

- Εισαγωγή στα μοντέλα διάχυσης και διασποράς ρύπων: Περιγραφή αρχών και βασικών παραμέτρων. Στοιχεία εισόδου στα μοντέλα. Εκπομπές. Εφαρμογές.
- Μεθοδολογία μετρήσεων φυσικών παραμέτρων και ατμοσφαιρικών ρύπων. Μετρήσεις Φυσικής Ατμόσφαιρας. Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Μηχανισμοί καθαρισμού της ατμόσφαιρας. Αέρια ρύπανση σε αστικές περιοχές. Ποιότητα ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και αστικό μικροκλίμα.

Μετρήσεις

- Οι μετρήσεις είναι ζωτικής σημασίας για μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές μελέτες
 - Παρελθόν
 - Παρούσα κατάσταση
- Μεταβλητές ή παράμετροι
 - Θερμοκρασία
 - Υγρασία
 - Πίεση
 - Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου
 - Βροχοπτώση και χιονόπτωση
 - Ηλιακή και γήινη ακτινοβολία
 - Επίπεδα συγκεντρώσεων ρύπων

"Ο βαθμός ακρίβειας με τον οποίο μετράμε κάτι αντικατοπτρίζει το βάθος της κατανόησης που επιδιώκουμε."
Anders Celsius

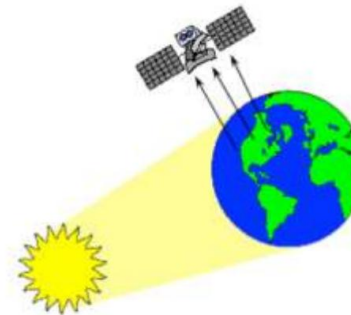
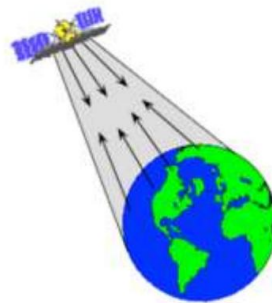
"Όταν μπορείτε να μετρήσετε αυτό για το οποίο μιλάτε και να το εκφράσετε με αριθμούς, τότε γνωρίζετε κάτι γι' αυτό. Όταν όμως δεν μπορείτε να το μετρήσετε, όταν δεν μπορείτε να το εκφράσετε με αριθμούς, η γνώση σας είναι πενιχρή και μη ικανοποιητική."
— Λόρδος Κέλβιν

Εισαγωγικές γνώσεις

- Αντιπροσωπευτικότητα
 - Ακρίβεια και ευαισθησία οργάνου
 - Τοποθεσία μέτρησης
- Έλεγχος ποιότητας
 - Μέθοδοι συλλογής και ανάλυσης
 - Βαθμονόμηση εξοπλισμού
 - Θέση μέτρησης
 - Επαλήθευση δεδομένων
 - Συντήρηση εξοπλισμού
- Διασφάλιση ποιότητας
 - Εξωτερικός έλεγχος διαδικασιών
- **Τοποθεσία μέτρησης:** σε σημεία που αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες του ευρύτερου περιβάλλοντος και όχι τοπικές αποκλίσεις
- **Διάρκεια και συχνότητα μέτρησης:** επαρκή χρονικό ορίζοντα ή συχνότητα για να καλύψει τις μεταβλητότητες
- **Μέθοδος και εξοπλισμός:** αξιόπιστος, ακριβής, και να καλύπτει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για το φαινόμενο
- **Επιλογή δειγμάτων**

Εισαγωγικές γνώσεις

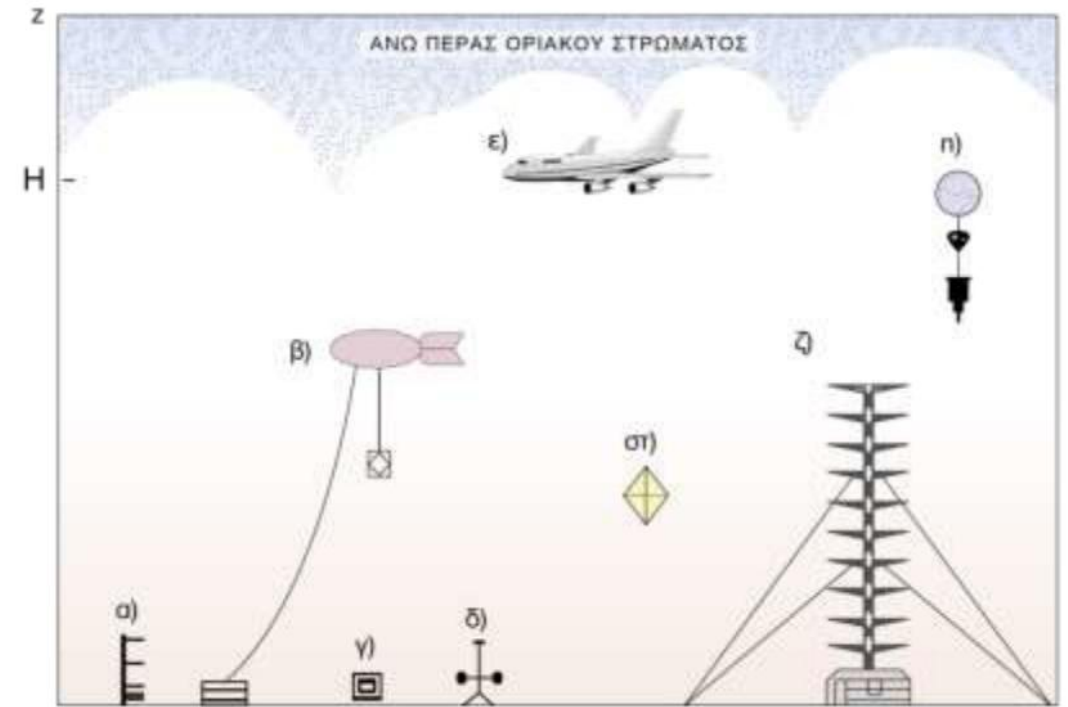
- Είδη εξοπλισμού/οργάνων
 - Μηχανικά (αναλογική έξοδος)
 - Ηλεκτρομηχανικά
 - Ηλεκτρονικά (ψηφιακή έξοδος)
- Είδη μετρήσεων
 - Άμεσες ή επιτόπιες
 - Εξ' αποστάσεως
 - Παθητική
Αεροφωτογραφίες
αναλογικές/ψηφιακές
Φασματικοί σαρωτές
 - Ενεργητική
Εικονοληπτικά Radar
Lidar / Sonar



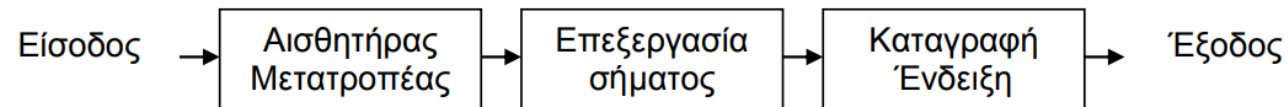
Εισαγωγικές γνώσεις

Το μετρητικό σύστημα είναι ένα λειτουργικό σύνολο συσκευών με τις οποίες είναι δυνατό να μετρήσουμε ένα μέγεθος, έτσι ώστε να αποκτήσουμε δεδομένα (μετρήσεις), τα οποία μπορούν κατόπιν να μεταδοθούν σε όργανα καταγραφής ή ένδειξης.

- Αισθητήρας
- Μονάδα επεξεργασίας σήματος
- Συσκευή ένδειξης
- καταγραφικό

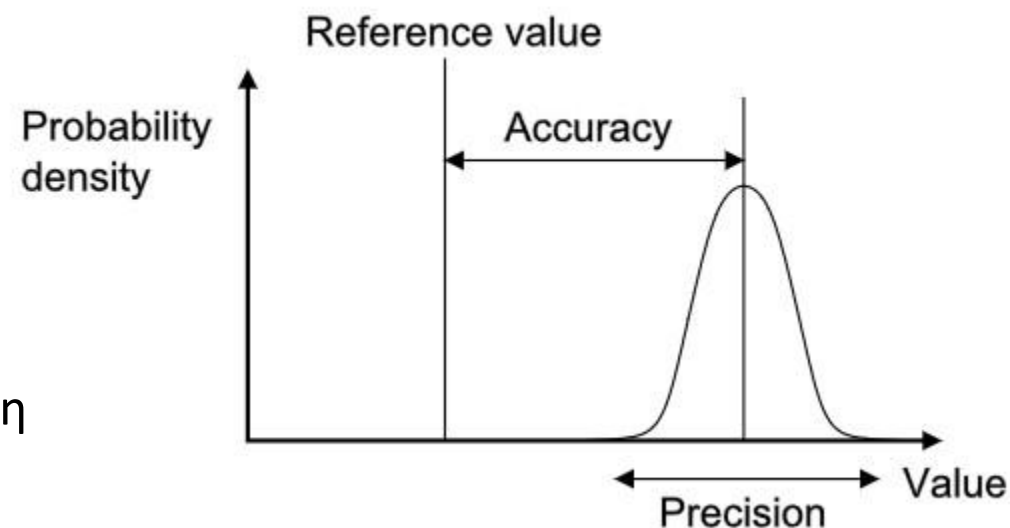


(Stull, 1988)



Εισαγωγικές γνώσεις

- Ειδικά χαρακτηριστικά (ακρίβεια, χρόνος απόκρισης, ειδικές επιδόσεις)
 - Αξιοπιστία
 - Ακρίβεια (ποιότητα οργάνου – ευαισθησία) – απόλυτη τιμή σφάλματος μέτρησης
 - Ορθότητα (accuracy) - μέτρηση κοντά στην πραγματική σε λογικό εύρος
 - Πιστότητα (precision) – ίδια ή με πολύ μικρή απόκλιση μέτρηση
 - Επαναληψιμότητα (repeatability)
 - Αναπαραγωγιμότητα (reproducibility)
 - Χρόνος απόκρισης/διακριτική ικανότητα (καταγραφή γρήγορων μεταβολών)
 - Κατώφλι / Εύρος/ Νεκρή Ζώνη /Υστέρηση/ Ολίσθηση
 - Κόστος
 - Ευκολία χρήσης – Συντήρηση – Διακρίβωση - Βαθμονόμηση
 - Αυτονομία οργάνου (αυτογραφικά)



By Pekaje at English Wikipedia -

Εισαγωγικές γνώσεις

- Μετρήσεις (είδος/κατηγορίες οργάνων)

- Σφάλματα (η διαφορά μεταξύ πραγματικής και μετρούμενης τιμής)

- Τυχαία Σφάλματα

- Διαφορές μεταξύ μετρούμενων δειγμάτων
- Διαφορές μεταξύ ίδιων δειγμάτων – διαφορετικοί αναλυτές
- Διαφορές μεταξύ μετρήσεων σε διαφορετικά εργαστήρια
- Διαφορές μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες)
- Διαφορές μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

- Συστηματικά Σφάλματα – σταθερό ή μεταβαλλόμενο κατά προβλεπόμενο τρόπο (γνωστές ή άγνωστες αιτίες)

- Σταθερά (ίδια επαναλαμβανόμενη τιμή σε κάθε μέτρηση)
- Γραμμικά (αύξουσα ή φθίνουσα γραμμική τάση από μέτρηση σε μέτρηση)
- Περιοδικά (περιοδικά από μέτρηση σε μέτρηση)
- Σύνθετα

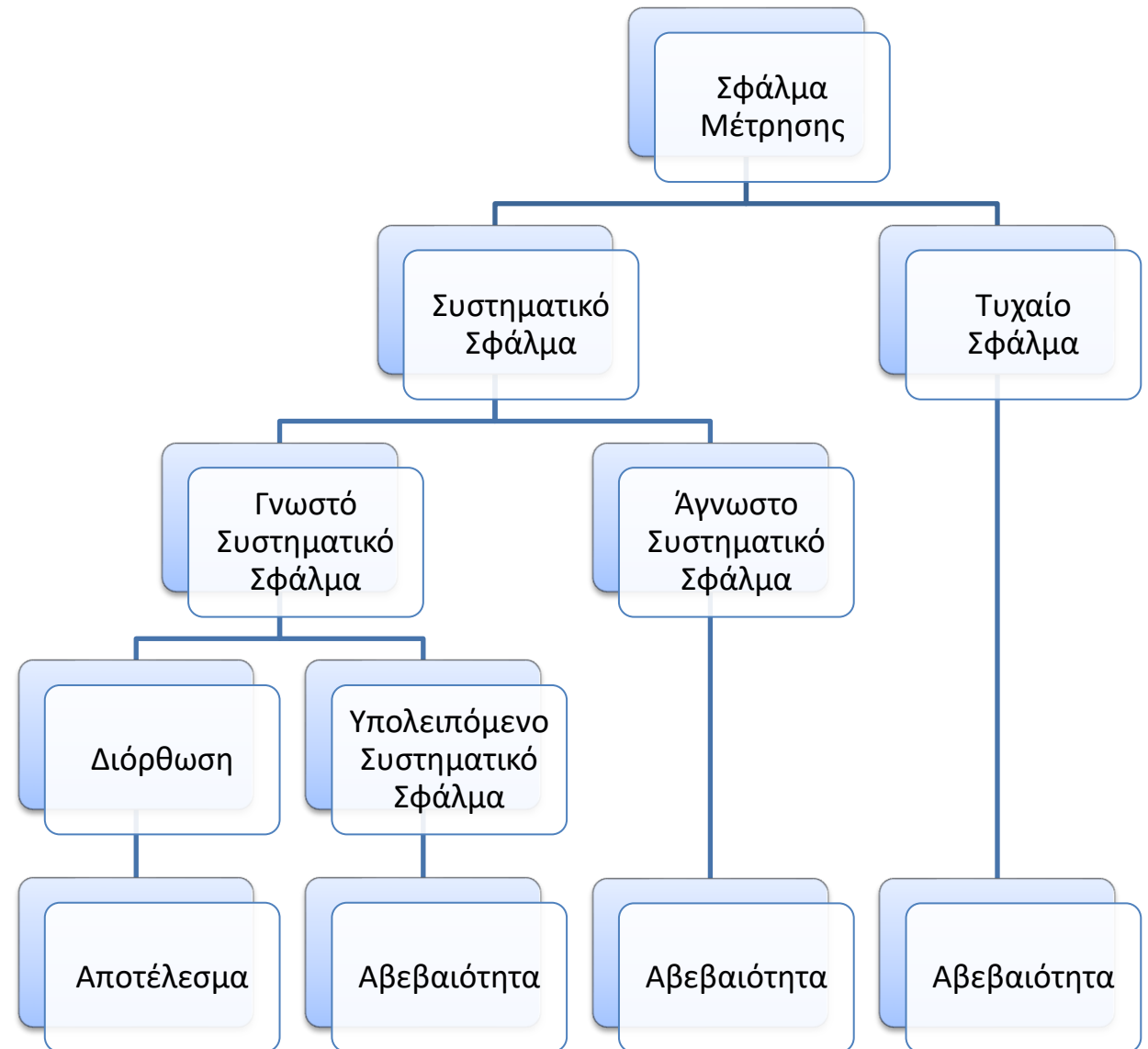
- Βάση δεδομένων (πληρότητα, ποιότητα, τεχνικές ελέγχου)

- Σημασία ύπαρξης logbook

$$\sigma_{ολ} = \sum \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

Αβεβαιότητα Μέτρησης

- Μέτρηση
 - Εκτίμηση μεγέθους
 - Ολοκληρωμένη μόνο με αβεβαιότητα
- Αβεβαιότητα μέτρησης
 - Εύρος τιμών που βρίσκεται η αληθής τιμή σε συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης
 - Δυνατότητα για
 - σύγκριση αποτελεσμάτων σε ίδια δείγματα
 - Έλεγχο αποκλίσεων από προδιαγραφές
 - Έλεγχο συμμόρφωσης με θεσμοθετημένα όρια
 - Αβεβαιότητα τύπου A
 - Αβεβαιότητα τύπου B



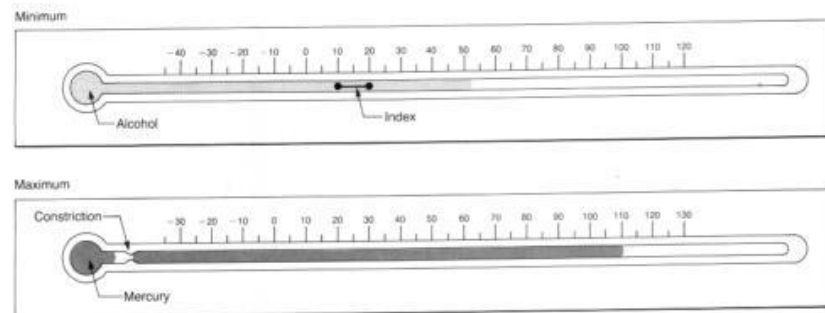
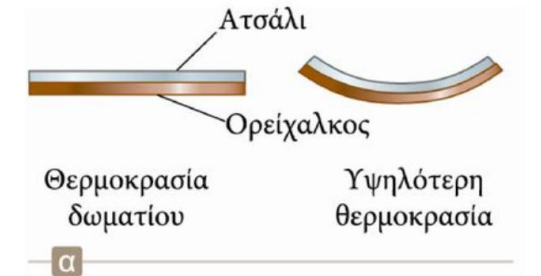
Θερμοκρασία - Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Κλίμακες
- Θερμόμετρα
 - Θερμόμετρα υγρού
 - Θερμική διαστολή (μεταβολή όγκου υγρού > μεταβολή όγκου γυαλιού)
 - Διαφορετικά υγρά για διαφορετικές μετρήσεις
 - Διμεταλλικό έλασμα
 - Διαφορά θερμικής διαστολής μετάλλων
 - Ηλεκτρική αντίσταση
 - Θερμοαντιστάσεις, θερμοημιγωγοί (thermistors)
 - Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο
 - Θερμοζεύγος (thermocouple), Θερμοστήλες (thermopiles)
- Ακροβάθμια θερμόμετρα
 - Μεγιστοβάθμια
 - Ελαχιστοβάθμια



$$\frac{C^{\circ}}{5} = \frac{F^{\circ} - 32}{9}$$

$$C^{\circ} = K - 273.15$$



Θερμοκρασία - Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Ηλεκτρονικά όργανα

- Θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης – γέφυρα Wheatstone (πλατίνα – αναλλοίωτη στον ατμοσφαιρικό αέρα, μεγάλη ειδική αντίσταση, απλή βαθμολόγηση)

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

R_T : Αντίσταση στη θερμοκρασία T

R_0 : Αντίσταση σε μια γνωστή θερμοκρασία αναφοράς (συνήθως 0°C)

α : Συντελεστής θερμοκρασίας

- Θερμοζεύγος (thermocouple) – φαινόμενο Seebeck (ικανοποιητική ακρίβεια, μεγάλο εύρος T , χαμηλό κόστος, μικρή έξοδος)

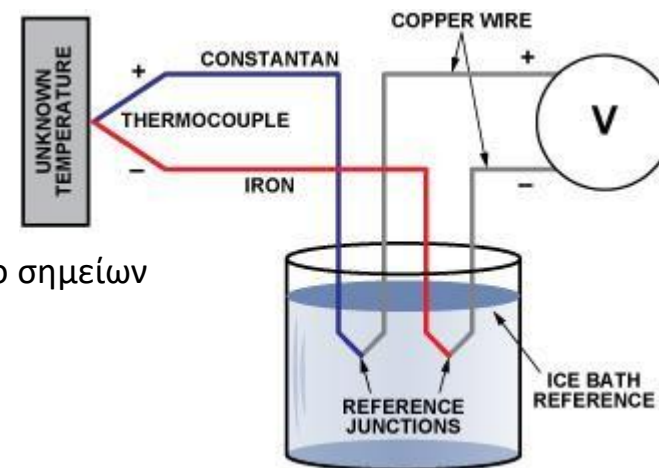
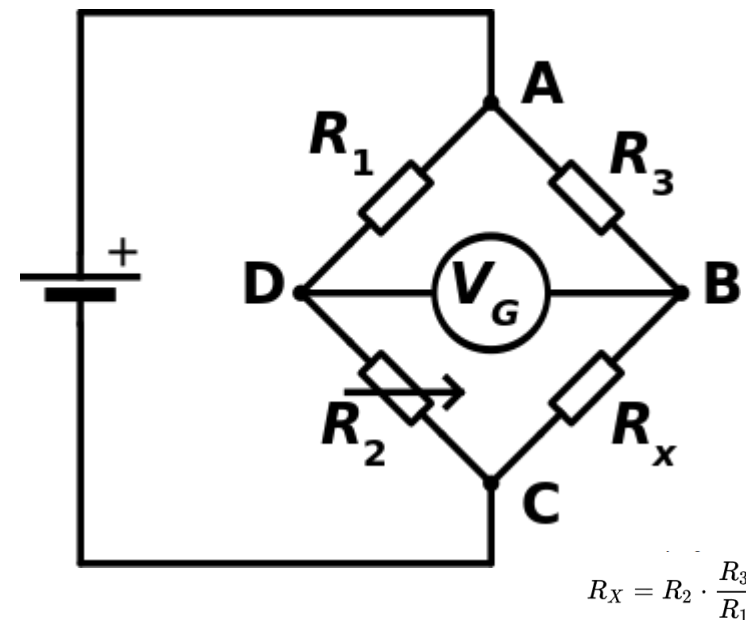
$$V_{out} = S(T_H - T_C)$$

V_{out} : Η παραγόμενη τάση από το θερμοζεύγος (αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων του θερμοζεύγους)

S : Ο συντελεστής Seebeck του θερμοζεύγους. Ορίζεται ως η τάση που παράγεται ανά μονάδα διαφοράς θερμοκρασίας (συνήθως μετράται σε $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$). Εξαρτάται από το υλικό του θερμοζεύγους

T_H : Η θερμοκρασία στο θερμό σημείο του θερμοζεύγους (hot junction)

T_C : Η θερμοκρασία στο ψυχρό σημείο του θερμοζεύγους (cold junction), θερμοκρασία αναφοράς

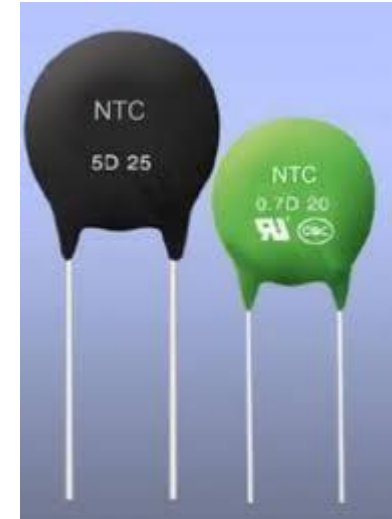


Θερμοκρασία - Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Thermistor – οξείδια μετάλλων πιεσμένα (ημιαγωγός) – σχήμα κυλινδρικό, σφαιρικό, ορθογώνιο, λεπτού φιλμ
 - Negative Temperature Coefficient (NTC): μικραίνουν την αντίστασή τους με την αύξηση της θερμοκρασίας (μη γραμμική σχέση)
 - Positive Temperature Coefficient (PTC): αυξάνουν την αντίστασή τους με την αύξηση της θερμοκρασίας

$$R = \alpha e^{b/T}$$

- Υψηλή ευαισθησία, μικρό μέγεθος, αστάθεια αντίστασης
- Θερμόμετρα υπέρυθρων (infrared thermometers) - μέτρηση της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αντικείμενα
 - Thermopiles - συστοιχίες θερμοζευγών (thermocouples) - συγκεντρώνουν την υπέρυθρη ακτινοβολία από το αντικείμενο-στόχο και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα
- Φαινόμενο Αυτοθέρμανσης (self-heating effect): μια αντίσταση που διαρρέεται από ρεύμα θερμαίνεται (φαινόμενο Joule) – πηγή σφάλματος



$$Q = I^2 R t$$

Q: η θερμότητα (joule) που παράγεται

I: η ένταση του ρεύματος (A)

R: η αντίσταση (Ω)

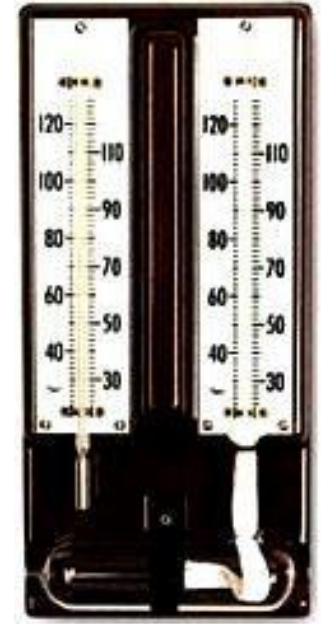
t: ο χρόνος (s) κατά τον οποίο ρέει το ρεύμα

Υγρασία - Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Υγρασία: Ποσό υδρατμών στην ατμόσφαιρα
- Εκφράσεις υγρασίας
 - Τάση υδρατμών – μέγιστη τάση υδρατμών (νόμος μερικών πιέσεων)
 - Απόλυτη υγρασία (αναλογία μείγματος – μάζα υδρατμών/μάζα ξηρού αέρα που τους περιέχει)
 - Ειδική υγρασία (μάζα υδρατμών/μάζα υγρού αέρα)
 - Σχετική υγρασία (μάζα υδρατμών σε όγκο V /μάζα υδρατμών σε V saturated)
 - Θερμοκρασία δρόσου (T στην οποία πρέπει να ψυχθεί μια αέρια μάζα υπό σταθερή P και χωρίς προσθήκη ή αφαίρεση υδρατμών, ώστε να κορεστεί)
 - Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (T κορεσμένης αέριας μάζας)

Υγρασία - Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Μέθοδοι μέτρησης
 - Ψυχρόμετρα (δυο όμοια θερμομέτρα – υγρό κι ξηρό) – πρότυπη μέθοδος
 - Υγρόμετρα (φυσική επίδραση υγρασίας σε υλικά)
 - Άλλοι τύποι (φασματοσκοπικά υγρόμετρα)



Ψυχρόμετρο
ASSMANN



$\Delta C \propto \text{humidity}$
humicap

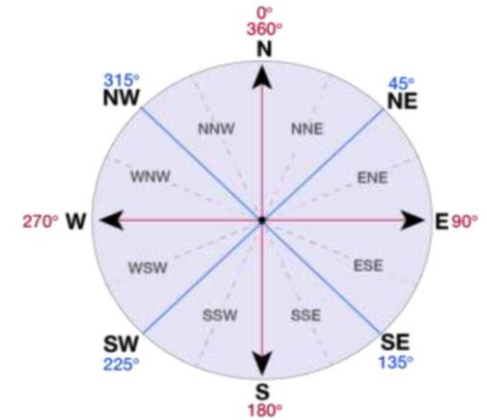
Βαθμονόμηση – Προστασία και αξιοπιστία μετρήσεων

- Βαθμονόμηση σε σταθερά σημεία
 - 0 C, 100 C, θερμοκρασία επιλογής
 - Σε Υγρό (λουτρό θερμοκρασίας)
 - Ψυκτικό ή θερμαντικό σώμα (με αναδευτήρα)
 - Όργανο αναφοράς
 - Υγρό που
 - Δεν προκαλεί χημικές αντιδράσεις
 - Δεν αλλοιώνει τον αισθητήρα
 - Δεν βραχυκυκλώνει τους ελεύθερους αισθητήρες
 - Σε φούρνο/κλίβανο
- Μετρήσεις σε κλωβό
 - 1.2-1.5m από το έδαφος
 - Πανω από γρασίδι
 - Εξωτερικά άσπρος με ανοίγματα/περσίδες
 - Η πόρτα βλέπει προς Βορρά



Άνεμος – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Συνδέεται άμεσα με τον καιρό, την ρύπανση, τη ναυτιλία, τη γεωργία
- Διανυσματικό μέγεθος
 - Διεύθυνση - Ανεμοδείκτες
 - Ταχύτητα – Ανεμόμετρα
- Διανυσματικά όργανα – longitudinal (κατά μήκος) – lateral (εγκάρσια) – vertical (κατακόρυφη)



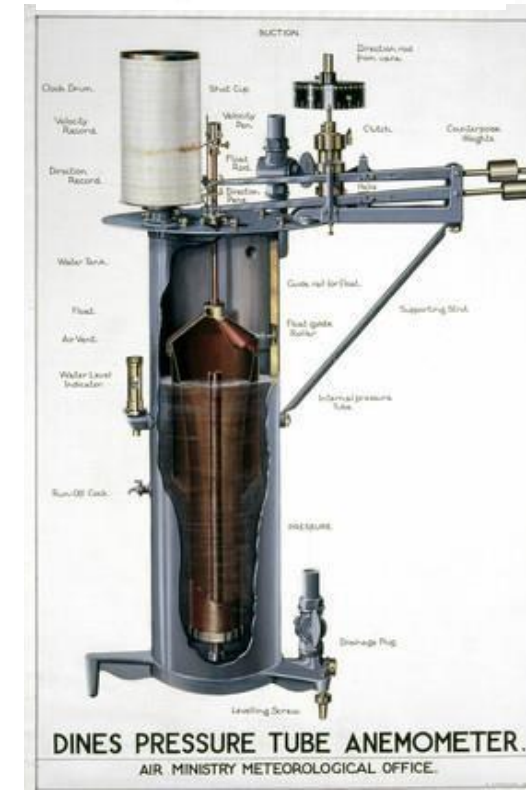
Άνεμος – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Ανεμοδείκτης
 - Μηχανικός
 - Ηλεκτρικός
- Ιδιότητες
 - Να περιστρέφεται με ελάχιστη τριβή
 - Να είναι καλά ζυγισμένο
 - Να είναι σχεδιασμένο για χαμηλό και υψηλό άνεμο
 - Να μην συντονίζεται
 - Να έχει γρήγορη απόκριση



Άνεμος – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Ανεμόμετρα (ανεμογράφοι) – κατώφλι, σταθερά αποστάσεως
 - Ανεμόμετρα ταχύτητας – αθροιστικά/μέσες τιμές
 - 3 κύπελλα κωνικά με στρογγυλεμένες άκρες – μείωση αποκλίσεων
 - Δεν έχει συμμετρική απόκριση
 - Δεν χρειάζεται προσανατολισμό
 - Ανεμόμετρα πίεσης - στιγμιαίες τιμές
 - Φαινόμενο Bernoulli
 - Ανεμόμετρα παραμόρφωσης
 - Εφαρμογές στην ωκεανογραφία (σύστημα τριών πυκνωτών για τον προσδιορισμό των τριών συνιστωσών)



Άνεμος – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- **Ανεμόμετρα (ανεμογράφοι)**

- **Ανεμόμετρα θερμικής αγωγιμότητας του αέρα (hot wire anemometer)**

- Ο ρυθμός απώλειας ενός θερμαινόμενου σώματος εξαρτάται και από την ταχύτητα του αέρα

$$RI^2 = (k + c\sqrt{u})(T - T_0)$$

R: Αντίσταση του σύρματος

I: Ρεύμα που το διαρρέει

k: Θερμικές απώλειες για μηδενική ταχύτητα ροής (u=0)

c: Σταθερά που εξαρτάται από τις ιδιότητες του αέρα

u: Ταχύτητα του αέρα

T: Θερμοκρασία του σύρματος

T₀: Θερμοκρασία περιβάλλοντος

- **Ηχητικά ανεμόμετρα (sonic anemometers)**

- Διεύθυνση και ταχύτητα (3 συνιστώσες)
 - Φαινόμενο Doppler

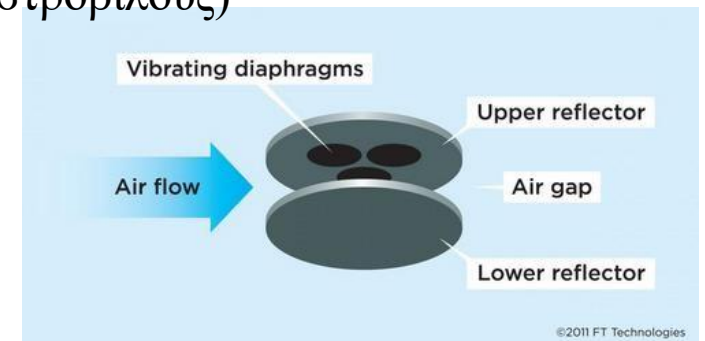
- **Acoustic resonance anemometer**

(Φαινόμενο σκέδασης ηχητικών κυμάτων από στροβίλους)

- Μικρό μέγεθος, ανθεκτικό
 - Όχι τόσο ακριβές
 - Ακουστικά κύματα (ultrasonic) τα οποία ταλαντώνονται σε μικρή κοιλότητα

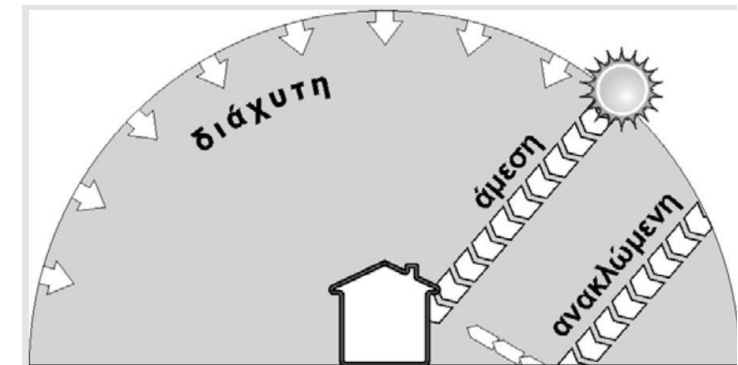


Ταχύτητα διάδοσης του ήχου μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου



Ηλιακή ακτινοβολία – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Άμεση (direct normal irradiance): η ακτινοβολία που έρχεται από την κατεύθυνση του Ήλιου
- Διάχυτη (diffuse horizontal irradiance): η ακτινοβολία που φτάνει σε μια οριζόντια επιφάνεια μετά από σκέδαση
- Ολική (global horizontal irradiance): το άθροισμα των δύο παραπάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια
- Ανακλώμενη: η ακτινοβολία εξαρτάται από τη γεωμετρία της περιοχής του κτηρίου, τα επιφανειακά υλικά γειτονικών κτηρίων που βρίσκονται σε οπτική επαφή με το κτήριο



Ηλιακή ακτινοβολία – Αρχή λειτουργίας εξοπλισμού

- Μέρη τυπικών οργάνων
 - Συλλέκτης ακτινοβολίας (γεωμετρικά χαρακτηριστικά μεγέθους)
 - Φασματική απόκριση (χαρακτηριστικά και εύρος φάσματος)
 - Ανίχνευση και μέτρηση (καθορισμός ακρίβειας μέτρησης)
 - Καταγραφή (βάση δεδομένων του μεγέθους)
- Είδη οργάνων μέτρησης ακτινοβολίας
- Φασματοφωτόμετρα
- Ακτινόμετρα (μέτρηση ολικής, άμεσης και διάχυτης συνιστώσας)
 - Πυρανόμετρα (ολική ακτινοβολία)
 - Πυρηλιόμετρα (άμεση ακτινοβολία- ολοφασματική ή μέρος του φάσματος με χρήση φίλτρων)



Ηλιακή ακτινοβολία – Απορροφητικότητα και Ανακλαστικότητα

- **ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

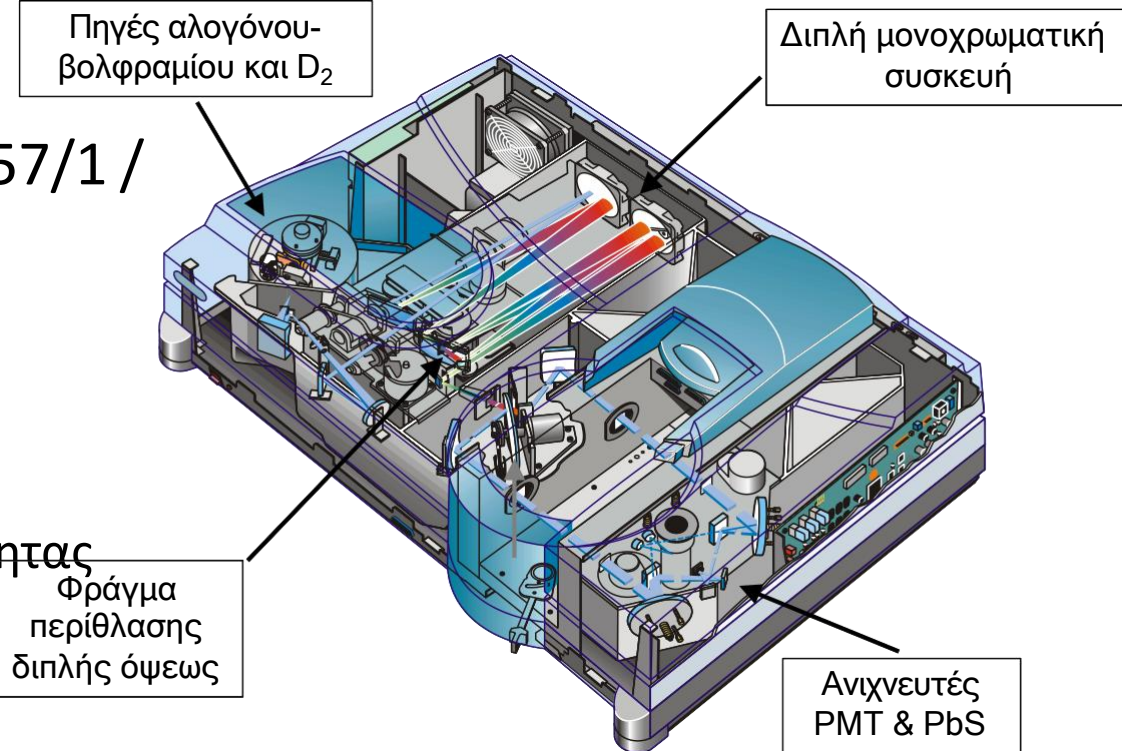
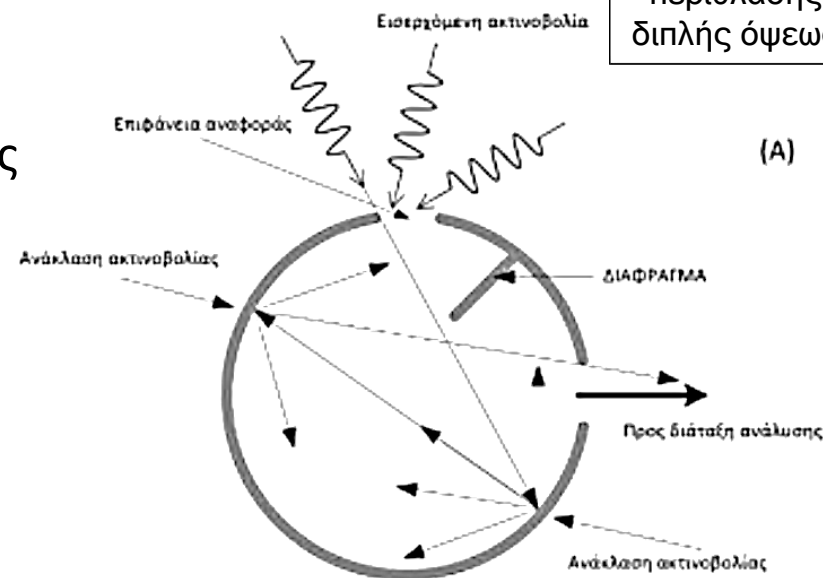
- ASTM E 903-12 / ASTM E 275-13 / ΕΛΟΤ 1057/1 / ΕΛΟΤ 1057/2 / ΕΛΟΤ 1057/3

- **ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

- Μήκη κύματος από 175nm έως 3300nm
- Διάφανα δείγματα: μετρήσεις μετάδοσης
- Στερεά αδιάφανα δείγματα: μετρήσεις ανακλαστικότητας

- **ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

- Εσωτερικός
- Διεργαστηριακός έλεγχος
- Ετήσιος Έλεγχος



Βαθμονόμηση εξοπλισμού

- Άνεμος

- Αεροσύραγγες μικρού ή μεγάλου μεγέθους (διαπιστευμένες ή μη) που πληρούν κριτήρια προτύπων
- Μέτρηση του σήματος εξόδου ανεμομέτρου σε καθορισμένες συνθήκες ροής ώστε να υπολογιστεί η σχέση που συνδέει το σήμα εξόδου με την ταχύτητα του ανέμου του οργάνου



- Ηλιακή ακτινοβολία

- Επιλογή αισθητήρα αναφοράς: πιστοποιημένος αισθητήρας αναφοράς, βαθμονομημένος από εργαστήριο με διεθνή αναγνώριση, World Radiometric Reference (WRR)
- Προετοιμασία οργάνων: Το ακτινόμετρο προς βαθμονόμηση και ο αισθητήρας αναφοράς τοποθετούνται σε ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος (οριζόντια ή σύμφωνα με την κλίση της ακτινοβολίας μέρησης)
- Καταγραφή δεδομένων: ακτινοβολία για καθορισμένη χρονική περίοδο για διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας
- Υπολογισμός συντελεστή βαθμονόμησης: $C = E_r / E_m$



Αέριοι Ρύποι

- Σημεία ενδιαφέροντος σταθμών μέτρησης
 - Υπόβαθρη ρύπανση (αντιπροσωπευτική της περιοχής)
 - Πηγές ανθρωπογενών εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων
 - Έλεγχος πηγών (συστήματα και τεχνολογίες διαχείρισης ρύπων) τόσο πριν τη μέτρηση όσο και μετά
 - Αξιολόγηση δεδομένων σε σχέση με τις νομοθετικές ρυθμίσεις που ισχύουν
 - Συνδυασμός μετρήσεων με ατμοσφαιρικά μοντέλα
- Μονάδες μέτρησης συγκεντρώσεων ρύπων
 - αναλογία μείγματος κατά όγκο σε μέρη ανα εκατομμύριο (ppm)
 - πυκνότητα ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Όρια (διαφορετικά για κάθε ρύπο)
 - Συγκεντρώσεις πάνω από τις οποίες ενημερώνεται το κοινό
 - Τιμές που δεν πρέπει να υπερβαίνονται συχνά

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \cdot \frac{100 \cdot p \cdot M_i}{8.314 \cdot T}$$

p : πίεση (hPa)

T : θερμοκρασία αέρα (K)

M_i : μοριακό βάρος στοιχείου i

Αέριοι Ρύποι

- Αξιοπιστία μετρήσεων

- Τακτικός έλεγχος καλής λειτουργίας εξοπλισμού (σύμφωνα με τον κατασκευαστή αλλά και τα πρότυπα)
- Συντήρηση εξοπλισμού ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή
- Χρήση logbook για την καταγραφή λεπτομερειών σχετικά με τον εξοπλισμό
- Περιοδική βαθμονόμηση εξοπλισμού (σύμφωνα με τον κατασκευαστή αλλά και τα πρότυπα)

- Βαθμονόμηση

- Ανάλογα με το είδος των μετρήσεων
- Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας
- Σε τακτικά χρονικά διαστήματα

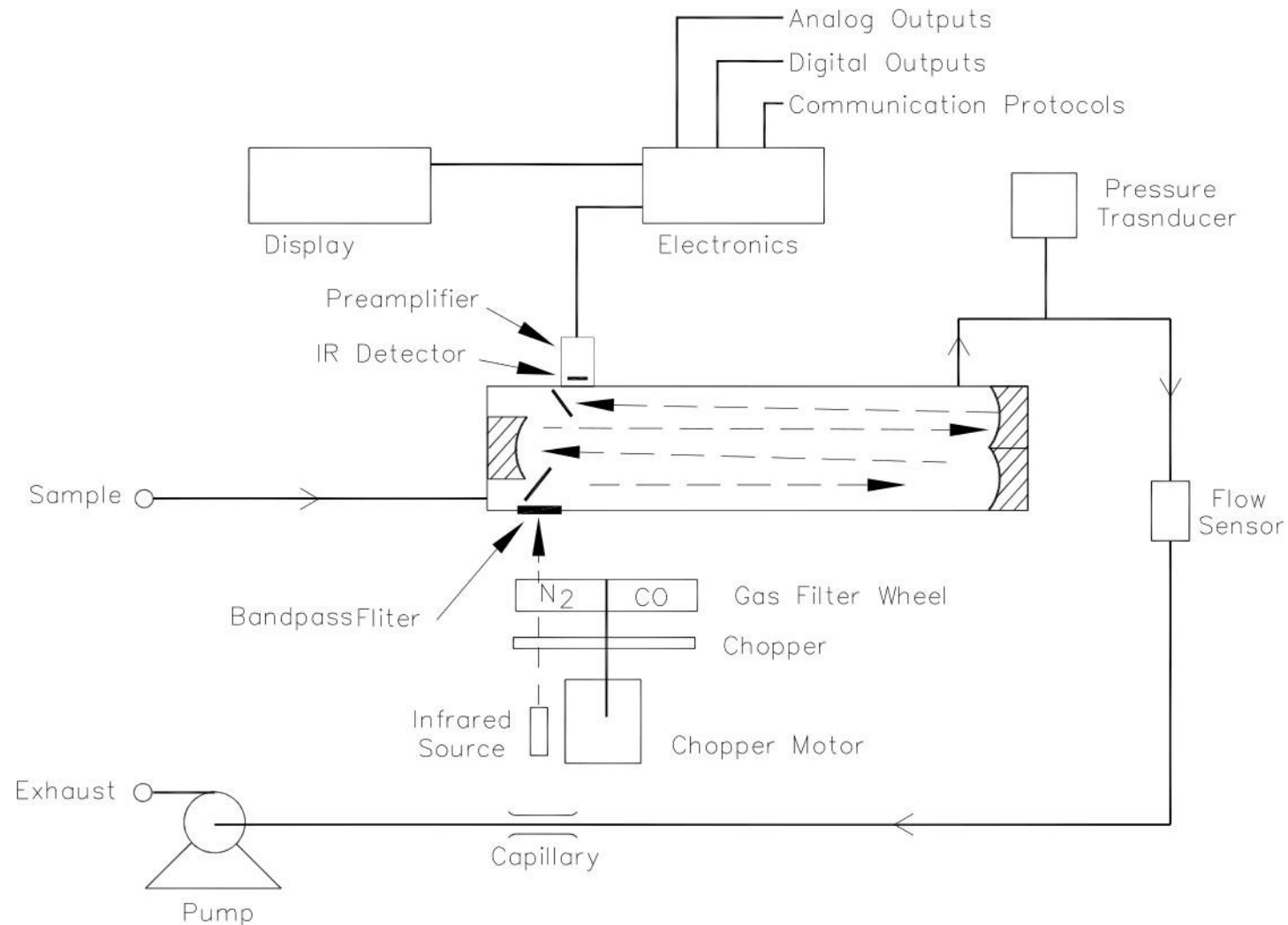
Μέτρηση CO

- Αρχή μέτρησης
 - Το CO απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία (νόμος Lambert-Beer)
- Αρχή λειτουργίας
 - Το δείγμα εισέρχεται στον αναλυτή περνά από οπτικό φίλτρο 4,7μm
 - Ακτινοβολία από IR πηγή περνάει διακεκομμένα από δυο κελιά (ένα με CO κι ένα με N₂) και εισέρχεται στο θάλαμο μέτρησης όπου ανακλάται και τελικά καταλήγει στη φωτοδίοδο
 - Το κελί CO παράγει μια ακτινοβολία αναφοράς ενώ το κελί N₂ (δεν απορροφά την IR) παράγει τη μετρούμενη ακτινοβολία
 - Άλλοι αέριοι ρύποι δεν επηρεάζουν καθώς και στα δύο κελιά η απορρόφηση θα είναι η ίδια

Μέτρηση CO

Επειδή η υπέρυθρη απορρόφηση είναι μία μη γραμμική μέθοδος μέτρησης, είναι αναγκαίο να μετατραπεί το σήμα του βασικού αναλυτή σε γραμμικό.

Ο αναλυτής χρησιμοποιεί μία εσωτερικά αποθηκευμένη καμπύλη βαθμονόμησης έτσι ώστε η έξοδος του αναλυτή να είναι ακριβώς γραμμική για τιμές συγκεντρώσεων μέχρι 10,000ppm.



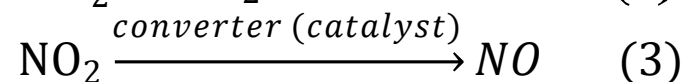
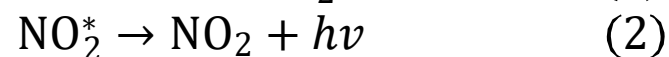
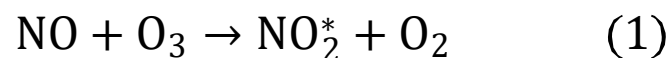
Μέτρηση CO

- Βαθμονόμηση
 - **Εξοπλισμός που απαιτείται.**
 - Πρότυπες φιάλες CO γνωστής συγκέντρωσης (concentration standard)
 - Φιάλη καθαρού αέρα
 - **Διαδικασία βαθμονόμησης**
 - Γίνονται μετρήσεις συγκέντρωσης του ρύπου από πρότυπες φιάλες αερίου για τέσσερα σημεία
 - Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης των πρότυπων φιαλών : 0, 200, 500, 995ppm
 - Για κάθε σημείο λαμβάνονται 5 τιμές με συγκεκριμένο χρονικό βήμα
 - Για κάθε σημείο της καμπύλης βαθμονόμησης υπολογίζεται η μέση τιμή των πέντε μετρημένων τιμών
 - Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι της μορφής $Y = a * X + b$
 - Οι συντελεστές a και b τίθενται μέσω του λογισμικού στον αναλυτή για τον προσδιορισμό των τιμών της συγκέντρωσης.
 - Οι μέσες τιμές των μετρημένων τιμών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της καμπύλης βαθμονόμησης

Μέτρηση NO_x

- Αρχή μέτρησης

- Χημειοφωταύγεια (Chemiluminescence): η εκπομπή φωτός κατά την διαδικασία μίας χημικής αντίδρασης (αντίδραση του μονοξειδίου του αζώτου με τον όζον).
- το νιτρικό οξείδιο (NO) και το όζον (O₃) αντιδρούν για να παράγουν μία χαρακτηριστική δέσμη φωτός όζοντος με ένταση γραμμικά ανάλογη με την συγκέντρωση NO



- Αρχή λειτουργίας

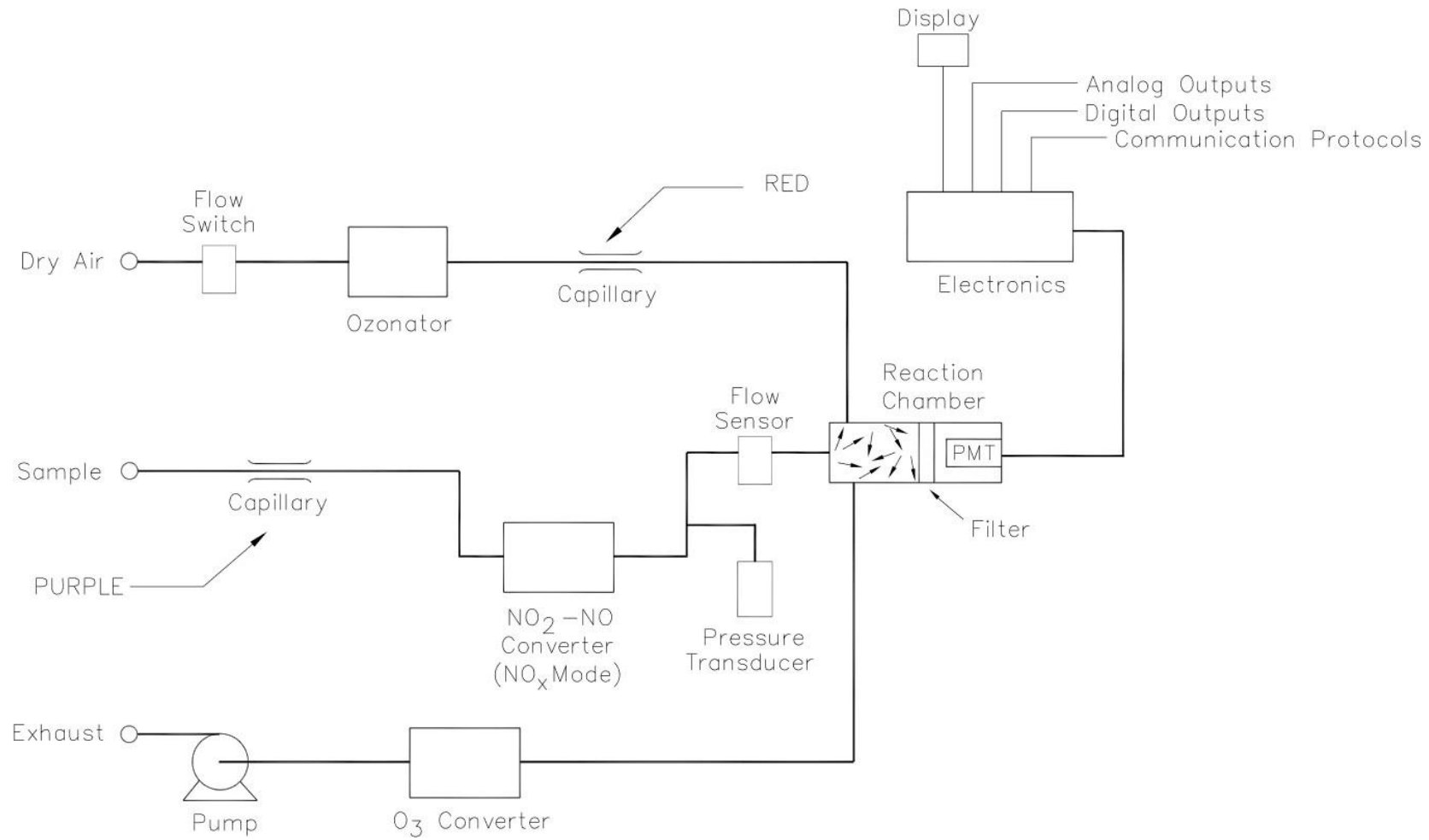
- NO

- ο αέρας περνάει μέσα από ένα φίλτρο (για να αποφευχθεί μόλυνση του αέριου συστήματος, ειδικά οι οπτικοί παράγοντες του αναλυτή) και τροφοδοτείται με σταθερό ρυθμό στον θάλαμο αντιδράσεων του αναλυτή και αναμειγνύεται με υπερδοσολογία όζοντος (καθορισμός NO)
 - Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ανάλογη με τον αριθμό μορίων NO στην συχνότητα ανίχνευσης και ανάλογη με τη συγκέντρωση NO
 - Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία φιλτράρεται από ένα επιλεκτικό οπτικό φίλτρο και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα από ένα φωτοπολλαπλασιαστικό σωλήνα ή μια φωτοδίοδο (photodiode)

- NO₂

- μέσω μετατροπέα το NO₂ ανάγεται σε NO και αναλύεται με τον ίδιο τρόπο
 - Το ηλεκτρικό σήμα στον φωτοπολλαπλασιαστικό σωλήνα ή τη φωτοδίοδο είναι ανάλογο με το άθροισμα των συγκεντρώσεων των NO₂ και NO.
 - Το ποσοστό NO₂ υπολογίζεται από την διαφορά μεταξύ αυτής της συγκέντρωσης και αυτής του NO (όταν ο αέρας που ελέγχεται δεν έχει περάσει από τον μετατροπέα).

Μέτρηση NO_x



- Βαθμονόμηση
 - **Εξοπλισμός που απαιτείται.**
 - Πρότυπες φιάλες NO_x γνωστής συγκέντρωσης (concentration standard)
 - Φιάλη καθαρού αέρα
 - **Διαδικασία βαθμονόμησης**
 - Γίνονται μετρήσεις συγκέντρωσης του ρύπου από πρότυπες φιάλες αερίου για τέσσερα σημεία
 - Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης των πρότυπων φιαλών : 0, 22, 53, 81ppm.
 - Για κάθε σημείο λαμβάνονται 5 τιμές με συγκεκριμένο χρονικό βήμα
 - Για κάθε σημείο της καμπύλης βαθμονόμησης υπολογίζεται η μέση τιμή των πέντε μετρημένων τιμών
 - Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι της μορφής $Y = a * X + b$
 - Οι συντελεστές a και b τίθενται μέσω του λογισμικού στον αναλυτή για τον προσδιορισμό των τιμών της συγκέντρωσης.
 - Οι μέσες τιμές των μετρημένων τιμών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της καμπύλης βαθμονόμησης

Μέτρηση O₃

- Αρχή μέτρησης
 - τα μόρια όζοντος απορροφούν υπεριώδη ακτινοβολία σε μήκος κύματος 254 nm σύμφωνα με το νόμο των Beer-Lambert

$$\frac{I}{I_r} = e^{-KLC}$$

K= συντελεστής μοριακής απορρόφησης (molecular absorption coefficient), 308 cm⁻¹ (at 0°C and 1 atmosphere)

L= (μήκος του κελιού) length of cell, 38 cm

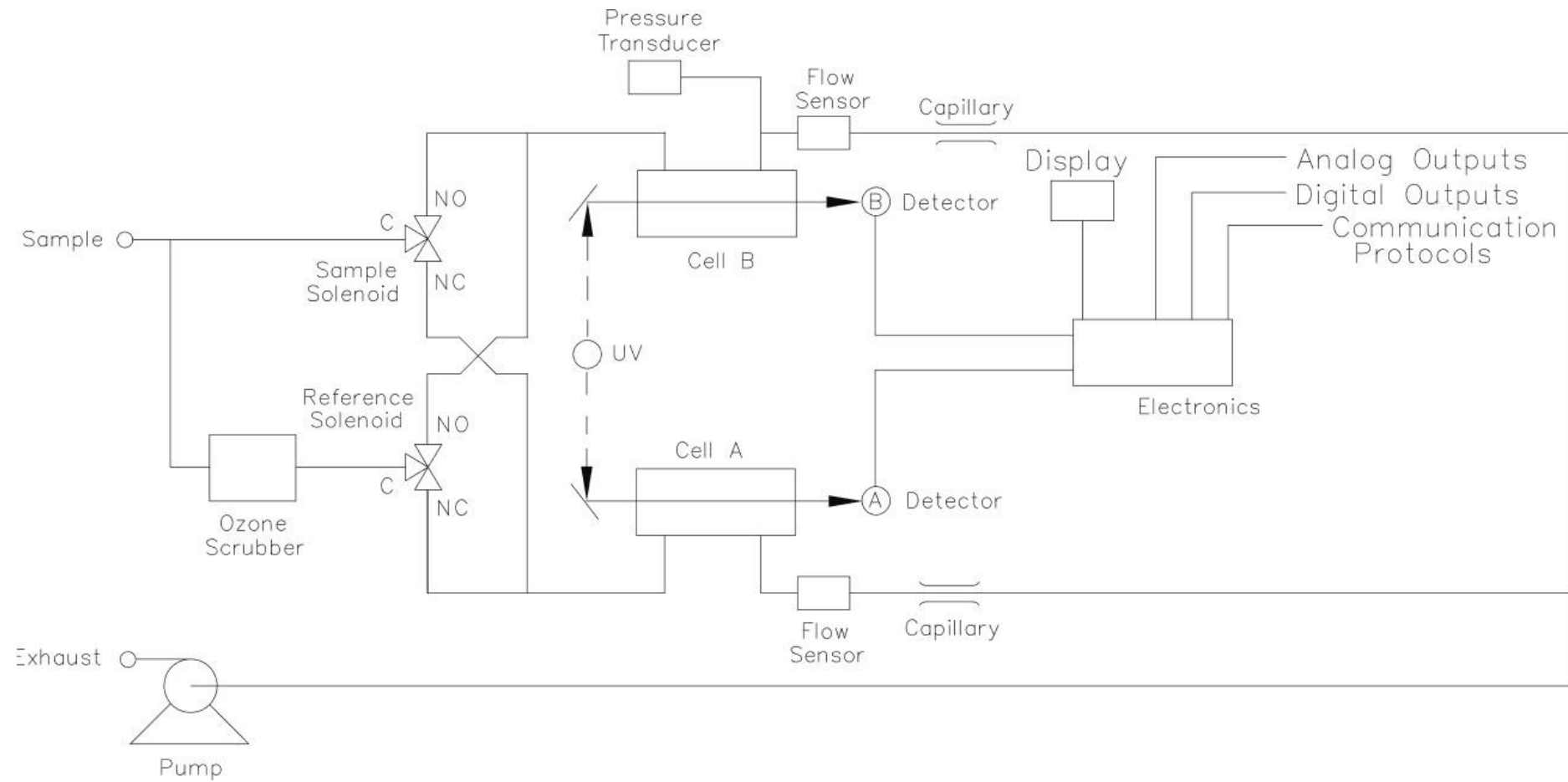
C= συγκέντρωση όζοντος σε μέρη ανά εκατομμύριο (ozone concentration in parts per million) (ppm)

I= ένταση της υπεριώδους ακτινοβολία του δείγματος (UV light intensity of sample with ozone) (sample gas)

I_r= ένταση της υπεριώδους ακτινοβολία του αερίου αναφοράς (UV light intensity of sample without ozone) (reference gas)

- Αρχή λειτουργίας
 - ο αέρας έλκεται από κελί οπτικής απορρόφησης όπου ακτινοβολείται από μονοχρωματική ακτινοβολία, με κέντρο 253,7 nm, από μία σταθερή χαμηλής-πίεσης λάμπα εκκένωσης υδραργύρου (Hg)
 - Ο αέρας χωρίζεται σε δύο κελιά: κελί δείγματος και κελί αναφοράς (χωρίς όζον)
 - η υπεριώδης ακτινοβολία που περνάει μέσα από το κελί απορρόφησης, μετριέται από μια φωτοδίοδο ή έναν φωτοπολλαπλασιαστικό ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα
 - Η διαφορά στην απορρόφηση της υπεριώδους στα δύο κελιά οδηγεί στον υπολογισμό του μέτρου της συγκέντρωσης όζοντος στον περιβάλλοντα αέρα

Μέτρηση O_3



Μέτρηση O_3

- Βαθμονόμηση
 - **Εξοπλισμός που απαιτείται.**
 - Πρότυπες φιάλες O_3 γνωστής συγκέντρωσης (concentration standard)
 - Φιάλη καθαρού αέρα
 - **Διαδικασία βαθμονόμησης**
 - Γίνονται μετρήσεις συγκέντρωσης του ρύπου από πρότυπες φιάλες αερίου για τέσσερα σημεία
 - Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης των πρότυπων φιαλών : 0, 22, 53, 81ppm.
 - Για κάθε σημείο λαμβάνονται 5 τιμές με συγκεκριμένο χρονικό βήμα
 - Για κάθε σημείο της καμπύλης βαθμονόμησης υπολογίζεται η μέση τιμή των πέντε μετρημένων τιμών
 - Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι της μορφής $Y = a * X + b$
 - Οι συντελεστές a και b τίθενται μέσω του λογισμικού στον αναλυτή για τον προσδιορισμό των τιμών της συγκέντρωσης.
 - Οι μέσες τιμές των μετρημένων τιμών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της καμπύλης βαθμονόμησης

Μέτρηση SO₂

- Αρχή μέτρησης

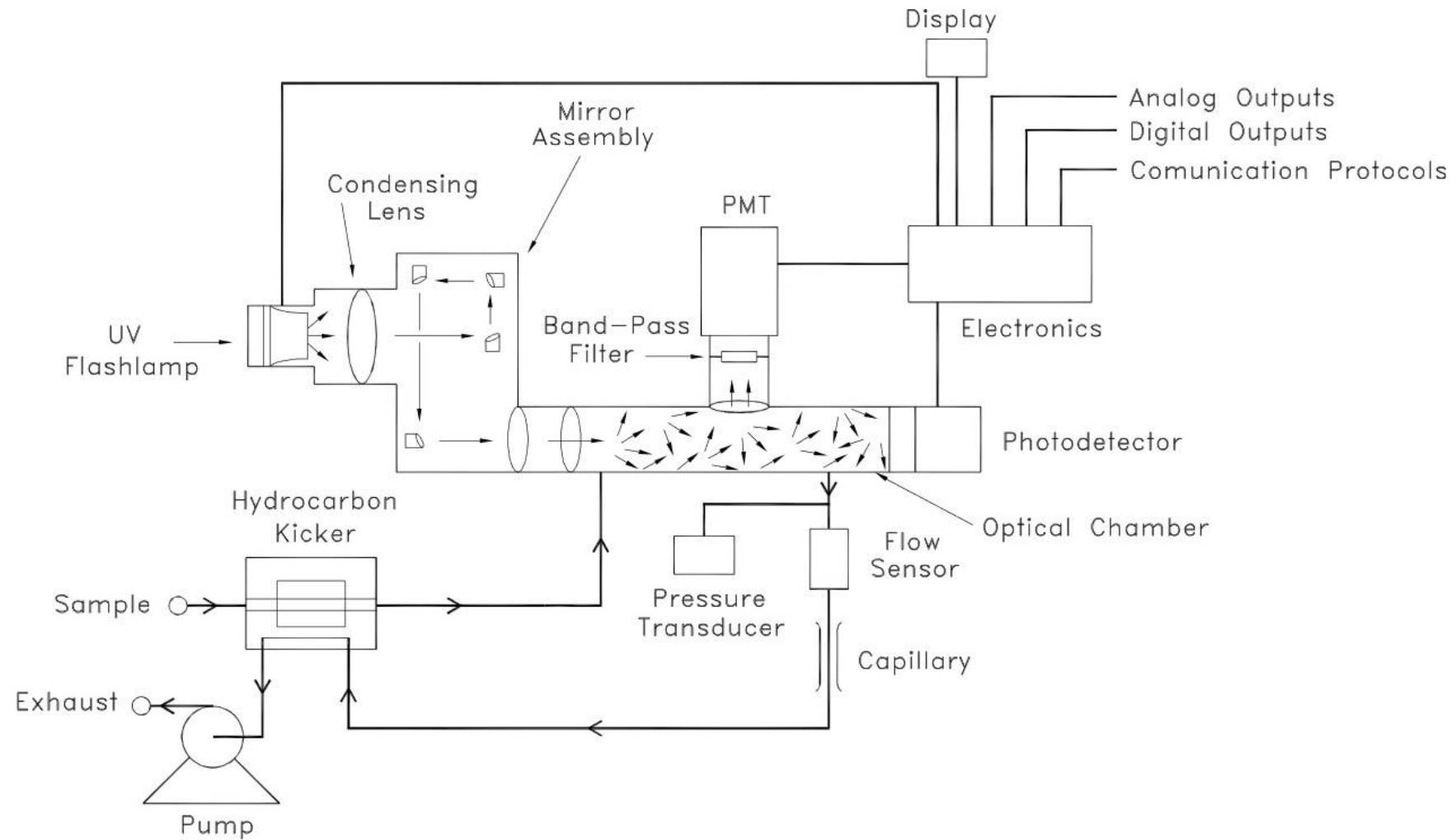
- τα μόρια του SO₂ απορροφούν υπεριώδη ακτινοβολία και διεγείρονται σε ένα μήκος κύματος και στη συνέχεια πέφτουν σε μια κατάσταση μικρότερης ενέργειας στην οποία εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος



- Αρχή λειτουργίας

- Το δείγμα εισέρχεται στον αναλυτή και αφαιρούνται οι υδρογονάνθρακες από το δείγμα ενώ τα μόρια του SO₂ περνάνε ανεπηρέαστα
- Στον θάλαμο φθορισμού, παλλόμενη υπεριώδης ακτινοβολία διεγείρει τα μόρια SO₂.
- Ο συγκεντρωτικός φακός εστιάζει την παλλόμενη υπεριώδη ακτινοβολία σε μια σύνθεση από καθρέφτες (4 επιλεκτικοί καθρέφτες που αντανακλούν μόνο τα μήκη κύματος που διεγείρουν τα μόρια SO₂)
- Τα διεγερμένα μόρια SO₂ μεταπηδούν σε χαμηλότερα ενεργειακά επίπεδα και εκπέμπουν ακτινοβολία που είναι ανάλογη με τις συγκεντρώσεις του SO₂.
- Το διαπερατό φίλτρο επιτρέπει μόνο στα μήκη κύματος που εκπέμπονται από τα διεγερμένα μόρια SO₂ να φτάσουν το φωτοπολλαπλασιαστικό σωλήνα (PMT).
- Η φωτοδίοδος ανιχνεύει τις εκπομπές υπεριώδους ακτινοβολίας από τα μόρια SO₂ που μεταπηδούν σε χαμηλότερα ενεργειακά επίπεδα .

Μέτρηση SO_2



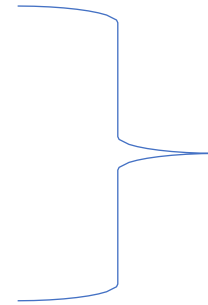
Μέτρηση SO₂

- Βαθμονόμηση
 - **Εξοπλισμός που απαιτείται.**
 - Πρότυπες φιάλες SO₂ γνωστής συγκέντρωσης (concentration standard)
 - Φιάλη καθαρού αέρα
 - **Διαδικασία βαθμονόμησης**
 - Γίνονται μετρήσεις συγκέντρωσης του ρύπου από πρότυπες φιάλες αερίου για τέσσερα σημεία
 - Ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης των πρότυπων φιαλών : 0, 22, 53, 81ppm.
 - Για κάθε σημείο λαμβάνονται 5 τιμές με συγκεκριμένο χρονικό βήμα
 - Για κάθε σημείο της καμπύλης βαθμονόμησης υπολογίζεται η μέση τιμή των πέντε μετρημένων τιμών
 - Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι της μορφής $Y = a * X + b$
 - Οι συντελεστές a και b τίθενται μέσω του λογισμικού στον αναλυτή για τον προσδιορισμό των τιμών της συγκέντρωσης.
 - Οι μέσες τιμές των μετρημένων τιμών χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας της καμπύλης βαθμονόμησης

Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη

- Πολύπλοκα και διαφορετικά συστήματα για

- Οπτικές ιδιότητες
- Χημικές ιδιότητες
- Μικροφυσικές ιδιότητες



Μεγάλες διακυμάνσεις σε μέγεθος, σχήμα οπτικές ιδιότητες και χημική σύσταση

- Μέθοδοι μέτρησης

- Φίλτρα
- Συσκευή υψηλής παροχής
- Σκέδαση φωτός

Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη - Μέθοδοι μέτρησης

- Φίλτρα
 - Πρότυπη μέθοδος
- Διάταξη
 - Κεφαλή φίλτρου
 - Αντλία
 - Ροόμετρο
- Διαδικασία
 - Αφύγρυνση φίλτρου
 - Ζύγιση φίλτρου
 - Χρήση φίλτρου στην διάταξη
 - Ζύγιση φίλτρου (η τιμή της συγκέντρωσης προκύπτει διαιρώντας τη σωματιδιακή μάζα με τον ολικό όγκο αέρα που αντλήθηκε)
- Αυτόματη δειγματοληψία μέχρι 16 κεφαλές



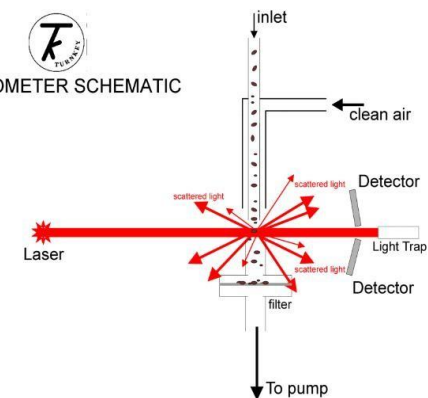
Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη - Μέθοδοι μέτρησης

- Συσκευή υψηλής παροχής
 - Μέτρηση μερικής συγκέντρωσης PM10 (όριο από την EPA συνδεδεμένο με προβλήματα ρύπανσης)
- Διάταξη
 - Διάταξη σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 10 PM (κατακράτηση σε κυψελίδες)
 - Διάταξη για μικρότερα σωματίδια
 - Συσκευή ελέγχου ροής
- Διαδικασία
 - Διαχωρισμός σωματιδίων μεγάλου και μικρού μεγέθους
 - Συλλογή μικρών σωματιδίων σε φίλτρο υαλονημάτων



Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη - Μέθοδοι μέτρησης

- Σκέδαση φωτός (light scattering technique)
 - Προσδιορισμός συγκέντρωσης αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης ανά μέγεθος αεροδυναμικής διαμέτρου (εύρος: 0.4 μικρόμετρα με περίπου 20 μικρόμετρα). Οτιδήποτε πάνω από 20 μικρόμετρα καταγράφεται ως σωματίδιο με αεροδυναμική διάμετρο 20 μικρόμετρα.
- Διάταξη
 - Αυτόματος αναλυτής
- Διαδικασία
 - Αντλία με ροή 10cc/sec (600 cc/min) τραβάει αέρα
 - Τα σωματίδια οδηγούνται σε ακτίνα λέιζερ
 - Υπολογίζεται το μέγεθος των σωματιδίων
 - Η σκεδασμένη ακτίνα από τα σωματίδια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό παλμό ανάλογος με το μέγεθος των σωματιδίων.
 - Η ένταση της ακτίνας φωτός είναι ένδειξη του μεγέθους των σωματιδίων
 - ο επεξεργαστής υπολογίζει την αναμενόμενη μάζα του σωματιδίου (υποθέτει ότι η πυκνότητα του σωματιδίου είναι 1.5 grams/cc)



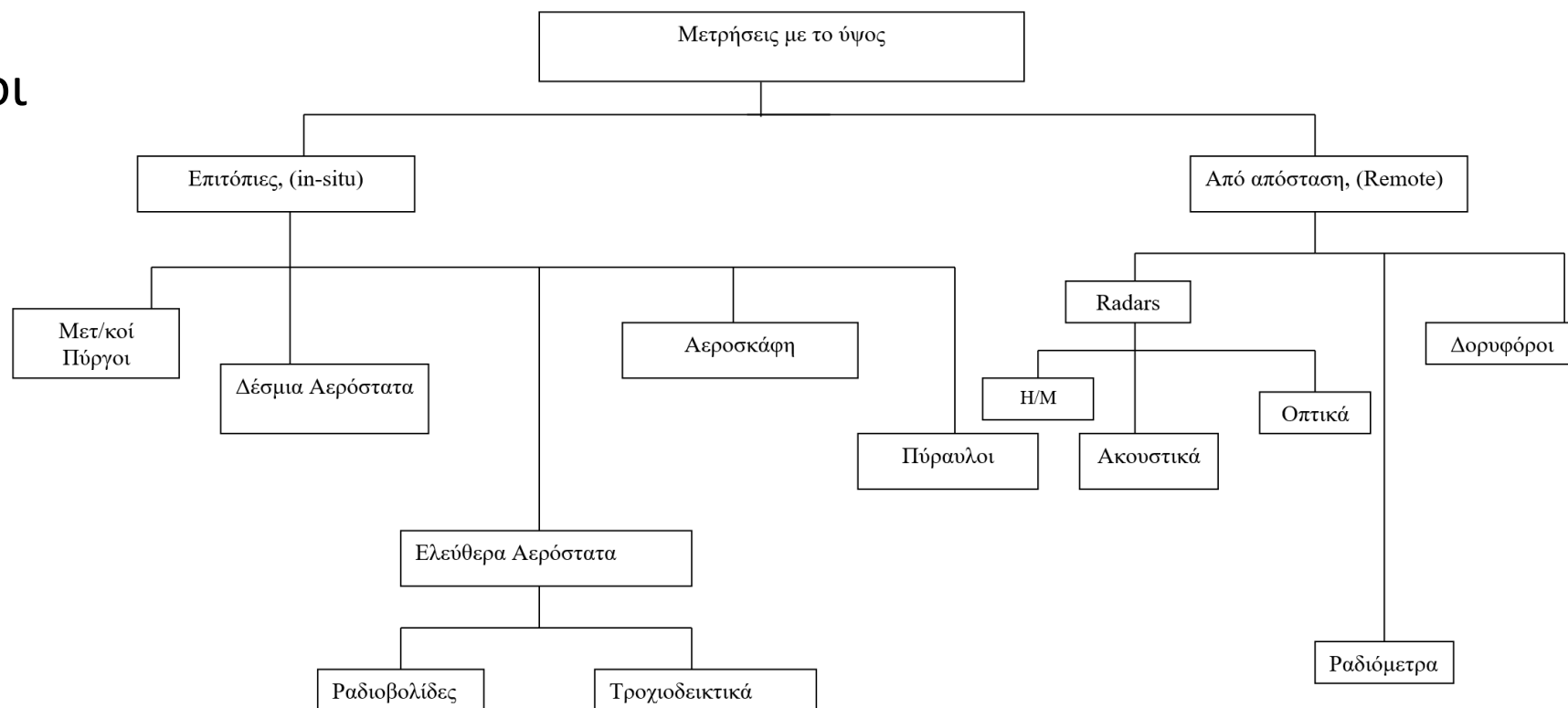
Μετρήσεις Ανώτερης Ατμόσφαιρας

- Επιτόπιες

- Μετεωρολογικοί πύργοι
- Δέσμια/ ελεύθερα αερόστατα
- Με τη βοήθεια αεροσκαφών

- Τηλεπισκόπηση

- Ραντάρ καιρού
- Ακουστικά ραντάρ
- LIDAR
- Τεχνικές δορυφορικής τηλεπισκόπησης



Μετεωρολογικοί πύργοι

- Ξεκινούν από 5 -10 μέτρα και φτάνουν τα 300 μέτρα
- Εξοπλισμός ανάλογα με το βάρος του και την ικανότητα των πύργων να τον υποστηρίξουν
- Κόστος: 10μετρος πύργος-> μερικές χιλιάδες ευρώ
300 μέτρων πύργος -> δεκάδες εκατομμύρια έως >1 δισ. δολάρια (ανάλογα με χρήση & υποδομές)
- Μετεωρολογικός δικτυωτός ιστός 84 μέτρων Μετεωρολογικό Ιστό Δημόκριτου (Αττική)

1) Τι μετράνε πραγματικά

•Ταχύτητα & διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, ακτινοβολία, τύρβη (σε ειδικές διατάξεις)

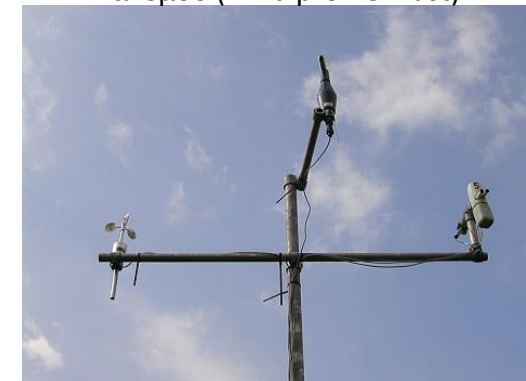
2) Γιατί είναι κρίσιμοι

- Μελέτες οριακού στρώματος
- Αιολικό δυναμικό & validation LIDAR/SODAR
- Διασπορά ρύπων & ενεργειακές εφαρμογές

Ο ιστός είναι ύψους 84 μέτρων και φέρει μετεωρολογικούς αισθητήρες σε 4 επίπεδα



Ιστός κατακόρυφου προφίλ ανέμου (wind profile mast)



Αισθητήρες ανέμου, θερμοκρασίας και υγρασίας στον ιστό

Δέσμιο Αερόστατο (Tethered balloon / Blimp)

- Αερόστατο με σχήμα ατρακτοειδές και έντονο χρώμα (κόκκινο ή πορτοκαλί) - Με αέριο ήλιο
- Αερόστατο με πτερύγια στο πίσω μέρος (ισορροπία και στρέψη ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου)
- Μεγάλο εύρος εξοπλισμού
- Πακέτο για μια σειρά μετεωρολογικών και άλλων παρατηρήσεων σχετικά με την ποιότητα του αέρα (τυπικό φορτίο: 5–100 kg)
- Διαφόρων διαστάσεων (τυπικός όγκος: $\sim 5\text{--}100\text{ m}^3$ (ανάλογα με ύψος και φορτίο))
- Ύψος μέχρι μερικά χλμ (οριακό στρώμα και χαμηλή τροπόσφαιρα)



Τι μετράει

- Θερμοκρασία, σχετική υγρασία
- Ταχύτητα & διεύθυνση ανέμου
- Πίεση
- Συγκεντρώσεις ρύπων (O_3 , NO_x , PM, VOCs)
- Κατακόρυφα προφίλ συγκεντρώσεων

Γιατί είναι μοναδικό εργαλείο

- **Συνεχές κατακόρυφο προφίλ** (όχι σημειακή μέτρηση όπως οι ιστοί)
- **Στασιμότητα σε συγκεκριμένο ύψος** για λεπτομερή καταγραφή
- **Ιδανικό για νυχτερινές αναστροφές** (όπου τα drones αποτυγχάνουν)

Ελεύθερα αερόστατα

- Ραδιοβολίδες (διογκούμενο μικρό αερόστατο - μη σταθερού όγκου - με ήλιο ή υδρογόνο)
 - αρχικός όγκος πριν τη θραύση $\sim 1\text{-}2\text{ m}^3$ και δεκάδες m^3 μετά
 - μεταφέρει ένα πολύ ελαφρύ μετεωρολογικό πακέτο που πραγματοποιεί τις βασικές παρατηρήσεις
 - θερμοκρασία, πίεση, υγρασία σε διάφορα ύψη της Ατμόσφαιρας
 - Η διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου υπολογίζονται από τη μετατόπιση της ραδιοβολίδας (GPS ή ραδιοεντοπισμός))
- Επίγειος Δέκτης & μετάδοση σε πραγματικό χρόνο για τη συλλογή δεδομένων
- Μέγιστο ύψος: τυπικά 25–35 km και μέχρι χαμηλή στρατόσφαιρα (εξαρτάται από το μέγεθος του μπαλονιού)



<https://hellenicweather.com/ta-meteorologika-mpalonia-kai-i-radiovolisi/>

Ελεύθερα αερόστατα

- Αρχή λειτουργίας
 - η ραδιοβολίδα δένεται στο μπαλόνι και απελευθερώνεται στον αέρα
 - φτάνει το μέγιστο ύψος όπου σκάει και η ραδιοβολίδα πέφτει (εξοπλισμένη με μικρό αερόστατο)
 - Καθόλη τη διαδρομή της στέλνει σήματα στον επίγειο δέκτη που αποθηκεύονται σε Η/Υ
 - Τη στιγμή που θα σκάσει το μπαλόνι ο επίγειος δέκτης ανιχνεύει τη διακοπή της ανόδου και την έναρξη καθόδου μέσω των δεδομένων
- Πλεονεκτήματα ραδιοβολίδας
 - Κατακόρυφα προφίλ υψηλής ανάλυσης
 - Παγκόσμια τυποποιημένη μέθοδος (WMO)
 - Βασικό εργαλείο για:
 - πρόγνωση καιρού
 - κλιματικές μελέτες
 - βαθμονόμηση δορυφόρων
- Περιορισμοί
 - Μία μόνο χρονική στιγμή (snapshot)
 - Δεν ελέγχεται η οριζόντια τροχιά
 - Κόστος & αναλώσιμο σύστημα

Ανατομία μιας ραδιοβολίδας με αλεξίπτωτο (dropsonde)

Απελευθερώνεται από ύψος ~42.000 ft (≈ 12.8 km) και φτάνει στην επιφάνεια σε περίπου 18–20 λεπτά (≈ 1.200 s).

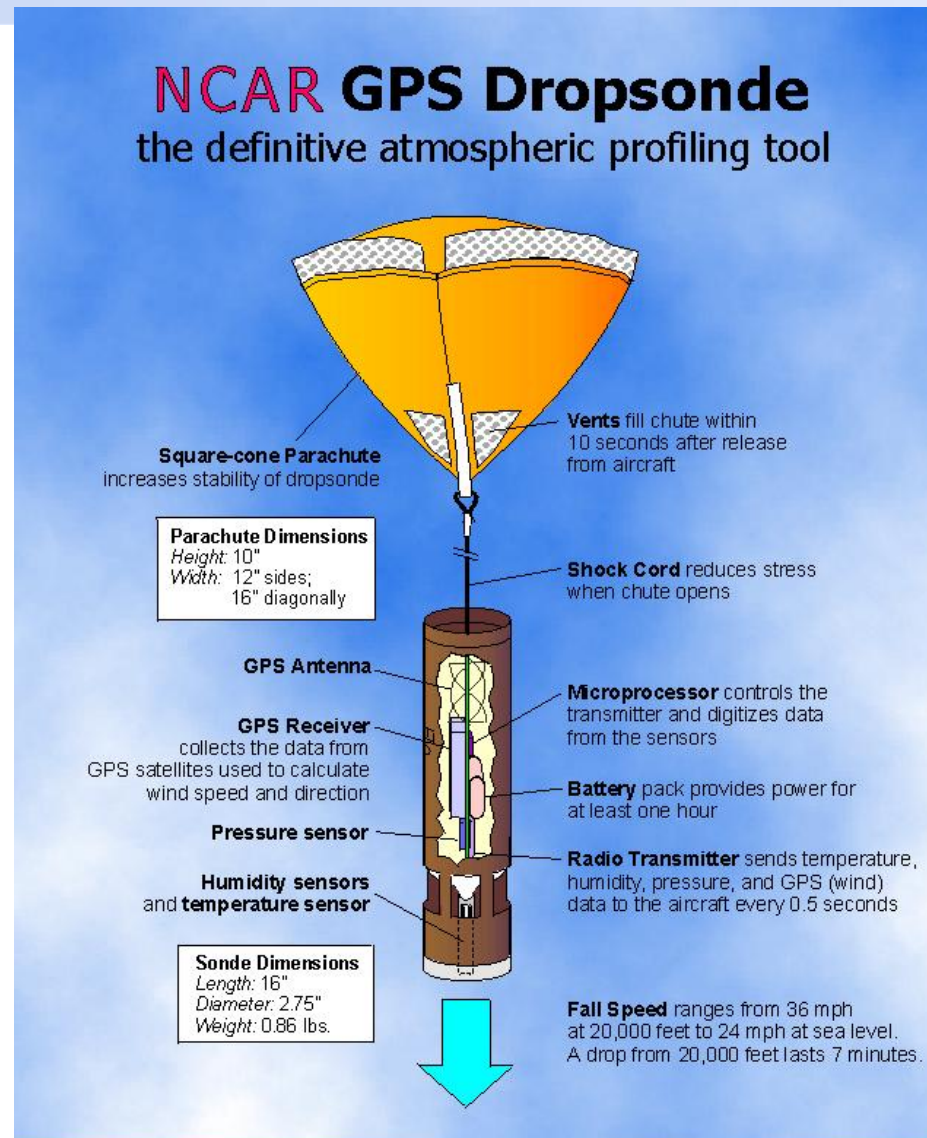
Οι μετρήσεις πίεσης, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταδίδονται με συχνότητα 2 Hz, αποδίδοντας:

3 μεταβλητές $\times$ 2 Hz $\times$ 1.200 s = **7.200 τιμές**.

Οι συνιστώσες του ανέμου (u, v), υπολογιζόμενες από GPS drift, μεταδίδονται με συχνότητα 4 Hz:

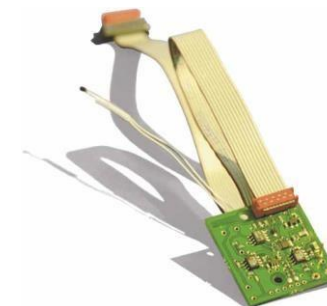
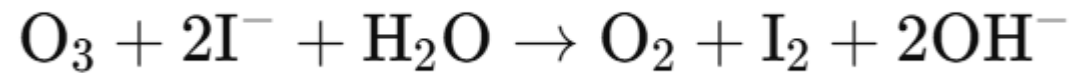
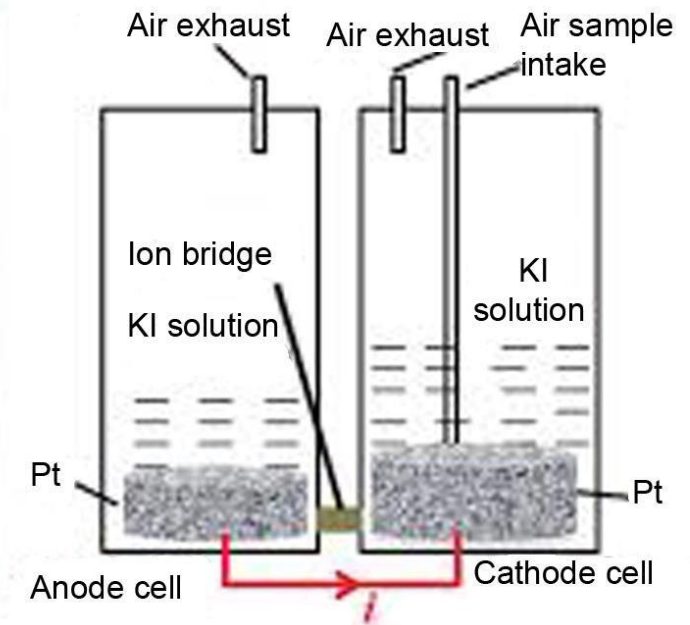
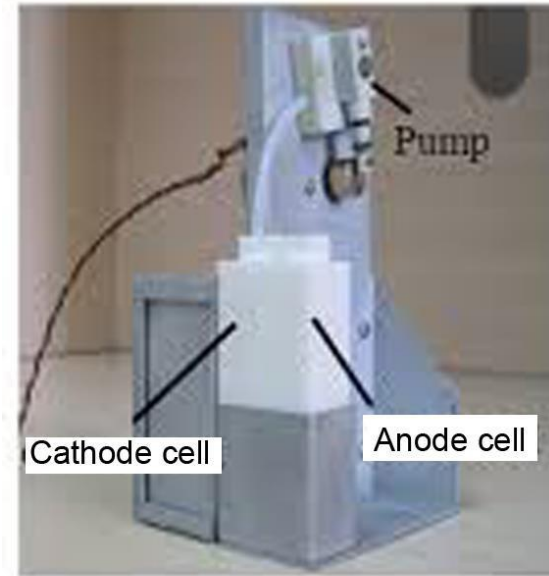
2 μεταβλητές $\times$ 4 Hz $\times$ 1.200 s = **9.600 τιμές**.

Συνολικά, κάθε dropsonde παράγει περίπου **16.800 πρωτογενή δεδομένα**.



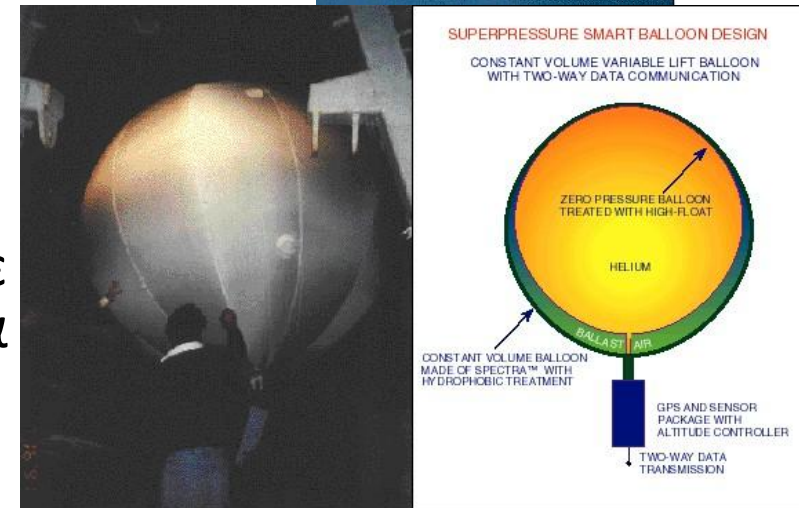
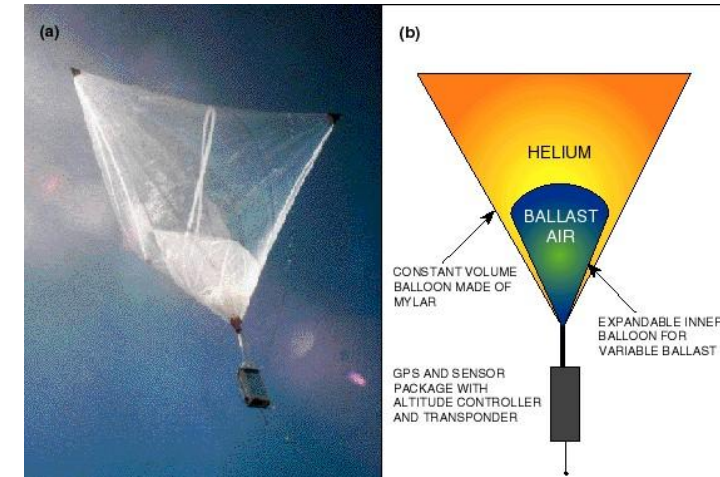
Ελεύθερα αερόστατα

- Οζοντοβολίδες
 - με ειδική προσαρμογή μπορούν να μεταφέρουν και ένα ελαφρύ πακέτο για την μέτρηση του όζοντος
 - Ηλεκτροχημική διάταξη στην οποία πραγματοποιείται αντίδραση οξειδοαναγωγής σε διάλυμα ιωδιούχου καλίου
 - Αρχή λειτουργίας
 - Ροή αέρα στην κυψελίδα αντίδρασης (electrochemical cell)
 - Οξειδοαναγωγή
 - Το O_3 οξειδώνει τα ιόντα I^- σε I_2
 - Το παραγόμενο ρεύμα (όχι απλώς ΗΕΔ) είναι ανάλογο της συγκέντρωσης O_3
- Συνδυασμός ραδιοβολίδων και οζοντοβολίδων αποτελούν βασικό εξοπλισμό για προγράμματα μελέτης της χαμηλής αλλά και της ανώτερης Ατμόσφαιρας



Ελεύθερα αερόστατα

- Τροχιοδεικτικά ελεύθερα αερόστατα σταθερού όγκου (Tetroons) - χρησιμοποιούνται ως Lagrangian ιχνηθέτες αέριας μάζας παρακολούθηση με ραντάρ – εξειδικευμένες μετρήσεις αέριας ρύπανσης και αέριας μάζας – πχ. Καμινάδα
- μετρήσεις για την ποιότητα του αέρα
 - είτε δειγματοληψία σε συγκεκριμένα ύψη
 - είτε integrated measurements κατά μήκος της τροχιάς
 - ειδική αυτοματοποιημένη αντλία δειγματοληψίας σε συγκεκριμένα ύψη και τα δείγματα αναλύονται μετά την ανάκτηση του αεροστάτου.
 - ενεργοποιείται σε προκαθορισμένα ύψη ή χρονικά διαστήματα
 - συλλογή σε:
 - σακούλες (Tedlar)
 - φιαλίδια
 - απορροφητικά υλικά



<https://www.soest.hawaii.edu/MET/Faculty/businger/poster/balloon/Fig-5.htm>

Αεροσκάφη

- **Τύποι αεροσκαφών:**

- Μικρά αυτοματοποιημένα ή τηλεκατευθυνόμενα (drones)
- Μεσαία και μεγάλα αεροσκάφη (π.χ. C-130)
- Σύγχρονα ερευνητικά αεροσκάφη με εξειδικευμένο εξοπλισμό

- **Εξοπλισμός που μεταφέρουν:**

- Μετεωρολογικά όργανα (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, ταχύτητα ανέμου)
- Συσκευές μέτρησης ποιότητας αέρα (σωματίδια, αέριοι ρύποι)
- Άλλα όργανα ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος

- **Χρήση στην Ελλάδα:**

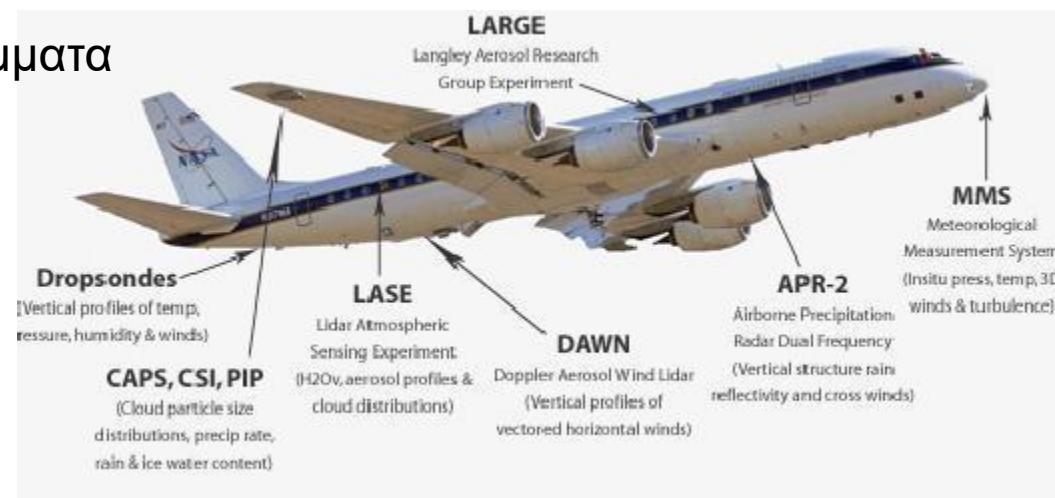
- Δεν υπάρχουν σε τακτική επιχειρησιακή λειτουργία
- Προσκαλούνται από το εξωτερικό για εξειδικευμένα προγράμματα

- **Περιορισμοί εξοπλισμού:**

- Βάρος
- Ενεργειακή κατανάλωση

- **Κριτήρια επιλογής αεροσκάφους:**

- Στόχος μέτρησης
- Ύψος και διάρκεια πτήσης
- Ακρίβεια και ανάλυση των δεδομένων



Χαρακτηριστικό	Ραδιοβολίδα (διογκούμενη)	Tetroon (σταθερού όγκου)	Dropsonde	Δέσμιο αερόστατο
Όγκος	Μεταβλητός (διογκώνεται)	Σταθερός	–	Μεταβλητός
Κίνηση	Ελεύθερη, κατακόρυφη άνοδος	Ελεύθερη, Lagrangian	Κατακόρυφη πτώση	Ελεγχόμενη
Έλεγχος τροχιάς	όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Τυπικό ύψος	25–35 km	~σταθερό (π.χ. 1–5 km)	12–13 km → 0	0–1(2) km
Διάρκεια	1–2 ώρες	Ώρες–ημέρες	~20 λεπτά	Ώρες
Τι “βλέπει”	Κατακόρυφο προφίλ	Αέρια μάζα	Κατακόρυφο προφίλ	Τοπικό προφίλ
Ανάκτηση	(συχνά ναι)	⚠	Όχι	Ναι
Παρακολούθηση	RF / GPS	Ραντάρ / RF	RF / GPS	Καλώδιο
Τυπικές εφαρμογές	Επιχειρησιακή μετεωρολογία	Μεταφορά ρύπων	Κυκλώνες	Boundary layer

Μετρήσεις Ανώτερης Ατμόσφαιρας - Επίγεια τηλεπισκόπηση

- **Ακουστικό ραντάρ (SODAR)**

- **Αρχή Λειτουργίας:**

- Αλληλεπίδραση ηχητικών κυμάτων με την ατμοσφαιρική τύρβη
 - Εκπομπή ακουστικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα
 - Τα κύματα παραμορφώνονται και σκεδάζονται λόγω μεταβαλλόμενου δείκτη διάθλασης
 - Τα επιστρεφόμενα κύματα καταγράφονται (οπισθοσκέδαση)
 - Σήμα ενισχύεται και φιλτράρεται για ανάλυση

- **Μετρήσεις:**

- Ένταση οπισθοσκέδασης → σχετίζεται με τη θερμική τύρβη
 - Διαφορά συχνότητας μεταξύ εκπεμπόμενου και επιστρεφόμενου σήματος → ολίσθηση Doppler → καθορισμός κίνησης του αέρα

- **Περιορισμοί:**

- Περιορισμένη κάλυψη
 - Ευαισθησία σε περιβαλλοντικό θόρυβο (ανθρωπογενή ή φυσικά παραγόμενο)
 - Δυνατότητα όχλησης στην περιοχή λειτουργίας



Picture: AQ510 Wind Finder



Picture: AQ510 Speaker and Electronic assembly

Μετρήσεις Ανώτερης Ατμόσφαιρας - Επίγεια τηλεπισκόπηση

- LIDAR – Light Detection and Ranging
 - Αρχή λειτουργίας
 - Η/Μ ενέργεια (laser) στο ορατό και κοντινό ορατό (UV->IR) σκεδάζεται από τα μόρια των αερίων/αεροζόλ
 - Εκπομπή παλμού μονοχρωματικής ακτινοβολίας laser
 - Καταγραφή του χρόνου μεταξύ εκπομπής και λήψης (απόσταση σκεδαστών από την πηγή laser)
 - Εξασθένηση εκπεμπόμενης ακτίνας κατά Lambert-Beer

$$I = I_0 e^{-aR}$$

I: ένταση ακτίνας (μετά την εκπομπή)

R: απόσταση

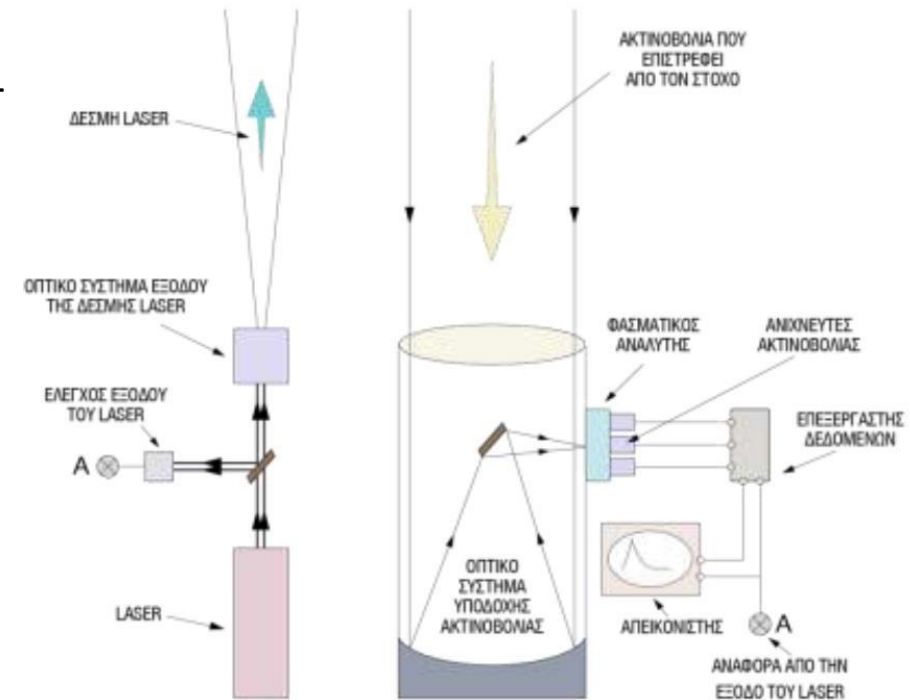
a: συντελεστής εξασθένησης

I₀: αρχική ένταση ακτίνας

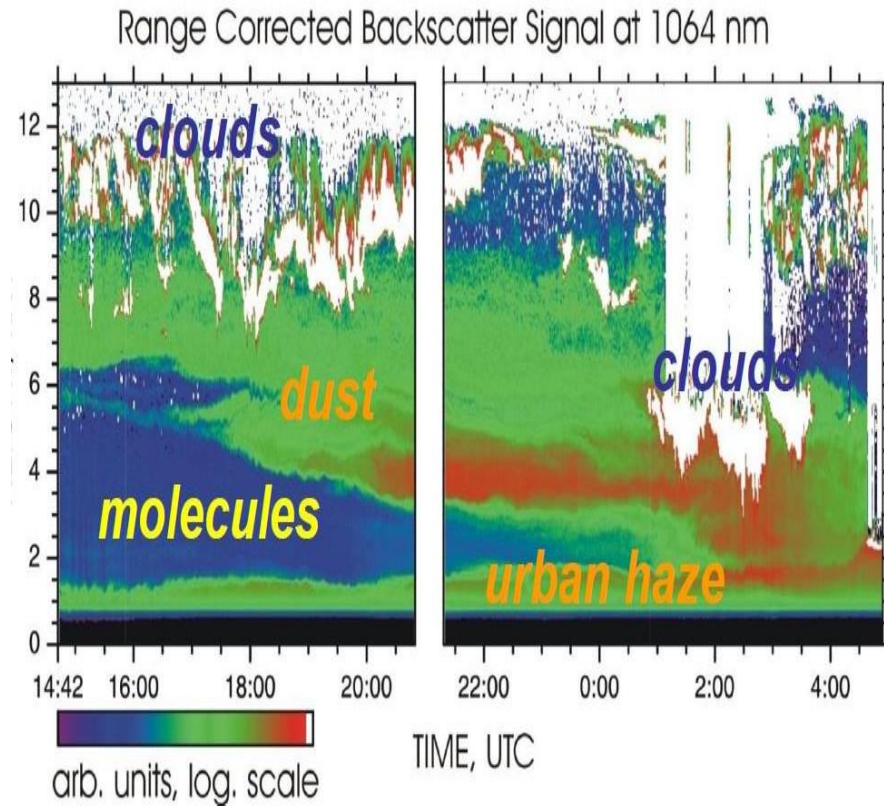
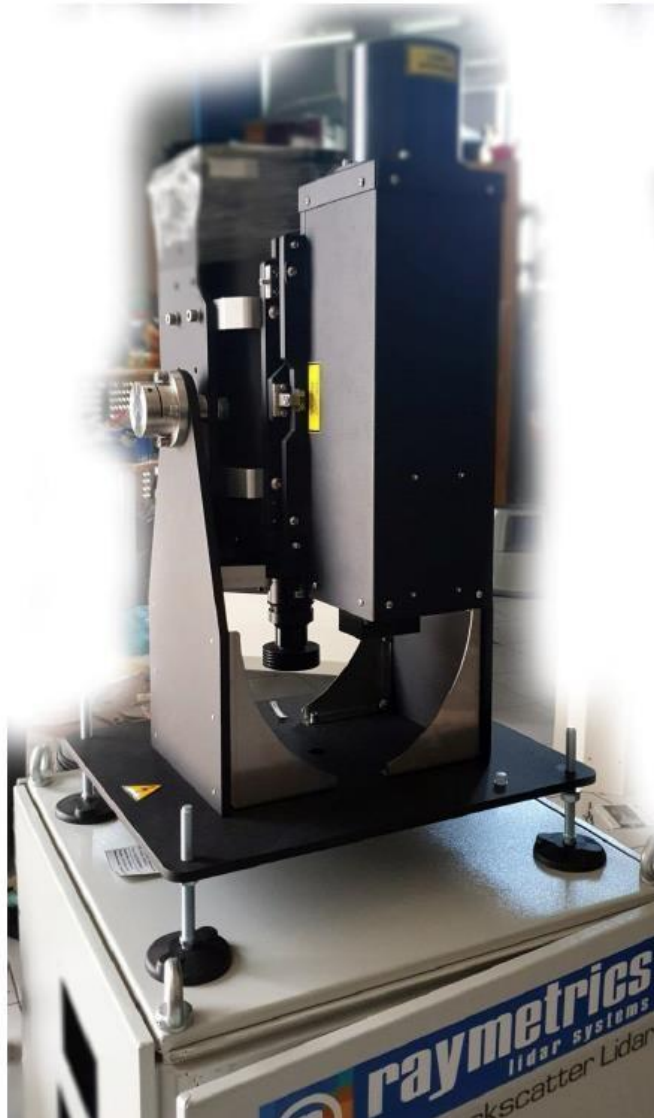
Τεχνική	Φυσική Περιγραφή
Σκέδαση Rayleigh	Η ακτινοβολία laser σκεδάζεται ελαστικά από άτομα ή μόρια, χωρίς αλλαγή στο μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.
Σκέδαση Mie	Η ακτινοβολία laser σκεδάζεται ελαστικά από μικρά σωματίδια ή αιωρήματα (συγκρίσιμου μεγέθους με το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας), χωρίς αλλαγή στο μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.
Σκέδαση Raman	Η ακτινοβολία laser σκεδάζεται ανελαστικά από τα μόρια με μετατόπιση στο μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, χαρακτηριστική του μορίου ($h\nu - h\nu^* = E$).
Σκέδαση συντονισμού	Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας laser συμπίπτει με τη συχνότητα συγκριμένης ενεργειακής μετάπτωσης του ατόμου, διεγείρεται, και, κατόπιν, σκεδάζει αποδιεγειρόμενο, χωρίς μετατόπιση στο μήκος κύματος.
Φθορισμός	Η συχνότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας laser συμπίπτει με τη συχνότητα συγκεκριμένης ενεργειακής μετάπτωσης του ατόμου, απορροφάται μερικώς και, κατόπιν, επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερο μήκος κύματος.
Απορρόφηση	Η δέσμη της ακτινοβολίας laser εξασθενεί, λόγω σύμπτωσης του μήκους κύματος με ζώνη απορρόφησης του εν λόγω μορίου.
Διαφορική σκέδαση και απορρόφηση	Η διαφορική εξασθένηση δύο ακτινών laser, όπως προκύπτει από τα οπισθοσκεδάζόμενα σήματα, όταν η συχνότητα της μίας ακτίνας συμπίπτει με τη συχνότητα γνωστής μοριακής μετάπτωσης, ενώ η συχνότητα της άλλης είναι ακριβώς μετά ή πριν από αυτή τη χαρακτηριστική συχνότητα.

Μετρήσεις Ανώτερης Ατμόσφαιρας - Επίγεια τηλεπισκόπηση

- LIDAR – Light Detection and Ranging
 - Διάταξη
 - Σύστημα εκπομπής
 - μια ή πολλές πηγές laser – επιλογή μήκους κύματος – εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής
 - Διαχωρισμός πηγών με βάση:
 - τη φασματική περιοχή του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας
 - το υλικό που καθορίζει την εκπομπή
 - την ένταση της ακτινοβολίας
 - τον τρόπο εκπομπής της ακτινοβολίας
 - Σύστημα λήψης
 - τηλεσκόπιο κατάλληλης διαμέτρου και εστιακής απόστασης – συλλογή οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας
 - Σύστημα καταγραφής (αναλογικά ή με καταμέτρηση φωτονίων)



Μετρήσεις Ανώτερης Ατμόσφαιρας



Εικόνα 10.2 Νυχτερινή λειτουργία lidar στη Mauna-Loa, Hawaii, USA.

Ατμοσφαιρική τεχνολογία

Συγγραφείς: Μελάς, Δ., Μπάης, Α., Μπαλής, Δ.