



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

6ο Εξάμηνο

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Μ. Λαζαριδης

PREVISION POUR le 11/12/2000 a 12:00 UTC



Κριτήρια Ποιότητας Αέρα Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO)

- ✓ Βασικό ανθρώπινο δικαίωμα είναι η ελεύθερη πρόσβαση σε αέρα και νερό ικανοποιητικής ποιότητας.
- ✓ Σε καθημερινή βάση αναπνέουμε μεταξύ 10-20 m³ αέρα και πίνουμε 1-2 λίτρα νερό

Η ελεγχόμενη ποιότητα του αέρα και του νερού είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη δημόσια υγεία και απρόσκοπτη λειτουργία ενός κράτους. Κάτω από αυτό το πρίσμα ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO) έχει δημοσιεύσει τα κριτήρια για την επίτευξη αποδεκτών ορίων στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων χημικών στοιχείων στον Ευρωπαϊκό χώρο.

Προφίλ Μαθήματος

- Χρονοδιάγραμμα Διαλέξεων

1η Διάλεξη: Γήινη Ατμόσφαιρα

2η Διάλεξη: Ατμοσφαιρική Ισορροπία

3η Διάλεξη: Θεωρίες Ατμοσφαιρικής Διάχυσης

4η Διάλεξη: Γκαουσιανά Μοντέλα

5η Διάλεξη: Ατμοσφαιρική Χημεία

6η Διάλεξη: Αιωρούμενα Σωματίδια

Προφίλ Μαθήματος

- Χρονοδιάγραμμα Διαλέξεων

7η Διάλεξη: Ακτινοβολία – Φαινόμενο Θερμοκηπίου

8η Διάλεξη: Χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα

9η Διάλεξη: Φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα

10η Διάλεξη: Ατμοσφαιρικά μοντέλα όγκου

11η Διάλεξη: Μεθοδολογία Μετρήσεων ρύπων

12η Διάλεξη: Ανθρώπινη Έκθεση

13η Διάλεξη: Όρια ποιότητας αέρα - Νομοθεσία

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

- ΤΕΛΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ 80%
- Εργαστήρια 20%
- ΣΥΝΟΛΟ 100%
- ΑΣΚΗΣΕΙΣ (προαιρετικά) +10%

- Παραδείγματα / Ασκήσεις κατά τη διάρκεια του μαθήματος

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



■ Δομή & σύσταση ατμόσφαιρας



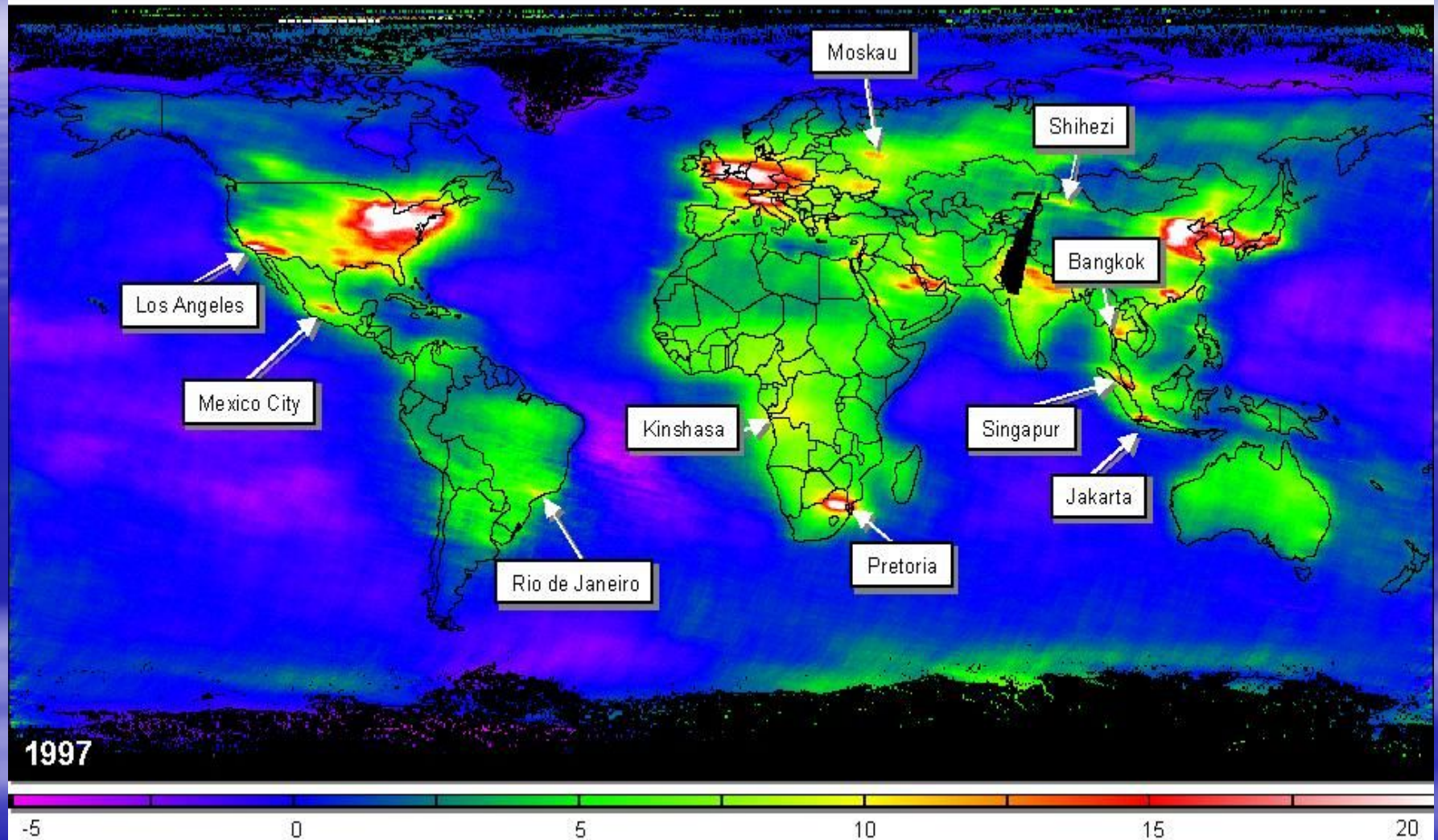
■ Ρύπανση ατμόσφαιρας:

- βιομηχανική δραστηριότητα
- μέσα μεταφοράς
- ανθρωπογενείς δραστηριότητες
(θέρμανση κ.ά.)
- φυσικά φαινόμενα
(εκρήξεις ηφαιστείων)

Ατμοσφαιρική Ρύπανση - Βιομηχανία



Average Tropospheric NO₂ Column Density During 1997, GOME

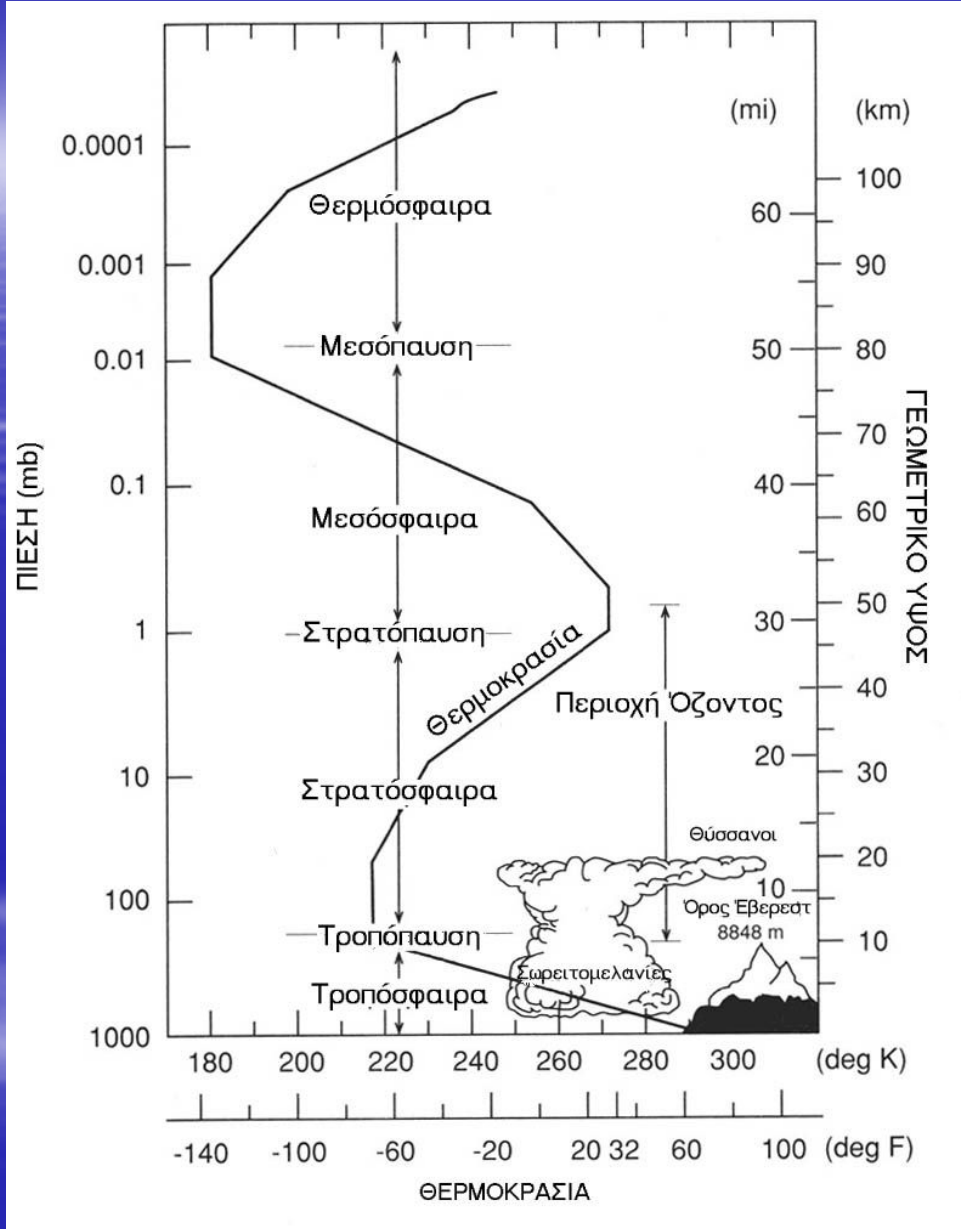


Carsten Leue, 1999

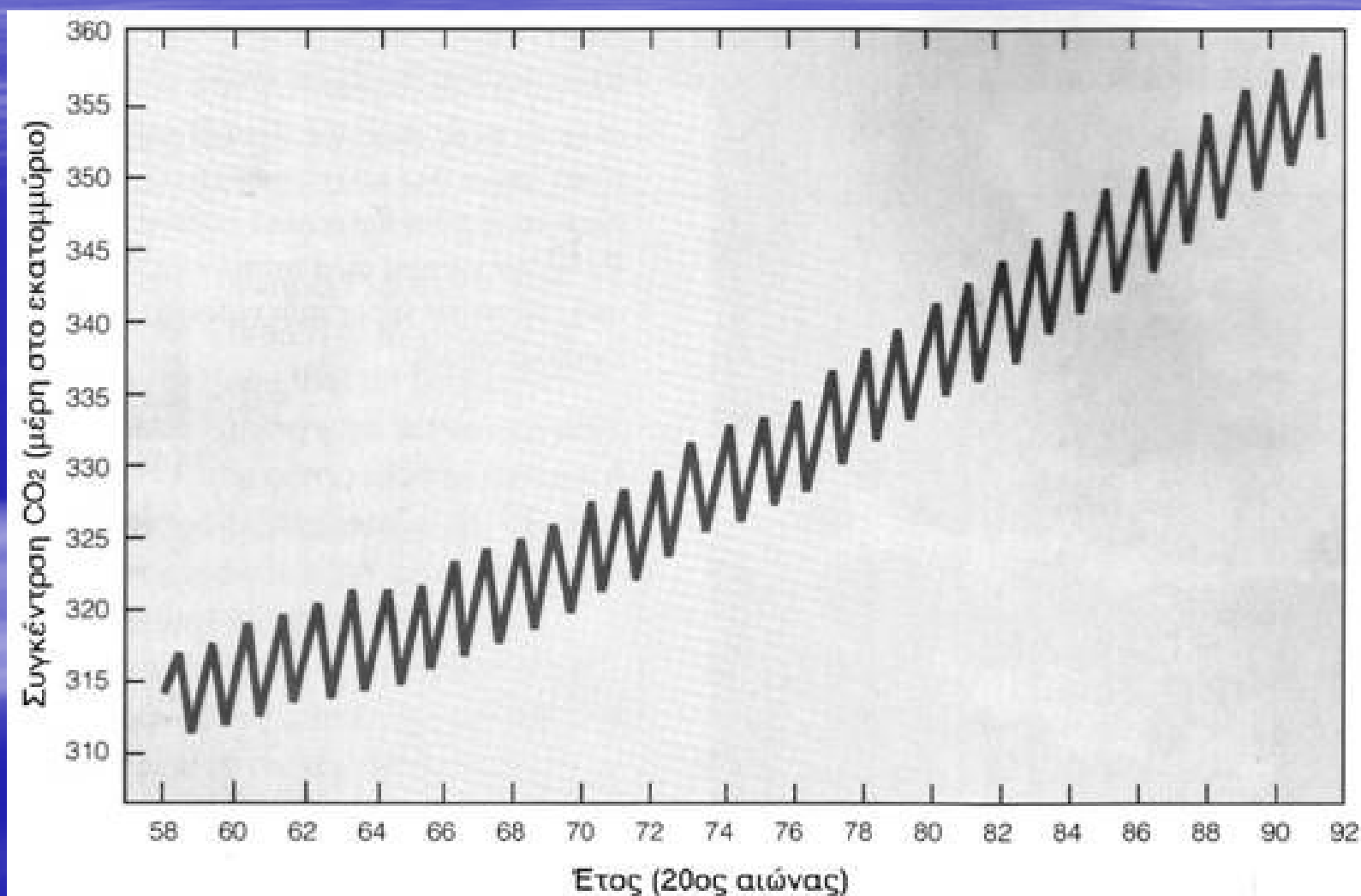
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η ατμόσφαιρα αποτελεί το αέριο στρώμα που περιβάλλει τη Γη και περιγράφεται γενικά με τα ατμοσφαιρικά στρώματα που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένους ρυθμούς μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος

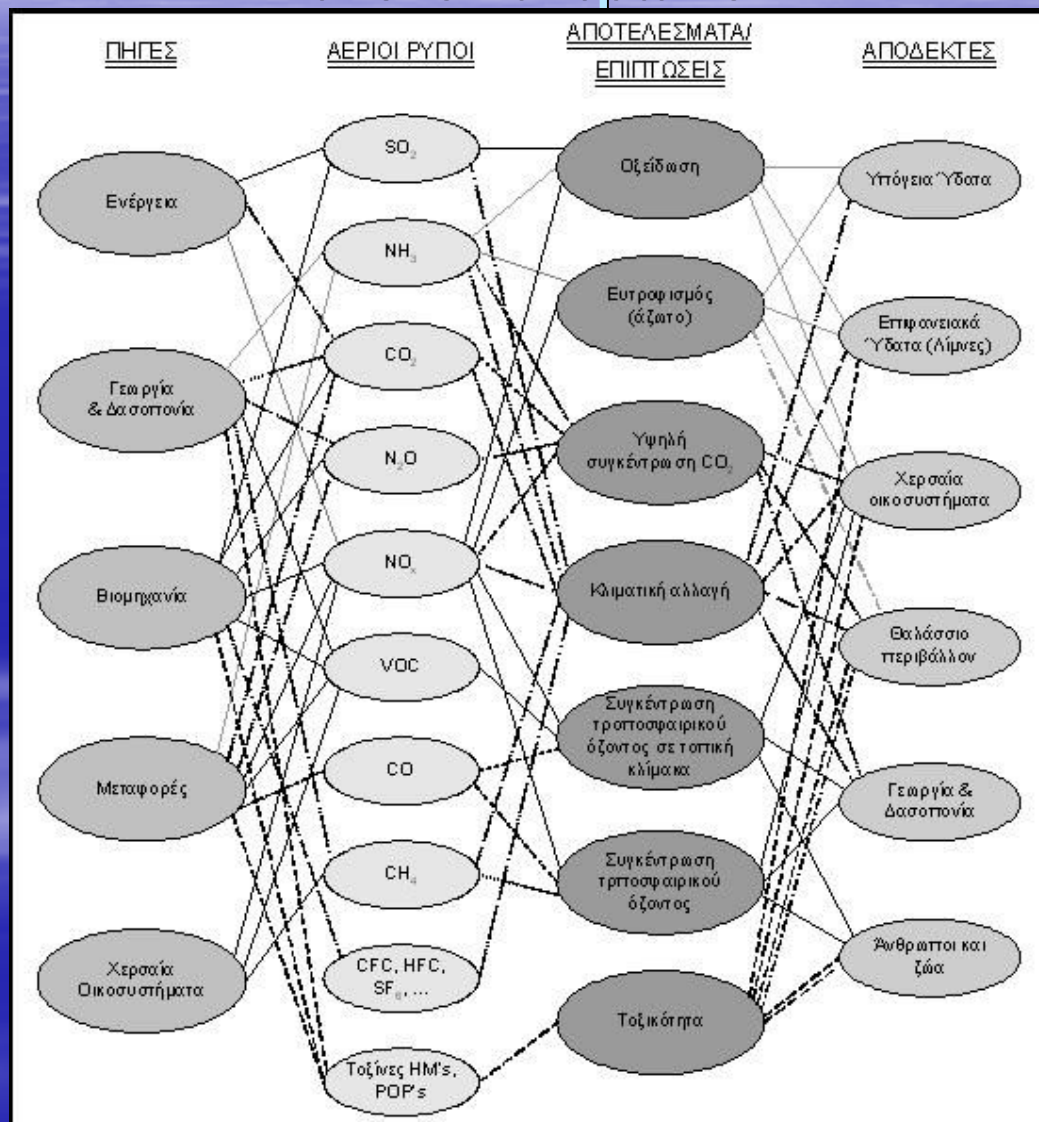
- (1) Κατώτερη ατμόσφαιρα → επεκτείνεται μέχρι την στρατόσφαιρα σε ύψος 50 χιλιομέτρων → η μελέτη της είναι γνωστή ως μετεωρολογία
- (2) Ανώτερη ατμόσφαιρα → η μελέτη της ονομάζεται αερονομία



Παρακολούθηση της αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) (μέρη στο εκατομμύριο - ppm) από το αστεροσκοπείο της Mauna Loa της Χαβάης κατά τα έτη 1958 έως 1992.



Σχέση μεταξύ εκπομπών διαφόρων χημικών ενώσεων στην Ατμόσφαιρα και των επιπτώσεών τους σε φυσικά οικοσυστήματα και στον άνθρωπο.

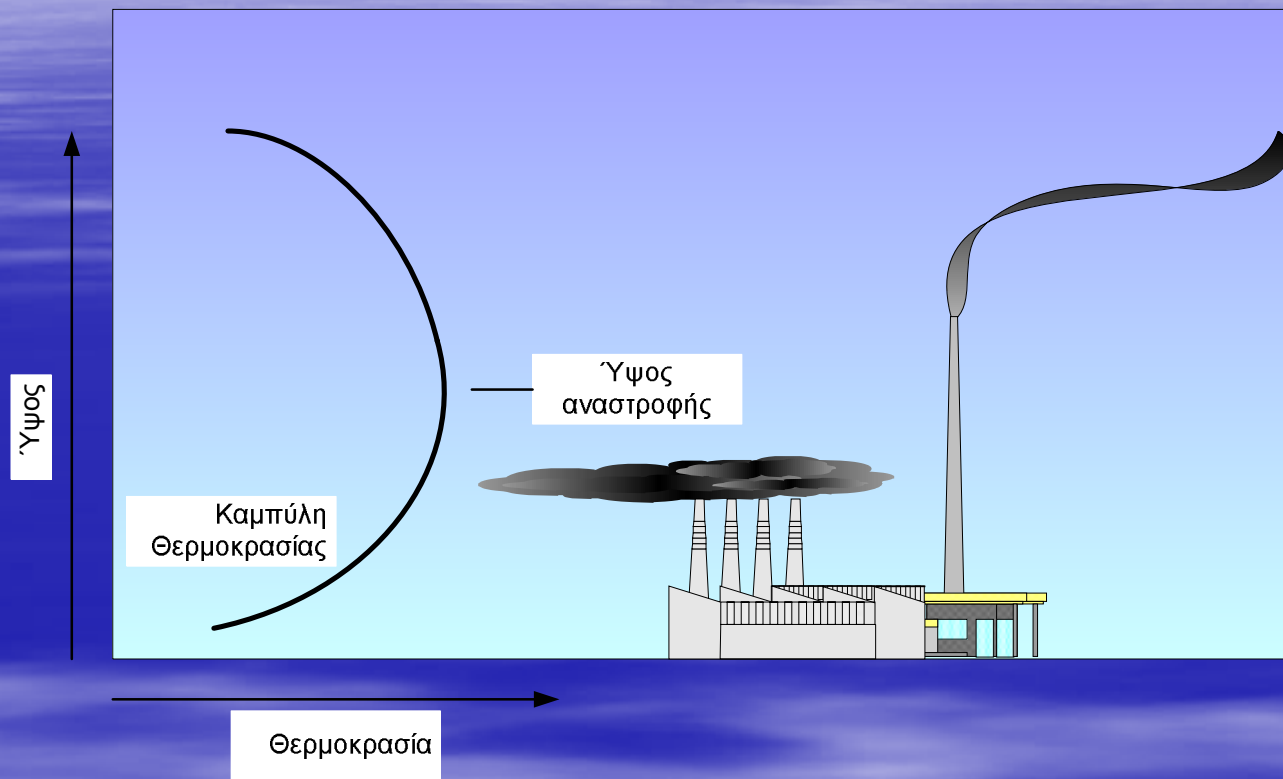


ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

Βάση για το διαχωρισμό των στρωμάτων στην ατμόσφαιρα είναι η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας με το ύψος. Ειδικότερα τα στρώματα της ατμόσφαιρας διακρίνονται σε:



1. Τροπόσφαιρα
2. Στρατόσφαιρα
3. Μεσόσφαιρα
4. Θερμόσφαιρα
5. Εξώσφαιρα



ΣΤΡΩΜΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ & ΥΨΟΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

- Οριακό στρώμα: Επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της Γης και αντιδρά στις επιφανειακές μεταβολές σε χρονικό διάστημα μιας ώρας ή λιγότερο. Μέσο ύψος 1 Km.
- Επιπτώσεις:
 - άνοδος στρώματος ανάμιξης → αύξηση ύψους ανάμιξης → αραίωση ρύπων
 - κάθοδος στρώματος ανάμιξης → ελάττωση ύψους ανάμιξης → αύξηση συγκέντρωσης ρύπων

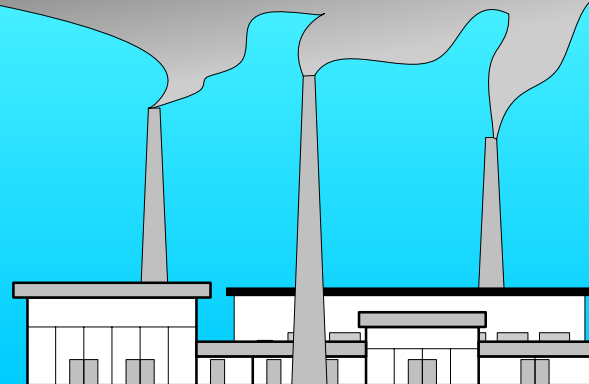
Προφίλ
Θερμοκρασίας

Κορυφή

Στρώμα
αναστροφής

Βάση

Ύψος
ανάμιξης



Θερμοκρασία

Ύψος

Μεταβολή της πίεσης με το ύψος στην Ατμόσφαιρα

- Υδροστατική εξίσωση

$$\frac{dp(z)}{dz} = -\rho(z)g$$

$$p(z) \frac{M_{air}}{\rho(z)} = R T(z) \Rightarrow \rho(z) = \frac{M_{air} p(z)}{R T(z)}$$

Επομένως από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ότι

$$\frac{dp(z)}{dz} = -\frac{M_{air} g p(z)}{R T(z)}$$

- Χαρακτηριστικό μήκος

$$H(z) = \frac{R T(z)}{M_{air} g}$$

Επομένως με την εισαγωγή του χαρακτηριστικού μήκους στην προηγούμενη εξίσωση έχουμε:

$$\frac{1}{p(z)} \frac{dp(z)}{dz} = - \frac{1}{H(z)}$$

$$\Rightarrow \frac{d \ln p(z)}{dz} = - \frac{1}{H(z)}$$

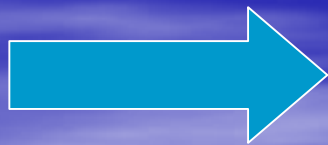
Αναλυτική λύση της

$$\frac{d \ln p(z)}{dz} = -\frac{1}{H(z)}$$

Υπόθεση: η θερμοκρασία μένει σταθερή με το ύψος

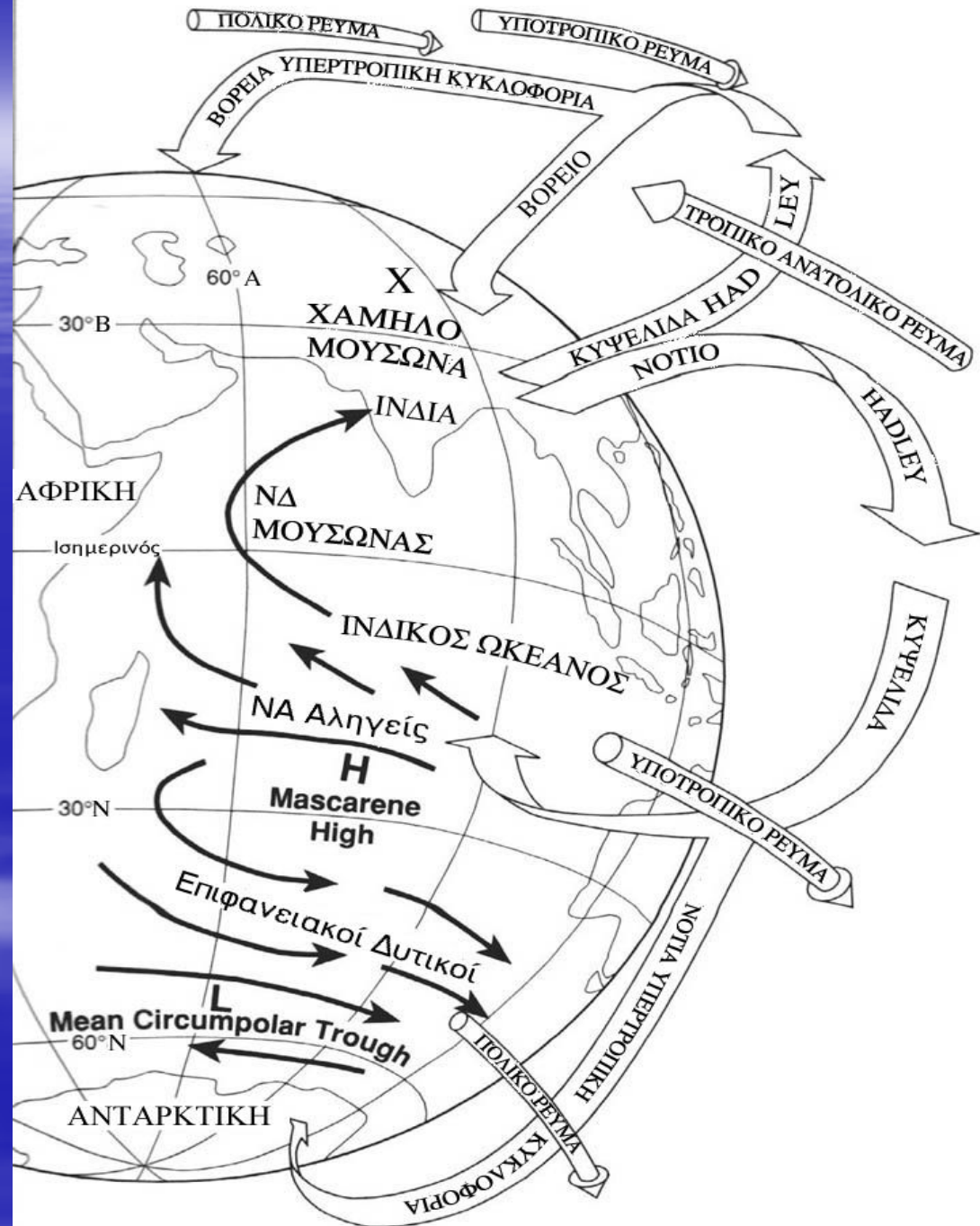
$$\int_{p_o}^{p(z)} d \ln(p(z)) = -\int_0^z \frac{dz}{H(z)} = -\frac{z}{H} \Rightarrow$$

$$\ln p(z) - \ln p_o = -\frac{z}{H} \Rightarrow$$



$$\frac{p(z)}{p_o} = e^{-\frac{z}{H}}$$

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

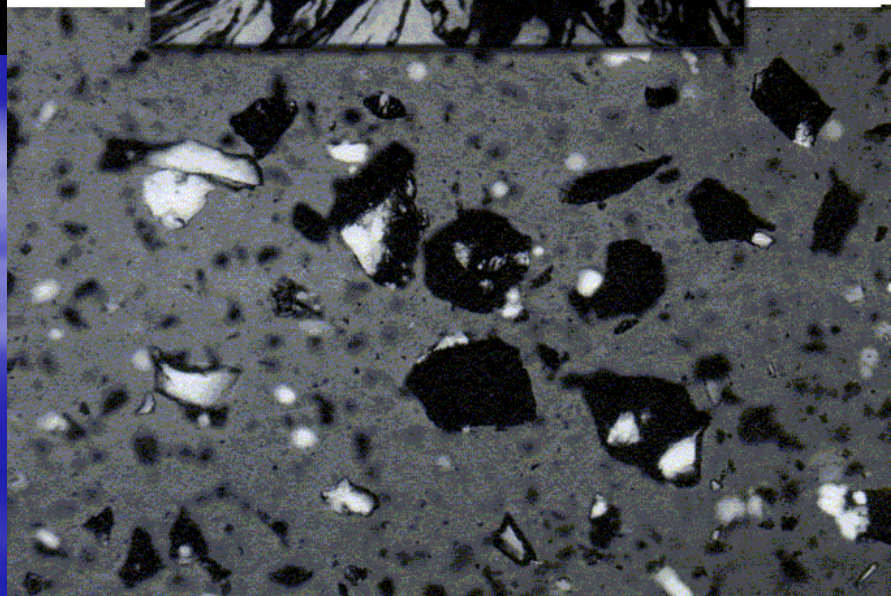
- Σε αδιάστατες μονάδες οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε:
 - parts per million (ppm),
 - parts per billion (ppb)
 - parts per trillion (ppt)
- Η ολοκληρωμένη κατακόρυφη αριθμητική πυκνότητα ονομάζεται κατακόρυφη αφθονία (column abundance)
- Για το όζον χρησιμοποιούνται οι μονάδες Dobson (DU). Ένα DU αντιστοιχεί στο ύψος (σε μονάδες 10^{-3} cm) που θα έχει μια στήλη όζοντος εάν όλο το αέριο ήταν σε κανονική πίεση και θερμοκρασία. Ένα DU είναι ισοδύναμο σε μόρια cm^{-2} .

Στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζουμε την ατμοσφαιρική συγκέντρωση των σημαντικότερων χημικών στοιχείων σε ppb και τον ανάλογο λόγο συγκέντρωσης.

Αέριο	Μοριακό βάρος	Λόγος Ανάμιξης	Συγκέντρωση (ppb ανά όγκο)
Κύρια Αέρια			
Άζωτο (N ₂)	28.013	78.084	
Οξυγόνο (O ₂)	32	20.946	
Αργό (Ar)	39.948	0.934	
Ιχνοστοιχεία - Αδρανή Αέρια			
Νέο (Ne)	20.179		18,180
Ήλιο (He)	4.003		5240
Κρυπτό (Kr)	83.80		1140
Ξένο (Xe)	131.30		87
Αντιδρώντα Αέρια			
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	44.010		358,000
Μεθάνιο (CH ₄)			1720
Υδρογόνο (H ₂)	2.016		500
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	44.012		312
Όζον (O ₃)	48		10-50
Νερό (H ₂ O)	18.015	0.004-4	
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	28.010		50-150
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	46.006		0.1-5
Αμμωνία (NH ₃)	17		0.1-10



*Έκρηξη του ηφαιστείου της
Αγίας Ελένης
τον Μάιο του 1980*



*Τέφρα ηφαιστείου από
ηλεκτρονικό
μικροσκόπιο*

*Εργοστάσιο
καύσης άνθρακα*

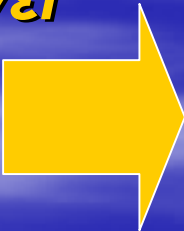


*Σωματίδια
από ηλεκτρονικό
μικροσκόπιο*



*Πόλη του Denver,
Colorado, ΗΠΑ*

 *Καθαρή ημέρα*

*όταν η σωματιδιακή
ρύπανση μειώνει
σημαντικά την
ορατότητα* 

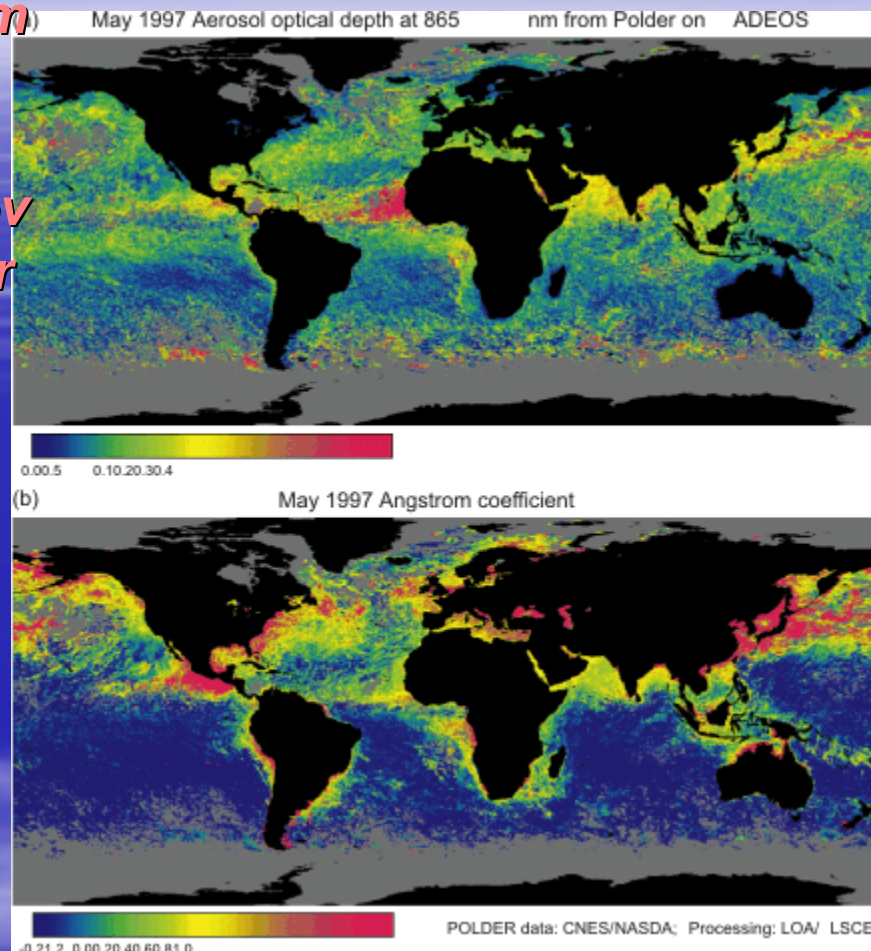


ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΕΡΟΖΟΛ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- Η σωματιδιακή ύλη είναι το ορατό κομμάτι της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Επιπτώσεις σωματιδιακής ρύπανσης:
 - ανθρώπινη υγεία
 - κλιματικές επιδράσεις
 - οπτική
- Μικρά σωματίδια έχουν μικρές ταχύτητες κατακάθισης, ο χρόνος ζωής τους στην ατμόσφαιρα είναι ορισμένες ημέρες.

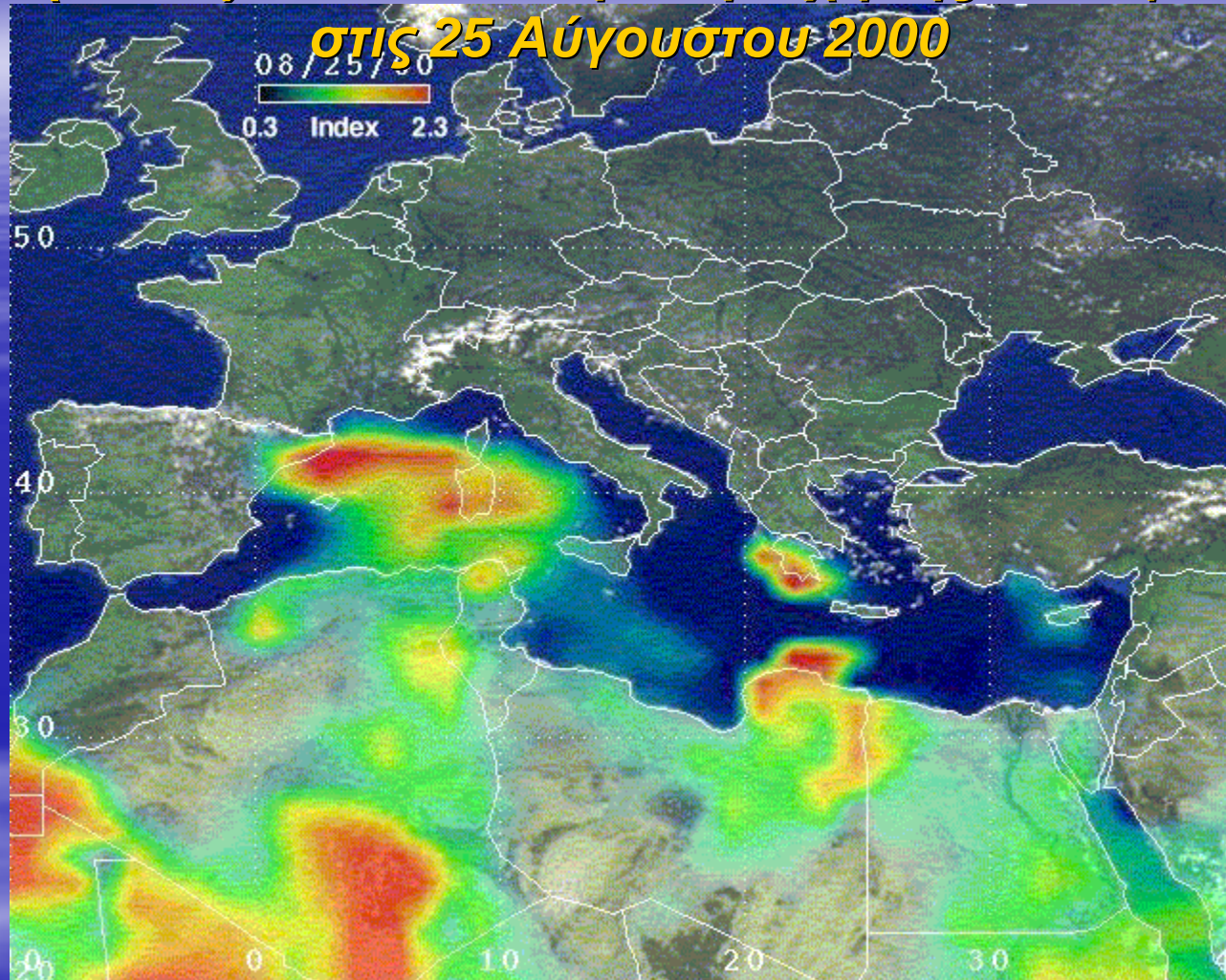
Επίσης εκπομπές σωματιδίων από άλλες ηπείρους φτάνουν στην Ευρώπη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μεταφορά σκόνης από την Σαχάρα της βόρειας Αφρικής σε ορισμένα τμήματα της Ευρώπης

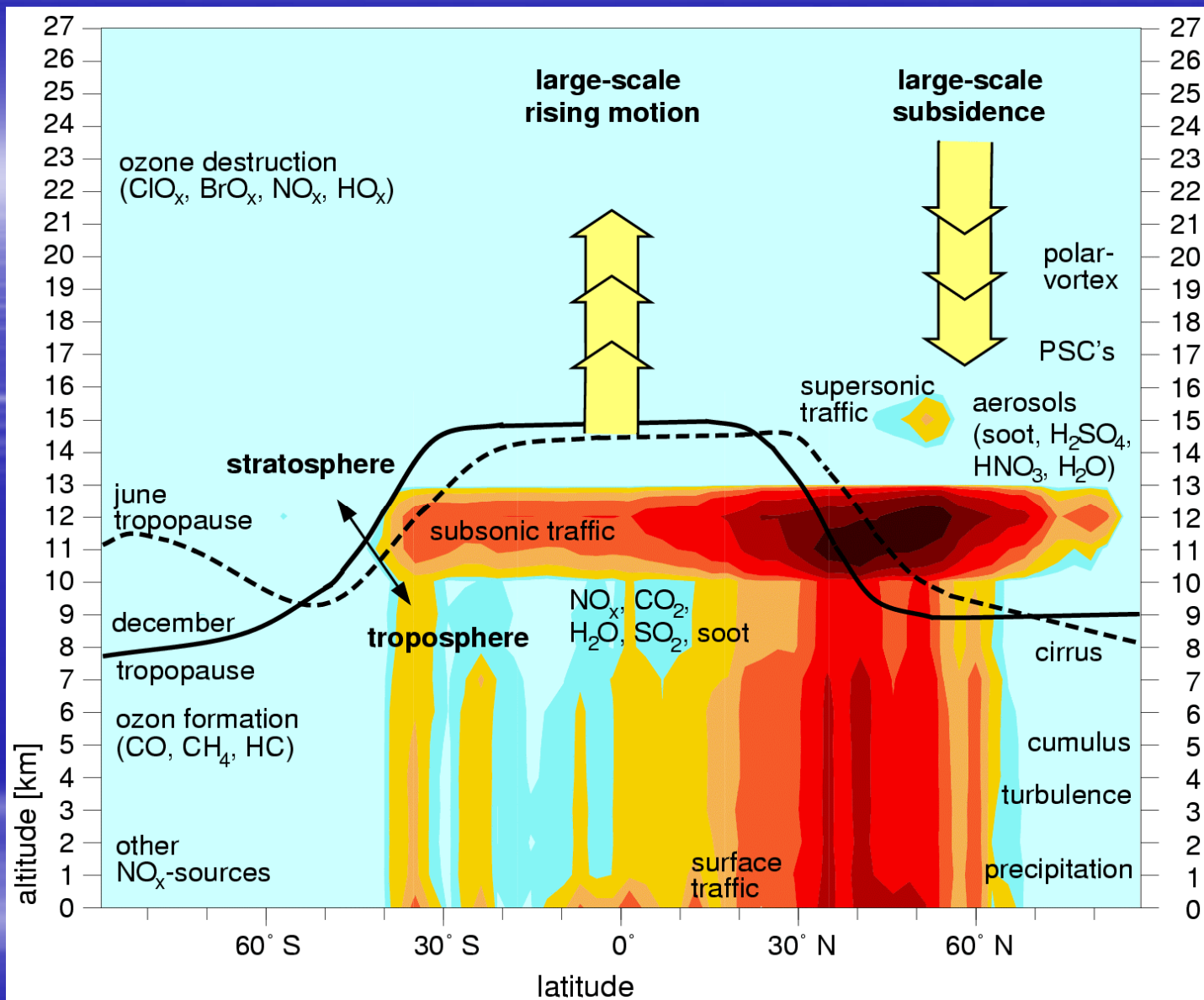
Οπτικό βάθος
αεροσόλ και
εκθέτης Angstrom
exponent από
δορυφορικά
δεδομένα από τον
δορυφόρο Polder
satellite
το Μάιο 1997



Σκόνη από τη
βόρεια Αφρική
έχει
το μεγαλύτερο
οπτικό βάθος

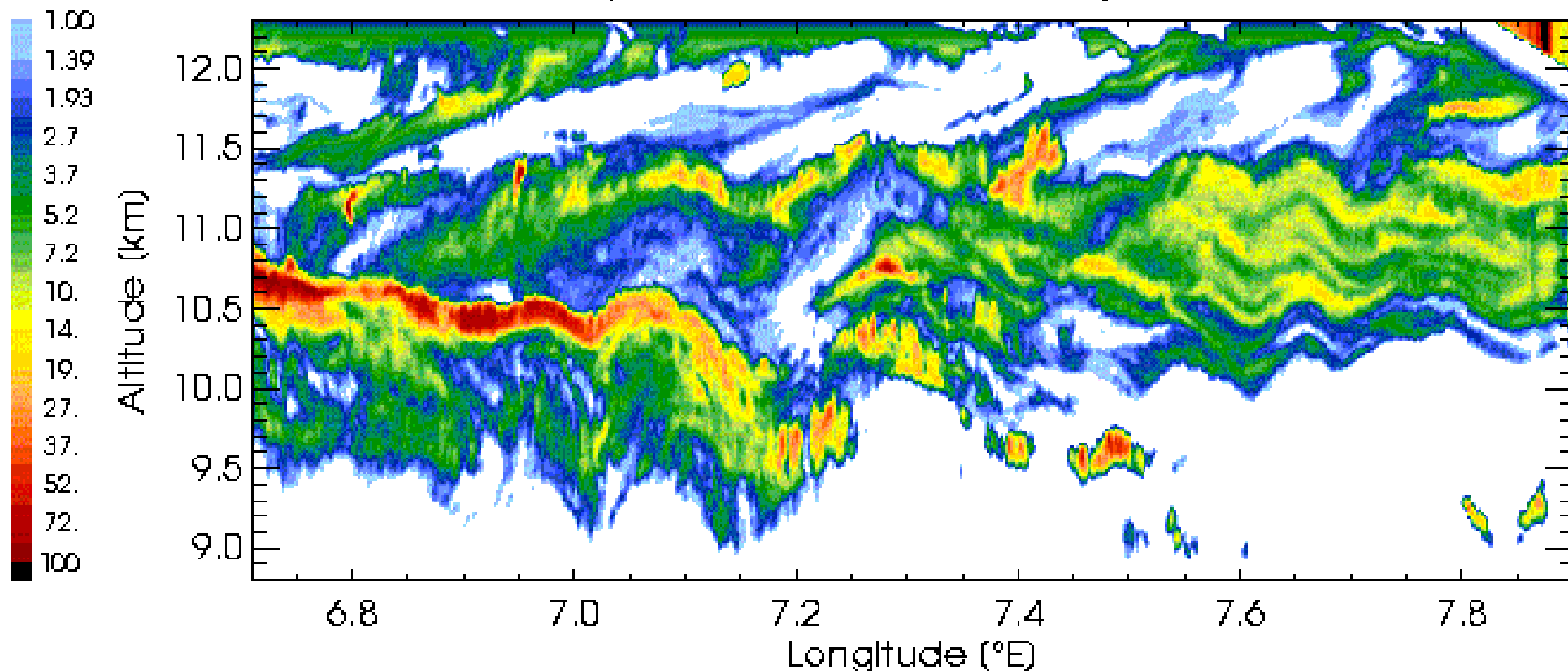
**Μετρήσεις του δείκτη αεροσόλ από δορυφορικές μετρήσεις
(TOMS) πάνω από την περιοχή της Μεσογείου
στις 25 Αύγουστου 2000**





Βασικές αρχές αέριας κυκλοφορίας και ατμοσφαιρικής χημείας στην ανώτερη τροπόσφαιρα και στην κάτω στρατόσφαιρα, περιλαμβάνοντας το μέσο ύψος της τροπόπαυσης τον Ιούνιο και Δεκέμβριο, την κατανομή των εκπομπών του NO_x από αεροσκάφη σε σχέση με το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος (με υψηλότερο ρυθμό εκπομπών στην πιο γραμμοσκιασμένη περιοχή) μένων και αερίων του θερμοκηπίου, όπως το μεθάνιο.

Atmospheric Backscatter Intensity at 1064 nm



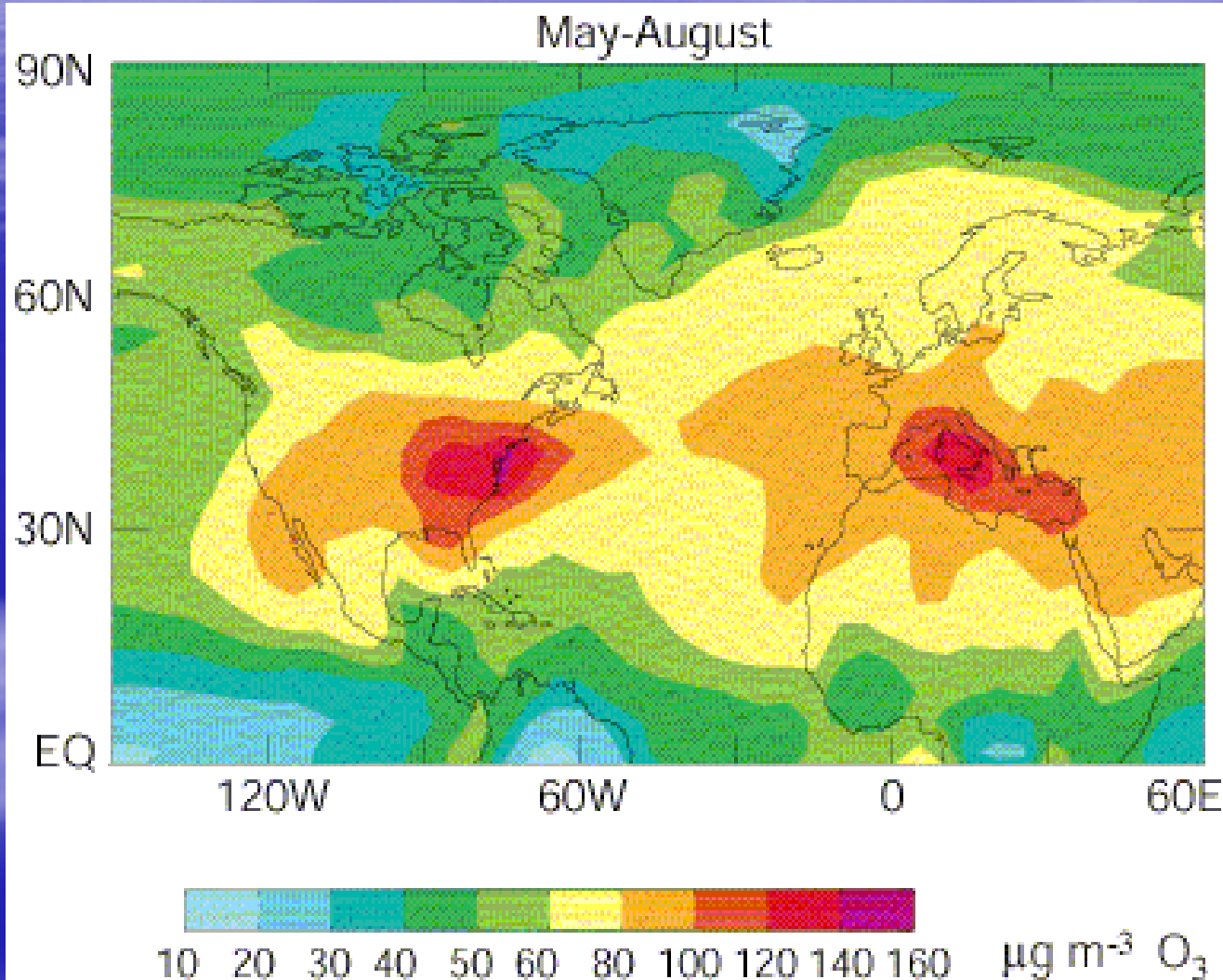
Σύννεφα Cirrus στην περιοχή της τροπόπαυσης, πιθανές τροχιές (contrails) μετρημένα με το σύστημα Lidar DLR H₂O-DIAL-Lidar τοποθετημένο στο ερευνητικό αεροσκάφος Falcon.

Περιγραφή προβλήματος οξείδωσης & του φαινομένου των παγκόσμιων αλλαγών

(Air pollution research report No 76, EU 2001)

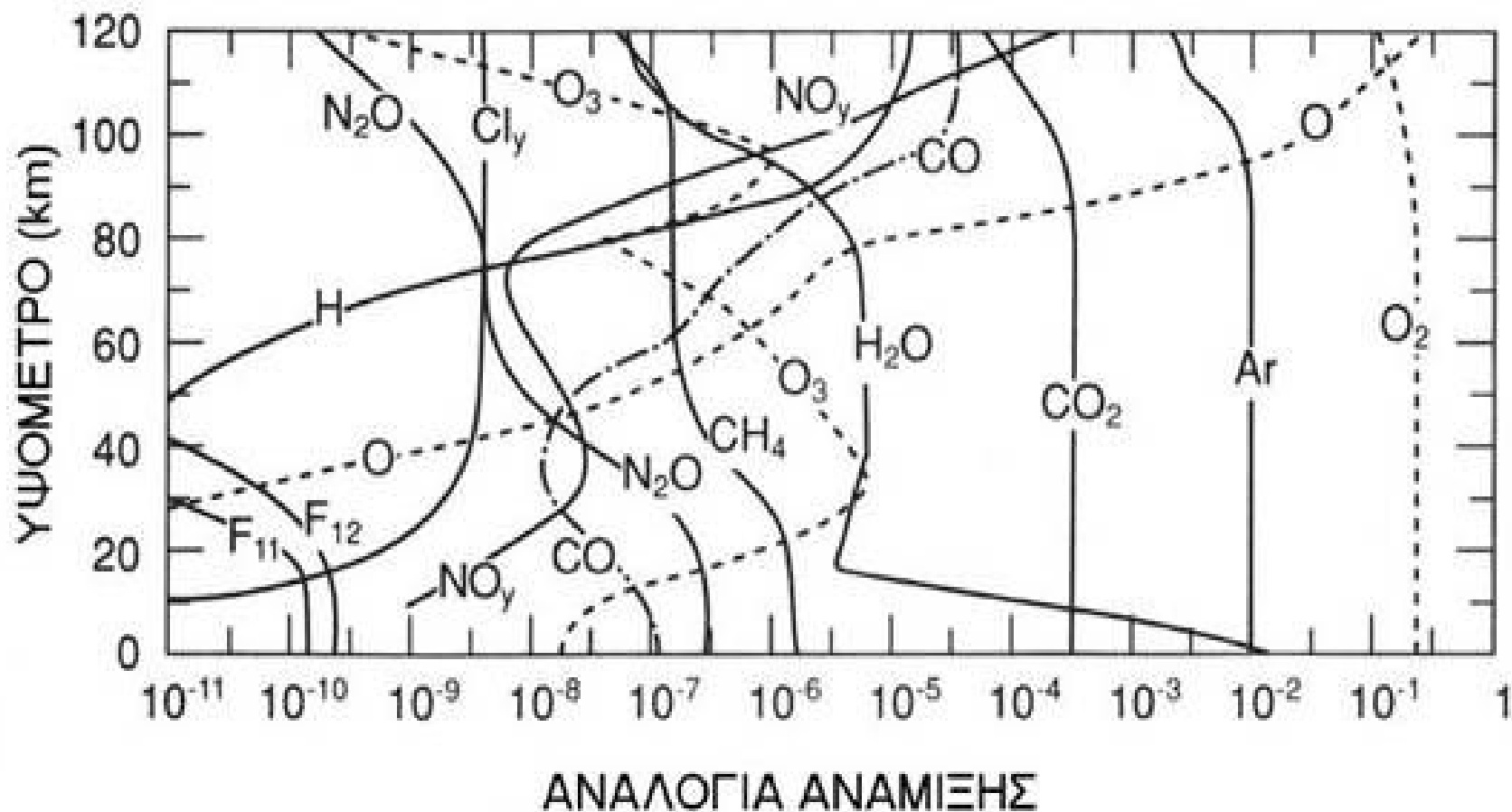
- Οξειδωτικά: όζον, φωτοχημικοί ρύποι (NO_2 , νιτρώδης και νιτρικό οξύ, αλδεύδες και οργανικά οξέα)
 - Αποτελούν τοξική ρύπανση που επηρεάζει:
 - (1) την ανθρώπινη υγεία
 - (2) τη γεωργική παραγωγή
 - (3) τη βιόσφαιρα
- Το όζον απορροφάει την ηλιακή ακτινοβολία ενώ τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα εν γένει σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος συμβαίνουν ταυτόχρονα με υψηλές συγκεντρώσεις αεροσόλ. Η συνεισφορά και των δύο ρύπων μαζί στο κλίμα δεν έχει κατανοηθεί πάρα πολύ.

Μέση συγκέντρωση επιφανειακού όζοντος το καλοκαίρι στο Βόρειο Ημισφαίριο με την εφαρμογή ενός παγκόσμιου μοντέλου που εμπεριέχει χημικές αντιδράσεις



Η περιοχή της Μεσογείου είναι μια από τις γεωγραφικές περιοχές όπου η συγκέντρωση O_3 είναι αρκετά μεγάλη με παραβίαση των ορίων συγκέντρωσης του.

Τυπική κατακόρυφη κατανομή χημικών
στοιχείων στην Ατμόσφαιρα ($F_{11}=\text{CFCl}_3$ και
 $F_{12}=\text{CF}_2\text{Cl}_2$).



Ξηρή Κατακόρυφη θερμοβαθμίδα

- Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασία με το ύψος εκφράζεται με την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. Αυτή ορίζεται σαν η ελάττωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα () στη μονάδα ύψους () και συμβολίζεται με γ , οπότε θα έχουμε:

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial z}$$

- Το αρνητικό πρόσημο (-) τίθεται για να δηλώσει ότι αύξηση του ύψους αντιστοιχεί σε ελάττωση της θερμοκρασίας για το στρώμα της τροπόσφαιρας. Σαν μονάδα ύψους, συνήθως, χρησιμοποιούνται τα 100 m ή 1 km, δηλαδή η γ εκφράζεται σε $^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ ή $^{\circ}\text{C}/1 \text{ km}$.

Υγρή Κατακόρυφη Θερμοβαθμίδα

- Η υγρή κατακόρυφη αδιαβατική θερμοβαθμίδα λαμβάνει χώρα σε μία αέρια μάζα η οποία είναι κορεσμένη από υδρατμούς και κατά την άνοδο της συνεχίζει να ψύχεται μόνο αδιαβατικά.
- Η μέση τιμή της υγρής κατακόρυφης αδιαβατικής θερμοβαθμίδας είναι:
$$\gamma = -0,5^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$$
- Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα βρίσκεται σε στενή σχέση με την ατμοσφαιρική ευστάθεια ή αστάθεια.

Βιβλιογραφία

- Μ. Λαζαρίδης (2008). «Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας» Εκδόσεις Τζιόλα (Δεύτερη Έκδοση).
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N., (2006), Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons.
- Stull, R.B. (1997), An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publishers.