eyectadas por estrellas de 0.8 hasta 8 M_{\odot} (entre gigantes rojas, AGB, y enanas blancas)
- predominantemente en el *halo*
- simetría esférica o bipolar
- $T_{\star} \sim 30,000 - 300,000$ K
- $v_{\text{expansión}} \sim 25$ km/s

IC 4406 – Neb. Cuadrada



NGC 7293 – Hélix

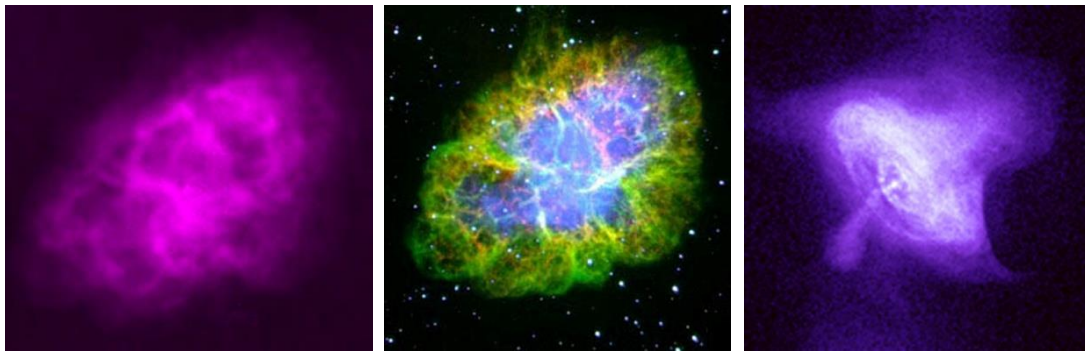


NGC 6826



NGC 6543 – Ojo de Gato





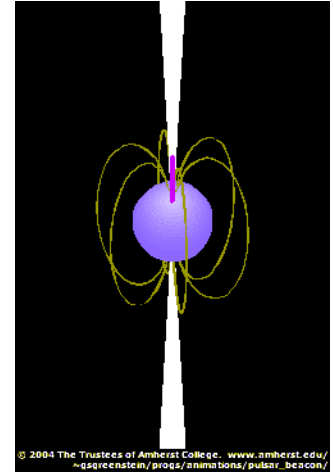
Excitación e ionización del MIS

M01 - Cangrejo

➤ Excitación colisional

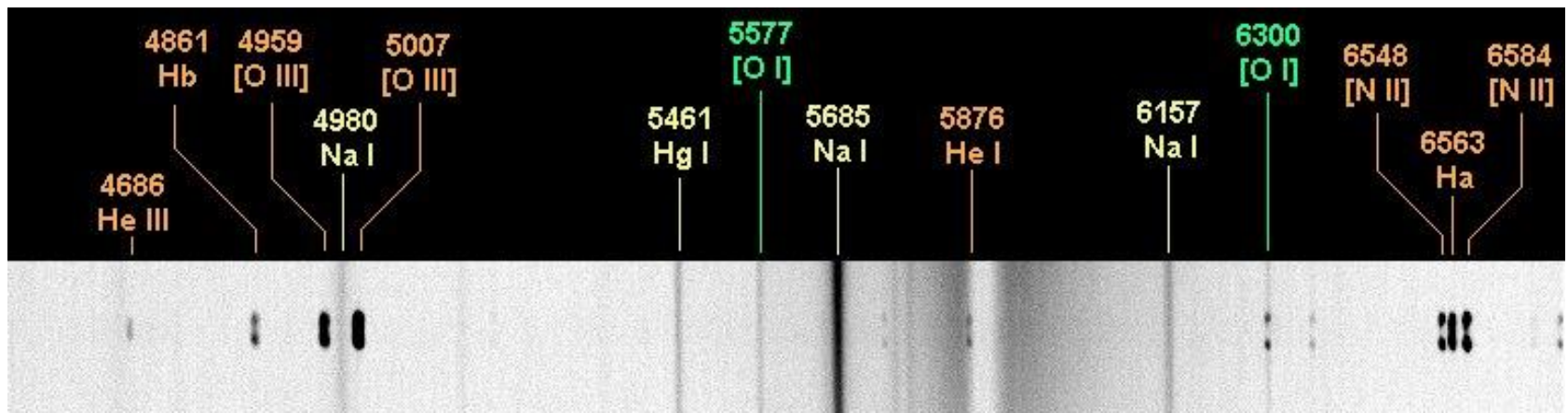
★ Remanentes gaseosos de SNe (etapas finales)

- estrellas masivas ($M \geq 10 M_{\odot}$)
- *disco extremo*
- normalmente asociada a *pulsar* y *radiación sincrotrón*
- $v_{\text{expansión}} \sim 300\text{-}6,000 \text{ km/s}$

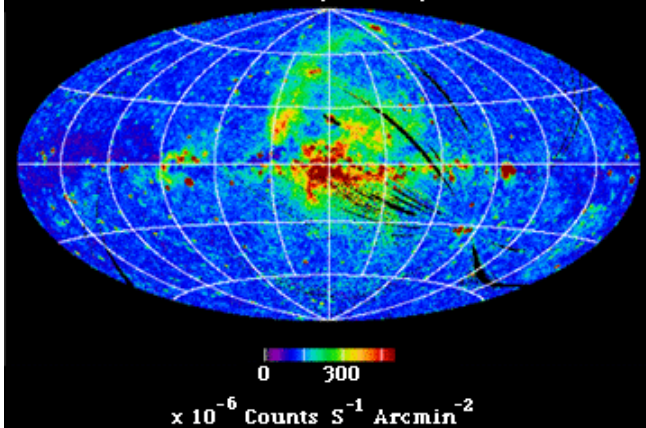


➤ Ionización por rayos cósmicos

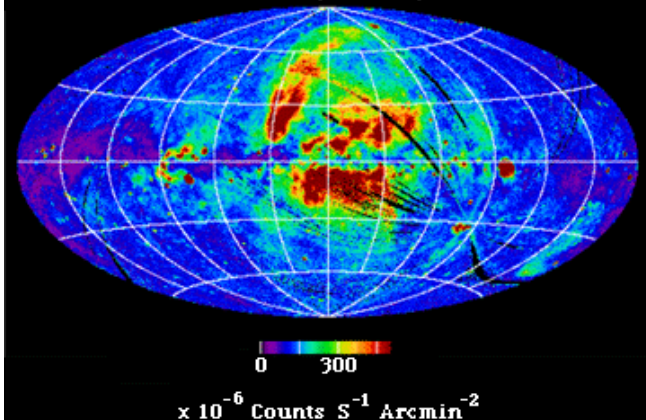
➤ Líneas de recombinación



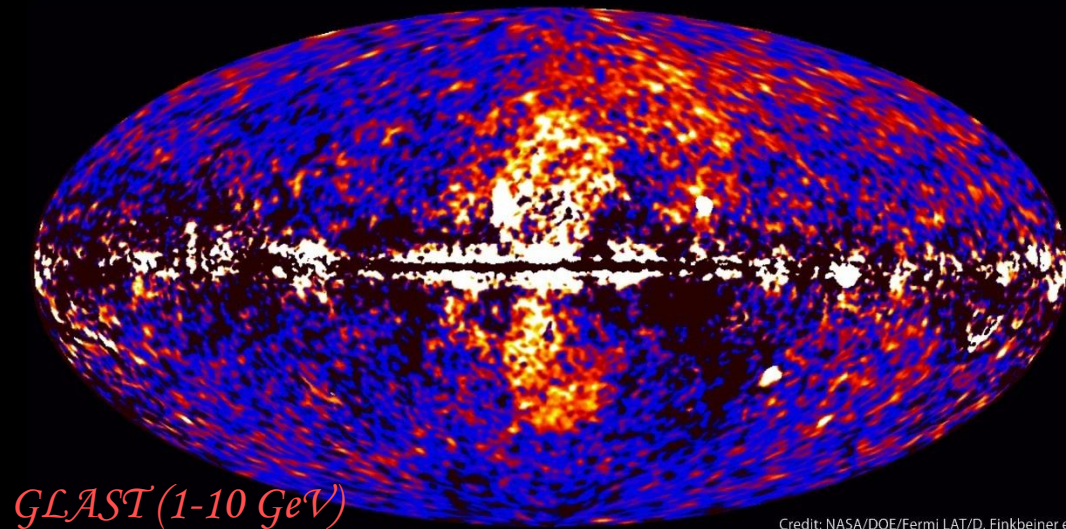
ROSAT PSPC All-Sky Survey at 1.5 keV



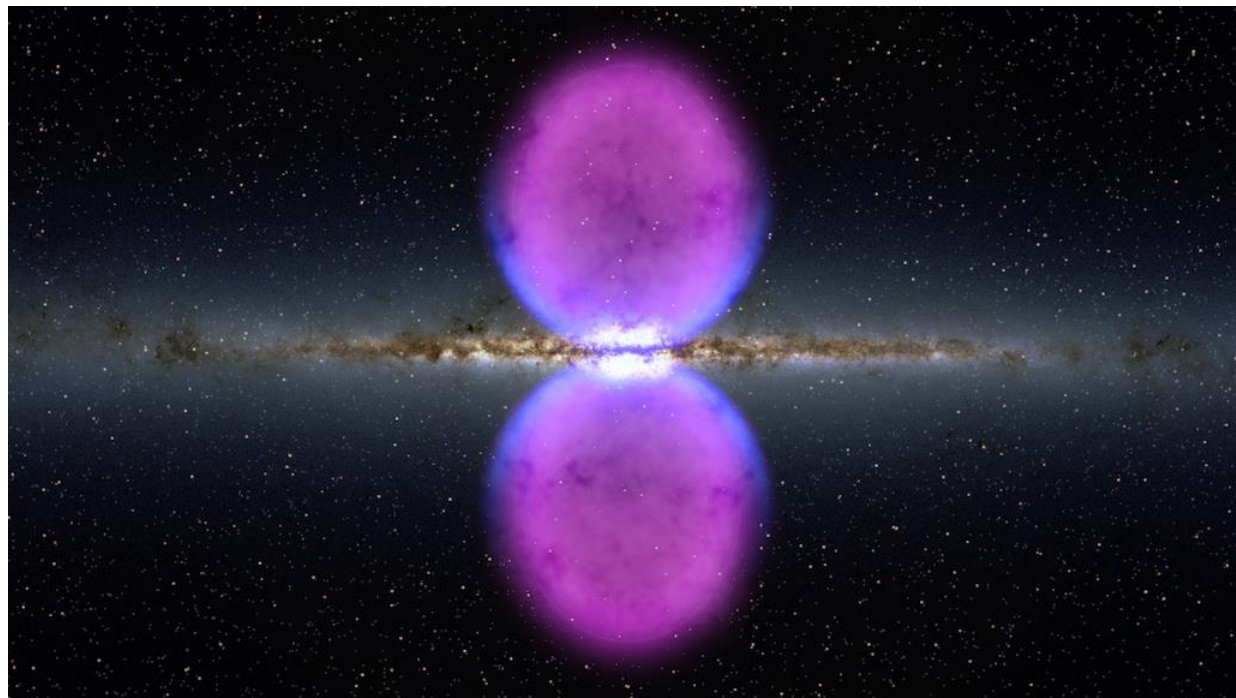
ROSAT PSPC All-Sky Survey at 3/4 keV



Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



➤ Gas Coronal



4. Gas molecular

- Molécula más abundante: H_2
 - encontrada en nubes más densas y frías
 - detectada por primera vez en 1970
 - presentan transiciones *electrónicas* (UV), *vibracionales* (IR, $2\ \mu\text{m}$), *rotacionales* (microondas o milimétrico) y de *cuadropolo eléctrico* ($28\ \mu\text{m}$)
 - usualmente están asociadas al **polvo** (que protege del UV y sirve como soporte)
 - *Nubes Moleculares Gigantes* (GMCs): $\mathcal{M} \sim 10^4\text{-}10^6\ \mathcal{M}_\odot$ (Ej: Orión)
- Otras moléculas importantes: **CO** (2da. más abundante), **H₂O**, **OH** y **NH₃**
 - CO ($2.6\ \text{mm}$) es trazador de H_2 (abundancia 10^{-4} veces la de H_2)
 - *Anillo de CO de la VL*: 3-7 kpc
 - H_2O (abundancia 10^{-6}) y OH (10^{-7}) son usualmente trazado por emisión máser
- **Moléculas orgánicas**
 - la mayor parte de las más de 130 moléculas encontradas en nubes moleculares son moléculas **orgánicas**: *hidretos, óxidos, sulfetos, aldehídos, alcoholes, éteres, moléculas cíclicas y radicales*.
 - poseen entre 2 y 13 átomos
 - la mayor parte es eléctricamente neutra

Moléculas Interestelares Conocidas (en Mayo 2002)

2

H₂
OH
SO
SO⁺
SiO
SiS
FeO?
NO
NS
HCl
NaCl
KCl
AlCl
AlF
PN
SiN
NH
SH
HD
HF
CH
CH⁺
CN
CO
CS
C₂
SiC
CP
CO⁺

3

H₂O
H₂S
SO₂
HN₂⁺
HNO
SiH₂?
H₂D⁺
NH₂
H₃⁺
NNO
HCO
HCO⁺
OCS
CCH
HCS⁺
c-SiCC
CCO
CO₂
AlNC
SiCN
CCS
C₃
MgNC
NaCN
CH₂
MgCN
HOC⁺
HCN
HNC
KCN?

4

NH₃
H₃O⁺
H₂CO
H₂CS
HNCO
HNCS
CH₂D⁺?
CCCN
HCO₂⁺
I-CCCH
c-CCCH
CCCO
CCCS
HCCH
HCNH⁺
HCCN
H₂CN
c-SiC₃

5

SiH₄
CH₄
CHOOH
HCCCN
CH₂NH
NH₂CN
CH₂CN
H₂CCO
C₄H
c-C₃H₂
I-H₂CCC
C₅
SiC₄
H₃CO⁺
HCCNC
HNCCC

6

CH₃OH
NH₂CHO
CH₃CN
CH₃NC
CH₃SH
C₅H
C₅S?
HC₂CHO
CH₂=CH₂
H₂CCCC
HC₃NH⁺
C₅N
C₆⁻?

7

CH₃COH
CH₃NH₂
CH₃CCH
CH₂CHCN
HC₄CN
C₆H
I-H₂C₂HOH
c-CH₂OCH₂
C₇⁻

8

CH₃CO₂H
HCO₂CH₃
CH₃C₂CN
C₇H
H₂C₆
C₈⁻?
CH₂OHCHO
I-HC₆H

9

CH₃CH₂OH
(CH₃)₂O
CH₃CH₂CN
H(CC)₃CN
H(CC)₂CH₃
C₈H
C₉⁻?

10

CH₃COCH₃
CH₃(CC)₂CN?
(CH₂OH)₂?

11

H(CC)₄CN

12

C₆H₆

13

H(CC)₅CN



Nebulosa del Cono

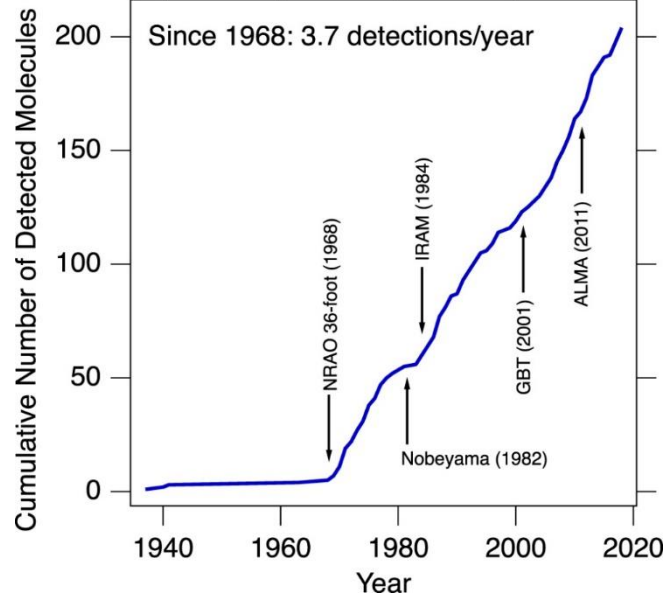


Nebulosa Cabeza de Caballo

Orgánicas

Inorgánicas

Total: 136



I142 H 1.00794 Hydrogen																																2 He 4.002602 Helium																																																																																																																																																																																																																																																															
3 Li 6.941 Lithium																4 Be 9.012182 Beryllium																																																																																																																																																																																																																																																																															
11 Na 22.98976928 Sodium																2123 Mg 24.305 Magnesium																																																																																																																																																																																																																																																																															
1920 K 39.0983 Potassium																20 Ca 40.078 Calcium																21 Sc 44.955912 Scandium																222 Ti 47.867 Titanium																23 V 50.9415 Vanadium																24 Cr 51.9961 Chromium																25 Mn 54.938045 Manganese																261 Fe 55.845 Iron																27 Co 58.933195 Cobalt																28 Ni 58.6934 Nickel																29 Cu 63.546 Copper																30 Zn 65.38 Zinc																31 Ga 69.723 Gallium																32 Ge 72.64 Germanium																33 As 74.92160 Arsenic																34 Se 78.96 Selenium																35 Br 79.904 Bromine																36 Kr 83.798 Krypton															
37 Rb 85.4678 Rubidium																38 Sr 87.62 Strontium																39 Y 88.90585 Yttrium																40 Zr 91.224 Zirconium																41 Nb 92.90638 Niobium																42 Mo 95.96 Molybdenum																43 Tc [98] Technetium																44 Ru 101.07 Ruthenium																45 Rh 102.90550 Rhodium																46 Pd 106.42 Palladium																47 Ag 107.8682 Silver																48 Cd 112.411 Cadmium																49 In 114.818 Indium																50 Sn 118.710 Tin																51 Sb 121.760 Antimony																52 Te 127.60 Tellurium																53 I 126.90447 Iodine																54 Xe 131.293 Xenon															
55 Cs 132.9054519 Cesium																56 Ba 137.327 Barium																LA																72 Hf 178.49 Hafnium																73 Ta 180.94788 Tantalum																74 W 183.84 Tungsten																75 Re 186.207 Rhenium																76 Os 190.23 Osmium																77 Ir 192.217 Iridium																78 Pt 195.084 Platinum																79 Au 196.966569 Gold																80 Hg 200.59 Mercury																81 Tl 204.3833 Thallium																82 Pb 207.2 Lead																83 Bi 208.980399 Bismuth																84 Po [209] Polonium																85 At [210] Astatine																86 Rn [222] Radon															
87 Fr [223] Francium																88 Ra [226] Radium																AC																104 Rf [261] Rutherfordium																105 Db [268] Dubnium																106 Sg [271] Seaborgium																107 Bh [272] Bohrium																108 Hs [277] Hassium																109 Mt [278] Meitnerium																110 Ds [281] Darmstadtium																111 Rg [282] Roentgenium																112 Cn [285] Copernicium																113 Nh [286] Nihonium																114 Fl [289] Flerovium																115 Mc [290] Moscovium																116 Lv [293] Livermorium																117 Ts [294] Tennessine																118 Og [294] Oganesson															
1																2																3																4																5																6																7																8																9																10																11																12																13																14																15																16																17																18															

Alcohol	Aldehyde	Ketone	Acid	Ester	Amide	Sugar-Related	Ether	Other
 Methanol CH ₃ OH	 Formaldehyde H ₂ CO	 Acetone CH ₃ COCH ₃	 Formic Acid HCOOH	 Methyl formate HCOOCH ₃	 Formamide HCONH ₂	 Glycolaldehyde HCOCH ₂ OH	 Dimethyl ether CH ₃ OCH ₃	 Ethylene oxide C ₂ H ₄ O
 Ethanol CH ₃ CH ₂ OH	 Acetaldehyde HCOCH ₃	 Cyclopropanone C ₃ H ₂ O	 Acetic Acid CH ₃ COOH	 Ethyl formate HCOOCH ₂ CH ₃	 Acetamide CH ₃ CONH ₂		 Ethyl methyl ether CH ₃ CH ₂ OCH ₃	 Methyl isocyanate CH ₃ NCO
 Vinyl alcohol H ₂ CCHOH	 Propanal HCOCH ₂ CH ₃	 Hydroxyacetone CH ₃ COCH ₂ OH		 Methyl acetate CH ₃ COOCH ₃	 Urea (NH ₂) ₂ CO			 Propylene oxide CH ₃ CHCH ₂ O
 Ethylene glycol HOCH ₂ CH ₂ OH	 Propenal HCOCH ₂ CH ₃	 Ketene H ₂ CCO			 N-Methylformamide HCONHCH ₃			 1-oxo-2,4-pentadiynyl HC ₅ O
 Methoxymethanol CH ₃ OCH ₂ OH	 Propynal HCOCCH	 Ketenyl HCCO						 1-oxo-2,4,6-hexatriynyl HC ₇ O
 Glycolonitrile HOCH ₂ CN	 Cyanoformaldehyde HCOCN							 Methoxy CH ₃ O



5. Granos de polvo

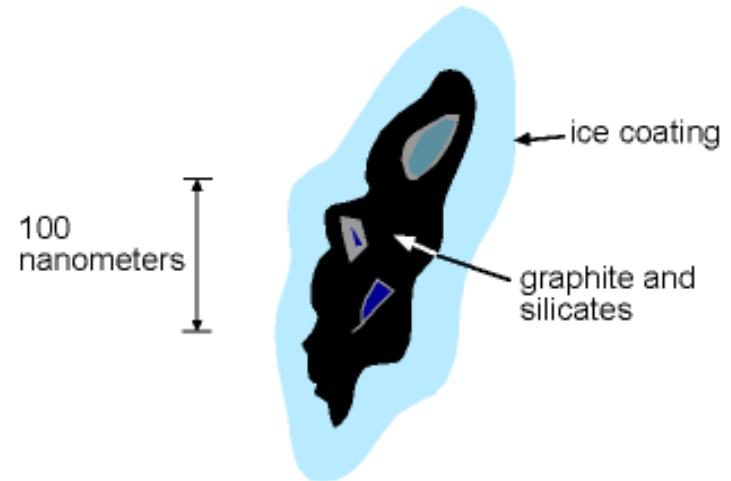
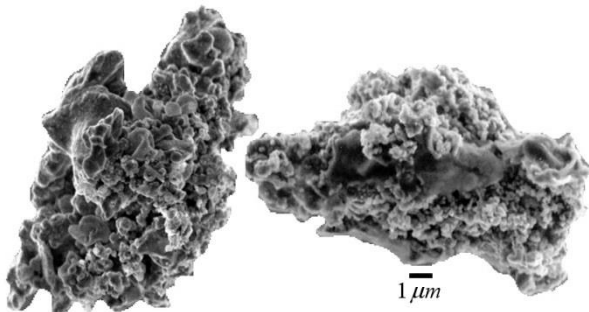
➤ Propiedades de los granos

★ composición química

- grafitos (**C**): absorción en UV ($\lambda = 2175 \text{ \AA}$)
- silicatos (de Mg: **MgSiO₃**, olivino: **Mg₂SiO₄**, y de Fe: **Fe₂SiO₄**): emisión en $9.7 \text{ }\mu\text{m}$ y $18 \text{ }\mu\text{m}$
- carbeto de Si (**SiC**): emisión en IR ($\lambda \sim 10 \text{ }\mu\text{m}$)
- óxidos (**SiO**, **FeO** y **Al₂O₃**)
- hielos (**H₂O**, **CO**, amoníaco: **NH₃**, y alcohol metílico: **CH₃OH**): bandas de absorción cerca de $3 \text{ }\mu\text{m}$
- **HPAs**: bandas de emisión en IR ($0.96, 3.3, 6.2, 7.7, 8.6$ y $11.3 \text{ }\mu\text{m}$), el primero es el píreno (9577 y 9632 \AA)

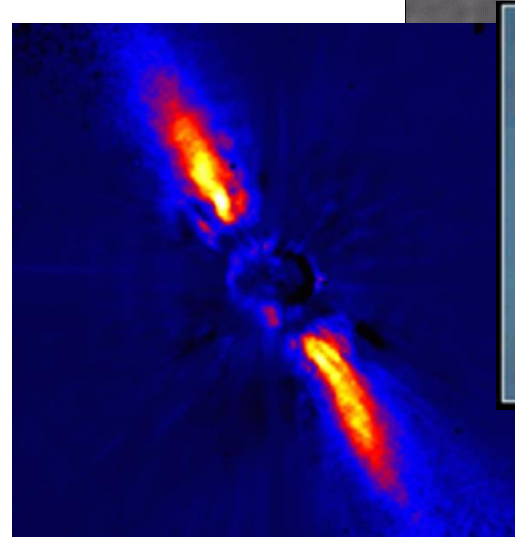
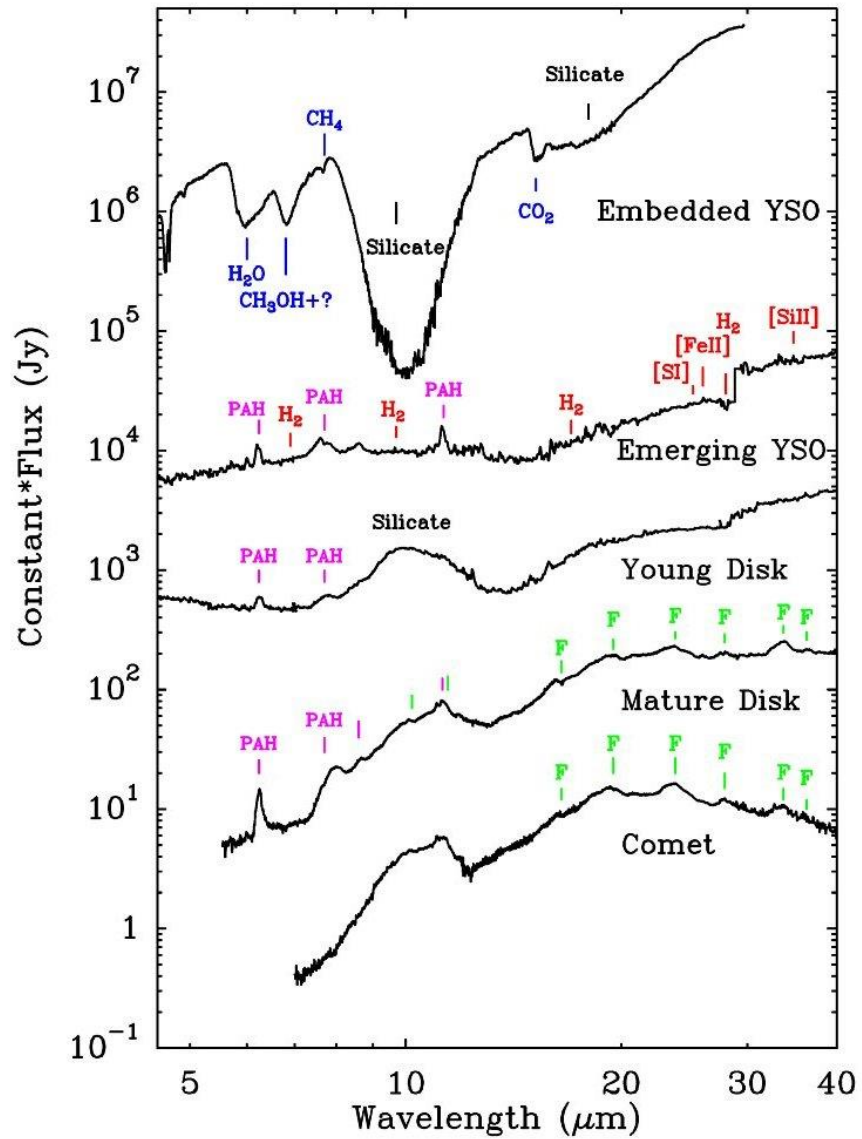
★ dimensiones

- grafitos: 5-1,000 nm
- silicatos: 25-1,250 nm



A typical dust grain (note the tiny scale!).

➤ Bandas espectrales



Granos de polvo

➤ Absorción interestelar

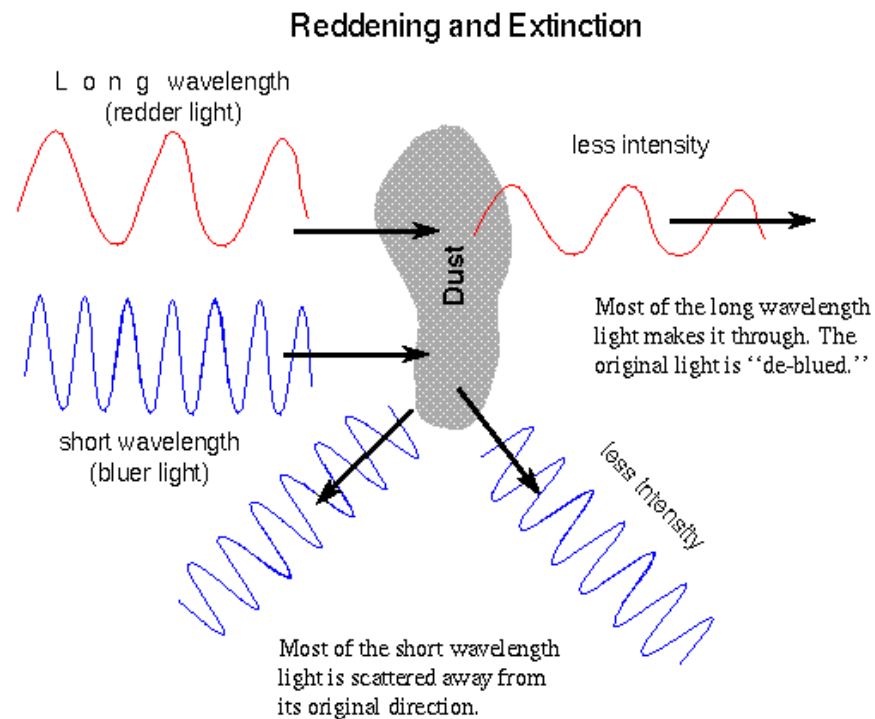
→ nebulosas oscuras

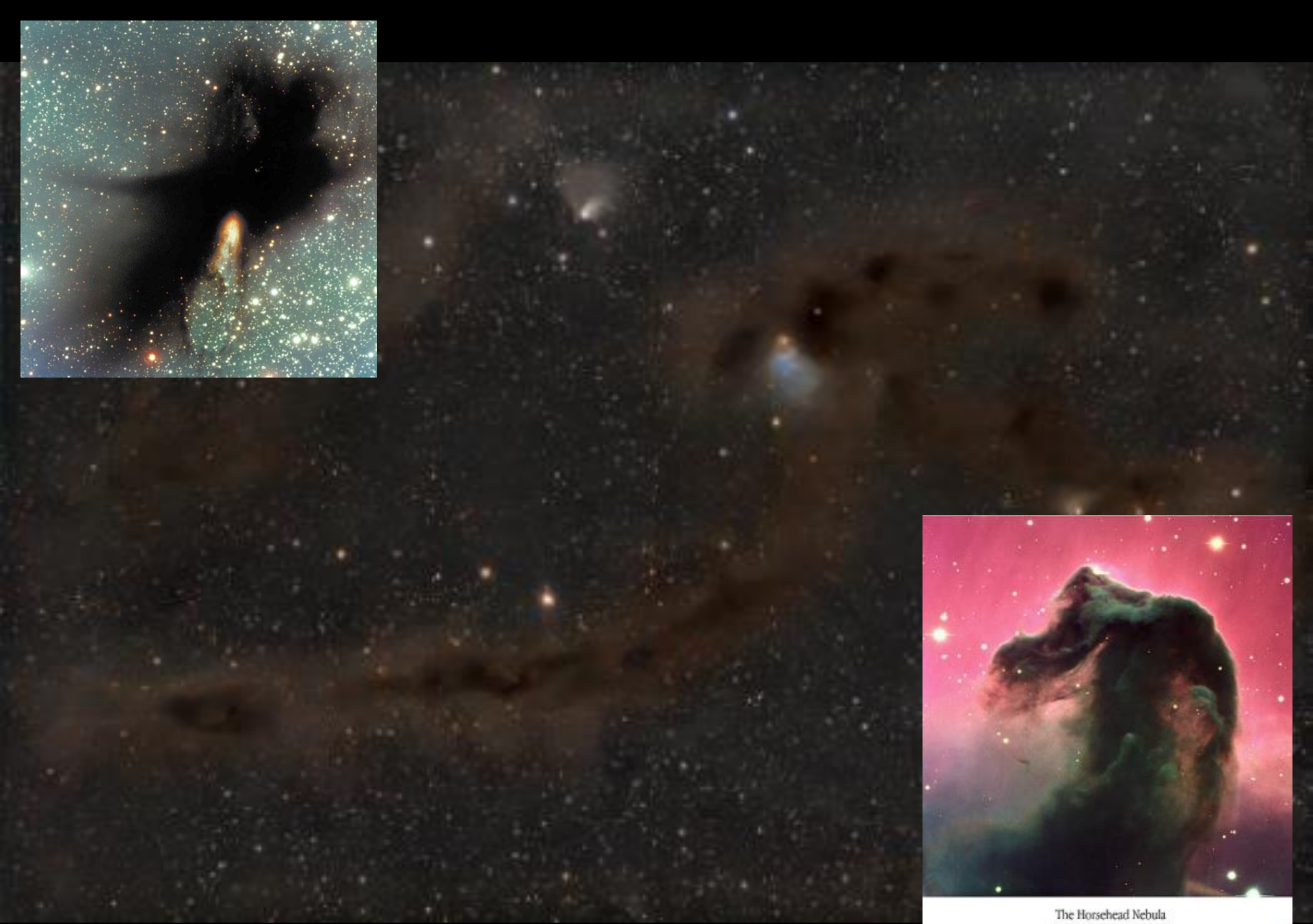
➤ Dispersión de la luz estelar

→ nebulosas de reflexión

★ enrojecimiento: exceso de color [E(B-V), por ej.]

★ absorción + dispersión = extinción (A_λ)





The Horsehead Nebula
(VLT KUEYEN + FORS 2)



Rigel

IC 2118 - Bruja



M45 - Pléyades



The Chamaeleon I complex (VLT UT1 + FORS1)

ESO PR Photo 17c/99 (6 March 1999)

© European Southern Observatory



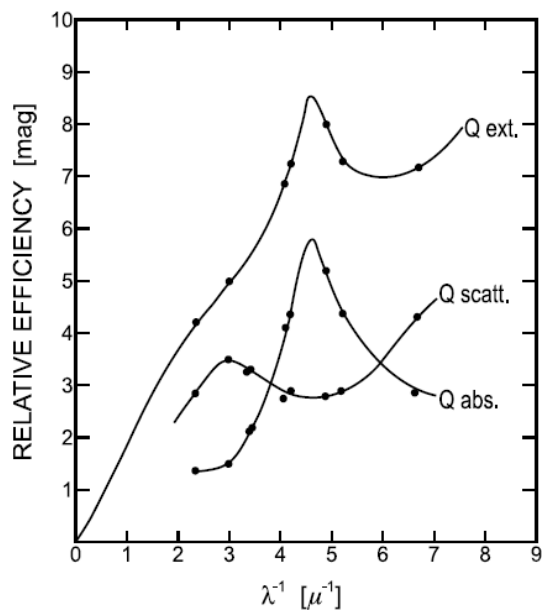


Figure 1.1: The wavelength dependence, from IR to UV, of the scattering and absorption efficiency of interstellar grains as derived from the observed albedo and the extinction curves shown in relation to the extinction curve (Lillie & Witt, 1976).

Costantini & Corrales 2022

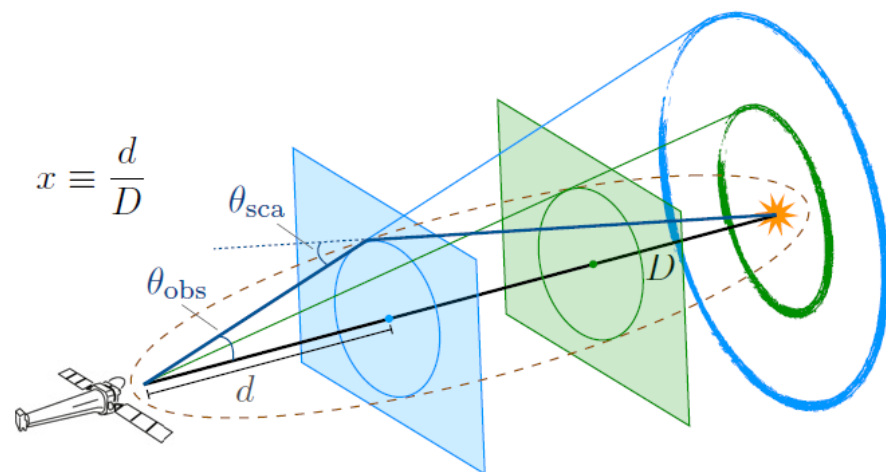


Fig. 4 Illustration of the geometric principles used to compute the dust scattering halo intensity under the assumptions of single scattering. The positions of two dust clouds are represented by the blue and green planes along the line of sight between a telescope and an X-ray source, separated by a total distance D . The apparent angular distance between the point source and dust-scattered light is represented by θ_{obs} . In order for scattered light to reach the observer, it must fall onto the angle θ_{sca} , which equals $\theta_{\text{obs}}/(1-x)$ under the small angle approximation. In the case that the X-ray source undergoes a bright outburst, the observer will see scattering from dust that lies along equal path lengths, represented by the ellipsoid in the illustration. Where the ellipsoid intersects the dust clouds, a ring pattern is observed, growing in angular size with time. [Adapted from illustrations by S. Heinz]

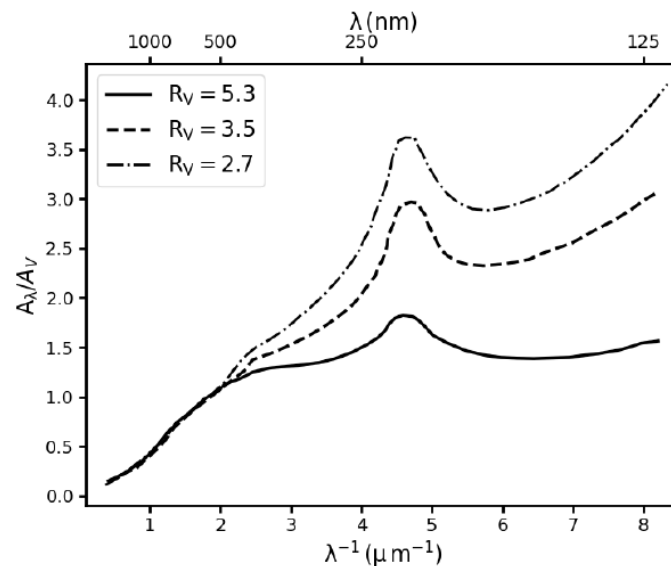
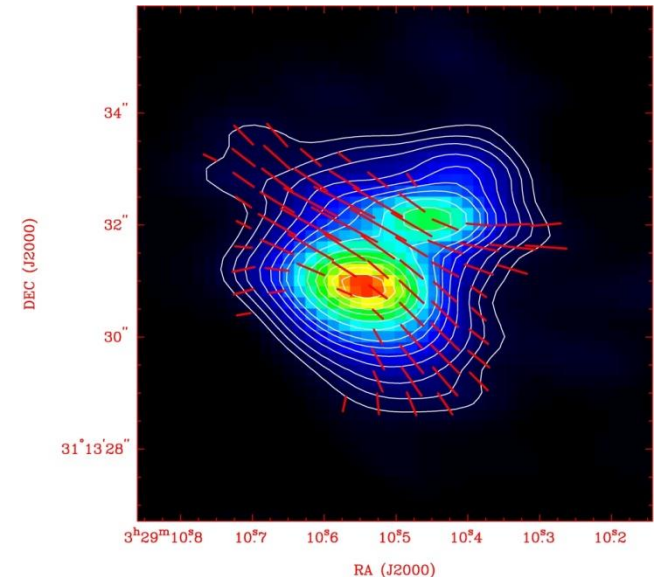


Fig. 1 Examples of observed extinction curves at different values of R_V . The data are related to Herschel 36 (solid line), HD 48099 (dashed line) and BD+56 524 (dashed-dotted line). Adapted from Cardelli et al. [47].

Granos de polvo

➤ Polarización y el Campo Magnético Galáctico

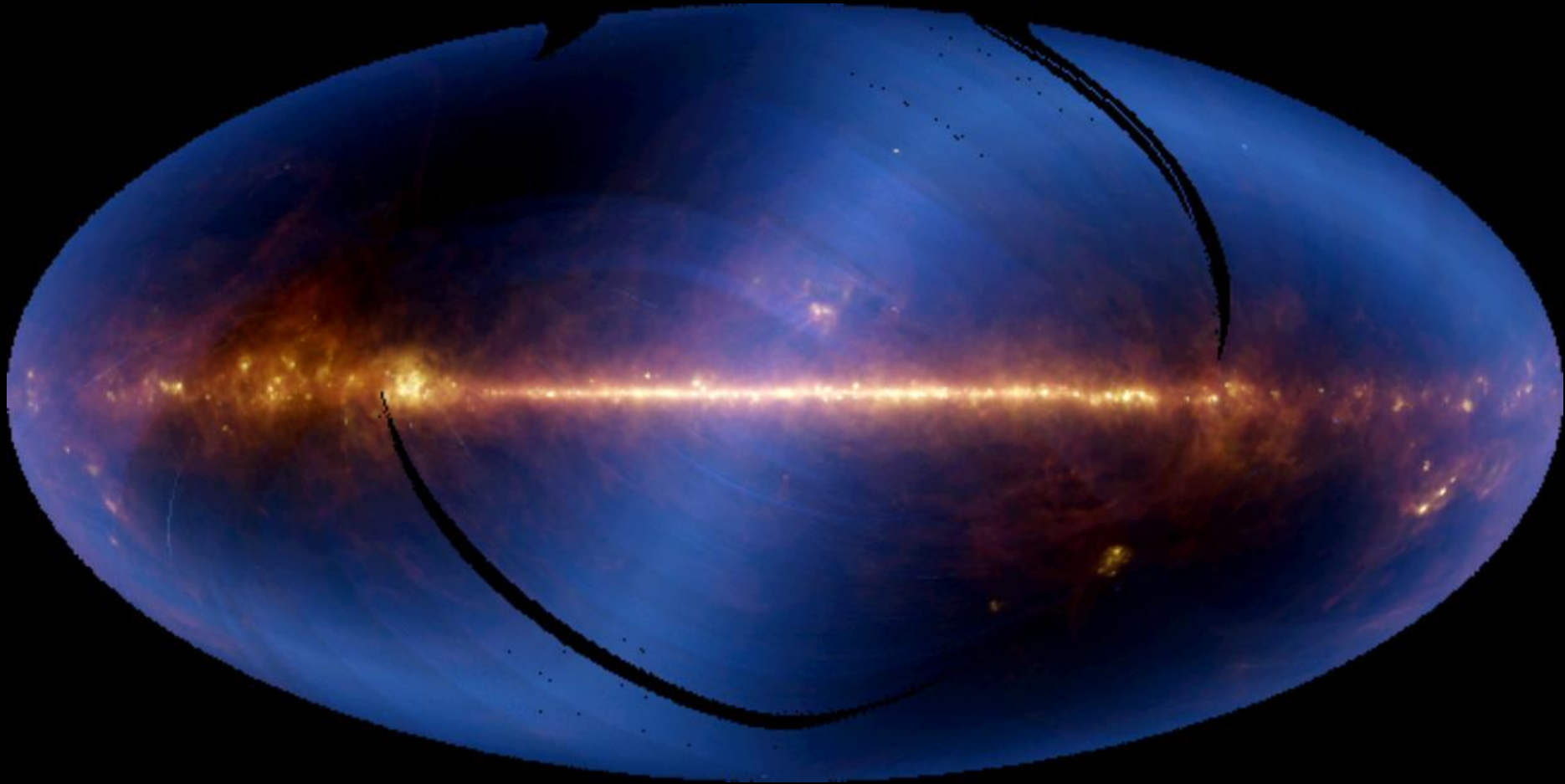
- descubierta por Hiltner y Hall en 1949
- la luz de estrellas enrojecidas presenta, generalmente, una *polarización lineal*
- implica que los granos deben ser *elongados* y sujetos a alguna *alineación*
- dicha alineación se supone es producida por *campos magnéticos*, muy probablemente por el *Campo Magnético Galáctico* ($\sim 1\text{-}5\ \mu\text{G}$)
- esa estimación es confirmada por mediciones del *Efecto Zeeman* (en la línea de 21 cm), la *rotación de Faraday* y la *radiación sincrotrón*.



➤ Emisión térmica del polvo

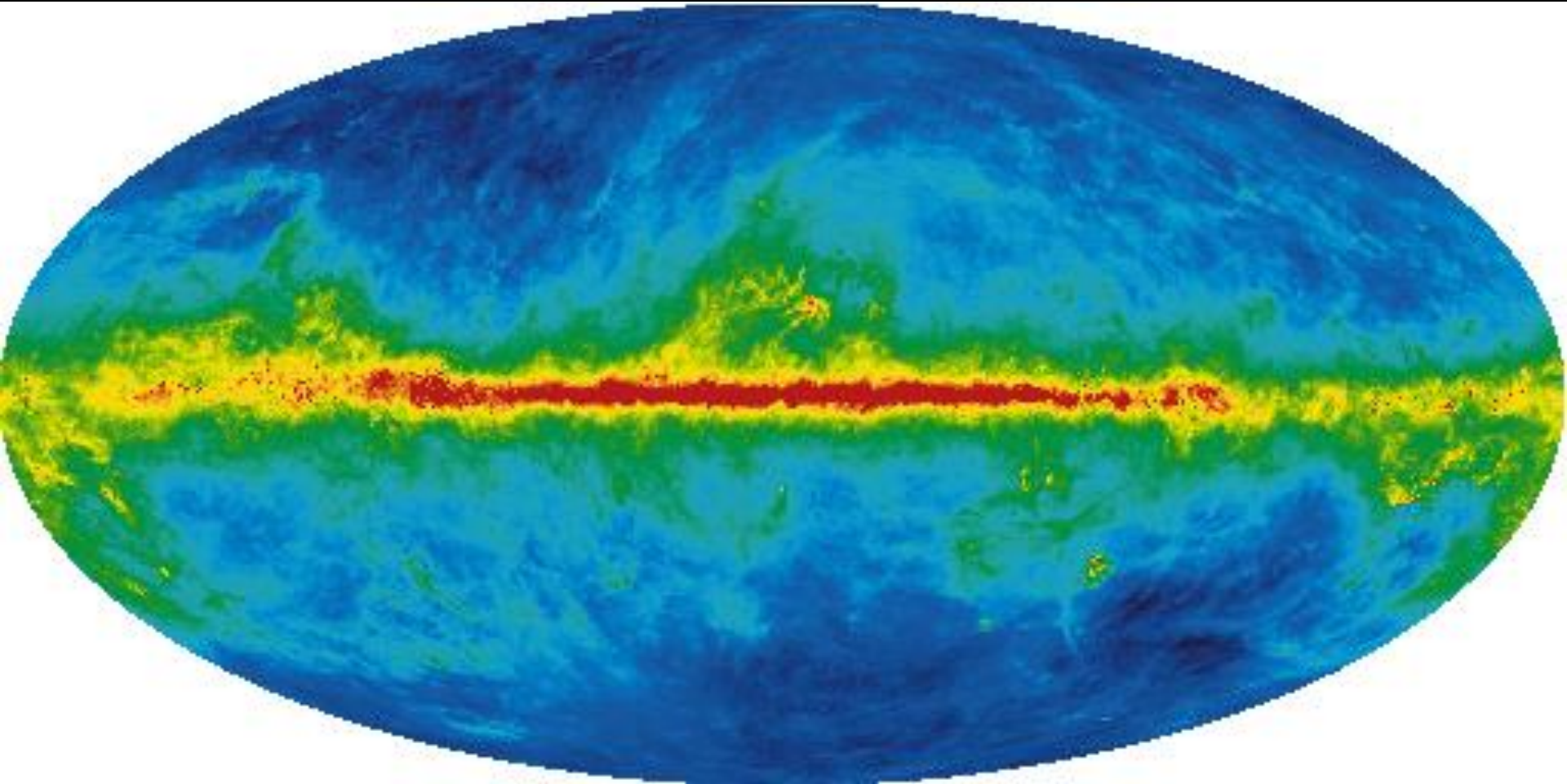
- emisión térmica desde el IR cercano ($1\ \mu\text{m}$), con máximo en el infrarrojo lejano ($140\ \mu\text{m}$), llegando a microondas (10-60 GHz).

El cielo en el infrarrojo lejano (sat. IRAS, $\sim 100\ \mu\text{m}$)



emisión de polvo caliente (regiones de formación estelar)

Emisión térmica del polvo (sat. IRAS+COBE, $\sim 100\ \mu\text{m}$)



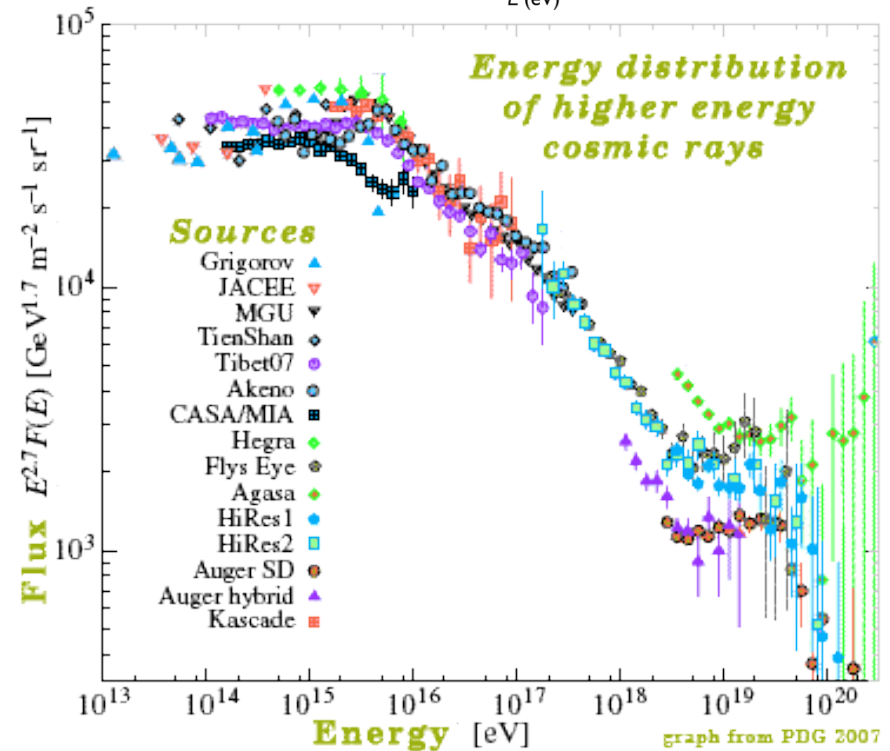
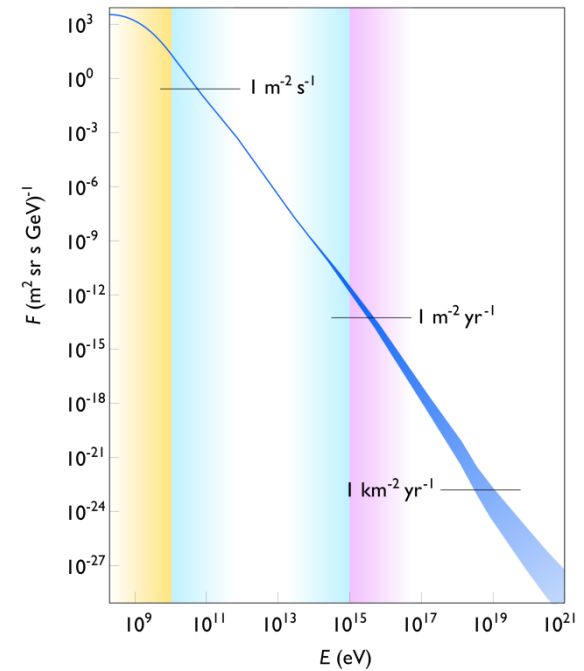
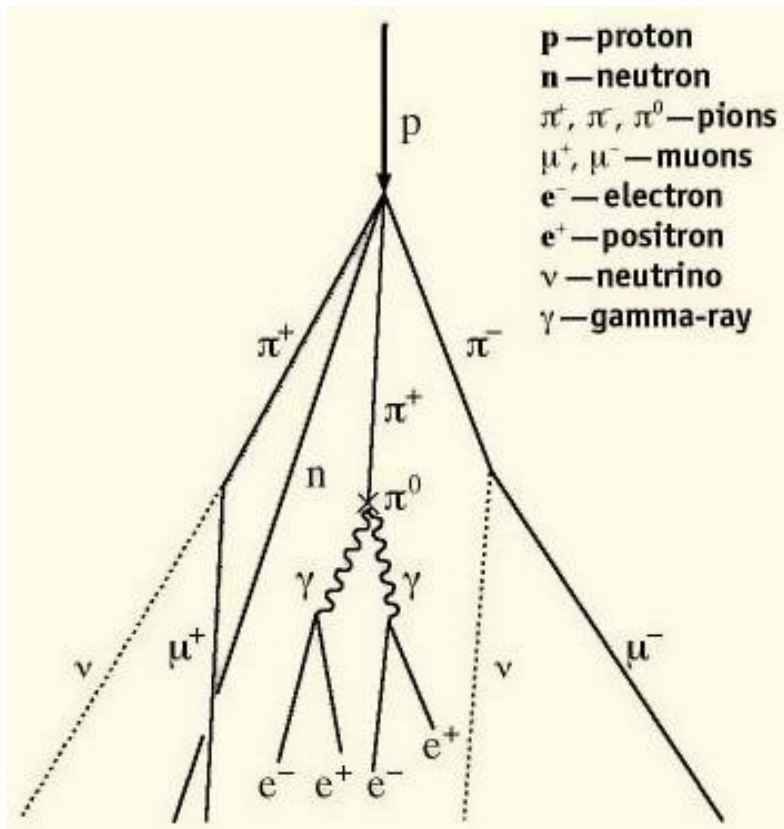
mapa de extinción

6. Rayos cósmicos

$p^+ \Rightarrow 90\%$

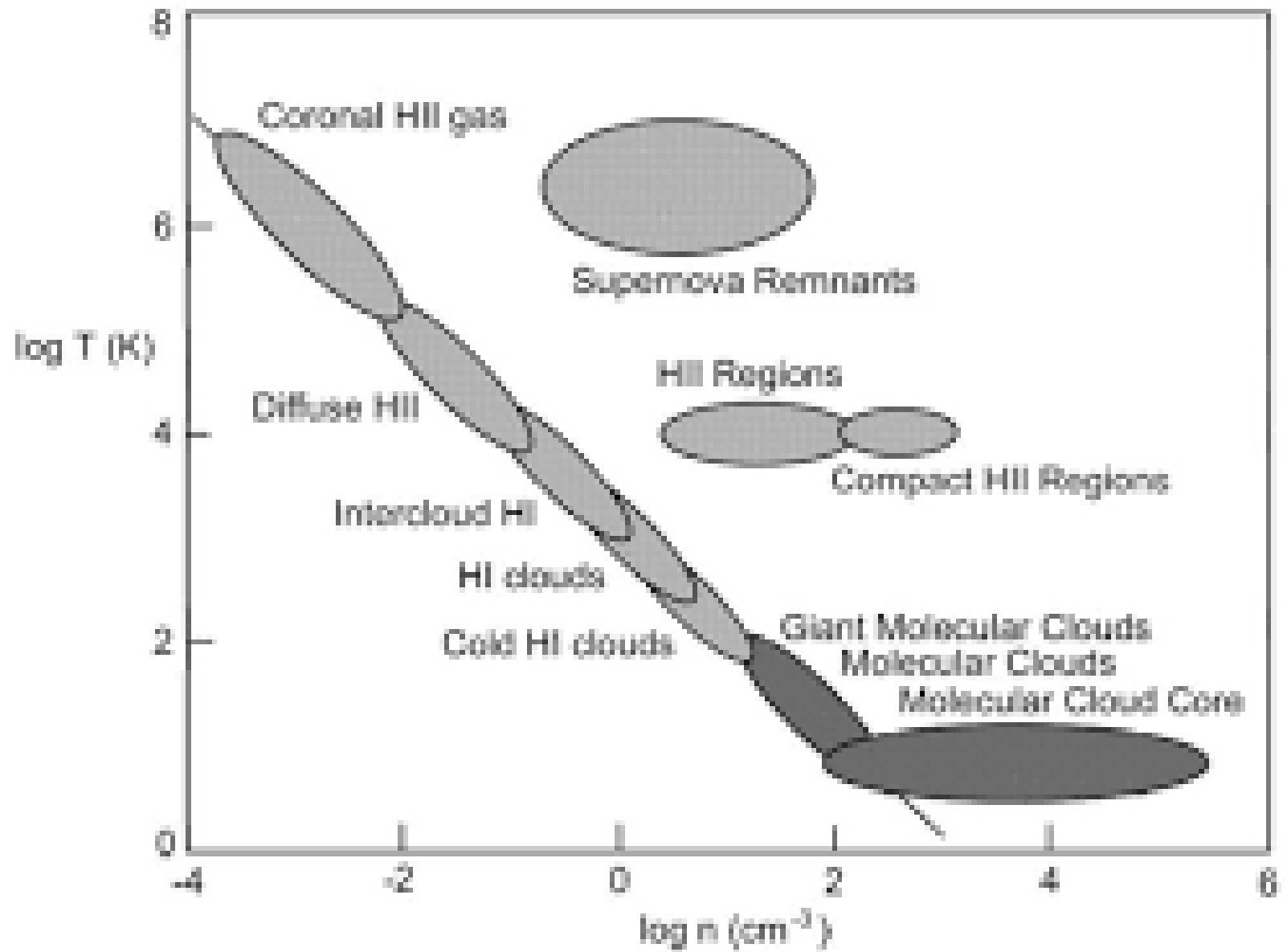
$\alpha \Rightarrow 9\%$

$\beta + \gamma \Rightarrow 1\%$



FASES

	<i>densidad</i> (cm ⁻³)	<i>temperatura</i> (K)	<i>presión</i> (Pa)
➤ gas coronal (y MIG)	10 ⁻³	10 ⁵	10 ⁻¹⁴
➤ medio difuso inter-nubes	10 ⁻¹	10 ⁴	10 ⁻¹⁴
➤ nubes atómicas (Ø ~10 pc)	10	60	10 ⁻¹⁴
➤ regiones ionizadas			
★ regiones HII (~10 pc)	10-10 ²	4×10 ⁴	10 ⁻¹¹
★ nebulosas planetarias (< 0.5 pc)	10 ³	10 ⁴ -10 ⁵	10 ⁻¹¹
★ remanentes de SNe	10 ²	10 ⁴	10 ⁻¹¹
➤ nubes moleculares	10 ⁴	10-100	10 ⁻¹²
➤ vacío de laboratorio	10 ⁷		
➤ aire	2×10 ¹⁹		
➤ agua	3×10 ²²		



Tarea 7:

Tiempo para terminar las tareas anteriores e prepararse para el primer parcial ...