

Ветар

Зашто ветар дува?

- 1. Њутнов закон: "Свако тело остаје у стању мировања или раномерног праволинијског кретања док год на њена не делује нека сила."

- 2. Њутнов закон: $\vec{F} = m\vec{a}$

- 3. Њутнов закон: "При интеракцији два тела, сила којом прво тело делује на друго, једнака је по интензитету и по правцу, а супротног је смера од силе којом друго тело делује на прво."

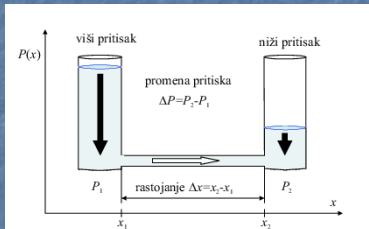
Настанак ветра

- Силе које делују на ваздух (сем гравитационе)
 - Градијентна сила притиска
 - Кориолисова сила
 - Центрифугална сила
 - Сила трења

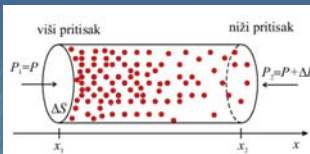
Градијентна сила притиска

- Градијент неке физичке величине
 - Количник разлике њених вредности у две тачке и растојања те две тачке
 - Нпр. код притиска – флуид струји са места где је притисак већи ка месту где је мањи
 - Градијент је векторска величина
- Примери
 - градијент температуре $\Delta T/\Delta z$
 - Градијент концентрације $\Delta n/\Delta z$

- Градијентна сила притиска је сразмерна са “ $-\Delta P/\Delta x$ ”



Slika 3.1: Gradijent pritiska usled razlike visine vode u dva rezervoara.



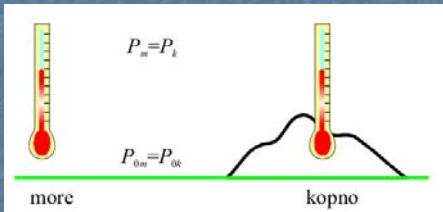
Slika 3.2: Gradijent pritiska u vazduhu.

- Сила која делује на ваздух услед разлике у притисцима је сразмерна тој разлици $F_x \sim \Delta P$
- Ако је $\Delta P < 0$ сила је задата изразом $F_x = -\Delta P \Delta S$,
- Ако је $\Delta P > 0$ сила је такође задата изразом
- А убрзање делића је

$$a_p = \frac{F_x}{m} = -\frac{\Delta P \Delta S}{\rho \Delta S \Delta x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

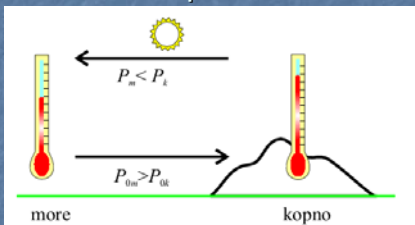
- Почетни узрок ветра – хоризонтална градијентна сила притиска
 - Остале (Кориолисова и сила трења) након тога “обликују” ветар

Настанак градијентне силе притиска



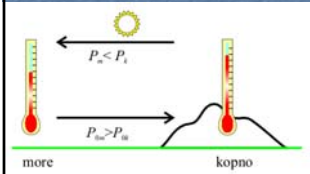
Slika 3.3: Pritisak na nivou mora i na bilo kojoj visini je jednak i iznad mora (P_m) i iznad kopna (P_k) .

Настанак градијентне силе притиска



Slika 3.4: Pritisak na nivou mora je manji iznad kopna dok je na visini veći iznad kopna nego iznad mora.

Настанак градијентне силе притиска



Slika 3.4: Pritisak na nivou mora je manji iznad kopna dok je na visini veći iznad kopna nego iznad mora.

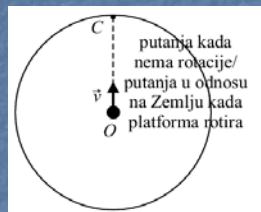
- Сунце греје тло
- Температура тла расте брже због мање специфичне топлотне капацитивности
- Ствара се хоризонтални градијент температуре
- Копно загрева ваздух изнад себе провођењем топлоте - он постаје ређи па настаје вертикална конвекција
- Она је изнад копна интензивнија него изнад мора па се на некој висини формира градијент притиска обрнутог смера.

Земља као референтни систем

- Земља нити мирује нити се униформно и праволинијски креће
- Тела чврсто везана за њу стога неком силом приморава да прате криволинијску путању
- Тела која нису чврсто везана - флуиди - ће тежити да се крећу праволинијски
- Гледано са Земље та путања неће бити таква - закривиће се под дејством инерцијалних сила - последица убрзања датог система референце
- Постоје две силе изазване ротацијом Земље
 - Кориолисова - делује само када тело има неку брзину
 - Центрифугална сила - делује и када се тело не креће у односу на Земљу

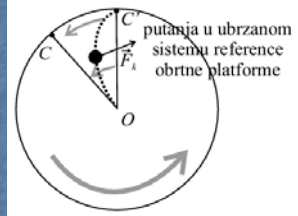
Кориолисова сила

- Пример - котрљање лопте из центра платформе која може да ротира



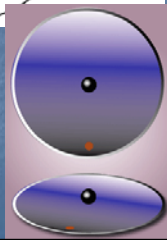
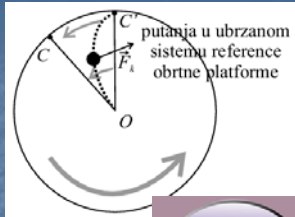
Кориолисова сила

- Пример - котрљање лопте из центра платформе која може да ротира
- Кугла је усмерена ка тачки С али се она помера и "бежи" од кугле јер има већу периферијску брзину од ње
- Гледано из система платформе закривљена путања лопте је последица постојања силе



Кориолисова сила

- Пример - котрљање лопте из центра платформе која може да ротира
- Кугла је усмерена ка тачки С али се она помера и "бежи" од кугле јер има већу периферијску брзину од ње
- Гледано из система платформе закривљена путања лопте је последица постојања силе



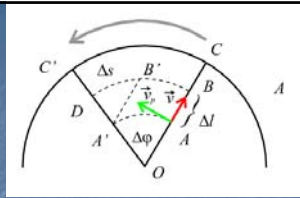
Кориолисова сила

- гледано из нашег система референце лопта се креће по правој линији
- гледано са платформе она заостаје у смеру супротном од смера ротације
- у ротационом систему референце се појављује привидна сила која изазива промену правца кретања
- промена правца се јавља код кретања у свим правцима, а што се тело брже креће је већа
- при томе она наравно не утиче на интензитет брзине



Кориолисова сила

- Човек из тачке А иде по платформи дуж њеног поупречника брзином v у односу на платформу
- За време Δt прелази пут
- Услед ротације поупречник OC ће се померити за угао $\Delta\varphi$ и он ће се померити из тачке А у тачку D

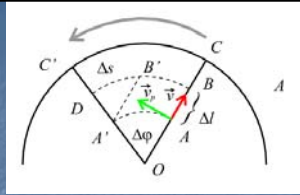


$$\Delta l = AB = v\Delta t$$

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t$$

Кориолисова сила

- Гледано са стране – он учествује у два кретања
 - У односу на диск брзином v
 - Ротира заједно са диском
- Периферијска брзина ротације делова диска расте при удаљавању од центра
- Нека је у тачки А једнака v_d
- Ротирајући заједно са диском човек би прешао AA'
- Крећући се укупном брзином $v + v_d$ би прешао BB'
- Али он долази у тачку D
- Разлог – док се креће расте му и периферијска брзина ротације јер нема клизања између његових нонова и платформе.
- Ако му расте брзина следи да на њега делује нека сила



- Вредност убрзања се може одредити на основу додатног пута који је прешао за посматрани интервал времена

$$\Delta s = B'D$$

Кориолисова сила

$$\Delta s = B'D$$

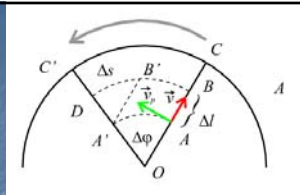
- Према слици је
- За равномерно убрзано кретање иначе важи
- Упоредивање даје

$$\Delta s = A'B'\Delta\varphi \quad A'B' = \Delta l$$

$$\Delta s = \omega v (\Delta t)^2$$

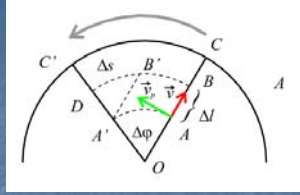
$$\Delta s = \frac{1}{2} a (\Delta t)^2$$

$$a = 2v\omega \quad F_k = ma = 2mv\omega$$



Кориолисова сила

- Уколико се тело креће по кружности са центром на оси ротације такође се јавља Кориолисова сила а општи израз је
- “х” векторски производ брзине и угаоне брзине
- Вектор угаоне брзине има правац осе ротације а смер се одређује правилом десног завртња
- закривљеност путање је то већа што је дужи “путовање” тела



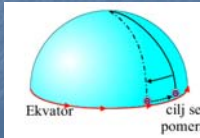
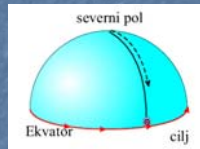
$$\vec{F}_k = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$$

Кориолисова сила на Земљи

- Северна хемисфера и аналогија са ротирајућом платформом

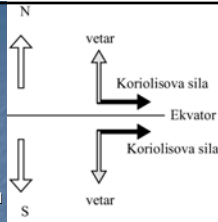
$$F_k = 2m\omega \sin \varphi$$

- φ - географска ширина тела – дела ваздуха/воде



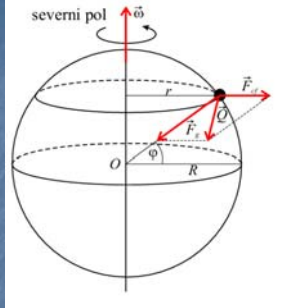
Закључци

- Делује само на тела у покрету
- Директно сразмерна брзини тела
- Интензитет силе расте са порастом географске ширине
 - На екватору је једнака нули (ако се кретање одвија дуж меридијана)
 - На половима је најјача
- На ветар – уколико је усмерен од екватора делује тако да је
 - На северној хемисфери га скреће удесно
 - На јужној улево



Центрифугална сила

- Такође последица ротације
- Утиче и на тела која се не крећу у односу на Земљу
- Највећа је на екватору а на половима је 0
- Увек је нормална на осу ротације
- На екватору је у правцу силе теже и умањује је
- Иначе јој мења правац и умањује је!



$$F = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r$$

$$F_{c,f} = m \omega^2 R \cos \varphi$$

Процена утицаја Кориолисове и центрифугалне силе

- Центрифугална на екватору (где је максимална)

$$\frac{m \omega^2 R}{mg} = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{\left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600}\right)^2 \cdot 6,37 \times 10^6}{9,81} \approx 0,003 = 3 \cdot 10^{-3}$$

Процена утицаја Кориолисове и центрифугалне силе

- Кориолисова нпр за Голфску струју након једног сата кретања

$$\varphi = 38^\circ \quad v = 1 \text{ m/s}$$

$$a_k = 2\omega v \sin \varphi = 2 \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600 \text{ s}}\right) \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \sin 38^\circ \approx 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

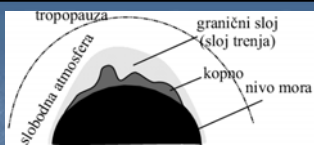
$$\Delta s = \frac{1}{2} a_c \Delta t^2 \approx \frac{1}{2} \left(10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (3600 \text{ s})^2 \approx 650 \text{ m}$$

$$\frac{a_k}{g} \approx \frac{10^{-4}}{9,81} \approx 10^{-5}$$

Сила трења

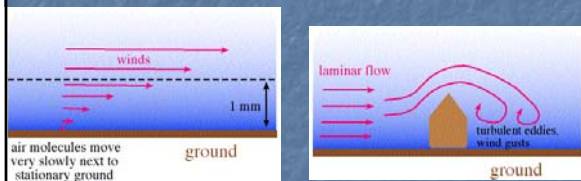
- Сила трења – отпор релативном кретању два тела која се додирују
- Површинско – спољашње (додир ваздуха и тла)
- Унутрашње – вискозно (релативно померање делића ваздуха)

Сила трења

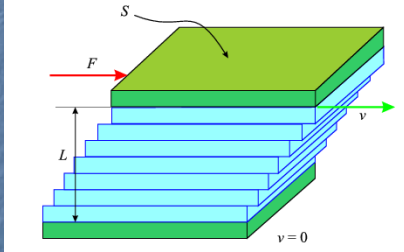


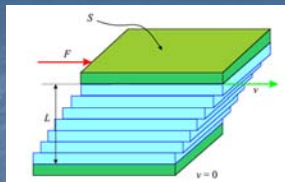
- Приземни ваздух наилази на препреке
- Предаје део кинетичке енергије
- Храпавост подлоге доста утиче на слој атмосфере у којој се осећа деловање трења
 - Изнад планина 2-3000 метара
 - Изнад океана 100 метара
- Слој атмосфере у коме се осећа трење – **слој трења**
- Онај у коме се не осећа – **слободна атмосфера**

Ламинарно и турбулентно струјање молекула ваздуха



- ламинарно струјање између две плоче
- горња се креће, доња мирује
- у флуиду се успоставља расподела брзина од брзине горње плоче до брзине доње плоче





- Сила потребна да би се обезбедило кретање горње плоче константном брзином зависи од

- брзине којом желимо да се креће плоча
- за померање веће плоче потребна је већа сила – већа је количина флуида коју она помера
- обрнуто је пропорционална растојању између плоча
- зависи од врсте течности - вискозности

$$F = \eta S \frac{v}{L}$$

Њутнов закон вискозности

Њутнов закон вискозности

Разлог: бржи слој тежи да убрза спорији а спорији се опире – тежи да успори бржи!

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta z}$$

Њутнов закон вискозности

Динамички
коэффициент
вискозности (Pa s)

Величина додирне
површине између
слојева

За идеални флуид је $\eta = 0$

За круто тело $\eta = \infty$

Кинематички
коэффициент
вискозности $\nu = \eta / \rho$

$$F = \eta S \frac{v}{L}$$

$$\eta = \frac{FL}{vS}$$

Gas	t (°C)	$\eta \cdot 10^{-3}$ (N/m ² · s)
Vazduh	0	0,0171
vaste sa temperaturom	20	0,0181
	40	0,0190
	100	0,0218
	Ugljen dioksid	20
Živa	20	0,0450
Kiseonik	20	0,0203
Vodena para	100	0,0130
Vodonik	0	0,0090
Helijum	20	0,0196
Ugljen dioksid	20	0,0147
Amonijak	20	0,00974

Tečnost	t (°C)	$\eta \cdot 10^{-3}$ (N/m ² · s)
Voda	0	1,792
opada sa temperaturom	20	1,005
	37	0,6947
	40	0,656
	100	0,284
Krv	20	3,015
	37	2,084
Krvna plazma	20	1,810
	37	1,257
Etil alkohol	20	1,20
Metanol	20	0,584
Ulje (SAE 10)	20	200
Maslinovo ulje	20	138
Glicerin	20	1 500

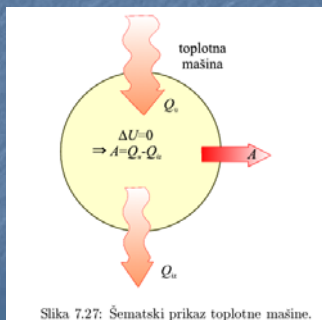
Како настаје ветар

Атмосфера + сунчево зрачење = ветар

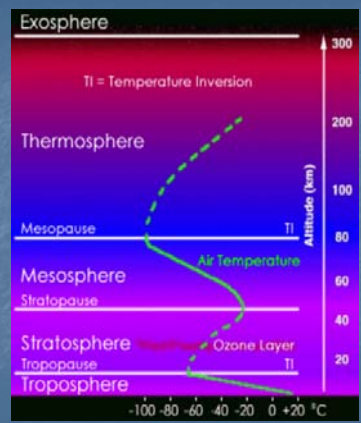
- може да се каже да је атмосфера велика топлотна машина
- Неравномерно загревање површине земље проузрукује разлике у притиску (у атмосфери) што доводи до кретања вадушних маса унутар атмосфере земље

Топлотне машине

- Уређаји у којима се на рачун топлоте добија рад се називају топлотне машине



- метеоролошке промене се дешавају у тропосфери



Притисак

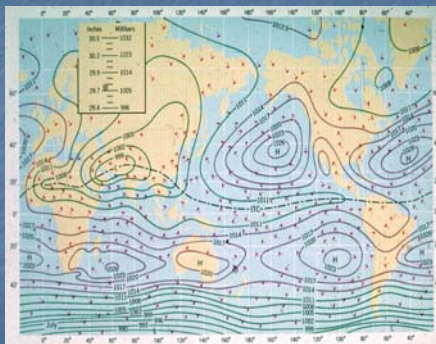
- притисак - сила по јединици површине - потиче од тежине атмосфере
- атмосферски притисак на нивоу мора је велика вредност = 101325 N/m²

Колика је сила којом атмосфера делује на јединицу површине Земље? (на нивоу мора)

$$F = P_a S \approx 10^5 N$$

То је еквивалентно маси од 10 000 kg која се налази изнад сваког квадратног метра!!! Зашто не осећамо тај терет?

Али није свуда на површини Земље притисак једнак - изобаре



Притисак – зависност од температуре и густине

- гас у суду
 - повећање густине – већа концентрација молекула, више удара у зид суда – већи притисак
 - повећање температуре – молекули се брже крећу, има више судара са зидом суда – већи је притисак.
- математичка релација која повезује притисак, температуру и густину – за идеални гас

$$P = \rho RT / M$$

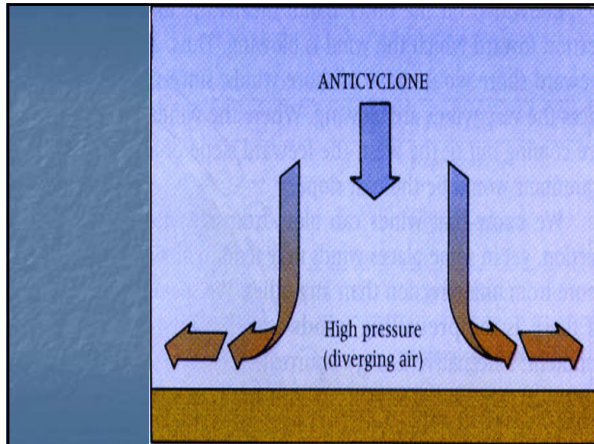
- температура и густина у атмосфери нису независне величине – атмосфера није суд у који је затворен гас...
 - нижа T , гушћи је ваздух – већа ρ и већи P
 - виша T , ређи је ваздух – мања ρ и мањи P
- смањење температуре утиче на повећање густине и то више него на смањење притиска према горњој релацији за идеални гас – сумарно притисак је већи иако би према овој релацији требао да буде мањи, ...

- Промена притиска са висином – мења се концентрација (густина) гасова у атмосфери – по вертикали



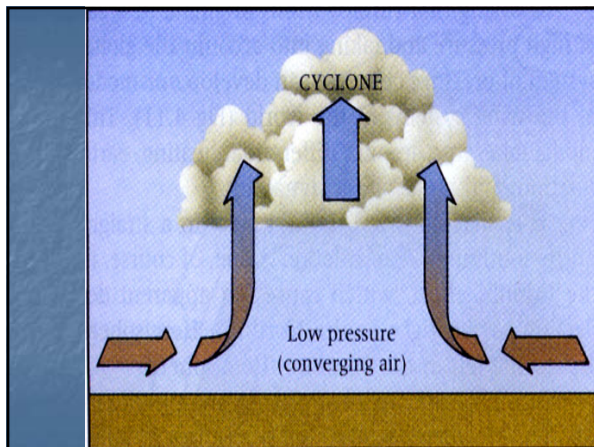
Високи притисак

- Хладан суви ваздух има притисак изнад 1013.25 millibara
 - ваздух иде на доле и ван датог места
 - дивергира
 - зими су области високог притиска изнад земље
 - у лето су изнад воде
- Антициклон – центар високог притиска

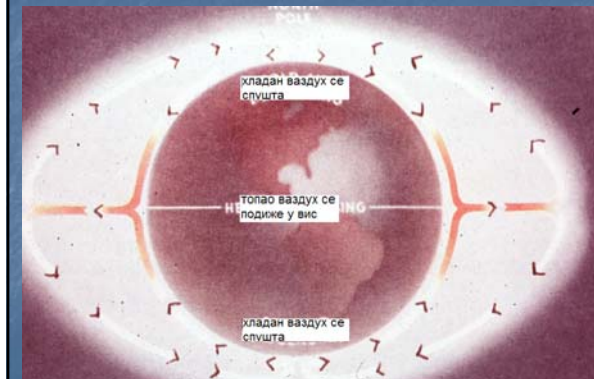


Низак притисак

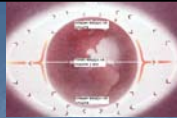
- Топло ваздух испод 1013.25 millibara
 - ваздух се креће на горе и
 - конвергира
 - зими су области ниског притиска изнад воде
 - лети изнад тла
- Циклони – центри ниског притиска



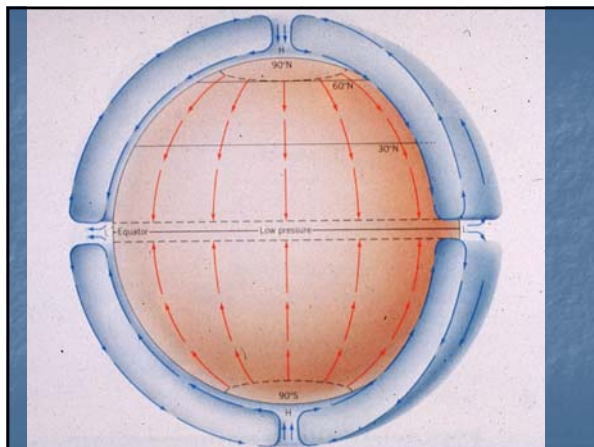
Глобална конвекција



Глобална конвекција



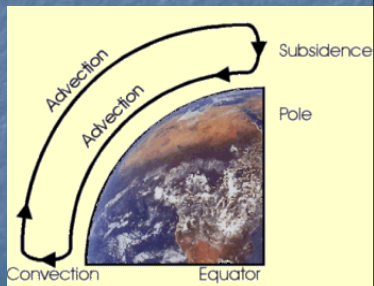
- Први модел који то описује- Џорџ Хедли, 1735. година
- Ваздух на нижим географским ширинама је топлији од онога на вишим јер је флуks сунчевог зрачења већи на екватору
- услед тога се тропски ваздух, као ређи, подиже у вис и креће ка половима док се хладнији поларни ваздух креће ка екватору
- У току кретања на север, топао ваздух губи енергију зрачењем па се хлади и пада на ниже тако да замењује ваздух који је био на полу и који је кренуо ка екватору. Овај ваздух се пак крећући се ка екватору загревао добијајући енергију од тла које је на тим местима веће температуре него на половима јер је и добило више енергије са сунца.
- У таквој циркулацији се транспортује топлотна енергија са екватора на полове. То чини такозвану Хедлијеву ћелију



Глобално кретање ваздушних маса

Ваздух се издиже у топлим областима где је притисак нижи (конвекција) – највише у тропским пределима

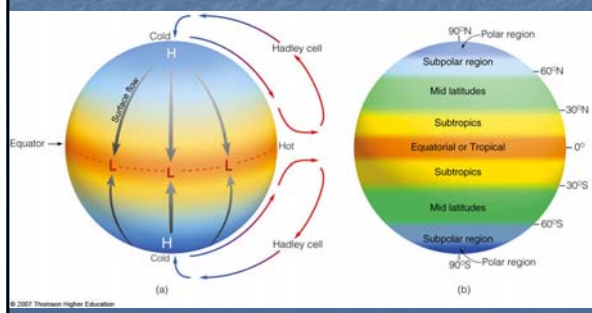
Ваздух се спушта у хладнијим областима где је притисак висок – највише на половима

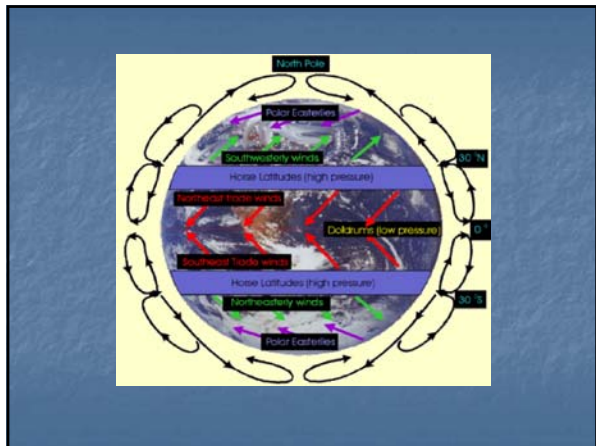


Глобална конвекција

- Постоје међутим битне разлике између Хедлијевог модела и реалног струјања ваздуха.
- Установљено је да постоји још једна циркулациона ћелија између 30 и 60 степена северне ширине (а слично је и на јужној хемисфери) у којој се ваздух подиже у вис у хладнијој области (60 степени) а спушта у топлијој области (30 степени) што је у супротности са Хедлијевим механизмом.
- Ово је **Ферерова ћелија**
- И на крају, постоји и трећа ћелија између 60 степена северне географске ширине и северног пола. У њој се циркулација одвија као и у Хедлијевој ћелији али слабијег интензитета.
- Позната је под називом **Поларна ћелија**

“Једноћелијски” модел

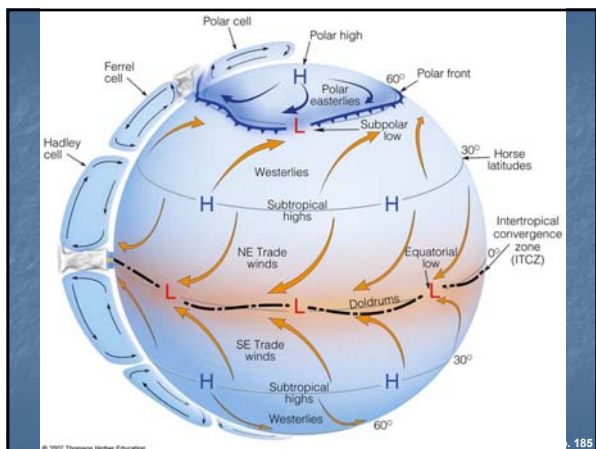




Глобални ветрови

Ветар – кретање ваздуха од места где је притисак виши ка местима где је ниже.

A circular diagram of Earth showing wind patterns, identical to the one above. It labels the North Pole, Polar Easterlies, Subpolar Lows (L), Westerlies, Horse Latitudes (high pressure) at 30° N, Doldrums (low pressure) (L) at the equator, Horse Latitudes (high pressure) at 30° S, Westerlies, Subpolar Lows (L), and Polar Easterlies at the South Pole.

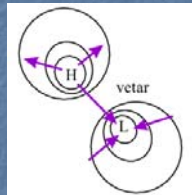


Геострофски ветар

- Ветар – последица сила
- У горњим слојевима – изнад слоја трења, главни утицај имају градијентна сила притиска и Кориолисова сила.
- Када постану изједначене струјање је униформно. Тиме је настала **геострофска равнотежа**

Геострофски ветар

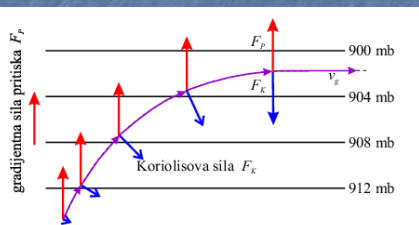
- Ако Земља не ротира једина сила је градијентна сила притиска а ветар изгледа као на слици



Slika 3.11: Vetar na nerotirajućoj Zemlji nastaje usled delovanja gradijentne sile pritiska.

Геострофски ветар

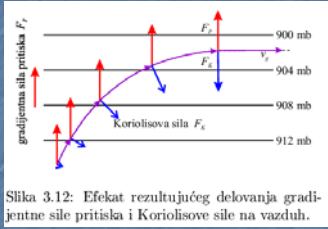
- Последица ротације је Кориолисова сила чији интензитет зависи од угла између брзине и вектора угаоне брзине Земље



- Северна полулопта
- Кад се изједначе силе кретање ваздуха постаје униформно

Slika 3.12: Efekat rezultujućeg delovanja gradijentne sile pritiska i Koriolisove sile na vazduh.

Геострофски ветар



- Брзина геострофског ветра

Slika 3.12: Efekat rezultujućeg delovanja gradijentne sile pritiska i Koriolisove sile na vazduh.

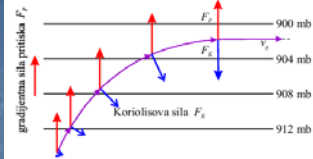
$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta x} = 2mv_g \omega \sin \varphi$$

$$v_g = \frac{1}{2\rho m \omega \sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

Геострофски ветар

- Особине геострофског ветра

$$v_g = \frac{1}{2\rho m \omega \sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta x}$$



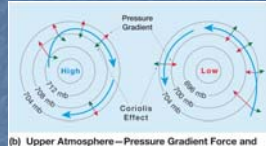
Slika 3.12: Efekat rezultujućeg delovanja gradijentne sile pritiska i Koriolisove sile na vazduh.

- Струјање ваздуха је увек паралелно са изобарама
 - На северној хемисфери низак притисак се налази са леве стране у односу на смер ветра док је на јужној хемисфери обрнуто – Бејс-Балотов закон: ако ветар дува у леђа посматрача низа ваздушни притисак леже лево на северној хемисфери
- Брзина ветра се повећава са повећањем градијента притиска

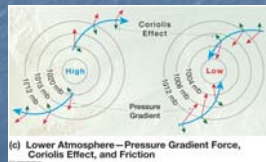
Кориолисова сила и сила градијента притиска и сила трења



(a) Pressure Gradient Force only



(b) Upper Atmosphere – Pressure Gradient Force and Coriolis Effect



(c) Lower Atmosphere – Pressure Gradient Force, Coriolis Effect, and Friction

- Трење редукује брзину ветра а тиме и Кориолисову силу која не може сада да поништи силу градијента притиска
- Мења се правац ветра

Јачина ветра

- Јачина ветра је у директној сразмери са притиском који он врши на вертикалну површину.
- Одређује се по Бофоровој скали, која има 13 степени, утврђених према дејству ветра на разне предмете.

Бофорова скала

Br. по Бофору	Naziv vetra	Brzina m/s	Opis pojave na kopru
0	Tisina	0-0,2	Tiho, dim se diže uspravno uvis
1	Lak povetarac	0,3-1,5	Pravac vetra se zapaža po kretanju dima
2	Povetarac	1,6-3,3	Vetar se oseća na licu vetrokaz se pokreće
3	Slab povetarac	3,4-5,4	Lisće i grančice se stalno klata, razvijaju se lake zastave
4	Umeren vetar	5,5-7,9	Vetar diže prasinu i listove hartije pokreće male grane
5	Umereno jak vetar	8-10,7	Tanja lisnata stabla pocinju da se ljuljaju
6	Jak vetar	10,8-13,8	Pokreću se velike grane, čuje se zujanje žica
7	Vrlo jak vetar	13,9-17,1	Drveće se ljulja, hodanje uz vetar je otežano
8	Olujni vetar	17,2-20,7	Vetar lomi grane na drveću, hodanje protiv vetra je nemoguće
9	Oluja	20,8-24,4	Mala oštećenja na zgradama (otkidanje oluka...)
10	Zestoka oluja	24,5-28,4	Čupa drveće iz zemlje, velike štete na zgradama
11	Orkanska oluja	28,5-32,6	Vrlo retka pojava, razaranje velikih razmera
12	Orkan	32,7-36,9	

Теме

- аеросоли,
- електрична пражњења у атмосфери,
- киселе кише и загађење атмосфере,
- алтернативни извори енергије
- ледена доба,
- ...
- Циклуси и количина главних елемената у атмосфери
- Озонски слој,
- СФС једињења као гасови стаклене баште,
- УВ зрачење и његово дејство на жива бића,
- Клима
- Врсте ветрова у атмосфери и узрок њиховог настанка,
- Електромагнетно зрачење,
