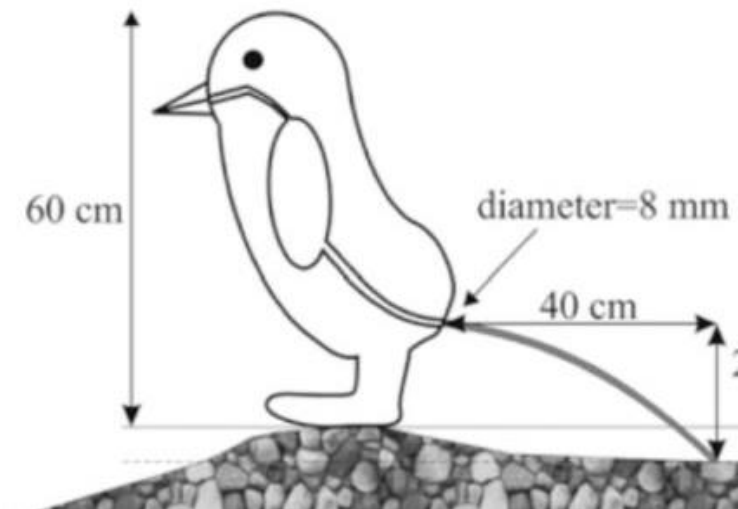


Miért élünk jégkorszakban?



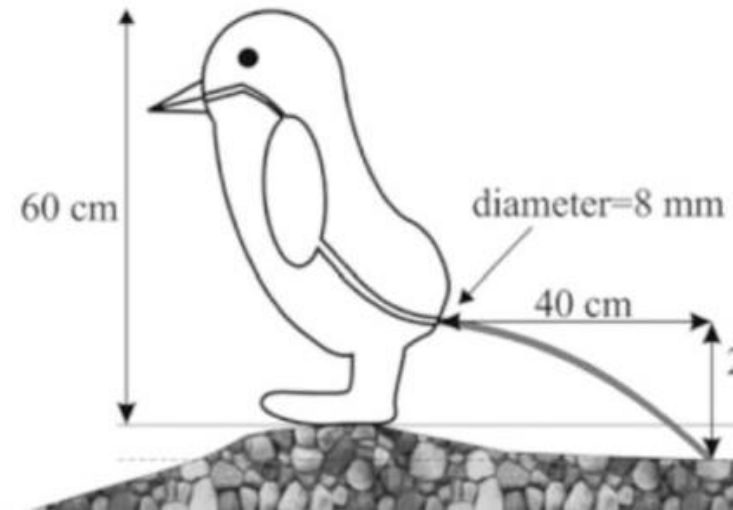
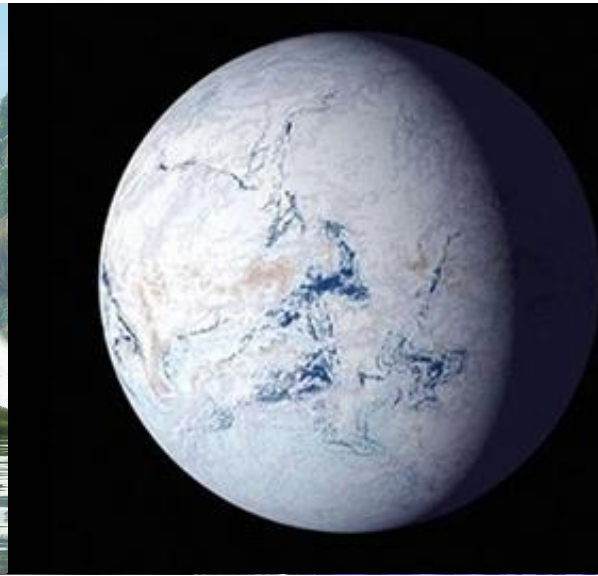
Vincze Miklós

ELTE Fizikai Intézet Kármán laboratóriuma, MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

ELTE „Az atomoktól a csillagokig” sorozat

2022. január 13.

Miért, jégkorszakban élünk???



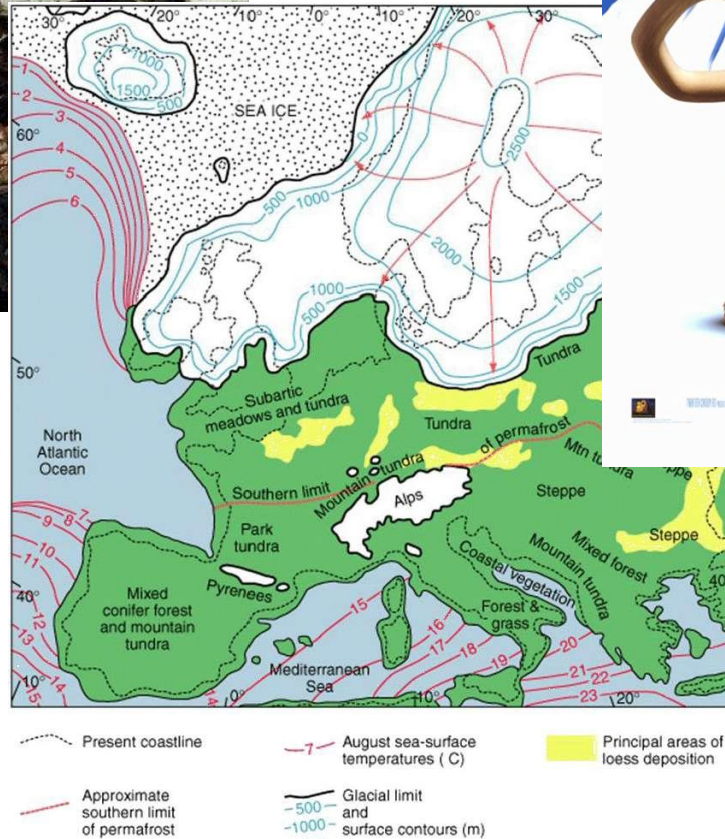
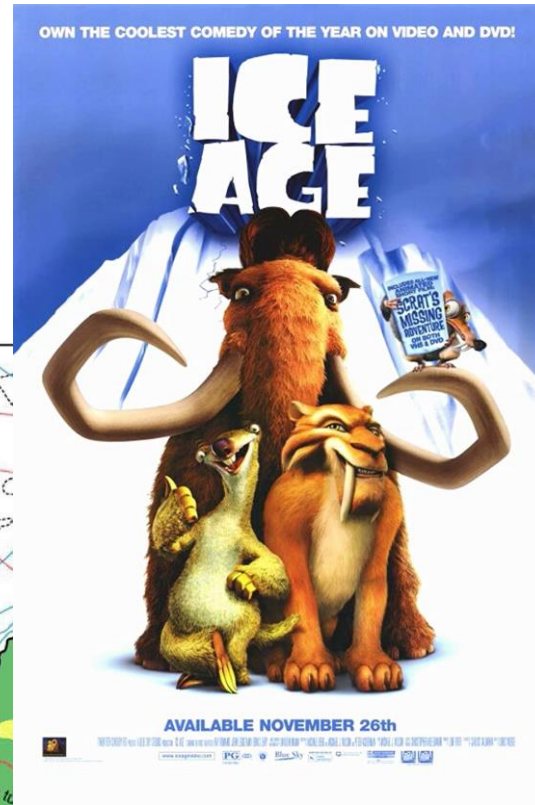
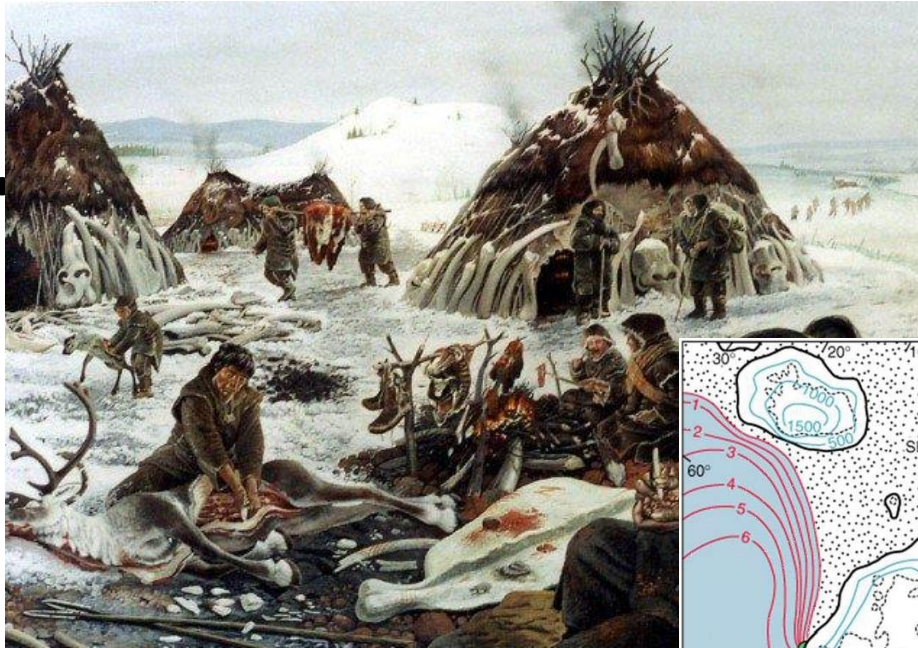
Vincze Miklós

ELTE Fizikai Intézet Kármán laboratóriuma, MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

ELTE „Az atomoktól a csillagokig” sorozat

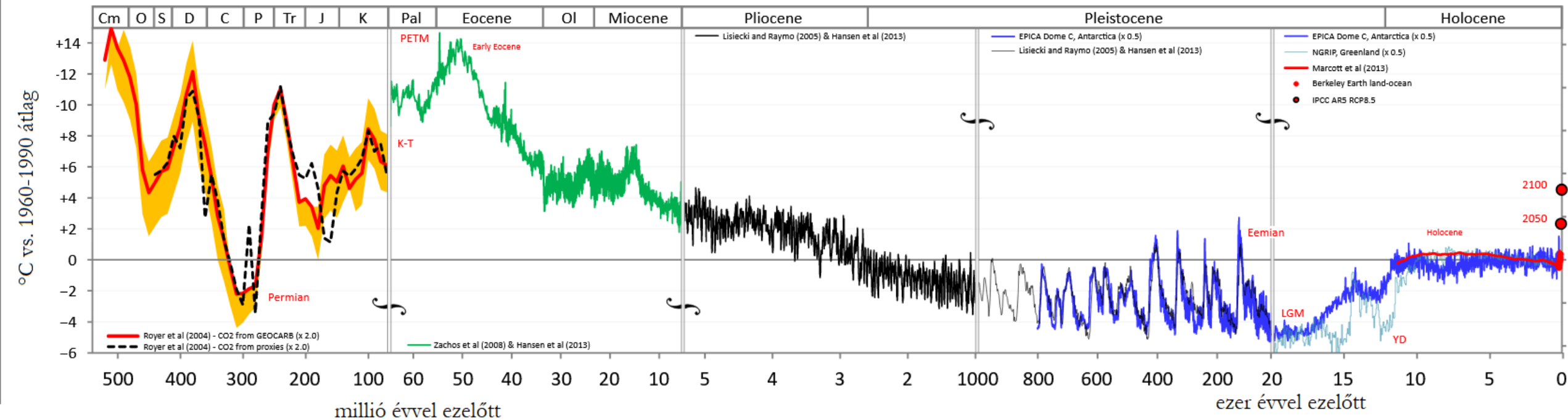
2022. január 13.

Attól függ, mit jelent az, hogy „jégkorszak”.



Egy biztos: az éghajlat (bármilyen legyen is az) folyamatosan változik.

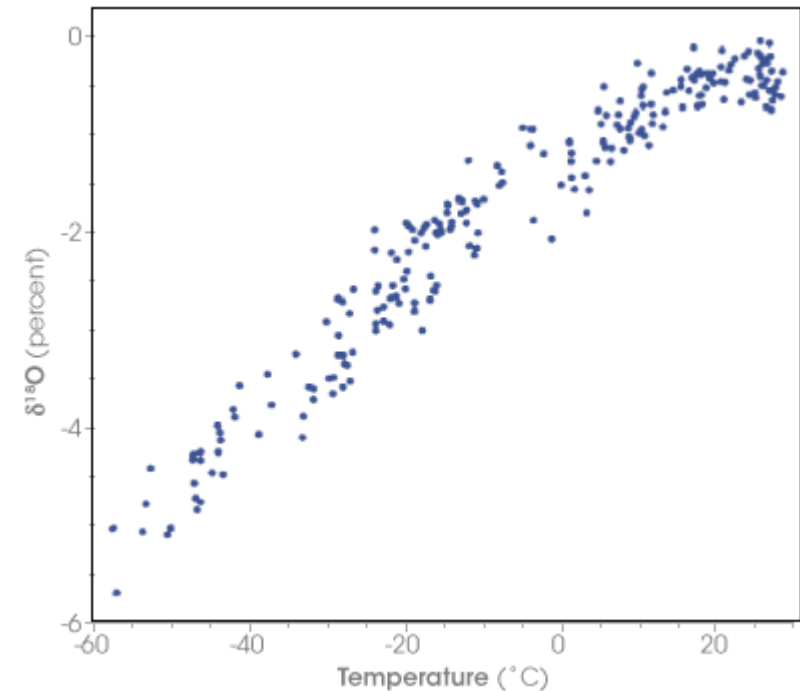
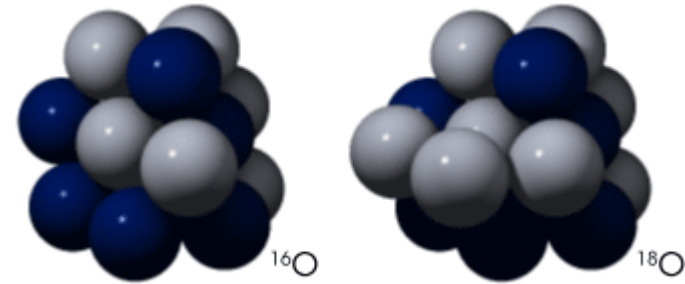
- A Föld átlaghőmérsékletének időfejlődése (forrás: NOAA)



Mindezt honnan tudjuk?

- Például: O16 – O18 izotóparányokból.
- A nehezebb izotópot tartalmazó víz elpárologtatásához több energia kell, „melegben” több kerül a levegőbe belőle, mint „hidegben”. Viszont könnyebben is „esik le”, vagyis az Egyenlítőtől a sarkvidék felé áramolva hamarabb (közelebb) kihullik, ha hidegebb van... **bonyolult**.

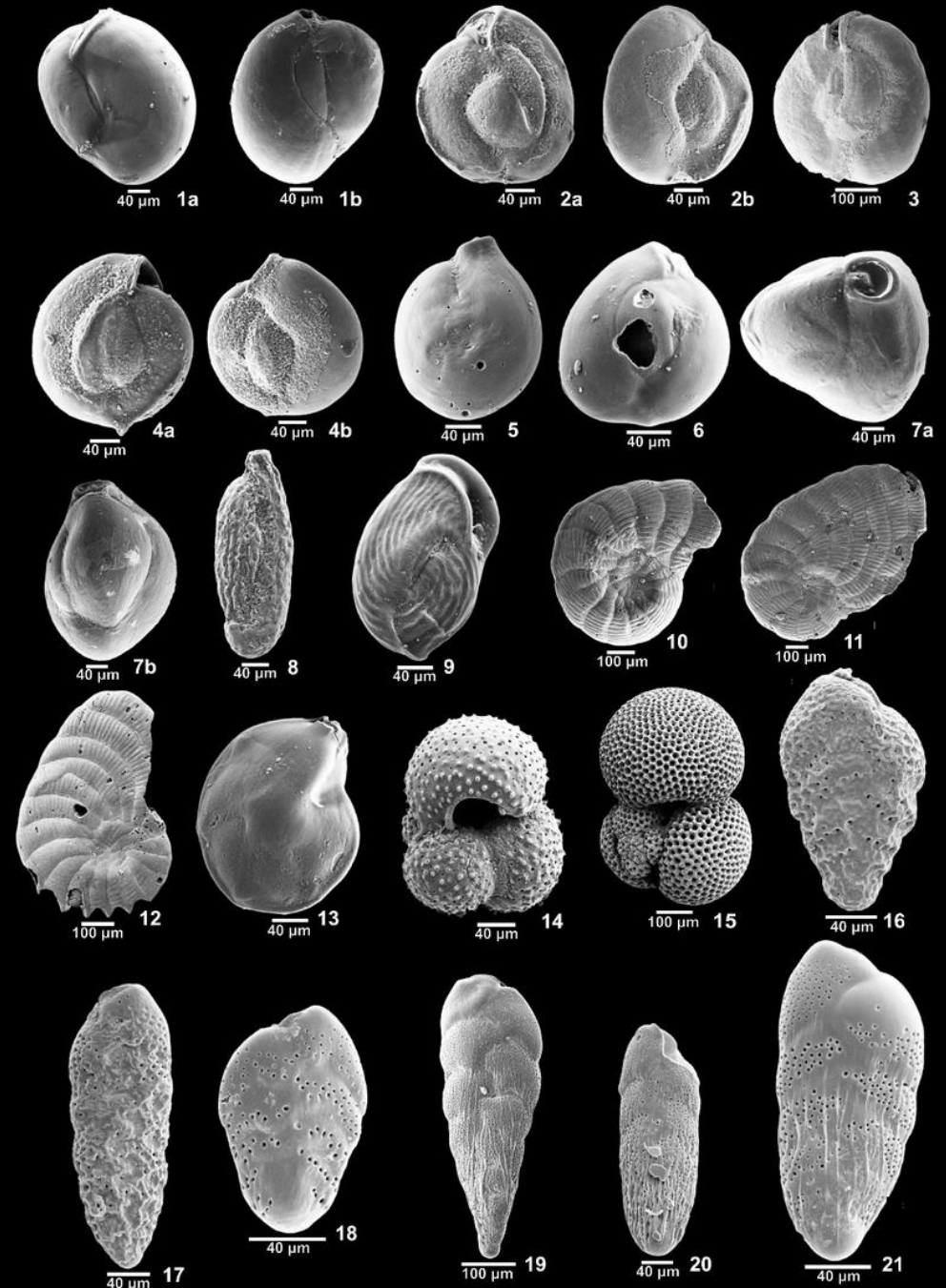
(Forrás: NASA Earth Observatory)



Mindezt honnan tudjuk?

- Állatkák (*foraminifera*) is beépítik magukba!
- Lesüllyednek a tengerfenékre, amikor meghalnak.
- A mikrofossziliák rétegekbe rendeződnek (mélységük ~ koruk).
- A helyi „guruk”, akik ezt értik:
Prof. Pálfy József, Nyerges Anita
(Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, ELTE TTK)

(Kép: Elshanawany et al., 2011, doi: [10.2113/gsjfr.41.4.326](https://doi.org/10.2113/gsjfr.41.4.326))



Tanmese a „hógolyó-Földről”

„Mélységes mély a múltnak kútja”

- A 720-650 millió évvel ezelőtti klímáról is mondhatunk valamit, de az **elég meglepő**.
- Csakis jégmozgással, pl. gleccserek jelenlétével magyarázható nyomok olyan helyekről, mint például Namíbia.

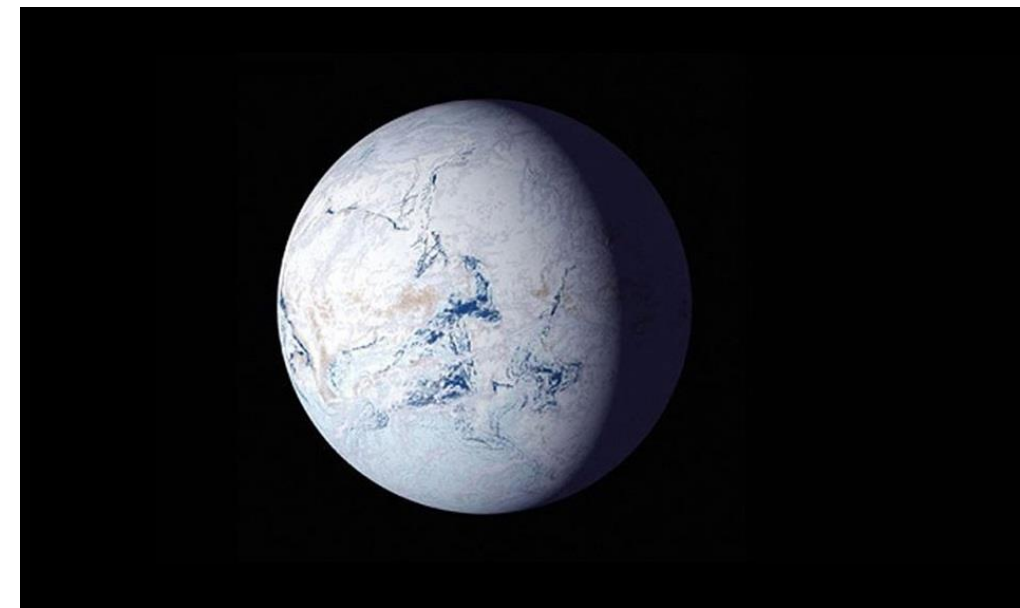
([Snowball Earth: Joseph L. Kirschvink nyelvi leleménye, 1992](#))

Mitől?

- **Nagy** vulkánkitörések 717-719 millió évvel ezelőtt.
(vö. Tambora, 1815 → „nyár nélküli év” 1816)
- Naptevékenység?



Paul Hoffman



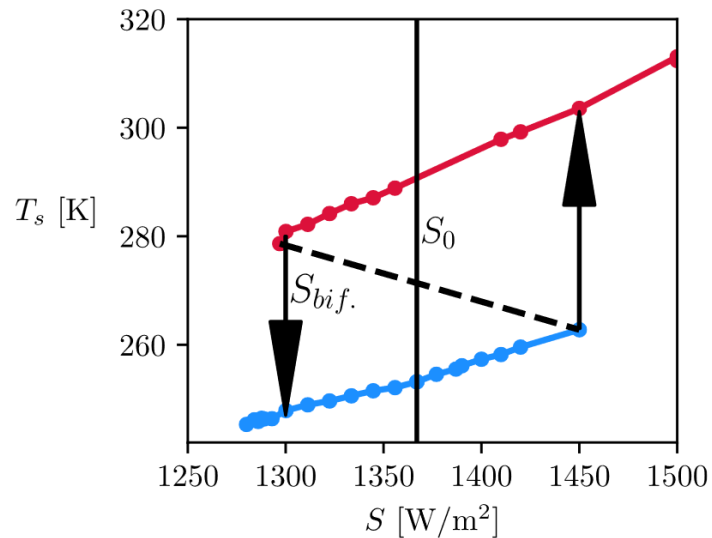
Tanmese a „hógolyó-Földről”

„Mélységes mély a múltnak kútja”

- Jégalbedó-visszacsatolás:

hideg → jeges → fehér → visszaveri a fényt → még hidegebb

- **Hiszterézis!** Ha már egyszer belekerültél, nem mész vissza ugyanúgy.
- Pl. a „Nap-hajtotta” forgatókönyv esetén (forrás: Kaszás, Haszpra & Herein, 2019; BKK)



Tanmese a „hógolyó-Földről”

„Mélységes mély a múltnak kútja”

- Miért nem fagyott le az aljáig?
- Szerencsére itt a Hold! **Árapályfűtés.**

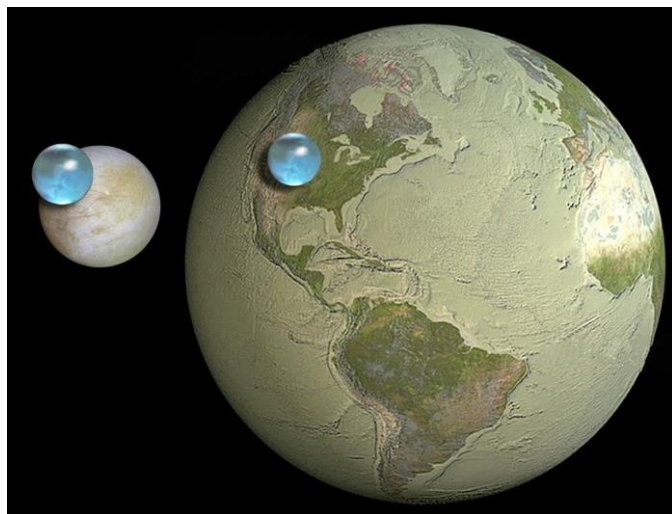
(kép: NASA)



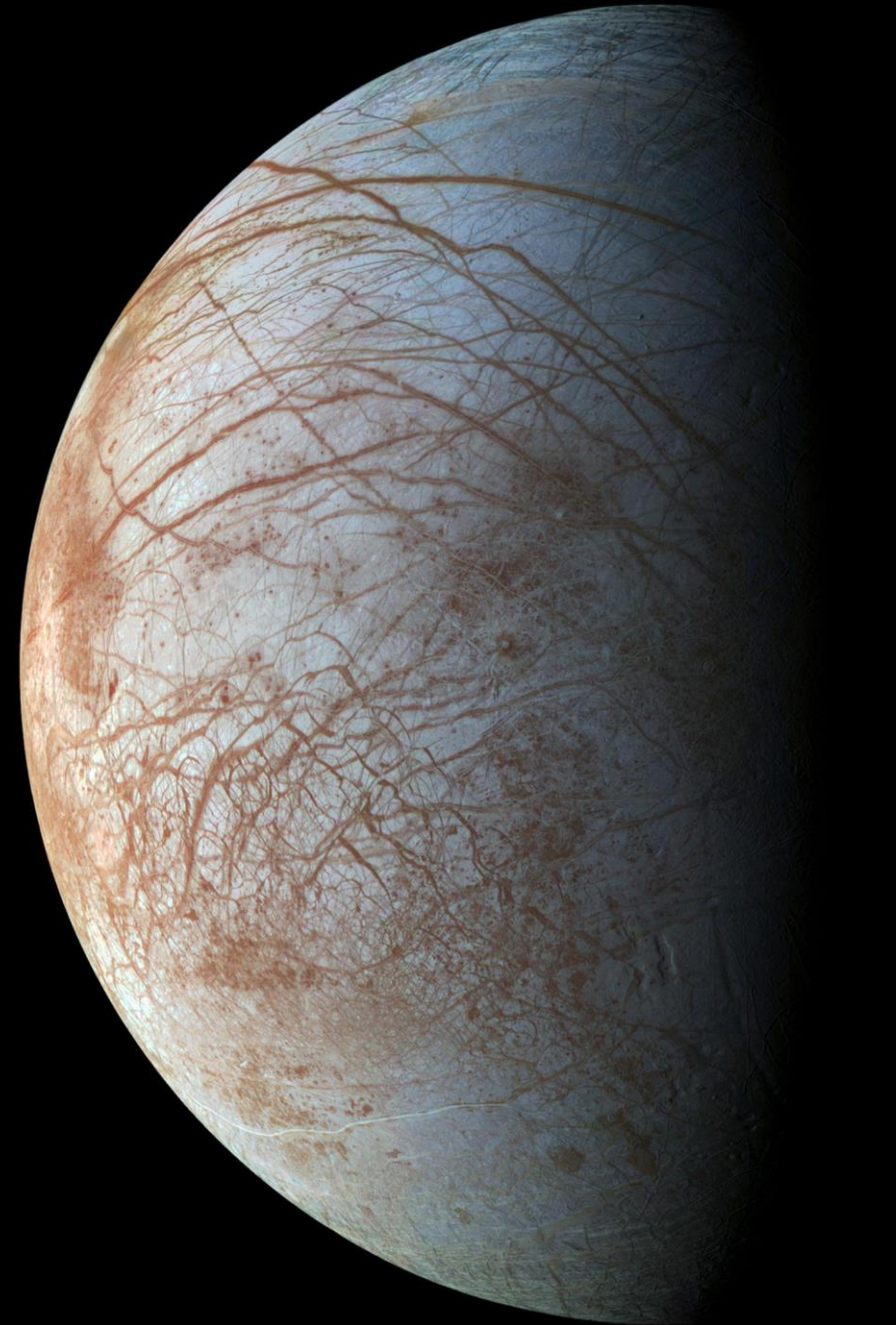
Tanmese a „hógolyó-Földről”

„Mélységes mély a múltnak kútja”

- Szerencsére itt a Hold! **Árapályfűtés.**
- Ma is van ilyen „hógolyó-égitest”, **az Europa.**
- A vékony jégkéreg alatt 100 km vastag óceán (több víz, mint a Földön).
- Nem fagy be, mert a Jupiter „aláfűt”.



(kép: NASA)

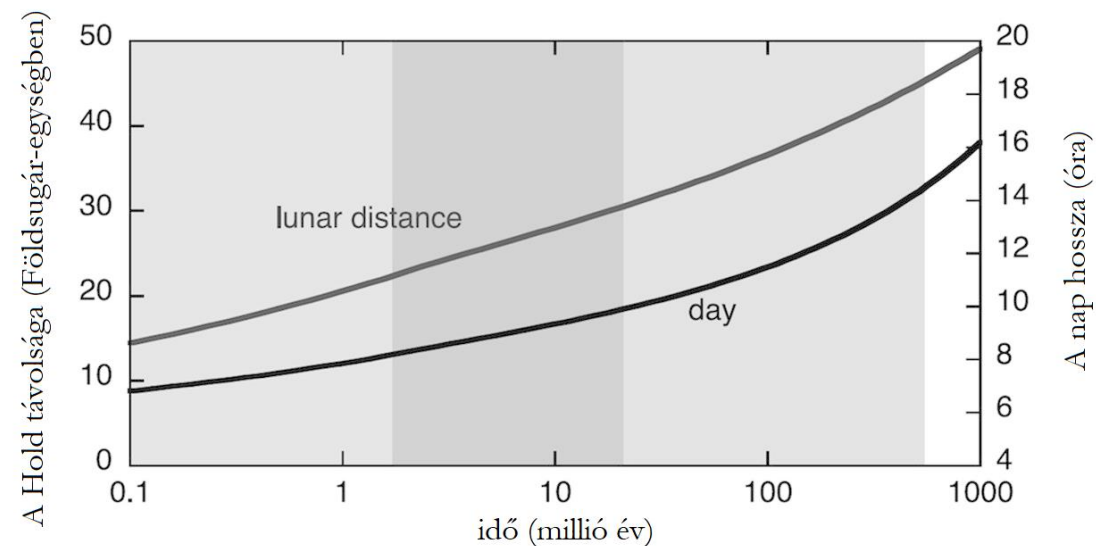


Tanmese a „hógolyó-Földről”

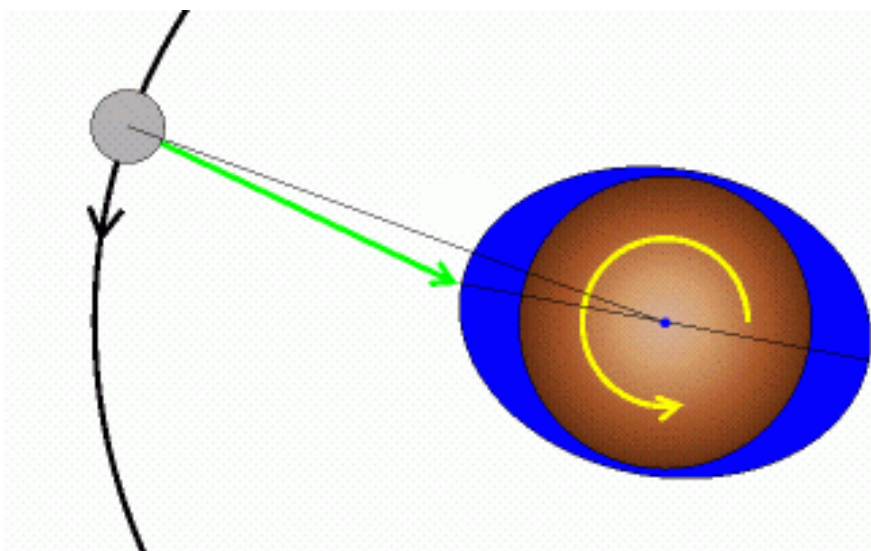
„Mélységes mély a múltnak kútja”

Ráadásul a Hold még távolodik is (az Apollo-lézertükrök szerint évente kb. 3 cm-t)

- Vagyis a prekambriumban sokkal közelebb volt,
- még nagyobb árapály!

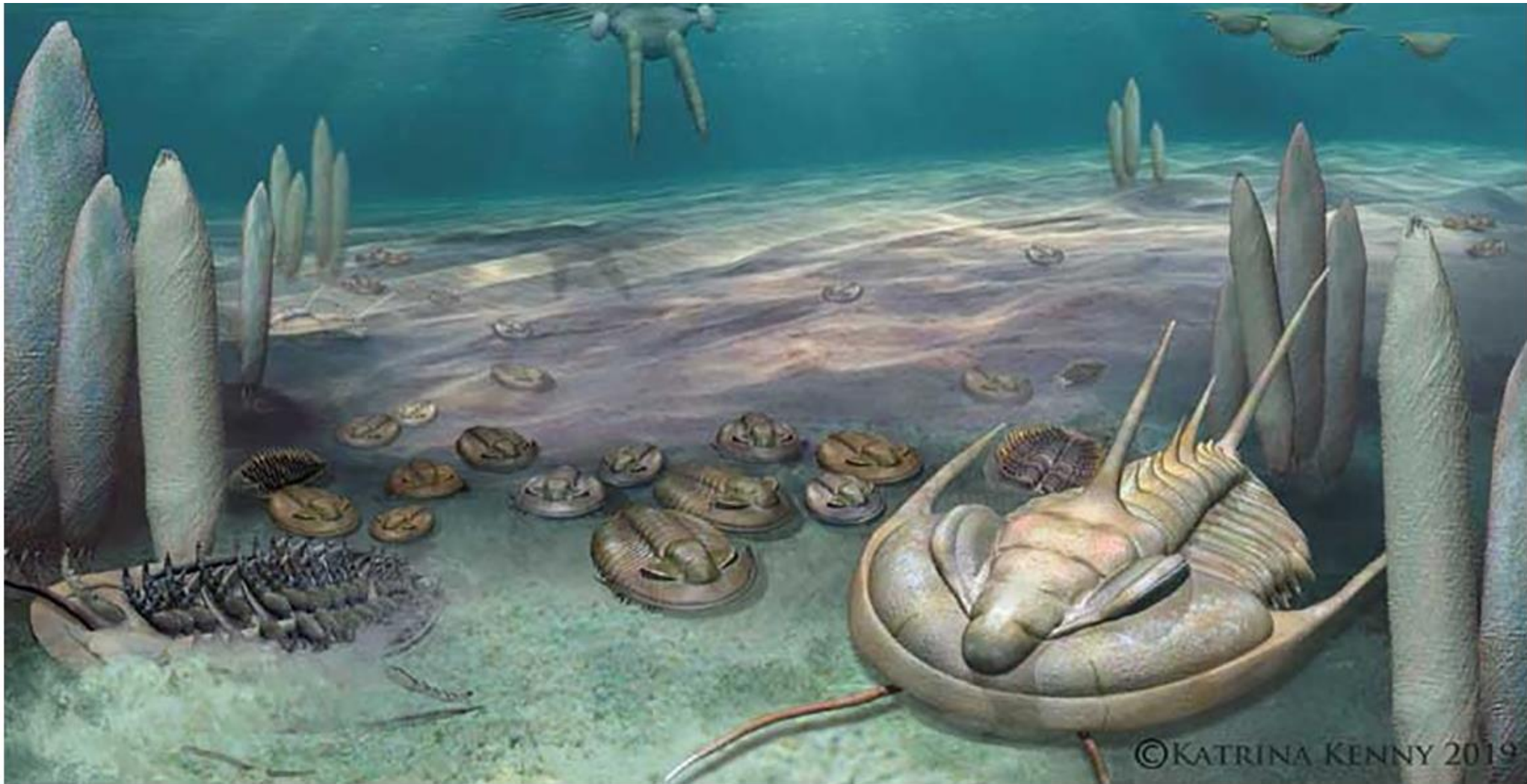


Catling & Kasting, 2017



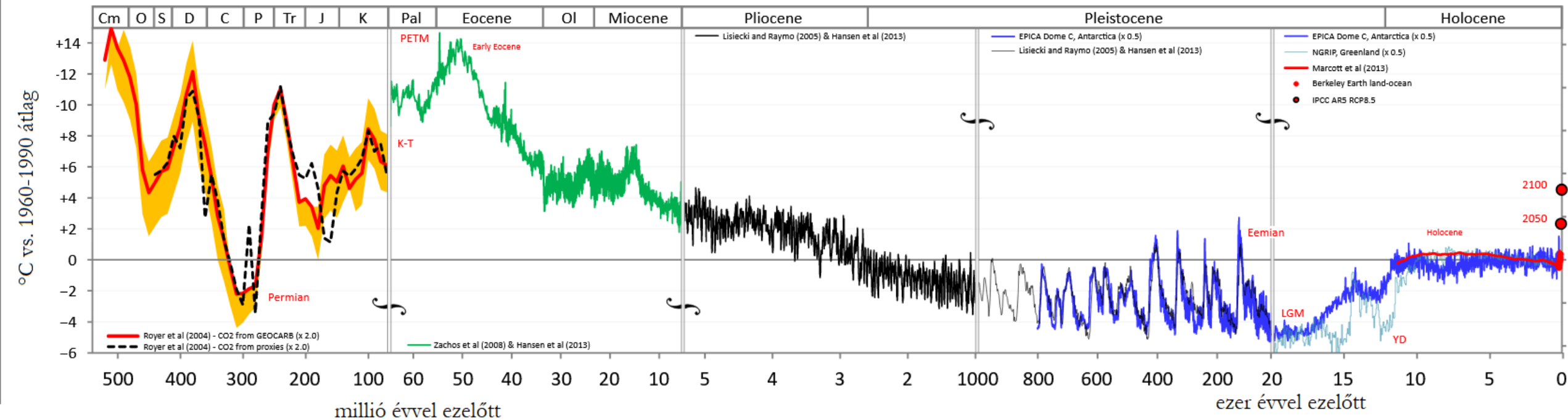
Tanmese a „hógolyó-Földről”

A hógolyó-Föld után következett a kambriumi „robbanás”!



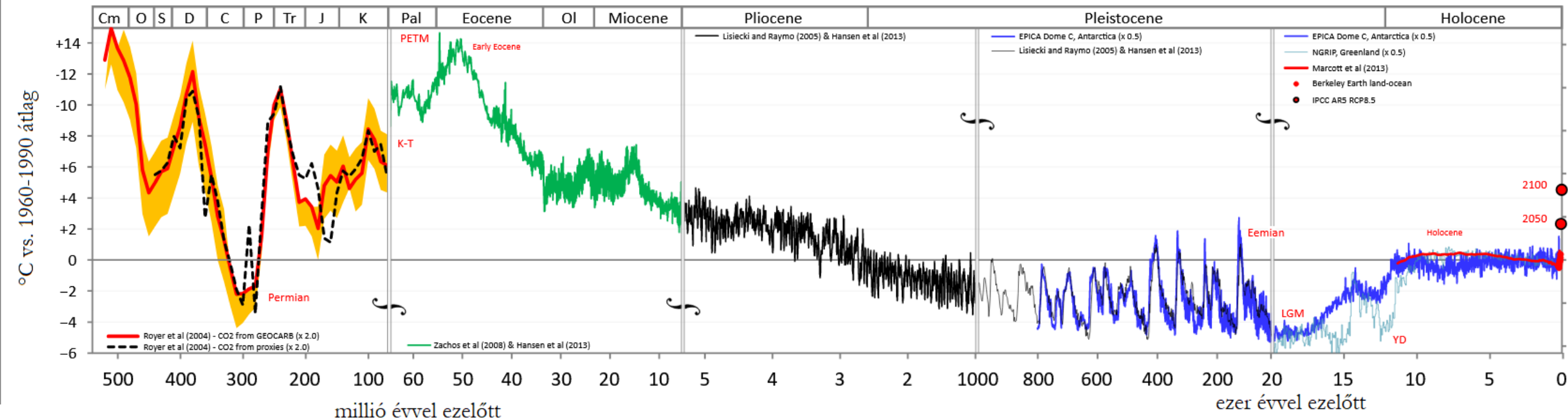
Egy biztos: az éghajlat (bármilyen legyen is az) folyamatosan változik.

- A Föld átlaghőmérsékletének időfejlődése (forrás: NOAA)



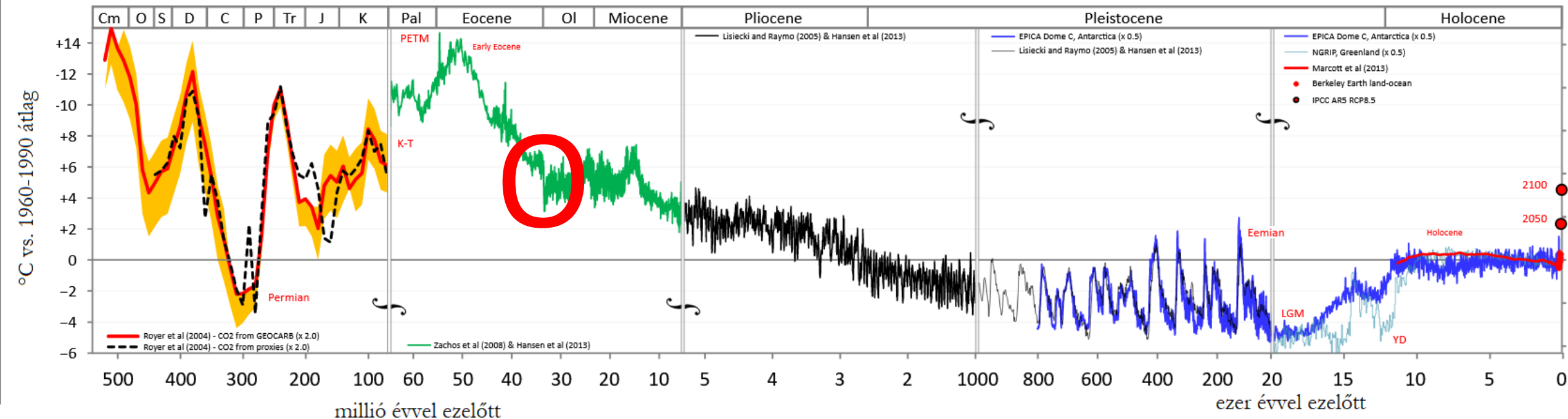
Egy biztos: az éghajlat (bármilyen legyen is az) folyamatosan változik.

- Jégkorszak: amikor a Föld sarkvidékeinél létezik állandóan fagyott terület.



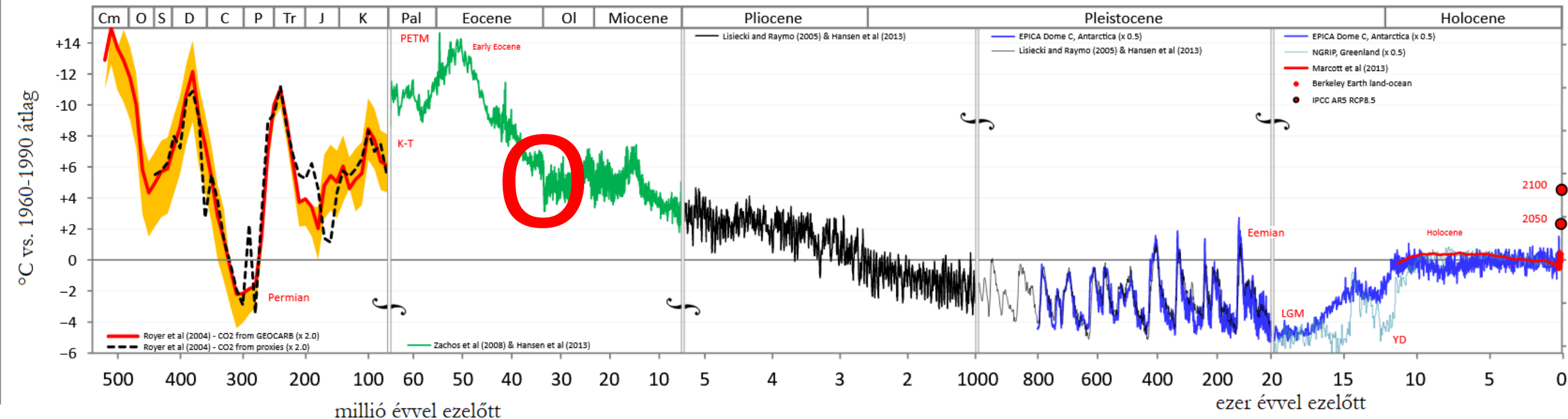
Egy biztos: az éghajlat (bármilyen legyen is az) folyamatosan változik.

- Jégkorszak: amikor a Föld sarkvidékeinél létezik állandóan fagyott terület.



Egy biztos: az éghajlat (bármilyen legyen is az) folyamatosan változik.

- Eocén-oligocén korszakhatár (kb. 34 millió éve): befagy az Antarktisz!

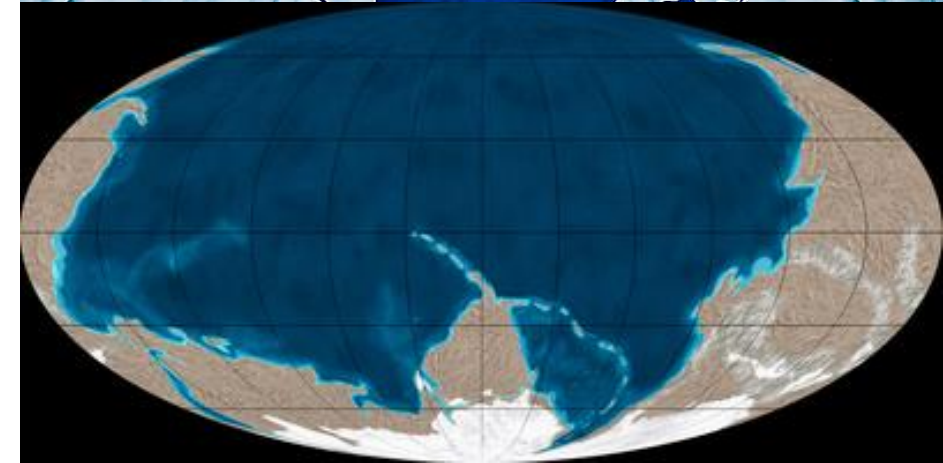


Pedig már a kréta-korban ott volt, ahol most...

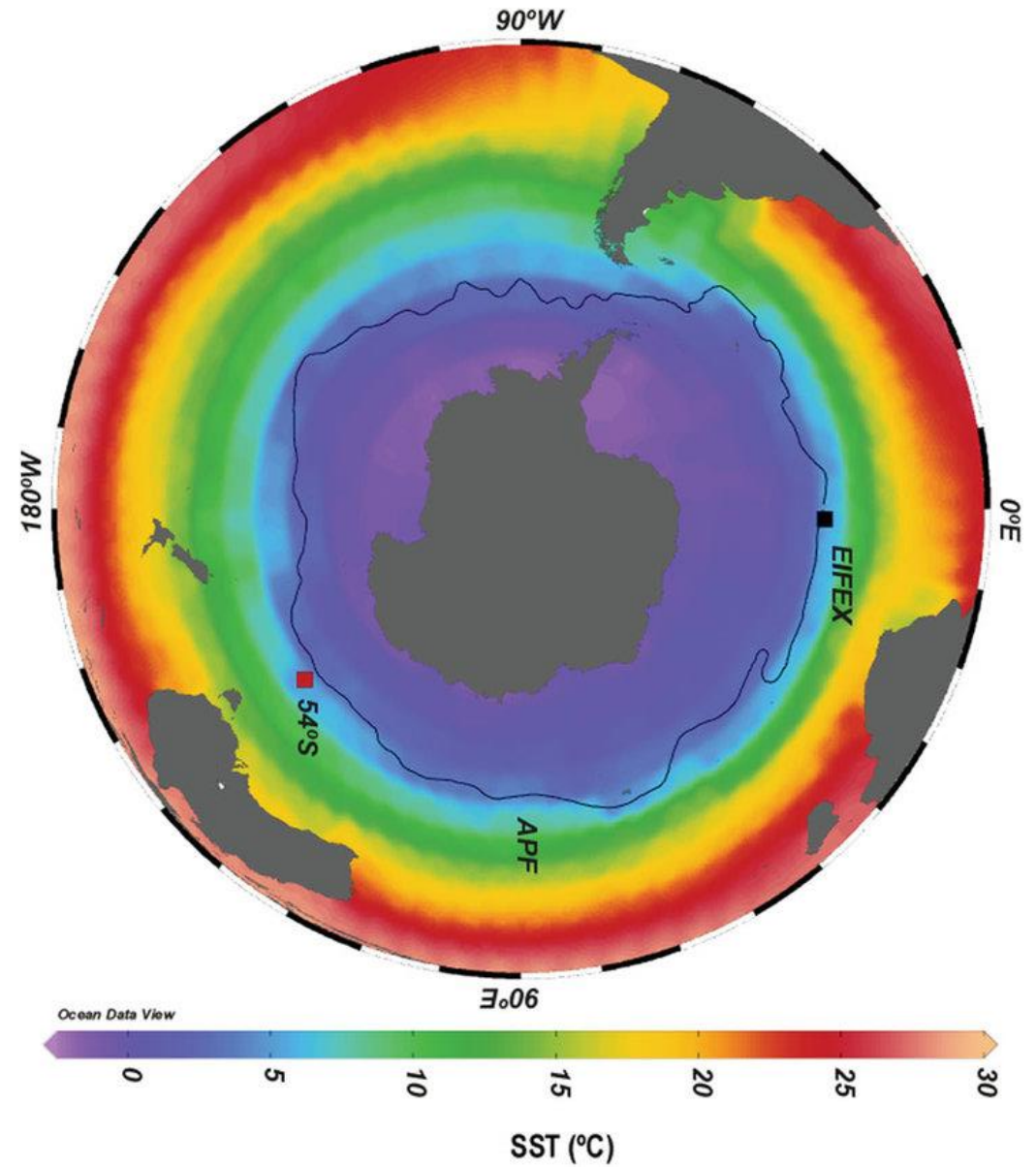
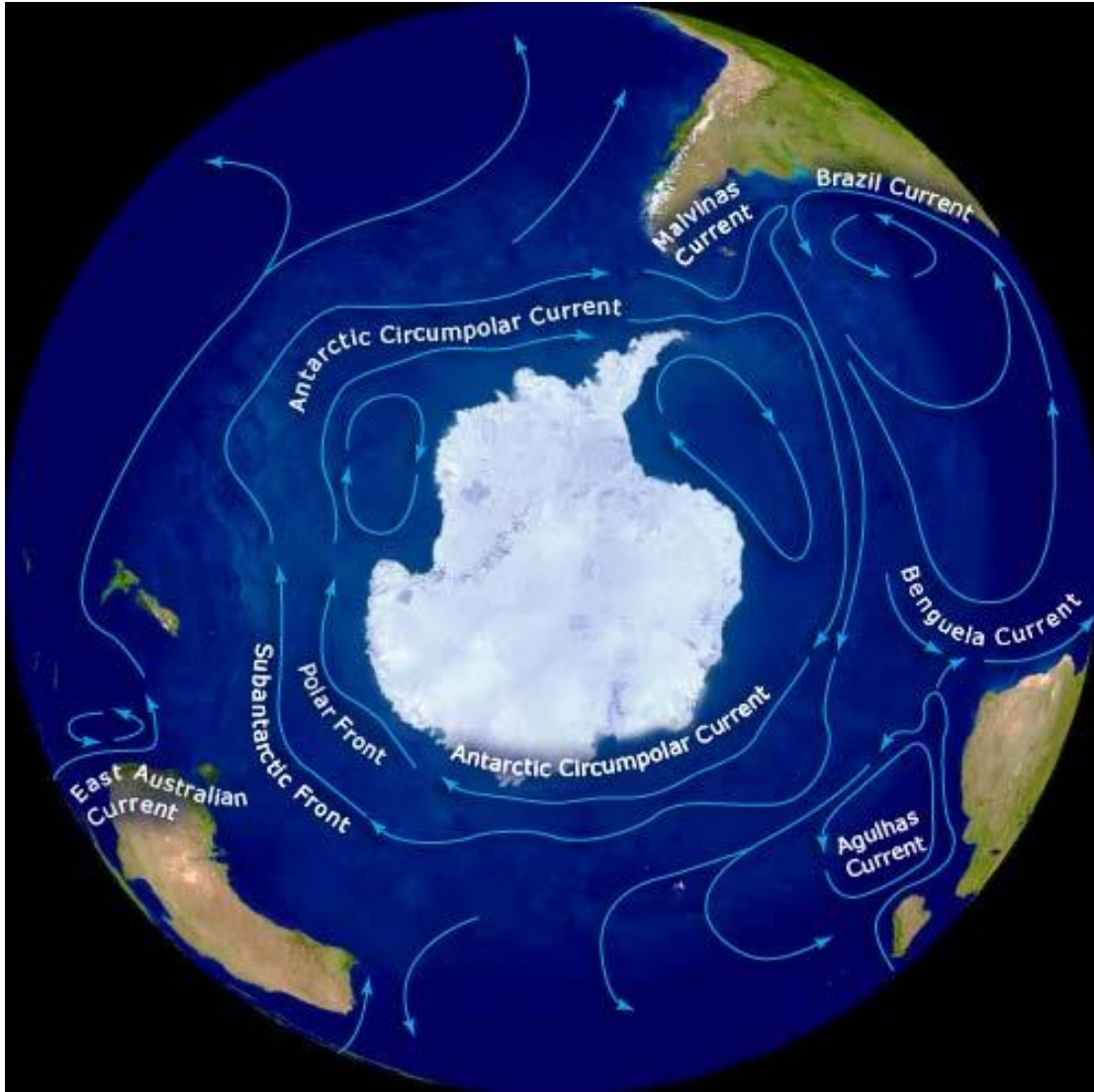


Miért fagyott be az Antarktisz?

- „Klasszikus” elmélet: kinyílt a Drake-átjáró
→ kialakulhatott az Antarktisz körbeáramló ACC (Antarctic Circumpolar Current) → „leszigetelte az Antarktisz”
- „Alternatív elmélet” (de Conto & Pollard):
Valamiért csökkenni kezdett akkortájt a szén-dioxid a légkörben és ez volt a fő faktor, ami a lehűléshez vezetett.

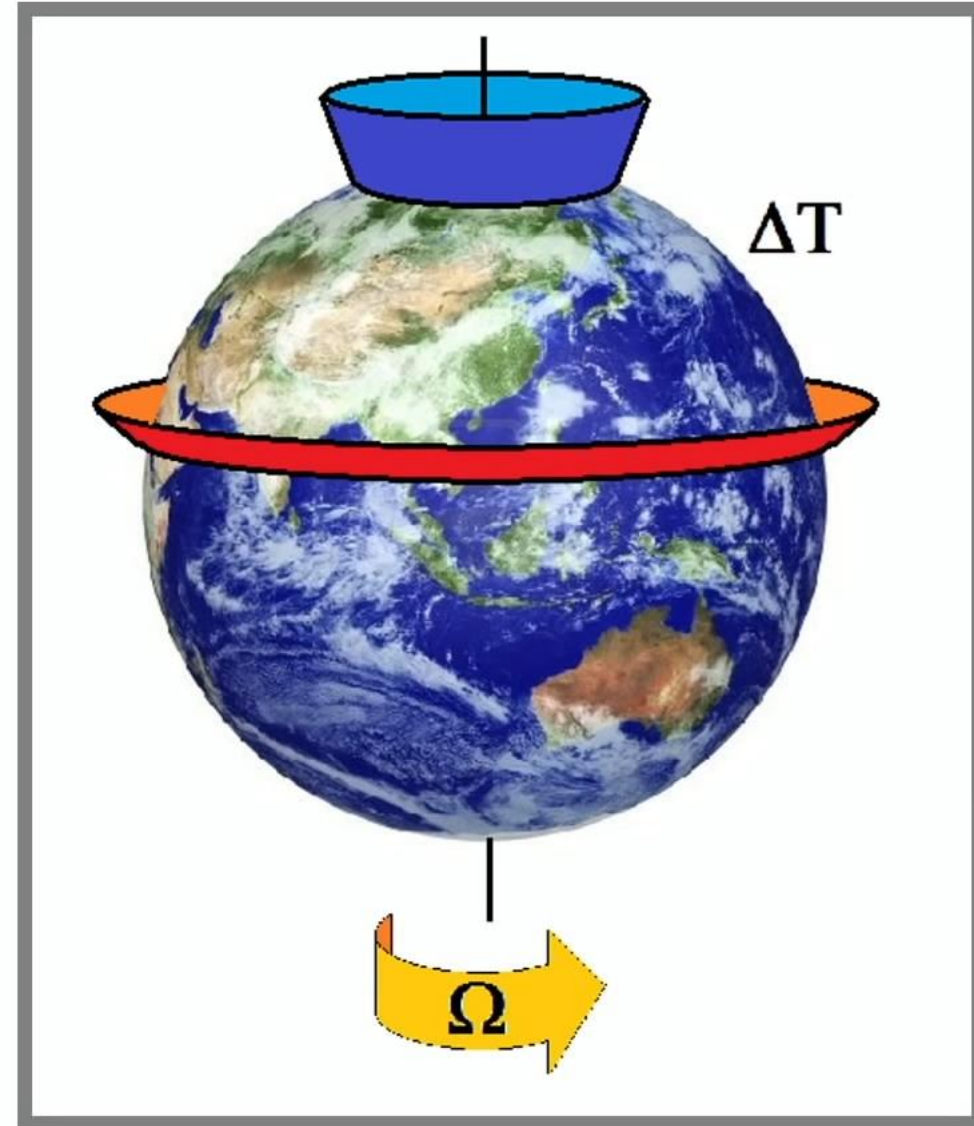


Miért van **most** „jégkorszak”?



Nade hogy jön mindehhez a Kármán-labor?

- A földi légkör/óceán dinamikája iszonyúan komplex, belezavarodunk.
- **Ötlet:** Csináljunk láttató erejű “minimálmodelleket”, akár egy laborban!
- A nagyskálájú (mérsékelt övi) légköri és óceáni áramlási jelenségek igen nagy részét alapvetően **két tényező** alakítja:
 - ***Forgatás + meridionális***
(észak-déli) hőmérsékletkülönbség
 \approx időjárás (avagy vízkörzés)



A mérsékelt égövi légköri/óceáni körzés „minimálmodellje”, avagy hozzuk be a Föld forgását is.

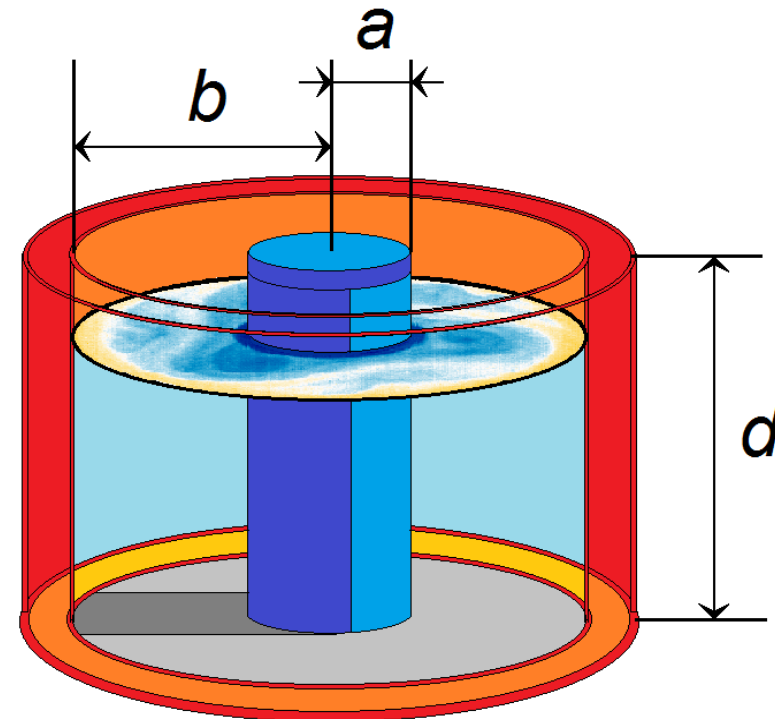
- Hengeres, oldalról hűtött és fűtött tartály egy forgóasztalon. „Rotating annulus”

Méretetek:

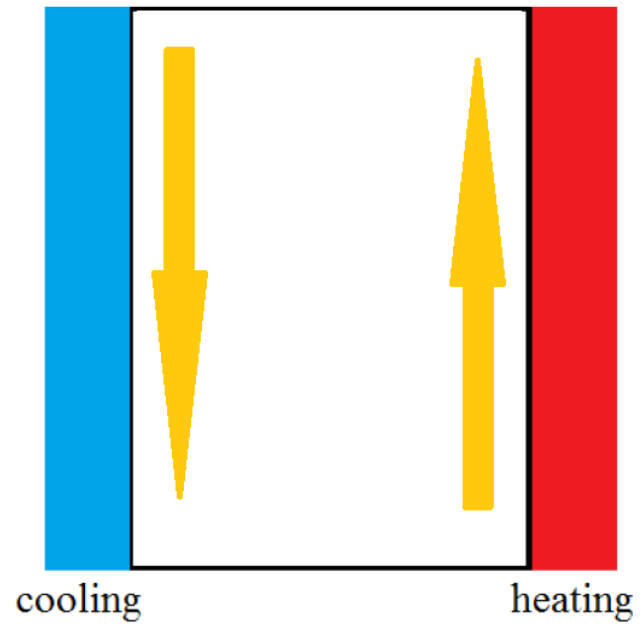
$$a = 45 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

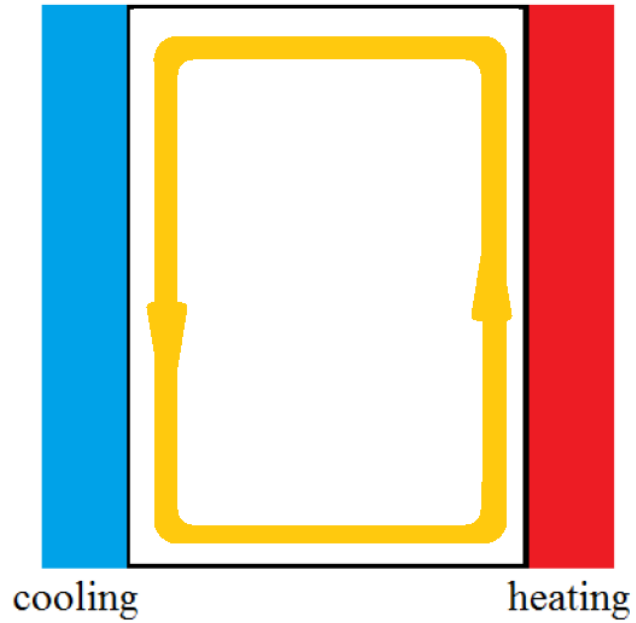
$$d = 135 \text{ mm}$$



Mi történik?

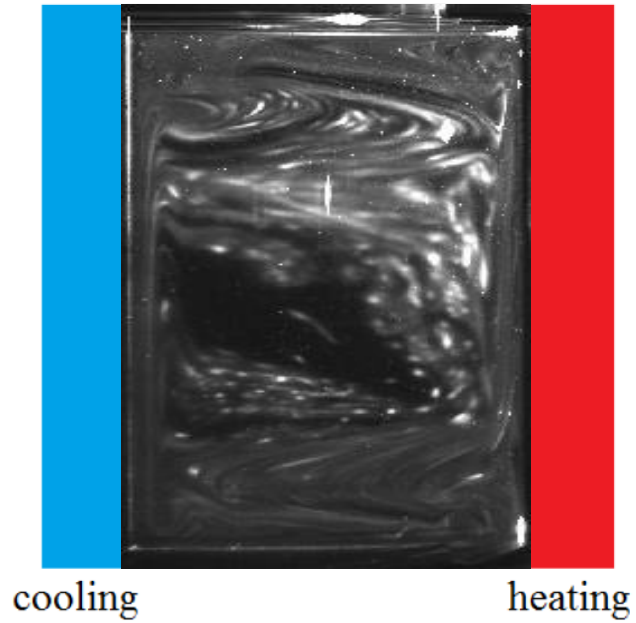


Mi történik?



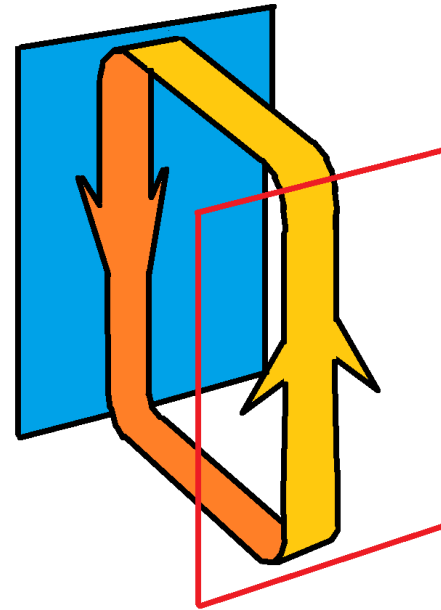
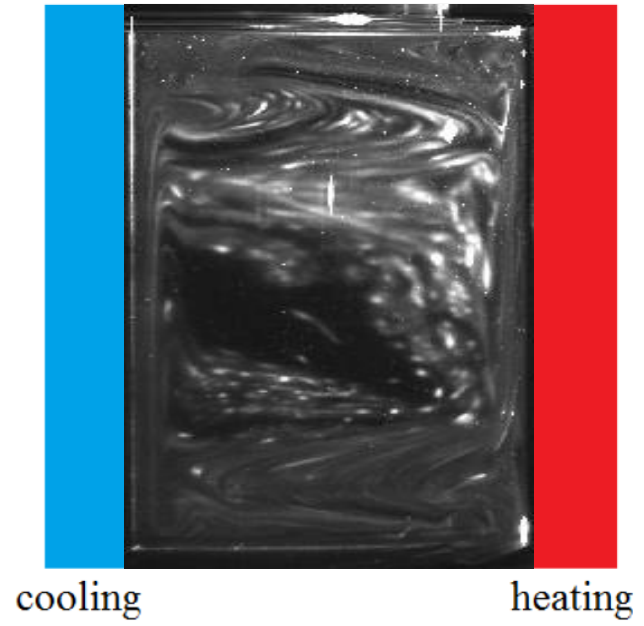
"Oldalirányú" konvekció – nincsen
minimális "kritikus" ΔT
(vagyis 'kritikus Rayleigh-szám')

Mi történik?

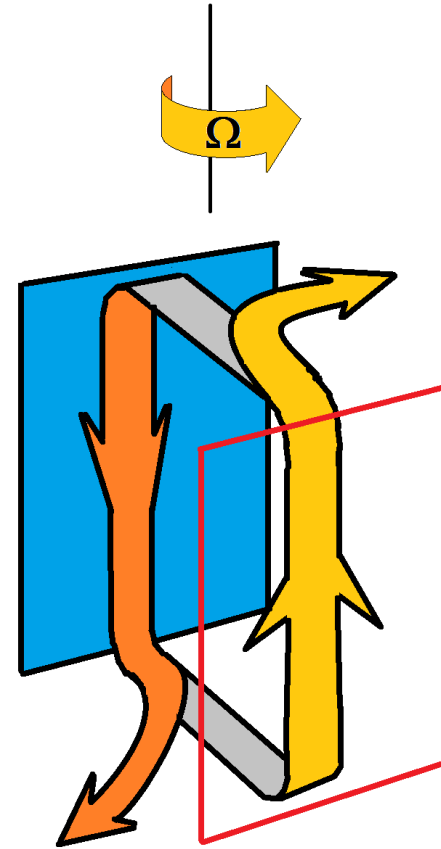


"Oldalirányú" konvekció – nincsen
minimális "kritikus" ΔT
(vagyis 'kritikus Rayleigh-szám')

Mi történik?



Mi történik?

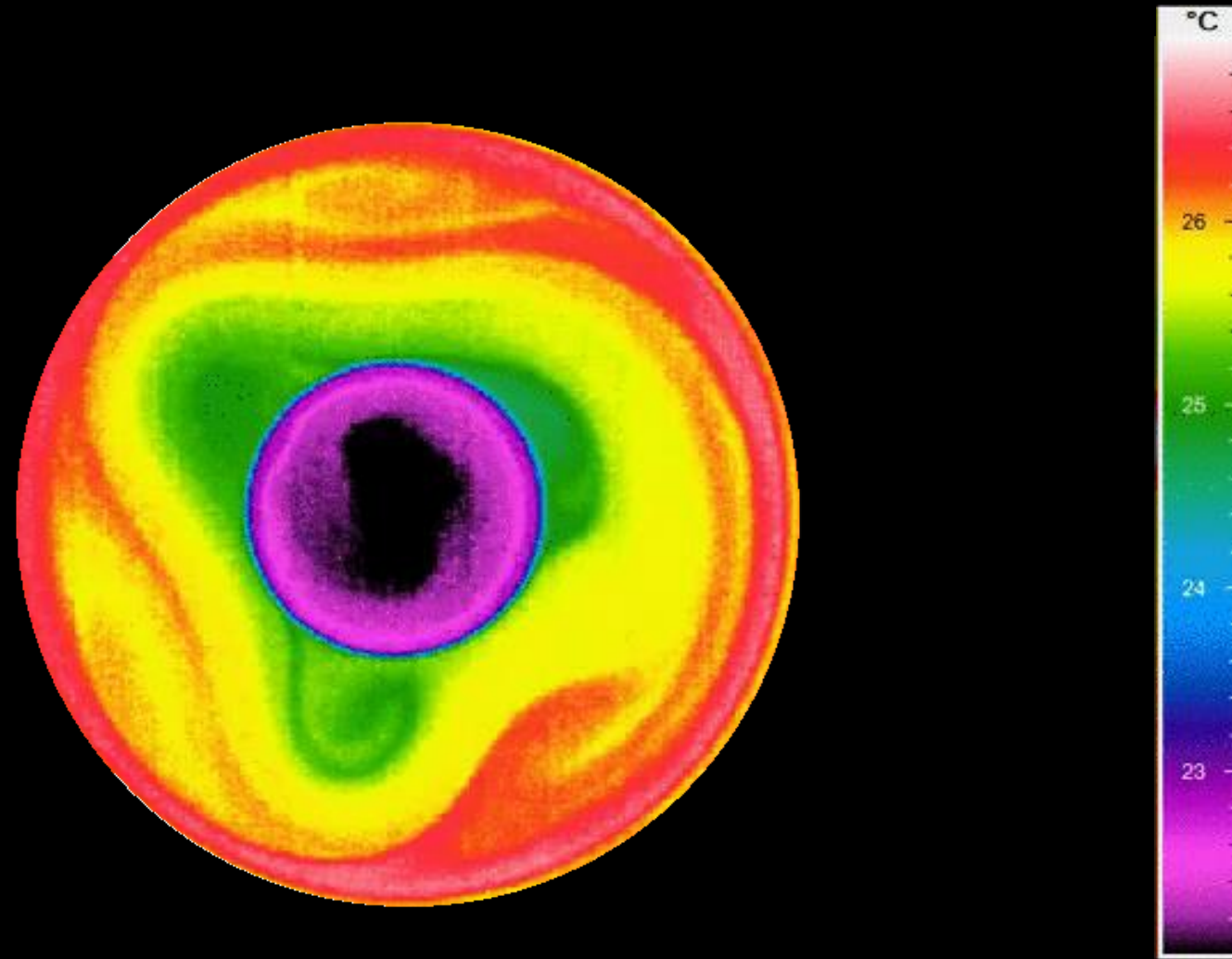


$$-2\Omega \vec{e}_z \times \vec{u}$$

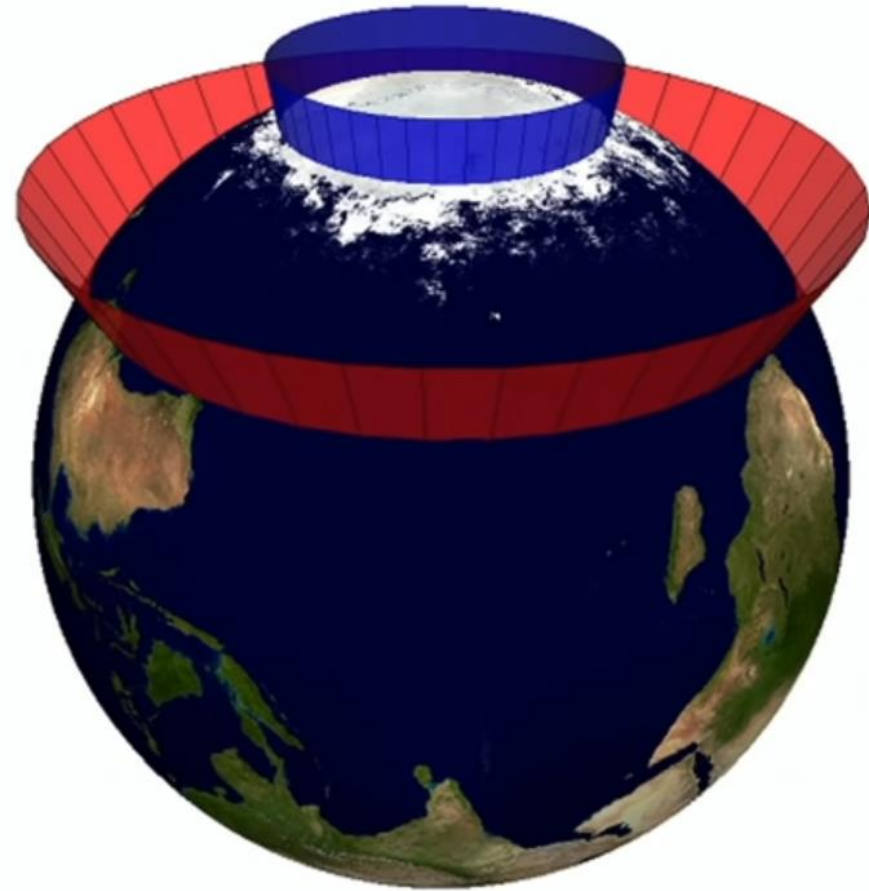
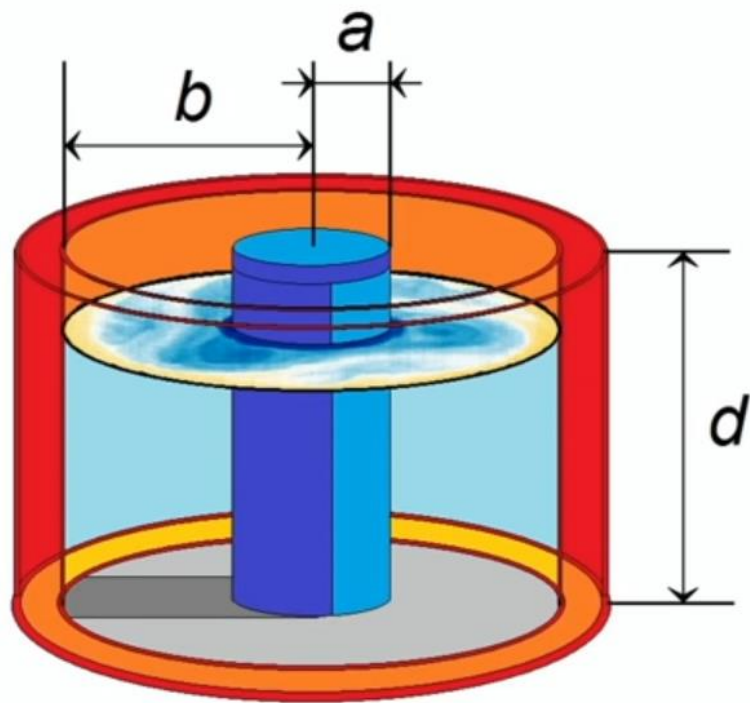
Festék (szennyező felhő) szétterjedése



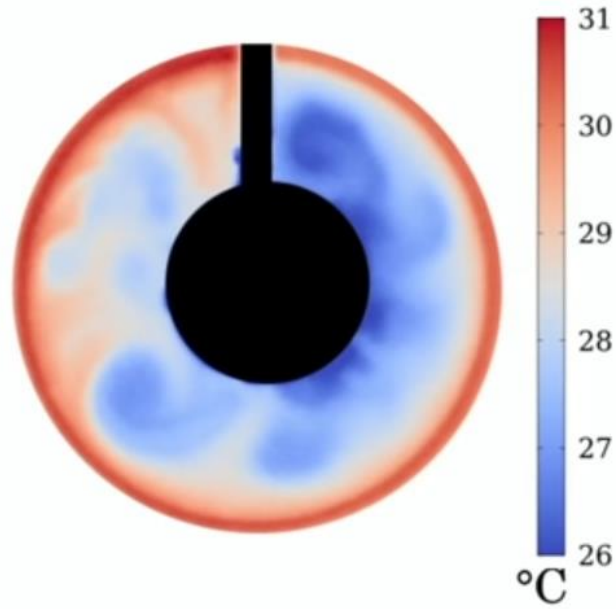
Kísérletünk infravörösben (felszíni hőmérséklet)



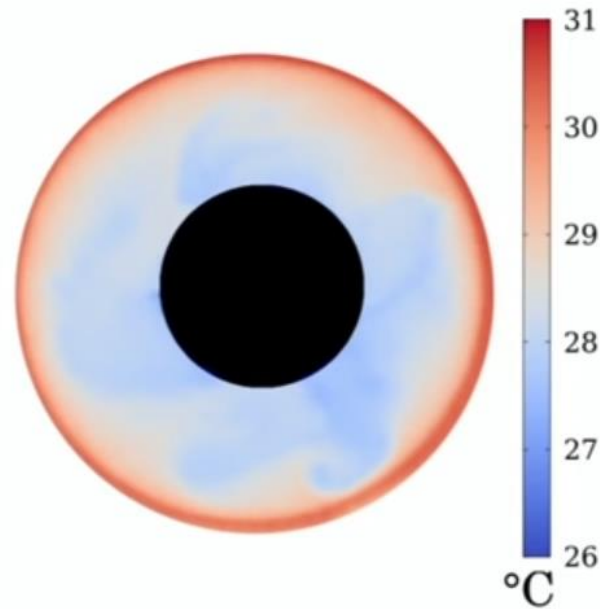
- Ez a „hűtött-fűtött” vödör a Déli-óceán modellje is lehet!



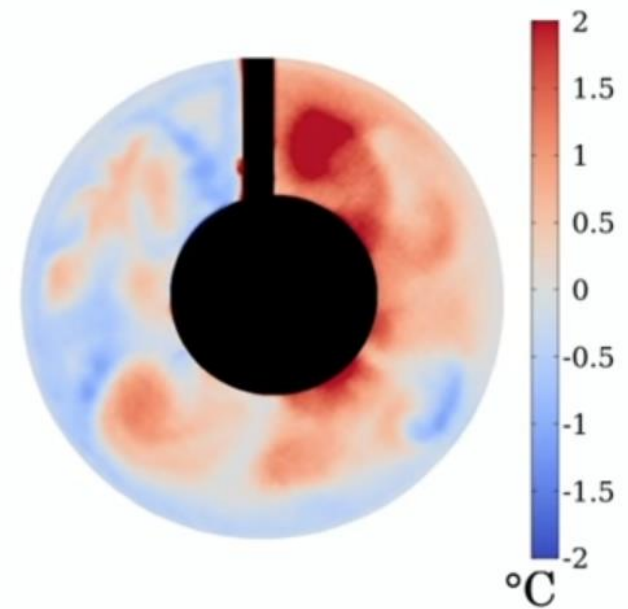
„Zárjuk be” az átjárót és nézzünk rá hőkamerával!



zárt

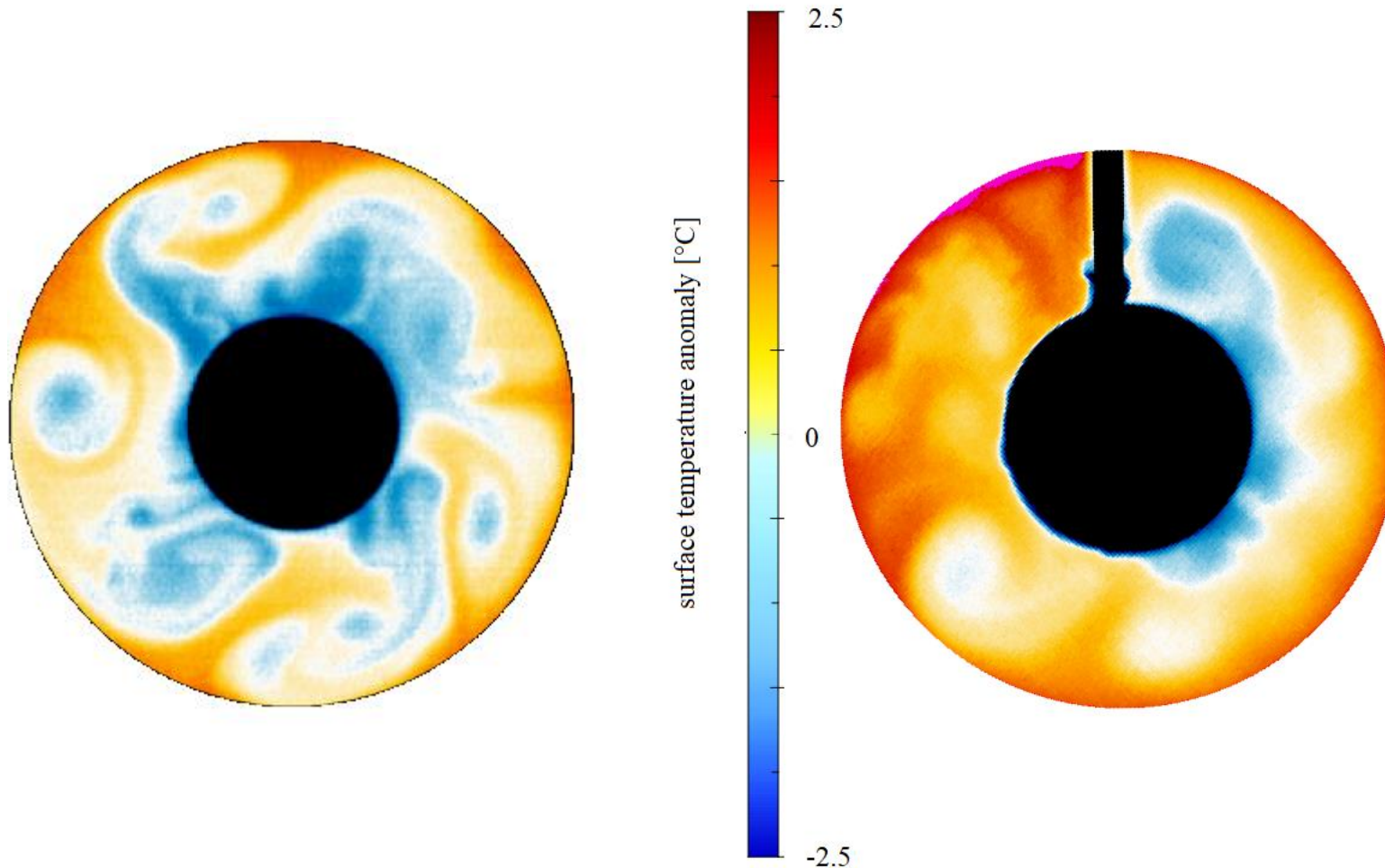


nyitott

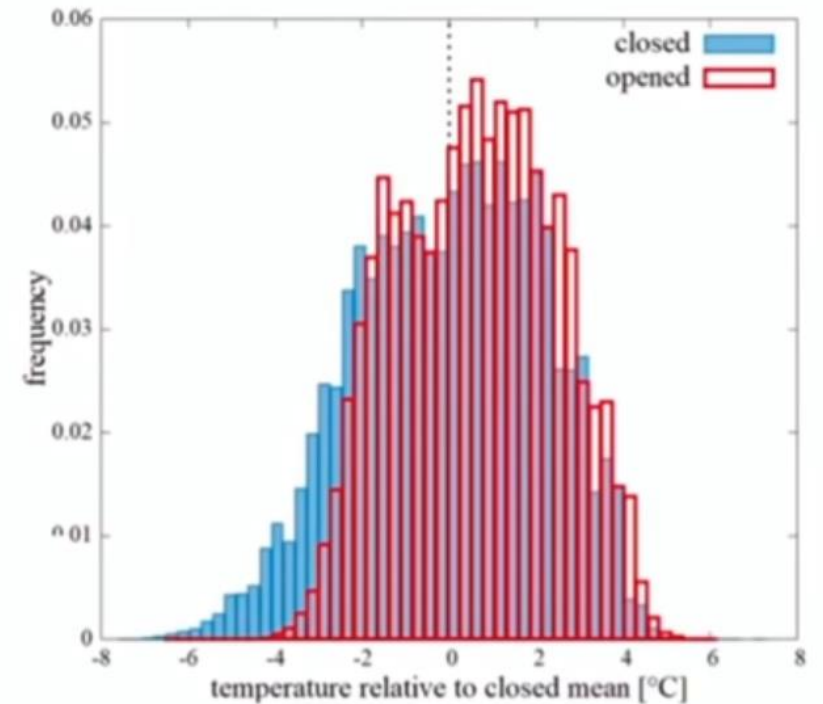
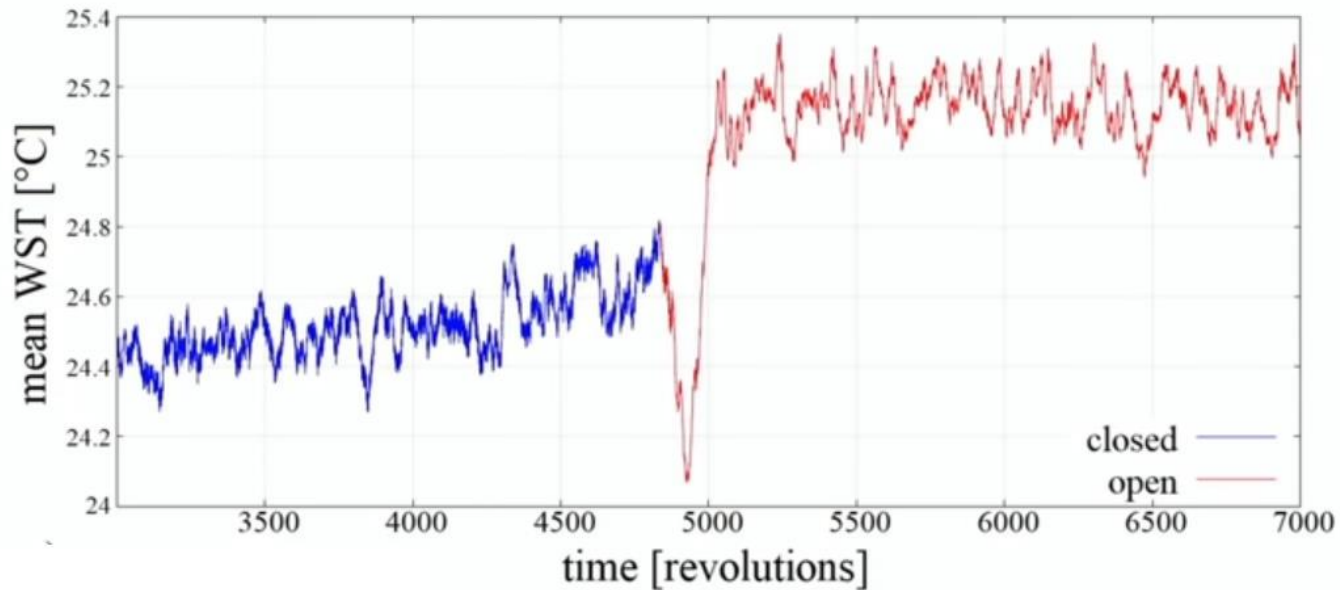


nyitott – zárt

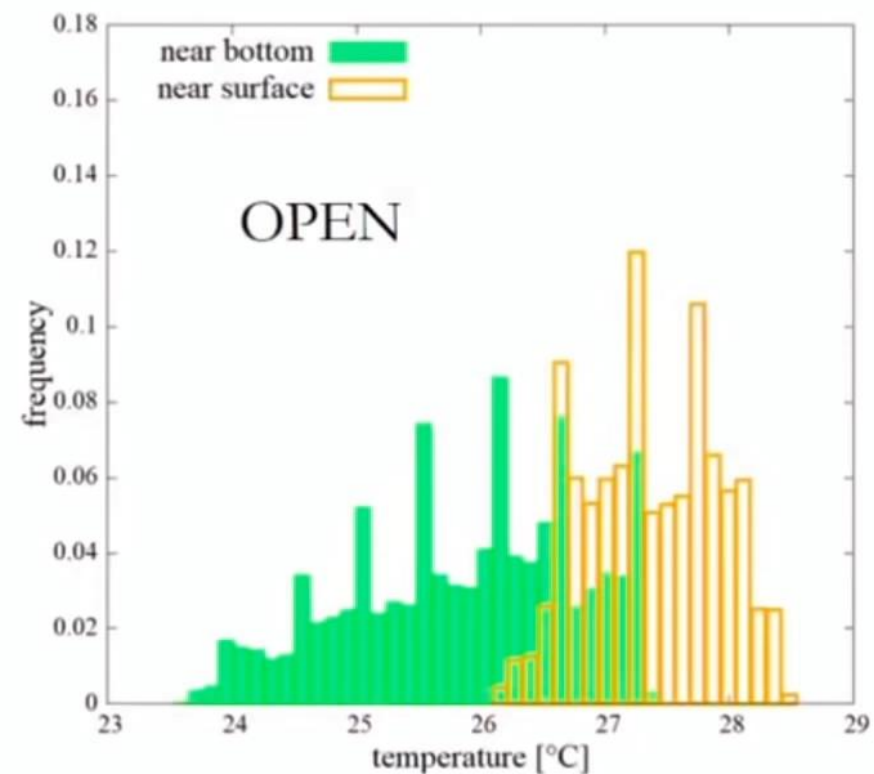
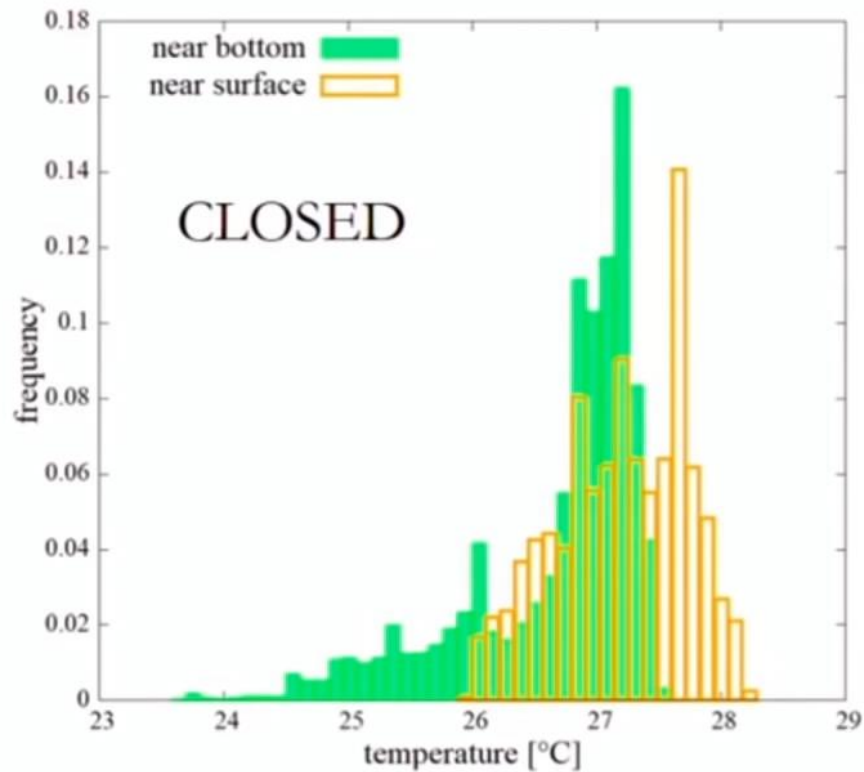
- Megmutathattuk, hogy a 35-40 millió évvel ezelőtti ősóceánban a „lezárt” Drake-átjáró földhídjának csendes-óceáni oldala sokkal melegebb lehetett, mint az atlanti-óceáni oldal



Hogyan reagál a felszíni átlaghőmérséklet a kinyitásra? →
Melegszik, ahelyett, hogy hűlne.
Nahát. De miért?

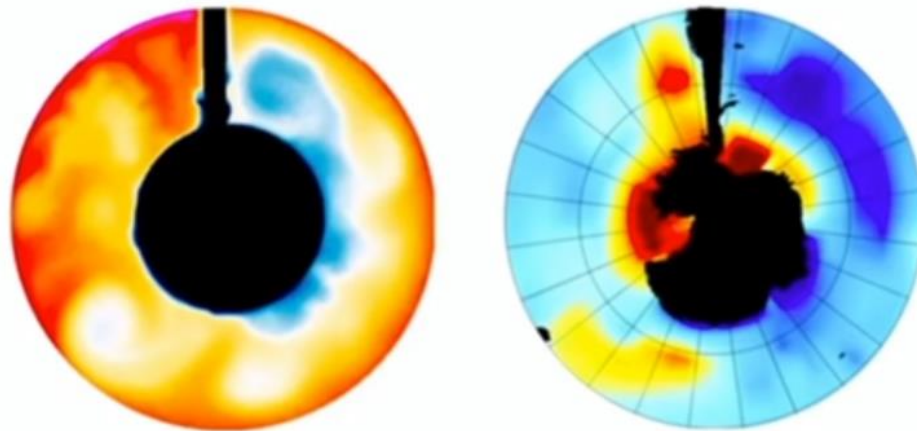


Azt megértettük, hogy miért csinálja a kísérlet azt, amit: ha zárva van az átjáró \rightarrow erősödő alábukó áramlás \rightarrow hőkiegyenlítődés a felszín és a „mélység” között.

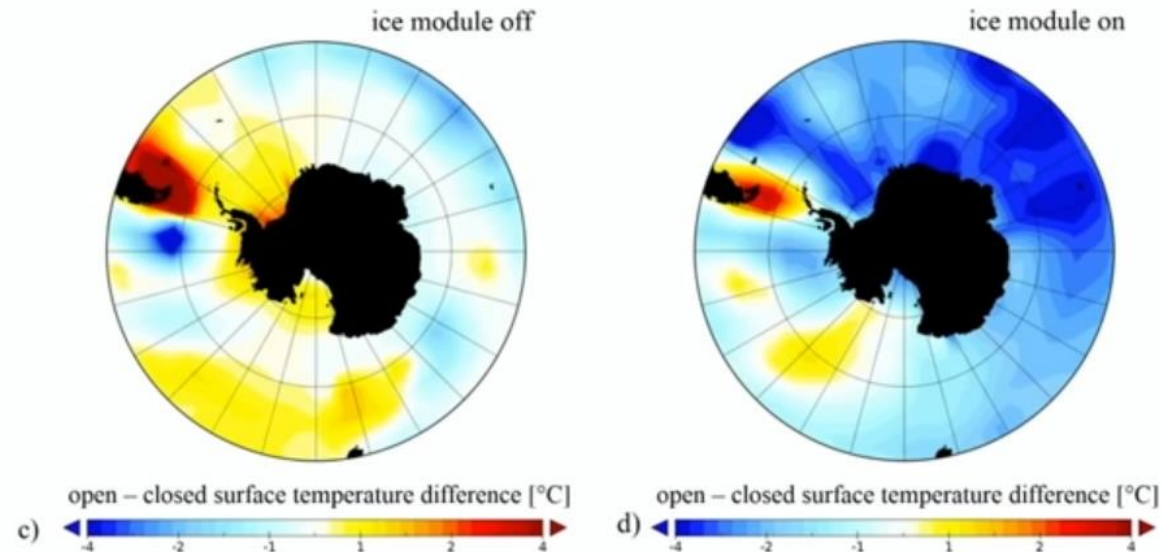
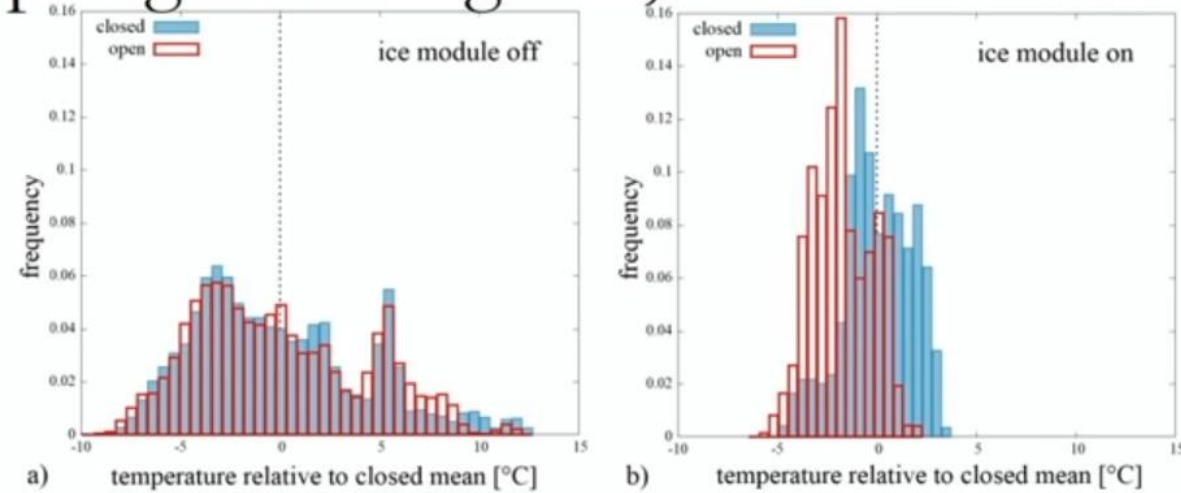


Ötlet #1: a tengerjégalbedó-visszacsatolás okozhatja a különbséget!
(*Tanmese!*)

Ötlet #2: Modellezzük egy számítógépes klímamodellben a dolgot, amiben kedvünkre ki-be kapcsolgathatjuk a jég-visszacsatolást! (Szerencsénkre *Herein Mátyás* ehhez is ért!)



Mit látunk? Jelentős lehűlést a „kinyitás” után, de **akkor és csak akkor, ha bent van a jégvisszacsatolás** a rendszerben! Egyébként pedig kis melegedés, mint a laborban.



Mit is tanultunk?

- 34 millió éve folyamatosan fagyott az Antarktisz (ergo: jégkorszakban élünk)
- Úgy tűnik, hogy ennek a helyzetnek a létrejöttéhez önmagában nem elég, hogy kinyílt a Drake-átjáró!
- Ehelyett fontos, hogy már eleve meg tudjon ott maradni valamennyi tengerjég, mert enélkül nem keveredhetünk bele a jégalbedó-visszacsatolásba, sőt még melegedne is egy kicsit a tengerfelszín.
- Ez pedig arra utal, hogy a széndioxid-csökkenés és a Drake-átjáró kinyílása egyszerre kellett ahhoz, hogy ide jussunk!

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

