ΕΠΙΔΡΑΣΗ 1 ...ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: Οι νόμοι των αερίων και ο καιρός

Το μεγαλύτερο δείγμα αερίου που μπορούμε εύκολα να μελετήσουμε είναι η ατμόσφαιρα, ένα μείγμα αερίων με τη σύσταση που συνοψίζεται στον Πίνακα 1. Η σύσταση διατηρείται σχετικά σταθερή μέσω διάχυσης και μεταφοράς (με τους ανέμους, ειδικά με τοπικές αναταράξεις που ονομάζονται *δίνες*) αλλά η πίεση και η θερμοκρασία μεταβάλλονται με το υψόμετρο και με τις τοπικές συνθήκες, ειδικότερα στην τροπόσφαιρα, το στρώμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται έως περίπου τα 11 km.

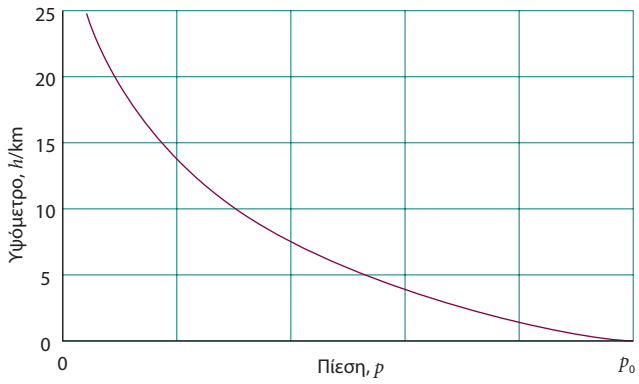
Στην τροπόσφαιρα η μέση θερμοκρασία είναι 15°C σε επίπεδο θαλάσσης, και πέφτει στους −57°C στο κάτω στρώμα της τροπόπαυσης στα 11 km. Η μεταβολή αυτή δεν δείχνει τόσο μεγάλη όταν εκφραστεί σε κλίμακα Kelvin, οπότε η θερμοκρασία κυμαίνεται από 288 K έως 216 K, με μέση τιμή 268 K. Αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία έχει τη μέση τιμή της σε όλο το ύψος ως την τροπόπαυση, τότε η πίεση μεταβάλλεται με το υψόμετρο, h, σύμφωνα με τον *βαρομετρικό τύπο*

$$p = p_0 e^{-h/H}$$

όπου p_0 η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας και H μια σταθερά κατά προσέγγιση ίση με 8 km. Πιο συγκεκριμένα, $H = RT/Mg$, όπου M η μέση γραμμομοριακή μάζα του αέρα και T η θερμοκρασία. Ο τύπος αυτός αναπαριστά το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού μεταξύ της δυναμικής ενέργειας των μορίων στο βαρυτικό πεδίο της Γης και της ανατάραξης των μορίων λόγω της θερμικής κίνησης· προκύπτει με βάση την κατανομή Boltzmann (δείτε την *Εισαγωγή* του βιβλίου). Ο βαρομετρικός τύπος βρίσκεται σε αρκετά καλή συμφωνία με την παρατηρούμενη κατανομή πίεσης ακόμα και για περιοχές αρκετά πάνω από την τροπόσφαιρα (Σχ. 1). Από αυτόν προκύπτει ότι η πίεση του αέρα πέφτει στο μισό της τιμής που έχει στο επίπεδο της θάλασσας σε ύψος $h = H \ln 2$, ή 6 km.

Πίνακας 1 Η σύσταση του ξηρού αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας

Συστατικό	Ποσοστό: Κατ' όγκο	Ποσοστό: Κατά μάζα
Άζωτο, N_2	78,08	75,53
Οξυγόνο, O_2	20,95	23,14
Αργό, Ar	0,93	1,28
Διοξείδιο του άνθρακα, CO_2	0,031	0,047
Υδρογόνο, H_2	$5{,}0 \times 10^{-3}$	$2{,}0 \times 10^{-4}$
Νέο, Ne	$1{,}8 \times 10^{-3}$	$1{,}3 \times 10^{-3}$
Ήλιο, He	$5{,}2 \times 10^{-4}$	$7{,}2 \times 10^{-5}$
Μεθάνιο, CH_4	$2{,}0 \times 10^{-4}$	$1{,}1 \times 10^{-4}$
Κρυπτό, Kr	$1{,}1 \times 10^{-4}$	$3{,}2 \times 10^{-4}$
Μονοξείδιο του αζώτου, NO	$5{,}0 \times 10^{-5}$	$1{,}7 \times 10^{-6}$
Ξένο, Xe	$8{,}7 \times 10^{-6}$	$1{,}2 \times 10^{-5}$
Όζον, O_3: καλοκαίρι	$7{,}0 \times 10^{-6}$	$1{,}2 \times 10^{-5}$
χειμώνας	$2{,}0 \times 10^{-6}$	$3{,}3 \times 10^{-6}$

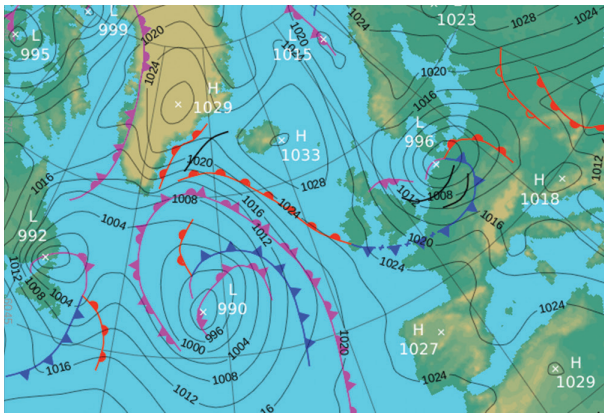


Σχήμα 1 Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης με το υψόμετρο, όπως προβλέπεται από τον βαρομετρικό τύπο και προτείνεται από την «US Standard Atmosphere», η οποία λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το υψόμετρο.

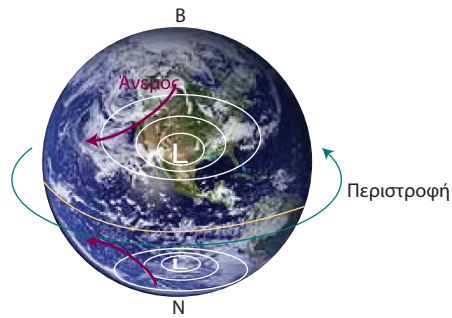
Τοπικές μεταβολές της πίεσης, της θερμοκρασίας και της σύστασης στην τροπόσφαιρα εμφανίζονται ως αυτό που ονομάζουμε «καιρός». Μια μικρή περιοχή αέρα ονομάζεται *πακέτο*. Αρχικά, σημειώνουμε ότι ένα πακέτο θερμού αέρα έχει μικρότερη πυκνότητα από ένα ίδιο πακέτο ψυχρού αέρα. Καθώς ένα πακέτο ανυψώνεται, εκτονώνεται αδιαβατικά (δηλαδή, χωρίς μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον του), έτσι ψύχεται. Ο ψυχρός αέρας μπορεί να απορροφήσει μικρότερες συγκεντρώσεις υδρατμών από τον θερμό αέρα, έτσι η υγρασία σχηματίζει νέφη. Ο νεφοσκεπής ουρανός μπορεί επομένως να συνδεθεί με ανοδικό αέρα και ο καθαρός ουρανός μπορεί συχνά να συνδεθεί με καθοδικό αέρα.

Η κίνηση του αέρα στα ανώτερα υψόμετρα μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση μορίων σε κάποιες περιοχές και σε απώλεια από κάποιες άλλες περιοχές. Το πρώτο οδηγεί σε σχηματισμό περιοχών υψηλής πίεσης («υψηλά (highs, H)», ή αντικυκλώνες) και το δεύτερο σε περιοχές χαμηλής πίεσης («χαμηλά (lows, L)», ή κυκλώνες). Σε έναν χάρτη καιρού, όπως αυτός που φαίνεται στο Σχ. 2, οι σημειωμένες γραμμές σταθερής πίεσης ονομάζονται *ισοβαρείς*. Οι επιμήκεις περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης είναι γνωστές, αντίστοιχα, ως *κορυφές* και *κοιλάδες*.

Οριζόντιες διαφορές της πίεσης έχουν ως αποτέλεσμα τη ροή αέρα που ονομάζουμε *άνεμο* (Σχ. 3). Οι άνεμοι που έρχονται από τον βορρά στο Βόρειο ημισφαίριο και από τον νότο στο Νότιο ημισφαίριο αποκλίνουν προς τη δύση καθώς μετακινούνται από μια περιοχή όπου η Γη περιστρέφεται αργά (τους πόλους) προς μια περιοχή που περιστρέφεται πολύ γρήγορα (τον ισημερινό). Οι άνεμοι ταξιδεύουν σχεδόν παράλληλα στις ισοβαρείς, με τη χαμηλή πίεση στα αριστερά τους στο



Σχήμα 2 Ένας τυπικός χάρτης καιρού· σε αυτή την περίπτωση, για τον Βόρειο Ατλαντικό και τις γειτονικές περιοχές στις 16 Δεκεμβρίου 2008.



Σχήμα 3 Η ροή αέρα («άνεμος») γύρω από περιοχές υψηλής και χαμηλής πίεσης στο Βόρειο και στο Νότιο ημισφαίριο.

Βόρειο ημισφαίριο και στα δεξιά τους στο Νότιο ημισφαίριο. Στην επιφάνεια, όπου οι ταχύτητες των ανέμων είναι χαμηλότερες, οι άνεμοι τείνουν να κινούνται κάθετα στις ισοβαρείς από υψηλή προς χαμηλή πίεση. Αυτή η διαφορική κίνηση έχει ως αποτέλεσμα μια σπειροειδή προς τα έξω ωρολογιακή ροή αέρα στο Βόρειο ημισφαίριο γύρω από ένα υψηλό και μια προς τα μέσα αντιωρολογιακή ροή γύρω από ένα χαμηλό.

Ο αέρας που χάνεται από περιοχές υψηλής πίεσης αποκαθίσταται καθώς μια εισερχόμενη ροή αέρα συγκλίνει στην περιοχή και κατέρχεται. Όπως έχουμε δει, ο κατερχόμενος αέρας συνδέεται με καθαρό ουρανό. Γίνεται επίσης θερμότερος μέσω συμπίεσης καθώς κατέρχεται, έτσι οι περιοχές υψηλής πίεσης συνδέονται με υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες. Τον χειμώνα, η ψυχρή επιφάνεια μπορεί να εμποδίσει την πλήρη κάθοδο του αέρα, και να οδηγήσει σε *αναστροφή* θερμοκρασίας, με ένα στρώμα θερμού αέρα πάνω από ένα στρώμα ψυχρού αέρα. Οι γεωγραφικές συνθήκες μπορεί επίσης να παγιδεύσουν ψυχρό αέρα, όπως στο Los Angeles, και οι φωτοχημικοί ρύποι, που είναι γνωστοί ως *νέφος*, μπορεί να παγιδευτούν κάτω από το θερμό στρώμα.