



Formiranje Zemlje i pozno teško bombardovanje

5. 10. 2012.



Sunčev akrecioni disk

- Iz meteorita: -4,567 Ga
- Temperatura je veća ka centru diska i ka centralnoj ravni
- Planetezimali počinju da rastu slepljivanjem, zatim gravitacionim privlačenjem, a najveći i lavinskim rastom (*runaway growth*).
- Snežna linija na oko 5 AU
- Hondriti: granica između običnih i ugljeničnih fiksira temperaturu akrecionog diska na $R = 2.6 \text{ AU}$, $T = 450 \text{ K}$.

Matter of our natal molecular cloud



Destruction of pristine matter

Conservation of pristine matter

Incorporation to the Sun, planets or molecules pyrolysis, ice sublimation...

Incorporation to comets ?

Extension of the convection / mixing by turbulence



Rocky planetesimals

Icy planetesimals ...



Formation of asteroids

Formation of comets



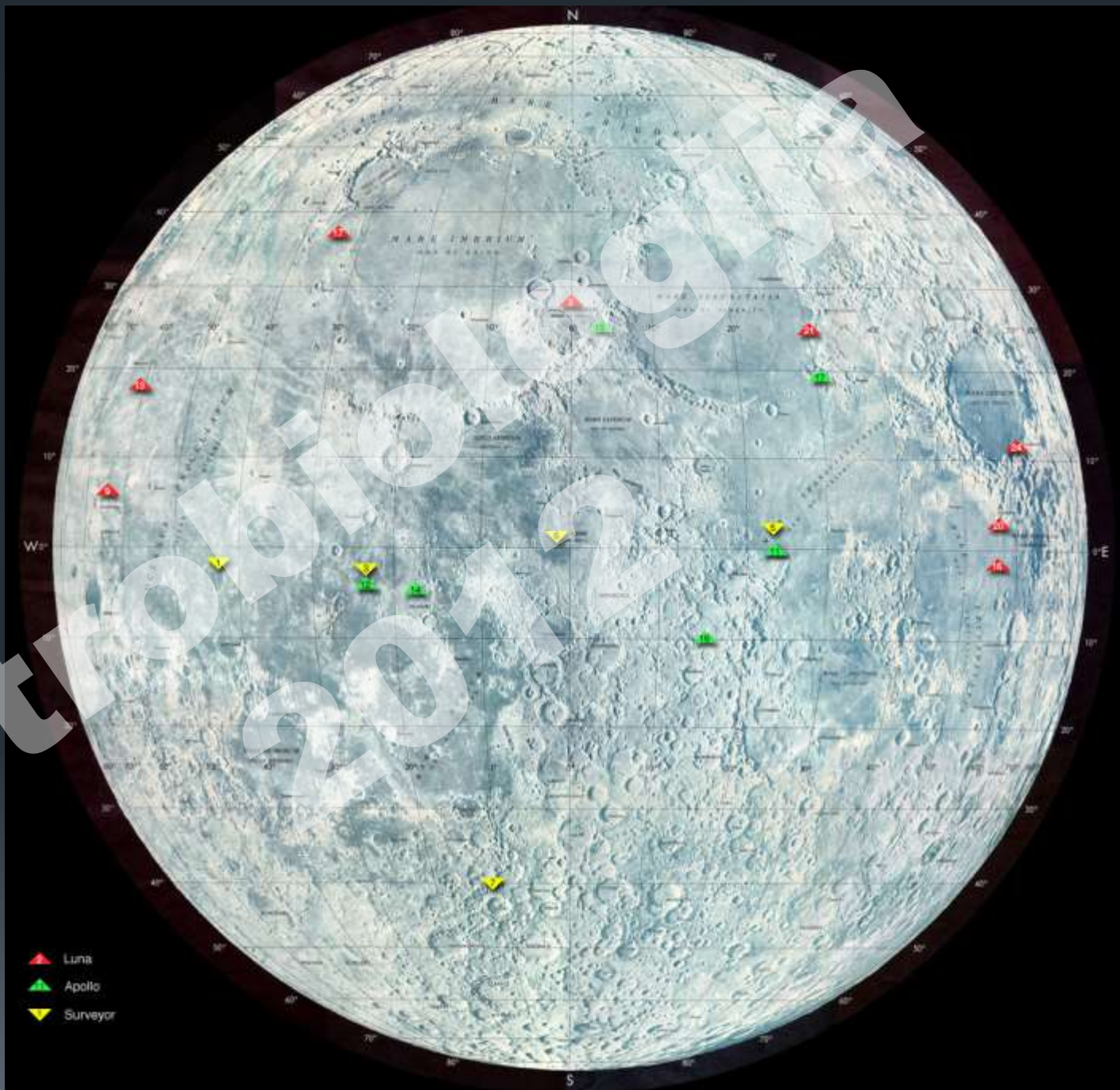
Pristine or differentiated

Gradient in composition

Formiranje Zemlje i stenovitih planeta

- Formiranje stenovitih planeta moguće oko zvezda Pop I zbog prisustva C, N, O, Si, Fe, Ni ...
- Akrecija Zemlje se odigrala na temperaturi od 700 K → nije bilo lako isparljivih (volatilnih) supstanci (CO_2 , CO, H_2O)
- H i He su izgubljeni brzo kroz tzv. *outgassing*
- Isparljive supstance su stigle u kometama!
- Nije bilo prvobitnog okeana magme na površini – CEE (izlivi magme posledica sudara!)
- Prvobitna atmosfera 50-200 bara CO, CO_2 , H_2O , i preostali H_2 .
- Kada je temperatura pala na ispod 450 K, počela je kiša → formiranje prvih (plitkih) okeana

Genius loci...



Sasvim neočekivano...

- ...ali *maria* su odista nekada bila **mora lave** koja je poslednji put tekla oko 700 Ma nakon akrecije Meseca!
- **Pozno** = pozno u odnosu na akreciju
- **Teško** = intenzivnije od „običnih“ sudara koji stvaraju kraterere
- *Late heavy bombardment* (LHB): od -4.1 Ga do -3.8 Ga
- Da li je Mesec reprezentativan?



Mare Imbrium

Copernicus

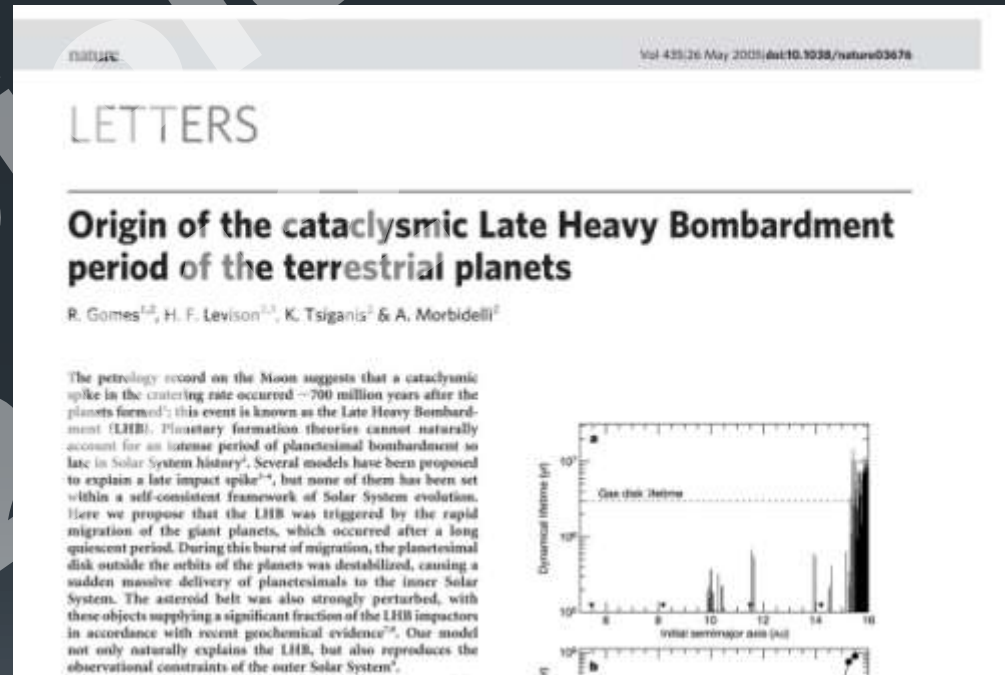
Tycho

(c) Harry J Lehto

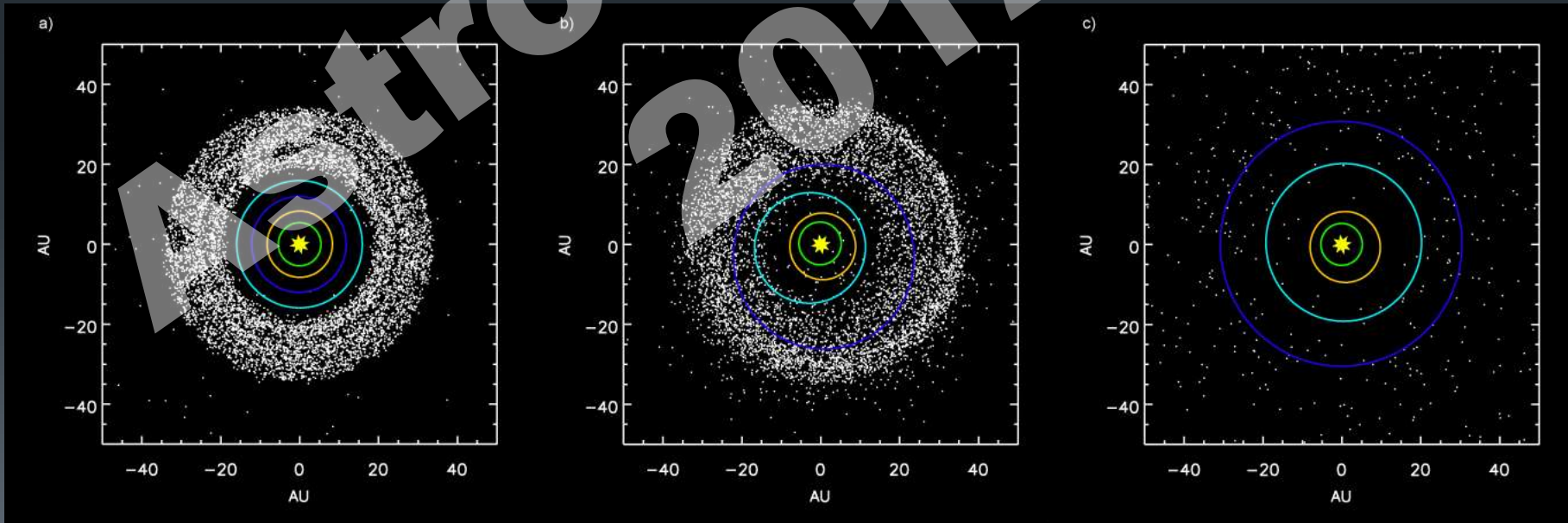


Nica (Nice!) model

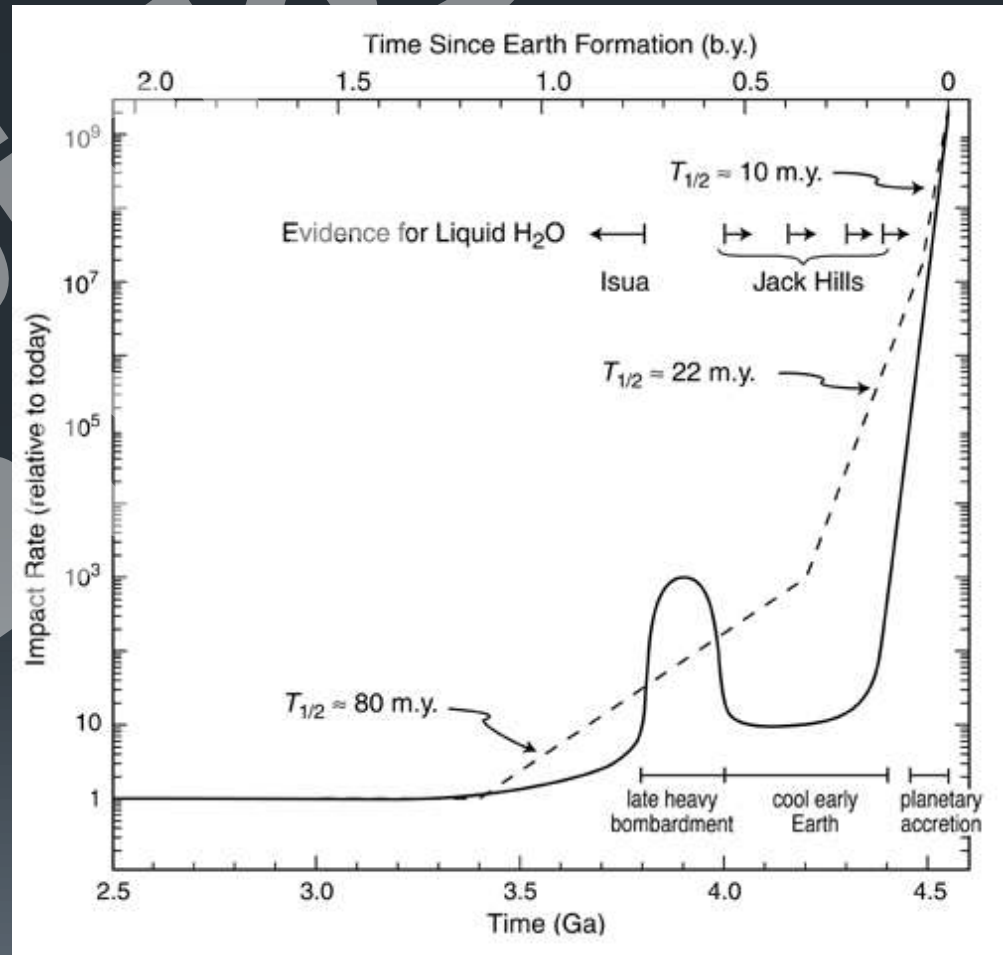
- Razvijen na Observatoire de la Côte d'Azur
- Migracija spoljnih planeta iz prvobitne kompaktne konfiguracije
- Objašnjava: LHB, nastanak Oortovog oblaka i dela Kajperovog pojasa, Trojance i transneptunske rezonantne objekte...
- Ne objašnjava: ceo Kajperov pojas, satelite spoljnih planeta, rotaciju Urana



- Formiranje spoljnih planeta: 5.5-17 AU
- Kaskadna razmena ugaonog momenta planetezimala sa Uranom, Neptunom, Saturnom...
- Planetezimali: ka Suncu, planete: od Sunca
- Jupiter šalje brojne objekte van Sunčevog sistema (ili u Oortov oblak) i malo se približava Suncu

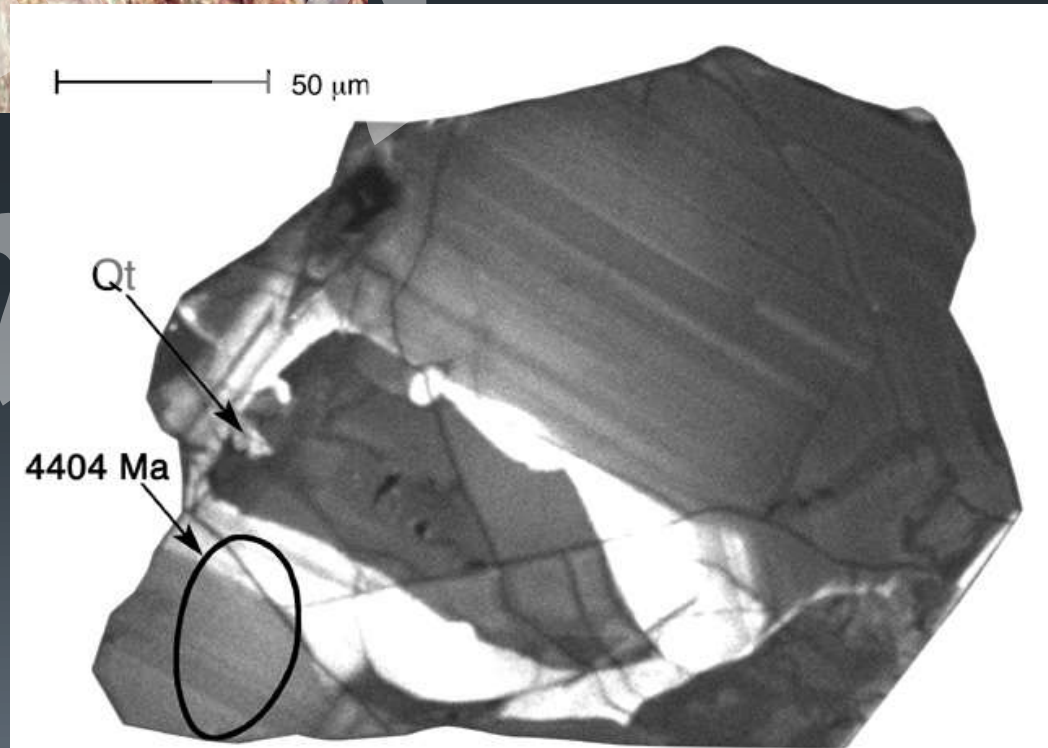


Prvih 1 Ga je najteže...

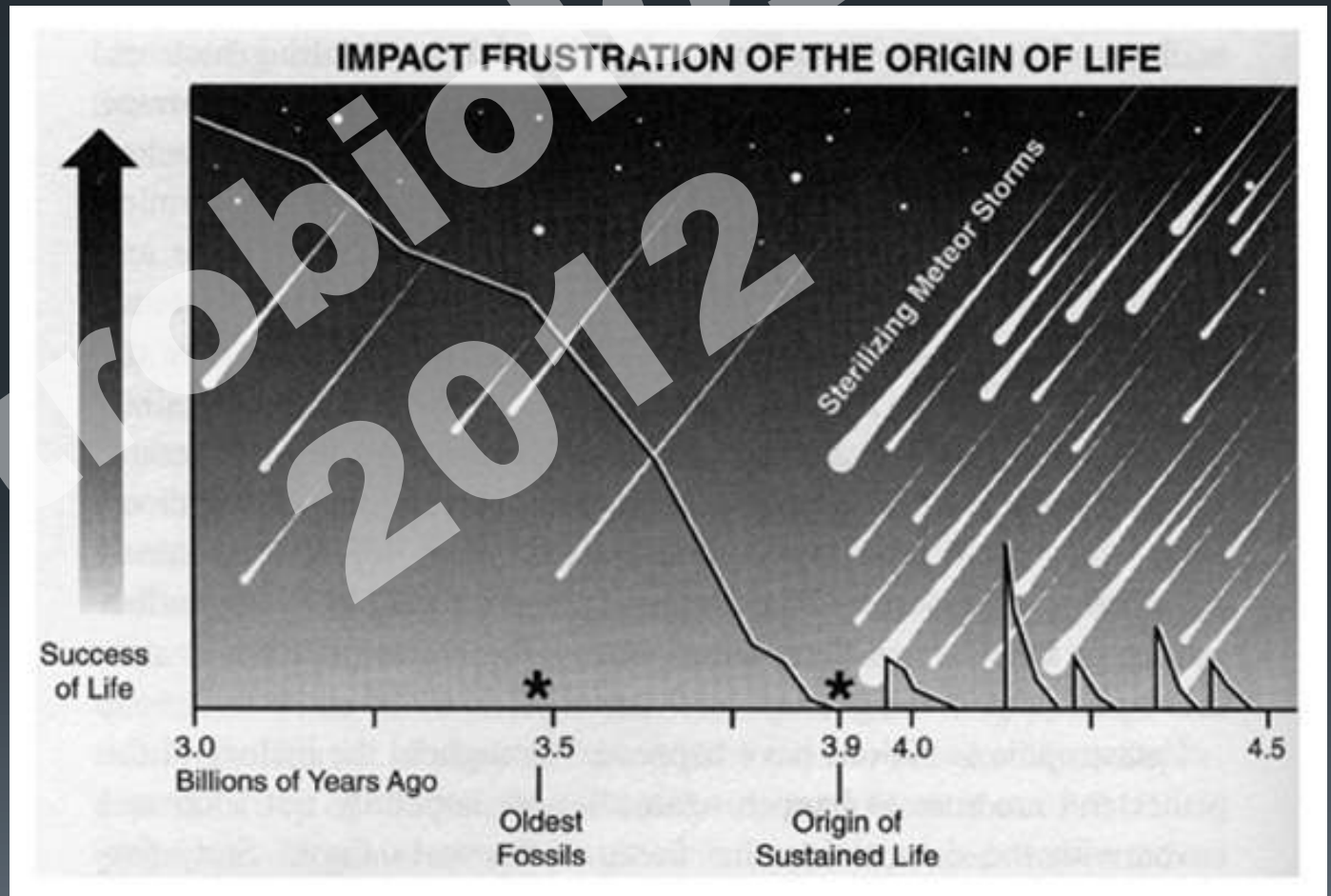


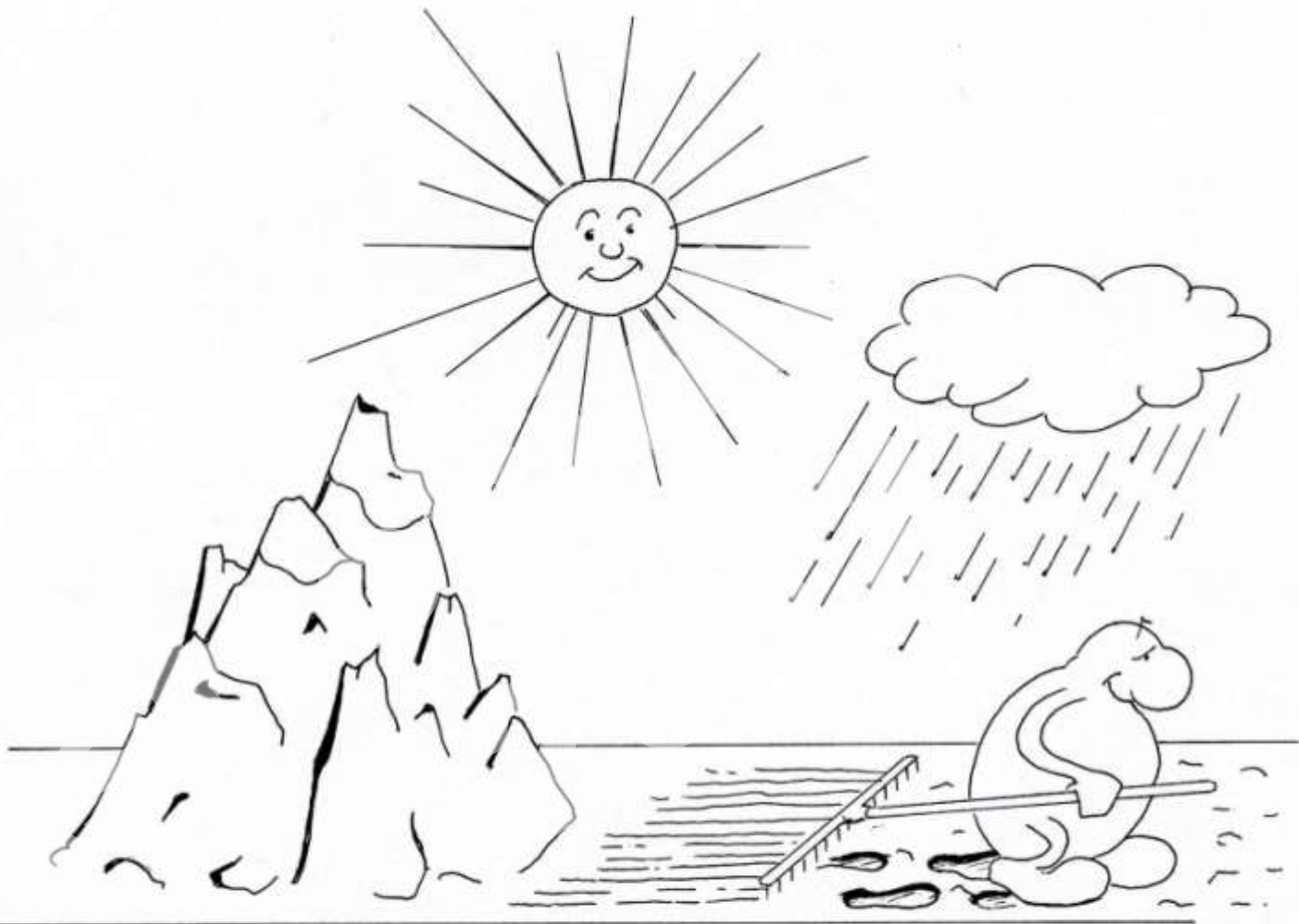
Jack Hills – najstariji deo naše planete





„Udarno ometanje“





Tragove primitivnog života izbrisali su tektonika ploča, voda, UV zračenje, kiseonik i sam (docniji) život!

Značaj poznog teškog bombardovanja: egzogeni izvor prebiotskih molekula

Molekuli u kometama

Molecule	Abundance (H ₂ O = 100)	Intercomet variation	Detected comets + upper limits
H ₂ O	100		
H ₂ O ₂	< 0.03		
CO	23	< 1.7 – 23	5 + 4
CO ₂	6 (various)		
CH ₄	0.6		
C ₂ H ₆	0.6		
C ₂ H ₂	0.2		
C ₄ H ₂	0.05?(I-Z)		
CH ₃ C ₂ H	< 0.045		
CH ₃ OH	2.4	< 0.9 – 6.2	15 + 2
H ₂ CO	1.1	0.13 – 1.3	13 + 2
CH ₂ OHCH ₂ OH	0.25		
HCOOH	0.09		
HCOOCH ₃	0.08		
NH ₃	0.7		
HCN	0.25	0.08 – 0.25	24 + 0
HNCO	0.10		
HNC	0.04	< 0.003 – 0.035	5 + 2
CH ₃ CN	0.02	0.013 – 0.035	4 + 0
HC ₃ N	0.02		

Molecule	Abundance (H ₂ O = 100)	Intercomet variation	Detected comets + upper limits
NH ₂ CHO	0.015		
H ₂ S	1.5	0.12 – 1.5	11 + 3
OCS	0.4		
SO	0.3		
CS ₂ (from CS)	0.17	0.05 – 0.17	9 + 0
SO ₂	0.2		
H ₂ CS	0.02		
S ₂	0.005 (Hya)		
NS	0.02		



Kontroverzno poreklo vode...

- Merenja D/H na tri komete (Halej, Hjakutake, Hale-Bop) ukazuju na znatno veću vrednost nego u zemaljskim okeanima.
- Sa druge strane, D/H je skoro identičan na Zemlji i u ugljeničnim hondritima formiranim u spoljnom delu glavnog asteroidnog pojasa.
- Jesu li 3 komete reprezentativne za objekte iz Kajperovog pojasa?
- Da li postoje procesi koji menjaju D/H tokom docnije istorije?