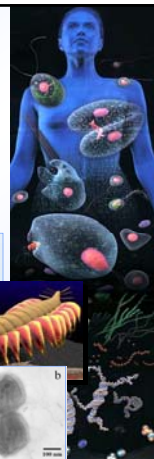
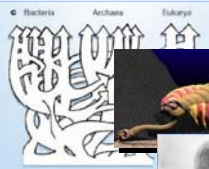


Počátky života ...

... aneb evoluce na plné obrátky

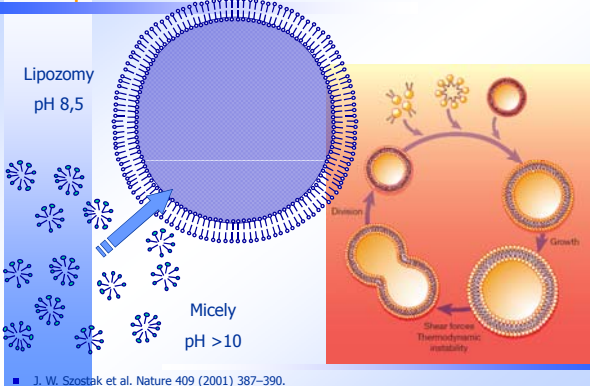
Vladimír Kopecký Jr.

Fyzikální ústav
Matematicko-fyzikální fakulty
Univerzity Karlovy v Praze
<http://biomolecules.mff.cuni.cz>
kopecky@karlov.mff.cuni.cz



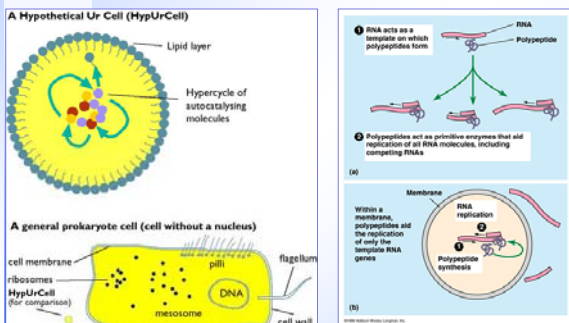
Počátky života

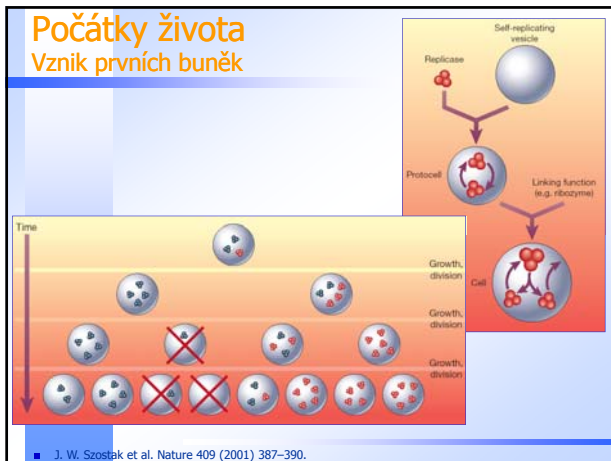
Vznik prvních buněk

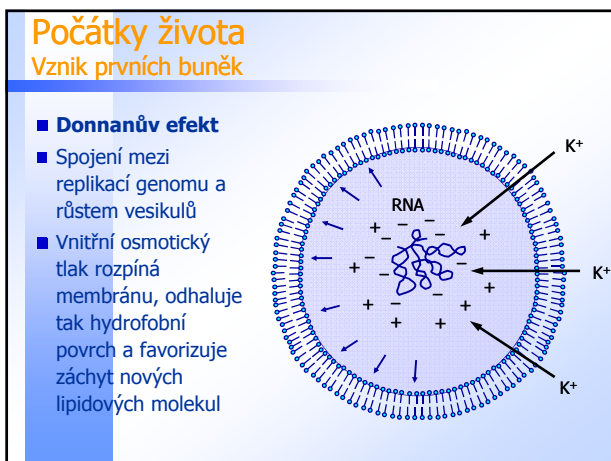


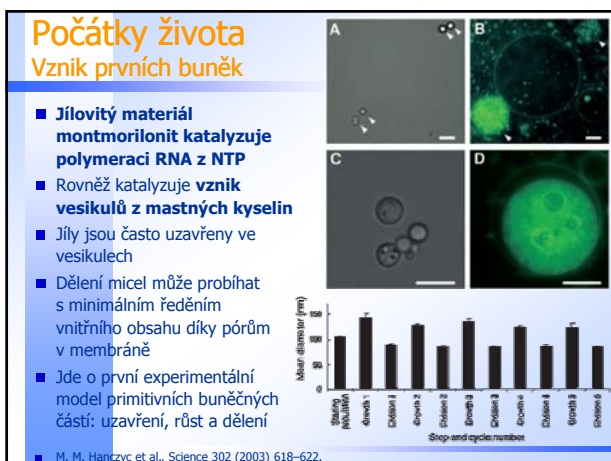
Počátky života

Vznik prvních buněk



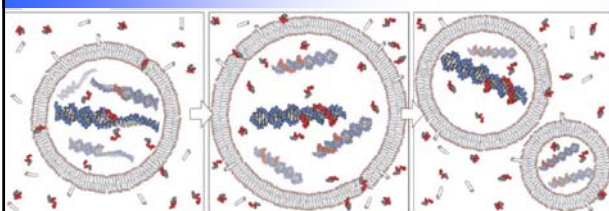






Počátky života

Vznik prvních buněk



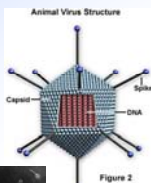
- Nukleotidy prochází přes dimyristoil fosfatidylcholinové membrány při teplotě tání **skrze defekty v membráně**
- Mastné kyseliny, s odpovídajícími alkoholy a monoestery glycerolu jsou jednoduchou alternativou formující dvouvrstvě **membrány propustné pro nukleosidy a jiné nabitě látky**
- Představují **jednoduchý model protobuňky**, která „netrpí rozřed“ováním“
- S. S. Mansy et al., Nature 454 (2008) 122–125.

Počátky života

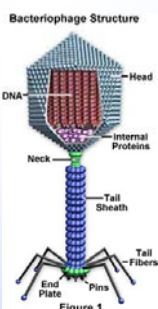
Genetiční odpadlíci

Virus, to je špatná zpráva zabalená do bílkoviny

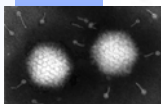
Sir Peter Medawar



Bakteriophage T4



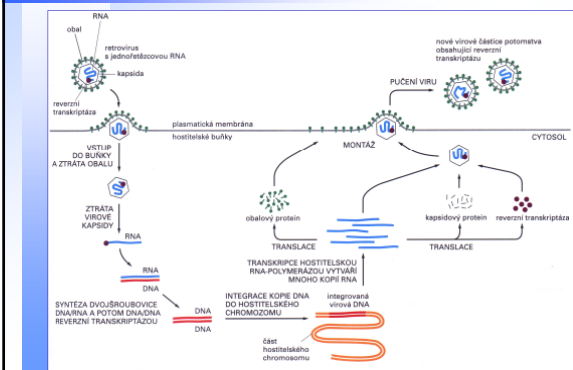
Bakteriophage λ



Adenovirus

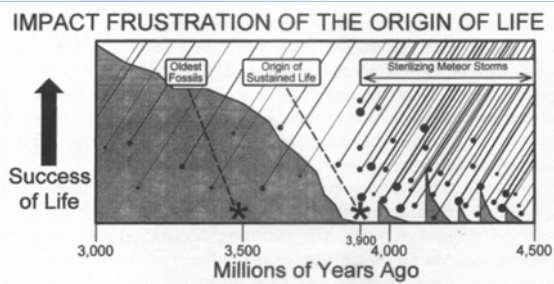
Počátky života

Genetiční odpadlíci



Počátky života

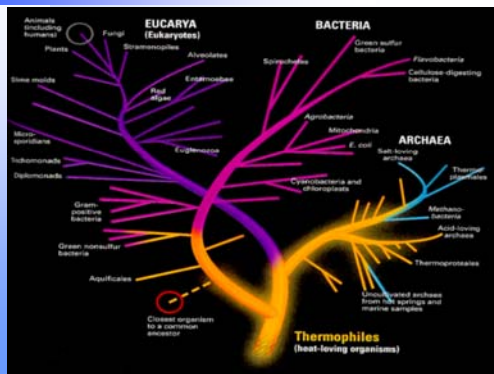
Kdy život začal?



Genetický předchůdce všech živých organismů se mohl vyvinout až po posledním velkém sterilizujícím impaktu...

Strom života

Standardní uspořádání

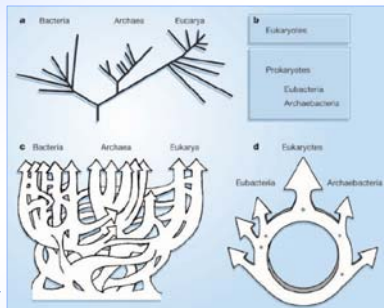


Strom života

Možná nová schémata vývoje života

Čtyři schémata uspořádání mikrobiálního světa

- Tři říše s postupným vývojem stanoveným na základě analýzy ribosomální RNA
- Dvě říše striktně oddělující svět provojených a bezjaderných mikroorganismů
- Tři říše které si vzájemně ve svém vývoji vyměňovaly geny
- Prstenec života, zahrnující výměnu genů, ale i oddělení eukaryotů od prokaryotů



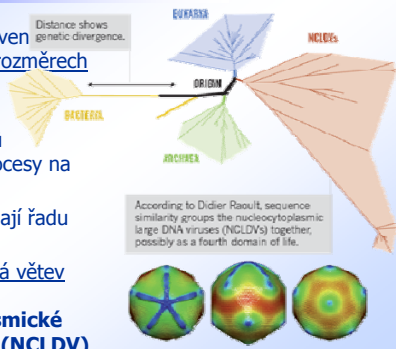
■ M. C. Rivera, J. A. Lake, Nature 431 (2004) 152-155.

Strom života

Nové větve?

- V roce 2003 objeven obří Mimivirus o rozměrech 750 nm
- Genom 1,2 Mbp z toho 1000 genů pro translační procesy na proteiny
- Gigantické viry mají řadu společné DNA
- Má se zavést nová větev života?
- **Nukleocytoplasmické velké DNA viry (NCLDV)**

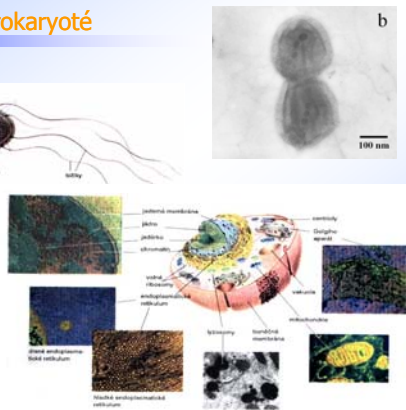
■ G. D. Zakaib, Nature 476 (2011) 20–21.



Strom života

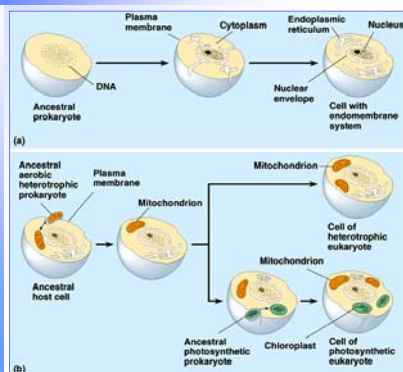
Eukaryoté vs. Prokaryoté

- Prokaryota** – průměr 1–10 μm
- Eukaryota** – průměr 1–100 μm
- Nanobakterie?** – průměr < 1 μm až 100 nm



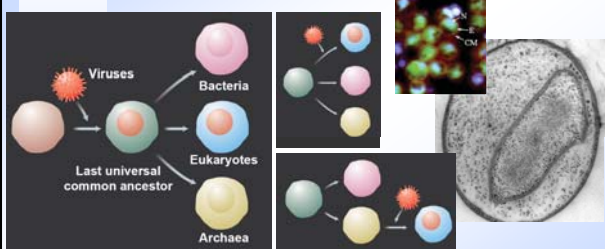
Strom života

Koevoluce mikroorganismů



Strom života

Opět viry?



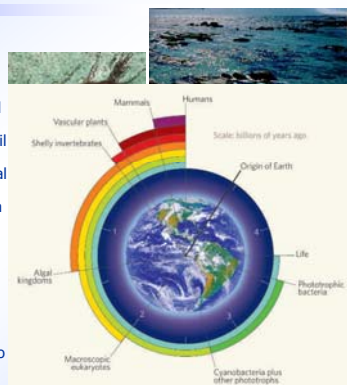
Stálé virální infekce mohly připravit cestu pro vytvoření buněčného jádra v ranných fázích buněčného vývoje. (Vpravo) Bakterie buněčné jádro nemají, ale tato (*Gemmata obscuriglobus*) jej má?!

■ E. Pennisi, Science 305 (2004) 766–768.

Evoluce jak ji známe

Strastiplná cesta života na Zemi

- Před **4,6 miliardami** let se zformovala Země
- Před **4,2 miliardami** let vznikly oceány a kontinenty
- Před **3,8 miliardami** let vznikl život
- Před **3,5 miliardami** let zahájil fotosyntézu
- Před **2,4 miliardami** let se stal mnohobuněčným
- Před **530 miliony** let proběhla kambrická exploze vícebuněčného života
- Před **300 miliony** let život osídlil souš
- Před **65 miliony** let ovládli savci souš
- Před **5 miliony** let vznikl rod Homo
- Před **43 lety** vstoupil člověk do vesmíru



Evoluce jak ji známe

První fotosyntéza



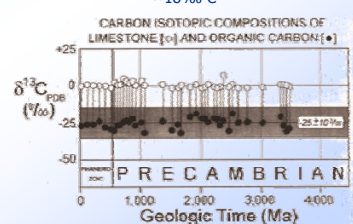
vápenec
Ochuzení o
 $\sim 7\text{‰}$ C^{12}

Rozdíl
 $25 \pm 10 \text{‰}$ C^{12}

Obohacení o
 $\sim 18\text{‰}$ C^{12}

Cyanobakterie a fotosyntetizující mikroorganismy

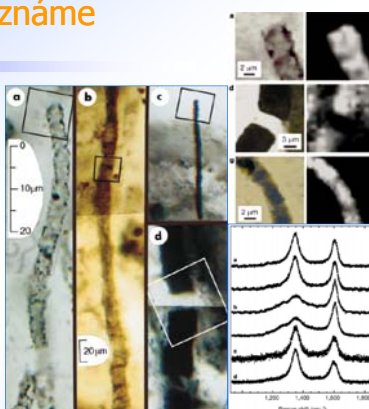
- Fotosyntéza existovala již před 3,5 Gyr
- Krystalický grafit z 3,8 Gyr z Ľsua z Grónska vykazuje velmi podobné stopy, sic!



Evoluce jak ji známe

První mikrofosilie

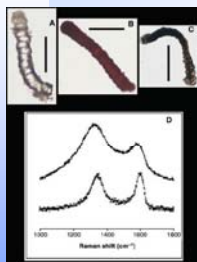
- Nejstarší horniny 3,8 Gyr z Isua z Grónska jsou metamorfované a nesou jen chemickou evidenci
- Horniny 3,0–3,5 Gyr z jižní Afriky (Swaziland) a Austrálie (Pilbara, Apex) poskytují mikrofosilie
- Nejstarší z Apexu $3,465 \pm 5$ Myr
- Pravděpodobně cyanobakterie – podobné Oscillatoriaceae (+ ~11 druhů?)



■ J. W. Schopf et al., Nature 416 (2000) 73–76.

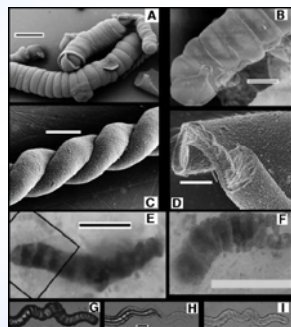
Evoluce jak ji známe

Jsou mikrofosilie autentické?



Lze syntetizovat mikronové silně uspořádané křemíkové struktury na které se postupně naváží uhlíkaté sloučeniny – dojem je dokonalý...

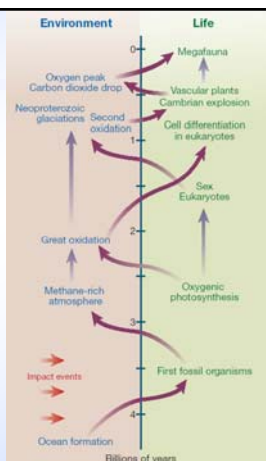
■ J. M. Garcia-Ruiz et al., Science 302 (2003) 1194–1197.



Co je život?

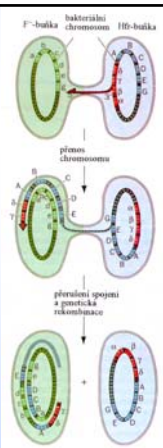
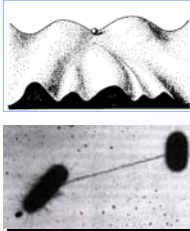
Koevoluce s planetou

- V sedmdesátých letech přichází **James Lavelock** s teorií **Gaia**
- V roce 2002 ukazují **P. Ward** a **D. Brownlee** v knize **Rare Earth** jedinečnost pozemského prostředí
- Evoluce života jde ruku v ruce s vývojem prostředí
 - Prostředí ovlivňuje organismy
 - Organismy ovlivňují prostředí (ve svůj prospěch i neprospěch)



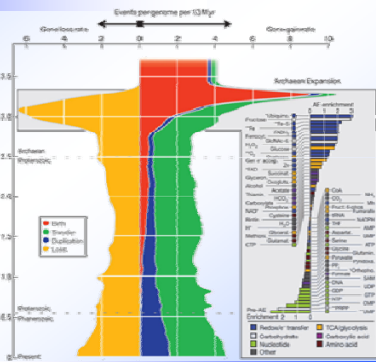
Co je život? Vynález sexuality

- 1946 – Joshua Lederberg (Nobelova cena 1958) objevuje **konjugaci u bakterií**
- Sexualita života je převážně únikem před parazity, ale šanci pro komplexní život
- Jednou nastartovaný evoluční proces je nevratný a neopakovatelný
- Pokud by se evoluční proces spustil znovu jeho výsledky by byly velmi odlišné...**



Co je život? Vynálezy genové složitosti...

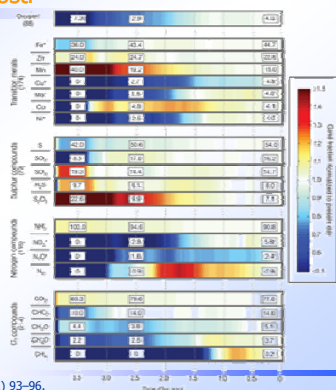
- Složení moderních genomů může nést otisky starších událostí
- Analýza evolučních událostí** v průběhu času (na 10 Myr) u 3983 **genových rodin** u všech tří domén života
- Během „exploze“ v Archeanu došlo ke vzniku **27 % hlavních genových rodin** (soulasí s diverzifikací bakterií)



L. A. David & E. J. Alm, Nature 469 (2011) 93–96.

Co je život? Vynálezy genové složitosti

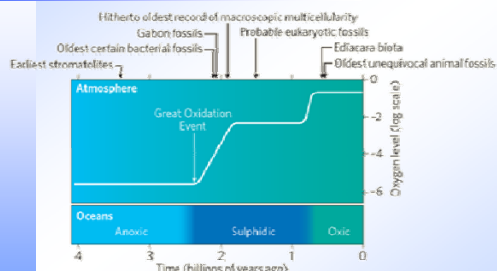
- Geny vzniklé v Archeanu jsou spojené s **elektronovým transportem a dýchacími řetězci**
- Geny vzniklé poté se pojí s **užitím molekulárního kyslíku a přechodových kovů** (v soulasu s jeho nárůstem v atmosféře)
- Hodnoty v rámečcích jsou podíly genových rodin (v závorkách) vůči současnosti



L. A. David & E. J. Alm, Nature 469 (2011) 93–96.

Co je život?

Vynález mnohobuněčné složitosti...



- Nejstarší stromatolity vznikají před 3,4 Gy
- Skutečné mnohobuněčné organismy nevznikly před „velkou oxidací“ před 2,4 Gy
- Vznik eukaryotů může být rovněž vázán na zvýšený obsah kyslíku
- P. C. J. Donoghue, J. B. Antcliffe, Nature 466 (2010) 41–42.

Co je život?

Vynález mnohobuněčné složitosti

- 1cm fosilie z Gabonu, z doby před 2,1 Gy, představují první mnohobuněčné
- Vznikají až 12cm kolonie
- Struktury naznačují první mezibuněčnou komunikaci
- Vznikly v oxidačním prostředí po „velké oxidaci“ (2,45–2,32 Gy)
- Je oxidační atmosféra nezbytná pro mnohobuněčné organismy?



- A. El Albani et al., Nature 466 (2010) 100–104.

Evoluce jak ji známe

Kambrická exploze

- Kambrické explozi živočišných forem předcházelo prekambrické vymírání Ediakarské fauny (635–542 Myr)
- Náhle objevení se rozmanitých forem nelze vysvětlit neschopností tvorby snadno fosilizujících částí
- Burgeszké břidlice uchovávají tvory, kteří evidentně experimentovali s tělními plány



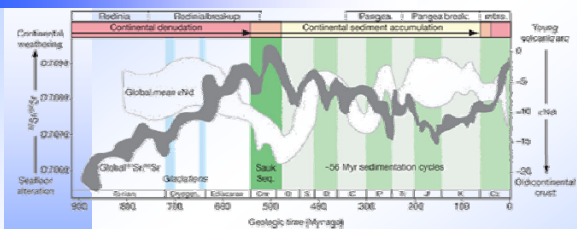
Šlo snad o lišejník a prvního obyvatele souše?



- G. J. Retallack, Nature 493 (2013) 89–92.

Evoluce jak ji známe

Kambrická exploze a zvětrávání

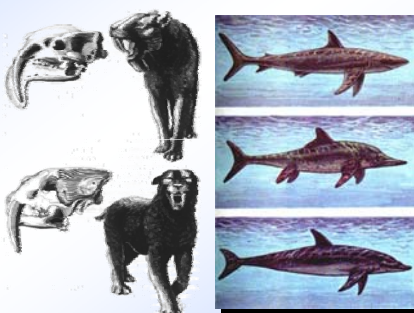


- Kambrická exploze před 542 Myr je **možná důsledkem „Great Unconformity“** – éry velkého kontinentálního zvětrávání
- Tato událost byla unikátní v poslední 1 Gyr
- Spotřebovala CO_2 , uvolnila HCO_3^- , Ca^{2+} , H_2SiO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Fe^{3+} do oceánů, zvětšila plochy šelfových moří
- S. E. Peters & R. R. Gaines et al., Nature 484 (2012) 363–366.

Evoluce jak ji známe

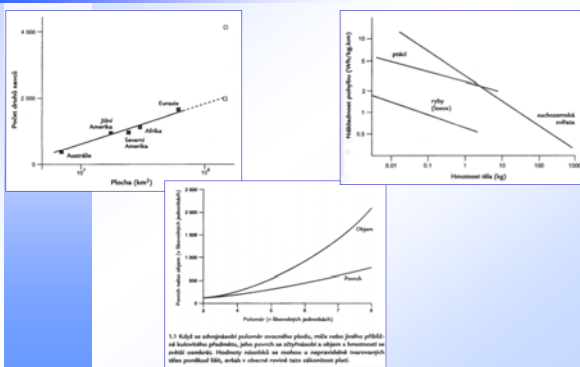
Morfologická konvergence

- Morfologie živočichů je silně ovlivněna fyzikálními a chemickými podmínkami prostředí
- Existuje „pouze“ jedno ideální řešení ke kterému organismy směřují
- Řešení problému je ovlivněno pouze evolučními možnostmi
- S. C. Morris: Life's solution. Cambridge University Press (2003).



Evoluce jak ji známe

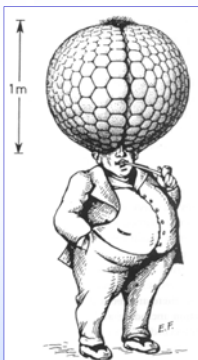
Fyzikální omezení organismů



Evoluce jak ji známe

Ne vše je si možné dovolit

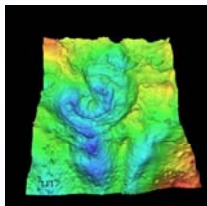
- Jisté cesty vývoj jsou s ohledem na fyzikální a chemické možnosti organismů předem zapovězeny!
- Některé směry vývoj představují příliš velký evoluční hendikep



Masová vymírání

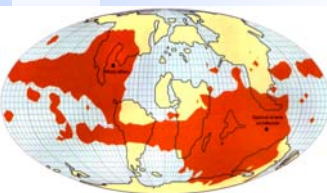
Dopady asteroidů – křída–terciér

- Iridiová vrstva jasně odděluje hranici **křída–terciér** (K-T)
- **Před 65 miliony lety dopadlo na Zemi těleso o velikosti 10 km** do oblasti severozápadního Yucatanu (Mexický záliv)
- Došlo k nukleární zimě, vznikly velké cunami, teplota prudce oscilovala
- 50 % živočichů a rostlin vymřelo
- Tunguský meteorit (1908) měl velikost ~30 m, ale co kdyby...



Masová vymírání

Dopady asteroidů – křída–terciér



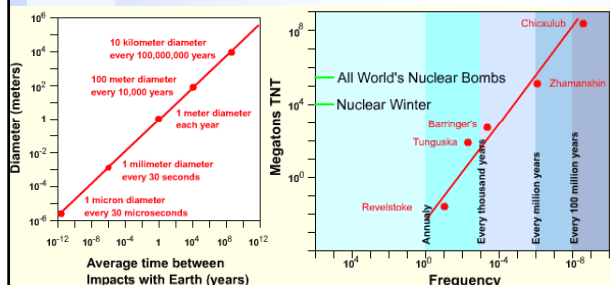
Ve vyznačených oblastech byl dosažen tok $12,5 \text{ kW/m}^2$ po dobu 20 min což vedlo k masivním požárům. Protažení koridorů je dáno posunem dopadových oblastí úlomků.

Malý obrázek ze světa dinosaurů...

■ D. A. Krings, D. D. Durda, Scientific American No. 6 (2005) 56–63.

Masová vymírání

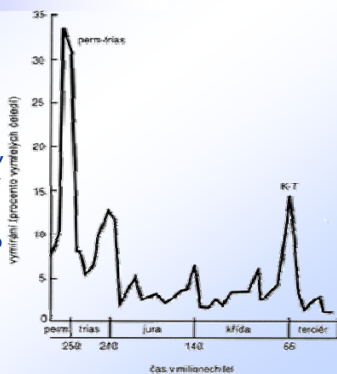
Dopady asteroidů



Masová vymírání

Geologické a neznámé pochody

- **Pozdní Trias (199–214 My)** – masivní výlevy lávy, vznik Atlantského oceánu
- **Perm–Trias (251 My)** – prudký výkyv teploty?, změna mořské hladiny?, masivní výlev lávy?, dopad planety vyloučen, vymřelo 95 % druhů
- **Pozdní Devon (364 My)** – důvod neznámý
- **Ordovik–Silur (439 My)** – glaciace



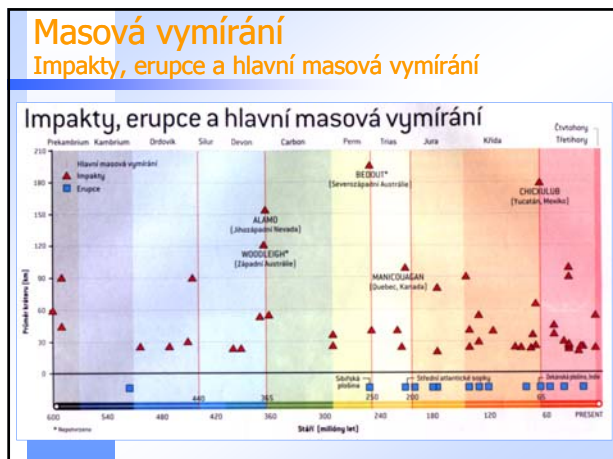
Masová vymírání

Opravdu neznámé důvody?

- Tři velká vymírání jsou **spojena s masivním výlevem lávy**
 - K-T – Dekanský trap (lávová pole v Indii)
 - Pozdní Trias – rozpad Pangey
 - Perm–Trias – Sibiřský trap
- **Sopečná činnost** uvolňuje CO₂ a SO₂, tvoří kyselý déšť
- Pokles hladiny moří až o 200 m exponuje biologické usazeniny, ty se oxidují a vzniká CO₂, což vede ke skleníkovému efektu (možná příčina vymírání Perm–Trias)
- **Mimo K-T nejsou důkazy o ničivém dopadu planety, je možné, že K-T byl největší impakt za posledních 600 My**
- Diskutují se i další vlivy – exploze supernov, vymizení magnetického pole (větší mutabilita)

Masová vymírání

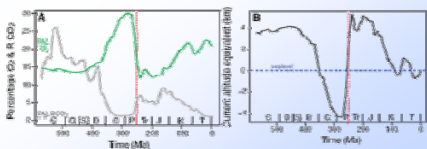
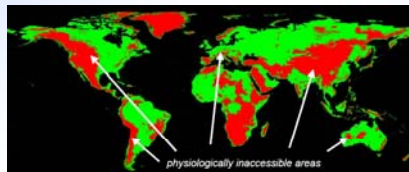
Impakty, erupce a hlavní masová vymírání



Masová vymírání

Hypoxie a globální oteplení

- Impakt na hranici Perm-Trias (251 My) je vyloučen – vymírání trvalo 10 ky až 1 My
- Je spojeno s nárůstem CO_2 při tvorbě Sibiřských trapů a **následným skleníkovým efektem**
- **Nastala globální hypoxie**
- Došlo ke zmenšení a izolaci populací
- Části Země se staly neobyvatelné

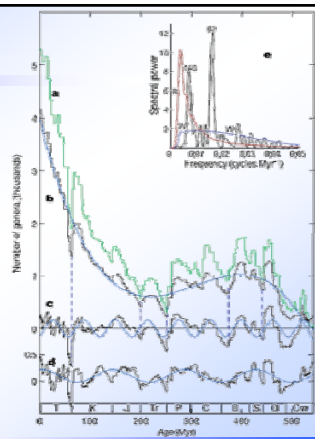


■ R. B. Huey, P. D. Ward, Science 308 (2005) 398–402.

Masová vymírání

Nové otázky...

- Analýzou Sepkovského kompendia 36 680 rodů mořských živočichů s pevnou skořápkou (0–542 My) byla nalezena **perioda vymírání 62 ± 3 My a 140 ± 15 My**
- Cyklus 62 My a 140 My je signifikantní na hladině v pozici $3,6 \times 10^{-4}$ a magnitudě 1×10^{-2} , respektive $5,6 \times 10^{-3}$ a 0,13
- Slunce prochází s periodou ~ 140 My rameny Galaxie a s periodou 52–74 My křížuje Galaktickou rovinu
- Vysvětlení neznáme...

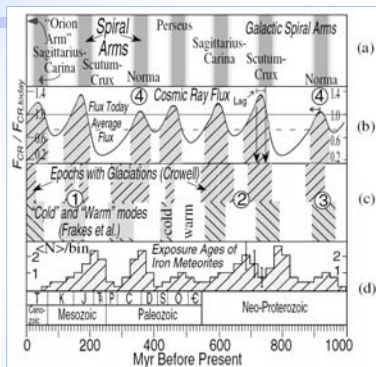


■ R. A. Rohde, R. A. Muler, Nature 434 (2005) 208–210.

Masová vymírání

Nové otázky...

- **A) průchod spirálními rameny Galaxie**
- **B) tok kosmického záření (CRF) se v periodě zpožďuje za průchody rameny**
- **C) kvalitativní znázornění epoch zalednění spolu s chladnými a teplými obdobími (glaciál 3 je spolu s průchodem ramenem 4 nejistý)**
- **D) histogram zastoupení $^{40}\text{K}/^{41}\text{K}$ v Fe meteoritech, které odráží minima CRF**

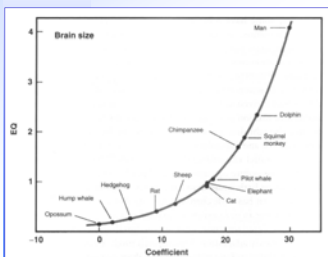


■ N. J. Shaviv, Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 05112-05114.

Vznik inteligence

Jsme sami?

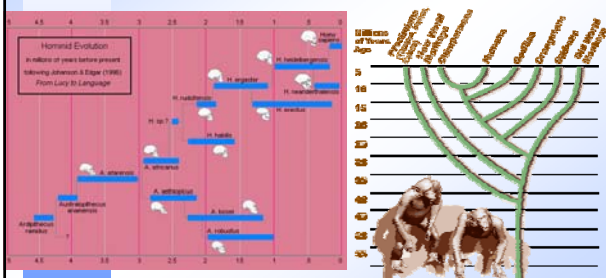
- Výživa mozku je velmi nákladná, tj. velké mozky jsou evoluční hendikep
- Schopnost hry, rituálu, včítání a dokonce i kultury mají i jiní živočichové



■ S. C. Morris: Life's solution. Cambridge University Press (2003).

Vznik inteligence

Evoluce člověka



Vznik intelligence

Co z nás činí člověka?

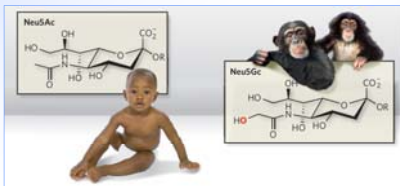
- Genom šimpanze byl sekvencován v roce 2005
- **Se šimpanzi sdílíme 98 % genomu**
- Šimpanzi mají rozvinutou kulturu
- Šimpanzi jsou schopni znakové řeči, ale nejsou schopni artikulované řeči
- I když máme podobné geny, proteom je zřejmě velmi odlišný...



Vznik intelligence

Co z nás činí člověka?

- Rozdíly **na biochemické** úrovni nepochybně **existují**
- Před 2–3 Myr v době Homo erectus jsme ztratili možnost syntézy N-glykolyl neuraminové kyseliny (Neu5GC) ztrátou enzymu konvertující ji z N-acetyl neuraminové kyseliny (Neu5Ac)
- Mutace chrání před jistou formou malárie
- Pravděpodobně vytváří bariéru proti křížení (máme protilátky na Neu5GC)
- Činí nás zřejmě náchylné k neurodegenerativním nemocem
- Může to být náš start k inteligenci?
- B. Lieberman, Nature 454 (2008) 21–23.



Doporučená literatura

- D. Deamer, J. W. Szostak (eds.): **The origins of life**. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York 2010. {Nejlepší současný soubor vědeckých prací na téma vzniku života}
- M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse (eds.): **Lectures in astrobiology** (Vol 1: From prebiotic chemistry to the origin of life on Earth). Springer, Berlin – Heidelberg 2002. {Učebnice astrobiologie vyžadující hlubší znalosti}
- J. I. Lunine: **Astrobiology** (A multidisciplinary approach). Pearson Education & Addison Wesley, New York 2005. {První a skutečně základní učebnice astrobiologie}
- A. Markoš, L. Hajnal: Staré pověsti (po)zemské (aneb malá historie planety a života), P. Mervart, Praha 2007. {Hezká kniha z pera zkušených českých autorů}
- J. W. Schopf (ed.): **Life's origin (The beginnings of biological evolution)**. University of California Press, Berkeley – Los Angeles – London 2002. {Skvělá kniha shrnující veškeré poznatky z prebiotické evoluce}
- G. Zubay: **Origins of life on earth and in the cosmos**. Wm. C. Brown Publishers, Bosoton, 1996. {Velmi hezká učebnice o vzniku života}