



Πολυτεχνείο Κρήτης
Εργαστήριο Δομής της Ύλης & Φυσικής Λείζερ

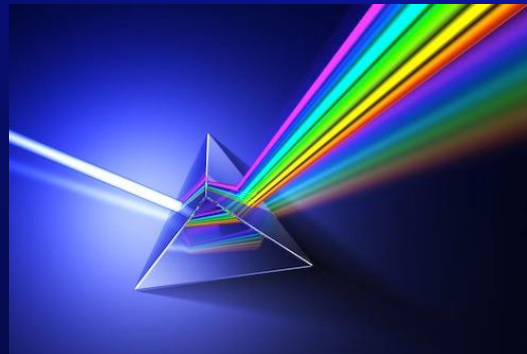


Φυσική II (Εργαστηριακές Ασκήσεις)

Εαρινό Εξάμηνο Ακαδ. Έτους 2019 - 20

Άσκηση 14

**“Ανάλυση του φωτός με φασματοόμετρο
πρίσματος και φασματοόμετρο φράγματος”**



Βασική θεωρία

Δείκτης διάθλασης (index of refraction) n ενός μέσου ορίζεται ως το πηλίκο της ταχύτητας του φωτός στο κενό c_0 , προς την ταχύτητα του u μέσα οπτικό μέσο. Ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι ίσος με τη μονάδα (1).

$$n = \frac{c_0}{u}$$

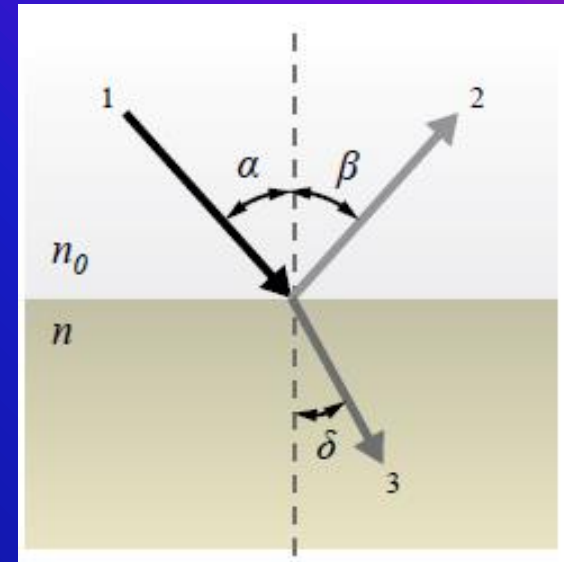
Όταν το φως διαδίδεται από ένα οπτικό μέσο σε ένα άλλο, αλλάζει και το μήκος κύματος του. Για διάδοση φωτός από το κενό σε ένα άλλο οπτικό μέσο ισχύει η σχέση:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_0}{n_1}$$

όπου λ_0 είναι το μήκος κύματος του φωτός στο κενό, λ_1 το μήκος κύματος στο οπτικό μέσο, n_1 ο δείκτης διάθλασης του οπτικού μέσου στο οποίο το φως διαδίδεται.

Ανάκλαση - Διάθλαση

Όταν μια φωτεινή ακτίνα που διαδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει την διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο αρχικό μέσο με ένα άλλο, τότε ένα μέρος της αρχικής ακτίνας **ανακλάται** δηλαδή επιστρέφει πίσω στο αρχικό μέσο, ενώ το υπόλοιπο μέρος της **διαθλάται** δηλαδή εισέρχεται στο δεύτερο μέσο.



Ακτίνα (1): προσπίπτουσα

Ακτίνα (2): ανακλώμενη

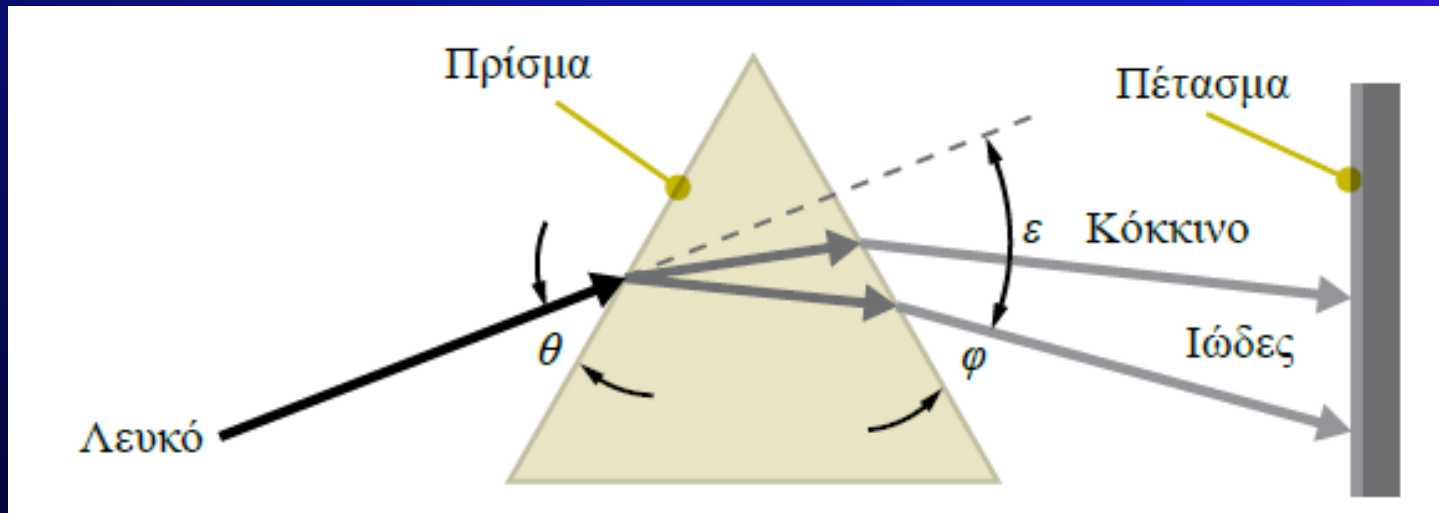
Ακτίνα (3): διαθλώμενη

Νόμος της ανάκλασης: $\alpha = \beta$

Νόμος της διάθλασης (Νόμος του Snell): $n_0 \sin \alpha = n \sin \delta$

όπου n_0 ο δείκτης διάθλασης του πρώτου μέσου (για το κενό ή τον αέρα $n_0 \approx 1$), και n ο δείκτης διάθλασης του δεύτερου μέσου.

Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Αν πέσει πάνω στο πρίσμα πολυχρωματικό φως, η **εκτροπή**, την οποία υφίσταται κάθε ακτινοβολία (χρώμα) με διαφορετικό μήκος κύματος όταν περάσει από τον αέρα μέσα από το πρίσμα, θα είναι διαφορετική για κάθε ακτινοβολία. Επομένως κάθε ακτινοβολία (χρώμα) από την οποία αποτελείται το πολυχρωματικό φως θα εξέρχεται από το πρίσμα με διαφορετική γωνία ϵ . Δηλαδή το πολυχρωματικό φως αναλύεται στα χρώματα από τα οποία αποτελείται.



Η εξάρτηση της ταχύτητας του φωτός και του δείκτη διάθλασης ενός μέσου από το μήκος κύματος λέγεται **διασκεδασμός (dispersion)**.

Τύπος του Cauchy

Για τα συνηθισμένα οπτικά διαφανή μέσα και για την περίπτωση του ορατού φάσματος η σχέση που δίνει τον δείκτη διάθλασης ενός υλικού σε συνάρτηση με το μήκος κύματος δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από τον εμπειρικό τύπο που διατύπωσε ο *Cauchy* το 1836:

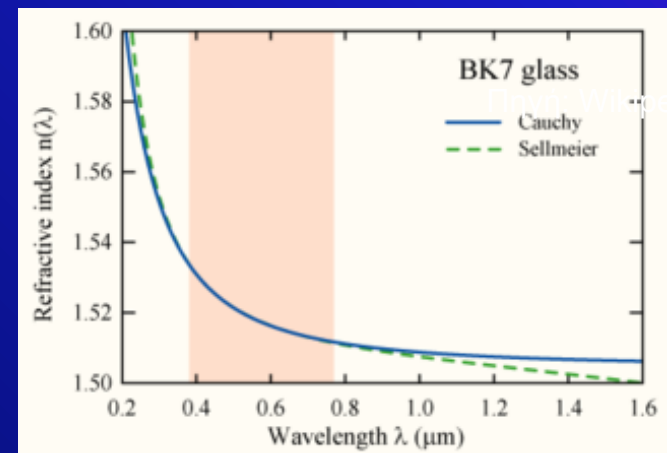
$$\eta(\lambda) = A_o + \frac{B_1}{\lambda^2} + \frac{C_2}{\lambda^4} + \dots$$

όπου $A_o, B_1, C_2, \dots$ είναι σταθερές χαρακτηριστικές του υλικού που μπορούν να προσδιοριστούν πειραματικά

Για πρακτική εφαρμογή χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο οι δύο πρώτοι όροι της προηγούμενης σχέσης:

$$\eta(\lambda) = A_o + \frac{B_1}{\lambda^2}$$

Η γραφική παράσταση $n=f(\lambda)$ της παραπάνω σχέσης ονομάζεται καμπύλη διασκεδασμού



Καμπύλη διασκεδασμού

Διακριτική ικανότητα πρίσματος

Ο διαχωρισμός μεταξύ δύο κοντινών μηκών κύματος εξαρτάται από τη **διακριτική ικανότητα** του πρίσματος R .

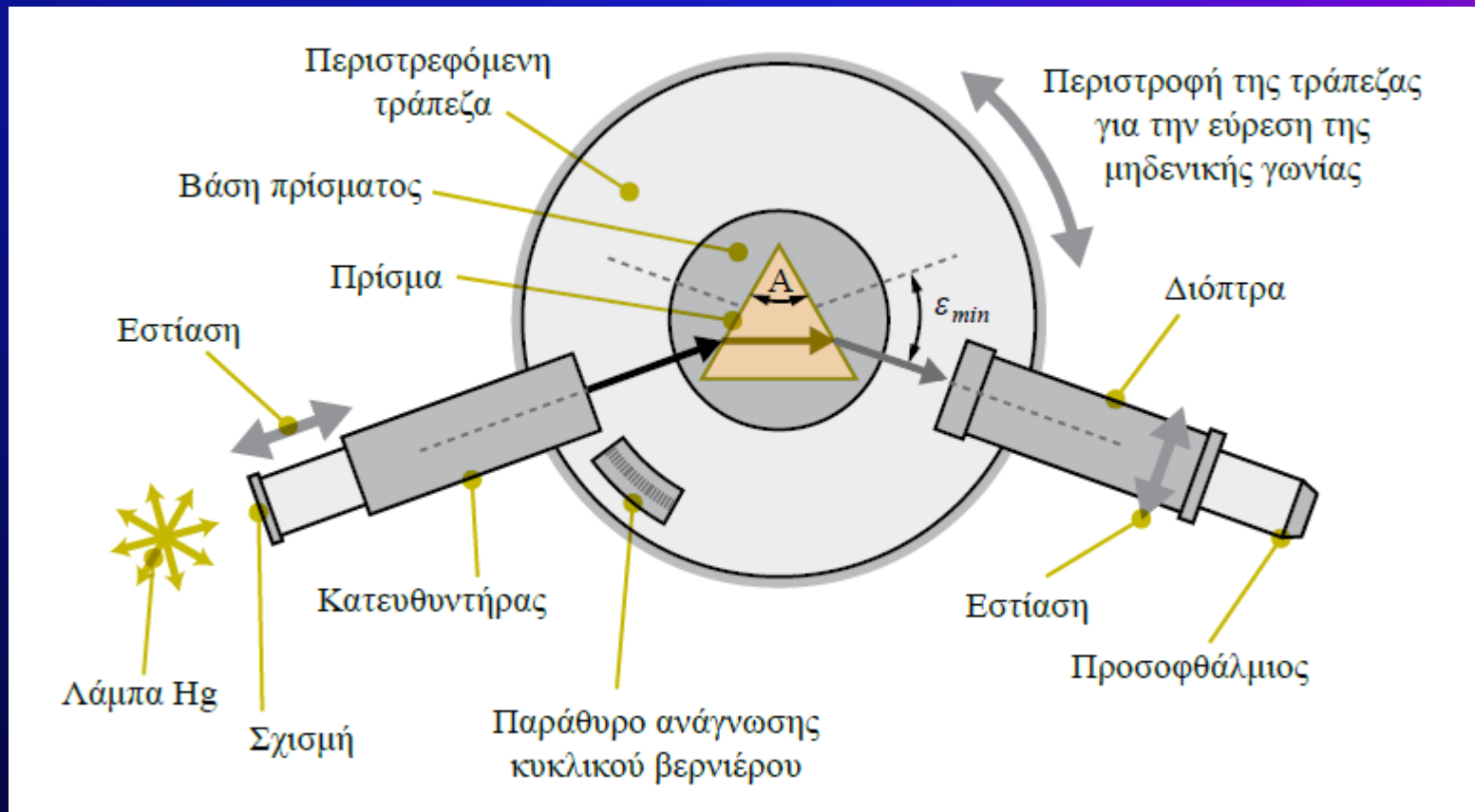
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = b \frac{\Delta n}{\Delta\lambda}$$

όπου b το μήκος της βάσης του πρίσματος, $\Delta n/\Delta\lambda$ η κλίση του διαγράμματος της μεταβολής του δείκτη διάθλασης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος και,

$$\frac{\Delta n}{\Delta\lambda} = \frac{2B}{\lambda^3}$$

όπου B σταθερά με μονάδες μήκους από την εξίσωση του Chauchy.

Φασματόμετρο (spectrometer – goniometer)



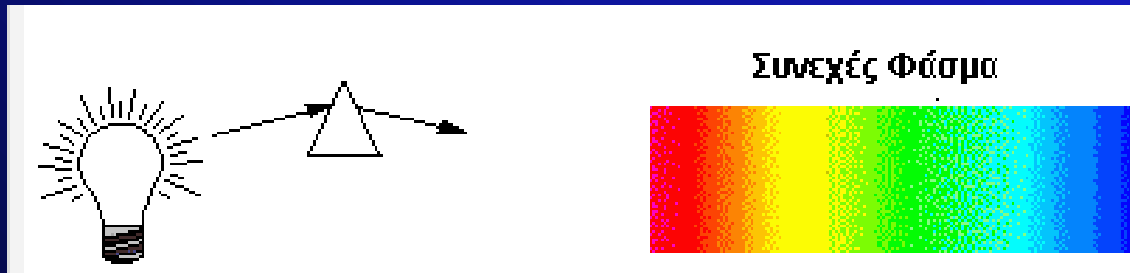
Τα φασματόμετρα χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν και να παρατηρήσουν τα διάφορα μήκη κύματος, που αποτελούν το **φάσμα** μίας φωτεινής δέσμης (πολυχρωματικού φωτός) καθώς και να μετρήσουν μεγέθη (συνήθως γωνίες εκτροπής) των διαφόρων ακτινοβολιών.

Φάσματα εκπομπής

Τα φάσματα τα διακρίνουμε σε **συνεχή** και **γραμμικά**, ανάλογα με τη φύση της πηγής που ακτινοβολεί.

- **Συνεχή φάσματα εκπομπής:**

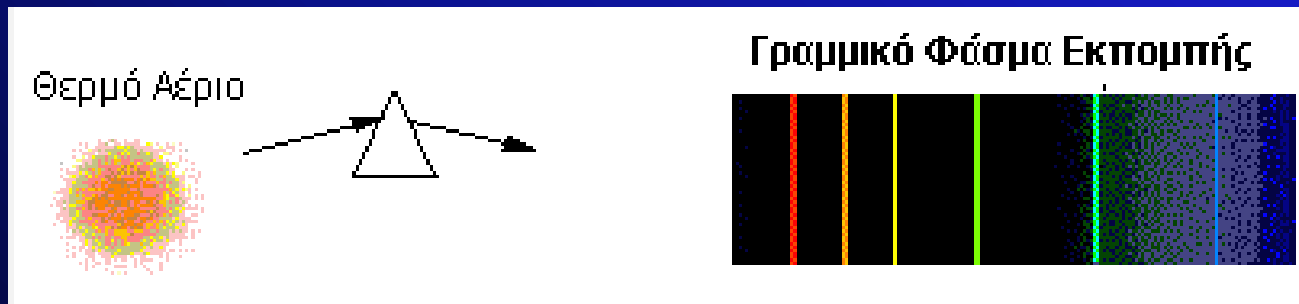
Εκπέμπονται από στερεά και υγρά σώματα που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία (διάπυρα σώματα) και έχουν σαν χαρακτηριστικό γνώρισμα **τη συνέχεια** στα διαδοχικά μήκη κύματος που εκπέμπουν. Τα συνεχή φάσματα, είναι **ανεξάρτητα** από τη φύση του υλικού και εξαρτώνται μόνο από τη **θερμοκρασία**.



- Γραμμικά φάσματα εκπομπής:

Εκπέμπονται από διεγερμένα άτομα αερίων που βρίσκονται κάτω από την επίδραση ηλεκτρικής εκκένωσης, αλλά και από τους ατμούς των μετάλλων. Κύριο γνώρισμα των φασμάτων αυτών είναι η ασυνέχεια των μηκών κύματος που εκπέμπονται (**διακριτές έγχρωμες γραμμές**).

Τα γραμμικά φάσματα των στοιχείων είναι συγκεκριμένα και **διαφέρουν** από στοιχείο σε στοιχείο.



Απορρόφηση ακτινοβολίας - Φάσματα Απορρόφησης

Όταν ακτινοβολία με συνεχές φάσμα εκπομπής διέρχεται μέσα από ύλη, τότε το φάσμα της ακτινοβολίας που εξέρχεται μέσα από την ύλη ονομάζεται **φάσμα απορρόφησης**.

Τα φάσματα απορρόφησης τα διακρίνουμε σε **συνεχή** και **γραμμικά**.

Συνεχή φάσματα απορρόφησης

Προκύπτουν αν μια ακτινοβολία περάσει μέσα από έγχρωμο στερεό ή υγρό υλικό ή ανακλαστεί από αυτό.

Γραμμικά φάσματα απορρόφησης

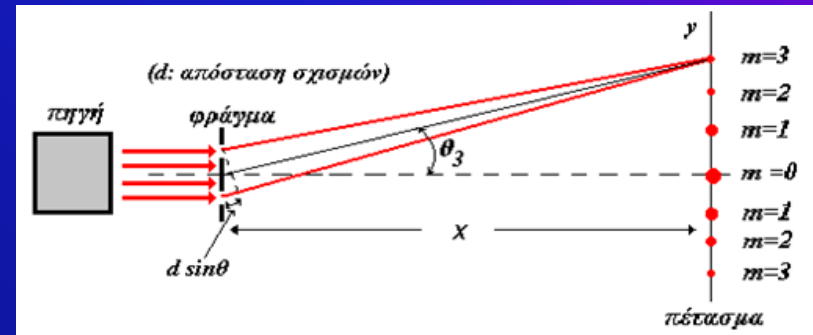
Γραμμικό φάσμα απορρόφησης παίρνουμε όταν η ακτινοβολία που εκπέμπεται από πηγή περάσει μέσα από διεγερμένο αέριο ή από ατμούς μετάλλων (σκοτεινές γραμμές που αντιστοιχούν στο γραμμικό φάσμα εκπομπής του αερίου ή των ατμών μετάλλου).



Μέτρηση του δείκτη διάθλασης με την χρήση φράγματος περίθλασης

Ένας άλλος τρόπος να αναλυθεί το πολυχρωματικό φως σε ένα φασματομέτρο είναι με φράγμα πολλών σχισμών. **Σταθερά ενός φράγματος** ονομάζουμε το μέγεθος d , το οποίο είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές σχισμές.

Αν το επίπεδο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει στο φράγμα κάθετα όπου η απόσταση μεταξύ των σχισμών του είναι ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος του φωτός, τότε λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα συμβολής και περίθλασης του φωτός. Το αποτέλεσμα τους είναι η δημιουργία, για κάθε χρώμα, φωτεινών και σκοτεινών περιοχών (κροσσών συμβολής) μετά το φράγμα. Η συνθήκη της συμβολής δίνεται από τη σχέση:



$$m\lambda = d \sin\theta$$

όπου m η **τάξη** του κροσσού συμβολής και είναι ακέραιος αριθμός ($m=0, 1, 2, 3, \dots$) με $m=0$ να αντιστοιχεί στον **κεντρικό κροσσό**, ενώ, π.χ. για $m=1$, έχουμε την **πρώτη τάξη** κροσσών (αριστερά και δεξιά από τον κεντρικό κροσσό), ενώ για $m=2$, έχουμε τη **δεύτερη τάξη** κροσσών (αριστερά και δεξιά από τον κεντρικό κροσσό), λ το **μήκος κύματος** της ακτινοβολίας και d η σταθερά του φράγματος.

Στην περίπτωση που έχουμε πολυχρωματικό φως, δηλαδή αποτελείται από πολλά μήκη κύματος, σύμφωνα με τη σχέση ($m\lambda = d \sin\theta$), κάθε χρώμα (για κάθε m) θα εκτρέπεται υπό διαφορετική γωνία και, επομένως, θα γίνεται ανάλυση του φωτός για κάθε τάξη κροσσού. Το φάσμα επαναλαμβάνεται για κάθε τάξη m . Είναι προφανές ότι στο κέντρο ($m=0$, $\theta_0=0$) όλα τα χρώματα θα βρίσκονται στην ίδια θέση και, επομένως, θα συνθέτουν το χρώμα της φωτεινής πηγής.

Διακριτική ικανότητα φράγματος περίθλασης

Τα φράγματα περίθλασης είναι μεγαλύτερης διακριτικής ικανότητας σε σχέση με τα πρίσματα.

Η διακριτική ικανότητα φράγματος N σχισμών υπολογίζεται ως εξής:

$$R = \frac{\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

όπου: λ_1, λ_2 είναι δύο μήκη κύματος που είναι πολύ κοντά μεταξύ τους ($\lambda \sim \lambda_1 \sim \lambda_2$), ενώ ως λ ορίζουμε την μέση τιμή των δύο μηκών κύματος:

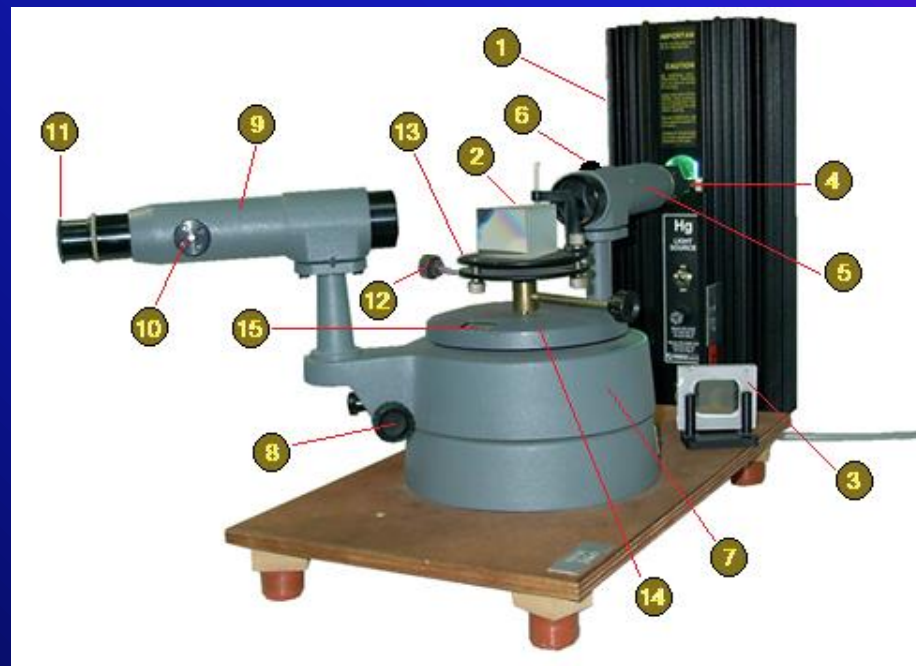
$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

Απαραίτητα όργανα – Πειραματική διάταξη

1. Λυχνία διάπυρων ατμών υδραργύρου (Hg).
2. Γυάλινο ισόπλευρο πρίσμα, θλαστικής γωνίας 60° .
3. Φράγμα περίθλασης.

Διάταξη Φασματόμετρου που αποτελείται από:

4. Σχισμή μεταβλητού εύρους που βρίσκεται στην είσοδο της άκρης του κατευθυντήρα, το εύρος της οποίας ρυθμίζεται από κοχλία στο πλάι του κατευθυντήρα.
5. Βάση κατευθυντήρα.
6. Κοχλία εστίασης κατευθυντήρα.
7. Περιστρεφόμενη τράπεζα της βάσης διόπτρας.
8. Κοχλία μικρομετρικής κίνησης της τράπεζας της βάσης διόπτρας (ο κοχλίας ακινητοποίησης της διόπτρας, βρίσκεται πίσω από τον κοχλία 8).
9. Βάση διόπτρας.
10. Κοχλία εστίασης διόπτρας.
11. Προσοφθάλμιο φακό, κινητός κατά μήκος της διόπτρας για καλύτερη εστίαση.
12. Κοχλία ρύθμισης ύψους της τράπεζας στήριξης του πρίσματος ή φράγματος.
13. Τράπεζα στήριξης του πρίσματος ή του φράγματος.
14. Οπτική τράπεζα του φασματόμετρου.
15. Κυκλικός βερνιέρο για την μέτρηση γωνιών.



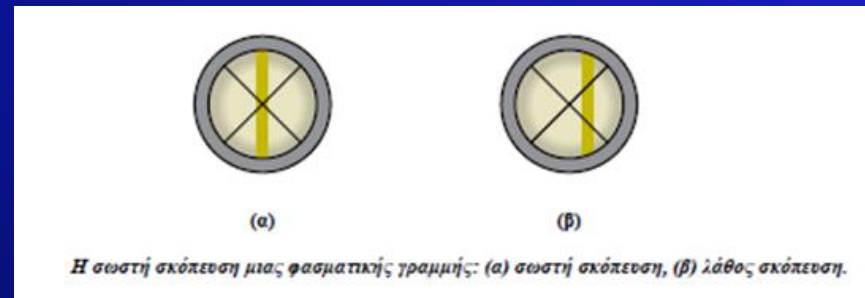
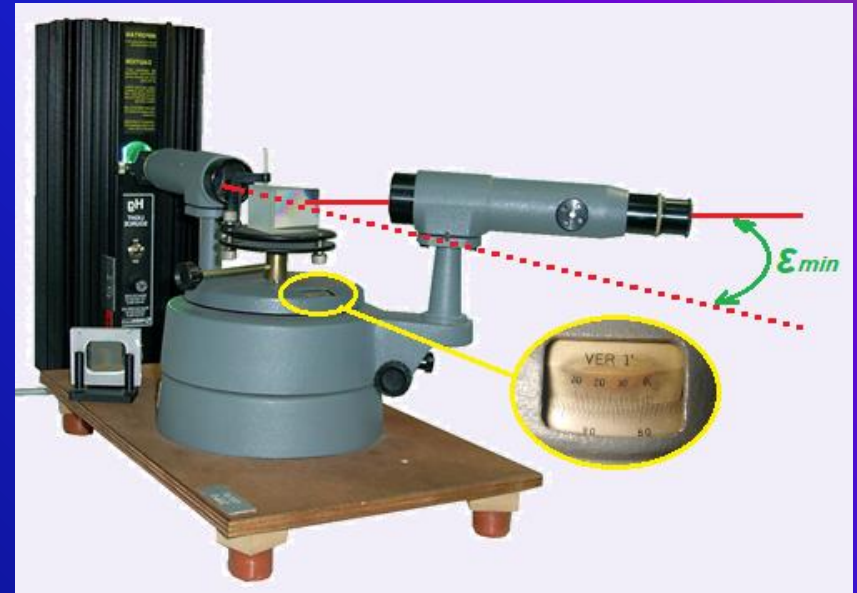
Πείραμα 1.

Σκοπός

- Υπολογισμός του δείκτη διάθλασης n του γυαλιού για διαφορετικά μήκη κύματος φωτός με τη χρήση φασματόμετρου πρίσματος και επιβεβαίωση του φαινομένου του διασκεδασμού.
- Υπολογισμός της διακριτικής ικανότητας και της διασκεδαστικής ικανότητας (αριθμός Abbe) του πρίσματος.

Εκτέλεση της άσκησης - Μετρήσεις

- Ακολουθώντας τα βήματα 1. έως 9. της εκτέλεσης των σημειώσεων, ρυθμίζουμε το φασματόμετρο για την λήψη των απαραίτητων μετρήσεων.
- Βήμα 10. Τοποθετούμε τη διόπτρα σε ευθεία με τον κατευθυντήρα και την πηγή και μετράμε τη γωνία ϵ_0 της απ' ευθείας δέσμης του φωτός της λυχνίας. Η τιμή αυτή, **αν δεν είναι μηδέν**, πρέπει να αφαιρείται από όλες τις μετρήσεις μας. Στην συνέχεια στρέφοντας τον κατευθυντήρα προς τα δεξιά σκοπεύουμε με τη διόπτρα κάθε φασματική γραμμή (βλέπε παρακάτω πίνακα μετρήσεων 14.3) και μετράμε με την ακρίβεια του βερνιέρου τη γωνία ελάχιστης εκτροπής ϵ_{min} για κάθε γραμμή.
- Η σωστή σκόπευση μιας φασματικής γραμμής γίνεται όπως φαίνεται στο δίπλα σχήμα.



Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 14.3

$\varepsilon_0 = 0^\circ$, Βάση πρίσματος $b = 536 \text{ mm} = 5,36 \text{ cm}$				
ΧΡΩΜΑ	$\lambda \text{ (}\mu\text{m)}$	ε		$\varepsilon_{\min} = \varepsilon - \varepsilon_0 = \varepsilon$
		Μοίρες	Λεπτά του τόξου	
Ιώδες 1 (ισχ.)	0,4047	51	31	51,517
Ιώδες 2 (ασθ.)	0,4078	51	26	51,433
Μπλε	0,4358	50	37	50,617
Κυανό	0,4916	49	30	49,500
Πράσινο	0,5461	48	49	48,817
Κίτρινο 2	0,5770	48	30	48,500
Κίτρινο 1	0,5791	48	27	48,450

Σημείωση: 1. Η μετατροπή μοιρών και λεπτών της μοίρας μόνο σε μοίρες γίνεται όπως παρακάτω.

$$51^0 \text{ και } 31' = 51 + 31/60 = 51,517^0$$

2. Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι τιμές (σε μm) για τα μήκη κύματος κάθε φασματικής γραμμής που θα χρειαστείτε στην επεξεργασία.

Επεξεργασία των μετρήσεων 1^{ου} πειράματος

- Η επεξεργασία των μετρήσεων για το 1^ο πείραμα θα γίνει σύμφωνα με τα βήματα της επεξεργασίας που περιγράφονται στις σημειώσεις των εργαστηριακών ασκήσεων για την άσκηση και το πείραμα αυτό.
- Για το βήμα 4., η σχέση που μας δίνει τον συντελεστή συσχέτισης R_2 ή r_2 (correlation coefficient) καθώς και το τι εκφράζει σε μία γραφική παράσταση, υπάρχει στον φάκελο των Εργαστηρίων Φυσικής II, στο eclass.

Πείραμα 2.

Σκοπός

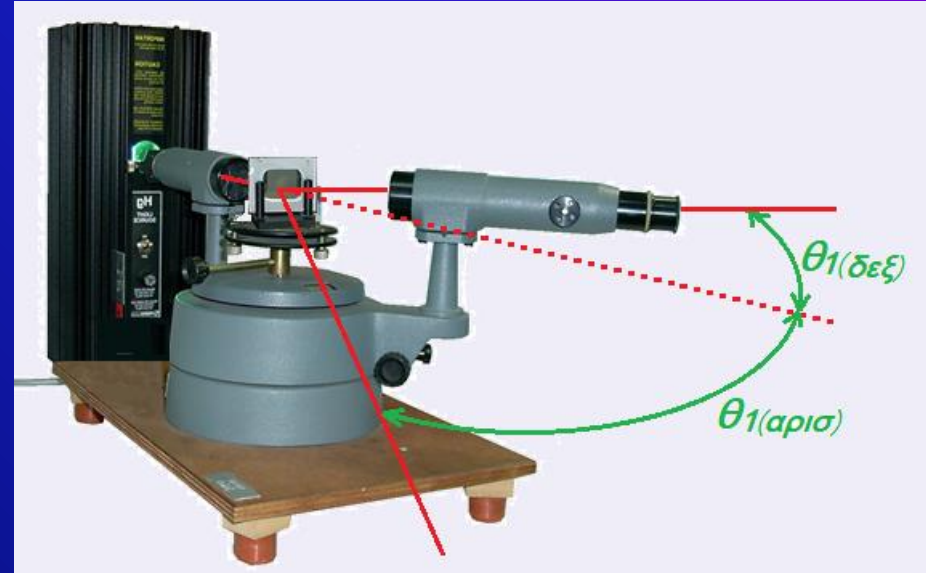
- Ανάλυση πολυχρωματικού φωτός με φασματόμετρο φράγματος.
- Υπολογισμός των μηκών κύματος φάσματος του φωτός λυχνίας Hg.
- Υπολογισμός της διακριτικής ικανότητας φράγματος.

Εκτέλεση της άσκησης - Μετρήσεις

Ακολουθώντας τα βήματα 1. έως 3. της εκτέλεσης των σημειώσεων, ρυθμίζουμε το φασματόμετρο για την λήψη των απαραίτητων μετρήσεων.

Βήμα 4. Για το γραμμικό φάσμα που εμφανίζεται για πρώτη φορά ($m=1$), δεξιά ως προς τον παρατηρητή, θέτουμε το σταυρόνημα της διόπτρας πάνω σε κάθε χρωματική γραμμή που συναντάμε, και για κάθε μια από αυτές μετράμε τη γωνία εκτροπής της $\theta_1(\delta\epsilon\chi)$.

Βήμα 5. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία, στρέφοντας τη διόπτρα αριστερά ως προς τον παρατηρητή. Σε αυτή την περίπτωση η γωνία εκτροπής $\theta_1(\alpha\rho\iota\sigma)$ που μετράτε στο βερνιέρο πρέπει να αφαιρεθεί από τις 360°.



Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 14.4

ΧΡΩΜΑ	$\theta_{1(\delta\epsilon\lambda)}$	Μέτρηση γωνίας αριστερά (ϕ)	$\theta_{1(\alpha\rho\iota\sigma)} = 360^\circ - \phi$
Κίτρινο 1	$20^\circ + 40' = 20,667^\circ$	$339^\circ + 40' = 339,667^\circ$	$20,333^\circ$
Κίτρινο 2	$20^\circ + 30' = 20,500^\circ$	$339^\circ + 45' = 339,750^\circ$	$20,250^\circ$
Πράσινο	$19^\circ + 25' = 19,417^\circ$	$340^\circ + 95' = 340,950^\circ$	$19,050^\circ$
Κυανό	$17^\circ + 33' = 17,550^\circ$	$342^\circ + 43' = 342,717^\circ$	$17,283^\circ$
Μπλε	$15^\circ + 30' = 15,500^\circ$	$344^\circ + 54' = 344,900^\circ$	$15,100^\circ$
Ιώδες (ασθ)	$14^\circ + 25' = 14,417^\circ$	$344^\circ + 55' = 344,917^\circ$	$15,083^\circ$
Ιώδες (ισχ)	$14^\circ + 15' = 14,250^\circ$	$346^\circ + 00' = 346,000^\circ$	$14,00^\circ$

Επεξεργασία των μετρήσεων 2^{ου} πειράματος

- Η επεξεργασία των μετρήσεων για το 2^ο πείραμα θα γίνει σύμφωνα με τα βήματα της επεξεργασίας που περιγράφονται στις σημειώσεις των εργαστηριακών ασκήσεων για την άσκηση και το πείραμα αυτό.