



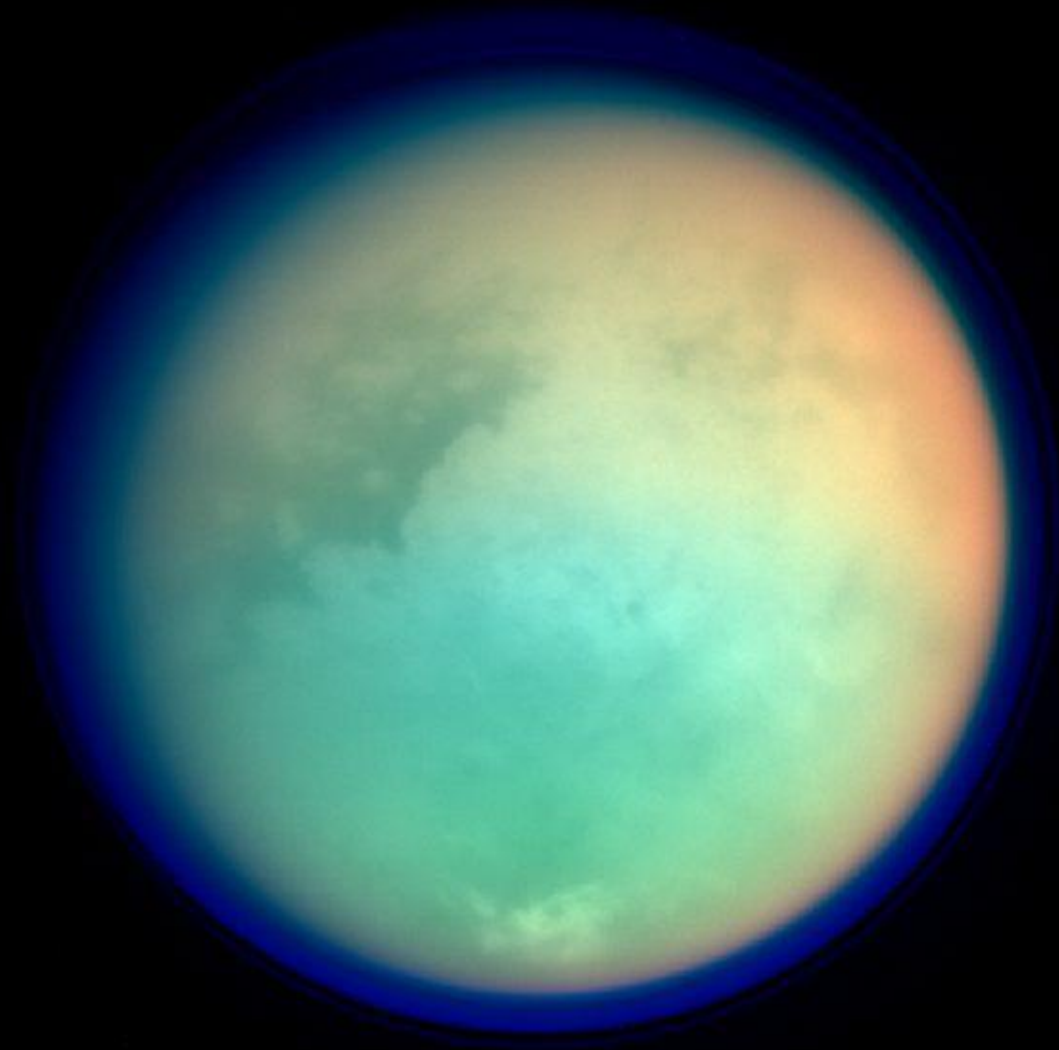
A Szaturnusz hatszögétől az
exobolygók időjárásáig:

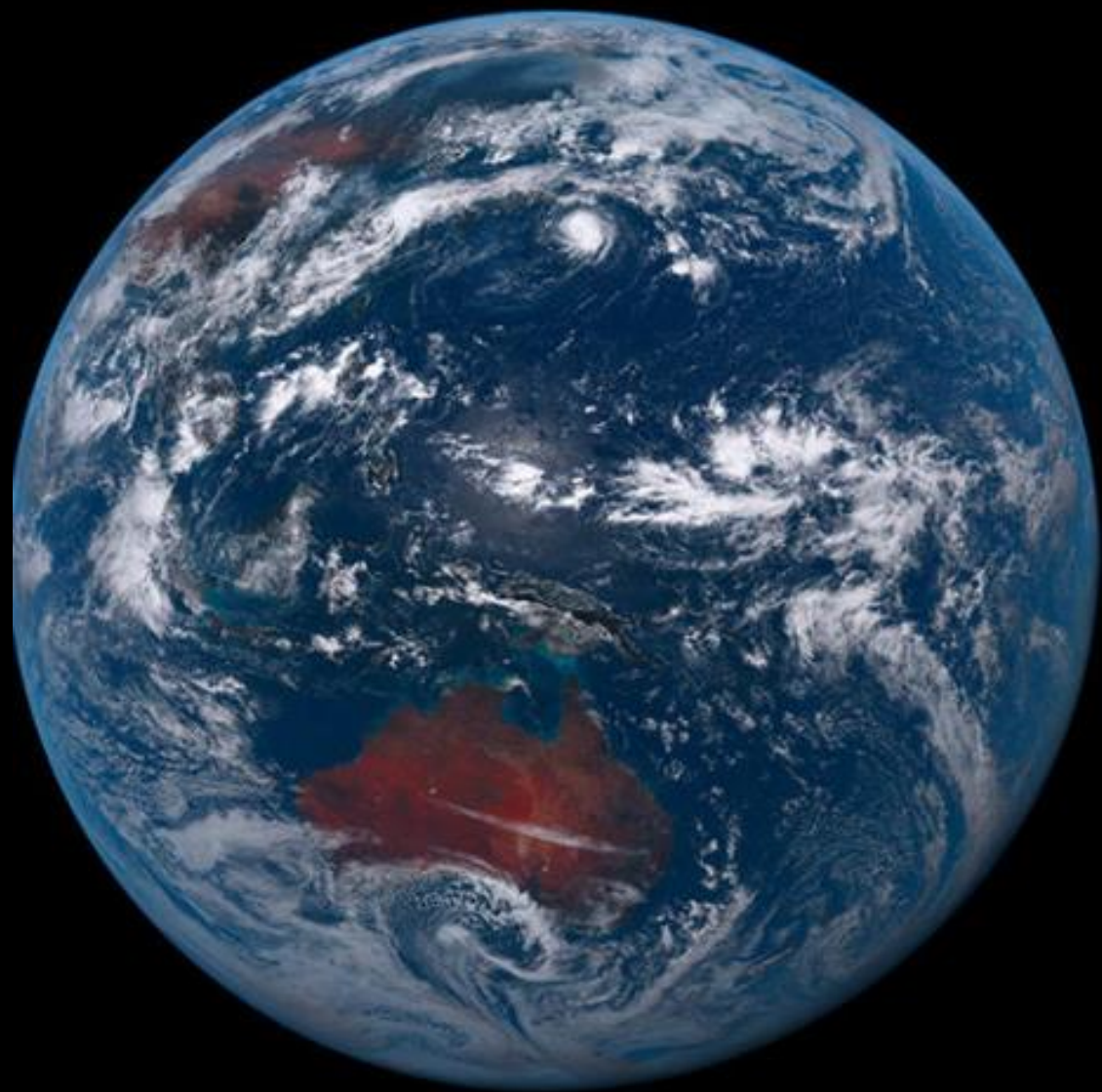
*bolygólégkörök kutatása a
helyszínen és a laborban*

Vincze Miklós

ELTE Anyagfizikai Tanszék
(Budapest)

HUN-REN Földfizikai és
Űrtudományi Kutatóintézet
(Sopron)





Légkör: a fűtés elkergetné, a gravitáció megtartaná. Melyik nyer?

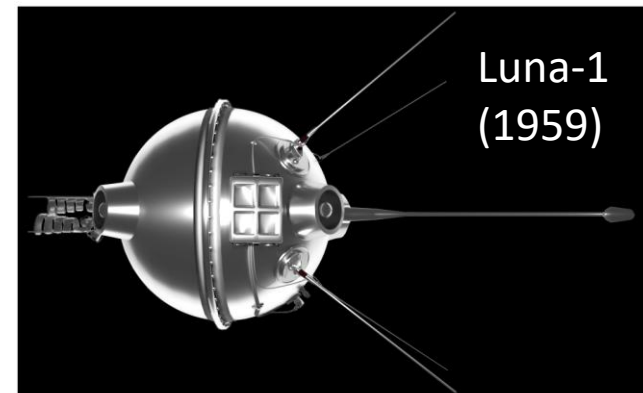
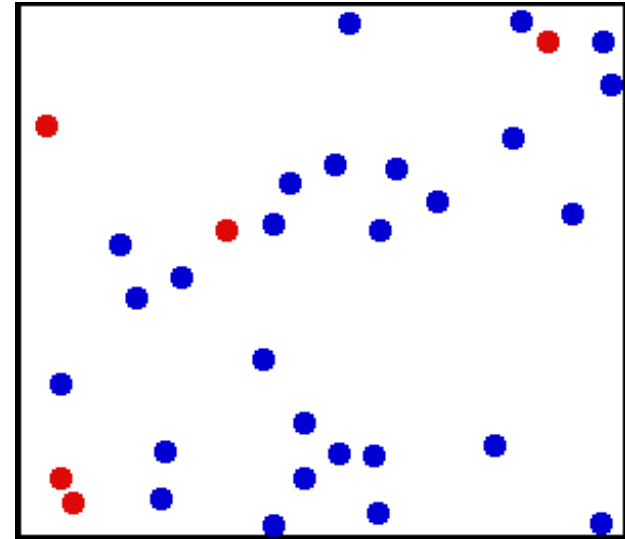
Gázcsepp: minél melegebb van, annál nagyobb (mozgási) energiával zsizsegnek. Átlagosan:

$$\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

Adott mozgási energiához (tehát hőmérséklethez) nagyobb sebesség társul, ha a részecske m tömege kisebb.

A nagy kérdés, hogy ez hogyan viszonyul a szökési sebességhez az adott bolygóról.

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$



Légkör: a fűtés elkergetné, a gravitáció megtartaná. Melyik nyer?

Gázcseppkék: minél melegebb van, annál nagyobb (mozgási) energiával zsizsegnek. Átlagosan:

$$\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

**$T = 300$ K hőmérsékleten
egy oxigénmolekulára kb.
500 m/s jön ki.**

Adott mozgási energiához (tehát hőmérséklethez) nagyobb sebesség társul, ha a részecske m tömege kisebb.

A nagy kérdés, hogy ez hogyan viszonyul a szökési sebességhez az adott bolygóról.

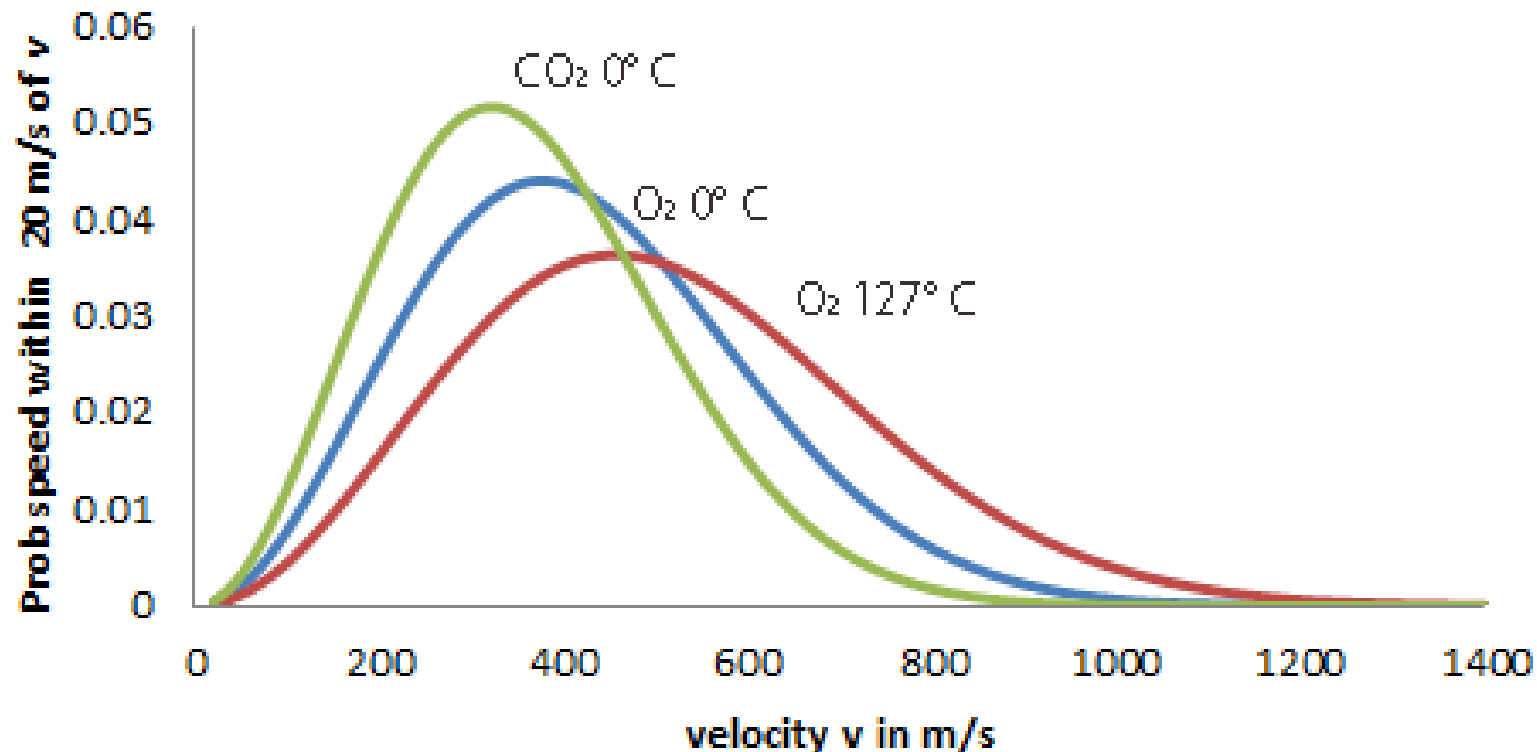
$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

A szökési sebesség a Föld felszínéről kb. 11,2 km/s

**(Egyelőre nincs gond; de majd 1 milliárd év
múlva, amikor 10%-kal jobban süt majd a Nap...)**

Légkör: a fűtés elkergetné, a gravitáció megtartaná. Melyik nyer?

Gázcsepscék: minél melegebb van, annál nagyobb (mozgási) energiával zszegnek. Nem is csak az átlag számít. A **Maxwell—Boltzmann-eloszlás** farkában mindig vannak elszabaduló részecskék. Előbb utóbb minden légkör elszállna így, a kérdés csak az, hogy milyen gyorsan (és van-e olyan mechanizmus, ami pótolja).



$m = 33.35$
 -5 100
 $R = 8314$
 -5 1.0×10^4
 $T = 298$
 -5 500

$$f(x) = \sqrt{\left(\frac{m}{2\pi R T}\right)^3} \cdot 4\pi x^2 e^{-\frac{m x^2}{2 R T}}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{33.35}{2\pi \cdot 8314 \cdot 298}\right)^3} \cdot 4\pi x^2$$

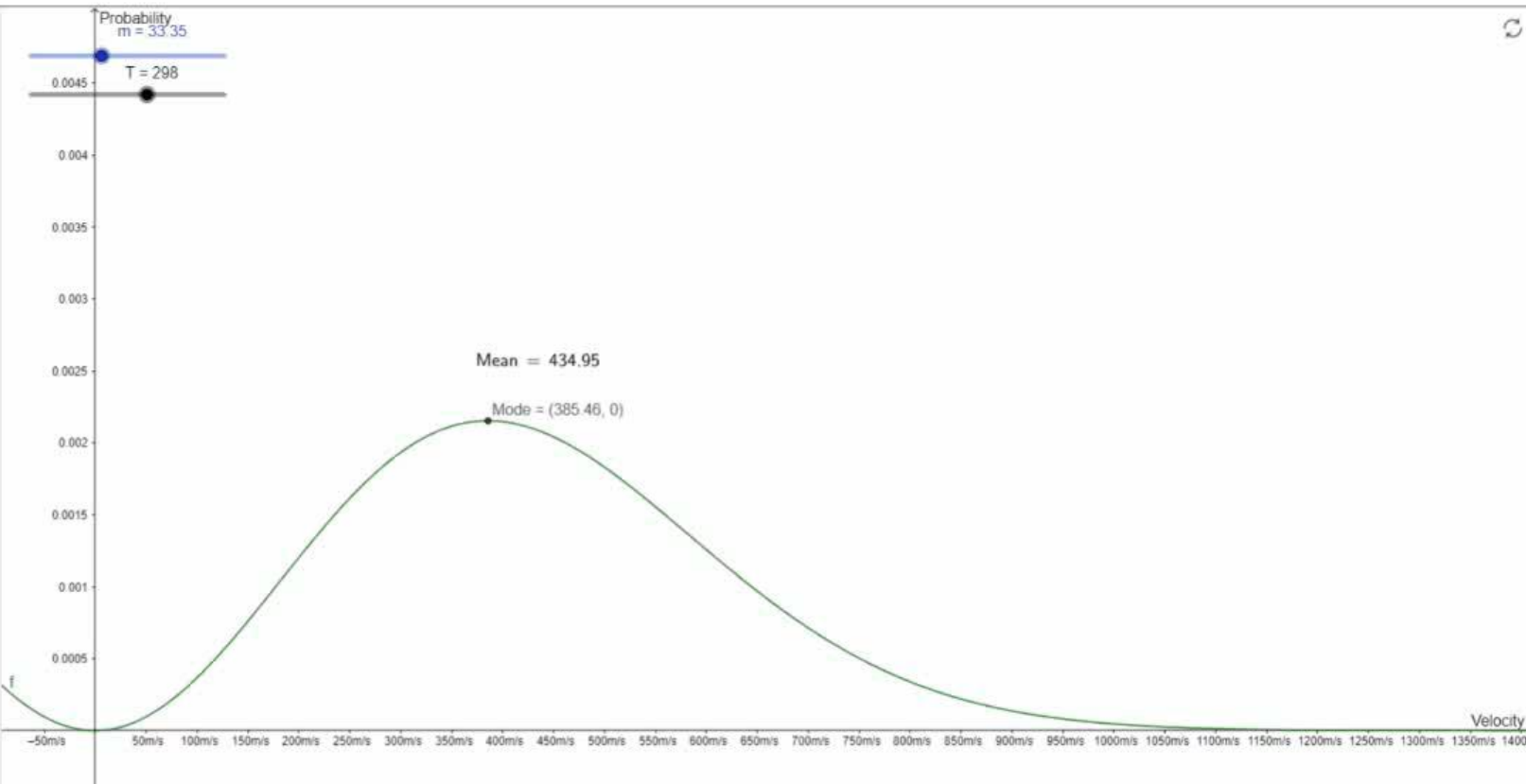
Mode = $\text{Max}(f, 0, 1000)$
 = (385.46, 0)

Mean = $\sqrt{\frac{8 R T}{m \pi}}$
 = 434.95

text1 = "Mean = 434.95"

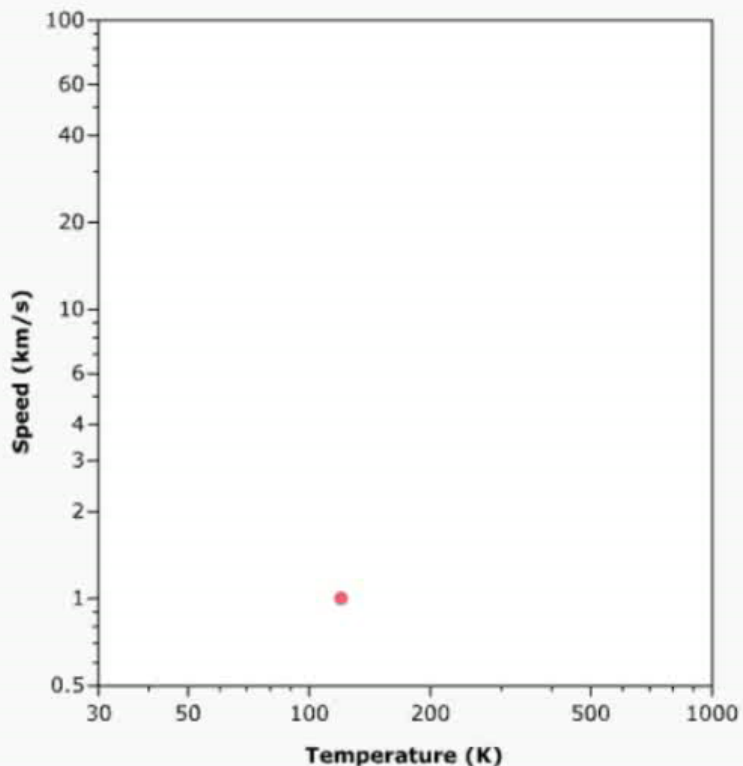
$$A = \int_0^{99999} f dx$$

= 1



Gas Retention Plot

reset help about



Gases

gas name (and symbol)	molecular mass	show in plot
hydrogen (H ₂)	2 u	<input type="checkbox"/>
helium (He)	4 u	<input type="checkbox"/>
methane (CH ₄)	16 u	<input type="checkbox"/>
ammonia (NH ₃)	17 u	<input type="checkbox"/>
water (H ₂ O)	18 u	<input type="checkbox"/>
nitrogen (N ₂)	28 u	<input type="checkbox"/>
oxygen (O ₂)	32 u	<input type="checkbox"/>
carbon dioxide (CO ₂)	44 u	<input type="checkbox"/>
xenon (Xe)	131 u	<input type="checkbox"/>

Plot Options

- show gas giants
- show terrestrial planets
- show icy bodies and moons

Custom Object Properties

temperature: K

this temperature would be associated with an object about 5.4 AU from the sun

radius: km

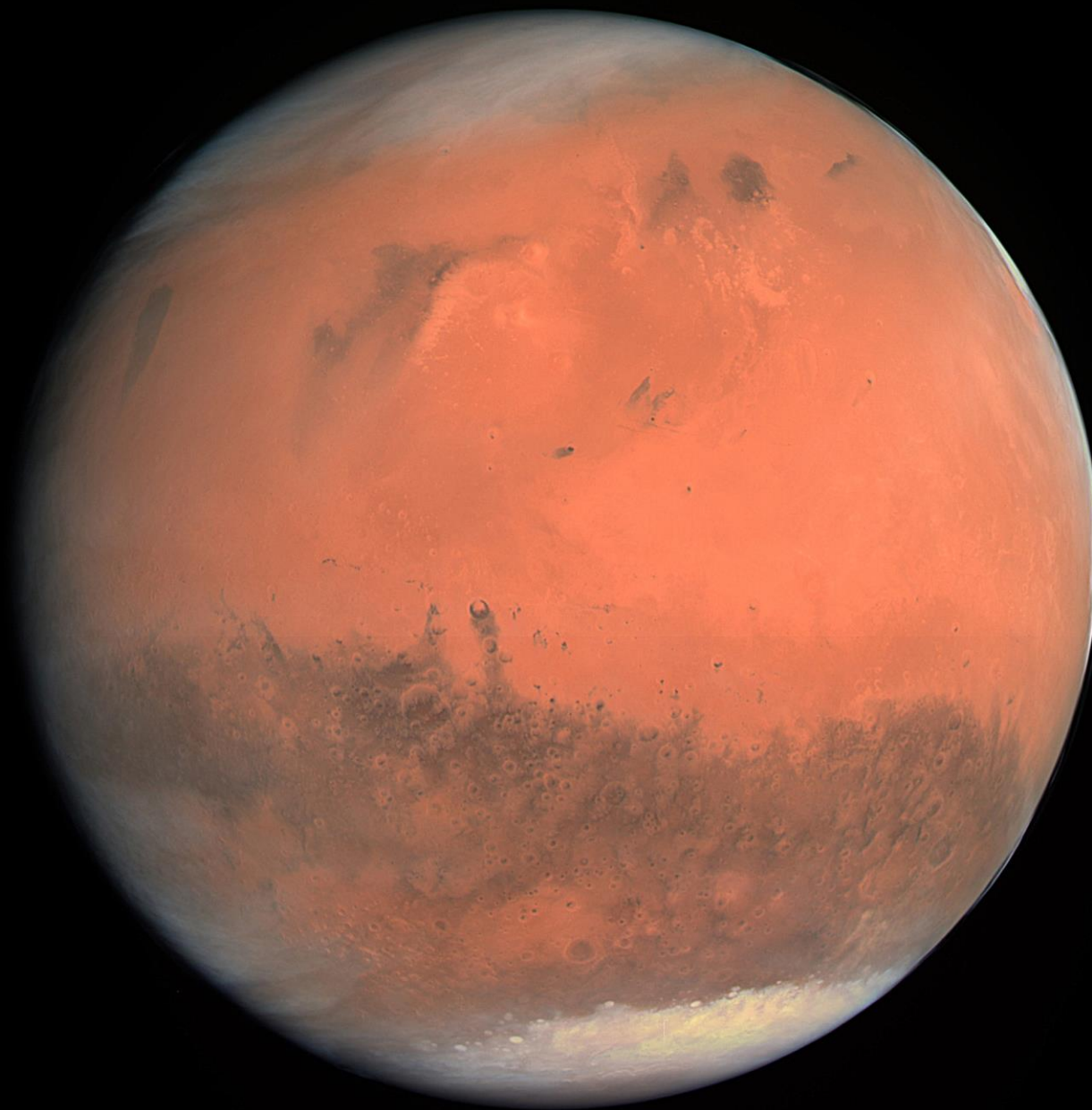
density: g/cm³

an object with this radius and density would have a mass of 4.5×10^{21} kg and an escape velocity of 1.0 km/s



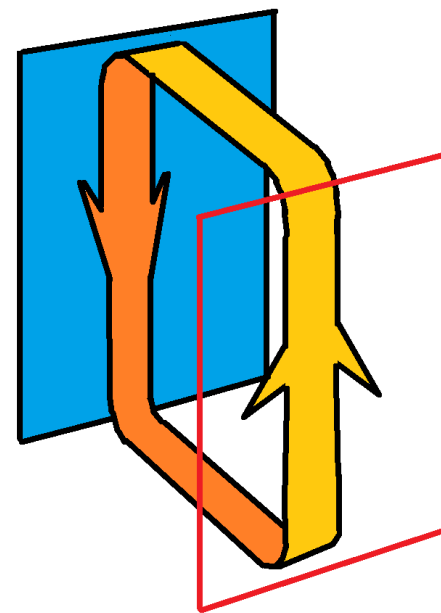
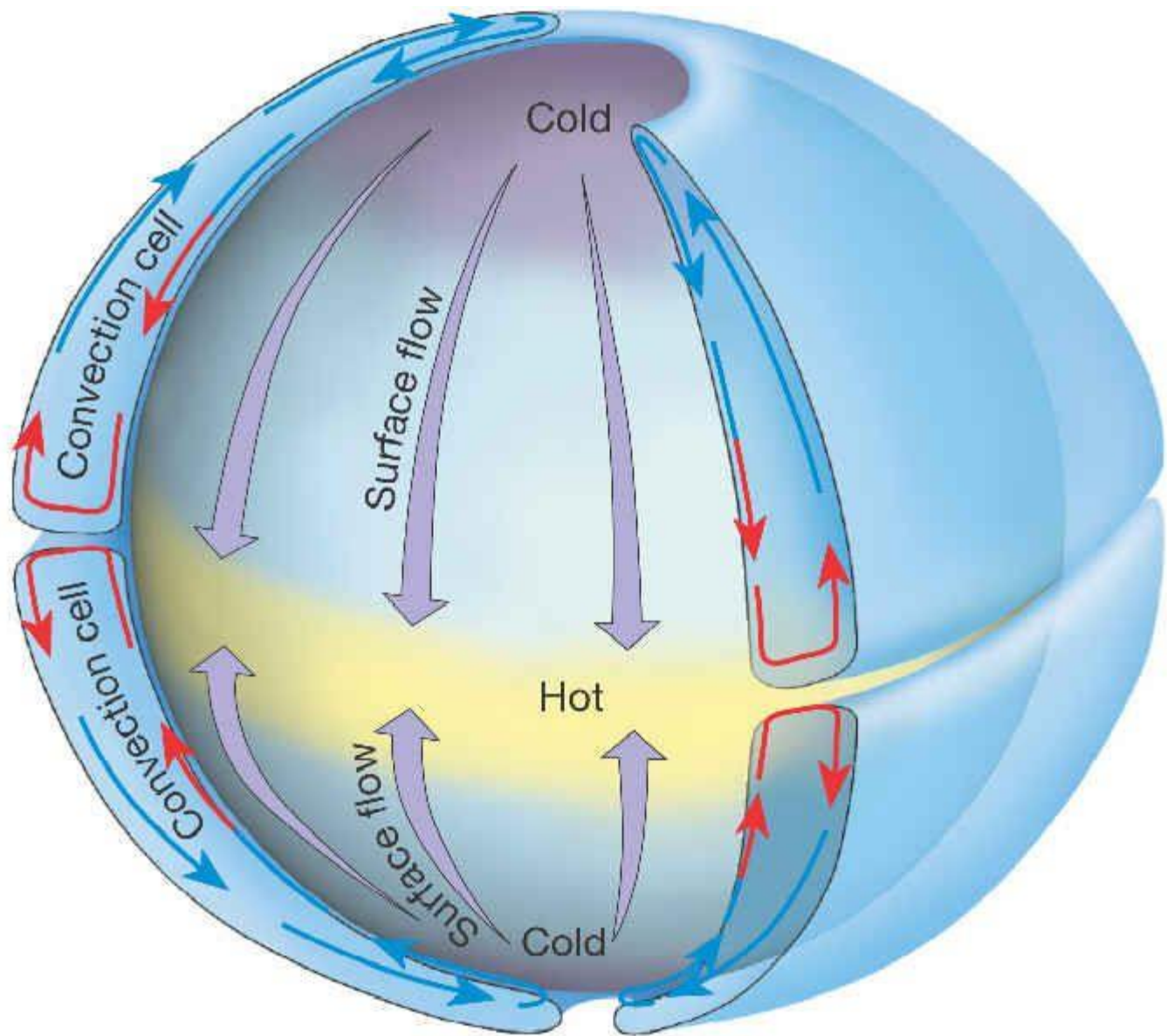
alkotó		<i>Föld</i>	<i>Mars</i>	<i>Vénusz</i>
N ₂	(28,01)	77,8	2,7	3,49
O ₂	(32,00)	20,8	0,13	—
Ar	(39,95)	0,9	1,6	0,007
H ₂ O	(18,02)	~0,4	0,03	0,002
CO ₂	(44,01)	0,04	95,32	96,5
egyebek		0,06	0,22	0,001

Mi itt ez a sok oxigén? 2,4 milliárd éve beindult a fotoszintézis!

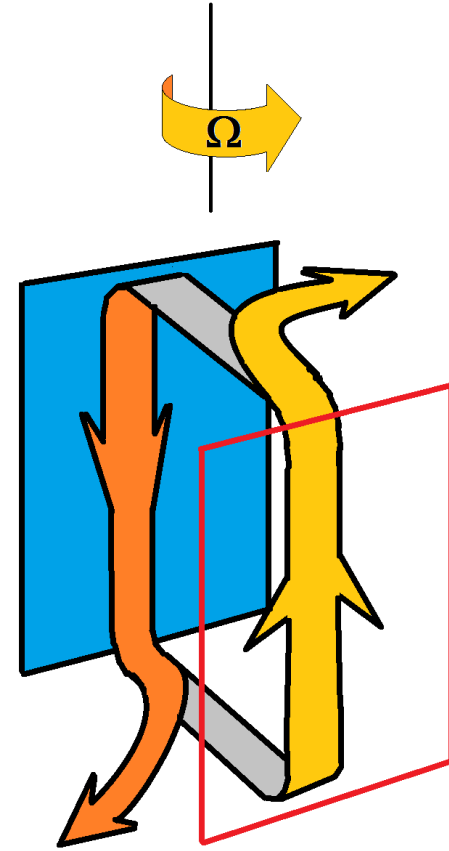


Miért rozsdás?

Mert a víz szétesett, a hidrogén elszállt, az oxigén meg reagált a vastartalmú felszínnel.



Coriolis-“erő”



(Sok-) minden az időskálákon múlik! A Rossby-szám.

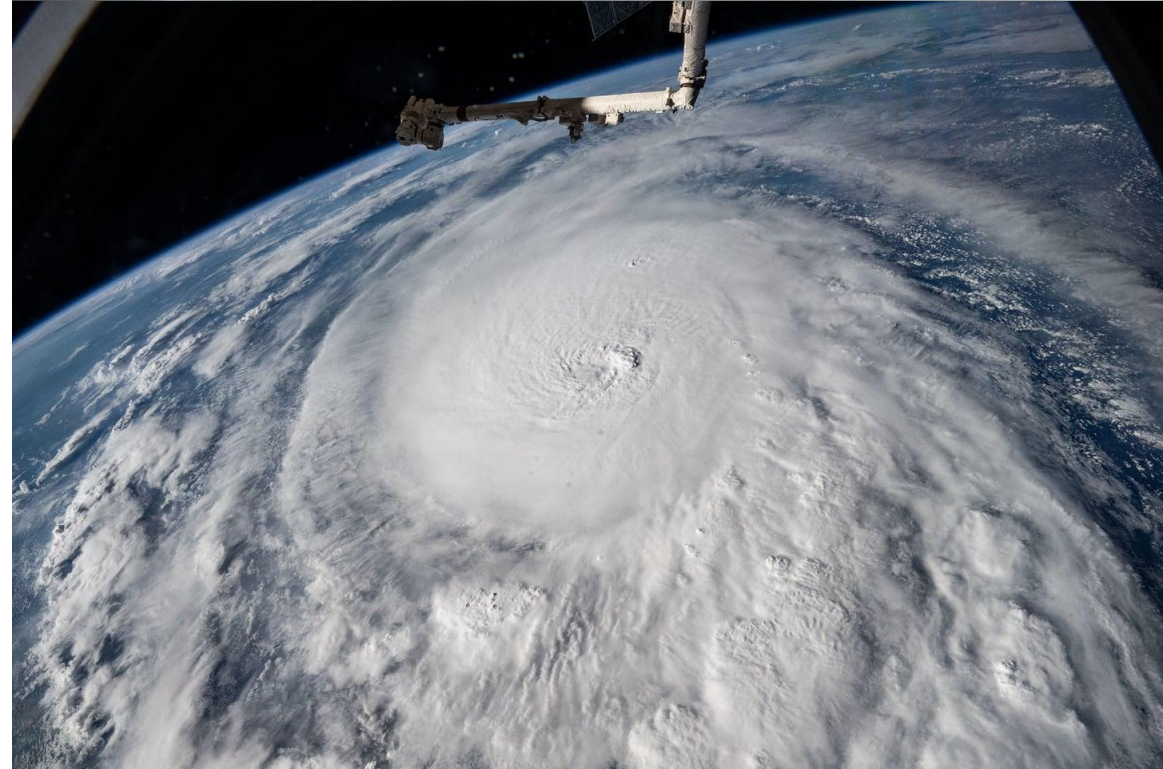
U sebességű áramlás D méretű tartományban. A jellemző áramlási időskála:

$$\tau = \frac{D}{U}$$

A *Rossby-szám* (Ro) a bolygó (vagy kísérleti tartály) T körfordulási idejének és az áramlási időskálának hányadosával arányos.

$$Ro = \frac{T \cdot U}{2\pi D} \propto \frac{T}{\tau}$$

Ha Ro kicsi, a bolygó forgása fontos az adott áramlás szempontjából. Ha Ro szép nagy, akkor a bolygó forgásának hatását elhanyagolhatjuk.



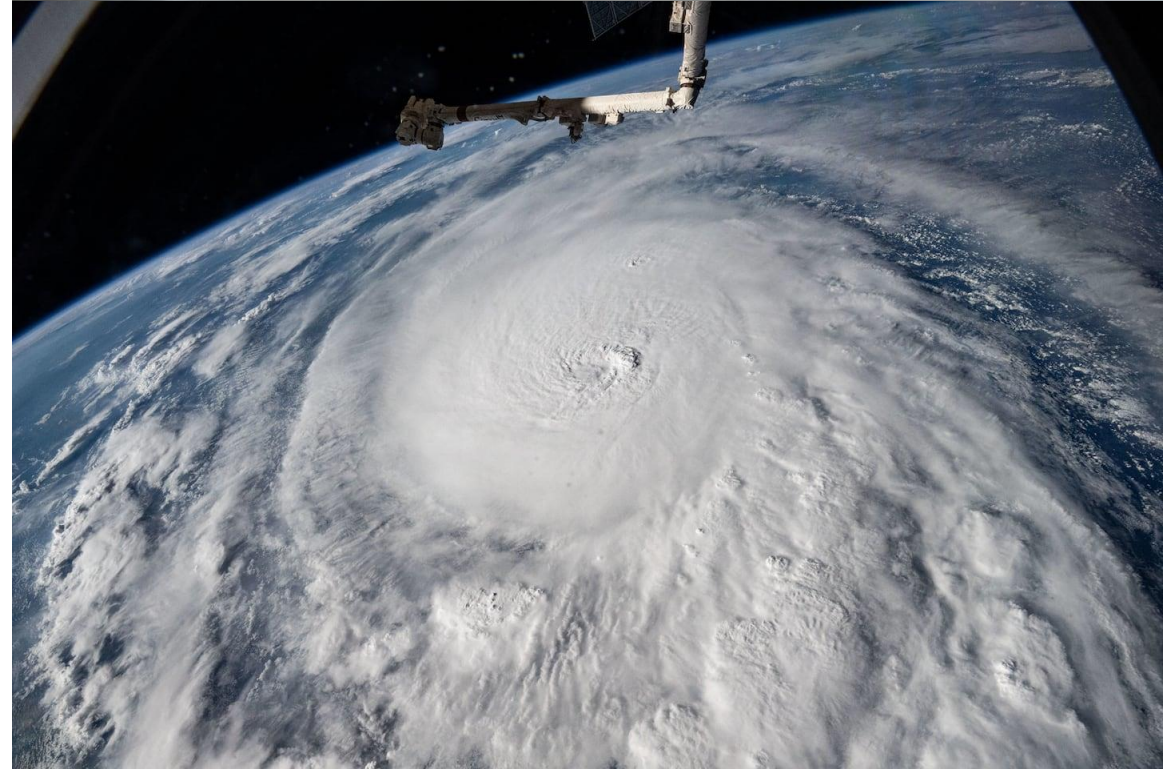
Ha a D méretskálának a bolygótetek
átmérőjét tekintjük, és ismerjük az ott
uralkodó átlagos U szélességet és a
 T tengelyforgási periódusidőt, akkor a
légkörrel rendelkező (kőzet-)
bolygótetekre ilyesmik jönnek ki:

$$R_0^{\text{Earth}} \sim 0.06$$

$$R_0^{\text{Venus}} \sim 370$$

$$R_0^{\text{Mars}} \sim 0.2$$

$$R_0^{\text{Titan}} \sim 18$$



Az áramlástanai hasonlóság csodái



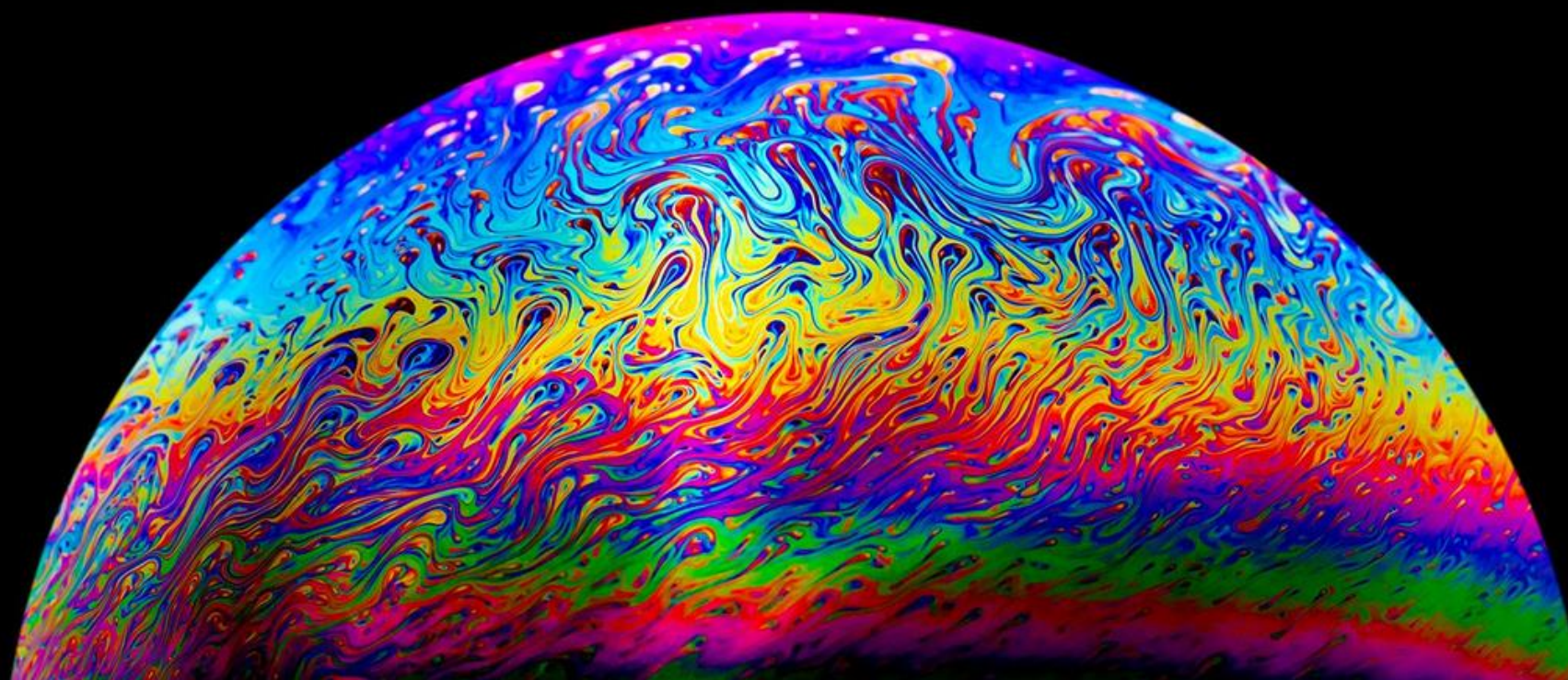
Jupiter (Juno) vs. Balti-tenger (Landsat-8). Forrás: NASA/SwRI/MSSS, Gerald Eichstädt és Seán Doran

Az áramlástanai hasonlóság csodái



Jupiter (Juno) vs. Balti-tenger (Landsat-8). Forrás: NASA/SwRI/MSSS, Gerald Eichstädt és Seán Doran

<https://www.kisskrisztiii.com/>



Planetáris hullámok, analógiák a Naprendszerben

kontrollparaméterek:

- Forgási szögsebesség
- Hőmérsékletkülönbség

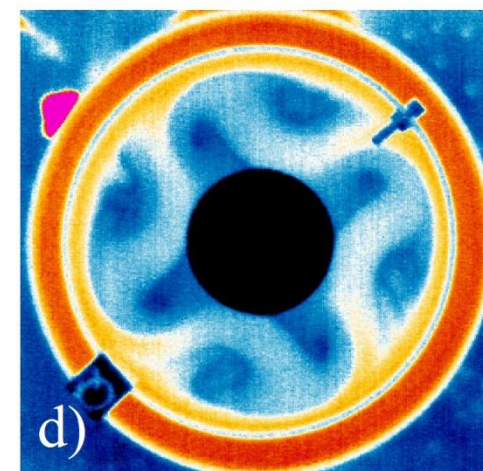
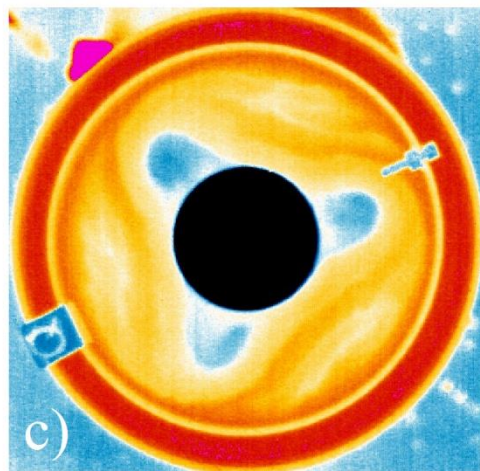
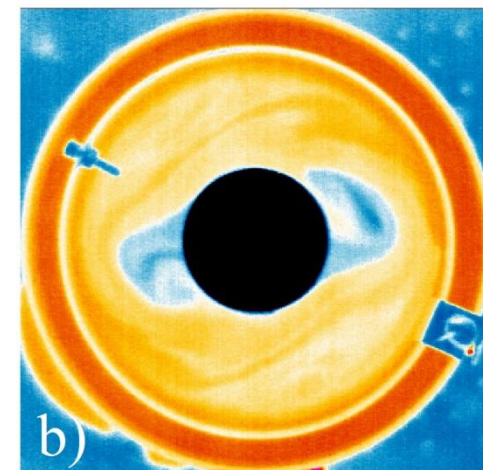
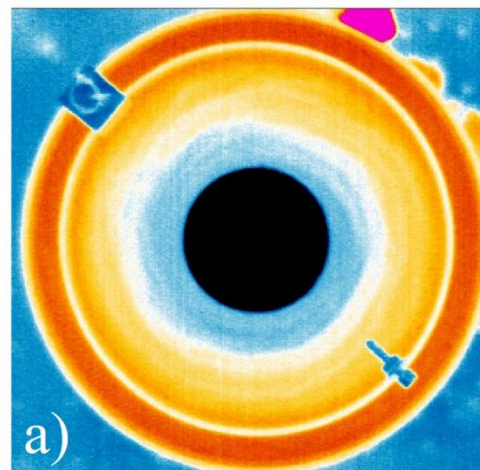
Különböző bolygóléggörök modellezhetők.

- Vénusz: lassú forgás

(R_0 nagy!)

- Föld: gyors forgás

(R_0 kicsi!)



Planetáris hullámok, analógiák a Naprendszerben

kontrollparaméterek:

- Forgási szögsebesség
- Hőmérsékletkülönbség

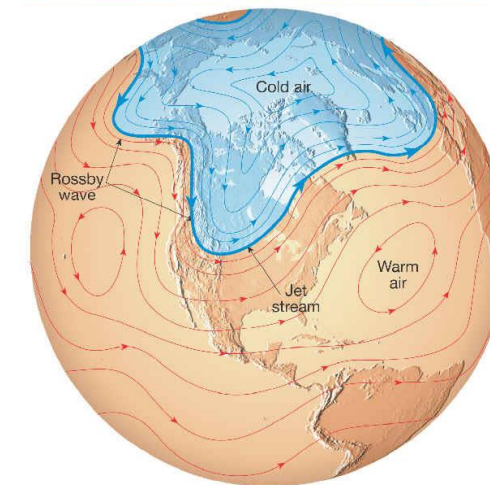
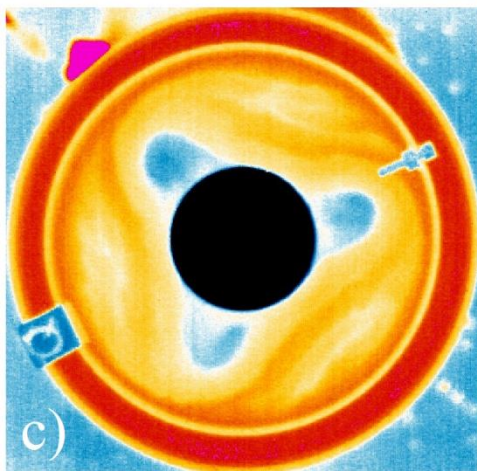
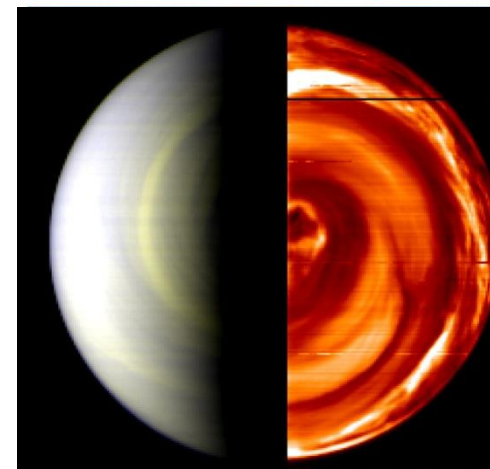
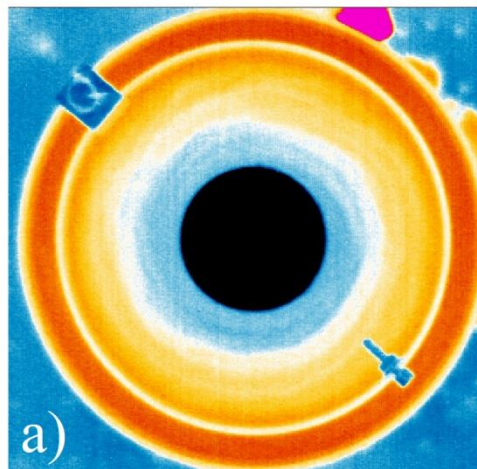
Különböző bolygólégkörök modellezhetők.

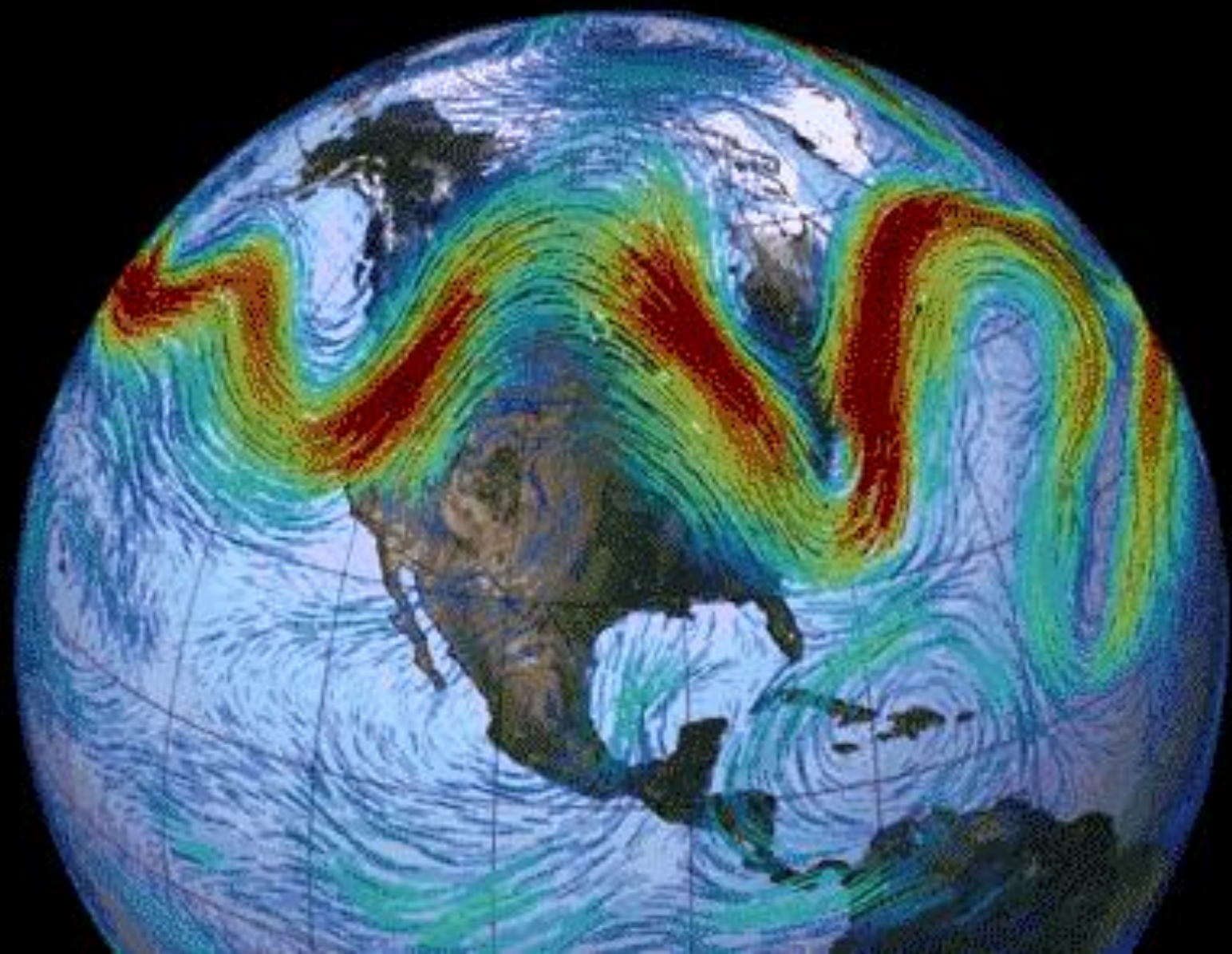
- Vénusz: lassú forgás

(Ro nagy!)

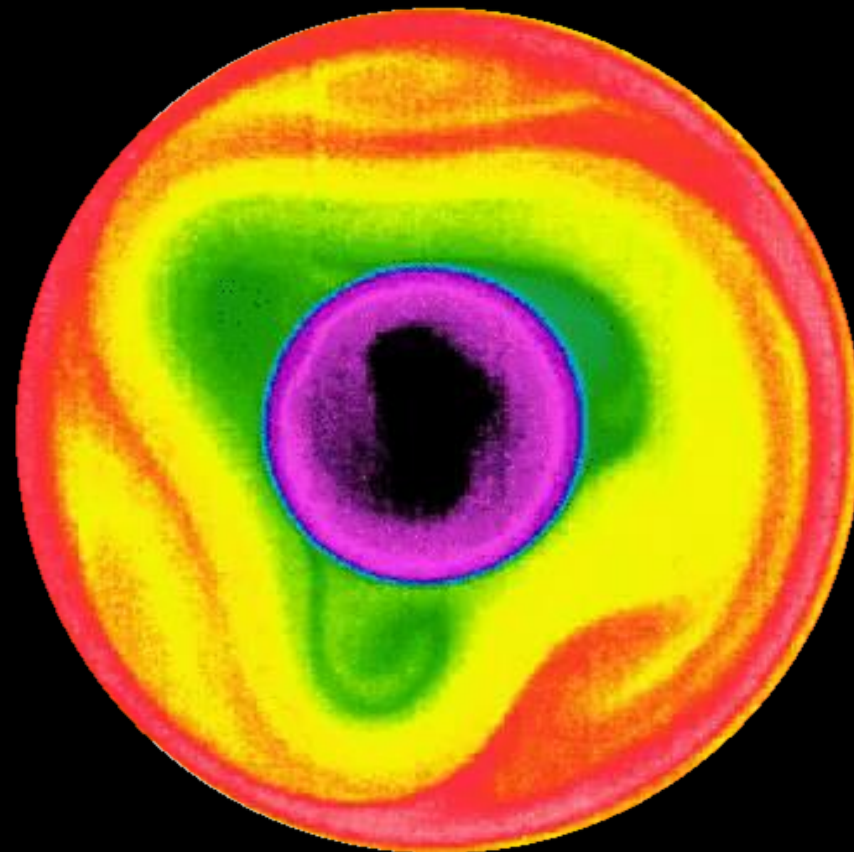
- Föld: gyors forgás

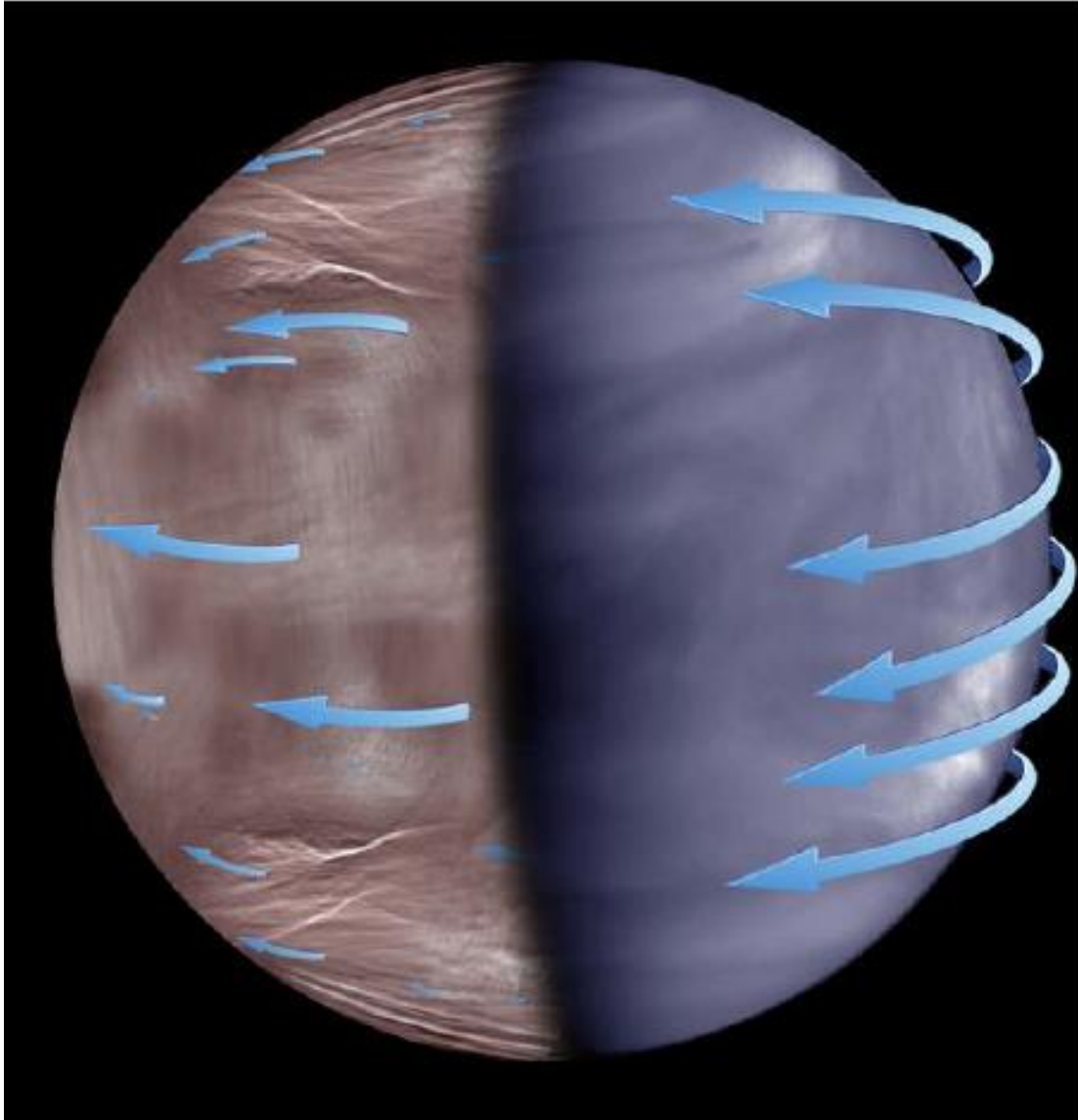
(Ro kicsi!)





Kísérletünk infravörösben – a hullám halad a bolygóhoz képest!





A **Vénusz** nagyon lassan forog ($T = 243$ nap) és két napkelte között is eltelik 117 nap

fun fact: egy év 225 napos (a retrográd forgás miatt jön így ki)

Mégis, a bolygónál 60-szor gyorsabban (kb. 4 nap alatt) körbeszalad a légkör felső része.

Ez a **szuperrotáció**.

A Vénusz esetében mi lehet ennek az oka? – Máig nem értjük igazán.

G. SCHUBERT
*Department of Planetary and
Space Science, University of
California, Los Angeles*

J. A. WHITEHEAD
*Institute of Geophysics and
Planetary Physics, University of
California, Los Angeles*

SCIENCE, VOL. 163

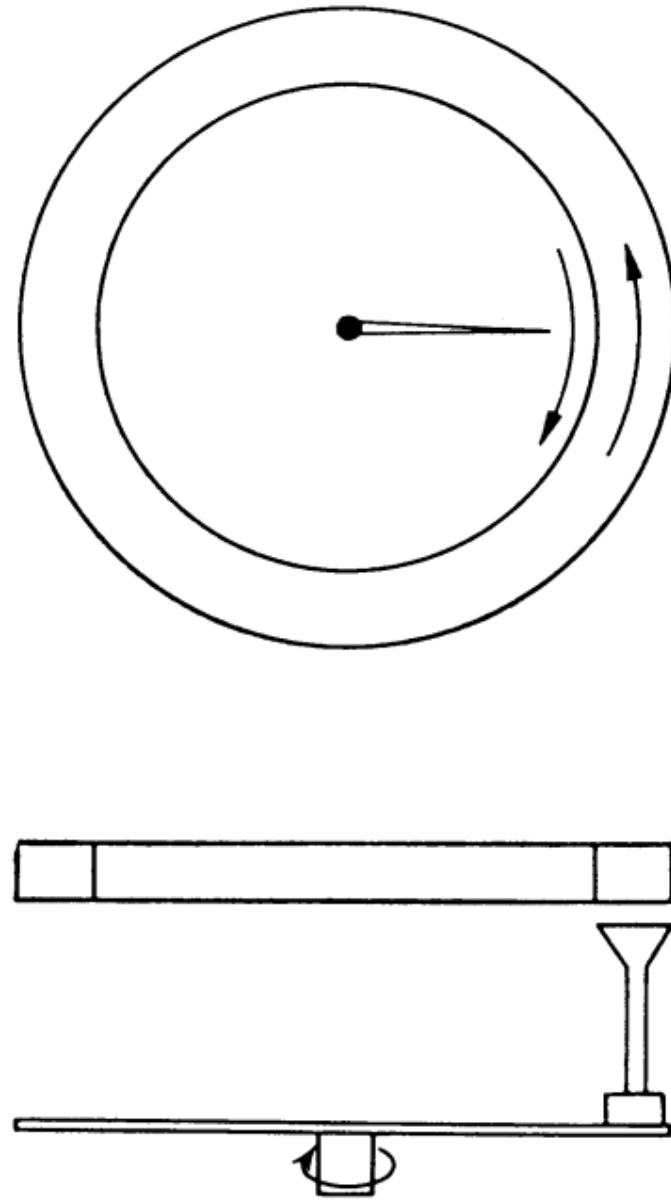
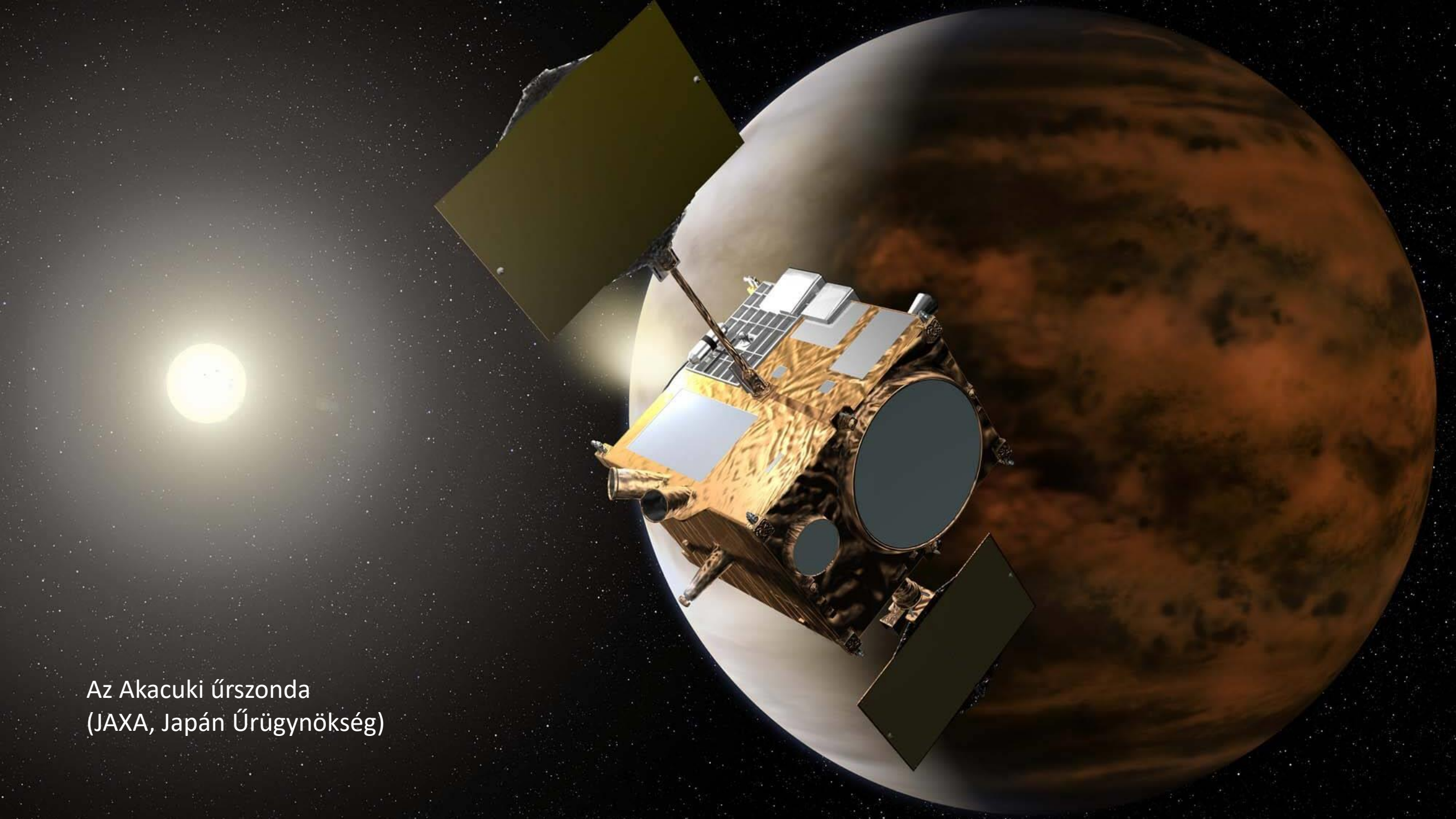
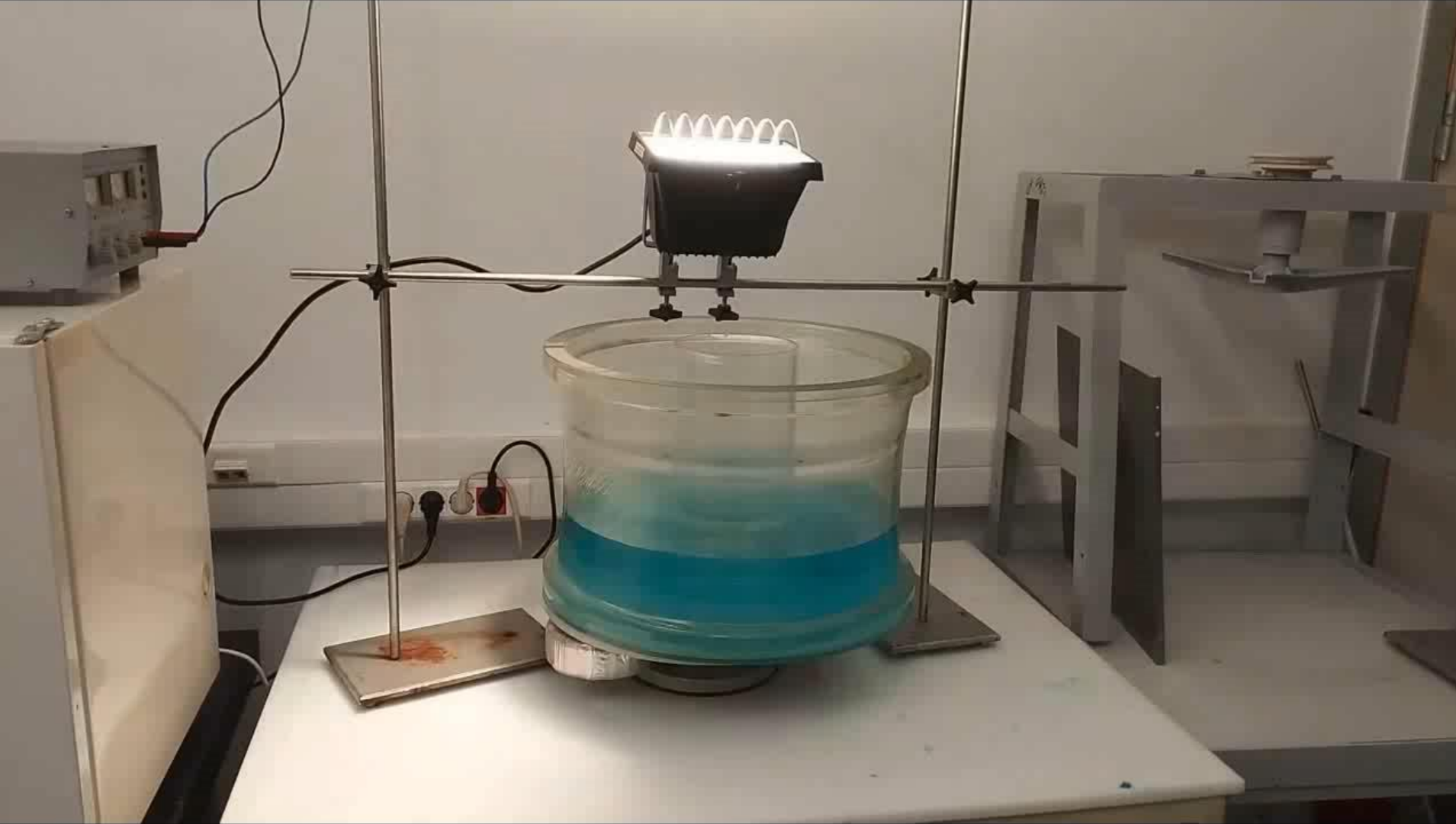


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for the moving flame experiment.



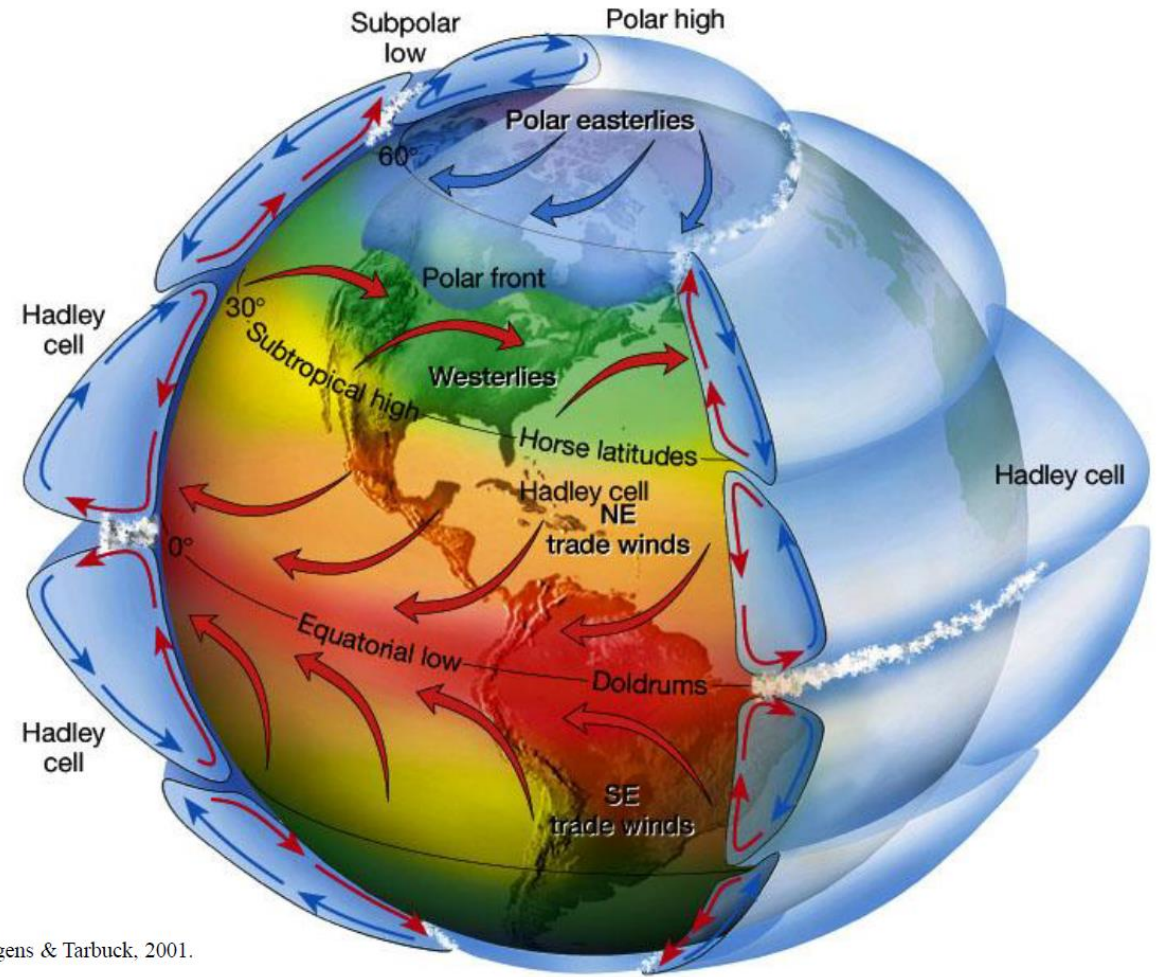
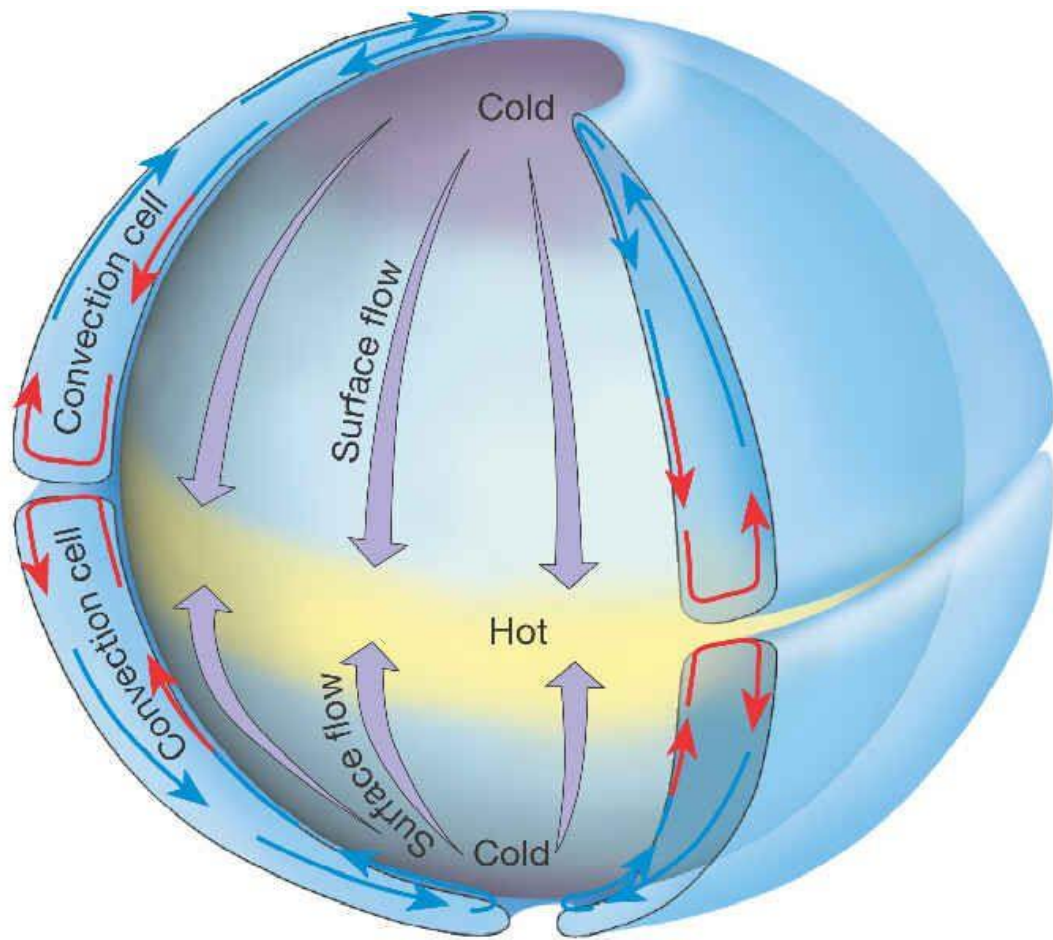
Az Akacuki űrszonda
(JAXA, Japán Űrügynökség)



Új kísérletünk a
Kármán-laborban,

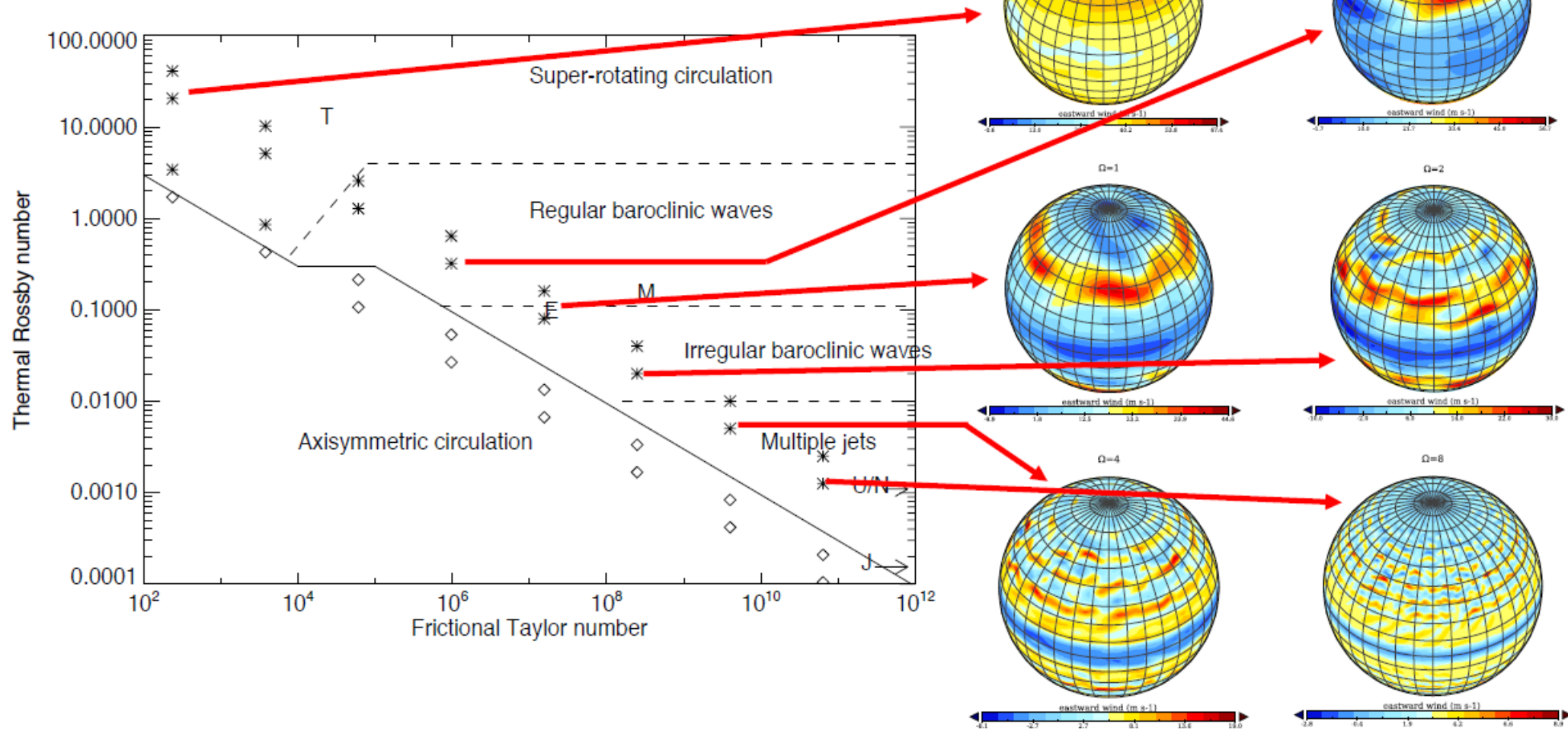
a **VERATAC** (Venus
Radar Topography and
Atmospheric
Circulation)
projekt keretében





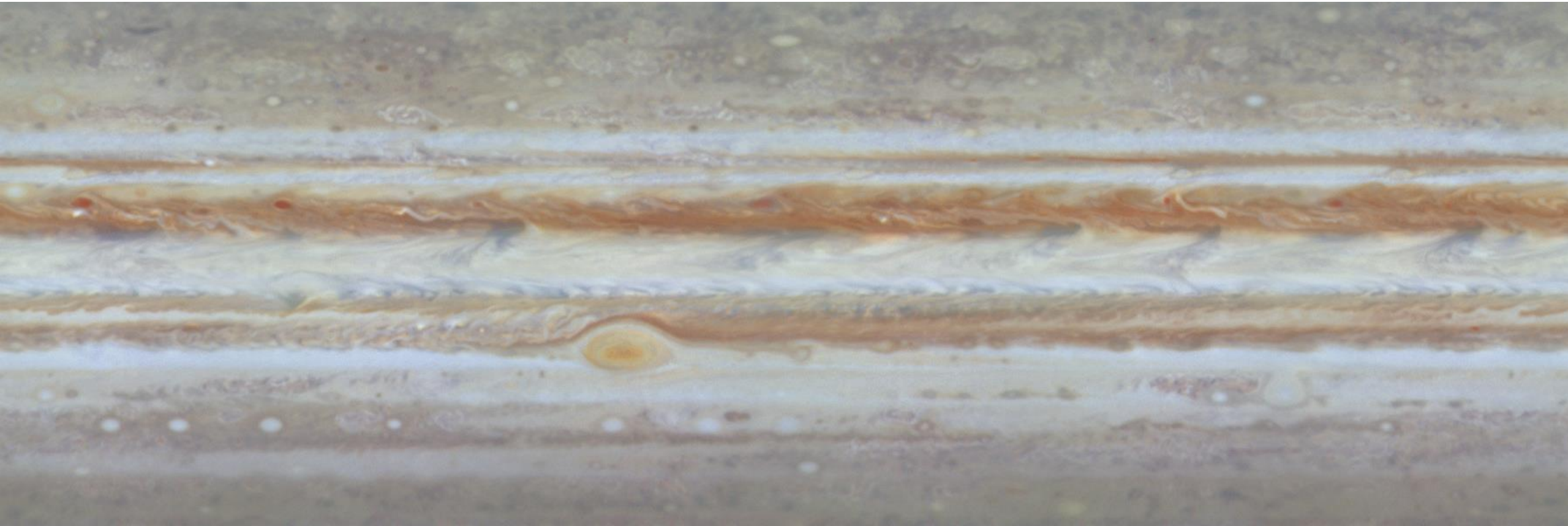
Lutgens & Tarbuck, 2001.

Mi történik Ro csökkentésével gömb alakú bolygókon? (szimuláció)



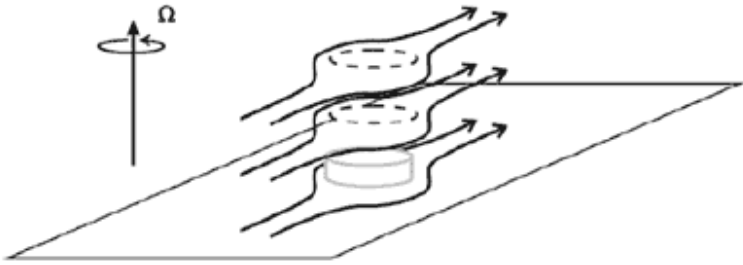
Forrás: P. Read et al., Nonlin. Proc. Geophys. (2019)

A legtisztább “gyors” bolygólégkör: a Jupiter



Forrás: NASA, Cassini flyby

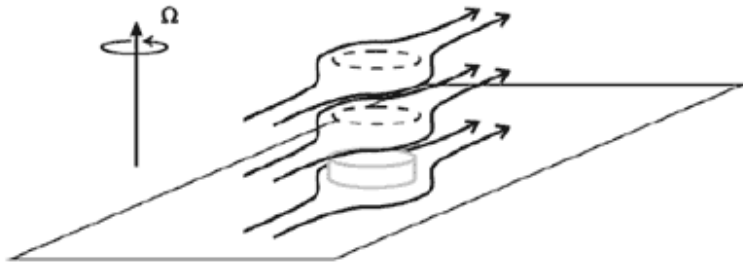
A gyors forgatás (alacsony Ro) furcsa következménye az áramlások kvázi-2D jellege



Taylor-Proudman-
tétel



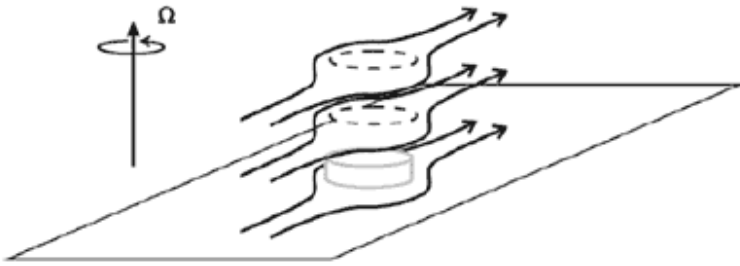
A gyors forgatás (alacsony Ro) furcsa következménye az áramlások kvázi-2D jellege



Taylor-Proudman-
tétel



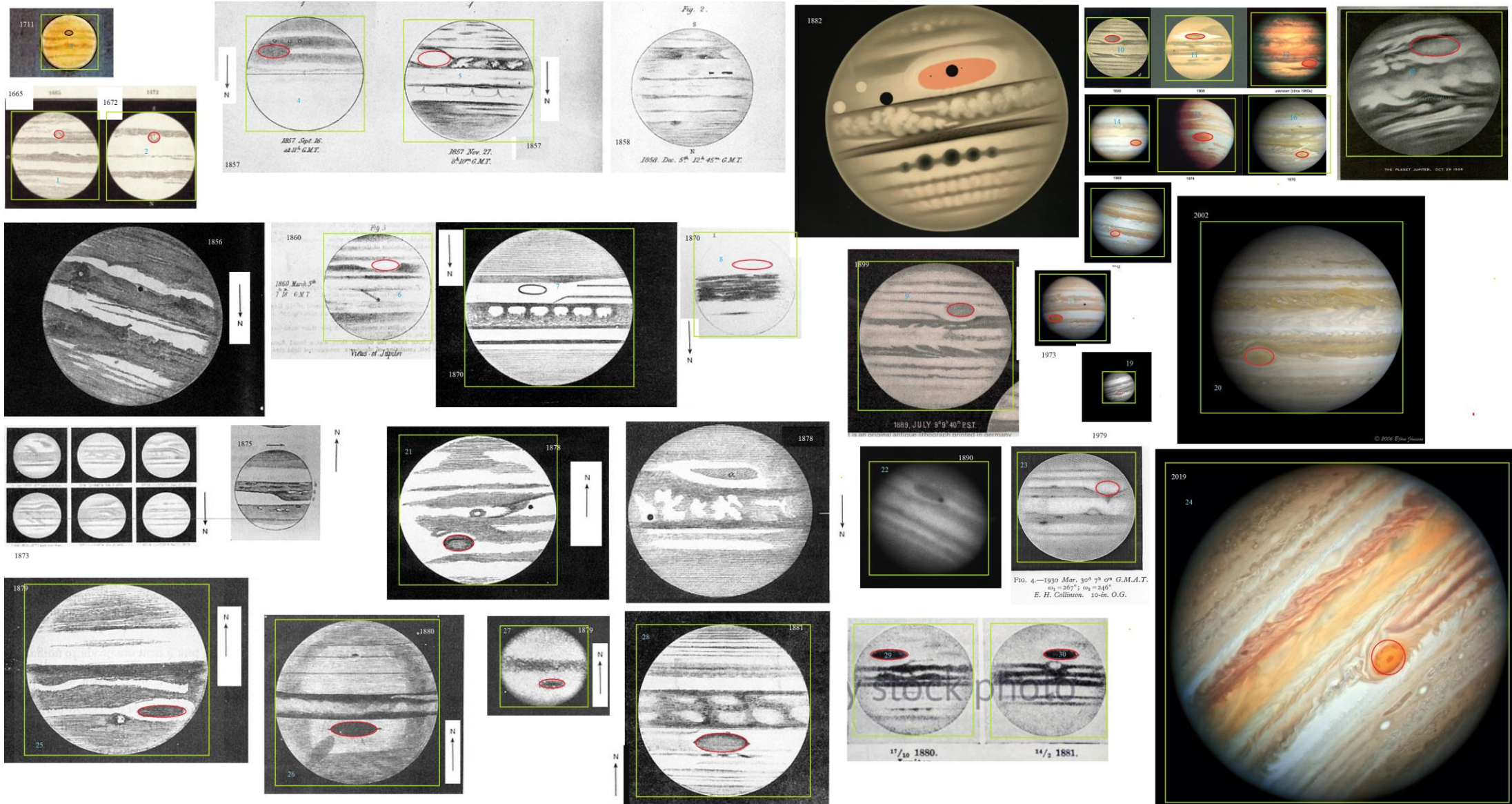
A gyors forgatás (alacsony Ro) furcsa következménye az áramlások kvázi-2D jellege



Taylor-Proudman-
tétel



Miért olyan stabil a Nagy Vörös Folt?



Hubble Space Telescope | Observations of Jupiter's Great Red Spot



Dec 10, 2023



Dec 28, 2023



Jan 6, 2024



Jan 12, 2024



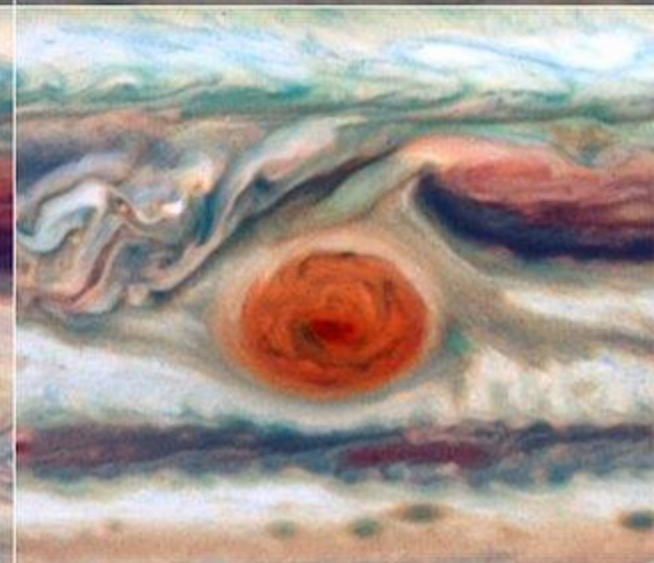
Jan 31, 2024



Feb 12, 2024



Feb 24, 2024



Mar 8, 2024

A gyors forgatás (alacsony $R\theta$) furcsa következménye az
áramlások kvázi-2D jellege



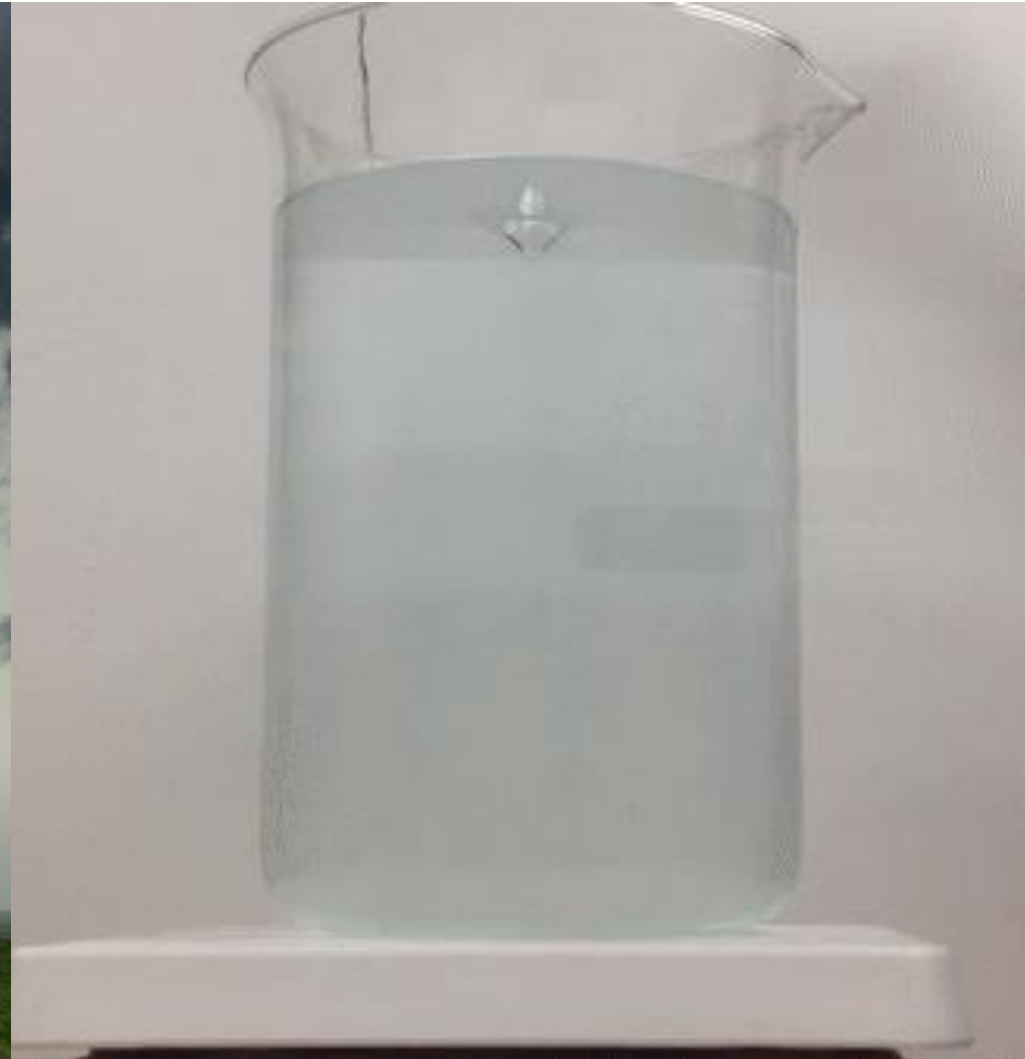
GRS, Jupiter



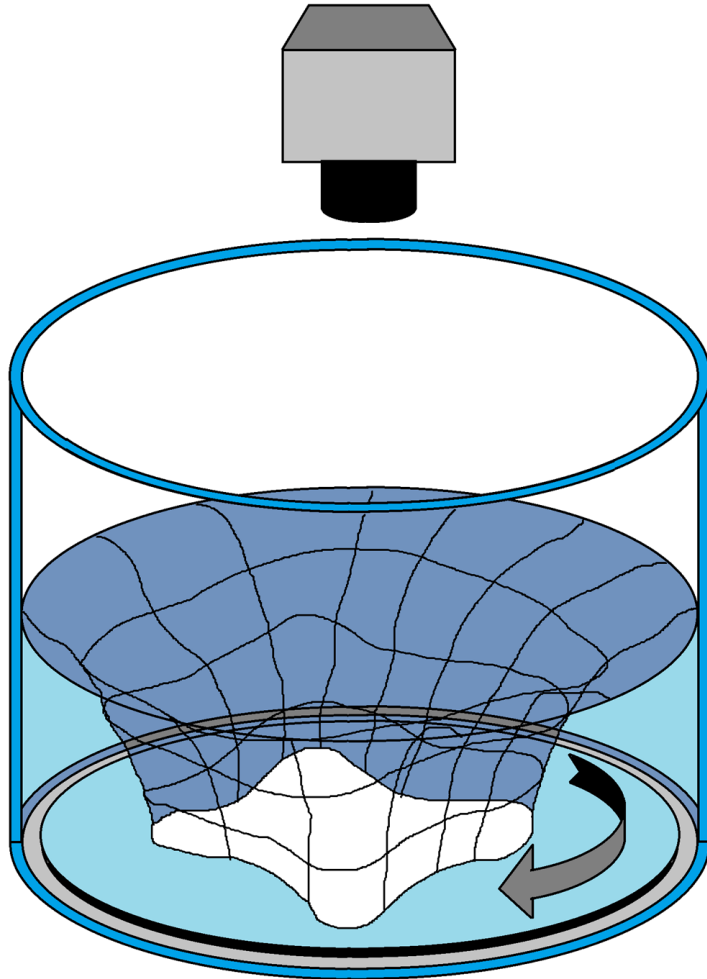
Lítla Dímun, Feröer-szigetek

Az örvények
általános
„anyagtartó”
tulajdonsága

T. Tél, I.M. Jánosi, M. Vincze,
Phys. Ed. (2019)



Egy módosított kísérlet (“Bohr*-instabilitás”)



Szeidemann Ákos (& gang):
Folyadékok fizikájáról folyékonyan
Atomcsill, 2023.03.09.

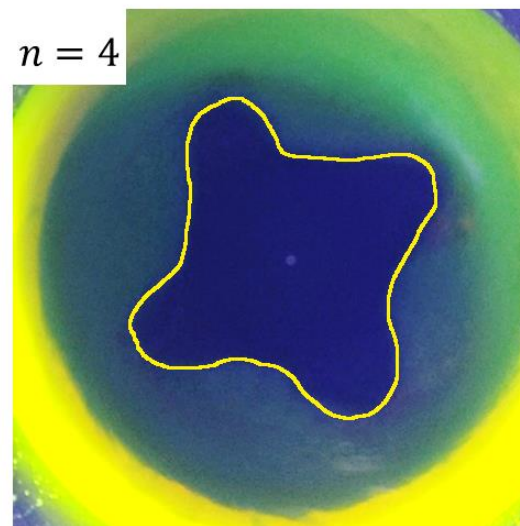
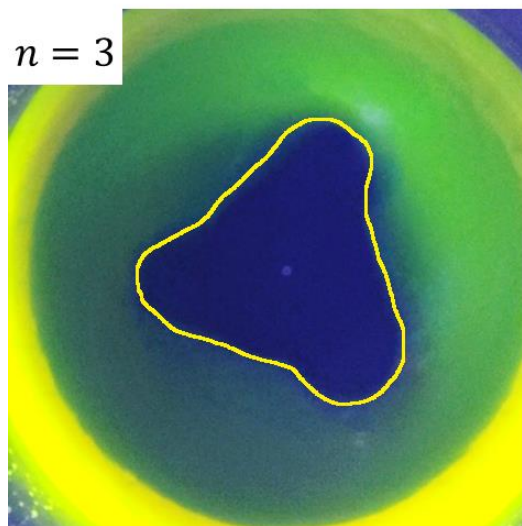
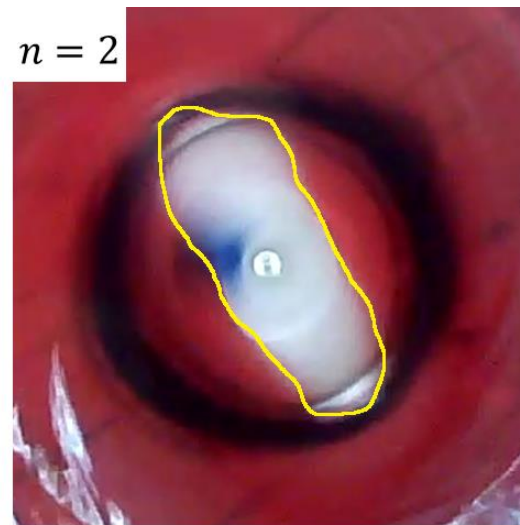
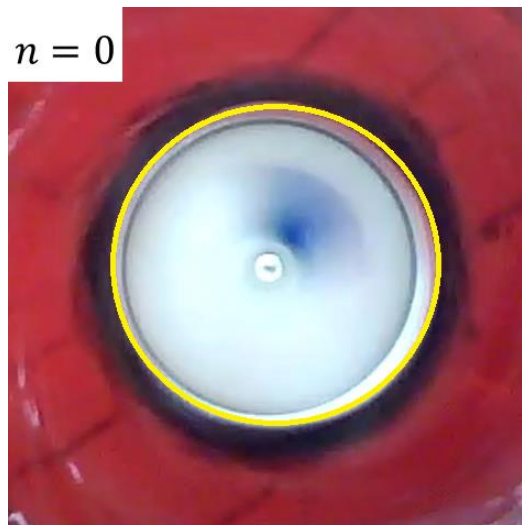


Egy módosított kísérlet (“Bohr*-instabilitás”)

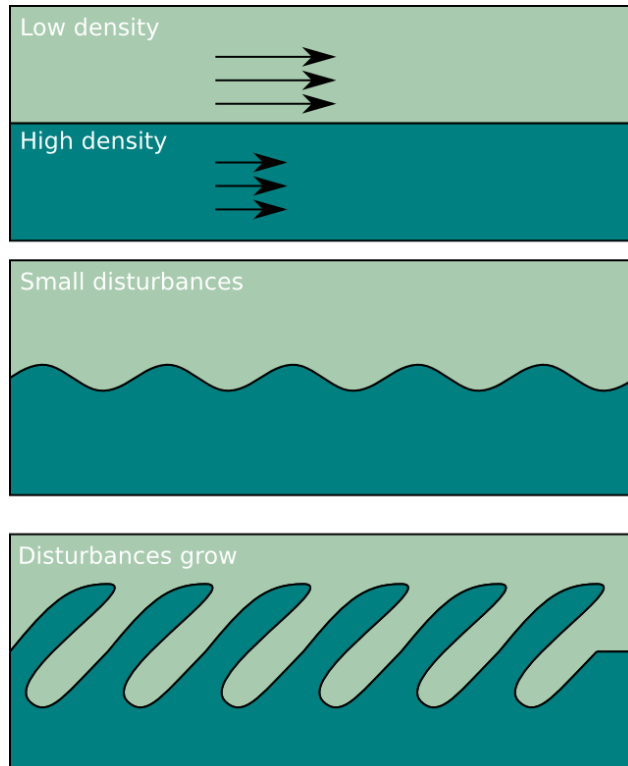


Forrás: Kadlecik, Szeidemann, Vincze, 2023

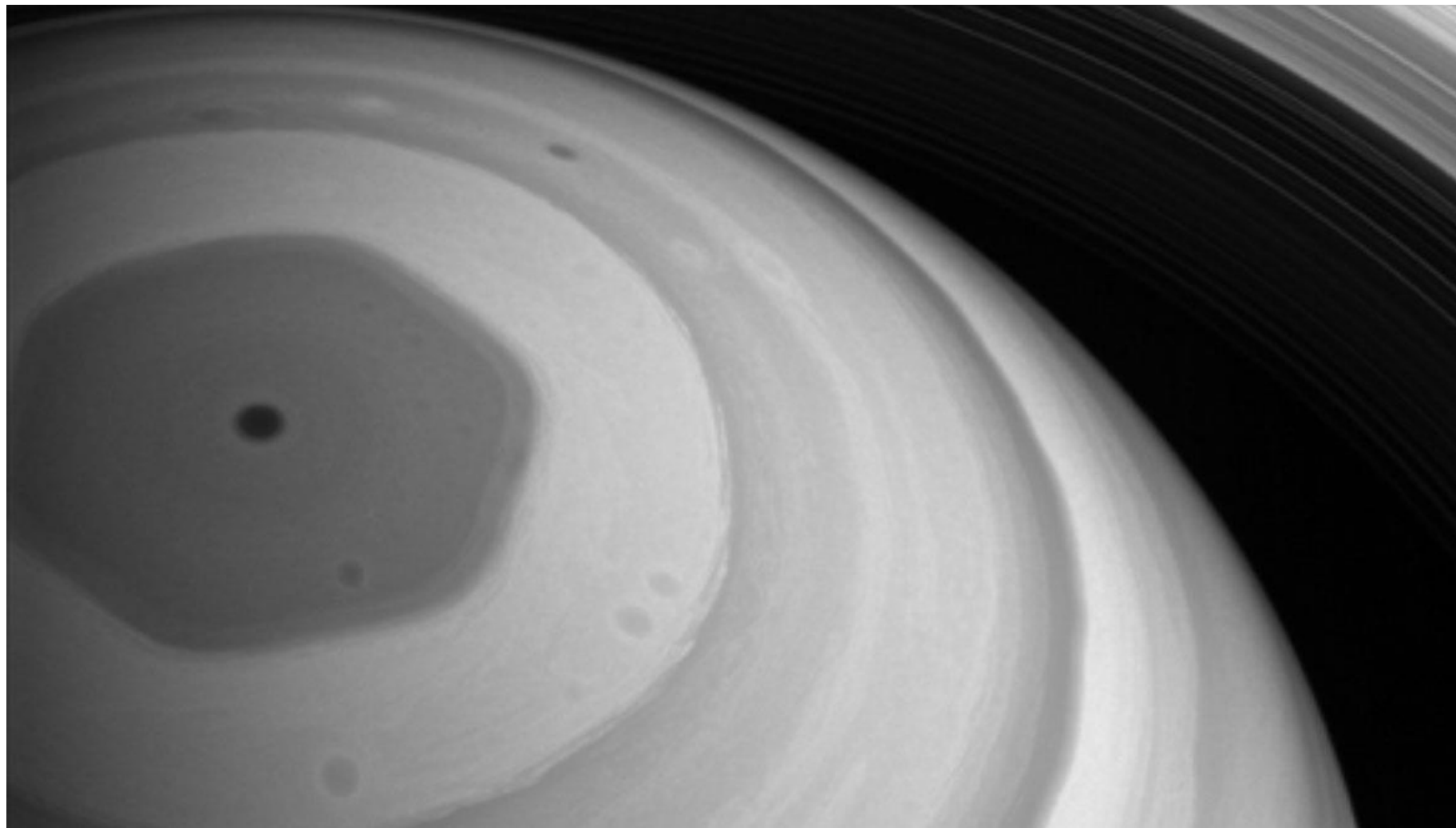
(*: Nem Niels, nem is Aage, hanem Tomas.)



- **Nyírási instabilitások:** Különböző közegek, különböző sebességgel áramlanak egymás mellett. Egy kritikus sebességkülönbségnél “becakkozódnak”, meanderezni kezdenek, sőt “átbuknak”.
- Klasszikus példa: a **Kelvin-Helmholtz**-féle instabilitás

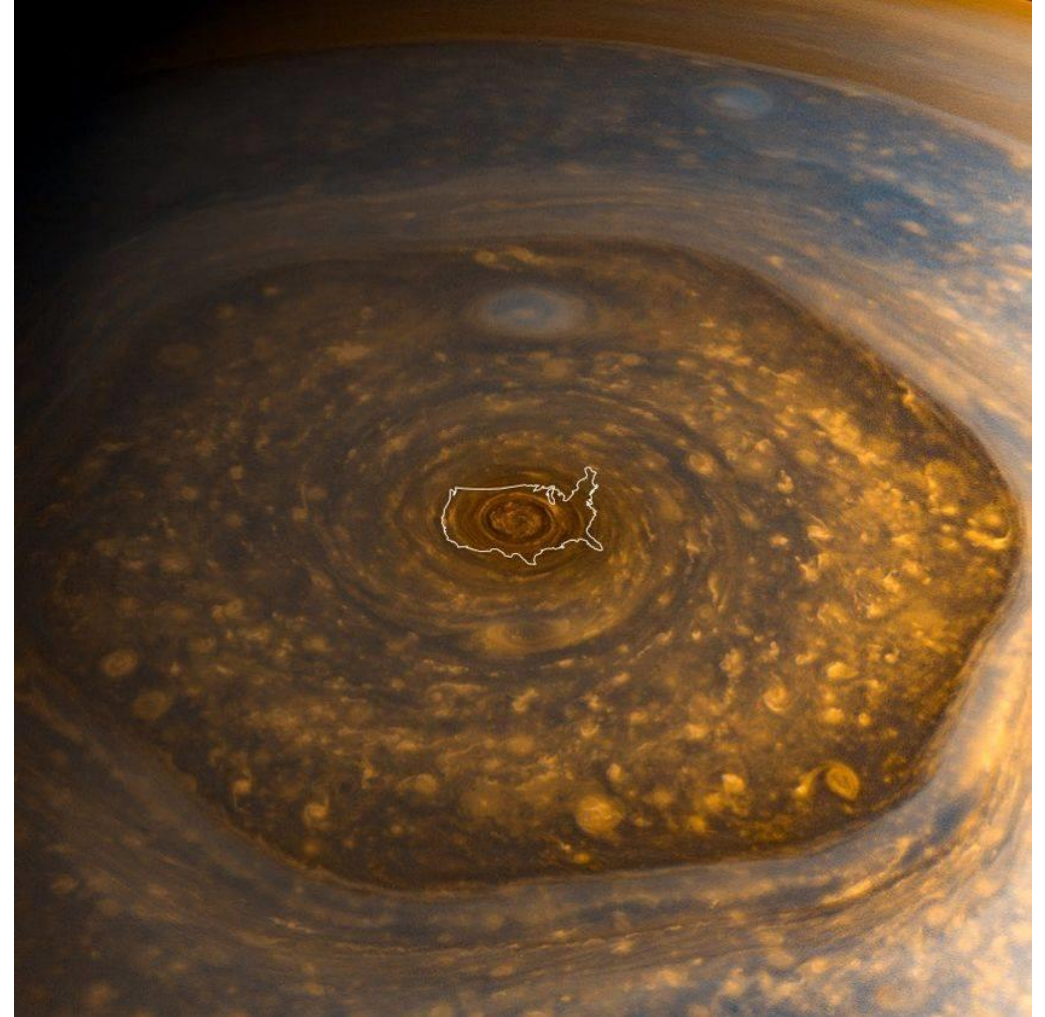
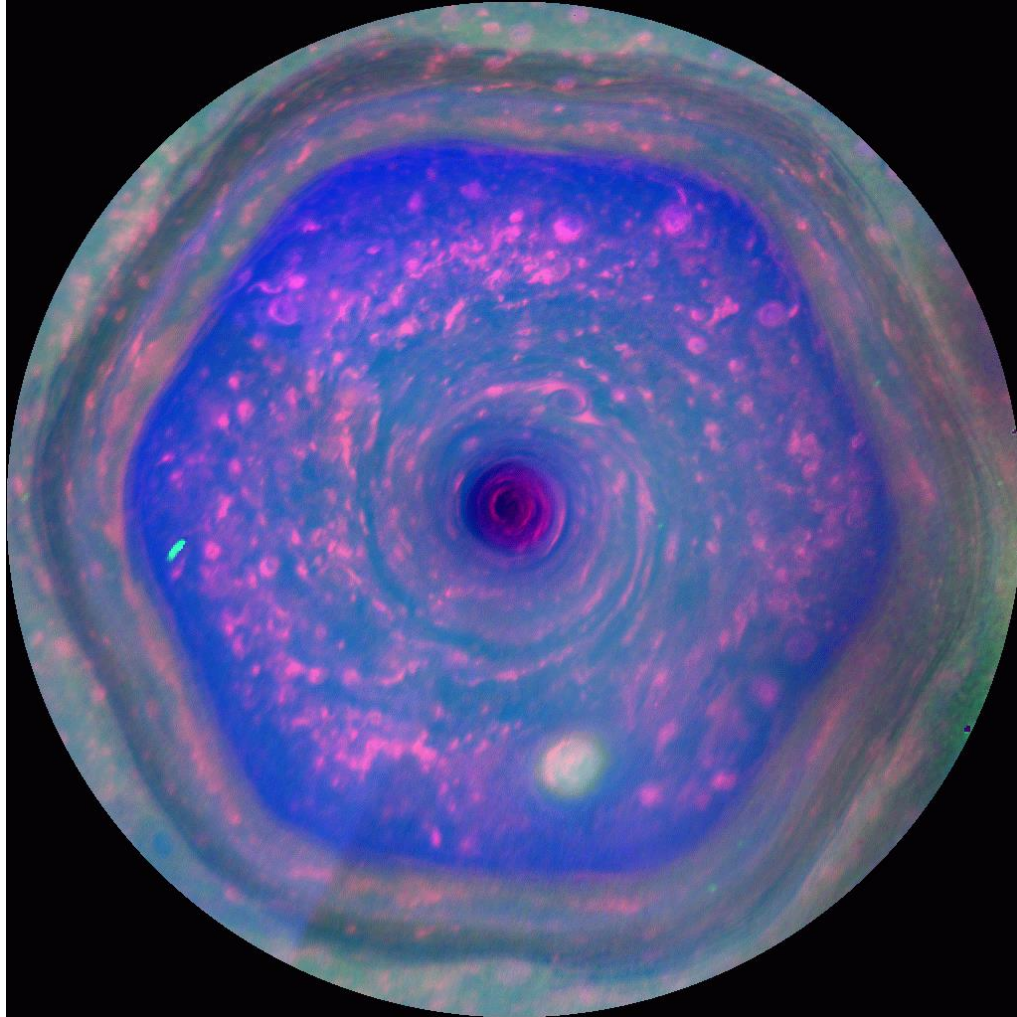


A Szaturnusz északi sarkvidéke



Forrás: NASA JPL, Cassini

A rejtélyes “sarki hatszög”



Forrás: NASA JPL, Cassini



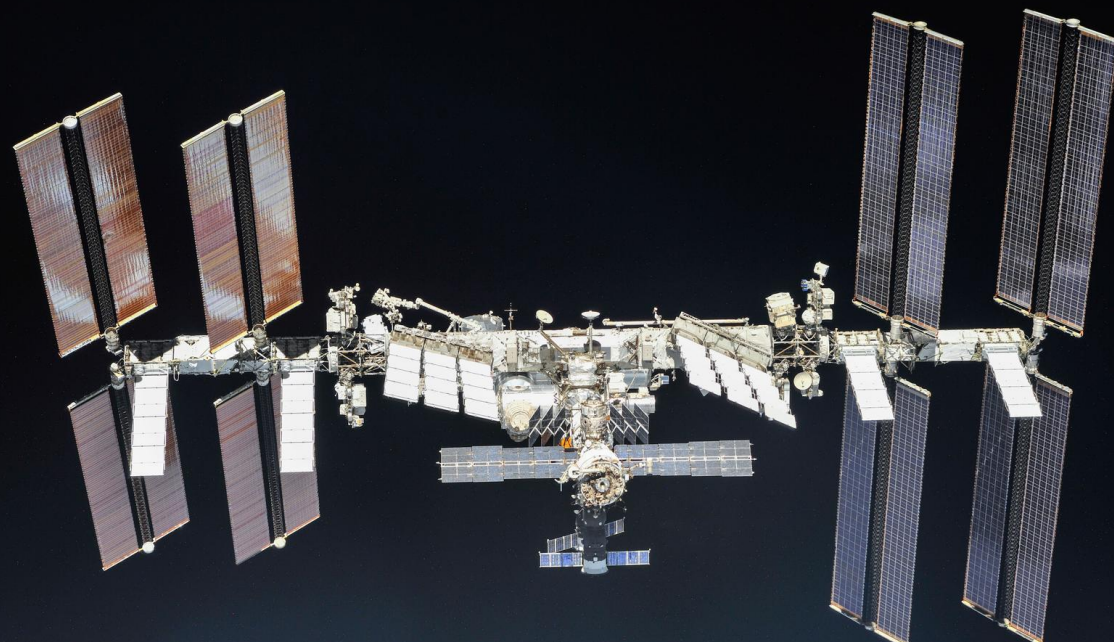
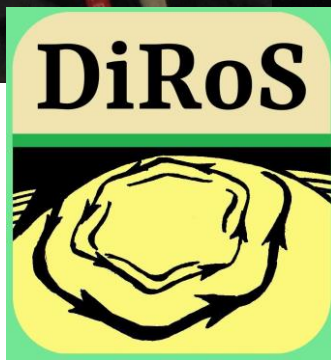
A “sarki hatszög”-szerű nyírás instabilitás egy szabad gömbfelszínen



Benyújtott űrkísérlet-pályázatunk a
HUNOR (Hungarian to Orbit) űrhajós programba:
(Vizi Pál Gáborral közösen)

A **Differential Rotation on a Sphere (DiRoS)**
projekt (Differenciális forgás gömbön)

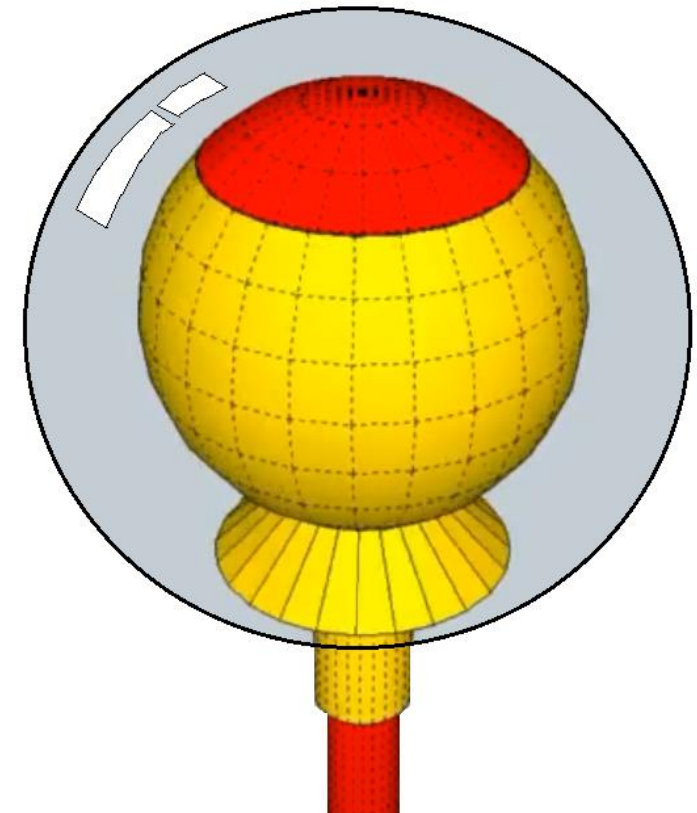
HUNOR



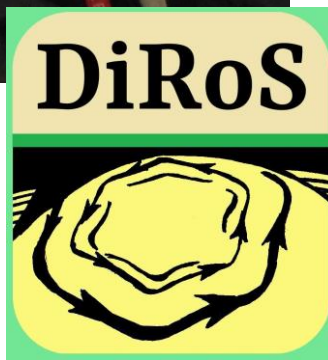
A “sarki hatszög”-szerű nyírési instabilitás egy szabad gömbfelszínen

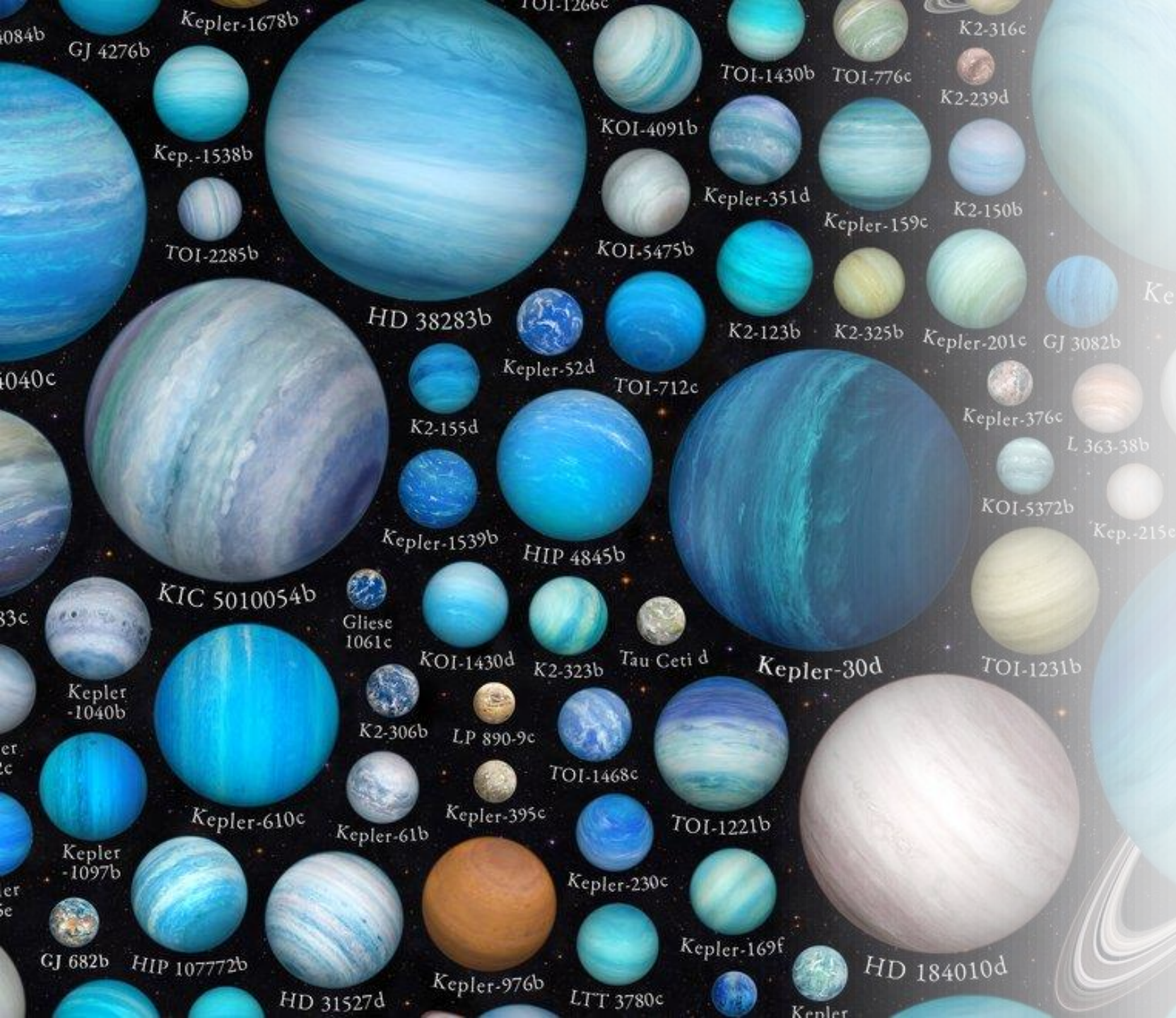


Benyújtott űrkísérlet-pályázatunk a HUNOR (Hungarian to Orbit) űrhajós programba:
(Vizi Pál Gáborral közösen)



HUNOR



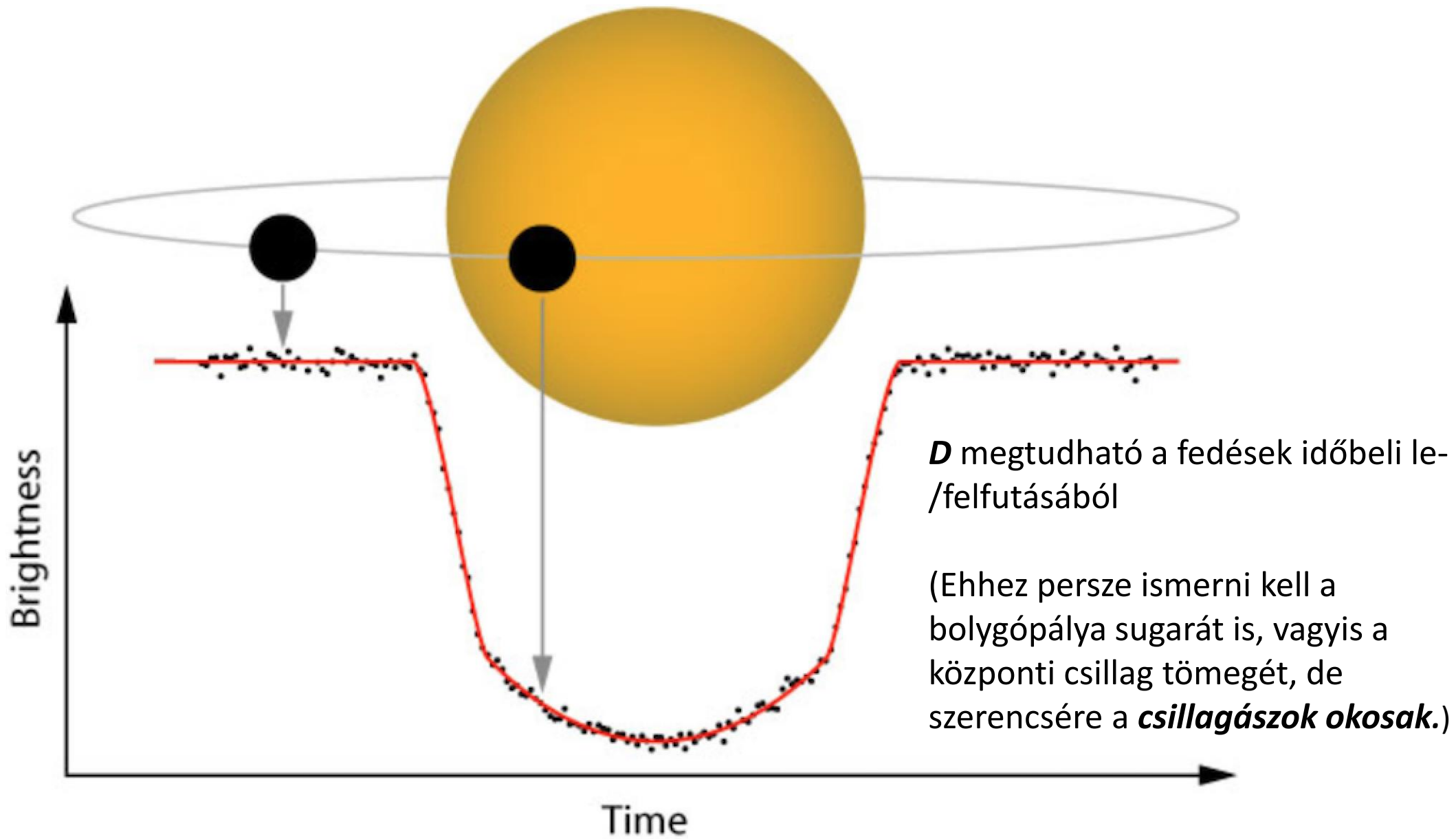


Milyen az időjárás
“odakint”? (exobolygók
légkörzése)

**Hogyan tudhatnánk meg egy
másik csillag körül keringő bolygó
Ro-értékét?**

Ami kellene:

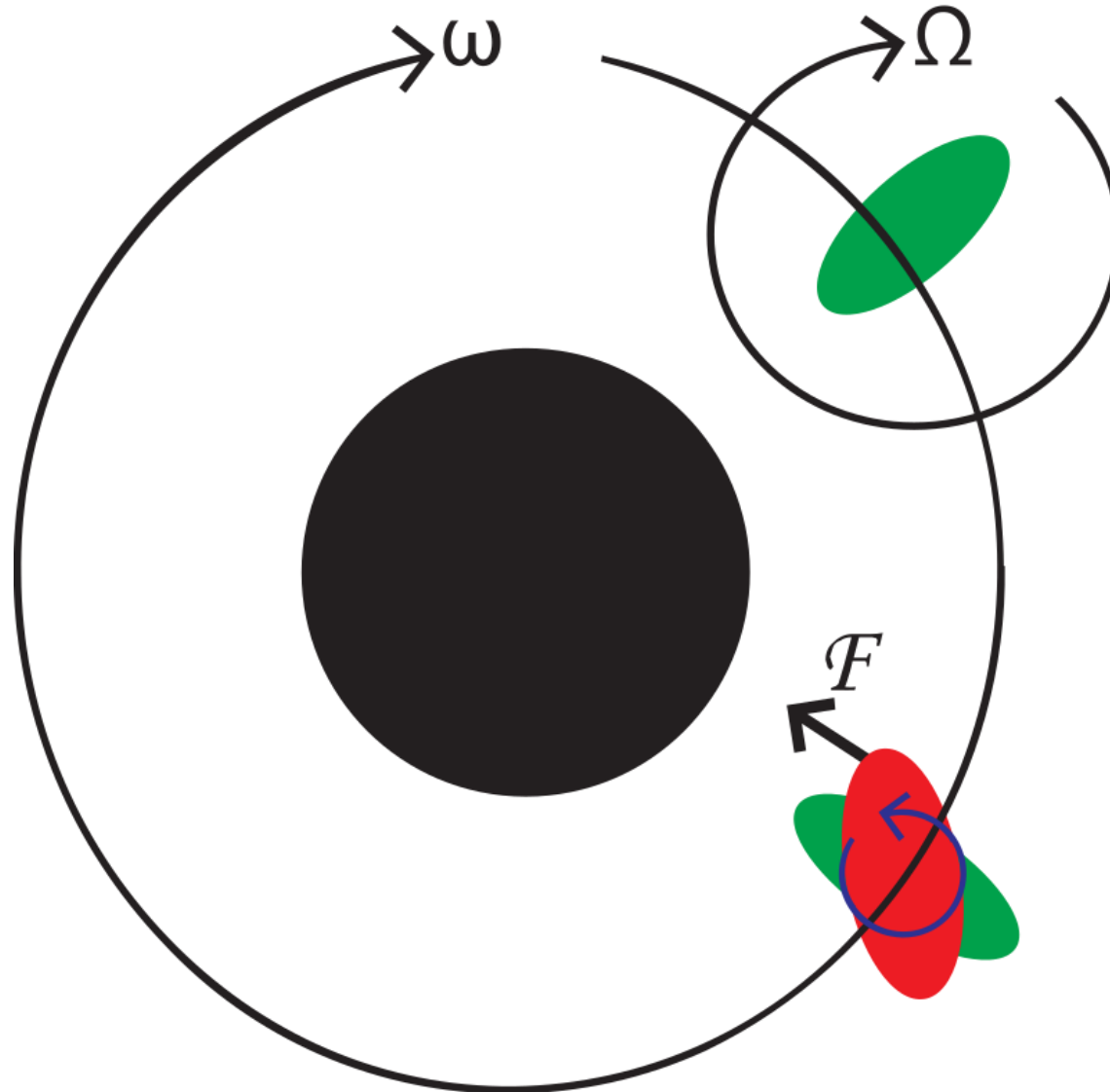
- a bolygó átmérője (D)
- a tengely körüli forgás
periódusideje (T)
- a jellemző szélesség
a bolygón (U)



Ami T -t illeti, segítségünkre van egy (számunkra) nagyon hasznos mérési torzítás.

A csillaghoz közel keringő (és ezért könnyebben detektálható) exobolygók szükségszerűen **kötött keringést** végeznek.

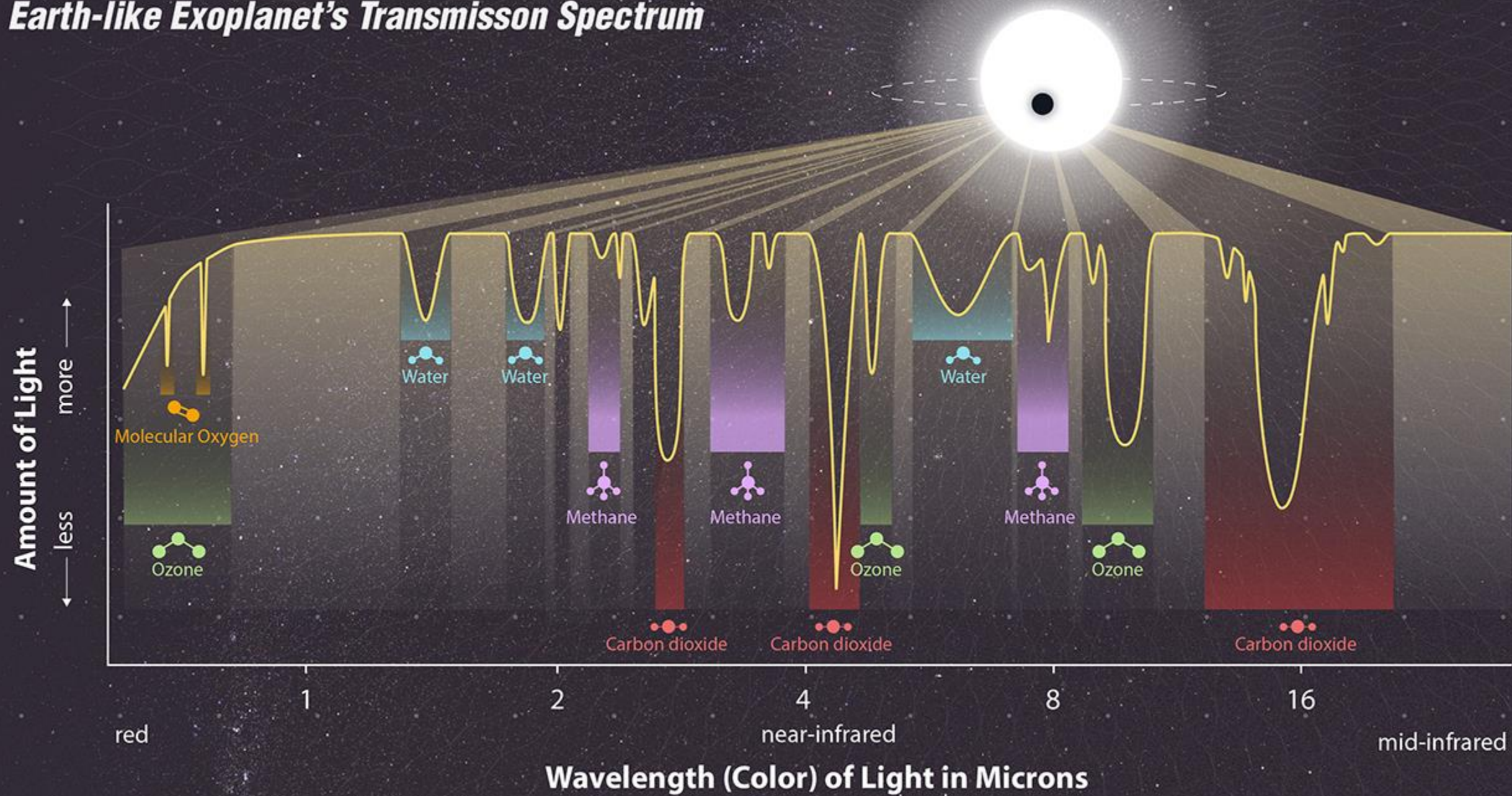
Vagyis ezeknél a “nap” és az “év” (ismert) hossza megegyezik.





lpi.usra.edu

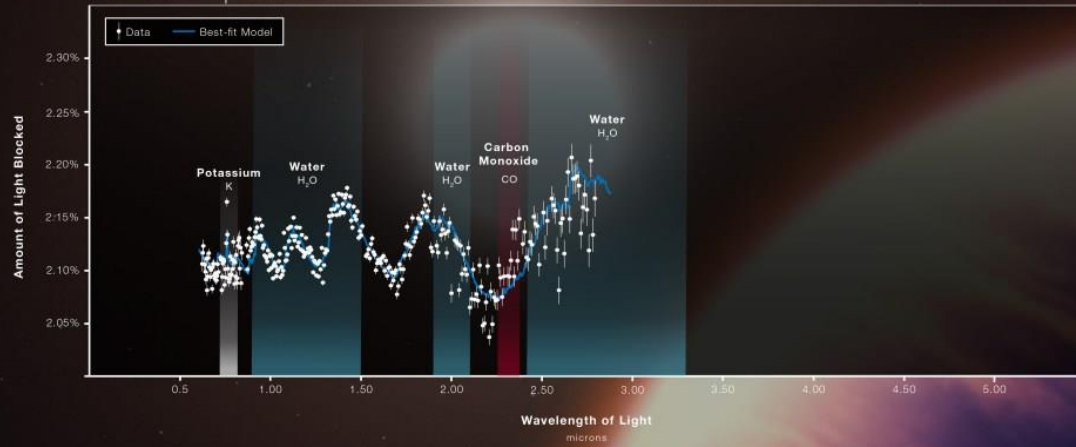
Earth-like Exoplanet's Transmission Spectrum



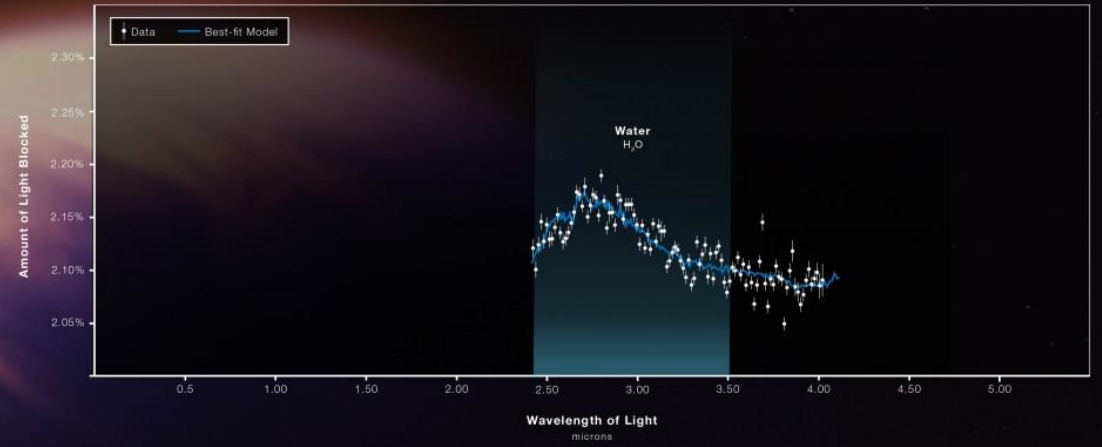
HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-39 b

ATMOSPHERE COMPOSITION

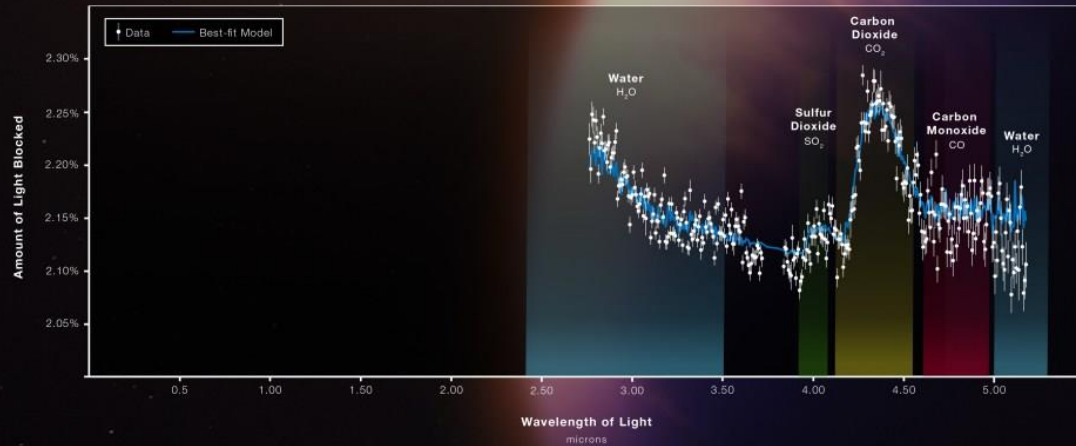
NIRISS | Single Object Slitless Spectroscopy



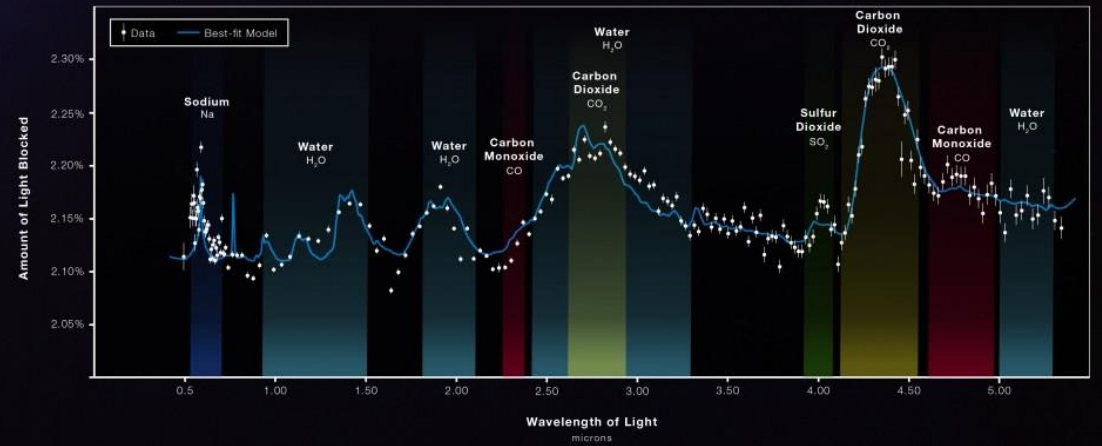
NIRCam F322W2



NIRSpec G395H



NIRSpec PRISM



Wind of change: retrieving exoplanet atmospheric winds from high-resolution spectroscopy

J. V. Seidel¹, D. Ehrenreich¹, L. Pino², V. Bourrier¹, B. Lavie¹, R. Allart¹, A. Wyttenbach³, and C. Lovis¹

¹ Observatoire astronomique de l'Université de Genève, chemin des Maillettes 51, 1290 Versoix, Switzerland
e-mail: julia.seidel@unige.ch

² Anton Pannekoek Institute for Astronomy, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098 XH Amsterdam, The Netherlands

³ Leiden Observatory, Leiden University, Postbus 9513, 2300 RA Leiden, The Netherlands

Received 10 October 2019 / Accepted 4 December 2019

ABSTRACT

Context. The atmosphere of exoplanets has been studied extensively in recent years, making use of numerical models to retrieve chemical composition, dynamical circulation, or temperature from the data. One of the best observational probes in transmission is the sodium doublet thanks to its extensive cross-section. However, modelling the shape of planetary sodium lines has proven to be challenging. Models with different assumptions regarding the atmosphere have been employed to fit the lines in the literature, yet statistically-sound, direct comparisons of different models are needed to paint a clear picture.

Aims. We aim to compare different wind and temperature patterns, as well as to provide a tool to distinguish them based on their best fit for the sodium transmission spectrum of the hot Jupiter HD 189733b. We parametrise different possible wind patterns that have already been tested in literature and introduce the new option of an upwards-driven vertical wind.

Methods. We construct a forward model where the wind speed, wind geometry, and temperature are injected into the calculation of the transmission spectrum. We embed this forward model in a nested sampling retrieval code to rank the models via their Bayesian evidence

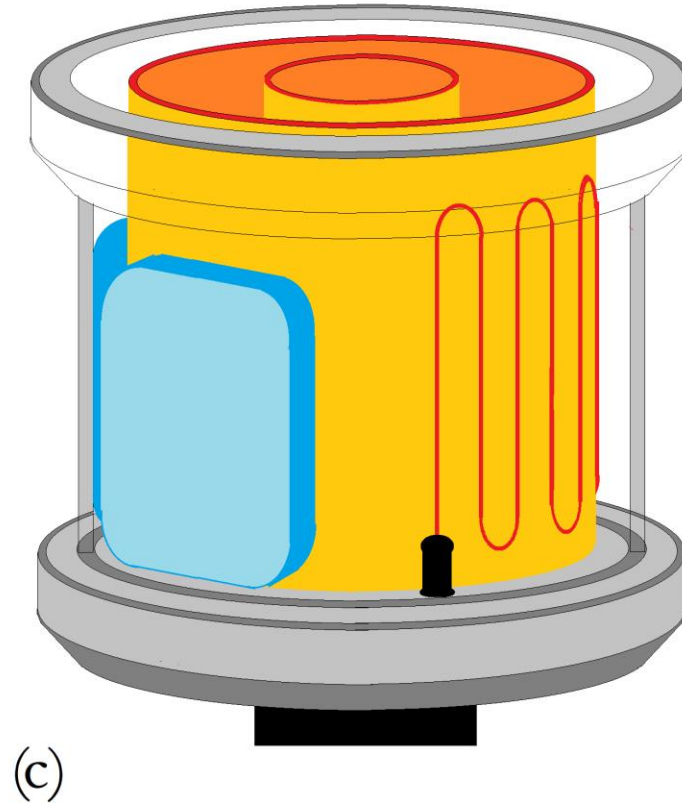
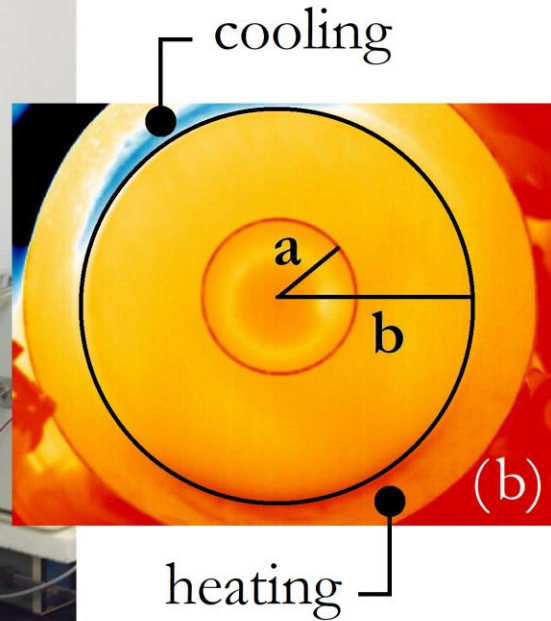
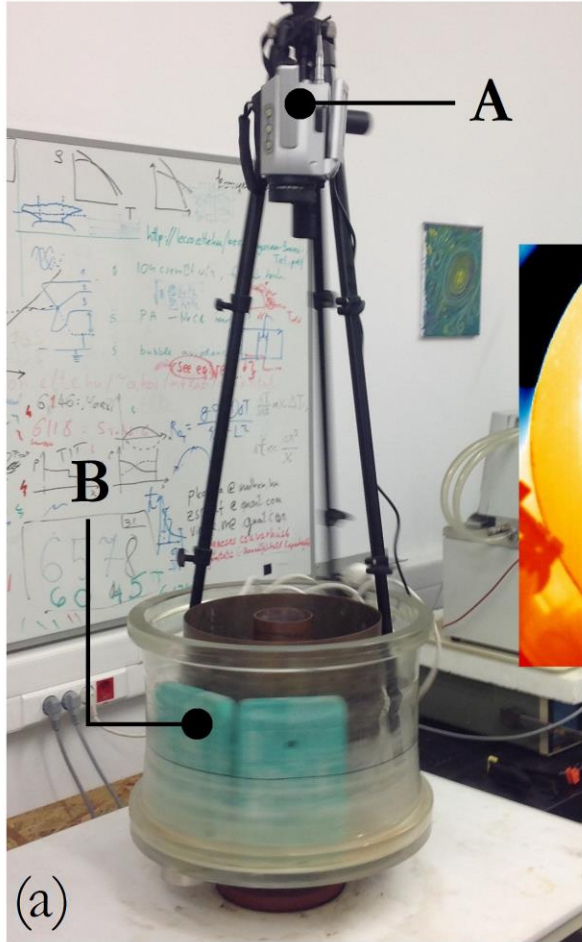
Results. We retrieve a best-fit to the HD 189733b data for vertical upward winds $|v_{\text{ver}}(\text{mean})| = 40 \pm 4 \text{ km s}^{-1}$ at altitudes above 10^{-6} bar. With the current data from HARPS, we cannot distinguish wind patterns for higher-pressure atmospheric layers.

Conclusions. We show that vertical upwards winds in the upper atmosphere provide a possible explanation for the broad sodium signature in hot Jupiters. We highlight other influences on the width of the doublet and we explore strong magnetic fields acting on the lower atmosphere as one possible origin of the retrieved wind speed.

Ami tényleg
elképesztő:
már-már **U** is
megbecsülhető a
spektrumvonalak
kiszélesedése
alapján, és ez
egyre inkább így
lesz.

Exobolygóléggörök a laborban!?

(Ha R_0 van, kísérletezni is lehet.)



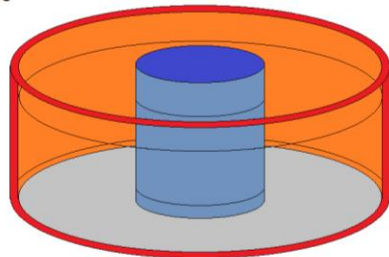
(Vass Bálinttal és Kadlecsik Ádámmal)

Forrás: Vass, Kadlecsik, Vincze, 2024

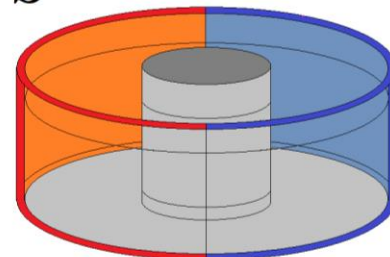
Exobolygó légkörök a laborban! (Ha R_0 van, kísérletezni is lehet.)



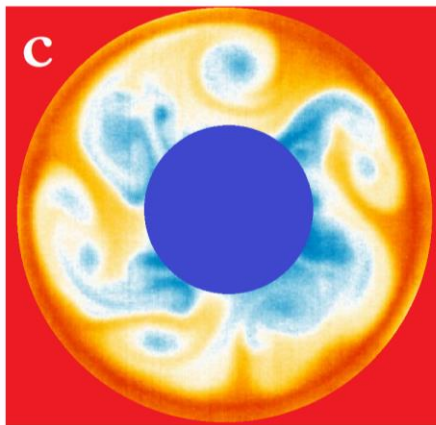
a



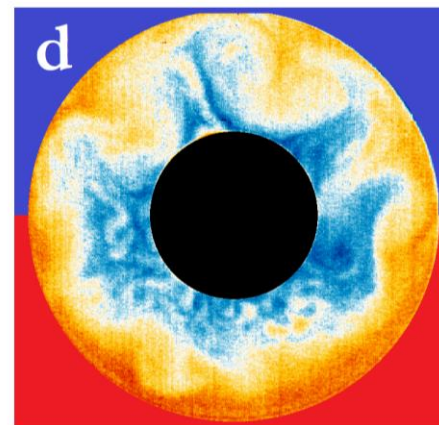
b



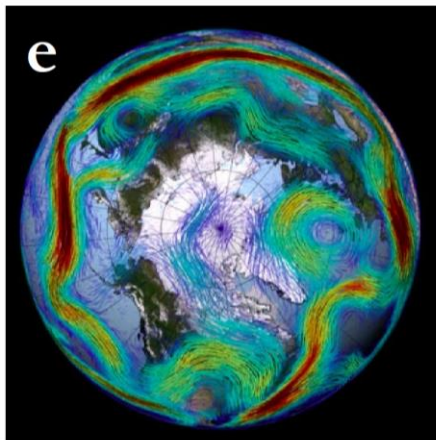
c



d



e



f





A BING AI alkotása az általam beadott "weather forecast for other planets" promptrra.



Köszönöm a
megtisztelő figyelmet!