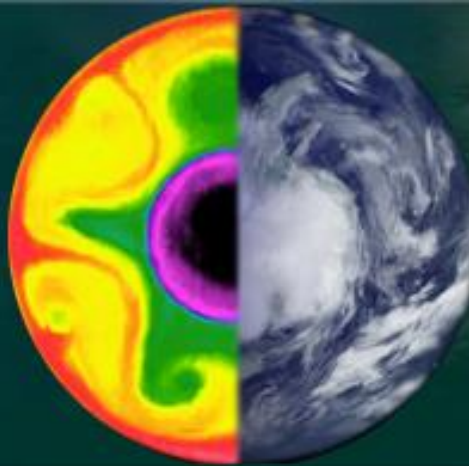
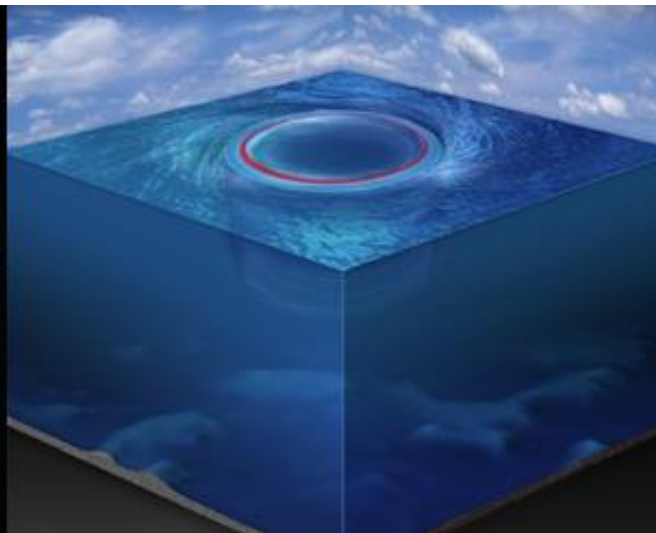


1998
20
2018



Óceáni áramlások és tornádók a laborasztalon



Vincze Miklós

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

Az atomoktól a csillagokig

2018 október 4.

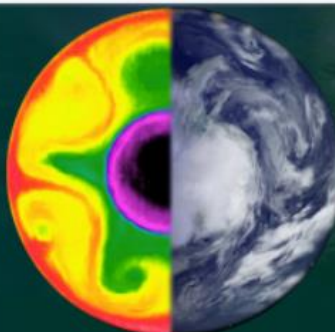
~~Vihar a laborban?~~ Tornádók a laborban?

- A **Kármán** labort éppen 20 éve, 1998-ban alapította Jánosi Imre, Tél Tamás, Szabó K. Gábor és Horváth Viktor
- Az épület kb. 1000 km-es sugarú környezetében nincs még egy ilyen
- Honlapunk: www.karman.elte.hu



Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Fizikai Intézet
Kármán Laboratórium

1998
20
2018



Információk

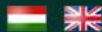
- Ismertető
- Elérhetőség
- Munkatársak
- Oktatási segédanyagok

Kutatás

- Publikációk
- PhD dolgozatok
- Diplomamunkák
- TDK dolgozatok

Érdeklődőknek

- Ismeretterjesztő írások
- Hasznos linkek
- Demonstrációs kísérletek
- Látogatás



© Best Kontakt Kft, 2010

bestkontakt



Hidegfront



Jéghegy olvadása



Holt víz



Biokonvekció



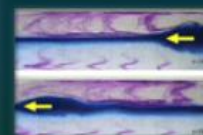
Melegfront



Sós ujjak



Cikk-cakk instabilitás



Szolitonok



Hőtranszport



Belső hullámok



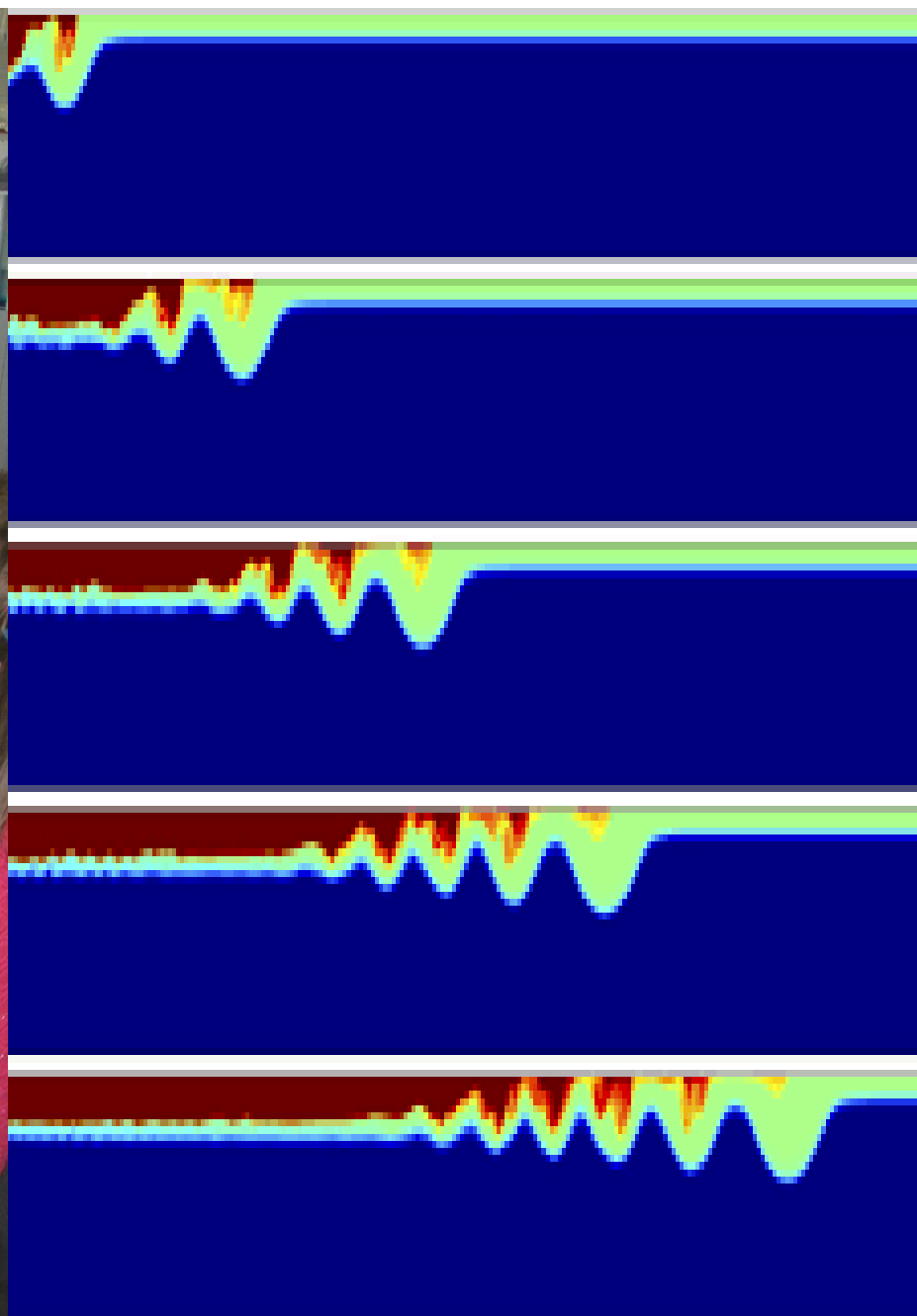
Köztes front



Plume, kéményfüst



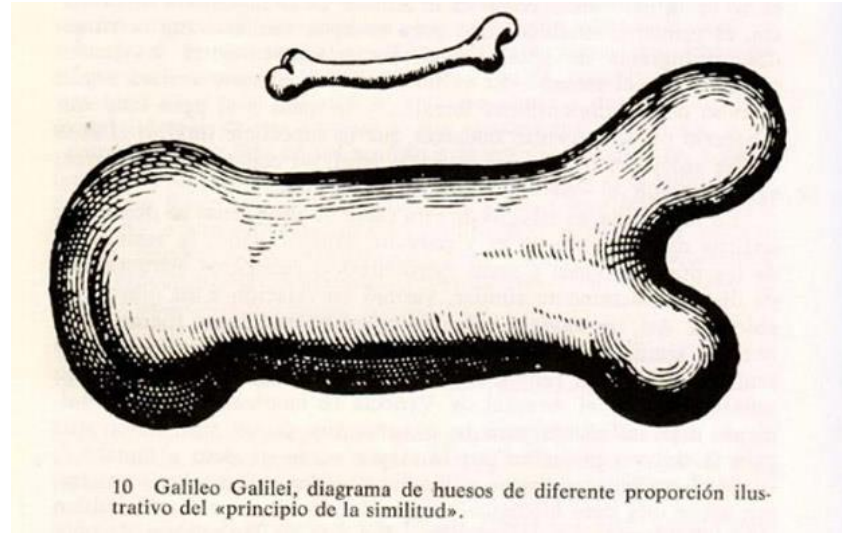
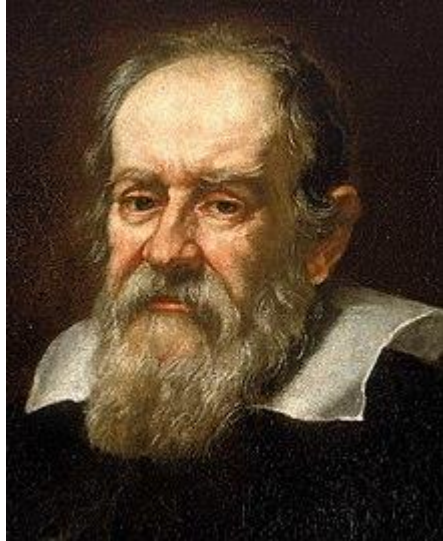




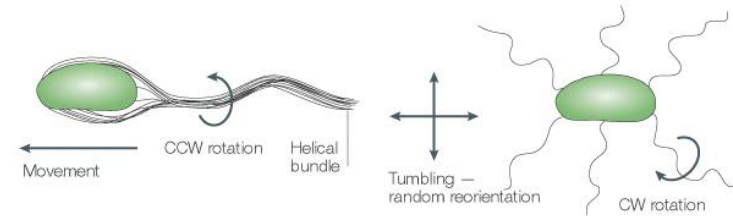
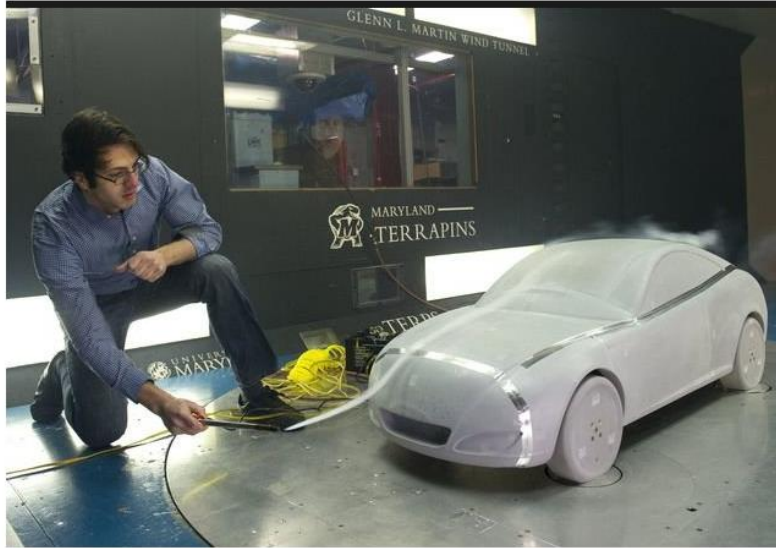
~~Vihar a laborban?~~ Tornádók a laborban?

- A **Kármán** labort éppen 20 éve, 1998-ban alapította **Jánosi Imre, Tél Tamás, Szabó K. Gábor és Horváth Viktor**
- Az épület kb. 1000 km-es sugarú környezetében nincs még egy ilyen
- Honlapunk: www.karman.elte.hu
- Az alapötlet: az áramlástani hasonlóság (gyönyörű) elve.

Mi az a (hidro-)dinamikai hasonlóság?



Pl.: mézben úszni ≈ baktériumnak lenni a vízben.



$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

ahol

ρ a közeg sűrűsége [kg/m³],

v az áramlási sebesség [m/s],

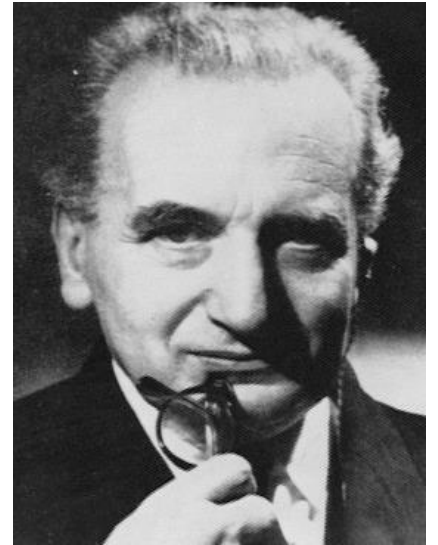
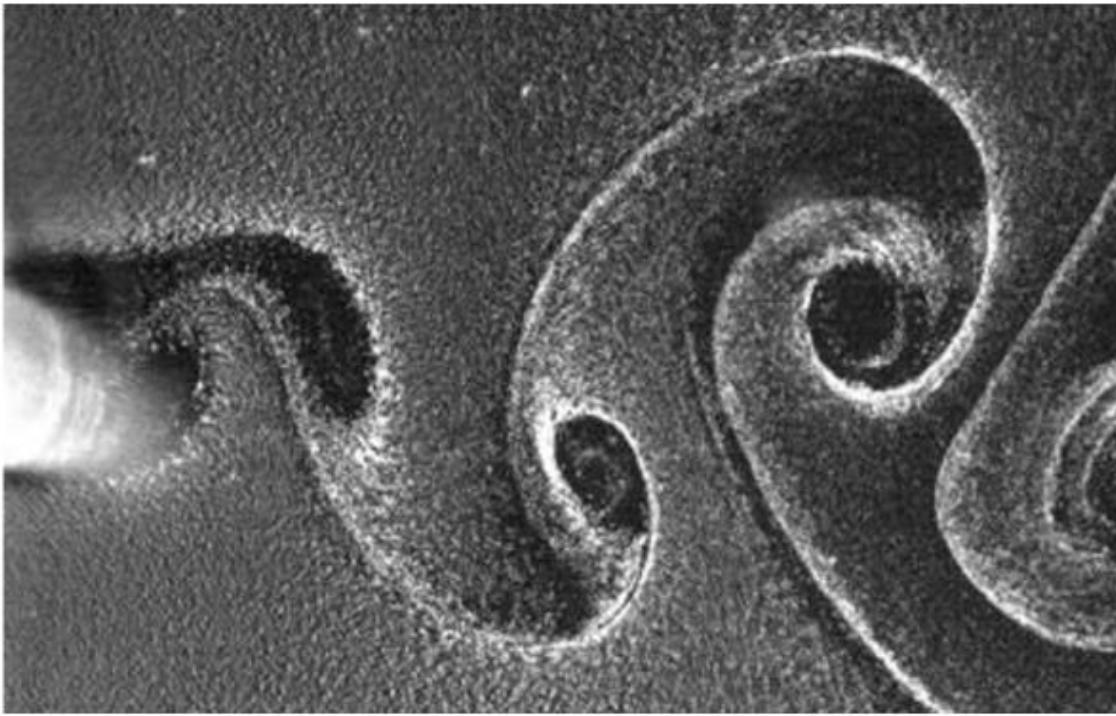
l egy jellemző hossz méret [m],

ν a kinematikai viszkozitás [m²/s]

Minden idők leghosszabb fizikai kísérlete (pitch drop experiment)



Date	Event	Duration		
		Years	Months	
1927	Hot pitch poured			
October 1930	Stem cut			
December 1938	1st drop fell	8.1	98	██████████
February 1947	2nd drop fell	8.2	99	██████████
April 1954	3rd drop fell	7.2	86	██████████
May 1962	4th drop fell	8.1	97	██████████
August 1970	5th drop fell	8.3	99	██████████
April 1979	6th drop fell	8.7	104	██████████
July 1988	7th drop fell	9.2	111	██████████
November 2000	8th drop fell ^[A]	12.3	148	██████████
April 2014	9th drop fell ^[B]	13.4	156	██████████



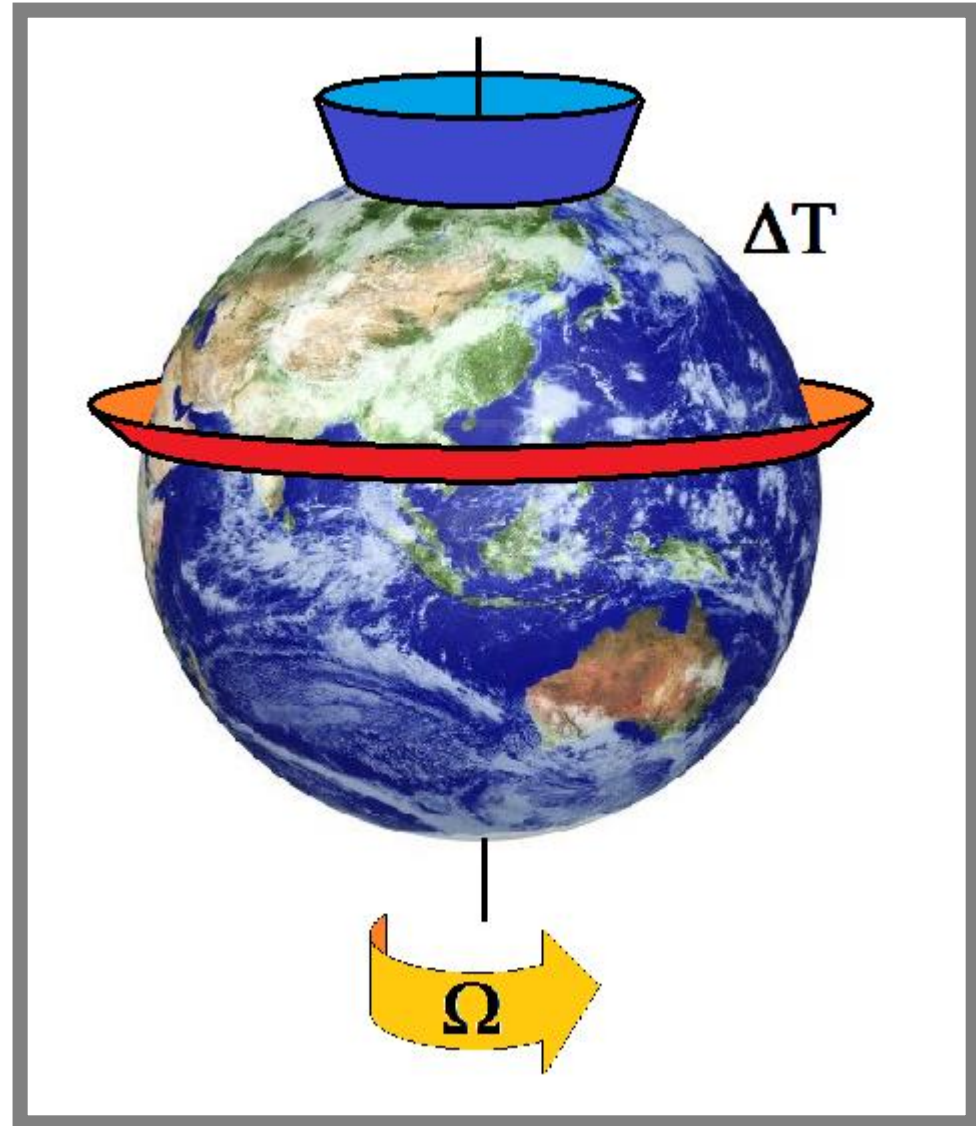
$$Re = \frac{vl}{\nu} \sim 300$$



Kármán-örvénysorok

A mérsékelt égövi légköri/óceáni körzés „minimálmodellje”?

- A nagyskálájú (mérsékelt övi) légköri és óceáni áramlási jelenségek igen nagy részét alapvetően **két tényező** alakítja:
- **Forgatás + meridionális (É-D) hőmérsékletkülönbség \approx időjárás (avagy vízkörzés)**
- Egy forgatott, hűtött-fűtött laborkád az időjárás (és klíma) minimálmodellje lehet?
- **Igen, de itt mi a hasonlósági paraméter?**



A mérsékelt égövi légköri (és óceáni) körzés „minimálmodellje!”

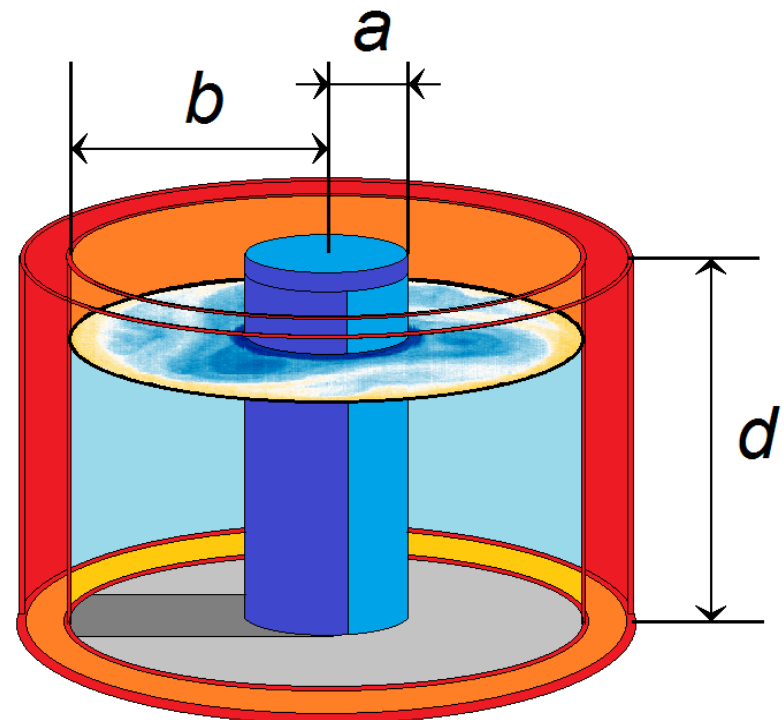
- Hengeres, oldalról hűtött és fűtött tartály egy forgóasztalon. „Rotating annulus”

Méretek (Cottbus):

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

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

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



A mérsékelt égövi légköri (és óceáni) körzés „minimálmodellje”

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

Méretek (Kármán labor):

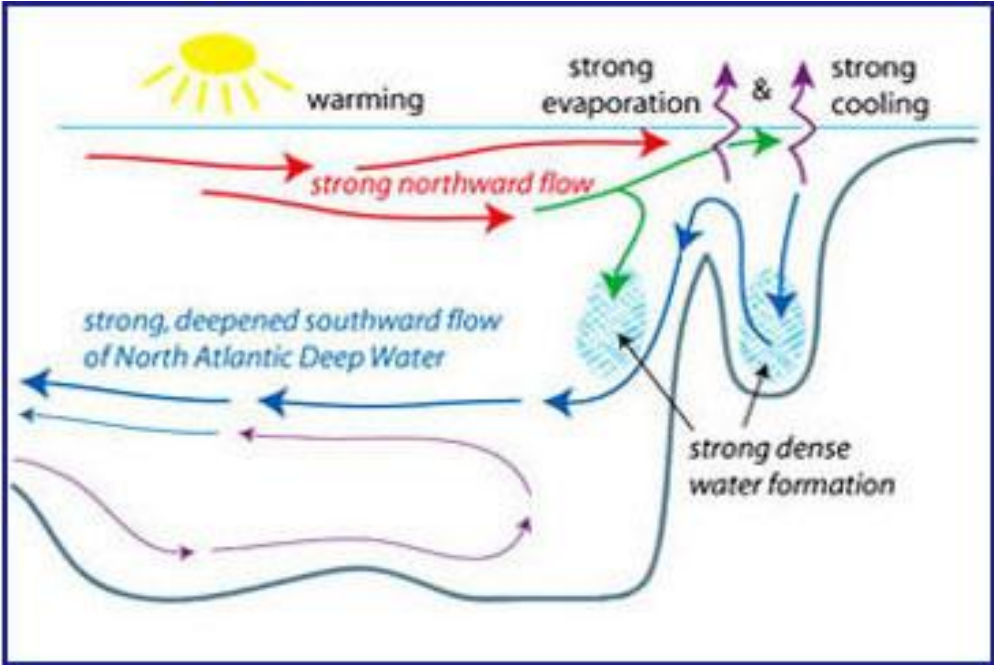
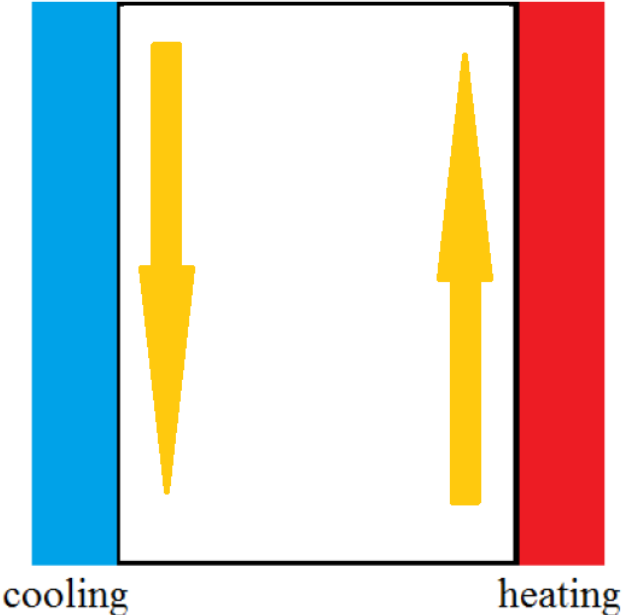
$$a = 45 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

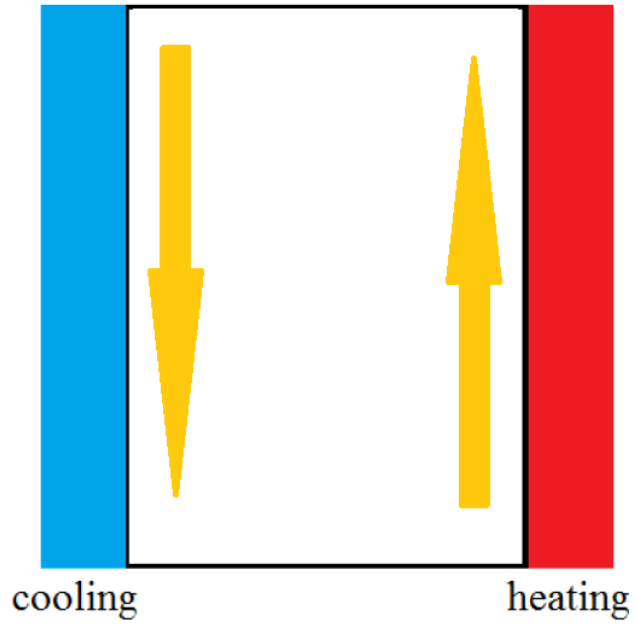
$$d = 40 \text{ mm}$$



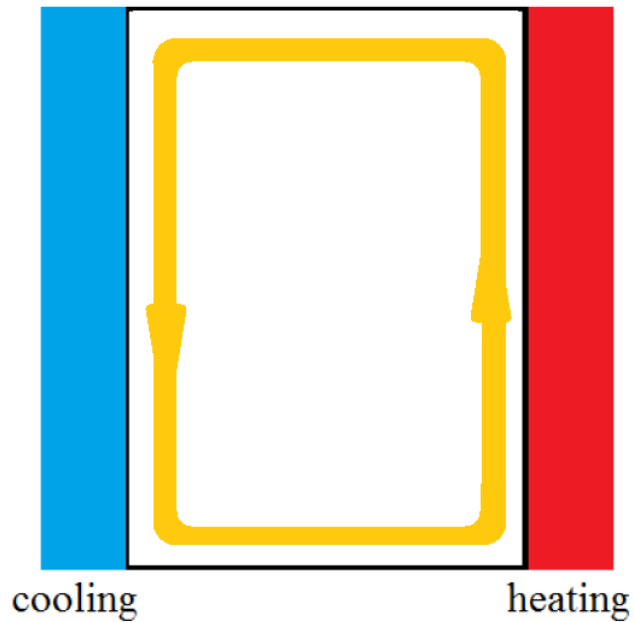
Mi történik?



Mi történik?

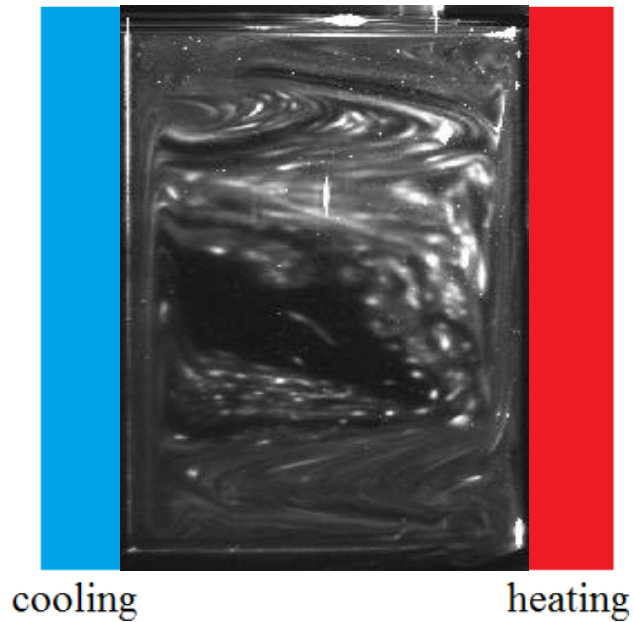


Mi történik?



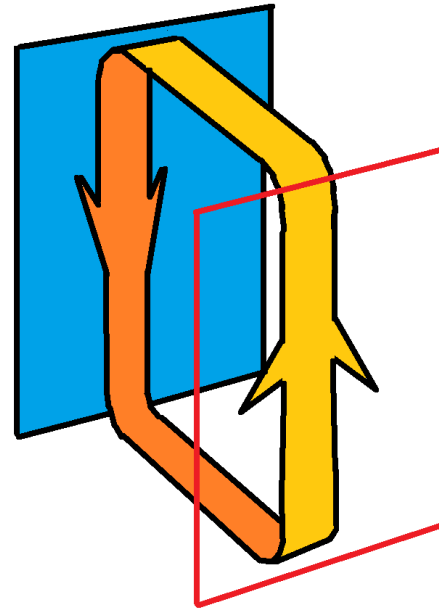
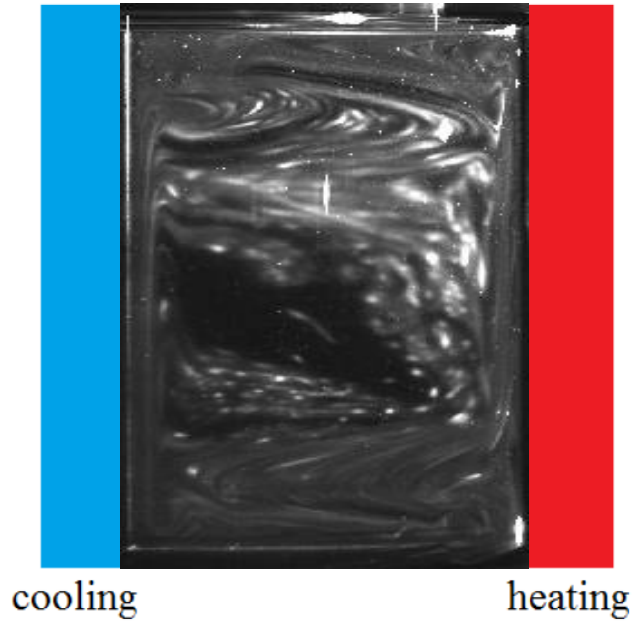
"Oldalirányú" konvekció – nincsen minimális "kritikus" ΔT (vagyis 'kritikus Rayleigh-szám')

Mi történik?

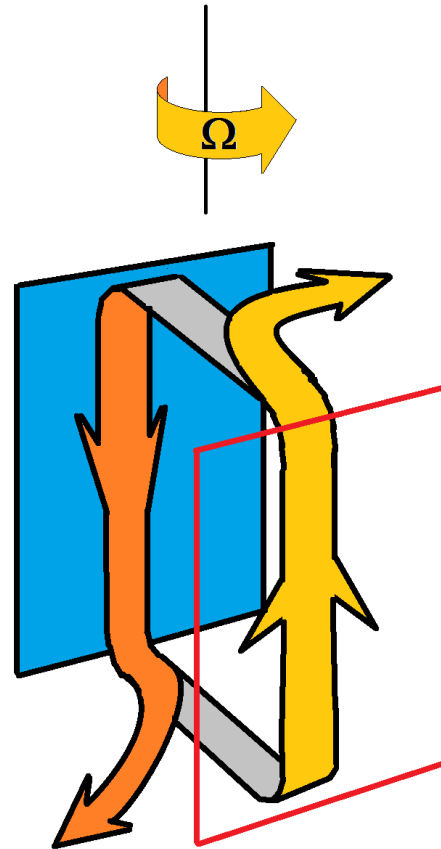
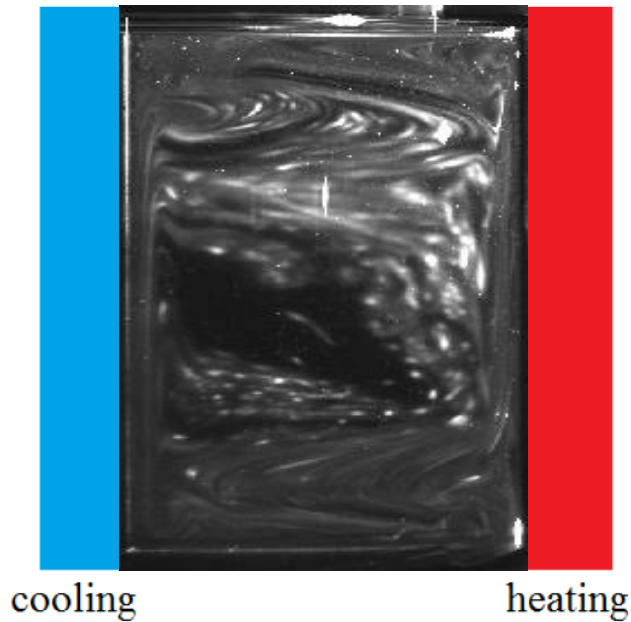


"Oldalirányú" konvekció – nincsen minimális "kritikus" ΔT (vagyis 'kritikus Rayleigh-szám')

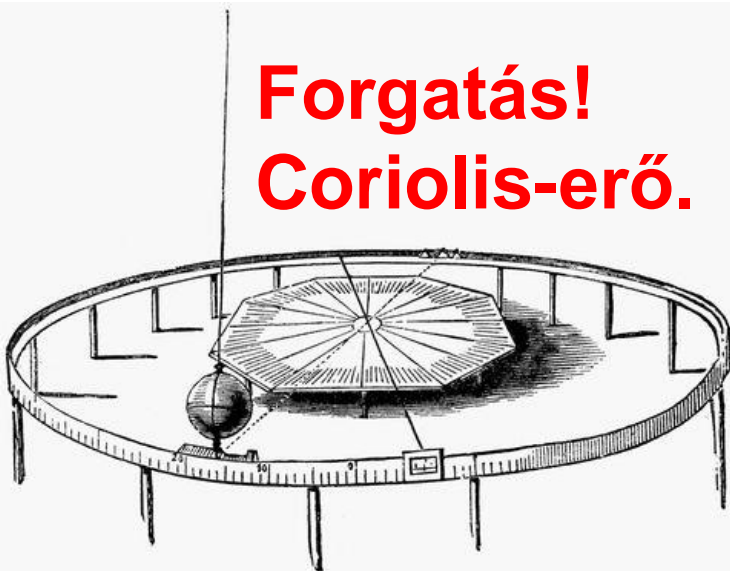
Alapok: baroklin instabilitás



Mi történik?

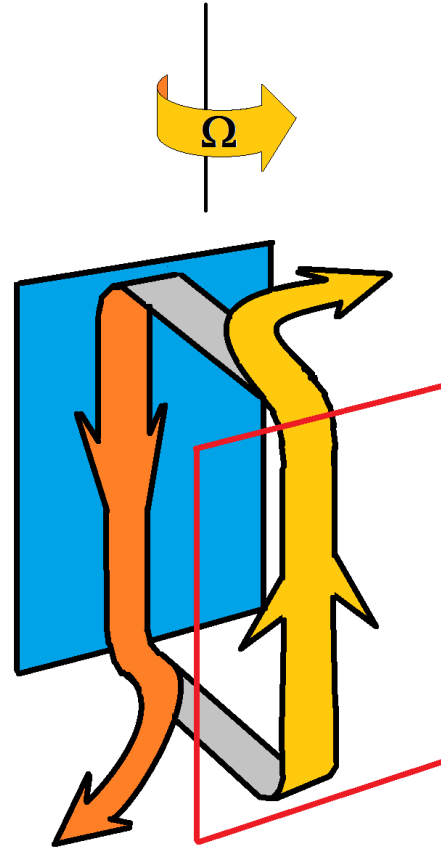


**Forgatás!
Coriolis-erő.**



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

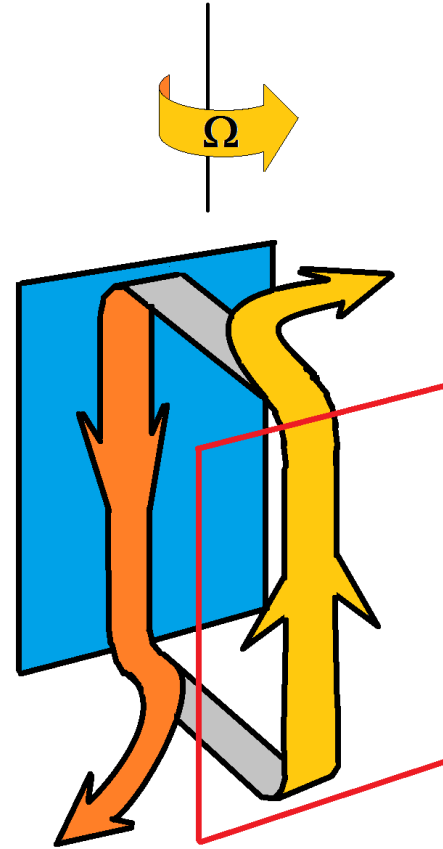
Coriolis-erő



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

Coriolis-erő?

Amikor végre kidumálom magam a rendőr előtt és próbálok elszaladni.



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

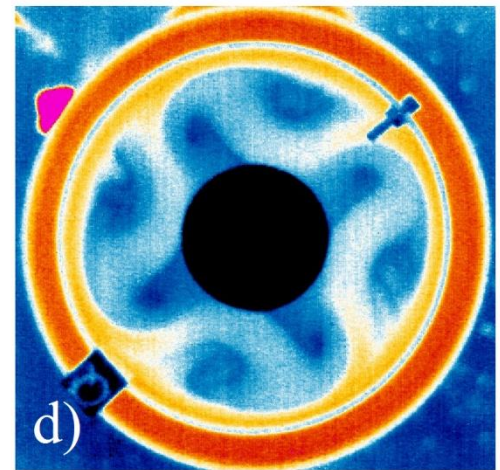
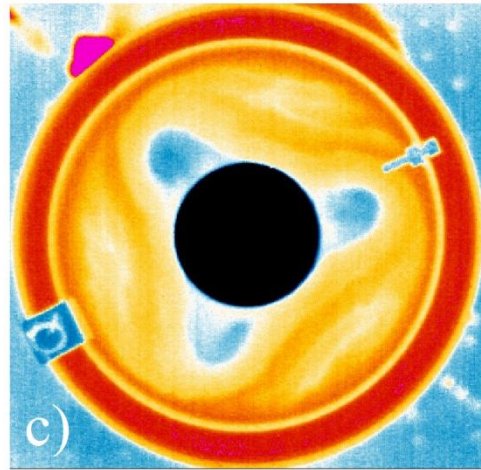
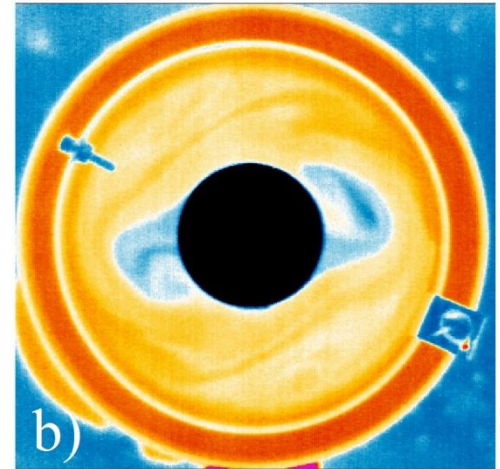
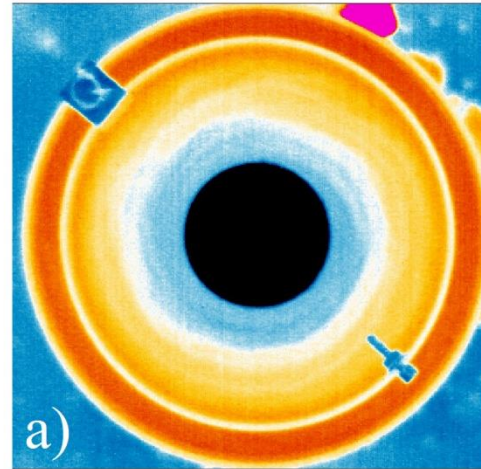
Baroklin hullámok, analógiák a Naprendszerben

kontrollparaméterek:

- Forgási szögsebesség
- Hőmérsékletkülönbség

Különböző bolygólégkörök modellezhetők.

- Vénusz: lassú forgás, Zonális áramlás
- Föld: gyors forgás → Coriolis-erő → ciklonok, anticiklonok (“időjárás”)



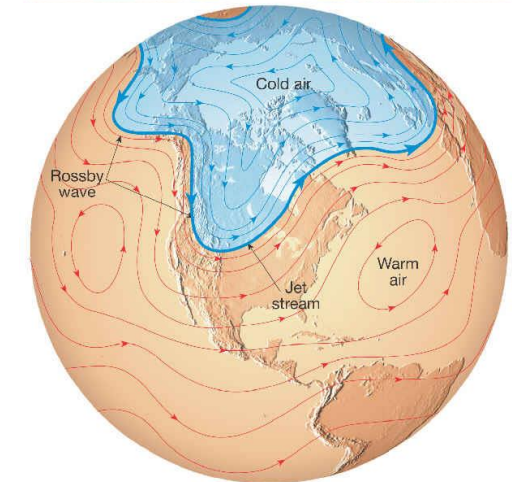
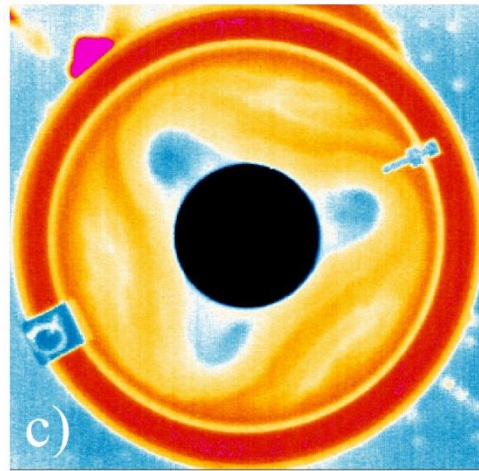
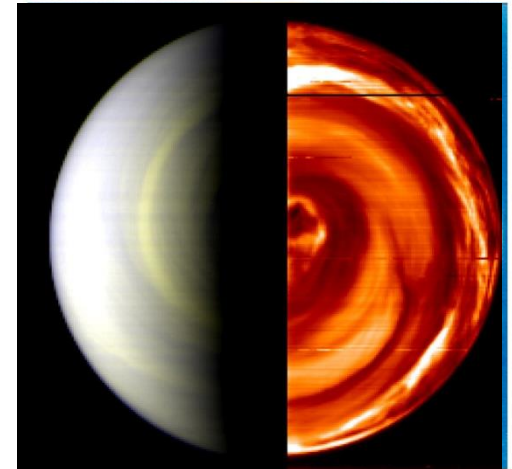
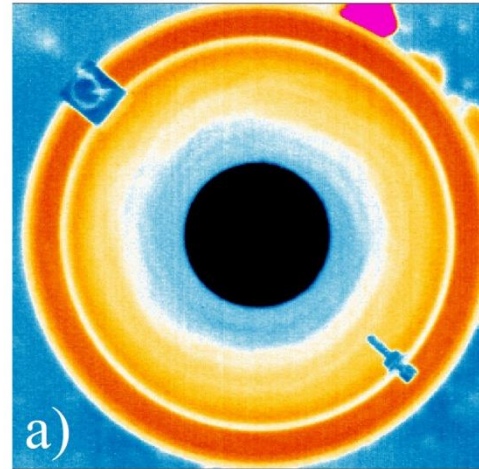
Baroklin hullámok, analógiák a Naprendszerben

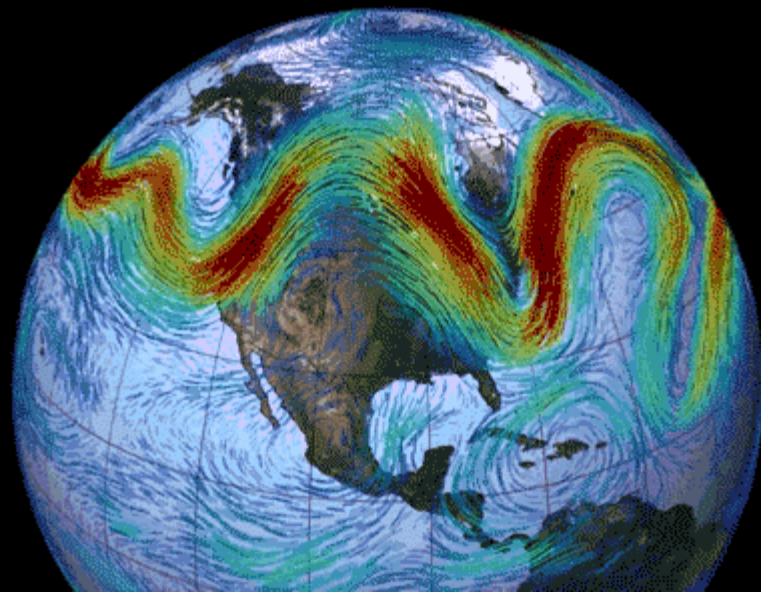
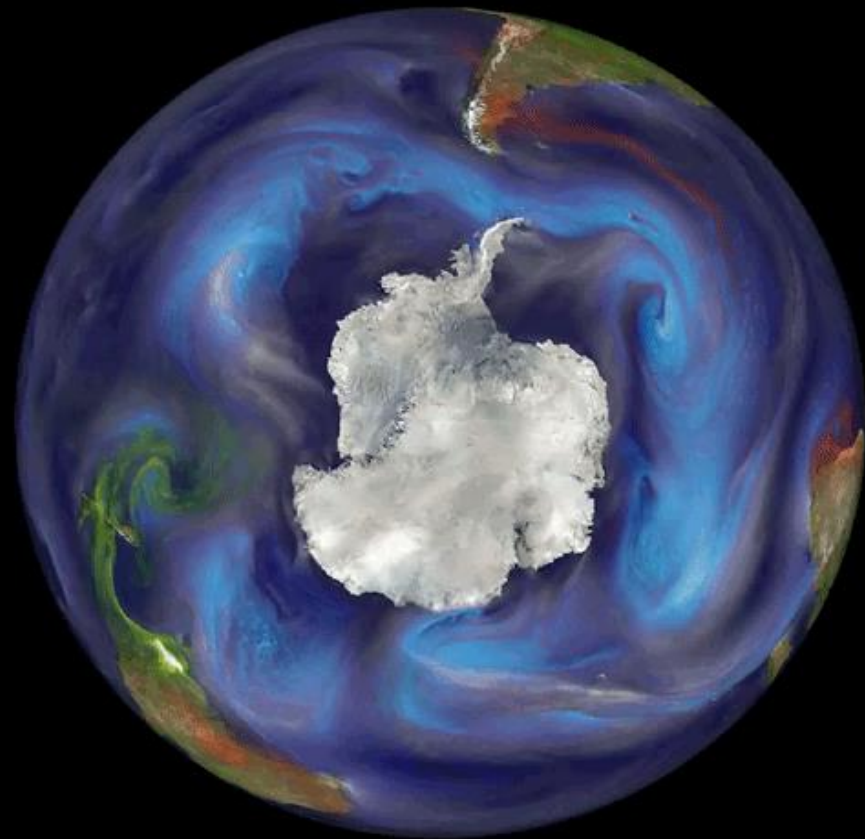
kontrollparaméterek:

- Forgási szögsebesség
- Hőmérsékletkülönbség

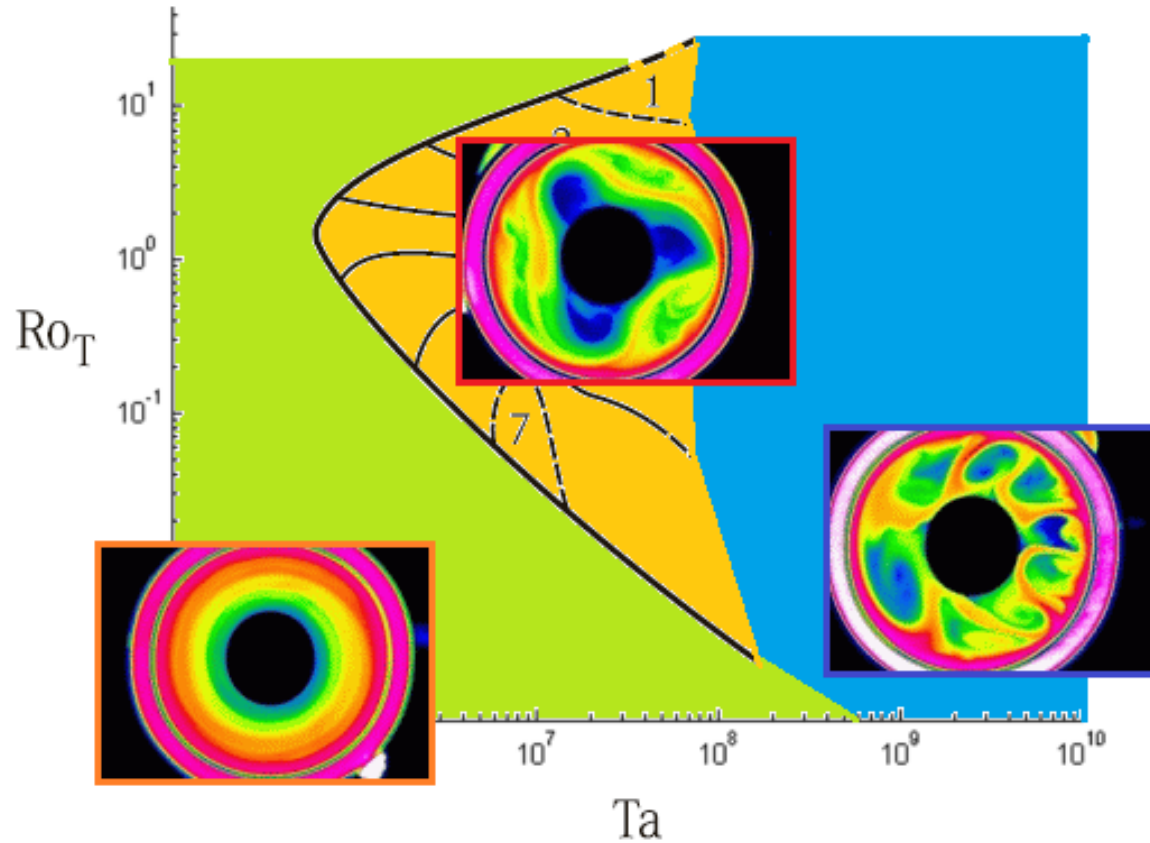
Különböző bolygólégkörök modellezhetők.

- Vénusz: lassú forgás, Zonális áramlás
- Föld: gyors forgás → Coriolis-erő → ciklonok, anticiklonok (“időjárás”)



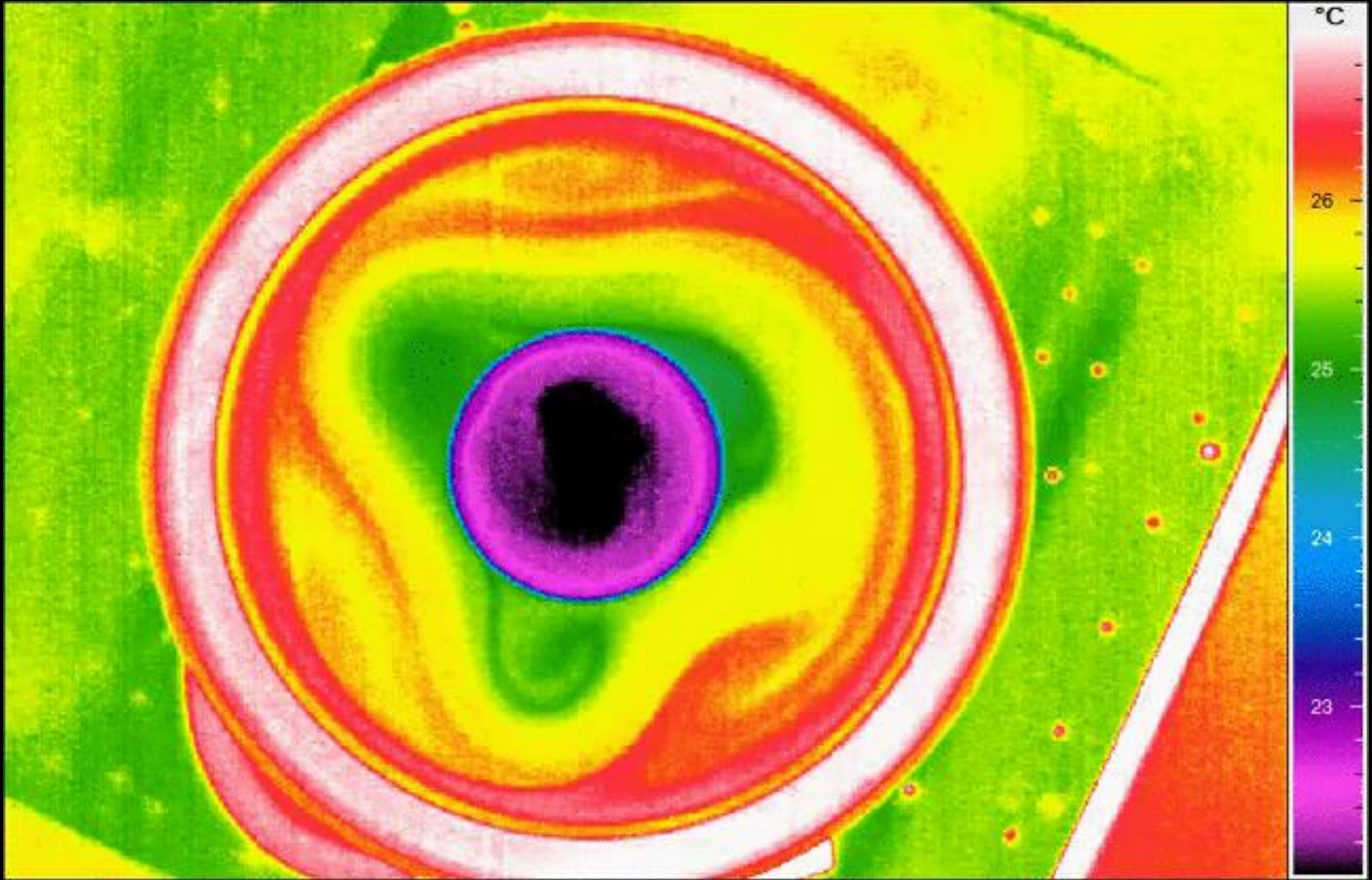


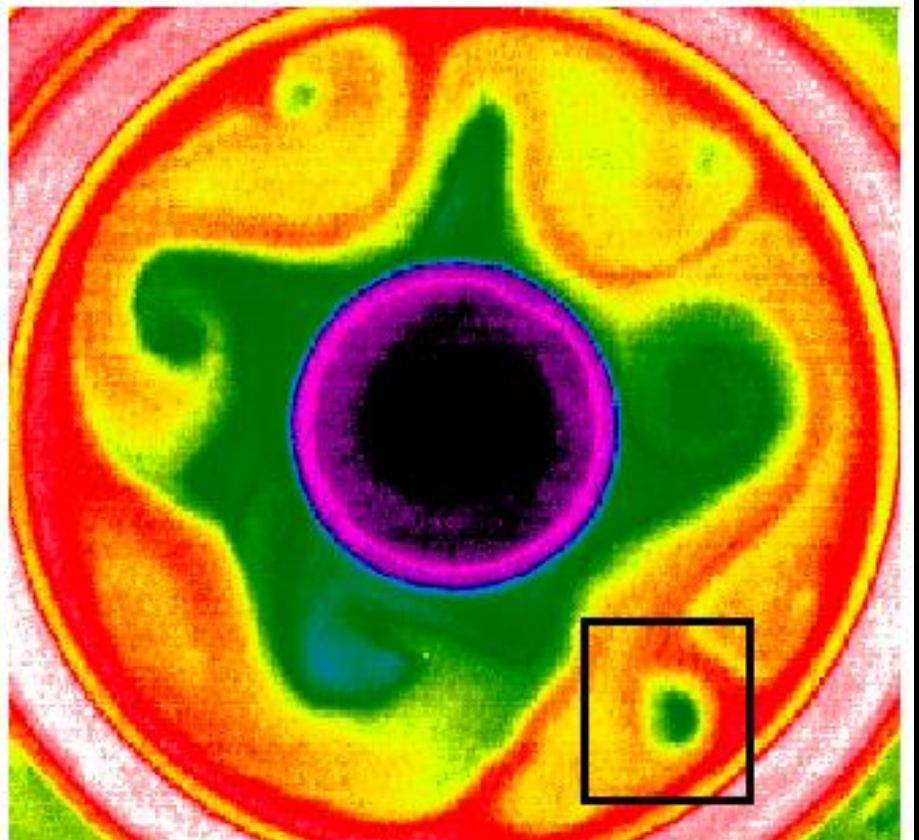
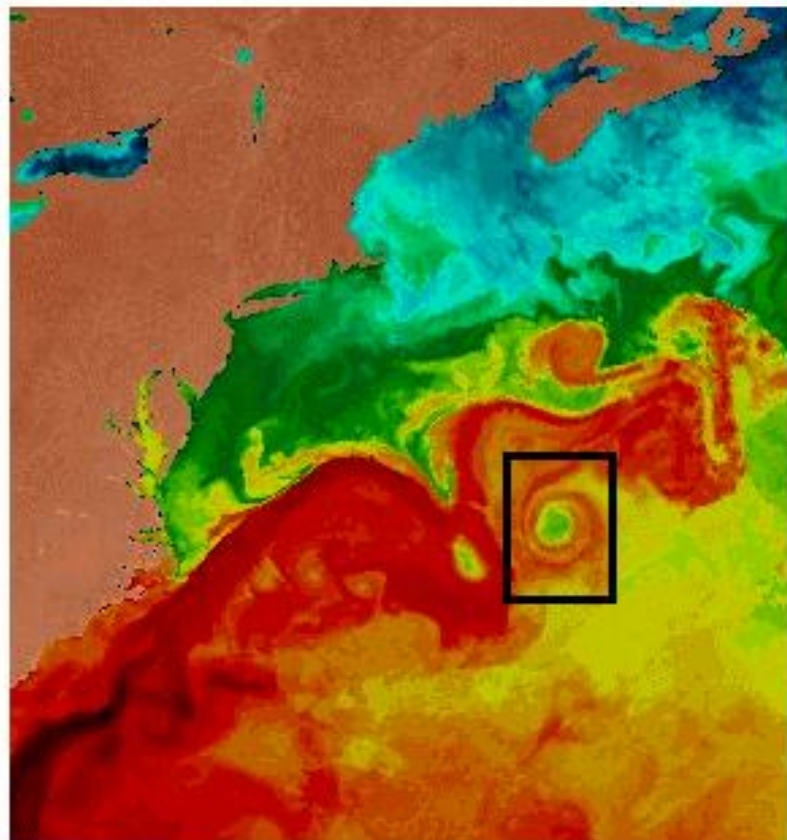
A "fázisdiagram" (Fultz nyomán) a helyes hasonlósági paraméterekkel



$$Ta = \frac{4 \cdot \Omega^2 \cdot (b - a)^5}{\nu^2 \cdot d}$$

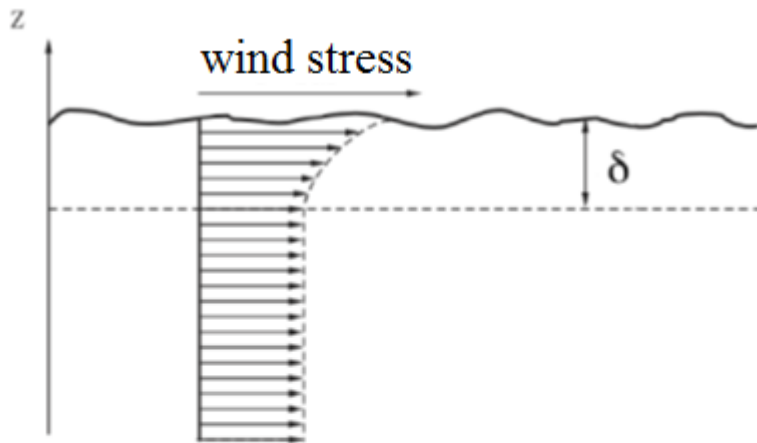
$$Ro = \frac{g \cdot d \cdot \alpha \Delta T}{\Omega^2 \cdot (b - a)^2}$$



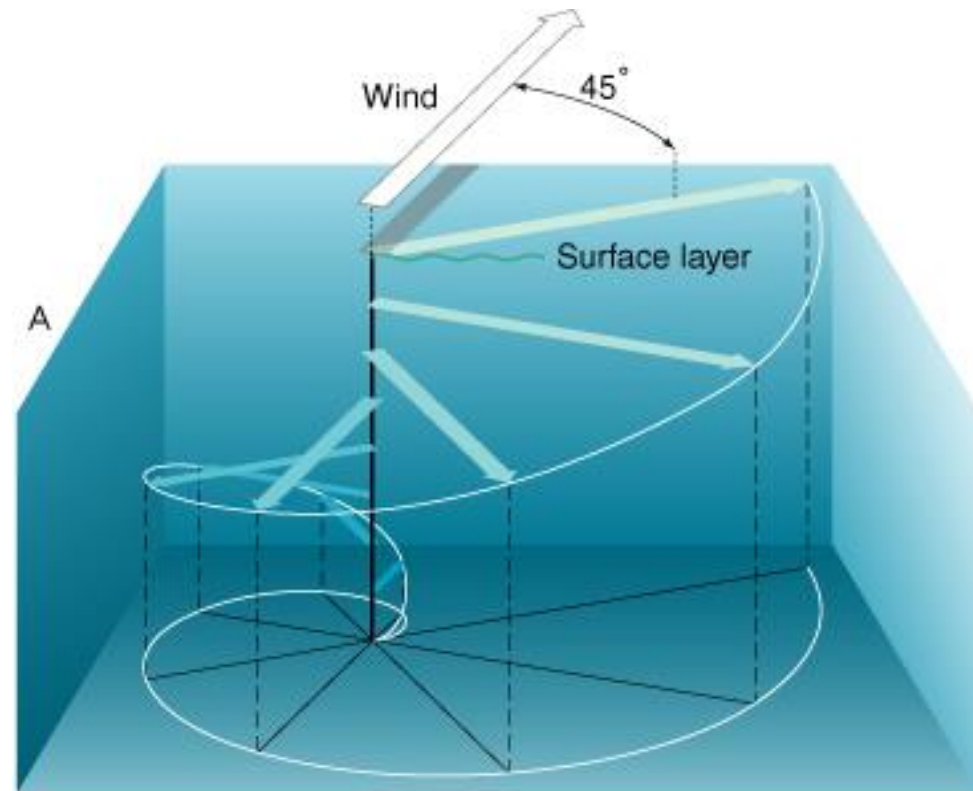


Az óceánt a szél is hajtja. De hogyan?

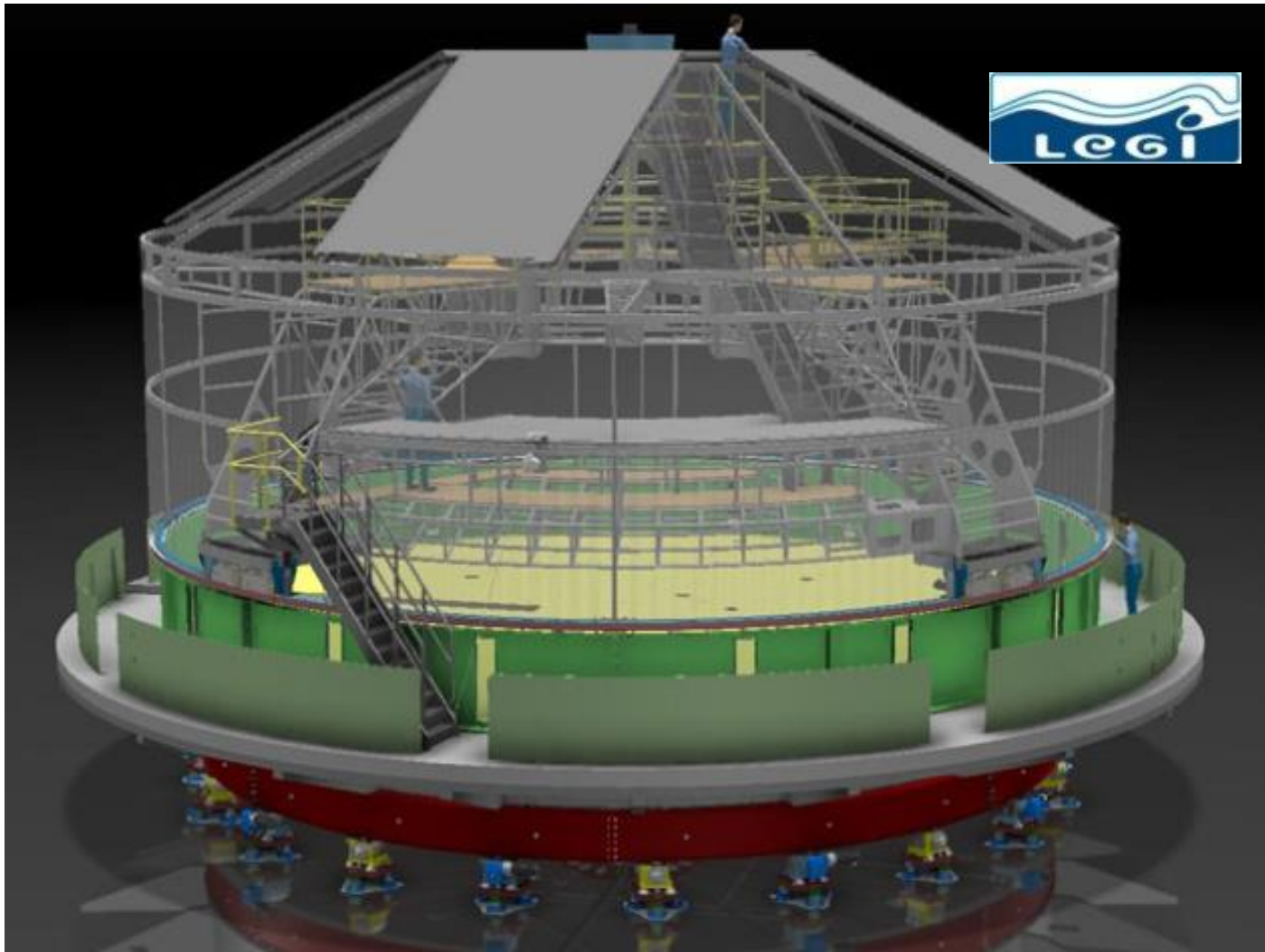
- V.W. Ekman (1905)
- Ha a szél **egyenletesen fúj**, hatása csak $\delta = 20\text{-}100$ m mélységig hatol le. (Ráadásul a Coriolis-erő miatt érdekes spirálalakban elfordulva)

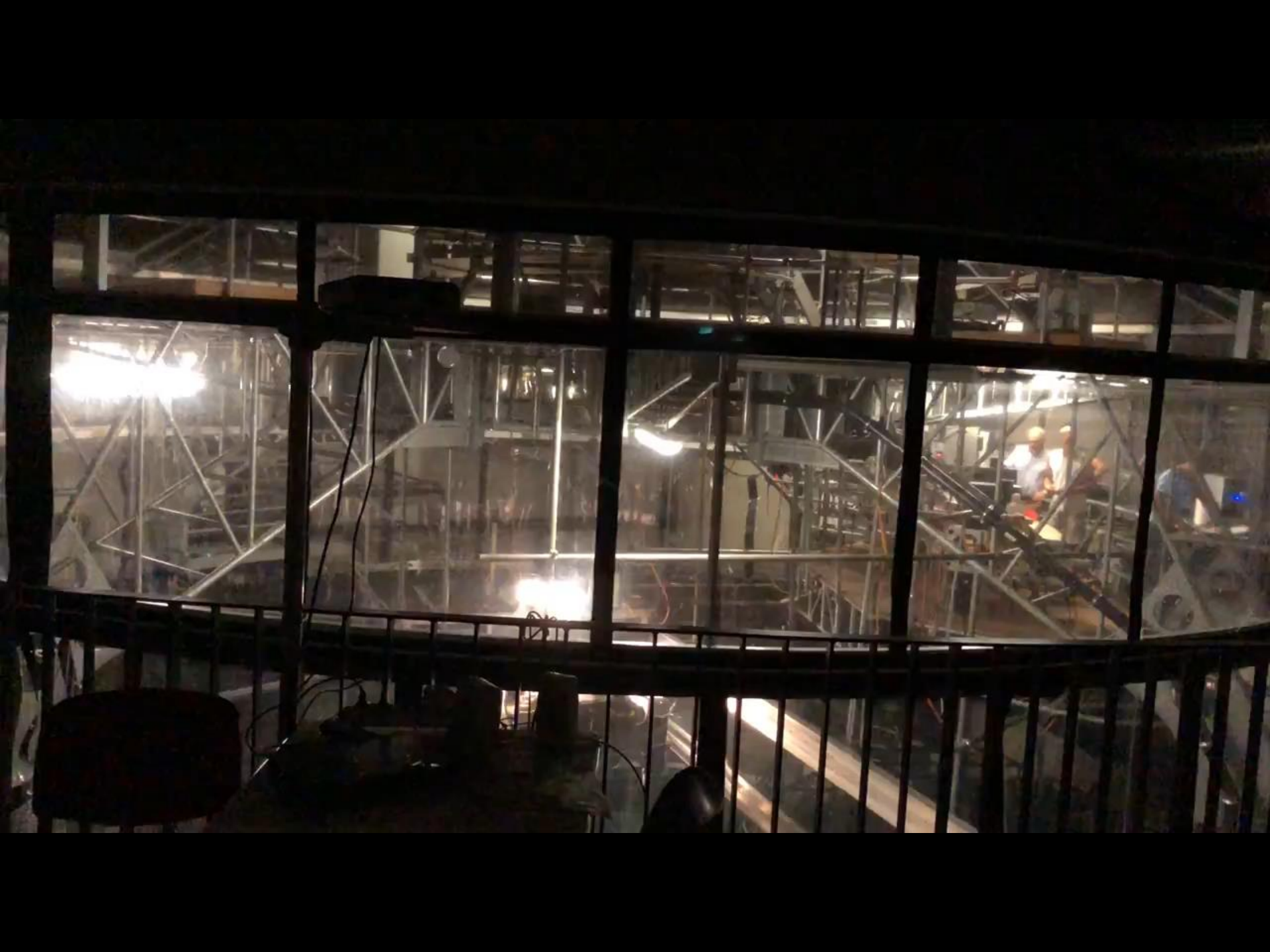


$$\delta = \sqrt{\frac{\nu}{f}} = \sqrt{\frac{\nu}{2\Omega \sin(\lambda)}}$$

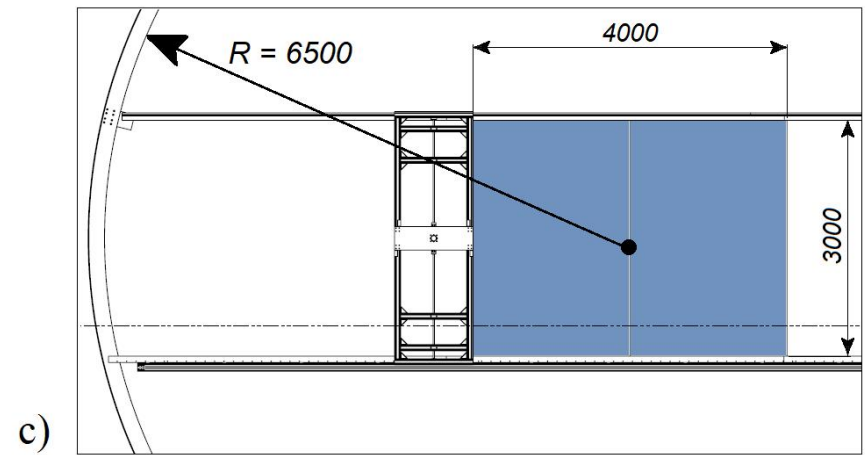
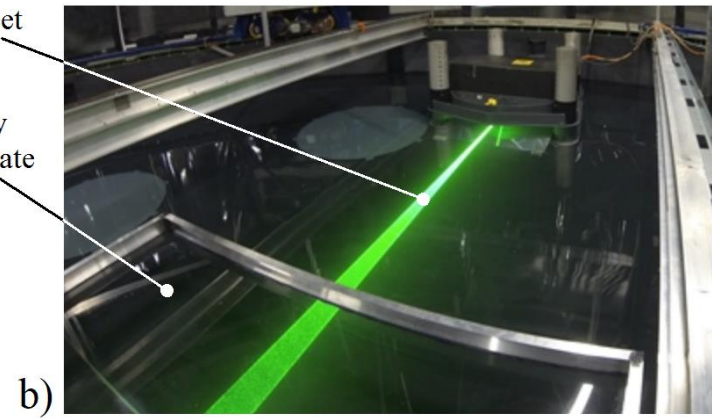
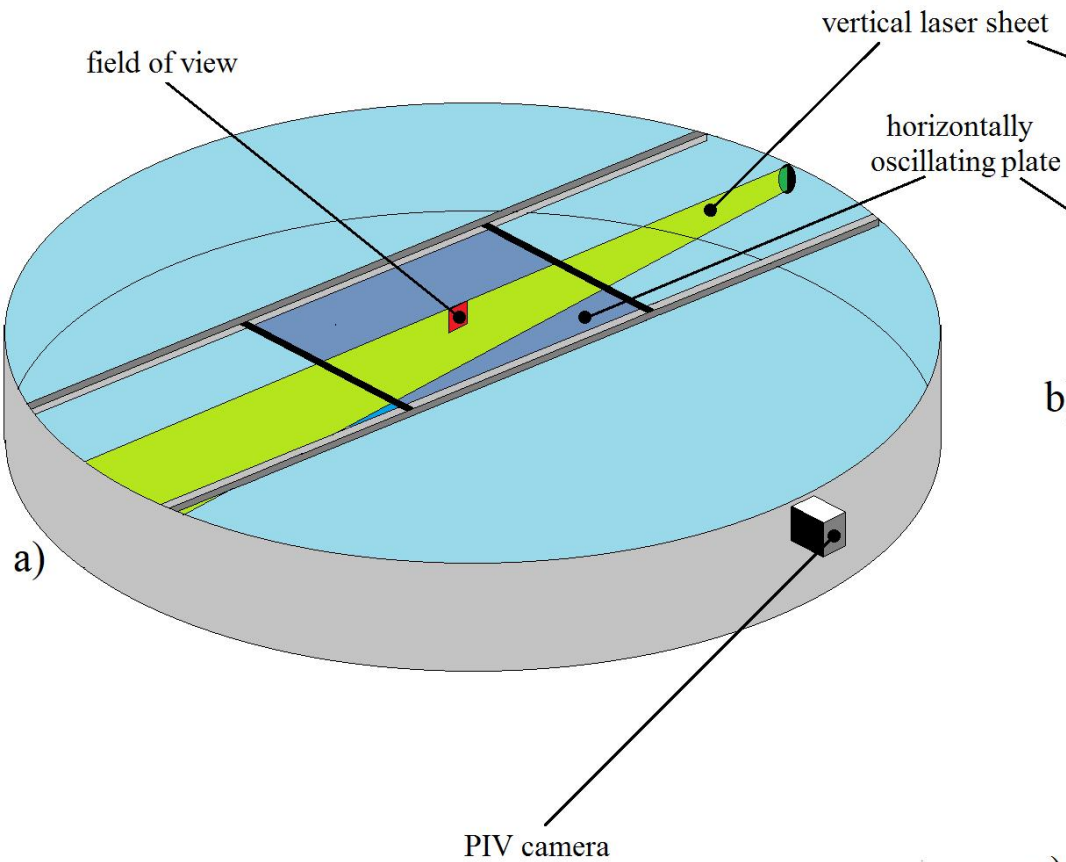


...de mi történik, ha a szélirány váltakozik (ahogy szokott)?
Ennek a megvizsgálásához kicsit nagyobb tartály kellett...

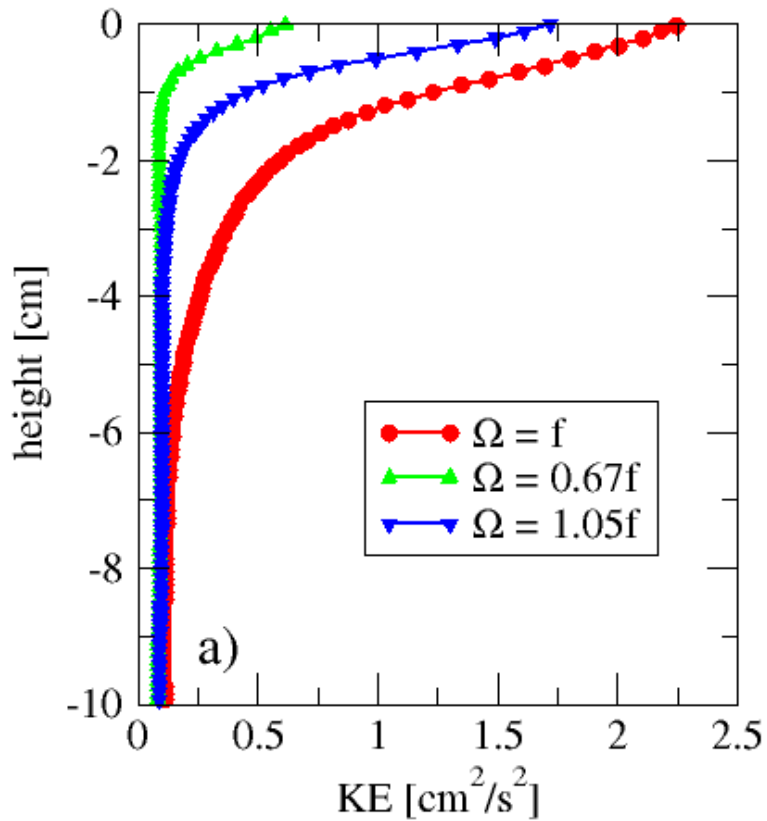




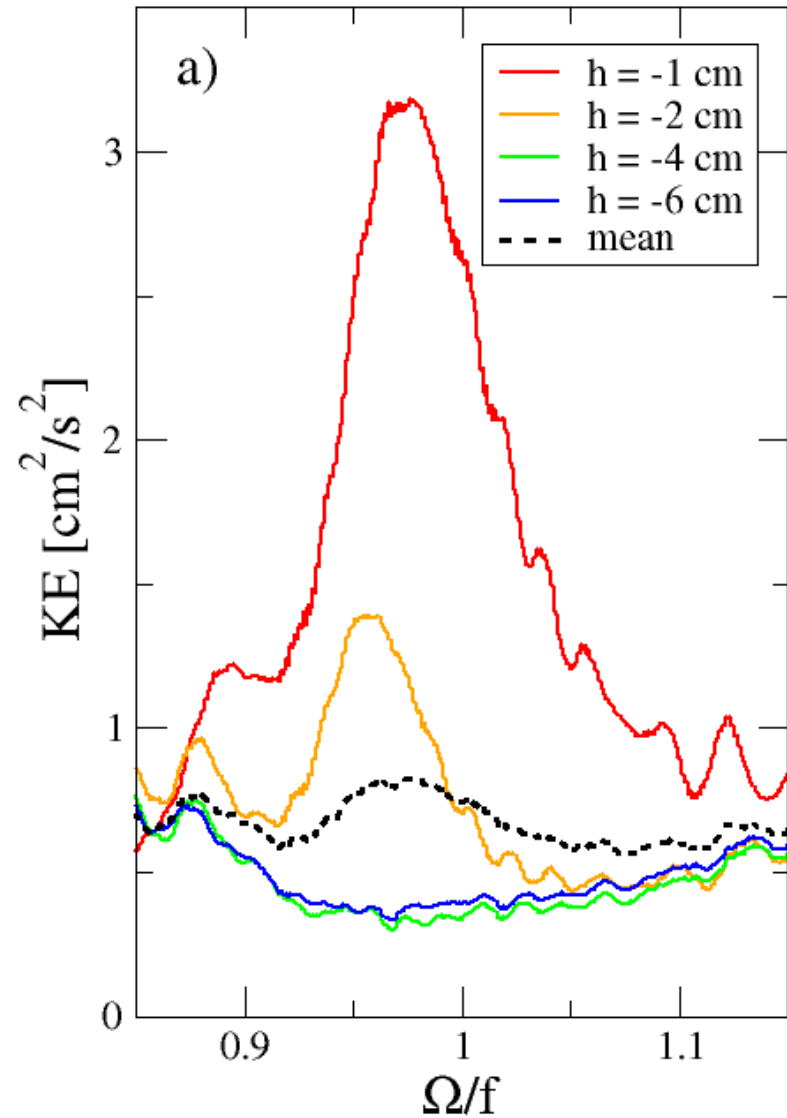
A szél szerepében: egy sín mentén „rángatott” plexilap!



Ha a Coriolis-frekvenciával vált irányt a „szél” nagy behatolás \rightarrow keverés!

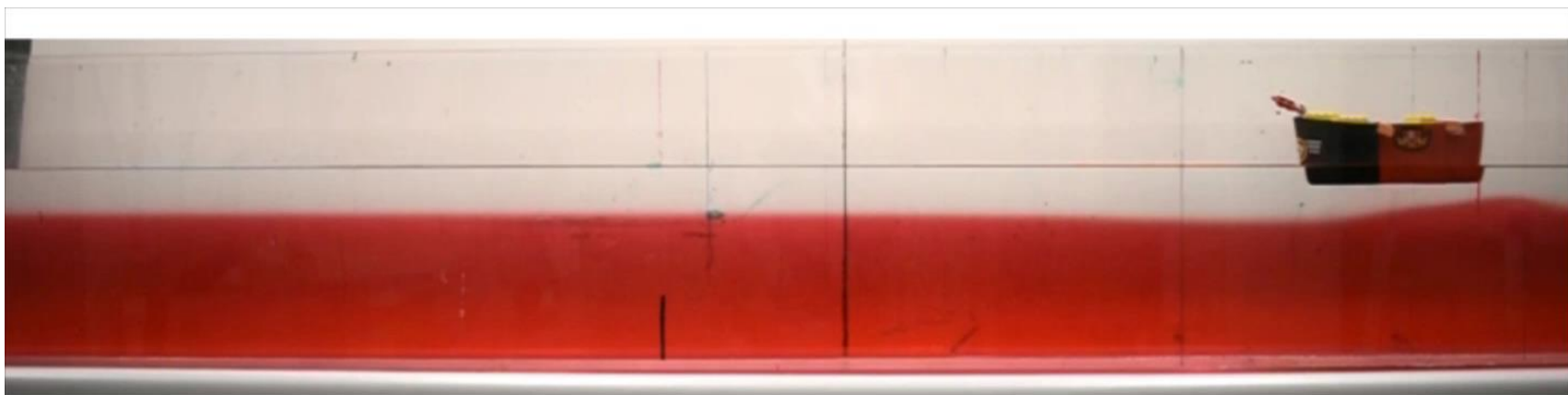


$$KE = \frac{1}{2} (u^2 + w^2)$$

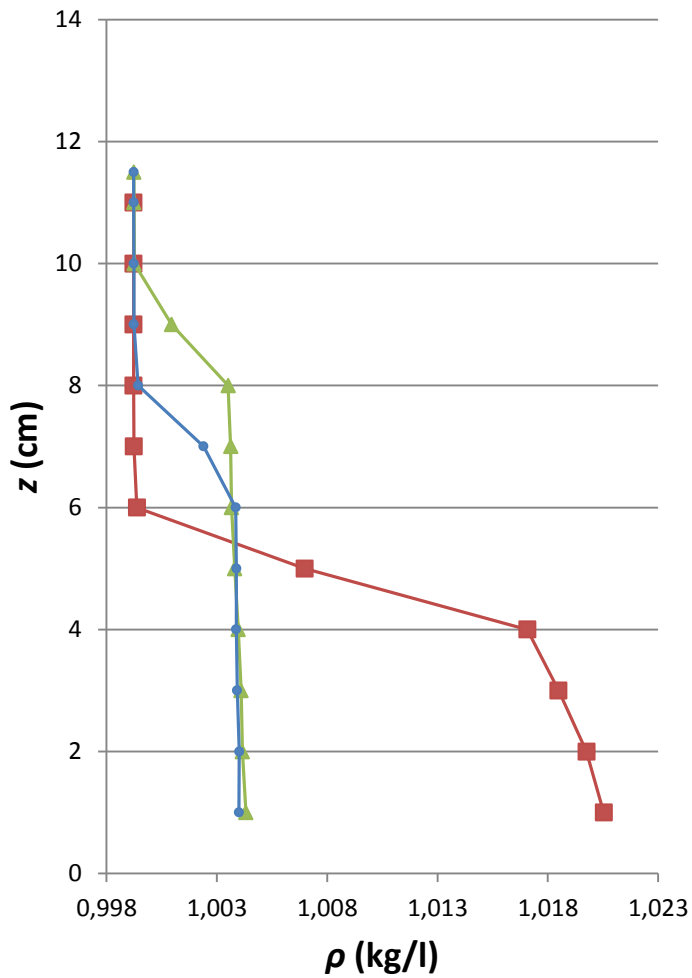


Mi van még az óceánban, ami a fürdőkádban nincs? Rétegzettség!

- A norvég halászokat 200 évig izgalomban tartó „holt víz effektus”.



Néhány tipikus sűrűségprofil



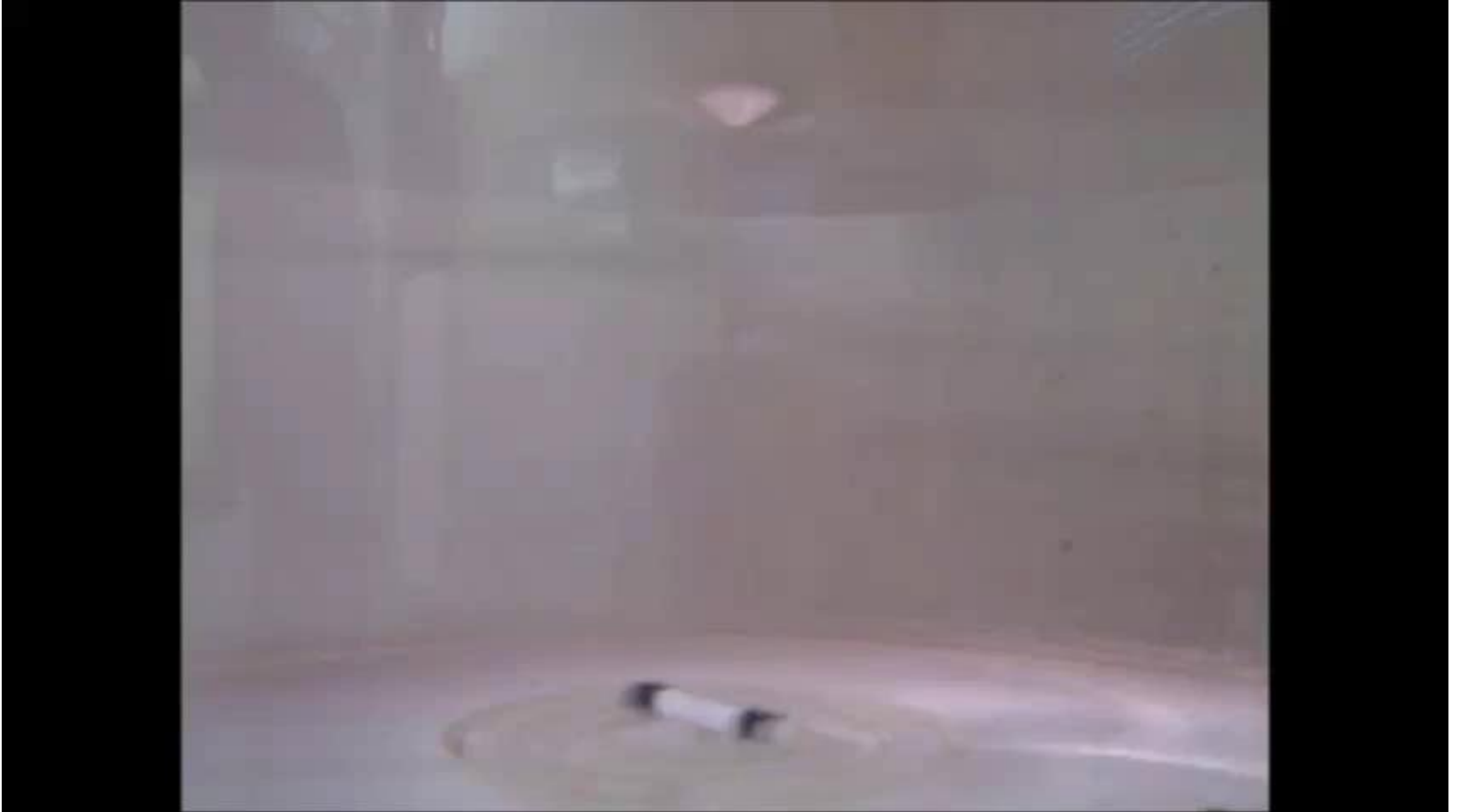
Tehetlenségi frekvencia N :

low density

high density

$$N = \left(-\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho_0}{dz} \right)^{1/2}$$

Hétköznapi élményünk a Kármán Laborban
mágneses keverő keltette örvénnyel I.



Hétköznapi élményünk a Kármán Laborban mágneses keverő keltette örvénnyel II.



4-5 percig jól látható a festékhenger. Mitől?

Néhány stabil, anyagot transzportáló örvény:



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

