

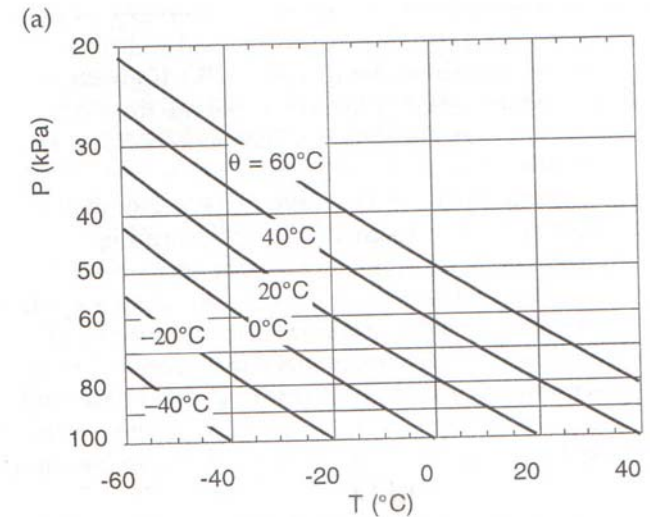
Περιβαλλοντική Μετεωρολογία και Μοντέλα Ποιότητας αέρα

Ευστάθεια

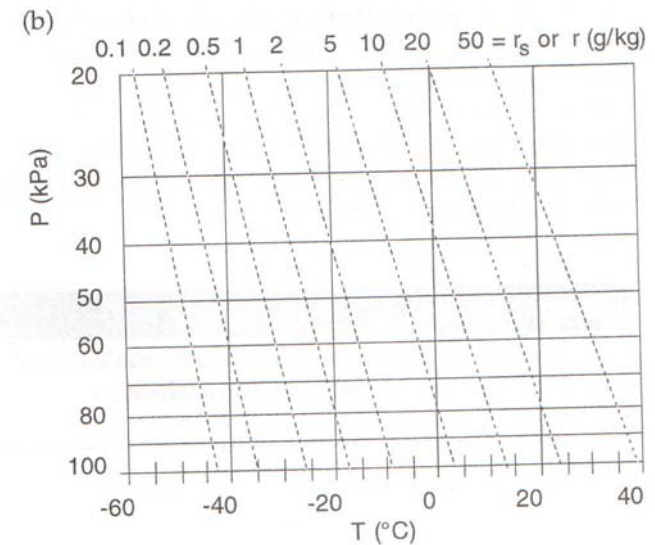


Θερμοδυναμικά διαγράμματα

Ισόθερμες-Ισοβαρείς και ξηρές
αδιαβατικές

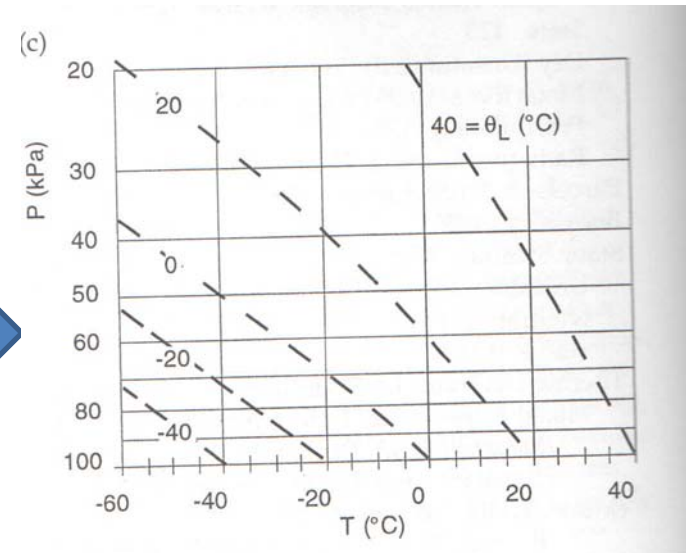


Ισόθερμες-Ισοβαρείς
ξηρές αδιαβατικές και ίσου
λόγου υδρατμών

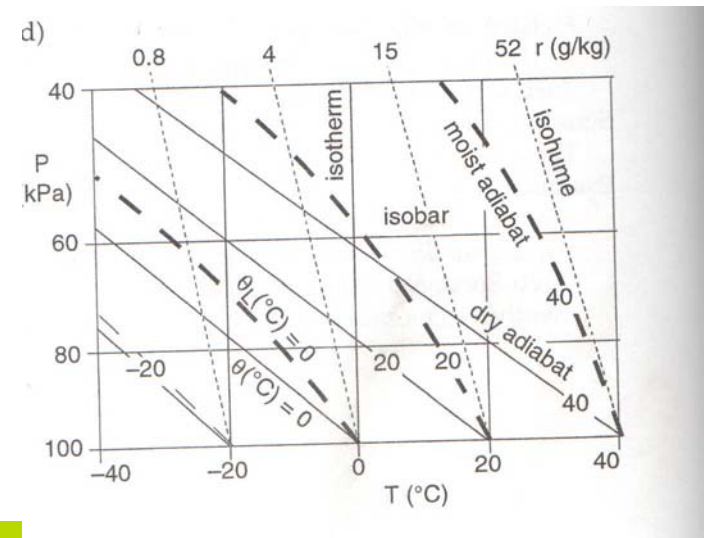


Θερμοδυναμικά διαγράμματα

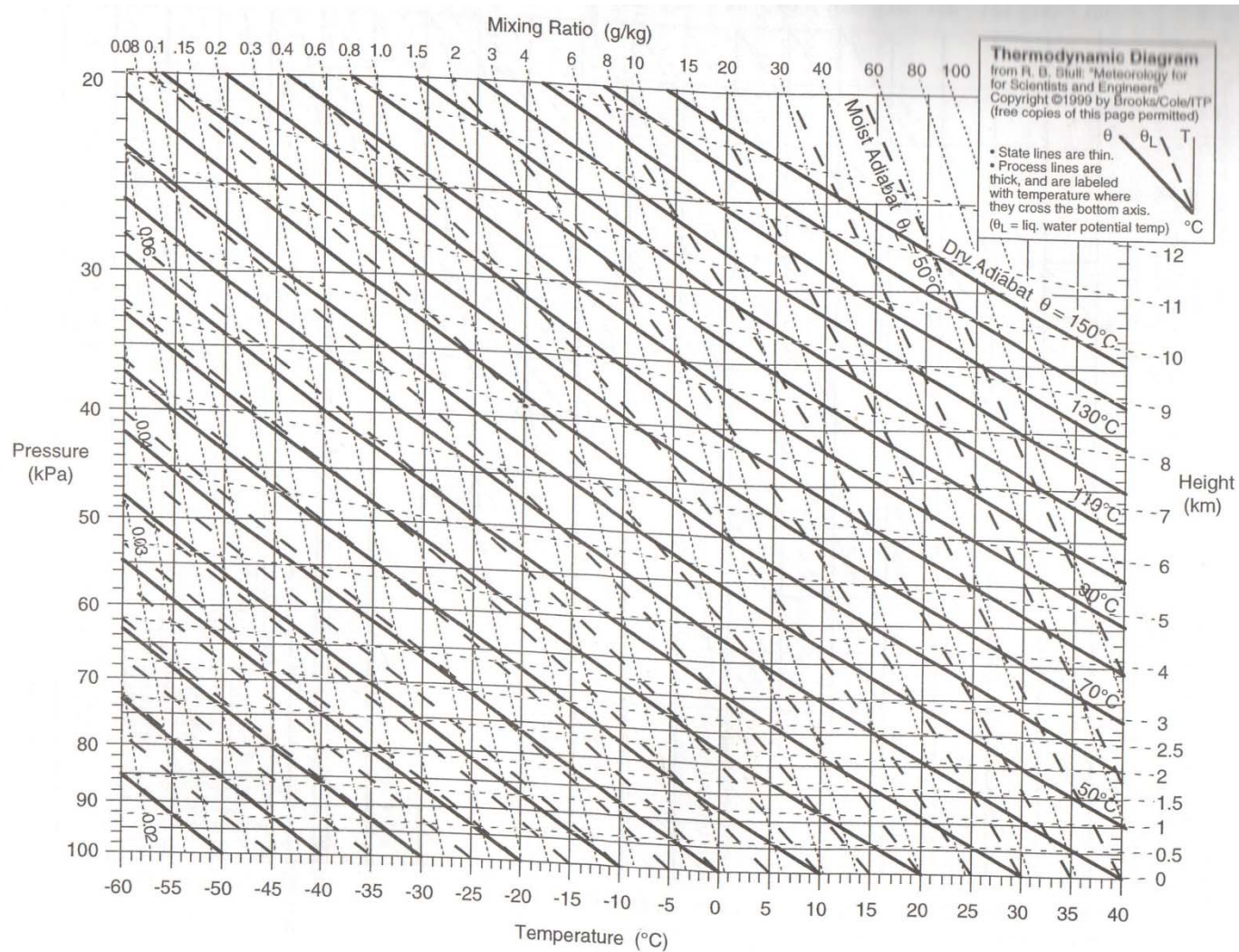
Ισόθερμες-Ισοβαρείς υγρές
αδιαβατικές



Πλήρες διάγραμμα

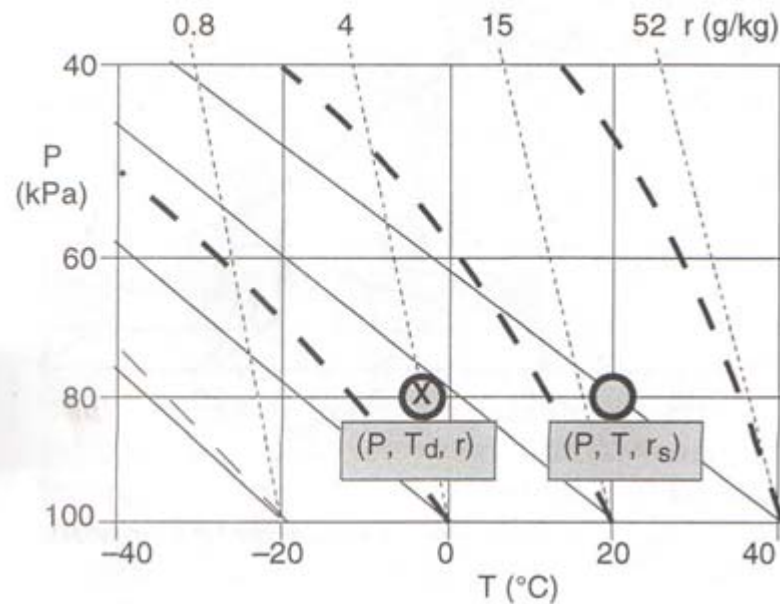


Πλήρες θερμοδυναμικό διάγραμμα



Παράδειγμα 1

Για τη μάζα αέρα του σχήματος
βρείτε θερμοκρασία, σημείο δρόσου, πίεση,
λόγος υδρατμών, λόγος κορεσμένων
υδρατμών και σχετική υγρασία



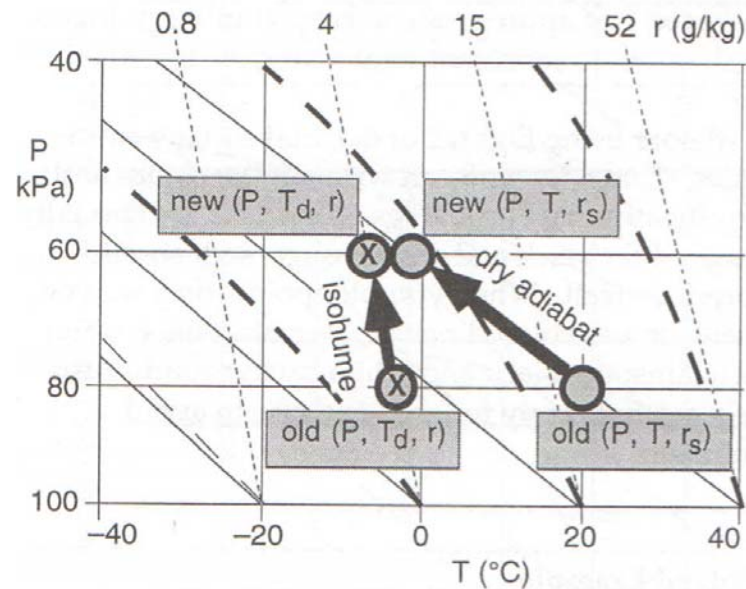
Ξηρή αδιαβατική διεργασία

- ✓ Όταν μια μάζα αέρα ανεβαίνει, ψύχεται αδιαβατικά λόγω της πτώσης πίεσης. Οποιαδήποτε μόρια του νερού στη μάζα αέρα διατηρούνται. Η δυναμική θερμοκρασία και ο λόγος υδρατμών παραμένουν σταθεροί. Στο θερμοδυναμικό διάγραμμα, αυτό αντιστοιχεί σε κίνηση κατά μήκος της ξηρής αδιαβατικής που περνά μέσα από την αρχική θέση και διατηρεί το λόγο υδρατμών σταθερό.



Παράδειγμα 2: Ξηρή αδιαβατική διεργασία

- ✓ Να υπολογιστούν
θερμοκρασία, σημείο δρόσου, πίεση, λόγος
υδρατμών, λόγος κορεσμένων υδρατμών και
σχετική υγρασία για μια μάζα αέρα που ψύχεται
αδιαβατικά στα 60kPa



Υγρές διεργασίες

- ✓ Οι ξηρές αδιαβατικές και οι γραμμές του λόγου υδρατμών συγκλίνουν με την αύξηση του ύψους. Έτσι, για μια μάζα αέρα που ανέρχεται θα υπάρχει κάποιο ύψος, όπου η θερμοκρασία και το σημείο δρόσου θα συμπίπτουν. Σε αυτό το υψόμετρο ή την πίεση του αέρα η μάζα είναι κορεσμένη, και αντιστοιχεί στη βάση των νεφών Cumulus. Το σημείο αυτό καλείται το επίπεδο συμπύκνωσης (Lifting Condensation Level - LCL).

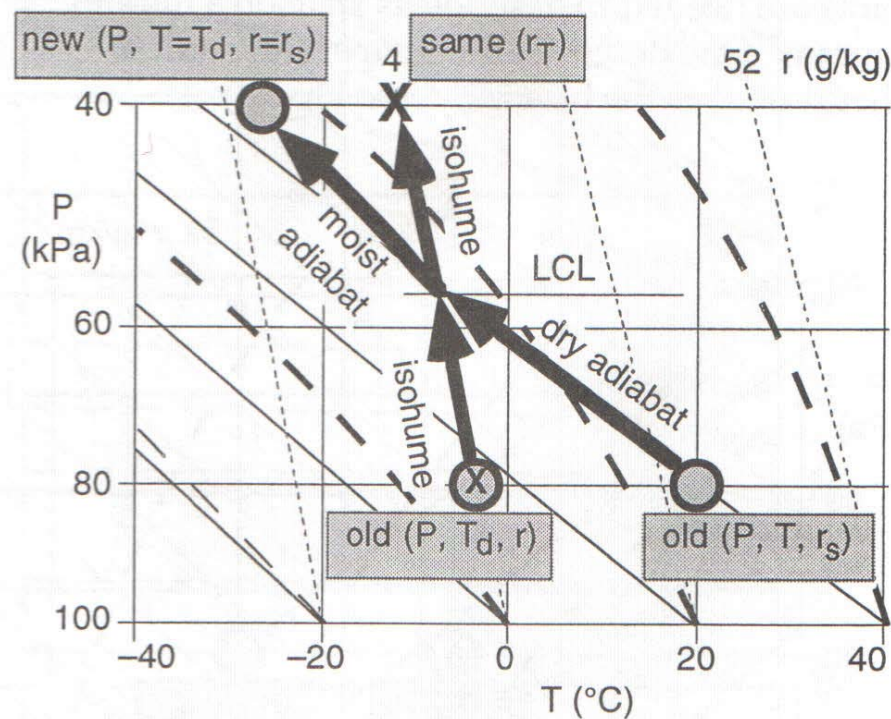
Για αέρα που ανεβαίνει πάνω από το LCL η $T_d = T$ και ψύχεται ακολουθώντας την υγρή αδιαβατική. Έτσι, στο διάγραμμα δεν χρειαζόμαστε δύο σημεία πλέον. Ωστόσο, χρειάζεται ακόμη να παρακολουθείται η ποσότητα του νερού. Αν όλα τα μόρια του νερού παραμένουν στην μάζα αέρα (δηλαδή, αν σταγονίδια των νεφών κινούνται με τον αέρα και δεν σχηματίζουν βροχή), τότε ο λόγος υδρατμών παραμένει σταθερός.

- ✓ Η διαφορά ανάμεσα στον πραγματικό λόγο υδρατμών και στο λόγο υδρατμών πριν την άνοδο της μάζας αέρα δίνει την ποσότητα υδρατμών που έχει συμπυκνωθεί.



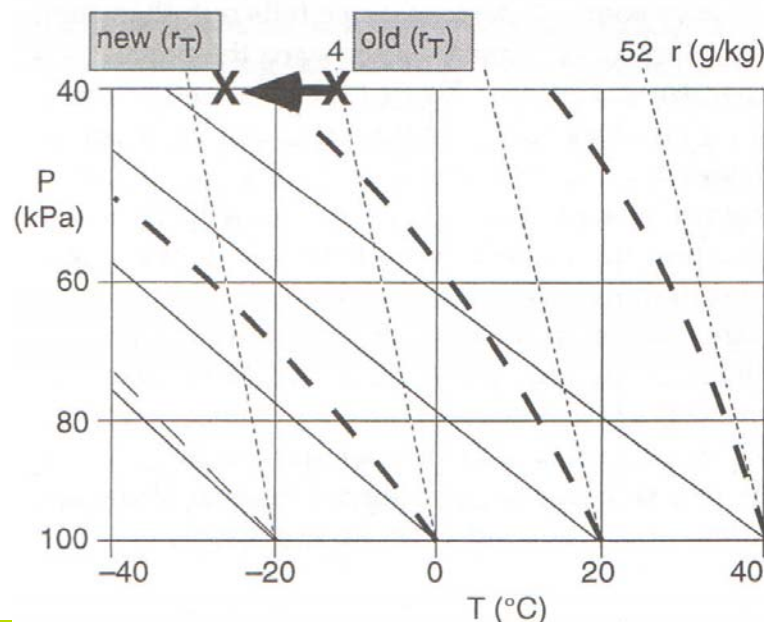
Παράδειγμα 3: Υγρές διεργασίες

- ✓ Για τα δεδομένα του προηγούμενου παραδείγματος υπολογίστε το LCL σε μονάδες πίεσης.
- ✓ Ποια είναι η κατάσταση της αέριας μάζας σε αυτή τη θέση;
- ✓ Ποια θα είναι η κατάσταση της αέριας μάζας αν ανεβεί σε πίεση 40 kPa.
- ✓ Πόσο νερό έχει υποστεί συμπύκνωση σε αυτό το ύψος.



Παράδειγμα 4: Βροχόπτωση

- ✓ Τι θα συμβεί αν σε ύψος 40 kPa υπάρξει βροχόπτωση 1g/Kg.
- ✓ Ποιο θα είναι το νέο LCL αυτής της μάζας αν κατέλθει και ποιες οι συνθήκες σε ύψος 80 kPa



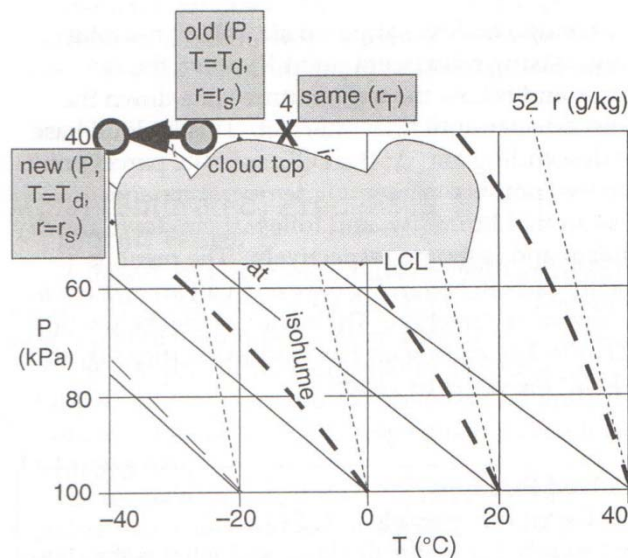
Εφαρμογή

- ✓ Για μια μάζα αέρα δίνεται θερμοκρασία 25 C, πίεση 100 kPa, λόγος υδρατμών 6 gr/kg. Να υπολογιστούν σημείο δρόσου, , λόγος κορεσμένων υδρατμών και σχετική υγρασία
- ✓ Υπολογίστε το LCL της μάζας σε μονάδες πίεσης. Ποια είναι η κατάσταση της αέριας μάζας σε αυτή τη θέση;
- ✓ Ποια θα είναι η κατάσταση της αέριας μάζας αν ανεβεί σε πίεση 50 kPa. Πόσο νερό έχει υποστεί συμπύκνωση σε αυτό το ύψος.
- ✓ Τι θα συμβεί αν στα 40 KPa υπάρξει βροχόπτωση 2g/Kg. Ποιο θα είναι το νέο LCL αυτής της μάζας αν κατέλθει και ποιες οι συνθήκες σε ύψος 100 kPa.



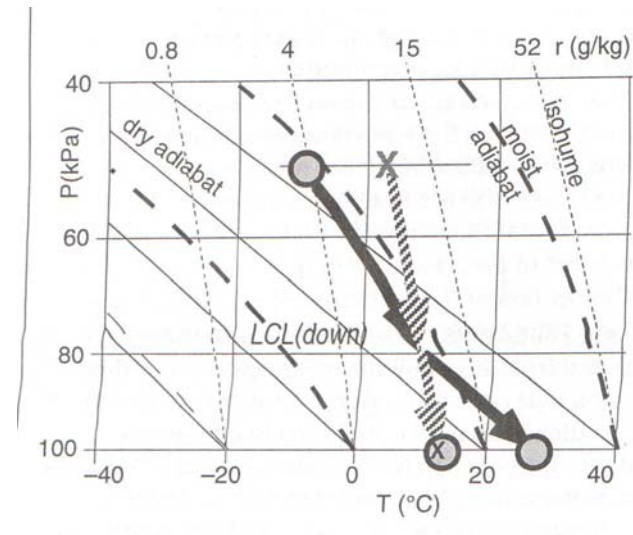
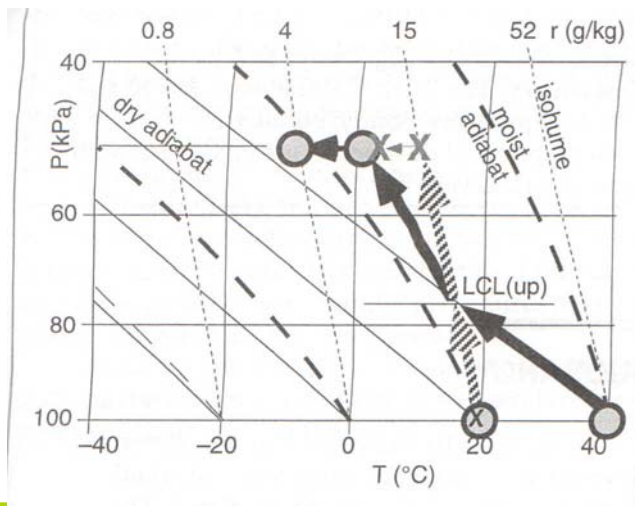
Ψύξη με ακτινοβολία στην κορυφή του νέφους

- ✓ Τα σύννεφα είναι αδιαφανή στην IR ακτινοβολία, και διαφανή στο ορατό φως. Αυτό μπορεί να σημαίνει θέρμανση ή ψύξη του νέφους, αλλά δεν αλλάζει το λόγο μίγματος.
- ✓ Οι μεταβολές αυτές θεωρούνται διαβατικές επειδή πραγματοποιείται ανταλλαγή θερμότητας του πακέτου αέρα.
- ✓ Τη νύχτα, όταν ψύξη από την κορυφή είναι σημαντική το νέφος στο άνω μέρος γίνεται πιο κρύο.



Παράδειγμα 5

- ✓ Μάζα αέρα βρίσκεται αρχικά στα 100 kPa και σε θερμοκρασία 40 °C με σημείο δρόσου 20 °C και ανεβαίνει σε ύψος όπου η πίεση είναι 50 kPa. Βροχόπτωση μειώνει το λόγο υδρατμών κατά 5 g/kg, και ο αέρας ψύχεται κατά 11 °C στην κορυφή του νέφους στα 50 kPa. Τέλος, η αέρια μάζα κατεβαίνει πίσω στα 100 kPa. Ποια είναι η τελική σχετική υγρασία;

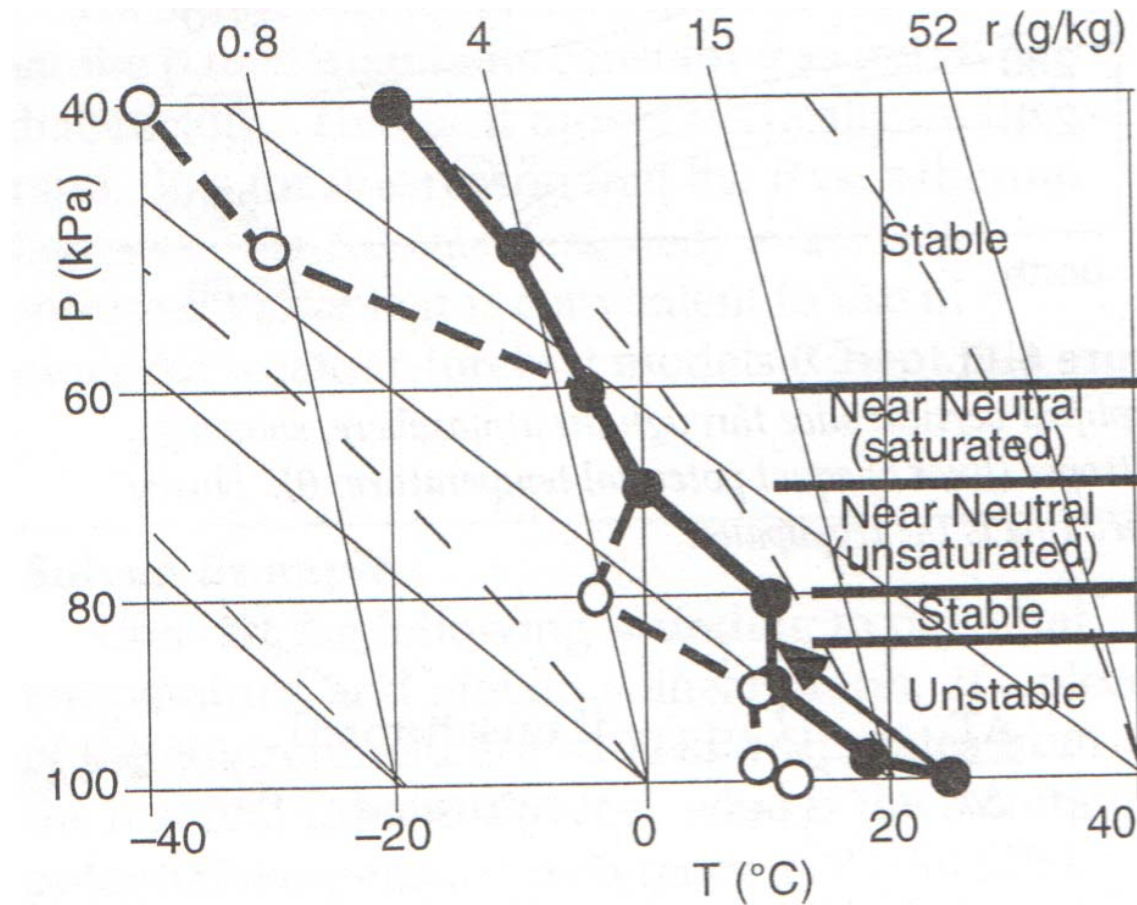


Πακέτα αέρα και περιβάλλον αέρας

- ✓ Τα πακέτα αέρα κινούνται μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα που βρίσκεται σε όλο το ύψος της ατμόσφαιρας.
- ✓ Οι συνθήκες καθ' ύψος μετρώνται με ραδιοβολίσεις από τις οποίες προκύπτει το κατακόρυφο προφίλ της θερμοκρασίας και δίνουν την περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα.



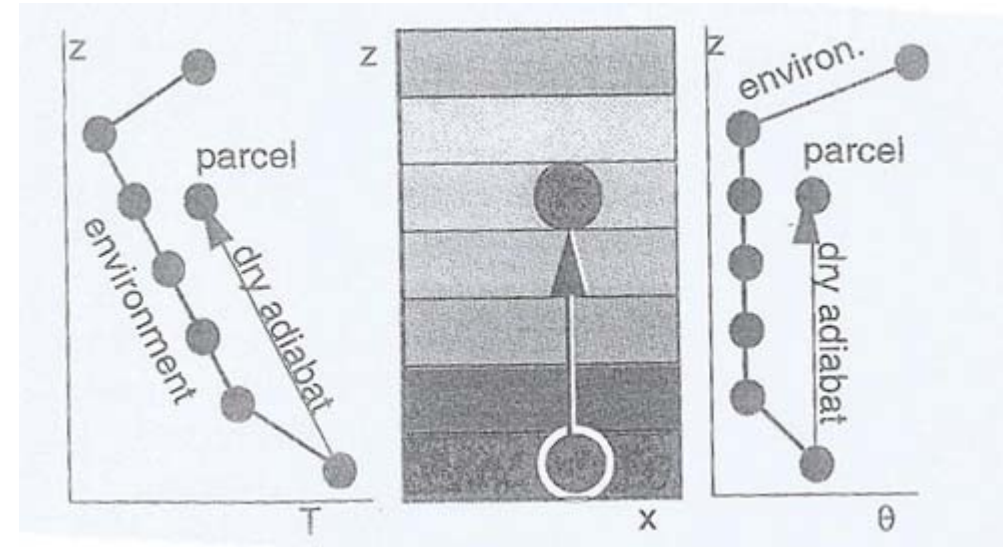
Παράδειγμα ραδιοβόλισης



Η θερμοκρασία απεικονίζεται με τη μαύρη συνεχή γραμμή
Το σημείο δρόσου



Σχέση άνωσης – βαρύτητας και κίνησης πακέτων αέρα



$$\frac{F}{m} = \frac{T_{v\ e} - T_{v\ p}}{T_{v\ e}} \cdot g \equiv g'$$

Στατική ευστάθεια

- ✓ Η ευστάθεια δηλώνει την εκδήλωση ή όχι τύρβης στην ατμόσφαιρα.
- ✓ Ευσταθής αέρας σημαίνει ομαλή ροή ενώ ασταθής αέρας σημαίνει τυρβώδης ροή.
- ✓ Η στατική ευστάθεια λαμβάνει υπόψιν της μόνο την άνωση στην κίνηση του αέρα και αγνοεί τη διάτμηση (wind shear).



Βασικός κανόνας καθορισμού στατικής ευστάθειας

- ✓ **Αρχικά βρίσκουμε τις ασταθείς περιοχές με την nonlocal μέθοδο.** Στη συνέχεια βρίσκουμε τις ουδέτερες και ευσταθείς περιοχές σε σύγκριση με την τοπική περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα.
- ✓ Ασταθές λέγεται ένα πακέτο αέρα που αλλάζει θέση και η άνωση έχει την ίδια κατεύθυνση με την αλλαγή θέσης.
- ✓ Επειδή μπορεί να κινηθεί ένα πακέτο αέρα σε μεγάλη απόσταση/ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα προτού φτάσει σε ύψος όπου η άνωση μηδενίζεται, η μέθοδος ονομάζεται nonlocal.

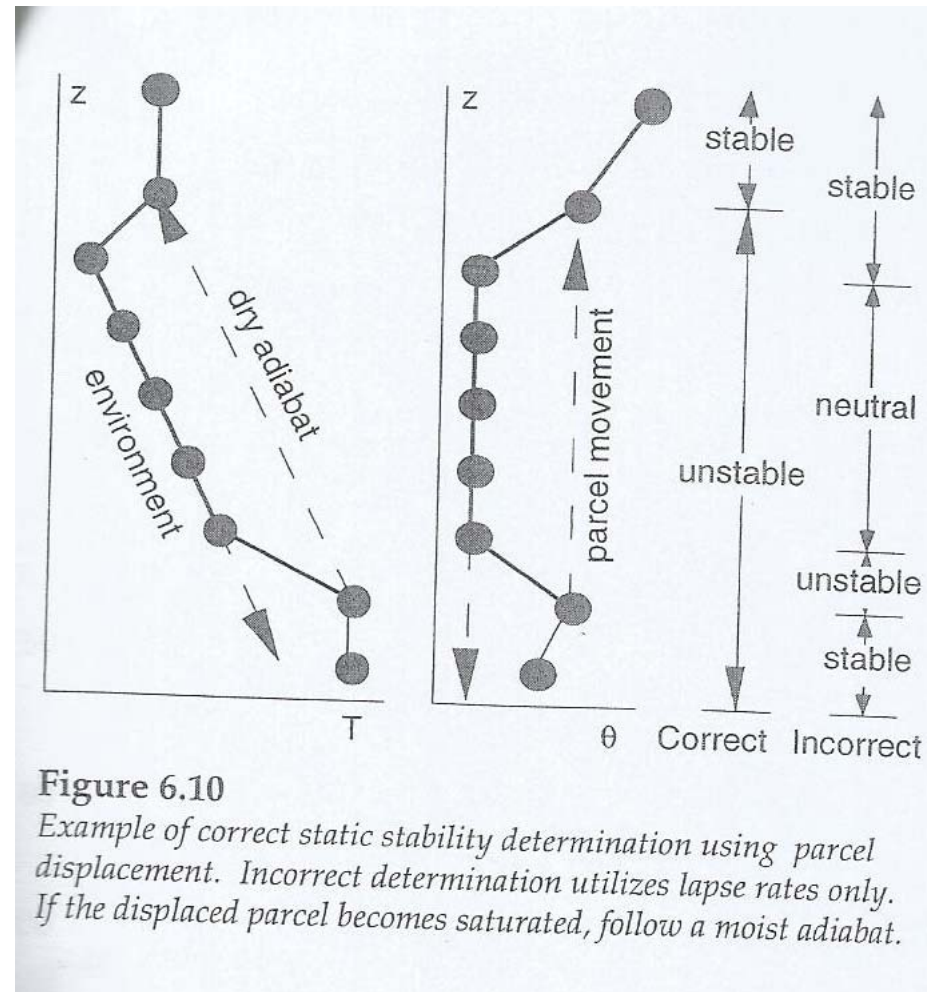


Nonlocal method

- ✓ Κάθε πακέτο αέρα από σχετικό μέγιστο θ στην περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα θα ανεβεί αδιαβατικά και κάθε πακέτο αέρα από σχετικό ελάχιστο θ θα κατέλθει ως είτε να συναντήσει ξανά την περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα είτε να συναντήσει το έδαφος.
- ✓ Οι περιοχές μεταξύ αυτών των δύο κινήσεων ορίζουν μια περιοχή στατικά ασταθή.
- ✓ Το σχετικό μέγιστο και ελάχιστο ορίζονται σε σχέση με τις τιμές του θ πάνω και κάτω από το επίπεδο μεγίστου ή ελαχίστου.



Παράδειγμα καθορισμού nonlocal αστάθειας



Για τις περιοχές που δεν είναι nonlocal stable

✓ Ουδέτερη ατμόσφαιρα

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \approx - \begin{cases} \Gamma_d & \text{if unsaturated} \\ \Gamma_s & \text{if saturated} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta z} \approx \begin{cases} 0 & \text{if unsaturated} \\ \Gamma_d - \Gamma_s & \text{if saturated} \end{cases}$$

✓ Ευσταθής ατμόσφαιρα

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} > - \begin{cases} \Gamma_d & \text{if unsaturated} \\ \Gamma_s & \text{if saturated} \end{cases}$$

or

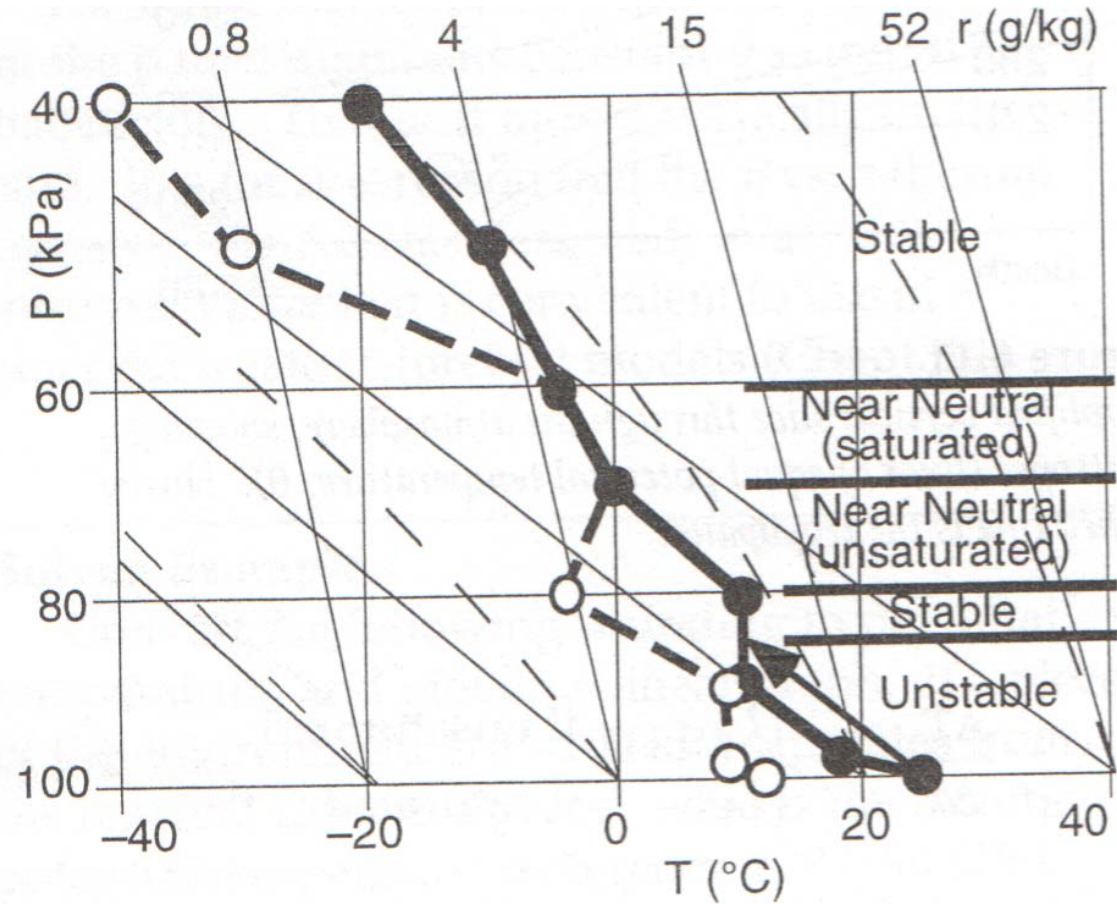
$$\frac{\Delta \theta}{\Delta z} > \begin{cases} 0 & \text{if unsaturated} \\ \Gamma_d - \Gamma_s & \text{if saturated} \end{cases}$$



Παράδειγμα 1

Solved Example
Plot the following sounding on a thermo diag.

$P(\text{kPa})$	$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C})$
40	-40	-20
50	-30	-10
60	-5	-5
70	0	0
80	-5	10
90	9	10
99	9	19
100	11	25



Παράδειγμα

Solved Example

Convert the following sounding to potential temperature, and plot on a linear graph. If a piece of the environment at $P=100$ kPa separates from the rest and rises as a parcel, what is the resulting potential temperature difference at $P = 90$ kPa?

P (kPa)	T ($^{\circ}\text{C}$)
80	10
90	10
99	19
100	25

Solution

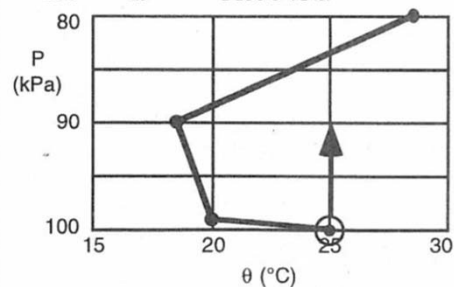
Given: Sounding above

Find: $\theta(z)$, and $\Delta\theta$ at $P = 90$ kPa

P (kPa) θ ($^{\circ}\text{C}$) (using Fig 6.2 to find θ)

80	28.5
90	18.5
99	20
100	25

Plot θ vs z :

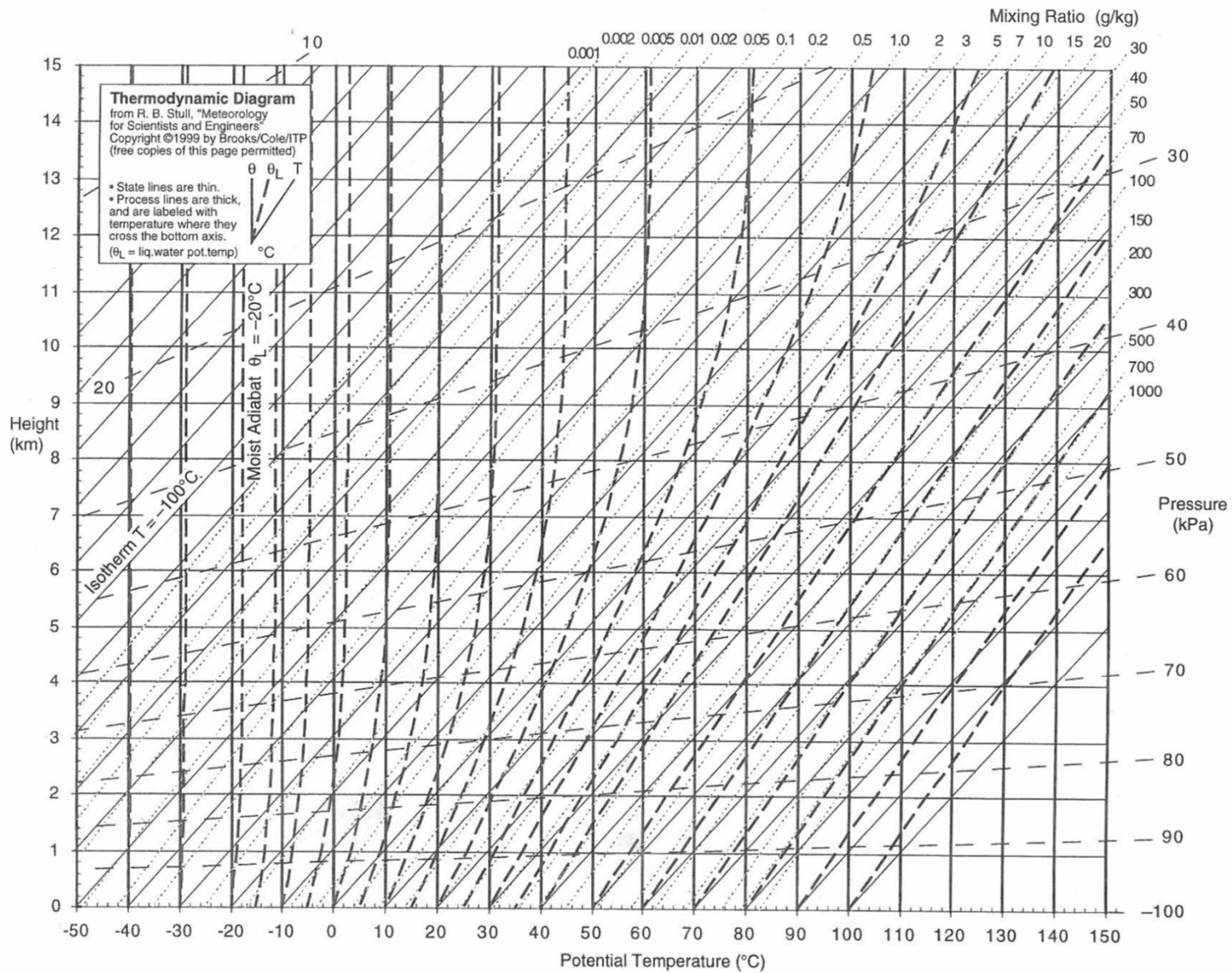


Air parcel retains $\theta = 25^{\circ}\text{C}$ as it rises. Thus at $P = 90$ kPa: $\Delta\theta = 25 - 18.5^{\circ}\text{C} = \underline{6.5^{\circ}\text{C}}$.

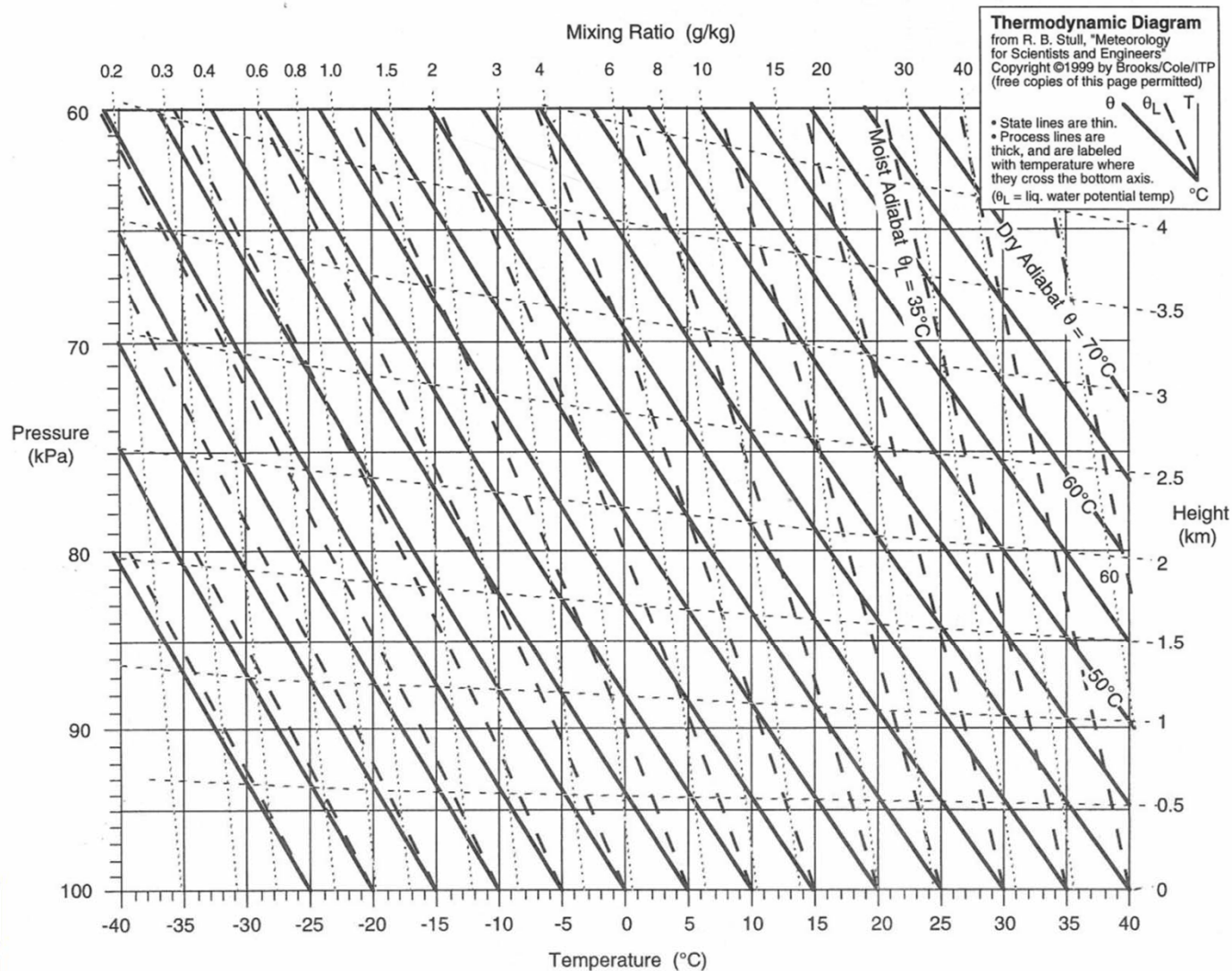
Check: Units OK. Physics OK.

Discussion: Hopefully you would find the same temperature difference using Fig 6.2, without any calculation of potential temperature.

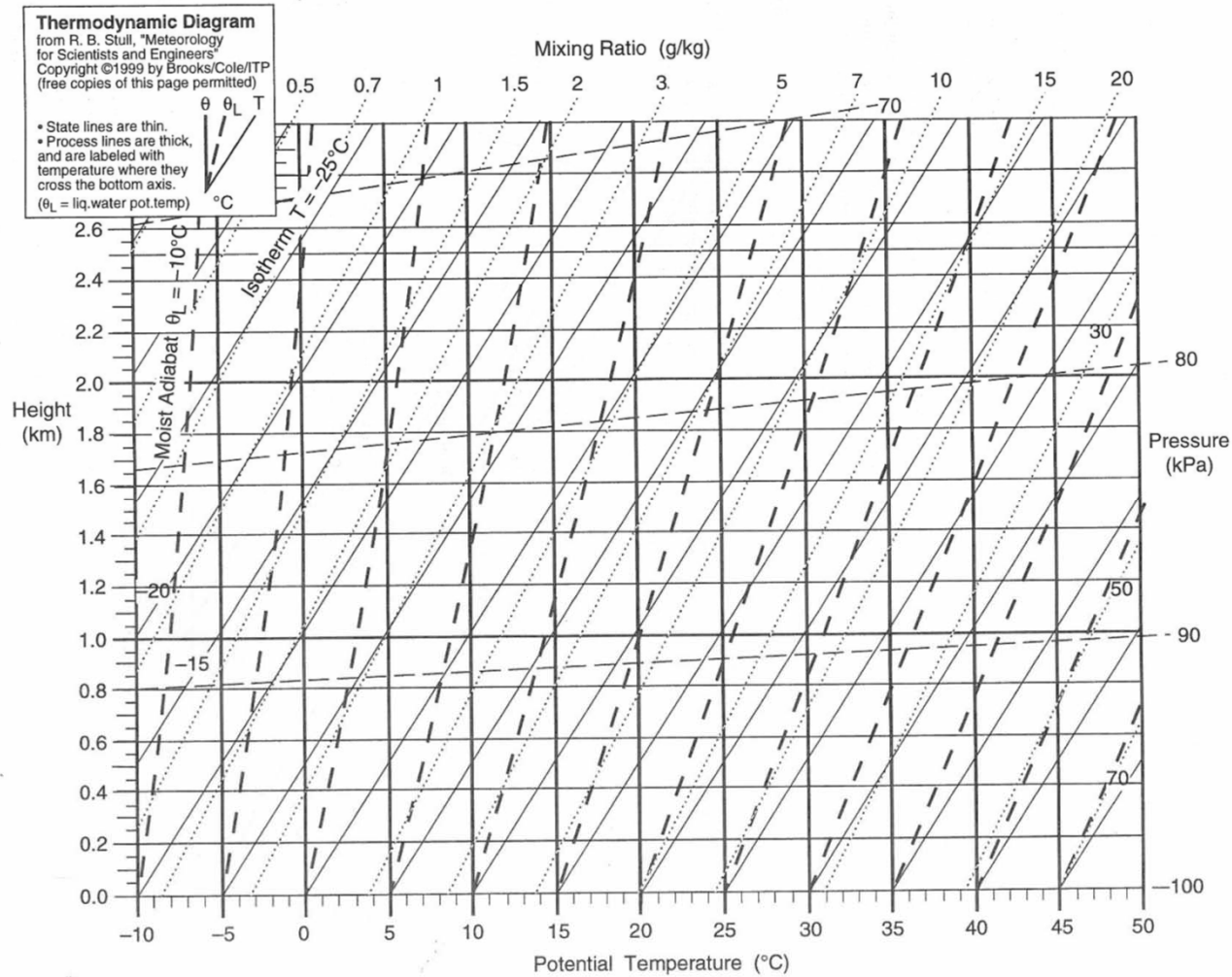




Τμήμα διαγράμματος P vs T



Θ vs z



Το βάθος στρώματος ανάμιξης

- ✓ Το ύψος στο οποίο το ανερχόμενο πακέτο αέρα σταθερής θ συναντά την περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα από ραδιοβόλιση.



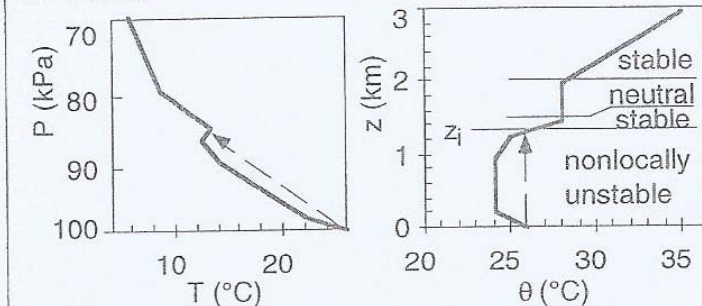
Solved Example (§)

Given the following potential temperature measurements. Plot them on the T vs. $\log P$ diagram, and on the θ vs. z diagram.

Indicate the static stability of each layer, and find the location of z_i .

z (km)	θ ($^{\circ}\text{C}$)
3.0	35
2.0	28
1.5	28
1.3	25
1.0	24
0.2	24
0	26

Solution



$$z_i \approx 1.37 \text{ km}$$

Check: Physics OK. Sketch reasonable.

Discussion: θ vs. z is often easier to use than T vs. $\log(P)$. Note that z_i is not at the base of the subadiabatic region, but slightly above it due to nonlocal air-parcel rise.

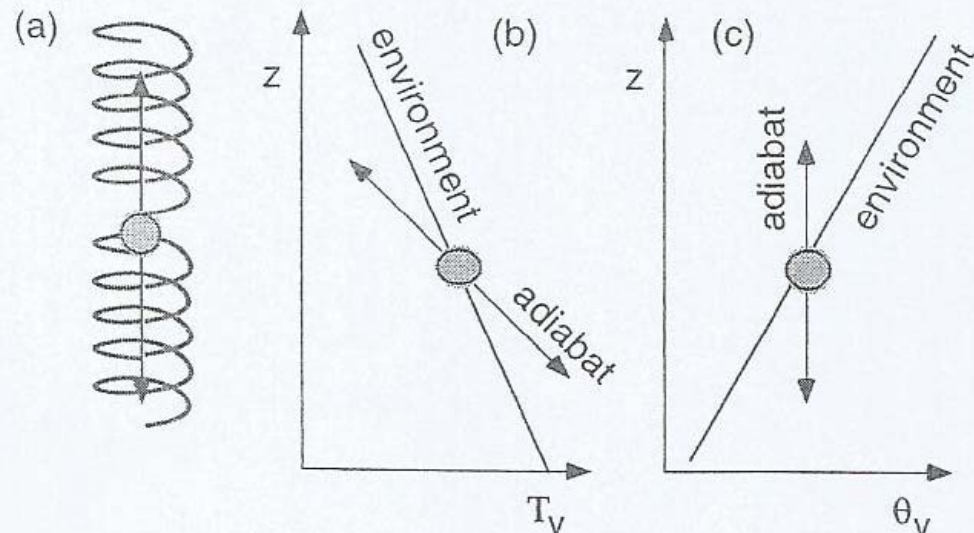


Συχνότητα Brunt Vaisala

- ✓ Σε ένα στατικά ευσταθές περιβάλλον ένα πακέτο αέρα συμπεριφέρεται ως μια μάζα που κρέμεται από δυο ελατήρια.
- ✓ Η συχνότητα ταλάντωσης δίνεται από την εξίσωση

$$N_{BV} = \sqrt{\frac{|g|}{T_v} \cdot \left(\frac{\Delta T_v}{\Delta z} + \Gamma_d \right)}$$

$$N_{BV} = \sqrt{\frac{|g|}{T_v} \cdot \frac{\Delta \theta_v}{\Delta z}}$$



Δυναμική ευστάθεια

- ✓ Η δυναμική ευστάθεια καθορίζεται από ένα αδιάστατο μέγεθος που ονομάζεται αριθμός Richardson:

$$Ri = \frac{|g| \cdot (\Delta T_v + \Gamma_d \cdot \Delta z) \cdot \Delta z}{T_v \cdot [(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2]}$$

or

$$Ri = \frac{|g| \cdot \Delta \theta_v \cdot \Delta z}{T_v \cdot [(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2]}$$

or

$$Ri = \frac{N_{BV}^2 \cdot (\Delta z)^2}{(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2}$$



Προσεγγίσεις

- ✓ Για μικρό ύψος Δz θεωρούμε ότι η ροή είναι δυναμικά ασταθής και τυρβώδης αν ο $Ri < 0.25$
- ✓ Για μεγαλύτερα του 0.25 Ri θεωρούμε ότι η ροή είναι δυναμικά ευσταθής.
- ✓ Καθώς ο αέρας γίνεται δυναμικά ασταθής σχηματίζει τα Kelvin-Helmholtz κύματα

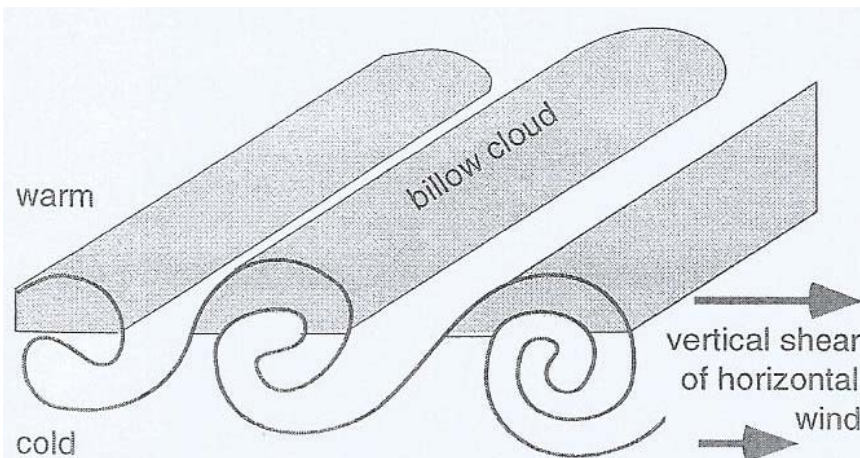


Figure 6.15

Kelvin-Helmholtz (K-H) waves with sufficient moisture to create rows of billow clouds perpendicular to the wind shear.

