

A LÉGKÖRBEŒEN HATÓ ERŐK, EGYENSÚLYI MOZGÁSOK A LÉGKÖRBEŒEN

Miért fontos a légkörben ható erők ismerete?

- Cél: a légkörben lezajló mozgások megismerése

- Newton 2. törvénye:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

→ a testre ható erők ismeretében leírható a mozgás

A légkörben ható erők

- A Föld forgásától független erők:
 - A Föld tömegvonzása miatt fellépő **gravitációs erő**
 - A légnyomás-különbségekből származó **nyomási gradiens erő**
 - Külső és belső súrlódásból származó **súrlódási erő**
- A Föld forgásából származó erők:
 - A **centripetális ill. centrifugális erő**
 - A **Coriolis-erő**

Gravitációs erő

- Bármely két test között vonzó erő hat,

$$F_g = \gamma \frac{m M}{R^2}$$

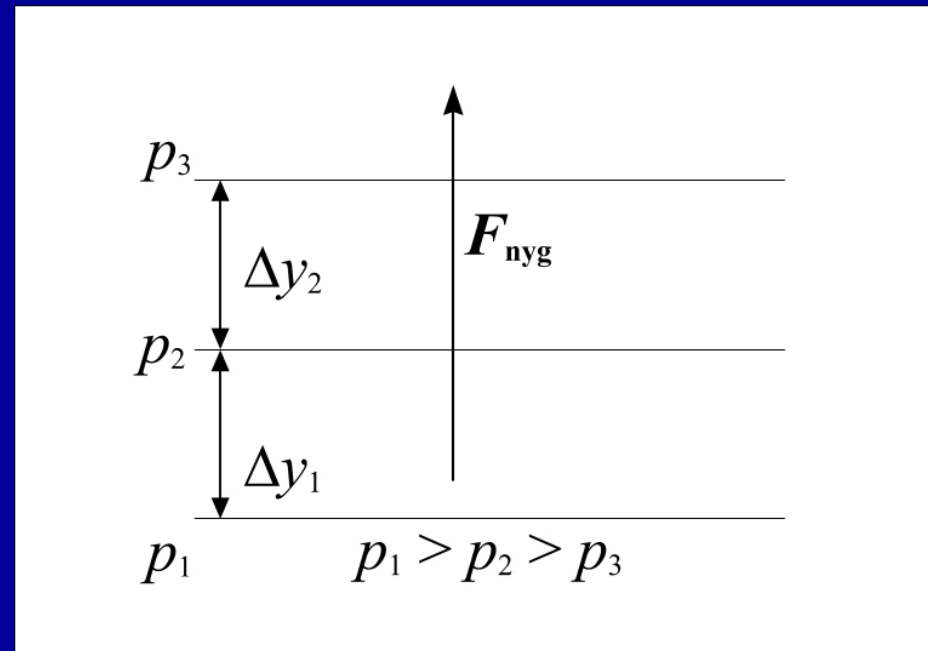
- γ : gravitációs állandó ($6,67 \cdot 10^{-11}$ N m²/kg²)
- M : a Föld tömege ($6 \cdot 10^{24}$ kg)
- Ha a Föld felszínéhez elég közel vagyunk:

$$F_g = m g, \text{ ahol}$$

$$g = \gamma \frac{M}{R^2} \approx \gamma \frac{M}{R_F^2}$$

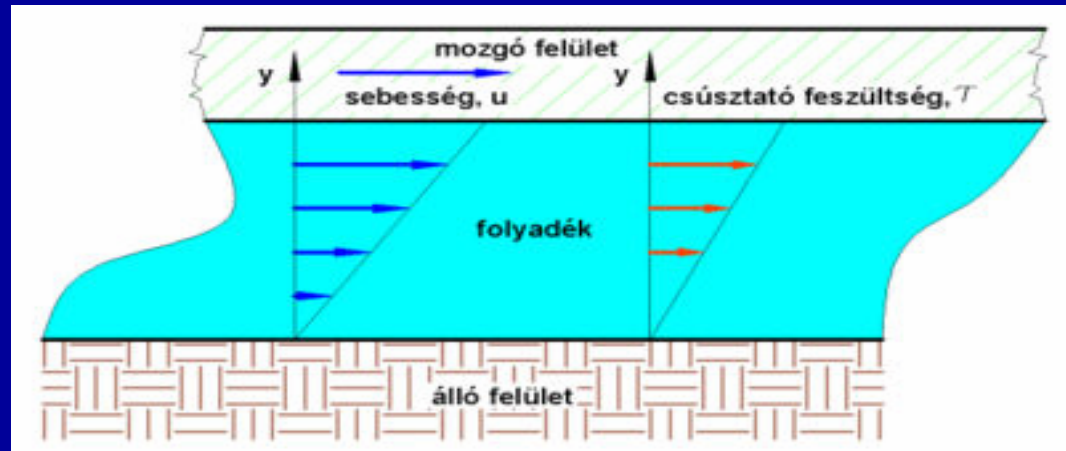
Nyomási gradiens erő

- A nyomáskülönbség hatására fellépő erő
- Merőleges az izobárokra
- A magasabb nyomású terület felől az alacsonyabb nyomású terület felé mutat
- $F_{\text{grad}} \sim -\frac{\Delta p}{\Delta y}$, ha az izobárok merőlegesei az y koordináta-tengelyre

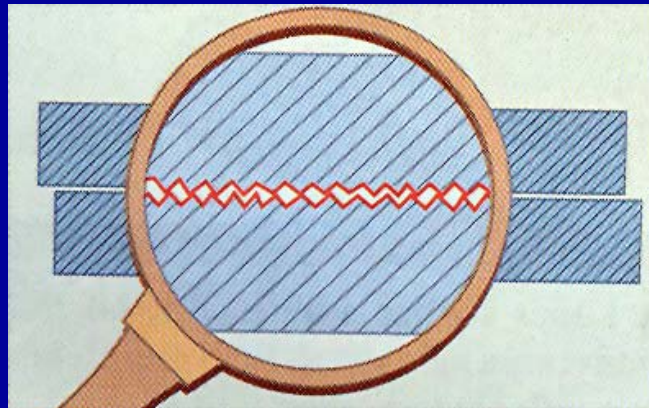


Súrlódási erő

- Belső súrlódás (viszkozitás):

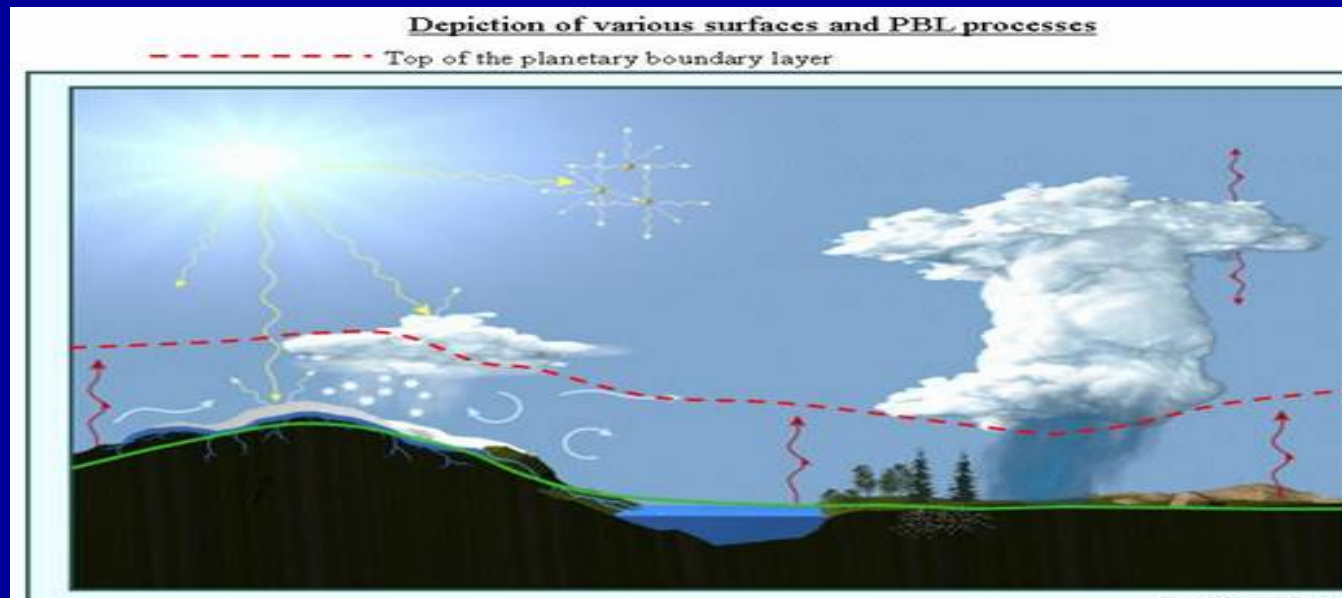


- Külső súrlódás:

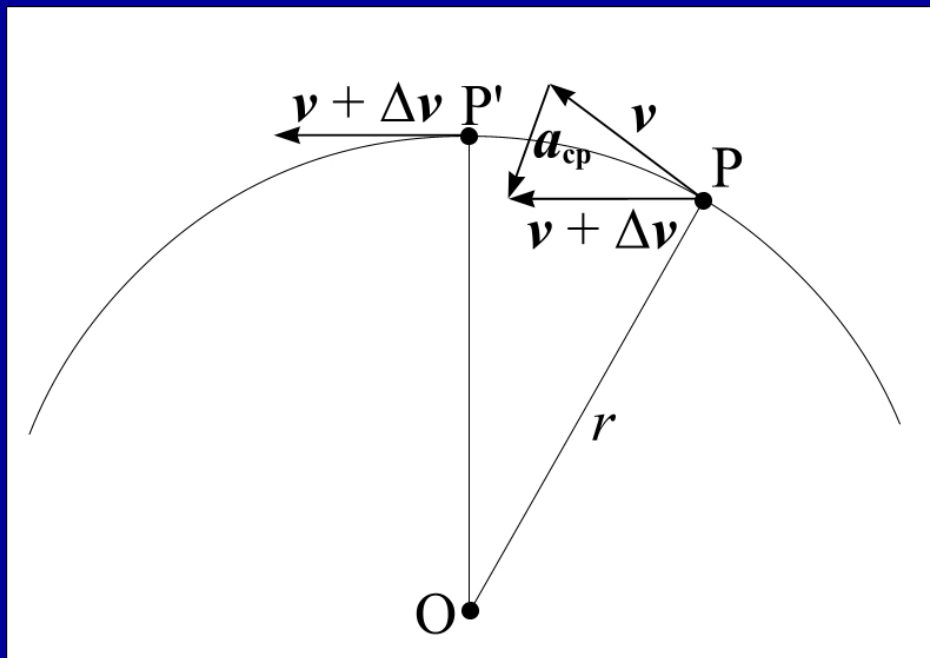


Súrlódási erő

- A súrlódási erő a sebességgel ellentétes irányú.
- Planetáris határréteg:
 - a talajhoz közeli légréteg, melyben a súrlódás hatása jelentős
 - vastagsága kb. 1-2 km



Centripetális erő

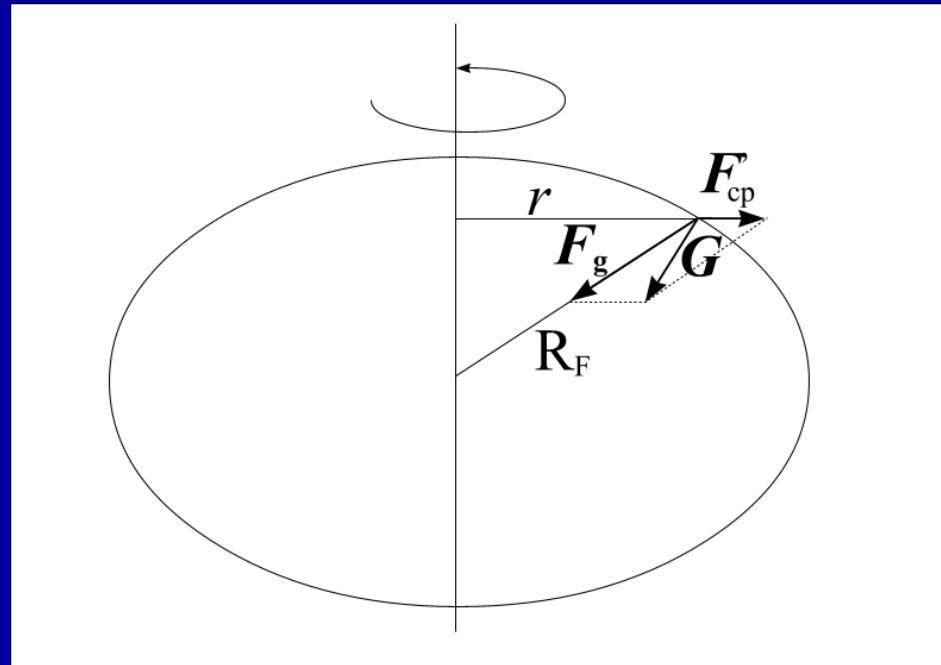


$$F_{cp} = m \omega^2 r$$

- Egyenletes körmozgást végző testre ható erők eredője a kör középpontja felé mutat, ez a **centripetális erő**
- A testhez rögzített koordináta-rendszerben rá látszólag kifelé mutató erő hat, ez a **centrifugális erő** (nem valóságos erő) $F_{cf} = - F_{cp}$

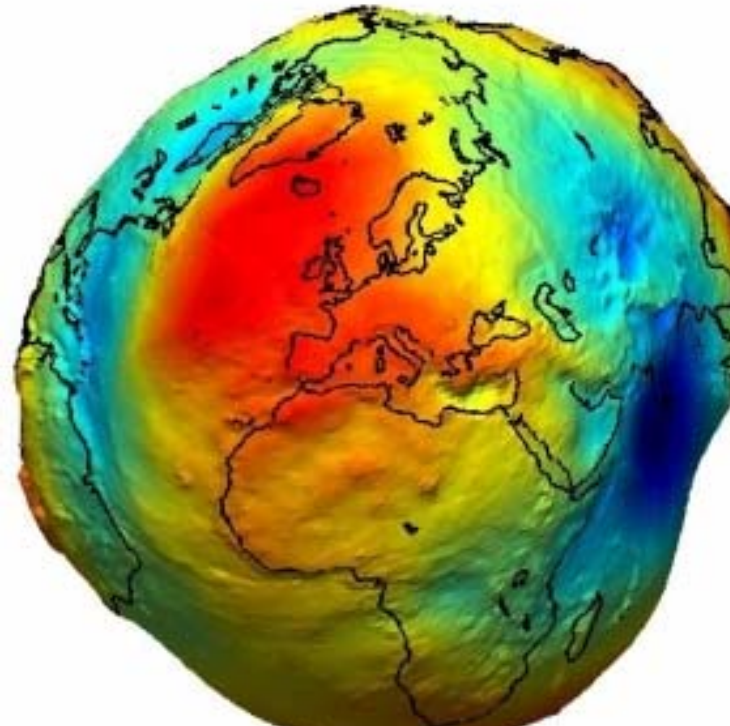
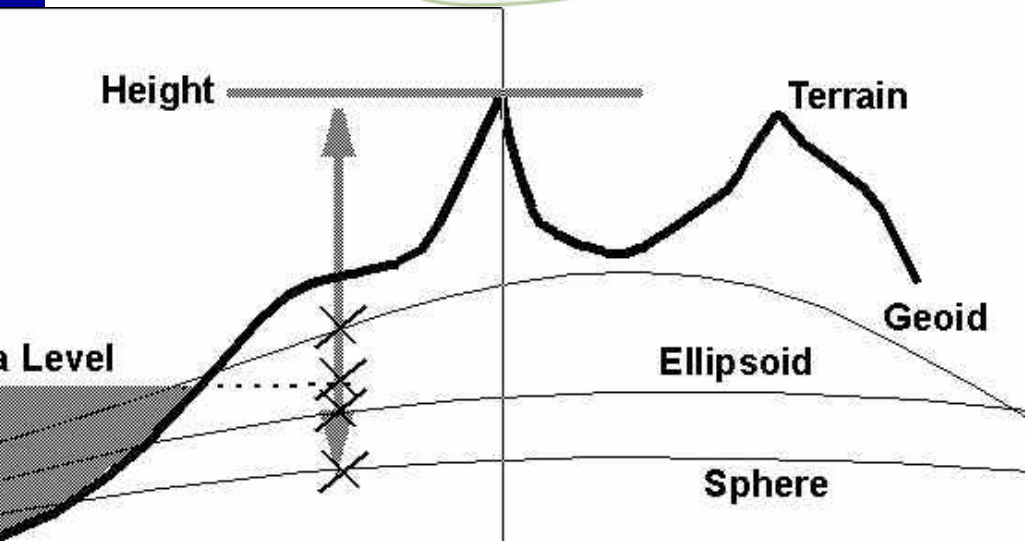
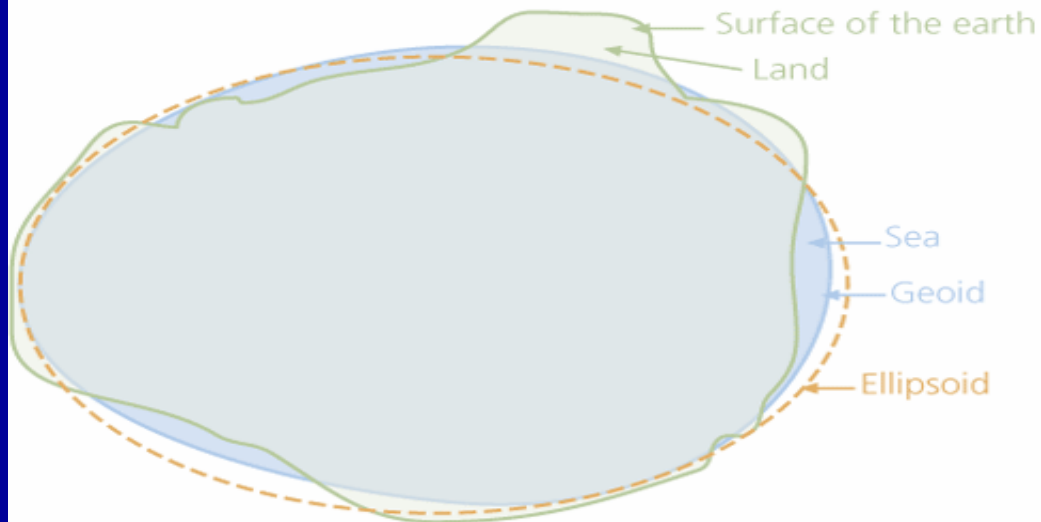
Nehézségi erő

- A gravitációs és a centrifugális erő eredője
- Sarkokon a legnagyobb, Egyenlítőn a legkisebb
- A földfelszín csak úgy lehet egyensúlyban, ha minden pontban merőleges a nehézségi erőre
- Köv.: a Föld ellipszoidhoz közeli alakja



Geoid

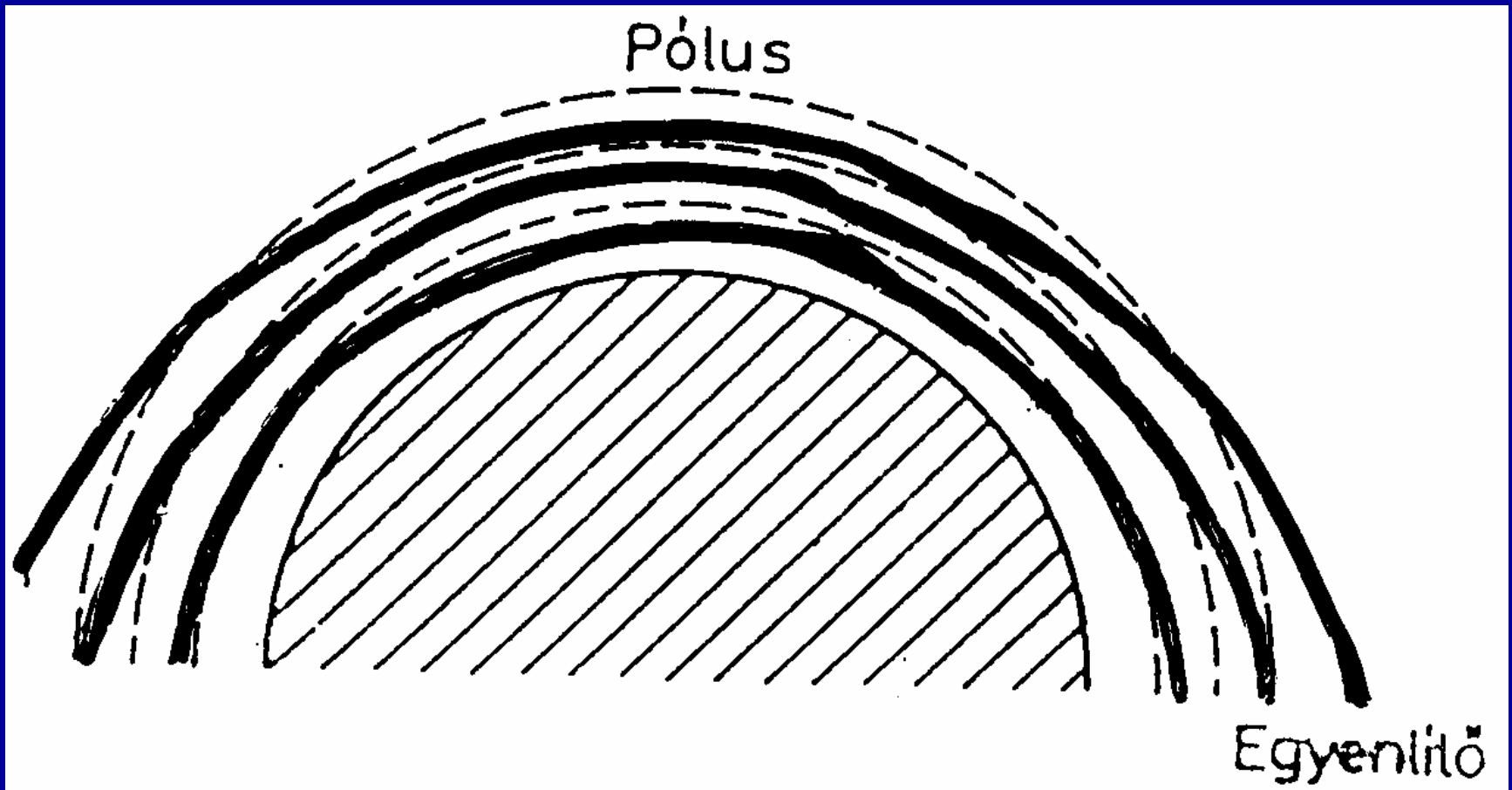
Model of the Earth



- Geopotenciál: a tömegegység z magasságba való emelésekor a nehézségi erővel szemben végzett munka. (Tengerszinten $\Phi=0$)

$$\Phi_z = \int_0^z g dz$$

- Geopotenciális felület: azonos geopotenciálú pontok alkotta felület (ekvipotenciális felület)
- A nehézségi erő mindenhol a geopotenciális felületre merőleges irányú, és nagysága arányos a geopotenciális felületek sűrűségével.

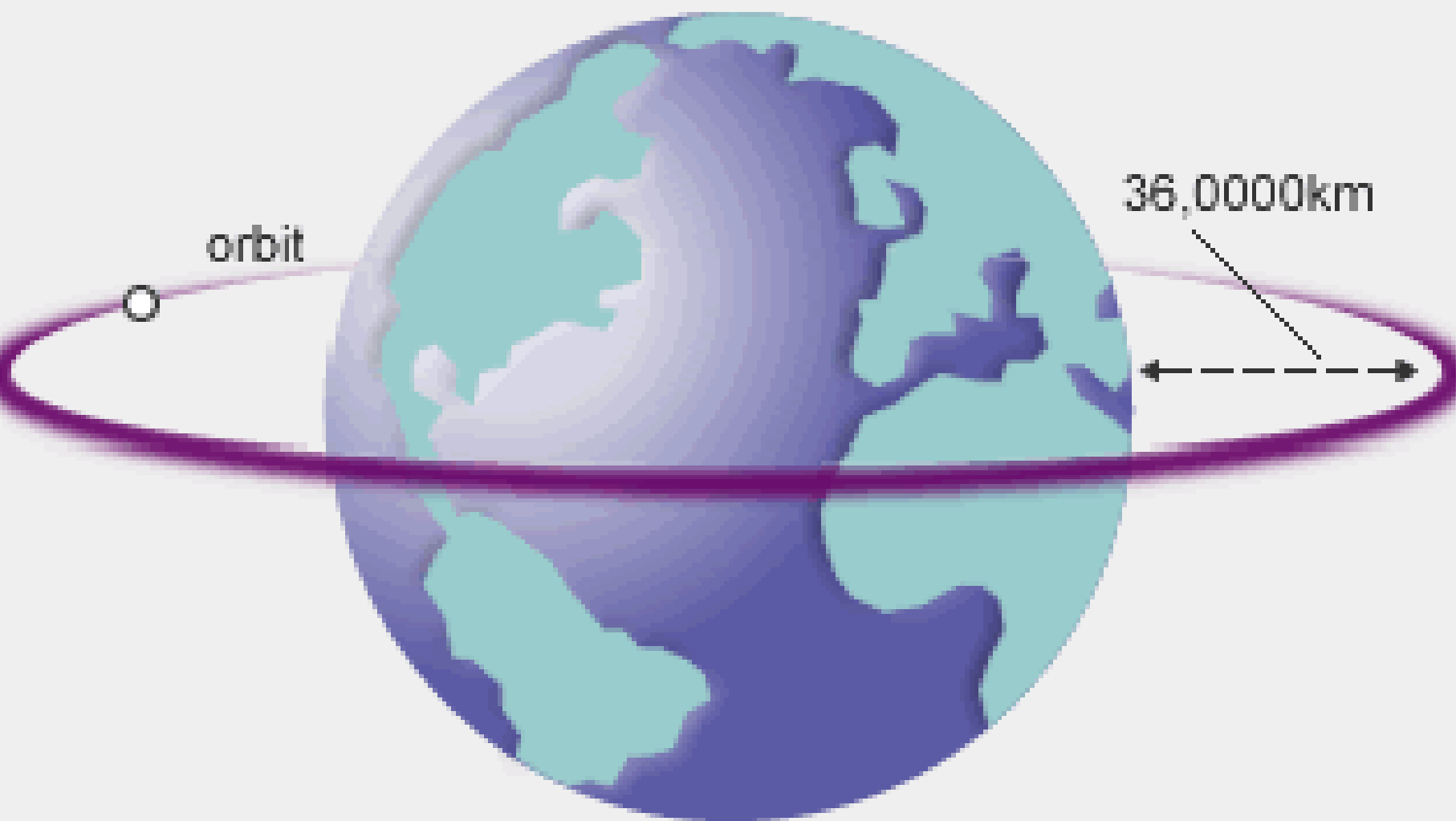


Azonos magasságú felületek és ekvipotenciális felületek meridionális metszete

Geostacionárius műholdak

- Állandóan a Föld egy adott pontja felett tartózkodnak
 - Egyenlítő síkjában (a gravitációs erő csak itt mutat a körpálya középpontja felé)
 - Kérdés: milyen magas pályára kell juttatni egy műholdat, hogy együtt foroghasson a Földdel?
 - $m \Omega^2 R = \gamma \frac{m M}{R^2} \rightarrow R \approx 42229 \text{ km}$

Geostationary satellite



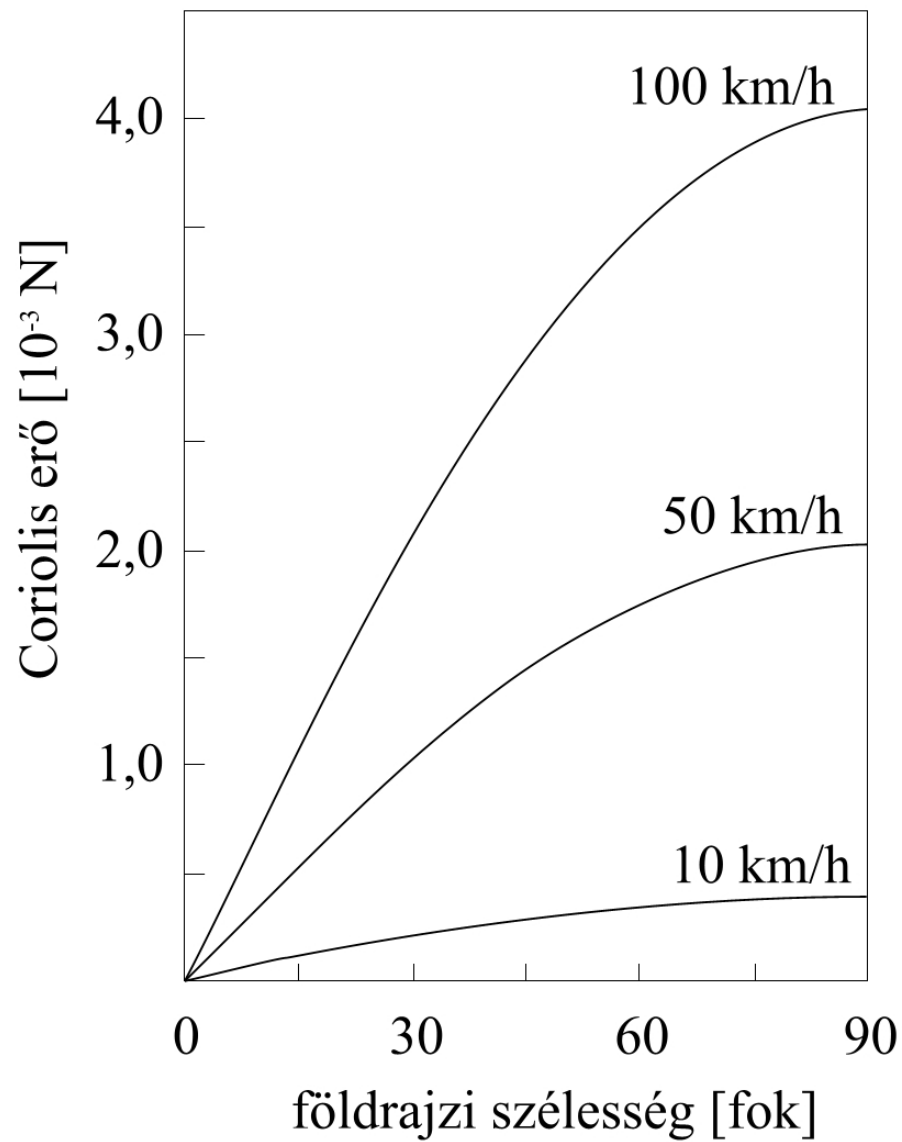
Coriolis-erő

- A Coriolis-erő az egyenletes szögsebességgel forgó koordináta-rendszerekben ható fiktív (tehetetlenségi) erő

$$\mathbf{F}_{Cor} = -2m_{lev} (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v})$$

→ Csak mozgó testekre hat.

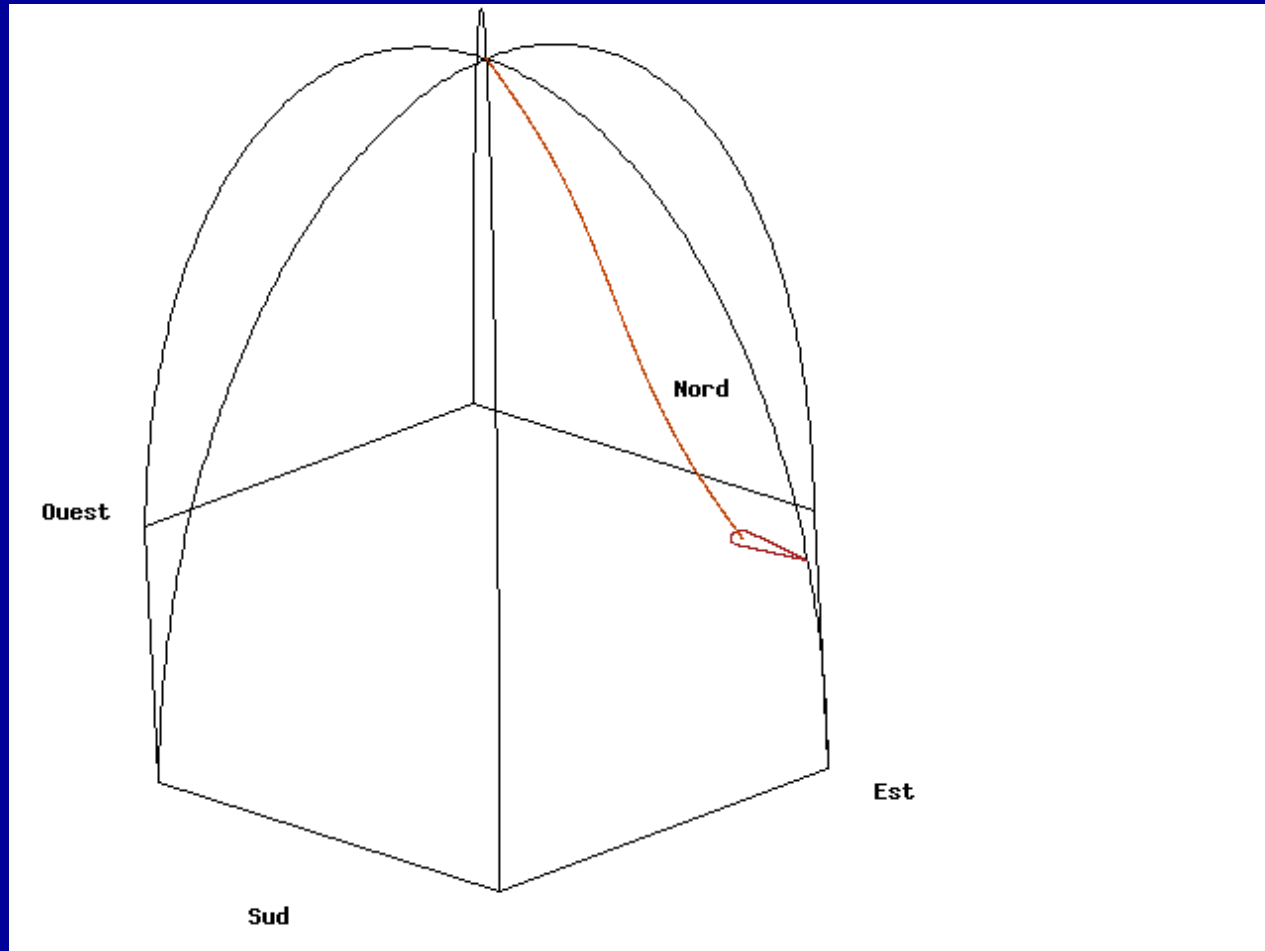
- Iránya a sebességre merőleges, ezért eltérítő erő.
- A földi mozgásokat az északi félgömbön mindig jobbra, a délin balra téríti el.

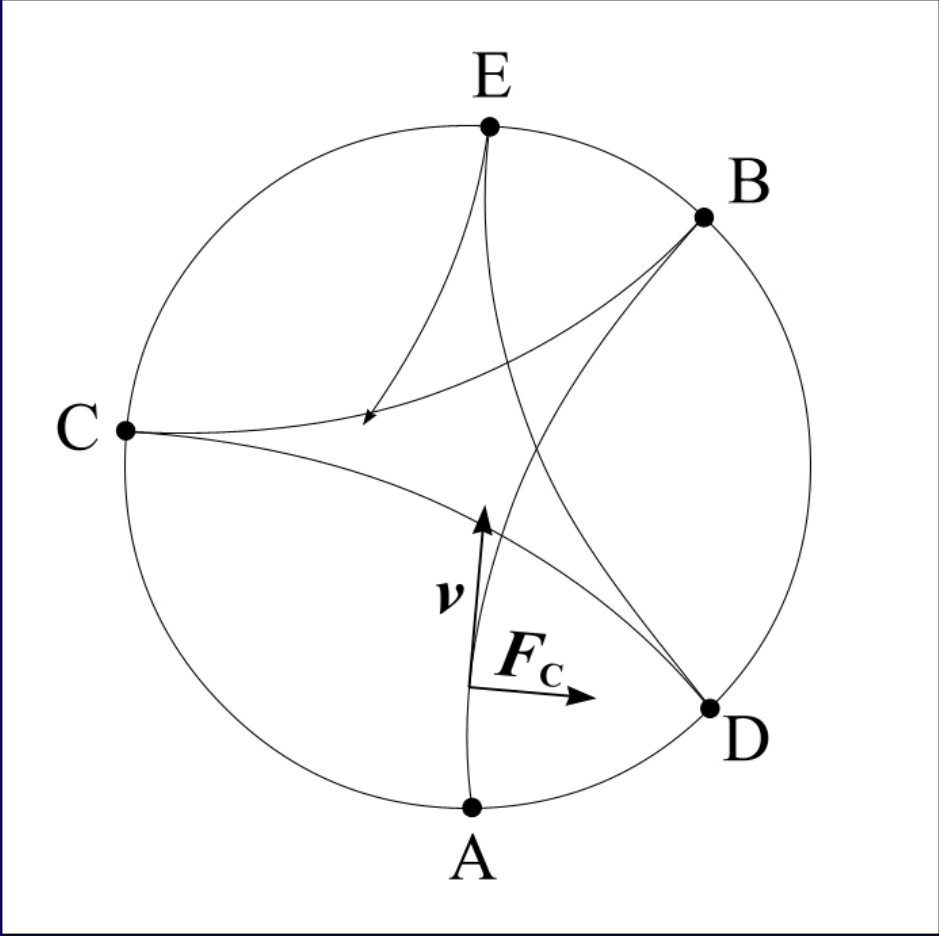


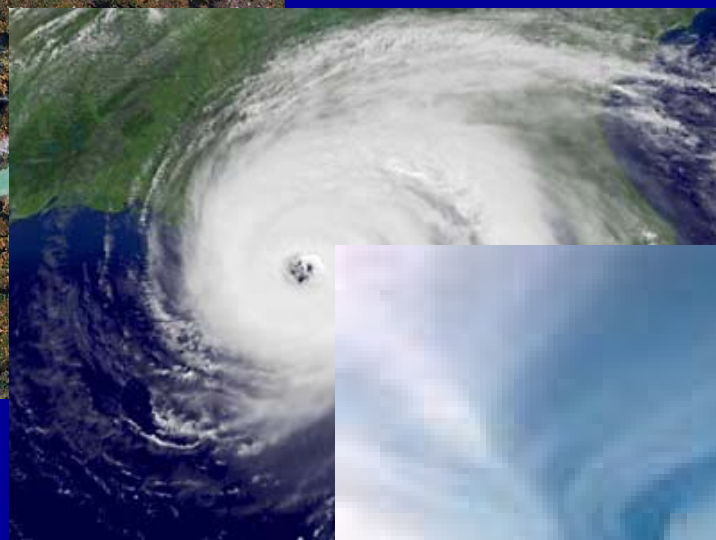
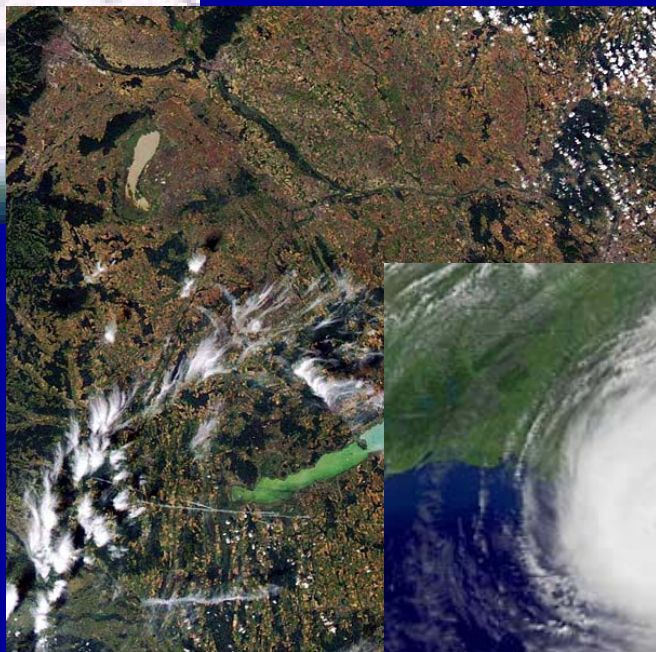
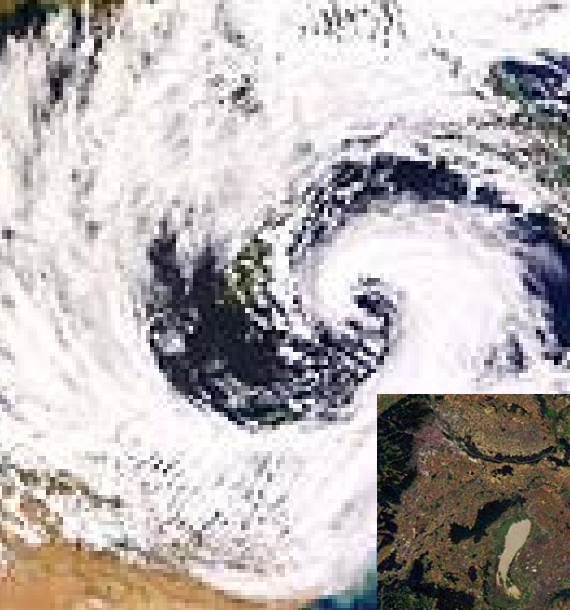
A Coriolis-hatás megfigyelése

- Foucault-inga (1851)
- Falklandi céltévesztés (1915)
- A nagy folyók aszimmetrikus partmosása
- Ciklonok, anticiklonok, trópusi ciklonok: a levegő nem sugárirányban áramlik, hanem eltérül

Foucault-inga







Egyensúlyi áramlások

- Le Chatelier (1850-1936) elv \rightarrow Azok a fizikai rendszerek, amelyekre egyidejűleg több erő hat, általában olyan állapotok elérésére törekszenek, amelyekben a ható erők egymással egyensúlyt tartanak.
- Egyensúly: $\mathbf{F} = 0 \rightarrow \mathbf{a} = 0$, azaz $\mathbf{v} = \text{áll.}$
- Tágabb értelemben: $|\mathbf{v}| = \text{áll.}$

Melyek a domináns erők?

	alacsony szélességek	közepes és magas szélességek
szabad légkör	nyomási gradiens erő	nyomási gradiens erő, Coriolis-erő
planetáris határréteg	nyomási gradiens erő, súrlódási erő	nyomási gradiens erő, Coriolis-erő, súrlódási erő

Egyensúlyi mozgások a légkörben

- Antitriptikus
- Geosztrófikus
- Gradiens
- Ciklosztrófikus
- Inerciális

Antitriptikus áramlás

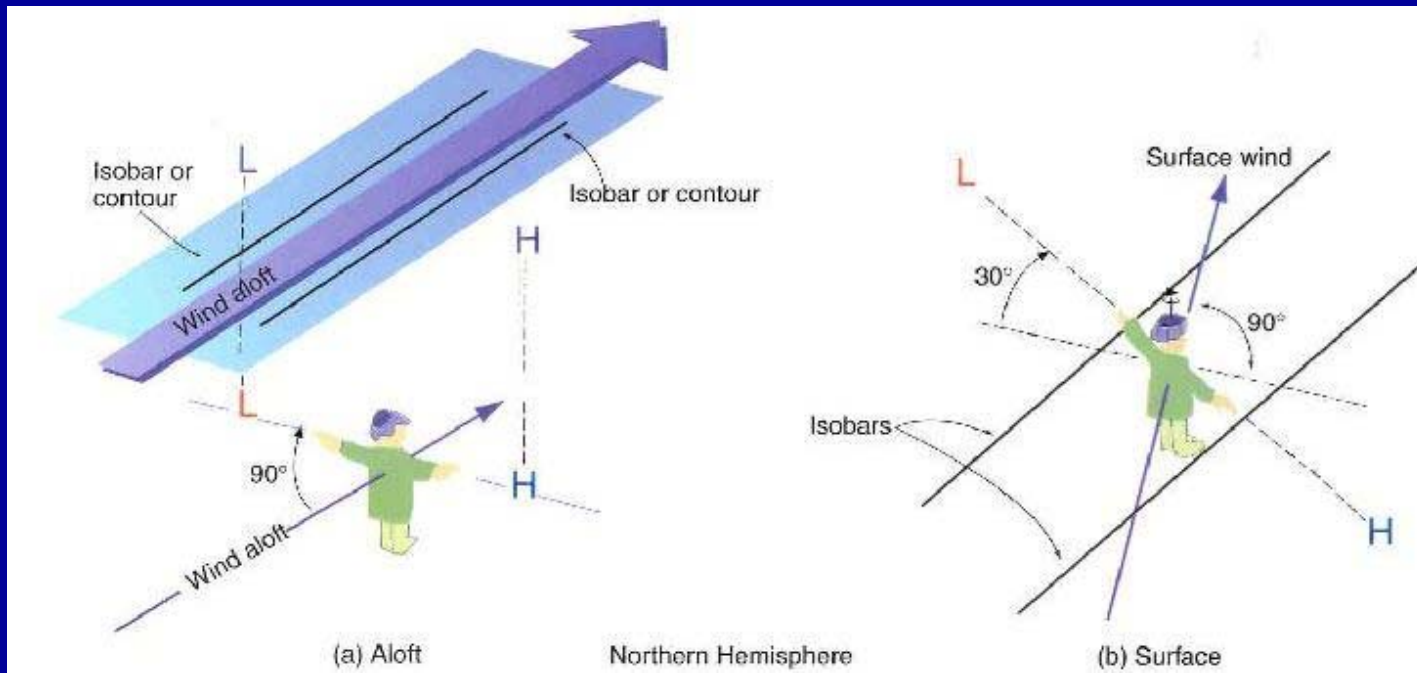
- „Súrlódás ellenében történő” áramlás
- Alacsony szélességek
- Planetáris határréteg
- A nyomási gradiens erő a súrlódási erővel tart egyensúlyt

Geosztrófikus áramlás

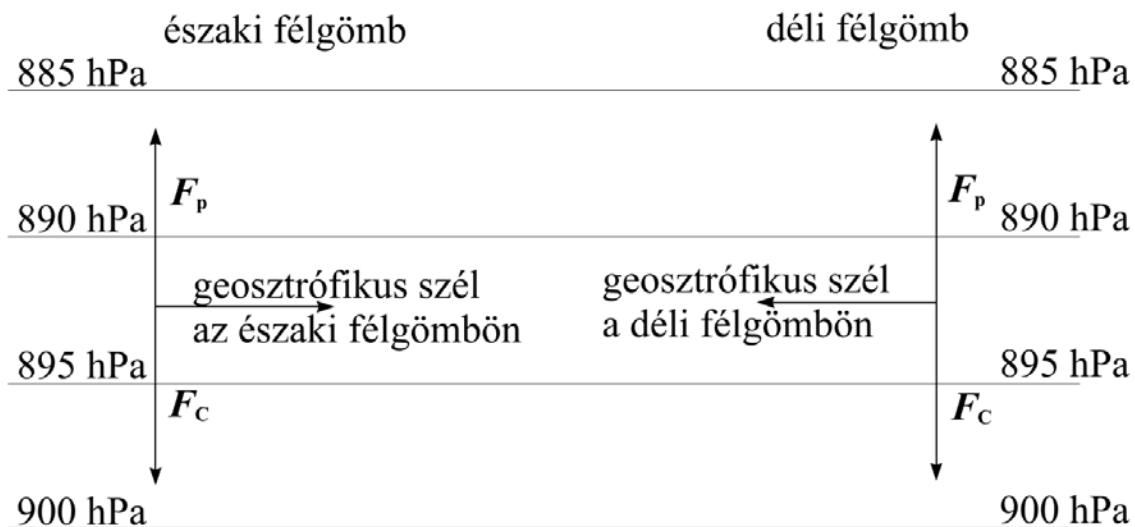
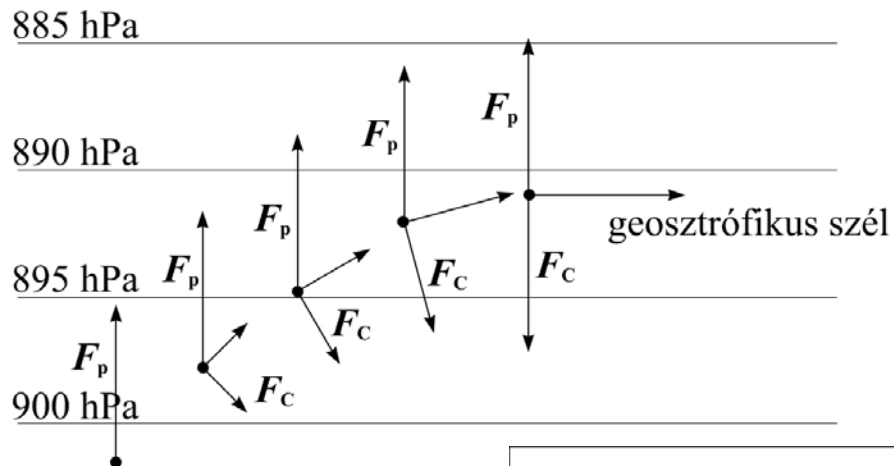
- Közepes és magas szélességek
- Az izobárok \parallel -ak, és az áramlás \parallel az izobárokkal (Buys-Ballot)
- Coriolis-erő tart egyensúlyt a nyomási gradiens erővel

Buys-Ballot széltörvény

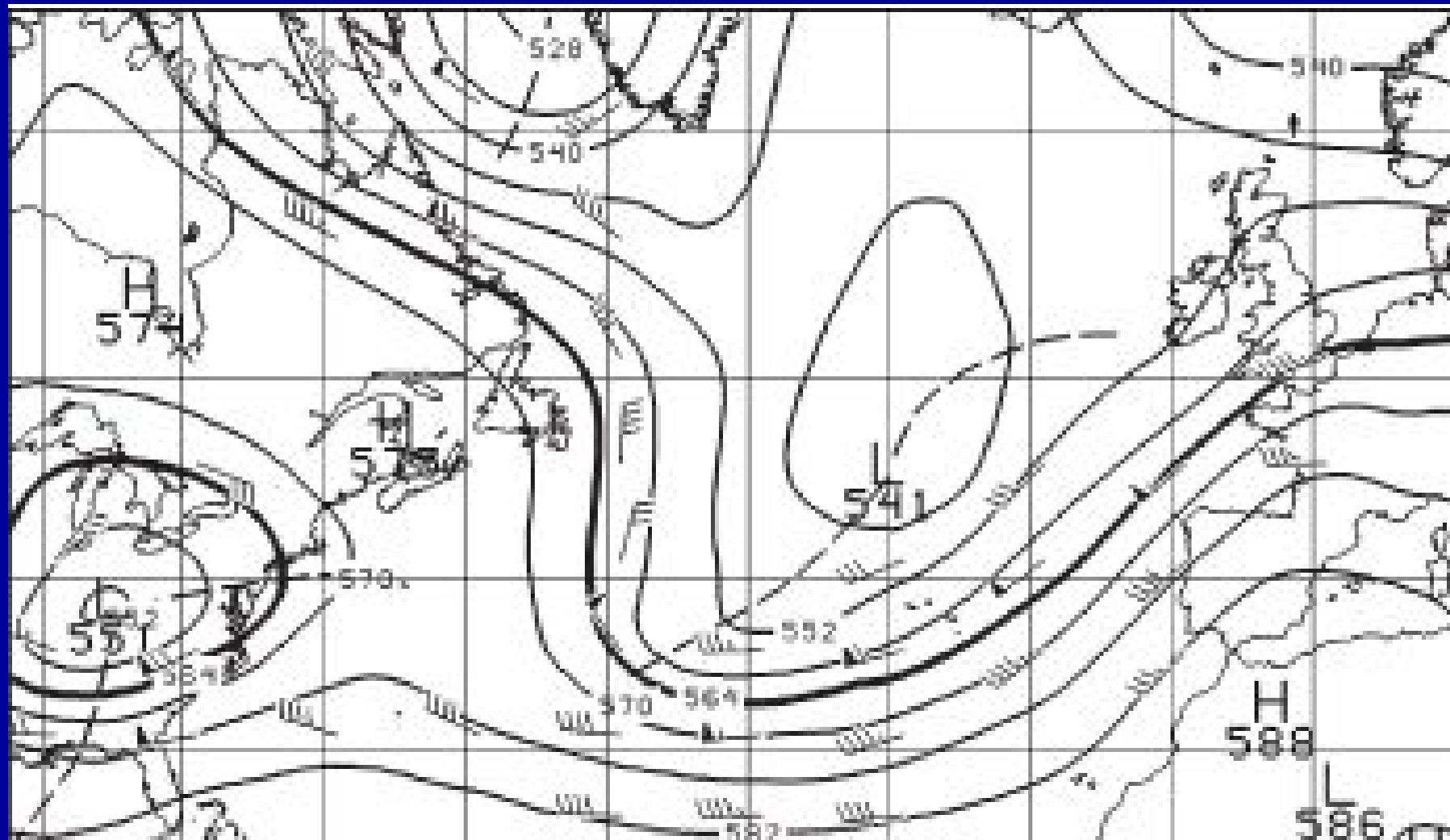
- A szelek az izobárokkal párhuzamosan fújnak
- A szélnek háttal állva, az északi féltekén az alacsonyabb nyomású terület bal kéz felé helyezkedik el.



Geosztrófikus szél



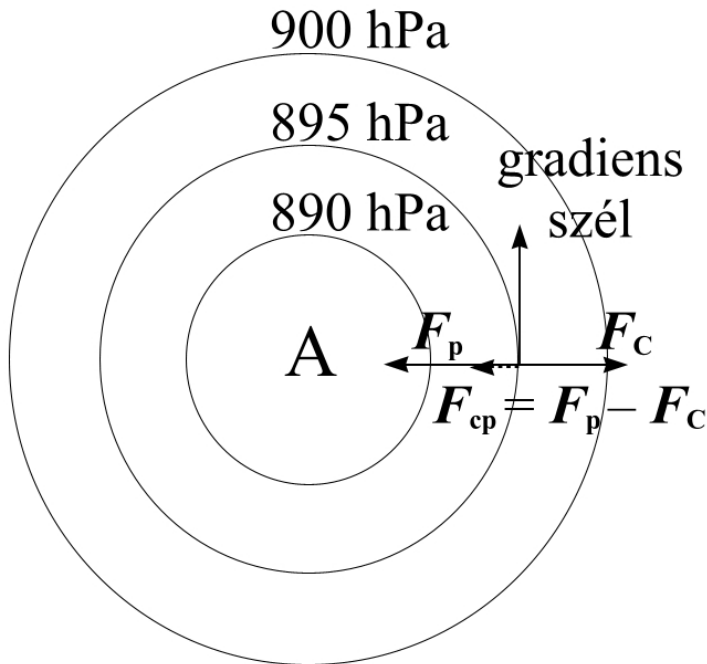
Geosztrófikus szél



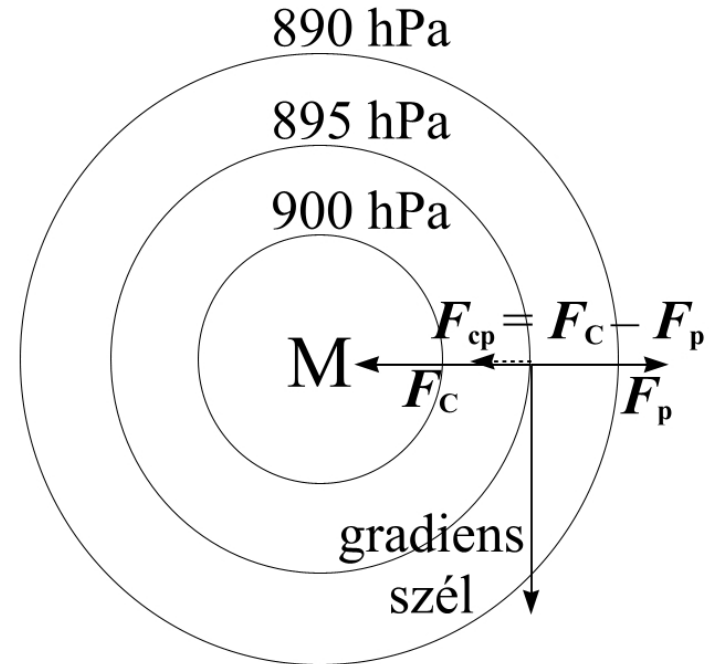
Gradiens áramlás

- Közepes és magas szélességek
- Görbült, ill. kör alakú izobárokat feltételezünk (*Ciklon, anticiklon*)

Gradiens szél

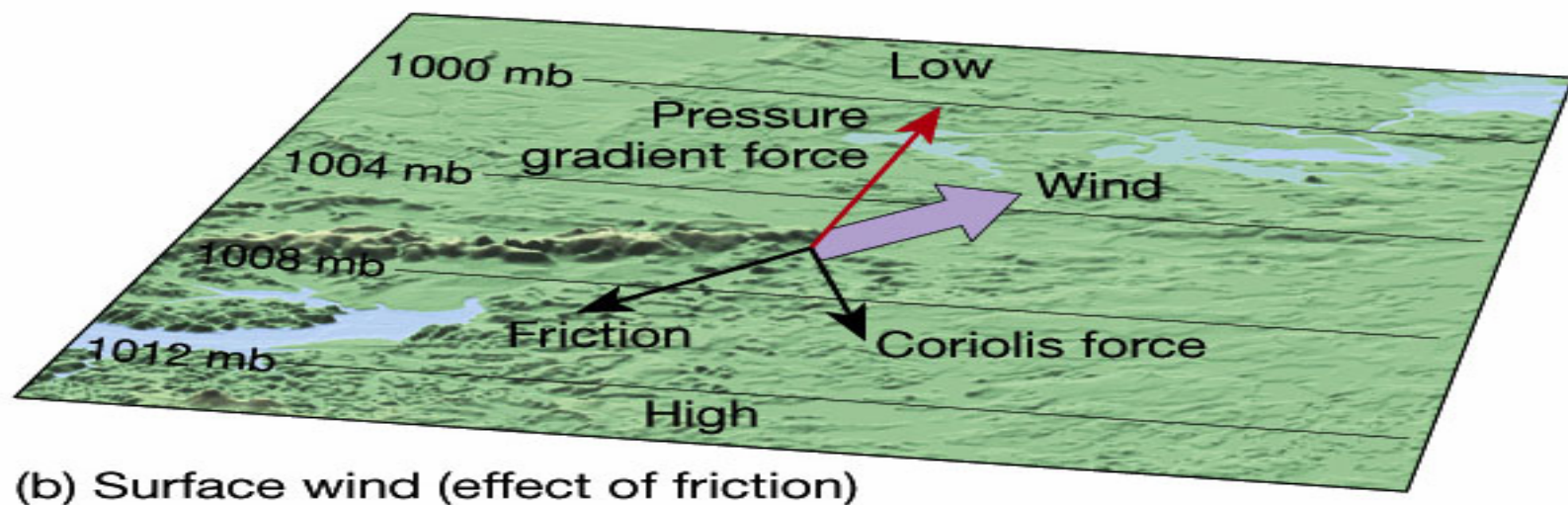
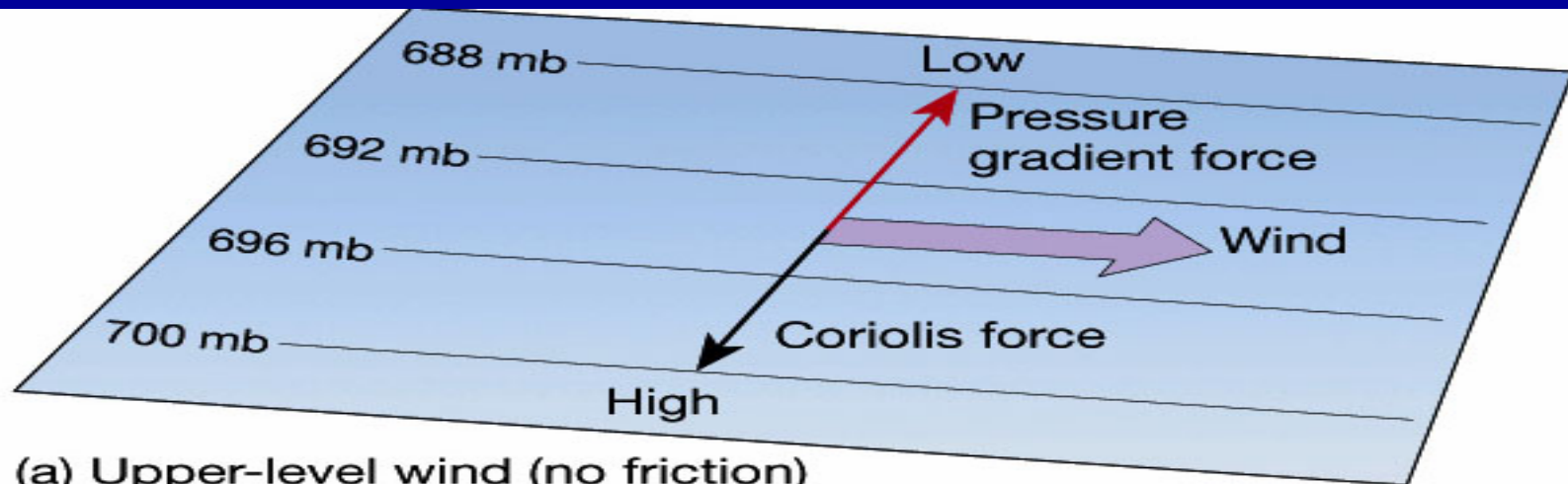


Ciklonális eset

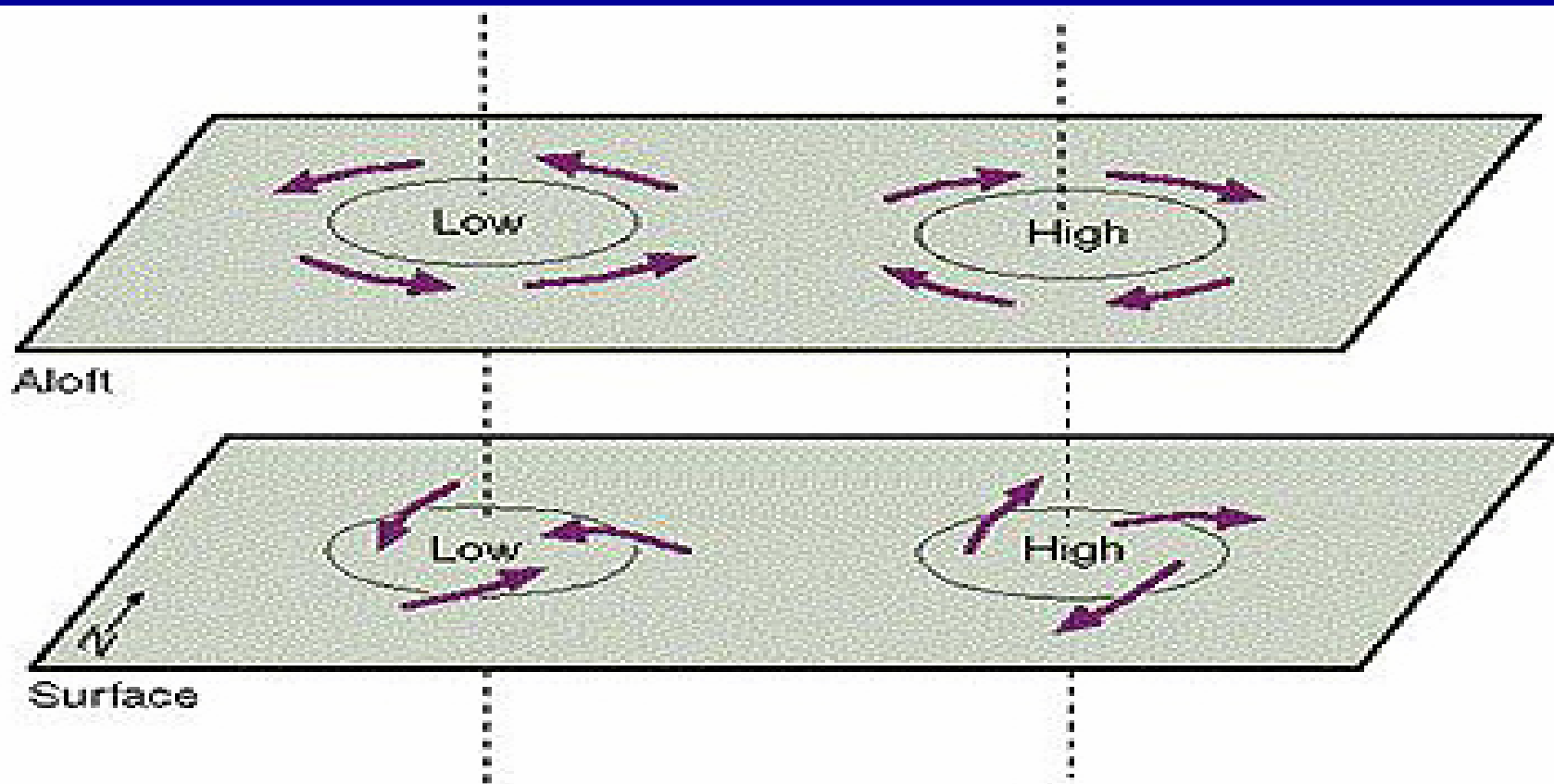


Anticiklonális eset

A súrlódás hatása



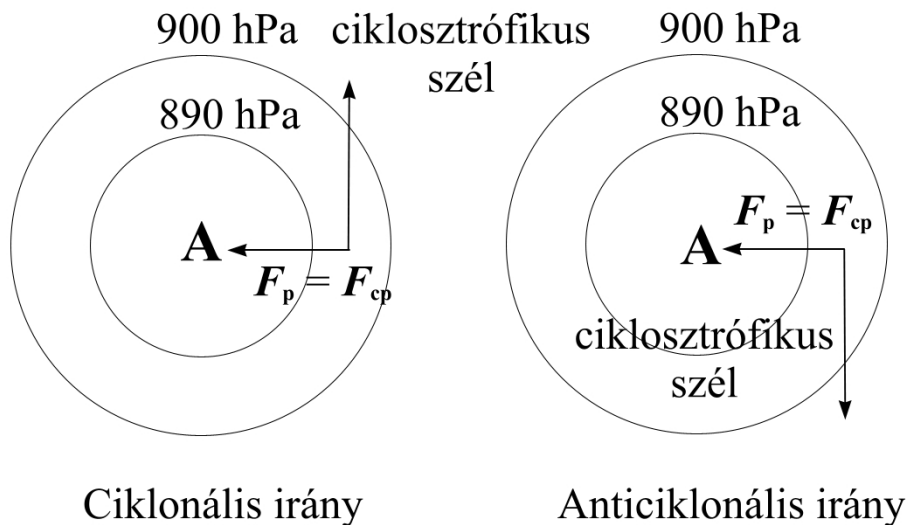
A súrlódás hatása



Ciklosztrófikus áramlás

- Alacsony földrajzi szélességeken, ill. kisebb skálájú mozgások esetén
- A nyomási gradiens erő felülmúlja a Coriolis-erőt
- A kialakuló körmozgást egy erő, a nyomási gradiens erő tartja fenn ($F_{cp} = F_{grad}$)

Ciklosztrófikus áramlás



- Mezociklonok, tornádók, portölcsérek

Inerciális áramlások

- óceánokban (pl. a Golf-áram leszakadó örvényei): $F_{\text{Cor}} \gg F_{\text{grad}}$

