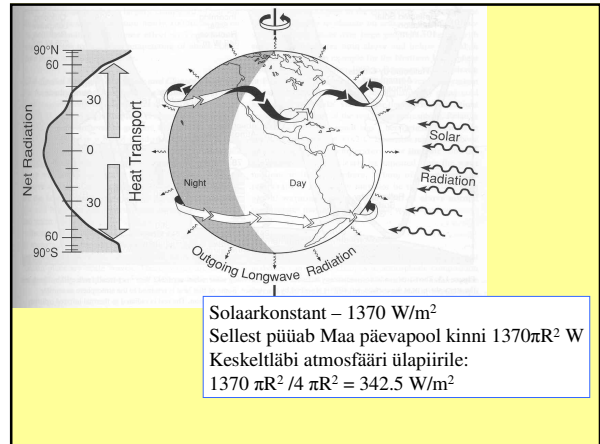


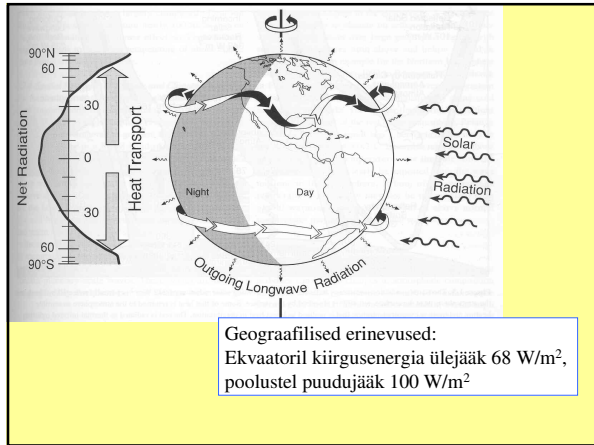


# Kust tulevad tuuled?

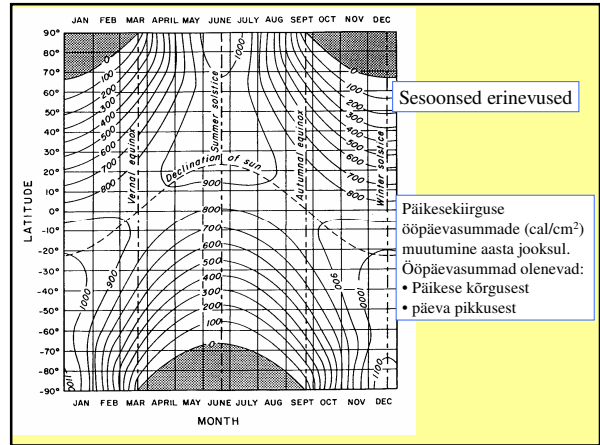
Sirje Keevallik  
TTÜ Meresüsteemide Instituut



Solaarkonstant – 1370 W/m<sup>2</sup>  
Sellest püüab Maa päevapool kinni 1370πR<sup>2</sup> W  
Keskeltläbi atmosfääri üläpiirile:  
1370 πR<sup>2</sup> / 4 πR<sup>2</sup> = 342.5 W/m<sup>2</sup>



Geograafilised erinevused:  
Ekvaatoril kiirusenergia ülejääk 68 W/m<sup>2</sup>,  
poolustel puudujääk 100 W/m<sup>2</sup>



## Sesoonsed erinevused

Päikesekiirguse  
ööpäevasummade (cal/cm<sup>2</sup>)  
muutumine aasta jooksul.  
Ööpäevasummad olenevad:  
• Päikese kõrgusest  
• päeva pikkusest

## Miks õhk hakkab liikuma?

Rõhu gradientjõud:

$$\vec{F} = -\frac{1}{\rho} \text{grad}p$$

Gradient on positiivne väljafunktsiooni kasvamise suunas  
Miiinus näitab, et õhk hakkab liikuma sinna, kus rõhk madalam

## Hüdrostaatika võrrand:

$$dp = -\rho g dz$$

Ideaalse gaasi olekuvõrrand:

$$p = \rho RT$$

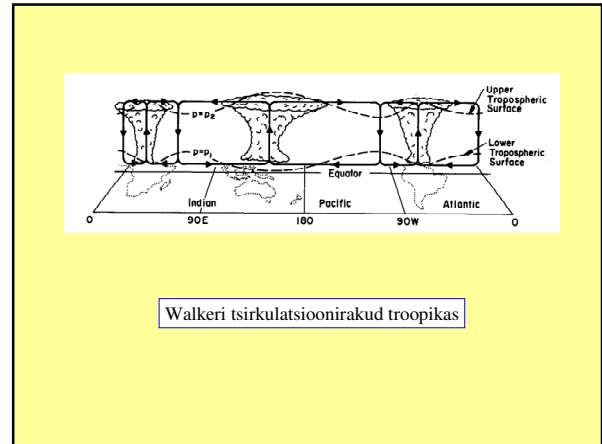
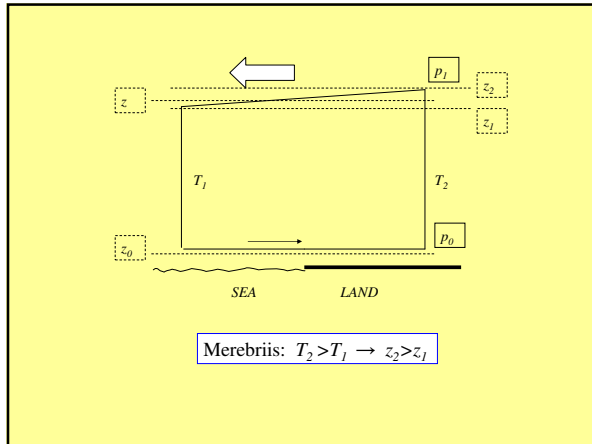
Neid kombineerides:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g dz}{RT}$$

Siit: kahe samarõhupinna vaheline  
kaugus on võrdeline temperatuuriga:

$$dz = \text{const } T$$

Ühe ruutmeetri kohal olev vertikaalne samm



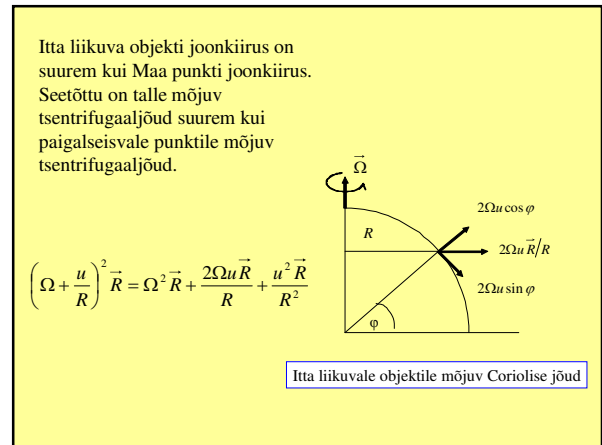
### Coriolise jõud

Maa pöörlemine tekitab kaks näivjõudu:

- tsentrifugaaljõud, mis mõjub kõigile objektidele
- Coriolise jõud, mis mõjub ainult liikuvatele objektidele

Coriolise jõud mõjub risti liikumisega

- Põhjapoolkeral paremale
- Lõunapoolkeral vasakule

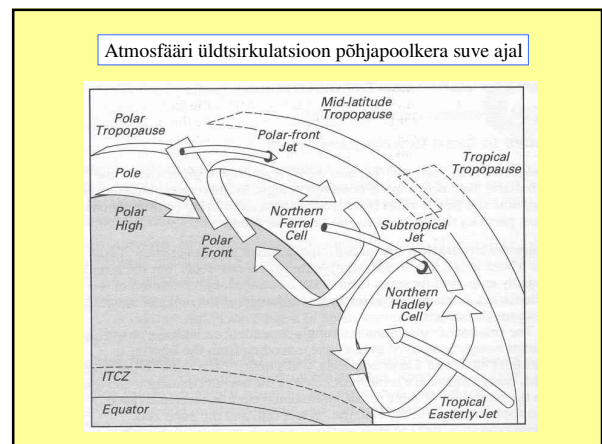


Ekvaatori kiirus 1670 km/h  
60. laiuskraadi kiirus 835 km/h

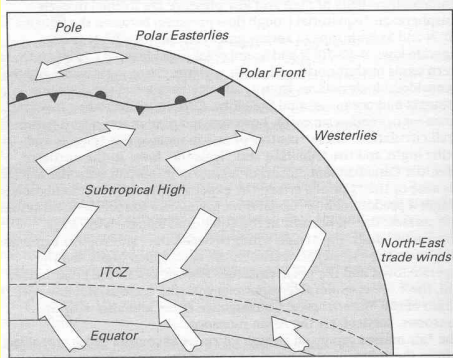
Liikumishulga momendi jäävuse seadus

$$\Omega R^2 = \left(\Omega + \frac{\delta u}{R + \delta R}\right)(R + \delta R)^2$$

Lõunasse liikuvale objektile mõjuv jõud:



Tuulesüsteemid aluspinna lähedal põhjapoolkera suve ajal



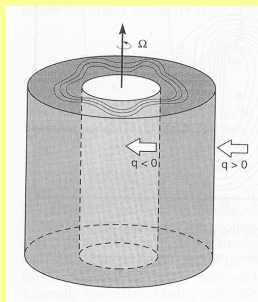
Soojuse ülekanne läbi kesklaiste

Lääne-idasuunalise õhuvoolu abil ei saa transportida soojust põhjast lõunasse

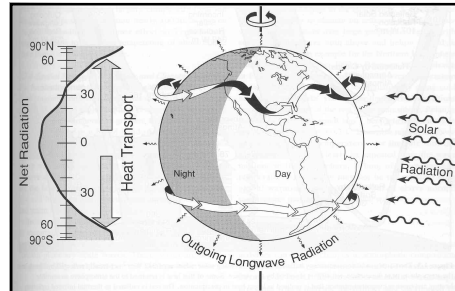
Õnneks on läänevool ebastabiilne

Ebastabiilsuse avalduseks on

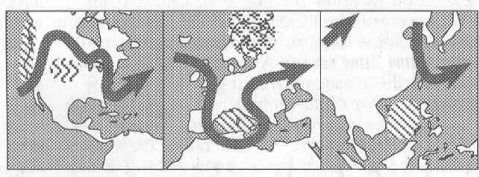
- Planetaarsed lained
- Tsükloonaalne tegevus



Vedelik kahe pöörleva silindri vahel, millest välimist soojendatakse



Soojuse ülekande tühiks viisiks läbi kesklaiste on planetaarsed lained



Jugavool põhjapoolkeral  
*International Herald Tribune*, 10.-11. november 2001  
 Tugev tuul ja vihm Vahemeremaal  
 Lumi Skandinaavias  
 Ebatavaliselt soe USA keskosas

Salzburg -1 C  
 Budapest +6 C

Ilmavõrrandid

Newtoni II seadus  
 (jõud paneb õhu liikuma)  
 Rõhu gradientjõud  
 Gravitatsioonijõud  
 Hõõrdejõud  
 Coriolise jõud  
 Tsentrifugaaljõud

Termodünaamilise energia võrrand  
 (soojus kulub tööks ja temperatuuri tõstmiseks)

Veebilansi võrrand  
 koos faasiüleminekutega

Ideaalse gaasi olekuvõrrand  
 (seob omavahel ruumala, rõhu ja temperatuuri)

Pidevuse võrrand  
 (mass ei kao)

Algtingimused ja ääretingimused

## Tasakaaluline voolamine

Geostroofiline voolamine – rõhu gradientjõu tasakaalustab Coriolise jõud.

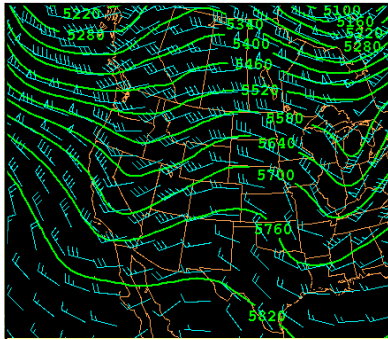
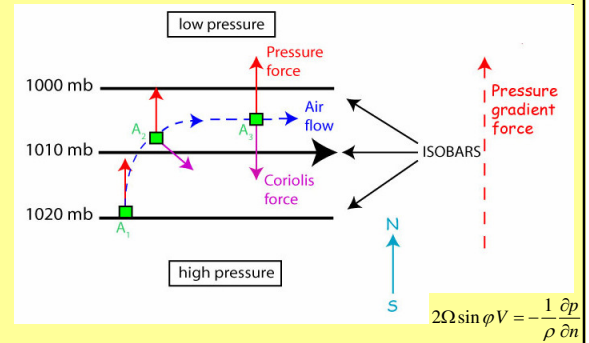
$$2\Omega \sin \varphi V = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$$

Gradientvoolamine – tasakaalus on rõhu gradientjõud, Coriolise jõud ja tsentrifugaaljõud.

$$\frac{V^2}{R} + 2\Omega \sin \varphi V = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$$

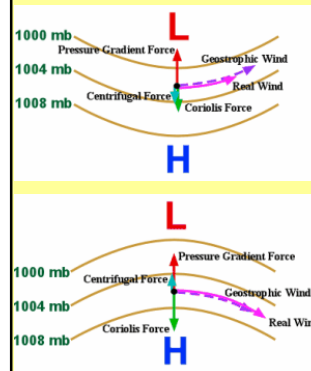
Koordinaat  $n$  on liikumisega risti ja suunatud vasakule

## Geostroofiline voolamine



Geostroofiline tuul vabas atmosfääris 500 hPa nivool

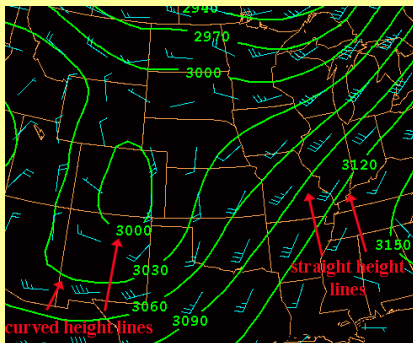
## Gradientvoolamine



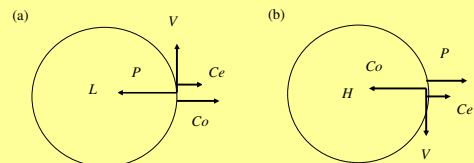
$$\frac{V^2}{R} + 2\Omega \sin \varphi V = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$$

Rõhu gradientjõu tasakaalustab kaks jõudu, mistõttu Coriolise jõud kahaneb ja tuul on geostroofilisest nõrgem

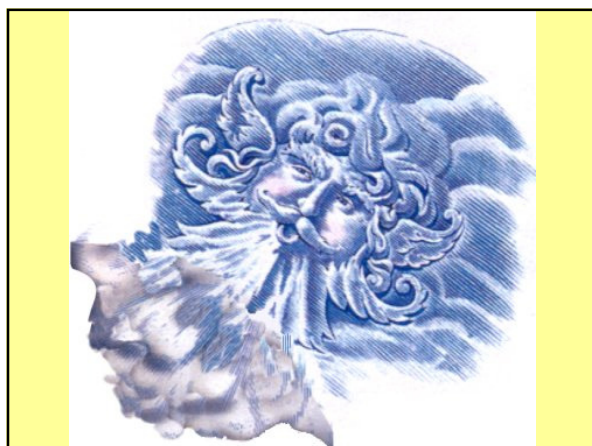
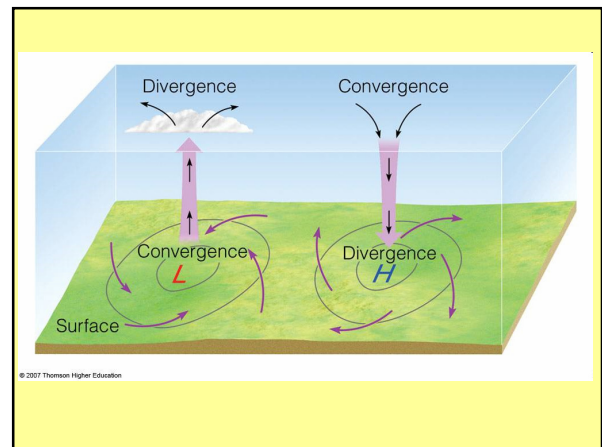
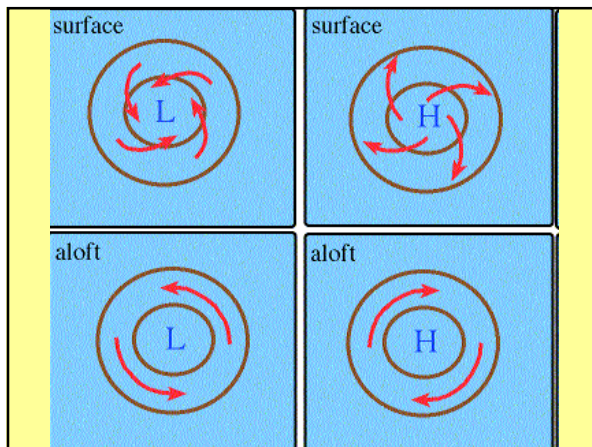
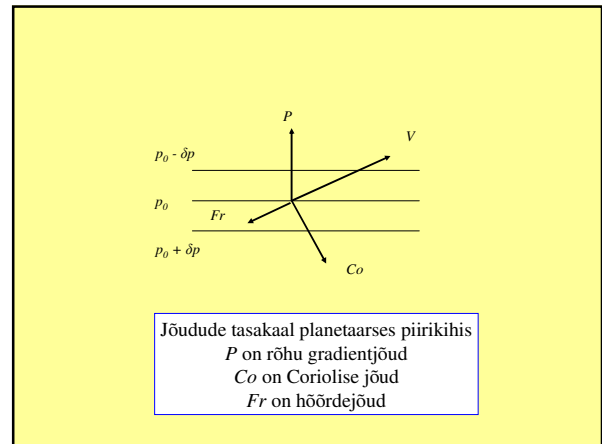
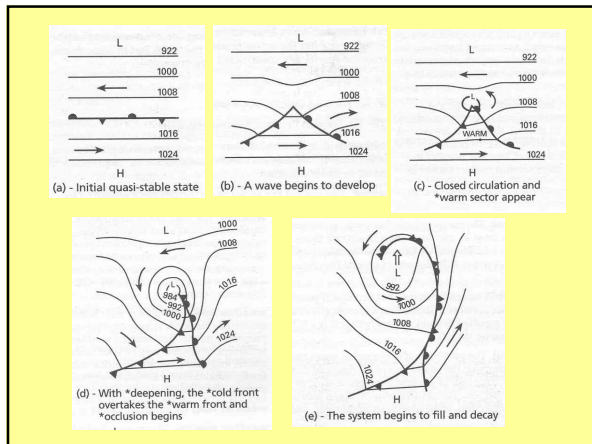
Rõhu gradientjõule lisandub tsentrifugaaljõud, mistõttu Coriolise jõud kasvab ja tuul on geostroofilisest tugevam



Gradienttuul vabas atmosfääris



Gradienttuul põhjapoolkeral  
(a) - tsüklon, (b) - antitsüklon  
 $P$  on rõhu gradientjõud  
 $Co$  on Coriolise jõud  
 $Ce$  on tsentrifugaaljõud



### Aiolose paun

Soodsad pärituuled – passaadid  
 Teised head tuuled – briisid ja mussoonid  
 Paunast välja lastud pahad tuuled –  
 tsüklonite tuuled  
 tornaadod ehk tuulispasad ehk vesipüksid  
 troopilised tsüklonid ehk taifuunid ehk orkaanid  
 suhhoveid  
 samuumid  
 sirokod  
 mistraalid  
 boorad  
 föönid

