



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ: **ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ**

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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης
Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

ο Η ανάπτυξη της τεχνολογίας & της ηλεκτρονικής \Rightarrow έδωσε σήμερα τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας μεγάλης ποικιλίας οργάνων & τεχνικών, ικανών να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την μέτρηση & τη συνεχή καταγραφή των ρύπων της ατμόσφαιρας

ο **Τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην μέτρηση & ανάλυση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης:**

- Χρωματογραφία
- Φωτομετρία
- Υπέρυθρη & Υπεριώδη φασματοσκοπία
- Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης
- Φασματοσκοπία με ακτίνες Χ
- Φασματομετρία Μάζας
- Ηλεκτροχημικές τεχνικές (Ποτενσιόμετρα, Κουλομετρία, Πολαρογραφία)

ο Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται στη μέτρηση & μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τα **LIDARs** που στηρίζεται στις ακτίνες **Laser**

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

ο Κατά τη μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων πρέπει να επιτευχθούν δύο (2)

στόχοι:

- 1) ορθή ταυτοποίηση των ρύπων
- 2) ακριβής ποσοτικός προσδιορισμός τους

ο Όταν εγκαθιστούμε έναν σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, θα πρέπει να φροντιστεί οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές μιας ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής => **σωστή επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης του Σταθμού**

ο Στην ατμόσφαιρα μιας αστικής περιοχής υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός χημικών ρύπων που καλούμαστε να ταυτοποιήσουμε & να προσδιορίσουμε ποσοτικά

ο Οι ρύποι που συνήθως μετράμε είναι:

- **CO**
- **O₃**
- **NO₂**
- **SO₂**
- **VOCs**

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Μέτρηση CO & CO₂

○ Η κύρια μέθοδος μέτρησης του CO βασίζεται στην μη-σκεδαζόμενη υπέρυθη φωτομετρία (**NDIR**)

○ Σχετίζεται με την επιλεκτική απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το CO

○ Ο ανιχνευτής IR αποτελείται από:

- Μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Έναν περιστρεφόμενο έλικα
- Ένα κελί για το δείγμα
- Ένα κελί αναφοράς
- Έναν ανιχνευτή

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Μέτρηση CO & CO₂

ο *Αρχή λειτουργίας*

- Ο περιστρεφόμενος έλικας εκθέτει περιοδικά τα δύο τμήματα του οργάνου σε υπέρυθρη ακτινοβολία
- Το τμήμα αναφοράς εκτίθεται σε σταθερή ποσότητα υπέρυθρης ενέργειας η οποία μεταδίδεται στο ένα τμήμα του ανιχνευτή. **Το αέριο αναφοράς δεν απορροφά στο IR**
- Το τμήμα που διαρρέεται από το δείγμα μεταδίδει στον ανιχνευτή μειωμένη ποσότητα υπέρυθρης ενέργειας (αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης του CO)
- Οι άνισες ποσότητες ενέργειας προκαλούν κίνηση της μεμβράνης παράγοντας εναλλασσόμενο ρεύμα

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Μέτρηση CO & CO₂

- Οι υδρατμοί είναι σημαντική παρεμποδίζουσα ουσία αυτής της τεχνικής και απαιτείται παγίδα υγρασίας
 - Ένα ξηραντικό (π.χ. SiO₂)
 - Ένας συμπυκνωτής νερού
- Υψηλές συγκεντρώσεις N₂O στο δείγμα επηρεάζουν τις μετρήσεις
⇒ πρέπει να προβλεφθεί παγίδευση του
- Η μέθοδος NDIR χρησιμοποιείται για ανάλυση πολλών αερίων, αρκεί αυτά να απορροφούν στο υπέρυθρο
- Κάθε όργανο διαθέτει πηγή με ειδική ακτινοβολία (συγκεκριμένο μήκος κύματος) με αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται στην μέτρηση συγκεκριμένου αερίου

▪ Ανάλυση & Μέτρηση O_3

ο Η κύρια μέθοδος μέτρησης του όζοντος βασίζεται στη ***χημειοφωταύγεια***

ο Αρχή λειτουργίας:

- Χημική αντίδραση όζοντος (O_3) και αιθυλενίου (C_2H_6)
 - Τα προϊόντα της αντίδρασης βρίσκονται σε διεγερμένη ηλεκτρονιακή κατάσταση, φθορίζουν & εκπέμπουν φως
- ο Τα κύρια εξαρτήματα της οργανολογίας της μεθόδου είναι:
- Μια μόνιμη πηγή αιθυλενίου
 - Μια γραμμή εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα
 - Ένας θάλαμος αντίδρασης
 - Ένας φωτοπολλαπλασιαστής
 - Ένα κύκλωμα επεξεργασίας των ενδείξεων

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

■ Ανάλυση & Μέτρηση O_3

ο Ο ρυθμός με τον οποίο ο φωτοπολλαπλασιαστής λαμβάνει φως εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του O_3 & του C_2H_3

ο Αν η συγκέντρωση του C_2H_3 είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του O_3 , το φως που εκλύεται είναι ανάλογο μόνο της συγκέντρωσης του O_3 , εφόσον η αντίδραση καθίσταται μηδενικής τάξης (ανεξάρτητη) ως προς το C_2H_3

ο **Βαθμονόμηση των οργάνων**

- Εμπλουτισμός με σταθερό ρυθμό, ρέοντος δείγματος καθαρού αέρα σε O_3 από γεννήτρια όζοντος & καθορισμός με υπεριώδη φωτομετρία της συγκέντρωσης του O_3 της "δοκιμαστικής ατμόσφαιρας"

- Βαθμονόμηση της απόκρισης αναλυτή όζοντος στη γνωστή συγκέντρωση της δοκιμαστικής ατμόσφαιρας

- ο Με τη γεννήτρια O_3 μπορούν να δημιουργηθούν πολλά μίγματα γνωστής σύστασης σε O_3 ώστε η βαθμονόμηση του οργάνου να είναι αξιόπιστη σε ευρεία γκάμα τιμών

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

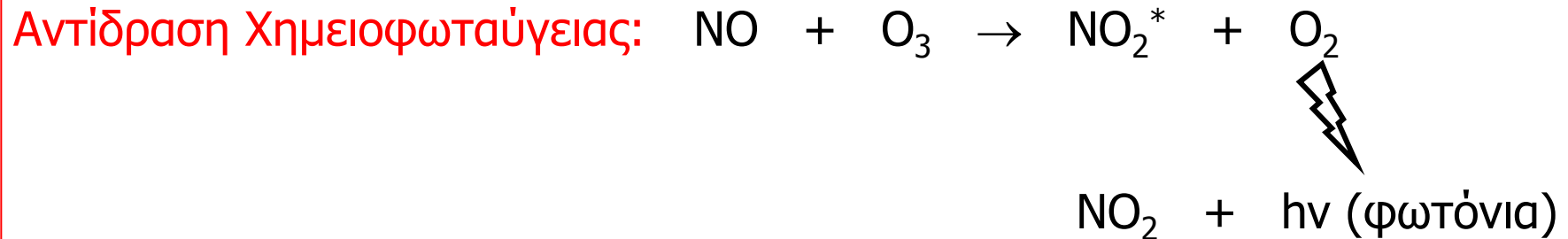
▪ Μέτρηση των $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$

ο Η αρχή στην οποία στηρίζεται και η μέτρηση των NO_x είναι η **χημειοφωταύγεια**

ο Η συγκέντρωση του NO καθορίζεται από τη μέτρηση του φωτός που εκλύεται κατά την αντίδραση του NO με το O_3

ο Το O_3 παρέχεται σε υψηλή συγκέντρωση, ώστε η παραγωγή φωτός να είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του NO που βρίσκεται στο δείγμα του ατμοσφαιρικού αέρα

$$\frac{d[\text{φωτονίων}]}{dt} \propto [\text{O}_3][\text{NO}]$$



ο Η συγκέντρωση του NO_2 καθορίζεται έμμεσα

⇒ τη διαφορά ανάμεσα στις συγκεντρώσεις του NO και του συνόλου των NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Μέτρηση των $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$

ο Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του NO_2

- Στο πρώτο κανάλι μετράται το NO
- Και στο άλλο μετράται το σύνολο των NO_x

ο Το κανάλι του NO περιλαμβάνει:

- Το ρεύμα του δείγματος του ατμοσφαιρικού αέρα που περιέχει NO (καθώς επίσης και NO_2)
- Ένα ρεύμα όζοντος από τη γεννήτρια όζοντος
- Ένα θάλαμο αντίδρασης
- Ένα φωτοπολλαπλασιαστή
- Ένα κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος

ο Το δεύτερο κανάλι μέτρησης του συνόλου των NO_x :

έχει τα ίδια εξαρτήματα και επιπλέον ένα μετατροπέα για ποσοτική μετατροπή του NO_2 σε NO

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Μέτρηση των $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$

- ο Ο αέρας περνώντας μέσω του καναλιού του NO εισέρχεται στο θάλαμο αντίδρασης, όπου το NO αντιδρά με το O_3
- ο Το φως που παράγεται μετριέται από τον σωλήνα του φωτοπολλαπλασιαστή & μετατρέπεται σε συγκέντρωση NO
- ο Το NO_2 κατά τη ροή του αέρα στο κανάλι αυτό παραμένει αμετάβλητο & έτσι δεν συνεισφέρει στο σήμα
- ο Στο κανάλι των NO_x , το δείγμα του αέρα εισέρχεται πρώτα στον μετατροπέα, όπου το NO_2 ανάγεται ποσοτικά σε NO
- ο **Τελικά:** συγκέντρωση $\text{NO}_2 =$ διαφορά των σημάτων των δύο δρόμων ($\text{NO}_x - \text{NO}$)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

■ Ανάλυση & Μέτρηση του SO₂

ο Δύο (2) μέθοδοι:

1. Δειγματοληπτικές (μη-συνεχούς ανάλυσης) που απαιτούν κάποιοι χειριστή
2. Συσκευές συνεχούς ανάλυσης

ο Μέθοδοι με χειριστή:

• Συλλογή δείγματος

□ Τα δείγματα συλλέγονται στέλνοντας υπό μορφή φουσαλίδων γνωστό όγκο αερίου μέσω ενός υγρού φορέα συλλέκτη (απορροφητή)

□ Το υγρό περιβάλλον περιέχει χημικά τα οποία κατακρατούν το SO₂ στο διάλυμα, είτε συμπλοκοποιώντας, είτε οξειδώνοντάς το

□ Τα δείγματα μεταφέρονται σε κεντρικό εργαστήριο για ανάλυση με την βοήθεια κάποιας κατάλληλης μεθόδου

• Μέτρηση του δείγματος

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Ανάλυση & Μέτρηση του SO₂

ο Η μέθοδος του West-Gaeke

- Χρησιμοποιείται η αρχή της φωτομετρίας
- Η συλλογή γίνεται σε ένα υδατικό διάλυμα από τετραχλωροϋδραργυρικό νάτριο ή κάλιο (TCM)
- Η απορρόφηση του SO₂ σχηματίζει ένα σταθερό σύμπλοκο με το TCM
- Η ανάλυση γίνεται προσθέτοντας άχρωμο διάλυμα δείκτη παραροσανιλίνης και φορμαλδεύδης για να σχηματιστεί ανοικτοκόκκινο παραροσανιλινικό μεθυλοσουλφονικό οξύ
- Οπτική απορρόφηση στα 548 nm είναι γραμμικά ανάλογη της συγκέντρωσης του SO₂
- Εφαρμόζονται διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης του O₃, των NO_x & των βαρέων μετάλλων

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Ανάλυση & Μέτρηση του SO₂

ο Μέθοδοι συνεχούς ανάλυσης:

- Συλλογή των δειγμάτων
- Μέτρηση των δειγμάτων σε μία αυτοματοποιημένη διαδικασία όπως:
 - Τεχνικές μέτρησης αγωγιμότητας
 - Φωτομετρία
 - Κουλομετρία
 - Μέτρηση της έντασης του ρεύματος για τον προσδιορισμό του SO₂ το οποίο συλλέγεται σε έναν υγρό φορέα
- Άλλες μέθοδοι συνεχούς ανάλυσης
 - Φωτομετρικό ανιχνευτή φλόγας και φασματοσκοπία φθορισμού
 - Υπέρυθρη φασματοσκοπία (NDIR-SO₂)

▪ Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)

- ο Ο μεγάλος αριθμός & η ποικιλία υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα καθιστά δύσκολο τον προσδιορισμό τους
- ο Οι συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων αναφέρονται με δύο διαφορετικές μονάδες:
 - Μέρη τοις χιλίοις σε όγκο (ppmV)
 - Μέρη τοις χιλίοις σε άνθρακα (ppmC)
- ο Η μονάδα μέρη τοις χιλίοις σε άνθρακα χρησιμοποιείται κυρίως διότι
 - Ο αριθμός των ατόμων άνθρακα είναι ένας πρόχειρος δείκτης της συνολικής δραστηριότητας μιας ομάδας υδρογονανθράκων
 - Για ιστορικούς λόγους

▪ Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)

- Κατηγορίες περιβαλλοντικών υδρογονανθράκων
- Μεθάνιο (CH_4)
- Όλες οι υπόλοιπες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)
- Ανάλυση υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται σε 3 στάδια:
 - Συλλογή
 - Απόκτηση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος αέρα
 - Διαχωρισμός
 - Βασίζεται στην αέρια χρωματογραφία (Gas Chromatography, **GC**) όπου χρησιμοποιείται κυρίως ανιχνευτής φλόγας ιονισμού (**FID**)
 - Ποσοτικός προσδιορισμός
 - Φασματοσκοπία μάζας (mass spectroscopy, **MS**) με ταυτόχρονη χρησιμοποίησή της με GC (μέθοδος **GC-MS**) \Rightarrow ασφαλής μέθοδος ασφαλούς ποσοτικής ανάλυσης μιγμάτων

▪ Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)

ο Αρχής της χρωματογραφίας:

- Μεθάνιο (CH_4) και άλλοι υδρογονάνθρακες (VOCs) περνάνε μέσω μιας χρωματογραφικής στήλης
- Το CH_4 και τα VOCs διαχωρίζονται εξαιτίας των διαφορετικών συντελεστών προσρόφησης - εκρόφησης τους στο υλικό της στήλης

▪ Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)

- Οι ποσότητες του CH_4 και των VOCs βγαίνουν από τη στήλη με μια αλληλουχία (δηλ. σε διαφορετικούς χρόνους έκλουσης) και υπολογίζονται από τον ανιχνευτή FID
- Το σήμα που βγαίνει από τον ανιχνευτή είναι ανάλογο των ποσοτήτων τους και μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά όταν συγκριθεί με σήματα που δίνουν μίγματα καθορισμένης σύστασης

❑ **Μειονεκτήματα:**

- Η συχνά παρουσιαζόμενη έκλυση πολλών υδρογονανθράκων στον ίδιο χρόνο (όχι ικανοποιητικός διαχωρισμός)
- Μη συνεχής ανάλυση
- Πρόβλημα ευαισθησίας του αναλυτή για μίγματα με ενώσεις με διαφορετικές δομές

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

- Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)
 - Ο ανιχνευτής **FID** αποτελείται από μια φλόγα H_2 μέσω της οποίας οι υδρογονάνθρακες καίγονται σχηματίζοντας φορτισμένα άτομα C, & ένα ηλεκτρόμετρο δημιουργεί ένα συνεχές σήμα ανάλογο του αριθμού των ατόμων C στη φλόγα
 - ο Άλλοι τύποι ανιχνευτών αέριας Χρωματογραφίας:
 - Ο φλογο-φωτομετρικός ανιχνευτής (**FPD**)
 - Ο FPD χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θειούχων ενώσεων. Ο FPD έχει μία φλόγα H_2 στην οποία καίγονται θειούχα αέρια (π.χ. DMS) σχηματίζοντας διεγερμένο S_2^* . Ένας φωτοπολλαπλασιαστής εντοπίζει το φως που εκπέμπεται από το διεγερμένο θείο

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

- Ανάλυση & Μέτρηση Πτητικών Οργανικών Υδρογονανθράκων (VOCs)
 - Άλλοι τύποι ανιχνευτών αέριας Χρωματογραφίας:
 - **Ο ανιχνευτής σύλληψης ηλεκτρονίων (ECD)**
 - Ο ECD προτιμάται για τη μέτρηση αζωτούχων ενώσεων (π.χ. PAN & υπεροξυ-ακυλικές νιτρικές ενώσεις). Περιέχει μία πηγή η οποία δημιουργεί ένα σταθερό πεδίο ιόντων. Αζωτούχες ενώσεις συλλαμβάνουν τα ηλεκτρόνια που περνούν διαμέσου αυτού του πεδίου.
 - **Ο κλασικός ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (TCD)**
 - Ο TCD βασίζεται στην διαφορετική θερμική αγωγιμότητα των διαφόρων αερίων. Όταν αυτά περνούν από μια ισορροπημένη γέφυρα Winston δυο ανεξαρτήτων διαμερισμάτων την εκτρέπουν από την ισορροπία της και το σήμα μεταφράζεται σε διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται στα άκρα της.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

■ Ανάλυση & Μέτρηση Σωματιδιακών Ρύπων

ο Οι σωματιδιακοί ρύποι του περιβάλλοντος αέρα χαρακτηρίζονται από:

- Την συγκέντρωση μάζας τους ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Διαχωρίζουμε με διάφορες καθιερωμένες μεθόδους φιλτραρίσματος όλα τα σωματίδια από ένα γνωστό όγκο αέρα και μετράμε την ολική μάζα τους ζυγίζοντας (πριν και μετά) τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον διαχωρισμό

- Ο καθορισμός της κατανομής μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικός γιατί κατανοούμε την μεταφορά και την μετακίνηση τους στην ατμόσφαιρα

- Στην αεροδυναμική διάμετρο τους

- Στην ηλεκτρική κινητικότητα τους ($0.01 < > 1\mu\text{m}$)

- Στην συμπεριφορά τους στη σκέδαση του φωτός

- Στην χρήση πολλαπλών κόσκινων, το κάθε επίπεδο των οποίων αφαιρεί σωματίδια με σταδιακά μικρότερη διάμετρο ($> 0.1\mu\text{m}$)

- Στις ιδιότητες σκέδασης του φωτός των σωματιδίων

▪ Ανάλυση & Μέτρηση Σωματιδιακών Ρύπων

- Τη χημική τους σύνθεση για τον καθορισμό των πηγών που προέρχονται
 - Η φασματοσκοπία φθορισμού με ακτίνες-X (XRF), διεγείροντας τα ηλεκτρόνια του εσωτερικού φλοιού
 - Η ανάλυση βασισμένη στην ενεργοποίηση του δείγματος με βομβαρδισμό νετρονίων (Neutron Activation Analysis, NAA), δημιουργώντας ραδιενεργά ισότοπα
 - Μέθοδος στοιχειακής ανάλυσης (ατομικά στοιχεία)
- Η προ-επεξεργασία της συλλεγόμενης σωματιδιακής ύλης περιλαμβάνει:
 - Την εκχύλιση της σωματιδιακής ύλης σε κάποιο υγρό
 - Την επεξεργασία του διαλύματος ώστε το υλικό να μετατραπεί σε μορφή κατάλληλη για ανάλυση

■ Ανάλυση & Μέτρηση Σωματιδιακών Ρύπων

➤ Ίχνη μετάλλων μπορούν να καθοριστούν με:

- Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (ΑΑ)
- Φασματοσκοπία εκπομπής
- Πολαρογραφία
- Ανοδική βολταμετρία

➤ Η ανάλυση ανιόντων επιτυγχάνεται με:

- Φωτομετρικές τεχνικές
- Ιοντική χρωματογραφία

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

■ Ανάλυση & Μέτρηση της Όξινης Εναπόθεσης

ο Μηχανισμοί Όξινης Εναπόθεσης:

• Υγρή Εναπόθεση

□ Ένας συλλέκτης δείγματος, εφοδιασμένος με κατάλληλο αισθητήρα, ανοίγει για να συλλέξει βρόχινο νερό στην αρχή μιας καταιγίδας & κλείνει όταν η βροχή σταματήσει. Το νερό μετά αναλύεται ως προς:

✓ pH

✓ Ανιόντα

✓ Κατιόντα

• Ξηρή Εναπόθεση

□ Η συλλογή σωματιδίων που κατακάθονται στον συλλέκτη εξαρτάται από το υλικό της επιφάνειας που τα κατακρατά και την διαμόρφωσή της. Μετά την συλλογή, το υλικό θα διασπαρθεί ή θα διαλυθεί σε καθαρό νερό για ανάλυση

■ Ανάλυση & Μέτρηση της Όξινης Εναπόθεσης

○ Η διεργασία της ανάλυσης περιλαμβάνει:

- Υπολογισμούς βάρους
- Μετρήσεις του pH με ένα καλά βαθμονομημένο pH-μέτρο
- Μετρήσεις της αγωγιμότητας
- Χημική ανάλυση για ανιόντα και κατιόντα
 - ✓ Θειικά & νιτρικά άλατα
 - ✓ NH_3
 - ✓ Χλωριούχα άλατα
 - ✓ Μεταλλικά ιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)
 - ✓ Φωσφορικά άλατα
- Η παρουσία SO_4^{2-} & NO_3^- αλάτων σχετίζεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα
- Η παρουσία Cl^- , μεταλλικών & PO_4^{3-} αλάτων σχετίζεται με θαλάσσια αερολύματα & μεταφορά σκόνης

■ Μέτρηση της Ορατότητας

ο Ελάττωση ορατότητας:

Η υποβάθμιση της δικής μας ικανότητας να αντιλαμβανόμαστε αντικείμενα διαμέσου της ατμόσφαιρας που μας περιβάλλει

ο Παράγοντες που επηρεάζουν την ορατότητα:

- Χαρακτηριστικά του αντικειμένου που θέλουμε να παρατηρήσουμε
- Ο ίδιος ο παρατηρητής
- Ο βαθμός μόλυνσης της ατμόσφαιρας που παρεμβάλλεται

ο Η μέτρηση ορατότητας γίνεται από:

- Απλές ανθρώπινες παρατηρήσεις
- Ειδικές οπτικές μετρήσεις
 - Κάμερες
 - Φωτόμετρα, τα οποία μετρούν την ένταση φωτός μετατρέποντας την λαμπρότητα σε ηλεκτρικά σήματα με ένα ανιχνευτή φωτός
 - Τηλεφωτόμετρα για απομακρυσμένα αντικείμενα με μία πολύ μικρότερη οπτική γωνία
 - Πομπούς
 - Όργανα σκέδασης

▪ Ανάλυση & Μέτρηση 'Όσμών'

ο Οι οσμές μπορούν να μετρηθούν με:

- Χημικές μεθόδους
- Με την **οργανοληπτική** μέθοδο, που στηρίζεται στην απόκριση στις οσμές της ανθρώπινης όσφρησης

ο Οι μετρήσεις οσμών με τεχνικές αισθητήρων βασίζονται σε τέσσερα χαρακτηριστικά των οσμών:

- Την ένταση
- Την ικανότητα ανίχνευσης
- Την ποιότητα
- Τον τόνο ευχαρίστησης (ευχάριστη ή δυσάρεστη αίσθηση)

ο Η αισθητήρια τεχνική, η οποία χρησιμοποιεί για κατανομή την ανθρώπινη αντίληψη για τις οσμές, ονομάζεται **οσφρησημετρία**

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

ο Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των λέιζερ (**Laser**) στην μελέτη του περιβάλλοντος βοηθά στην παρατήρηση ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις και σημεία όπου η δειγματοληψία θα ήταν από πολύ δύσκολη μέχρι αδύνατη

ο Ιδιότητες και τρόπος λειτουργίας των **Laser**

- Το λέιζερ είναι μια πηγή ακτινοβολίας φωτός πολύ στενής & μονοχρωματική δέσμης. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι επίσης σύμφωνη
- Μονοχρωματική δέσμη φωτός είναι εκείνη που εμφανίζει πολύ μικρό εύρος μηκών κύματος
- Ακτινοβολία σύμφωνη σημαίνει ότι τα κύματα της ακτινοβολίας βρίσκονται σε συμφωνία φάσης μεταξύ τους

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

ο Τηλεπισκόπηση με την χρήση Laser - **Μέθοδος LIDAR**

□ Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την από μακριά παρατήρηση ρύπων με την χρήση των Laser λέγεται **LIDAR** από τα αρχικά των Αγγλικών όρων '*Laser Identification, Detection and Ranging*'

□ **Η τεχνική εφαρμόζεται ως εξής:**

- Ένας παλμός Laser κατάλληλα επιλεγμένου μήκους κύματος εκπέμπεται προς τον "**στόχο**" που θέλουμε να εξετάσουμε
- Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τον στόχο και το φως που επιστρέφει συλλέγεται και καταγράφεται από έναν οπτικό ανιχνευτή με τον οποίο είναι εφοδιασμένο το σύστημα Laser
- Το σήμα που συλλέγεται εμπεριέχει πληροφορίες για την φύση του στόχου, την σύστασή του την απόστασή του από την πηγή Laser καθώς και την χωροταξική κατανομή του

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

ο Με τη μέθοδο **LIDAR** επιτυγχάνουμε:

- την χωρική και την χρονική εξέλιξη του φαινομένου της ρύπανσης
- την ανίχνευση και την μέτρηση της συγκέντρωσης διαφόρων ρύπων
- την παρακολούθηση φαινομένων και μεγεθών στην ατμόσφαιρα και την δυναμική τους συμπεριφορά (χρονική εξέλιξη)
- την παρακολούθηση ρύπων σε σημεία και θέσεις με μεγάλη δυσχέρεια
- το κατακόρυφο προφίλ των ρύπων \Rightarrow καταγραφή της τρισδιάστατης κατανομή των ρύπων

■ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

- ο Η τηλεσκόπηση με την μέθοδο LIDAR βασίζεται στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα άτομα της ύλης
- ο Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι μορφή ενέργειας που έχει ιδιότητες σωματιδίου και κύματος και αποτελείται από σωματίδια που ονομάζονται *φωτόνια*

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

ο Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη, με διάφορους τρόπους, μέσω των φωτονίων

□ **Απορρόφηση (*adsorption*) ακτινοβολίας**

Μεταφορά ενέργειας από την δέσμη της ακτινοβολίας στην ύλη μέσω των φωτονίων

➤ Η ολική ενεργειακή κατάσταση ενός μορίου ύλης είναι η συνιστώσα τριών συνεισφορών:

- της ηλεκτρονιακής κατάστασης
- της δονητικής κατάστασης
- της περιστροφικής κατάστασης

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

- ο Απορρόφηση στην ακτινοβολίας στην υπεριώδη (UV) περιοχή του φάσματος προκαλεί ηλεκτρονιακές, δονητικές και περιστροφικές μεταβολές στο μόριο της ύλης
- ο Απορρόφηση ακτινοβολίας στην υπέρυθρη (IR) περιοχή είναι αρκετή για να διεγείρει το μόριο ώστε να υποστεί μεταβολές δόνησης και περιστροφής που αναφέρονται στην δομική εικόνα του μορίου
- ο Απορρόφηση ακτινοβολίας στην περιοχή των μικροκυμάτων ή στην άνω υπέρυθρη (far-IR) μπορεί να διεγείρει το μόριο ώστε να υποστεί μεταβολές περιστροφής

⇒ απορρόφηση ακτινοβολίας από την ύλη παρέχει πληροφορίες τόσο για τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το μόριο της ύλης αλλά και για τη δομή του μορίου

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

▣ **Εκπομπή (*emission*) ακτινοβολίας**

Η ύλη που βρίσκεται σε μια διεγερμένη κατάσταση εκπέμπει φωτόνια με χαρακτηριστικές ενέργειες καθώς επιστρέφει σε καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας ή στην θεμελιώδη κατάσταση

➤ Η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης δημιουργεί τα φαινόμενα όπως:

- της **συμβολής**
- της **περίθλασης**
- της **σκέδασης** της ακτινοβολίας

▣ **Σκέδαση (*scattering*) της ακτινοβολίας**

το φαινόμενο κατά το οποίο μια φωτεινή δέσμη συγκρούεται με την ύλη και αποκλίνει προς τυχαίες διευθύνσεις

▣ **Σκέδαση *Rayleigh***

Η ακτινοβολία του Laser σκεδάζεται ελαστικά χωρίς να υποστεί καμιά μεταβολή ως προς την συχνότητά της

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΕΤΡΗΣΗ

▪ Τηλεπισκόπηση & Μέτρηση Ρύπων

□ **Σκέδαση Mie**

Ελαστική σκέδαση της ακτινοβολίας από μικροσωματίδια, χωρίς μεταβολή στην συχνότητα αλλά το ποσοστό του σκεδαζόμενου φωτός είναι τώρα πολύ μεγαλύτερο

□ **Σκέδαση Raman**

Μηχανισμός μη-ελαστικής σκέδασης του φωτός. Η ακτινοβολία διεγείρει τα μόρια, όπου επιστρέφοντας στην μη-διεγερμένη κατάσταση εκπέμπουν ακτινοβολία σε διαφορετικό μήκος κύματος που αποτελεί χαρακτηριστικό (ταυτότητα) των μορίων

□ **Απορρόφηση**

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τον στόχο. Το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος είναι διαφορετικό για κάθε μόριο \Rightarrow συμπεράσματα για το είδος και για την συγκέντρωση του είδους

□ **Φθορισμός**

Η ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του στόχου, τα διεγείρει & η αποδιέγερσή τους δημιουργεί εκπομπή ακτινοβολίας με μήκος κύματος μεγαλύτερο της προσπίπτουσας \Rightarrow πληροφορίες για την ταυτότητα του μορίου

■ Οργανολογία ενός συστήματος LIDAR

□ *Η οργανολογία ενός συστήματος LIDAR απαιτεί:*

- Μια πηγή παλμικής ακτινοβολίας Laser
- Ένας δέκτης της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας
- Ένα φασματικό αναλυτή για την ανάλυση της επιστρέφουσας ακτινοβολίας
- Φωτοανιχνευτή για να κατευθυνθεί το επιλεγμένο οπτικό σήμα
- Μετατροπέα του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό

▪ Οργανολογία ενός συστήματος LIDAR

▣ *Διάφορα συστήματα LIDAR:*

• LIDAR τύπου Raman

Συλλέγει την σκεδαζόμενη μέσω μηχανισμού Raman ακτινοβολία με μήκη κύματος διαφορετικά της εκπεμπόμενης δέσμης

(⇒ είδος μορίων και συγκέντρωση)

• LIDAR Φθορισμού

Συλλέγει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον διεγερμένο φθορίζον στόχο της οποίας το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο αυτού της πηγής

(⇒ είδος μορίων)

• LIDAR Απορρόφησης

Το μετρούμενο μέγεθος είναι η *ένταση* της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Η εξασθένηση της δέσμης του λέιζερ και η συχνότητα της ακτινοβολία περιέχει πληροφορίες για το είδος μορίων και την

συγκέντρωση)

■ Οργανολογία ενός συστήματος LIDAR

□ **Διάφορα συστήματα LIDAR:**

• LIDAR τύπου Doppler

Βασίζεται στο γνωστό *φαινόμενο Doppler*. Όταν μια πηγή που εκπέμπει φως κινείται, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που φθάνει στον παρατηρητή έχει διαφορετική συχνότητα από αυτό που εκπέμπεται
(\Rightarrow **διεύθυνση** και **ταχύτητα ρύπων**)

• LIDAR διπλής δέσμης

Διαθέτουν δυο δέσμες Laser με μήκη κύματος που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους. Εκπέμπονται διαδοχικά και διατρέχουν την ίδια διαδρομή στην ατμόσφαιρα. Σύγκριση των επιστρεφόμενων σημάτων εμπεριέχει πληροφορίες για το **είδος** και την **συγκέντρωση των μορίων**

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

