

## ME 1 Načela evolucije

### Mehanizmi evolucije

Dr. sc. Višnja Bačun-Družina, izv. prof.

### Evolucija

lat. *evolutio*: razvoj, razvitak; razvoj iz nižega u više, iz jednostavnoga u složeno;

Skup znanstvenih teorija i hipoteza o nastanku života, o zakonima i putovima postupnoga razvoja živoga svijeta; razvoj organizama od jednostavnih prema složenima; razvoj vrste, populacije, ili koje druge više sistematske skupine.

Evolucijske misli javile se u staroj Grčkoj (Heraklit, Empedoklo, Aristotel).

C. Linné u svojem djelu *Sustav prirode* (1735) proveo kategorizaciju svih dotad poznatih biljaka i životinja te zastupao načelo: »Vrsta ima onoliko koliko ih je od početka stvoreno.

Suprotno tomu kreacionističkom shvaćanju G. L. L. de Buffon u djelu *Povijest prirode* (1749–88) izražava misao o promjeni vrsta. Na temelju proučavanja velikog broja suvremenih biljaka i životinja, kao i opsežnoga paleontološkog materijala, on zaključuje da su »sve životinje proizišle od jednoga pretka, koji se tijekom vremena mijenjao i usavršavao te proizveo sve životinjske rodove«. Zoolog É. Lapepède, autor poglavlja o ribama u istoj knjizi, tumači sličnost organizama podrijetlom od zajedničkoga pretka i smatra da su te promjene u svezi s promjenljivim utjecajem okoliša i križanjem. Također govori o preživljavanju bolje prilagođenih vrsta te se približava Darwinovoj teoriji o prirodnom odabiru i selekciji.

### Nastanak života na Zemlji

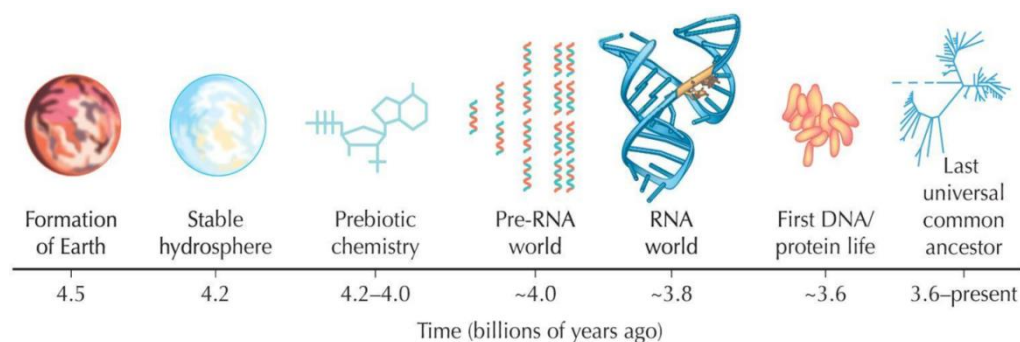


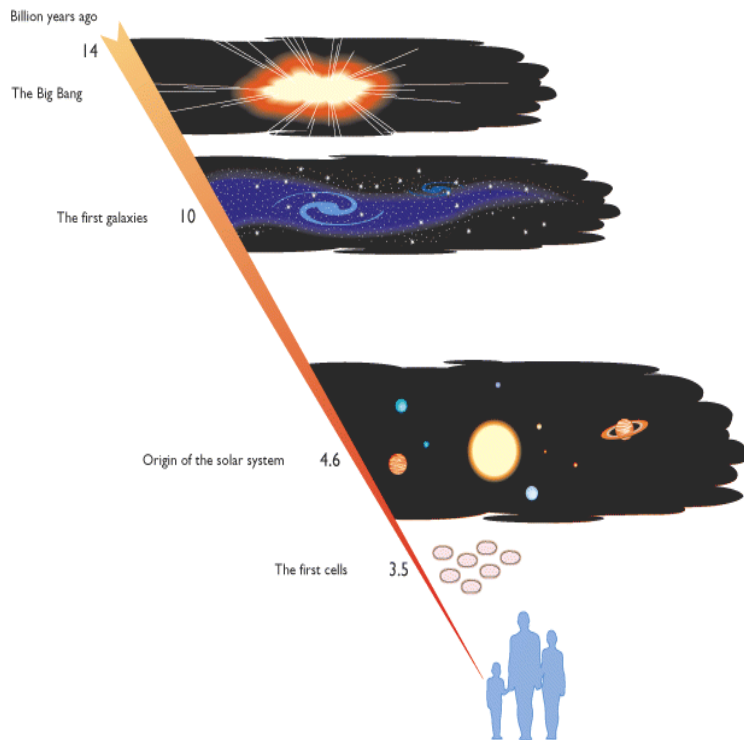
FIGURE 4.4. Steps in the origin of life.

4.4, modified from Joyce G.F., *Nature* **418**: 214–221, © 2002 Macmillan, www.nature.com

*Evolution* © 2007 Cold Spring Harbor Laboratory Press

Slika 1. Nastanak života na Zemlji do danas

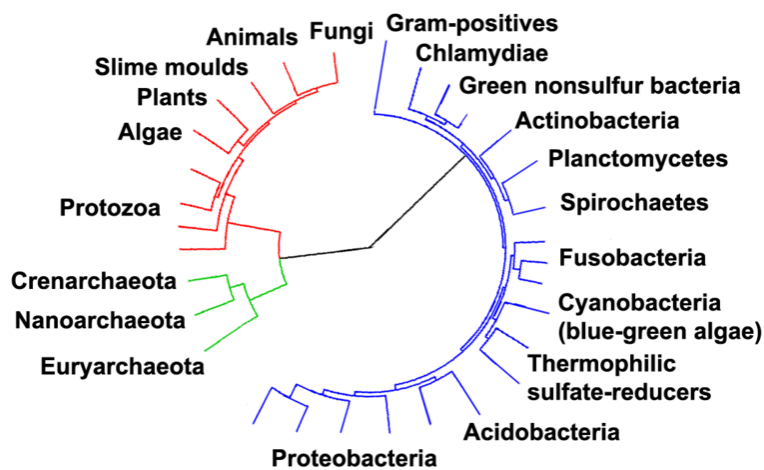
Početak univerzuma, galaksija, Sunčevog sustava i staničnog života u milijardama godina. 2.5 milijuna godina od pojave roda *Homo*.



Slika 2. Shematski prikaz vremenske skale od nastanka Zemlje i pojave čovjeka

### Evolucijsko (filogenetsko) stablo

- prikazuje promijene modelnih vrsta od njihovog zajedničkog pretka. Tri domene: bakterije, archaea i eukarioti.



Slika 3. Shematski prikaz promijene modelnih vrsta od njihovog zajedničkog pretka. Tri domene: bakterije, archaea i eukarioti.

## Uloga virusa u evoluciji života

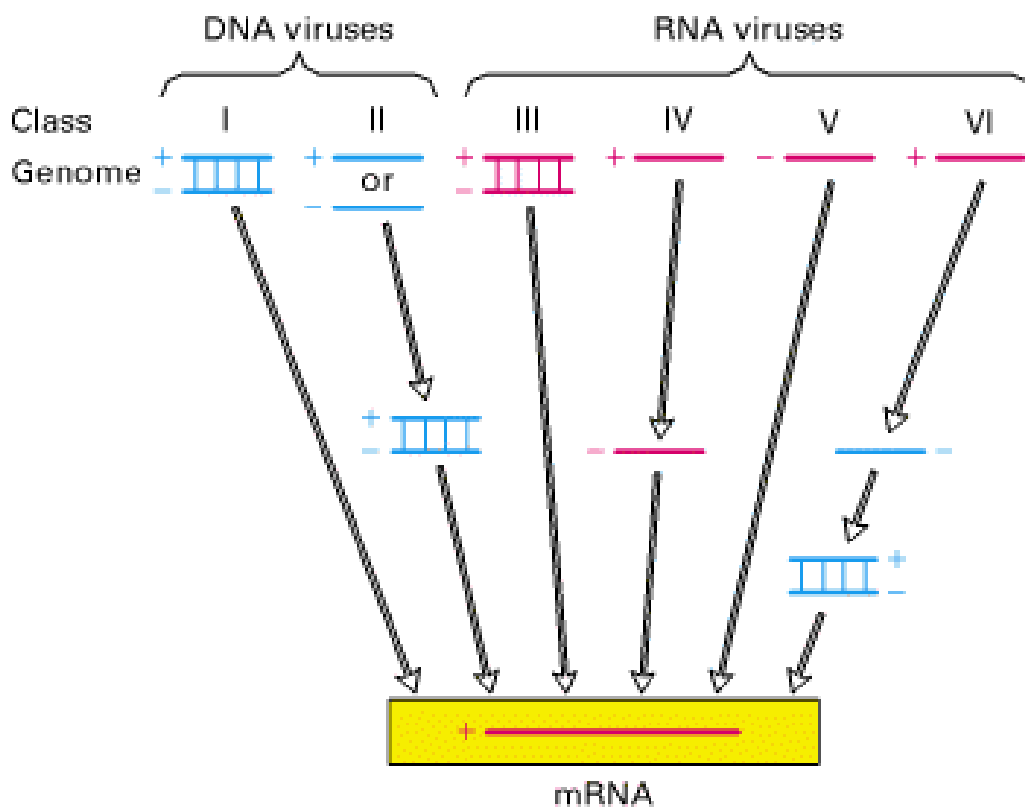
- RNA virusi su ostatak RNA svijeta
- Retrovirusi su ostatak RNA/DNA tranzicije (influenca, HIV..)
- Transformacije staničnog organizma u virusni bilo je mnogo lakše u svijetu RNA stanica (jednostavnije)
- Virusni su odigrali važnu ulogu u staničnoj evoluciji.
- Virusni mogu biti izvor novih staničnih DNA informacijskih proteina te stoga igrati ključnu ulogu u oblikovanju staničnog genoma.
- Ukoliko su virusi nastali davno u Zemljinoj prošlosti to omogućuje bolje razumijevanje njihove raznolikosti te objašnjava zašto većina viralnih genoma nema staničnih homologa.

## Klasifikacija animalnih virusa

na bazi sastava genoma i nastanka mRNA.

DNA – plava boja; RNA – crvena boja.

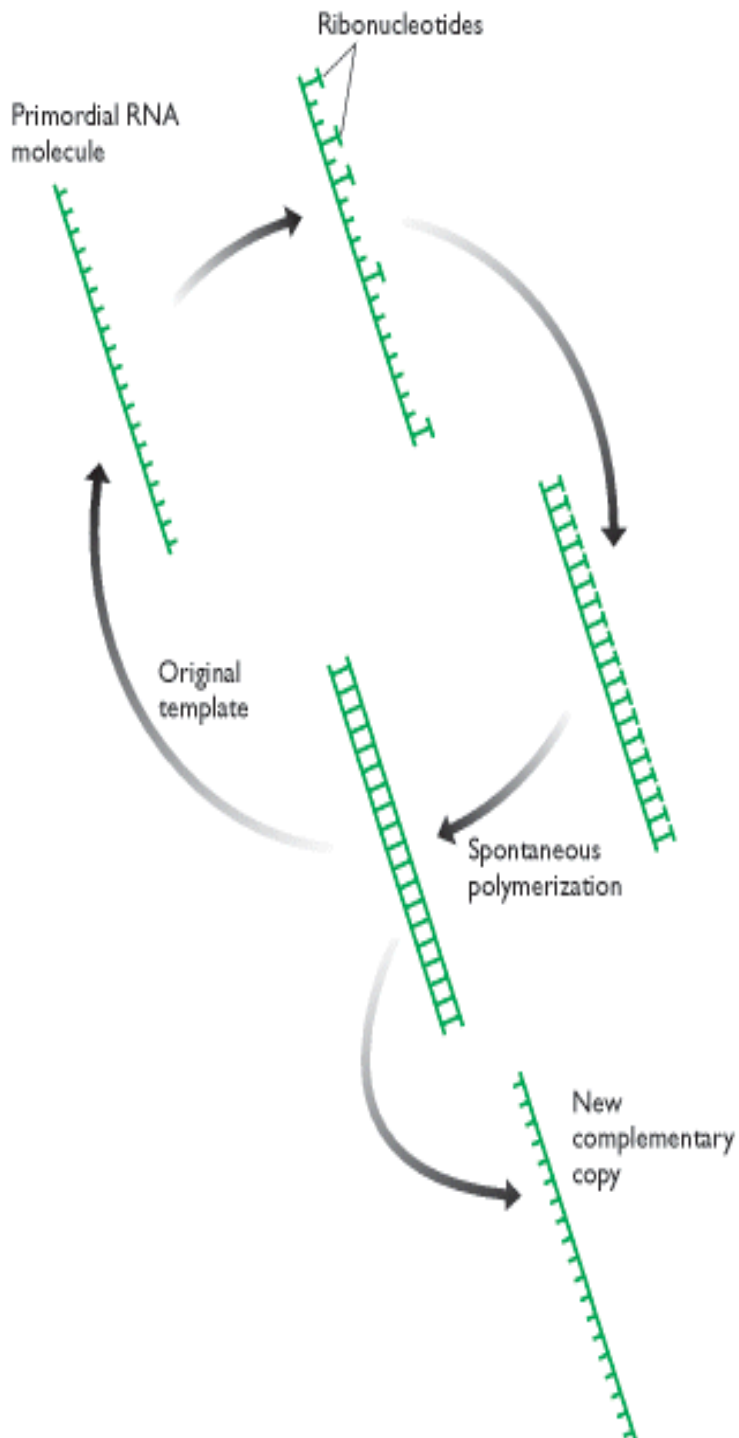
VI – retrovirusi.



Slika 3. Schematshki prikaz klasifikacije animalnih virusa obzirom na nasljedni materijal

## Stvaranje prvih molekula RNA

- Spontanom polimerizacijom ribonukleotida nastala je prva molekula RNA koja se nadalje spontano replicirala.
- Taj proces je bio uz mnoge pogreške pa su nastajale mnoge različite molekule RNA.



Slika 4. Shematski prikaz spontanog nastanka različitih oblika molekula RNA

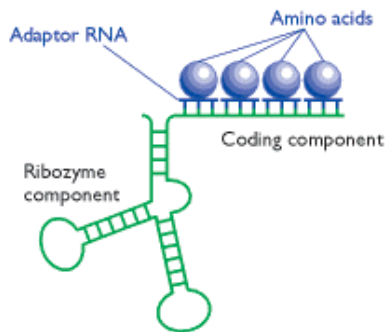
## Dvije mogućnosti evolucije prvih kodirajućih molekula RNA

Ribozim dvostruka funkcija: katalitička i kodirajuća.

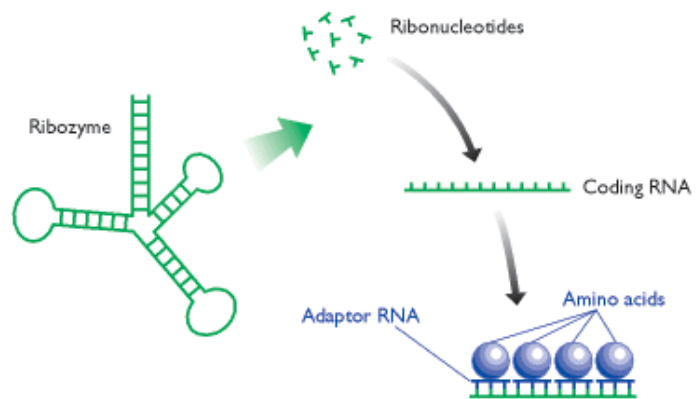
Ribozim (enzim) može sintetizirati kodirajuću molekulu.

U oba slučaja aminokiseline su povezane s kodirajućim molekulama posredstvom adaptor molekulom RNA, koje su preteče današnjih tRNA.

(A) A ribozyme that is also a coding molecule



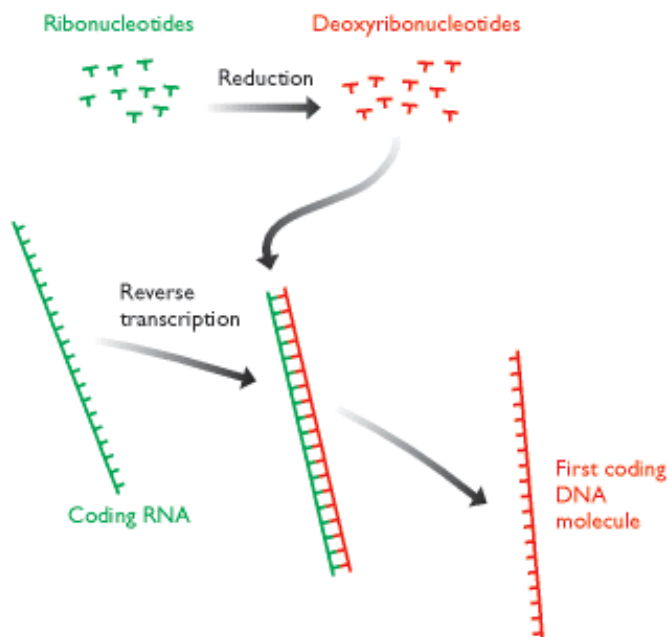
(B) A ribozyme that synthesizes coding molecules



Slika 5. Shematski prikaz djelovanja različitih molekula RNA

## Nastajanje prvih molekula DNA

Prepisivanje kodirajuće molekule RNA u preteču prvog lanca molekule DNA

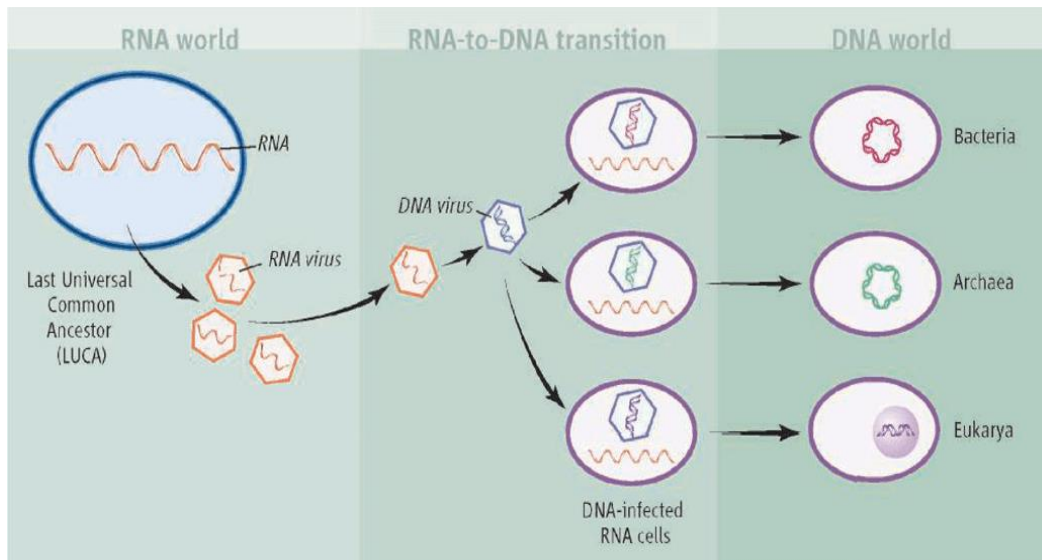


Slika 6. Shematski prikaz nastanka preteče prvog lanca molekule DNA

## Zašto danas DNA, a ne RNA?

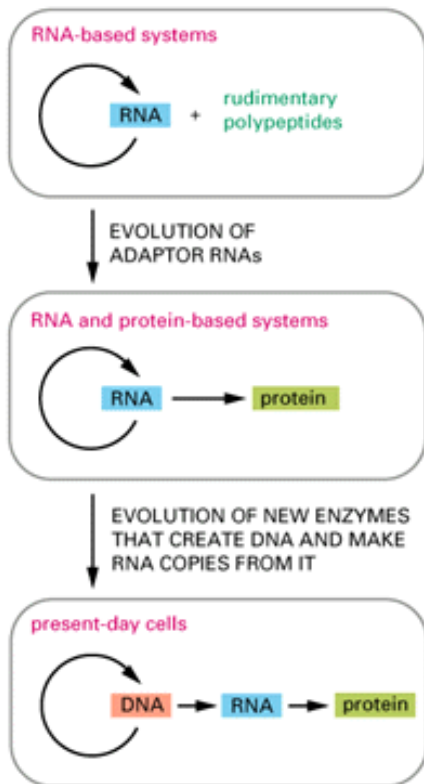
- DNA je stabilnija zbog svoje strukture;
- DNA je 100 puta stabilnija prema hidrolizi nego li RNA;
- Manje je sklona mutacijama;
- DNA molekule mogu sadržavati više genetičkog materijala u kompleksnim strukturama;

## Od RNA do DNA svijeta



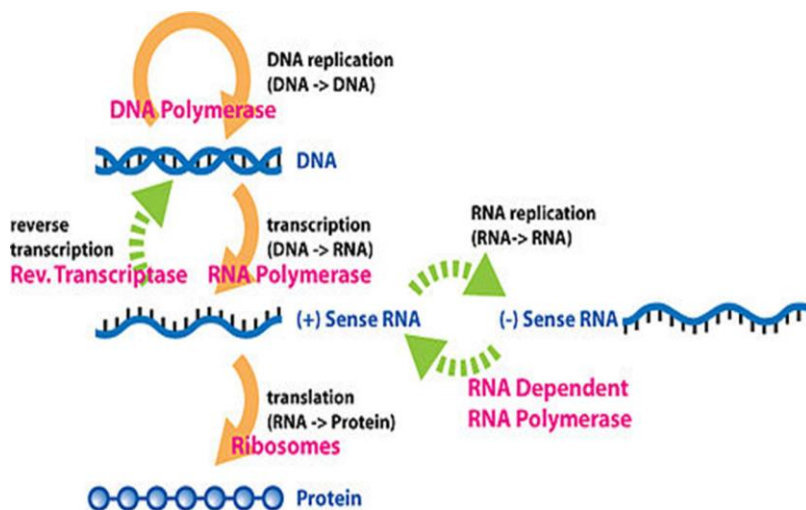
Slika . shematski prikaz nastanka stanica s DNA

## Evucija do prve prokariotske stanice



Slika . shematski prikaz nastanka prve prokariotske stanice molekulom DNA

### Centralna dogma molekularne genetike



Slika . shematski prikaz centralne dogme molekularne genetike

## Filogenija

- **znanost - određivanje i analiziranje evolucijskih odnosa između organizama**
- **phylon** = gr. "stabljika"; **genesis** = gr. "porijeklo"
- hijerarhijska struktura prema kojoj je svaki oblik života povezan sa svim ostali oblicima života;
- predstavlja istinsko stablo nasuprot teorijskim razmatranjima;
- raznim metodama nastoji što točnije povezati utvrđene činjenice.

## ODREĐIVANJE FILOGENIJE

- Dijeljenje naslijeđenih karakteristika – homologije koje su osnova određivanja filogenije.
- Filogenetske grupe možemo odrediti iz podataka: fosilni nalazi, morfologija, biogeografija, molekularni podaci (DNA, proteini), biokemijski podaci (antigeni, metaboliti).

## TAKSONOMSKI DIJAGRAMI

- grafički prikaz evolucijskih odnosa
- grupiraju organizme u skupine koje prvenstveno predstavljaju zajedničko porijeklo, a ne samo fizičku sličnost. Danas se u te svrhe najčešće koriste molekularni podaci kako bi se dobili što točniji i vjerodostojniji taksonomski dijagrami ("stablo").

## Grafički prikaz pretpostavljenih evolucijskih odnosa:

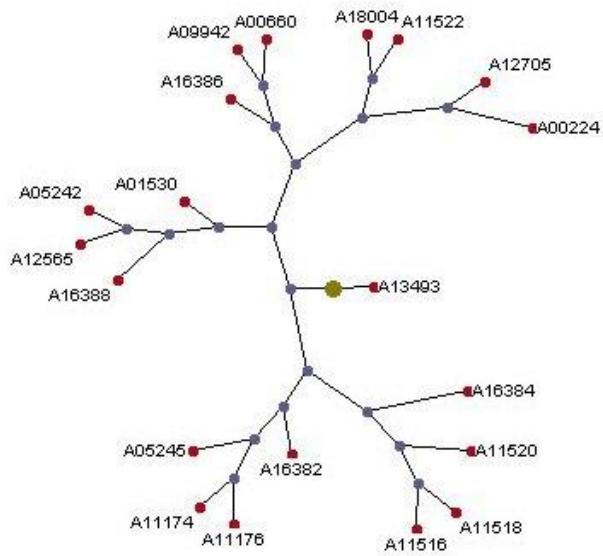
- **Filogenetsko stablo** predstavlja evolucijske odnose između organizama i može uključivati i izumrle vrste osim danas živućih.
- **Kladogrami** se temelje jedino na karakteristikama koje su prisutne u današnjim organizmima i predstavlja odnose temeljene na zajedničkim izvedenim karakteristikama neke grupe organizama.

## TAKSONOMSKI DIJAGRAM -Filogenetsko stablo (Filogram)

- duljine grana odražavaju evolucijsku udaljenost (milijarde godina-fosilni podaci, godine)



D:\프로젝트\1999\DNA\Implement\data\coli.ali  
Number Of Species = 20

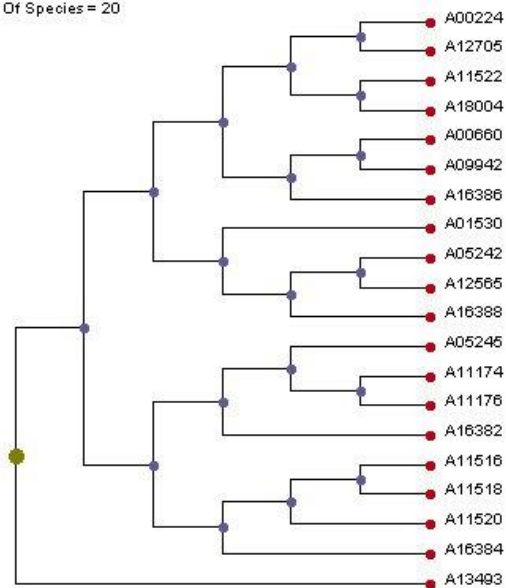


Slika . shematski prikaz filogenetskog stabla

### TAKSONOMSKI DIJAGRAM: Kladogram

- nema informacije o evolucijskoj udaljenosti, samo slijed događaja.

D:\프로젝트\1999\DNA\Implement\data\coli.ali  
Number Of Species = 20



Slika . Shematski prikaz kladograma

## MOLEKULARNA FILOGENIJA

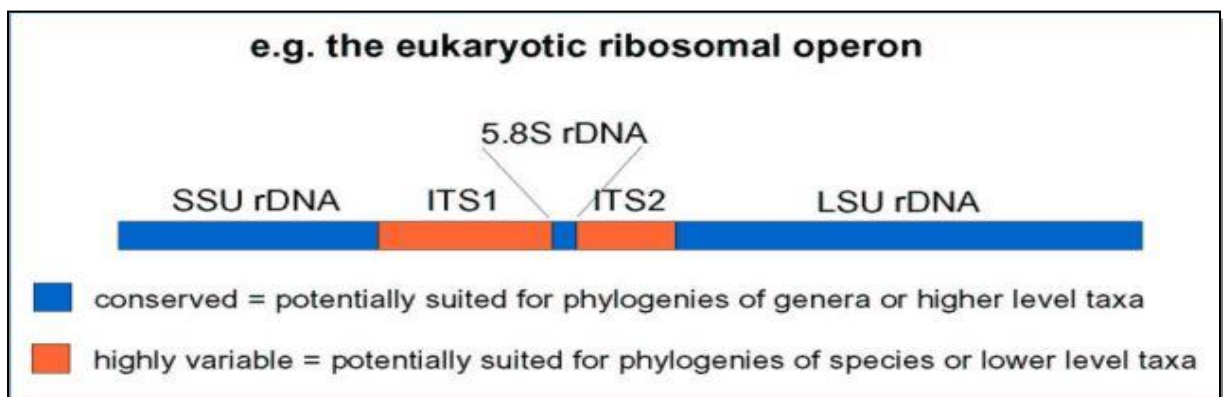
- temeljena saznanjima o procesima **MOLEKULARNE EVOLUCIJE**;
- proučava odnose između organizama upotrebom **MOLEKULARNIH MARKERA**;
- razlike između molekularnih sekvenci predstavljaju genetske različitosti uzrokovane mutacijama nakupljenima tijekom procesa molekularne evolucije.

## MARKERI U MOLEKULARNOJ FILOGENIJI

- **nukleinske kiseline** - primarna struktura (nukleotidni slijed) - 4 nukleotida;
- **proteini**- primarna struktura - 20 aminokiselinskih ostataka.

## IZBOR MOLEKULARNIH MARKERA

- **Jedinstveni** = “single-copy” geni (protein-kodirajući) ili **visoko-sinhronizirani geni** (npr. ribosomalna DNA), **geni mitohondrija** ili **kloroplasta**;
- **varijabilniji** geni (ili dijelovi gena) pogodni za blisko srodne vrste, a **sačuvaniji** geni (ili dijelovi gena) za udaljene vrste.



Slika . shematski prikaz eukariotskog ribosomalnog operona

## Nastanak fenotipa

- Fenotip pojedinačnog organizama rezultat je genotipa i utjecaja okoline u kojoj živi.
- Najveći dio varijacija fenotipa u populaciji uzrokovan je razlikama u njihovom genotipu.

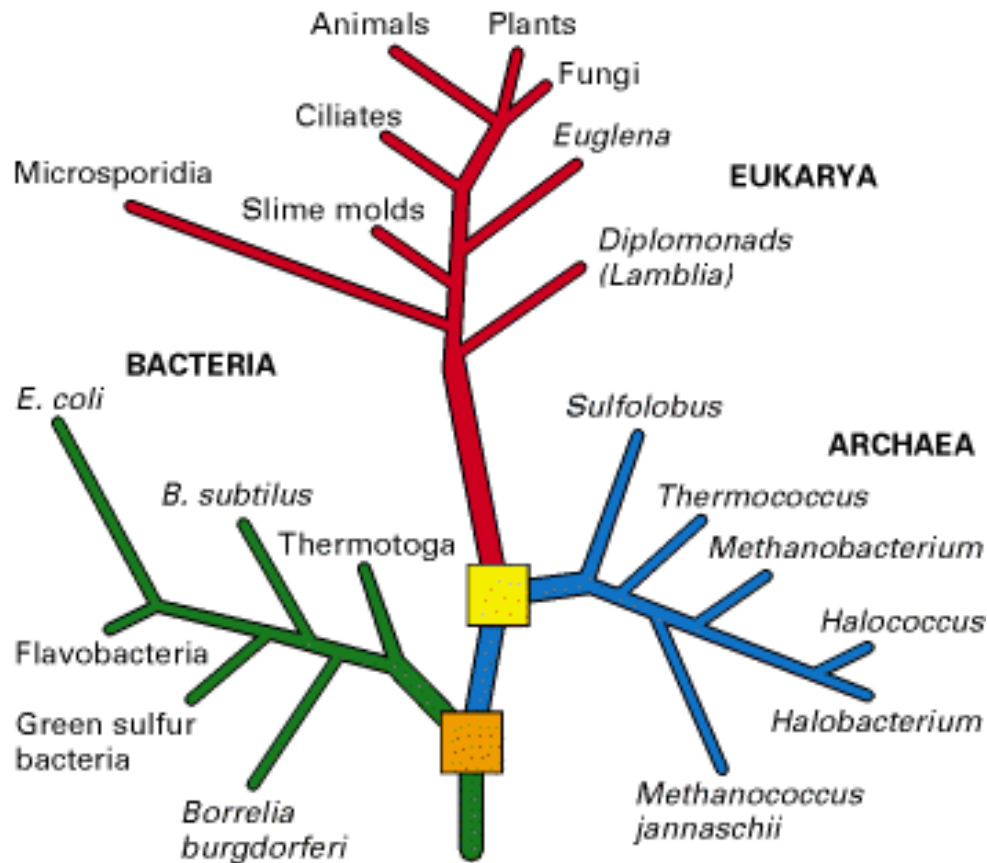
## Evolucijsko (filogenetsko) stablo


prikazuje promijene modelnih vrsta od njihovog zajedničkog pretka. Tri domene: bakterije, archaee i eukarioti.


temeljeno na genima rRNA

Last Universal Common Ancestor or LUCA

Last Eukaryotic Common Ancestor or LECA



 Presumed common progenitor of all extant organisms

 Presumed common progenitor of archaeobacteria and eukaryotes

Slika . Shematski prikaz evolucijskog stabla

## Lamarckova teorija evolucije

J. B. Lamarck objavio:

1801. *Sustav životinja bez kralježnice* te put iznio ideju o zajedničkom podrijetlu organizama i njihovu postupnom razvoju, koju je

1809. u poznatom djelu *Filozofija zoologije* razradio prvu cjelovitu evolucijsku teoriju.

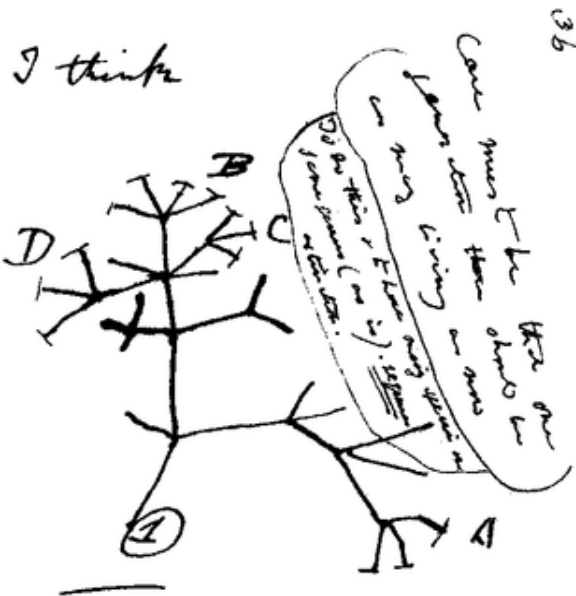
Lamarck je smatrao da u prirodi postoji polagan, neprekidan proces preobrazbe vrsta. Činitelje koji su uvjetovali taj proces Lamarck svodi na promjene okoliša po kojima se mijenjaju i potrebe životinje, pa time ona stječe nove navike. U skladu s novim navikama i potrebama jedni se organi više upotrebljavaju i jače razvijaju; obratno, neupotrebljavanje organa dovodi do njihova slabljenja i iščezavanja u potomaka. Te su promjene po Lamarcku uvijek adekvatne uvjetima sredine, a roditelji ih prenose na potomstvo. Tako su npr. krtici reducirane oči, jer ih pod zemljom ne upotrebljava. Te prilagodbe nastaju zbog volje životinje, napregnute želje, težnje da zadovolji svoje potrebe i navike. Lamarck je prvi obuhvatio u cjelini evolucijski problem, ali se zbog manjkavih rezultata tadašnje znanosti zapleo u teleološke pogriješke.

### **Darwinova teorija evolucije**

Sredinom 19. stoljeća prirodne su znanosti već raspolagale mnogobrojnim činjenicama koje su govorile u prilog evoluciji. Postignuti su znanstveni uspjesi na području poredbene anatomije, osnovnih kralježnjaka (G. Cuvier i dr.), i poredbene embriologije, K. E. Baer je utvrdio sličnost zametaka svih kralježnjaka. T. Schwann (1839) je otkrio jedinstvo stanične građe svih živih bića tzv. celularna teorija i osnovao znanost o stanici – citologiju. U poljoprivredi se razvijala tehnika selekcije, engleski stočari i poljoprivrednici uzgajali su nove pasmine domaćih životinja i nove sorte kulturnoga bilja. Za obradbu i dokumentaciju svoje evolucijske teorije Darwin je imao povoljni znanstveni teren. Uza sve to on je dugo oklijevao s izdavanjem svojega djela *O podrijetlu vrsta posredstvom prirodne selekcije* (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1859) uz uz poticaj istomišljenika A. R. Wallace. Darwinova teorija evolucije poziva se ponajprije na prirodni odabir ili selekciju koja uništava jedinke slabije prilagođene uvjetima života, a podupire one bolje prilagođene. Individualne varijacije koje ulaze u proces selekcije mogu, po Darwinovu mišljenju, biti determinirane vanjskim (okoliš) i unutarnjim (poslije nazvani genetičkim) faktorima. On je dokazao da evolucija ima adaptivan značaj i da je org. svrhovitost relativno izražena u prilagođenosti organizma na određeni povijesno uvjetovani kompleks vanj. uvjeta. Darwinovu teoriju dalje su razradili, proširili i produbili T. H. Huxley, E. Haeckel, K. A. Timirjazev i dr. E. Haeckel je znanstveno razradio problem jedinstva žive i nežive prirode, postanak života kemijskim putem iz nežive prirode, monofiletsko podrijetlo živih bića. Filogenija je po Haeckelu osnovna znanost o promjenama oblika kroz koje prolaze organizmi tijekom cijeloga svojeg razvoja.

### **Darvinizam**

- evolucija ima adaptivan značaj i svrhovitost je relativno izražena u prilagođenosti organizma na određeni povijesno uvjetovani kompleks vanjskih uvjeta.
- **Neodarvinizam** - uz činitelje selekcije uvrštene su promjene nasljednog materijala putem mutacija i rekombinacije gena.



There between A & B. various  
 sort of relation. C & B. The  
 finest gradation, B & D  
 rather greater distinction  
 than former would be  
 formed. - binary relation

Slika . In mid-July 1837 Darwin started his "B" notebook on *Transmutation of Species*, and on page 36 wrote "I think" above his first evolutionary tree.

- teorija je rezultat ogromne količine prikupljenog prirodnog materijala od strane Charlesa Darwina o različitim vrstama biljaka i životinja, tijekom svog putovanja na brodu - HMS Beagle koji je trajao oko 5 godina (od 1831.)



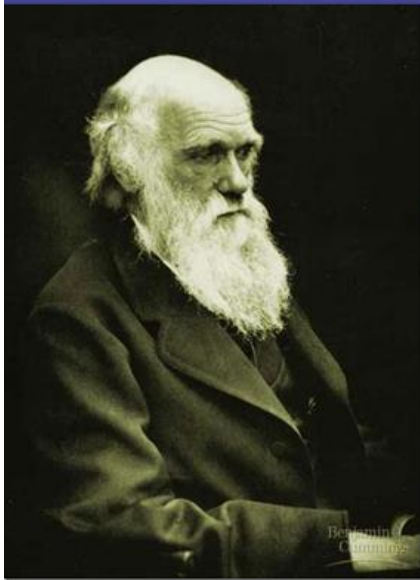
Slika . Prikaz broda HMS Beagle kojim je C. Darwin putovao oko 5 godina (od 1831.)

### **Darwinova teorija prirodnog odabira**

- Otkriće fosilnih kostiju velikih izumrlih sisavaca u Argentini i
- proučavanje brojnih vrsta zeba na otočju Galapagos su događaji kojima se pripisuje Darwinov poseban interes za porijeklo vrsta.

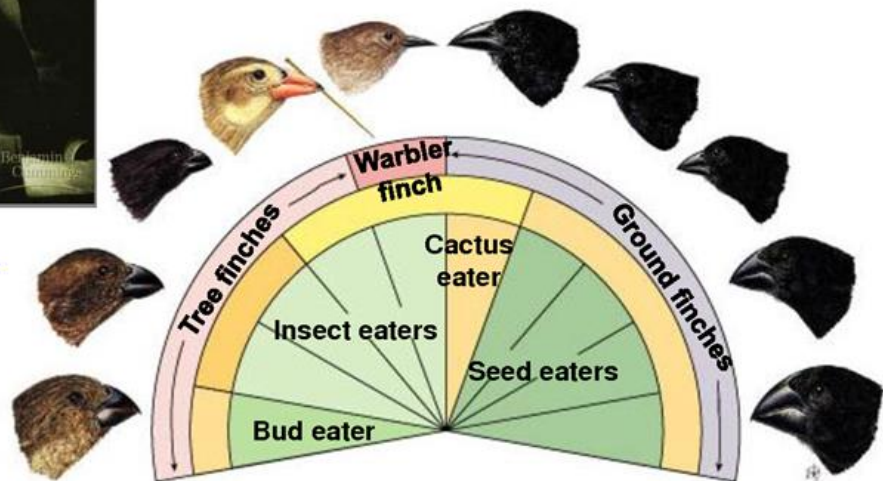
### **Adaptivna radijacija**

- na svijetu postoji oko 1500 poznatih vrsta vinske mušice (lat. *Drosophila*). Skoro jedna trećina od ukupnog broja žive na Havajima i nigdje drugdje, iako je ukupna površina arhipelaga manja od jedne dvadesetine površine Njemačke. Također, na Havajima postoji više od 1000 vrsta puževa i drugih kopnenih mekušaca koji ne žive nigdje drugdje. Ova neuobičajena raznovrsnost se može jednostavno objasniti evolucijom. Naime, Havajsko otočje je ekstremno izolirano i imalo je jako mali broj kolonizatorskih vrsta - biljaka i životinja koji su na Havaje dospjeli sa drugih mjesta na kojima su imale značajnije populacije. Kako na otočku prije njihovog dolaska nije bilo drugih kopnenih živih vrsta, budući da su Havaji vulkanskog porijekla i kao takvi su doslovno izronili iz mora u relativno kratkom geološkom periodu, vrste koje su na Havaje dospjele na njima su naišle na veliki broj slobodnih ekoloških niša. U takvim izoliranim lokalnim ekosustavima te nove vrste su se mogle slobodno razvijati budući da nije bilo konkurentnih vrsta kao ni grabežljivaca koji bi ih spriječili da se množe. U takvim uvjetima došlo je do ubrzane diverzifikacije, procesa koji je omogućio da se popune sve dostupne ekološke niše, a kojeg nazivamo adaptivna radijacija.



## Darwin & Evolution by Natural Selection

Regents Biology



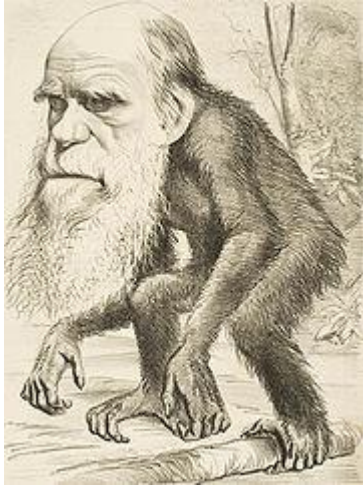
Slika . Prikaz Darwinovih zeba podijeljenih prema obliku kljuna i hranjenja

### Charles Robert Darwin

- autor prve moderne teorije o evoluciji živih bića pomoću koncepta razvijanja svih životnih oblika procesom prirodne selekcije.



Slika . Charles Robert Darwin, (Engleska,1809 -1882.),



Slika . Karikatura iz 1870. na temu teorije o evoluciji, spajanjem majmunovog tijela sa Darwinovom glavom!

## **DARVINIZAM**

Osnovne postavke Darwin-ove teorije (DARVINIZAM) možemo sumirati:

1. Populacije ne mogu rasti neograničeno, već u prosjeku veličina populacije ostaje stabilna.
  2. Jedinke određene/neke vrste pokazuju varijacije.
  3. U prosjeku, više se producira potomaka nego je potrebno da nadomjestite svoje roditelje.
  4. Iz gornjeg proizlazi da mora postojati nadmetanje (kompeticija) za preživljavanje.
  5. Što znači, najbolje prilagođene (adaptirane) varijacije (razvijene pogodnosti) preživljavaju.
- Budući se uvjeti u okolišu mijenjaju, kroz dugi vremenski period se pojavljuje proces prirodne selekcije koji favorizira ispoljavanje različitih varijanti i u konačnici nove vrste ("porijeklo vrsta")

## **Darwinova teorija evolucije**

- 1858. Charles Darwin i Alfred Russel Wallace predložili su teoriju evolucije pomoću prirodne selekcije;
- 1859. Charles Darwin -The Origin of Species..... Porijeklo vrste

## **Razvitak neodarvinizma**

Usprkos različitim lamarkističkim smjerovima i hipotezama, koje negiraju Darwinovo načelo prirodnog odabira, zoolog A. Weismann priznaje jedino faktore prirodnog odabira. Te nastaje teorija neodarvinizam ili vajsmanizam. Weismann proširuje načelo prirodnog odabira i na procese koji se zbivaju u samom organizmu. Smatra da je nasljedna tvar ili zametna plazma sastavljena od niza nasljednih jedinica koje su okupljene u jezgri stanice. Za najvažniju smatra bi posebne materijalne jedinice, »determinante«, koje određuju svojstva pojedinih stanica. Determinante se mogu pojedinačno i neovisno mijenjati te cijeli organizam postaje mozaik pojedinih svojstava. Takvim razmišljanjem Weismann svu raznolikost evolucijskoga procesa svodi na kombinaciju nasljednih elemenata. Weismannovu teoriju prihvatio je botaničar H. de Vries i postavio mutacijsku teoriju evolucije. Po toj teoriji organizmi se mijenjaju samo u iznenadnim, skokovitim promjenama (mutacijama), koje se javljaju



neovisno o utjecaju okoliša. Mutacije nenadano proizvode nove vrste, koje su odmah stalne. Na temelju novih znanstv. činjenica Stephen Jay Gould i Niles Eldredge dali su nov model evolucijskih promjena koji su nazvali isprekidanom ravnotežom (engl. *punctuated equilibria*) ili punktualizmom, prema kojem se evolucijske promjene događaju naglo, nakon dugotrajna razdoblja stagnacije, za razliku od gradualizma – mišljenja da se evolucijski proces odvija postupno kroz dugo vrijeme.

Postoji niz evolucionističkih hipoteza, smjerova i pravaca, koje su doprinijele razvoju biologije, i uglavno su povijesnog značaja.

### **Sintetička teorija o evoluciji**

Istraživanja značajnih znanstvenika R. A. Fischer, J. S. Huxley, S. Wright, H. J. Muller, Th. Dobzhansky, E. Mayr, G. G. Simpson, R. Goldschmidt, N. V. Timofejev-Resovski, N. P. Dubinjin, Ivan Ivanovič Šmaljgauzen uspostavljena je moderna teorija darvinizam koja, uz neke izmjene, izvanredno ugrađuje rezultate moderne molekularne biologije.

Evolucija živih bića sagledava se kroz: a) povijesne činjenice koje imaju svoj tijek i b) kao proces kojemu su i sada podvrgnuta živa bića te se može dobiti uvid u njezin utjecaj. Povijesne činjenice dokumentirane su mnogobrojnim paleontološkim nalazima i komparativnim proučavanjima. Iz činjenice postojanja oko 2 milijuna različitih vrsta živućih eukariotskih organizama i mnoštva utvrđenih izumrlih može se zaključiti da svi organizmi imaju zajednička temeljna svojstva, a to su reprodukcija, asimilacija i iskorištavanje energije. Budući da prvi oblici života, kao što su virusi i mikroorganizmi, nisu mogli ostaviti povijesne tragova, evolucijska se proučavanja stalno nalaze pred problemom kako su se i u kojim okolnostima pojavila najjednostavnija živa bića.

### **Evolucija**

- Genetska adaptacija (prilagodba) populacije jedinki na okoliš tijekom vremena.
- Evolucija objašnjava jedinstvo i raznolikost života.
- Jedinstvo: živa bića imaju zajedničkog pretka; biokemijsko jedinstvo.
- Raznolikost: svaka vrsta je jedinstveno prilagođena svom načinu života.
- Teorija prirodne selekcije: iz populacije različitih jedinki, najsposobnije preživljavaju i razmnožavaju se, prenoseći korisna svojstva;
- Promjene nasljednog materijala nastale u jedinki iz određene populacije, a koje se prenose na potomstvo;
- promjene su uzrokovane kombinacijom pet glavnih procesa: varijacija (mutacije, rekombinacije, horizontalni prijenos gena) reprodukcija, migracije, prirodni odabir (selekcija) i genetička otklon ili snaga (drift).