

DŽINOVSKÉ PLANETE, SATELITI I DRUGI EGZOTIČNI HABITATI

21.12.2012.

VAN CIRKUMSTELARNE NASTANJIVE ZONE?

- CNZ: srazmerno mali deo prostora...
- CNZ zavisi od pretpostavki:
 - Planete kao habitati
 - Život biohemijski sličan zemaljskom
 - Sunce kao glavni izvor energije
 - Zanemarljiva **biotička povratna sprega**
- Odstupanje od ovih pretpostavki vodi radikalno drugačijim habitatima – vrlo kontroverzno!
- Ne zaboraviti: abiogeneza može biti „Crni labud“ = mala verovatnoća, velike posledice!

MOTIVACIJA?

- Zapremina prostora!
- Najveće količine H₂O i jednostavnih organskih jedinjenja.
- Olakšan transport – više sudara.
- Oslobađanje od antropocentrizma – prelaz ka radikalnije drugačijim oblicima života.
- Habitati u ekstrasolarnim planetskim sistemima najčešće van CNZ ili sa migracijama „vrućih Jupitera“.

HABITATI VAN CNZ?

- **Gasni/ledeni džinovi?**
 - Jupiter, Saturn
- **Sateliti gasnih/ledenih džinova?**
 - Evropa
 - Ganimed
 - Titan
 - Enkeladus
- **Mala tela: planete patuljci/asteroidi/komete?**
- **Okeanske planete?**
- **Trojanske planete?**

GASNI DŽINOVI?

- JBS Haldane (1954!!!): NH_3 zamenjuje vodu na niskim T
- Sagan & Salpeter (1976)
- Energija, organske materije prisutne, polimerizacija olakšana na niskim T.
- Spore konvektivne struje u gornjoj troposferi i mezosferi Jupitera.
- Velika razlika u temperaturi, ali mali gradijent: ogroman prostor za potencijalni ekosistem...

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES, 32: 737-755, 1976 December
© 1976. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

PARTICLES, ENVIRONMENTS, AND POSSIBLE ECOLOGIES IN THE JOVIAN ATMOSPHERE

CARL SAGAN AND E. E. SALPETER

Center for Radiophysics and Space Research, Cornell University

Received 1975 December 11; revised 1976 June 1

ABSTRACT

The eddy diffusion coefficient is estimated as a function of altitude, separately for the Jovian troposphere and mesosphere. The growth-rate and motion of particles is estimated for various substances: the water clouds are probably nucleated by NH_4Cl , and sodium compounds are likely to be absent at and above the levels of the water clouds. Complex organic molecules produced by the $\text{L}\alpha$ photolysis of methane may possibly be the absorbers in the lower mesosphere which account for the low reflectivity of Jupiter in the near-ultraviolet. The optical frequency chromophores are localized at or just below the Jovian tropopause. Candidate chromophore molecules must satisfy the condition that they are produced sufficiently rapidly that convective pyrolysis maintains the observed chromophore optical depth. Organic molecules and polymeric sulfur produced through H_2S photolysis at $\lambda > 2300 \text{ \AA}$ probably fail this test, even if a slow, deep circulation pattern, driven by latent heat, is present. The condition may be satisfied if complex organic chromophores are produced with high quantum yield by NH_3 photolysis at $\lambda < 2300 \text{ \AA}$. However, Jovian photoautotrophs in the upper troposphere satisfy this condition well, even with fast circulation, assuming only biochemical properties of comparable terrestrial organisms. Unless buoyancy can be achieved, a hypothetical organism drifts downward and is pyrolyzed. An organism in the form of a thin, gas-filled balloon can grow fast enough to replicate if (i) it can survive at the low mesospheric temperatures, or if (ii) photosynthesis occurs in the troposphere. If hypothetical organisms are capable of slow, powered locomotion and coalescence, they can grow large enough to achieve buoyancy. Ecological niches for sinkers, floaters, and hunters appear to exist in the Jovian atmosphere.

Subject headings: planets: atmospheres — planets: Jupiter



- „sinkers, floaters, hunters“ – kompleksni potencijalni ekosistem.
- Sjajni primeri opisani u SF diskursu: Artur Klark, „Sastanak sa meduzom“, Iain M. Banks, „The Algebraist“.
- Većina astrobiologa skeptična, prevashodno zbog nestabilnosti sredine.
- Teško utvrditi bez odlaska „na lice mesta“...
- AKO bi jovijanski život bio moguć, onda je on zasigurno najrasprostranjeniji oblik života u univerzumu!



Selected Moons of the Solar System, with Earth for Scale



7. 1. 1610: „MEDIČEJSKE ZVEZDE“

Astrobiologija
2012



Io



Europa



Ganymede



Callisto

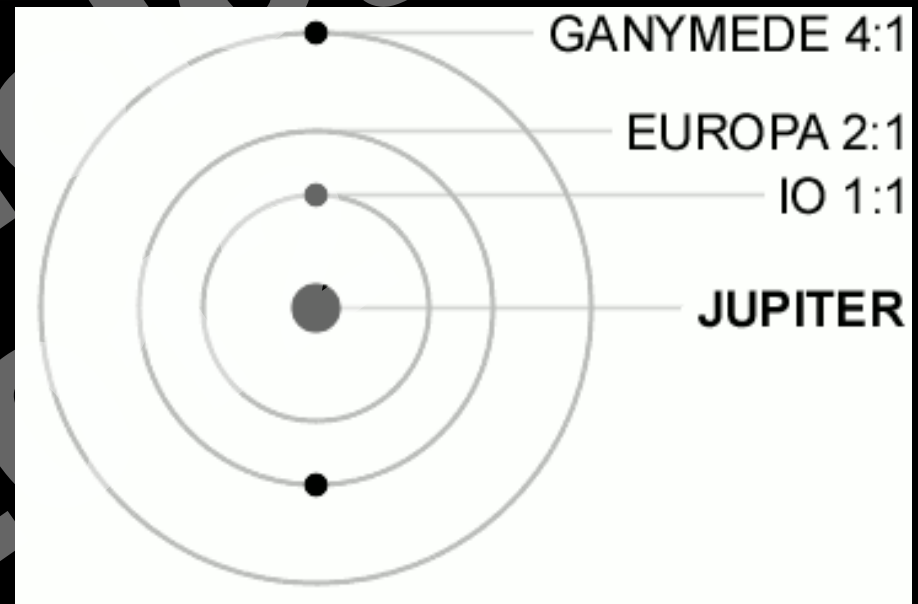


RAZNOLIKI SVETOVİ...

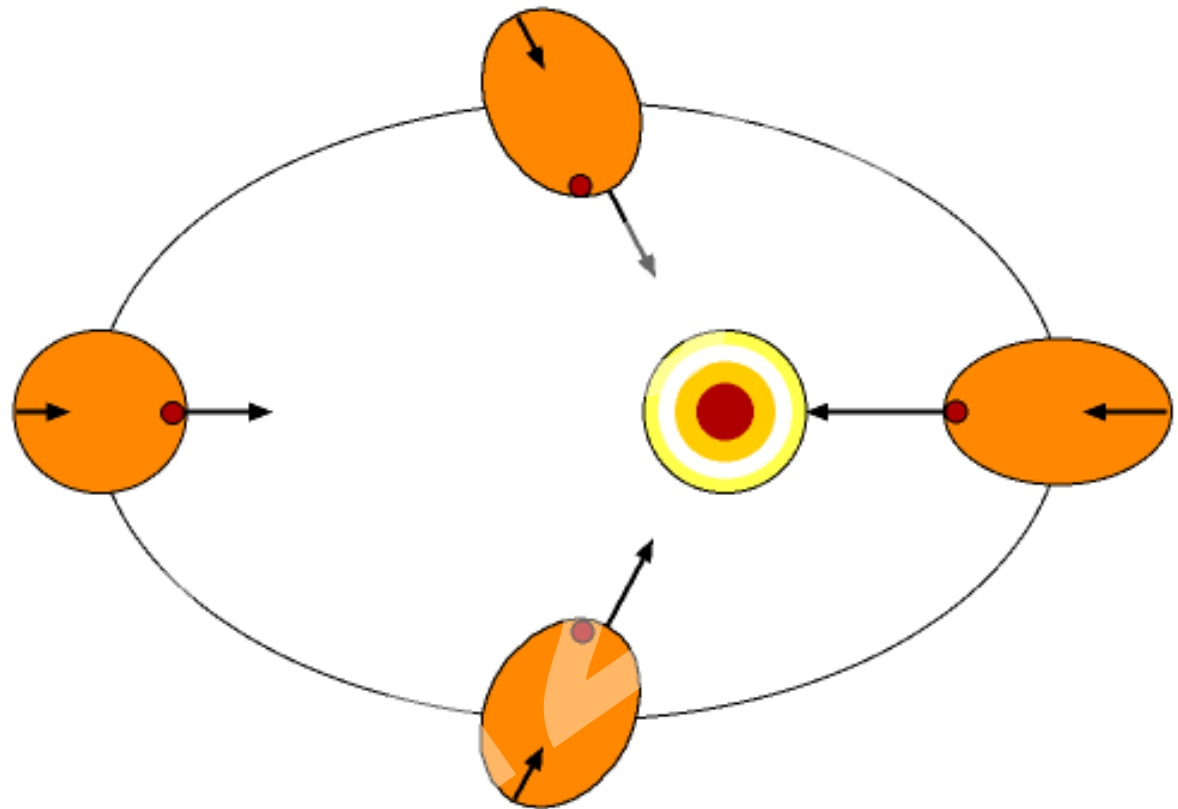


KLJUČNI FAKTOR: REZONANCE

- Laplasova rezonanca 1:2:4
- Nema trostrukih konjukcija!
- Rezonance održavaju stabilnu nenultu ekscentričnost, što omogućava gradijent plimne sile i rasipanje energije.
- John Lewi (1971): plimne sile rasipaju mehaničku energiju?
- Pionir 10, 11 (1970-te), Vojadžer 1, 2 (1980-te), Galileo (1990-te) potvrđuju detalje kretanja.
- Poreklo rezonance nepoznato...



- Plimno zagrevanje: najvažniji, ali ne i jedini izvor energije za geološku aktivnost.
- Raspad radionuklida (samo kod najvećih satelita, Ganimeda & Titana)?
- Torziona trenje (kod satelita sa ledenim omotačem)?
- Volumetrijska elektroliza?

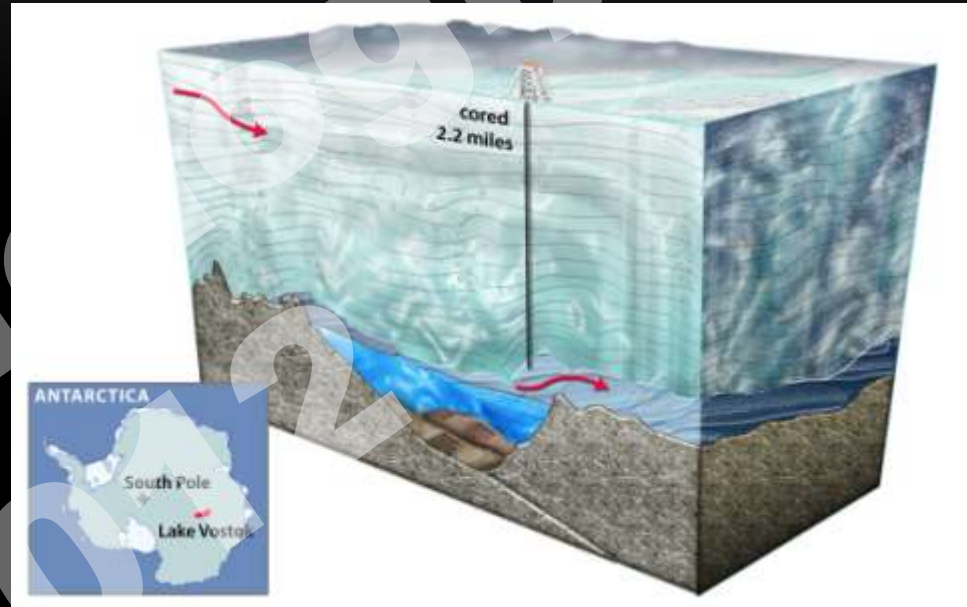


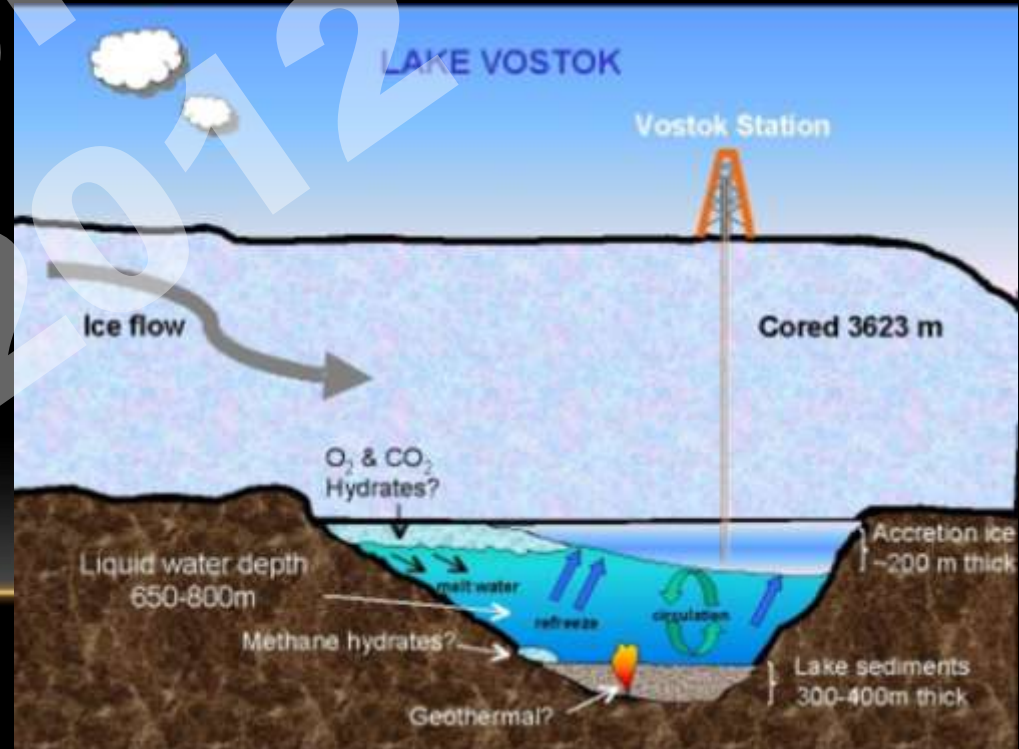
A moon experiences variable amounts of tides because of its elliptical orbit. The closer the moon is to the planet, the larger is tidal bulge. The changing amount of the tides produces frictional heating inside the moon.

The arrows indicate the strength of gravity from the planet on the near and far sides of the moon. Tides are due to differences in the strength of gravity acting *on* an object. The small red circle shows how the tidal bulge shifts with a particular location on the moon.

DIGRESIJA #1: JEZERO VOSTOK

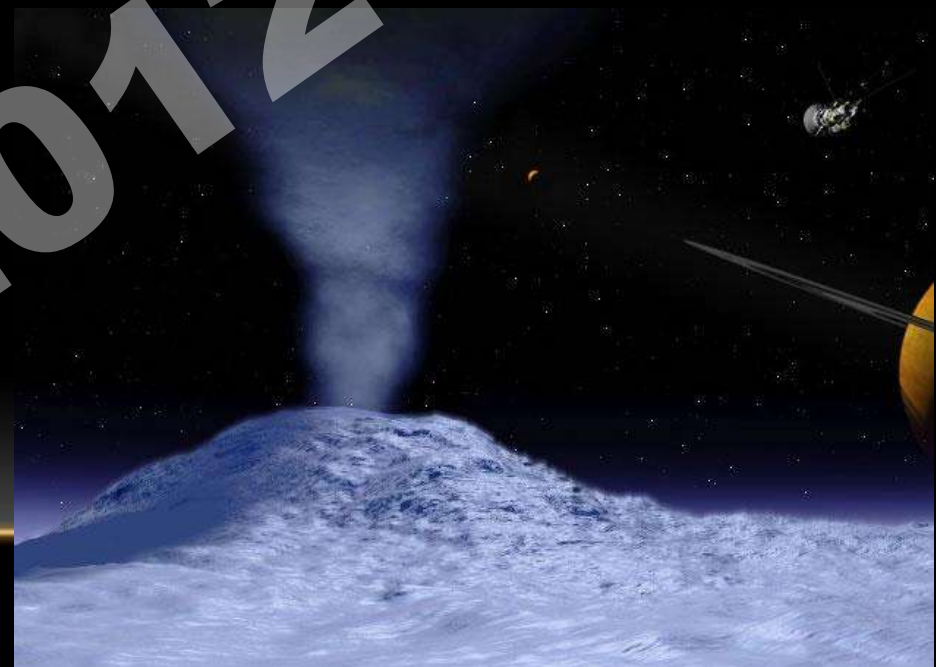
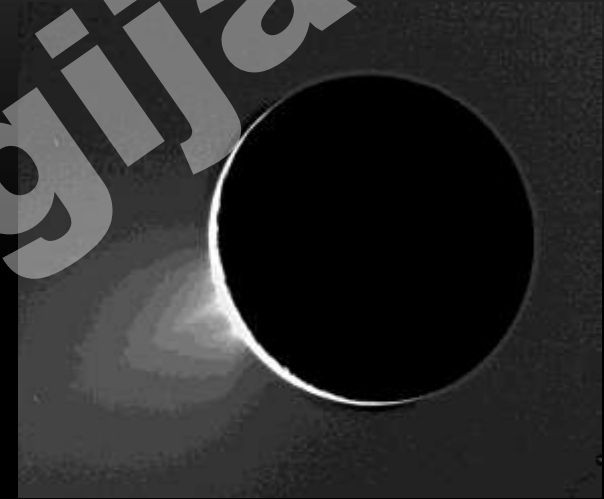
- Mada se odavno sumnjalo...
- Preko 200 subglacijalnih jezera na Antarktiku.
- Vostok je po površini nešto veće od Crne Gore, a po zapremini tečne vode 5. jezero na svetu.
- Bušenje usporeno zbog bojazni od kontaminacije.
- Zadržano na 200m od površine nekoliko godina...
- Aprila 2012. probušeno i voda se uvlači da bi se napravilo ledeno jezgro za analizu tokom 2013.





DIGRESIJA #2: KRIOVULKANIZAM

- **Kriovulkani**: ledeni vulkani/gejziri koji izbacuju lake isparljive supstance („volatile“)
- **Kriomagma**: mešavina isparljivih supstanci (H_2O , NH_3 , CH_4) pod visokim pritiskom
- Direktno detektovani kriovulkanizam:
 - Triton (1989)
 - Enkeladus (2005)
- Indirektna evidencija:
 - Evropa
 - Ganimed
 - Titan
 - Miranda
 - Haron
 - Quaoar (!)



NAJVEĆI OKEAN U SUNČEVOM SISTEMU...



- Najmanji među „velikim satelitima“ ($R = 1561 \text{ km}$).
- Sinhrona rotacija sa $T = 3.55$ dana.
- (dileme oko sinhronne rotacije i lutanja polova)
- Laplasova rezonanca čuva ekscentričnost od 0.009 – ključna za održanje tečne vode!
- Taaaanušna atmosfera: $P \sim 10^{-12} \text{ bar}$
- Ogroman albedo (0.67 ± 0.03) ukazivao na led još sa Zemlje...
- ...ali tek su Vojadžer 1 i 2 jasno demonstrirali koliko je mlada površina Evrope!

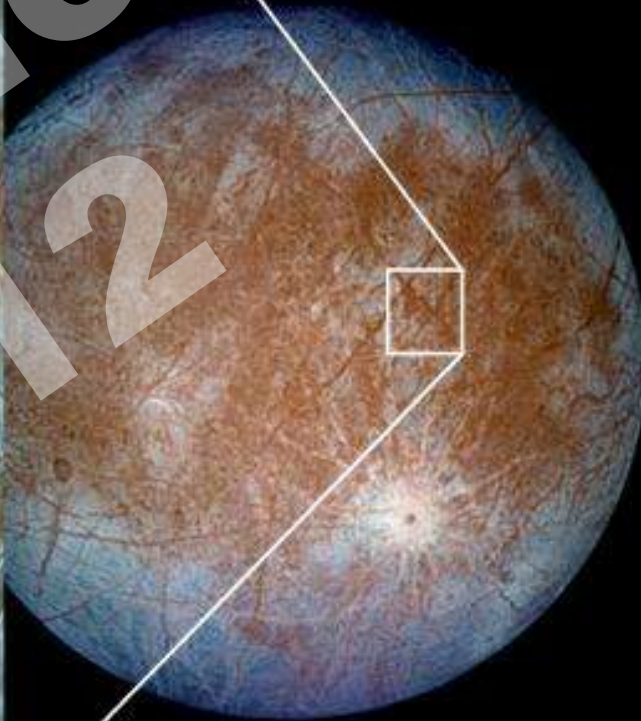
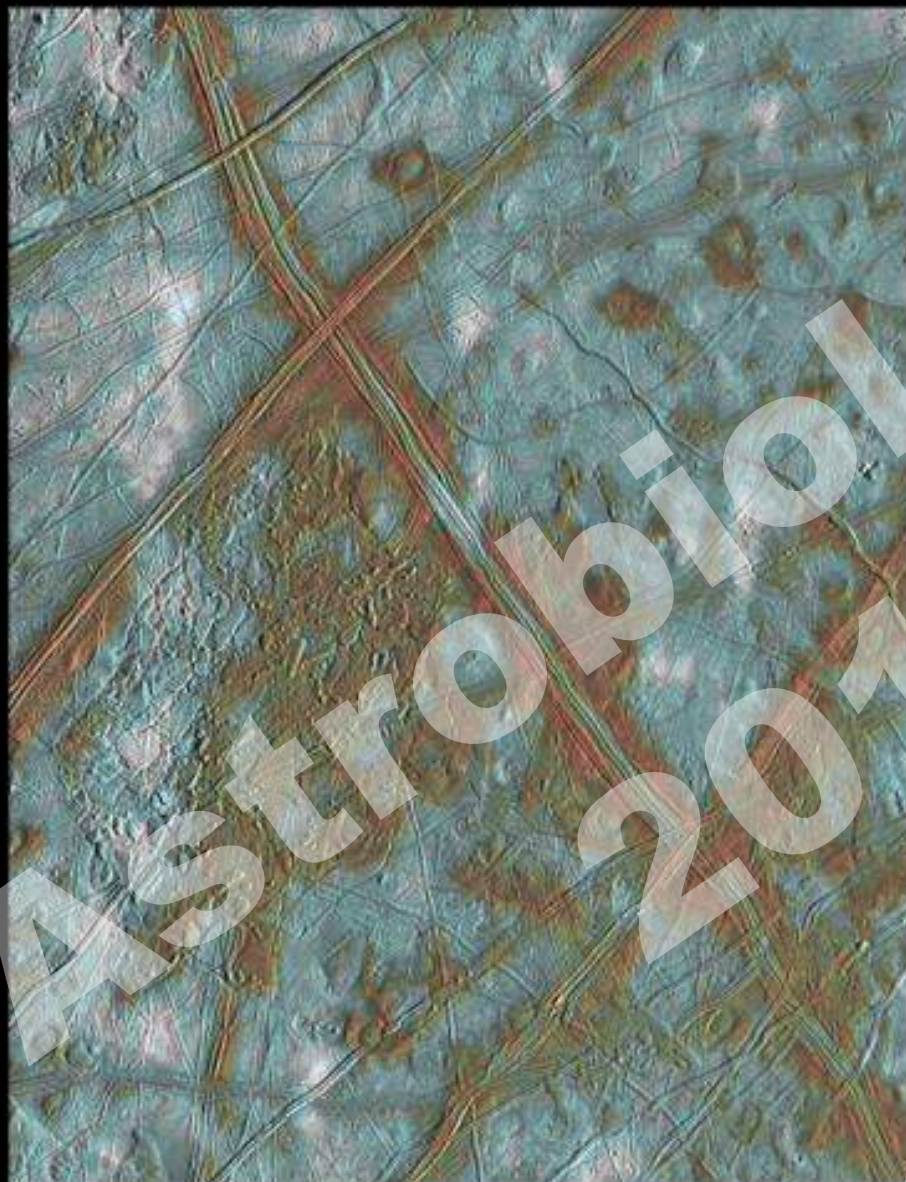


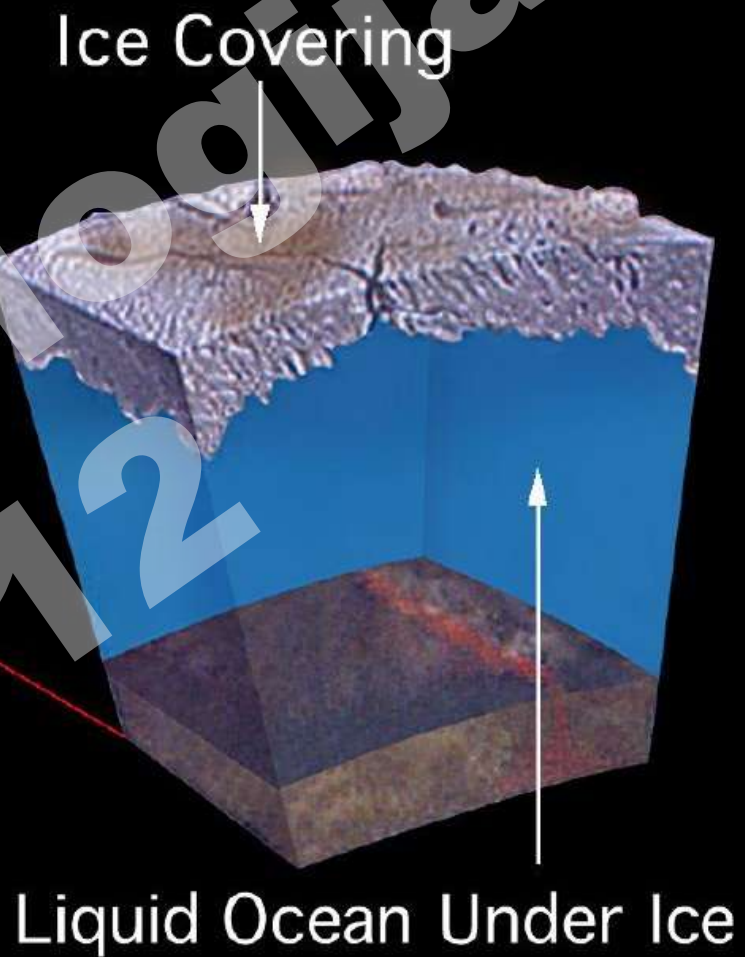
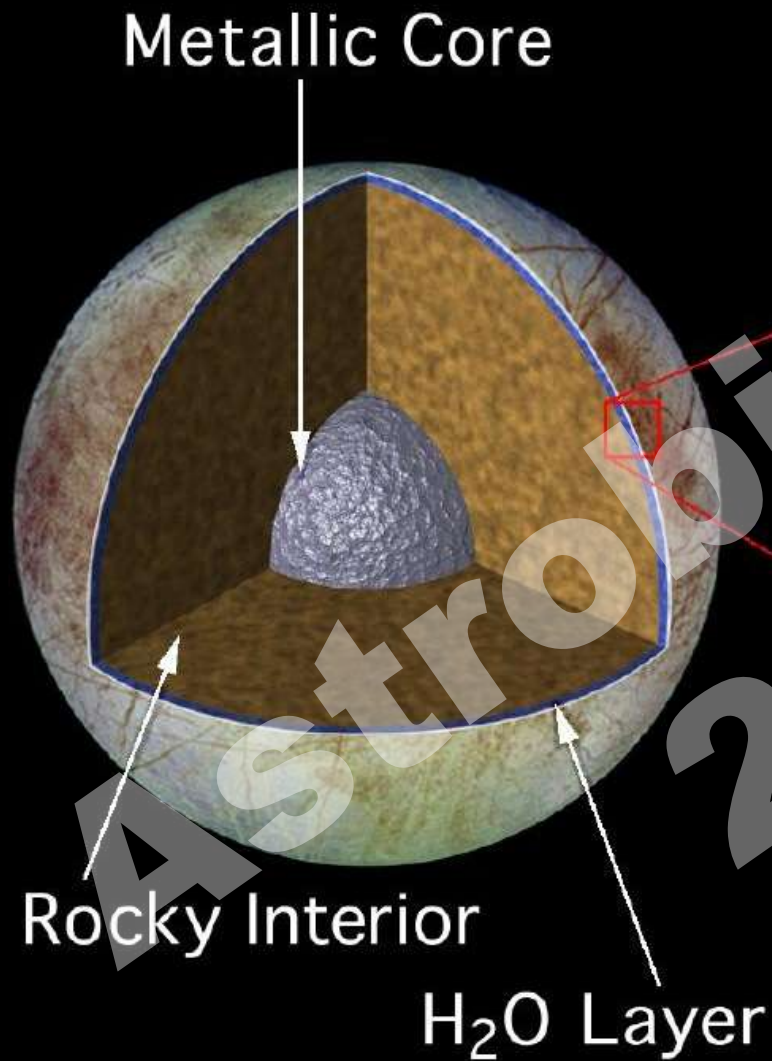
„HAOTIČAN
TEREN“





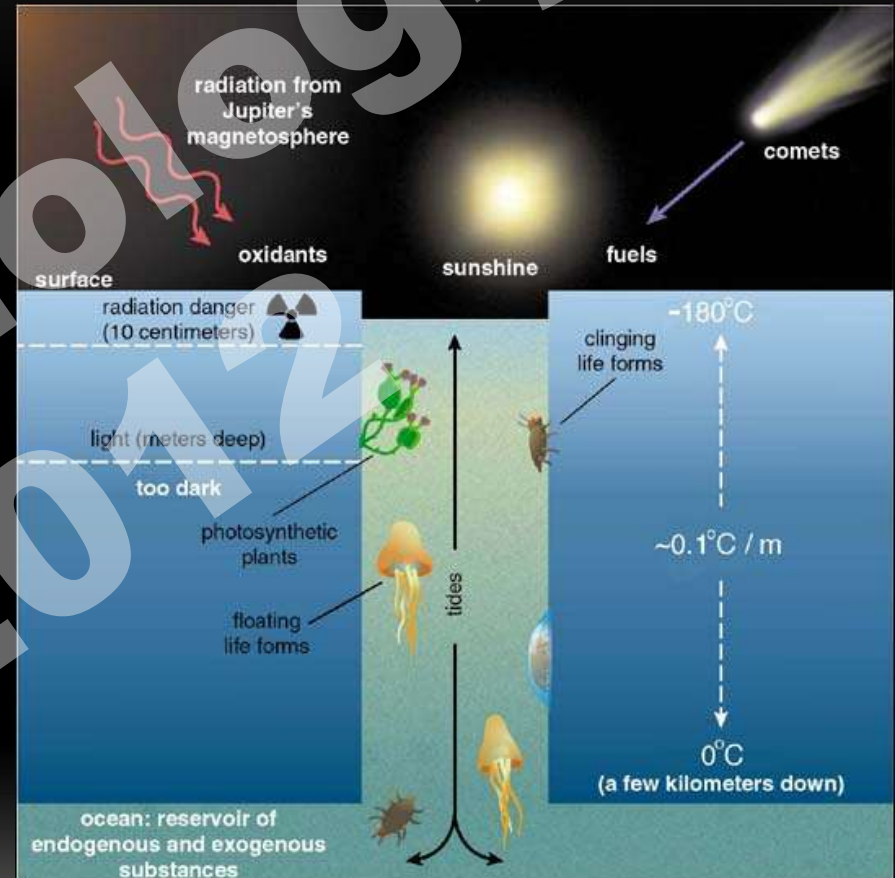
Astrobiologija
2012





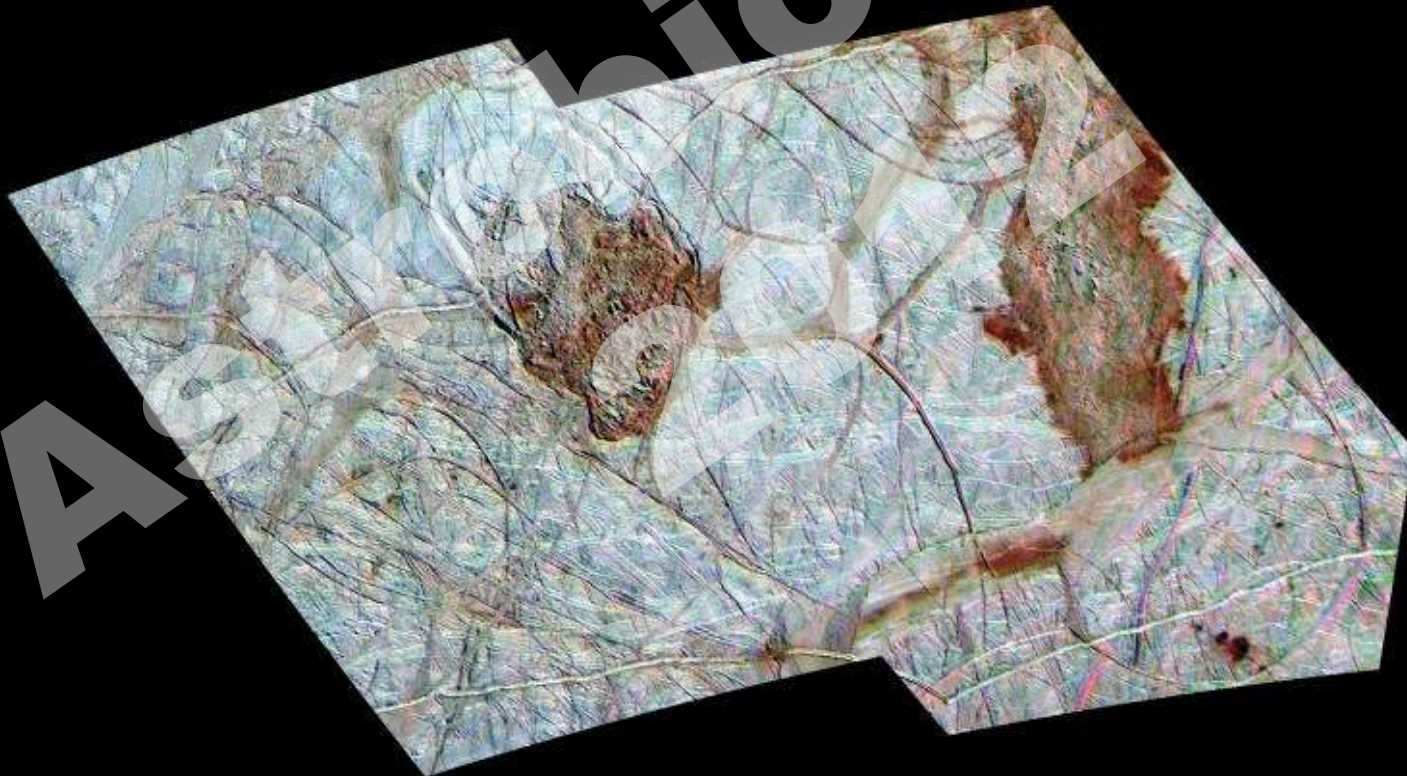
VELIKI OKEANSKI HABITAT?

- Izvori energije: pri vrhu i na dnu okeana
- Dva ključna fizičko-hemijska parametra:
 - Debljina ledene kore?
 - pH vrednost?
- „Optimisti“ i „pesimisti“
- Termosinteza (kao kod Wächterhäusera), hemosinteza
- Konvekcione ćelije i stabilnost slojeva?
- Organizmi sposobni da se kreću među slojevima imali bi dodatne prednosti.
- Numerički modeli ekosistema: produktivnost deluje dovoljna za jastoge...



DVE NOVIJE ZANIMLJIVOSTI...

- Hemijski sastav tamnih oblasti? (Dalton et al. 2005) – sličnost reflektovanog spektra sa **bakterijskim** talogom površini ekstremno slanih jezera na Zemlji
- Jezera (slatke vode!) unutar ledene kore? (novembar 2011.)



NAJVEĆI SATELIT U SUNČEVOM SISTEMU

- Sa $R = 2634\text{km}$, veći od planete Merkur!
- Jedini satelit koji poseduje nezanemarljivo magnetsko polje.
- $\Rightarrow$ ima gvozdeno jezgro
- $\Rightarrow$ veliki deo spoljnog omotača mora biti od leda, da bi imao srednju gustnu od 1.936
- Dve drastično različite vrste površina ukazuju na skorašnje „popločavanje“ svetlijih oblasti novim ledom.
- $\Rightarrow$ značajni rezervoar tečne vode u unutrašnjosti, verovatno ispod $\sim 100\text{km}$ debele ledene kore.
- Slabašna kiseonička atmosfera (O_2 i O_3), kao na Evropi

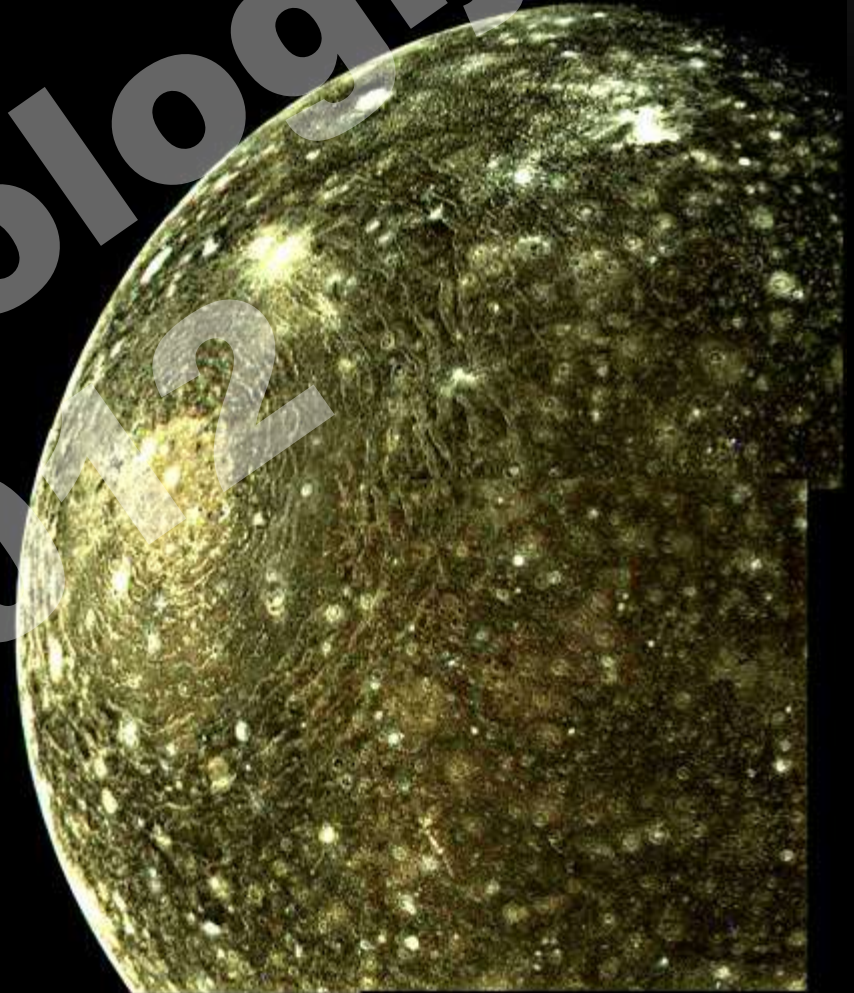


DVE VRSTE TERENA + OŠTRE GRANICE



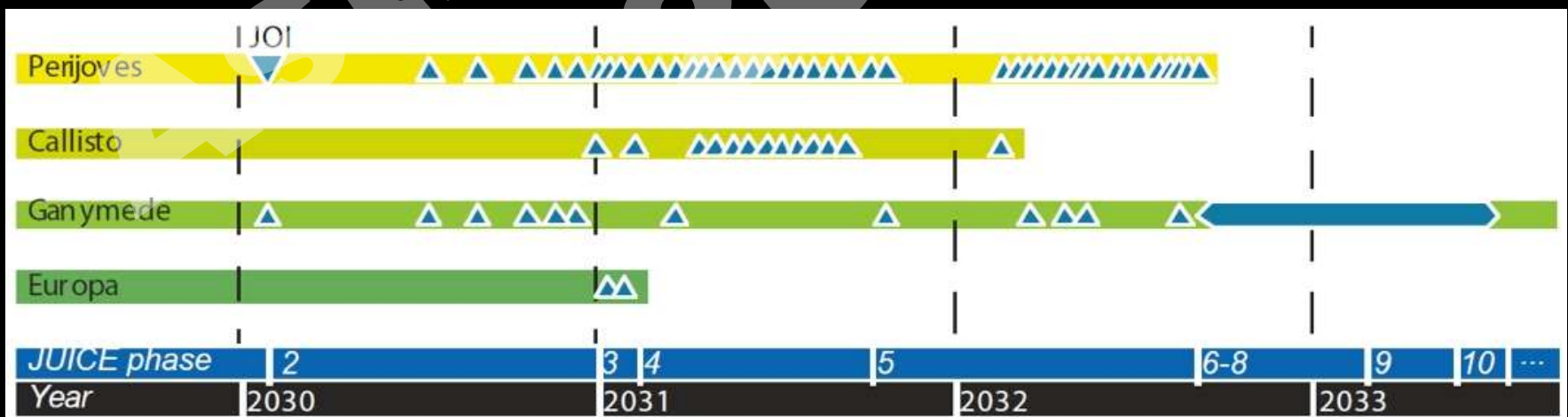
KALISTO: NAJDREVNIJA POVRŠINA U SUNČEVOM SISTEMU

- Praktično jedino veliko čvrsto telo koje se nije bitno promenilo od epohe poznog teškog bombardovanja.
- Ogromne udarne strukture: Valhala i Asgaard (cca. 600km)...
- Takođe tanušna kiseonička atmosfera.
- Poređenje sa Kaloris basenom na Merкуру ukazuje na postojanje okeana duboko u unutrašnjosti, verovatno na više stotina kilometara dubine.



MISIJA JUICE (JUPITER ICY MOONS EXPLORER)

- U maju 2012. EU odobrila misiju JUICE, kao sledeću „ključnu misiju“ (nakon EXOMARS-a).
- Sonda na solarnu energiju predviđena za lansiranje Arijanom-5 2022.
- Ulazak u Jupiterov sistem 2030.
- Nakon desetak prolazaka pored tri spoljna Galilejeva satelita, trebalo bi da udje u stalnu orbitu oko Ganimeda 2033. godine.
- Predviđeni downlink: 1.5 Gb dnevno



**Prelaz ka radikalno drugačijim
habitatima?
Titan i Enkeladus**

SATURN I OKOLINA – NAJKOMPLEKSNIJI DEO SUNČEVOG SISTEMA



1655: HAJGENS OTKRIVA...



Astrobiologija
2012

TITAN

TEAM: SSCS
MISSION: CASSINI
TARGET: SATURN / TITAN

Titan's atmosphere hides all details of the surface from
outside trying to see it from space. But that same thick
atmosphere makes Titan one of the most interesting places
in our solar system to investigate.

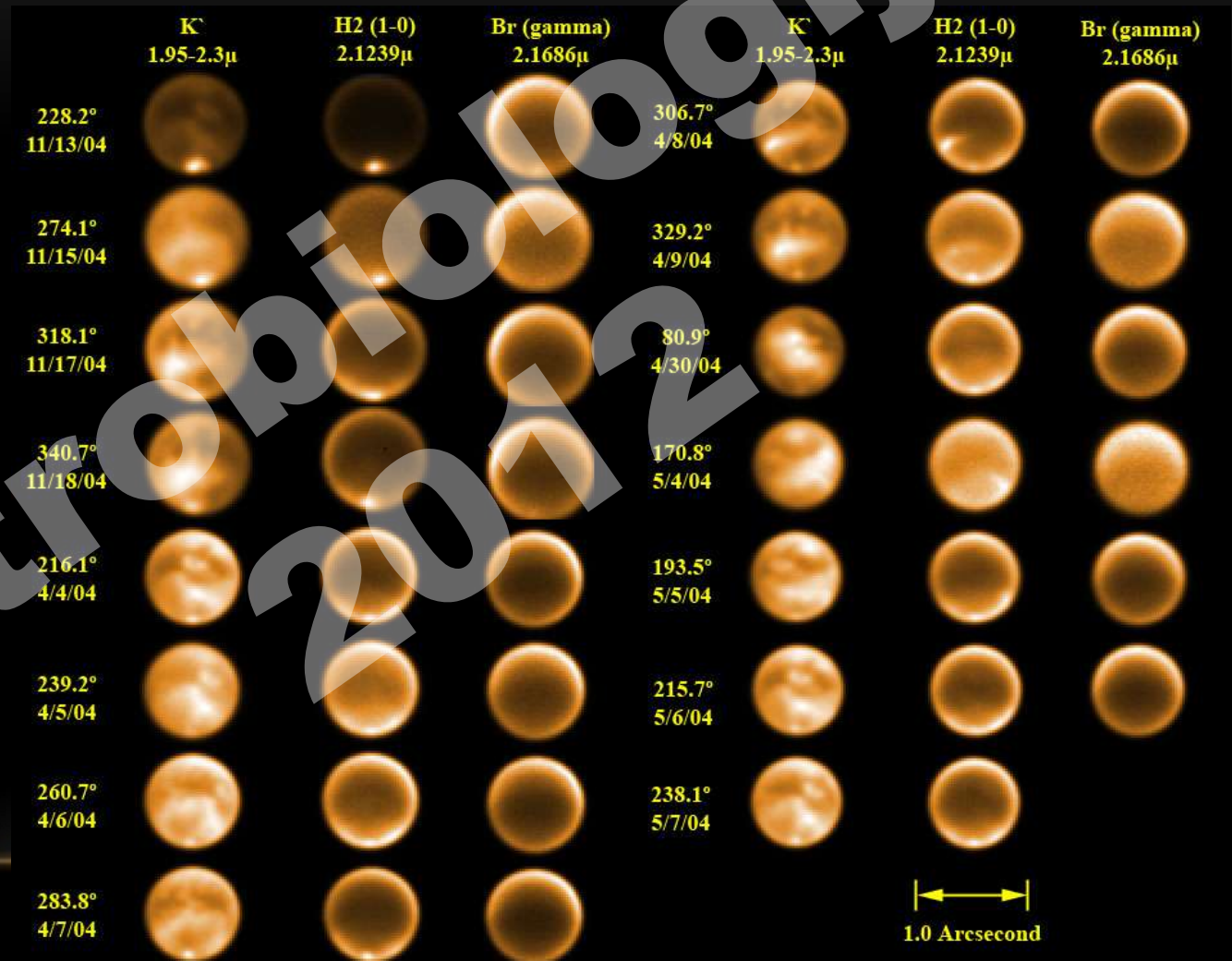
- Atmosfera: N (95%), Ar (1-3%), CH₄ (1-2%), nešto amonijaka i vodene pare
- Pritisak na površini: 1,5 bar!
- Metanski oblaci daju narandžastu boju
- Kako atmosfera ne iscure u svemir?
 - Niska T
 - Nešto je stalno nadoknađuje!
- I ovo je nedavno potvrđeno posmatranjima!



Titan

2005: STVARANJE NOVE ATMOSFERE!

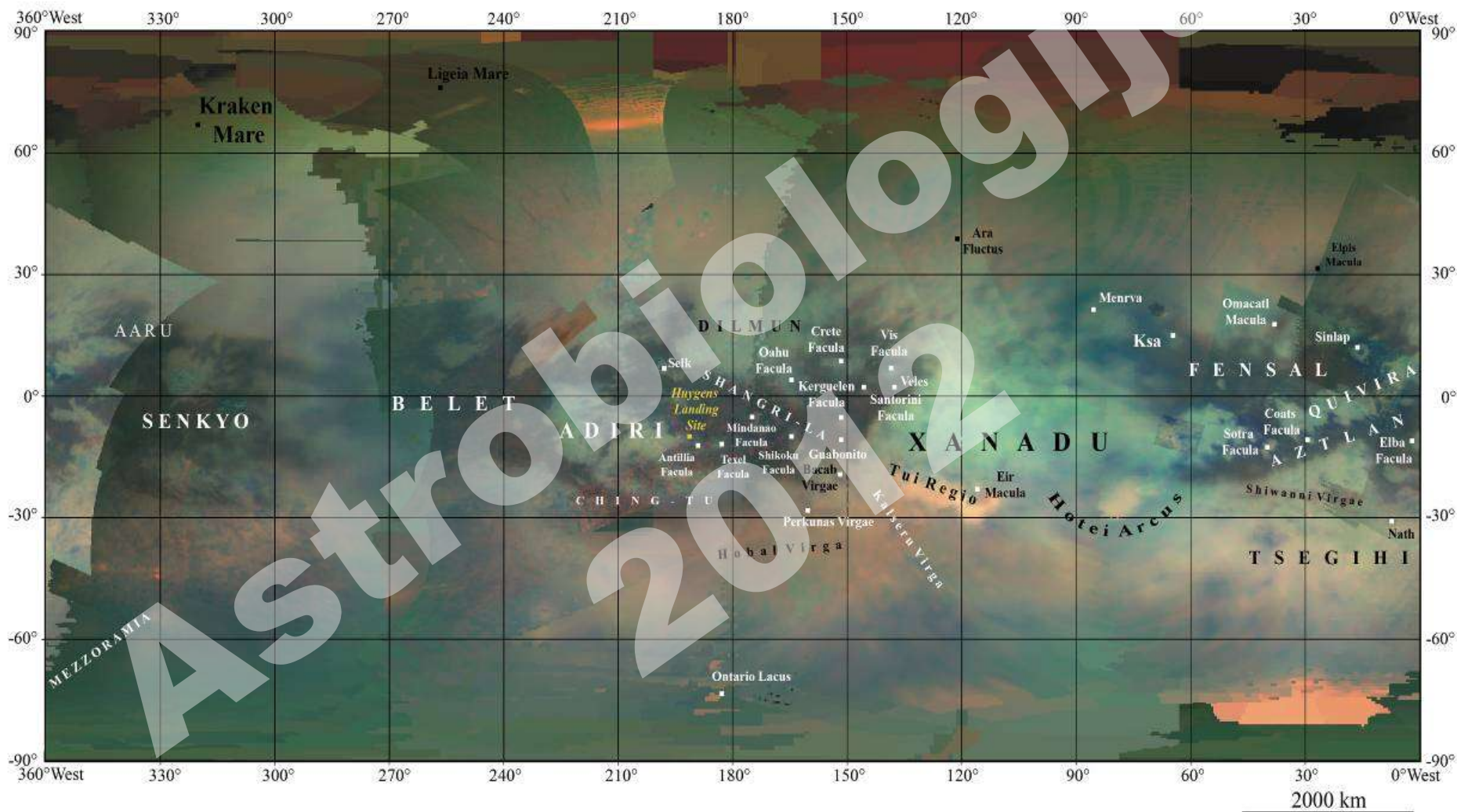
- Posmatranja sa Zemlje (Gemini S + Keck)...
- Stvaranje novih oblaka sa visokim sadržajem metana – posledica aktivnog kriovulkanizma!



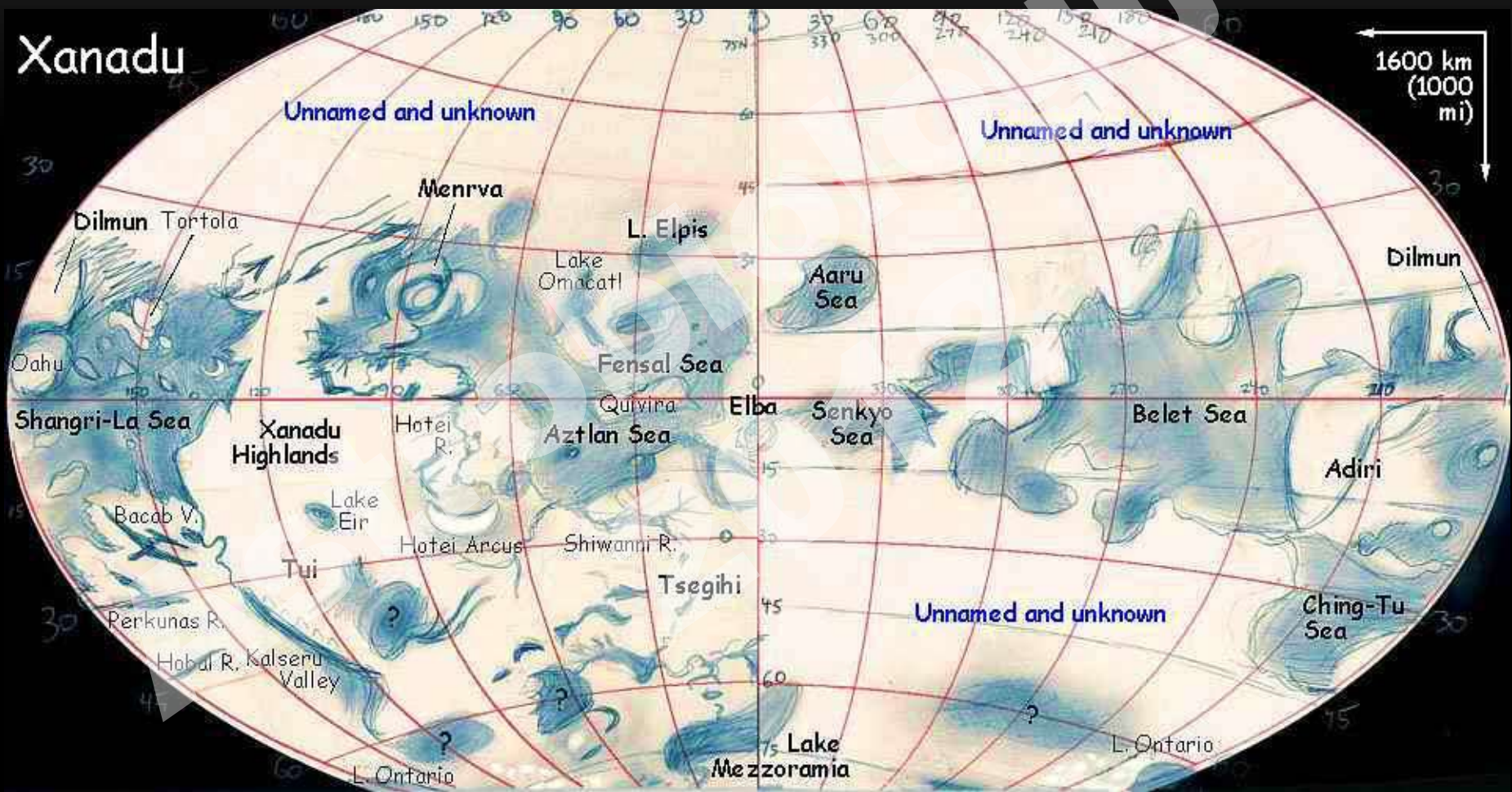
KASINI-HAJGENS

- Prvi veštački satelit Saturna
- Bliski susreti sa nekoliko satelita, a naročito sa Titanom.
- Mala sonda „Hajgens“ se odvojila i 14. 1. 2005. spustila na površinu Titana, odakle se javljala gotovo 2 sata.
- Radar velike snage korišćen za mapiranje terena na Titanu i još par satelita...
- „Kasini“ uspešno i dalje funkcioniše, zahvaljujući plutonijumskim baterijama.





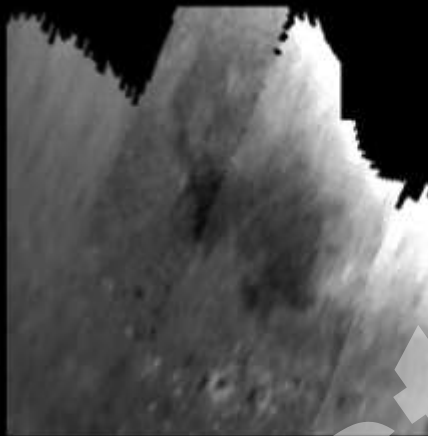
Xanadu





Astrobiologija 2012

NEKI DELOVA RELJEFA ZAPANJUJUĆE SLIČNI ZEMALJSKOM...



VIMS ($\lambda=5 \mu\text{m}$)



VIMS (R=5.0 G=2.0 B=1.27 μm)

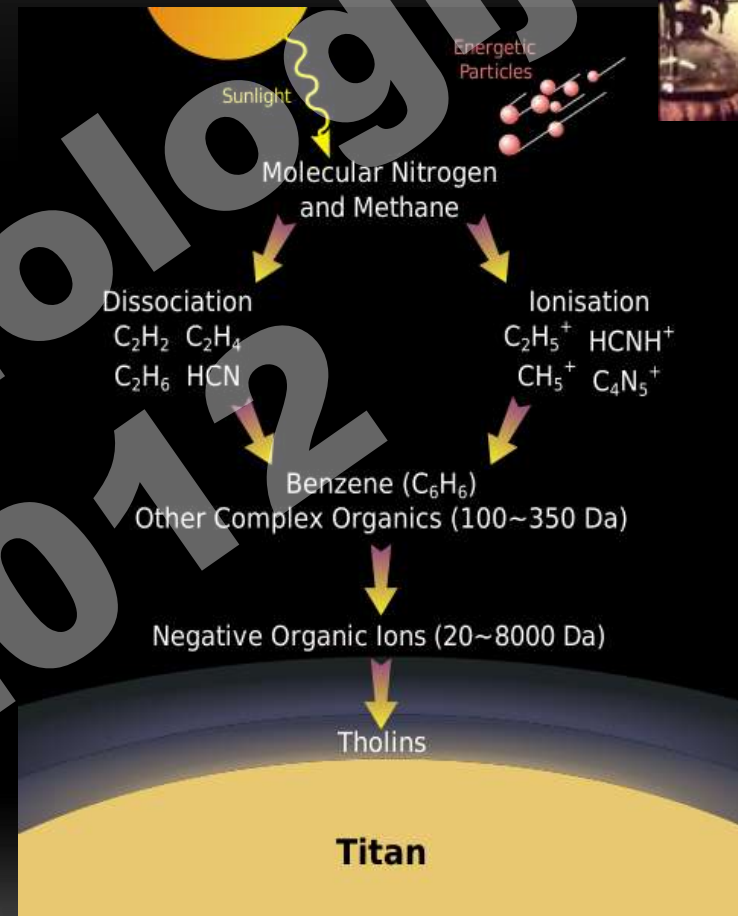


RADAR ($\lambda=2.17 \text{ cm}$)



CRVENILO: TOLINI

- Sagan & Khare (1979): većinski sadržaj u Miller-Jurijevom ogledu?
- Generički naziv!
- Nema ih na Zemlji, zbog prisustva agresivnog O_2 u poslednjih 2,4 Ga.
- Veliki spektar bakterija **može** da koristi toline kao izvor ugljenika!
- Rani heterotrofi koristili toline?
- Prisustvo na objektima u spoljnom Sunčevom sistemu pokazuje njihov astrobiološki značaj.
- Tolini služe kao UV štiti na površini!





METANSKI „HIDROLOŠKI“ CIKLUS

- Metanska kiša uglavnom isparava iznad tla...
- Koncentracija blizu tla posebno povećana, oko 5%.
- Veoma retko (cca. 1 u veku) očekuju se „metanski monsun“, koji traje mesecima i popunjava korita plitkih jezera.
- Prisustvo malih količina H_2 u atmosferi, ali manjih blizu tla.

ORIGINALNO HEMIJSKO “GORIVO”: ACETILEN

- Prisustvo C_2H_2 na Titanu moglo bi biti ključno za
- Poreklo: reakcije atmosferskog metana sa Sunčevim UV i kosmičkim zracima iz Saturnove magnetosfere.
- Acetilen se formira u atmosferi u čvrstom stanju i pada na tle, gde je pritisak dovoljno veliki da može postati tečnost.
- McKay (2005): metanogeni organizmi koji udišu H_2 i ispuštaju CH_4 ?
- Strobell (2010): gradijent H_2 suprotan od očekivanog u skladu sa predviđanjima biološke hipoteze...



POSTOJI LI H₂O ISPOD POVRŠINE TITANA?

- Dve vrste evidencije:
 - Refleksija ELF radio talasa.
 - Pomeranje topografskih markera za 30km između oktobra 2005. i maja 2007!
- Modeli gravitacionog polja i rotacije Titana najbolje se fituju postojanjem vodenog leda na 100 km ispod površine.
- Jedan deo bi verovatno bio tečan kao posledica zasićenosti amonijakom („antifriz“).

organic-rich atmosphere
and surface

de-coupled outer shell
(water-ice / clathrate)

global subsurface ocean

high-pressure ice VI shell

hydrous silicate core
~2000 km radius



TITAN: BIOHEMIJSKA LABORATORIJA „HLADNOG ŽIVOTA“?

- Stope reakcija generalno $\propto \sqrt{T}$, ...
- Takva vrsta „spore biogeneze“ mogla bi da se upravo sada dešava na Titanu!
- Sarah Horst (2010): 5 nukleotidnih baza i desetak amino-kiselina u „titanskoj“ verziji Miler-Jurijevog ogleda.
- Odsustvo slobodne tečne vode ne mora biti nužno prepreka (Pitch Lake na Trinidadu analogon).
- Gladman et al. (2005): panspermija između Titana i rane Zemlje sasvim moguća.
- Schulze-Makuch: kad se sve uzme u obzir, Titan je najinteresantniji astrobiološki objekat posle Zemlje...

10 MILIONA BAKTERIJA PO GRAMU – BEZ VODE...



ENKELADUS?



- Heršel 1789, prilikom prve upotrebe novog 1,2 metarskog teleskopa...
- Veza sa E-prstenom?
- 490km u prečniku
- 2:1 rezonanca sa Dionom održava mali ekscentritet (0.0047), omogućavajući plimno zagrevanje.

VEOMA MALI OBJEKAT...



MISTERIJA JUŽNE HEMISFERE

- „Tigrove pruge“
- Neke topografske karakteristike mlađe od 0.5 Ma!
- „Kasini“ otkriva: pruge su toplije, sadrže veće koncentracije leda i jednostavnih organskih supstanci.
- U prugama se nalaze kriovulkani.
- Vodeća hipoteza: diapir.



Astrobiologija

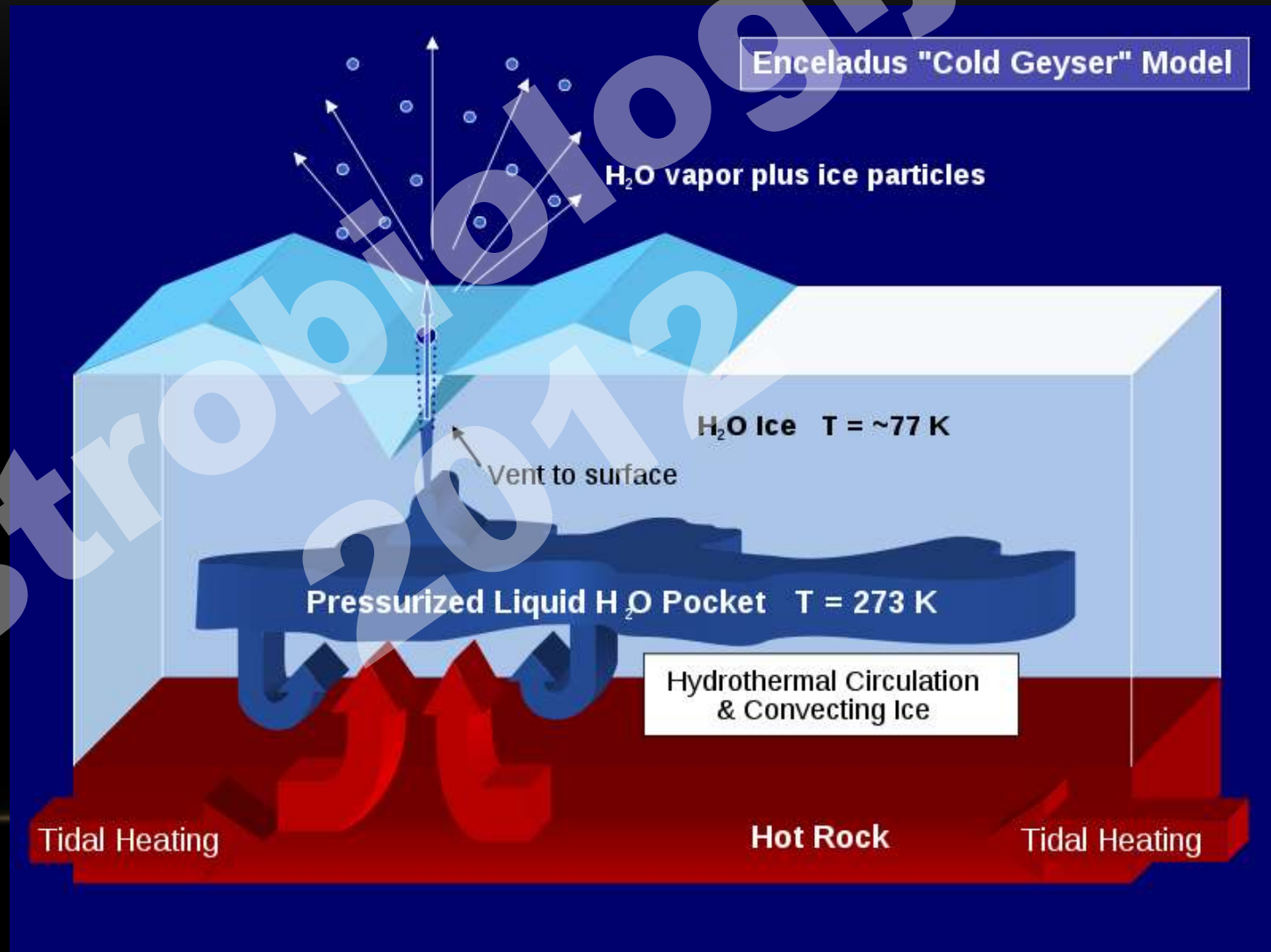


KRIOVULKANSKA EMISIJA

- 14. jula 2005. „Kasini“ je prošao direktno kroz oblak gasova i prašine emitovan sa Enkeladusovog južnog pola...
- Sastav: predominantno H_2O , N , CO_2 , CH_4 , kompleksniji ugljovodonici.
- Kasnije otkriven i amonijak (objašnjava tečnu vodu pre erupcije).
- Situacija slična Evropi i na manjim telima!



KAKO TO (MOŽDA) RADÍ...



POUKE?

- Enkeladus pokazuje da i mala tela imaju znatan astrobiološki potencijal.
- Moguće postojanje komplikovanih habitata zasnovanih na niskoj temperaturi, sporim reakcijama i metabolisanju ugljovodonika.
- Novi, ogroman deo prostora parametara otvoren za astrobiologiju!

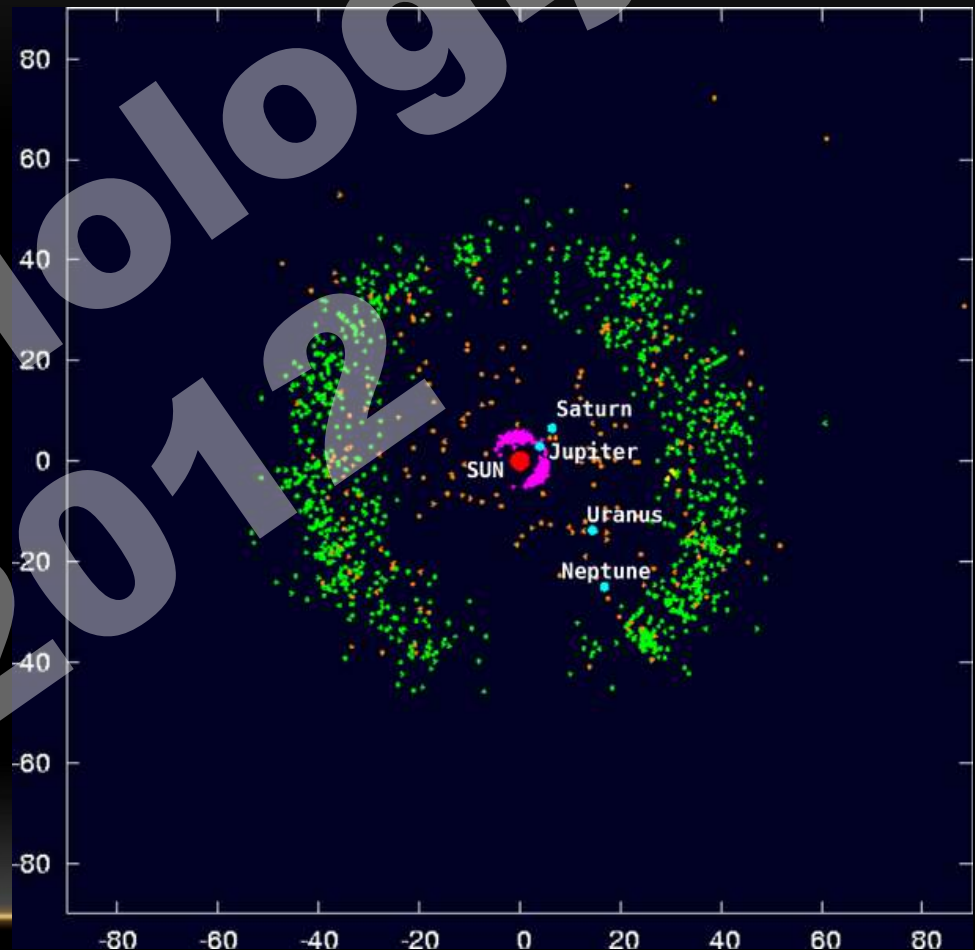
TRANSNEPTUNSKI OBJEKTI...

Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



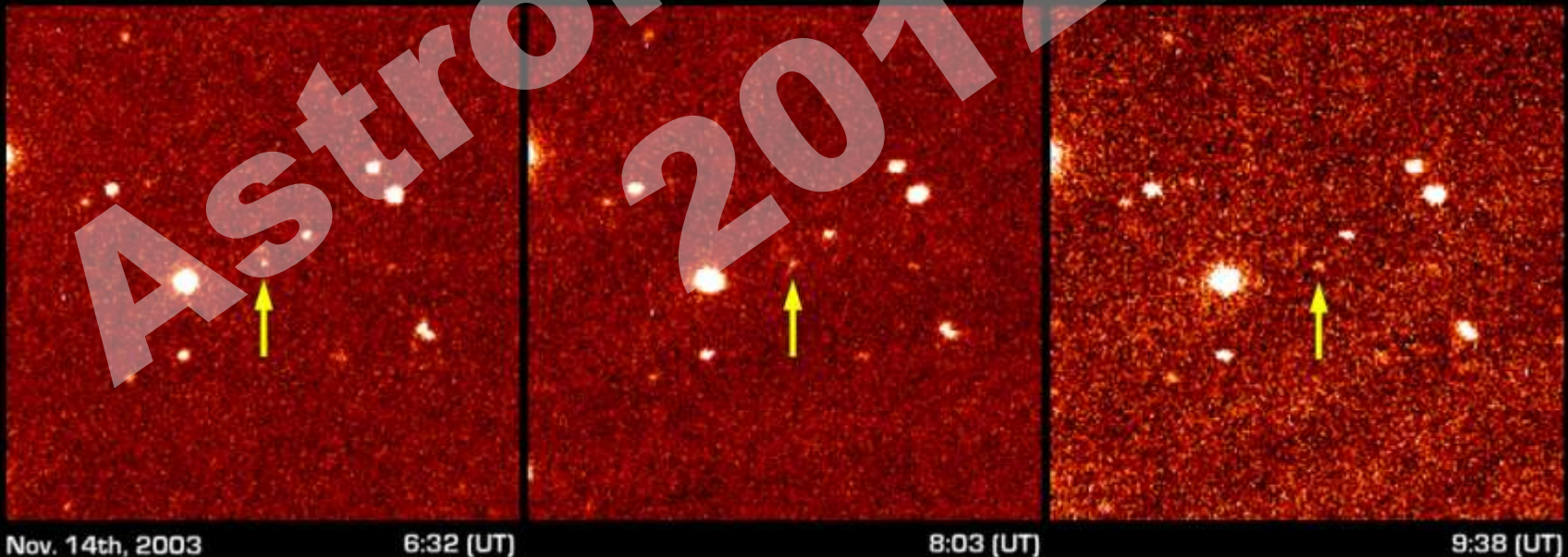
KAJPEROV POJAS I RASEJANI DISK

- Oko 100,000 KBO u pojasu oko 100 puta masivnijem od glavnog asteroidnog prstena.
- Nepoznat broj rasejanih objekata („kentaure“).
- Najveći potvrđeni je Pluton (kao i još dve planete patuljka, Haumea i Makemake), među rasejanim objektima Eris.
- Veoma raznovrsna populacija...



90377 SEDNA: VELIKA ENIGMA?

- 14. novembar 2003: Brown, Trujillo & Rabinowitz 1.22m Samuel-Oschin teleskop...
- „detached object“, ekstremno bliski deo oortovog oblaka.
- $T = 11,400$ godina (!), perihel 76.36 AU u 2076.
- Prečnika između 1000 i 2000km (izvesno veća od Quaoar-a)...





Adolf Schaller
Painting for NASA/STScI

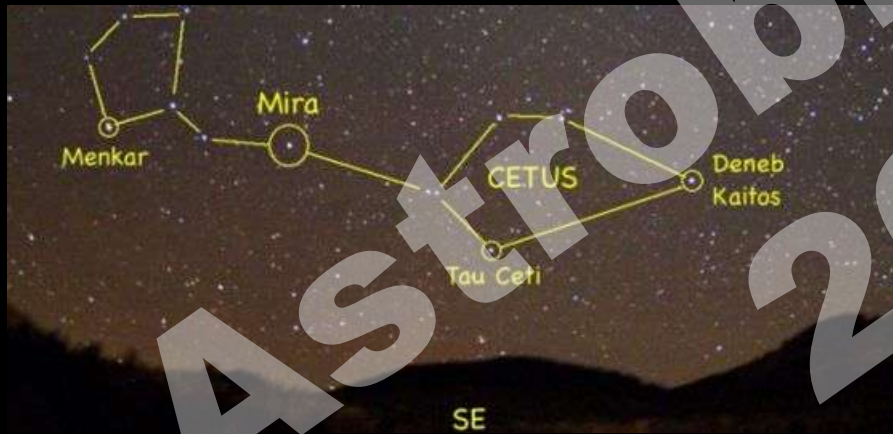
DODATNE ZAGONETKE

- Promene sjaja sa periodom od oko 20 dana...
- Ali nema detektabilnog satelita!
- Najcrveniji objekat u Sunčevom sistemu – na nivou Marsa ili malo više!
- Količine tolina moraju biti ogromne, nasuprot tome daleko manje leda...
- Morbidelli & Kenyon (2004): objekat zarobljen iz drugog planetarnog sistema, verovatno od braon patuljka!

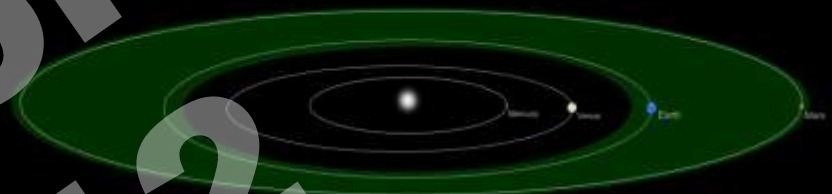


ŠLAGVORT ZA NAREDNI PUT: TAU CETI

- 19. 12. 2012.: potvrđeno prisustvo 5 planeta
- Disk malih tela i prašine 10 puta masivniji od Sunčevog



Our Solar System



Habitable Zone



Tau Ceti system