

# Astrobiológia

3

Život

Filozofický/holistický pohľad

Život-základné charakteristiky

Abiogenéza

RNA world

Panspermia

RNDr. Tomáš Paulech, PhD.  
KAFZM, FMFI UK

# Život - pokusy o definíciu



- Život = olivín ( $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ) $_2\text{SiO}_4$  +  $\text{H}_2\text{O}$  +  $\text{CO}_2$  (N.Lane)
- **Historické pohľady na život** – vždy považovali živé veci za kategoricky iné ako neživé
- **Staroveké grécko - Empedokles** : „ život má dušu, ktorá je z atómov ohňa “(veril v 4 elementy)
- **Osvietenectvo – Vitalizmus** - 17. stor. „vis vitalis“- spontánny vznik života vďaka „sile“
- 1668 - Francesco Redi –dokázal neexistenciu životného fluida
  - kusy mäsa zakryté misou - žiadne larvy
  - Nezakryté - vznikli larvy
- 1676 – A. van Leeuwenhoek - mikroskop a pozorovanie mikroorganizmov – baktérií a kvasiniek (jednobunkových húb)
- 1828 – Friedrich Wöhler – umelá syntéza močoviny (smrť vitalizmu, zrod „organickej“ chémie)
- 1859 – **Luis Pasteur** – definitívne vyvrátil životné fluidum
  - experimentoval s vývarom (sic!) - vývar v **dokonale zavretej fľaši** nechal prevrieť a nechal ho stáť veľmi dlho – **žiadny život sa neobjavil** (na vzduchu áno)
- **„natural-kind“ (napr. zlato, voda) –filozofický pojem pre objektívne fenomény**
  - Voda nebola „natural-kind“ kým nebola zistená jej molekulárna povaha a z toho odvodené fyz.-chem. vlast.
  - **Je „život“ podobný prípad ako voda – je filozofický koncept, ktorý čaká na odhalenie podstaty, ktorou ho bude možné exaktne definovať?**
- Implicitne očakávané striktnú hranicu geochémie – biochémie (pravdepodobne neexistovala)
- Atropocentrický pohľad (sme súčasťou experimentu, ktorý skúmame)
- Virusy+viriony – považované za neživé – nové objavy možnej samoreplikácie
- cca 100 definícií života – v priloženom dokumente



# Život - základné charakteristiky 1

- **Komplexita**

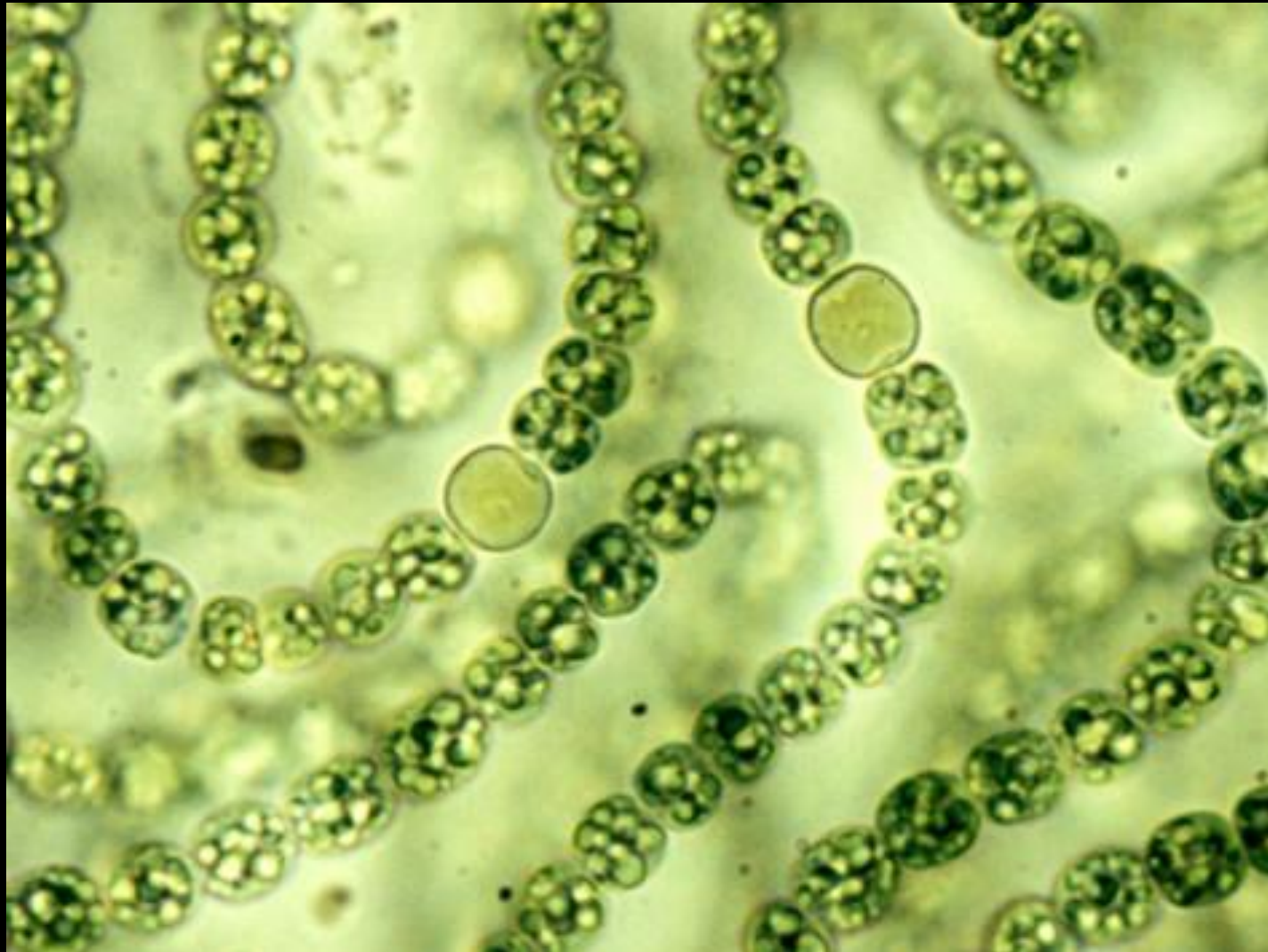
- Trvalý rast celkovej komplexnosti v biosfére
  - Niektoré druhy aj v opačnom smere (vírusy?, parazity...)
- Superorganizmy (napr. rastliny, zvieratá) - Bilióny eukaryotických buniek + mikrobióm + vírusy
- Celok je viac ako sumár prvkov/zložiek
- Emergentné javy (hierarchizácia, spracovanie informácií, dynamika v priestore a čase)
  - Tvorba fosfolipidovej dvojvrstvy – Netlogo simulácia
  - Samozostavenie proteínov
- Bez centrálného riadenia
  
- **Teleológia – účelovosť** života – súvisí s komplexnosťou
  - Aristoteles (350BC) – k cieľu zamerané bytie v živej prírode
  - stvorená (kresťanstvo, Kant, Hegel)
  - evolučne nadobudnutá (Lamarck, Darwin)

- **Replikácia** – živé objekty sa množia (alebo sú výsledkom množenia-napr. sexuálne sa reprodukuje)

- Šírenie a kopírovanie informačnej molekuly (RNA, DNA)
- Sebecké gény (jedince sú nástroje replikujúcich sa génov) – R.Dawkins
- Vírusy – vnútrobunkové replikačné parazity, bez homeostázy, bez využitia energie prostredia
- Transpozóny – úseky DNA kódujúce nástroje na vlastnú replikáciu (tvoria 40% ľudskej DNA), zrejme dali vzniknúť splicingu pri transkripcii DNA
- Pre unikátnosť života na Zemi – nemožné rozlíšiť, či sú univerzálne len pre Zem (kvôli evolúcii z LUCA) alebo celý vesmír

# Život - základné charakteristiky 2

- **Metabolizmus** - Dynamická kinetická stabilita
  - Komplexný stabilný vnútorný stav (homeostáza) udržiavaná stálou utilizáciou voľnej energie z prostredia (nízka entropia na úkor okolia)
  - Nástroje: chemiosmóza, respirácia, fotosyntéza, Krebsov cyklus, Calvinov cyklus, atď – viď ďalej
  - Rast/vývin – dynamika na úrovni jedinca - zachováva sa jedinec, nie jeho zložky (bunky/molekuly)
    - Môže byť pozastavený do „neživej“ fázy – semená, spóry a pod s „potenciálom“ ožiť=metabolizovať a množiť sa
  - Stupne závislosti metabolizmu na iných organizmoch:
    - **autotrofné** - málo/vôbec – vytvárajú organické molekuly z anorganických (napr. rastliny, sinice a pod.)
    - **heterotrofné** – úplne – využívajú molekuly vytvorené autotrofnými tvormi (napr. bylinožravce) alebo inými heterotrofnými organizmami (napr. predátori)
  - Spoločná biochémia: polyméry nukleotidov (RNA/DNA), peptidov (bielkoviny), fosfolipidy (membrány), uhl'ovodíkov (cukry, škroby), univerzálna dogma
- **Interakcia s okolím** (od komunikácie baktérií po ľudstvo)
- **Evolúcia** – vývoj a adaptácia v prostredí
  - dynamika na úrovni druhov/populácií (dlhodobo sa zachováva a vyvíja populácia, nie jedince)
- Pre unikátnosť života na Zemi – nemožné rozlíšiť, či sú charakteristiky platné len pre Zem (kvôli evolúcii z LUCA) alebo celý vesmír



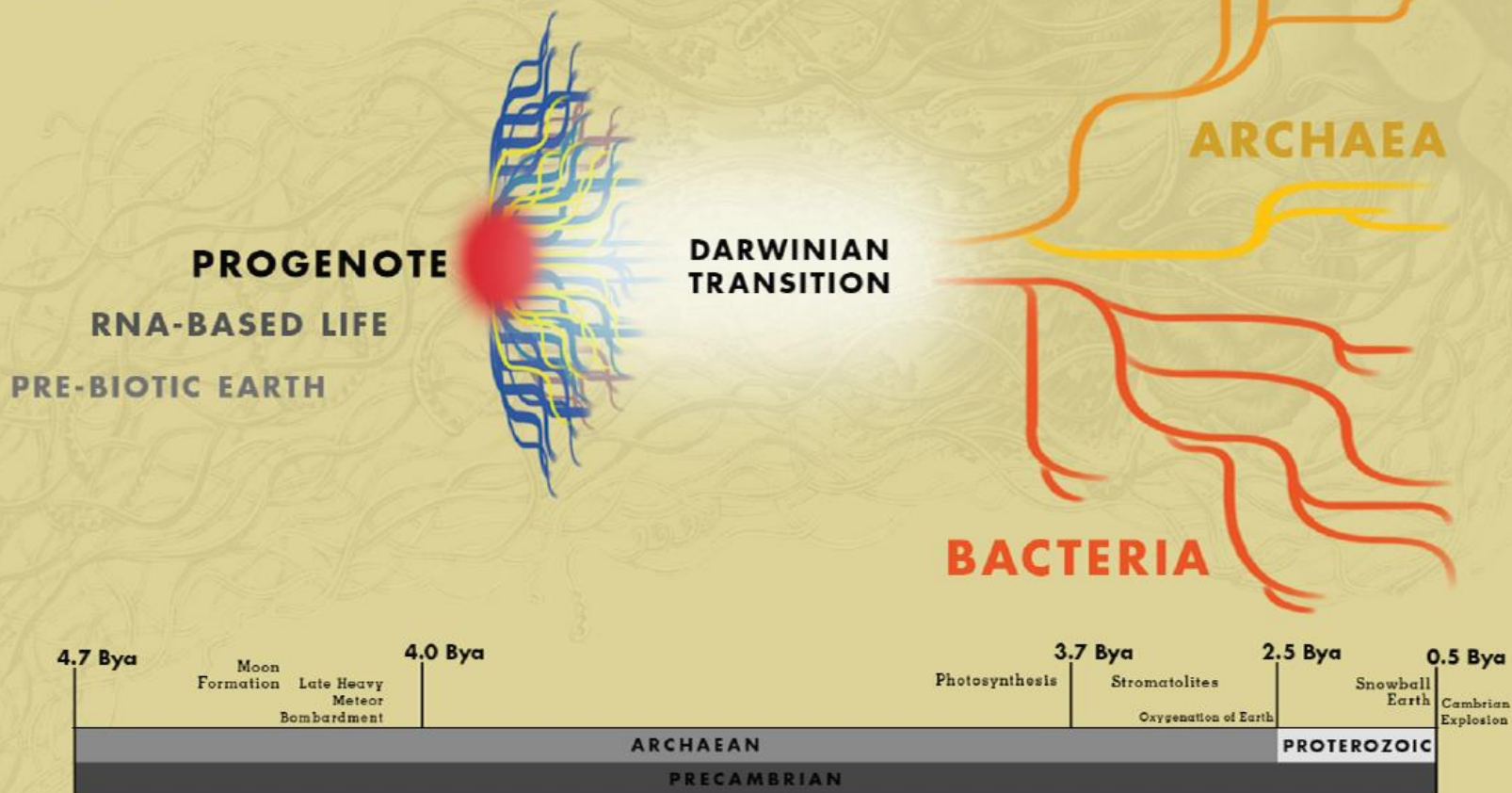
**G.Joyce, NASA, 1994 – life is „a self-sustaining chemical system capable of undergoing Darwinian evolution**

# Abiogenéza - východiská

- Hypotetický prírodný proces vzniku živých foriem z anorganickéj hmoty (1920s – Oparin+Haldane)
- Vznik života – nastal krátko po sformovaní Zeme (najneskôr 1Gy po, najskôr 150-300My)
- **Progenote** – zhluky RNA a podpornej chémie
  - Jednoduché molekuly – samoorganizácia do komplexnejších molekúl
  - Elementárne reakčné cykly-základy metabolizmu
  - Polymerizácia monomérov do makromolekúl (nukleotidov do RNA, aminokyselín do proteínov...)
  - Problém koncentrácie
- **Darwinian transition**
  - RNA enkapsulovaná do buniek s membránou (malý vertikálny, výrazný horizontálny prenos génov)
  - Darwinian Evolution = competition + heritable variation
  - **variácia dedičnosti** – ovplyvňujúce prežitie a reprodukciu (silný vplyv mutácií)
  - Začiatok pôsobenia prírodného výberu na „jedince“
    - Modifikácie RNA
    - Modifikácie membrány
    - Selekcia biochemicky výhodných komponent/reakcií
- **LUCA** – last universal common ancestor (vznik cca 3.5 Ga)
  - od organických molekúl po LUCA je veľký skok
- **Vetvenie stromu**
  - Bacteria a Archea
  - Archea+Prokarya= Eukarya
  - Fraktálne vetvenie stromu (pavučiny) do nespočetných druhov (bacteria: len 1% kultivovaných)

# Hypotetický priebeh abiogenézy

## EMERGENCE OF THE TREE OF LIFE



# LUCA - Last Universal Common Ancestor

- LUCA = hypotetický organizmus/druh
- predchodca 3 domén života:
  - Bacteria
  - Archaea
  - Eukaryota
- **LUCA** – predpokladané (veľmi pokročilé) vlastnosti:
  - (jedno)bunkový organizmus s dvojvrstvou membránou
  - DNA genóm 500-1000 génov
  - Chemiosmóza cez membránu +ATP syntáza
  - Genetický kód (platí Centrálna dogma molek. biológie)
  - Katalýza reakcií proteínmi (variabilita biochemických dráh)
  - Schopnosť EVOLÚCIE/speciácie
- Fylogenetický výskum - všetky živé organizmy zdieľajú spoločného predka vďaka evolúcii
- najpodobnejšie k LUCA sú **termofily**, preto pôvod života hľadáme pri podmorských prieduchoch



# Potenciálne lokality abiogenézy

- **Podmienky zrodu života**

- zdroj energie (gradienty koncentrácií)
- možnosť vytvoriť vysoké koncentrácie vhodných molekúl pre biochemické procesy
- prostredie schopné udržať a prenášať zostavené molekuly (rozpúšťadlo)

- **Kandidátske lokality (možno aj viaceré naraz)**

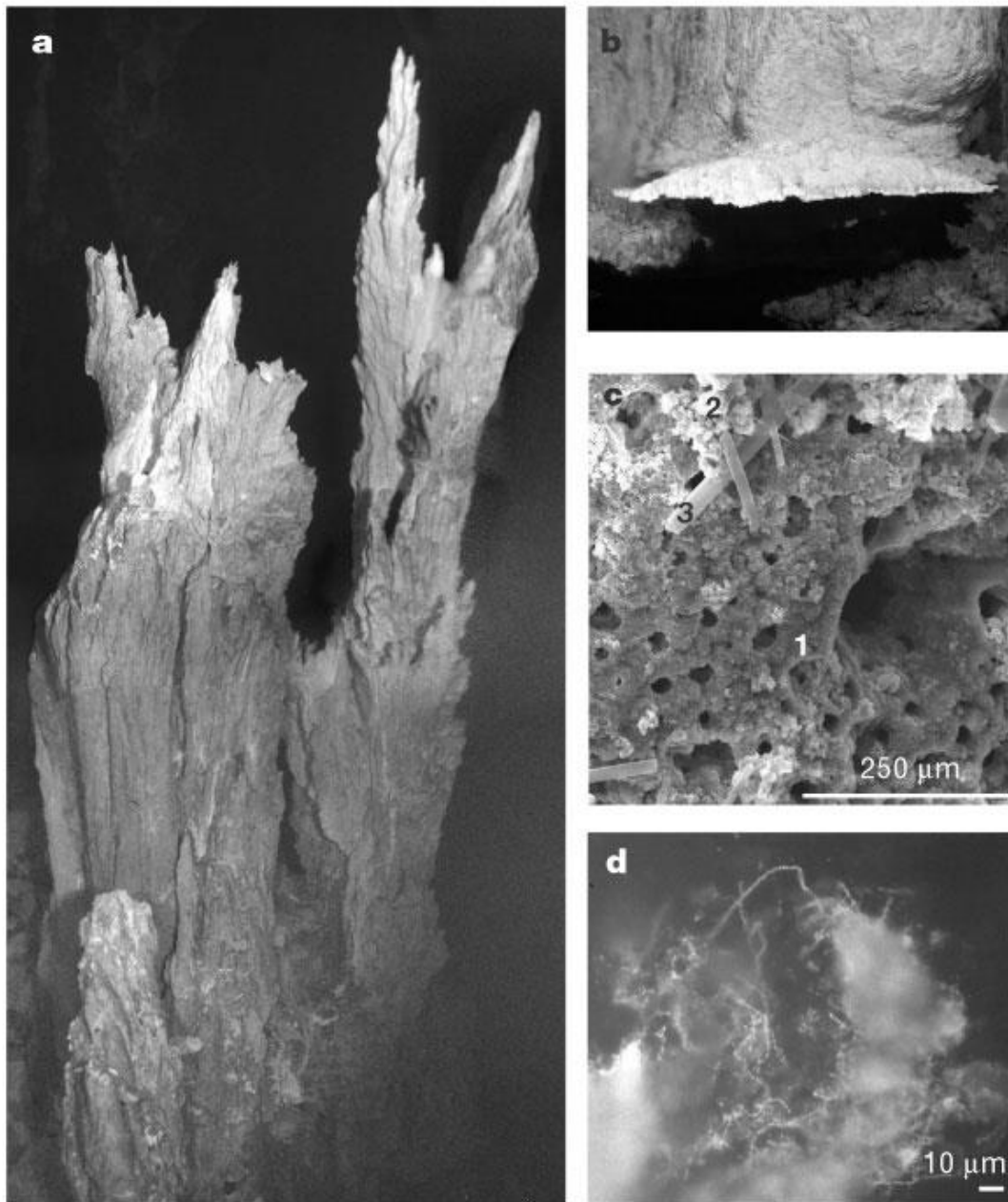
- „**Warm little pond**“ hypotéza – Darwin – dnes považovaná za nepravdepodobnú
- **deep sea vents (podmorské hydrotermálne komíny)** – Dr.W.F.Martin (Univ. Dusseldorf), Dr. N.Lane (Univ. College London)
  - vysoké teploty, obsahujú Fe, S, alkalické veiny – horúce plné materiálu – vhodný zdroj energie a gradientov
- **pevnina** +UV žiarenie poháňajúce biochémiu (Dr. Sunderland, Cambridge Univ.)
- **podmorské vulkány**
  - bubliny s plynmi stúpajú
  - reagujú s vodou a dostávajú sa do atmosféry
  - reagujú s UV žiarením slnka
  - dopadajú späť na zem už ako komplexné molekuly
- **impaktné krátery** (horúce po narušení , rôznorodá chémia, zhromažďuje vodu – darwinov rybník)
- **pláže** (pohyb vody, skaly, kde sa koncentrujú molekuly)
- **gejzíry** (vulkanické gejzíry na povrchu Zeme)
- **ľad a chladné prostredie**
  - voda pri zmrznutí vypudí z objemu soľ
  - komplexné molekuly sa mohli zhromažďovať v zlomoch ľadovcov
  - ľad spôsobuje spomalenie reakcií

# Kyslé hydrotermálne pramene

- „Black smokers“
- 1977 – ponorka Alvin
  - objav hydrotermálnych oceánskych prieduchov v zlomoch
  - Dodnes cca 200ks – rádovo 10-100m vysoké
  - vznik v dôsledku vulkanizmu
  - Chrlia kyslé metalické sulfidy
  - Vysoký tlak, až 400°C
- Nesmierna hojnosť života
  - dažďový prales druhov v úplnej temnote oceánu
  - Sírne baktérie: zo sírovodíka získajú vodík  $H_2 + CO_2 +$  energia = organ. hmotu
  - Energiu získavajú reakciami s kyslíkom!
- protoZem pri vzniku života kyslík neobsahovala!
- Alternatíva: reakcia sírovodíka s Fe za vzniku Pyritu (problém koncentrácie)
- Vznik života v týchto prieduchoch nepravdepodobný

# Zásadité hydrotermálne pramene

- „White smokers“ objavené v r.2000, až 60m vysoké
- Úplne odlišné od kyslých
  - Nižšie teploty
  - Iné chemické zloženie
  - Zásadité, nie kyslé prostredie
- **Serpentinizácia - spôsob vzniku**
  - obnažovanie zemského plášťa na dne oceánov
  - reakcia vody s horninami
    - silné naviazanie do skál (objem ako oceán)
    - vznikajú o vodíky obohatené molekuly – minerálne hydroxidy (serpentin) – podobné Urey-Miller experimentu
    - exotermické reakcie – teplo+vodík+plyny (metán, čpavok, sírovodík)
    - Vodík reaguje s uhlíkatými molekulami rozpustenými v oceáne – pomaly rastú veže uhličitanov
- **Zložité pórovité konštrukcie**
  - plné komôrok cca veľkosti buniek
  - katalyzujúce steny (sírno-železité)
- **Prirodzený elektrochemický gradient** - Zásadité vnútro prameňov v kyslejšom oceáne, život ho imituje chemiosmózou a pumpovaním protónov
- Mike Russel, 1985: „**Ideálne prostredie pre vznik života**“



Lost City, Atlantický oceán – zásadité prieduchy na oceánskom dne (zdroj: Nature)

# Abiogenéza - hypotézy

- **RNA world** – vznik inform. molekuly a replikácie
  - Virus world (vírusy ešte pred prvými bunkami)
- Fe-S world – vznik metabolizmu
- Lipid world – vznik membrány
- Panspermia – život nepochádza zo Zeme
  
- Ch. de Duve
  - Chem. reakcie života nastanú buď veľmi rýchlo, alebo nikdy
  - Je pravdepodobnejší vznik samoreplikácie za 10.000 ako za 10 mil. rokov
- Presný scenár zrejme nikdy nespoznáme
- Dôležité skúmať zákonitosti a predpoklady vzniku života

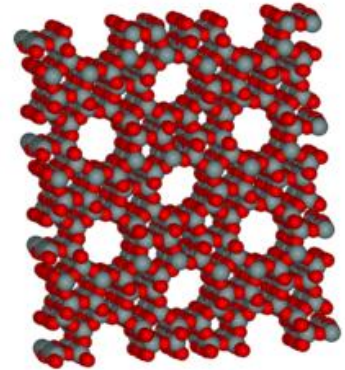
# Hypotéza RNA world

- Predpoklad – na počiatku bola samoreplikácia inf. molekuly
- 1960s – Orgel, Woese, Crick – tRNA inšpirovala k úvahe o samoreplikácii RNA a prvotnom živote
- RNA
  - info-molekula v každom živom organizme
  - schopná katalyzovať vlastnú replikáciu
  - Vyvracia predstavu, že enzýmy sú len bielkoviny
  - Pôsobí v mnohých podobách
    - DNA – štruktúrou veľmi podobná RNA (RAID2 života)
    - rRNA – ribozomálna RNA
    - mRNA – mediátorová RNA na prepis
    - tRNA adapters – transportná RNA na preklad
    - miRNA – mikro RNA, regulačné sekvencie
- Život vznikol samoreplikáciou RNA + prírodný výber
- Žiadne „druhy“, iba individuálne kolekcie mutácií a sekvencií zdieľaných cez „horizontal gene transfer“
- Póry hornín – koncentrácia molekúl a ochrana pred vznikom bunkovej membrány



# RNA world - samoreplikácia

- RNA ako prvotný
  - Genetický systém
  - Autokatalytický systém (pred proteínmi ako enzýmami)
- Autokatalýza RNA
  - Ribozýmy (1980s – Cech, Altman)
    - katalytické RNA sekvencie
    - časti ribozýmov dodnes tvoria časti molekúl (Acetyl-CoA, vit. B12, prekurzory DNA)
    - dostatočne jednoduché na vznik náhodou
    - 1986-Gilbert – RNA world hypotéza sa stáva prakticky možnou
  - Polymerizácia RNA katalyzovaná:
    - v hlinách –clay -(Ferris et al. Nature, 1996 may 2, 381)
      - Kryštály minerálov nábojom katalyzujú syntézu RNA (L.Orgel)
      - Prírodné katalyzujúce minerály: íly, zeolit, kalcit, sulfidy
    - v hlinách dochádza aj k spojeniu RNA a lipidových vezikul
    - v chlade – kryštály ľadu koncentrujú iné molekuly – tie polymerizujú
  - RNA sa môže replikovať samovoľne bez nutnosti dodatočného katalyzátora (J.Szostak)<sup>7</sup>
  - Autokatalýza však nie je schopná vytvárať dlhé kódujúce reťazce (nutná vývojová späťosť s proteínmi a metabolizmom)



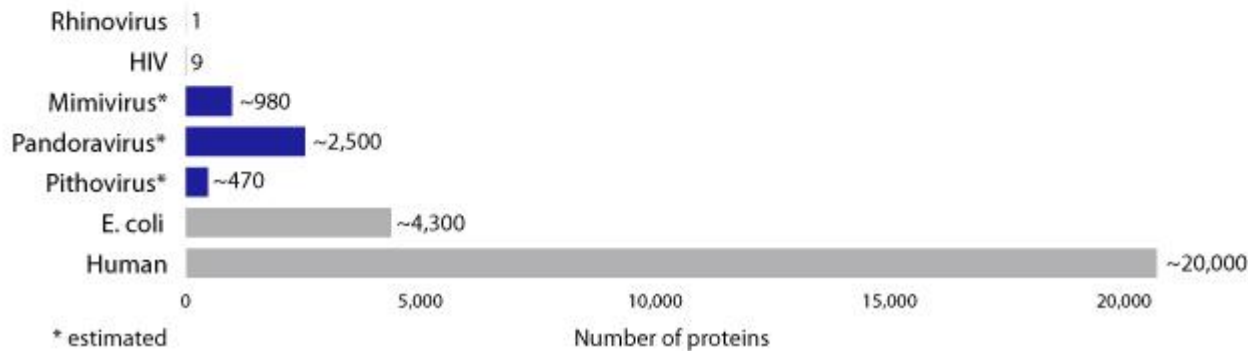
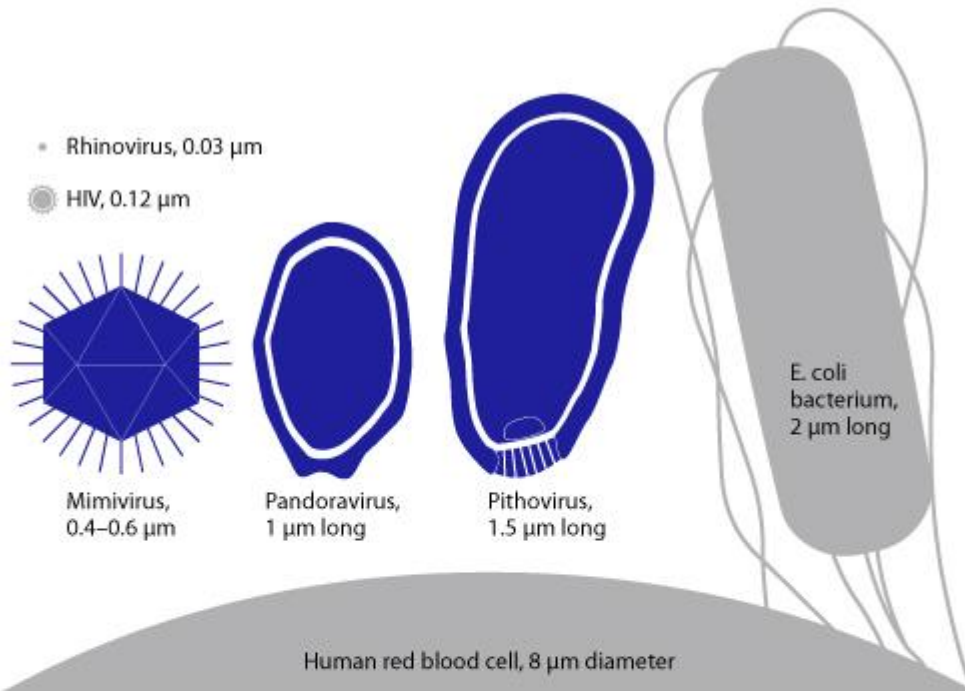
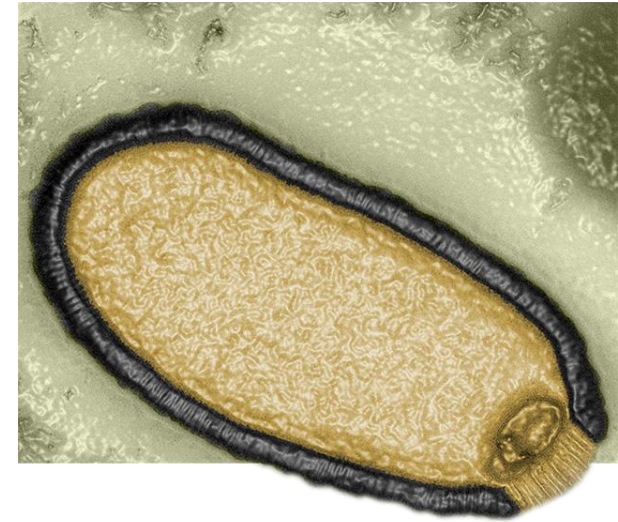
Trojrozmerná tetraédrická štruktúra zeolitu s dutinami a tunelmi

# Hypotéza Virus world

- Vírusy (počtom min. 10x viac ako všetok bunkový život)
  - považované za neživé
  - neschopné množenia bez DNA mašinérie hostiteľa
  - iba niekoľko génov pre bielkoviny obalu a reverznej transkriptázy
  - rôzne hypotézy o ich vzniku (nezávislý vznik?, vznik z prokaryotov?, únik génov z buniek?,...)
- Obrovské vírusy (objavené od 2003)
  - PithoVirus, PandoraVirus, mimiVirus ...
  - cca 500-2500 génmi! <sup>5</sup>
  - Mnohé gény nepodobné ničomu inému živému
  - Naznačujú veľmi dávny pôvod vírusov (pred prvými bunkami?)
  - Obsahujú genetické nástroje samoreplikácie (už nefunkčné, na replikáciu potrebujú hostiteľa –kedysi samostatné?)
- Vírusy (podľa virus world) existovali ešte pred LUCA



# Hypotéza Virus world

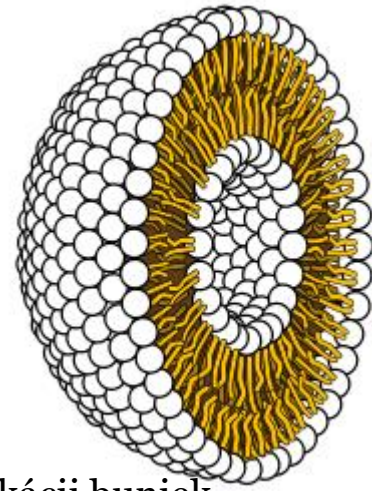


# Hypotéza metabolism world

- Predpoklad – metabolizmus prvý
- Všetky živé formy zdieľajú základné metabolické dráhy a ich zložky (boli prítomné už v LUCA)
- Metabolizmus zrejme nebol „vedľajší produkt“ RNA sveta, vznikali spoločne a zviazane
- Carbon fixation pathways (viazanie uhlíka)
  - Vykonávajú autotrofné organizmy napr. fotosyntézou/chemosyntézou - Calvinov cyklus – premena CO<sub>2</sub> na organické molekuly (napr. glukóza)
  - kľúčová úloha enzýmov obsahujúcich kovy
  - Kovy samotné schopné katalyzovať mnohé reakcie
- Peptid-based pathways – peptidy schopné katalyzovať napr. rast membrány (napr. dipeptid Seryl-Histidine)
- Vhodné podmienky na reakcie mohli byť pri hydrotermálnych prieduchoch v oceáne

# Hypotéza Lipid world

- Predpoklad – prvá existovala bunková membrána
- Všetky živé organizmy sú bunkové – uzavreté membránou (fosfolipidy alebo steroly)
- Membrána je kľúčová pre nastolenie:
  - homeostázy – stabilného vnútorného prostredia (prvotná úloha membrány)
  - chemiosmotického gradientu na membráne pre metabolizmus
- Lipozóm<sup>1</sup> –
  - fosfolipidová guľa s dvojvrstvou
  - spontánne tvorená bez katalýzy len kvôli fyzike
  - oddeľuje vonkajšie a vnútorné prostredie
  - semipermeabilná pre malé zdrojové molekuly
  - nepriepustná pre väčšie produkty metabolizmu
  - schopné koncentrovať molekuly
  - Murchison Meteorite<sup>2</sup>, 1969 – lipidové vezikuly
- Experimenty s rôznymi lipidmi a nukleotidmi – ešte sme ďaleko k samoreplikácii buniek - Jack Szostak<sup>4</sup>
- Fe-S bubliny v hydrotermálnych komínoch (Russel and Martin, 2004, N.Lane) – oslobodenie od serpentinizovanej horniny – vznik samostatných vezikúl/buniek
- Azotozomy – alternatíva lipozómov – sférických dvojvrstiev z polárnych molekúl akrylonitrilu, ktoré sú rozpustné v metáne (Titán, jazero Kraken, prítomnosť zistená sondou Cassini)<sup>6</sup>



# Panspermia - transport života na Zem

- **Zrod hypotézy – 19. stor.**
  - Svante Arrhenius - mikróby/spóry prenášané slnečným vetrom v kozme
  - Lord Kelvin –kamene prenášané kozmom obsahujúce život
  - na Zemi je presun života medzi kontinentmi bežný
  - meteorický materiál reálne putuje medzi planétami – mohol priniesť život?
- **Podmienky prenosu života:**
  - únik z planéty
    - Urýchlenie na km/s (light gas gun simuluje podmienky zrážky), desiatky GPa tlaku potrebných na vystrelenie z planéty
  - transfer
    - ESA – experiment Exposed facility – mikróby vystavené vesmíru 1,5 roka na ISS
    - cyanobakteria **prežila** expozíciu, nepoznáme maximum prežitia
  - dopad cez atmosféru
    - extrémne teplo zahrievaním (pri prachu a mikrometeoroidoch nie)
    - teplo je len na povrchu, vnútri telesa môže byť len cca 60°C
    - ako vhodné sa ukazujú stredne veľké makroskopické telesá (Juraj Tóth, osob., komun.)
- **Mikróby môžu byť schopné prežiť transport!**
- Pseudo-panspermia – na Zem boli dopravené iba organické látky – život vznikol následne
- Kontaminácia vesmírnych sond – chybná/nedostatočná sterilizácia (e.g. vrtáky Curiosity)<sup>3</sup>

# Diskusia, zdroje

- 4 Virusy ako živé organizmy:  
<http://www.simonsfoundation.org/quanta/20140710-hints-of-lifes-start-found-in-a-giant-virus/>
- 5 – Amiokyseliny v prírode a chémii: <http://www.astrobio.net/news-exclusive/mapping-amino-acids-to-understand-lifes-origins/>
- Jack Szostak – Origin of life lectures:  
<https://www.youtube.com/watch?v=PqPGOhXoprU>
- Game of life - John Conway, John von Neumann
  - [http://cs.wikipedia.org/wiki/John\\_von\\_Neumann](http://cs.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann)
  - <http://www.youtube.com/watch?v=E8kUJLo4ELA&feature=youtu.be>
- TED talk Christoph Adami- Finding life we cant imagine:  
[http://www.ted.com/talks/christophe\\_adami\\_finding\\_life\\_we\\_can\\_t\\_imagine](http://www.ted.com/talks/christophe_adami_finding_life_we_can_t_imagine)
- Animácia Brownovho pohybu:  
<https://www.youtube.com/watch?v=6VdMp46ZIL8>
- Vznikol život v chlade?
  - [http://www.newscientist.com/article/mg22029413.600-earths-first-life-may-have-sprung-up-in-ice.html?cmpid=RSS|NSNS|2012-GLOBAL|evolution#.Uz1iEfl\\_t8E](http://www.newscientist.com/article/mg22029413.600-earths-first-life-may-have-sprung-up-in-ice.html?cmpid=RSS|NSNS|2012-GLOBAL|evolution#.Uz1iEfl_t8E)
  - <http://tech.sme.sk/c/7185213/experiment-ukazal-ako-mohol-vzniknut-zivot.html>