

- ❑ *Ατμοσφαιρικοί Ρύποι*
- ❑ *Μονάδες Συγκεντρώσεων Ρύπων*
- ❑ *Αιωρούμενα Σωματίδια*
- ❑ *Χωρικές και Χρονικές Κλίμακες Διασποράς*

## ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

**Ρύπος:** Ουσία που εκπέμπεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα ή προκύπτει από την αλληλεπίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας με το οικοσύστημα και η οποία επιφέρει άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στην ευεξία και υγεία του ανθρώπου και όλων των έμβιων οργανισμών

*Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί  
ρύποι*


Χημικός τύπος	Όνομασία	Χαρακτηριστικά
SO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του θείου	Άχρωμο, διαβρωτικό, χαρακτηριστικής οσμής, διαλυτό στο νερό (H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )
SO <sub>3</sub>	Τριοξείδιο του θείου	Ιδιαίτερα διαβρωτικό, διαλυτό στο νερό (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
H <sub>2</sub> S	Υδρόθειο	Χαρακτηριστική οσμή (χαλασμένο σαγού), ιδιαίτερα δηλητηριώδες
N <sub>2</sub> O	Υποξείδιο του αζώτου	Άχρωμο, σχετικά αδρανές, αέριο γέλιου
NO	Οξείδιο του αζώτου	Άχρωμο, άοσμο, οξειδώνεται από O <sub>3</sub> και O <sub>2</sub>
NO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του αζώτου	Καστανόχρωμο, χαρακτηριστικής οσμής
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα	Άχρωμο, άοσμο, άκρως τοξικό, προκαλεί ασφυξία
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα	Άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό
O <sub>3</sub>	Όζον	Γαλαζωπό, χαρακτηριστικής οσμής, ισχυρά δραστικό
CH <sub>4</sub>	Μεθάνιο	Άχρωμο, άοσμο, σχετικά αδρανές
HC	Υδρογονάνθρακες	Πλήθος ενώσεων Σχετικά μικρή τοξικότητα. Σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία
Σωματίδια		Πλήθος – Υγρά και στερεά διαμέτρου <10 μm

# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

## Προέλευση

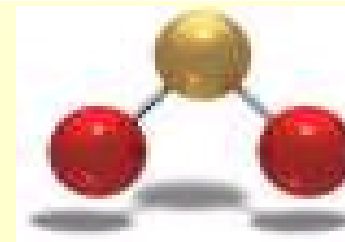
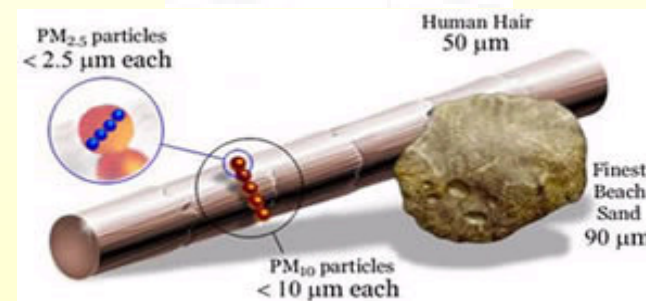
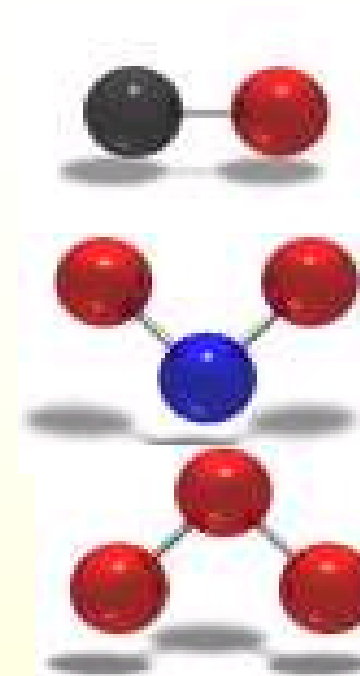
- **Πρωτογενείς:** Οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας από μία πηγή π.χ. CO, NO, SO<sub>2</sub>, HC, σωματίδια
- **Δευτερογενείς:** Οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους έπειτα από χημικές αντιδράσεις π.χ. NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>

## Κατάσταση

- **Αέριοι**
  - **Υγροί**
  - **Στερεοί**
- 
- A diagram consisting of a rectangular box on the left. Two arrows originate from the right side of the box, pointing towards the word "ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΙ" which is written in purple, bold, uppercase letters.

## Γενική Κατηγοριοποίηση Ρύπων Χημική σύσταση

- Μη οργανικές ενώσεις που περιέχουν C, CO & CO<sub>2</sub>
- Οργανικές ενώσεις: CH<sub>4</sub> & ανώτερες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)
- Ενώσεις που περιέχουν S
- Ενώσεις που περιέχουν N
- Σωματίδια ύλης
- Επικίνδυνες και τοξικές ουσίες
- Φωτοχημικά οξειδωτικά



# ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

## A) ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

- *Αστικές & Βιομηχανικές πηγές*
- *Αγροτικές & Γεωργικές πηγές*

## B) ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ



**Φυσικές πηγές:** Παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων και δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων (ελάχιστες εξαιρέσεις).

**Ανθρωπογενείς πηγές:** Παράγουν μικρότερο ποσοστό των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων και οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων (ατμοσφαιρικά επεισόδια).

## **Ανθρωπογενείς πηγές:**

**Κύριες υπεύθυνες για περιβαλλοντικά προβλήματα!!**

### **ΓΙΑΤΙ ?**

- *Ανατροπή της φυσικής ισορροπίας*
- *Αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων σε μικρές γεωγραφικές περιοχές*
  - *Ανάμειξη με ήδη επιβεβαρυμένο αέρα*
  - *Χημικοί μετασχηματισμοί*
- *Εκπομπή μη φυσικών ρύπων*

□ **Αστικές & Βιομηχανικές πηγές**

▶ **Παραγωγή ενέργειας**

*CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, VOCs,  
σωματίδια (τέφρα, βαρέα μέταλλα)*

▶ **Βιομηχανικές μονάδες**

*πλήθος αερίων ρύπων, σωματίδια*

▶ **Μεταφορές**

*CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, VOCs*

▶ **Διαδικασίες καύσεων**

*CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, VOCs,  
σωματίδια*

▶ **Απορρίμματα**

*CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>  
σωματίδια*

▶ **Κατασκευαστικά έργα**

*CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, VOCs,  
σωματίδια, σκόνη*



**Πτολεμαΐδα**

<http://kailar-city.blogspot.gr/>





□ *Γεωργικές & Αγροτικές πηγές*

- ▶ *Εκπομπές σκόνης*
- ▶ *Καύσεις για εκχέρσωση γης & καύση αγροτικών αποβλήτων*  
*CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HC, σωματίδια*
- ▶ *Εκπομπές εδαφών*  
*Αζωτούχα οξείδια*
- ▶ *Ψεκασμοί με αεροπλάνα*
- ▶ *Αποσύνθεση αποβλήτων*  
*NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, ατμοί*



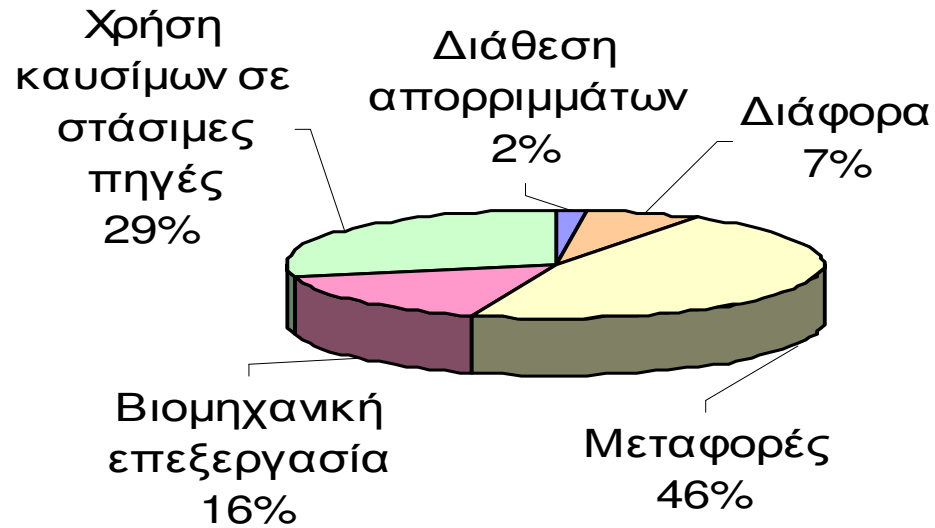
*Εκπομπή σκόνης από καλλιέργεια γης  
Photo taken by Robert Laird*



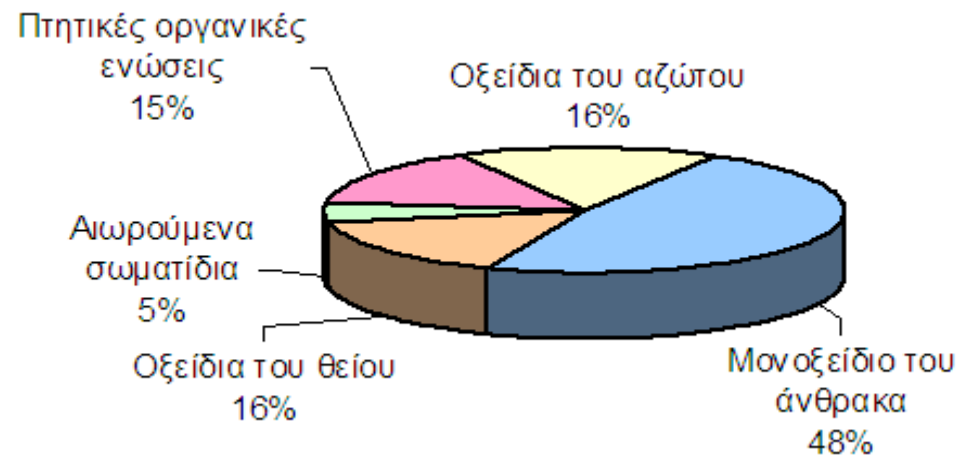
*Γεωργικές καύσεις*

*<http://www.efi.fi/fine/images/finland/fire4.jpg>*





*Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών*



*Κατανομή των ανθρωπογενών αέριων ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα*

## □ Φυσικές πηγές

- ▶ Αποσάθρωση από ανέμους  
τέφρα, ίχνη από βαρέα μέταλλα
- ▶ Πυρκαγιές δασών  
 $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$ , καπνός
- ▶ Ηφαιστειακές εκρήξεις  
σωματίδια,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , άλλα αέρια
- ▶ Βιογενείς εκπομπές  
 $\text{HC}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , γύρη, σπόροι
- ▶ Θαλάσσια σταγονίδια-Εξάτμιση  
αλατούχα σωματίδια, ιχνοστοιχεία
- ▶ Μικροβιακές διεργασίες εδαφών  
 $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$
- ▶ Αποσύνθεση οργανικής ύλης  
 $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$
- ▶ Κεραυνοί  
 $\text{NO}$



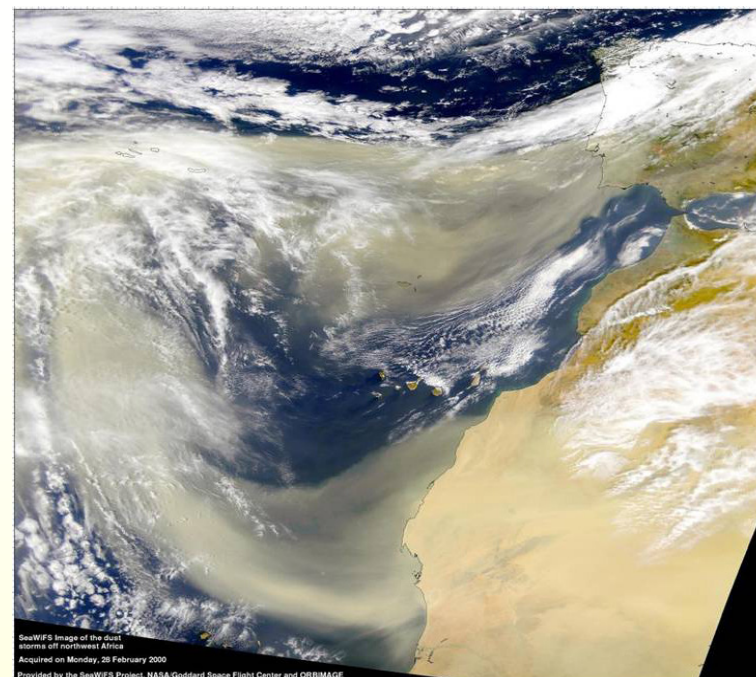
Αμμοθύελλα, 27/4/2005: Al Asad, Iraq  
DoD photo by Corporal Alicia M. Garcia, U.S.  
Marine Corps.





Image courtesy of AVO/USGS, Image Creator: McGimsey, Game, January 30, 2006 13:00:00

**30/1/2006: Augustine volcano, Alaska**  
*AVO/USGS*



SeaWiFS image of the dust storm off Northwest Africa  
Acquired on Monday, 28 February 2000  
Provided by the SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center and ORBIMAGE

**Αμμοθύελλα από την έρημο Σαχάρα**  
*NASA:SeaWiFS satellite, Feb. 28, 2000*

**Πυρκαγιές δασών: Σάμος 2000**  
*European Space Agency (ESA)*



## Επιπτώσεις ρύπων

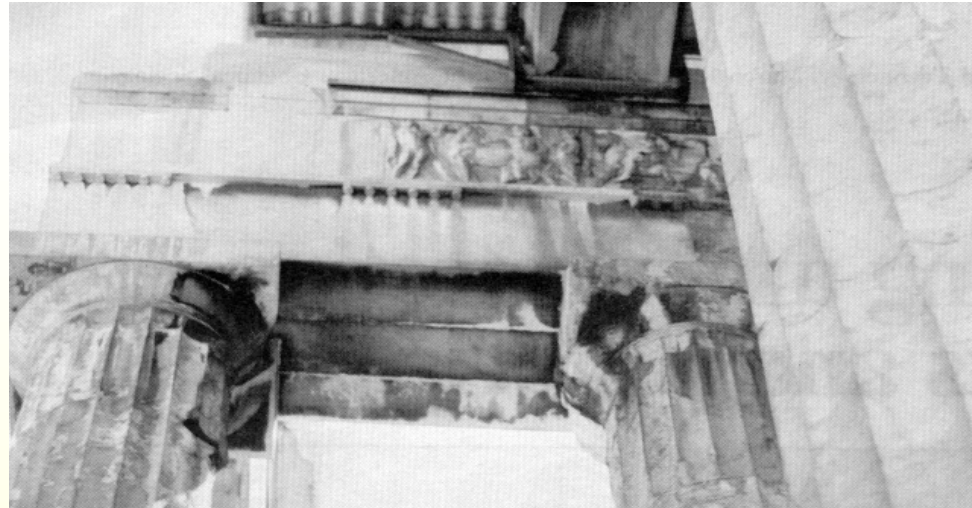
### Υλικά

- Διάβρωση
- Κηλίδες
- Αποχρωματισμός
- Εξασθένηση ινών

Καταστροφή ιστορικών & σύγχρονων κτιρίων, μνημείων

### Όξινη βροχή

Μείωση pH λόγω διάλυσης ενώσεων του θείου και το αζώτου στα σταγονίδια



Διακοσμητικό: 1908 (αριστερά), 1968 (δεξιά)  
Herten Castle, Germany.

*Westfälisches Amt Für denkmalpflege, Munster*

## Φυτά

- Βιοχημικές μεταβολές
- Ανάπτυξη
- Μάρανση
- Νέκρωση

## Όξινη βροχή

### Εναπόθεση ρύπων



Αριστερά: Επίδραση όζοντος σε φυτό Δεξιά:  
Κανονικό φυτό

*Photo courtesy of Gene Daniels/U.S. EPA*

## Ανθρώπινη υγεία

Ατυχήματα

Χρόνια έκθεση

- Ασθένειες αναπνευστικού συστήματος
- Καρδιο-αγγειολογικές ασθένειες
- Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, λαιμό
- Επιδείνωση υπάρχουσας ασθένειας
- Δημιουργία κακοηθών όγκων

**CO:** ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση χώρου και χρόνου, αναισθησία, θάνατος.

**SO<sub>2</sub>:** Αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

**HC:** Καρκινογόνο δράση.

**O<sub>3</sub>:** Εξαιρετικά τοξικό, ζάλη, εμετούς κ.ά

## Ζώα

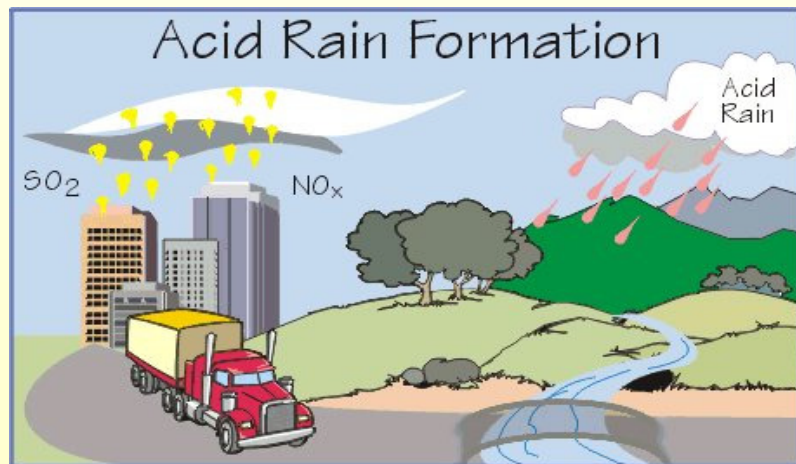
*Αναπνοή*

*Εναπόθεση ρύπων*

*(F, Pb, βαρέα μέταλλα)*

## Ατμόσφαιρα

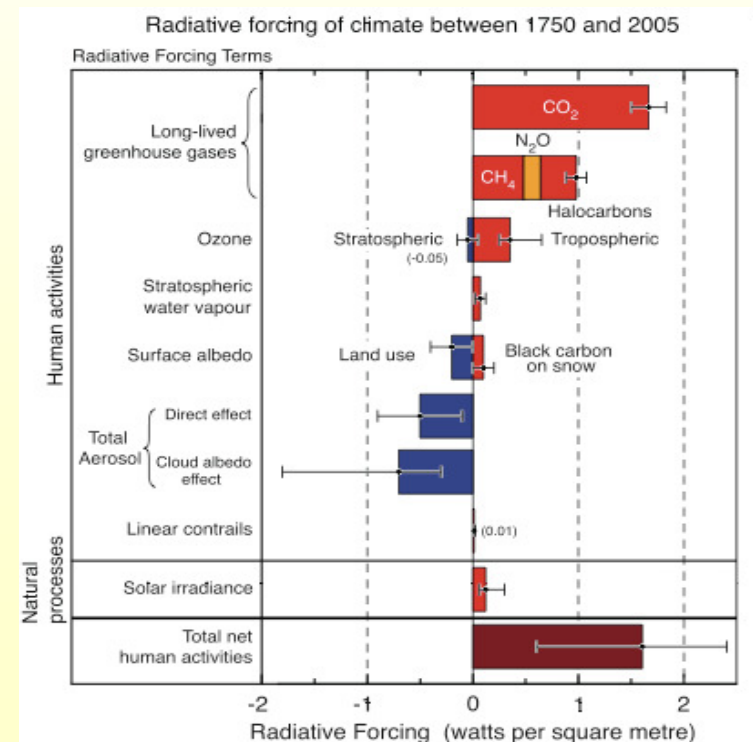
- Μείωση ορατότητας
- Ενεργειακό ισοζύγιο
- Σχηματισμός ομίχλης και νετού
- Όξινη βροχή
- Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος
- Κλιματικές αλλαγές



Σχηματισμός όξινης βροχής



Μείωση ορατότητας  
*Kuala Lumpur, Malaysia, 11/08/2005*





## Συγκέντρωση ρύπων

**Κατά βάρος:** Μάζα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα →  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Κατ' όγκο:** Όγκος ρύπου ανά όγκους αέρα →

**ppm:** μέρη στο εκατομμύριο - Όγκος ρύπου/ $10^6$  όγκους αέρα

**ppb:** μέρη στο δισεκατομμύριο - Όγκος ρύπου/ $10^9$  όγκους αέρα

$$C^V(\text{ppb}) = 10^3 C^V(\text{ppm})$$

**Σχέση μονάδων συγκέντρωσης κατά βάρος και κατ' όγκο**

$$C^m = \frac{C^V \cdot P \cdot MB}{R \cdot T}$$

**$C^m$ :** Συγκέντρωση κ.β.,  **$C^V$ :** Συγκέντρωση κ.ό.,  **$P$ :** Πίεση σε atm

**$MB$ :** Μοριακό βάρος ρύπου,  **$T$ :** Θερμοκρασία σε K

**$R$ :** Παγκόσμια σταθερά αερίων,  $8.206 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## Μετατροπές μονάδων πίεσης

	<b>Pascal (Pa)</b>	<b>Bar (bar)</b>	<b>Atmosphere (atm)</b>	<b>Torr (mmHg)</b>
<b>1 Pa</b>	≡ 1 N/m <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	9.8692×10 <sup>-6</sup>	7.5006×10 <sup>-3</sup>
<b>1 bar</b>	100 000	≡ 10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup>	0.98692	750.06
<b>1 atm</b>	101 325	1.01325	≡ 1 atm	760
<b>1 torr</b>	133.322	1.3332×10 <sup>-3</sup>	1.3158×10 <sup>-3</sup>	≡ 1 mmHg

*Αν η πίεση εφράζεται σε mbar μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η παρακάτω σχέση*

$$C^m = \frac{C^V \cdot 100 \cdot P \cdot MB}{8.314 \cdot T}$$

*Συντελεστές μετατροπής των συγκεντρώσεων από  $\mu\text{g m}^{-3}$  σε ppm και το αντίστροφο*

<b>Ρύπος</b>	<b>Μετατροπή από <math>\mu\text{g m}^{-3}</math> σε ppm</b>	<b>Μετατροπή από ppm σε <math>\mu\text{g m}^{-3}</math></b>
	<b>Συντελεστής μετατροπής</b>	<b>Συντελεστής μετατροπής</b>
<i>Όζον (<math>\text{O}_3</math>)</i>	<b><math>0.51 \times 10^{-3}</math></b>	<b>1960</b>
<i>Διοξείδιο του αζώτου (<math>\text{NO}_2</math>)</i>	<b><math>0.53 \times 10^{-3}</math></b>	<b>1880</b>
<i>Οξείδιο του αζώτου (<math>\text{NO}</math>)</i>	<b><math>0.81 \times 10^{-3}</math></b>	<b>1230</b>
<i>Διοξείδιο του άνθρακα (<math>\text{CO}_2</math>)</i>	<b><math>0.56 \times 10^{-3}</math></b>	<b>1800</b>
<i>Μονοξείδιο του άνθρακα (<math>\text{CO}</math>)</i>	<b><math>0.87 \times 10^{-3}</math></b>	<b>1150</b>
<i>Διοξείδιο του θείου (<math>\text{SO}_2</math>)</i>	<b><math>0.38 \times 10^{-3}</math></b>	<b>2620</b>
<i>Αμμωνία (<math>\text{NH}_3</math>)</i>	<b><math>1.44 \times 10^{-3}</math></b>	<b>695</b>

## Δείκτης Αέριας Ποιότητας (ΗΠΑ)

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

$I_p$  = Δείκτης για τον ρύπο p

$C_p$  = Συγκέντρωση ρύπου

$BP_{Hi}$  = Το όριο που είναι μεγαλύτερο ή ίσο με  $C_p$

$BP_{Lo}$  = Το όριο που είναι μικρότερο ή ίσο με  $C_p$

$I_{Hi}$  = ΔΑΠ για  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$  = ΔΑΠ για  $BP_{Lo}$

This Breakpoint...					...equal this AQI		...and this category	
O <sub>3</sub> (ppm) 8-hour	O <sub>3</sub> (ppm) 1-hour <sup>1</sup>	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	AQI	
0.000 - 0.064	-	0 - 54	0.0 - 15.4	0.0 - 4.4	0.000 - 0.034	( <sup>2</sup> )	0 - 50	Good
0.065 - 0.084	-	55 - 154	15.5 - 40.4	4.5 - 9.4	0.035 - 0.144	( <sup>2</sup> )	51 - 100	Moderate
0.085 - 0.104	0.125 - 0.164	155 - 254	40.5 - 65.4	9.5 - 12.4	0.145 - 0.224	( <sup>2</sup> )	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.105 - 0.124	0.165 - 0.204	255 - 354	65.5 - 150.4	12.5 - 15.4	0.225 - 0.304	( <sup>2</sup> )	151 - 200	Unhealthy
0.125 - 0.374 (0.155 - 0.404) <sup>4</sup>	0.205 - 0.404	355 - 424	150.5 - 250.4	15.5 - 30.4	0.305 - 0.604	0.65 - 1.24	201 - 300	Very unhealthy
( <sup>3</sup> )	0.405 - 0.504	425 - 504	250.5 - 350.4	30.5 - 40.4	0.605 - 0.804	1.25 - 1.64	301 - 400	Hazardous
( <sup>3</sup> )	0.505 - 0.604	505 - 604	350.5 - 500.4	40.5 - 50.4	0.805 - 1.004	1.65 - 2.04	401 - 500	Hazardous

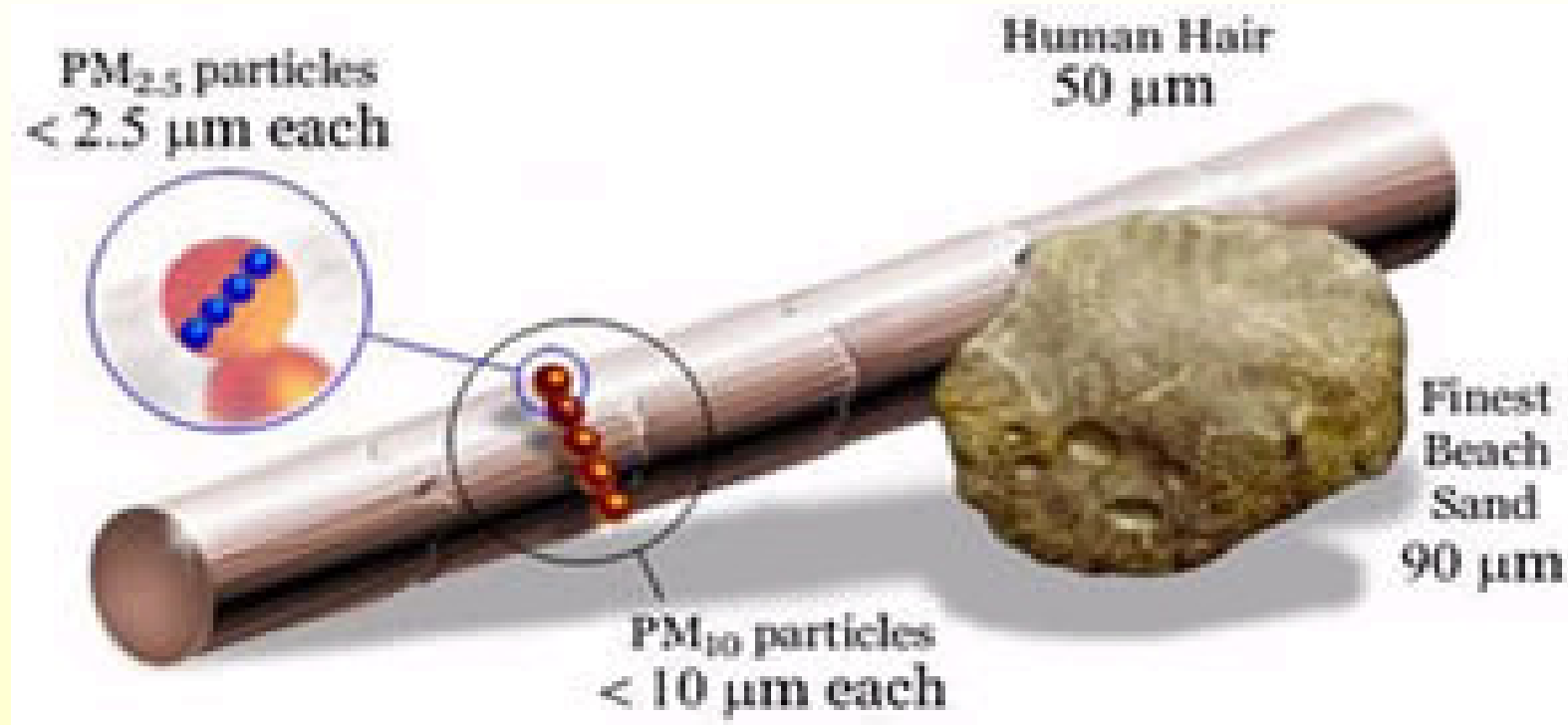
## Εφαρμογή

O<sub>3</sub> (δωρο) = 77 ppb

PM<sub>2.5</sub> = 74.4 μg/m<sup>3</sup>

CO = 8.4 ppm

*Αιωρούμενα σωματίδια: Ουσίες που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα σαν διακριτά σωματίδια σε υγρή ή στερεή μορφή*



**Αιωρούμενα σωματίδια:** Από τους πιο επικίνδυνους ρύπους

Πρωτογενείς ή Δημιουργία από οξείδωση ή μετασχηματισμών αερίων ρύπων

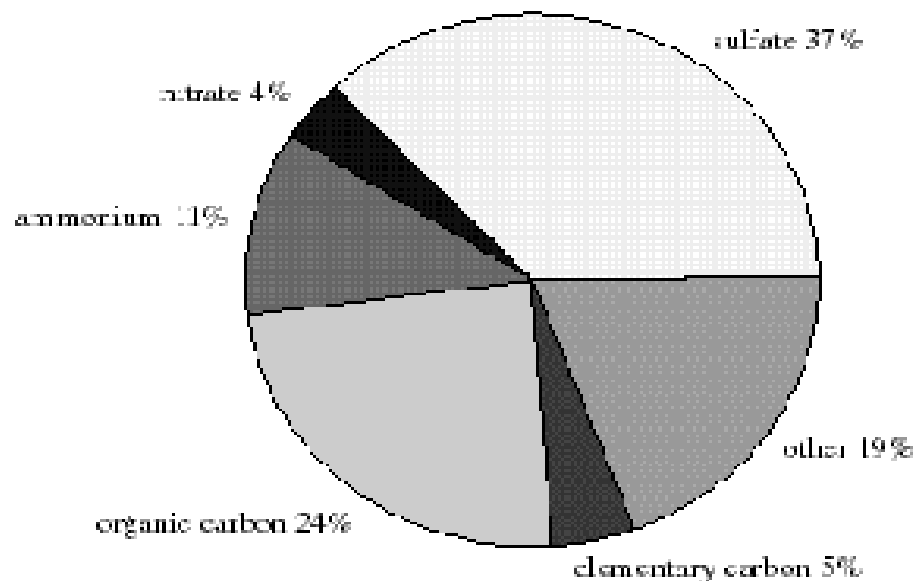
- *Περιέχουν καρκινογόνες ουσίες (αμίαντος, καπνός)*
- *Επιδείνωση βλαβερών συνεπειών άλλων αέριων ρύπων*

Pb: Αντικροτικό στα καύσιμα. Μείωση συγκεντρώσεων λόγω χρήσης αμόλυβδης βενζίνης

**Κατώτερη τροπόσφαιρα:** Περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας αιωρούμενων σωματιδίων (1-2 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από ανώτερη)

**Κύρια αιτία:** Πηγές εκπομπής κοντά στο έδαφος & μικρός σχετικά χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα που δεν επιτρέπει τη μεταφορά τους σε μεγάλα ύψη

*\*Βελτίωση ορατότητας μετά τα 1-2 km της ατμόσφαιρας*



*Τυπική σύσταση ηπειρωτικών λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων ηπειρωτικής προέλευσης*

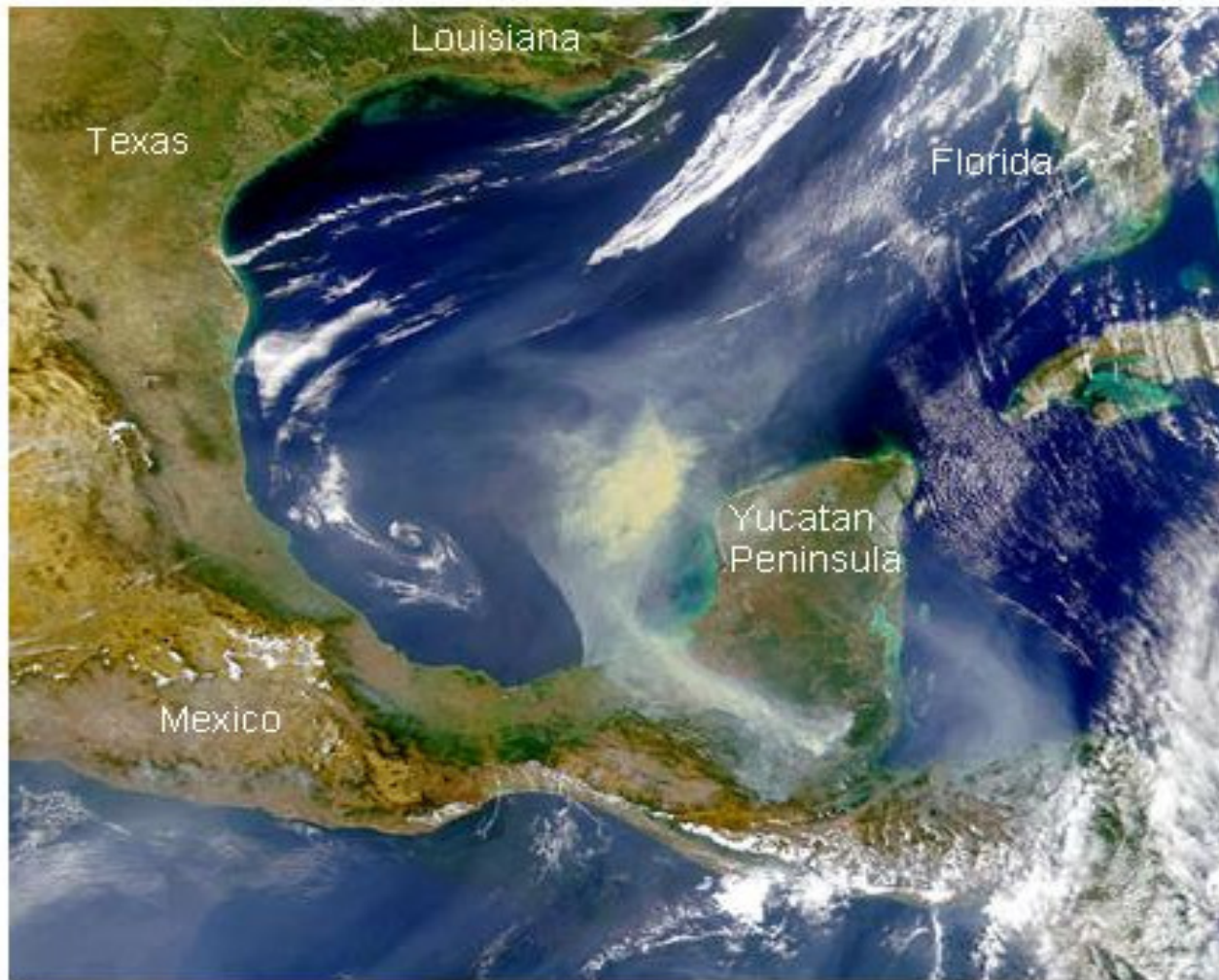
*Heintzenberg, J., Tellus, 41B, 149-160, 1989.*



*Dust from Africa's Saharan Desert lingers in high altitudes as it crosses the Atlantic Ocean. This picture was taken from an aircraft northeast of Barbados in 2006. Cumulus clouds can be seen poking through the tops of the dust layer, which is seen as a milky white haze.*

*NOAA*





Satellite image of smoke aerosols (milky white areas) from forest burning in Mexico and Central America (NASA).

## Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Πλήθος διαφορετικών σωματιδίων με διαφορετικές ιδιότητες

Επικινδυνότητα: Εξάρτηση από σύσταση και διάμετρο σωματιδίων  $\delta$

**PM10** →  $\delta < 10 \mu\text{m}$

**PM2.5** →  $\delta < 2.5 \mu\text{m}$

### PM2.5

Πηγές καύσης, χημικός μετασχηματισμός αερίων ρύπων

### Πιο επικίνδυνα από τα μεγαλύτερα

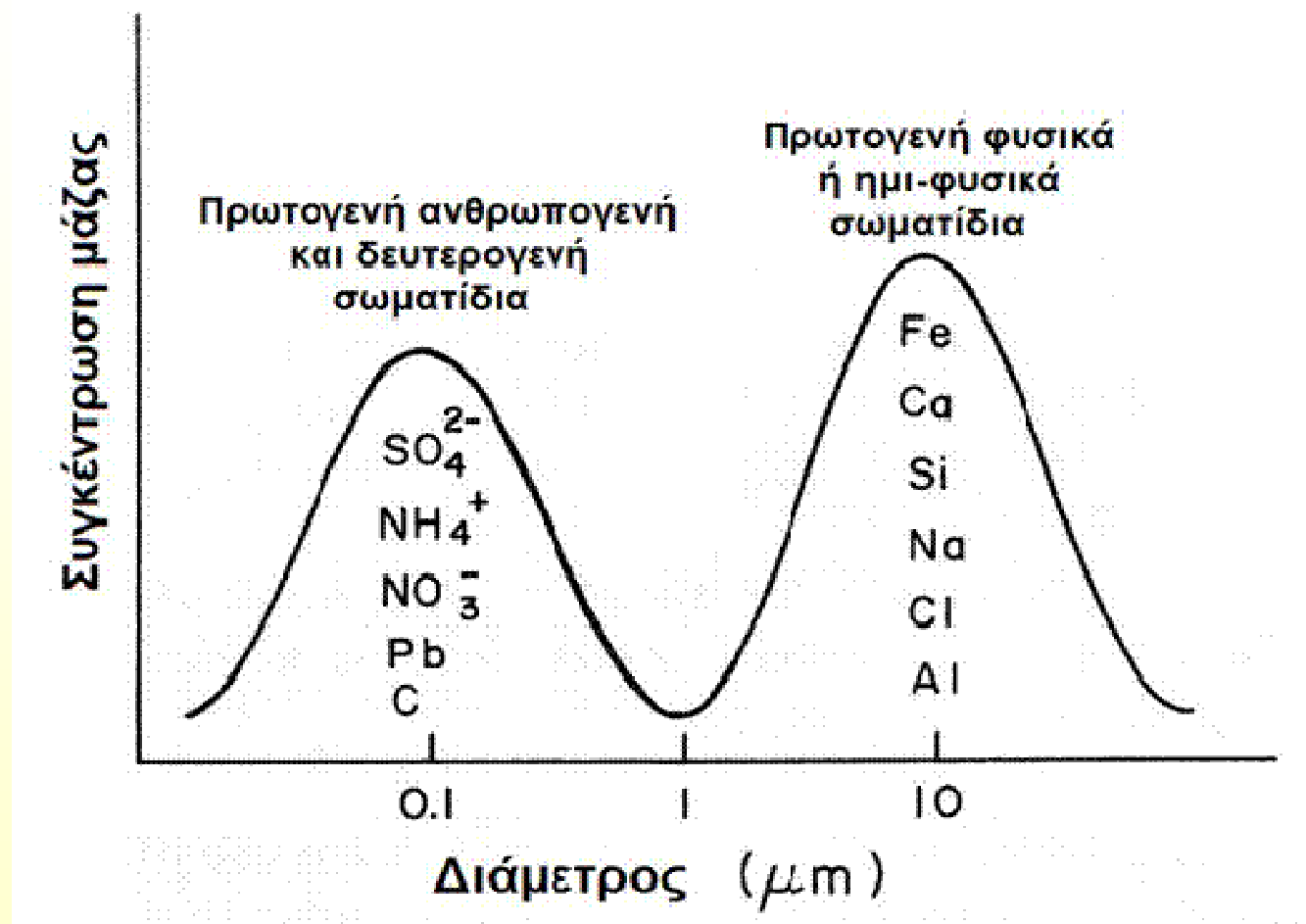
- Βαθύτερη διείσδυση και εγκατάσταση στους πνεύμονες
- Για συγκεκριμένο βάρος σωματιδίων παρέχουν μεγαλύτερη συνολικά επιφάνεια για την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων
- Παραμονή στον αέρα για εβδομάδες ή μήνες και μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις

### PM10

Μεταλλεύματα, κατασκευαστικές δραστηριότητες, πυρκαγιές και ατμοσφαιρική σκόνη.

Γρηγορότερη εναπόθεση → κίνδυνος κυρίως κοντά στην πηγή

**TSP:** ολικά αιωρούμενα σωματίδια (*Total Suspended Particulates*) 0.001-500  $\mu\text{m}$



*Κατανομή μάζας των κυριότερων συστατικών των αιωρουμένων σωματιδίων*

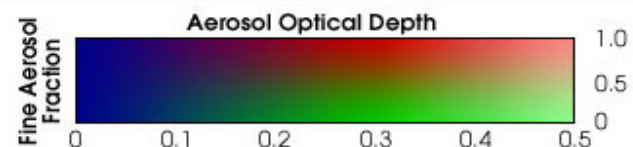
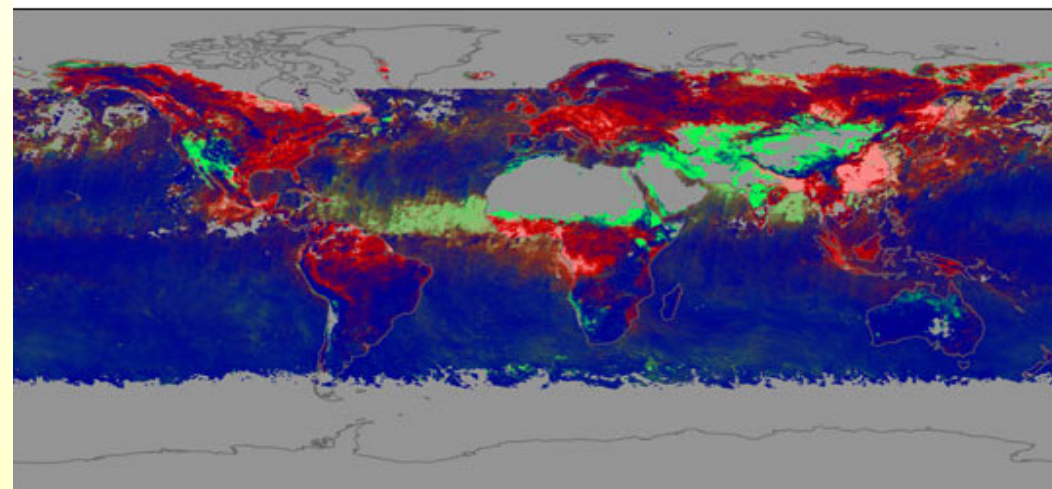
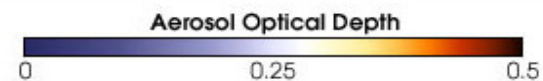
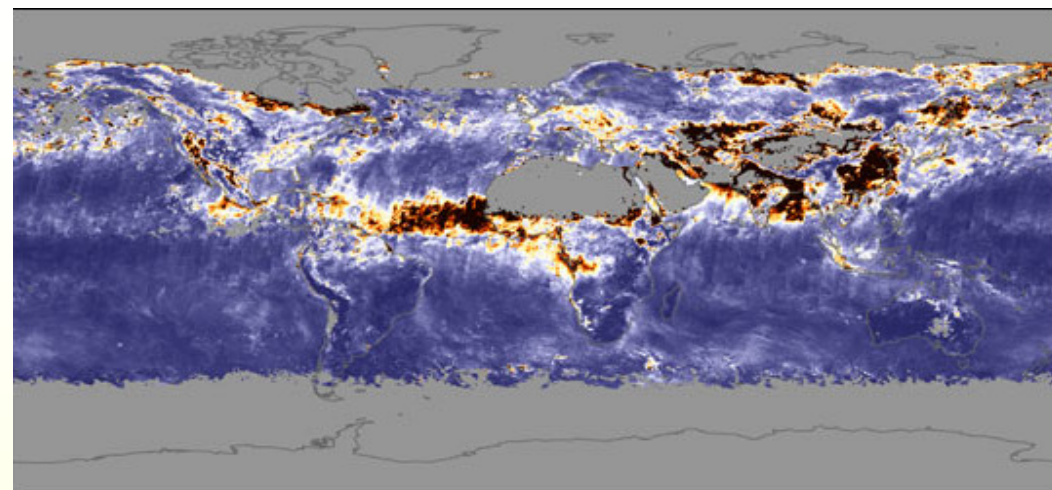
**Χημική σύσταση:** *Σημαντικό χαρακτηριστικό*

- Επίδραση των ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τη χημική τους συμπεριφορά και ιδιότητες
- Αναγνώριση της πηγής των αερολυμάτων από τη χημική τους σύσταση

*Images by NASA Earth Observatory Team, based upon data provided by the MODIS Atmosphere Science Team, NASA GSFC*

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=279>

4





## Πηγές εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων

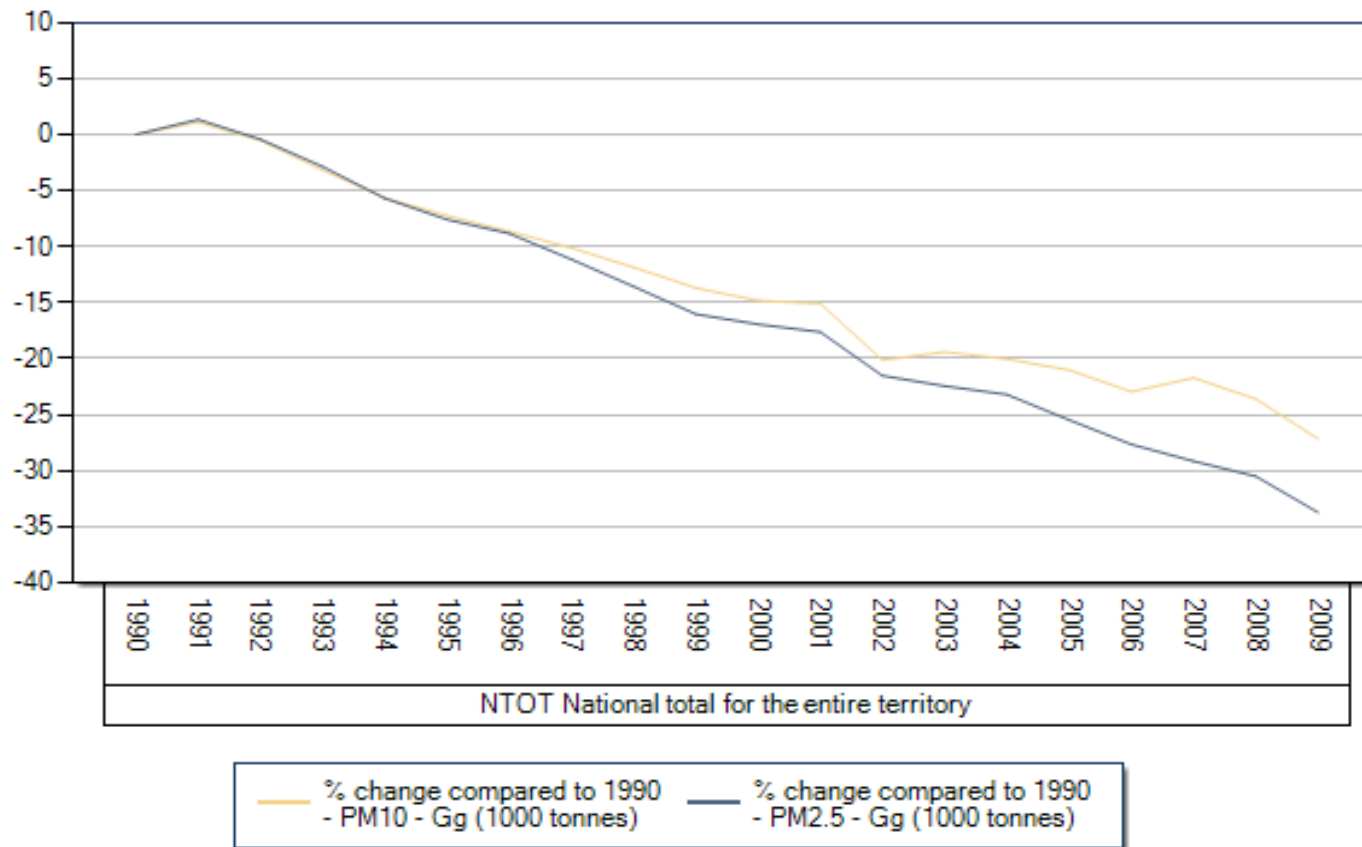
Πηγές	Ποσοστό στις συνολικές εκπομπές
<i>Βιομηχανικές δραστηριότητες</i>	<b>38</b>
<i>Στάσιμες πηγές καύσης</i>	<b>25</b>
<i>Μέσα μεταφοράς</i>	<b>20</b>
<i>Άλλες πηγές</i>	<b>17</b>

**1990–2004:** Μείωση κατά 45% των συνολικών εκπομπών μικροσκοπικών σωματιδίων στην ΕΕ-15.

**1990–2009:** Μείωση κατά 60% των συνολικών εκπομπών μικροσκοπικών σωματιδίων στην ΕΕ-27

### **Αιτίες:**

- Μείωση των εκπομπών των δευτερογενών προδρόμων των σωματιδίων
- Μείωση των πρωτογενών εκπομπών των PM10 από την ενεργειακή βιομηχανία



*Διαχρονική μεταβολή των εκπομπών PM10 & PM2.5 στην ΕΕ-27 σε σχέση με το 1990*

## ***Επίπεδα συγκέντρωσης - Έκθεση***

Παιδιά: η πιο ευαίσθητη ομάδα του πληθυσμού

Βαθύτερη διείσδυση, περισσότερος χρόνος σε εξωτερικούς χώρους

***Μεγαλύτερη έκθεση:*** Αστικές περιοχές και γύρω από σημειακές πηγές ρύπανσης -

Παραβιάσεις των ορίων ασφαλείας παγκοσμίως

1997-2004: 23-45% του αστικού πληθυσμού στην Ευρώπη εκτεθειμένο σε συγκεντρώσεις PM10 υψηλότερες του Ευρωπαϊκού ορίου προστασίας της ανθρώπινης υγείας (***50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 – μέση ημερήσια τιμή, όχι περισσότερες από 35 υπερβάσεις το χρόνο***)

## ***Επιπτώσεις στην υγεία***

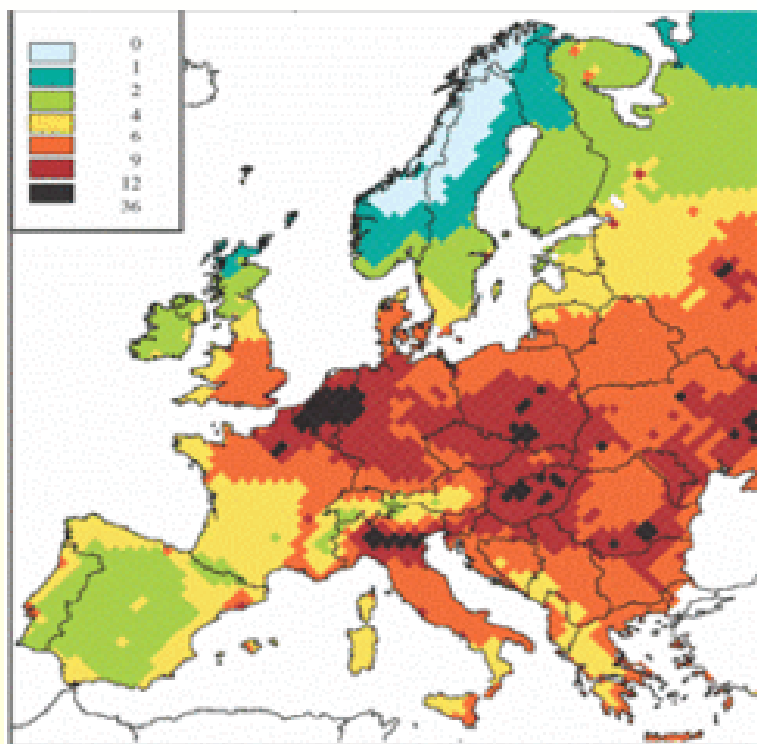
- Επιδείνωση της βρογχίτιδας σε ενήλικες και παιδιά
- Διαφοροποίηση στη λειτουργία των πνευμόνων σε μικρά παιδιά
- Αιφνίδιος θάνατος σε ηλικιωμένους
- Προβλήματα σε ασθματικούς και σε ανθρώπους με αλλεργίες

***Βραχυπρόθεσμα:*** Ποικιλία και συχνότητα των συμπτωμάτων αυξάνουν με την αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

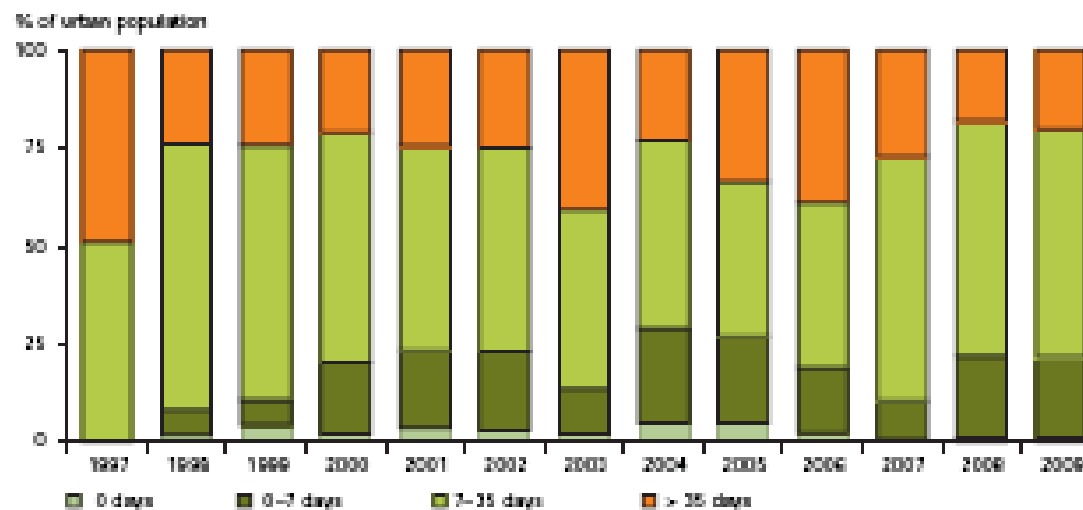
***Μακροπρόθεσμα:*** Βλάβη στους πνευμονικούς ιστούς οδηγώντας σε χρόνια αναπνευστική πάθηση, καρκίνο, πρόωρη ασθένεια και θάνατο.

Αιωρούμενα σωματίδια από βιομηχανικές πηγές, κυρίως κοντά σε χυτήρια, συνεισφέρουν στον υψηλό ρυθμό εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα





*Η συντόμευση της ζωής σε μήνες λόγω των αερολυμάτων PM2.5 στην Ευρώπη.*

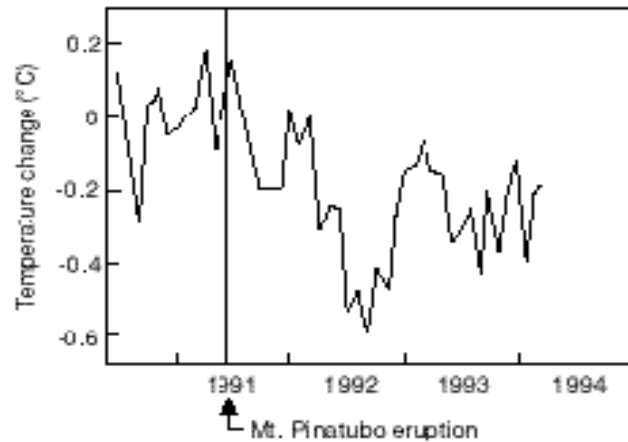


Source: EEA, 2011c (CSI 004).

*Ποσοστό του αστικού ευρωπαϊκού πληθυσμού που εκτίθεται σε συγκεντρώσεις PM10 μεγαλύτερες από το ημερήσιο όριο (50 µg/m³ έως 35 ημέρες ανά έτος).*

## Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

➤ Απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία περιορίζοντας την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συμβάλλοντας αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Παρατηρούμενη μεταβολή της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφανείας μετά την έκρηξη του *Pinatubo* (1991).

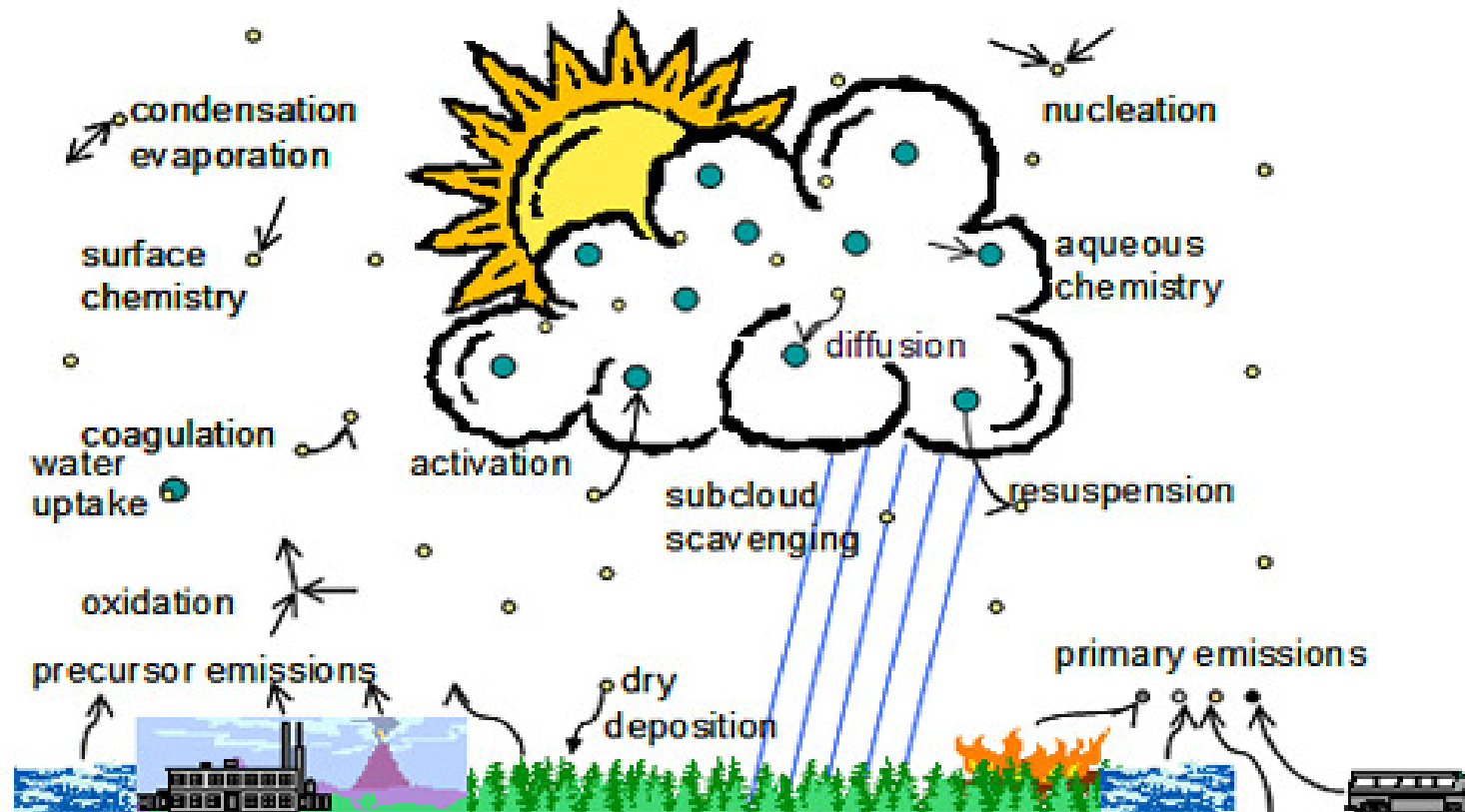
*Climate Change 1994, Cambridge University Press, New York, 1995.*

- Χρησιμεύουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης για την δημιουργία νεφών.
- Έχουν σημαντικό ρόλο σε χημικές αντιδράσεις.
- Τα σωματίδια ρυπαίνουν (λερώνουν) τα υφάσματα, τα κτίρια και τα αγάλματα, και προκαλούν ζημιές στα κτίρια και τα υλικά.
- Όξινα σωματίδια

**Προέλευση:** Μετατροπή των αέριων εκπομπών του  $SO_2$  και του  $NO$

Απομάκρυνση από την ατμόσφαιρα μέσω υγρής (όξινη βροχή, χιόνι) ή ξηρής (σωματίδια) εναπόθεσης

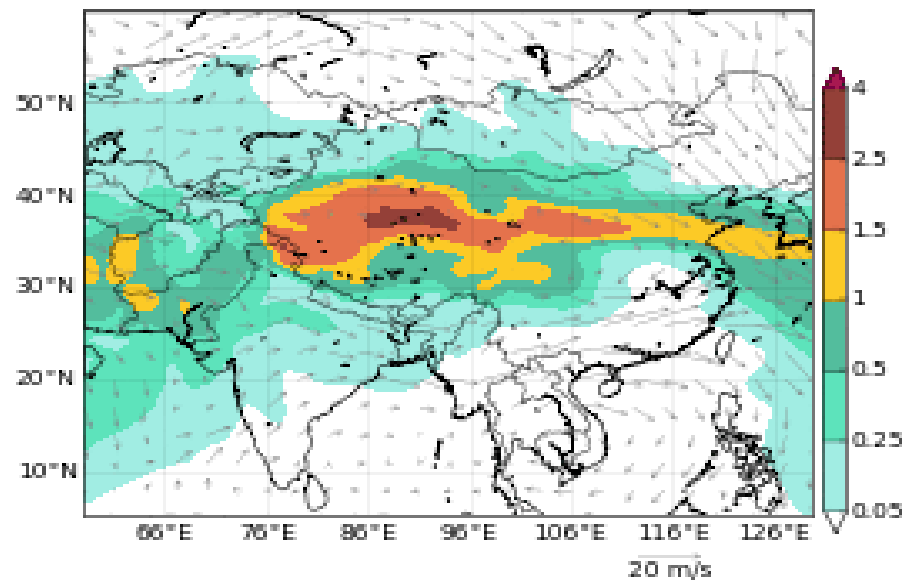
Αλλαγή στην χημεία των γλυκών νερών, αφαίρεση μετάλλων από το έδαφος, καταστροφή των δασών.



[http://www.pnl.gov/atmospheric/research/aci/aci\\_aerosol\\_indeffects.stm](http://www.pnl.gov/atmospheric/research/aci/aci_aerosol_indeffects.stm)

# Χωρικές & Χρονικές Κλίμακες Διασποράς

BSC-DREAM8b v2.0 Dust Load ( $g/m^2$ ) and 3000m Wind  
00h forecast for 00UTC 06 Mar 2014



## Τέλη 1960:

Συνέπειες της ρύπανσης ευκολότερα αντιληπτές και άμεσες στο κοντινό περιβάλλον μέσω των άμεσων επιπτώσεων

Οι περισσότερες μελέτες εστιάζονταν κυρίως σε αποστάσεις της τάξης των λίγων χιλιομέτρων από την πηγή της ρύπανσης και σε ωριαία διαστήματα όσον αφορά τη μεταφορά των διαφόρων συστατικών της ατμόσφαιρας σε σχέση με το χρόνο (**τοπική κλίμακα**)

Παρατήρηση συστηματικών καταστροφών σε οικοσυστήματα μακριά από πηγές ρύπανσης, όπως η καταστροφή δασών, η εξαφάνιση ψαριών από λίμνες κ.ά. Οι επιδράσεις αυτές οφείλονται στην οριζόντια μεταφορά από τον αέρα και την ξηρή και υγρή απόθεση των ρύπων στο έδαφος.

*Δημιουργία κλιμάκων για τη μελέτη των φαινομένων διασποράς*

**Ορισμός κλιμάκων:** Στηρίζεται στη δυναμική που έχει ένας ρύπος να ταξιδέψει μακριά από την πηγή που τον παρήγαγε είτε από άποψη απόστασης είτε από άποψη χρόνου.

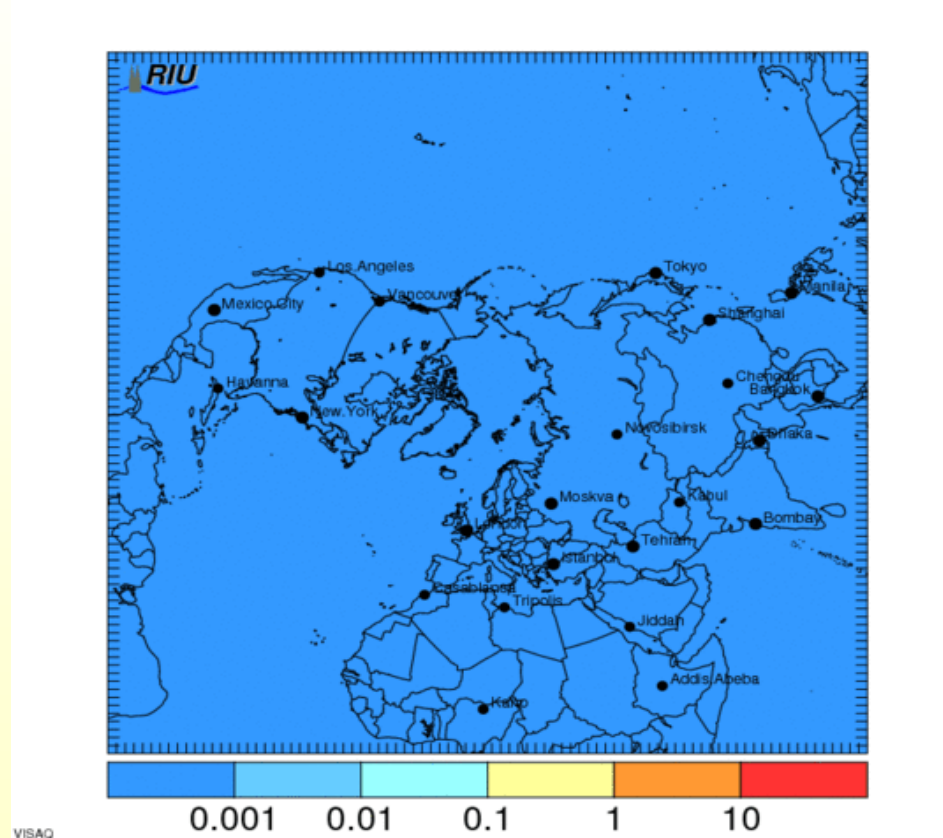
**Άμεση εξάρτηση από το χρόνο παραμονής του συστατικού** (φυσικές και χημικές ιδιότητες του, μετεωρολογία).

**Σημαντικότητα χωρικών και χρονικών κλιμάκων:**

- Η συγκέντρωση ενός ρύπου μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση του από την πηγή
- Οι διεργασίες διασποράς, χημικών μετασχηματισμών, απόθεσης έχουν επίσης μεγάλη εξάρτηση από την απόσταση και το χρόνο που παρήλθε από τη στιγμή της εκπομπής από την πηγή.

**Αιτία διασποράς:** Κινήσεις του αέρα (ατμοσφαιρικών μαζών)  
Ποικιλία χωρικών και χρονικών διαστάσεων

Cs-137 Bq/m<sup>3</sup> Level 1 15.03.2011 00 UTC (F+ 0)



VISAQ

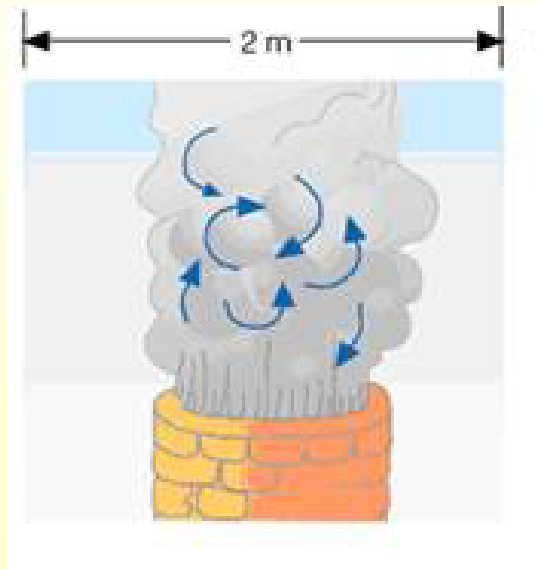


## Κλίμακες ατμοσφαιρικών φαινομένων

### 1. Μικροκλίμακα 0 - 1 km , Δευτερόλεπτα ως 1 ώρα

Πολύπλοκη ροή. Εξάρτηση ροής από τα λεπτομερή χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Υδροδυναμικά φαινόμενα κυρίως (καναλισμός ροής).

*Διάτμηση ανέμου, τύρβη, κατώρευμα λόγω λόφων, κτιρίων, ανεμοθύελλες, ανεμοστρόβιλοι*



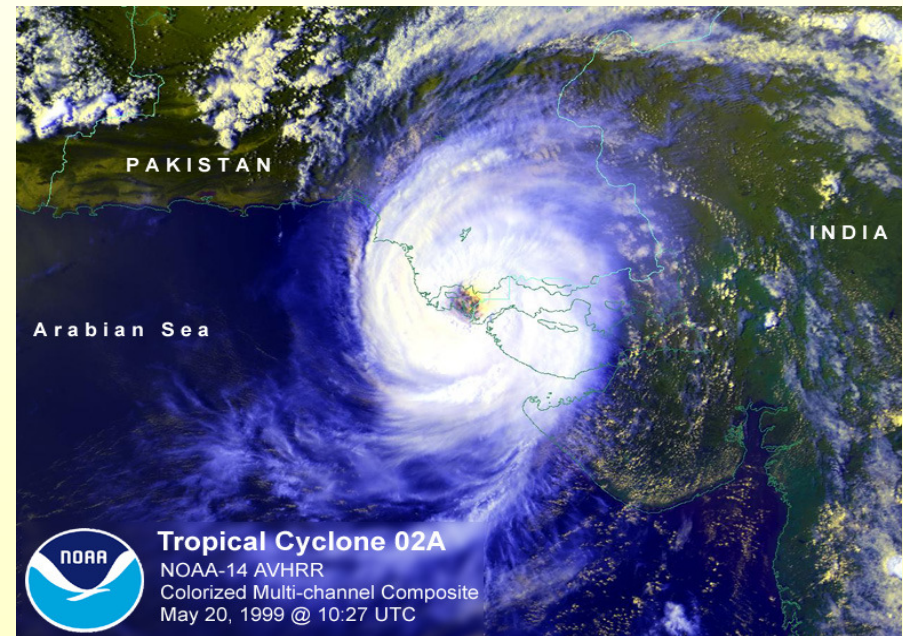
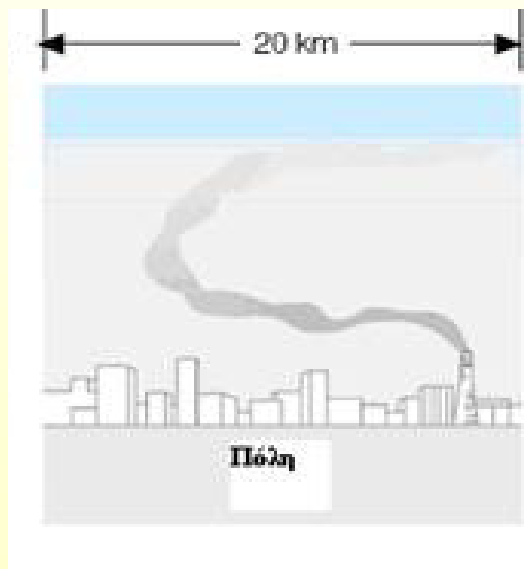
## Κλίμακες ατμοσφαιρικών φαινομένων

1. Μικροκλίμακα **0 - 1 km** , Δευτερόλεπτα ως **1 ώρα**

2. Μεσοκλίμακα **1 – 1000 km**, **1 ώρα ως λίγες ημέρες**

Εξάρτηση ροής από υδροδυναμικά φαινόμενα και από μέσης κλίμακας ανομοιογένειες στο ισοζύγιο της ενέργειας (χρήση γης, νερό, στεριά).

*Καταιγίδες, συστήματα ξηράς-θάλασσας, βουνού-κοιλάδας, αναταράξεις εν αιθρία, αστική κυκλοφορία, μέτωπα, τυφώνες*

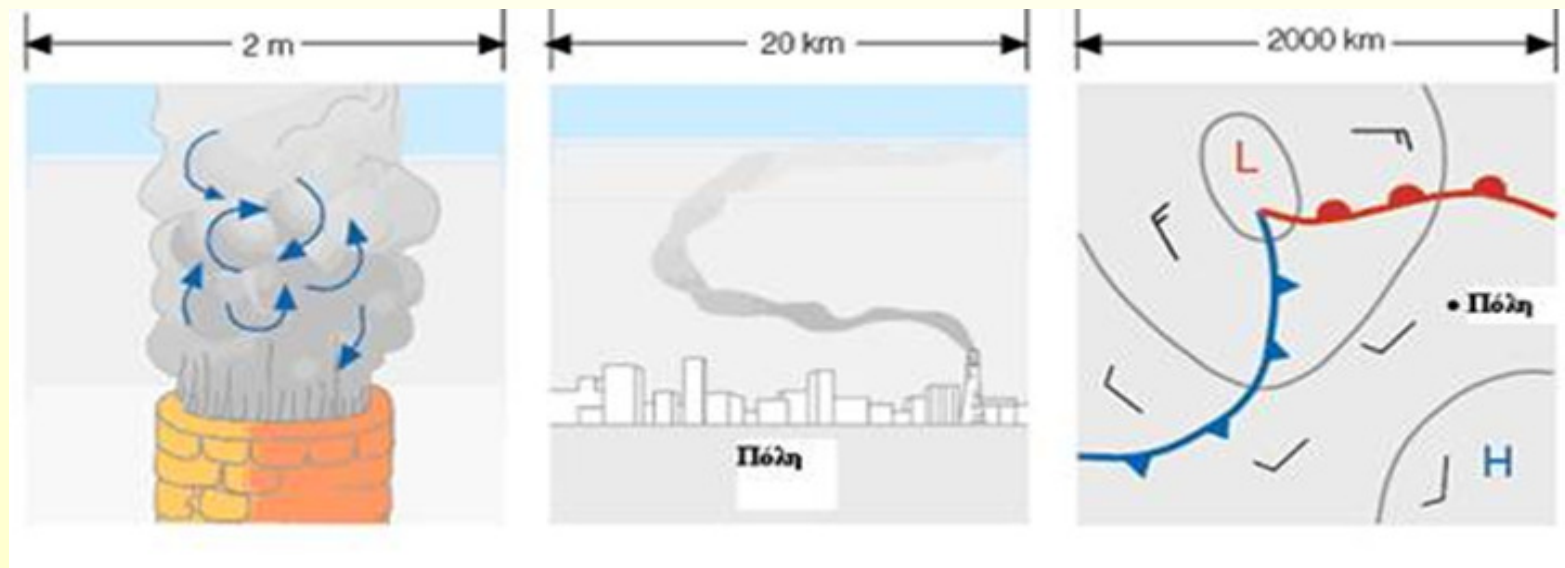


## Κλίμακες ατμοσφαιρικών φαινομένων

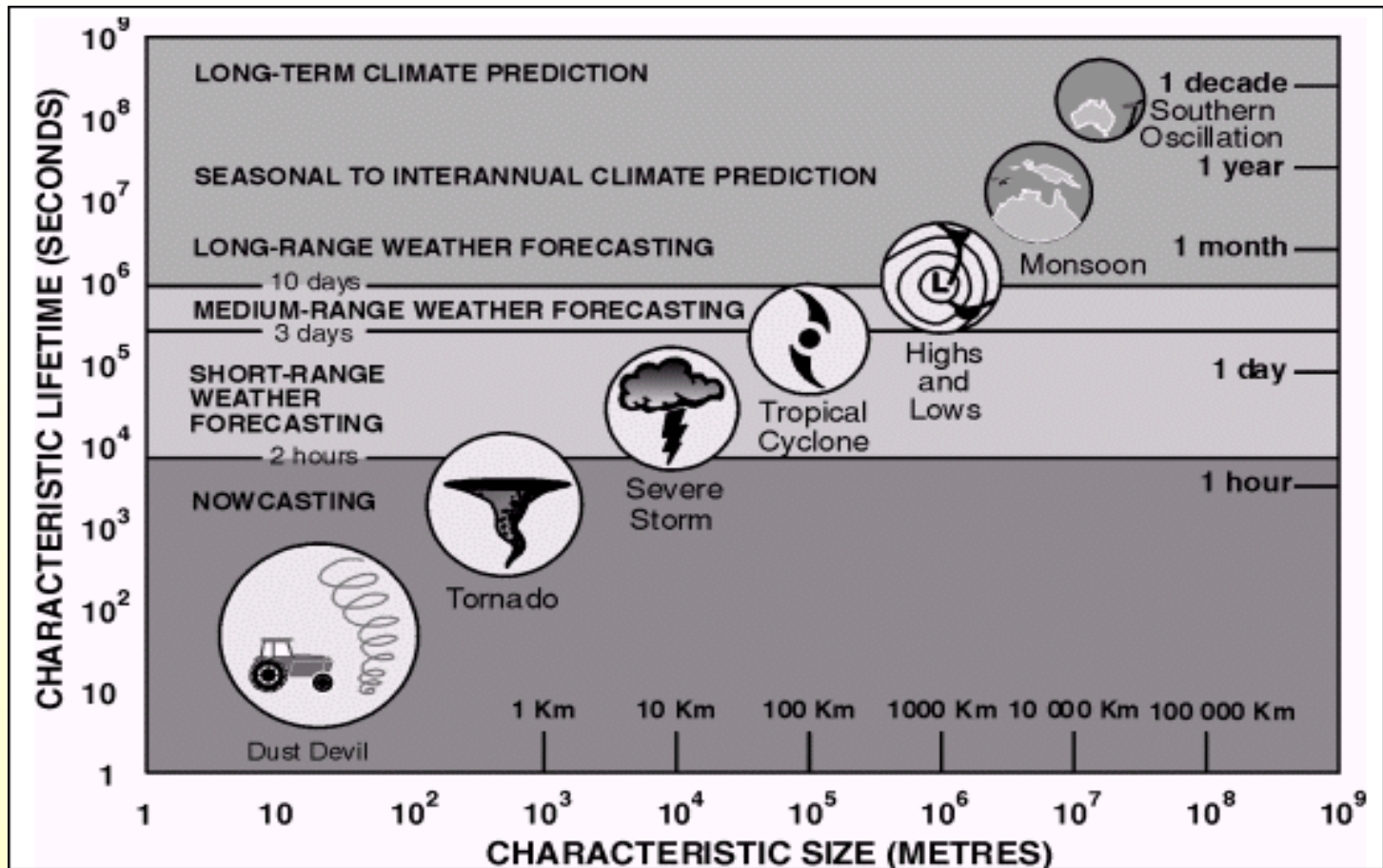
1. Μικροκλίμακα **0 - 1 km** , Δευτερόλεπτα ως 1 ώρα
2. Μεσοκλίμακα **1 – 1000 km**, 1 ώρα ως λίγες ημέρες
3. Μακροκλίμακα **>1000 km**, λίγες ημέρες ως μήνα

Εξάρτηση ροής από ανομοιογένειες μεγάλης κλίμακας (συστήματα ατμοσφαιρικής πίεσης) στο ισοζύγιο της ενέργειας στην επιφάνεια της Γης.

*Συνοπτικοί κυκλώνες, γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, αεροχείμαρροι*



(α) Μικροκλίμακα (β) Μεσοκλίμακα (γ) Μακροκλίμακα



## Χωρικές & Χρονικές Κλίμακες Ατμοσφαιρικής Διασποράς

Ορισμός διαφορετικών κλιμάκων από αυτές των ατμοσφαιρικών φαινομένων για ευκολότερο προσδιορισμό των ατμοσφαιρικών διεργασιών και των συστατικών του αέρα

### Χωρικές κλίμακες

- Τοπική
- Μέση
- Περιφερειακή
- Παγκόσμια

### Χρονικές κλίμακες

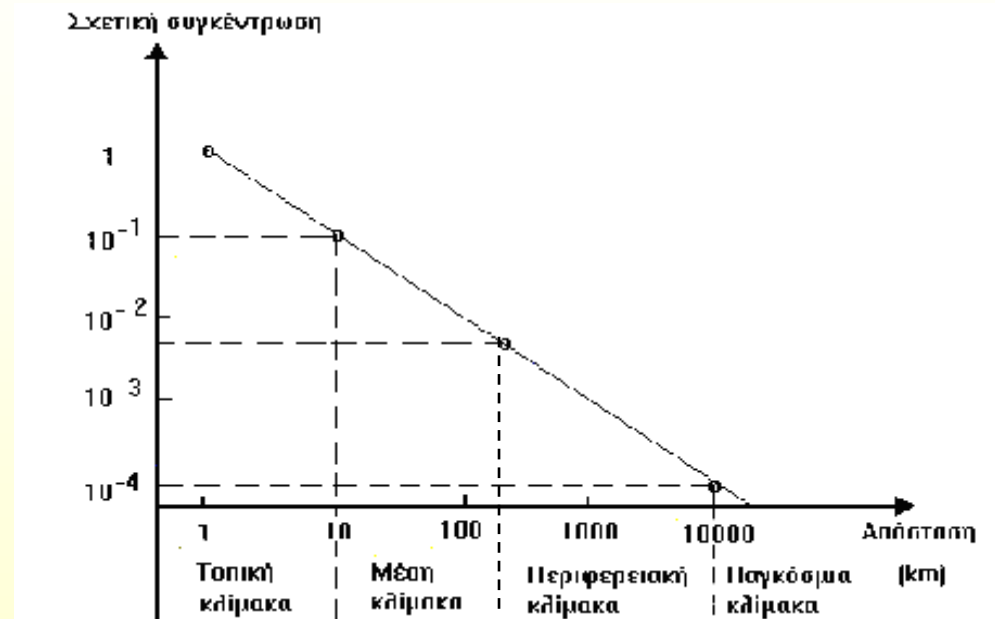
- Ωριαίες
- Ημερήσιες
- Μηνιαίες
- Ετήσιες

# Χωρικές Κλίμακες Ατμοσφαιρικής Διασποράς

Οι χωρικές κλίμακες ταξινομούνται με βάση την οριζόντια μεταφορά και την απόσταση του υπό μελέτη συστατικού ή διεργασίας από την πηγή που το προκάλεσε

## Τοπική κλίμακα: 0 - 10 km

- Τυρβώδης διάχυση
- Μέγιστες συγκεντρώσεις ρύπων από υπερυψωμένη πηγή
- Άνεμος: Μεταβλητός, αλλά ομοιογενής
- Μικρή σημασία χημικών μετασχηματισμών
- Πρωτογενείς ρύποι μέγιστες συγκεντρώσεις
- Μη σημαντική απόθεση
- Συστατικά με διάφορους χρόνους ζωής
- Οριακό στρώμα
- Μεγάλη σημασία έχουν τα χαρακτηριστικά της πηγής
- $D < 1 \text{ km} \rightarrow$  τεχνικά στοιχεία



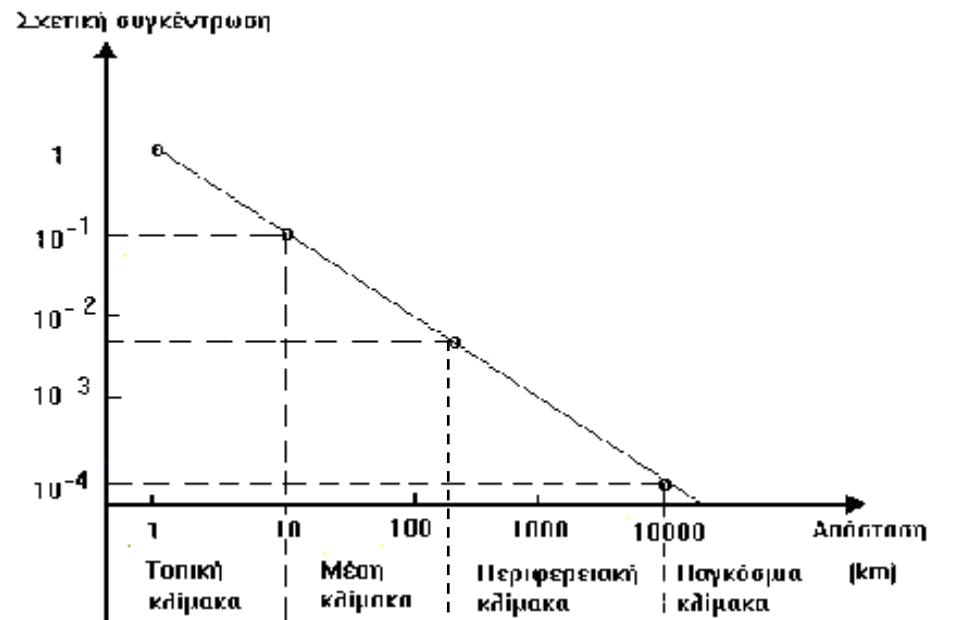


## **Μέση κλίμακα: 10 - μερικές εκατοντάδες km (αστική κλίμακα)**

- Τυρβώδης διάχυση πολύ σημαντική
- Άνεμος: Μη ομοιογενής
- Συμμετοχή ρύπου σε διάφορες διεργασίες
- Μεγαλύτερη σημασία χημικών μετασχηματισμών
- Πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύποι
- Μεγαλύτερη σημασία απόθεσης
- Καλή μείξη ρύπων σε περίπτωση αστάθειας
- Διεργασίες εντός οριακού στρώματος
- Μπορεί να συσσωρευθούν μεγάλες συγκεντρώσεις
- Ευρεία χρήση σε ατμοσφαιρικά μοντέλα διασποράς

## Περιφερειακή κλίμακα: μερικές εκατοντάδες – μερικές χιλιάδες km

- Διάχυση από συνοπτικά συστήματα καιρού
- Μεγάλη σημασία χημικών μετασχηματισμών
- Μεγάλη σημασία απόθεσης
- Μεγαλύτερο μέρος μεταφοράς στο οριακό στρώμα
- Μεταφορά ρύπων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα από μετωπικές δραστηριότητες



### Προβλήματα ρύπανσης στην περιφερειακή κλίμακα:

- Μεταφορά και μίξη ατμοσφαιρικών ρύπων από μια μεγάλη αστική περιοχή σε μια άλλη
- Αντίδραση πρωτογενών συστατικών με αργό ρυθμό μετασχηματισμού, που παράγουν κυρίως σωματίδια
- Μικρή ορατότητα λόγω των σωματιδίων

## **Παγκόσμια κλίμακα: μερικές χιλιάδες km –**

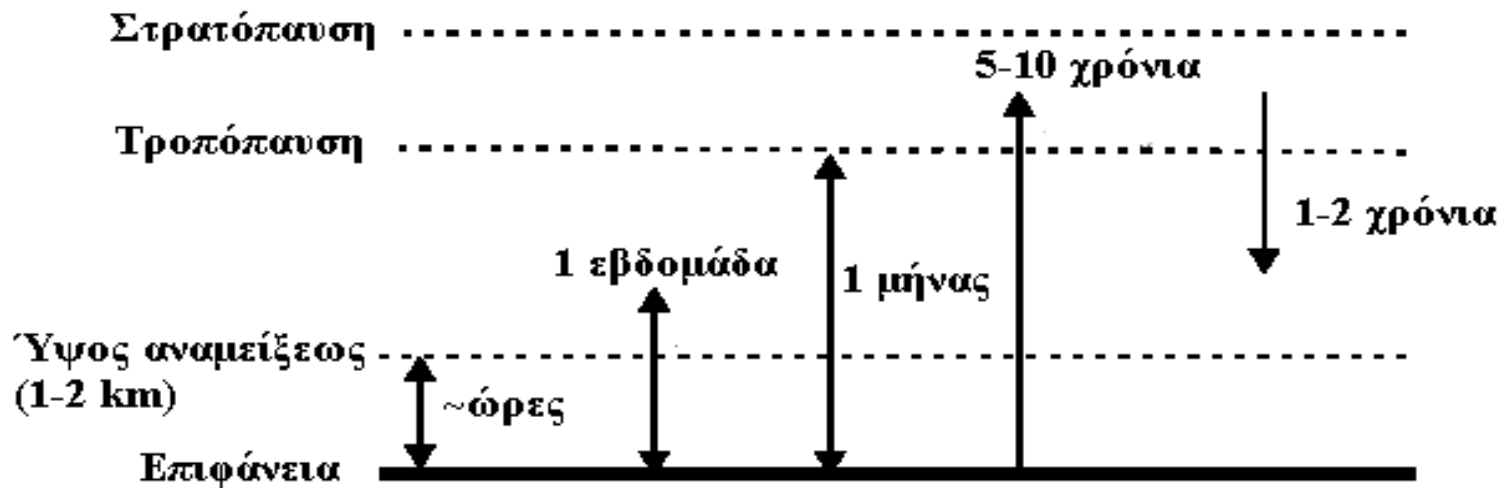
- Μεταφορά συστατικών εκτός του οριακού στρώματος
- Μείξη σε όλη την τροπόσφαιρα
- Μεγάλο τμήμα οριζόντιας μεταφοράς από στρατόσφαιρα
- Ουσίες πολύ σταθερές με μεγάλο χρόνο ζωής
- Ρυθμός εκπομπής μεγαλύτερος από ρυθμό απομάκρυνσης-Συσσώρευση
- Μικρή μεταφορά προς τους τροπικούς
- Μέγιστες συγκεντρώσεις 50° N
- Ατυχήματα μεγάλης έκτασης
- Ανθρωπογενείς εκπομπές (CFCs, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)
- Μεταφορά συστατικών → Επίδραση στο γήινο κλίμα

## *Χωρικές κλίμακες ατμοσφαιρικών διεργασιών*

Phenomenon	Length scale, km
Urban air pollution	1–100
Regional air pollution	10–1000
Acid rain/deposition	100–2000
Toxic air pollutants	0.1–100
Stratospheric ozone depletion	1000–40,000
Greenhouse gas increases	1000–40,000
Aerosol–climate interactions	100–40,000
Tropospheric transport and oxidation processes	1–40,000
Stratospheric–tropospheric exchange	0.1–100
Stratospheric transport and oxidation processes	1–40,000

## Χρονικές Κλίμακες Ατμοσφαιρικής Διασποράς

Οι χρονικές κλίμακες σχετίζονται κυρίως με την τυρβώδη διάχυση και κατ' επέκταση με την κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα..



*Χαρακτηριστικές χρονικές κλίμακες για την κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων*

Χρονικές κλίμακες → κατακόρυφη μεταφορά → χρόνοι παραμονής των διάφορων ουσιών στην ατμόσφαιρα

*Περιγραφή χρονικών κλιμάκων από τους χρόνους παραμονής των ουσιών*

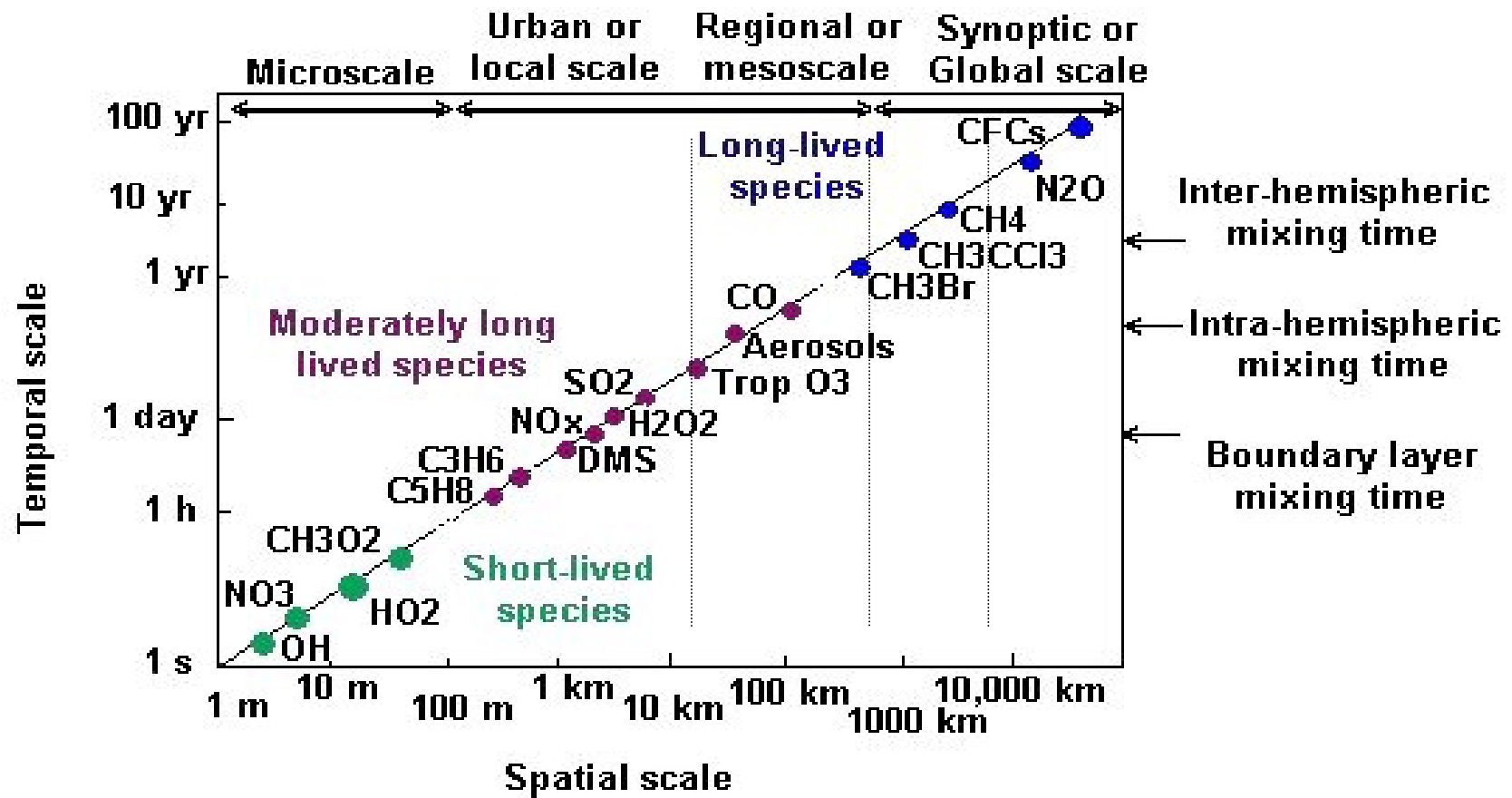
**Χρόνος παραμονής ενός συστατικού στην ατμόσφαιρα:** ο χρόνος που μπορεί το συστατικό να παραμείνει και να ταξιδέψει μέσα στην ατμόσφαιρα, πριν αυτό λάβει μέρος σε κάποια ατμοσφαιρική διεργασία μετασχηματισμού ή απομακρυνθεί από τον αέρα μέσω της απόθεσης και άλλων σχετικών μηχανισμών.

Αδρανή συστατικά του αέρα: μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, μεταφορά σε υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και σε μεγαλύτερες αποστάσεις



Ουσία	Χρόνος παραμονής
O <sub>3</sub>	0.4-90 ημέρες
NO	4-5 ημέρες
NO <sub>2</sub>	2-8 ημέρες
NO <sub>3</sub>	4-20 ημέρες
NH <sub>4</sub>	7-19 ημέρες
H <sub>2</sub> S	0.08-2 ημέρες
SO <sub>2</sub>	0.01-7 ημέρες
SO <sub>4</sub>	3-5 ημέρες
Hg	11-2080 ημέρες
CO	0.9-2.7 έτη
CCl <sub>4</sub>	1 έτος
CH <sub>4</sub>	1.5-2 έτη
Freon	16 έτη
CO <sub>2</sub>	2-10 έτη

*Χρόνοι παραμονής χαρακτηριστικών ατμοσφαιρικών συστατικών.*



## **Ωριαία κλίμακα: δευτερόλεπτα - ~1 hr**

- Συστατικά με μικρούς χρόνους παραμονής
- Μικροκλίμακα
- Βασική διεργασία διάχυση και μεταφορά από άνεμο
- Μεταφορά εντός οριακού στρώματος
- Επίδραση χαρακτηριστικών περιοχής

## **Ημερήσια κλίμακα: μερικές ώρες – μερικές ημέρες**

- Συστατικά με μέσους χρόνους παραμονής
- Τοπική κλίμακα
- Επίδραση χωροταξίας περιβάλλοντος στη διάχυση και μεταφορά από άνεμο
- Μεταφορά σε χαμηλά ύψη στην ατμόσφαιρα

## **Μηνιαία κλίμακα: μερικούς μήνες - ~1 έτος**

- Συμβολή πολλών ατμοσφαιρικών μηχανισμών
- Μέση κλίμακα
- Μεταφορά εκτός οριακού στρώματος, ως τη βάση της τροπόπαυσης
- Επίδραση σε απομακρυσμένες περιοχές

## **Ετήσια κλίμακα: 1 έτος –**

- Συστατικά με μεγάλους χρόνους παραμονής
- 1-10 έτη: Περιφερειακή κλίμακα
- >10 έτη: Παγκόσμια κλίμακα
- Πολύ σταθερά συστατικά στην τροπόσφαιρα
- Εισχώρηση στην στρατόσφαιρα