

ΑΣΚΗΣΗ 6

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 Γενικά

Οι διάφορες κλιματικές παράμετροι, θερμοκρασία, πίεση, υγρασία κ.λπ., πέραν των μεταβολών που υφίστανται από τόπο σε τόπο στο επιφανειακό στρώμα, υφίστανται και μεταβολές καθώς ανερχόμαστε καθ' ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα, οι οποίες επιρρεάζουν και την κατανομή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η καταγραφή αυτών των μεταβολών μπορεί να γίνει με μια διάταξη που ονομάζεται **ραδιοβολίδα**, η οποία αποτελείται από ένα μικρό αερόστατο που ανυψώνει μια συσκευή αποτελούμενη από ένα πομπό και από ευαίσθητα όργανα που μετρούν τις μεταβολές της πίεσης, της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του ανέμου. Τα όργανα είναι συνδεδεμένα με τον πομπό, έτσι, καθώς η ραδιοβολίδα διασχίζει τα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα οι μεταβολές των μετεωρολογικών στοιχείων προκαλούν μεταβολές στη συχνότητα εκπομπής του πομπού, τα εκπεμπόμενα σήματα του οποίου μεταδίδονται σε δέκτη που βρίσκεται στο έδαφος*. Το αερόστατο που ανυψώνει τη συσκευή είναι ένα μπαλόνι που ανεβαίνει μέχρι του ύψους περίπου των 10.000 μ. (Τροπόπαυση), όπου και εκρήγνυται. Ο πομπός θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να στέλνει σήματα σε απόσταση τουλάχιστον 100 μιλίων σε ακτίνα επί του εδάφους, γιατί οι άνεμοι μπορεί να μεταφέρουν τη ραδιοβολίδα μακριά από το σταθμό εκτόξευσης. Μια ραδιοβολίδα με μέση ανυψωτική ταχύτητα μπαλονιού 5 m/sec χρειάζεται περίπου μισή ώρα για να πλησιάσει την Τροπόπαυση. Η ραδιοβόλιση στην Ελλάδα γίνεται δυο φορές την ημέρα το μεσημέρι και τα μεσάνυχτα (ώρα G.M.T.) και μόνο σε τρεις σταθμούς (Αεροδρόμιο Ελληνικού - Μίκρα Θεσσαλονίκης - Ηράκλειο Κρήτης) από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Η απεικόνιση των καταγραφόμενων στοιχείων από μια ραδιοβόλιση γίνεται σε ειδικές παραστάσεις που ονομάζονται θερμοδυναμικά διαγράμματα, από τα οποία μπορούμε να συλλέξουμε πολύτιμα συμπεράσματα για τις συνθήκες καιρού πάνω από μια περιοχή.

* Το ύψος στο οποίο βρίσκεται κάθε φορά η ραδιοβολίδα προσδιορίζεται με Radar και με τη βοήθεια ενός ειδικού ανακλάστη τοποθετημένου στην κάτω επιφάνεια της ραδιοβολίδας.



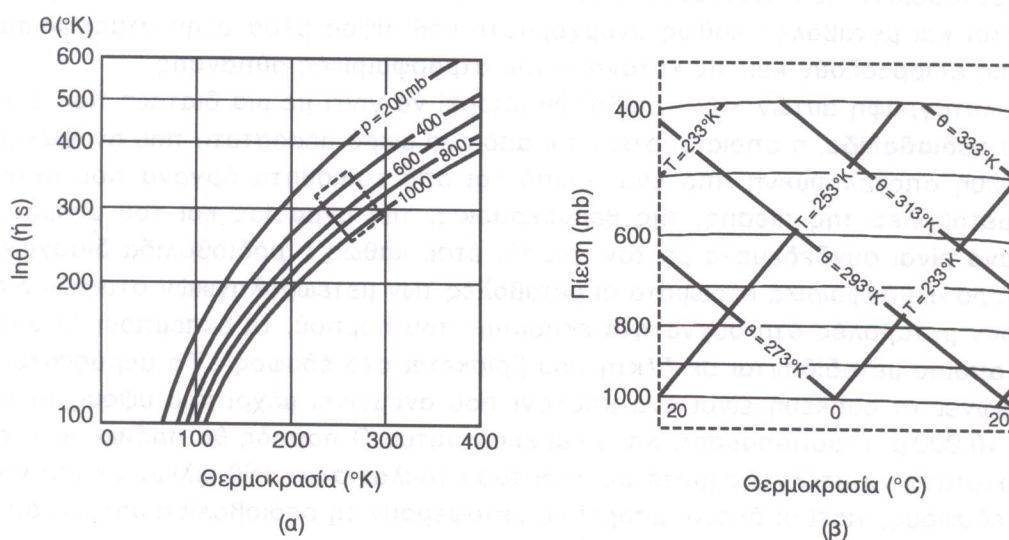
Ένα τέτοιο σπουδαίο διάγραμμα είναι το Τεφίγραμμα, που ονομάζεται έτσι γιατί έχει σαν συντεταγμένες τη θερμοκρασία T και την εντροπία Φ ($T - \Phi$ διάγραμμα), από το οποίο μπορούμε να προσδιορίσουμε όλα τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των αερίων μαζών, όπως είναι π.χ. η απόλυτη και σχετική υγρασία, η θερμοκρασία (T_d , T_w , T_e), η στάθμη συμπύκνωσης των υδρατμών, η ποσότητα νερού το οποίο μπορεί να πέσει σαν βροχή, χιόνι ή χαλάζι και διάφορες άλλες παράμετροι.

Η εντροπία (Φ) σύμφωνα με το Α' Θερμοδυναμικό αξίωμα και την εξίσωση Poisson, είναι συνάρτηση της δυνητικής θερμοκρασίας* Θ

$$\Phi = C_p \ln \Theta + \text{σταθ.} \quad (5.1)$$

όπου το C_p εκφράζει τη μοριακή θερμότητα υπό σταθερή πίεση.

Επειδή όπως φαίνεται από την εξίσωση μια γραμμική μεταβολή της Φ αντιστοιχεί σε μια λογαριθμική μεταβολή της Θ , στις Μετεωρολογικές εφαρμογές, οι τιμές των θερμοκρασιών και των πιέσεων που αντιστοιχούν σε αντίστοιχες με τις περιγραφείσες μεταβολές, στρέφονται κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού, έτσι ώστε οι ισοβαρείς να γίνουν οριζόντιες (ιδέ ορθογώνιο παραλληλόγραμμο Σχήματος 5.1(a) \rightarrow 5.1(b)).

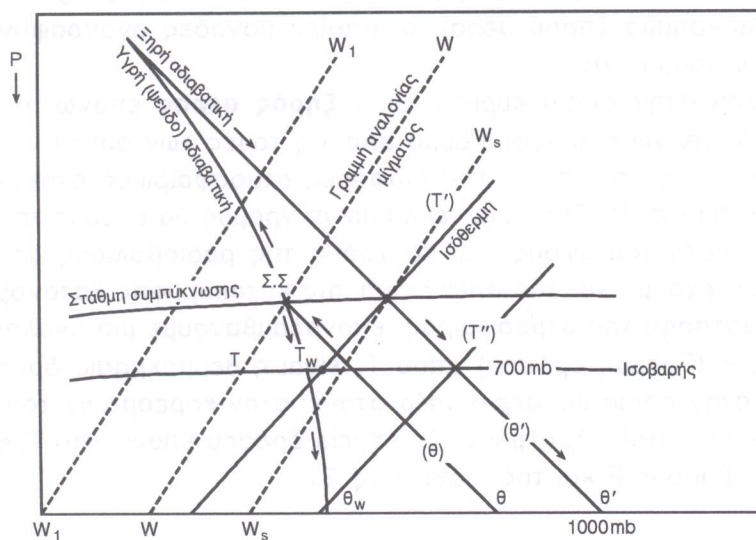


Σχ. 5.1.

Το τεφίγραμμα δεν είναι ένα συνηθισμένο διάγραμμα με έναν οριζόντιο και ένα κατακόρυφο άξονα, αλλά αποτελείται από πέντε (5) διαφορετικά είδη γραμμών (Σχήμα 5.2).

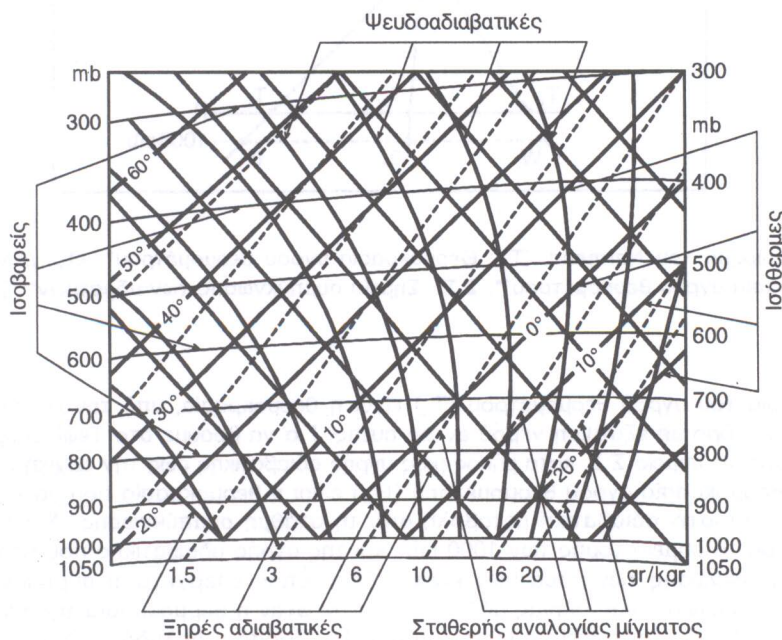
* Δυνητική θερμοκρασία Θ είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με αδιαβατική συμπίεση ή εκτόνωση ξηρού αέρα στην πίεση των 1000 mbs. Χρησιμεύει για να συγκρίνουμε δύο αέρια μάζες που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα από άποψη θερμοκρασίας και παραμένει σταθερή όσο η αέρια μάζα εξακολουθεί να παραμένει ακόρεστη από υδρατμούς. Για να την προσδιορίσουμε επάνω στο Τεφίγραμμα, αφού χαράξουμε την ξηρή αδιαβατική των σημείων P , T (όπως θα δούμε πιο κάτω), σημειώνουμε το σημείο τομής αυτής της γραμμής με την ισοβαρή των 1000 mbs. Αυτό το σημείο αντιπροσωπεύει την δυνητική θερμοκρασία.

α) **Ισοβαρείς** (Γραμμές ίσης ατμοσφαιρικής πίεσης), β) **Ισόθερμες** (Γραμμές ίσης θερμοκρασίας), γ) **Ξηρές αδιαβατικές** (ή ισεντροπικές δηλ. γραμμές ίσης δυναμικής θερμοκρασίας), δ) **Υγρές αδιαβατικές** (Ψευδοαδιαβατικές), ε) **Σταθερής αναλογίας μίγματος** κορεσμένων υδρατμών



Σχ. 5.2. Οι αντιπροσωπευτικές μεταβολές σε ένα Τεφιγράμμα.

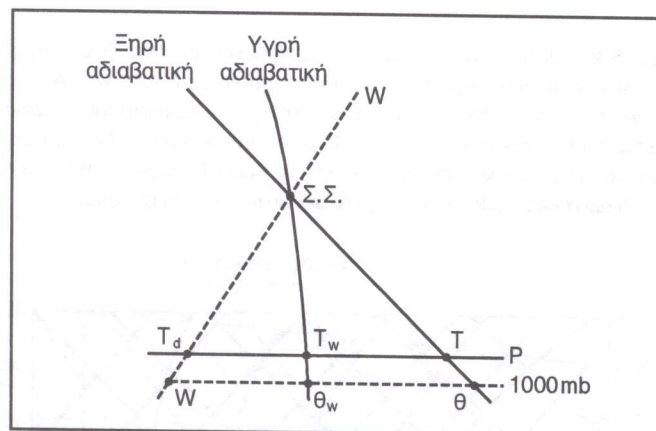
T: θερμοκρασία. θ : Δυναμική θερμοκρασία. T_d : Θερμοκρασία Δρόσου. w_s : Αναλογία μίγματος κορεσμένων υδρατμών. w : Αναλογία μίγματος (πραγματική). T_w : Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου. θ_w : Δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου. Σ.Σ.: Σημείο συμπύκνωσης. Οι ισόθερμες, οι ισοβαρείς και οι ίσης αναλογίας μίγματος καμπύλες προσδιορίζουν τη θερμοδυναμική κατάσταση της αέριας μάζας. Οι Ξηρές και υγρές αδιαβατικές καθορίζουν τις κατακόρυφες κινήσεις τους.



Σχ. 5.3. Τυπική μορφή Τεφιγράμματος.

Οι ισοβαρείς είναι σχεδόν ευθείες και οριζόντιες γραμμές και χαράσσονται ανά 10 mbs. Οι ισόθερμες και οι ξηρές αδιαβατικές είναι ευθείες κάθετες μεταξύ τους και οι μεν πρώτες είναι χαραγμένες ανά 1°C , ενώ οι δεύτερες ανά 10°C , σχηματίζουν δε με τις ισοβαρείς γωνία 45° . Οι γραμμές σταθερής αναλογίας σχηματίζουν μικρή γωνία με τις ισόθερμες και χαράσσονται σε μονάδες g/Kg (γραμμάρια υδρατμών ανά χιλιόγραμμο ξηρού αέρα), οι οποίες μονάδες αναγράφονται στο κάτω μέρος του Τεφίγραμματος.

Η κατάσταση στην οποία ευρίσκεται ο **ξηρός αέρας** επάνω από μια περιοχή προσδιορίζεται επάνω στο τεφίγραμμα από τις τομές των σημείων της θερμοκρασίας T με εκείνα της πίεσης P στις διάφορες ατμοσφαιρικές στάθμες. Αν συνδέσουμε όλα τα σημεία (P, T) με μια τεθλασμένη γραμμή θα έχουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας μετά του ύψους, για το χρόνο της ραδιοβόλισης στο θεωρούμενο σταθμό. Για να έχουμε και την απεικόνιση της κατακόρυφης κατανομής της υγρομετρικής κατάστασης της ατμόσφαιρας, επαναλαμβάνουμε μια ανάλογη εργασία με τα σημεία T_d, P (Γραμμή δρόσου) όπου T_d είναι η θερμοκρασία δρόσου, δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία μια αέρια μάζα φτάνει στον κορεσμό με τους υπάρχοντες (όσοι και αν είναι αυτοί) υδρατμούς. Το σημείο δρόσου επάνω στο Τεφίγραμμα είναι η τομή της ισοβαρούς P και της ισόθερμης T_d .



Σχ. 5.4. Θεώρημα του Normand. [T_w : Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου*. Θ_w : Δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου**. $\Sigma.\Sigma.$: Σημείο συμπύκνωσης των υδρατμών***].

- * Θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου (T_w) είναι η θερμοκρασία, υπό την οποία μια αέρια μάζα φθάνει στον κόρο με εξάτμιση νερού εντός αυτής. Για να βρούμε στο Τεφίγραμμα την T_w κατεβαίνουμε από το σημείο $\Sigma.\Sigma.$ κατά μήκος μιας υγρής αδιαβατικής έως την αρχική στάθμη πίεσης P .
- ** Δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (Θ_w) είναι η θερμοκρασία που θα έχει μια αέρια μάζα, που θα υποστεί αδιαβατική μεταβολή από τη στάθμη συμπύκνωσης ($\Sigma.\Sigma.$) στα 1000 mbs. Είναι δηλαδή το σημείο τομής των 1000 mbs και της υγρής αδιαβατικής που περνά από την T_w .
- *** Σημείο συμπύκνωσης των υδρατμών είναι η θέση όπου επέρχεται η συμπύκνωση των υδρατμών. Η συμπύκνωση μιας αέριας μάζας επέρχεται όταν η θερμοκρασία της κατά την διάρκεια ανοδικών κινήσεων ταυτιστεί με αυτή του σημείου δρόσου. Δηλαδή το $\Sigma.\Sigma.$ της μάζας (P, T) θα είναι το σημείο τομής της ξηρής αδιαβατικής που περνά από το σημείο (P, T) και της γραμμής αναλογίας μίγματος που περνά από το σημείο δρόσου.

Υπάρχει ένα πολύ σπουδαίο θεώρημα (Normand) που μας βοηθά να προσδιορίσουμε όλα τα στοιχεία μιας αέριας μάζας στο Τεφίγραμμα, όταν γνωρίζουμε μόνο μερικά. «Για ένα ακόρεστο δείγμα αέρα, η ξηρή αδιαβατική που περνάει από την θερμοκρασία T (και τη δυνητική θερμοκρασία Θ), η γραμμή αναλογίας μίγματος που περνά από το σημείο δρόσου T_d και η υγρή αδιαβατική που περνά από την θερμοκρασία T_w (και από την Θ_w), τέμνονται σε ένα σημείο, το **σημείο συμπύκνωσης των υδρατμών**» (Σχήμα 5.4).

5.2 Η κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας ως παράγοντας ευστάθειας ή αστάθειας της ατμόσφαιρας

5.2.1 Γενικά

Η γνώση της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας εντός μιας αέριας μάζας επιτρέπει να συμπεράνουμε κατά πόσον είναι δυνατόν ή αδύνατον να προκληθούν κατακόρυφες κινήσεις, δηλαδή να εκτιμήσουμε το βαθμό ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Ας δούμε πώς γίνεται αυτό.

Ας θεωρήσουμε μέσα στην ατμόσφαιρα, ευρισκόμενη σε ισορροπία (δηλαδή σε ακινησία) μικρή αέρια μάζα η οποία ξαφνικά, λόγω μιας μικρής ατμοσφαιρικής διαταραχής, μετατοπίζεται κατακόρυφα. Λόγω της μετατόπισης αυτής η μικρή μάζα υφίσταται **αδιαβατικές μεταβολές**, δηλαδή μεταβολές κατά τις οποίες δεν ανταλλάσσεται θερμότητα μεταξύ της αέριας μάζας και του περιβάλλοντος. Σε μια ορισμένη στάθμη τα εξής τρία μπορεί να συμβαίνουν, ως προς την πυκνότητα της αέριας μάζας: Να είναι αυτή ίση, μεγαλύτερη ή μικρότερη της πυκνότητας του αέρα που την περιβάλλει. Στην πρώτη περίπτωση η αέρια μάζα εξακολουθεί να παραμένει στην στάθμη που κατείχε αρχικά, στη δεύτερη περίπτωση η μάζα κατέρχεται και στην τρίτη η αέρια μάζα ανέρχεται. Αλλά η διαφορά πυκνότητας μεταξύ της μικρής αέριας μάζας και του περιβάλλοντος αυτήν αέρα, εξαρτάται μόνο από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτών. Επομένως αν η εντός της ατμόσφαιρας εμφανιζόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας (π.χ. ελάττωση) είναι:

- **Ίση** με την αδιαβατική ελάττωση, υπάρχει *αδιάφορη ισορροπία*.
- **Μικρότερη** της αδιαβατικής ελάττωσης, η ατμόσφαιρα είναι *ευσταθής*, γιατί τμήμα αέρα απομακρυνόμενο από τη θέση ισορροπίας του τείνει να επανέλθει σ' αυτήν.
- **Μεγαλύτερη** της αδιαβατικής ελάττωσης η ατμόσφαιρα είναι *ασταθής*, γιατί μικρή αέρια μάζα εκτρεπόμενη από τη θέση ισορροπίας της απομακρύνεται περισσότερο απ' αυτήν. Αν η θερμοκρασία της αέριας μάζας, μετά την ανύψωσή της, είναι μεγαλύτερη εκείνης των ατμοσφαιρικών στρωμάτων στα οποία εισχωρεί (επομένως η αέρια μάζα είναι αραιότερη αυτών), θα συνεχίσει να μετατοπίζεται κατακόρυφα. Στην περίπτωση αυτή ομιλούμε για ασταθή ισορροπία.

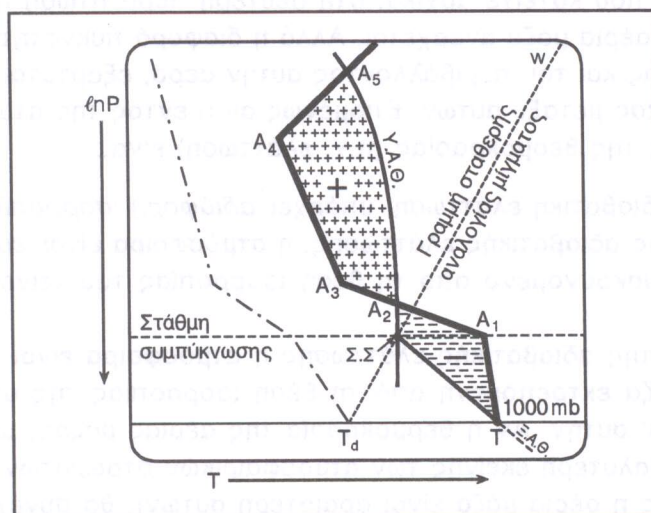
Οι συνθήκες ευστάθειας, αστάθειας και αδιάφορης ισορροπίας, προσδιορίζονται στο Τεφίγραμμα από την κλίση που έχει η κατανομή της κατακόρυφης θερμοκρα-

σίας (όπως προσδιορίζεται από τη ραδιοβόλιση), σε σχέση με την κλίση της αδιαβατικής μεταβολής της θερμοκρασίας.

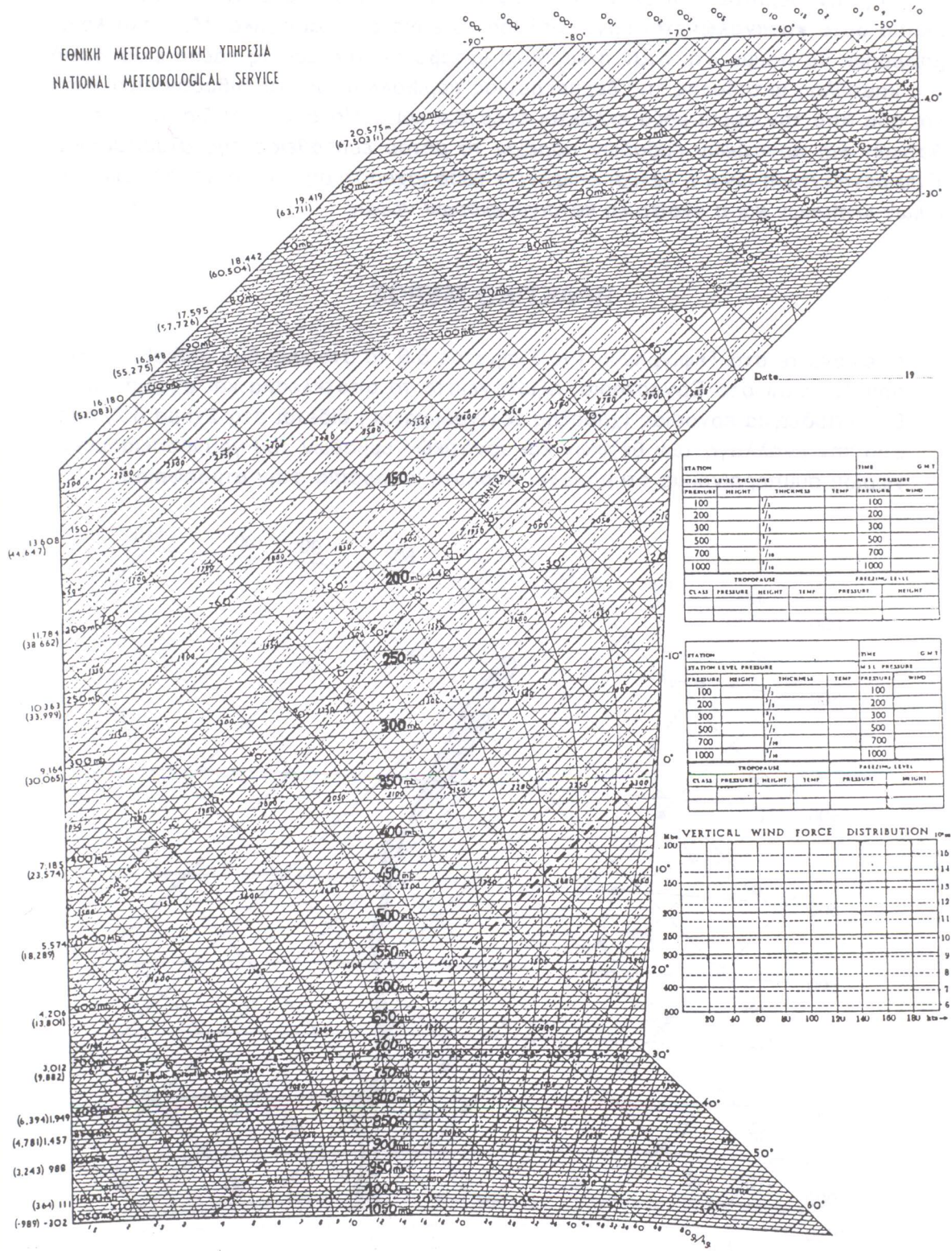
Η γνώση των συνθηκών ευστάθειας και αστάθειας στην ατμόσφαιρα έχει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί μας βοηθά να προγνώσουμε Μετεωρολογικά φαινόμενα ζωτικής σημασίας. Η ύπαρξη π.χ. ενός ευσταθούς στρώματος στην κατώτερη ατμόσφαιρα ευνοεί την εμμόνη φαινομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αντίθετα η ύπαρξη έντονης ατμοσφαιρικής αστάθειας ευνοεί τη δημιουργία ισχυρών ανοδικών ρευμάτων, που βοηθούν μεν το διασκορπισμό της ρύπανσης αλλά ευνοούν το σχηματισμό καταιγιδόφρων νεφών, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν έντονα ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως πλημμυρογενείς καταιγίδες, Σίφωνες κ.λπ.

5.2.2 Η ενέργεια που ανταλλάσσεται στις καθ' ύψος ατμοσφαιρικές μεταβολές

Ένας τρόπος για να προσδιορίσουμε το βαθμό ευστάθειας της ατμόσφαιρας είναι μέσω του προσδιορισμού του ενεργειακού ισοζυγίου των θερμοδυναμικών διαγραμμάτων. Σε ένα θερμοδυναμικό διάγραμμα, το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της τεθλασμένης που παριστά τη δομή θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της καμπύλης θερμοκρασίας μιας αέριας μάζας μέσα σ' αυτό, εκφράζει ενέργεια η οποία εκλύεται αν το εμβαδόν είναι θετικό και καταναλίσκεται αν το εμβαδόν είναι αρνητικό. Στο Σχήμα 5.5 η τεθλασμένη $TA_1A_2A_3A_4A_5$ παριστάνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Από το σημείο A_2 και επάνω η θερμοβαθμίδα της αέριας μάζας είναι μεγαλύτερη αυτής του περιβάλλοντος. Τότε η αέρια μάζα ανυψούμενη εκτονώνεται αδιαβατικά και ψύχεται. Σ' αυτή την περίπτωση παράγεται έργο σε βάρος της εσωτερικής ενέργειας της αέριας μάζας η οποία ψύχεται, δηλαδή το έργο είναι θετικό. Αντίθετα από το σημείο A_2 και κάτω η κατανομή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι αυτή που έχει μεγαλύτερη θερμοβαθμίδα.



Σχ. 5.5. Προσδιορισμός του βαθμού ευστάθειας της ατμόσφαιρας από το εμβαδόν των θερμοδυναμικών διαγραμμάτων. [Υ.Α.Θ. = Υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα, Ξ.Α.Θ. = Ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα].

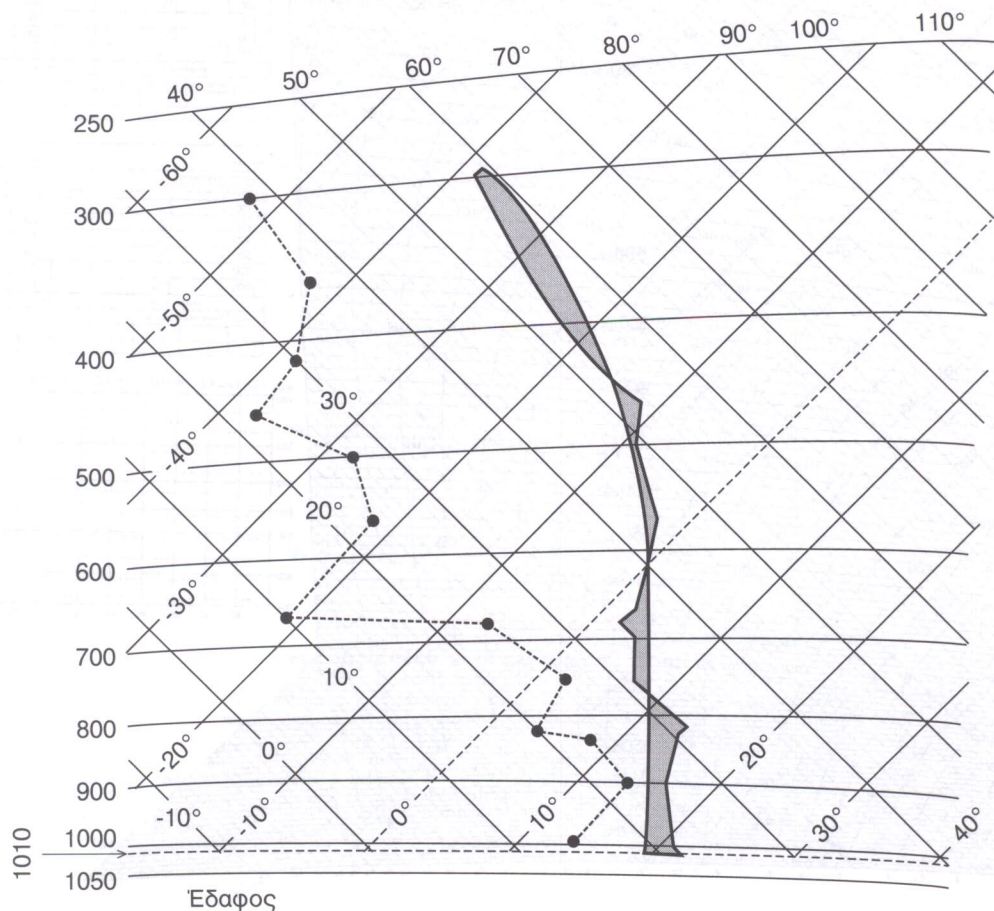


Σχ. 5.6. Τεφίγραμμα.

Σ' αυτή την περίπτωση η αέρια μάζα υφίσταται συμπίεση, θερμαίνεται και για το σκοπό αυτό **καταναλώνεται** έργο, δηλαδή το έργο είναι αρνητικό. Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι: όταν η καμπύλη μεταβολής της αέριας μάζας είναι δεξιά της καμπύλης μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, το εμβαδόν είναι θετικό, άρα από την αέρια μάζα εκλύεται ενέργεια και αντίστροφα. Η διαφορά μεταξύ θετικών και αρνητικών εμβαδών παρέχει το μέτρο ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Όσο μεγαλύτερη είναι η θετική επιφάνεια τόσο ισχυρότερη είναι η δράση των ανοδικών κινήσεων και η ανάπτυξη καταιγιδοφόρων νεφών.

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Απεικονίστε στο Τεφίγραμμα του Σχήματος 5.6 τα στοιχεία δύο ραδιοβολήσεων που δίνονται στο Εργαστήριο, αξιολογήστε το αποτέλεσμα και σχολιάστε το. Ένα υπόδειγμα εργασίας (χάραξης τεφίγραμματος) δίδεται στο Σχήμα 5.7, όπου από την εναλλαγή των θετικών και αρνητικών εμβαδών του γραμμοσκιασμένου χωρίου συμπεραίνουμε ότι υπάρχει απόλυτη ισορροπία στην ατμόσφαιρα.



Σχ. 5.7. Τεφίγραμμα Ελληνικού - Time 0001 GMT - Date: 30/8/1973.