

Կյանքի առաջացման աստղաֆիզիկական տեսակետը

Արարատ Եղիկյան

Բյուրականի աստղադիտարան -2019

When and why astrophysics come into the picture

Astrobiology – 1953, Gavriil Tikhov, IAU C51, 2015

Astrobotany – 1945, Gavriil Tikhov

life on planets - photometry

Xenology (Xenobiology) – Robert Heinlein, 1954

biology of foreigners – science fiction, other chemistry

Exobiology – J. Lederberg, 1960, NASA – planets,

contaminated by our viruses, S. Kaplan -existing life

BioAstronomy – 1982, 2006, IAU Comm. 51

origin and search of life

Astrobiology – Life in Universe – (commonplace ?)

Ինչու՞ աստղակենսաբանություն
Աստղակենսաբանությունը -
ուսումնասիրում է **կյանքի**
առաջացումը, զարգացումը,
բաշխվածությունը և **ոչնչացումը**
Տիեզերքում, և փորձում է
գրանցել հնարավոր **դրսևորման**
հետքերը:

Մկզբից աստղաքիմիա՝ ինչու՞

Կյանքի առաջացմանը Երկրի վրա
 3.8 ± 0.1 տարի առաջ նախորդել է
նախակենսաբանական նյութի
երկարատև քիմիական զարգացման
ժամանակաշրջան՝

արտերկրային պայմաններում

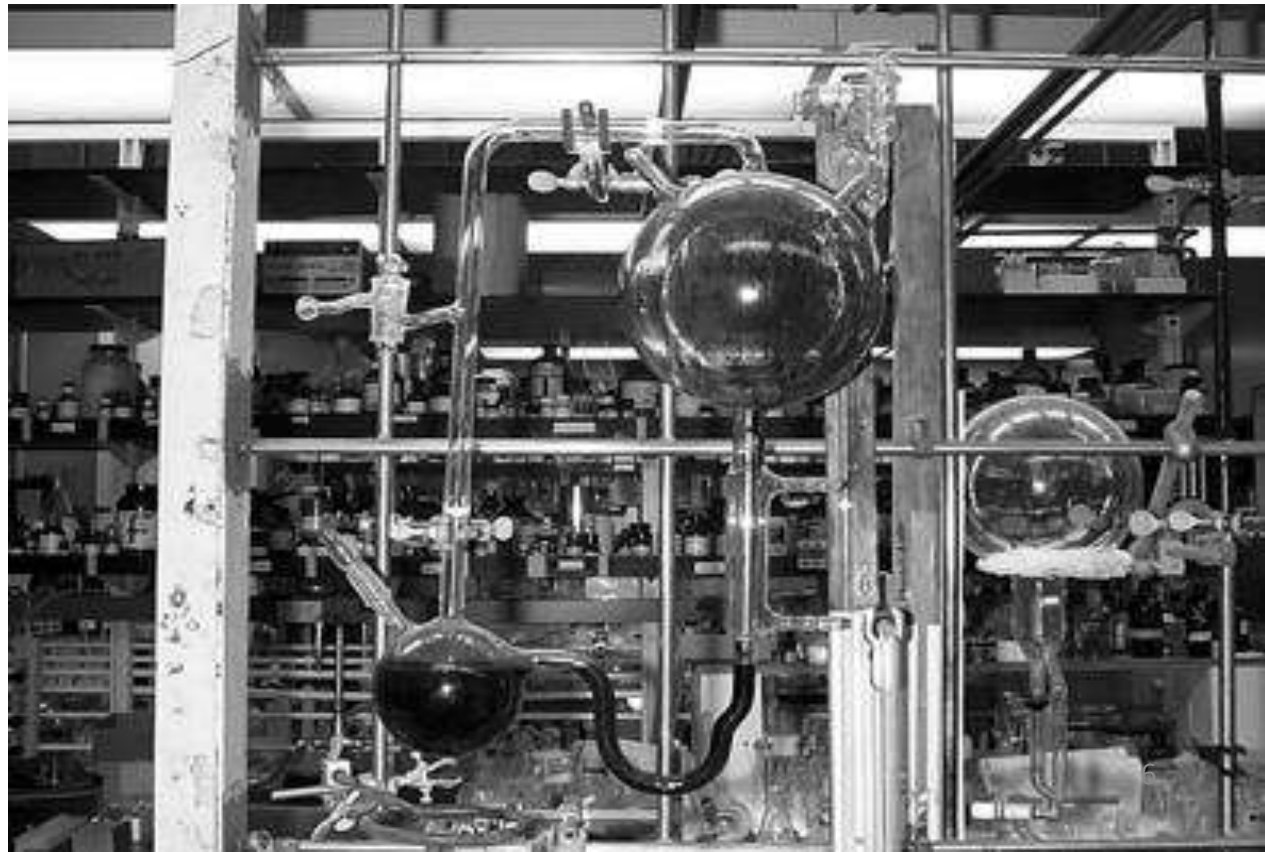
Ի՞նչ է կյանքը

Նույն ծածկագրով
ինքնավերարտադրվող
սպիտակուցային համակարգեր,
որոնք շրջապատի հետ
փոխանակում են էներգիա,
զանգված և ինֆորմացիա

Are Miller-type experiments adequate ? **No !**

1. Terrestrial primitive atmosphere was not reduced, only N_2 and CO_2 (but no H_2 , $\text{CH}_4 \rightarrow$ **no polymerization/condensation in the gas-phase**)
2. Produced aminoacids are **racemic**.

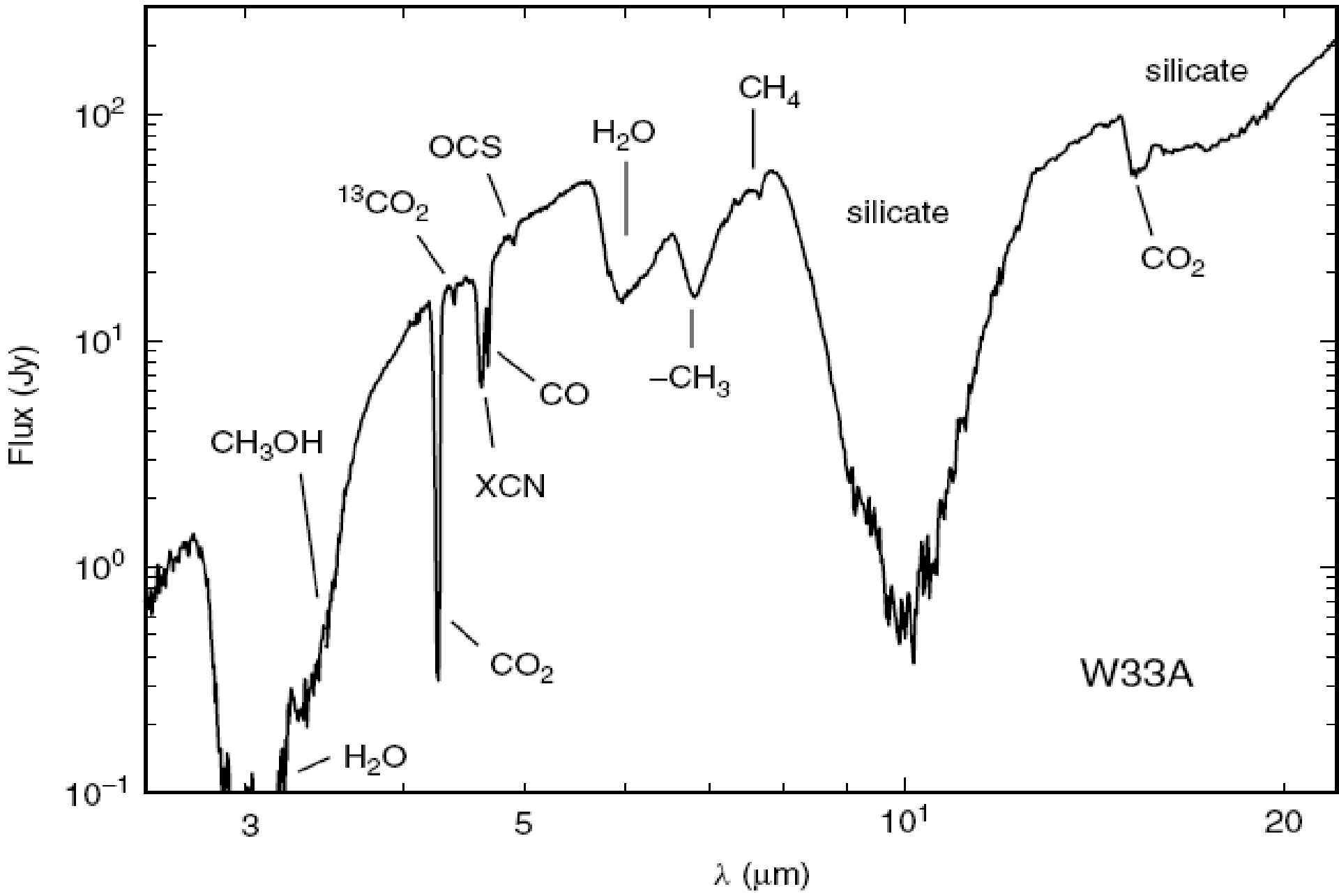
CH_4
 NH_3
 H_2O
 H_2
+
Energy
source



Բարդ միացությունների առաջացում

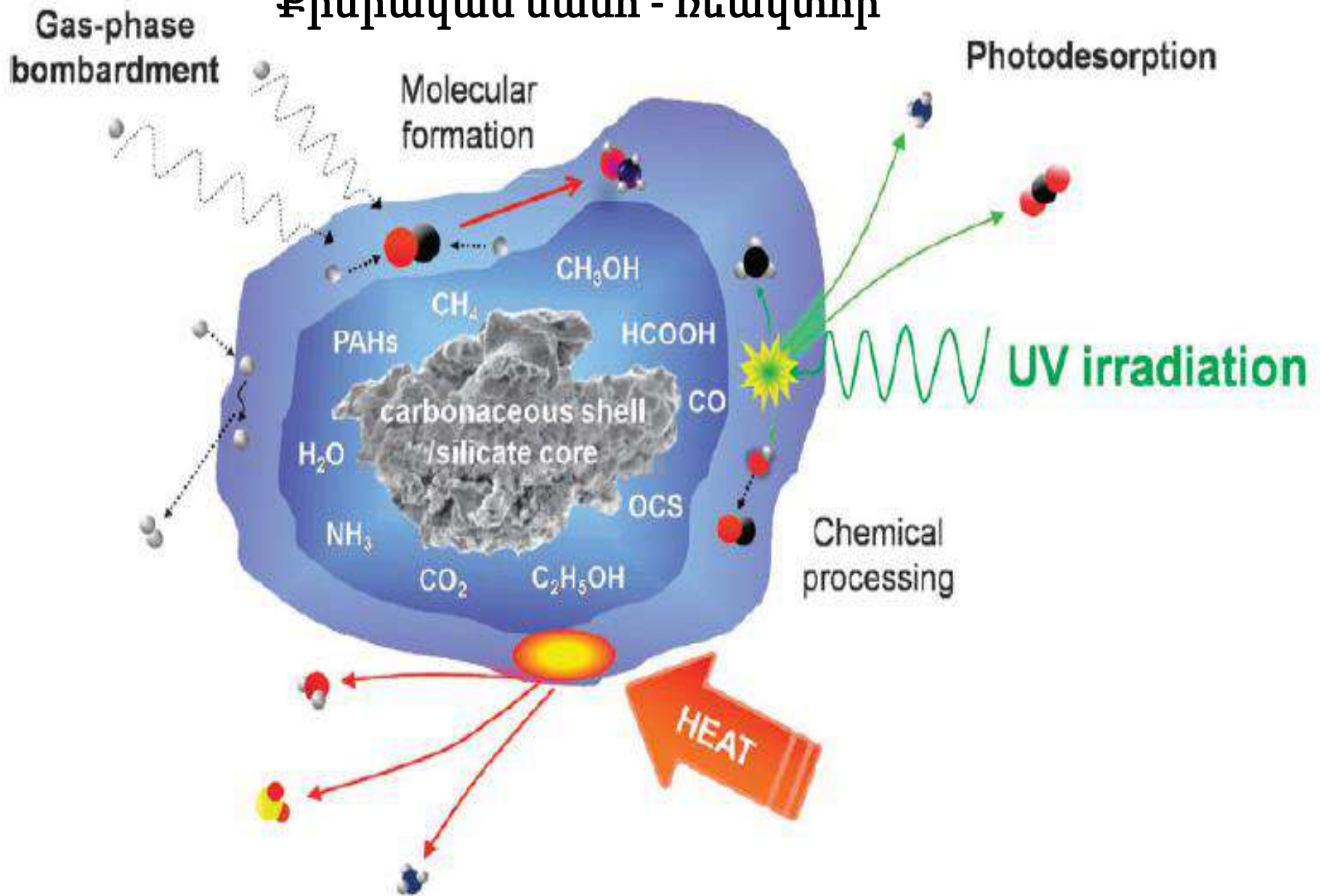
Նախակենսամոլեկուլների
առաջացումը – պինդ ֆազայում,
օրինակ սառույցների
ճառագայթային քիմիական
պոլիմերիզացիա և/կամ
պոլիկոնդենսացիա

Մառույցները դիտվում են փոշում



Փոշու հատիկը: միջուկը՝ $\sim 0.01\mu$, թաղանթը՝ $\sim 0.1-0.5\mu$

Քիմիական նախ - ռեակտոր



Փորձարարական աստղաֆիզիկա

Սառույցների ճառագայթահարում
 H_2O , CO , CO_2 , NH_3 , CH_4 , CH_3OH և այլ ամենաառատ

ցածր ջերմաստիճաններ - 5 – 100 K

մասնիկներ՝ 1-10 ՄէՎ (Kaiser et al. 1990-2000)

առաջանում են՝ ալիֆատիկ ածխաջրածիններ



արոմատիկ (PAH)



Ճառագայթային քիմիական ելք

Սառցե մեթան, 7 ՄԷՎ պրոտոններ –

Kaiser et al. Astrophys.J, 1997

Փորձի կինետիկայի նկարագրությունը –

Yeghikyan, Viti, Williams, MNRAS, 2001

Keheyan, Cataldo, Yeghikyan, Astrophysics, 2004

Ճառագայթային քիմիական պոլիկոնդենսացիա

$G \sim 1$ մոլեկուլ/100 էՎ

~ 0.29 էՎ/գ.ա.մ.

~ 5 էՎ/մոլեկուլ դոզայի ժամանակ

ԳՄ ֆոտոններ՝ 10-12 էՎ (Dworkin et al. 2004)

$\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_3\text{OH}:\text{NH}_3:\text{CO}$ խառնուրդի ճառագայթում
15 K

C_nH_m , $n \leq 22$ – տարբեր ածխաջրածիներ
ամինաթթուներ,
HMT - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$

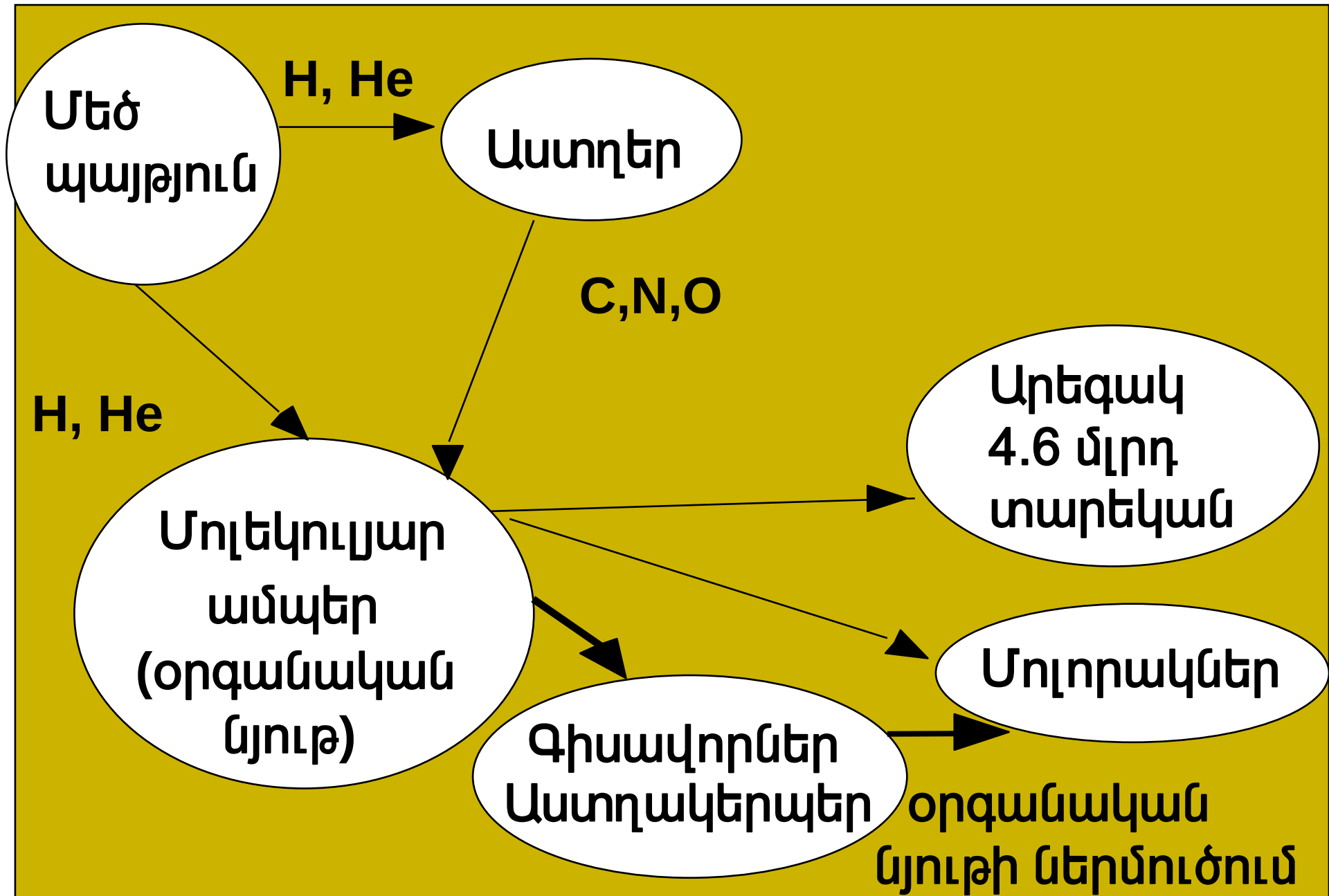
Ճառագայթահարման Դոզա =
Հոսք · Կտրվածք · Ժամանակ

ԳՄ դոզաներ ~ 25 էՎ/մոլեկուլ

Նախա- և կենսամոլեկուլների առաջացման սխեմա

1. Պարզագույն մոլեկուլների առաջացում
2. Փոշու հատիկների սառցե թաղանթներ
3. Բարդացում - պոլիմերիզացիա
4. Քիրալիզացիա – "ձախ" կամ "աջ"
5. Նախաբջիջների մեկուսացում - թաղանթ
6. Ինքնավերարտադրման ալգորիթմ
7. Կյանք

Տիեզերքը առաջացել է **13.5±0.2 մլրդ** տարի առաջ



Քայլ 1 – պարզագույն մոլեկուլներ

Բնութագրող ժամանակներ - ֆոտոդիսոցիացիա

$$t(\text{PD}) = \frac{1}{k_{\text{UV}}(0) \cdot G_0 \text{ s}^{-1}} = \frac{1}{10^{-9} - 10^{-11} \text{ s}^{-1}} \text{ s}$$
$$\cong 33 - 3300 \text{ years}$$

Միջաստղային ամպերի պաշտպանված տիրույթներում H_2 -ի փոշու հատիկների վրա առաջացման բնութագրող ժամանակը

$$t(\text{H}_2) = \frac{1.5 \cdot 10^9}{n} \text{ yr} \rightarrow n \geq 10^6 \text{ cm}^{-3} \rightarrow t(\text{H}_2) \leq 1500 \text{ yr}$$

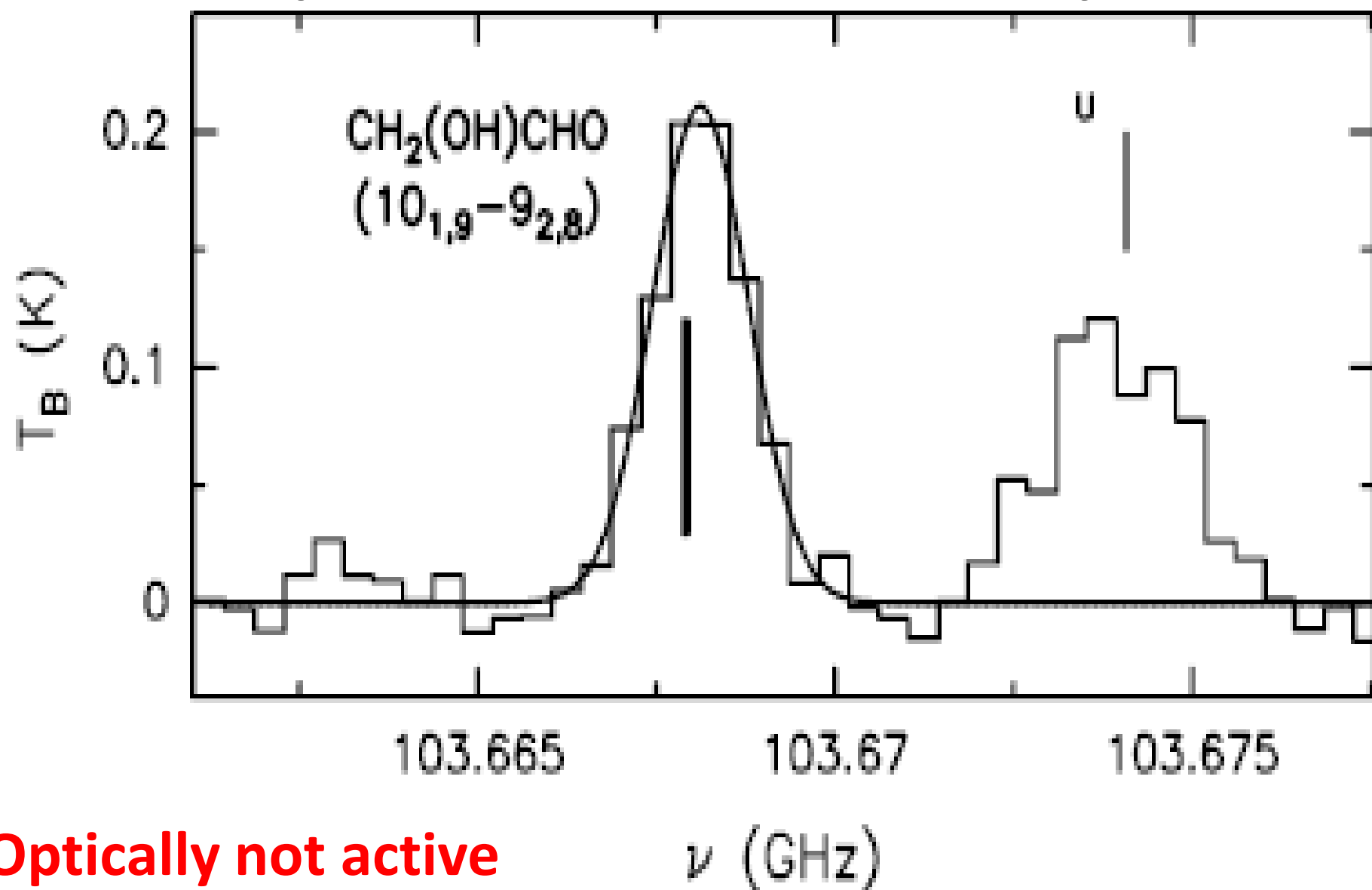
H₂ and CR => Molecules in the ISM or CSE

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 [*]	HC ₁₁ N ?
AlF	C ₂ H	<i>I</i> -C ₃ H	C ₄ H	<i>I</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	<i>n</i> -C ₃ H ₇ CN	C ₆₀ [*]
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>i</i> -C ₃ H ₇ CN	C ₇₀ [*]
C ₂ ^{**}	C ₂ S	C ₃ O	<i>I</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 ₆₀ ⁺ [*]
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 2016			
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂ [*]	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	C ₈ H				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄ [*]	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	<i>I</i> -HC ₆ H [*]	CH ₃ C(O)NH ₂				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	<u>H₂CCHOH</u>	CH ₂ CHCHO (?)	C ₈ H ⁻				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁻	CH ₂ CCHCN	C ₃ H ₆				
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO	CH ₃ NCO 2015	H ₂ NCH ₂ CN	CH ₃ CH ₂ SH (?)				
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N		CH ₃ CHNH					
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O	<i>I</i> -HC ₄ H [*]							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	<i>I</i> -HC ₄ N							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	c-H ₂ C ₃ O							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄ [*]	H ₂ CCNH (?)							
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺	C ₅ N ⁻							

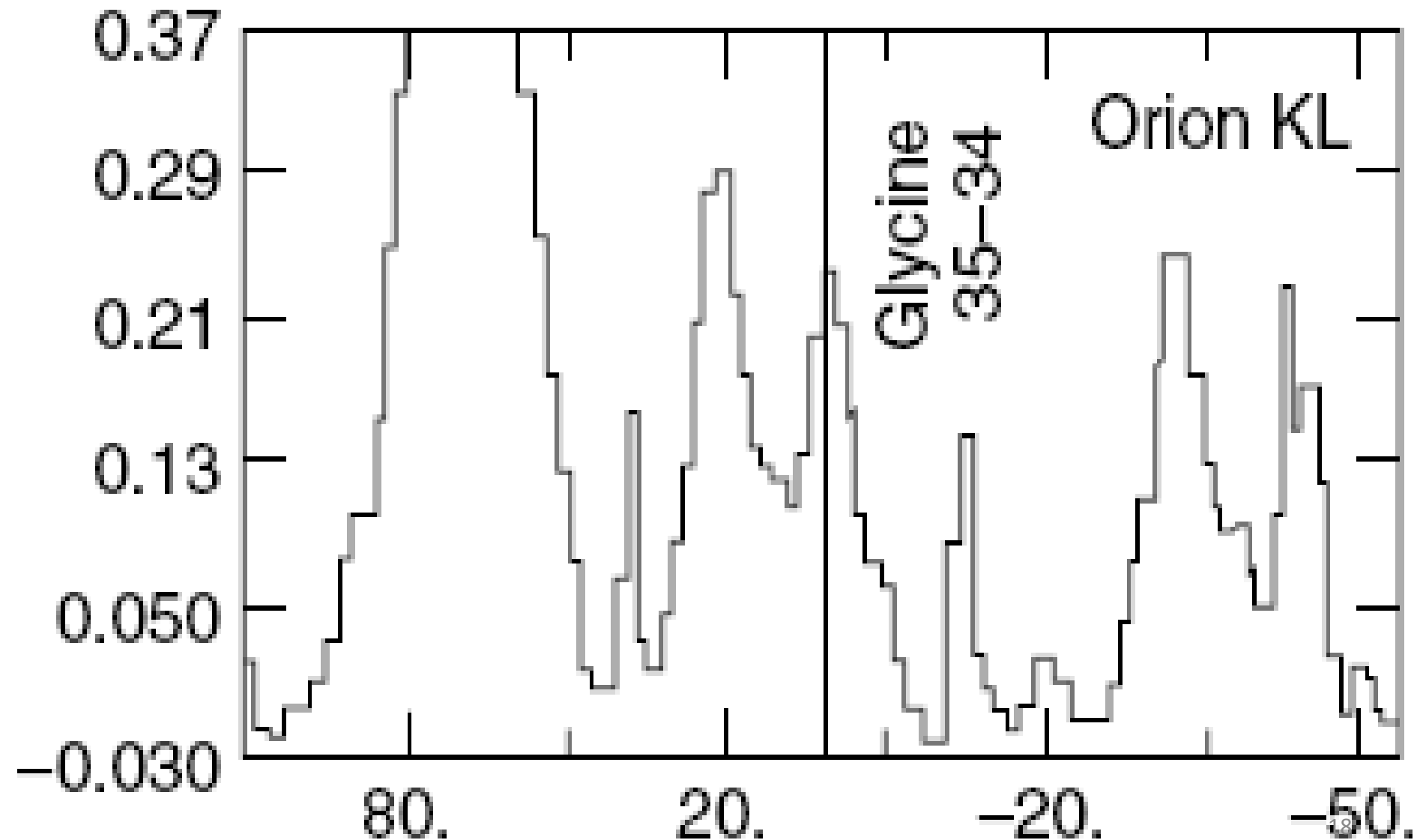
Et cetera

Till 2019 almost 200 molecules have been detected in the ISM/CSE and 61 molecules - in other galaxies (as of 11/2016).
astro.uni-koeln.de/cdms/molecules

Glycolaldehyde, HMC, Beltran et al., 2009 (HMC - hot molecular core)



Glycine ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$, 206.468 MHz) ?, Kuan et al. 2003
(optically not active)



Քայլ 2 – փոշու սառցյա թաղանթներ

Փոշու աղբյուրները - SN մնացորդներ և AGB քամիներ

Գրաֆիտ և/կամ սիլիկատե միջուկներ $\sim 0.01 \mu$

H_2O , CO , CH_4 , NH_3 , HAC , CH_3OH սառույցներ $\sim 0.1 \mu$

Խիտ սառը միջավայրում $t = \frac{3 \cdot 10^9}{n}$ տարի

Աստղաառաջացման տիրույթներում, $n \geq 10^6 \text{ սմ}^{-3}$,
 $T \sim 10 - 20 \text{ K}$

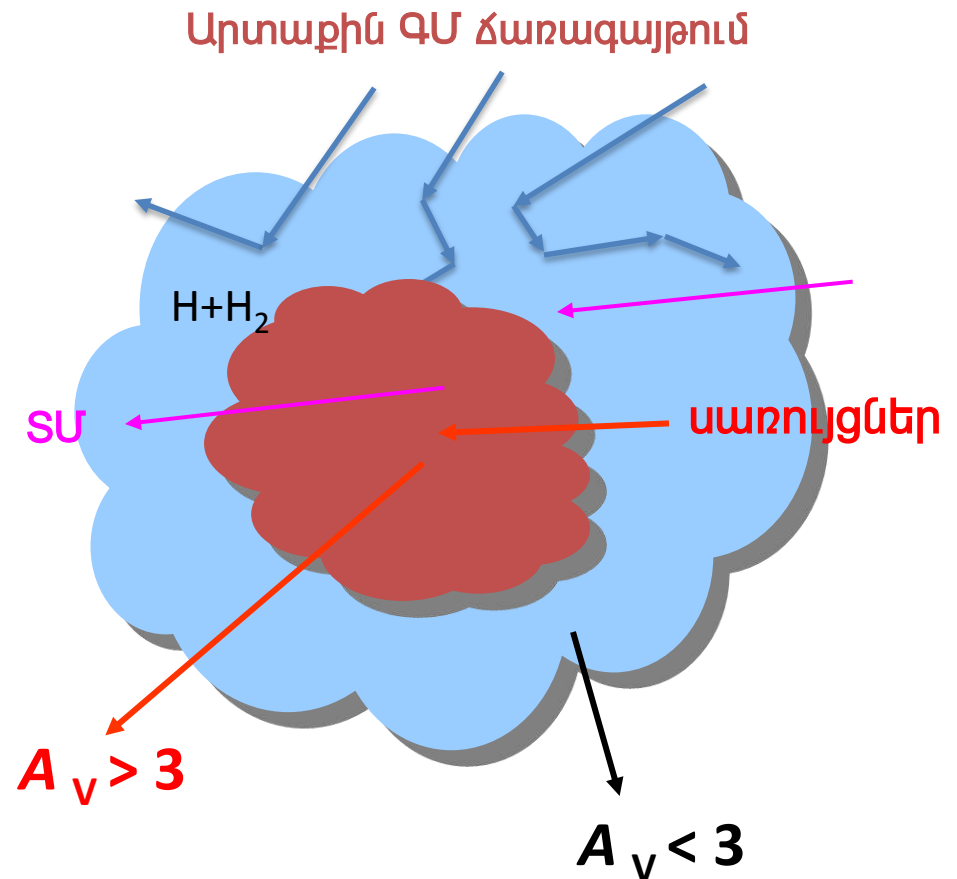
$$t \sim 10^3 \text{ տարի}$$

Քայլ 3 – բարդացում ամպերում

ԳՄ (6-13.6 eV, VUV) և
ՏՄ (1 MeV – 1 GeV, CR) պայմանավորված
ճառագայթային քիմիական պրոցեսների զացիա
և/կամ պրոկոնդենսացիա

Բնութագրող ժամանակներ՝
10-50 մլն տարի

Սառույցները գոյատևում են $A_V > 3$ դեպքում ,
 $N = 2 \cdot 10^{21} \cdot A_V \text{ cm}^{-2}$

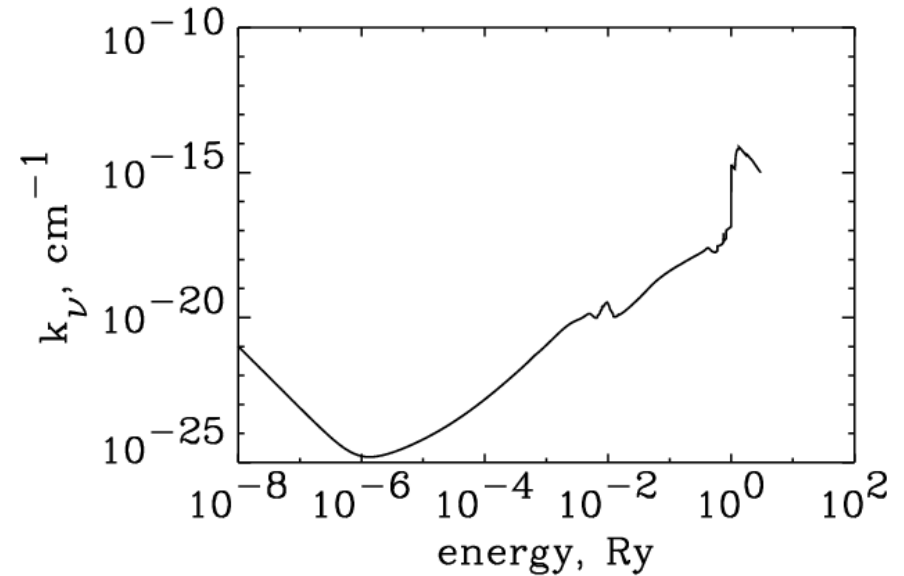
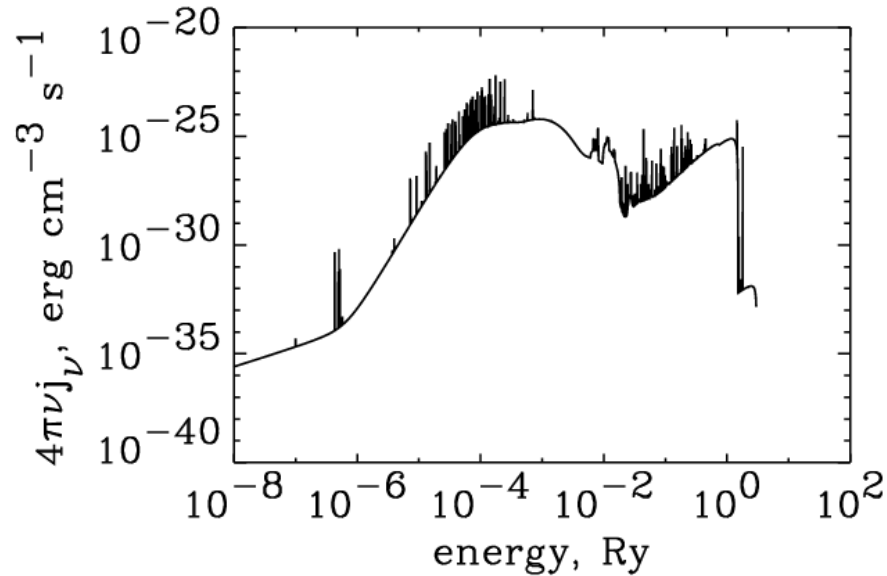
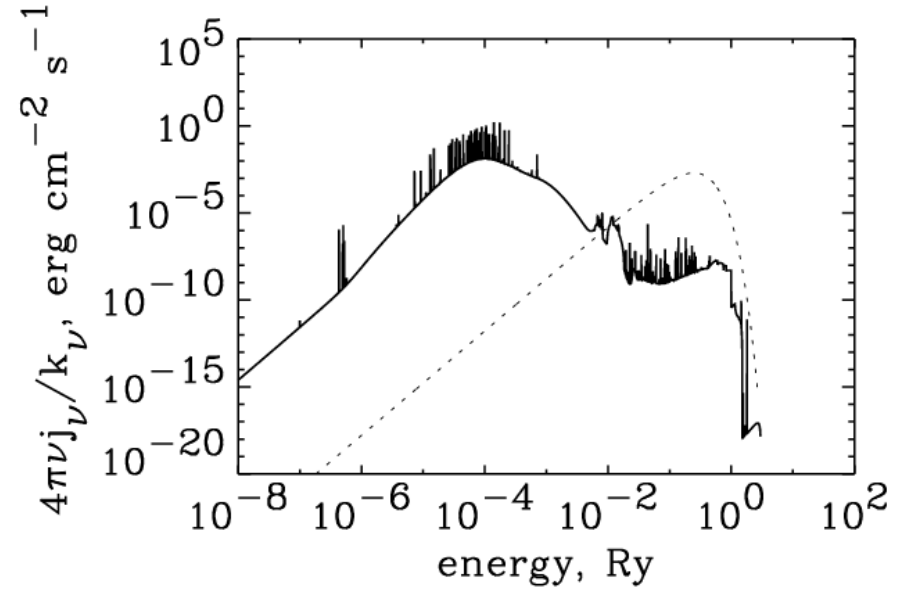
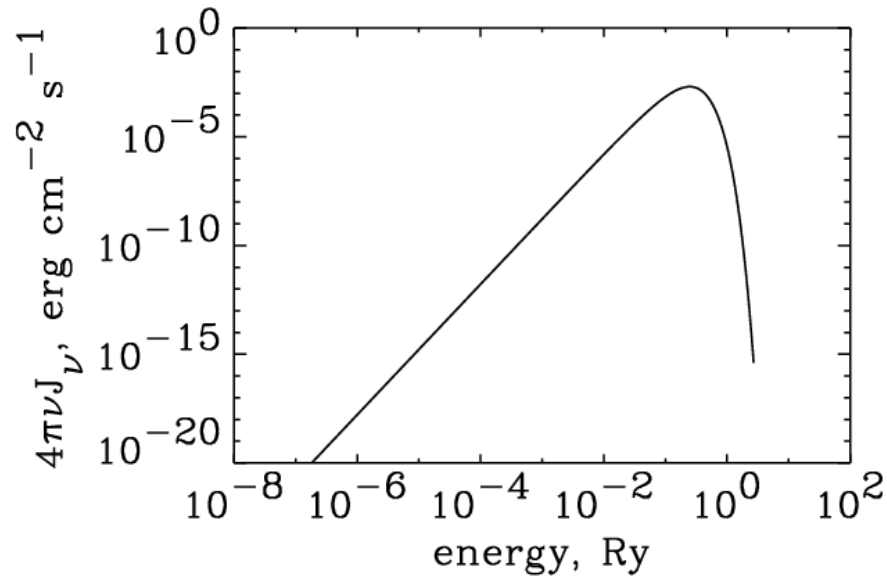


CLOUDY – Ferland et al. 2017

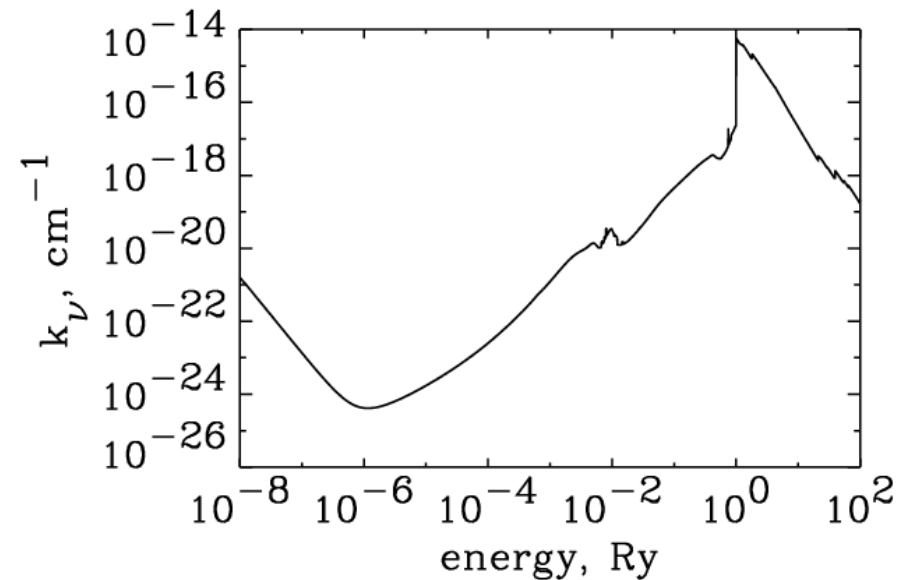
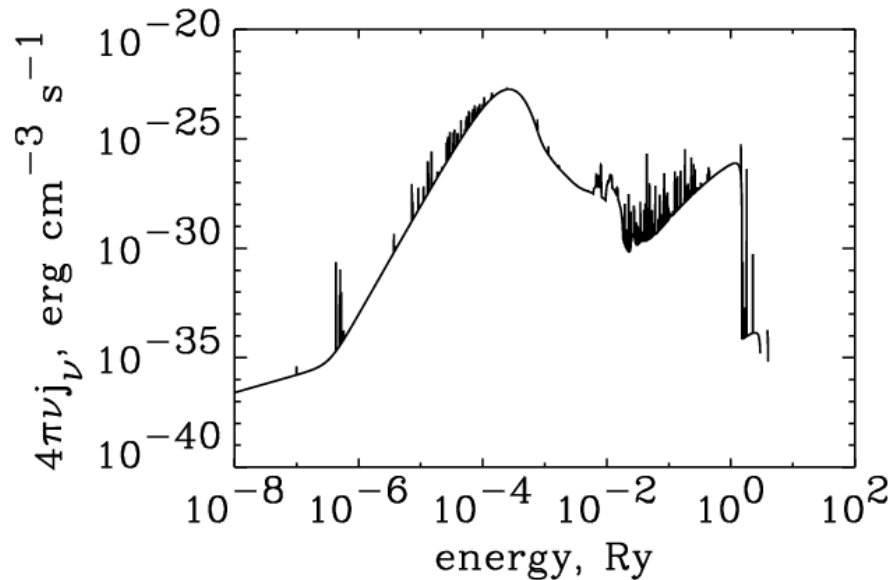
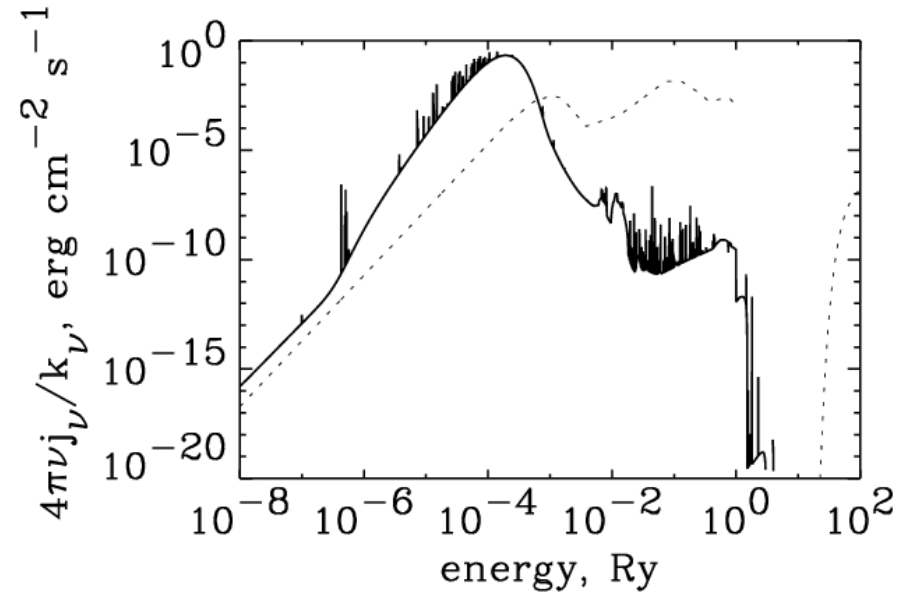
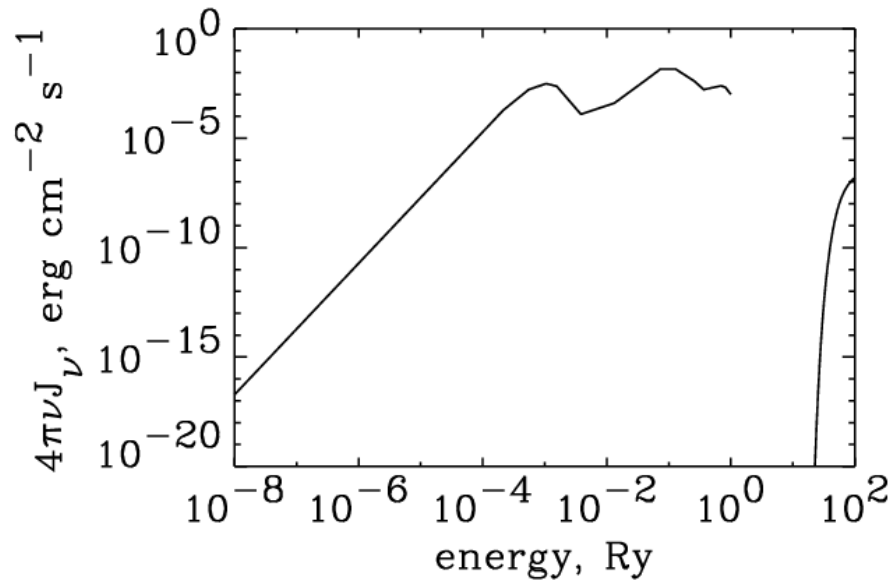
1D-3D, միջաստղային ամպերի մոդել
Քիմիական էլեմենտներ: 1-30,
ատոմները բոլոր իոններով - CHIANTI
Խտությունները՝ ամպեր, սկավառակներ
Դինամիկ, ոչ ստացիոնար, ճառագայթում
Մոտ 90 մոլեկուլ, և H_2O , CO , OH սառույցները
Փոխազդեցությունները ~ 900 ֆոտո-ռադիո-
քիմիական (բոլոր հնարավոր)

Yeghikyan, A. 2017b, On dust irradiation in planetary nebulae
in the context of survivability of ices, Molecular Astrophysics,
Volume 8, p. 40-47.

Ճառագայթային դաշտ 1 և SU

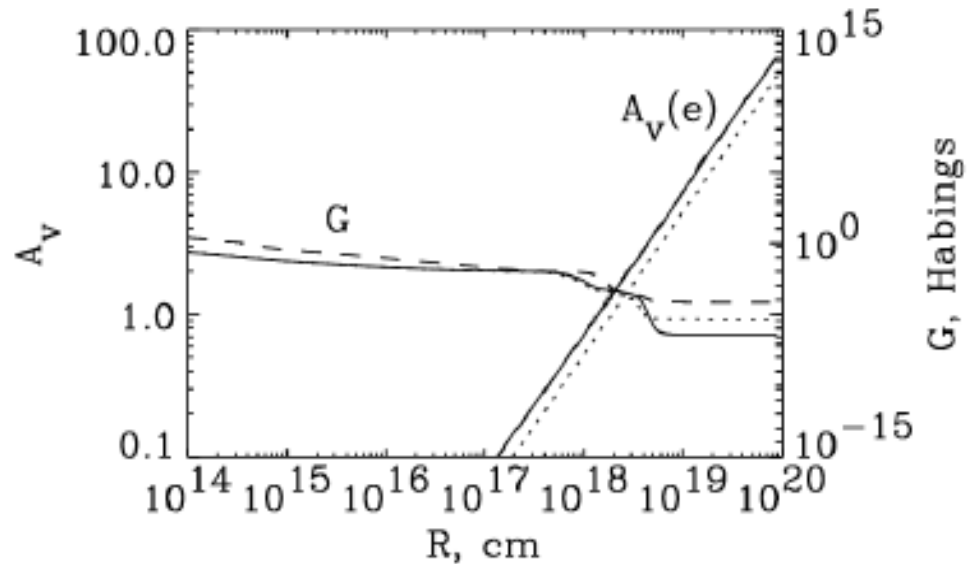
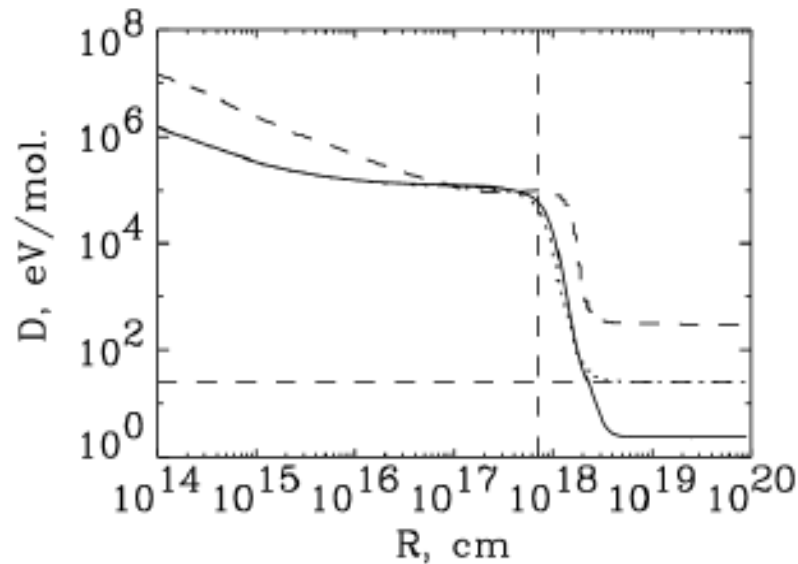
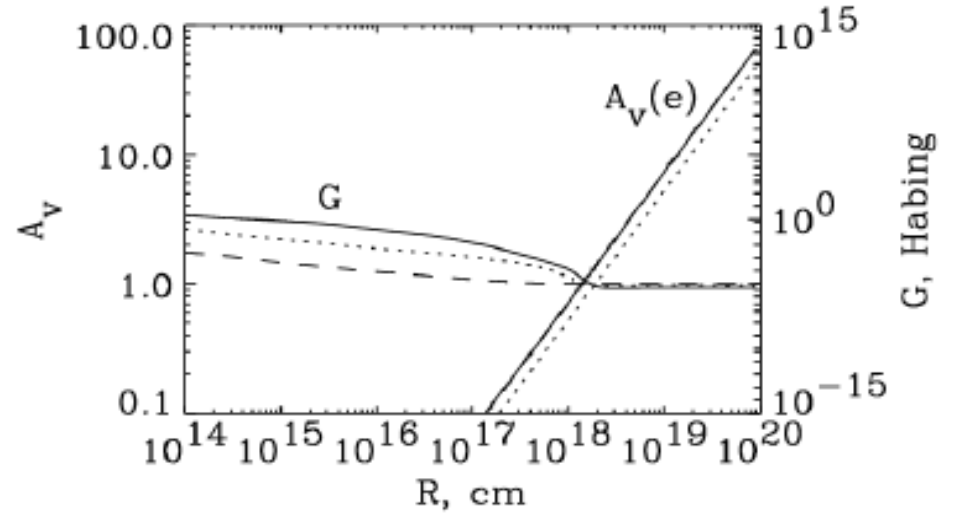
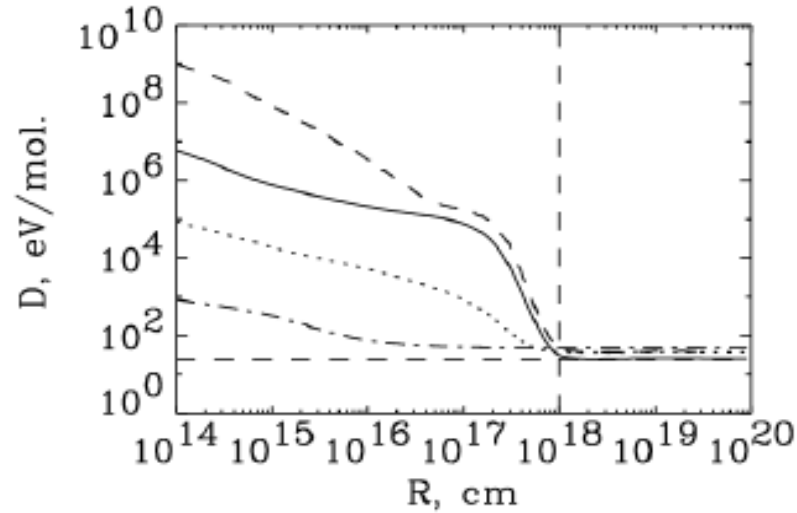


Ճառագայթային դաշտ 2 և SU

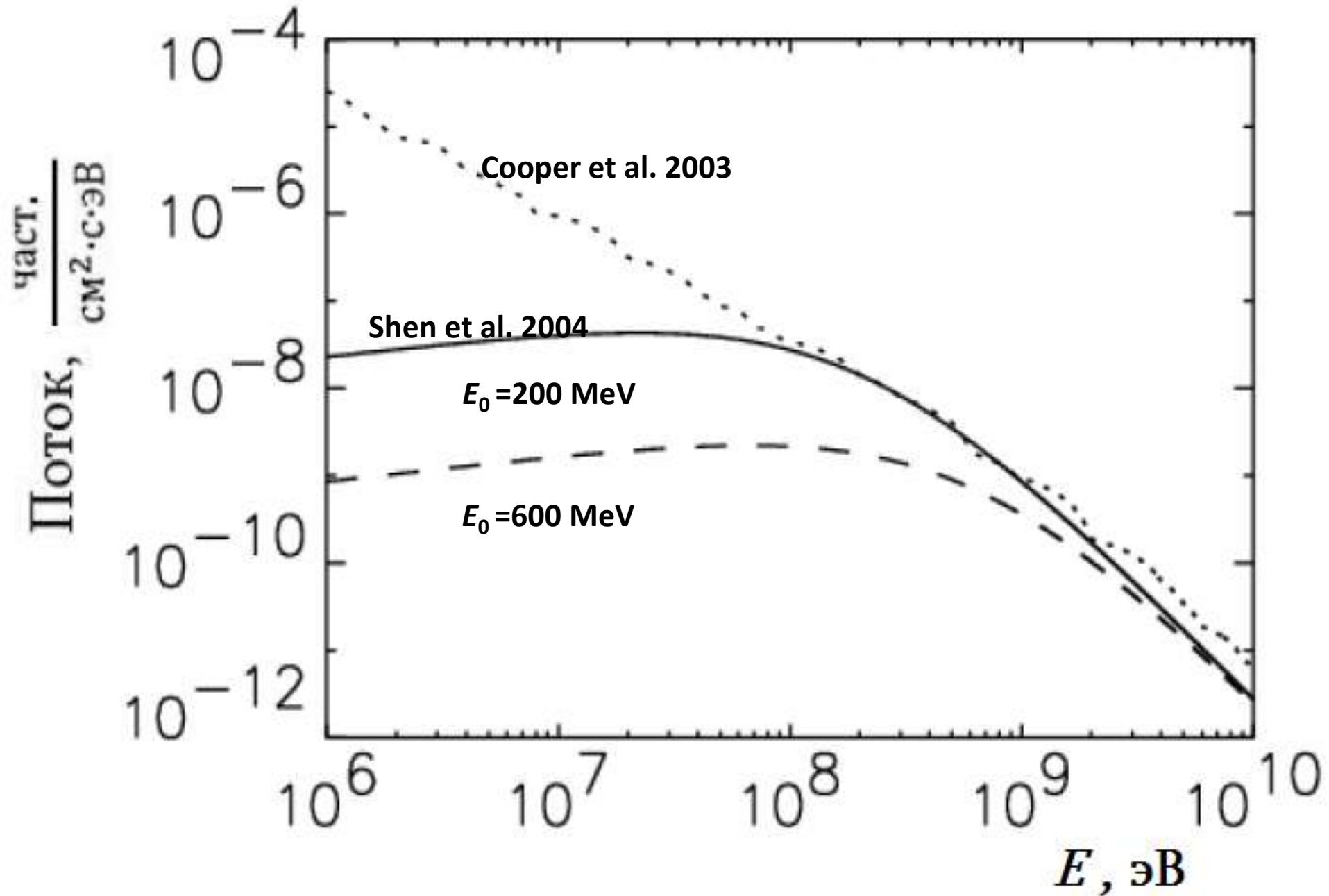


1-3 փուլերի մոդելավորում՝ UV – CLOUDY

10-50 մլն տարի, $n \sim 10^3 \text{ սմ}^{-3}$, $l \sim 30$ պկ

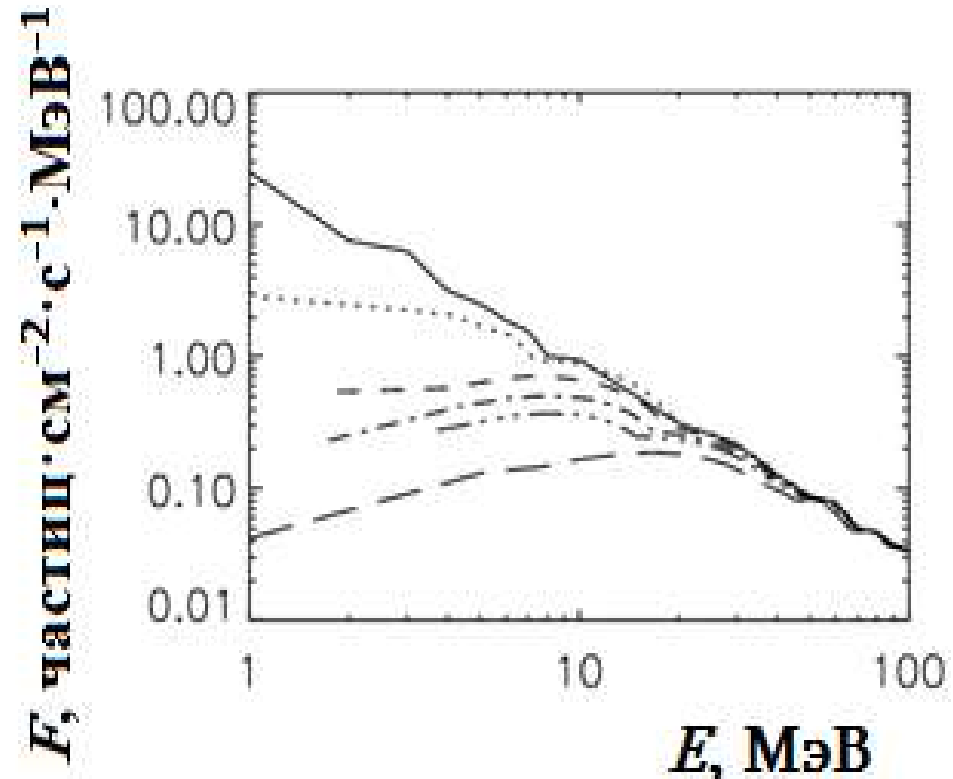
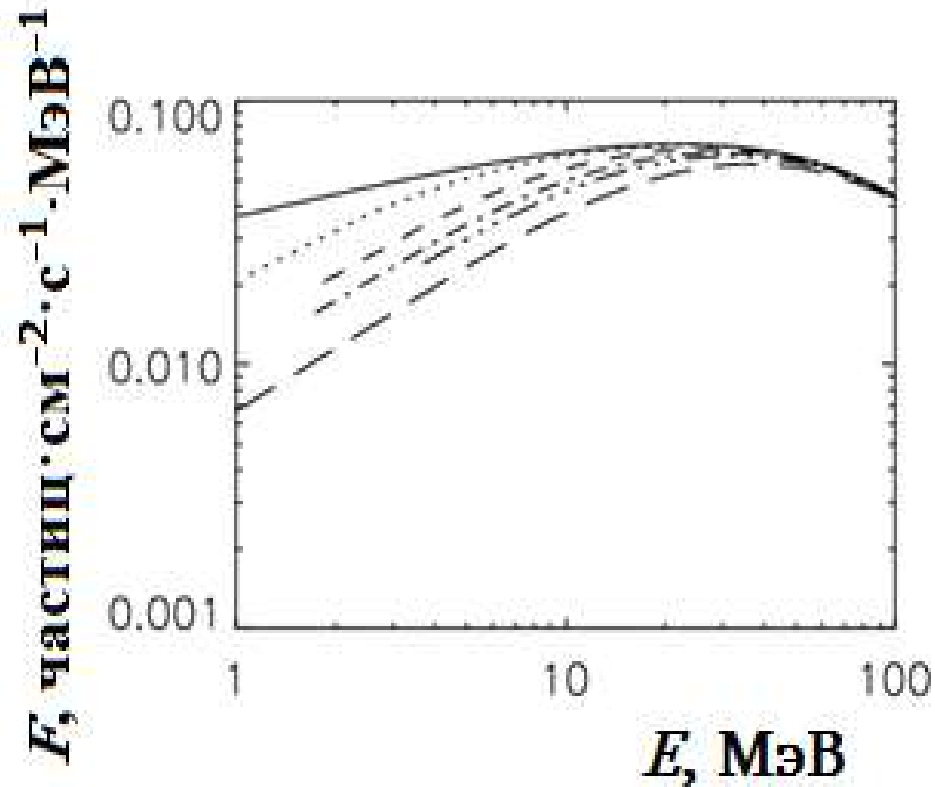


Տիեզերական մասնիկները Գալակտիկայում



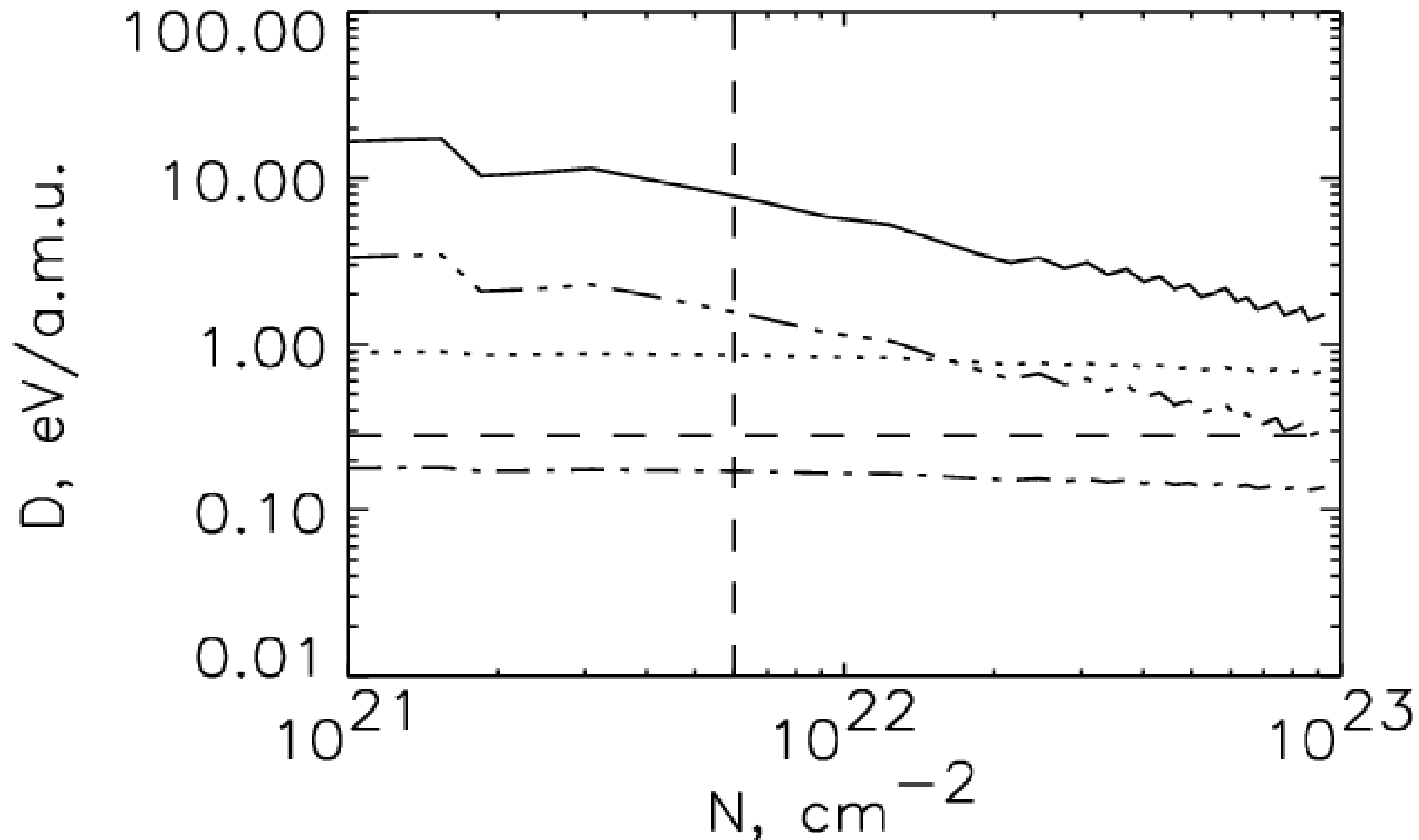
Տիեզերական մասնիկները ամպում

$$n \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}, l \sim 30 \text{ pc}$$



SU – դոզաները, 10-50 մլն տարի

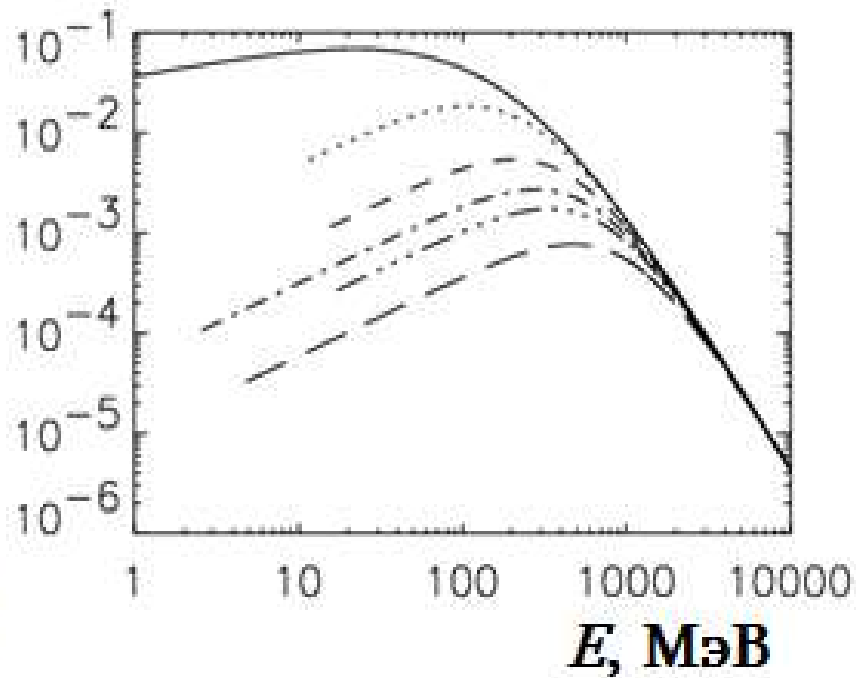
ամպ: $\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_3\text{OH}:\text{NH}_3:\text{CO}$



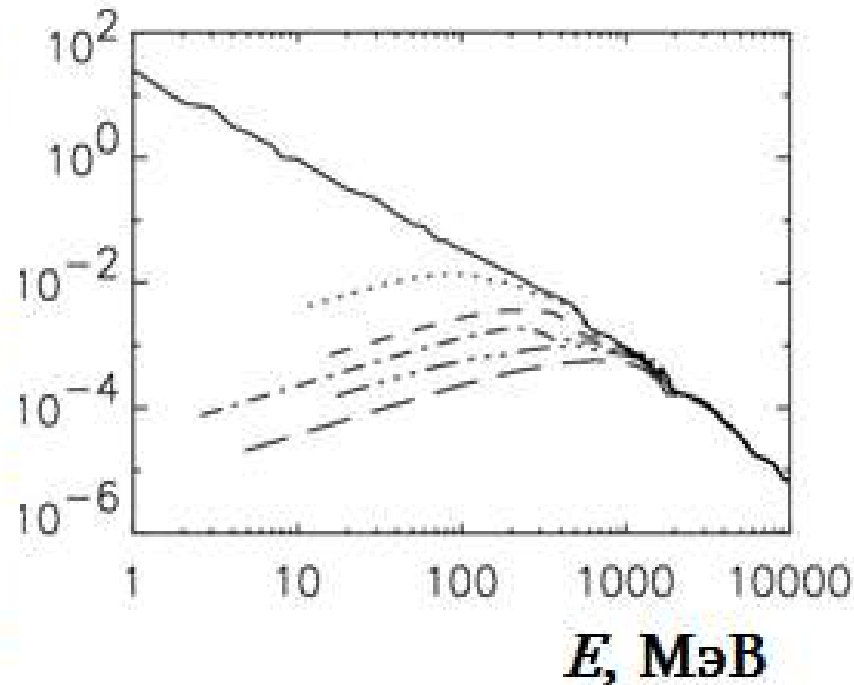
SU-րը խտացման տիրույթում

$$n \geq 10^6 \text{ cm}^{-3}, l \sim 0.1 \text{ pc}$$

F , $\text{частиц} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$

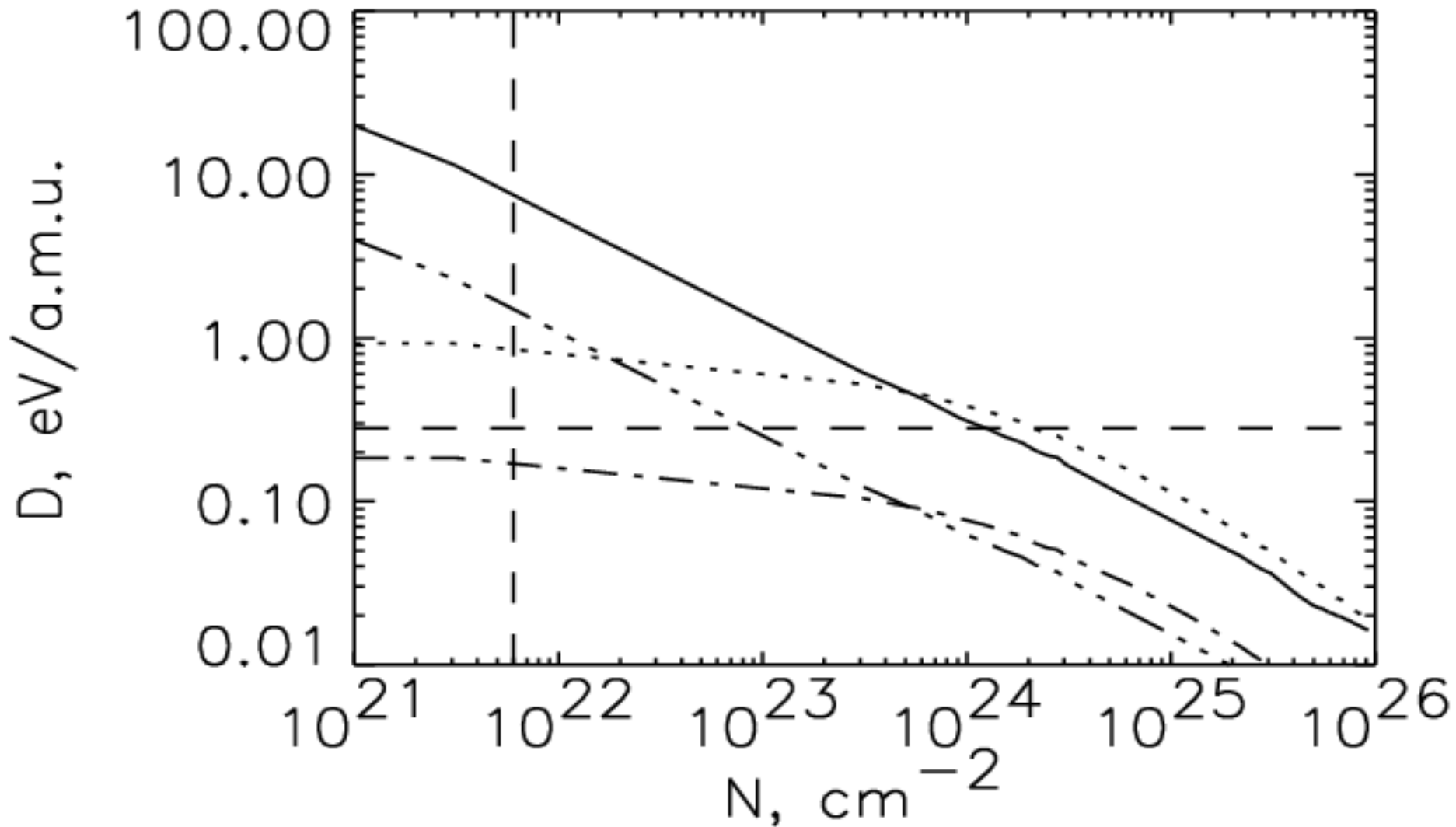


F , $\text{частиц} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$



SU – դոզաները, 10-50 մլն տարի

խտացում: $\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_3\text{OH}:\text{NH}_3:\text{CO}$



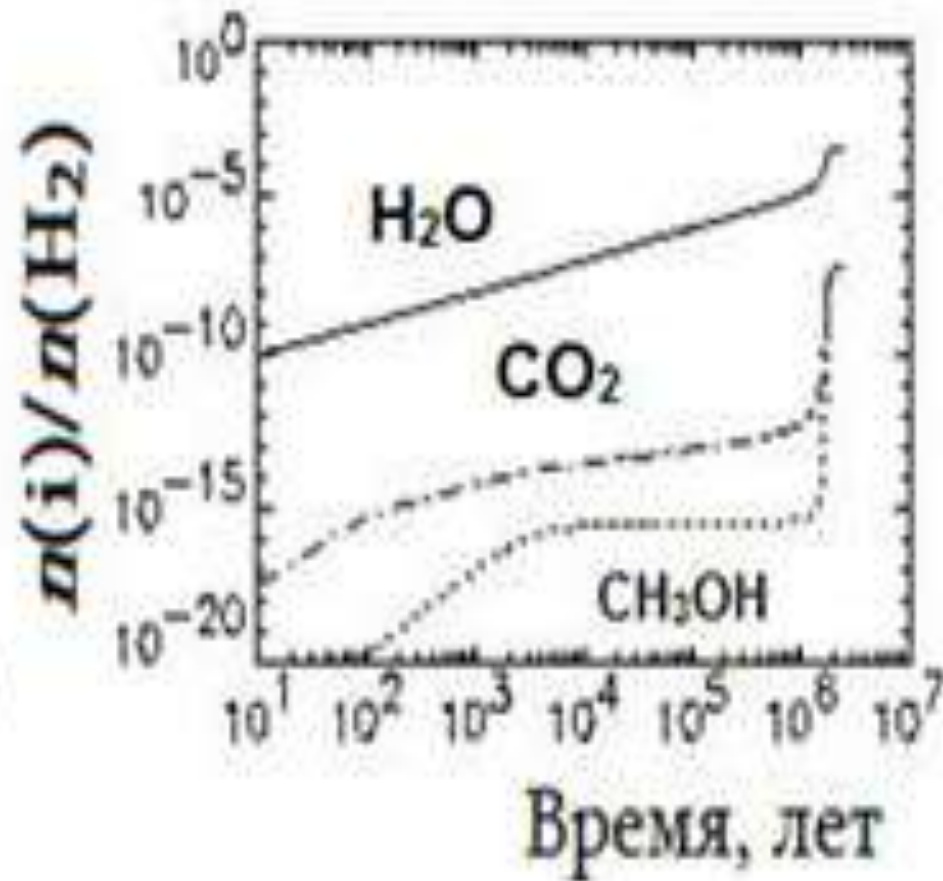
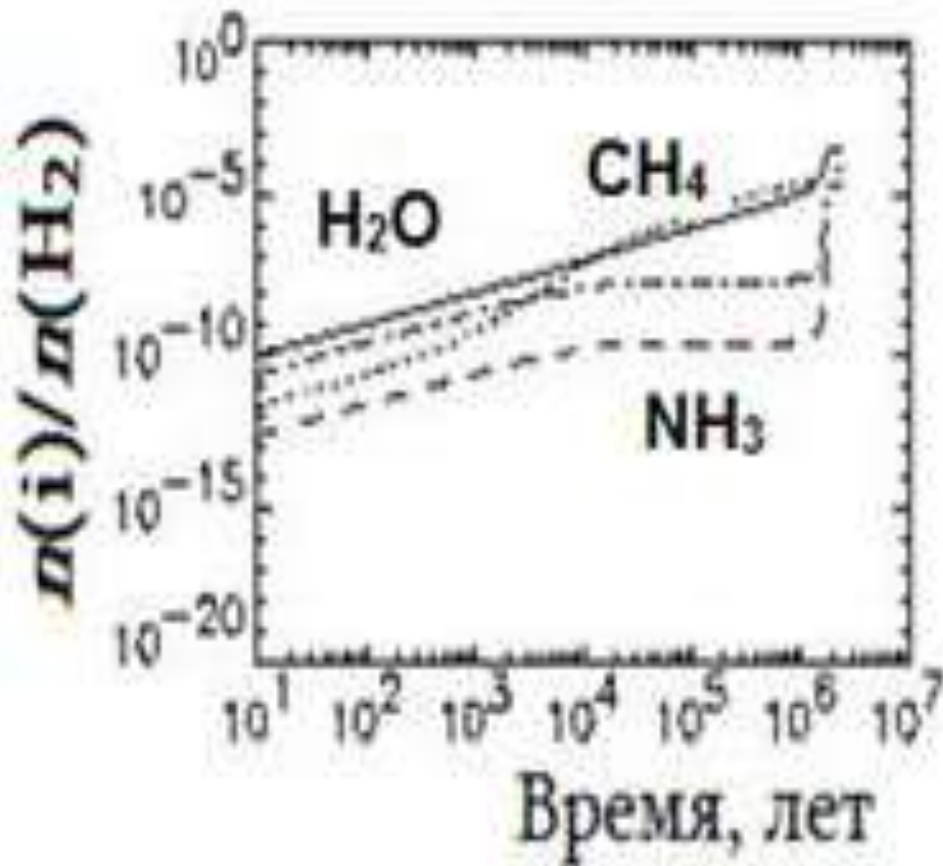
ASTROCHEMISTRY-UCL

166 մոլեկուլներ, որից ~ 30 – պինդ ֆազա

1779 ֆոտո-ռադիո-քիմիական
փոխազդեցություններ

Ոչ ստացիոնար, 10 K

Մառույցների էվոլյուցիան: 10^2 - 10^7 սմ⁻³
 1 մլն տարի, $l \sim 0.1$ պկ



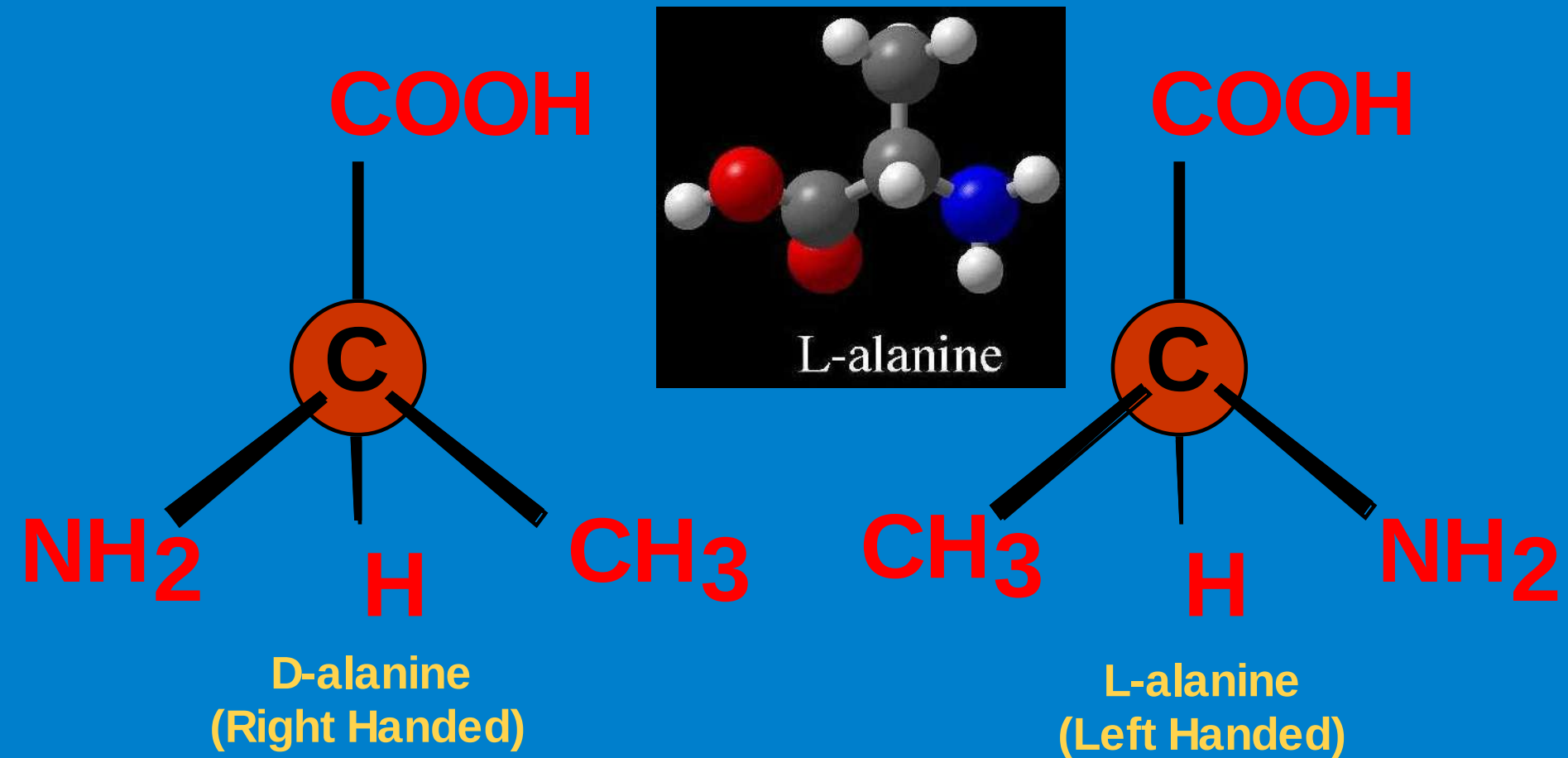
Քայլ 4 – քիրալացում

Մոլեկուլյար համաչափության խախտում

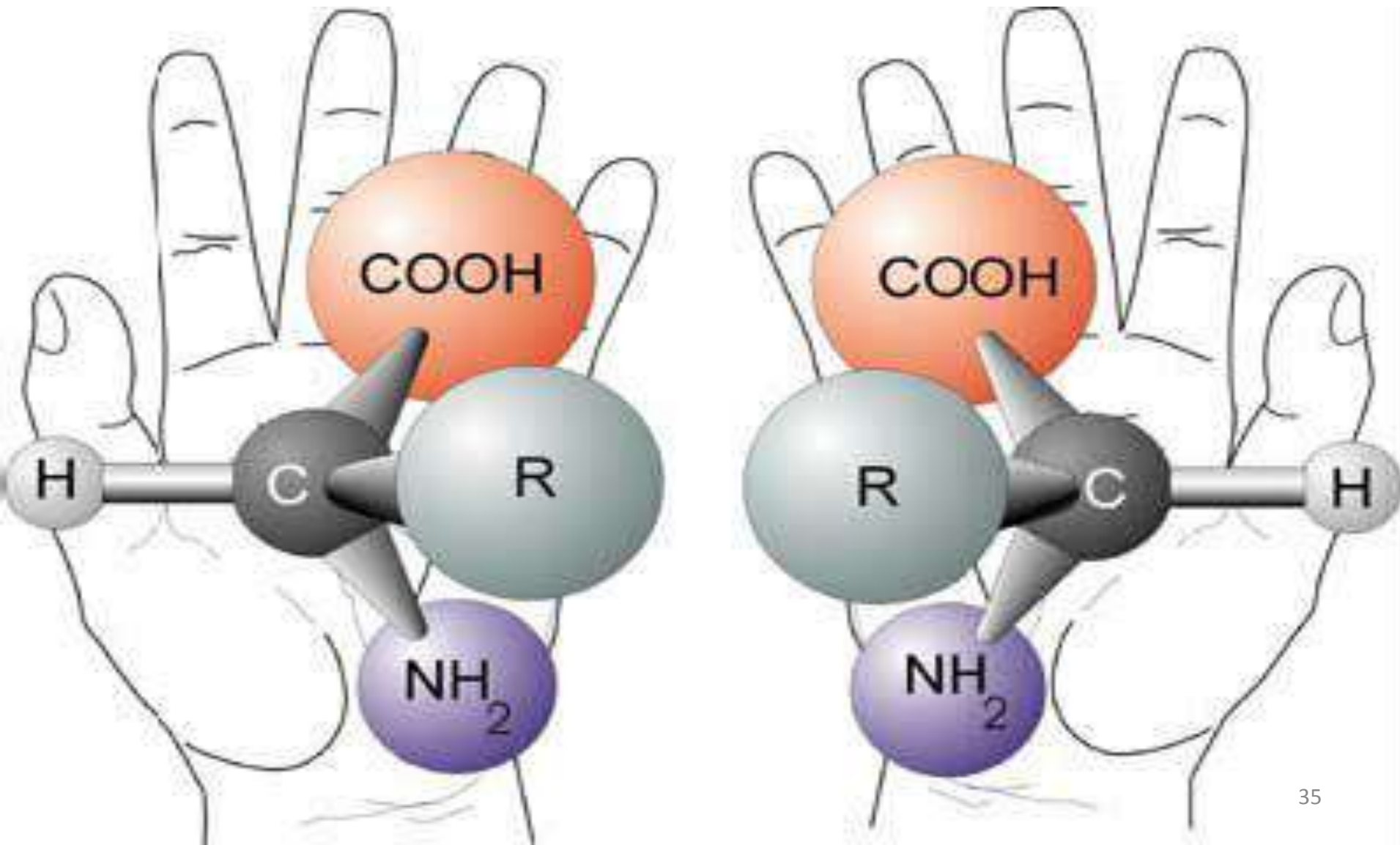
Կյանքի առանձնահատկությունն է՝ Pasteur
Քիրալացումը նախորդել է կյանքին
Փոշու միջոցով և գիսավորներով հասել է Երկիր

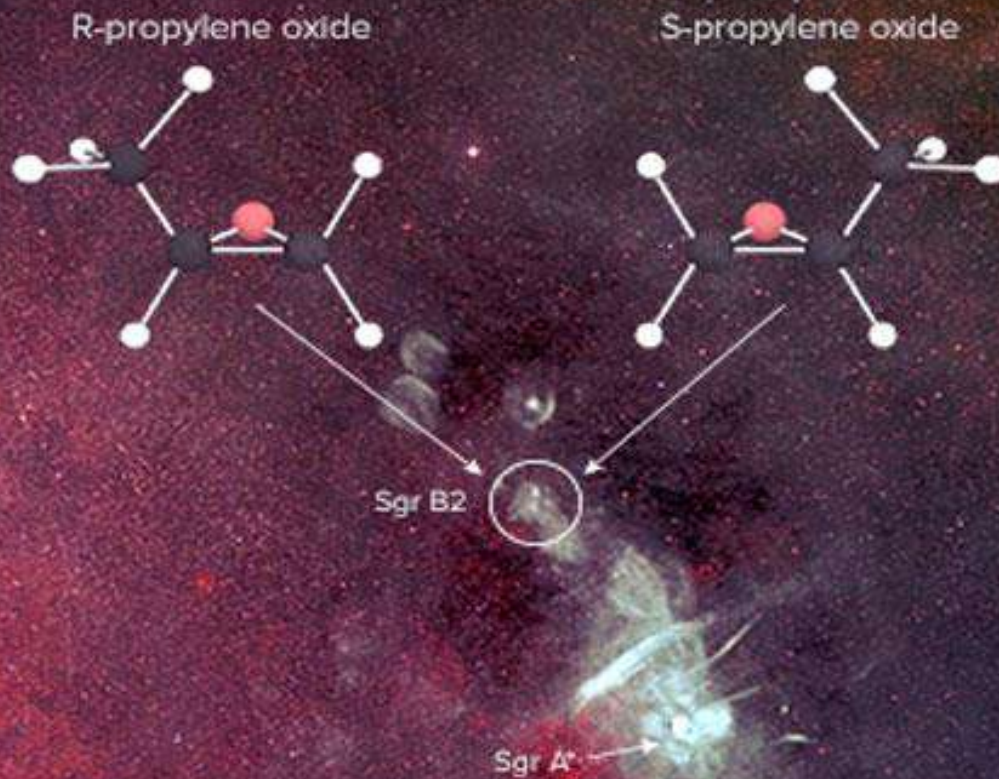
Շրջանային բեկեռացված լույս ~ 10 էՎ,
պայմանավորում է սելեկտիվ ֆոտոքիմիա
և քիրալ ամինաթթուների նախընտրելի
առաջացումը

Terrestrial organisms use one enantiomer only



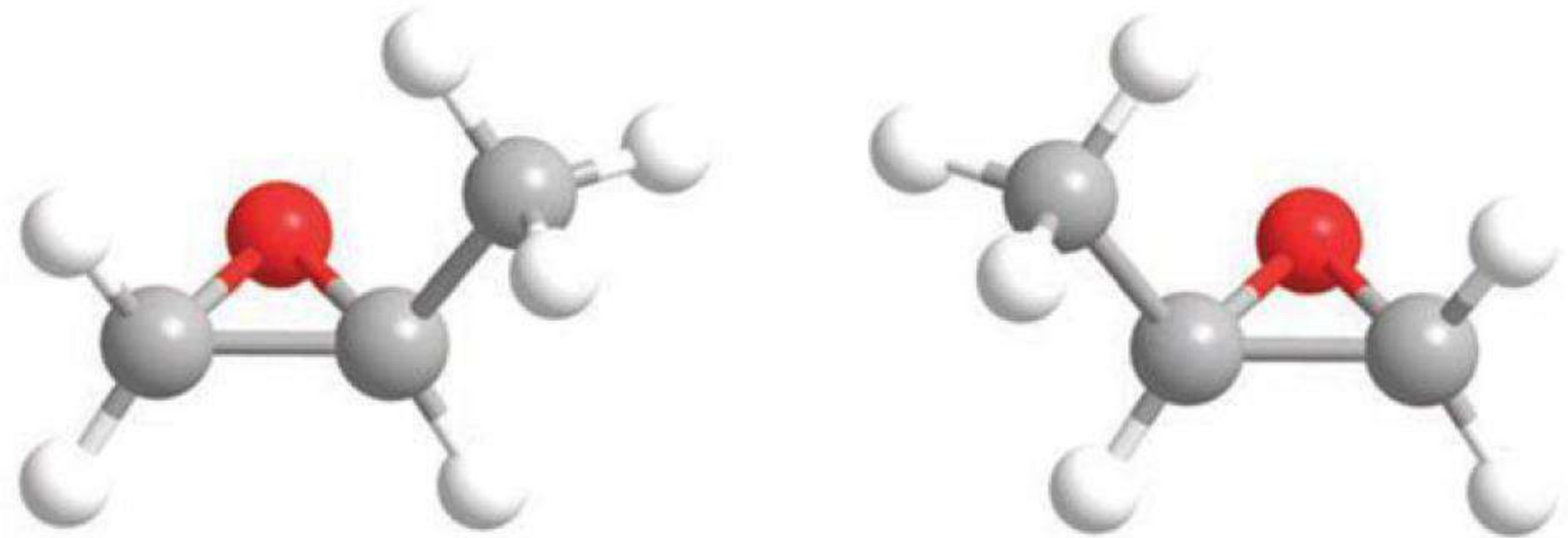
Protein synthesis, gene transcription, metabolism essentially depend on homochirality





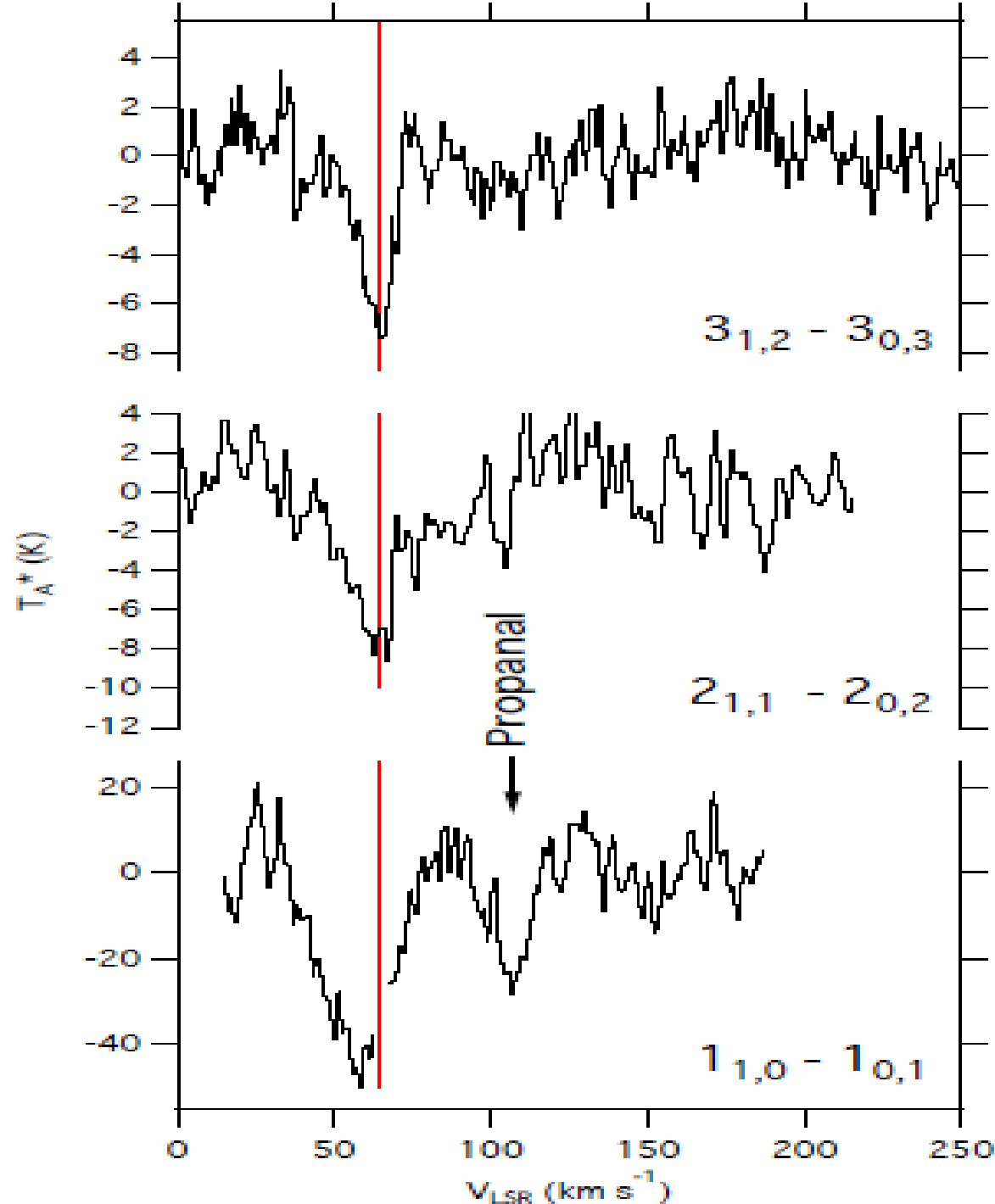
**First
chiral
species
detected
in space
McGuire
et al.
2016**

Propylene oxide in Sagittarius B2 North



McGuire et al., 2016: "The next step is to detect an excess of one enantiomer over the other"

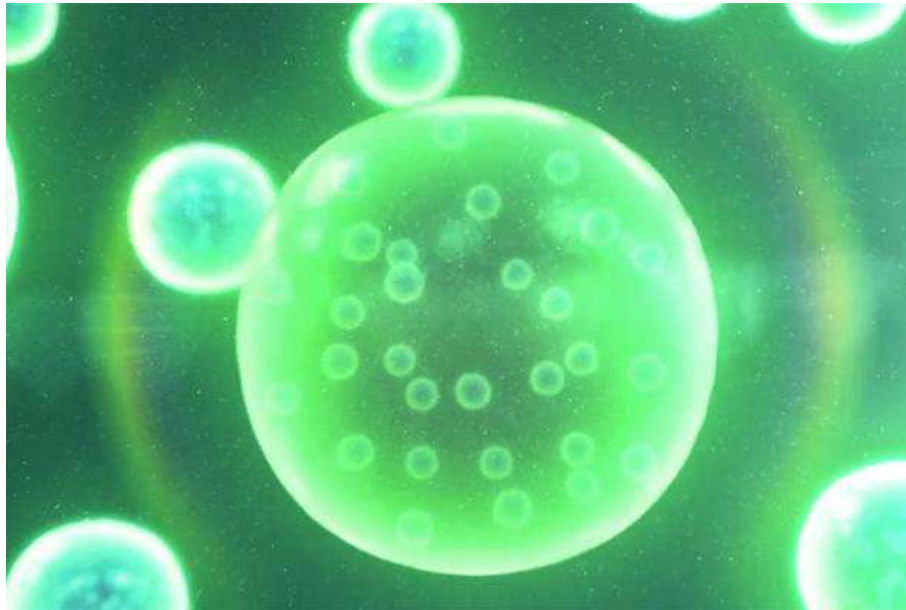
**McGuire et al.
2016
confidently
identified first
chiral
molecule
(propylene
oxide)
2.5, 2.3, 2.1 cm**



Քայլ 5 – մեկուսացում

Նախաբջիջները նախաԵրկրի վրա

- Zwicker et al., 2017, Haldane, 1955, Oparin, 1924



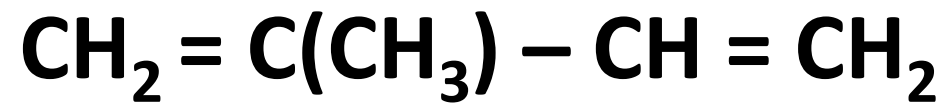
Deamer, 1980 –
"membrane first" hypothesis
needs the lipid bilayer
(lipids, pospholipids, et cetera)

McCarthy, Calvin, 1967 - **polyisoprenoid compounds first !**
Keheyan, Cataldo, Yeghikyan, 2004; Yeghikyan, 2015 -
discussion

Membranes first in aqueous environment

**McCarthy, Calvin, 1967 –
polyisoprenoid hydrocarbons role**

Isoprene – (C₅H₈) -2-methyl-1,3-butadiene :



**and derivatives play an important role
as membrane making subunits.**

Observational tests for polyisoprenoids

Yeghikyan, 2015

CR and VUV induced Polycondensation of solid CH_4
→ aliphatic heavy hydrocarbons up to $\text{C}_{29}\text{H}_{60}$.

Aromatization due to VUV → small PAH, e.g. $\text{C}_{24}\text{H}_{12}$

Circumstellar disks show many predecessors of PAH with aliphatic bonds.

Search of corresponding lines of solid polyisoprenoid hydrocarbons in disks, that is vibrational lines of dienic molecules in the range of 3.23-13.7 μm .

UV photon and MeV particle doses

UV photons – 6-13.6 eV:

$$n_{\text{ice}} \cdot D_i = \int_{\nu_1}^{\nu_2} F_i \cdot \alpha_{\nu} \cdot d\nu, \quad D = D_i \cdot t$$

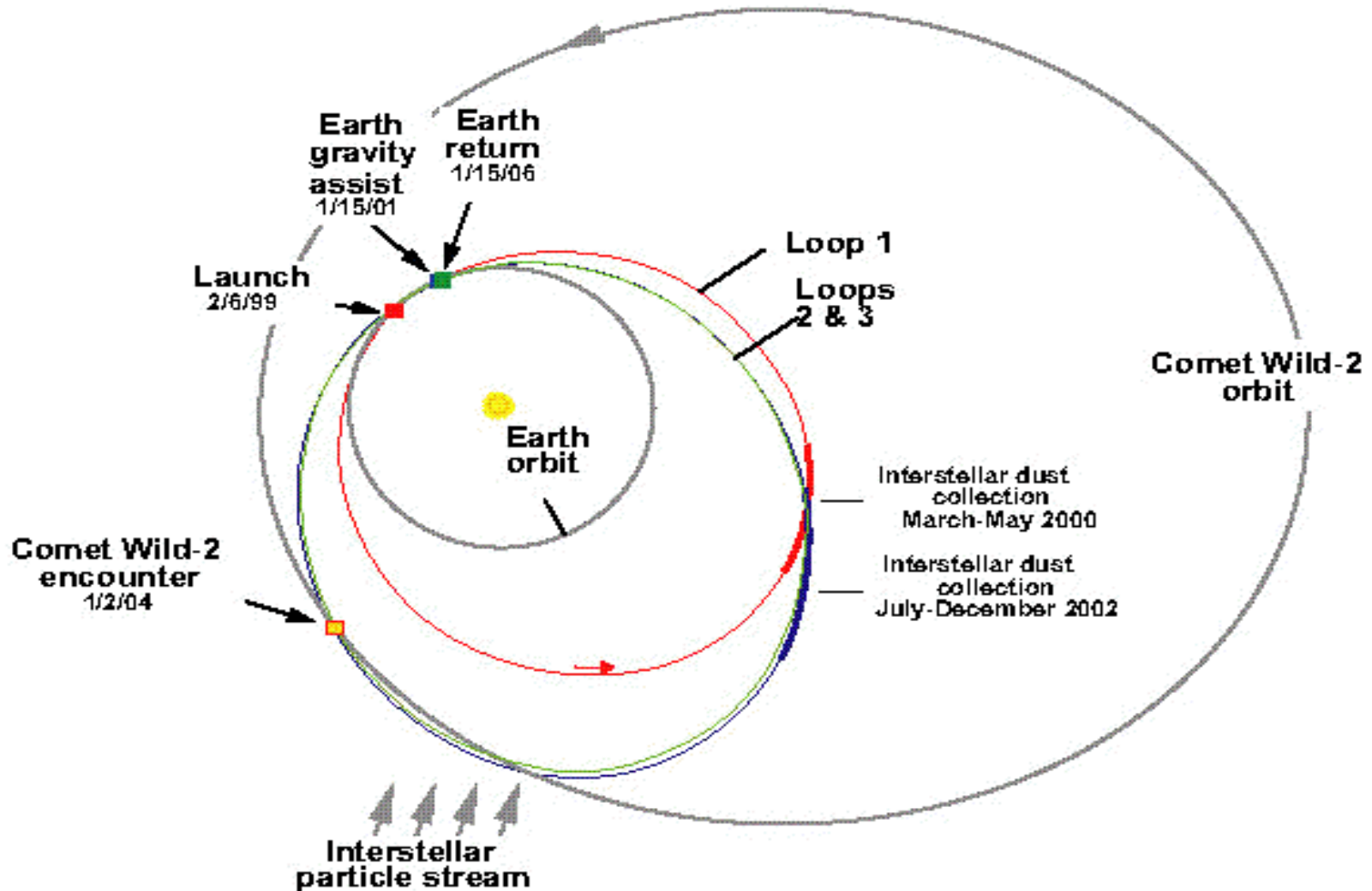
$$\alpha_{\nu} = n_{\text{ice}} \cdot \sigma_{\nu}, \quad \alpha_{\nu} = 4\pi \cdot m_{\text{im}} / \lambda$$

MeV proton/ α -particles

$$n \cdot M(n) \frac{dD_p}{dt} = \int_{E_1}^{E_2} F(E) S(E) dE, \quad D_p = \left(\frac{dD_p}{dt} \right) \cdot t,$$

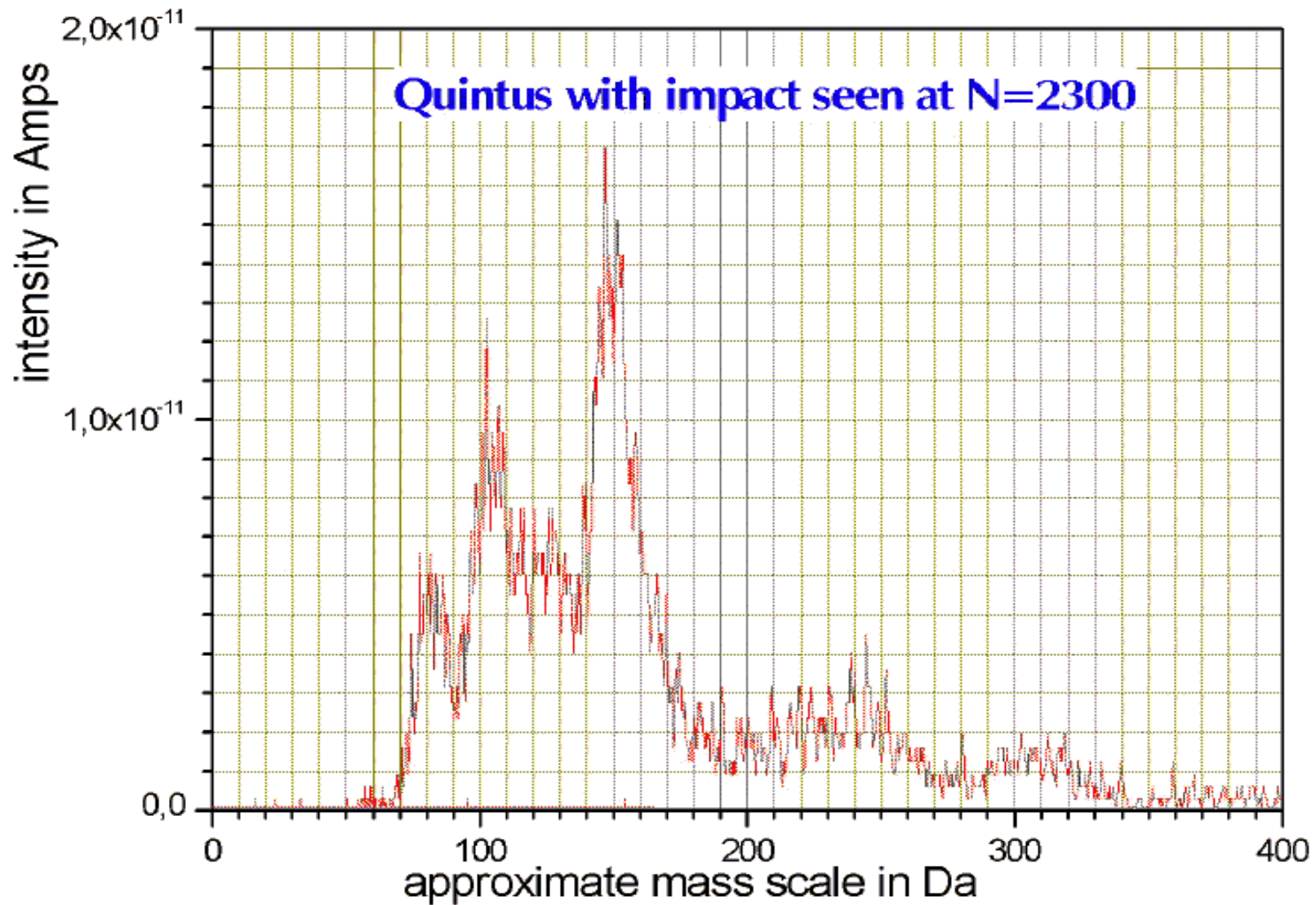
$$F(E) = 4\pi J_p(E), \quad S(E) = dE/dx$$

Comet and Interstellar Dust Analyzer (CIDA) onboard the NASA spacecraft STARDUST, 2000



DIRECT CHEMICAL ANALYSIS OF INTERSTELLAR DUST

Kruegel, Kissel, 2000



**Most interstellar particles captured by Stardust
are complex organic compounds**

- **2000: “ 3-dimensionally cross-linked organic macro-molecules, so-called polymeric-heterocyclic-aromates. They rather resemble tar-like substances than minerals.”**
- **2004: "polymers of derivatives of the the quinone type, such as quinoline-quinones “ - ?**
- **the "hump" at 218 nm corresponds precisely to the main peak of o-dihydroquinone.**

Այդ հանգամանքը շեշտվել էր վաղուց

Greenberg 1968 «Dust grains are covered by C,N,O,H containing tar-like structures.

Каплан, Пикельнер, 1979, ред. Бочкарев

**«Межзвездные пылинки, возможно покрыты
слоем вещества, близкого к нефти и
нефтепродуктам**

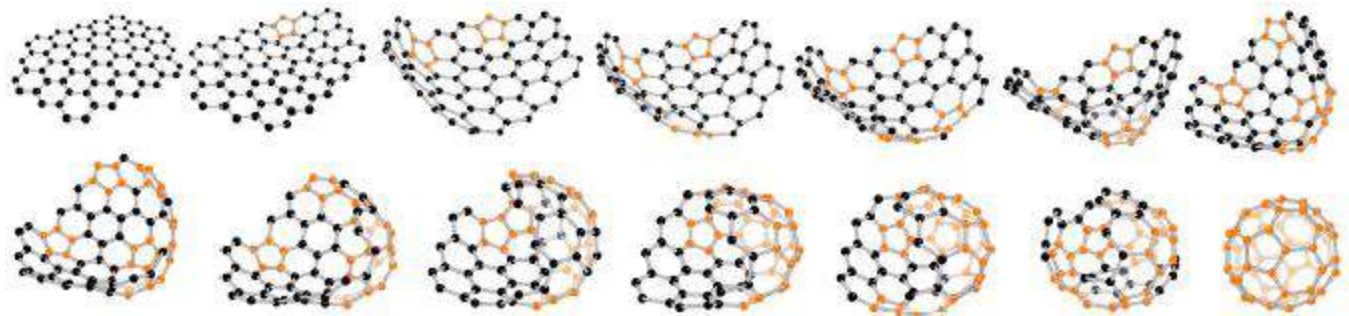
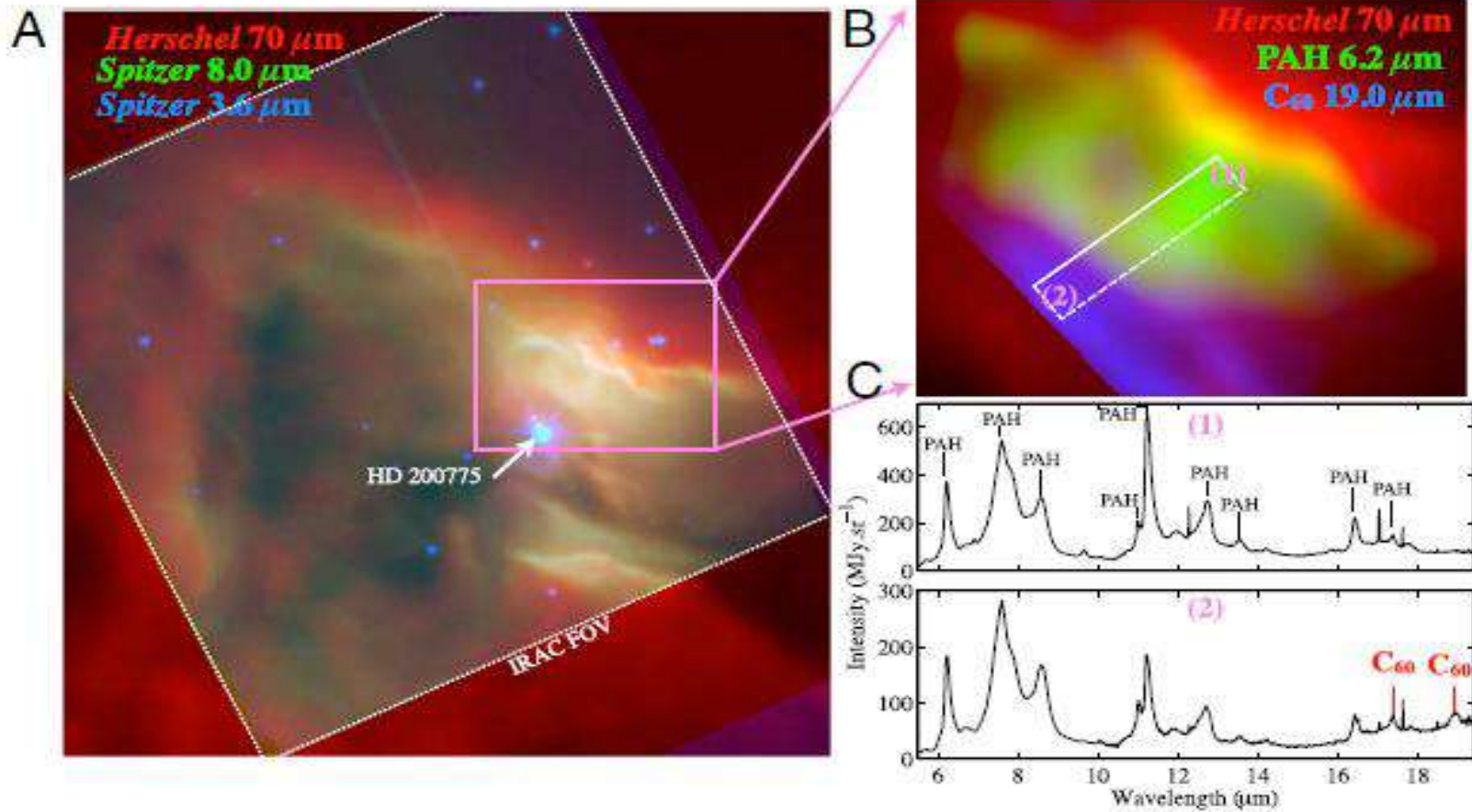
Carbon containing species in meteorites – aa with ee !

Compound class	Concentration (ppm)
Amino acids/CM meteorites	17–60
Amino acids/CI meteorites	$\sim 5^a$
Aliphatic hydrocarbons	>35
Aromatic hydrocarbons	3319^b
Fullerenes	$>100^c$
Carboxylic acids	>300
Hydrocarboxylic acids	15
Dicarboxylic acids and Hydroxydicarboxylic acids	14
Purines and Pyrimidines	1.3
Basic N-heterocycles	7
Amines	8
Amides linear	>70
Amides cyclic	$>2^d$
Alcohols	11
Aldehydes and Ketones	27
Sulphonic acids	68
Phosphonic acids	2

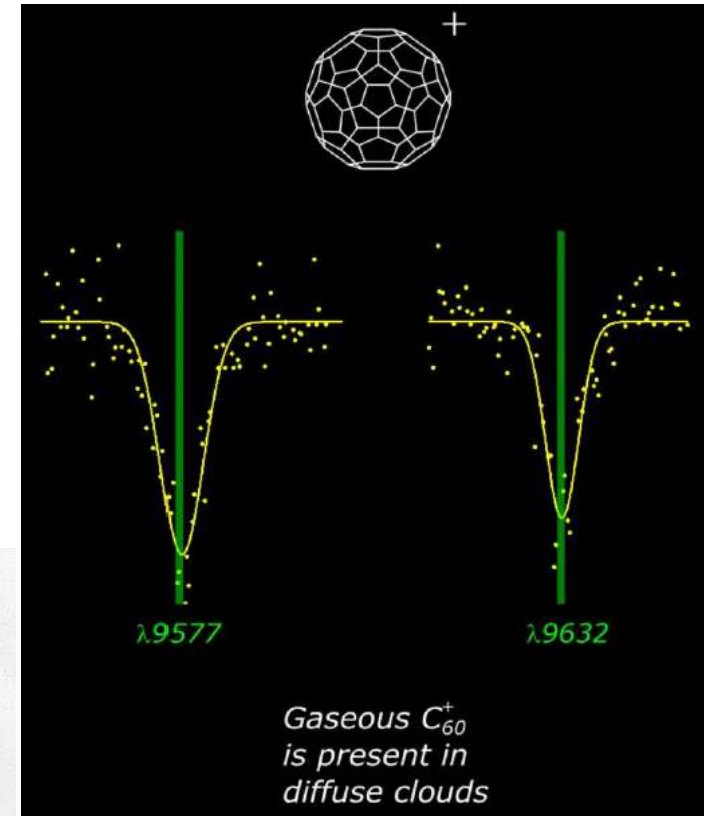
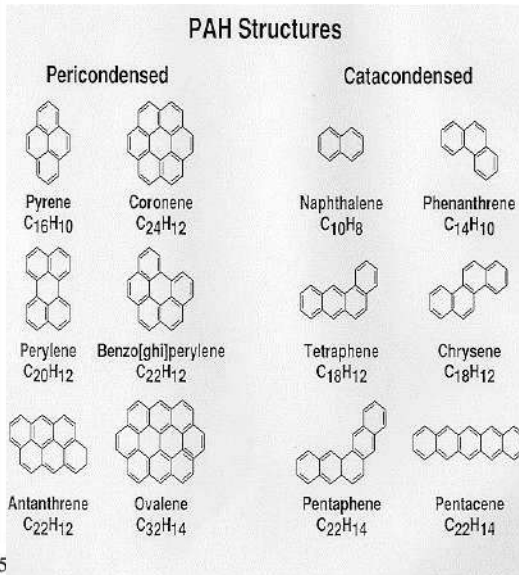
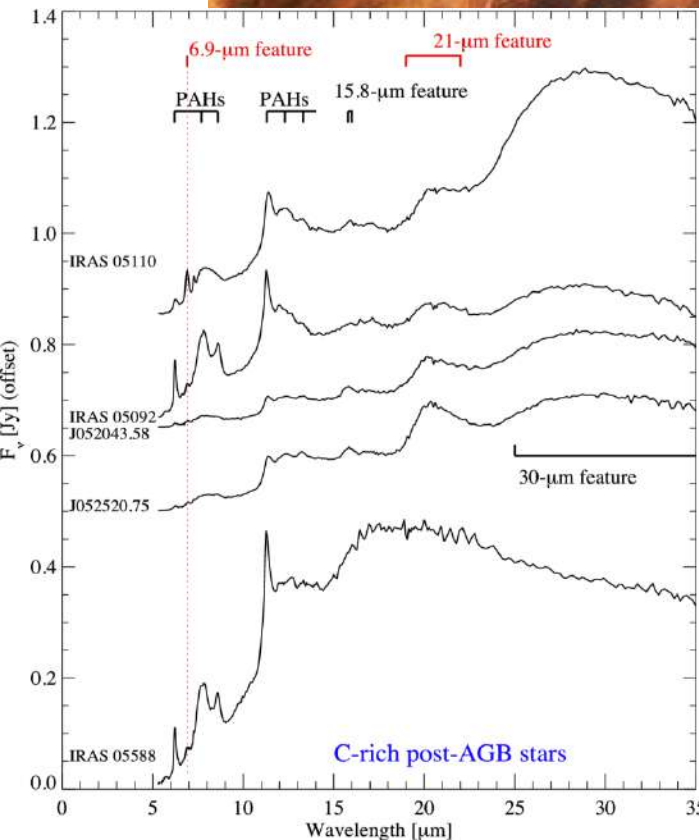
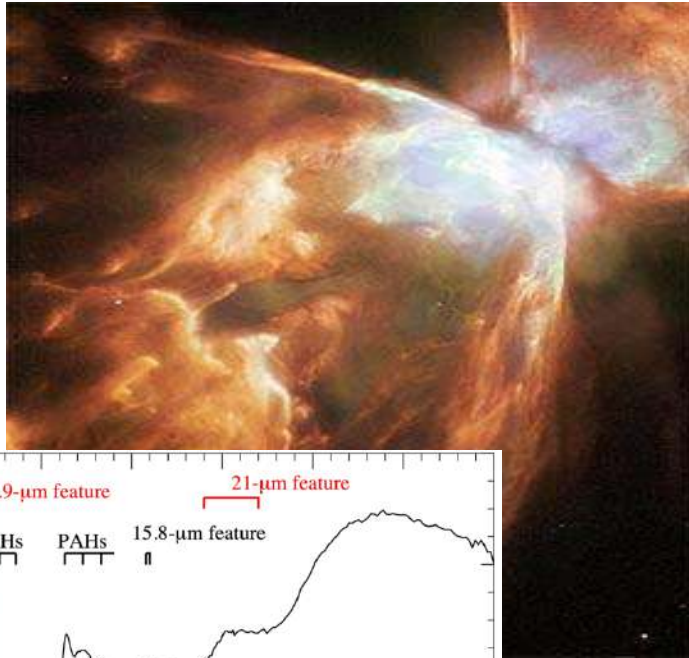
Optically active

Fullerens in NGC 7023 (Berne, Tielens, 2011) :

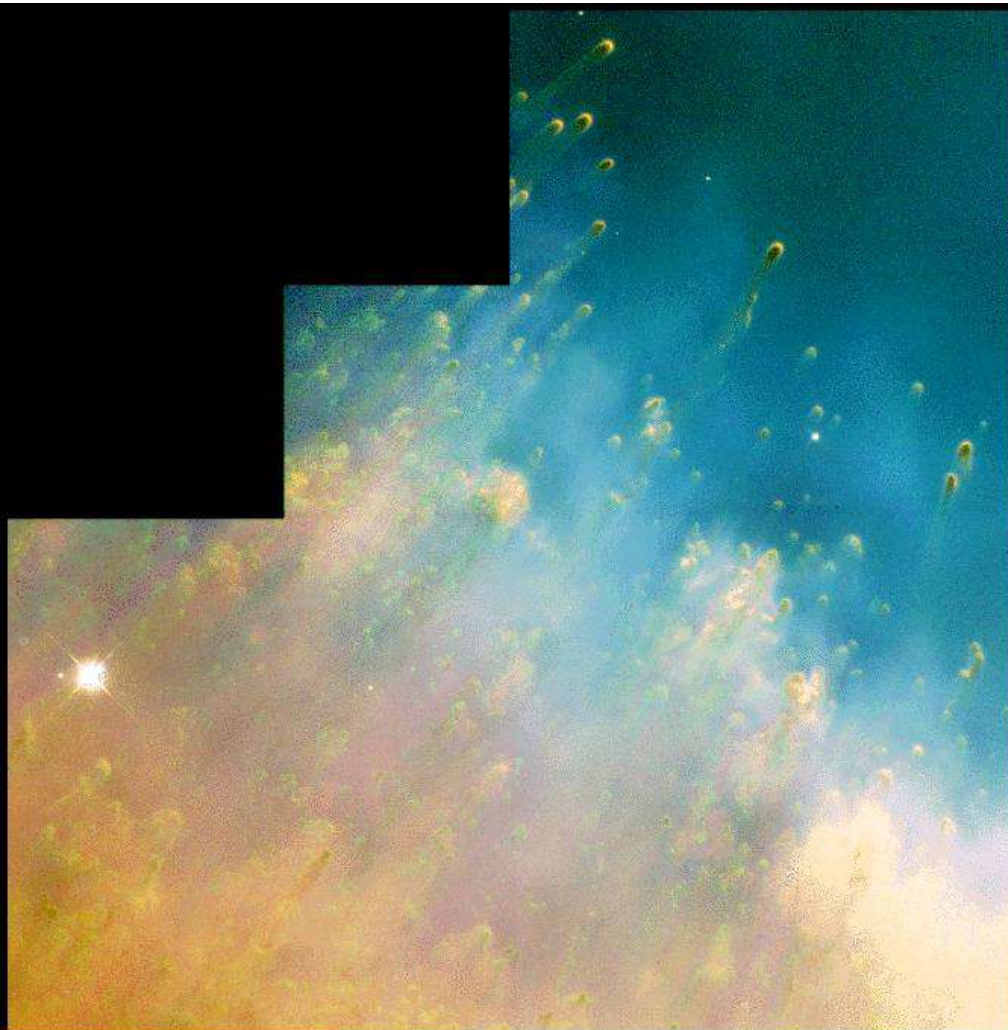
PAH – graphene – C60 under strong UV



Large molecules (nanoparticles) – PAHs – in the cold stellar outflows and C60 in the ISM



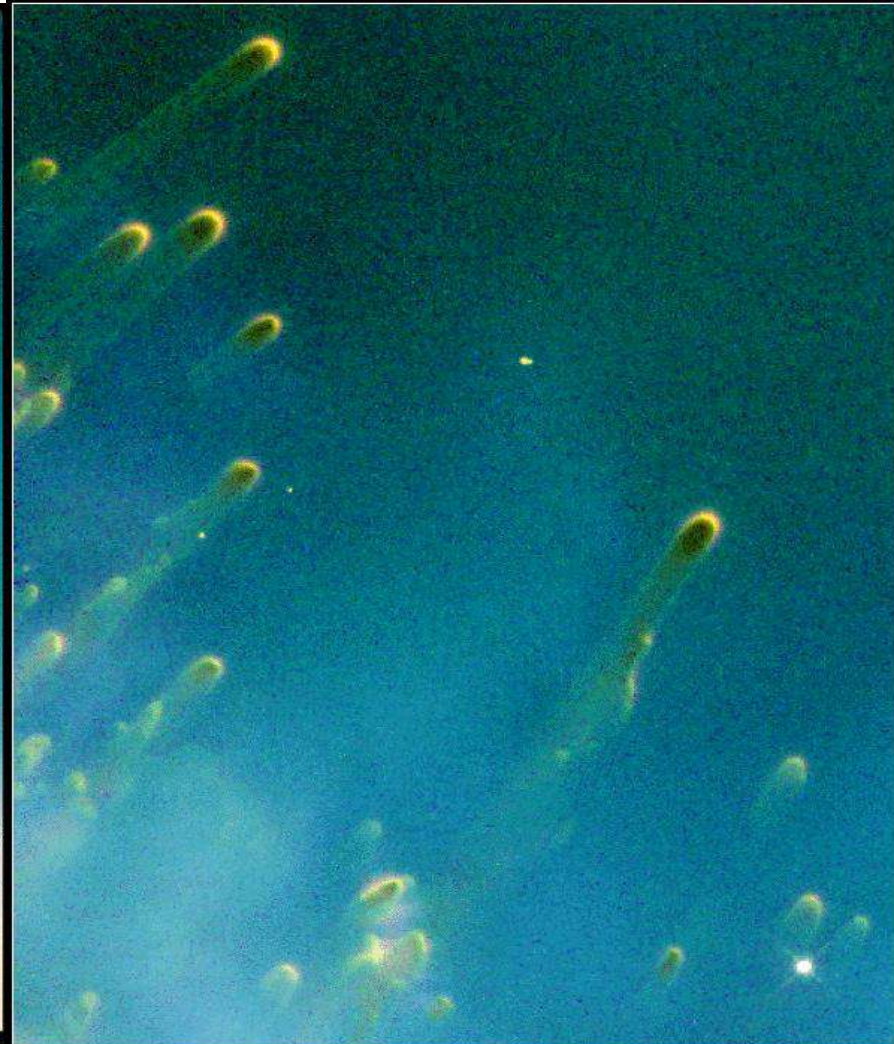
Molecules can also survive inside condensations in Planetary Nebulae: NGC 7293 – Helix – evidencing the recycling of organics in the Galaxy – **C60, C70** !



Helix Nebula · NGC 7293

HST · WFPC2

PRC96-13a · ST ScI OPO · April 15, 1996 · C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA

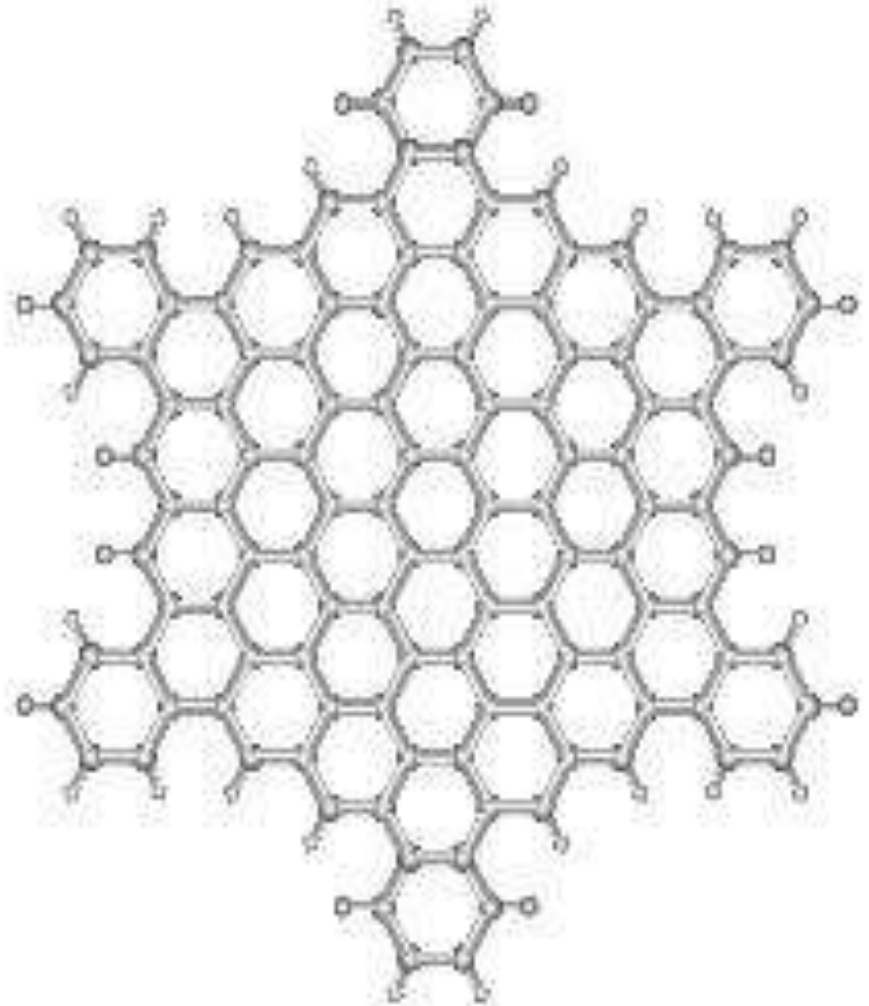
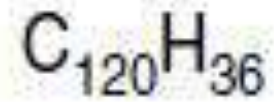
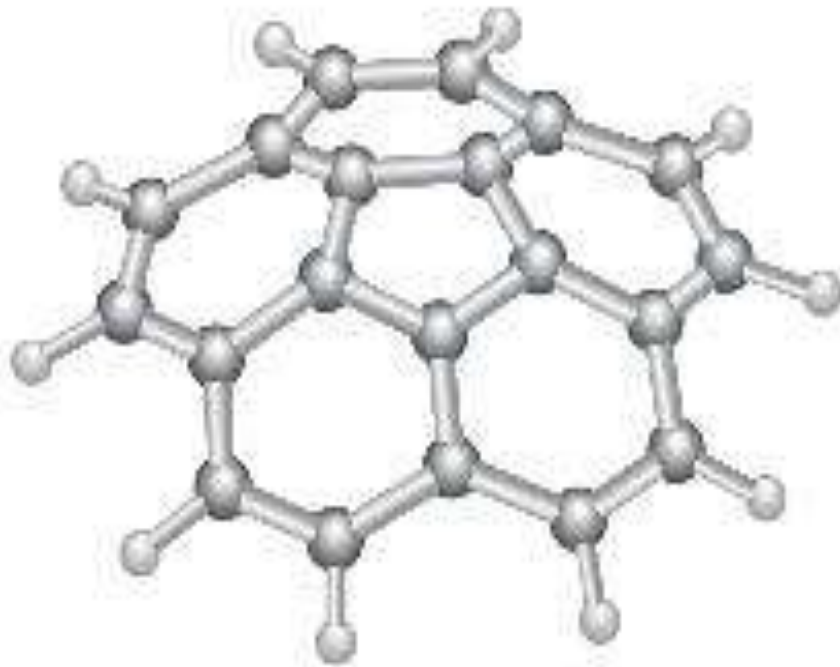
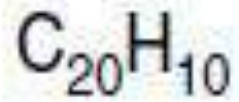


Helix Nebula Detail

HST · WFPC2

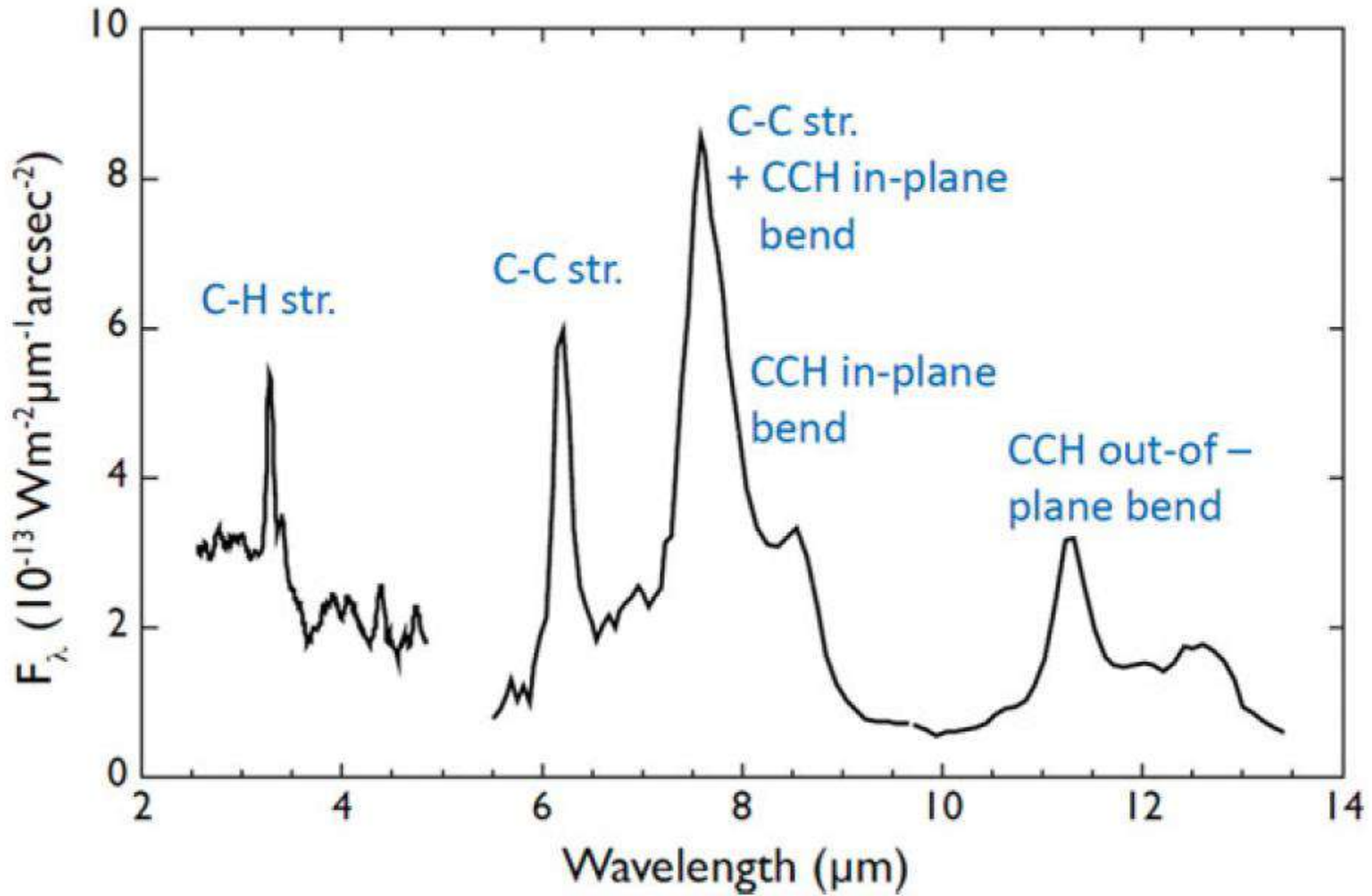
PRC96-13b · ST ScI OPO · April 15, 1996 · C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA

Examples of PAH

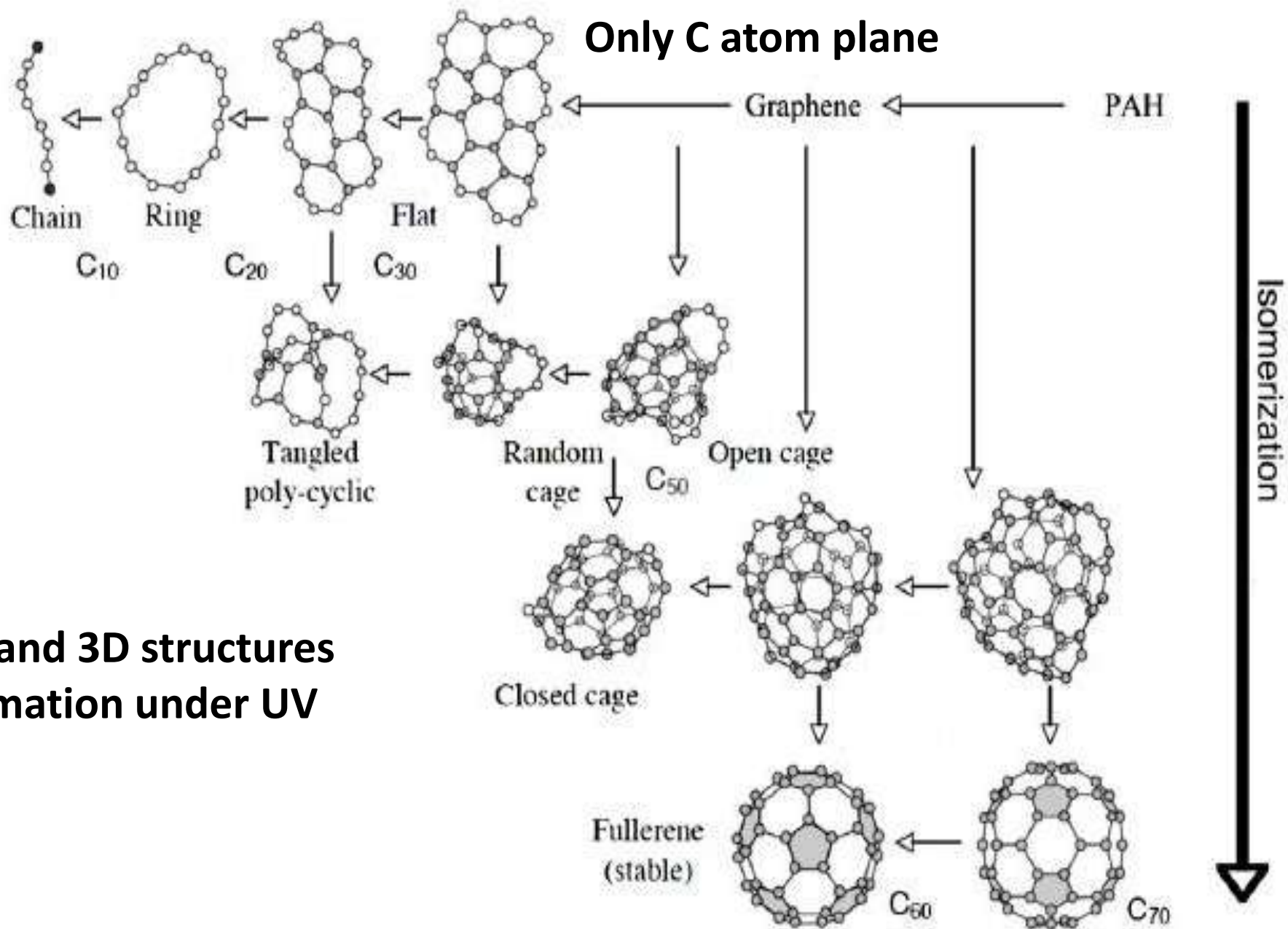


PAH observed toward the Galactic plane

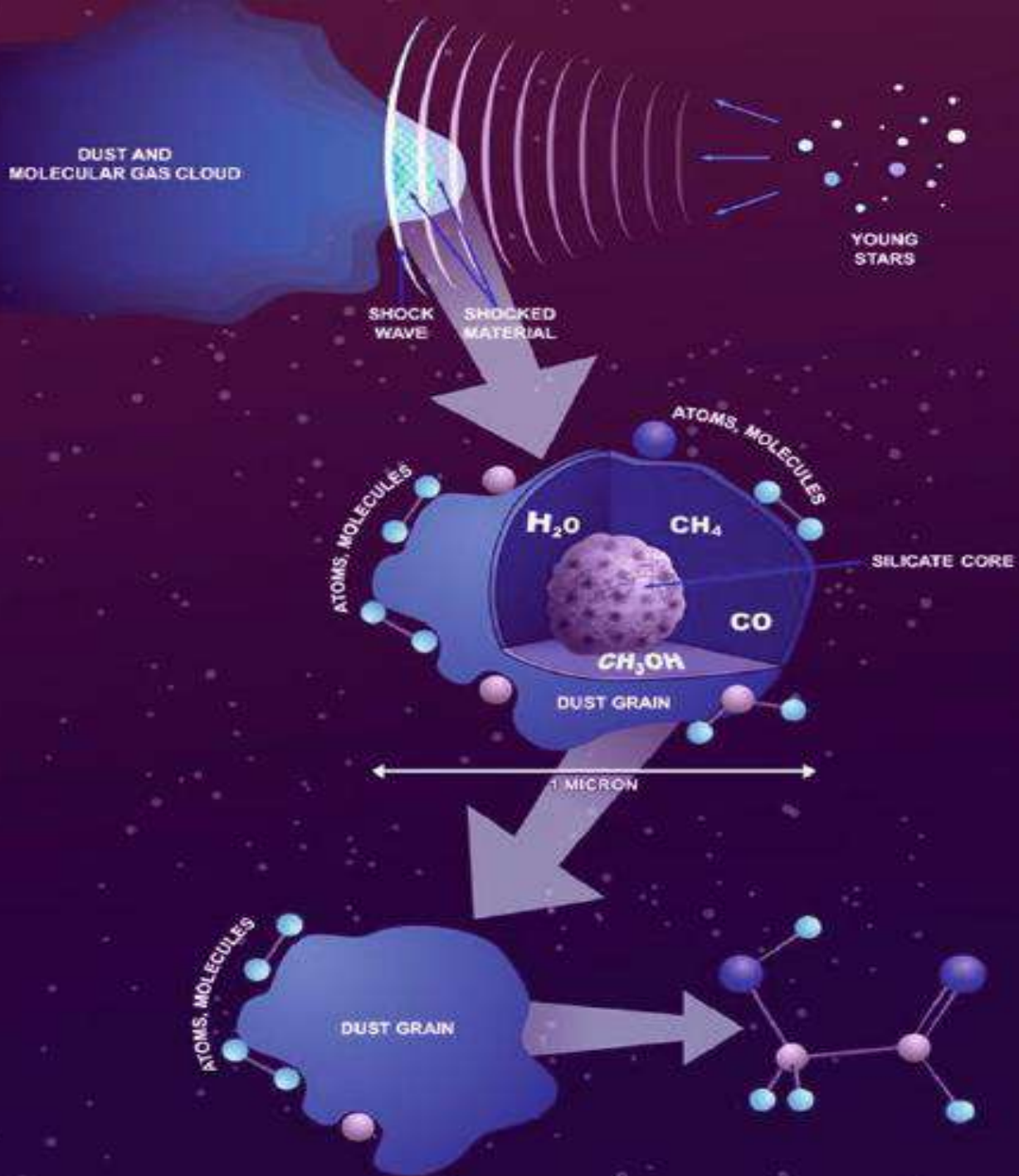
AKARI, Onaka & Sakon, 2017



PAH Dehydrogenation & Fragmentation



**2D and 3D structures
formation under UV**

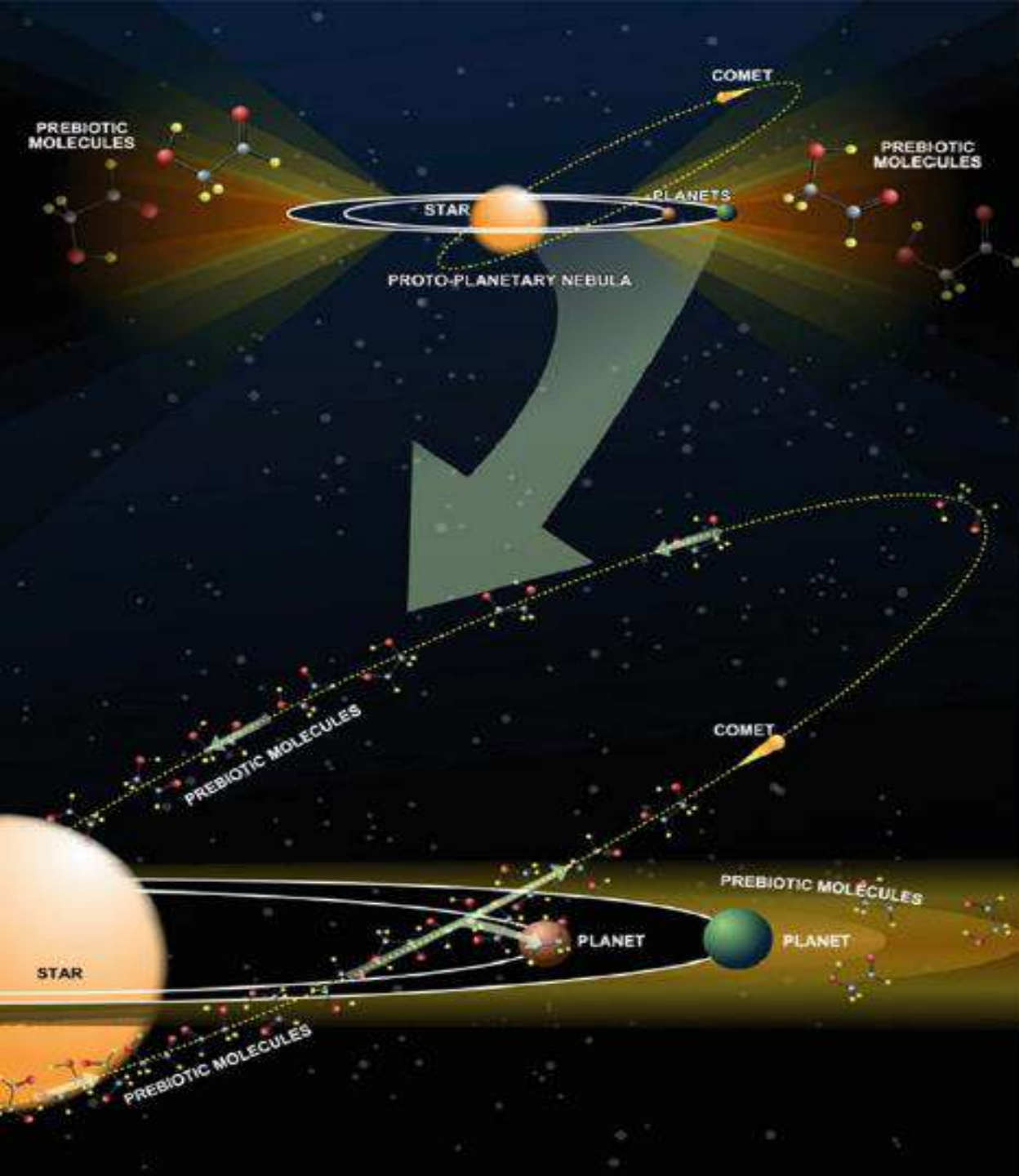


Now and
again - the
best way to
get
complex
molecules
is via **grain
surface
reactions**

Astrobiologists are urgently looking for asymmetric agents for photoreactions

Advantage factors – Goldanskii, Avetisov, 1996

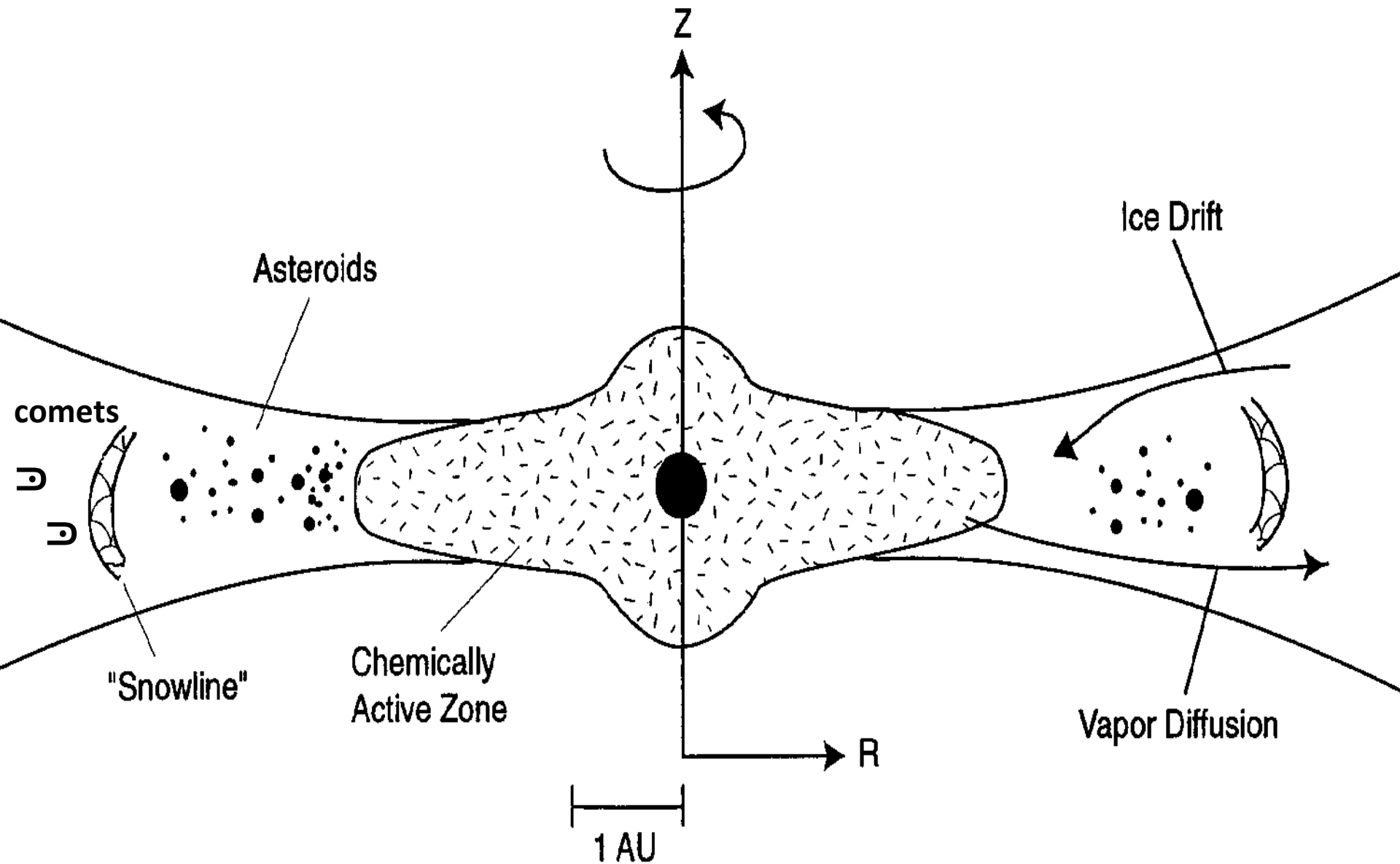
- 1. Circularly polarized VUV radiation (CPL)**
- 2. Polarized electrons**
- 3. Magnetic fields**
- 4. Rotation**
- 5. Parity violation in weak interactions**
- 6. Surfaces of crystals (quartz) and clays (caolinit)**
- 7. Problems of seeding chirality and its amplification are also challenging**



Where do Prebiotic molecules come from ?

- natal cloud
- disk
- exoplanet

Physical-chemical stratification in the protosolar disk



Basics of astrobiological scenarios

1. Water for terrestrial oceans was delivered by comets and IDP around 4.5-3.8 Gyr ago (D/H is well agreed).
2. The terrestrial primordial atmosphere which was also created by such a way was neutral ($\text{CO}_2 + \text{N}_2$).
3. Organics delivered on the Earth by comets and IDP must already have contained chiral species because **molecular symmetry could not be broken under terrestrial conditions.**
4. Comets impacting the Earth with grazing trajectories (with $\alpha \leq 5^\circ$, 2-3 % of all impacts) created first biochemical reactors or „little warm ponds“ . (!)
5. **Life (on Earth) has originated 3.8 Gyr ago immediately after cessation of the „heavy bombardment“ period**

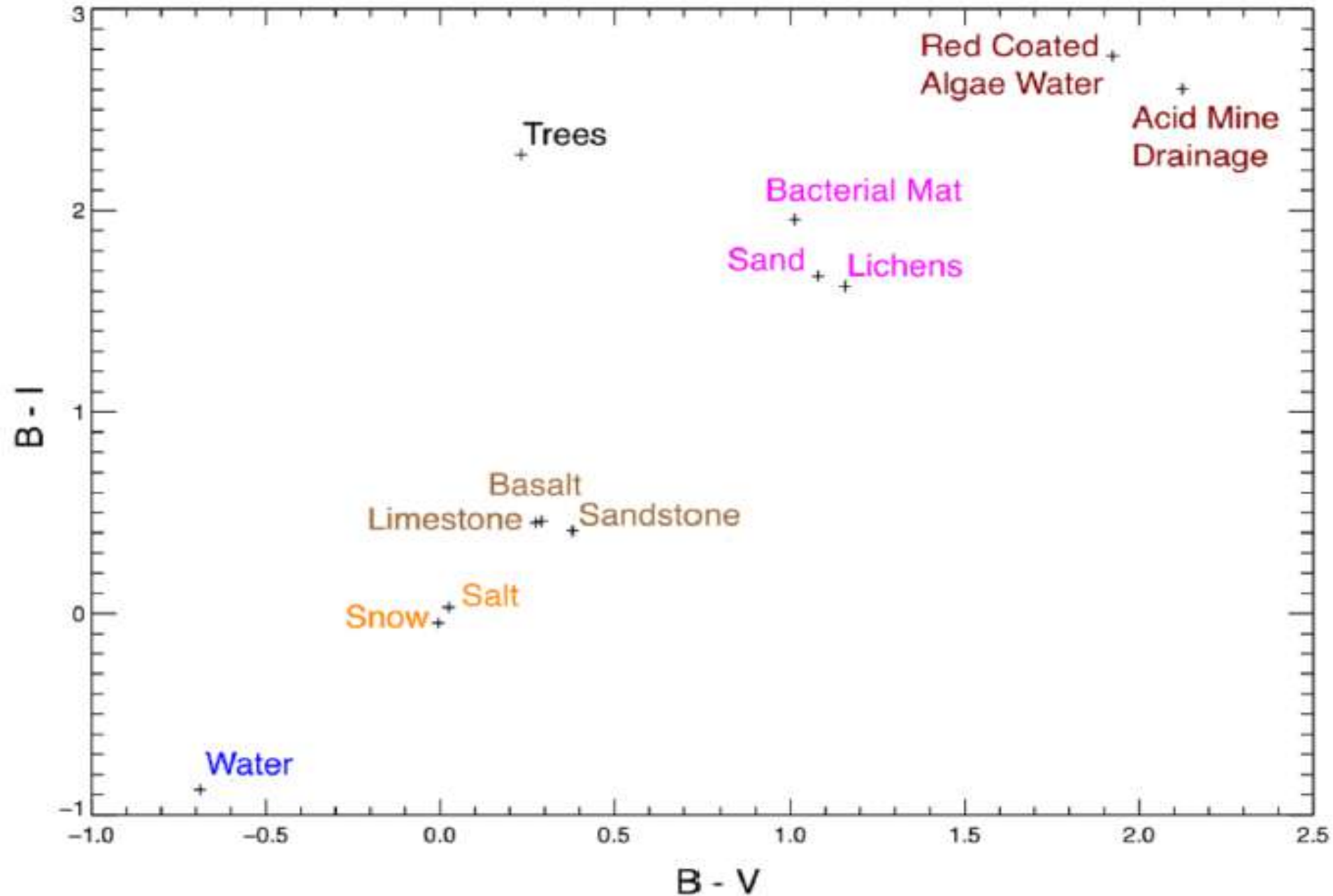
Possible biosignatures in exoplanets from astrophysical point of view

Life as we know it is chiral =>
cyanobacteria, chlorophylls => vegetation-
reflection spectropolarimetry – circular
polarisation: corresponding bands at

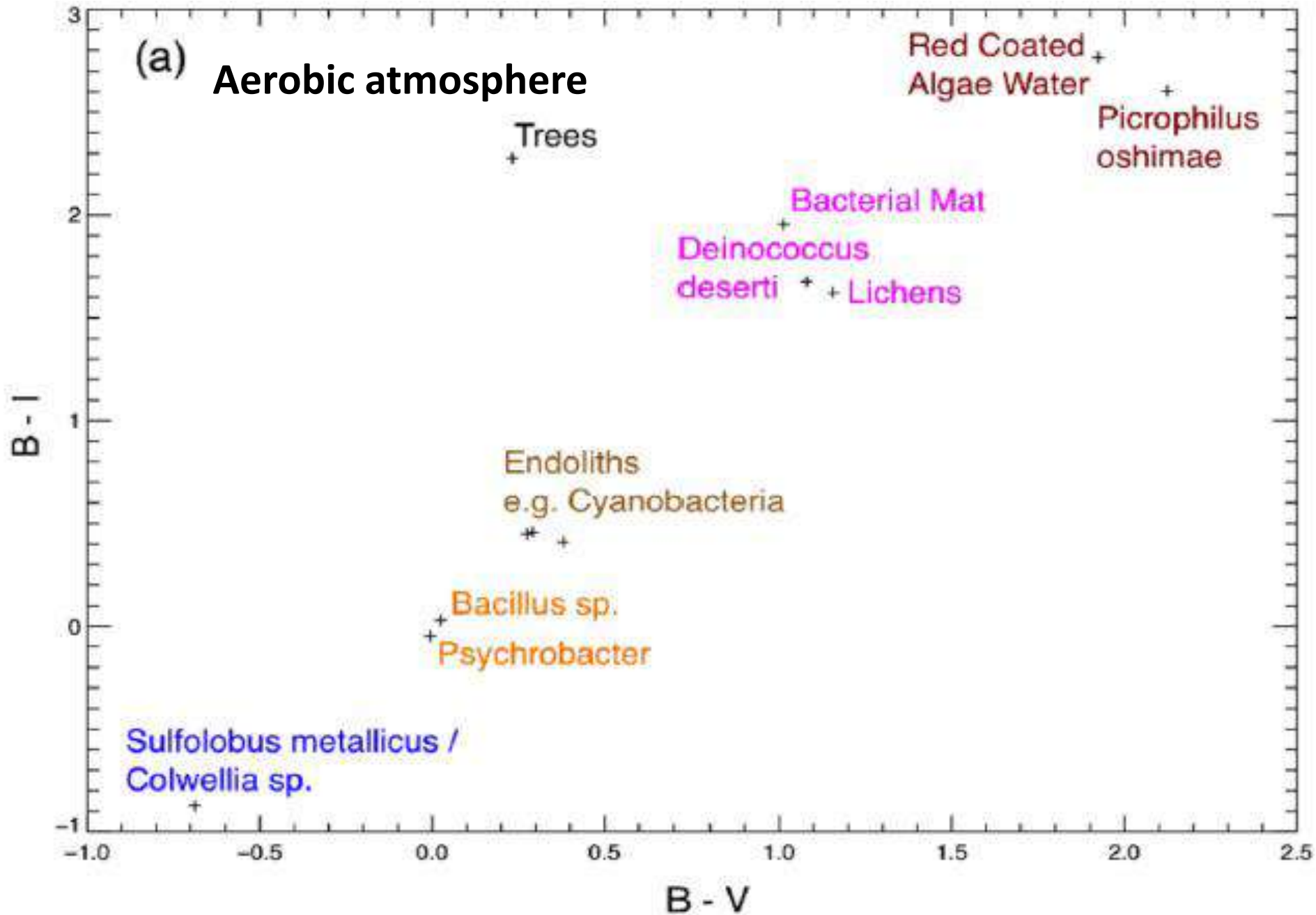
$\approx 680, 620, 590, 560, 430$ nm - Sparks et al. 2009

Also Life needs as a rule H_2O and O_2 and results CH_4 :
with spectral bands in $\approx 600 - 700$ nm and
important IR ($\approx 3.4 - 18 \mu$) – Walker et al. 2016

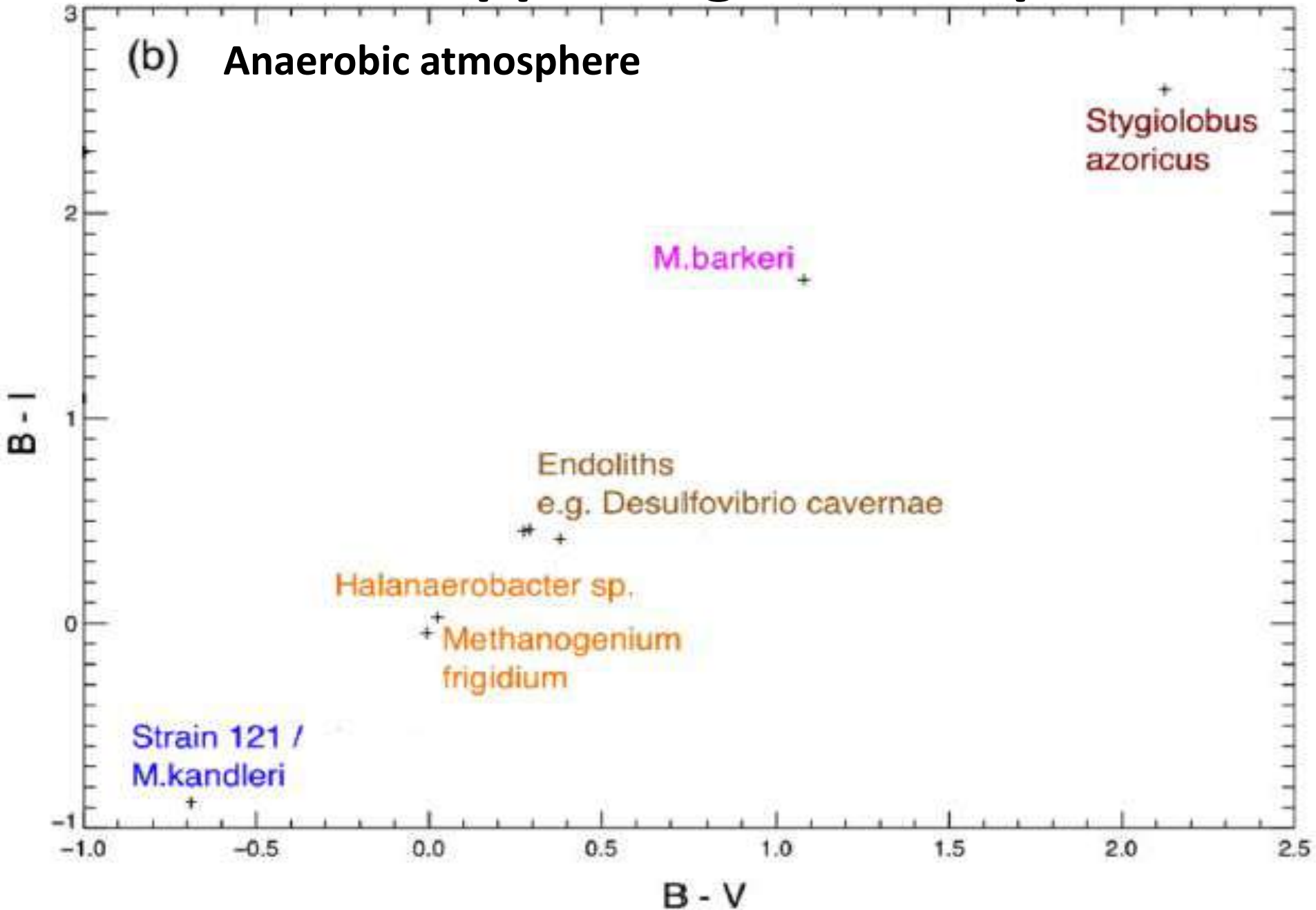
By observed reflection spectra for the Earth



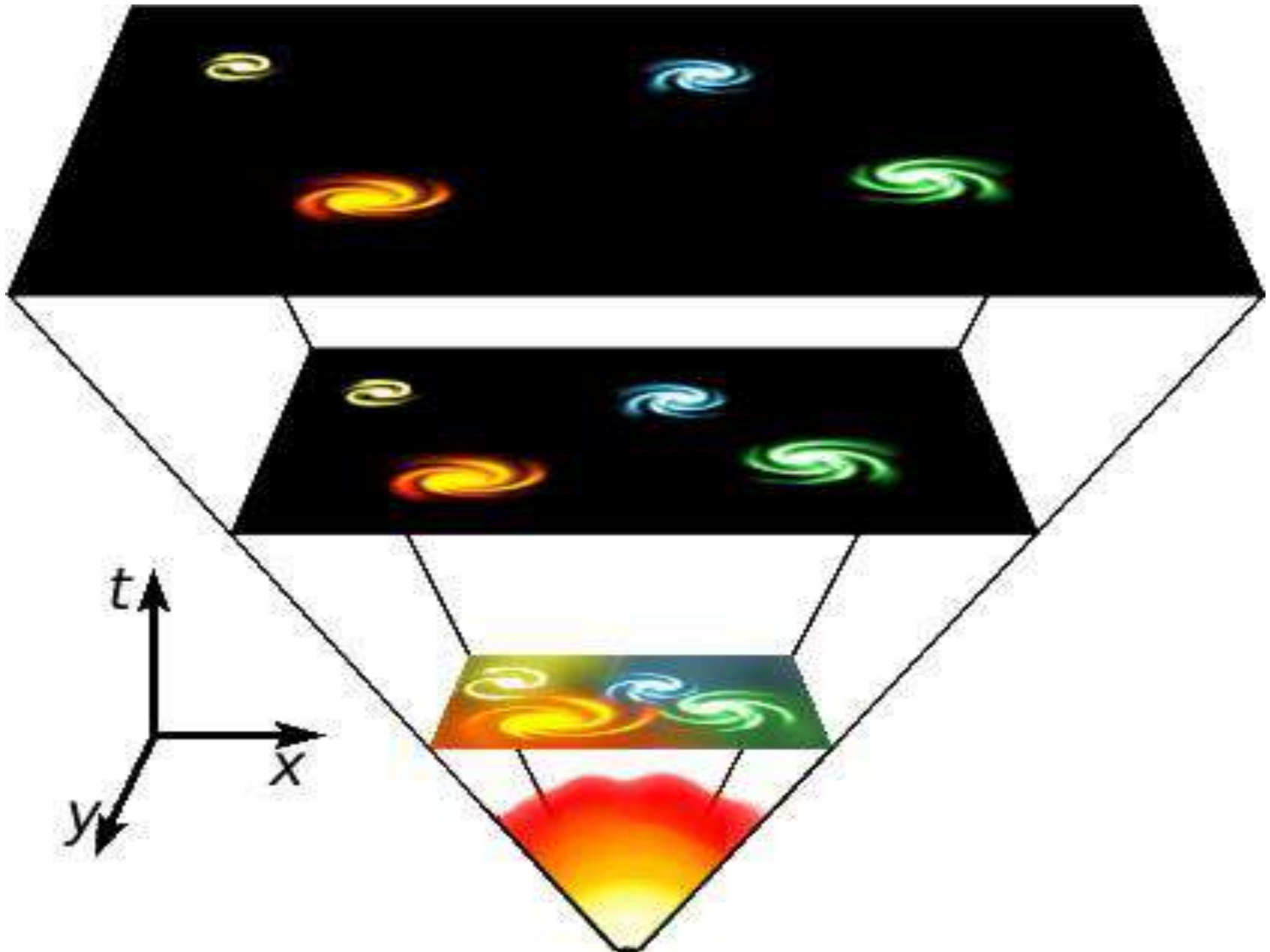
Surfaces supporting extremophiles



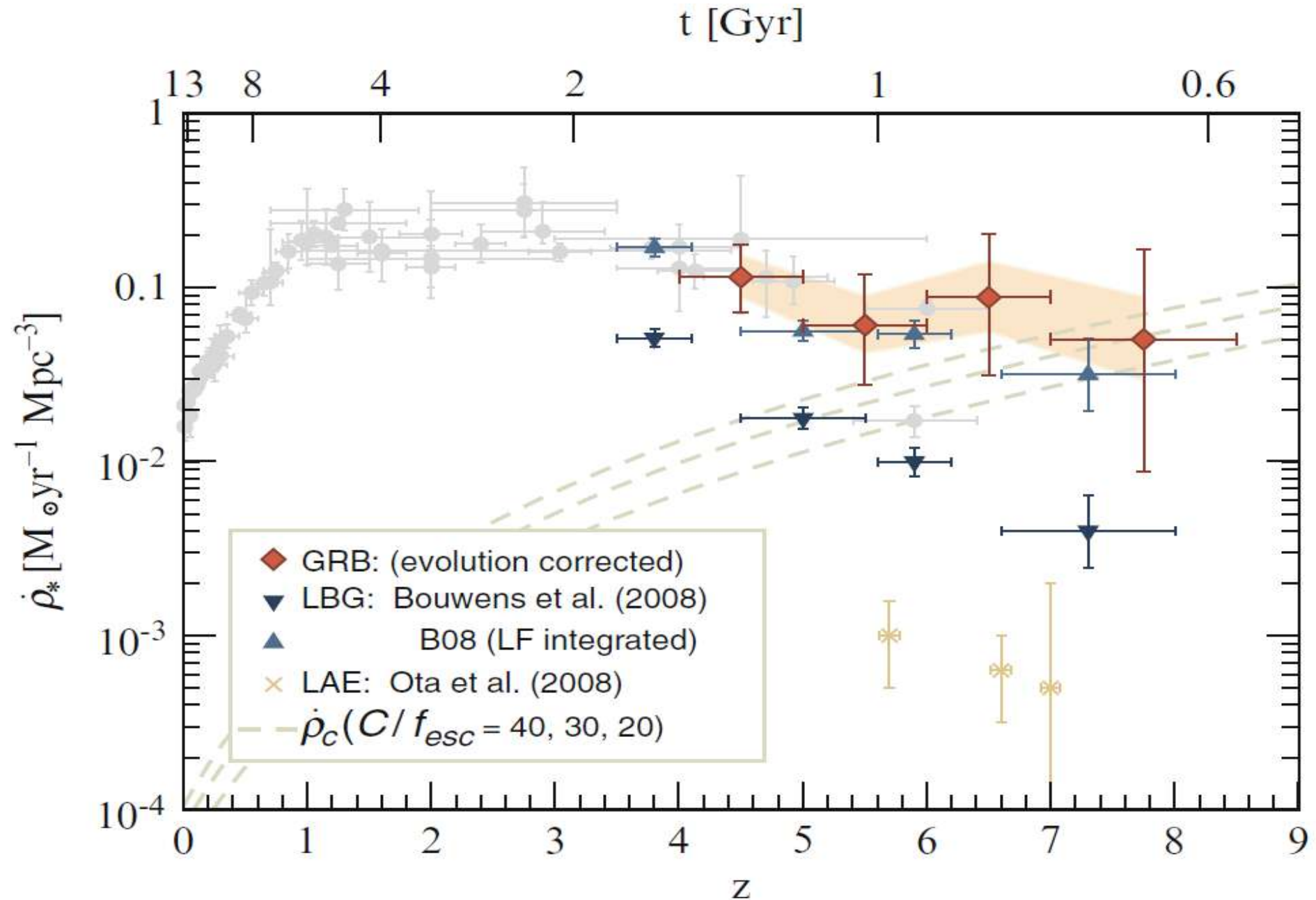
Surfaces supporting extremophiles



Life in the expanding Universe



SFR evolution – Matteucci, 2013



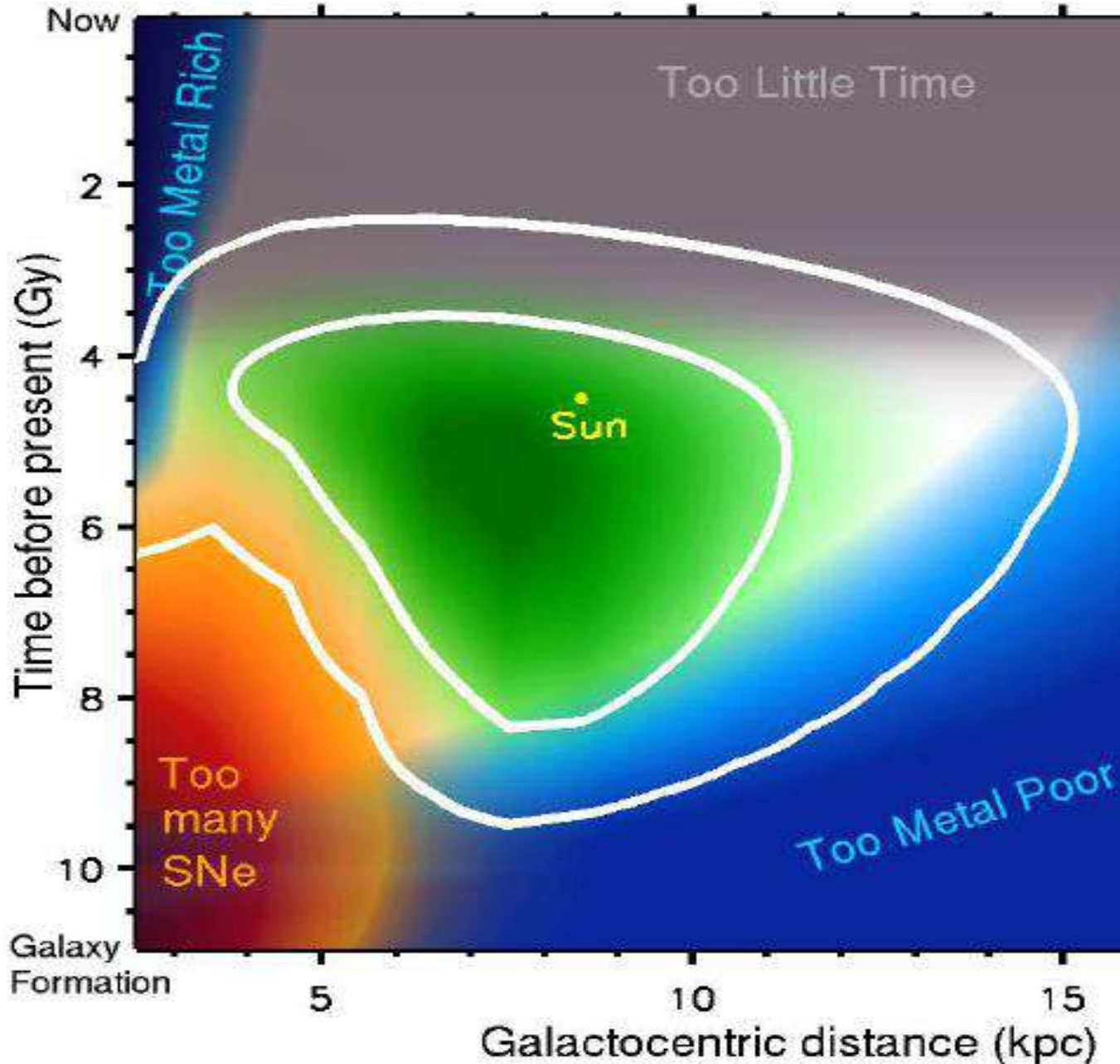
Գալակտիկ հարթությունը



solar system

75,000 ly

The Galactic Habitable Zone – Lineweaver et al. 2004



End of first 6-7 Gyr after the Big Bang is stand out
Yeghikyan, 2015

- SFR evolution
- thick and thin galactic disks
- SN vs AGB dust
- stars and clouds collisions
- DM clumps

Ածխացման դոզայի էվոլյուցիան

ածխացում = ջրածնի արտամղում

~ 1000 էՎ/մն.

1-6 Gyr – շատ բարձր ճառագայթում

6-7 Gyr և հետո - բարդ

**միացությունների գոյատևում
(heavy HC, optically active aminoacids...)**

Երկրային կյանքը
 -3.8 ± 0.1 մլրդ տարի, ~ 8 կպկ

Վայրը և ժամանակը ընտրված են (!?)

Առաջիններից մեկն է (!?)

Ամփոփում

Ծանր ածխաջրածինները, ալիֆատիկ, արոմատիկ, իզոպրենային, պետք է ընդգրկել նախակենսամոլեկուլների շարքում և փնտրել միջաստղային մոլեկուլյար ամպերում և նախամոլորակային սկավառակներում

Չի բացառվում, որ մեր Արեգակի տիրույթը Գալակտիկայում (8 կպս միջուկից, 5-6 մլրդ տարի առաջ), առաջիններից է ապահովել բարենպաստ պայմանները բարդ միացությունների առաջացման և գոյատևման համար