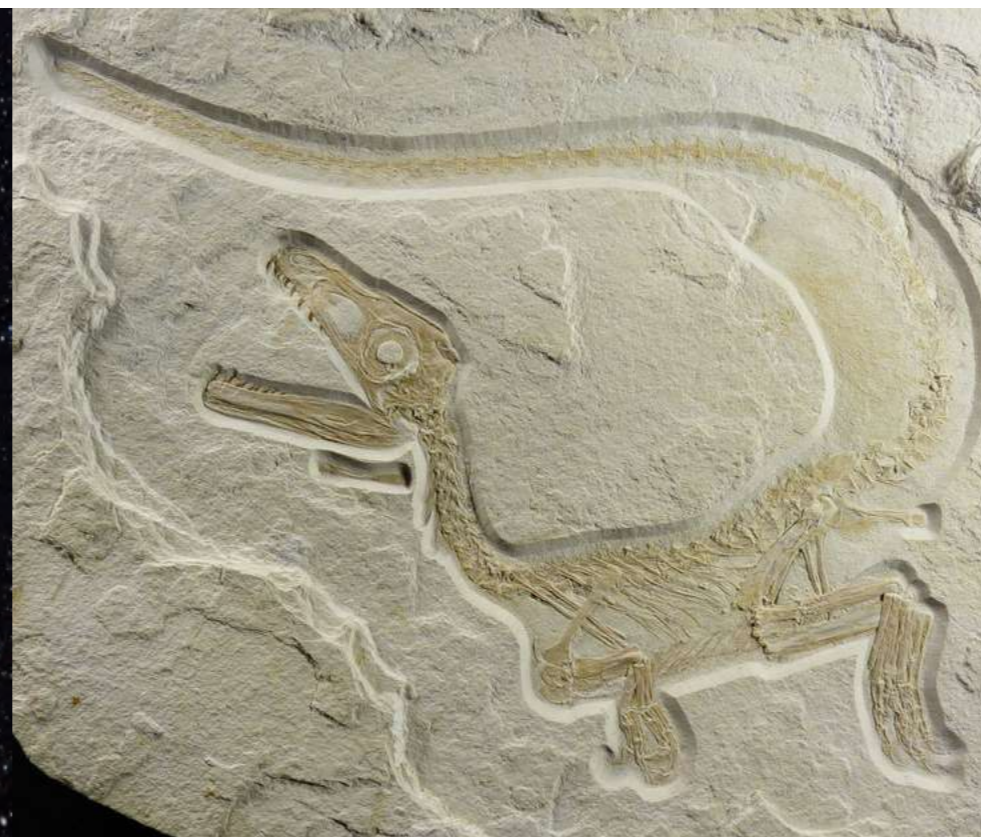
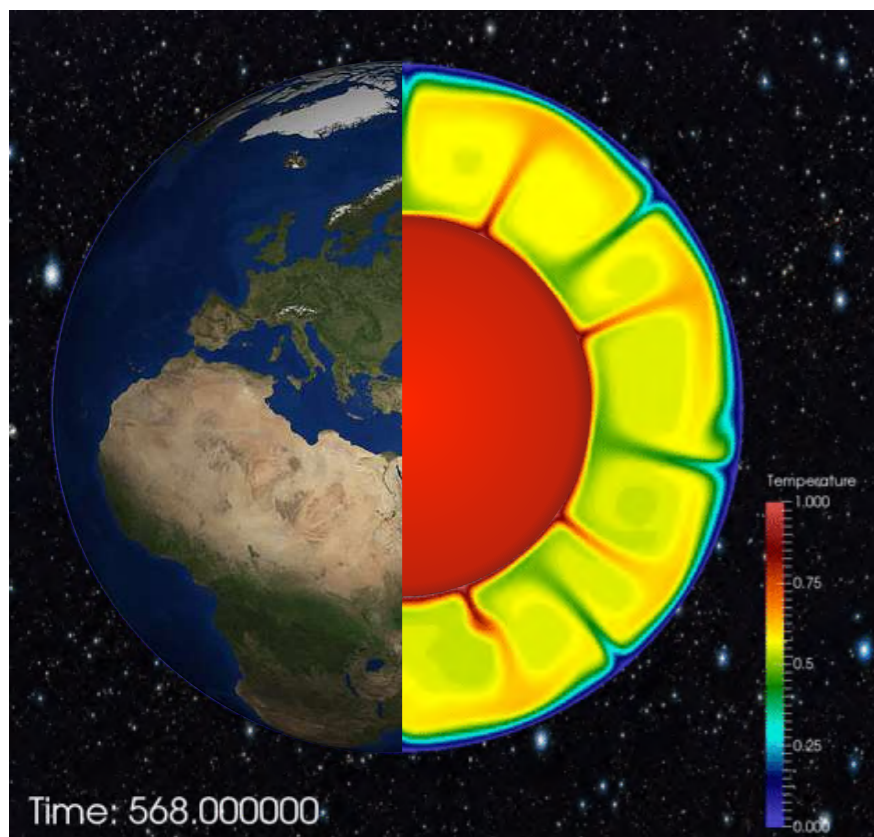


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



Szöllősi Gergely

ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék
ELTE-MTA "Lendület" Biofizika Kutatócsoport
UMR 5558 CNRS LBBE Lyon, Franciaország

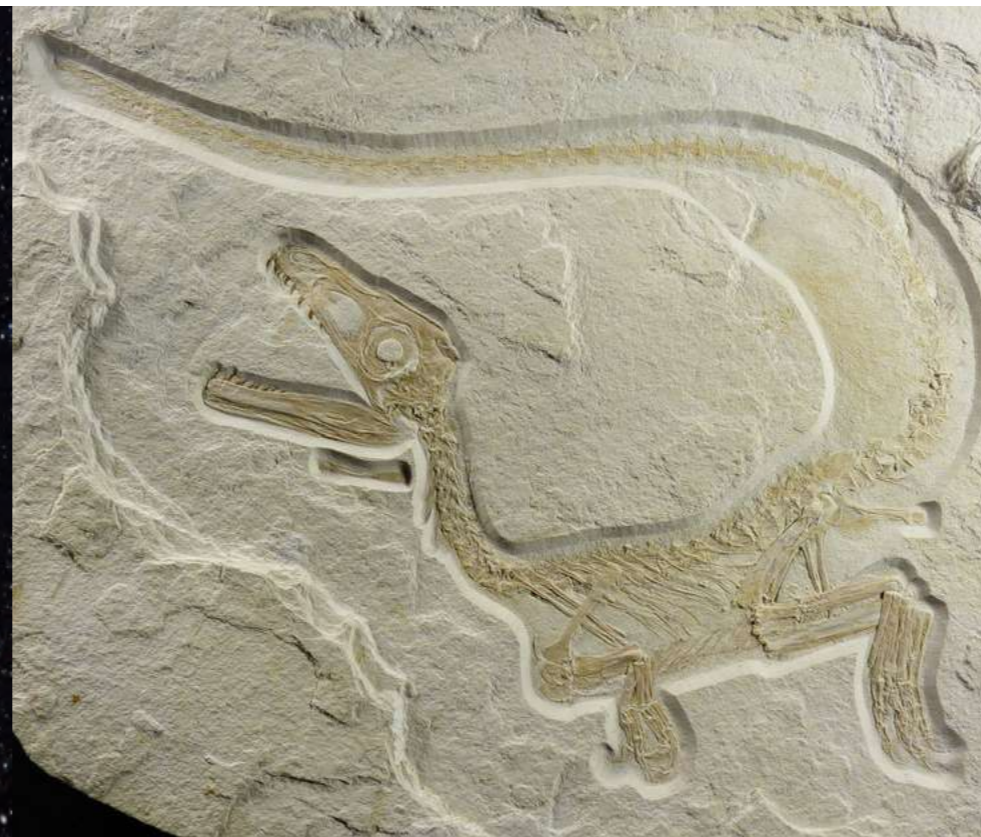
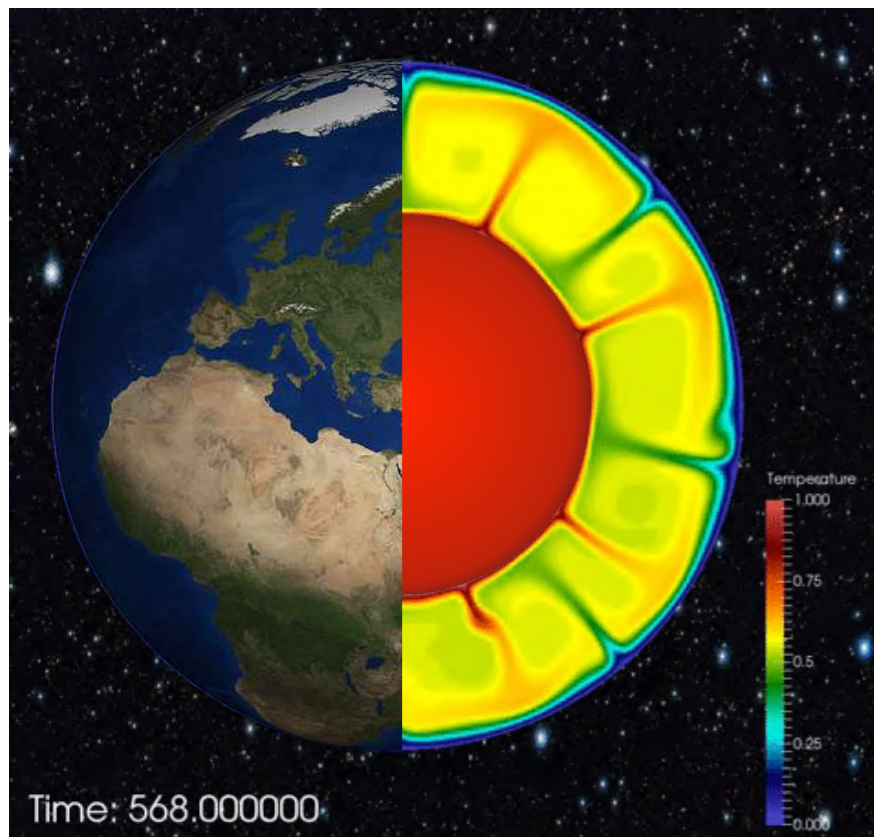


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?

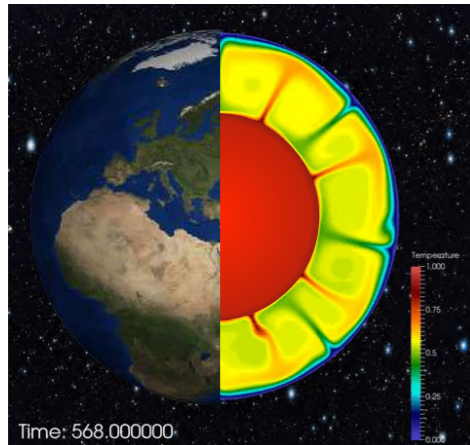


Szöllősi Gergely

ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék
ELTE-MTA "Lendület" Biofizika Kutatócsoport
UMR 5558 CNRS LBBE Lyon, Franciaország



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.
kövek és atomi órák

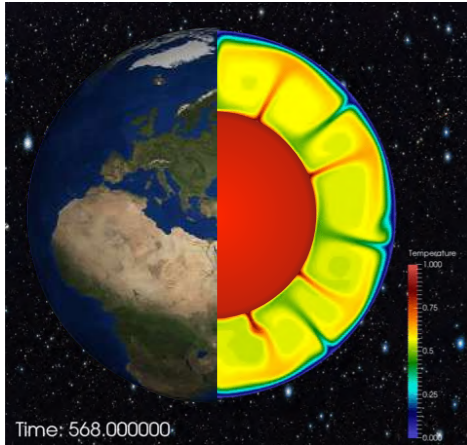


2.
kövek és molekuláris órák



3.
molekuláris órák és gén csere-bere

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.
kövek és atomi órák

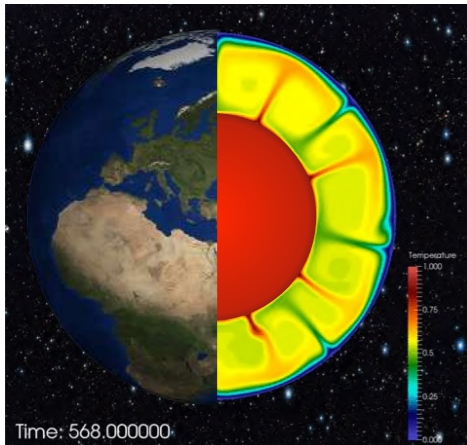


2.
kövek és molekuláris órák



3.
molekuláris órák és gén csere-bere

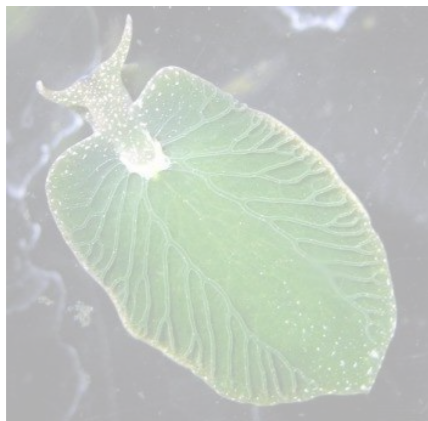
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.
kövek és atomi órák

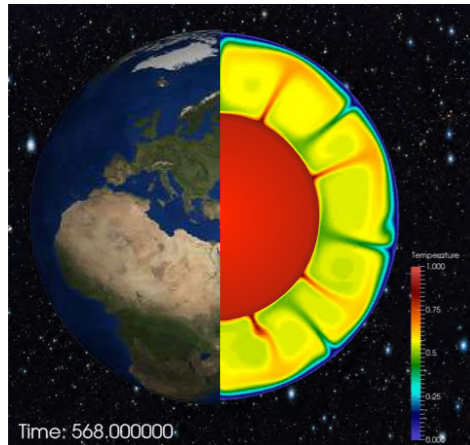


2.
kövek és molekuláris-órák



3.
molekuláris-órák és gén cserebere

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.
kövek és atomi órák



2.
kövek és molekuláris-órák



3.
molekuláris-órák és gén cserebere

Hány éves a Föld?



kövek
és
atomi órák



Google

age of the earth



All

Images

Videos

News

Books

More

Settings

Tools

About 555,000,000 results (0.60 seconds)

Earth / Age

4.543 billion years



People also search for



Sun
4.603B ye...



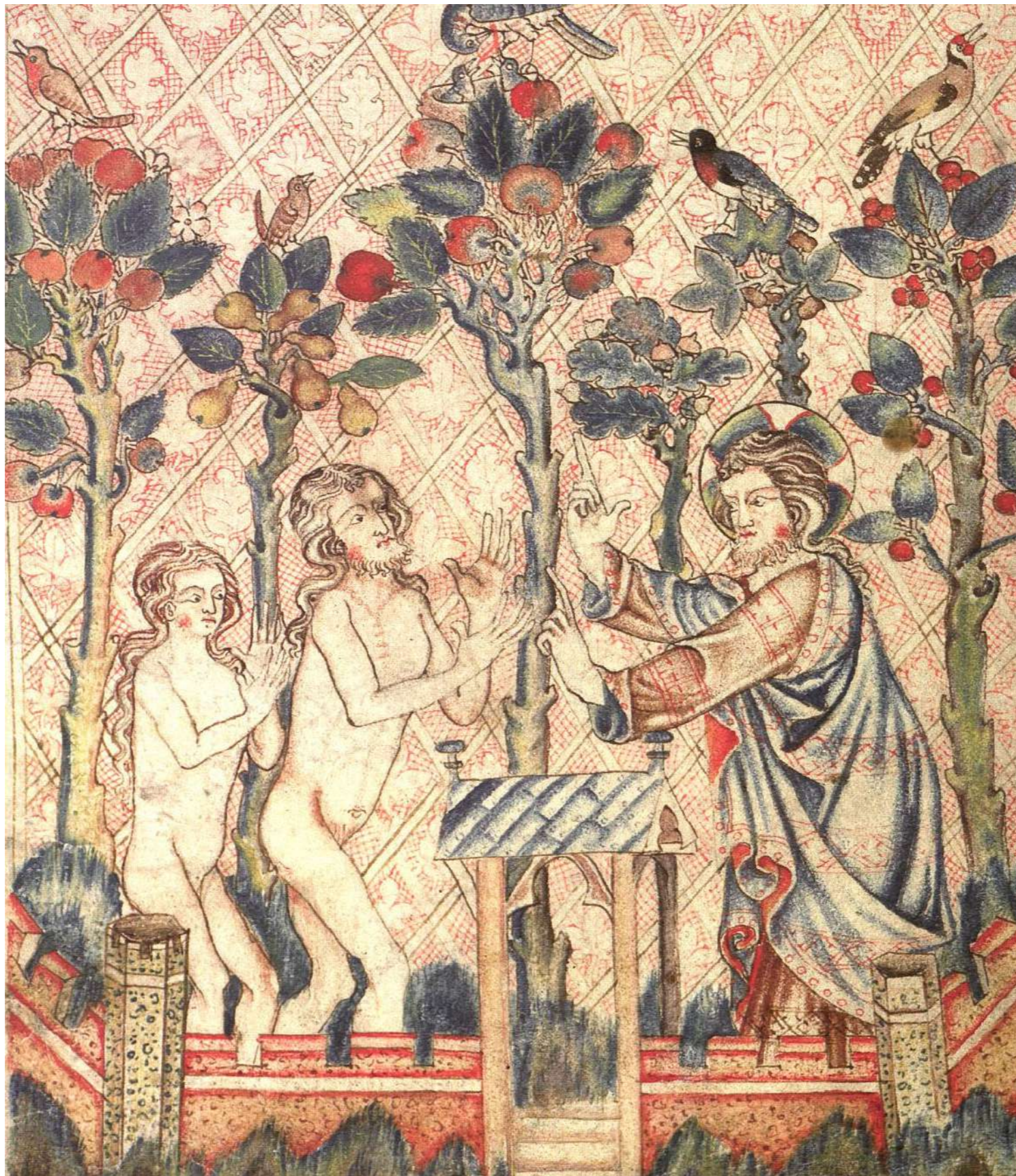
Moon
4.53B years



Solar System
4.571B ye...

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

első próbálkozás egy kvantitatív válaszra




Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

első próbálkozás egy kvantitatív válaszra

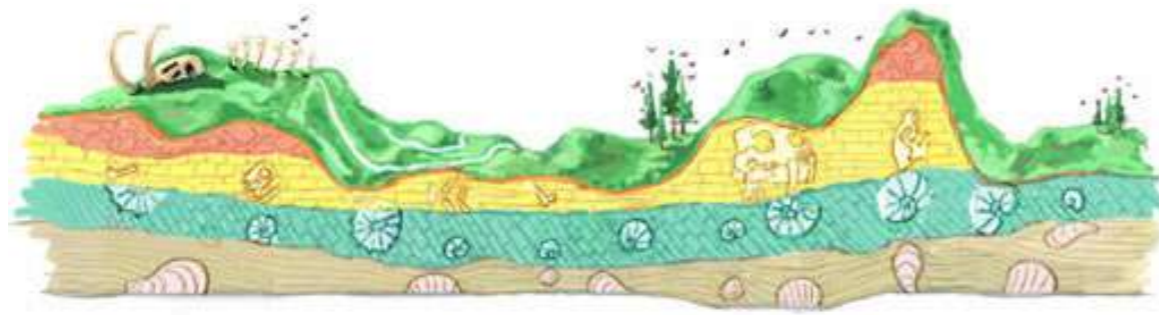
1650 -ben James Ussher
i.e. 4004 október 23.
~ 6022 éves



The year of the World.	The Julian Period.	The year before Christ.
 THE ANNALS OF THE OLD TESTAMENT, From the beginning of the World.		
		4004 710.
	<p>IN the beginning God created Heaven and Earth, <i>Gen. 1. v. 1.</i> Which beginning of time, according to our Chronologic, fell upon the entrance of the night preceding the twenty third day of <i>Octob.</i> in the year of the Julian Calendar, 710.</p> <p>Upon the first day therefore of the world, or <i>Octob. 23.</i> being our sunday, God, together with the highest Heaven, created the Angels. Then having finished, as it were, the rooffe of this building, he fell in hand with the foundation of this wonderfull Fabrick of the World, he fashioned this lowermost Globe, consisting of the Deep, and of the Earth; all the Quire of Angels singing together, and magnifying his name therefore. [<i>Job. 38. v. 7.</i>] And when the Earth was void and without forme, and darknesse covered the face of the Deepe, on the very middle of the first day, the light was created; which God severing from the darknesse, called the one day, and the other night.</p> <p>On the second day [<i>October 24 being Monday</i>] the firmament being finished, which was called Heaven, a separation was made of the waters above, and the waters here below.</p> <p>On the third day [<i>October 25 being Tuesday</i>] these waters beneath running together into one place, the dry land appeared.</p> <p>On the fourth day [<i>October 26 being Wednesday</i>] the sun, moon, and stars were created, and the earth began to bring forth all kinds of herbs and plants, with seeds and fruit.</p> <p>On the fifth day [<i>October 27 being Thursday</i>] the living creatures of the earth took their creation, as well going, as creeping creatures. And last of all, man was created.</p> <p>And upon the sixth day [<i>October 28, which is our Friday</i>] the living creatures of the earth took their creation, as well going, as creeping creatures. And last of all, man was created.</p>	

- Kr. e. 4004 - A Világ teremtése
- Kr. e. 2349-2348 - Az Özönvíz, csak Noé és családja menekül meg
- Kr. e. 1921 - Isten elhívja Ábrahámot
- Kr. e. 1491 - A zsidók kivonulása Egyiptomból
- Kr. e. 1012 - Salomon elkezd a jeruzsálemi templom építését
- Kr. e. 588 - A babilóniaiak lerombolják a jeruzsálemi templomot
- Kr. e. 4 - Jézus Krisztus születése

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

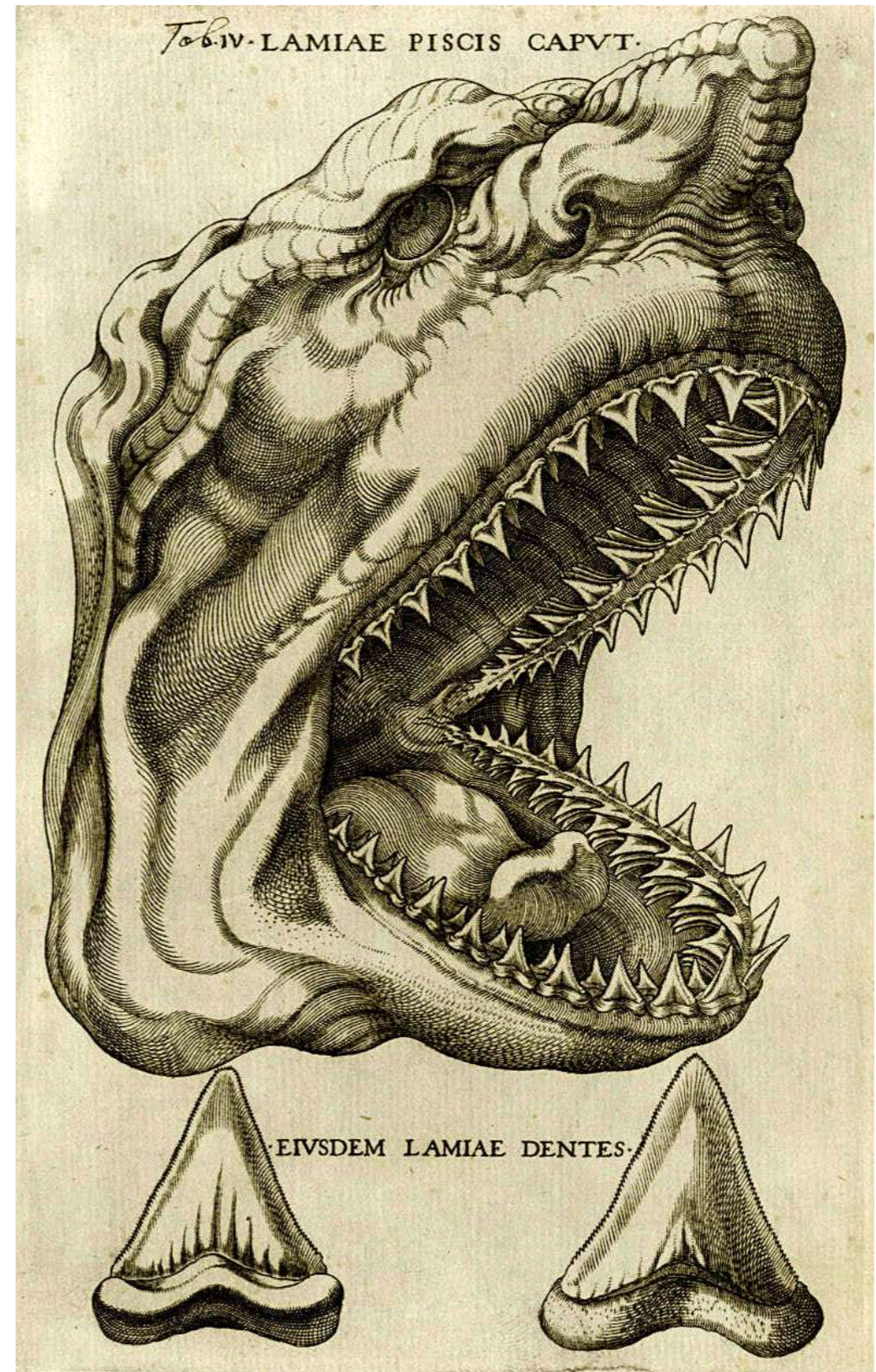


szuperpozíció elve
&
eredendő vízszintesség elve

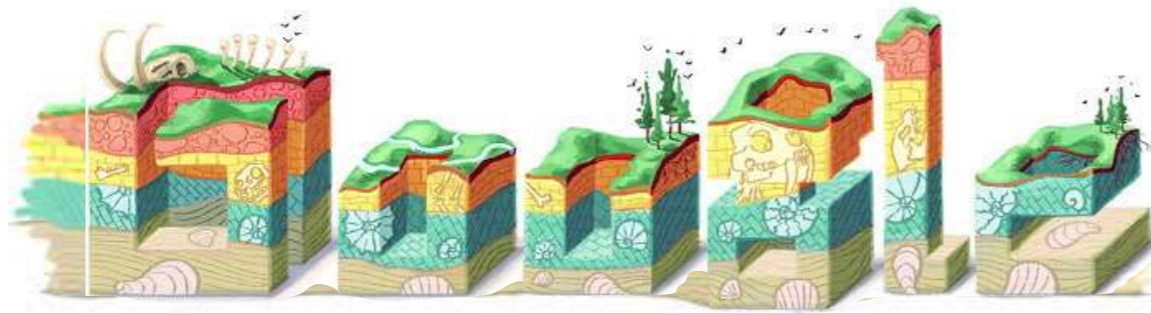
mintázat és folyamat



Nicolas Steno
1638-1686



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

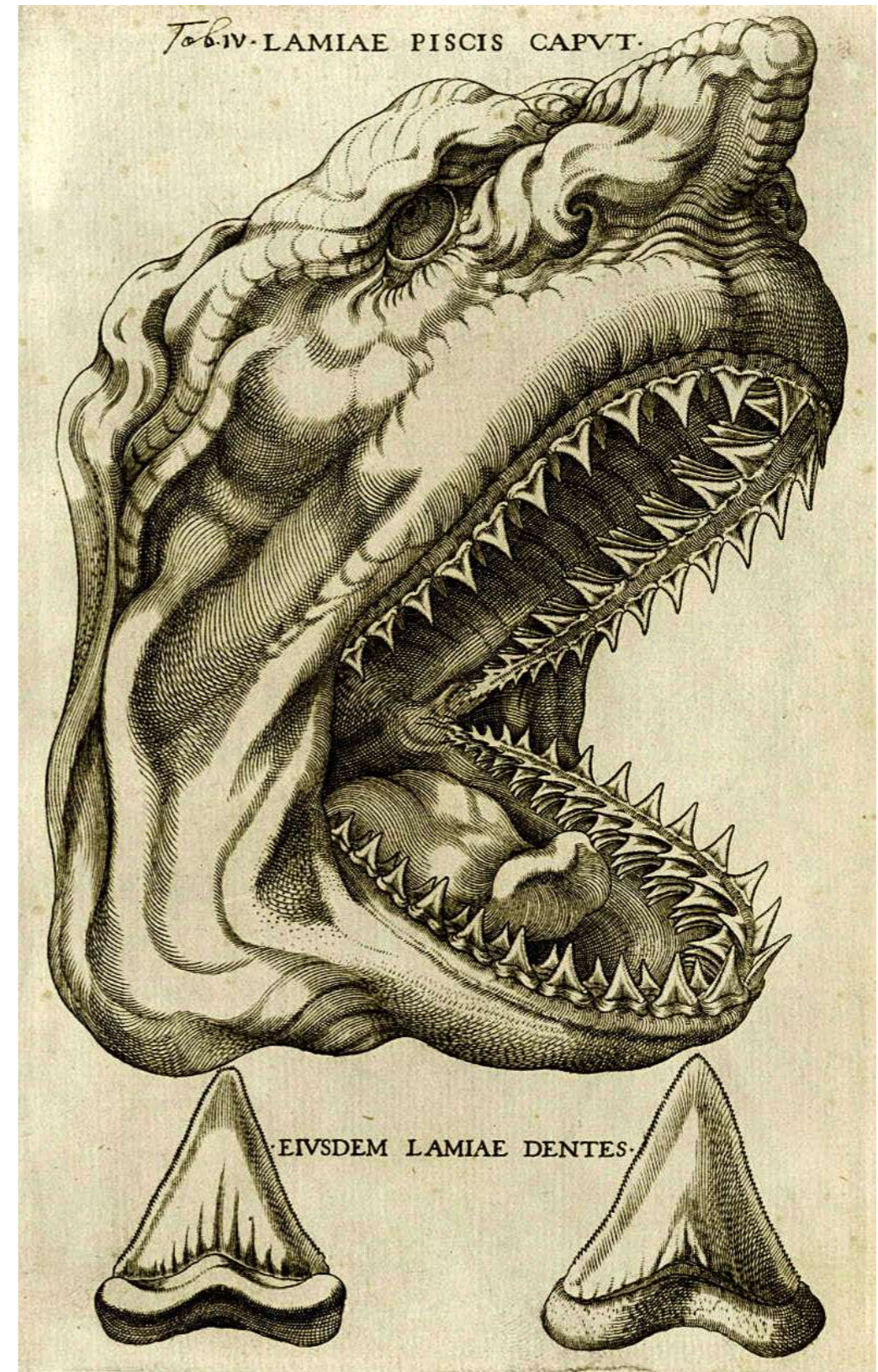


szuperpozíció elve
&
eredendő vízszintesség elve

mintázat és folyamat



Nicolas Steno
1638-1686



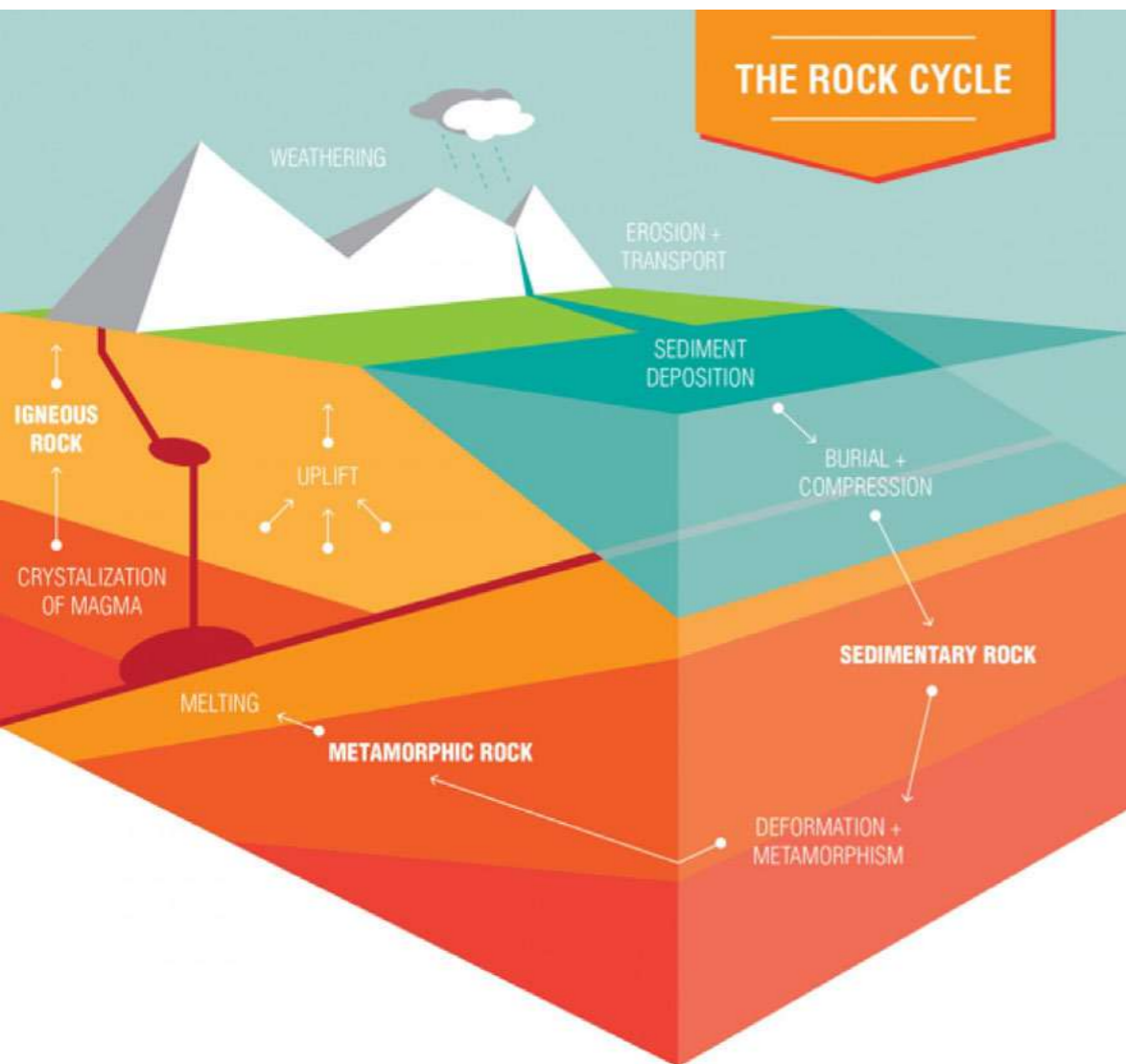
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

folyamat részletes feltárása
uniformitarizmus

Ugyanazok a folyamatok működnek ma, mint régen

“no vestige of a beginning, — no prospect of an end.”

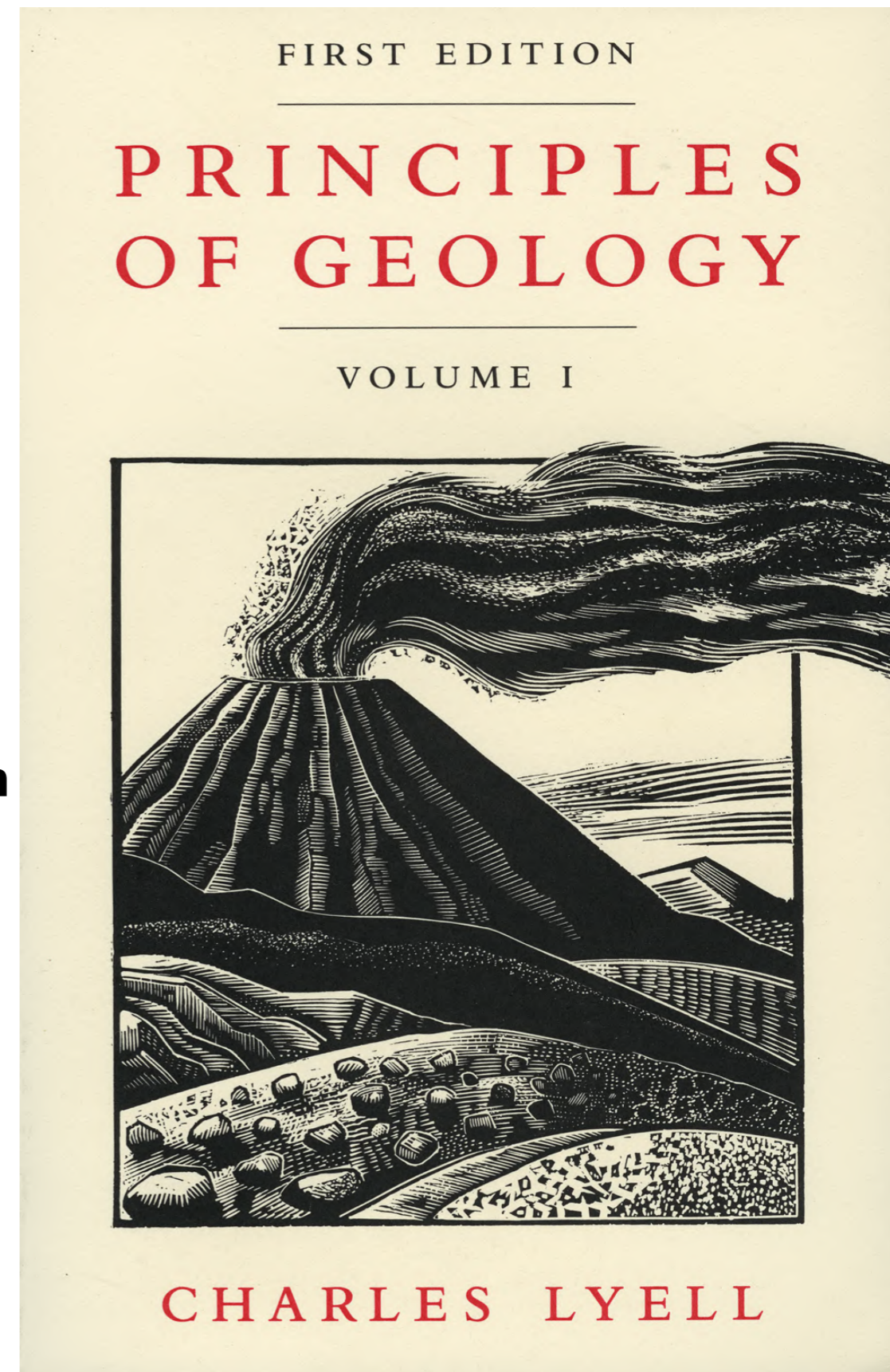
“nincs nyoma kezdetnek, — nincs előrelátható vég.”



James Hutton
1726-1797



Charles Lyell
1797-1875

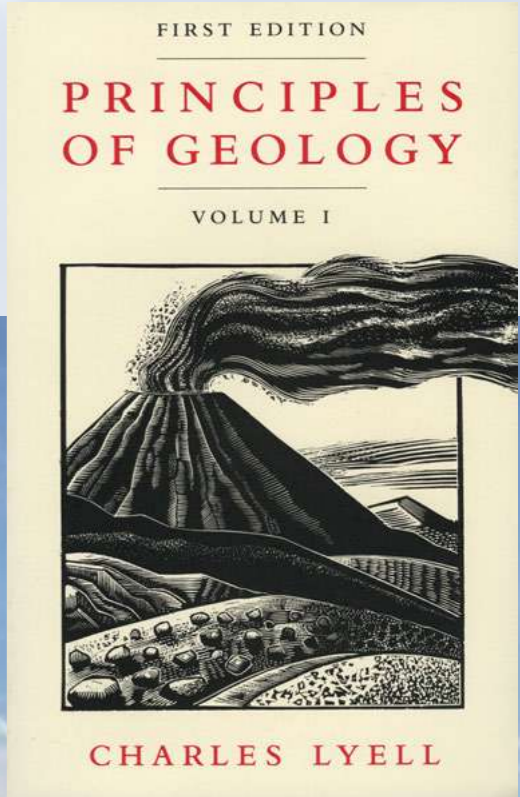




Charles Darwin
1809-1882

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

mintázat és folyamat
naiv kvantitatív modell



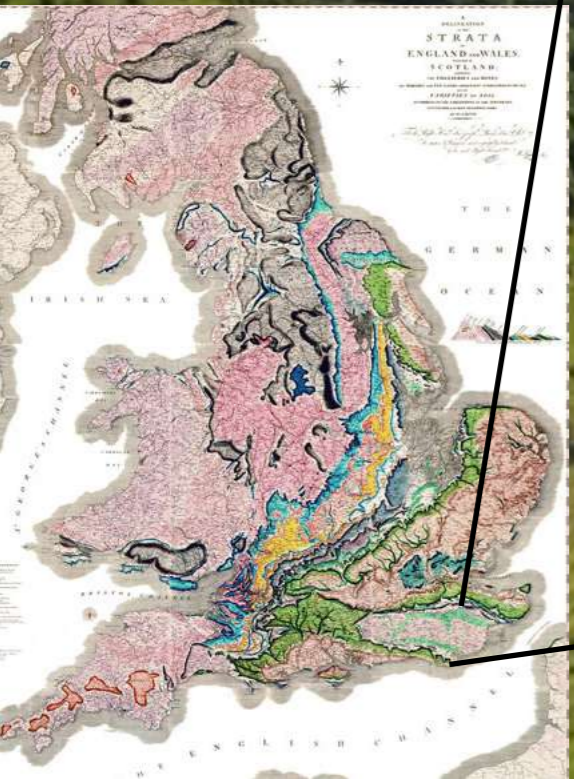
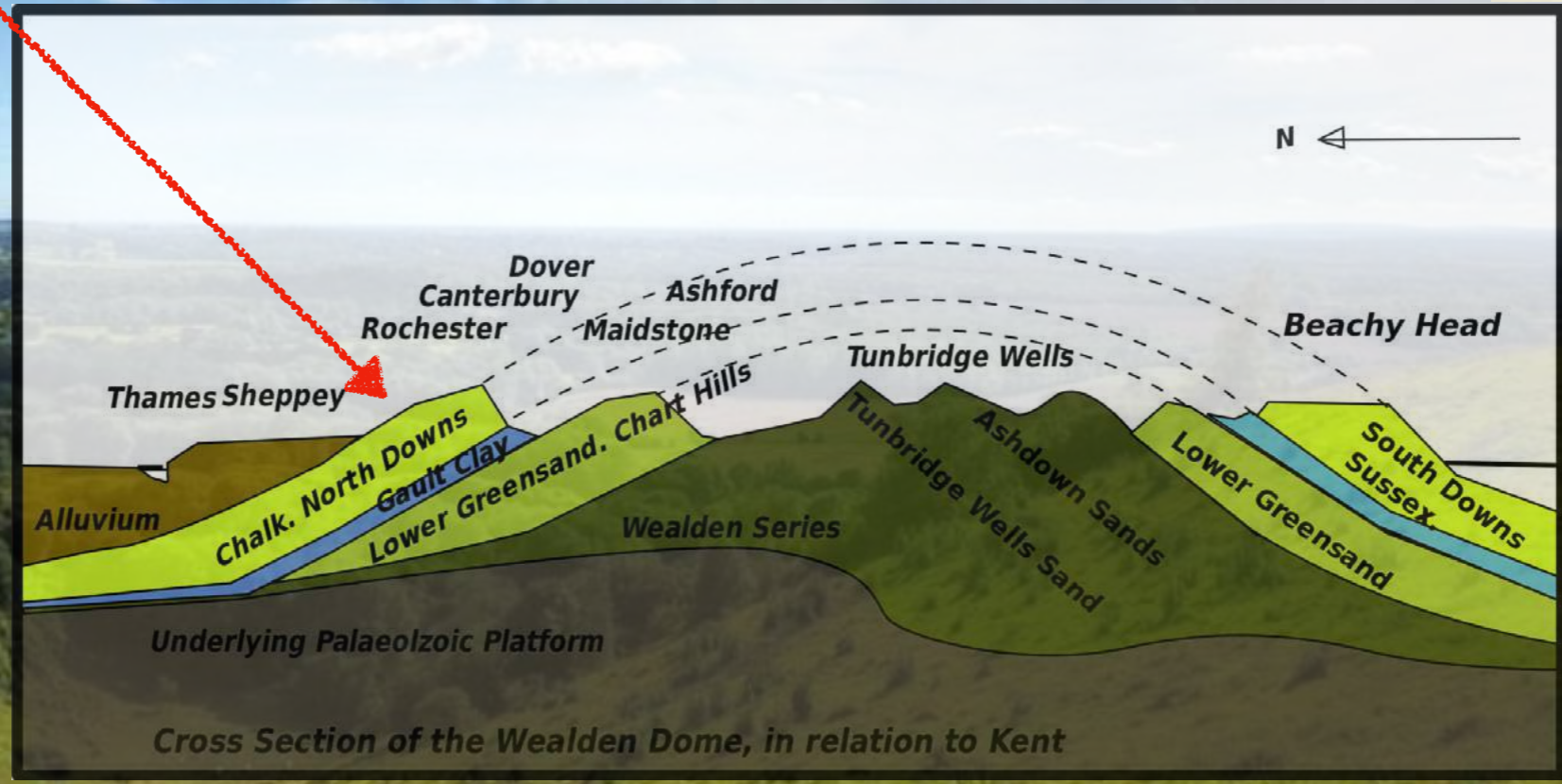
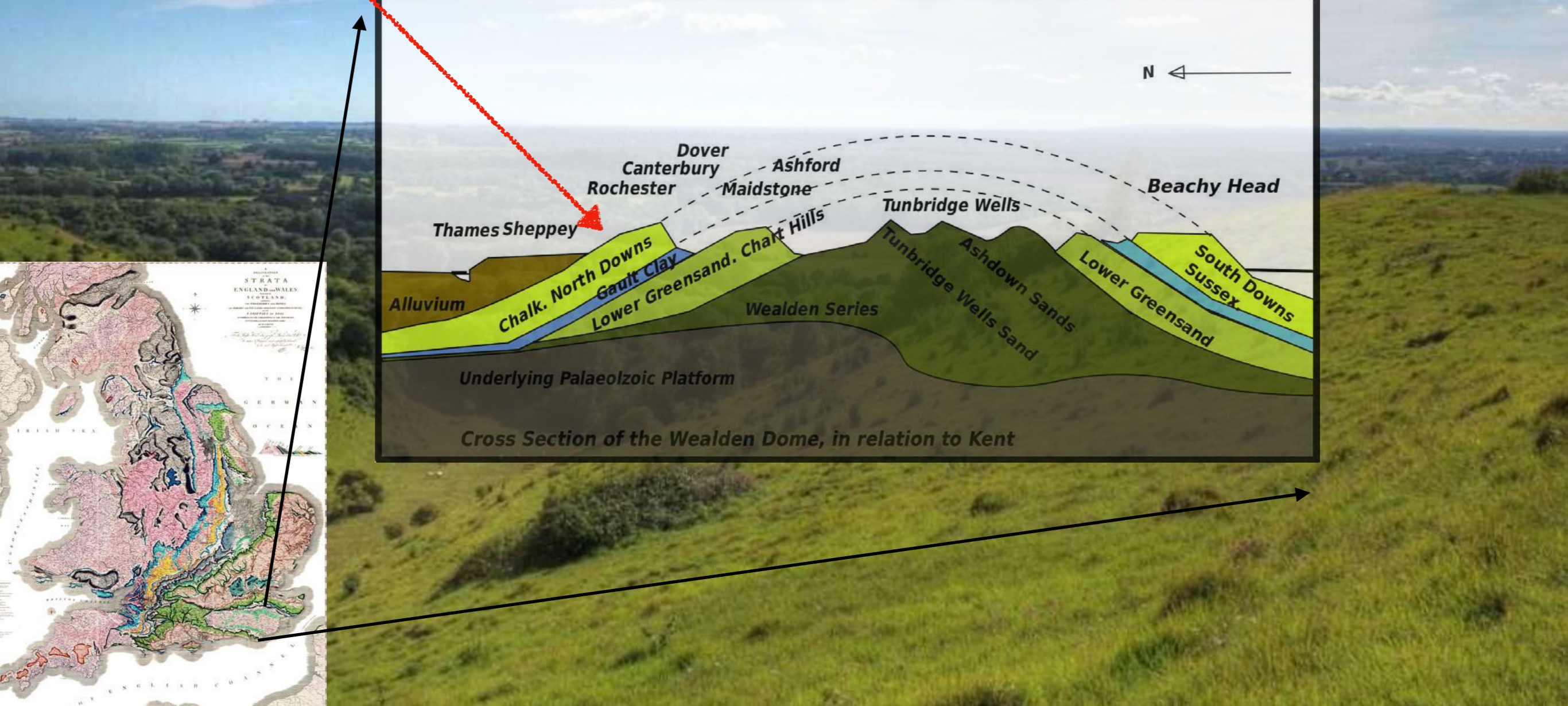
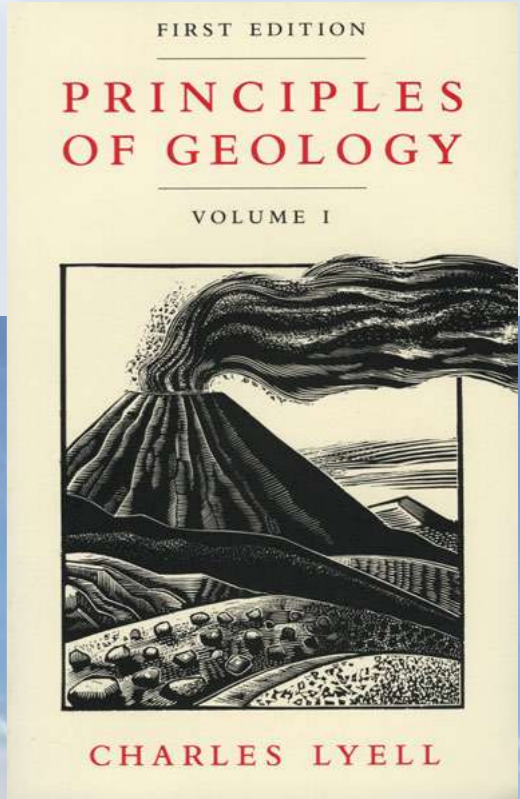


Charles Darwin
1809-1822

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

mintázat és folyamat
naív kvantitatív modell

Ha évszázadonként ~ 2.5 cm erodálódik,
a Weald ~ 300 000 000 éves.

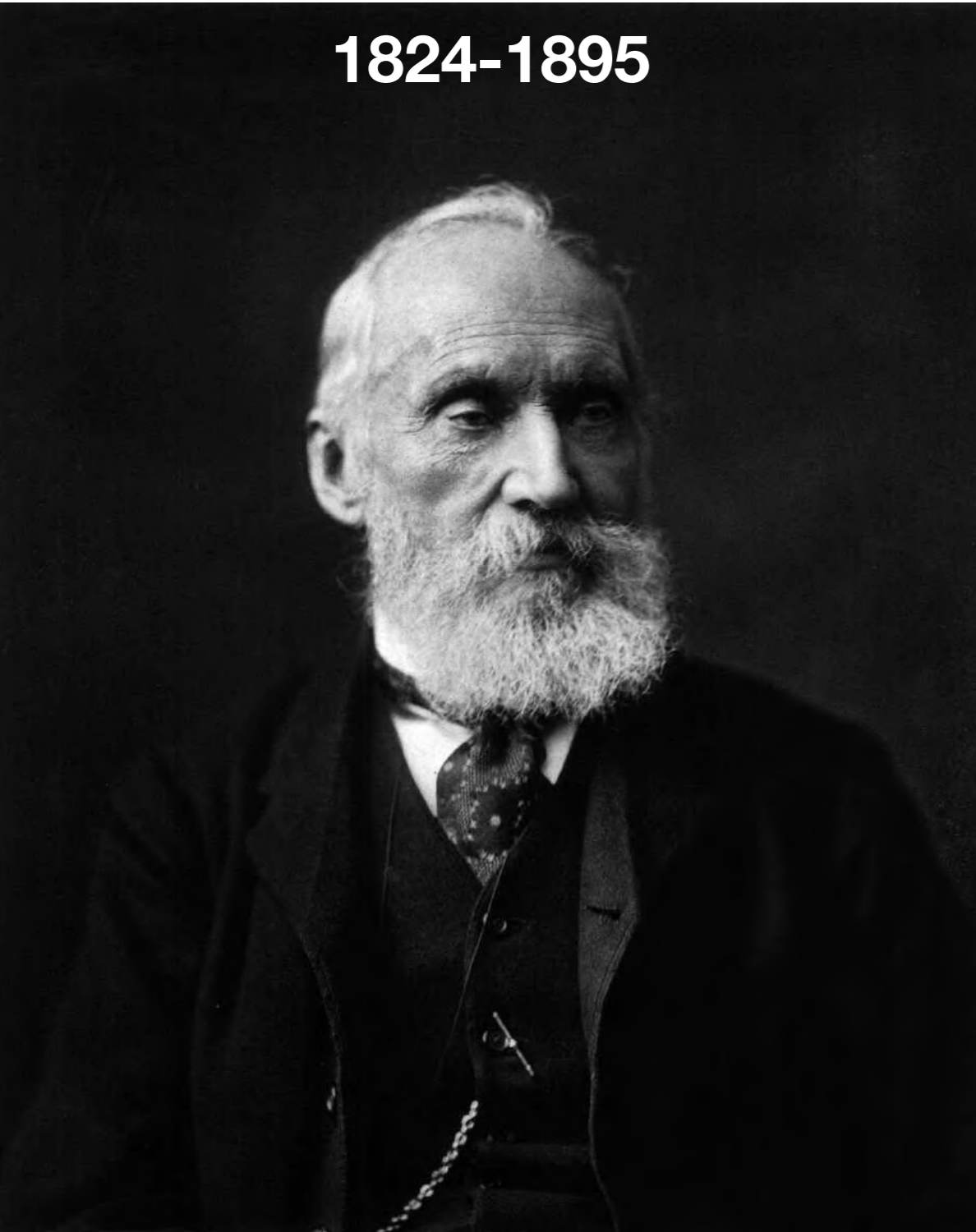


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

részletes kvantitatív **fizikai modell**

Lord Kelvin

1824-1895



a napnak nincs belső hőforrása, mégis

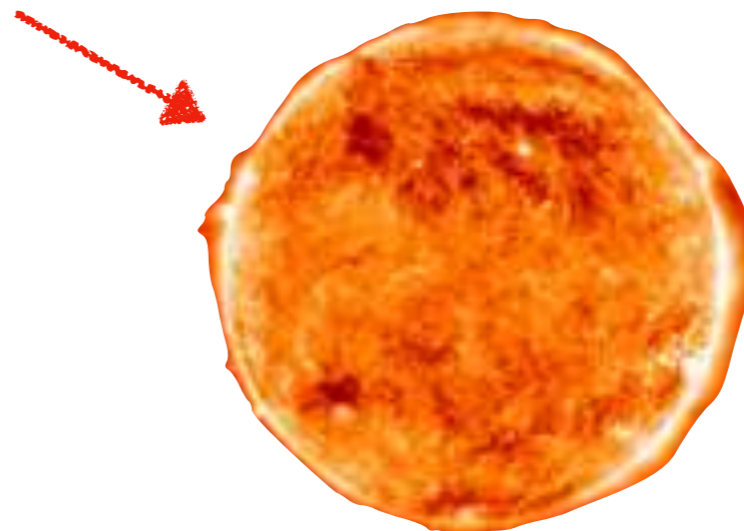
$$P_{\text{Sun}} = 3.6 \times 10^{26} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

$$v_{\text{escape}} = 624 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \right]$$

$$E_{\text{kinetic}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1[\text{kg}] \times 624 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \right]^2 = 1.94 \times 10^{11}[\text{J}]$$



~ 1/47 Földtömeg évente

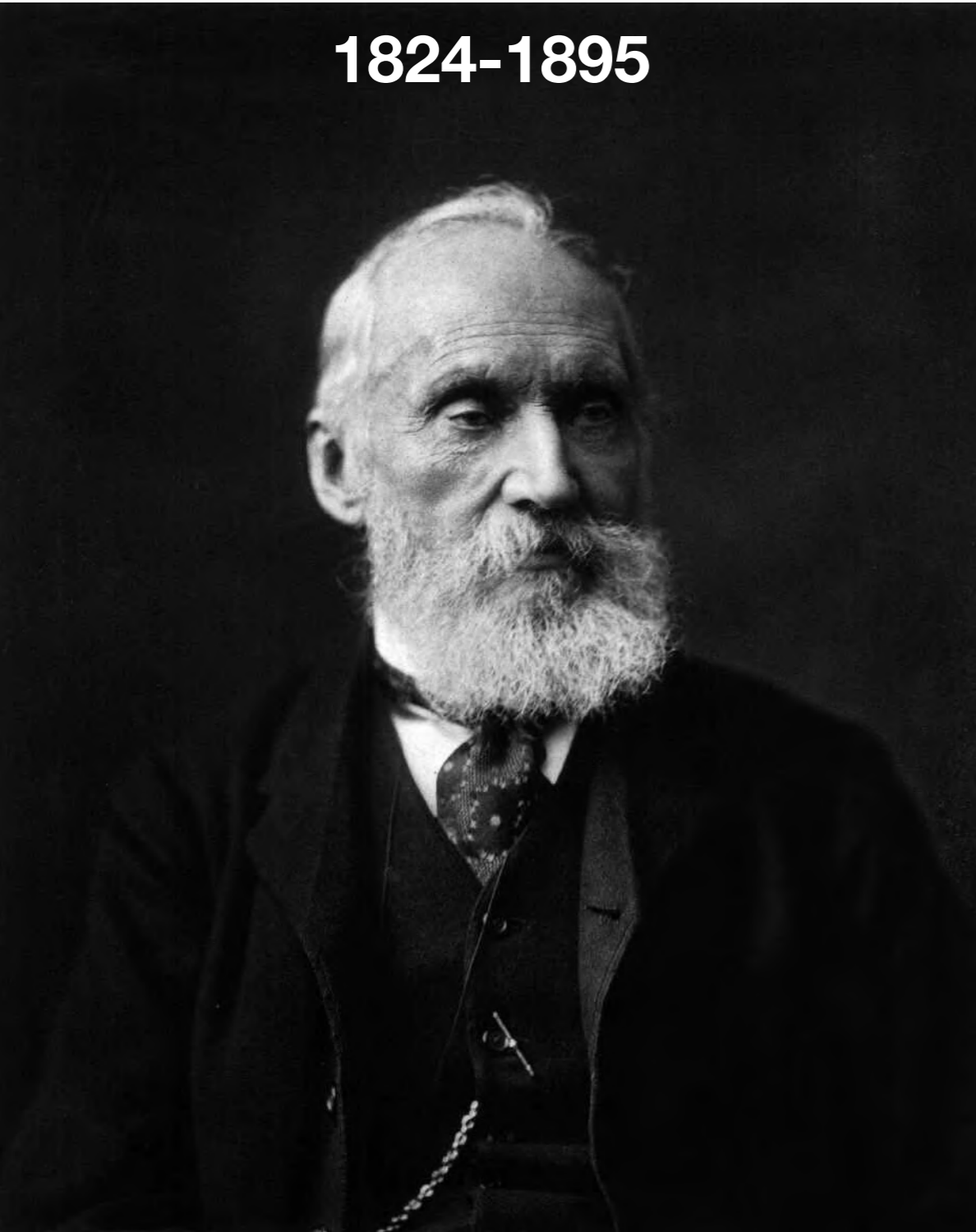


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

részletes kvantitatív **fizikai modell**

Lord Kelvin

1824-1895

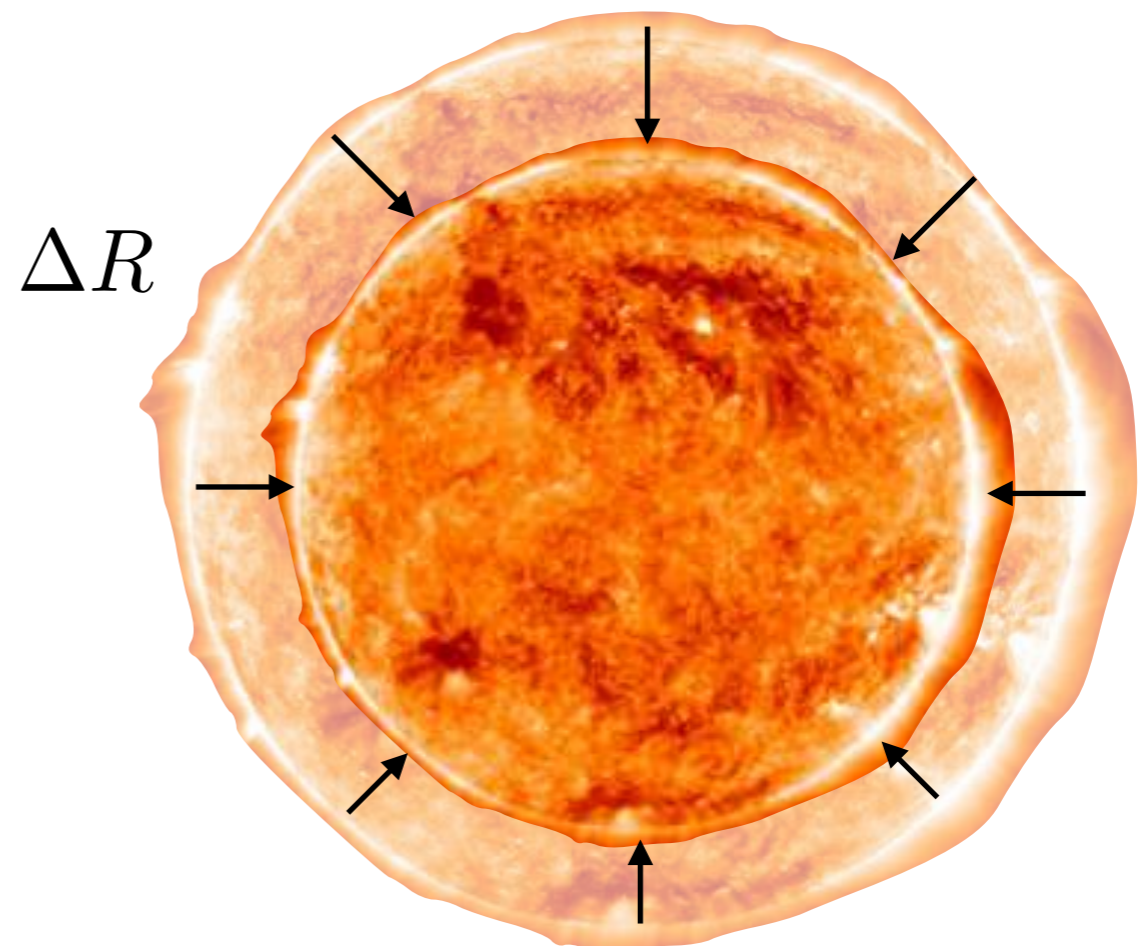


kiinduló feltételezés:
nincsen belső hőforrás

Kelvin–Helmholtz-időskála

$$P_{\text{Sun}} = L_{\odot} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \approx \frac{GM_{\odot}^2}{R^2} \frac{\Delta R}{\Delta t} \approx 3.6 \times 10^{26} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

$$t_{\text{K-H}} = \frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot} L_{\odot}} \sim \mathbf{30 \text{ millió év}}$$

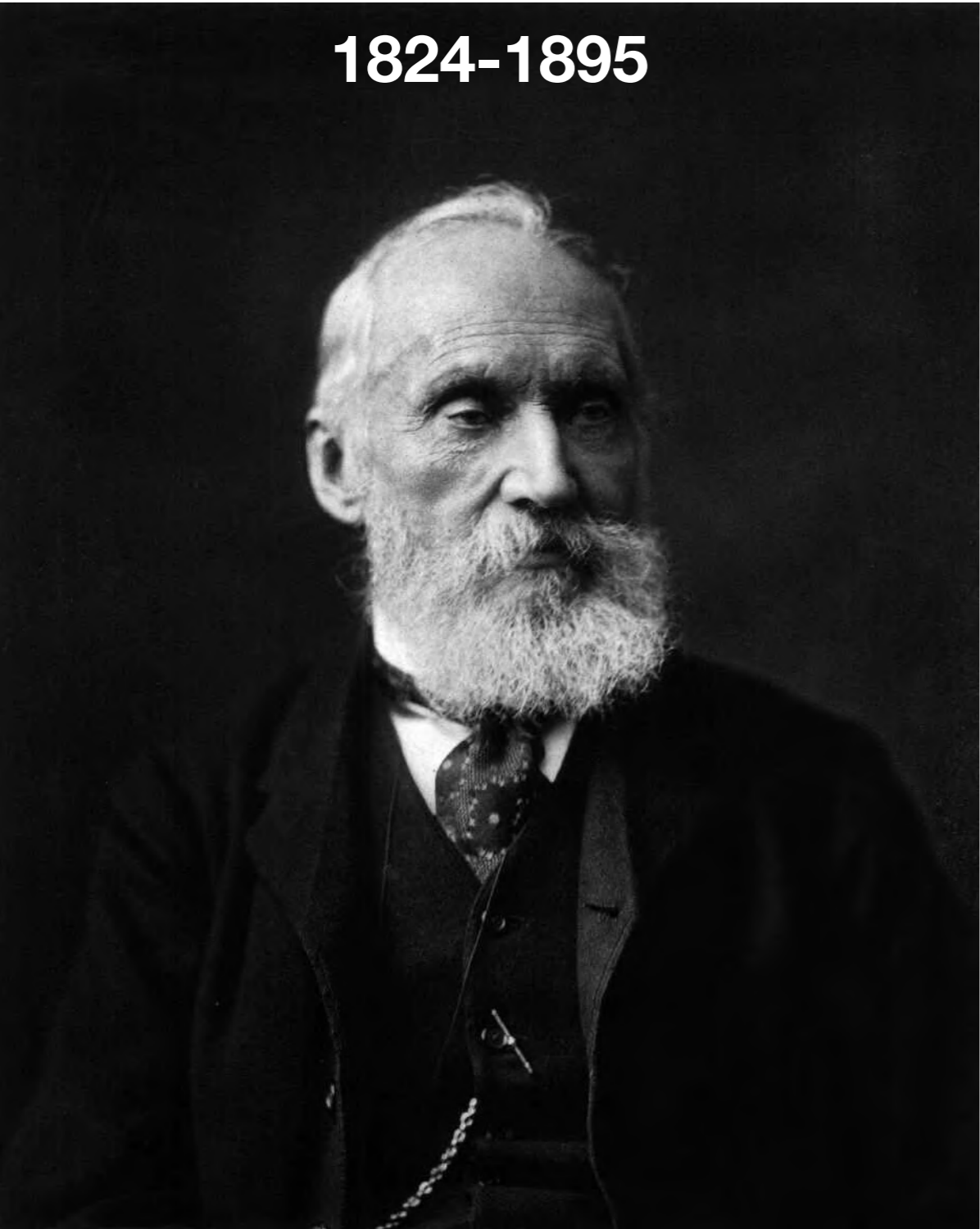


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

részletes kvantitatív **fizikai modell**

Lord Kelvin

1824-1895

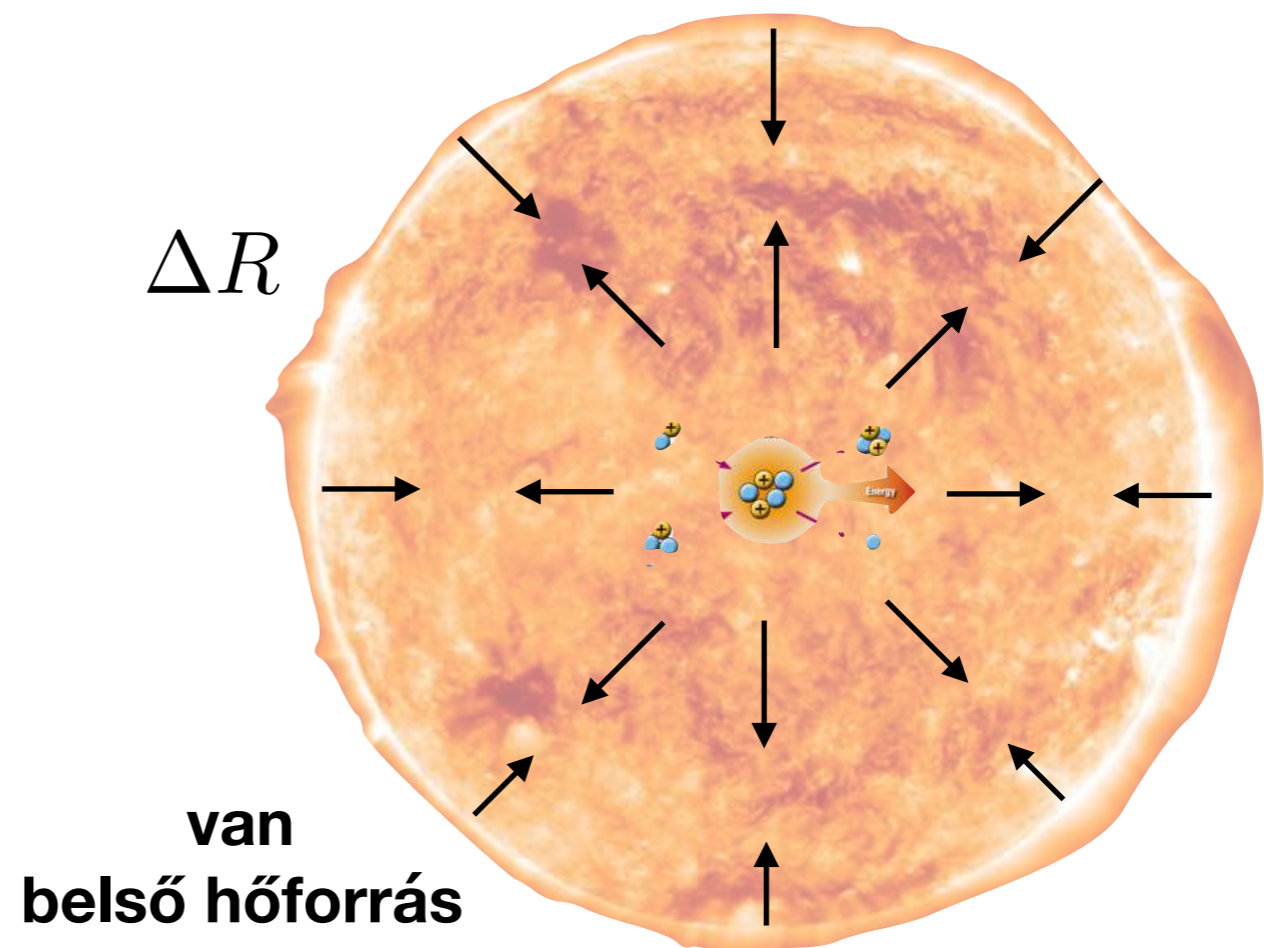


kiinduló feltételezés:
nincsen belső hőforrás

Kelvin–Helmholtz-időskála

$$P_{\text{Sun}} = L_{\odot} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \approx \frac{GM_{\odot}^2}{R^2} \frac{\Delta R}{\Delta t} \approx 3.6 \times 10^{26} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

$$t_{\text{K-H}} = \frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot} L_{\odot}} \sim \mathbf{30 \text{ millió év}}$$

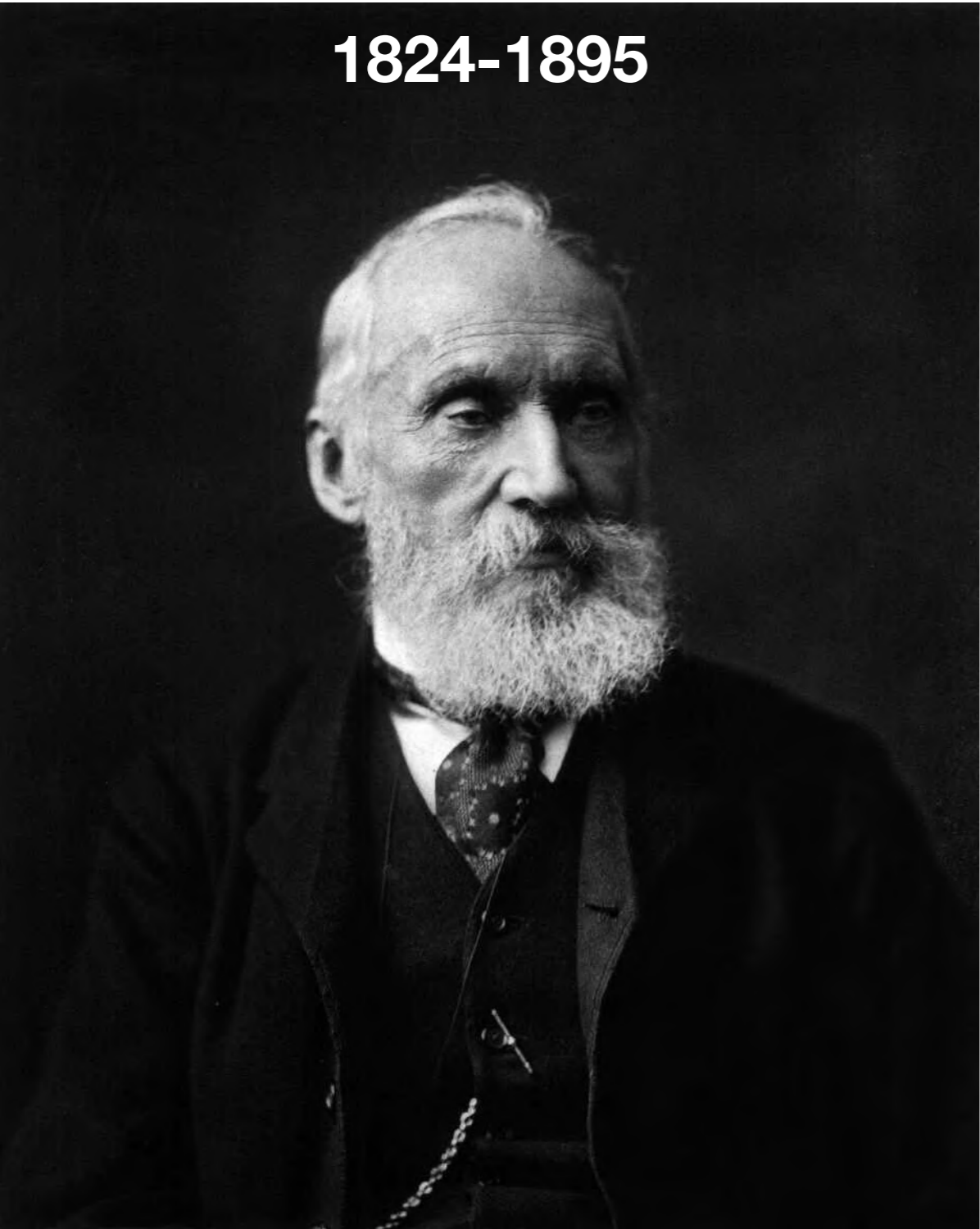


Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

részletes kvantitatív **fizikai modell**

Lord Kelvin

1824-1895



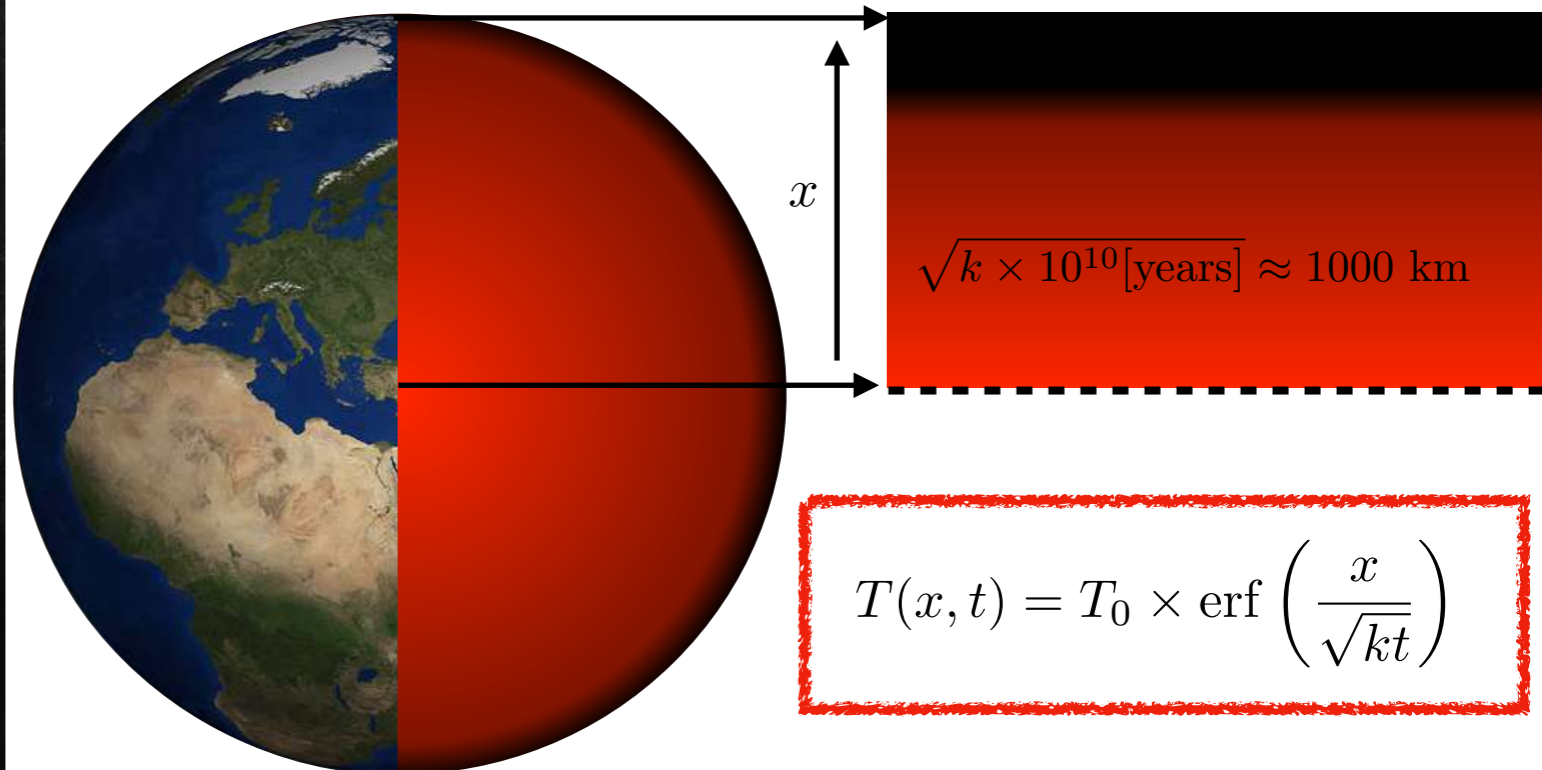
kiinduló feltételezések:

a föld szilárd és nincsen belső hőforrás

$$T_0 = 2000 \text{ [}^\circ\text{C]}; \quad k = \frac{\lambda}{\rho c_p} = 1.2 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

ismert kezdeti hőmérséklet és a hődiffúziós tényező

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}$$

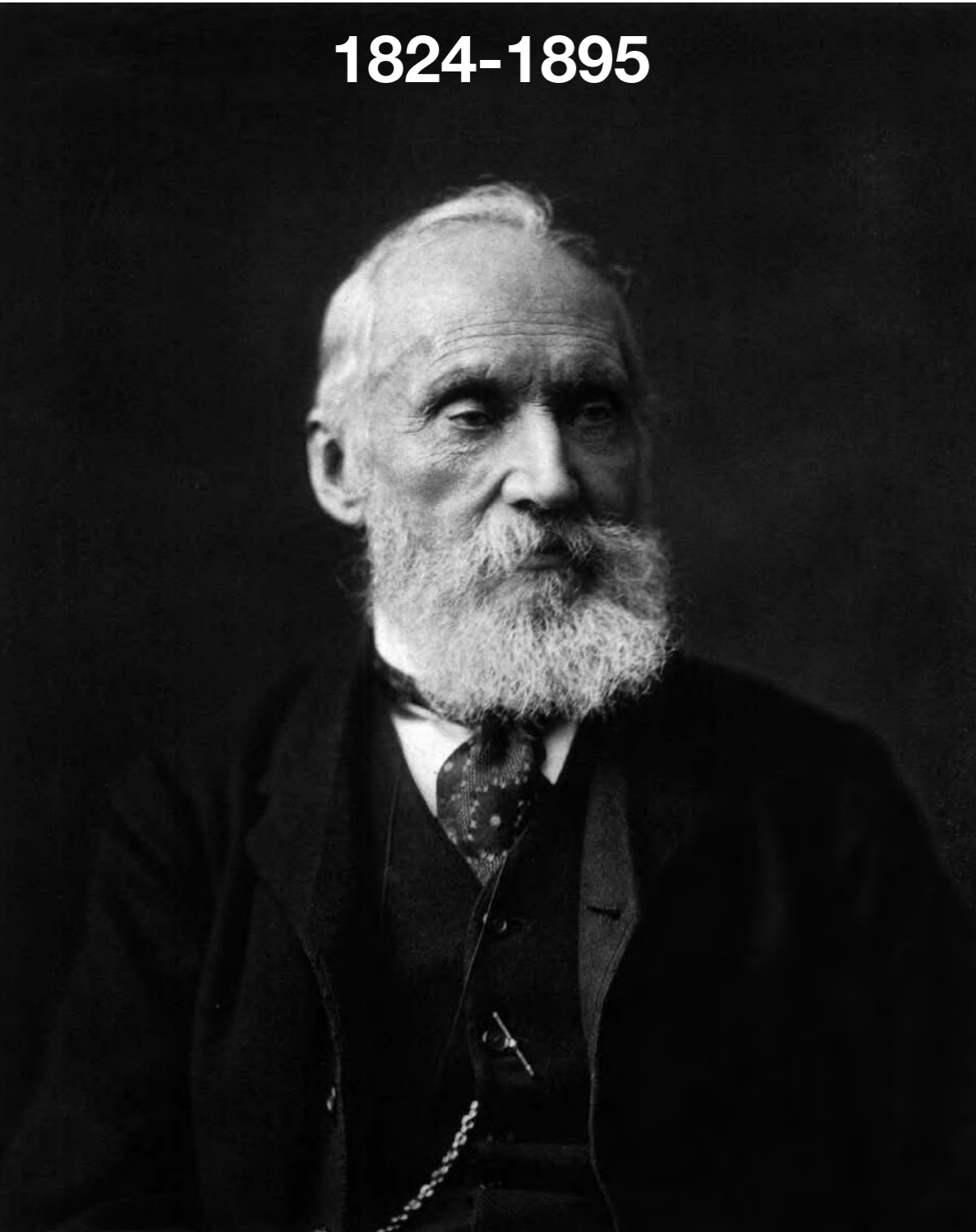


$$T(x, t) = T_0 \times \text{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{kt}} \right)$$

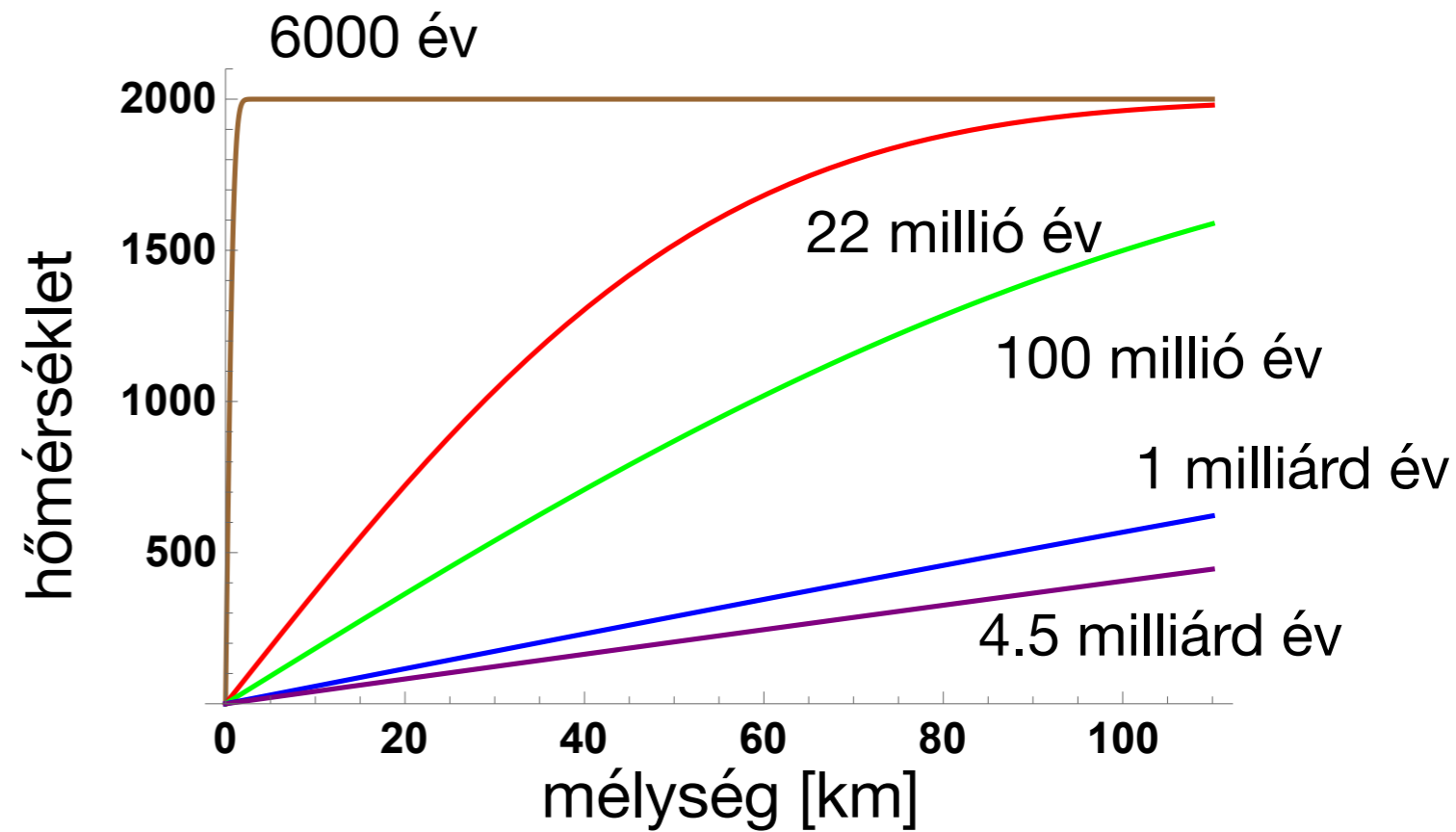
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

Lord Kelvin

1824-1895



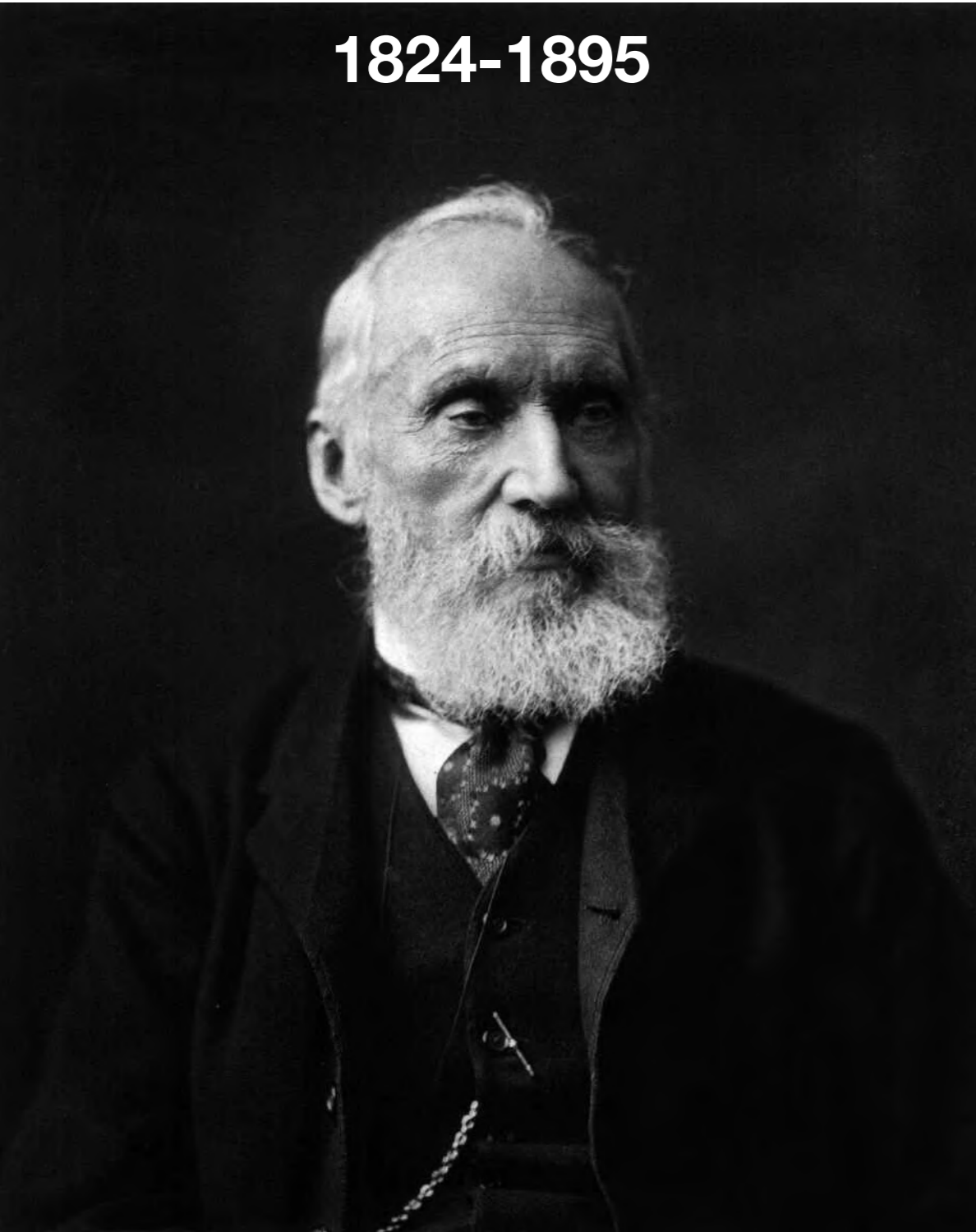
$$T(x, t) = T_0 \times \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{kt}} \right)$$
$$T_0 = 2000 \text{ [}^\circ\text{C]}; \quad k = \frac{\lambda}{\rho c_p} = 1.2 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$



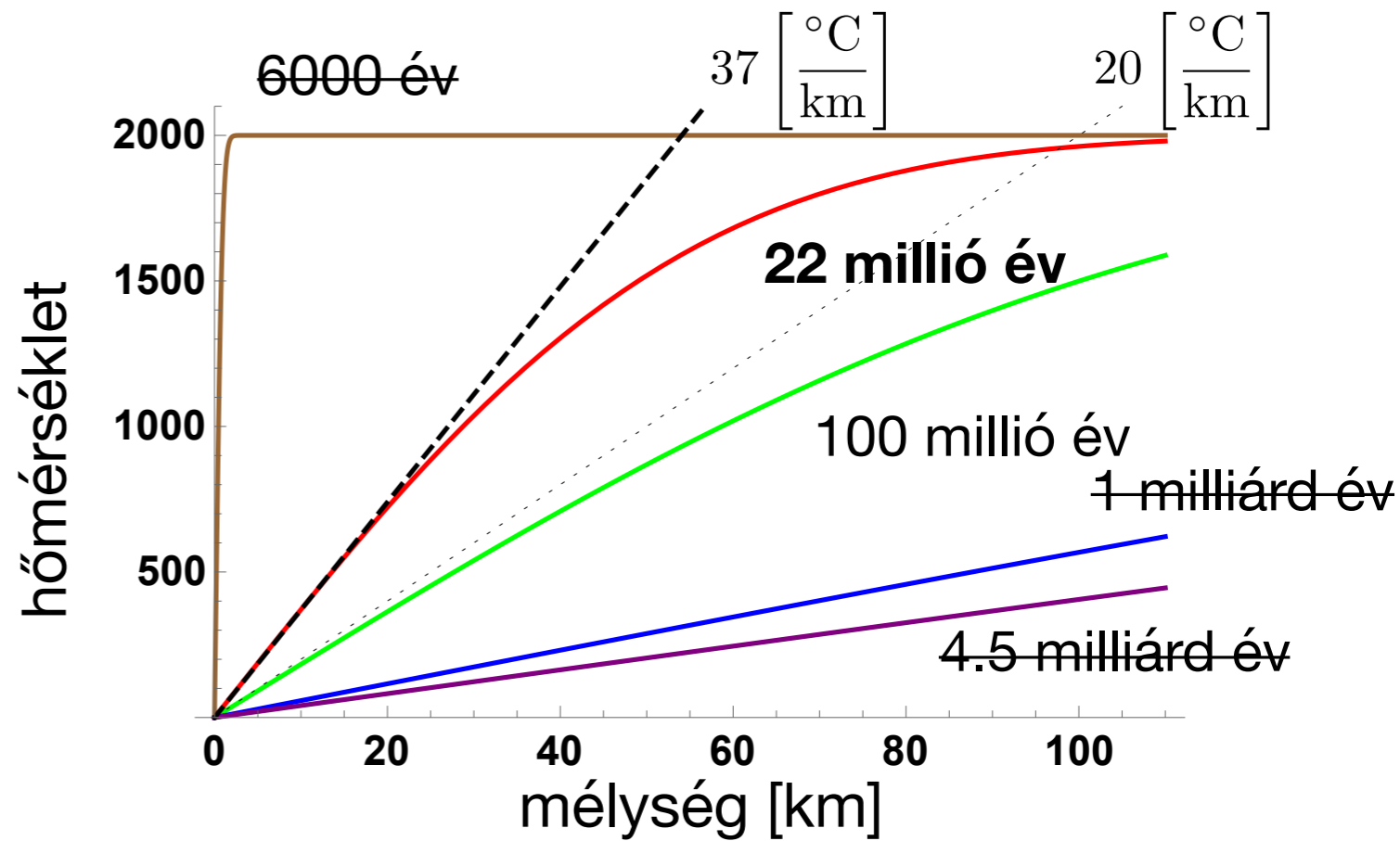
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

Lord Kelvin

1824-1895

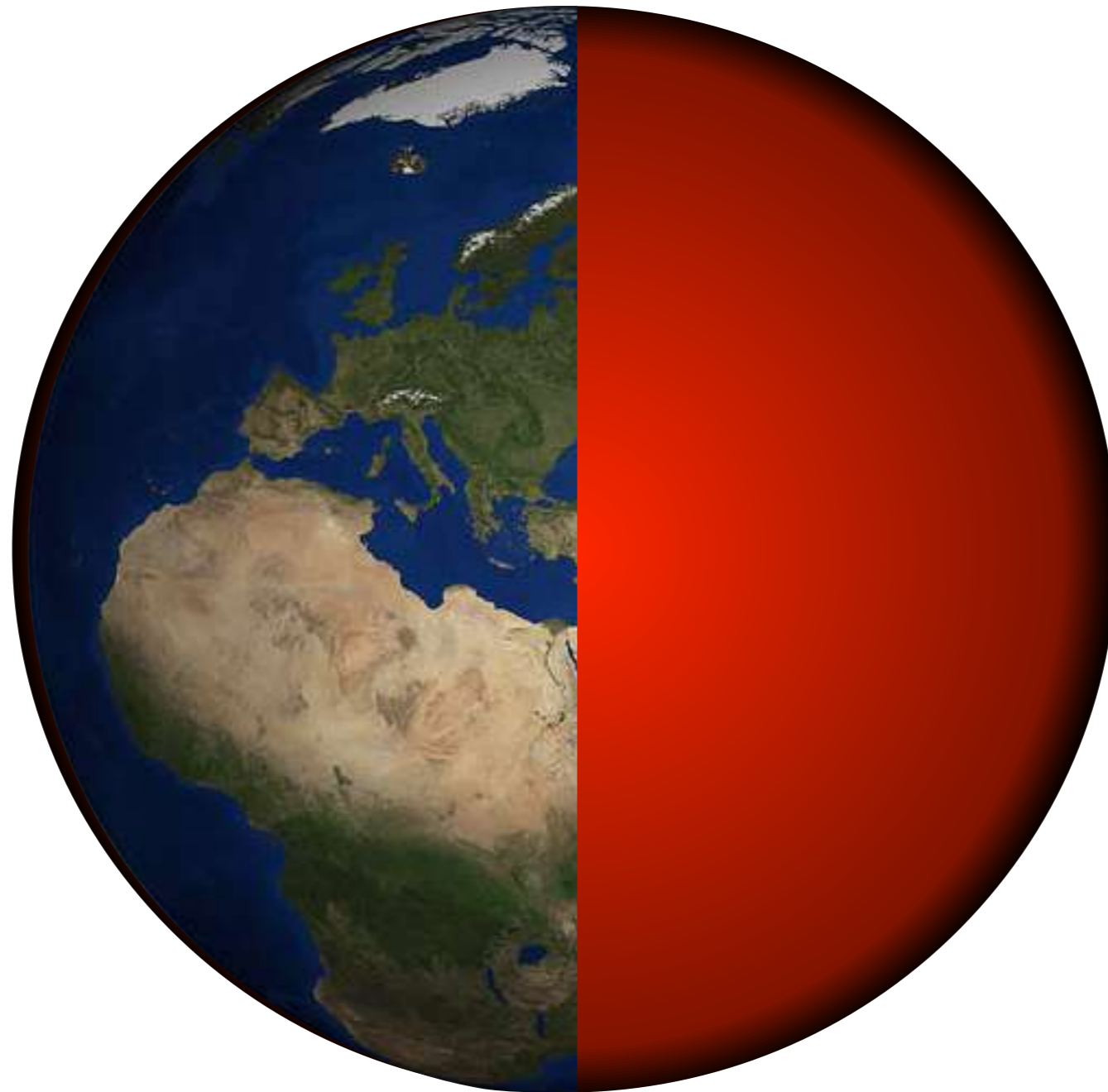


$$T(x, t) = T_0 \times \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{kt}} \right)$$
$$T_0 = 2000 \text{ [}^\circ\text{C]}; \quad k = \frac{\lambda}{\rho c_p} = 1.2 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$



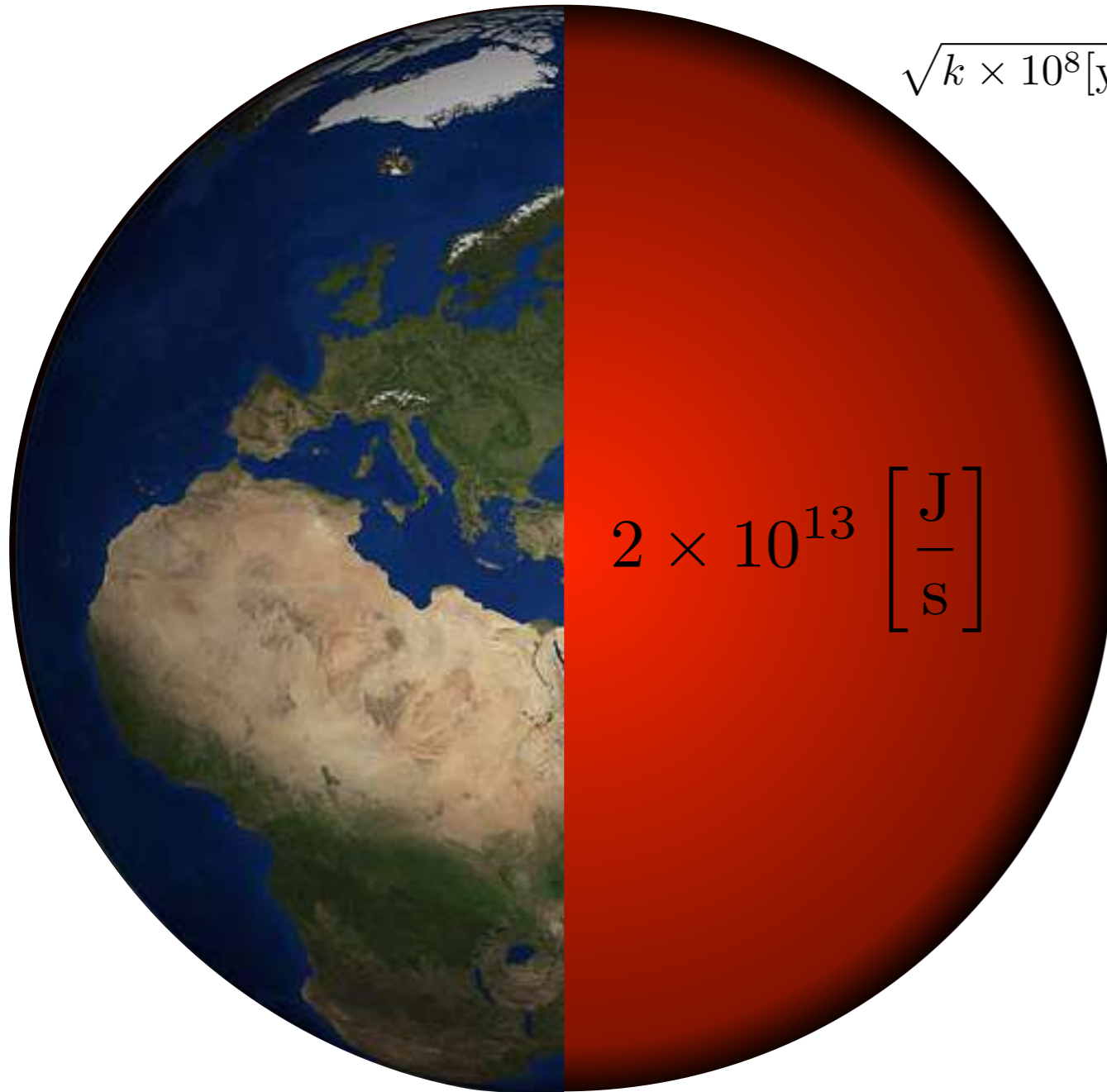
Hol tévedet Kelvin?

kiinduló feltételezések:
a föld szilárd és nincsen belső hőforrás

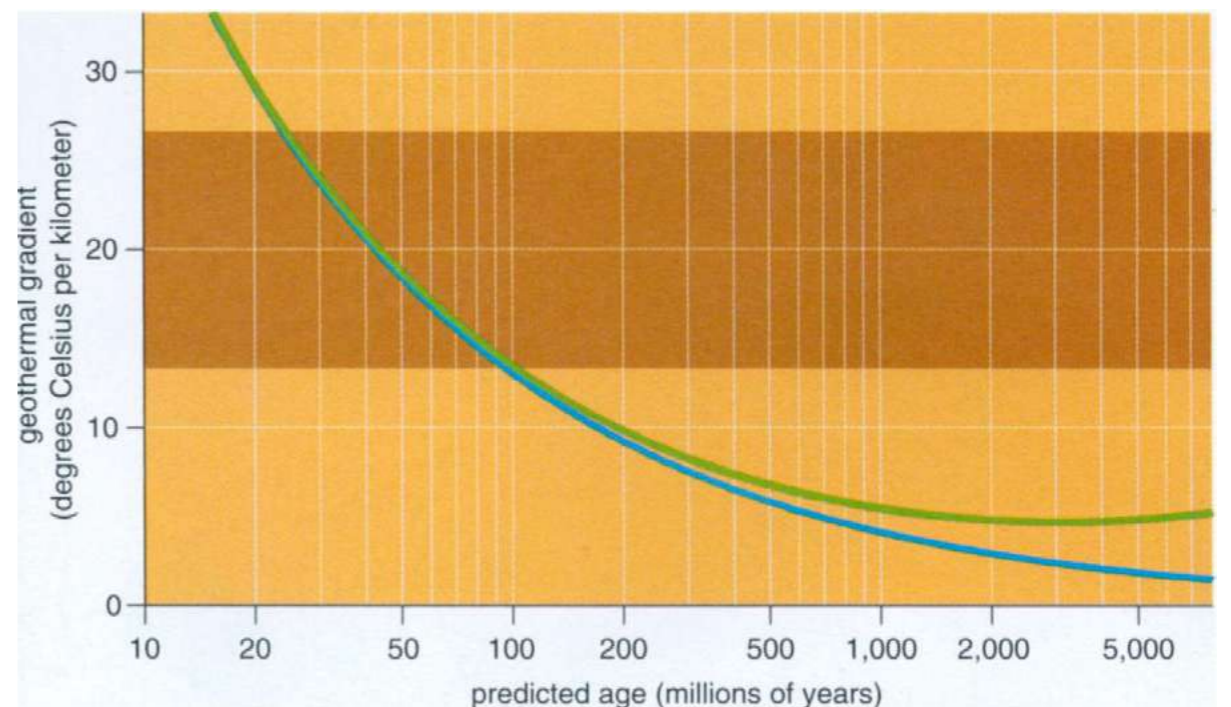
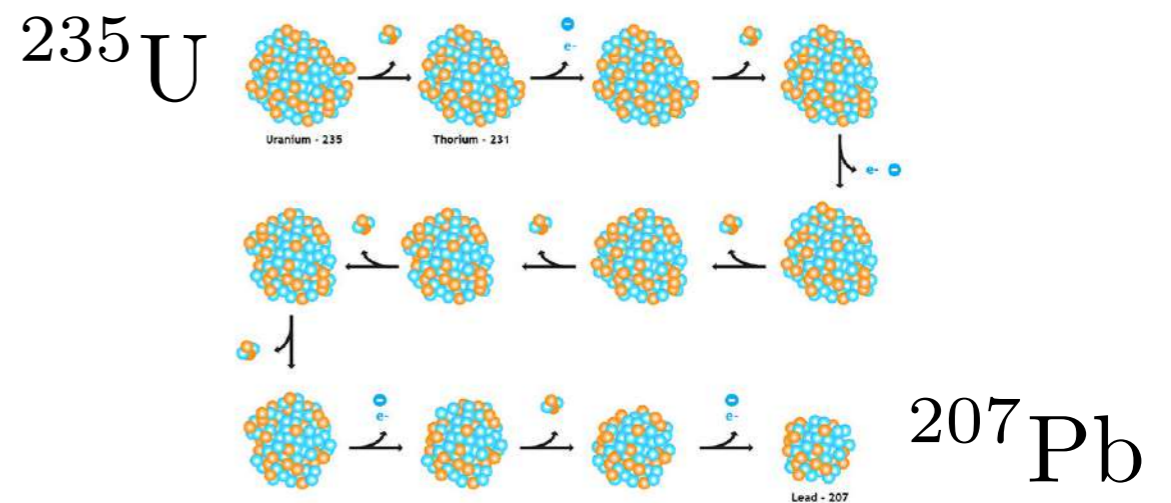


Hol tévedet Kelvin?

kiinduló feltételezések:
a föld szilárd és nincsen belső hőforrás

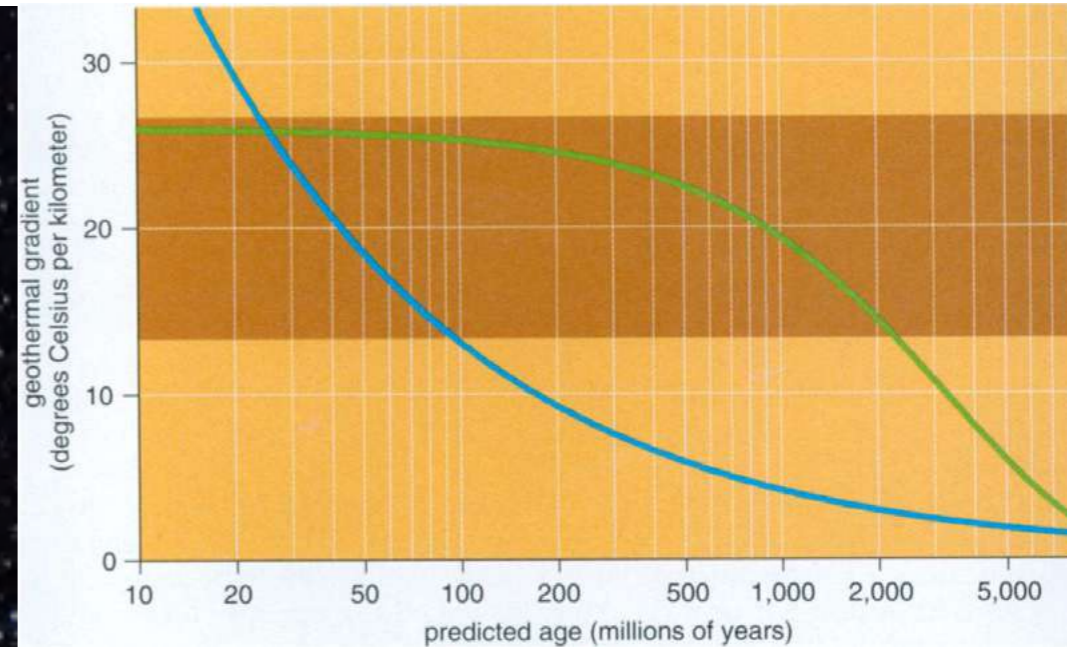
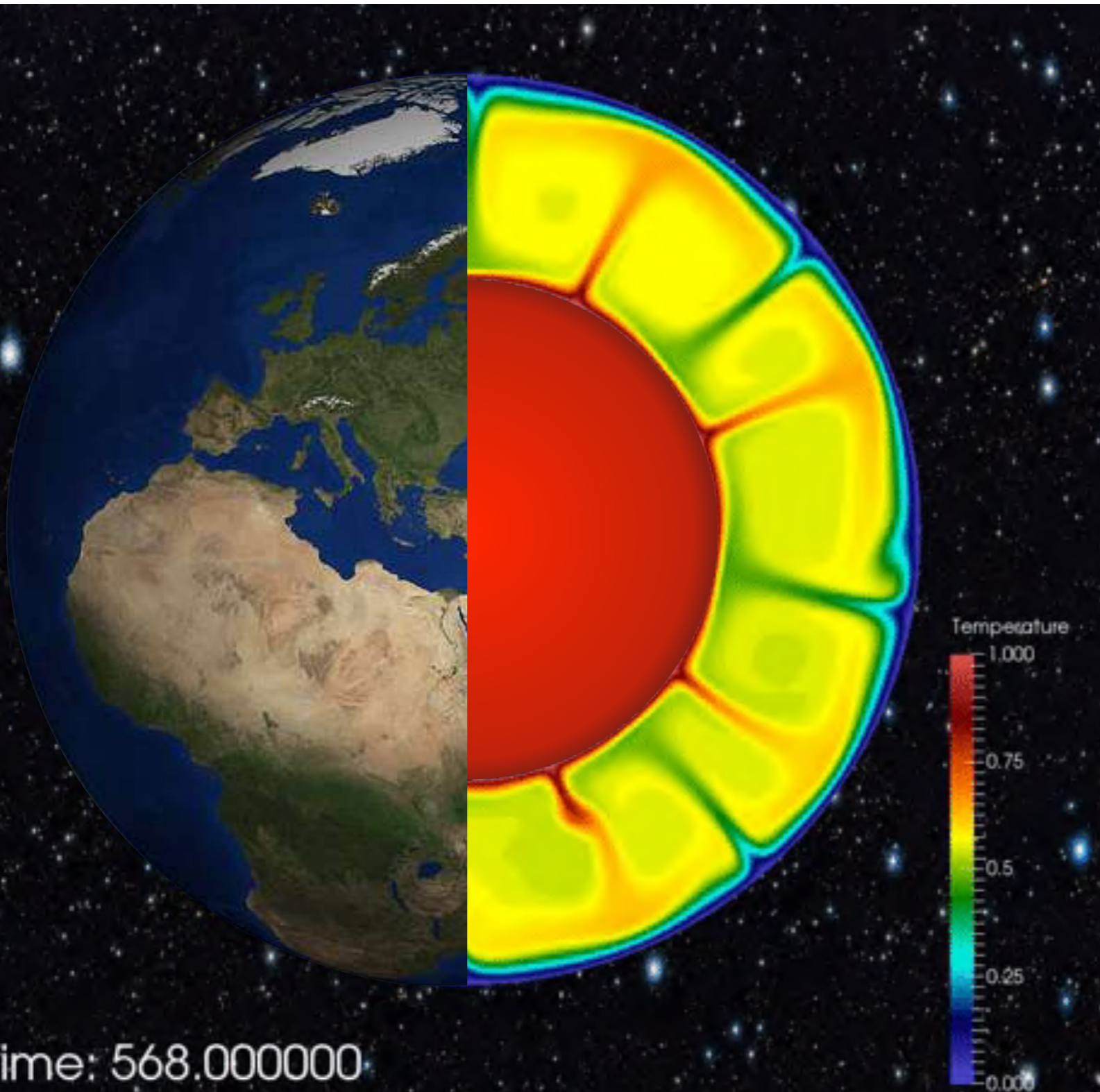


$$\sqrt{k \times 10^8 [\text{years}]} \approx 100 \text{ km}$$



Hol tévedet Kelvin?

kiinduló feltételezések:
a föld szilárd és nincsen belső hőforrás



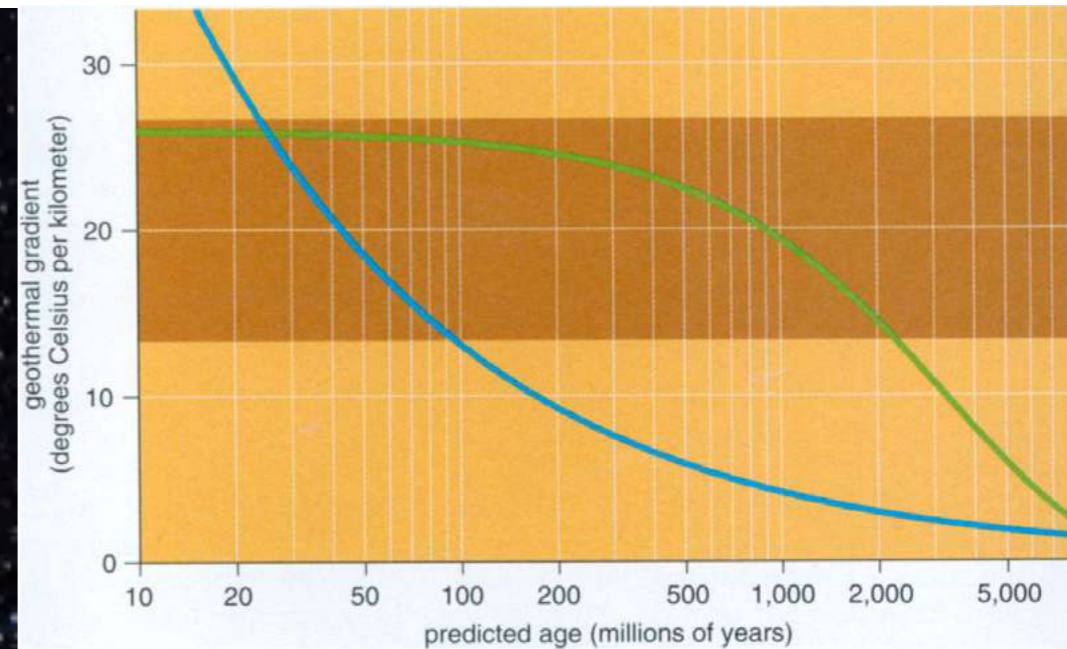
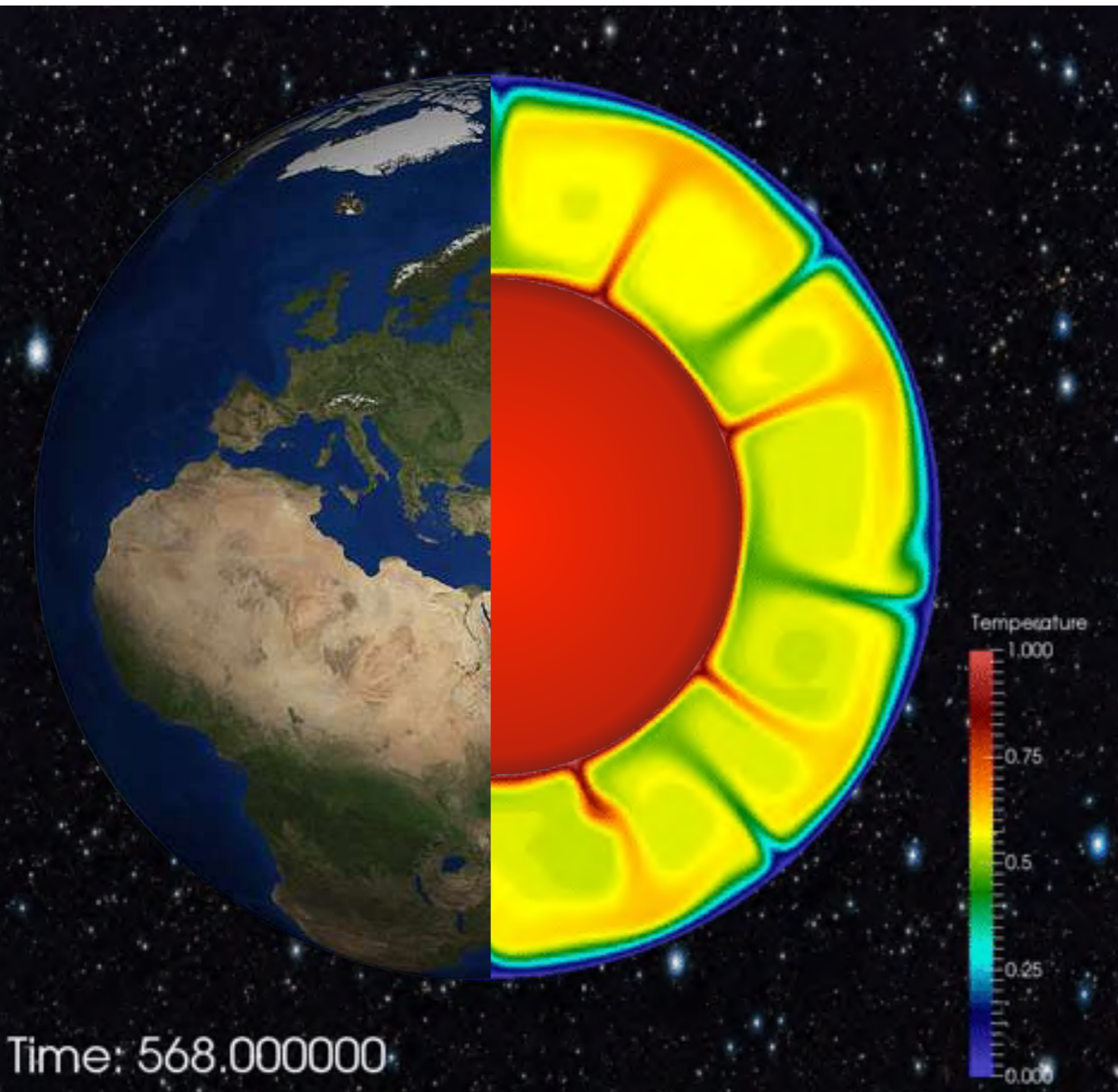
a konvektív hőáramlás hőt szállít a kéreghez



John Perry
1850 – 1920

Hol tévedet Kelvin?

kiinduló feltételezések:
a föld szilárd és nincsen belső hőforrás



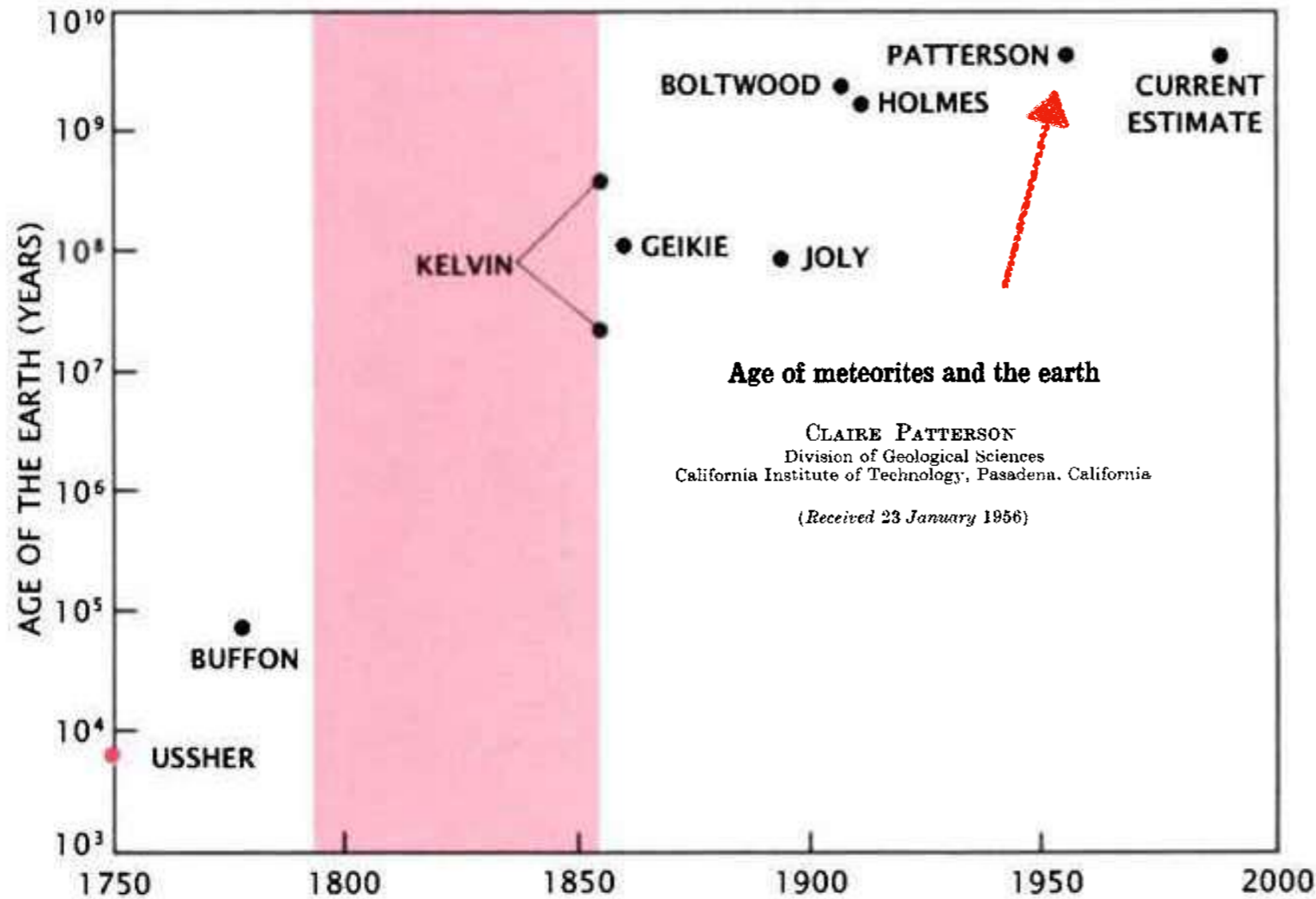
a konvektív hőáramlás hőt szállít a kéreghez



John Perry
1850 – 1920

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

A helyes megoldás, avagy:
az atommagtól a naprendszer kialakulásáig, egy évvel a Sputnik előtt



Clair Patterson (1922–1995)

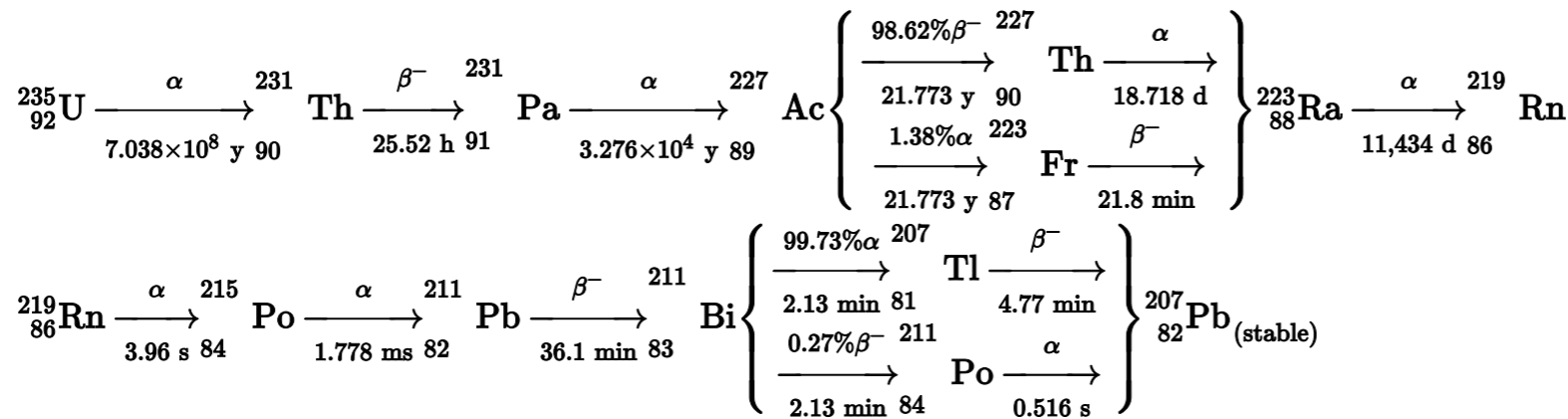
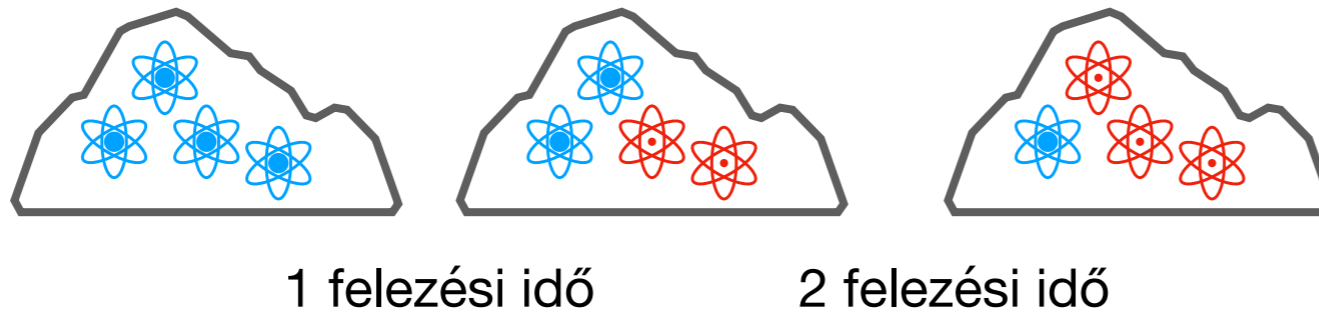
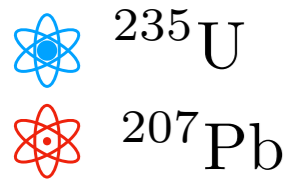


GEOLOGISTS AND PHYSICISTS have advanced the earth's age from hundreds of human generations to billions of terrestrial revolutions. The red point marks the biblical estimates for the earth's age. Between 1795 and 1862 most geologists believed the earth had existed for eternity or at least a period beyond measurement.

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

atomi órák a kövekben

ismert kezdeti állapotú zárt rendszer



Clair Patterson (1922–1995)



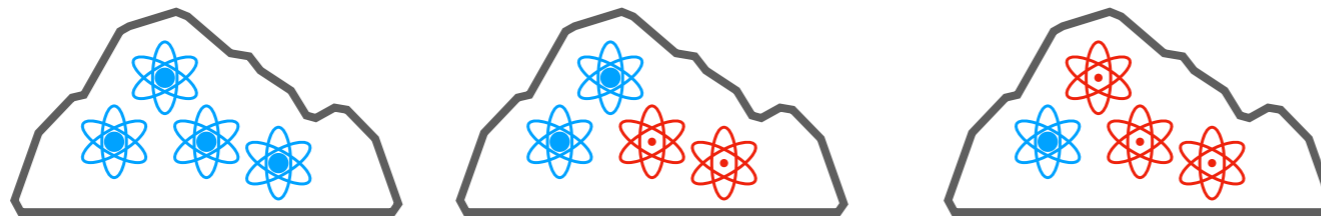
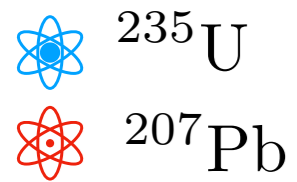
Parent	Half-life (10 ⁹ yrs)	Daughter	Materials Dated
^{235}U	0.704	^{207}Pb	Zircon, uraninite, pitchblende
^{40}K	1.251	^{40}Ar	Muscovite, biotite, hornblende, volcanic rock, glauconite, K-feldspar
^{238}U	4.468	^{206}Pb	Zircon, uraninite, pitchblende
^{87}Rb	48.8	^{87}Sr	K-micas, K-feldspars, biotite, metamorphic rock, glauconite



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

Clair Patterson (1922–1995)

ismert kezdeti állapotú zárt rendszer



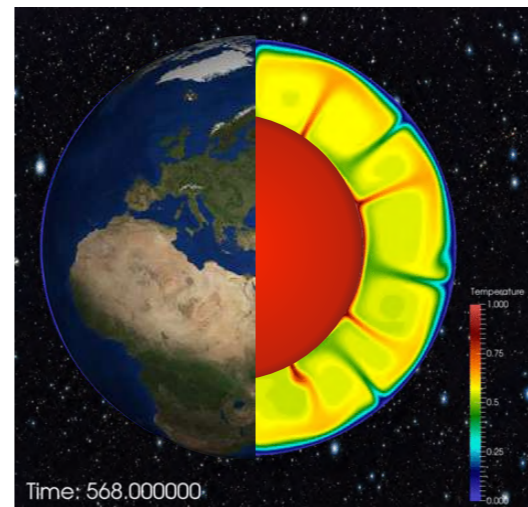
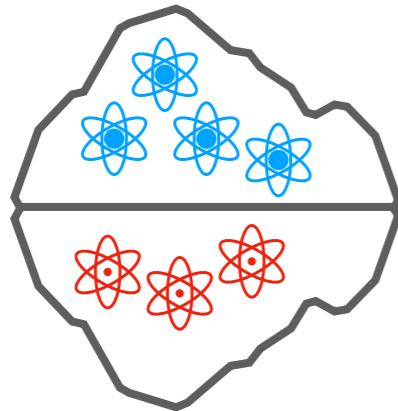
1 felezési idő

2 felezési idő

ismerni kell
a kezdeti feltételt

a földön nehéz régi zárt rendszernek
tekinthető kőzetet találni

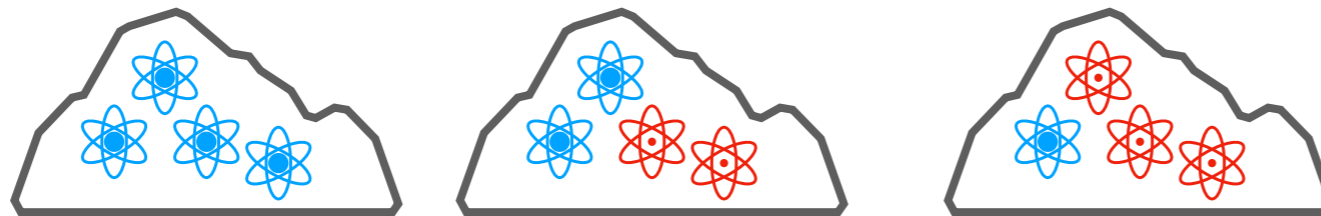
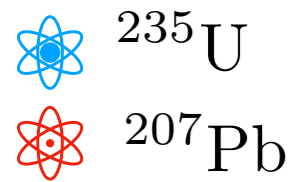
$$x = \frac{\text{red atom}}{\text{blue atom}}$$



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

Clair Patterson (1922–1995)

ismert kezdeti állapotú zárt rendszer



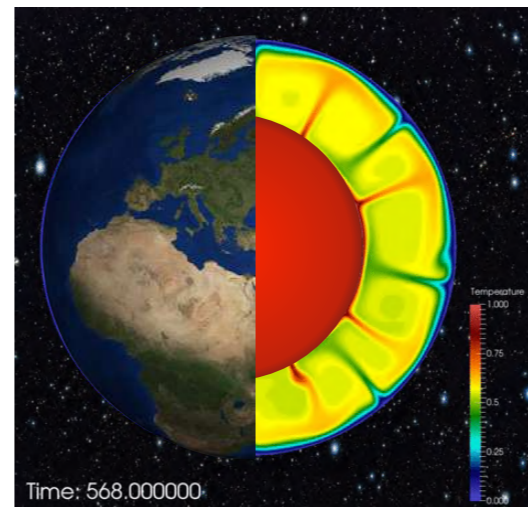
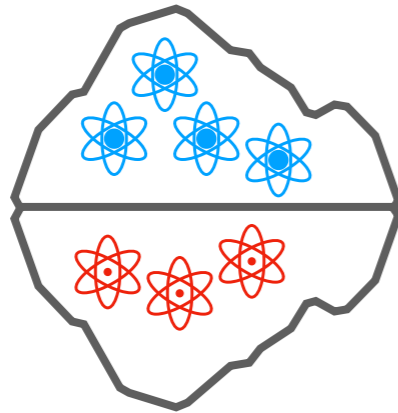
1 felezési idő

2 felezési idő

ismerni kell
a kezdeti feltételt

a földön nehéz régi zárt rendszernek
tekinthető kőzetet találni

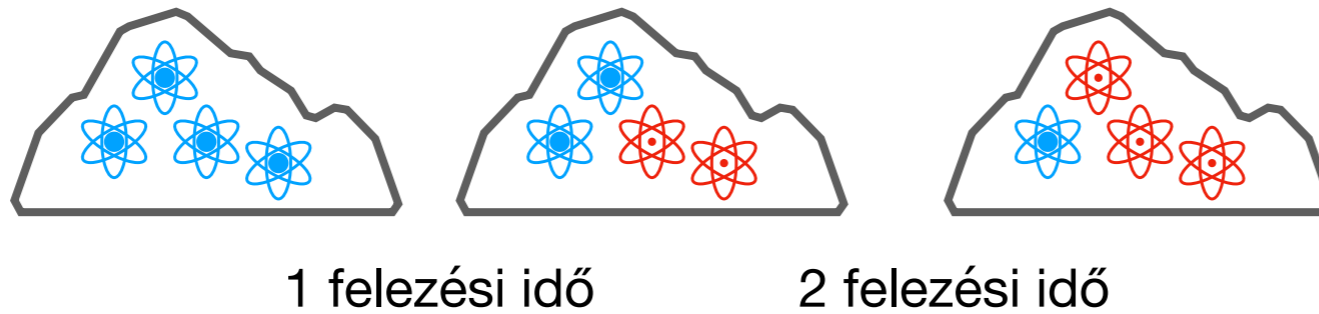
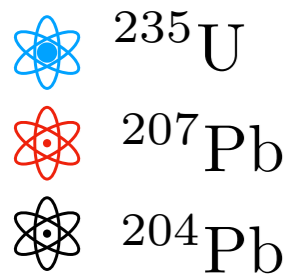
$$x = \frac{\text{red atom}}{\text{blue atom}}$$



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

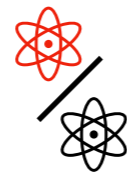
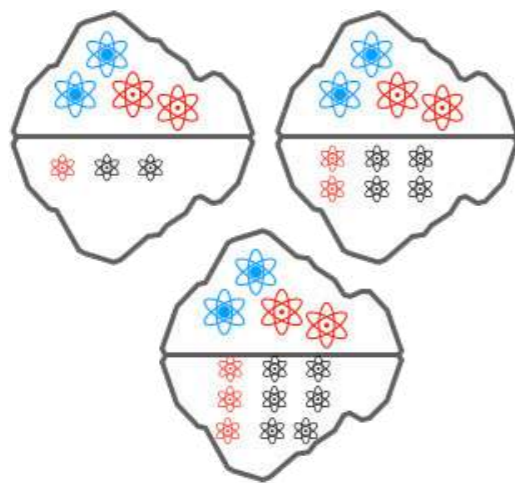
Clair Patterson (1922–1995)

ismert kezdeti állapotú zárt rendszer



**nem kell ismerni
a kezdeti feltételt**

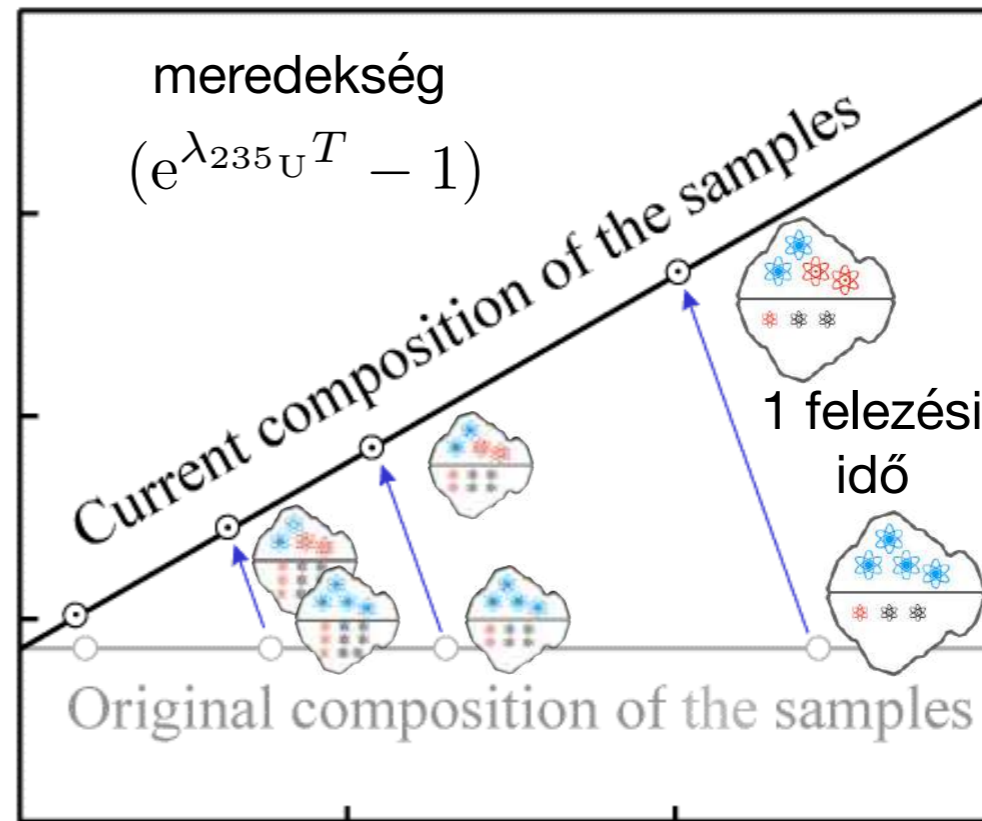
elég relatív gyakoriság egy
nem bomlástermék izotóphoz



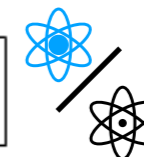
Number of
Daughter
Isotopes

Number of Non-
Daughter
Isotopes

Progression of an Isochron, from Stasser 1998.

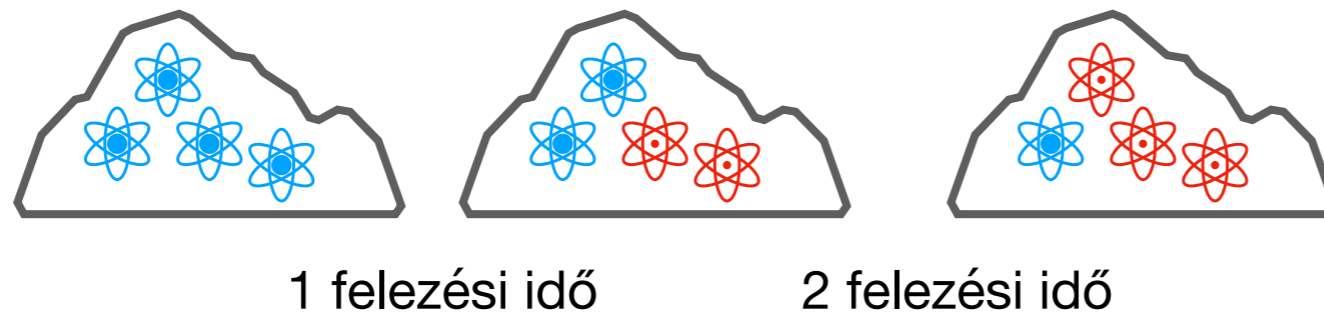
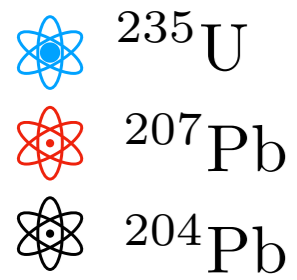


$$\frac{\text{Number of Parent Isotopes}}{\text{Number of Non-Daughter Isotopes}}$$



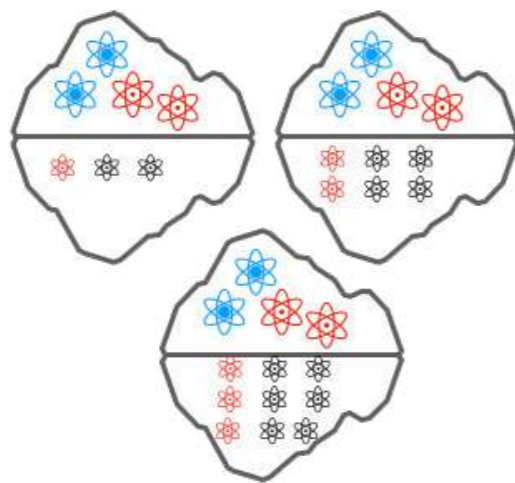
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

Clair Patterson (1922–1995)



**nem kell ismerni
a kezdeti feltételt**

elég relatív gyakoriság egy
nem bomlástermék izotóphoz



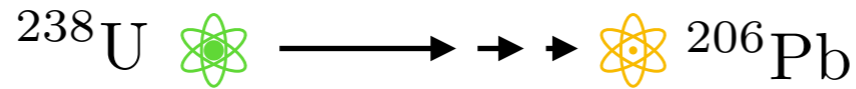
**a meteorok földönkívüli
eredetű zárt rendszerek**



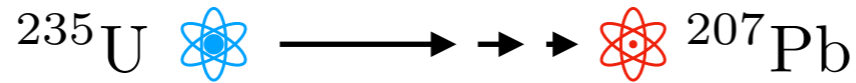
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

A helyes megoldás, avagy:
az atommagtól a naprendszer kialakulásáig, egy évvel a Sputnik előtt

$$\frac{[^{238}\text{U}]}{[^{235}\text{U}]} = 137.88$$



4468 millió év



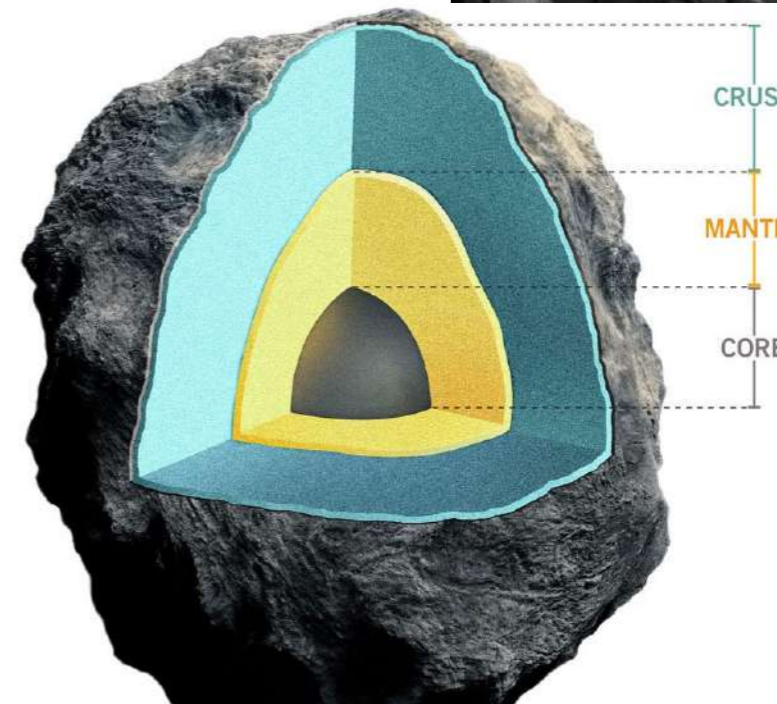
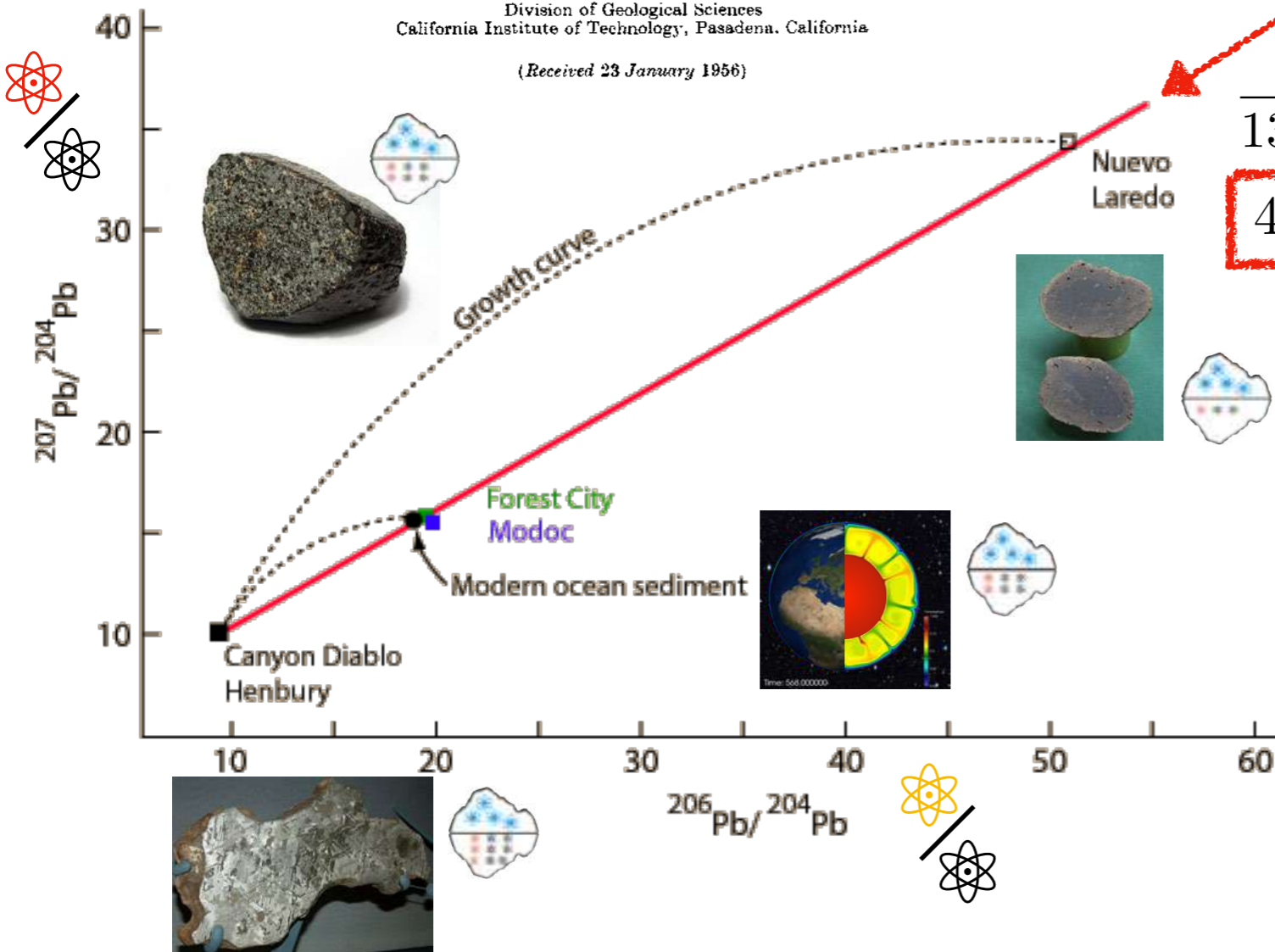
704 millió év

Clair Patterson (1922–1995)



Age of meteorites and the earth

CLAIRE PATTERSON
Division of Geological Sciences
California Institute of Technology, Pasadena, California
(Received 23 January 1956)

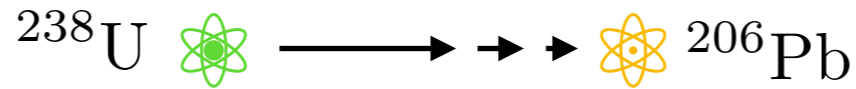


kisbolygó (asteroid)

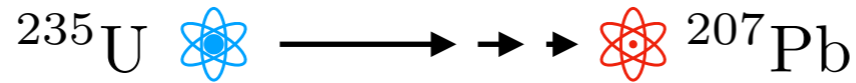
Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld?

A helyes megoldás, avagy:
az atommagtól a naprendszer kialakulásáig, egy évvel a Sputnik előtt

$$\frac{[^{238}\text{U}]}{[^{235}\text{U}]} = 137.88$$



4468 millió év



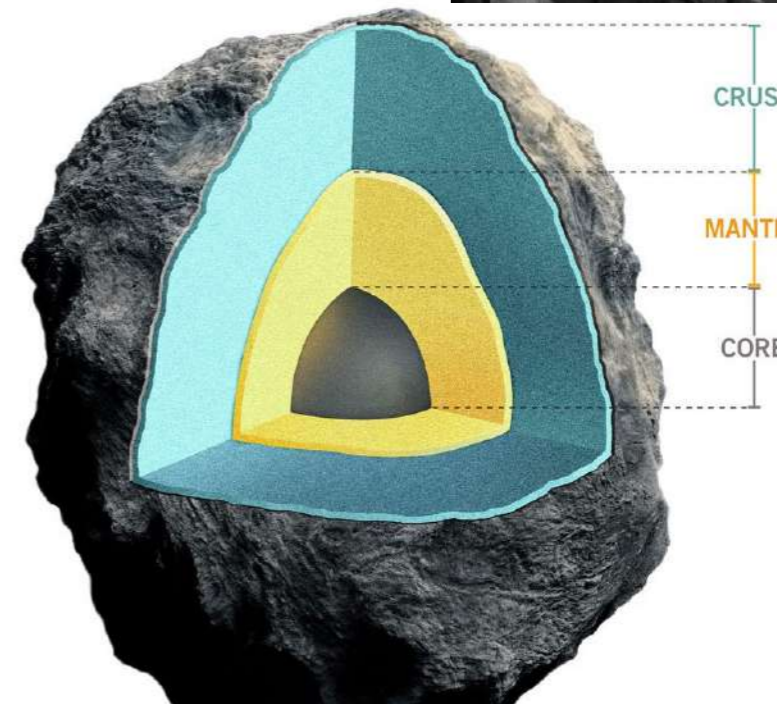
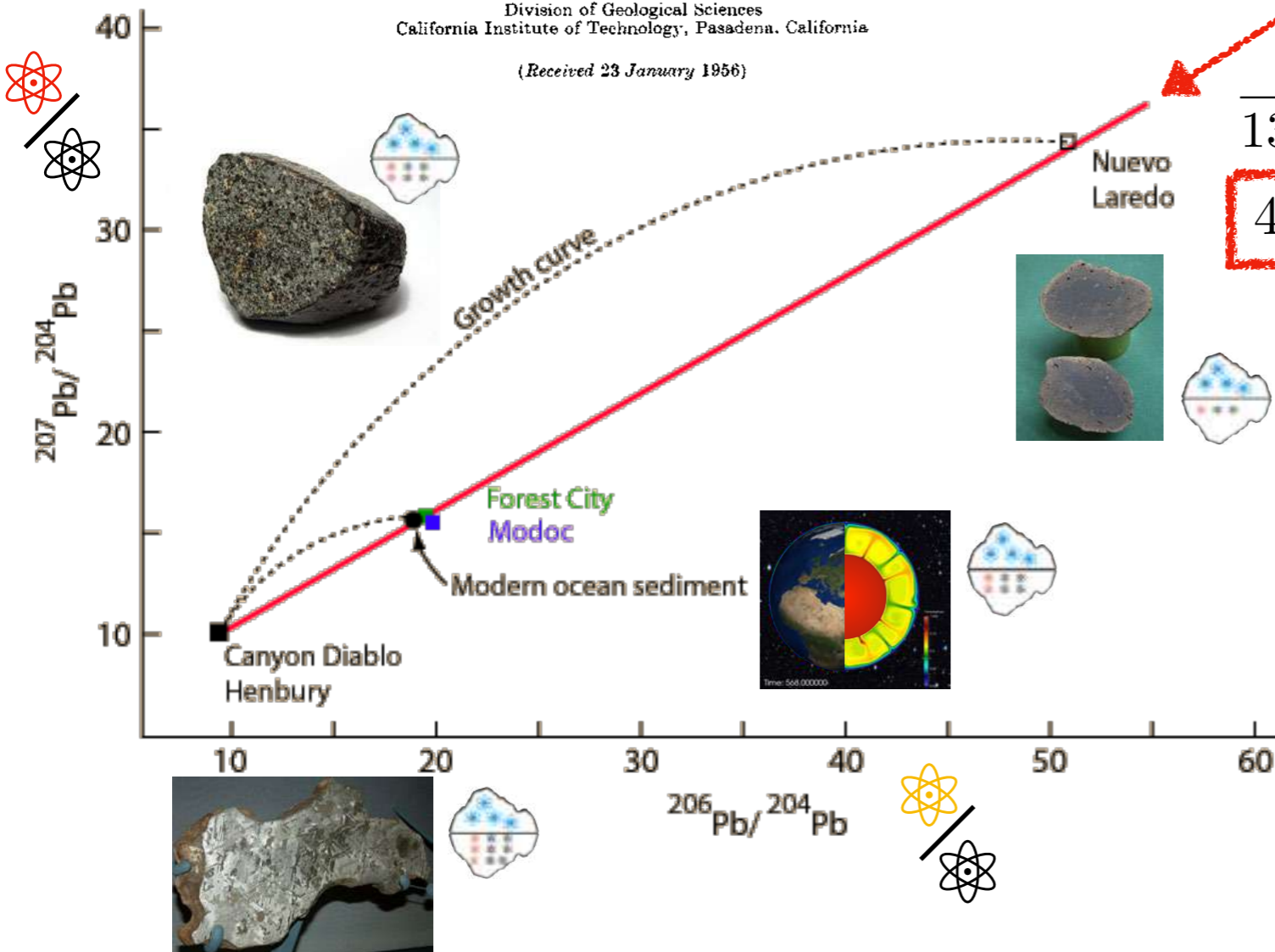
704 millió év

Clair Patterson (1922–1995)



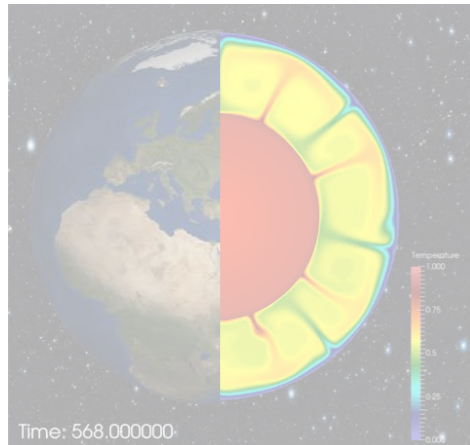
Age of meteorites and the earth

CLAIRE PATTERSON
Division of Geological Sciences
California Institute of Technology, Pasadena, California
(Received 23 January 1956)



kisbolygó (asteroid)

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.

kövek és atomi-órák



2.

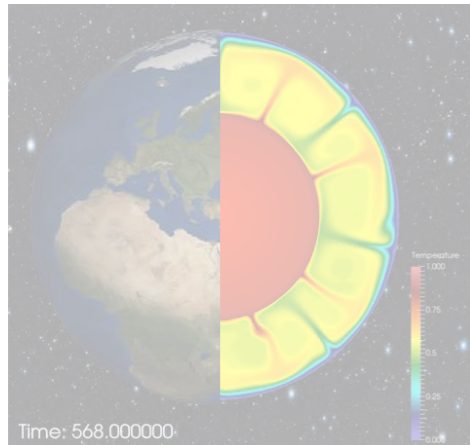
kövek és molekuláris órák



3.

molekuláris-órák és gén cserebere

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.

kövek és atomi-órák



2.

kövek és molekuláris órák



3.

molekuláris-órák és gén cserebere

Hány éves a földi élet?



kövek
és
molekuláris órák

Google

age of life on earth



All

Images

Videos

News

Maps

More

Settings

Tools

About 368,000,000 results (0.61 seconds)

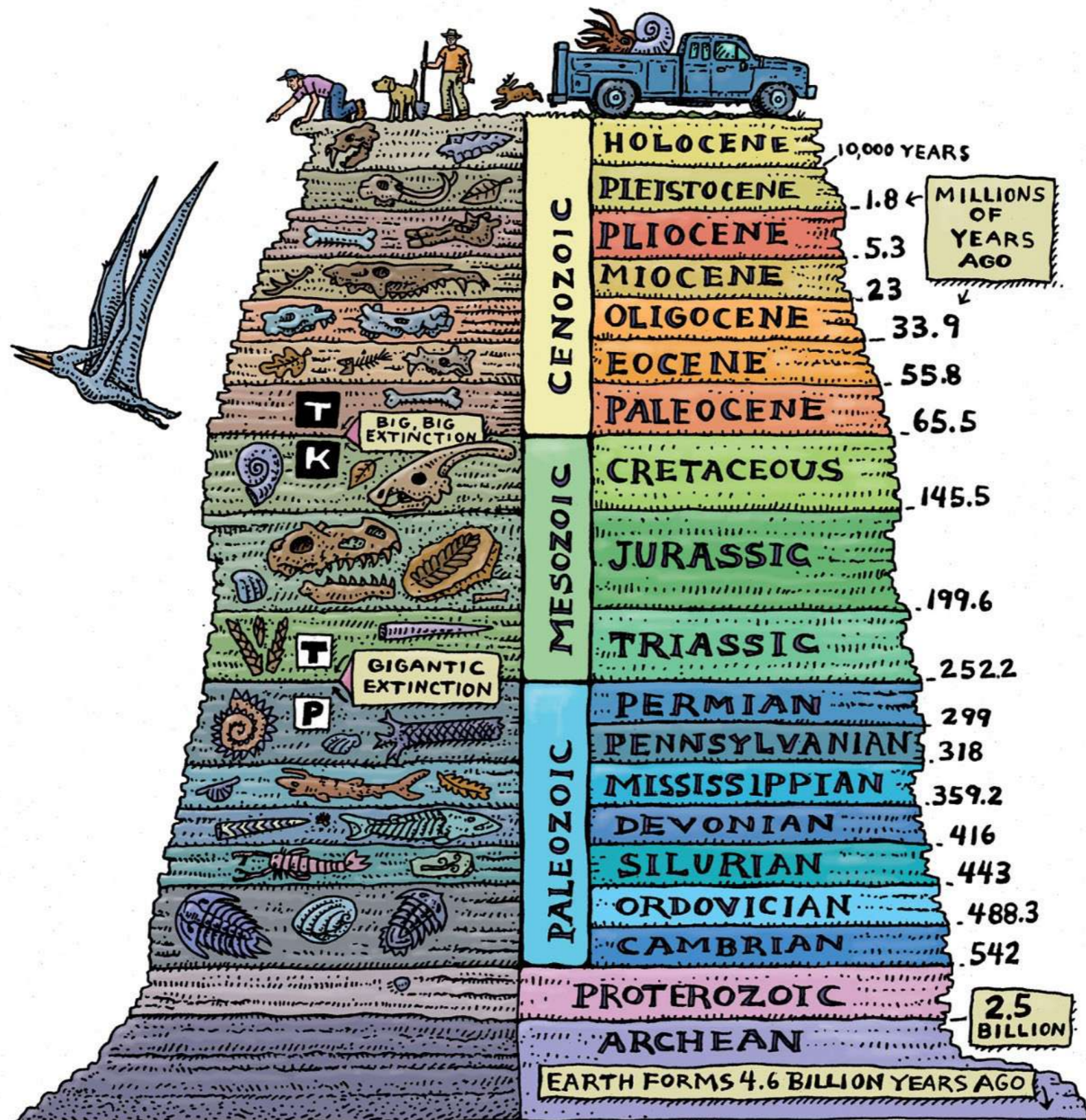
"Remains of biotic life" were found in 4.1 **billion-year-old** rocks in Western Australia. According to one of the researchers, "If life arose relatively quickly on Earth ... then it could be common in the universe." Cells resembling prokaryotes appear.

[Timeline of the evolutionary history of life - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_evolutionary_history_of_life)

https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_evolutionary_history_of_life

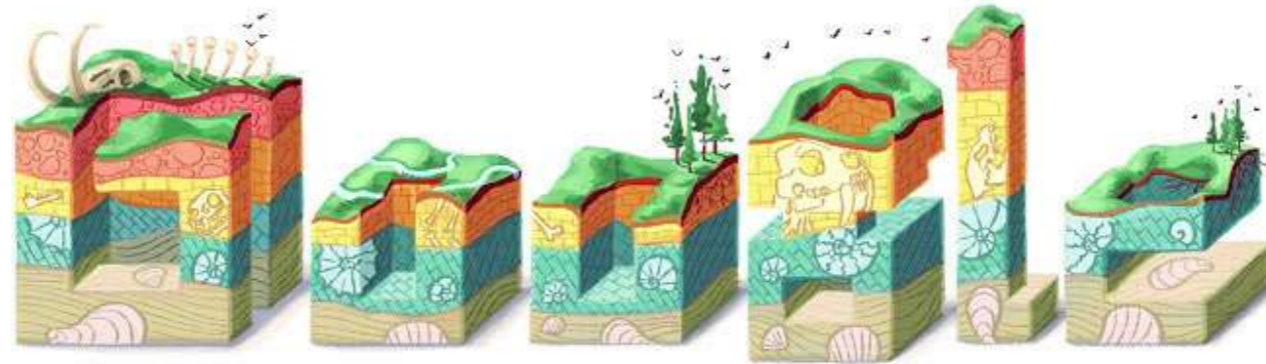
Honnan tudjuk, hogy mi hány éve élt?

A fosszíliák az egyedüli közvetlen információforrásunk az abszolút korról

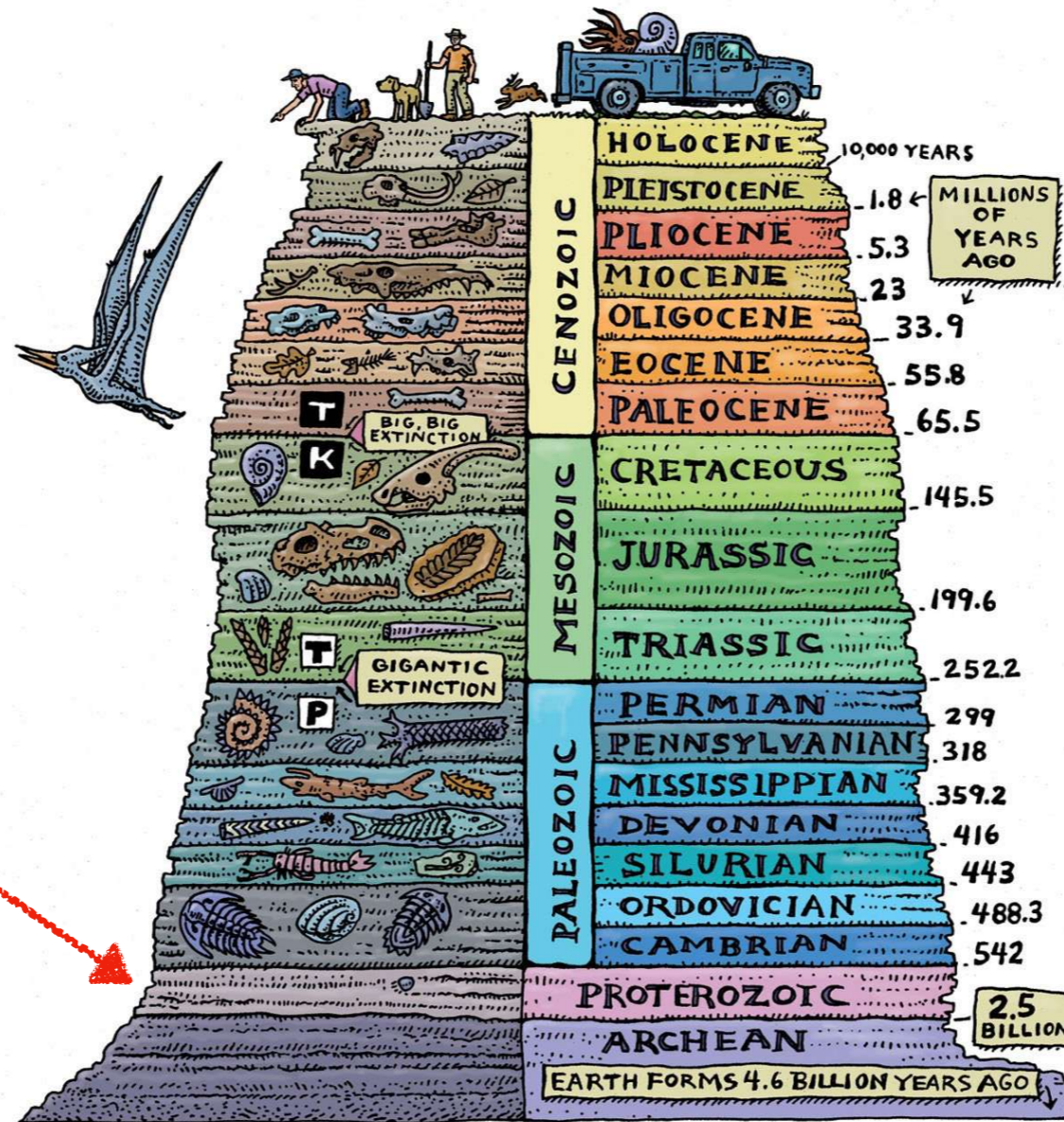


Honnan tudjuk, hogy mi hány éve élt?

A fosszíliák az egyedüli közvetlen információforrásunk az abszolút korról



Gazdag fosszíliamaradványok ~545 millió éves korig

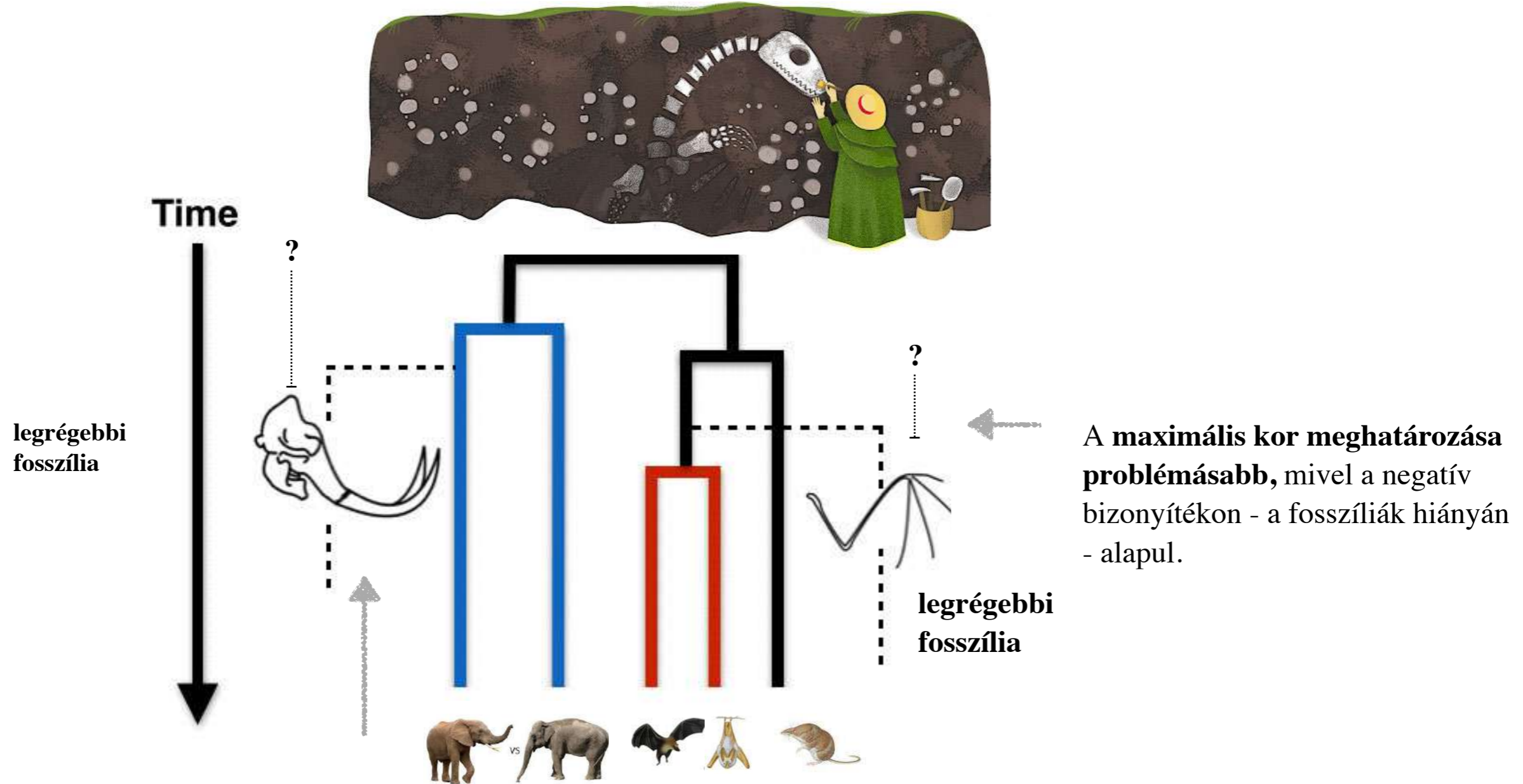


~ 1-1.5 milliárd éve



Honnan tudjuk, hogy mi hány éve élt?

A fosszíliák az egyedüli közvetlen információforrásunk az abszolút korról



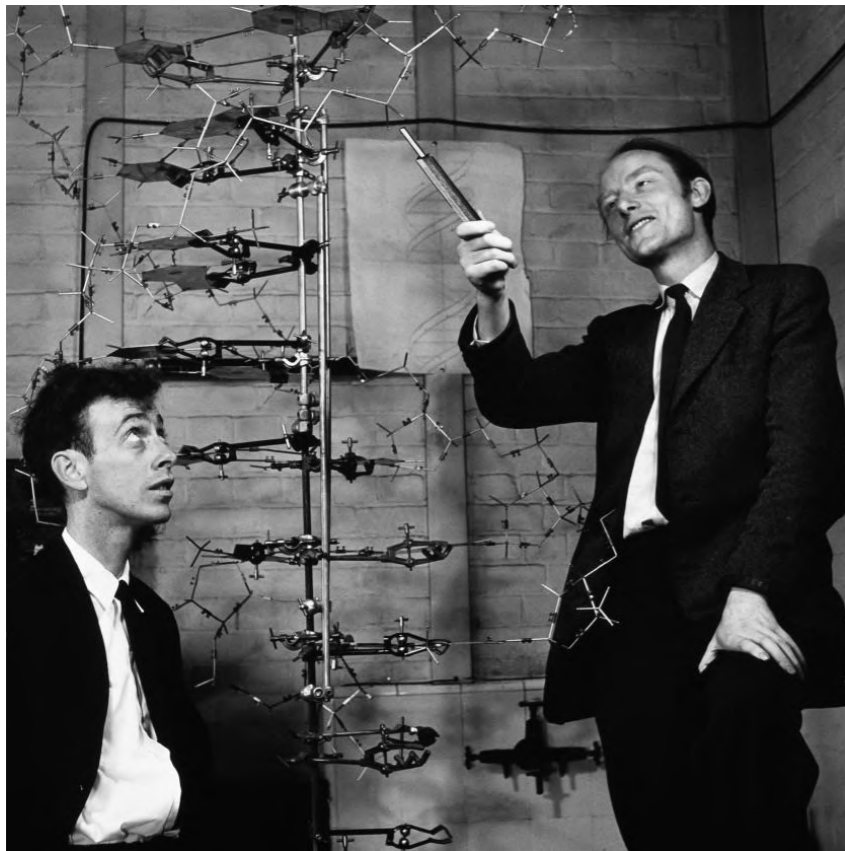
A maximális kor meghatározása problémásabb, mivel a negatív bizonyítékon - a fosszíliák hiányán - alapul.

A geológiailag datált fosszíliák **közvetlen bizonyítékot adnak** egy csoport **minimális korára** a **legrégebbi** fosszilizálódott példány révén

Molekuláris órák?

A DNS szerkezete

1953



James Watson, Francis Crick

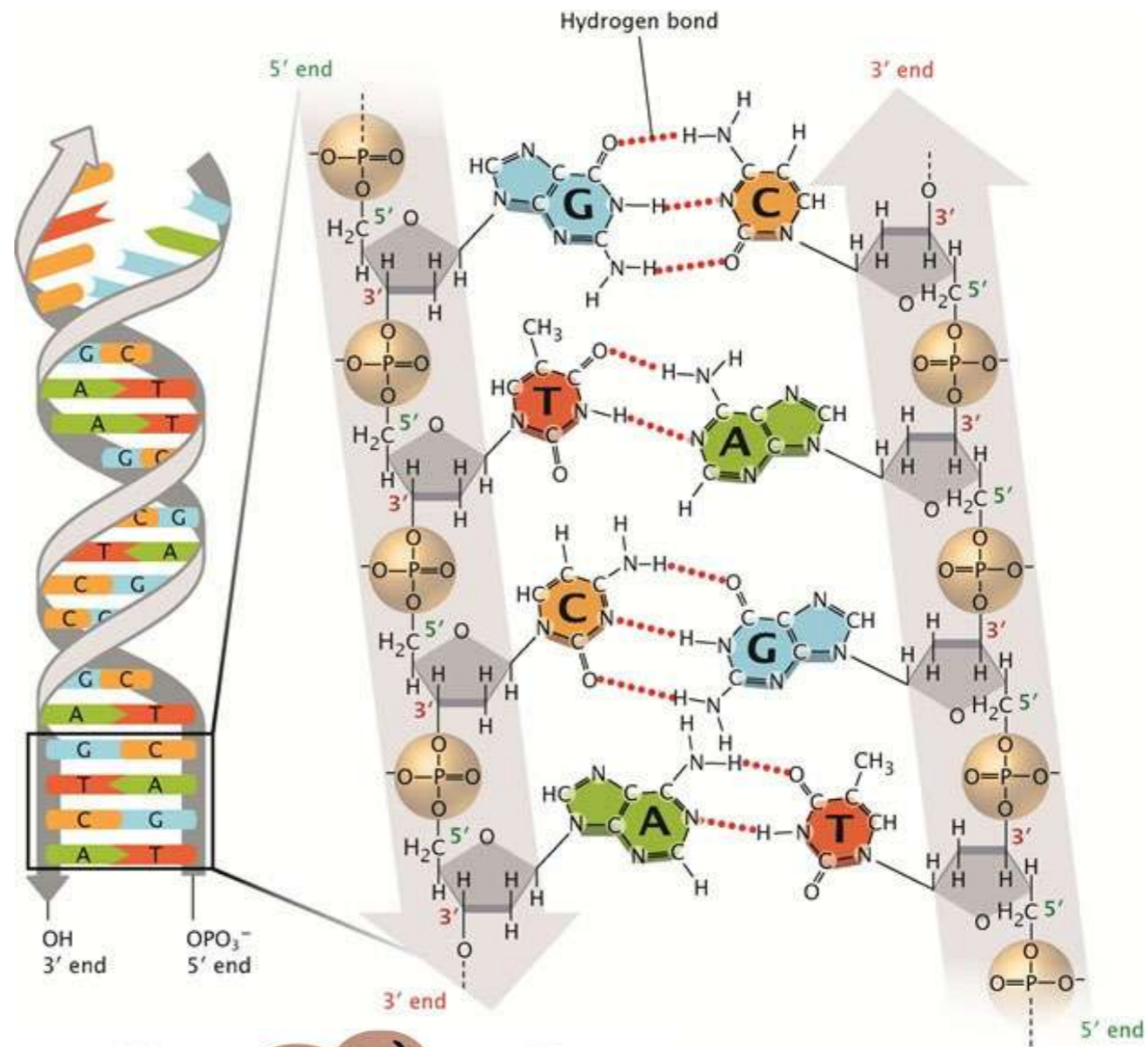
1928 -

1949 - 2004

&

Rosalind
Franklin

1920 - 1958



Az élőlények genetikai tervrajza DNS-ben van rögzítve

Minden élőlény fejlődési tervét és működési programját egy hosszú, DNS molekulában íródott genetikai szöveg, az élőlény ún. *genomja* tartalmazza.

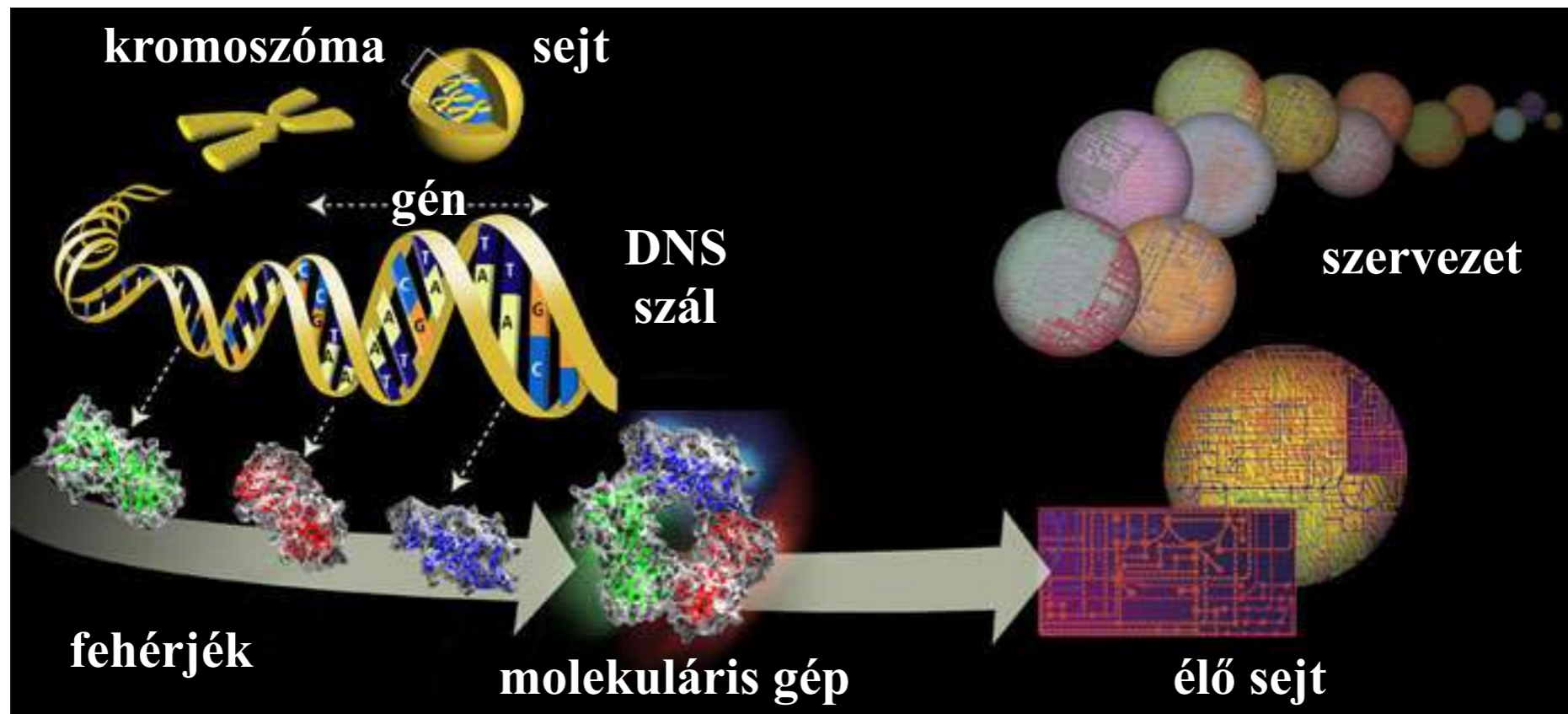
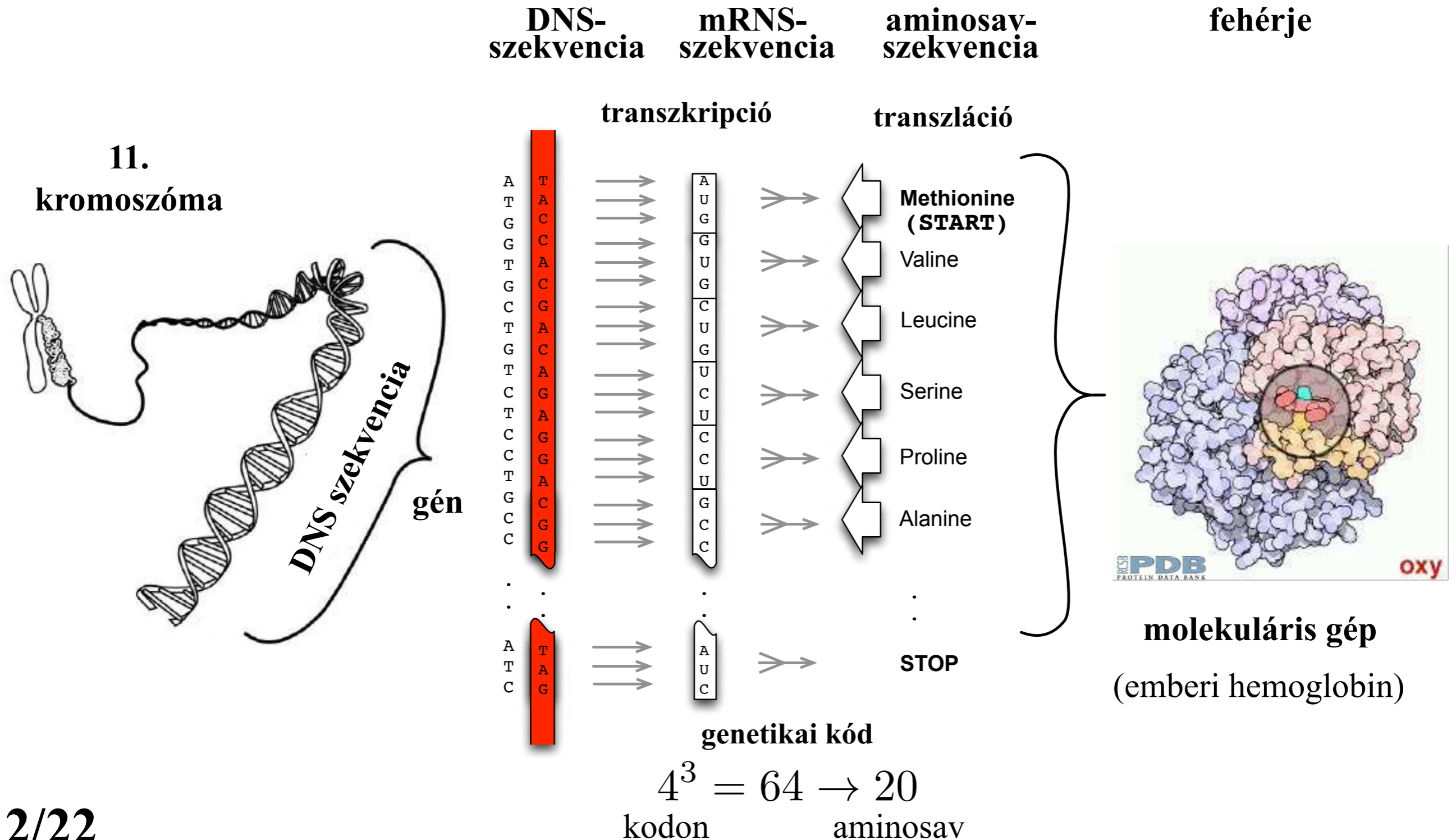


Image courtesy of U.S. Department of Energy Genome Programs
and wikimedia commons



A genom DNS molekulákban íródott genetikai szöveg

A genom genetikai szövegét alkotó egyes szavak a gének, melyek fehérjéket kódolnak.

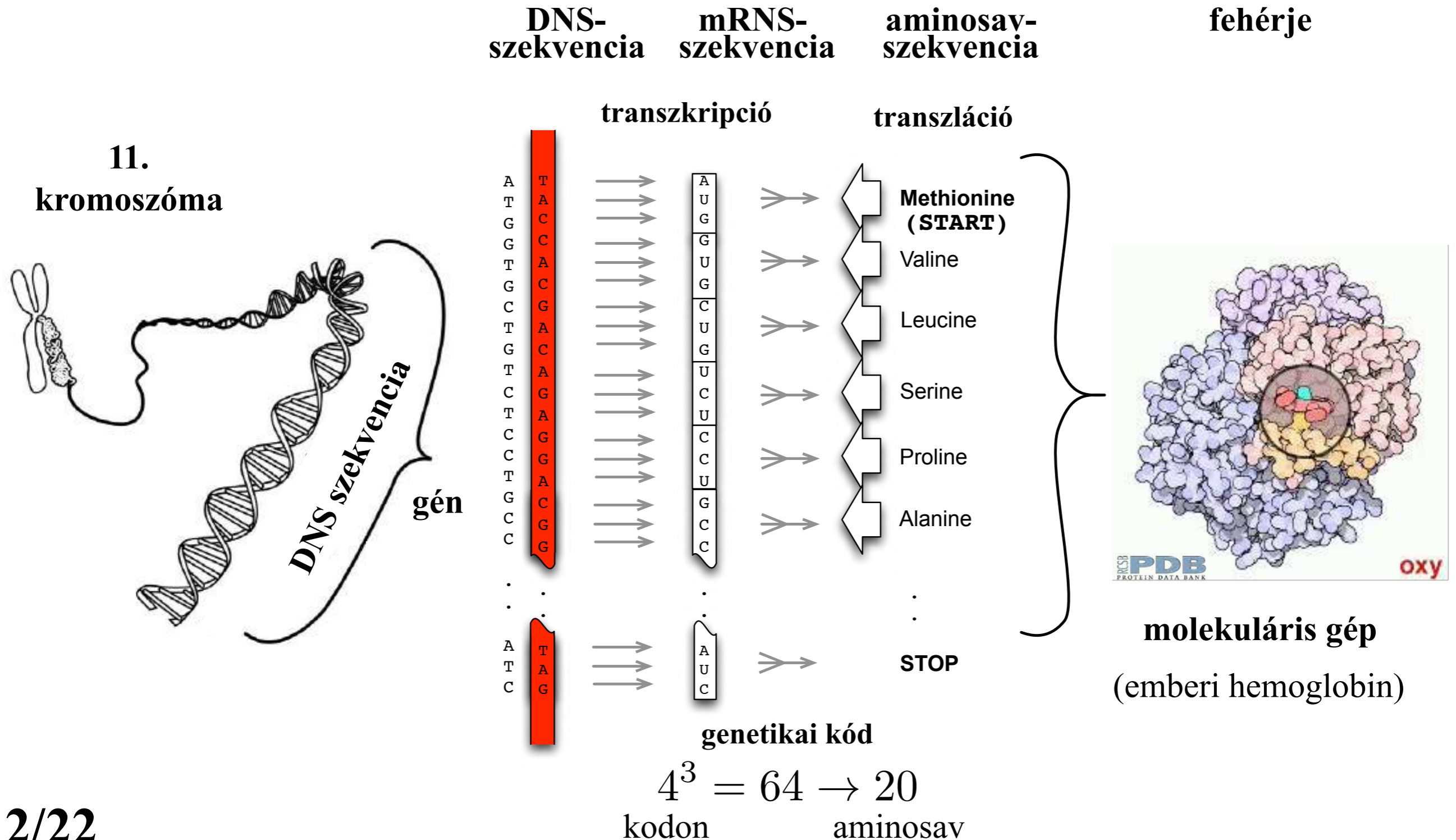


$$4^3 = 64 \rightarrow 20$$

kodon aminosav

A genom DNS molekulákban íródott genetikai szöveg

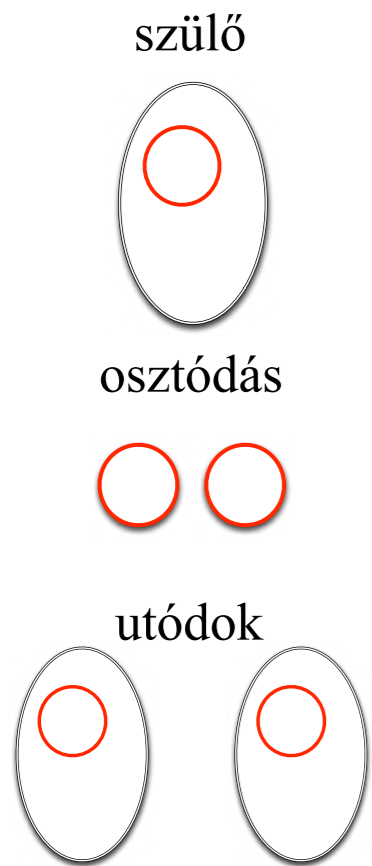
A genom genetikai szövegét alkotó egyes szavak a gének, melyek fehérjéket kódolnak.



Az öröklődés során a genom szövege lemásolódik

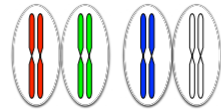
A szaporodás részleteitől függetlenül két rokon DNS-szekvencia lokálisan mindig egy múltbeli DNS-másolási eseményre (replikációra) vezethető vissza.

aszexuális szaporodás



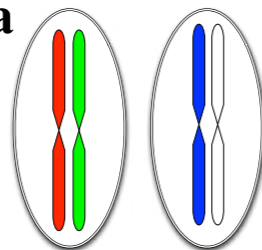
szexuális szaporodás

nagyszülők

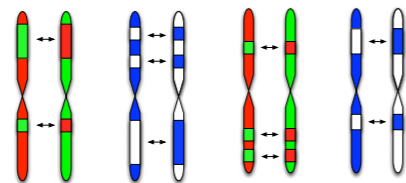


szülők

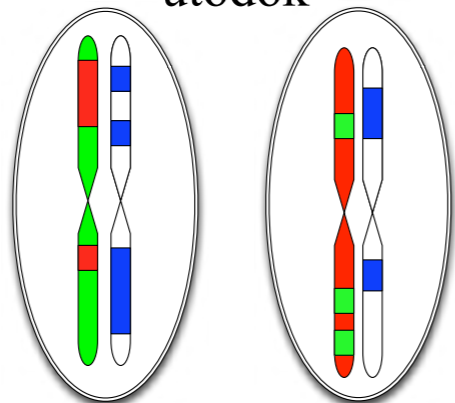
apa anya



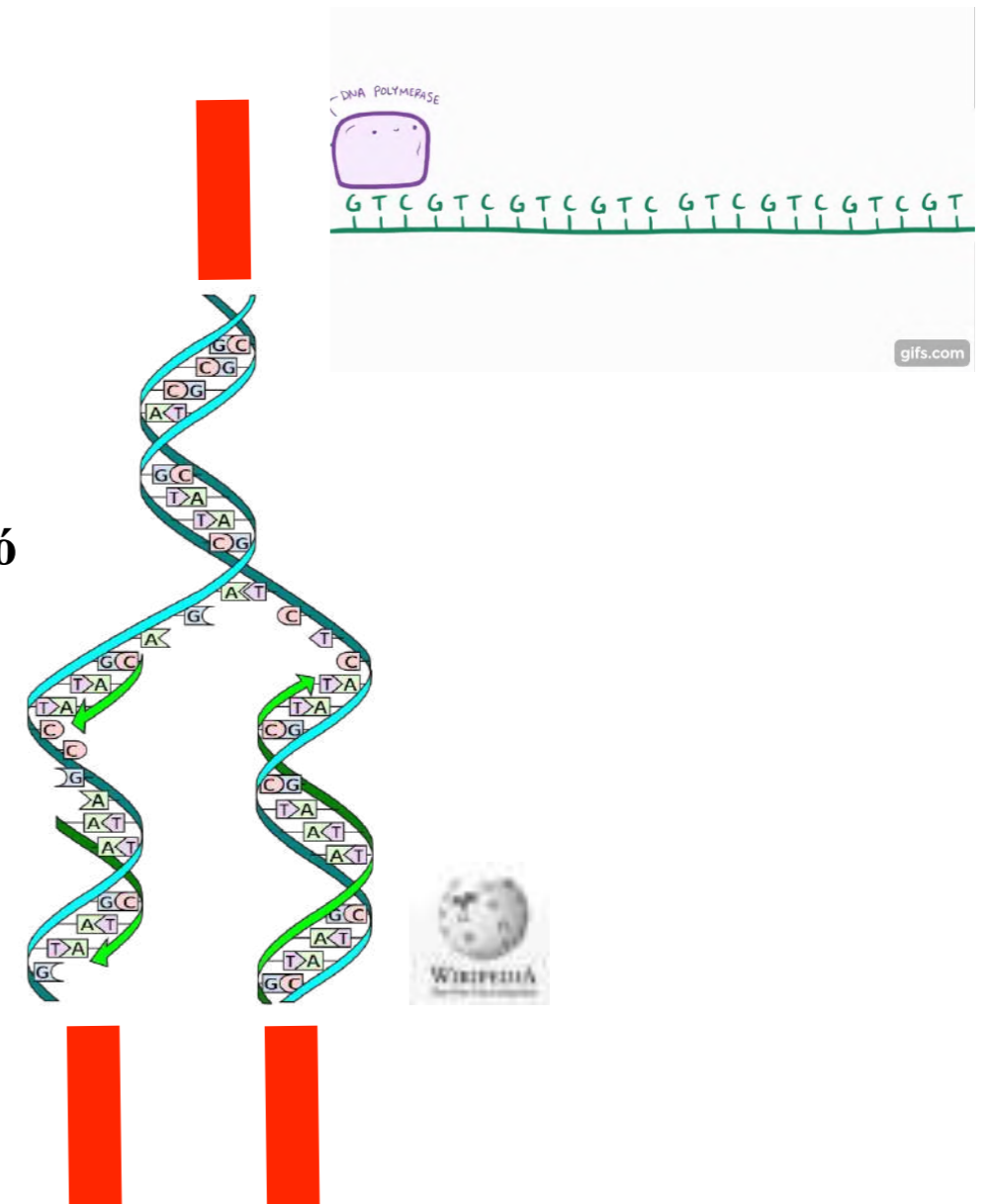
rekombináció



utódok



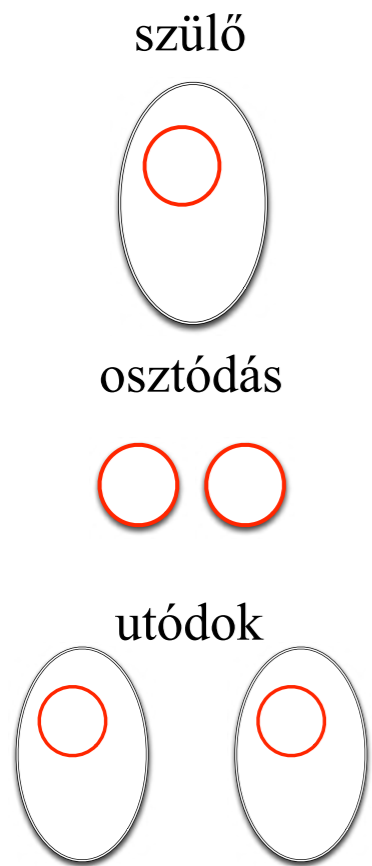
DNS replikáció



Az öröklődés során a genom szövege lemásolódik

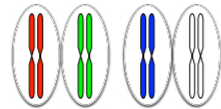
A szaporodás részleteitől függetlenül két rokon DNS-szekvencia lokálisan mindig egy múltbeli DNS-másolási eseményre (replikációra) vezethető vissza.

aszexuális szaporodás



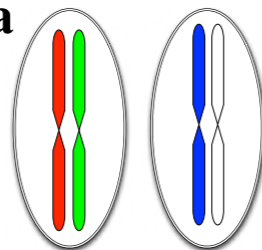
szexuális szaporodás

nagyszülők

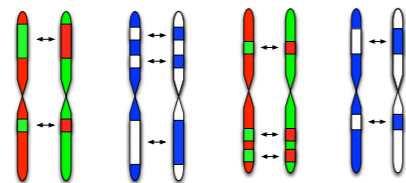


szülők

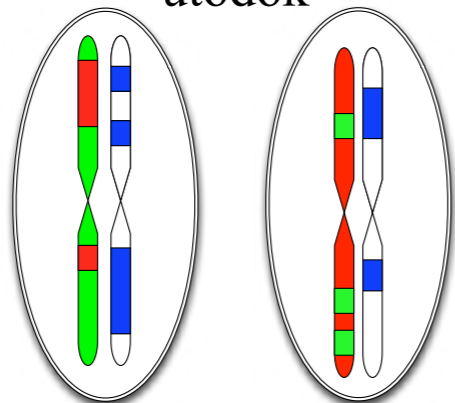
apa anya



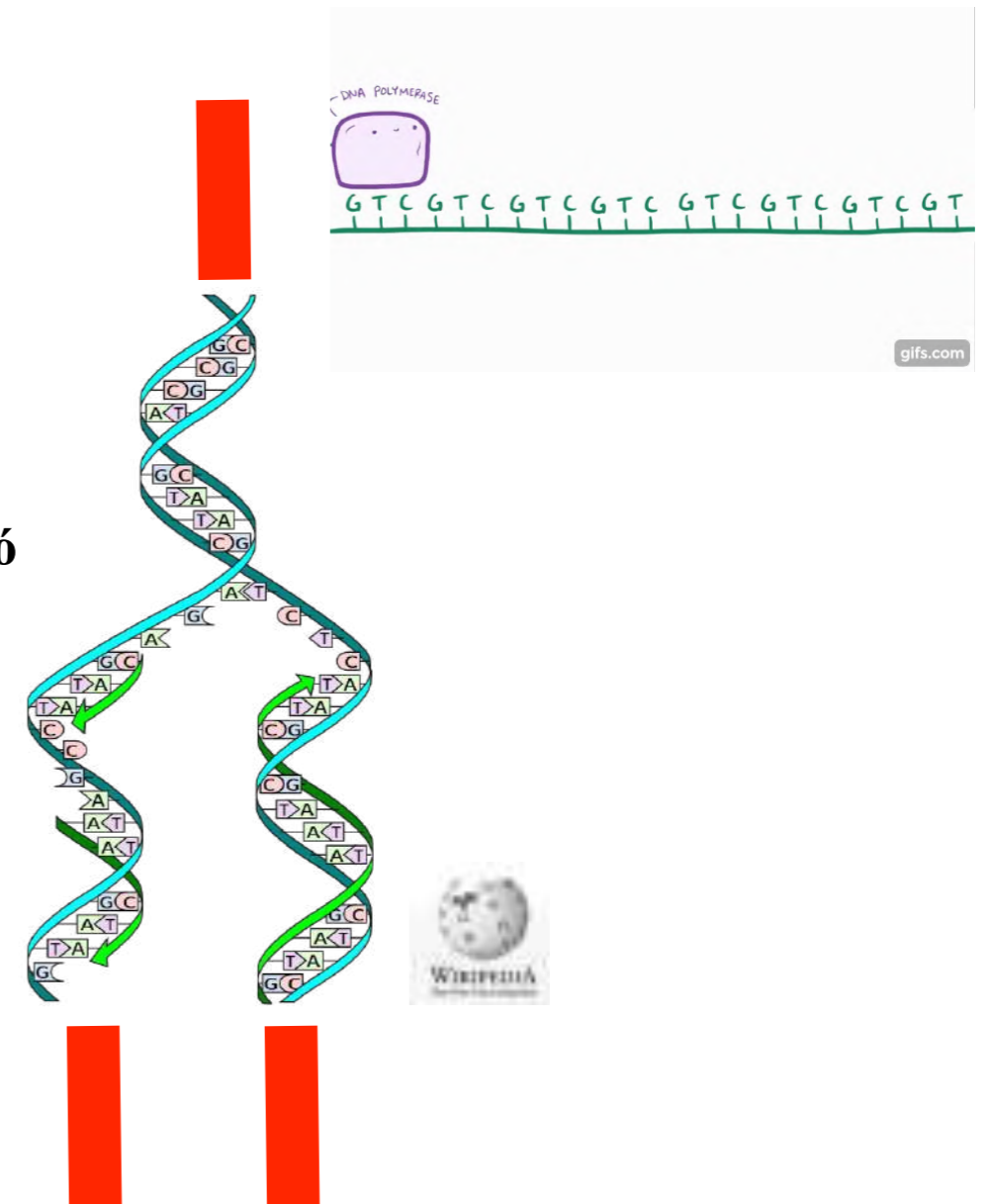
rekombináció



utódok



DNS replikáció

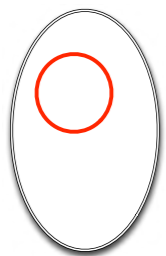


Az öröklődés során a genom szövege lemásolódik

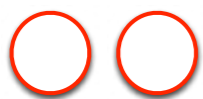
A szaporodás részleteitől függetlenül két rokon DNS-szekvencia lokálisan mindig egy múltbeli DNS-másolási eseményre (replikációra) vezethető vissza.

**aszexuális
szaporodás**

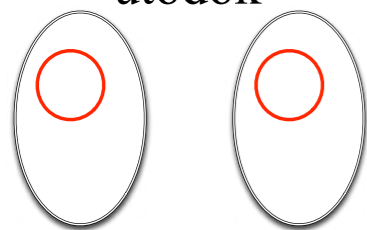
szülő



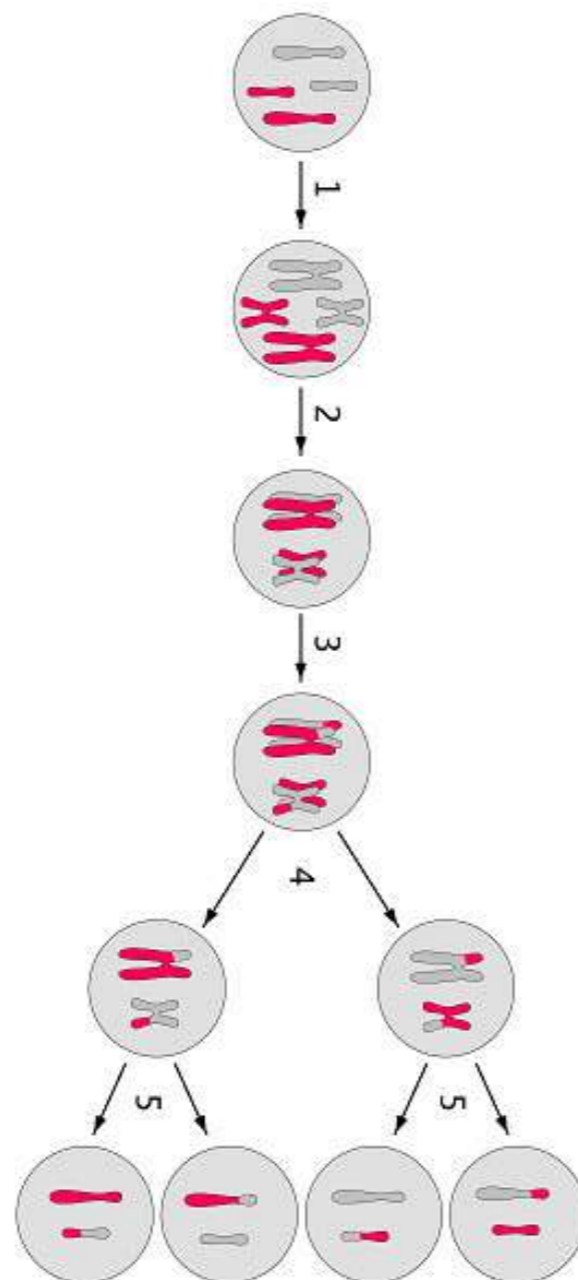
osztódás



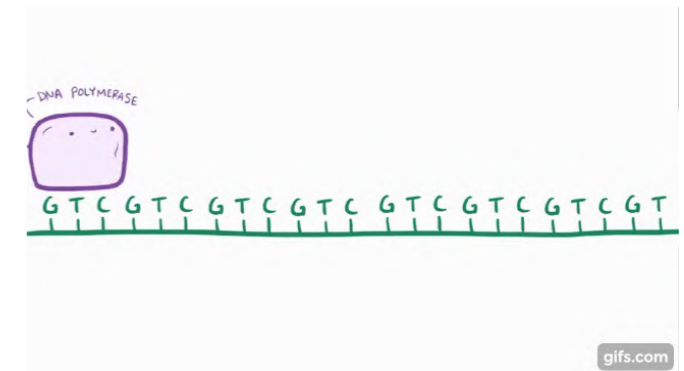
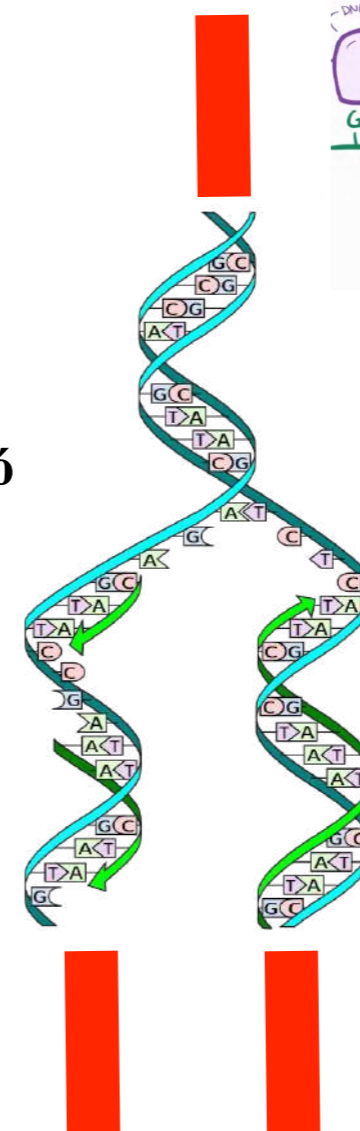
utódok



**szexuális
szaporodás**



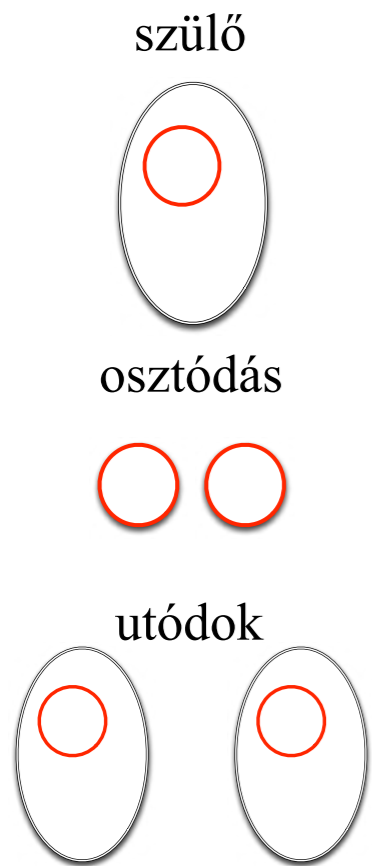
**DNS
replikáció**



Az öröklődés során a genom szövege lemásolódik

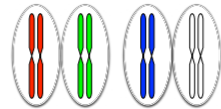
A szaporodás részleteitől függetlenül két rokon DNS-szekvencia lokálisan mindig egy múltbeli DNS-másolási eseményre (replikációra) vezethető vissza.

aszexuális szaporodás



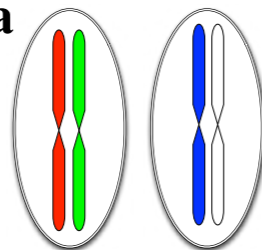
szexuális szaporodás

nagyszülők

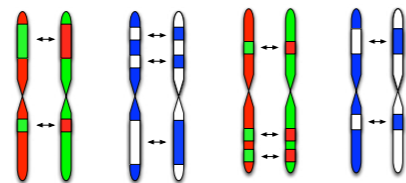


szülők

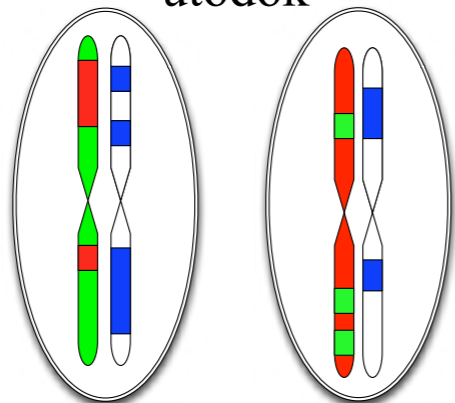
apa anya



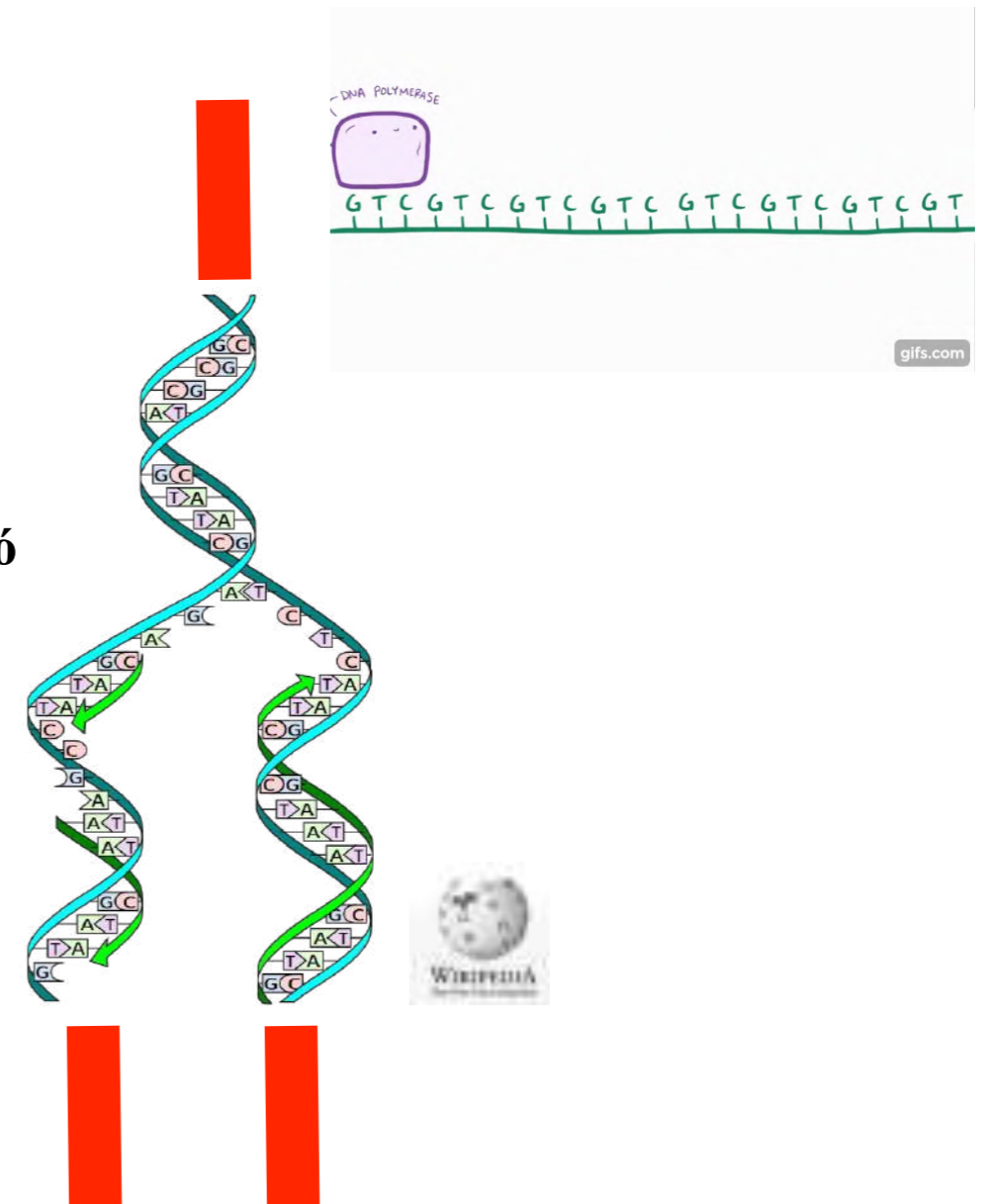
rekombináció



utódok

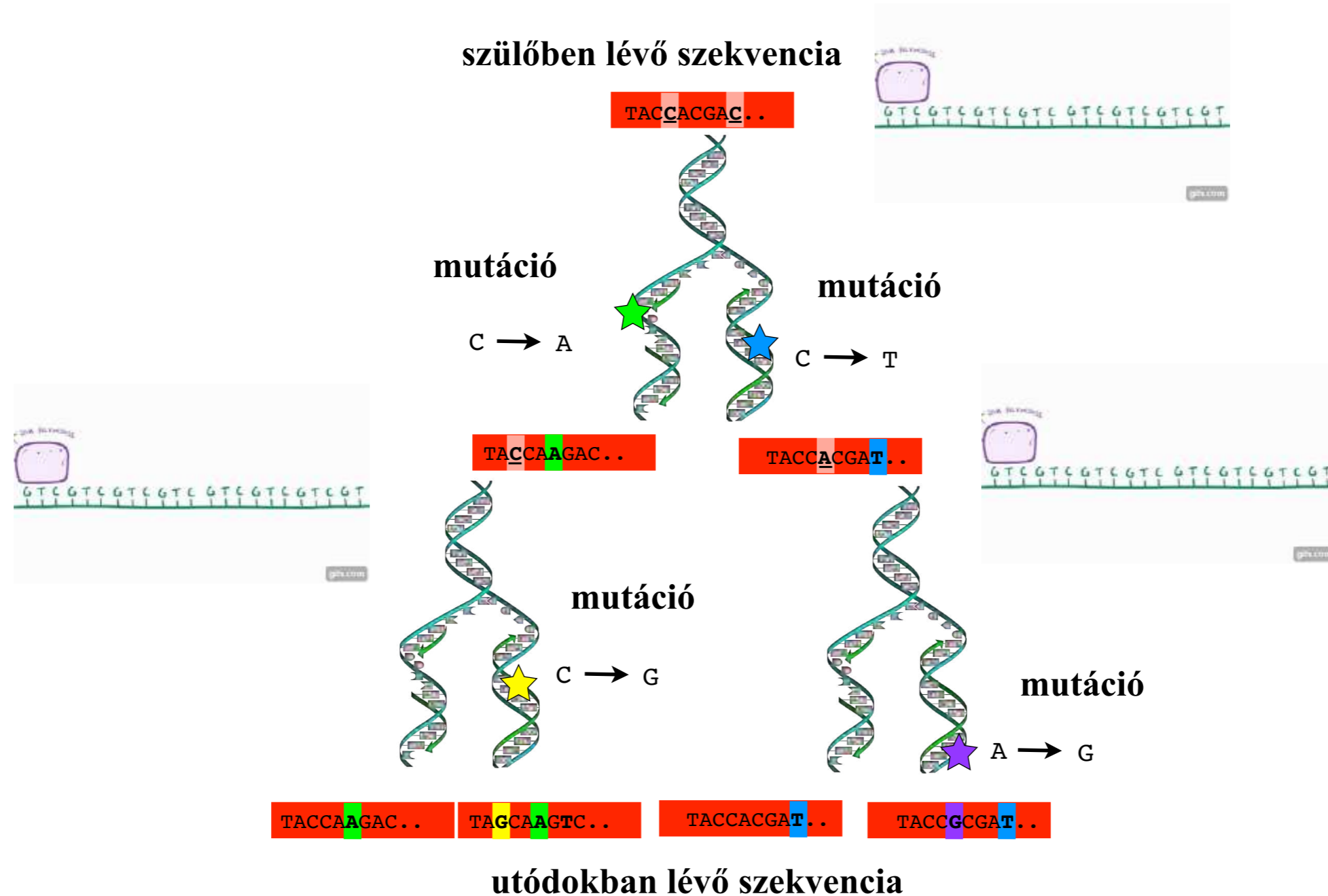


DNS replikáció



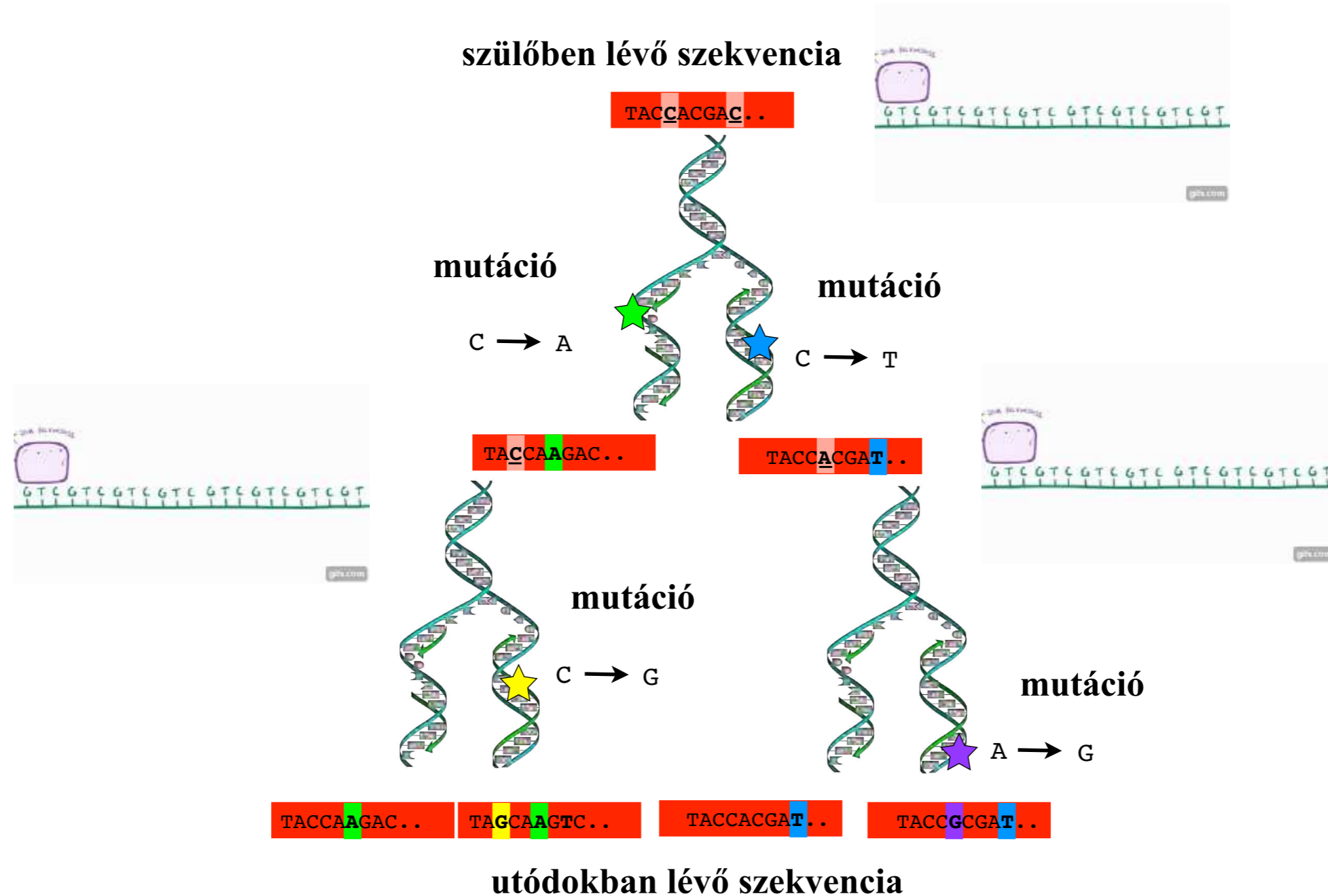
A másolás során bekövetkező hibák öröklődnek

A DNS-replikáció során a szekvenciákba kerülő hibák (mutációk) sorsa semleges változások esetén a véletlen, egyébként pedig azon múlik, hogy az élőlény számára hasznosak vagy sem.



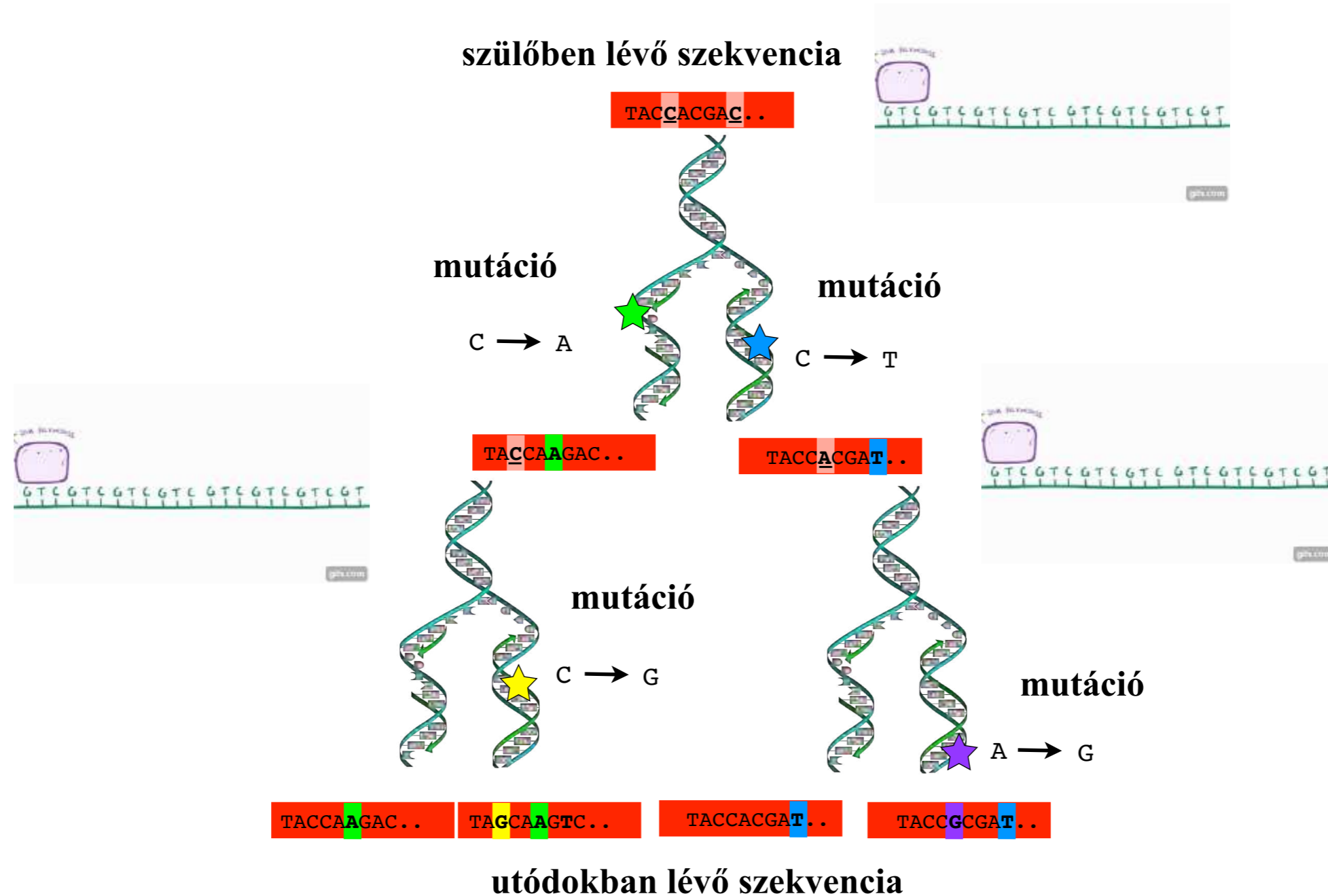
A másolás során bekövetkező hibák öröklődnek

A DNS-replikáció során a szekvenciákba kerülő hibák (mutációk) sorsa semleges változások esetén a véletlen, egyébként pedig azon múlik, hogy az élőlény számára hasznosak vagy sem.



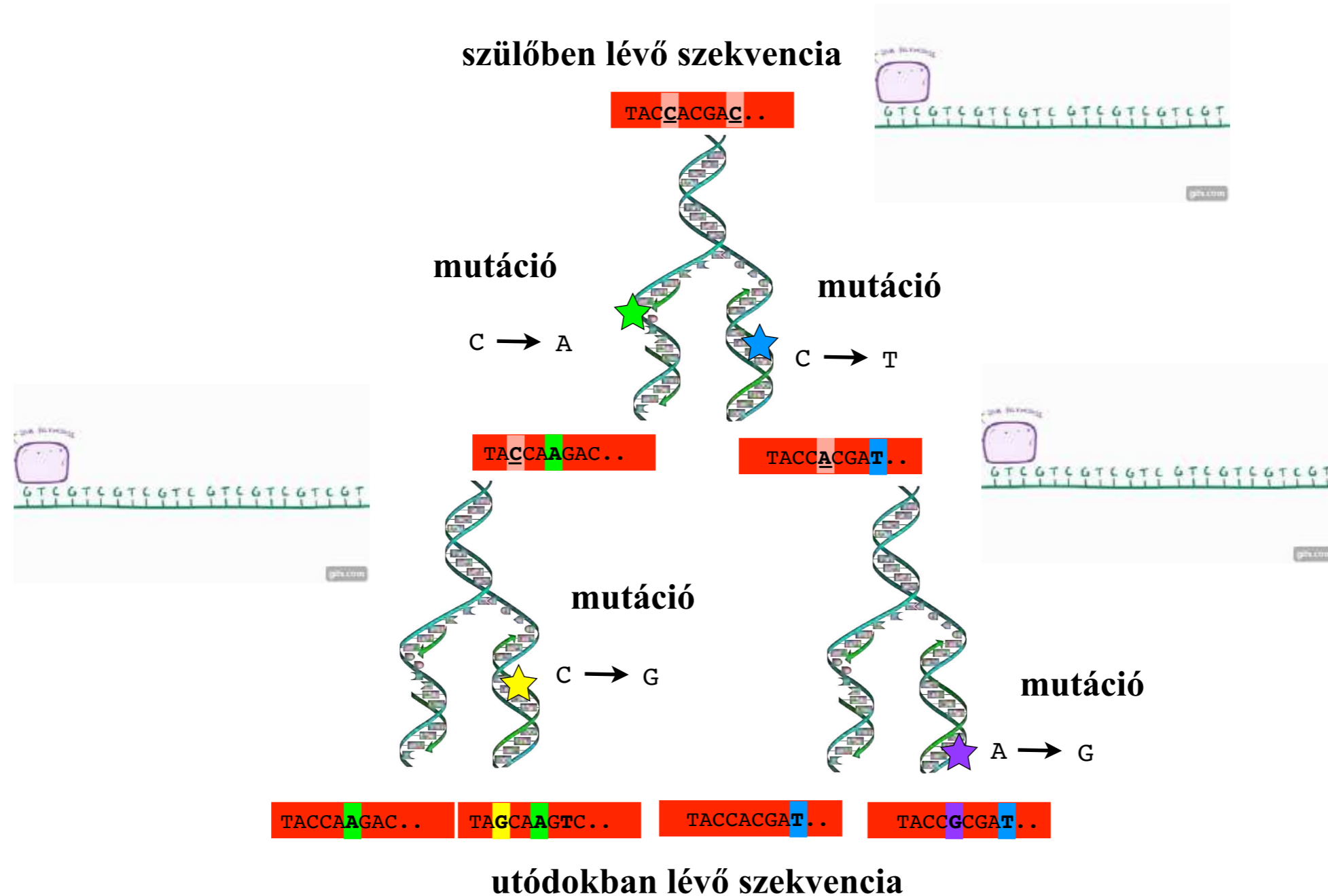
A rokon szekvenciák története rekonstruálható

Rokon DNS-szekvenciák esetében rekonstruálható azok *evolúciós családfája*. A fa elágazásai ősi génreplikációk, a fa gyökere a szekvenciák legutoljára létezett közös őse.



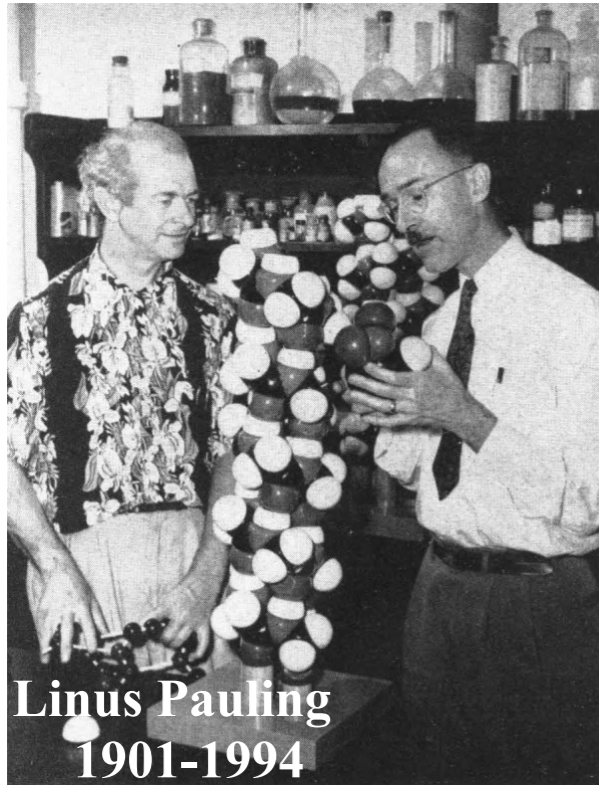
A rokon szekvenciák története rekonstruálható

Rokon DNS-szekvenciák esetében rekonstruálható azok *evolúciós családfája*. A fa elágazásai ősi génreplikációk, a fa gyökere a szekvenciák legutoljára létezett közös őse.

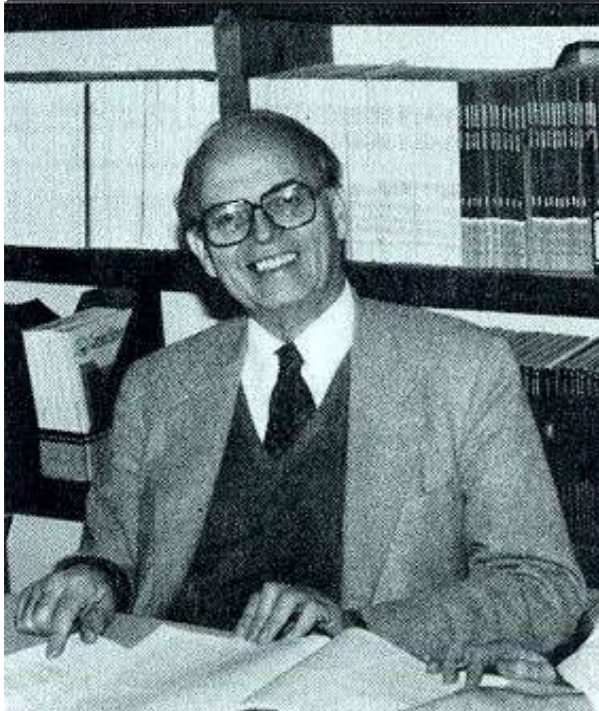


A molekulák mint az evolúciós múlt dokumentumai

J. Theoret. Biol. (1965) 8, 357–366



Linus Pauling
1901-1994



Emile Zuckerkandl
1922-2013

Molecules as Documents of Evolutionary History

EMILE ZUCKERKANDL AND LINUS PAULING

*Gates and Crellin Laboratories of Chemistry,
California Institute of Technology, Pasadena, California, U.S.A.*

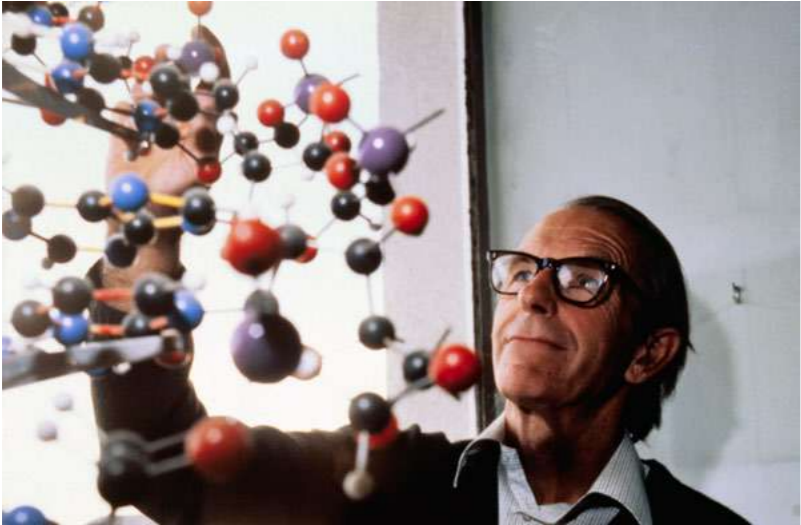
(Received 17 September 1964)

We [...] ask the questions where in the now living systems the greatest amount of their past history has survived and how it can be extracted.[...]

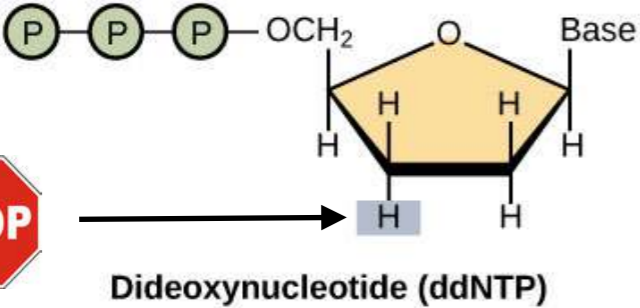
Best fit are [...] the different types of macromolecules that carry the genetic information or a very extensive translation thereof. [...]

Using Hegel's expression, we may say that there is no other system that is better aufgehoben (constantly abolished and simultaneously preserved).

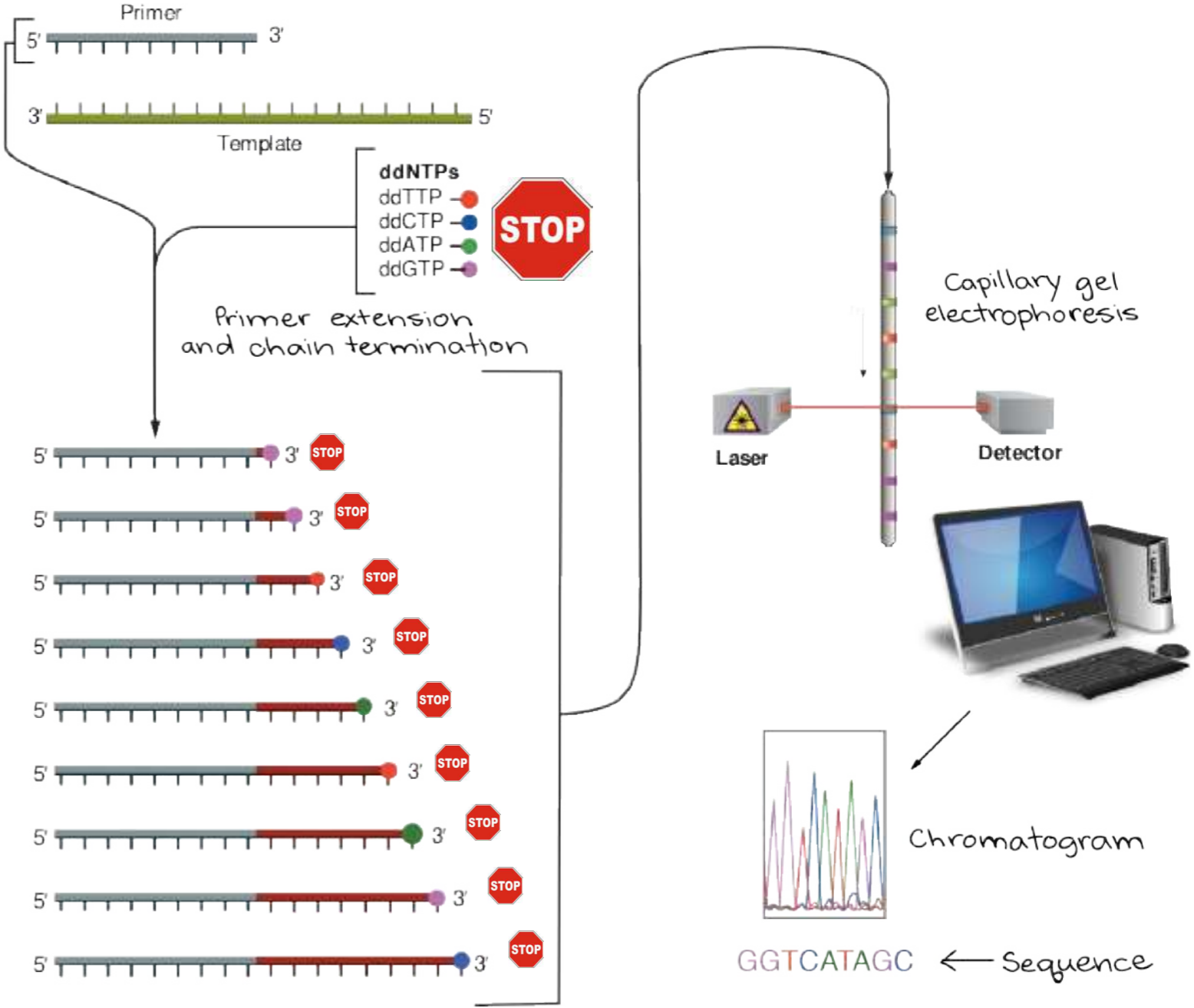
A DNS-szekvencia megfejtése



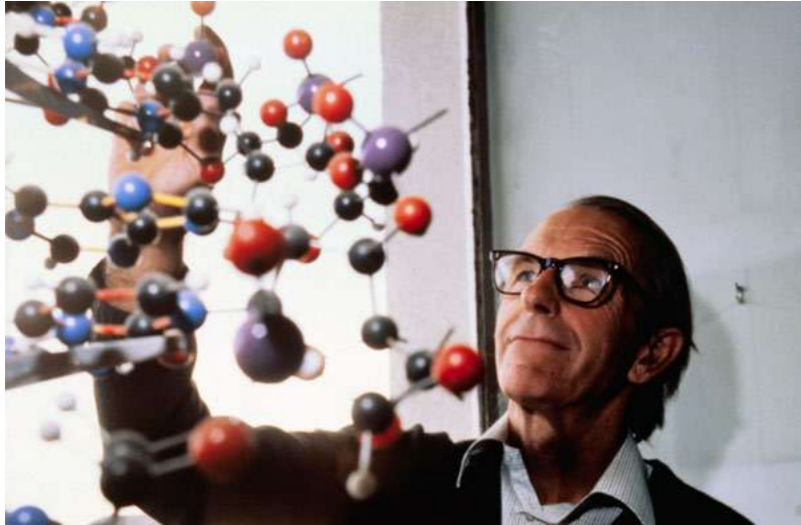
Fredrick Sanger
1918-2013



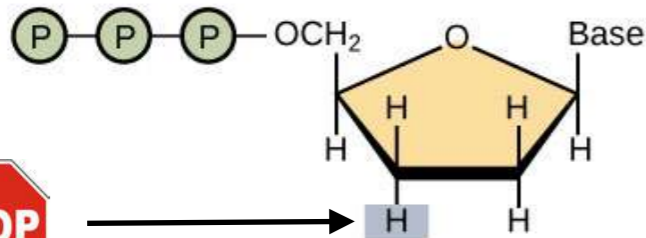
1977



A DNS-szekvencia megfejtése



Fredrick Sanger
1918-2013

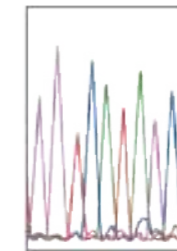
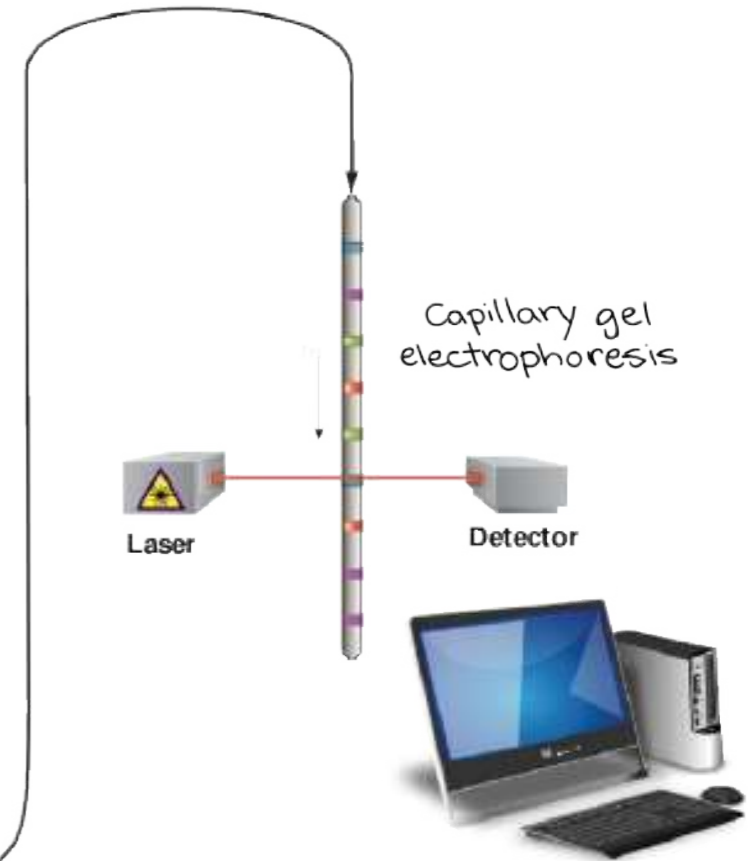
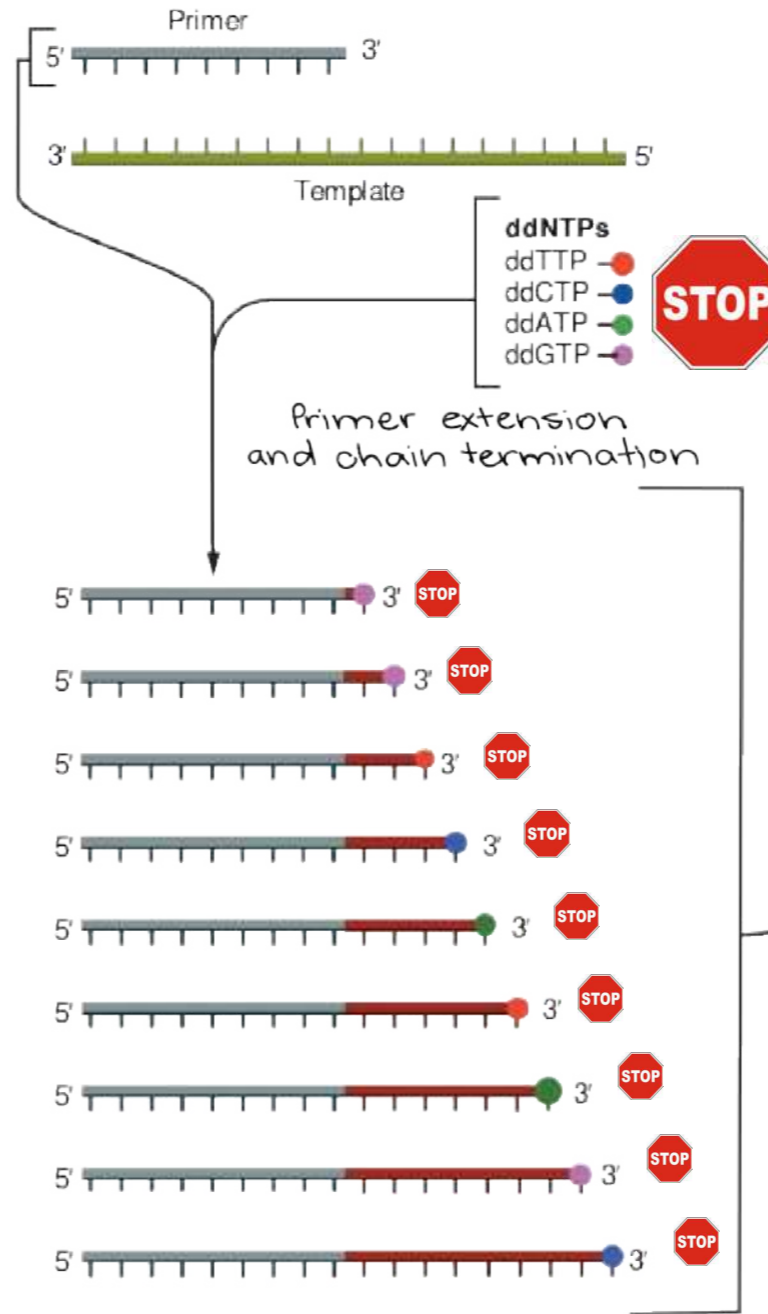


Dideoxynucleotide (ddNTP)

1977



G T C G T C G T C G T C G T C G T C G T



Chromatogram

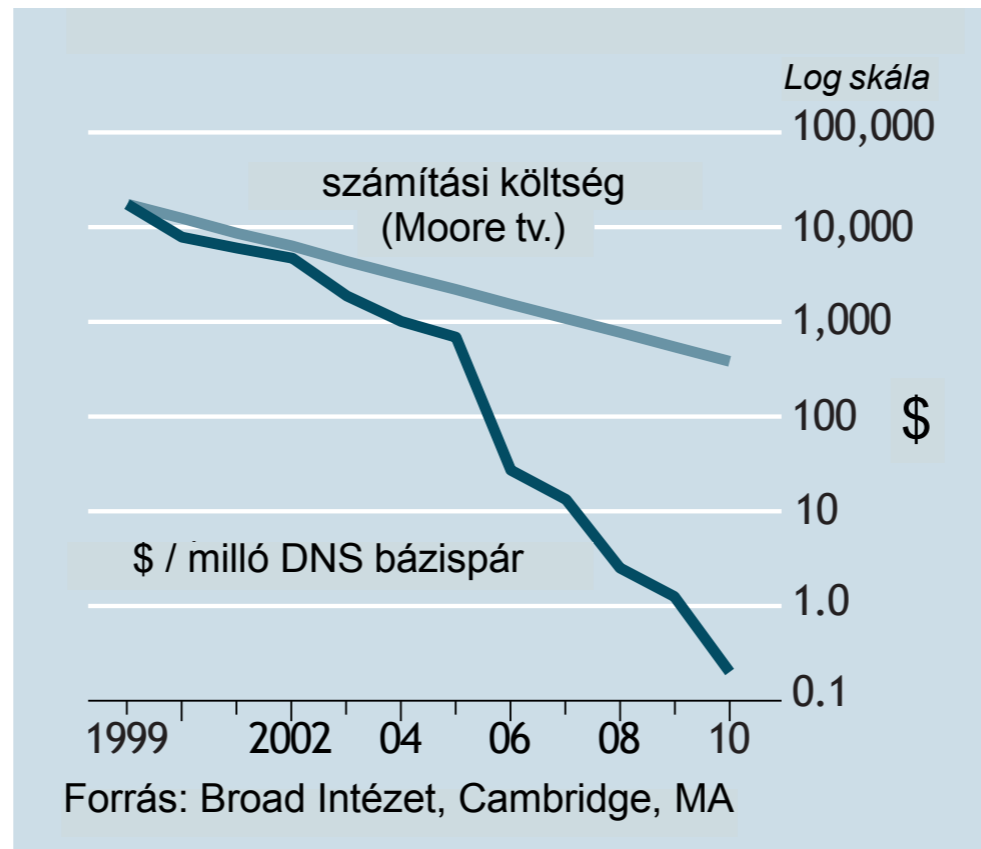
GGTCATAGC ← Sequence

Biológia 2.0

A 90-es évek szuperszámítógépeit hordjuk a zsebünkben, de ennél is drámaiabban nőtt a DNS-szekvenálás hatékonysága



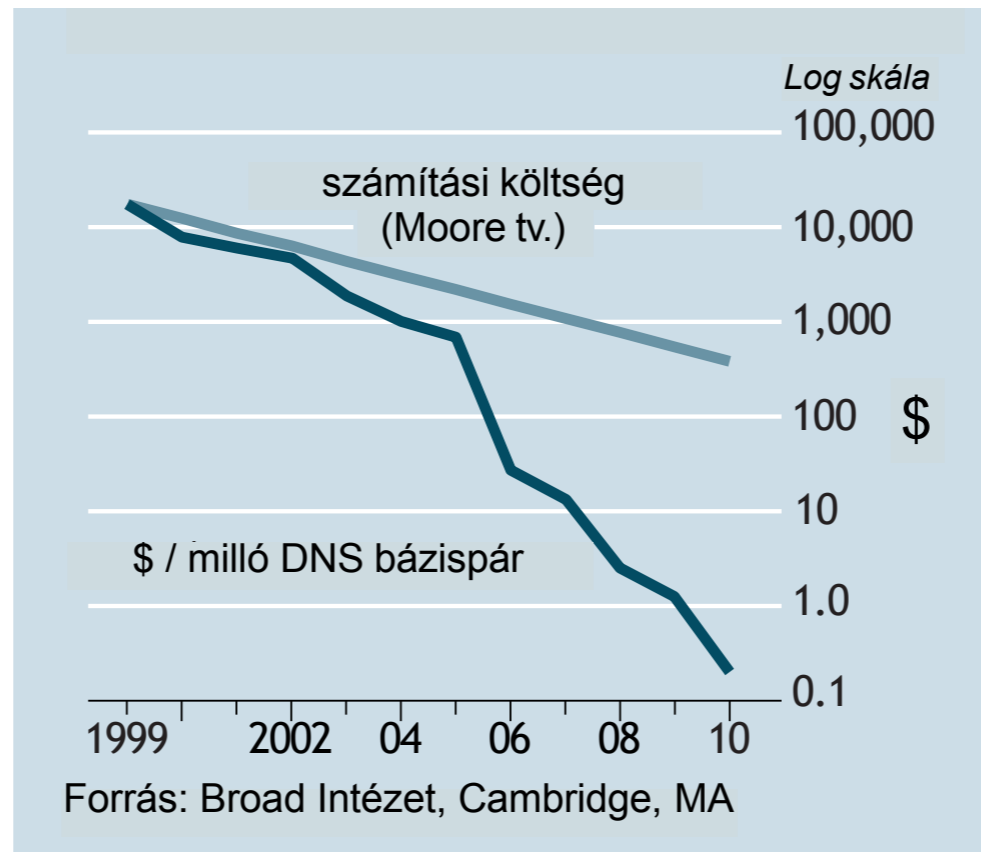
12 Giga FLOPS



200-300 Giga FLOPS

Biológia 2.0

A 90-es évek szuperszámítógépeit hordjuk a zsebünkben, de ennél is drámaiabban nőtt a DNS-szekvenálás hatékonysága

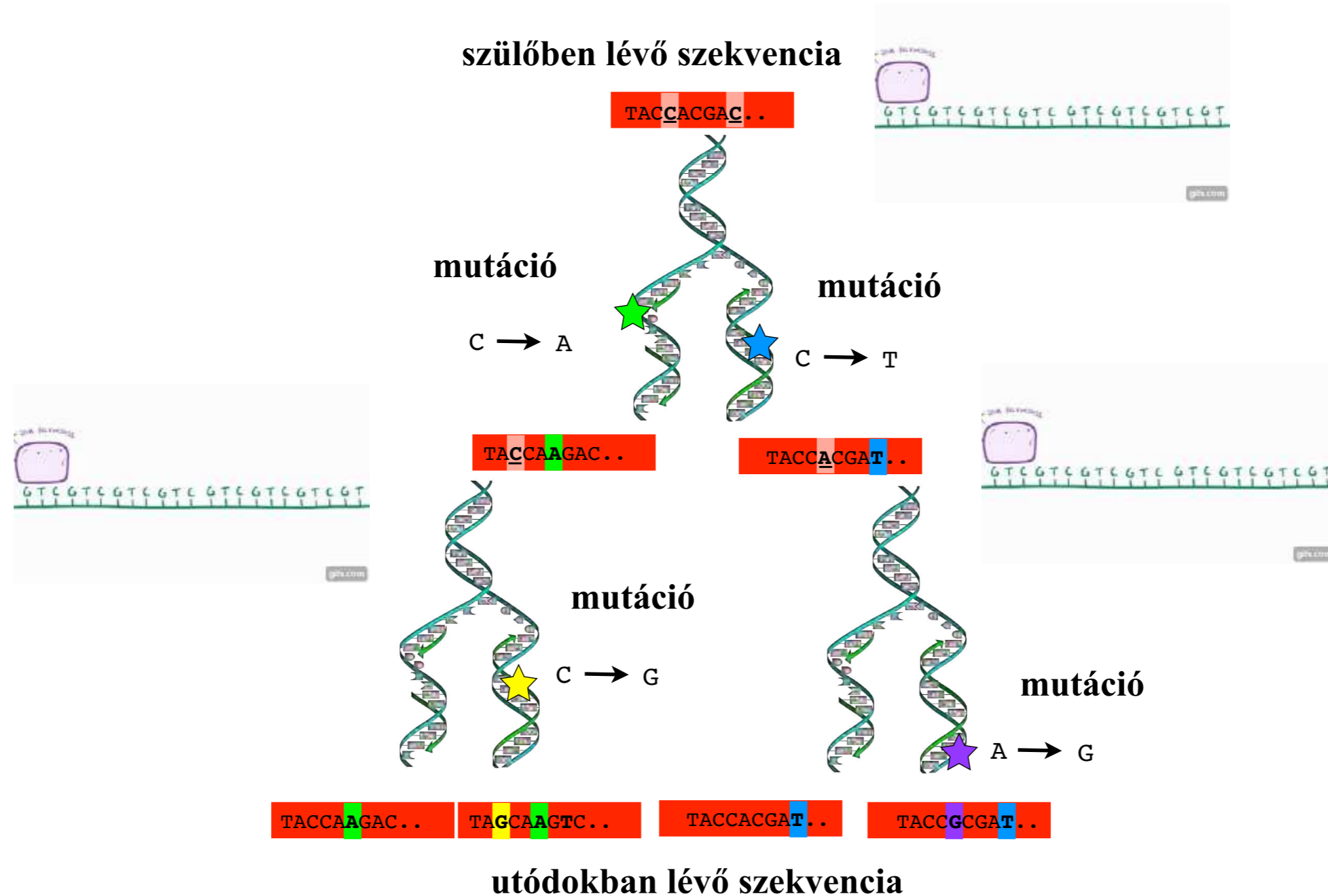


Human Genome Project



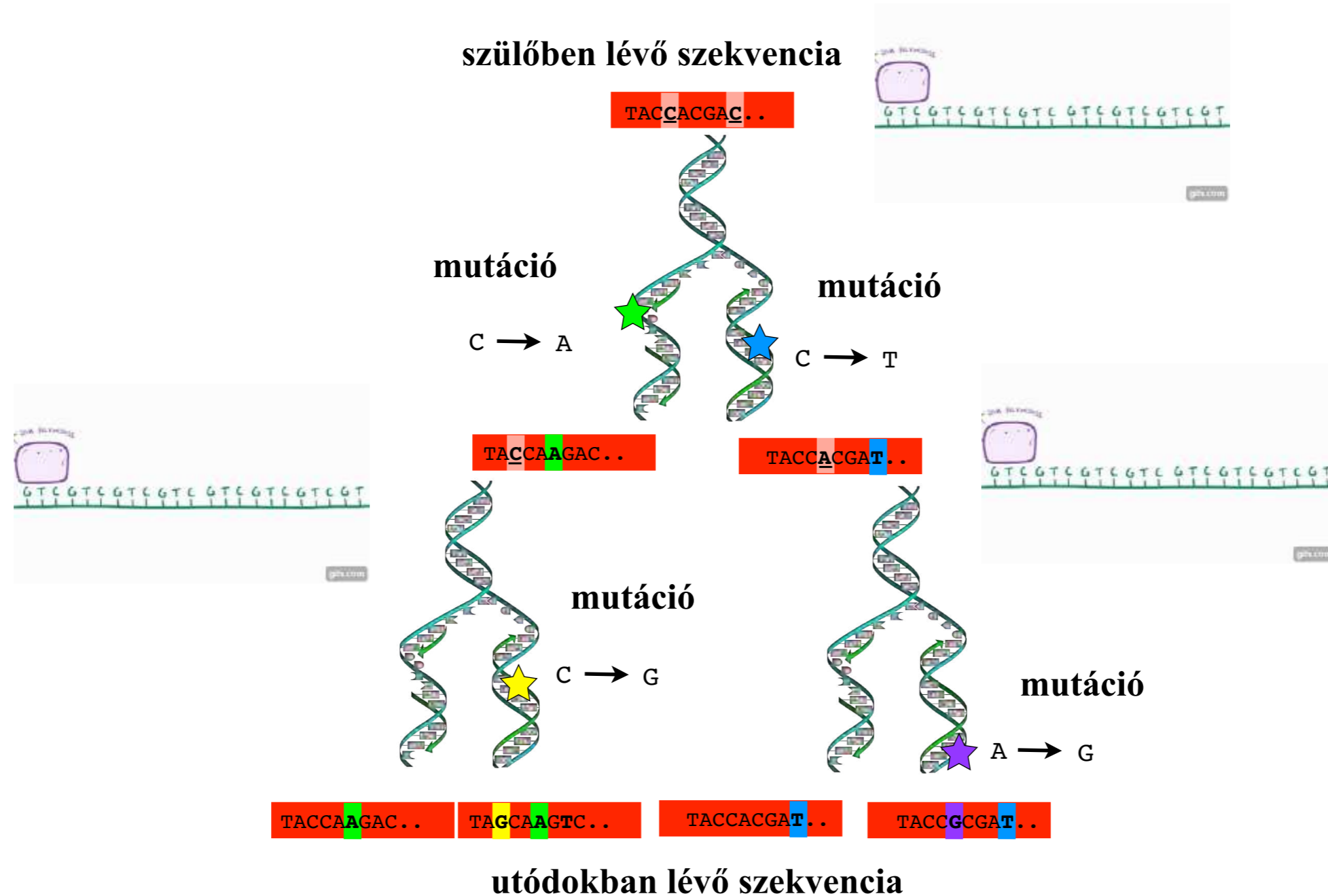
A rokon szekvenciák története rekonstruálható

Rokon DNS-szekvenciák esetén rekonstruálható azok *evolúciós családfája*. A fa elágazásai ősi génreplikációk, a fa gyökere a szekvenciák legutoljára létezett közös őse.



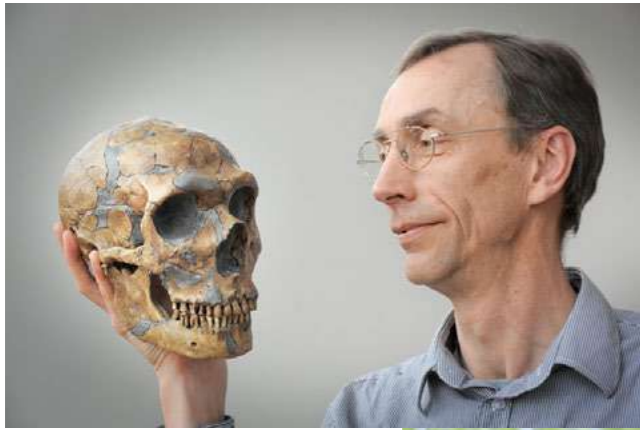
A rokon szekvenciák története rekonstruálható

Rokon DNS-szekvenciák esetén rekonstruálható azok *evolúciós családfája*. A fa elágazásai ősi génreplikációk, a fa gyökere a szekvenciák legutoljára létezett közös őse.



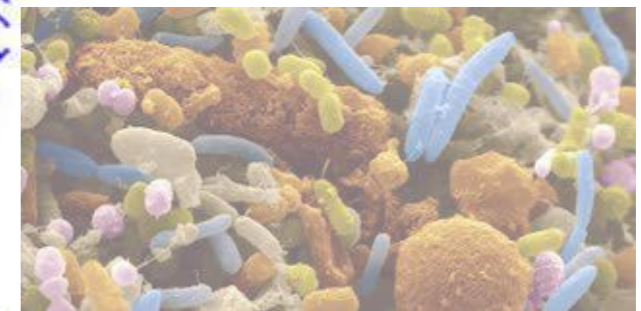
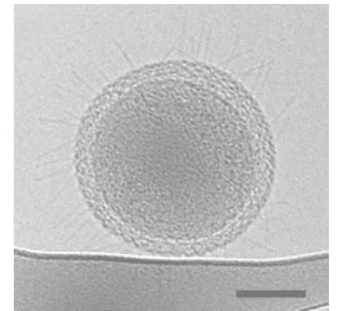
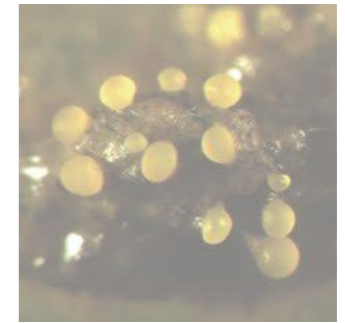
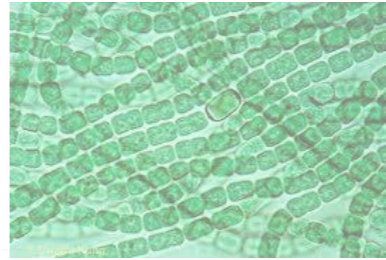
A molekuláris evolúciókutatás aranykora

2010



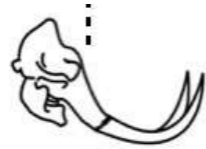
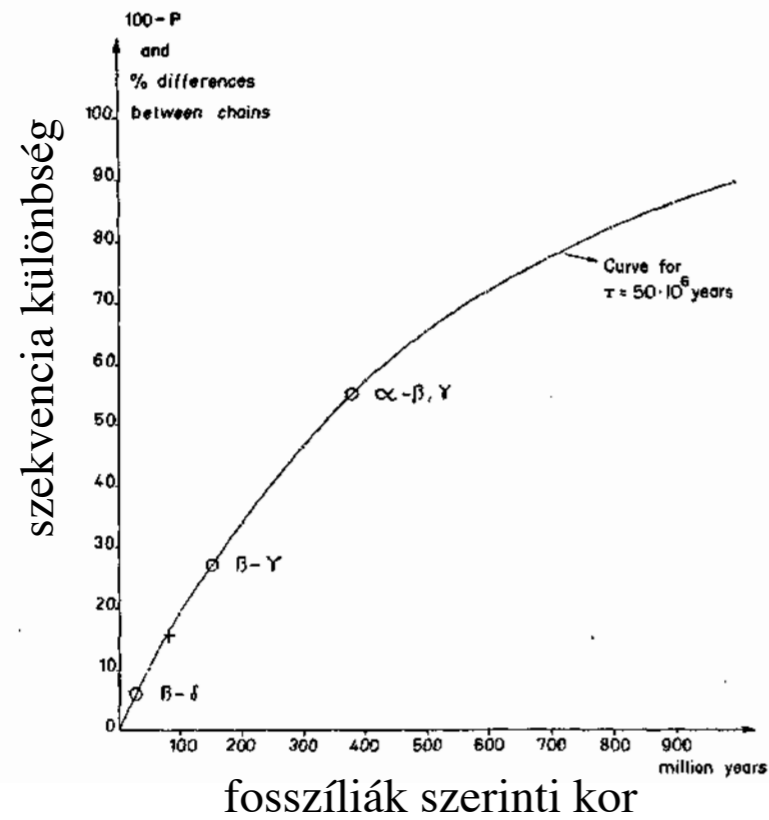
Svante Pääbo

Human Genome Project

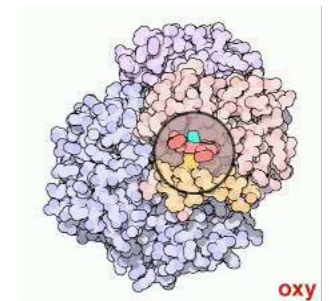
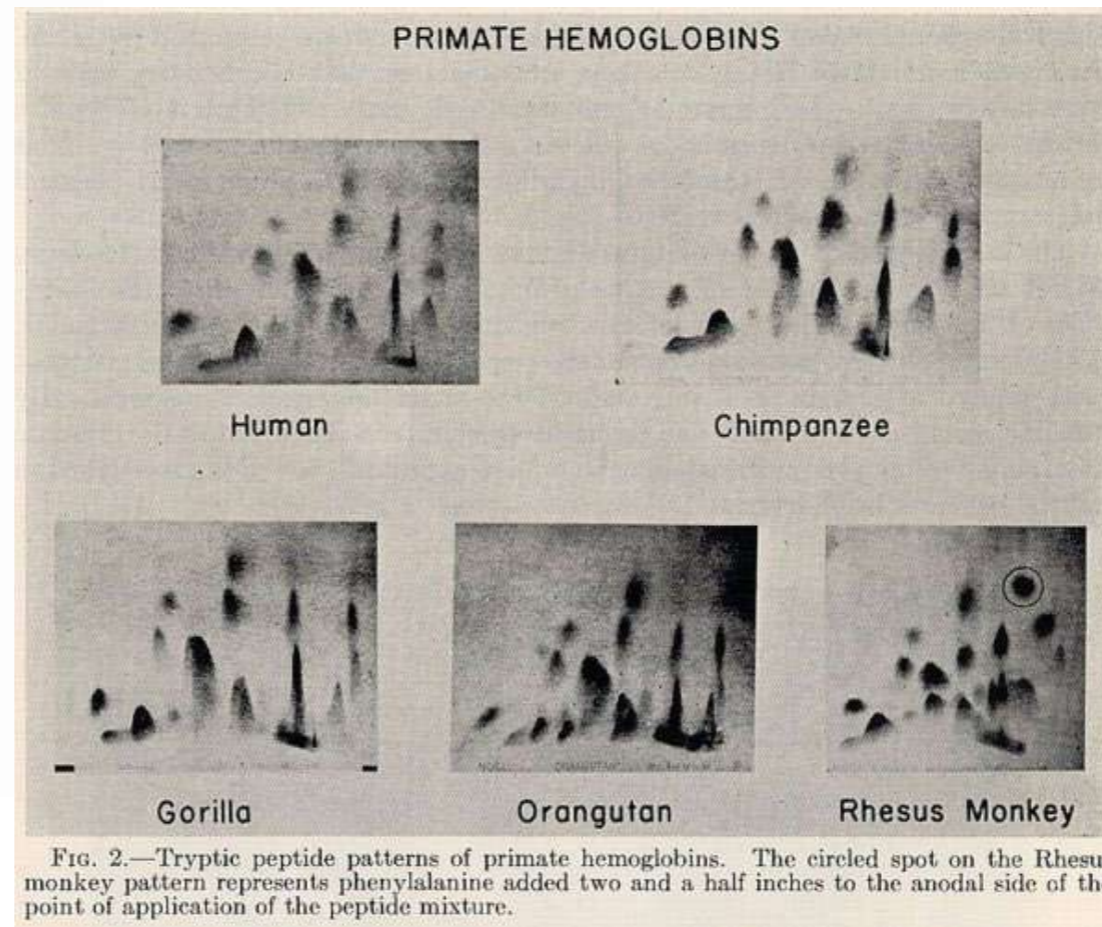


Molekuláris órák

Zukerkandl és Pauling különböző emlősök hemoglobinjainak szekvenciáját vizsgálva az találta, hogy a **szekvenciák közötti különbségek száma az idővel arányosan nő.**

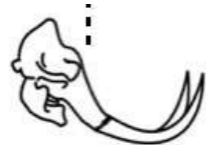
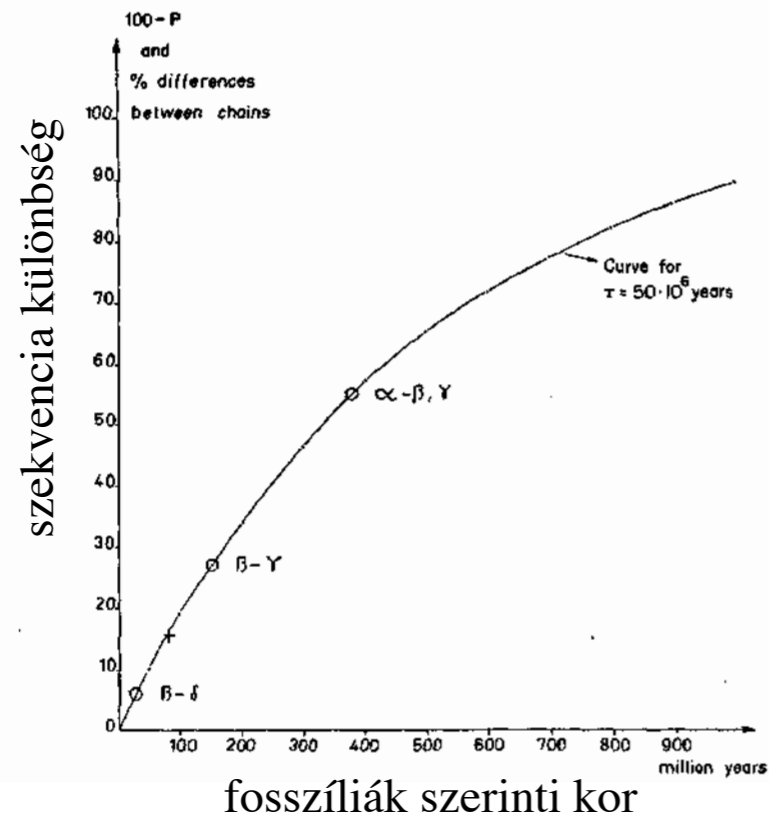


Zukerkandl and Pauling 1965

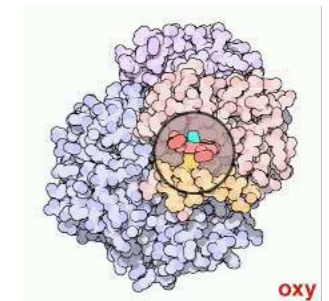
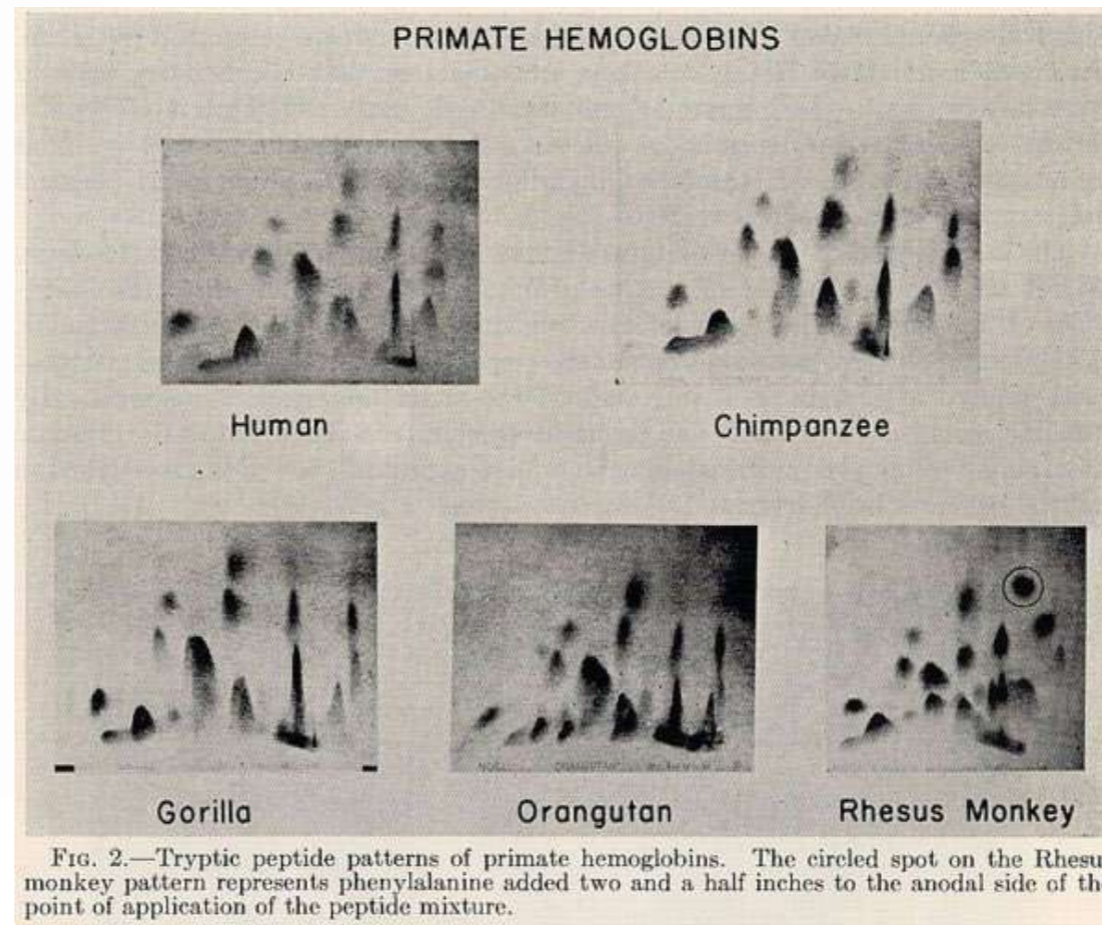


Molekuláris órák

Zukerkandl és Pauling különböző emlősök hemoglobinjainak szekvenciáját vizsgálva az találta, hogy a **szekvenciák közötti különbségek száma az idővel arányosan nő.**

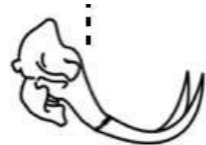
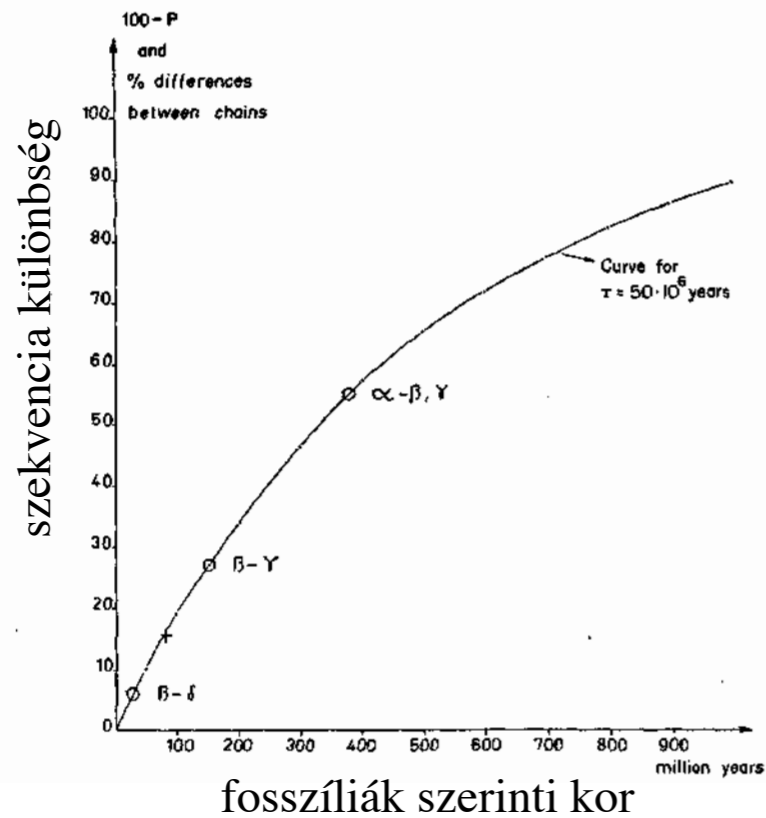


Zukerkandl and Pauling 1965



Molekuláris órák

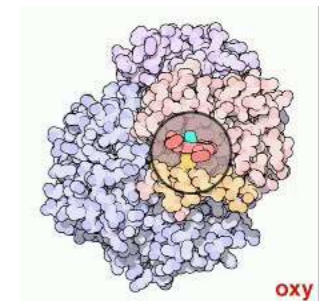
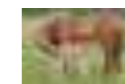
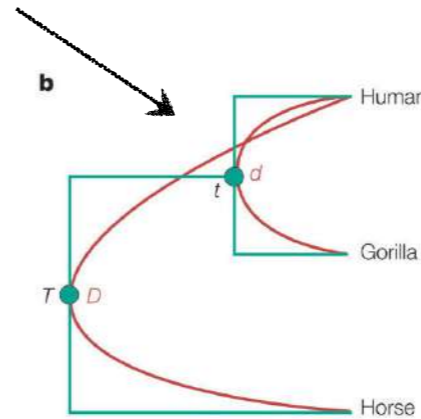
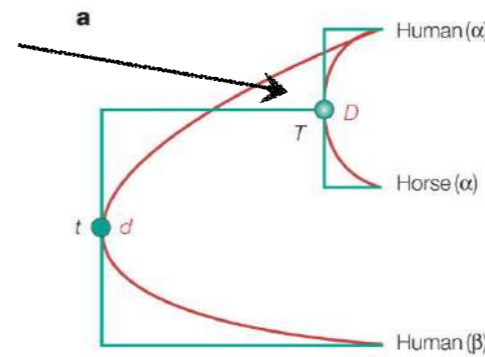
Zukerkandl és Pauling különböző emlősök hemoglobinjainak szekvenciáját vizsgálva az találta, hogy a **szekvenciák közötti különbségek száma az idővel arányosan nő.**



Zukerkandl and Pauling 1965

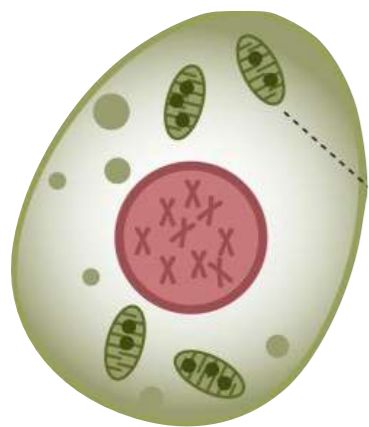
~130 millió év
18 különbség

1 ill. 2 különbség
~11 millió év



$$2\alpha + 2\beta$$

Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

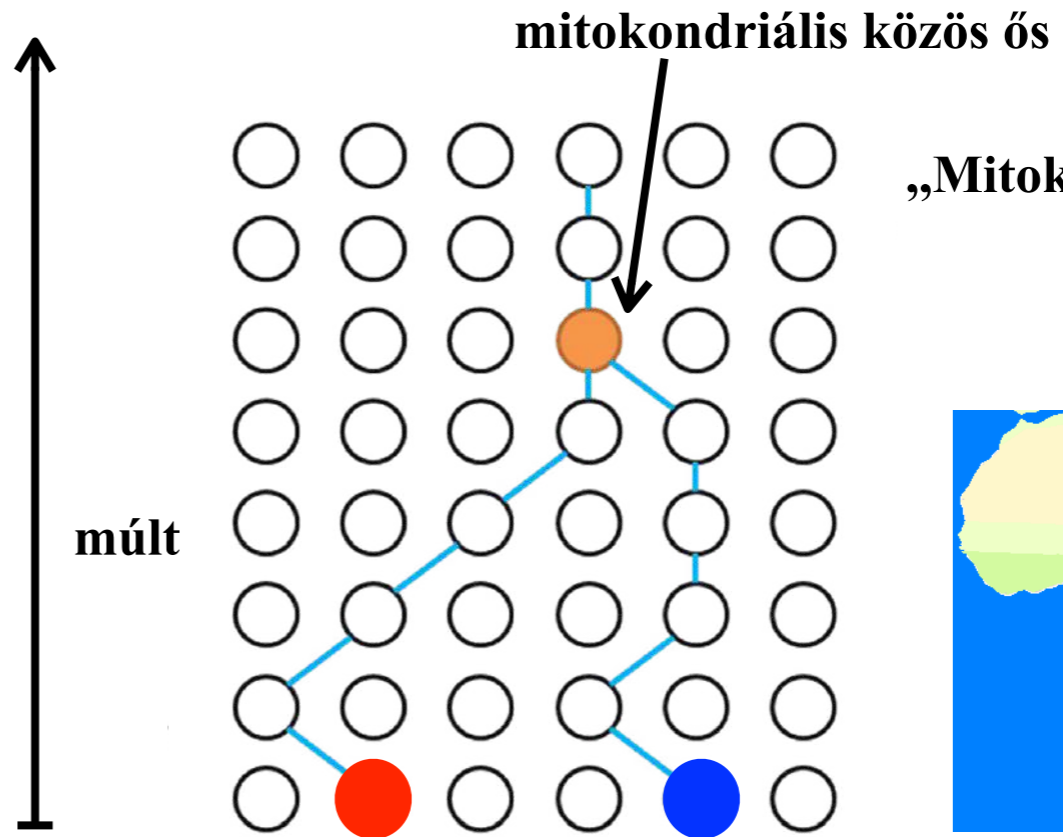


emberi sejt
 $>10^{13}$

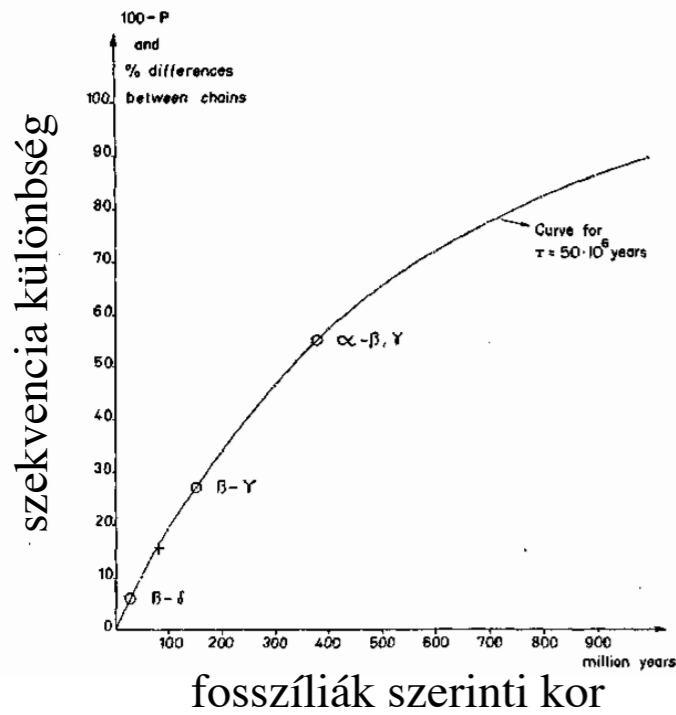
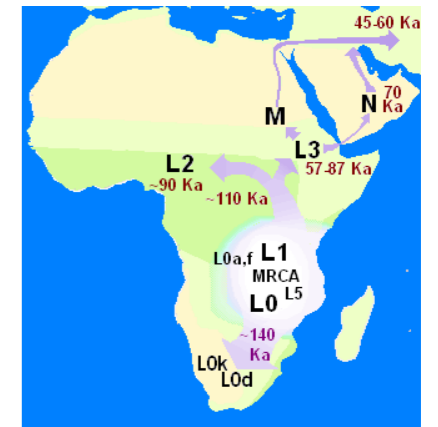
mitokondrium



mitokondriális genom
16,569 bp

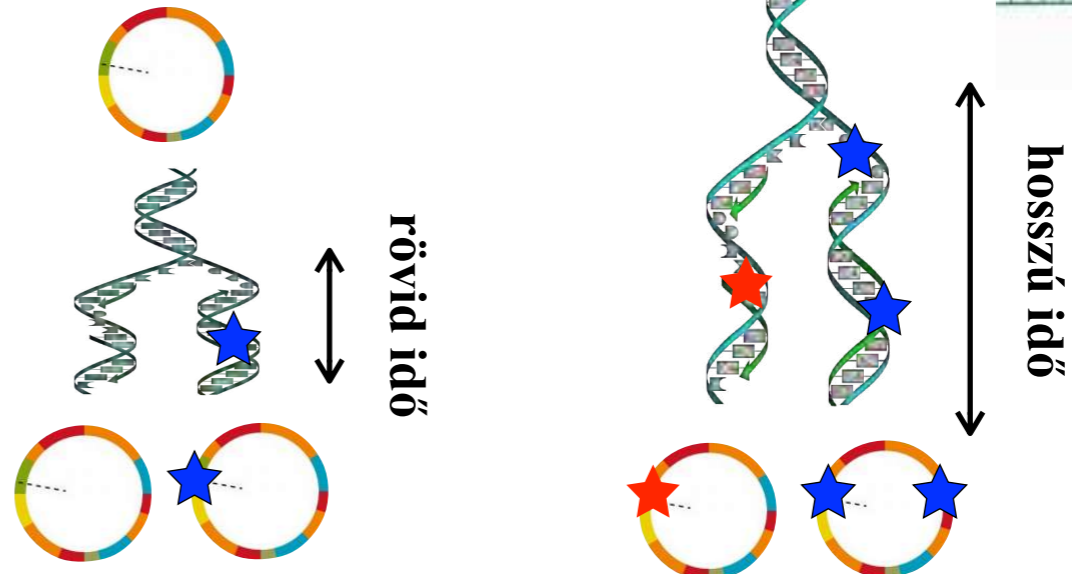


mitokondrium A mitokondrium B

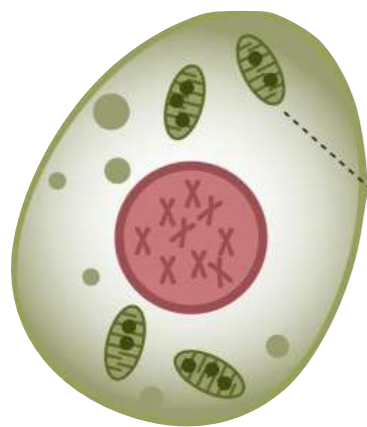


Zukerkandl és Pauling 1965

mitokondriális közös ős kora



Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

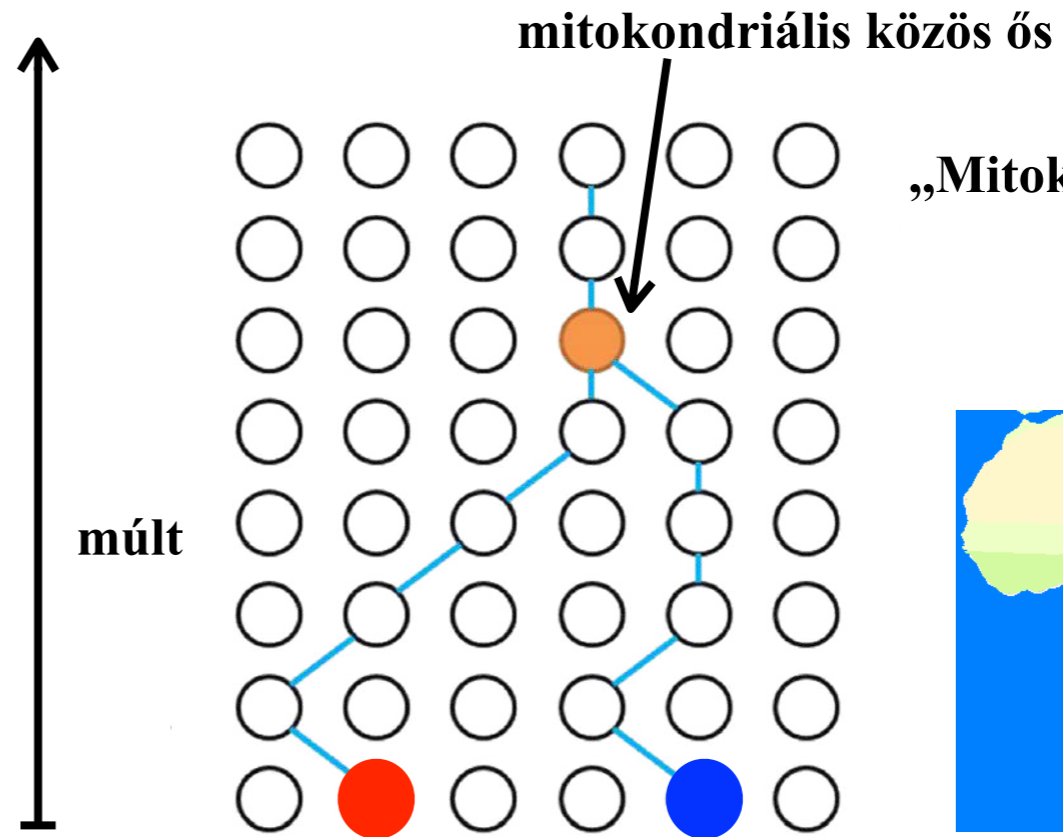


emberi sejt
>10¹³

mitokondrium

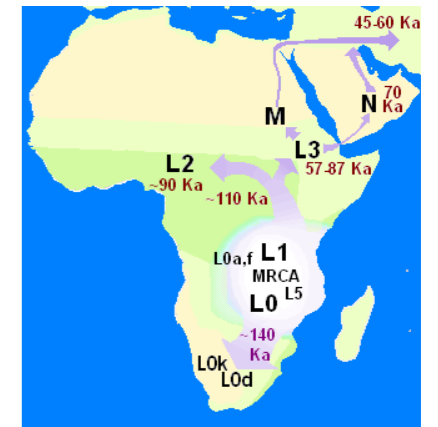


mitokondriális genom
16,569 bp

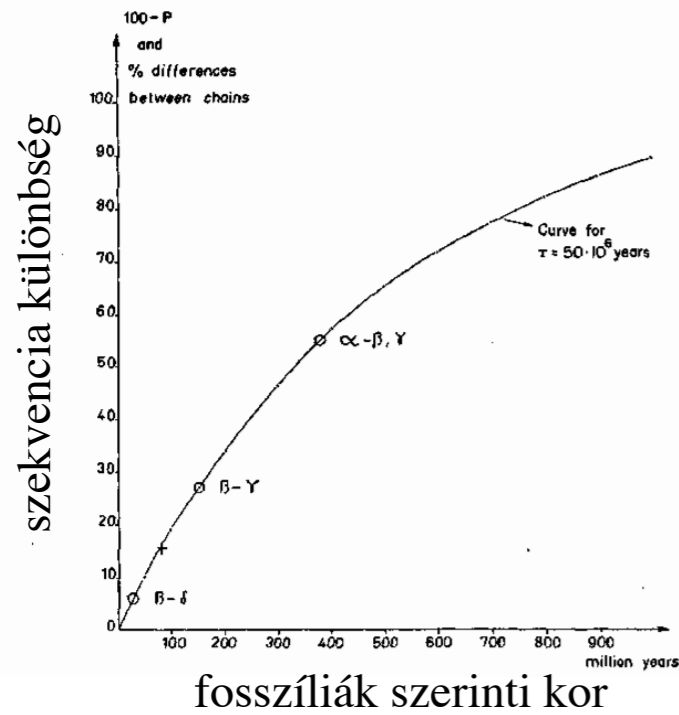


„Mitokondriális Éva”

100-170
ezer éve

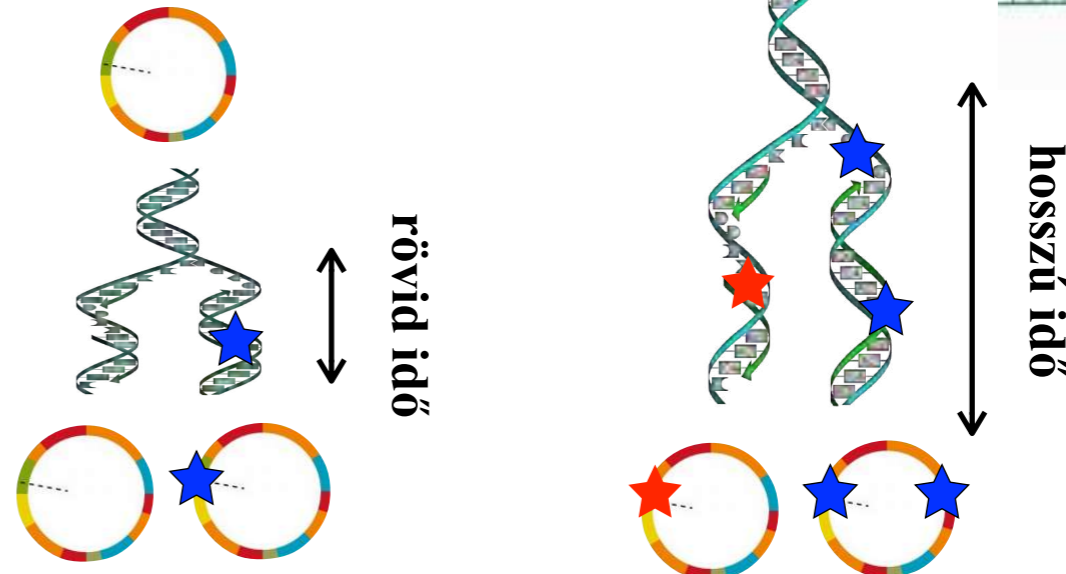


mitokondrium A mitokondrium B



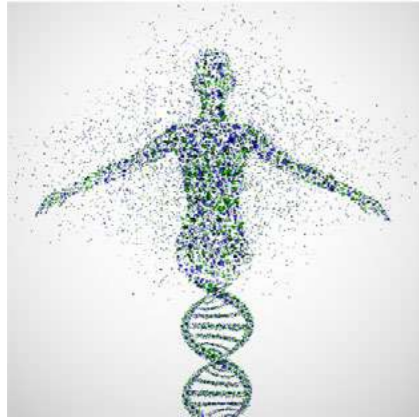
Zukerkandl és Pauling 1965

mitokondriális közös ős kora

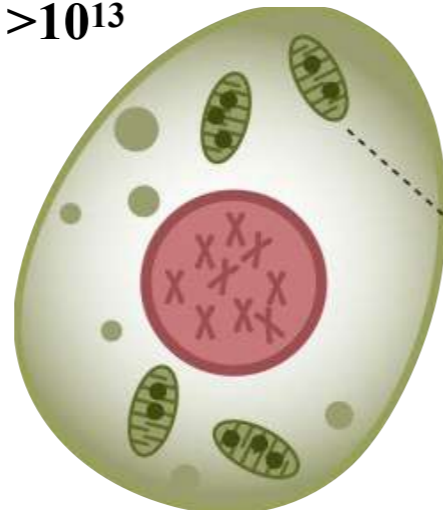


Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

Human Genome Project

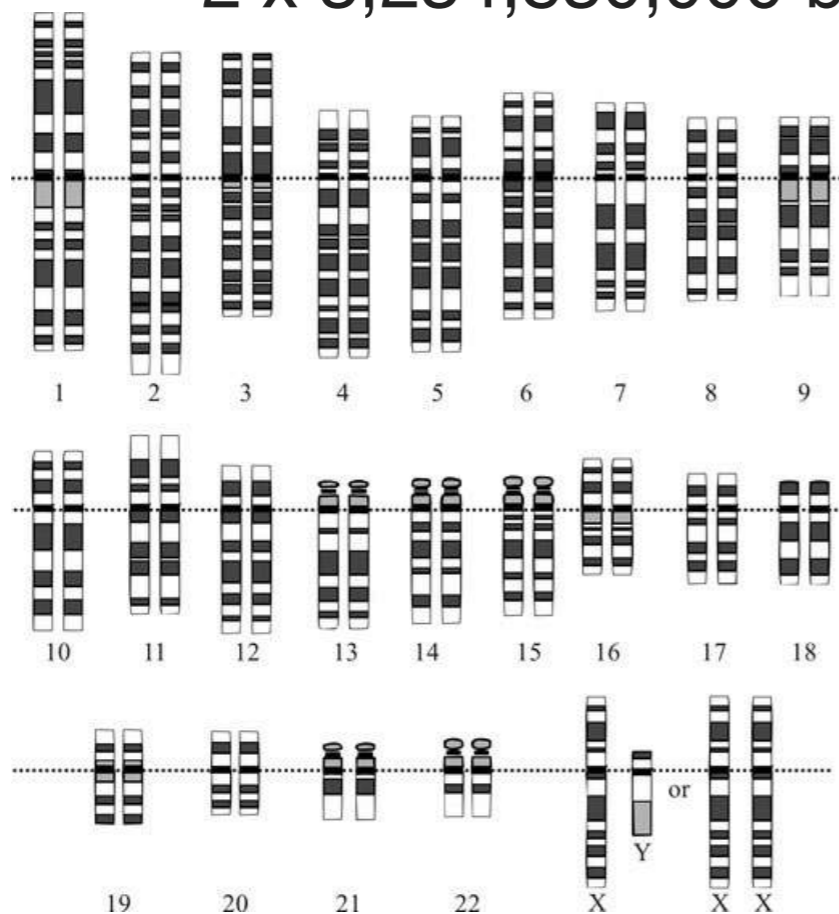


$>10^{13}$



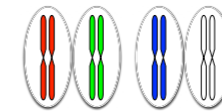
diploid nukleáris genom

$2 \times 3,234,830,000$ bp



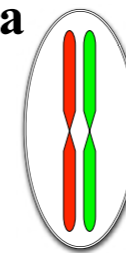
szexuális szaporodás

nagyszülők

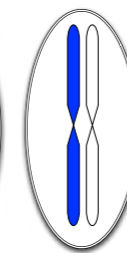


szülők

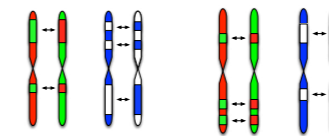
apa



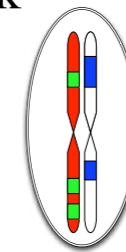
anya



rekombináció



utódok



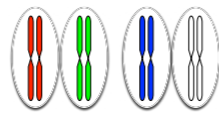
Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

Human Genome Project

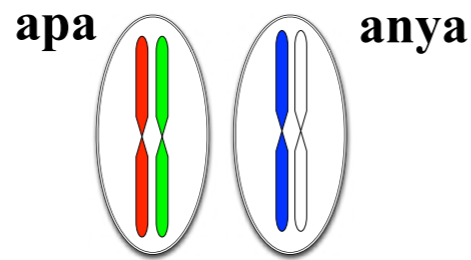


szexuális szaporodás

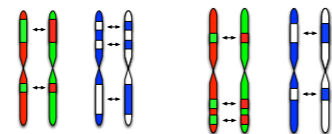
nagyszülők



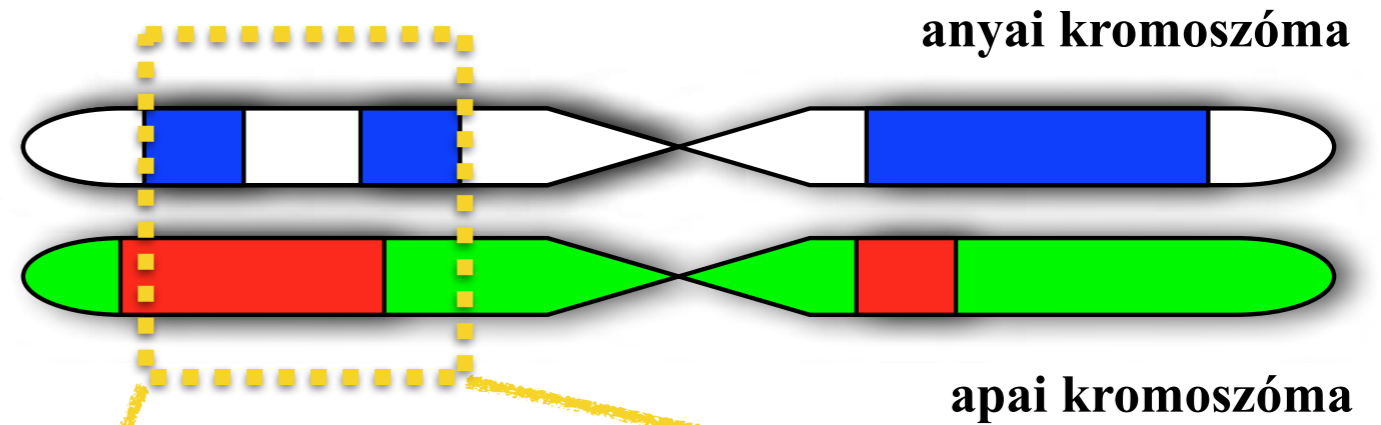
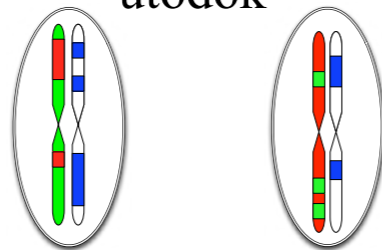
szülők



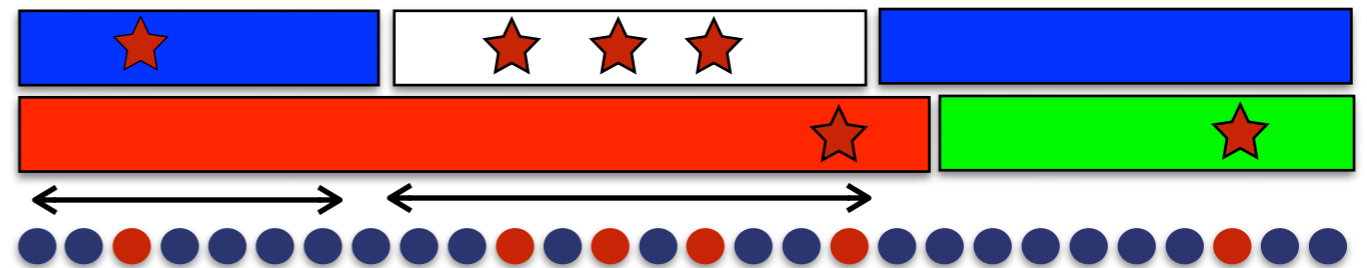
rekombináció



utódok



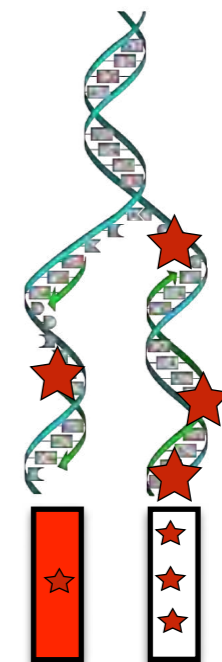
rekombinációs töréspontok



lokális közös ősök kora



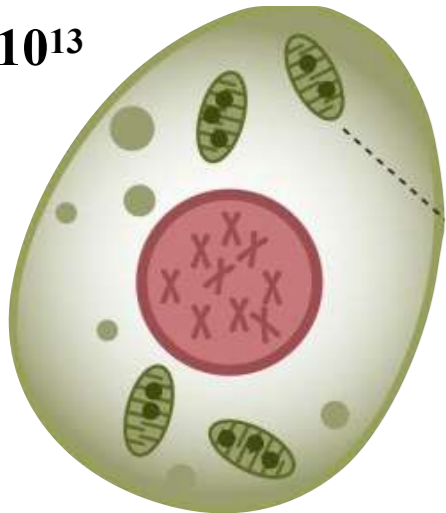
rövid idő



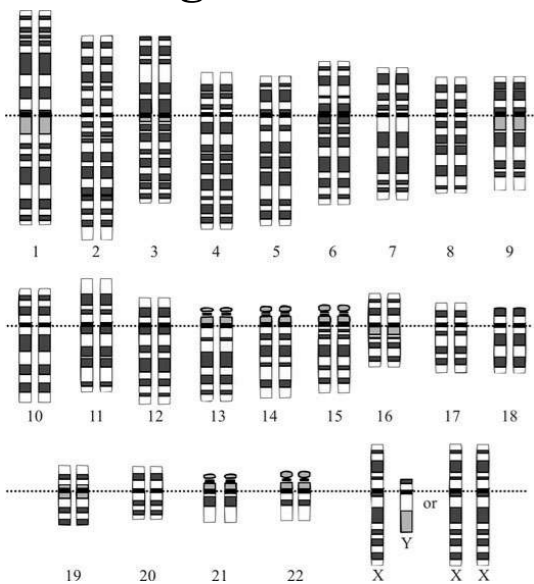
hosszú idő

16,569 bp

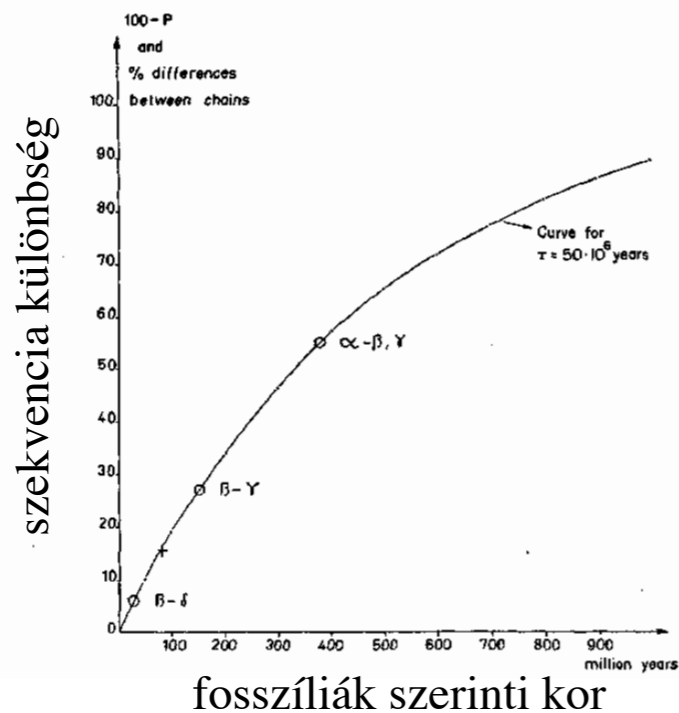
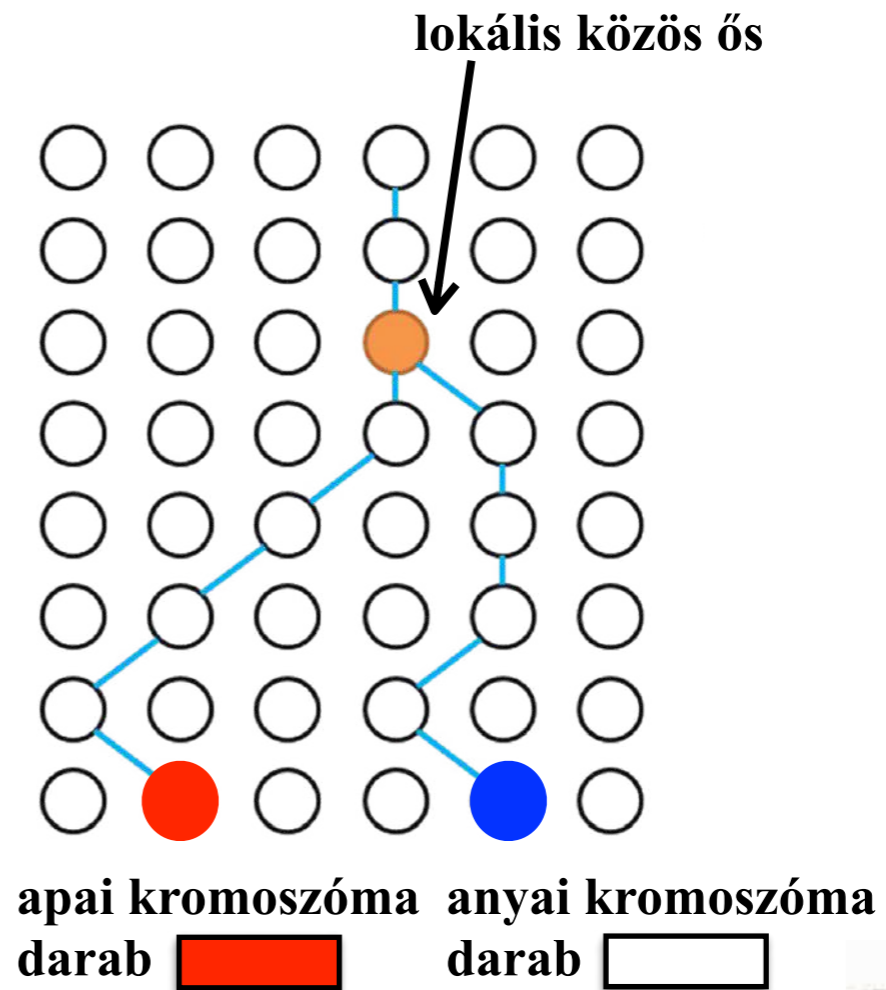
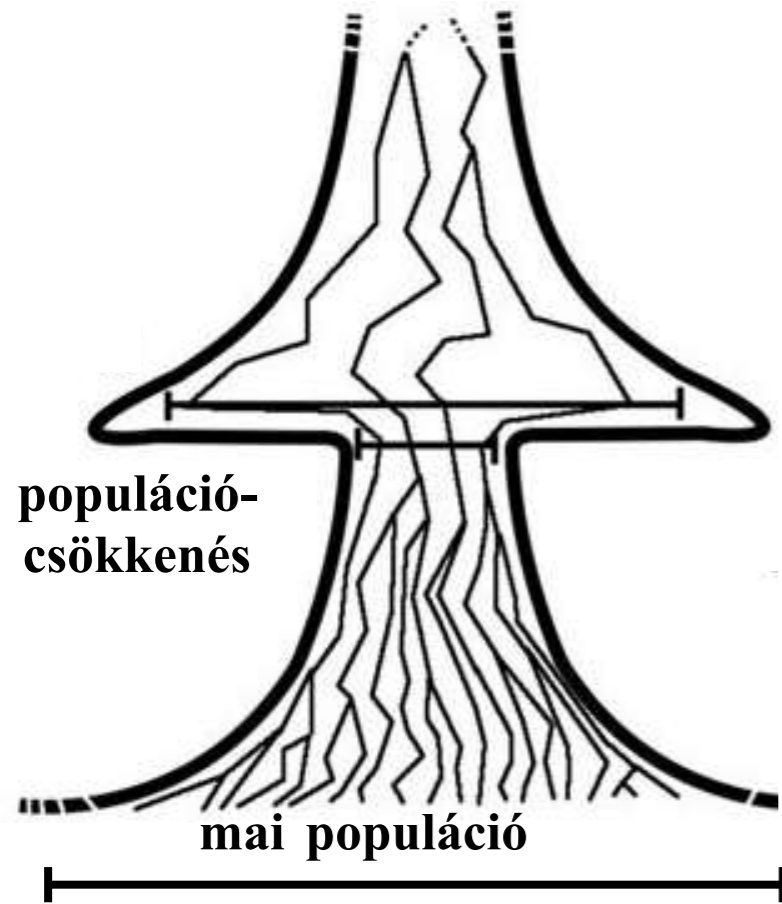
>10¹³



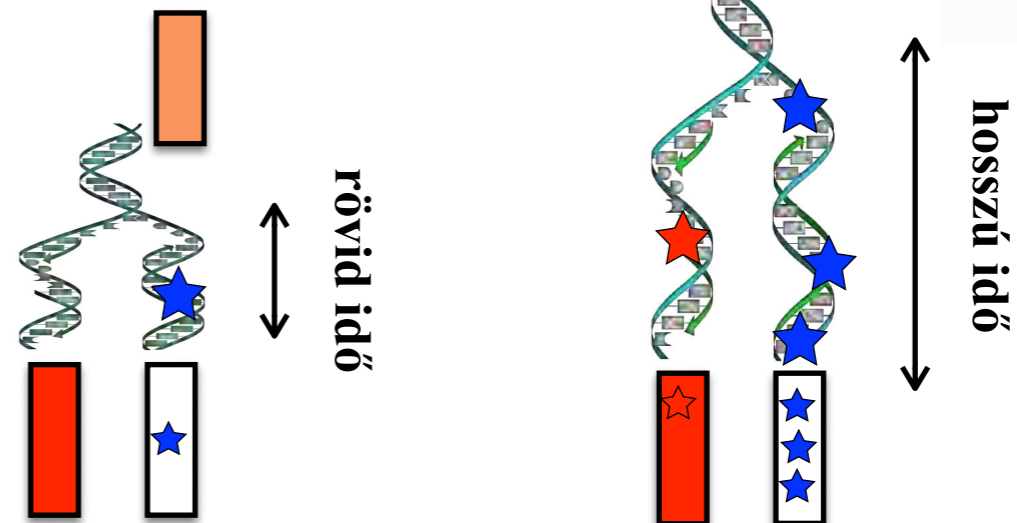
nukeláris genom



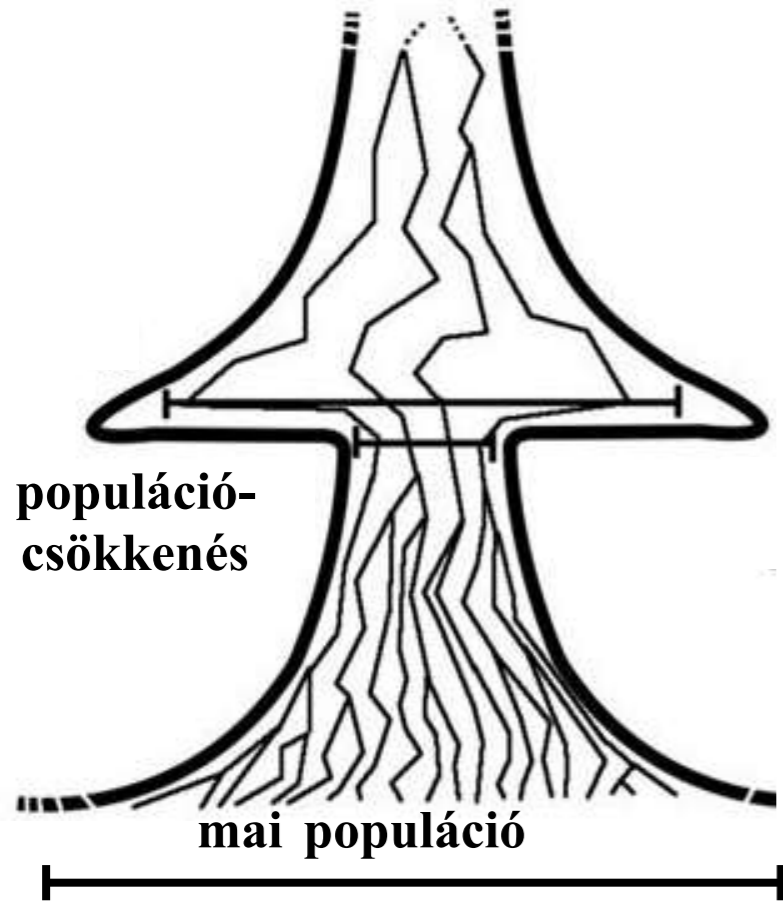
Mennyi történeti információ van a DNS-ben?



lokális közös ős kora

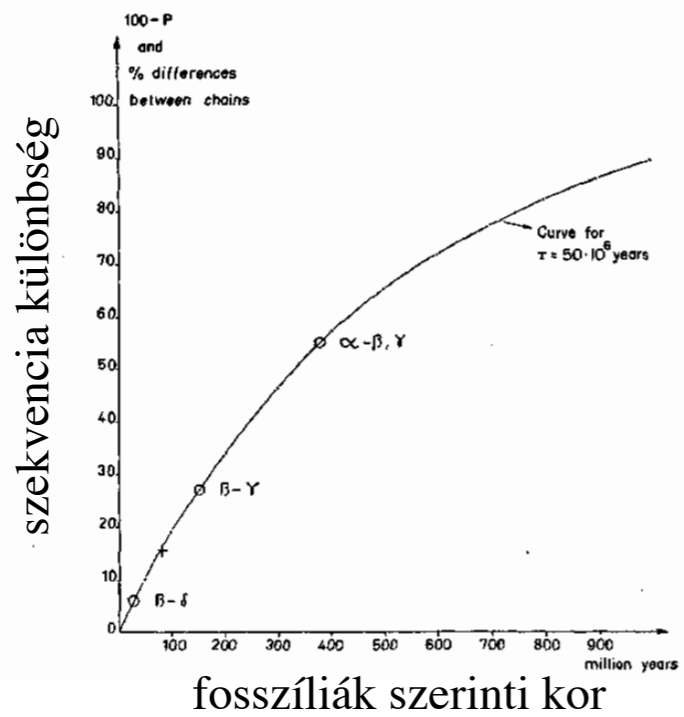
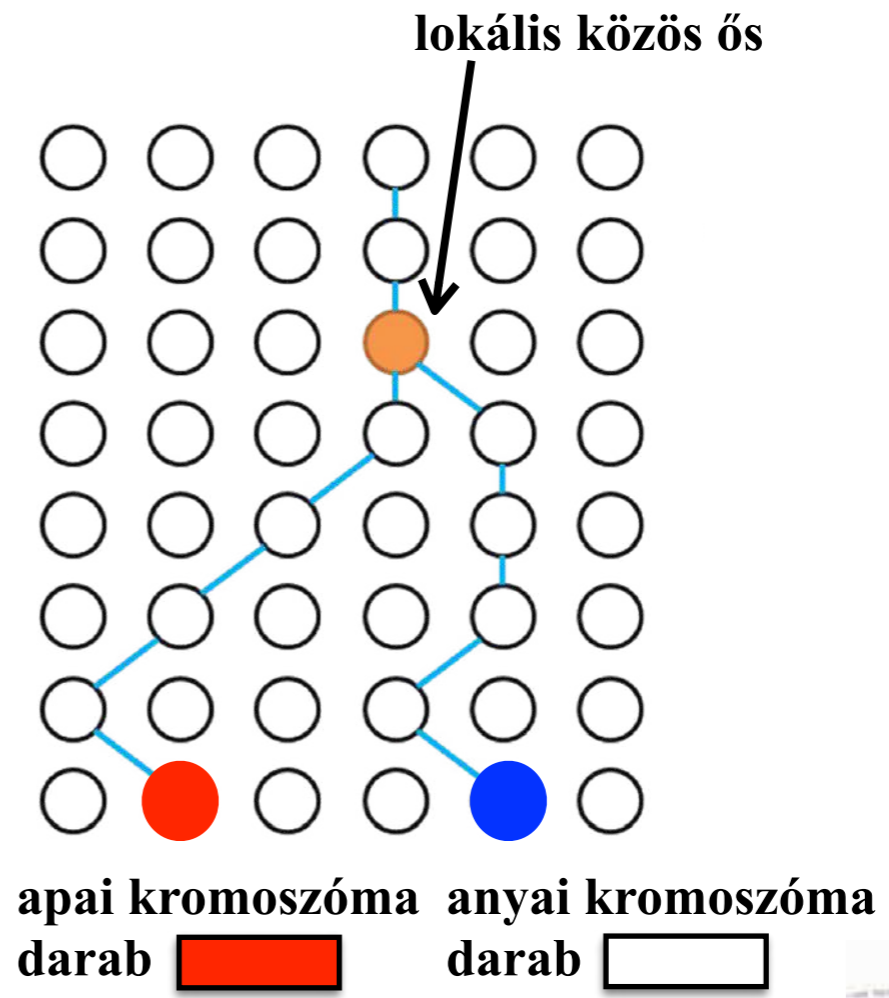


Mennyi történelmi információ van a DNS-ben?

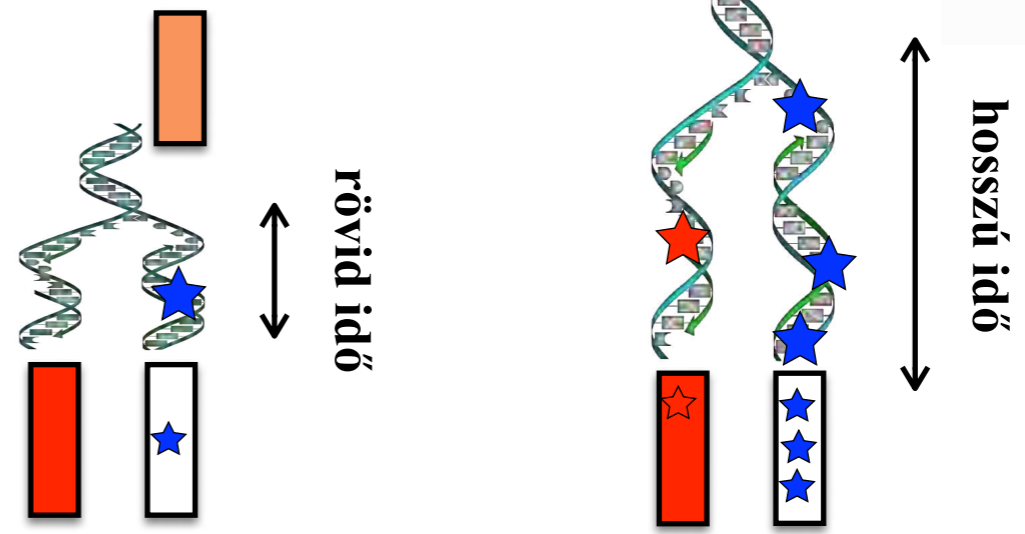


múlt

A vertical double-headed arrow indicating the passage of time from the past to the present.

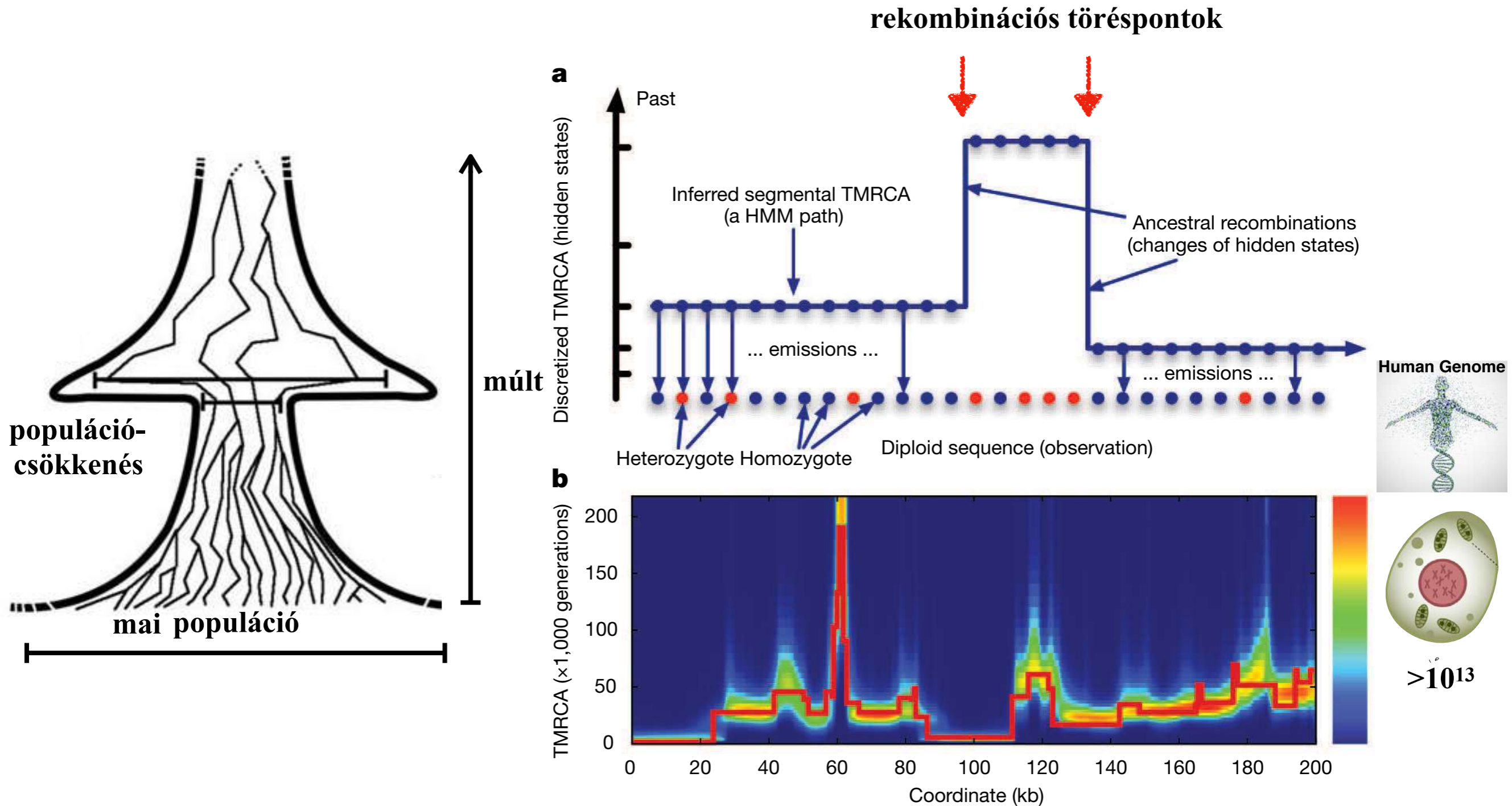


lokális közös ős kora



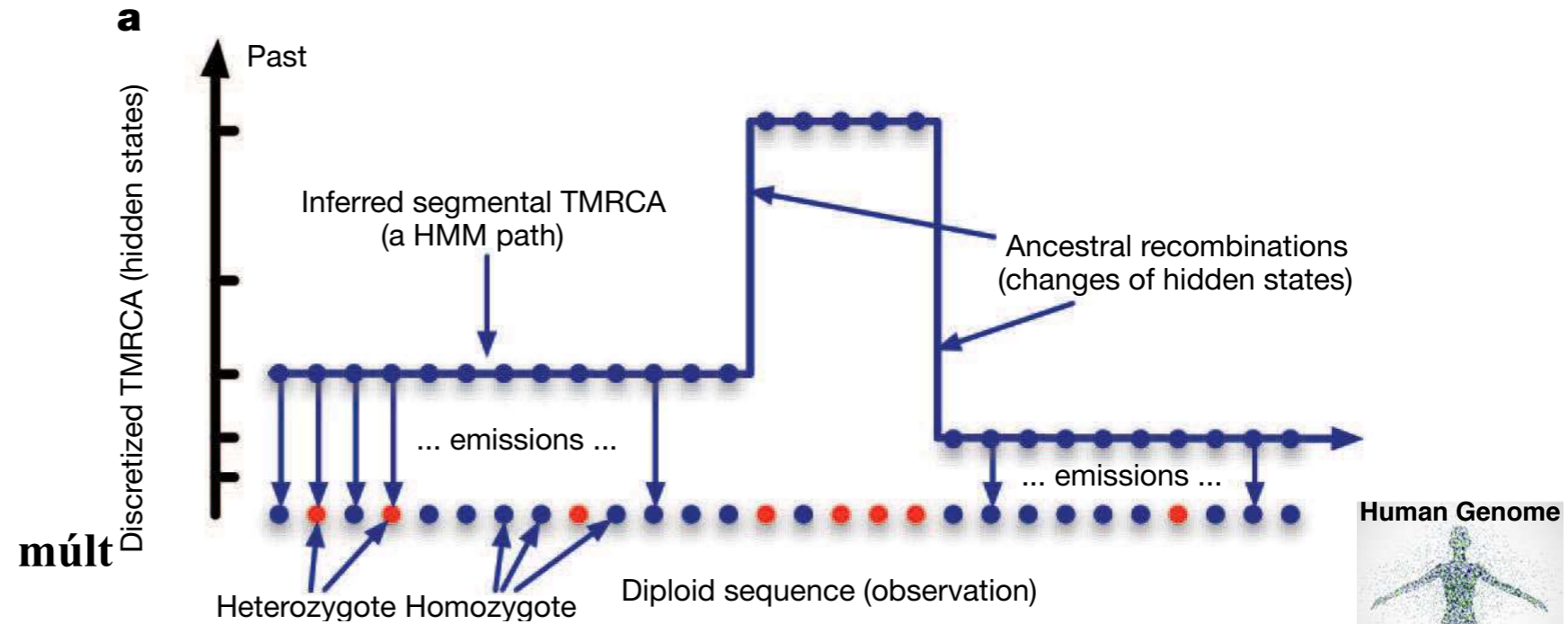
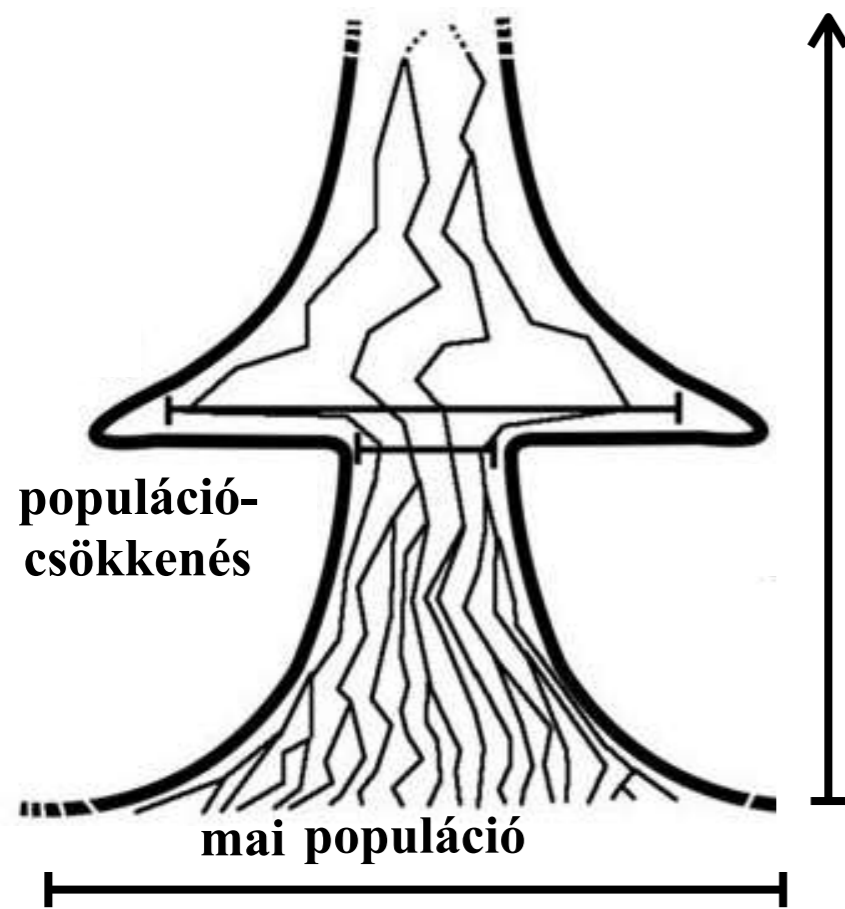
Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

Inference of human population history from individual whole-genome sequences — Li & Durbin 2011 *Nature*

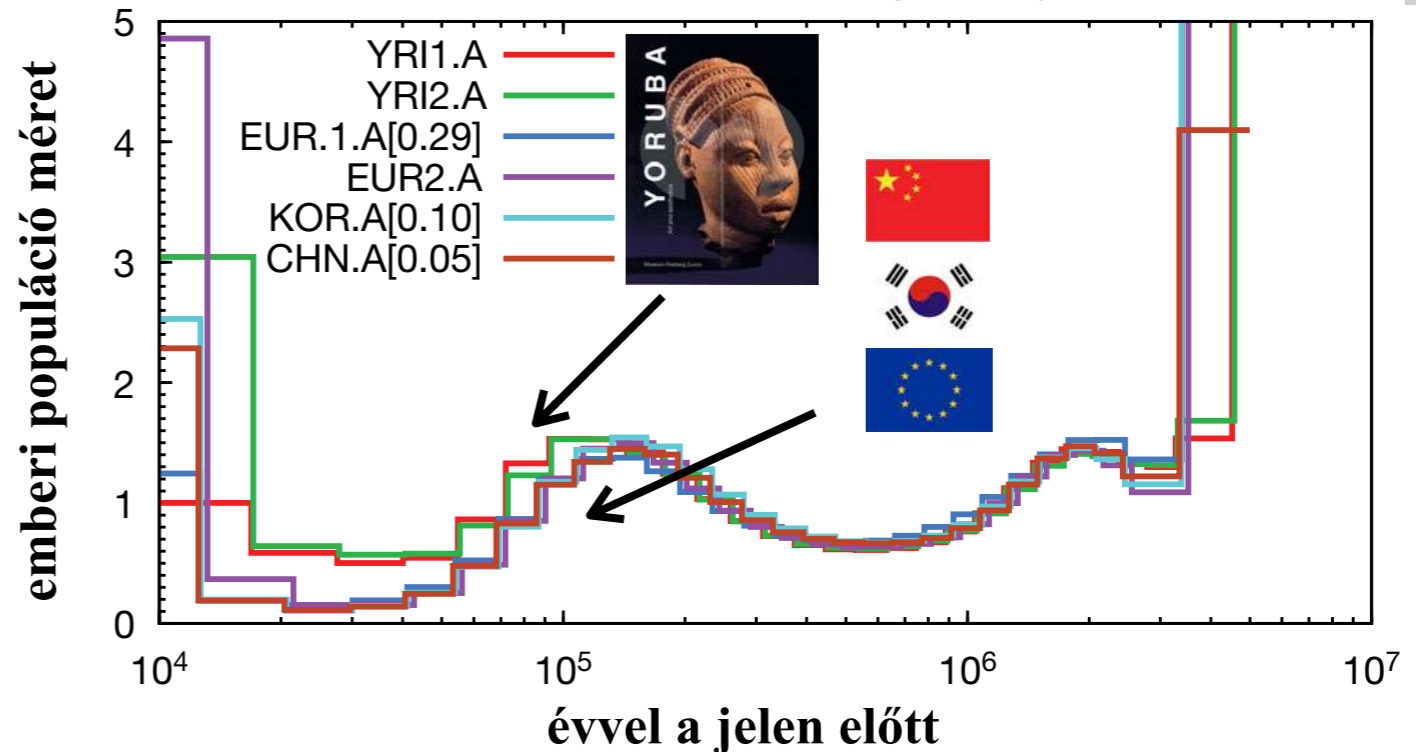


Mennyi történeti információ van a DNS-ben?

Inference of human population history from individual whole-genome sequences — Li & Durbin 2011 *Nature*

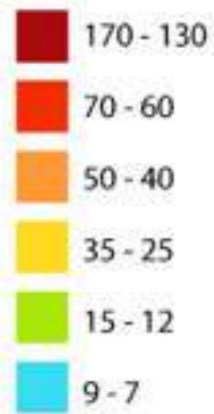


6 különböző ember genomja

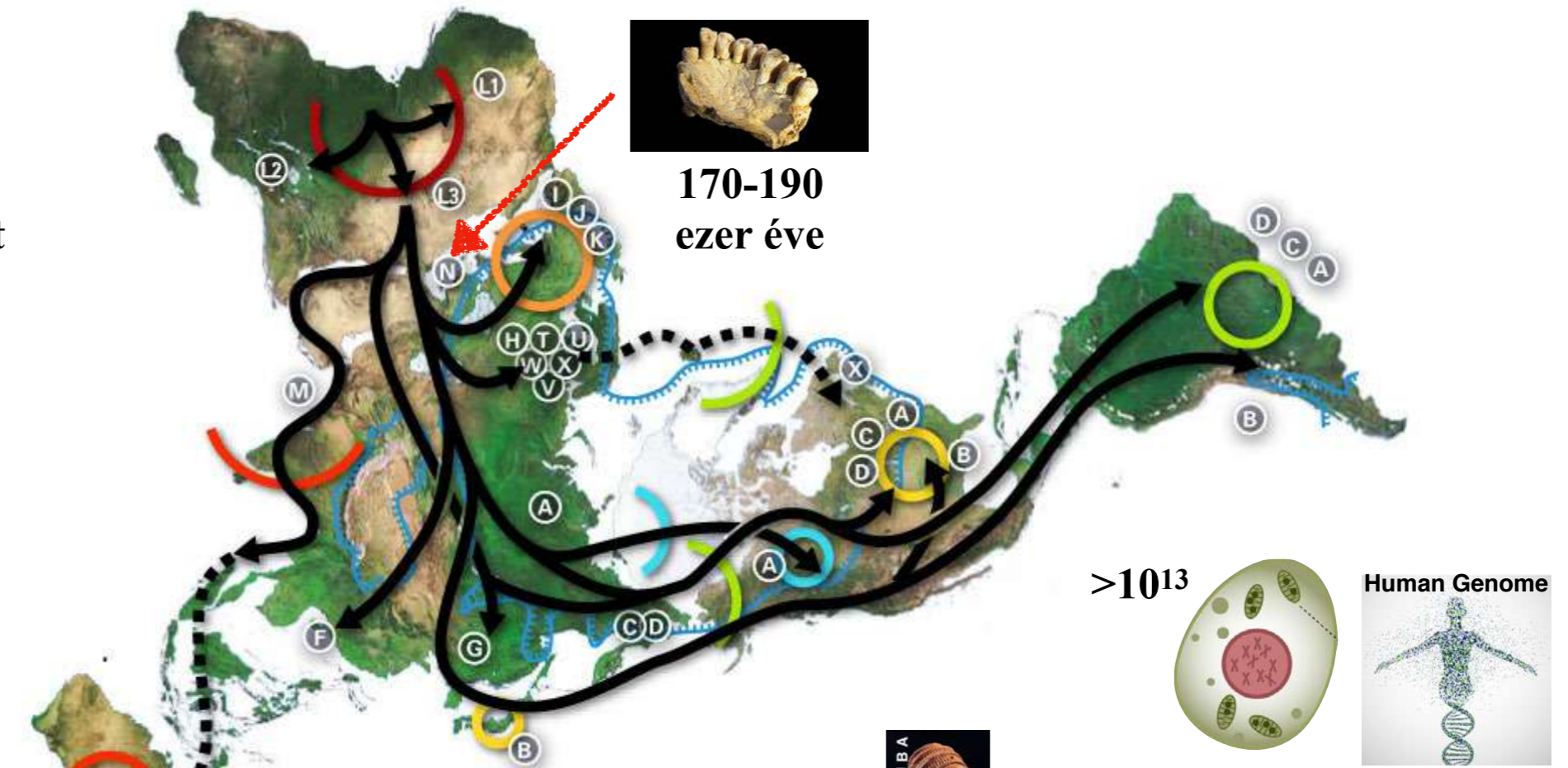


Sok történeti információ van a DNS-ben

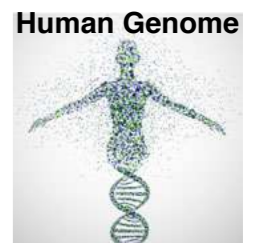
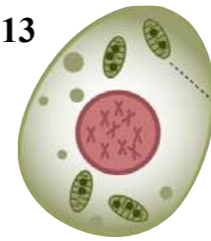
ezer évvel
a jelen előtt



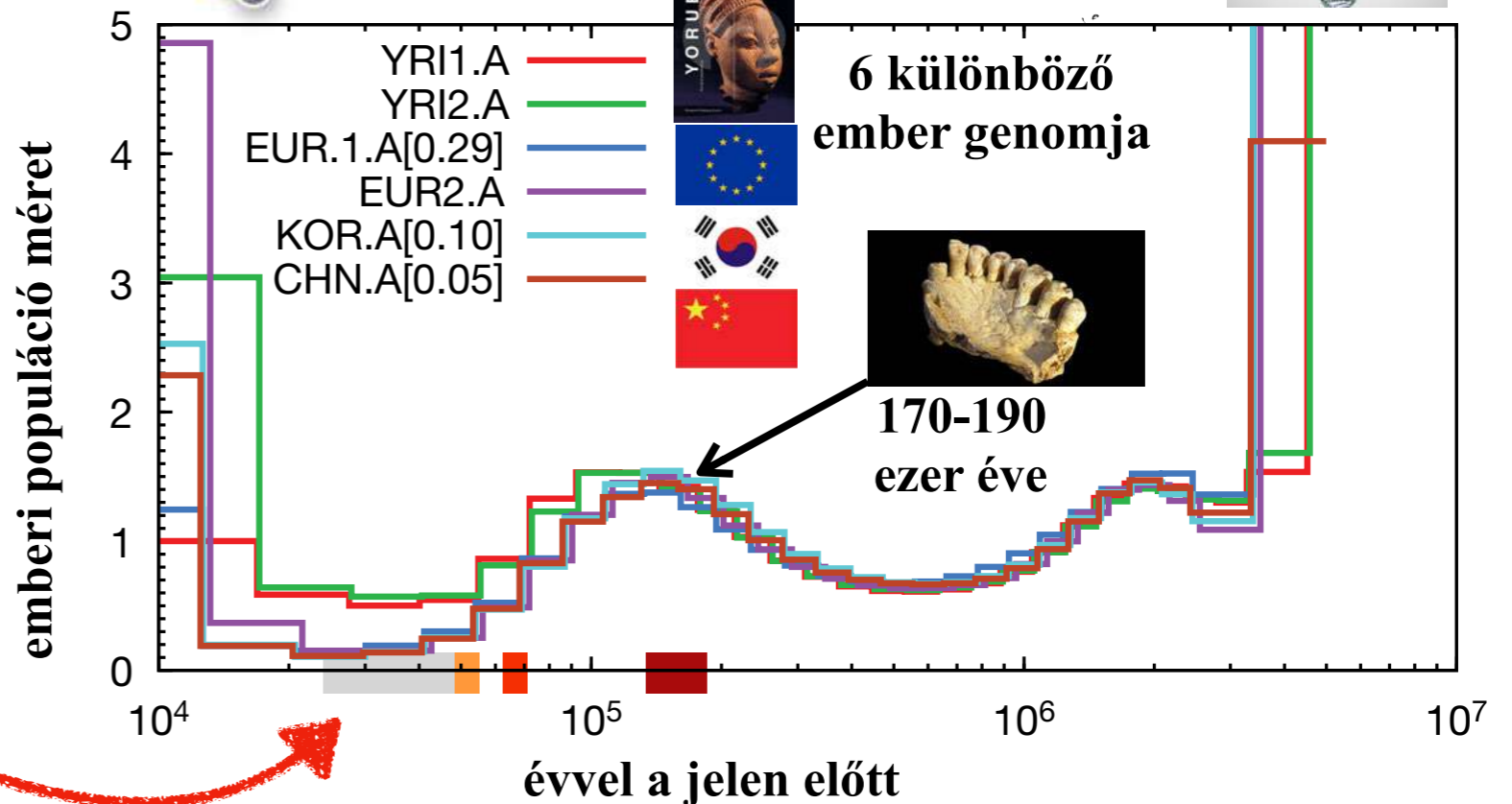
170-190
ezer éve



$>10^{13}$

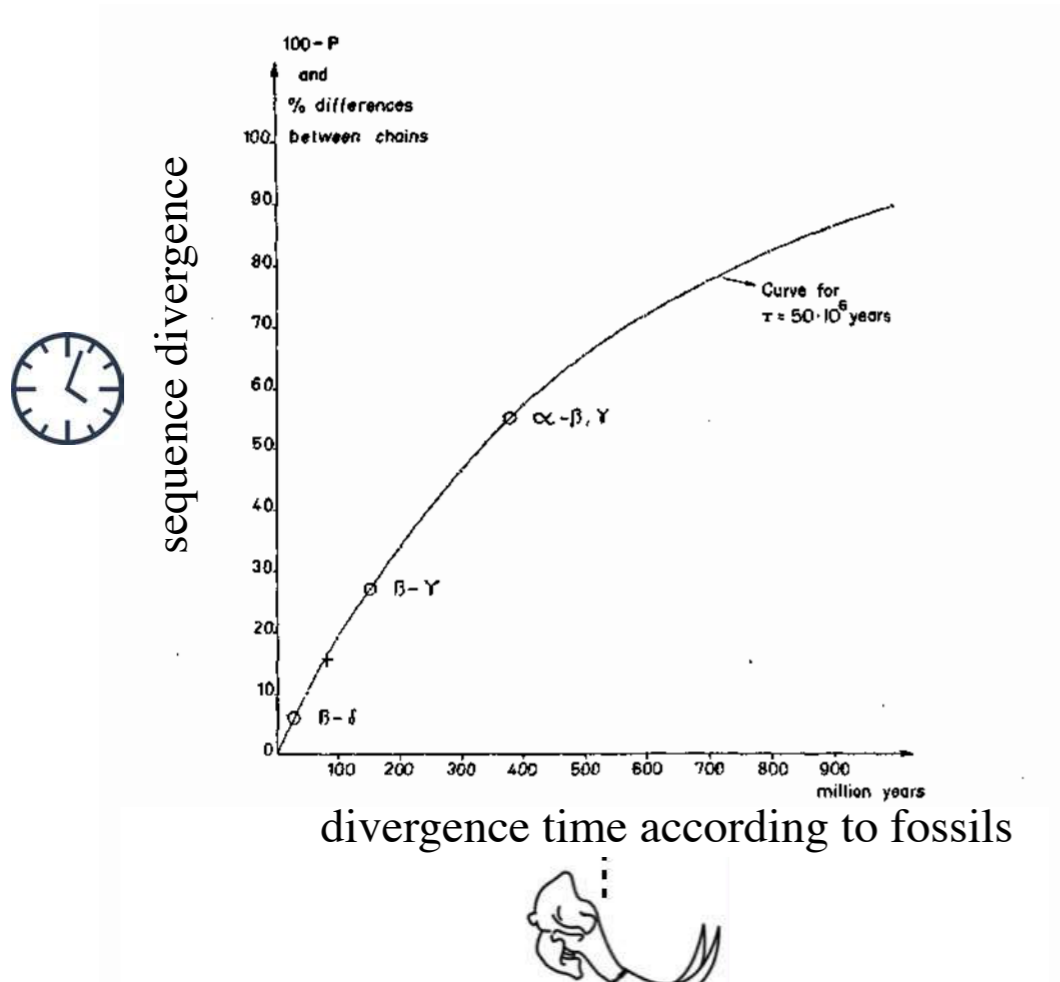


Legutóbbi jégkorszak:
30-15 ezer évvel
a jelen előtt

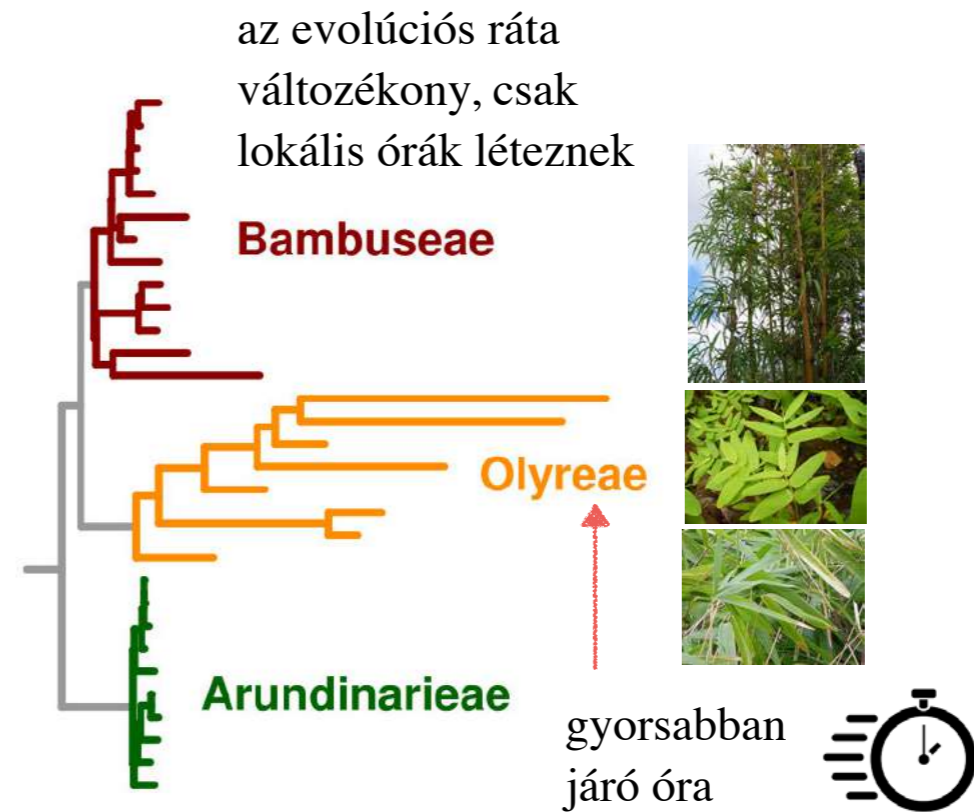


Molekuláris órák

Zukerkandl és Pauling különböző emlősök hemoglobinjainak szekvenciáját vizsgálva az talalta, hogy a **szekvenciák közötti különbségek száma az idővel arányosan nő.**



Zukerkandl and Pauling 1965



Wysocki et al. 2014 & Wikipedia

Molekuláris órák

A molekulárisóra-hipotézis globális sérülésének nem megfelelő modellezése nagy vitákhoz vezetett...

Reading the entrails of chickens: molecular timescales of evolution and the illusion of precision

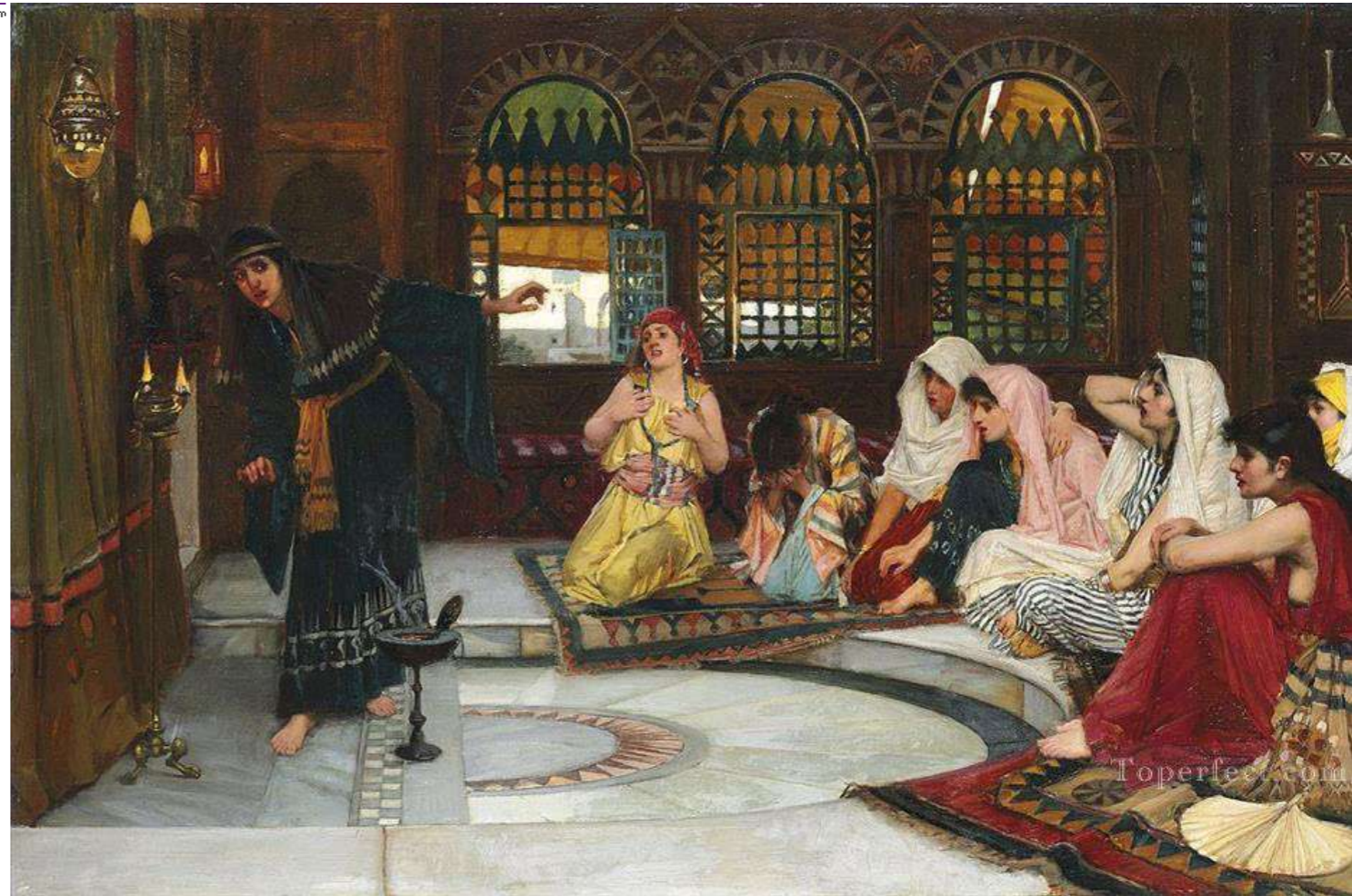
Dan Graur¹ and William Martin²

¹Department of Biology and Biochemistry, University of Houston, Houston, TX 77204-5001, USA

²Institut für Botanik III, Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf, Germany

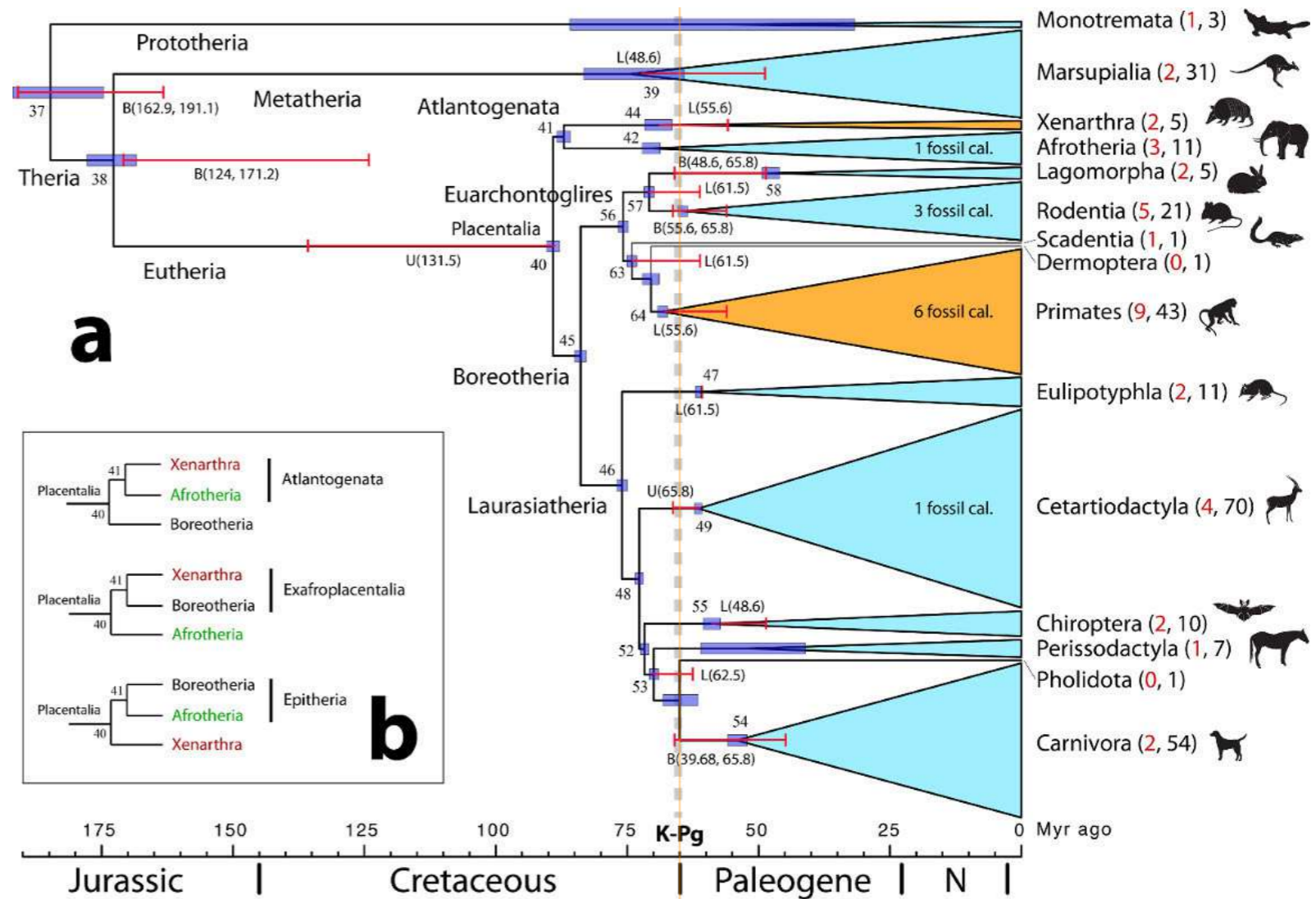
'We demand rigidly defined areas of doubt and uncertainty.' Douglas Adams

"Szigorúan meghatározott határokat követelünk a bizonytalanság és a kétség számára."



Kövek és molekuláris órák (Rocks & Clocks)

A molekuláris óra hipotézis globális sérülésének nem megfelelő modellezése nagy vitákhoz vezetett... ... mára azonban a Bayesi RMC módszerek a viták nagy részét lezárták, **fossziliák által lehorgonyzott lokális szekvencia alapú molekuláris órák segítségével.**

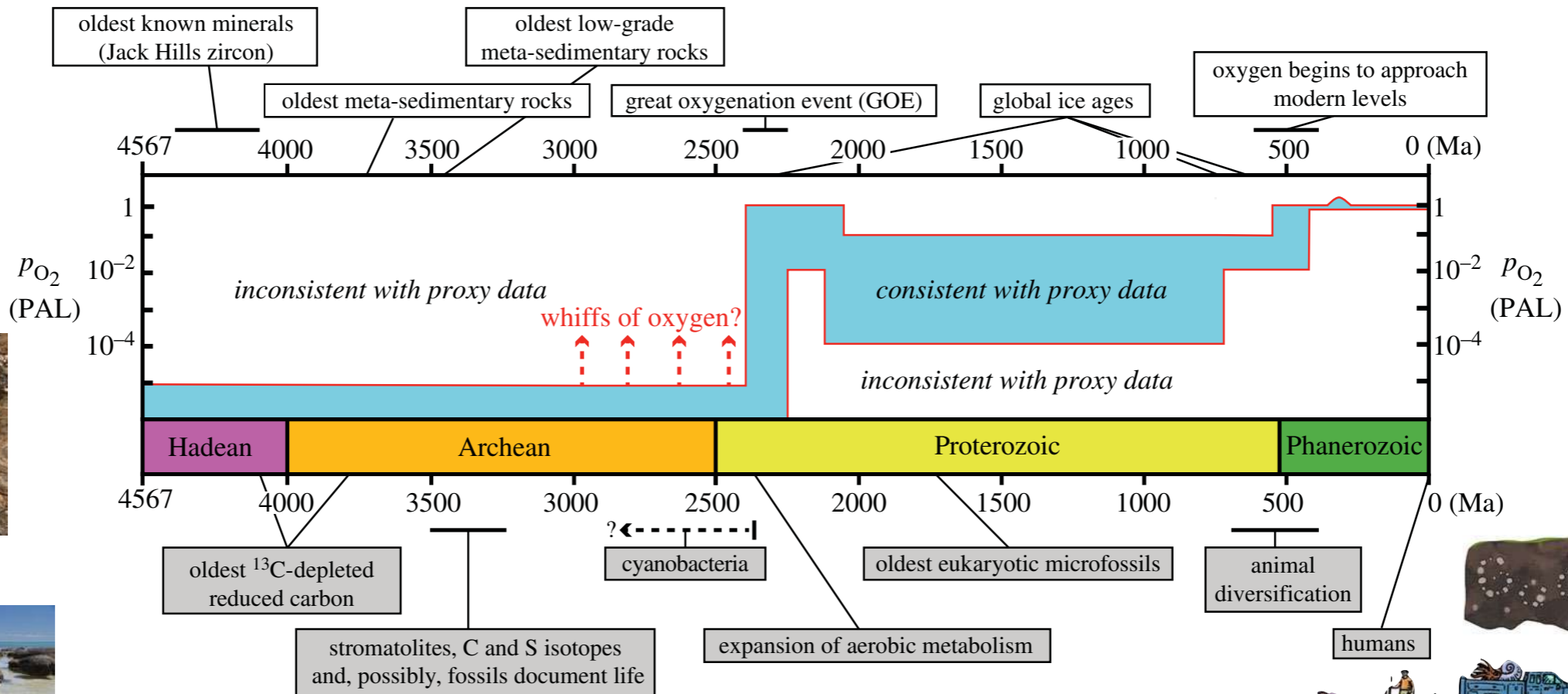


dos Reis et al. 2012



Honnan tudjuk, hogy mi hány éve élt?

A fosszíliák az egyedüli közvetlen információforrásunk az abszolút korról



sztromatolit

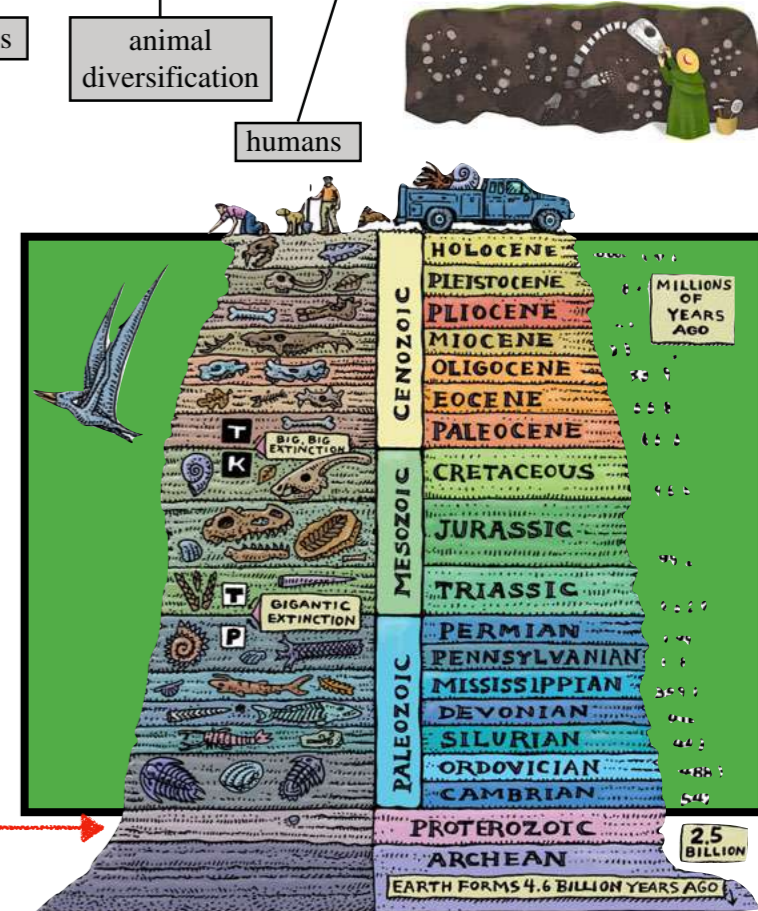
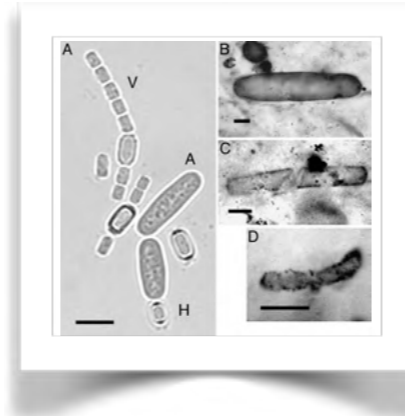
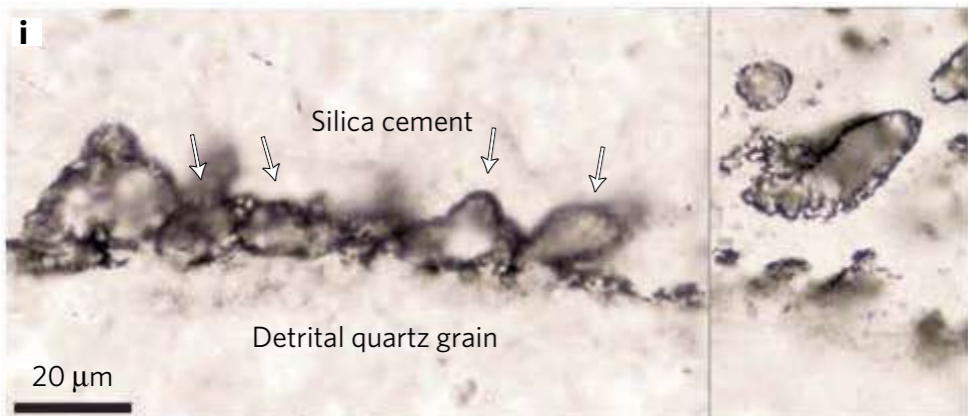


Gazdag fosszíliamaradványok ~545 millió éves korig, utána, a maradék 4 milliárd évről nagyon kevés

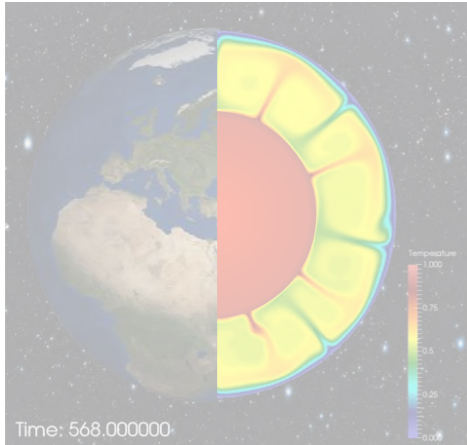
~3.4 milliárd éves sejtek

~2 milliárd éves többsejtűek

~ 1-1.5 milliárd éve



Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.

kövek és atomi-órák



2.

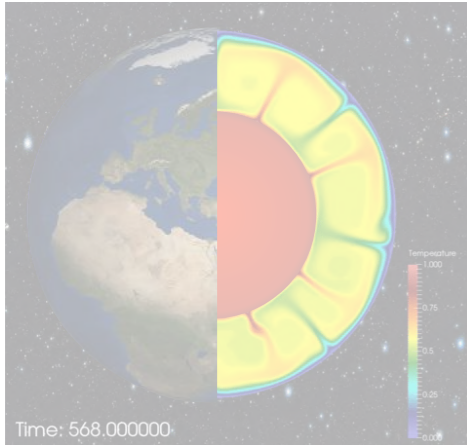
kövek és molekuláris-órák



3.

molekuláris órák és gén csere-bere

Honnan tudjuk, hogy hány éves a Föld és a földi élet?



1.

kövek és atomi-órák



2.

kövek és molekuláris-órák

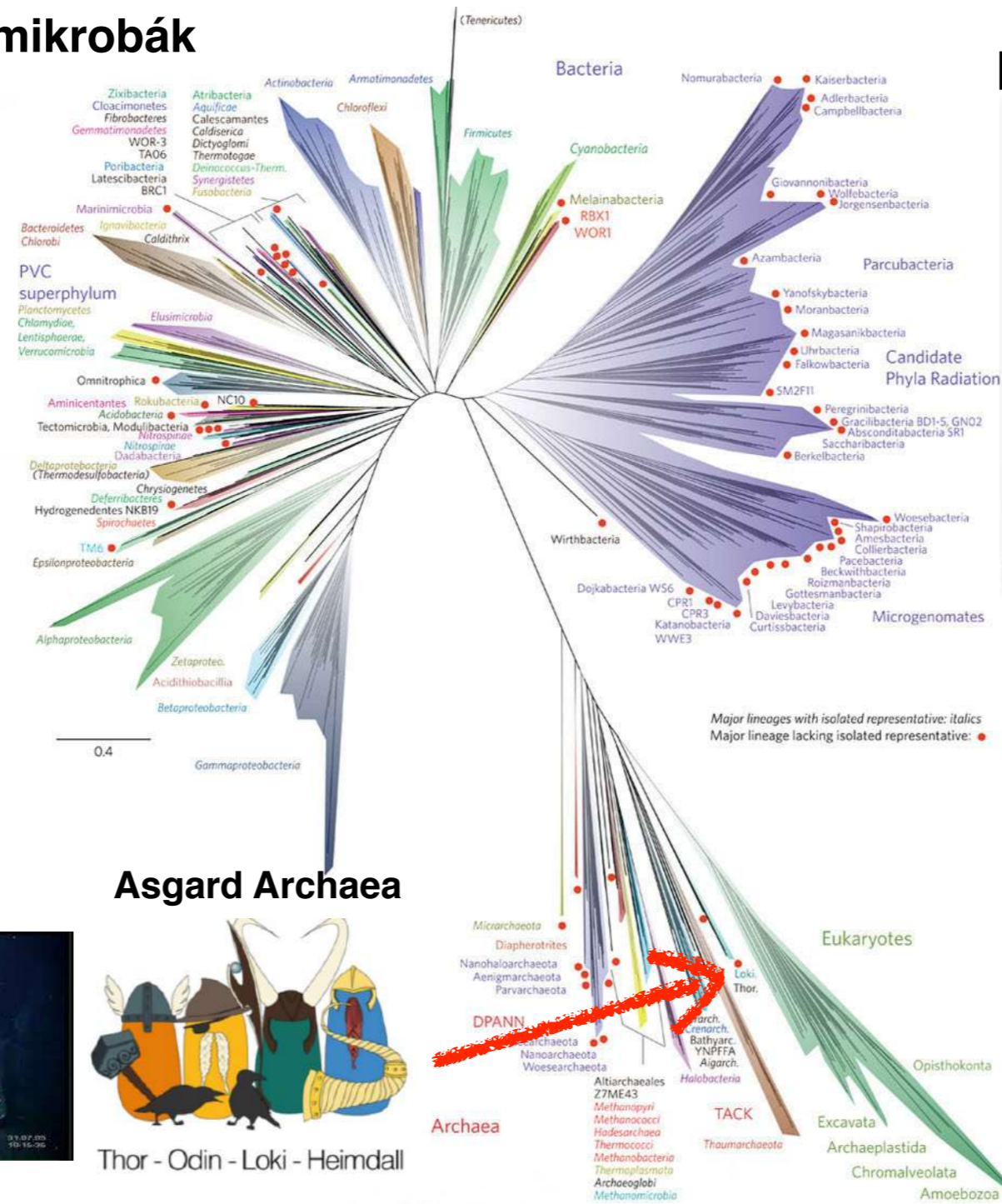


3.

molekuláris órák és gén csere-bere

A molekuláris evolúciókutatás aranykora 2018

Laborban növeszthető mikrobák

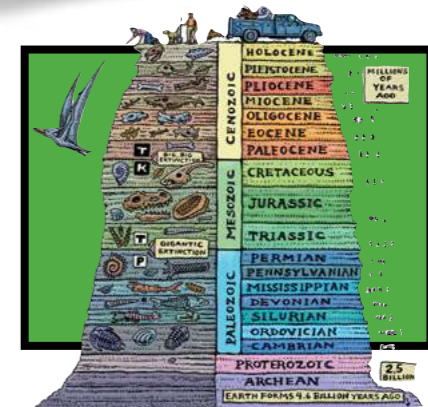
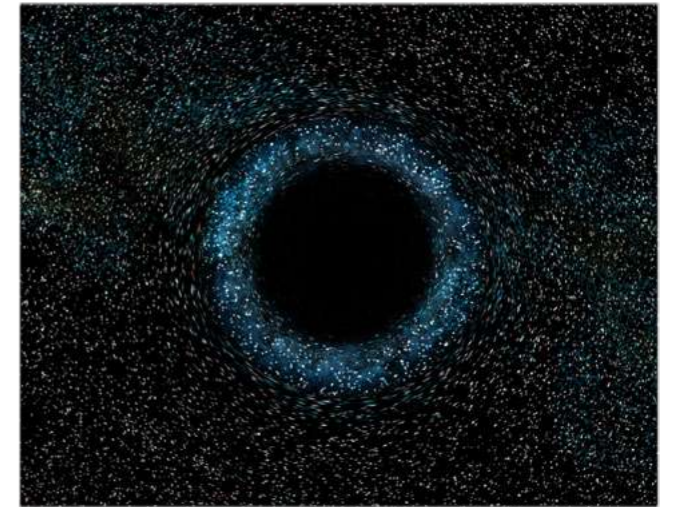


Asgard Archaea



Thor - Odin - Loki - Heimdall

Mikrobiális "Dark Matter"

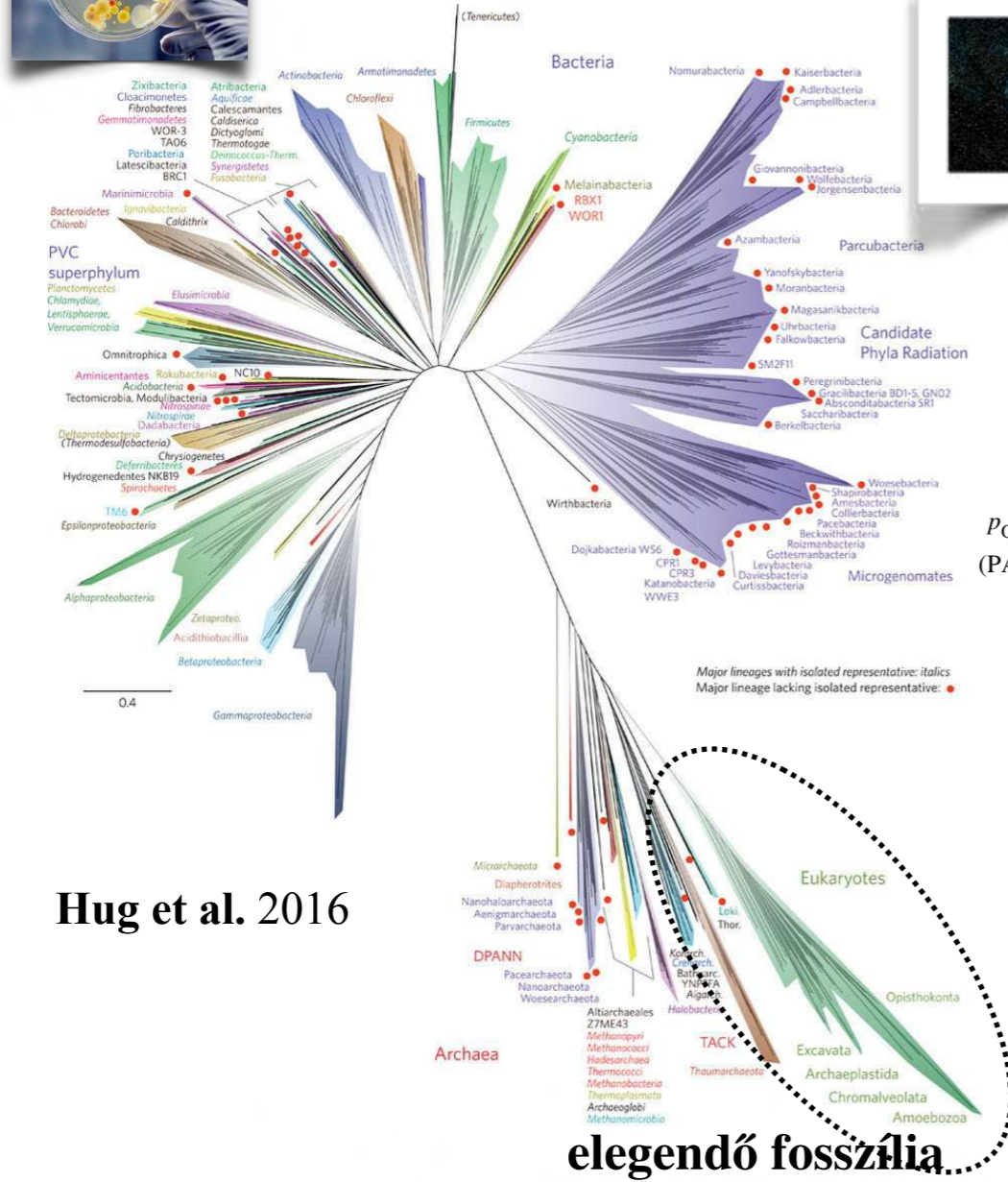


Soksejtű eukarióták



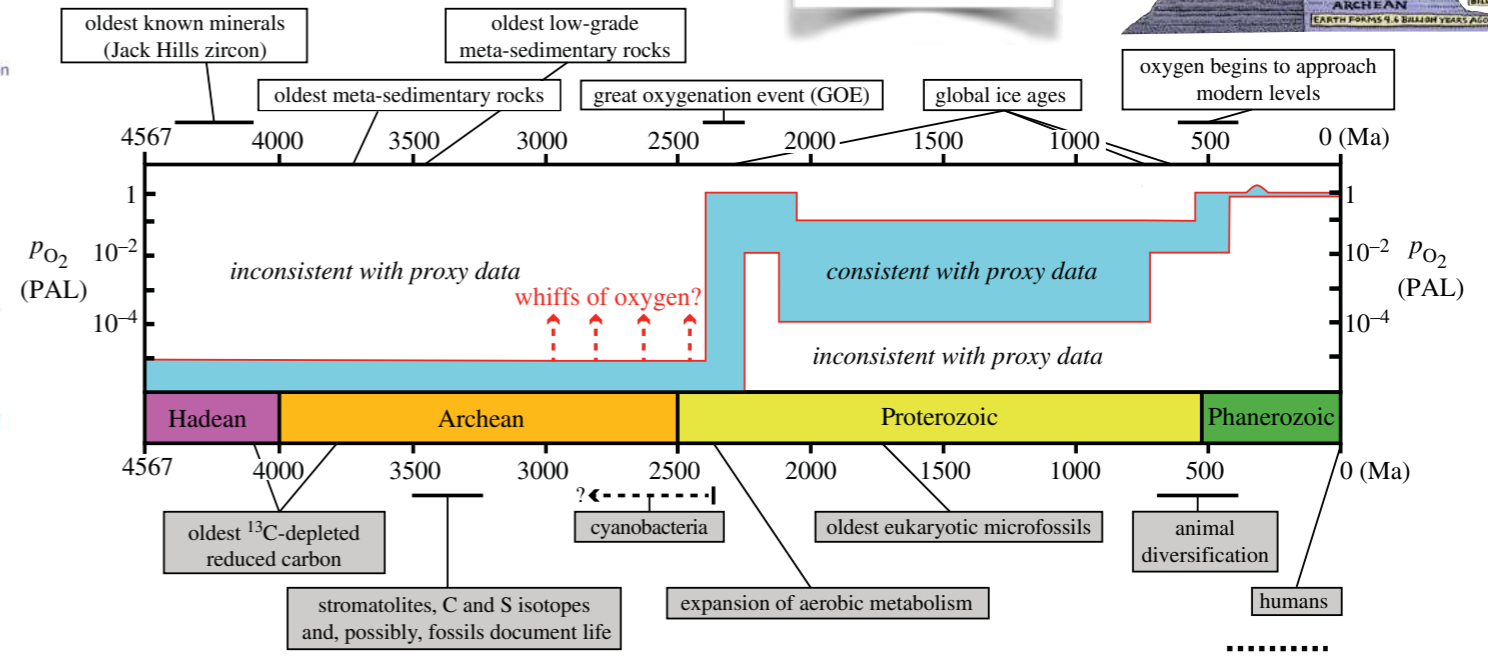
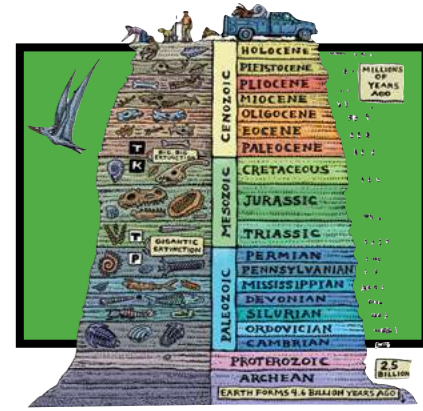
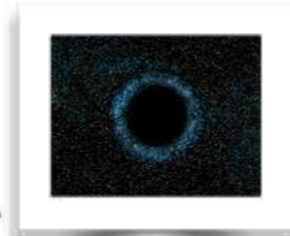
Honnan tudjuk, hogy mi hány éve élt?

Az élet diverzitásának többségére és történetének nagyobb részére **nincs elegendő fosszília**, hogy a lokális órákat kalibráljuk.



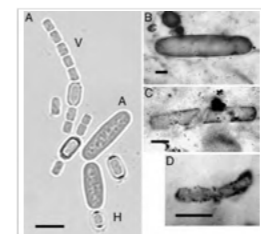
Hug et al. 2016

elegendő fosszília



Knoll et al. 2016

elegendő fosszília



Molekuláris fosszíliák (gén csereberék)

Egysejtűek között gyakori a géntranszfer, de többsejtű élőlényeknél, köztük az állatok közt is ismertek példák.

Karotinok

növények és planktonok

baktériumok és archeák

termelik



megezik

flamingók színe

emberi szem sárgafoltja



de!



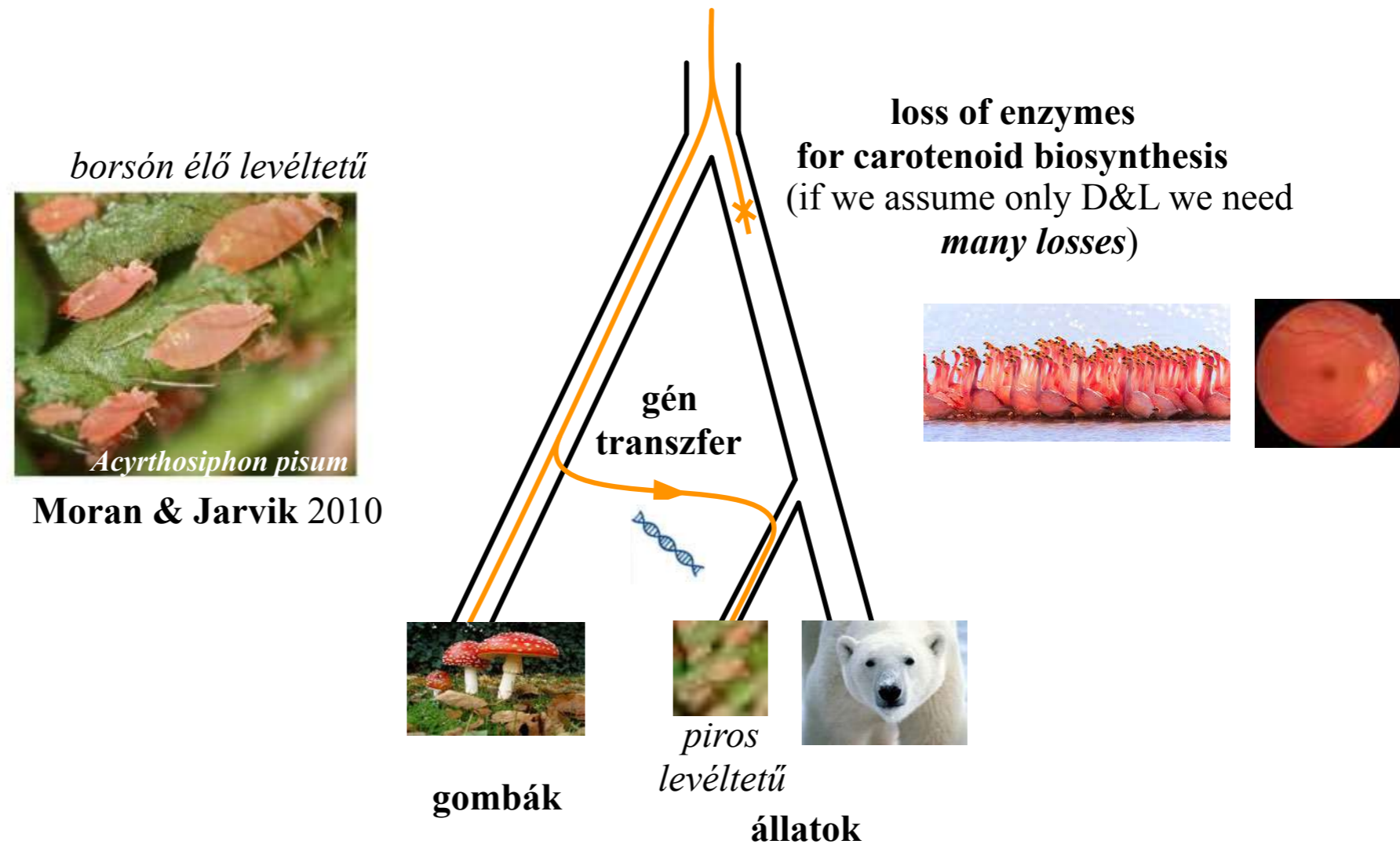
borsón élő levéltetvek egy faja is termeli!

Acyrthosiphon pisum

Moran & Jarvik 2010

Molekuláris fosszíliák (gén csere-berék)

Egysejtűek között gyakori a géntranszfer, de többsejtű élőlényeknél, köztük az állatok közt is ismertek példák.

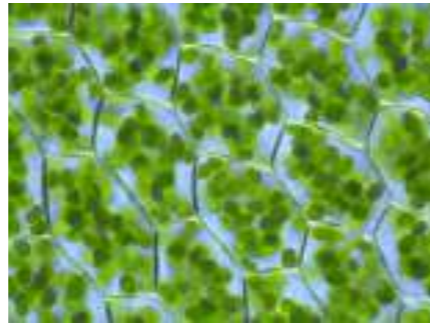


Horizontális géntranszfer állatokban

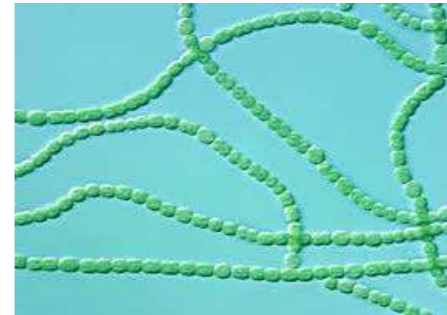
Egysejtűek között gyakori a géntranszfer, de többsejtű élőlényeknél, köztük az állatok közt is ismertek példák.

fotoszintézis

kloropasztisz



cianobaktériumok



Csendes-óceáni tengeri csiga



A kloroplasztiszok az életben maradáshoz szükséges géneket megszerezte

de!

Rumpho et al. 2008

Horizontális géntranszfer állatokban

Egysejtűek között gyakori a géntranszfer, de többsejtű élőlényeknél, köztük az állatok közt is ismertek példák.

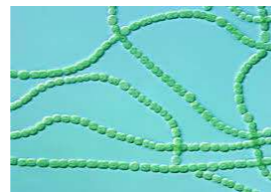
Csendes-óceáni tengeri csiga



Elysia chlorotica

Rumpho *et al.* 2008

ősi cinaobaktérium



“házasítása”

*A kloroplasztis gének
a gazdába kerülnek*

géntranszfer



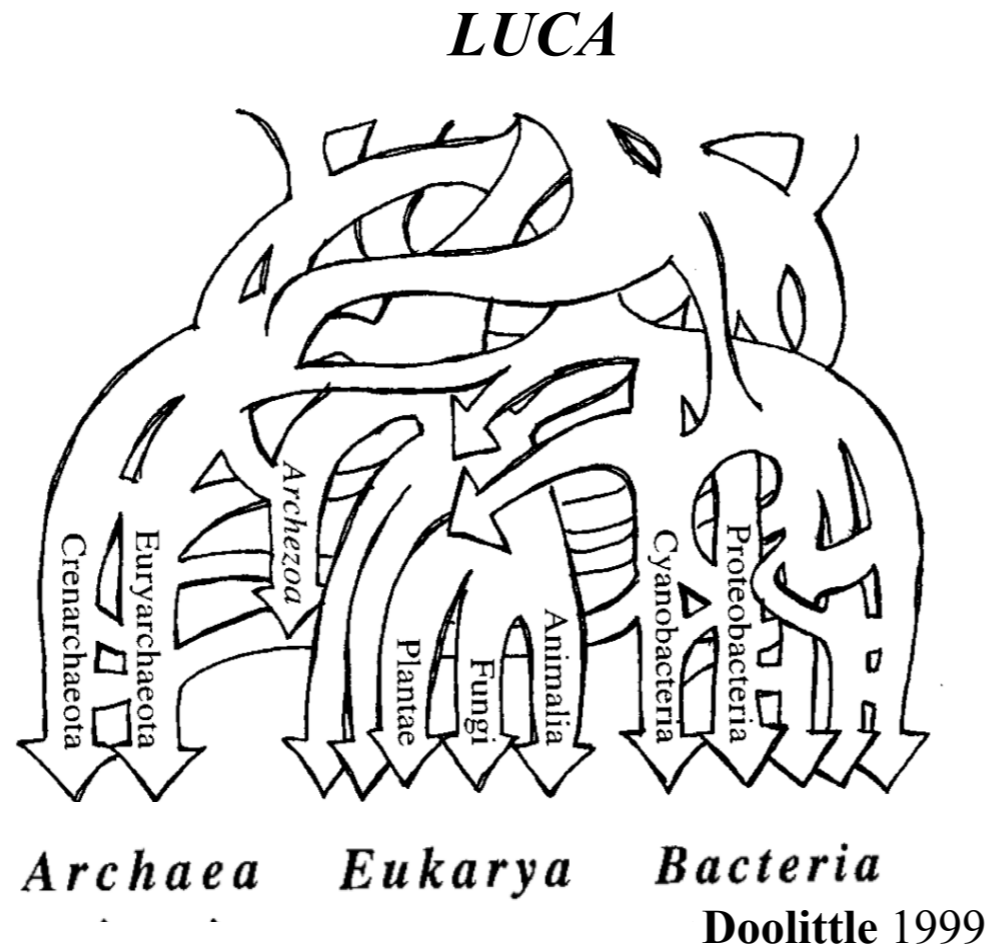
fotoszintetizáló
csiga

növények és algák

állatok

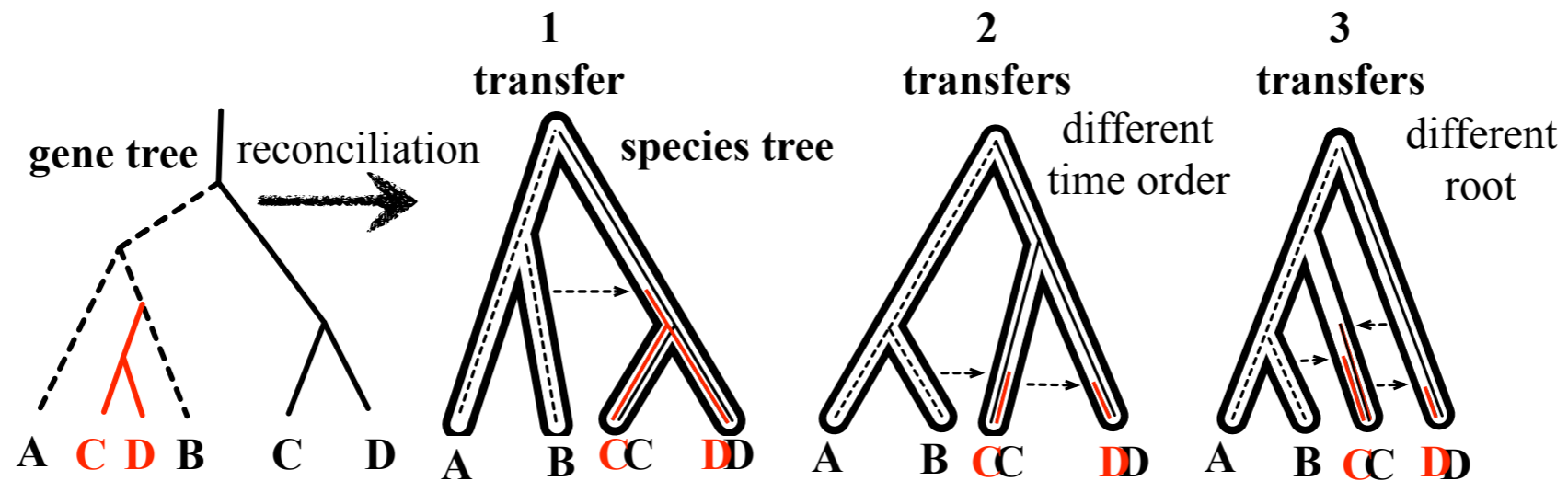
Horizontális géntranszfer mint zaj

A géntranszfer ellentmondásos géntörténeteket produkál, a karotingének családjában a levéltetű-gén közeli rokona a gombáénak. A transzfer gyakoriságának fényében felmerült, hogy túl sok a zaj a fajfa rekonstrukciójához.



Horizontális géntranszfer mint információ

A génfák topológiájában kódolt transzferek “*molekuláris fossziliák*”, amelyek a fajfa időrendjét rögzítik.

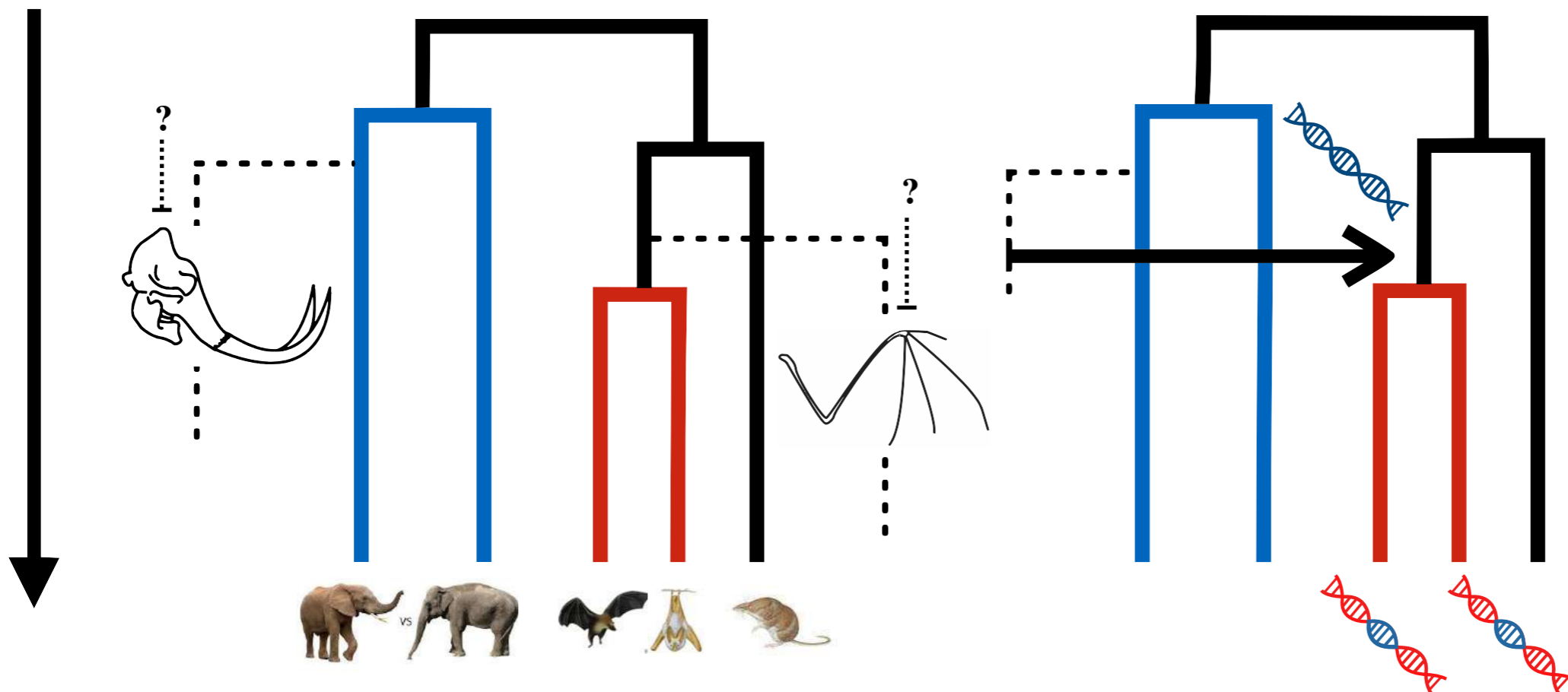


Molekuláris fosszíliák (... genes from other species?)

A fosszíliák közvetlen bizonyítékot nyújtanak a minimum korról, de csak közvetett bizonyítékot a maximum korról.

A transzferek nem adnak információt az abszolút korról, de közvetlen bizonyítékot nyújtanak a relatív korokról.

Time



Rocks, clocks and genes from other species

Transzferek segítségével datált fák. Mindhárom ábra 5000 minta alapján készült; mind kompatibilis a transzferekből számolt relatív korszakokkal.

