



Eduard Kejnovský + Roman Hobza

EVOLUČNÍ GENOMIKA:

OD VZNIKU ŽIVOTA KE KOMPLEXNÍM GENOMŮM

Evoluční genomika 2008 – časový plán

18.2. – Vznik života

25.2. – Relikty světa RNA

3.3. – Malé RNA

10.3. – Evoluce genomů I.

17.3. – Evoluce genomů II.

24.3. – Velikonoce

31.3. – Polyploidizace

7.4. – Evoluce genů

14.4. – Evoluce sexuality I.

21.4. - Evoluce sexuality II.

28.4. – Dynamika genomů I.

5.5. – Dynamika genomů II.

12.5. – Lidský genom a evoluce člověka

19.5. – Strategie a metody genomiky

26.5. – Historie genomiky

KOSMOLOGICKÁ PŘEDEHRA

Mýty a náboženství

Albert Einstein - teorie relativity, první rovnice pro vesmír

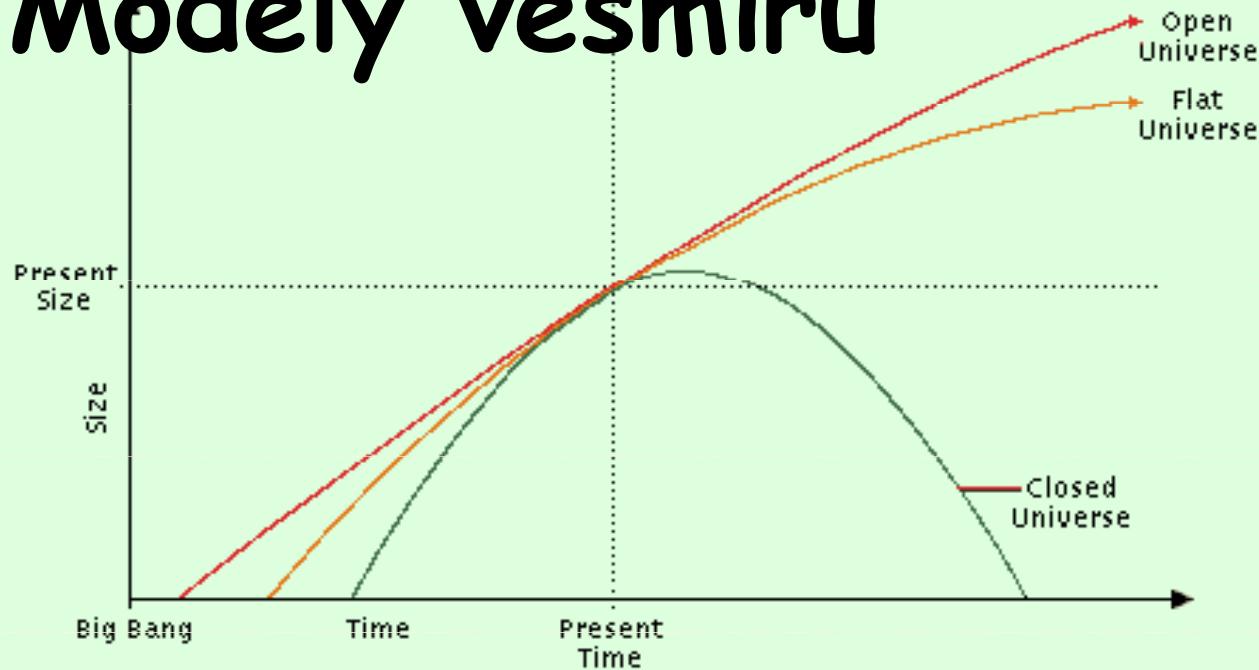
Alexander Friedmann (1922) - rovnice nemají statické řešení, smršťování nebo rozpínání vesmíru

Edwin Hubble (1929) - rudý posun ve spektrech vzdálených galaxií, úměrný vzdálenosti, vesmír se rozpíná

George Gamow (1948) - původ těžších prvků, vyšší hustota na počátku, existence počátku, „big bang“ (**Fred Hoyle**)

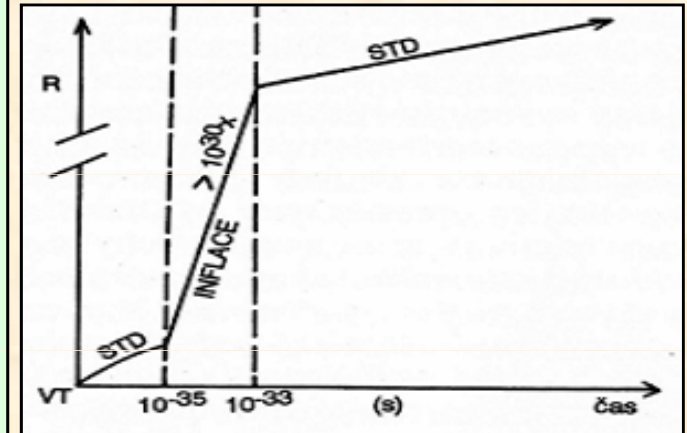
Penzias a Wilson (1964) - reliktní záření, 2.7K, izotropní

Modely vesmíru



Temná hmota, temná energie

inflace



Velký třesk (Big bang):

- singularita
- neplatí fyzikální zákony
- vznik prostoru, času a hmoty
- reliktní záření, inflace

Otázka vzniku času:

Aristoteles
křesťanství
kosmologie
teorie strun
předbangový scénář

Friedmanovo řešení (1922, 1924):

Uzavřené modely (sférické) - kladná křivost, součet úhlů v trojúhelníku $> 180^\circ$
(Riemannova geometrie), různá doba trvání, analogie s vrhem kamene

Otevřené modely (hyperbolické) - záporná křivost, součet úhlů trojúhelníku $< 180^\circ$

Fáze vývoje vesmíru

1. Hadronová éra:

- 10^{-44} s až 10^{-4} s, teplota 10^{33} K až 10^{12} K
- inflace vesmíru - 10^{-35}
- **hadrony** (složeny z kvarků) - jsou to mezony (2kv.) a baryony (3kv.)
- z vakua se tvoří baryony (neutrony a protony) a antibaryony
- **anihilace** a vznik hmoty a záření (fotony) prvotní asymetrie

2. Leptonová éra:

- 10^{-4} s až 10s, teplota 10^{12} K až 10^{10} K
- nejvíce obsaženy ve vesmíru **leptony** (= elektrony, pozitrony, neutrina aj.)
- netvoří silné jaderné interakce
- většina hadronů se přeměnila na protony a neutrony

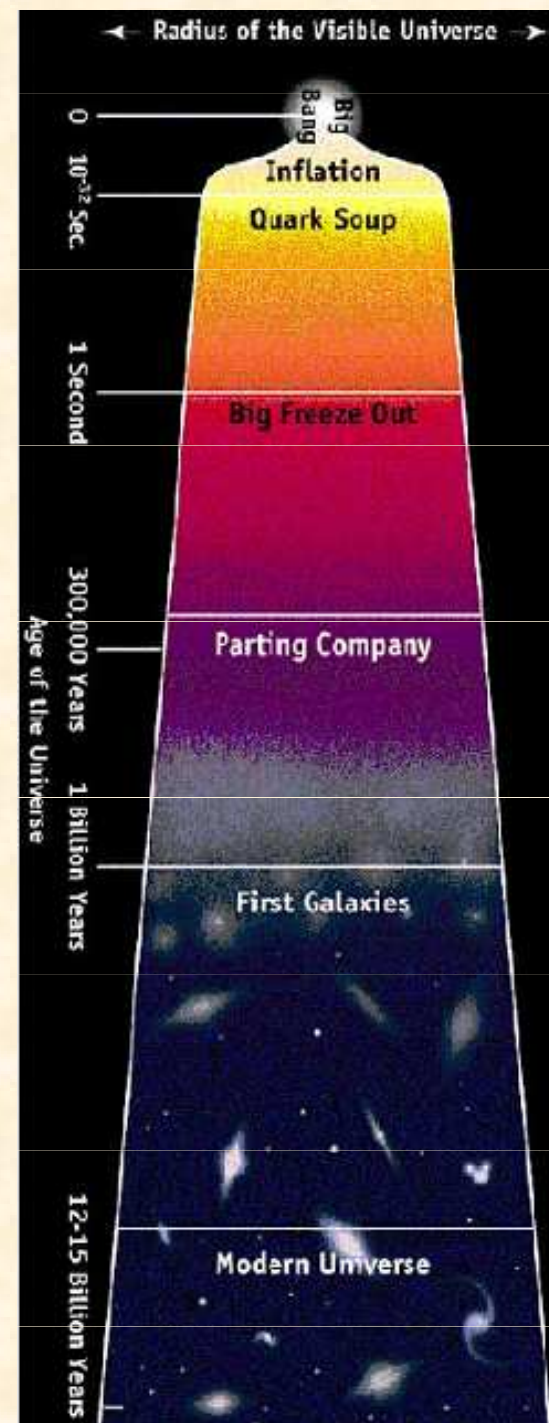
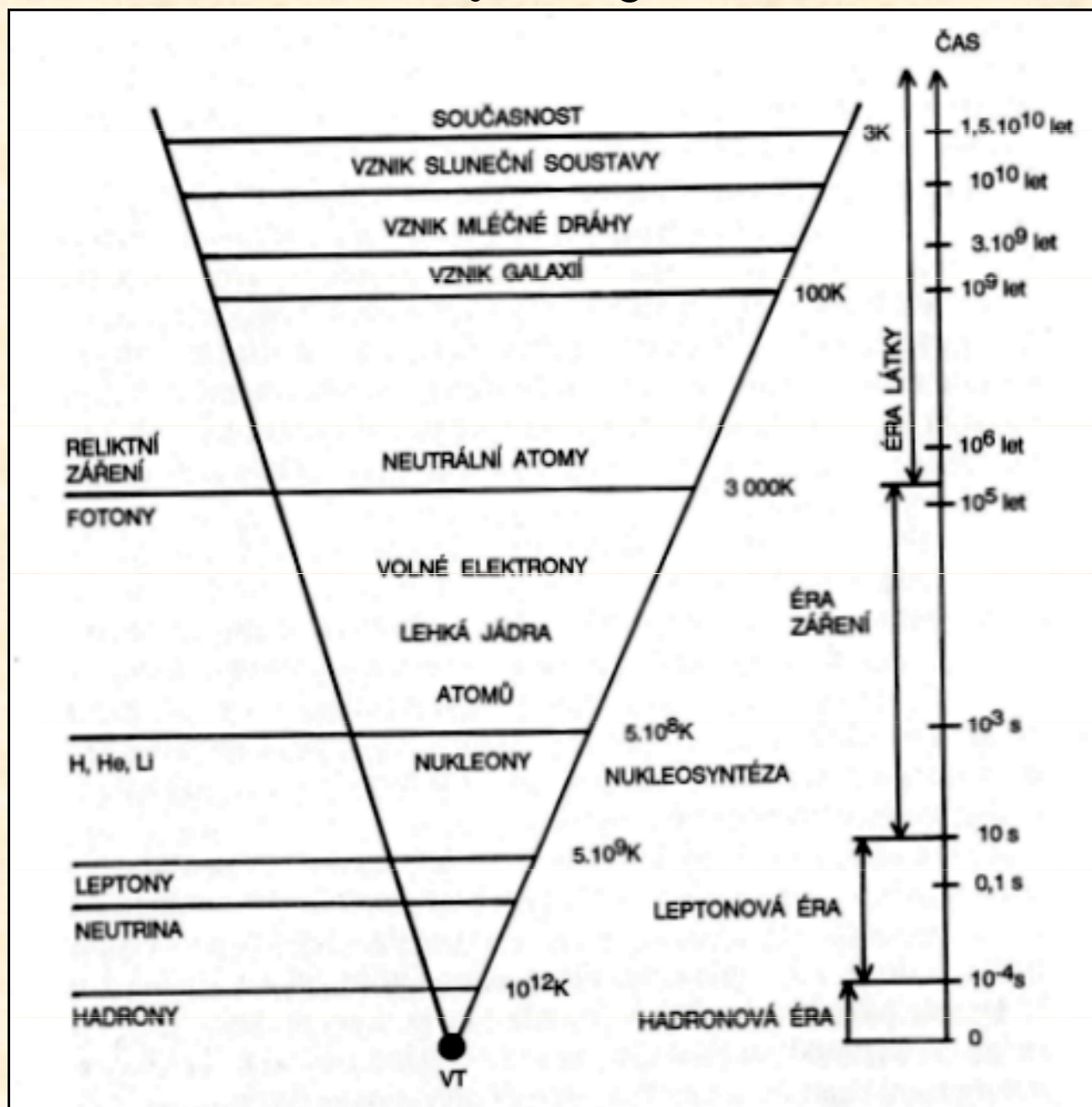
3. Éra záření:

- 10s až 10^5 let, teplota 10^{10} K až 3000K
- **anihilace** pozitronů s elektrony, vznik záření
- dále přítomny volné elektrony, slučují se protony a neutrony → první jádra

4. Éra látky:

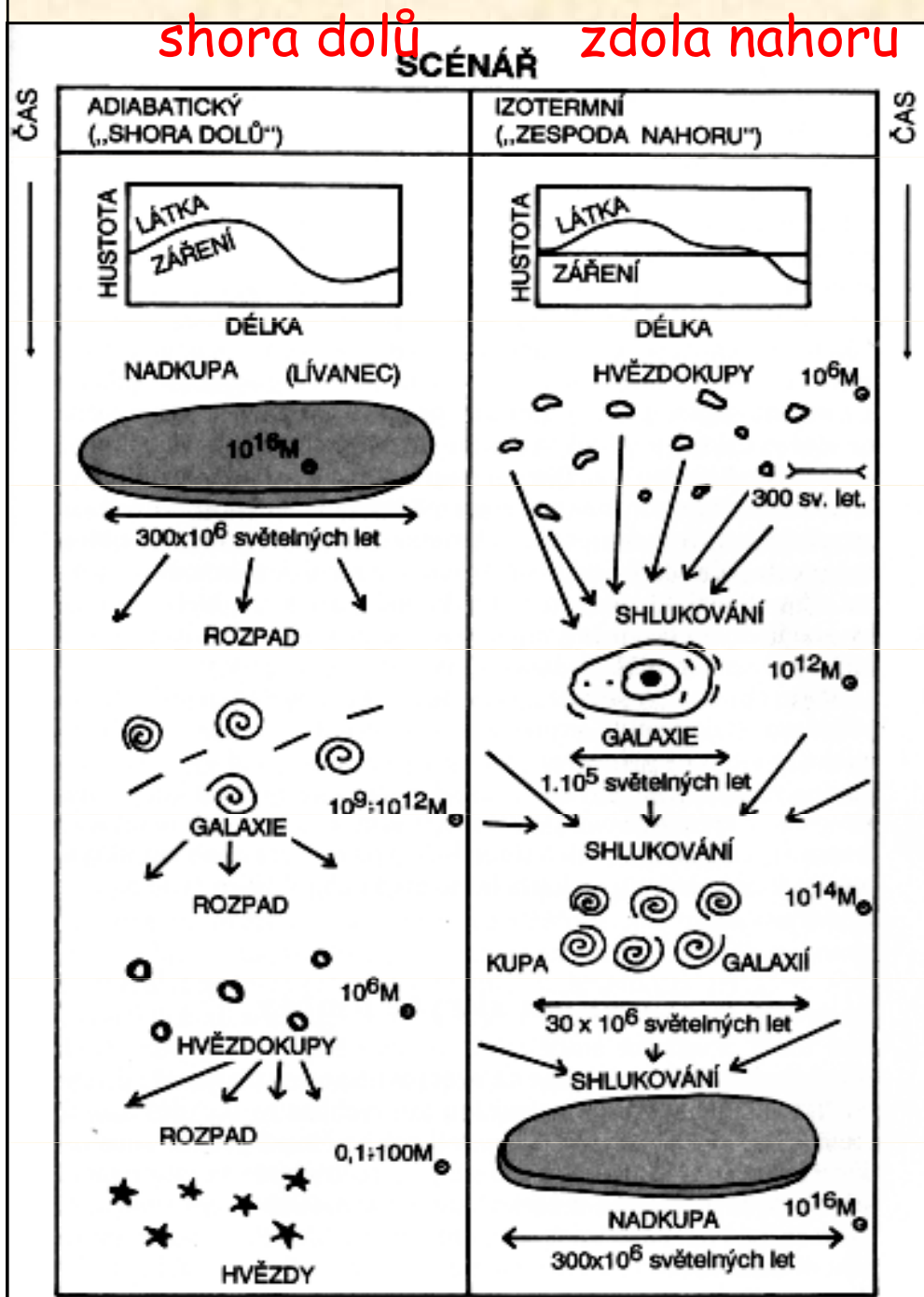
- 10^5 až dodnes, teplota 3000K až 3K
- elektrony se spojují s jádry za vzniku neutrálních atomů
- vesmír **průhledný** pro fotony a elektromagnetické záření, rozpínání a doba temna
- formování galaxií, hvězdy - světlo, dva scénáře - adiabatický a izotermní

Vývoj vesmíru



Formování galaxií

Reliktní záření: pozůstatek velkého třesku



- předpověděli žáci Gamowa - Ralph Alpher a Robert Herman (1948)

- objevili Robert Wilson a Arno Penzias (1964-1965)

- teplota 2.7K, izotropní

- rozpínáním se protáhla vlnová délka fotonů 1000x, původní teplota záření byla 3000K

- poměr fotonů a baryonů $10^9:1$ v čase $10^{-35}s$ po velkém třesku

- přesnější měření - neizotropní charakter

- náhodné fluktuace - vznik galaxií

Antropický princip a paralelní vesmíry

- proč je vesmír takový?
- fyzikální konstanty vyladěné



Brandon Carter (1973):

"Slabá" verze - svět je právě takový, že na něm mohl vzniknout život.
"Povaha vesmíru a naše místo v něm jsou slučitelné s naší existencí jako pozorovatelů". Prostě tu jsme, protože tu můžeme být.

"Silná" verze - do základů vesmíru byly vloženy takové specifické informace, aby v něm zákonitě inteligentní život musil vzniknout.

Paralelní vesmíry:

- prostoročasová pěna
- vesmíry propojeny
- liší se konstantami a zákony, počty rozměrů



Formování Země



- **Hvězdy** - jaderné reaktory, 69% H + 29% He

- nukleosyntéza (v nitru hvězd):

proton -> vodík (${}^1_1\text{H}$) + neutron -> deuterium (${}^2_2\text{D}$) -> tritium (${}^3_3\text{D}$) ->

trilithium (lehké helium ${}^3_2\text{He}$) -> helium (${}^4_2\text{He}$) -> lithium ${}^6_3\text{Li}$,

${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \Rightarrow {}^8\text{Be} + {}^4\text{He} = {}^{12}\text{C}$

- Rozptýlení těžších prvků - supernovy

- **Sluneční soustava** - z mezihvězdného oblaku plynů a prachu, rotace, zahuštění, 4.5 mld let

- Slunce - ideální velikost,

- **Země:**

- optimální hmotnost a poloha

- tektonika, vrásnění

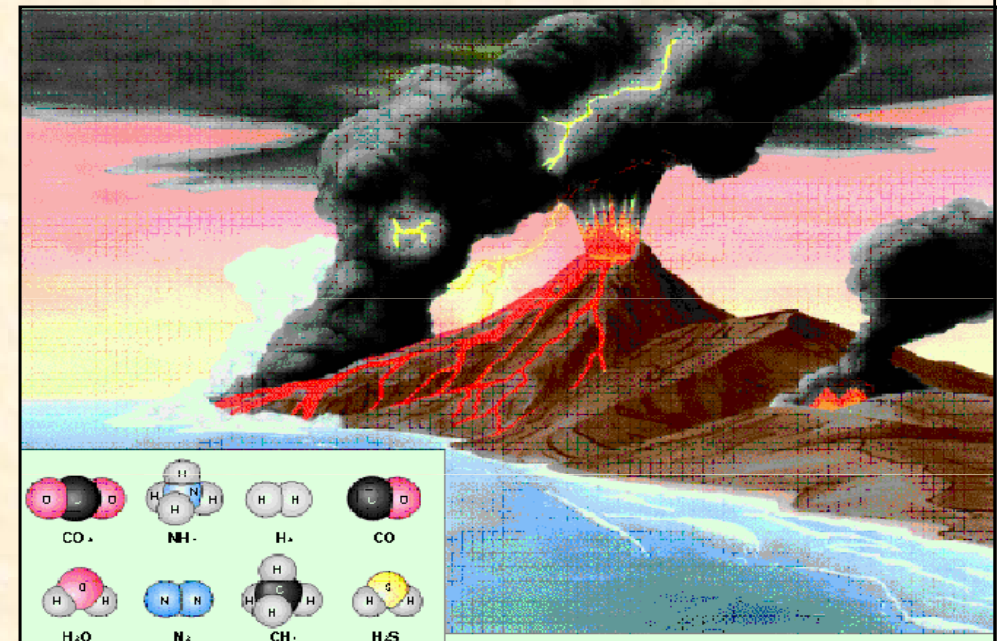
- Měsíc

- sopečná činnost a atmosféra

- po zchlazení moře

- prvních 500 mil. let sterilní

- život před 3.8 mld let



VZNIK ŽIVOTA

Co je život?

Erwin Schrodinger: *What is life* (1947)

Definice:

- otevřený systém
- replikace - cyklická reprodukce (krátkodobé)
- evoluce - směřování (dlouhodobé) ke komplex. strukturám, viry?
- samosestavování - hierarchické struktury, fraktály

Atributy života:

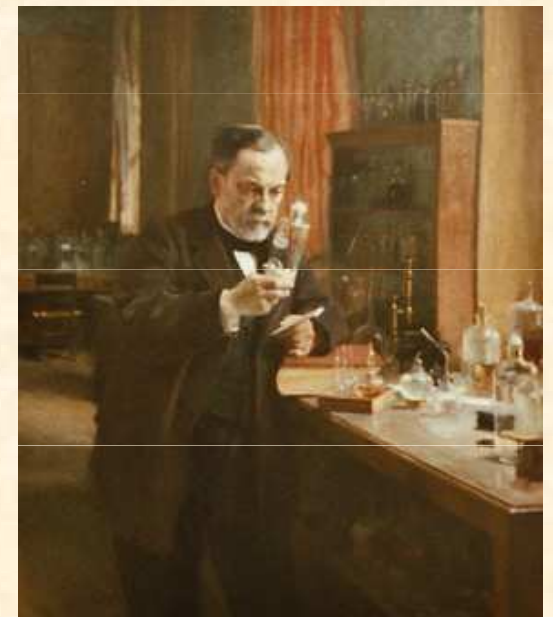
- reprodukce, metabolismus, růst, adaptace, odpověď na podněty, organizace

Život a druhý zákon termodynamiky:

System měnící entropii na negentropii využívající toku energie.
Život jako otevřený systém

Klasická abiogeneze a heterogeneze

- **Aristoteles** - život má původ v neživé hmotě, např. vznik larev z rozkládajícího se masa, Newton, Descartes,
- **Francesco Redi** (1668) - zabránil larvám klást vajíčka a z masa larvy nevznikaly, „omne vivum ex ovo“
- **Antoni van Leeuwenhoek** (1683) objevil bakterie
- **Lazzaro Spallanzani** (1768) - bakterie pocházejí také ze vzduchu a mohou být zničeny varem
- **Louis Pasteur** (1862) - mikroorganismy přítomny v různých organických materiálech, po sterilizaci a ochraně organismy nevzniknou



Moderní abiogeneze

Vitalistická filozofie - dělila přírodu na živou a neživou, vyloučila abiogenezi

Woehler (1828) - syntéza močoviny, kvantifikace energie při reakcích, není prostor pro vitální sílu, redukcionismus

Redukcionismus - odmítá rozdíl mezi anorganickou a organickou hmotou, složité věci lze vysvětlit jednoduššími, řada fyzika-chemie-biologie-sociologie, Dawkins

Moderní abiogeneze - vznik života na Zemi sérií postupných kroků, první živé systémy vznikly z primordiálních chemikálií, více různých teorií (svět RNA, protenoidy, Millerovy experimenty, panspermie aj.)

Rozdíl mezi klasickou a moderní abiogenezí:

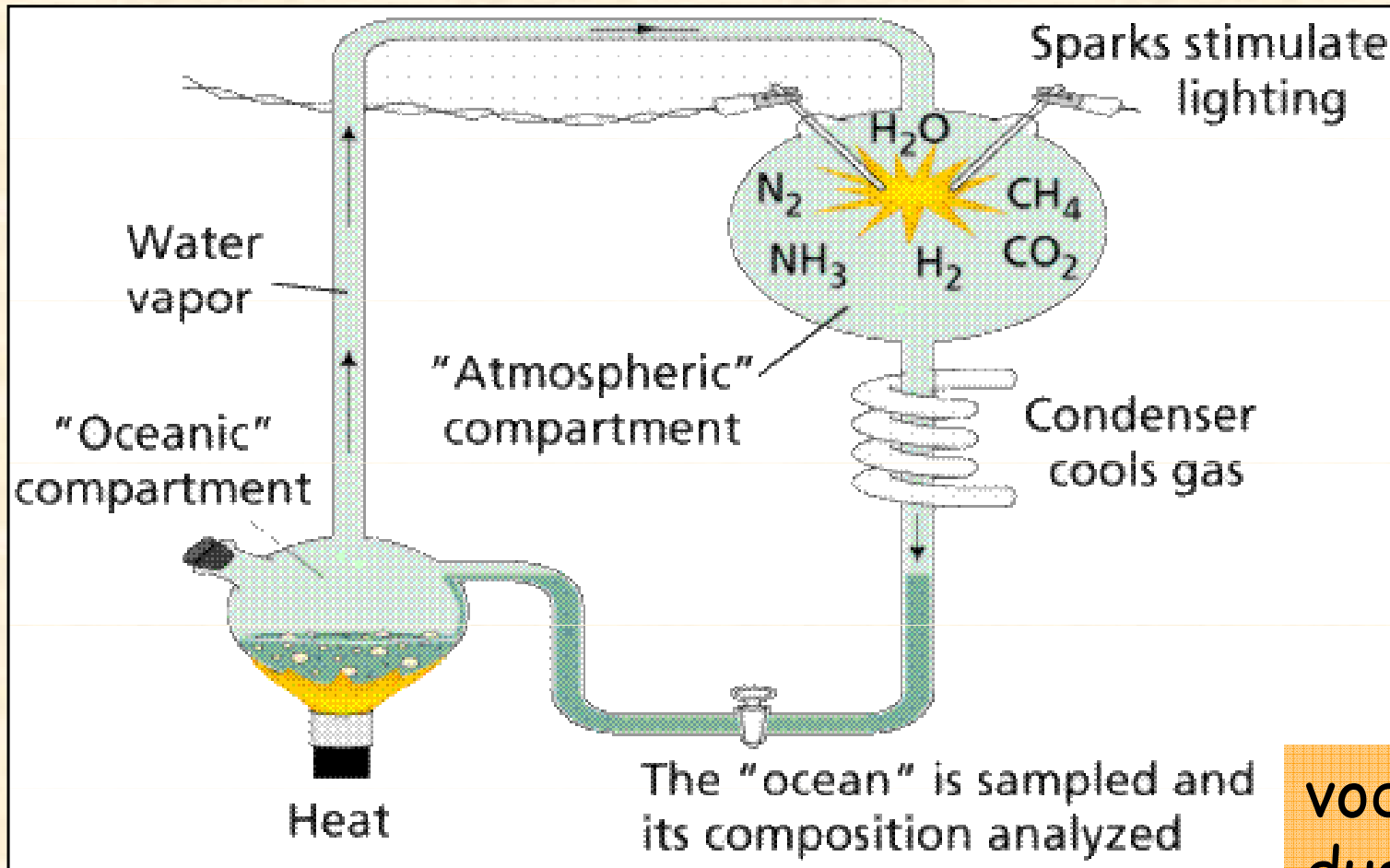
- frekvence vzniku života
- složitost vznikajících organizmů

A.I. Oparin (1924) - složité molekulární struktury vznikly z jednodušších

Haldane (1928) - život vzešel z primordiální polévky, úloha UV záření

H. Urey - atmosféry ostatních planet jsou redukující

Urey-Millerův experiment



vodík (H_2)
dusík (N_2)
oxid uhličitý (CO_2)
vodní pára (H_2O)
amoniak (NH_3)
metan (CH_4)

Ingredients in Miller's experiments



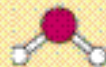
Hydrogen
gas



Nitrogen
gas



Carbon
dioxide



Water



Ammonia



Methane

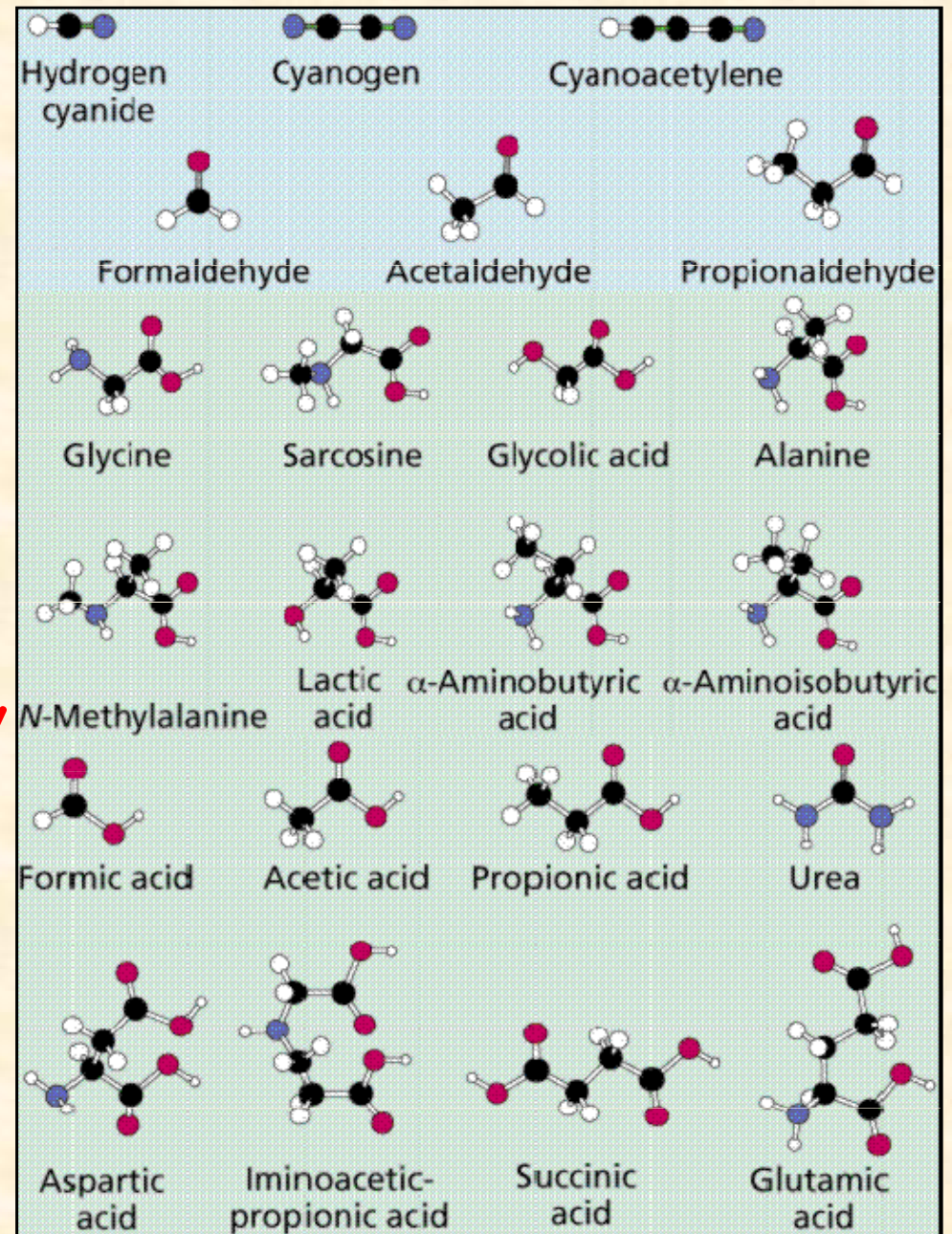
Modifikace Urey-Millerova experimentu

1. Pyrosyntéza (S. Fox) - pícka (sopky)
2. UV záření
3. tlakově vlny (průlety meteoritů)
4. kosmické záření
5. radioaktivita
6. sluneční vítr

Výsledek:
20 AK, 5 bází, hlavní cukry

Námítky a současný pohled:

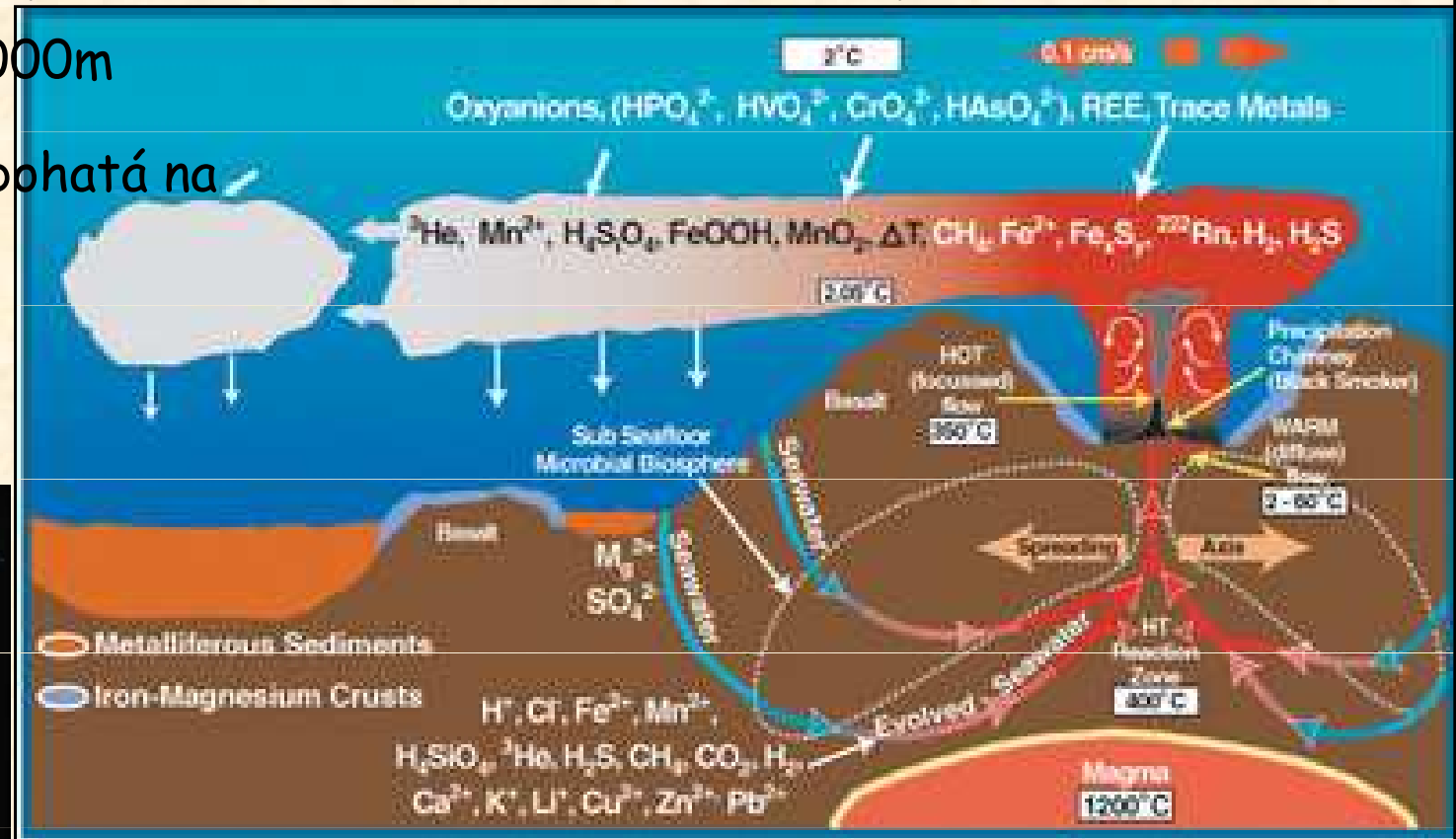
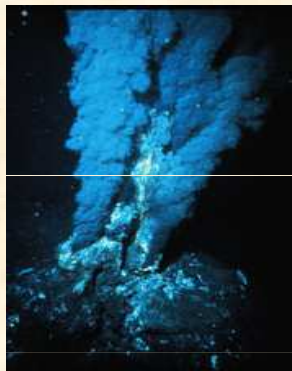
- atmosféra nebyla redukující
- kyslík z fotolýzy vody a hornin
- problém - kyslík byl jedem



Vznik života v podmořských sopkách

(Martin a Russel, 2002, black smokers)

- podmořské komíny - 2000m
- zvláštní ekosystém
- vyvěrá přehřátá voda bohatá na minerály, krystalizuje a sedimentuje, katalýza



Teorie „hluboké horké biosféry“

(T. Gold, 1990, hot deep biosphere)

- první život se vyvinul hluboko pod povrchem Země
- dnešní bakterie několik kilometrů pod povrchem, $\frac{1}{2}$ biomasy
- možnost života na jiných planetách nebo měsících



Teorie světa sulfidů kovů (Wachtershauser, 1980)

- za přítomnosti **sulfidů kovů** vznikají složitější uhlíkaté sloučeniny - jednoduchý **metabolismus** předcházel genetice
- reakce vytvářející energii využitelnou pro další reakce cyklů
- vzrůstá složitost **cyklů**
- reakce neprobíhaly ve volném oceánu ale **na povrchu minerálů** (pyrit)
- důležitá role **kyseliny octové** - jednoduchá kombinace C+H+O, dodnes klíčové postavení v metabolismu
- 1997: smíchal CO, H₂S, NH₃, NiS, FeS **při 100°C** a získal AK a peptidy
- podmínky podobné blízkosti podmořských sopek

Potíže teorií vzniku života:

vznik na povrchu Země - jedovatý kyslík rozkládá organické látky
vznik na dně oceánů - RNA je nestabilní při vysokých teplotách

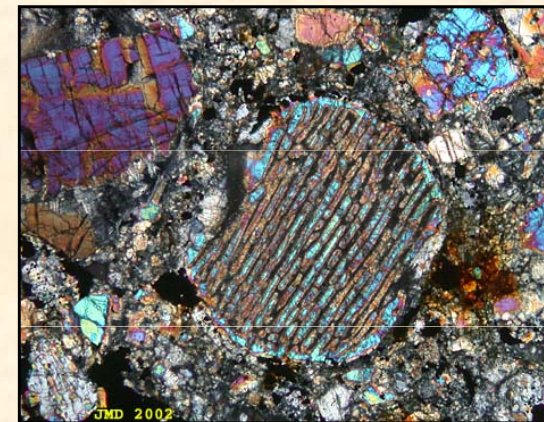
—————> Vznik života v mělkých lagunách na povrchu

Panspermie („www.panspermia.com“)

Anaxagoras (5. stol. př.n.l.): zárodky života rozptýleny po celém vesmíru

Lord Kelvin, Arrhenius (1908): Panspermie

Sir Fred Hoyle, Crick - řízená panspermie



Vesmír je bohatý na organické látky

Komety:

- mohou přenášet organické látky, Halley - 25% org., Hyakutake - methan

Meteority:

- denně na Zemi dopadá 30-150 tun kosmického organického materiálu, dříve více

- prebiotické reakce v mělkých lagunách, vypařování

- objev aromatických polycyklických uhlovodíků (PAH) v okolí mrtvých hvězd, glycin v mezihvězdném prachu

Chondrity - nejstarší kamenné meteority, obsahují chondruly s organickými látkami, Murchison - 64 druhů AK, jen 8 „pozemských“ AK

Vždy jednou za několik milionů let do Marsu narazí asteroid nebo kometa s energií, která postačuje k vymrštění hornin, jež mohou uniknout z dosahu přitažlivosti červené planety a nakonec se dostat na Zemi. Pokud se před miliardami let vyvinul na Marsu život, lze si představit, že horniny s biologickými materiály podnikly vesmírnou pouť dostatečně rychle a přenesly život na Zemi.

Dokonce i velmi prudké nárazy mohou vymrstit horniny a prachové částice z povrchové vrstvy Marsu bez toho, aby je zahřály na teplotu neslučitelnou s životem.



Většina hornin spojených se Zemí strávila ve vesmíru dlouhou dobu. Nejznámější marsovský meteorit, ALH84001 (nahore), putoval vesmírem 15 milionů let. Ale z každých deseti milionů předmětů/objektů se jeden dostane na Zemi za méně než jeden rok, a je tak jen velmi krátce vystaven meziplanetárnímu záření.

Meziplanetární expres

Při vstupu do atmosféry Země by se zahřál povrch meteoritu, ale ne jeho vnitřek. Jakékoli mikroby v nitru horniny by přežily. Prachové částice by se vyhnuly přílišnému zahřátí tím, že jejich rychlost by se snižovala postupně.

Bakterie - vesmírní kolonizátoři?

Streptococcus mitis:

- náhodně zavlečen na Měsíc (Surveyor3) a po 31 měsících zpět (Apollo12) a byl životaschopný

Deinococcus radiodurans:

- 15 000 Gy/ 37% životaschopnost
člověk 10 Gy, *E. coli* 60 Gy

bakteriální spóry:

- odolnost, konformace A-DNA
- izolace bakterií z trávicího traktu hmyzu zalitého v jantaru (25-40 mil. roků)



Extremofilové

Acidophile: An organism with an optimum pH level at or below pH 3.

Aerobe: requires O₂ to survive.

Alkaliphile: An organism with optimal growth at pH levels of 9 or above.

Anaerobic: does not need O₂ to survive.

Endolith: An organism that lives inside rocks.

Halophile: An organism requiring at least 0.2M of NaCl for growth.

Hypolith: An organism that lives inside rocks in cold deserts.

Mesophile: An organism that thrives in temperatures between 15-60 °C.

Metalotolerant: capable of tolerating high levels of heavy metals, such as copper, cadmium, arsenic, and zinc.

Microaerophilic: requires levels of O₂ that are lower than atmospheric levels.

Oligotroph: An organism capable of growth in nutritionally limited environments.

Piezophile: An organism that lives optimally at high hydrostatic pressure. See also Barophile

Psychrophile: An organism that can thrive at temperatures of 15 °C or lower.

Radioresistant: resistant to high levels of ionizing radiation.

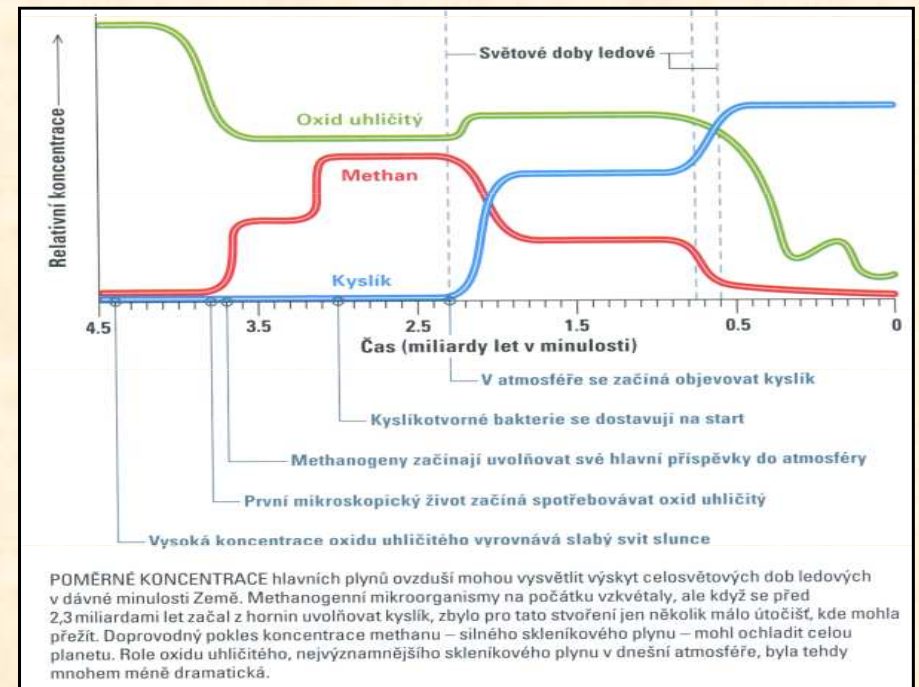
Thermophile: An organism that can thrive at temperatures between 60-80 °C.

Xerotolerant: requires water to survive

Stromatolity: nejstarší stopy života

Kdy vznikl život? Mezníky evoluce forem (jednobuněční - fotosyntéza - mnohobuněční - kambrická exploze)

- zkamenělé útvary tvořené sinicemi (?)
- stáří až **3.8 miliardy let**
- anaerobní podmínky (archea) → činností sinic vznikl kyslík
- moderní stromatolity (hypersalinní jezera, Austrálie)

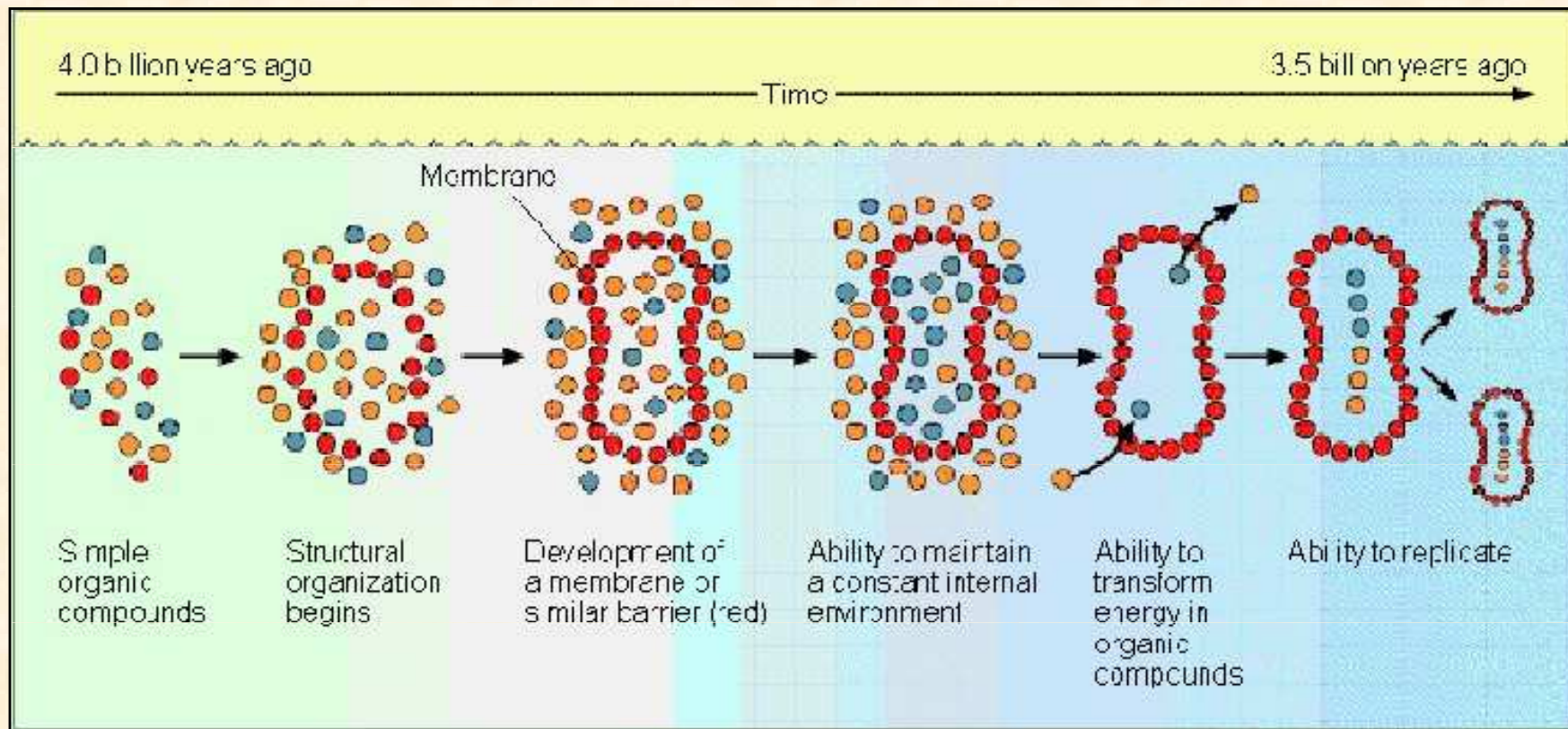
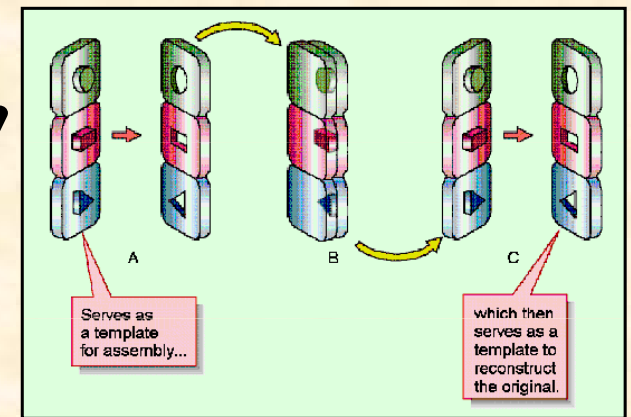


PRVNÍ GENETICKÉ SYSTÉMY A VZNIK GENETICKÉHO KÓDU

První genetické systémy

- replikace, - proměnlivost, - dědičnost, - selekce

1. Proteiny - koacerváty a mikrosféry
2. Nukleové kyseliny - genová teorie a ribozymy
3. Proteiny i nukleové kyseliny - genetický kód
4. Jiný princip - PNA, polycyklické aromatické uhlovodíky, jílly

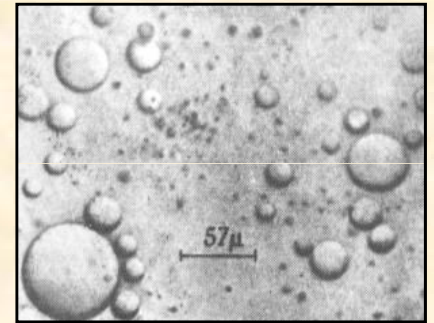


Na počátku byly pouze proteiny:



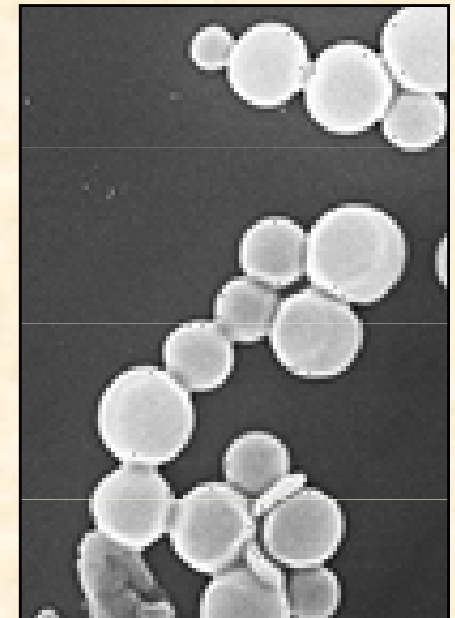
1. Oparinovy koacerváty

- aminokyseliny vznikají snadněji než báze NK
- primitivní modely buňky
- hromadění produktů, reakce, růst, dělení
- vznikají v koloidních roztocích
- problém ředění



2. Foxovy mikrosféry

- otázka původu enzymatických molekul
- vznikají z protenoidů = polymery vzniklé kondenzací aminokyselin
- pořadí AK v těchto polymerech je náhodné
- některé mohou vykazovat katalytickou funkci



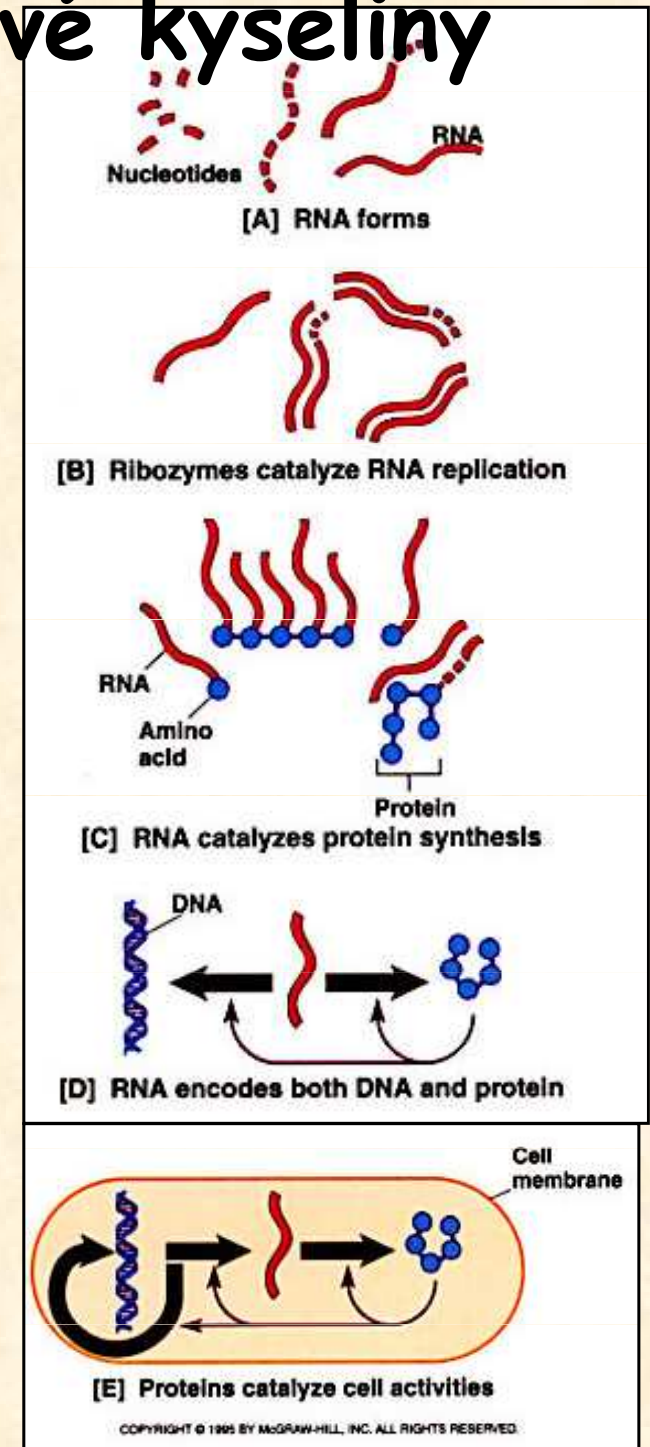
Na počátku byly pouze nukleové kyseliny - genová hypotéza

- co bylo dříve - DNA nebo proteiny?
- RNA je genetický materiál i katalyzátor postuloval Crick 1968
- katalytická aktivita RNA (Cech 1982)
- RNA svět (W. Gilbert 1986)
- vznik genetického kódu a proteosyntézy

jednoduché polymery - replikátory, **RNA**

evoluce

autonomní organizmy jsou buněčné
složitá biochemie: **DNA** - RNA - **protein**



**Na počátku byly proteiny i
nukleové kyseliny (koevoluce)**

GENETICKÝ KÓD

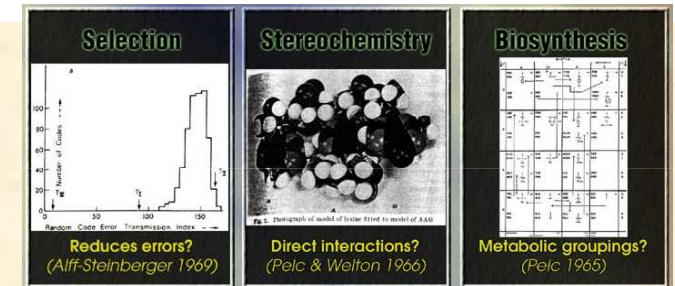
Vznik genetického kódu

- koevoluce nukleových kyselin a proteinů od počátku
- definice genetického kódu, univerzalita
- Gamow - kód dinukleotidový ($4^2 = 16$), tripletový ($4^3 = 64$)
- otázky: - jak vznikl? původní velikost, - počet AK na počátku?

	U	C	A	G
U	UUU Phe	UCU Ser	UAU Tyr	UGU Cys
	UUC Phe	UCC Ser	UAC Tyr	UGC Cys
	UUA Leu	UCA Ser	UAA TER	UGA TER
	UUG Leu	UCG Ser	UAG TER	UGG Trp
C	CUU Leu	CCU Pro	CAU His	CGU Arg
	CUC Leu	CCC Pro	CAC His	CGC Arg
	CUA Leu	CCA Pro	CAA Gln	CGA Arg
	CUG Leu	CCG Pro	CAG Gln	CGG Arg
A	AUU Ile	ACU Thr	AAU Asn	AGU Ser
	AUC Ile	ACC Thr	AAC Asn	AGC Ser
	AUA Ile	ACA Thr	AAA Lys	AGA Arg
	AUG Met	ACG Thr	AAG Lys	AGG Arg
G	GUU Val	GCU Ala	GAU Asp	GGU Gly
	GUC Val	GCC Ala	GAC Asp	GGC Gly
	GUA Val	GCA Ala	GAA Glu	GGA Gly
	GUG Val	GCG Ala	GAG Glu	GGG Gly

 Acidic	 Amide	 Hydroxyl containing
 Alkyl	 Aromatic	 Sulfur containing
 Alkyl	 Basic	 STOP

1. Unikátní vysoce nepravděpodobná **událost** („frozen accident“)
2. Postupný **vývoj** - důkazy:
 - (a) minimalizace chyb
 - (b) Korelace fyzikálně-chemických vlastností AK a tripletů, interakce
 - (c) AK syntetizované společnými biochemickými dráhami jsou kódovány podobnými triplety
3. Produkt rozumné **bytosti** - nesplňuje kritérium vědecké hypotézy (ověřitelnosti)

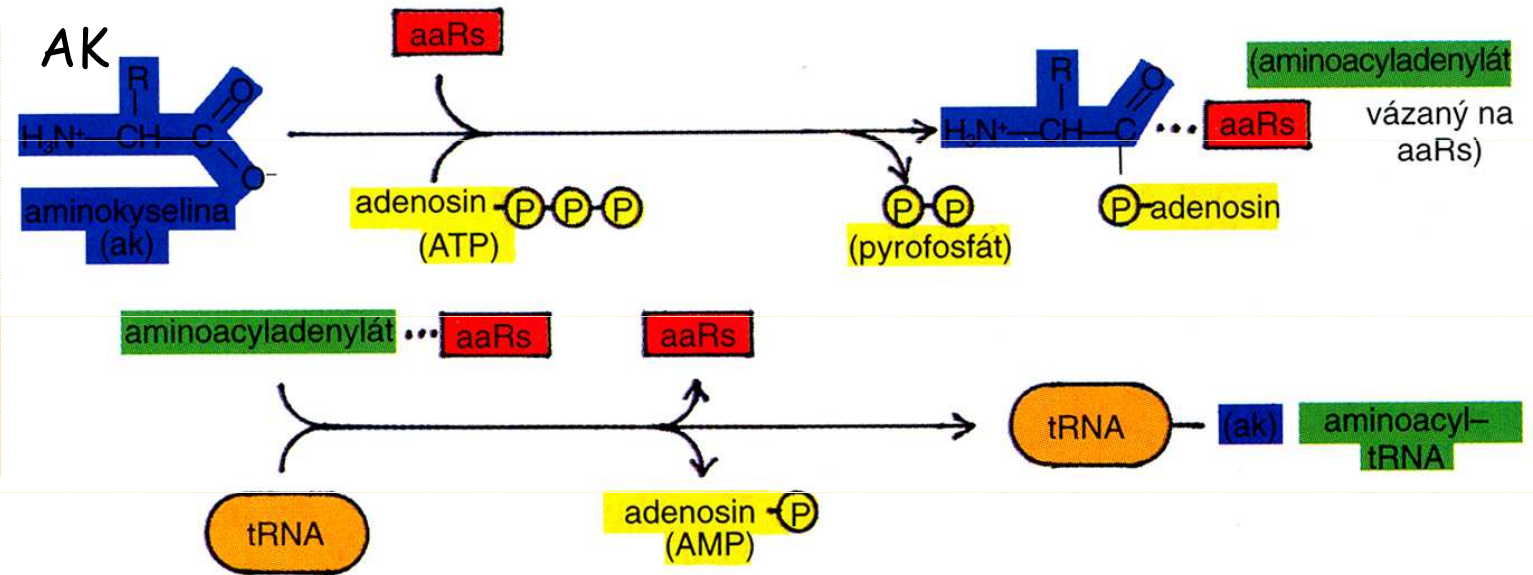


Inkorporace bílkovin do RNA světa

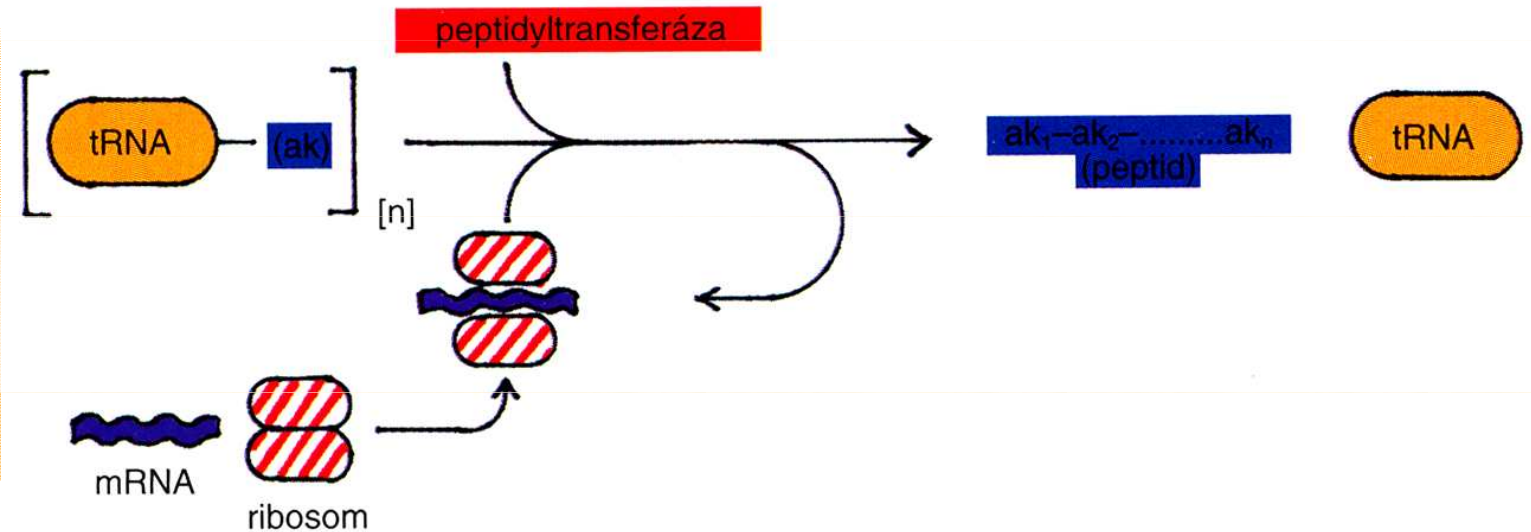
Dvoukroková syntéza bílkovin:

1. $AK + ATP \rightarrow AK-AMP$
2. $AK-AMP + tRNA \rightarrow AK-tRNA$

Aktivace tRNA,
aminoacyl-tRNA
synthetasa,
mohl být ribozym,
bez templátu,
operační kód

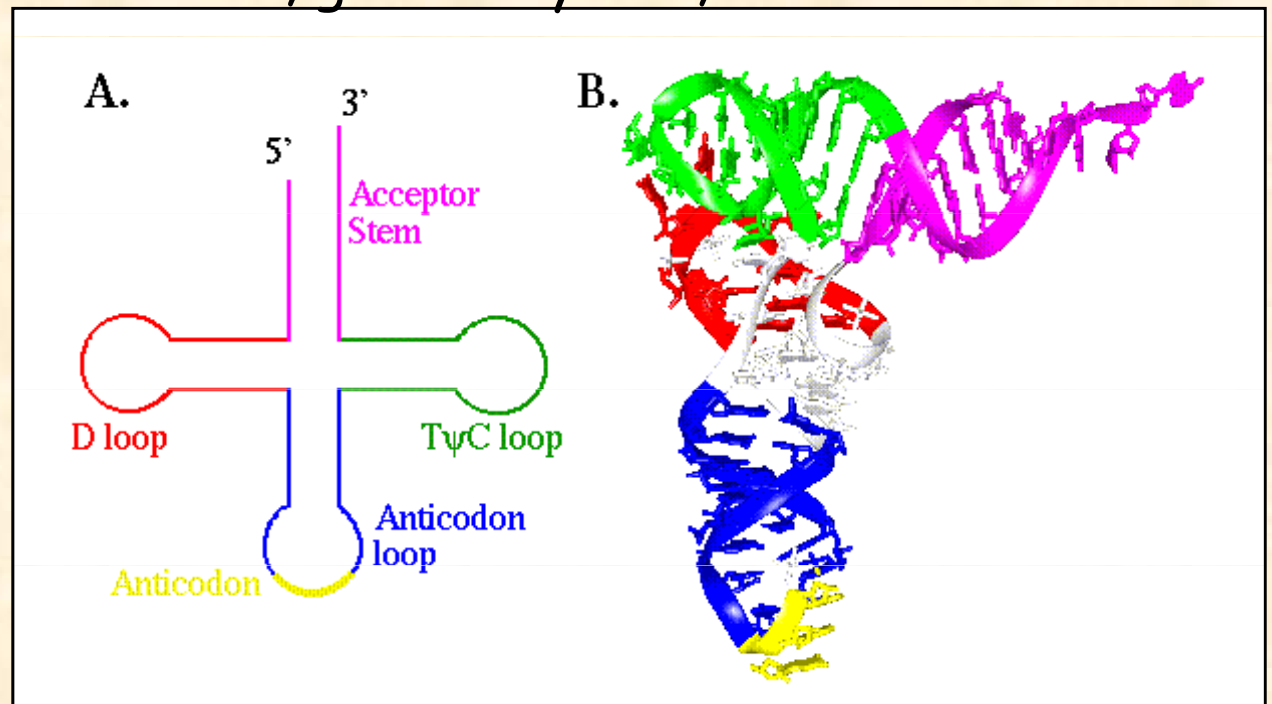


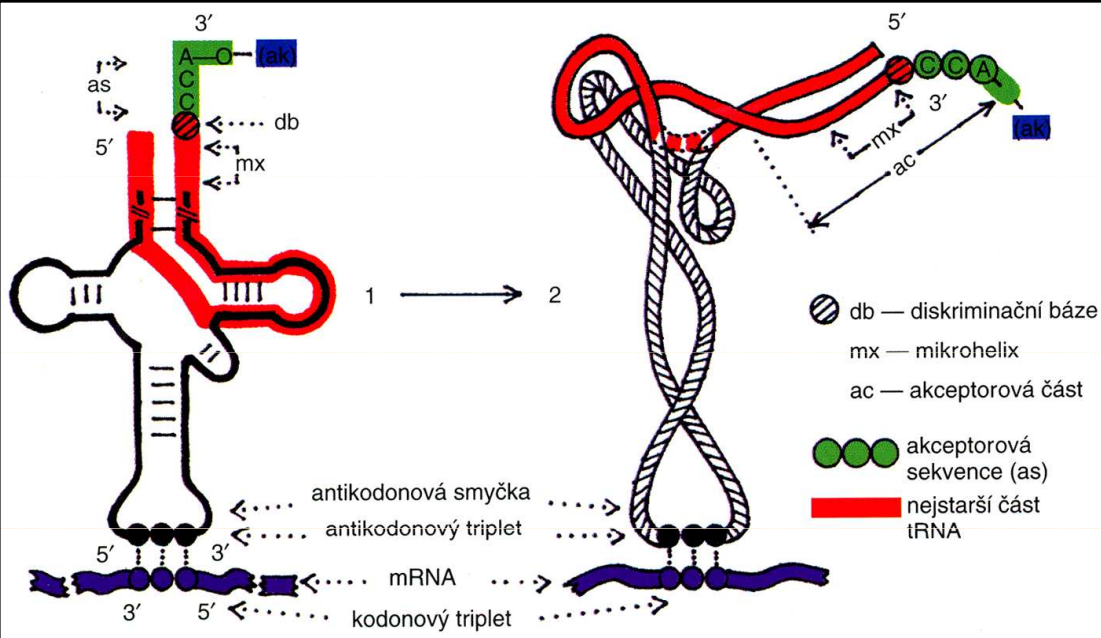
Kondenzace
aminokyselin,
peptidyltransferasa,
je ribozym,
podle templátu,
genetický kód



tRNA: nejstarší biomakromolekula

- replikace RNA genomů s náhodným počátkem, fosilie - fág Q β
 - výhodný počátek na 3' konci, mikrohelix
 - vazba AK stabilizuje replikázový komplex,
 - po replikaci odštěpení vlásenek \rightarrow předchůdce tRNA
 - dle homologie se řadí vedle sebe \rightarrow kondenzace AK
-
- ribozymové aaRs připojují AK, interakce AK-tRNA, aptamery
 - za CCA jsou diskriminační báze, operační kód
 - přesun bází do antikodonové oblasti, genetický kód, GC- AU-kód





Předchůdce tRNA

Snad signál pro replikasu, vlásenka na 3'-konci genomové RNA viru Q β dodnes nese adaptér -CCA

Syntéze peptidů předcházely jiné funkce aminokyselin - aminoacylace, předstupeň aktivace tRNA, vznik operačního kódu

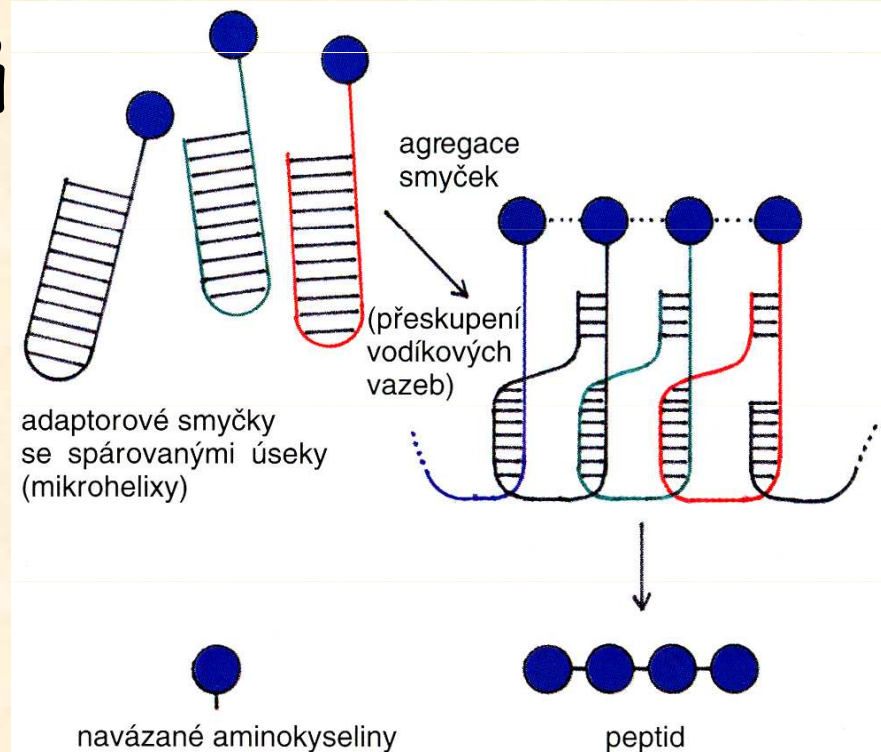
Struktury nebo vlastnosti vzniklé v ranějších evolučních etapách bývají v modifikované podobě použity později k jiným účelům

Nekódovaná syntéza peptidů

Adaptorové smyčky

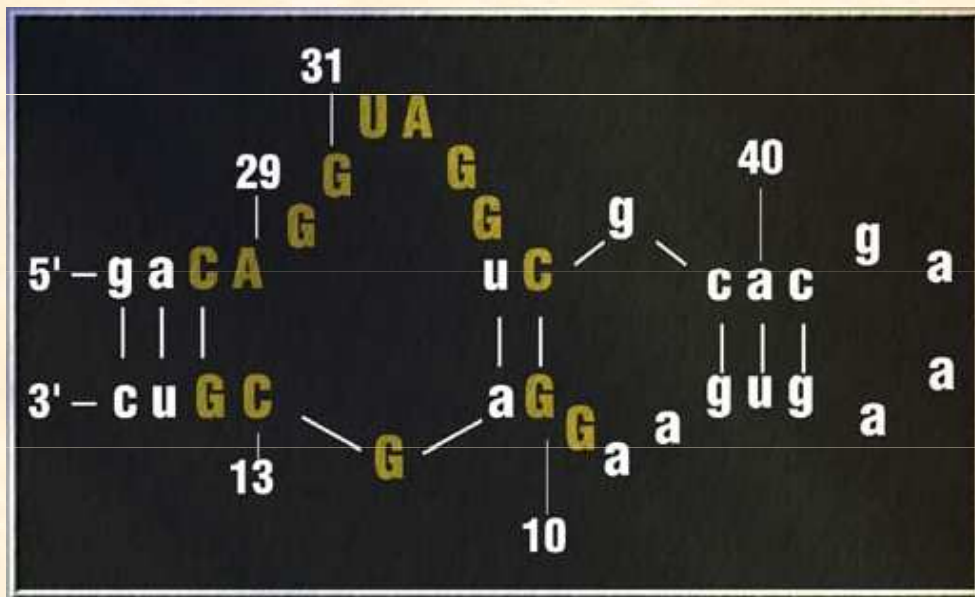
Diferenciace RNA na genotyp (komplementární vlákna) a fenotyp (adaportory)

Změna terciální a kvartérní struktury adaptorů mohla vytvořit podmínky pro vznik peptidové vazby

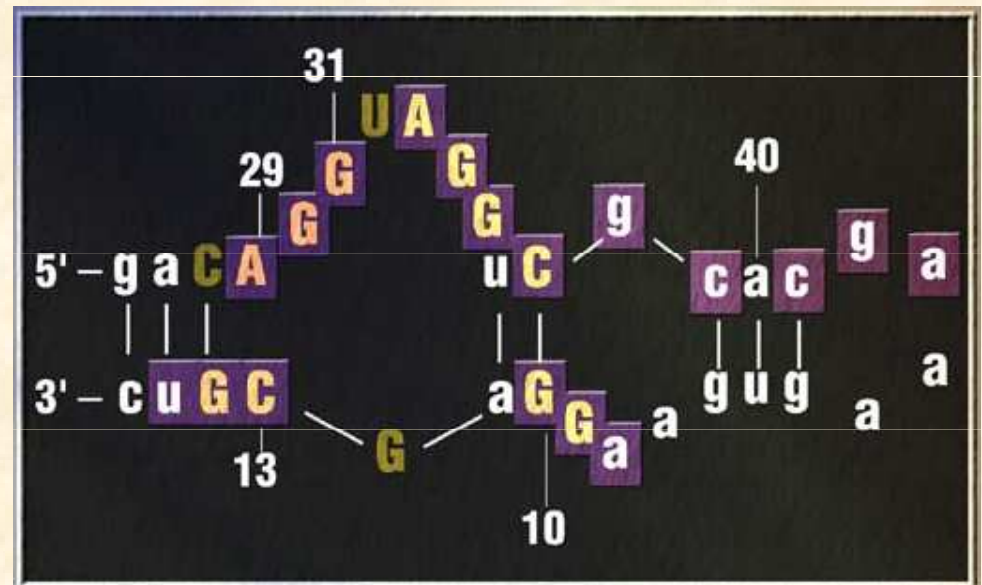


Aptamery a genetický kód

- SELEX experimenty
- aptamerové RNA silně se **váží** na arginin obsahují argininové **kodony** (Schostak)
- na počátku přímé interakce AK a RNA (kodonů)
- složitý translační aparát (tRNA) až pozdějším výdobytkem



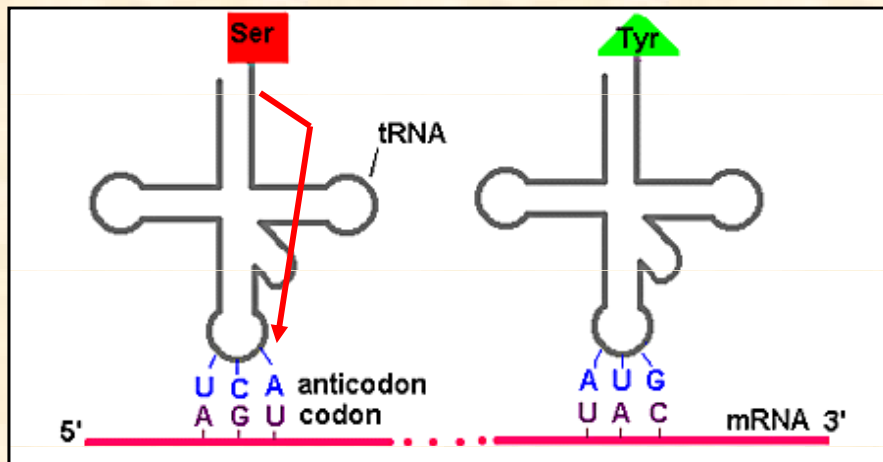
Báze **váží** arginin (zeleně)



Argininové **kodony** (AGG)

Přechod ke kódované syntéze - od operačního ke genetickému kódu

Vznik operačního kódu předcházela vzniku genetického kódu



		2nd base in codon				
		U	C	A	G	
1st base in codon	U	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr STOP STOP	Cys Cys STOP Trp	U C A G
	C	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His Gln Gln	Arg Arg Arg Arg	U C A G
	A	Ile Ile Ile Met	Thr Thr Thr Thr	Asn Asn Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	U C A G
	G	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	U C A G
						3rd base in codon

The Genetic Code

Bioinformatické studie -
přímá genetická souvislost
operačního a genetického kódu

Sekvence dnešních tRNA lze
odvodit z opakovaných spojení,
rekombinací a mutací krátkých
palindromatických sekvencí

Antikodony - pocházejí z první
trojice spárovaných bazí v
akceptorové části prvotních
adaptorových RNA

Expanze genetického kódu

První poloha	Druhá poloha				Třetí poloha
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	term	term	A
	Leu	Ser	term	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

GC model

Nejstarší triplety **GXC** ~ Val, Ala, Asp, Gly
nejčastější AK, abiotická syntéza,
Další vývoj mutační expanzí, adaptivní

AU model

Prakód obsahoval jen báze A,U

První poloha: Mění smysl kódování (aa), nemění povahu aa

Druhá poloha: Mění smysl kódování, Pur/Pur, Pyr/Pyr - nemění povahu aa, Pur/Pyr - mění i povahu aa

Třetí poloha: Nemění smysl kódování, když ano, zachovává chemickou povahu aa

GCU model (Trifonov)

GCX, GXU, XCU

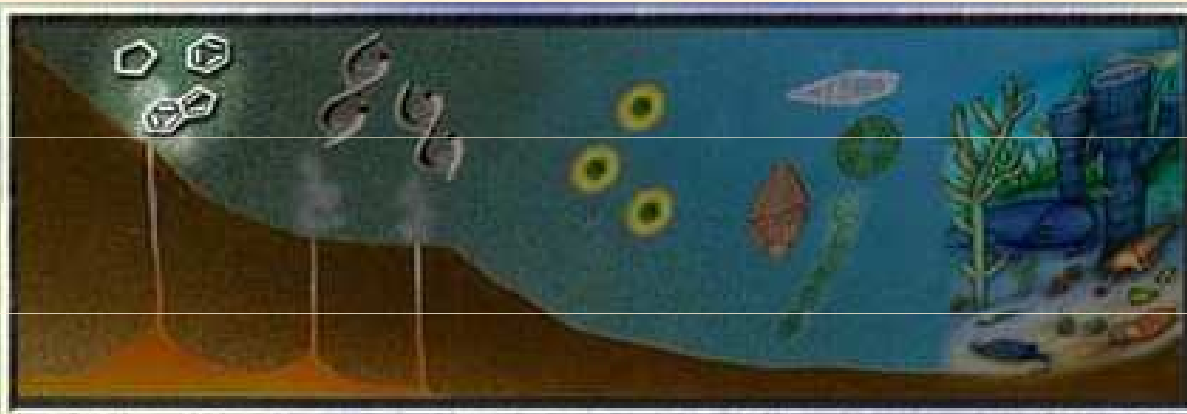
expanze GCT-nemoci

pořadí kodonů v evoluci a stabilita

obě vlákna kódující

glycinové hodiny

Stejné AK v prebiotické syntéze, v prakódu i v meteoritech



Same amino acids in prebiotic syntheses, meteorites

Most common α -amino acids present in code

Some curiously absent from code — maladaptive?

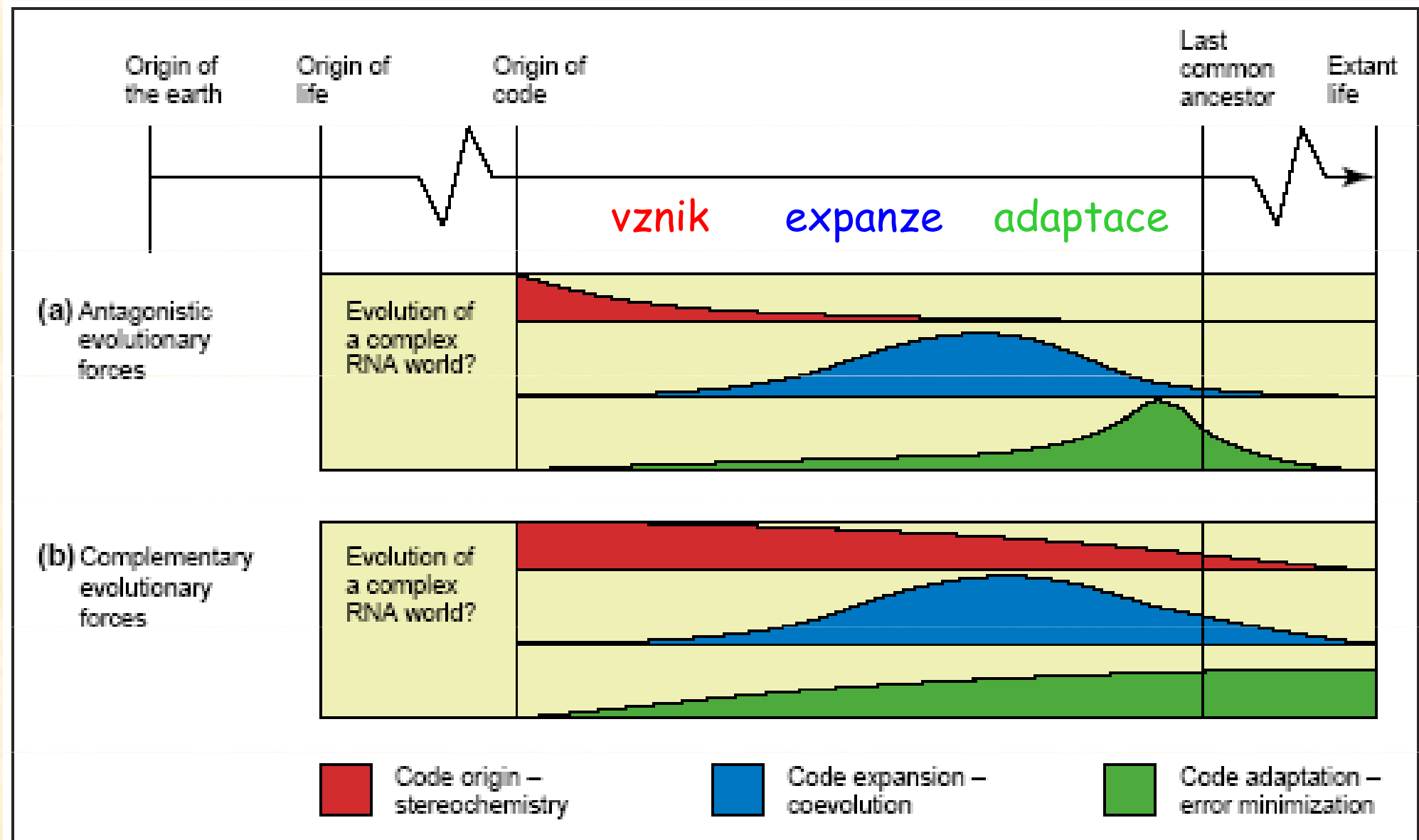
Amino Acid	Gly	Ala	Asp	Glu	Pro	Val	Ser	ILTK	X
Spark Tube	++	++	+	+	+	+	+	+	-
HCN Polymerization	++	++	++	+	?	-	-	-	-
Murchison Meteorite	++	++	+	+	++	+	-	-	-
Nakhla Meteorite	++	++	+	++	-	-	+	-	-



Did prebiotic conditions influence the amino acid repertoire?

Weber & Miller (1981), Wong & Bronskill (1979), Kvenwolden et al. (1970, 1971), Glavin et al. (1999)

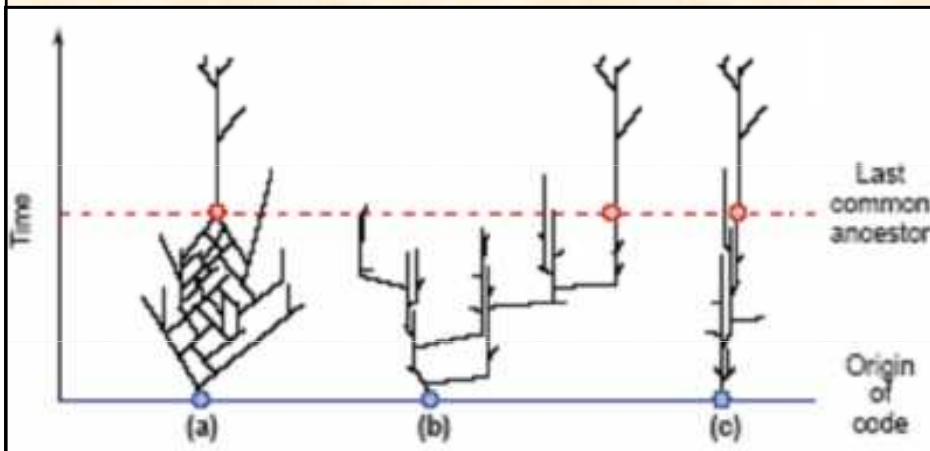
Evolve genetického kódu: Antagonistické nebo komplementární síly?



Odchylky od univerzálního genetického kódu

AK → jiná AK
 AK → nonsense
 Stop → AK

mt kvasinek, obratlovců,
 ostnokožců aj.



(a) Nuclear variants

	U	C	A	G		
U	UUU Phe UUC Phe	UCU Ser UCC Ser	UAU Tyr UAC Tyr	UGU Cys UGC Cys	Gln Diplomonads Acetabularia Some ciliates -Other ciliates	
	UUA Leu UUG Leu	UCA Ser UCG Ser	UAA TER UAG TER	UGA TER UGG Trp		Cys/Trp Euplozea/ Mycoplasma Spiroplasma
C	CUU Leu CUC Leu	CCU Pro CCC Pro	CAU His CAC His	CGU Arg CGC Arg		Ser Candida -Saccharomyces
	GUA Leu GUG Leu	GCA Pro GCC Pro	GAA Gln GAG Gln	GGA Arg GGG Arg	Nonsense Mycoplasma Spiroplasma	
A	AUU Ile AUC Ile	ACU Thr ACC Thr	AAU Asn AAC Asn	AGU Ser AGC Ser	Nonsense Micrococci	
	AUA Ile AUG Met	ACA Thr ACC Thr	AAA Lys AAG Lys	AGA Arg AGG Arg	Nonsense Micrococci	
G	GUU Val GUC Val	GCU Ala GCC Ala	GAU Asp GAC Asp	GGU Gly GGC Gly		
	GUA Val GUG Val	GCA Ala GCC Ala	GAA Glu GAG Glu	GGA Gly GGG Gly		

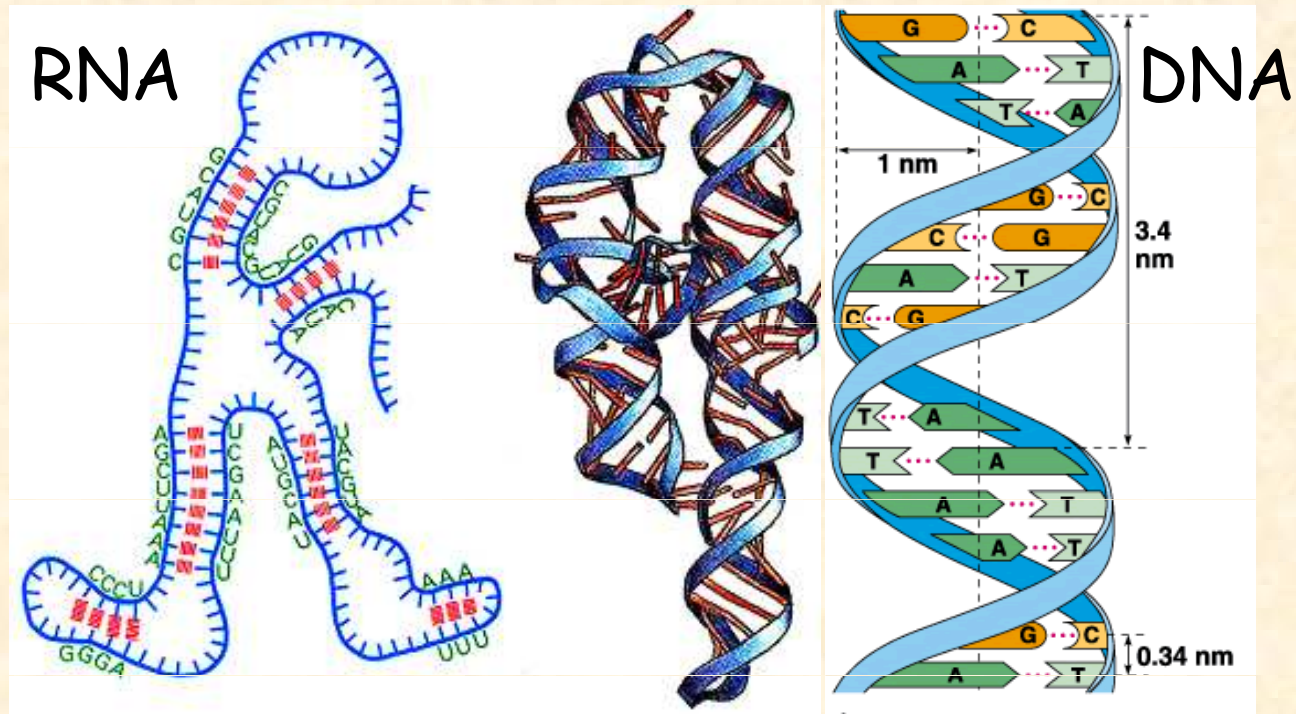
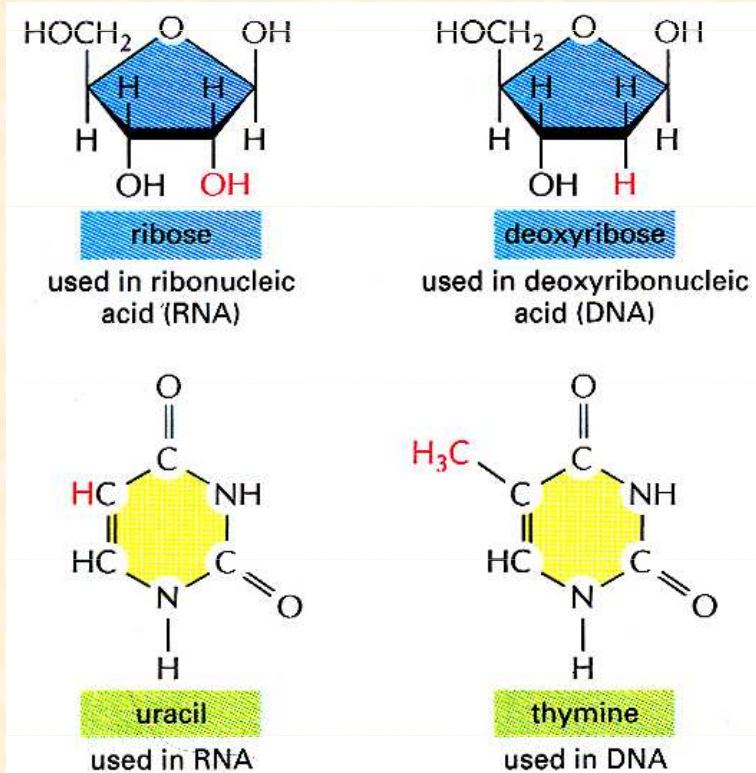
(b) Mitochondrial variants

	U	C	A	G		
U	UUU Phe UUC Phe	UCU Ser UCC Ser	UAU Tyr UAC Tyr	UGU Cys UGC Cys	Various Some chlorophytes (UAG = Leu) Some chlorophytes (UAG = Ala) Platyhelminths (UAA = Tyr)	
	UUA Leu UUG Leu	UCA Ser UCG Ser	UAA TER UAG TER	UGA TER UGG Trp		Ancestral mitochondrion -Dicyostelium -Plants Chondrus crispus Some prymniophytes Trp
C	CUU Leu CUC Leu GUA Leu GUG Leu	CCU Pro CCC Pro	CAU His CAC His CAA Gln CAG Gln	CGU Arg CGC Arg CGA Arg CGG Arg		Thr Yeast
A	AUU Ile AUC Ile AUA Ile AUG Met	ACU Thr ACC Thr ACA Thr ACC Thr	AAU Asn AAC Asn AAA Lys AAG Lys	AGU Ser AGC Ser AGA Arg AGG Arg	Nonsense Yeast	
					Nonsense Candida Proteobacteria (algae)	
G	GUU Val GUC Val GUA Val GUG Val	GCU Ala GCC Ala GCA Ala GCC Ala	GAU Asp GAC Asp GAA Glu GAG Glu	GGU Gly GGC Gly GGA Gly GGG Gly	Met Yeast Triceloblasts -Echinodermata	
					Various Bacteria (Ser) -Drosophila (nonsense) -Vertebrates (Gly) -Tunicates (TER)	

Proč je genetická informace uložena v DNA

Rozdíly mezi RNA a DNA:

Ribosa (2'-OH skupina)
Uracil místo thyminu (absence methylu v poloze 5)



Důsledky:

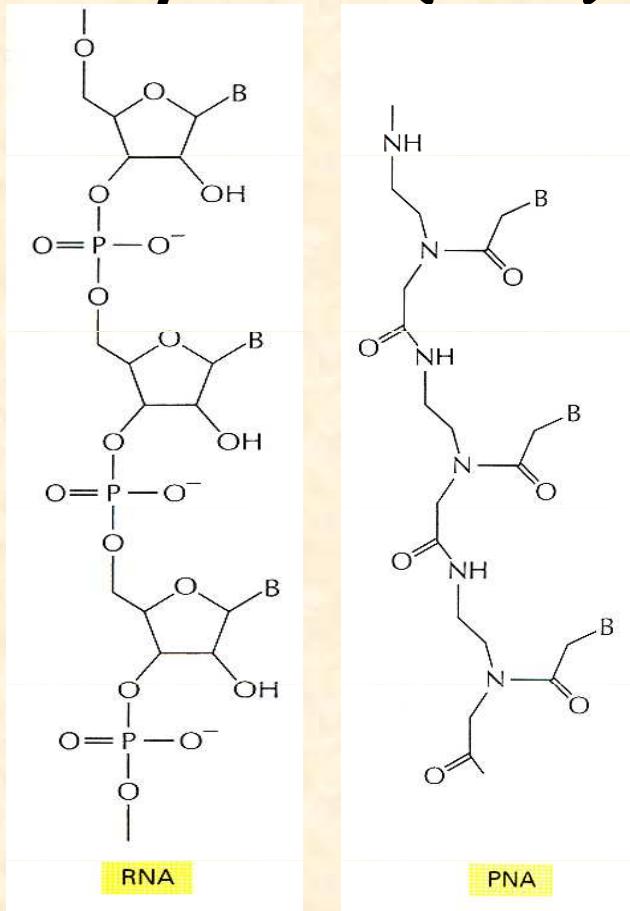
- vyšší chemická i fyzikální stabilita
- delší molekuly (uchování komplexní informace)
- dvouřetězcová (replikace)
- méně reaktivní deoxyribóza
- konformační flexibilita - funkční relevance

Genetické systémy předcházející světu RNA

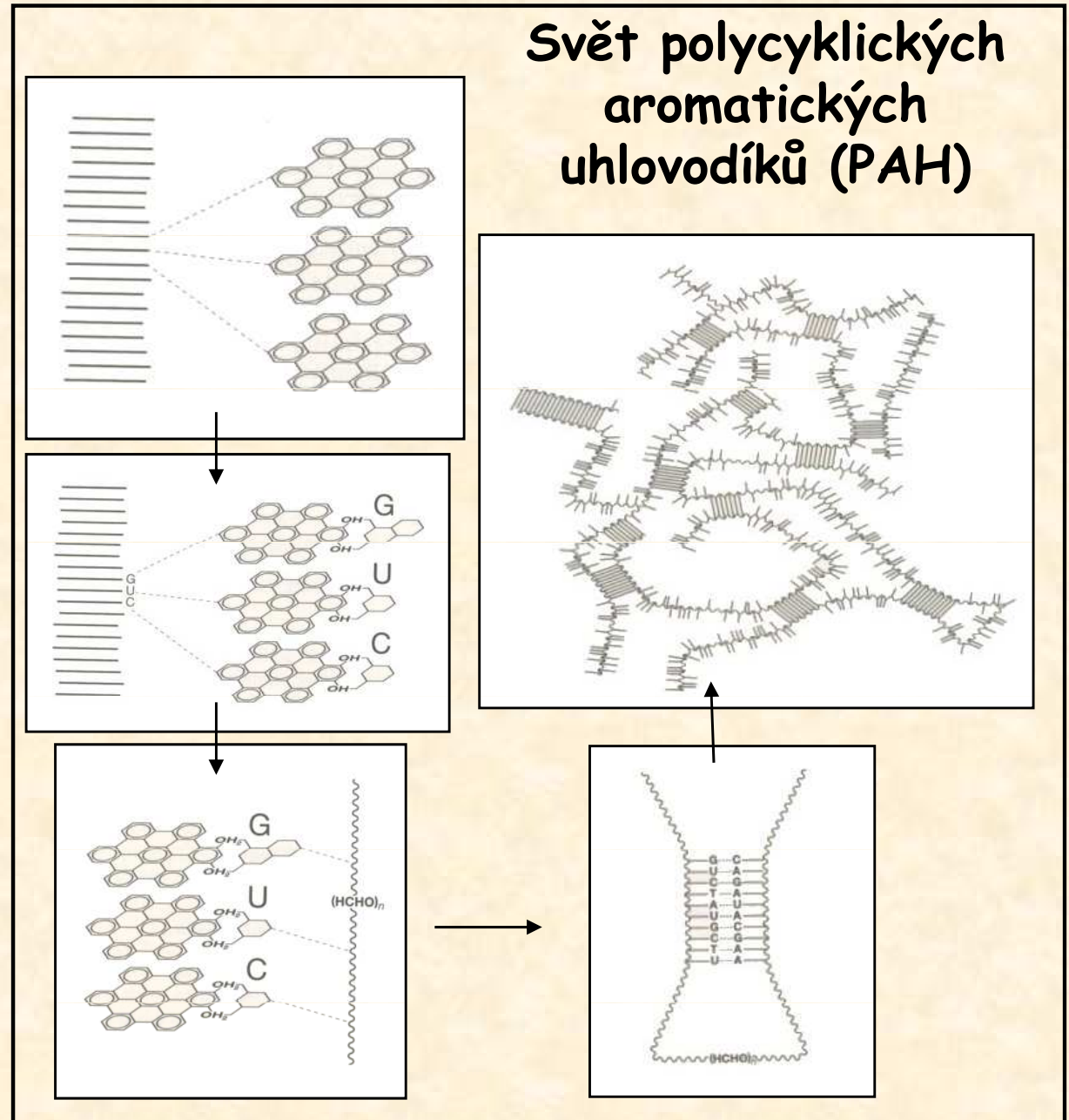
Molekuly RNA:

- chemicky **nestabilní**
- strukturně **složitá**

Peptidová nukleová kyselina (PNA)



Páteř - lysin, glycin

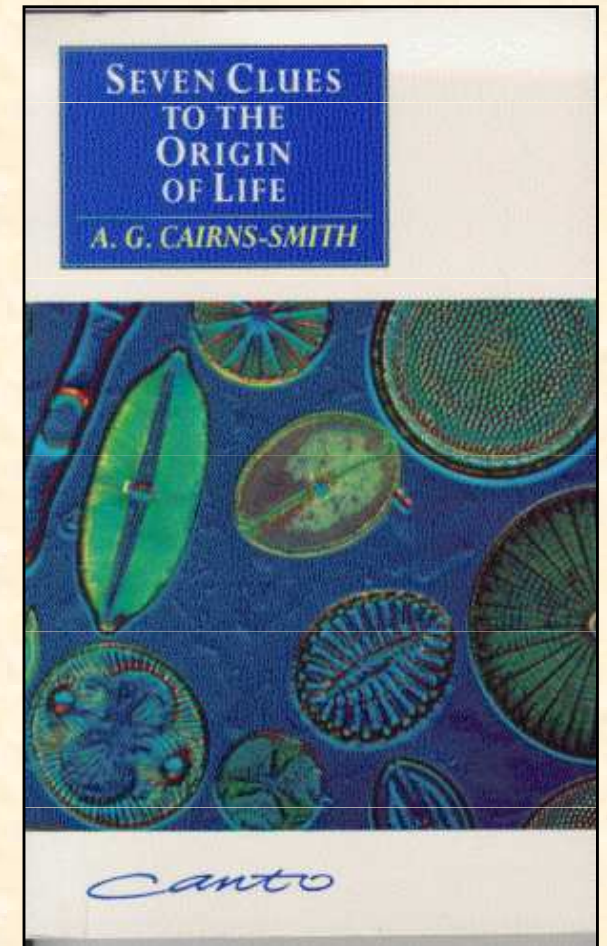


Jiný organizační princip: Teorie jílu

Alexander Graham Cairns-Smith (1985):
„Seven Clues to the Origins of Life“

- anorganické křemičitanové látky tvořící krystaly
- replikace
- mutace
- šíření do okolí, sedimentace
- obdoba přírodního výběru
- odpadá problém chiralidy

Problém **přechodu** („takeover“) od jílu
k nukleovým kyselinám, teorie není
široce akceptována



Zvláštnosti života a život na bázi křemíku?

Důvody pro křemík:

- vyšší stabilita, možnost života při vyšších teplotách
- ve vesmíru velmi rozšířen
- v periodické tabulce leží pod uhlíkem, podobná chemie
- váže čtyři vodíky (SiH_4 , silan), tvoří polymery (silikony), kde se střídají Si-O (podobně jako C-O tvoří polyacetaly)

Nevýhody:

- je větší a proto hůře tvoří dvojně a trojně vazby
- dlouhé řetězce méně stabilní
- silany jsou velmi reaktivní s vodou
- počet křemíkatých látek ve vesmíru 10x menší

Další prvky a rozpouštědla

Fosfor:

- může tvořit dlouhé polymery
- velmi reaktivní, stabilnější v kombinaci s dusíkem
- P-N vazbu tvoří různé sloučeniny i cyklické

Síra místo kyslíku - některé bakterie

Rozpouštědla:

Čpavek:

- rozpouští většinu organických látek i některé kovy
- normální tlak: kapalný při -79 až -33°C
- při 60 atm: kapalný při -77 až $+98^{\circ}\text{C}$
- podmínky pod povrchem měsíce Titanu