

# Základné rozdelenie organizmov

## Genéza klasifikácie organizmov



### Rastliny *versus* živočíchy

Tradičná rozdelenie organizmov na rastliny a živočíchy - prvý pokus klasifikovať živú hmotu v najvšeobecnejšej rovine.

Zároveň je vyjadrením pravdepodobne odvekého pohľadu na základné rozdelenie všetkých organizmov.



# Genéza klasifikácie organizmov

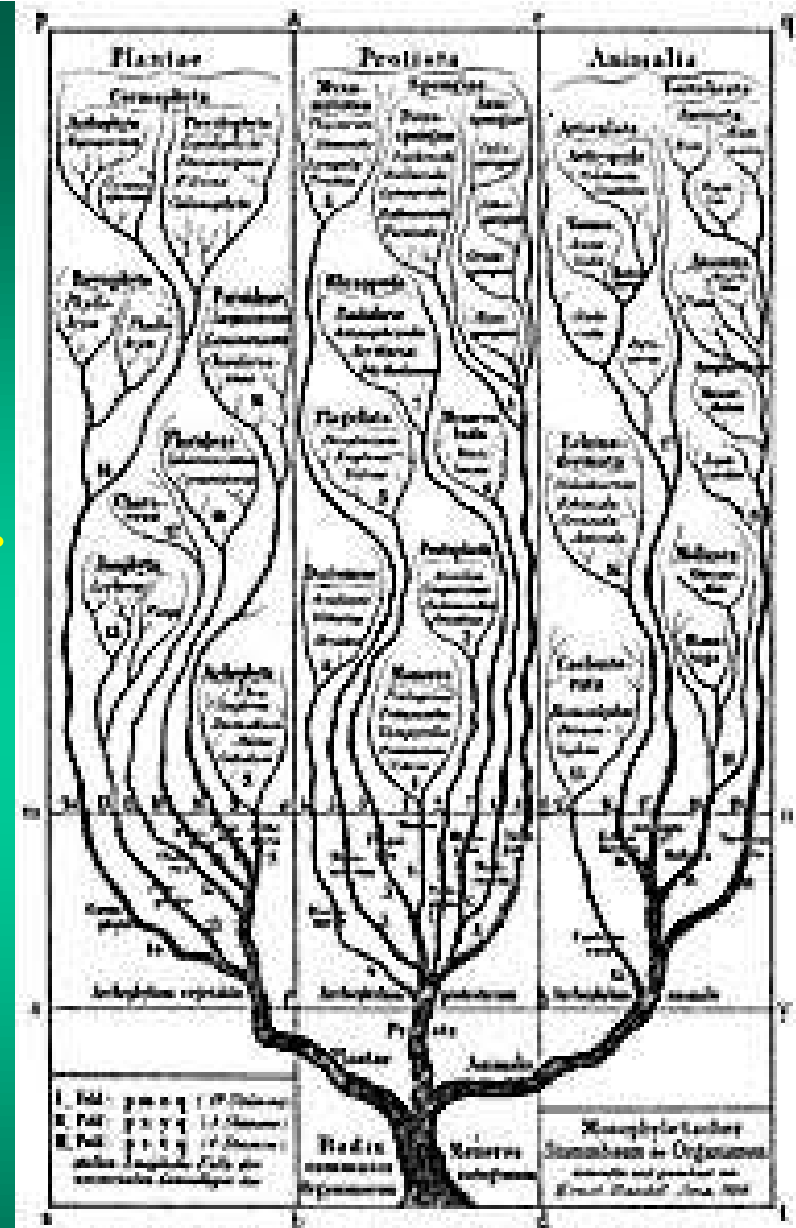


Ernst Haeckel spochybnil rozdelenie všetkého živého na rastliny a živočíchy,

V práci Generelle Morphologie der Organismen z roku 1866 upozornil na skutočnosť, že jednobunkové formy života - prvoky, nemožno uspokojivo zaradiť do žiadnej z dvoch uvedených kategórií.

Predpokladal, že prvoky sa museli vyvinúť nezávisle na živočíchoch a rastlinách.

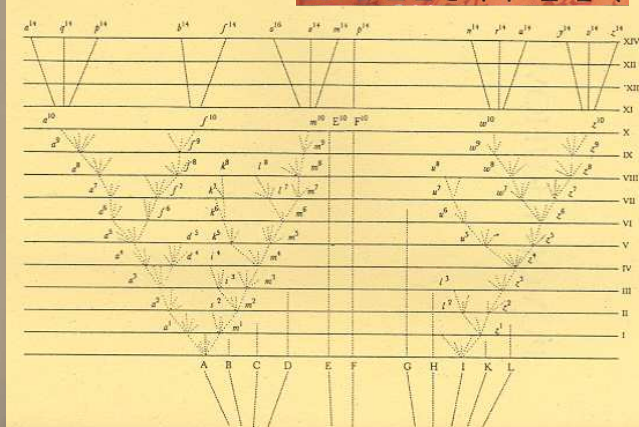
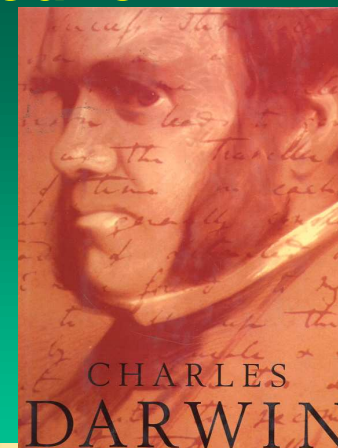
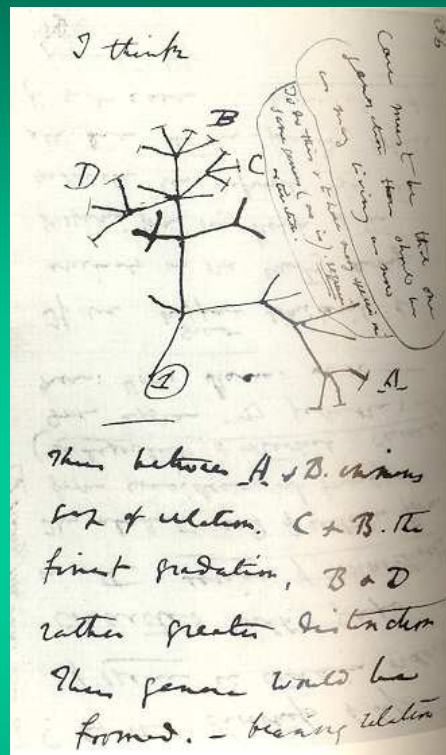
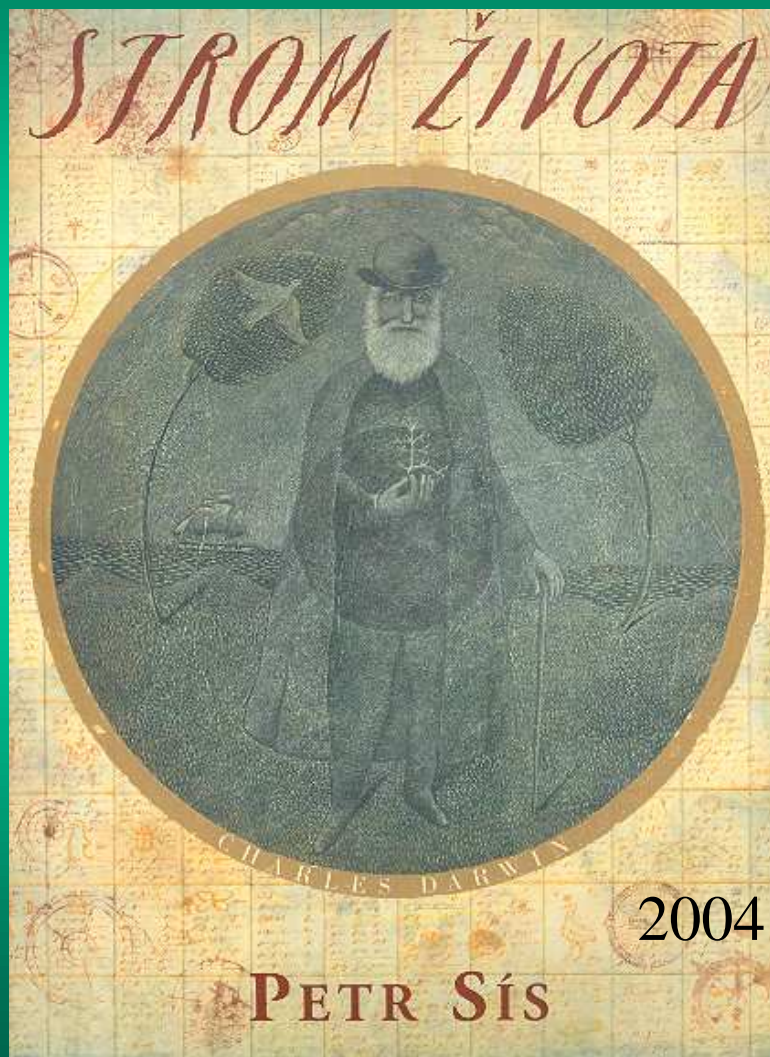
Haeckelom skonštruovaný strom života už pozostáva namiesto z dvoch až z troch hlavných vetiev.



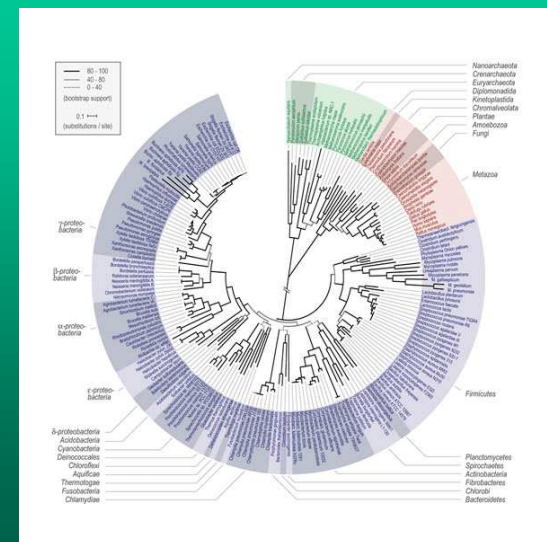
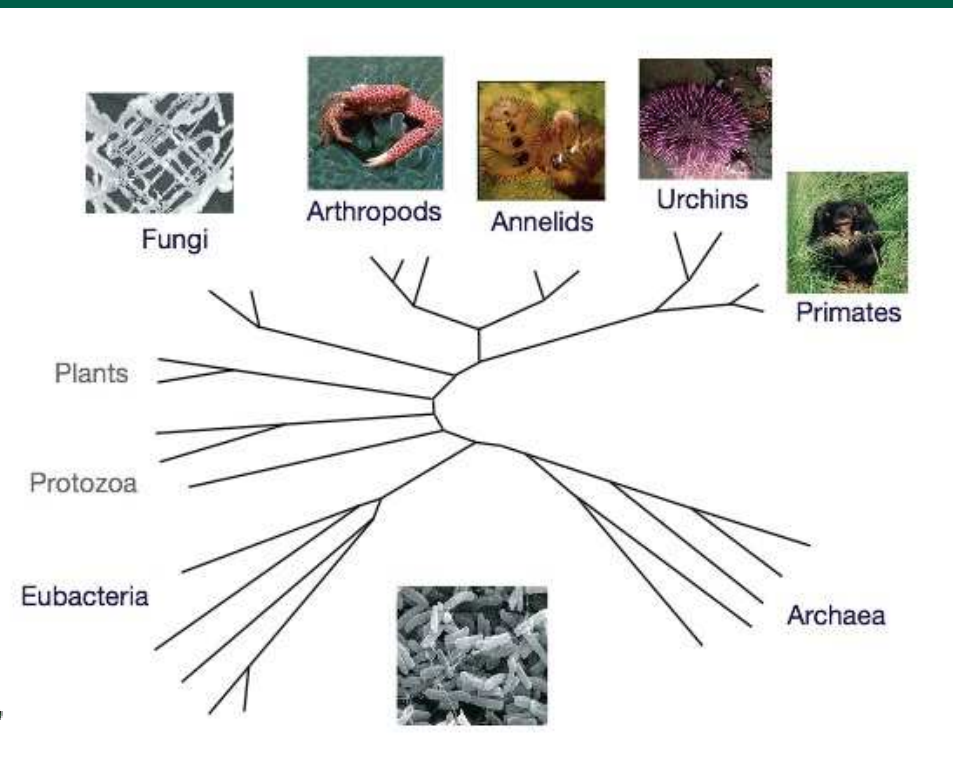
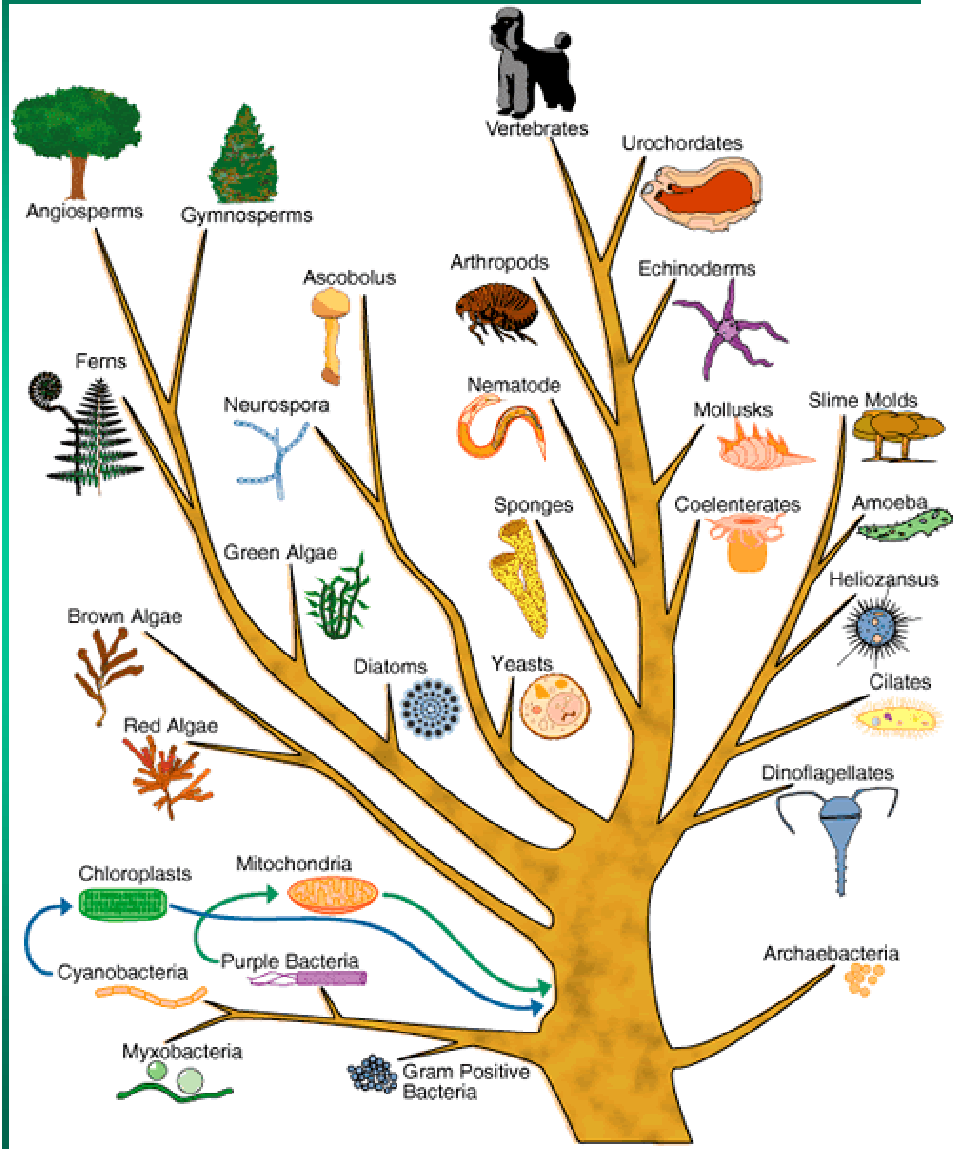
Ernst Haeckel's presentation of a 3 kingdom system in his 1866 *Generelle Morphologie der Organismen*.



# Vznik všetkých organizmov zo spoločných predkov – vetvenie evolúcie



„Spriaznenosti všetkých  
organizmov tej istej triedy sa  
niekedy prirovnávali k veľkým  
stromom. Domnievam sa, že toto  
prirovnanie je do značnej miery  
pravdivé“ Ch. Darwin, Pôvod druhov

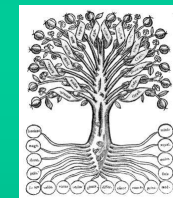




Gustav Klimt – Lebensbaum  
1905/09



Jozef Hoffmann, Palais Stoclet, Bruxelles.  
Jedáleň s mozaikami podľa Gustáva Klimta 1905-11



# Genéza klasifikácie organizmov

Až po takmer sedemdesiatich rokoch pribudla stromu života ďalšia vetva.

H.F. Copeland (v roku 1938) tým završil úsilie zreteľne oddeliť baktérie od ostatných organizmov.

O dve desaťročia neskôr (1959) pridal R.H. Whittaker ešte piatu hlavnú vetvu, do ktorej boli vydelené huby.

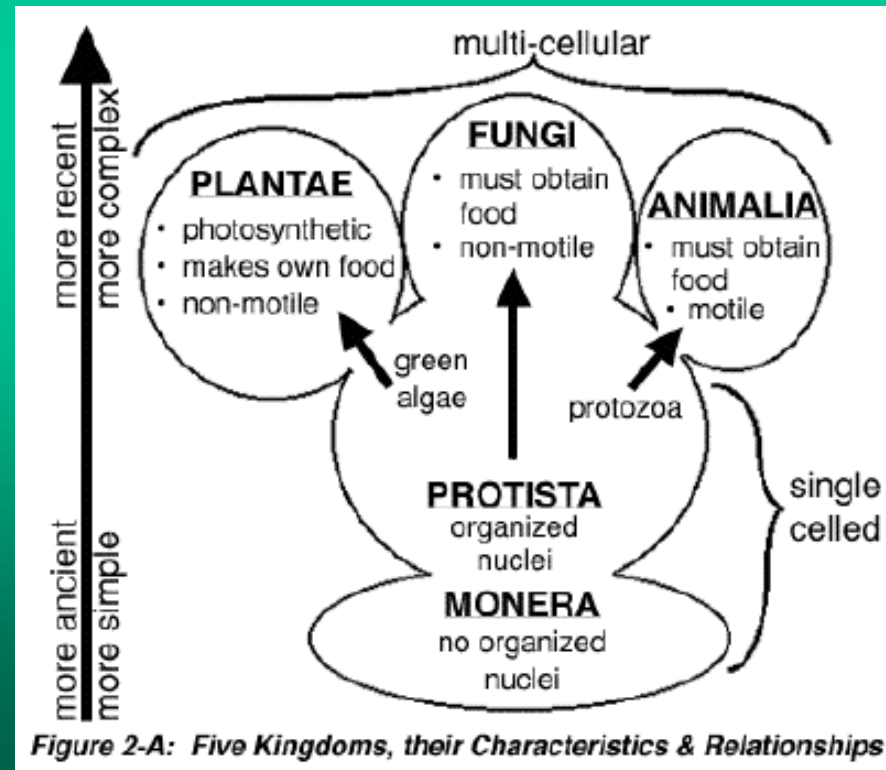
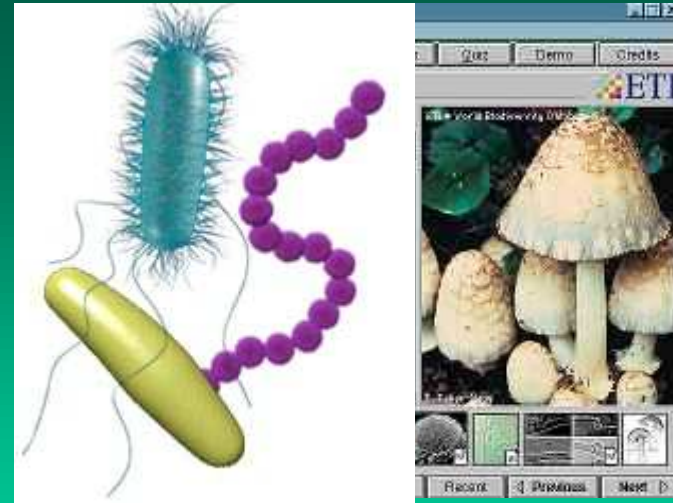


Figure 2-A: Five Kingdoms, their Characteristics & Relationships

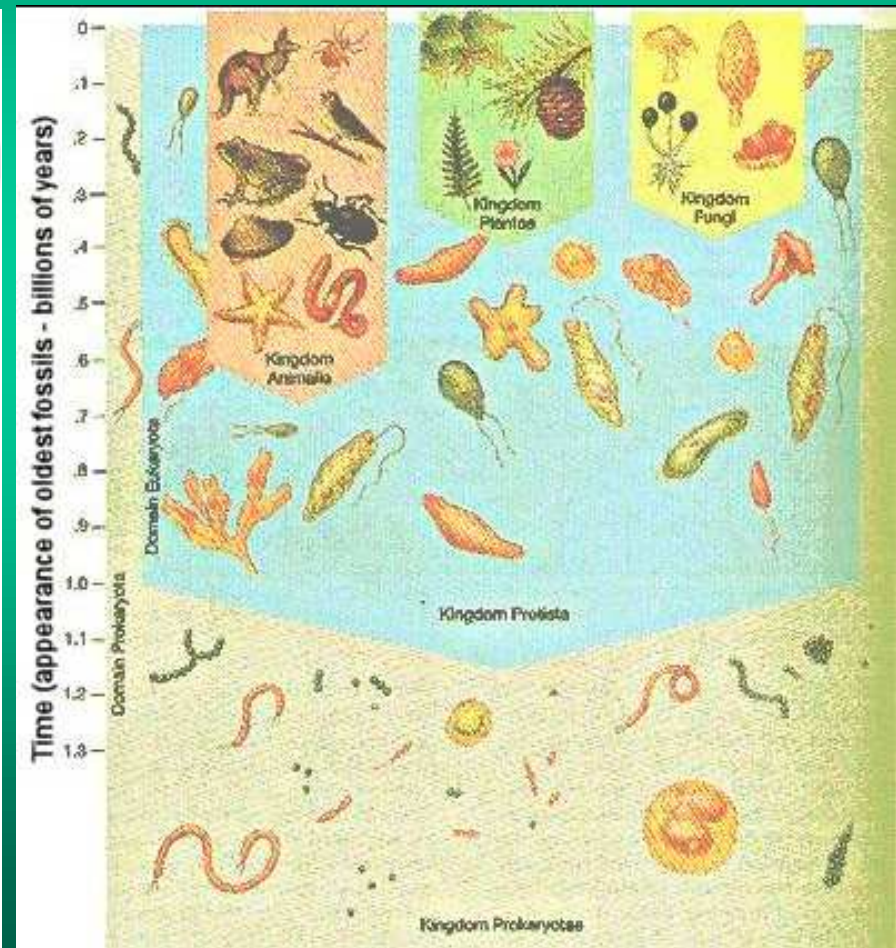
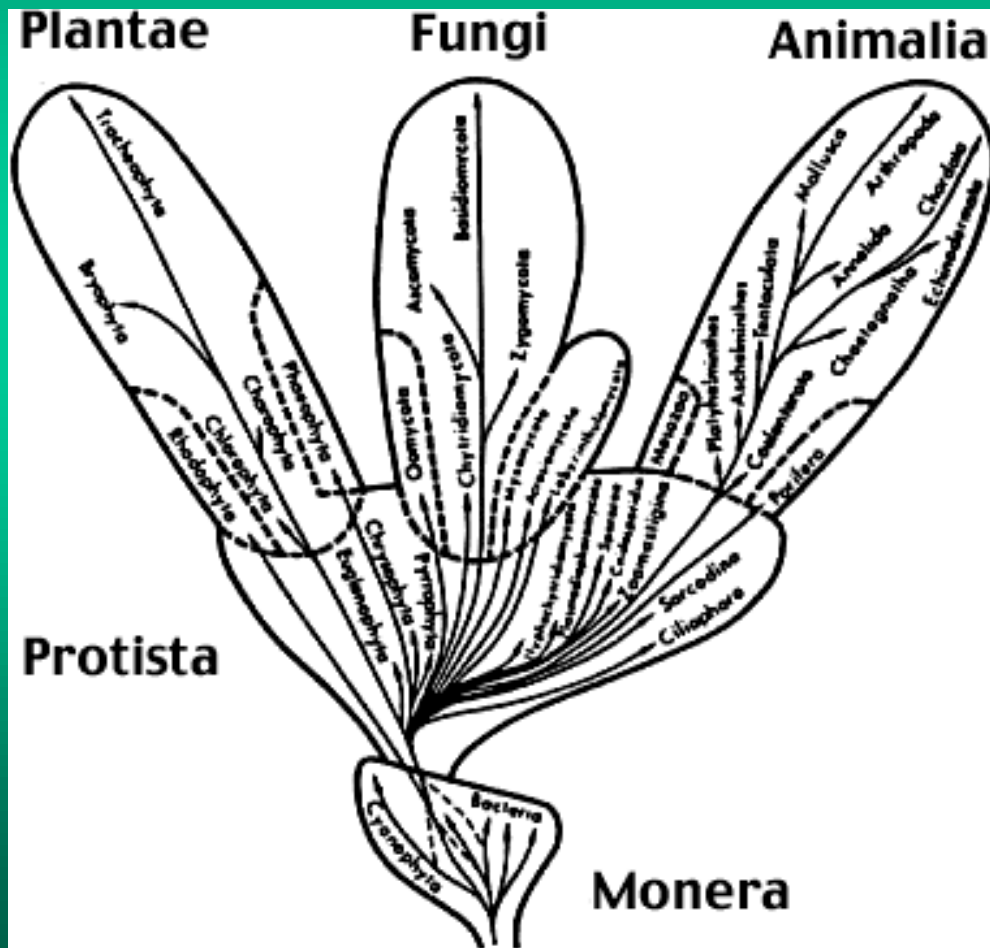


# Genéza klasifikácie organizmov

Tým bola vytvorená schéma základnej klasifikácie súčasného života na našej planéte.

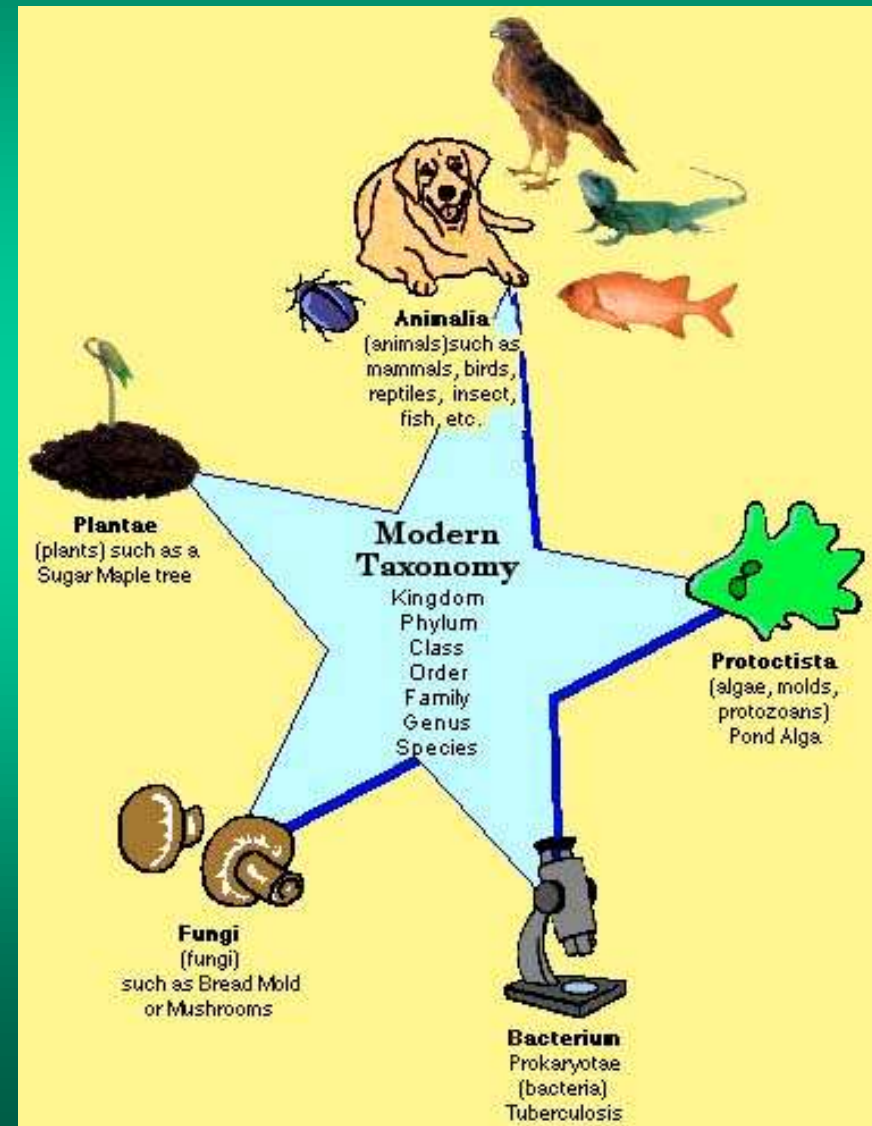
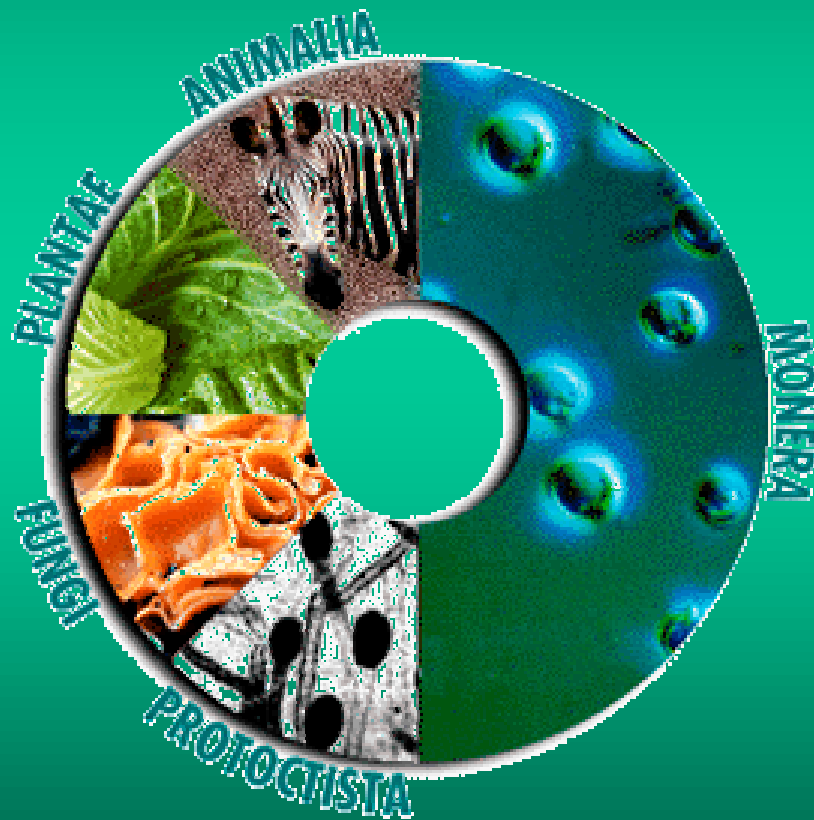
**Pozostávala z piatich ríš (Whittaker et Margulis 1978):**

**Animalia, Plantae, Fungi, Protista a Monera (Procaryotae)**



# Animalia, Plantae, Fungi, Protista a Monera (Procaryotae)

Toto tzv. Whittakerovo, resp. päťríšové rozdelenie je v súčasnosti stále veľmi rozšíreným pohľadom na klasifikáciu organizmov.



# Genéza klasifikácie organizmov

## Eukaryonta versus Prokaryonta

námietky voči Whittakerovej schéme piatich ríš:

klasifikácia nie je v súlade s fylogenezou organizmov, a preto nepredstavuje prirodzený klasifikačný systém

napr. vytvorenie dvoch samostatných taxónov pre jednobunkové eukaryotické organizmy (Protista a Fungi) je umelé;

najzávažnejší argument:

ríša Monera (Prokaryotae) nemôže mať rovnakú taxonomickú hodnotu ako zostávajúce štyri.

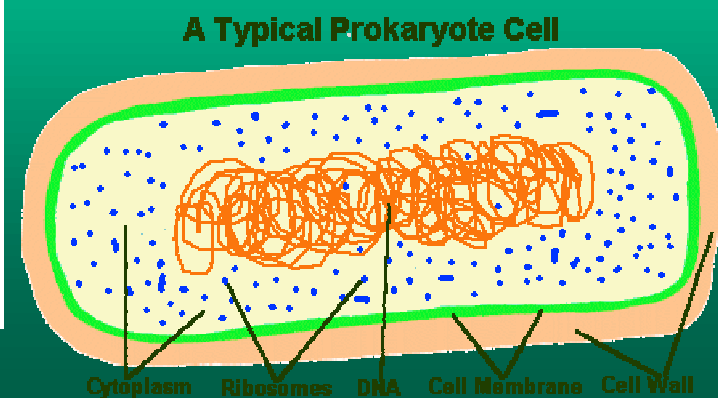
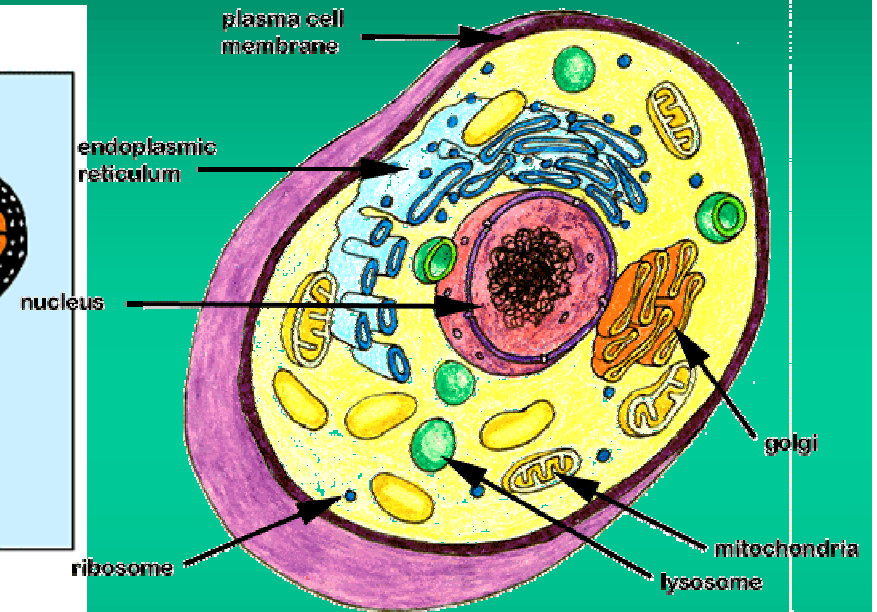
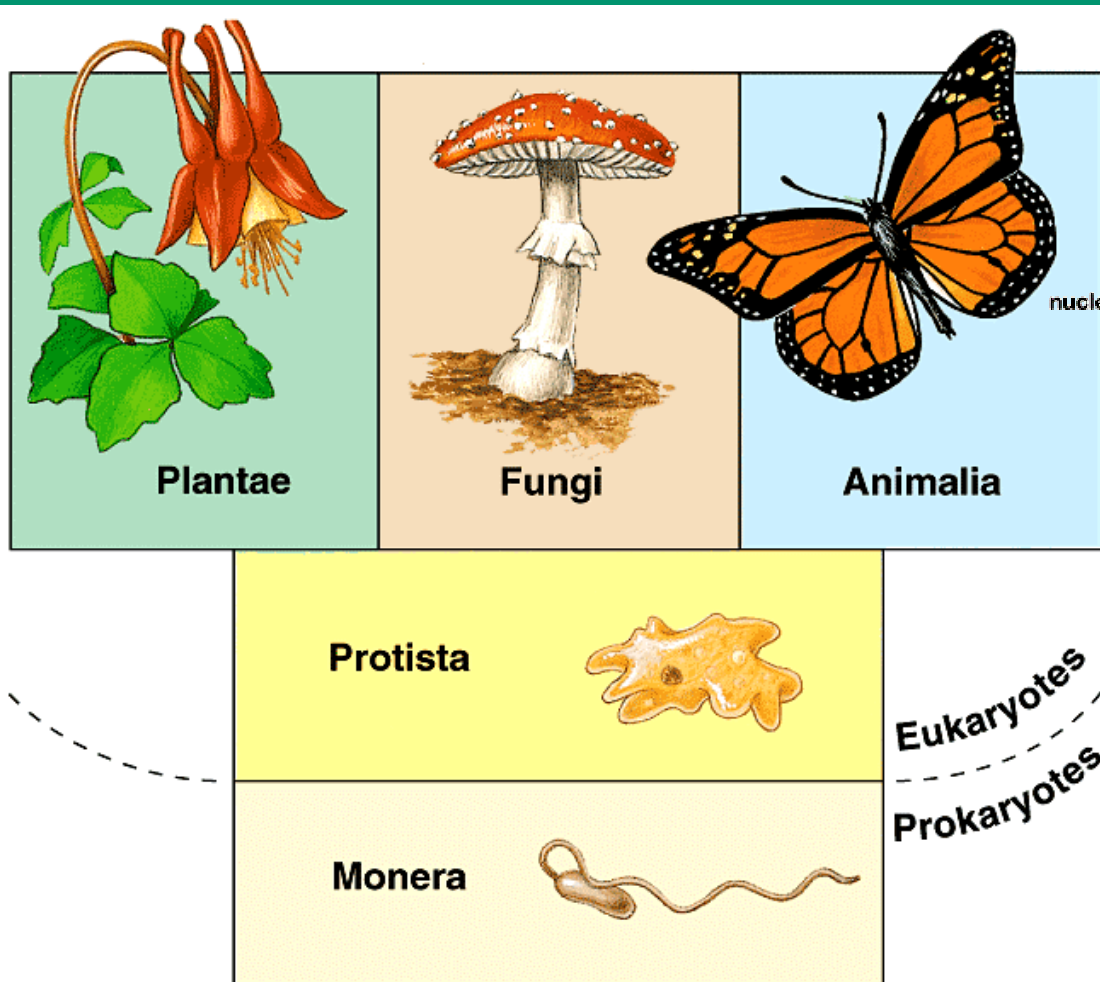
Predstavitelia rastlín, živočíchov, húb a prvokov sa od zástupcov ríše Monera líšia podstatnejšie, kvalitatívne iným spôsobom, ako sú rozdiely medzi spomenutými štyrmi ríšami.

primárne rozdelenie života musí ležať medzi baktériami a eukaryotickými formami

rozdelenie rastliny versus živočích je s konečnou platnosťou sekundárne

# Eukaryonta versus Prokaryonta

primárne rozdelenie života musí ležať medzi baktériami a eukaryotickými formami



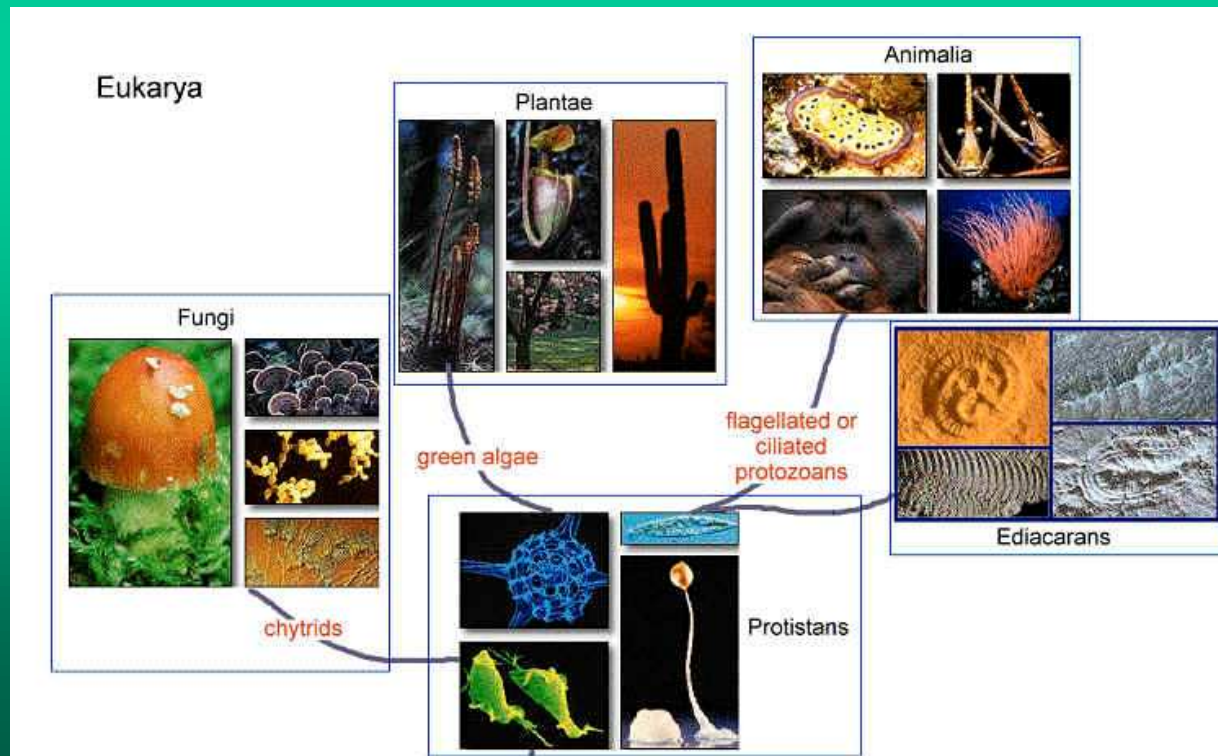
# Genéza klasifikácie organizmov

Dichotómia Eukaryotae *versus* Prokaryotae nie je až taká nová.

Mikrobiológovia upozorňovali na principiálne rozdiely v morfológii pro- a eukaryotických buniek temer celé storočie.

klasifikácia Eu/Pro-karyonta je vo svojej podstate cytologická a až sekundárne, nepriamo, fylogenetická.

eukaryotická forma organizácie bunky predstavuje zmysluplnú fylogenetickú jednotku

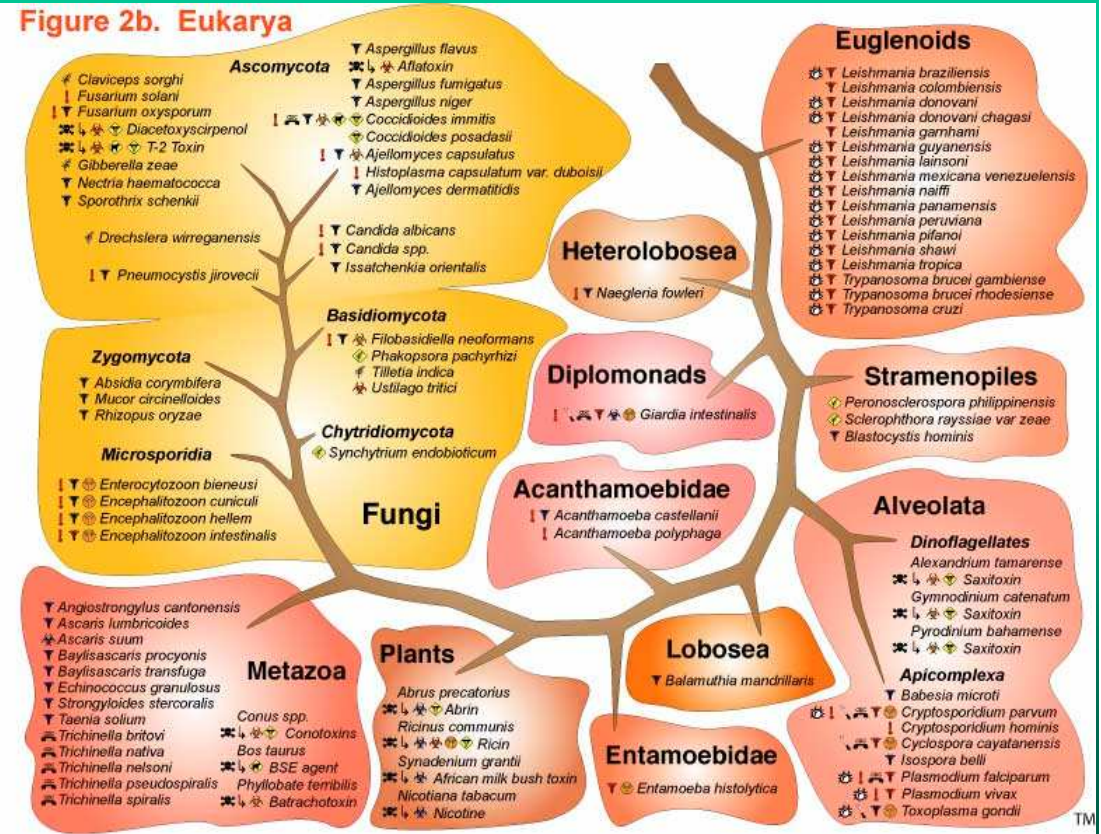
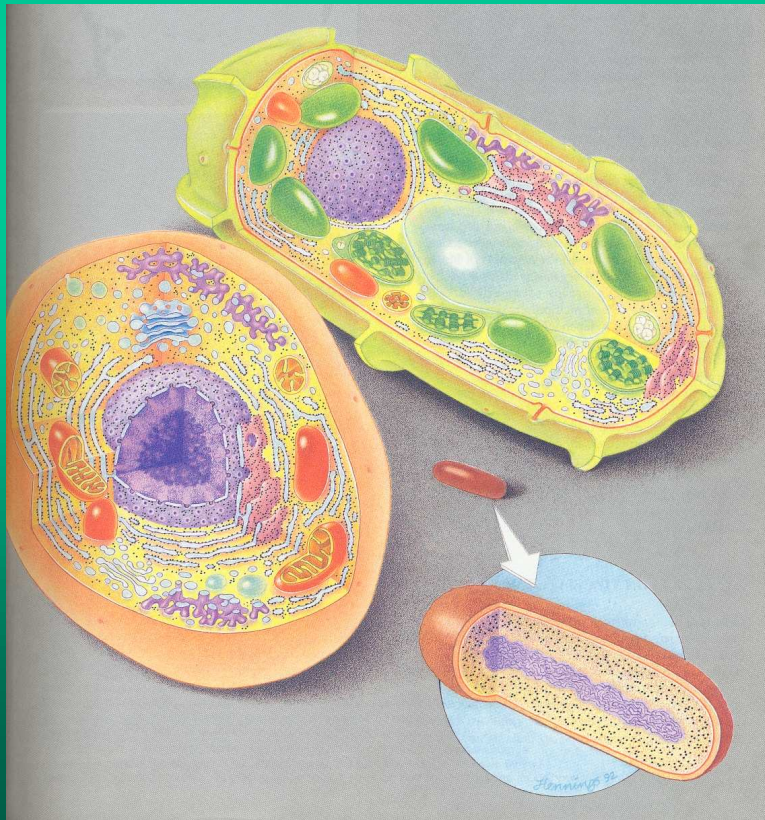


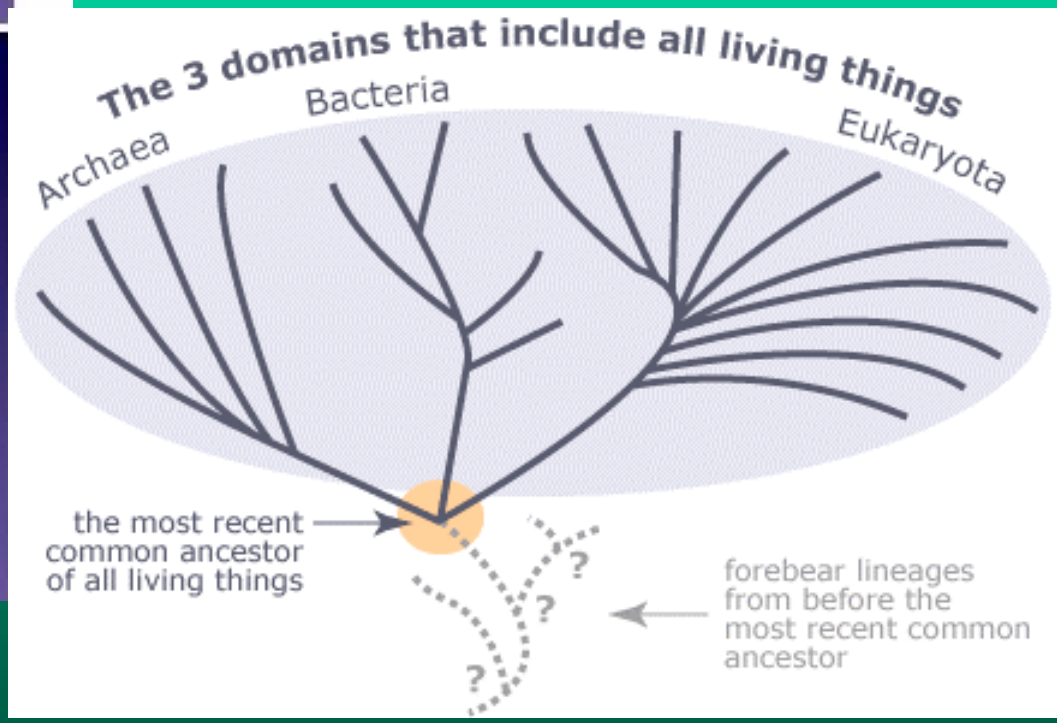
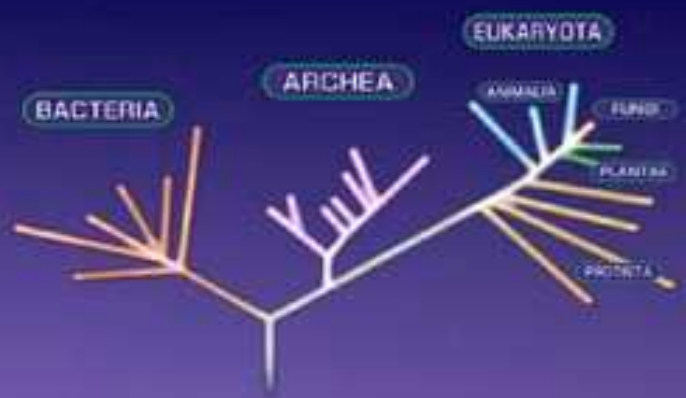
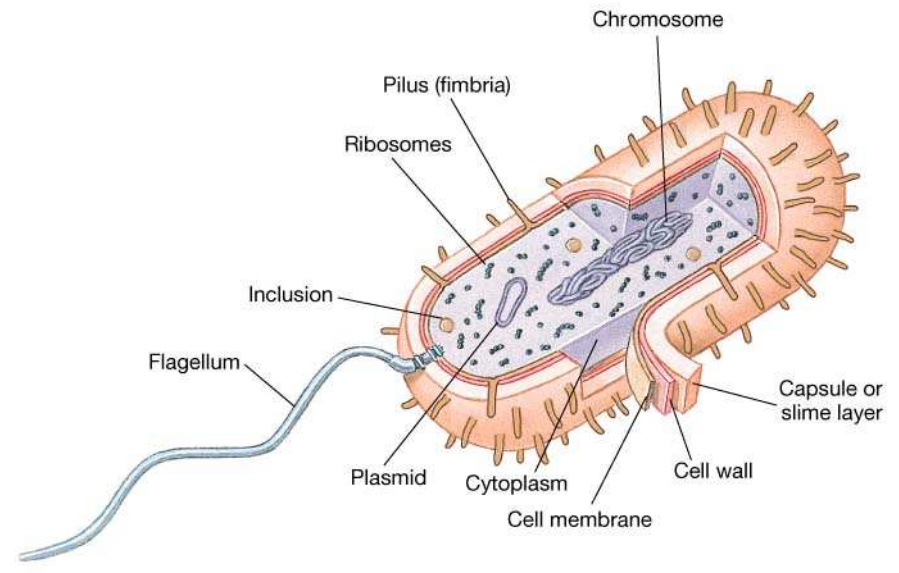
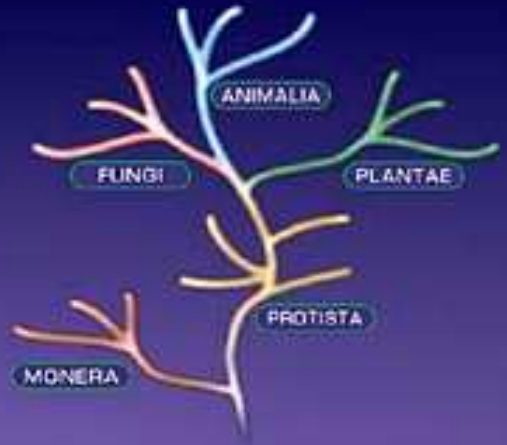
# Eukaryotae versus Prokaryotae

Organizmy, ktorých bunky majú príslušné cytologické parametre (t.j. jadro), spája práve to, že sú ich vlastníctvom pozitívne definované.

To neplatí pre zástupcov prokaryontov; spoločným menovateľom je pravý opak, t.j. chýbanie charakteristík

Definovanie prokaryontov je negatívne, čím je fakticky prázdne z hľadiska zmysluplnej fylogenetickej informácie.





## Genéza klasifikácie organizmov

S postupným pribúdaním poznatkov o molekulovej biológii prokaryotickej bunky od začiatku päťdesiatych rokov 20. storočia však začali byť aj Prokaryonta definované pozitívne.

Toto napredovanie skrývalo však aj isté úskalia. Intenzívny a hlboký molekulovo-biologický výskum bol uskutočňovaný len u niektorých modelových prokaryotických organizmov.

Hlavne *Escherichia coli* bola pokladaná za akéhosi typického predstaviteľa všetkých prokaryotov a poznatky získané na tomto organizme boli nadmieru generalizované.

To vyústilo až do unáhleného záveru, že Prokaryonta sú monofyletického pôvodu.

Výsledkom bol potom názor, že existujú dve primárne ríše: Prokaryotae a Eukaryotae (Murray 1968, Allsopp 1969).

Až objav archeobaktérií (archeónov – Archaea) odhalil skutočnosť, že uvedený pohľad bol neprípustne zjednodušený.



# Genéza klasifikácie organizmov

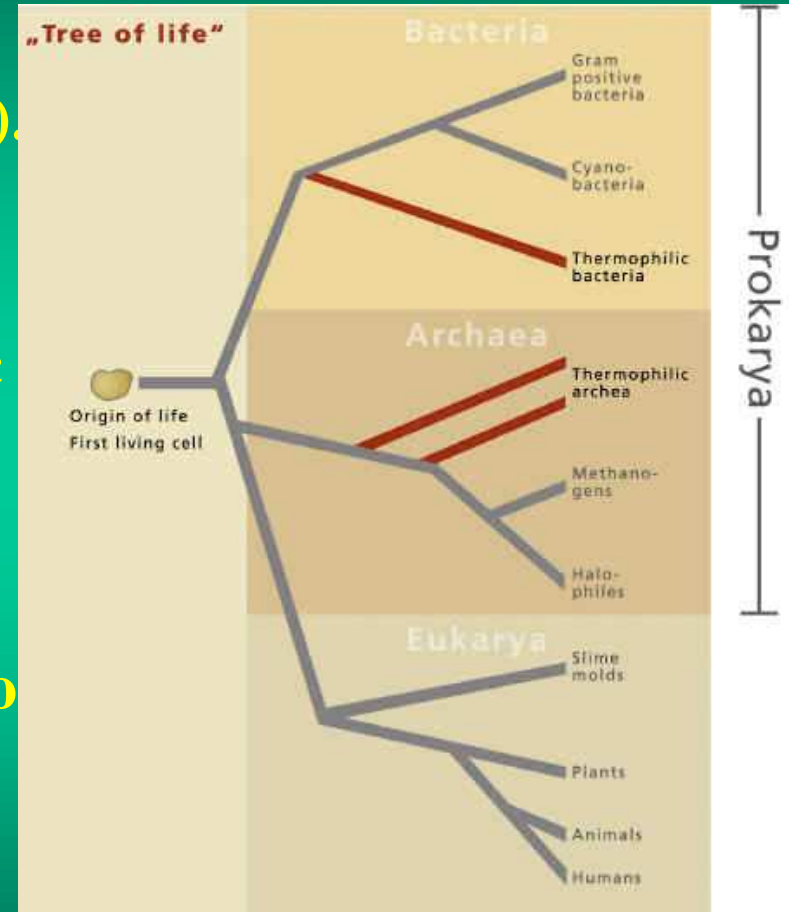
Z cytologického hľadiska sú totiž archeóny (Archaea) skutočne prokaryontami (nevykazujú nijaké charakteristiky, ktorými sú definované Eukarya).

Avšak na molekulovej úrovni sa nepodobajú ostatným prokaryontom, reprezentovaným baktériami, o nič viac (skôr menej), ako sa tieto podobajú na eukaryontov.

Úsilie o vypracovanie prirodzeného systému klasifikácie organizmov vyústilo v súčasnosti do názoru, že existujú tri základné, principiálne odlišné ríše:

Archaeobacteria, Eubacteria a Eucaryotae, resp. domény:

ARCHAEA, BACTERIA, EUKARYA.

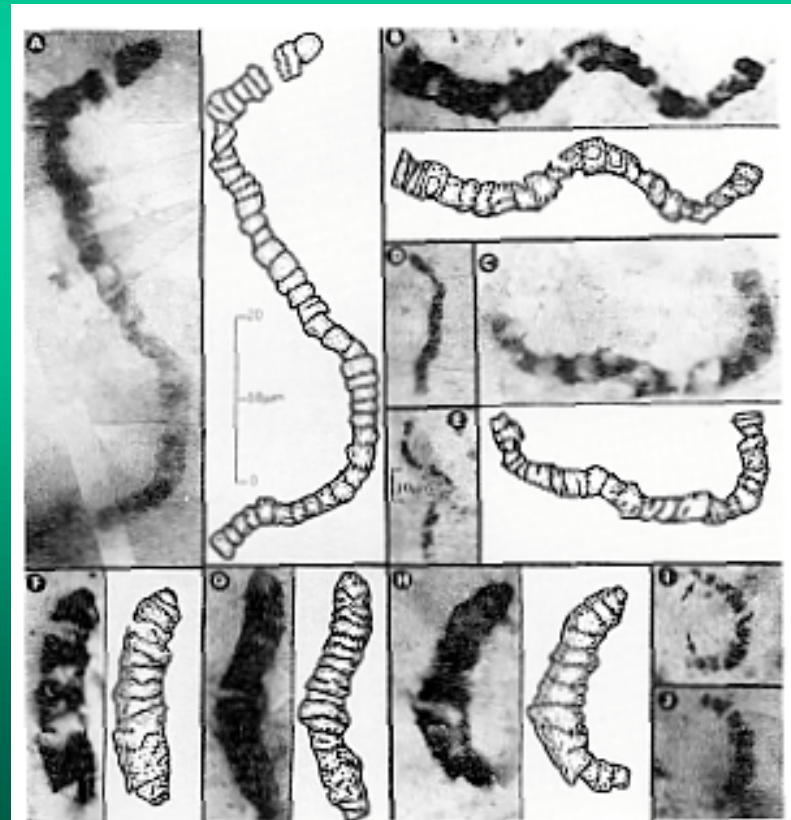
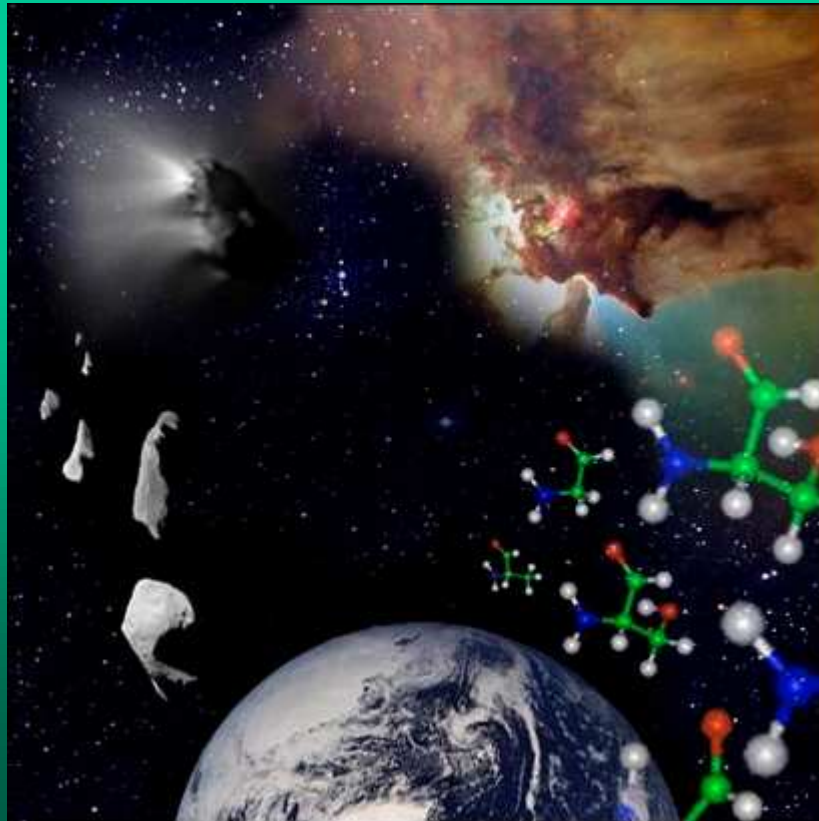




## Doba mikroorganizmov

Vek Zeme sa odhaduje na približne 4,5 miliardy rokov  
podmienky prijateľné pre život sa na Zemi neutvorili skôr ako pred  
4,2-4,3 miliardami rokov

Vek najstarších mikrofosílií, ktoré možno na základe viacerých kritérií  
označiť za biogénne a celulárne, bol rádiometricky stanovený na 3,8-4,0  
miliardy rokov



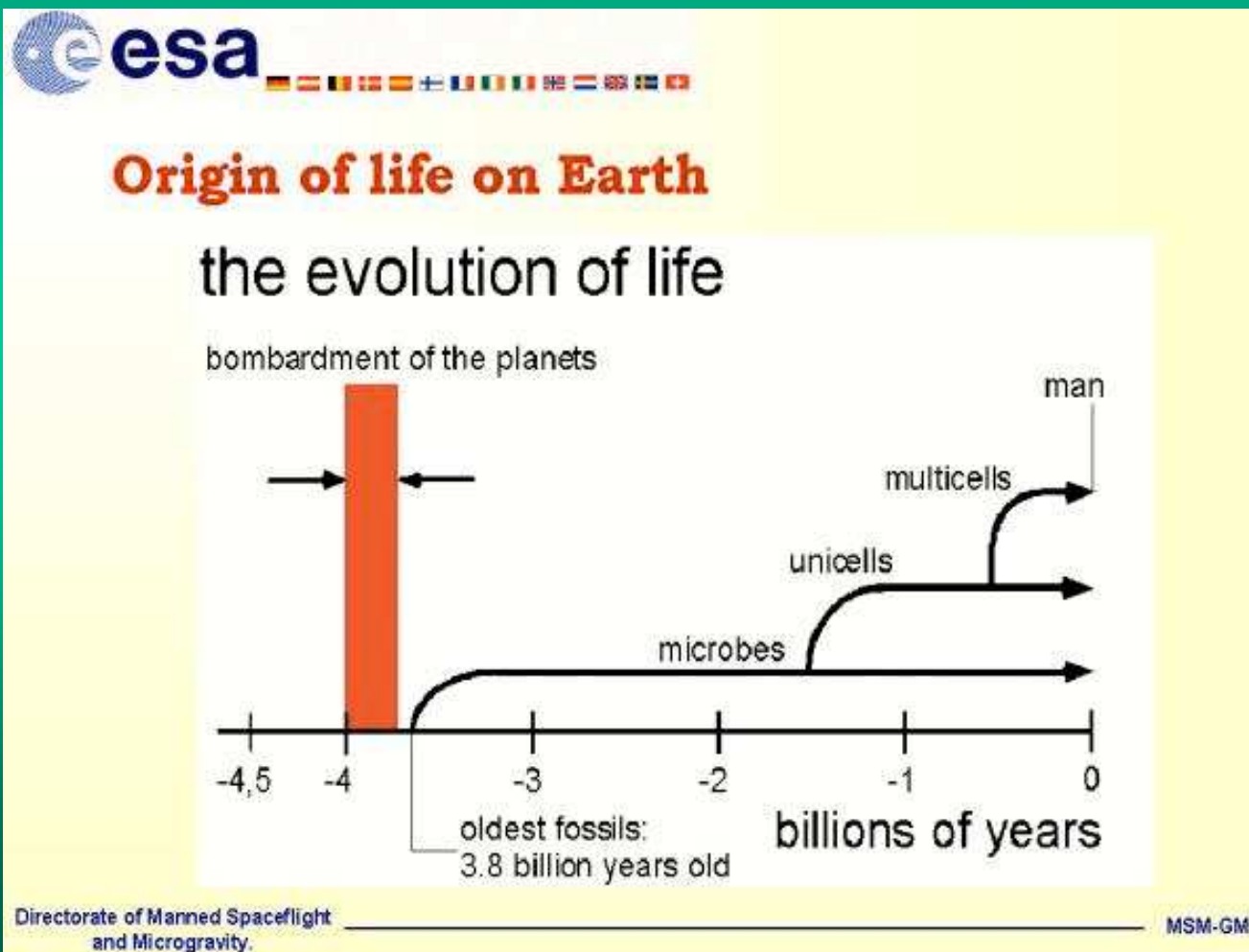
# Doba mikroorganizmov

Table 1. Key Events in the History of Life on Earth

Billions of years ago	Event
0	
1	Oldest known fossils of animals
2	Origin of eukaryotes (cells with nuclei)
3	Atmosphere becomes oxygen rich from photosynthesis
4	Oldest fossil forms of life
4	Oldest known Earth rocks
4	Origin of life on Earth ?
4	Origin of the Earth and the solar system
5	
15	Big bang creation of the universe

# Doba mikroorganizmov

Časovo rozsiahle obdobie bunkovej evolúcie, tzv. doba alebo vek mikroorganizmov, predstavuje veľmi významný úsek v evolučnej histórii, a to nielen dĺžkou svojho trvania, ale predovšetkým charakterom evolučných zmien, ktoré sa počas približne troch miliárd rokov odohrali.



# Doba mikroorganizmov

Prokaryotické bunky sa rozčlenili do širokej škály rozmanitých typov, ktoré osídlili veľké množstvo stanovišok najrôznejšieho druhu

Prvé solitárne eukaryotické bunky sa začali objavovať pred 1,4 miliardami rokov (2,1 - 1,2)

"Vek mikroorganizmov", počas ktorého neexistovali žiadne vyššie formy, trval až do obdobia pred 670 miliónmi rokov, do ktorého sú datované nálezy prvých mnohobunkových organizmov

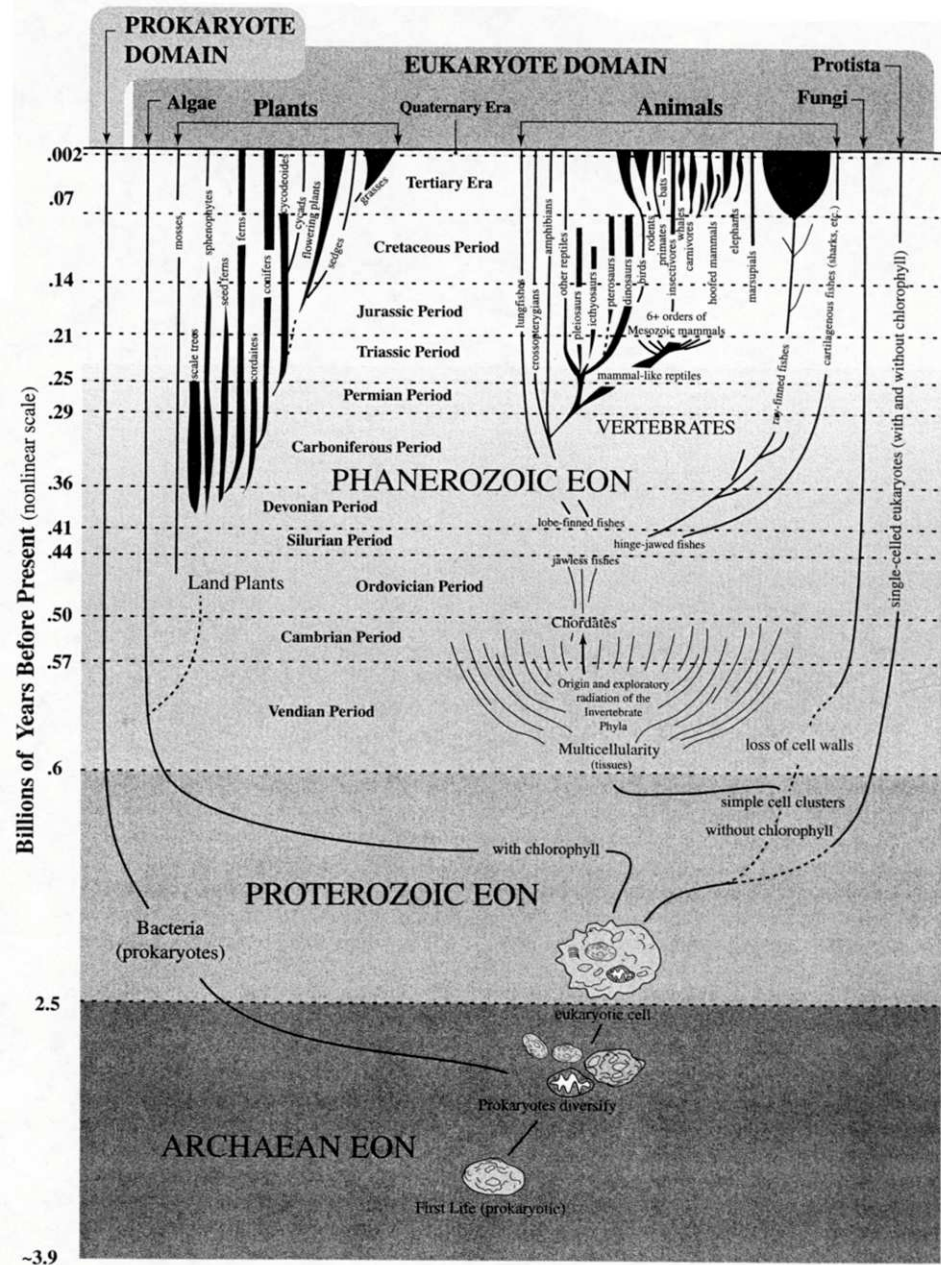


Figure 18.1. Major biological events in the Phanerozoic. The chart is divided into prokaryotes and eukaryotes, and among the eukaryotes into the major kingdoms. Eukaryotic lines of descent shown at earliest times are phyla, then in later times some (but not all) major classes and orders of vertebrates and plants are shown. Of note is the very large number of different animal phyla in the early Phanerozoic, some of which are no longer represented by species. An attempt to show the range of diversity of forms in the plants and vertebrates is given by the thickness of the lines. Particularly uncertain aspects of the histories are indicated by dashed lines. Redrawn and modified from Cloud (1988).

## Fylogenéza organizmov v novom svetle

Výsledkom zavedenia efektívnych metód sekvenovania nukleových kyselín do rutínnej laboratórnej praxe na celom svete je okrem iného i obrovský nárast úplne sekvenovaných ribozómových RNA, resp. ich génov všetkých typov a zároveň z najrozmanitejších zdrojov.

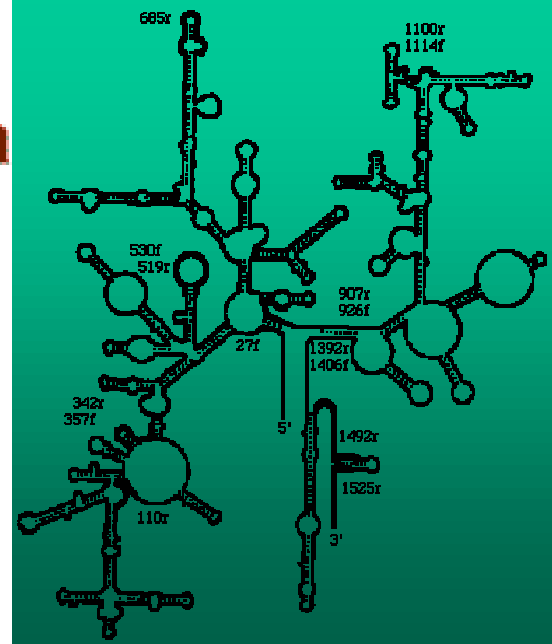
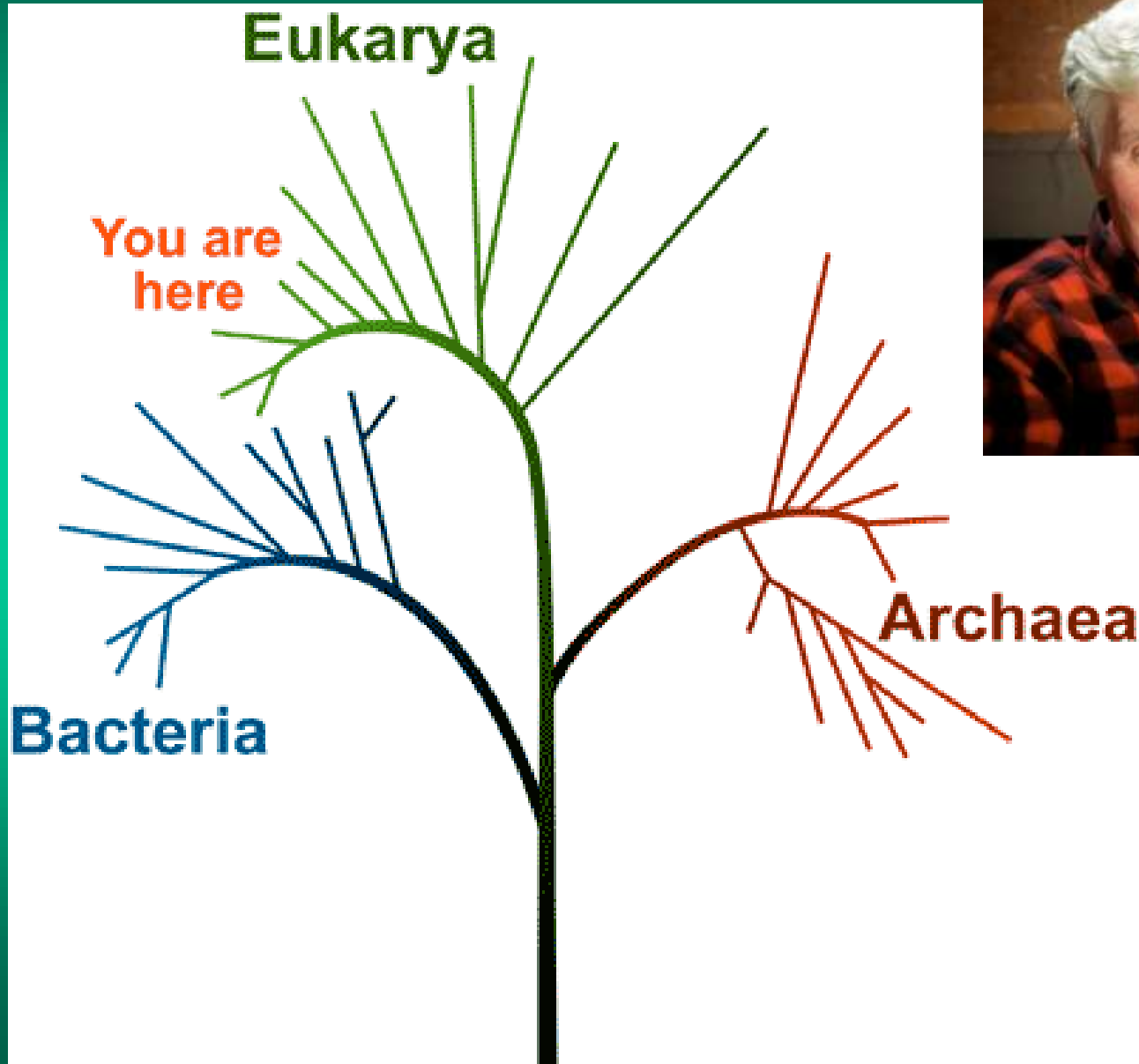
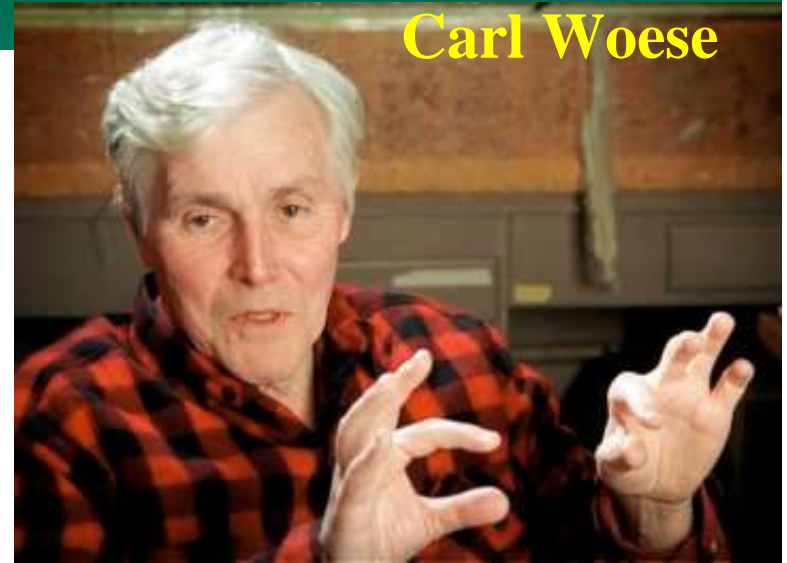
Fylogenetické vzťahy medzi organizmami sa odvíjajú od analýzy primárnych štruktúr celých rRNA génov( rDNA).

Osobitosti 16S rRNA – impulz pre rozsiahly výskum archeónov s cieľom nájsť všeobecné znaky a vlastnosti, ktoré spájajú ich jednotlivých predstaviteľov, a zároveň stanoviť, do akej miery sú odlišné od charakteristických črt baktérií a eukaryontov.

Celý rad pozorovaní potvrdil, že medzi prokaryontami skutočne existuje hlboká fylogenetická priepasť.

Táto ich delí na dve od seba nezávislé vývojové línie - archeóny a baktérie, ktoré sú zase v tej či onej miere odlišné od eukaryontov.

# BACTERIA, EUKARYA, ARCHAEA



## Fylogenéza organizmov v novom svetle

**Porovnávanie sekvencií ribozómových RNA z malých podjednotiek ribozómov (resp. ich génov – rDNA) významný medzník v objasňovaní fylogenetických vzťahov medzi organizmami (predovšetkým prokaryotickými)**

**Na tomto základe možno skonštruovať prirodzený systém klasifikácie organizmov, ktorý by bol odrazom skutočných evolučných vzťahov.**

**Molekulárno-biologické prístupy k analýze životných procesov viedli k zásadným zmenám nielen v taxonómii baktérií**

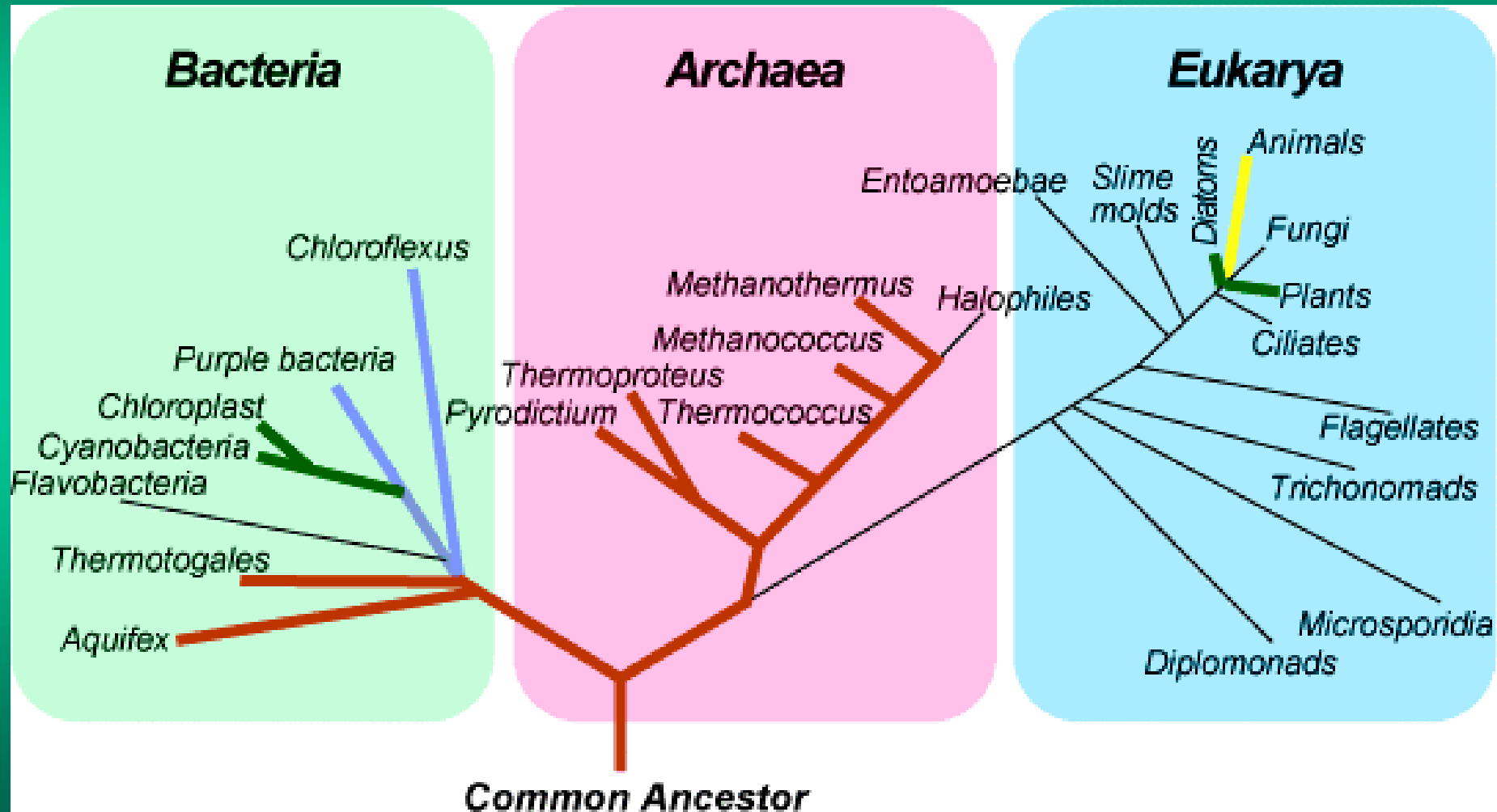
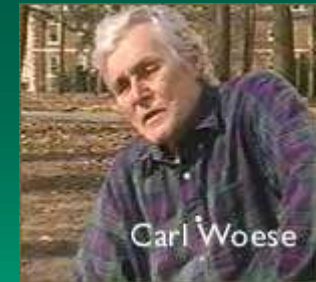
**život na Zemi možno rozdeliť do troch principiálne odlišných skupín organizmov: na archeóny, baktérie a eukaryontov**

**Rozdiely medzi týmito tromi zoskupeniami sú naozaj veľmi hlboké, oveľa významnejšie ako rozdiely, ktorými sa od seba líšia typické ríše, akými sú napr. rastliny a živočíchy**

**Vypracovanie formálneho klasifikačného systému organizmov, v ktorom nad úrovňou ríše existuje ešte nový vyšší taxón, nazvaný doména (Woese et al. 1990). V takejto schéme je všetok život na Zemi rozdelený do troch domén: **Bacteria, Archaea a Eukarya.****



# BACTERIA, ARCHAEA, EUKARYA



## Objav archebaktérií stimulom ďalšieho bádania

Objav archeónov (Archaea) ako samostatnej primárnej vývojovej línie predstavuje sám o sebe zistenie obrovského významu, ktoré môže navyše veľa prezradiť aj o počiatkoch života na Zemi.

Za predpokladu, že existujú len dve primárne vývojové línie, ťažko možno evolučne interpretovať rozdiely medzi nimi.

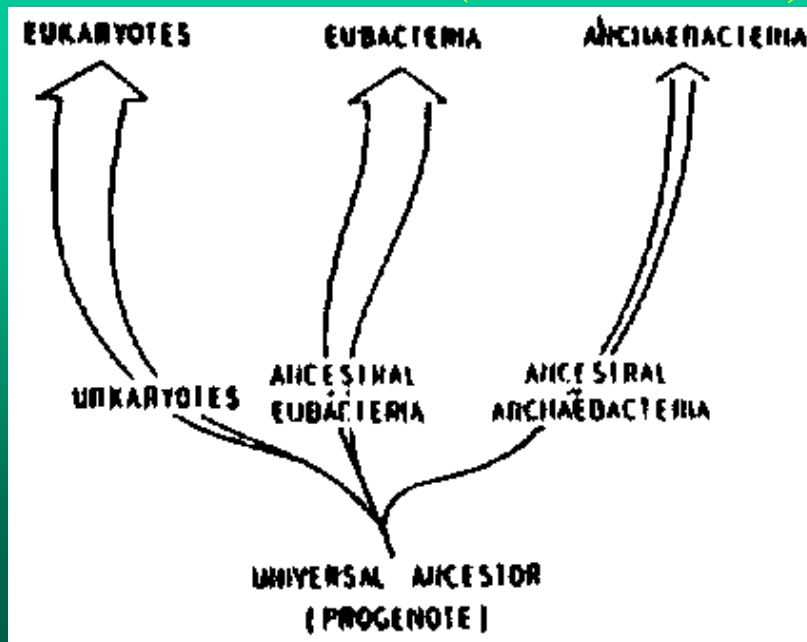
Odhalenie tretej línie, rovnako vzdialenej od oboch ostatných, poskytuje možnosť stanoviť, ktoré vlastnosti sú pôvodné a ktoré sa vyvinuli relatívne nedávno.

Objav archeónov nebývalou mierou sprístupnil a stimuloval riešenie dvoch centrálnych evolučných problémov: charakteru spoločného predka všetkého živého na Zemi a pôvodu a evolúcie eukaryotickej bunky.

Predpokladá sa, že spoločný vývoj archeónov a baktérií nesiahal ďalej ako po úroveň komplexnosti všeobecného predka, ktorý sám o sebe ešte nebol prokaryotom.

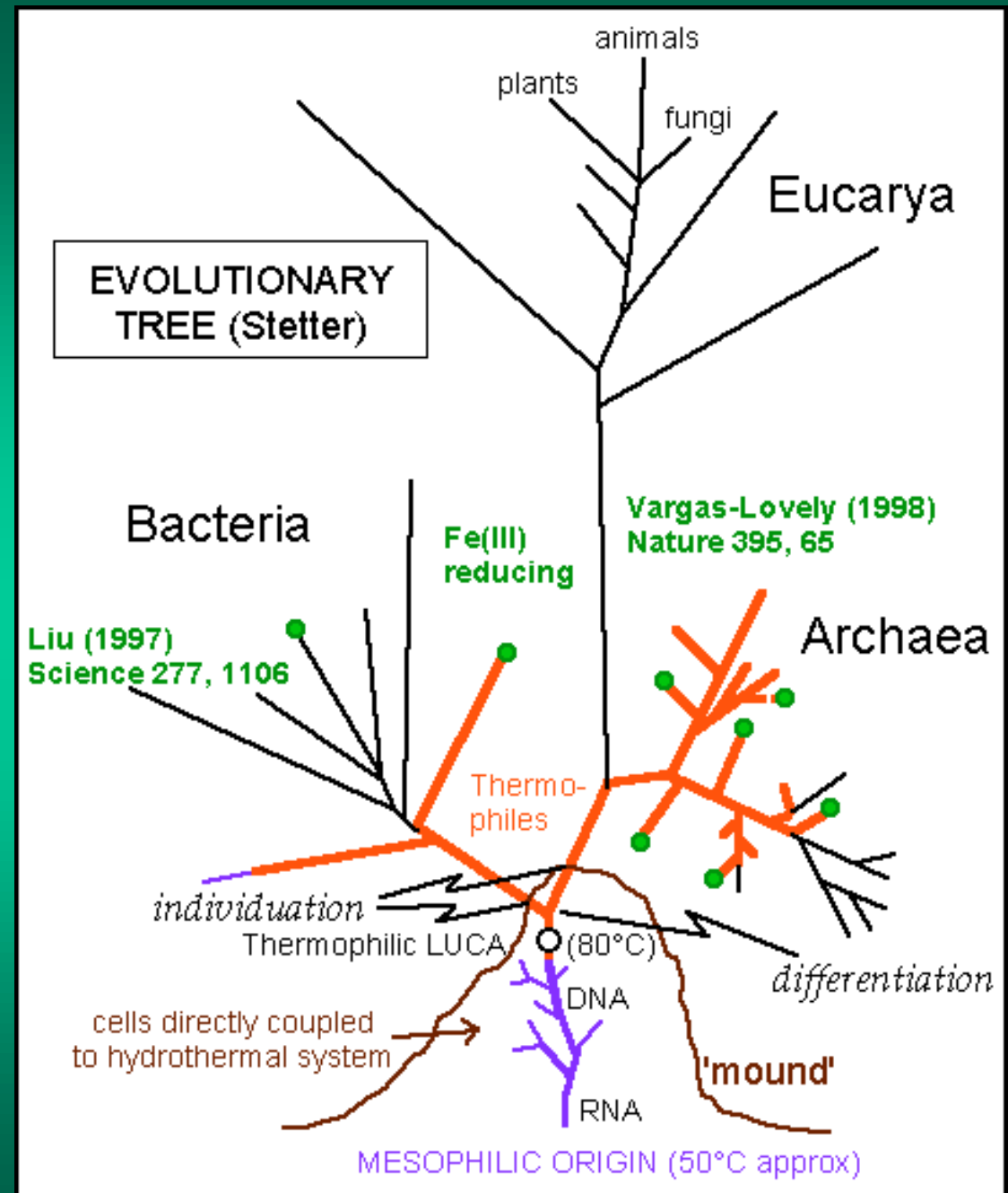
Tento primitívny predstupeň živej bunky, nazvaný progenot (Woese et Fox 1977), prípadne protobiont, probiont, eobiont, protobunka, predstavoval prechodnú vývojovú formu od koacervátov, proteinoidných mikrosfér, či podobných štruktúr, k prokaryotickej bunke.

Progenot sa pravdepodobne pôvodne diferencoval na baktérie a spoločného predka archeónov a eukaryontov, ktorý sa až následne rozčlenil na dve vývojové línie - Archaea a Eukarya (pôvodný predpoklad – diferencoval sa na predchodcov troch samostatných vývojových línií (archebaktérie, eubaktérie a urkaryota)



**Molekulárno-biologické údaje svedčia o tom, že vetvy divergovali v období, kedy otázka efektívnosti, rýchlosti a presnosti mnohých životných procesov (predovšetkým transkripcie a translácie) nebola ešte úplne zodpovedaná.**

**Predpokladá sa, že sa to odohralo približne pred 3,8 miliardami rokov.**



# BACTERIA, ARCHAEA, EUKARYA



**Bacteria**



**Archaea**



**Protista**

**3 Domains of Organisms: Eubacteria, Archaea, & Eucarya**



**Plantae**

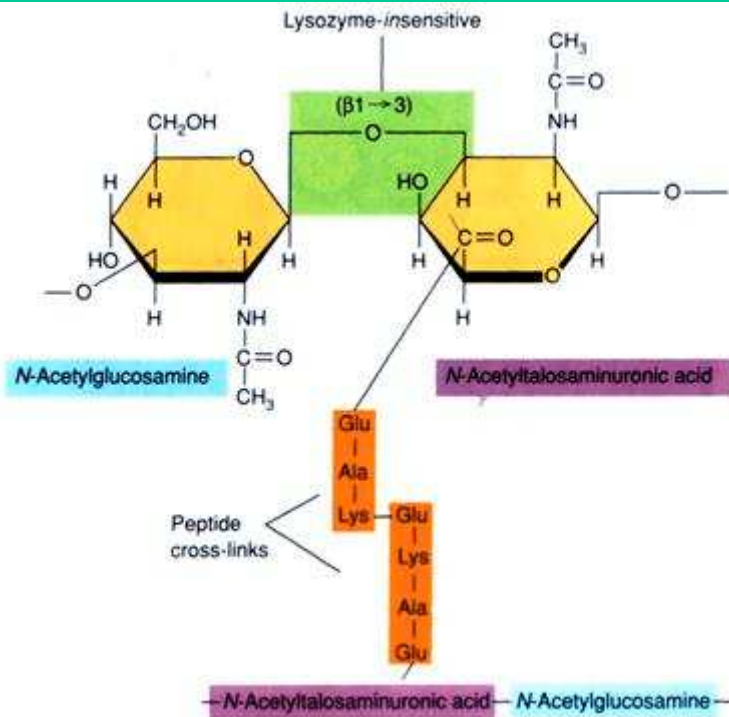
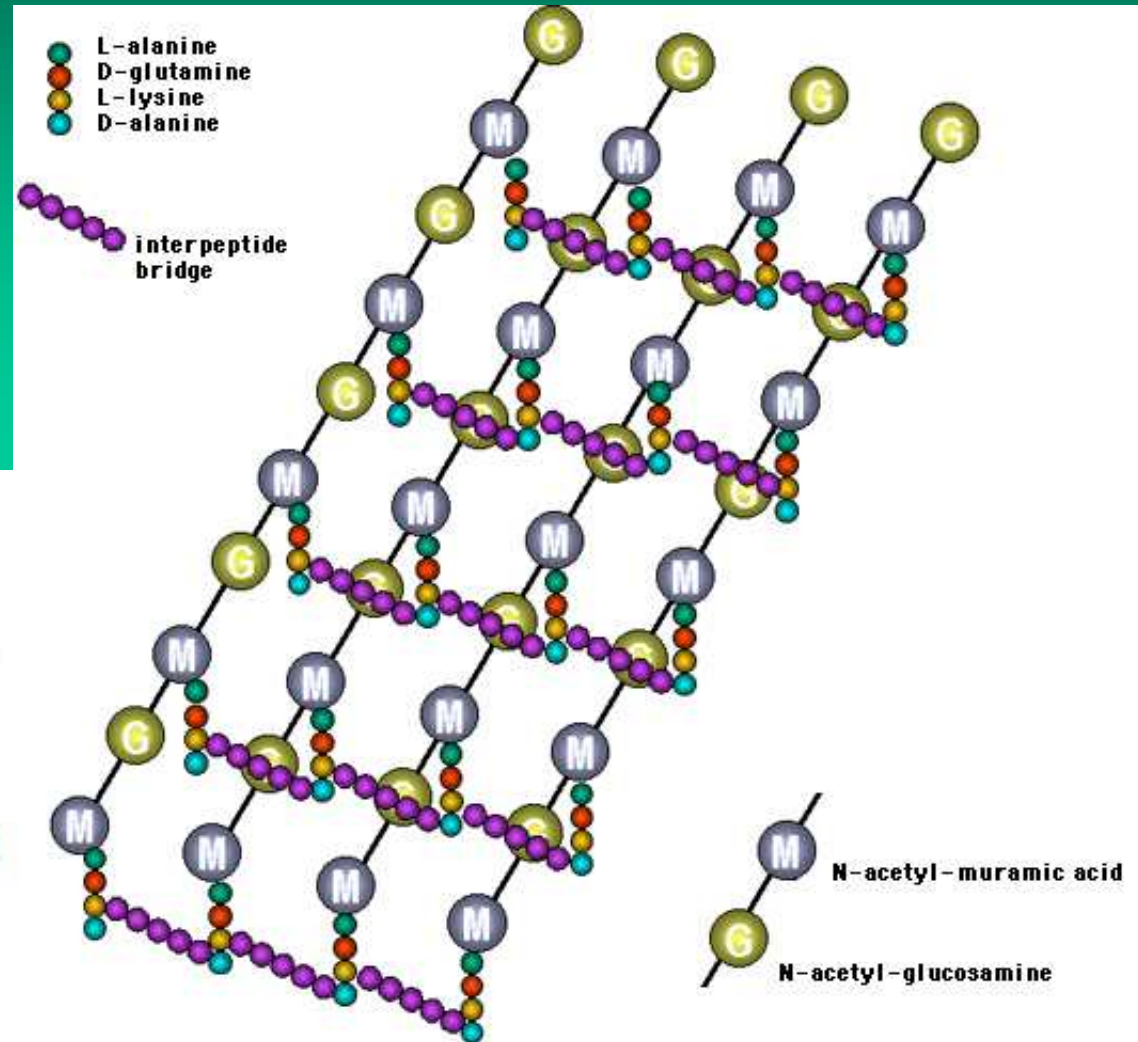
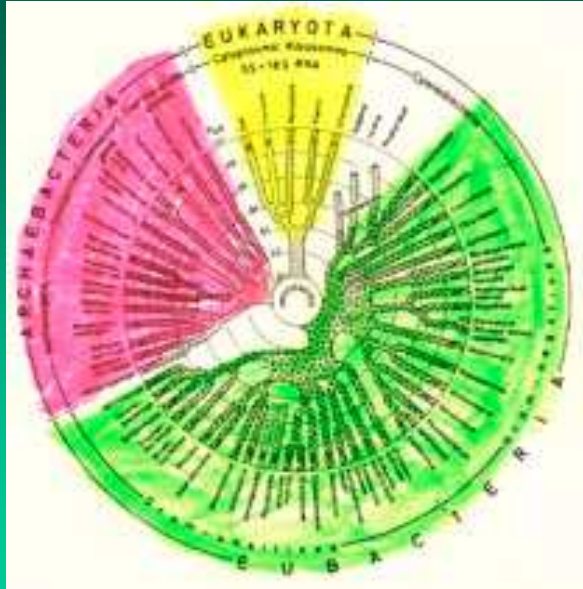


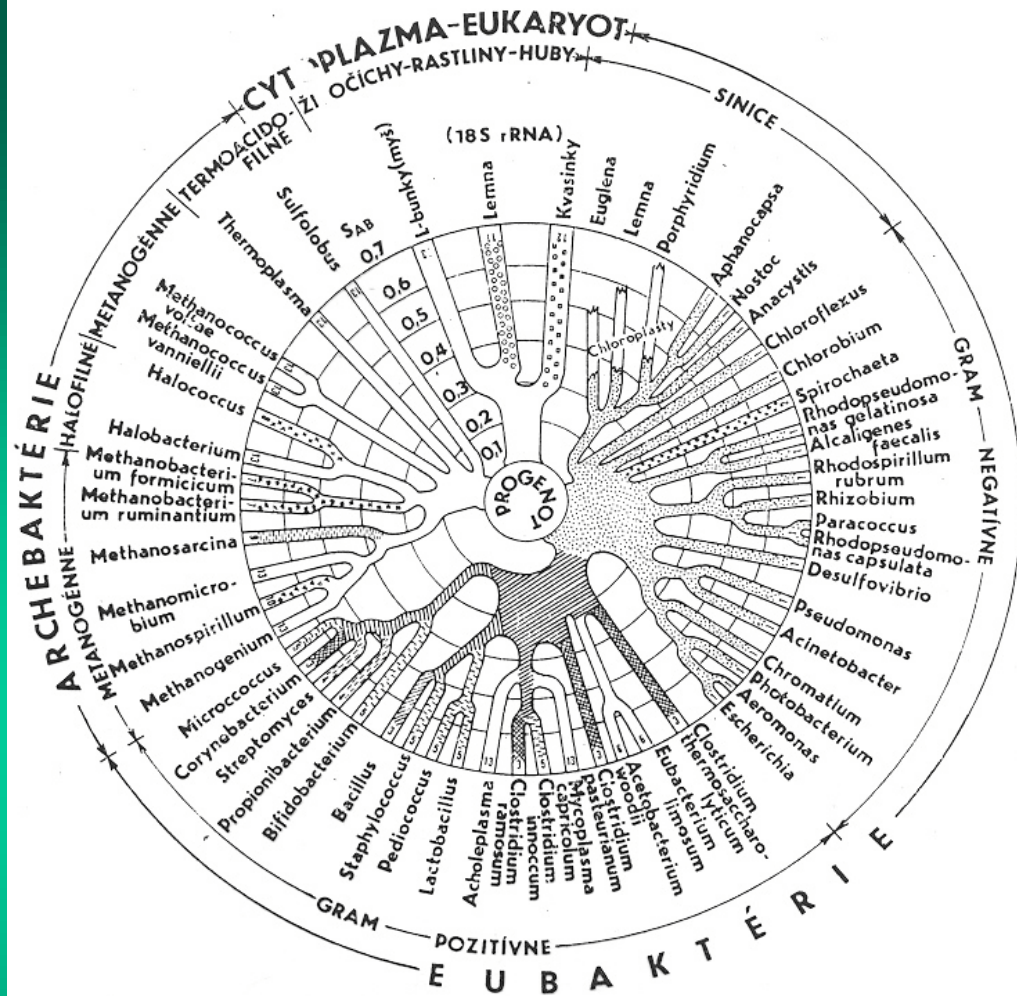
**Fungi**



**Animalia**

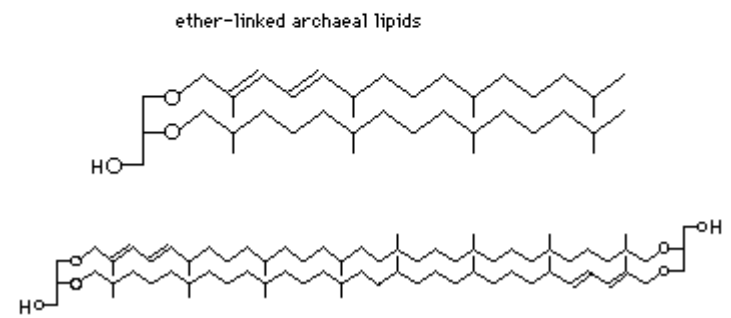
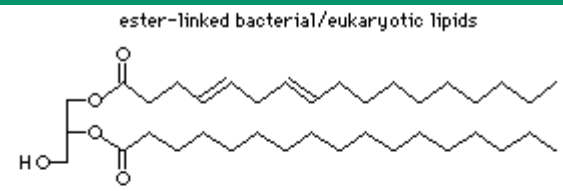
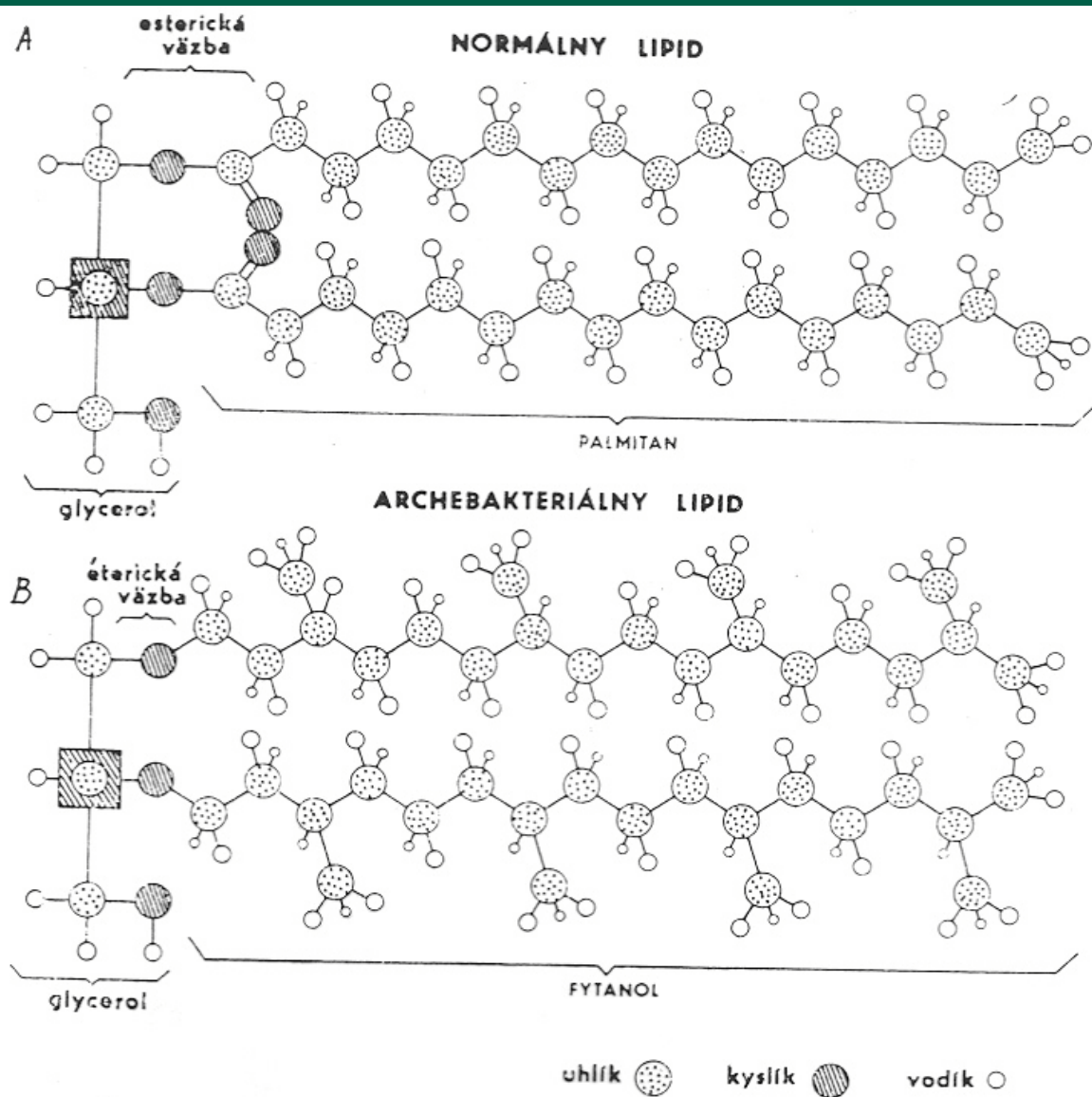
# BACTERIA, ARCHAEA, EUKARYA





mureín: jednovrstvový: m-dap <sup>1</sup>; orn <sup>2</sup>;  
 viacvrstvový : m-dap <sup>3</sup>; L,L-dap <sup>4</sup>; lyz <sup>5</sup>; B-Typ <sup>6</sup>  
 pseudomureín <sup>7</sup>; heteropolysacharid: s SO<sub>4</sub> <sup>8</sup>; bez SO<sub>4</sub> <sup>9</sup>;  
 bielkovinová rošva <sup>10</sup>; celulóza <sup>11</sup>; c'itín <sup>12</sup>; žiadny sakulus <sup>13</sup>.

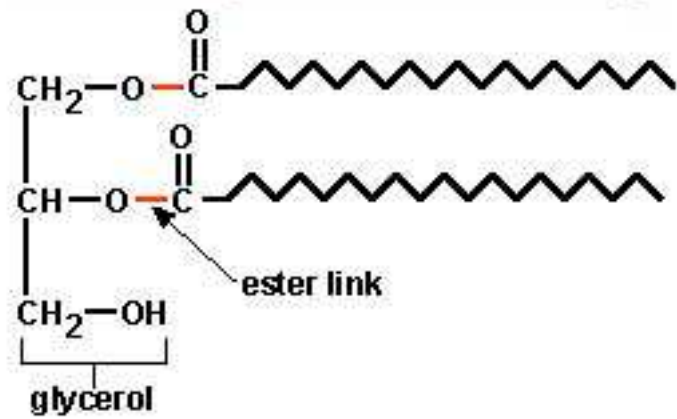
Obr. 3. Zobrazenie pravdepodobných príbuzenských vzťahov medzi organizmami na základe podobnosti 16S rRNA (hodnôt S<sub>AB</sub>) so zretelom na zloženie burkových stien (podľa Kandler 1981). Pre charakterizáciu najdôležitejších chemotypov mureínu je vždy uvedená diamínokyselina jeho peptidovej podjednotky. Čiarkovanie základov grampozitívnej vetvy eubaktérií znázorňuje prítomnosť genetickej informácie pre syntézu lyzínu (*lyz*), ako aj pre kyselinu mezo-diaminopimelovú (*m-dap*). LL-dap = kyselina LL-diaminopimelová; orn = ornitín; B-typ = typ B premostenia medzi peptidovými podjednotkami mureínu (pohy 2 a 4). Pre lepšiu názornosť odvetvenia rodov *Mycoplasma* a *Acholeplasma* od klostridií sa použili hodnoty koeficientu S<sub>AB</sub> zvýšené o 0,1. (Podklady — pozri Woese et al. 1980b.)



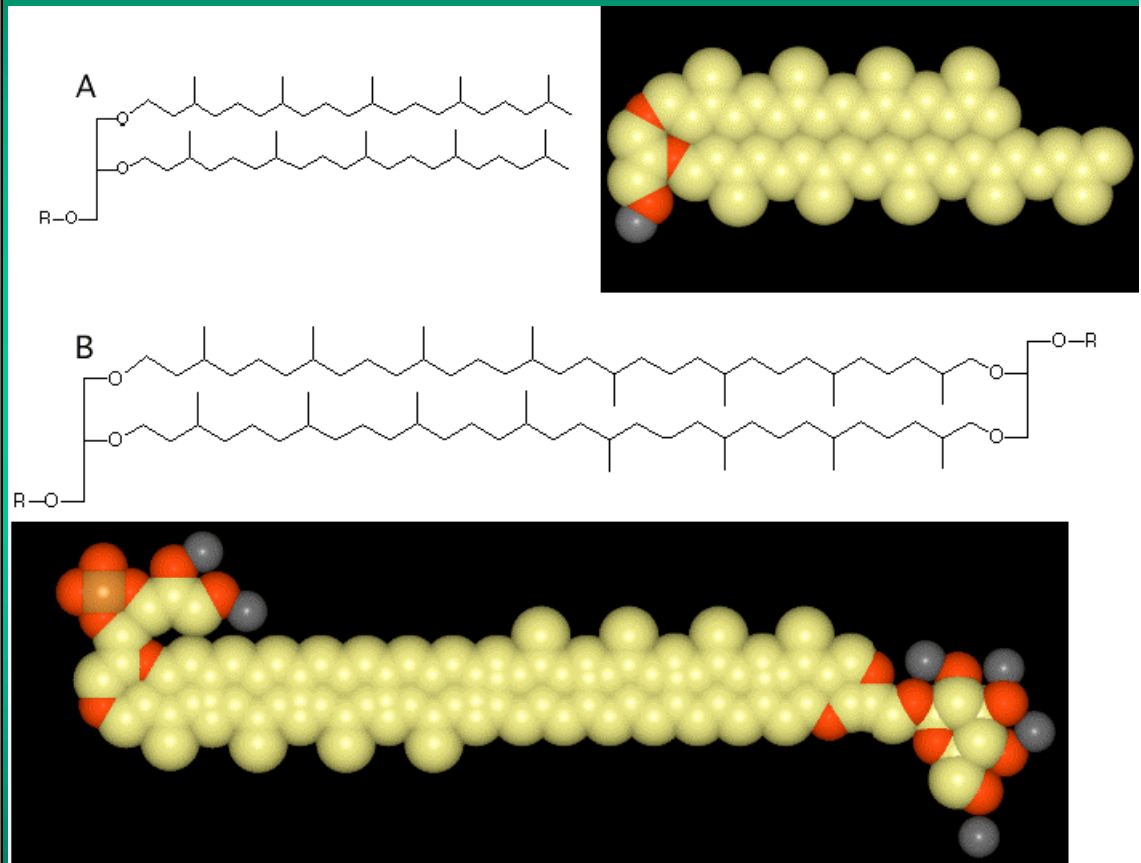
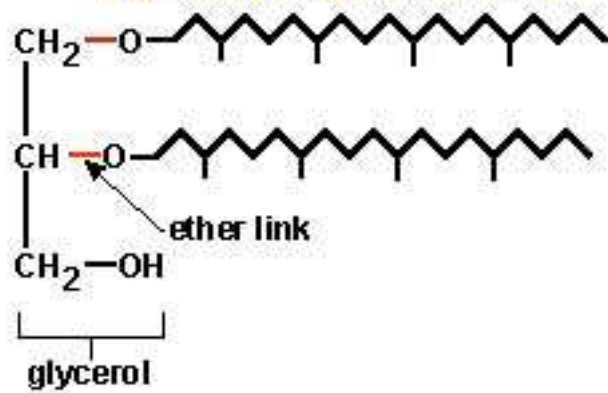
Obr. 4. Schematické znázornenie štruktúry lipidov u archeobaktérií (B) a ostatných organizmov (A) (podľa Woese 1981). U eubaktérií a eukaryot sú lipidy esterami priamych reťazcov vyšších mastných kyselín a glycerolu (A). Lipidy archeobaktérií sú naproti tomu izoprenoidné étery glycerolu (B). Vetvené reťazce fytanolov nesú v pravidelných intervaloch metyl skupiny. Glycerol má dva optické izoméry – streč – centrálny atóm uhlíka glycerolu je znázornený štvorčekom. Konfiguráciou molekuly okolo centrálného atómu uhlíka glycerolu sú lipidy archeobaktérií zrkadlovým obrazom lipidov ostatných organizmov.

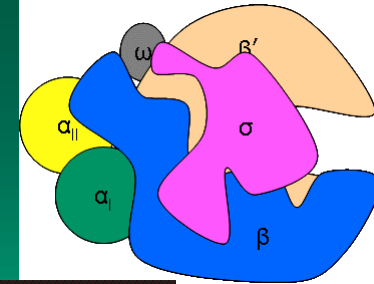
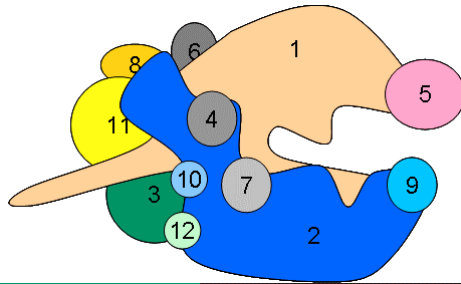


### Membrane Lipids of *Bacteria* and *Eukarya*



### Membrane Lipids of *Archaea*





Eukaryoten <i>Saccharomyces cerevisiae</i>			Archaea <i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	Bakterien <i>Escherichia coli</i>
RNA Pol.I	RNA Pol.II	RNA Pol.III	RNA Pol. <i>(Pyrococcus horikoshii)</i>	RNA Pol.
RPA190 (180kDa)	RPO21 (215kDa)	RPO31 (160kDa)		$\beta'$ (155 kDa)
RPA135 (135 kDa)	RPB2 (140kDa)	RET1 (130kDa)	RpoB (127 kDa)	$\beta$ (150 kDa)
		RPC82 (82kDa)	RpoA' (99,8 kDa)	
RPA49 (45kDa)	RPB3 (45kDa)	RPC53 (47kDa)	RpoA'' (44,4 kDa)	
RPC40 (40kDa)	CDC73 (445kDa)	RPC40 (40kDa)	RpoA''' (44,5 kDa)	
RPA43 (35kDa)		RPC34 (34kDa)		$\alpha$ (37 kDa) x 2
	RPB4 (32kDa)	RPC31 (31kDa)	RpoD (30 kDa)	
RPA34 (289kDa)			RpoE (27 kDa)	
RPB5 (25kDa)	RPB5 (25kDa)	RPB5 (25kDa)		RpoE (21,5 kDa)
	RPB7 (19kDa)	RPC25 (25kDa)		
RPO26 (18kDa)	RPO26 (18kDa)	RPO26 (18kDa)		RpoE''?
RPB8 (16kDa)	RPB8 (16kDa)	RPB8 (16kDa)	RpoG (14 kDa)	RpoL ?
RPC19 (16kDa)		RPC19 (16kDa)	RpoL (10,1 kDa)	RpoN (13,9 kDa)
RPA14 (146kDa)	RPB9 (142kDa)		RpoI (ca 10 kDa)	RpoH (9,4 kDa)
RPA12 (137kDa)	RPB11 (136kDa)	RPC11 (12,5kDa)	RpoK (9,7 kDa)	PHS056 (9,0 kDa)
RPB10 (8,3 kDa)	RPB10 (8,3 kDa)	RPB10 (8,3 kDa)	RpoH (9,5 kDa)	
RPB12 (7,7 kDa)	RPB12 (7,7 kDa)	RPB12 (7,7 kDa)	RpoN (7,8 kDa)	RpoK ?

( ? =  
in *P. furiosus* vorhanden,  
in *P. horikoshii* unsicher)

Abb. aus: Die Transkriptionsmaschinerie der Archaea, M. Thomm, Bioessays 2 (1999), 6. Jahrgang

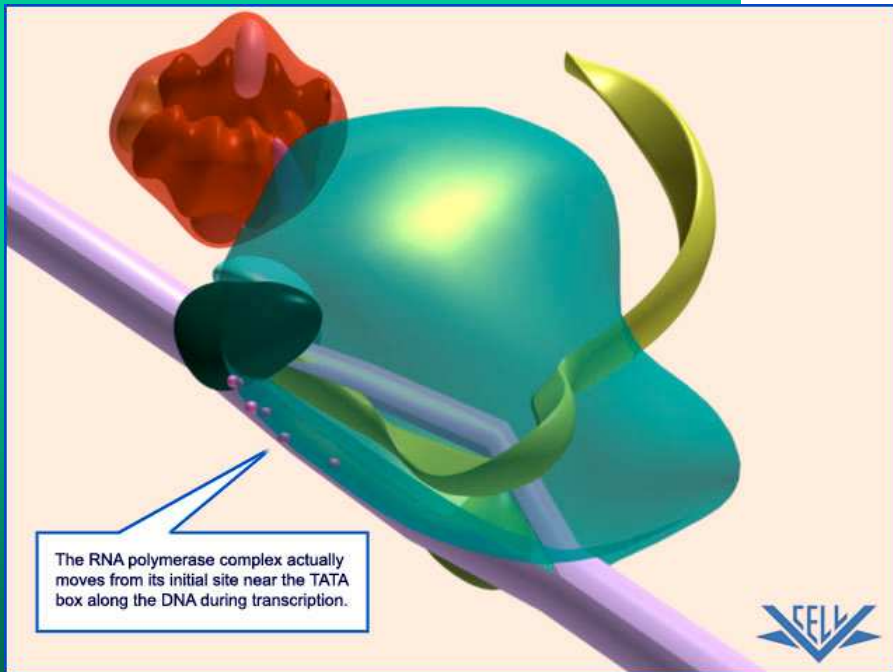
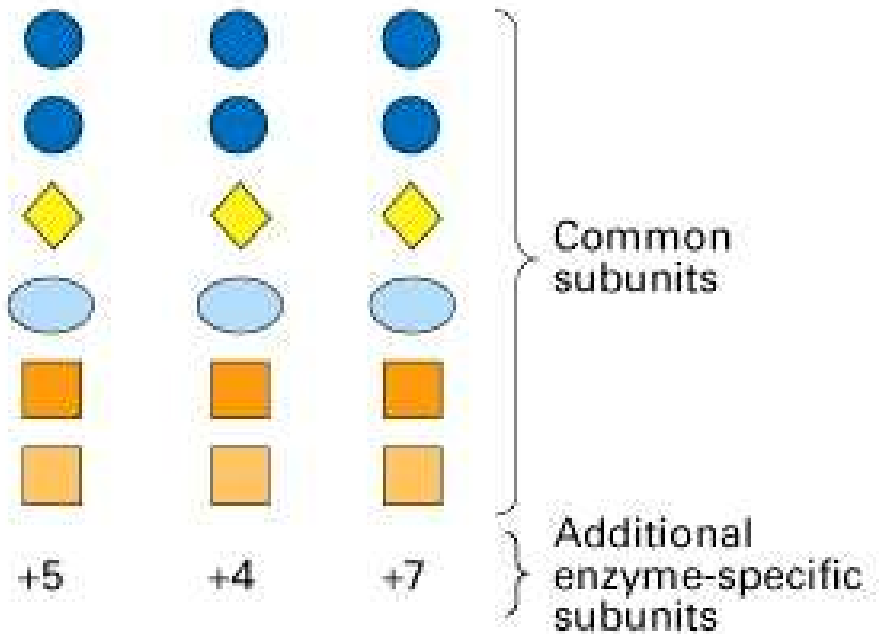
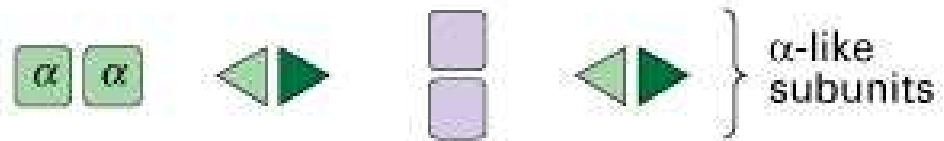
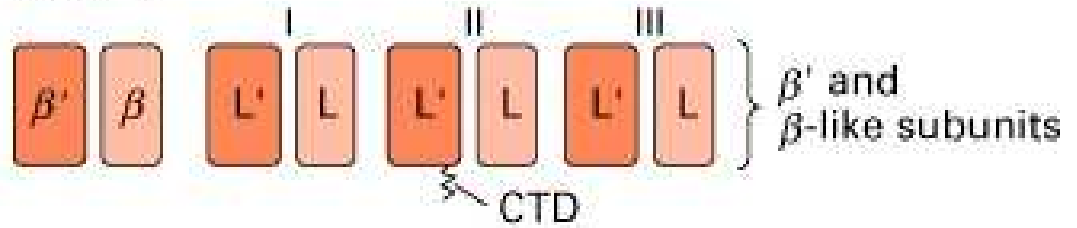
Tabuľka 1

Niektoré molekulárne črty (hlavne v primárnej sekvencii enzýmov), v ktorých existuje vysoký stupeň homológie medzi zástupcami domén *Eukarya* a *Archaea*, a zároveň výrazná odlišnosť od pomerov v doméne *Bacteria* (podklady - Golding a Gupta 1996, Margulis 1996).

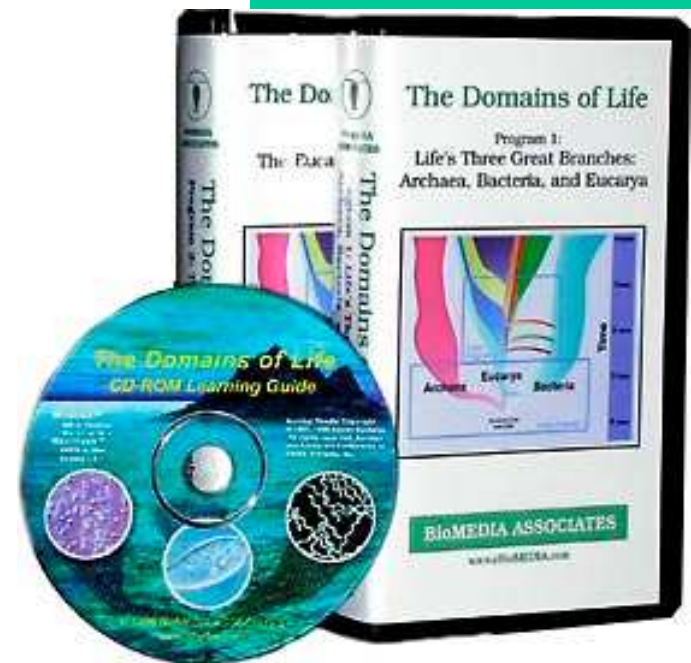
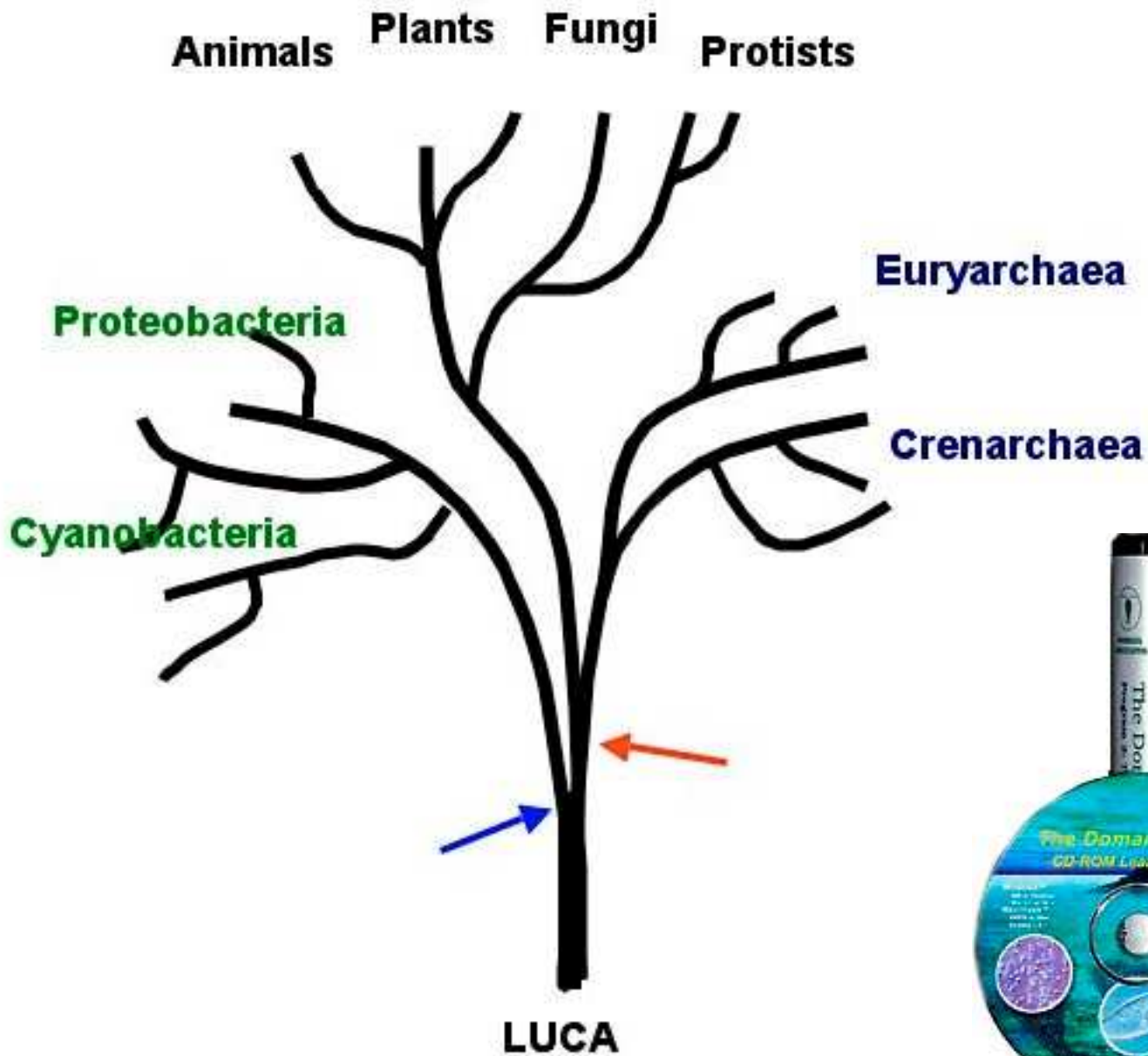
funkcia	komponent/vlastnosť
metabolizmus nukleotidov a nukleových kyselín:	DNA závislé RNA polymerázy transkripčné faktory (promótor - TATA box a "box A" = TTTAWA) DNA polymerázy DNA topoizomerázy históny, interakcia s DNA indol-3-glycerol-fosfát syntetáza karbamyl-fosfát syntetáza histidínová dráha
metabolizmus aminokyselín a syntéza bielkovín:	arginíno-sukcinát syntetáza elongačné faktory 1 a 2 aminoacyl-tRNA syntetázy (valyl-, leucyl-, izoleucyl-) ubiquitín iniciácia proteosyntézy metionínom rezistencia k antibaktériovým inhibítorm modifikácia ribozómových RNA
energetický metabolizmus:	ATP syntetáza - $\alpha$ a $\beta$ reťazce fosfoglycerol kináza
metabolizmus vitamínov a uhľovodíkov:	dihydrofolát reduktáza dolicholová cesta glykozilácie uhľovodíky s N- väzbami glykogén

*E. coli* core  
RNA polymerase  
( $\alpha_2\beta\beta'$ )

Eukaryotic  
RNA polymerases  
I, II, III



# BACTERIA, EUKARYA, ARCHAEA



# Umiestnenie tzv. environmentálnych sekvencií z neznámych archeónov v nezakorenenej verzii univerzálneho fylogenetického stromu.

Dendrogram je skonštruovaný na základe porovnávania rozdielov v sekvencií nukleotidov v ribozómových RNA z malých ribozómových podjednotiek.

Environmentálne sekvencie sa získali pomocou techniky PCR a univerzálnych primerov pre zástupcov domény Archaea, z celkovej DNA izolovanej z bližšie nedefinovanej biomasy z rôznych stanovišť.

Predstavujú rRNA z doposiaľ bližšie neurčených archeónov, ktoré sa zatiaľ nepodarilo kultivovať. Environmentálne sekvencie sú označené číselným a písmenovým kódom (napr. pSL22).

pJP 27 a pJP 78 sú svojim sekvenčným zložením najbližšie k bodu vetvenia všetkých troch domén, resp. koreňu fylogenetického stromu.

Tieto sekvencie vytvárajú hypotetickú skupinu archeónov nazvanú "Korachaeota", do ktorej by mohli patriť teoreticky najstarobylejšie organizmy (podľa Barns *et al.* 1996)

# BACTERIA, EUKARYA, ARCHAEA

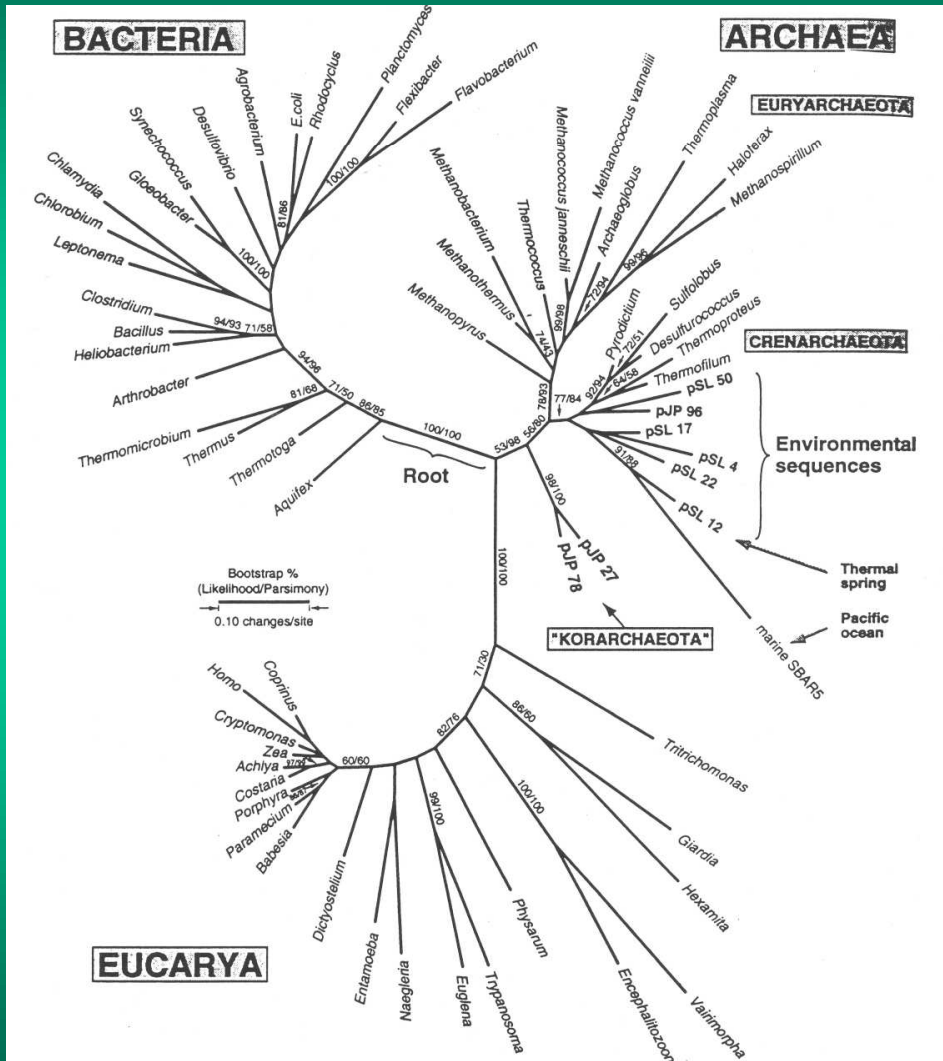


FIG. 2. "Universal" unrooted phylogenetic tree showing positions of major groups of sequences recovered from the Obsidian Pool community. Tree was inferred by ML analysis of 1620 homologous nucleotide positions of sequence from each organism or clone. Numbers indicate percentage of bootstrap resamplings that support indicated branches in ML (before slash) and MP (after slash) analyses for those groups only that attained >60% support with at least one of the two methods. Analyses of duplicated protein genes have placed the root of the tree on the branch at the base of the Bacteria (20, 21).

**Koncepcia troch domén zároveň umožňuje oveľa lepšie riešiť otázku evolučného vzťahu medzi dnešnou prokaryotickou a eukaryotickou bunkou.**

Tradičná postupnosť, podľa ktorej sa eukaryotická bunka jednoducho vyvinula z predkov súčasných prokaryotov, je vo svetle zásadných rozdielov v molekulárnej biológii eukaryotických a prokaryotických buniek dosť nepravdepodobná.

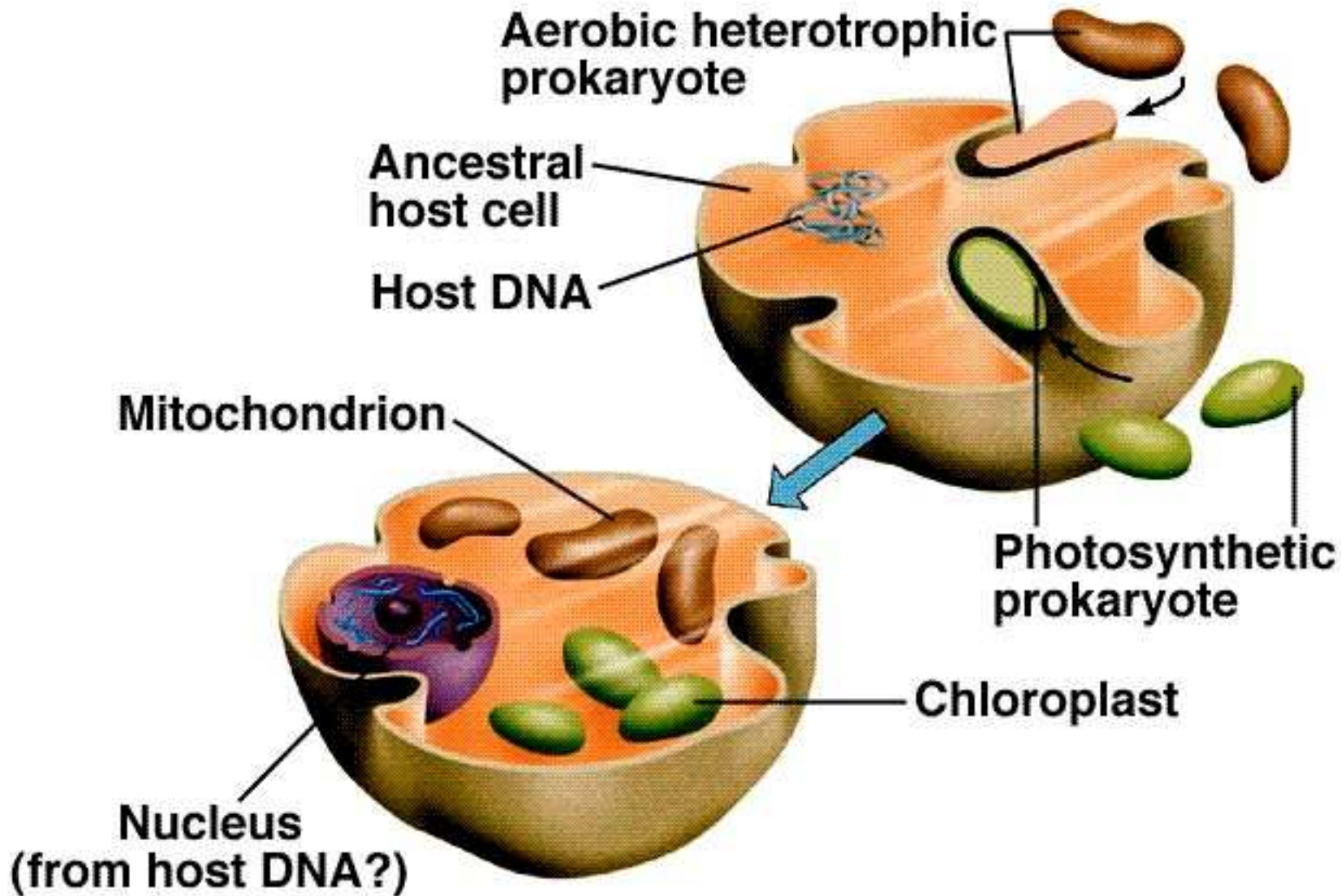
**Postupnosť prokaryonta - eukaryonta treba chápať v zmysle organizačnom, nie fylogenetickom** (Woese et Fox 1977).

**Na eukaryotickú bunku sa nazerá ako na fylogenetickú chiméru, ktorá vznikla viacnásobným endosymbiotickým splynutím a následnou reorganizáciou viacerých, pôvodne samostatných predstaviteľov prokaryontov.**

**Eukaryotickú bunku z tohto dôvodu nemožno pokladať za produkt jednej vývojovej línie, ktorý by bol porovnateľný s predstaviteľmi dvoch prokaryotických vývojových línií - takto sa možno pozerat' len na niektoré z jej komponentov.**

**Pôvod mitochondrií a chloroplastov možno odvodiť od baktérií.**

# Model of Cellular Invasion





\* Rýchlosť molekulárnej evolúcie

\* Molekulárna podstata mutácií a charakterizovanie tendencií v substitúcii nukleotidov (aminokyselín)

\* Rozdiely v rýchlosti substitúcií v génoch, vo vnútri génov (exóny intróny), v oblastiach medzi génmi

priemerná rýchlosť synonymných mutácií nukleotidov

(t.j. tichých – nemenia aminokyselinové zloženie) per miesto za rok:

\* v plastidoch (ctDNA) –  $1,5 \times 10^{-9}$

\* v jadre (nDNA) rastlín a živočíchov dvojnásobok –  $3,0 \times 10^{-9}$  \*

\* v mitochondriách (mtDNA) rastlín 3-4krát nižšia ako v ctDNA –  $3,75-5,0 \times 10^{-10}$

\* v mitochondriách (mtDNA) živočíchov 10-100krát vyššia ako v mtDNA rastlín –  $3,75 - 5,0 \times 10^{-8/-9}$

rýchlosť štruktúrneho preskupovania je v mtDNA rastlín mimoriadne vysoká v porovnaní s mtDNA živočíchov aj s ctDNA plastidov

substitúcie typu tranzícií (purín za purín, resp. pyrimidín za pyrimidín) jasne prevládajú nad transverziami (purín za pyrimidín a vice versa)

## Vznik života na Zemi

Definovať život nie je jednoduché.

Pretože názory sa rôznia, odpoveď na otázku ako tento fenomén vznikol je zložitá aj z tohto dôvodu.

Za dva základné atribúty života sa všeobecne považujú autoreplikácia a metabolizmus.

V súvislosti so vznikom života sa najčastejšie kladú otázky:  
kedy, kde, ale hlavne ako vznikol život?



## Ako vznikol život?

Overovanie hypotéz, týkajúcich sa procesov akými mohol život vzniknúť, sa v súčasnosti zameriava na tri kľúčové problémy:

(i) Akým spôsobom vznikli základné monoméry, z ktorých pozostávajú nukleové kyseliny a bielkoviny, v podmienkach primitívnej Zeme?

Experimentuje sa s rôznymi zmesami plynov, hlavne  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCN}$ , a prímiesami  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , ktoré sa vystavujú vysokým teplotám, UV žiareniu, elektrickým výbojom.

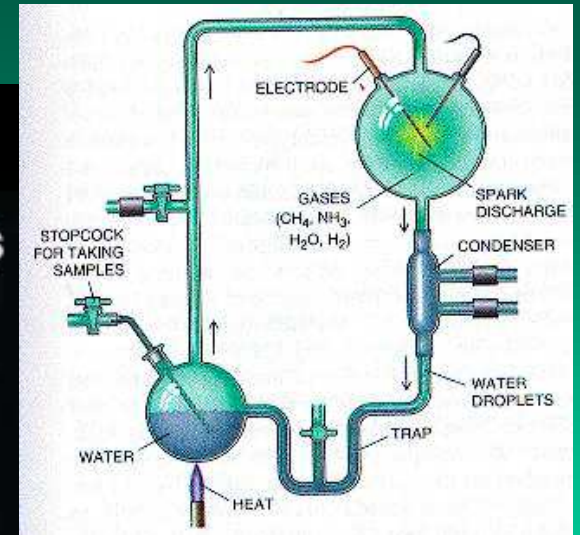
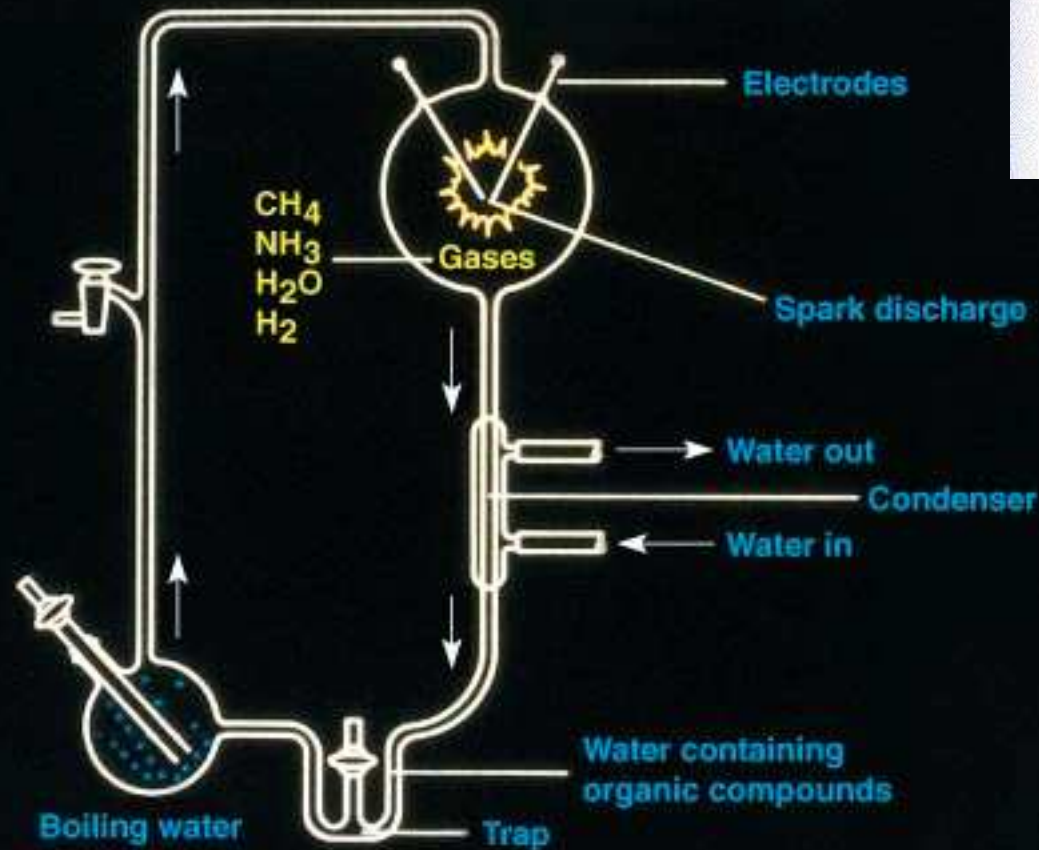
Výsledné produkty chemických reakcií sa analyzujú, s dôrazom na prítomnosť aminokyselín, purínov, pyrimidínov, cukrov, kondenzačných činidiel.

Pionierske práce na tomto poli uskutočnili S. Miller a H. Urey (1953).

Je takmer isté, že prvotná atmosféra Zeme neobsahovala kyslík, resp. ak, tak len minimum.

Fraknoi/Morrison/Wolff, *Voyages Through the Universe*, 2/e  
Figure Epilogue 5 Simulating the Early Earth

### APPARATUS USED BY MILLER FOR THE SYNTHESIS OF AMINO ACIDS BY ELECTRIC DISCHARGE



Harcourt, Inc. items and derived items copyright ©2000 by Harcourt, Inc.

## Predbiologická syntéza kyanovodíka a aldehydov

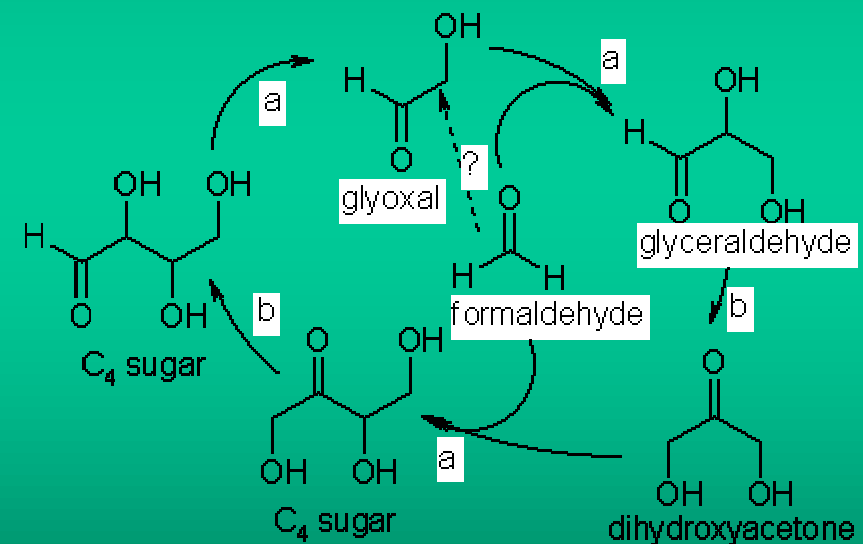
HCN – východisková látka pre syntézu purínových a pyrimidínových báz

Aldehydy – syntéza aminokyselín

Glykolaldehyd – syntéza ribózy

Kondenzačné činidlá:

- \*plyfosfáty
- \*karbodiimid
- \*montmorilonit



a - aldol/retro-aldol  
b - ketone-alcohol isomerization

## Evolúcia zápisu genetickej informácie

Predmetom biologickej evolúcie sa môžu stať iba systémy schopné reprodukcie, premenlivosti a dedičnosti.

Súčasný organizmus sú založené na jednotnom organizačnom princípe - koexistencia nukleových kyselín a bielkovín.

Nukleové kyseliny uchovávajú a kumulujú genetickú informáciu a zaisťujú jej vertikálny prenos medzi po sebe nasledujúcimi generáciami organizmov.

Informácia pozostáva v prevažnej miere z inštrukcií pre syntézu bielkovín.

Bielkoviny vykonávajú (priamo či sprostredkované) prakticky všetky biologické funkcie organizmov vrátane tých, ktoré sú nevyhnutné pre kopírovanie informácie zapísanej v nukleových kyselinách a k jej prekladu do sekvencií aminokyselín v bielkovinách.

I ten najelementárnejší systém, ktorý dokáže zabezpečiť takúto spoluprácu medzi nukleovými kyselinami a bielkovinami je veľmi zložitý.

Pôvodné (prvotné) živé systémy museli byť podstatne odlišné od súčasných. Aké?

Štyri základné alternatívy vzniku existujúceho všeobecného organizačného princípu živých systémov (koexistencia NK + bielkoviny):

Pôvodné organizmy zložené len z:

- 1) bielkovín (koacerváty, proteinoidné mikrosféry, prióny)
- 2) nukleových kyselín (NK) - katalyticky aktívne RNA
- 3) NK + bielkoviny (koevolúcia - genetický kód je výsledkom "zmrazenej náhody")
- 4) iný princíp (kryštály ílov)

1) Prvotné systémy zložené len z bielkovín (neobsahovali NK)

historicky najstaršia hypotéza

- koacervát (Oparin) - primitívny fyzikálny model protobunky, semipermeabilná membrána oddeľuje vnútorné a vonkajšie prostredie

- rast a metabolizmus len ako určitá analógia príslušných biologických procesov (nerieši sa otázka ako mohli vzniknúť enzýmovo aktívne molekuly)

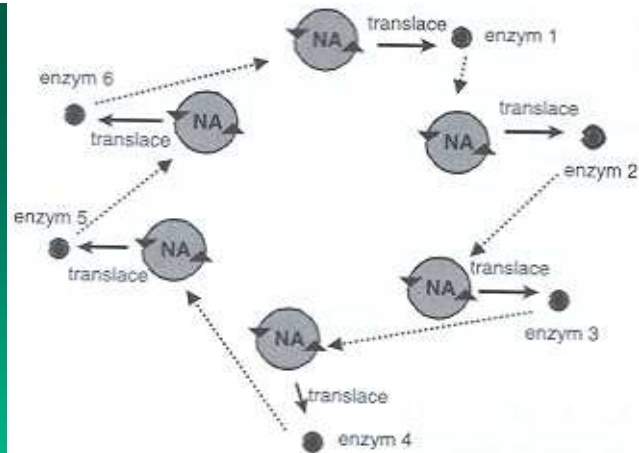
- proteinoidné mikrosféry (Fox) - katalyticky aktívne, nie však rast, reprodukcia, dedičnosť - nemôžu byť subjektom biologickej evolúcie

- prióny - príčina prenosných neurodegeneratívnych ochorení zvierat (scrapie) a človeka (kuru, Creutzfeld-Jacobov syndróm)

infekčný agens - PrP<sup>Sc</sup> (nerozpustnosť, rezistencia k proteázam) je post-translačný derivát (zmena konformácie) normálnej (citlivej k proteázam) hostiteľskou bunkou kódovanej bielkoviny (PrP)

- model hypercyklov (Eigen) - model autoreplikujúceho sa systému, ktorého prvky sú usporiadané do cyklu. Každý prvok (enzým, protoenzým) nejakým spôsobom napomáha vzniku jedného či viacerých ďalších prvkov (vzájomná previazanosť je však len funkčná, nie priestorová).

v prostredí obsahujúcom komponenty viacerých rôznych hypercyklov môže dochádzať k vzájomnej súťaživosti, a teda i k biologickej evolúcii (súčasnosť - dosť nereálne)



Obr. X.5 Schéma hypercyklu. V daném hypercyklu každá z šesti molekul nukleové kyseliny (NA) kóduje enzym, který napomáhá replikaci následující nukleové kyseliny. Enzym kódovaný šestou molekulou nukleové kyseliny napomáhá replikaci první molekuly, čímž se celý cyklus uzavírá.

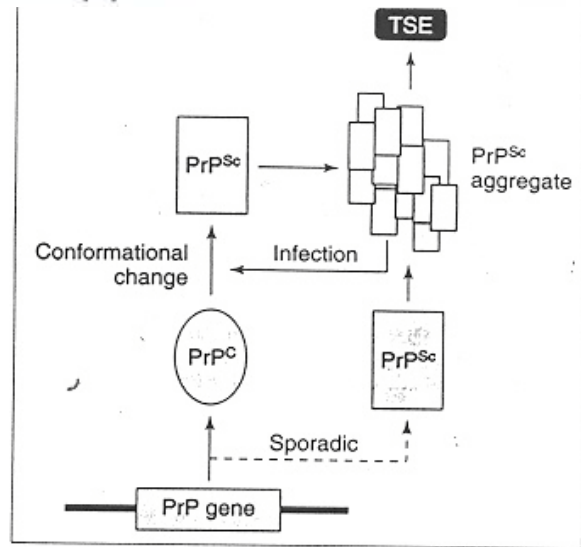


FIGURE 1. The prion cycle. The prion protein PrP is encoded by the PrP gene and usually takes up an  $\alpha$ -helical rich conformation (PrP<sup>C</sup>) in normal brain cells. Either as a consequence of a rare spontaneous misfolding event (dashed line) or due to infection with PrP<sup>Sc</sup>, the PrP<sup>C</sup> protein can take up the alternative  $\beta$ -sheet-rich PrP<sup>Sc</sup> conformation. The mutant PrP<sup>Sc</sup> conformer catalyses the conversion of remaining endogenous PrP<sup>C</sup> conformers to the mutant PrP<sup>Sc</sup> form that give rise to PrP<sup>Sc</sup> aggregates. The PrP<sup>Sc</sup> form of the protein is the 'infectious' form.

2) Na počiatku mohli byť systémy obsahujúce len nukleové kyseliny (nie bielkoviny)

táto hypotéza má v súčasnosti najviac zástancov

"Génová hypotéza vzniku života"

primárna aktivita - schopnosť autoreplikácie

katalyticky aktívne RNA - ribozýmy (svet RNA)

uplatnenie - najviac príkladov z oblasti opracovávanía RNA

- intrón v prekurzore rRNA prvoka Tetrahymena thermophila - dokáže hydrolyzovať rôzne substráty RNA vrátane vlastnej pre-rRNA, a taktiež katalyzovať prenosy nukleotidov z jedného nukleotidového reťazca na druhý, t.j. reakcie typu



t.j. rastie dĺžka jedného nukleotidového reťazca na úkor iného, takže tieto reakcie by sa mohli dobre uplatniť práve v prostredí, v ktorom nastávala súťaživosť medzi rôznymi oligonukleotidmi.

- ribonukleáza P (obsahuje i proteínovú zložku) -- štiepenie prekurzorov transferových RNA

- ribozýmom je vlastne i ribozóm - vznik novej peptidickej väzby je katalyzovaný časťou molekuly rRNA

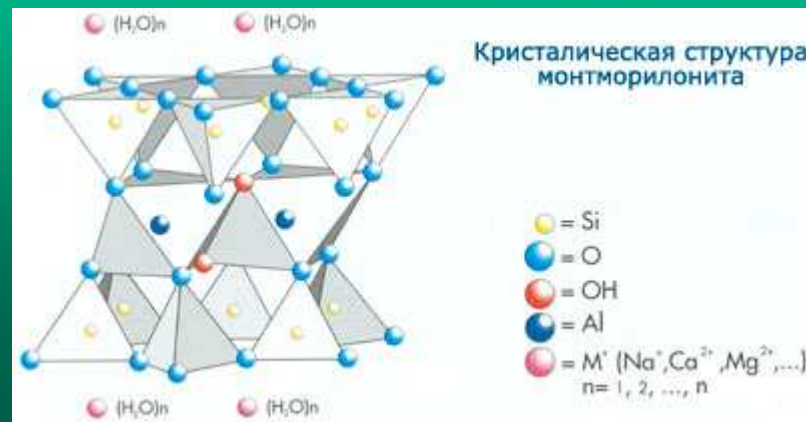
- ribozomy a koenzýmy by mohli byť relikťami z obdobia "života bez bielkovín", v ktorom nukleové kyseliny vykonávali všetky biologické, teda i katalytické funkcie.

## Ako vznikol život?

(ii) Akým spôsobom sa z príslušných monomérov (aminokyseliny, nukleotidy) sformovali bielkoviny a nukleové kyseliny bez pomoci enzýmovej katalýzy?

Predpokladá sa, že súčasne so vznikom jednoduchých organických látok sa v podmienkach primitívnej Zeme sformovali aj látky, ktoré mali schopnosť kondenzovať monoméry do polymérov – **kondenzačné činidlá**.

Najčastejšie sa v tejto súvislosti spomínajú polyfosfáty, karbodiimid a ílovitý minerál montmorilonit.





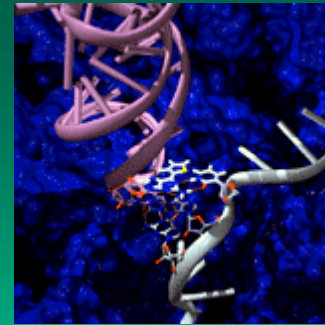
## Ako vznikol život?

(iii) Ako sa mohla vyvinúť schopnosť autoreplikácie? Objav katalyticky aktívnej RNA (nazýva sa **ribozým**) favorizuje myšlienku, že hľadaným primitívnym autoreplikátorom mohla byť práve táto molekula.

Termín **svet RNA** sa vžil na označenie súboru hypotéz o tom, že prvou etapou existencie života na Zemi bolo obdobie, v ktorom všetky pre život nevyhnutné funkcie – **autoreplikačnú aj metabolickú** (v zmysle enzýmovej katalýzy) – **vykonávali molekuly RNA.**

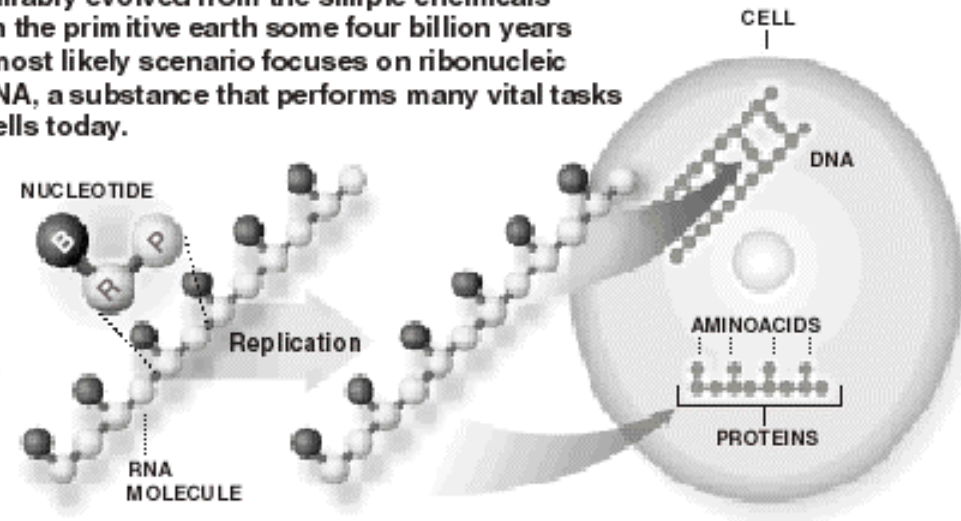
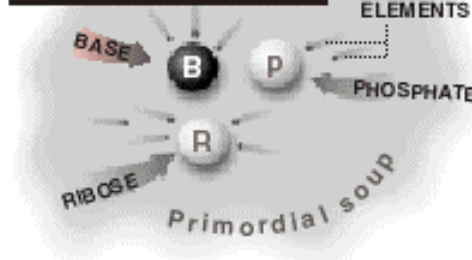
Svet RNA sa postupne pretransformoval do sveta ribonukleoproteínových komplexov.

Vďaka katalytickej aktivite RNA sa začali syntetizovať prvé proteíny.



## Best Scenario for Origin of Life

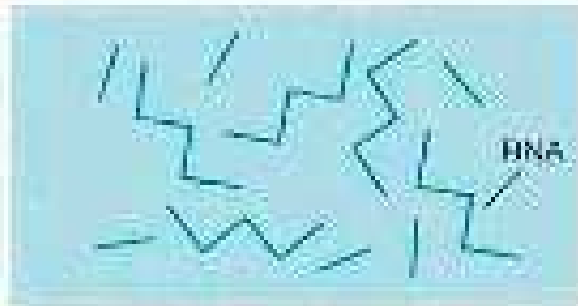
Life presumably evolved from the simple chemicals present on the primitive earth some four billion years ago. The most likely scenario focuses on ribonucleic acid, or RNA, a substance that performs many vital tasks in living cells today.



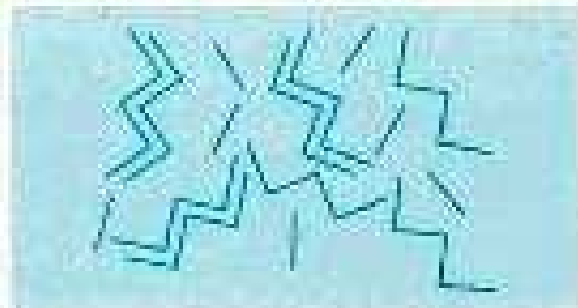
**1** Nucleotides, the building blocks of RNA, consist of the sugar known as ribose (R), attached to phosphate (P) and to a base (B). Each of these three components can be made from simple chemicals like formaldehyde, hydrogen cyanide and ammonia.

**2** The probability of RNA molecules forming spontaneously on the primitive earth seems very small at present. Maybe some other molecule gave rise to RNA. But once in existence, an RNA molecule could both store information and make copies of itself.

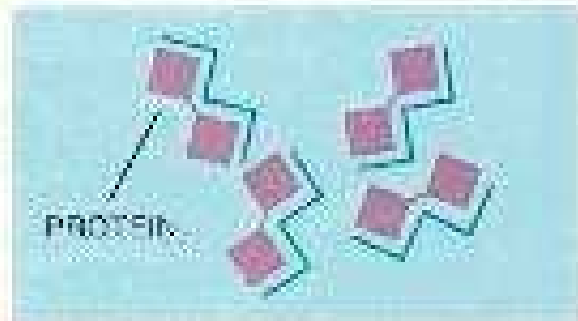
**3** The self-copying RNA molecules somehow acquired a cell membrane. The information-storage task was handed off to DNA and the job of catalyzing chemical reactions passed to proteins. RNA continued many data processing tasks. Today's cells are run by the troika of RNA, DNA and protein.



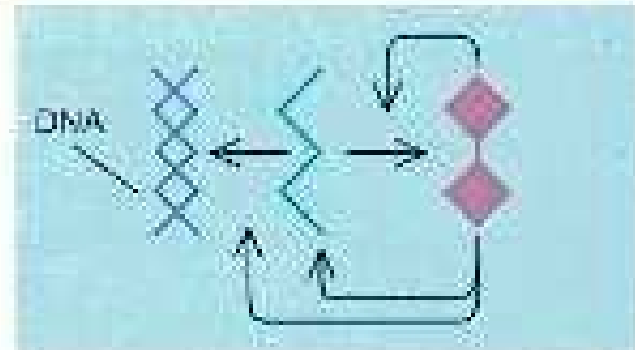
1. RNA forms from ribose and other organic compounds.



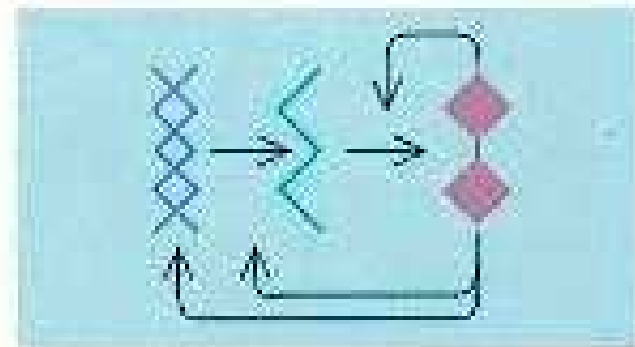
2. As RNA molecules evolve, they "learn" to copy themselves.



3. RNA molecules begin to synthesize proteins that can serve as catalysts.



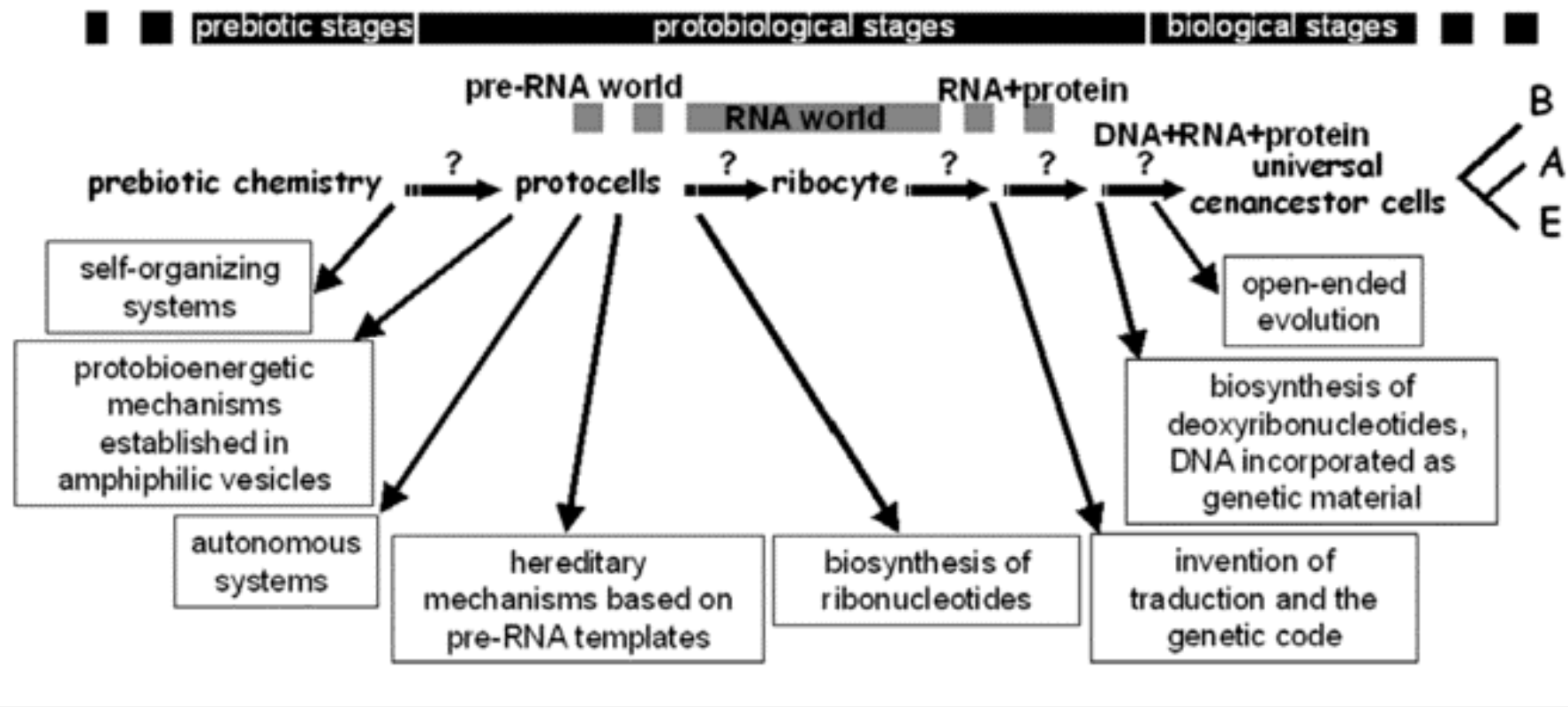
4. The proteins help the RNA replicate and synthesize proteins more efficiently. They also help the RNA make double-strand versions of itself that evolve into DNA.



5. DNA takes over. It uses RNA to make proteins, which in turn help DNA make copies of itself and transfer its genetic information to RNA.

## EVOLUTION VIA THE RNA WORLD

## Stages in the origin of life



**Fig. 3.** A more detailed scheme of a hypothetical transition from prebiotic chemistry to cells. Protobiological stages comprise the origin of autonomous systems (protocells without genome), one-polymer protocells (including ribocytes [42], i.e. protocells based only in RNA) and the early phases of a two-polymer (RNA and protein) world. True biological stages started with DNA-RNA-protein cells and their open-ended evolutionary capacities, i.e. the origin of life [34]. Arrows with question marks indicate unknown processes. The scheme does not imply a temporal scale, e.g. the transition from early DNA-RNA-protein cells to the universal ancestor might have been more prolonged in time. B: *Bacteria* domain, A: *Archaea* domain, E: *Eucarya* domain.

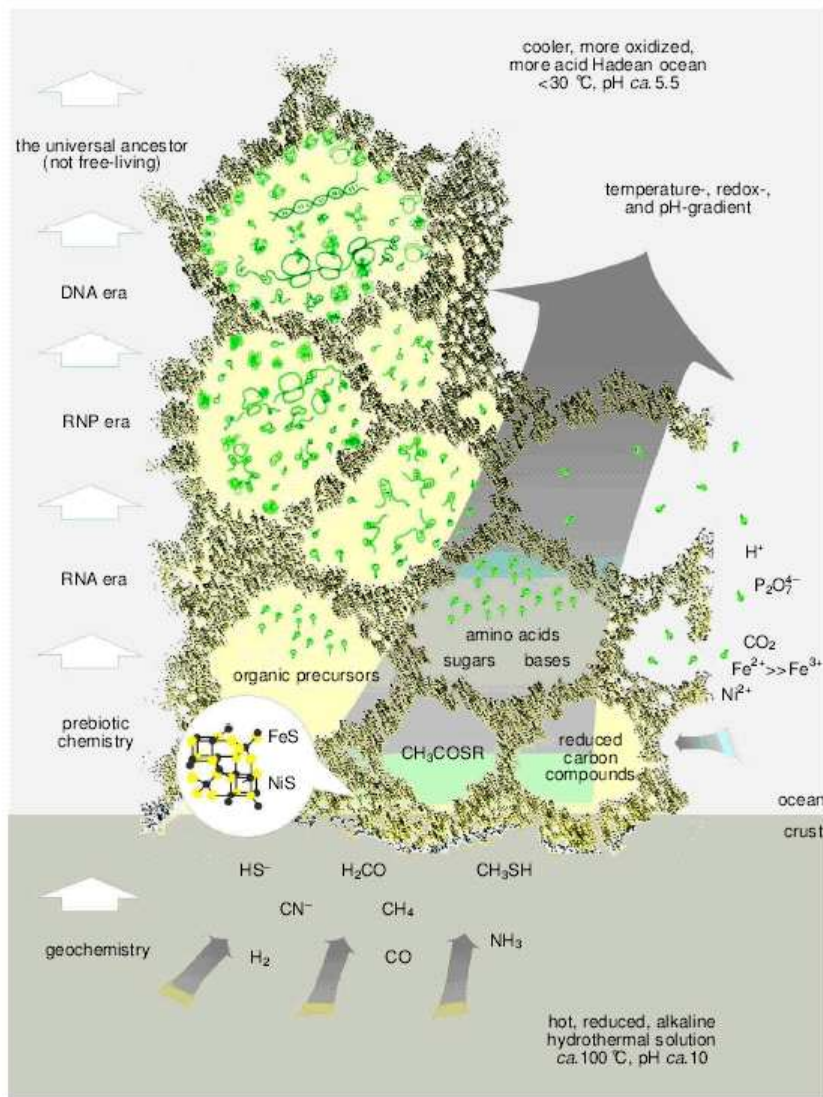


Figure 3. A model for the origin of life at a redox, pH and temperature gradient at a submarine hydrothermal vent. See Russell & Hall (1997) and Russell *et al.* (2003) for details. The terms RNA, RNP and DNA era (instead of 'world') are used to emphasize that no nucleic acid evolution is possible without a supporting geochemistry, later biogeochemistry and finally biochemistry to provide a steady flow of adequate concentrations of polymerizable precursors (for example nucleotides) and thus to underpin any sort of replication.

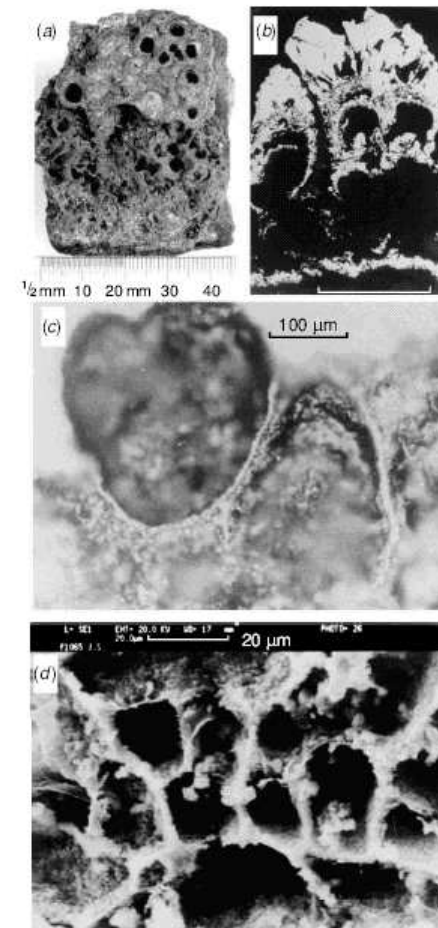


Figure 2. Iron monosulphide precipitates. (a) A 360 Myr old hydrothermally formed iron sulphide chimney from Silvermines, Ireland, (Boyce *et al.* 1983). (b) Electron micrograph of a thin section of a 360 Myr old pyrite precipitate found at the Tynagh ore deposit, Ireland (Banks 1985). (c) Enlargement of (b). (d) Electron micrograph of a structure formed in the laboratory by injecting Na<sub>2</sub>S solution (500 mM, representing hydrothermal fluid) into FeCl<sub>2</sub> solution (500 mM, representing the iron-bearing Hadean ocean) (Russell & Hall 1997). High concentrations were used to produce an examinable structure. Similar structures are produced at submarine hydrothermal vents by porous clay (Geptner *et al.* 2002).

**Martin W., Russell M.J.: On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 358, 59-83, 2003**

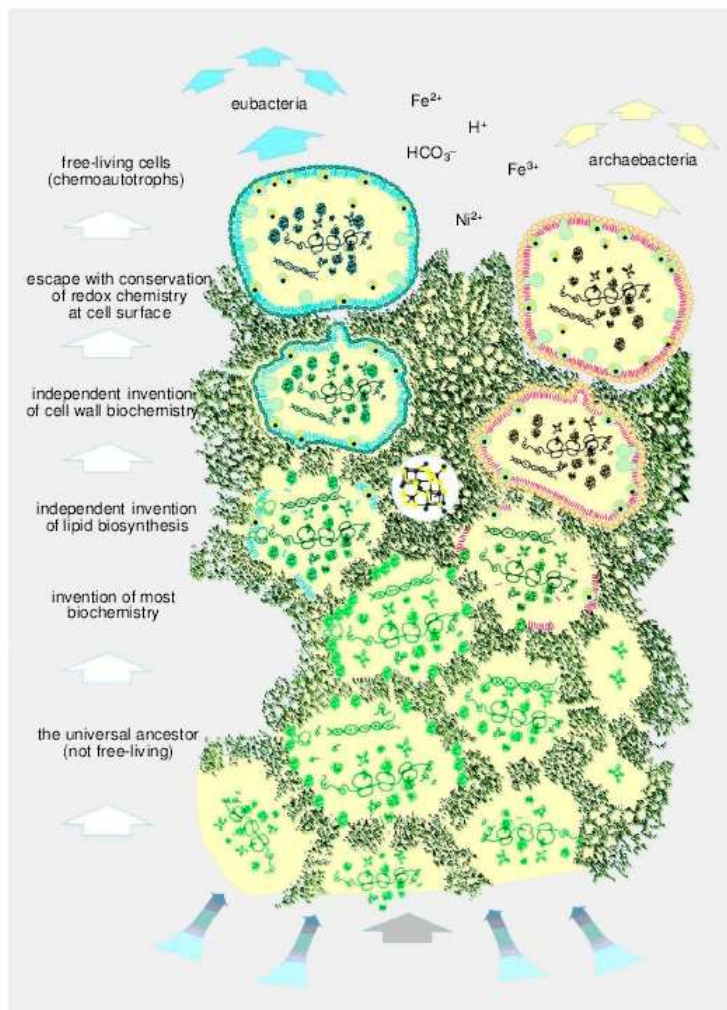


Figure 5. A model for the origin of membrane-bounded prokaryotic cells from iron monosulphide compartments within which the chemoautotrophic origin of life could have occurred. The drawing implies (but does not show) very large populations of replicating systems and unspecified physical distances (within, however, a single submarine seepage site) between diversifying replicating systems *en route* to free-living eubacterial and archaeobacterial cells. Various kinds of genetic exchange that have been repeatedly postulated (Woese 2002) before the origin of a truly membrane-bounded cellular organization of prokaryotes could be easily accommodated by the model. Note that iron monosulphide precipitates are initially colloidal (Russell & Hall 1997) and inflated to the general types of structure shown in figure 2 by exhaling hydrothermal fluid.

A viable prokaryote  
A facultatively anaerobic heterotroph with an endosymbiotic organelle—the common ancestor of mitochondria and hydrogenosomes—in the cytosol. The archaeobacterial genetic apparatus (ribosomes, mRNAs, tRNA synthetases, translation factors, DNA maintenance, and so forth) in the cytosol is expressing many genes acquired from the symbiont, in particular eubacterial genes for the enzymes of the glycolytic pathway, for which the transfer and fixation was selected under the model, and genes for eubacterial lipid synthesis, whose transfer and fixation was fortuitous. Accumulation of eubacterial lipids at their site of synthesis in a compartment (the cytosol) that is not prepared to accommodate them gives rise to the seeds of a novel endomembrane system (ER, nuclear membrane, vesicular transport). Invention of eubacterial novelties such as GT-AG introns, the MCF, mitochondrial protein import, novel signal transduction pathways, cytoskeleton, endocytosis, and eventually mitosis, flagella, *et cetera*.

One prokaryote living within another (examples exist). Fortuitous (duplicative) transfer of eubacterial genes from symbiont to the archaeobacterial chromosomes of the host with expression by archaeobacterial gene expression machinery (RNA polymerase, transcription factors TBP, TFB, TFE) and translation on archaeobacterial ribosomes. Importantly, eubacterial proteins so expressed are not targeted back to the organelle, because there is no protein import machinery yet. The organelle does not export ATP, because the ATP-ADP translocase (a member of the mitochondrial carrier family, MCF) does not yet exist. Expression of transferred genes for eubacterial carbon importers and the glycolytic pathway yield carbon precursors and ATP production in the cytosol, replacing the function of autotrophic pathways, leading to their loss. Acquisition accounts for the extremely narrow biochemical diversity of ATP-producing pathways found in eukaryotes today—glycolysis in the cytosol and pyruvate oxidation in the cytosol, in mitochondria, or in hydrogenosomes.

Intimate and stable symbiosis based on hydrogen transfer, a very well known principle in microbial physiology. The hydrogen-dependent chemoautotroph is strictly dependent upon waste hydrogen produced by the eubacterium, a dependence that selects for cell shapes (not phagocytosis) which permit the autotroph (later host) to cling tightly to its hydrogen-producer. Because the specialized autotroph has no carbon importers, the eubacterium can only support the growth of both partners (fermentation for fuel, hydrogen for the host) as an intracellular symbiont *if and only if* the autotroph can direct flux of reduced carbon from the environment to the symbiont. Thus, the host either has to invent its carbohydrate metabolism from scratch, or it can express eubacterial genes for carbon importers and glucose breakdown (as opposed to glucose synthesis), which the generalist symbiont possesses in abundance. If that transfer and expression occurs, the host can feed its symbiont and the latter can become an endosymbiont.

anaerobic syntrophy

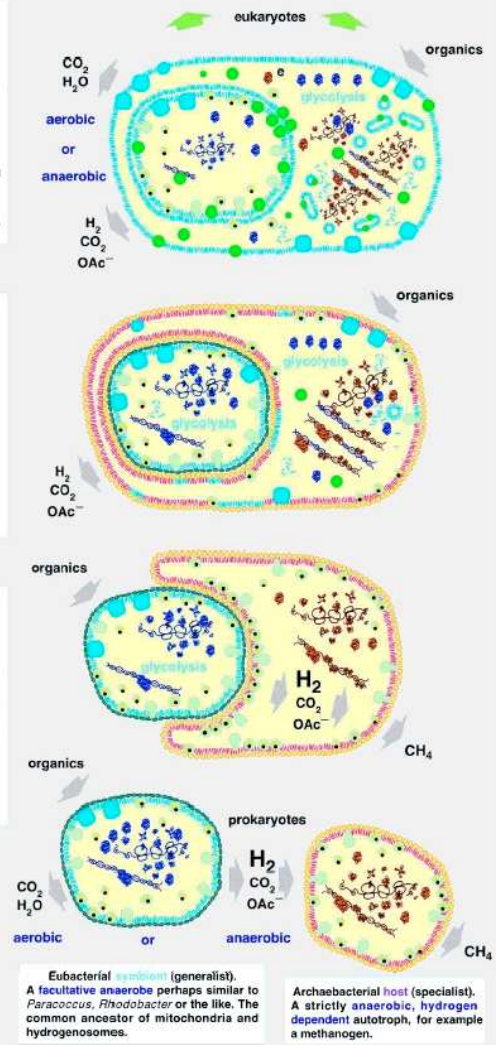
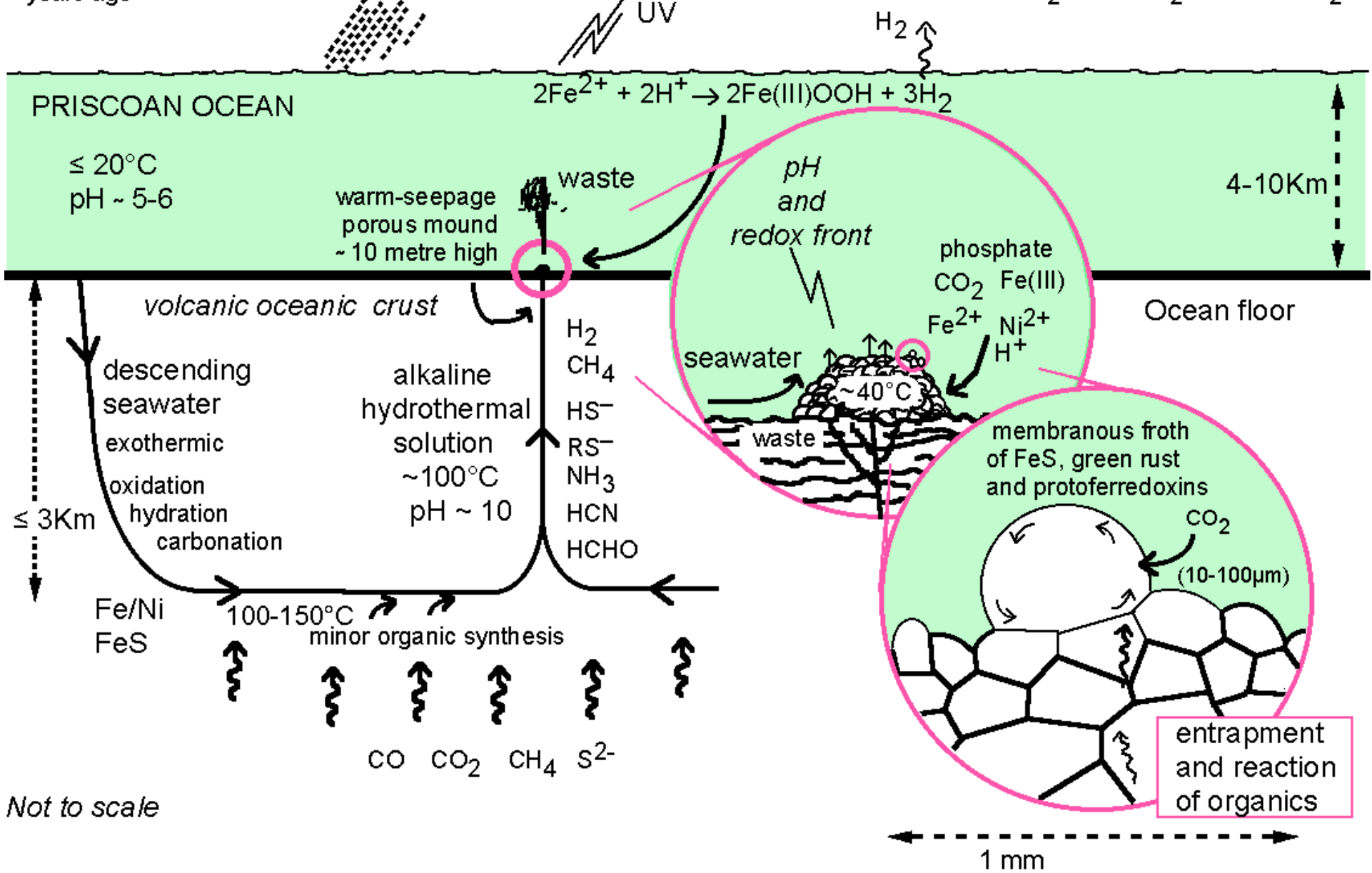


Figure 7. A summary of a model suggested for the origin of eukaryotes (Martin & Müller 1998), including a possible route for the principle underlying the origin of the nucleus under that model as discussed (Martin 1999a), where it was suggested that the origin of the endoplasmic reticulum endomembrane system preceded the origin of the nuclear compartment. See text.

Martin W., Russell M.J.: On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358, 59-83, 2003

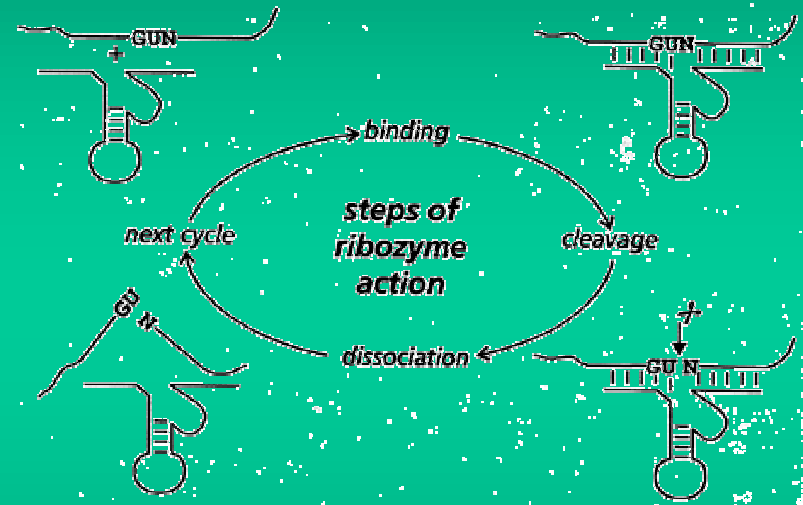
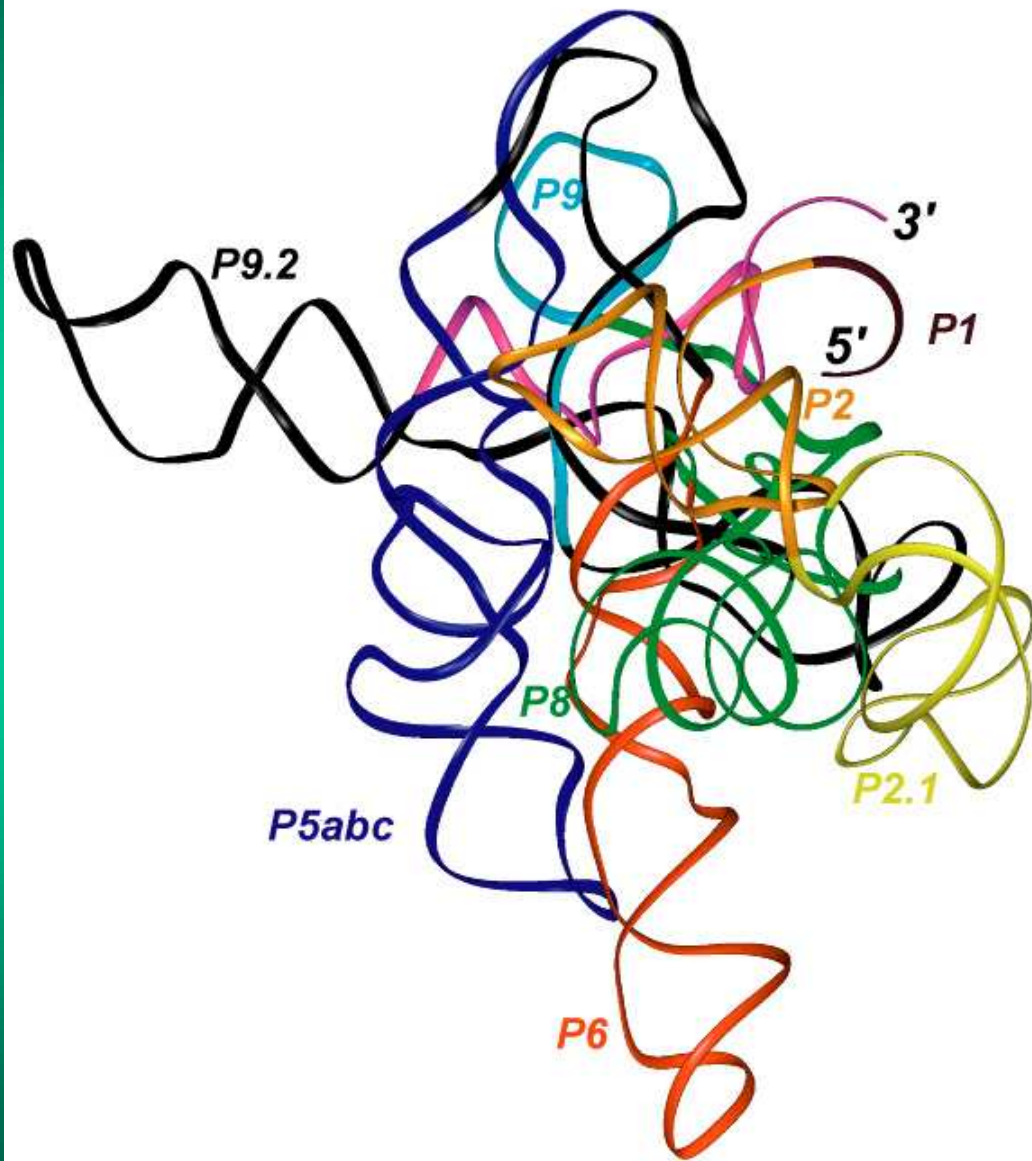
~ 4.3 thousand million years ago

Atmosphere ~10 bars of  $\text{CO}_2 > \text{CO} > \text{N}_2 > \text{HCl} \gg \text{SO}_2$



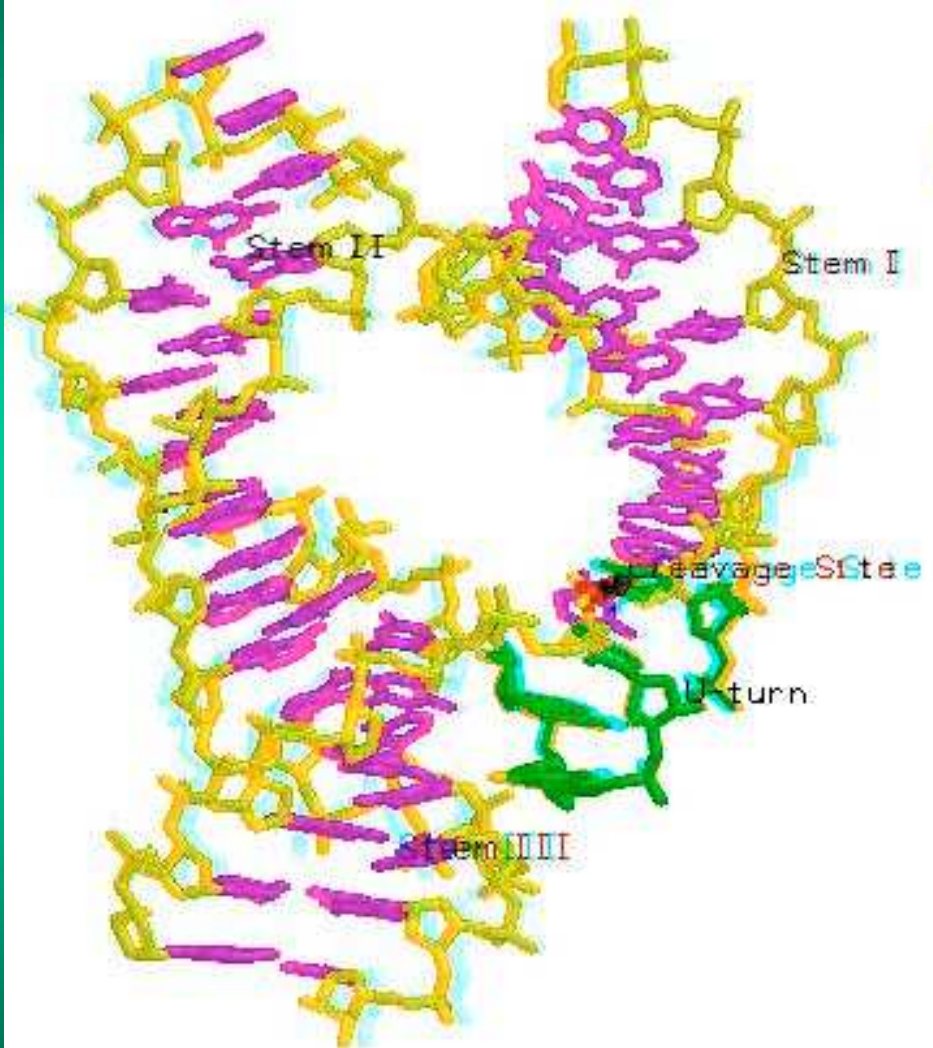
Not to scale

*Tetrahymena thermophyla* ribozyme L21

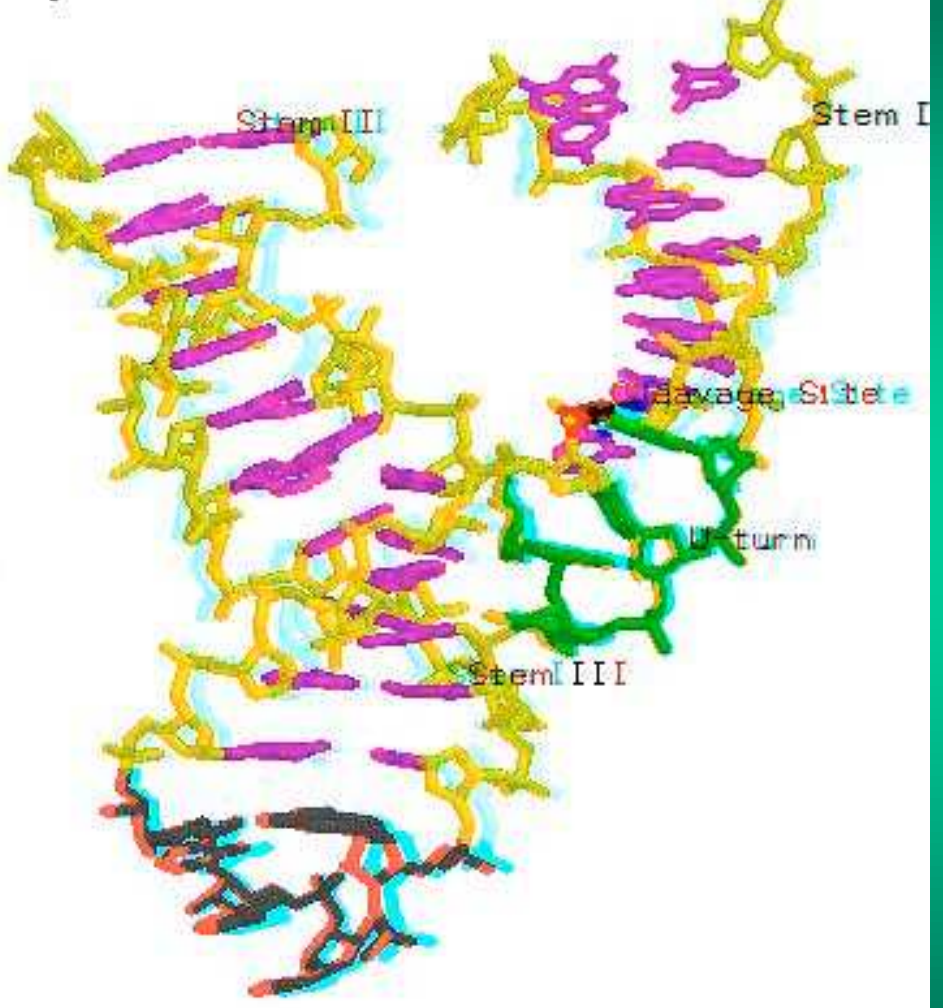




# Hammerhead Ribozyme Structures



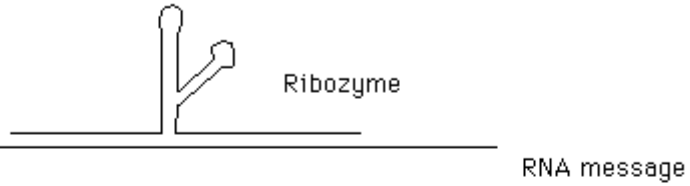
Ref. 1 (Pley, et al)



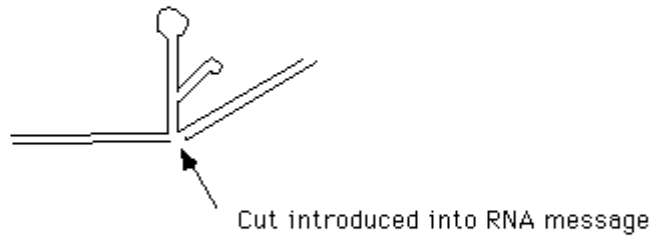
Ref. 2 (Scott, et al)

### Mode of Action of A Ribozyme—the Molecular Scissors

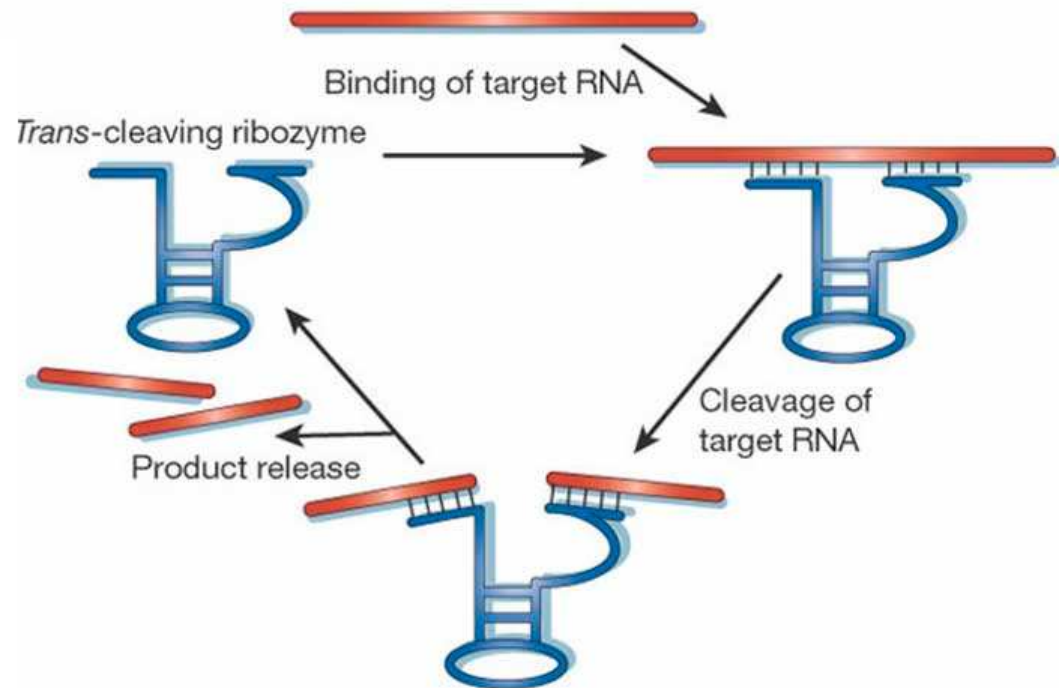
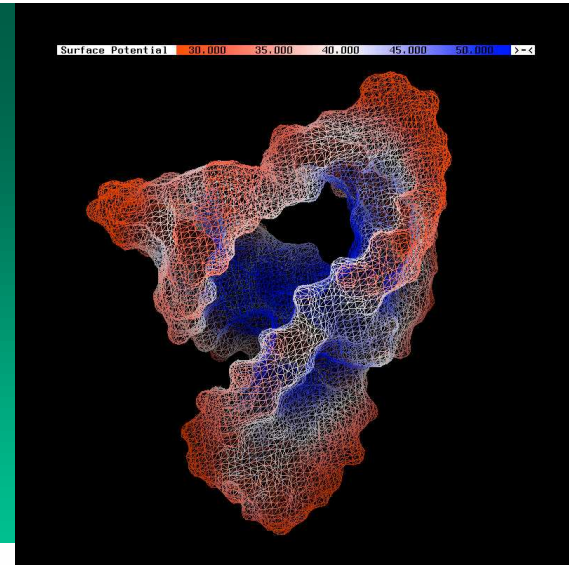
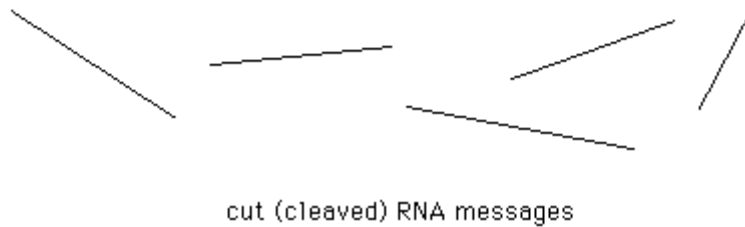
(a) Ribozyme 'joins up' with the RNA message



(b) Ribozyme cuts the RNA message



(c) A large proportion of the RNA messages are cut. Thus a corresponding protein is not produced



Applications of trans-cleaving ribozymes for gene inhibition  
(Sullenger BA, Gilboa E. Emerging clinical applications of RNA. Nature. 2002)

## Ako vznikol život?

Spočiatku bola **syntéza proteínov náhodným procesom**, ktorý sa neskôr zmenil na proces riadený maticou RNA (akási prvotná mRNA).

**RNA ako nosiče genetickej informácie** boli podľa všetkého dosť nestabilné a nepresné.

Významným posunom vo vývoji smerom k živým sústavám ako ich poznáme v súčasnosti bolo **objavenie sa DNA**.

V porovnaní s RNA je DNA oveľa stabilnejším a presnejším nosičom genetickej informácie.

Následne molekuly **DNA prevzali úlohu replikátorov a bielkoviny úlohu enzýmov**.

Bielkoviny sú v porovnaní s RNA podstatne efektívnejšími katalyzátormi a aj paleta ich funkcií je oveľa pestrejšia.

Napriek tomu sa žiada dodať. Pretože molekuly RNA vykazujú isté typy katalytickej aktivity aj v súčasnosti, existuje názor, že svet RNA nezanikol, ale sa istým spôsobom začlenil do súčasnej podoby života.

## Ako vznikol život?

Nevyhnutnou podmienkou pre zabezpečenie stability spomenutých ribonukleoproteínových translačných systémov (ako prvotných foriem života), bolo ich ohraničenie voči okoliu.

Museli sa sformovať prvé membrány. Takéto membrány mohli pozostávať z **fosfolipidov**, ktoré vo vodnom prostredí vytvárajú dvojvrstvové guľovité štruktúry – lipozómy.

Priekopníkmi na poli skúmania vzniku života boli ruský biochemik A.I. Oparin a anglický evolucionista J. Haldane (1920-30).

Nezávisle na sebe si uvedomili, že povrch a zloženie atmosféry na primitívnej Zemi boli odlišné od súčasnosti.

V takýchto podmienkach mohli zo zmesi plynov za pomoci elektrických výbojov vzniknúť jednoduché organické látky a formovať sa jednoduché formy života.

# Sidney Fox's Experiment-- amino acids + heat > protein chains

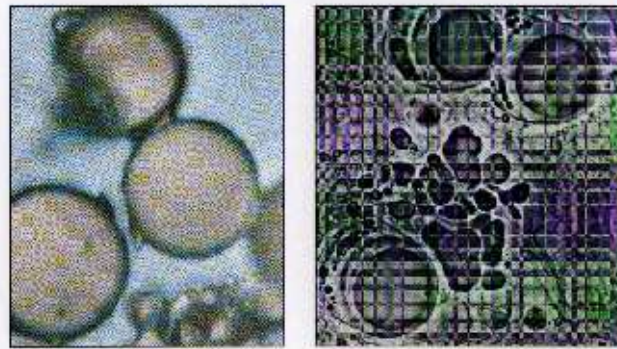
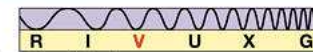
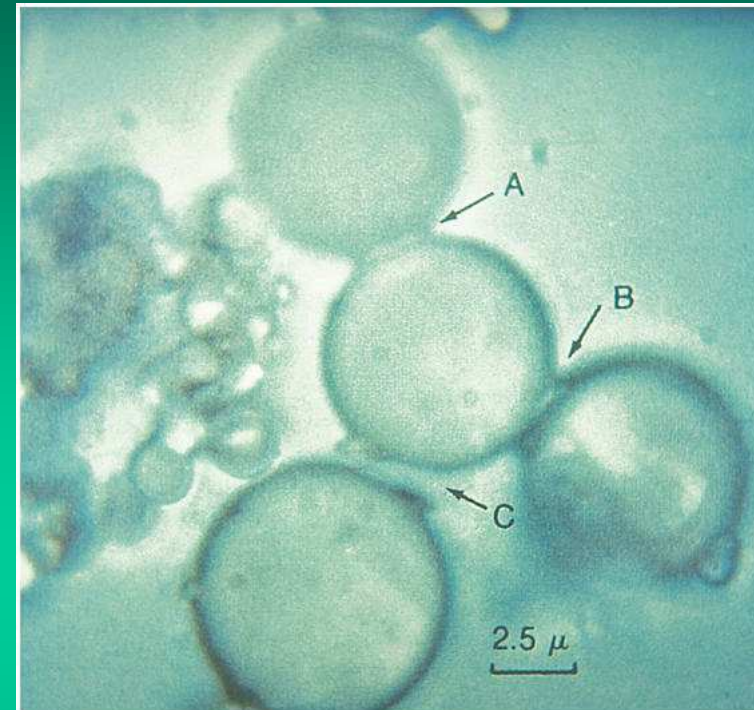


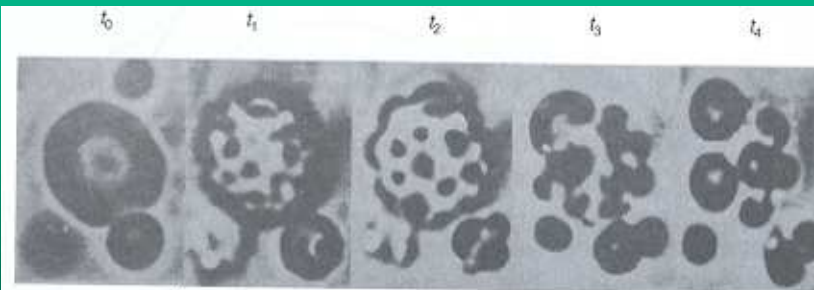
Fig. 17.5 Self-assembling microscopic spheres of (a) proteins and (b) lipids.



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Obr. X.3 Mikrosféry: Duté pravidelné nebo nepravidelné útvary vznikají rozpouštěním, případně opakovaným rozpouštěním a vysušováním proteinoidů. Tvar a velikost útvarů závisí na složení výchozí směsi aminokyselin i rozpouštědla. Podle Sekerky (1980).



↑  
polyfosfát

Obr. X.2 Dělení koacervátů. Velké koacerváty, vytvořené ze směsi protaminu a polyadeninu, se po přidání polyfosfátu rozdělí na velký počet koacervátů menších. V jiných systémech po přidání vhodného substrátu naopak docházelo ke zvětšování objemu koacervátů. Před přidáním polyadeninu, tj. v čase  $t_0$ , byl průměr velkého koacervátu cca 12  $\mu\text{m}$ . Podle Oparina a Gladilina (1980).

## Ako vznikol život?

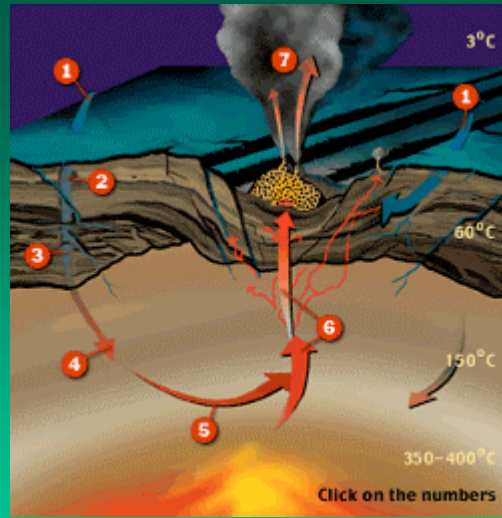
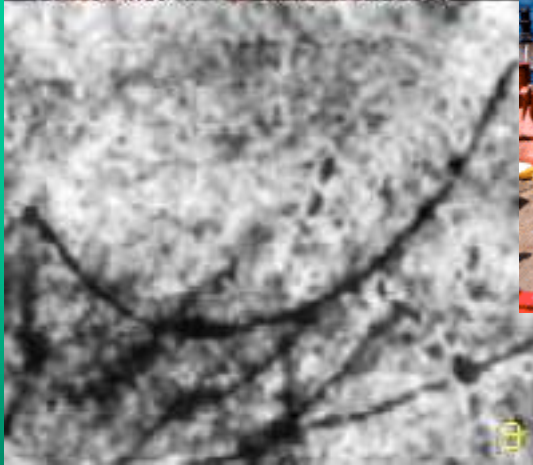
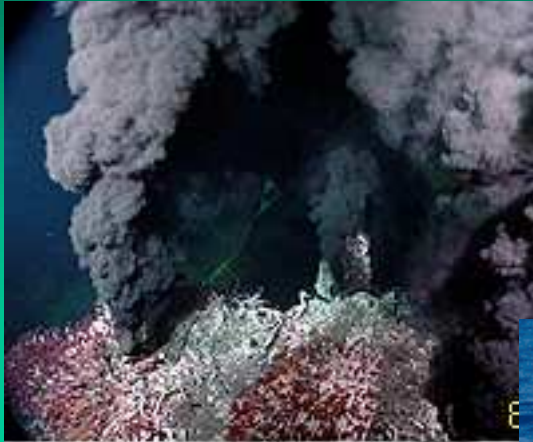
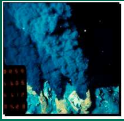
V poslednom období púta čoraz väčšiu pozornosť hypotéza, že život mohol vzniknúť v hĺbinách morí, vďaka geotermálnej energii sopiek.

Významnú úlohu mohli pri tom zohrávať sulfidy železa a niklu. Predpokladá sa, že primitívna Zem, jej atmosféra a oceány boli oveľa horúcejšie ako v súčasnosti;

\* hlbokomorské hydrotermálne systémy boli jedinými miestami na Zemi, kde život mohol nájsť ochranu pred prvotným katastrofickým bombardovaním meteoritmi;

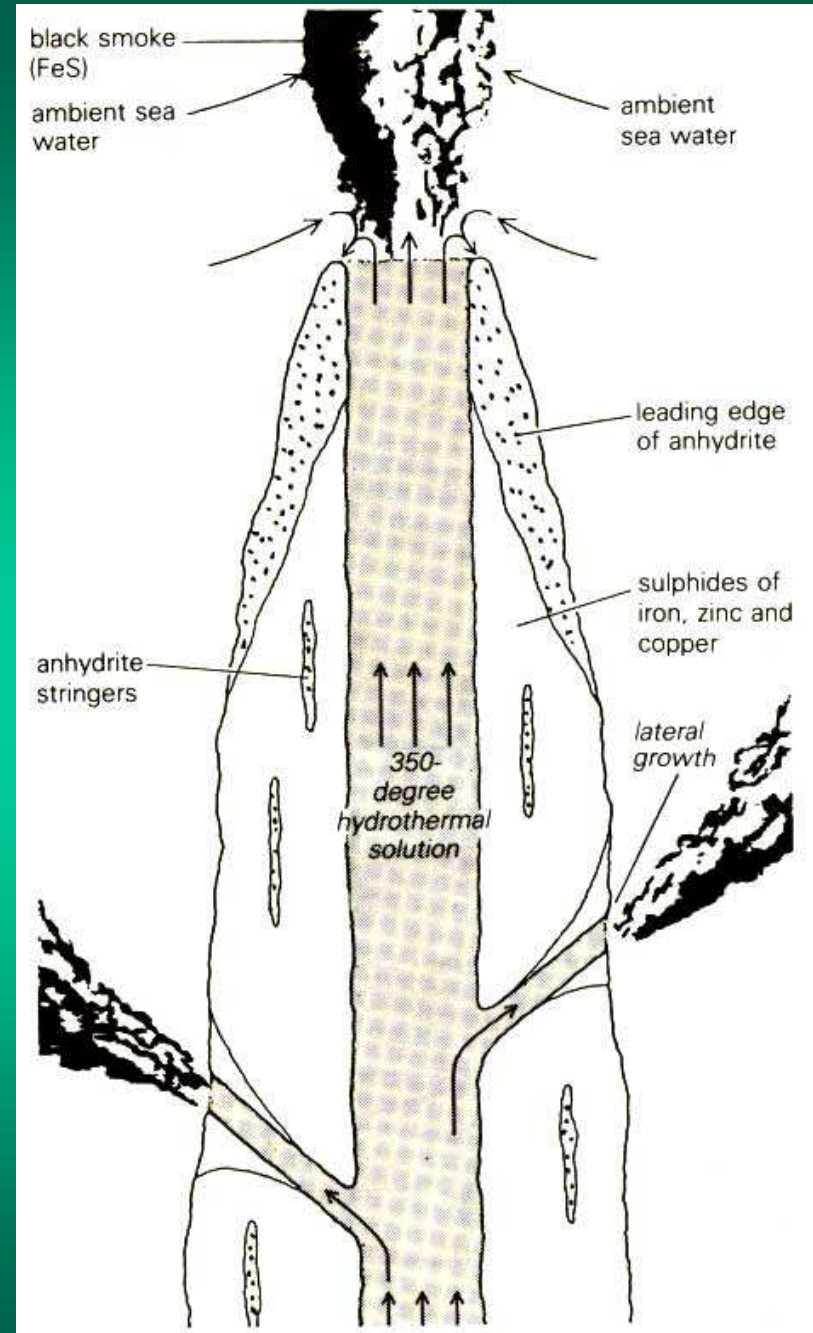
\* prebiotická syntéza organických zlúčenín sa začala na rozhraní tuhá látka/tekutina pri vysokých teplotách;

\* spoločným predkom všetkých organizmov bol hypertermofilný mikroorganizmus.







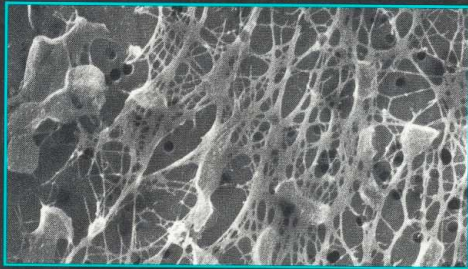




Wiley Series in Ecological and Applied Microbiology  
Ralph Mitchell, Series Editor

# EXTREMOPHILES

## MICROBIAL LIFE IN EXTREME ENVIRONMENTS



Edited by

**KOKI HORIKOSHI**  
**WILLIAM D. GRANT**

# Život v extrémnych podmienkach

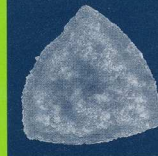


Volume 7 • Number 1 • February 2003

# Extremophiles

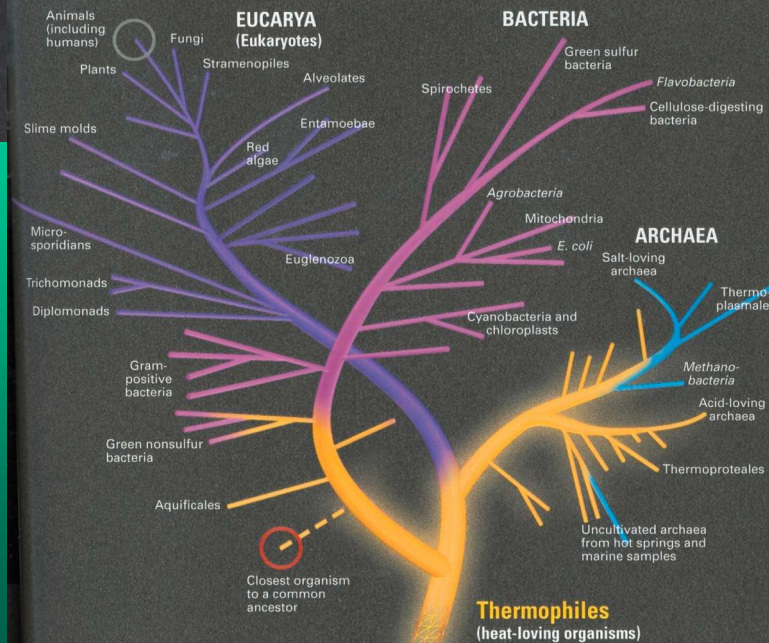
Life Under Extreme Conditions

Official organ of  
the International  
Society for  
Extremophiles



Springer

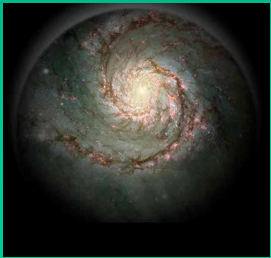
Online First  
Immediately Online  
<http://link.springer.de>  
<http://link.springer-ny.com>  
fast publication



## Kedy vznikol život?

Planéta Zem sa sformovala pred približne 4,6 miliardami rokov.

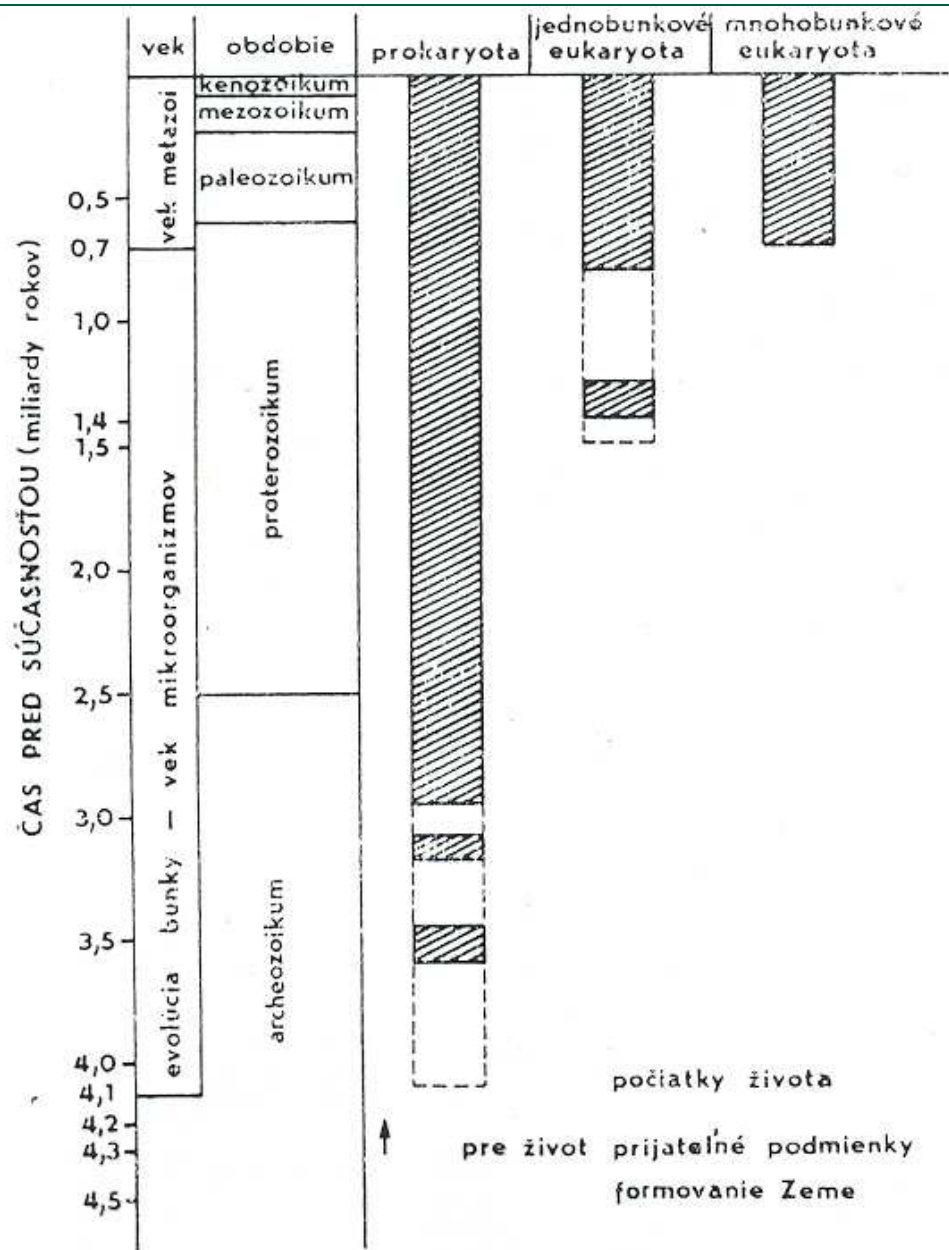
Predpokladá sa, že pre život prijateľné podmienky sa na nej nevytvorili skôr ako pred 4 miliardami rokov (najmä z dôvodu intenzívneho kozmického žiarenia a bombardovaniu meteoritmi; zemská kôra sa len formovala).



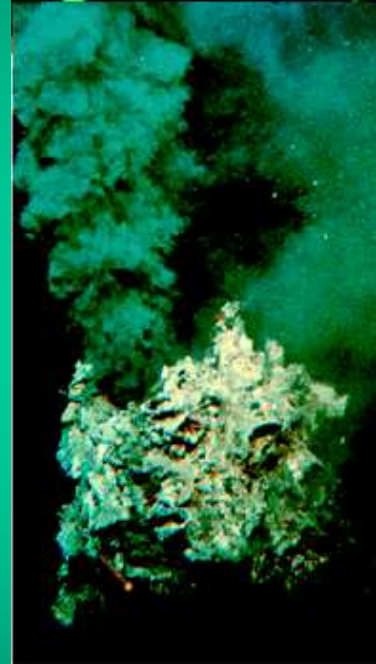
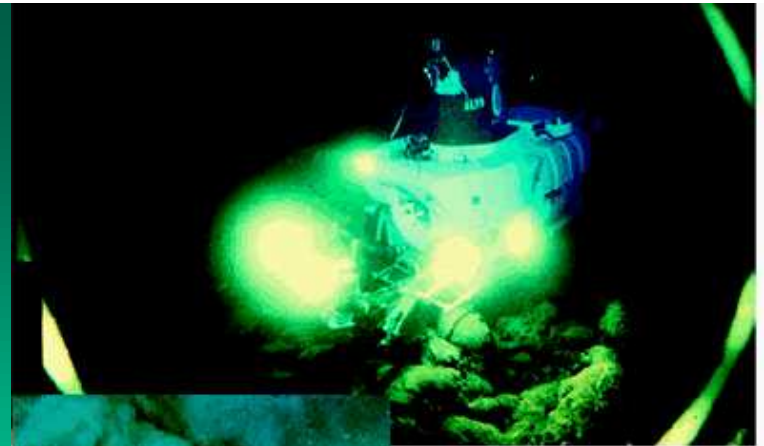
Organické zlúčeniny však mohli vzniknúť v období pred 4,0 až 4,2 miliardami rokov.

Nálezy najstarších mikrofosílií, ktoré dokumentujú prítomnosť bunkovej formy života na Zemi, sú datované do obdobia 3,5 až 3,8 miliardy rokov.

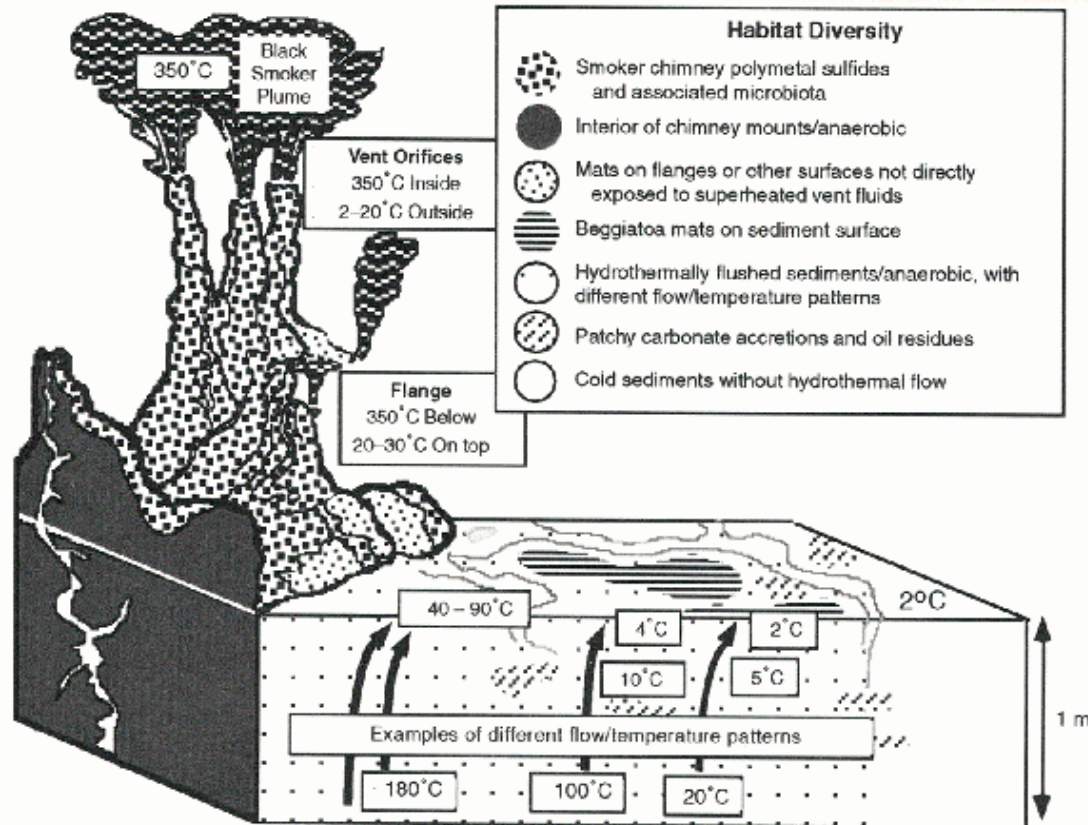
Z toho vyplýva, že proces vzniku života od najjednoduchších organických látok až k prvým bunkám sa odohrával v období pred 3,5 až 4,0 miliardami rokov



Obr. 1. Na pozadí geologickej škály času sú znázornené významné mezníky v histórii života na Zemi. Stĺpce znázorňujú vek troch rovin organizácie života (prokaryotických, jednobunkových eukaryotických a mnohobunkových eukaryotických organizmov). Prerušované čiary vyjadrujú nekompletnosť najstarších fosilných záznamov.



### Microbial Habitat Diversity at Hydrothermal Vent Sites



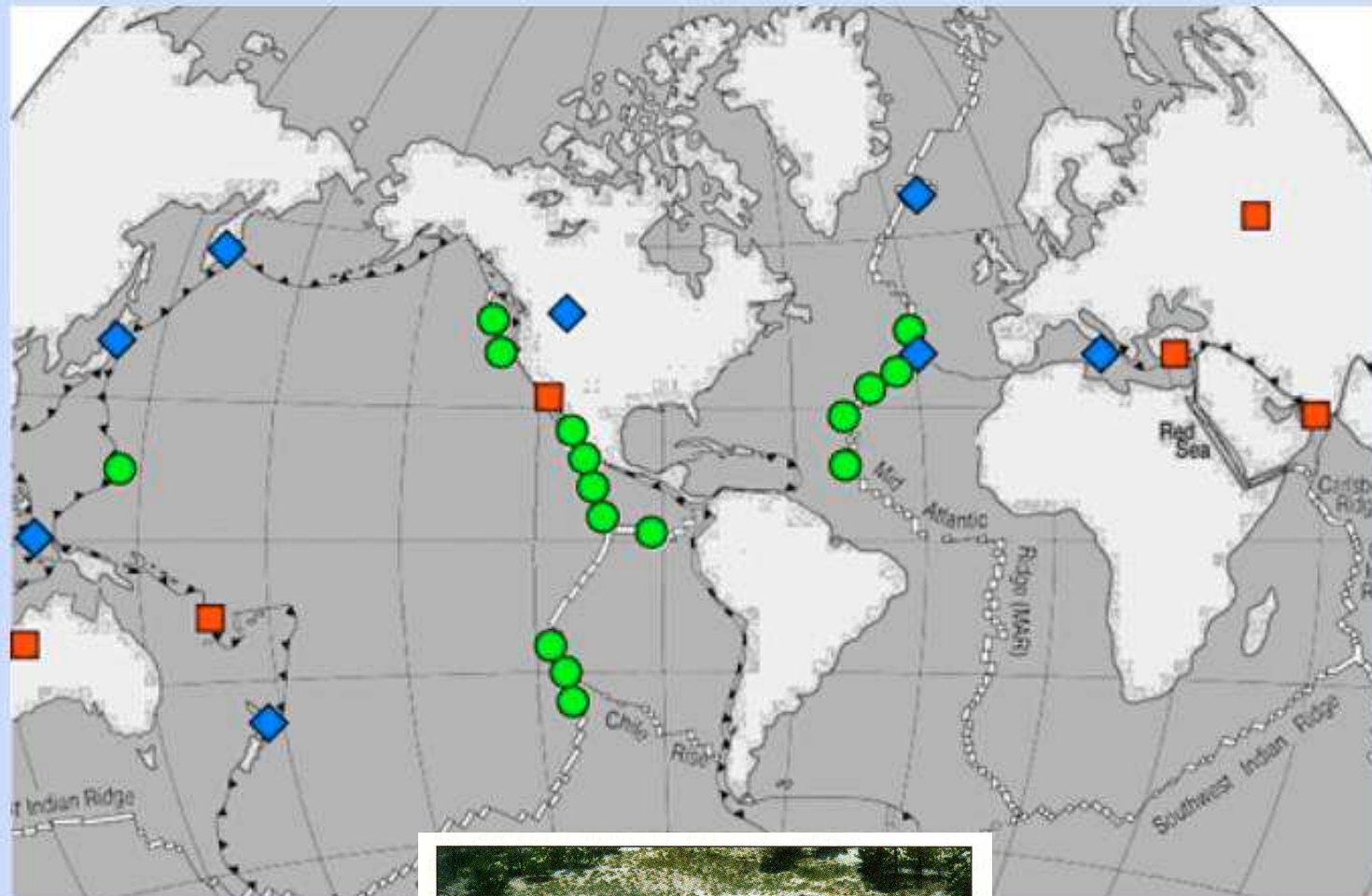
Hydrothermal Vent Black Smoker 21<sup>N</sup> as seen from the WHOI Submersible *Alvin*—Essential for sampling hydrothermal vent sites.

**THERMOPHILES**  
The keys to molecular evolution and the origin of life?



Edited by Juergen Wiegand and Michael W. W. Adams

Also available as a printed book see title verso for ISBN details



**Fig. 1.** A world map showing some of the deep-sea vent sites (circles), terrestrial hydrothermal sites (diamonds) and ancient volcanic massive sulfide (VMS) deposits (squares).

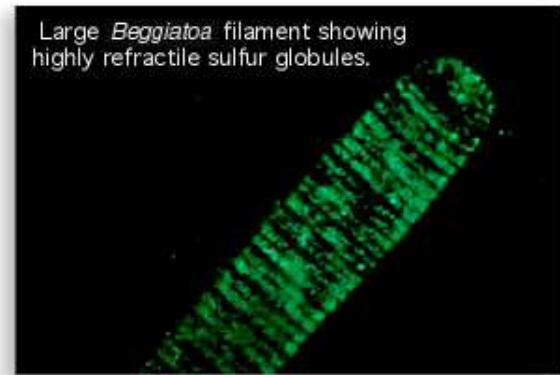


**Not feeling the heat.** Octopus Spring in Yellowstone National Park provides a favorable habitat for thermophilic bacteria. [Photograph courtesy of Michael Kühl]

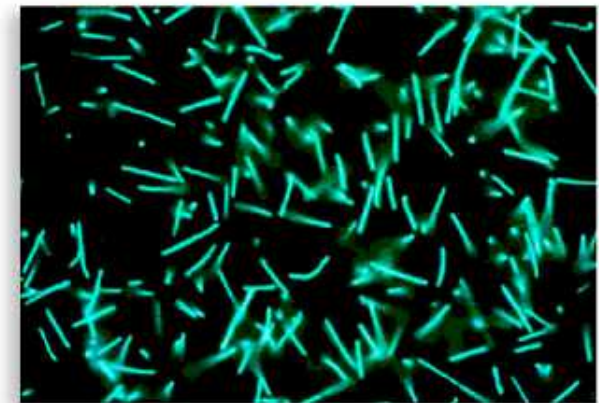
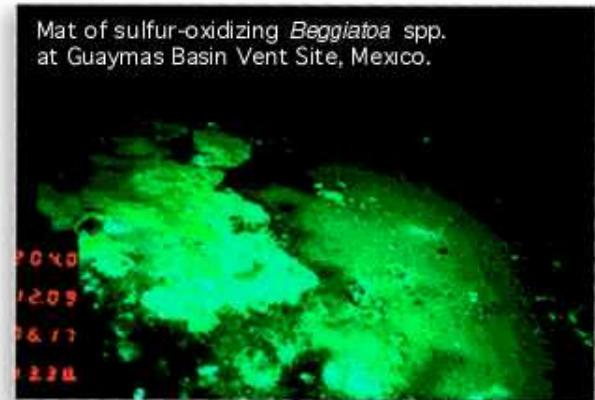
Reysenbach, A. L., and S. L. Cady. 2001. Microbiology of ancient and modern hydrothermal systems. *Trends in Microbiology* 9(2):79-86.



Large *Beggiatoa* filament showing highly refractile sulfur globules.



Mat of sulfur-oxidizing *Beggiatoa* spp. at Guaymas Basin Vent Site, Mexico.



*Methanopyrus kandleri*, a hyperthermophilic methanogen from deep-sea hydrothermal vent sites



# Kde vznikol život?

Vznikol na Zemi, alebo sem bol prinesený z vesmíru?

Hypotéza **panspermie** uvažuje o mimozemskom pôvode života a jeho šírení sa kozmickým priestorom.

V základoch bola sformulovaná už začiatkom 20. storočia švédskym chemikom **Svante Arrheniom**.

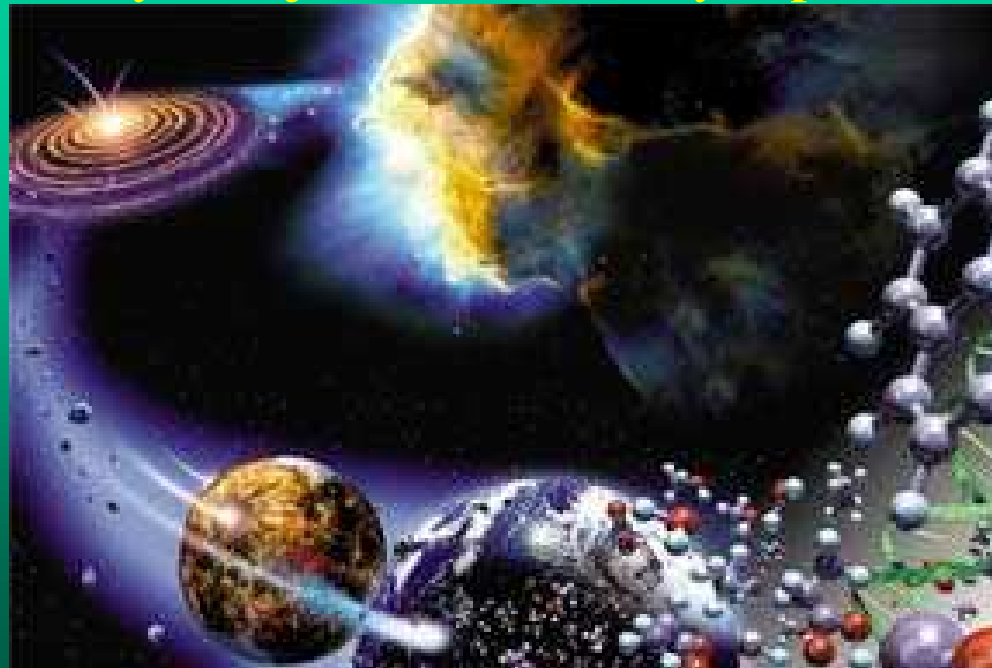


## Kde vznikol život?

Vznikol na Zemi, alebo sem bol prinesený z vesmíru?

Nerieši otázku vzniku života (spravidla vychádza z predpokladu, že život je večný – eternizmus), ale zaoberá sa len spôsobmi jeho rozširovania vo vesmíre (tlak žiarenia, meteority, kométy, prípadne zahŕňa aj špekulácie o mimozemských inteligentných bytostiach).

Idey o extraterestrickom pôvode života sú stále živé i vďaka niektorým najnovším vedeckým poznatkom.



# Život v extrémnych podmienkach (na Zemi; i mimo nej?)



voda na **Marse** a mesiacoch **Jupitera** Európa a Callisto

## Kde vznikol život?

Patria k nim napr. objavy mikroorganizmov (tzv. extrémofilov), ktoré sú schopné života aj vo veľmi extrémnych podmienkach (teplota, tlak, pH, radiácia, vysoké koncentrácie toxických látok), t.j. takých, ktoré sa donedávna pokladali za nezlučiteľné so životom.

Pretože voda, ako nevyhnutná podmienka pre život v podobe v akej ho dnes poznáme, sa vyskytuje aj mimo Zeme (napr. na Marse a mesiacoch Jupitera Európa a Callisto) existujú snahy dokázať stopy života prednostne na týchto mimozemských stanovištiach.

Prvé organizmy žili pravdepodobne v anaeróbnom prostredí (kyslík sa v atmosfére takmer nevyskytoval).

Ich metabolizmus mohol byť chemoheterotrofný (založený na využití organických látok, ktoré vznikli prebiotickým spôsobom).

V súčasnosti sa však považuje za pravdepodobnejšie, že metabolizmus prvých buniek bol chemoautotrofný (zdrojom energie mohli byť  $\text{FeCO}_3$  a  $\text{H}_2\text{S}$ ).

Pomerne skoro sa objavila aj schopnosť fotosyntézy.

Využitie slnečnej energie pre metabolické procesy nemuselo byť od počiatku späté s kyslíkom (niektoré fotosyntetizujúce baktérie využívajú aj v súčasnosti ako donor elektrónov  $\text{H}_2\text{S}$ ).

približne v období pred dvomi miliardami rokov sa začal  $\text{O}_2$  postupne využívať ako akceptor elektrónov pri aeróbných organizmoch

Avšak vznik baktérií, ktoré boli schopné využívať pri fotosyntéze ako zdroj elektrónov  $\text{H}_2\text{O}$ , predstavuje významný medzník v evolúcii života na Zemi.

Podobali sa na súčasných predstaviteľov **cyanobaktérií** (siníc). O ich dávnej existencii svedčia makroskopické fosílné útvary – stromatolity, ktoré boli vytvorené ich činnosťou pred približne **3,5 miliardami rokov**.

**Stromatolity** – makroskopické útvary pripomínajúce kamenné stĺpy ukončené hemisférami, ktoré boli vytvorené činnosťou cyanobaktérií (siníc).



Pre vnútornú štruktúru stromatolitov je typické jemné **koncentrické vrstvenie**, ktoré je výsledkom pravidelných zmien v životnej činnosti organizmov.

**Fosílné stromatolity patria medzi najstaršie doklady o prítomnosti života na Zemi.**

