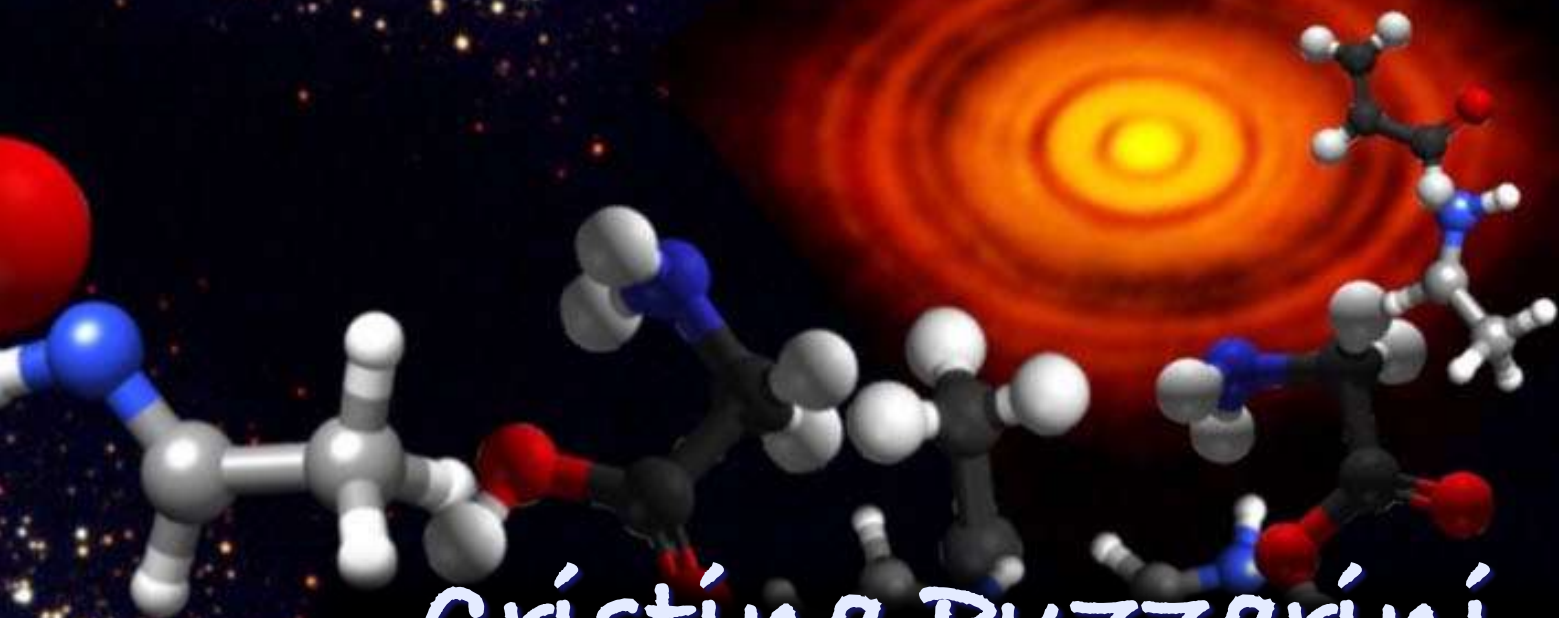


Il mistero della chimica dell'universo



Cristina Puzzarini

Dip. Chimica "Giacomo Ciamician"
Università di Bologna

L'umanità osserva il cielo da millenni ...

Se di notte, lontano dalle luci della città, guardiamo il cielo, lo vediamo ricco di stelle e sembra che non ci sia nulla tra una stella e l'altra: il cielo ci appare un grande spazio vuoto ...

... In prima approssimazione quest'idea non è del tutto errata ...

... ma come spesso accade, una piccola quantità fa una grandissima differenza ...

L'umanità osserva il cielo da millenni ...

Se di notte, lontano dalle luci della città, guardiamo il cielo, lo vediamo ricco di stelle e sembra che non ci sia nulla tra una stella e l'altra: il cielo ci appare un grande spazio vuoto ...

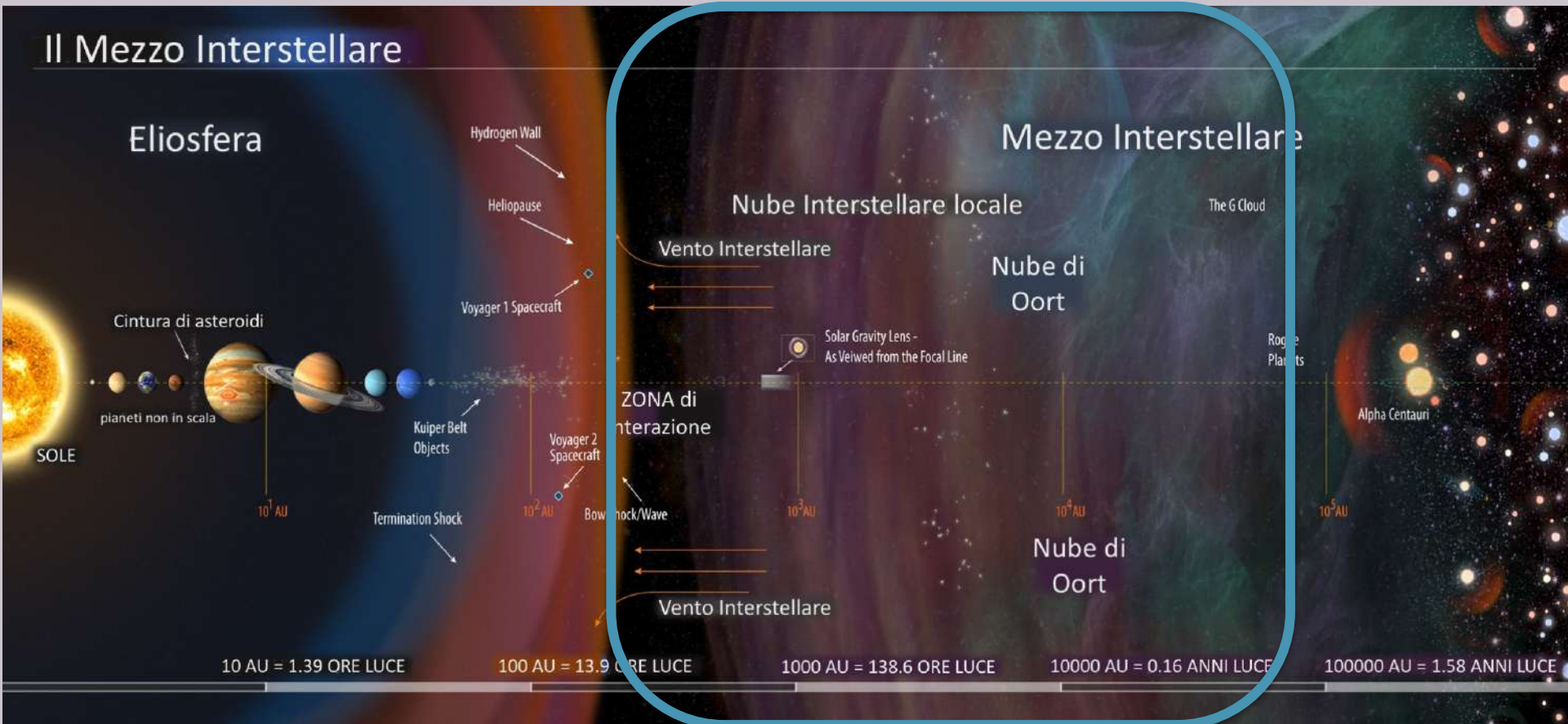
1904 (Hartmann):

Scoperta del gas interstellare ...

1930 (Trumpler):

Scoperta della polvere interstellare ...

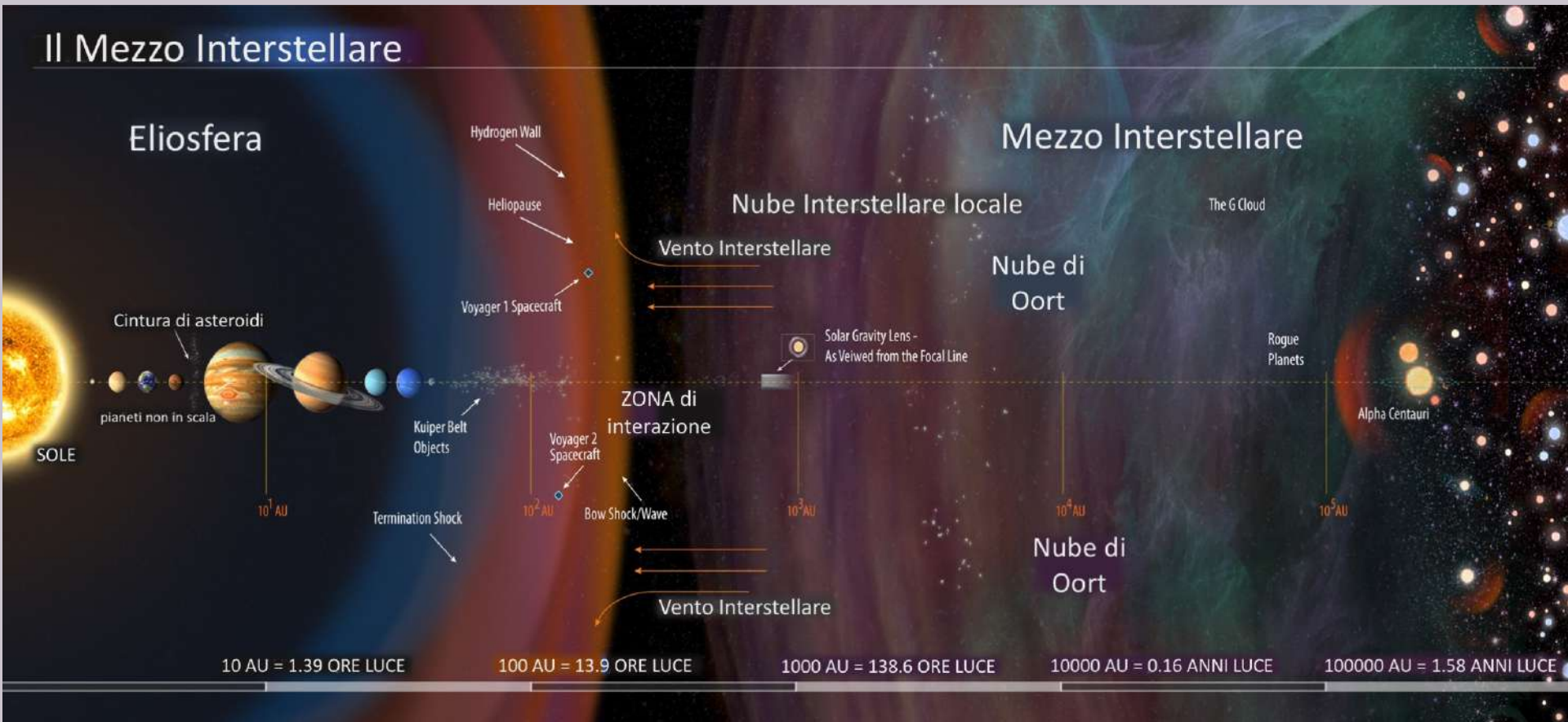
Che cos'è il mezzo interstellare?



Mezzo interstellare (ISM): ~4%
il materiale rarefatto costituito da gas e polvere che si trova tra le stelle all'interno di una galassia

Che cos'è il mezzo interstellare?

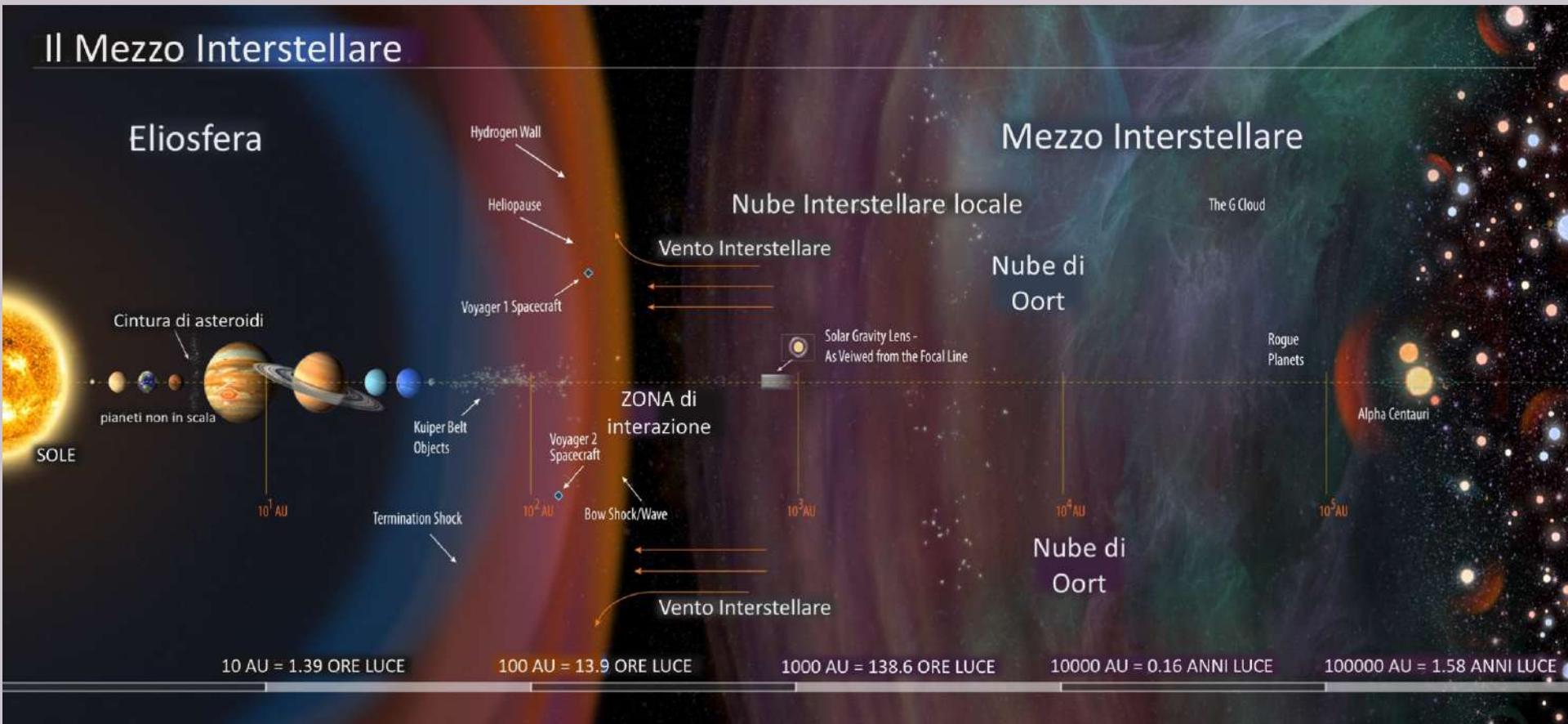
Il Mezzo Interstellare



Mezzo interstellare (ISM): $\sim 99\%$
il materiale rarefatto costituito da gas e polvere che si
trova tra le stelle all'interno di una galassia $\sim 1\%$

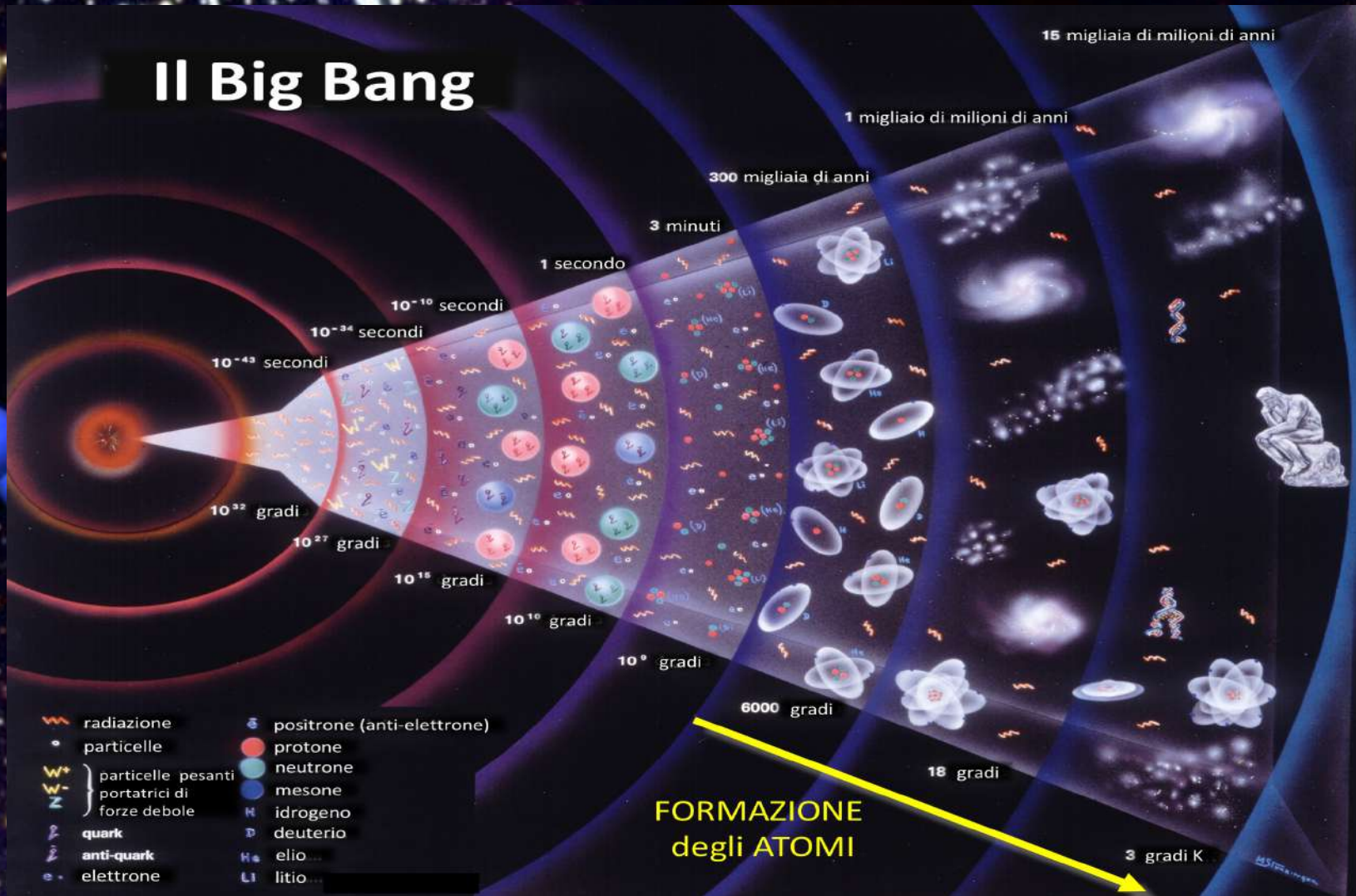
Che cos'è il mezzo interstellare?

Il Mezzo Interstellare



Mezzo interstellare (ISM):
il materiale rarefatto costituito da GAS e polvere che si
trova tra le stelle all'interno di una galassia

L'umanità osserva il cielo da millenni ...
 L'universo è un luogo "ricco" di atomi ...



| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 1.00794 H Idrogeno | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 4.002602 He Elio |
| 3 6.941 Li Litio | 4 9.012182 Be Berillio | | | | | | | | | | | 5 10.811 B Boro | 6 12.0107 C Carbonio | 7 14.003074 N Azoto | 8 15.999 O Ossigeno | 9 18.9984032 F Fluoro | 10 39.948 Ne Neon |
| 11 22.98976928 Na Sodio | 12 24.304 Mg Magnesio | | | | | | | | | | | 13 26.9815385 Al Alluminio | 14 28.0855 Si Silicio | 15 30.973762 P Fosforo | 16 32.06 S Zolfo | 17 35.453 Cl Cloro | 18 39.948 Ar Argon |
| 19 39.0983 K Potassio | 20 40.078 Ca Calcio | 21 44.955912 Sc Scandio | 22 47.867 Ti Titanio | 23 50.9415 V Vanadio | 24 51.9962 Cr Cromio | 25 54.938044 Mn Manganese | 26 55.845 Fe Ferro | 27 58.9332 Co Cobalto | 28 58.9332 Ni Nichel | 29 63.546 Cu Rame | 30 65.38 Zn Zinco | 31 69.723 Ga Gallio | 32 72.64 Ge Germanio | 33 74.9216 As Arsenico | 34 78.96 Se Selenio | 35 79.904 Br Bromo | 36 83.798 Kr Kripton |
| 37 85.4678 Rb Rubidio | 38 87.62 Sr Stronzio | 39 88.905848 Y Ittrio | 40 91.224 Zr Zirconio | 41 92.90638 Nb Niobio | 42 95.94 Mo Molibdeno | 43 97.905 Tc Technetio | 44 101.07 Ru Rutenio | 45 101.07 Rh Rodio | 46 106.42 Pd Palladio | 47 106.9055 Ag Argento | 48 112.411 Cd Cadmio | 49 114.913 In Indio | 50 118.710 Sn Stagno | 51 121.757 Sb Stibio | 52 127.60 Te Tellurio | 53 126.90544 I Iodio | 54 131.29 Xe Xenone |
| 55 132.90545196 Cs Cesio | 56 137.327 Ba Bario | 72 175.053 Hf Hafnio | 73 180.94788 Ta Tantalio | 74 186.207 W Wolframio | 75 186.207 Re Reni | 76 186.207 Os Osmio | 77 190.23 Ir Iridio | 78 193.064 Pt Platino | 79 196.966569 Au Oro | 80 200.59 Hg Mercurio | 81 204.3843 Tl Tallio | 82 207.2 Pb Piombo | 83 208.9804 Bi Bismuto | 84 208.9804 Po Polonio | 85 208.9804 At Astatina | 86 222 Rn Radone | |
| 87 223.0185 Fr Francio | 88 226.0254 Ra Raffaello | 104 261 Rf Rutherfordio | 105 262 Db Dubnio | 106 263 Sg Seaborgio | 107 263 Bh Bohrio | 108 263 Hs Hassium | 109 263 Mt Meitnerio | 110 263 Ds Darmstadtio | 111 263 Rg Roentgenio | 112 263 Uub Ununbium | 113 263 Uut Ununtrium | 114 263 Uuq Ununquadrupium | 115 263 Uup Ununpentium | 116 263 Uuh Ununsextium | 117 263 Uus Ununseptium | 118 263 Uuo Ununoctium | |

Nebulosa del Granchio: quel che rimane di una supernova formatasi dall'esplosione di una stella massiccia (~ nel 1054).
 Gli elementi più "pesanti" sono stati prodotti per nucleosintesi nelle stelle e diffusi da esplosioni di supernove nel mezzo interstellare (circa una trentina di elementi chimici sono stati osservati).

Via Lattea

~74%

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | 11 | 12 | | | | | | | | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | He | | | | | | | | | | | Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | | | | | | | | | | | Ar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | | | | | | | | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | 13 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | | | | | | | | | | | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | Cs | Ba | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | Cs | Ba | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | Fr | Ra | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 87 | 88 | | | | | | | | | | | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fr | Ra | | | | | | | | | | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

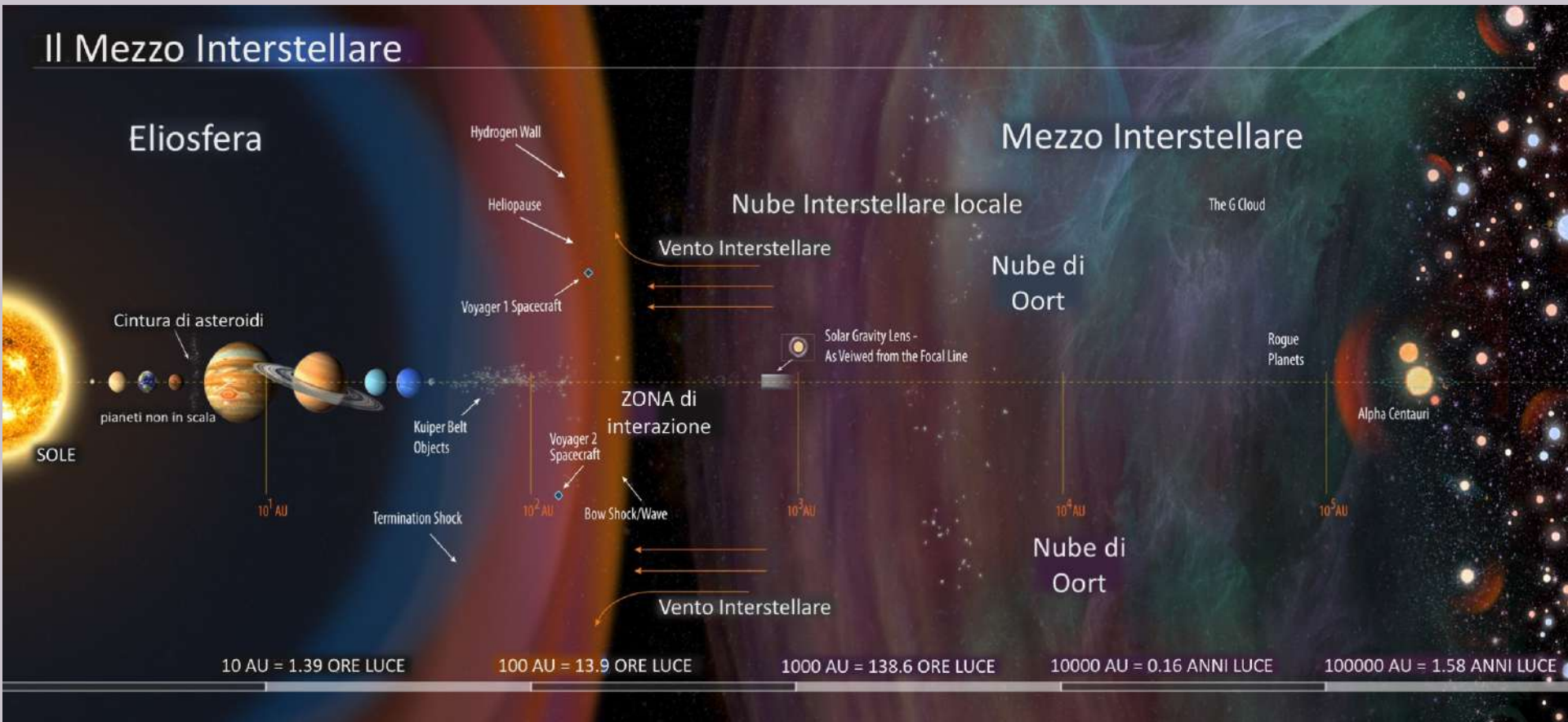
~0.5% ~1%

~24%
~0.1%

Nebulosa del Granchio: quel che rimane di una supernova formatasi dall'esplosione di una stella massiccia (~ nel 1054).
Gli elementi più "pesanti" sono stati prodotti per nucleosintesi nelle stelle e diffusi da esplosioni di supernove nel mezzo interstellare (circa una trentina di elementi chimici sono stati osservati).

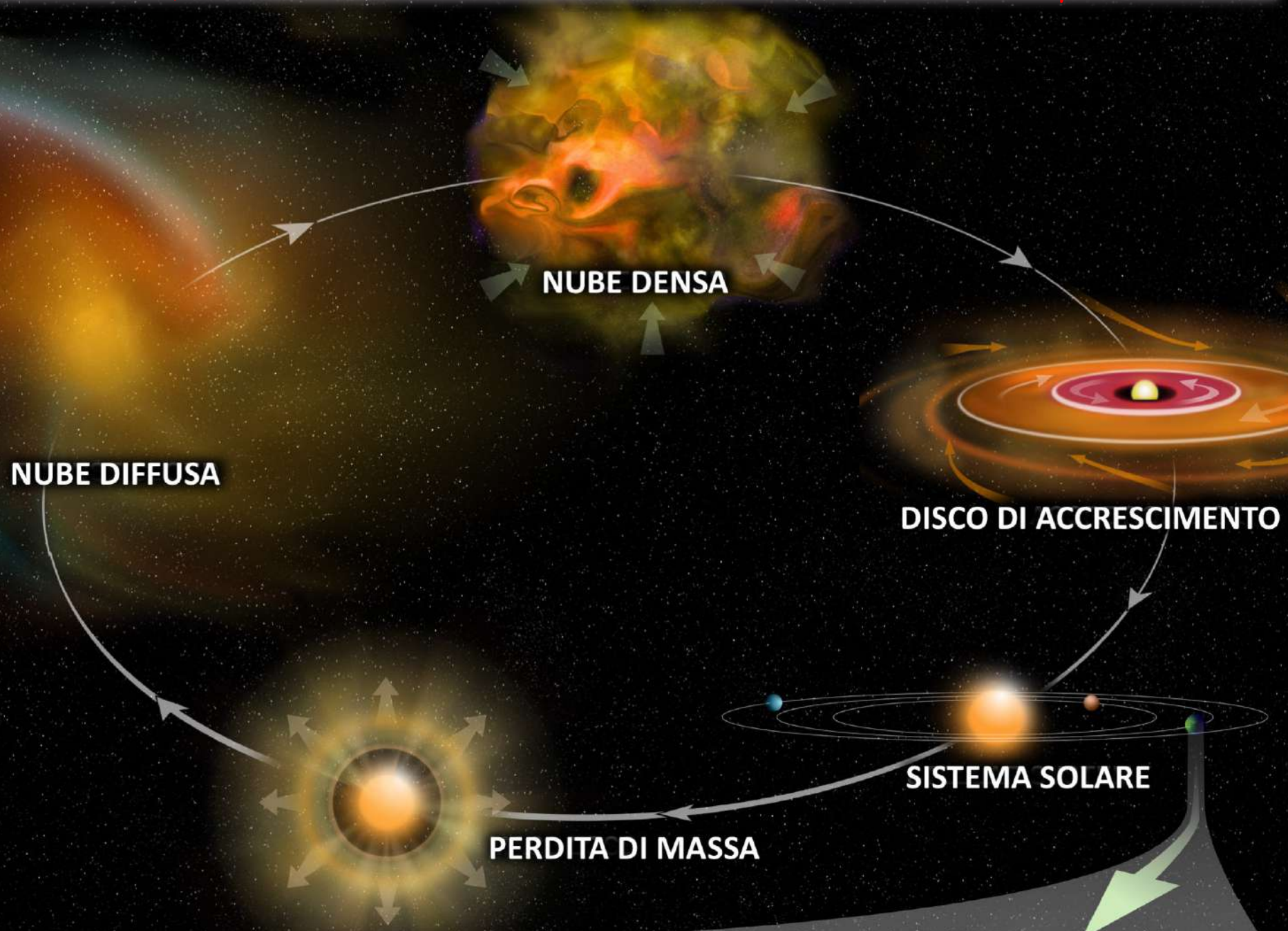
Che cos'è il mezzo interstellare?

Il Mezzo Interstellare



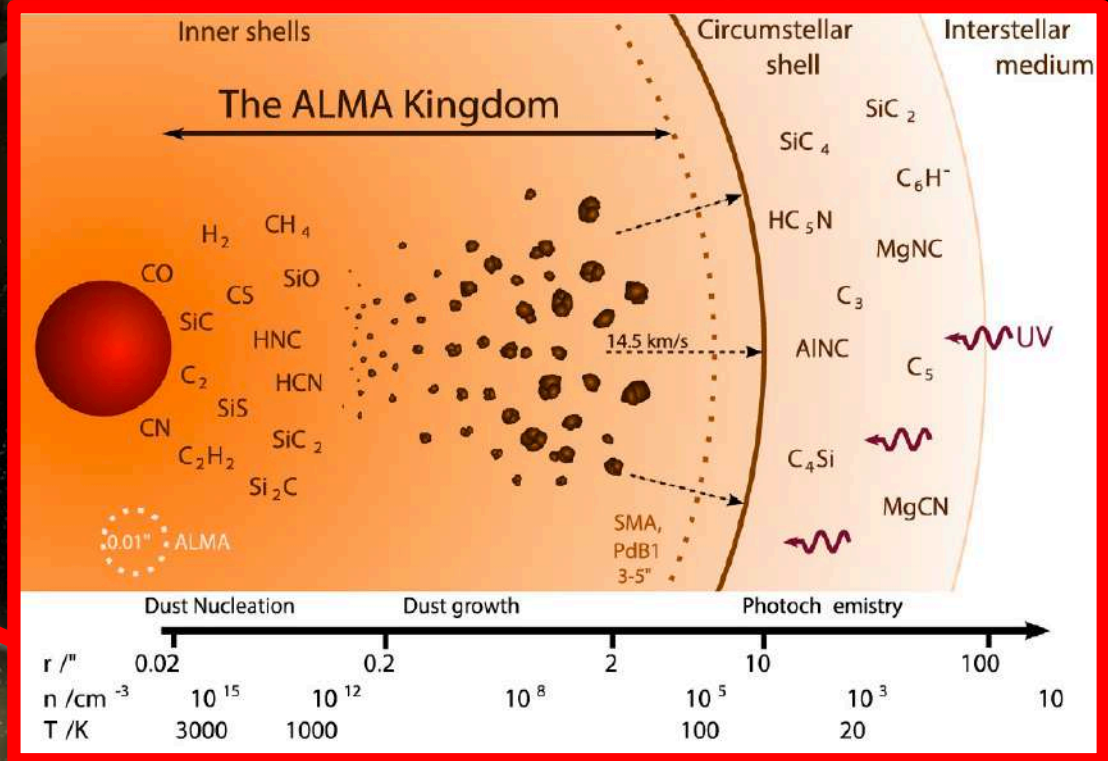
Mezzo interstellare (ISM):
il materiale rarefatto costituito da gas e POLVERE che si
trova tra le stelle all'interno di una galassia

Ciclo di formazione di una stella e del suo sistema planetario



Ciclo di formazione di una stella e del suo sistema planetario

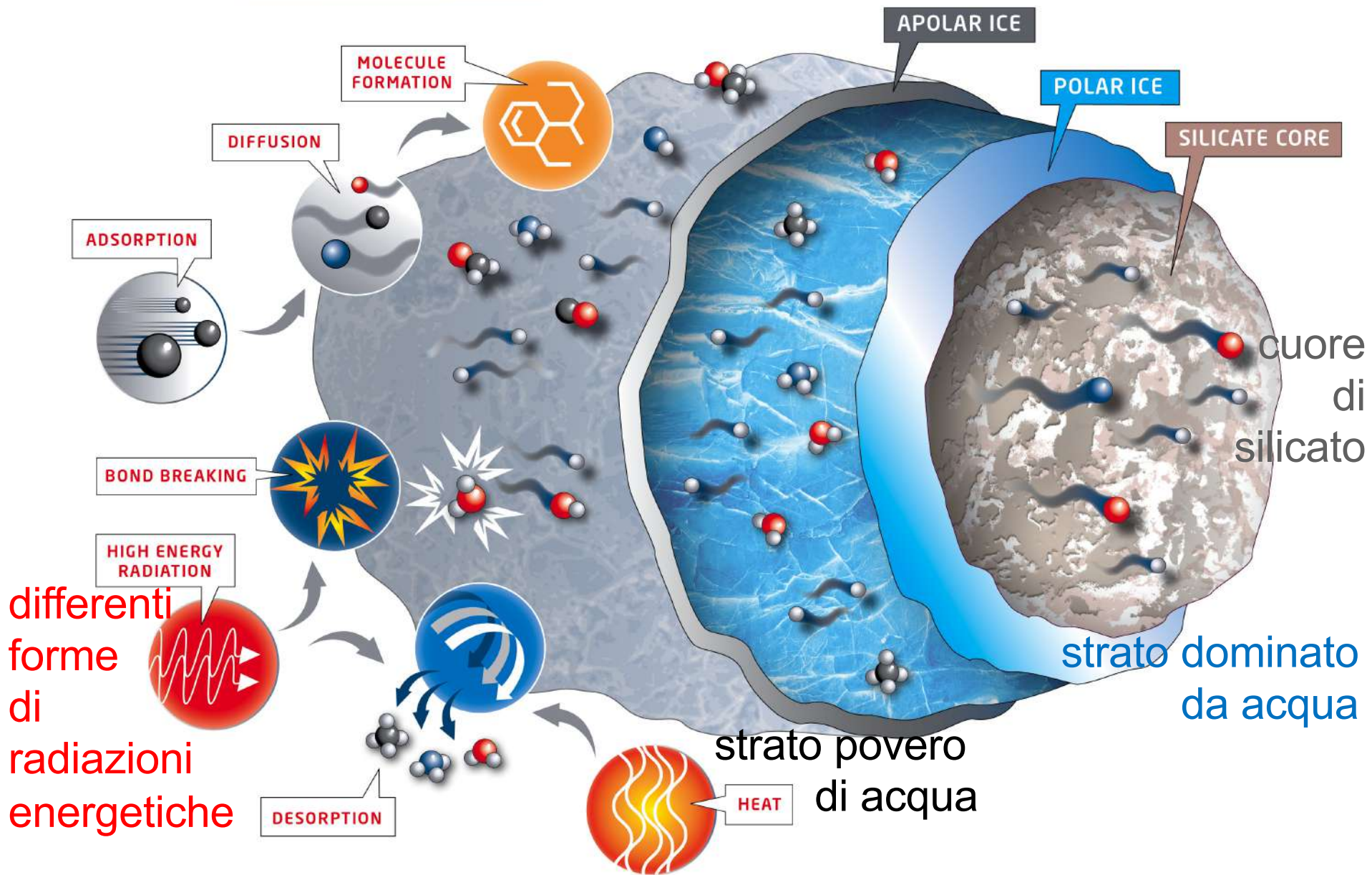
NUBE DIFFUSA



PERDITA DI MASSA

SISTEMA SOLARE

INTERSTELLAR GRAIN SURFACE CHEMISTRY



L'umanità osserva il cielo da millenni ...

L'universo è un luogo "ricco" di atomi ...

Per molti anni il mezzo interstellare è stato considerato un ambiente troppo ostile* per le molecole ...

Tuttavia, circa 80 anni fa osservazioni spettroscopiche nel visibile e nel vicino ultravioletto hanno iniziato a suggerire che al contrario ...

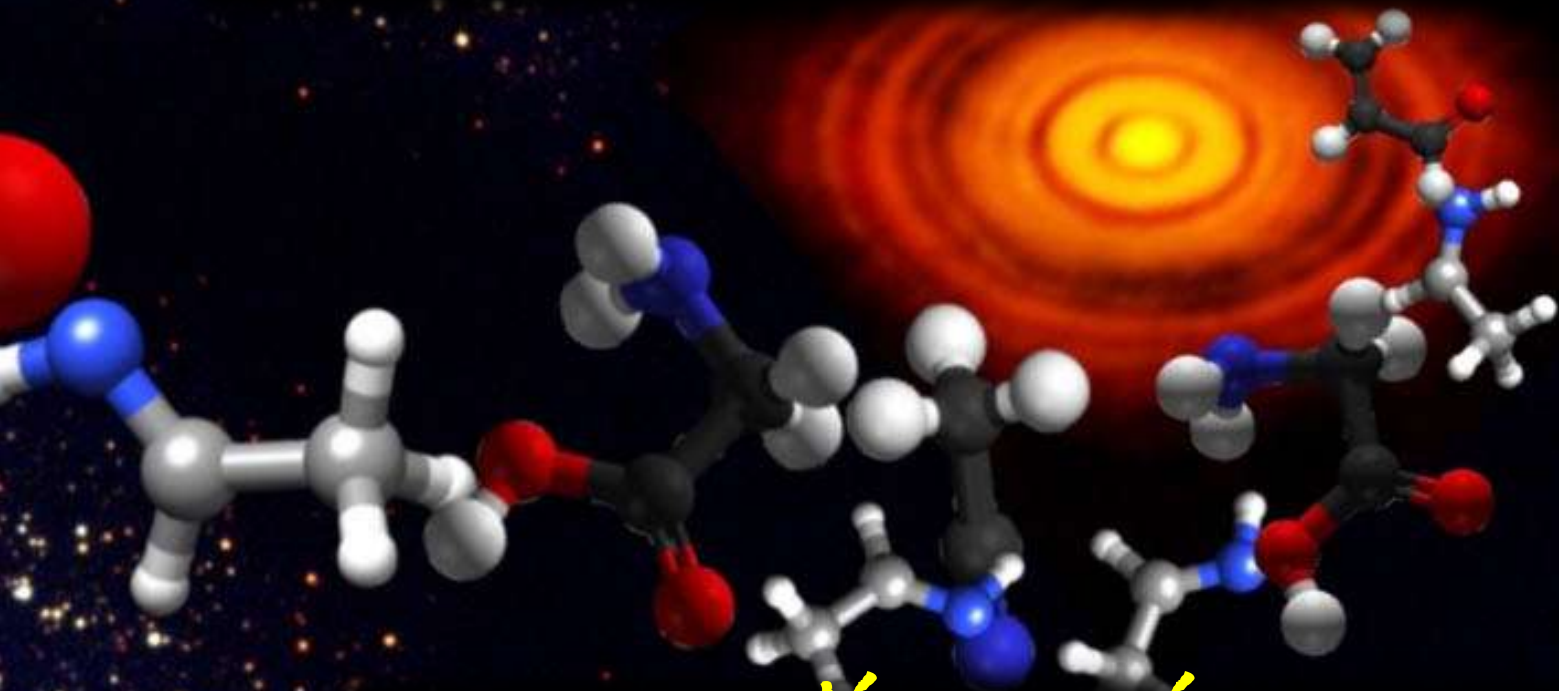
*T molto bassa, p bassissima, radiazioni

Prima di scoprire cos'è
successo circa 80 anni
fa ...



Cos'è la spettroscopia
astronomica?

Cos'è la spettroscopica
astronomica?



Un po' di storia



Galileo Galilei: 1609 primo telescopio

Al cospetto del Senato veneziano, lo scienziato Galileo Galilei mostrò il funzionamento del primo telescopio rifrattore della storia.

PRISMA: Nel 1671 Newton per primo usò il termine *spettro* (dal latino *spectrum*) descrivendo i suoi esperimenti di ottica. Newton divise lo spettro in sette diversi colori: rosso, arancione, giallo, verde, blue, indaco e violetto.



Newton: 1668 primo telescopio a specchio

Newton realizzò un piccolo telescopio riflettore capace di circa 35 ingrandimenti. Era composto da uno specchio concavo parabolico e uno specchietto piano.

La NASCITA della SPETTROSCOPIA ASTRONOMICA

Nel 1814, Fraunhofer utilizzò un prisma di elevata qualità per diffrangere un raggio di sole filtrante dalle persiane su una parete bianca. Quello che scoprì, oltre i colori caratteristici dell'arcobaleno come ben noto dai tempi di Newton, furono molte righe scure che egli stesso catalogò. Queste sono ancora note come le "righe di Fraunhofer"



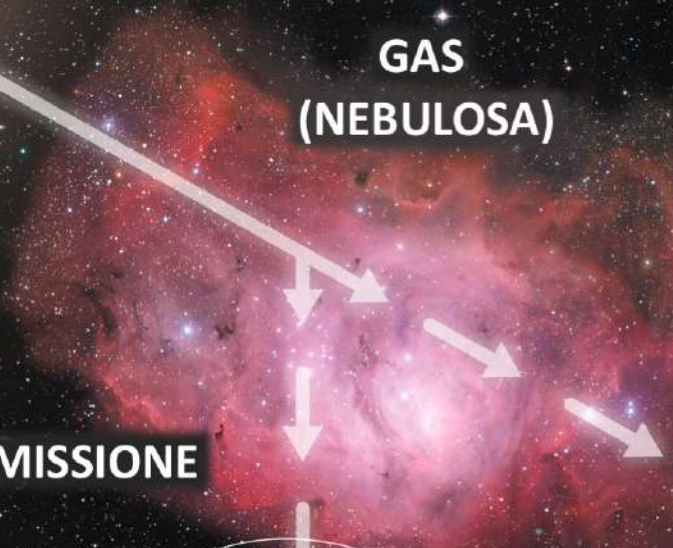
**SORGENTE CALDA
(STELLA)**



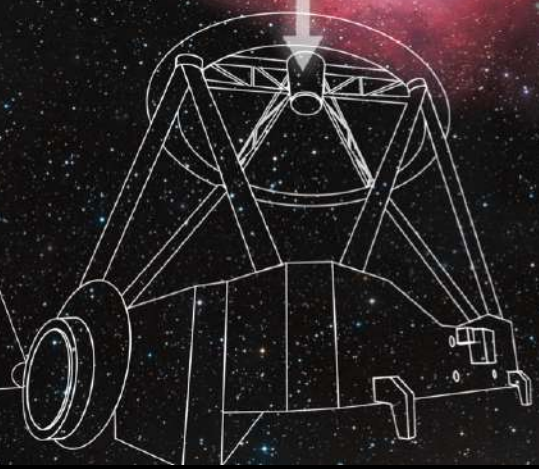
SPETTRO CONTINUO



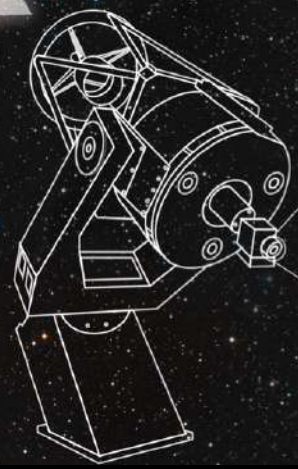
**GAS
(NEBULOSA)**



SPETTRO di EMISSIONE



SPETTRO di ASSORBIMENTO



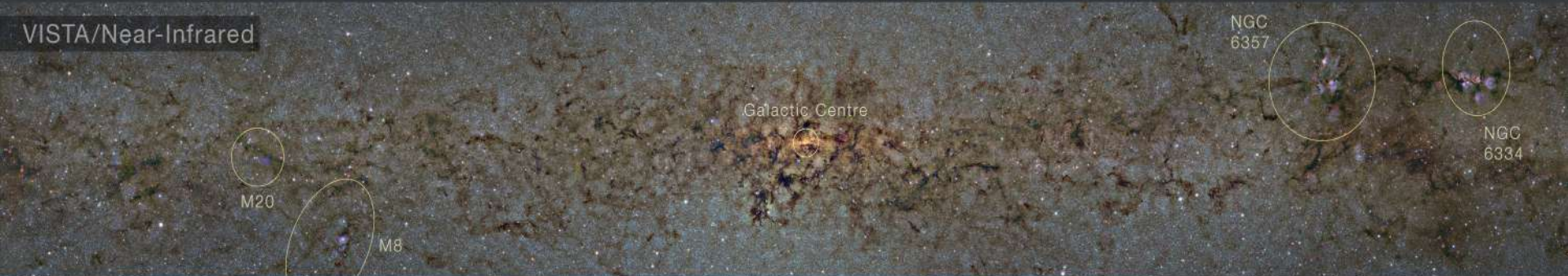
APEX+Planck/ATLASGAL/Submillimetre



Spitzer/GLIMPSE/Infrared

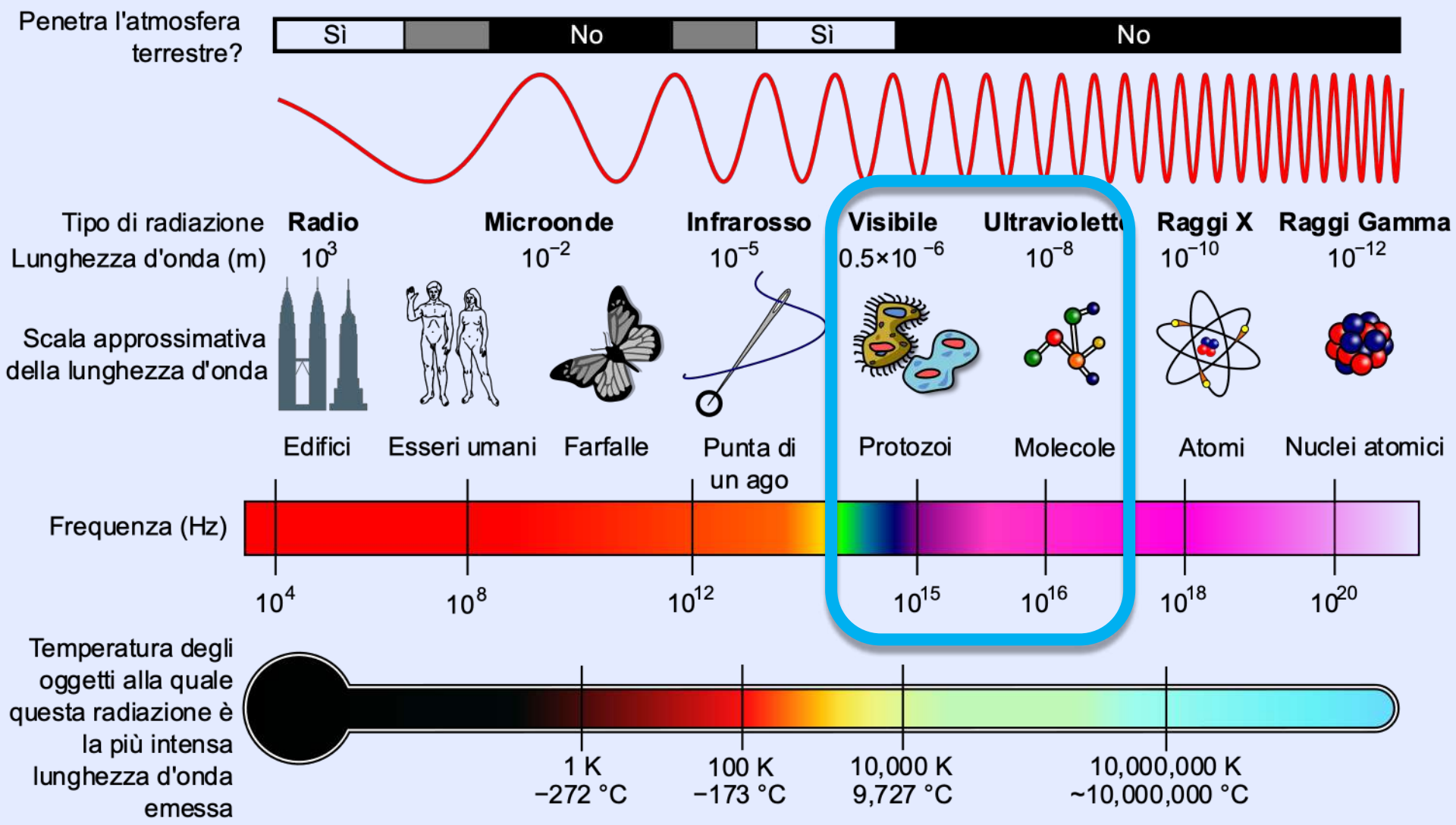


VISTA/Near-Infrared



S.Guisard/Optical







Tuttavia, circa 80 anni fa osservazioni spettroscopiche nel visibile e nel vicino ultravioletto hanno iniziato a suggerire che al contrario ...

NOTES

CONSIDERATIONS REGARDING INTERSTELLAR MOLECULES

ABSTRACT

An attempt has been made to compute the numbers of certain molecules in interstellar space. The results obtained are unfavorable to Saha's identification of one of Merrill's interstellar lines with Na_2 . A search for the bands of CH , OH , NH , CN , and C_2 would appear to be promising.

P. Swings and L. Rosenfeld, *ApJ* 86:483-486 (1937)

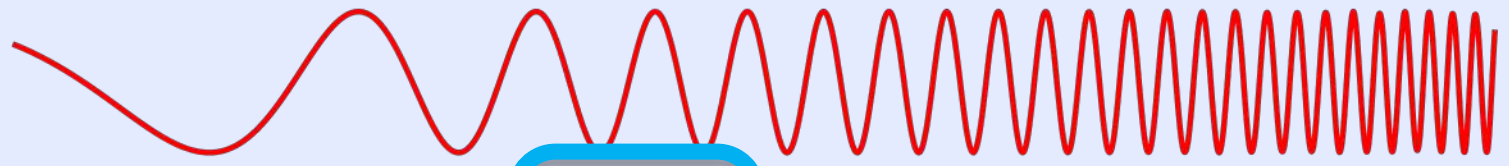
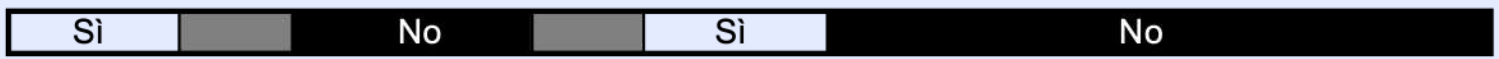
ζ Oph:

VIS lines at 3878.8, 3886.4, 3890.2, & 4300.3 Å

UV lines near 1271, 1368, 1369, 1370, 1549, & 1694 Å



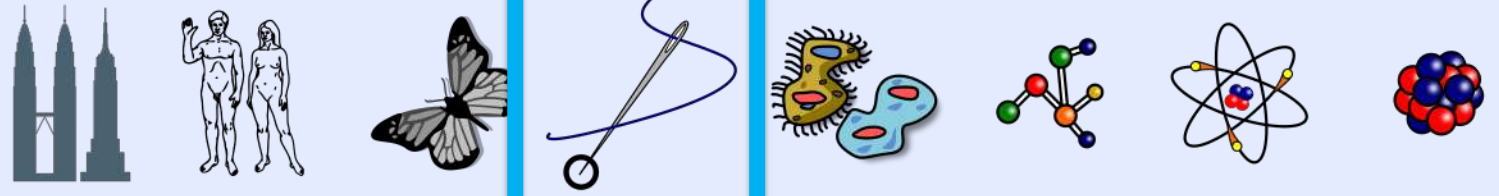
Penetra l'atmosfera terrestre?



Tipo di radiazione
Lunghezza d'onda (m)

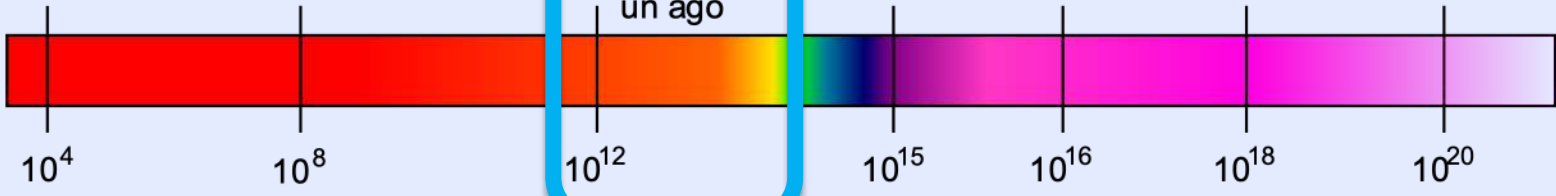
| | | | | | | |
|--------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------------|
| Radio | Microonde | Infrarosso | Visibile | Ultravioletto | Raggi X | Raggi Gamma |
| 10^3 | 10^{-2} | 10^{-5} | 0.5×10^{-6} | 10^{-8} | 10^{-10} | 10^{-12} |

Scala approssimativa della lunghezza d'onda

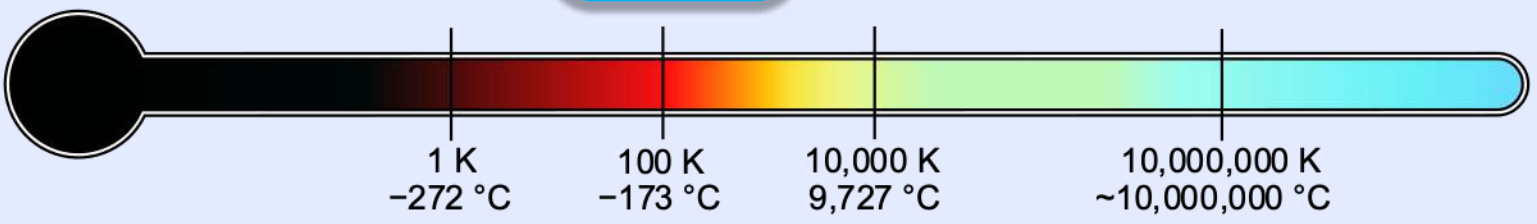


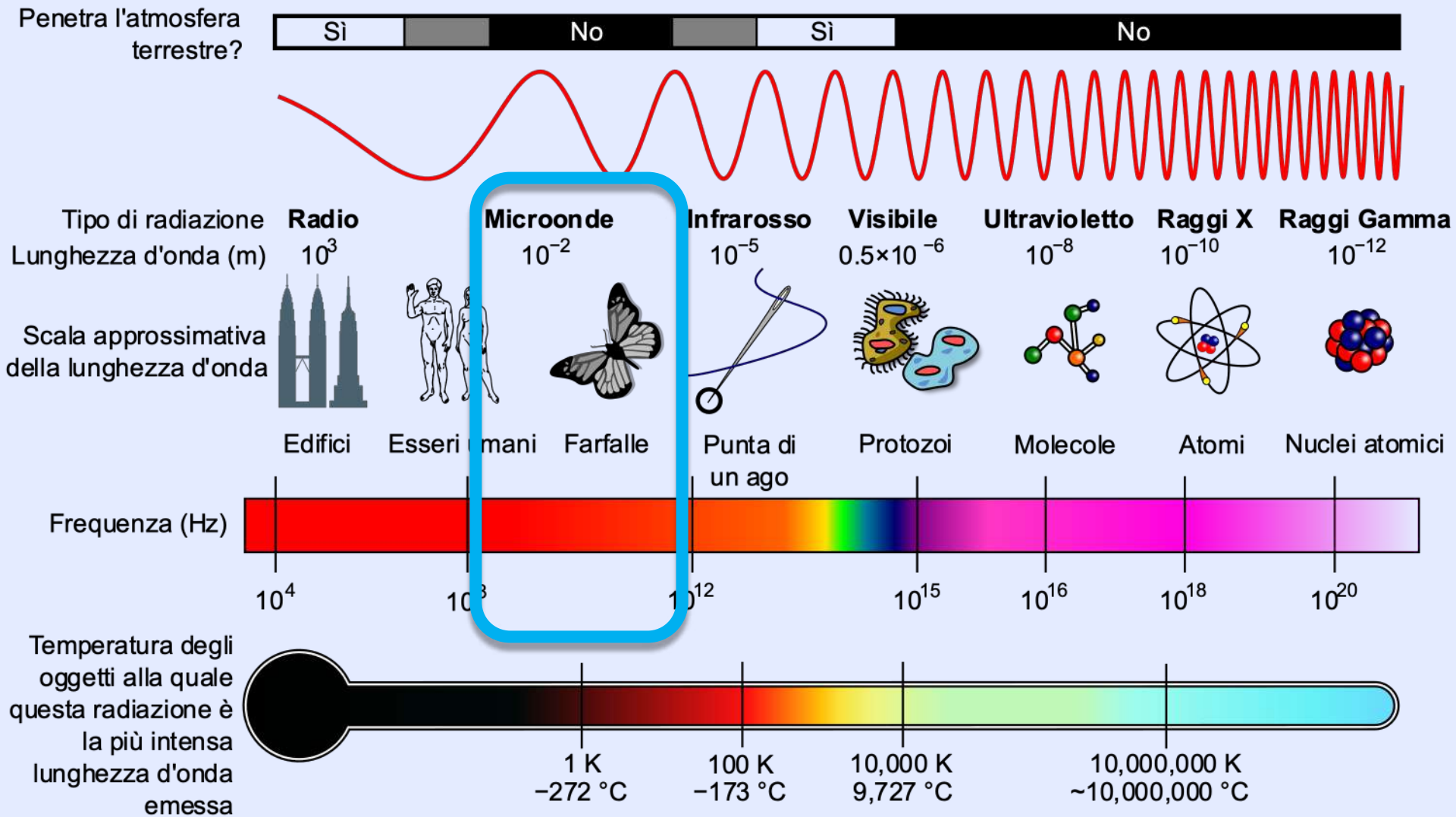
Edifici Esseri umani Farfalle Punta di un ago Protozoi Molecole Atomi Nuclei atomici

Frequenza (Hz)



Temperatura degli oggetti alla quale questa radiazione è la più intensa lunghezza d'onda emessa





Perché proprio nelle microonde?

MICROWAVE AND RADIO-FREQUENCY RESONANCE LINES OF INTEREST TO RADIO ASTRONOMY

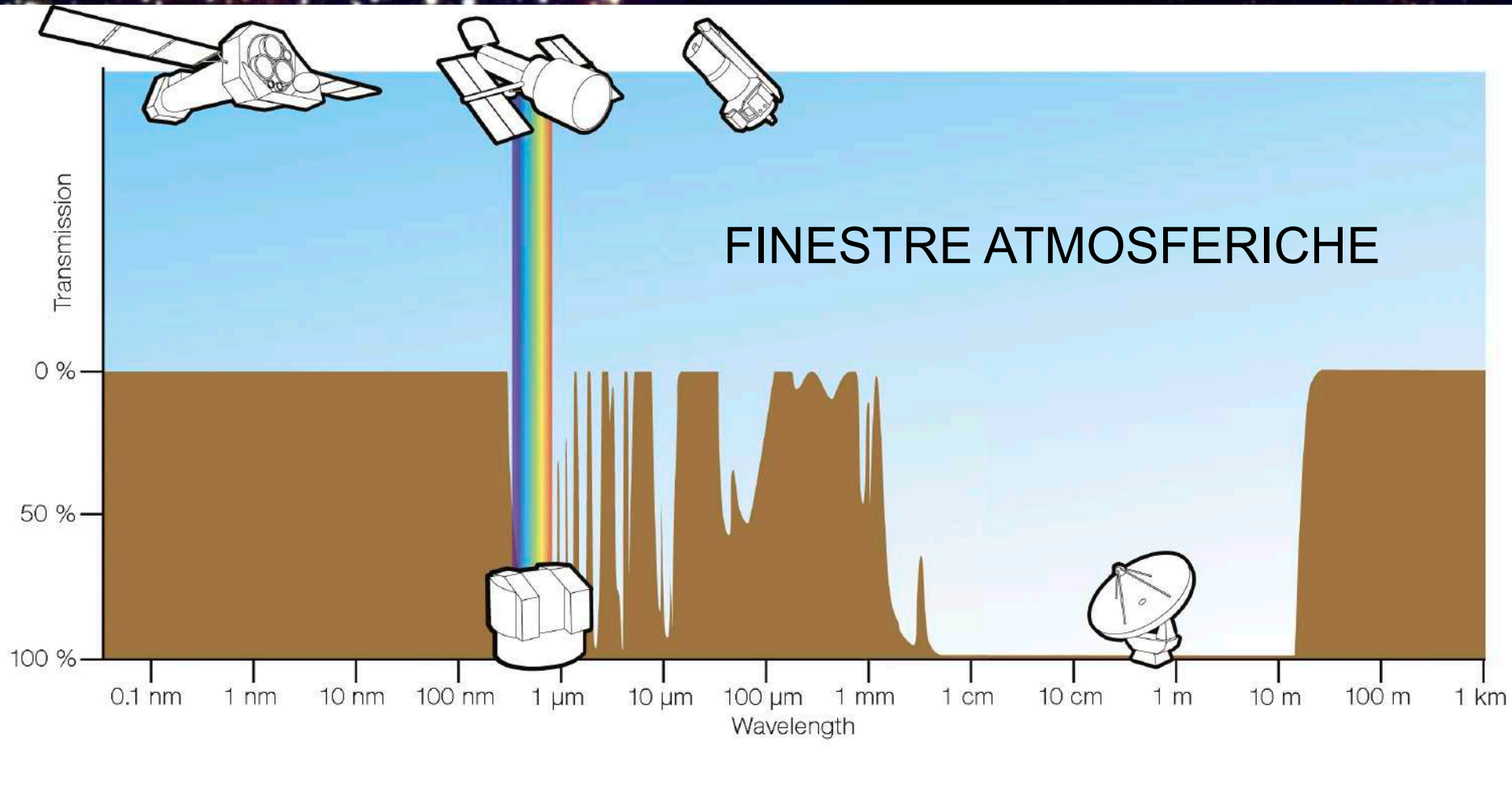
C. H. TOWNES

Physical Laboratory, Ecole Normale Supérieure, Paris

A review of microwave and radio-frequency spectral lines which might possibly be detected by the techniques of radio astronomy is attempted here. Brief discussions of this type have already been given by several authors [1, 2, 3, 4]. However, the present treatment is somewhat more complete than previously published material, and has the advantage of more recent information about certain transition frequencies. It includes a general discussion of types of spectra which might be found, expected intensities, and some characteristics and known frequencies of the lines which may be of interest in radio astronomy.

Transitions which lie in the microwave or radio-frequency region can be expected to come from atomic or molecular hyperfine structure, from atomic or molecular fine structure, and from molecular rotational frequencies. It is of course possible that some odd circumstance or chance

C.H. Townes, in "The Fourth International
Astronomical Union Symposium", Manchester 1955
Cambridge University Press, Cambridge, 1957; paper 16



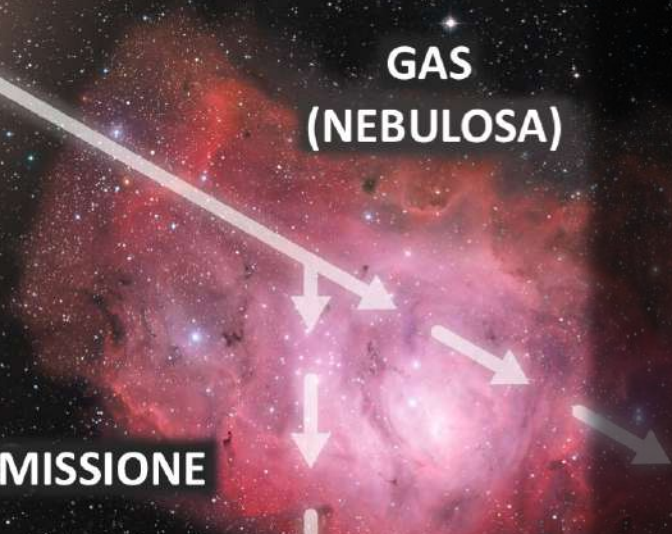
**SORGENTE CALDA
(STELLA)**



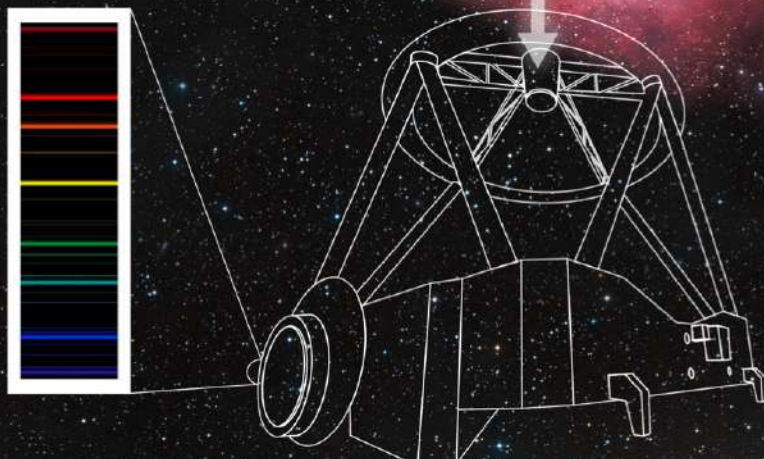
SPETTRO CONTINUO



**GAS
(NEBULOSA)**

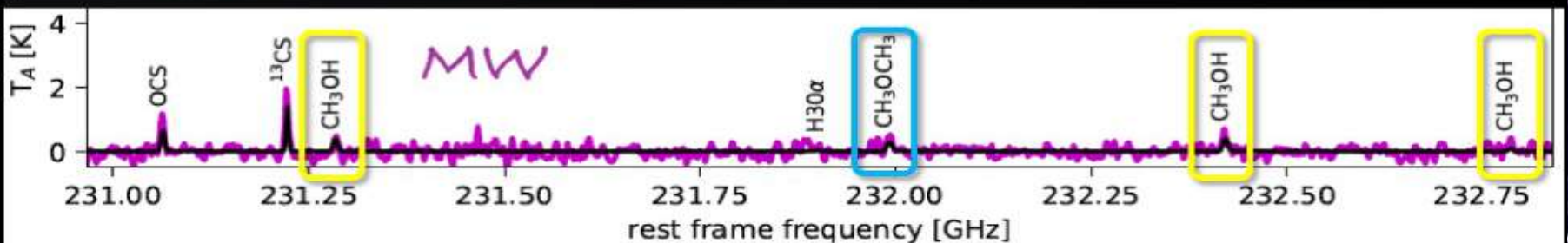
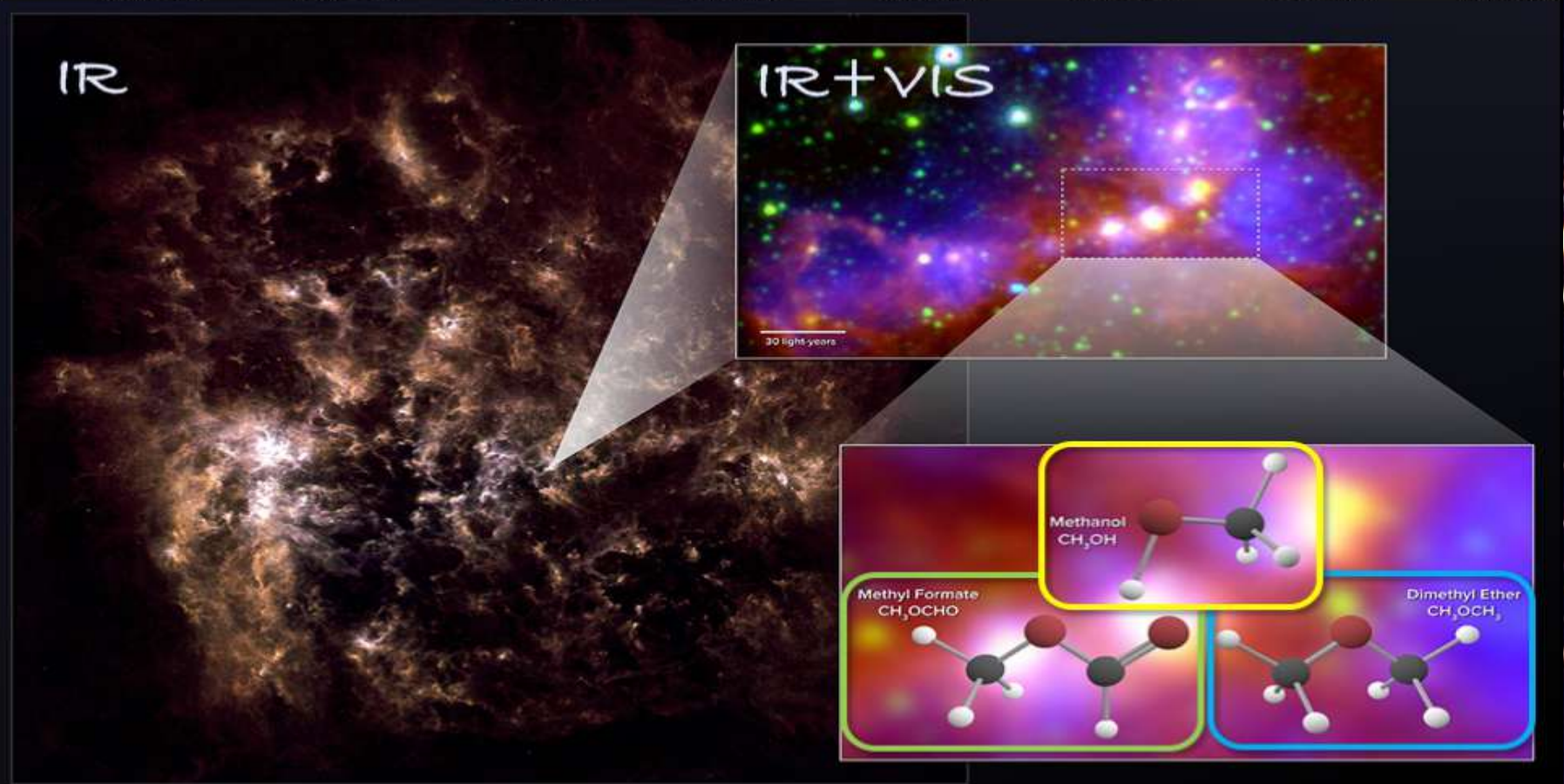
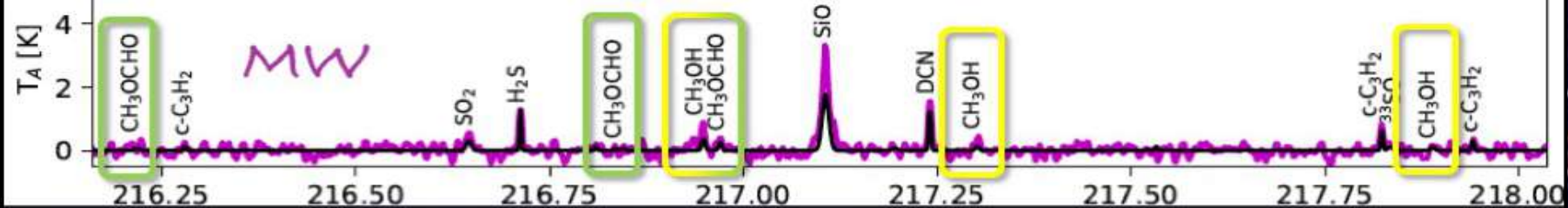


SPETTRO di EMISSIONE



SPETTRO di ASSORBIMENTO





A wide-angle photograph of the ALMA observatory site at sunset. The sky is a vibrant mix of orange, red, and purple, with a large, dark mountain peak in the background. In the foreground, numerous white radio telescope antennas are scattered across the flat, arid landscape.

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array):
66 antennas - range: 84-950 GHz



UNPUBLISHED PRELIMINARY DATA

(Submitted for publication in NATURE.)

Mass. Inst. of Tech.

N.S. 5-419

Radio Observations of OH in the Interstellar Medium

N64 11379 *

CODE-1

NASA CR 52852

H.P.

In this note we wish to report the detection of 18-cm absorption lines of the hydroxyl (OH) radical in the radio absorption spectrum of Cassiopeia A, thereby providing positive evidence for the existence of OH in the interstellar medium. The microwave transitions of OH in the ground state, $^2\Pi_{3/2}$, $J = 3/2$, arise from two Λ -type doublet levels, each of which is split by hyperfine interactions with the hydrogen nucleus, so that four transitions result. The two strongest lines have been previously measured in the laboratory at 1667.34 ± 0.03 Mc/sec ($F = 2 \rightarrow 2$) and 1665.46 ± 0.10 Mc/sec ($F = 1 \rightarrow 1$) with relative intensities of 9 and 5, respectively;¹ these results are in agreement with theory. The

S. Weinreb, A. H. Barrett, M. L. Meeks, J. C. Henry
Nature 200:829-831 (1963)

DISCOVERY OF INTERSTELLAR METHYL FORMATE

R. D. BROWN,* J. G. CROFTS,* F. F. GARDNER,†
P. D. GODFREY,* B. J. ROBINSON,† AND J. B. WHITEOAK†

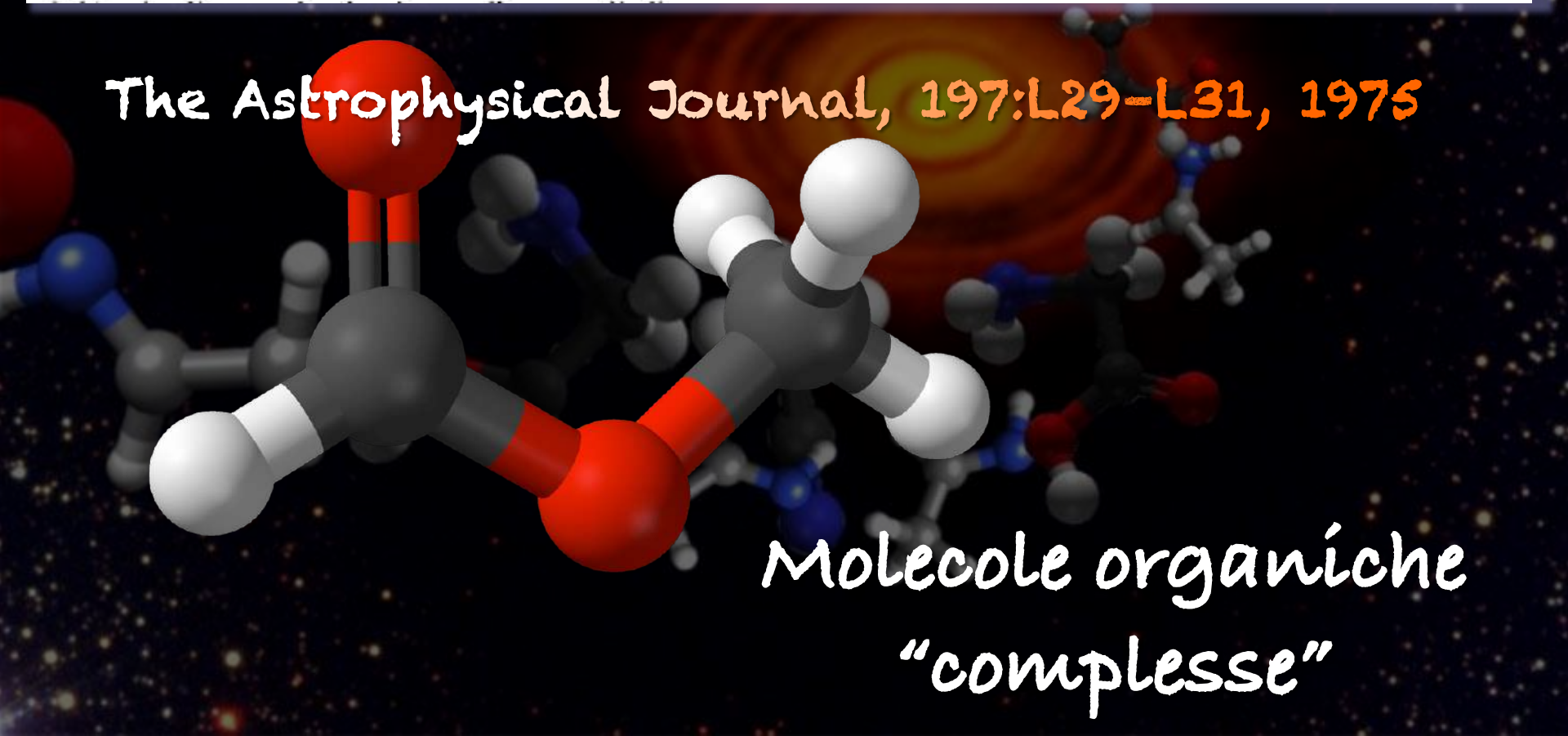
Received 1974 December 31

ABSTRACT

The 1_{10} - 1_{11} *A*-state transition of methyl formate HCOOCH_3 has been detected in emission in the spectrum of Sgr B2. With a laboratory determination of 1610.249 MHz for the rest frequency of the transition, the radial velocity of the observed line is $53 \pm 6 \text{ km s}^{-1}$. The nearby *E*-state transition at 1610.906 MHz may also have been detected. It is probable that the 1_{10} and 1_{11} levels are inverted and that the continuum emission of Sgr B2 is being amplified.

The Astrophysical Journal, 197:L29-L31, 1975

Molecole organiche
"complesse"



INTERSTELLAR GLYCOLALDEHYDE: THE FIRST SUGAR

J. M. HOLLIS

NASA Goddard Space Flight Center, Space and Earth Data Computing Division, Code 930, Greenbelt, MD 20771

F. J. LOVAS

University of Illinois at Champaign-Urbana, Department of Astronomy, 1002 West Green Street, Urbana, IL 61801

AND

P. R. JEWELL

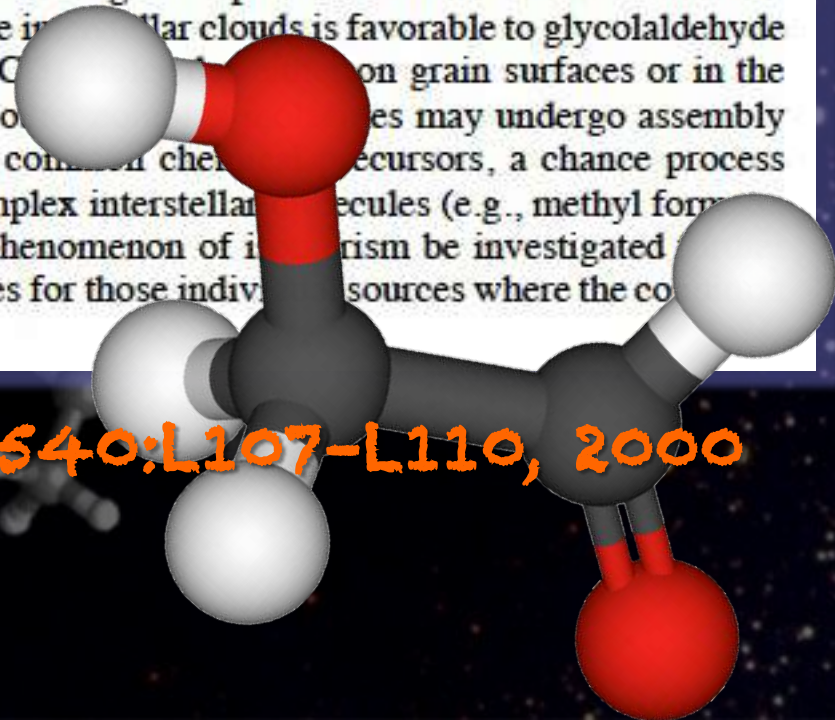
National Radio Astronomy Observatory, P.O. Box 2, Green Bank, WV 24944-0002

Received 2000 June 8; accepted 2000 July 10; published 2000 August 29

ABSTRACT

Interstellar glycolaldehyde (CH_2OHCHO) has been detected in emission toward the Galactic center source Sagittarius B2(N) by means of millimeter-wave rotational transitions. Glycolaldehyde is an important biomarker since it is structurally the simplest member of the monosaccharide sugars that heretofore have gone undetected in interstellar clouds. There is no consensus as to how any such large complex molecules are formed in the interstellar clouds. It may be that the typical environment of dense interstellar clouds is favorable to glycolaldehyde synthesis by means of the polymerization of formaldehyde ($\text{H}_2\text{C=O}$) on grain surfaces or in the gas phase. Alternatively, we speculate that glycolaldehyde and other sugars may undergo assembly from functional molecular groups on grain surfaces. Utilizing common chemical precursors, a chance process could account for the high degree of isomerism observed in complex interstellar molecules (e.g., methyl formate, acetic acid, and glycolaldehyde). This work suggests that the phenomenon of isomerism be investigated as a means of potentially constraining interstellar chemistry routes for those individual sources where the conditions of good source-beam coupling can be achieved.

The Astrophysical Journal, 540:L107-L110, 2000

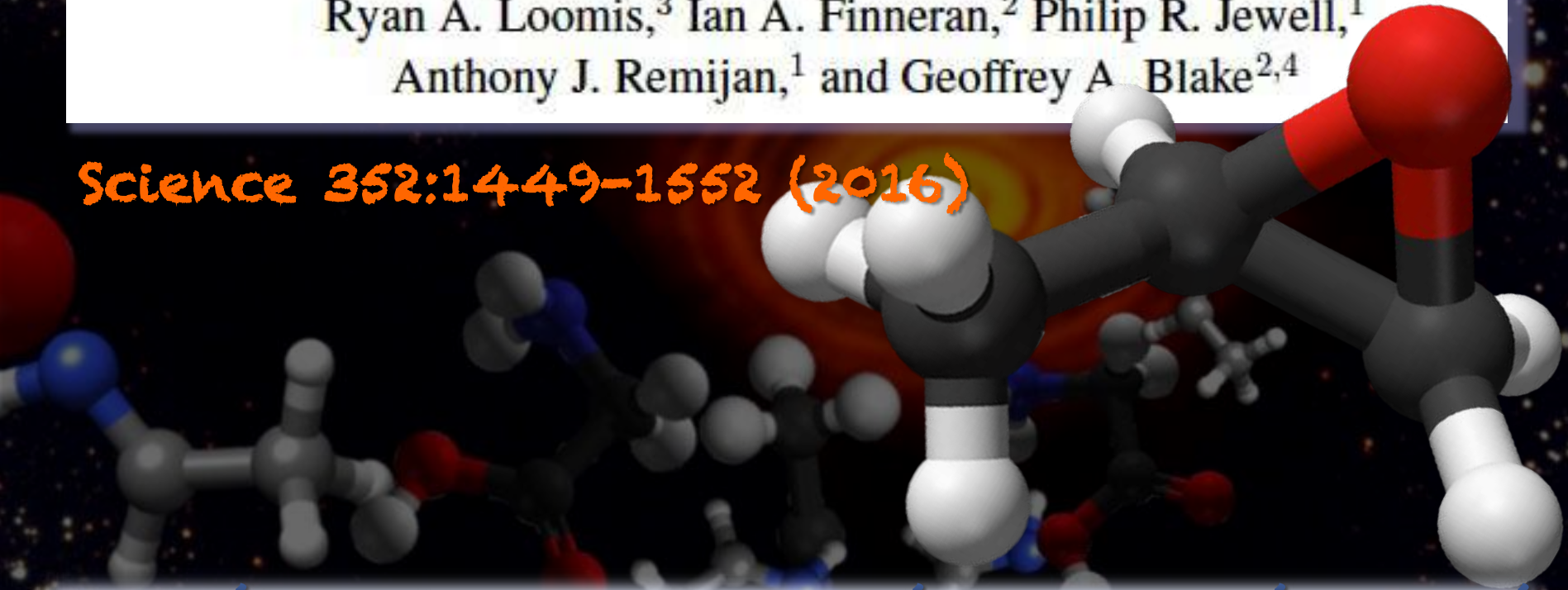


Discovery of the Interstellar Chiral Molecule Propylene Oxide ($\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$)

Brett A. McGuire^{†,1,2,*} & P. Brandon Carroll,^{†,2,*}
Ryan A. Loomis,³ Ian A. Finneran,² Philip R. Jewell,¹
Anthony J. Remijan,¹ and Geoffrey A. Blake^{2,4}

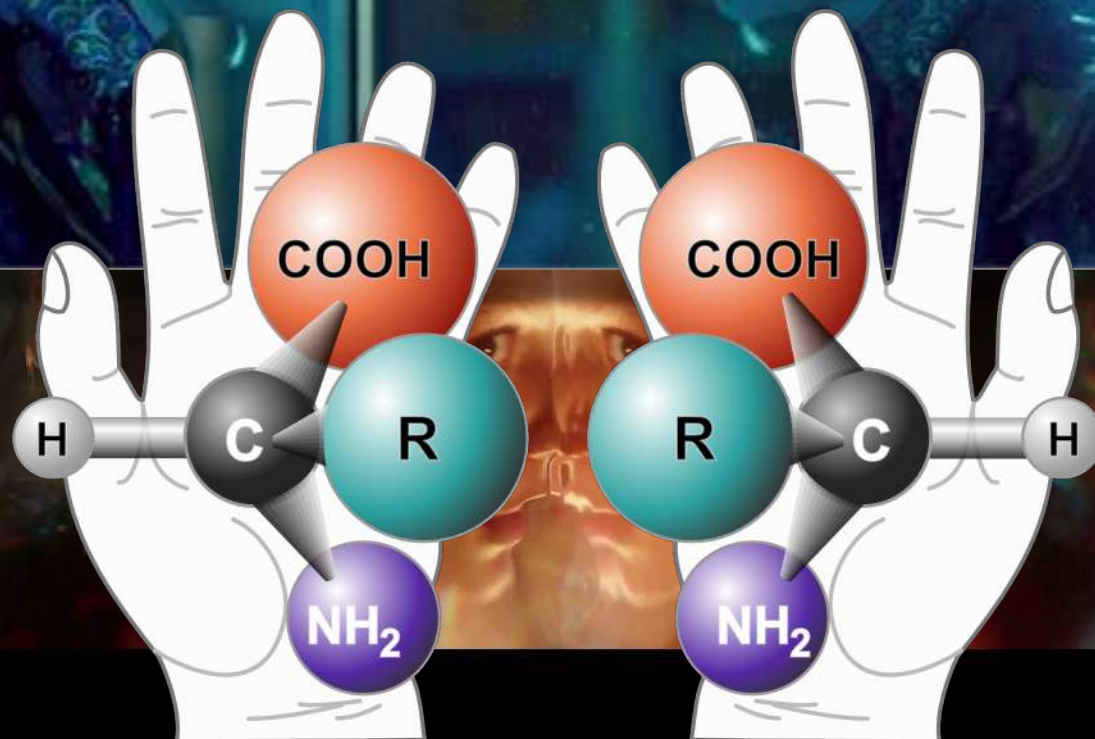
Science 352:1449–1552 (2016)

“La vita, almeno come noi la conosciamo, si basa su molecole chirali, cioè non sovrapponibili alle loro immagini speculari ...”



CHIRALITÀ

VITA = OMOCHIRALITÀ

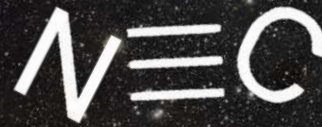
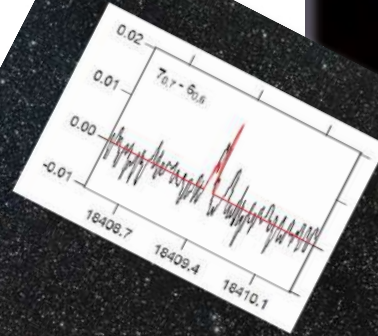


Detection of the aromatic molecule benzonitrile ($c\text{-C}_6\text{H}_5\text{CN}$) in the interstellar medium

Brett A. McGuire,^{1,2*} Andrew M. Burkhardt,³ Sergei Kalenskii,⁴
Christopher N. Shingledecker,⁵ Anthony J. Remijan,¹
Eric Herbst,^{3,5} Michael C. McCarthy^{2,6}

Science 359:202-205 (2018)

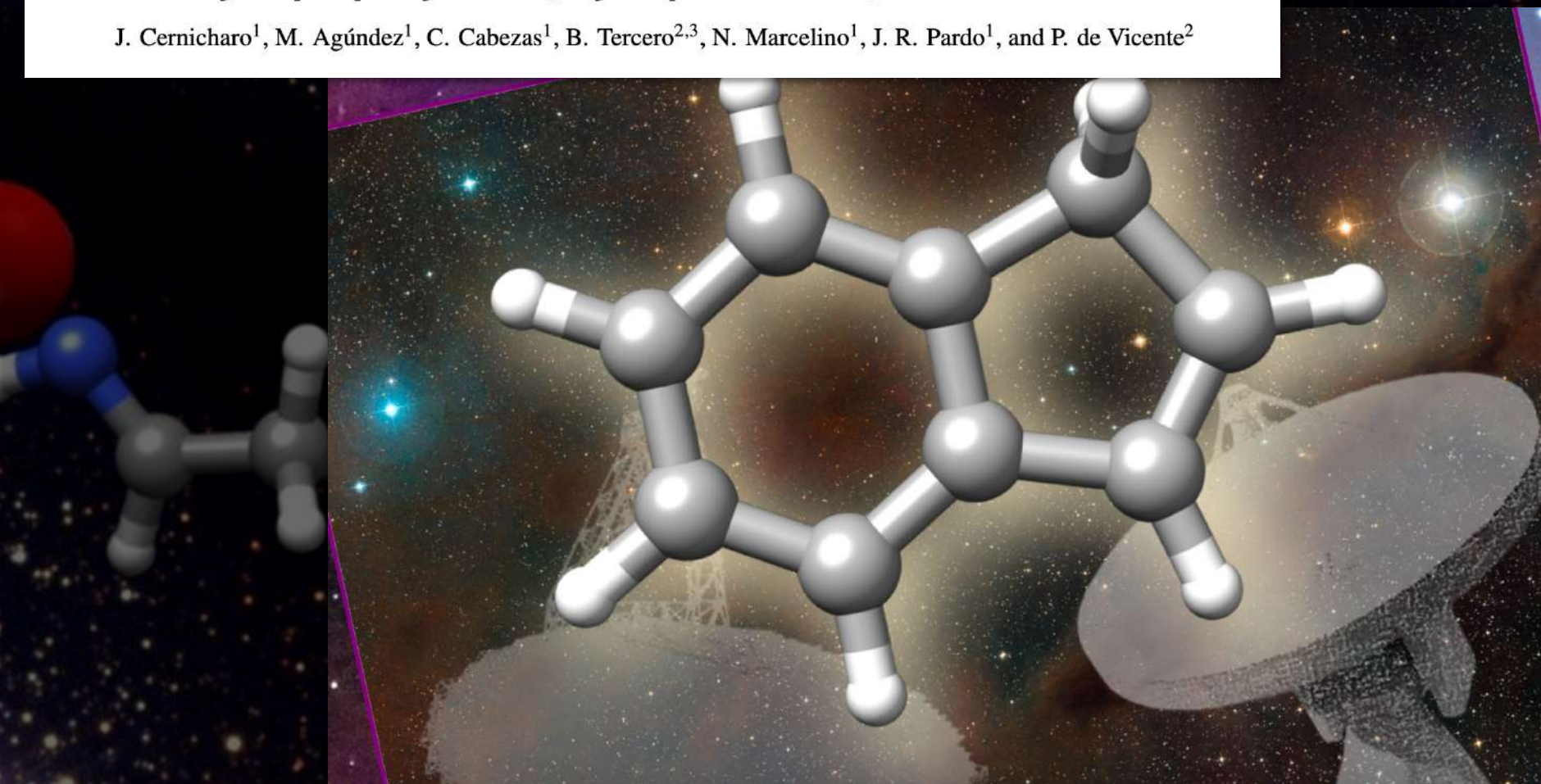
"Polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic nitrogen heterocycles are thought to be widespread throughout the universe..."



LETTER TO THE EDITOR

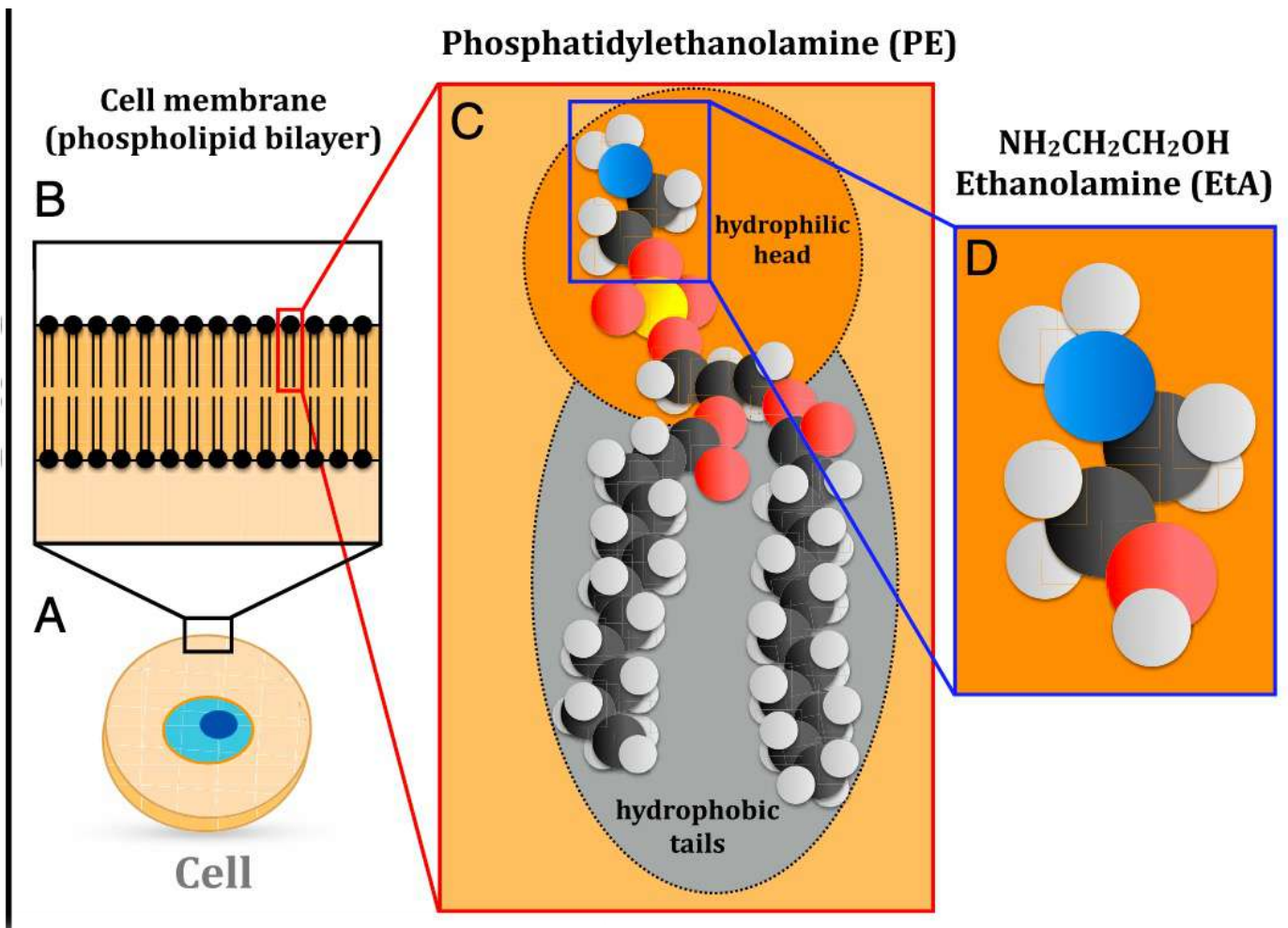
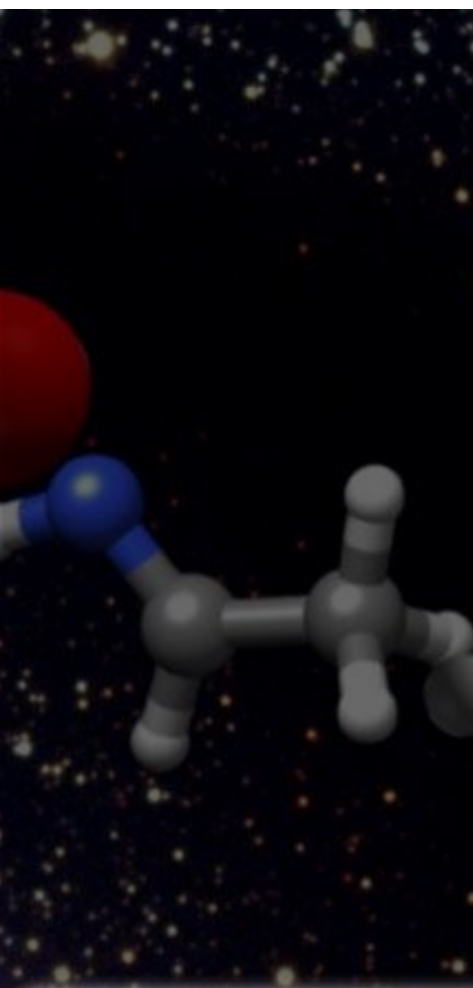
Pure hydrocarbon cycles in TMC-1: Discovery of ethynyl cyclopropenylidene, cyclopentadiene, and indene[★]

J. Cernicharo¹, M. Agúndez¹, C. Cabezas¹, B. Tercero^{2,3}, N. Marcelino¹, J. R. Pardo¹, and P. de Vicente²



Discovery in space of ethanolamine, the simplest phospholipid head group

Víctor M. Rivilla^{a,b,1}, Izaskun Jiménez-Serra^a, Jesús Martín-Pintado^a, Carlos Briones^a, Lucas F. Rodríguez-Almeida^a, Fernando Rico-Villas^a, Belén Tercero^c, Shaoshan Zeng^d, Laura Colzi^{a,b}, Pablo de Vicente^c, Sergio Martín^{e,f}, and Miguel A. Requena-Torres^{g,h}



PNAS 118, e2101314118 (2021)

Banca dati di 'Cologne' : ~250 molecole identificate



Molecules in the Interstellar Medium or Circumstellar Shells (as of 09/2021)

| 2 atoms | 3 atoms | 4 atoms | 5 atoms | 6 atoms | 7 atoms | 8 atoms | 9 atoms | 10 atoms | 11 atoms | 12 atoms | >12 atoms |
|-------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|---|
| H ₂ | C ₃ * | c-C ₃ H | C ₅ * | C ₅ H | C ₆ H | CH ₃ C ₃ N | CH ₃ C ₄ H | CH ₃ C ₅ N | HC ₉ N | c-C ₆ H ₆ * | C ₆₀ * |
| AlF | C ₂ H | I-C ₃ H | C ₄ H | I-H ₂ C ₄ | CH ₂ CHCN | HC(O)OCH ₃ | CH ₃ CH ₂ CN | (CH ₃) ₂ CO | CH ₃ C ₆ H | n-C ₃ H ₇ CN | C ₇₀ * |
| AlCl | C ₂ O | C ₃ N | C ₄ Si | C ₂ H ₄ * | CH ₃ C ₂ H | CH ₃ COOH | (CH ₃) ₂ O | (CH ₂ OH) ₂ | C ₂ H ₅ OCHO | i-C ₃ H ₇ CN | C ₆₀ ** |
| C ₂ ** | C ₂ S | C ₃ O | I-C ₃ H ₂ | CH ₃ CN | HC ₅ N | C ₇ H | CH ₃ CH ₂ OH | CH ₃ CH ₂ CHO | CH ₃ OC(O)CH ₃ | C ₂ H ₅ OCH ₃ | c-C ₆ H ₅ CN |
| CH | CH ₂ | C ₃ S | c-C ₃ H ₂ | CH ₃ NC | CH ₃ CHO | C ₆ H ₂ | HC ₇ N | CH ₃ CHCH ₂ O | CH ₃ C(O)CH ₂ OH (2020) | 1-c-C ₅ H ₅ CN (2021) | HC ₁₁ N |
| CH ⁺ | HCN | C ₂ H ₂ * | H ₂ CCN | CH ₃ OH | CH ₃ NH ₂ | CH ₂ OHCHO | C ₈ H | CH ₃ OCH ₂ OH | c-C ₅ H ₆ (2021) | 2-c-C ₅ H ₅ CN (2021) | 1-C ₁₀ H ₇ CN (2021) |
| CN | HCO | NH ₃ | CH ₄ * | CH ₃ SH | c-C ₂ H ₄ O | I-HC ₆ H* | CH ₃ C(O)NH ₂ | c-C ₆ H ₄ (2021) | HOCH ₂ CH ₂ NH ₂ (2021) | | 2-C ₁₀ H ₇ CN (2021) |
| CO | HCO ⁺ | HCCN | HC ₃ N | HC ₃ NH ⁺ | H ₂ CCHOH | CH ₂ CHCHO | C ₈ H ⁻ | H ₂ CCCHC ₃ N (2021) | | | c-C ₉ H ₈ (2021) |
| CO ⁺ | HCS ⁺ | HCNH ⁺ | HCCNC | HCCCHO | C ₆ H ⁺ | CH ₂ CCHCN | C ₃ H ₆ | | | | |
| CP | HOC ⁺ | HNCO | HCOOH | NH ₂ CHO | CH ₃ NCO | H ₂ NCH ₂ CN | CH ₃ CH ₂ SH | | | | |

Le molecole sono e sono state identificate grazie alle loro "impronte digitali" spettroscopiche

Con l'osservazione che le molecole pervadono lo spazio interstellare è nato il desiderio di comprenderne l'origine...

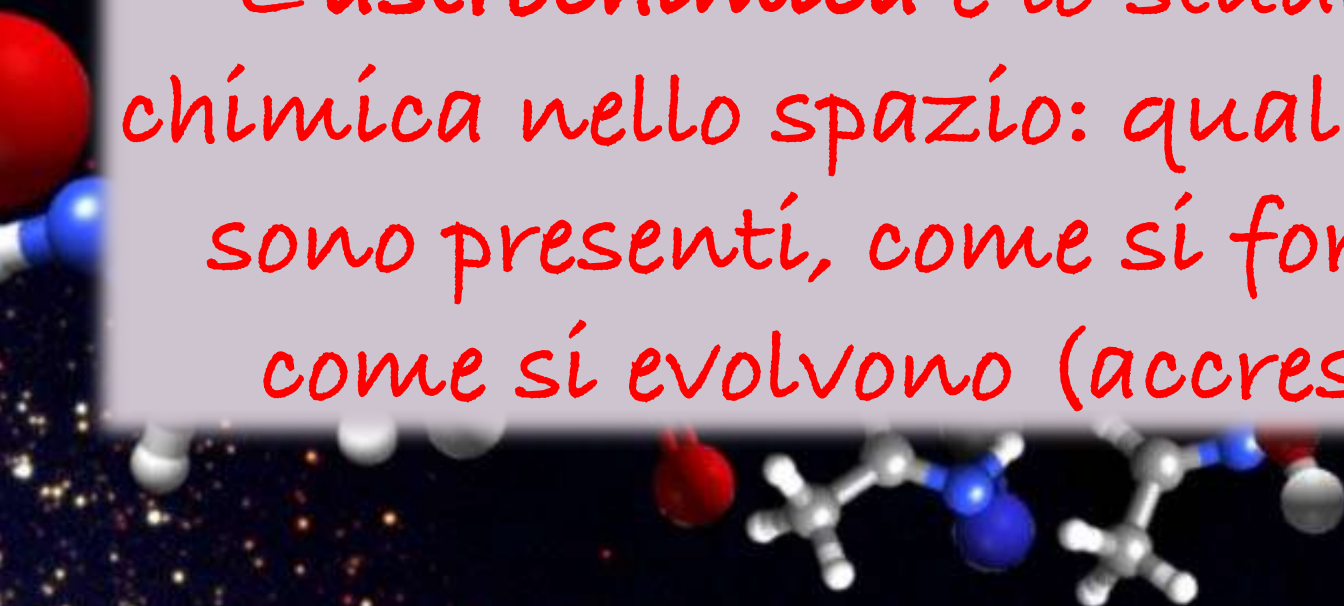
Dunque, **come si sono formate queste molecole?**

La scienza dell'ASTROCHIMICA è nata dal tentativo di rispondere a questa domanda...

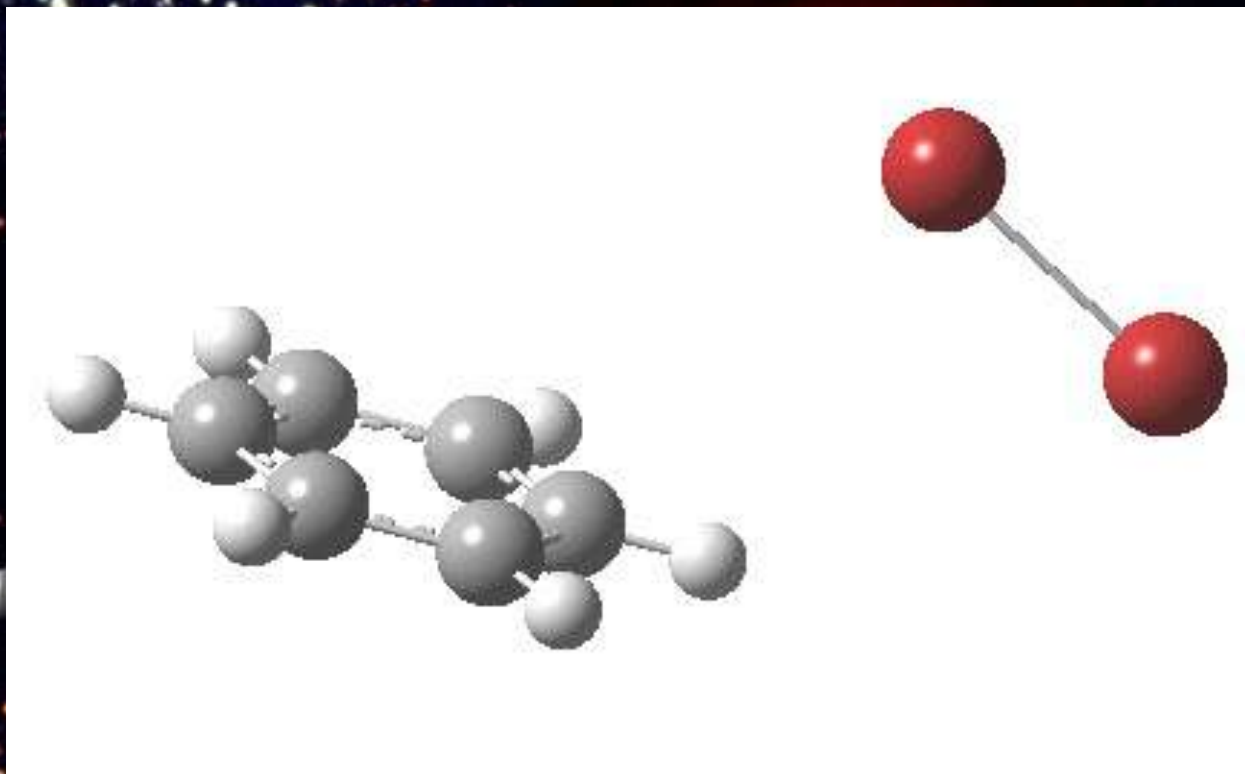
Che cos'è l'ASTROCHIMICA?

"Fusione" tra astronomia e chimica.

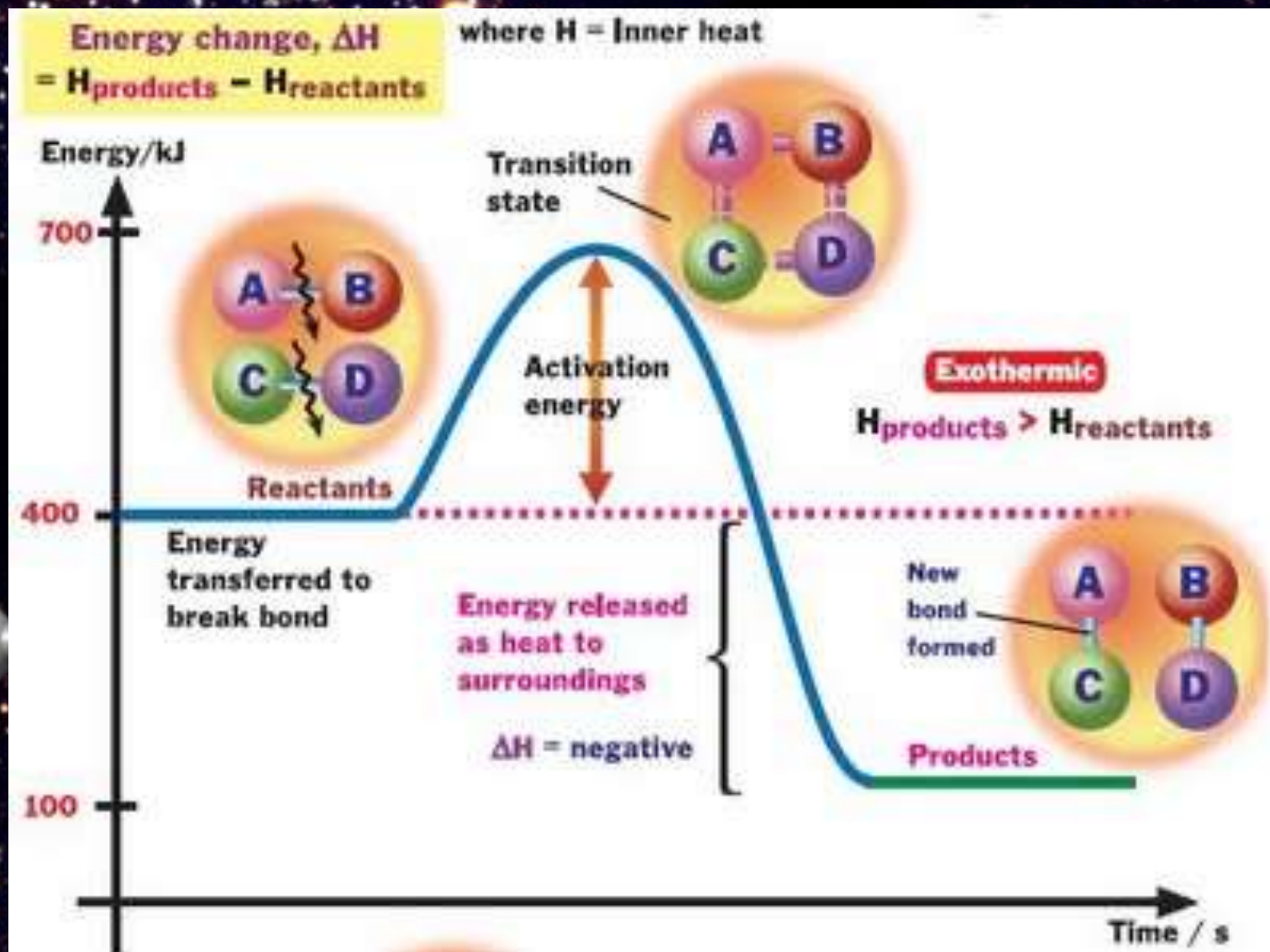
L'astrochimica è lo studio della chimica nello spazio: quali molecole sono presenti, come si formano e come si evolvono (accrescono).



Che cos'è una reazione chimica?

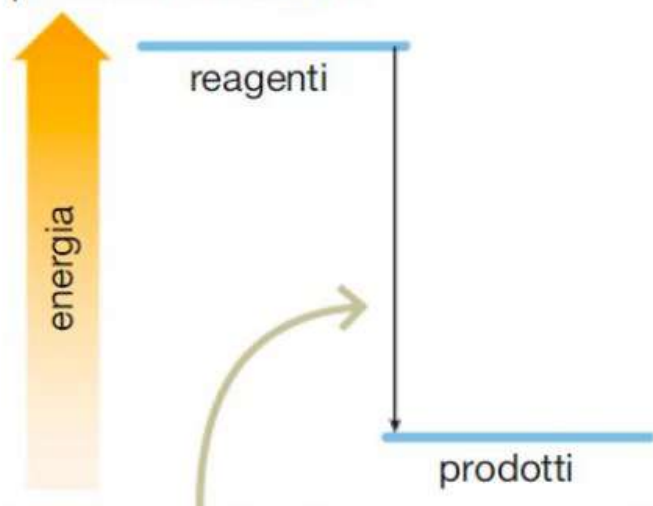


Teoria dello stato di transizione



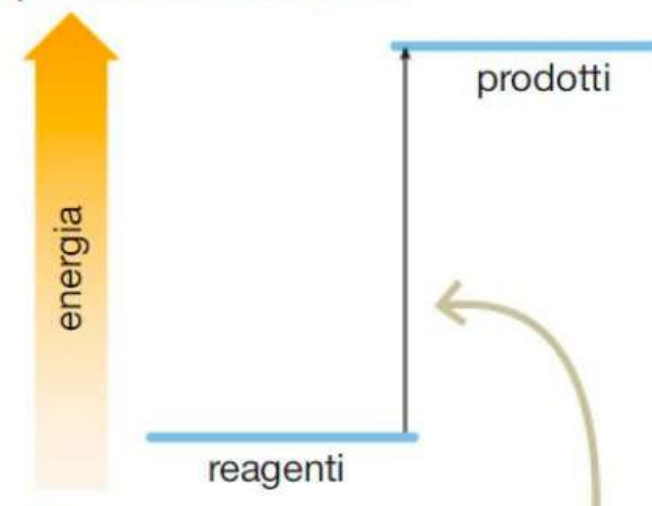
Reazioni esotermiche - Reazioni endotermiche

processo esotermico



$H_{\text{prodotti}} - H_{\text{reagenti}} = \Delta H < 0$
variazione di entalpia negativa
(cede calore).

processo endotermico



$H_{\text{prodotti}} - H_{\text{reagenti}} = \Delta H > 0$
variazione di entalpia positiva
(assorbe calore).

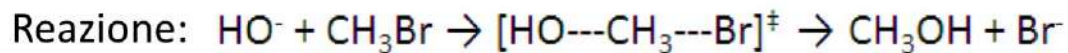
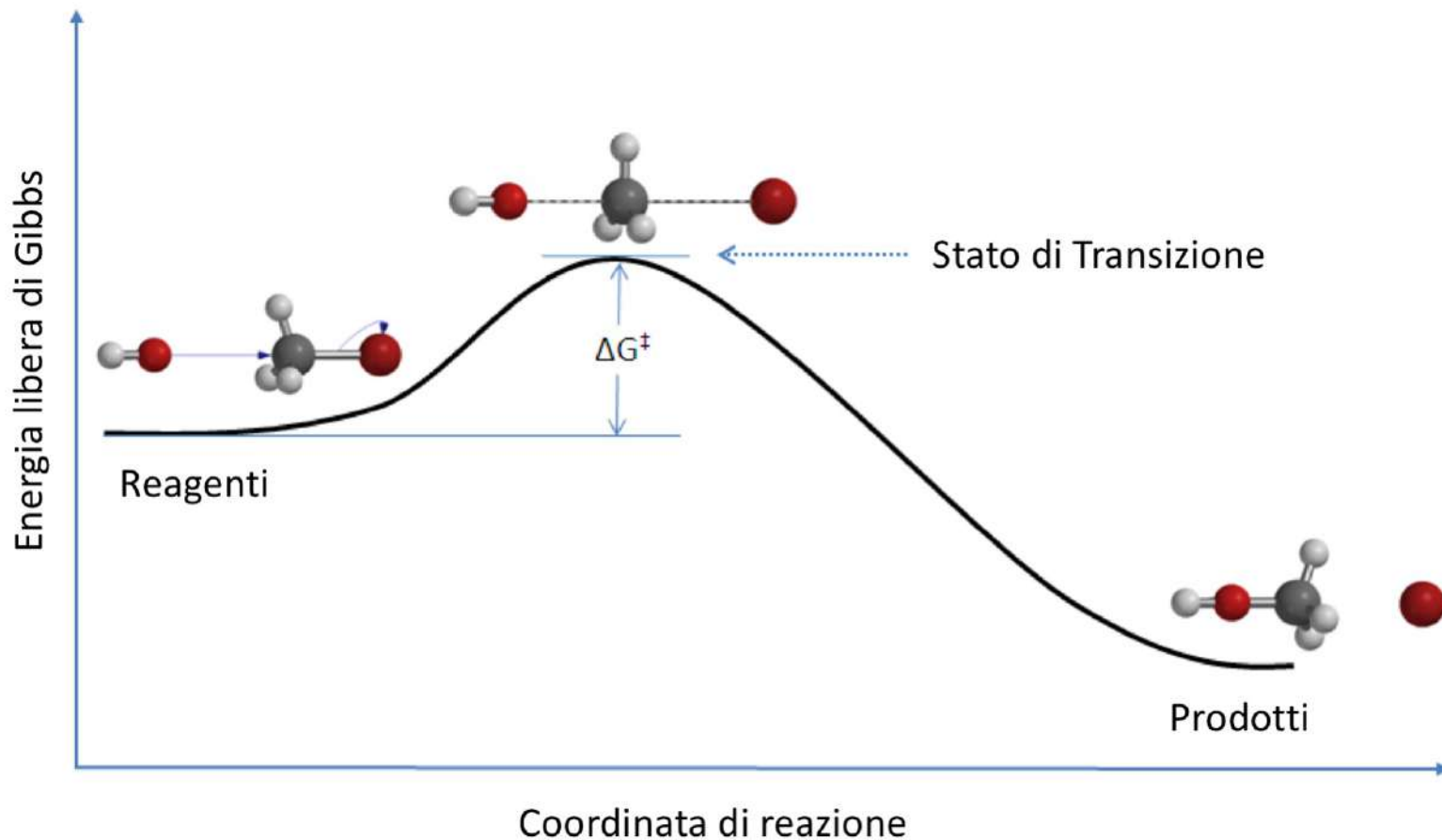
Come avviene la chimica
nel mezzo interstellare?

>> In fase GASSOSA

>> Sul GRANO di polvere



Come avviene la chimica nel mezzo interstellare?



Le condizioni del mezzo interstellare

Temperatura: 10K - 200 K

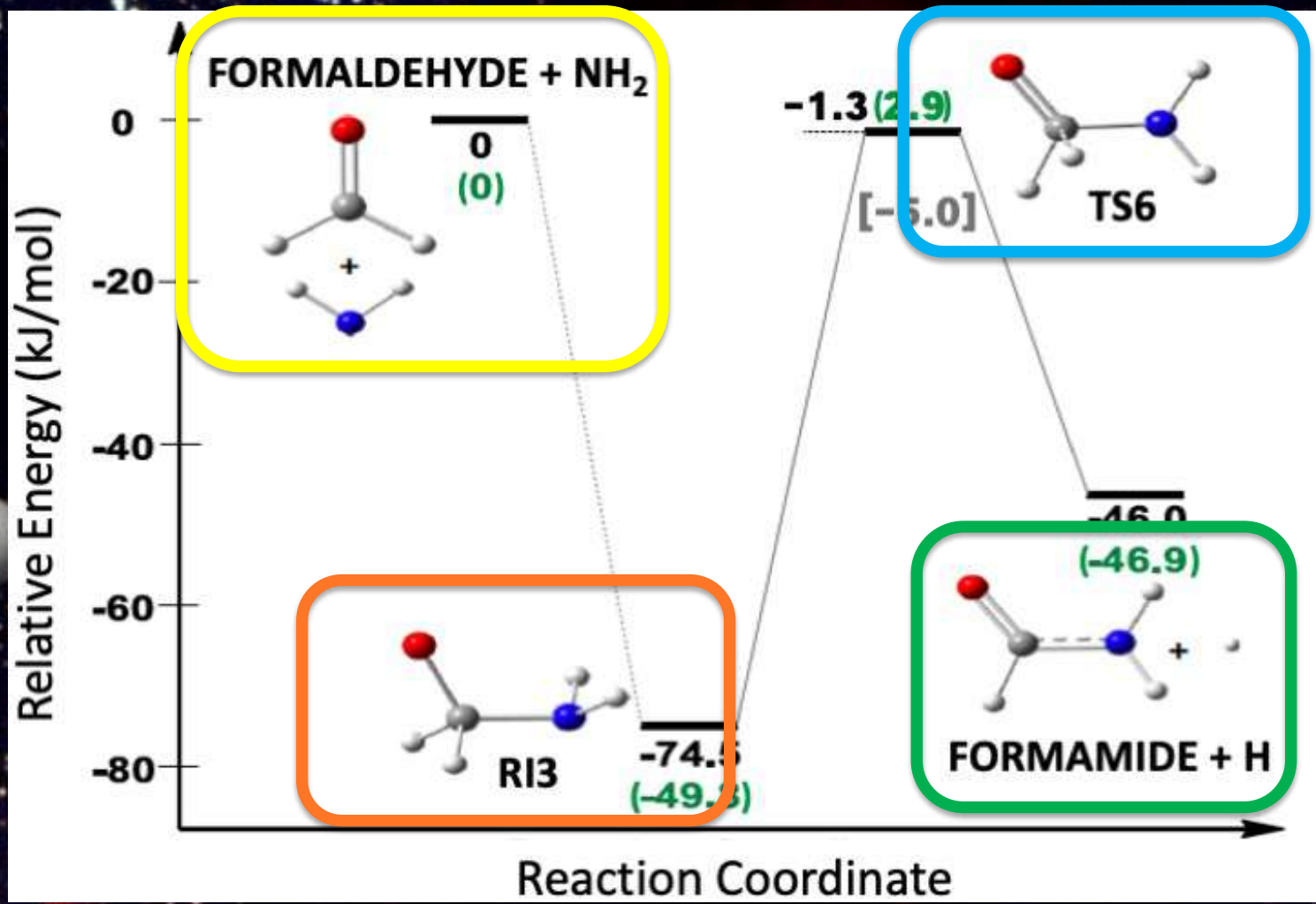
Densità: $1 - 10^8$ particelle/cm³

Bassa P: pochissime collisioni
al massimo 1 urto

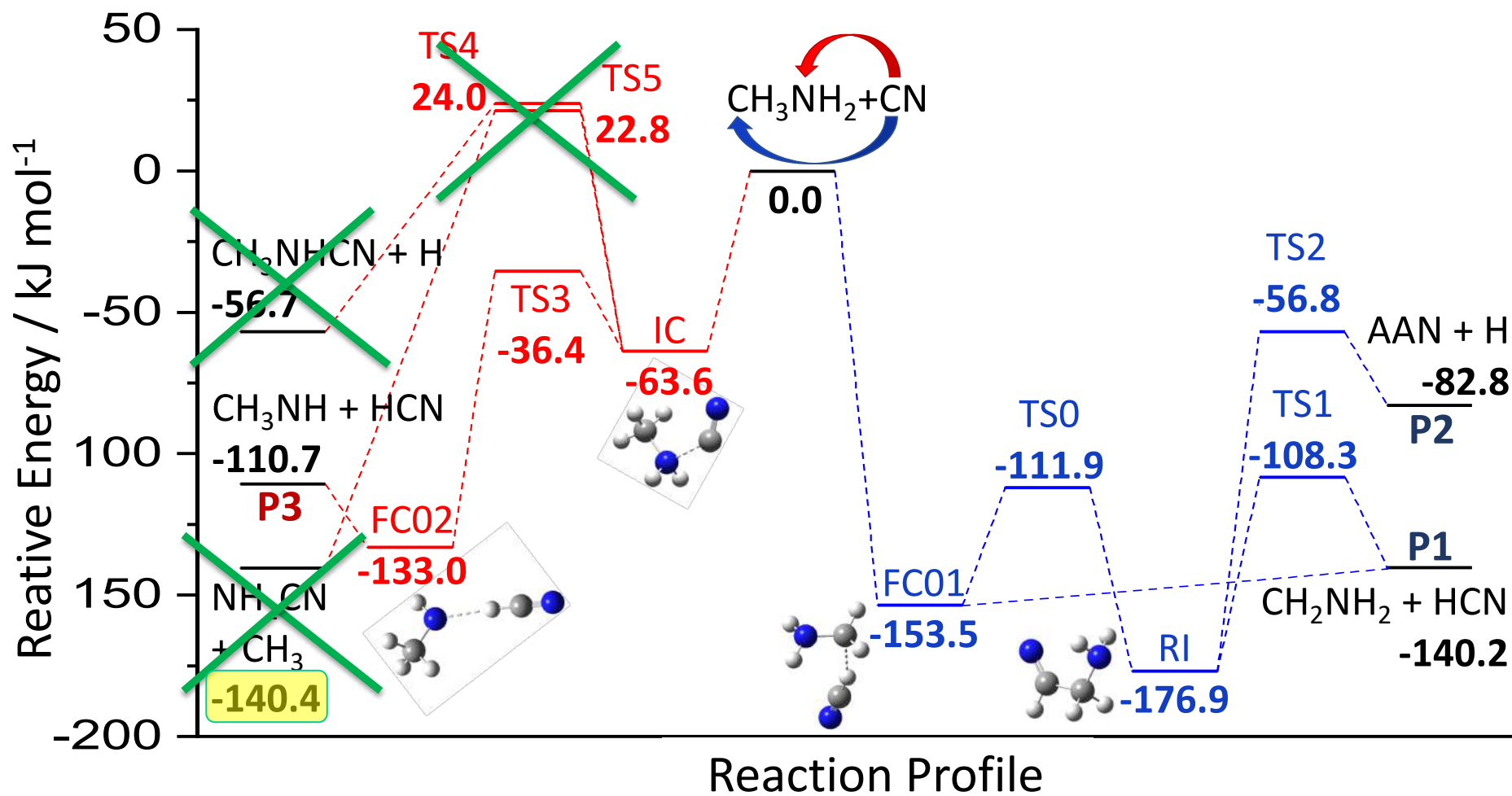
Bassa T: Reazioni Esotermiche
Nessuna barriera

densità di 10^4 part/cm³ = pressione di 3.8×10^{-10} Pa ($\sim 3.8 \times 10^{-15}$ atm)

Ma avvengono le reazioni in fase gas nel mezzo interstellare?



Esempio: reazione tra metilammina e il radicale CN



Le condizioni del mezzo interstellare

Temperatura: 10K - 200 K

Densità: $1 - 10^8$ particelle/cm³

Uno dei reagenti deve essere
MOLTO reattivo!

Bassa P: pochissime collisioni

Bassa T: Reazioni Esotermiche
Nessuna barriera

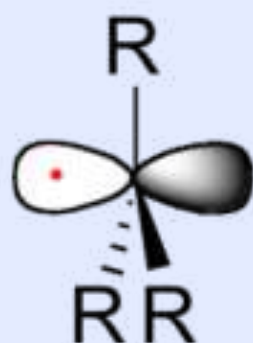
densità di 10^4 part/cm³ = pressione di 3.8×10^{-10} Pa ($\sim 3.8 \times 10^{-15}$ atm)

SPECIE REATTIVE:

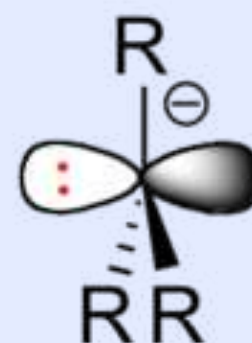
cariche o/e con elettroni spaiati



carbocation

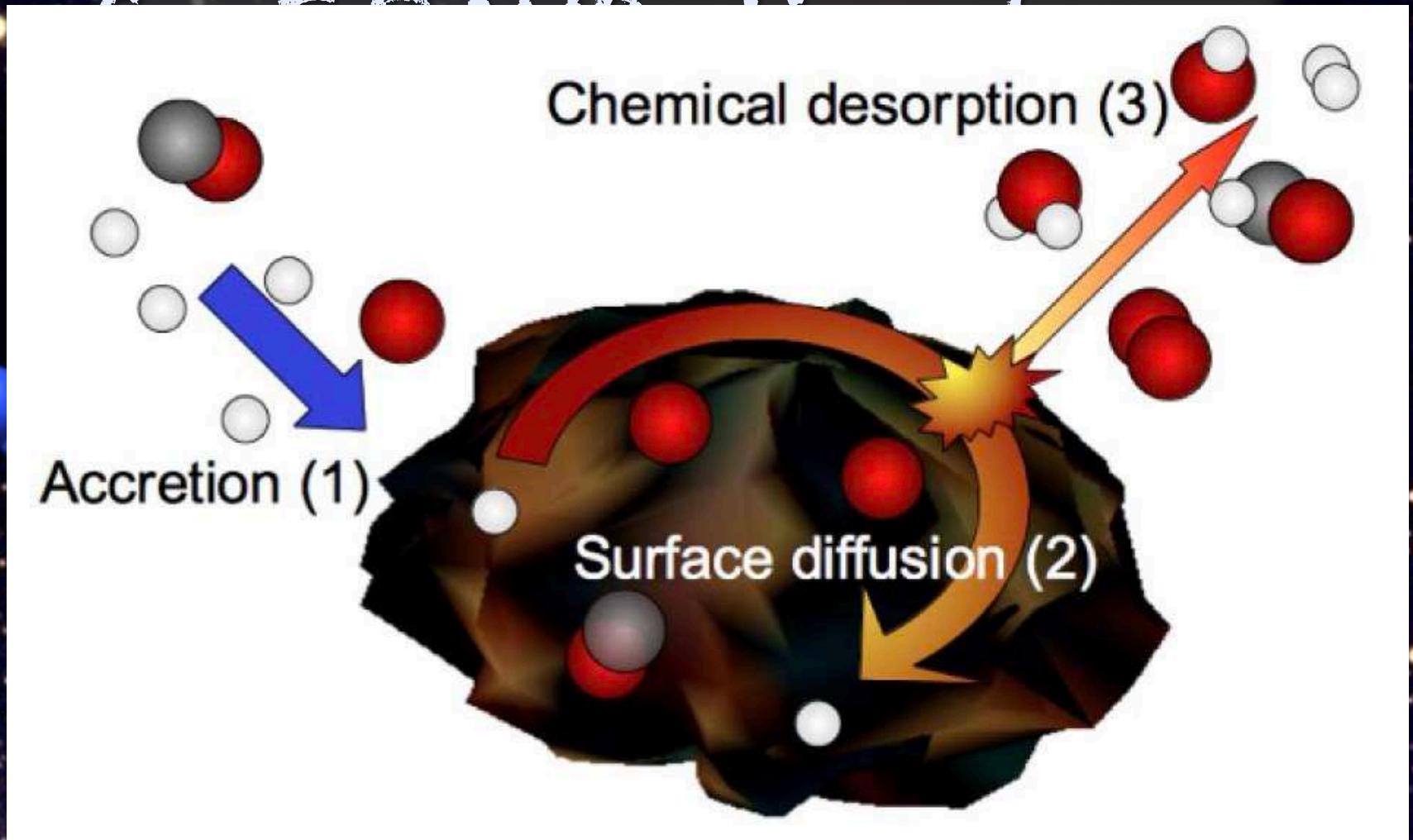


carbon radical
(neutral)

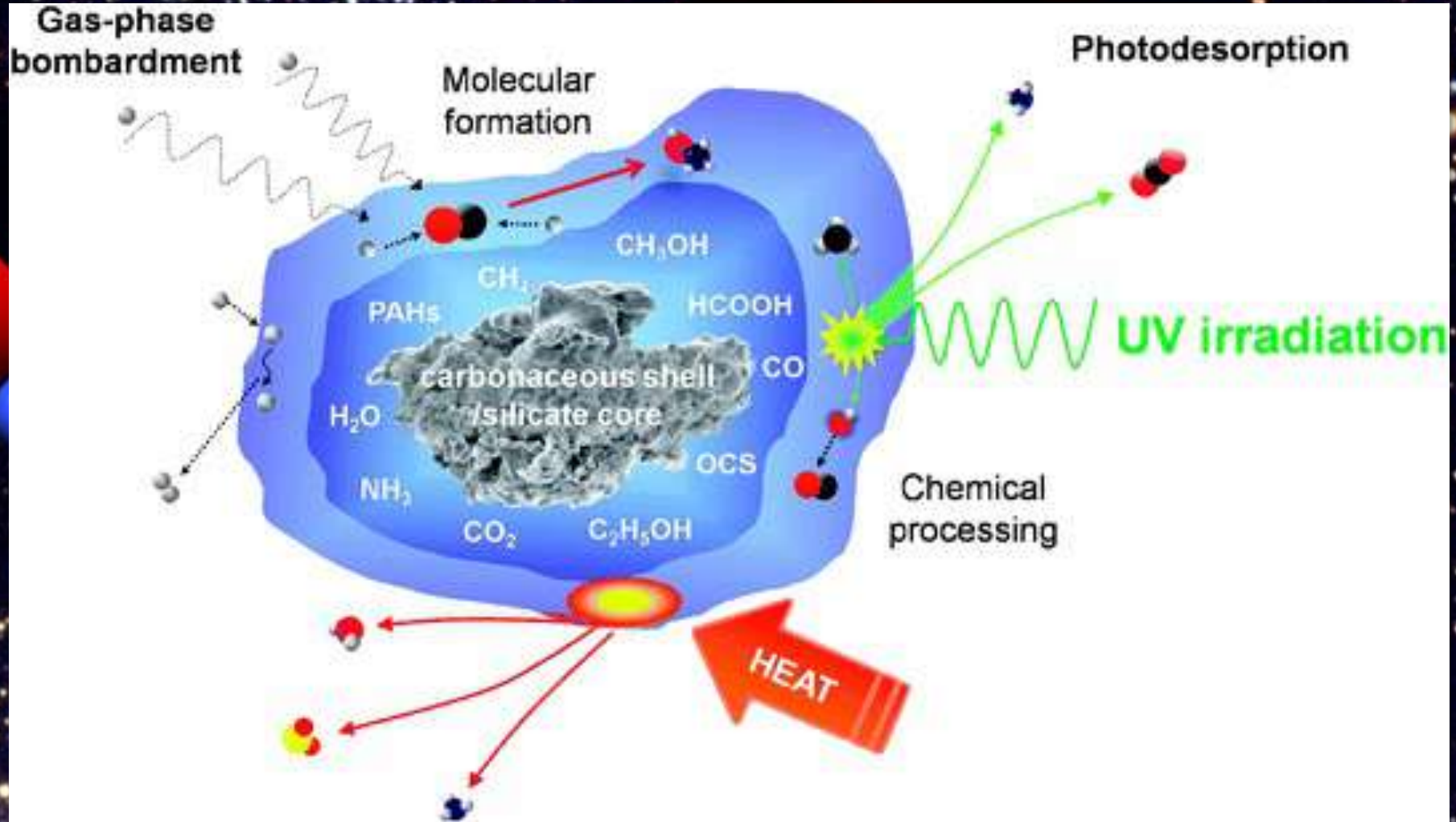


carbanion

Come avviene la chimica nel mezzo interstellare?



Come avviene la chimica nel mezzo interstellare?



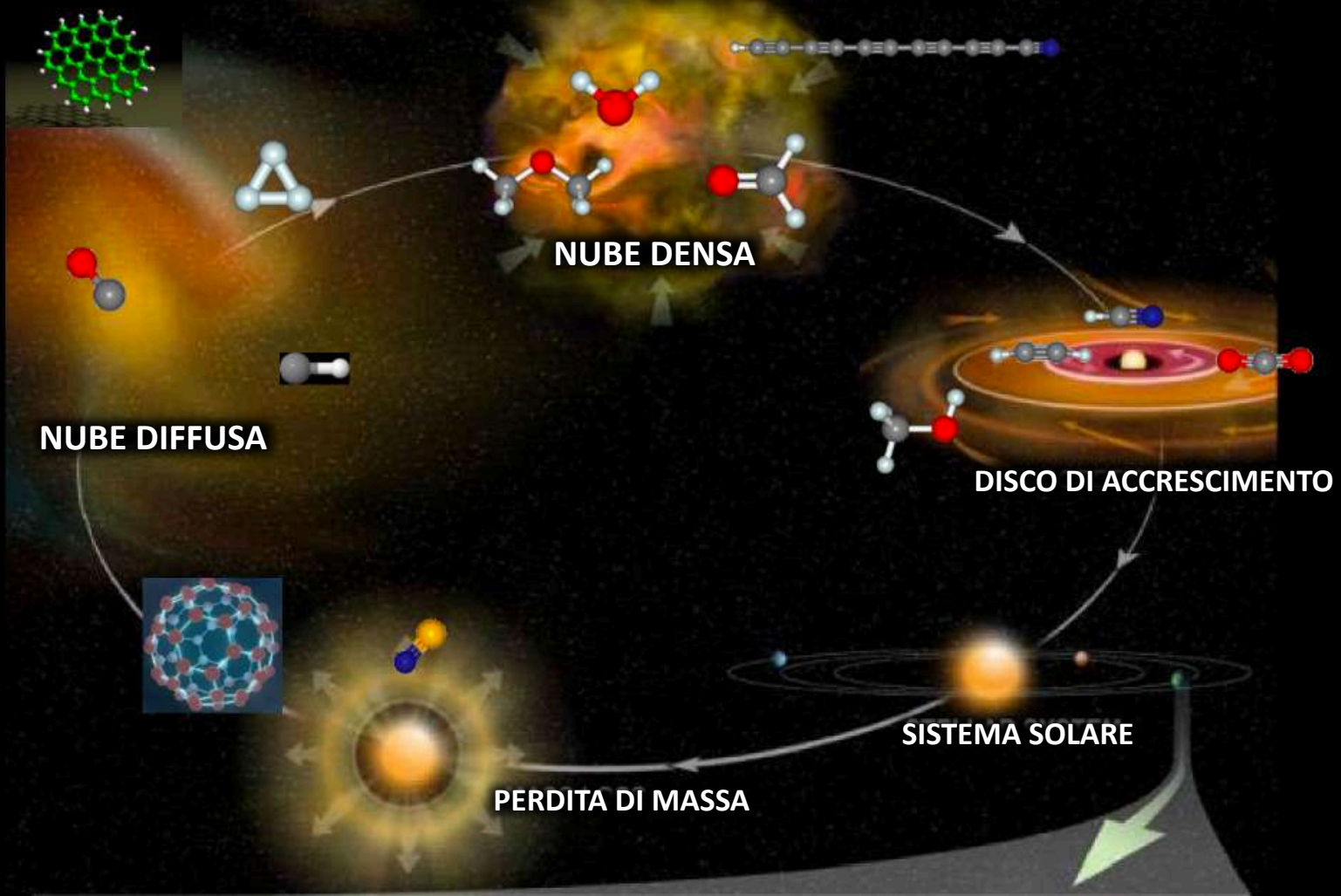
Come avviene la chimica
nel mezzo interstellare?

BASSA T: Reazioni Esotermiche ✓
Nessuna barriera ✓

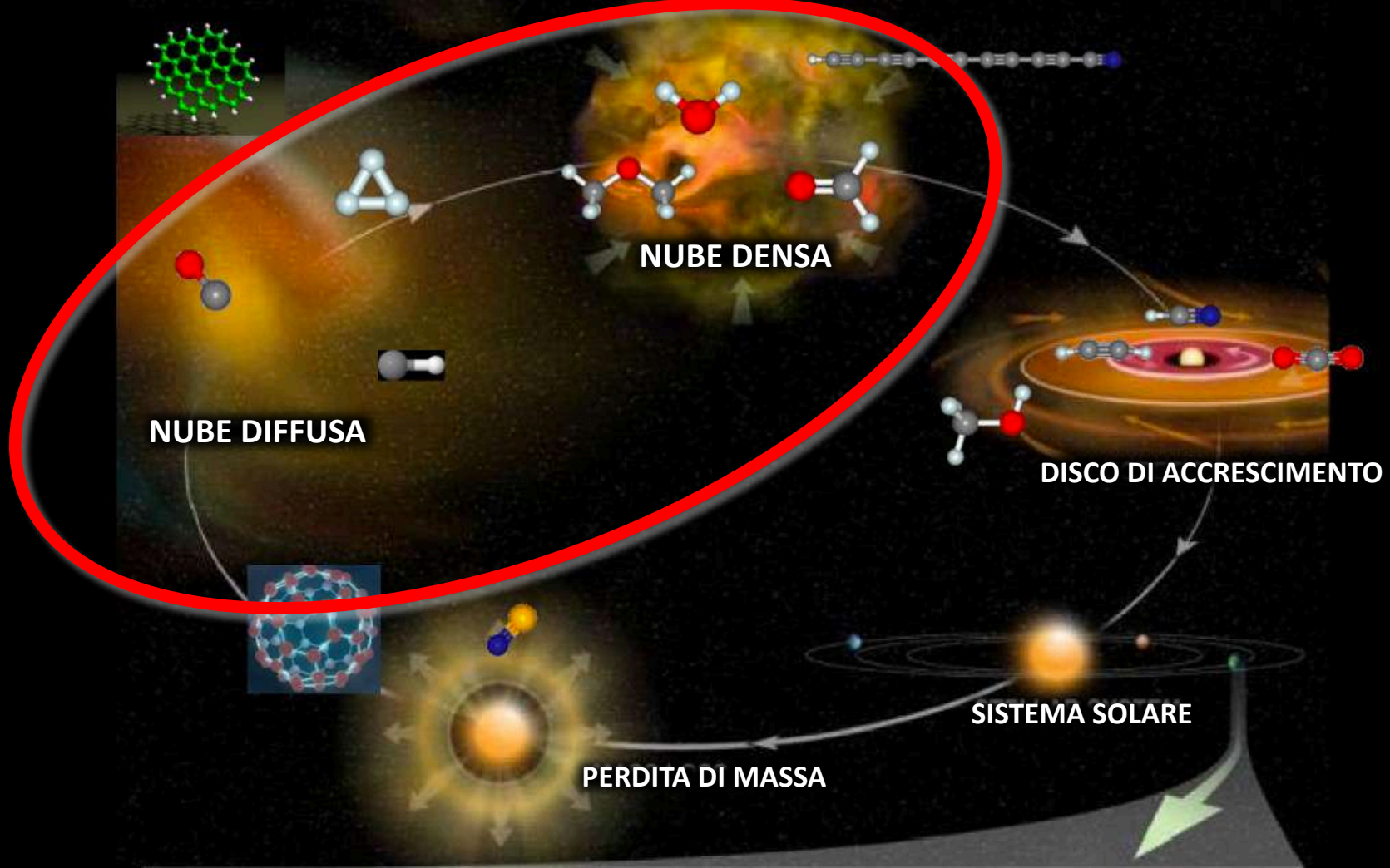
E' sufficiente?

CINETICA:

studio della velocità di reazione



Ciclo di formazione di una stella e del suo sistema planetario



Ciclo di formazione di una stella e del suo sistema planetario

Come è nata la vita sulla Terra?

Questa è una delle domande chiave a cui l'astrochimica sta cercando di fornire una risposta

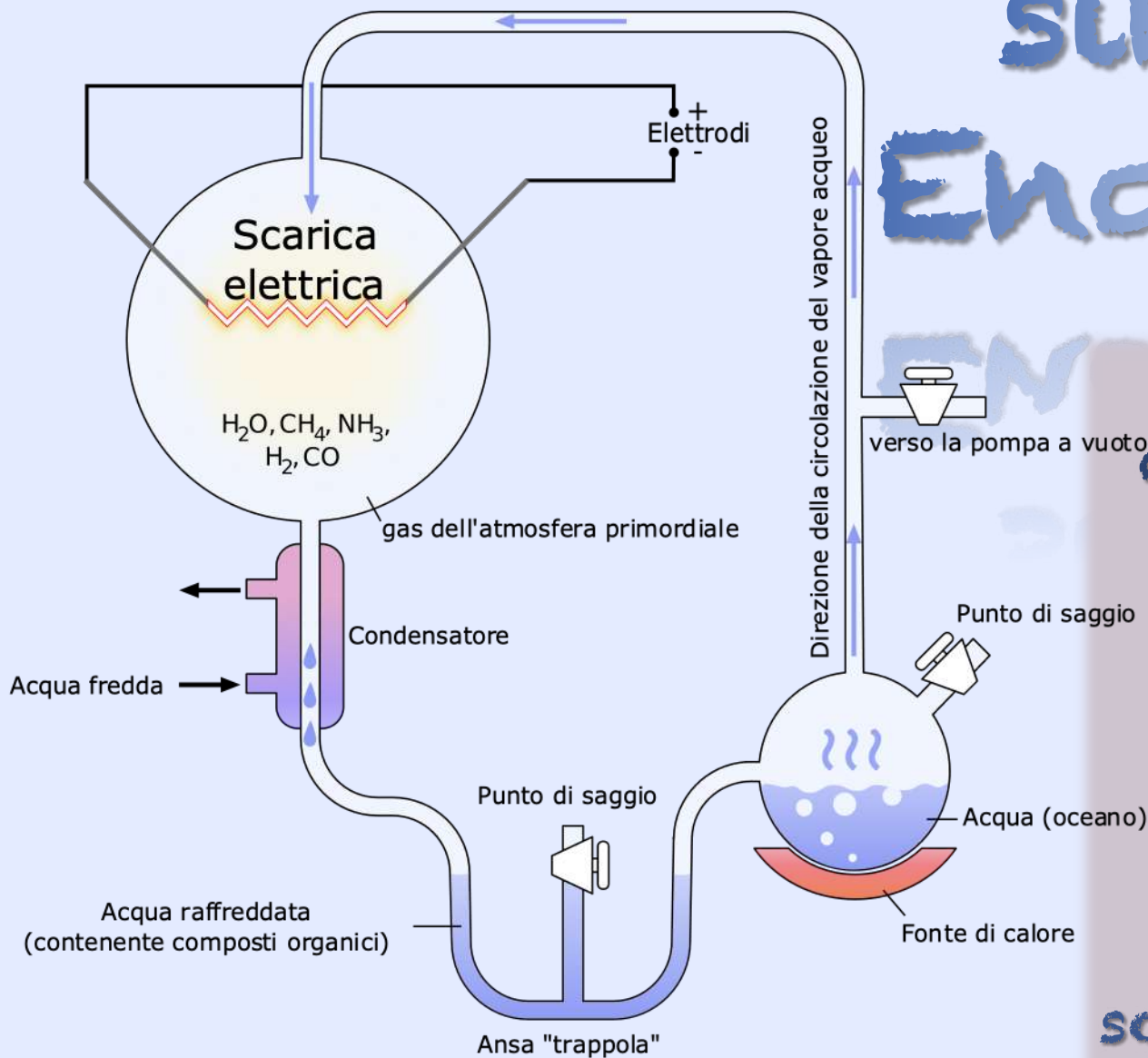
Come è nata la vita
sulla Terra?

sintesi Endogena
o
origine Esogena
??

sintesi

Endogena

Esperimento di Miller-Urey: aminoacidi e basi del DNA prodotti da semplici gas (acqua, metano, ammoniaca, ...) utilizzando scariche elettriche come fonte di energia






sintesi Endogena

... ma un
pallone di
reazione non è
una buona
approssimazione
dell'atmosfera
di un pianeta ...
... **Titano** ...

MISSIONE CASSINI-HUYGENS (1997-2017)



TITANO - la più grande luna di Saturno
La seconda più grande luna nel nostro sistema solare



2008: NASA conferma la
presenza di laghi di
idrocarburi ...

... ciclo idrogeologico
basato sul
metano

... una pianura coperta di sassi
arrotondati, i quali potrebbero essere
costituiti da ghiaccio d'acqua ...

$T \sim -180^{\circ} C$

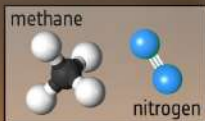
14 Gennaio 2005: la sonda HUYGENS dell'ESA riuscì
nell'impresa di scendere al suolo sulla luna nebbiosa di Saturno.

Azoto (N_2) ~ 97%
Metano (CH_4) < 3%



photons

energetic particles



1400 km

massive positive ions and electrons

1200 km

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

900 km

aerosols

400 km

150 km

Le misure
effettuate dagli
strumenti a
bordo della
navicella spaziale
Cassini
hanno rivelato
che l'atmosfera
superiore di
Titano ospita la
più ricca chimica
organica
dell'intero
sistema solare

origine Esogena

Trasporto sul
nostro pianeta
di molecole
prebiotiche
chiave
(formatesi
nello spazio)
da parte di
asteroidi,
comete,
meteoriti e
particelle di
polvere
interstellare



origine Esogena

... ricerca di
molecole
prebiotiche
chiave nel
mezzo
interstellare

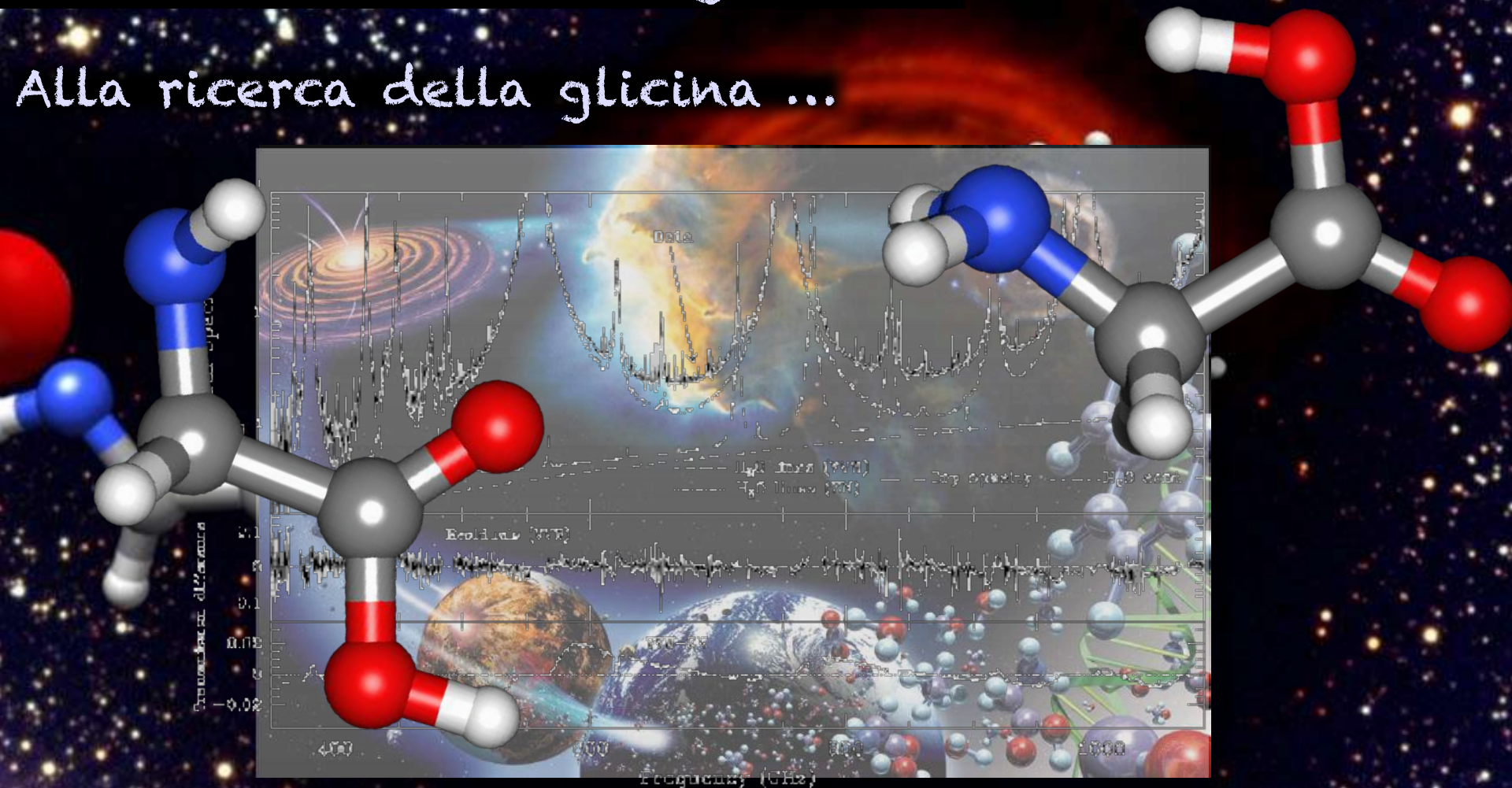
...
è necessario
sapere come
si sono
formate ...

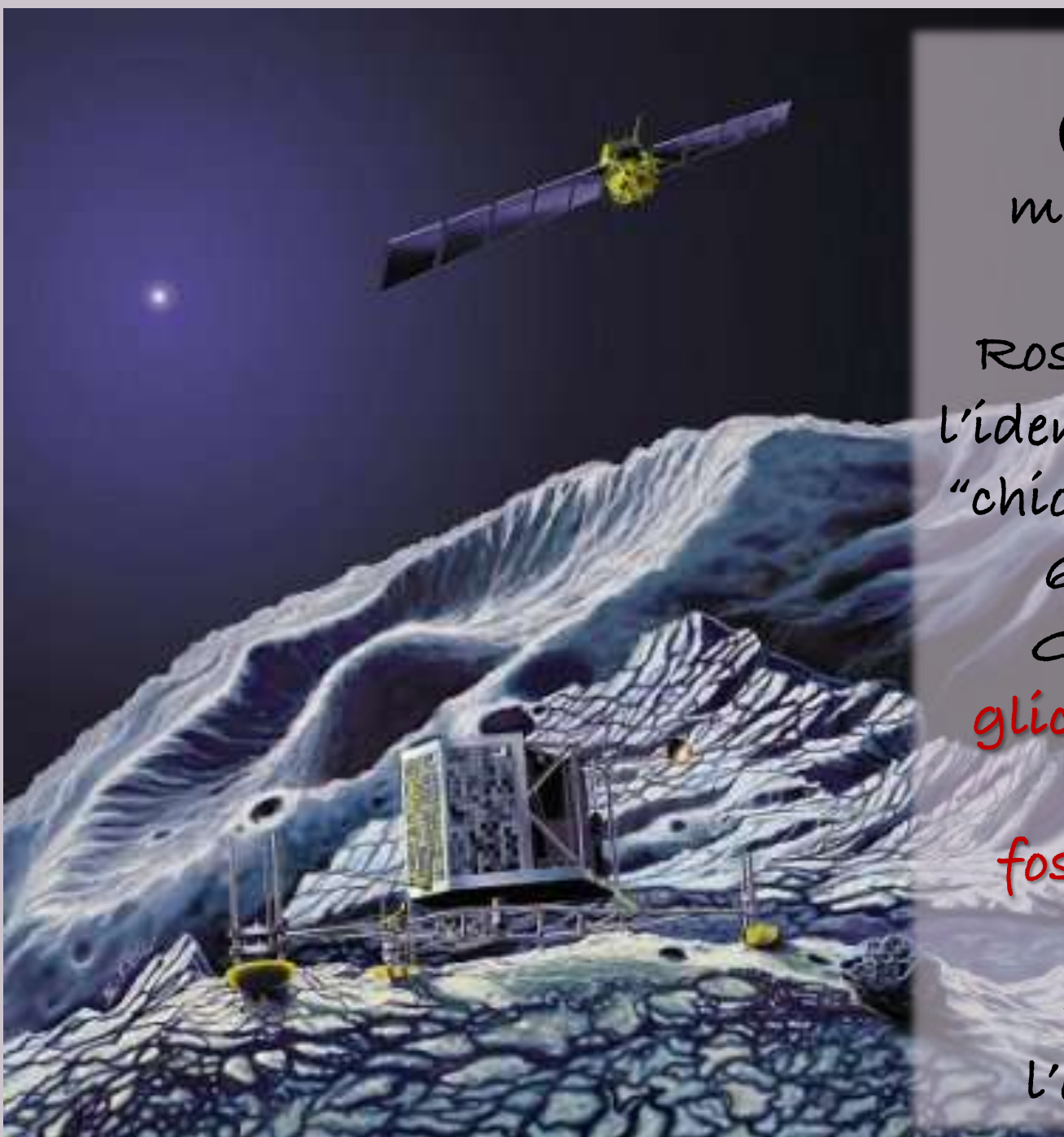


Alla ricerca delle 'improte digitali spettroscopiche'
di molecole pre-biologiche ...

Alla ricerca del "santo graal" ...

Alla ricerca della glicina ...





2016: ROSINA
(lo spettrometro di
massa a bordo della
sonda spaziale
Rosetta) ha permesso
l'identificazione nella
"chioma" della cometa
67P/Churyumov-
Gerasimenko della
glicina, il più piccolo
aminoacido, e del
fosforo (P), un altro
elemento chimico
fondamentale per
l'origine della vita.



Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko nel Maggio 2015.

L'aumento di calore ha scaldato il ghiaccio che ricopre la superficie della cometa rilasciando gas e polvere che hanno originato una tenue atmosfera attorno alla cometa (la cosiddetta "chioma").



1969: nei pressi del villaggio rurale di Murchison (Australia) cadde una meteorite di tipo carbonaceo, la meteorite di Murchison. Una delle meteoriti più famose e studiate fino a giorni nostri. La sua fama è legata alla presenza in essa di oltre **80 diversi aminoacidi**, composti organici che sono alla base della biochimica, cioè della chimica della vita.

Murchison & altre meteoriti

Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent bodies

Daniel P. Glavin¹ and Jason P. Dworkin

National Aeronautics and Space Administration Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771

Edited by Jack W. Szostak, Massachusetts General Hospital, Boston, MA, and approved January 23, 2009 (received for review November 15, 2008)

The distribution and enantiomeric composition of the 5-carbon (C₅) amino acids found in CI-, CM-, and CR-type carbonaceous meteorites were investigated by using liquid chromatography fluorescence detection/TOF-MS coupled with *o*-phthalaldehyde/*N*-acetyl-L-cysteine derivatization. A large L-enantiomeric excess (ee) of the α -methyl amino acid isovaline was found in the CM meteorite Murchison ($L_{ee} = 18.5 \pm 2.6\%$) and the CI meteorite Orgueil ($L_{ee} = 15.2 \pm 4.0\%$). The measured value for Murchison is the largest enantiomeric excess in any meteorite reported to date, and

CM2-type meteorites could point toward a possible prebiotic contribution to the origin of biological homochirality by the delivery of extraterrestrial organic material from asteroids and comets to the early Earth. These analyses showed enantiomeric excesses of the left-handed form (L_{ee}) ranging from 0% to 15.2% for isovaline and enantiomeric enrichments for several other α -methyl amino acids, including α -methylnorleucine, α -methylvaline, α -methylnorvaline, α -methylisoleucine, and 2-amino-2,3-dimethylpentanoic acid (8–11). Pizzarello et al. (11) also found a possible correlation between

PNAS 106:5487–5492 (2009)

“Il valore misurato per la Murchison è l'eccesso enantiomerico più grande mai riportato finora ... L'arricchimento dell'L-isovalina in queste due meteoriti carboniose non può essere il risultato di una contaminazione di aminoacidi terrestri ...”

L'umanità osserva il cielo da millenni ...

... moltissime domande attendono ancora una risposta ...

... L'origine della vita sulla Terra è ancora un mistero da risolvere ...

... L'avventura continua ...

GRAZIE

per la

vostra

ATTENZIONE

