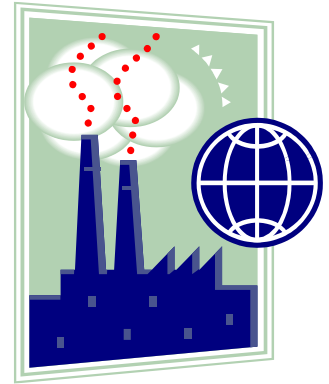


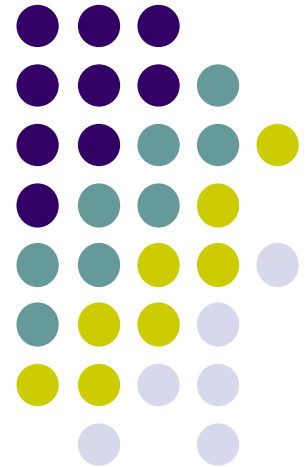
Μηχανική Περιβάλλοντος

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



*Ρυπασμένη ατμόσφαιρα,
οι ρυπογόνοι παράγοντες*



Περιεχόμενα



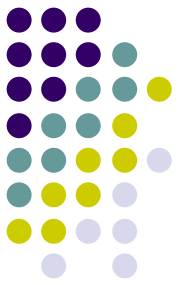
- Σύσταση καθαρού αέρα
- Κατηγορίες ρύπων (Πρωτογενείς-Δευτερογενείς ρύποι)
- Ο κύκλος του Άνθρακα
- Θερμοκηπιακά αέρια και Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
- Εκπομπές CO₂ - Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) - Μεθάνιο (CH₄)
- Υδρογονάνθρακες (HCs)
- Φωτοχημικά Οξειδωτικά (PO)
- Ο κύκλος του Αζώτου
- Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) - NO_x – NH₃
- Ο κύκλος του Θείου
- Πηγές Θείου στην Ατμόσφαιρα
- Διοξείδιο του Θείου (SO₂) - Υδρόθειο (H₂S)
- Αιωρούμενα σωματίδια - Παρατήρηση και μέτρηση PM
- Σωματιδιακοί ρύποι
- Κύκλοι διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο καθαρός αέρας



Πίνακας. Η σύσταση του καθαρού αέρα σε ξηρή και υγρή βάση.
(*Boubel et al. "Fundamentals of air pollution", 1994*)

	Ξηρός αέρας		Υγρός αέρας	
	ppm (vol)	μg/m ³	ppm (vol)	μg/m ³
Άζωτο (N ₂)	780,000	8.95×10^8	756,500	8.67×10^8
Οξυγόνο (O ₂)	209,400	2.74×10^8	202,900	2.65×10^8
Νερό (H ₂ O)	-	-	31,200	2.30×10^7
Αργό (Ar)	9,300	1.52×10^7	9,000	1.47×10^7
CO ₂	315	5.67×10^5	305	5.49×10^5
Νέο (Ne)	18	1.49×10^4	17.4	1.44×10^4
Ήλιο (He)	5.2	8.50×10^2	5.0	8.25×10^2
Μεθάνιο (CH ₄)	1.0-1.2	$6.56-7.87 \times 10^2$	0.97-1.16	$6.35-7.6 \times 10^2$
Κρυπτό (Kr)	1.0	3.43×10^3	0.97	3.32×10^3
N ₂ O	0.5	9.00×10^2	0.49	8.73×10^2
Υδρογόνο (H ₂)	0.5	4.13	0.49	4.00
Ξένο (Xe)	0.08	4.29×10^2	0.08	4.17×10^2
Οργανικοί	0.02	-	0.02	-

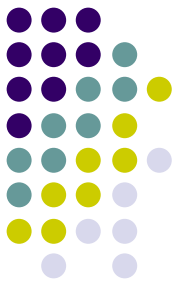


Κατηγορίες ρύπων

Πρωτογενείς

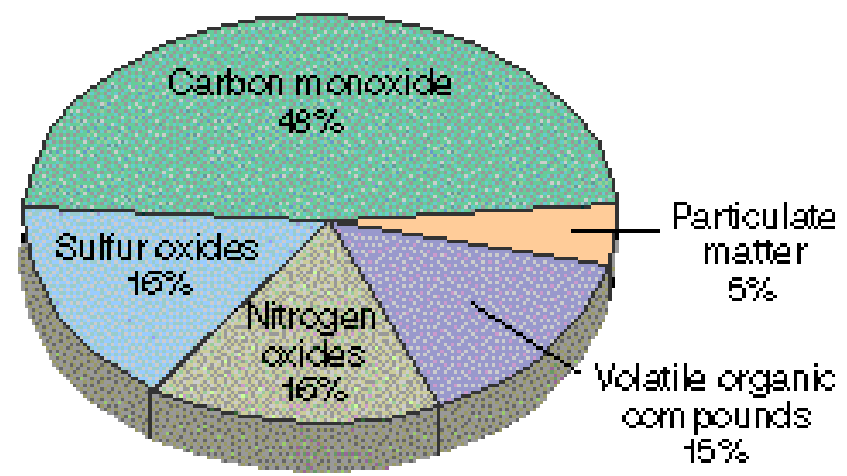
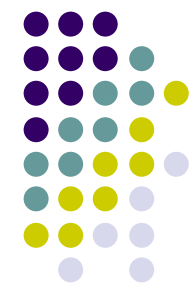
1. CO, CO₂
2. SO₂, SO₃ και ενώσεις θείου (OCS, CH₃SCH₃, κτλ.)
3. N₂O, NO_x: NO, NO₂ και NH₃
4. CH₄, H/C, VOCs
5. Σωματιδιακή ύλη

Δευτερογενείς (π.χ. O₃)

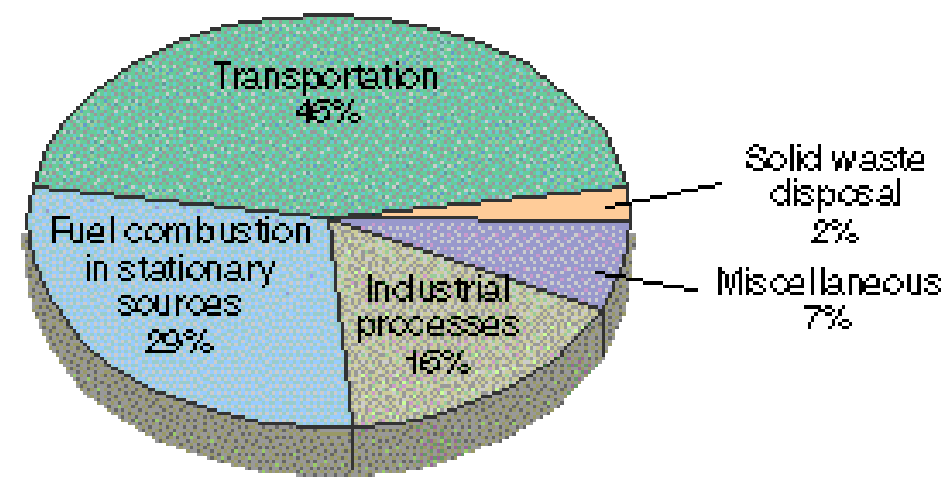


Κατηγορίες ρύπων – Ρύποι-κριτήρια (ΗΠΑ)

Criteria Pollutant	Primary / Secondary	Source(s)	Effect(s)
CO <i>Carbon Monoxide</i>	P	Incomplete combustion	Impairs oxygen-carrying capacity of blood
NO ₂ <i>Nitrogen Dioxide</i>	S	From NO in combustion	Respiratory irritant Visibility impairment Acid deposition
O ₃ <i>Ozone</i>	mostly S	From NO and NO ₂	Coughing, Chest pain Lung damage
SO ₂ <i>Sulfur Dioxide</i>	P	Sulfur in fuels, esp. coal	Lung irritant Acid deposition
PM ₁₀ and PM _{2.5} <i>Particulate Matter</i>	both P and S	Industrial combustion Other industrial activities	Visibility impairment Respiratory impairment
Pb <i>Lead</i>	P	Industrial processes Lead pipes, solder	Blood poisoning Kidney damage Mental retardation



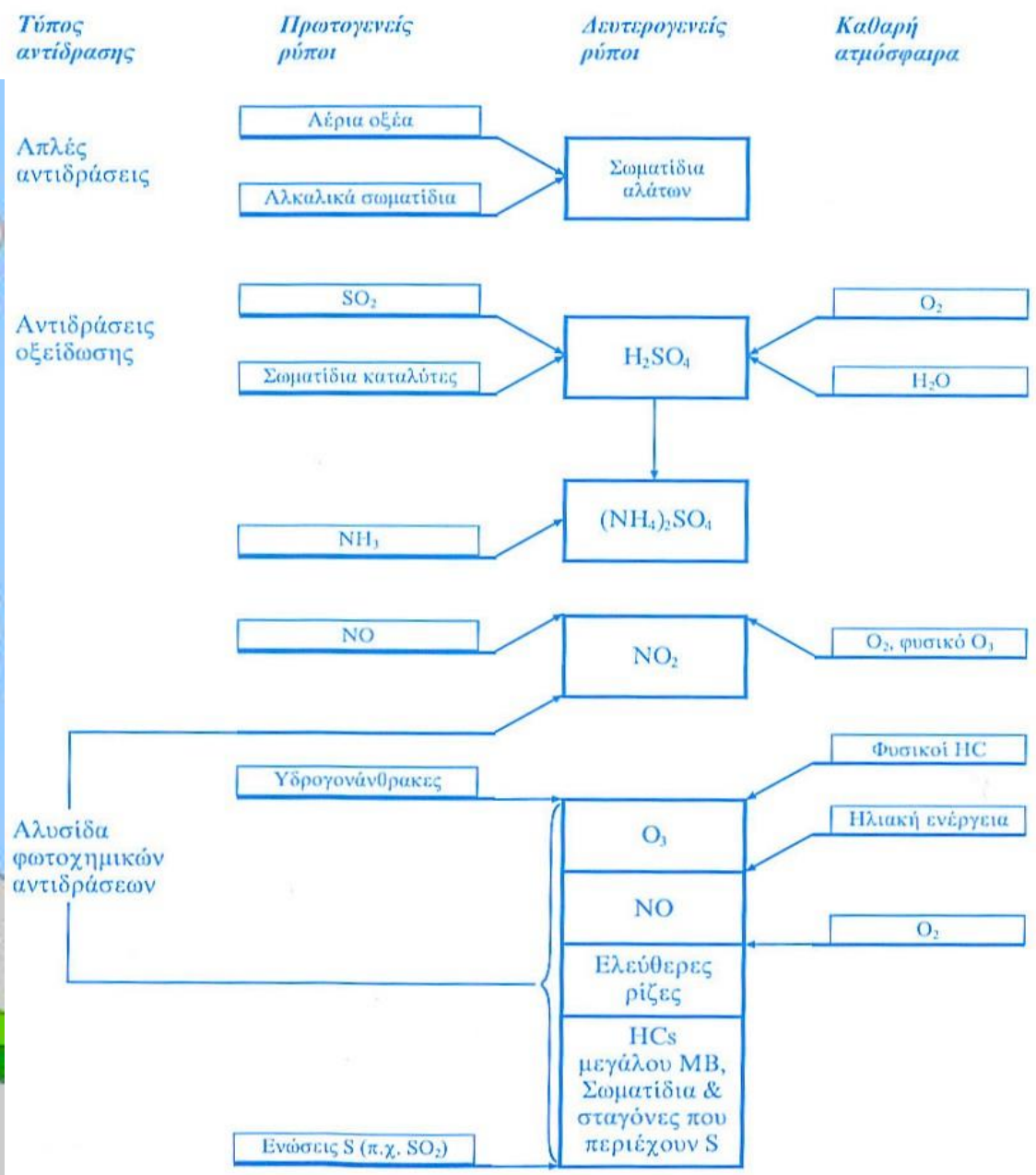
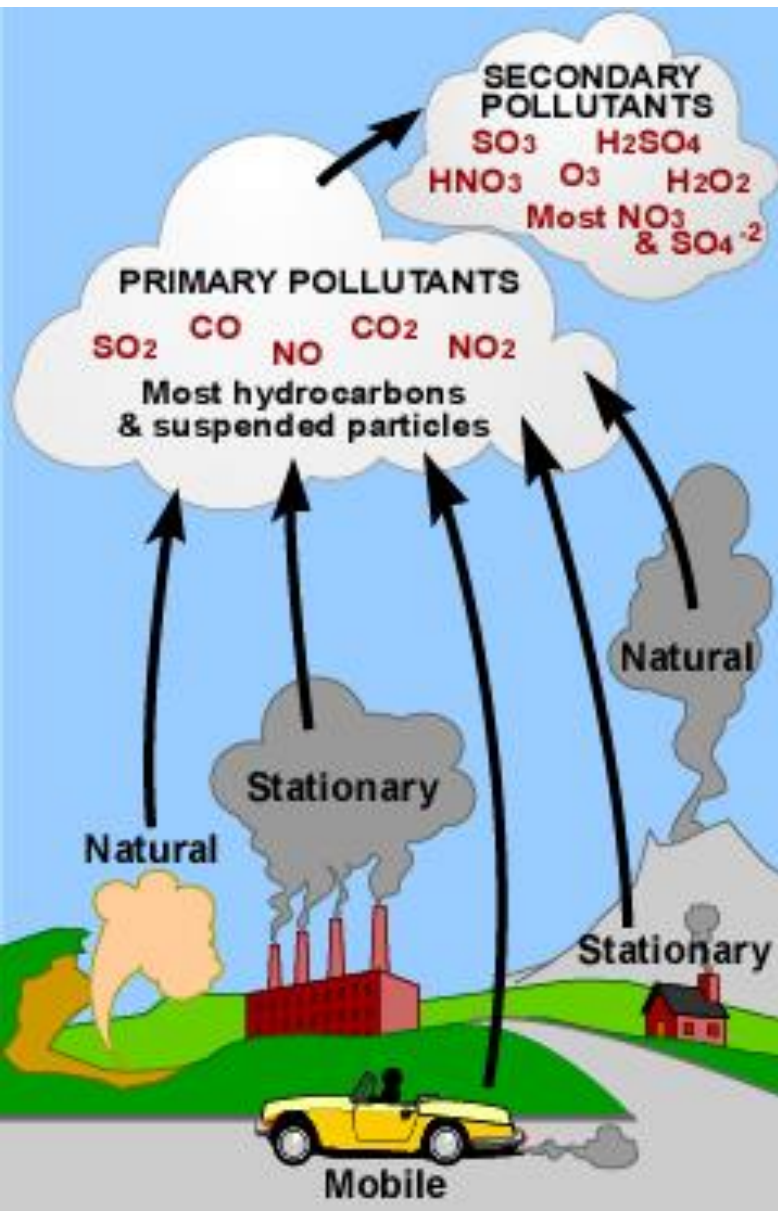
(a) Primary Pollutants



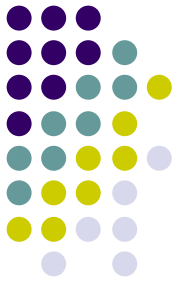
(b) Primary Sources

© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

Πρωτογενείς-Δευτερογενείς ρύποι

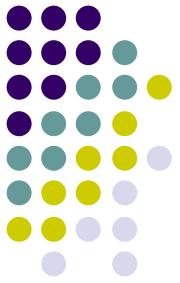


Πρωτογενείς Ρύποι



- Εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές
- Προέρχονται από καύσεις καυσίμων (βιομηχανία, μεταφορές, παραγωγή ενέργειας)
- Κύριοι ρύποι: CO, SO₂, NO, VOCs, αιωρούμενα σωματίδια (PM)
- Φυσικές πηγές: ηφαίστεια, σκόνη ερήμων, θαλάσσια άλατα, πυρκαγιές
- Επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα αέρα και την ανθρώπινη υγεία

Δευτερογενείς Ρύποι

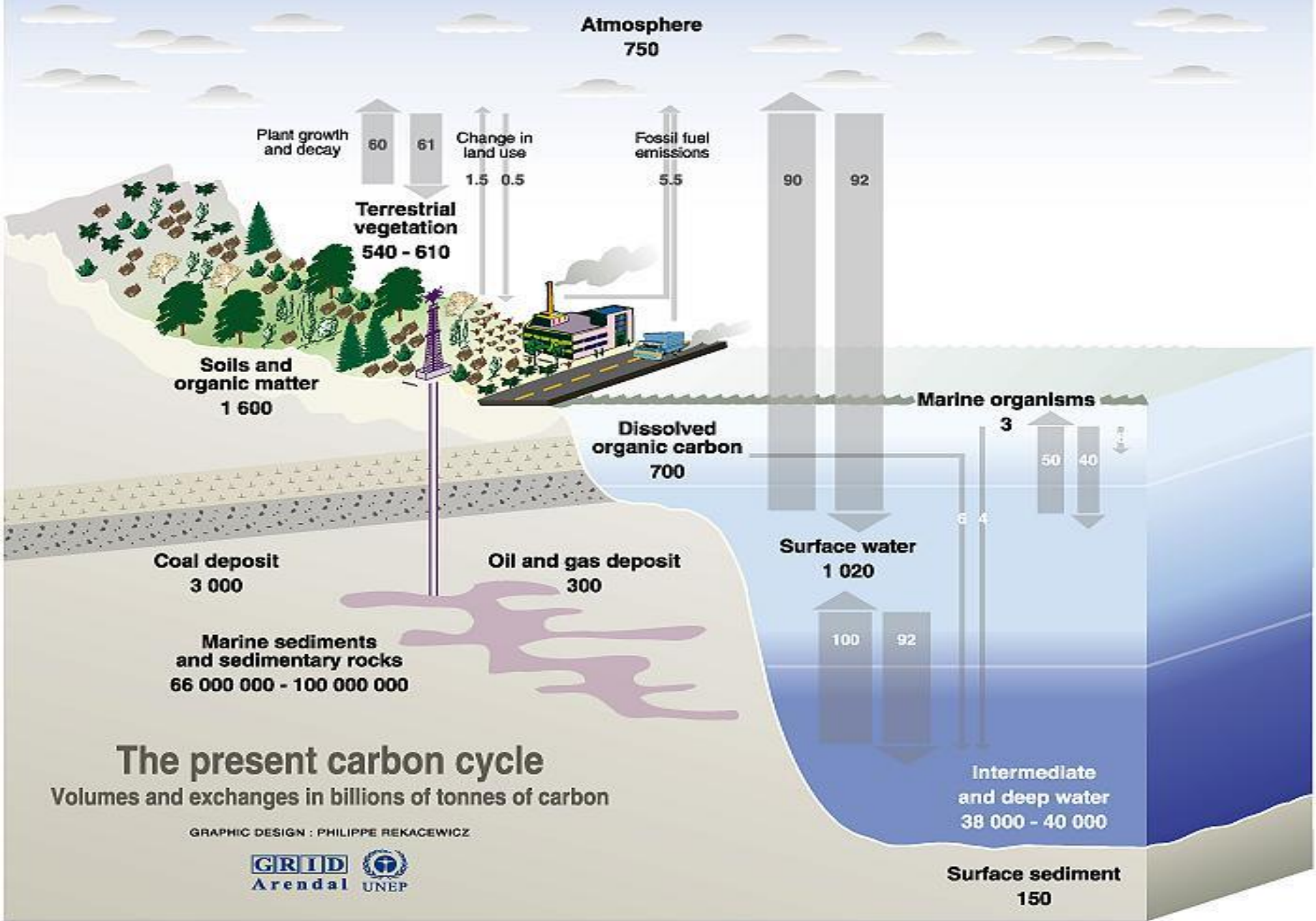


- Δεν εκπέμπονται άμεσα αλλά σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων
- Προκύπτουν από μετασχηματισμό πρωτογενών ρύπων
- Συχνά απαιτούν ηλιακή ακτινοβολία (φωτοχημικές αντιδράσεις)
- Παραδείγματα: O_3 , HNO_3 , H_2SO_4 , δευτερογενή οργανικά αερολύματα
- Αποτελούν βασικό συστατικό του φωτοχημικού νέφους

Σύγκριση και Σχέση Πρωτογενών – Δευτερογενών Ρύπων



- Οι πρωτογενείς ρύποι λειτουργούν ως πρόδρομες ενώσεις (precursors)
- Οι δευτερογενείς ρύποι μπορεί να είναι πιο τοξικοί ή πιο διαδεδομένοι
- Η μετεωρολογία επηρεάζει έντονα τον σχηματισμό δευτερογενών ρύπων
- Ο έλεγχος των πρωτογενών εκπομπών μειώνει και τους δευτερογενείς ρύπους
- Κρίσιμοι για την κατανόηση της αστικής ρύπανσης και της κλιματικής επίδρασης



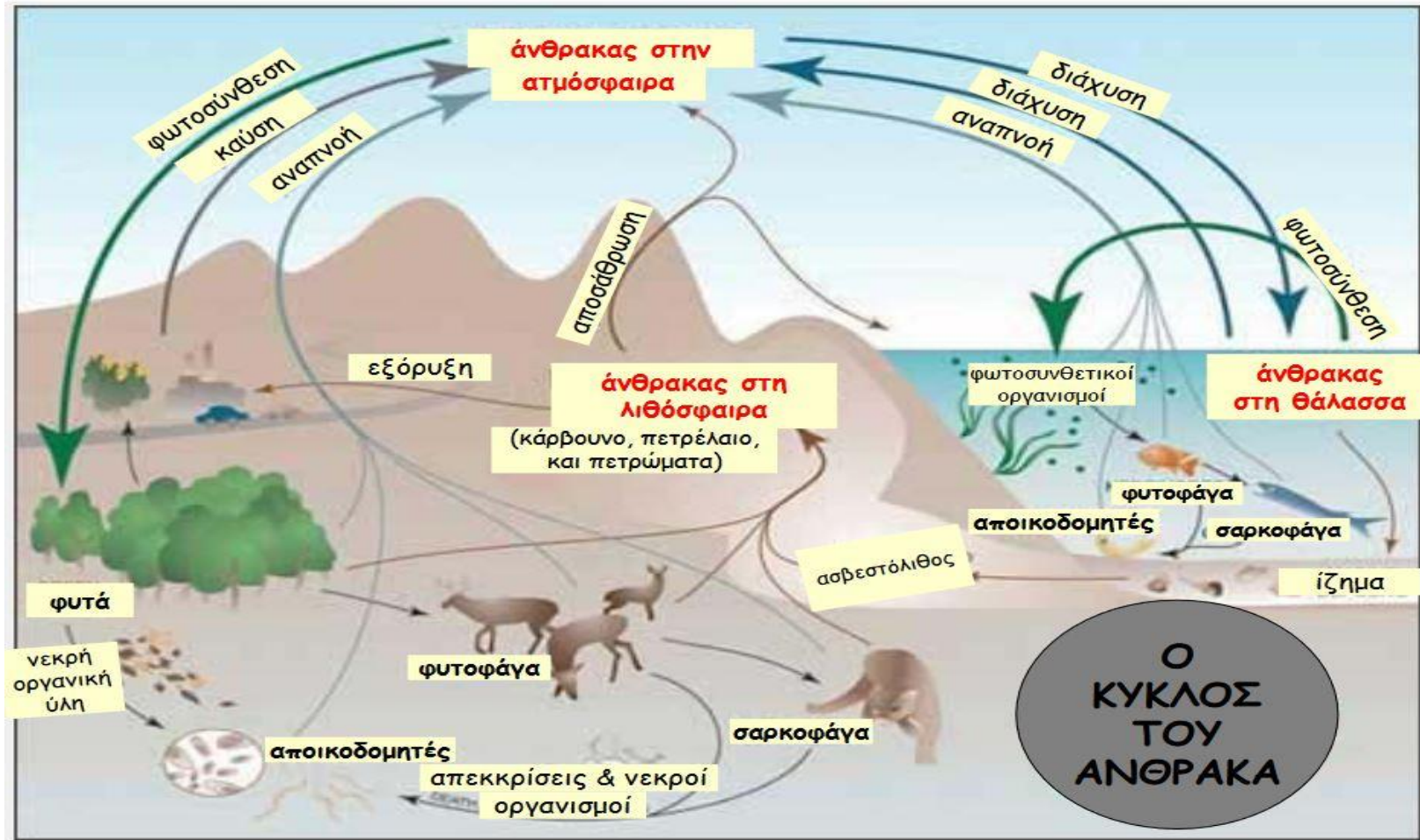
The present carbon cycle

Volumes and exchanges in billions of tonnes of carbon

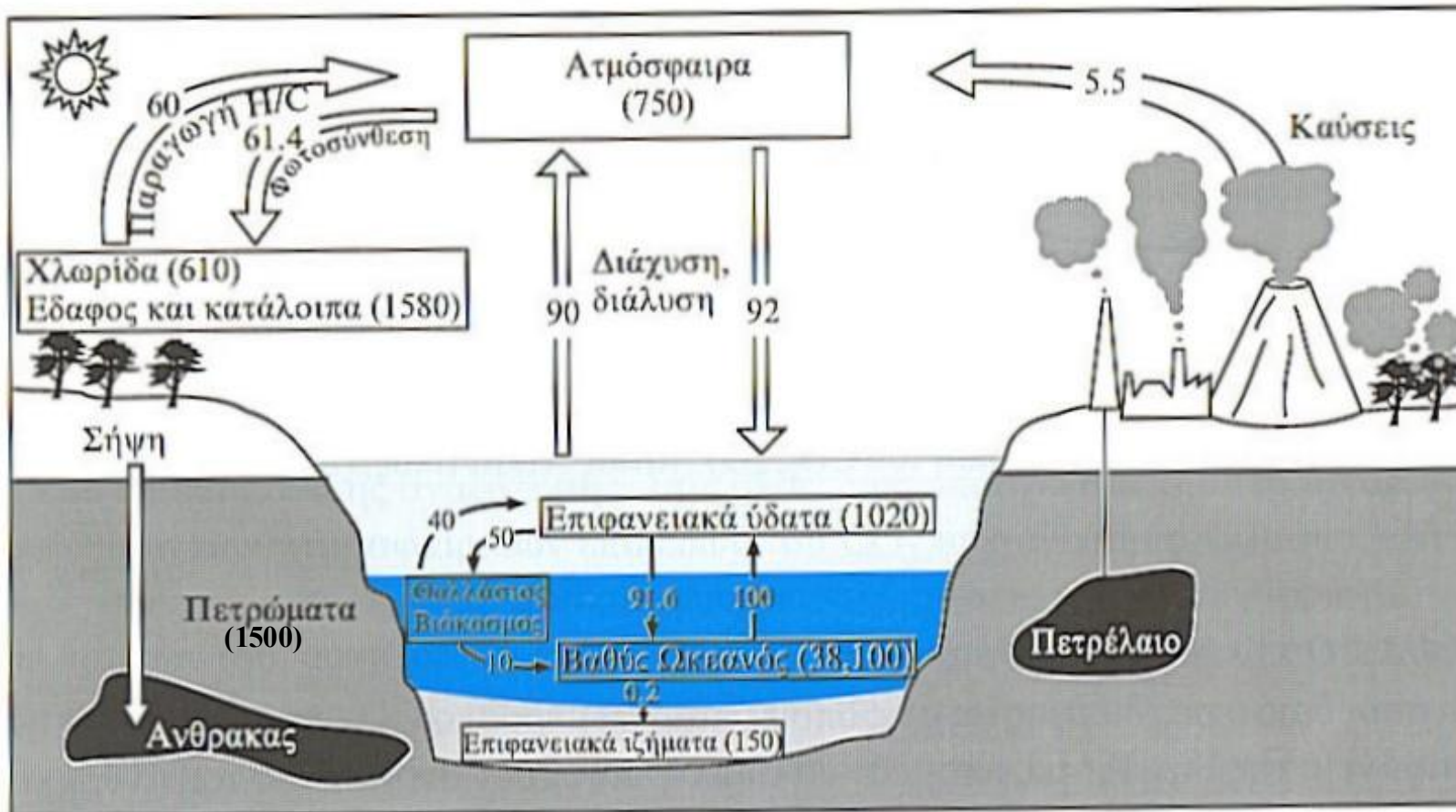
GRAPHIC DESIGN : PHILIPPE REKACEWICZ



Ο κύκλος του C στη φύση

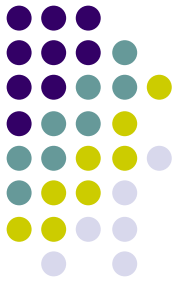


Ο κύκλος του C στη φύση



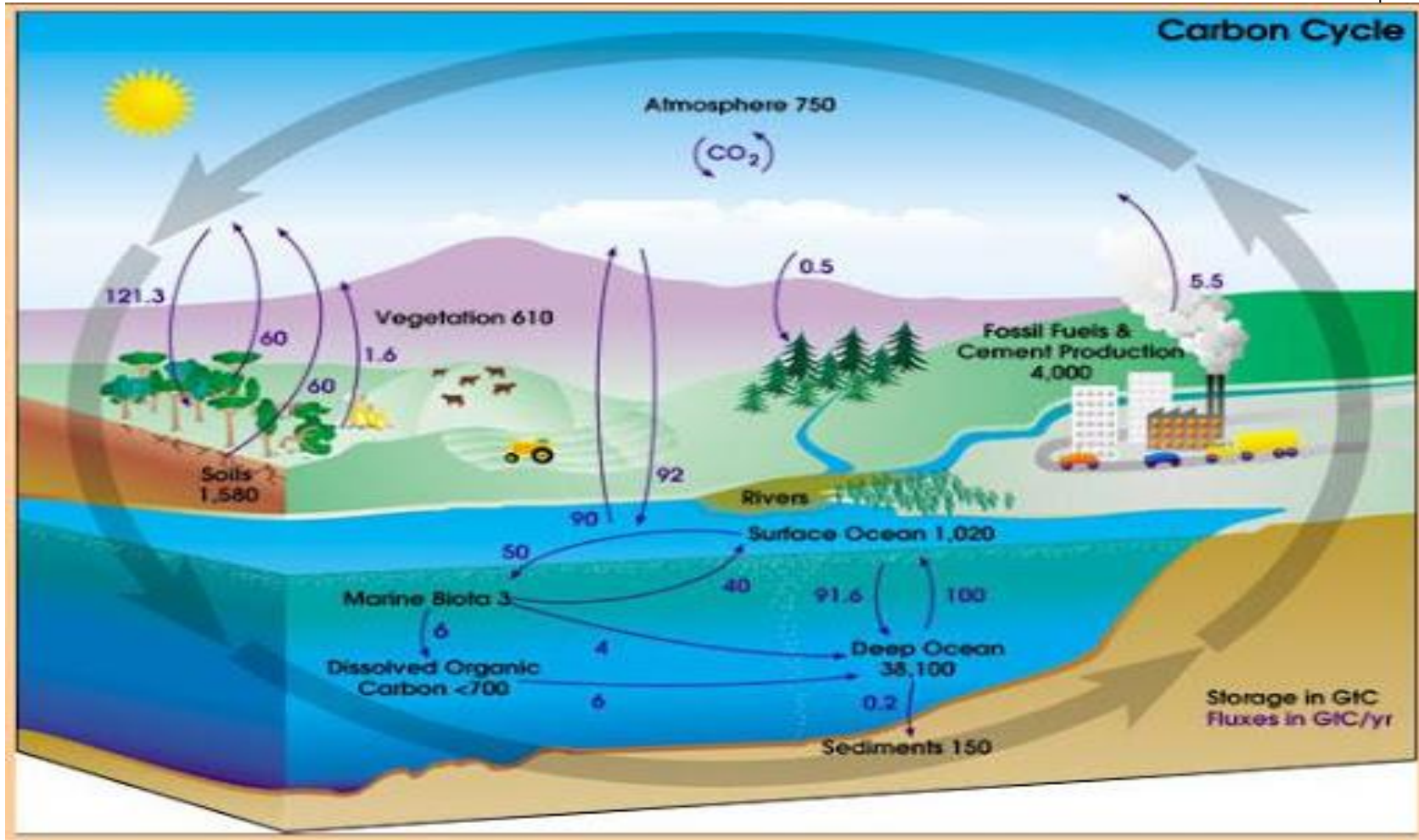
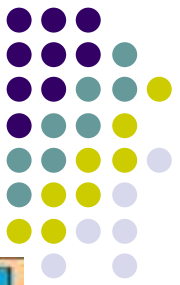
Σχήμα. Μετακίνηση του C μεταξύ ατμόσφαιρας-πανίδας-χλωρίδας-ωκεανών-πετρωμάτων. (αριθμοί σε δισεκατομμύρια τόνους C / έτος).

Άνθρακας

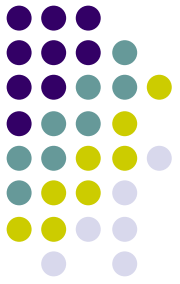


- Ο μοναδικός ρόλος του άνθρακα (C) στην χημεία και την βιολογία προέρχεται από την ιδιότητα του να διαμορφώνει δυνατούς, σταθερούς δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα και άλλα στοιχεία
- Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι να υπάρχει σχεδόν απεριόριστος αριθμός από αλυσιδωτά και δακτυλιοειδή μόρια στα οποία άτομα άνθρακα συνδέονται με άλλα άτομα άνθρακα
- Ο άνθρακας σχηματίζει μεγάλα, σύνθετα μόρια όπως το DNA και το RNA που μπορούν να αποθηκεύουν και να αντιγράφουν μεγάλα ποσά πληροφορίας

Ο κύκλος του C

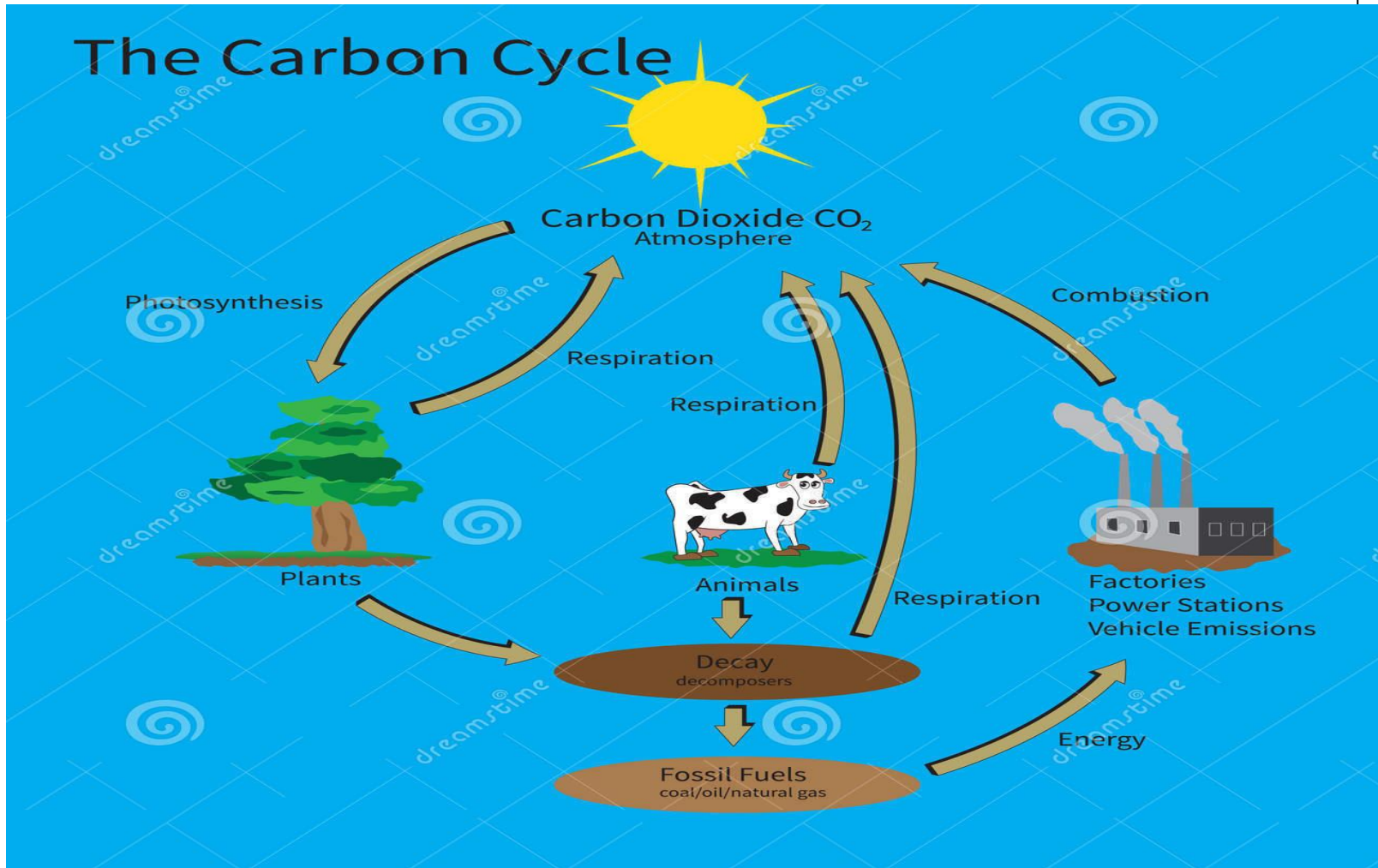


Άνθρακας



- Η κατανόηση του παγκόσμιου κύκλου του άνθρακα μας βοηθάει στην πρόβλεψη των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού CO₂ στην ατμόσφαιρα το οποίο είναι θερμοκηπιακό αέριο
- Οι ανθρωπογενείς πηγές του διοξειδίου του άνθρακα περιλαμβάνουν την καύση των ορυκτών καυσίμων, την παραγωγή τσιμέντου και την αποψίλωση των δασών
- Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί εμπλέκονται σε πολλούς κύκλους

Ο κύκλος του C



Ο κύκλος του C

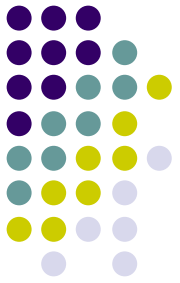


- Υπάρχει ο κίνδυνος θέρμανσης του πλανήτη, αν η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα συνεχίσει να αυξάνεται
- Για να μπορέσουμε να προβλέψουμε πόσο υψηλές θερμοκρασίες θα έχουμε μελλοντικά στον πλανήτη, πρέπει να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε πόσο θα αυξηθεί η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα τις επόμενες δεκαετίες και για πόσο καιρό θα διατηρηθεί αυτή η αύξηση

Προβιομηχανική εποχή = 280 ppm

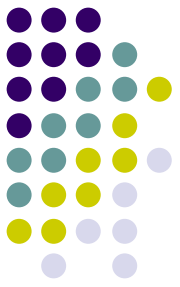
Σήμερα = 430,12 ppm (Φεβρουάριος 2026)

Θερμοκηπιακά αέρια



- Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ενέργειας διαπερνάει την ατμόσφαιρα και απορροφάται από την επιφάνεια της γης
- Για να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ενέργειας, η γη ψύχεται ακτινοβολώντας ενέργεια προς το διάστημα
- Η ατμόσφαιρα περιέχει ένα αριθμό από αέρια - τα οποία ονομάζονται θερμοκηπιακά αέρια - τα οποία είναι σχετικά διαφανή στην ορατή ακτινοβολία αλλά σχετικά αδιαφανή σε ορισμένες συχνότητες της υπέρυθρης ακτινοβολίας

Θερμοκηπιακά αέρια – Φαινόμενο του Θερμοκηπίου



- Το σημαντικότερο Θερμοκηπιακό αέριο είναι το διοξείδιο του άνθρακα
- Αυτά τα αέρια απορροφούν ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και επανακτινοβολούν ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας πίσω στη επιφάνεια της γης
- Αυτό προκαλεί στην επιφάνεια της γης θέρμανση και οδηγεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Ατμοσφαιρικό παράθυρο ονομάζεται η περιοχή στην οποία δεν σημειώνεται ιδιαίτερη απορρόφηση από τα αέρια της ατμόσφαιρας

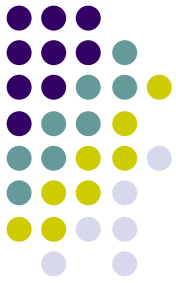
Εκπομπές CO₂



Πίνακας. Εκπομπές CO₂ από ανθρώπινες δραστηριότητες στην ατμόσφαιρα.

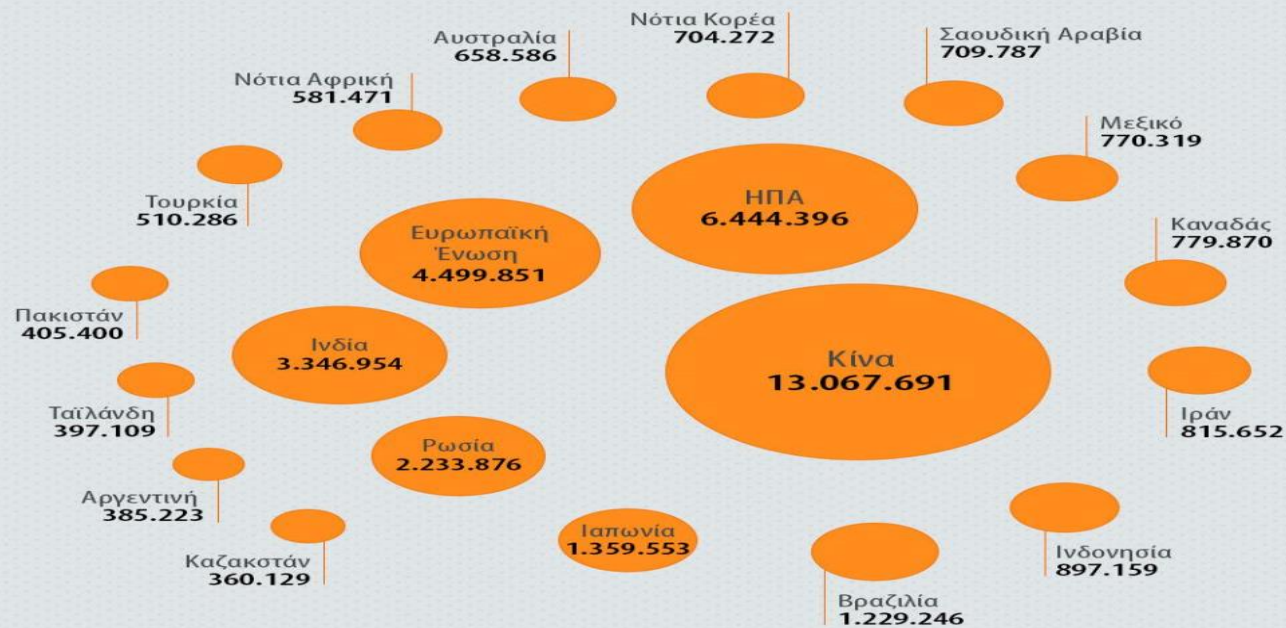
Προέλευση	Εκπομπές CO ₂ (10 ⁹ τόνοι / έτος)
Καύση άνθρακα	7
Καύση πετρελαίου	5
Καύση φυσικού αερίου	2
Άλλα	1
Σύνολο	15

Εκπομπές CO₂ (2015)



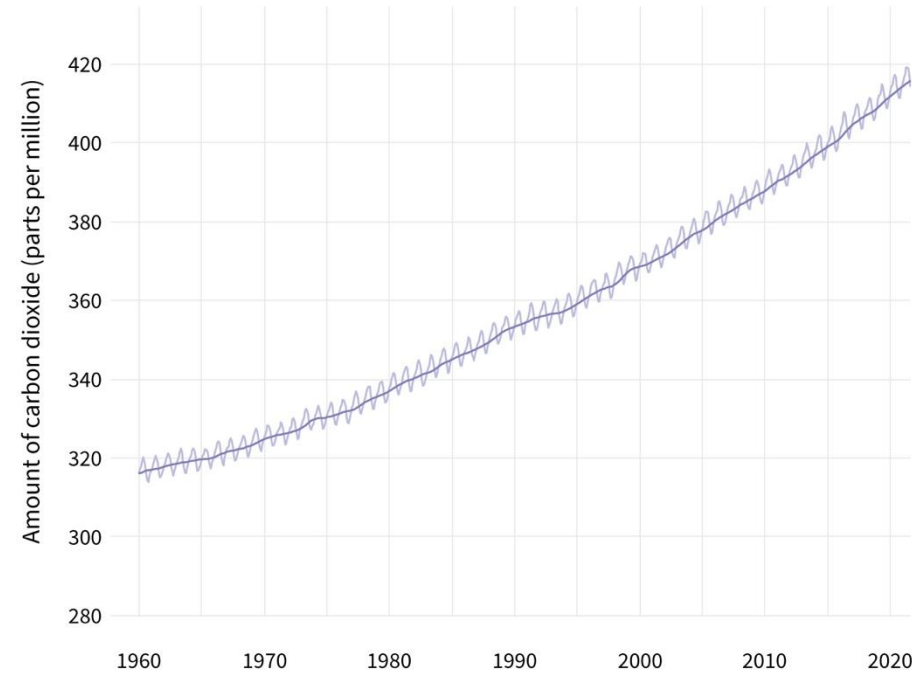
Οι μεγαλύτεροι ρυπαντές στον κόσμο το 2015

[κιλοτόνοι αντίστοιχου CO₂]

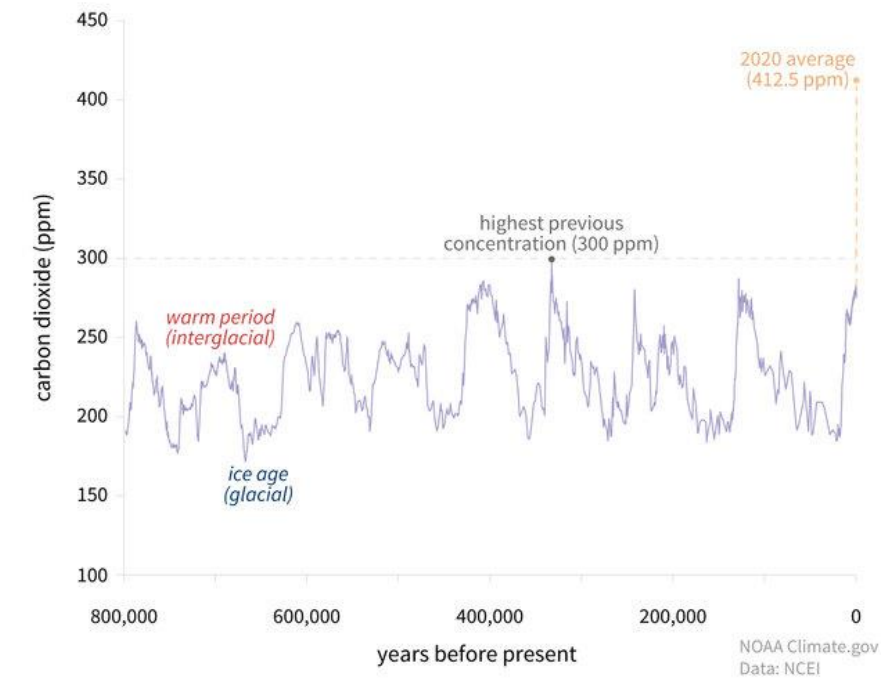


Πηγή: Αναφορά του Κοινού Κέντρου Ερευνών για τις εκπομπές διοξειδίου παγκοσμίως το 2019

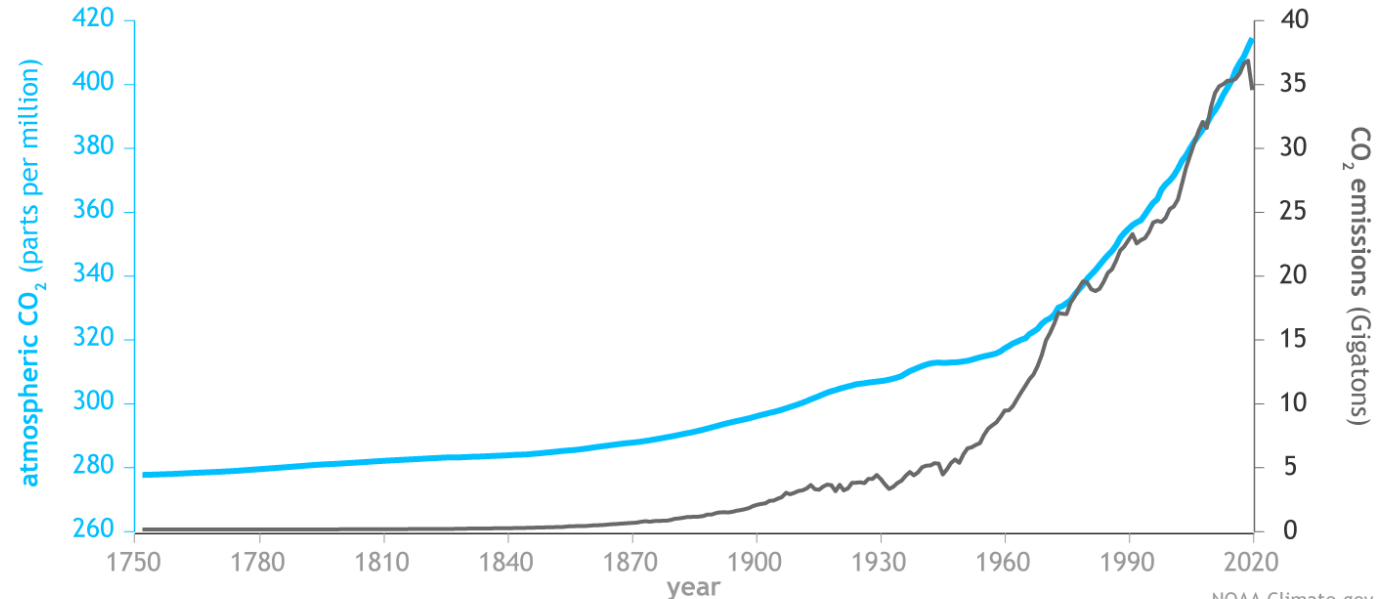
ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE (1960-2021)



CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS



Carbon dioxide emissions and atmospheric concentration (1750-2020)



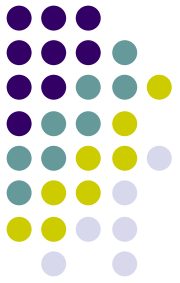
ΔΠΘ-ΜΠΔ

NOAA Climate.gov
Data: NOAA, ETHZ, Our World in Data

Εκπομπές CO₂

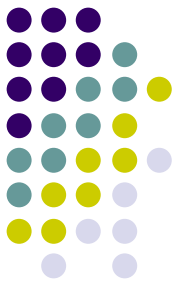


CO – Γενικά

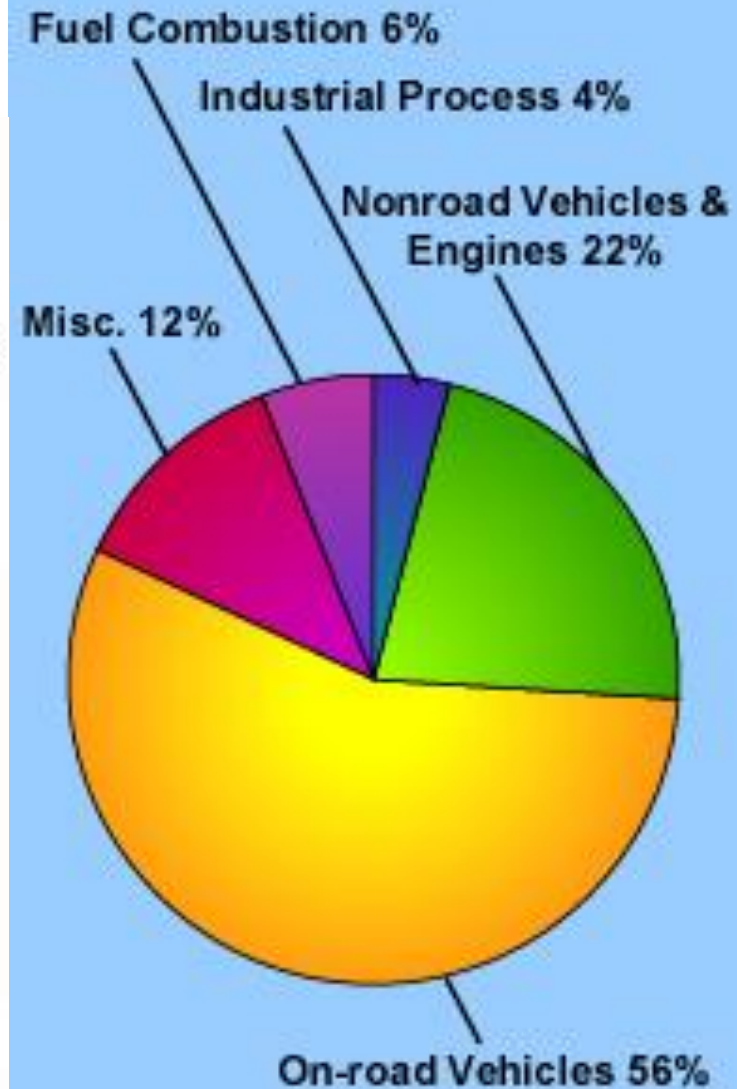
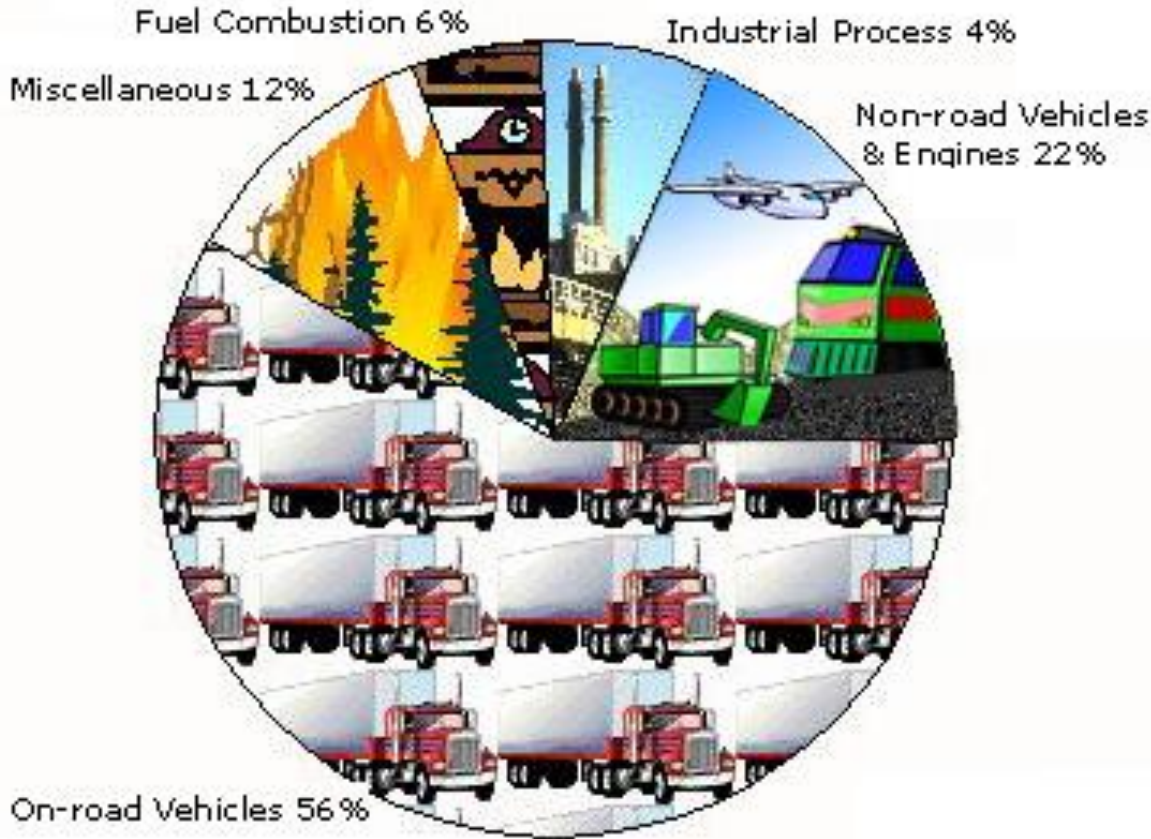


- Αέριο άχρωμο, άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό, αναφλέξιμο
- Από ατελή καύση HCs (αυτοκίνητα, - 70%, στιγμιαία καύση μίγματος με αέρα)
- Η παραγωγή CO (-26,4 Kcal/g-mole) αντί CO₂ (-94 Kcal/g-mole) έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια του 2/3 της διαθέσιμης ενέργειας

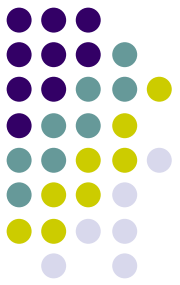
CO – Πηγές



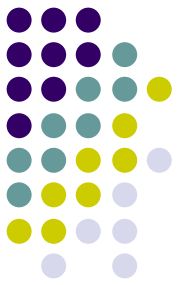
Sources of CO



CO – Φυσικές πηγές παραγωγής



- Ατμοσφαιρική οξείδωση του CH_4 (80% του CO των μη κατοικημένων περιοχών)
- Μεταφορά από επιφάνειες ωκεανών, αποσύνθεση χλωροφύλλης (12% της συνολικής έκλυσης CO)
- Ηφαίστεια, δασικές πυρκαγιές



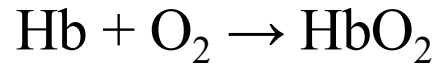
CO – Φυσικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης

- Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα: 4 μήνες
- Επικρατέστερος μηχανισμός στην κατώτερη στρατόσφαιρα
$$\text{CO} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}^- \quad (\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^-)$$
- Μηχανισμός στην τροπόσφαιρα
$$\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \text{ (βακτήρια εδάφους)} \rightarrow \text{CO}_2$$
$$\text{CO} + 3\text{H}_2 \text{ (βακτήρια εδάφους)} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$$
- $\text{CO} + \text{O}^- \rightarrow \text{CO}_2$
- Ρυθμός απορρόφησης από μύκητες, φυτά: $2 \mu\text{g/s/m}^2$

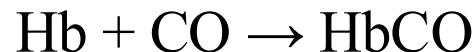
CO – Τοξικότητα



- Το CO ανταγωνίζεται τη δέσμευση του O₂ από την αιμοσφαιρίνη του αίματος, παράγοντας καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη, που δεν έχει πλέον την ικανότητα δέσμευσης και μεταφοράς O₂



- Η χημική συγγένεια του CO με την αιμοσφαιρίνη είναι 210 φορές μεγαλύτερη από αυτή του O₂ με αποτέλεσμα να αρκούν μικρές μερικές πιέσεις (συγκεντρώσεις) CO για να δεσμεύσουν μεγάλες ποσότητες αιμοσφαιρίνης σχηματίζοντας καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη



CO – Τοξικότητα



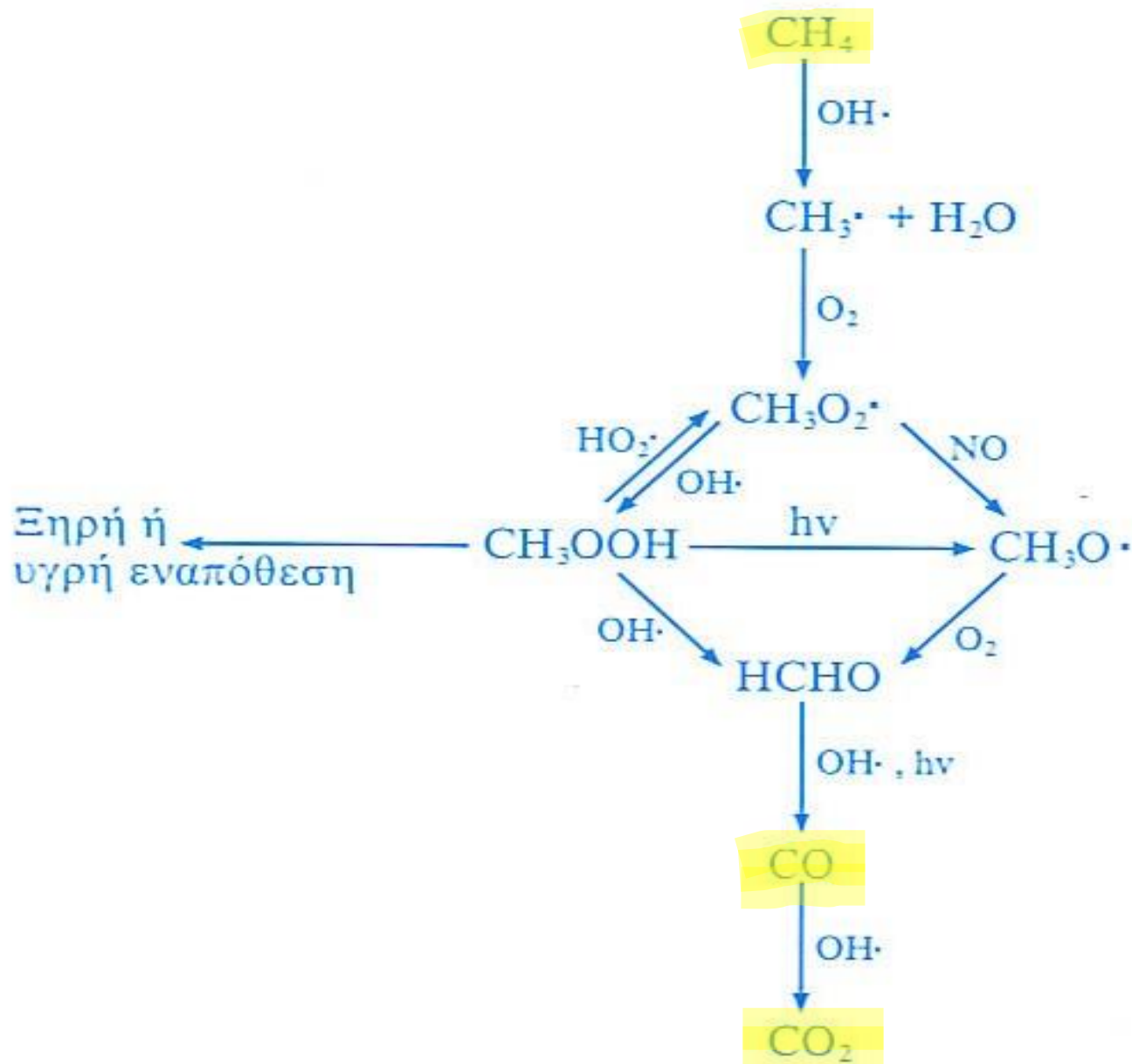
- Στον καθαρό αέρα (δηλ. 0,1 ppm CO) το αίμα του ανθρώπου έχει 0,5% καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη
- Οι καπνιστές (περίπου 400 ppm CO στον καπνό) έχουν επίπεδα καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης της τάξης του 5-10%
- Μηχανικοί συνεργείων, τροχονόμοι (δηλ. 5-20 ppm CO) μέχρι 18% καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη

Μεθάνιο (CH₄)

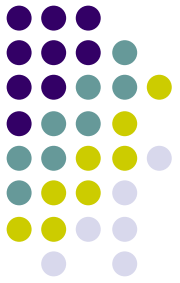


- Το μεθάνιο βρίσκεται σήμερα στην ατμόσφαιρα σε αναλογία μίγματος περίπου 1,8 ppm, ενώ η προβιομηχανική αναλογία μίγματός του ήταν περίπου 0,6 - 0,7 ppm
- Είναι πιο σημαντικό από το CO₂, παρά την μικρότερη ποσότητά του λόγω του ότι κάθε μόριο μεθανίου μπορεί να προκαλέσει περίπου 33 φορές μεγαλύτερη θέρμανση στην ατμόσφαιρα απ' ότι ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα
- Επίσης οι ζώνες απορρόφησης του μεθανίου διαφέρουν από αυτές του διοξειδίου του άνθρακα και οι κύριες πηγές του στην ατμόσφαιρα είναι βιολογικές

Ατμοσφαιρική οξείδωση του CH₄

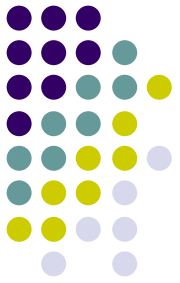


Μεθάνιο (CH₄)

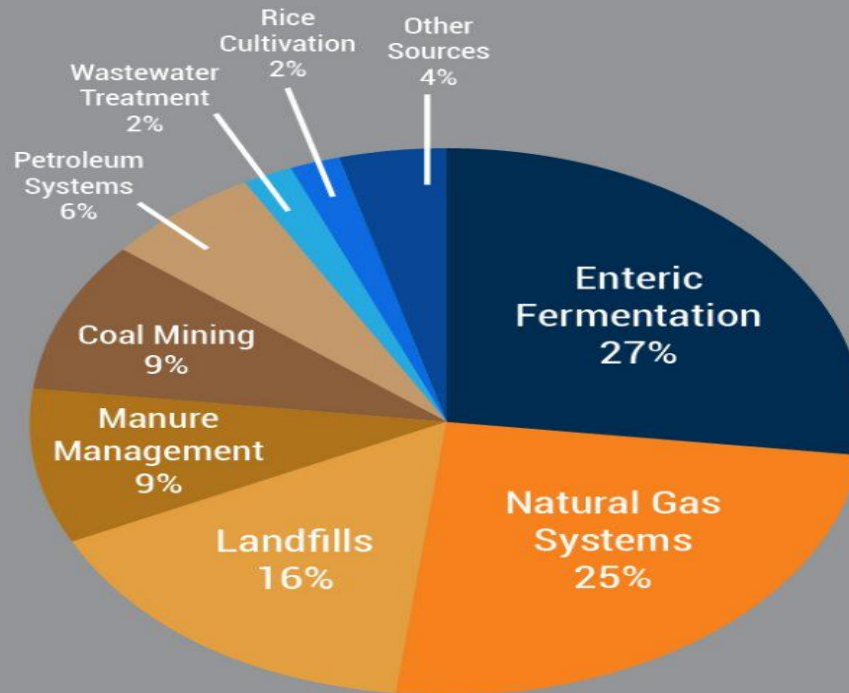


- Από αναλύσεις φυσαλίδων από παλαιό αέρα παγιδευμένο στους πολικούς πάγους (μέχρι και 200.000 χρόνια πίσω) η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 680 ppb μεταξύ 1.000 και 3.000 χρόνων πριν και έμεινε λίγο πολύ σταθερό μέχρι το 1700 μ.Χ.
- Σημαντική αυξητική τάση παρατηρήθηκε μετά το 1700 μ.Χ.
- Οι ετήσιοι ρυθμοί αύξησης ήταν περίπου 1,5 ppb μεταξύ του 1700 και 1900, 2,2 ppb μεταξύ του 1900 και 1925, 6,4 ppb μεταξύ 1927 και 1956, 11 ppb μεταξύ 1962 και 1973 και περίπου 17 ppb κατά την τελευταία δεκαετία
- Σήμερα η ατμοσφαιρική συγκέντρωση είναι 1940,75 ppb (Δεκέμβριος 2025)

Μεθάνιο (CH₄)



U.S. METHANE EMISSIONS BY SOURCE



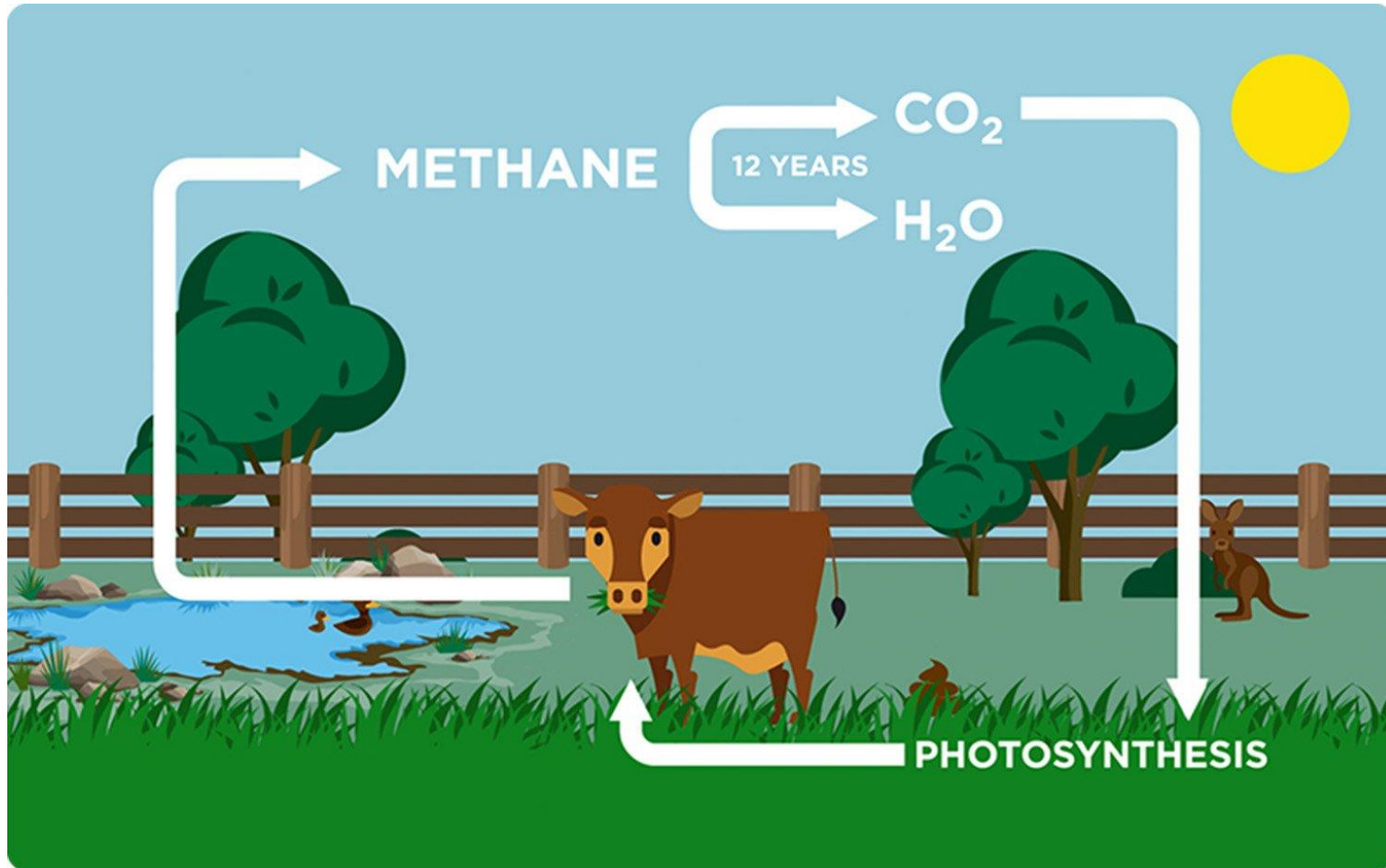
Source: U.S. EPA
(GHGI, 2019)



ENERGYINDEPTH[®]

IPAA A project of the INDEPENDENT PETROLEUM ASSOCIATION OF AMERICA

Μεθάνιο (CH₄)



HCs - Υδρογονάνθρακες



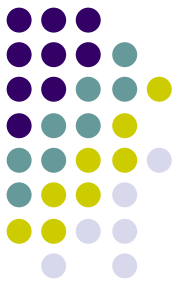
- Διαχωρισμός σε:
 - CH₄ (δεν συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις, σε αστικές περιοχές 1,0 - 1,5 ppm,)
 - VOCs (τάση ατμών $p > 0,1$ mm Hg σε 20°C, 760 mm Hg)
- Πηγές: φυσικές (16×10^8 τόνοι/έτος CH₄)
ανθρωπογενείς (1×10^8 τόνοι/έτος HCs με 90% CH₄)
- PAHs ιδιαίτερα τοξικοί και καρκινογόνοι (βενζόλιο)
- Ιδιαίτερη συνεισφορά των HCs στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους

ΡΟ – Φωτοχημικά Οξειδωτικά



- Προϊόντα πολύπλοκων ατμοσφαιρικών αντιδράσεων οργανικών ουσιών, HCs και NOx υπό την παρουσία ηλιακού φωτός
- Αναφέρεται κυρίως σε αζωτο-οξείδια, όζον, νιτρικά υπεροξυ-ακύλια που αναπτύσσονται στο φωτοχημικό νέφος
- Πρωτογενή συστατικά Φ.Ν. : HCs, NO,
- Δευτερογενή συστατικά Φ.Ν. : αλδεύδες, NO₂, O₃, PAN

Φωτοχημικό Νέφος / Αιθαλομίχλη



- Παραγωγή NO στις υψηλές θερμοκρασίες των μηχανών εσωτερικής καύσης

- Παραγωγή NO₂ από την οξείδωση του NO



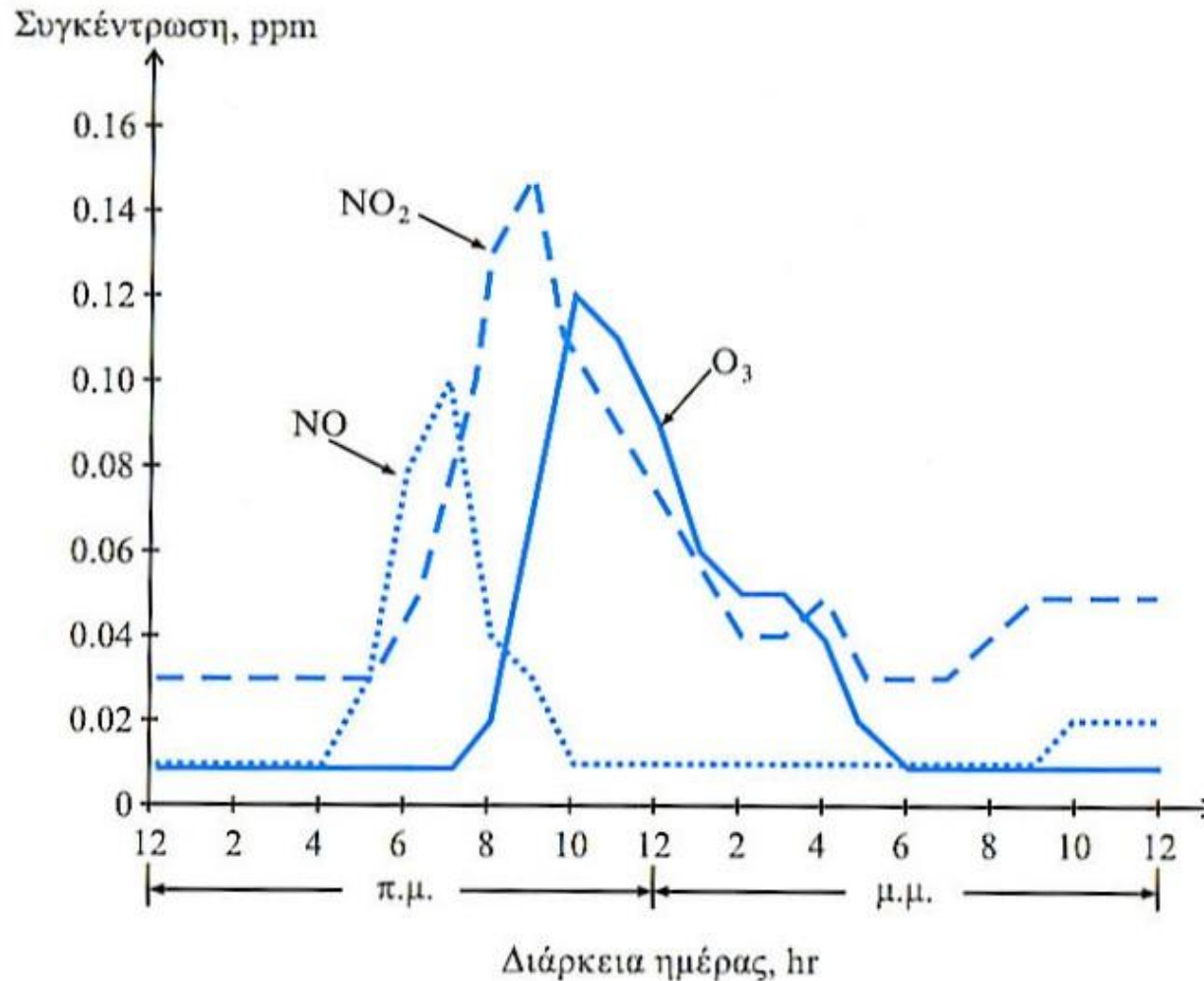
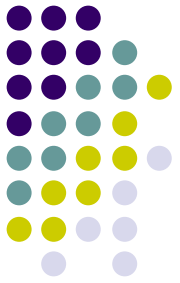
- Φωτόλυση NO₂ σε $\lambda < 3800 \text{ \AA}$ και παραγωγή ατομικού οξυγόνου



- Παραγωγή όζοντος

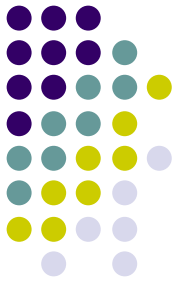


Φωτοχημικό Νέφος



Σχήμα. Ημερήσια μεταβολή των ρύπων NO, NO₂ και O₃ στο Los Angeles

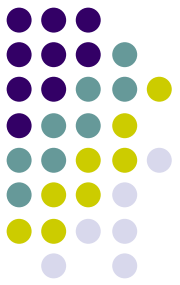
Φωτοχημικό Νέφος / Αιθαλομίχλη



- Φωτοχημική αιθαλομίχλη: έντονη απορρόφηση του κυανού και κίτρινου μέρους του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από το NO₂
- Στρώμα αέρα πάχους 2 Km με συγκέντρωση NO₂ 0,1 ppm ελαττώνει την ένταση του κυανού και υπεριώδους φωτός > 90% μέσα από οριζόντια διαδρομή περίπου 15 Km.

Δραστηριότητα	NO _x (τόνοι / ημέρα)		HCs (τόνοι / ημέρα)	
	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Αθήνα	Θεσσαλονίκη
Βιομηχανία	61,0	7,7	41,0	0,3
Τροχοφόρα	64,1	5,3	42,0	5,2
Θέρμανση	4,5	2,1	0,9	0,5

Πρόβλημα



Ο άνθρωπος αναπνέει κατά μέσο όρο 0,5 λίτρα αέρα σε κάθε αναπνοή και αναπνέει περίπου 12 φορές το λεπτό. Ο αέρας που εκπνέει έχει περίπου 4,5% CO_2 . Υποθέστε ότι ο πληθυσμός της Γης είναι 8 δισεκατομμύρια. Να υπολογίσετε το CO_2 που παράγει όλος ο πληθυσμός της Γης σε κανονικές συνθήκες μέσω της αναπνοής του σε ένα έτος.

Είναι η ανθρώπινη αναπνοή σημαντική πηγή CO_2 ;

1 mol οποιουδήποτε αερίου σε κανονικές συνθήκες καταλαμβάνει 22,4 λίτρα

ΜΒ: C = 12 g/mol και O = 16 g/mol

Λύση



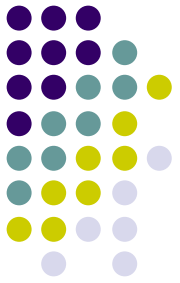
$$8 * 10^9 * 0,5 \text{ lt} * 12 * 60 * 24 * 365 * 4,5/100 \text{ CO}_2 =$$

$$= 1.135.296 * 10^9 \text{ lt CO}_2$$

$$1 \text{ mol CO}_2 = 22,4 \text{ lt} = 44 \text{ gr}$$

Αντιστοιχούν σε: $223.005 * 10^{10} \text{ gr}$ ή $2.230.050 \text{ ktn}$ ή $2,2 \text{ Gtn CO}_2 / \text{έτος}$

Άζωτο



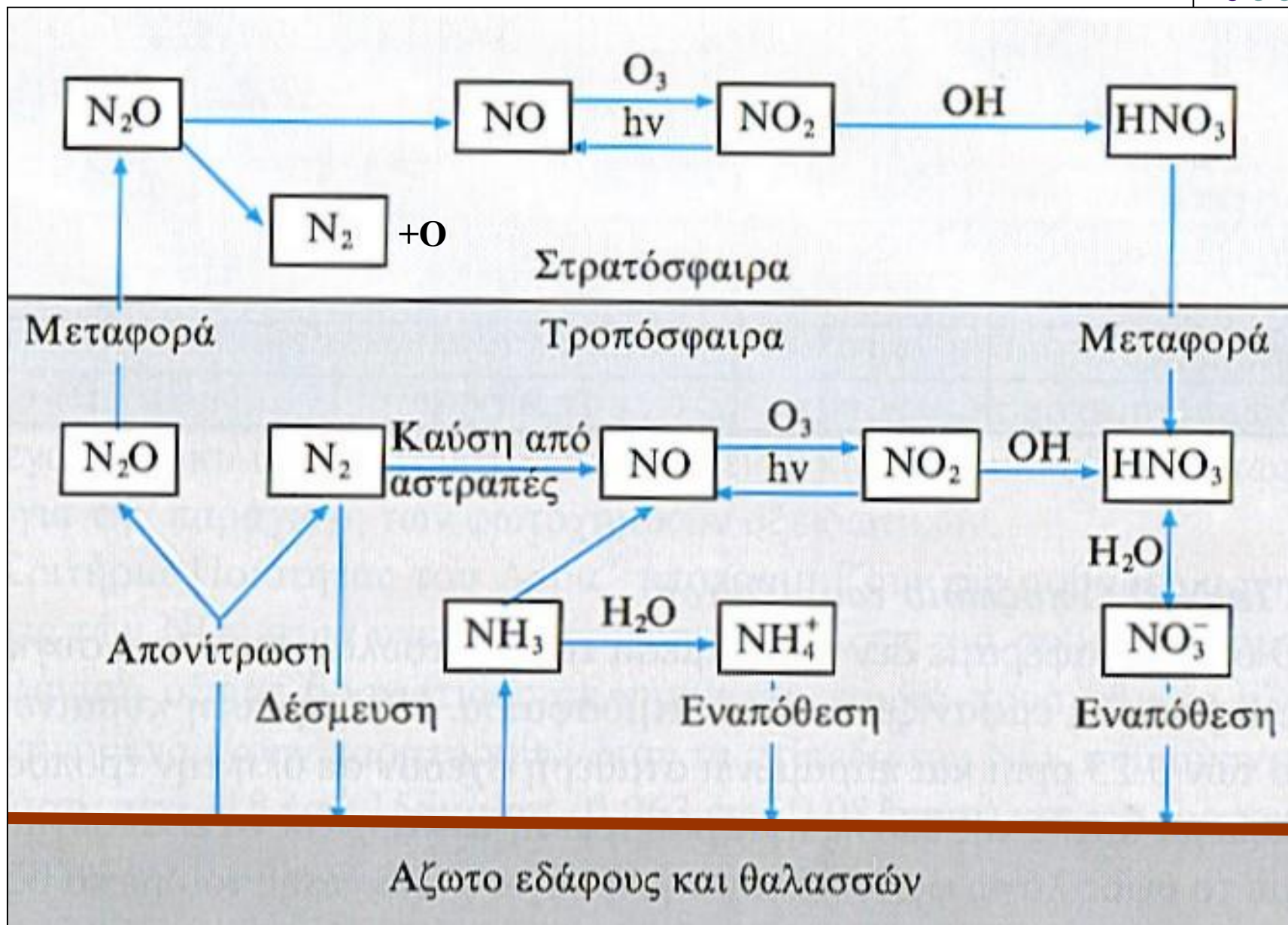
- Στην ατμόσφαιρα το N βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία και αποτελεί περίπου το 78 - 79 %.
- Στη φύση πολλές σπουδαίες αντιδράσεις οξειδοαναγωγής του αζώτου επιτελούνται αποκλειστικά από μικροοργανισμούς (σημαντικό στον παγκόσμιο κύκλο του αζώτου).
- Οι περισσότεροι οργανισμοί αν και ζούνε δίπλα στο ατμοσφαιρικό άζωτο πρέπει να αγωνίζονται καθημερινά για να το αποκτήσουν.
- Αυτό συμβαίνει γιατί οι φωτοσυνθέτες των οικοσυστημάτων αυτών δεν μπορούν να αφομοιώσουν το άζωτο έτσι όπως είναι.

Άζωτο

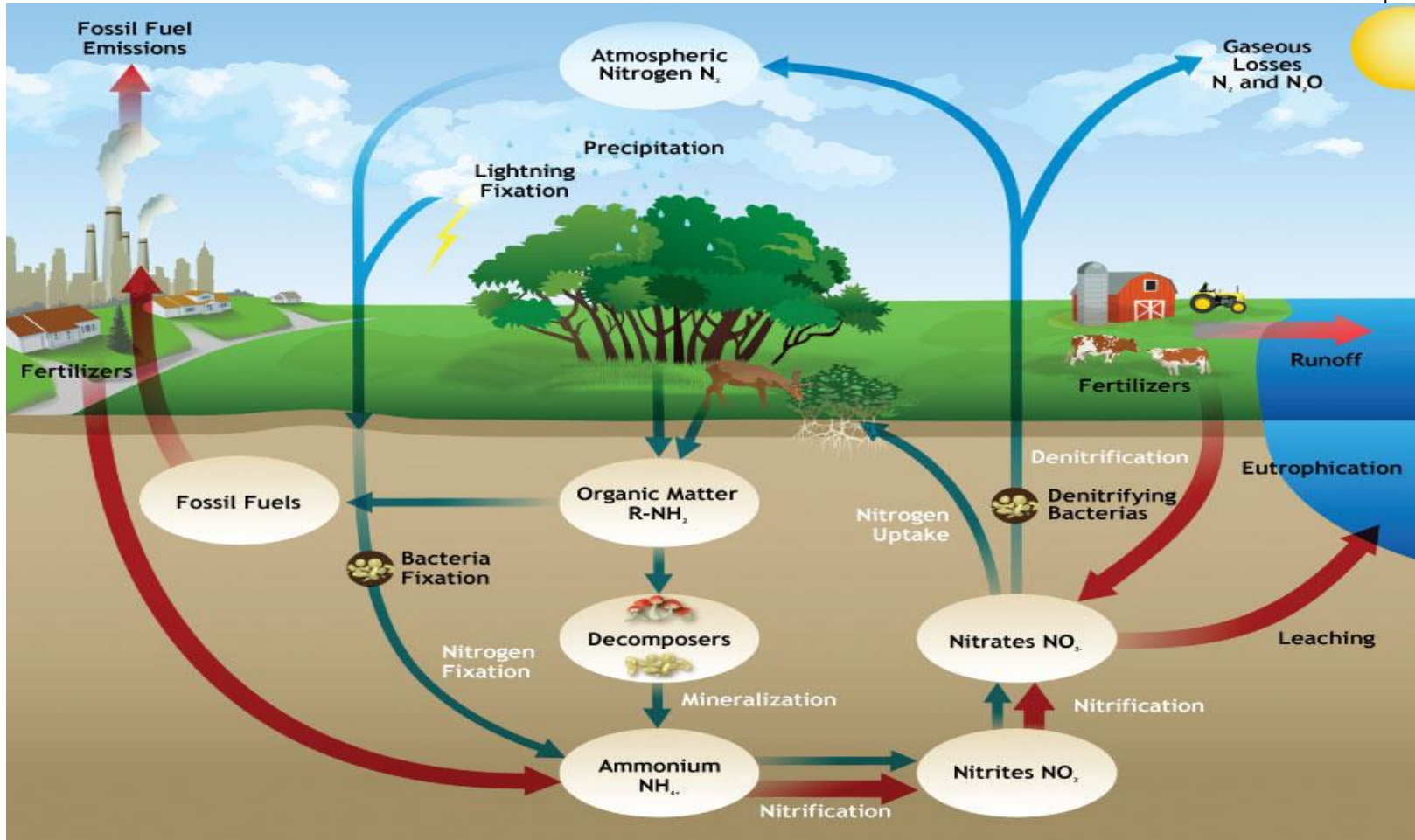


- Ο χημικός τύπος του ατμοσφαιρικού αζώτου (N_2) είναι πολύ σταθερός με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους περισσότερους οργανισμούς
- Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί, ο τριπλός δεσμός που κρατά ενωμένο το N_2 πρέπει να σπάσει
- Έπειτα να σχηματίσει δεσμευμένο (fixed) άζωτο δηλαδή άζωτο που δεν συνδέεται με άλλο άτομο N

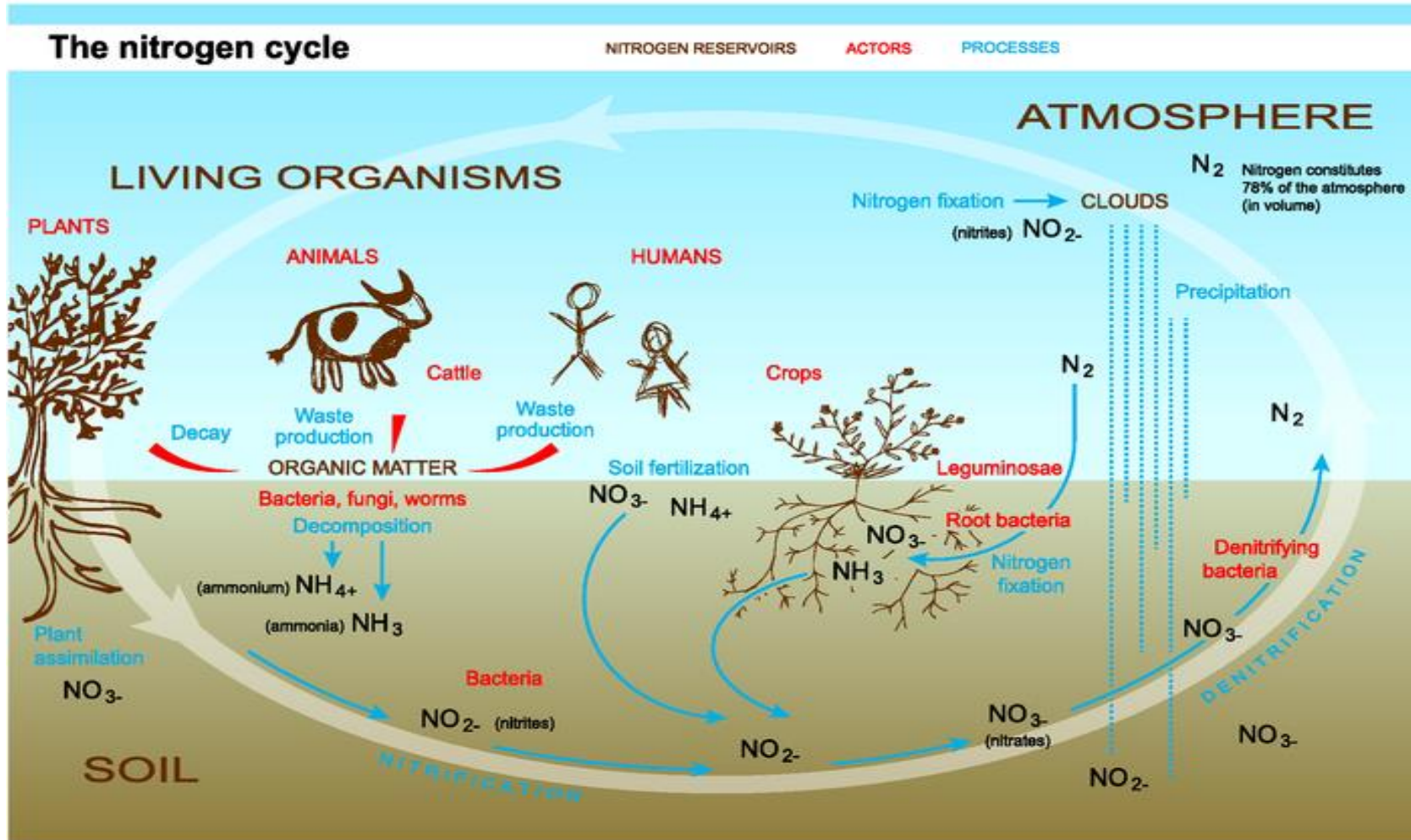
Ο κύκλος του N₂ στην ατμόσφαιρα



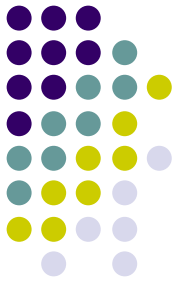
Κύκλος του Αζώτου



Κύκλος του Αζώτου



Κύκλος του αζώτου

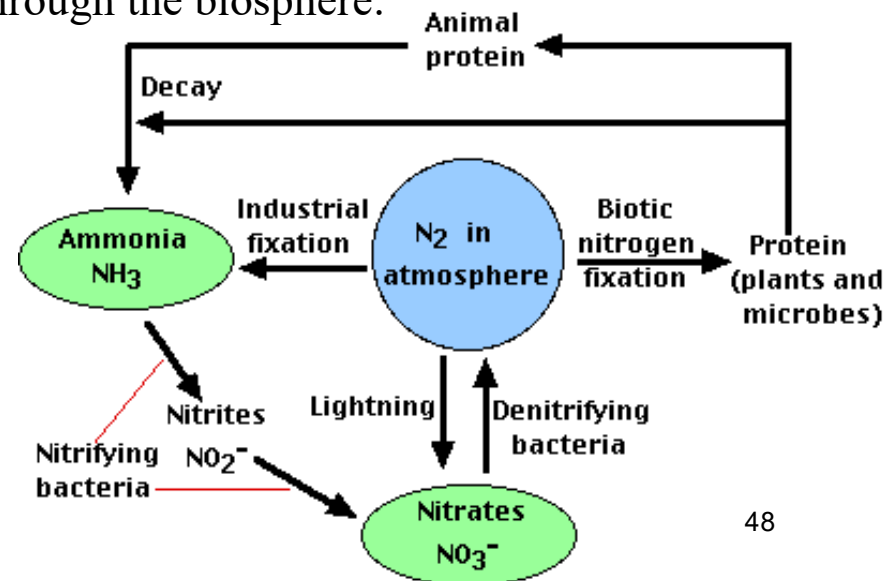


- All life requires nitrogen-compounds, e.g., proteins and nucleic acids.
- Air, which is 79% nitrogen gas (N_2), is the major reservoir of nitrogen.
- But most organisms **cannot use** nitrogen in this form.
- **Plants** must secure their nitrogen **in "fixed" form**, i.e., incorporated in compounds such as:
 - nitrate ions (NO_3^-)
 - ammonia (NH_3)
 - urea ($(NH_2)_2CO$)
- **Animals** secure their nitrogen (and all other) compounds **from plants (or animals** that have fed on plants).

Four processes participate in the cycling of nitrogen through the biosphere:

- [nitrogen fixation](#)
- [decay](#)
- [nitrification](#)
- [denitrification](#)

Microorganisms play major roles in all four of these.



Κύκλος του αζώτου



Nitrogen Fixation

The nitrogen molecule (N_2) is quite inert. To break it apart so that its atoms can combine with other atoms requires the input of substantial amounts of energy.

Three processes are responsible for most of the nitrogen fixation in the biosphere:

- **atmospheric fixation** by lightning
- **biological fixation** by certain microbes — alone or in a symbiotic relationship with plants
- **industrial fixation**

Atmospheric Fixation

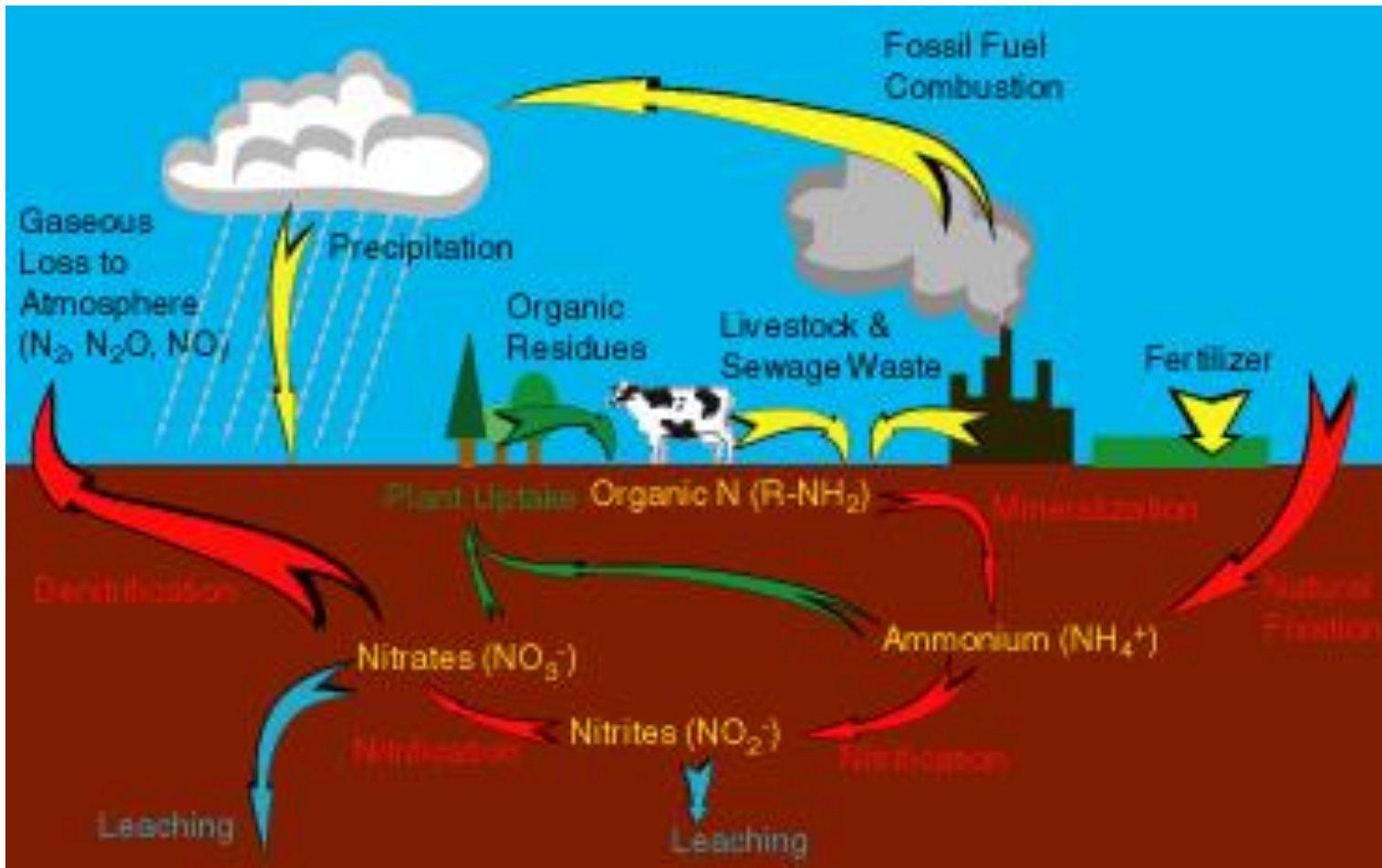
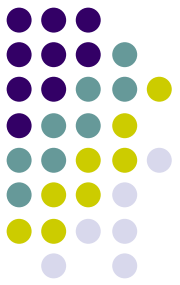
The enormous energy of lightning breaks nitrogen molecules and enables their atoms to combine with oxygen in the air forming nitrogen oxides. These dissolve in rain, forming nitrates, that are carried to the earth.

Atmospheric nitrogen fixation probably contributes some **5–8% of the total nitrogen fixed**.

Industrial Fixation

Under great pressure, at a temperature of 600°C , and with the use of a catalyst, atmospheric nitrogen and hydrogen (usually derived from natural gas or petroleum) can be combined to form ammonia (NH_3). **Ammonia can be used directly as fertilizer**, but most of it is further processed to **urea and ammonium nitrate (NH_4NO_3)**.

Κύκλος του αζώτου



Κίτρινα βέλη: ανθρωπογενείς πηγές του N_2 στο περιβάλλον

Κόκκινα βέλη: μικροβιακές μετατροπές του N_2

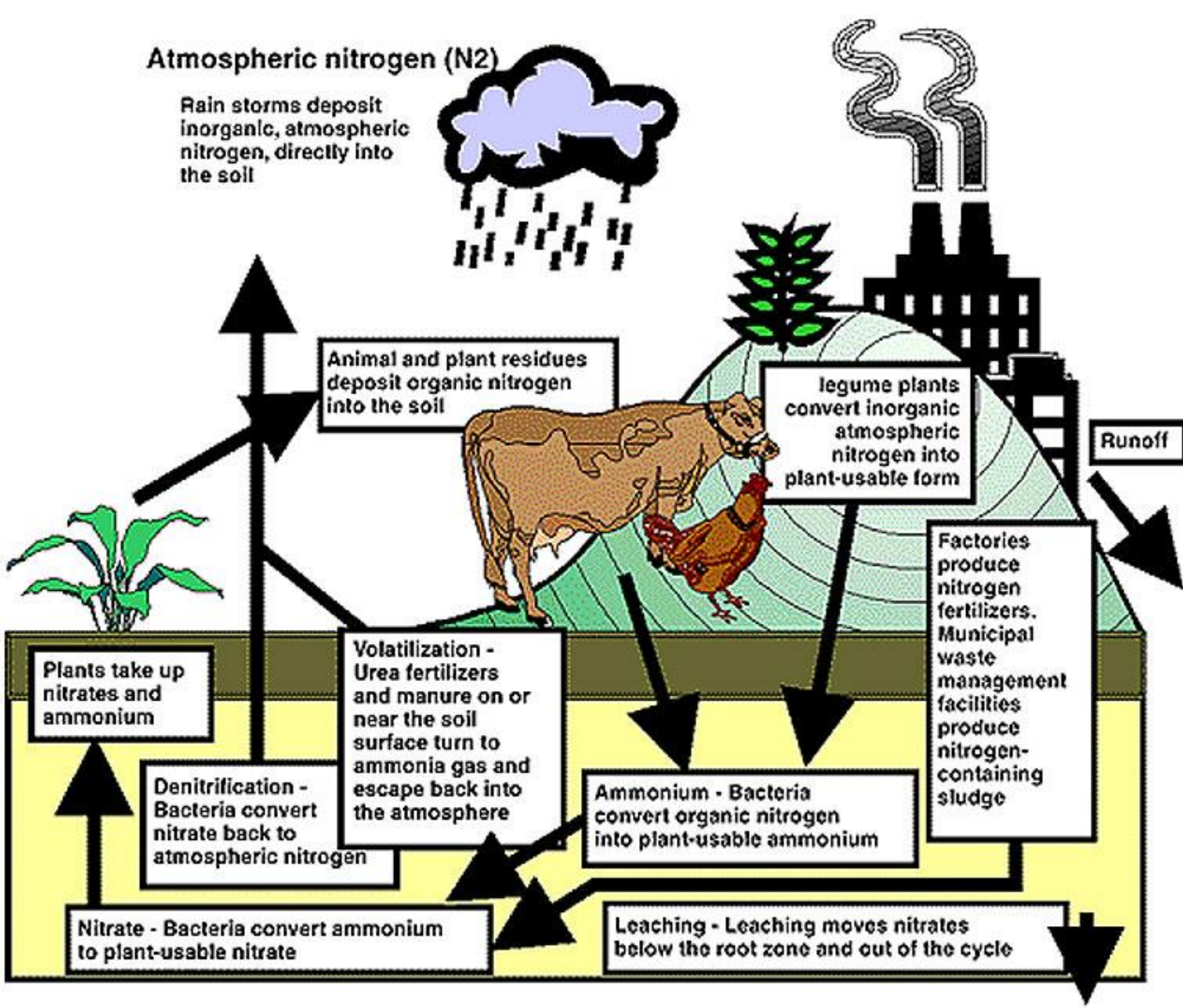
Μπλε βέλη: φυσικές δυνάμεις που επενεργούν στο N_2

Πράσινα βέλη: φυσικές, μη-μικροβιακές διαδικασίες που επηρεάζουν το σχηματισμό και την τύχη του N_2 .

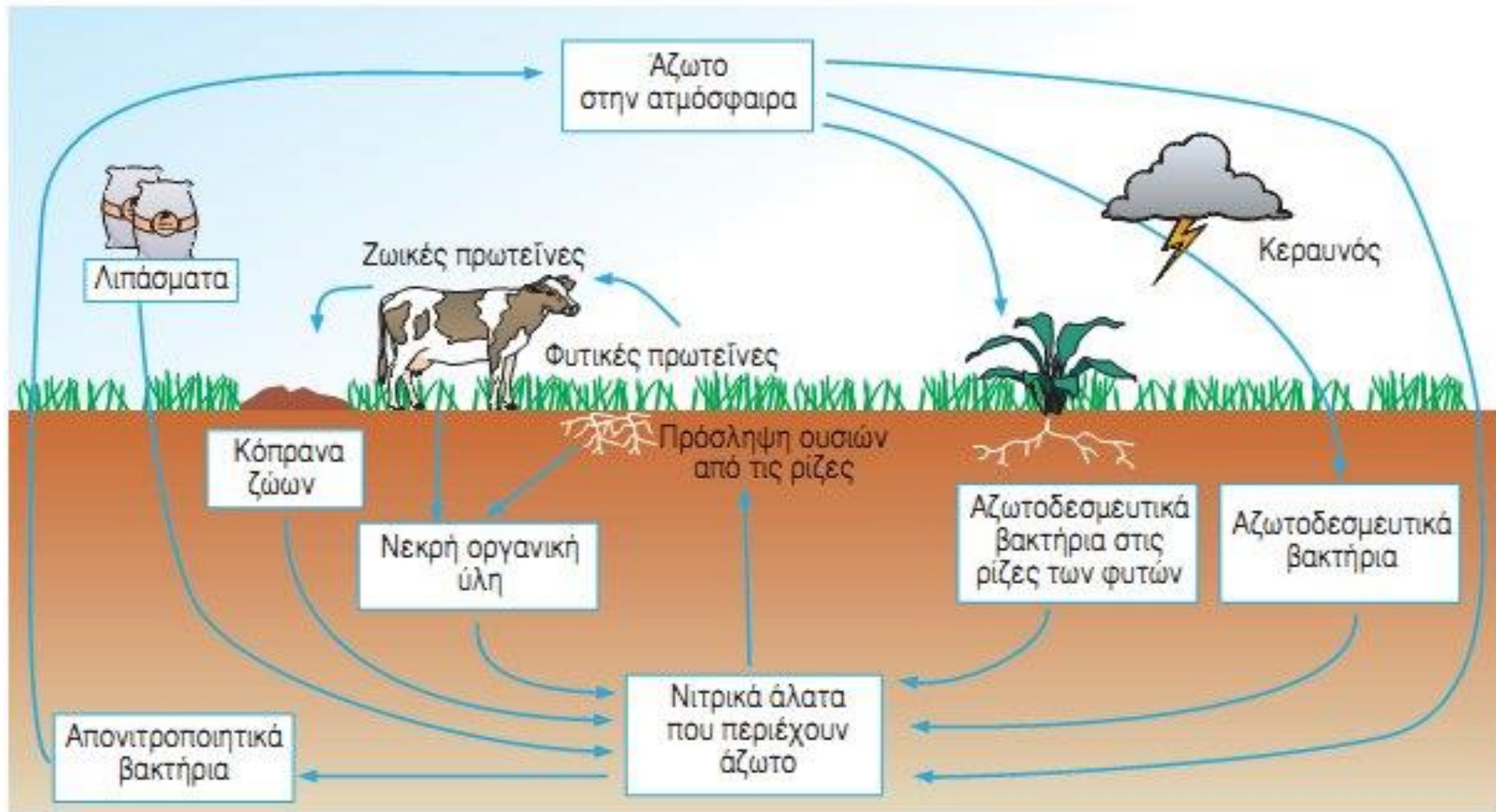


Atmospheric nitrogen (N_2)

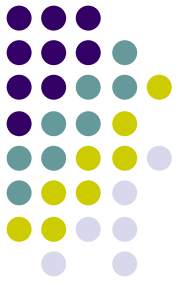
Rain storms deposit inorganic, atmospheric nitrogen, directly into the soil



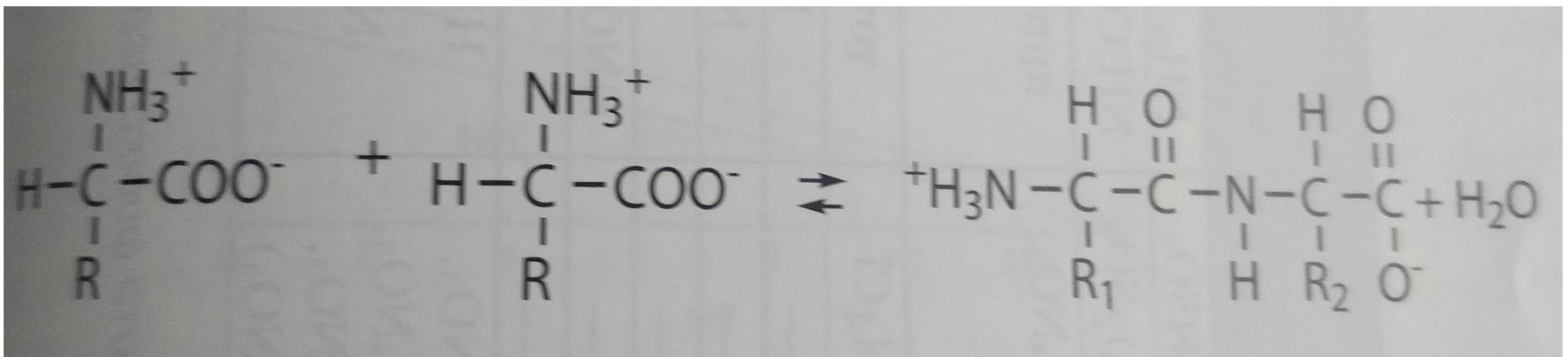
Κύκλος του Αζώτου



Το άζωτο στα βιομόρια



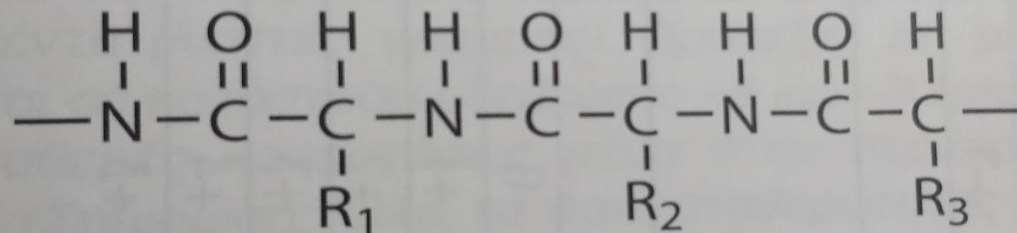
- Ένωση αμινοξέων \longrightarrow σχηματισμός ενός χημικού δεσμού μεταξύ του ατόμου του αζώτου της αμινοομάδας του ενός οξέος και του ατόμου του άνθρακα (C) της ομάδας του καρβοξυλίου του άλλου:



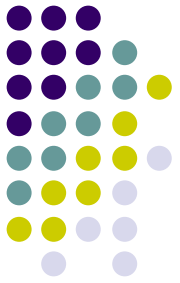
Το άζωτο στα βιομόρια



- Ο δεσμός που σχηματίζεται μεταξύ των ατόμων του άνθρακα (C) και του αζώτου (N) ονομάζεται δεσμός πεπτιδίου.
- Μια αλυσίδα πολυπεπτιδίων είναι μια σειρά από αυτούς τους πεπτιδικούς δεσμούς ενωμένους.
- Οι πολυπεπτιδικές αλυσίδες μπορεί να είναι πολύ σύνθετες και να περιέχουν εκατοντάδες πεπτιδικούς δεσμούς σε διάφορους συνδυασμούς.
- Πρωτεΐνες: είναι η βάση κάθε ζωντανής ύλης και αποτελούνται από μία ή περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες.



NO_x – NH₃



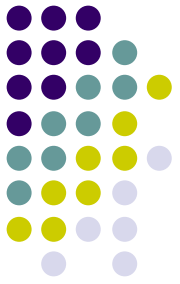
- Τα NO_x με ανθρωπογενή προέλευση περίπου το 6% της συνολικής ποσότητας NO_x
- Άνθρακας > πετρέλαιο > φυσικό αέριο
- Συνεισφορά βιολογικών δραστηριοτήτων:
 - NO: 0,5 Gt/yr
 - N₂O: 0,6 Gt/yr
 - NH₃: 3,7 Gt/yr
(1 Gt = 1 δισ. τόννοι)

«Κριτήρια Ποιότητας της Ατμόσφαιρας»

Επίδραση του NO₂ σε ανθρώπους και χλωρίδα

NO ₂	Άνθρωποι	Χλωρίδα
Συγκέντρωση (ppb)	63 - 83	250
Έκθεση (μήνες)	> 6	>8
Αποτέλεσμα	Οξεία βρογχίτιδα σε παιδικό πληθυσμό	Πτώση φύλλων, μείωση παραγωγής

Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O)



Για δύο λόγους έχουν εξετασθεί οι διαδικασίες που ελέγχουν την συγκέντρωση του N₂O στην ατμόσφαιρα:

- Αναγνώριση του N₂O ως αέριο του θερμοκηπίου και ως πηγή στρατοσφαιρικού NO
- Συλλογή ατμοσφαιρικών δεδομένων για χρόνια που δείχνουν μια μικρή αλλά σταθερή αύξηση των συγκεντρώσεων του N₂O

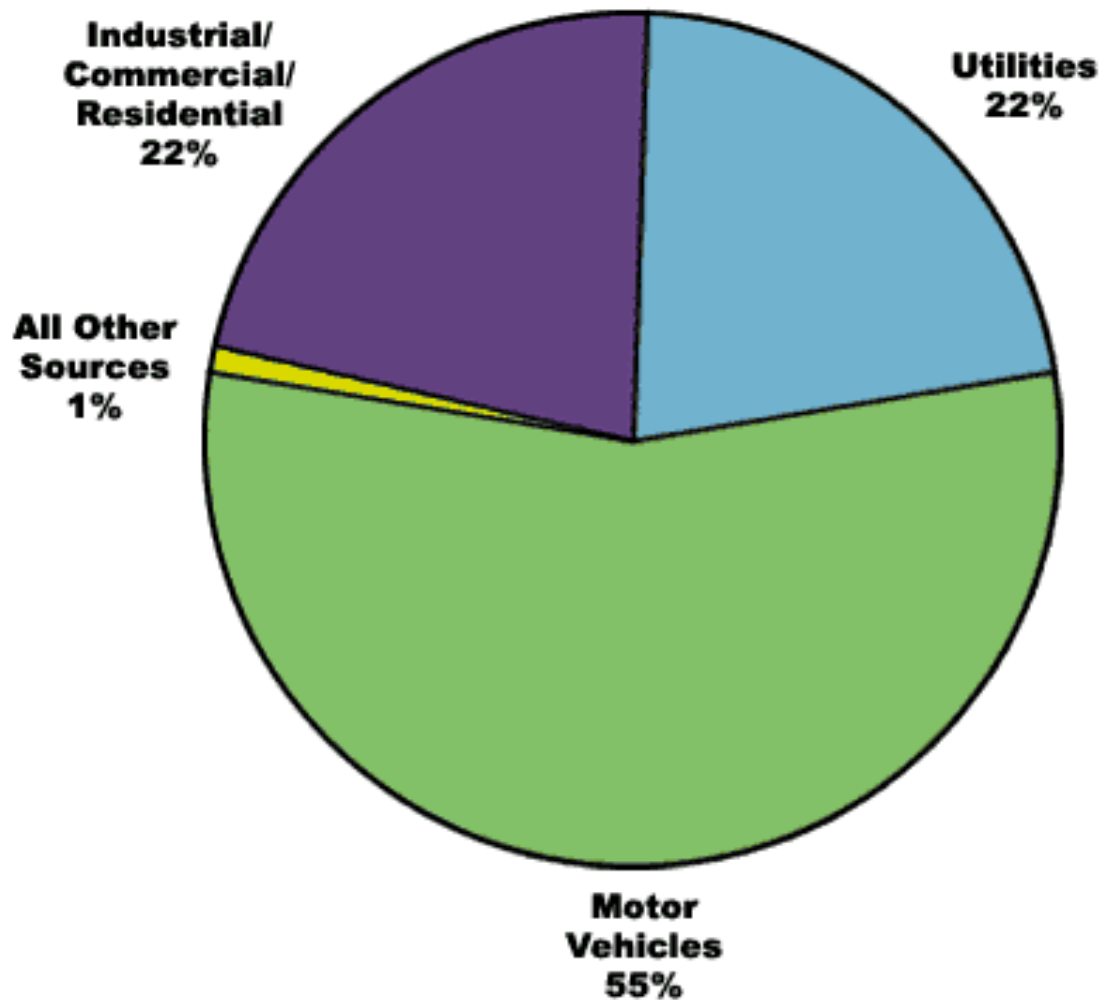
Από την συλλογή ατμοσφαιρικών δεδομένων έχει παρατηρηθεί:

- Αύξηση των συγκεντρώσεων του N₂O κατά 16% από την Βιομηχανική επανάσταση
- Αύξηση των συγκεντρώσεων του N₂O κατά 0,3% ετησίως λόγω της αύξησης του πληθυσμού, αύξησης αγροτικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων

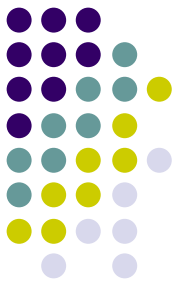
Εκπομπές NO_x



Manmade Sources of NO_x Emissions - 2003

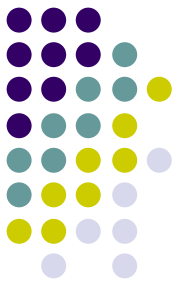


NH₃



- Φυσική προέλευση μέσω βακτηριδίων (37×10^8 τόνοι/έτος), κατά 99% φυσικός «ρύπος»
- Ανθρωπογενής προέλευση (4×10^6 τόνοι/έτος, 0,1%)
- Σχηματισμός aerosol (NH₄NO₃, NH₄Cl, (NH₄)₂SO₄) και άρα διατήρηση στην ατμόσφαιρα και μεταφορά
- Ατμοσφαιρική συγκέντρωση: 5 μg/m³
- Χρόνος ημι-ζωής: 7 ημέρες

Πρόβλημα



Σε μια αίθουσα διδασκαλίας βρίσκονται 50 άτομα. Ο συνολικός όγκος της αίθουσας είναι 500 m^3 και η αρχική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στον αέρα είναι 420 ppm. Υποθέτουμε ότι τα παράθυρα παραμένουν κλειστά για 3 ώρες. Κάθε άνθρωπος αναπνέει κατά μέσο όρο 0,5 lt αέρα σε κάθε αναπνοή με ρυθμό αναπνοής περίπου 12 αναπνοές ανά λεπτό. Ο αέρας που εκπνέεται περιέχει περίπου 4,5% CO_2 . Να υπολογιστεί η τελική συγκέντρωση CO_2 σε ppm μέσα στην αίθουσα μετά από 3 ώρες.

Λύση



1. Όγκος αέρα που αναπνέει ένας άνθρωπος

Όγκος ανά αναπνοή: 0,5 lt

Αναπνοές ανά λεπτό: 12

Άρα ο όγκος αέρα που αναπνέει ένα άτομο
ανά λεπτό είναι:

$$0,5 * 12 = 6 \text{ lt/min}$$

2. Παραγόμενο CO₂ στις 3 ώρες

$$6 * 0,045 * 60 * 3 = 48,6 \text{ lt CO}_2$$

3. Τα 50 άτομα:

$$48,6 * 50 = 2.430 \text{ lt} = 2,43 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$$

4. Το κλάσμα όγκου CO₂ που προστέθηκε
είναι:

$$2,43 / 500 = 0,00486$$

$$\text{ppm} = 0,00486 * 10^6 = 4.860$$

5. Τελική συγκέντρωση:

$$420 + 4860 = 5.280 \text{ ppm}$$

Πληροφορίες



Ποιότητα του αέρα:

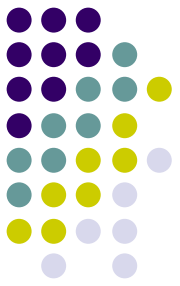
420 ppm: Φρέσκος εξωτερικός αέρας.

1.000 ppm: Το όριο για καλό εξαερισμό σε τάξη.

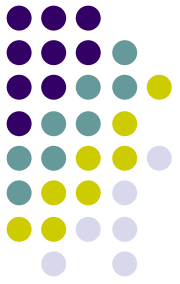
2.000 - 5.000 ppm: Προκαλεί υπνηλία, πονοκέφαλο και απώλεια συγκέντρωσης.

>5.000 ppm: Είναι το όριο έκθεσης για εργασιακούς χώρους (δωρο).

Θείο (S)

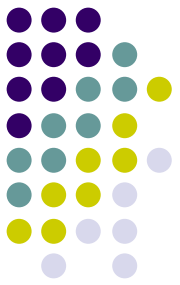


Πηγές Θείου στην Ατμόσφαιρα



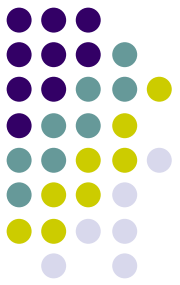
- Το θείο εκπέμπεται κυρίως ως διοξείδιο του θείου (SO_2)
- Κύριες ανθρωπογενείς πηγές: καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο)
- Βιομηχανικές διεργασίες (διυλιστήρια, μεταλλουργία)
- Φυσικές πηγές: ηφαιστειακή δραστηριότητα, θαλάσσιο διμεθυλοσουλφίδιο (DMS)
- Θαλάσσια αερολύματα συμβάλλουν επίσης στον παγκόσμιο κύκλο του θείου
- Οι εκπομπές έχουν μειωθεί σημαντικά στην Ευρώπη λόγω περιβαλλοντικής νομοθεσίας

Χημικός Μετασχηματισμός στην Ατμόσφαιρα



- Το SO_2 οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω ομογενών και ετερογενών αντιδράσεων
- Σημαντικός ρόλος των ριζών OH στη μετατροπή του σε θειικό οξύ (H_2SO_4)
- Υδατική φάση νεφών: οξείδωση μέσω H_2O_2 και O_3
- Σχηματισμός θεικών αλάτων (SO_4^{2-}) και δευτερογενών ανόργανων αερολυμάτων
- Τα θειικά σωματίδια συμβάλλουν στον σχηματισμό νέφους και στη σκέδαση ακτινοβολίας

Επιπτώσεις και Περιβαλλοντικός Ρόλος



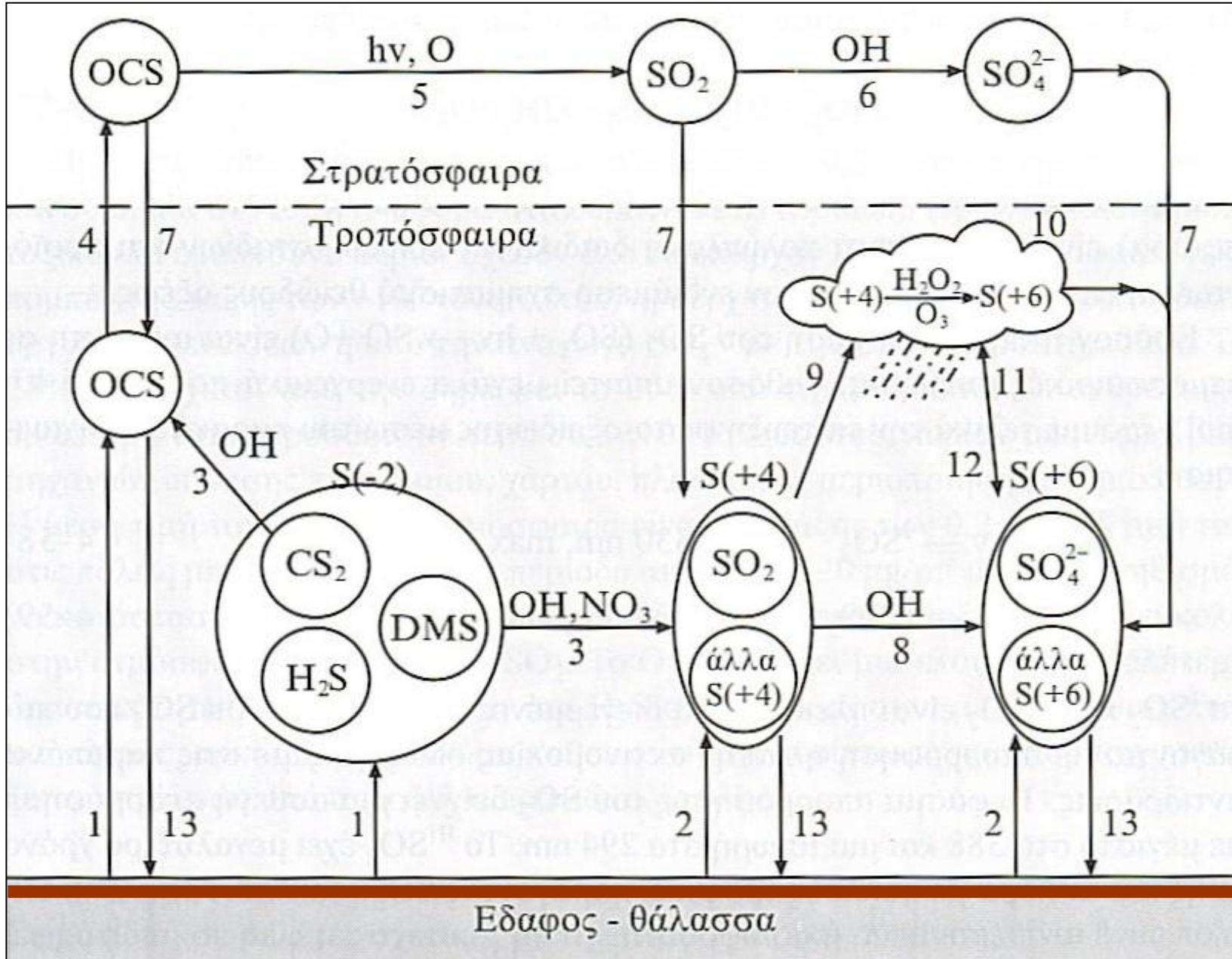
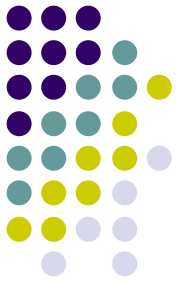
- Πρόδρομος της όξινης βροχής (H_2SO_4)
- Οξίνιση εδαφών και υδάτινων οικοσυστημάτων
- Βλάβες στη βλάστηση και διάβρωση υλικών/μνημείων
- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (αναπνευστικό σύστημα, λεπτά σωματίδια $\text{PM}_{2.5}$)
- Κλιματική επίδραση: τα θειικά αερολύματα έχουν καθαρή ψυκτική δράση
- Σημαντικό στοιχείο του βιογεωχημικού κύκλου του θείου

Οι ενώσεις S (κακόφημες-δύσοσμες)



Ένωση στο Περιβάλλον	Οξειδωτική βαθμίδα	Μορφή που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα
H ₂ S	-2	Αέρια
CH ₃ SCH ₃ (DMS)		Αέρια
CS ₂		Αέρια
OCS		Αέρια
CH ₃ SH		Αέρια
CH ₃ SSCH ₃	-1	Αέρια
S	0	Αέρια
CH ₃ SOCH ₃		Αέρια
SO ₂	+4	Αέρια
HSO ₃ ⁻		Υγρή
SO ₃ ²⁻		Υγρή
SO ₄ ²⁻ , H ₂ SO ₄ HSO ₄ ⁻	+6	Υγρά/αεροζόλ Αέρια υγρά/αεροζόλ Υγρά/αεροζόλ

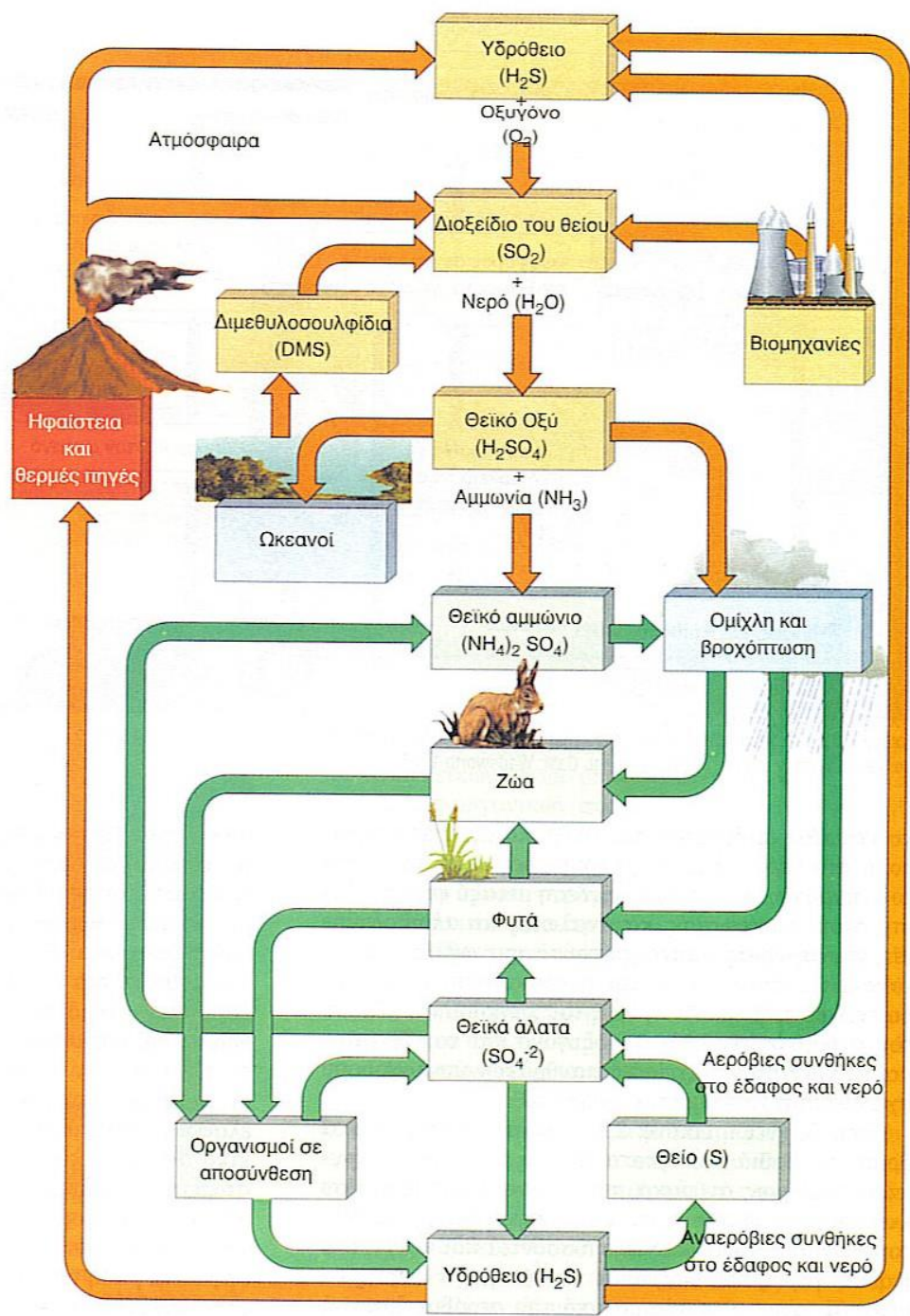
Ο κύκλος του S στην ατμόσφαιρα



Ο ατμοσφαιρικός κύκλος του Θείου

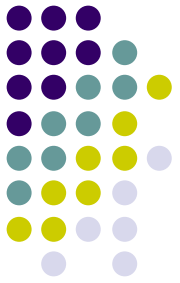


- Υδρόθειο (H_2S) \longrightarrow Αντίδραση με Υδροξύλιο (OH) \longrightarrow
 \longrightarrow Άλλες αντιδράσεις \longrightarrow Παραγωγή διοξειδίου
του θείου (SO_2)
- Διοξειδίου του Θείου (SO_2) \longrightarrow Οξείδωσή του \longrightarrow
 \longrightarrow Σχηματισμός θειικού οξέος (H_2SO_4)



Ο κύκλος του S

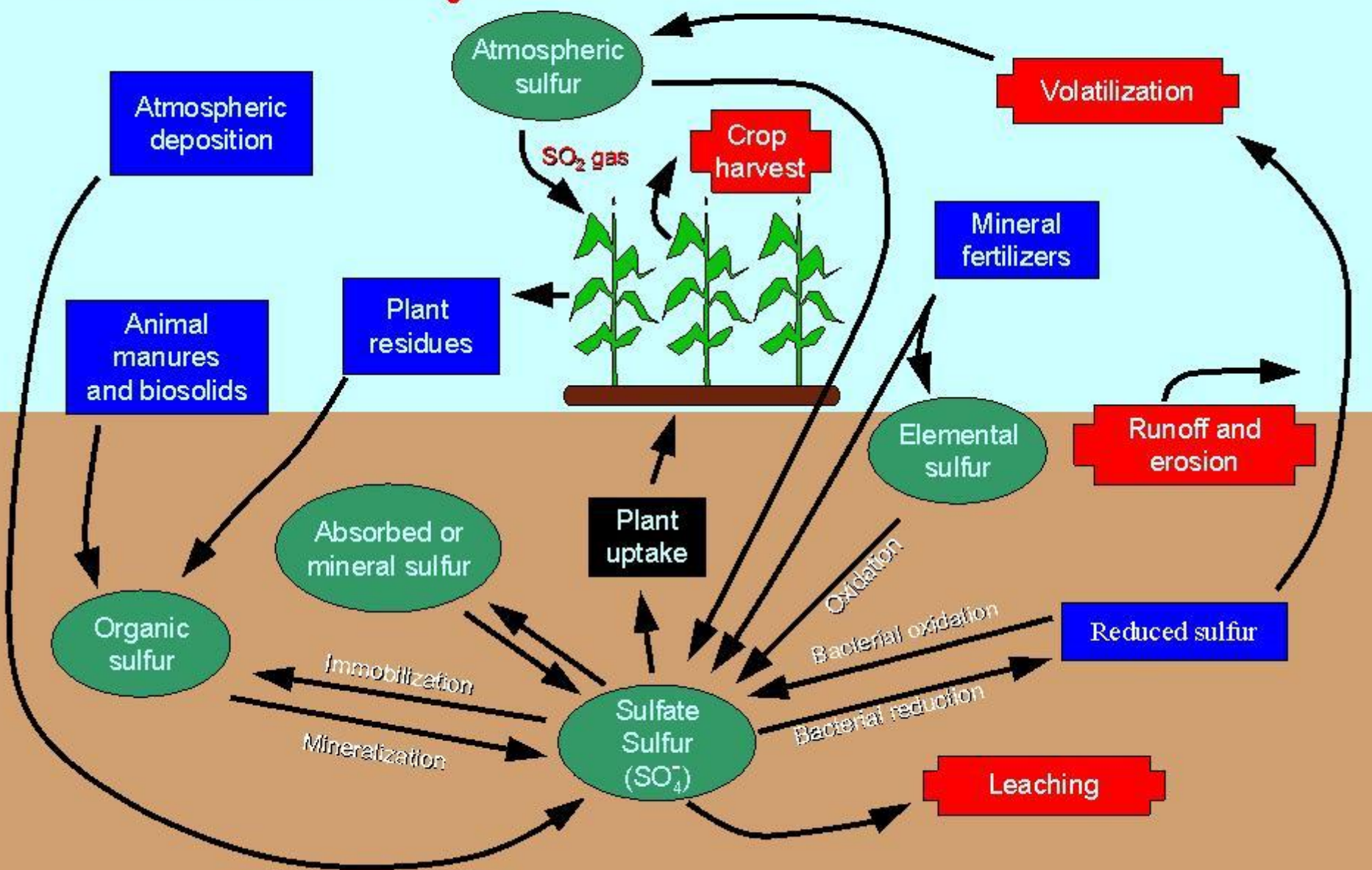
Ο ατμοσφαιρικός κύκλος του Θείου



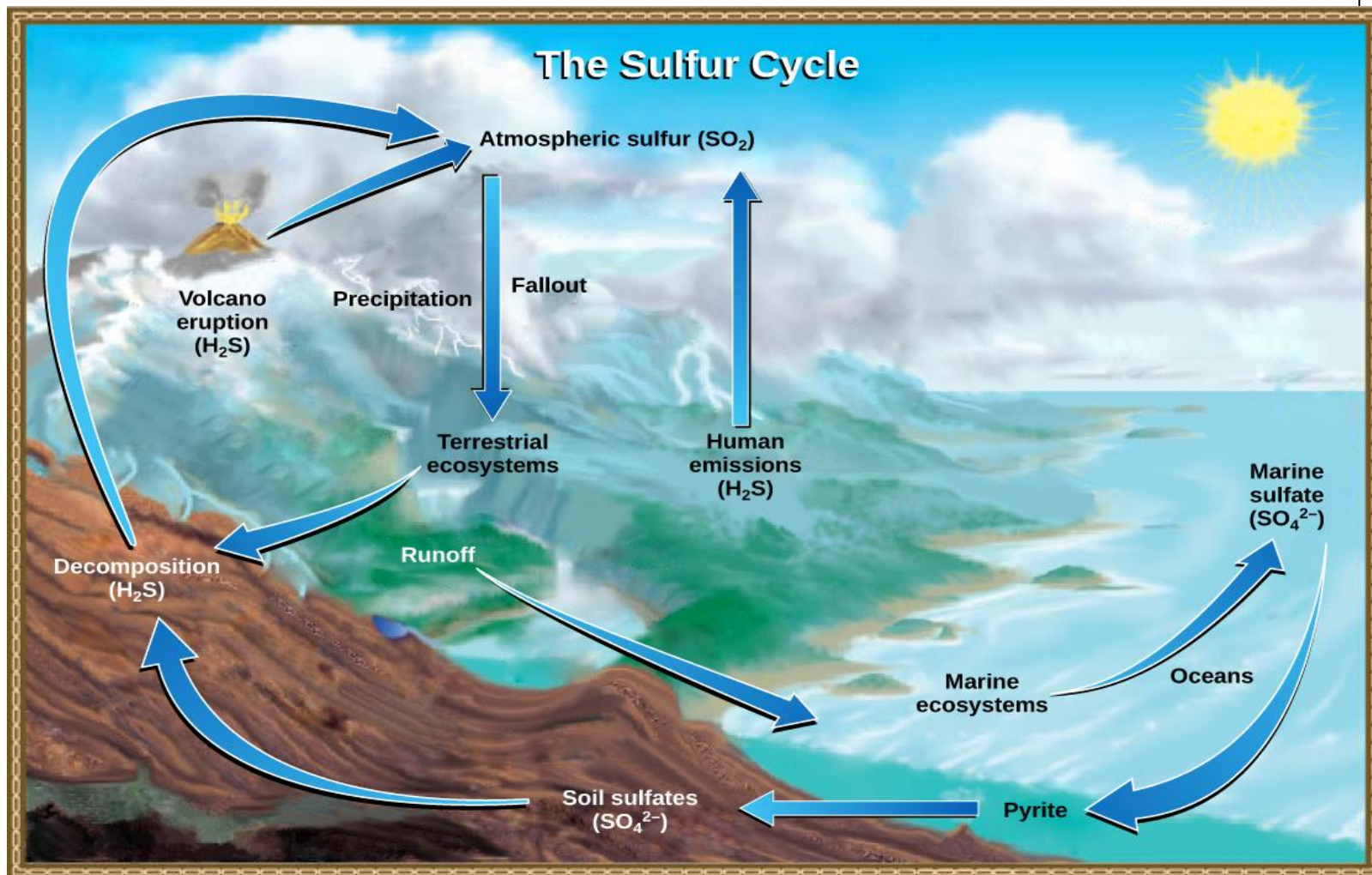
- Το Θείο στην ατμόσφαιρα βρίσκεται στη σωματιδιακή και στην αέρια φάση.
- Ένα από τα αέρια που συναντάται είναι το υδρόθειο (H_2S) που σχηματίζεται από αναερόβια βακτηριδιακή αναγωγή των θεικών ιόντων.
- Φυσιολογικές τιμές: μεταξύ 30 και 100 ppt
- Υψηλότερες τιμές = Ρύπανση (αστικά κέντρα, έλη, βάλτοι κ.α.)

The Sulfur Cycle

Component Input to soil Loss from soil



Ο ατμοσφαιρικός κύκλος του Θείου

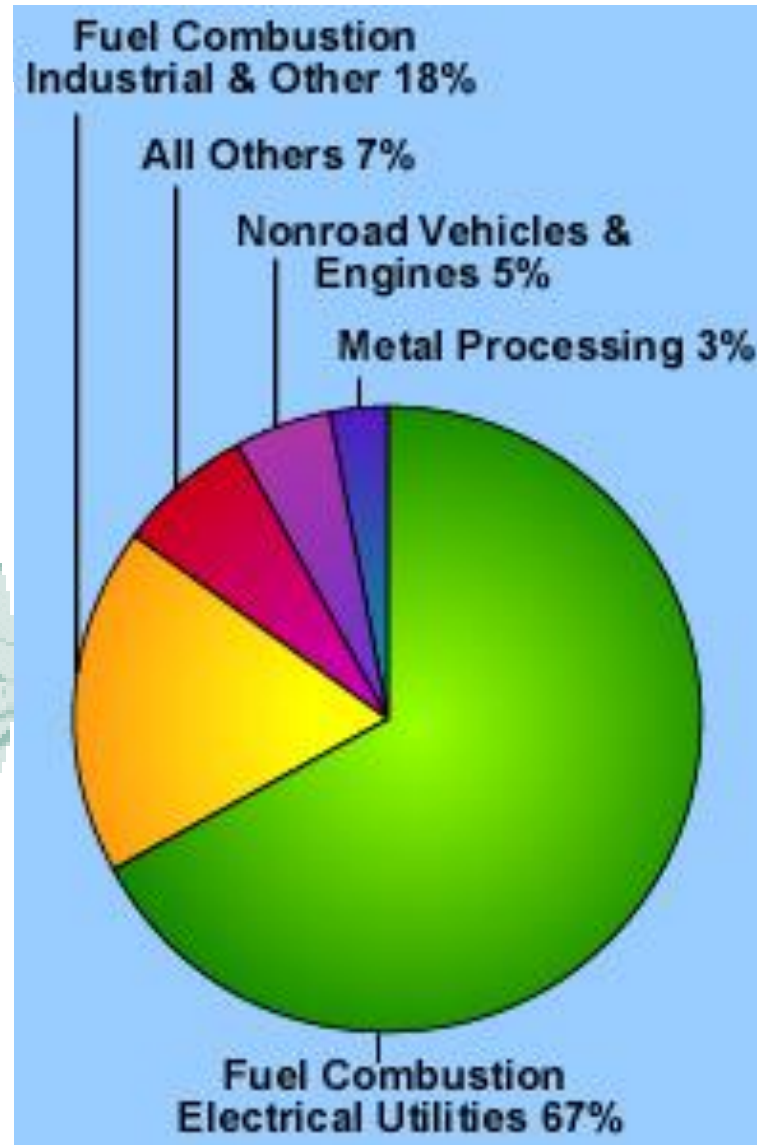
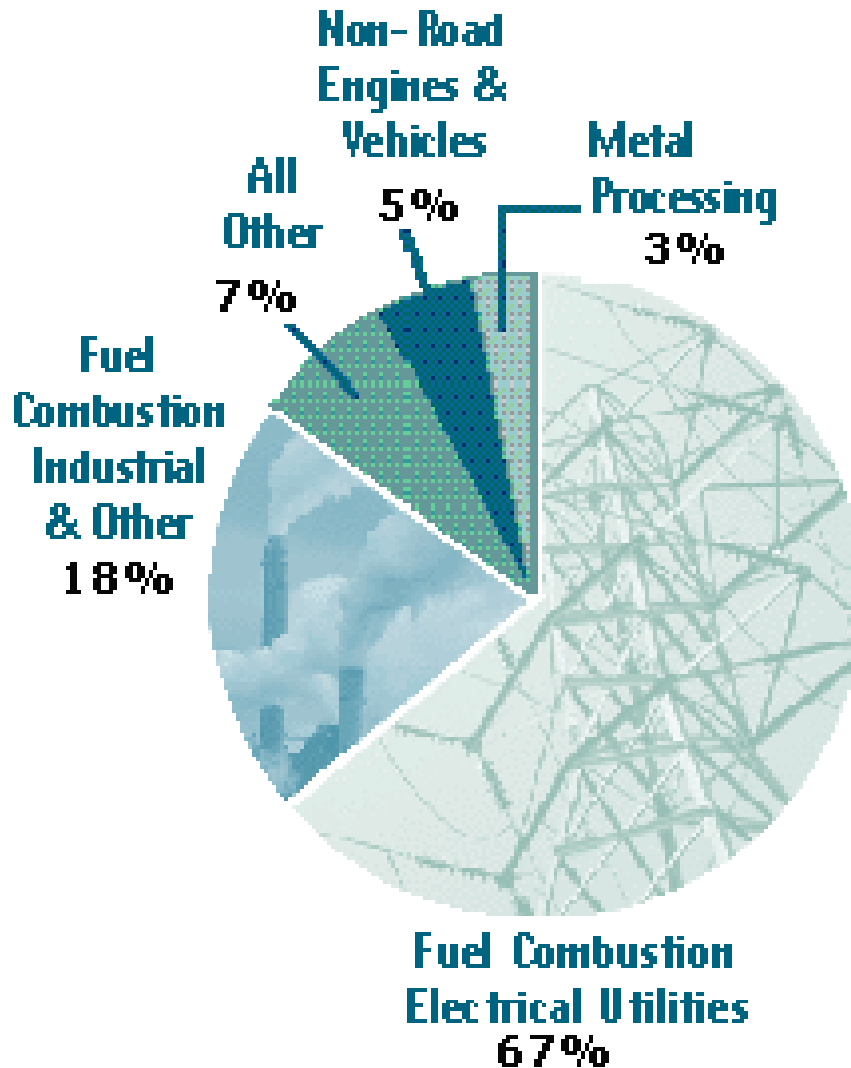
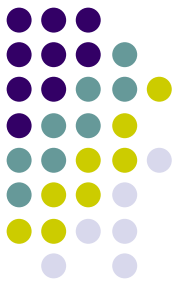


Διοξείδιο του Θείου (SO₂)

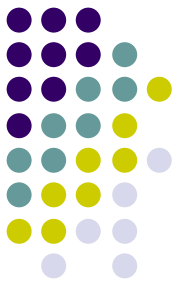


- Πηγές (ανθρωπογενείς / φυσικές = 0,5 / 1)
 - Ηφαίστεια, θερμές πηγές
 - Καύση C (0-6% κ.β. σε S) (>100 εκ. τόνοι S/έτος)
 - Καύση & διύλιση πετρελαίου (<0,05% κβ S) (>30 εκ. τόνοι S/έτος)
 - Μεταλλουργικές βιομηχανίες (φρύξη σουλφιδίων) (>20 εκ. τόνοι S/έτος)
- Μεγάλη ευαισθησία του ανθρώπινου οργανισμού (όριο αντίληψης 0,3 ppm, δυσαρέσκεια 1 ppm, αναπνευστικές διαταραχές 5 ppm)
- Η πλειονότητα των προαναφερθέντων επεισοδίων ρύπανσης οφείλεται στο SO₂ και στις επικρατούσες ευνοϊκές συνθήκες για παραγωγή H₂SO₄
- Υψηλή ευαισθησία και της χλωρίδας στο SO₂
- Υψηλή ευαισθησία και διαφόρων υλικών στο SO₂ (μεταλλικές κατασκευές, οικοδομικά υλικά, μπογιά, υφάσματα, μάρμαρα – φαινόμενο γυψοποίησης)
- Η οξείδωση του SO₂ που είναι ο κύριος «καταστροφικός» μηχανισμός, επηρεάζεται από θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ύπαρξη σωματιδίων-καταλύτες (Mn, Fe, Cu, Cr₂O₃, Al₂O₃ κτλ.)

SO₂ - Πηγές

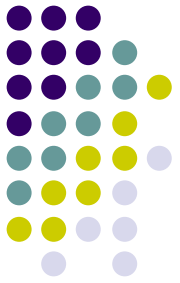


Διοξείδιο του Θείου (SO₂)



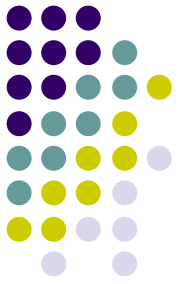
- Το σημαντικότερο συστατικό της όξινης βροχής
- Παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων
- Οξειδώνεται το θείο που περιέχει το καύσιμο
- Σχηματίζει σωματίδια θειικού οξέος
- Σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί το φαινόμενο της όξινης βροχής
- Στην σωματιδιακή μορφή βρίσκεται θείο στα θειικά αερολύματα

Υδρόθειο (H_2S)



- Άχρωμο και εύφλεκτο αέριο
- Χαρακτηριστική οσμή ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις (3 – 15 ppbv)
- Τοξικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις
- Εκπέμπεται από τις διαδικασίες επεξεργασίας αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου και από κάποιους καταλύτες αυτοκινήτων
- Το ξηρό αέριο δεν είναι διαβρωτικό
- Με παρουσία υγρασίας προσβάλλει διάφορα υλικά

Υδροθείο (H₂S)



- Πηγές
 - Ανθρωπογενείς (βιομηχανίες πετρελαίου, χάρτου, πλαστικών ~10⁸ τόνοι/έτος)
 - Φυσικές (ηφαίστεια, αναερόβια αποσύνθεση οργανικών ενώσεων ~3×10⁶ τόνοι/έτος)
- Μέση ατμοσφαιρική συγκέντρωση ~0,2 ppb
- Συνήθης αστική ατμοσφαιρική συγκέντρωση ~15 ppb
- Αστική ατμοσφαιρική συγκέντρωση σε περίοδο αιχμής ~90 ppb
- «Βιομηχανικός» ρύπος
 - Κατώφλι οσμής : περίπου 1 ppm
 - Αναισθησία : περίπου 15 ppm

PM - Αιωρούμενα σωματίδια



- Αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη-αεροζόλ
- Ποικίλλουν σε αριθμό, μέγεθος, σχήμα, επιφάνεια, χημική σύσταση και διαλυτότητα.
- Διαθέτουν μια σειρά μορφολογικών, φυσικών, χημικών και θερμοδυναμικών ιδιοτήτων
- Είδη ατμοσφαιρικών ρύπων σωματιδιακής φύσης βάσει της φυσικής τους κατάστασης

- ❖ Σκόνες (1-1000 μm)
- ❖ Αναθυμιάσεις (0.03-0.3 μm)
- ❖ Καπνός (0.5-1.0 μm)
- ❖ Ιπτάμενη τέφρα (1.0-1000 μm)
- ❖ Αιθάλη
- ❖ Καταχνιά (0.07-10 μm)
- ❖ Ομίχλη (από 2-200 μm)
- ❖ Αχλύς (haze)



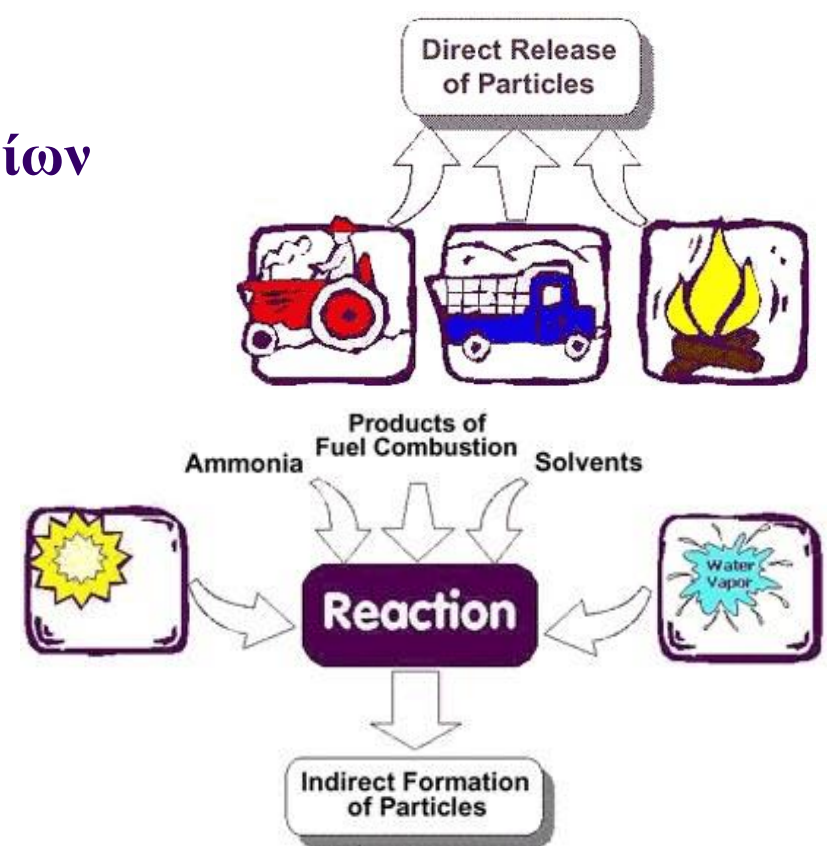
Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων

Πρωτογενή σωματίδια

- ❖ Φυσικές πηγές εκπομπής (διάβρωση και αποσάθρωση εδάφους, ανεμοθύελλες, ηφαίστεια, θάλασσα, πυρκαγιές, βιολογικές πηγές)
- ❖ Ανθρωπογενείς εκπομπές (οικιακή θέρμανση, μεταφορές, παραγωγή ενέργειας, επεξεργασία αποβλήτων)

Δευτερογενή σωματίδια

- ❖ Ανόργανα σωματίδια (οξείδωση πρωτογενών αερίων)
- ❖ Οργανικά σωματίδια (αντιδράσεις βιογενετικών εκπεμπόμενων ειδών)



PM - Αιωρούμενα σωματίδια



Pictures taken from a same location at same time of day, on two different days

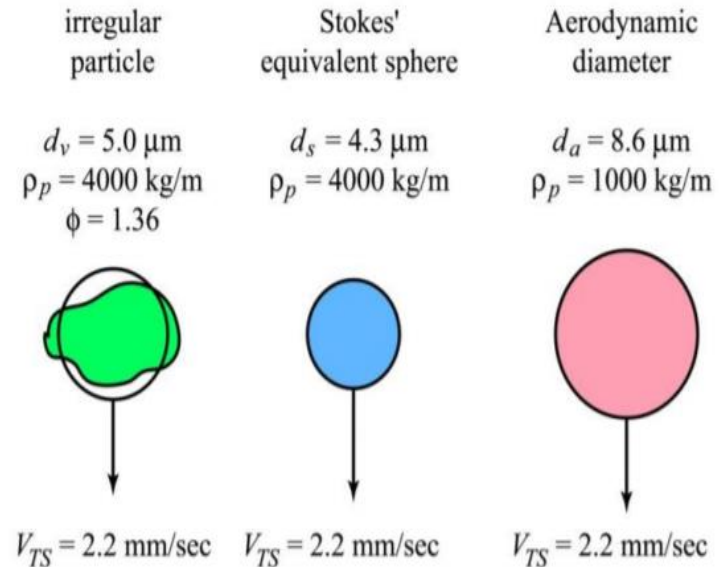


- Example: Chicago in the summer of 2000.
 - Left – a clear day: $PM\ 2.5 < 5\ \mu g/m^3$
 - Right – a hazy day: $PM\ 2.5 \sim 35\ \mu g/m^3$

Ταξινόμηση των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους



- Στις κατανομές κατά μέγεθος ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος της “ισοδύναμης διαμέτρου” του σωματιδίου
- Η διάμετρος Stokes (D_p)
- Η αεροδυναμική διάμετρος (D_a)
Ταξινόμηση σωματιδίων $> 0.5\mu\text{m}$
- 1987/1997 (US EPA) – PM_{10} / $\text{PM}_{2.5}$
- PM_{10} περιλαμβάνουν τα $\text{PM}_{2.5}$ σε ποσοστό 40-90%

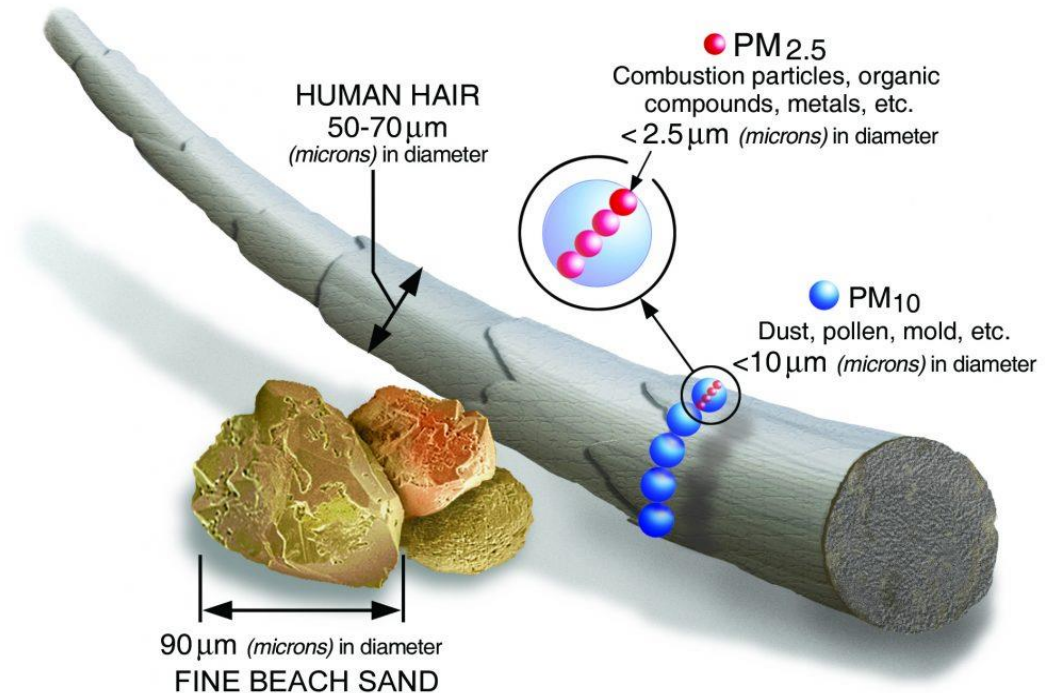


Comparison of equivalent volume diameter, Stokes diameter, and aerodynamic diameter.

Ταξινόμηση των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους



- Ολικά αιωρούμενα στερεά
(Total Suspended Particulates)
- Τα αδρομερή (coarse mode)
 - ❖ Μέγεθος $>2,5 \mu\text{m}$
- Λεπτομερή αιωρούμενα σωματίδια (fine mode)
 - ❖ Υποκατηγορία πυρήνα, μέγεθος 0.01 έως $0.1 \mu\text{m}$
 - ❖ Υποκατηγορία συσσώρευσης, μέγεθος 0.1 έως $2.5 \mu\text{m}$



Κατάταξη αιωρούμενων σωματιδίων με βάση την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό



- **Εισπνεύσιμα σωματίδια**

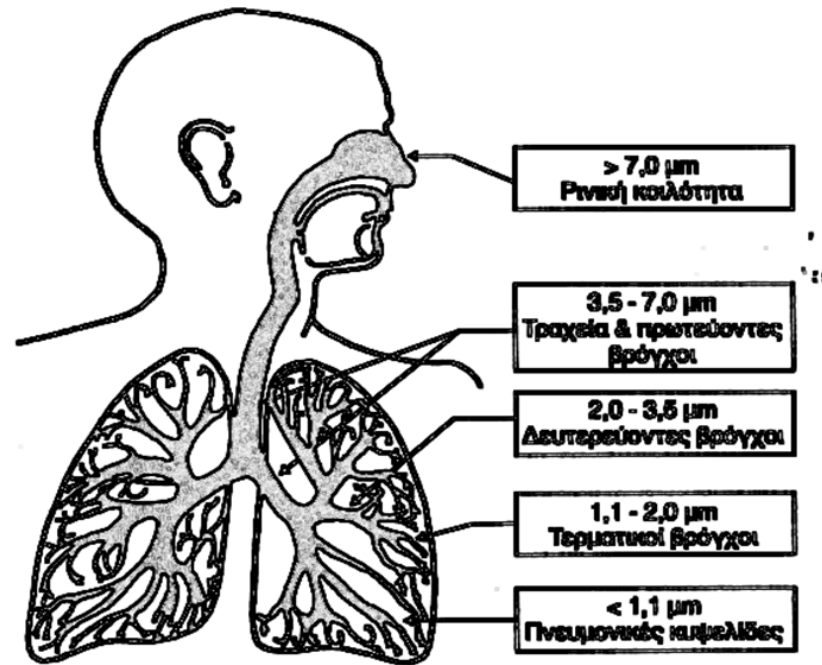
$D_a < 10\mu\text{m}$ εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού

- **Θωρακικά σωματίδια**

$D_a < 7\mu\text{m}$ διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού

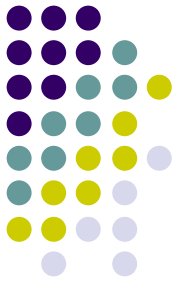
- **Αναπνεύσιμα σωματίδια**

$D_a \leq 2.5\mu\text{m}$, διεισδύουν έως τα βάθη των πνευμόνων

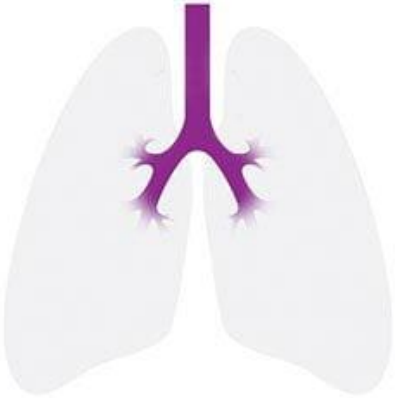


Διείσδυση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.

Αιωρούμενα σωματίδια



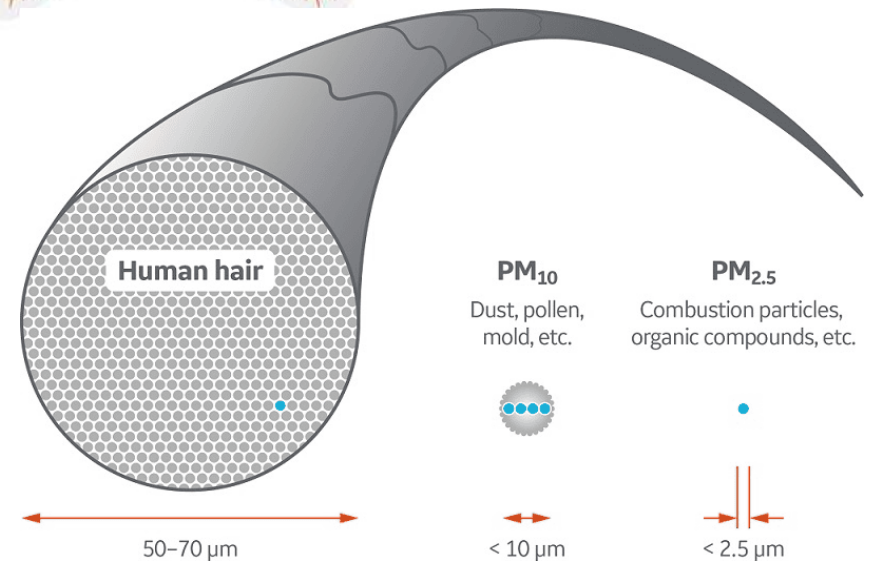
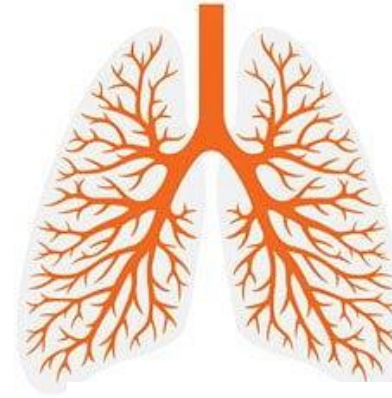
< 10 μm
PM10



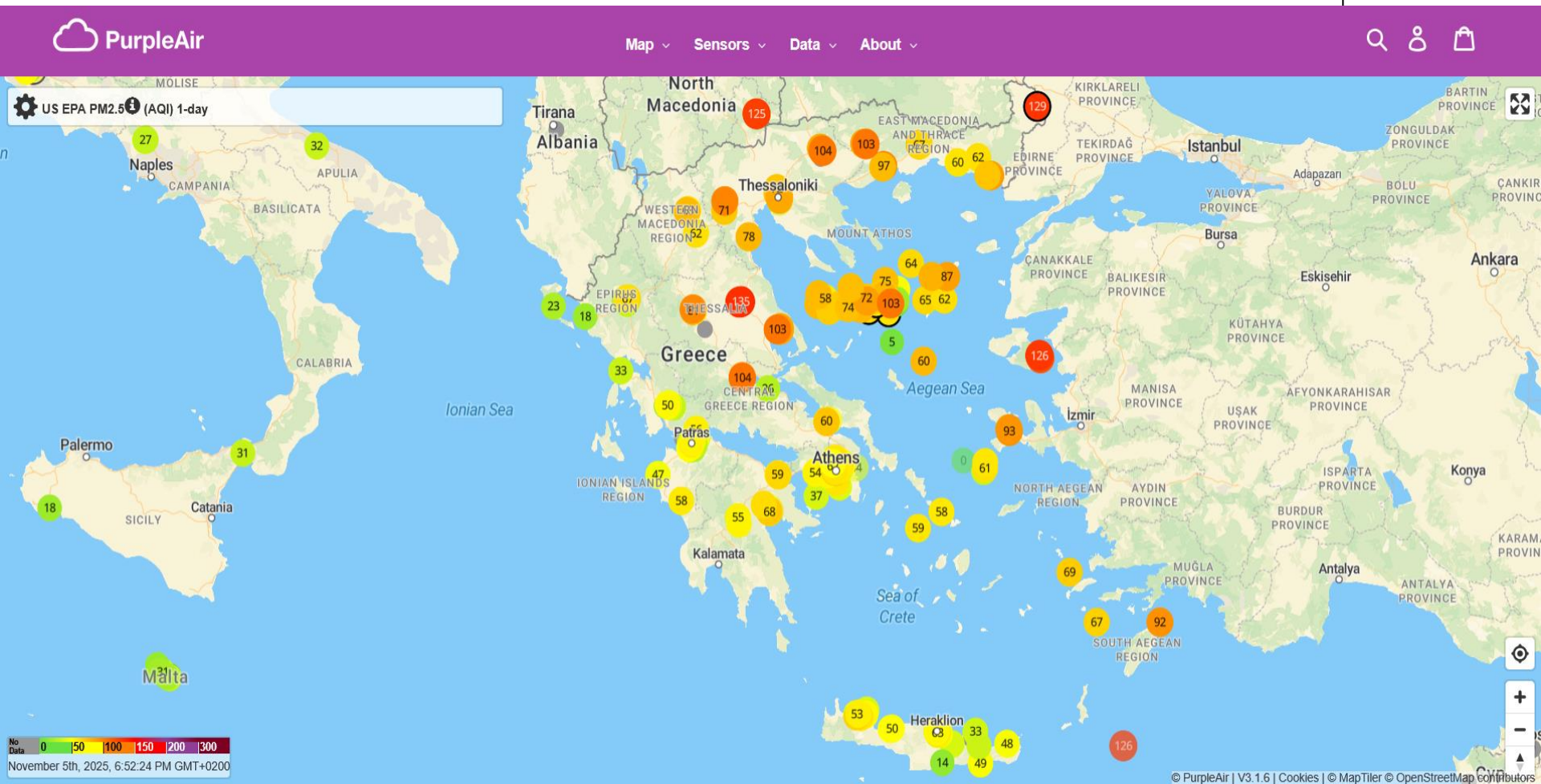
< 2,5 μm
PM2.5



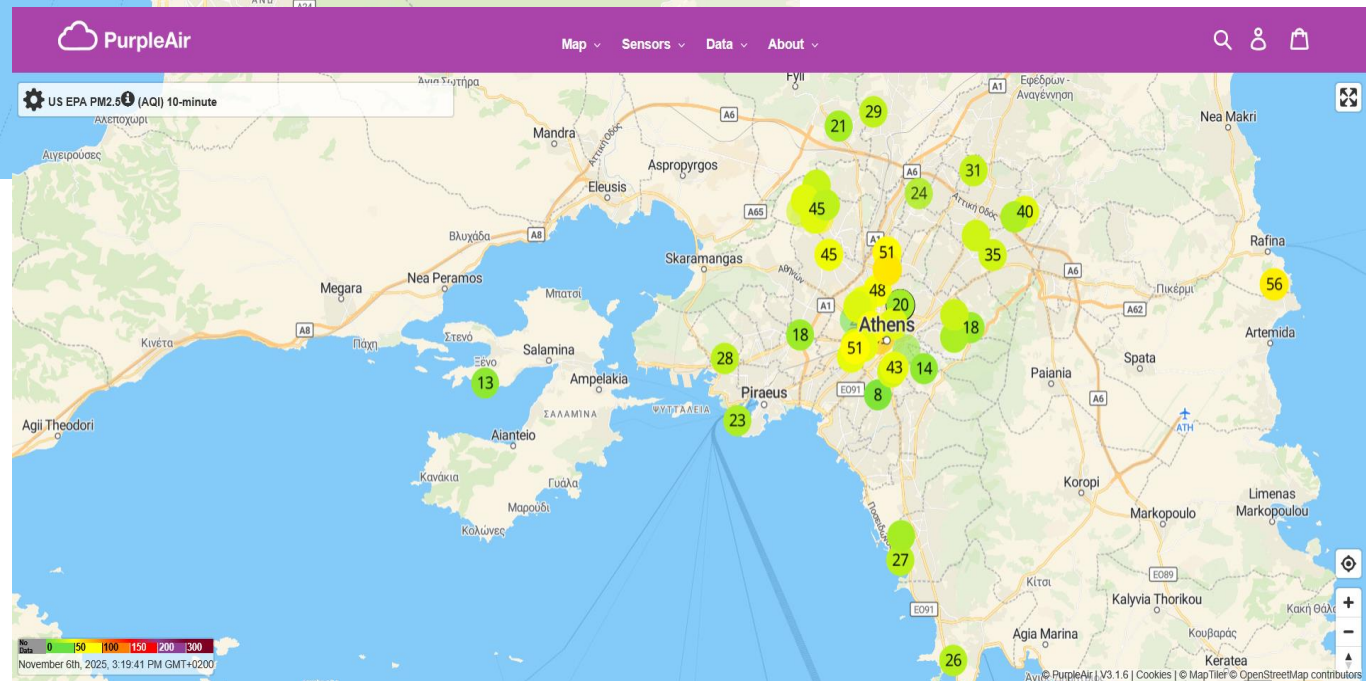
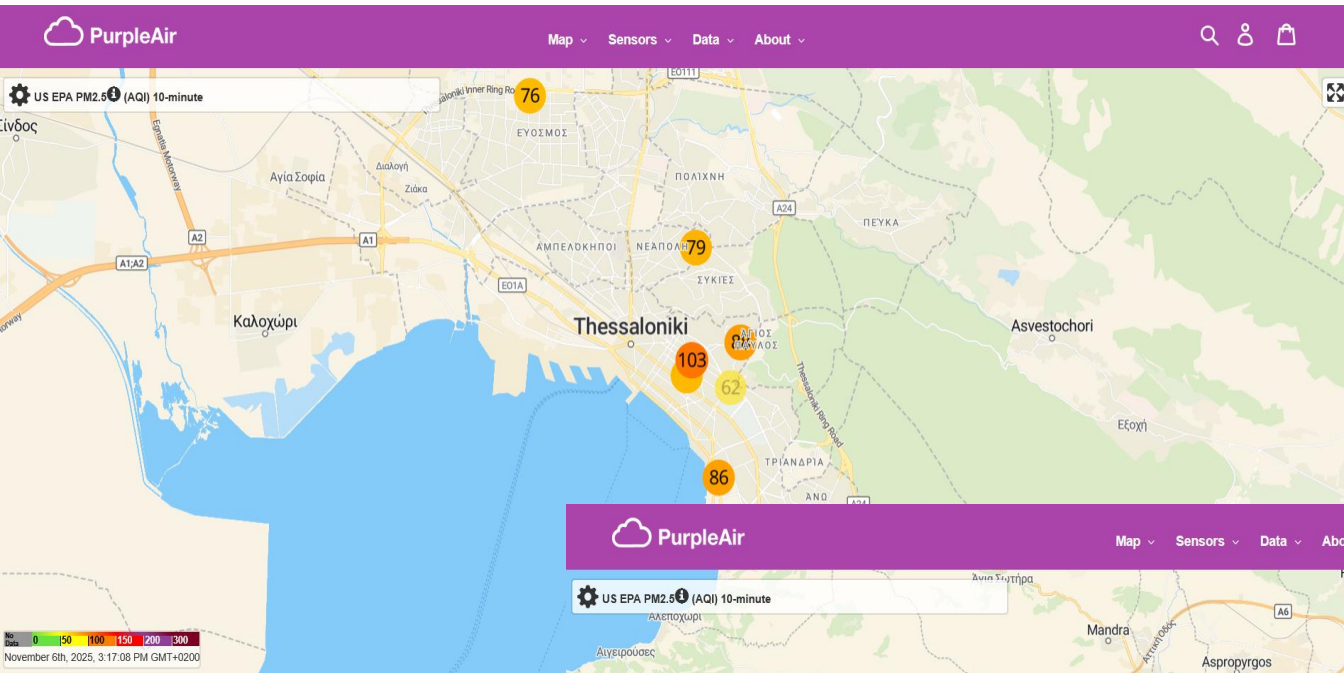
< 1 μm
PM1



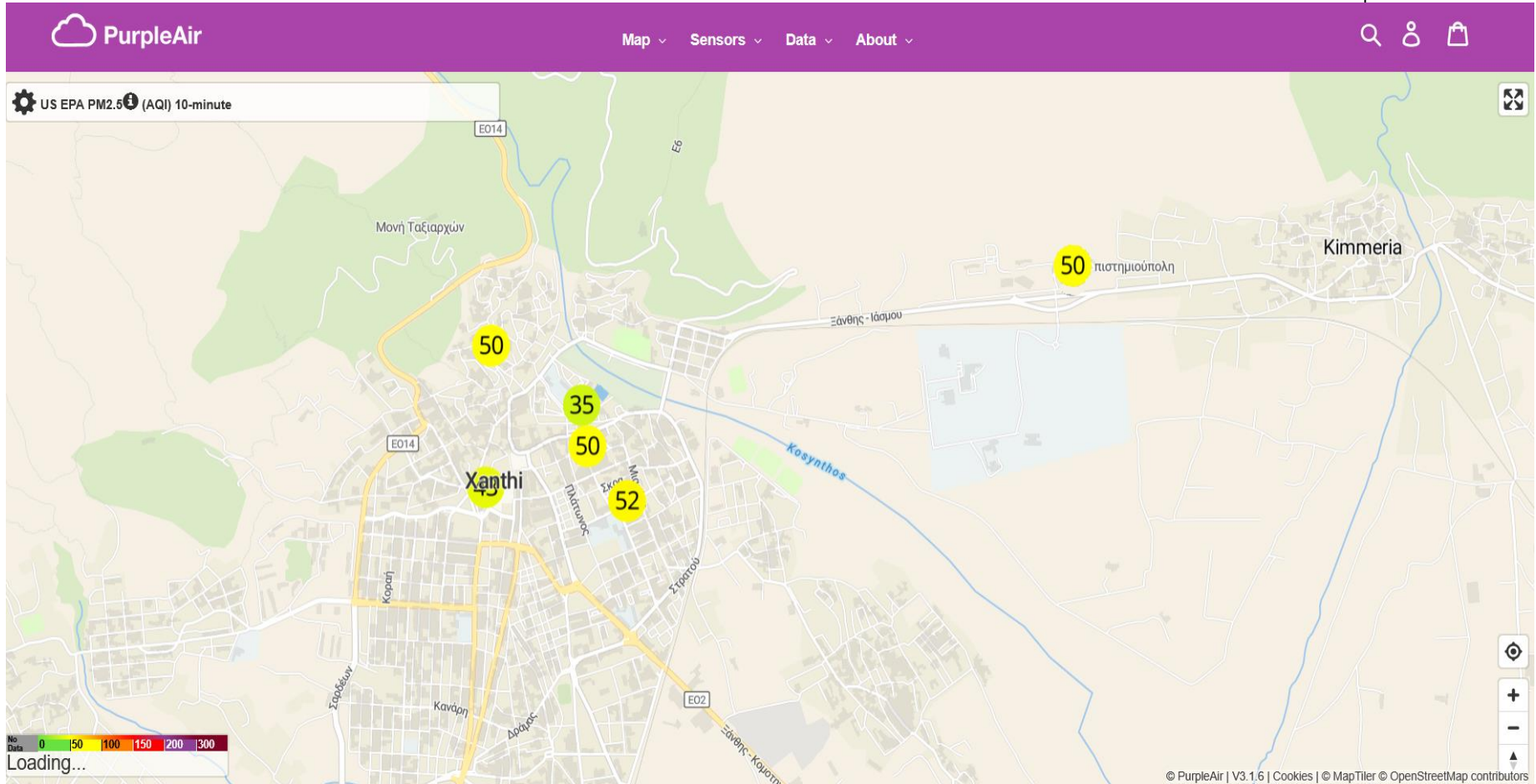
Παρατήρηση και μέτρηση PM



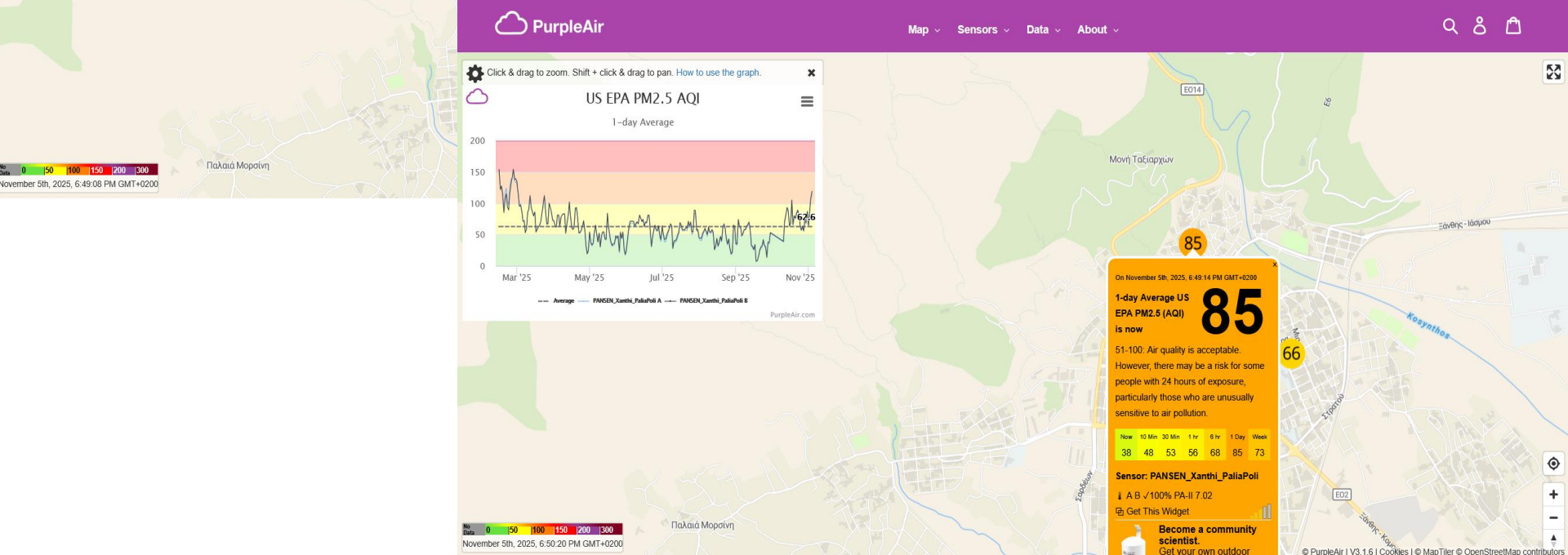
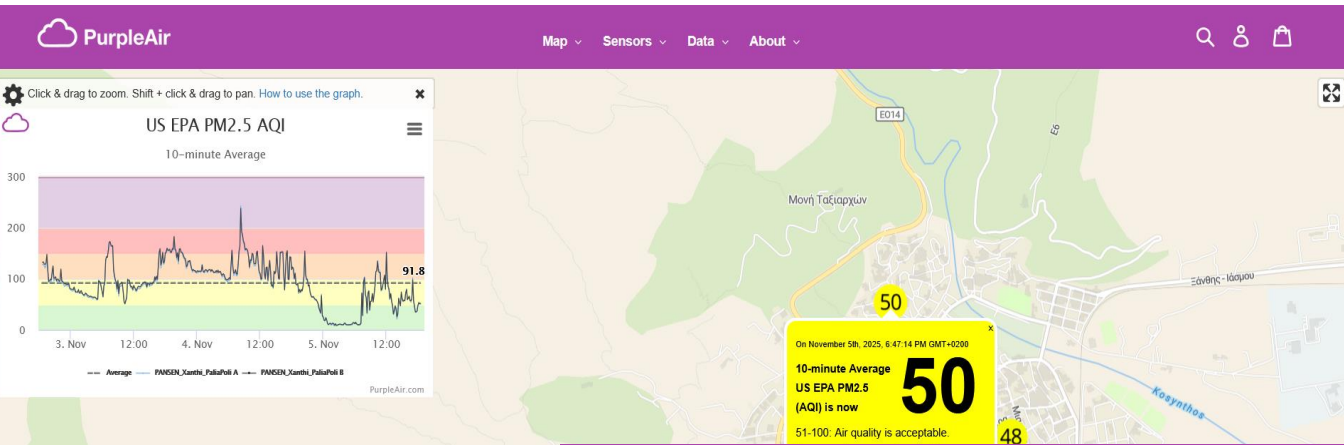
Παρατήρηση και μέτρηση PM



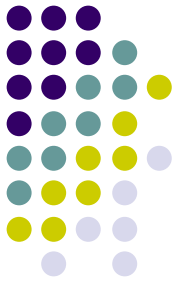
Παρατήρηση και μέτρηση PM



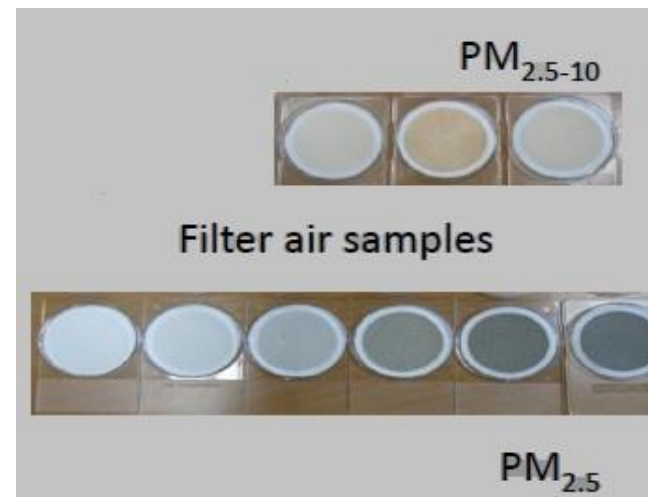
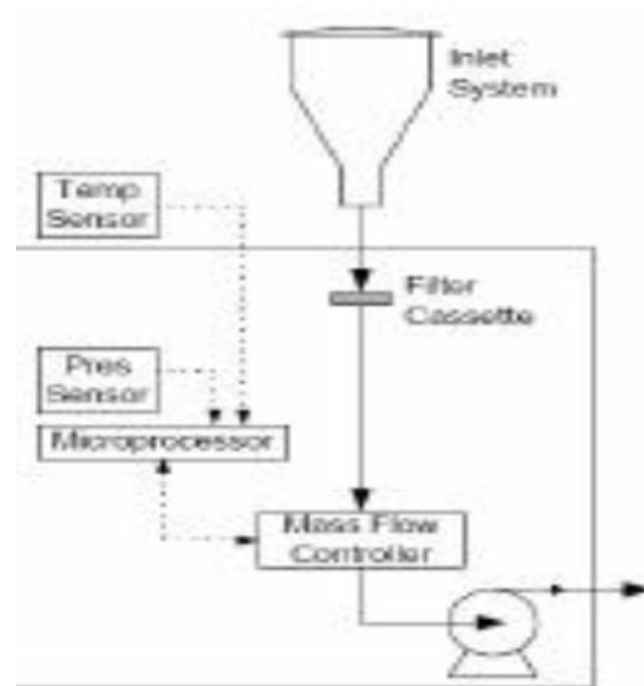
Παρατήρηση και μέτρηση PM



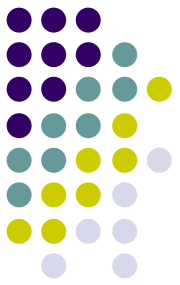
Παρατήρηση και μέτρηση ΡΜ



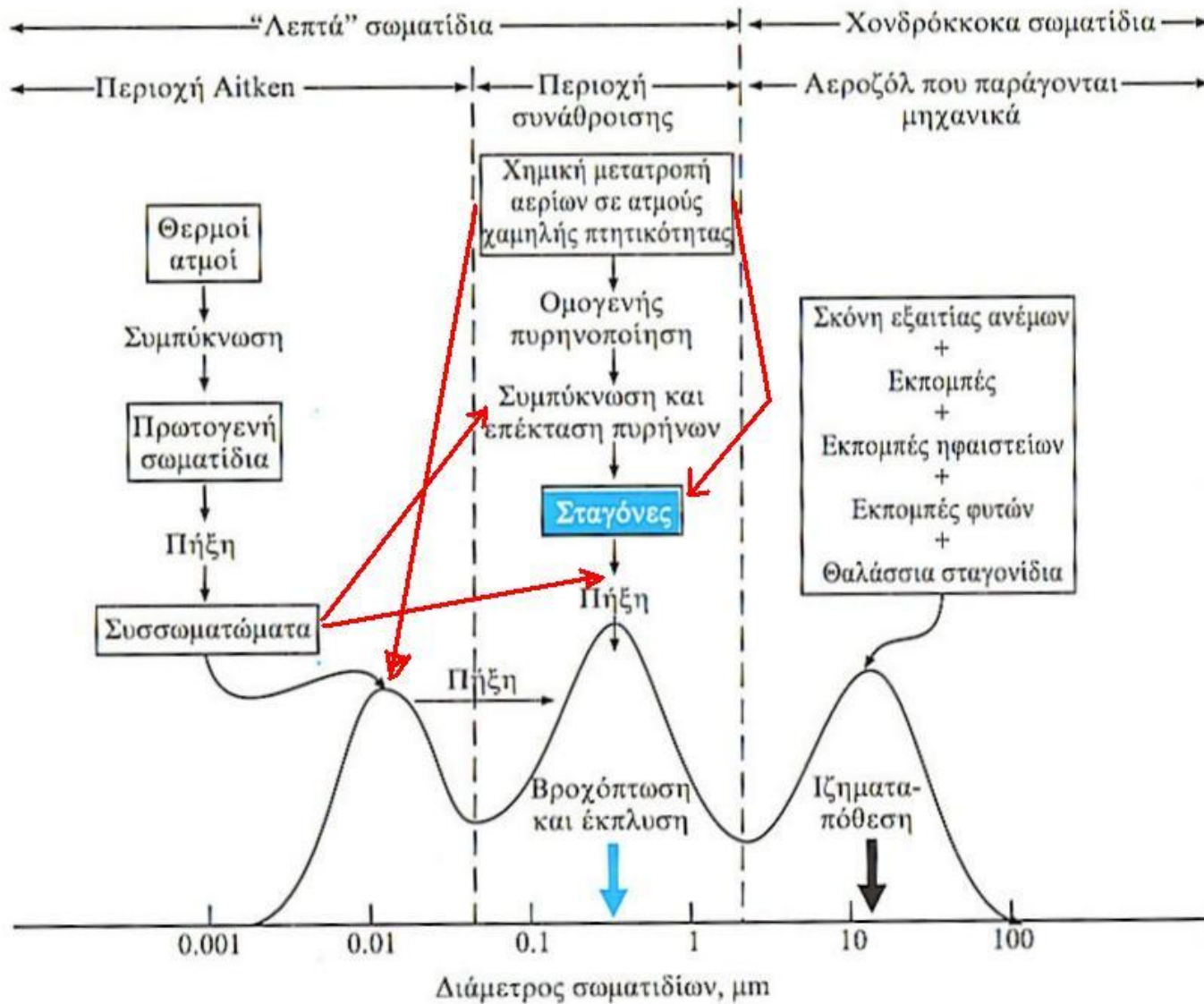
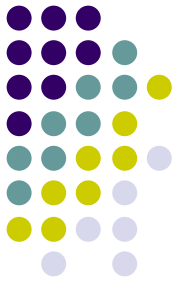
National Observatory of Athens equipment



Παρατήρηση και μέτρηση ΡΜ



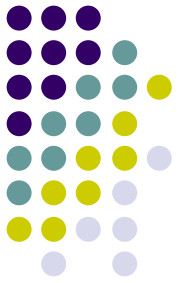
Σωματιδιακοί ρύποι



Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής επιφανείας ατμοσφαιρικού aerosol.

Πηγή: *Atmospheric chemistry and physics of air pollution, Seinfeld*

Σωματιδιακοί ρύποι



Global estimates of particles of natural origin < 20μm in diameter

Source	Emissions (Tg yr ⁻¹)
Soil and rock debris	50-250
Forest fires	1-50
Sea salt	300
Volcanic debris	25-150
Particles formed from gaseous emissions of H ₂ S, NH ₃ , NO _x , HCs	345-1100
Total natural particles	721-1850

Estimated annual anthropogenic particulate matter emissions in the US

Source category	Emissions (Tg yr ⁻¹)
Fuel combustion and industrial processes	10
Industrial processes fugitive emissions	3.3
Nonindustrial fugitive emissions	110-370
Transportation	1.3
TOTAL	125-385

Σωματιδιακοί ρύποι



Πρότυπα της ΕΕ για την ποιότητα του αέρα και κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ

Ρύπος	Περίοδος	Κατευθυντήριες γραμμές ΠΟΥ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Οριακές τιμές οδηγίας ΠΑΑ της ΕΕ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Αριθ. φορών ετησίως επιτρεπόμενης υπέρβασης των προτύπων της ΕΕ
NO_2	1 έτος	40	40	-
	1 ώρα	200	200	18
O_3	8 ώρες	100	120	25
$\text{A}\Sigma_{10}$	1 έτος	20	40	-
	24 ώρες	50 ^(α)	50	35
$\text{A}\Sigma_{2,5}$	1 έτος	10	25	-
	24 ώρες	25	-	-
SO_2	24 ώρες	20	125	3
	1 ώρα	-	350	24
	10 λεπτά	500	-	-

(α) Ο ΠΟΥ συνιστά να χρησιμοποιείται η εν λόγω κατευθυντήρια τιμή ως το 99ο εκατοστημόριο (3 υπερβάσεις).

Σωματιδιακοί ρύποι



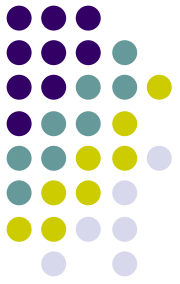
Αερολύματα (aerosols):

- Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα
- Αποτελούνται από ποικίλες χημικές ενώσεις, άλλα είναι υγρά και άλλα στερεά με διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες

Κύριες ιδιότητες των αερολυμάτων είναι:

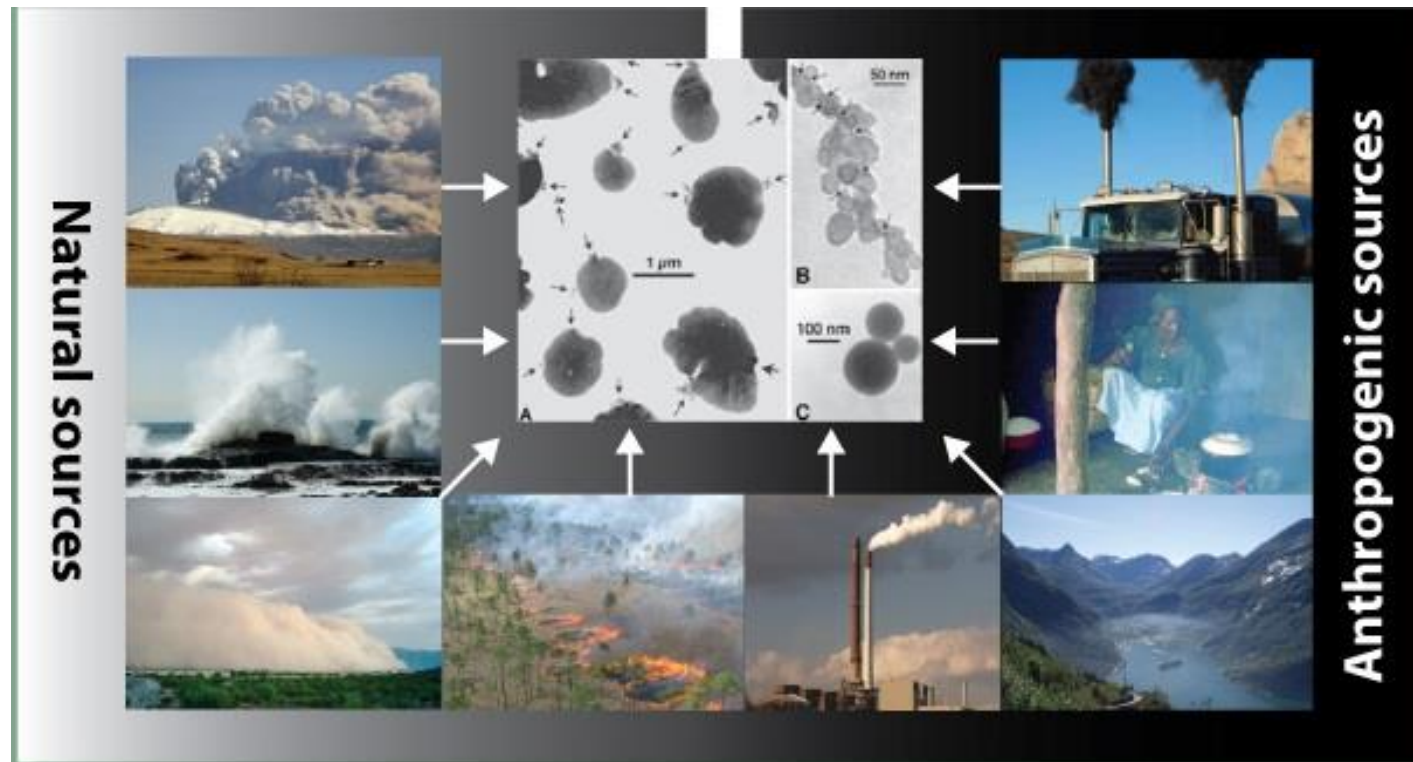
- το μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων που το αποτελούν
- οι οπτικές τους ιδιότητες
- η ικανότητά τους να έχουν φορτίο
- η ταχύτητα κατακάθισης
- η ειδική επιφάνεια (λόγος επιφανείας προς όγκο)

Σωματιδιακοί ρύποι

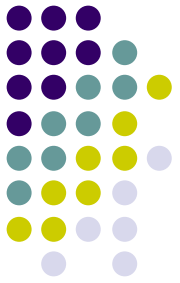


Τυπικά παραδείγματα
αερολυμάτων:

- σκόνη
- καπνός
- ομίχλη

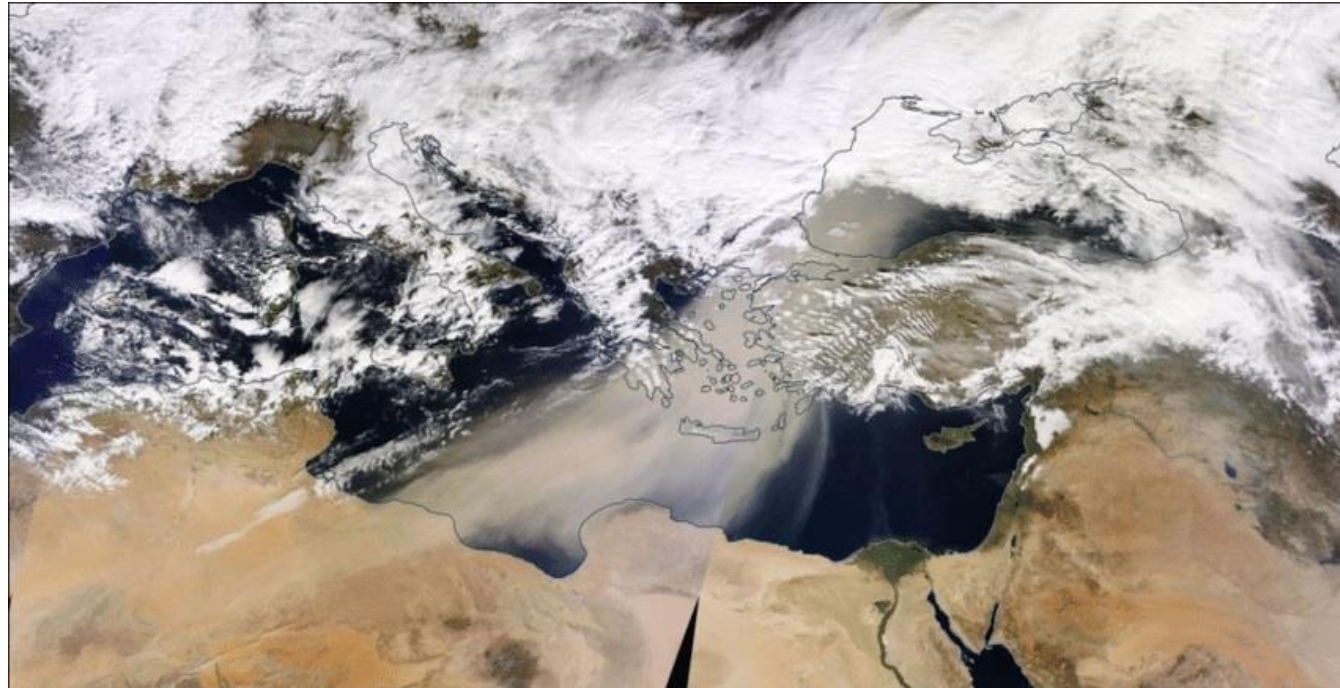


Σωματιδιακοί ρύποι



Σκόνη:

- δημιουργείται συνήθως από τη μηχανική κονιορτοποίηση στερεάς ύλης
- τα σωματίδια της σκόνης έχουν ακανόνιστο σχήμα
- το μέγεθος των σωματιδίων είναι περίπου μεταξύ 1-200 μm
- παραδείγματα σκόνης είναι η Αφρικανική σκόνη, ιπτάμενη τέφρα, σκόνη από ορυκτά κ.α.



Σωματιδιακοί ρύποι

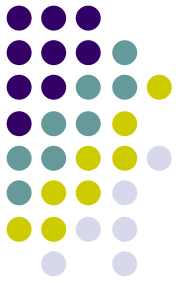


Καπνός:

- προκύπτει συνήθως από την καύση οργανικών υλικών (ξύλο, κάρβουνο κ.α.)
- τα σωματίδια του καπνού έχουν ακανόνιστο σχήμα
- το μέγεθος των σωματιδίων είναι περίπου μεταξύ 0,01-10 μm



Σωματιδιακοί ρύποι



Ομίχλη:

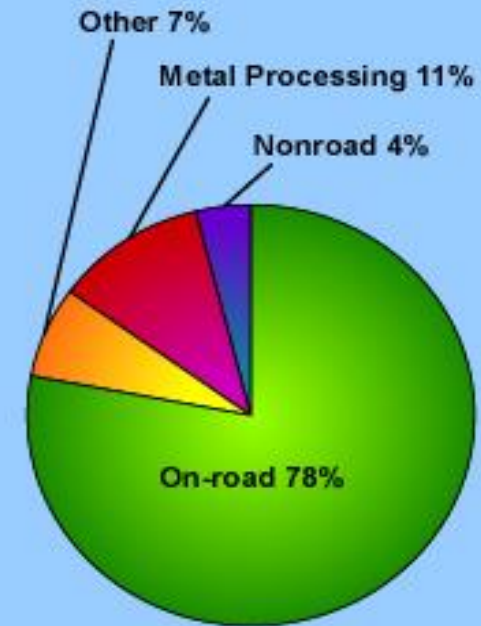
- σχηματίζεται από τη συμπύκνωση υδρατμών σε κατάλληλους πυρήνες
- τα σωματίδια έχουν μέγεθος περίπου μεταξύ 2-200 μm



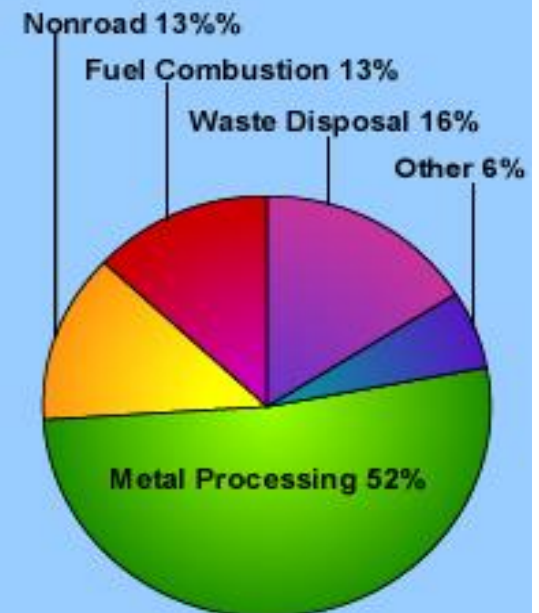
Άλλοι ρύποι

- Αλογόνα
 - Χλώριο (Cl) και παράγωγα
 - Φθόριο (F) και παράγωγα
 - Freons
- Μόλυβδος (Pb)
- Κάδμιο (Cd)
- Υδράργυρος (Hg)

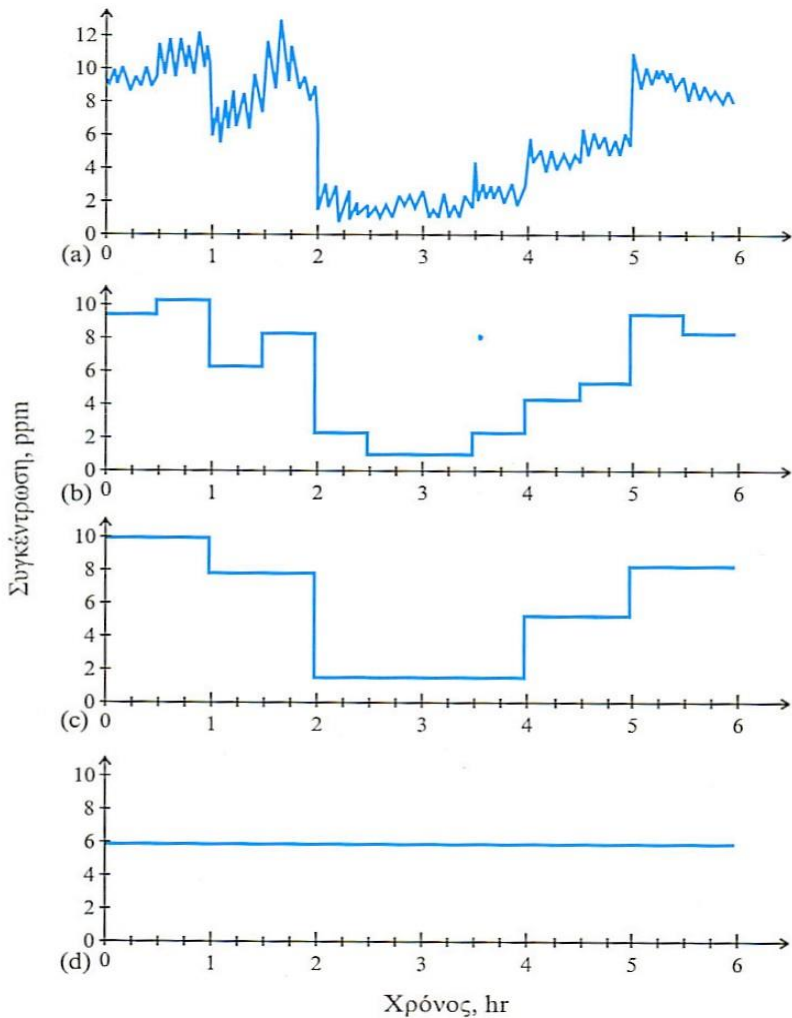
1970 Lead Emission Sources



1997 Lead Emission Sources



Μετρήσεις ρύπων

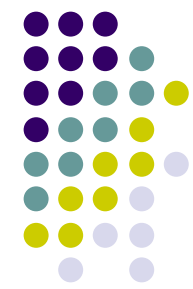


Συνεχής καταγραφή

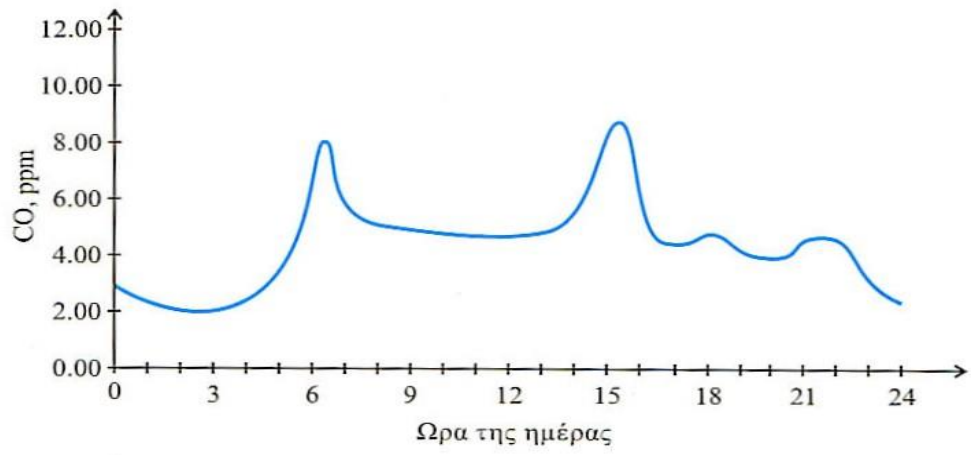
Μη συνεχής καταγραφή
(0,5 hrs)

1 hr

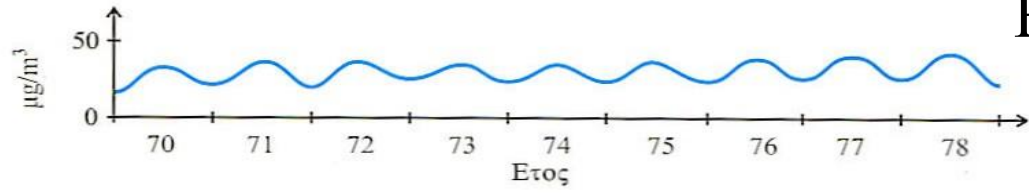
6 hrs



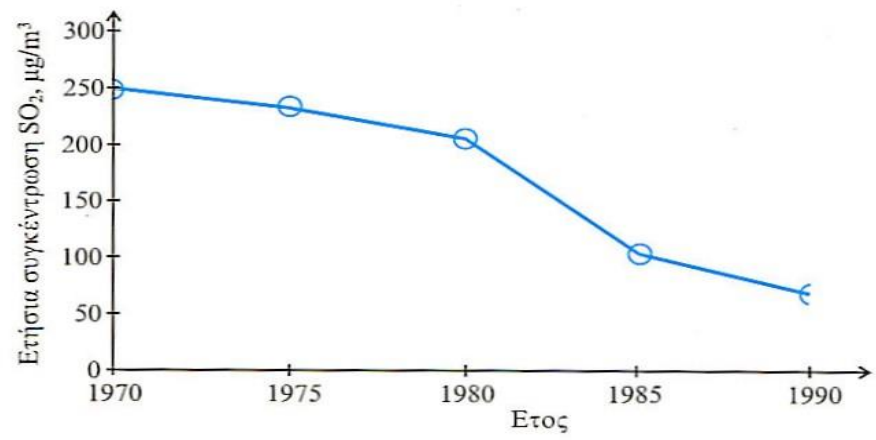
Κύκλοι διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης



Ημερήσιος κύκλος
(CO σε πόλη των ΗΠΑ)

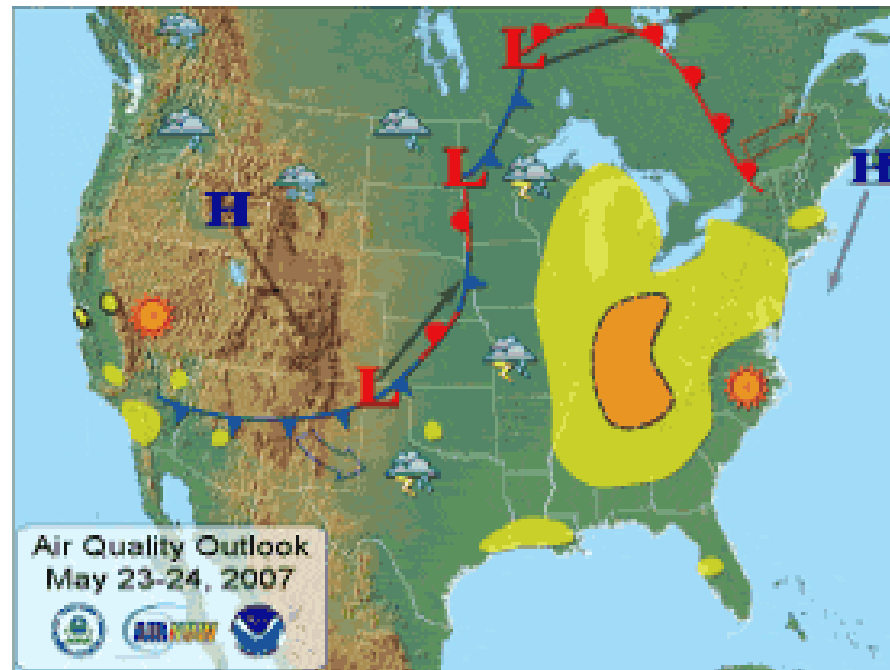


Εποχιακός κύκλος
σε αστικό περιβάλλον) (ΟΑΣ)



Ετήσιος κύκλος
(SO₂ στο Μιλάνο)

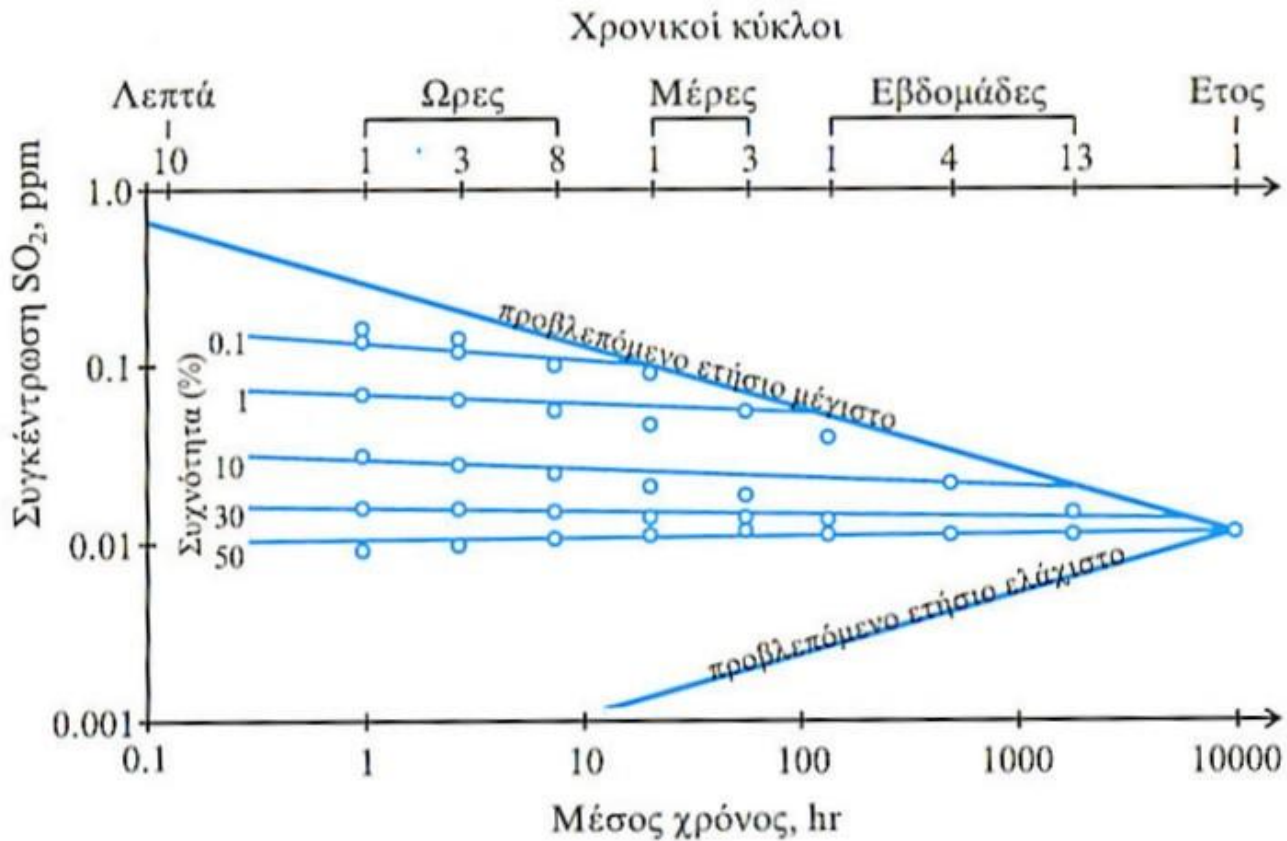
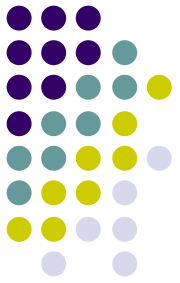
Χρονικοί κύκλοι



Πίνακας. Συγκεντρώσεις διαφόρων ρύπων σε διαφορετικούς χρονικούς κύκλους

Ρύπος	Πόλη	Μέγιστη μέση τιμή συγκέντρωσης σε ppb, για διαφορετικούς κύκλους			
		1hr	1 μέρα	1 μήνας	1 έτος
CO	Νέα Υόρκη	30,896	11,713	6,014	5,217
SO ₂	Μαϊάμι	2,537	228	27	13
O ₃	Λος Άντζελες	290	72	38	23

Διάταξη βέλους (arrowhead chart)



Συνοπτικά



- Σύσταση καθαρού αέρα
- Κατηγορίες ρύπων (Πρωτογενείς-Δευτερογενείς ρύποι)
- Ο κύκλος του Άνθρακα
- Θερμοκηπιακά αέρια και Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
- Εκπομπές CO₂ - Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) - Μεθάνιο (CH₄)
- Υδρογονάνθρακες (HCs)
- Φωτοχημικά Οξειδωτικά (PO)
- Ο κύκλος του Αζώτου
- Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) - NO_x – NH₃
- Ο κύκλος του Θείου
- Πηγές Θείου στην Ατμόσφαιρα
- Διοξείδιο του Θείου (SO₂) - Υδρόθειο (H₂S)
- Αιωρούμενα σωματίδια - Παρατήρηση και μέτρηση PM
- Σωματιδιακοί ρύποι
- Κύκλοι διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ερωτήσεις - Συζήτηση

