



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

ΕΝΟΤΗΤΑ: **9. ΓΕΝΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Επίκουρος Καθηγήτρια

του Τμήματος Διαχείρισης

Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

Η αιτία όλως βρίσκεται εδώ ...

- Ανομοιογενής χωρική κατανομή του ενεργειακού ισοζυγίου:
 - **πλεόνασμα** στα μικρά γεωγραφικά πλάτη (0° - 30° B & N)
 - **Έλλειμμα** στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ($>30^{\circ}$ B & N)
- Η προσπάθεια αποκατάστασης ενεργειακής ισορροπίας, μέσω μεταφοράς ενέργειας από τις περιοχές με πλεόνασμα προς τις περιοχές με έλλειμμα έχει σαν αποτέλεσμα τη **γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας & τα ωκεάνια ρεύματα**

Η αιτία όλων βρίσκεται εδώ ...

- Ανομοιογενής χωρική κατανομή του ενεργειακού ισοζυγίου:
 - **πλεόνασμα** στα μικρά γεωγραφικά πλάτη (0° - 30° B & N)
 - **Έλλειμμα** στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ($>30^{\circ}$ B & N)

- Η προσπάθεια αποκατάστασης ενεργειακής ισορροπίας, μέσω μεταφοράς ενέργειας από τις περιοχές με πλεόνασμα προς τις περιοχές με έλλειμμα έχει σαν αποτέλεσμα τη **γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας & τα ωκεάνια ρεύματα**

Τι γεννάει τους ανέμους ;

- Οι μεταβολές της πίεσης κατά την οριζόντιο
- Οι μεταβολές αυτές είναι της τάξης των 10 mb σε μια απόσταση 100-αδων χιλιομέτρων
- και είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τις κατακόρυφες

- **Βαρομετρικό υψηλό (High, H):** Κλειστές ισοβαρείς με την ατμοσφαιρική πίεση αυξανόμενη από την περιφέρεια προς το κέντρο (**αντικυκλώνας**). Αν οι ισοβαρείς επιμηκύνονται προς ορισμένη κατεύθυνση σαν σφήνες ή γλώσσες, τότε το τμήμα αυτό της βαρομετρικής διάταξης ονομάζεται σφήνα έξαρσης (**ridge**)
- **Βαρομετρικό χαμηλό (Low, L):** Κλειστές ισοβαρείς με την ατμοσφαιρική πίεση ελαττούμενη από την περιφέρεια προς το κέντρο (**ύφεση, κυκλώνας**). Αν οι ισοβαρείς εμφανίζουν μορφή επιμηκών γλωσσών, η διαταραχή ονομάζεται σφήνα ύφεσης ή αυλώνας (**trough**)

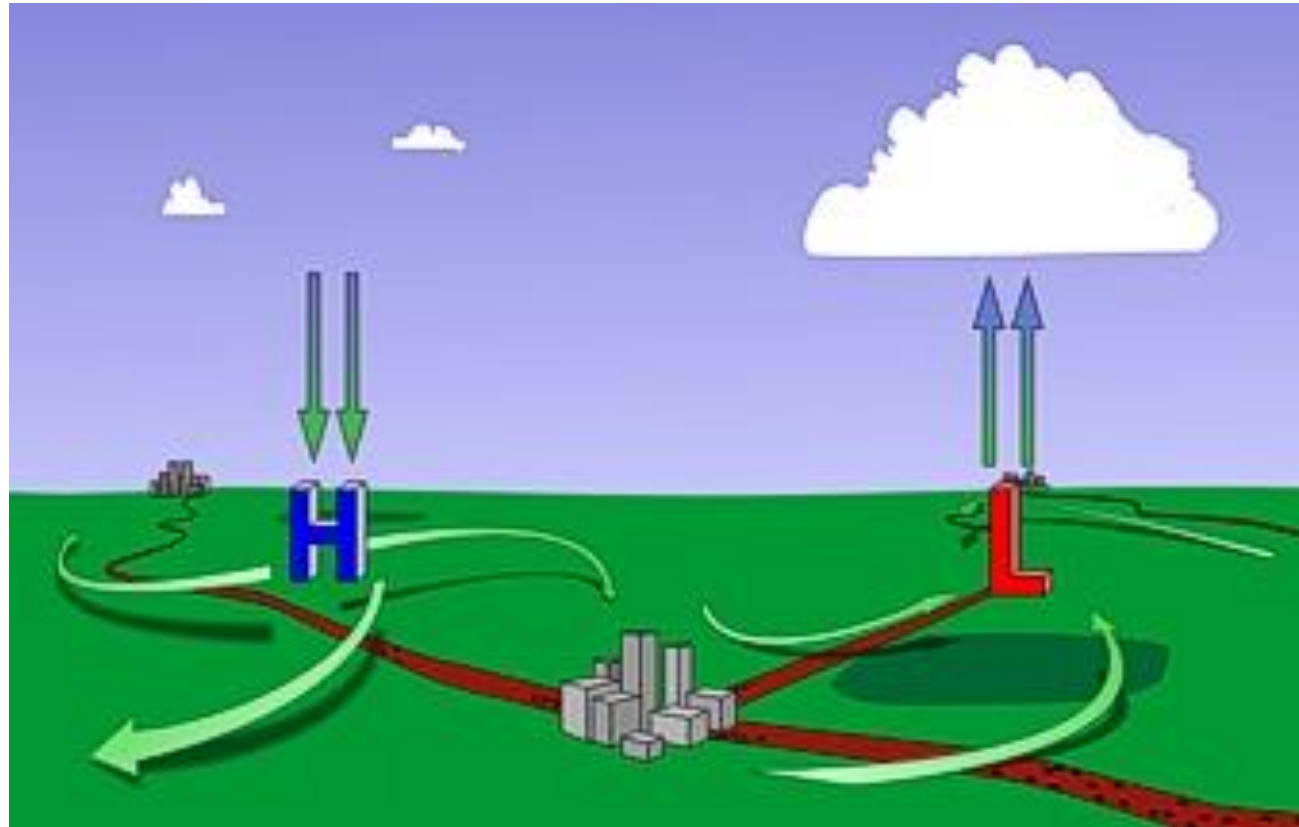
ΚΥΚΛΩΝΙΚΗ & ΑΝΤΙΚΥΚΛΩΝΙΚΗ ΡΟΗ

- **Κυκλωνική Ροή:** ροή με φορά αντίθετη από τους δείκτες του ρολογιού
- **Αντικυκλωνική Ροή:** ροή με φορά ίδια με αυτή των δεικτών του ρολογιού

ΥΨΗΛΑ & ΧΑΜΗΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΕΣΗΣ

- Λόγω της Επίδρασης της **Δύναμης Τριβής** ο Άνεμος τέμνει τις κλειστές Ισοβαρείς καμπύλες και
- **Χαμηλά:** παρατηρείται **σύγκλιση (convergence)** του Ανέμου προς το κέντρο με συνέπεια ο αέρας να ανέρχεται και να δημιουργούνται **ανοδικές κινήσεις** κατά την κατακόρυφο
- **Υψηλά:** παρατηρείται **απόκλιση (divergence)** του Ανέμου από το κέντρο του συστήματος με συνέπεια αέρας να πρέπει να κατέλθει από ψηλά ώστε να τον αναπληρώσει και να δημιουργούνται έτσι **καθοδικές κινήσεις** κατά την κατακόρυφο

ΥΨΗΛΑ & ΧΑΜΗΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΕΣΗΣ



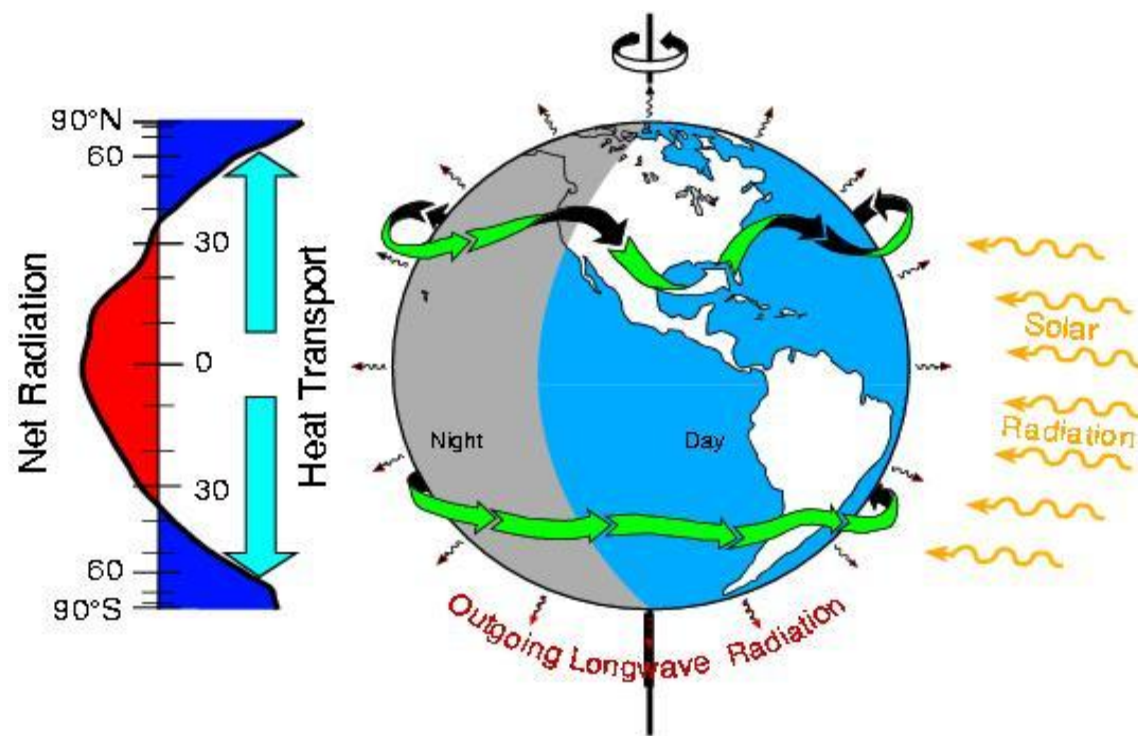
Πηγή: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/wind.htm>

■ Επομένως περιμένουμε:

- ✓ Σύστημα Χαμηλών Πίεσεων να συνοδεύεται από δημιουργία νεφών (νεφοκάλυψη) και βροχόπτωση
- ✓ Σύστημα Υψηλών Πίεσεων να συνοδεύεται από καθαρό ουρανό, ηλιοφάνεια και ευχάριστο καιρό

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας

- **Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας** (General Circulation of the Atmosphere): αποτυπώνει τους επικρατούντες ανέμους σε πλανητική κλίμακα
- Οι άνεμοι αυτοί προέκυψαν από τη μέση τιμή των ανέμων για μια μεγάλη χρονική περίοδο (μερικών μηνών) ώστε να απαλειφθούν οι τοπικοί άνεμοι και να μείνουν μόνο οι επικρατούντες, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα της άνισης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης
- Στα γεωγραφικά πλάτη $< 38^\circ$ υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας, ενώ στα ανώτερα υπάρχει έλλειμμα
- Για να εξισορροπηθεί αυτή η διαφορά, το 60% του πλεονάσματος της ενέργειας μεταφέρεται από τα μικρά γεωγραφικά πλάτη προς τα μεγαλύτερα με την κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και το υπόλοιπο 40% με τα θαλάσσια ρεύματα



Πηγή: <http://www.theclimatechangeclearinghouse.org/ClimateChangeScience/default.aspx>
Source: Courtesy of Kevin Trenberth revised from Trenberth et al. 1996

- Η λειτουργία της **Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας** είναι αρκετά πολύπλοκη. Για να κατανοήσουμε την λειτουργία της αναπτύχθηκαν δύο απλοποιημένα μοντέλα που την περιγράφουν

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μονοκυτταρικό Μοντέλο

- **Μονοκυτταρικό Μοντέλο:** είναι το πιο απλό μοντέλο & η αρχή του είναι τόσο απλή όσο περιμέναμε δηλ. απλώς λαμβάνει χώρα μεταφορά θερμότητας από τον ισημερινό προς τους πόλους
- Στηρίζεται στις εξής παραδοχές:
 - ✓ Η Γη δεν περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της
 - ✓ Η επιφάνεια της Γης είναι ομοιογενής & ομοιόμορφη οπότε δεν υπάρχει άνιση θέρμανση λόγω διανομής ξηράς-θάλασσας
 - ✓ Ο Ήλιος βρίσκεται πάντοτε ακριβώς πάνω από τον Ισημερινό
 - ✓ Το πλεόνασμα ενέργειας στα μικρά γεωγραφικά πλάτη ($< 38^\circ$) & το έλλειμμα που εμφανίζεται στα μεγαλύτερα πλάτη ($> 38^\circ$) δημιουργεί μια οριζόντια θερμοβαθμίδα με υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα στον ισημερινό & χαμηλότερες στους πόλους. Έτσι,
- Στον **Ισημερινό** λόγω των **υψηλών θερμοκρασιών** δημιουργείται μια **ζώνη χαμηλών πιέσεων**
- Στους **πόλους** λόγω των **χαμηλών θερμοκρασιών** θα εμφανίζονται **υψηλές πιέσεις**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μονοκυτταρικό Μοντέλο

- Με βάση τις προηγούμενες παραδοχές η κυκλοφορία του αέρα στην ατμόσφαιρα της Γης θα εμφανίζει απλή μορφή η οποία καλείται **μονοκυτταρική κυκλοφορία**
- Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο η ροή του αέρα στην ατμόσφαιρα θα έχει κατεύθυνση από τους πόλους προς τον ισημερινό
- Στον ισημερινό οι αέριες μάζες ανέρχονται κατακόρυφα (convection) λόγω:
 - ✓ της σημαντικής θέρμανσης του εδάφους
 - ✓ της σύγκλισης των βορείων & νοτίων ανέμων
- Όταν φτάσει στην κορυφή της τροπόσφαιρας αρχίζει να κινείται οριζόντια με κατεύθυνση προς τους πόλους (απόκλιση)
- Στους πόλους, στα κέντρα των υψηλών πιέσεων ο αέρας κατέρχεται από την ανώτερη ατμόσφαιρα προς την επιφάνεια της Γης για να κλείσει ο κύκλος (**κύτταρο κυκλοφορίας Hadley**)

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Αν θεωρήσουμε ότι η Γη περιστρέφεται => το μονοκυτταρικό μοντέλο της γενικής κυκλοφορίας θα αλλάξει
- Άνιση θέρμανση + περιστροφή της Γης => μοντέλο κυκλοφορίας **τριών κυττάρων** που προσομοιάζει περισσότερο την πραγματική κατάσταση
- Τα τρία κύτταρα κυκλοφορίας είναι: **κύτταρο Hadley, κύτταρο Ferrel & πολικό κύτταρο**

* Η περιστροφή της Γης έχει σαν αποτέλεσμα την επίδραση της **δύναμης Coriolis**, η οποία εκτρέπει τις κινήσεις προς τα **δεξιά** στο **βόρειο ημισφαίριο** & αριστερά στο νότιο

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

■ Κύτταρο Hadley: 0 – 30° βόρεια & νότια του Ισημερινού

- Η περιοχή του Ισημερινού δέχεται το μέγιστο της ηλιακής ενέργειας =>



- => Ισχυρή θέρμανση του εδάφους => έντονες ανοδικές κινήσεις (**convection**)
- => Δημιουργία ζώνης χαμηλών πιέσεων (thermal lows)

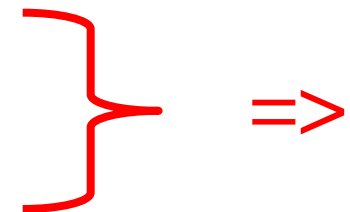


αναγκάζουν τον επιφανειακό αέρα από τις υποτροπικές περιοχές να κινηθεί προς αυτήν. Με την εκτροπτική επίδραση της δύναμης Coriolis, οι επιφανειακοί αυτοί άνεμοι που δημιουργούνται στο βόρειο ημισφαίριο είναι βορειοανατολικοί και στο νότιο νοτιοανατολικοί. Φτάνοντας προς τον Ισημερινό **συγκλίνουν** και ανέρχονται

- **Convection** λόγω ισχυρής θέρμανσης της επιφάνειας

+

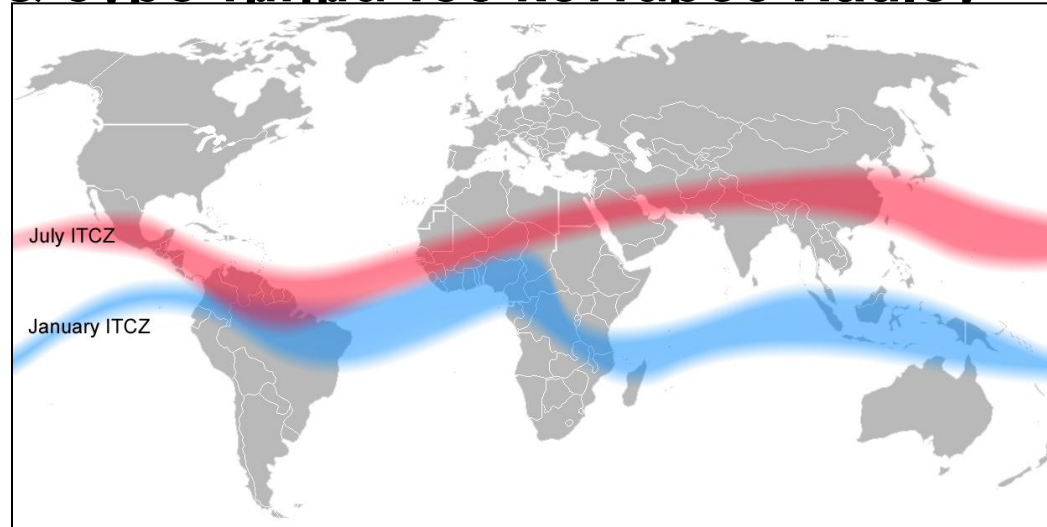
- **Σύγκλιση (convergence)** λόγω σύγκλισης των ΒΑ & ΝΑ ανέμων



=> Δημιουργία της **Ενδοτροπικής Ζώνης Σύγκλισης** (Intertropical Convergence Zone, **ITCZ**). Η θέση της δεν ταυτίζεται με τον γεωγραφικό Ισημερινό αλλά με τον θερμικό

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Κύτταρο Hadley: 0 – 30° βόρεια & νότια του Ισημερινού
- Ενδοτροπική Ζώνη Σύγκλισης (Intertropical Convergence Zone, ITCZ) αποτελεί το ανοδικό & υγρό τμήμα του κυττάρου Hadley



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/>

- Στην **Ενδοτροπική Ζώνη Σύγκλισης** ο αέρας ανέρχεται κατακόρυφα μέχρι την τροπόπαυση (14 – 15 Km)
- Οι έντονες ανοδικές κινήσεις σε συνδυασμό με την υψηλή υγρασία λόγω αυξημένης εξάτμισης, δημιουργούν νέφη μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης (cumulonimbus, cb) και ισχυρές καταιγίδες
- Στην ανώτερη τροπόσφαιρα ο ανερχόμενος αέρας κινείται οριζόντια με κατεύθυνση προς τους πόλους. Η δύναμη Coriolis εκτρέπει αυτές τις κινούμενες αέριες μάζες =>
- => στις ~30° ο άνεμος να έχει στραφεί τόσο ώστε να έχει γίνει **ζωνικός** με κατεύθυνση από τη Δύση προς την Ανατολή και είναι γνωστός ως **υποτροπικός αεροχείμαρος (subtropical jet stream)**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

■ Κύτταρο Hadley: 0 – 30° βόρεια & νότια του Ισημερινού

- Ο ζωνικός δυτικός άνεμος του υποτροπικού αεροχειμάρου στην ανώτερη τροπόσφαιρα καθώς δεν πνέει πλέον σε μεσημβρινή διεύθυνση (από ή προς τον Ισημερινό) προκαλεί **συσσώρευση** των αερίων μαζών

- Για να αντισταθμιστεί αυτή η συσσώρευση των αερίων μαζών, μία ποσότητα αέρα κατέρχεται κατακόρυφα προς την επιφάνεια αποτελώντας έτσι **το κατερχόμενο ξηρό τμήμα του κυττάρου Hadley & δημιουργεί στην επιφάνεια τη ζώνη υψηλών πιέσεων της υποτροπικής περιοχής (subtropical high pressure zone)**

- Από τη **ζώνη υψηλών πιέσεων** ένα μέρος του επιφανειακού αέρα κινείται προς την περιοχή απ' όπου ξεκίνησε δηλ. προς τον Ισημερινό **‘κλείνοντας’** έτσι το **κύτταρο κυκλοφορίας Hadley**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Κύτταρο Hadley: 0 – 30° βόρεια & νότια του Ισημερινού
- Οι αέριες μάζες που κινούνται προς τον Ισημερινό εκτρέπονται με την επίδραση της δύναμης Coriolis προς τα δεξιά στο Βόρειο Ημισφαίριο & προς τα αριστερά στο Νότιο =>
- => δημιουργώντας έτσι στην επιφάνεια Βορειοανατολικούς ανέμους στο βόρειο ημισφαίριο & νοτιοανατολικούς ανέμους στο νότιο ημισφαίριο, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως αληγείς άνεμοι (trade winds)

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Κύτταρο Ferrel: 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)

- Στη **ζώνη υψηλών πιέσεων** της υποτροπικής περιοχής (**subtropical high pressure zone**) το υπόλοιπο μέρος των αερίων μαζών που κατέρχονται στην επιφάνεια

κινείται προς τους πόλους. Η επίδραση της δύναμης Coriolis έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργεί στην επιφάνεια των περιοχών μεταξύ 30° και 60° γεωγραφικό πλάτος τους **δυτικούς ανέμους (westerlies)**

- Στην επιφάνεια στις 60° βόρεια & νότιο γεωγραφικό πλάτος, οι δημιουργούμενοι **Δυτικοί άνεμοι** συναντώνται με ψυχρές αέριες μάζες προερχόμενες από τους πόλους. Δημιουργείται έτσι μια μετωπική επιφάνεια ασυνέχειας γνωστή ως **πολικό μέτωπο**,

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Κύτταρο Ferrel: 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)**

όπου ο ψυχρός & πυκνός αέρας αναγκάζει τον θερμό & ελαφρύ να ανέλθει με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τα **υποπολικά χαμηλά (subpolar lows)** ή **εξωτροπικές υφέσεις των μέσων πλατών (mid-latitude cyclones)**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Κύτταρο Ferrel:** 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)
 - **Θεωρητικά:** ένα μέρος αυτών των ανερχόμενων αερίων μαζών φτάνοντας στην ανώτερη τροπόσφαιρα θα πρέπει να κατευθυνθεί προς τον ισημερινό με τη μορφή ανατολικής διεύθυνσης ανέμων (κάτω από την εκτροπή της δύναμης Coriolis) κλείνοντας έτσι ένα δεύτερο κύτταρο κυκλοφορίας γνωστό ως **κύτταρο Ferrel**
 - **Στην πραγματικότητα όμως:** στην ανώτερη τροπόσφαιρα στην περιοχή μεταξύ 30° και 60° βόρεια & νότιο γεωγραφικό πλάτος, οι άνεμοι είναι δυτικών διευθύνσεων. Η δύναμη coriolis τους εκτρέπει με αποτέλεσμα στις 60° να πνέουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά (Δυτικοί) δημιουργώντας τον **πολικό αεροχείμαρο (polar jet)**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

Ανώτερη Ατμόσφαιρα

Μοντέλο 3 κυττάρων

Θεωρητικά αναμένετο οι άνεμοι να πνέουν ανατολικών διευθύνσεων προς τον Ισημερινό

Πραγματική κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα

Στην πραγματικότητα είναι δυτικών διευθύνσεων με κατεύθυνση προς τους πόλους !

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Κύτταρο Ferrel:** 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)
- Αντίθετα με τα άλλα δύο κύτταρα κυκλοφορίας, το κύτταρο Ferrel δεν είναι καλά ορισμένο και ενώ στα άλλα δύο η κυκλοφορία 'κλείνει' πραγματικά δημιουργώντας ένα κύτταρο, στη περίπτωση του κυττάρου Ferrel, στην ανώτερη ατμόσφαιρα η ροή είναι αντίθετη από τη θεωρητική που θα 'έκλεινε' την κυκλοφορία. Δηλαδή ενώ θα έπρεπε η κυκλοφορία στην επιφάνεια & στην ανώτερη ατμόσφαιρα να είναι αντίθετες εδώ έχουν την ίδια διεύθυνση (Δυτική)
- Στην πραγματικότητα η συγκεκριμένη κυκλοφορία δεν αποτελεί κύτταρο όπως τα άλλα δύο βόρεια & νότια (Hadley & πολικό κύτταρο) αλλά μάλλον είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης των δύο άλλων κυττάρων δηλ. των ισχυρών καθοδικών κινήσεων στην περιοχή υψηλών πιέσεων (30°) στον καθοδικό βραχίονα του κυττάρου Hadley & των ανοδικών κινήσεων λόγω της σύγκλισης των επιφανειακών αερίων μαζών στις 60° (ανοδικός βραχίονας του πολικού κυττάρου)
- Το κύτταρο Ferrel υπερτίθεται των άλλων δύο κυττάρων, Hadley & πολικού

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Κύτταρο Ferrel:** 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)
- Μάλιστα, το ίδιο δεν χαρακτηρίζεται ούτε από κάποια ισχυρή πηγή θέρμανσης που θα προκαλούσε ανοδικές κινήσεις, ούτε από κάποιο ισχυρό καθοδικό ρεύμα
- Είναι περισσότερο μια **περιοχή ανάμιξης** ή καλύτερα **κίνησης** πολικών αερίων μαζών που κινούνται νότια & τροπικών αερίων μαζών που κινούνται βόρεια
- Στην επιφάνεια, το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης των αερίων μαζών συμβαίνει στην περιοχή μεταξύ των γεωγραφικών πλατών μεταξύ 30° και 60° δηλ. στο **κύτταρο Ferrel**. Οι κινήσεις αυτές πραγματοποιούνται από τις **υφέσεις των μέσων γεωγραφικών πλατών** και οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος του πολικού μετώπου. Η θέση & η κίνηση αυτών των υφέσεων καθοδηγείται σε σημαντικό βαθμό από την θέση του πολικού αεροχειμάρου στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Ο πολικός αεροχείμαρος δρα επίσης ως 'συλλέκτης' των αερίων μαζών που ανέρχονται λόγω δυναμικής σύγκλισης στην επιφάνεια
- Οι έντονες αυτές κινήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα να μην αναπτύσσεται ξεκάθαρο & σταθερό πρότυπο κυκλοφορίας όπως συμβαίνει στα άλλα δύο κύτταρα, καθώς αυτή διαταράσσεται από την κίνηση των υφέσεων
- Άλλωστε τα μέσα γεωγραφικά πλάτη βιώνουν τη μεγαλύτερη 'ποικιλία' καιρικών καταστάσεων

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Κύτταρο Ferrel: 30 – 60° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μέσα γεωγραφικά πλάτη)**
 - **Παράδειγμα:** οι Δυτικοί άνεμοι συνήθως αναφέρονται ως **επικρατούντες Δυτικοί άνεμοι**. Σε αντίθεση με τους Αληγείς ή τους πολικούς ανατολικούς οι οποίοι είναι σταθεροί & η κυριαρχία τους δεν 'απειλείται' από άλλον παράγοντα, η επικράτηση των **Δυτικών ανέμων** στην **επιφάνεια** μπορεί να διαταράσσεται & αποσταθεροποιείται από τα αναπτυσσόμενα και διερχόμενα συνοπτικά καιρικά συστήματα (υφέσεις).
 - ✓ π.χ. ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων κινούμενο προς τους πόλους ή ένας αντικυκλώνας που επεκτείνεται προς τον Ισημερινό ενισχύει & επιταχύνει τη Δυτική ροή (Δυτικούς ανέμους).
 - ✓ Το πέρασμα ενός ψυχρού μετώπου σε έναν τόπο 'στιγμιαία' αλλάζει τη διεύθυνση των ανέμων
 - ✓ Η επέκταση ενός αντικυκλώνα προς τον πόλο μπορεί για μέρες να στρέψει τους ανέμους σε ανατολικούς
- Οι Δυτικοί άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι περισσότερο σταθεροί σε σχέση με την επιφάνεια

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Πολικό Κύτταρο: 60 – 90° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μεγάλα γεωγραφικά πλάτη)**
- Το μεγαλύτερο μέρος του αέρα που ανέρχεται στις 60° κατά μήκος του πολικού μετώπου κατευθύνεται μέσω της ανώτερης τροπόσφαιρας προς τους πόλους
 - Φτάνοντας στις πολικές περιοχές, οι αέριες μάζες έχουν ψυχθεί αρκετά με αποτέλεσμα να κατέρχονται στην επιφάνεια ως ψυχρός & ξηρός αέρας δημιουργώντας το **πολικό υψηλό (polar high)**
 - Η **απόκλιση** των αερίων μαζών στην επιφάνεια λόγω του πολικού υψηλού σε συνδυασμό με την επίδραση της δύναμης coriolis δημιουργεί **βορειοανατολικούς ανέμους** στην επιφάνεια βόρεια των 60°
- Με αυτόν τον τρόπο 'κλείνει' η κυκλοφορία δημιουργώντας ένα νέο κύτταρο γνωστό ως **Πολικό Κύτταρο**

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Πολικό Κύτταρο: 60 – 90° βόρεια & νότια του Ισημερινού (μεγάλα γεωγραφικά πλάτη)
- Το μεγαλύτερο μέρος του αέρα που ανέρχεται στις 60° κατά μήκος του πολικού μετώπου κατευθύνεται μέσω της ανώτερης τροπόσφαιρας προς τους πόλους
- Το πολικό κύτταρο δρα, όπως και το κύτταρο Hadley, σαν θερμική μηχανή (καταβόθρα)
- Καθορίζει τον καιρό των περιοχών των μεγάλων γεωγραφικών πλατών (>60°), ενώ το πολικό υψηλό είναι υπεύθυνο για τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες των πολικών περιοχών

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

■ Το μοντέλο των τριών κυττάρων κυκλοφορίας

- **Κύτταρα που καθοδηγούνται από θερμικά αίτια (Κύτταρο Hadley & Πολικό Κύτταρο)**

Και στα 2 αυτά κύτταρα ο ανερχόμενος κλάδος τους βρίσκεται πάνω από μια θερμή ζώνη ενώ το καθοδικό τους τμήμα πάνω από μια ψυχρή ζώνη. Στην ουσία και στα 2 αυτά κύτταρα συμβαίνει άμεση μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε κινητική

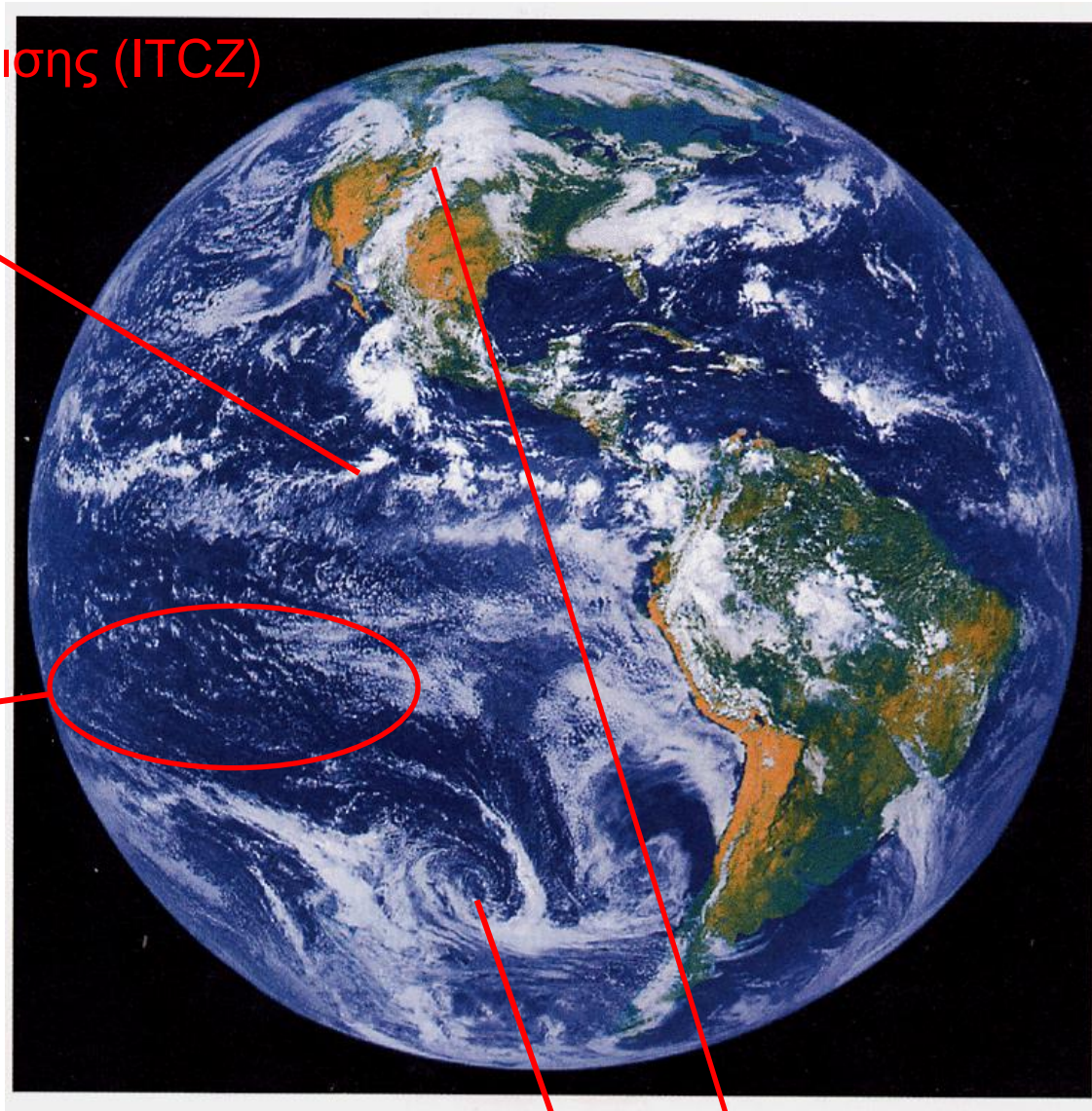
- **Κύτταρο που καθοδηγούνται έμμεσα από θερμικά αίτια (Κύτταρο Ferrel)**

Εδώ ο ανερχόμενος κλάδος τους βρίσκεται πάνω από ψυχρή ζώνη ενώ το καθοδικό τους τμήμα πάνω από θερμή ζώνη. Το συγκεκριμένο κύτταρο δεν καθοδηγείται από θερμικά αίτια αλλά από συνοπτικές διαταραχές (υφέσεις)

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Το μοντέλο των τριών κυττάρων κυκλοφορίας

Ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης (ITCZ)



Υποτροπικός
αντικυκλώνας

Πηγή: NASA

Συνοπτικά (καιρικά) συστήματα των μέσων γεωγραφικών πλατών

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

■ Πλανητική κατανομή των ερήμων



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_observation_satellite

- Οι έρημοι βρίσκονται στις περιοχές που αντιστοιχούν στο καθοδικό τμήμα του κυττάρου Hadley

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- Οι Αεροχείμαροι
- Οι πραγματικοί άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι γενικά **Δυτικοί** με κατεύθυνση προς τους πόλους
- Οι αεροχείμαροι σχηματίζονται στην περιοχή της τροπόπαυσης & είναι στενές ζώνες ισχυρών ανέμων, οι οποίοι στο Β. ημισφαίριο είναι Δυτικοί (πνέουν από Ανατολή προς Δύση)
- Έχουν κυματοειδή μορφή
- Υπάρχουν 2 αεροχείμαροι σε κάθε Ημισφαίριο, ένας **πολικός** & ένας **υποτροπικός**
- Σχηματίζονται σε περιοχές που αποτελούν όρια ή ζώνη συνάντησης αερίων μαζών με σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τη θερμοκρασία & την πυκνότητα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρών βαθμίδων πίεσης π.χ. στις 30° όπου συναντώνται θερμές τροπικές αέριες μάζες με πιο ψυχρές από τους πόλους (**υποτροπικός**) & στις 60° όπου συναντώνται πολύ ψυχρές πολικές αέριες μάζες με θερμότερες προερχόμενες από τον Ισημερινό (**πολικός**). Είναι αποτέλεσμα της θέρμανσης της ατμόσφαιρας & της περιστροφής της Γης (Δύναμη Coriolis)

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Ο Πολικός Αεροχείμαρος**
- Δημιουργείται **60°** βόρεια & νότια του ισημερινού πάνω από το πολικό μέτωπο σε ύψος **10 km** (τροπόπαυση) από την απόκλιση των ανέμων λόγω της επίδρασης της δύναμης Coriolis
- Συνιστά ζώνη με ισχυρά ρεύματα αέρα όπου ο άνεμος πνέει με υψηλές ταχύτητες & κατεύθυνση από τη δύση προς την ανατολή
- Η ταχύτητα του ανέμου αποκτά τη μέγιστη τιμή της στο κέντρο του αεροχειμάρου όπου μπορεί να φτάσει τα **300 km/h**. Σε άλλες μη κεντρικές περιοχές του αεροχειμάρου ο άνεμος έχει μια μέση ταχύτητα **130 km/h** τον χειμώνα και **65 km/h** το θέρος
- Η ροή του αέρα στην περιοχή του αεροχειμάρου ενισχύεται από τις ισχυρές θερμοβαθμίδες & βαροβαθμίδες που αναπτύσσονται κατά μήκος του πολικού μετώπου, το οποίο δημιουργείται όταν ψυχρές πολικές αέριες μάζες συναντώνται με θερμές υποτροπικές
- Ο πολικός αεροχείμαρος 'περικυκλώνει' τον πλανήτη και έχει κυματοειδή μορφή. Τα κύματα που σχηματίζονται (γνωστά ως **κύματα Rossby**) διαδίδονται ανατολικά με ταχύτητες πολύ πιο μικρές από την ταχύτητα του ανέμου μέσα στη ροή του αεροχειμάρου

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

■ Ο Πολικός Αεροχείμαρος

- Υπάρχει μια σχέση ανάδρασης μεταξύ του πολικού αεροχειμάρου & των **εξωτροπικών υφέσεων** ή **υφέσεων των μέσων γεωγραφικών πλατών** που αναπτύσσονται κατά μήκος του πολικού μετώπου καθώς η μορφή & η θέση των κυματισμών του πολικού αεροχειμάρου (κύματα Rossby) καθορίζουν τη θέση και την ένταση των εξωτροπικών υφέσεων
- Γενικά οι εξωτροπικές υφέσεις σχηματίζονται ακριβώς κάτω από τους αυλώνες (troughs) του πολικού αεροχειμέρου
- Οι εξωτροπικές υφέσεις με τη σειρά τους τροφοδοτούν με ενέργεια & ορμή τον πολικό αεροχείμαρο

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Μοντέλο τριών κυττάρων

- **Ο Υποτροπικός Αεροχείμαρος**
- Δημιουργείται **30°** βόρεια & νότια του ισημερινού στα όρια του κυττάρου Hadley σε ύψος **13 km** πάνω από την υποτροπική ζώνη υψηλών πιέσεων
- Όπως ο πολικός αεροχείμαρος δημιουργείται λόγω ανάπτυξης έντονων θερμοβαθμίδων & βαροβαθμίδων αποτέλεσμα της ανάμιξης θερμών τροπικών αερίων μαζών με ψυχρότερες προερχόμενες από βορειότερα γεωγραφικά πλάτη
- Ο υποτροπικός αεροχείμαρος είναι ασθενέστερος σε σχέση με τον πολικό λόγω των ασθενέστερων θερμοβαθμίδων & βαροβαθμίδων των υποτροπικών περιοχών
- Μετακίνηση του σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη κατά το θέρος είναι συχνά η αιτία για την εισβολή θερμών κυμάτων αέρα στη Μεσόγειο από την Αφρική και την εκδήλωση επεισοδίων καύσωνα

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Πραγματική Κυκλοφορία

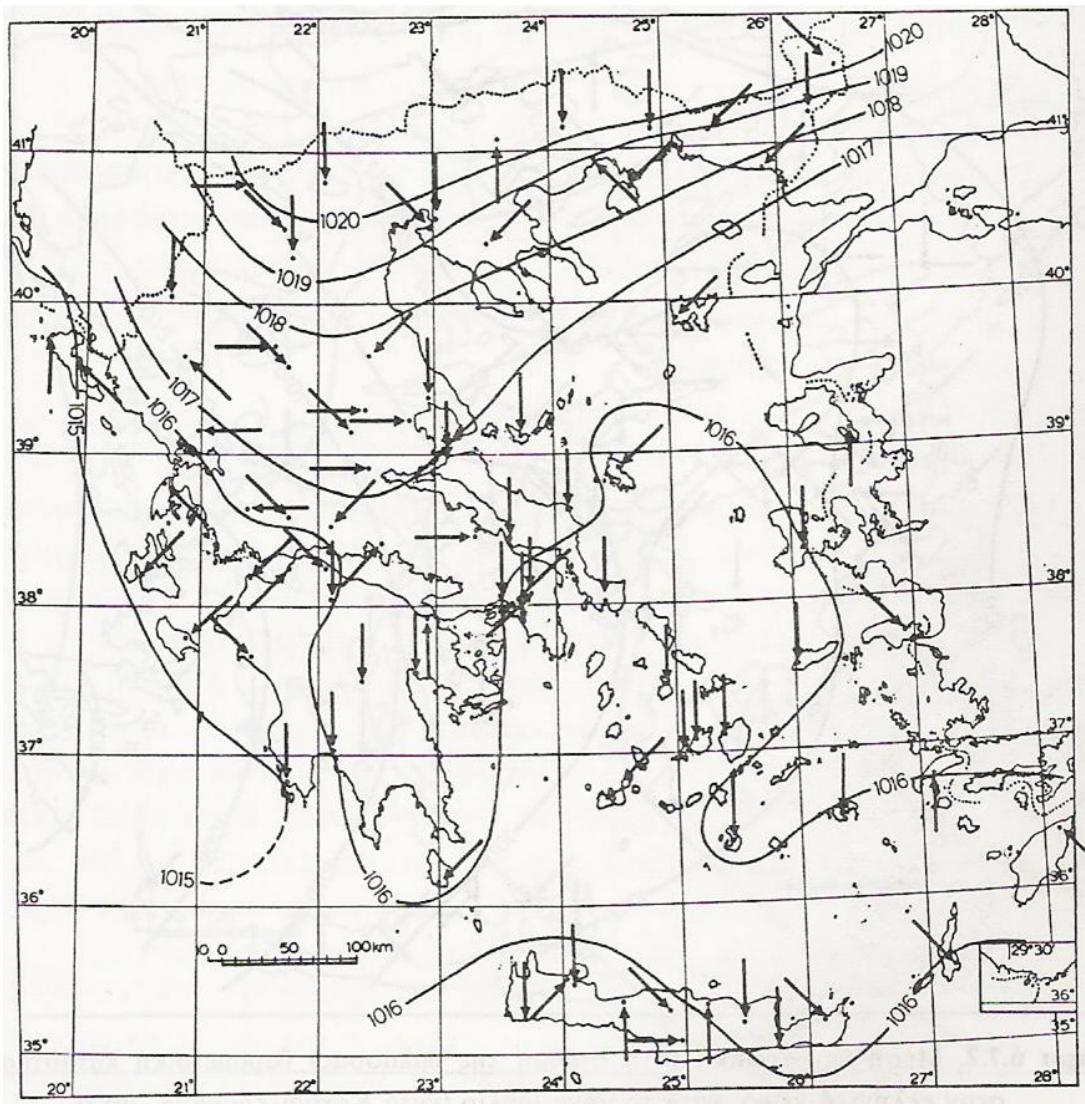
- Η πραγματική διανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια & η γενική κυκλοφορία διαφοροποιείται σε ορισμένα σημεία από το μοντέλο των τριών κυττάρων
- Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται κυρίως σε τρεις παράγοντες
 - ✓ Η ανώμαλη διανομή των ξηρών & θαλασσών => διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης & ψύξης στην επιφάνεια => ζώνες υψηλών & χαμηλών πιέσεων είναι λιγότερο ομοιόμορφες
 - ✓ Η απόκλιση του Ηλίου, η οποία οφείλεται στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης => οι ζώνες υψηλών & χαμηλών πιέσεων μετακινούνται προς βορρά τον χειμώνα & προς νότο το καλοκαίρι
 - ✓ Το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης. Το μεγάλο υψόμετρο ενισχύει τα κέντρα των βαρομετρικών συστημάτων, ιδιαίτερα των υψηλών

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Πραγματική Κυκλοφορία

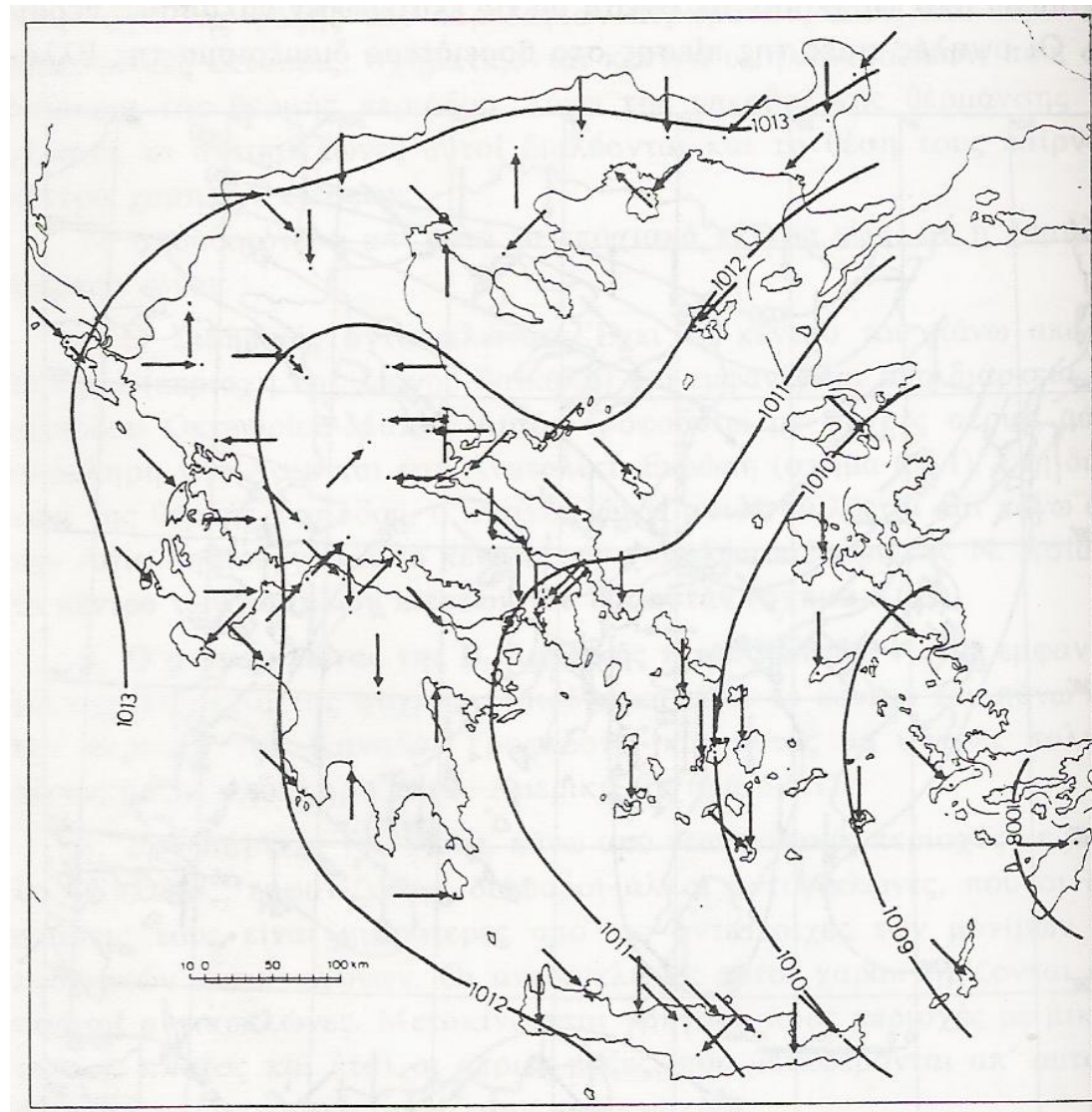
- Εξ' αιτίας αυτών των παραγόντων, οι περιοχές υψηλών & χαμηλών πιέσεων δεν εμφανίζονται με τη μορφή ζωνών αλλά ως κέντρα υψηλών & χαμηλών πιέσεων
- Κάποια από τα κέντρα αυτά διατηρούνται ολόκληρο τον χρόνο με αυξομειώσεις & μετακινήσεις τις διάφορες εποχές του έτους (μόνιμα συστήματα) και άλλα παρουσιάζονται σε ορισμένες περιοχές κατά τη θερμή ή ψυχρή περίοδο του έτους (εποχικά συστήματα)

Διανομή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης στον Ελλαδικό χώρο

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

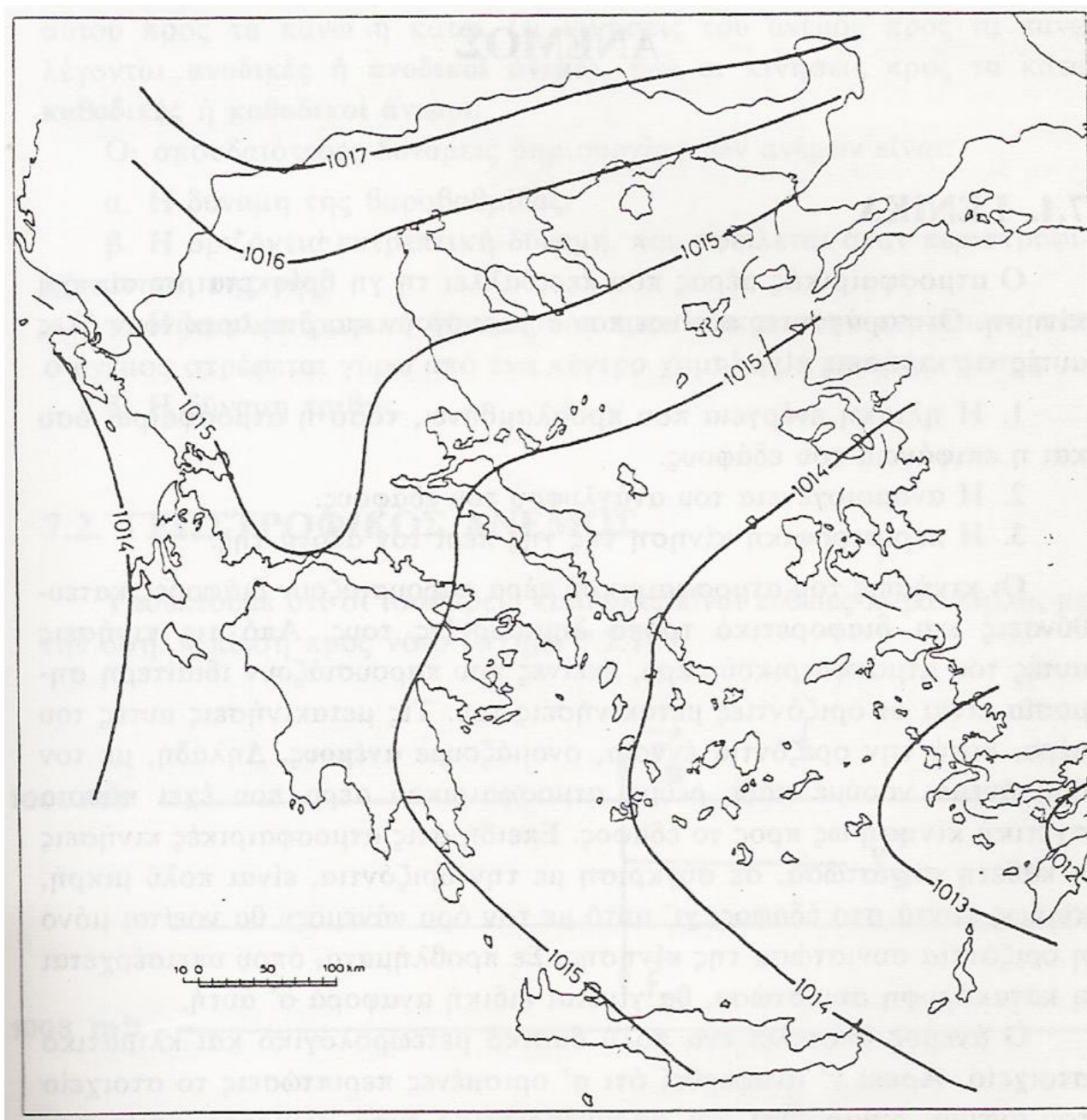


ΙΟΥΛΙΟΣ



Διανομή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης στον Ελλαδικό χώρο

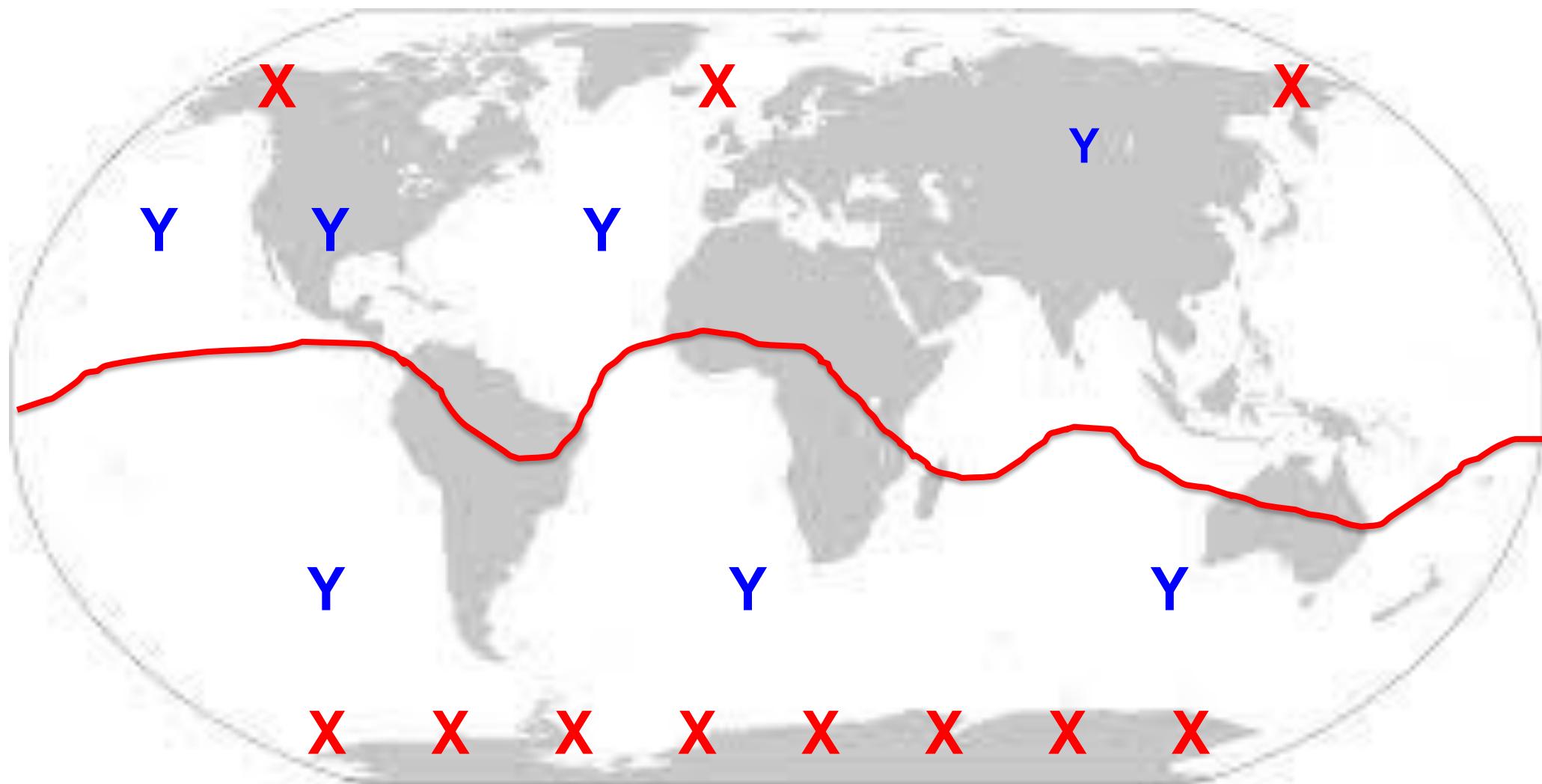
Μέση ετήσια τιμή



Πηγή: Α.Α. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

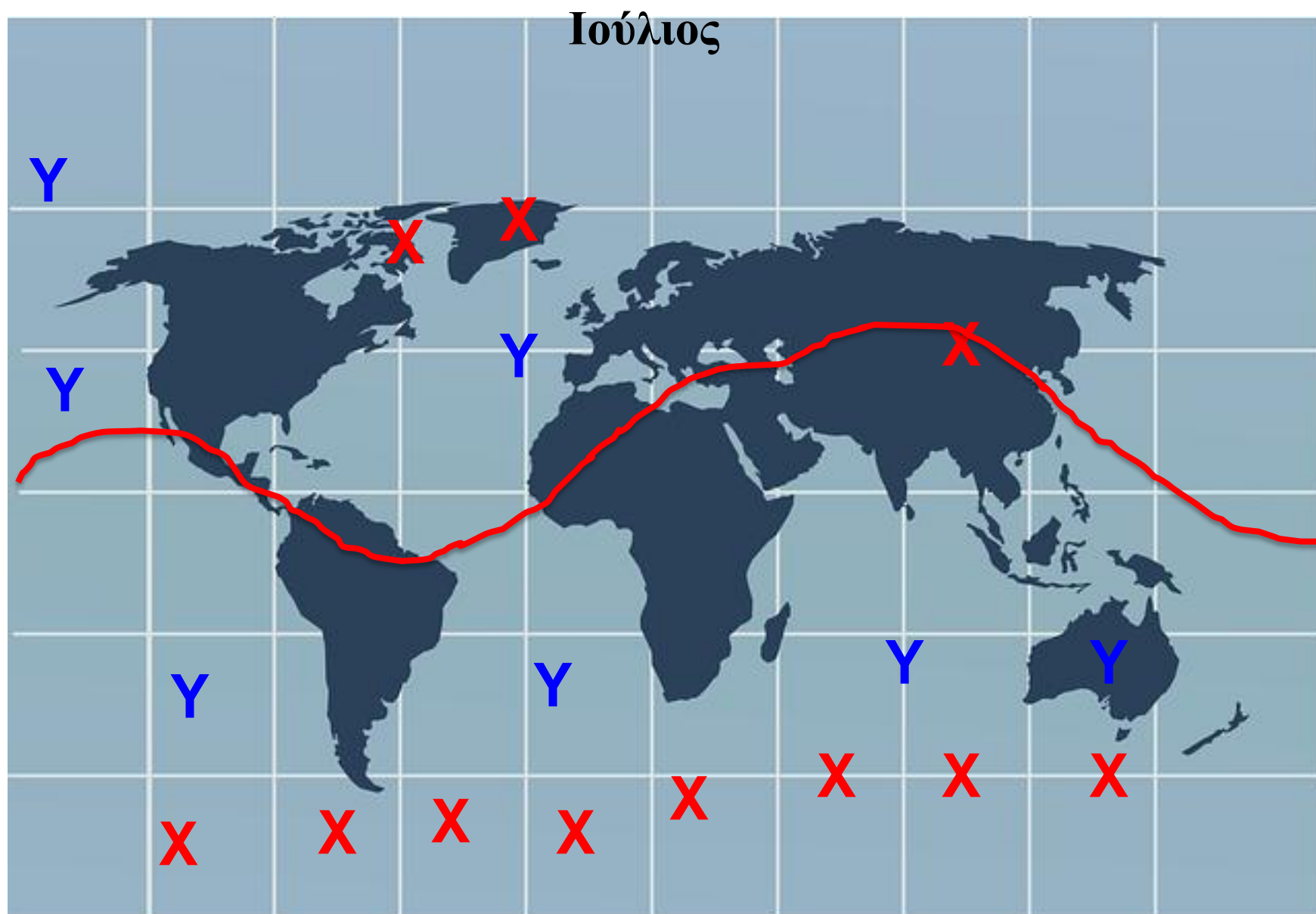
Διανομή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης & των Ανέμων στην επιφάνεια της Γης

Ιανουάριος



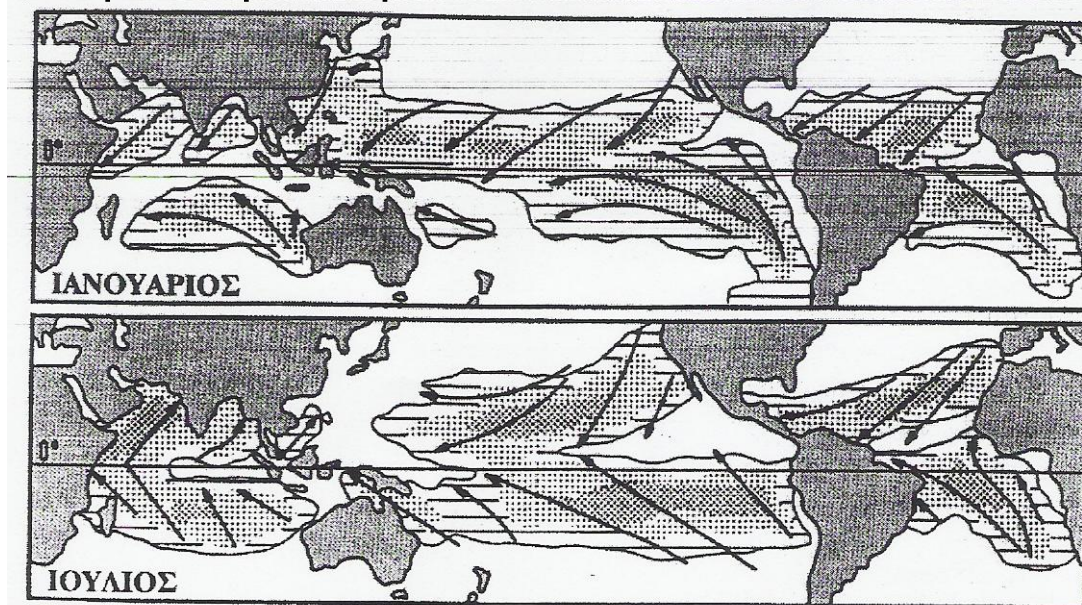
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Template:Earth_Labelled_Map

Διανομή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης & των Ανέμων στην επιφάνεια της Γης



Αληγεΐς Άνεμοι

- Η διεύθυνση τους είναι γενικά **ανατολική** και κυμαίνεται:
 - ✓ **βόρειο ημισφαίριο:** από Β έως ΒΑ ή και ΑΒΑ μέχρι και Α
 - ✓ **νότιο ημισφαίριο:** από Ν έως ΝΑ ή και ΑΝΑ μέχρι και Α
- Οι Αληγεΐς κατά τη διάρκεια του έτους μετατοπίζονται 8 – 10° προς βορρά ή προς νότο ακολουθώντας την ετήσια κύμανση του ηλίου



Πηγή: Σαχσαμάνογλου Χ.Σ. και Α.Α. Μπλούτσος, Φυσική κλιματολογία, 1998

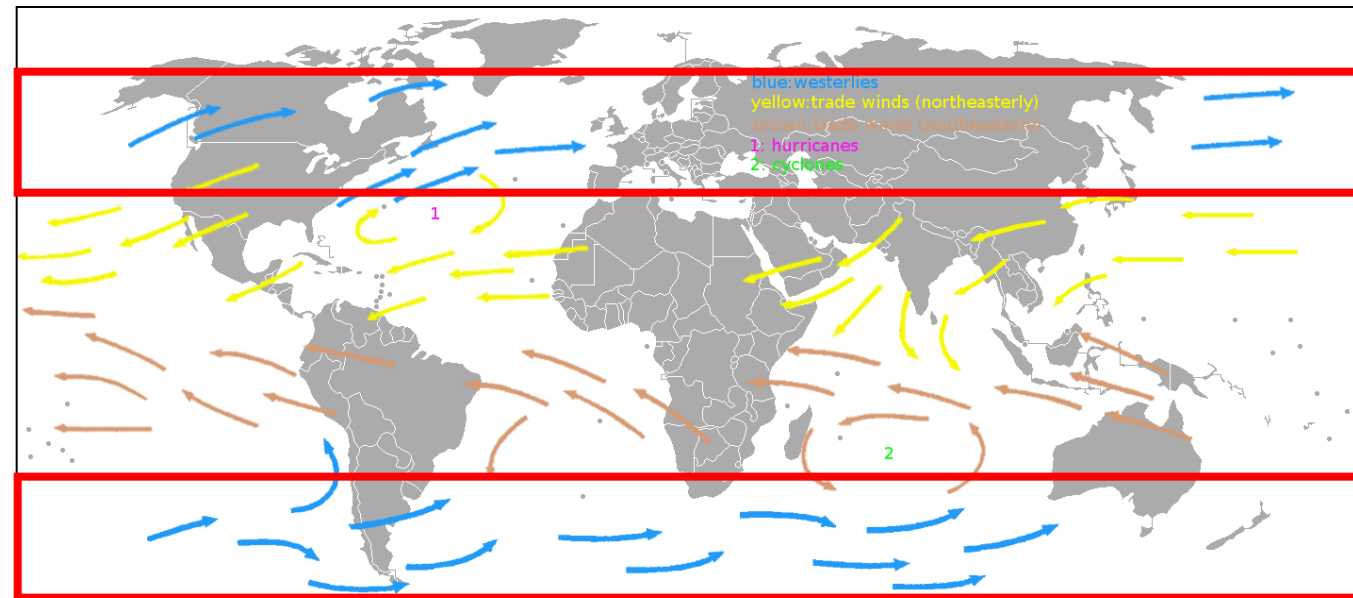
- Λόγω της ανομοιογένειας της επιφάνειας της Γης με την εναλλαγή ηπείρων & ωκεανών, οι αληγεΐς παρατηρούνται καθ'όλη τη διάρκεια του έτους μόνο στον βόρειο & νότιο Ατλαντικό & Ειρηνικό ωκεανό και στον νότιο Ινδικό
- Την πιο μεγάλη ένταση τους σημειώνεται στον Ατλαντικό ωκεανό στο τέλος του χειμώνα & στις αρχές της άνοιξης κάθε ημισφαιρίου.
- Οι αληγεΐς του Ειρηνικού είναι ασθενέστεροι & πιο ευμετάβλητοι. Τη μεγαλύτερη ταχύτητα παρουσιάζουν οι ΝΑ αληγεΐς του Ινδικού ωκεανού

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Δυτικοί άνεμοι (Westerlies)

- **Δυτικοί άνεμοι ή επικρατούντες Δυτικοί άνεμοι (Westerlies):** πλανητικής κλίμακας άνεμοι των μέσων γεωγραφικών πλατών ($30^{\circ} - 60^{\circ}$, κύτταρο **Ferrel**) πνέουν από τις υψηλές πιέσεις των υποτροπικών περιοχών προς τους πόλους & λόγω της εκτροπτικής επίδρασης της Δύναμης Coriolis εκδηλώνονται ως άνεμοι δυτικών διευθύνσεων
- Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσονται στις βόρειες πλευρές των υποτροπικών αντικυκλώνων του Β. ημισφαιρίου & στις νότιες του Νοτίου
- Οι άνεμοι που επικρατούν όλο το χρόνο είναι κατά μέσο όρο **ΔΝΔ** στο **βόρειο ημισφαίριο** & **ΔΒΔ** στο **νότιο**

- Οι Δυτικοί άνεμοι είναι ισχυρότεροι τον χειμώνα του κάθε ημισφαιρίου & εξασθενούν το καλοκαίρι. Οι ισχυρότεροι εμφανίζονται μεταξύ 40° & 50°

- Επειδή το νότιο ημισφαίριο είναι περισσότερο ομοιογενές μιας και



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_wind_patterns

κυριαρχεί ο ωκεανός ενώ η ξηρά κατέχει μικρότερη έκταση, οι δυτικοί άνεμοι εκεί είναι σταθερότεροι και ισχυρότεροι σε σχέση με τους Δυτικούς ανέμους του Β. ημισφαιρίου

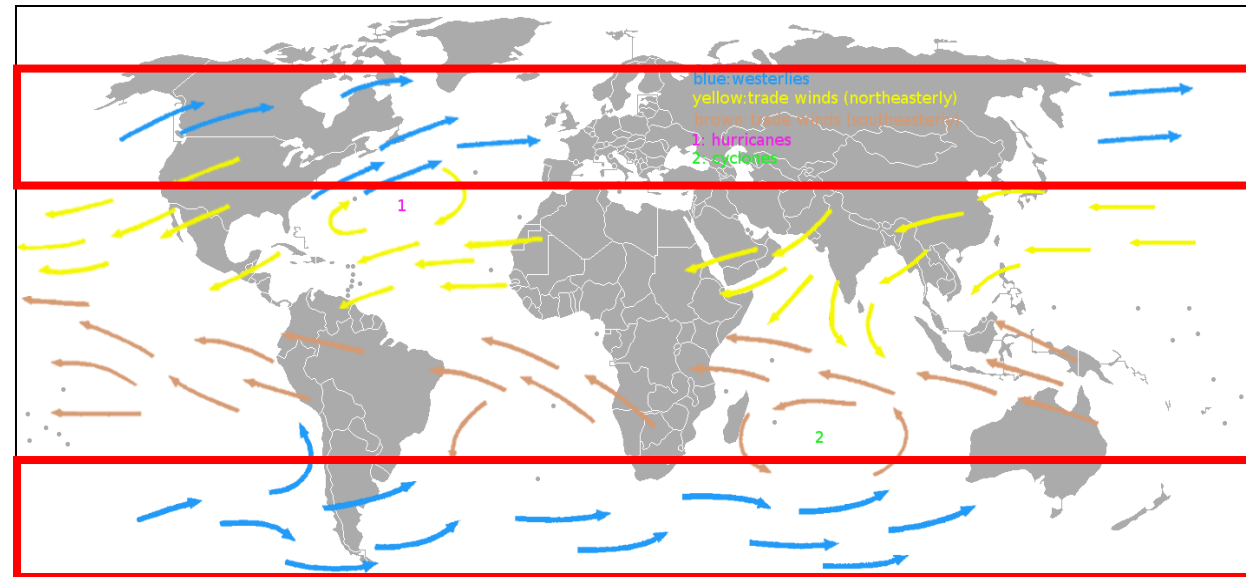
- Η μέση ένταση τους αυξάνει με το γεωγραφικό πλάτος

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Δυτικοί άνεμοι (Westerlies)

- Οι Δυτικοί άνεμοι 'οδηγούν' τις υφέσεις των μέσων γεωγραφικών πλατών (εξωτροπικές υφέσεις) οι οποίες επίσης κινούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά
- Μάλιστα, οι Δυτικοί άνεμοι σε συνδυασμό με τις υφέσεις δημιουργούν κατά την ψυχρή περίοδο στις εύκρατες περιοχές ανώμαλες & ευμετάβλητες καιρικές καταστάσεις

■ Λόγω της εμμονής τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, οι Δυτικοί άνεμοι φαίνεται ότι 'οδηγούν' και τα ωκεάνια ρεύματα

■ Μάλιστα, επειδή είναι ισχυρότεροι στο Ν. ημισφαίριο και τα ωκεάνια ρεύματα εκεί είναι ισχυρότερα



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_wind_patterns

■ Μάλιστα, τα ρεύματα των δυτικών ακτών είναι ισχυρότερα & παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη μεταφορά θερμότητας προς τους πόλους καθώς μεταφέρουν θερμά νερά από τις υποτροπικές περιοχές

■ Οι Δυτικοί άνεμοι κυριαρχούν σε όλη την ατμόσφαιρα, τόσο στην επιφάνεια όσο και στην ανώτερη τροπόσφαιρα

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Ισημερινοί Άνεμοι (Doldrums)

■ Άνεμοι στον Ισημερινό (Doldrums):

- Στον Ισημερινό η ατμοσφαιρική πίεση είναι χαμηλή και οι βαροβαθμίδες ασθενείς => στη ζώνη αυτή επικρατούν ασθενείς άνεμοι ή νηνεμίες
- Η ζώνη αυτή είναι η **ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης** (Intertropical Convergence Zone, ITZC) καθώς εκεί συγκλίνουν οι αληγείς άνεμοι
- Οι κύριες κινήσεις του αέρα στη ζώνη αυτή γίνονται κατά την κατακόρυφο με τις έντονες ανοδικές κινήσεις, την ανάπτυξη νεφών Cb & τις καταιγίδες
- Η ονομασία αυτής της ζώνης νηνεμίας προέρχεται από τους Ναυτικούς, οι οποίοι μπορούσαν να μείνουν εκεί ακινητοποιημένοι για μέρες λόγω άπνοιας
- Η ονομασία θέλει να περιγράψει τις ακανόνιστες καιρικές συνθήκες που επικρατούν στη ζώνη αυτή όπου οι νηνεμίες μπορεί να διαταράσσονται από καταιγίδες

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Άνεμοι στις ζώνες υψηλών πιέσεων των υποτροπικών περιοχών (Horse Latitudes)

- **Άνεμοι των Horse Latitudes:** στις ζώνες υψηλών πιέσεων των υποτροπικών περιοχών (25^ο – 40^ο) βόρεια & νότια του Ισημερινού επικρατούν ολόκληρο σχεδόν τον χρόνο ασθενείς άνεμοι ή νηνεμίες
- Πάνω από τις περιοχές αυτές ο αέρας κινείται καθοδικά, θερμαίνεται αδιαβατικά με αποτέλεσμα, ο καιρός τις περισσότερες φορές να είναι αίθριος και σχετικά ξηρός

Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας - Οι Άνεμοι των πολικών περιοχών

- **Οι άνεμοι των πολικών περιοχών:**
- Στις πολικές περιοχές του βορείου ημισφαιρίου κατά την χειμερινή περίοδο επικρατούν μεταβλητοί, ως προς τη διεύθυνση και την ένταση άνεμοι
- Οι αντικυκλώνες που σχηματίζονται πάνω από τις περιοχές των πάγων στους πόλους προκαλούν νηνεμίες
- Οι νηνεμίες αυτές εναλλάσσονται με κακοκαιρίες που οφείλονται στις εισβολές υφέσεων, οι οποίες σχηματίζονται κατά μήκος του πολικού μετώπου
- Το καλοκαίρι επειδή οι υφέσεις παρουσιάζουν μικρότερη συχνότητα, οι άνεμοι είναι ασθενέστεροι

- **Μηχανισμός δημιουργίας των Μουσσώνων:** Διαφορική θέρμανση ξηράς και Ωκεανού τις εποχές του έτους (Θέρος – Χειμώνα)
- Αντίστοιχος της δημιουργίας θαλάσσιας αύρας (τοπική κυκλοφορία σε ημερήσια βάση) ενώ ο Μουσσώνας μεγάλης κλίμακας κυκλοφορία σε εποχική βάση

Μουσσώνες

- Ο πιο γνωστός Μουσσώνας είναι της ΝΑ Ασίας και ειδικότερα ο **Ινδικός**

Μουσώνες

North America
Monsoon

Asia Monsoon



Australian
Monsoon

South America
Monsoon

Africa Monsoon

Πηγή: <https://pixabay.com/en/world-map-earth-continent-europe-149634>

Αναφορές

- Φλόκας Α.,: Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1997, ISBN: 960-431-288-X
- Σαχσαμάνογλου Χ.Σ. και Α.Α. Μπλούτσος: Φυσική Κλιματολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1998, ISBN: 9604314955

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την 1^η έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αγγελική Φωτιάδη, 2015.

Αγγελική Φωτιάδη. «**ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ**». Έκδοση: 1.0. Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://eclass.upatras.gr/modules/document/document.php?course=ENV_109

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».



Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Διαφάνεια 11: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/wind.htm>

Διαφάνεια 12: Courtesy of Kevin Trenberth revised from Trenberth et al. 1996

Διαφάνεια 17: <https://en.wikipedia.org/>

Διαφάνεια 30: NASA

Διαφάνεια 31: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_observation_satellite

Διαφάνεια 38-39: Α.Α. Φλόκας, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 1997

Διαφάνεια 41: <https://pixabay.com/en/world-map-earth-continent-europe-149634/>

Διαφάνεια 42: Σαχσαμάνογλου Χ.Σ. και Α.Α. Μπλούτσος, Φυσική κλιματολογία, 1998

Διαφάνεια 43-44: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_wind_patterns

Διαφάνεια 50: https://pixabay.com/en/world-map-earth-continent-europe-149634

