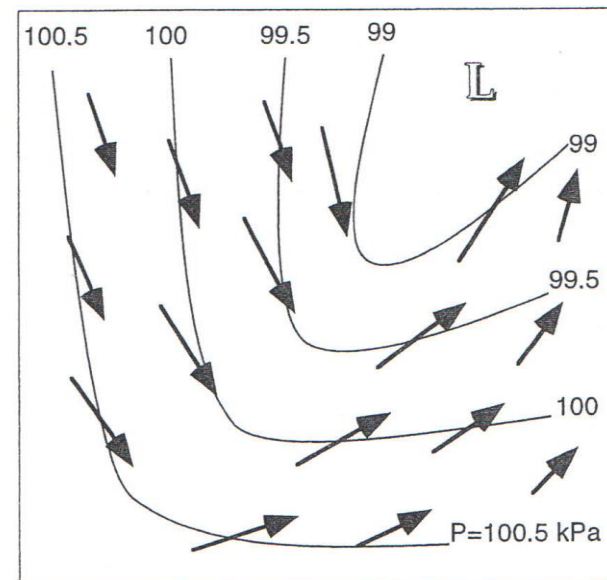


Περιβαλλοντική Μετεωρολογία και Μοντέλα Ποιότητας αέρα Δυναμική της Ατμόσφαιρας



Δυνάμεις στην ατμόσφαιρα

- ✓ Οι δυνάμεις προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση δημιουργώντας έτσι αλλαγή στους ανέμους.
- ✓ Η σχέση μεταξύ των δυνάμεων και των ανέμων ονομάζεται δυναμική της ατμόσφαιρας.
- ✓ Η πίεση, τριβή και οριζόντια μεταφορά είναι μερικές από τις ατμοσφαιρικές δυνάμεις που δρουν στον οριζόντιο άξονα .
- ✓ Άλλες δυνάμεις, που ονομάζονται φαινόμενες δυνάμεις , προκαλούνται από την περιστροφή της Γης.
- ✓ Η πιο σημαντική είναι η οριζόντια δύναμη βαροβαθμίδας χωρίς την οποία δεν θα υπήρχε άνεμος.



Πρόβλεψη ανέμου στην ατμόσφαιρα

- ✓ Η μεταβολή του ανέμου:

$$\frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$

- ✓ Εξισώσεις κίνησης (ισοζύγιο ορμής):

$$U(t + \Delta t) = U(t) + \frac{F_{x \ net}}{m} \cdot \Delta t$$

$$V(t + \Delta t) = V(t) + \frac{F_{y \ net}}{m} \cdot \Delta t$$

- ✓ Πρόβλεψη ανέμου: Απαιτούνται οι αρχικές συνθήκες και οι δυνάμεις που επιδρούν σε πακέτα αέρα.



Δυνάμεις

$$F_{x \text{ net}} = F_{x \text{ AD}} + F_{x \text{ PG}} + F_{x \text{ CF}} + F_{x \text{ TD}}$$

$$F_{y \text{ net}} = F_{y \text{ AD}} + F_{y \text{ PG}} + F_{y \text{ CF}} + F_{y \text{ TD}}$$

AD:ADVECTION
(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ
ΜΕΤΑΦΟΡΑ)

PG:PRESSURE
GRADIENT
(ΒΑΡΟΒΑΘΜΙΔΑ)

CF:CORRIOLIS FORCE

TD: TURBULENT DRAG
(ΤΡΙΒΗ)



Οριζόντια μεταφορά

- ✓ Ο άνεμος προσφέρει εκτός από ροή αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας ή υγρασίας σε μια περιοχή, μπορεί επίσης να υπάρχει και ροή διαφορετικής ορμής.

$$\frac{F_x}{m} = -U \cdot \frac{\Delta U}{\Delta x} - V \cdot \frac{\Delta U}{\Delta y}$$

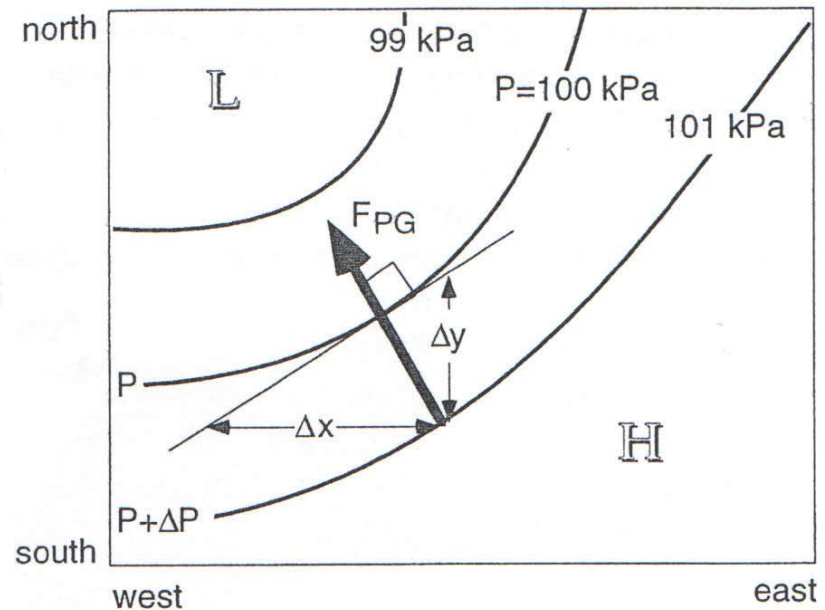
$$\frac{F_y}{m} = -U \cdot \frac{\Delta V}{\Delta x} - V \cdot \frac{\Delta V}{\Delta y}$$

Δύναμη βαροβαθμίδας

- ✓ Πάντα κάθετη στις ισοβαρείς με κατεύθυνση από τις υψηλές πιέσεις προς τις χαμηλές.
- ✓ Είναι η μόνη δύναμη που προκαλεί άνεμο.

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

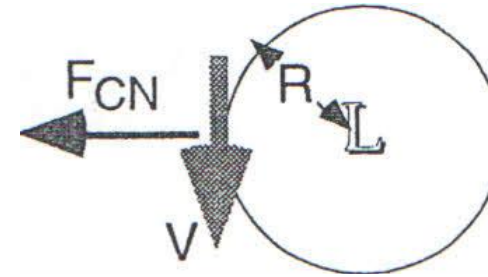
$$\frac{F_y}{m} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y}$$



Φυγόκεντρος δύναμη

✓ Άξονας χ

$$\frac{F_{x \text{ CN}}}{m} = +s \cdot \frac{V \cdot |V|}{R}$$



✓ Άξονας ψ

$$\frac{F_{y \text{ CN}}}{m} = -s \cdot \frac{U \cdot |U|}{R}$$

Table 9-1. Sign s for centrifugal-force equations.

Hemisphere	For flow around a	
	Low	High
Northern	1	-1
Southern	-1	1

✓ Συνολική τιμή

$$\left| \frac{F_{CN}}{m} \right| = \frac{M^2}{R}$$



Δύναμη Coriolis

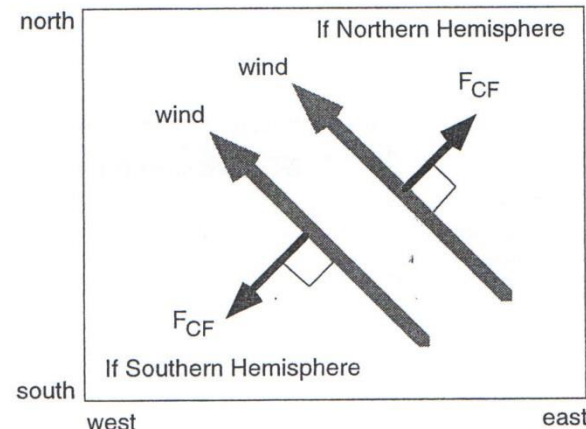
- ✓ Φαινόμενη δύναμη λόγω της περιστροφής της γης.
- ✓ Παράμετρος Coriolis:

$$f_c = 2 \cdot \Omega \cdot \sin(\phi)$$

- ✓ Είναι κάθετη στην ταχύτητα του ανέμου προς τα δεξιά στο Β. ημισφαίριο και προς αριστερά στο Ν.

$$\frac{F_{x \text{ CF}}}{m} = f_c \cdot V$$

$$\frac{F_{y \text{ CF}}}{m} = -f_c \cdot U$$



Δύναμη Τριβής

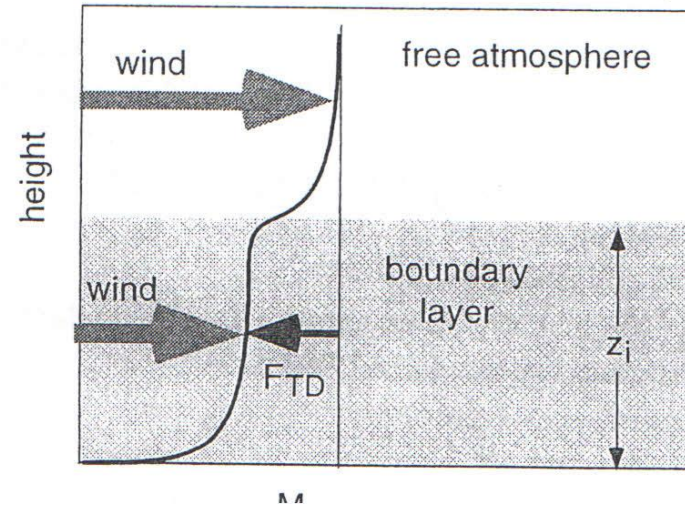
- ✓ Δημιουργείται στο ΑΟΣ μόνο:

$$\frac{F_{x \text{ TD}}}{m} = -w_T \cdot \frac{U}{z_i}$$

$$\frac{F_{y \text{ TD}}}{m} = -w_T \cdot \frac{V}{z_i}$$

- ✓ z_i : το βάθος του ΑΟΣ

- ✓ w_T Turbulent transport velocity και εξαρτάται από το είδος του εδάφους και την ταχύτητα του ανέμου



Εξισώσεις κίνησης

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -U \frac{\Delta U}{\Delta x} - V \frac{\Delta U}{\Delta y} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} + f_c \cdot V - w_T \cdot \frac{U}{z_i} \quad \bullet(9.15a)$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \underbrace{-U \frac{\Delta V}{\Delta x}}_{\text{advection}} - \underbrace{V \frac{\Delta V}{\Delta y}}_{\text{advection}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y}}_{\text{pressure gradient}} - \underbrace{f_c \cdot U}_{\text{Coriolis}} - \underbrace{w_T \cdot \frac{V}{z_i}}_{\text{turbulent drag}} \quad \bullet(9.15b)$$

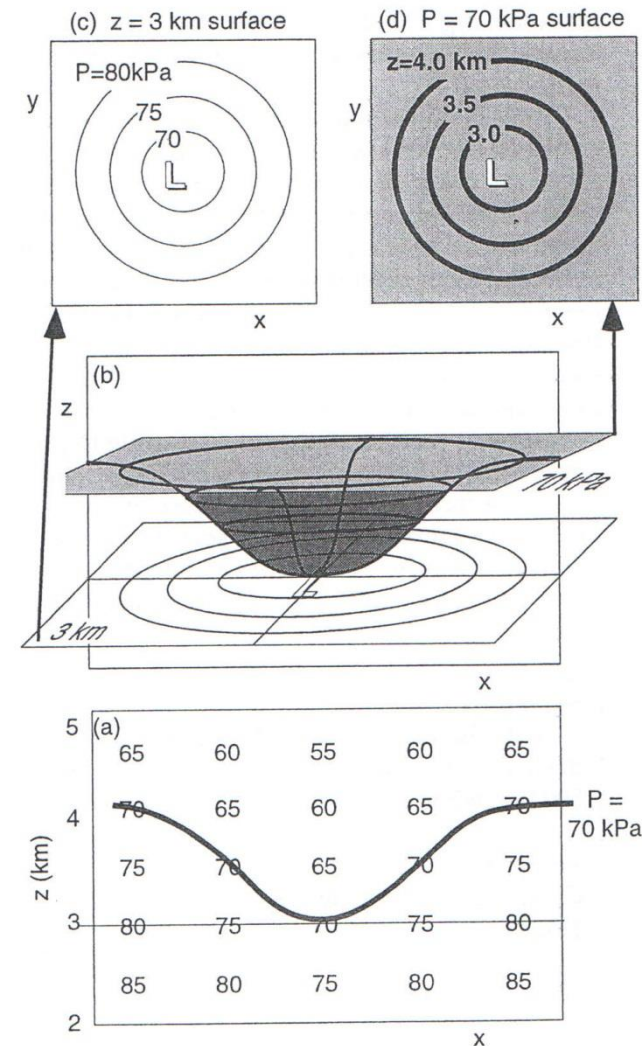


Ισοβαρείς και ισοϋψείς

- ✓ Συντεταγμένες : $x\psi z$ ή $x\psi P$
- ✓ Μια επιφάνεια που ενώνει σημεία ίδιας πίεσης είναι μια ισοβαρή επιφάνεια. Σε περιοχές χαμηλής πίεσης η ισοβαρική επιφάνεια είναι κοντά στο έδαφος.
- ✓ Δεν υπάρχει περίπτωση 2 ισοβαρικές επιφάνειες να τέμνονται. Μπορούν όμως να τέμνονται με το έδαφος.
- ✓ Στην πρόγνωση καιρού χρησιμοποιούνται ισοβαρικές επιφάνειες στις οποίες χαράσσονται ισοϋψείς καμπύλες.

$$\frac{F_x}{m} = -g \cdot \frac{\Delta z}{\Delta x}$$

$$\frac{F_y}{m} = -g \cdot \frac{\Delta z}{\Delta y}$$



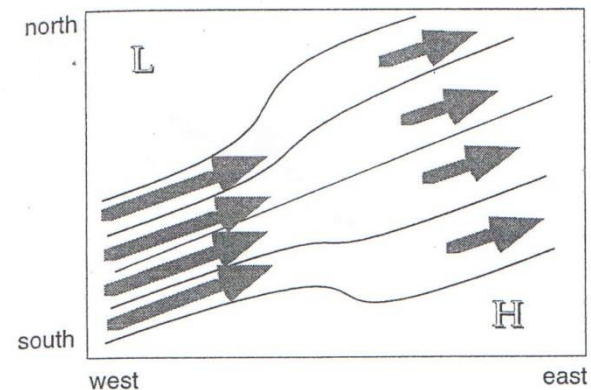
Γεωστροφικός άνεμος

- ✓ Ο γεωστροφικός άνεμος είναι ο άνεμος που προκύπτει όταν η δύναμη βαροβαθμίδας εξισορροπεί την Coriolis

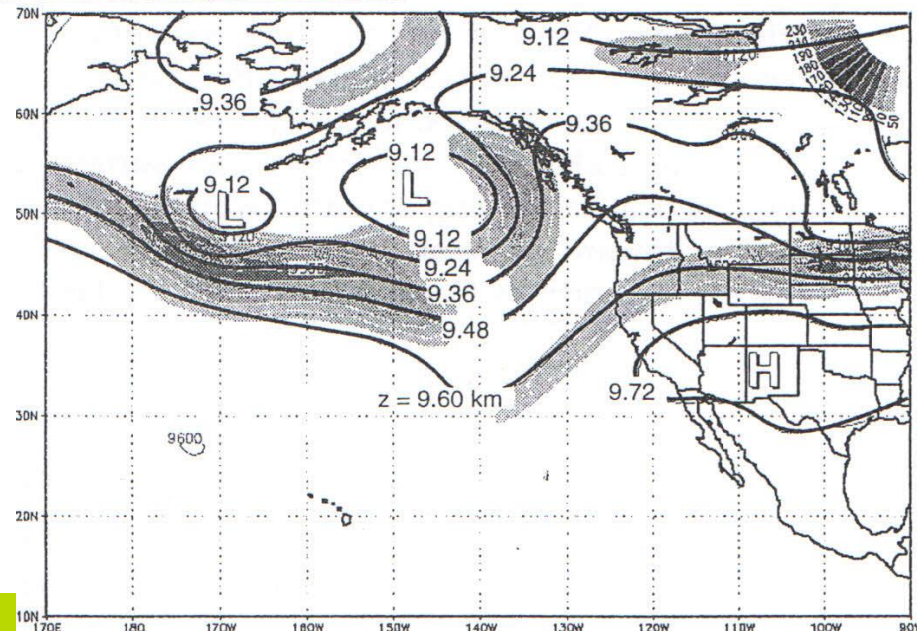
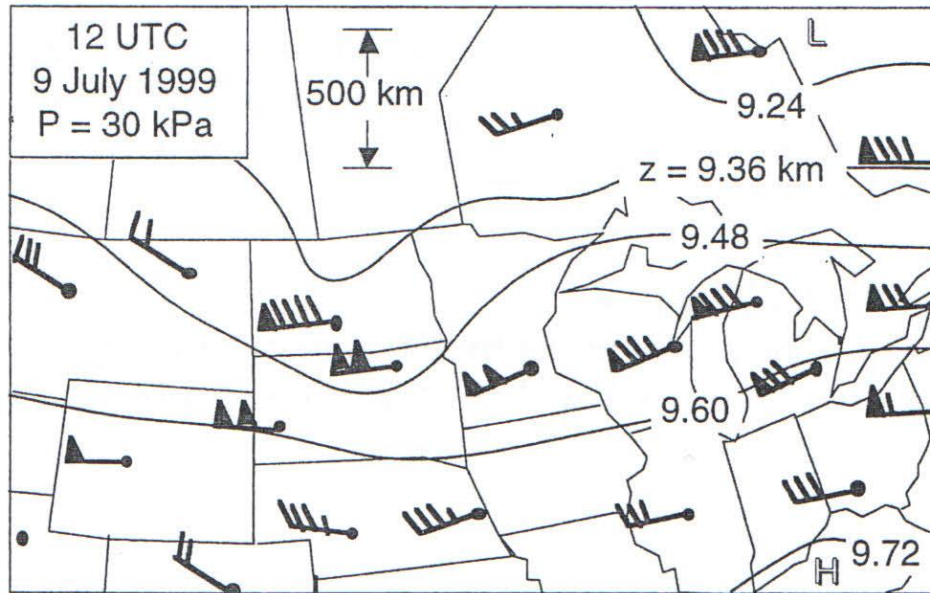
$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} + f_c \cdot V$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y} - f_c \cdot U$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$
pressure gradient Coriolis



Ταχύτητα και κατεύθυνση γεωστροφικού ανέμου



Άνεμος βαροβαθμίδας

- ✓ Λόγω καμπυλότητας ο άνεμος στρέφεται γύρω από κέντρα χαμηλών ή υψηλών πιέσεων και εμφανίζεται η φυγόκεντρος δύναμη.
- ✓ Ο άνεμος βαροβαθμίδας προκύπτει από την ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων Coriolis, βαροβαθμίδας και φυγόκεντρου

$$0 = \underbrace{-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x}}_{\text{pressure gradient}} + \underbrace{f_c \cdot V}_{\text{Coriolis}} + \underbrace{s \cdot \frac{V \cdot |V|}{R}}_{\text{centrifugal}}$$
$$0 = \underbrace{-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y}}_{\text{pressure gradient}} - \underbrace{f_c \cdot U}_{\text{Coriolis}} - \underbrace{s \cdot \frac{U \cdot |U|}{R}}_{\text{centrifugal}}$$

Ανεμος βαροβαθμίδας

✓ Κυκλωνική ροή

$$M_r = 0.5 \cdot f_c \cdot R \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot G}{f_c \cdot R}} \right]$$

✓ Αντικυκλωνική ροή:

$$M_r = 0.5 \cdot f_c \cdot R \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot G}{f_c \cdot R}} \right]$$

Παράμετρος καμπυλότητας

- ✓ Παράμετρος Rossby: Ένδειξη καμπυλότητας

$$Ro_c = \frac{G}{f_c \cdot R}$$

- ✓ Κυκλωνικός και αντικυκλωνικός άνεμος βαροβαθμίδας:

$$M_r = \frac{G}{2 \cdot Ro_c} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + 4 \cdot Ro_c} \right]$$

$$M_r = \frac{G}{2 \cdot Ro_c} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - 4 \cdot Ro_c} \right]$$

Δύναμη τριβής

- ✓ Στο ΑΟΣ η δύναμη τριβής δεν είναι αμελητέα. Η ένταση του ανέμου μειώνεται. Σε σταθερές συνθήκες ισχύει:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} + f_c \cdot V - w_T \cdot \frac{U}{z_i}$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y} - f_c \cdot U - w_T \cdot \frac{V}{z_i}$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ *pressure gradient* $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ *Coriolis* $\underbrace{\hspace{1.5cm}}$ *turbulent drag*

$$U_{BL} = U_g - \frac{w_T \cdot V_{BL}}{f_c \cdot z_i}$$

$$V_{BL} = V_g + \frac{w_T \cdot U_{BL}}{f_c \cdot z_i}$$

- ✓ Ο ανεμος τριβής:



✓ Σε σταθερές συνθήκες:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} + f_c \cdot V - w_T \cdot \frac{U}{z_i} + s \cdot \frac{V \cdot |V|}{R}$$

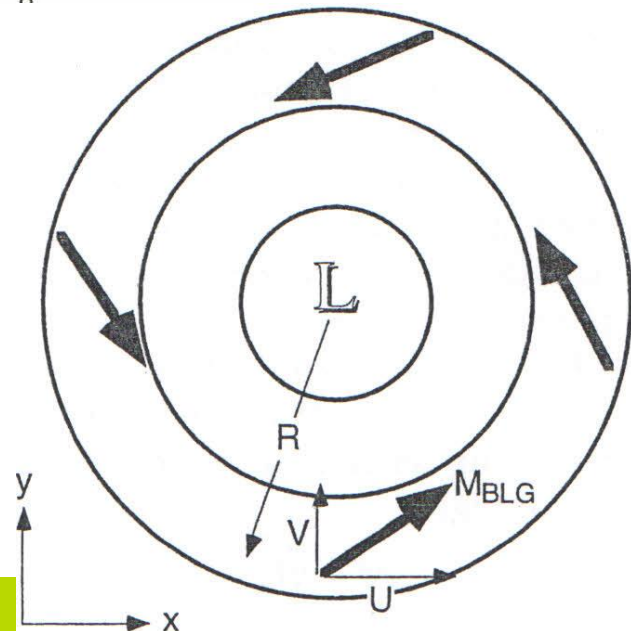
$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y} - f_c \cdot U - w_T \cdot \frac{V}{z_i} - s \cdot \frac{U \cdot |U|}{R}$$

*pressure
gradient*

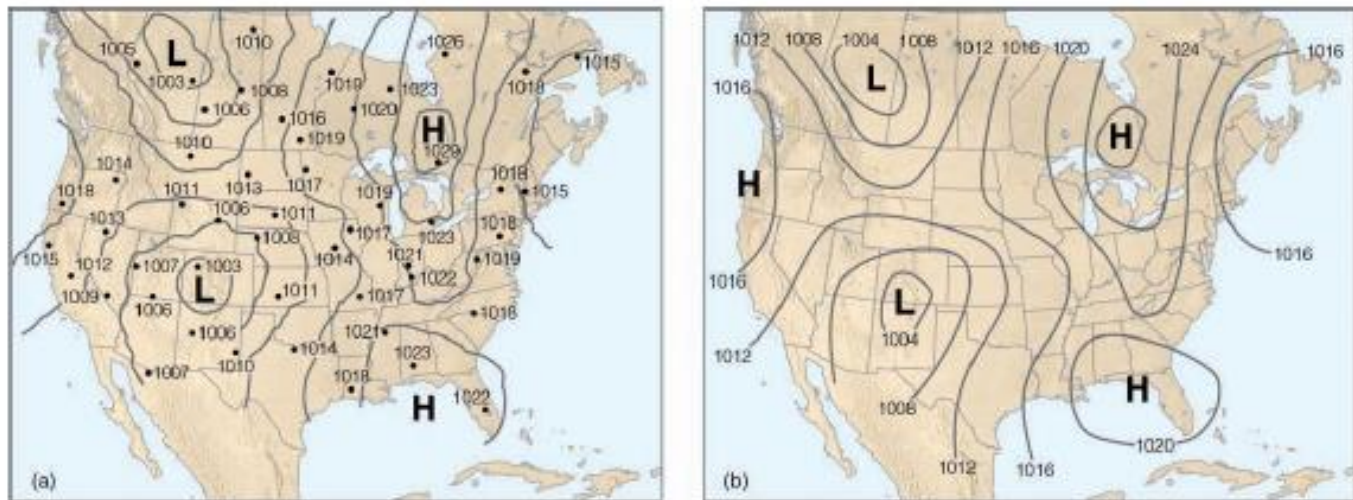
Coriolis

*turbulent
drag*

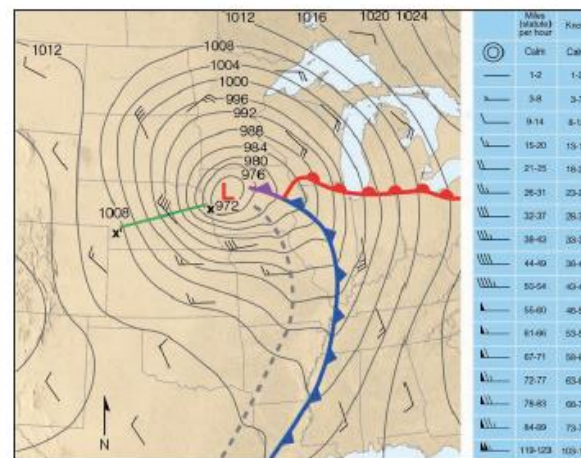
centrifugal



Επισκόπηση: Χάρτες επιφανείας



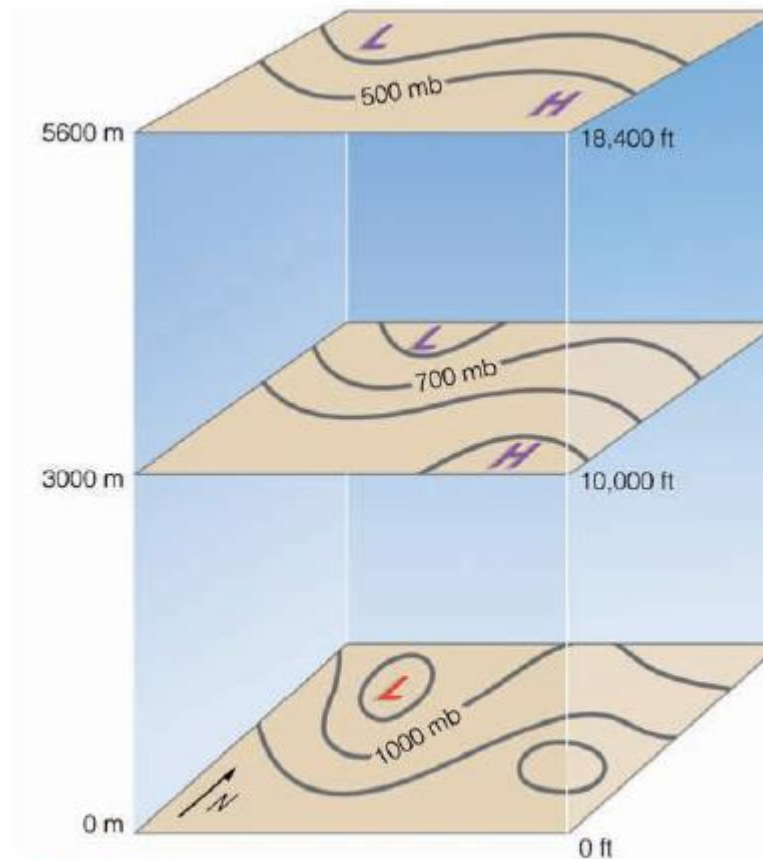
• **FIGURE 8.10** (a) Sea-level isobars drawn so that each observation is taken into account. Not all observations are plotted. (b) Sea-level isobars after smoothing.



above, we see that the ball moves in a straight line path just as

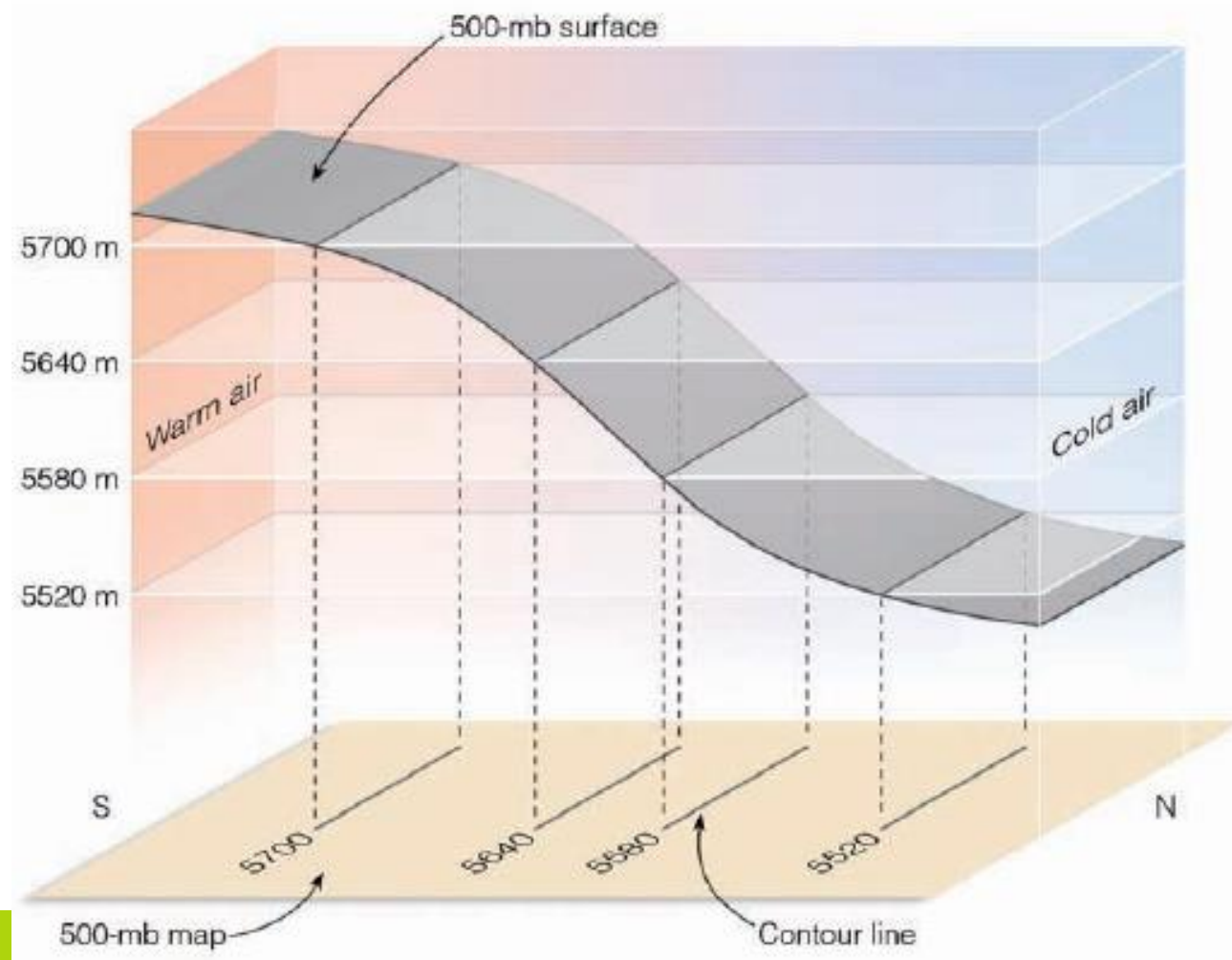
The moon

Επισκόπηση: Ισοβαρείς καμπύλες

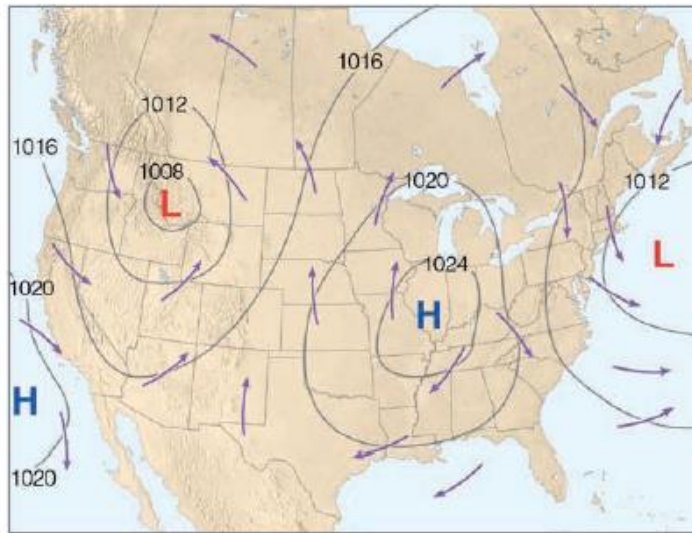


● **FIGURE 8.11** Each map shows isobars on a constant height chart. The isobars represent variations in horizontal pressure at that altitude. An average isobar at sea level would be about 1000 mb; at 3000 m, about 700 mb; and at 5600 m, about 500 mb.

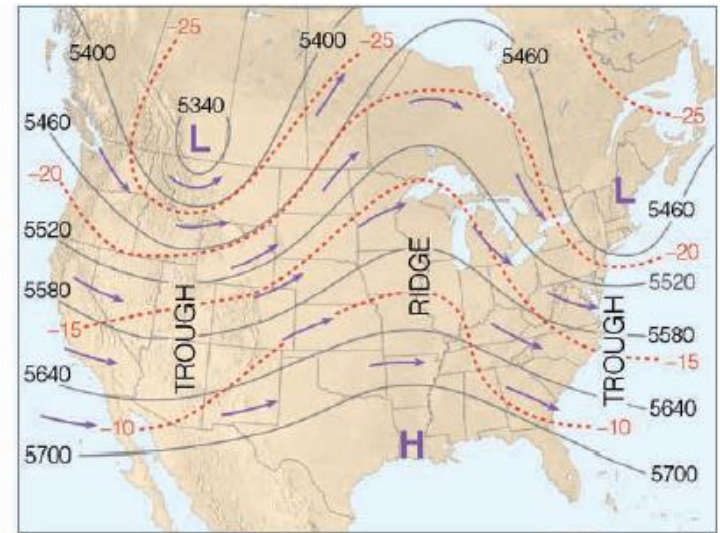
Επισκόπηση: Ισοϋψείς καμπύλες



Επισκόπηση: Συσχέτιση χαρτών

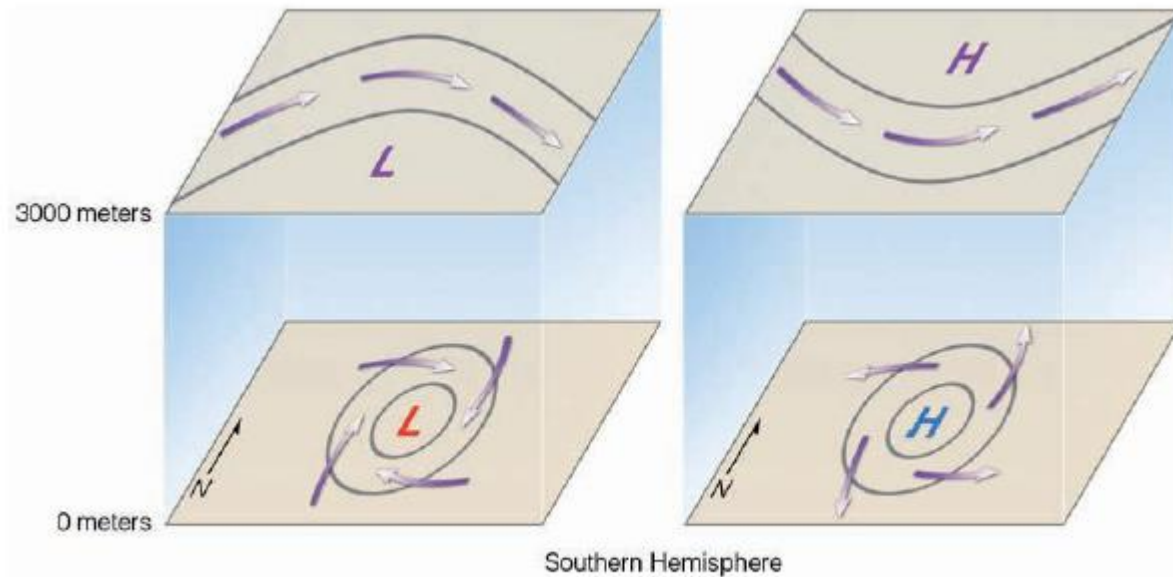
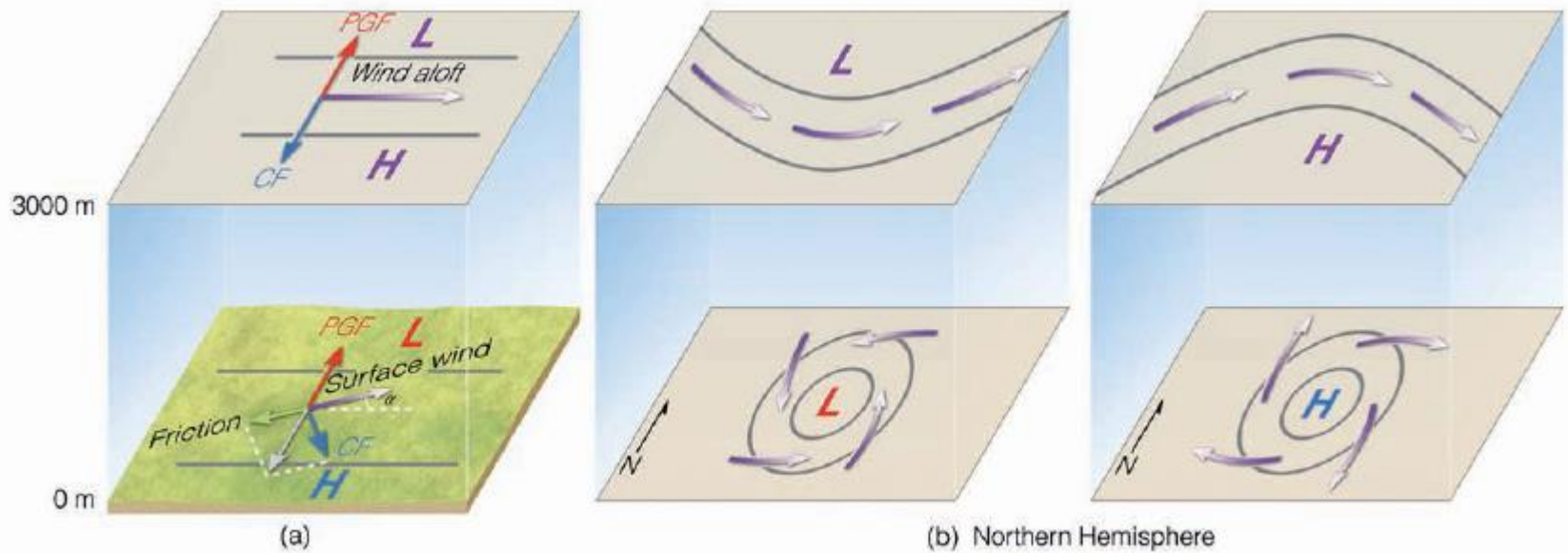


(a) Surface map



(b) Upper-air map (500 mb)

Επισκόπηση: Άνεμοι



Κυκλοστροφικός άνεμος

- ✓ Σε τυφώνες και έντονα καιρικά φαινόμενα, η Coriolis και η δύναμη τριβής είναι πολύ μικρές σε σχέση με την φυγόκεντρο και τη βαροβαθμίδα.
- ✓ Ο άνεμος ονομάζεται κυκλοστροφικός

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} + s \cdot \frac{V \cdot |V|}{R}$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta y} - s \cdot \frac{U \cdot |U|}{R}$$

*pressure
gradient*

centrifugal

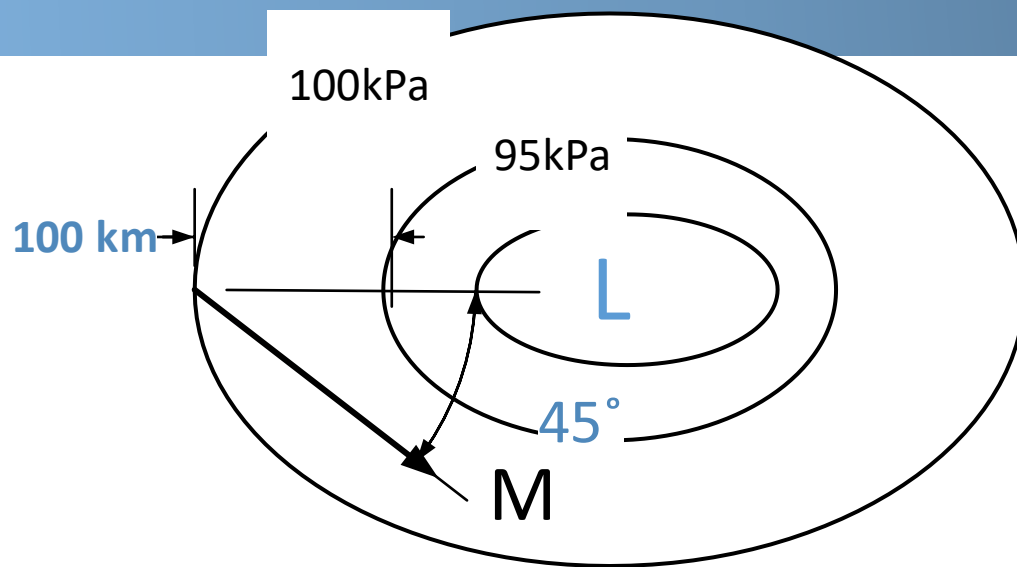
Ασκηση 1

Στο Σχ.1 και Σχ. 2 δίνονται οι ισοβαρείς καμπύλες στην επιφάνεια του εδάφους και σε ύψος 2km αντίστοιχα. Να σχεδιαστούν οι δυνάμεις που ασκούνται (Βαροβαθμίδας, Φυγόκεντρος, Coriolis και Τριβής) στο σημείο Α και σημείο Β αντίστοιχα. Επίσης να σχεδιαστεί η διεύθυνση και φορά της ταχύτητας του ανέμου στο σημείο Β. Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

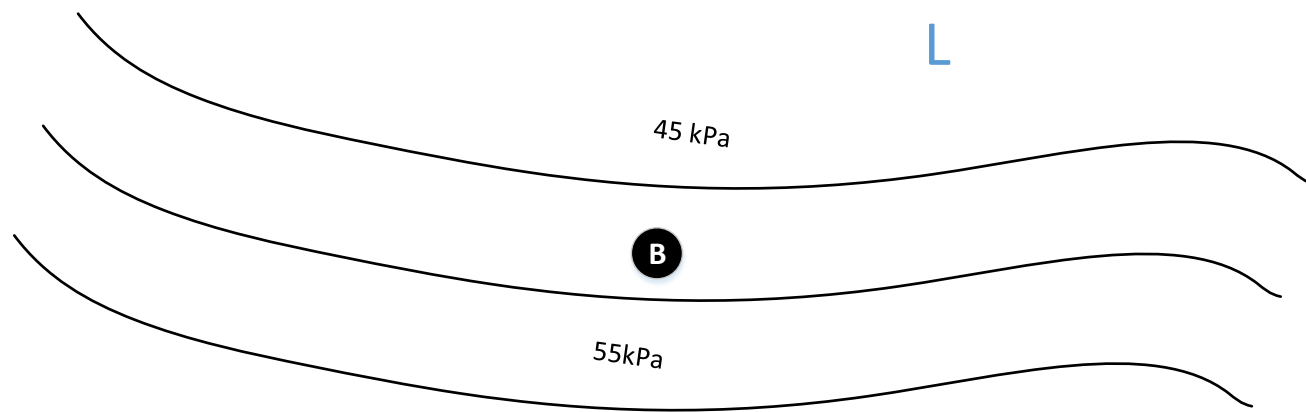
Θεωρείστε την απόσταση ανάμεσα στις ισοβαρείς στο Α ίση με 100km και το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου ίσο με 5m/s. Η γωνία που σχηματίζει η ταχύτητα του ανέμου με το οριζόντιο επίπεδο (άξονας XX' είναι ίση με 45° . Η ακτίνα καμπυλότητας της κυκλικής τροχιάς είναι ίση με 250km. **Προσοχή!!! Η κυκλική τροχιά που διαγράφει η μάζα στο σημείο Α δεν είναι ο κύκλος που περικλείει το L.**

Να υπολογιστούν οι τιμές των παραπάνω δυνάμεων στους άξονες X και Y στο σημείο Α και να υπολογιστεί η συνισταμένη δύναμη και η διεύθυνσή της. Δίνονται: πυκνότητα αέρα= 1.2kg/m^3 , γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης= $0.729 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, γεωγραφικό πλάτος= 35.1°N , πάχος οριακού στρώματος = 2km, συντελεστής τριβής= $2 \cdot 10^{-3}$. Θεωρείστε σταθερές συνθήκες.





Σχ. 1. Ισοβαρείς στην επιφάνεια του εδάφους



Σχ. 2. Ισοβαρείς σε ύψος 2km



- ✓ Στο Σχ.2 δίνονται οι ισοβαρείς καμπύλες στην επιφάνεια του εδάφους και σε ύψος πάνω από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Να σχεδιαστούν οι δυνάμεις που ασκούνται στο σημείο A και σημείο B αντίστοιχα. Επίσης να σχεδιαστεί η διεύθυνση και φορά της ταχύτητας του ανέμου στο σημείο B. Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
- ✓ Θεωρείστε την απόσταση ανάμεσα στις ισοβαρείς στο A ίση με 120km και το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου ίσο με 6m/s. Η γωνία που σχηματίζει η ταχύτητα του ανέμου με τον άξονα γγ' είναι ίση με 60°. Η ακτίνα καμπυλότητας της κυκλικής τροχιάς είναι ίση με 200km. Προσοχή!!! Η κυκλική τροχιά που διαγράφει η μάζα στο σημείο A δεν είναι ο κύκλος που περικλείει το L.
- ✓ Να υπολογιστούν οι τιμές των παραπάνω δυνάμεων στους άξονες X και Y στο σημείο A. Δίνονται: πυκνότητα αέρα=1.2kg/m³, γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης=0.729 10⁻⁴ s⁻¹, γεωγραφικό πλάτος=40°N, πάχος οριακού στρώματος = 2.2km, συντελεστής τριβής=1.5 · 10⁻³. Θεωρείστε σταθερές συνθήκες.

