

A satellite image of Earth showing ocean currents and vortices. The image is overlaid with a blue grid representing latitude and longitude. The ocean is depicted in shades of blue and white, with swirling patterns indicating vortices and currents. The landmasses are shown in green and brown. The text is centered over the image.

**Vízáramlás és örvények az egyenlítő két oldalán — a Föld forgásának hatása kicsiben és nagyban**

## **Kérdés:**

A lefolyóban áramló víz forgásiránya alapján eldönthető-e, hogy melyik féltekén vagyunk?



**Ez hihető?**



Mozgás lejtőn



Mozgás forgó lejtőn?

# A Coriolis-erő

Minden forgó rendszerben az ott  $v$  sebességgel mozgó testre a valódi erőkön kívül hat még egy erő.

Oka: a rendszer elfordul a mozgó test alatt:



Gaspard Gustave de Coriolis  
(1792-1843)

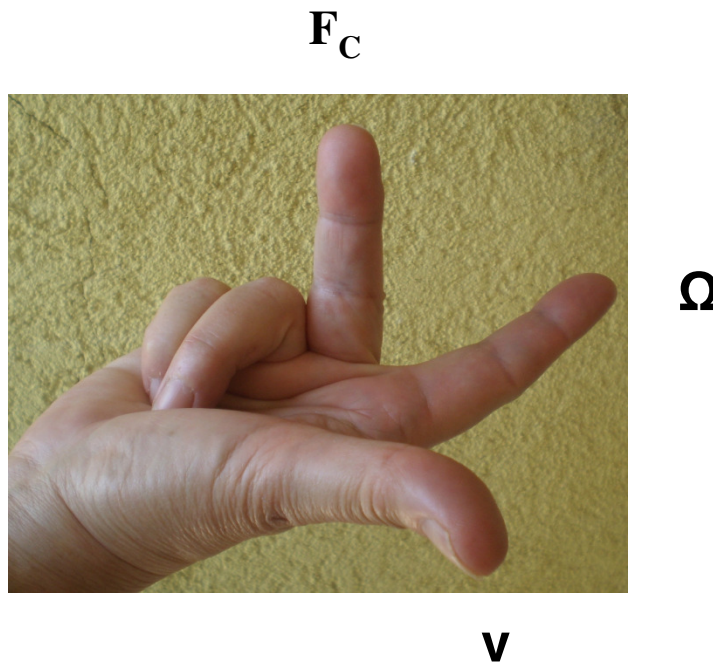
Mérnök, a gőzgépek forgó alkatrészének vizsgálata során fedezte fel 1831-35-ben:

$$F_C = 2mv\Omega$$

[YouTube: A Coriolis-erő hatása, a tatai Eötvös Gimnázium anyaga](#)

Iránya a **sebességre merőleges**, ezért eltérítő erő.

A  $\mathbf{v}$  és  $\mathbf{\Omega}$  vektorok valamint az  $\mathbf{F}_C$  erő irányát a jobbkez szabály adja meg:

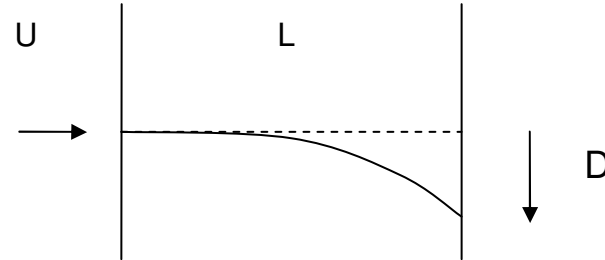


Az óramutató irányával egyező forgás, pozitív szögsebesség esetén a Coriolis-erő mindig a sebességtől **jobbra** mutat

Az északi félgömbön mindig jobbra, a délin balra térít el.

# A Coriolis-eltérülés egyszerű becslése:

Az  $U$  sebességű test  $L$  út megtétele után mennyire térül el pozitív forgásirányú rendszerben?



Kis eltérést feltételezve,  $t = L/U$ . A gyorsulás az eredeti irányra merőlegesen  $a_C = 2U \Omega$ , ezért az eltérülés

$$D = a_C / 2 t^2 = 2U \Omega / 2 (L/U)^2 = \Omega L^2 / U.$$

Ebből a  $D$  eltérésnek a teljes  $L$  elmozduláshoz viszonyított aránya.

$$\mathbf{D/L = \Omega L/U}$$

Az eltérés fordítottan arányos a sebességgel, ugyanis gyorsabb mozgás esetén a Coriolis-erő rövidebb ideig hat!

# A Föld szögsebessége

A Föld  $\Omega_F$  forgási szögsebessége 1 fordulat ( $2\pi$  radián) per nap (86400 s):

$$\Omega_F = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s.}$$

A vízszintes síkban történő mozgások szempontjából a Föld forgási szögsebesség-vektorának a helyi függőleges irányba mutató komponense határozza meg a Coriolis-erőt.

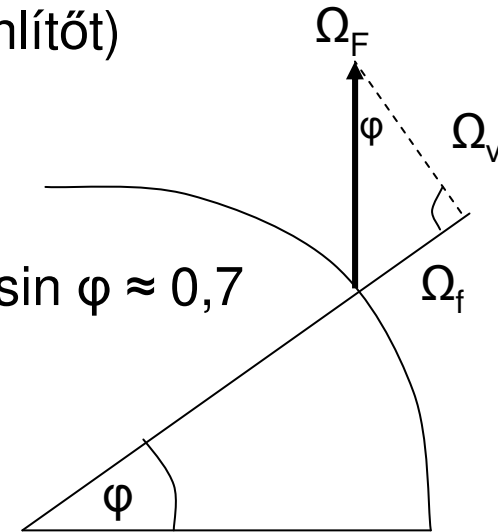
Ez a  $\varphi$  szélességi körön ( $\varphi = 0$  jelenti az egyenlítőt)

$$\Omega_f = \Omega_F \sin \varphi.$$

A közepes szélességeken,  $\varphi = \pi/4 = 45$  fok,  $\sin \varphi \approx 0,7$

$$2\Omega_f \approx 10^{-4} \text{ 1/s.}$$

A relatív vízszintes eltérés:  **$D/L = \Omega_f L/U$**



# Coriolis-eltérülések

Ferde hajítás:

$$L = 120 \text{ km}, U = 660 \text{ m/s}$$

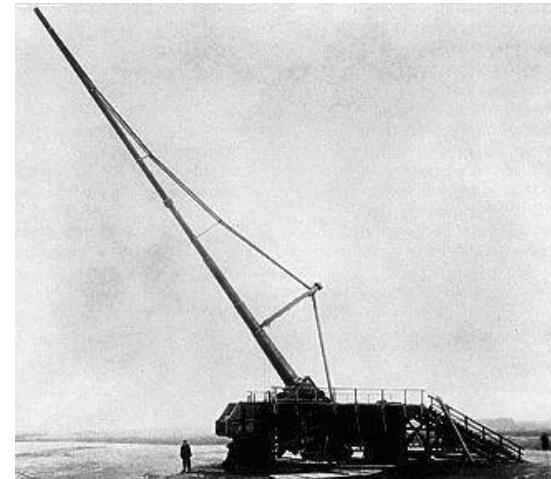
$$D/L = \Omega_f L/U = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 120/0,66 = 9 \cdot 10^{-3}.$$

$$D = 1,1 \text{ km}.$$

Ennyivel **balra** kellett célozniuk!

Sportokban néhány cm a tipikus Coriolis-eltérülés:

**Horváth Gábor, A mechanika biológiai alkalmazásai, Eötvös  
Kiadó, Bp, 2001**



A párizsi ágyú.  
120 km-ről lőtték vele a németek  
Párizst 1918-ban



# Repülőgépek kormányzása

A repülőgépnek **balra** kell dőlnie az északi félteken  $\alpha$  szöggel.



A szárnyra az  $mg$  súlynak megfelelő felhajtóerő hat. Enyhe dőléskor  $mg \sin \alpha$  erő hat balra. Ennek kell kompenzálnia a jobbra ható eltérítő erőt

$$mg \sin \alpha = 2 m \Omega_f U$$

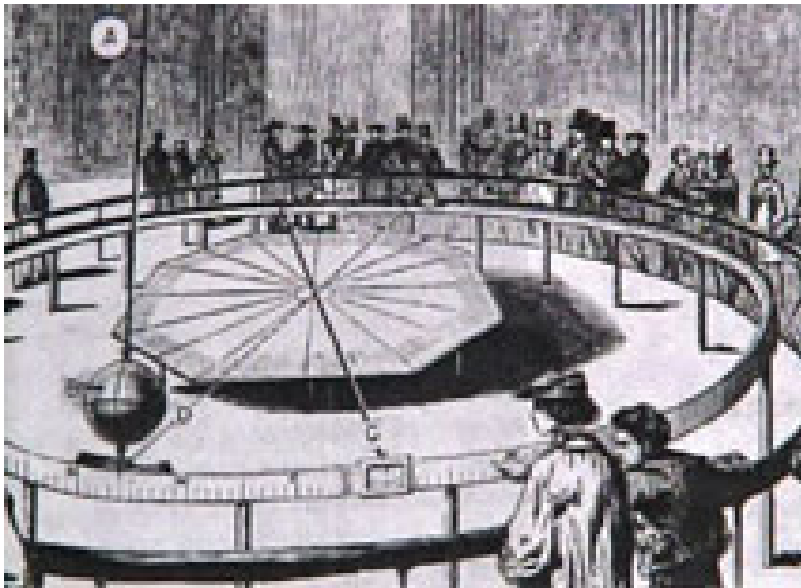
$$\text{Innét } \sin \alpha \approx \alpha = 2 \Omega_f U/g.$$

$U = 300$  m/s utasszállító sebességgel számolva,

$$\alpha = 3 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,17 \text{ fok.}$$

## A Foucault - inga

- A Föld forgásának első dinamikai bizonyítéka



1851, Paris, Pantheon:  $l = 67 \text{ m}$ ,  
 $T = 16 \text{ s}$ .



Leon Foucault  
(1819-1868)

## A Foucault-eltérülés becslése:

Legyen a lengés amplitudója  $A$ . Az inga periódusideje  $T = 2\pi/\omega$ , ahol  $\omega = (g/l)^{1/2}$ . Nálunk  $l = 15$  m,  $T = 8$  sec,  $A = 3$  m.

$$D/L = \Omega_f L/U$$

összefüggésbe  $L = A$ -t írva, és harmonikus rezgésből ismert  $v_{\max} = \omega A$  szerint a  $U \approx v_{\max}$  becslést használva:

$$D/L = \Omega_f L/U = \Omega_f A/(\omega A) = \Omega_f/\omega.$$

Ez a középponttól a legnagyobb kitérésig bekövetkező eltérülés. Ez tehát negyed periódushoz, azaz  $T/4 = \pi/(2\omega)$  időhöz tartozik. Időegység alatt az eltérülés

$$\Omega_f/\omega/\pi/(2\omega) = 2\Omega_f/\pi = 2\Omega_F \sin \varphi /\pi.$$

Mivel kicsi, ez egyben az inga síkjának szögelfordulása is.

## A Foucault-eltérülés becslése:

$$2\Omega_f / \pi = 2\Omega_F \sin\varphi / \pi$$

A  $2\Omega_f = 10^{-4}$  1/s értéket beírva a szögelfordulás

$$3,2 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ fok/s.}$$

Nagyon kicsi!

A **pontos** számolás eredménye az elfordulásra:

$$\Omega_f = 5 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ fok/s.}$$

Ezek szerint fél óra (1800 s) alatt 5,2 fokot  
egy óra (3600 s) alatt 10,4 fokot  
fordul el a Foucault-inga síkja!

A teljes körülfordulás ideje Párizsban és nálunk is  
1, 4 nap!

# Mi a helyzet a lefolyóval?

A várt módosulás:



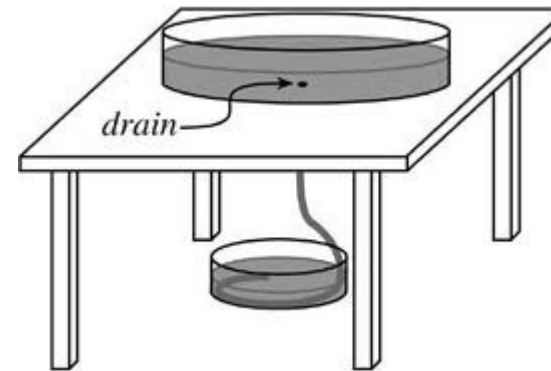
Az **óramutatóval ellentétes** irányú forgást várunk az északi féltekén.

A relatív eltérés  $L=0,2$  m-en,  $U=0,1$  m/s sebességgel

$$\mathbf{D/L = \Omega_f L/U = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 = 10^{-4} .}$$

20 cm távolságon az eltérés  $2 \cdot 10^{-5}$  m = **20  $\mu$ m**.

Gondosan megtervezett kísérletek:



legalább 1 napig áll a víz, több m sugarú, pontosan hengeres edény, a dugót igen lassan húzzák ki.

A várt, pozitív forgásirány valóban megfigyelhető:

1859: Párizs, A. Perrot;

1911: Bécs, O. Turmlitz

1961: Boston, A. Shapiro, **Nature 196, 1080**

1965: Sidney, L.M. Trefethen, **Nature 207, 1084**

**Itt negatív a forgásirány!**

# Mi a helyzet a hétköznapi lefolyóval?

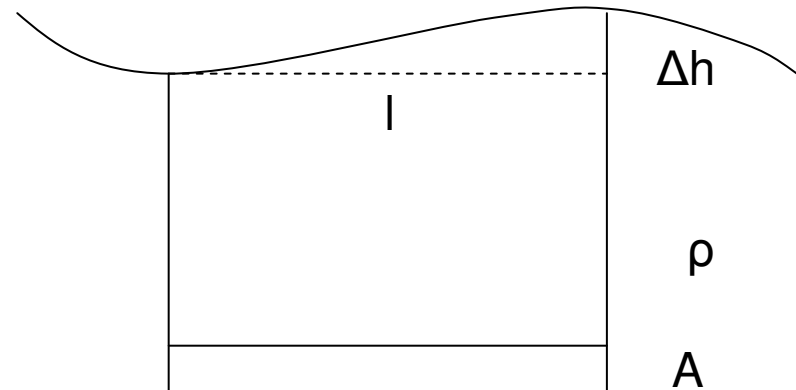
Ha **kizárólag** a Coriolis-erő hat, akkor az eredetileg a középpont felé induló részecskék az északi féltekén jobbra eltérülnek, és az óramutató járásával ellentétes, pozitív körforgású örvény jön létre.

A valóságban a víz kicsit hullámzik (az edény nem szimmetrikus).

Ha  $L = 10$  cm-en a vízfelszín  $\Delta h = 1$  mm-t változik, akkor a  $A$  területű lapokon ható nyomáskülönbség miatt az erő  $F = \rho g \Delta h A$

A tömeg:  $\rho L A$

A gyorsulás  $a = g \Delta h / L = 10^{-1} \text{ m/s}^2$



A Coriolis-gyorsulás  $U = 10 \text{ cm/s}$  esetén  $a_C = 2 \Omega_f U = 10^{-5} \text{ m/s}^2$

azaz **4 nagyságrenddel kisebb!**

**A lefolyókban nem a Coriolis-erő dominál.**

Ahhoz, hogy az a gyorsulás kisebb legyen  $a_C$  -nél:

$$g \Delta h / L < 2 \Omega_f U,$$

$$\Delta h < L g 2 \Omega_f U = 10^{-7} \text{ m} = \mathbf{0,1 \mu m}$$

A hétköznapi gyakorlatban ez nem teljesül. A tapasztalat szerint mindkét forgásirány **közel egyformán fordul elő.**

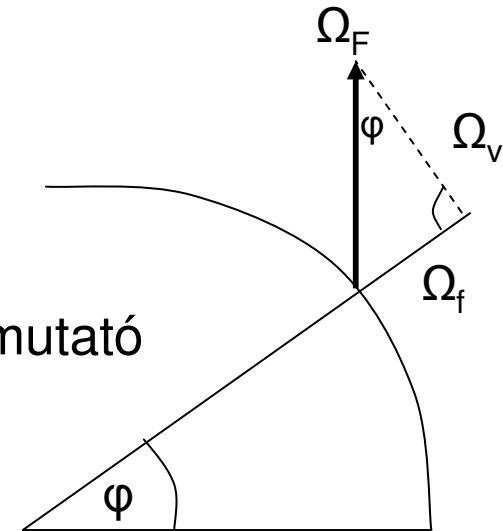
Részletes statisztika, Zsíros László:

[www.szertar.com/webizodok/Coriolis/](http://www.szertar.com/webizodok/Coriolis/)



# Az Eötvös-hatás

A **függőleges** irányú Coriolis-erő szempontjából a vízszintes síkban történő mozgásokra a Föld forgási szögsebességvektorának a helyi vízszintes irányba mutató



$$\Omega_v = \Omega_F \cos \varphi$$

vetülete a lényeges.

Az  $F_C = 2mU\Omega_v$  felfelé mutató Coriolis-erő a keletre haladó testeket **emeli**, súlyukat csökkenti. Ez az ún. Eötvös-hatás.

Az Eötvös-hatás erősségét a  $2U\Omega_v$  Coriolis-gyorsulás és gravitációs gyorsulás

$$2\Omega_v U/g$$

hányadosa határozza meg.

Értéke közepes szélességeken:  $\varphi \approx 45$  fokon,  $U = 10$  m/s-al  $10^{-4}$ .

A súlyunk 1/10 ezrelékkal csökken kelet felé mozogva!

**Horváthy Péter, KÖMAL 55, 297 (2005)**

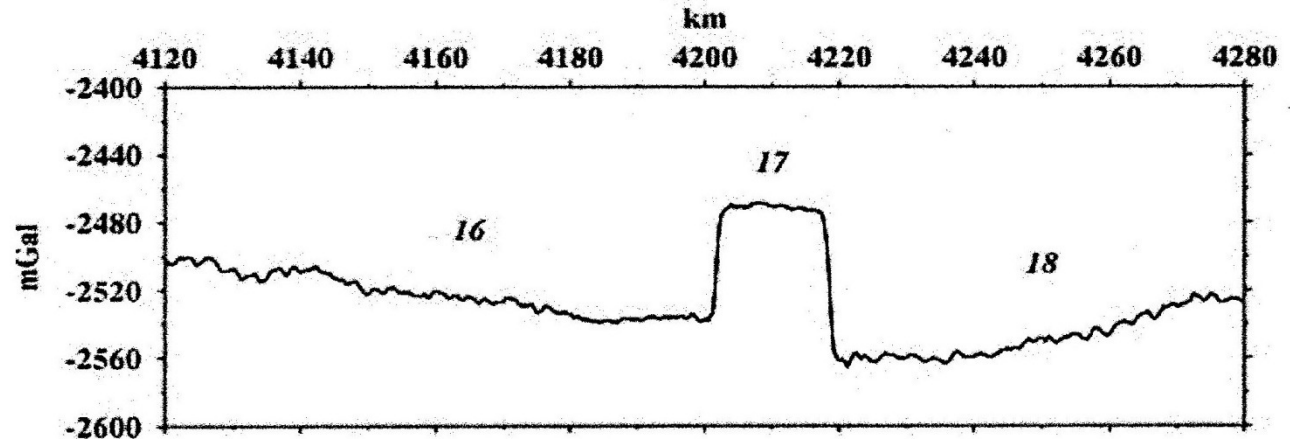
# Az Eötvös-hatás

Eötvös a jelenséget keletre ill. nyugatra mozgó hajók merülési adatait vizsgálva ismerte fel.

1908-ban külön csak erre figyelő méréseket végeztek a Fekete-tengeren.

A mért adatok ilyen jellegűek voltak

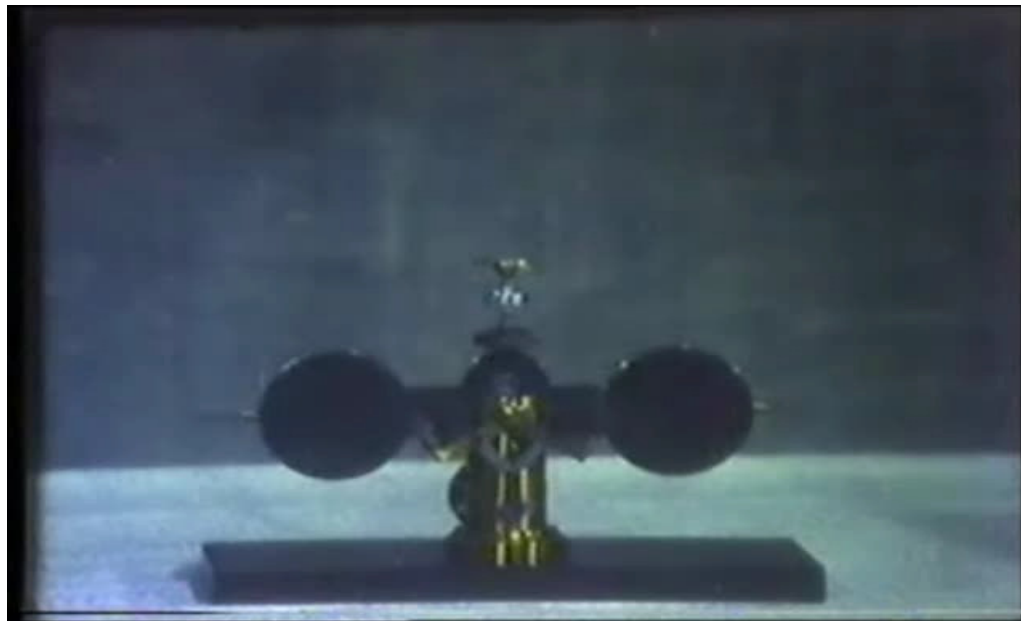
Merülés



- 16: lassú mozgás kelet felé
- 17: gyors mozgás kelet felé
- 18: lassú mozgás nyugat felé

# Eötvös mérleg-kísérlete

1915-ben az Eötvös-hatás laboratóriumi kimutatására laboratóriumi kísérletet tervezett



Főzy I., Juhász A., Skrapits L., ELTE, 1980

**E-learning anyag: [www.artexpo.hu/project/elearning1.htm](http://www.artexpo.hu/project/elearning1.htm)**

# Összehasonlítás

	Eltérítő hatás	Eötvös-hatás
<b>Erőssége</b>	$\Omega_f L/U = \Omega_F \sin \varphi L/U$	$2\Omega_v U/g = 2\Omega_F \cos \varphi U/g$
<b>A sarkokon</b>	<b>maximális</b>	<b>0</b>
<b>Az egyenlítőn</b>	<b>0</b>	<b>maximális</b>

**Hogyan** befolyásolhatja akkor a lefolyó körbeáramlását az egyenlítő környékén (első film)?

**Csak ezzel** mutatható ki a Föld forgása az egyenlítőn!

A néhány méteres távolságokon, és szokásos sebességekkel mindkét hatás igen gyenge.

A szoba, laboratórium tehát valóban igen **jó közelítéssel** inerciarendszer, vagyis érvényes benne a tehetetlenségi törvény.

# A Coriolis-hatás távolságfüggő!

$$D/L = \Omega_f L/U$$

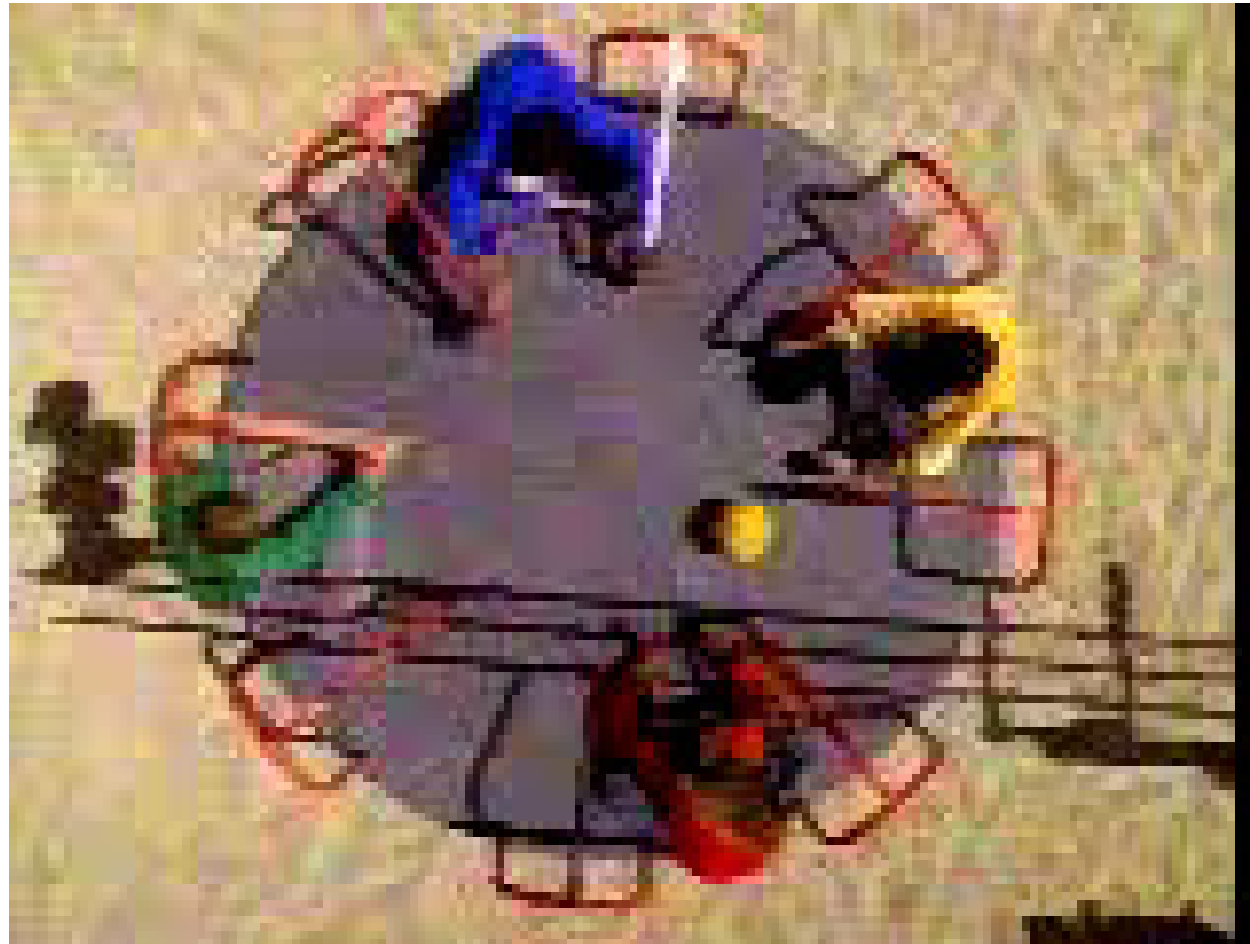
relatív eltérés **nő** a távolsággal (közel állandó sebességek mellett).

Egyre nagyobb L távolságokon, U = 10 m/s sebességre (közepes szélességeken)

L	D/L	
1km	0,5%	a Coriolis-hatás <b>kicsi</b>
10 km	5%	a Coriolis-hatás <b>jól mérhető</b>
100 km	50%	a Coriolis-hatás <b>fontos</b>
1000 km	500%	a Coriolis-hatás <b>dominál</b>

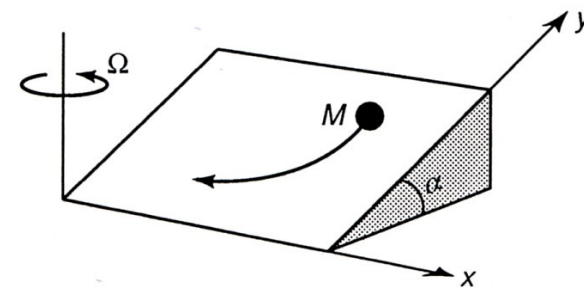
A nagy léptékű tartományok **nem** inerciarendszerek!

# Ha D/L 1 körüli, jelentős eltérés: A játszótéren / a Csodák Palotájában



**A légtömegek ezt érzik!**

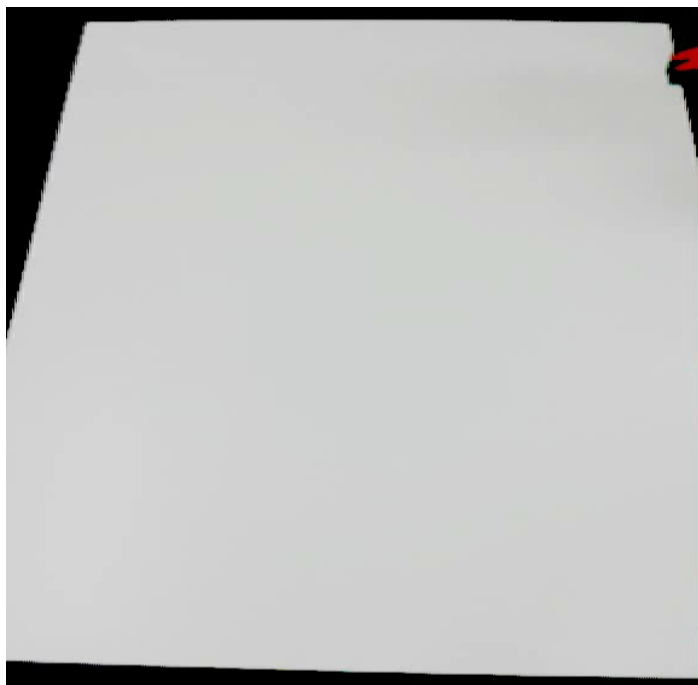
# Mozgás lejtőn forgó asztalon



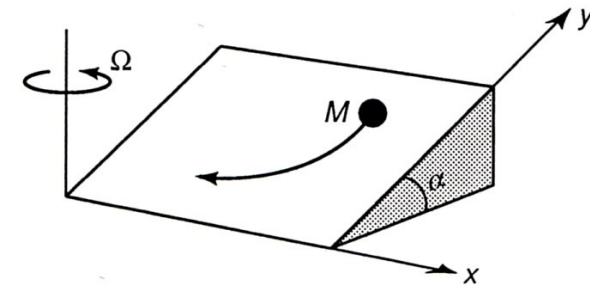
$$\Omega = 1 \text{ 1/s}, L = 1 \text{ m}, U = 1 \text{ m/s}, D/L = 1$$

$$\alpha = 5 \text{ fok}$$

**A kísérlet:**

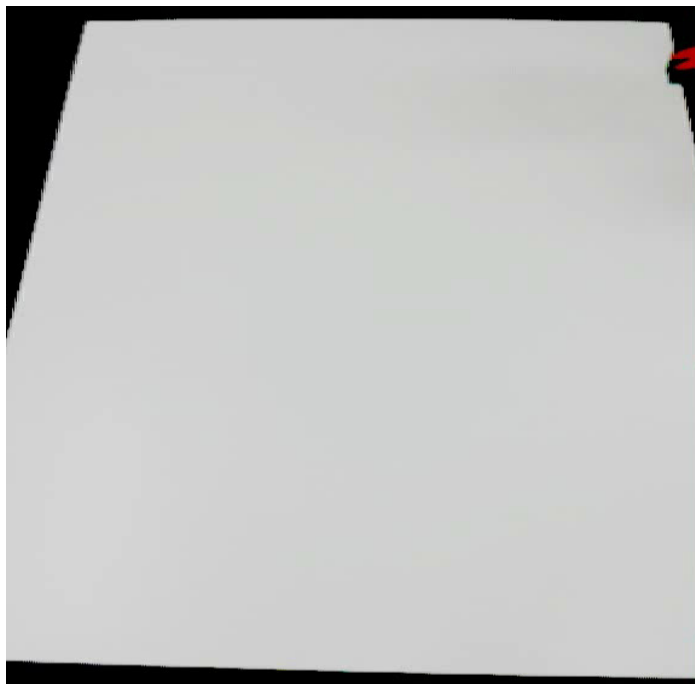


# Mozgás lejtőn forgó asztalon

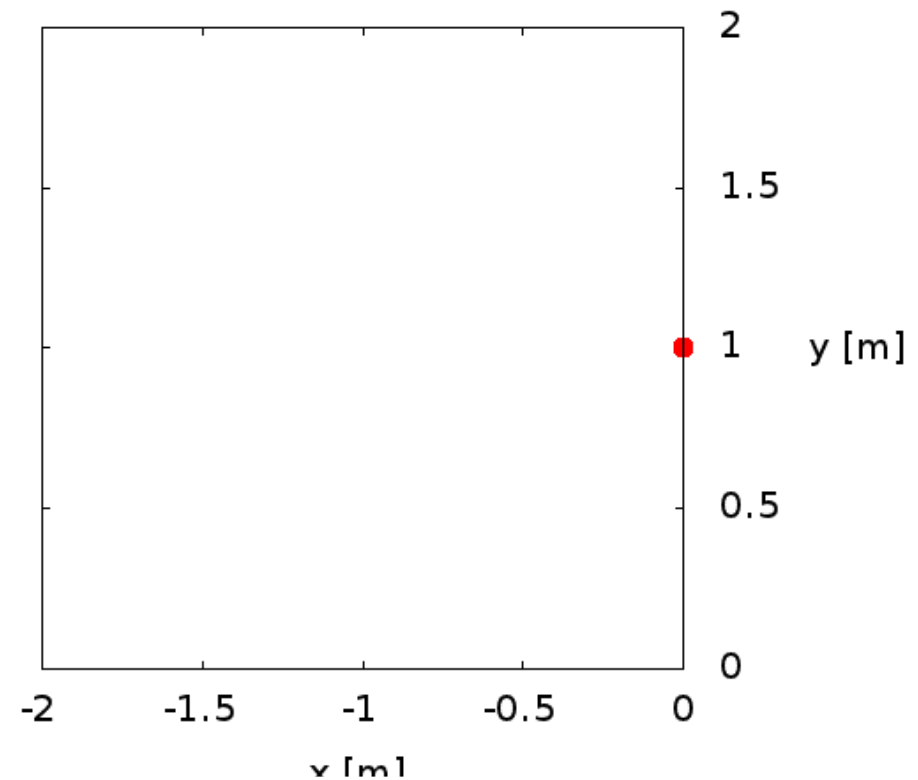


$$\Omega = 1 \text{ 1/s}, L = 1 \text{ m}, U = 1 \text{ m/s}, D/L = 1$$
$$\alpha = 5 \text{ fok}$$

**A kísérlet:**

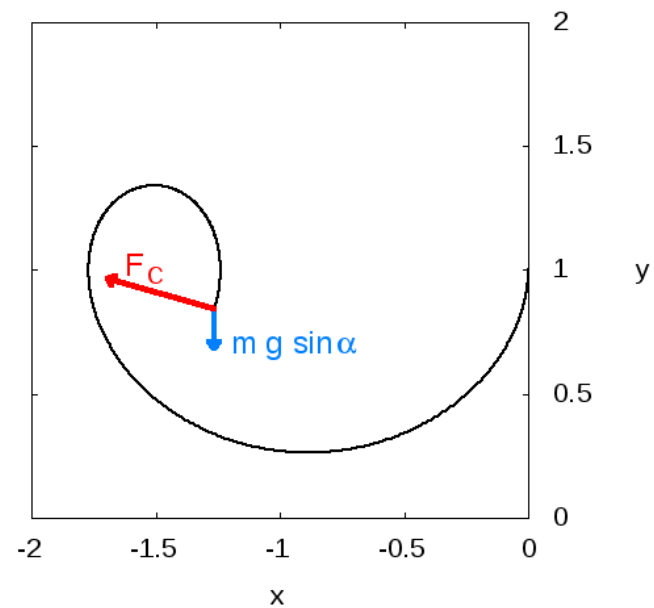
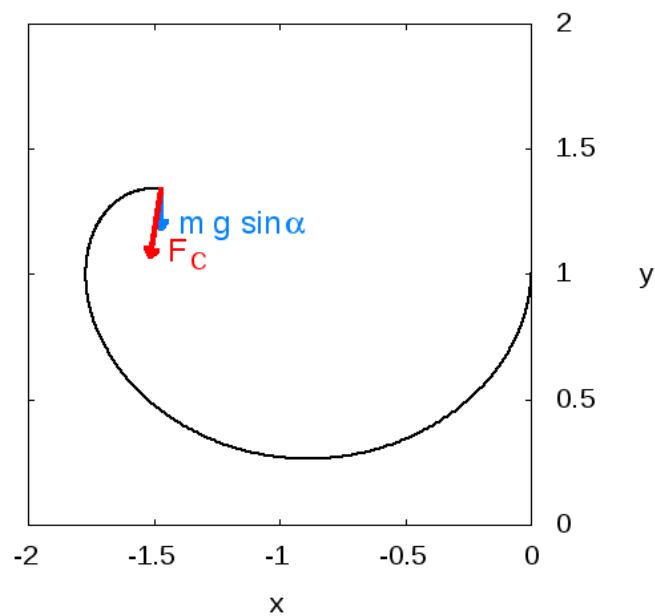
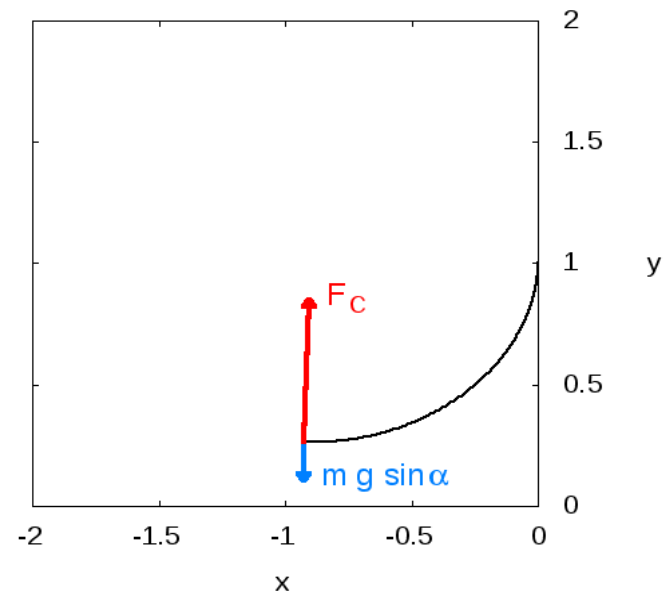
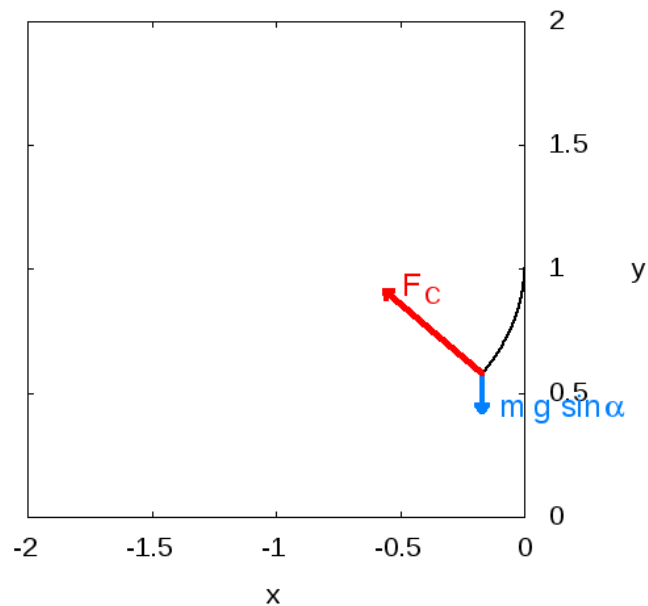


**A szimulálás**

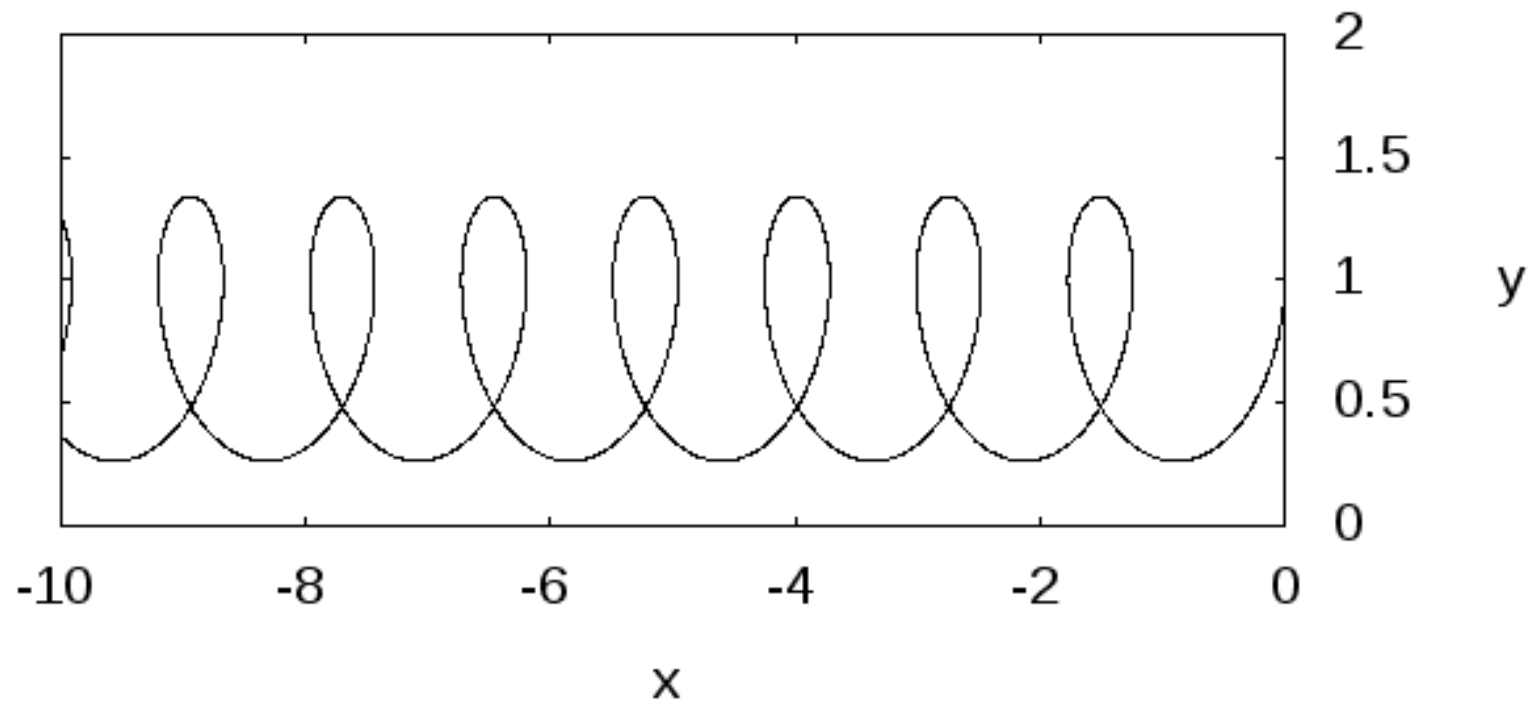




# A testre ható erők mozgás közben

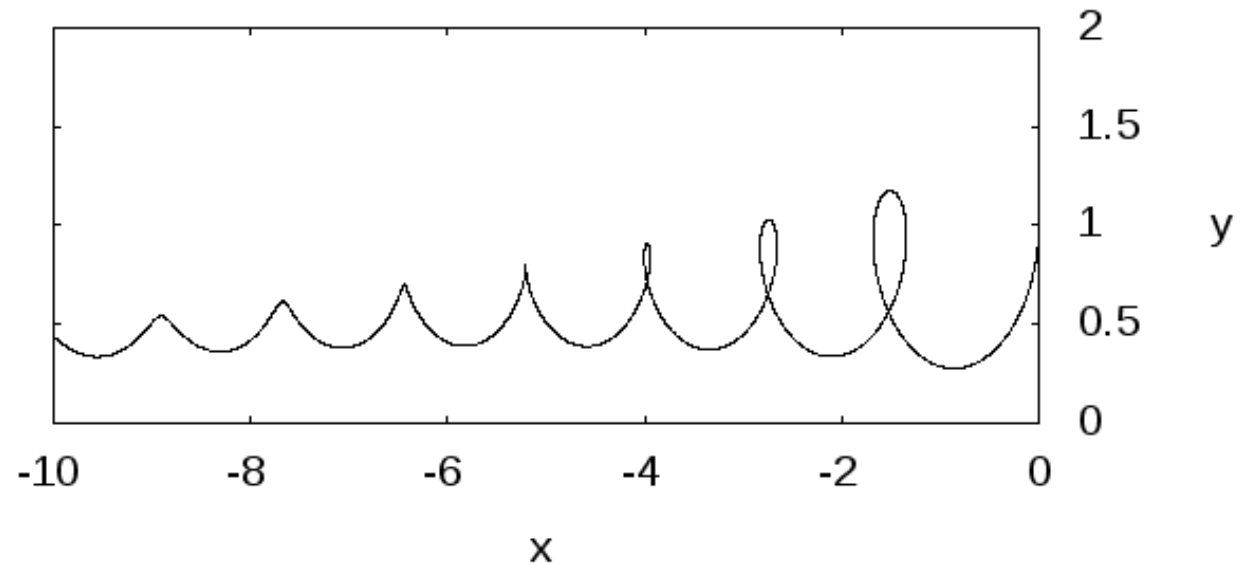
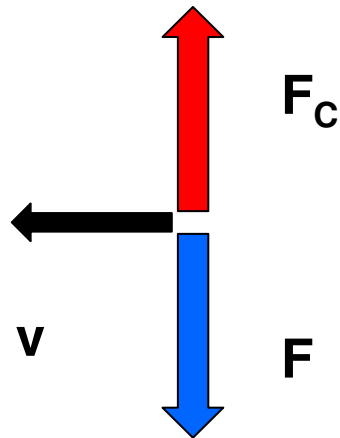


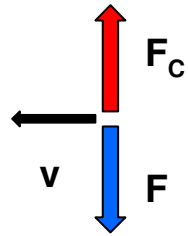
## A pálya nagyobb távolságig



# A pálya súrlódással

Közel egyenletes mozgás,  
melyben a külső erő és a Coriolis-erő egymást **kiegyenlíti:**





## A közeg nem arra mozog, amerre a nyomás hajtja!

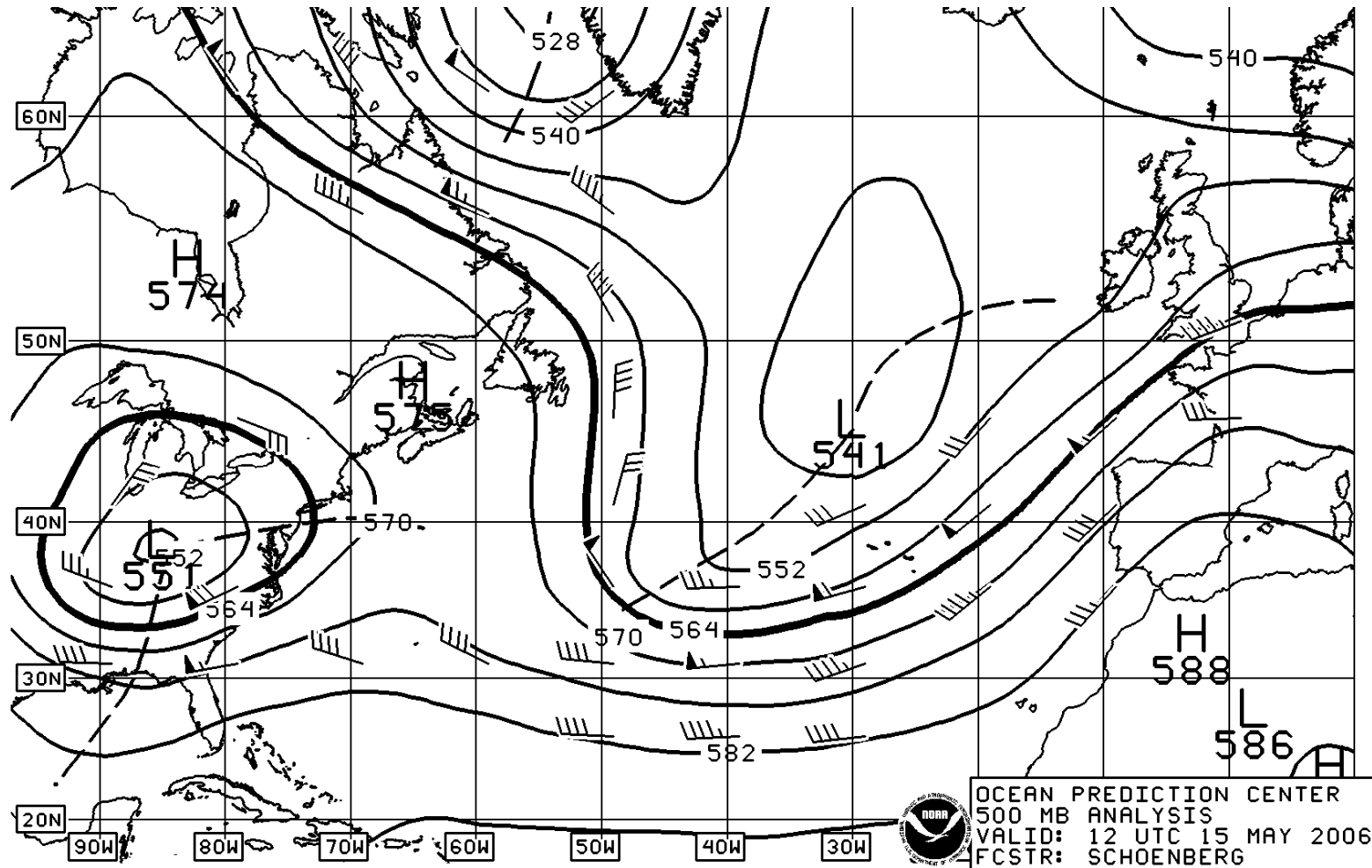
Ez valósul meg a légköri áramlásokban is. A külső erő a **nyomáskülönbségből** adódik. Közelítőleg időfüggetlen áramlás csak úgy alakulhat ki, ha a nyomáskülönbségből adódó erő a Coriolis-erőt egyensúlyozza.

Mivel a sebesség ennek irányára merőleges, a levegő az állandó nyomású görbékkel, **az izobárokkal párhuzamosan áramlik.**

Ez ellentmond annak a hétköznapi (laboratóriumi skálájú) megfigyelésnek, miszerint a folyadék (pl. egy csőben) az alacsonyabb nyomású hely felé mozog

A közeg nem arrafelé mozog, amerre a nyomáskülönbség hajtja, hanem arra **merőlegesen!**

# Meteorológiai térkép



A szélirányok közel párhuzamosak az izobárokkal.

# A bárikus széltörvény



C. Buys Ballot (1817-1890), holland meteorológus.

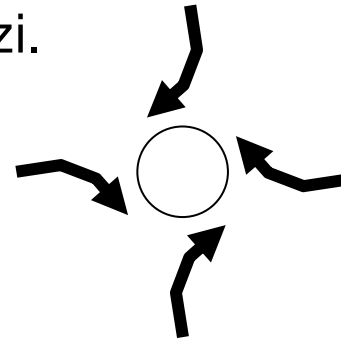
Szabály (1857):

A szélnek háttal állva, a magasabb nyomás mindig **jobbra** esik az északi féltekén.

# A ciklon mint felfolyó

Az alacsony központi nyomás miatt a ciklon közepén feláramlás, a talaj közelében pedig lassú összeáramlás zajlik.

Az összeáramló levegőt a Coriolis-erő jobbra téríti, az óramutató járásával ellentétes körbeforgásúvá teszi.

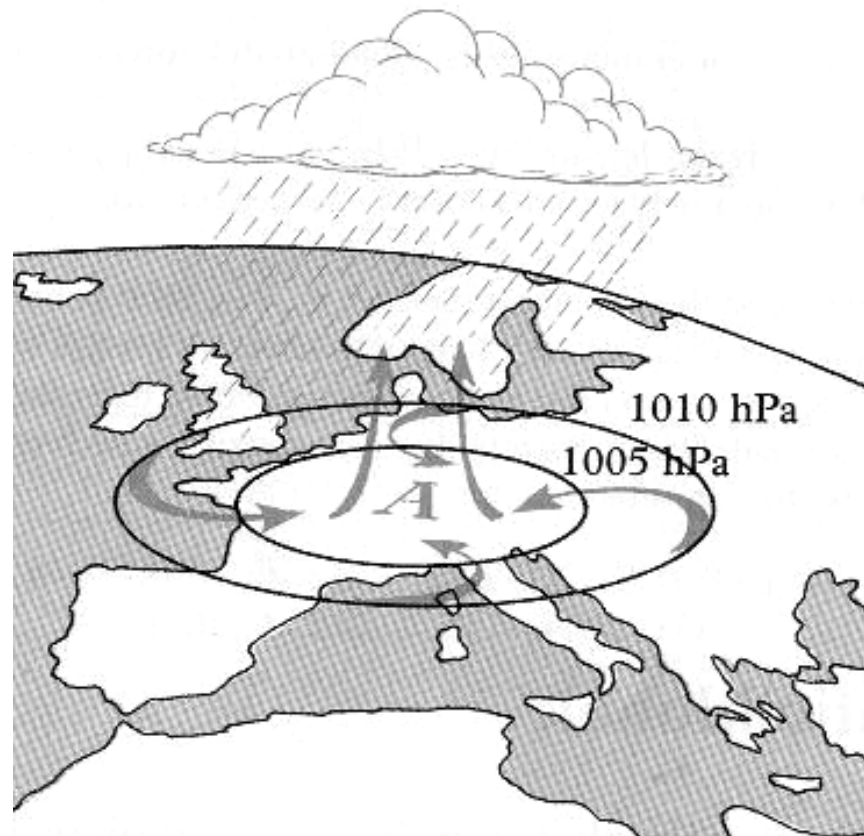


Az elrendezés egy fejjel lefelé álló lefolyóhoz hasonló.

Az, amit a konyhai lefolyóban hiába kerestünk, annál tízmilliószor nagyobb méretben (1000 km/10 cm)

**kivétel nélkül mindig megvalósul:** az örvénylés az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes.

# A ciklon mint felfolyó

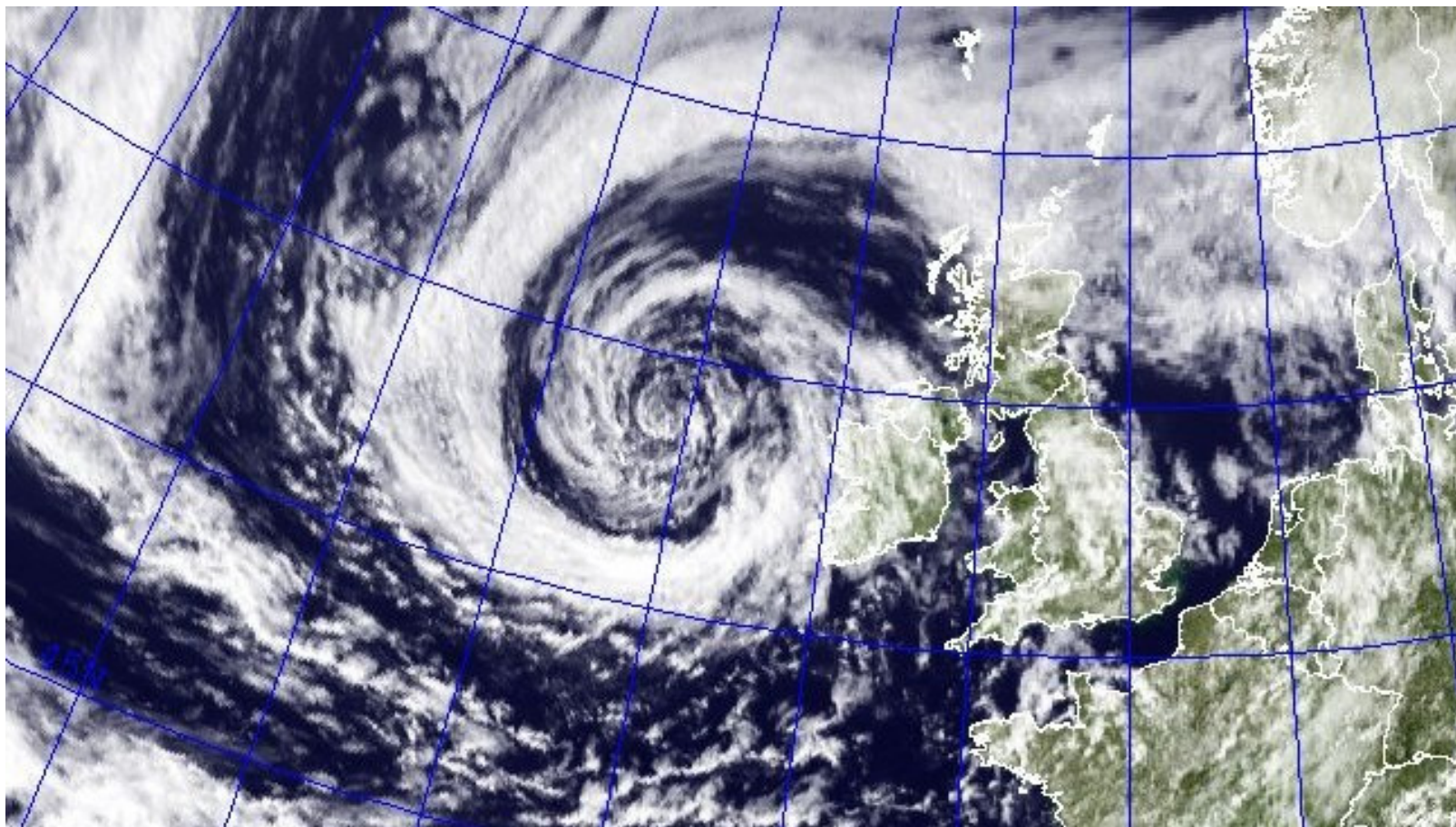


Sematikus kép a ciklonra jellemző körkörös áramlásról

Nemerkényi, Sárfalvi, **Általános természetföldrajz, 10. osztály, Bp, 2002**



# A ciklon mint felfolyó



Műholdfelvétel egy, 2012 augusztusában Anglia felé közeledő ciklon felhőzetéről. Ezen jól látszik az, amit a lefolyó kapcsán vártunk: a középpont felé haladó áramlás jobbra eltérül [ [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com) ].

# Ciklon (mint felfolyó) a déli féltekén: mindig az óramutatónak megfelelő körüljárású

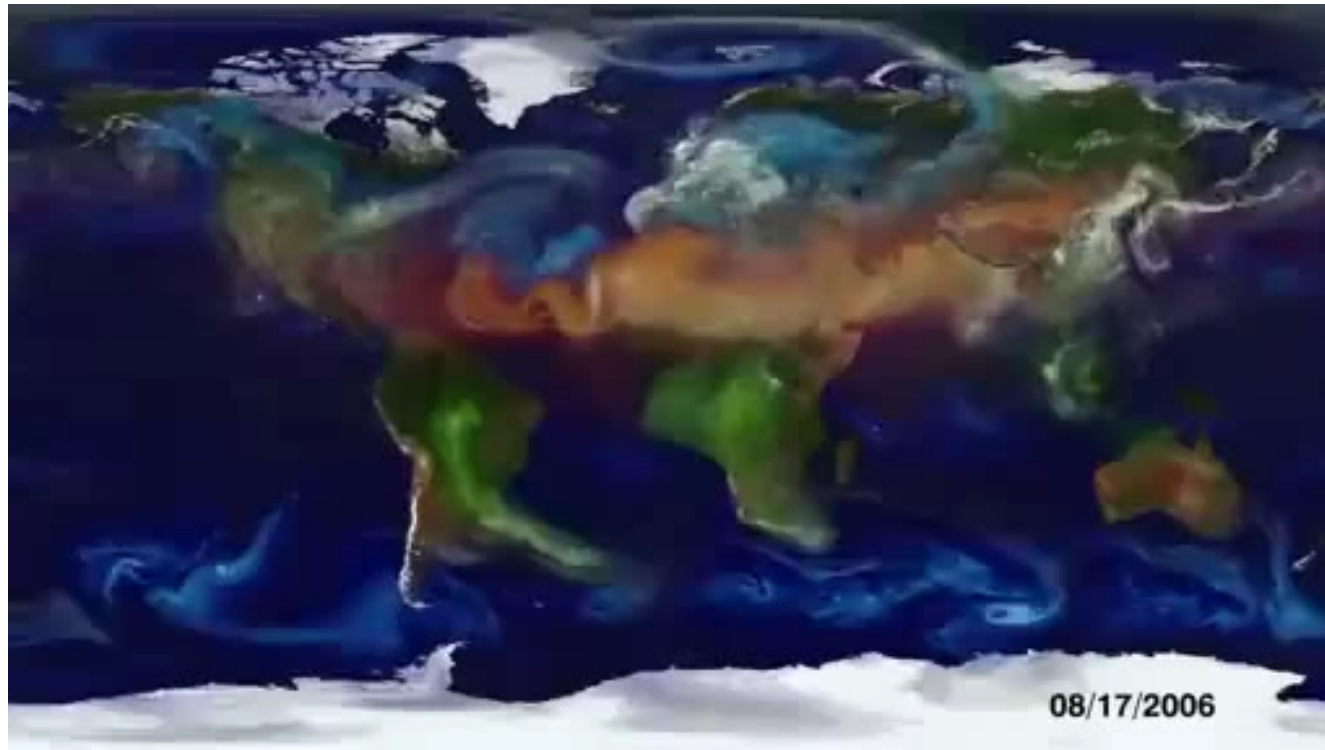


Nyugat-Ausztrália fölött,  
2004. márc. 25

[www.psyberspace.com.au](http://www.psyberspace.com.au)

Az egyenlítő környékén nincs eltérítő erő, **nincsenek ciklonok!**

# A légköri áramlások teljes rendszere



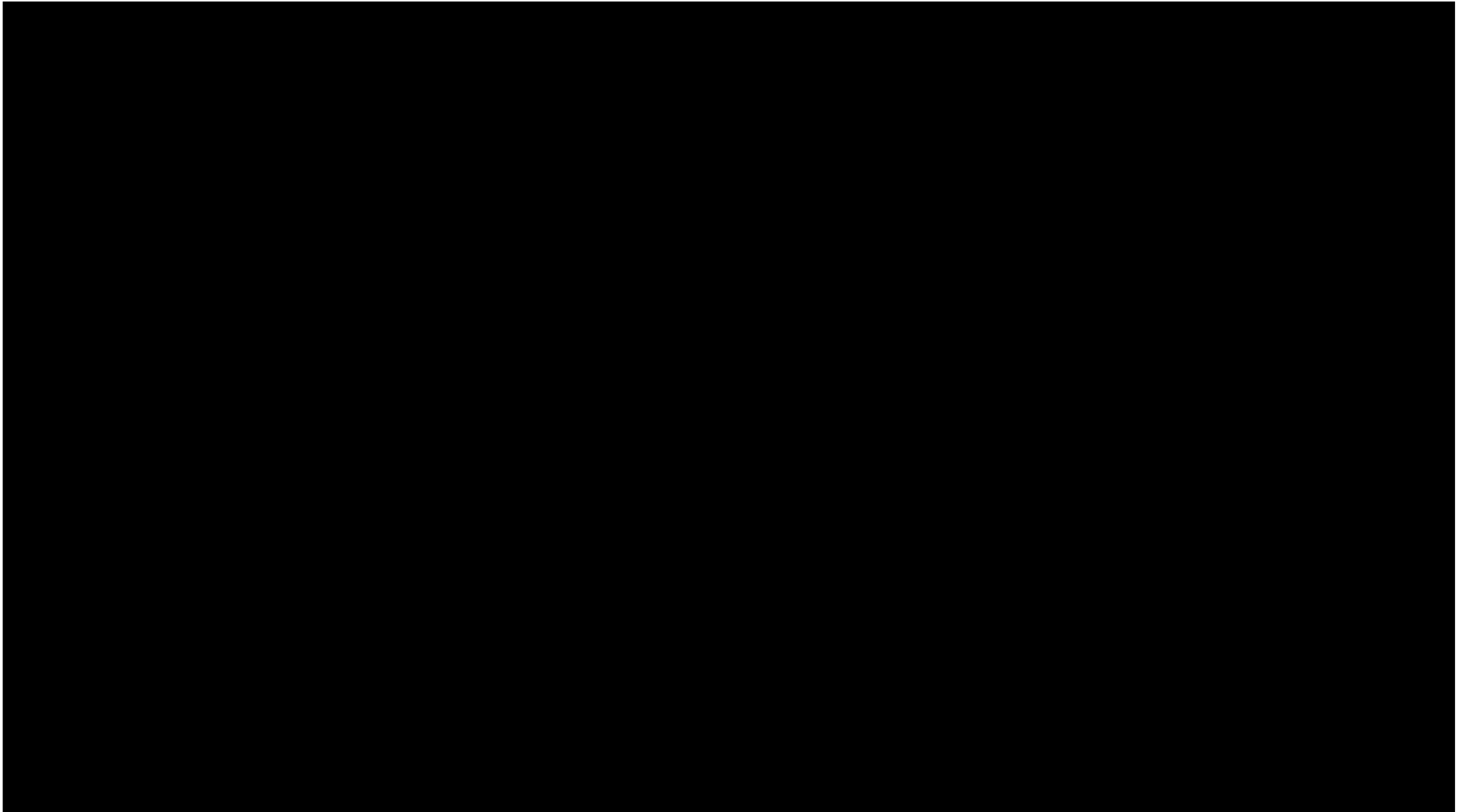
# Tengeri áramlatok

Az óceáni áramlások alapvetően aszimmetrikusak: az erős óceáni áramlatok kivétel nélkül a medencék **nyugati pereme** mentén folynak, s mindössze száz km szélességűek.

A Golf-áramlat például olyan gyorsan folyik, mint a Duna (sebessége 5 km/h), 100 km széles, és vízhozama több 10 millió m<sup>3</sup>/s, nagyobb az összes földi folyó együttes vízhozamánál.

A szélnyírás erejét a **Coriolis-erő** (és annak szélességtől való függése) koncentrálja ilyen erős áramlatokká.

# **Az óceáni áramlások rendszere**



**A környezeti áramlások (a klíma) vizsgálata  
aktív kutatási terület  
Európai nagyberendezés: a Coriolis-platform  
(Grenoble)**



# Nálunk: Kármán Környezeti Áramlások

Laboratórium [www.karman3.elte.hu](http://www.karman3.elte.hu)

Látogatható a „Fizika tanösvény” keretében:

[www.fizika-tanosveny.elte.hu](http://www.fizika-tanosveny.elte.hu)

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar  
Fizikai Intézet  
Kármán Laboratórium

Információk



- Ismertető
- Elérhetőség
- Munkatársak
- Oktatási segédanyagok


Kutatás







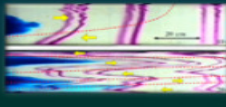





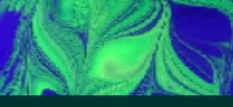



- Publikációk
- PhD dolgozatok
- Diplomamunkák
- TDK dolgozatok

Érdeklődőknek

- Ismeretterjesztő írások
- Hasznos linkek
- Demonstrációs kísérletek
- Látogatás

© Best Kontakt Kft, 2010  


 Hidegfront	 Jéghegy olvadása	 Holt víz	 Biokonvekció
 Melegfront	 Sós ujjak	 Cikk-cakk instabilitás	 Solitonok
 Hőtranszport	 Belső hullámok	 Közzes front	 Plume, kéményfüst
 Kaotikus sodródás	 Taylor oszlop	 Rossby-hullám	 Tornádó

# Összefoglalás

Kis skálán a Coriolis-erő nem lényeges

A Coriolis-hatás azonban alapvető a természetes közegek nagyskálájú mozgásának meghatározásában

Mennyi **fizika** van a földrajzban!

Érdekes új kutatási terület.

**Klasszikus fizika is lehet modern fizika.**

**Ne higgyünk az internetnek!**





# Köszönet

Helyszíni közvetítés (Foucault-inga): Medgyessy Gábor

Kísérlet: Béni Kornél

Szimulálás: Drótos Gábor

Video-vágás: Tél András, Tél Bálint, Urbán Ferenc

Medgyessy Gábor

Kísérleti helyszín: Csodák Palotája:

**Menjetek el a CsoPa-ba!**

