



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

Σχολεία Εφαρμογής Πειραματικών Προγραμμάτων Εκπαίδευσης (ΣΕΠΠΕ)



Δέσποινας Δεληγιώργη και Ιωάννη Καλόγηρου

## Η ατμόσφαιρα της Γης



ΑΘΗΝΑ 1999

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θεωρητικό μέρος που παρουσιάζεται στη συνέχεια στοχεύει στην εισαγωγή των μαθητών στον τομέα της Φυσικής της Ατμόσφαιρας της Γης. Στην πρώτη ενότητα δίνονται βασικά στοιχεία για την σύσταση της ατμόσφαιρας, ενώ στις τέσσερις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται ξεχωριστά βασικά ατμοσφαιρικά-μετεωρολογικά μεγέθη όπως η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία, η υγρασία και ο άνεμος. Σε κάθε μια από αυτές τις ενότητες δίνεται αρχικά ο ορισμός του αντίστοιχου ατμοσφαιρικού μεγέθους, παρουσιάζονται τρόποι και όργανα μέτρησής του και αναλύονται οι φυσικοί παράγοντες και μηχανισμοί που επιδρούν στην χωροχρονική κατανομή αυτού του μεγέθους. Στην τελευταία ενότητα, γίνεται η διάκριση μεταξύ κλίματος και καιρού και παρουσιάζεται εν συντομία η μεθοδολογία συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων και πρόγνωσης του καιρού και του κλίματος. Επιπλέον, στο τέλος κάθε ενότητας αναφέρονται ενδιαφέροντα σχετικά θέματα που θα μπορούσαν οι μαθητές να ερευνήσουν (για παράδειγμα ψάχνοντας σε βιβλιοθήκες) ώστε να διευρύνουν τις γνώσεις του για την Ατμόσφαιρα της Γης που παρουσιάζονται εδώ.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| <b>A. Σύσταση της Ατμόσφαιρας</b> .....                                   | 1  |
| <b>B. Ατμοσφαιρική Πίεση</b> .....  | 2  |
| <b>Γ. Θερμοκρασία του Αέρα-<br/>Κατακόρυφη Δομή της Ατμόσφαιρας</b> ..... | 5  |
| <b>Δ. Υγρασία-Σύννεφα-Κατακρημνίσματα</b> .....                           | 9  |
| Δ.1 Υγρασία .....   | 9  |
| Δ.2 Σύννεφα.....  | 12 |
| Δ.3 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα .....                                    | 17 |
| <b>Ε. Άνεμος</b> .....  | 20 |
| Ε.1 Κλίμακες συστημάτων ανέμων-Γενική κυκλοφορία.....                     | 22 |
| Ε.2 Συνοπτική κυκλοφορία .....  | 24 |
| Ε.3 Τοπικοί άνεμοι.....   | 26 |
| <b>ΣΤ. Καιρός και Κλίμα</b> .....   | 28 |
| <b>Βιβλιογραφία</b> .....   | 31 |

## A. Σύσταση της Ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα είναι ένα μίγμα αερίων που συγκρατούνται κοντά στη Γη λόγω της βαρύτητας. Η ατμόσφαιρα μας παρέχει το οξυγόνο και τις κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες που είναι απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή, ενώ από τη άλλη πλευρά μας επιτρέπει να επικοινωνούμε με τους ήχους ή να ταξιδεύουμε με αεροπλάνα.

Η ατμόσφαιρα είναι κατά μέσο όρο ομοιογενής μέχρι το ύψος των 80-100km από την επιφάνεια της Γης (Ομοιόσφαιρα) εξαιτίας σημαντικής κατακόρυφης ανάμειξης. Εξαιρεση αποτελεί η περιεκτικότητά της σε υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα και όζον. Στον Πίνακα A.1 παρουσιάζεται η σύσταση του ξηρού αέρα (δηλαδή, τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας αν εξαιρέσουμε τους υδρατμούς).

**Πίνακας A.1** Η σύσταση του ξηρού αέρα.

|   | κατά όγκο (%)       | κατά μάζα (%)       |
|---|---------------------|---------------------|
| Άζωτο   | 78.1                | 75.5                |
| Οξυγόνο   | 21.0                | 23.1                |
| Αργό  | 0.93                | 1.28                |
| Διοξείδιο του άνθρακα   | 0.035 κατά μέσο όρο | 0.053 κατά μέσο όρο |
| Ίχνη Υδρογόνου, Νέου, Ηλίου, Κρυπτού, Ξένου, Όζοντος, Μεθανίου και Ραδόνιου |                     |                     |

Επίσης, η ατμόσφαιρα περιέχει μη αέρια συστατικά (σωματίδια) όπως σκόνη, καπνό, άλατα και συμπυκνωμένους υδρατμούς (σταγόνες) σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν σημαντικά. Η πυκνότητα του αέρα μειώνεται γρήγορα με το ύψος από την επιφάνεια της Γης σαν αποτέλεσμα της επίδρασης της βαρύτητας. Ουσιαστικά, το 99% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας περιέχεται μέχρι το ύψος των 40km από την επιφάνεια της Γης, ενώ όλοι οι υδρατμοί περιέχονται στα πρώτα 15km.

Η σύσταση της ατμόσφαιρας δεν είναι χρονικά σταθερή αλλά βρίσκεται σε μία δυναμική κατάσταση εξαιτίας της βιολογικής και γεωλογικής αλληλεπίδρασης με τη Γη και χημικών αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών της. Είναι γενικά αποδεκτό σύμφωνα με τις μετρήσεις των τελευταίων τριάντα ετών ότι η μέση ατμοσφαιρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα αυξάνει με σημαντικό ρυθμό ενώ η

συγκέντρωση του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα στο στρώμα των 15 με 40km από την επιφάνεια της Γης μειώνεται. Αυτές οι μεταβολές οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (έκλυση σε σημαντικές ποσότητες διάφορων αερίων). Αν συνεχιστούν θα έχουν σημαντική συνέπεια στη λεπτή χημική ισορροπία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα και, επομένως, στις θερμοκρασιακές συνθήκες στη Γη (φαινόμενο 'θερμοκηπίου'-αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και 'τρύπα' του όζοντος-αύξηση της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας του Ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της Γης). Για αυτό το λόγο γίνονται προσπάθειες παγκοσμίως για τον περιορισμό των δραστηριοτήτων που προκαλούν αυτές τις μεταβολές.

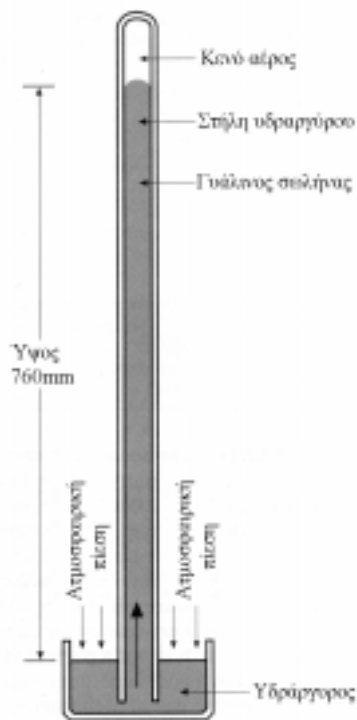
### **Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα**

1. Ηλιακή ακτινοβολία, η πηγή της και η φασματική της ανάλυση.
2. Που οφείλεται το μπλε χρώμα του ουρανού στο μέσον της ημέρας και το κόκκινο χρώμα του κατά τη δύση του ηλίου;
3. Γιατί ο υγρός αέρας (δηλαδή ο αέρας που περιέχει υδρατμούς) είναι ελαφρύτερος από τον ξηρό;
4. Αιτίες των φαινομένων του 'θερμοκηπίου' και της 'τρύπας' του όζοντος.

## **B. Ατμοσφαιρική Πίεση**

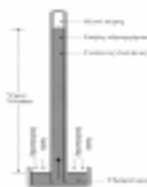
Η ατμοσφαιρική πίεση-για την ακρίβεια *βαρομετρική πίεση*-σε ένα σημείο της ατμόσφαιρας οφείλεται απλά στο βάρος του υπερκείμενου αέρα ανά μονάδα επιφάνειας και εκφράζεται σε mb (millibar) ή ισοδύναμα σε hPa (hectoPascal) που αντιστοιχεί σε βάρος αέρα 10kg που ασκείται πάνω σε επιφάνεια 1m<sup>2</sup>. Η πίεση αυτή εξασκείται προς όλες τις διευθύνσεις σε κάθε σημείο και όχι μόνο στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η ατμοσφαιρική πίεση εξαρτάται από την πυκνότητα του υπερκείμενου αέρα η οποία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Τυπική τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (μηδενικό υψόμετρο) είναι 1013hPa και η περιοχή τιμών που έχουν παρατηρηθεί είναι 870 με 1085hPa. Η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται γρήγορα με το ύψος με τυπικές τιμές 900hPa στο 1km, 500hPa στα 5.5km και 200hPa στα 12km.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ένα συνηθισμένο και απλό όργανο είναι το υδραργυρικό βαρόμετρο (*Εικόνα Β.1*) όπου η ατμοσφαιρική πίεση εξισορροπείται από την πίεση που ασκεί μία στήλη υδραργύρου με ύψος ανάλογο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο υδράργυρος είναι 13.6 φορές βαρύτερος από τον αέρα και, έτσι, μία στήλη υδραργύρου ύψους περίπου 760mm μόνο αρκεί για να εξισορροπήσει την ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας. Ένα άλλο, πιο σύγχρονο όργανο μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι το ανεροειδές (δηλαδή χωρίς υγρό) βαρόμετρο που μπορεί να μετρήσει αρκετά μικρές μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης (μέχρι 0.1-0.3hPa). Σε αυτό το όργανο, η μικρή παραμόρφωση ενός σχεδόν κενού αεροστεγούς μεταλλικού κυλίνδρου από την ατμοσφαιρική πίεση ενισχύεται μέσω ενός συστήματος μοχλών και υποδεικνύεται πάνω σε βαθμονομημένη κλίμακα από ένα δείκτη. Τα πιο σύγχρονα και πολύ ευαίσθητα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (δηλαδή τη δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων σε κρυσταλλικά σώματα που βρίσκονται υπό εξωτερική πίεση).

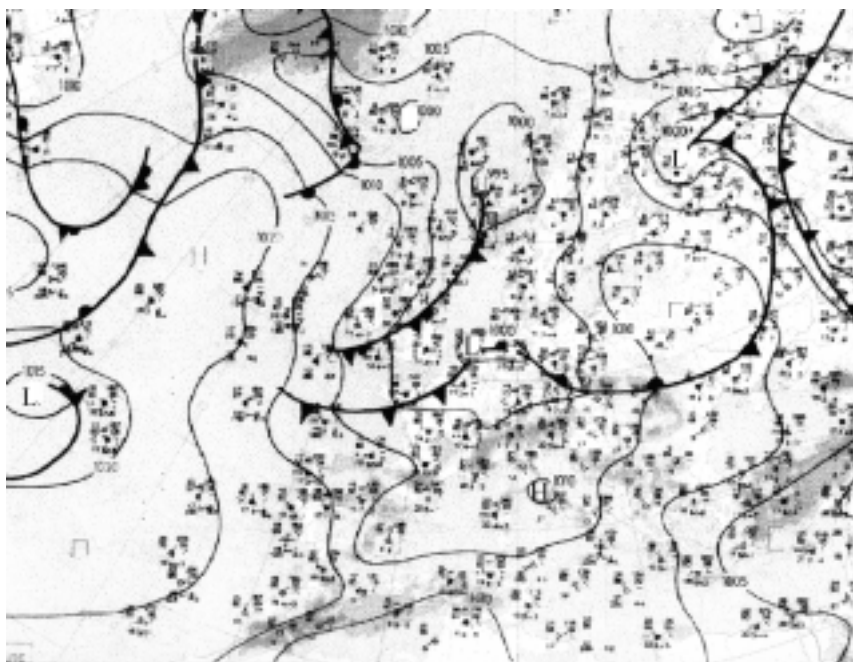


**Εικόνα Β.1** Ένα υδραργυρικό βαρόμετρο, όπου η ατμοσφαιρική πίεση εξισορροπείται από την πίεση που ασκεί η στήλη του υδραργύρου.

Οι οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή η ύπαρξη περιοχών με χαμηλή ή υψηλή πίεση σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές, προκαλούνται από την ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης, και επομένως και του αέρα που βρίσκεται κοντά σε αυτή, από τον Ήλιο λόγω της κατανομής ξηράς και θάλασσας. Αυτές οι χωρικές μεταβολές έχουν σαν συνέπεια την κίνηση του αέρα (άνεμος). Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης στο οριζόντιο επίπεδο αντιστοιχεί στη *δύναμη βαροβαθμίδας* που είναι από τις σημαντικότερες δυνάμεις που διέπουν την κίνηση του αέρα. Τα 'κέντρα' χαμηλής ή υψηλής πίεσης είναι γνωστά σαν *χαμηλά και υψηλά βαρομετρικά*, αντίστοιχα, και η μετακίνησή τους είναι συνδεδεμένη άμεσα με τις μεταβολές του καιρού σε ένα τόπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι πολύ μικρότερες από τις κατακόρυφες όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Η *Εικόνα Β.2* δείχνει ένα μετεωρολογικό χάρτη 'επιφανείας' όπου φαίνονται χαμηλά (X) και υψηλά (Y) βαρομετρικά συστήματα. Οι καμπύλες (*ισοβαρείς*) συνδέουν σημεία ίδιας βαρομετρικής πίεσης ανηγμένης σε *κανονικές συνθήκες (επιφανειακή πίεση)*, ώστε να είναι συγκρίσιμες οι μετρήσεις στα διάφορα σημεία (δηλαδή να εξαλειφθεί η επίδραση του υψομέτρου).



INCLUDEPICTURE "figb2t.pcx" \\* MERGEFORMAT \d



Κανονικές συνθήκες θεωρούνται μηδενικό υψόμετρο (μέσο επίπεδο επιφάνειας της θάλασσας), η βαρύτητα σε γεωγραφικό πλάτος  $45^\circ$  και θερμοκρασία αέρα  $0^\circ\text{C}$ .

Ακόμα μικρότερες μεταβολές (λιγότερο από  $5\text{hPa}$ ) της ατμοσφαιρικής πίεσης από αυτές που προκαλούν τα συστήματα καιρού είναι οι χρονικές μεταβολές στο χρονικό διάστημα μιας ημέρας οι οποίες είναι σχεδόν περιοδικές. Μία από αυτές, που έχει περίοδο μισής ημέρας (12 ώρες), είναι ανάλογη με τις παλίρροιες στη θάλασσα και οφείλεται στην βαρυτική επίδραση του Ήλιου στην ατμόσφαιρα. Η επόμενη σημαντική ημερήσια μεταβολή έχει περίοδο μιας ημέρας (24 ώρες) και οφείλεται στη διαφορετική θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας.

### **Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα**

1. Επιπτώσεις της μεταβολής της πίεσης με το ύψος σε φυσικά φαινόμενα (όπως μεταβολή του σημείου βρασμού του νερού) και στο ανθρώπινο σώμα (όπως επιπτώσεις στην ακοή και την αναπνοή).
2. Δυνατότητα προσδιορισμού του ύψους από την επιφάνεια της θάλασσας μετρώντας την ατμοσφαιρική πίεση και πιθανές χρήσεις του (όργανο μέτρησης υψομέτρου-αλτίμετρο).
3. Επίδραση της μεταβολής της βαρύτητας (με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο) και της θερμοκρασίας στο ύψος της στήλης υδραργύρου στο υδραργυρικό βαρόμετρο για δεδομένη ατμοσφαιρική πίεση.

## **Γ. Θερμοκρασία του Αέρα-Κατακόρυφη Δομή της Ατμόσφαιρας**

Η *θερμοκρασία* είναι ένα μέτρο της πυκνότητας ενός είδους ενέργειας που ονομάζεται αισθητή θερμότητα και με τη σειρά της είναι ένα μέτρο της έντασης της σχετικής κίνησης των μορίων ενός σώματος. Έχει αυτό το όνομα γιατί γίνεται άμεσα αισθητή με την επαφή από τον άνθρωπο ή ένα θερμόμετρο. Η αισθητή θερμότητα είναι ένα μέτρο της έντασης της σχετικής κίνησης των μορίων του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει (ο αέρας στην περίπτωση μας). Η αισθητή θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί-και επομένως να μεταβληθεί η θερμοκρασία του αέρα-με αγωγή (δηλαδή με επαφή), όπως μέσα από το τζάμι ενός παραθύρου, με ακτινοβολία, όπως είναι το



φως του ήλιου ή η υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους, με οριζόντια μεταφορά από τον άνεμο, όπως η θαλάσσια αύρα που δροσίζει μία παράκτια περιοχή, και με κατακόρυφη μεταφορά, όπως ο καπνός που ανεβαίνει από μία φωτιά. Η πηγή της αισθητής θερμότητας στην ατμόσφαιρα είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η πιο γνωστή κλίμακα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Άλλες κλίμακες μέτρησης της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Kelvin  $^{\circ}\text{K}$  και η κλίμακα Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Η κλίμακα Kelvin προκύπτει από τη κλίμακα Celsius αν προστεθούν περίπου 273 βαθμοί (η θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{K}$  ή  $-273^{\circ}\text{C}$  ονομάζεται απόλυτο μηδέν και αντιστοιχεί σε ακινησία των μορίων του σώματος). Η κλίμακα Fahrenheit χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ και προκύπτει από τη κλίμακα Celsius αν αυτή πολλαπλασιαστεί με 1.8 και προστεθούν 32 βαθμοί.

Υπάρχουν πολλά είδη θερμομέτρων δηλαδή οργάνων που χρησιμοποιούνται για την επιτόπια μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα. Το πιο γνωστό και απλούστερο είναι το υδραργυρικό θερμομέτρο που χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος και βασίζεται στη διαστολή του υδραργύρου με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία ισορροπίας επιτυγχάνεται μετά από την επαφή του μικρού 'δοχείου' που περιέχει τον υδράργυρο με τον αέρα για χρονικό διάστημα μερικών λεπτών. Ένας διαφορετικός τύπος θερμομέτρου χρησιμοποιεί διμεταλλικό έλασμα, δηλαδή συγκόλληση δύο ταινιών από διαφορετικά μέταλλα με σημαντική διαφορά στο ρυθμό διαστολής τους με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Κάθε αλλαγή της θερμοκρασίας προκαλεί μεταβολή της καμπυλότητας του ελάσματος που γίνεται τελικά αντιληπτή από την κίνηση ενός δείκτη. Τα πιο συνηθισμένα σύγχρονα ηλεκτρικά θερμομέτρα που διαθέτουν αυξημένη ακρίβεια και ευαισθησία (της τάξεως των  $0.05^{\circ}\text{C}$ ) βασίζονται στη μεταβολή της αντίστασης λεπτού μεταλλικού αγωγού (συνήθως πλατίνα) στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

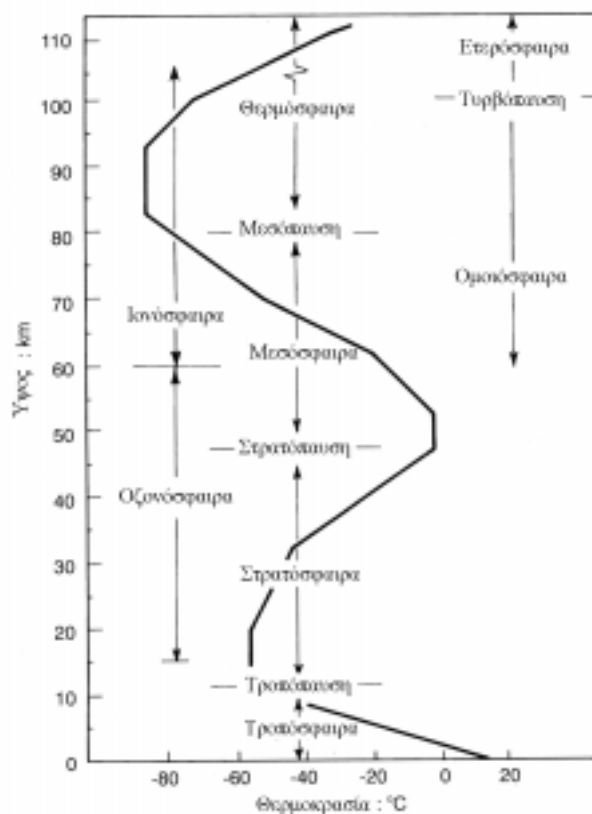
Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (τυπικά στο ύψος των 2m) παρουσιάζει μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά τη διάρκεια του έτους και από τόπο σε τόπο. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν αυτές τις μεταβολές είναι:

- το υψόμετρο του τόπου,
- η μεταφορά της θερμότητας από τον άνεμο,
- η απόσταση από τη θάλασσα,

- ο προσανατολισμός του εδάφους ως προς τον Ήλιο, που με τη σειρά του εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την ημέρα του έτους, την ώρα της ημέρας και το ανάγλυφο του εδάφους,
- η πιθανή κάλυψη του ουρανού από σύννεφα ,
- η υγρασία του εδάφους και η κάλυψή του από βλάστηση, νερό ή χιόνι, καθώς και ο βαθμός αστικοποίησης της περιοχής.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιδρούν σημαντικά στην ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ εδάφους και αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα δεν μειώνεται συνεχώς με το ύψος όπως συμβαίνει με την ατμοσφαιρική πίεση. Η εξάρτηση των διάφορων τρόπων μεταφοράς της θερμότητας από τη σύσταση της ατμόσφαιρας έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία στρωμάτων στην ατμόσφαιρα που το καθένα έχει διαφορετική κατακόρυφη *βαθμίδα θερμοκρασίας* δηλαδή ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος. Η *Εικόνα Γ.1* δείχνει την τυπική κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας (*τυπική ατμόσφαιρα*), δηλαδή



*Εικόνα Γ.1* Τυπικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων της θερμοκρασιακής δομής (κατατομή) της ατμόσφαιρας.

την μέση κατάσταση, αν και υπάρχουν σημαντικές μεταβολές με την εποχή και τον τόπο. Τα σημαντικότερα για τη Μετεωρολογία στρώματα της ατμόσφαιρας είναι η *τροπόσφαιρα* και η *στρατόσφαιρα*.

Η τροπόσφαιρα βρίσκεται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια της Γης, περιέχει το 75% της ατμοσφαιρικής μάζας. Σε αυτό το στρώμα η θερμοκρασία μειώνεται κατά μέσο όρο 6.5°C ανά χιλιόμετρο, περιέχεται σχεδόν όλη η μάζα των υδρατμών της ατμόσφαιρας, η κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας είναι σημαντική και εξελίσσονται τα καιρικά φαινόμενα και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Το τμήμα της τροπόσφαιρας που βρίσκεται κοντύτερα στο έδαφος (μέχρι το ύψος των 1-2km) ονομάζεται *ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα*. Σε αυτό το στρώμα, η ανάμειξη του αέρα λόγω της κατακόρυφης μεταφοράς θερμότητας και της τριβής με το έδαφος είναι σημαντική και οι ημερήσιες μεταβολές της κατακόρυφης δομής του είναι έντονες. Η ημερήσια θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία ή η νυκτερινή ψύξη του λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας του έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει συνήθως όταν ο καιρός είναι αίθριος, μία μείωση ή αύξηση (*αναστροφή*) της θερμοκρασίας με το ύψος κοντά στο έδαφος, αντίστοιχα, αφού η άμεση απορρόφηση ακτινοβολίας από τον αέρα είναι σχετικά μικρή. Η κορυφή της τροπόσφαιρας (περίπου σε ύψος 12km στα μέσα γεωγραφικά πλάτη) όπου η θερμοκρασία αυξάνεται ή μένει σταθερή με το ύψος ονομάζεται *τροπόπαυση*. Η τροπόπαυση αποτελεί ουσιαστικά ένα καπάκι που απομονώνει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα.

Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από την τροπόπαυση μέχρι το ύψος των 50km περίπου. Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του στρώματος είναι ότι περιέχει το σημαντικό αέριο όζον (O<sub>3</sub>). Αυτό το αέριο αν και περιέχεται σε πολύ μικρές ποσότητες (με μέγιστο συγκέντρωσης στο ύψος των 25km) είναι σημαντικό για την ζωή στη Γη, επειδή έχει τη σημαντική ιδιότητα να απορροφά σε μεγάλο ποσοστό την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον έχει σαν συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος στην στρατόσφαιρα. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της στρατόσφαιρας είναι ότι οι περισσότεροι μετεωρίτες που συλλαμβάνονται από τη βαρύτητα της Γης καίγονται ολοκληρωτικά σε αυτό το στρώμα πριν φτάσουν στην επιφάνειά της.

### **Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα**

1. Τρόποι μεταφοράς της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, ηλιακή ακτινοβολία, υπέρυθη ακτινοβολία του εδάφους και αγωγή θερμότητας στο έδαφος ή τη θάλασσα.
2. Αιτίες δημιουργίας αστικής 'θερμικής νησίδας' (μεγαλύτερες θερμοκρασίες στην πόλη από τις γειτονικές αγροτικές περιοχές) ιδιαίτερα τις νύκτες χωρίς σημαντικά καιρικά φαινόμενα και με χαμηλό άνεμο (αίθριος καιρός).
3. Μεταβολή του ύψους της τροπόπαυσης με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος.

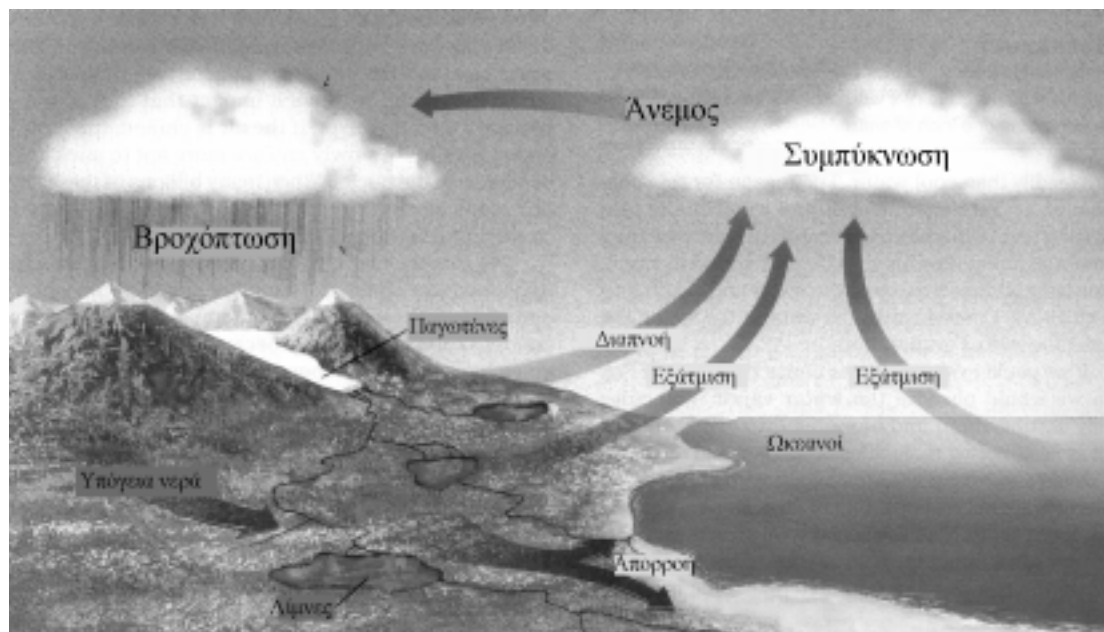
## **Δ. Υγρασία-Σύννεφα-Κατακρημνίσματα**

### *Δ.1 Υγρασία*

Το νερό υπάρχει στην ατμόσφαιρα και στις τρεις φάσεις του: υδρατμοί (αέρια φάση), σταγόνες (υγρή φάση) και χιόνι (πάγος, στερεά φάση). Η ενέργεια που απαιτείται ή εκλύεται κατά τη μετατροπή του νερού από τη μία φάση στην επόμενη είναι αρκετά σημαντική και ονομάζεται *λανθάνουσα θερμότητα* του αντίστοιχου φαινομένου. Για παράδειγμα, η ενέργεια που απαιτείται για τη μετατροπή του νερού από υγρό σε αέριο (εξάτμιση) είναι έξι φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για να θερμάνουμε το νερό από τους 0 στους 100°C. Το μέγεθος των ενεργειακών ποσών που εκλύονται ή απορροφώνται στις αλλαγές φάσης του νερού είναι ένας από τους κύριους λόγους που το νερό είναι το σημαντικότερο στοιχείο της σύστασης της ατμόσφαιρας έστω κι αν αποτελεί ελάχιστο μέρος της μάζας της (μόνο το 0.3-0.4% της μάζας της τροπόσφαιρας). Το συνολικό νερό που περιέχεται κάθε στιγμή στην ατμόσφαιρα αρκεί για να καλύψει την επιφάνεια της Γης με ένα στρώμα νερού πάχους 2.5cm περίπου.

Το νερό στην ατμόσφαιρα βρίσκεται σε μία διαρκή κατάσταση ανακύκλωσης. Το νερό προστίθεται συνεχώς στην ατμόσφαιρα με την εξάτμιση από τη θάλασσα, τις λίμνες και τα ποτάμια ή με την λειτουργία της διαπνοής των φυτών (*εξατμισοδιαπνοή*). Οι υδρατμοί δημιουργούν τα σύννεφα που μεταφέρονται από τον άνεμο και τελικά πέφτουν στο έδαφος σαν βροχή ή χιόνι (ένα μέρος του νερού που

επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης αποθηκεύεται στο χώμα). Αυτός ο κύκλος του νερού ονομάζεται *υδρολογικός κύκλος* (Εικόνα 4.1). Αξίζει να σημειωθεί ότι το συνολικό νερό που συμμετέχει σε αυτό τον κύκλο στη διάρκεια ενός έτους είναι περίπου 40 φορές περισσότερο από αυτό που περιέχεται κατά μέσο όρο κάθε στιγμή στην ατμόσφαιρα.



**Εικόνα 4.1** Συμβολικό σχήμα των ροών νερού στον υδρολογικό κύκλο.

Η υγρασία του αέρα (περιεκτικότητα σε υδρατμούς) εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Πρέπει να σημειώσουμε πρώτα ότι μία δεδομένη μάζα αέρα μπορεί να περιέχει μέχρι ένα ορισμένο ποσό μάζας υδρατμών το πολύ χωρίς να αρχίζει η επιπρόσθετη μάζα υδρατμών να συμπυκνώνεται σε σταγόνες. Το όριο αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα (αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία ή μειώνεται η πίεση του αέρα) ονομάζεται σημείο κόρου και το φαινόμενο *κορεσμός*. Για παράδειγμα, αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν συμπυκνώνονται υδρατμοί στον καθρέπτη του μπάνιου όταν τρέξει ζεστό νερό από το ντους. Οι πιο σημαντικές εκφράσεις της υγρασίας του αέρα είναι:

- η *απόλυτη υγρασία* που είναι η μάζα των υδρατμών που περιέχεται σε ένα δεδομένο όγκο αέρα (δηλαδή η πυκνότητα των υδρατμών, μονάδες  $\text{g/m}^3$ ),
- η *αναλογία μίγματος* των υδρατμών που είναι η μάζα των υδρατμών σε γραμμάρια που περιέχεται σε 1kg μάζας (μονάδες  $\text{g/kg}$ ),

- η *σχετική υγρασία* που είναι ο λόγος (επί τοις εκατό, %) της μάζας των υδρατμών που περιέχεται σε ένα δεδομένο όγκο αέρα προς τη μάζα που θα έπρεπε να περιείχε ο ίδιος όγκος αέρα για να ήταν κορεσμένος από υδρατμούς,
- η *θερμοκρασία δρόσου* που είναι η θερμοκρασία που θα πρέπει να ψυχθεί ο αέρας υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση ώστε να καταστεί κορεσμένος χωρίς την προσθήκη άλλων υδρατμών.

Από αυτές τις εκφράσεις της υγρασίας η πιο γνωστή είναι η σχετική υγρασία γιατί είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο τους ανθρώπους. Όμως, η πιο αντιπροσωπευτική έκφραση είναι η αναλογία μίγματος γιατί εκφράζει ακριβώς τη μάζα των υδρατμών που περιέχει ορισμένη μάζα αέρα και δεν εξαρτάται από άλλες παραμέτρους όπως η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία.

Η υγρασία του αέρα μπορεί να μετρηθεί με ένα *ψυχρόμετρο*. Το όργανο αυτό συνδυάζει δύο απλά θερμόμετρα (για παράδειγμα υδραργυρικά), το ένα εκ των οποίων είναι ένα απλό θερμόμετρο (ξηρό θερμόμετρο) ενώ το άλλο έχει καλυμμένο το αισθητήριο τμήμα του, δηλαδή το δοχείο του υδραργύρου, με ένα υγρό ύφασμα ώστε να ψύχεται λόγω της εξάτμισης του νερού πάνω του (υγρό θερμόμετρο). Η θερμοκρασία που δείχνει αυτό το δεύτερο θερμόμετρο λέγεται *θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου*. Αυτή η θερμοκρασία εξαρτάται από την υγρασία του αέρα που θέλουμε να υπολογίσουμε, τη θερμοκρασία του αέρα που μας δίνει το κανονικό θερμόμετρο και την πίεση του αέρα που, αν δεν υπάρχει όργανο μέτρησής της, μπορεί να θεωρηθεί περίπου ίση με 1000hPa εισάγοντας μικρό σφάλμα στον υπολογισμό της υγρασίας. Έτσι, με γνωστά τα υπόλοιπα μεγέθη μπορούμε να υπολογίσουμε την υγρασία του αέρα. Στη θέση των υδραργυρικών θερμομέτρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν σύγχρονα ηλεκτρικά θερμόμετρα. Άλλα σύγχρονα όργανα επιτόπιας μέτρησης της υγρασίας χρησιμοποιούν την ιδιότητα ορισμένων υλικών, που λέγονται υγροσκοπικά (δηλαδή απορροφούν το νερό, όπως το χλωριούχο λίθιο), να μεταβάλλουν τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες όπως είναι η αντίσταση στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος ή η διηλεκτρική τους σταθερά (δηλαδή η ικανότητα πόλωσης όταν βρεθούν σε ηλεκτρικό πεδίο, όπως στο εσωτερικό ενός πυκνωτή).

Η υγρασία του αέρα είναι ένα ευμετάβλητο μέγεθος τόσο χρονικά όσο και χωρικά σύμφωνα με το ισοζύγιο υγρασίας των διαφόρων συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου. Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η

υγρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης (δηλαδή στο τυπικό ύψος μέτρησης των 2m) είναι:

- το γεωγραφικό πλάτος,
- η προσέγγιση στη θάλασσα,
- το υψόμετρο,
- η εποχή, η ώρα της ημέρας (μεταφορά της υγρασίας με τον άνεμο, συμπύκνωση λόγω χαμηλής θερμοκρασίας, εξάτμιση λόγω θέρμανσης υγρών επιφανειών από την ηλιακή ακτινοβολία) και
- η αστικοποίηση της περιοχής,

σαν συνέπεια της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του τόπου ή της δυνατότητας προσθήκης υγρασίας που συνεπάγεται κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες. Η υγρασία γενικά μειώνεται γρήγορα με το ύψος καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα και περιορίζεται η ικανότητα κατακόρυφης ανάμειξης της ατμόσφαιρας.

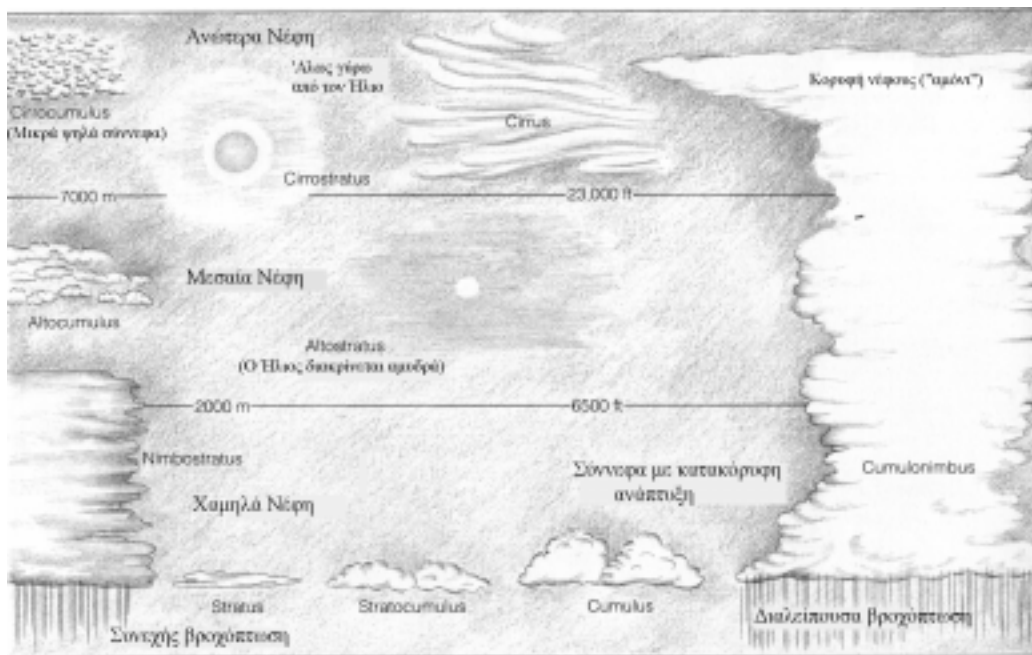
## Δ.2 Σύννεφα

Τα σύννεφα είναι η δυναμική εκδήλωση φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και αποτελούνται από μικροσκοπικά σωματίδια πάγου ή σταγόνες νερού, τόσο μικρά και ελαφρά ώστε ακόμα και η τυχαία κίνηση των μορίων του αέρα τα εμποδίζει να πέσουν στο έδαφος. Αυτά τα σωματίδια προκαλούνται από τη συμπύκνωση των υδρατμών λόγω ψύξης του αέρα. Η ψύξη μιας αέριας μάζας μπορεί να προκληθεί λόγω ανάμειξης με ψυχρότερο αέρα, ακτινοβολίας του εδάφους τις νυκτερινές ώρες, ροής πάνω ψυχρό έδαφος ή ανοδικής κίνησης της αέριας μάζας. Η τελευταία αιτία είναι η πιο συνηθισμένη και είναι ο μόνος τρόπος για να προκληθεί βροχή (οι άλλες αιτίες έχουν σαν αποτέλεσμα την ομίχλη). Η άνοδος μιας αέριας μάζας σημαίνει εκτόνωσή της (δηλαδή διαστολή) επειδή η πίεση μειώνεται με το ύψος, όπως διαστέλλεται ένα μπαλόνι που περιέχει αέριο ήλιο και αφήνεται ελεύθερο να ανέβει στην ατμόσφαιρα. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η εκτόνωση καταναλώνεται ενέργεια μειώνοντας τελικά τη θερμοκρασία της αέριας μάζας (δηλαδή τη θερμική της ενέργεια). Το αντίθετο συμβαίνει όταν η αέρια μάζα κατεβαίνει για οποιοδήποτε λόγο και, επομένως, συμπιέζεται. Όταν η αέρια μάζα που ανεβαίνει φτάσει στο σημείο κορεσμού (αυτό απαιτεί να έχει ήδη σημαντική περιεκτικότητα σε υδρατμούς), σχηματίζονται μικροσκοπικές σταγόνες πάνω στα

στερεά σωματίδια (όπως σκόνη, καπνός ή άλατα) που περιέχονται έστω και σε πολύ μικρές ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα σωματίδια αποτελούν *πυρήνες συμπύκνωσης* και αν δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα θα χρειαζόταν στην πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερη υγρασία από ότι στο θεωρητικό σημείο κόρου για να σχηματιστούν σταγόνες.

Ο τύπος (μορφή, οριζόντια και κατακόρυφη έκταση) της νέφωσης εξαρτάται από το μηχανισμό που προκάλεσε την άνοδο της αέριας μάζας. Όταν η ανοδική κίνηση οφείλεται σε κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας τα σύννεφα μοιάζουν με τούφες (σωροί) από βαμβάκι, το όνομά τους περιέχει το Λατινικό συνθετικό *cumulus*, είναι διάσπαρτα στον ουρανό και εκτείνονται κατακόρυφα. Σε αυτή την περίπτωση, θερμός αέρας βρίσκεται χαμηλότερα από ψυχρότερο και αναγκάζεται να ανέβει όπως συμβαίνει με ένα αερόστατο που περιέχει θερμό αέρα. Το ίδιο συμβαίνει όταν υγρός αέρας βρίσκεται χαμηλότερα από ξηρότερο αέρα. Και στις δύο περιπτώσεις ελαφρύτερος αέρας βρίσκεται χαμηλότερα από βαρύτερο (*αστάθεια*). Τα σύννεφα έχουν μορφή οριζόντιων στρωμάτων που καλύπτουν σχεδόν σημαντικό μέρος του ουρανού όταν α) το αίτιο της ανοδικής κίνησης είναι σύγκλιση ανέμων, όπως συμβαίνει σε ένα κέντρο χαμηλής πίεσης (χαμηλό βαρομετρικό), ή β) εμποδίζεται η οριζόντια κίνηση του αέρα από μία οροσειρά ή από ψυχρότερο (και επομένως βαρύτερο) αέρα. Το όνομα αυτού του τύπου νεφών περιέχει το Λατινικό συνθετικό *stratus*. Ανάλογα με το ύψος που βρίσκεται η βάση των νεφών προστίθεται ένα πρόθεμα στο όνομά τους: α) κάτω από 2km δεν χρειάζεται πρόθεμα, β) από 2km μέχρι 7km το πρόθεμα είναι *altus* και γ) για σύννεφα που βρίσκονται ψηλότερα το πρόθεμα είναι *cirrus* και μοιάζουν με δεμάτια από άχυρο (ινώδης μορφή) και περιέχουν παγοκρυστάλλους. Ένα επιπλέον συνθετικό που μπορεί να υπάρχει στο όνομα ενός τύπου νεφών είναι το *nimbus* και χαρακτηρίζει τα σύννεφα με σκούρο χρώμα τα οποία φέρνουν σημαντική βροχή. Η *Εικόνα 4.2* δείχνει σχηματικά τους σημαντικότερους τύπους νεφών και την κατακόρυφη ανάπτυξή τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι μέσα στα σύννεφα αλλά και ανάμεσά τους μπορεί να υπάρχουν ανοδικά ή καθοδικά ρεύματα που μερικές φορές είναι ιδιαίτερα έντονα, όπως στην περίπτωση των νεφών *cumulonimbus* που οδηγούν σε καταιγίδες.





**Εικόνα 4.2** Γραφική απεικόνιση των σημαντικότερων νεφών.

Κλασικός τρόπος παρατήρησης των νεφών είναι από παρατηρητές στο έδαφος, αλλά σήμερα οι δορυφόροι παρέχουν μία συνεχή και λεπτομερή από απόσταση περιγραφή της νέφωσης. Οι *Εικόνες 4.3* είναι χαρακτηριστικές φωτογραφίες τύπων νεφών.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος της νέφωσης είναι το ποσοστό κάλυψης του ουρανού από τα σύννεφα που έχει άμεση επίπτωση στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη επιφάνεια της Γης και την υπέρυθη ακτινοβολία του εδάφους που μπορεί να 'δραπετεύσει' προς το διάστημα. Το πιο συνηθισμένο σύστημα καταγραφής της *νεφοκάλυψης* είναι σε όγδοα. Έτσι, μηδέν όγδοα σημαίνει τελείως καθαρός ουρανός και 8 όγδοα σημαίνει ότι ο ουρανός είναι πλήρως καλυμμένος από σύννεφα. Η παρατήρηση της κίνησης των νεφών μπορεί, επίσης, να μας δώσει μία ένδειξη της έντασης του ανέμου που επικρατεί σε διάφορα ύψη και τα μεταφέρει.

*Ανώτερα νέφη*



**Cirrus (Ci):** λεπτά και λευκά σύννεφα με ινώδη μορφή.



**Cirrostratus (Cs):** διάχυτο στρώμα (διακρίνουμε τον Ήλιο ή τη Σελήνη), μία καλή ένδειξη ότι πλησιάζει καταιγίδα.



**Cirrocumulus (Cc):** τα σύννεφα μοιάζουν με κυματώσεις στην άμμο.

*Μεσαία νέφη*



**Altostratus (As):** γκριζα και πιο πυκνά από τα Cs, αλλά μπορούμε ακόμα να διακρίνουμε τον Ήλιο.



**Altocumulus (Ac):** γκριζα και πιο πυκνά από τα Cc, πιθανότητα καταιγίδας.

**Εικόνες 4.3** Παραδείγματα διαφόρων τύπων νεφών.

### Χαμηλά νέφη



**Stratus (St):** γκριζα σύννεφα με ομοιόμορφη εμφάνιση που καλύπτουν τον ουρανό, μικρή πιθανότητα βροχής.



**Stratocumulus (Sc):** στρώμα νέφωσης με ακανόνιστες, μεταβλητές μάζες νεφών σαν βαμβάκι στη βάση τους, σημαντική πιθανότητα βροχής.



**Nimbostratus (Ns):** σκοτεινά σύννεφα, με διάχυτη μορφή στη βάση τους που υποδηλώνει βροχή, καλύπτουν τον ουρανό και φέρνουν βροχή ή χιόνι.



**Cumulus (Cu):** διάσπαρτα μικρά σύννεφα με περιορισμένη κατακόρυφη έκταση, συνδέονται με καλό καιρό, χωρίς βροχόπτωση.



**Cumulonimbus (Cb) ή σωρειτομελανίες:** σύννεφα με μεγάλη κατακόρυφη έκταση (μπορεί να φτάσουν μέχρι την τροπόπαυση), σκοτεινό χρώμα στη βάση τους, με καλά ορισμένα πλευρικά όρια και συχνά ένα χαρακτηριστικό σχήμα στην κορυφή τους που μοιάζει με αμόνι, συνδέονται με έντονες καταιγίδες.

*Εικόνες 4.3* Παραδείγματα διαφόρων τύπων νεφών (συνέχεια).

### Δ.3 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Ο όρος ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καλύπτει μία ευρεία περιοχή φαινομένων από την ψιχάλα μέχρι το χαλάζι που είναι αποτέλεσμα των διαδικασιών που συμβαίνουν στα σύννεφα. Ο Πίνακας Δ.1 δείχνει τους διάφορους τύπους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τα χαρακτηριστικά τους.

**Πίνακας Δ.1** Τύποι ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τα χαρακτηριστικά τους.

|           | <b>χαρακτηριστικά</b>  | <b>τύπος νέφωσης που τα προκαλεί</b> |
|-----------|--|--------------------------------------|
| Ψιχάλα    | σταγόνες νερού διαμέτρου 0.1-0.4 mm  | St, Sc                               |
| Βροχή     | σταγόνες νερού διαμέτρου 0.5-4.0 mm  | Ns, As, Sc, Ac                       |
| Χιόνι     | χαλαρά συνδεδεμένα σύνολα μικρών παγοκρυστάλλων (νιφάδες), μικρό μέγεθος σε χαμηλή θερμοκρασία, μεγαλύτερο μέγεθος κοντά στους 0°C | Ns, As, Sc, Cb                       |
| Χιονόνερο | εν μέρει λιωμένες νιφάδες χιονιού, ή βροχή και χιόνι μαζί  | Ns, As, Sc, Cb                       |
| Χαλάζι    | κελύφη πάγου δημιουργούν σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερα από 5mm σαν κρεμμύδι   | Cb                                   |

Τα σύννεφα που μπορεί να δώσουν κατακρημνίσματα προέρχονται από ανοδικές κινήσεις αερίων μαζών. Αυτή η άνοδος μπορεί να είναι γρήγορη, όπως στα σύννεφα κατακόρυφης μεταφοράς, με αποτέλεσμα δυνατή βροχή, ή μπορεί να είναι αργή, όπως στα σύννεφα με μορφή στρώματος, που δίνουν ασθενή βροχή ή ψιχάλα. Μερικά σύννεφα βροχής είναι 'θερμά', δηλαδή παντού μέσα τους η θερμοκρασία είναι πάνω από το σημείο πήξης του νερού. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα μικρά γεωγραφικά πλάτη. Συνήθως, όμως, στο πάνω μέρος των νεφών η θερμοκρασία είναι μικρότερη του μηδενός και περιέχουν μικρούς παγοκρυστάλλους μαζί με σταγόνες νερού που δεν έχουν παγώσει ('ψυχρά' σύννεφα). Αυτό οφείλεται στην έλλειψη στην ατμόσφαιρα αρκετών σωματιδίων όπου μπορούν να αναπτυχθούν οι παγοκρυστάλλοι (κάτι παρόμοιο με τους πυρήνες συμπίκνωσης που αναφέρθηκαν στην ενότητα Δ.2.).

Μία σταγόνα βροχής ζυγίζει περίπου όσο ένα εκατομμύριο σταγόνες νέφους. Στα θερμά σύννεφα, μία σταγόνα βροχής είναι κυρίως αποτέλεσμα της συνένωσης σταγόνων νέφους πάνω της καθώς αυτή ακολουθεί τα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα

μέσα στο σύννεφο πριν γίνει αρκετά βαριά για να πέσει στην επιφάνεια της Γης. Στα ψυχρά σύννεφα, όμως, κυριαρχεί η ανάπτυξη νιφάδων χιονιού από συνένωση παγοκρυστάλλων, που το σχήμα τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, παρά από συνένωση σταγόνων βροχής. Σε αυτά τα σύννεφα η βροχή προέρχεται τελικά από παγοκρυστάλλους ή νιφάδες χιονιού που λιώνουν καθώς πέφτουν σε χαμηλότερα ύψη και συναντούν θερμοκρασίες του αέρα μεγαλύτερες από το σημείο πήξης του νερού, διαφορετικά πέφτουν σαν χιόνι.

Το χαλάζι προέρχεται από καταιγιδοφόρα σύννεφα με μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη και πολύ έντονα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα αέρα μέσα σε αυτά. Σε αυτά τα σύννεφα οι παγοκρυστάλλοι ανεβοκατεβαίνουν πολλές φορές περνώντας από περιοχές με διαφορετική θερμοκρασία. Σε κάθε περιοχή προστίθεται στον παγοκρυστάλλο ένα στρώμα νερού λόγω συγκρούσεων με σταγόνες νερού το οποίο στη συνέχεια παγώνει δίνοντας στο χαλάζι τη μορφή φλοιών κρεμμυδιού. Όταν ο χαλαζόκοκκος γίνει αρκετά βαρύς δεν μπορεί να συγκρατηθεί από τα ανοδικά ρεύματα στο σύννεφο και πέφτει στην επιφάνεια της Γης. Οι μεγάλοι χαλαζόκοκκοι είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι ακόμα και για τον άνθρωπο: μπορεί να έχουν το μέγεθος ακόμα και μιας μπάλας του τένις, βάρους 150gr και να πέφτουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από 100km/hr.

Η σημασία της βροχής είναι φανερή, για παράδειγμα για τα αποθέματα πόσιμου νερού ή την ανάπτυξη των γεωργικών καλλιεργειών. Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το κλίμα ενός τόπου. Το βροχόμετρο είναι το όργανο που χρησιμοποιείται συνήθως για την επιτόπια μέτρηση της βροχόπτωσης. Αποτελείται απλά από ένα κάδο με τυπική διάμετρο 200mm όπου συλλέγεται το νερό της βροχής. Η βροχόπτωση μετριέται με το ύψος του νερού που συλλέγεται στο δοχείο (συνήθως σε mm). Ο ρυθμός ή η ένταση της βροχής μετριέται ως ύψος βροχόπτωσης σε δεδομένο χρονικό διάστημα (συνήθως ώρα ή ημέρα). 'Ασθενής' βροχόπτωση αντιστοιχεί σε ένταση μέχρι 1mm/hr, 'έντονη' βροχόπτωση αντιστοιχεί σε ένταση μεγαλύτερη από 5mm/hr, ενώ μία καταιγίδα αντιστοιχεί σε μέγιστη ένταση 120mm/hr για μερικά λεπτά. Τα σύγχρονα βροχόμετρα δεν κρατούν όλο το νερό που συλλέγουν (και έτσι δεν γεμίζουν αλλά και ούτε εξατμίζεται το νερό μέσα σε αυτά) αλλά διαθέτουν μηχανισμό που όταν συμπληρωθεί μία ορισμένη ποσότητα (0,2-2mm βροχής) αδειάζουν και η ποσότητα αυτή καταγράφεται ενεργοποιώντας απλά ένα ηλεκτρονικό διακόπτη. Επίσης, για την από απόσταση μέτρηση της έντασης της

βροχής χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνητικά ραντάρ που καλύπτουν περιοχές αρκετών χιλιομέτρων και μπορούν να μας δώσουν μία αρκετά χρήσιμη πρόγνωση μερικών ωρών για το ενδεχόμενο προσέγγισης μιας έντονης καταιγίδας.

Η βροχόπτωση ποικίλει αρκετά τόσο χωρικά όσο και χρονικά ακόμα και από λεπτό σε λεπτό κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συνολική βροχόπτωση σε ένα έτος είναι παρόμοιοι με αυτούς που επηρεάζουν την υγρασία: το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο του τόπου, η απόσταση από τη θάλασσα, η αστικοποίηση της περιοχής. Η βροχόπτωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή και για το δικό μας κλίμα (μεσογειακό) παρουσιάζει μέγιστο το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι, αλλά αυτό δεν ισχύει για όλες τις περιοχές της Γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περιοχή της νότιοανατολικής Ασίας που έχει μέγιστο βροχόπτωσης τη θερμή περίοδο του έτους (Μουσώνες).

### **Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα**

1. Ιδιότητες του νερού (πυκνότητα στις διάφορες φάσεις του, *θερμοχωρητικότητα-ειδική θερμότητα*: θερμότητα που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά 1°C, λανθάνουσα θερμότητα, απορρόφηση ακτινοβολίας).
2. Το φαινόμενο του κορεσμού του αέρα από υδρατμούς.
3. Γιατί τα σύννεφα έχουν λευκό χρώμα;
4. Πώς δημιουργείται το ουράνιο τόξο μετά από μία βροχή;
5. Αιτίες της όξινης βροχής και οι συνέπειές της.
6. Τι δημιουργεί τους κεραυνούς σε μία καταιγίδα; Πώς μπορούμε να καταλάβουμε πόσο μακριά από εμάς έπεσε ένας κεραυνός χρησιμοποιώντας τη χρονική διαφορά μεταξύ αστραπής και βροντής;
7. Τεχνητή προσθήκη πυρήνων συμπύκνωσης στα καταιγιδοφόρα σύννεφα ('βομβαρδισμός' νεφών) για τον περιορισμό της πιθανότητας δημιουργίας χαλαζιού που είναι καταστρεπτικό ιδιαίτερα στη γεωργία.

## Ε. Άνεμος

Άνεμος είναι η συστηματική κίνηση του αέρα και προσδιορίζεται από την έντασή του (δηλαδή την ταχύτητά του) και την διεύθυνσή του. Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να κινηθεί και κατακόρυφα (ανοδικά και καθοδικά ρεύματα), αλλά σαν άνεμος θεωρείται μόνο η οριζόντια συνιστώσα της κίνησής του.

Η ταχύτητα του αέρα μετριέται συνήθως σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα (m/s). Όμως, ευρύτερα γνωστή είναι η κλίμακα *Beaufort* που χρησιμοποιείται για να προσδιορίζεται ποιότητα η ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την επίδρασή του στον κυματισμό της θάλασσας. Το 4 στην κλίμακα *Beaufort* αντιστοιχεί σε μέτρια αύρα (περίπου 4.5m/s), το 8 αντιστοιχεί σε θύελλα (περίπου 19m/s), ενώ το 12 αντιστοιχεί σε τυφώνα (περίπου 33m/s). Στη Μετεωρολογία διεύθυνση του ανέμου θεωρείται αυτή από την οποία φυσά ο άνεμος. Έτσι, βόρειος είναι ο άνεμος που φυσά από την διεύθυνση του Βορρά. Η διεύθυνση μετριέται σε μοίρες και οι 0 ή 360 μοίρες αντιστοιχούν στο βόρειο άνεμο. Συνηθίζεται, επίσης, ολόκληρη η περιοχή τιμών να χωρίζεται σε 8, 12 ή 16 ίσα διαστήματα που ονομάζονται τομείς διευθύνσεων. Έτσι, αν θεωρήσουμε 8 τομείς, ο βορειοδυτικός τομέας αντιστοιχεί στην περιοχή τιμών 292.5-337.5 μοίρες.

Για την επιτόπια μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται συνήθως κυπελλοφόρα ανεμόμετρα και οι ανεμοδείκτες (*Εικόνα Ε.1*) και βασίζονται στις αεροδυναμικές δυνάμεις (στην συγκεκριμένη περίπτωση στην αντίσταση) που ασκούνται σε ένα σώμα από τον άνεμο. Στην κατάσταση ισορροπίας τα κύπελλα περιστρέφονται γύρω από τον άξονα του ανεμομέτρου με γωνιακή ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου και ο ανεμοδείκτης προσανατολίζεται στην διεύθυνση του ανέμου. Μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές του ανέμου παρουσιάζει ένας άλλος τύπος ανεμομέτρου που χρησιμοποιεί ένα μικρό προπελάκι που βρίσκεται στο ίδιο στέλεχος με τον ανεμοδείκτη και προσανατολίζεται μαζί του στη διεύθυνση του ανέμου. Η δύναμη που αξιοποιεί το ανεμόμετρο σε αυτή την περίπτωση είναι η αεροδυναμική άνωση (άντωση) που είναι η ίδια δύναμη που επιτρέπει στα αεροπλάνα να πετούν και οφείλεται στο σχήμα των φτερών τους. Σύγχρονα ηλεκτρικά όργανα επιτόπιας μέτρησης του ανέμου παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία μέτρησης (της τάξεως των 0.05m/s), όπως τα ανεμόμετρα υπέρθερμου σύρματος που

βασίζονται στην εξάρτηση από τον άνεμο της μεταφοράς θερμότητας από ένα έντονα θερμαινόμενο μεταλλικό νήμα (συνήθως πλατίνα).

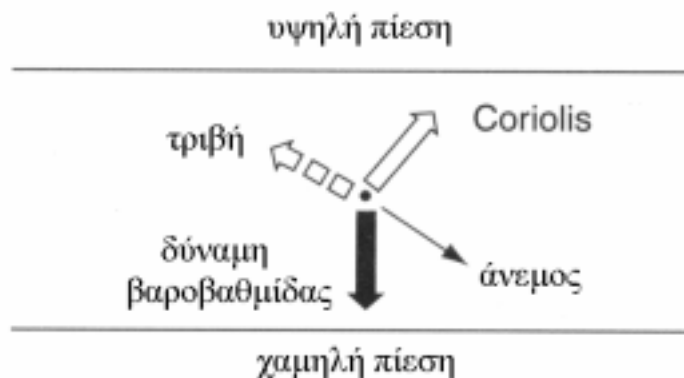


**Εικόνα E.1** Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης.

Η κινητήρια δύναμη του ανέμου, δηλαδή η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του αέρα, είναι η δύναμη της βαροβαθμίδας (χωρική μεταβολή της πίεσης). Στην κίνηση του αέρα αντιτίθεται η *δύναμη της τριβής* με το έδαφος. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της (πλήρης περιστροφή σε μία ημέρα) και κατά δεύτερο λόγο γύρω από τον Ήλιο (σε ένα έτος), πάνω σε οποιοδήποτε σώμα (στην προκειμένη περίπτωση στον αέρα) που κινείται ως προς την επιφάνεια της Γης ασκείται μία δύναμη που ονομάζεται *δύναμη Coriolis*. Για να γίνει αντιληπτή αυτή η δύναμη, φανταστείτε ότι ένας πύραυλος εκτοξεύεται αρχικά κατακόρυφα από ένα σημείο στο Βόρειο ημισφαίριο της Γης. Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της αντίστροφα από τους δείκτες του ρολογιού ένας παρατηρητής στην επιφάνεια της Γης στο σημείο εκτόξευσης θα βλέπει τον πύραυλο να μην κινείται κατακόρυφα αλλά να στρίβει προς τα δεξιά του. Στο Νότιο ημισφαίριο η δύναμη Coriolis στρέφει ένα κινούμενο σώμα προς τα αριστερά. Η δύναμη Coriolis είναι ανάλογη της ταχύτητας του σώματος και για να γίνει αντιληπτή η επίδραση αυτής της δύναμης πρέπει το σώμα να διανύσει μεγάλη απόσταση. Η ισορροπία αυτών των τριών δυνάμεων με την *φυγόκεντρο δύναμη* (δηλαδή τη δύναμη που προσπαθεί να κρατήσει ένα κινούμενο σώμα, όπως ένα αυτοκίνητο, σε ευθύγραμμη πορεία αν αυτό αρχίζει να στρίβει) καθορίζει την κίνηση του αέρα. Η φυγόκεντρος δύναμη είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του σώματος και έχει φορά προς το εξωτερικό μέρος της στροφής που ακολουθεί το σώμα.



Η δύναμη της τριβής που είναι σημαντική κοντά στο έδαφος (συνήθως μέχρι το ύψος των 1-1.5km από το έδαφος, δηλαδή μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα) έχει σαν αποτέλεσμα να στρίβει τη διεύθυνση του ανέμου προς τις χαμηλότερες πιέσεις. Η *Εικόνα E.2* δείχνει την ισορροπία των δυνάμεων στην περίπτωση του επιφανειακού ανέμου. Σε ύψη πάνω από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα η τριβή είναι αμελητέα και η δύναμη Coriolis εξισορροπεί την δύναμη βαροβαθμίδας σε περιοχές όπου οι ισοβαρείς καμπύλες είναι σχεδόν ευθείες και ο άνεμος είναι παράλληλος στις ισοβαρείς (*γεωστροφικός άνεμος*). Οι ισοβαρείς καμπύλες συνδέουν σημεία ίδιας βαρομετρικής πίεσης ανηγμένης σε κανονικές συνθήκες.

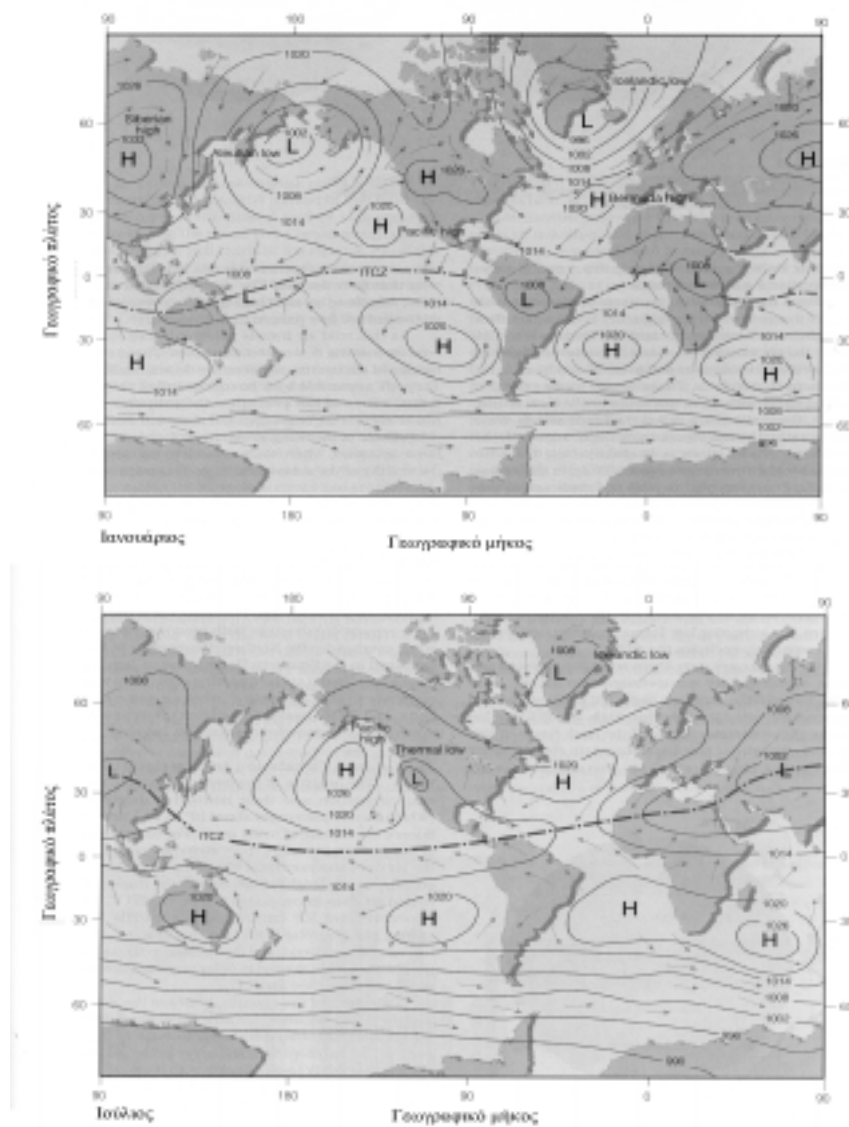


*Εικόνα E.2* Ισορροπία των δυνάμεων που ενεργούν στον αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης θεωρώντας ευθείες ισοβαρείς.

#### E.1 Κλίμακες συστημάτων ανέμων-Γενική κυκλοφορία

Μπορούμε να διακρίνουμε διάφορες χωρικές κλίμακες κίνησης του αέρα παρόμοια με τις κλίμακες μεταβλητότητας των υπόλοιπων ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Έτσι, υπάρχουν *τοπικοί άνεμοι* που περιορίζονται σε οριζόντιες εκτάσεις 50-100km και εμπεριέχονται σε ένα μεγαλύτερο σύστημα ανέμων (*συνοπτικοί άνεμοι*) που εκτείνεται σε περιοχές τόσο μεγάλες όσο ολόκληρη η Ελλάδα ή η Ευρώπη. Οι συνοπτικοί άνεμοι αποτελούν με τη σειρά τους τμήμα ενός συστήματος που καλύπτει ολόκληρη τη Γη και τα χαρακτηριστικά είναι ευδιάκριτα όταν εξετάζουμε μέσες καταστάσεις για μεγάλη χρονική περίοδο (για παράδειγμα μία εποχή του έτους). Αυτό το σύστημα ανέμων αποτελεί τη *γενική κυκλοφορία* και εκτείνεται κατακόρυφα μέχρι την τροπόπαυση.

Στην *Εικόνα Ε.3* παρουσιάζεται σχηματικά η επιφανειακή γενική κυκλοφορία το χειμώνα και το καλοκαίρι. Αιτία της γενικής κυκλοφορίας (δηλαδή των αντίστοιχων συστημάτων πιέσεων) είναι η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο λόγω της κλίσης του άξονα περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της σε σχέση με το επίπεδο της περιστροφής της γύρω από τον Ήλιο και της ανομοιόμορφης κατανομής ξηράς και θάλασσας. Οι πιο σταθεροί και εκτεταμένοι άνεμοι της γενικής επιφανειακής κυκλοφορίας είναι οι *Αληγείς* (βορειοανατολικοί άνεμοι στο Βόρειο ημισφαίριο και νοτιοανατολικοί στο Νότιο ημισφαίριο) που

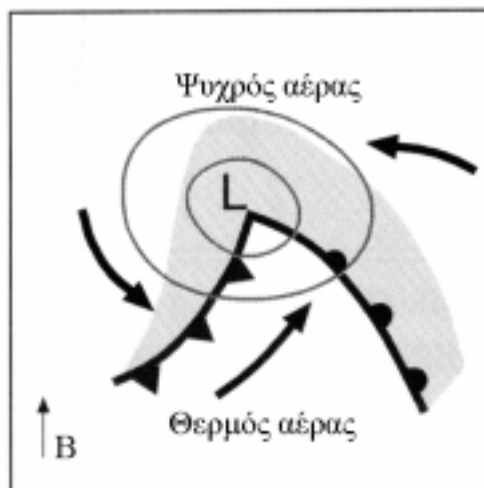


**Εικόνα Ε.3** Χάρτες της μέσης γενικής επιφανειακής κυκλοφορίας (βέλη) τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο. Με το γράμμα H σημειώνονται τα κέντρα υψηλής πίεσης και με το γράμμα L τα κέντρα χαμηλής πίεσης. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει τη ζώνη σύγκλισης (ζώνη νηνεμιών) των Αληγών ανέμων.

εκτείνονται στα γεωγραφικά πλάτη  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$  Βόρεια και  $5^{\circ}$ - $20^{\circ}$  Νότια. Οι άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα έχουν μεγάλη σημασία γιατί αλληλεπιδρούν με τους επιφανειακούς ανέμους και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των καιρικών συστημάτων. Για γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα από  $20^{\circ}$  οι άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι δυτικοί και στα δύο ημισφαίρια.

## *E.2 Συνοπτική κυκλοφορία*

Τα συνοπτικά συστήματα ανέμων σχετίζονται με τον τοπικό καιρό και είναι αποτέλεσμα των περιοχών-κέντρων πίεσης συνοπτικής κλίμακας (τα γνωστά χαμηλά και υψηλά βαρομετρικά συστήματα). Τα βαρομετρικά συστήματα είναι αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο, όπως έχει αναφερθεί. Είναι συχνά αρκετά βολικό να θεωρούμε ότι η τροπόσφαιρα αποτελείται από αέριες μάζες που έχουν έκταση αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα και διαφέρουν ως προς τη θερμοκρασία τους ή την υγρασία τους σαν αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης με την ξηρά ή τη θάλασσα. Αν και τα όρια των αέριων μαζών είναι γενικά ασαφή, στα μεσαία και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη είναι αρκετά έντονα γιατί οι αέριες μάζες διαφέρουν σημαντικά και ονομάζονται *μέτωπα* ή μετωπικές επιφάνειες (δεν είναι πραγματικές διαχωριστικές επιφάνειες, αλλά νοητές). Για παράδειγμα, το πολικό μέτωπο του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού το χειμώνα χωρίζει ψυχρές πολικές αέριες μάζες από θερμές θαλάσσιες αέριες μάζες που εκτείνονται νοτιότερα. Πάνω σε αυτό το σχεδόν στάσιμο μέτωπο αναπτύσσονται περιοχές χαμηλής βαρομετρικής πίεσης (χαμηλά βαρομετρικά) που λέγονται *υφέσεις*. Στα χαμηλά βαρομετρικά οι επιφανειακοί άνεμοι συγκλίνουν στο κέντρο τους (χαμηλή πίεση) και ανεβαίνουν προκαλώντας σύννεφα και βροχή. Η *Εικόνα E.4* δείχνει ένα πρότυπο ύφεσης όπου σημειώνονται οι μετωπικές επιφάνειες. Όπως φαίνεται στην εικόνα, οι άνεμοι στρέφονται αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού (κυκλωνική κίνηση) σαν αποτέλεσμα της φοράς της δύναμης Coriolis (το αντίθετο συμβαίνει στο Νότιο ημισφαίριο). Οι υφέσεις είναι ο συνήθης τύπος χαμηλών βαρομετρικών το χειμώνα στην Ελλάδα και μετακινούνται ακολουθώντας τη δυτική ανώτερη κυκλοφορία, όπως όλα τα βαρομετρικά συστήματα, προκαλώντας την εξέλιξη του καιρού στις διάφορες περιοχές. Το καλοκαίρι η διαδρομή που ακολουθούν οι υφέσεις μετατοπίζεται προς το Βορρά και σπάνια περνούν από την περιοχή της Ελλάδας.



**Εικόνα E.4** Πρότυπο ύφεσης στο Βόρειο ημισφαίριο. Οι λεπτές γραμμές είναι οι ισοβαρείς καμπύλες της επιφανειακής πίεσης. Με βέλη δείχνεται ο άνεμος και με έντονες γραμμές σημειώνονται ένα θερμό μέτωπο (δεξιά) και ένα ψυχρό μέτωπο (αριστερά). Η γραμμοσκιασμένες περιοχές είναι περιοχές βροχόπτωσης.

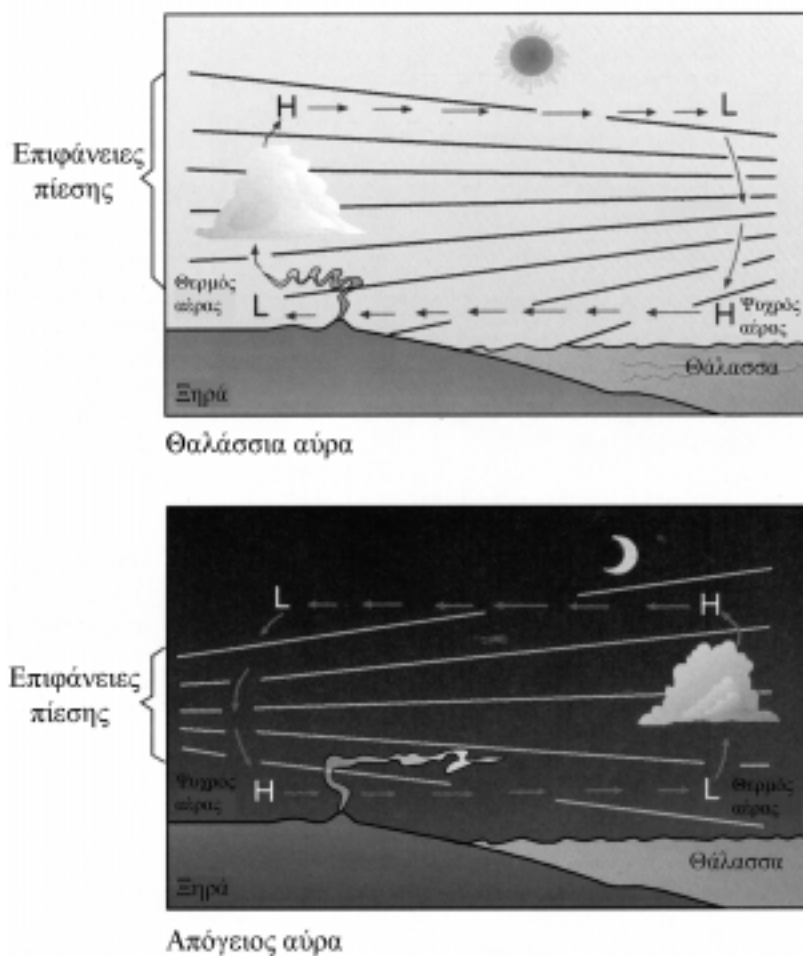
Ένα άλλο είδος χαμηλών βαρομετρικών δημιουργείται το καλοκαίρι λόγω έντονης θέρμανσης της ξηράς πάνω από τις ηπείρους και εν συνεχεία άνοδο του αέρα (κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας). Χαρακτηριστικό χαμηλό είναι το χαμηλό βαρομετρικό που αναπτύσσεται πάνω από την Ινδία το καλοκαίρι. Το 'αντιστάθμισμα' των χαμηλών βαρομετρικών είναι τα υψηλά βαρομετρικά (*αντικυκλώνες*), περιοχές υψηλής βαρομετρικής πίεσης όπου ο αέρας έχει καθοδική κίνηση και θερμαίνεται καθώς κατεβαίνει, με χαμηλούς ανέμους και απουσία νέφωσης. Χαρακτηριστικός αντικυκλώνας είναι ο μόνιμος αντικυκλώνας του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού (αντικυκλώνας των Αζορών). Το καλοκαίρι, η επέκταση του συγκεκριμένου αντικυκλώνα προς τα ανατολικά και του θερμού χαμηλού βαρομετρικού της Ινδίας προς την Κύπρο συνδυάζονται και έχουν σαν αποτέλεσμα την επικράτηση έντονων βορειανατολικών (και επομένως δροσερών) ανέμων στην περιοχή της Ελλάδας και ιδιαίτερα στο Αιγαίο Πέλαγος (*μελέμια ή ετησίες*).

### E.3 Τοπικοί άνεμοι

Οι τοπικοί άνεμοι οφείλονται σε τοπικές διαφορές θερμοκρασίας (άρα και πίεσης) λόγω της τοπικής διανομής ξηράς-θάλασσας ή τη μορφολογία του εδάφους και περιορίζονται στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Σημαντικό χαρακτηριστικό των τοπικών ανέμων είναι η *τύρβη*, δηλαδή οι απότομες μεταβολές του ανέμου (ακόμα και μέσα σε ένα δευτερόλεπτο), που οφείλονται στην αυξημένη τριβή του ανέμου με το έδαφος ή στην κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας που εξαρτώνται από την κάλυψη του εδάφους. Αποτέλεσμα της τριβής με το έδαφος είναι η κατακόρυφη *κατατομή* της ταχύτητας του ανέμου να αυξάνεται με το ύψος τουλάχιστον κοντά στο έδαφος. Η σημαντικότερη επίδραση της τύρβης είναι ότι προσπαθεί να εξομαλύνει τις κατακόρυφες μεταβολές του ανέμου αλλά και της θερμοκρασίας ή της υγρασίας (κατακόρυφη ανάμειξη). Η τύρβη είναι αρκετά περιορισμένη σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής, όπως συμβαίνει συνήθως τη νύκτα πάνω από τη ξηρά, γιατί σε αυτή την περίπτωση ψυχρός-βαρύτερος αέρας βρίσκεται κάτω από θερμότερο και, επομένως, δεν ευνοείται η κατακόρυφη ανάμειξη (*ατμοσφαιρική ευστάθεια*). Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος (*ατμοσφαιρική αστάθεια*).

Τοπικοί άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές είναι η *θαλάσσια-απόγεια αύρα* και οι *αναβατικοί-καταβατικοί άνεμοι*. Η πρώτη περίπτωση οφείλεται στο διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης την ημέρα ή ψύξης την νύκτα της ξηράς από ότι η θάλασσα, η οποία παρουσιάζει πολύ μικρές μεταβολές της επιφανειακής της θερμοκρασίας (λιγότερο από 1°C) στη διάρκεια μιας ημέρας. Έτσι, την ημέρα η ξηρά είναι θερμότερη της θάλασσας και ο τοπικός άνεμος πνέει από τη θάλασσα προς την ξηρά (θαλάσσια αύρα), ενώ το αντίθετο συμβαίνει την νύκτα (απόγειος αύρα). Η *Εικόνα E.5* δείχνει σχηματικά την ανάπτυξη της κυκλοφορίας της θαλάσσιας και της απόγειας αύρας. Η καταβατική ροή οφείλεται στη νυκτερινή ψύξη του εδάφους λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας του και κατά συνέπεια του αέρα κοντά σε αυτό. Ο ψυχρός και βαρύν αέρας 'κατρακυλά' με την επίδραση της βαρύτητας κατά μήκος μίας πλαγιάς (καταβατική ροή). Αντίθετα, την ημέρα η θέρμανση μιας πλαγιάς έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο του θερμού και ελαφρού αέρα κοντά σε αυτή (αναβατική ροή). Οι αναβατικές-καταβατικές ροές έχουν μικρό βάθος, λίγες δεκάδες μέτρα, ενώ αντίθετα η θαλάσσια-απόγεια αύρα μπορεί να φτάσει μέχρι το ύψος των 1-2km. Οι

άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές αναπτύσσονται όταν οι συνοπτικοί άνεμοι δεν είναι πολύ ισχυροί (όπως συμβαίνει στο κέντρο ενός αντικυκλώνα) και ακολουθούν χαρακτηριστική ημερήσια πορεία. Κατά συνέπεια, έχουν σημαντική επίπτωση στον περιορισμό των υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι ή τη διασπορά της αέριας ρύπανσης σε συνθήκες χαμηλού συνοπτικού ανέμου στις μεγάλες πόλεις που συνήθως βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές.



**Εικόνα E.5** Η ανάπτυξη της θαλάσσιας και της απόγειας αύρας.

Η μορφολογία του εδάφους και συγκεκριμένα η ύπαρξη των ορεινών όγκων εμποδίζουν την οριζόντια κίνηση του αέρα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη για παράδειγμα 'καταβατικών' ανέμων (ορογραφικοί άνεμοι) στην υπήνεμη πλευρά των ορεινών όγκων ανάλογα με την κατακόρυφη θερμοκρασιακή δομή της ατμόσφαιρας. Ένας αρκετά γνωστός τέτοιος άνεμος είναι ο *λίβας* και γίνεται αισθητός κυρίως το χειμώνα σε όσους μένουν κοντά σε οροσειρές σαν θερμός αέρας από την κατεύθυνση

του βουνού. Αυτό οφείλεται στη θέρμανση του αέρα καθώς αυτός αναγκάζεται λόγω τοπογραφίας να κατέβει συναντώντας υψηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης (συμπίεση).

### **Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα**

1. Γιατί η πυκνότητα των ισοβαρών (δηλαδή η ένταση της δύναμης βαροβαθμίδας) σε ένα υψηλό βαρομετρικό σύστημα δεν μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες τιμές, αντίθετα από ένα χαμηλό βαρομετρικό; Εξετάστε την ισορροπία των δυνάμεων σε κάθε σύστημα. Η ταχύτητα του ανέμου στην κατάσταση ισορροπίας αυξάνει με την ένταση της δύναμης βαροβαθμίδας.
2. Αεροχείμαρροι, περιοχές πολύ ισχυρής ταχύτητας ανέμου στο ύψος της τροπόπαυσης.
3. Κυκλώνες τροπικών (τυφώνες). Από που πηγάζει η έντασή τους και γιατί δεν εμφανίζονται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη;
4. Το φαινόμενο El Niño στον Ειρηνικό ωκεανό.
5. Ενεργειακή αξιοποίηση του ανέμου (αιολική ενέργεια).

### **ΣΤ. Καιρός και Κλίμα**

Ο καιρός αναφέρεται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες (δηλαδή οι ατμοσφαιρικές παράμετροι που εξετάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες: πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, νέφωση, κατακρημνίσματα, άνεμος) που επικρατούν σε χρονικό διάστημα μερικών ωρών σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Το κλίμα είναι τα μέσα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (κλιματικά στοιχεία) στην περιοχή, όπως προκύπτουν από τα μετεωρολογικά δεδομένα (ατμοσφαιρικοί παράμετροι) τουλάχιστον τριάντα ετών. Έτσι, το κλίμα ενός τόπου είναι χρονική σύνθεση του καιρού σε αυτόν τον τόπο. Η μελέτη και εξήγηση της χρονικής εξέλιξης του καιρού είναι αντικείμενο της μετεωρολογίας, ενώ η ανάλυση και εξήγηση της χωρικής μεταβλητότητας (ή των πιθανών μακροχρόνιων αλλαγών) του κλίματος είναι αντικείμενο της κλιματολογίας χωρίς, όμως, να υπάρχει πραγματικός διαχωρισμός μεταξύ αυτών των δύο κλάδων επιστημονικής μελέτης της ατμόσφαιρας.

Ένας μεγάλος όγκος μετεωρολογικών δεδομένων συλλέγεται και αναλύεται καθημερινά σε ολόκληρη τη Γη. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί σε ξηρά και σε θάλασσα

που καταγράφουν επιφανειακές μετρήσεις είναι αρκετές χιλιάδες, ενώ περίπου χίλιοι σταθμοί μετρούν καθημερινά τις κατατομές (δηλαδή τη μεταβολή με το ύψος) των διάφορων ατμοσφαιρικών παραμέτρων απελευθερώνοντας μετεωρολογικά μπαλόνια που μεταφέρουν όργανα μέτρησής τους και ραδιοπομπούς για την εκπομπή των δεδομένων. Επίσης, η χρήση των δορυφόρων, που δίνουν μετρήσεις κυρίως για την ανώτερη τροπόσφαιρα, αυξάνεται συνεχώς. Όλα αυτά τα δεδομένα διανέμονται διεθνώς μέσω τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων σε ένα σύστημα παρακολούθησης των μετεωρολογικών δεδομένων που έχει εγκαταστήσει ο *Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO)* από το 1965. Πηγές παγκόσμιων μετεωρολογικών και κλιματολογικών δεδομένων υπάρχουν και στο διεθνές διαδίκτυο (Internet), όπως στην ιστοσελίδα <http://www.ncdc.noaa.gov/> του Εθνικού Κέντρου Κλιματολογικών Δεδομένων των ΗΠΑ.

Η πρόγνωση του καιρού είναι δυνατή σήμερα χάρη στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων *αριθμητικής πρόγνωσης του καιρού* και την ταχεία εξέλιξη των υπολογιστών. Αυτά τα μοντέλα προσεγγίζουν βασικούς νόμους της ατμοσφαιρικής φυσικής και χρησιμοποιούν σαν είσοδο τα δεδομένα που συλλέγονται καθημερινά από τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Ουσιαστικά, πρόκειται για μία προέκταση των τρεχουσών μετεωρολογικών παρατηρήσεων στο μέλλον. Η αξιοπιστία της πρόγνωσης είναι αρκετά καλή, αλλά μειώνεται όσο πιο μακριά στο μέλλον βρίσκεται ο χρόνος που αναφέρεται η πρόγνωση. Στην *Εικόνα ΣΤ.1* δείχνεται σχηματικά η ροή δεδομένων στο παγκόσμιο μετεωρολογικό δίκτυο. Εκτός από τα μοντέλα πρόγνωσης καιρού που περιορίζονται σε συνοπτικές κλίμακες, υπάρχουν και μοντέλα της γενικής κυκλοφορίας (*κλιματικά μοντέλα*). Αυτά τα μοντέλα προσομοιώνουν τη μέση ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε ολόκληρο τον πλανήτη, έχουν μικρή ευκρίνεια στο χρόνο και το χώρο και εξετάζουν τις πιθανές αλλαγές στην ατμόσφαιρα σε χρονικά διαστήματα αρκετών χρόνων (δηλαδή στο κλίμα) που θα επιφέρουν οι μεταβολές διάφορων παραμέτρων, όπως η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (φαινόμενο θερμοκηπίου).





Εικόνα ΣΤ.1 Η ροή των δεδομένων στο παγκόσμιο μετεωρολογικό δίκτυο.

### Θέματα για συζήτηση-πρόσθετη έρευνα

1. Χρησιμότητα της πρόβλεψης του καιρού.
2. Αναμενόμενες κλιματολογικές επιπτώσεις των φαινομένων του 'θερμοκηπίου' και της 'τρύπας' του όζοντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δεληγιώργη Δ. και Γ. Κάλλος, 1988: *‘Μαθήματα Δυναμικής-Συνοπτικής Μετεωρολογίας’*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Allaby Michael, 1995: *‘How the Weather Works’*, Reader’s Digest, Dorling Kindersley Limited, London.

Ahrens C. Donald, 1993: *‘Essential of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere’*, West Publishing Company, New York.

Cosgrove Brian, 1997: *‘The World of Weather’*, Swan Hill Press, England.

Linacre Edward and Bart Geerts, 1997: *‘Climates and Weather Explained’*, Routledge, London.

Νιάχου Αικ., 1997: *‘Ανάπτυξη Πρωτοκόλλων Ατμοσφαιρικών Μετρήσεων για Περιβαλλοντική Εκπαίδευση’*, Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού Φυσικής Περιβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Rubin Louis D. and Jim Duncan, 1989: *‘The Weather Wizard’s Cloud Book’*, Algonquin Books of Chapel Hill, New York.

Williams Jack, 1997: *‘The Weather Book’*, Vintage Books, New York.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ






ΣΧΟΛΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ(ΣΕΠΠΕ)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**Ι Π Π Ο Δ Α Μ Ο Σ <sup>1</sup>**

**Ιστός Μάθησης: Διευρυμένο Σύστημα Περιβαλλοντικής  
Αγωγής Βασισμένο σε Δίκτυα**

Επικοινωνία:

 Έργο ΙΠΠΟΔΑΜΟΣ  
Υπόψη: Γεωργίου Θ. Κουρουπέτρογλου  
Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Πληροφορικής  
Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσια, Αθήνα 15784  
 Τηλέφωνο: (01) 7275305  
 Fax: (01) 7275333  
 Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: [ippodamos@di.uoa.gr](mailto:ippodamos@di.uoa.gr)  
 Σελίδα στο διαδίκτυο: <http://www.di.uoa.gr/ippodamos>

Φορέας Υλοποίησης: ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Επιστημονικός Υπεύθυνος:  
Δέσποινα Γ. Δεληγιώργη

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ &  
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Αναπληρωτής Επιστημονικός Υπεύθυνος:  
Γεώργιος Θ. Κουρουπέτρογλου



Συμμετοχή: Διεύθυνση Σπουδών Β'βάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠ.Ε.Π.Θ.  
Υπεύθυνος: Σύλβια Κατσαμένη

<sup>1</sup> **ΙΠΠΟΔΑΜΟΣ ο Μιλήσιος: 498-408 π.Χ., Πολεοδόμος - Μετεωρολόγος - Φυσικός - Μαθηματικός - Φιλόσοφος - Αρχιτέκτων, ο πρώτος που εφάρμοσε τον περιβαλλοντικό πολεοδομικό σχεδιασμό.**