



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ: **ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και
Φυσικών Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος
& Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- **Αερολύματα (aerosols) ή αιωρούμενα σωματίδια (particulate matters, PMs):** στερεά ή υγρά (υδροσταγόνες) σωματίδια τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα
 - **Αιωρούμενα Σωματίδια:** είναι συνδυασμοί πολλών μορίων πολλές φορές διαφορετικών μεταξύ τους
 - **Περιλαμβάνουν:** ιόντα, συμπλέγματα μορίων, κρυστάλλους πάγου, σκόνη, σωματίδια καπνού, σταγόνες βροχής, γύρη, κ.λ.π.
 - **«Ωριμάζουν» στην ατμόσφαιρα μέσω διαφόρων διαδικασιών:**
 - λειτουργούν σαν πυρήνες πάνω στους οποίους συμπυκνώνονται οι υδρατμοί
 - αντιδρούν χημικά με άλλα αέρια της ατμόσφαιρας ή υδρατμούς και σχηματίζουν διάφορες συνθέσεις
 - συγκρούονται μεταξύ τους και τείνουν να συγκολληθούν εξ' αιτίας ελκτικών δυνάμεων δημιουργώντας μεγαλύτερα συσσωματώματα

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- **Ταξινομούνται:** με βάση διάφορα κριτήρια όπως:
 - ✓ την προέλευση τους
 - ✓ την χημική σύσταση τους
 - ✓ το μέγεθος τους

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- Τα αερολύματα με βάση την προέλευση τους ταξινομούνται σε:

| Φυσικά | Ανθρωπογενή |
|---|---|
| <p><u>Πρωτογενή</u> Σκόνη & άμμος εδάφους (Mineral aerosol) Θαλάσσια (Sea salt - NaCl) Ηφαιστειακή στάχτη Οργανικά αερολύματα Βιολογικό υλικό (γύρη, σπόροι,...)</p> | <p><u>Πρωτογενή</u> Βιομηχανική σκόνη Αιθάλη (Soot) Καύση βιομάζας (πυρκαγιές)</p> |
| <p><u>Δευτερογενή</u> Θειικά από βιογενή αέρια Θειικά από ηφαιστειακό SO₂ Οργανικά από VOCs Νιτρικά από NO_x</p> | <p><u>Δευτερογενή</u> Θειικά από SO₂ Οργανικά από VOCs Νιτρικά από NO_x</p> |

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- Τα αερολύματα με βάση την προέλευση τους ταξινομούνται σε:
 - **Πρωτογενή αερολύματα (primary aerosols):** τα σωματίδια που φτάνουν στην ατμόσφαιρα απευθείας λόγω εκπομπών
 - **Δευτερογενή αερολύματα (secondary aerosols):** τα σωματίδια δημιουργούνται μέσω μετατροπής μορίων αερίων

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● Μηχανισμοί απομάκρυνσης σωματιδίων από την ατμόσφαιρα

- Κύριοι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ατμοσφαιρικών σωματιδίων είναι η **ξηρή & υγρή εναπόθεση**

- **Ξηρή εναπόθεση:** όταν ένα σωματίδιο έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή γενικότερα με το φυσικό περιβάλλον (έδαφος, επιφανειακά νερά, φυτά, ζώα, ανθρώπινες κατασκευές) και παραμένει έπειτα εκεί

- Όταν τα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους και δημιουργούν συσσωματώματα τότε αυξάνει το βάρος του αιωρήματος και επομένως και η πιθανότητα βαρυτικής εναπόθεσης στην επιφάνεια

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● Μηχανισμοί απομάκρυνσης σωματιδίων από την ατμόσφαιρα

- **Υγρή εναπόθεση:** όταν ένα σωματίδιο ενσωματώνεται σε σταγονίδια νερού και μεταφέρεται στο έδαφος μέσω του υετού (βροχή, χιόνι, χαλάζι ή ομίχλη)

□ Ανάλογα με τις εκπομπές και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, οι **χρόνοι παραμονής** των αιωρούμενων σωματιδίων στην τροπόσφαιρα κυμαίνονται από **λίγες μέρες** μέχρι **μερικές εβδομάδες**

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Δυναμικές & θερμοδυναμικές διαδικασίες στις οποίες μετέχουν τα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα**

□ **Συσσωμάτωση (coagulation)**: είναι η διαδικασία, κατά την οποία ατμοσφαιρικά σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής κίνησης που έχουν το ένα με το άλλο και σχηματίζουν μεγαλύτερα σωματίδια

□ **Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που οδηγούν στη συσσωμάτωση**

- η σχετική κίνηση μεταξύ των σωματιδίων που προέρχεται από την κίνηση Brown και που οδηγεί στη **θερμική συσσωμάτωση** (thermal coagulation)

- η σχετική κίνηση των σωματιδίων μπορεί να προέρχεται από εξωτερικές δυνάμεις (βαρύτητα, αεροδυναμικά φαινόμενα, ηλεκτροστατικές δυνάμεις) => η διεργασία ονομάζεται **κινηματική συσσωμάτωση**

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Δυναμικές & θερμοδυναμικές διαδικασίες στις οποίες μετέχουν τα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα**

□ **Πυρηνοποίηση**: είναι βασική διεργασία της ατμόσφαιρας & παίζει πρωταρχικό ρόλο σε φαινόμενα όπως: η συμπύκνωση, δημιουργία υδροσταγόνων και νεφών, η κρυστάλλωση & ο βρασμός

□ ορίζεται ως η μεταβολή φάσεως από μια φάση σε μια άλλη (π.χ. από αέρια σε υγρή)

□ η μεταβολή από την αέρια στην υγρή φάση δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω της «χρήσης» μικρών συσσωματώσεων μορίων με τη μορφή πυρήνων

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Δυναμικές & θερμοδυναμικές διαδικασίες στις οποίες μετέχουν τα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα**

□ **Ομογενής Πυρηνοποίηση:** η πυρηνοποίηση που γίνεται χωρίς την ύπαρξη σωματιδίων που προϋπάρχουν

□ **Ετερογενής Πυρηνοποίηση:** η πυρηνοποίηση που γίνεται με τη χρήση σωματιδίων που προϋπάρχουν

□ **Ομομοριακή Πυρηνοποίηση:** όταν στην πυρηνοποίηση λαμβάνει μέρος μόνο μία χημική ένωση

□ **Ετερομοριακή Πυρηνοποίηση:** όταν συμμετέχουν περισσότερες της μίας χημικές ενώσεις

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Δυναμικές & θερμοδυναμικές διαδικασίες στις οποίες μετέχουν τα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα**

□ Στην ατμόσφαιρα δεν συμβαίνει εύκολα ομογενής πυρηνοποίηση και όταν συμβαίνει συμπεριλαμβάνει δύο ή περισσότερα χημικά συστατικά

Ένα διφασικό σύστημα που παρουσιάζει ενδιαφέρον στην ατμόσφαιρα είναι το σύστημα θειικό οξύ – νερό (όξινη βροχή)

□ Κυρίαρχο ρόλο στην ατμόσφαιρα παίζει η ετερογενής πυρηνοποίηση πάνω σε στερεές και μη επιφάνειες. Αυτό διότι στην ατμόσφαιρα υπάρχουν πάντοτε αιωρούμενα σωματίδια που μπορούν να δράσουν ως πυρήνες

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Δυναμικές & θερμοδυναμικές διαδικασίες στις οποίες μετέχουν τα σωματιδίων στην ατμόσφαιρα**

- ❑ **Συμπύκνωση - Εξάτμιση**: όταν τα σταγονίδια έχουν δημιουργηθεί στην ατμόσφαιρα, θα συνεχίσουν να αυξάνουν σε μέγεθος με συμπύκνωση υδρατμών
- ❑ Ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των σταγονιδίων εξαρτάται από τη σχετική υγρασία, το μέγεθος του σωματιδίου και το σχετικό μέγεθος των σωματιδίων ως προς το μέσο ελεύθερο μήκος
- ❑ Στην πρώτη φάση αύξησης του μεγέθους του σωματιδίου η διάμετρος του είναι μικρότερη από το μέσο ελεύθερο μήκος
- ❑ Στην περίπτωση που τα σωματίδια είναι αρκετά μεγαλύτερα από το μέσο ελεύθερο μήκος, ο ρυθμός αύξησης της ακτίνας της σταγόνας δίνεται από τον ρυθμό διάχυσης των μορίων στην επιφάνεια της σταγόνας
- ❑ Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν διαλυτά σωματίδια π.χ. NaCl (άλας)

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- Τα αερολύματα καλύπτουν ένα εύρος μεγεθών από **0,001 μm** έως μερικές εκατοντάδες μm

□ Μετά την εκπομπή ή τον σχηματισμό τους τα αερολύματα υπόκεινται σε ποικίλες διεργασίες (πυρηνοποίηση, συσσωμάτωση ή ακόμη χημικές αντιδράσεις) που οδηγούν σε αλλαγή του μεγέθους και του σχήματος τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζουν κατανομή μεγεθών που **κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα (nm) μέχρι αρκετές δεκάδες μικρόμετρα (μm).**

□ Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια συναντώνται σε διάφορα ανομοιογενή μεταξύ τους σχήματα. Ο προσδιορισμός του μεγέθους τους γίνεται με την «**ισοδύναμη διάμετρο**», που είναι η διάμετρος που έχει ένα σφαιρικό σωματίδιο που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνηση του με το προς εξέταση σωματίδιο

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- Τα αερολύματα καλύπτουν ένα εύρος μεγεθών από $0,001 \mu\text{m}$ έως μερικές εκατοντάδες μm , ενώ με βάση το μέγεθος τους ταξινομούνται σε:

Μεγάλου μεγέθους (coarse particles), $\text{PM}_{2.5-10}$:
Διάμετρο $\geq 2.5 \mu\text{m}$

Μικρού μεγέθους (fine particles), $\text{PM}_{2.5}$:
Διάμετρο $\leq 2.5 \mu\text{m}$



**Nuclei mode ή
πυρήνες Aitken**
 $0.005 \mu\text{m} \leq D \leq 0.1 \mu\text{m}$



Accumulation mode
 $0.1 \mu\text{m} \leq D \leq 2.5 \mu\text{m}$

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

- Σωματίδια στην περιοχή πυρηνοποίησης (ή πυρήνων ή nuclei mode ή πυρήνες Aitken) ($0.005 \mu\text{m} \leq D \leq 0.1 \mu\text{m}$)
 - Δημιουργούνται μέσω συμπύκνωσης ατμών κατά τη διάρκεια καύσεων ή μέσω πυρηνοποίησης και απομακρύνονται με συσσωμάτωση τους σε μεγαλύτερα σωματίδια
 - Βρίσκονται σε διαρκή κίνηση στην ατμόσφαιρα (κίνηση Brown) λόγω των συγκρούσεων τους με τα μόρια του αέρα
 - Θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν στον σχηματισμό νεφών
 - Είναι πρωτογενή αερολύματα με πιθανές πηγές: εξατμίσεις αυτοκινήτων, βιομηχανικές εκπομπές, φωτο-οξειδωτικές αντιδράσεις, πυρκαγιές δασών, ηφαιστειακή σκόνη, καταιγίδες σκόνης

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

• Σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης ($0.1 \mu\text{m} \leq D \leq 2.5 \mu\text{m}$)

- Προέρχονται κυρίως από:
συσσωμάτωση των σωματιδίων της περιοχής των πυρήνων, συμπύκνωση ατμών σε υπάρχοντα σωματίδια, προϊόντα καύσης & ατμοσφαιρική σκόνη
- Είναι αρκετά βαριά για να συμμετέχουν στην κίνηση Brown
- Εναποτίθενται τόσο αργά ώστε οι μηχανισμοί απομάκρυνσης να μην είναι αποτελεσματικοί σ' αυτή την περιοχή μεγεθών με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα
- Συμμετέχουν στο σχηματισμό ομίχλης => μείωση της ορατότητας
- Συμμετέχουν σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις, συγκρούσεις & συσσωματώσεις

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● Μεγάλου μεγέθους σωματίδια ($D > 2.5 \mu\text{m}$)

- Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα μέσω μηχανικών διεργασιών
- Συνήθως εισάγονται στην ατμόσφαιρα ως στερεά σωματίδια από την επιφάνεια της Γης & της θάλασσας
- Συνήθως είναι φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης σκόνη
- Λόγω του μεγάλου μεγέθους τους & του βάρους τους, η διαδικασία της ξηράς εναπόθεσης είναι περισσότερο αποτελεσματική => ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα είναι σχετικά σύντομο

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● **Εύρος μεγεθών σωματιδίων**

● **Σωματίδια μεγέθους 0.1 – 1.0 μm:**

Σχηματίζονται κυρίως από τη συμπύκνωση ατμών, από προϊόντα καύσης & ατμοσφαιρική σκόνη

Είναι η αιτία της ομίχλης & μείωση της ορατότητας

Συμμετέχουν σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις συγκρούσεις & συσσωματώσεις

● **Σωματίδια μεγέθους > 1.0 μm:**

Προέρχονται από συσσωμάτωση μικρότερων σωματιδίων, από προϊόντα καύσης, στάχτες, σκόνη, & κονιορτοποιήσεις από οχήματα και πεζούς

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι σταγόνες βροχής, οι νιφάδες χιονιού, η γύρη και τα έντομα

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

Κατανομή μεγεθών & είδος σωματιδίων

- Σωματίδια μικρού μεγέθους ή λεπτόκοκκα
- Είναι κυρίως: Θειικά, νιτρικά, οργανικά, αμμωνιακά άλατα, ιόντα (H^+ , Cl^-) & μέταλλα (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, ...)
- Ευρέως διαλυτά & υγροσκοπικά
- **Χρόνος ζωής:** ημέρες ως εβδομάδες
- **Απόσταση μετακίνησης:** 100άδες- 1000άδες km
- Σωματίδια μεγάλου μεγέθους ή χονδρόκοκκα
- Είναι κυρίως: Άμμος, θαλάσσιο αλάτι ($NaCl$), αλουμίνα, κρυσταλλικά υλικά (Pb, Al, Ti, Fe), $CaCO_3$, σωματίδια από φυτικούς οργανισμούς (π.χ. σπόροι, γύρη, ...), ιπτάμενη τέφρα
- Όχι διαλυτά & μη υγροσκοπικά
- **Χρόνος ζωής:** λεπτά ως ημέρες
- **Απόσταση μετακίνησης:**
- < 10άδες km

Τα **νιτρικά** συναντώνται τόσο στα λεπτά όσο και στα χονδρόκοκκα σωματίδια. Τα μεγάλου μεγέθους νιτρικά είναι αποτέλεσμα αντιδράσεων του HNO_3 με $NaCl$ ή αερολύματα κρυσταλλικών υλικών

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ, AEROSOLS)

● Εύρος μεγεθών σωματιδίων

- Ανάλογα με το μέγεθος τους τα αερολύματα παρουσιάζουν διαφορετικούς μηχανισμούς εκπομπής & απομάκρυνσης, διαφέρουν ως προς τη χημική τους σύσταση & τις οπτικές ιδιότητες τους
- Επομένως στις διάφορες εφαρμογές που σχετίζονται με την μελέτη της ποιότητας του αέρα, τα αερολύματα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν
- Η σωματιδιακή ύλη μετριέται σε *ξηρή βάση*
- Υπάρχουν διάφορες ενδιαφέρουσες μετρήσεις των σωματιδίων πλην της κλασσικής (βάρος / μονάδα όγκου αέρα). Παράδειγμα:

- Ολικός αριθμός σωματιδίων στη μονάδα όγκου του αέρα
- Βάρος ή όγκος ή επιφάνεια ή αριθμός σωματιδίων σε συγκεκριμένα μεγέθη ακτίνας (κατανομή μεγεθών)

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

- Επηρεάζουν το κλίμα της Γης μέσω της επίδρασης τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της ακτινοβολίας**
- Παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο του νερού (υδατικό ισοζύγιο) αφού η παρουσία τους είναι απαραίτητη για τη συμπύκνωση των υδρατμών (πυρήνες συμπυκνώσεως) και τη δημιουργία των νεφών**
- Παίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική Χημεία**
- Σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία**

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

- **Παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο του νερού δρώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης (Cloud Condensation Nuclei, CCN) στο σχηματισμό των υδροσταγόνων**
 - Σε ένα δοσμένο πληθυσμό αερολυμάτων ο αριθμός των σωματιδίων που μπορούν να δράσουν ως CCN είναι συνάρτηση του βαθμού υπερκορεσμού των υδρατμών
 - Για τα στρωματομόρφα θαλάσσια νέφη η ελάχιστη διάμετρο που απαιτείται για να δράσουν τα σωματίδια ως CCN είναι **0.05 – 0.14 μm**
 - Οι τυπικοί πυρήνες συμπύκνωσης έχουν διάμετρο **0.2 μm**
 - Η συγκέντρωση των CCN ποικίλει από **100/cm³** σε απομονωμένες περιοχές ως μερικές **100-αδες/cm³** σε αστικές περιοχές

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

- **Παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο του νερού δρώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης (Cloud Condensation Nuclei, CCN) στο σχηματισμό των υδροσταγόνων**
 - Ένα κομμάτι αέρα ξοδεύει μερικές ώρες μέσα σε ένα νέφος και μερικές μέρες έξω από το νέφος
=> Έτσι ένα σωματίδιο CCN θα βιώσει 5-10 κύκλους δημιουργίας νεφών/διάλυση (εξάτμιση) νεφών πριν απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα με τη βροχόπτωση
- **Παίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική Χημεία είτε μετέχοντας σε χημικές αντιδράσεις, είτε παρέχοντας το απαραίτητο υπόβαθρο (επιφάνεια) πάνω στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις**
- **Τόσο τα λεπτά (<PM_{2.5}) όσο και τα μεγάλου μεγέθους (<PM_{2.5-10}) σωματίδια έχουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία**

Συνδέονται με αναπνευστικά, καρδιακά & κυκλοφοριακά προβλήματα

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

● **Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία**

● Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία λόγω της εναπόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα, εκτός από τις δύο κλασικές παραμέτρους (**συγκέντρωση ρύπου** & **χρόνο έκθεσης**), εξαρτώνται:

- ❑ το μέγεθος τους
- ❑ τη χημική τους σύσταση
- ❑ τις φυσικές & χημικές τους ιδιότητες (π.χ. υγροσκοπικότητα)
- ❑ περιοχή εναπόθεσης στο αναπνευστικό σύστημα

● Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των σωματιδίων καθορίζουν τις επιφάνειες εναπόθεσης τους, το ρυθμό απορρόφησης τους από τις επιφάνειες ή το αίμα, το ρυθμό «καθαρισμού» τους ή παραμονής τους στο αναπνευστικό σύστημα, το ρυθμό μετακίνησης τους σε άλλους ιστούς ή επιφάνειες της αναπνευστικής οδού

- ❑ άλλη σημαντική παράμετρος είναι η ανατομία του αναπνευστικού συστήματος, ο τρόπος & ο ρυθμός αναπνοής και η κατάσταση (υγεία) των ιστών της αναπνευστικής οδού

•ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

•Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία

- Στις μελέτες **τοξικότητας** τα σωματίδια διακρίνονται:
 - ❑ σωματίδια οξέων (σε μικρές συγκεντρώσεις επηρεάζουν το μηχανισμό απομάκρυνσης στη βλένα)
 - ❑ σωματίδια που περιέχουν μέταλλα
 - ❑ πολύ λεπτά σωματίδια (προκαλούν βήχα, δύσπνοια, πνευμονικό οίδημα, φλεγμονές)
 - ❑ βιο-αερολύματα
 - ❑ άλλα σωματίδια (σκόνη, ιπτάμενη τέφρα, κ.α.)
- Το πρόβλημα στον υπολογισμό της τοξικότητας των σωματιδίων προέρχεται:
 - ❑ τα πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί σε ζώα
 - ❑ και σε συγκεντρώσεις πολύ υψηλότερες από αυτές που παρατηρούνται στο περιβάλλον
 - ❑ ελάχιστα είναι γνωστά για τη συνεργιστική, ανταγωνιστική ή αθροιστική δράση μειγμάτων σωματιδίων ή σωματιδίων με αέριους ρύπους
 - ❑ η τοξικότητα κάθε τύπου σωματιδίου καθορίζεται από τη δόση που είναι συχνά εκφρασμένη σε διαφορετικές μονάδες

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

● **Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία**

- Τα σωματίδια, βάση της ικανότητας τους να διεισδύουν σε διάφορες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος, διακρίνονται σε:

- **Εσπνεύσιμα** (αυτά που μπορούν να εισέλθουν στο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος της περιοχής του κεφαλιού)

- **Θωρακικά** (αυτά που μπορούν να διασχίσουν τον λάρυγγα και τους πνεύμονες)

- **Αναπνεύσιμα** (μέρος των θωρακικών που φτάνουν στην περιοχή όπου πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων)

- Σε αντιπαραβολή με τη διάμετρο τους:

- **PM10** συμπίπτουν με τα **θωρακικά**

- **PM2.5** συμπίπτουν με τα **αναπνεύσιμα**

- Σωματίδια έως περίπου **0.5 μm** κατακρατούνται από τη μύτη, ενώ αυτά **< των 0.5 μm** εναποθέτονται στην τραχεία των πνευμόνων

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

● **Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία**

- Τα σωματίδια προκαλούν άμεσες & χρόνιες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό
- Συγκεκριμένα προκαλούν επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα όπως: βρογχίτιδα & πνευμονία, καρδιακά προβλήματα & επιδείνωση χρόνιων αποφρακτικών νόσων του αναπνευστικού
- Μελέτες τοξικότητας σε ζώα έδειξαν ότι αυτή σχετίζεται με την με την περιεκτικότητα των σωματιδίων σε διαλυτά συστατικά, ραδιενεργά μέταλλα & πιθανόν οργανικές ενώσεις
- Επιδημιολογικές μελέτες & πειράματα έδειξαν ότι προκαλούν εξασθένιση των φυσικών λειτουργιών με αποτέλεσμα δυσλειτουργίες στο νευρικό σύστημα, στην δεξιά κοιλία της καρδιάς & στην κυκλοφορία του αίματος στους πνεύμονες
- Ακόμα έχει βρεθεί ότι προκαλούν: οξειδωτικό στρες, οίδημα, φλεγμονές, στους πνεύμονες, αύξηση της πυκνότητας του πλάσματος & θρόμβωση του αίματος και υποτοξικό στρες λόγω της περιορισμένης διάχυσης των αερίων

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

● **Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία**

- Η αλληλεπίδραση τους με τους μηχανισμούς άμυνας του οργανισμού (μακροφάγα κύτταρα & επιθήλιο μπορεί να προκαλέσει δομικές αλλαγές στους ιστούς του αναπνευστικού, ίνωμα και νεοπλάσματα
- Μέταλλα, ιδιαίτερα Pb & Ni υπό τη μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων είναι τα πιο τοξικά
- Εισπνοή λεπτών σωματιδίων που προέρχονται από την καύση βενζίνης που περιέχει μόλυβδο είναι έχουν συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία
- Τοξικά είναι τα σωματίδια οργανικής ύλης όπως πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες που περιέχονται σε εντομοκτόνα ή προέρχονται από αποτεφρώσεις βιομάζας
- Οι επιπτώσεις στην υγεία από την εισπνοή σωματιδιακού φορτίου PM_{10} είναι οι εξής:
 - βήχας
 - συμπτώματα του κατώτερου αναπνευστικού
 - βρογχίτιδα
 - θνησιμότητα

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ;

● Επιπτώσεις των αερολυμάτων στην ανθρώπινη υγεία Αποτίμηση έκθεσης – Όρια ασφαλείας

- Επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη έχουν χειμερινές μέσες τιμές **$< 20 - 30 \mu g / m^3$**
- Στη Δυτική Ευρώπη τα επίπεδα αυτά διαμορφώνονται στα τιμές **$< 40 - 50 \mu g / m^3$** με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών
- Συμπτώματα βρογχίτιδας σε παιδιά και μειωμένη λειτουργία του πνεύμονα σε παιδιά & ενήλικες παρατηρήθηκαν κατά την έκθεση σε μέση ετήσια συγκέντρωση:
 $PM_{2.5} < 20 \mu g / m^3$
 $PM_{10} < 30 \mu g / m^3$
- Μέση ημερήσια συγκέντρωση **$PM_{10} < 100 \mu g / m^3$** είναι υπαίτια για επεισόδια θνησιμότητας, αναπνευστικά προβλήματα & καρδιαγγειακά επεισόδια

- Σύμφωνα με την Air Quality Directive της ΕΕ τα όρια για τα **PM_{10}** έχουν οριστεί ως εξής:

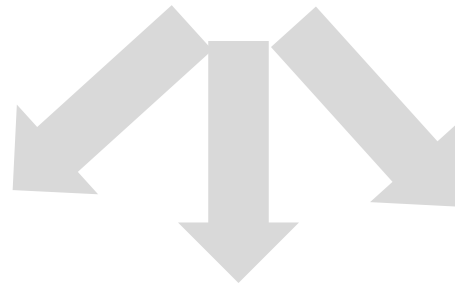
ημερήσια συγκέντρωση: $50 \mu g / m^3$ (να μην υπερβαίνει το όριο πάνω από **35** φορές το χρόνο)

ετήσια συγκέντρωση: $40 \mu g / m^3$

ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

- Επηρεάζουν το κλίμα της Γης μέσω της επίδρασης τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της ακτινοβολίας

Επίδραση Αερολυμάτων στο Ενεργειακό Ισοζύγιο Ακτινοβολίας



Άμεση επίδραση
Direct effect

Έμμεση επίδραση
Indirect effect

Ημι-άμεση επίδραση
Semi-direct effect

ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

- Άμεση επίδραση των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο της ακτινοβολίας

- Σκέδασης (Σκέδαση Mie)

- Απορρόφησης

- Αιθάλη

- Σκόνη από ερήμους

- Έμμεση επίδραση των αερολυμάτων: δρώντας σαν πυρήνες συμπύκνωσης παίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό των νεφών & επηρεάζουν:

- ✓ τις οπτικές ιδιότητες του νέφους \Rightarrow ανακλαστικότητα του (albedo)

- ✓ τον χρόνο ζωής του νέφους

- ✓ την ικανότητα του να δίνει βροχή

ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

- **Ημι-άμεση επίδραση των αερολυμάτων:**

είναι ο μηχανισμός κατά τον οποίο η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα τροποσφαιρικά αερολύματα οδηγεί σε θέρμανση της τροπόσφαιρας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη σχετική υγρασία και την ευστάθεια της και κατά συνέπεια τον σχηματισμό και τον χρόνο ζωής των νεφών

Τα αερολύματα επιδρούν εμμέσως και στο υδρολογικό ισοζύγιο

- Τα αερολύματα συνολικά (ανθρωπογενούς & φυσικής προέλευσης) προκαλούν Ψύξη ίση με:

-0.5 (-0.9 ως -0.1) Wm^{-2}

Σε αντίθεση με τα αέρια θερμοκηπίου & παρά την πρόοδο που επετεύχθη από την έκθεση IPCC 2001, η επίδραση των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο εξακολουθεί να παραμένει ο παράγοντας με τη **μεγαλύτερη αβεβαιότητα**

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

- Άμεση Επίδραση των Αερολυμάτων στο Ισοζύγιο Ακτινοβολίας στην Κορυφή της Ατμόσφαιρας ΔF_{TOA} (Wm^{-2})

| | | |
|-------------------|--------|--------|
| Πλανητική κλίμακα | - 1.72 | - 1.51 |
| B. Ημισφαίριο | - 1.79 | - 1.65 |
| N. Ημισφαίριο | - 1.66 | - 1.37 |

- Άμεση Επίδραση των Αερολυμάτων στο πλανητικό albedo ΔR_p (%)

Ιανουάριος

Ιούλιος

Ψύξη = $1.62 Wm^{-2}$ \rightarrow Αύξηση του πλανητικού albedo ~ 1%

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

- Άμεση Επίδραση των Αερολυμάτων στην Απορροφώμενη από την Ατμόσφαιρα Ακτινοβολία ΔF_{atmab} (Wm^{-2})

| | | |
|-------------------|------|------|
| Πλανητική κλίμακα | 1.41 | 1.79 |
| B. Ημισφαίριο | 2.16 | 3.09 |
| N. Ημισφαίριο | 0.65 | 0.49 |

| | | |
|-------------------|--------|--------|
| Πλανητική κλίμακα | - 3.13 | - 3.30 |
| B. Ημισφαίριο | - 3.95 | - 4.74 |
| N. Ημισφαίριο | - 2.31 | - 1.86 |

- Άμεση Επίδραση των Αερολυμάτων στο Ισοζύγιο Ακτινοβολίας σε πλανητική & ημισφαιρική κλίμακα

ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

| | ΔF_{TOA} (Wm^{-2}) | | | $\Delta F_{surfnet}$ (Wm^{-2}) | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|
| | NH | SH | Globe | NH | SH | Globe |
| Παρούσα μελέτη | - 1.72 | - 1.51 | - 1.62 | - 4.35 | - 2.09 | - 3.22 |
| Yu et al. (2006)* | | | - 1.90 | | | - 3.40 |
| Reddy et al. (2005) | - 1.51 | -0.58 | - 1.04 | | | |
| Liao et al. (2004) | | | - 0.93 | | | |
| Yu et al. (2004) ^{a*} | - 1.82 | - 1.33 | - 1.57 | - 4.65 | - 2.24 | - 3.44 |
| Yu et al. (2004) ^{b*} | - 1.33 | - 0.91 | - 1.12 | - 3.64 | - 1.61 | - 2.62 |
| Takemura et al. (2002) | - 0.17 | - 0.30 | - 0.24 | | | |
| Jacobson (2001) | | | - 1.80 | | | - 4.60 |

a: εκτίμηση από MODIS+GOCART
 b: εκτίμηση μόνο από GOCART

* οι τιμές έχουν προσαρμοστεί σε συνθήκες πραγματικού ουρανού από αρχικές εκτιμήσεις σε συνθήκες καθαρού ουρανού

ΓΙΑΤΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ;

- Η Μεσόγειος είναι μια κλιματικά ευαίσθητη περιοχή
Σενάριο A1B: **αύξηση του CO₂ στα 850 ppm**
- Η Μεσόγειος είναι τόπος συνύπαρξης διαφόρων τύπων αερολυμάτων
 - ✓ **Αερολύματα Σκόνης**
 - ✓ **Αερολύματα Θαλάσσιας προέλευσης**

Μεγάλου μεγέθους σωματίδια

 - ✓ **Ανθρωπογενή & Βιομηχανικά Αερολύματα**
 - ✓ **Αιθάλη από Καύση Βιομάζας**

Λεπτά ή Μικρού μεγέθους σωματίδια
- Μετρήσεις & εκτιμήσεις μοντέλων συμφωνούν ότι η επίδραση των αερολυμάτων στο ισοζύγιο ακτινοβολίας στην περιοχή της Μεσογείου είναι σημαντική

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».

