

Περιβαλλοντική Μετεωρολογία και Μοντέλα Ποιότητας αέρα

Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία



Ωράριο επικοινωνίας

- ✓ Πέμπτη-Παρασκευή
- ✓ Γραφείο: Κ2.114
Τηλέφωνο: +30 28210 37808 (γραφείο)
- ✓ Fax: +3028210 37858
E-Mail: dkolokotsa@enveng.tuc.gr
- ✓ Personal Page:



Στόχος μαθήματος

- ✓ Στο μάθημα αυτό αναφέρονται γενικά στοιχεία για την ατμόσφαιρα της γης που ενδιαφέρουν ένα περιβαλλοντολόγο μηχανικό.
- ✓ Γνώσεις καταγραφής μετεωρολογικών παραμέτρων.
- ✓ Γνώσεις ανάλυσης μετεωρολογικών στοιχείων.
- ✓ Σύνδεση της μετεωρολογίας με την κλιματική αλλαγή και την ρύπανση της ατμόσφαιρας.



Περίγραμμα μαθήματος

1. Εισαγωγή στη δομή της ατμόσφαιρας.
2. Θερμότητα – Ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα
3. Η θερμοκρασία-Κατακόρυφες μεταβολές – Ευστάθεια-Όργανα μέτρησης
4. Υγρασία - Εξάτμιση και Διαπνοή
5. Θερμοδυναμικά διαγράμματα της ατμόσφαιρας – Τεφιγράμματα
6. Το νερό στην ατμόσφαιρα. Κατακρημνίσματα
7. Ατμοσφαιρική πίεση και Άνεμος. Τοπικοί άνεμοι
8. Ατμοσφαιρική κυκλοφορία
9. Αέριες μάζες και μέτωπα
10. Πρόγνωση καιρικών φαινομένων
11. Μετεωρολογία και διάχυση αερίων ρύπων
12. Κλιματική αλλαγή

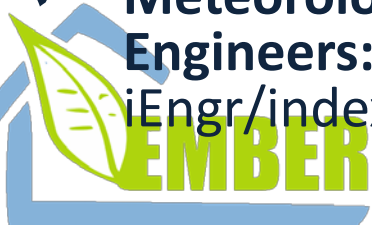


Βιβλιογραφία

- ✓ **ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ E-CLASS**
- ✓ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΜΠΑΛΤΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Α. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ
- ✓ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ, 2^Η ΕΚΔΟΣΗ, ΦΛΟΚΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Περαιτέρω πληροφορίες

- ✓ MIT: <http://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/>
- ✓ <http://www.open.edu/openlearn/tags/meteorology>
- ✓ <http://www.webmet.com/index.html>
- ✓ Donald Ahrens, Meteorology today, 9th ed, AN INTRODUCTION TO WEATHER, CLIMATE, AND THE ENVIRONMENT, C., ISBN-13: 978-0-495-55573-5
- ✓ **Meteorology for Scientists and Engineers:** <http://www.eos.ubc.ca/courses/atsc201/BrooksCole/MetSciEngr/index.html>



Εξέταση μαθήματος

- ✓ Τελική εξέταση 80% T.B
 - Διαλέξεις
 - Φροντιστηριακές ασκήσεις
- ✓ Εργαστήριο 20% T.B
 - 4 εργαστηριακές ασκήσεις με αναφορές – 60% TB εργαστηρίου (αναφορές ατομικές!!!)
 - Τελική εξέταση -40% TB εργαστηρίου



Κλάδοι μετεωρολογίας

- ✓ Γενική
- ✓ Φυσική μετεωρολογία :Χημική σύσταση, φυσική νεφών, νόμοι ακτινοβολίας, κλπ.
- ✓ Δυναμική μετεωρολογία: Ενεργειακές μεταβολές με νόμους υδροδυναμικής, αεροδυναμικής και θερμοδυναμικής. Θεωρητικά μοντέλα ατμόσφαιρας
- ✓ Συνοπτική Μετεωρολογία: Ανάλυση και πρόγνωση καιρού
- ✓ Περιγραφική μετεωρολογία: Περιγραφή των φαινομένων χωρίς μαθηματική θεωρία
- ✓ Πρακτική μετεωρολογία: όργανα μέτρησης, μέθοδοι παρατήρησης.
- ✓ Γεωργική Μετεωρολογία
- ✓ Ναυτική Μετεωρολογία
- ✓ Μετεωροπαθολογία
- ✓ Υδρομετεωρολογία
- ✓ Ραδιομετεωρολογία



Η ΓΗ και η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ



- ✓ Η Ατμόσφαιρα είναι μια λεπτή κουβέρτα του αέρα που περιβάλλει την εύθραυστη Γη.
- ✓ Συστατικά της ατμόσφαιρας φαίνονται στον Πίνακα

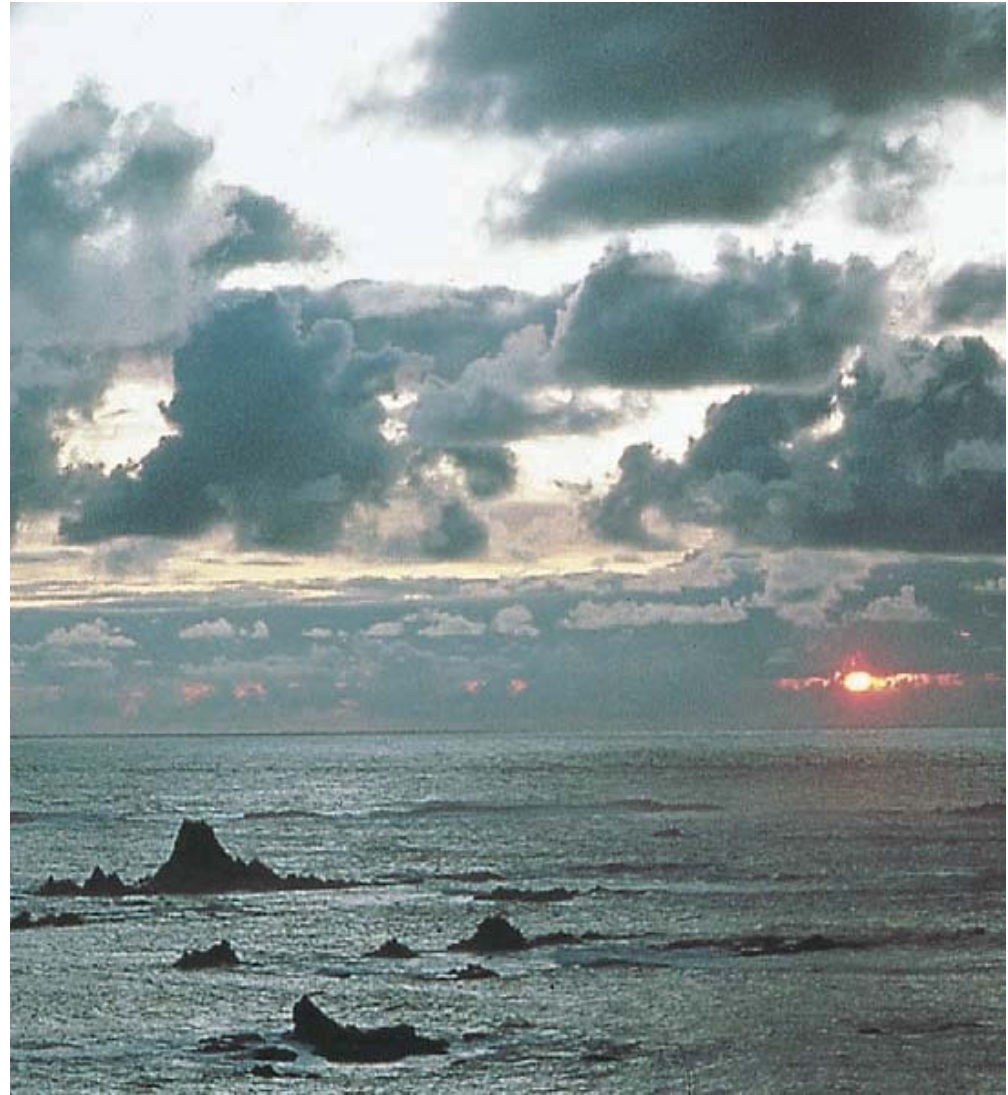
▼ TABLE 1.1 Composition of the Atmosphere near the Earth's Surface

PERMANENT GASES			VARIABLE GASES			
Gas	Symbol	Percent (by Volume) Dry Air	Gas (and Particles)	Symbol	Percent (by Volume)	Parts per Million (ppm)*
Nitrogen	N ₂	78.08	Water vapor	H ₂ O	0 to 4	
Oxygen	O ₂	20.95	Carbon dioxide	CO ₂	0.038	385†
Argon	Ar	0.93	Methane	CH ₄	0.00017	1.7
Neon	Ne	0.0018	Nitrous oxide	N ₂ O	0.00003	0.3
Helium	He	0.0005	Ozone	O ₃	0.000004	0.04†
Hydrogen	H ₂	0.00006	Particles (dust, soot, etc.)		0.000001	0.01–0.15
Xenon	Xe	0.000009	Chlorofluorocarbons (CFCs)		0.00000002	0.0002

*For CO₂, 385 parts per million means that out of every million air molecules, 385 are CO₂ molecules.
†Stratospheric values at altitudes between 11 km and 50 km are about 5 to 12 ppm.

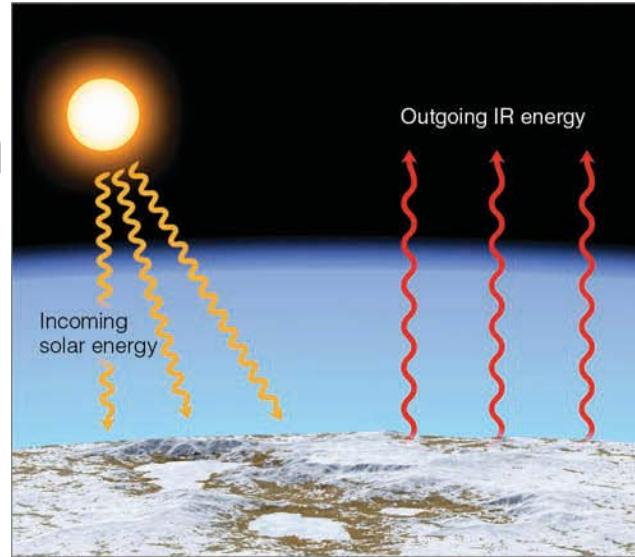
Το νερό στην ατμόσφαιρα

- ✓ Ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά.
- ✓ Συνεισφέρει στη μετάδοση/αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας.

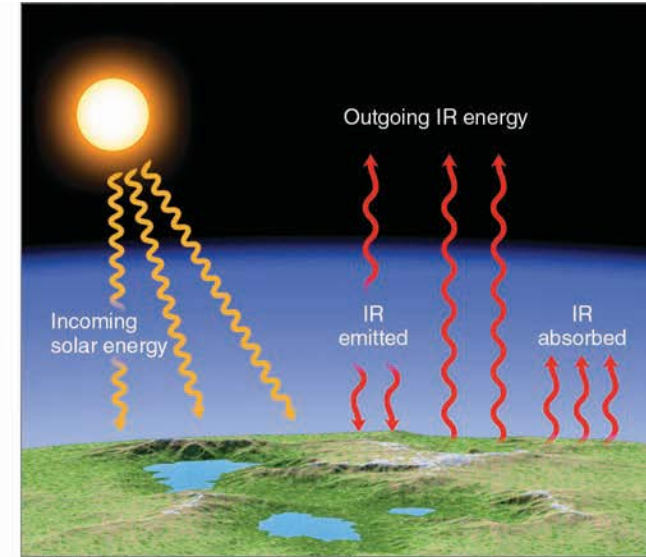


CO₂ και το φαινόμενο θερμοκηπίου

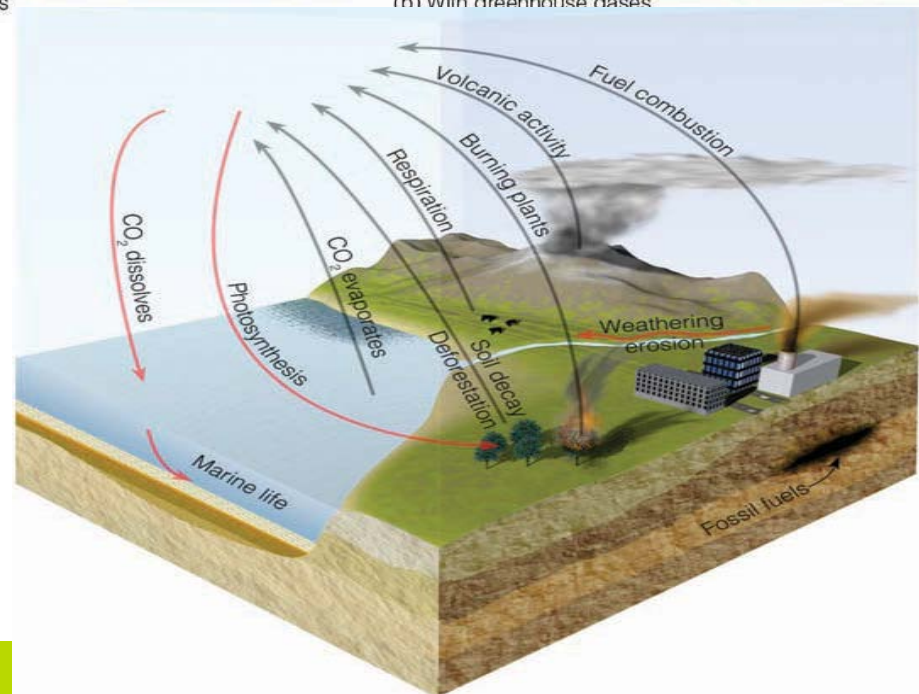
- ✓ Συνεισφορά στη θέρμανση της γης
- ✓ Διεργασίες εισαγωγής στην ατμόσφαιρα και απορρόφησης



(a) Without greenhouse gases



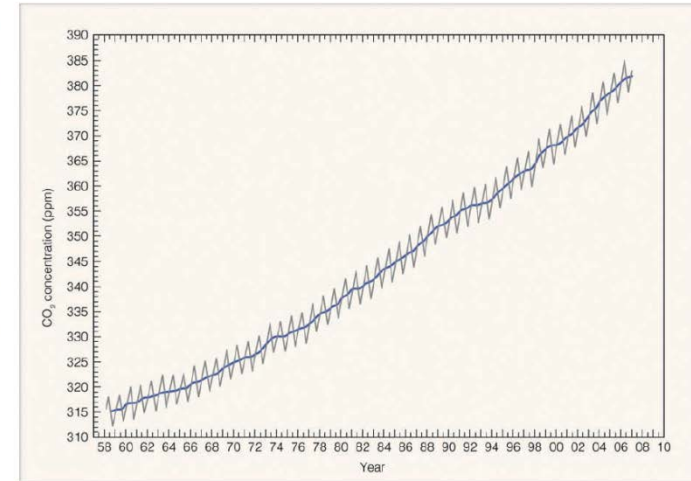
(b) With greenhouse gases



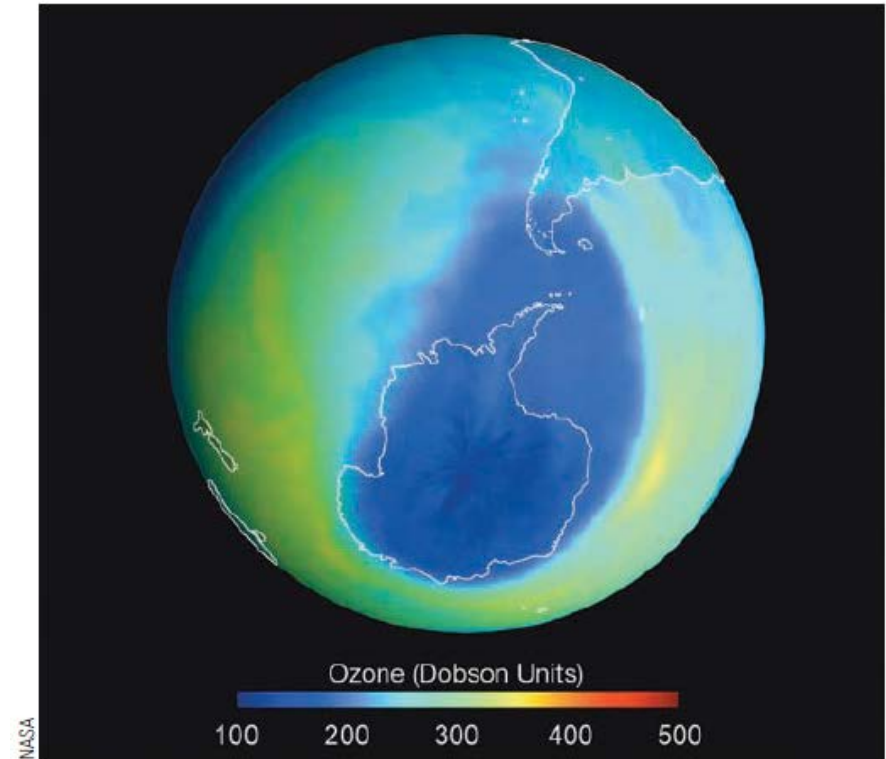
Αύξηση της συγκέντρωσης CO₂

- ✓ Μέση αύξηση συγκέντρωσης 0.8 ppm με διακύμανση από 0.5-1.5 ppm.
- ✓ Περαιτέρω αύξηση κατά 20% με αποτέλεσμα αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.6 C
- ✓ Μέσο αποθήκευσης είναι τα δάση και οι ωκεανοί. Οι δυνατότητες ανταπόκρισής τους μειώνονται λόγω αποψίλωσης και ξηρασίας.
- ✓ Οι ωκεανοί έχουν 60 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση από την ατμόσφαιρα όμως απαιτείται χρόνος για την ανταλλαγή ποσοτήτων CO₂.
- ✓ Πρόβλημα αποτελεί η ρύπανση και η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας.

• FIGURE 1.5
Measurements of CO₂ in parts per million (ppm) at Mauna Loa Observatory, Hawaii. Higher readings occur in winter when plants die and release CO₂ to the atmosphere. Lower readings occur in summer when more abundant vegetation absorbs CO₂ from the atmosphere. The solid line is the average yearly value. Notice that the concentration of CO₂ has increased by more than 20 percent since 1958.



- ✓ Εκτείνεται μέχρι 55-65 km.
- ✓ 15-35 km > Οζονόσφαιρα: μεγαλύτερη συγκέντρωση όζοντος
- ✓ Βασικό συστατικό του φωτοχημικού νέφους.
- ✓ Συνεισφορά στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας μεταξύ 0.2-0.3 μm



● **FIGURE 1.7** The darkest color represents the area of lowest ozone concentration, or ozone hole, over the Southern Hemisphere on September 22, 2004. Notice that the hole is larger than the continent of Antarctica. A Dobson unit (DU) is the physical thickness of the ozone layer if it were brought to the earth's surface, where 500 DU equals 5 millimeters.

Αιωρούμενα σωματίδια (aerosols)

✓ Κατάταξη ανάλογα με τη διάμετρο σε

- Πυρήνες Aitken ($<0.1 \mu\text{m}$)
- Μεγάλοι $0.1 - 1 \mu\text{m}$
- Γιγάντιοι $> 1 \mu\text{m}$

✓ Προέλευση

- Σκόνη
- Χημική προέλευση
- Οργανική ή βιολογική προέλευση



• FIGURE 1.8 Erupting volcanoes can send tons of particles into the atmosphere, along with vast amounts of water vapor, carbon dioxide, and sulfur dioxide.

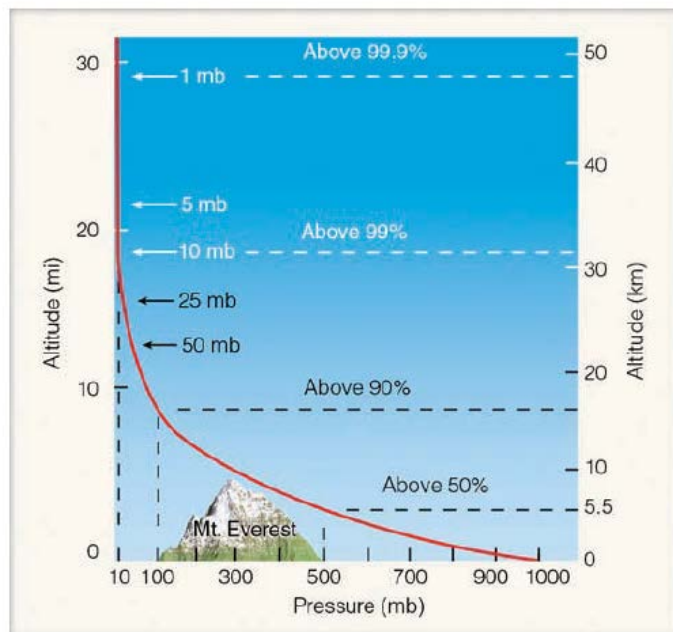
Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας : Πίεση και πυκνότητα

$$\text{Density} = \frac{\text{mass}}{\text{volume}}.$$

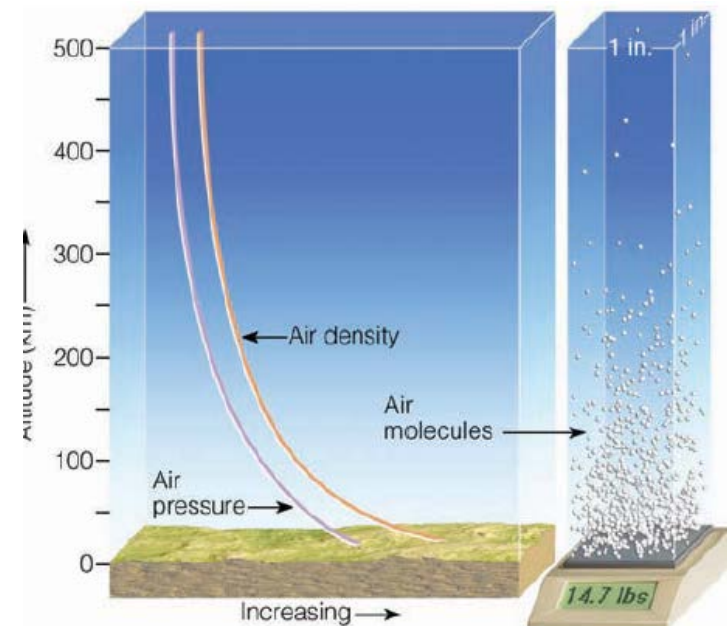
$$\text{Pressure} = \frac{\text{force}}{\text{area}}.$$

Πίεση στην επιφάνεια
της θάλασσας (1 Atm)

$$1013.25 \text{ mb} = 1013.25 \text{ hPa} = 29.92 \text{ in. Hg.}$$

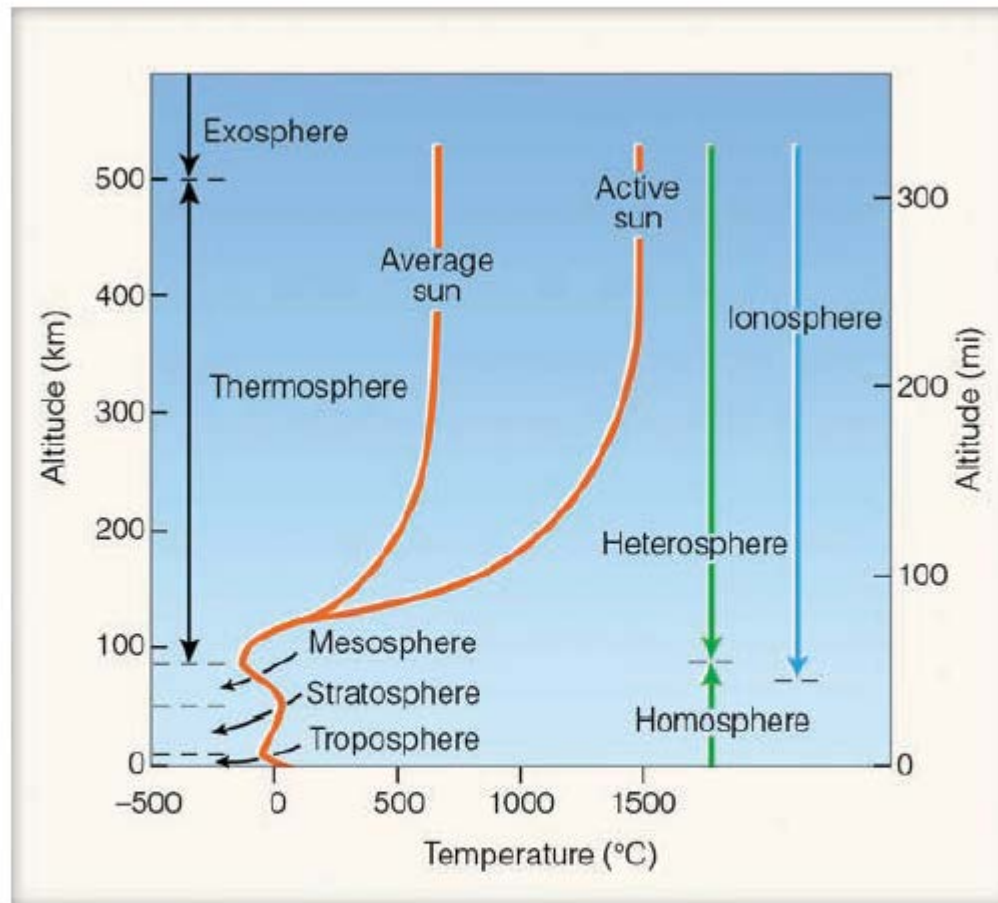


● **FIGURE 1.10** Atmospheric pressure decreases rapidly with height. Climbing to an altitude of only 5.5 km, where the pressure is 500 mb, would put you above one-half of the atmosphere's molecules.



● **FIGURE 1.9** Both air pressure and air density decrease with increasing altitude. The weight of all the air molecules above the earth's surface produces an average pressure near 14.7 lbs/in.²

Διαχωρισμός ατμόσφαιρας



● **FIGURE 1.12** Layers of the atmosphere based on temperature (red line), composition (green line), and electrical properties (dark blue line). (An active sun is associated with large numbers of solar eruptions.)

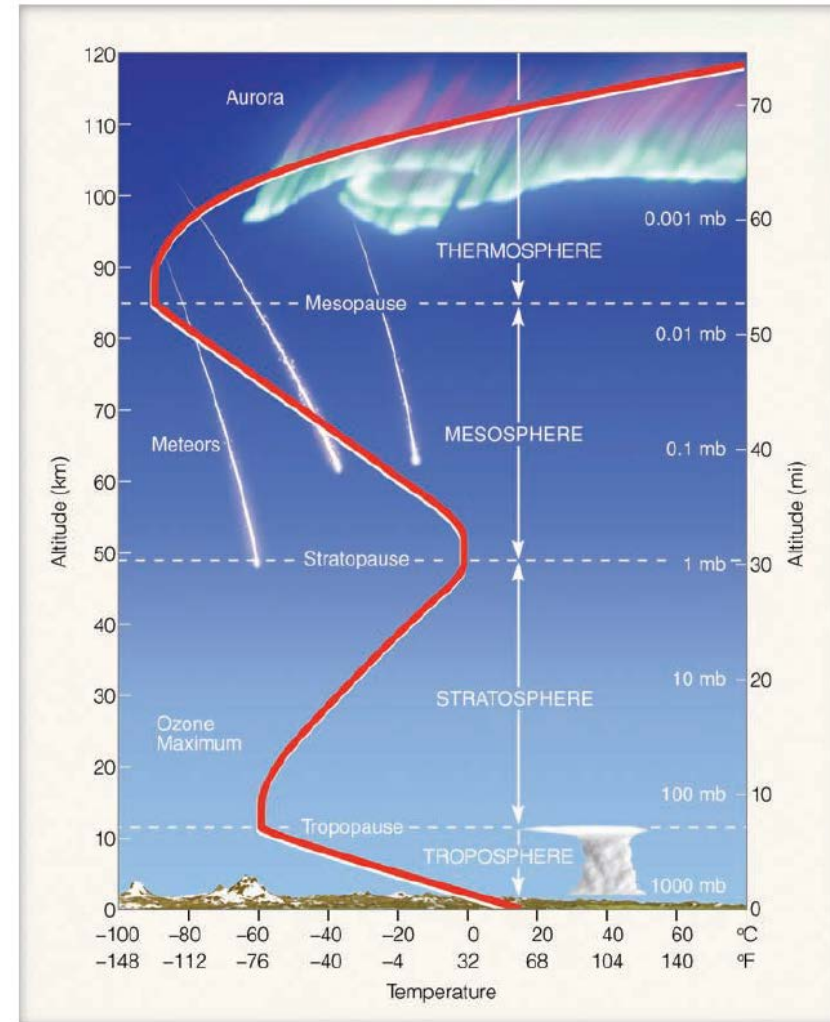
Κατακόρυφη διαίρεση της ατμόσφαιρας με βάση τη θερμοκρασία

✓ Τροπόσφαιρα:

- Μεταβολή ύψους ανάλογα με το γ.π.
- Ομοιόμορφη ελάττωση θερμοκρασίας
- Αύξηση ταχύτητας ανέμου με το ύψος
- Σημαντική περιεκτικότητα σε υδρατμούς.
- Κατακόρυφες κινήσεις
- Καιρός
- 80% της μάζας της ατμόσφαιρας

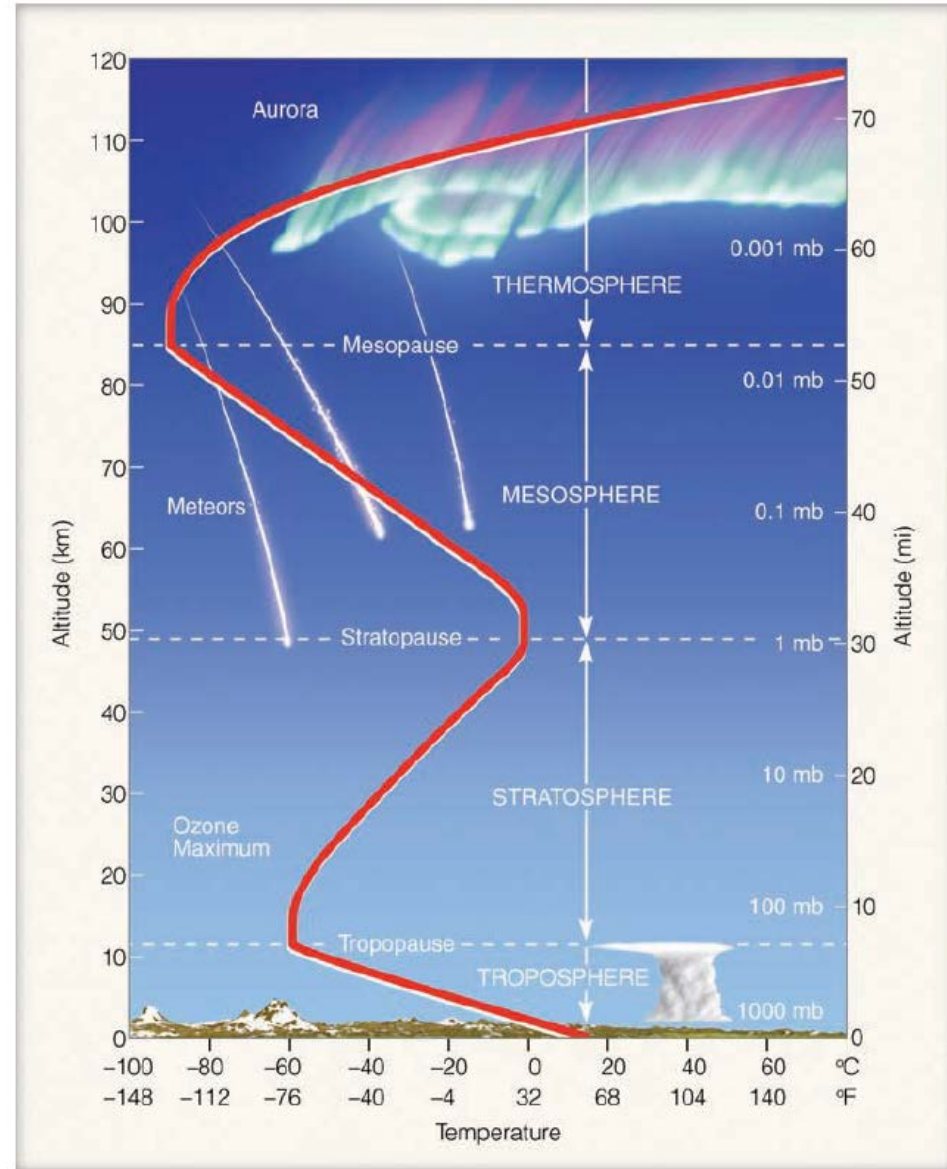
✓ Τροπόπαυση

- Μεταβατική ζώνη μεταξύ τροπόσφαιρας και στρατόσφαιρας
- Τροπική και Πολική τροπόπαυση λόγω ασυνέχειας στις 30-40° γ.π.



✓ Στρατόσφαιρα

- Κατώτερη στρατόσφαιρα : ευστάθεια και μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας. Ελάχιστες κατακόρυφες κινήσεις αλλά πολύ σημαντική οριζόντια κυκλοφορία. Χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατμούς.
- Ανώτερη στρατόσφαιρα: Μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας λόγω στρώματος του όζοντος
- Στρατόπαυση



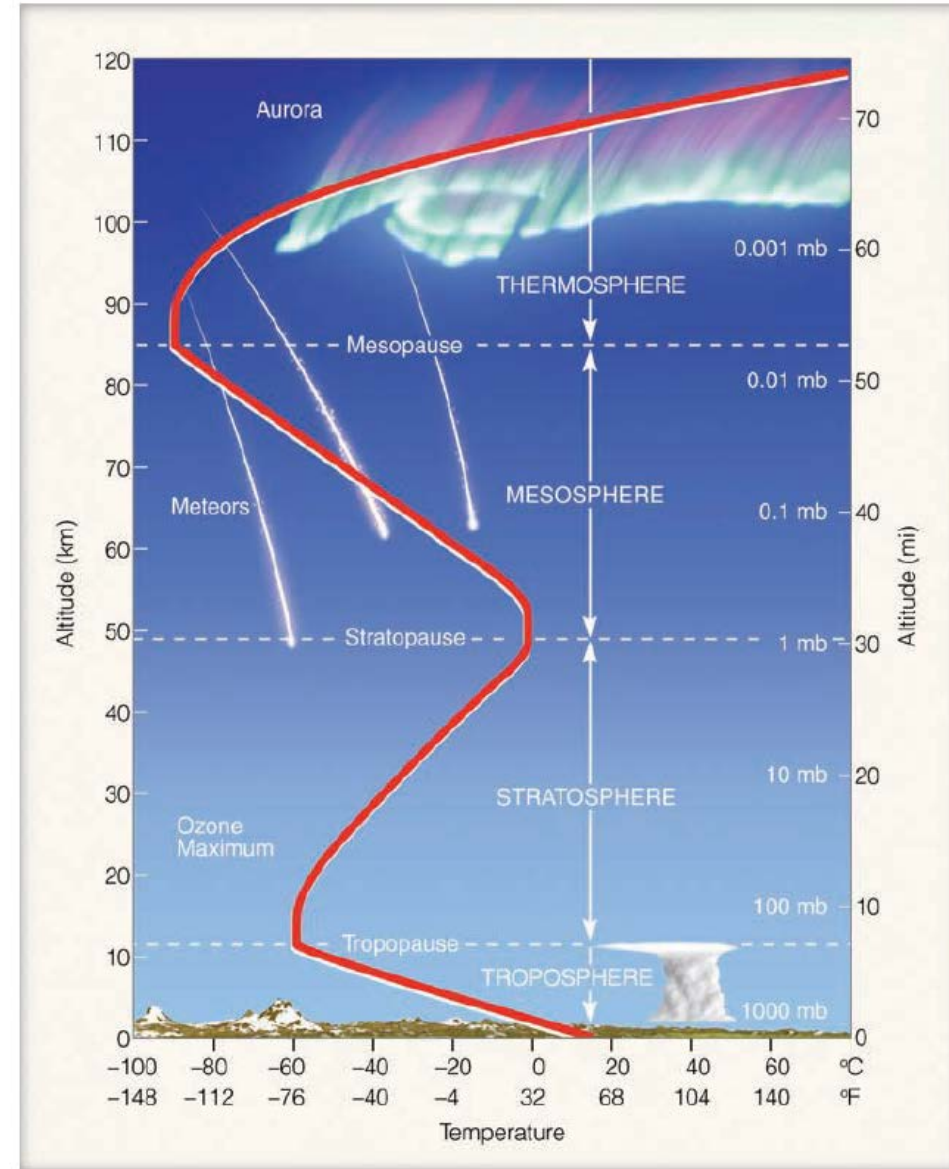
Κατακόρυφη διαίρεση της ατμόσφαιρας με βάση τη θερμοκρασία

✓ Μεσόσφαιρα

- Δυνάμεις βαρύτητας και πίεσης
- Μείωση θερμοκρασίας λόγω απουσίας όζοντος
- Μεσόπαυση

✓ Θερμόσφαιρα

- Συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας που μπορεί να φτάσει στα 1000K
- Θερμόπαυση



Πρότυπη ατμόσφαιρα

- ✓ Ατμόσφαιρα απόλυτα ξηρή
- ✓ Σταθερή σύσταση
- ✓ Συμπεριφέρεται σαν ιδανικό αέριο
- ✓ Στη μέση στάθμη θαλάσσης (Μ.Σ.Θ.) η θερμοκρασία είναι **15°C**, η πίεση **1013.25 hPa** (ή **29.92 in.Hg**) και η πυκνότητα **1.225 kg/m³**
- ✓ Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα στην τροπόσφαιρα (μέχρι 11km) είναι ίση με **6.5°C/ 1000 m (2°C/ 1000 πόδια)** από ύψος 11 km έως 20 km, η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με **-56.5°C**

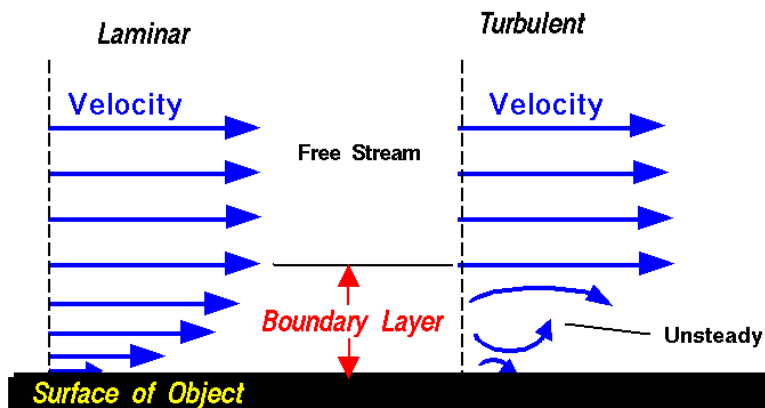


Ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα



Boundary Layer

Glenn
Research
Center



Velocity is zero at the surface (no - slip)



Boundary layer ως το κομμάτι της τροπόσφαιρας το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της γης και ανταποκρίνεται σε επιδράσεις της επιφάνειας με χρονική απόκριση μικρότερη από μία ώρα.



Το πάχος του οριακού στρώματος μεταβάλλεται τοπικά και χρονικά και κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Το τμήμα της ατμόσφαιρας πάνω από το οριακό στρώμα ονομάζεται ελεύθερη ατμόσφαιρα.



Χαρακτηριστική παράμετρος η οποία επηρεάζεται από την επιφάνεια του εδάφους είναι η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία κοντά στο έδαφος παρουσιάζει μία ημερήσια διακύμανση, η οποία οφείλεται στην απορρόφηση και εκπομπή από το έδαφος της ηλιακής ακτινοβολίας, και η οποία δεν παρατηρείται σε μεγαλύτερα ύψη. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται κυρίως με την τύρβη, η ύπαρξη της οποίας χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις για τον καθορισμό του ύψους του οριακού στρώματος.



Ορολογία

- ✓ Ισοβαρική επιφάνεια και ισοβαρείς
- ✓ Ισόθερμες
- ✓ Γεωδυναμικό και γεωδυναμικό ύψος

Γεωδυναμικό

- ✓ Το **γεωδυναμικό Φ** σε συγκεκριμένο ύψος στην ατμόσφαιρα ορίζεται ως η ενέργεια που θα πρέπει να καταναλωθεί για την ανύψωση της μοναδιαίας μάζα αέρα από τη μέση στάθμη θάλασσας μέχρι το ύψος αυτό. Δηλαδή το γεωδυναμικό είναι η δυναμική ενέργεια αέριας μάζας 1 kgf στο συγκεκριμένο ύψος. Οι μονάδες γεωδυναμικού είναι J kgf^{-1} ή m^2s^{-2} . Η δύναμη σε N που επιδρά σε αέρια μάζα 1 kgf σε ύψος z πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας είναι ίση με g . Η ενέργεια (Joule) που απαιτείται για την ανύψωση 1 kgf από z σε $z+dz$ είναι :

$$d\Phi \equiv g dz \rightarrow \Phi(z) = \int_0^z g dz$$

- ✓ Όπως και η δυναμική ενέργεια, το γεωδυναμικό σε συγκεκριμένο ύψος στην ατμόσφαιρα εξαρτάται μόνο από τη θέση και όχι από τη διαδρομή.
- ✓ Από τις σχέσεις παραπάνω προκύπτει :
- ✓ $d\Phi \equiv g dz = -\alpha dp$
- ✓ Ανάλογα ορίζεται το γεωδυναμικό ύψος H ως :
- ✓ $H \equiv \frac{\Phi(z)}{g_0} = \frac{1}{g_0} \int_0^z g dz$
- ✓ Όπου g_0 είναι η μέση τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης (9.81 m s^{-2}). Το γεωδυναμικό ύψος χρησιμοποιείται ως κατακόρυφη συντεταγμένη στις περισσότερες ατμοσφαιρικές εφαρμογές (μετεωρολογικοί χάρτες) στις οποίες η ενέργεια διαδραματίζει σημαντικό ρόλο (π.χ. μεγάλης και συνοπτικής κλίμακας ατμοσφαιρικές κινήσεις).



Καιρός και κλίμα

- ✓ Η πρόγνωση καιρικών φαινομένων απαιτεί κατανόηση των εξής παραμέτρων:
 - Θερμοκρασία αέρα
 - Υγρασία
 - Υετός και νέφωση
 - Πίεση
 - Άνεμος
 - Ορατότητα



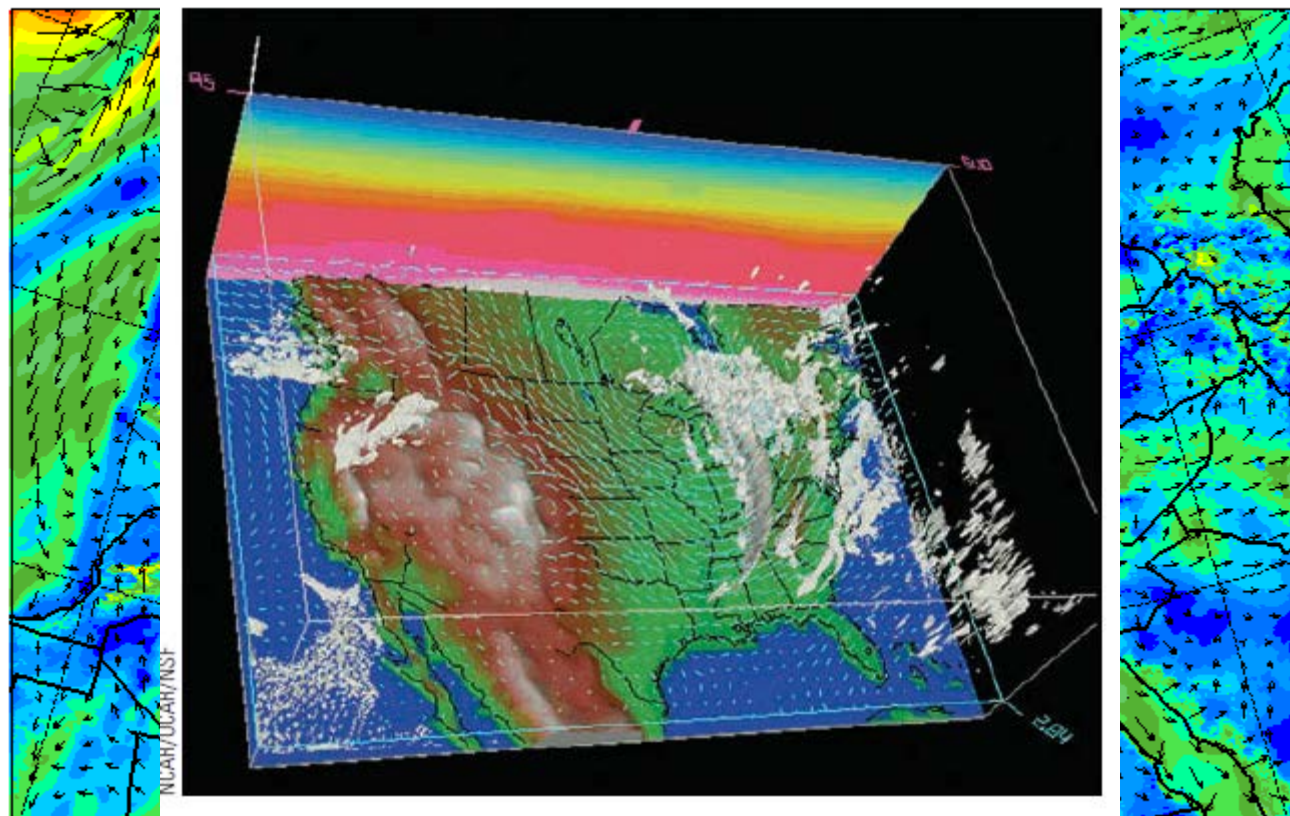
Ισοβαρική επιφάνεια

- ✓ Ως ισοβαρική επιφάνεια ορίζεται κάθε επιφάνεια που έχει την ίδια πίεση. Είναι η επιφάνεια που ενώνει σημεία ίδιας πίεσης. Σε περιοχές χαμηλής πίεσης η ισοβαρική επιφάνεια είναι κοντά στο έδαφος.
- ✓ Δεν υπάρχει περίπτωση δύο ισοβαρικές επιφάνειες να τέμνονται. Μπορούν όμως να τέμνονται με το έδαφος.
- ✓ Στην πρόγνωση καιρού χρησιμοποιούνται ισοβαρικές επιφάνειες στις οποίες χαράσσονται ισοϋψείς, και ισοβαρείς καμπύλες οι καμπύλες με την ίδια πίεση κατά το μήκος τους. Οι ισοβαρείς καμπύλες αντιπροσωπεύουν τις παραλλαγές της οριζόντιας πίεσης σε αυτό το υψόμετρο.



University of Athens (AM&WFG)
Winds (10 knots)

SKIRON NonHydrostatic
T: 15.00.11 at 12 UTC



0. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18.

Windspeed
(10 knots)