

# Kambrijska eksplozija i život u fanerozoiku

2.11.2012.



# Da ponovimo: šta je bitno?

- Kondenzacija Zemlje ( $-4540 \pm 50$  Ma)
- Nastanak Meseca ( $-4527 \pm 10$  ili  $-4480 \pm 20$  Ma)
- Kasno teško bombardovanje ( $-[4100-3800]$  Ma)
- Biogeneza (-3800 Ma)
- „Snežna grudva“ (-2400, -650, ? Ma)
- Ediakarska fauna ( $-[635-542]$  Ma)
- **Kambrijska eksplozija ( $-[542-530]$  Ma)**
- „Velikih šest“ masovnih izumiranja ( $-542?$ ,  $-443/450?$ ,  $-374?$ ,  $-251$ ,  $-205$ ,  $-65.5$  Ma)
- Noogeneza (-2 Ma ???)

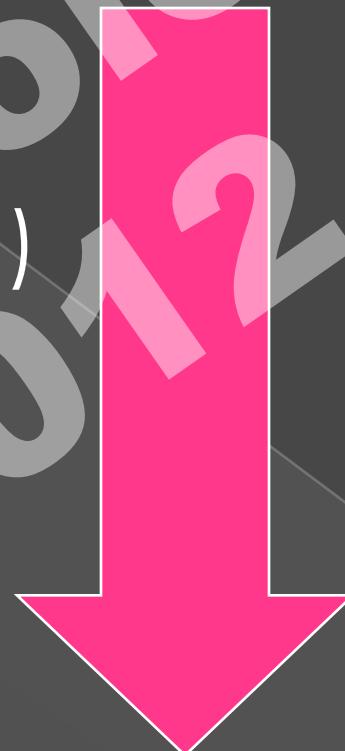


„Darvin ne bi bio moguć, da mu nije prethodio Line.“ – Klod Levi-Stros

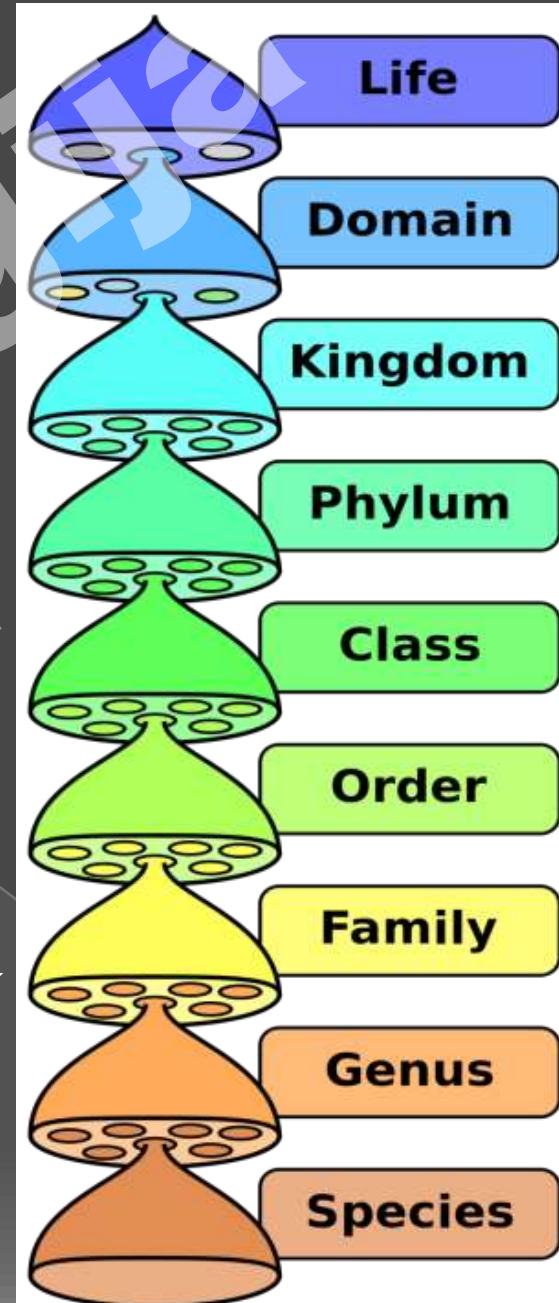
# Lineovska taksonomija – moderna verzija

- Domen (superkraljevstvo)
- Kraljevstvo
- **Phylum** (tip, koleni!?)
- Klasa
- Red
- Familija
- Rod (genus)
- **Vrsta**

opšte, široko



specifično,  
usko



# Primer:

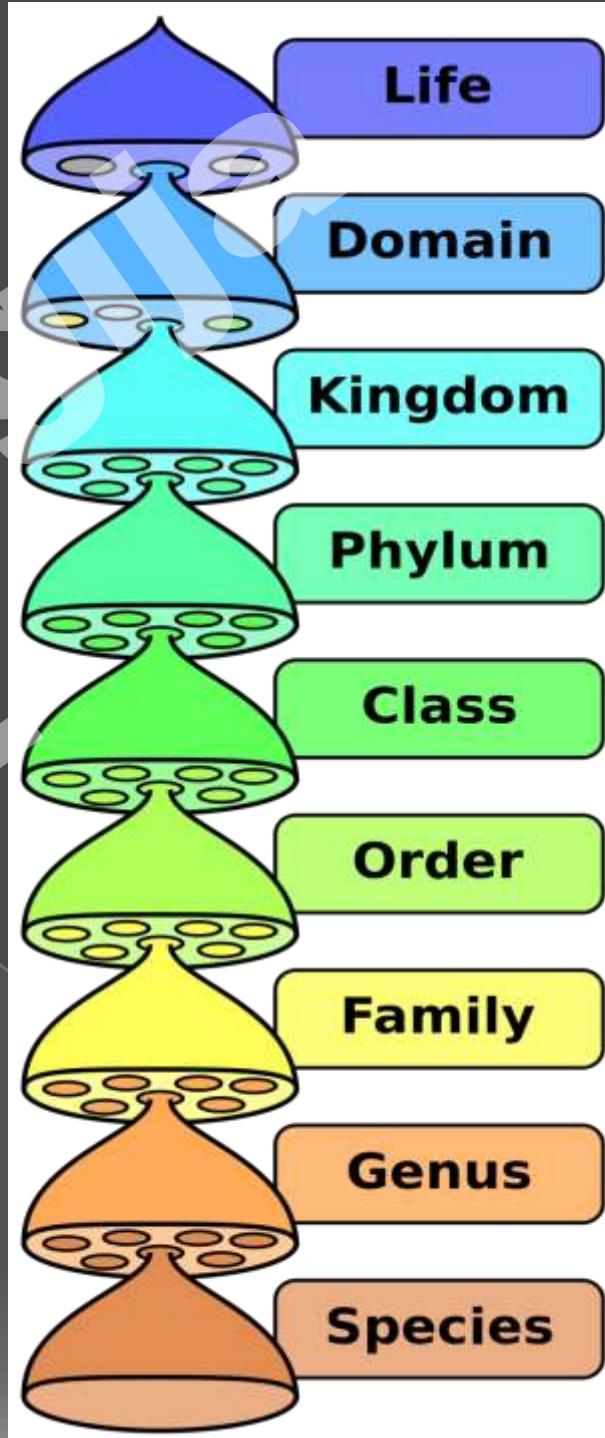


- Domen: Eukarya (eukarioti)
- Kraljevstvo: Animalia (životinje)
- Phylum: Chordata (kičmenjaci)
- Klasa: Mammalia (sisari)
- Red: Carnivora (mesojedi)
- Familija: Felidae (mačke)
- Rod: *Panthera*
- Vrsta: *Panthera leo*

Primer protiste: *Chaos carolinense*  
(!)



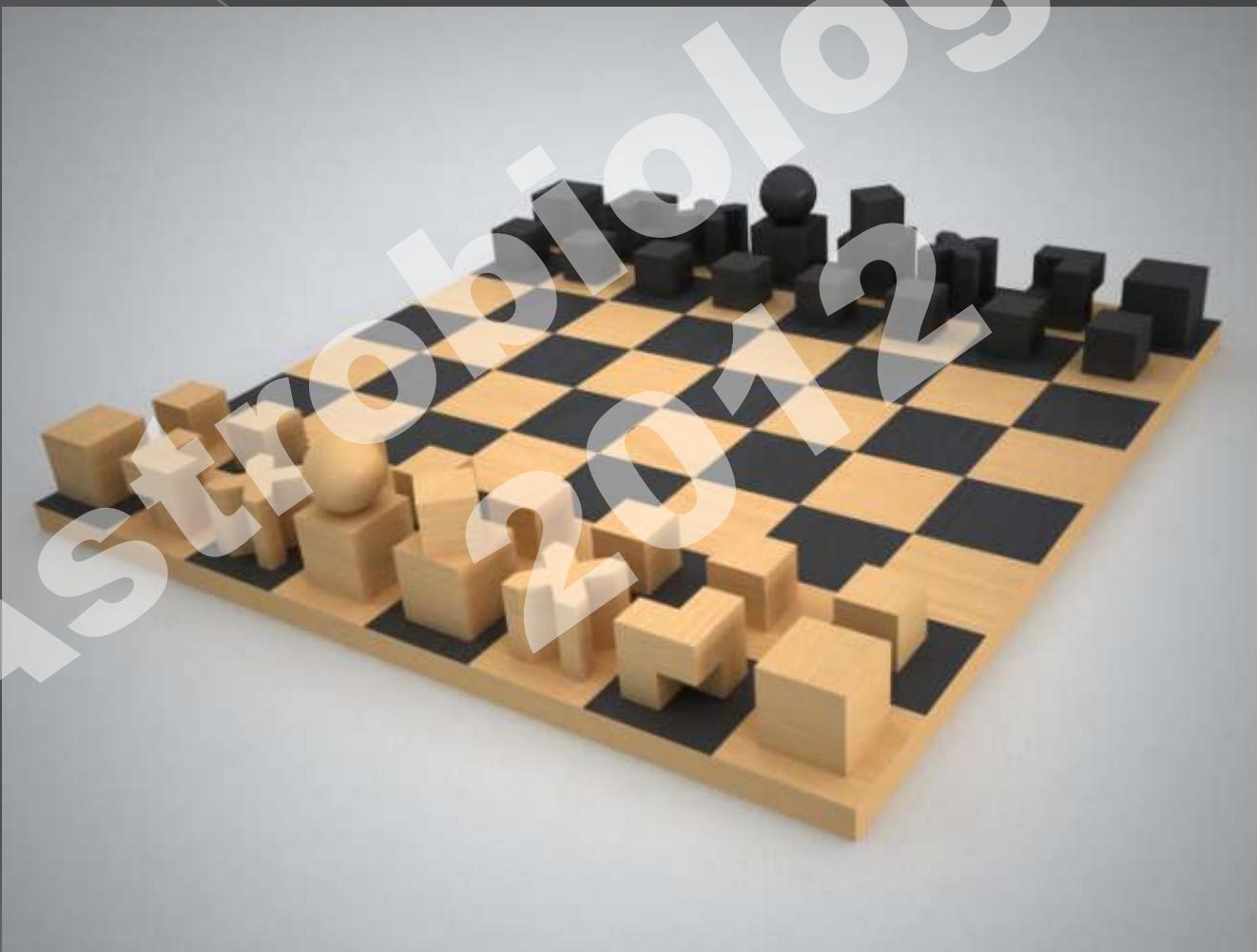
- 3 domena (Woese, 1990):
  - > Bacteria,
  - > Archaea,
  - > Eukarya
- Unutar Eukarya, 4 kraljevstva:
  - > Animalia (životinje),
  - > Plantae (biljke),
  - > Fungi (gljive),
  - > Protista (jednoćelijski eukarioti, npr. amebe)
- Unutar kraljevstva životinja:  
**oko 35 filuma**
- Filumi odslikavaju različite telesne planove!



**Filumi predstavljaju različite  
biološke forme / morfologije /  
dizajne / telesne planove (die  
Baupläne)!**



# Bauhaus – Bauplan (važnost dizajna, ne brkati sa ID)



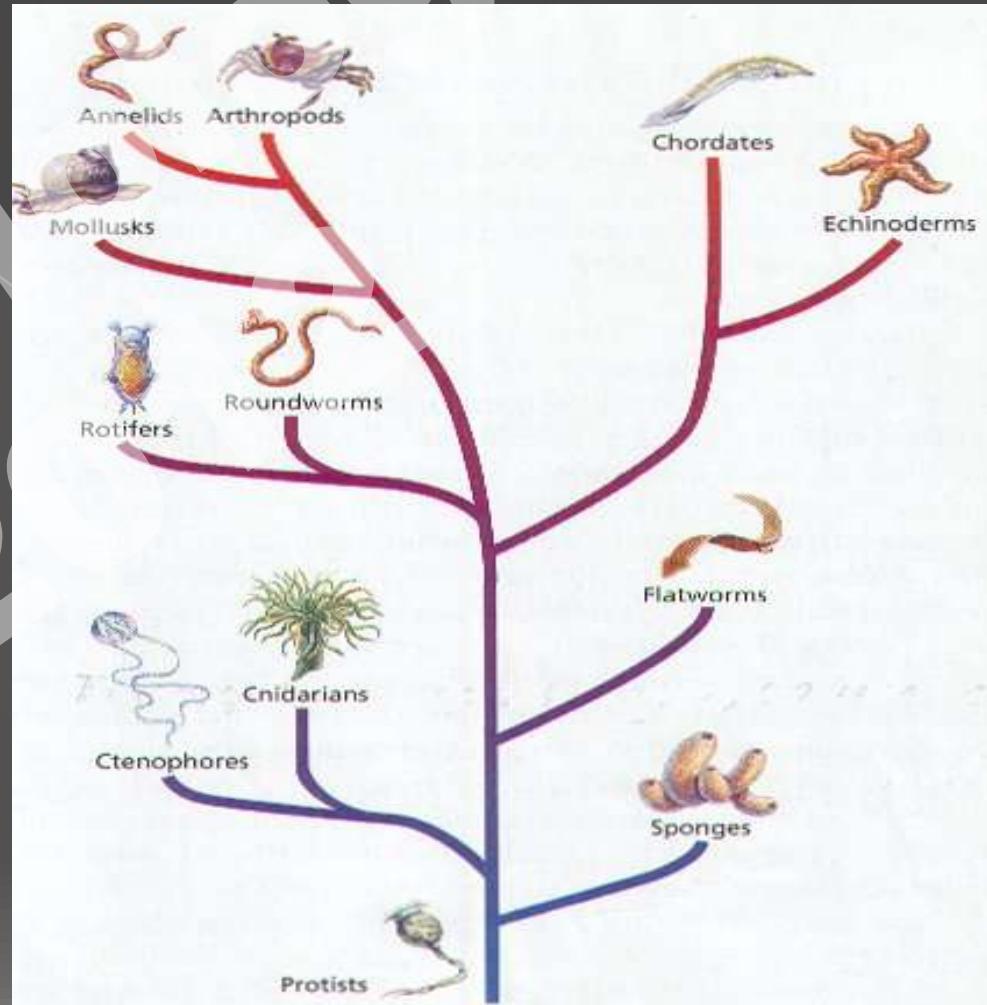
# Neki životinjski filumi:

- Annelida (segmentirani crvi): ~17.000 vrsta
- Arthropoda (zglavkari): ~1.200.000+ vrsta
- Chordata (kičmenjaci): ~100.000 vrsta
- Mollusca (mekušci): ~112.000 vrsta
- Tardigrada („vodenih medvedići“): ~1000 vrsta
- Placozoa („pljosnate životinje“): 1 vrsta



# Mesto u morfološkoj klasifikaciji može, **ali ne mora**, odgovarati filogenetskom srodstvu

- Zajednički karakteri
- Kitovi i slepi miševi su slični!
- Morfološki kriterijumi delimično subjektivni (kao i u astronomiji)...
- ...i ponekad se menjaju (mada ređe nego što laici očekuju)



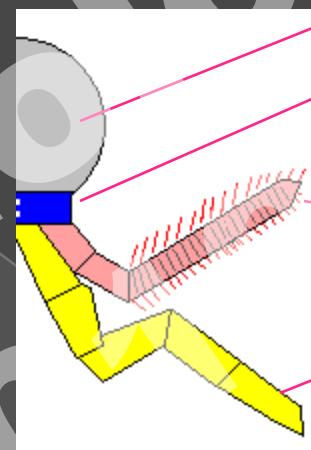
# „Neobičnu ljubav prema bubama...“ (JBS Haldane)

- Zglavkari: dominantne životinje u fanerozoiku
- 4 klase:
  - > Uniramia (insekti)
  - > Chelicerata (paukovi)
  - > Crustacea (rakovi)
  - > Trilobitomorpha (trilobiti, izumrlji na kraju perma)
- Ključna osobina:  
**segmentirani udovi**



# Šta definiše najmoćniji filum među eukariotima?

- Hitinski egzoskelet
- Segmentirani udovi tvore razne varijante (antene, mandibule, itd.)
- Često skriveni ispod oklopa
- Trilobiti: karakterističan „šlem“



**Segmentirani udovi:**  
Grana škrge  
Grana nogu  
Udovi mogu srastati na razne načine...

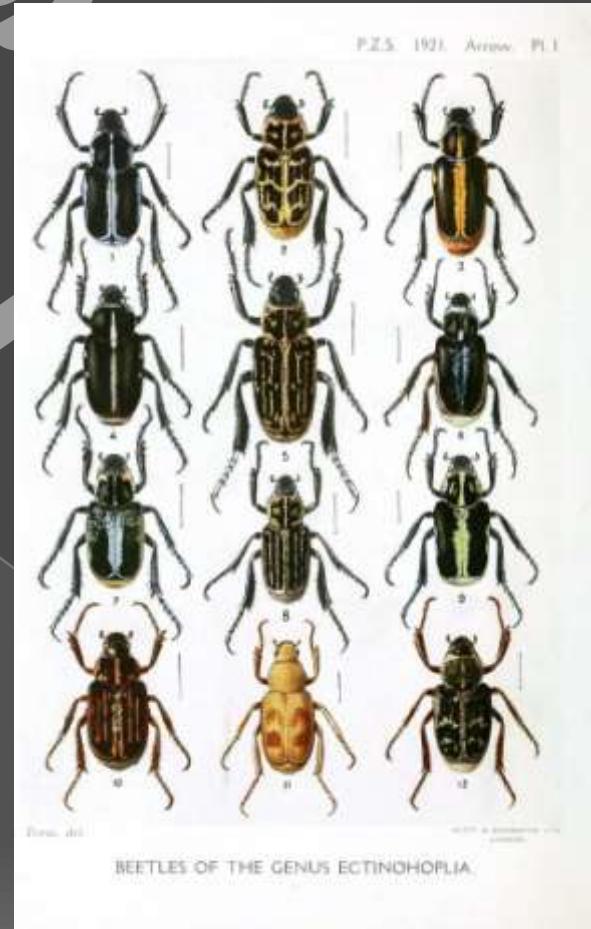


# Diverzitet vs. disparitet

- **Diverzitet** = broj različitih bioloških vrsta
- **Disparitet** = broj različitih bioloških formi / morfologija / tipova / telesnih planova (die Baupläne)

# Zašto diverzitet nije dobra metrika za kompleksnost biosfere?

- Koliko se **odista** razlikuju dve bubice?
- **Stereotipija** = ponavljanje telesnih planova u različitim vrstama
- ⇒ treba da brojimo telesne planove, a ne vrste!
- ⇒ broj filuma je bolja metrika nego broj vrsta!



## disparitet

- kreacionisti: konstantan
- klasični Darwinisti: raste monotono
- neodarvinisti: raste unutar svakog makroevolucionog režima (isprekidan epizodama masovnih izumiranja)

## diverzitet

- kreacionisti: konstantan
- klasični darvinisti: raste monotono
- neodarvinisti: ???
  - > Gould: opada nakon Kambrijske eksplozije
  - > Conway Morris: nije dobro definisan
  - > Fortey: približno konstantan

# Kako da saznamo išta o velikim trendovima evolucije?

- Makroevolucija?
- Smena jedne faune drugom
- Odakle je sve to počelo? I zašto baš tada?
- Jeden mali kamenolom u Britanskoj Kolumbiji...

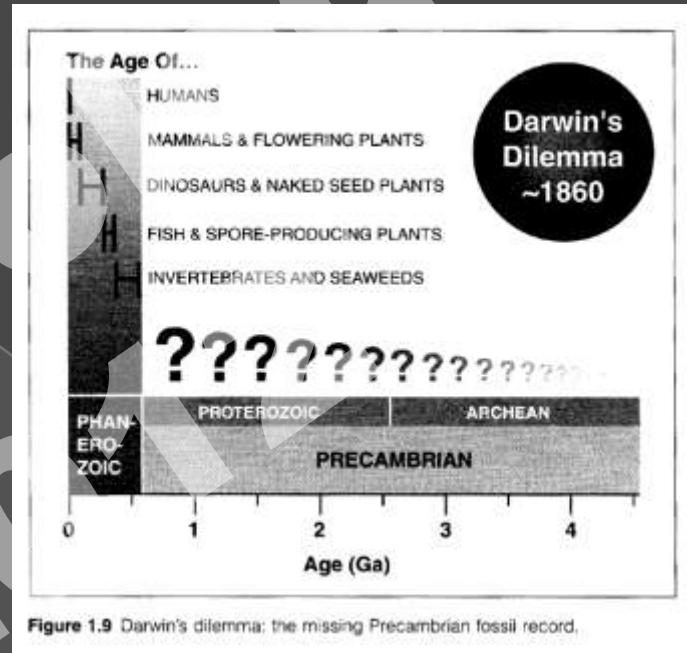


Figure 1.9 Darwin's dilemma: the missing Precambrian fossil record.



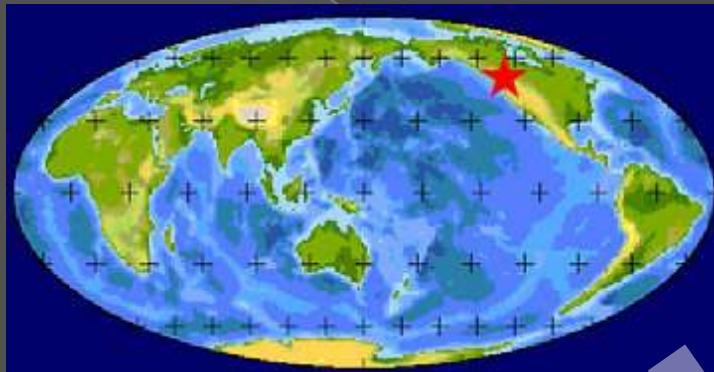
Astrobiologija  
2012



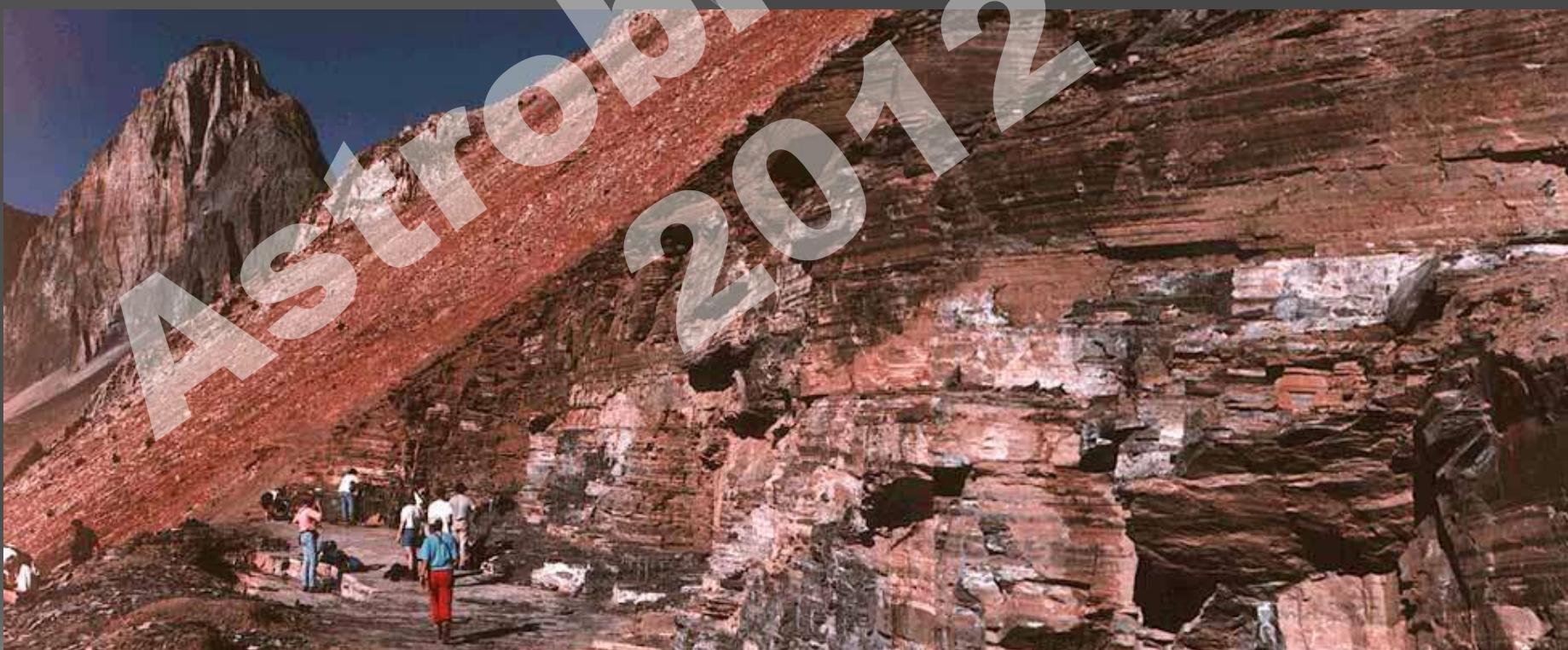
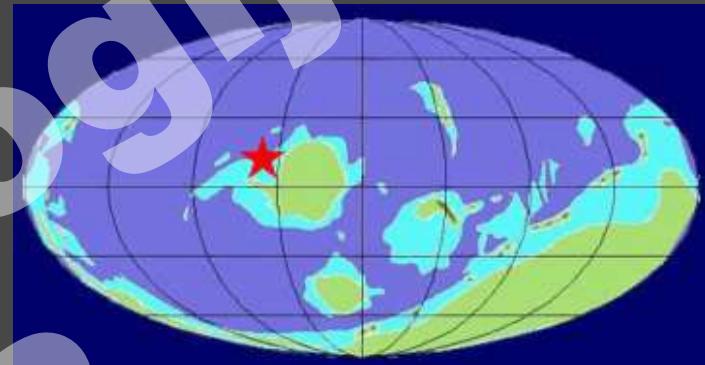
Naturgeologija  
2022



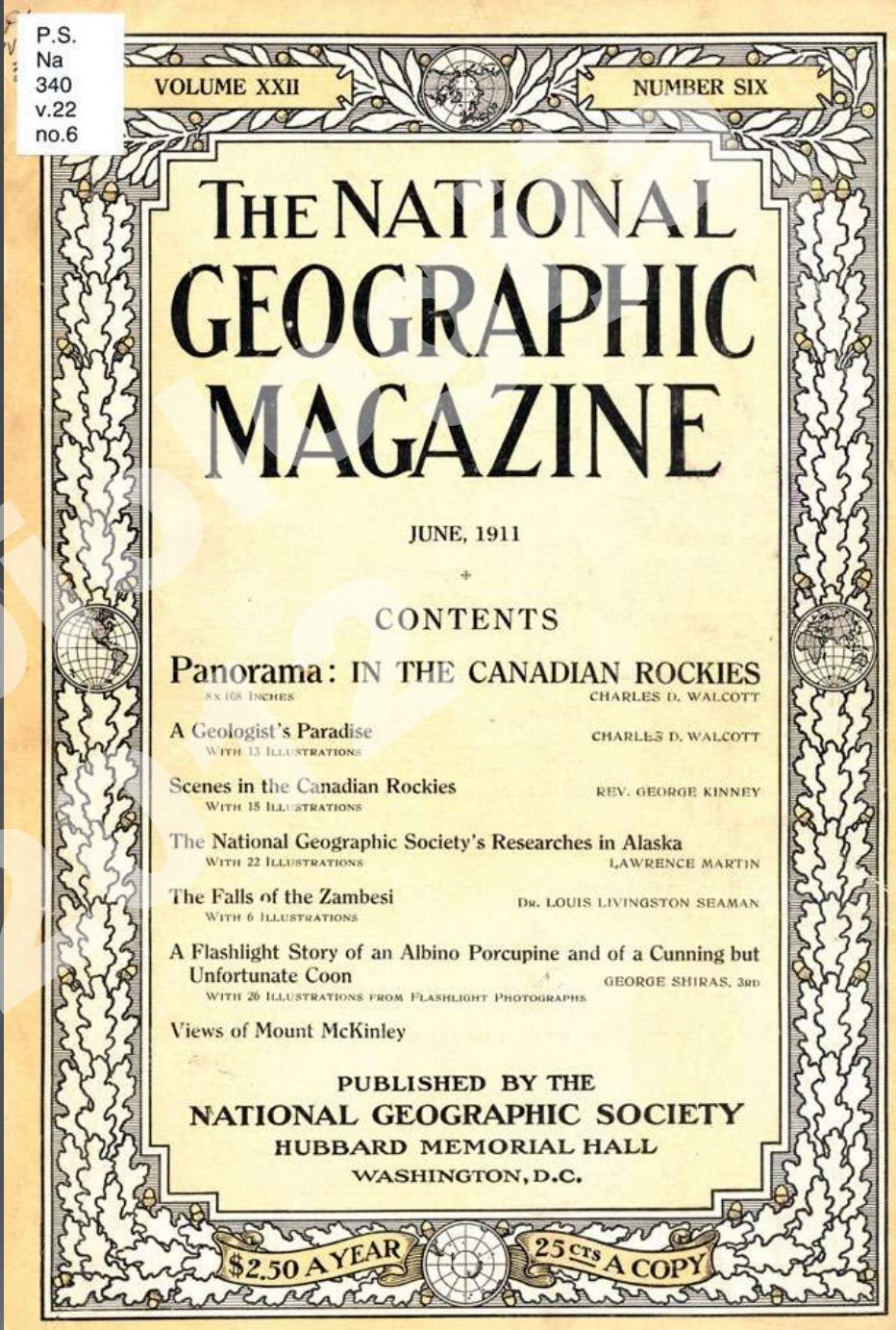
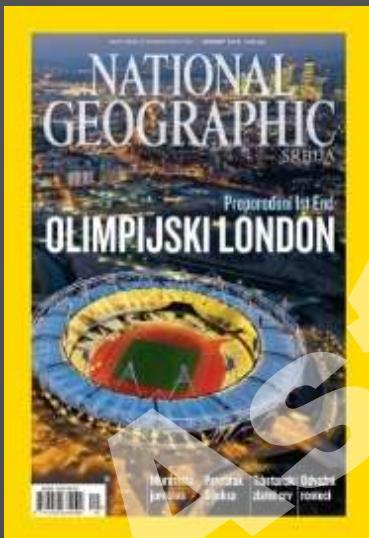
# Bardžesov škriljac: sad i nekad



-505 Ma:  
plitko  
tropsko  
more...



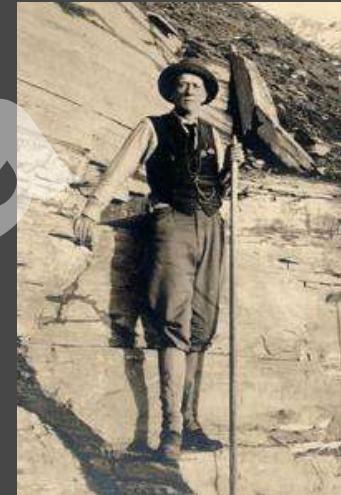
Najveće otkriće u istoriji Nacionalne geografije...



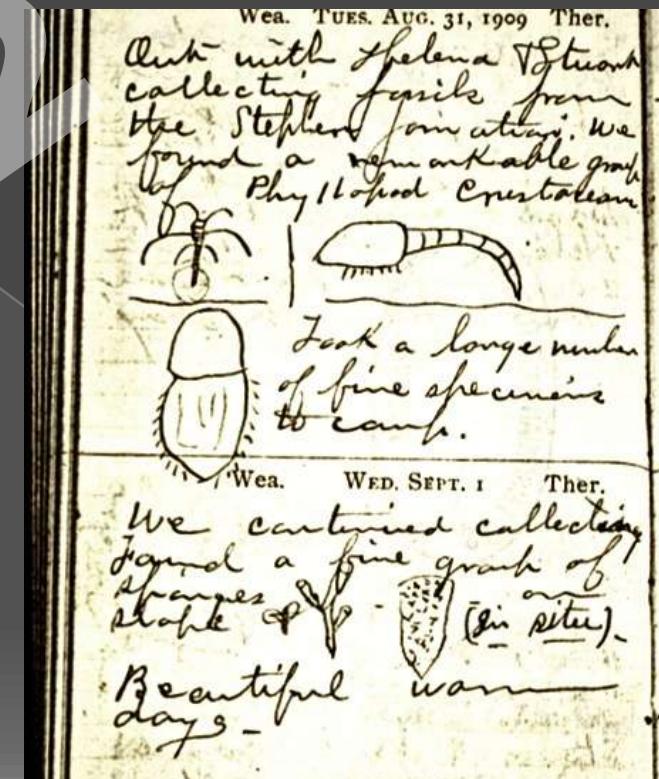
# Charles D. Walcott



- 1909, kraj sezone, konj se okliznuo...
- Ekspedicije svake godine 1910-1924.
- Veliki naučni administrator, osnivač Karedžijevog instituta, sekretar Smitsonijana, predsednik NAS, itd.



- Walcott sakupio preko **65 hiljada** (!) fosila sa Bardžesa...
- ...mada nije ni izdaleka stigao da ih sve sredi i klasificuje!
- Kao ubedjeni gradualista uveren da je pronašao najstarije pretke današnje faune – čak i kad nije bio u stanju da ih prepozna!
- Dao većinu originalnih imena vrsta: *Opabinia*, *Marella*, *Sidneya*, *Pikaia*, *Wiwaxia*...



# U podrumima Smitsonijana...



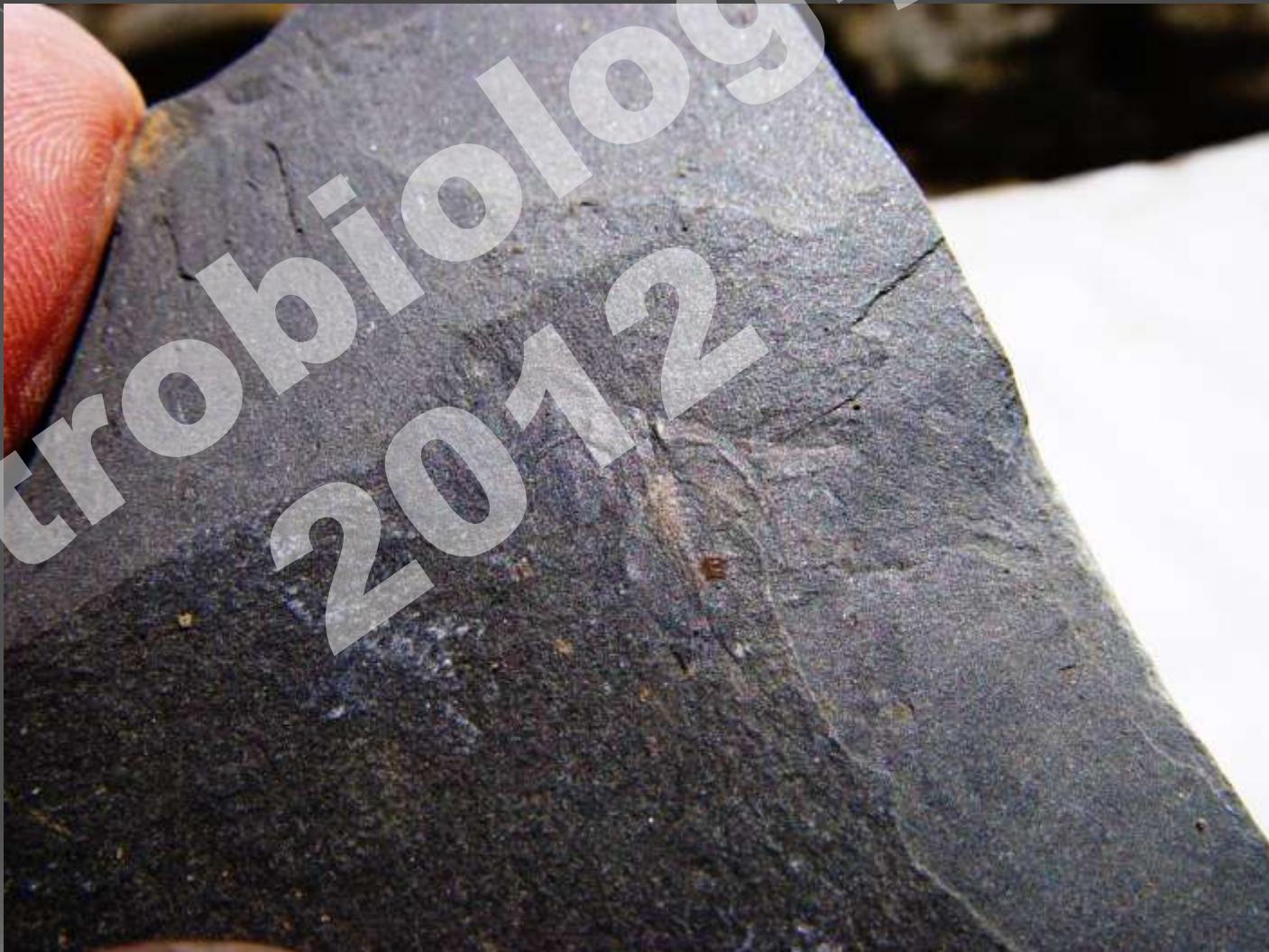
...blago je ležalo „skriveno“  
više od 40 godina

Astrobio logija  
2012



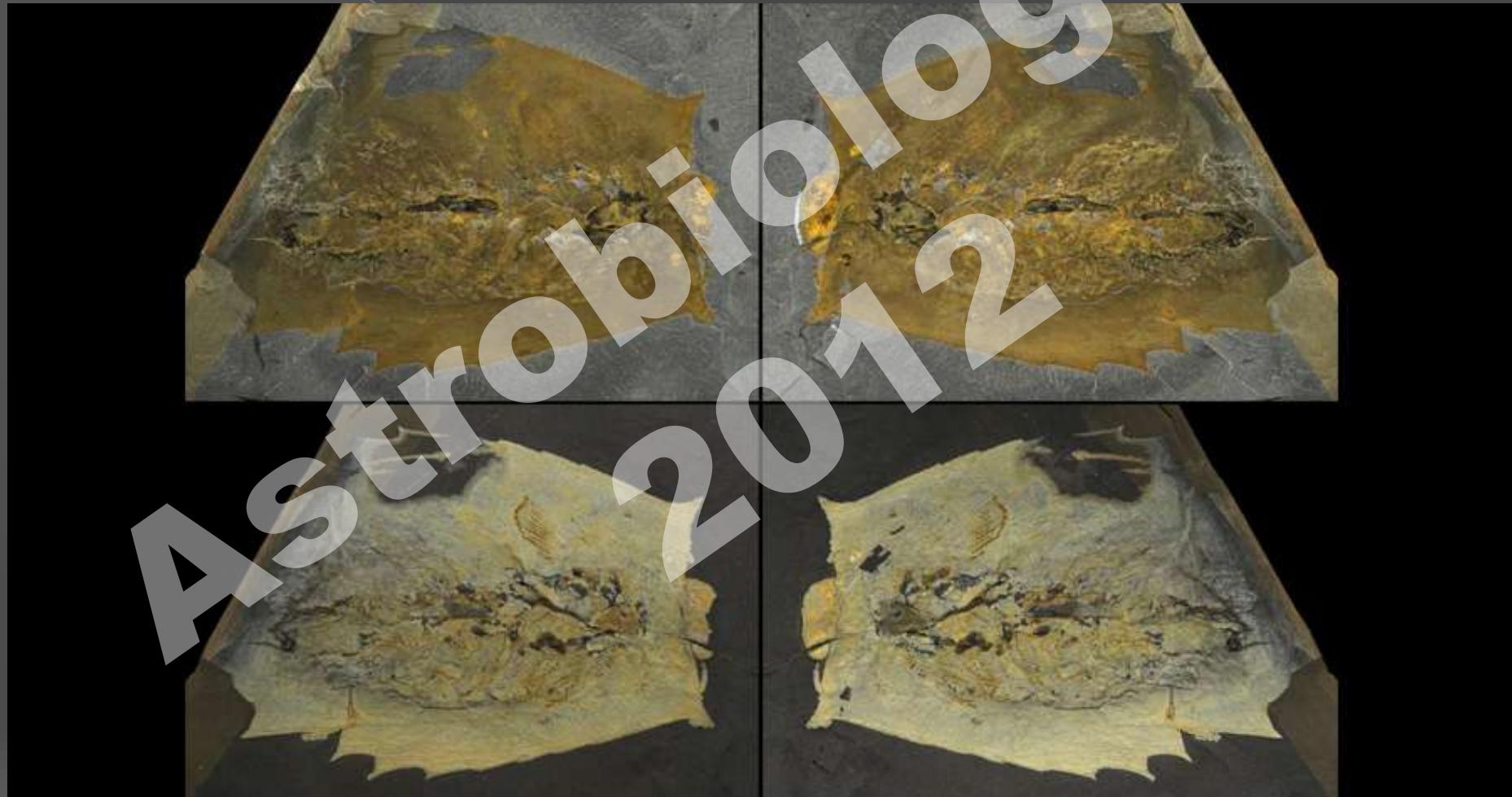
# Burgess Shale fosili – u „originalu“

Astrobiologija  
2012

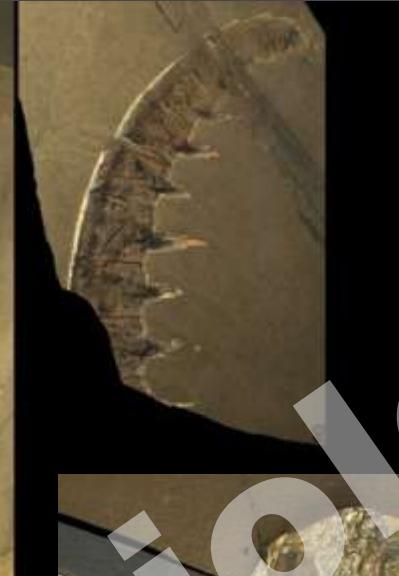


Deo i protiv-deo

Astrobiologija  
2012



# Astrobiologija 2012

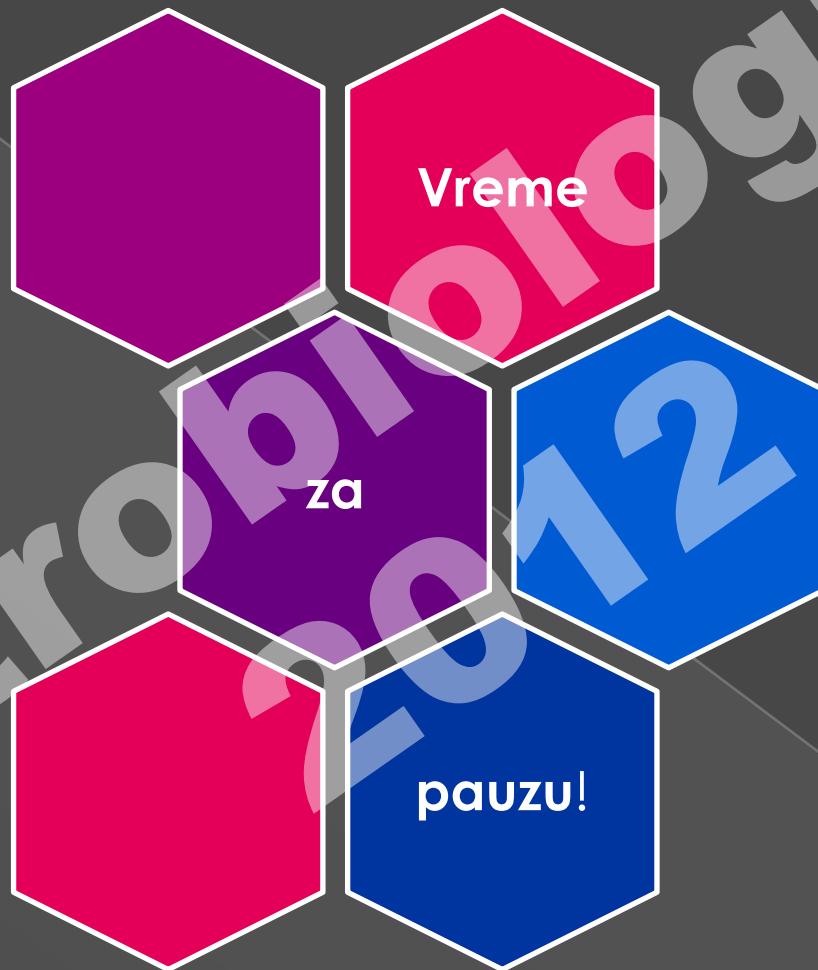


Ali, šta ti fosili zapravo  
znače?

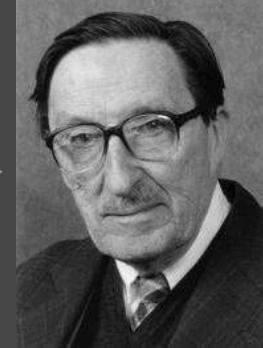
Astrobiologija  
2019



# Astroponologija



# Zatišje pred buru...



- 1927-1967: „Walcottovi fosili“ samo bizarni kurioziteti, bez većeg značaja
- Izuzetak: 1962. Alberto Simonetta
- 1967: Geological Survey of Canada zamolio prof. Whittingtona da uporedi njihovu kolekciju sa Walcottovom i utvrdi tačan broj vrsta iz Bardžesa
- „Mislio sam da ću završiti stvar za 12 meseci, opisujući neke zglavkare – i kraj.“ (!)

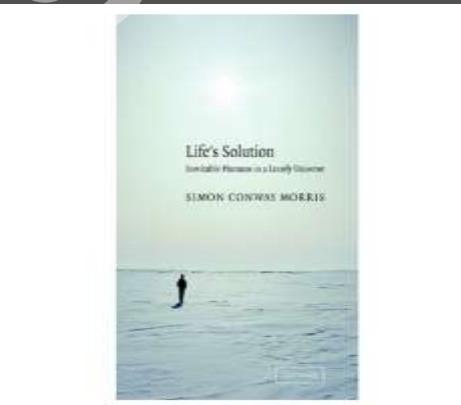
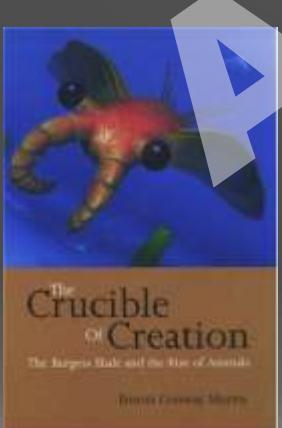
# Velika rekonstrukcija...



- **Harry Whittington** (1916-2010) i njegova dva studenta, **Simon Conway Morris** i **Derek Briggs**
- „Few scientists can claim to have rewritten the history of life, but in his patient description of the fossils of the Burgess Shale... Harry Whittington changed the way we understand the origin of animal diversity. His death at the age of 94 marks the end of a heroic era for palaeontology, when a single individual working patiently with a pin under the microscope could make discoveries as far-reaching in their way as those revealed by atom smashers.“ (Richard Fortey u Guardianu)

# Par briljantnih studenata...

- Simon Conway Morris (kasnije mu se desilo nešto čudno)
- Derek Briggs

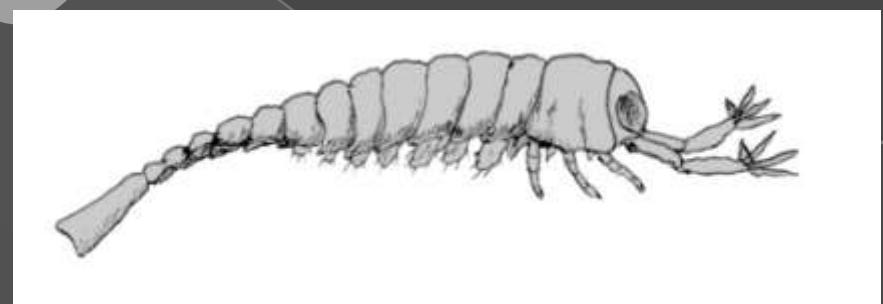
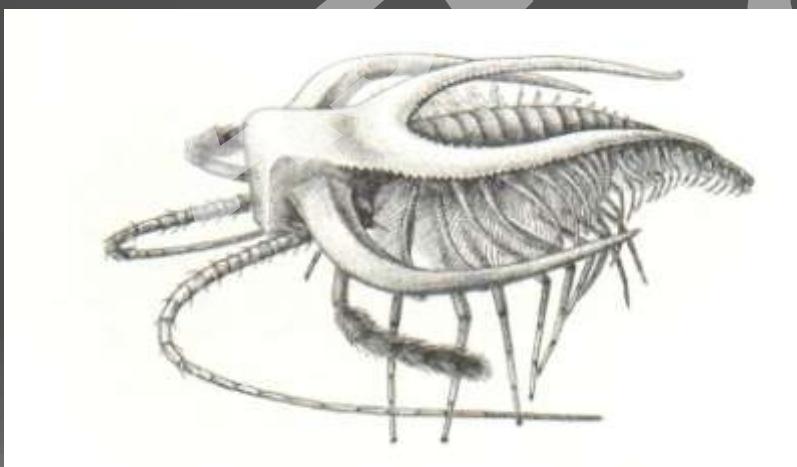


# ...i nešto tehnologije!

- Whittington:  
rekonstrukcija 3-D  
objekata
- Camera lucida
- Mikrobušilica...



# Početak revolucije: Marella, Yohoia



# Ključ revolucije: Opabinia regalis

- Prvobitno svrstana u zglavkare...
- ...ali gde su segmentirani udovi?
- Konvencionalna mudrost: pod oklopom!
- Whittington pažljivo disektirao, mikron po mikron...
- ...i disektirao (februar 1972)...

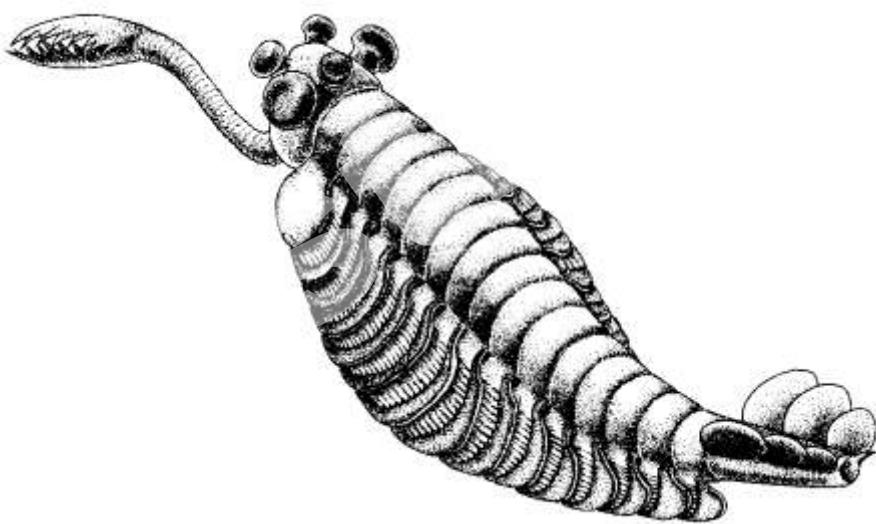
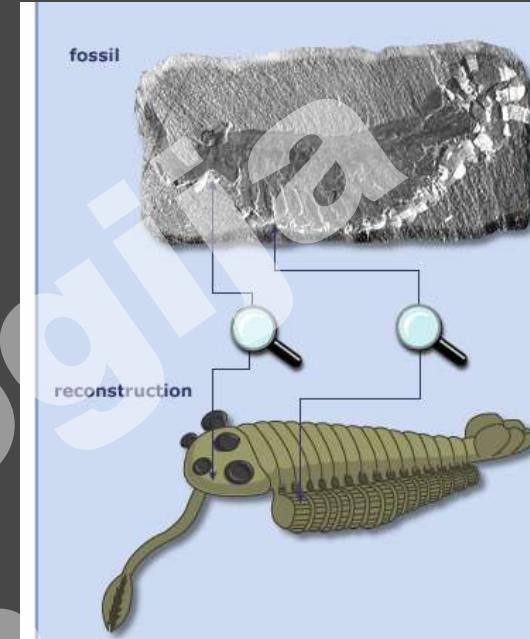


○ ...i nije našao NIŠTA ispod  
oklopa!

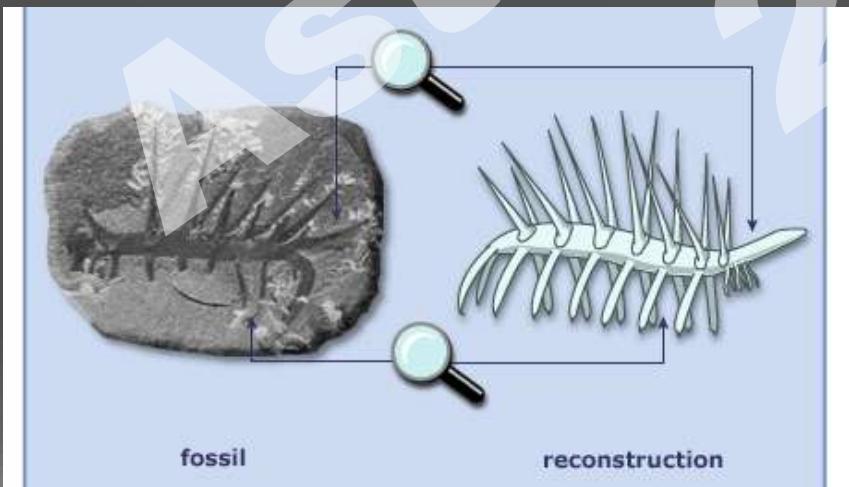
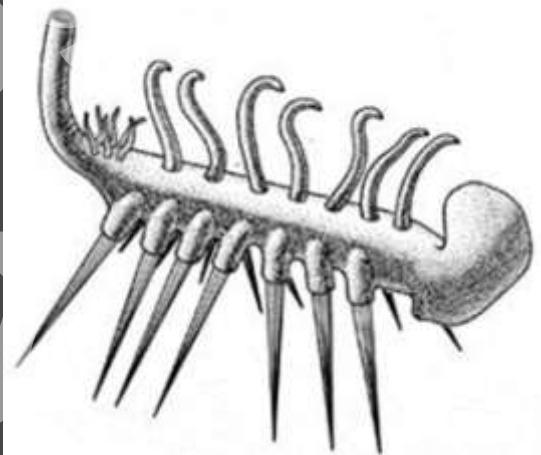
- ⇒ Opabinia nije zglavkar!
- „And it sure as hell wasn't anything else that anyone could specify either.“  
(Gould 1989)
- NOVI FILUM!

# Štagod to bilo...

- ...čudno je preko svake mere („weird wonders“)



# Ispravno krštena (Conway Morris): *Hallucigenia*



Wiwaxia

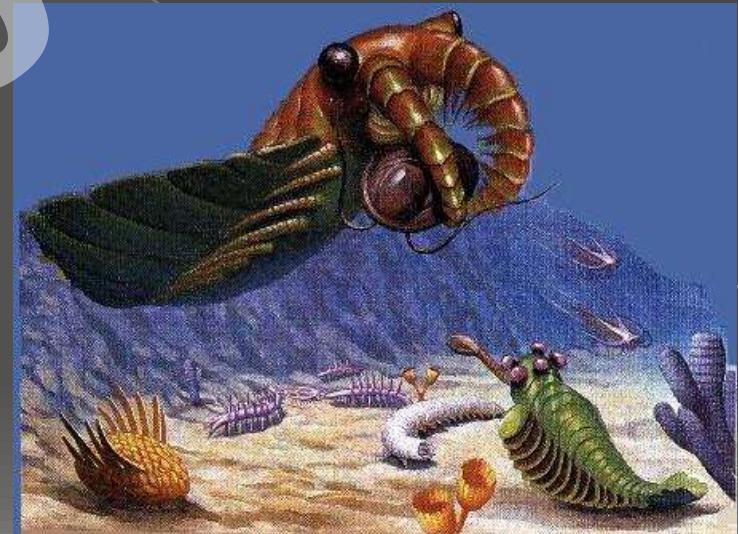
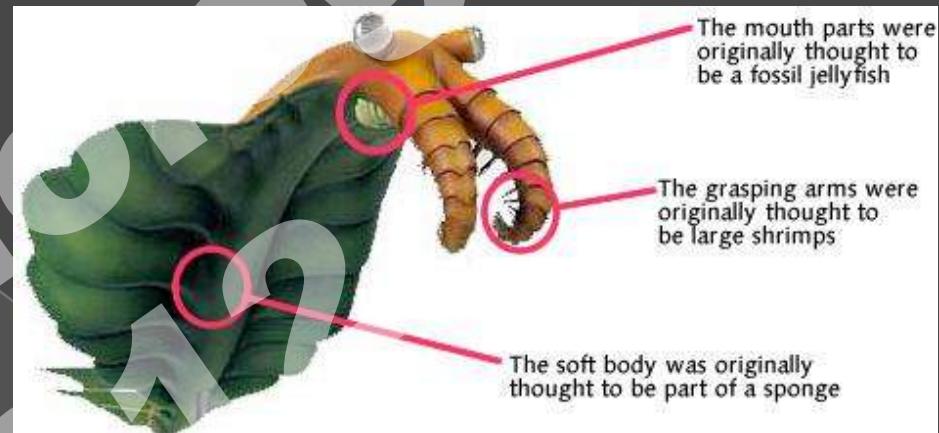


Astrobiology  
2010



Wiwaxia

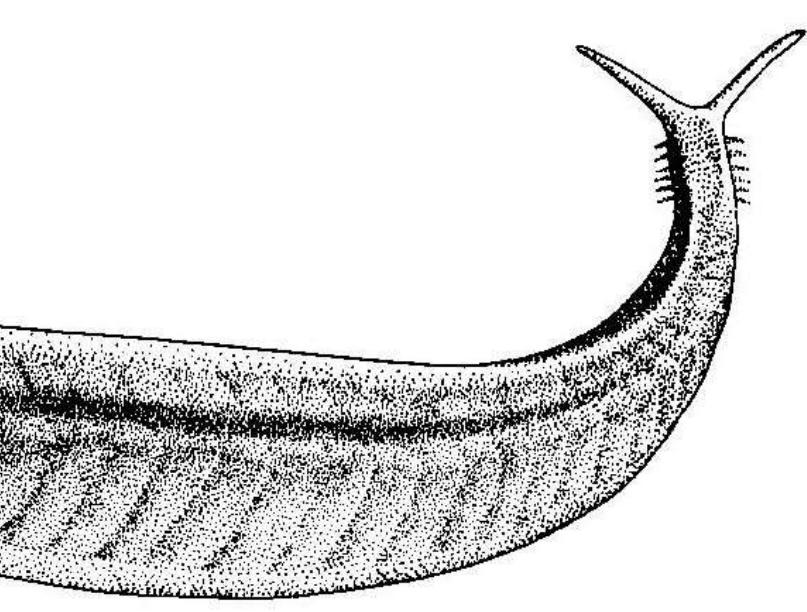
# Anomalocaris – strah i trepet kambrijskih mora



# Astrobiologija 2012



Pozdravimo  
našeg  
pretka: *Pikaia*  
*gracilens*



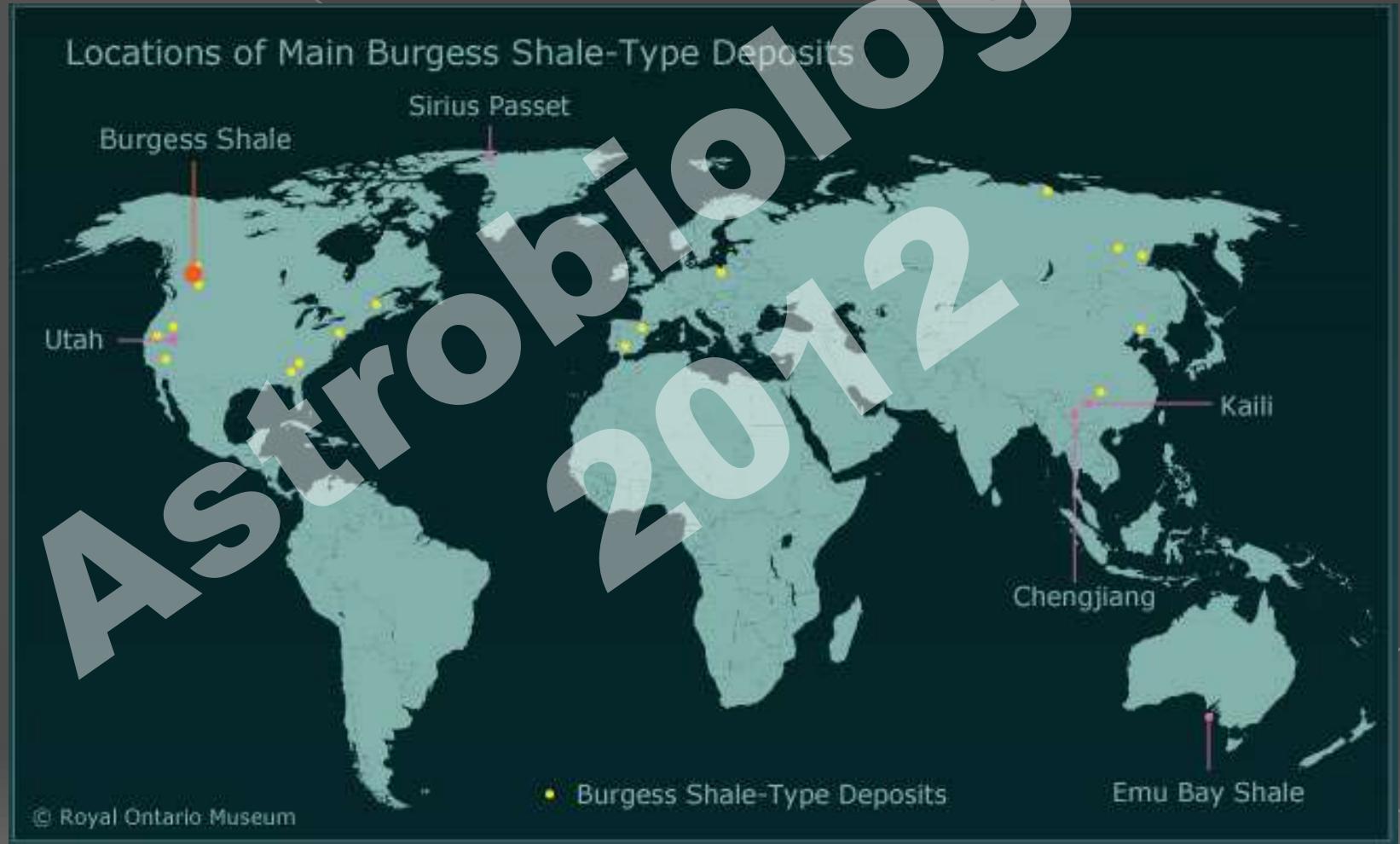
# Otkrića se nastavljaju: *Hurdia victoria* (2009)



# Sve u svemu – krajnje bizarno...



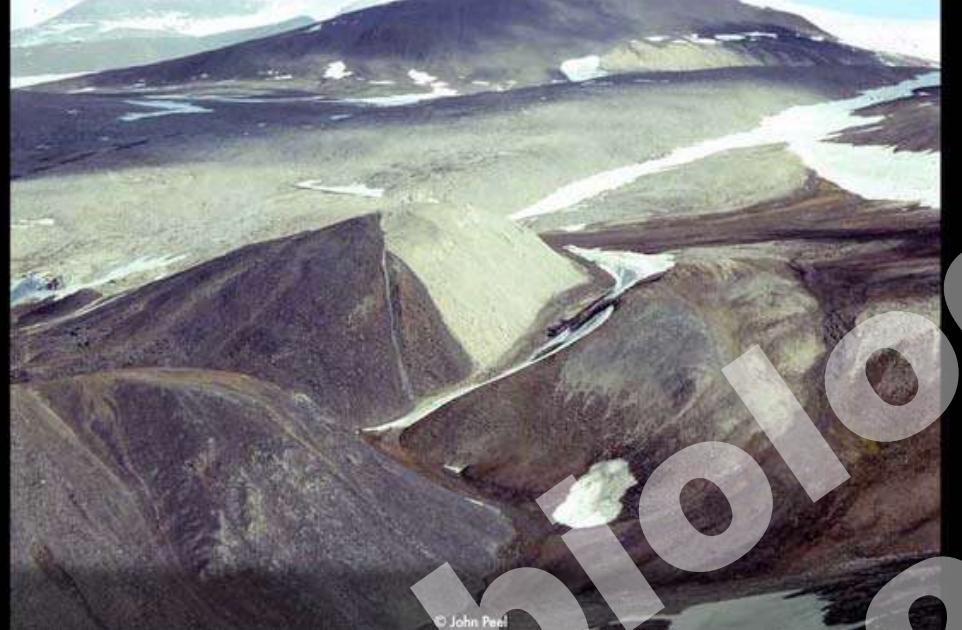
# Glavni Lagerstätten



Chengjiang (525-520 Ma)

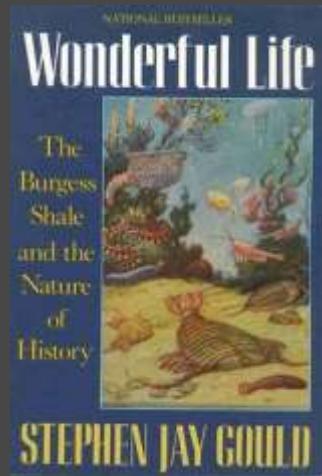


Sirius Passet (518)



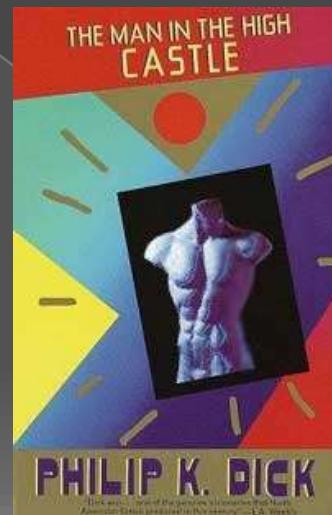
# Šta to govori o evoluciji?

- Mali kamenolom u Britanskoj Kolumbiji ima veći disparitet nego svi današnji okeani zajedno!
- Zašto je *Pikaia* „preživela“, a *Opabinia*, *Wiwaxia*, itd. nisu?
- Postoji li kauzalno objašnjenje evolucione trajektorije?



# Ideja kontingencije

- Aristotel: dramaturg prikazuje ono što se **moglo dogoditi**
- Frank Capra (1946): *It's a Wonderful Life*
- Philip K. Dick (1962): *Man in the High Castle* i čitav žanr alternativne istorije
- Različite istorijske trajektorije su **podjednako logički konzistentne!**



# Različite dihotomije

**DETERMINIZAM ↔ INDETERMINIZAM**  
(metafizički plan)

**KONVERGENCIJA ↔ KONTINGENCIJA**  
(saznajni plan)

- Osnovni problem istorijskih nauka (ukl. evoluciju) je kontingencija, ne indeterminizam!

# Zašto je ovo drugačije nego u fizici?

- Klasična fizika: Laplasov demon i determinizam
- Poenkare (oko 1900): male promene početnih uslova se često eksponencijalno uvećavaju (haos)
- Popperov (oko 1950) dokaz – *Minority Report* argument: informacija menja stanje sistema
- Predvidljivosti je delikatno pitanje i u dovoljno kompleksnim klasičnim sistemima!

# „Premotavanje trake“ života

- Gould (1989, 1996): disparitet proizведен u Kambrijskoj eksploziji se samo troši!
- I call this experiment „replaying the life's tape.“ You press the rewind button and, making sure you thoroughly erase everything that actually happened, go back to any time and place in the past – say, to the seas of the Burgess Shale. Then let the tape run again and see if the repetition looks at all like the original.
- Intuitivno, male perturbacije bile bi samo uvećane sa vremenom ⇒ kontingencija
- Suprotno mišljenje: Conway Morris (1998, 2003) – veći deo evolucije je konvergentan

# Vermeij (2006): novi pristup problemu



- Selektioni efekat: ako je karakter jedinstven **u fosilnom zapisu**, kako znamo da to nije samo poslednje pojavljivanje od više njih u stvarnosti?
- Odgovor: napraviti korelacionu analizu multipliciteta karaktera vs. epoha poslednjeg pojavljivanja
- Navodno jedinstveni karakteri se pojavljuju ili u davnoj prošlosti ili u malim kladama...
- ...što daje posrednu podršku konvergenciji

# Šta je dovelo do Kambrijske eksplozije?

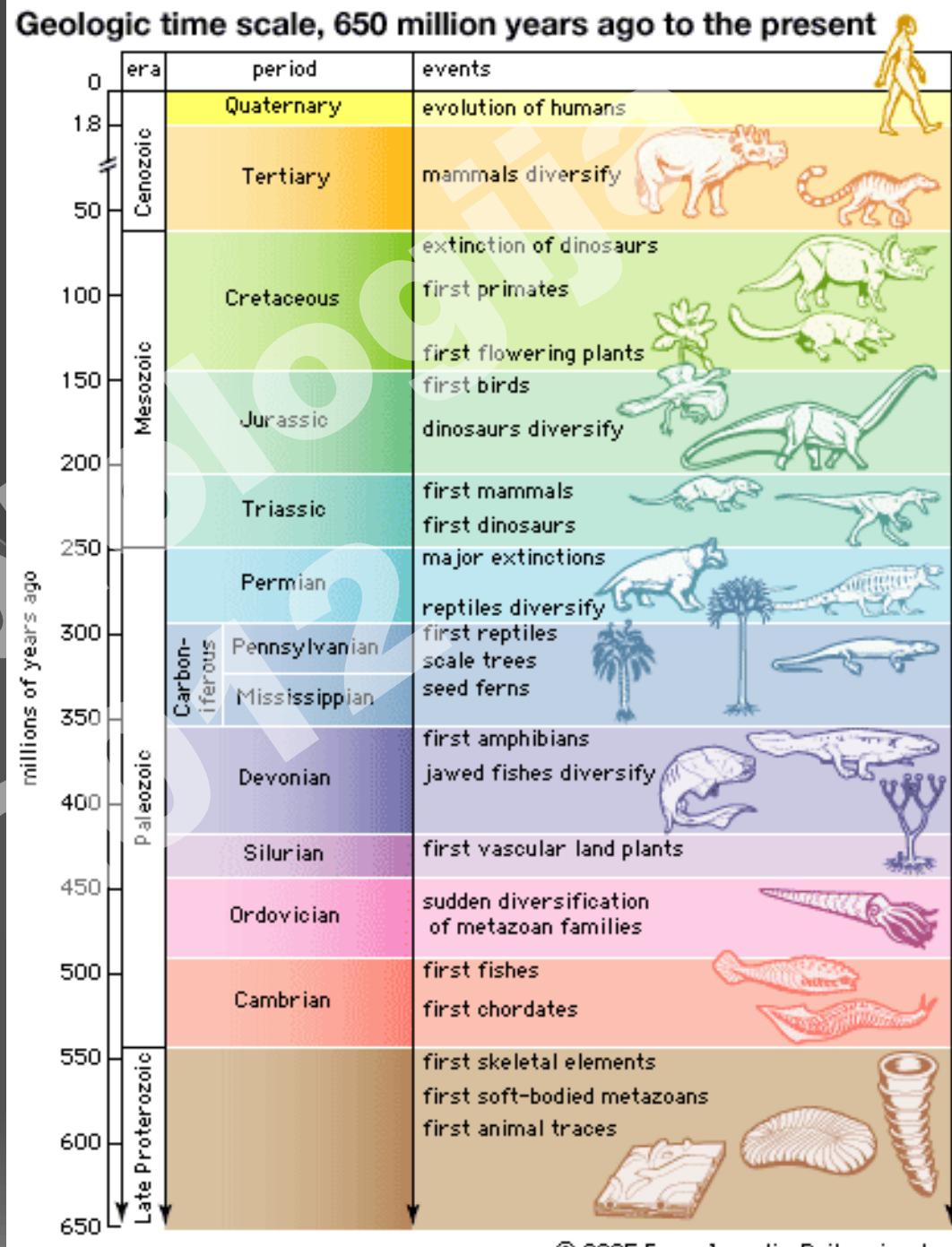
- Hipoteze, hipoteze...
- Masovno otvaranje ekoloških niša za **velike** organizme (zbog O<sub>2</sub>)?
- (ali šta je onda uklonilo Ediakarsku faunu?)
- Fleksibilnost genoma? (numerički eksperimenti)
- Početak predatorstva i „trke u naoružanju“ (*arms race*)
- Parker (2003): otkriće vizuelne percepcije

# Odbačene hipoteze

- Otkriće *Hox* gena (danas znamo da se desilo tokom kriogena, znatno ranije)
- Globalno zagrevanje (bilo završeno pre eksplozije)
- Pojava biljojeda (takođe poznata od ranije, iz doba stromatolita)

# Šta se potom dešavalo?

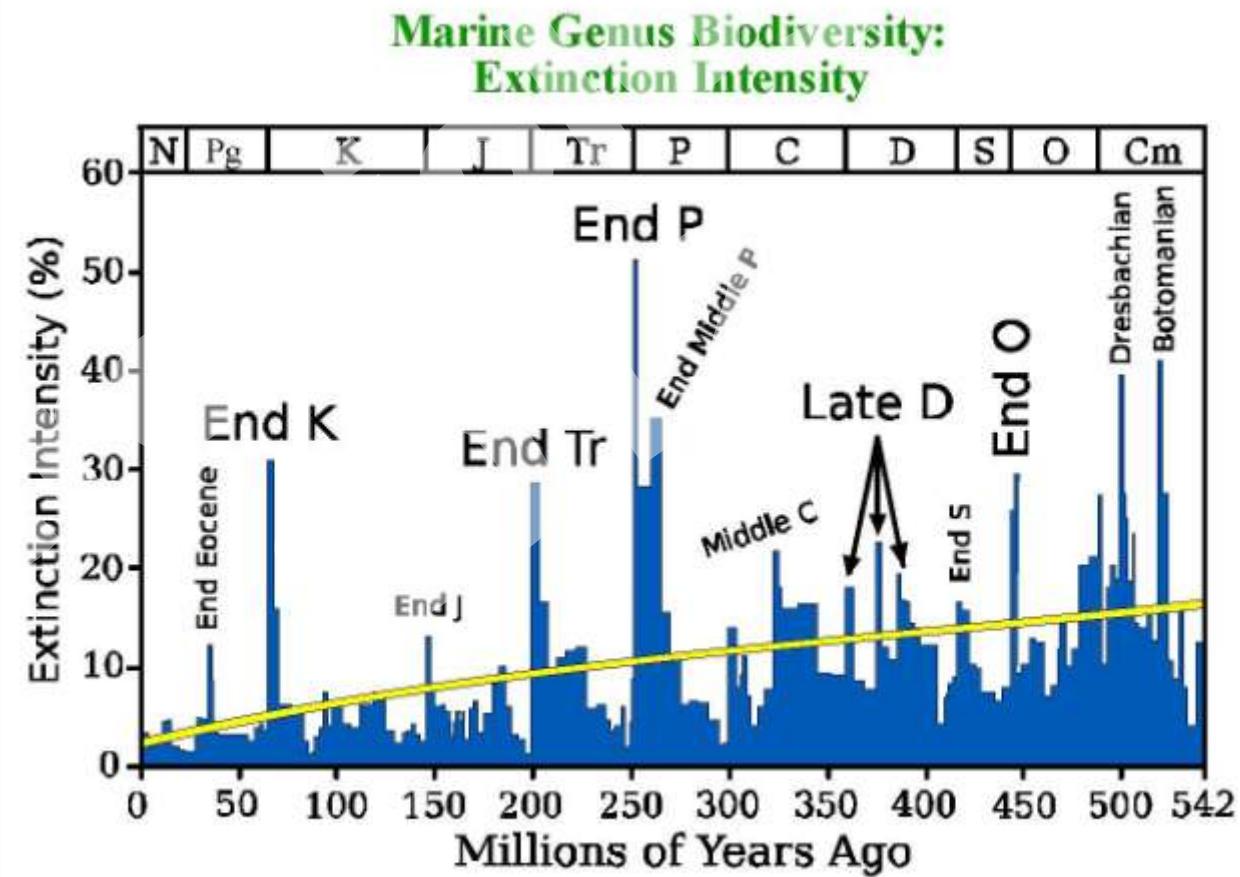
- Uspon kičmenjaka (ribe – reptili – sisari)
- Devon: izlazak života na kopno
- Karbon: maksimum biomase, nastanak fosilnih goriva
- Drame na kraju era i perioda...



# Masovna izumiranja: „Velikih pet (šest, sedam)“

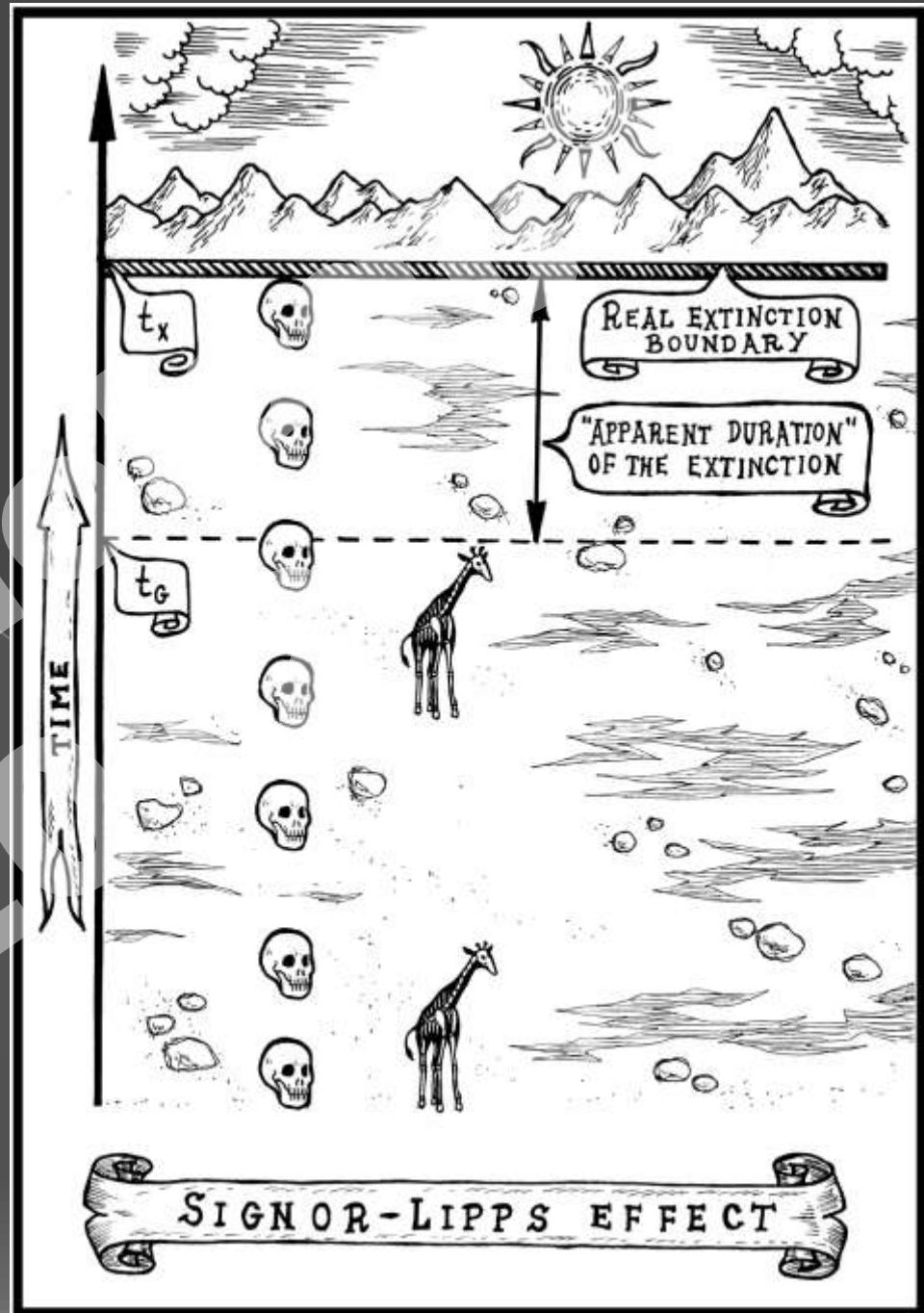
- Sve umire...
- Da li su masovna izumiranja samo ekstremni slučajevi pozadinskog („fona“) izumiranja ili zasebni dogadjaji?
- Pored sporne početne kambrijske epizode:
  - > kraj ordovika (-443/450? Ma),
  - > pozni devon (-374? Ma),
  - > granica perm-trijas ( $-252.28 \pm 0.08$  Ma),
  - > kraj trijasa (-205 Ma),
  - > granica kreda-tercijar ( $-65.5 \pm 0.3$  Ma)
- Sedmo masovno izumiranje je ono koje se dešava danas zbog antropogene aktivnosti!
- Makroevolutivni režimi

# Istorija izumiranja = epizode + fon



# Signor-Lipps-ov efekat

- Koliko traju epizode mas. izumiranja?
- Naizgled veoma dugo („vrste u opadanju“, itd.)
- Fil Sinjor i Džeri Lips (1982): **veštačko (selektivno) skraćenje raspona vrste!**
- Raspon vrste zavisi od brojnosti individua...
- Ono što je kratko – postaje produženo u fosilnom zapisu!



# Mogući uzroci epizodičnih masovnih izumiranja

- Sudari sa asteroidima/kometama
  - Supervulkanizam
  - Dugotrajne promene Sunčeve aktivnosti
  - Eksplozije bliskih supernovih/gama-bleskova
  - Regresija (opadanje nivoa) okeana
  - Epidemije/invazivne vrste (lokalno)
  - Nema specifičnog uzroka – nestabilnost kompleksnih sistema (Bak & Sneppen)
- } promene globalne klime

A sledeći put...

- Gradualizam vs. katastrofizam
- Mikroevolucioni procesi i makroevolucioni režimi
- P-T granica (kraj paleozoika)