

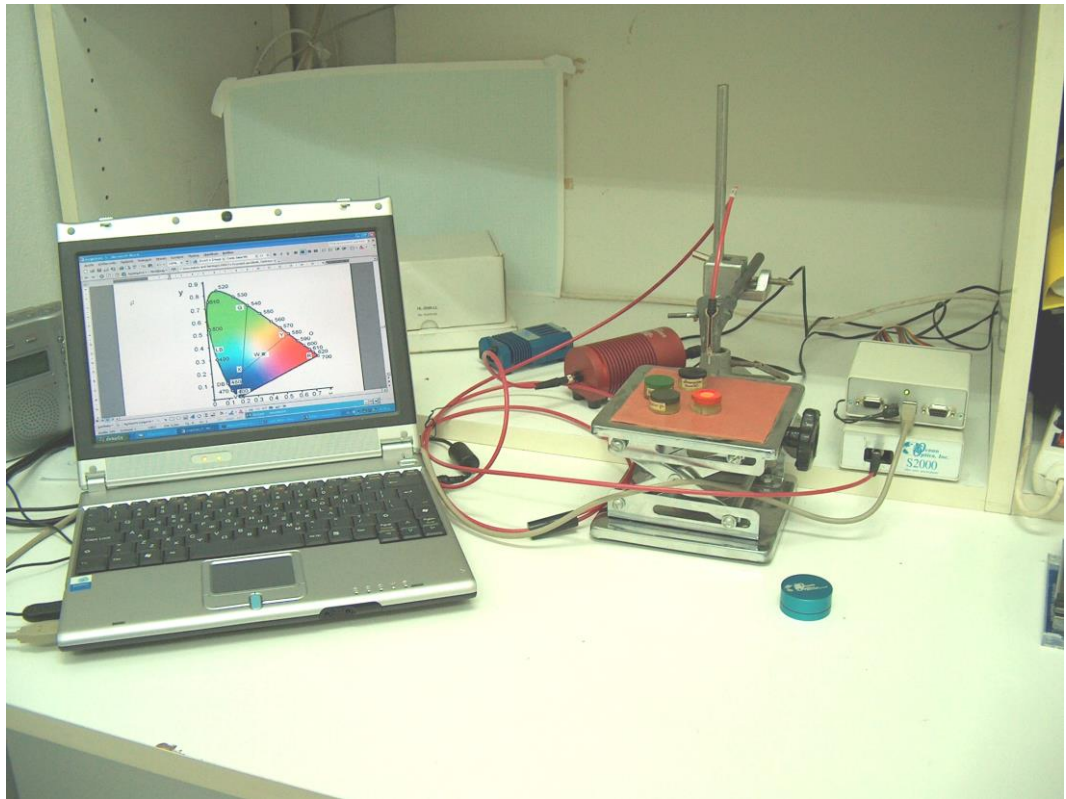
# Πειράματα Οπτικής Φασματοσκοπίας: Εργαστηριακές Ασκήσεις

1. Μελέτη του φάσματος ανάκλασης επιφανειών
2. Μελέτη του φάσματος εκπομπής πηγών φωτός
3. Μελέτη του φάσματος απορρόφησης υλικών

## Εισαγωγή

Η σειρά των εργαστηριακών ασκήσεων που ακολουθεί είναι πειράματα φασματοσκοπίας που έχουν ως βάση ένα φασματόμετρο οπτικών ινών, το οποίο καλύπτει την ορατή περιοχή, με διευρυμένα όρια στο φάσμα των μηκών κύματος προς το υπέρυθρο και λίγο προς το υπεριώδες. Το φασματόμετρο αυτό συνδέεται μέσω της θύρας USB με τον υπολογιστή, έτσι ώστε με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού να είναι δυνατό, να μπορούν να συλλέγονται και να εμφανίζονται στην οθόνη του τα φάσματα από τις επιμέρους μετρήσεις.

Το σύστημα του φασματόμετρου φαίνεται στην εικόνα 1. Πρόκειται για το φασματόμετρο S2000 της Ocean Optics, την πηγή φωτός LS-1 tungsten της εταιρείας Avantes και σειρά από οπτικές ίνες και λοιπά αξεσουάρ για την βαθμονόμηση του συστήματος. Ως λογισμικό χρησιμοποιείται το βασικό λειτουργικό πρόγραμμα (OOIbase32) και τα προγράμματα εφαρμογής για μέτρηση απόλυτης φωτοβολίας και χρώματος (OOIrrad) και (OOIColor) της εταιρείας Ocean Optics.



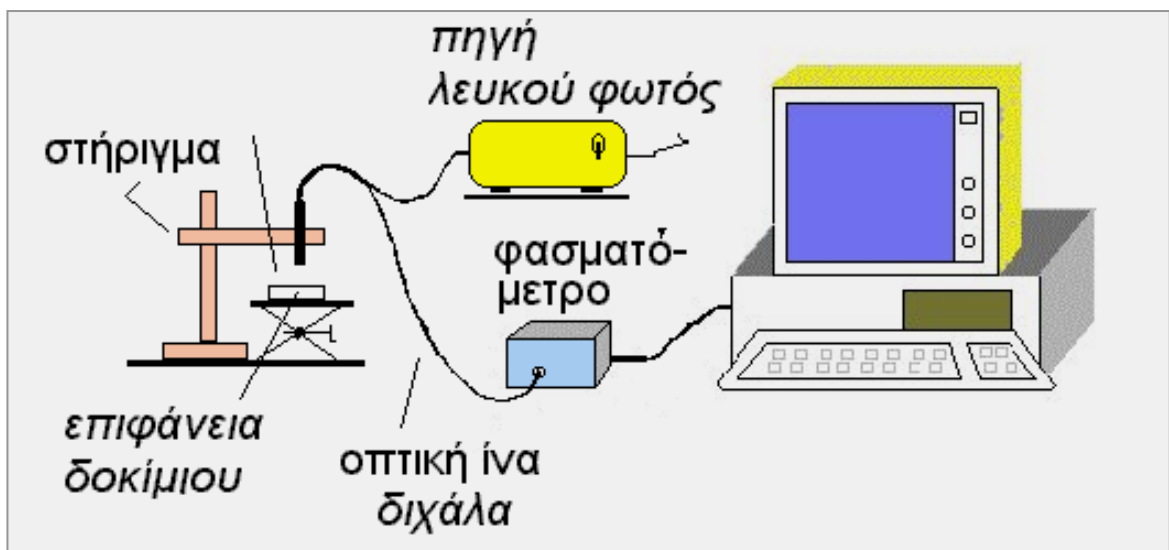
**Εικόνα 1.:** Φωτογραφία της πειραματικής διάταξης

# Οπτική Φασματοσκοπία

## Μελέτη του φάσματος ανάκλασης επιφανειών

### Μέθοδος

Από την καταγραφή και επεξεργασία του φάσματος διάχυτης ανάκλασης προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες για την σύσταση και την δομή της ανακλούσας επιφάνειας, παράλληλα την ανακλαστικότητα της. Ως προς το δεύτερο, η διαδικασία είναι σχετικά εύκολη, αφού συγκρίνει κανείς απλά την ένταση της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας με την ένταση που ανακλάται. Η πρώτη διαδικασία, δηλαδή η διερεύνηση της δομής και σύστασης της επιφάνειας είναι μόνο από θεωρητική άποψη εφικτή. Το φάσμα διάχυτης ανάκλασης είναι συνεχές, με αποτέλεσμα να είναι σε πρώτη ματιά έως και αδύνατος η αντιστοίχιση φασματικών περιοχών με συγκεκριμένες χημικές ενώσεις. Πλην όμως μπορούν να εξαχθούν κάποια σημαντικά και χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά.



Σχήμα 1: Η πειραματική διάταξη σχηματικά

## Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται φαίνεται στο σχήμα 1. Αποτελείται από **α)** την πηγή λευκού φωτός για τον φωτισμό της επιφάνειας που εξετάζεται, **β)** μια οπτική ίνα τύπου διχάλας (δύο ίνες ενώνονται σε μια κοινή), **γ)** το φασματόμετρο, **δ)** ένα στήριγμα, μια τράπεζα μεταβλητού ύψους, **ε)** τον υπολογιστή και **στ)** ένα σπάνταρτ (Spectralon), μια λευκή επιφάνεια δεδομένης ανακλαστικής ικανότητας, η οποία χρησιμοποιείται ως δείγμα αναφοράς.

Η αρχή λειτουργίας του φασματόμετρου έχει περιγραφεί σε άλλο σημείο, προηγούμενα. Η λειτουργία του στην λήψη των φασμάτων υποστηρίζεται από εξειδικευμένο λογισμικό.

## Πειραματική διαδικασία

Υλοποιείται η διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 1, σύμφωνα με την οποία, στερεώνεται σε δεδομένη απόσταση από την επιφάνεια η κοινή άκρη (probe), ενώ ενεργοποιείται η πηγή λευκού φωτός και ο υπολογιστής, στον οποίον τρέχει το πρόγραμμα και.

### α) Καταγραφή φασμάτων διάχυτης ανάκλασης

1. Αρχικά τοποθετείται η επιφάνεια του σπάνταρτ (Spectralon) και παίρνεται το φάσμα του, ως μέτρηση αναφοράς.
2. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία, τοποθετώντας στην ίδια απόσταση κάτω από το άκρο της οπτικής ίνας διαδοχικά τα δοκίμια, που έχουν επιλεγεί για εξέταση, τα οποία μετρώνται παίρνοντας υπό τις ίδιες συνθήκες τα φάσματά τους.
3. Καταγράφονται και εκτυπώνονται τα φάσματα, συγκρίνονται μεταξύ τους και αποφαίνεται κανείς για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.
4. Βάσει των φασμάτων που μετρήθηκαν γίνεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

### β) Διερεύνηση της ανακλαστικότητας επιφανειών

1. Αρχικά συνδέεται η πηγή φωτός και το φασματοσκόπιο με την ίδια οπτική ίνα (το κοινό άκρο της διχάλας), ώστε να μετρηθεί

- το φάσμα του προσπίπτοντος στην συνέχεια φωτός στην επιφάνεια του δοκιμίου. Αποθηκεύεται το φάσμα.
2. Ακολούθως αποκαθίσταται η συνδεσμολογία που φαίνεται στο σχήμα 1, με βάση την οποία το κοινό άκρο χρησιμοποιείται για τον φωτισμό και ταυτόχρονα για την λήψη του ανακλώμενου φωτός, μέτρηση η οποία γίνεται με τις ίδιες παραμέτρους και συνθήκες, όπως προηγούμενα.
  3. Το φάσμα αυτό της ανάκλασης αποθηκεύεται επίσης.
  4. Και τα δύο φάσματα κατ' αρχήν εκτυπώνονται στο ίδιο γράφημα, ενώ με την βοήθεια ενός προγράμματος όπως το Excel ή το Origin υπολογίζεται για κάθε μήκος κύματος ο λόγος  $I/I_0$ .
  5. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για σειρά διαφορετικής υφής επιφανειών.
  6. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και σχολιάζονται κατάλληλα.

# Οπτική Φασματοσκοπία

## Μελέτη του φάσματος εκπομπής πηγών φωτός

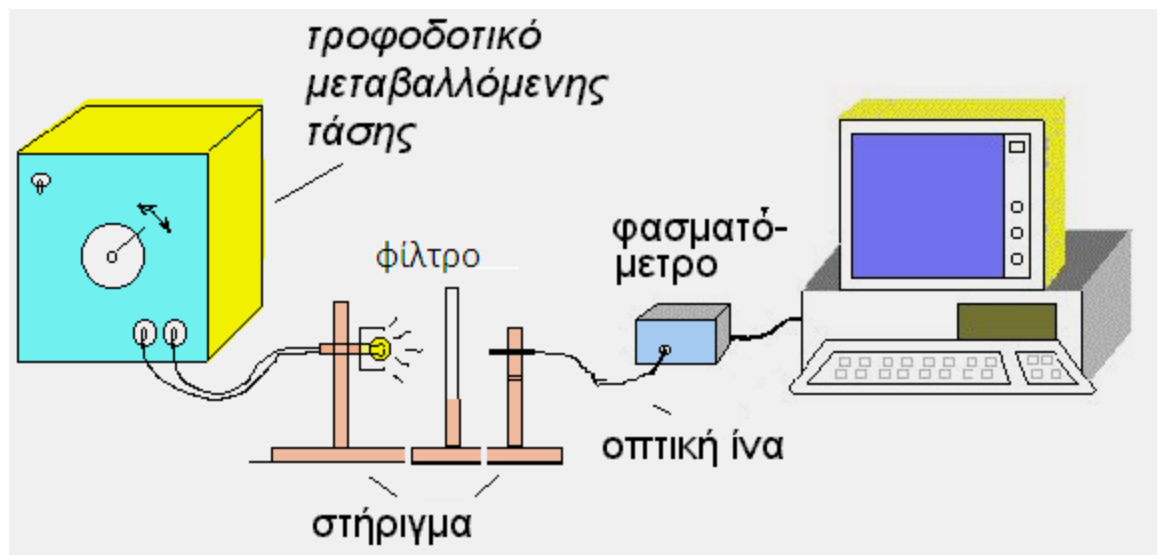
### Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η καταγραφή και η μελέτη του φάσματος εκπομπής φωτεινής ακτινοβολίας σειράς από διαφορετικές, όπως Laser και άλλες συμβατικές, πηγές φωτός, προκειμένου να προσδιοριστούν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας που εκπέμπουν.

### Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται αποτελείται από το ένα φασματόμετρο οπτικών ινών, το οποίο συνδέεται μέσω USB με τον υπολογιστή, τις πηγές φωτός με τα τροφοδοτικά τους και διάφορα φίλτρα, εξαρτήματα στήριξης και ευθυγράμμισης της ακτινοβολίας.

Μια σχηματική παράσταση της σύνθεσης της πειραματικής διάταξης φαίνεται στο σχήμα 1.

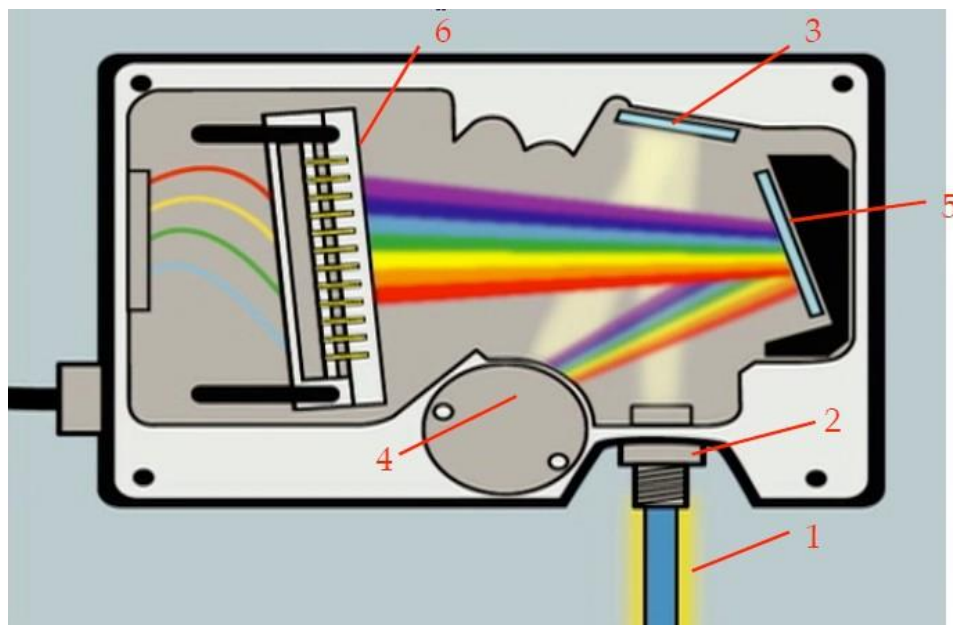


**Σχήμα 1:** Η πειραματική διάταξη σχηματικά

**Το φασματόμετρο** ως σύστημα έχει ήδη περιγραφεί σε προηγούμενη άσκηση. Πρόκειται για ένα σύστημα καταγραφής

φασμάτων, νέας τεχνολογίας, το οποίο αποτελείται από μια διάταξη ανιχνευτή (6) συστοιχίας CCD (2048 διόδων), ένα φράγμα περίθλασης (5), στο οποίο γίνεται η ανάλυση του φωτός, δύο κάτοπτρα (ένα επίπεδο (3) και ένα κυρτό (4)), ενώ το φως διοχετεύεται σ' αυτό μέσω λεπτής σχισμής (2) από οπτικές ίνες (1) που συνδέονται σ' αυτήν.

Κατάλληλο πρόγραμμα αναλαμβάνει τον χειρισμό, την λήψη των δεδομένων και την επεξεργασία τους στον υπολογιστή, με τον οποίο το φασματόμετρο έχει μέσω της θύρας USB συνδεθεί και ελέγχεται από αυτήν. Στο σχήμα 2. φαίνεται η εσωτερική δομή του και η πορεία της δέσμης ακτίνων φωτός που εισέρχεται για ανάλυση.



**Σχήμα 2:** Μια σχηματική παρουσίαση του φασματόμετρου οπτικών ινών.

Το φασματικό εύρος του συγκεκριμένου φασματόμετρου κυμαίνεται από 200 nm - 1100 nm, καλύπτοντας από την υπεριώδη, την ορατή, έως την κοντινή υπέρυθρη περιοχή του φάσματος.

**Ως πηγές φωτός** χρησιμοποιούνται μια σειρά από φωτεινές πηγές διαφορετικής τεχνολογίας και χαρακτηριστικών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται: ένας λαμπτήρας πυράκτωσης, τρία LED διαφόρων τύπων, ένας κοινός λαμπτήρας φθορισμού, ένας

λαμπτήρα έκλαμψης (flash), μια πηγή φωτός βαθμονόμησης γραμμικού φάσματος, μια λάμπα μαυρίσματος, υπεριώδους ακτινοβολίας (black light), μια κοινή λάμπα φθορισμού και δύο τύποι Laser.

Για τον έλεγχο της έντασης του διερχόμενου φωτός γίνεται κατά περίπτωση χρήση κατάλληλων **φίλτρων εξασθένησης** (neutral filter) ή δύο διαδοχικά στρεπτά μεταξύ τους **φίλτρα πόλωσης**.

## Πειραματική διαδικασία

### α) Καταγραφή φασμάτων πηγών φωτός

1. Ενημερωνόμαστε προηγούμενα για την αρχή λειτουργίας του φασματομέτρου και τον χειρισμό τόσο της διάταξης, όσο και του λογισμικού υποστήριξης των μετρήσεων.
2. Υλοποιούμε τη διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 1, σύμφωνα με την οποία αρχικά τοποθετείται απέναντι από την είσοδο της οπτικής ίνας δεδομένη φωτεινή πηγή.
3. Έχοντας ενεργοποιήσει στον υπολογιστή το πρόγραμμα συλλογής δεδομένων, λαμβάνουμε το οπτικό φάσμα της.
4. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και για όλη την σειρά διαφορετικών πηγών φωτός, τοποθετώντας κατάλληλα την κάθε πηγή στο στήριγμά της και έχοντας επιλέξει την σωστή τάση τροφοδοσίας της.
5. Καταχωρούμε τα φάσματα των επιμέρους μετρήσεων στον πίνακα τιμών I ονοματοδοτώντας καθένα ξεχωριστά,
6. Εκτυπώνουμε τα αντίστοιχα φάσματα, μέσα από το πρόγραμμα Excel ή Origin, με τα οποία διαβάζονται τα από το πρόγραμμα παραγόμενα αρχεία των φασμάτων που είναι σε μορφή χαρακτήρων ASCII.
7. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μεταξύ τους σχολιάζουμε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διαφορετικών πηγών φωτός.
8. **Προαιρετικά !** Στην περίπτωση της πηγής φωτός έκλαμψης (flash) επιλέγεται στο πρόγραμμα κατάλληλος χρόνος μέτρησης (acquisition time), ώστε να προλάβει να καταγραφεί το φάσμα του φωτός, λόγω της μικρής διάρκειας του.



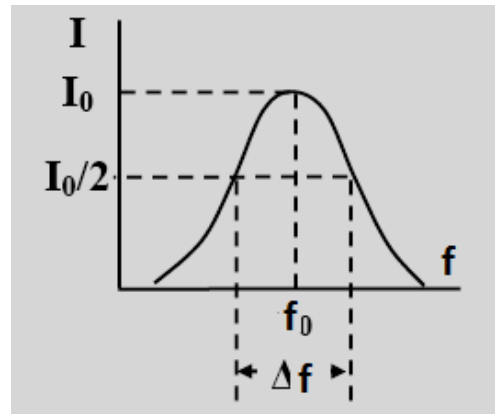
9. Για την ίδια πηγή φωτός επιχειρείται για δεδομένο μήκος κύματος να γίνει η μέτρηση της χρονικής διάρκειας της έκλαμψης.

**β) Προσδιορισμός του φασματικού εύρους και της χρονικής συμφωνίας ακτινοβολίας πηγών φωτός**

1. Εκτύπωσε τα φάσματα των ακόλουθων πηγών φωτός:
  - α) ενός λαμπτήρα πυράκτωσης Αλογόνου (λευκό φως),
  - β) ενός LED (πχ μπλε χρώματος),
  - γ) του Laser HeNe και
  - δ) του διοδικού Laser
 και προσδιόρισε το φασματικό εύρος τους  $\Delta\lambda$ , τοποθετώντας τις αντίστοιχες τιμές στον πίνακα II.
  
2. Υπολόγισε την χρονική συμφωνία  $\tau$  ακτινοβολίας για κάθε πηγή.

$$\Delta f = |c/\lambda_2 - c/\lambda_1| \text{ και } \tau = 1/\Delta f$$

3. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.



**γ) Προσδιορισμός της εκπεμπόμενης ενέργειας πηγών φωτός**

1. Υπολόγισε το εμβαδόν επιφανείας κάτω από την καμπύλη κατανομής ακτινοβολίας από το γράφημα  $E = f(\lambda)$  για την ακτινοβολία των πηγών φωτός α) Λάμπα Αλογόνου, β) LED, γ) Laser, κάνοντας χρήση του πίνακα τιμών III.

Πίνακας τιμών Ι			
A/A	Πηγή φωτός	Όνομα αρχείου	παρατηρήσεις
1	Λάμπα Αλογόνου	Lamp_Halogen_1	
2	LED (blue)	LED_blue_1	
3	LED (red)	LED_red_1	
4	LED (green)	LED_green_1	
5	Laser HeNe	Laser_HeNe_1	
6	Laser διόδου	DiodeLaser_1	
7	Λάμπα μαυρίσματος (Black light)	Black_Light_lamp_1	
8	Λάμπα φθορισμού	Fluoreszence_lamp_1	
8	Πηγή βαθμονόμησης	Calibration_Lamp_1	

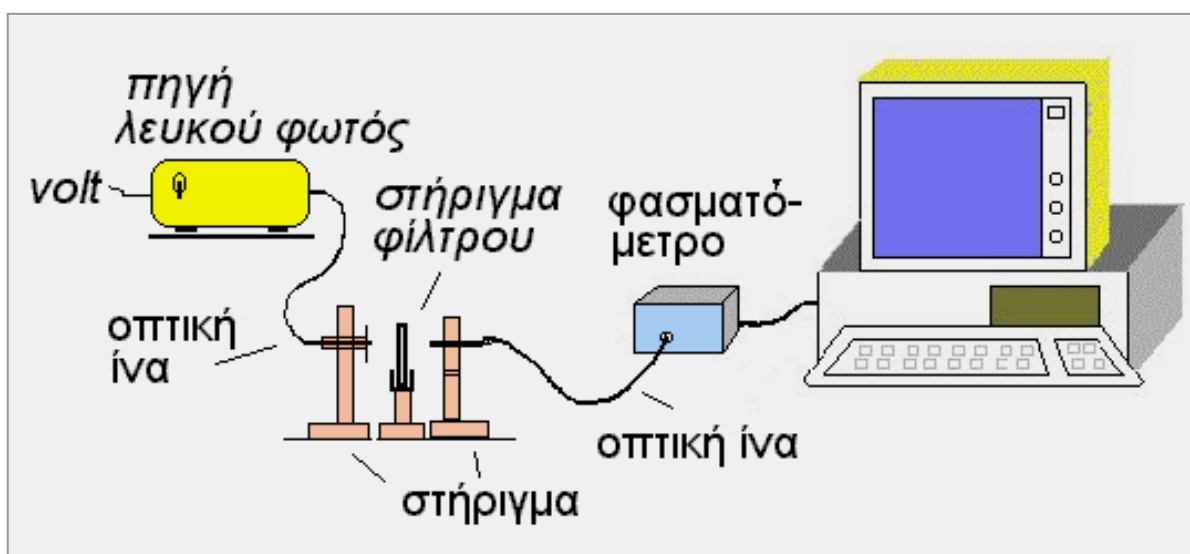
Πίνακας τιμών II				
A/A	Εύρος ημίσεως μεγίστου πλάτους $\Delta\lambda$ [nm]	Εύρος συχνοτήτων $\Delta f$ [Hz]	Χρονική συμφωνία $\tau$ [s]	παρατηρήσεις
Λάμπα Αλογόνου				
LED				
Laser HeNe				
Laser διόδου				

Πίνακας τιμών III		
A/A	Εμβαδόν επιφανείας φασματικής κατανομής $E_\lambda$	παρατηρήσεις
Λάμπα Αλογόνου		
LED		
Laser διόδου		

# Οπτική Φασματοσκοπία: Καταγραφή και μελέτη του φάσματος απορρόφησης υλικών

## Μέθοδος

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι να καταγραφούν και να μελετηθούν φάσματα απορρόφησης διαφόρων διαφανών υλικών, όπως χρωστικών ουσιών, φίλτρων κλπ, καθώς επίσης να προσδιοριστεί ο συντελεστής απορρόφησης τους σύμφωνα με τον νόμο των Lambert και Beer.



Σχήμα 1: Η πειραματική διάταξη σχηματικά

## Πειραματική διαδικασία

### α) Καταγραφή φασμάτων απορρόφησης λευκού φωτός

1. Υλοποιείται η διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 1, σύμφωνα με την οποία αρχικά τοποθετείται ανάμεσα στις δύο οπτικές ίνες, αυτής που έχει συνδεθεί με την πηγή φωτός και αυτήν που οδηγεί στο φασματομέτρο διαδοχικά τα δοκίμια που πρόκειται να εξεταστούν.
2. Έχοντας ενεργοποιήσει στον υπολογιστή το πρόγραμμα συλλογής δεδομένων, λαμβάνουμε το καθένα φάσμα απορρόφησης, το οποίο καταχωρούμε ως αρχείο, δίνοντας διακριτό όνομα, σύμφωνα με τον πίνακα τιμών I.

3. Εκτυπώνονται τα αντίστοιχα φάσματα, συγκρίνονται μεταξύ τους και αποφαινεται κανείς για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

### **β) Καταγραφή φασμάτων απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας**

1. Υλοποιείται η διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 1, όπως προηγούμενα, αντικαθιστώντας την πηγή φωτός με μια λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας και τοποθετούμε τα δοκίμια το ένα μετά το άλλο διαδοχικά ανάμεσα στην πηγή και στο φασματόμετρο (οπτική ίνα ) για την λήψη των φασμάτων.
2. Έχοντας ενεργοποιήσει στον υπολογιστή το πρόγραμμα συλλογής δεδομένων, λαμβάνουμε το καθένα φάσμα απορρόφησης, το οποίο καταχωρούμε ως αρχείο, δίνοντας διακριτό όνομα, σύμφωνα με τον πίνακα τιμών ΙΙ.
3. Εκτυπώνονται τα αντίστοιχα φάσματα, συγκρίνονται μεταξύ τους και αποφαινεται κανείς για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

### **γ) Επιβεβαίωση του νόμου των Lambert - Beer σε διαφανή υλικά (στερεά ή ρευστά)**

#### **α) για στερεά υλικά**

1. Το προς εξέταση δοκίμιο (ένα κεχρωμένο γυαλί) τοποθετείται ανάμεσα στις δύο οπτικές ίνες, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.
2. Παίρνεται ένας αριθμός μετρήσεων, δηλαδή καταγράφονται τα φάσματα του διερχόμενου φωτός μέσα από το δοκίμιο, για τα οποία έχει μεταβάλλει κανείς βαθμιδωτά την ένταση του διεγείροντος φωτός, με την παρεμβολή κατάλληλων φίλτρων εξασθένησης (neutral filter).
3. Τα φίλτρα τοποθετούνται στην προβλεπόμενη σχισμή που φέρει η πηγή φωτός.
4. Καταγράφονται τα φάσματα απορρόφησης του υλικού σαν συνάρτηση της έντασης της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας.
5. Κατασκευάζει κανείς την γραφική παράσταση (για δεδομένο μήκος κύματος) της συνάρτησης  $I=f(I_0)$  και υπολογίζει, σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις, μέσα από την κλίση της

ευθείας που θα προκύψει, την τιμή του συντελεστή γραμμικής απορρόφησης  $\mu$ , έχοντας λάβει υπόψη και μετρήσει με ακρίβεια και το πάχος  $x$  του υλικού.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$$\kappa\lambda\iota\sigma\eta = e^{-\mu \cdot x} \Rightarrow \mu = -\frac{x}{\ln(\kappa\lambda\iota\sigma\eta)}$$

6. Επιβεβαιώνεται ο νόμος των Lambert - Beer για το εν λόγω υλικό;
7. Σχολιάζουμε το αποτέλεσμα που προέκυψε ως προς τον συντελεστή απορρόφησης.

### **β) για υγρά υλικά**

1. Προκειμένου να μελετηθούν οι απορροφήσεις υγρών υλικών και να επιβεβαιωθεί ο νόμος των Lambert-Beer χρησιμοποιείται γι' αυτόν τον σκοπό κατάλληλο δοχείο μεταβαλλόμενου πάχους ρευστού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.
2. Διατηρείται σταθερός ο φωτισμός της πηγής και μάλιστα σε τέτοια ένταση, ώστε να μπορεί να καταγραφεί το φάσμα της χωρίς την παρεμβολή του προς εξέταση υλικού (δοχείο με το υγρό).
3. Ξεκινώντας από ένα αρχικά μικρό πάχος δοχείου, παίρνονται διαδοχικά φάσματα του διερχόμενου φωτός, ενόσω αυξάνεται κάθε φορά το πάχος του και έχει μετρηθεί επακριβώς.
4. Αρκούν πέντε μετρήσεις, ώστε κάνοντας την γραφική παράσταση της συνάρτησης  $\log(I/I_0) = f(x)$  να μπορεί από την κλίση της ευθείας που θα προκύψει να υπολογιστεί ο συντελεστής απορρόφησης της «χρωστικής» ουσίας στο δοχείο.
5. Επιβεβαιώνεται ο νόμος των Lambert - Beer για το εν λόγω υλικό;
6. Σχολιάζουμε το αποτέλεσμα που προέκυψε ως προς τον συντελεστή απορρόφησης.

Πίνακας τιμών Ι: Απορρόφηση ακτινοβολίας λευκού φωτός (Λάμπα πυράκτωσης Αλογόνου)		
A/A	Όνομα αρχείου	παρατηρήσεις
Χωρίς Φίλτρο		
Φίλτρο μπλε		
Φίλτρο πράσινο		
Φίλτρο κίτρινο		
Φίλτρο κόκκινο		

Πίνακας τιμών ΙΙ: Απορρόφηση υπεριώδους ακτινοβολίας (Λάμπα black Light)		
A/A	Όνομα αρχείου	παρατηρήσεις
Χωρίς Φίλτρο		
Πλάκα γυαλιού		
Πλάκα χαλαζία		
Πλακίδιο με επίστρωση νερού		
Πλακίδιο με επίστρωση Αντηλιακής κρέμας		